

บทที่ 4

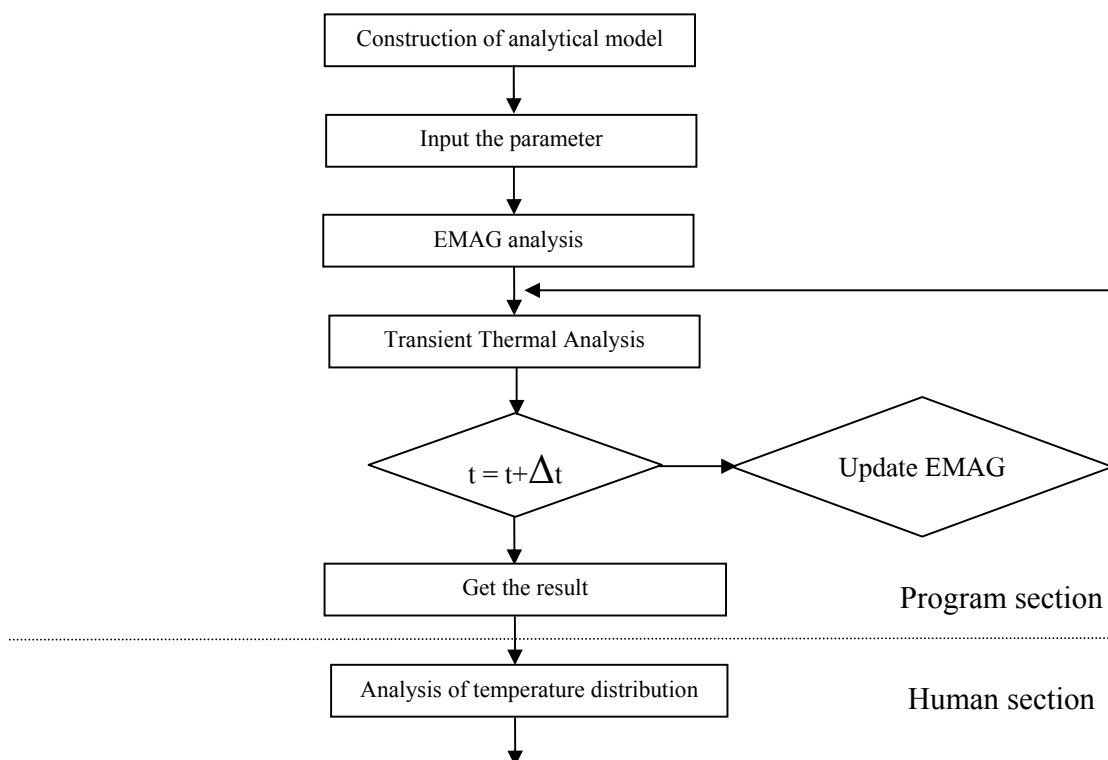
หลักการและวิธีการทดลอง

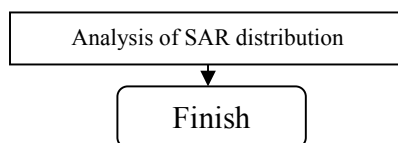
4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและวิธีการที่ใช้ในการทดลองทางไฟฟ้าในดัดแปลงของสายอากาศแบบโมโนโพล ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล เงื่อนไขที่ใช้ในการจำลอง คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการจำลอง การเมชเอลิเมนต์ และวิธีการทางไฟฟ้าในดัดแปลงด้วยโปรแกรม คอมโซล (COMSOL multiphysics)

4.2 หลักการวิเคราะห์

งานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้โปรแกรมคอมโซลเพื่อทำการวิเคราะห์การส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศแบบโคแอกเชียลทั้งสามแบบไปยังเนื้อเยื่อปอด โดยมีหลักการวิเคราะห์ดังนี้หลังจากที่กล่าวถึงองค์ประกอบทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ไปแล้วในตอนต้น ต่อไปจะเป็นการแสดงถึงขั้นตอนทั้งหมดในการนำโปรแกรม COMSOL ไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา





รูปที่ 4.1 โฟว์ชาตแสดงถึงขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา

จากรูปเป็นกระบวนการในการวิเคราะห์ปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้ซึ่งปัญหาที่ทดลองเป็นปัญหาทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและปัญหาทางด้านความร้อนซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามเวลา ฉะนั้นเมื่อเราทำการคำนวณปัญหาจึงต้องมีการอัปเดตปัญหาอยู่เสมอเพื่อหาผลลัพธ์เวลานั้นๆจนกระทั่งครบเวลาที่เราตั้งไว้จึงเสร็จสิ้นการวิเคราะห์ปัญหาอย่างสมบูรณ์ จึงวนออกจากลูปและทำการเก็บผลมาแสดงผลและตีความผลที่ได้

4.3 เงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการแก้ปัญหา

4.3.1 เงื่อนไขทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

1. โหมดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางในสายโคแอกเซียลใช้เป็นโหมด Transverse Electric Mode: TEM (สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่น)
2. กำลังที่จ่ายให้กับสายอากาศอยู่ในช่วงแตกต่างตามชนิดของสายอากาศ
3. เงื่อนไขขอบเขตของตัวนำไฟฟ้า
 - มีสนามไฟฟ้าเฉพาะในทิศทางตั้งฉากกับผิวตัวนำเท่านั้น
 - สนามแม่เหล็กมีเฉพาะในทิศทางขนานกับพื้นผิวของตัวนำเท่านั้น
4. อุณหภูมิเริ่มต้นที่เนื้อเยื่อปอดอยู่เริ่มที่ 37 °C

4.3.2 เงื่อนไขปัญหาทางด้านความร้อน

เงื่อนไขปัญหาทางด้านความร้อน สนามไฟฟ้าที่ได้จากเงื่อนไขขอบเขตทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกนำมาเป็นอินพุตของเงื่อนไขปัญหาทางด้านความร้อน นั่นคือความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อจะมาจากสนามไฟฟ้าซึ่งเป็นไปตามสมการ (2.90)

4.4 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดลอง

1. COM-SOL version 3.3a, Inc. I New England Executive Park Suite 350
2. PC with Intel Pentium® D(Duo Core), Main memory 4 GB, and 80 GB of Hard disk

4.5 สายอากาศโคแอกเซียล(Coaxial Line)

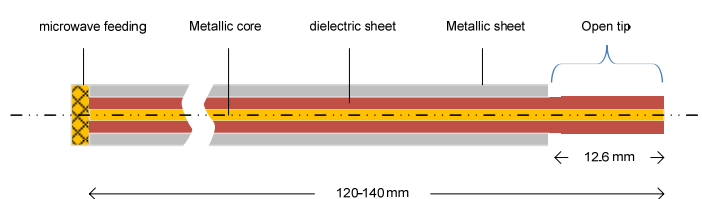
สายโคแอกเซียลมีการพัฒนาในเรื่องการลดการสูญเสียพลังงานในการเคลื่อนที่ของคลื่นจากโครงสร้างการติดตั้งของสายที่เป็นตัวนำทรงกระบอกหุ้มรอบแกนตัวนำด้านใน แต่ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากจนวนไดอิเล็กตริกภายในและปรากฏการณ์ความลึกผิวอยู่ดี

ท่อนำคลื่นหรือเวฟไกด์จัดเป็นสายส่งย่านความถี่ไมโครเวฟหรือเป็นท่อนำคลื่นในย่านความถี่สูงที่ดีที่สุดสำหรับโครงสร้างทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้ว ท่อนำคลื่นที่ใช้งานได้มีการออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบที่แตกต่างกันไปตามความเหมาะสมกับย่านความถี่ที่ใช้งาน แต่เนื่องจากคลื่นเดินทางท่อนำคลื่นทั้งป้อนั้นไม่อาจจะเป็นเพียงแค่อิมพีแดนซ์ TEM บริสุทธิ์เท่านั้นแต่มีโหมดการเคลื่อนที่แบบอื่นๆอีกที่สามารถเคลื่อนที่อยู่ในท่อนำคลื่นนั้นๆได้ ดังนั้นการวิเคราะห์คลื่นบนท่อนำคลื่นจะต้องคำนึงถึงโหมดการเดินทางของคลื่นโหมดอื่นๆที่สามารถจะเป็นไปได้คือโหมด TM กับ TE

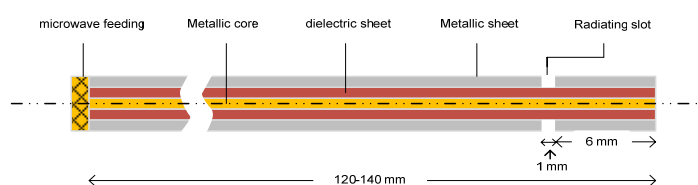
สายโคแอกเซียลประกอบด้วยตัวนำในซึ่งถูกหุ้มด้วยไดอิเล็กตริกและตัวนำนอกตามลำดับ คลื่นแม่เหล็กจะเดินทางในไดอิเล็กตริกโดยตัวนำนอกจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดการแผ่รังสีทำให้ไม่เกิดการสูญเสียพลังงานเมื่อคลื่นเดินทางผ่านสายโคแอกเซียล โดยความเข้มของสนามไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ระหว่างตัวนำในและตัวนำนอกและระยะห่างระหว่างตัวนำทั้งสอง ส่วนความเข้มของสนามแม่เหล็กจะขึ้นกับกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ ซึ่งการส่งคลื่นแม่เหล็กในงานวิจัยฉบับนี้ใช้เป็นโหมด TEM

4.6 รูปแบบของสายอากาศที่ใช้ในการจำลอง

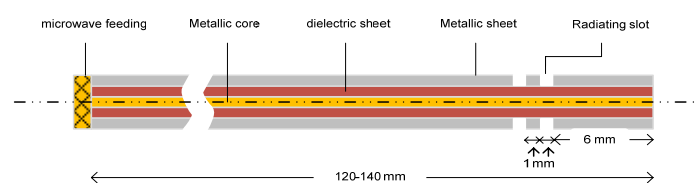
สายอากาศที่ใช้ในการทดลองเป็นสายอากาศแบบ โคแอกเซียล ซึ่งในการทดลองเราใช้ทั้งหมดสามแบบด้วยกัน คือ สายอากาศชนิดปลายเปิด(Open Tip Coaxial Antenna:OTCA), สายอากาศชนิดหนึ่งสล็อต(One Slot Coaxial Antenna:OSCA), และ สายอากาศชนิดสองสล็อต(Two Slot Coaxial Antenna:TSCA) โดยโครงสร้างและขนาดทางกายภาพถูกแสดงไว้ดังรูปที่



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของสายอากาศโคแอกเซียลที่ใช้ในการทดลอง

(ก) Open Tip Antenna:OTCA (ข) One-Slot Coaxial Antenna:OSCA (ค) Two-Slot Coaxial Antenna:TSCA

4.7 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

ค่าพารามิเตอร์ซึ่งใช้ในการทดลองจะถูกแบ่งออกเป็น พารามิเตอร์ของสายอากาศและของเนื้อเยื่อ โดยค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแสดงดังตารางที่ 4.1 โดยแต่ละส่วนดูได้จากหัวข้อที่ 4.6 โดยตารางนี้จะแสดงขนาดของสายอากาศที่ใช้ในการจำลองซึ่งอ้างอิงมาจากสายอากาศจริงโดยตัวนำจะกำหนดให้เป็นตัวนำ ค่าพารามิเตอร์ของเนื้อเยื่อที่ใช้จะเป็นค่าที่ถูกใช้ที่ความถี่ 2.45 GHz ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าคุณสมบัติของสายอากาศ

Dimension of the antenna[mm]		
Metallic sheet	Dielectric sheet	Metallic core
0.5mm	1mm	1mm
ϵ_r (Relative permittivity o the inner dielectric)		2.03
ϵ_r (Relative permittivity of the catheter)		2.6
Metallic sheet and Metallic core		PEC*

* PEC = Perfect Electric Conductor

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเนื้อเยื่อ[19]-[21]

Electrical and Thermal properties of the media	Deflated Lung	Inflated Lung
Thermal conductivity [W/m · K]	0.316	
Relative permittivity	48.380	20.477
Conductivity [S/m]	1.682	0.804
Density [kg/m ³]	260	
Specific heat [J/kg · K]	2000	
Blood flow rate [m ³ /kg · s]	6.4x10 ⁻⁶	
Density of the blood [kg/m ³]	1000	
Specific heat of blood [J/kg · K]	4180	

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่า VSWR ของแต่ละสายอากาศวัดในเนื้อเยื่อปอดแบบ *in vitro*

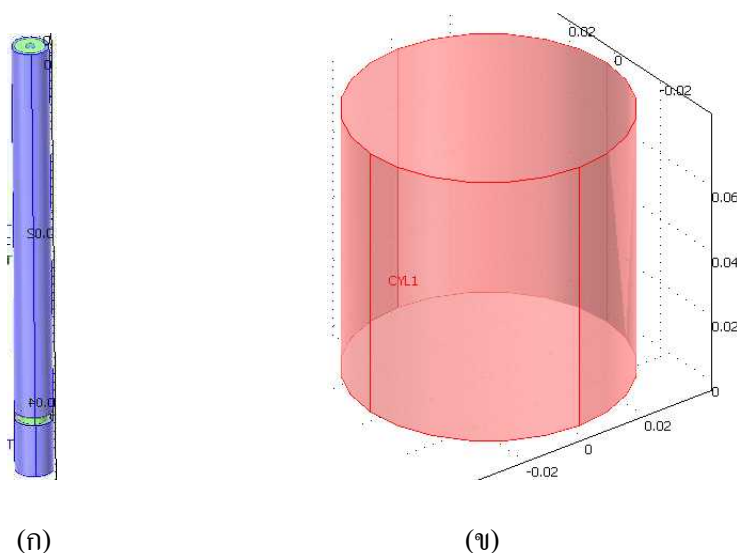
Coaxial 1 Slot	VSWR = 1.3 : 1
Coaxial 2 Slot	VSWR = 1.4 : 1
Open-tip	VSWR = 1.2 : 1

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) ซึ่งบอกถึงความเมทซิ่งกันระหว่างสายอากาศกับเนื้อเยื่อทดสอบ โดยถ้าค่า VSWR มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงเมทซิ่งสมบูรณ์ นั่นคือคลื่นที่เดินทางผ่านสายอากาศไม่มีการสะท้อนกลับของสัญญาณ สัญญาณสามารถส่งผ่านไปยังเนื้อเยื่อได้ร้อยเปอร์เซ็นต์ โดยค่า VSWR วัดโดยเครื่อง Bird Site Analyzer

4.8 วิธีการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม COMSOL

1. สร้างแบบจำลองของสายอากาศตามพารามิเตอร์ข้างบน

เราทำการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์สร้างแบบจำลองสายอากาศและเนื้อเยื่อทรงกระบอกตามรูป โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศตามหัวข้อ 4.6 และ 4.7

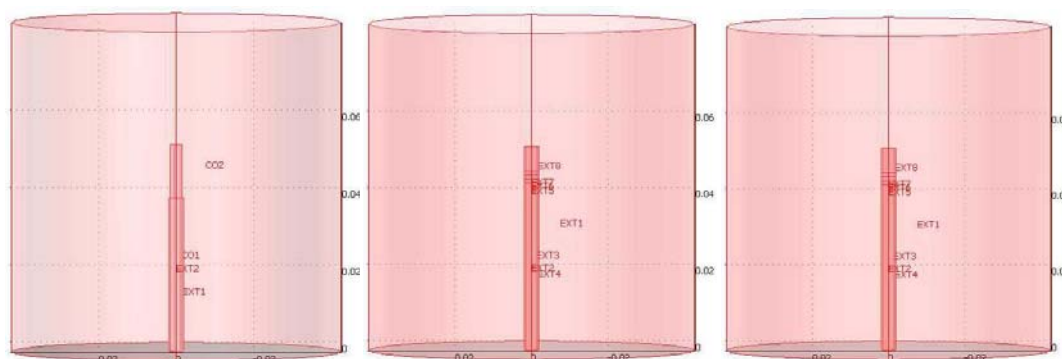


รูปที่ 4.3 แสดงแบบจำลองของสายอากาศแบบหนึ่งสล็อตและเนื้อเยื่อทรงกระบอก

รูปที่ 4.3(ก) เป็นตัวอย่างแบบจำลองสายอากาศชนิดหนึ่งสล็อตและรูป 4.2(ข) เป็นแบบจำลองเนื้อเยื่อทรงกระบอกซึ่งมีความยาว 80 mm และมีความกว้าง 40 mm

2. รวมสายอากาศและเนื้อเยื่อเข้าด้วยกัน

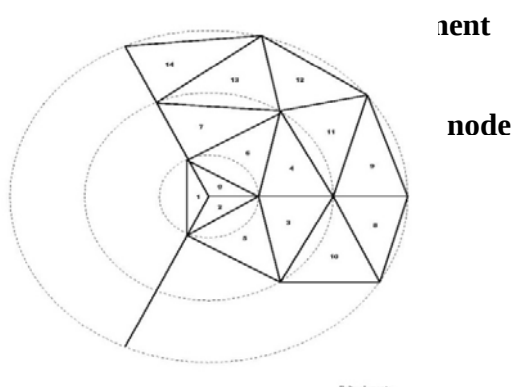
หลังจากเราได้แบบจำลองของสายอากาศในเนื้อเยื่อปอด จากนั้นเราจึงทำการเมชแบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ไฟฟ้าในองค์ประกอบ



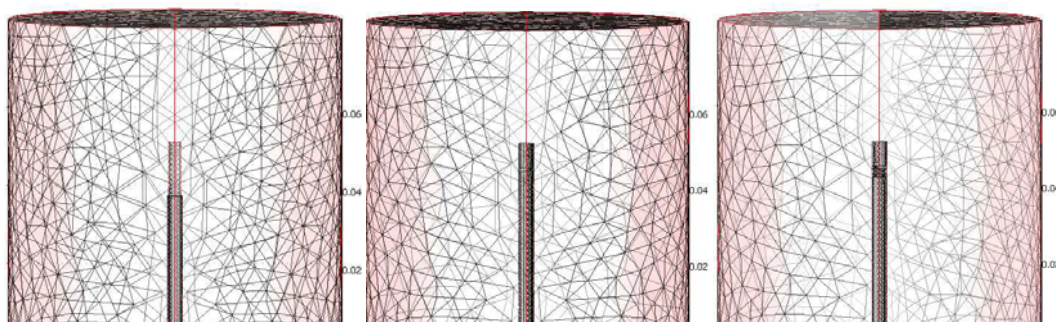
รูปที่ 4.4 แสดงโครงสร้างแบบจำลองของสายอากาศ ปลายเปิด หนึ่งสล็อต และสองสล็อต

2. กำหนดจำนวนเมชให้เหมาะกับองค์ประกอบแต่ละส่วน

ในการเมชแบบจำลองในงานวิจัยนี้เราจะดูว่าโครงสร้างไหนรายละเอียดมากน้อยแค่ไหน โดยยิ่งแบบจำลองมีรายละเอียดมากจำนวนเมชก็จะยิ่งมากตาม โดยรูปที่ 4.5(ก) แสดงลักษณะของเมช ซึ่งเป็นเมชแบบสามเหลี่ยมแทนด้วย element และแต่ละจุดต่อซึ่งจะทำหน้าที่บรรจุสมการที่ใช้ในการคำนวณจะแทนด้วย node โดยรูปที่ 4.5(ข) จะเป็นผลลัพธ์ของการเมชแบบจำลองสายอากาศในเนื้อเยื่อ



(ก)



(๗)

รูปที่ 4.5 แสดงการเมชแบบจำลองสายอากาศทั้งสามแบบในเนื้อเยื่อ

รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงจำนวนของโหนด จำนวนเอลิเมนต์ คุณภาพของเอลิเมนต์ จำนวนอัตราส่วนปริมาตรของเอลิเมนต์ ซึ่งแตกต่างกันไปตามสายอากาศแต่ละแบบ

Global	Subdomain	Boundary	Edge	Point
Extended mesh:				
Number of degrees of freedom: 279970				
Base mesh:				
Number of mesh points: 6658				
Number of elements: 36711				
Tetrahedral: 36711				
Prism: 0				
Hexahedral: 0				
Number of boundary elements: 5224				
Triangular: 5224				
Quadrilateral: 0				
Number of edge elements: 646				
Number of vertex elements: 36				
Minimum element quality: 0.1036				
Element volume ratio: 1.09E-4				
OK Help				

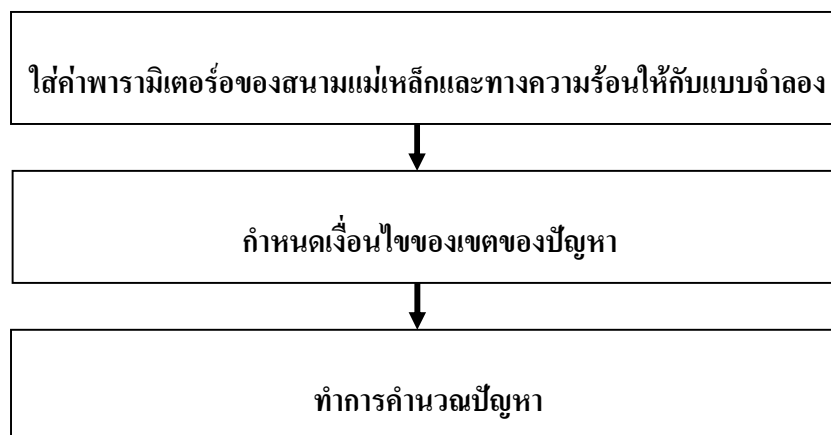
Global	Subdomain	Boundary	Edge	Point
Extended mesh:				
Number of degrees of freedom: 207635				
Base mesh:				
Number of mesh points: 7510				
Number of elements: 41935				
Tetrahedral: 41935				
Prism: 0				
Hexahedral: 0				
Number of boundary elements: 6300				
Triangular: 6300				
Quadrilateral: 0				
Number of edge elements: 748				
Number of vertex elements: 40				
Minimum element quality: 0.1077				
Element volume ratio: 1.09E-4				
OK Help				

Global	Subdomain	Boundary	Edge	Point
Extended mesh:				
Number of degrees of freedom: 203203				
Base mesh:				
Number of mesh points: 7383				
Number of elements: 41142				
Tetrahedral: 41142				
Prism: 0				
Hexahedral: 0				
Number of boundary elements: 6260				
Triangular: 6260				
Quadrilateral: 0				
Number of edge elements: 805				
Number of vertex elements: 64				
Minimum element quality: 0.1039				
Element volume ratio: 0.30E-5				
OK Help				

รูปที่ 4.6 แสดงค่าพารามิเตอร์ของเมช

3. ทำการคำนวณปัญหา

จากนั้นทำการใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆลงในสมการความร้อนและสมการสนามแม่เหล็กทำการกำหนดเงื่อนไขของเขตให้กับสายอากาศและเนื้อเยื่อ



รูปที่ 4.7 แผนภาพการคำนวณวิเคราะห์ปัญหา

โดยกระบวนการนี้หัวใจของการแก้ปัญหาคือเงื่อนไขขอบเขตเป็นสำคัญว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางในสายอากาศโคเอกเซียลอย่างไร เราควรจะกำหนดปัญหาขอบระหว่างไดซ์ันไดอิเล็กตริกและเนื้อเยื่ออย่างไร เพราะถ้ากำหนดผิดเพียงนิดเดียวก็จะทำให้ผลที่ออกมาไม่เป็นไปในทางที่ต้องการ และปัญหาอีกอย่างหนึ่งก็คือ ปัญหาทางด้านความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อ การกำหนดค่ากำลังงานที่ใส่เข้าไปในสายอากาศ การใส่ค่าพารามิเตอร์ให้กับสมการที่ใช้ในการคำนวณปัญหาก็จำเป็นจะต้องใส่ให้ครบและถูกต้องมากที่สุดเพื่อให้ผลที่ได้มีความเที่ยงตรงและสมบูรณ์ที่สุด