สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่บำบัดผู้ป่วยหลอดลมตีบ

Asthma Treatment by Using RF/Microwave Application

ผศ.ดร สุพันธ์ ตั้งจิตกุศลมั่น

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
ส 831ก
2556

สขหม่.....
เลขทะเบียน 137838
รับเดือน.ปี 16 ต.ค. 2558

.b 12700563
.i.....

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่บำบัดผู้ป่วยหลอดลมตีบ

Asthma Treatment by Using RF/Microwave Application

ผศ.ดร ลุพันธ์ ตั้งจิตกุศลมั่น

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่องานวิจัย: การใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่บำบัดผู้ป่วยหลอดลมตีบ
นักวิจัย: ผศ.ดร.สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น
คณะ: วิศวกรรมศาสตร์ **สาขาวิชา:** วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ทำการออกแบบและพัฒนาสายอากาศในย่านความถี่วิทยุ ที่มีความสามารถในการกางส่วนของสายอากาศออกเพื่อใช้ในการขยายช่องทางเดินของหลอดลม ของทางเดินหายใจที่ปอด โดยหลักการจะส่งผ่านคลื่นความถี่วิทยุ เกิดความแตกต่างศักดาไฟฟ้า ระหว่างเนื้อเยื่อกับ อิเล็กโตรดส่วนกลาง โดยในการออกแบบโพรบ จะมีการใช้งานคล้ายกับระบบการบำบัดด้วยความถี่ไมโครเวฟ แต่ยังคงใช้หลักการทางด้านความถี่วิทยุอยู่ โดยออกแบบให้แผ่นกราวด์นั้นอยู่ตรงกลางขั้วสายอากาศ ทำให้ผู้ป่วยไม่จำเป็นต้องนอนทับแผ่นกราวด์ ลดการเกิดปัญหาเนื่องจากการเสียหายบริเวณเนื้อเยื่อส่วนอื่น จึงทำให้โพรบนี้สามารถใช้กับอวัยวะปอด ที่โดยปกติไม่สามารถใช้ได้ เนื่องจาก การเดินทางของคลื่นวิทยุมาสู่กราวด์ไม่ครบวงจร จึงเป็นลักษณะพิเศษของสายอากาศที่ทำการออกแบบ

คำสำคัญ: หลอดลม, ระบบการบำบัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ , สมการความร้อนทางชีววิทยา.

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Research Title: Asthma Treatment by Using RF/Microwave Application
Researcher: Assist Dr. Supan Tungjitkusolmun
Faculty: Engineering **Department:** Electronic Engineering

ABSTRACT

This research designed and developed in the radio antenna. With the ability to extend the antenna is to be used in the expansion of the bronchial passages. Of the airways of the lungs in principle it is sent over radio frequencies. Electrical potential difference between tissues with Electrode central by design, the probe will have applications similar to treatment with microwave frequencies. But still, the principle is the frequency. By design, the disc is in the middle ground terminal antenna. The patient does not need to lay a ground plate. Reduce crashes Due to the damaged tissue sections. Therefore, this probe can be used with pulmonary organs. That would normally not be available due. Propagation of radio waves to the ground not fully integrated. It is characteristic of the antenna design.

Keywords : Asthma, Microwave Ablation , Bio heat Equation.

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนวิจัยเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ 2556

ผศ.ดร.สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง V

สารบัญภาพ ..... V I

บทที่/1 บทนำ 1

1.1 หลักการและเหตุผลของโครงการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย 3

1.4 ทฟษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย 3

1.5 ขอบเขตการวิจัย 3

1.6 โครงสร้างของการวิจัย 3

บทที่/2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของระบบทางเดินหายใจ 5

2.2 โรคหืด 8

2.3 การบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ 10

2.4 สมการความร้อนทางชีววิทยา 11

2.5 สมการราเวียร์-สโตกส์ 12

2.6 หลักการวิเคราะห์สมการ 14

บทที่/3 วิธีการในการวิจัย 21

3.1 การแก้ปัญหาทางความร้อนและไฟฟ้าแบบ 3 มิติ 21

3.2 วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ 27

3.3 กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ 28

3.4 การประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์ 29

3.5 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผล 31

3.6 กระบวนการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics 31

3.7 โครงสร้างของโพรบและหลอดลม 32

3.8 การกำหนดค่าคงที่ต่างๆ ของการออกแบบ 33

3.9 การเมชแบบจำลอง 34

3.10 การประมวลผลข้อมูลบนแบบจำลอง 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า
บทที่/4 ผลการทดลอง....36
4.1 ผลการจำลองโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์....36
4.2 การทดลอง....42
บทที่/5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....44
5.1 สรุปผลการวิจัย....44
5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป....44
บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง....46

หมายเหตุ

1. ชื่อหัวข้อและจำนวนบทสามารถปรับให้สอดคล้องกับงานวิจัยได้ตามความเหมาะสมของงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์/ด้านสังคมศาสตร์
2. เครื่องหมาย / หมายถึง การเว้นวรรค 1 ระยะตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 การจำแนกระดับความรุนแรงของโรคหืด 11
3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์การกระจายตัวของความร้อน.....34
3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์การไหลของอากาศ.....34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้างของระบบทางเดินหายใจ....7
2.2 ท่อทางเดินหายใจ....7
2.3 ความชุกของโรคหืดต่อสัดส่วนของประชากรทั่วโลก....8
2.4 อัตราการเสียชีวิตของผู้ป่วยโรคหืดทั่วโลก (ต่อผู้ป่วยโรคหืด 100,000 คน) ในช่วงกลุ่มอายุ 5 – 34 ปี....9
2.5 พยาธิสรีรวิทยาของหลอดลมในโรคหืด....9
2.6 ยาและอุปกรณ์สำหรับใช้บรรเทาอาการหอบและรักษาโรคหืด (ก) ยาควบคุมโรค (ข) ยาขยายหลอดลมหรือยาบรรเทาอาการ (ค) เครื่องพ่นยาแบบ PMDI (ง) กระบอกต่อ....12
2.7 การบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (ก-ง) RF Ablation Procedure (จ) ตำแหน่งของหลอดลมที่ต้องทำการบำบัด....15
2.8 โฟวชาร์ตลำดับในการวิเคราะห์สมการ....20
3.1 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์และโหนด....27
3.2 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (ก) โครงกระดูกหน้าขา (ข) ลิ้นหัวใจ (ค) สายอากาศที่ใช้ทำลายเซลล์มะเร็งตับ (ง) โครงสร้างฟัน....31
3.3 กระบวนการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics....31
3.4 ขนาดและโครงสร้างของโพรบที่ใช้ในการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์....32
3.5 ขนาดของหลอดลม....33
3.6 แบบจำลองการบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ....33
3.7 การ MESH แบบจำลอง....35
3.8 การกำหนดขอบเขตของแบบจำลอง....35
4.1 การกระจายตัวของความร้อนในขณะบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ....36
4.2 การไหลของอากาศในขณะบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ....37
4.3 การกระจายตัวของความร้อนและการไหลของอากาศในขณะบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ....37
4.4 การกระจายของฟลักซ์ความร้อนที่ออกจากโพรบ....38
4.5 การกระจายของสนามไฟฟ้าที่ออกจากโพรบ....38
4.6 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง....39
4.7 การทดลองในไข่ขาว....41
4.8 สนามไฟฟ้าที่กระจายในเนื้อเยื่อ....41
4.9 ผลการทดลองในไข่ขาว....42
4.10 การทดลองในหลอดลมของหมู....42
4.11 ผลการทดลองในหลอดลมของหมู....43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

โรคหืดเป็นโรคทางเดินหายใจเรื้อรัง เกิดจากภาวะทางเดินหายใจอุดกลั้นจากการตีบแคบของหลอดลม ซึ่งเป็นโรคที่รักษาไม่หายขาด มีผู้ป่วยประมาณ 300 ล้านคนทั่วโลก [1] โดยมีอาการหอบ ไอ หายใจเสียงดังและอาจเสียชีวิตได้ ซึ่งสาเหตุหลักของโรคได้แก่ กรรมพันธุ์ การติดเชื้อ และสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองและภูมิแพ้

วิธีการรักษาโรคหืดจะใช้ยารักษาตามระดับความรุนแรงของโรค ซึ่งมี 4 ระดับ คือ มีอาการนานๆ ครั้ง (Intermittent) อาการรุนแรงน้อย (Mild Persistent) อาการรุนแรงปานกลาง (Moderate Persistent) และอาการรุนแรงมาก (Severe Persistent) [2] โดยผู้ป่วยที่เป็นโรคหืดอาการรุนแรงมากจะต้องได้รับยาในปริมาณมากแต่ก็ไม่สามารถลดการตีบแคบลงแบบถาวรของกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมภายในผนังหลอดลมได้ ผู้ป่วยจึงต้องทุกข์ทรมานจากอาการหอบบ่อยๆ หายใจลำบาก เสี่ยงต่อภาวะหอบเฉียบพลัน ถ้ารักษาไม่ทันเวลาจะเกิดภาวะหัวใจล้มเหลว และเสียชีวิตได้ในระยะเวลาอันสั้น วิธีการบำบัดโรคหืดโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ (Radiofrequency Ablation, RFA) จึงถูกนำมาบำบัดผู้ป่วยที่มีอาการรุนแรงมาก ซึ่งคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ในการบำบัดอยู่ในย่านความถี่ 375 - 500 กิโลเฮิรตซ์ เมื่อปล่อยคลื่นจะเกิดความร้อนส่งผ่านไปยังอิเล็กโทรดที่สัมผัสกับกล้ามเนื้อเรียบของหลอดลมที่ตีบแคบแบบถาวร เมื่อกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมถูกจี้ด้วยความร้อนประมาณ 55 - 65 องศาเซลเซียส ก็สามารถลดขนาดของกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมได้ร้อยละ 50 ก็จะมีผลทำให้การหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมลดลง ผลการบำบัดด้วยวิธีนี้จะทำให้ผู้ป่วยจึงมีอาการหอบน้อยลง ใช้ยาในการรักษาในปริมาณที่น้อยลง และมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น [3] นอกจากการบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุแล้ว ก่อนหน้านี้ได้มีการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการรักษาโรคมะเร็งปอด มะเร็งเต้านม มะเร็งตับ โรคหัวใจเต้นผิดจังหวะ โรคโพรงจมูกอักเสบ เส้นเลือดขอด และอาการนอนกรน และในอนาคตข้างหน้าก็อาจจะพัฒนาให้รักษาโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ และมะเร็งชนิดอื่นๆ เพิ่มขึ้นได้อีกด้วย

นอกจากนี้ในระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมาได้มีการวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดโรคหืดโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุอย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยจึงขอนำเสนอตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่วิทยุ ดังนี้ ในปี ค.ศ. 2004 Danek et al [4],[5] ได้ทดลองทำให้หลอดลมไวต่อสิ่งกระตุ้นผิดปกติจากการได้รับสาร Methacholine ลดลง จากการใช้คลื่นความถี่วิทยุในสุนัข โดยผู้วิจัยได้ทดลองบำบัดโรคหืดในสุนัขที่ไม่เป็นโรคหืด โดยปล่อยคลื่นผ่านอิเล็กโทรดให้เกิดความร้อนที่กล้ามเนื้อเรียบหลอดลมของสุนัข โดยใช้อุณหภูมิ 65-75 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่าภายใน 1 สัปดาห์หลังบำบัดจนถึง 3 ปี ไม่มีการสร้างกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมขึ้นมาใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ต่อมาในปี ค.ศ. 2006 Cox et al [1] ได้ศึกษาการใช้เครื่อง Bronchial Thermoplasty กับผู้ป่วยโรคหืดระดับรุนแรงน้อยถึงรุนแรงปานกลาง มีอายุระหว่าง 24-58 ปี จำนวน 16 คน โดยให้ยา Prednisone 30-50 มิลลิกรัม ก่อนทำการบำบัด 3 วันและในวันรักษา โดยทำการบำบัด 3 ครั้ง ครั้งแรกที่ปอดส่วนล่างขวา ครั้งที่สองที่ปอดส่วนล่างซ้าย และครั้งสุดท้ายที่ปอดส่วนบน ซึ่งระยะเวลาในการทำบำบัดแต่ละครั้งห่างกัน 3 สัปดาห์ ใช้เวลาในการบำบัดแต่ละครั้ง ประมาณ 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าหลอดลมไวต่อสิ่งกระตุ้นลดลง แต่มีผลข้างเคียงเกิดขึ้น คือ การไอ เหนื่อย หายใจเสียงดังวี้ด ซึ่งมักจะเกิดขึ้นภายใน 1 วันหลังทำการรักษา และหายภายใน 4 - 6 วันหลังจากรักษา และไม่มีผู้ป่วยต้องนอนโรงพยาบาลจากผลข้างเคียงที่เกิดขึ้น และในปี ค.ศ. 2010 Jarrard et al [6] ได้สร้างแบบจำลองการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ทางไฟฟ้าและความร้อน เพื่อควบคุมอุณหภูมิของคลื่นความถี่วิทยุที่ส่งผ่านไปยังผนังหลอดลม โดยแบบจำลองนี้จะทำนายการเกิดความร้อนจากความต้านทานไฟฟ้าของคลื่นความถี่วิทยุ การถ่ายโอนความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนภายในผนังหลอดลม ซึ่งในการสร้างแบบจำลองจะต้องรู้คุณลักษณะทางกายภาพและขนาดของหลอดลมและเนื้อเยื่อปอด โดยแบบจำลองนี้จะทำนายค่าของอุณหภูมิ ความต้านทาน พลังงาน และกำลังไฟฟ้า เพื่อใช้กับแบบจำลองของสุนัขทดลอง และแบบจำลองนี้ยังแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการวัดทางไฟฟ้า การกระจายตัวของความร้อน และเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือสำหรับการรักษาโรคหืดชนิดรุนแรงด้วยคลื่นความถี่วิทยุต่อไปในอนาคต

ส่วนการศึกษาเกี่ยวจำลองการไหลของอากาศในหลอดลมนั้น ในปี ค.ศ. 2010 Johari et al [7] ได้เปรียบเทียบการจำลองการไหลของอากาศในแบบจำลองอย่างง่ายและแบบจำลองเสมือนจริงของหลอดลมใหญ่ (Trachea) และหลอดลม (Main Bronchi) ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองอย่างง่ายจะมีความน่าเชื่อถือและถูกต้องเกี่ยวกับการไหลเวียนของอากาศในทางเดินหายใจ สามารถใช้ได้ผลดีกับการไหลของอากาศในพื้นที่ไม่ซับซ้อน แต่ระดับของความถูกต้องจะลดลงในบริเวณที่มีรูปทรงซับซ้อนมาก พื้นที่หน้าตัดขวางมาก และรัศมีความโค้งที่มีขนาดเล็ก และแบบจำลองอย่างง่ายให้ผลการจำลองใกล้เคียงกับแบบจำลองจริง โดยแบบจำลองอย่างง่ายสามารถนำไปใช้จำลองการไหลเวียนของอากาศในหลอดลมของมนุษย์ได้ แต่มีแนวโน้มที่จะมีการเบี่ยงเบนอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีอัตราการไหลในบริเวณพื้นที่ที่มีความซับซ้อนมาก ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัด หรือพื้นที่ที่รัศมีความโค้งมีขนาดเล็ก

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้คลื่นความถี่วิทยุในการบำบัดโรคหืดชนิดรุนแรงมากบริเวณกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมที่ความถี่ 380 กิโลเฮิรตซ์ แรงดัน 22 โวลต์ เป็นเวลา 10 วินาที เพื่อจำลองการกระจายตัวของความร้อนและการไหลของอากาศที่หลอดลมด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการสร้างแบบจำลองและทำการทดลองในไข่ขาวและหลอดลมหมู ซึ่งในงานวิจัยอ้างอิงค่าพารามิเตอร์ในสุนัข [5] เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับค่าพารามิเตอร์ของมนุษย์

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อจำลองการกระจายตัวของความร้อนและการไหลของอากาศที่หลอดลมด้วยคลื่นความถี่วิทยุโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. เพื่อนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ไปทำโพรบ เพื่อทดลองแบบ in vitro

3. เพื่อเป็นแนวทางในการใช้คลื่นความถี่วิทยุบำบัดโรคหืดชนิดรุนแรงต่อไปในอนาคต

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

วิธีการบำบัดโรคหืดชนิดรุนแรงด้วยคลื่นความถี่วิทยุต้องศึกษาการกระจายตัวของความร้อนที่ถูกส่งออกจากอิเล็กโทรดสู่กล้ามเนื้อเรียบหลอดลมและการไหลของอากาศที่ผ่านหลอดลม โดยนำวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาแก้ไขปัญหาทางคณิตศาสตร์จากการสร้างแบบจำลอง จากนั้นกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ลงในแบบจำลอง เพื่อใช้ในการคำนวณ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของความร้อนและการไหลของอากาศที่หลอดลมด้วยคลื่นความถี่วิทยุ จะเป็นไปตามสมการความร้อนทางชีววิทยา (Bio-heat Equation) และสมการนาเวียร์สโตก (Navier-Stokes Equations)

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตการศึกษาเกี่ยวกับการใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์การกระจายตัวของความร้อนและการไหลของอากาศในหลอดลมด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบโพรบที่จะใช้ทดลอง

1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ในแต่ละบทจะมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัย และโครงสร้างวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องซึ่งประกอบไปด้วยกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของระบบทางเดินหายใจ โรคหืด (Asthma) การบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ สมการความร้อนทางชีววิทยา (Bio-heat Equation) สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equations) และหลักการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3 กล่าวถึงการแก้ปัญหาทางความร้อนและไฟฟ้าแบบ 3 มิติ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ การประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์ ซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผล กระบวนการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics โครงสร้างของโพรบและหลอดลม การกำหนดค่าคงที่ต่างๆ ของแบบจำลอง การเมช (Mesh) แบบจำลอง การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตบนแบบจำลอง และการประมวลผลข้อมูลบนแบบจำลอง

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการจำลองโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และผลการทดลอง

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้แก้ปัญหาในงานวิจัยซึ่งประกอบด้วยกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของระบบทางเดินหายใจ โรคหืด (Asthma) การบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ สมการความร้อนทางชีววิทยา (Bio-heat Equation) สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equations) และหลักการวิเคราะห์

2.1 กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของระบบทางเดินหายใจ

2.1.1 ท่อทางเดินหายใจ

อากาศจะผ่านเข้าทางรูจมูกไปยังโพรงจมูก (Nasal Cavity) คอหอย (Pharynx) แล้วเข้าสู่กล่องเสียง (Larynx) และหลอดลมตามลำดับ ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งท่อทางเดินหายใจเป็นทางที่นำอากาศจากภายนอกผ่านเข้าไปยังส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซภายในปอด เริ่มจากหลอดลมใหญ่ (Trachea) จนไปถึงถุงลม (Alveoli) แบ่งเป็น 23 ลำดับขั้น (Generation) ดังรูปที่ 2.2 และแบ่งตามหน้าที่การแลกเปลี่ยนก๊าซ แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

2.1.1.1 Conducting Zone

Conducting Zone ได้แก่ ส่วนของท่อทางเดินหายใจ 16 ลำดับขั้นแรก เริ่มจากหลอดลมใหญ่ (Trachea) หลอดลม (Bronchi) หลอดลมฝอย (Bronchioles) จนถึงหลอดลมฝอยส่วนปลาย (Terminal Bronchioles) ท่อทางเดินหายใจส่วนนี้ไม่ได้ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซ แต่ทำหน้าที่เป็นทางผ่านระหว่างอากาศภายนอกและอากาศในปอด ส่วน Conducting Zone นี้ มีความสำคัญในการปรับสภาพของอากาศที่หายใจเข้าไป ผนังของหลอดลมใหญ่และหลอดลม ประกอบด้วยกระดูกอ่อนรูปวงแหวนและกล้ามเนื้อเรียบ นอกจากนี้ยังมีน้ำเมือกเหนียว (Mucus) เคลือบผนังทางเดินอากาศ เพื่อดักจับฝุ่นละอองและสิ่งแปลกปลอมที่หายใจเข้าไป แล้วถูกขับออกโดยการพัดโบกของขนที่อยู่บนเซลล์เยื่อบุท่อทางเดินหายใจ ส่วนบริเวณหลอดลมฝอย มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร หรือน้อยกว่า ส่วนนี้ไม่มีกระดูกอ่อน เนื่องจากไม่มีการแลกเปลี่ยนอากาศ แต่มีกล้ามเนื้อเรียบทำหน้าที่ควบคุมขนาดของทางเดินอากาศ

2.1.1.2 Respiratory Zone หรือ Respiratory Unit หรือ Acinus

Respiratory Zone หรือ Respiratory Unit หรือ Acinus ได้แก่ ส่วนของท่อทางเดินหายใจ 7 ลำดับขั้นที่เหลือ เริ่มจากหลอดหายใจฝอย (Respiratory Bronchioles) ซึ่งมีผนังบุด้วยเยื่อบุผิวชั้นบางๆ แล้วแยกแขนงเป็นท่อถุงลม (Alveolar Ducts) ซึ่งเป็นท่อบางๆ ติดต่อกับถุงลม (Alveolar Sacs) โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ถุงลมจะประกอบไปด้วย ถุงลมเล็กๆ (Alveoli) ที่ผนังของถุงลมเล็กๆ เหล่านี้ มีหลอดเลือดฝอยกระจายสัมผัสอยู่มากมาย เพื่อทำหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซ

2.1.2 ปอด

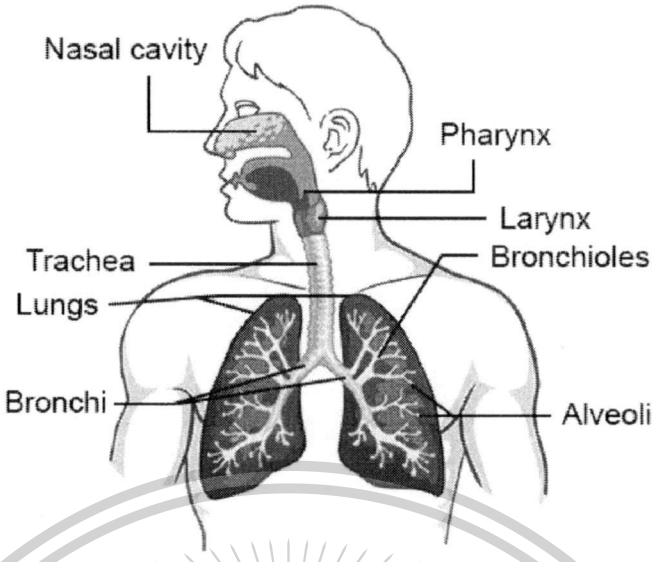
ปอดเป็นอวัยวะภายในช่องอกที่ปิดทึบ มีกระดูกซี่โครงเป็นโครงเสริมให้ความแข็งแรง มีปริมาตรประมาณ 2 ใน 3 ของช่องอก มี 2 ข้าง รูปร่างคล้ายกรวยคว่ำ น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม ปริมาตรความจุสูงสุดประมาณ 5 - 6 ลิตร โดยปอดข้างขวาจะใหญ่กว่าปอดข้างซ้าย แต่กลีบจะสั้นกว่า ส่วนปอดกลีบซ้ายจะแคบกว่าปอดขวา เนื้อเยื่อปอดประกอบด้วยแขนงของหลอดลมมากมาย ที่ปลายของแขนงที่ 23 จะเป็นเยื่อบาง ลักษณะเป็นกระเปาะ คือ ถุงลม มีลักษณะครึ่งวงกลม (Hemisphere) เส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 75 ถึง 300 ไมครอน มีทั้งหมดประมาณ 300 ล้านหน่วย พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นพื้นผิวประมาณ 50 - 100 ตารางเมตร ซึ่งมากกว่าพื้นที่ผิวกายประมาณ 40 เท่า เส้นผ่านศูนย์กลางของถุงลมและพื้นที่ผิว สำหรับการแลกเปลี่ยนก๊าซขึ้นอยู่กับขนาดของการขยายตัวของปอด ผนังของถุงลมหนา 0.2 - 0.6 ไมครอน ซึ่งผนังของถุงลมประกอบด้วย alveolar epithelium เพียงชั้นเดียว และมีหลอดเลือดฝอยกระจายล้อมรอบอยู่เพื่อแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างอากาศกับเลือดในปอด

ปอดแต่ละข้างจะถูกห่อหุ้มด้วยถุงเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีผนัง 2 ชั้น ที่เรียกว่า เยื่อหุ้มปอด (Pleura) ชั้นในติดอยู่กับเนื้อปอดเรียก Visceral Pleura ชั้นนอกติดกับผนังของช่องอก เรียก Parietal Pleura เยื่อหุ้มปอดทั้ง 2 ชั้นนี้อยู่แนบติดกันจนดูเป็นผืนเดียว ระหว่างชั้นทั้งสองมีของเหลวใสๆ เคลือบอยู่ ซึ่งทำให้เกิดเป็นช่องว่างศักย์ขึ้น เรียกว่า Intra Pleural Space เนื่องจากปอดและผนังทรวงอก มีคุณสมบัติยืดหยุ่น โดยปอดจะพยายามหดกลับให้เล็กลง ทรวงอกก็จะพยายามขยายออกในทิศทางตรงข้าม ทำให้เยื่อหุ้มปอดทั้งสองพยายามแยกจากกัน เป็นเหตุให้ช่องเยื่อหุ้มปอดมีความดันต่ำกว่าบรรยากาศหรือมีค่าเป็นลบ ทำให้ปอดอยู่ในลักษณะที่พองโตเต็มทรวงอก แต่ถ้าความดันในช่องเยื่อหุ้มปอดสูงเท่ากับบรรยากาศจะทำให้ปอดแยกตัวจากผนังทรวงอก ทำให้ปอดเล็กหรือแฟบลงได้

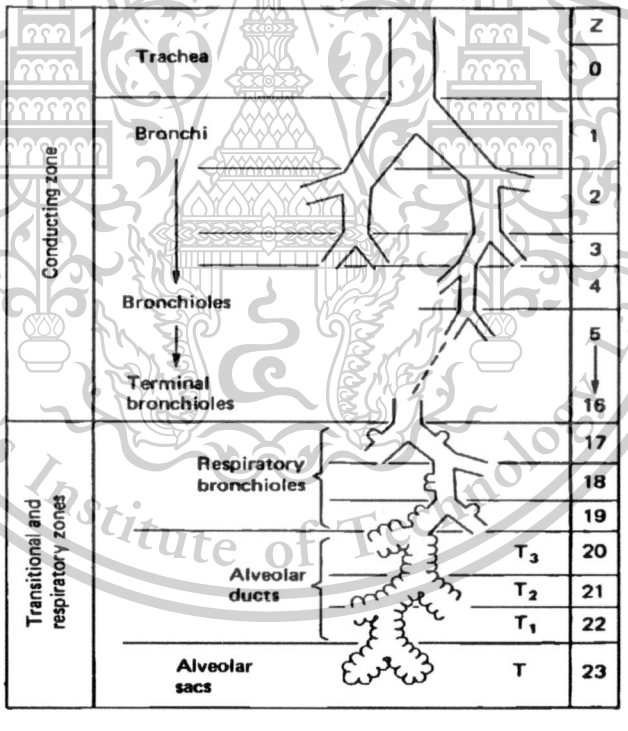
หน้าที่หลักของปอด คือ การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจน (O_2) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ระหว่างบรรยากาศและเลือด นอกจากนี้ปอดยังมีหน้าที่สำคัญหลายประการที่ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการหายใจ เช่น

1. เป็นแหล่งสะสมเลือดให้หัวใจห้องล่างซ้าย (Left-Ventricular Reservoir)
2. เป็นแหล่งกรองสารพิษจากระบบไหลเวียนเลือด (Filtration)
3. Metabolic function เช่น สร้าง สะสม เปลี่ยนแปลง ทำลาย และปล่อยสารเคมีบางชนิดที่มีความสำคัญต่อร่างกาย
4. ช่วยรักษาสมดุลของกรด ด่าง
5. ช่วยให้เลือดไม่แข็งตัว [8-11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบทางเดินหายใจ [12]



รูปที่ 2.2 ท่อทางเดินหายใจ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

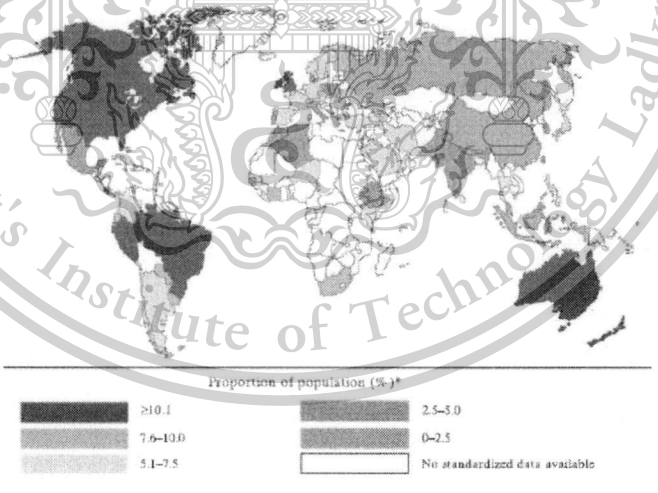
2.2 โรคหืด (Asthma)

2.2.1 นิยาม

โรคหืดเป็นโรคที่มีการอักเสบเรื้อรังของหลอดลม ทำให้หลอดลมไวต่อสิ่งกระตุ้นผิดปกติ (Airway Hyperresponsiveness) เมื่อเจอสิ่งกระตุ้นหลอดลมจะหดตัวตีบลงทำให้ผู้ป่วยมีอาการไอ หอบหายใจไม่อิ่มและหายใจมีเสียงวี้ด ซึ่งอาการเหล่านี้จะดีขึ้นเองหรือบรรเทาลงเมื่อได้รับการรักษา [14]

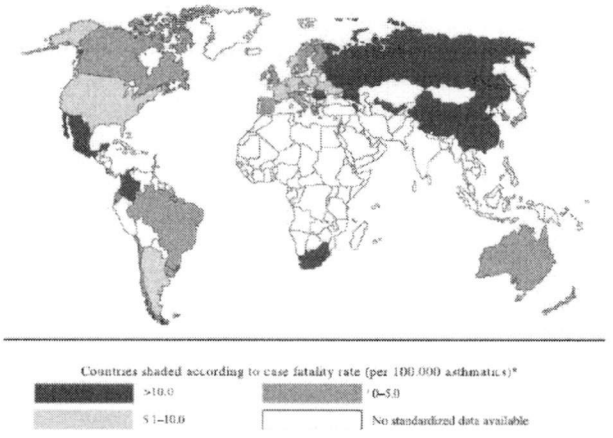
2.2.2 สถิติ

โรคหืดเป็นโรคที่พบบ่อยและมีอุบัติการณ์เพิ่มขึ้นทั่วโลก ปัจจุบันมีผู้ป่วยจากโรคนี้ประมาณ 300 ล้านคนทั่วโลก มีผู้เสียชีวิตจากโรคนี้ถึง 225,000 คน และยังคาดการณ์ว่าอีก 10 ปีข้างหน้าจะมีจำนวนผู้ป่วยเพิ่มมากขึ้นเป็น 400 ล้านคนทั่วโลก ส่วนในประเทศไทยมีอุบัติการณ์ของโรคหืดประมาณ ร้อยละ 4-13 ของประชากรทั้งหมด โรคหืดเป็นโรคที่มีสาเหตุทำให้คนไม่สามารถทำงานหรือดำเนินชีวิตได้ปกติประมาณ 15 ล้านคนใน 1 ปี หรือประมาณร้อยละ 1 ของผู้ป่วยทั้งหมดที่ก่อให้เกิดปัญหาในการทำงานหรือการดำเนินชีวิต จัดเป็นโรคเรื้อรังอันดับที่ 25 ซึ่งมีความชุกและความรุนแรงใกล้เคียงกับโรคเบาหวานและจิตเภท มีอัตราการตายจากโรคหืด 6.2 คนจากประชากรโรคหืด 1 แสนคน ความชุกของผู้ป่วยโรคหืดที่แสดงอาการทางคลินิกคิดเป็นร้อยละ 6.5 ของประชากรทั้งประเทศ รายงานขององค์การอนามัยโลกพบว่าประเทศไทยฟิลิปปินส์และสิงคโปร์มีความชุกสูงสุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แสดงดังรูป 2.3 - 2.4 ตามลำดับ [15-17]



รูปที่ 2.3 ความชุกของโรคหืดต่อสัดส่วนของประชากรทั่วโลก [16]

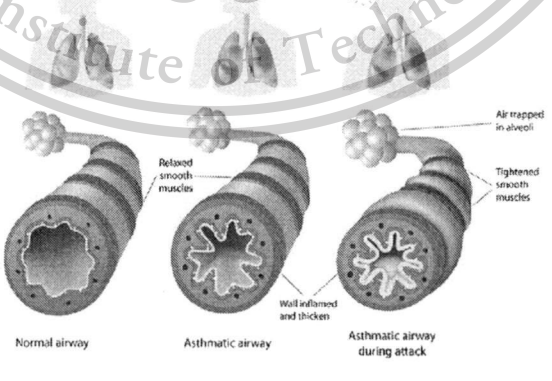
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.4 อัตราการเสียชีวิตของผู้ป่วยโรคหืดทั่วโลก (ต่อผู้ป่วยโรคหืด 100,000 คน) ในช่วงกลุ่มอายุ 5 – 34 ปี [16]

2.2.3 พยาธิสรีรวิทยาของหลอดลมในโรคหืด

โรคหืดเป็นโรคที่มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของหลอดลมตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงอาจมากบ้างน้อยบ้างในแต่ละเวลา ในแต่ละคนหรือแม้แต่ในคนเดียวกัน ลักษณะสำคัญที่มีการเปลี่ยนแปลง คือ การหดแคบเล็กลงของรูหลอดลม ซึ่งอาจเกิดจากการหดรัดตัวของกล้ามเนื้อเรียบหลอดลม ผนังหลอดลมอักเสบและบวม เสมหะหรือน้ำคัดหลั่ง (Secretion) เกิดขึ้นภายในหลอดลม ซึ่งการอักเสบของหลอดลมที่เกิดขึ้นเป็นเวลานาน อาจจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหลอดลมอย่างถาวรทั้งรูปร่างและการทำงาน (Airway Remodeling) [14], [18-20] ซึ่งการเปลี่ยนทางพยาธิสรีรวิทยาของหลอดลมในโรคหืด แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 พยาธิสรีรวิทยาของหลอดลมในโรคหืด [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.4 สาเหตุของโรคหืด

ผู้ป่วยมักมีอาการกำเริบเมื่อมีสาเหตุมากระตุ้น ซึ่งสาเหตุกระตุ้นที่พบบ่อย ได้แก่

1. สารก่อภูมิแพ้ เช่น มลภาวะทางอากาศ ละอองหญ้า เกสรดอกไม้ ตัวไรฝุ่น แมลงสาบ ขนสัตว์ อาหารทะเล ผลิตภัณฑ์จากนม สี และสารกันบูดในอาหาร เป็นต้น
2. สิ่งระคายเคือง เช่น ควันบุหรี่ ควันท่อไอเสีย ควันธูป ฝุ่นละออง สเปรย์ ยาฆ่าแมลง และสารเคมี เป็นต้น
3. ยา ได้แก่ ยาแอสไพรินต้านการอักเสบที่ไม่ใช่สเตียรอยด์
4. การติดเชื้อทางเดินหายใจ เช่น ไข้หวัดใหญ่ ไซนัสอักเสบ และหลอดลมอักเสบ เป็นต้น
5. การออกกำลังกาย อาจชักนำให้เกิดอาการหอบหืดกำเริบในบางราย โดยเฉพาะการออกกำลังกายแบบหักโหมมากเกินไป
6. ความเครียดทางจิตใจ รวมทั้งอารมณ์ซึมเศร้า ความเศร้าโศกจากการสูญเสียคนใกล้ชิด
7. ฮอร์โมนเพศ พบว่าผู้หญิงที่เข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ ระยะก่อนมีประจำเดือนหรือขณะตั้งครรภ์มักอาการหอบหืดกำเริบ [2]

2.2.5 ระดับความรุนแรงของโรคหืด

การจำแนกระดับความรุนแรงของโรค เพื่อง่ายต่อการรักษา มี 4 ระดับด้วยกัน ได้แก่ ระดับที่ 1 มีอาการนานๆ ครั้งหรือเป็นครั้งคราว (Intermittent) ระดับที่ 2 อาการรุนแรงเล็กน้อย (Mild Persistent) ระดับที่ 3 อาการรุนแรงปานกลาง (Moderate Persistent) และระดับที่ 4 อาการรุนแรงมาก (Severe Persistent) [2] ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.1

การรักษาผู้ป่วยโรคหืดนั้นจะใช้ยาในการรักษาตามระดับความรุนแรงของโรค ผู้ป่วยที่มีอาการรุนแรงมาก (Severe Persistent) หลอดลมจะตีบแคบลงแบบถาวร ยาที่ใช้รักษาไม่สามารถรักษาให้หายขาดได้เพียงแค่บรรเทาอาการให้ทุเลาลง และปัจจุบันก็ยังไม่มียาที่ลดอาการตีบแคบแบบถาวรของหลอดลมและยาช่วยในการลดปริมาณกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมที่หนาตัว [3] ผู้ป่วยจึงต้องทนทุกข์ทรมานจากอาการหอบบ่อยทั้งกลางวันและกลางคืน เมื่ออาการกำเริบก็ต้องใช้ยาช่วยบรรเทาอาการ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน ดังนั้นวิธีการบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการบำบัดผู้ป่วยที่มีอาการรุนแรงมากและมีอายุ 18 ปีขึ้นไป เนื่องจากวิธีนี้ให้สามารถลดการตีบแคบลงแบบถาวรของหลอดลม ลดปริมาณกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมที่หนาตัวได้ หลังการบำบัดผู้ป่วยอาการรุนแรงมากจะลดยาที่ใช้ในการรักษาและการเข้ารับการรักษาตัวโรงพยาบาลจากอาการกำเริบเป็นระยะเวลานาน 3-5 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.1 การจำแนกระดับความรุนแรงของโรคหืด [2]

ระดับความรุนแรง	อาการช่วงกลางวัน	อาการช่วงกลางคืน
ระดับที่ 1 มีอาการนานๆ ครั้งหรือเป็นครั้งคราว (Intermittent)	1. มีอาการหอบหืดน้อยกว่าสัปดาห์ละ 1 ครั้ง 2. มีการจับหืดช่วงสั้น ๆ	1. มีอาการหอบเวลากลางคืนน้อยกว่า 2 ครั้งต่อเดือน
ระดับที่ 2 อาการรุนแรงเล็กน้อย (Mild Persistent)	1. มีอาการหืดอย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง แต่น้อยกว่า 1 ครั้งต่อวัน 2. เวลาจับหืดอาจมีผลต่อการทำกิจกรรมและการนอนหลับ	1. มีอาการหอบเวลากลางคืนมากกว่า 2 ครั้งต่อเดือน
ระดับที่ 3 อาการรุนแรงปานกลาง (Moderate Persistent)	1. มีอาการหอบทุกวัน 2. เวลาจับหืดมีผลต่อการทำกิจกรรมและการนอนหลับ	1. มีอาการหอบเวลากลางคืนมากกว่า 1 ครั้งต่อสัปดาห์
ระดับที่ 4 อาการรุนแรงมาก (Severe Persistent)	1. มีอาการหอบตลอดเวลา 2. มีการหืดจับบ่อยและมีข้อจำกัดในการทำกิจกรรมต่าง ๆ	1. มีอาการหอบตลอดเวลากลางคืนบ่อย ๆ

2.2.6 การรักษา

โรคหืดเป็นโรคที่รักษาไม่หายขาด ดังนั้นการรักษาจึงแค่บรรเทาหรือควบคุมไม่ให้อาการกำเริบ ซึ่งยารักษาโรคหืดแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ยาควบคุมโรคและยาขยายหลอดลมหรือยาบรรเทาอาการ ซึ่งยาและอุปกรณ์สำหรับใช้บรรเทาอาการหอบและรักษาโรคหืด แสดงดังรูป 2.6

ยาควบคุมโรค (Controller) เป็นยาที่ใช้ประจำอย่างสม่ำเสมอเพื่อควบคุมโรค มีทั้งยากินและยาสูดพ่น มีสเตียรอยด์เป็นส่วนประกอบ ช่วยต้านการอักเสบ เช่น ธีโอฟีลีน เอสอาร์ (Theophylline SR) เด็กซาเมททาโซน (Dexamethasone) เพรดนิโซโลน (Prednisolone) มอนเทลูคาสท์ (Montelukast) โพรคาเทอรอล (Procaterol) บูดีโซนายด์ (Budesonide) เบโคลเมททาโซน (Beclomethasone) ฟลูติคาโซนกับซาลมีเทอรอล (Fluticasone and Salmeterol) และบูดีโซนายด์กับฟอร์โมเทอรอล (Budesonide and Formoterol) เป็นต้น ดังรูป 2.6 (ก)

ยาพ่นสเตียรอยด์จะต้องใช้ทุกวันเป็นเวลานาน เพื่อลดการอักเสบของหลอดลม ทำให้หลอดลมไม่ไวต่อสิ่งกระตุ้น อาการหอบก็จะหายไป ซึ่งยาพ่นสเตียรอยด์เป็นยาปลอดภัย เพราะขนาดยาที่ใช้ต่ำมาก โทษของยาพ่นสเตียรอยด์ที่อาจพบได้ คือ เสียงแหบ และมีฝ้าขาวในปากจากเชื้อรา วิธีป้องกัน คือ บ้วนปากทุกครั้งหลังพ่นยา ในกรณีพ่นสเตียรอยด์แล้วควบคุมโรคหืดไม่ได้ก็ต้องใช้ยาอื่นควบคุมร่วมด้วย ส่วนยากินเมื่อได้รับยาในขนาดที่สูงเกินไปจะมีโทษ คือ ปวดศีรษะ คลื่นไส้อาเจียน มือสั่น และใจสั่น

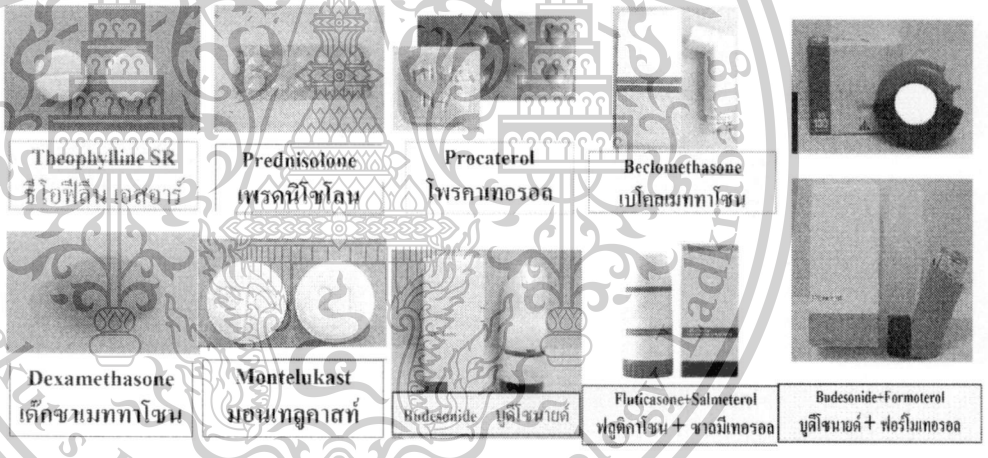
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ยาขยายหลอดลมหรือยาบรรเทาอาการ (Bronchodilator or Reliever) เป็นยาขยายหลอดลมชนิดเร็ว ใช้บรรเทาอาการที่เกิดขึ้นเฉียบพลัน มีทั้งยากินและยาสูดพ่น เช่น ซาลบูตามอล (Salbutamol or Salbutamol Evohaler) เทอบูทาลีน (Terbutaline or Terbutaline Turbuhaler) อะมินอฟฟีลีน (Amionophylline) ไอปราโทรเปียมกับฟีโนเทอรอล (Ipratropium Br and Fenoterol) และไทโอโทรเปียม (Tiotropium Br Monohydrate) [22], [23] เป็นต้น ดังรูป 2.6 (ข)

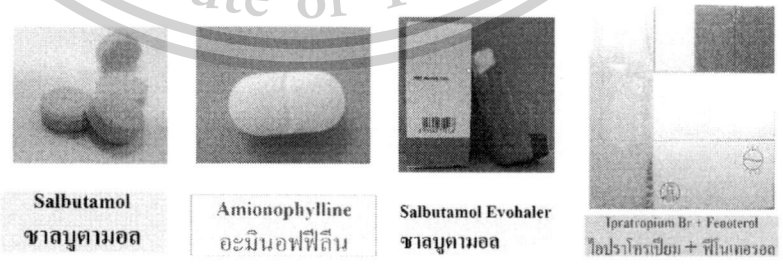
อุปกรณ์สำหรับการสูดยา แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องพ่นยาแบบ Pressurised Metered-Dose Inhaler (PMDI) และกระบอกต่อ (Spacer / Holding Chamber)

เครื่องพ่นยาแบบ Pressurised Metered-Dose Inhaler (PMDI) ตัวยาถูกบรรจุในหลอดยาด้วยความดันสูง เมื่อกดเครื่องพ่นยาตัวยาจะถูกขับออกมาจากหลอดยาด้วยความเร็วสูงในปริมาณที่กำหนด เมื่อตัวยาถูกขับออกมาผู้ป่วยก็สูดเอาละอองยาเข้าไป ดังรูป 2.6 (ค)

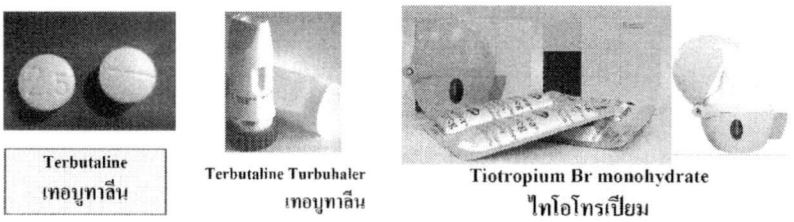
กระบอกต่อ (Spacer / Holding Chamber) มีหลายรูปแบบ ตั้งแต่ขนาดเล็ก ขนาดใหญ่ บางชนิดมีลิ้นเปิด-ปิดทางเดียวในด้านที่ต่อกับปากผู้ป่วย ลิ้นจะเปิดเมื่อผู้ป่วยพ่นสูดหายใจเข้าและปิดเมื่อผู้ป่วยหายใจออก ยาที่พ่นออกมาจึงไม่กระจายออกจากกระบอกต่อ ลักษณะของกระบอกต่อขึ้นอยู่กับบริษัทที่ผลิต จึงทำให้เกิดความหลากหลาย ดังรูป 2.6 (ง)



(ก)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 2.6 ยาและอุปกรณ์สำหรับใช้บรรเทาอาการหอบและรักษาโรคหืด (ก) ยาควบคุมโรค (ข) ยาขยายหลอดลมหรือยาบรรเทาอาการ (ค) เครื่องพ่นยาแบบ PMDI (ง) กระบอกต่อ [22], [23]

2.3 การบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

ปัจจุบันการบำบัดหรือรักษาโรคด้วยความร้อนถูกนำมาใช้รักษาโรคต่างๆ มากขึ้น เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจเต้นผิดจังหวะ โรคโพรงจมูกอักเสบ เส้นเลือดขอด อาการนอนกรน และโรคหืด เป็นต้น วิธีการบำบัดหรือรักษาโรคด้วยความร้อนที่ถูกนำมาใช้ ได้แก่ การบำบัดหรือรักษาด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radiofrequency Ablation) และคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Ablation) ซึ่งวิธีการบำบัดหรือรักษาด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นวิธีการบำบัดหรือรักษาโดยใช้ความร้อน (Thermal Ablation) เพื่อกำจัดหรือทำลายการทำงานของเนื้อเยื่อเป้าหมายในโรคมะเร็ง แก้ไขภาวะหัวใจเต้นผิดปกติหรือโรคโรคหัวใจเต้นผิดจังหวะ [24] โรคโพรงจมูกอักเสบ เส้นเลือดขอด จี้บริเวณเพดานเพื่อรักษาอาการนอนกรน และบำบัดโรคหืด ก็เป็นอีกหนึ่งโรคที่ทางการแพทย์ได้ใช้คลื่นความถี่วิทยุมาทำการบำบัดผู้ป่วยที่เป็นโรคหืดชนิดรุนแรงมากและมีอายุ 18 ปีขึ้นไป เนื่องจากการรักษาด้วยยาไม่สามารถลดการตีบแคบลงแบบถาวรของกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมได้ ถ้าผู้ป่วยมารับการรักษาโรคหืดอาการรุนแรงเฉียบพลันไม่ทันเวลาจะทำให้เสี่ยงต่อการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เสียชีวิต ซึ่งวิธีการบำบัดโรคหืดโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุสามารถลดการตีบแคบลงแบบถาวรของกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมได้ และให้ผลการบำบัดนาน 3-5 ปี ช่วยลดปริมาณยาในรักษา ประหยัดเวลาในการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลเมื่ออาการกำเริบ มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น และเสี่ยงต่อการเสียชีวิตน้อยลง [3]

การบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุเกิดขึ้นเมื่อประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา เริ่มจากปี ค.ศ. 2004 Danek et al [4],[5] ได้ทดลองทำให้หลอดลมไวต่อสิ่งกระตุ้นผิดปกติจากการได้รับสาร Methacholine ลดลง และทดลองใช้คลื่นความถี่วิทยุกับสุนัข ซึ่งผู้วิจัยได้ทดลองบำบัดโรคหืดในสุนัขที่ไม่เป็นโรคหืด โดยปล่อยคลื่นผ่านอิเล็กโทรดให้เกิดความร้อนที่กล้ามเนื้อเรียบหลอดลมของสุนัข โดยใช้อุณหภูมิ 65-75 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่าภายใน 1 สัปดาห์หลังบำบัดจนถึง 3 ปี ไม่มีการสร้างกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมขึ้นมาใหม่ ต่อมาในปี ค.ศ. 2006 Cox et al [1] ได้ศึกษาการใช้เครื่อง Bronchial Thermo plasty กับผู้ป่วยโรคหืดระดับรุนแรงน้อยถึงรุนแรงปานกลาง มีอายุระหว่าง 24-58 ปี จำนวน 16 คน โดยให้ยา Prednisone 30-50 มิลลิกรัม ก่อนทำการบำบัด 3 วันและในวันรักษา โดยทำการบำบัด 3 ครั้ง ครั้งแรกที่ปอดส่วนล่างขวา ครั้งที่สองที่ปอดส่วนล่างซ้าย และครั้งสุดท้ายที่ปอดส่วนบน ซึ่งระยะเวลาในการทำบำบัดแต่ละครั้งห่างกัน 3 สัปดาห์ ใช้เวลาในการบำบัดแต่ละครั้ง ประมาณ 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าหลอดลมไวต่อสิ่งกระตุ้นลดลง แต่มีผลข้างเคียงเกิดขึ้น คือ การไอ เหนื่อย หายใจเสียงดังวี้ด ซึ่งมักจะเกิดขึ้นภายใน 1 วันหลังทำการรักษา และหายภายใน 4 - 6 วันหลังจากรักษา และไม่มีผู้ป่วยต้องนอนโรงพยาบาลจากผลข้างเคียงที่เกิดขึ้น และในปี ค.ศ. 2010 Jarrard et al [6] ได้สร้างแบบจำลองการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ทางไฟฟ้าและความร้อน เพื่อควบคุมอุณหภูมิของคลื่นความถี่วิทยุที่ส่งผ่านไปยังผนังหลอดลม โดยใช้โพรบรูปทรงตัว D (D Shape) ทำนายการเกิดความร้อนจากความต้านทานไฟฟ้าของคลื่นความถี่วิทยุ และการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนภายในผนังหลอดลม ซึ่งในการสร้างแบบจำลองจะต้องรู้คุณลักษณะทางกายภาพและขนาดของหลอดลมและเนื้อเยื่อปอด โดยแบบจำลองนี้จะทำนายค่าของอุณหภูมิ ความต้านทาน พลังงาน และกำลังไฟฟ้า เพื่อใช้กับแบบจำลองของสุนัขทดลอง และแบบจำลองนี้ยังแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการวัดทางไฟฟ้า การกระจายตัวของความร้อน และเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือสำหรับการรักษาโรคหืดชนิดรุนแรงด้วยคลื่นความถี่วิทยุต่อไปในอนาคต

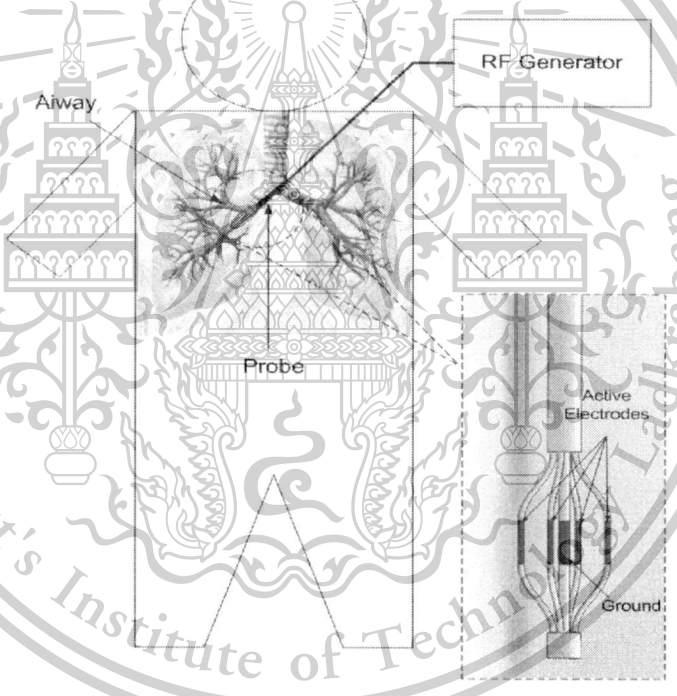
การบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุอาศัยหลักการให้ความร้อนกับกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมที่ตีบแคบลงแบบถาวรในช่วงอุณหภูมิ 55-65 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถลดขนาดกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมได้ร้อยละ 50 ส่วนพื้นฐานของปรากฏการณ์ทางชีววิทยาสำหรับบำบัดโรคหืดด้วยความร้อน จะมีอยู่ 2 ปริมาณที่มีความสำคัญต่อการบำบัด คือ อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน ถ้าใช้อุณหภูมิน้อยกว่า 45 องศาหรืออุณหภูมิเกิน 70 องศาเซลเซียสและเวลาไม่เหมาะสม จะทำให้เซลล์รอบข้างเกิดความเสียหาย โปรตีนหรือ DNA ถูกทำลายได้ ดังนั้นการใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดมีผลต่อการบำบัดโรคหืดให้มีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และให้ผลการรักษาที่ยาวนาน [24]

การบำบัดโรคนี้แพทย์จะต้องประเมินผู้ป่วยก่อนการบำบัดว่าไม่มีอาการหืดกำเริบหรือกำลังติดเชื้อ ก่อนทำการบำบัดต้องให้ยา Prednisolone 50 มิลลิกรัมก่อนทำการรักษา 3 วันและในวันรักษา เมื่อถึงวันที่ทำการบำบัดก็ให้ยาชาและยาระงับประสาท (Sedation) ใช้เวลาในการบำบัด 3 ครั้ง ห่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3 สัปดาห์ เริ่มจากหลอดลมบริเวณปอดส่วนล่างขวา ปอดส่วนล่างซ้าย และปอดส่วนบนตามลำดับ อุณหภูมิที่ใช้ในการบำบัดแต่ละตำแหน่งประมาณ 55-65 เซลเซียส เวลาที่ใช้บำบัดแต่ละตำแหน่ง 10 วินาที ซึ่งผลการบำบัด คือ สามารถลดขนาดกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมได้ร้อยละ 50 เมื่อลดกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมก็จะมีผลทำให้ลดการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบหลอดลม ผลข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้น ได้แก่ การไอเหนื่อย หายใจเสียงดังวี้ด ซึ่งมักจะเกิดขึ้นภายใน 1 วันหลังทำการรักษา และหายภายใน 4 - 6 วันหลังจากรักษา และไม่มีผู้ป่วยต้องนอนโรงพยาบาลจากผลข้างเคียงที่เกิดขึ้น [3]

หลักการบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ คือ เครื่องกำเนิด (Generator) จะปล่อยกระแสผ่านไปยังโพรบ โดยใช้การเหนี่ยวนำไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิด ทำให้เกิดคลื่นความถี่สูงประมาณ 375 - 500 กิโลเฮิรตซ์ [24] ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ใช้ในการแพทย์ โดยคลื่นจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนจนเกิดความร้อนแพร่กระจายรอบๆ บริเวณอิเล็กโทรด [24]



(ก)

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

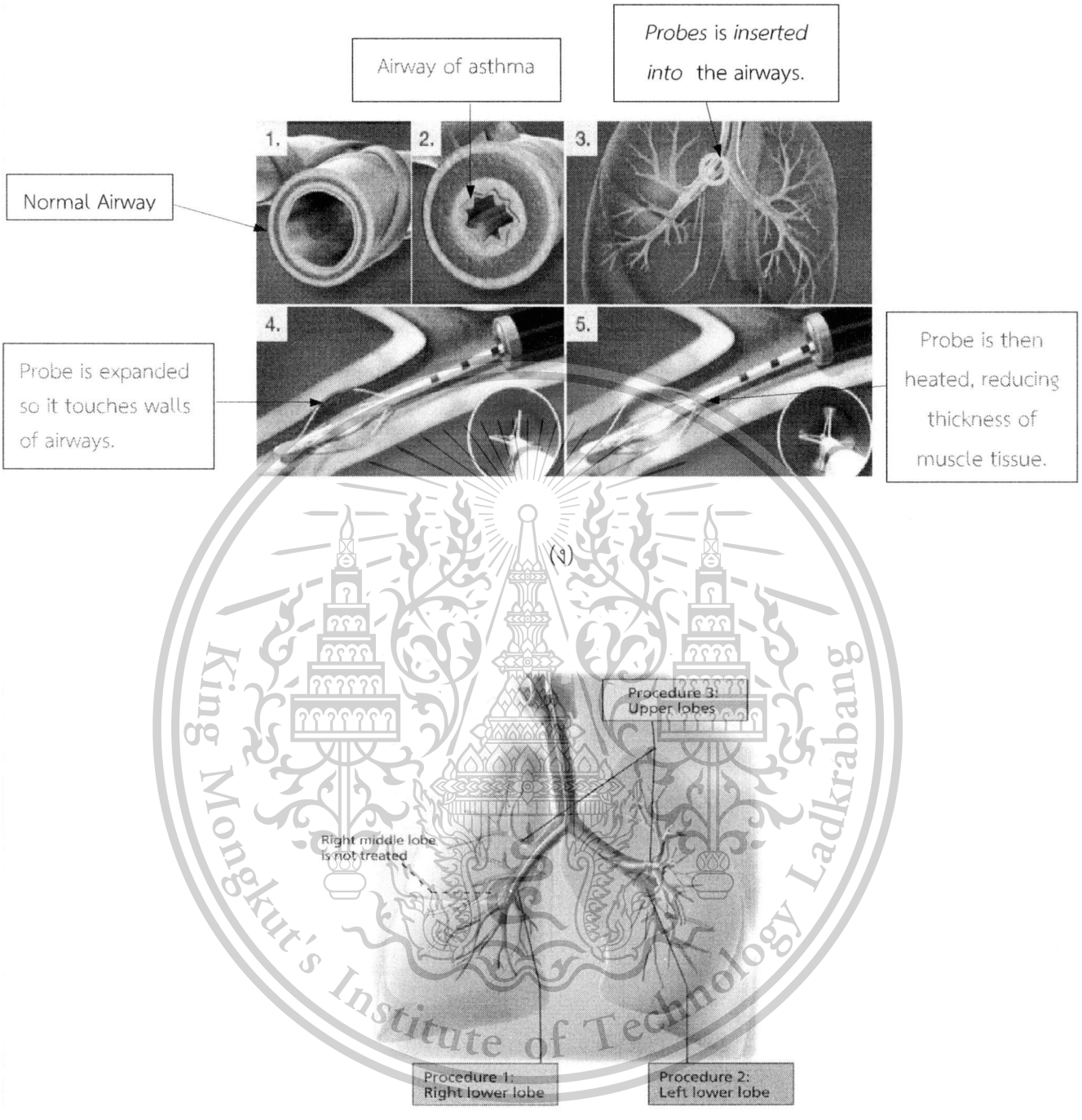
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

(ข)

(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.7 การบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (ก-ง) RF Ablation Procedure (จ) ตำแหน่งของหลอดลมที่ต้องทำการบำบัด [26-31]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.
137838

จากรูป 2.7 (ก-ง) แสดง RF Ablation Procedure ที่ใช้บำบัดโรคหืด และรูป 2.7 (จ) แสดงตำแหน่งของหลอดลม (Bronchi) ที่ต้องบำบัดด้วยคลื่นความถี่วิทยุประกอบด้วย หลอดลม (Bronchi) บริเวณปอดส่วนล่างขวา ปอดส่วนล่างซ้าย และปอดส่วนบน

2.4 สมการความร้อนทางชีววิทยา (Bio-heat Equation)

ในรูปแบบสมการการกระจายตัวของความร้อนใช้ในการวิเคราะห์การกระจายความร้อนภายในหลอดลม ช่วงคลื่นความถี่วิทยุภายในสมการได้พิจารณาถึงกระแสที่ไหลผ่านภายในหลอดลม พลังงานที่ถูกเก็บสะสมในรูปแบบของความร้อน การกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจากตัวอิเล็กโทรดลงสู่หลอดลม การกระจายตัวของกระแสไฟฟ้า และการเก็บสะสมพลังงานในช่วงความถี่วิทยุการแปรพลังงานที่สะสม เป็นรูปแบบของความร้อนที่กระจายตัวออกไปรอบๆหลอดลม ซึ่งรูปแบบของสมการที่ครอบคลุมตัวแปรต่างๆ เกิดขึ้นในหลอดลม ดังนี้

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot k \nabla T + J \cdot E - h_{bl}\left(T - T_{bl}\right) + Q_m \qquad (2.1)$$

$$h_{bl} = \rho_{bl} c_{bl} w_{bl} \qquad (2.2)$$

โดยที่

ρ = ความหนาแน่นจำเพาะ [kg/m^3]

c = ค่าความจุความร้อนจำเพาะ [J/kg·K]

k = ค่าการนำความร้อน [W/m·K]

J = ค่าความหนาแน่นของกระแส [A/m^2]

E = ความเข้มของสนามไฟฟ้า [V/m]

T_{bl} = อุณหภูมิของเลือด [โดยกำหนดให้มีอุณหภูมิที่ 37 °C]

ρ_{bl} = ความหนาแน่นจำเพาะของเลือด [kg/m^3]

c_{bl} = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของเลือด [J/kg·K]

w_{bl} = อัตราการไหลของเลือด [1/s]

h_{bl} = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของเลือดที่ไหลเวียน

Q_m = พลังงานที่เกิดจากการกระบวนการเมตาบอลิซึม [W/m^3]

จากสมการความร้อนทางชีววิทยาที่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้ละทิ้งค่าตัวแปรในส่วนของพลังงานที่เกิดขึ้นโดยกระบวนการเมตาบอลิซึมของเลือดซึ่งค่าตัวแปรนี้ถือว่ามีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณ $J \cdot E$ [32-34] และคำนวณค่าความหนาแน่นกระแส จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$J = \sigma E = -\sigma \nabla V \tag{2.3}$$

โดยที่

V = การกระจายตัวของความต่างศักย์

σ = ค่าสภาพความนำไฟฟ้า [S/m]

จากสมการที่กล่าวมาข้างต้น การกระจายตัวของความร้อนจะหาค่าได้จากสมการที่ (2.1) ซึ่งค่าอุณหภูมิของเนื้อเยื่อจะขึ้นอยู่กับค่าการนำไฟฟ้า [6], [35]

2.5 สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equations)

สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equations) เป็นระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยจากการประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน เพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของของไหล เช่น การจำลองสภาพอากาศ การไหลของอากาศผ่านปีกเครื่องบิน การไหลของของไหลในท่อ และการไหลของเลือดในเส้นเลือด เป็นต้น ซึ่งการวิเคราะห์การไหลของอากาศในหลอดลมนั้น ก็ใช้สมการนาเวียร์-สโตกส์ในการวิเคราะห์ โดยมีความเร็วและความหนืดเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของอากาศในหลอดลม [7], [36-37]

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u \cdot \nabla)u = \nabla \cdot \left[-pI + \eta\left(\nabla u + (\nabla u)^T\right) - \left(\frac{2\eta}{3} - K_{dv}\right)(\nabla \cdot u)I \right] + F \tag{2.4}$$

โดยที่

u = ความเร็ว [m/s]

p = ความดันขาเข้า [Pa]

η = Dynamic viscosity [Pa·s]

K_{dv} = Dilatational viscosity [Pa·s]

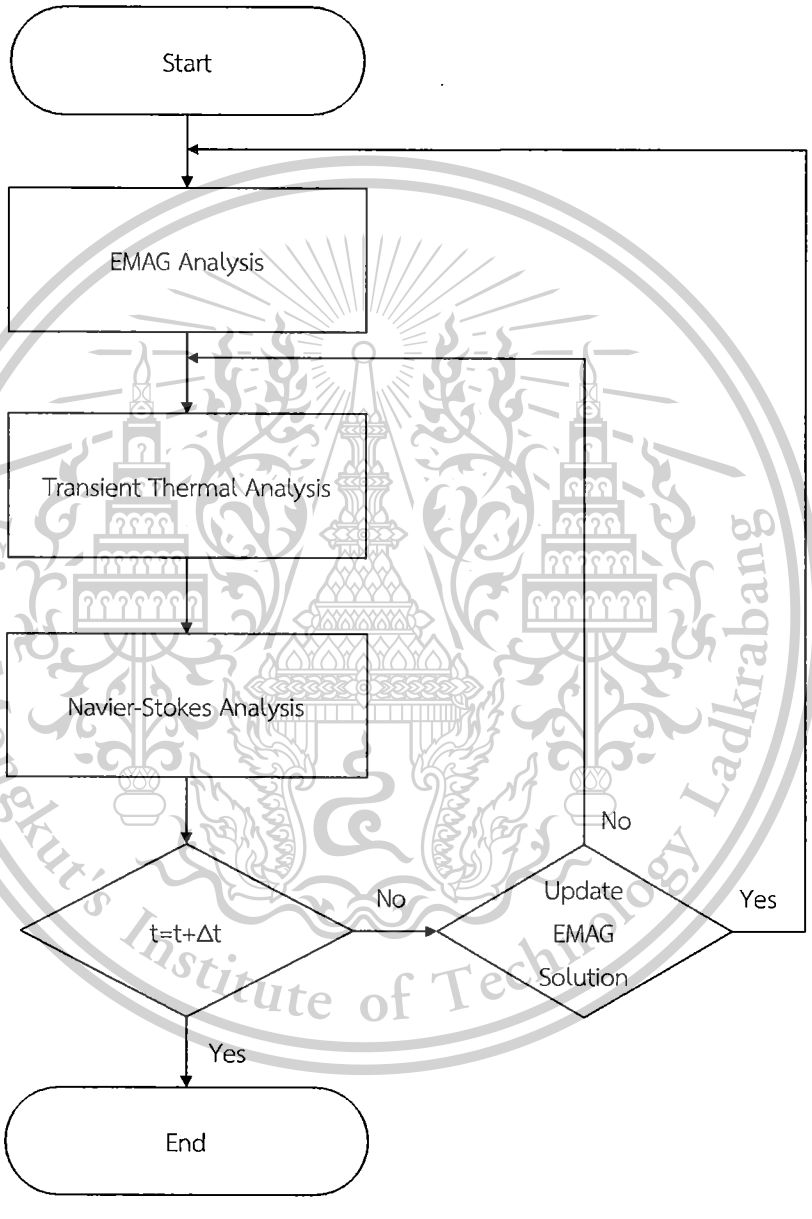
I = Unity tensor

F = Volume forces [N/m^3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6 หลักการวิเคราะห์สมการ

การวิเคราะห์แก้ไขปัญหาของสมการความร้อนทางชีววิทยา (Bio-heat Equation) และสมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equations) มีขั้นตอนการแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อน ดังรูปที่ 2.8 จึงต้องใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยแก้ปัญหา ซึ่งจะกล่าวถึงในบทต่อไป



รูปที่ 2.8 โฟวชาร์ตลำดับในการวิเคราะห์สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีการในการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงวิธีการในการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย การแก้ปัญหาทางความร้อนและไฟฟ้าแบบ 3 มิติ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ การประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์ ซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผล กระบวนการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics โครงสร้างของโพรบและแบบจำลอง การกำหนดค่าคงที่ต่างๆ ของแบบจำลอง การเมช (Mesh) แบบจำลอง การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตบนแบบจำลอง และการประมวลผลข้อมูลบนแบบจำลอง

3.1 การแก้ปัญหาทางความร้อนและไฟฟ้าแบบ 3 มิติ

การใช้ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการประมวลผล ในงานวิจัยนี้เป็นการใช้ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์รูปแบบของเมตริกซ์ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและไฟฟ้า ในสมการรูปแบบเมตริกซ์ที่ใช้ ดังนี้

3.1.1 การแก้ปัญหาทางความร้อน

จากสมการ Bio-heat equation พิจารณาทางด้านความร้อนเพียงอย่างเดียว

$$\rho c\frac{\partial T}{\partial t}=\nabla\cdot k\nabla T \Rightarrow \rho c\frac{\partial T}{\partial t}-\nabla\cdot k\nabla T=0 \qquad (3.1)$$

กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น $T(x,y,z,0)=T_0(x,y,z)$ เมื่อ T_0 = อุณหภูมิเริ่มต้นของวัตถุสร้างสมการไฟไนต์สำหรับเอลิเมนต์ที่ประกอบด้วย m จุดต่อ (วิธีถ่วงน้ำหนักเศษค้าง)

ความหมายของตัวแปรที่ใช้ในหัวข้อ

R = เศษตกค้าง

W = ฟังก์ชันน้ำหนัก

N_i = ฟังก์ชั่นประมาณภายในเอลิเมนต์

$[C]$ = เมตริกซ์ความร้อนจำเพาะ

$\{Q_c\}$ = โหลดเวคเตอร์อันเนื่องมาจากการนำความร้อน

$[K_c]$ = เอลิเมนต์ของการนำความร้อน

$\{T\}$ = เวคเตอร์อุณหภูมิที่โหนด

$\{\dot{T}\}$ = เวคเตอร์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่โหนดโดยสัมพันธ์กับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\int_{\Omega^{(e)}} W_i R d\Omega = 0 \qquad i = 1,2,3,\ldots, \ m \tag{3.2}$$

$$\int_{\Omega^{(e)}} (W_i, N_i, \Phi_i) d\Omega + \int_{\Gamma^{(e)}} (W_i, N_i, \Phi_i) d\Gamma = 0 \tag{3.3}$$

จากสมการที่ 3.3 ในพจน์แรกจะเกี่ยวข้องกับโดเมนของเอลิเมนต์ $\Omega^{(e)}$ ในพจน์ที่ 2 จะเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับขอบเขตของเอลิเมนต์ $\Gamma^{(e)}$

$$\int_{\Omega^{(e)}} W_i \left(\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot k \nabla T \right) d\Omega = 0 \tag{3.4}$$

แทน ∇ ด้วย $\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}$ ดังนั้น สมการที่ 3.4 จะถูกทำให้อยู่ในสมการที่ 3.5 และ 3.6 กำหนดให้ k เป็นค่าคงที่

$$\int_{\Omega^{(e)}} W_i \left(\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \left[\frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right] \right) d\Omega = 0 \tag{3.5}$$

$$\int_{\Omega^{(e)}} W_i \rho c \frac{\partial T}{\partial t} d\Omega - \int_{\Omega^{(e)}} W_i \left(\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right] \right) d\Omega = 0 \tag{3.6}$$

ทำการอินทิเกรตสมการที่3.6โดยใช้ทฤษฎีของเกาส์ (Gauss's theorem)

$$\int_{\Omega^{(e)}} x \left(\nabla \cdot \vec{Y} \right) d\Omega = \int_{\Gamma^{(e)}} x \left(\vec{Y} \cdot \hat{n} \right) d\Gamma - \int_{\Omega^{(e)}} x \left(\nabla x \cdot \vec{Y} \right) d\Omega \tag{3.7}$$

ทำการเปรียบเทียบ $\int_{\Omega^{(e)}} x \left(\nabla \cdot \vec{Y} \right) d\Omega$ กับพจน์ที่ 2 ของสมการที่ 3.6 จะได้ ดังนี้

$$x = W_i \tag{3.8}$$

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial}{\partial y}\hat{j} + \frac{\partial}{\partial z}\hat{k} \tag{3.9}$$

$$\vec{Y} = k\frac{\partial T}{\partial x}\hat{i} + k\frac{\partial T}{\partial y}\hat{j} + k\frac{\partial T}{\partial z}\hat{k} \tag{3.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ดังนั้น $$\left(\nabla \cdot \vec{Y}\right)=\left(\frac{\partial T}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial T}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial T}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right)\right) \quad (3.11)$$

จาก $\hat{n}=n_x\hat{i}+n_y\hat{j}+n_z\hat{k}$ ดังนั้น

$$\vec{Y}\cdot\hat{n}=k\frac{\partial T}{\partial x}n_x+k\frac{\partial T}{\partial y}n_y+k\frac{\partial T}{\partial z}n_z \quad (3.12)$$

$$x\left(\vec{Y}\cdot\hat{n}\right)=W_i\left(k\frac{\partial T}{\partial x}n_x+k\frac{\partial T}{\partial y}n_y+k\frac{\partial T}{\partial z}n_z\right) \quad (3.13)$$

$$\nabla x=\frac{\partial W_i}{\partial x}\hat{i}+\frac{\partial W_i}{\partial y}\hat{j}+\frac{\partial W_i}{\partial z}\hat{k} \quad (3.14)$$

$$\nabla x\cdot\vec{Y}=\frac{\partial W_i}{\partial x}k\frac{\partial T}{\partial x}+\frac{\partial W_i}{\partial y}k\frac{\partial T}{\partial y}+\frac{\partial W_i}{\partial z}k\frac{\partial T}{\partial z} \quad (3.15)$$

แทน $W_i=N_i$ ลงในสมการที่ 3.6

$$\int_{\Omega^{(e)}}N_i\rho c\frac{\partial T}{\partial t}d\Omega-\int_{\Gamma^{(e)}}N_i\left(k_x\frac{\partial T}{\partial x}n_x+k_y\frac{\partial T}{\partial y}n_y+k_z\frac{\partial T}{\partial z}n_z\right)d\Gamma+\int_{\Omega^{(e)}}\left(\frac{\partial N_i}{\partial x}k\frac{\partial T}{\partial x}+\frac{\partial N_i}{\partial y}k\frac{\partial T}{\partial y}+\frac{\partial N_i}{\partial z}k\frac{\partial T}{\partial z}\right)d\Omega=0 \quad (3.16)$$

$$\int_{\Omega^{(e)}}N_i\rho c\frac{\partial T}{\partial t}d\Omega+\int_{\Gamma^{(e)}}\left(\frac{\partial N_i}{\partial x}k\frac{\partial T}{\partial x}+\frac{\partial N_i}{\partial y}k\frac{\partial T}{\partial y}+\frac{\partial N_i}{\partial z}k\frac{\partial T}{\partial z}\right)d\Omega=\int_{\Gamma^{(e)}}N_i\left(k\frac{\partial T}{\partial x}n_x+k\frac{\partial T}{\partial y}n_y+k\frac{\partial T}{\partial z}n_z\right)d\Gamma \quad (3.17)$$

สมมติลักษณะผลเฉลยโดยประมาณในรูปแบบ ดังนี้

$$T(x,y,z,t)=[N(x,y,z)]\{T(t)\} \quad (3.18)$$

กำหนด

$$N_i=\underset{(mx1)}{\{N\}}\underset{mx1}{[N]},\ \frac{\partial T}{\partial x}=\underset{(1xm)}{\left[\frac{\partial T}{\partial x}\right]}\underset{(mx1)}{\{T\}},\ \frac{\partial T}{\partial y}=\underset{(1xm)}{\left[\frac{\partial T}{\partial y}\right]}\underset{(mx1)}{\{T\}},\ \frac{\partial T}{\partial z}=\underset{(1xm)}{\left[\frac{\partial T}{\partial z}\right]}\underset{(mx1)}{\{T\}} \quad (3.19)$$

แทนสมการที่ 3.19 ลงในสมการที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\int_{\Omega^{(e)}} \rho c\{N\}[N]d\Omega\left\{\frac{\partial T}{\partial t}\right\} + \int_{\Omega^{(e)}}\left(\left\{\frac{\partial N}{\partial x}\right\}k\left[\frac{\partial N}{\partial x}\right] + \left\{\frac{\partial N}{\partial y}\right\}k\left[\frac{\partial N}{\partial y}\right] + \left\{\frac{\partial N}{\partial z}\right\}k\left[\frac{\partial N}{\partial z}\right]\right)d\Omega\{T\} \tag{3.20}$$
$$= \int_{\Gamma^{(e)}} N_i\left(k\frac{\partial T}{\partial x}n_x + k\frac{\partial T}{\partial y}n_y + k\frac{\partial T}{\partial z}n_z\right)d\Gamma$$

กำหนดให้

$$[C] = \int_{\Omega^{(e)}} \rho c\{N\}[N]d\Omega \tag{3.21}$$

$$\{\dot{T}\} = \left\{\frac{\partial T}{\partial t}\right\} \tag{3.22}$$

$$[K_c] = \int_{\Omega^{(e)}}\left(\left\{\frac{\partial N}{\partial x}\right\}k\left[\frac{\partial N}{\partial x}\right] + \left\{\frac{\partial N}{\partial y}\right\}k\left[\frac{\partial N}{\partial y}\right] + \left\{\frac{\partial N}{\partial z}\right\}k\left[\frac{\partial N}{\partial z}\right]\right)d\Omega \tag{3.23}$$

$$\{Q_c\} = \int_{\Gamma^{(e)}} N\left(k\frac{\partial T}{\partial x}n_x + k\frac{\partial T}{\partial y}n_y + k\frac{\partial T}{\partial z}n_z\right)d\Gamma \tag{3.24}$$

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ทางความร้อนที่อยู่ในรูปทั่วไป ดังนี้

$$[C]\{\dot{T}\} + [K_c]\{T\} = \{Q_c\} \tag{3.25}$$

3.1.2 การแก้ปัญหาทางไฟฟ้า

จากสมการลาปลาซ (Laplace equation) ได้นำมาใช้ในการหาการกระจายตัวของแรงดัน

$$\nabla \cdot \sigma \nabla V = 0 \tag{3.26}$$

สร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับเอลิเมนต์ที่ประกอบไปด้วย m จุด (วิธีถ่วงน้ำหนักเศษค้าง)

$$\int_{\Omega^{(e)}} W_i\left(\frac{\partial}{\partial x}\left(\sigma\frac{\partial V}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\sigma\frac{\partial V}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\sigma\frac{\partial V}{\partial z}\right)\right)d\Omega = 0 \tag{3.27}$$

ทำการอินทิเกรตสมการที่ 3.27 โดยใช้ทฤษฎีของเกาส์ (Gauss's theorem)

$$x = W_i \tag{3.28}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial}{\partial y}\hat{j} + \frac{\partial}{\partial z}\hat{k} \tag{3.29}$$

$$\vec{Y} = \sigma\frac{\partial V}{\partial x}\hat{i} + \sigma\frac{\partial V}{\partial y}\hat{j} + \sigma\frac{\partial V}{\partial z}\hat{k} \tag{3.30}$$

$$\left(\nabla \cdot \vec{Y}\right) = \left(\frac{\partial}{\partial x}\left(\sigma\frac{\partial V}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\sigma\frac{\partial V}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\sigma\frac{\partial V}{\partial z}\right)\right) \tag{3.31}$$

เนื่องจาก $\hat{n} = n_x\hat{i} + n_y\hat{j} + n_z\hat{k}$ ดังนั้น

$$\vec{V} \cdot \hat{n} = \sigma\frac{\partial V}{\partial x}n_x + \sigma\frac{\partial V}{\partial y}n_y + \sigma\frac{\partial V}{\partial z}n_z \tag{3.32}$$

$$x\left(\vec{V} \cdot \hat{n}\right) = W_i\left(\sigma\frac{\partial V}{\partial x}n_x + \sigma\frac{\partial V}{\partial y}n_y + \sigma\frac{\partial V}{\partial z}n_z\right) \tag{3.33}$$

$$\nabla x = \frac{\partial W_i}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial W_i}{\partial y}\hat{j} + \frac{\partial W_i}{\partial z}\hat{k} \tag{3.34}$$

$$\nabla x \cdot \vec{Y} = \frac{\partial W_i}{\partial x}\sigma\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial W_i}{\partial y}\sigma\frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W_i}{\partial z}\sigma\frac{\partial V}{\partial z} \tag{3.35}$$

แทน $W_i = N_i$ ลงในสมการที่ 3.27

$$\int_{\Gamma^{(e)}} N_i\left(\sigma\frac{\partial V}{\partial x}n_x + \sigma\frac{\partial V}{\partial y}n_y + \sigma\frac{\partial V}{\partial z}n_z\right)d\Gamma - \int_{\Omega^{(e)}}\left(\left\{\frac{\partial N_i}{\partial x}\right\}\sigma\frac{\partial V}{\partial x} + \left\{\frac{\partial N_i}{\partial y}\right\}\sigma\frac{\partial V}{\partial y} + \left\{\frac{\partial N_i}{\partial z}\right\}\sigma\frac{\partial V}{\partial z}\right)d\Omega = 0$$

เมื่อ $i = 1,2,3,\ldots,m$ (3.36)

$$\int_{\Gamma^{(e)}} N_i\left(\sigma\frac{\partial V}{\partial x}n_x + \sigma\frac{\partial V}{\partial y}n_y + \sigma\frac{\partial V}{\partial z}n_z\right)d\Gamma = \int_{\Omega^{(e)}}\left(\left\{\frac{\partial N_i}{\partial x}\right\}\sigma\frac{\partial V}{\partial x} + \left\{\frac{\partial N_i}{\partial y}\right\}\sigma\frac{\partial V}{\partial y} + \left\{\frac{\partial N_i}{\partial z}\right\}\sigma\frac{\partial V}{\partial z}\right)d\Omega = 0$$

เมื่อ $i = 1,2,3,\ldots,m$ (3.37)

กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\frac{\partial V}{\partial x}=\underset{(1xm)}{\left[\frac{\partial N}{\partial x}\right]}\underset{(mx1)}{\{V\}},\frac{\partial V}{\partial y}=\underset{(1xm)}{\left[\frac{\partial N}{\partial y}\right]}\underset{(mx1)}{\{V\}},\frac{\partial V}{\partial z}=\underset{(1xm)}{\left[\frac{\partial N}{\partial z}\right]}\underset{(mx1)}{\{V\}} \tag{3.38}$$

$$\int_{\Omega^{(e)}}\left(\left\{\frac{\partial N}{\partial x}\right\}\sigma\left[\frac{\partial N}{\partial x}\right]+\left\{\frac{\partial N}{\partial y}\right\}\sigma\left[\frac{\partial N}{\partial y}\right]+\left\{\frac{\partial N}{\partial z}\right\}\sigma\left[\frac{\partial N}{\partial z}\right]\right)d\Omega\{V\}=\int_{\Gamma^{(e)}}\{N\}\left(\sigma\frac{\partial V}{\partial x}n_x+\sigma\frac{\partial V}{\partial y}n_y+\sigma\frac{\partial V}{\partial z}n_z\right)d\Gamma \tag{3.39}$$

กำหนดให้

$$[K_V]=\int_{\Omega^{(e)}}\left(\left\{\frac{\partial N}{\partial x}\right\}\sigma\left[\frac{\partial N}{\partial x}\right]+\left\{\frac{\partial N}{\partial y}\right\}\sigma\left[\frac{\partial N}{\partial y}\right]+\left\{\frac{\partial N}{\partial z}\right\}\sigma\left[\frac{\partial N}{\partial z}\right]\right)d\Omega \tag{3.40}$$

$$[I]=\int_{\Gamma^{(e)}}\{N\}\left(\sigma\frac{\partial V}{\partial x}n_x+\sigma\frac{\partial V}{\partial y}n_y+\sigma\frac{\partial V}{\partial z}n_z\right)d\Gamma \tag{3.41}$$

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ทางไฟฟ้าที่อยู่ในรูปทั่วไป ดังนี้

$$[K_V]\{V\}=\{I\} \tag{3.42}$$

ทำการจัดสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์ทางความร้อนและไฟฟ้า

$$\begin{bmatrix}[C] & [0]\\ [0] & [0]\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\{\dot{T}\}\\ \{\dot{0}\}\end{Bmatrix}+\begin{bmatrix}[K_C] & [0]\\ [0] & [K_V]\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\{T\}\\ \{V\}\end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix}\{Q_C\}\\ \{I\}\end{Bmatrix} \tag{3.43}$$

เมื่อ

$[C]$ = เมตริกซ์ความร้อนจำเพาะ

$[K_c]$ = เอลิเมนต์ของการนำความร้อน

$[K_v]$ = เอลิเมนต์ของการนำไฟฟ้า

$\{T\}$ = เวคเตอร์อุณหภูมิที่โหนด

$\{\dot{T}\}$ = เวคเตอร์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่โหนดโดยสัมพันธ์กับเวลา

$\{V\}$ = เวคเตอร์แรงดันที่โหนด

$\{Q_c\}$ = โหลดเวคเตอร์อันเนื่องมาจากการนำความร้อน

$\{I\}$ = โหลดเวคเตอร์อันเนื่องมาจากการไหลของกระแสที่โหนด

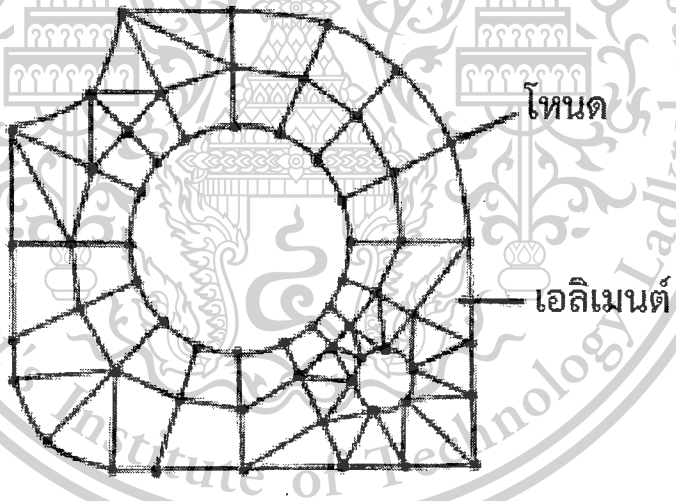
σ = สภาพการนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากสมการที่ 3.43 เป็นสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ในรูปทั่วไปที่มีความสัมพันธ์ของความร้อนและไฟฟ้า ซึ่งการหาผลเฉลยสามารถทำโดยการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและทำการประมวลผลโดยใช้คอมพิวเตอร์ การคำนวณจะคำนวณทางไฟฟ้าก่อนแล้วนำผลการคำนวณที่ได้มาทำการคำนวณทางความร้อน หลังจากได้ผลการคำนวณทางความร้อนจึงนำไปในการประมวลผลทางไฟฟ้าต่อไป [38], [39]

3.2 วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)

ในการแก้ปัญหาหนึ่งๆ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะทำการแบ่งรูปร่างของปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ ที่เรียกว่า เอลิเมนต์ (Elements) เอลิเมนต์เหล่านี้เชื่อมต่อกันที่จุดต่อ (Nodes) ดังรูปที่ 3.1 ในการวิเคราะห์ปัญหาใดปัญหาหนึ่งจะประกอบด้วย สมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาทำการหาค่าผลเฉลยแม่นตรง (Exact solution) จะประกอบด้วยค่าต่างๆ ทั้งหมดเป็นจำนวนอนันต์ ซึ่งไม่สามารถหาค่าผลเฉลยได้ จึงต้องเปลี่ยนค่าให้เป็นจำนวนที่นับได้ (Finite) ด้วยการแทนรูปร่างลักษณะของปัญหาด้วยเอลิเมนต์ที่มีขนาดต่างๆ กัน วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะเริ่มจากการพิจารณาเอลิเมนต์ทีละเอลิเมนต์ทำการสร้างสมการให้แต่ละเอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้นๆ จากนั้นจึงนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นประกอบรวมเป็นระบบสมการชุดใหญ่ จากนั้นทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่ให้มาลงในสมการชุดใหญ่จึงทำการแก้สมการแล้วจะเกิดผลเฉลยโดยประมาณที่ตำแหน่งต่างๆ ของปัญหา [38], [40]



รูปที่ 3.1 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์และโหนด [38]

กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาใดๆโดยทั่วไปด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จะประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. การแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ โดยปกติจะใช้เวลามาก เพราะจำเป็นต้องสร้างรูปร่างของปัญหา (Geometry) อย่างถูกต้องขึ้นมาก่อน รูปร่างของปัญหาอาจประกอบด้วยส่วนเว้าส่วนโค้งที่มีความซับซ้อน จึงจำเป็นต้องอาศัยความรู้อันประกอบไปด้วยประสบการณ์เป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์ เอลิเมนต์ย่อยที่แบ่งบนโดนเมนของปัญหานั้น อาจเป็นเอลิเมนต์ในรูปแบบของสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าก็ได้ หากแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยมตัวไม่รู้ค่า (Unknowns) จะอยู่ที่มุมทั้งสามของสามเหลี่ยมนั้น ซึ่งเรียกกันว่าจุดต่อ (Node) การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์จะสอดคล้องกับลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าที่สมมติขึ้นบนเอลิเมนต์นั้นๆ เช่น หากเลือกใช้เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบสามจุดต่อที่มุมทั้งสามแล้ว ลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าบนเอลิเมนต์นั้นจะถูกสมมติให้อยู่ในรูปแบบของแผ่นเรียบ (Flat Plane) เป็นต้น แต่หากเลือกใช้เอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยมแบบสี่จุดต่อที่มุมทั้งสี่อาจไม่เรียบแต่จะโค้งไปโค้งมาได้ ดังนั้นการเลือกใช้เอลิเมนต์ชนิดต่างๆ กันจะมีผลโดยตรงกับผลลัพธ์ที่จะคำนวณได้

3. การประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ สมการเชิงอนุพันธ์ที่สอดคล้องกับปัญหาที่วิเคราะห์อยู่นั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสมการทางพีชคณิตที่เรียกกันว่า สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Equations) สมการไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกสร้างขึ้นสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ เนื่องจากเอลิเมนต์ต่างมีขนาดไม่เท่ากัน

4. การรวมสมการไฟไนต์เอลิเมนต์เข้าด้วยกันแล้วแก้ระบบสมการใหญ่ สมการไฟไนต์เอลิเมนต์อยู่ในรูปแบบของสมการทางพีชคณิตซึ่งได้ประดิษฐ์ขึ้นสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ ในขั้นตอนที่แล้วจำเป็นต้องนำมารวมกันอย่างถูกต้องและมีหลักการ การประกอบสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ แต่ละสมการเข้าด้วยกันจะก่อให้เกิดระบบสมการขนาดใหญ่ จากนั้นจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตของปัญหานั้นๆ ก่อนแก้ระบบสมการขนาดใหญ่เพื่อหาผลลัพธ์

5. การคำนวณหาค่าอื่นๆที่เหลือ จากนั้นจึงเป็นการหาค่าอื่นๆที่ต้องการทราบ เพื่อที่จะทำให้ปัญหานั้นได้รับการวิเคราะห์ เมื่อทราบอุณหภูมิตามตำแหน่งต่างๆ จะสามารถคำนวณหาปริมาณฟลักซ์ความร้อนที่ไหลผ่านได้ หรือเมื่อทราบค่าการเคลื่อนตัวก็สามารถหาค่าความเค้นได้ [41]

3.3 กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์

กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ ประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. กระบวนการขั้นต้น คือ การสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์จากรูปร่างลักษณะที่แท้จริงของปัญหา จากนั้นจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตก่อนวิเคราะห์ปัญหานั้น การสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์อันประกอบด้วยเอลิเมนต์จำนวนมากบนรูปร่างลักษณะของปัญหาที่กำหนดมาให้ โดยเริ่มสร้างตั้งแต่การสร้างจุดเส้นตรง เส้นโค้งต่างๆรวมทั้งพื้นผิว โดยข้อมูลของจุดเส้นตรง เส้นโค้ง และพื้นผิวเหล่านี้จะถูกเก็บในรูปแบบของสมการทางเรขาคณิต เพื่อผู้ใช้สามารถสร้างเอลิเมนต์ทั้งขนาดและจำนวนต่างๆ กันได้ โดยรูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เกิดขึ้นจะเสมือนรูปร่างต้นแบบของจริงมากที่สุด รูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ยังประกอบไปด้วยหมายเลขของจุดต่อ หมายเลขของเอลิเมนต์และข้อมูลอื่นๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ขั้นต่อไป หลังจากสร้างรูปแบบไฟไนต์เอเลิเมนต์เสร็จสิ้นลงแล้ว ต้องกำหนดเงื่อนไขขอบเขต อันอาจประกอบไปด้วยการกำหนดค่าให้กับบางจุดต่อของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น เงื่อนไขของเขตเหล่านี้จำเป็นต้องเหมือนกับของจริงให้มากที่สุด จึงจะนำไปสู่ผลลัพธ์ที่สอด คล้องกับความเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

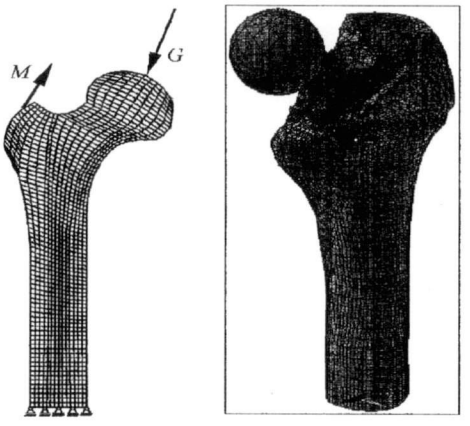
2. กระบวนการวิเคราะห์ ข้อมูลต่างๆของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นและเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้ในขั้นตอนแรกจะผ่านกระวนการวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับปัญหานั้นสำหรับทุกๆ เอลิเมนต์ก่อนที่ประกอบกันเป็นระบบสมการรวมขนาดใหญ่ แล้วนำมาประยุกต์กับเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนด จากนั้นจึงแก้ระบบสมการรวมขนาดใหญ่ โดยเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับเอลิเมนต์ที่ได้สร้างขึ้นและขนาดของระบบสมการรวมขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้น หากสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้นอยู่ในรูปแบบเชิงเส้น ระบบสมการรวมนี้จะถูกแก้เพียงครั้งเดียว ทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณนั้นไม่มากแต่หากสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาอยู่ในรูปแบบไม่เชิงเส้น ระบบสมการรวมนี้จะถูกแก้ด้วยการวนซ้ำหลายรอบ ทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณมากขึ้น ดังนั้นเมื่อเราเข้าใจถึงองค์ความรู้พื้นฐานภายในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ก็จะช่วยให้ตัดสินใจก่อนทำการวิเคราะห์ได้

3. กระบวนการขั้นท้าย ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่แล้วจะประกอบด้วย ตัวเลขเป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์กราฟิก โดยเฉพาะกราฟิกสีเพื่อแสดงตัวเลขจำนวนมากเหล่านี้ออกมาบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เพื่อทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจสิ่งที่เกิดขึ้นได้ง่าย ซึ่งรูปแบบของการแสดงผลลัพธ์นั้นมีหลายชนิดนับตั้งแต่การแสดงด้วยแถบชั้นสี การแสดงด้วยเส้นชั้นสี การแสดงด้วยเวคเตอร์ เป็นต้น [41]

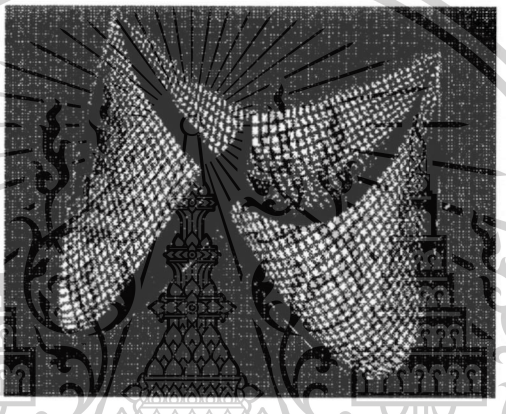
3.4 การประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์

ในปัจจุบันวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์ โดยเฉพาะการสร้างแบบจำลองของชิ้นส่วนอวัยวะต่างๆ ในร่างกายมนุษย์ เพื่อประยุกต์ใช้กับวัสดุที่มีคุณสมบัติคล้ายเนื้อเยื่อของมนุษย์ เช่น การผ่าตัดเปลี่ยนลิ้นหัวใจเทียมที่เกิดจากลิ้นหัวใจรั่ว จะใช้การวิเคราะห์และออกแบบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการสร้างลิ้นหัวใจเทียม เพื่อให้มีสภาวะการทำงานใกล้เคียงกับลิ้นหัวใจปกติมากที่สุด ดังรูปที่ 3.2 (ก) การเปลี่ยนถ่ายกระดูกหน้าขา จะใช้การวิเคราะห์และออกแบบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการสร้างกระดูกเทียม เพื่อให้โครงสร้างกระดูกเทียมมีความแข็งแรงและน้ำหนักเบา [42] ดังรูปที่ 3.2 (ข) และการทำลายเซลล์มะเร็งตับเฉพาะจุดด้วยคลื่นไมโครเวฟจะใช้การวิเคราะห์และออกแบบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการสร้างสายอากาศที่ใช้ทำลายเซลล์มะเร็งตับเพื่อให้สายอากาศสามารถทำลายเซลล์มะเร็งตับได้อย่างมีประสิทธิภาพ [43] ดังรูป 3.2 (ค) เป็นต้น นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานด้าน ทันตกรรม เช่น การสร้างแบบจำลองโครงสร้างการเรียงตัวของฟัน เพื่อวิเคราะห์หาค่าแรงในการดัดฟัน ดังรูปที่ 3.2 (ง) และการสร้างแบบจำลองโครงกระดูกส่วนหน้ากับลักษณะของฟัน เพื่อหาค่าแรงในการบดเคี้ยว เป็นต้น [42]

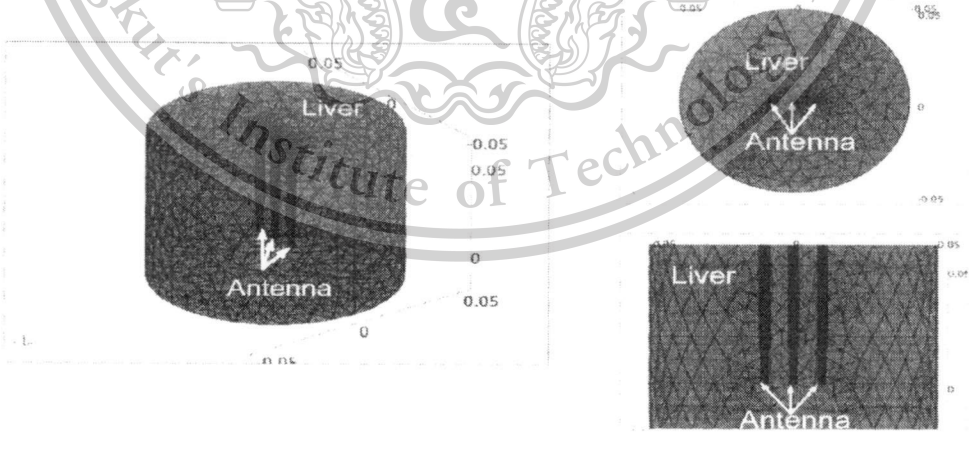
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก)

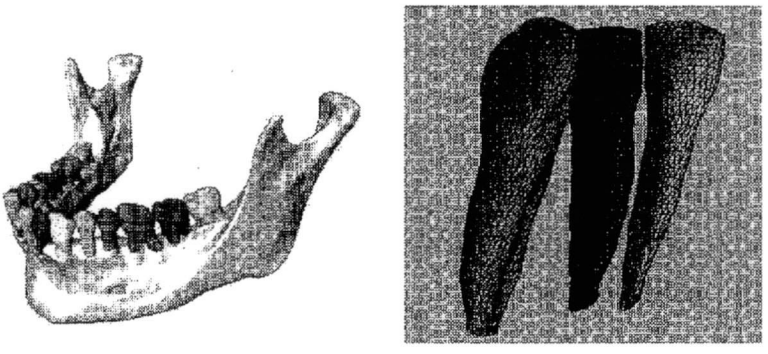


(ข)



(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



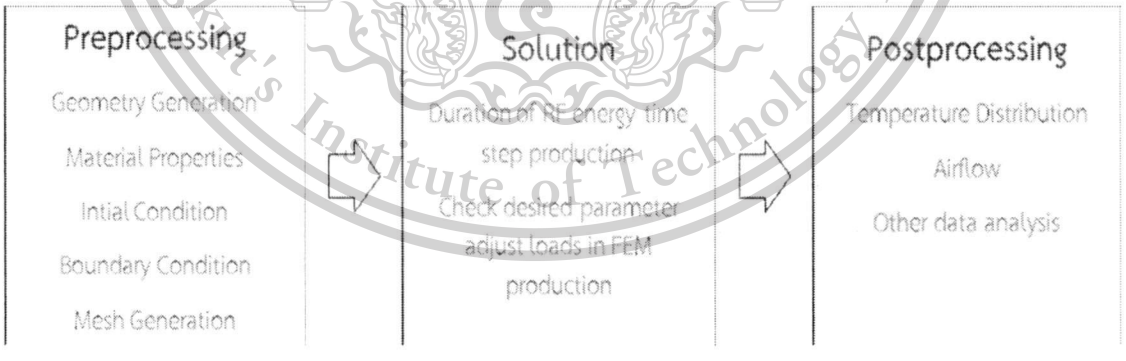
(ง)

รูปที่ 3.2 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (ก) โครงกระดูกหน้าขา (ข) ลิ้นหัวใจ (ค) สายอากาศที่ใช้ทำลายเซลล์มะเร็งตับ (ง) โครงสร้างฟัน [42], [43]

3.5 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผล

ในการทดลองวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ใช้โปรแกรม COMSOL Multiphysics เวอร์ชั่น 3.5a มาทำการสร้างแบบจำลอง การกำหนดค่าคุณสมบัติจำเพาะต่างๆ ของวัสดุภายในการทดลอง การกำหนดเงื่อนไขต่างๆ ในระบบและการประมวลผลด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ทำการประมวลผลแบบจำลองบนเครื่องคอมพิวเตอร์พีซี ระบบปฏิบัติการ Window 8 โดยมี CPU 3.5 GHZ 64 Bit 16 GB of RAM

3.6 กระบวนการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics



รูปที่ 3.3 กระบวนการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 3.3 แสดงถึงกระบวนการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics โดยประกอบไปด้วยขั้นตอนหลักๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. Preprocessing เป็นขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยเริ่มจากการสร้างแบบจำลอง กำหนดส่วนต่างๆ ของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในแบบจำลอง กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น เงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง และการเมชแบบจำลอง

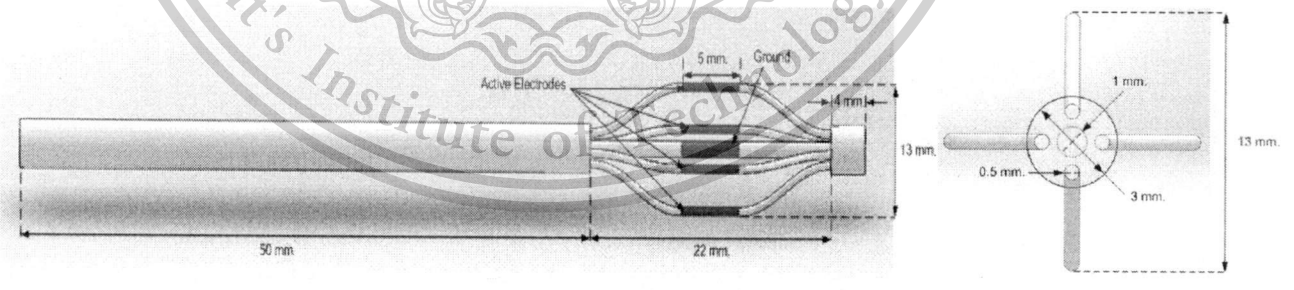
2. Solution เป็นขั้นตอนของการกำหนดเวลาที่ใช้ประมวลผลของการจำลองซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการกำหนดเวลาที่ใช้ในการจำลองการบำบัดโรคหืดชนิดรุนแรงมากด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

3. Postprocessing เป็นส่วนของการวิเคราะห์ผล ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการจำลองการบำบัดโรคหืดชนิดรุนแรงมากด้วยคลื่นความถี่วิทยุ จะทำการวิเคราะห์ผลการกระจายของอุณหภูมิ การไหลของอากาศ และการกระจายของสนามไฟฟ้า เป็นต้น

3.7 โครงสร้างของโพรบและหลอดลม

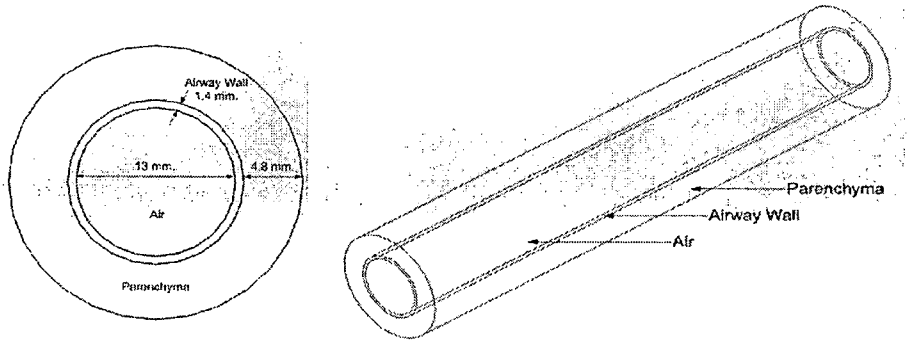
การออกแบบโพรบที่ใช้ในการบำบัดโรคหืดจะออกแบบเป็นรูปทรงบอลลูน เพื่อช่วยดันส่วนที่ตีบให้ขยายออก มีแอคทีฟอิเล็กโทรด (Active Electrodes) เป็นจุดจ่ายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 380 กิโลเฮิรตซ์ และมีกราวด์ (Ground) ที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์เป็นจุดอ้างอิง ส่วนแบบจำลองหลอดลมจะสร้างแบบจำลองรูปทรงกระบอก เพื่อจำลองหลอดลม (Bronchi) ซึ่งขนาดของโพรบและหลอดลมที่ออกแบบได้แนวคิดมาจาก Boston Scientific Corporation [43] ดังรูป 3.4-3.5

ในงานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองการบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยใช้โพรบสอดเข้าไปในหลอดลมของผู้ป่วยโรคหืด เพื่อศึกษาการกระจายตัวของความร้อนที่ส่งผ่านอิเล็กโทรดและการไหลของอากาศในหลอดลมขณะทำการบำบัด ซึ่งแบบจำลองการบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ แสดงดังรูปที่ 3.6

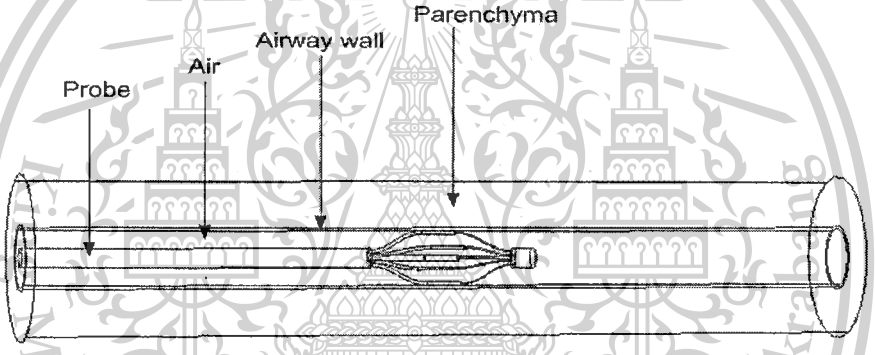


รูปที่ 3.4 ขนาดและโครงสร้างของโพรบที่ใช้ในการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.5 ขนาดของหลอดลม



รูปที่ 3.6 แบบจำลองการบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

3.8 การกำหนดค่าคงที่ต่างๆ ของแบบจำลอง

ในงานวิจัยผู้วิจัยได้ศึกษาถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าและความร้อน โดยคุณสมบัติทางไฟฟ้าจะใช้ค่าพารามิเตอร์ที่อ้างอิงอุณหภูมิของมนุษย์ คือ 37 องศาเซลเซียส ส่วนค่าคุณสมบัติทางความร้อนของเนื้อเยื่อจะใช้ค่าพารามิเตอร์ของสัตว์จากสุนัข ส่วนค่าของผนังหลอดลมจะใช้ค่าพารามิเตอร์ของหลอดลมส่วนบน (Trachea) เพราะมีค่าพารามิเตอร์ใกล้เคียงกันมาก [6] และค่าพารามิเตอร์การไหลของอากาศอ้างอิงจากบทความของ Johari et al [7] ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์การกระจายตัวของความร้อนและการไหลของอากาศ แสดงดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์การกระจายตัวของความร้อน [6]

วัสดุ	ค่าสภาพ ความนำไฟฟ้า (σ) [S/m]	ค่าสภาพการนำความร้อน (k) [W/m·K]	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (c) [J/kg·K]	ค่าความหนาแน่นจำเพาะ (ρ) [kg/m^3]
อากาศ	0.01	0.030	1009	0.995
ผนังหลอดลม	0.359	0.5	3000	1500
เลือด	0.748	0.52	4176	1060
เนื้อเยื่อ (Parenchyma)	0.15	0.451	1643	199
Stainless Steel	1.39×10^6	16.2	500	8030

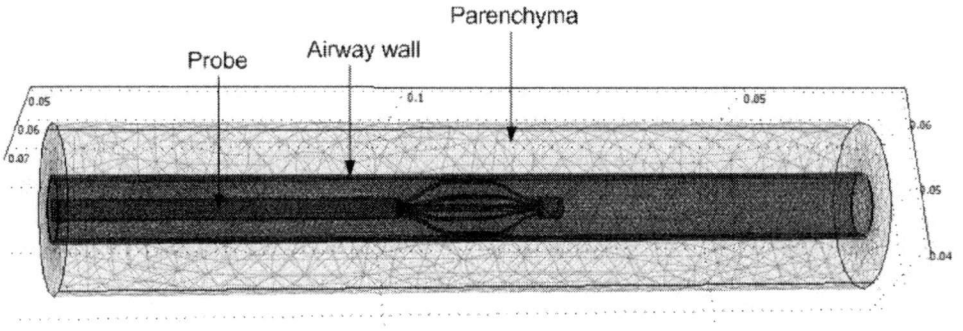
ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์การไหลของอากาศ [7]

ค่าพารามิเตอร์	การไหล
ความเร็ว (u) [m/s]	0.06
ความดันขาเข้า (p) [kPa]	101
ความหนืด (η) [kg/ms^{-1}]	1.7894×10^{-5}

3.9 การเมช (Mesh) แบบจำลอง

ในรูปที่ 3.7 จะแสดงการเมชแบบจำลองด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics ของแบบจำลองที่ประกอบไปด้วย โพรบและหลอดลม โดยใช้เอลิเมนต์เป็นแบบ tetrahedral elements การเมชแบบจำลองหรือการแบ่งแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์เล็กๆ จะเมชในลักษณะที่ไม่มีรูปแบบหรือขนาดตายตัวแต่จะเมชส่วนของโพรบ ผนังหลอดลมจะเมชแบบละเอียด แต่บริเวณเนื้อเยื่อ (Parenchyma) จะเมชในลักษณะที่ค่อนข้างหยาบเพราะเมื่อทำการเมชแบบจำลองแบบละเอียดเท่ากันหมดจะมีจำนวนโหนดและเอลิเมนต์มาก ทำให้ใช้หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์และเวลาในการคำนวณค่อนข้างมากจนอาจส่งผลให้โปรแกรมมีข้อผิดพลาดไม่สามารถทำการเมชแบบจำลองได้ แต่หากทำการเมชในลักษณะที่หยาบเหมือนกันทั้งหมดก็จะทำให้ผลที่ได้จากการคำนวณมีความผิดพลาดมากตามไปด้วย แม้ว่าจะใช้เวลาในการคำนวณน้อยก็ตาม ดังนั้นการเมชแบบจำลองจะพิจารณาตามลำดับความสำคัญ โดยส่วนที่ต้องการความถูกต้องสูงก็จะทำการเมชแบบจำลองแบบละเอียด ส่วนที่พิจารณาแล้วไม่มีผลต่อการคำนวณหรือว่ามีผลน้อยก็จะทำการเมชแบบหยาบ ซึ่งในงานวิจัยนี้แบบจำลองมีจำนวนเอลิเมนต์เฉลี่ย 282,887 เอลิเมนต์

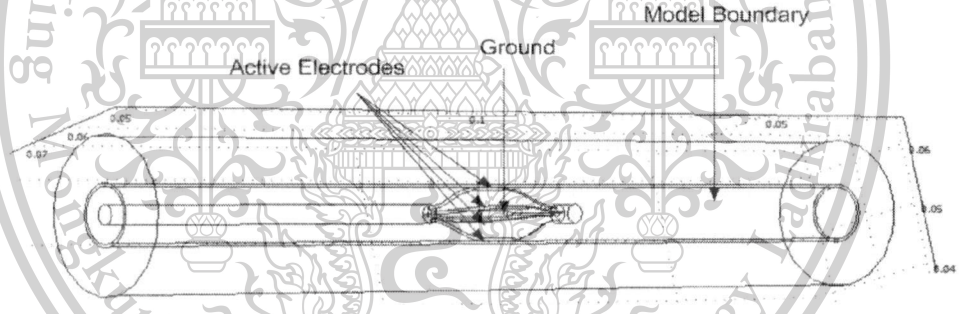
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.7 การ MESH แบบจำลอง

3.10 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตบนแบบจำลอง

สำหรับการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตบนแบบจำลองได้กำหนดแรงดันรอบๆผิวของอิเล็กโทรด ซึ่งเป็นการบังคับให้สนามไฟฟ้าวิ่งจากผิวอิเล็กโทรดสู่กราวด์ ในการทดลองต้องมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ให้กับผิวอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยการพิจารณาจากอุณหภูมิเริ่มต้น 37 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในระบบไม่เกิน 75 องศาเซลเซียส การกำหนดแรงดันจะถูกควบคุมตามอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การกำหนดขอบเขตของแบบจำลอง

3.11 การประมวลผลข้อมูลบนแบบจำลอง

ในการวิเคราะห์ปัญหาของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความเกี่ยวเนื่องกับระบบอุณหภูมิและระบบไฟฟ้า โปรแกรม COMSOL Multiphysics จะทำการวิเคราะห์ปัญหาแบบควบคู่กันไปทั้งในทางด้านความร้อนและทางด้านไฟฟ้า หรือสามารถประมวลผลปัญหาทางด้านหนึ่งก่อน แล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ในอีกปัญหาหนึ่ง โดยในงานวิจัยนี้การประมวลผลข้อมูลบนแบบจำลองจะเป็นการประมวลผลแบบควบคู่กันไปทั้งสองด้านคือ ทางด้านความร้อนและทางไฟฟ้า ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จาการประมวลผลข้อมูลบนแบบจำลองจะกล่าวถึงในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

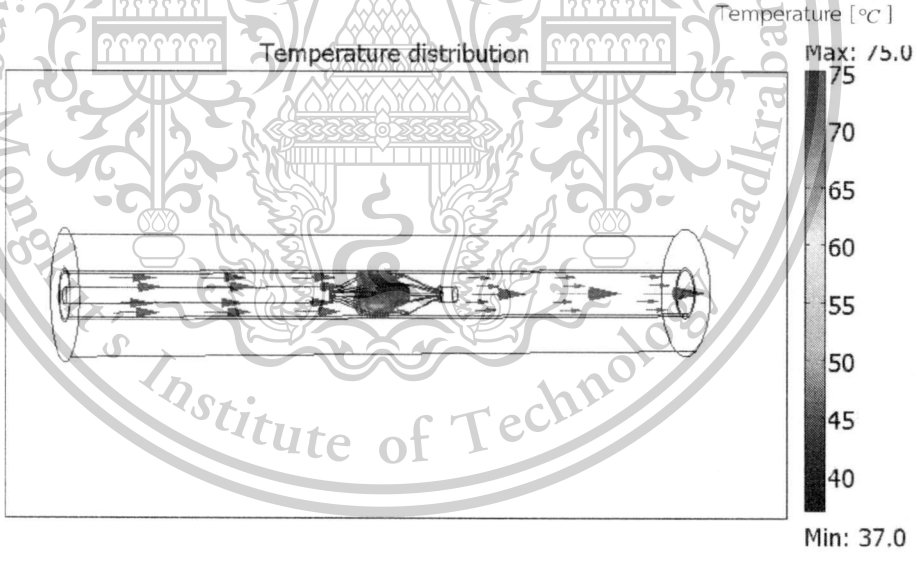
บทที่ 4

ผลการจำลองโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงผลการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการจำลองการกระจายตัวของความร้อน การไหลของอากาศในหลอดลมด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ผลการทดลองในไข่ขาว และผลการทดลองในหลอดลมของหมู

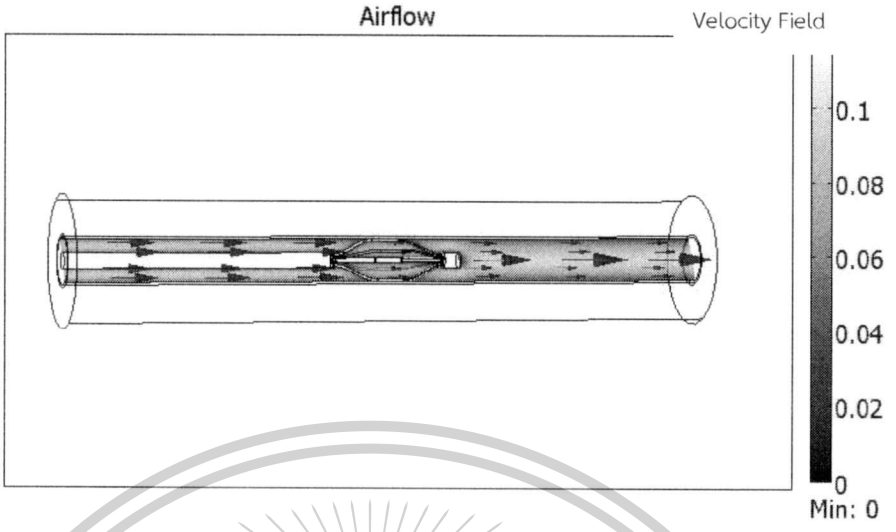
4.1 ผลการจำลองโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการจำลองการทำงานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีการกำหนดเงื่อนไขในการจำลอง เพื่อใช้เป็นขอบเขตและเงื่อนไข ดังนี้ ทำการควบคุมอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นได้ในระบบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และทำการควบคุมเวลาที่ 10 วินาที ในการจำลองนี้จะทำการศึกษาถึงการกระจายตัวของความร้อนและการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นในขณะบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ดังรูป 4.1-4.3

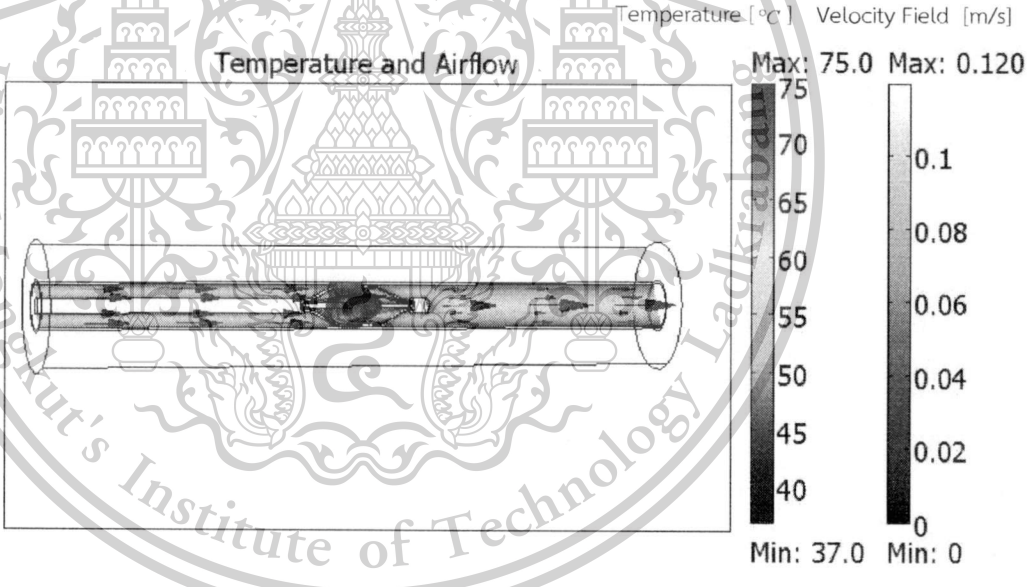


รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของความร้อนในขณะบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

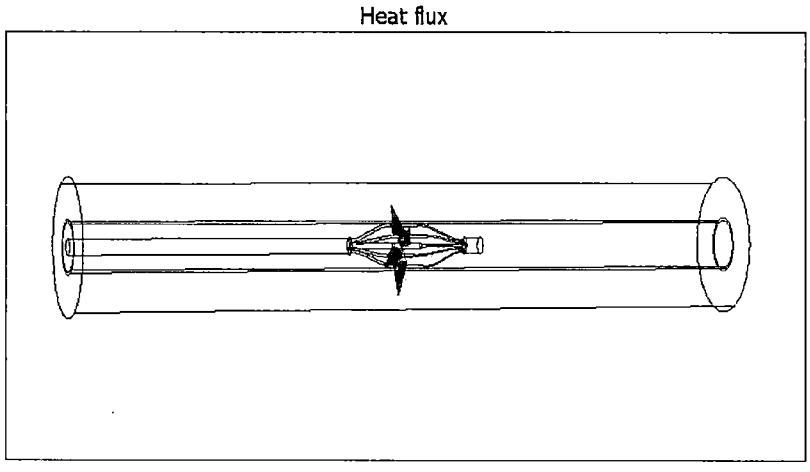


รูปที่ 4.2 การไหลของอากาศในขณะบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

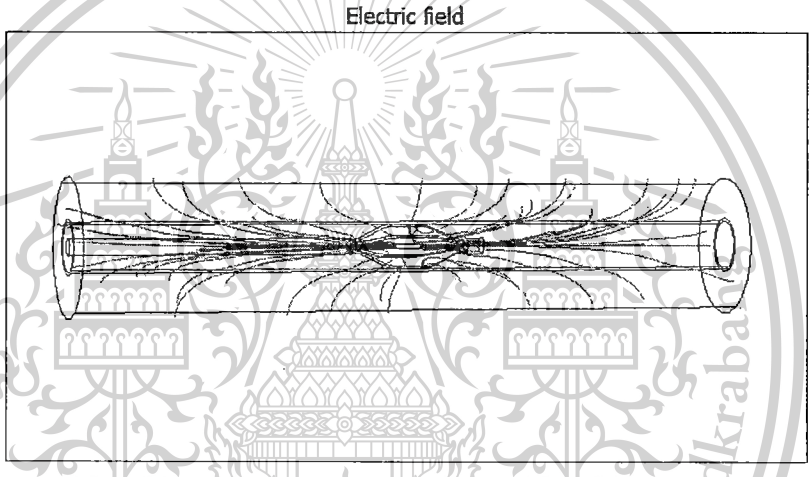


รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของความร้อนและการไหลของอากาศในขณะบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.4 การกระจายของฟลักซ์ความร้อนที่ออกจากโพรบ



รูปที่ 4.5 การกระจายของสนามไฟฟ้าที่ออกจากโพรบ

จากรูปที่ 4.1-4.3 เป็นการจำลองการทำงานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจะเกิดความร้อนบริเวณอิเล็กโทรดที่ทำการออกแบบมาเท่านั้น โดยการกระจายความร้อนที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นบริเวณรอบอิเล็กโทรดทั้ง 4 เส้น เนื่องจากการไหลของกระแสสู่กราวด์ โดยการกระจายมีการกระจายที่สม่ำเสมอ เพราะทำการออกแบบระยะห่างของกราวด์กับอิเล็กโทรดที่เท่ากัน จึงทำให้เกิดการกระจายที่สม่ำเสมอ และความเร็วในการไหลของอากาศจะมากขึ้น เมื่ออิเล็กโทรดมีการกระจายความร้อนไปยังหลอดลม ส่วนรูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงการกระจายของฟลักซ์ความร้อนและการกระจายของสนามไฟฟ้าที่แรงดัน 22 โวลต์ จะเห็นได้ว่าฟลักซ์ความร้อนและสนามไฟฟ้าจะมีการกระจายออกรอบๆ อิเล็กโทรดทุกๆ ทิศทางแบบสมมาตร และผลของการจำลองการทำงานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถทำการยืนยันความถูกต้องด้วยการทดลองจริง โดยการทดลองจริง ซึ่งขั้นตอนต่อไป จะเป็นการทดลองในไข่ขาว เพื่อให้ทราบรูปทรงของการจำลองการทำงานในแบบ 3 มิติ โดยทำเกิดการเปรียบเทียบที่อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 การทดลอง

การทดลองบำบัดโรคหืดด้วยคลื่นความถี่วิทยุได้ทำการทดลองในไข่ขาวและหลอดลมของหมู เพื่อดูผลกระทบที่เกิดจากการกระจายตัวของความร้อนจากอิเล็กโทรดและการไหลของอากาศในหลอดลม ซึ่งวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังรูป 4.6 มีดังนี้

1. RF power supply รุ่น PDX 500 ผู้ผลิต Advanced Energy Company ย่านความถี่ 325-380 กิโลเฮิรตซ์

2. โพรบ ใช้วัสดุ คือ Stainless Steel ผู้ผลิต Small Company

3. เทอร์โมมิเตอร์ รุ่น 54 Series II ผู้ผลิต Fluke Company เป็นดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์แบบสัมผัสขนาดมือถือรับอินพุต 2 ช่องสัญญาณ มีความแม่นยำระดับ : ±(0.05% +0.3°C) แสดงผลในหน่วยองศาเซลเซียส (°C) ฟาเรนไฮต์ (°F) หรือ เคลวิน (K)

4. เครื่องช่วยหายใจแบบบีบมือ ปริมาตร 600 มิลลิลิตร ผู้ผลิต Enter Medical Corporation

5. ไข่ขาว จำนวน 2 ฟอง

6. ปอดหมู อายุประมาณ 30 สัปดาห์ ตายไม่เกิน 6 – 8 ชั่วโมง

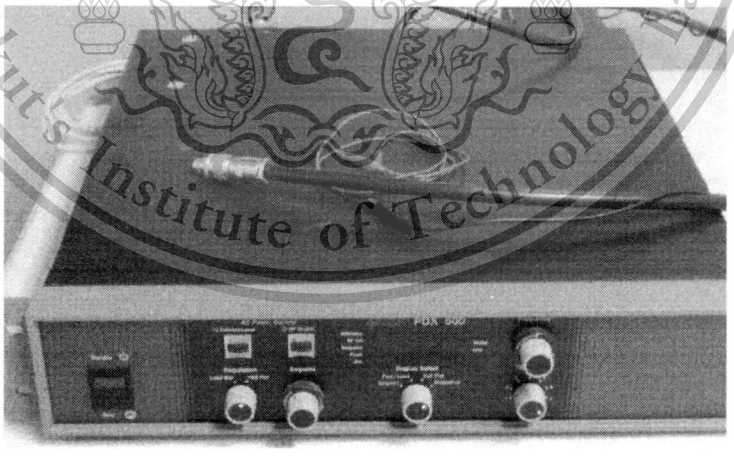
7. มีดผ่าตัด ใช้ใบมีดเบอร์ 11 และ 24 ผู้ผลิต Feather Safety Razor Company และด้ามมีดเบอร์ 3 และ 4 ผู้ผลิต Zentech

8. กรรไกรผ่าตัด ผู้ผลิต Zentech

9. กระบอกตวง (Glass Cylinder) ขนาด 50 มิลลิลิตร ผู้ผลิต Duran group

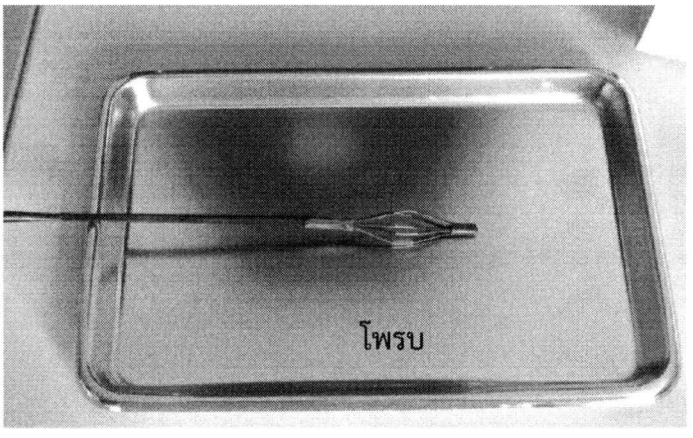
9. ผ้าปิดจมูก (Cloth Mask)

10. ถุงมือชนิดมีแป้ง

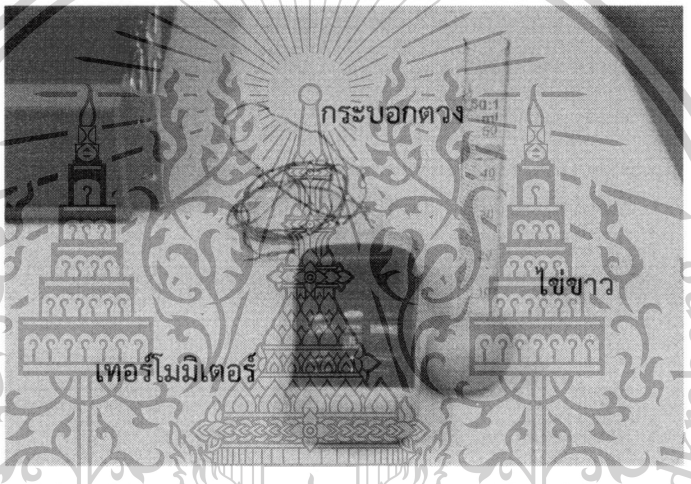


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



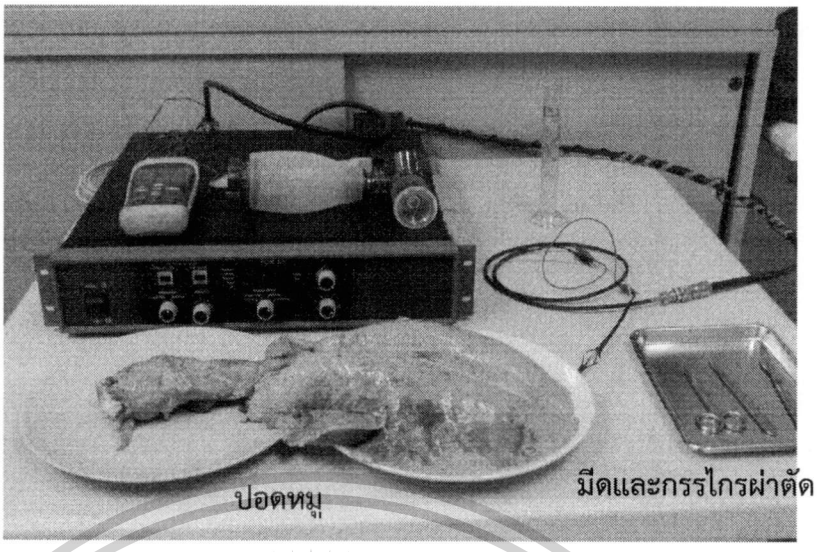
(ข)



(ค)

(ง)

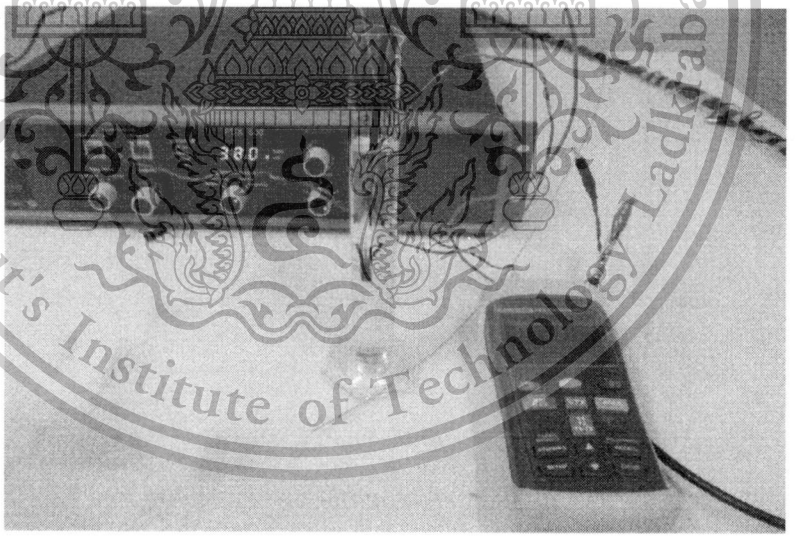
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(จ)

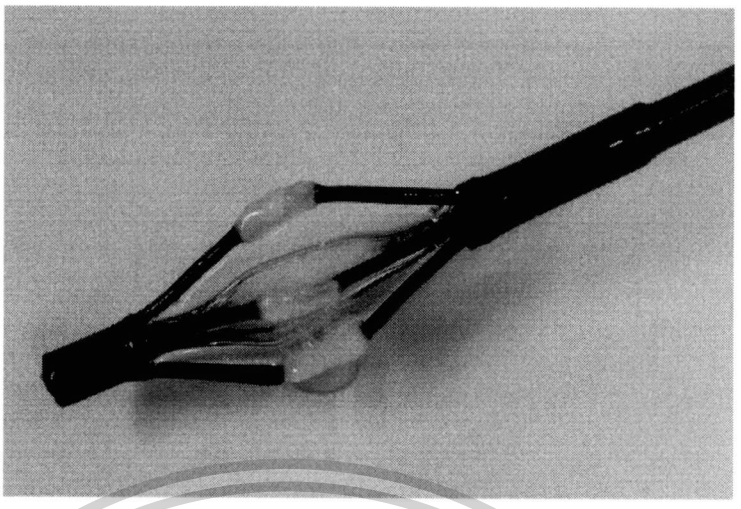
รูปที่ 4.6 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.2.1 ผลการทดลองในไข่ขาว



รูปที่ 4.7 การทดลองในไข่ขาว

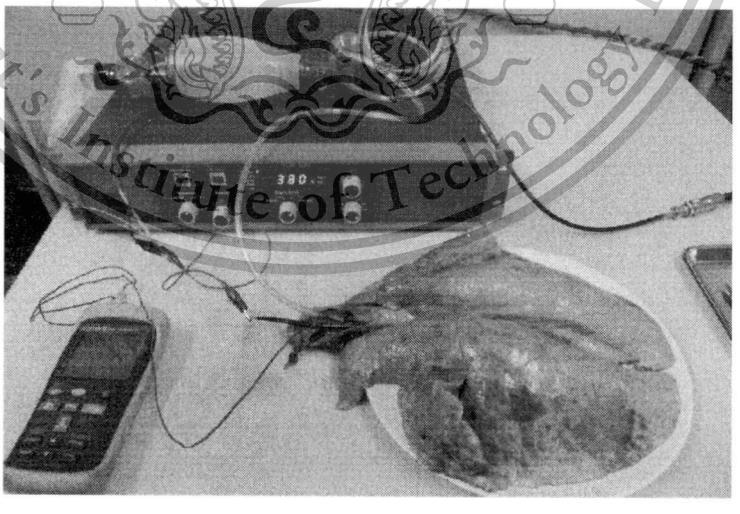
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.8 ผลการทดลองในไข่ขาว

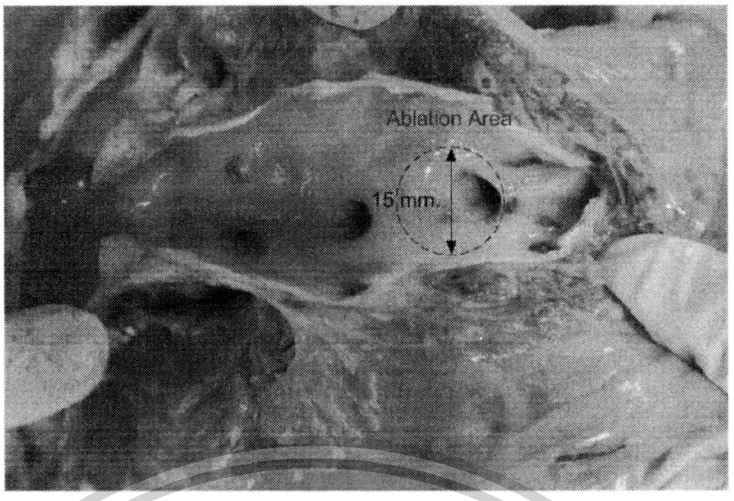
จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 เมื่อนำโพรบที่ทำการออกแบบไปทดลองในไข่ขาว ปล่อยกระแสไฟฟ้าแรงดัน 22 โวลต์ เหนี่ยวนำทำให้เกิดคลื่นความถี่ 380 กิโลเฮิรตซ์ เป็นเวลา 10 วินาที ที่อุณหภูมิ 55 -65 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าไข่ขาวจะมีการเปลี่ยนแปลงจากของเหลวเป็นของแข็ง ซึ่งได้รูปทรงในรูปแบบ 3 มิติ ที่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับการจำลองการทำงานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 3 มิติได้ โดยจะเห็นว่ามีขนาดรูปทรงที่มีความคล้ายกัน จากที่ได้ทำการยืนยันผลของการจำลองการทำงานด้วยผลการทดลองในไข่ขาว ต่อไปจะเป็นการทดลองกับเนื้อเยื่อจริง คือ หลอดลมของหมู เพื่อทราบผลที่เกิดจากการนำอิเล็กโทรดไปใช้ในกระบวนการ RF Ablation

4.2.2 ผลการทดลองในหลอดลมของหมู



รูปที่ 4.9 การทดลองในหลอดลมของหมู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.10 ผลการทดลองในหลอดลมของหมู

จากรูป 4.9 และ 4.10 เป็นการทดลองกับเนื้อเยื่อจริง คือ หลอดลมของหมู เมื่อทำการขยายหลอดลมของหมูด้วยความร้อน โดยการนำกระแสไฟฟ้าที่มีแรงดัน 22 โวลต์ เหนี่ยวนำทำให้เกิดคลื่นความถี่ 380 กิโลเฮิรตซ์ เป็นเวลา 10 วินาที ที่อุณหภูมิ 55 -65 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าเกิดการกระจายตัวของความร้อนบริเวณกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมของหมูอันเนื่องมาจากคลื่นความถี่วิทยุส่งผลให้เกิดการขยายตัวของหลอดลม

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

การใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 3 มิติ มาทำการสร้างแบบจำลองเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยให้เราสามารถวางแผนการทดลองได้ถูกต้อง เพราะผลการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีความใกล้เคียงกับผลการทดลองจริงมาก ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลาเมื่อต้องทดลองในไข่ขาวและหลอดลมของหมู ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการจำลองการกระจายตัวของความร้อนและการไหลของอากาศที่หลอดลมด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ไปทำโพรบ เพื่อทดลองแบบ in vitro

ในการจำลองการกระจายตัวของความร้อนและการไหลของอากาศด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แสดงให้เห็นว่าจะเกิดความร้อนบริเวณอิเล็กโทรดที่ทำการออกแบบมาเท่านั้น โดยการกระจายความร้อนที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นบริเวณรอบอิเล็กโทรดทั้ง 4 เส้น เนื่องจากการไหลของกระแสสู่กราวด์ โดยการกระจายมีการกระจายที่สม่ำเสมอ เพราะทำการออกแบบระยะห่างของกราวด์กับอิเล็กโทรดที่เท่ากัน จึงทำให้เกิดการกระจายที่สม่ำเสมอ และความเร็วในการไหลของอากาศจะมากขึ้น เมื่ออิเล็กโทรดมีการกระจายความร้อนไปยังหลอดลม

การทดลองในไข่ขาว เมื่อนำโพรบที่ทำการออกแบบไปทดลองในไข่ขาว ปล่อยกระแสไฟฟ้าที่มีแรงดัน 22 โวลต์ เหนี่ยวนำทำให้เกิดคลื่นความถี่ 380 กิโลเฮิรตซ์ เป็นเวลา 10 วินาที ที่อุณหภูมิ 55 -65 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าไข่ขาวจะมีการเปลี่ยนแปลงจากของเหลวเป็นของแข็ง ซึ่งได้รูปทรงในรูปแบบ 3 มิติ ที่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับการจำลองการทำงานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 3 มิติได้ โดยจะเห็นว่ามีขนาดรูปทรงที่มีความคล้ายกัน

การทดลองในหลอดลมของหมูโดยทำการขยายหลอดลมของหมูด้วยความร้อน ปล่อยกระแสไฟฟ้าที่มีแรงดัน 22 โวลต์ เหนี่ยวนำทำให้เกิดคลื่นความถี่ 380 กิโลเฮิรตซ์ เป็นเวลา 10 วินาที ที่อุณหภูมิ 55 -65 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าเกิดการกระจายตัวของความร้อนบริเวณกล้ามเนื้อเรียบหลอดลมของหมูอันเนื่องมาจากคลื่นความถี่วิทยุ ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของหลอดลม

5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการสร้างแบบจำลองการบำบัดโรคหืดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีการที่มีประโยชน์เป็นอย่างมาก เพราะสามารถใช้เป็นแนวการออกแบบเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทดลองกับเนื้อเยื่อจริง ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลองและสามารถออกแบบการทดลองในส่วนที่เราไม่สามารถทำจริงได้ นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการบำบัดหรือรักษาผู้ป่วยที่มีอาการหลอดลมตีบโดยวิธีการขยายทางเดินของหลอดลมที่ตีบตันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทำให้ผนังหลอดลมมีการขยายตัวหรือเป็นแนวทางในการรักษาโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

[1] Chen A. "Bronchial Thermoplasty for Asthma." **Pak. J. Chest Med.,** vol. 18, no. 1, 2012. pp. 58-64.

[2] ทวีพร ยิ้มอ่อน. **"รูปแบบการดูแลและป้องกันอาการหอบหืดเฉียบพลันแบบมีส่วนร่วมในผู้ป่วยโรคหอบหืด."** วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสาธารณะ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยบูรพา. 2553.

[3] อรพรรณ โพชนุกูล. "BT (Bronchial Thermoplasty) นวัตกรรมใหม่ของการรักษาโรคหอบหืด." **Medical Focus Academic and Recreation Magazine,** ปีที่ 4, ฉบับที่ 39, มีนาคม 2555. หน้า 8-10

[4] Gildea T. R., Khatri S. B., and Castro M. "Bronchial thermoplasty : A new treatment for severe refractory asthma." **Cleve. Clin. J. Med.,** vol.78, 2011. pp. 477-485.

[5] Danek C. J., Lombard C. M., Dungworth D. L., Cox P. G., Miller J. D., Biggs M. J., Keast T. M., Loomas B. E., Wizeman W. J., Hogg J. C., and Leff A. R. "Reduction in airway hyperresponsiveness to methacholine by the application of RF energy in dogs." **J. Appl. Phys.,** vol. 97, 2004. pp. 1946-1953.

[6] Jarrard J., Wizeman B., Brown R. H., and Mitzner W. **"A theoretical model of the application of RF energy to the airway wall and its experimental validation."** [Online]. Available : http://www.biomedical-engineering-online.com/content/9/1/81. 2010.

[7] Johari N.H., Helmi N.H.N., and Osman K. "Comparison of simplified and actual model of trachea and main bronchi in airflow simulation," **CSSR,** pp. 172-177, 2010.

[8] ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์. **ตำรากายวิภาคศาสตร์ทั่วไป.** เชียงใหม่ : พิมพ์นานา. 2555.

[9] คณาจารย์ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. **"2555 Lecture note respiratory physiology."** [Online]. Available : http://physiology.md.chula.ac.th/index. php/downloads/category/2-2556?...%E2%80%8E. 2555.

[10] คณาจารย์ภาควิชาสรีรวิทยา ศิริราชพยาบาล. **สรีรวิทยา 2.** กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2551.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[11] เลียงชัย ลิ้มล้อมวงศ์. **ปอดและการหายใจ.** กรุงเทพมหานคร : ไทยวัฒนาพานิช. 2545.

[12] Nair S. **"Human Respiratory System Function."** [Online]. Available : http://www. buzzle.com/articles/human-respiratory-system-functions.html. 2013.

[13] Darquenne C. **"Numerical and experimental investigation of aerosol transport and deposition in the human lung."** Ph.D. Thesis of University of Libre Bruxelles. 1995.

[14] นิธิพัฒน์ เจียรกุล. **ตำราโรคระบบหายใจ.** กรุงเทพมหานคร : ภาพพิมพ์. 2550.

[15] Global Initiative for Asthma. **"Pocket Guide for Asthma Management and Prevention."** [Online]. Available : www.ginaasthma.org/local/uploads /files/GINA_ Pocket 2013_ May15.pdf. 2012.

[16] Masoli M., Fabian D., Holt S., and Beasley R. "The global burden of asthma : executive summary of the GINA Dissemination Committee Report." **Blackwell Munksgard Allergy**, vol. 59, 2004. pp. 469-478.

[17] วันวิสา เสถียรพันธ์. **"กรณีศึกษาประสิทธิภาพการดูแลโรคหืดในเด็ก."** [Online]. Available : http://hpc11.go.th/information/7.1/3.9/38.pdf. 2554.

[18] ไพบูลย์ พานิชการ. **โรคหืด.** กรุงเทพมหานคร : พิฆเณศ. 2526.

[19] สุมาลี เกียรติบุศรี. **อุรเวชช์2003.** กรุงเทพมหานคร : ภาพพิมพ์. 2546.

[20] กิตติพงศ์ มณีโชติสุวรรณ. **โรคหืด : อิมมูโนวิทยาโมเลกุลและการรักษาด้วยยา.** กรุงเทพมหานคร : เอ็นพีเพรส. 2554.

[21] Noseworthy M. **"Alberta Health Services The Canadian Toracic Society 2012 guideline."** [Online]. Available : www.bcrt.ca. 2013.

[22] วัชรา บุญสวัสดิ์. **การพัฒนาระบบการดูแลโรคหืด เครือข่ายหน่วยบริการปฐมภูมิระดับอำเภอ (CUP) และโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล.** กรุงเทพมหานคร : บูเลติน. 2554.

[23] งานเภสัชสนเทศ กลุ่มงานเภสัชกรรม โรงพยาบาลมหาราช จังหวัดนครศรีธรรมราช. **"แผ่นภาพประกอบการให้ความรู้แก่ผู้ป่วยโรคหอบหืด."** [Online]. Available : http://www.mnst. go.th/dicpharmacy/INFORMATION/PDF%20asthma.pdf.

[24] ชัญชนา ตั้งวงศ์ศานต์. **"การผ่าตัดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ."** [Online]. Available : www.doctor. or. th/Clinic/detail/7355. 2550.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[25] Lindsay E. DoHarris. **"Effect of Extreme Temperature on Airway Smooth Muscle Cell Death."** M.Sc. Thesis of McMaster University. 2011.

[26] Haemmerich D. **"Biophysics of Radiofrequency Ablation."** [Online]. Available : http://academicdepartments.musc.edu/ablation/pubs/Haemmerich-CritRevBME-BiophysicsofRFablation.pdf. 2010.

[27] Tungjitkusolmun S. **"Finite Element Modeling of Radio-Frequency Cardiac and Hepatic Ablation."** Ph.D. Thesis of University of Wisconsin-Madison. 2000.

[28] Berjano E.J., Romero R., Franco W., "Radiofrequency Based Hyperthermia Therapy : A Centennial Technique Serving Modern Surgey." **SOMIB.,** vol. XXXI, no. 2, 2010. pp. 142-153.

[29] Beck M. **"New Surgery to Treat Asthma."** [Online]. Available : http://online.wsj.com/news /articles/SB10001424052748704865104575588262923189320. 2010.

[30] Vanderbilt University Medical Center. **"Vanderbilt Offers New Therapy to Help Asthma Patients Breathe Easier."** [Online]. Available : http://www.newswise.com/articles/vanderbilt-offers-new-therapy-to-help-asthma-patients-breathe-easier. 2012.

[31] Ravenscroft N. **"UK doctors begin pioneering asthma treatment."** [Online]. Available : http://www.bbc.co.uk/news/uk-13690102. 2011.

[32] Phasukkit P., Tungjitkusolmun S., and Sangworasil M., "Finite Element Analysis and invitro Experiments of Placement Configurations Using Triple Antennas in Microwave Hepatic Ablation." **IEEE Trans. Biomed. Eng.,** TBME-00164, 2009. pp. 1-9.

[33] Tungjitkusolmun S., Staelin S. T., Haemmerich D., Tsai J. Z., Webster J. G., Lee F. T., Mahvi D. M., and Vorperian V. R. "Three-Dimensional Finite-Element Analyses for Radio-Frequency Hepatic Tumor Ablation." **IEEE Trans. Biomed. Eng.,** vol. 49, no.1, 2002. pp. 3-9.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[34] Haemmerich D., Staelin S. T., Tungjitkusolmun S., Lee F. T., Mahvi D. M., and Webster J. G. "Hepatic Bipolar Radio-Frequency Ablation Between Separated Multiprong Elec trodes." **IEEE Trans. Biomed. Eng.,** vol. 48, no.10, 2001. pp. 1145-1152.

[35] Tungjitkusolmun S., Woo E. J., Tsai J. Z., Vorperian V. R., and Webster J. G. "Finite Element Analyses of Uniform Current Density Electrodes for Radio-Frequency Cardiac Ablation." **IEEE Trans. Biomed. Eng.,** vol. 47, No.1, 2001. pp. 32-40.

[36] ปราโมทย์ เดชะอำไพ. **ระเบียบวิธีเพื่อการคำนวณไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อการคำนวณพลศาสตร์ของไหล.** กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545.

[37] อัครพงศ์ วงศ์พัฒน์. "แบบจำลองการไหลใน 2 มิติของของไหลแบบมีความหนืดที่ไม่อัดตัว." **วิทยาศาสตร์ มข.,** ปีที่ 37, ฉบับที่ 4, 2552, หน้า 482-494

[38] อภินันท์ กาธรรมา. **"การใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาการกระจายอุณหภูมิในการทำลายเซลล์มะเร็งตับบริเวณใกล้เส้นเลือดขนาดใหญ่โดยคลื่นความถี่วิทยุ."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2550.

[39] อาเขต บุญทาราม. **"การวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการศึกษาการทำลายเซลล์มะเร็งในตับแบบโมโนโพลาร์และไบโพลาร์ช่วงคลื่นความถี่วิทยุ."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.

[40] ปราโมทย์ เดชะอำไพ. **ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม.** กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2555.

[41] ปราโมทย์ เดชะอำไพ, สุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพาณิช. **ไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างง่ายพร้อมซอฟแวร์.** กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548.

[42] สุรสิทธิ์ ปิยะศิลป์. "การประยุกต์ใช้งานของระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ในวิศวกรรมการแพทย์." **วารสารศูนย์วิชาการ,** ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, มกราคม-มีนาคม 2546. หน้า 55-57

[43] ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ. **"การออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศสำหรับทำลายเซลล์มะเร็งตับเฉพาะจุดด้วยคลื่นไมโครเวฟโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2552.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[44] Boston Scientific Corporation. **"The Alair™ System."** [Online]. Available : http:// www.btforasthma.com/physician-resources/the-alair-system. 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.