

การวิเคราะห์ค่าความเครียดสนามไฟฟ้า จากชุดอิเล็กโทรดสร้างก๊าซโอโซนสำหรับห้องปลอดเชื้อ

Analysis of Electric Field Stress from the Ozone-Generating Electrode Set for Sterile Rooms

ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว

Supawud Nedphokaew

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2567



การวิเคราะห์ค่าความเครียดสนามไฟฟ้า จากชุดอิเล็กโทรดสร้างก๊าซโอโซนสำหรับห้องปลอดเชื้อ

Analysis of Electric Field Stress from the Ozone-Generating Electrode Set for Sterile Rooms

ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว

Supawud Nedphokaew

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าจากชุดอิเล็กโทรดสร้างก๊าซโอโซนสำหรับห้องปลอดเชื้อ
ชื่อ นามสกุล	ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว
ชื่อปริญญา	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนศรี วรรณการ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ สุดคนึง)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนศรี วรรณการ)

..... กรรมการและเลขานุการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ)
วันที่ 28 เดือน กันยายน พ.ศ. 2567

ชื่อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าจากชุดอิเล็กโทรดสร้างก๊าซโอโซนสำหรับห้องปลอดเชื้อ
ชื่อ นามสกุล ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว
ชื่อปริญญา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
สาขาวิชา และคณะ วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2567

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบอิเล็กโทรดในสนามไฟฟ้าเคมีแรงดันสูงในรูปแบบของการกระจายสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอสูง เพื่อหาจุดที่เหมาะสมและที่มาของการสร้างเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนที่ใช้เป็นคุณสมบัติที่ดีในการเกิดปฏิกิริยาเคมีจากคุณสมบัติทางเคมีของก๊าซโอโซนที่มีความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคทั้งในน้ำและอากาศ ประกอบกับความจริงที่ว่าก๊าซโอโซนไม่ใช้สารเคมีและสามารถย่อยสลายได้ภายใน 20 นาทีและไม่ทิ้งสารตกค้างในน้ำและในสภาพอากาศ ในการวิจัยนี้ จะมีการตรวจสอบประสิทธิภาพและความเหมาะสมของประเภทอิเล็กโทรดที่ใช้เป็นชุดเครื่องกำเนิดโอโซน และจะนำไปสู่การเปรียบเทียบการออกแบบอิเล็กโทรดต่างๆ ผลลัพธ์ได้รับการวิเคราะห์โดยทางโปรแกรมเพื่อกำหนดการเปรียบเทียบที่เป็นไปได้กับการออกแบบอิเล็กโทรดสร้างโอโซนที่มีประสิทธิภาพ การวิจัยระบุสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในแต่ละชุดอิเล็กโทรดเพื่อกำหนดความสามารถในการปรับปริมาณโอโซนให้เหมาะสม

คำสำคัญ : เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน, สนามไฟฟ้า, อิเล็กโทรดสร้างสนามไฟฟ้า

Thesis Title Analysis of Electric Field Stress from the Ozone-Generating Electrode Set for Sterile Rooms
Author Supawud Nedphokaew
Degree Doctor of Philosophy (Electrical Engineering)
Major Program Electrical Engineering Faculty of Engineering
Academic Year 2024

ABSTRACT

This thesis presents an electrode design for a high-voltage electrochemical field in a form of highly non-uniform electric field distribution. The objective is to identify optimal point and origin for creating an ozone generator, leveraging the advantageous properties of ozone in chemical reactions due to its ability to disinfect both water and air. Additionally, ozone is beneficial because it does not involve chemicals, can decompose within 20 minutes, and leaves no residues in water or the atmosphere. This research investigates the efficiency and suitability of various electrode types used in ozone generator systems, leading to a comparison of different electrode designs. The results were analyzed using software program to determine potential comparisons with efficient ozone-generating electrode designs. The reserch also identifies the electric fields generated in each set of electrodes to determine the ability to adjust ozone quantity appropriately.

Keywords : Ozone Generator, Electric Field, Electric Field-Generating Electrode

กิตติกรรมประกาศ

การเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาและเมตตาจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ เป็นอย่างยิ่งที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และได้ให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการเขียนงานฉบับนี้ด้วยความเต็มใจ รวมทั้งได้ช่วยตรวจแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่าน ศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ารับเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ดียิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ สุดคนึง รองศาสตราจารย์ ดร.สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนศรี วรรณการ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้ชี้แนะกรณีปัญหาที่ควรทำการศึกษารวมถึงข้อมูลที่ควรเพิ่มเติมลงไปในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากขึ้น ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ได้คอยให้การสนับสนุนด้านต่างๆ และได้ให้กำลังใจต่อการศึกษาของผู้เขียนเป็นอย่างดี ขอขอบคุณทุกคนในครอบครอบครัวที่คอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณบุคคลท่านอื่นๆ ที่มิได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้ ซึ่งได้มีส่วนร่วมในการวิจัยและเขียนงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วย สุดท้ายนี้คุณค่าและความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอมอบให้แก่บิดา มารดา ครูบา-อาจารย์ และบุคคลที่ช่วยเหลือให้งานนี้สมบูรณ์ทุกท่าน และหากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่อง ประการใดผู้เขียนขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว และขออภัยมา ณ โอกาสนี้

ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานการวิจัย	6
1.6 ตารางแผนการดำเนินงานการวิจัย	6
1.7 นิยามศัพท์	6
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 สนามไฟฟ้า	7
2.2 โคโรนา (CORONA)	10
2.3 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์เบื้องต้น	12
2.4 โปรแกรม COMSOL Multiphysics	17
3. วิธีดำเนินการ	18
3.1 สร้างชิ้นงานจำลอง	18
3.2 วิเคราะห์ชิ้นงานด้วยโปรแกรม	20
3.3 สร้างชิ้นงานจริง	28
3.4 ทดสอบชิ้นงาน	35
4. ผลการดำเนินงาน	38
4.1 การคำนวณณหาปริมาณโอโซนด้วยวิธีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5. สรุปผล และข้อเสนอแนะ	42
5.1 สรุป	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก ก การดำเนินโครงงาน	48
ภาคผนวก ข ข้อมูลเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ BioDrop	56
ภาคผนวด ค ผลงานวิจัยผ่านการตอบรับให้ตีพิมพ์ผลงานในวารสารระดับนานาชาติ	63
- GMSARN Journal ฐานข้อมูล Scopus (Q4)	
- 5 th International Conference on Power and Embedded Drive Control (ICPEDC-2024) Organized by the Department of Electronics Engineering, SSN College of Engineering during 17th and 18th January 2024.	
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	82

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขอมูลปริมาณการใชโอโซนในการฆ่าเชื้อในอากาศในลักษณะตางๆ	4
1.2 แผนการดำเนินงานวิจัย	6
4.1 ผลการทดสอบอิเล็กโทรดที่มีค่าไดอิเล็กทริกหนา 1 มิลลิเมตร	38
4.2 ผลการทดสอบอิเล็กโทรดที่มีค่าไดอิเล็กทริกหนา 2 มิลลิเมตร	39
4.3 ผลการทดสอบอิเล็กโทรดที่มีค่าไดอิเล็กทริกหนา 2.5 มิลลิเมตร	39
4.4 ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนและระยะเวลาในการยับยั้งไวรัส 90%	41
ก.1 ข้อมูลหม้อแปลงนีออน	55

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 การเกิดก๊าซโอโซนและการกำจัดมลภาวะ [4]	1
2.1 เส้นสนามไฟฟ้าและเส้นศักย์เท่าของอิเล็กโตรดทรงกลม [1]	8
2.2 การกระจายของสนามไฟฟ้า [2]	8
2.3 การเปรียบเทียบแรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ในไดอิเล็กตริกตามลักษณะทางไฟฟ้า [2]	9
2.4 อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่างๆกัน I.สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ II.สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ III.สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง [2]	10
2.5 สนามไฟฟ้ากระจายเปรียบเทียบของอิเล็กโทรดลักษณะต่างๆ [2]	10
2.6 การเกิดโคโรน่า [2]	11
2.7 ลักษณะการแบ่งเอลิเมนต์ [1]	12
2.8 การแบ่งเอลิเมนต์แบบต่างๆ ภายในวัสดุ [1]	14
2.9 ตัวอย่างเอลิเมนต์แบบ 1 และ 2 มิติ [1]	16
2.10 ตัวอย่างเอลิเมนต์แบบ 3 มิติ [1]	16
3.1 แบบจำลอง 2 มิติของชิ้นงาน	18
3.2 แบบของชิ้นงานที่มีค่าไดอิเล็กทริกหนา 1mm. ไดเมนชั่นที่เป็นเส้นประคือความหนาของหลอดแก้ว ไดเมนชั่นสีชมพูคือความกว้างของช่องอากาศ	19
3.3 แบบของชิ้นงานที่ค่าไดอิเล็กทริกหนา 2mm. ไดเมนชั่นที่เป็นเส้นประคือความหนาของหลอดแก้ว ไดเมนชั่นสีชมพูคือความกว้างของช่องอากาศ	19
3.4 แบบของชิ้นงานที่ค่าไดอิเล็กทริกหนา 2.5mm. ไดเมนชั่นที่เป็นเส้นประคือความหนาของหลอดแก้ว ไดเมนชั่นสีชมพูคือความกว้างของช่องอากาศ	19
3.5 เมื่อเข้าโปรแกรมจะมี Model Wizard และ Blank Model	20
3.6 เมื่อเลือก Model Wizard ก็จะมี Space Dimension ให้เลือกในโครงงานนี้จะเลือกใช้ Space Dimension 2D	20
3.7 เมื่อเลือก Space Dimension แล้วก็เลือกรูปแบบPhysicที่ต้องการวิเคราะห์	21
3.8 หน้าตาของโปรแกรมที่อยู่ในสถานะพร้อมทำการวิเคราะห์	21
3.9 นำเข้าชิ้นงาน คลิกขวาที่ Geometry 1 แล้วเลือก Import	22
3.10 คลิกที่ปุ่ม Browse.. เพื่อทำการนำเข้าชิ้นงาน โดยไฟล์ที่นำเข้ามาต้องเป็นไฟล์นามสกุล DXF จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Import	22

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.11	แสดงให้เห็นชิ้นงานหลังจาก Import เข้ามาในโปรแกรม	23
3.12	กำหนดชนิดของวัสดุ โดยการคลิกขวาที่ Materials แล้วเลือก Browse Material	23
3.13	แสดงการเลือกวัสดุที่ต้องการโดยคลิกที่ Built-in เลือกวัสดุที่ต้องการ แล้วคลิกที่ Done ในขั้นตอนถัดไปเป็นการกำหนดประเภทของวัสดุในแต่ละส่วนของชิ้นงาน	24
3.14	แสดงส่วนวัสดุที่เป็นเหล็ก	24
3.15	แสดงส่วนที่เป็นอากาศ	25
3.16	แสดงส่วนวัสดุที่เป็นแก้ว	25
3.17	แสดงส่วนวัสดุที่เป็นท่อสแตนเลส	26
3.18	แสดงส่วนวัสดุที่เป็นเทฟล่อน	26
3.19	การกำหนดแรงดัน Electric potential โดยกำหนดให้มีแรงดัน 15,000 V (15kV) จากนั้นก็ทำการประมวลผลออกมา โดยไปที่ Home แล้วกด Compute	27
3.20	ผลเฉลยที่คำนวณได้จากซ้ายไปขวา (ความหนาหลอดแก้ว 1mm. 2mm. และ 2.5mm.) แถบข้างขวาบ่งบอกสีแดง คือ ค่า max และสีน้ำเงิน คือ ค่า min (Electric potential)	27
3.21	ผลเฉลยที่คำนวณได้จากซ้ายไปขวา (ความหนาหลอดแก้ว 1mm. 2mm. และ 2.5mm.) แถบข้างขวาบ่งบอกสีแดง คือ ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูง และสีน้ำเงิน คือ ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำ (Electric Field)	28
3.22	หลอดแก้ว 3 ขนาดความหนา (1mm., 2mm. และ 2.5mm.)	28
3.23	แปรงลวดเหล็ก	29
3.24	แท่งเทฟล่อนสำหรับทำฝาปิด	29
3.25	ท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว จำนวน 3 ชิ้น	30
3.26	หม้อแปลงนีออน	30
3.27	ท่อซิลิโคนขนาด 6 มิลลิเมตร ยาว 1 เมตร	30
3.28	สายไฟทนแรงดัน	31
3.29	ปั๊มลม	31
3.30	แบบสำหรับใช้กลึงเทฟล่อนเพื่อนำมาสวมเข้ากับท่อสแตนเลสและหลอดแก้ว	32

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.31	ท่อสแตนเลสที่นำไปเชื่อมหมุดเพื่อติดตั้ง Ground	32
3.32	เทฟล่อนที่ผ่านการกลึงเสร็จเรียบร้อยแล้วถูกนำมาประกอบเข้ากันทั้ง 2 ด้าน	33
3.33	ต่อสายไฟกับอิเล็กโทรดแปรงลวด	33
3.34	ติดกาวและบัดกรีสายไฟเข้ากับแปรงลวด	34
3.35	ลักษณะของชิ้นงานที่ประกอบเสร็จ	34
3.36	วงจรที่ใช้ในการทดสอบ	35
3.37	ต่อวงจรทดสอบ	35
3.38	ทดสอบชิ้นงานโดยป้อนแรงดันไฟฟ้าและต่อเข้าปั๊มลม	36
3.39	เก็บตัวอย่างโอโซนจากชิ้นงาน ณ วันที่ 16 กันยายน พ.ศ.2566 อุณหภูมิสูงสุด 32°c และอุณหภูมิต่ำสุด 26°c	36
3.40	การวัดปริมาณโอโซนด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยการนำตัวอย่างน้ำกลั่นที่ผ่านการพ่นก๊าซโอโซนมาบรรจุในคิวเวทท์ แล้วนำมาใส่ในช่องทดสอบเพื่อวัดค่าการดูดกลืนของแสง	37
3.41	จอแสดงผลของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ช่องที่ขีดเส้นสีแดงคือช่วงความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นนาโนเมตร(nm.) ช่องที่ขีดเส้นสีเขียวคือความเข้มข้นของโอโซนมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร(mg./ml.)	37
4.1	กราฟแสดงปริมาณโอโซนที่ผลิตออกมาในแต่ละแรงดันของอิเล็กโทรดที่มีค่าไดอิเล็กทริกหนา 1 มิลลิเมตร	40
4.2	กราฟแสดงปริมาณโอโซนที่ผลิตออกมาในแต่ละแรงดันของอิเล็กโทรดที่มีค่าไดอิเล็กทริกหนา 2 มิลลิเมตร	40
4.3	กราฟแสดงปริมาณโอโซนที่ผลิตออกมาในแต่ละแรงดันอิเล็กโทรดที่มีค่าไดอิเล็กทริกหนา 2.5 มิลลิเมตร	41
ก.1	การสร้างชิ้นงานจำลองใน AutoCAD	49
ก.2	ชิ้นงานหลังจากนำเข้ามายังโปรแกรม COMSOL	49
ก.3	แสดงการแบ่งประเภทวัสดุในแต่ละส่วนของชิ้นงาน	50
ก.4	แสดงการแบ่งประเภทวัสดุในแต่ละส่วนของชิ้นงาน	51
ก.5	การกำหนดแรงดัน	51
ก.6	ผลเฉลยที่คำนวณได้ (Electric potential)	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก.7 ผลเฉลยที่คำนวณได้ (Electric Field)	52
ก.8 การต่อวงจรทดสอบ	53
ก.9 การทดสอบชิ้นงานโดยป้อนแรงดันไฟฟ้าและต่อเข้าปั๊มลม	53
ก.10 การเก็บตัวอย่างโอโซนจากชิ้นงาน ณ วันที่ 16 กันยายน พ.ศ.2566 อุณหภูมิสูงสุด 32°c และอุณหภูมิต่ำสุด 26°c	54
ก.11 การวัดปริมาณโอโซนด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	54
ก.12 จอแสดงผลของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	55
ข.1 BioDrop Duo+ dsDNA	57
ข.2 Material and Methods	58
ข.3 Results	59
ข.4 Reproducibility and Minimal Carry Over Between Samples, Minimum Volume Sampling	60
ข.5 Typical Methods Requiring Micro-volume Measurements, Resolution Software	61
ข.6 On-Board Software	62

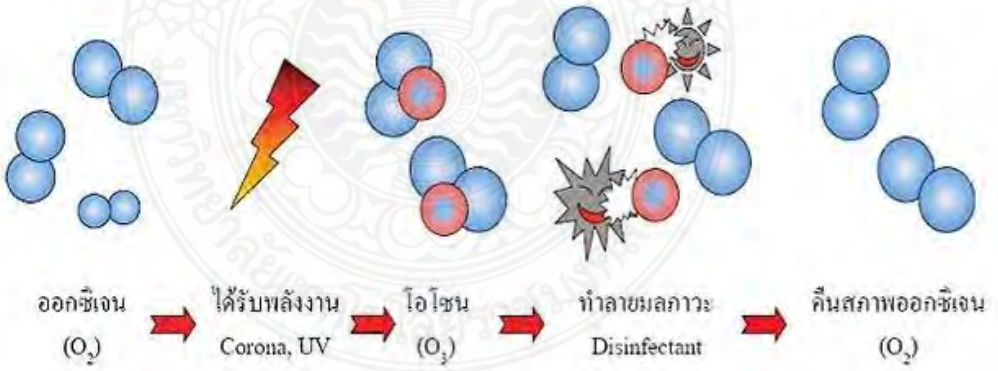
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวิเคราะห์ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าจากชุดอิเล็กโทรดสร้างก๊าซโอโซนเพื่อใช้สำหรับฆ่าเชื้อโรค จัดทำขึ้นเพื่อแสดงถึงการสร้างก๊าซโอโซน โดยเน้นการนำคุณสมบัติทางเคมีของก๊าซโอโซนจากหลักการสร้างชุดอิเล็กโทรดที่ป้อนแรงดันสูงมาใช้ในการทำลายเชื้อโรคต่าง ๆ

1.1.1 คุณสมบัติของก๊าซโอโซน [3]

โอโซนจัดเป็นตัวออกซิไดส์ (oxidizing agent) ที่แรงที่สุดที่อนุญาตให้นำมาใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน โดยมีฤทธิ์สูงกว่าก๊าซคลอรีนถึง 51% และมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้เร็วกว่า 3.125 เท่าตัว (ภาพที่ 1.1) สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในเยื่อเมมเบรนของแบคทีเรียเมื่อทำปฏิกิริยากับโอโซนทำ ให้ผนังเซลล์อ่อนแอและแตกออก ทำให้เซลล์ตาย โอโซนสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ ส่วนใหญ่รวมทั้งสารอนินทรีย์ ทำให้เกิดการแตกตัวและสลายตัวในกระบวนการสลายตัวทางชีวภาพได้ง่าย สารอินทรีย์บางชนิดทำปฏิกิริยากับโอโซนอย่างสมบูรณ์ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โอโซนสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส สปอร์ ราเมือก ราน้ำค้าง เชื้อราอะมีบา และเชื้อที่อยู่ ในรูปของถุงน้ำ ตามปริมาณความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้ต่างกัน



ภาพที่ 1.1 การเกิดก๊าซโอโซนและการกำจัดมลภาวะ [4]

มีการจำแนกโอโซนเป็น Oxidizing Biocide ใน L8 มีรายงานผลการทดสอบอย่างเป็นทางการของ Department of Environment ในคุณสมบัติที่เป็นไบโอไซด์ (Biocides) โดยไม่มีความจำเป็น ในการใช้สารไบโอไซด์ชนิดอื่น ๆ มาประกอบการใช้มีการใช้ประโยชน์โอโซนในการกำจัดเชื้อโรคในน้ำที่นำมาใช้ประโยชน์เพื่อการบริโภคมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2447 ในปัจจุบันยังมีการเทคโนโลยีเครื่องผลิตโอโซนมาใช้ประโยชน์ในวัตถุประสงค์เดียวกันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในการกำจัดคราบแบคทีเรียและ อะมีบาในระบบทำความเย็นด้วยน้ำ ทั้งนี้มีการควบคุมปริมาณและความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้ ในสภาพแวดล้อมต่างๆขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ อุณหภูมิ และอัตราการหมุนเวียนของน้ำในระบบ

1.1.2 อันตรายของโอโซน [4]

โอโซนจัดเป็นก๊าซพิษ การมีปริมาณโอโซนสูงมากผิดปกติในบาง พื้นที่น่าจะเป็นผลเสียต่อสุขภาพมากกว่าที่จะเป็นผลดี มีการกำหนดเกณฑ์ปริมาณความเข้มข้นสูงสุดที่ได้รับโดยเฉลี่ยไม่เกิน 0.1 ppm ในช่วงระยะเวลาของการทำงานนาน 8 ชั่วโมง อันตรายจากการได้รับโอโซนเป็นประจำอาจจะเป็นอันตรายต่อปอด โดยเฉพาะในวัยเด็กที่ปอดกำลังพัฒนา อาจก่อให้เกิดความเสียหายกับระบบสืบพันธุ์และพันธุกรรม อาจจะเป็นอันตรายต่อเด็กในครรภ์ทำให้เกิดโรคปอดกำเริบ เช่น กลีบปอดพองลม และโรคหลอดลมอักเสบ ทำให้ภูมิคุ้มกันในระบบหายใจลดลง อาการหอบหืดและโรคหัวใจกำเริบ ลดปริมาณลมหายใจ รวมทั้งทำให้ปริมาณของเหลวในปอดเพิ่มขึ้น ทำให้หายใจขัด ก๊าซโอโซนทำให้เกิดอาการระคายเคืองในระบบหายใจทำให้ไอ ระคายคอหรือแน่นหน้าอก ปวดศีรษะ ท้องเสีย แน่นท้อง มีอาการป่วย และอาเจียน การสัมผัสโอโซนที่อยู่ในสภาพของเหลวที่มีความเข้มข้นสูงที่ผิวหนังหรือดวงตา อาจจะทำให้เกิดอาการระคายเคือง อาการไหม้รุนแรง ปวดแสบปวดร้อน

1.1.3 โอโซน (Ozone หรือ O_3) [3]

เป็นโมเลกุลที่ประกอบจากออกซิเจน 3 อะตอม เกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซออกซิเจน 1 โมเลกุลกับอะตอมออกซิเจนอิสระ 1 อะตอมที่แตกตัวจากก๊าซออกซิเจนโดยการกระตุ้นของรังสีอัลตร้าไวโอเลตซี (UV-C) ปรากฏอยู่ในชั้นบรรยากาศของโลกโดยที่ชั้นสตราโทสเฟียร์ (Stratosphere) ซึ่งเป็นบรรยากาศที่ระดับความสูงระหว่าง 10 - 50 กิโลเมตรจากผิวดิน เป็นชั้นบรรยากาศที่มีโอโซนหนาแน่นที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นชั้นที่ผลิตแหล่งก๊าซโอโซน โดยชั้นโอโซนดังกล่าวทำหน้าที่เป็นเกราะคุ้มกัน ปกป้องพืชและสัตว์จากรังสีที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะรังสีอัลตร้าไวโอเลตบี (UV-B) ซึ่งเป็นรังสีที่เป็นอันตรายต่อชีวิตและธรรมชาติหากได้รับในปริมาณที่มากเกินไป ก๊าซโอโซนถูกค้นพบครั้งแรกโดยนักเคมีชาวดัตช์ ชื่อ วอน มารุม (Van Marum) จากอุปกรณ์จับปริมาณก๊าซ โดยนายมารุมได้กลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์รอบๆ ขั้วผลิตกระแสไฟฟ้าจากอุปกรณ์ชุดทดลองของเขา อย่างไรก็ตาม การค้นพบโอโซนได้ถูกบันทึก

เป็นลายลักษณ์อักษรในปี ค.ศ. 1840 คือ คริสเตียน ฟรีดริช เชินไบน์ (Christian Friedrich Schönbein) นักเคมีชาวเยอรมัน โดยเขาตั้งชื่อก๊าซตามภาษากรีกคำว่า Ozein ซึ่งแปลว่ากลิ่น หลังจากนั้น เครื่องผลิตโอโซนเครื่องแรกได้ถูกผลิตโดย วอน ซีเมนต์ (Von Siemens) ในกรุงเบอร์ลิน (Berlin) โอโซนเข้มข้นมีสีฟ้าที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (Standard Temperature and Pressure; STP) เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง -112°C โอโซนจะเป็นเป็นของเหลวสีน้ำเงิน และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า -193°C ก็จะกลายเป็นของแข็งสีดำ มนุษย์ได้นำโอโซนไปใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน เช่น นำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเคมีภัณฑ์ นำไปใช้เป็นสารซักฟอก ใช้ฆ่าแบคทีเรีย เป็นต้น ก๊าซโอโซนจัดเป็นก๊าซพิษ การสูดดมก๊าซโอโซนเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ ซึ่งแตกต่างจากคำว่าโอโซนที่บางครั้งถูกใช้ในบริบทของการท่องเที่ยวหรือการพักผ่อนหย่อนใจ เช่นในวลีว่า "สูดโอโซน", "รับโอโซน" หรือ "แหล่งโอโซน" เป็นต้น ถือว่าเป็นการใช้โอโซนผิดความหมาย เพราะความจริงแล้วโอโซนมีความเป็นพิษต่อมนุษย์ บริเวณที่มีโอโซนมากในประเทศไทย ได้แก่ นิคมอุตสาหกรรมแก่งคอย นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด และย่านถนนสีลมในกรุงเทพมหานคร คำว่าโอโซนที่คนจำนวนมากใช้กันผิด ๆ ก็คือ ไปใช้ในเชิงการสื่อความหมายถึงออกซิเจนหรืออากาศบริสุทธิ์ ซึ่งดีต่อระบบการหายใจโดยไม่รู้ความจริงว่าแท้จริงแล้วก๊าซโอโซนมีความเป็นพิษสูงและมีอันตรายต่อสุขภาพ

ในปัจจุบันมีการนำเอาก๊าซโอโซนมาใช้ประโยชน์ในการดำเนินชีวิตกันอย่างแพร่หลาย เช่น การนำเอาก๊าซโอโซนมาล้างผักแทนการใช้สารทับทิม เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรค และลดปริมาณคลอลีนในน้ำ การนำโอโซนมาฟอกอากาศให้บริสุทธิ์ แต่ก๊าซโอโซนก็มีข้อเสียเหมือนกัน ถ้าใช้ในปริมาณที่เข้มมากเกินไปก็จะทำให้เกิดการระคายเคืองกับร่างกายได้ แต่ถ้าใช้ในปริมาณที่พอดีและเหมาะสมกับงานที่นำเอาก๊าซโอโซนไปประยุกต์ใช้ในข้างต้นก็จะทำให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพได้ดี จึงเป็นที่มาในการศึกษาในการสร้างโอโซน และแนวทางที่จะควบคุมปริมาณโอโซนให้เหมาะสมกับงาน ในบทความนี้จะได้ทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนความถี่ว่ามีผลต่อปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นหรือไม่ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงแบบสวิตชิ่งที่สร้างขึ้นเพื่อจ่ายแรงดันสูงความถี่สูงไปให้กับโหลด คือ ชุดอิเล็กโตรดทำงานเพื่อให้เกิดโอโซน โดยที่โอโซนจะเกิดขึ้นได้โดยอาศัยหลักการแตกตัวของโมเลกุลของก๊าซอ๊อกซิเจน ซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซโอโซนจากสมการคือ $O2 + O \longrightarrow O3$ โดยก๊าซโอโซนจะมีความสามารถในการทนต่อแรงดันไฟฟ้าได้ค่าหนึ่ง และความร้อนก็มีผลต่อปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นเพราะฉะนั้นจึงต้องมีการควบคุมปริมาณแรงดันไฟฟ้า และความถี่ให้เหมาะสม ในการผลิตโอโซนย่านพลังงานที่จำเป็นใช้ทางเคมีคือ 493 kJ/mol – 762.23 kJ/mol เมื่อทำการแปลงหน่วยจะได้ย่านพลังงานที่จำเป็นต้องใช้คือ 5.583 kWh / m3 - 8.631 kWh / m3 แต่เนื่องจากในอากาศมีออกซิเจนอยู่ประมาณ 21% ดังนั้นย่านพลังงานที่จำเป็นต้องใช้คือ 1.17243 kWh / m3 –1.620 kWh / m3 จึงเพียงพอต่อการเกิดโอโซนในแกปของชุดอิเล็กโตรด

ตารางที่ 1.1 ขอมูลปริมาณการใชโอโซนในการฆ่าเชื้อในอากาศในลักษณะตางๆ

ลักษณะและพื้นที่ของการใชงาน	ปริมาณที่ใช (มิลลิกรัมตอชั่วโมง)
1. ในรถยนต	10 –15
2. ในหอง 10 ตารางเมตร 20 ตารางเมตร 33 ตารางเมตร 55 ตารางเมตร	20 40 70 100
3. น้ำดื่ม 10 – 30 ลิตร	100 – 125
4. สลายสารพิษในผัก ผลไม เนื้อสัตวทำความสะอาดภาชนะ ซักลางสารที่ตกคางบนเสื้อผา	100
5. ในอางอาบน้ำ	200
6. สลายสารเคมี ทำลายและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค และกลิ่นอับไมพึงประสงค	250

1.1.4 หลักการทางพลังงานไฟฟ้า [5]

หลักการทางพลังงานไฟฟ้า ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์ โคโรนา ดิสชาร์จ (Corona discharge phenomena ; CD ozone) เป็นการให้ก๊าซออกซิเจนแห้งและ บริสุทธิ์ผ่านเข้าไปในสนามไฟฟ้า (Electrical field) หลายพันโวลท์ ทั้งชนิดความถี่ต่ำ (50 Hz - 100 Hz) ความถี่ปานกลาง (100 - 1,000 Hz) และความถี่สูง (1,000 Hz ขึ้นไป) ที่บริเวณ Discharge gap ซึ่งเกิดจากการผลิตกระแสไฟฟ้าที่บริเวณ Dielectric surface ณ สนามไฟฟ้าแห่งนี้มีผลให้ก๊าซออกซิเจนในอากาศแตกกระจายออกเป็นออกซิเจนอะตอม (O-) ที่มีความคงตัว และรวมตัวกับก๊าซ ออกซิเจนโมเลกุลอื่น ได้เป็นก๊าซโอโซนออกมา ด้วยความเข้มข้นสูง ตั้งแต่ 1-10% โดย น้ำหนัก สามารถนำไปใช้บำบัดน้ำได้อย่างดี ขนาดเครื่องมีตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ (ระดับมิลลิกรัม ถึงระดับกิโลกรัมต่อชั่วโมง)

1.1.5 อิเล็กโทรด [6]

อิเล็กโทรดเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ใช้ในการติดต่อกับส่วนที่ไม่ใช่โลหะของวงจร (เช่นเซมิคอนดักเตอร์เป็นอิเล็กโทรไลเป็นสูญญากาศหรืออากาศ) คำนี้ได้รับการประกาศเกียรติคุณโดยWilliam Whewellตามคำร้องขอของนักวิทยาศาสตร์Michael Faradayจากคำภาษากรีกสองคำ: elektron หมายถึงอำพัน (ซึ่งมาจากคำว่าไฟฟ้า) และhodosเป็นวิธี electrophore การประดิษฐ์คิดค้นโดยโจฮาน Wilcke เป็นรุ่นแรกของอิเล็กโทรดที่ใช้ในการศึกษาไฟฟ้าสถิต ความยาวทั้งหมดของอิเล็กโทรดซึ่งอำนวยความสะดวกในการหนีบของแหนบเชื่อมและอำนวยความ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาแบบจำลองของเครื่องผลิตก๊าซโอโซน

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของไดอิเล็กทริกที่มีผลต่อการผลิตก๊าซโอโซน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

วัสดุ

- ท่อสแตนเลส
- แปรงลวด
- หลอดแก้ว
- แท่งเทฟล่อน

ขั้นตอนการทำงาน

- การสร้างและออกแบบเครื่องผลิตก๊าซโอโซนด้วยโปรแกรม AutoCAD
- การวิเคราะห์ความเครียดสนามไฟฟ้าในการทำปฏิกิริยาทางเคมีด้วยโปรแกรม COMSOL
- เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนที่มีประสิทธิภาพด้วยการใช้อิเล็กโทรดแบบขนแปรง และไดอิเล็กทริกที่มีความหนา 1, 2 และ 2.5 มิลลิเมตร

วิธีการศึกษา

- การสร้างและออกแบบเครื่องผลิตก๊าซโอโซนด้วยโปรแกรม AutoCAD
- การวิเคราะห์ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าด้วยโปรแกรม COMSOL
- การวัดก๊าซโอโซนด้วยเครื่อง Spectrophotometer Model BioDrop
- การผลิตโอโซนมาตรฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบกับด้วยเครื่องผลิตโอโซนที่ผลิตขึ้นด้วยเครื่อง OZONE Generator Model OZ-3G

สถานที่

- คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้แบบจำลองเครื่องผลิตก๊าซโอโซน

1.4.2 ได้สร้างเครื่องผลิตก๊าซโอโซน

1.4.3 ได้แนวทางหนึ่งของการผลิตโอโซนเพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

1.4.4 ได้แนวทางในการพัฒนาเครื่องผลิตก๊าซโอโซน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ออกแบบ

1.5.2 วิเคราะห์

1.5.3 จัดสร้าง

1.5.4 สรุปผล

1.5.5 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ตารางแผนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอน	เดือน				
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
1.ออกแบบ	←	—	→		
2.วิเคราะห์		←	—	→	
3.จัดสร้าง			←	—	→
4.สรุปผล				←	— →
5.จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์				←	— →

1.7 นิยามศัพท์

1.7.1 โอโซน (Ozone หรือ O_3) หมายถึง ก๊าซที่ถือกำเนิดขึ้นมาโดยธรรมชาติ เช่น จากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า แสงจากดวงอาทิตย์ เป็นต้น

1.7.2 อิเล็กโทรด (Electrode) หมายถึง ขั้วไฟฟ้า, ตัวนำไฟฟ้าที่จุ่มอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะเป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาเคมีในเซลล์ไฟฟ้าเคมีหรือเซลล์อิเล็กโทรไลต์

1.7.3 สนามไฟฟ้า (Electric Field) หมายถึง บริเวณโดยรอบมีประจุไฟฟ้าอยู่ตรงไหน การกระทำของความเครียดหรือแรงไฟฟ้าเรียกว่าสนามไฟฟ้าหรือสนามไฟฟ้าสถิต หากขนาดของประจุมีขนาดใหญ่มันอาจสร้างความตึงเครียดอย่างใหญ่หลวงในภูมิภาค สนามไฟฟ้าแสดงด้วยสัญลักษณ์ E หน่วย SI ของสนามไฟฟ้าคือนิวตันต่อคูลอมบ์ ซึ่งเท่ากับโวลต์ต่อเมตร

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ รวมทั้งแนวความคิดและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน โดยแบ่งเป็น 4 ส่วนคือ

2.1 สนามไฟฟ้า

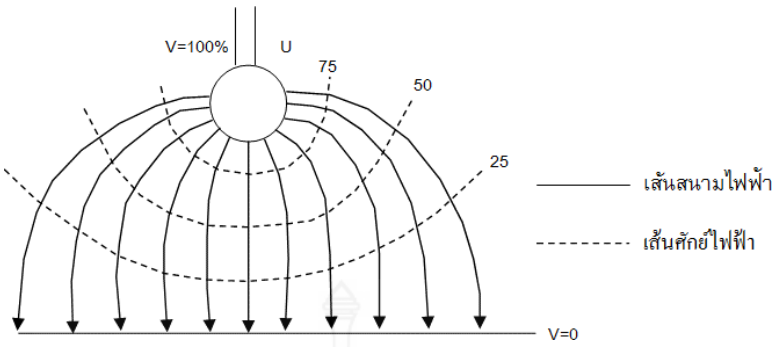
2.2 โคโรนา (CORONA)

2.3 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์เบื้องต้น

2.4 โปรแกรม COMSOL Multiphysics

2.1. สนามไฟฟ้า [1]

สนามไฟฟ้า หมายถึงความเข้มของสนามไฟฟ้าเกิดจากอำนาจของประจุที่มีอยู่ในรูปแบบต่างๆ กันในลักษณะสนามไฟฟ้าที่ต่างกัน (ภาพที่ 2.1) การวิเคราะห์ผลของสนามไฟฟ้าต่อพฤติกรรมของ Dielectric materials เป็นประโยชน์มากเพื่อนำมาออกแบบอุปกรณ์เครื่องมือให้ใช้งานอย่างถูกต้อง ปลอดภัย สนามไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท คือ สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (uniform field) สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย (slightly nonuniform field) สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง (highly nonuniform field) สำหรับสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอ (uniform field) เมื่อทำการป้อนแรงดันให้กับอิเล็กโตรด สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอจะเกิดการเบรกดาวน์ หรือสปาร์คทันทีที่ความเครียดสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโตรด (ซึ่งเท่ากันทุกจุด) ถึงค่าที่กำหนดค่าหนึ่งโดยประมาณ และกระแสเพิ่มขึ้นอย่างมากในทันทีทันใด ส่วนสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ (nonuniform field) อิเล็กโตรดแบบนี้ความเครียด สนามไฟฟ้าแต่ละจุดมีค่าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดนั้นความแตกต่างกัน ณ จุดต่างๆ จะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับลักษณะแห่งเรขาคณิตของอิเล็กโตรด ที่มีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอมากหรือน้อย



ภาพที่ 2.1 เส้นสนามไฟฟ้าและเส้นศักย์เท่าของอิเล็กโตรดทรงกลม [1]

2.1.1 ความเครียดสนามไฟฟ้า [2]

ความเครียดสนามไฟฟ้า (E) คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้า (D) หารด้วย เพอร์มิตติวิตี (Permitivity) ของตัวกลาง

$$E = \frac{D}{\varepsilon} \quad \text{[V/m]}$$

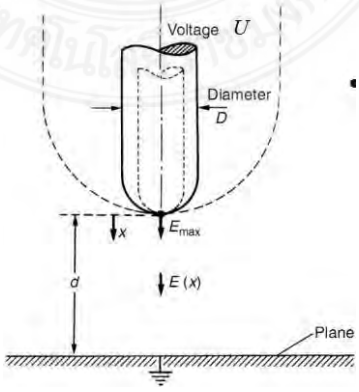
เมื่อ $\boldsymbol{\varepsilon}=\varepsilon_r \varepsilon_0$

โดยที่ ε_0 - เป็นค่าคงที่ permittivity of free space = 8.85×10^{-12} F/m

ε_r - Relative permittivity (กรณีอากาศแห้ง มีค่า 1.00054) ≈1.0

2.1.2 การกระจายของสนามไฟฟ้า (ภาพที่ 2.2) [2]

จากการศึกษาสามารถทราบการกระจายสนามไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ซึ่งได้มีการเปรียบเทียบแรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ในไดอิเล็กตริกตามลักษณะทางไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 2.3 โดยการใช้อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่างๆกัน คือ 1) สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ 2) สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ และ 3) สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.2 การกระจายของสนามไฟฟ้า [2]

กรณี D มีค่าน้อย → ความเครียดสนามไฟฟ้าจะมีค่าไม่สม่ำเสมอ ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด (E_{max})อยู่ที่ปลายแท่งอิเล็กโตรดด้านบน

$$E_{max} = \frac{U}{\eta^* d}$$

เมื่อ η^*คือ แฟกเตอร์สนามไฟฟ้า (field utilization factor)

$$\eta^* = \frac{E_{av}}{E_{max}}$$

โดยที่ E_{av} คือ ค่าเฉลี่ยของสนามไฟฟ้า (U/d)

ค่า η^*มีค่าตั้งแต่ *0 ถึง 1→ ค่า η^*มากขึ้น สนามไฟฟ้ายิ่งสม่ำเสมอมากขึ้น

กรณี η^*=1→ $E_{max} = E(x) = \frac{U}{d}$→ สนามไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอ

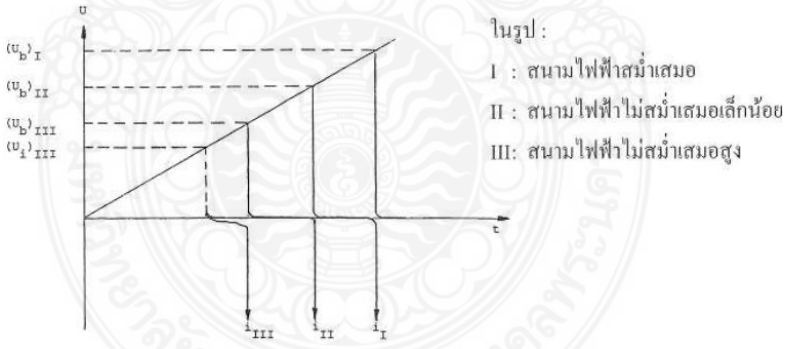
ค่าความคงทนของฉนวนทางไฟฟ้า (dielectric strength) คือ ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันขณะเบรกดาวน์ หาได้จาก;

$$E_b = \frac{U_b}{\eta^* d} \longrightarrow U_b = \eta^* \, dE_b$$

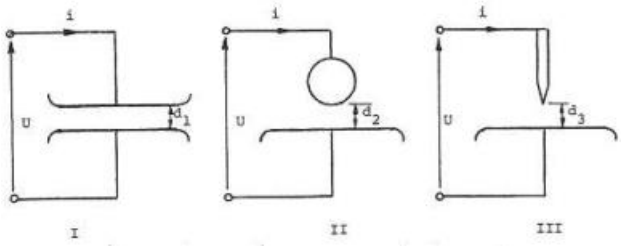
เมื่อ E_b คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์

U_b คือ แรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์

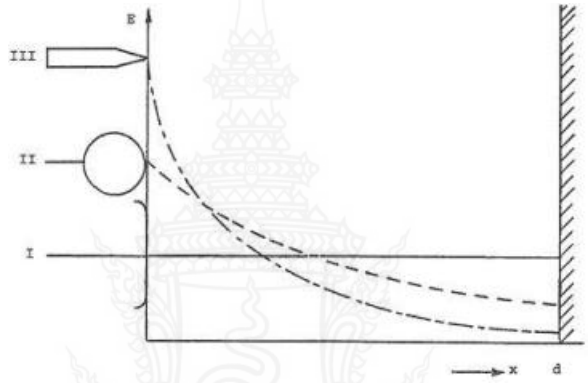
จาก $U_b = \eta^* dE_b$



ภาพที่ 2.3 การเปรียบเทียบแรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ในไดอิเล็กตริกตามลักษณะทางไฟฟ้า [2]



ภาพที่ 2.4 อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่างๆกัน I.สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ II.สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ III.สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง [2]



ภาพที่ 2.5 สนามไฟฟ้ากระจายเปรียบเทียบของอิเล็กโทรดลักษณะต่างๆ [2]

2.2 โคโรนา (CORONA) [2]

โคโรนา เป็นชื่อปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าแรงสูงที่เกิดขึ้นบนตัวนำไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ ไฟฟ้าแรงสูง (ภาพที่ 2.6) การเกิดโคโรนาเป็นการสูญเสียกำลังไฟฟ้าอย่างหนึ่งของระบบโดยกำลังไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน แสง เสียง เคมี และแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อความต่างศักดิ์ระหว่างอิเล็กโตรด มีค่ามากเพิ่มขึ้นกว่าขีดจำกัดค่าหนึ่งจะได้ยินเสียงความถี่สูงปรากฏออกมา ซึ่งเป็นการแตกตัวของอากาศที่เรียกว่าขบวนการแตกตัวของก๊าซ (ionization of gases) ซึ่งจะมีโอโซนและกรดไนตรัสเกิดออกมา เมื่อความต่างศักดิ์มีขนาดเพิ่มมากขึ้นไปอีก เราจะเห็นปรากฏการณ์แสงสีม่วงเรืองแสงรอบๆ ตัวนำเป็นจุดๆ ตลอดความยาว แสงเรืองนี้จะปรากฏให้เห็นชัดเจนบริเวณที่มีความขรุขระหรือสกปรกมากพร้อมกันนั้นจะเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายออกไปรบกวนสัญญาณคลื่นวิทยุด้วย และถ้าแรงดันนั้นมีขนาดมากขึ้นไปอีกจะเกิดการสปาร์ค (spark) หรือเกิดการวาบไฟตามผิว (flashover) ขึ้นทั้งหมดนี้เรียกว่า "ปรากฏการณ์โคโรนา" ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปรากฏการณ์โคโรนามีอยู่ 2 อย่าง คือ

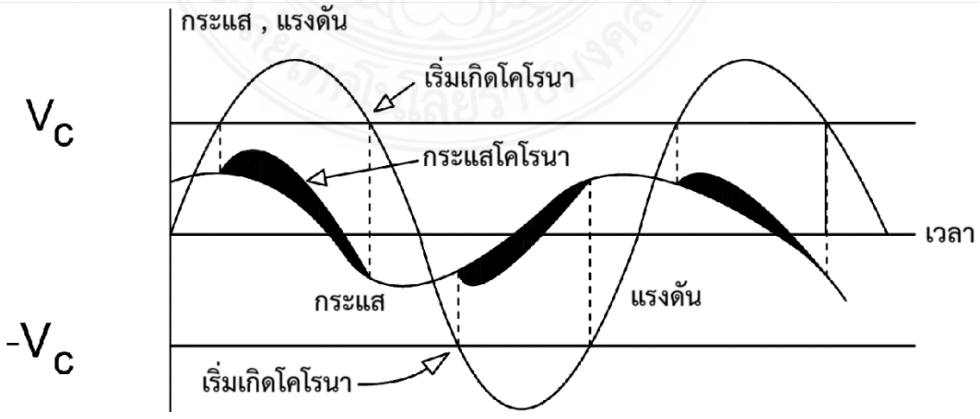
แรงดันไฟฟ้าวิกฤติแตกตัว (disruptive critical voltage)

เป็นค่าระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ทำให้เริ่มเกิดขบวนการแตกตัวของอากาศอันเนื่องมาจากมีอิเล็กตรอนอิสระ (free electron) ในอากาศได้รับผลจากความเข้มสนานไฟฟ้า ทำให้เกิดพลังงานจลน์วงเข้าชนโมเลกุลของก๊าซปลดปล่อยอิเล็กตรอนอิสระและไอออนขึ้นทำให้เกิดปรากฏการณ์ทางเสียงโดยยังไม่มีแสงให้เห็น

แรงดันไฟฟ้าวิกฤติมองเห็น (visual critical voltage)

เป็นค่าระดับหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าวิกฤติที่สูงกว่าค่าแรก และทำให้อากาศชั้นรอบนอกออกไปแตกตัวต่อไป ด้วยผลจากการที่โมเลกุลได้รับพลังงานจลน์จากการชนของอิเล็กตรอนอิสระจะทำให้อิเล็กตรอนของโมเลกุลแตกตัวหลุดออกไป และวิ่งไปชนโมเลกุลอื่นๆ แต่ถ้าอิเล็กตรอนบางตัวของโมเลกุลไม่สามารถแตกตัวออกไปได้ โมเลกุลนั้นก็จะอยู่ในสภาวะไม่เสถียร (meta stable state) และเมื่ออิเล็กตรอนคืนกลบสู่วงโคจรในสภาวะเดิม โมเลกุลก็จะปลดปล่อยพลังงานทได้รับคืนกลับมาในรูปพลังงานโฟตอน (photon) ที่เป็นพลังงานแสง ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดเวลาในสภาวะที่อำนวย ดังนั้นเราจะมองเห็นแสงเรืองรอบสายตัวนำถ้าระดับแรงดันไฟฟ้านี้มีค่ามากกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าวิกฤติมองเห็นนี้ขึ้นไปอีก อาจทำให้อากาศรอบตัวนำแตกตัวได้หมดต่อเนื่องเป็นผลให้อากาศบริเวณนั้นเปลี่ยนสภาพจากการเป็นฉนวนกลายเป็นตัวนำไฟฟ้าทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านข้ามอากาศได้ ซึ่งอาจจะเป็นลำแสงสว่างมากเรียกว่า การวาบไฟตามผิวนั่นเอง การเกิดโคโรน่าทำให้เกิดผลกระทบ 4 อย่าง คือ

- เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย
- เกิดการรบกวนคลื่นสื่อสาร
- เกิดก๊าซโอโซน (O_3)
- เกิดเสียงรบกวน

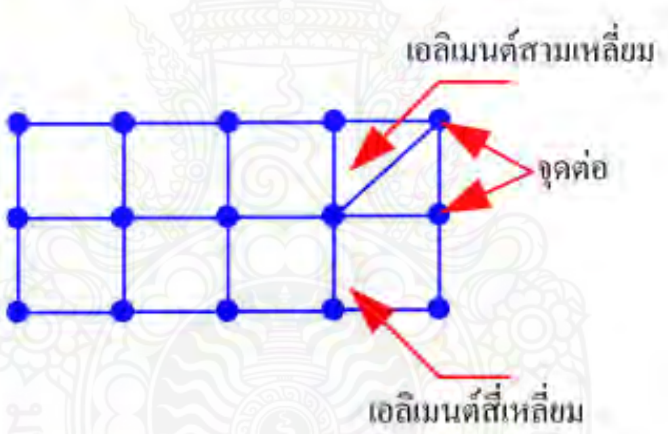


ภาพที่ 2.6 การเกิดโคโรน่า [2]

2.3 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์เบื้องต้น [1]

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นหนึ่งในหลายวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้สำหรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equations) และเป็นวิธีที่นิยมใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์อย่าง กว้างขวาง ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาปัญหาเรื่องการถ่ายเทความร้อน ปัญหาทางด้านกลศาสตร์ ของของแข็ง ทั้งทางด้านสถิตศาสตร์ ทางด้านพลศาสตร์ และสนามไฟฟ้า รวมทั้งยังสามารถใช้ วิเคราะห์การไหลของของไหลได้

หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์คือ การแบ่งสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ (Domain) ออกเป็นส่วนย่อยเล็กๆ เรียกว่าเอลิเมนต์ (Element) ซึ่งมักจะอยู่ในรูปสี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยม (ภาพที่ 2.7) ที่จุดตัดของเส้นกรอบเอลิเมนต์เรียกว่า “จุดต่อ” (Node) ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะมีการสร้างฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบ (อุณหภูมิ ความเค้น ความเร็ว ฯลฯ) ที่จุดต่อเหล่านั้นพร้อม ๆ กัน โดยอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ แทนที่จะแก้สมการเชิงอนุพันธ์ซึ่งต้องใช้เวลามากกว่าจะหาคำตอบได้ครบทุกจุด

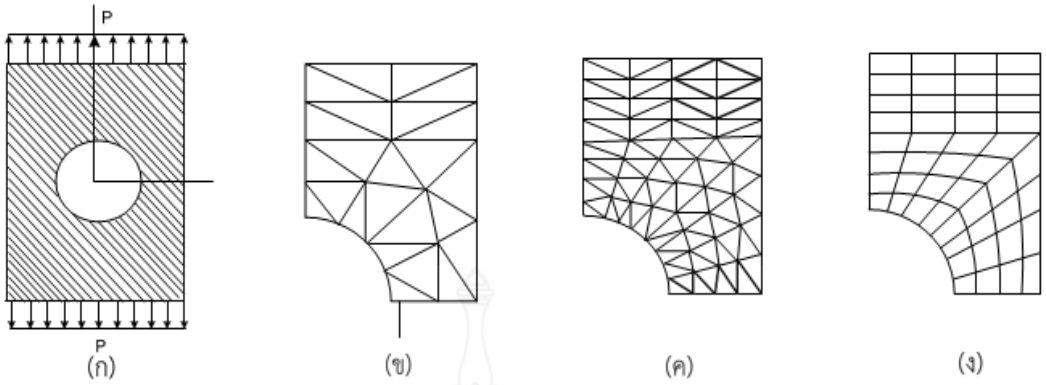


ภาพที่ 2.7 ลักษณะการแบ่งเอลิเมนต์ [1]

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นวิธีเชิงตัวเลข วิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ และเป็นวิธีที่นิยมใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์อย่างกว้างขวาง ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาด้านกลศาสตร์ของแข็ง เช่น วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความเค้นในชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล โครงสร้างเครื่องบิน ตัวอาคาร สะพาน และ โครงสร้างอื่นๆ ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ไม่ว่าวัสดุที่ใช้ใน การวิเคราะห์จะอยู่ในสภาพยืดหยุ่น (Elastic) หรือในสภาพยืดตัว (Plastic) นอกจากจะใช้วิธีไฟไนต์ เอลิเมนต์วิเคราะห์ปัญหาทางด้านสถิตศาสตร์ตามที่กล่าวมาแล้ว ยังสามารถจะใช้วิธีวิเคราะห์ปัญหาทางด้านพลศาสตร์ เช่น การสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล การสั่นสะเทือนของโครงสร้าง รวมทั้งยังสามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาด้านการถ่ายเทความร้อนการไหลของของไหล การถ่ายเทมวล เป็นต้น

ในการวิเคราะห์โครงสร้างหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทั่วไปที่ไม่ซับซ้อน ทำให้สามารถหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ต้องการทราบ เช่น การกระจัดที่ตำแหน่งใดๆ ของชิ้นส่วนโดยอาศัยสมการเชิงอนุพันธ์ และผลเฉลยที่ได้รับจะเรียกว่าผลเฉลยแม่นตรง (Exact Solution) แต่มีชิ้นส่วนเครื่องจักรกลและโครงสร้างจำนวนมากที่มีรูปลักษณะที่ซับซ้อนที่ประกอบด้วยส่วนเว้าส่วนโค้งต่างๆ ทำให้พนที่หน้าตัดของชิ้นส่วนไม่สม่ำเสมอ และบางบริเวณอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดอย่างฉับพลัน หรือใช้วัสดุต่างชนิดกันเหล่านี้เป็นต้น จึงมีผลทำให้ไม่สามารถจะหาผลเฉลยแม่นตรงจากสมการอนุพันธ์สามัญ (Ordinary Differential Equations) หรือสมการอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) ได้ ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีอื่น เช่น วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่สามารถจะประมาณค่าผลเฉลยโดยการแก้ระบบสมการเชิงพีชคณิตแทนการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ การแก้ปัญหาโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ดังกล่าว ชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบของปัญหาจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนย่อย ๆ อย่างต่อเนื่อง ตามรูปร่างลักษณะที่แท้จริงของชิ้นส่วน เช่น ภาพที่ 2.8 เราเรียกชิ้นส่วนย่อย ๆ นี้ว่า เอลิเมนต์ผลเฉลยที่ได้รับจะเป็นผลเฉลยที่จุดต่อ (Node) ของแต่ละเอลิเมนต์ การวิเคราะห์ปัญหาโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ไม่ใช่การวิเคราะห์ปัญหาทีเดียวทั้งระบบเช่นเดียวกับวิธีทั่วไป แต่เป็นการวิเคราะห์หาค่าทีละเอลิเมนต์แล้วนำมารวมเขากันเป็นผลเฉลยของระบบ เช่น ในระบบโครงสร้างซึ่งเป็นการหาการกระจัด และความเค้นของแต่ละจุดต่อของเอลิเมนต์ที่ประกอบเป็นโครงสร้างของระบบ

หลักการของวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์คืออะไร ในการแก้ปัญหาใดปัญหาหนึ่ง ปัญหานั้นจะประกอบด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้ ค่าผลเฉลยแม่นตรง (Exact Solution) ของปัญหาดังกล่าวจะประกอบด้วยค่าของตัวแปรต่างกันตามตำแหน่งต่างๆ บนรูปร่างลักษณะของปัญหานั้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ ค่าผลเฉลยแม่นตรงจะประกอบด้วยค่าต่าง ๆ ทั้งหมดนับเป็นจำนวนอนันต์ค่าแทนที่จะทำการหาค่าแม่นตรงที่ประกอบด้วยค่าต่างๆ จำนวนมากมายเช่นนี้ ซึ่งสำหรับปัญหาในทางปฏิบัติจะทำไม่ได้ หลักการก็คือทำการเปลี่ยนค่าทั้งหมดที่มีจำนวนอนันต์ค่านั้นมาเป็นค่าโดยประมาณที่มีจำนวนที่นับได้ (Finite) ด้วยการแทนรูปร่างลักษณะของปัญหาด้วยเอลิเมนต์ (Element) ซึ่งมีขนาดต่างๆ กันดังเช่น แสดงในตัวอย่างของแผ่นวัสดุในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การแบ่งเอลิเมนต์แบบต่างๆ ภายในวัสดุ [1]

วิธีการดังกล่าวชี้บ่งเป็นนัยว่า ผลเฉลยของแต่ละเอลิเมนต์นั้นจำเป็นตองสอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ และเงื่อนไขของขอบเขตที่กำหนดมาให้ในปัญหานั้นๆ ซึ่งหมายความว่าหลักการของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คือ การสร้างสมการสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ที่ตั้งอยู่บนรากฐานที่ว่าสมการที่สร้างขึ้นมา นั้นจำเป็นต้องสอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาที่ทำอยู่นั้น จากนั้นจึงนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นมาได้มาประกอบกันเข้าก่อให้เกิดระบบสมการชุดใหญ่ซึ่งในความหมายทางกายภาพ ก็คล้ายกับการนำทุกเอลิเมนต์มาประกอบรวมเข้าด้วยกันก่อให้เกิดเป็นรูปร่างลักษณะทั้งหมดของปัญหาที่แท้จริง จากนั้นจึงทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตให้มาลงในระบบสมการชุดใหญ่นี้แลวจงทำการแก้สมการดังกล่าว ซึ่งจะก่อให้เกิดผลเฉลยโดยประมาณที่ต้องการ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของปัญหานั้น จากคำอธิบายนี้จะเห็นได้ว่าความแม่นยำของค่าผลเฉลยโดยประมาณที่คำนวณออกมาได้นั้น จะขึ้นอยู่กับขนาด และจำนวนของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการแก้ปัญหานั้น นอกจากนั้นความแม่นยำของผลเฉลยก็ยังขึ้นอยู่กับการสมมติรูปแบบของฟังก์ชันการประมาณภายในที่ใช้กับแต่ละเอลิเมนต์นั้น กล่าวคือ ฟังก์ชันการประมาณภายในที่สมมติขึ้นมานั้น มีความใกล้เคียงกับผลเฉลยแม่นตรงของปัญหานั้นมากน้อยเพียงใด ลักษณะการกระจายของฟังก์ชันการประมาณภายในของเอลิเมนต์อาจสมมติให้อยู่ในหลายรูปแบบ อาทิเช่น รูปแบบของการกระจายเชิงเส้นตรง เป็นต้น ส่วนขนาดของฟังก์ชันการประมาณภายในนี้จะขึ้นอยู่กับค่าที่จุดต่อ (Nodes) ของเอลิเมนต์ ยกตัวอย่างเช่น หากค่าอุณหภูมิที่จุดต่อที่ปลายมุมทั้งสามของเอลิเมนต์รูปสามเหลี่ยมมีค่าเท่ากับ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียสตามลำดับ และหากเอลิเมนต์รูปสามเหลี่ยมนี้ใช้ฟังก์ชันการประมาณภายในที่อยู่ในรูปแบบของลักษณะการกระจายแบบเชิงเส้นตรงแล้ว อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในเอลิเมนต์รูปสามเหลี่ยมนี้ จะแปรผันเป็นรูปเชิงเส้นตรงโดยมีการกระจายของอุณหภูมิระหว่าง 30 ถึง 50 องศาเซลเซียส เป็นต้น FEM หรือ Finite Element Method เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้หาคำตอบสมการเชิงอนุพันธ์

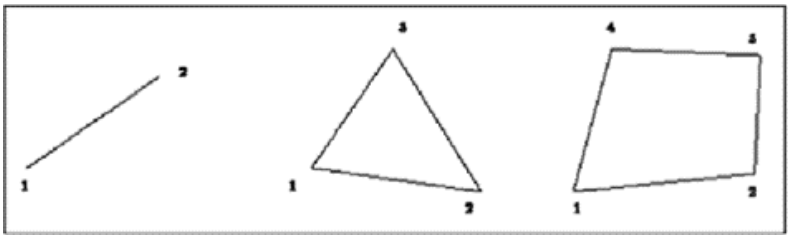
โดยใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลข ซึ่งทั่วไปจะอยู่ในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ คำตอบที่ได้สามารถนำไปใช้ในงานวิเคราะห์ และออกแบบได้หลายแขนงสาขา เช่น

1. วิศวกรรมโยธา: truss, beam, frame, plate, dam, vibration, earthquake
2. วิศวกรรมเครื่องกล: heat transfer, machine, vehicle
3. CFD: การไหลของของเหลว และก๊าซ, อากาศพลศาสตร์ของรถยนต์ และเครื่องบิน
4. วิศวกรรมไฟฟ้า: electromagnetic, piezoelectric
5. โลหะการ: metal forming
6. การแพทย์: biomechanics

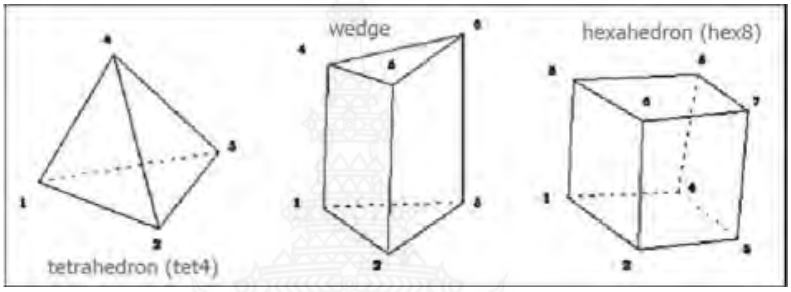
ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วย FEM

1. ระบุ และทำความเข้าใจกับปัญหาให้ชัดเจน, ปัญหามีกี่มิติ, เกี่ยวกบเวลาหรือไม่, เงื่อนไขขอบเป็นอย่างไร ฯลฯ
2. เลือกสมการเชิงอนุพันธ์ที่สอดคล้องกับปัญหาดังกล่าว เพราะสมการเชิงอนุพันธ์จะเป็นตัวกำหนดชนิดของ solver FEM ที่เลือกใช้
3. ทำความเข้าใจกับหน่วยของปริมาณ และ material property ที่เกี่ยวข้องในสมการ
4. สร้างรูปเรขาคณิต ปกติจะใช้โปรแกรมตระกูล CAD
5. สร้างเอลิเมนต์ย่อย หรือ mesh แบบ {1, 2, 3} มิติให้สอดคล้องกับปัญหา
6. กำหนดค่า material property โดยต้องรดกุมเกยวกับหน่วยของปริมาณ
7. กำหนด boundary condition
8. หาคำตอบโดยใช้โปรแกรม FEM
9. ทำการแปลความหมายผลลัพธ์ ตรวจสอบความถูกตอง visualization ก่อนนำขอมูลไปใช้งาน

เอลิเมนต์ หมายถึงหน่วยย่อยของรูปเรขาคณิตที่เป็นโดเมนของปัญหา บางครั้งอาจเรียกว่า Mesh หรือ Grid (ภาพที่ 2.9) ซึ่งในวิธี FEM จะแยกคิดทีละเอลิเมนต์ย่อยก่อน จากนั้นจึงนำแต่ละเอลิเมนต์ย่อยประกอบเป็นรูปเรขาคณิตที่ต้องการ การแยกรูปเรขาคณิตออกเป็นเอ ลิเมนต์ย่อยเป็นเทคนิคทำให้การหาคำตอบทำได้ง่ายขึ้น แต่ก็เป็นการเพิ่มงานในการสร้าง Mesh ตัวอย่างของเอลิเมนท์แสดงในภาพที่ 2.9-2.10



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างเอลิเมนต์แบบ 1 และ 2 มิติ [1]



ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างเอลิเมนต์แบบ 3 มิติ [1]

Boundary condition หรือเงื่อนไขขอบ เป็นการกำหนดให้ unknown บางตัวต้องทราบค่า (unknown) ตั้งแต่การระบุปัญหา ถ้าไม่กำหนด boundary condition มาให้ จะไม่สามารถหาคำตอบเฉพาะของปัญหานี้ได้ ปัญหาแต่ละอย่างจะมี characteristic ของ unknown ที่สามารถเป็น boundary condition ได้แตกต่างกันออกไป สามารถแสดงได้โดนสมการเชิงอนุพันธ์ และเงื่อนไขขอบเขตดังนี้

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

$y(0,t) = 0, \quad t > 0$ Boundary condition #1

$y(L,t) = 0, \quad t > 0$ Boundary condition #2

$y(x,0) = x(L - x), \quad 0 < x < L$ Initial condition #1

$\frac{\partial y}{\partial t}(x,0), \quad 0 < x < L$ Initial condition #2

การใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์สนามไฟฟ้า

เงื่อนไขขอบเขตทางไฟฟ้า

$n, (\varepsilon \nabla \phi) = 0$	zero charge / no electric field / symmetry surface
$n_1.(\varepsilon_1 \nabla \phi_1) = n_2.(\varepsilon_2 \nabla \phi_2)$	continuity surface
$V=V_0$	input voltage
V=0	ground

สำหรับระบบ 3 แกน

$n \bullet J = 0$	Electric insulation
$n \bullet (J_1-J_2) = 0$	Continuity Surface Analysis/Design

2.4 โปรแกรม COMSOL Multiphysics [1]

โปรแกรม COMSOL เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้านความแข็งแรง ด้าน สนามไฟฟ้า ด้านความร้อน และอื่นๆ การจำลองของโปรแกรม COMSOL มีทั้งหมด 9 อย่างคือ

COMSOL Multiphysics คือ การวิเคราะห์โดยพื้นฐานทางฟิสิกส์

AC/DC Module คือ จำลองไฟ AC/DC

Acoustics Module คือ การจำลองที่เกี่ยวข้องกับคลื่นเสียง

Chemical Engineering Module คือ การจำลองทางวิศวกรรมเคมี

Earth Science Module คือ การจำลองทางธรณีวิทยา

Heat Transfer Module คือ จำลองการถ่ายเทความร้อน

MEMS Module คือ ใช้วิเคราะห์อุปกรณ์ที่มีขนาดไมโครเมตร

RF Module คือ การจำลองทางคลื่น RF

Structural Mechanics Module คือ โครงสร้างทางกล

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

การจัดทำงานวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อทำการวิเคราะห์การสร้างเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งผู้จัดทำได้ดำเนินการตามลำดับดังนี้

3.1 สร้างชิ้นงานจำลอง

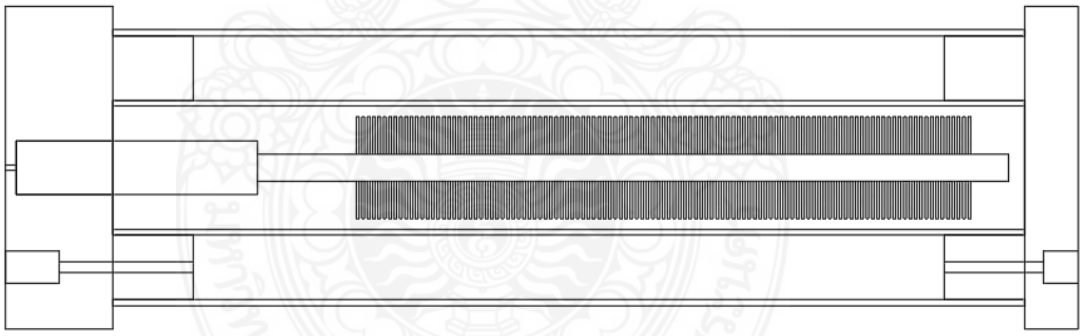
3.2 วิเคราะห์ชิ้นงานด้วยโปรแกรม

3.3 สร้างชิ้นงานจริง

3.4 ทดสอบชิ้นงาน

3.1 สร้างชิ้นงานจำลอง

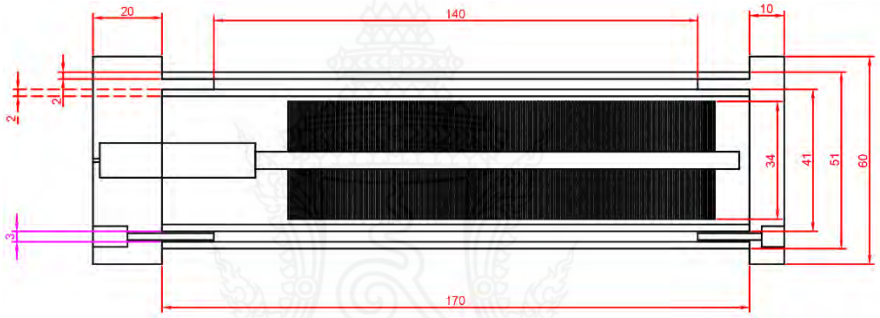
ขั้นตอนแรกของการดำเนินการ ผู้จัดทำได้ทำการสร้างชิ้นงานจำลองแบบ 2 มิติ ด้วยโปรแกรม AutoCAD โดยชนิดของอิเล็กโทรดที่ใช้ในวิจัยนี้จะเป็นอิเล็กโทรดแบบขนแปรง เมื่อสร้างเสร็จก็จะได้ชิ้นงานออกมาตามภาพที่ 3.1 และชนิดของชิ้นงานที่ได้ทั้งสามแบบแสดง ในภาพที่ 3.2-3.4



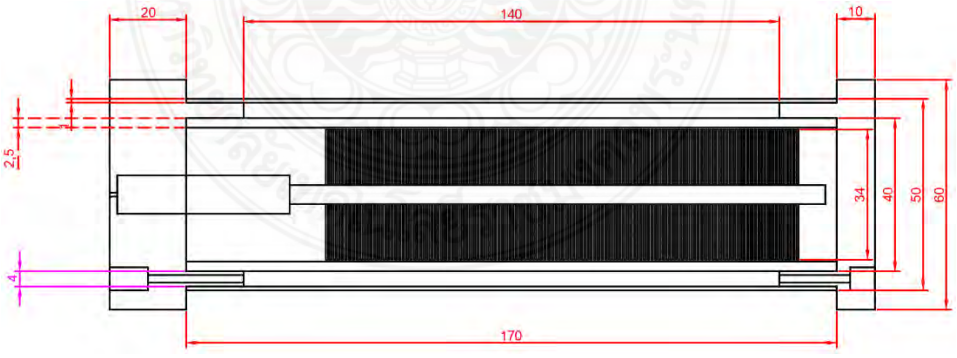
ภาพที่ 3.1 แบบจำลอง 2 มิติของชิ้นงาน



ภาพที่ 3.2 แบบของชิ้นงานที่มีค่าไดอิเล็กทริกหนา 1mm. ไดเมนชั่นที่เป็นเส้นประคือความหนาของหลอดแก้ว ไดเมนชั่นสีชมพูคือความกว้างของช่องอากาศ



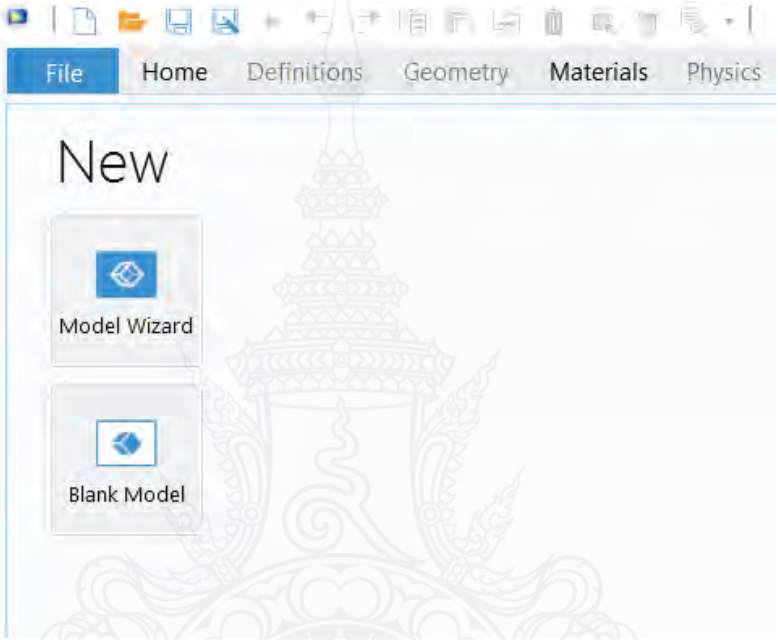
ภาพที่ 3.3 แบบของชิ้นงานที่ค่าไดอิเล็กทริกหนา 2mm. ไดเมนชั่นที่เป็นเส้นประคือความหนาของหลอดแก้ว ไดเมนชั่นสีชมพูคือความกว้างของช่องอากาศ



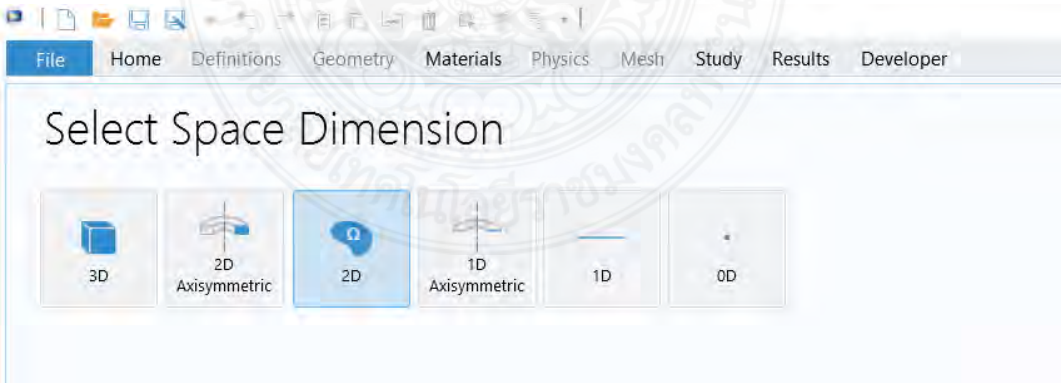
ภาพที่ 3.4 แบบของชิ้นงานที่ค่าไดอิเล็กทริกหนา 2.5mm. ไดเมนชั่นที่เป็นเส้นประคือความหนาของหลอดแก้ว ไดเมนชั่นสีชมพูคือความกว้างของช่องอากาศ

3.2 วิเคราะห์ชิ้นงานด้วยโปรแกรม

ขั้นตอนนี้จะเป็นการวิเคราะห์ชิ้นงานด้านความเครียดสนามไฟฟ้าด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics โดยการ Import แบบจำลองที่ได้สร้างไว้เข้ามาในโปรแกรม ระบุชนิดของวัสดุในแต่ละส่วนของชิ้นงาน การกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้า และประมวลผลออกมาได้เป็นผลการวิเคราะห์ความเครียดสนามไฟฟ้าของชิ้นงาน ขั้นตอนดังกล่าวแสดงทั้งหมด ดังภาพที่ 3.5-3.21



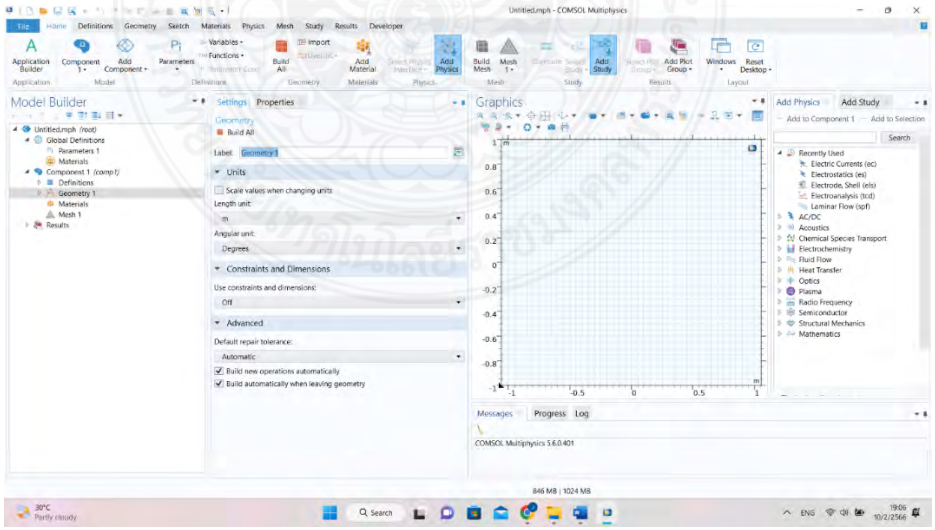
ภาพที่ 3.5 เมื่อเข้าโปรแกรมจะมี Model Wizard และ Blank Model



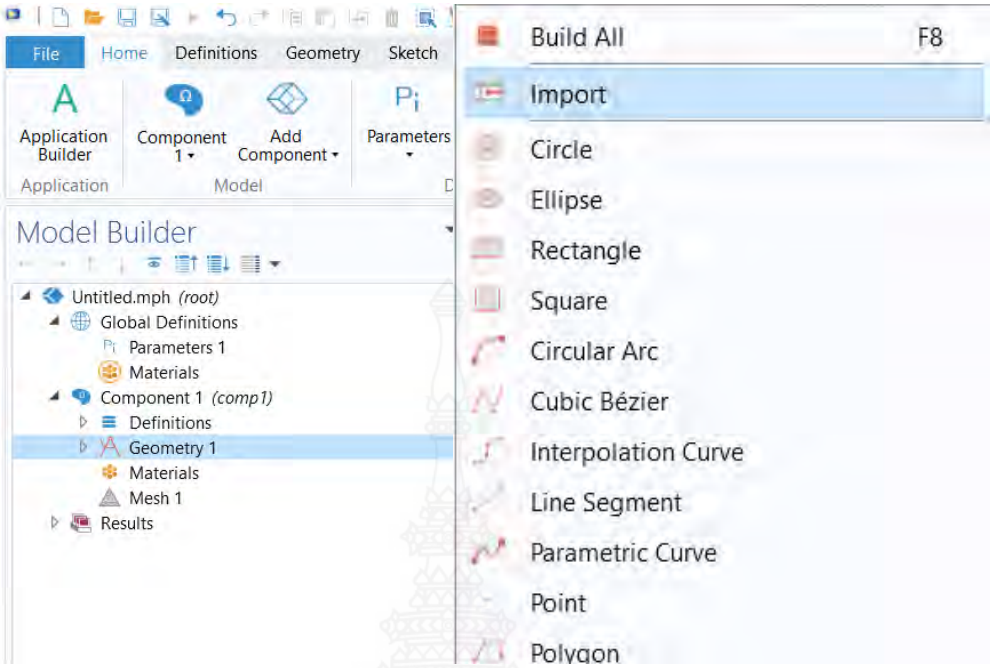
ภาพที่ 3.6 เมื่อเลือก Model Wizard ก็จะมี Space Dimension ให้เลือก ในโครงงานนี้จะเลือกใช้ Space Dimension 2D



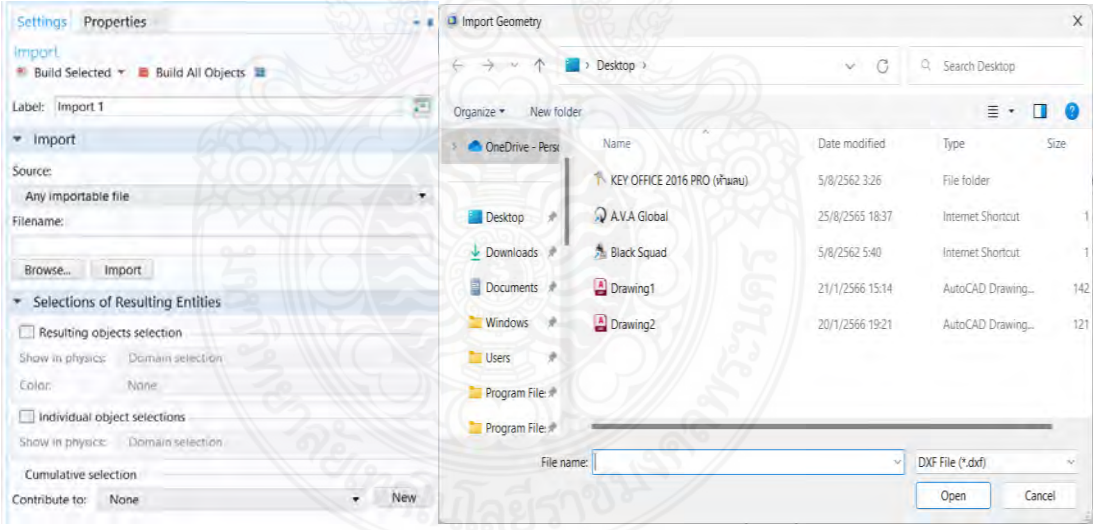
ภาพที่ 3.7 เมื่อเลือก Space Dimension แล้วก็เลือกรูปแบบPhysicที่ต้องการวิเคราะห์



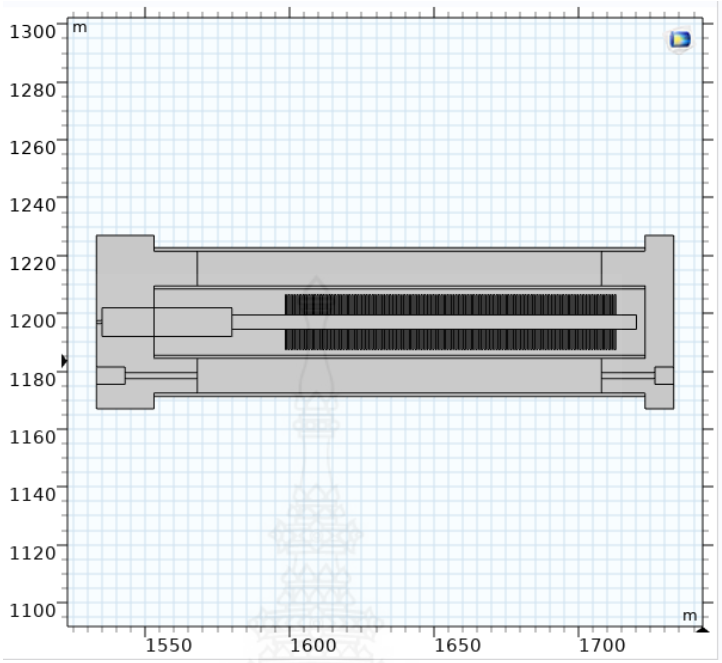
ภาพที่ 3.8 หน้าตาของโปรแกรมที่อยู่ในสถานะพร้อมทำการวิเคราะห์



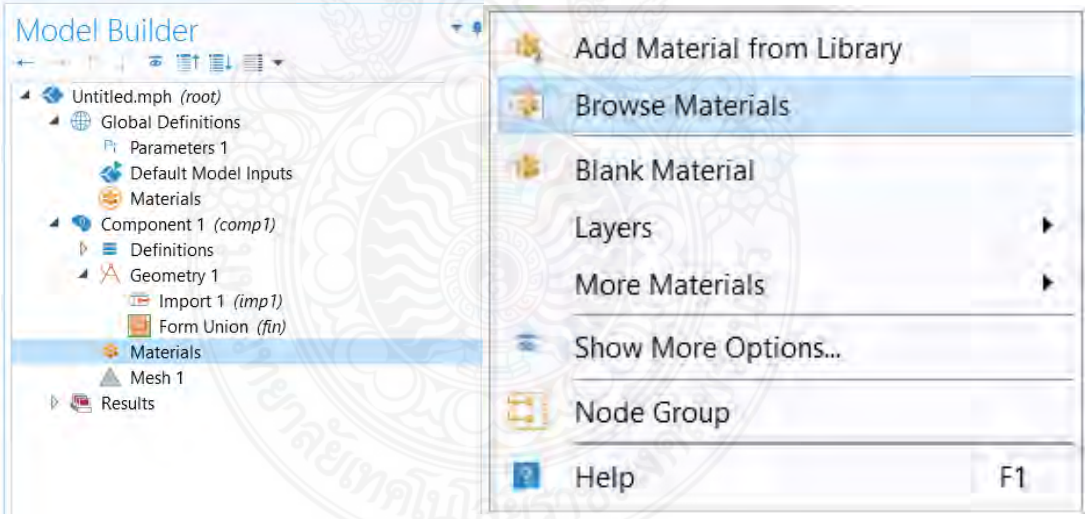
ภาพที่ 3.9 นำเข้าชิ้นงาน คลิกขวาที่ Geometry 1 แล้วเลือก Import



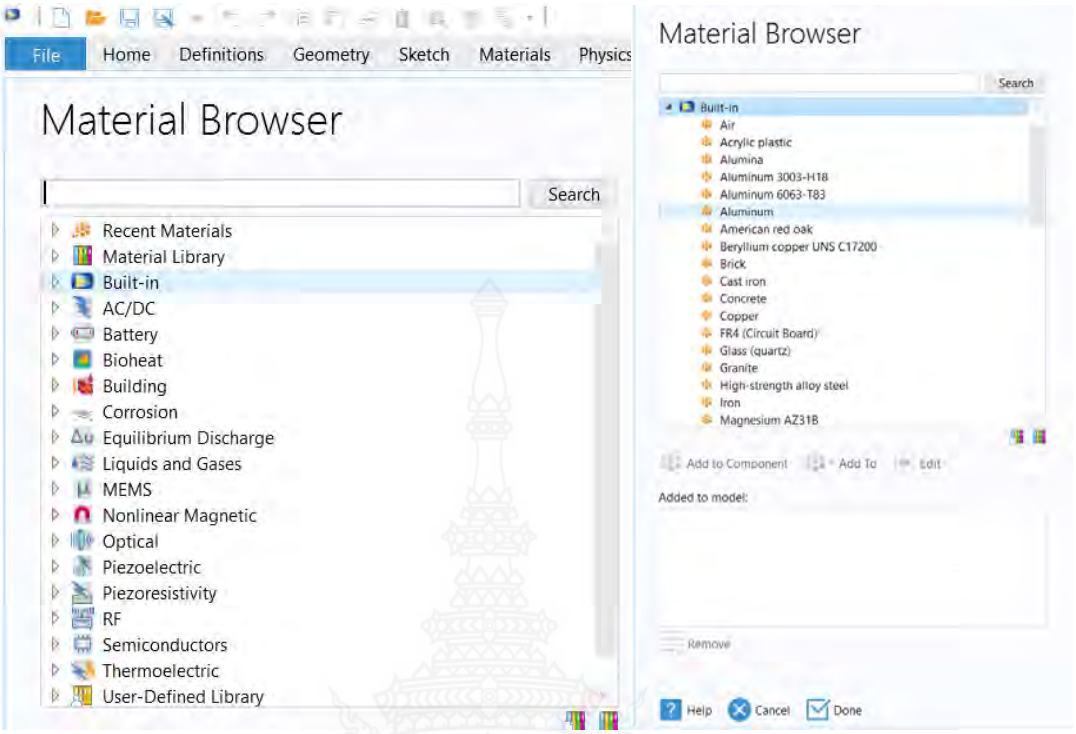
ภาพที่ 3.10 คลิกที่ปุ่ม Browse.. เพื่อทำการนำเข้าชิ้นงาน โดยไฟล์ที่นำเข้ามาต้องเป็นไฟล์นามสกุล DXF จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Import



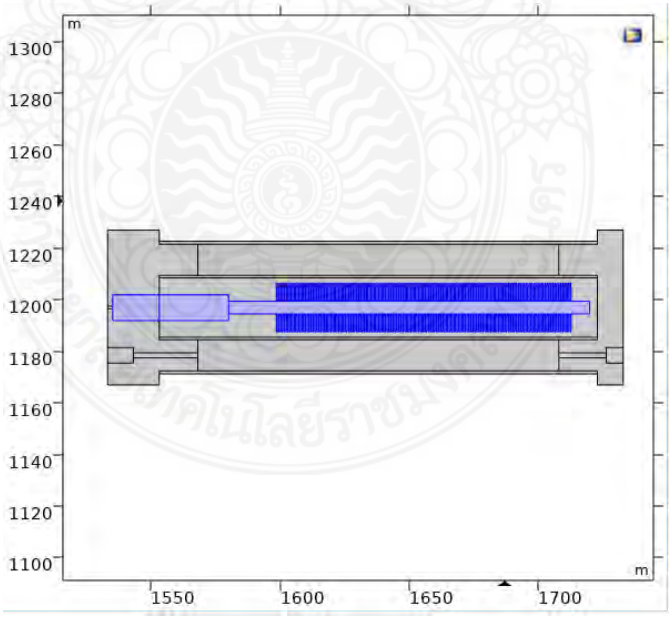
ภาพที่ 3.11 แสดงให้เห็นชิ้นงานหลังจาก Import เข้ามาในโปรแกรม



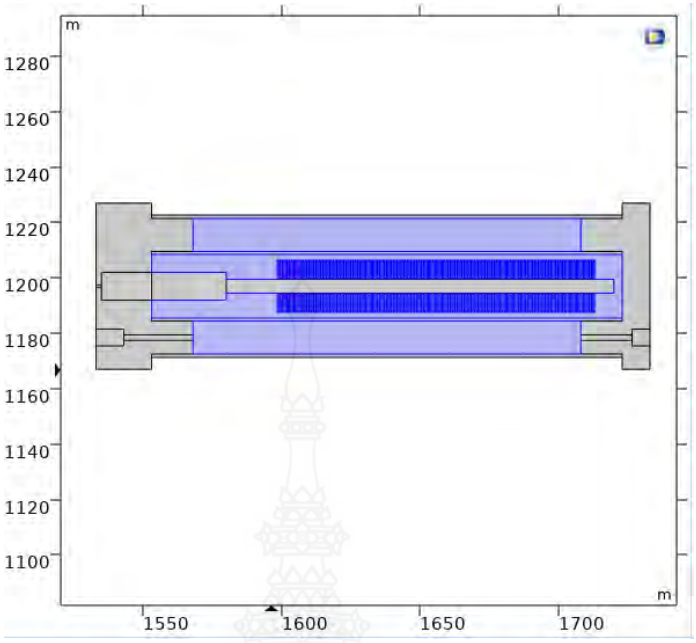
ภาพที่ 3.12 กำหนดชนิดของวัสดุ โดยการคลิกขวาที่ Materials แล้วเลือก Browse Material



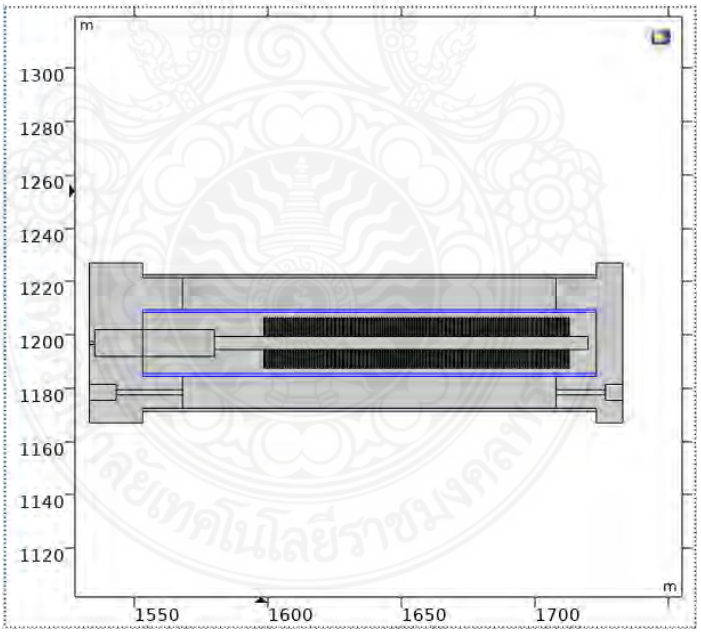
ภาพที่ 3.13 แสดงการเลือกวัสดุที่ต้องการโดยคลิกที่ Built-in เลือกวัสดุที่ต้องการแล้วคลิกที่ Done ในขั้นตอนถัดไปเป็นการกำหนดประเภทของวัสดุในแต่ละส่วนของชิ้นงาน



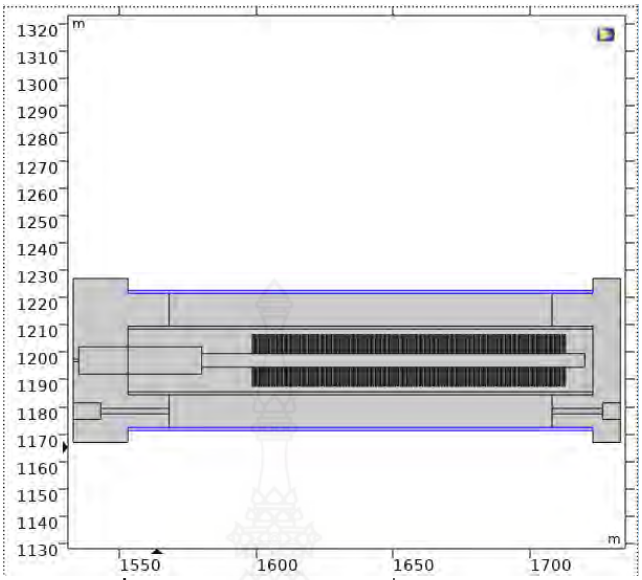
ภาพที่ 3.14 แสดงส่วนวัสดุที่เป็นเหล็ก



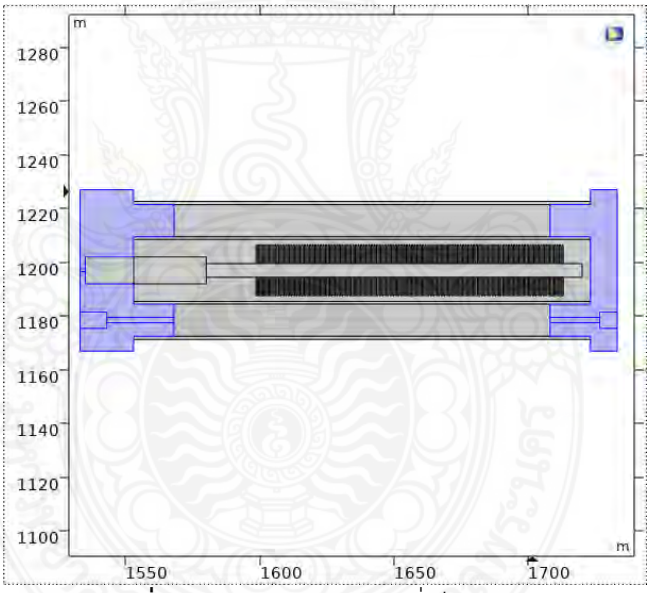
ภาพที่ 3.15 แสดงส่วนที่เป็นอากาศ



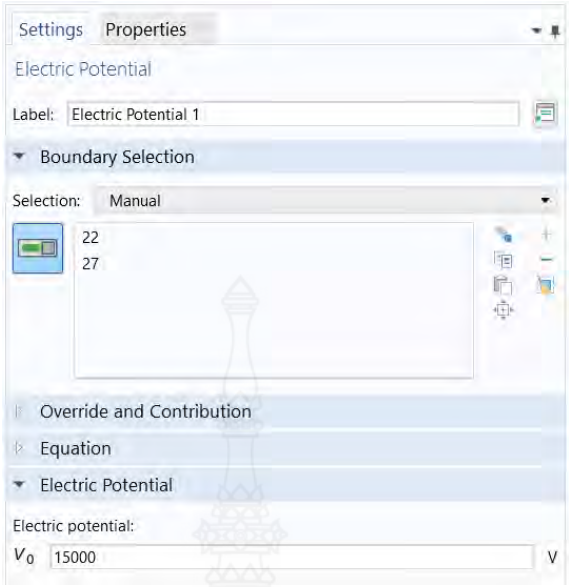
ภาพที่ 3.16 แสดงส่วนวัสดุที่เป็นแก้ว



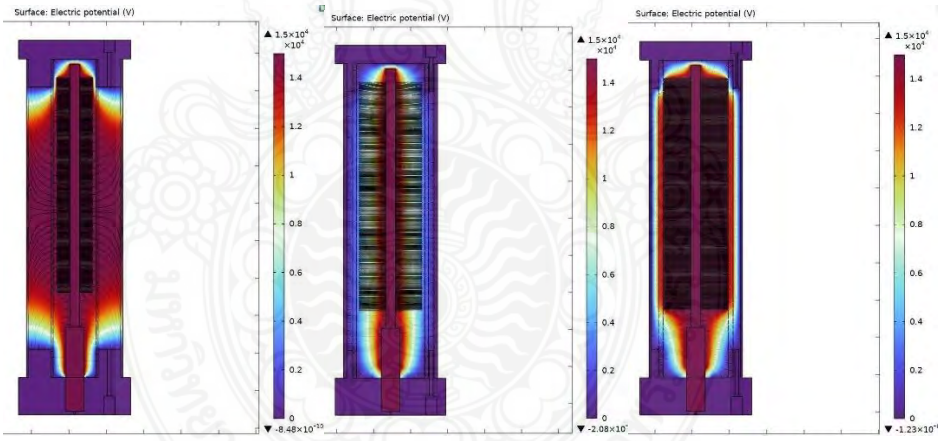
ภาพที่ 3.17 แสดงส่วนวัสดุที่เป็นท่อสแตนเลส



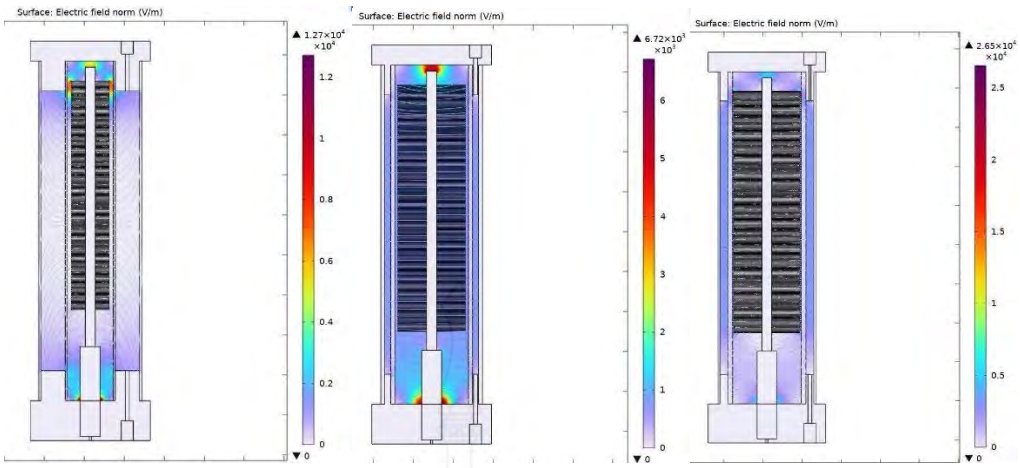
ภาพที่ 3.18 แสดงส่วนวัสดุที่เป็นเทฟล่อน



ภาพที่ 3.19 การกำหนดแรงดัน Electric potential โดยกำหนดให้มีแรงดัน 15,000 V (15kV) จากนั้นก็ทำการประมวลผลออกมา โดยไปที่ Home แล้วกด Compute



ภาพที่ 3.20 ผลเฉลยที่คำนวณได้จากซ้ายไปขวา (ความหนาหลอดแก้ว 1mm. 2mm. และ 2.5mm.) แถบข้างขวาบ่งบอกสีแดง คือ ค่า max และสีน้ำเงิน คือ ค่า min (Electric potential)



ภาพที่ 3.21 ผลเฉลยที่คำนวณได้จากซ้ายไปขวา (ความหนาหลอดแก้ว 1mm. 2mm. และ 2.5mm.) แถบข้างขวาบ่งบอกสีแดง คือ ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูง และสีน้ำเงิน คือ ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำ (Electric Field)

3.3 สร้างชิ้นงานจริง

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเตรียมวัสดุอุปกรณ์สำหรับทำชิ้นงานและนำวัสดุไปทำการกลึงให้ได้ตามแบบที่วาดเอาไว้ โดยมีวัสดุและอุปกรณ์ในการทำโครงงานที่ใช้เพื่อการศึกษานี้แสดงในภาพที่ 3.22-3.41



ภาพที่ 3.22 หลอดแก้ว 3 ขนาดความหนา (1mm., 2mm. และ 2.5mm.)



ภาพที่ 3.23 แปรงลวดเหล็ก



ภาพที่ 3.24 แท่งเทฟล่อนสำหรับทำฝาปิด



ภาพที่ 3.25 ท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว จำนวน 3 ชิ้น



ภาพที่ 3.26 หม้อแปลงนีออน



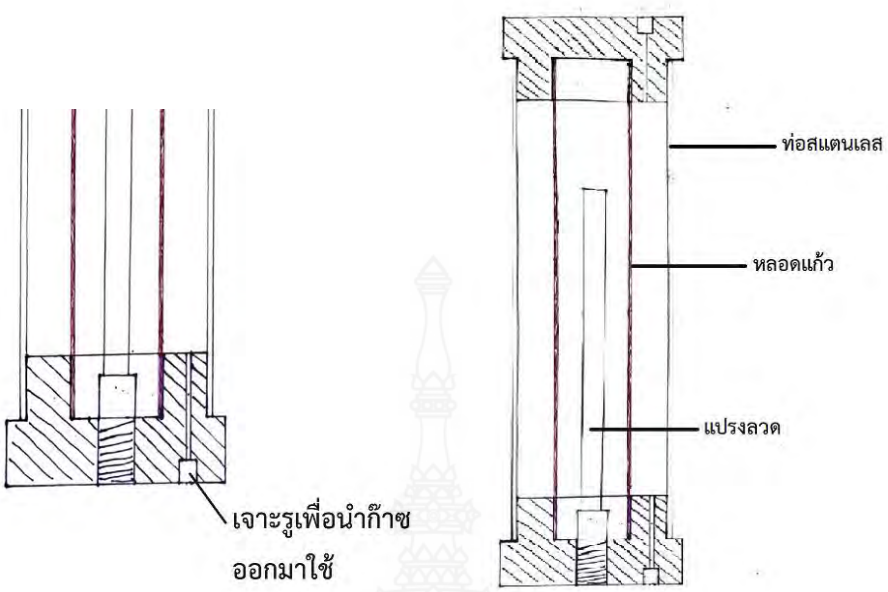
ภาพที่ 3.27 ท่อซิลิโคนขนาด 6 มิลลิเมตร ยาว 1 เมตร



ภาพที่ 3.28 สายไฟทนแรงดัน



ภาพที่ 3.29 ปั๊มลม



ภาพที่ 3.30 แบบสำหรับใช้กลึงเทฟล่อนเพื่อนำมาสวมเข้ากับท่อสแตนเลสและหลอดแก้ว



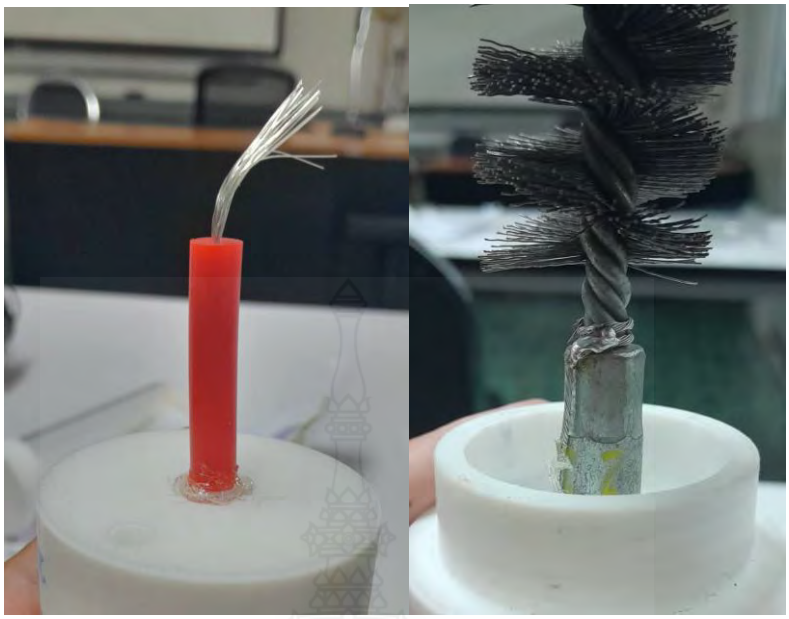
ภาพที่ 3.31 ท่อสแตนเลสที่นำไปเชื่อมหมุดเพื่อติดตั้ง Ground



ภาพที่ 3.32 เทฟล่อนที่ผ่านการกลึงเสร็จเรียบร้อยแล้วถูกนำมาประกอบเข้ากันทั้ง 2 ด้าน



ภาพที่ 3.33 ต่อสายไฟกับอิเล็กโทรดแปรงลวด



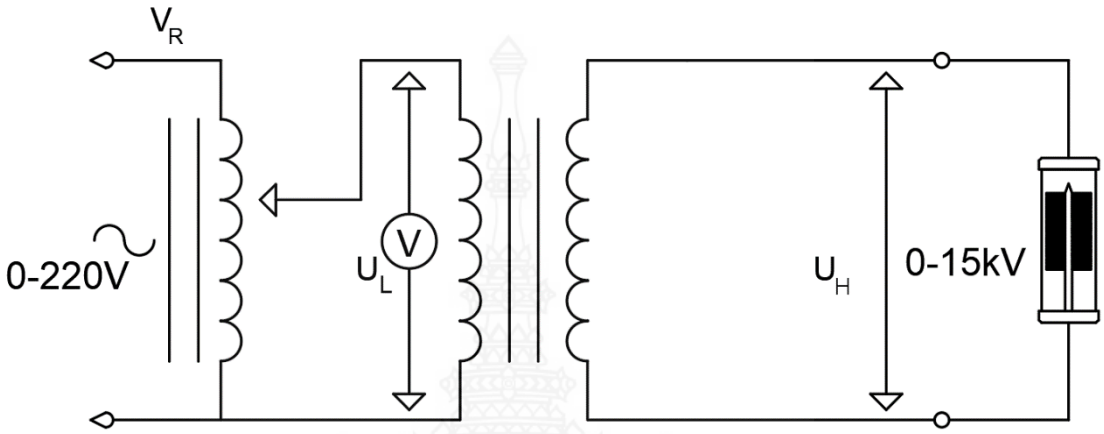
ภาพที่ 3.34 ติดกาวและบัดกรีสายไฟเข้ากับแปรงลวด



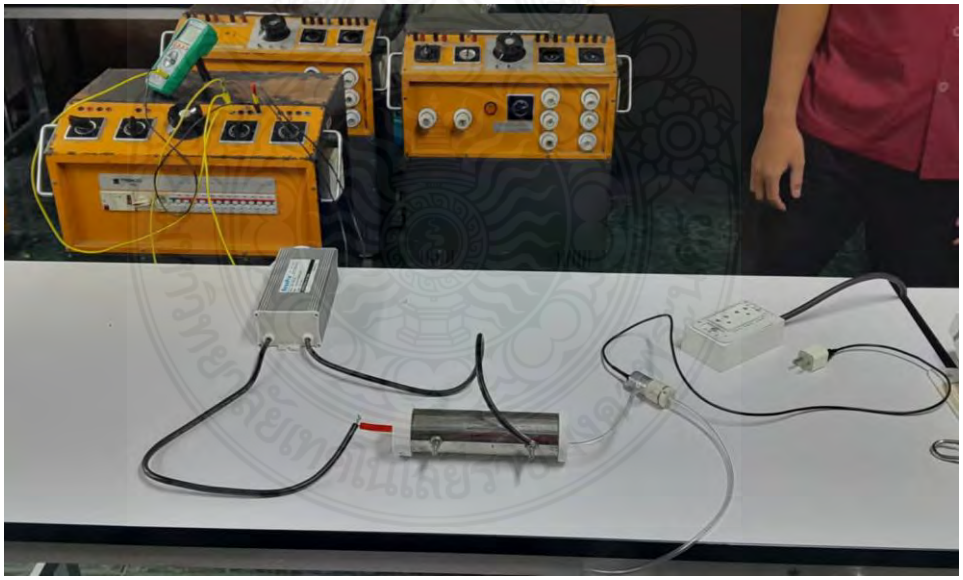
ภาพที่ 3.35 ลักษณะของชิ้นงานที่ประกอบเสร็จ

3.4 ทดสอบชิ้นงาน

ในการทดสอบชิ้นงานจะเป็นการต่อวงจรเข้ากับแหล่งจ่ายหม้อแปลงแบบปรับค่าได้ เพื่อจ่ายแรงดันไปที่หม้อแปลงและหม้อแปลงจะป้อนแรงดันเข้าไปที่ชิ้นงานเพื่อทำปฏิกิริยาเคมี จากนั้นต่อชิ้นงานเข้ากับปั๊มลมเพื่อดึงก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้นในตัวชิ้นงานออกมา



ภาพที่ 3.36 วงจรที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 3.37 ต่อวงจรทดสอบ



ภาพที่ 3.38 ทดสอบชิ้นงานโดยป้อนแรงดันไฟฟ้าและต่อเข้าปั๊มลม

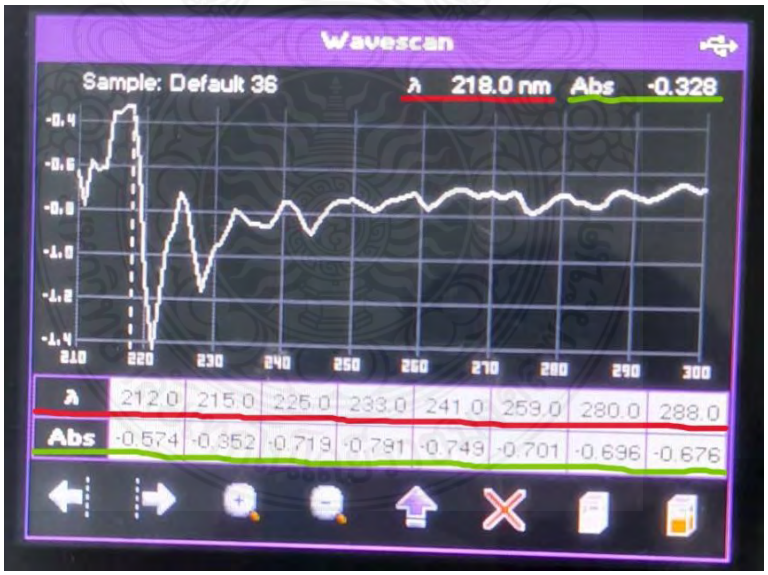


ภาพที่ 3.39 เก็บตัวอย่างโอโซนจากชิ้นงาน ณ วันที่ 16 กันยายน พ.ศ.2566

อุณหภูมิสูงสุด 32°c และอุณหภูมิต่ำสุด 26°c



ภาพที่ 3.40 การวัดปริมาณโอโซนด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยการนำตัวอย่างน้ำกลั่นที่ผ่านการพ่นก๊าซโอโซนมาบรรจุในคิวเวทท์ แล้วนำมาใส่ในช่องทดสอบเพื่อวัดค่าการดูดกลืนของแสง



ภาพที่ 3.41 จอแสดงผลของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ช่องที่ขีดเส้นสีแดงคือช่วงความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นนาโนเมตร(nm.) ช่องที่ขีดเส้นสีเขียวคือความเข้มข้นของโอโซนมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร(mg./ml.)

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 การคำนวณณหาปริมาณโอโซนด้วยวิธีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ใช้วิธีการนำก๊าซโอโซนจากชิ้นงานพ่นลงในขวดแก้วที่เติมน้ำกลั่น 200 ml. เป็นเวลา 5 นาที โดยจะทำการเก็บตัวอย่างแรงดันละ 3 รอบและนำมาวัดค่าของแต่ละแรงดันจาก 20 V – 220 V โดยจะทำการเพิ่มแรงดันทีละ 40 V และนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของก๊าซโอโซนที่วัดได้ในน้ำกลั่น สามารถแสดง ดังตารางที่ 4.1-4.3 และ กราฟในภาพที่ 4.1-4.3

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบอิเล็กโทรดที่มีค่าไดอิเล็กทริกหนา 1 มิลลิเมตร

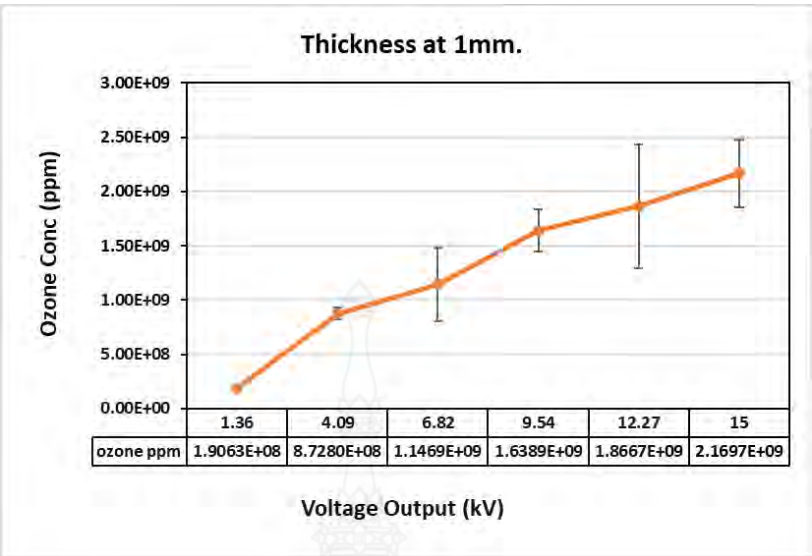
Voltage (V)	High Voltage (Electric Field) Maximum 220V=15kV	The amount of gas Ozone concentration (g./l./hr.)	Ozone (ppm)
20	1.36 kV	191	1.91E+07
60	4.09 kV	873	8.73E+07
100	6.82 kV	1,147	1.15E+08
140	9.54 kV	1,639	1.64E+08
180	12.27 kV	1,867	1.87E+08
220	15 kV	2,170	2.17E+08

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบอิเล็กโทรดที่มีค่าไดอิเล็กทริกหนา 2 มิลลิเมตร

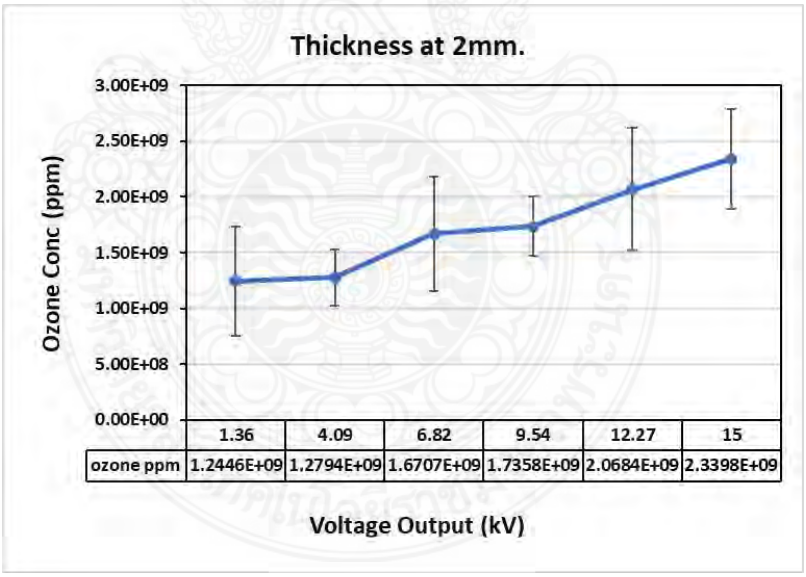
Voltage (V)	High Voltage (Electric Field) Maximum 220V=15kV	The amount of gas Ozone concentration (g./l./hr.)	Ozone (ppm)
20	1.36 kV	1,245	1.24E+08
60	4.09 kV	1,279	1.28E+08
100	6.82 kV	1,671	1.67E+08
140	9.54 kV	1,736	1.74E+08
180	12.27 kV	2,068	2.07E+08
220	15 kV	2,340	2.34E+08

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบอิเล็กโทรดที่มีค่าไดอิเล็กทริกหนา 2.5 มิลลิเมตร

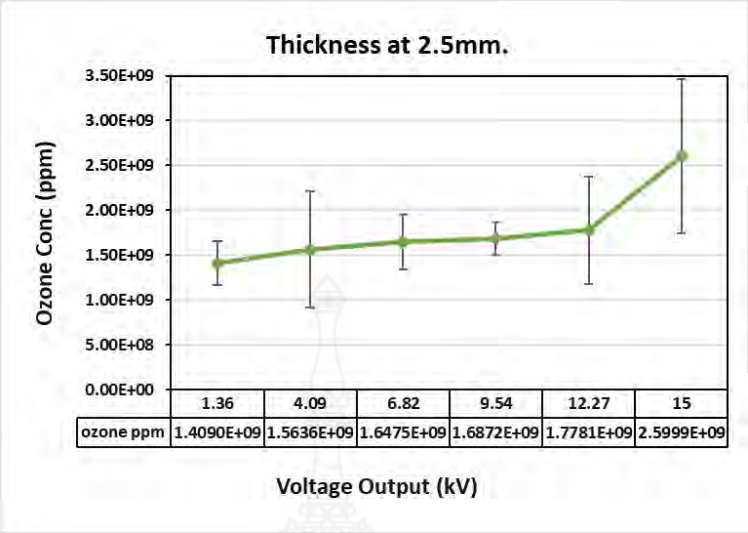
Voltage (V)	High Voltage (Electric Field) Maximum 220V=15kV	The amount of gas Ozone concentration (g./l./hr.)	Ozone (ppm)
20	1.36 kV	1,409	1.41E+08
60	4.09 kV	1,564	1.56E+08
100	6.82 kV	1,647	1.65E+08
140	9.54 kV	1,687	1.69E+08
180	12.27 kV	1,778	1.78E+08
220	15 kV	2,600	2.60E+08



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงปริมาณโอโซนที่ผลิตออกมาในแต่ละแรงดันของอิเล็กโทรด ที่มีค่าไดอิเล็กทริกหนา 1 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงปริมาณโอโซนที่ผลิตออกมาในแต่ละแรงดันของอิเล็กโทรด ที่มีค่าไดอิเล็กทริกหนา 2 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงปริมาณโอโซนที่ผลิตออกมาในแต่ละแรงดันอิเล็กโทรด

ที่มีค่าไดอิเล็กทริกหนา 2.5 มิลลิเมตร

จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่ใช้หลอดแก้วความหนา 1mm. ปริมาณโอโซนจะได้น้อยหรือมากตามระดับแรงดัน ชิ้นงานที่ใช้หลอดแก้วความหนา 2mm. จะผลิตโอโซนได้ดีขึ้นในแรงดันต่ำ แรงดันช่วง 20 – 60V จะต่างกันไม่มาก ผลจะเริ่มห่างกันในช่วงแรงดัน 100V ดังนั้นหากต้องการเพิ่มปริมาณการผลิตโอโซนจะต้องเพิ่มแรงดันทางด้านแรงดันต่ำ ครั้งละ 80 V ชิ้นงานที่ใช้หลอดแก้วความหนา 2.5mm. จะผลิตโอโซนได้ดีขึ้นในแรงดันต่ำ แต่การเพิ่มแรงดัน การผลิตโอโซนจะเพิ่มขึ้นไม่มากยกเว้นแรงดัน 220V ที่มีค่าสูงกว่าแรงดันอื่นๆ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า หลอดแก้วที่มีความหนาจะต้องใช้แรงดันที่สูงเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตโอโซน

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนและระยะเวลาในการยับยั้งไวรัส 90%

Ozone Concentration (ppm)	90% Inactivation Time (min)	Relative Humidity %
0.05	180	35
0.60	100	55
1.20	14	55
1.23	70	55
1.00	60	60-80

บทที่ 5
สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

ไดอิเล็กทริกที่หนา 1mm. ซึ่งขนาดเล็กและมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยจะทำให้มีพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาสร้างก๊าซโอโซนได้มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณโอโซนมีค่ามากน้อยตามระดับแรงดัน หากต้องการผลิตโอโซนในแรงดันที่ต่ำ ควรเลือกใช้ไดอิเล็กทริกที่มีความหนา 2.5mm. ที่มีความสามารถในการผลิตได้ดีที่สุด แต่การเลือกใช้อิเล็กโทรดที่มีค่าไดอิเล็กทริกหนา 2 มิลลิเมตร เป็นการใช้แรงดันในการผลิตโอโซนได้คุ้มมากที่สุด เนื่องจากถ้าใช้แรงดันต่ำจะผลิตโอโซนได้มากกว่าอิเล็กโทรดที่มีค่าไดอิเล็กทริกหนา 1 มิลลิเมตรและมีปริมาณโอโซนที่ใกล้เคียงกับไดอิเล็กทริกที่มีความหนา 2.5mm. ในแรงดัน 220V ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้แรงดันที่สูงมากในการเพิ่มปริมาณการผลิตโอโซน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทำผลจำลองเป็นรูปแบบ 3 มิติ เพื่อให้สอดคล้องกับผลทดสอบจริงมากยิ่งขึ้น

5.2.2 ควรนำค่าความชื้นสัมพัทธ์และความดันบรรยากาศ ณ วันที่ทำการวัดค่ามาเปรียบเทียบเพื่อให้สอดคล้องกับค่ามาตรฐาน

5.2.3 ควรเก็บตัวอย่างแล้วนำไปวัดค่าให้เร็วที่สุดเพื่อให้มีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด

5.2.4 ควรนำก๊าซโอโซนที่ได้ ไปทดสอบกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อให้ได้ทราบถึงประสิทธิภาพของโอโซนในการกำจัดเชื้อโรคและเพื่อให้สามารถพัฒนาต้นแบบที่ได้ให้ตอบโจทย์กับการใช้งานได้จริง

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

[1] การศึกษาวิธีการควบคุมสนามไฟฟ้า ภูชิต ถึงสุข มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรตโกสินทร์

[2] การประสานสัมพันธ์ฉนวน หน่วยที่ 2 เรื่อง Electric Field and Stress รศ.ดร.ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้วสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[3] กรมศิลปากร [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.finearts.go.th/chantaburilibrary/view/19973-

[4] OZONE [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.pneumax.co.th/article-ozone

[5] ทฤษฎีการเกิดโอโซน [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/2035/7/226951_ch2.pdf

[6] อิเล็กโทรด แอโนด แคโทดในเซลล์ไฟฟ้าเคมี [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://hmong.in.th/wiki/Electrode

[7] Premjit, Y., Sruthi, N. U., Pandiselvam, R., & Kothakota, A., Aqueous ozone: Chemistry, physiochemical properties, microbial inactivation, factors influencing antimicrobial effectiveness, and application in food. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2022, 21(2), p.1054-1085.

[8] IEC Publ. 383-1983, "Test on insulators of ceramic material or glass for overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V". 1983

[9] IEC Publ.1211-1994, "Insulators of ceramic material or glass for overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V-puncture testing”

[10] DAustralian Standard, AS2947.1-1989, "Insulators porcelain and glass for overhead power lines voltage greater than 1000 V-A. C Part I : Test methods

[11] Kuffel, E., Zaengl, W.S., Kuffel, J., High Voltage Engineering:Fundamentals, Newness, Oxford, 2000,p.50-74.

[12] Diesendorf. W., Insulation Co-ordination in High Voltage Electric Power Systems, Butterworth & Co., Ltd., 1974, p.47-48.

[13] DT.Lantharthong and S.Nedphokaew, “Analysis of Electric field and Modeling Design of High Voltage Cable terminators for PD Testing Using SF6 Insulator”, ICEE 2008 International Conference on Electrical Engineering 2008, July 5-10 2008, Okinawa Japan

[14] Supawud Nedphograw,HighVoltage Engineering Book, 2008,ISBN 978-974-0667-91-9.

[15] IEC Publication No.60-2 “High Voltage test techniqued Part 2: Measuring Systems.”,1994.Hatanaka, Y., et al. Automated analysis of the distributions and geometries of blood vessels on retinal fundus images. SPIE.

[16] IEC Publication No.156 “Method for the determination of the electric strength of insulating Oil.”,1994.

[17] Li Naiyi, Peng Zongren, Liu Peng1100 kV DC SF_ 6. Electric field simulation analysis of gas insulated through wall bushing High Volt. Technol., 46 (01) (2020), pp. 205-214.

[18] Yang Jiye, Yang Xiaozheng, Ma Qiang, Chen Xi, Chen Baoqi, Liu Mingyue Three dimensional simulation research on electric field distribution of 800 kV converter transformer bushing Hydropower Energy Sci., 36 (09) (2018), pp. 188-191.

[19] Volpov E.Electric field modeling and field formation mechanism in HVDC SF6 gas insulated systems IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., 10 (2) (2003), pp. 204-215.

[20] Zhang Shiling, Peng Zongren Application of finite element numerical calculation technology to 3D electric field simulation analysis of UHV through wall bushing High Volt. Technol., 46 (03) (2020), pp. 782-789.

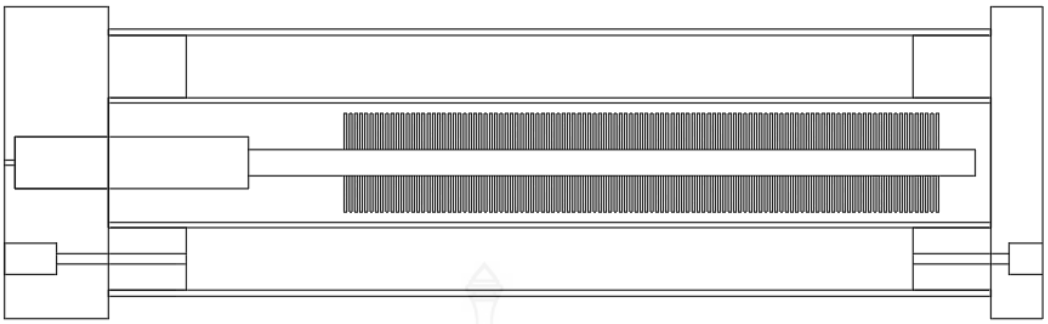
[21] S. O'Keeffe et al. An optical fibre based ultra violet and visible absorption spectroscopy system for ozone concentration monitoring Sensor. Actuator. B Chem.(2007)

[22] Stanley BT 1999 Feedgas for Modern High-Performance Ozone Generators Ozonia Ltd Duebendorf Switzerland

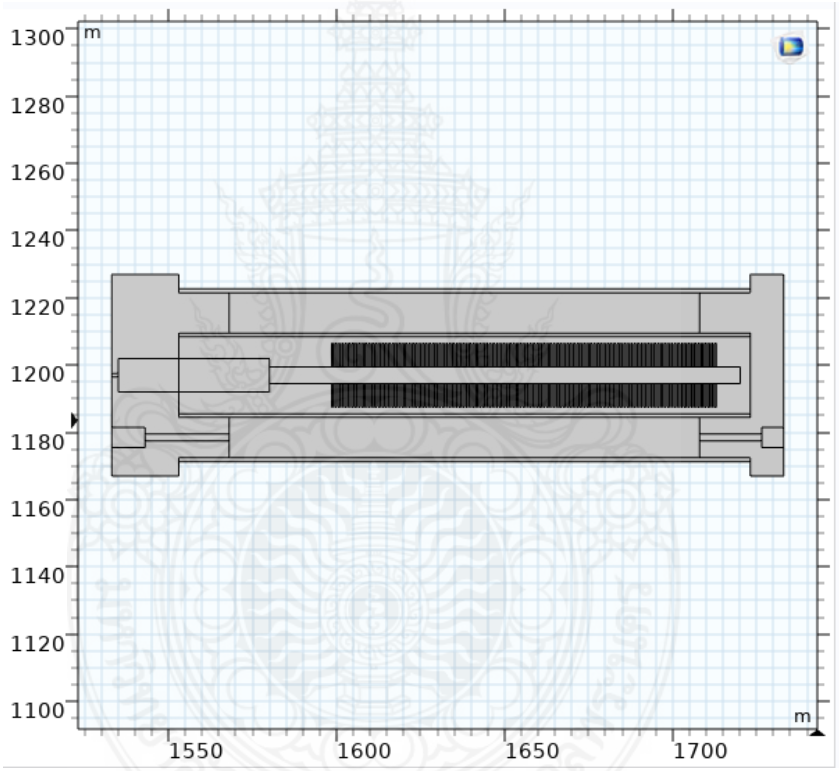
[23] Nur M, Resti M, Arianto F, Muhlisin Z, Teke S, Susan A I, Winarni TA, Susilo and Muharam H. “Power analysis of ozone generator for high capacity] production”,2014 International Symposium on Technology Management and Emerging Technologies (ISTMET) Bandung Indonesia.

ภาคผนวก

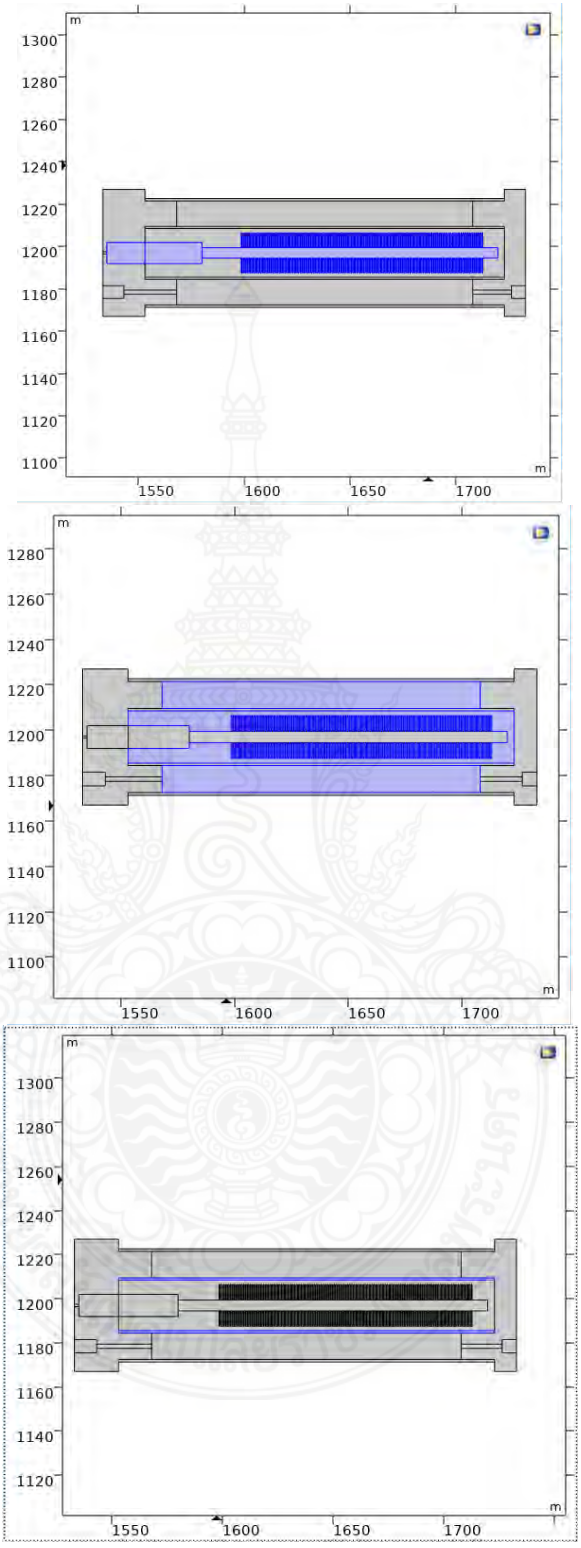
ภาคผนวก ก
การดำเนินงานวิจัย



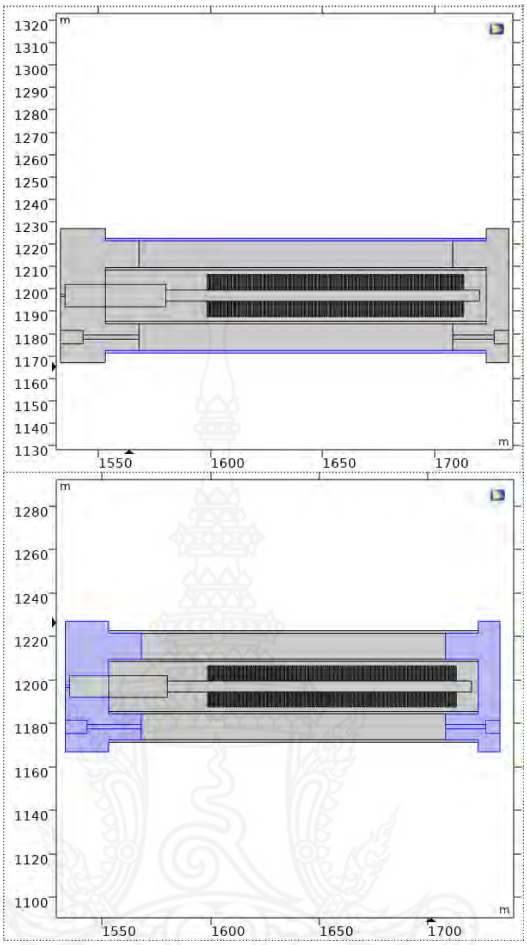
ภาพที่ ก.1 การสร้างชิ้นงานจำลองใน AutoCAD



ภาพที่ ก.2 ชิ้นงานหลังจากนำเข้ามายังโปรแกรม COMSOL



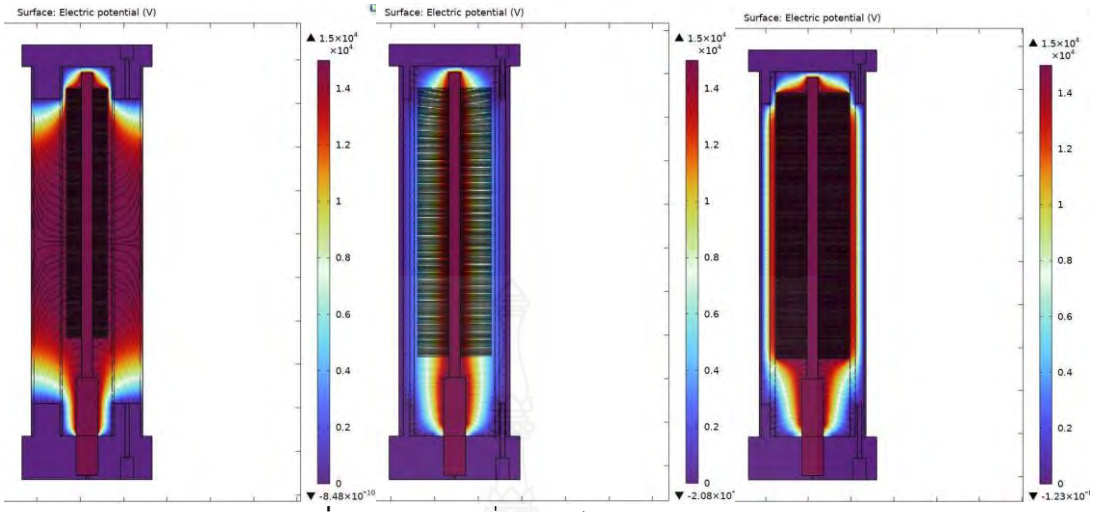
ภาพที่ ก.3 แสดงการแบ่งประเภทวัสดุในแต่ละส่วนของชิ้นงาน



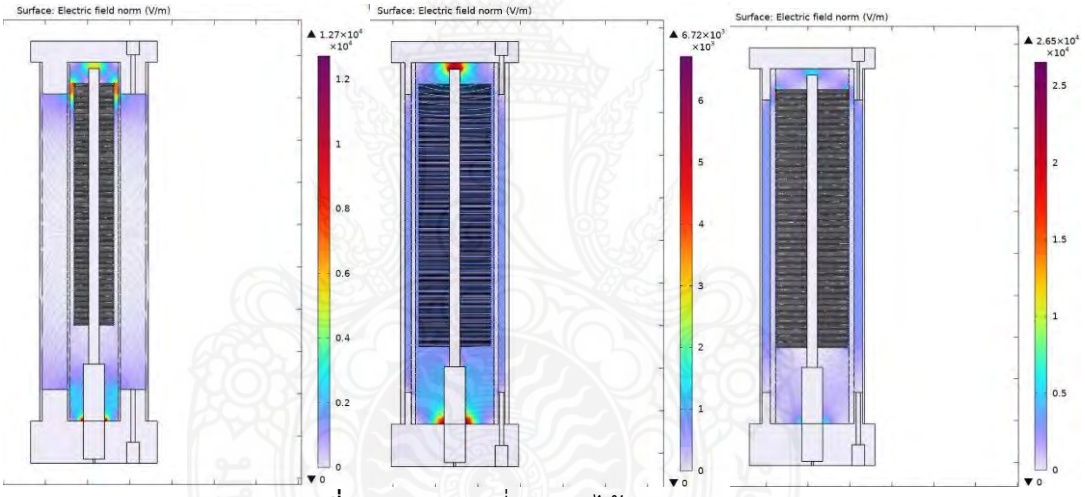
ภาพที่ ก.4 แสดงการแบ่งประเภทวัสดุในแต่ละส่วนของชิ้นงาน



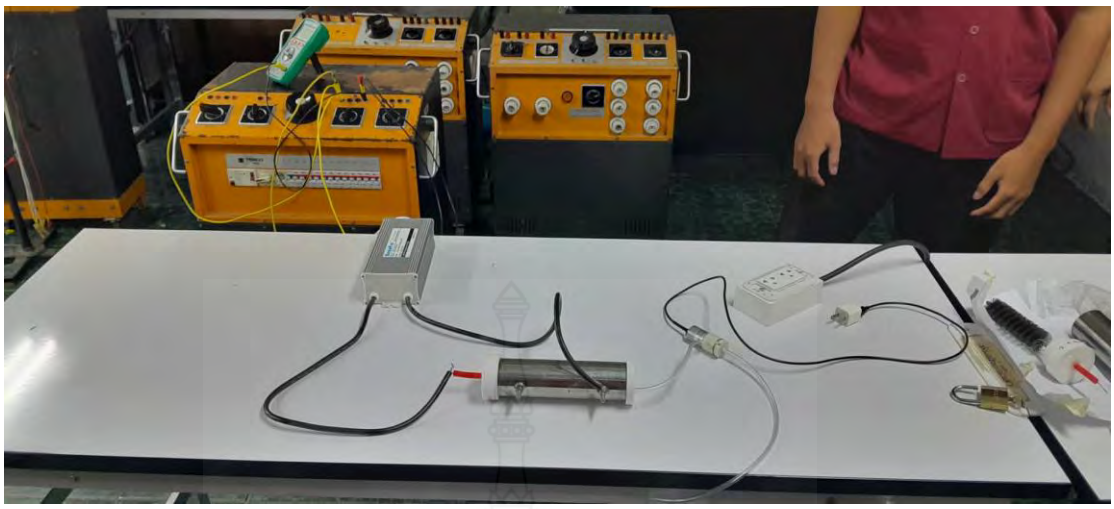
ภาพที่ ก.5 การกำหนดแรงดัน



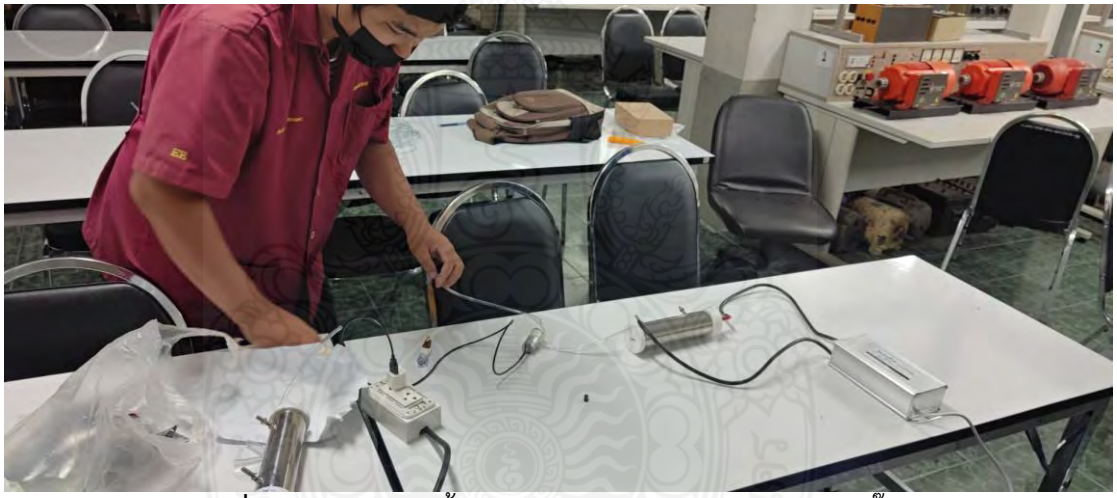
ภาพที่ ก.6 ผลเฉลยที่คำนวณได้ (Electric potential)



ภาพที่ ก.7 ผลเฉลยที่คำนวณได้ (Electric Field)



ภาพที่ ก.8 การต่อวงจรทดสอบ



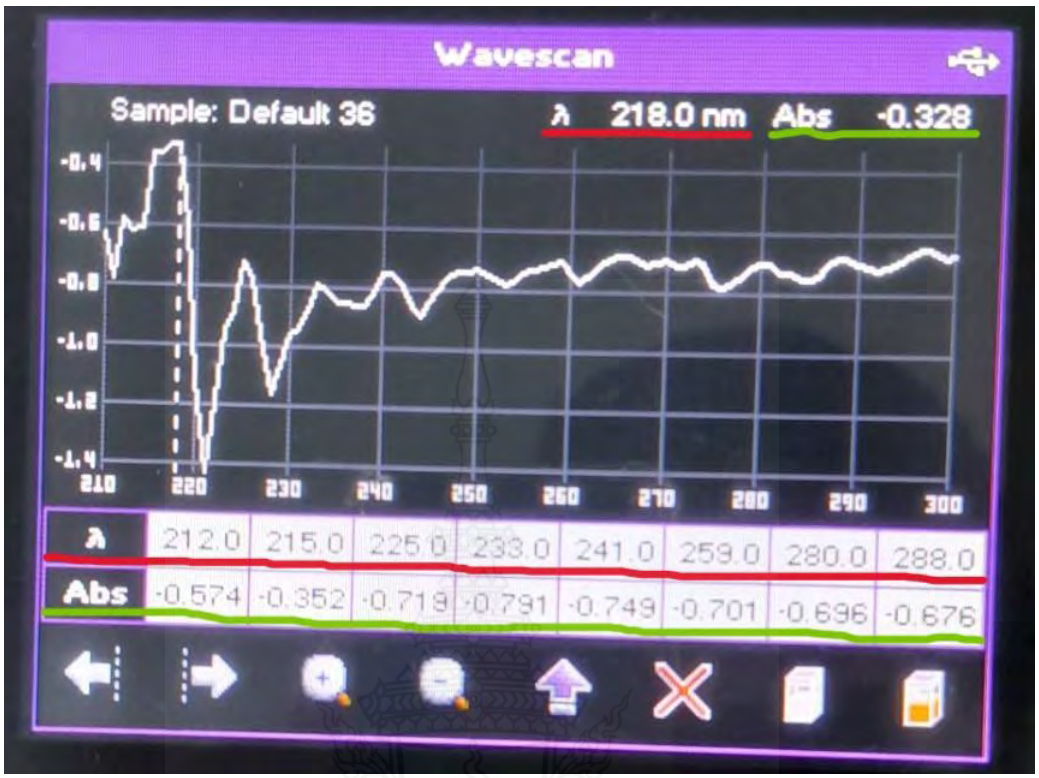
ภาพที่ ก.9 การทดสอบชิ้นงานโดยป้อนแรงดันไฟฟ้าและต่อเข้าปั๊มลม



ภาพที่ ก.10 การเก็บตัวอย่างโอโซนจากชิ้นงาน ณ วันที่ 16 กันยายน พ.ศ.2566 อุณหภูมิสูงสุด 32°c และอุณหภูมิต่ำสุด 26°c



ภาพที่ ก.11 การวัดปริมาณโอโซนด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์



ภาพที่ ก.12 จอแสดงผลของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลหม้อแปลงนีออน

Maximum Load Length Chart						
Model	Diameter Tubing(mm)	12	13	15	18	20
	Gas pressure(mmHg)	11	10	9	8	7
MXP-15000-40	Load length(m) Clear/Neon	11m	12m	13m	14m	15m
	Load length (m) Mercury/Argon	12m	13m	14m	15m	16m

ภาคผนวก ข
ข้อมูลเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ BioDrop

BioDrop Duo+ dsDNA Application Note

BioDrop
a division of Harvard Bioscience, Inc.

Using a BioDrop Duo+ spectrophotometer to measure the concentration of low volume samples of dsDNA

Micro-volume measurement of DNA is a routine application in many life science laboratories. Quantification and purity measurement of dsDNA is a key first step before performing experiments such as PCR, qPCR, Next Generation Sequencing, ChIP and ChIP Seq. The success of these experiments requires accurate and precise quantification of the dsDNA starting material. In addition, the high cost of the reagents makes accurate initial quantification even more important. Life scientists also require the flexibility of working with higher concentrations offered by the BioDrop CUVETTE 125 and larger volumes used in conventional spectrophotometry.



Current options for direct measurement of dsDNA are conventional spectrophotometers or dedicated micro-volume instruments. Conventional UV/Vis Spectroscopy requires sample dilution, adding time to the quantification method, as well as increasing the possibility of error due to additional sample manipulation. Existing micro-volume instruments have multiple disadvantages such as possible pathlength drift and inaccuracy in detection limits as well as issues such contamination and bubbles disrupting analysis.

To address these issues, BioDrop developed a novel micro-volume instrument, the BioDrop Duo+. The BioDrop Duo+ is a UV/Vis spectrophotometer which has a novel in-built sample port with a fixed 0.5 mm pathlength AND a cuvette holder to accommodate the BioDrop CUVETTE or a standard 10 mm cuvette. The sample port improves the scientist's ability to make measurements of highly concentrated and/or low volume DNA, RNA, oligonucleotides and protein samples, whilst the option of BioDrop CUVETTE analysis provides life scientists the flexibility to measure more concentrated samples. Because the BioDrop Duo+ has a fixed pathlength, excellent measurements can be achieved without the need to calibrate. Concentrations are obtained quickly using a colour touchscreen to select pre-programmed methods in the on-board software. Importantly, users do not need to perform time-consuming sample dilution.



A key application of direct micro-volume measurement is the quantification of dsDNA. To demonstrate the performance of the BioDrop Duo+, a series of experiments were performed to determine the minimum sample volume, detection limit, reproducibility, linearity and sample carry over. For a summary of results, see Table 1.

Table 1. Summary of Results

	Sample Port	BioDrop CUVETTE 125
DNA Detection Limit (ng/µL)	1.0	7.1
Minimum Volume (µL)	0.5	0.6
Maximum Concentration (ng/µL)	2,500	10,000
Pathlength (mm)	0.5	0.125

ภาพที่ ข.1 BioDrop Duo+ dsDNA



Materials and Methods

The BioDrop Duo+ is a split-beam, UV/Vis spectrophotometer which uses a Xenon light source and a 1024 CCD array detector. This technology delivers rapid, high quality measurements. Details of the technical specifications can be found in Table 2.

The BioDrop Duo+ generates quick results: no warm-up time is required and the instrument is readily controlled using a high-resolution colour touchscreen. Samples are pipetted directly into the in-built sample port or the cuvette, and then measured.

Materials and Methods

Purified Salmon Sperm dsNA (Sigma-Aldrich Item # D1626-250MG) was dissolved in HyPure Molecular Biology Grade H2O directly before measurement using the BioDrop Duo+ Spectrophotometer.

The 0.5 mm pathlength was selected from the drop-down menu of the on-board software for measurements using the in-built sample port of the BioDrop Duo+. Alternatively a 0.125 mm pathlength was selected for analysis using the BioDrop 125 CUVETTE. DNA concentrations were calculated automatically using the pre-programmed DNA quantification method: absorbance is measured over a wavescan from 230 to 320 nm. The concentration of dsDNA in the solution was determined by subtracting the absorbance at 320 nm from absorbance at 260 nm and then multiplying the corrected absorbance by the concentration factor of DNA (50 µg/mL) and the pathlength normalisation factor (20 (in-built sample port) or 80 (BioDrop CUVETTE 125)).

Multiple instruments were tested to determine the detection limit, minimum sample volume, linearity, reproducibility and carry over. Data representative of the test group is shown in Figures 1-3.

The detection limit was determined by performing a series of twenty measurements in the in-built sample port using the DNA method on the on-board software.

Minimum sample volume was assessed by performing a series of measurements using a 1 µL microsyringe. The reproducibility of the measurement at decreasing volume was determined by calculating the mean and standard deviation.

The linearity of the instrument was determined by plotting the measured concentration against dilution of the sample.

Finally, sample carry over was assessed by alternating measurements of water and 100 and 1000 ng/mL dsDNA solutions. The in-built sample port was simply wiped with lint-free tissue in between measurements to evaluate the effectiveness of cleaning between samples.

Table 2. Technical Specifications

Display	7" colour capacitive touchscreen
Light Source	Pulsed Xenon lamp with 3 year warranty
Detector	1024 element CCD array
Wavelength Range	190 nm to 1100 nm
Pathlength Accuracy	In-built sampling port has an accuracy of +/- 5 µm
Wavelength Accuracy	± 2 nm
Wavelength Reproducibility	± 1 nm
Spectral Bandwidth	5 nm
Stray Light	<0.5%T at 220 nm NaI and <0.5%T 340 nm using $NaNO_2$
Absorbance Range	- 0.3 A to 2.5 A, 0 to 199%T
Absorbance Accuracy	±0.005 A or 1% of the reading, whichever is the greater at 546 nm
Absorbance Reproducibility	±0.003 A (0 to 0.5 A), ±0.007 A (0.5 to 1.0 A)
Noise	0.005 A peak to peak 0.002 A RMS
Output	USB port for USB memory stick
Power input	120 to 240V,~ 50/60Hz 40VA Max
Dimensions	Height 190 mm x Width 280 mm x Depth 410 mm
Weight	Approx. 3.55kg
Life Science PC Software	DNA, RNA, Oligo, Fluorescent Dye, Tm Calculation, OD600, Protein Dye, Protein UV and Colorimetric protein methods
Applications	Single Wavelength, Concentration, Wavescan, Kinetics, Standard Curve, Multi-wavelength, Substrate, Equation Editor
Software Languages	English, French, German, Italian, Japanese, Spanish & Simplified Chinese

ภาพที่ ข.2 Material and Methods

Results

Linearity of Measurement of the BioDrop Duo+

A range of DNA concentrations were measured. Each sample concentration was measured five times. The mean was calculated for each concentration and then plotted against the dilution factor. The BioDrop Duo+ demonstrated excellent linearity of up to 2500 ng/µL as demonstrated by an R2 value of 0.9998 as shown in Figure 1. The R2 value refers to the accuracy of measurement within a linear line, in which measurements displaying clear linearity exhibit an R2 value of 0.9 to 1.0.

The linearity of the BioDrop CUVETTE 125 was also measured in the BioDrop Duo+. Measured concentrations were plotted against the dilution factor. Excellent linearity was achieved as demonstrated by an R2 value of 0.9997.

dsDNA Detection Limit of the In-Built Sample Port

The dsDNA detection limit of the BioDrop Duo+ in-built sample port is an important specification which informs the user of the minimum concentration that can be measured. A low detection limit allows end users to use the minimal amount of sample for measurement thereby allowing for more sample to be used for subsequent experiments. The detection limit of the micro-volume sample port shown repeatedly to be less than 1 ng/µL, a best in class specification, as shown in figure 3. The detection limit when using the BioDrop CUVETTE 125 was 7 ng/µL.

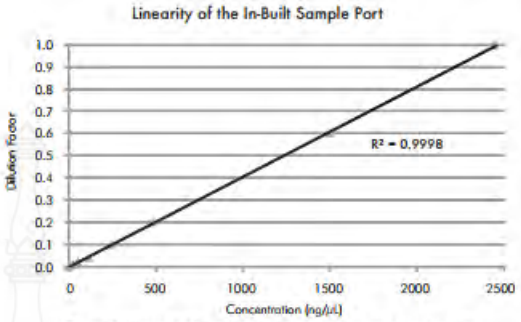


Figure 1: Linearity of the in-built sample port was determined by plotting concentration against the dilution factor.

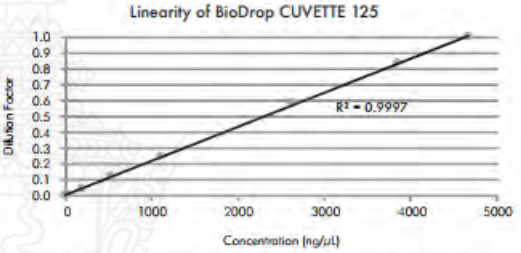


Figure 2: Linearity of the BioDrop CUVETTE 125 was determined by plotting concentration against dilution factor.

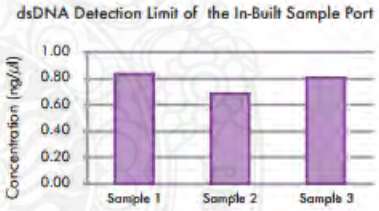
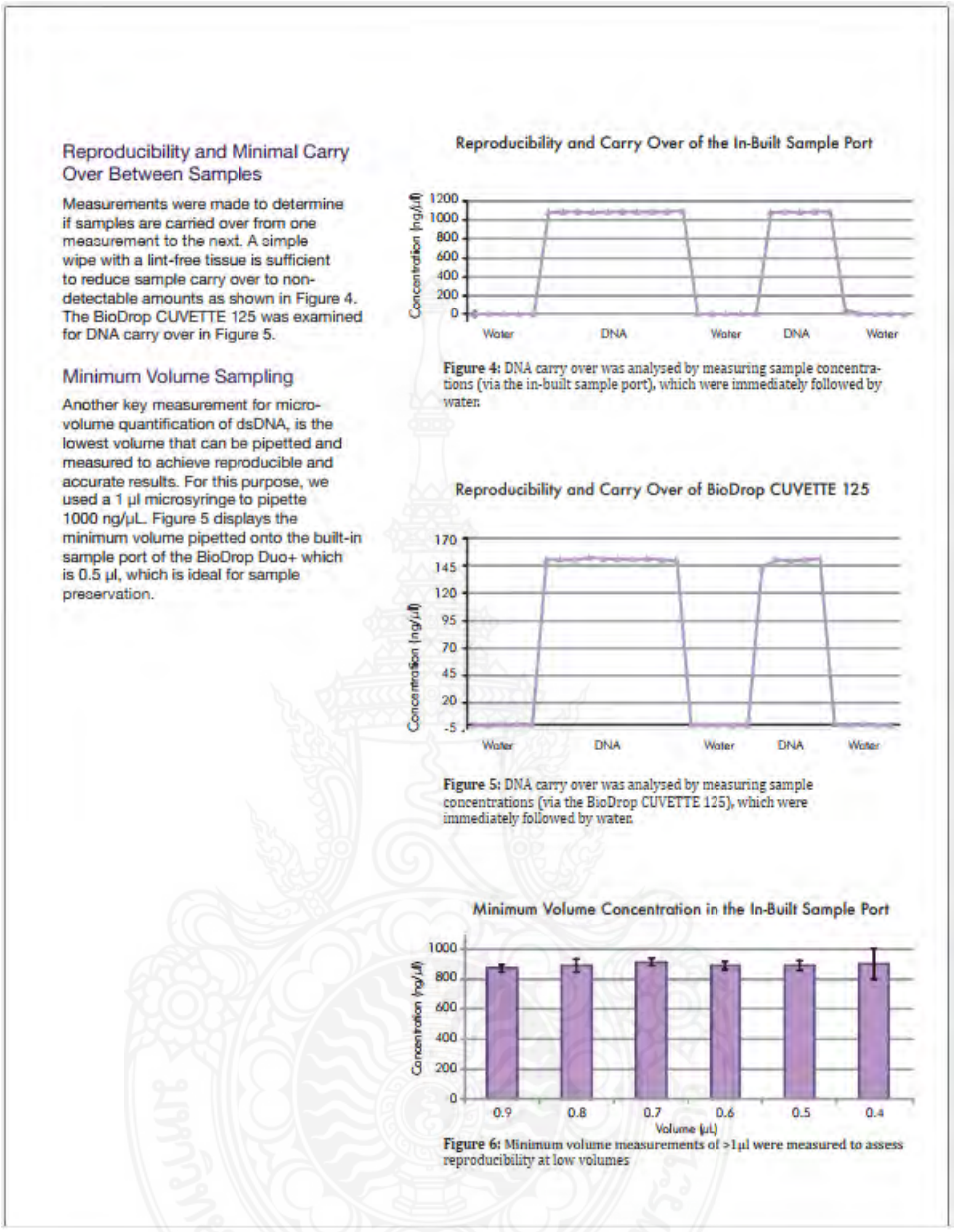


Figure 3: Detection limit of three independent in-built sample ports were analysed.

ภาพที่ ข.3 Results



Reproducibility and Minimal Carry Over Between Samples

Measurements were made to determine if samples are carried over from one measurement to the next. A simple wipe with a lint-free tissue is sufficient to reduce sample carry over to non-detectable amounts as shown in Figure 4. The BioDrop CUVETTE 125 was examined for DNA carry over in Figure 5.

Minimum Volume Sampling

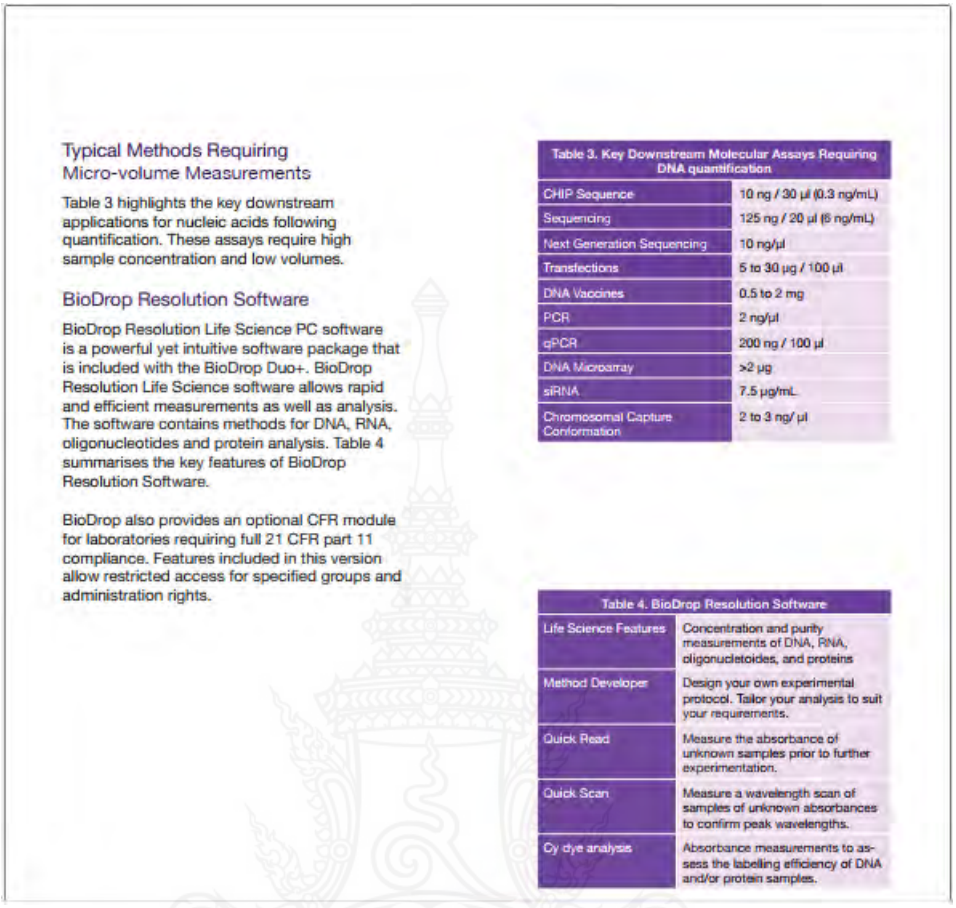
Another key measurement for micro-volume quantification of dsDNA, is the lowest volume that can be pipetted and measured to achieve reproducible and accurate results. For this purpose, we used a 1 µl microsyringe to pipette 1000 ng/µL. Figure 5 displays the minimum volume pipetted onto the built-in sample port of the BioDrop Duo+ which is 0.5 µl, which is ideal for sample preservation.

Figure 4: DNA carry over was analysed by measuring sample concentrations (via the in-built sample port), which were immediately followed by water.

Figure 5: DNA carry over was analysed by measuring sample concentrations (via the BioDrop CUVETTE 125), which were immediately followed by water.

Figure 6: Minimum volume measurements of >1µl were measured to assess reproducibility at low volumes

ภาพที่ ข.4 Reproducibility and Minimal Carry Over Between Samples, Minimum Volume Sampling



Typical Methods Requiring Micro-volume Measurements

Table 3 highlights the key downstream applications for nucleic acids following quantification. These assays require high sample concentration and low volumes.

BioDrop Resolution Software

BioDrop Resolution Life Science PC software is a powerful yet intuitive software package that is included with the BioDrop Duo+. BioDrop Resolution Life Science software allows rapid and efficient measurements as well as analysis. The software contains methods for DNA, RNA, oligonucleotides and protein analysis. Table 4 summarises the key features of BioDrop Resolution Software.

BioDrop also provides an optional CFR module for laboratories requiring full 21 CFR part 11 compliance. Features included in this version allow restricted access for specified groups and administration rights.

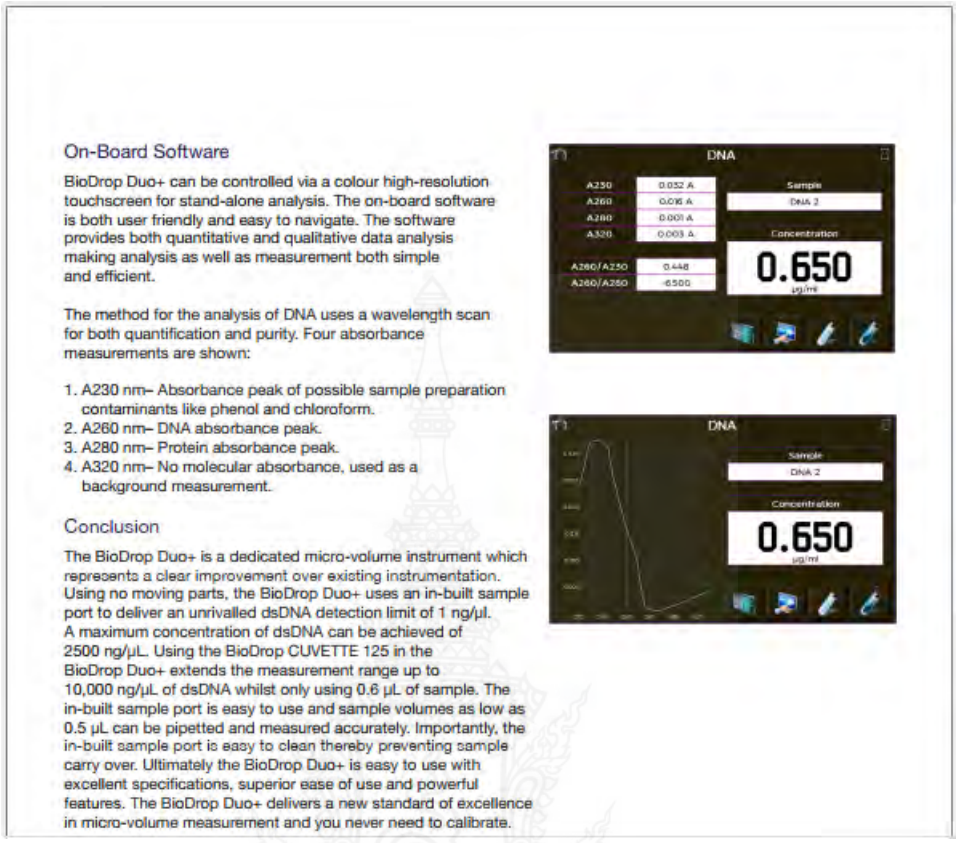
Table 3. Key Downstream Molecular Assays Requiring DNA quantification

CHIP Sequence	10 ng / 30 µl (0.3 ng/mL)
Sequencing	125 ng / 20 µl (6 ng/mL)
Next Generation Sequencing	10 ng/µl
Transfections	5 to 30 µg / 100 µl
DNA Vaccines	0.5 to 2 mg
PCR	2 ng/µl
qPCR	200 ng / 100 µl
DNA Microarray	>2 µg
siRNA	7.5 µg/mL
Chromosomal Capture Conformation	2 to 3 ng/ µl

Table 4. BioDrop Resolution Software

Life Science Features	Concentration and purity measurements of DNA, RNA, oligonucletoides, and proteins
Method Developer	Design your own experimental protocol. Tailor your analysis to suit your requirements.
Quick Read	Measure the absorbance of unknown samples prior to further experimentation.
Quick Scan	Measure a wavelength scan of samples of unknown absorbances to confirm peak wavelengths.
Cy dye analysis	Absorbance measurements to assess the labelling efficiency of DNA and/or protein samples.

ภาพที่ ข.5 Typical Methods Requiring Micro-volume Measurements, Resolution Software



On-Board Software

BioDrop Duo+ can be controlled via a colour high-resolution touchscreen for stand-alone analysis. The on-board software is both user friendly and easy to navigate. The software provides both quantitative and qualitative data analysis making analysis as well as measurement both simple and efficient.

The method for the analysis of DNA uses a wavelength scan for both quantification and purity. Four absorbance measurements are shown:

1. A230 nm– Absorbance peak of possible sample preparation contaminants like phenol and chloroform.
2. A260 nm– DNA absorbance peak.
3. A280 nm– Protein absorbance peak.
4. A320 nm– No molecular absorbance, used as a background measurement.

Conclusion

The BioDrop Duo+ is a dedicated micro-volume instrument which represents a clear improvement over existing instrumentation. Using no moving parts, the BioDrop Duo+ uses an in-built sample port to deliver an unrivalled dsDNA detection limit of 1 ng/µl. A maximum concentration of dsDNA can be achieved of 2500 ng/µL. Using the BioDrop CUVETTE 125 in the BioDrop Duo+ extends the measurement range up to 10,000 ng/µL of dsDNA whilst only using 0.6 µL of sample. The in-built sample port is easy to use and sample volumes as low as 0.5 µL can be pipetted and measured accurately. Importantly, the in-built sample port is easy to clean thereby preventing sample carry over. Ultimately the BioDrop Duo+ is easy to use with excellent specifications, superior ease of use and powerful features. The BioDrop Duo+ delivers a new standard of excellence in micro-volume measurement and you never need to calibrate.

ภาพที่ ข.6 On-Board Software

ภาคผนวก ค
ผลงานวิจัยผ่านการตอบรับให้ตีพิมพ์ผลงาน
ในวารสารระดับนานาชาติ
GMSARN Journal ฐานข้อมูล Scopus (Q4)

Greater Mekong Subregion Academic and Research Network (GMSARN)

Asian Institute of Technology
Hanoi University of Technology
Ho Chi Minh City University of Technology
Institute of Technology Cambodia
Khon Kaen University
Kunming University of Science and Technology
Chitralada Technology Institute
National University of Laos
Royal University of Phnom Penh
Thammasat University
Yangon Technological University
Yunnan University
Naresuan University
Suratthani Rajabhat University

August 25, 2024 No. GMSARNJ 2024/14

Nattachote Rugthaicharoencheep
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Phra Nakon
Bangkok 10300 Thailand

Dear Nattachote Rugthaicharoencheep,

Subject: Acceptance Letter (Paper ID. GMSARN-24E-03)

Title of the Journal:	GMSARN International Journal
Paper Title:	Determination of electric field stress from ozone gas generating electrodes for clean rooms
Authors:	Supawud Nedphokaew and Nattachote Rugthaicharoencheep
Corresponding Author:	Nattachote Rugthaicharoencheep

Thank you very much for your submission to our journal. We are pleased to inform you that your paper has been reviewed and accepted with revision for publication in Volume 20 Issue 1, 2026. In case you have not submitted copyright form; please send scanned copy shortly through e-mail: gmsarn@ait.ac.th. Thank you for making the journal a vehicle for your research interests.

Best wishes,

Prof. Weerakorn Ongsakul, PhD, CFA
Editor-in-Chief
GMSARN International Journal

GMSARN Office: Asian Institute of Technology

Postal Address:
P.O. Box 4
Klong Luang
Pathumthani 12120
Thailand

Street Address:
Km. 42 Paholyothin Highway
Klong Luang
Pathumthani 12120
Thailand

Tel: (66-2) 524-6537
(for local calls, dial 02 before the tel no.)
E-mail: gmsarn@ait.ac.th
Internet: http//www.gmsarn.com

Determination of electric field stress from ozone gas generating electrodes for clean rooms

Supawud Nedphokaew[1] and Nattachote Rugthaicharoencheep[2,*]

ARTICLE INFO

Article history:
Received:
Revised:
Accepted:

Keywords:
High-voltage
Ozone generation
Electrode
Medical field
Electric field
Non-uniform

ABSTRACT

This research presents an innovative electrode design tailored for high-voltage electrochemical applications, characterized by a non-uniform electric field distribution. The primary objective is to pinpoint the ideal location and configuration for ozone gas generators, given their pivotal role in chemical reactions renowned for germ-killing efficacy in aqueous and aerial environments. Ozone gas's chemical-free attributes, swift 20-minute decomposition, and the absence of residue in water or surroundings further underscore its prominence. Within the scope of this study, a systematic exploration of various electrode types employed in ozone generator systems is conducted, facilitating a comprehensive comparative analysis of distinct electrode designs. Employing advanced programming techniques, the research rigorously inspects the efficiency and suitability of these electrode types, ultimately discerning the most optimal ozone generation electrode designs. Furthermore, this research examines the electric field generated by each electrode configuration, enabling the fine-tuning of ozone production quantities. This optimization bears immense significance within the realm of the medical field, especially in applications concerning pathogen eradication and the elimination of hazardous chemicals.

1. INTRODUCTION

Ozone gas (O_3) forms when oxygen (O_2) molecules are exposed to energy sources like ultraviolet (UV) radiation or electrical discharge, such as lightning (Figure 1). Ozone is renowned for its exceptional oxidizing properties, making it one of the most potent agents currently permitted for use. Notably, it boasts an impressive 51% higher efficiency compared to chlorine gas and operates at a speed 3,125 times faster in the removal of microorganisms. As ozone engages with organic matter embedded within bacterial membranes, it catalyzes the weakening and rupture of cell walls, ultimately leading to cell death. Moreover, ozone displays a versatile reactivity profile, extending its efficacy to both organic and inorganic substances, making it adept at facilitating biodecomposition processes. The transformative capability of ozone further extends to the complete breakdown and decomposition of various organic substances into carbon dioxide and water. Depending on the concentration and duration of use, ozone showcases the remarkable ability to eliminate a diverse spectrum of pathogens, encompassing bacteria, viruses, spores, mucus, mildew, mold, amoeba, and various infections, often in the form of cysts [1]. This introduction establishes the foundation for our comprehensive study of ozone's potential applications in disinfection and the eradication of harmful microorganisms. In this research, an exploration of electric field stress within ozone generation electrode units was designed for disinfection applications. The primary objective was to elucidate the intricate process of ozone gas generation, with a particular emphasis on harnessing the chemical properties of ozone gas. This effort involved employing the fundamental concept of generating high-voltage feed electrodes, aimed at effectively annihilating pathogens.This comes from the chemical properties of ozone gas that can destroy a wide range of pathogens, especially viruses. It is applied to clean room disinfection.

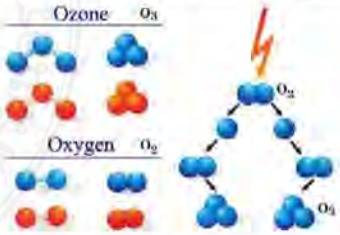


Figure 1 Ozone generation and pollution removal.

2. GUIDELINES FOR MANUSCRIPT PREPARATION

In data storage papers, it is recommended to primarily use SI (MKS) units, with English units provided as secondary

[1,2,*]*Department of Electrical Engineering , Faculty of Engineering , Rajamangala University of Technology Phra Nakon,10300 , Thailand*
[*]*Corresponding author:* Nattachote Rugthaicharoencheep; Phone: +6661-353-6426; Email: nattachote.r@rmutp.ac.th.

units in parentheses when necessary. For instance, express data density is shown as "15 Gb/cm2 (100 Gb/in2)." Exceptions are allowed when English units are used as trade identifiers, such as "3½ -in disk drive." It's important to avoid the combination of SI and CGS units, such as using amperes for current and CGS units for magnetic fields. The definition of electric field stress (E) is the electric flux density (D) divided by the permittivity of the medium.

$$E = \frac{D}{\varepsilon} \quad [\text{V/m}] \qquad [1]$$

When

$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0 \qquad [2]$$

ε_0 permittivity of free space

ε_r Relative permittivity

The electric field generated by the electrode is non-uniform. This electrode type subjects each point within the electric field to varying degrees of strain, influenced by the electrode's geometry, resulting in an uneven electric field distribution, as depicted in the Figure 2.

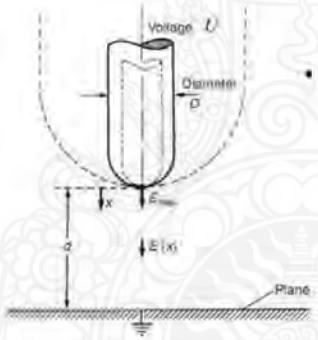


Figure 2 Electric field distribution

The highest electric field stress is experienced at the surface of the spherical electrode and can be calculated as follows:

$$E_{max} = \frac{U}{d\eta^{\Phi}} \qquad [3]$$

Corona is a high-voltage phenomenon that occurs on conductors or devices and is associated with power losses in a system. It results in the conversion of energy into heat, light, sound, chemical reactions, and electromagnetic energy. When there's a significant voltage difference between electrodes, it leads to the generation of a higher frequency sound, which is often referred to as the gas dissociation process, involving the ionization of gases and the release of substances like ozone and nitrous oxide. With further increases in voltage difference, a phenomenon characterized by purple light appearing in small dots along the entire length of the conductor becomes visible. This corona discharge also leads to electromagnetic interference with radio waves. In cases of excessively high voltage, sparks or flashovers may occur, collectively known as corona phenomena.

The air dissociation process is initiated by the Disruptive Critical Voltage, which is the minimum required voltage level. This phenomenon is induced as a response to electrical intensity by free electrons in the air, causing an increase in their kinetic energy and leading to collisions with gas molecules. As a result of this collision process, free electrons and ions are released, giving rise to a sound phenomenon without the presence of visible light.

The finite element method is a numerical technique employed for dividing the domain into smaller subsections known as elements, typically in the form of squares or triangles, as demonstrated in Figure 3. This method is widely utilized for engineering problem analysis and is a valuable tool for the solution of differential equations. It finds application across various fields, including solid mechanics, enabling the analysis of changes in shape and stress within mechanical components such as aircraft structures, buildings, bridges, and other complex structures. Regardless of whether the materials involved exhibit elasticity, plasticity, or elongation, the finite element method proves to be a versatile tool. It is utilized for addressing a broad spectrum of static and dynamic problems, as well as for conducting analyses of fluid flow, heat transfer, mass transfer, and more. In a basic analysis of typical mechanical structures or components, equations expressing the relationships we aim to understand, such as displacement at any point within a component, are derived based on differential equations. These outcomes are termed exact solutions. However, many machines and structures exhibit complex shapes, characterized by concave sections, various curves, and irregular cross-sectional areas. Additionally, certain areas may experience abrupt changes in loads or involve the use of diverse materials. Consequently, obtaining straightforward solutions using ordinary or partial differential equations is challenged in such cases. In these situations, systems of algebraic equations are resorted to as an alternative to solving differential equations.

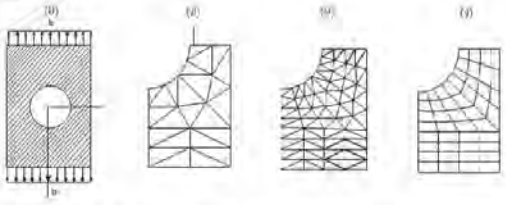


Figure 3 Subdivisions of various elements within a material.

The approach discussed here implies that for each element, the solution must inherently align with the governing equation. In the Finite Element Method (FEM), this principle serves as the foundational concept, where an equation is formulated for each element to correspond to the specific differential equation relevant to the problem at hand. These individual element equations are then aggregated into a comprehensive system of equations, analogous to assembling various pieces to construct an overall representation of the real-world problem. Solving these equations yields approximate results at various points within the problem's domain. The accuracy of these calculated approximations hinges on factors such as the size and number of elements used for problem-solving and the underlying assumptions guiding the internal interpolation functions applied to each element. These internal interpolation functions can take on diverse forms, including linear distribution. For instance, in a triangular element with corner temperatures of 30, 40, and 50 degrees Celsius, a linear interpolation function approximates temperatures at different locations within the element. The diverse models of all components used in the study are depicted in Figures 4-11.

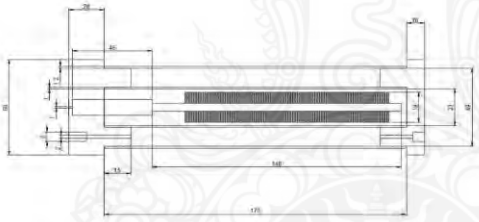


Figure 4 Model of the 1 mm bristle electrode.

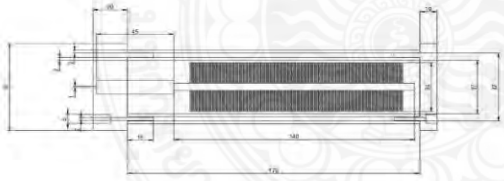


Figure 5 Model of the 2 mm bristle electrode.

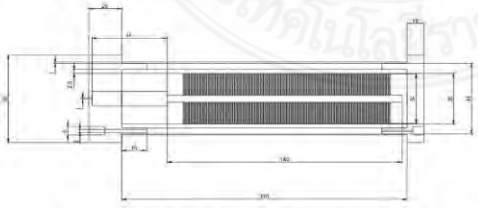


Figure 6 Model of the 2.5 mm bristle electrode.

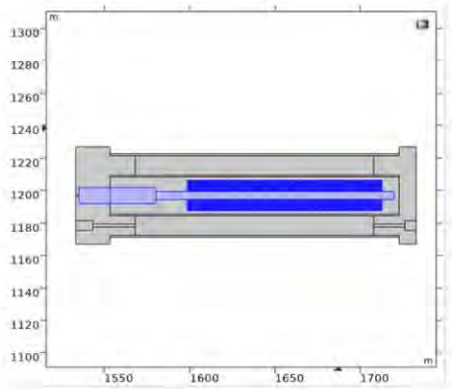


Figure 7 The material component image displaying metal part.

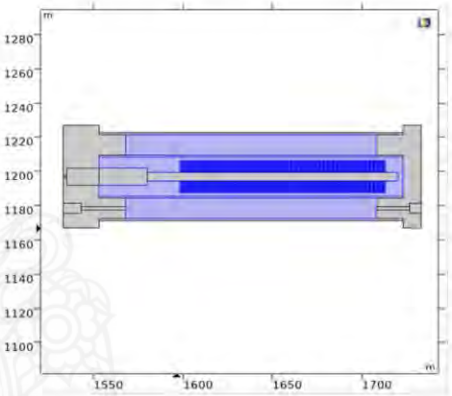


Figure 8 The image of the air part.

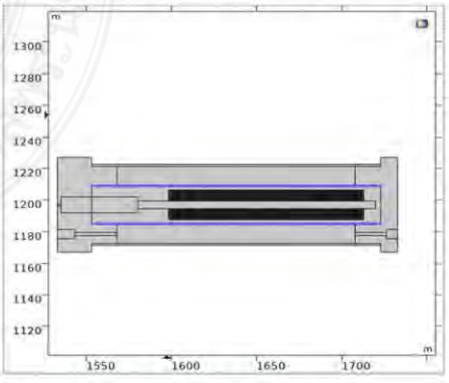


Figure 9 The image of the glass material.

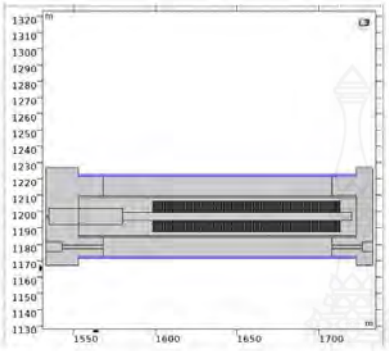


Figure 10 The image of the stainless steel pipe.

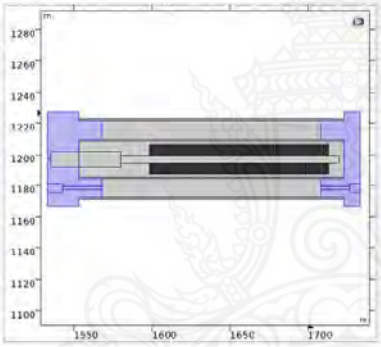


Figure 11 The image of the Teflon material part.

Results of electric field analysis with Comsol software Are shown in Figure 12-17.

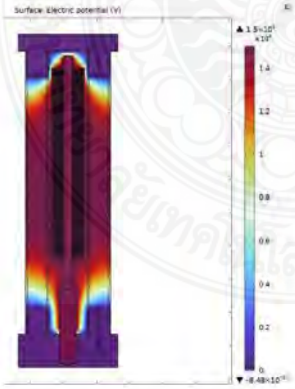


Figure 12 Calculated analysis results for the right bar: Red for the maximum and Blue for 1 mm.

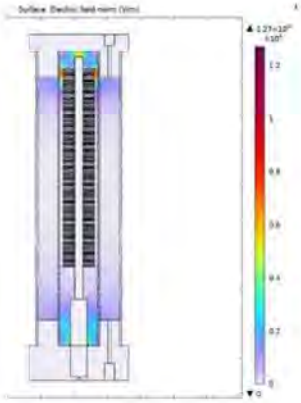


Figure 13 Calculated analysis results for the electric field stress potential distribution at 1 mm.

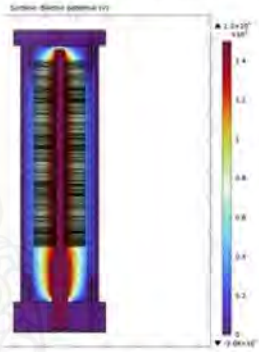


Figure 14 Calculated analysis results for the right bar: Red for the maximum and Blue for 2 mm.

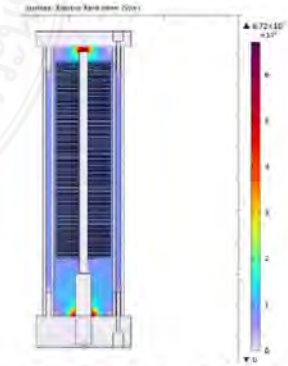


Figure 15 Calculated analysis results for the electric field stress potential distribution at 2 mm.

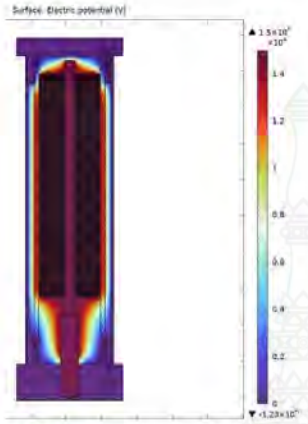


Figure 16 Calculated analysis results for the right bar: Red for the maximum and Blue for 2.5 mm.

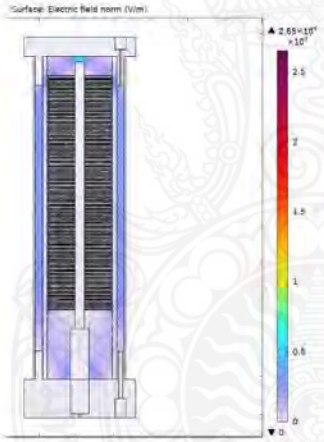


Figure 17 Calculated analysis results for the electric field stress potential distribution at 2.5 mm.

In this study, variables are being determined from real specimens used in the test to assess ozone degradation. The assembly of a test kit is display in Figure 18. The assessment takes into account variations in electrode characteristics and factors influencing the ionization of gas molecules within the test kits. These variations and transitions are then compared with samples of electric fields as part of the analysis.



Figure 18 Assembly of a test kit for installation on stainless steel tubes and glass tubes inside, which together constitute the dielectric layer

Expanding upon the previously discussed formulation of the operational process, the comparison is currently being undertaken. In this context, the simulation results obtained in this project, utilizing wire bristle electrodes, are being compared with the results of earlier experimental simulations involving pointed electrodes as illustrated in Figure 19. The outcomes indicate that the simulation results in this project are characterized by a notably higher electric potential in comparison to the previous experiments.

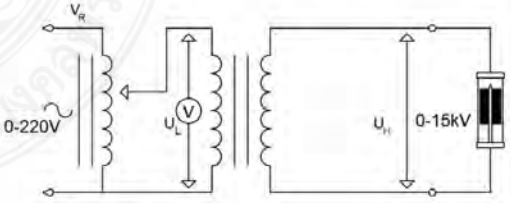


Figure 19 Electrode unit test circuit in high voltage

3. ANALYSIS AND RESULTS

Ozone determination is conducted using a spectrophotometer by placing a sample of distilled water that has been sprayed with ozone gas into a cuvette. This cuvette is then positioned inside a test chamber for measurement (Figure 20-21). The concentrations of ozone for dielectric thicknesses of 1 mm, 2 mm, and 2.5 mm are presented in Tables I to III and Figures 22 to 24.



Figure 20 Ozone determination with spectrophotometer



Figure 21 Spectrophotometer display: Red channel (wavelength range in nm); Green line (ozone concentration

The tag of blended coals is presented in Table 2. There are five blended ratios of anthracite coal with the sub-bituminous of 0, 25, 50, 75 and 100%.

Table 1 Results for electrodes with a 1 mm dielectric thickness.

Voltage (V)	High Voltage (Electric Field) Maximum 220V=15kV	The amount of gas Ozone concentration (g./l./hr.)	Std (ppm)
20	1.36 kV	191	1.21E+07
60	4.09 kV	873	5.51E+07
100	6.82 kV	1,147	3.39E+08
140	9.54 kV	1,639	1.92E+08
180	12.27 kV	1,867	5.71E+08
220	15 kV	2,170	3.13E+08

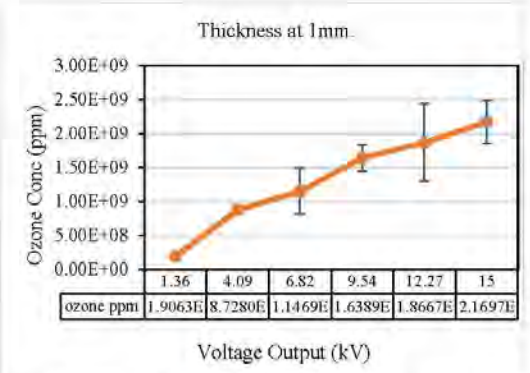


Figure 22 A graph illustrating ozone production at various electrode pressures, featuring a 1 mm dielectric thickness.

Table 2 Results for electrodes with a 2 mm dielectric thickness.

Voltage (V)	High Voltage (Electric Field) Maximum 220V=15kV	The amount of gas Ozone concentration (g./l./hr.)	Std (ppm)
20	1.36 kV	1,245	1.24E+08
60	4.09 kV	1,279	1.28E+08
100	6.82 kV	1,671	1.67E+08
140	9.54 kV	1,736	1.74E+08
180	12.27 kV	2,068	2.07E+08
220	15 kV	2,340	2.34E+08

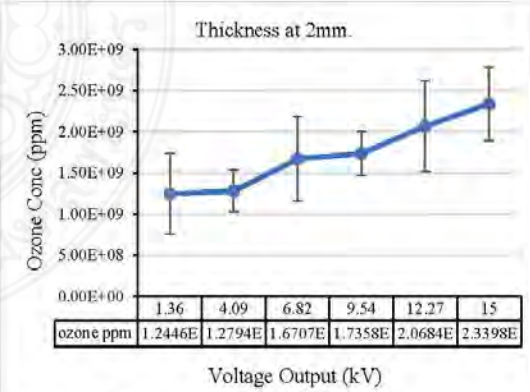


Figure 23 A graph illustrating ozone production at various electrode pressures, featuring a 2 mm dielectric thickness.

Table 3 Results for electrodes with a 2.5 mm dielectric thickness.

Voltage (V)	High Voltage (Electric Field) Maximum 220V=15kV	The amount of gas Ozone concentration (g./l./hr.)	Std (ppm)
[2]20	1.36 kV	1,409	1.41E+08
60	4.09 kV	1,564	1.56E+08
100	6.82 kV	1,647	1.65E+08
140	9.54 kV	1,687	1.69E+08
180	12.27 kV	1,778	1.78E+08
220	15 kV	2,600	2.60E+08

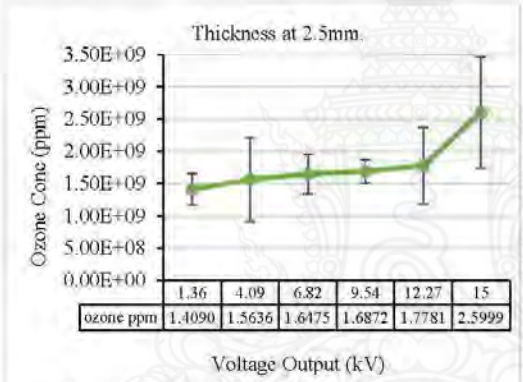


Figure 24 A graph illustrating ozone production at various electrode pressures, featuring a 2.5 mm dielectric thickness.

4. CONCLUSION

Based on the results of this test, it can be concluded that ozone content is affected by the thickness of the glass tube employed in the workpiece, leading to variations depending on pressure levels. Improved ozone production is evident when workpieces utilize a 2mm thick glass tube, especially at lower pressures, with minimal variation within the 20 – 60V voltage range. However, as the voltage range reaches 100V, divergent results become apparent. To increase ozone production, voltage should be incrementally raised in 80V increments. Conversely, in the case of specimens using 2.5 mm thick glass tubes, superior ozone production is noted at lower voltage levels, but the increase in pressure does not significantly augment ozone production, with the exception of the 220V voltage level, which surpasses other voltage levels.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the support from Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering ,Rajamangala University of Technology Phra Nakhon.(RMUTP) to fund research and tools for research analysis and co-author thank for all.

REFERENCE

[1] Premjit, Y., Sruthi, N. U., Pandiselvam, R., & Kothakota, A., Aqueous ozone: Chemistry, physiochemical properties, microbial inactivation, factors influencing antimicrobial effectiveness, and application in food. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2022, 21(2), p.1054-1085.

[2] IEC Publ. 383-1983, "Test on insulators of ceramic material or glass for overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V". 1983

[3] IEC Publ.1211-1994, "Insulators of ceramic material or glass for overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V-puncture testing"

[4] Australian Standard, AS2947.1-1989, "Insulators porcelain and glass for overhead power lines voltage greater than 1000 V-A. C Part I : Test methods

[5] Kuffel, E., Zaengl, W.S., Kuffel, J., High Voltage Engineering:Fundamentals, Newness, Oxford, 2000, p.50-74.

[6] Diesendorf, W., Insulation Co-ordination in High Voltage Electric Power Systems, Butterworth & Co., Ltd., 1974, p.47-48.

[7] T.Lantharthong and S.Nedphokaew, "Analysis of Electric field and Modeling Design of High Voltage Cable terminators for PD Testing Using SF_6 Insulator", ICEE 2008 International Conference on Electrical Engineering 2008, July 5-10 2008, Okinawa Japan

[8] Supawud Nedphograw,HighVoltage Engineering Book, 2008,ISBN 978-974-0667-91-9.

[9] IEC Publication No.60-2 "High Voltage test techniqued Part 2: Measuring Systems.",1994.Hatanaka, Y., et al. Automated analysis of the distributions and geometries of blood vessels on retinal fundus images. SPIE.

[10] IEC Publication No.156 "Method for the determination of the electric strength of insulating Oil.",1994.

[11] Li Naiyi, Peng Zongren, Liu Peng1100 kV DC SF_ 6. Electric field simulation analysis of gas insulated through wall bushing High Volt. Technol., 46 (01) (2020), pp. 205-214.

[12] Yang Jiye, Yang Xiaozheng, Ma Qiang, Chen Xi, Chen Baoqi, Liu Mingyue Three dimensional simulation research on electric field distribution of 800 kV converter transformer bushing Hydropower Energy Sci., 36 (09) (2018), pp. 188-191.

[13] Volpov E.Electric field modeling and field formation mechanism in HVDC SF6 gas insulated systems IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., 10 (2) (2003), pp. 204-215.
[14] Zhang Shiling, Peng Zongren Application of finite element numerical calculation technology to 3D electric field simulation analysis of UHV through wall bushing High Volt. Technol., 46 (03) (2020), pp. 782-789.
[15] S. O'Keeffe et al. An optical fibre based ultra violet and visible absorption spectroscopy system for ozone concentration monitoring Sensor. Actuator. B Chem.(2007)
[16] Stanley BT 1999 Feedgas for Modern High-Performance Ozone Generators Ozonia Ltd Duebendorf Switzerland
[17] Nur M, Resti M, Arianto F, Muhlisin Z, Teke S, Susan A I, Winarni TA, Susilo and Muharam H."Power analysis of ozone generator for high capacity production",2014 International Symposium on Technology Management and Emerging Technologies (ISTMET) Bandung Indonesia.

บทความวิจัยนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

ในฐาน Springer (Proceeding)

5 th International Conference on Power and

Embedded Drive Control (ICPEDC-2024)

Organized by the Department of Electronics Engineering,

SSN College of Engineering during 17th and 18th January 2024.

SSN

SRI SIVASUBRAMANIYA NADAR COLLEGE OF ENGINEERING

(Autonomous Institution, Affiliated to Anna University)

Rajiv Gandhi Salai (OMR), Kalavakkam - 603 110

Springer

CERTIFICATE

This is to certify that

Supawud Nedphokaew

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok

has presented a paper titled

Determination of electric field stress from ozone gas generating electrodes for clean rooms

in

5th International Conference on Power and Embedded Drive Control (ICPEDC - 2024)

organised by the Department of Electrical and Electronics Engineering,
SSN College of Engineering, during 17th and 18th January 2024.

Dr. R. Leo	Dr. V. Rajini	Dr. V.E. Annamalai
Convenor	Conference Chair	Principal

Determination of electric field stress from ozone gas generating electrodes for clean rooms

Supawud Nedphokaew[1]
[1]*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering*
mangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, THAILAND
supawud.n@rmutp.ac.th

Nattachote Rugthaicharoencheep[1,*]
[1]*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering*
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Bangkok, THAILAND
nattachote.r@rmutp.ac.th

ABSTRACT ***This research presents an electrode design in a High-Voltage electrochemical field in the form of a highly non-uniform electric field distribution. In order to find the appropriate point and the origin of generating the ozone gas generator used is a good property in the chemical reaction from the chemical properties of ozone gas that has the ability to kill germs in both water and air, coupled with the fact that ozone gas does not use chemicals and can decompose in 20 minutes and does not leave residue in the water and in weather. In this research, the efficiency and suitability of electrode types used as ozone generator sets will be investigated and it will lead to a comparison of different electrode designs. The results were analyzed programmatically to determine possible comparisons with efficient ozone generation electrode designs. The research indicates the electric field generated in each electrode set to determine the ability to optimize the amount of ozone generated and is useful in the medical field and the destruction of pathogens.Various important include destroying contaminated chemicals.***

I. INTRODUCTION

The analysis of electric field stress from ozone generation electrode units for disinfection was prepared to demonstrate ozone gas generation, emphasizing the use of chemical properties of ozone gas from the principle of generating high-pressure feed electrodes to destroy pathogens. Properties of ozone gas Ozone is considered the strongest oxidizing agent allowed to be utilized at present, with a 51% higher efficiency than chlorine gas and 3.125 times faster to
II. GUIDELINES FOR MANUSCRIPT PREPARATION
Use either SI (MKS) or CGS as primary units. (SI units are strongly encouraged.) English units may be used as secondary units (in parentheses). This applies to papers in data storage. For example, write "15 Gb/cm2 (100 Gb/in2)." An exception is when English units are used as identifiers in trade, such as "3½-in disk drive." Avoid combining SI and CGS units, such as current in amperes and magnetic field in Electric field stress (E) is the density of electric flux (D) divided by the permitivity of the medium.remove microorganisms. Organic matter contained in the membrane of bacteria when reacting with ozone weakens the cell wall and breaks off, causing cell death. Ozone can react with organic substances, mainly including inorganic substances. This makes it easy to break down and decompose in the process of biodecomposition. Some organic substances react completely with ozone, obtaining carbon dioxide and water. Ozone can eliminate bacteria, viruses, spores, mucus, mildew, mold, amoeba and other infections in the form of cysts according to different concentrations and duration of use.

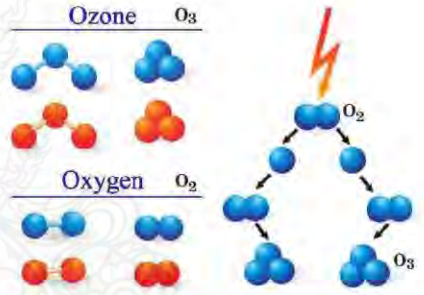


Figure 1.1 Ozone generation and pollution remove

II. GUIDELINES FOR MANUSCRIPT PREPARATION

Use either SI (MKS) or CGS as primary units. (SI units are strongly encouraged.) English units may be used as secondary units (in parentheses). This applies to papers in data storage. For example, write "15 Gb/cm^2 (100 Gb/in^2)." An exception is when English units are used as identifiers in trade, such as "3½-in disk drive." Avoid combining SI and CGS units, such as current in amperes and magnetic field in
Electric field stress (E) is the density of electric flux (D) divided by the permitivity of the mediu

$$E = \frac{D}{\varepsilon} \qquad [\text{V/m}]$$

When $\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$

ε_0 permittivity of free space $= 8.85 \times 10^{-12}$ F/m

ε_r Relative permittivity ≈ 1.0

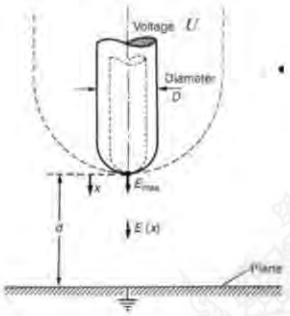


Figure 2.2 Electric Field Distribution

The electric field electrode is non uniform field This type of electrode strains each electric field differently depending on the position.The difference at different points will be more or less dependent on the geometry of the electrode with more or less inconsistent electric field, such as the electrode in the figure. Maximum electric field stress will occur at the surface of the spherical electrode, it may be calculated as follows

$$E_{max} = \frac{U}{d\eta^*}$$

Corona is the name of a high-voltage phenomenon that occurs on conductors or devices. High Voltage Coronation is one of the power losses of a system. Transition to heat, light, sound, chemistry and electromagnetic energy. When the divine difference between electrodes A higher frequency is heard, which is the breakdown of air called the gas dissociation process. (ionization of gases) Ozone and nitrous are released. When the difference increases further, we will see the phenomenon of purple light glowing around the conductor in dots along the entire length. Electromagnets also spread to interfere with radio waves, and if the voltage is too large, sparks or flashovers will occur, all of which are called "corona phenomena". The voltage level associated with the occurrence of the corona phenomenon. There are 2 things

Disruptive critical voltage. It is the minimum voltage level that initiates the air dissociation process. This is because there are free electrons in the air affected by the electrical intensity, causing the kinetic energy to collide with gas molecules. It releases free electrons and ions, creating a sound phenomenon without visible light. The principle of finite elements is to divide the domain into smaller subsections called elements, usually in a square or triangle, as shown in Figure 2.2. All points The finite element method is a numerical method. It is one of the methods used to solve differential equations and is widely used to analyze engineering problems. It can be used to analyze problems in solid mechanics, such as analyzing changes in shape and stress in mechanical parts. Aircraft structures, buildings, bridges and other complex structures are well established regardless of whether the materials used in the analysis are elastic or plastic or in elongation (Plastic) unless finite method is used. Element analyzes the aforementioned static problems. Can also be used to analyze the problem. It can also be used to analyze fluid flow heat transfer problems. Mass transfer, etc. In a simple analysis of general mechanical structures or parts, we can find equations for the relationship between what we want to know, such as displacement at any position of a part, based on Differential equations and the resulting result are called exact solutions, but they have parts. Many machines and structures with complex characteristic forms consisting of concave sections, various arcs, make the cross-sectional area of the part uneven. And some areas may have sudden changes in load or use these different materials, etc. As a result, it is not possible to find a direct solution from ordinary differential equations or partial differential equations. Systems of phytometric equations instead of solving differential equations solution.

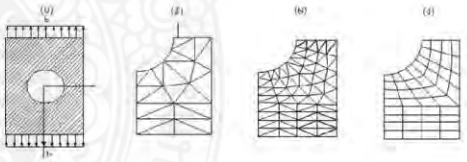


Figure 2.3 Divisions of different elements within a material

Such an approach implies that the insolution of each element is necessarily consistent with the equation. This means that the principle of the fire and night element method is to create an equation for each element based on the foundation that the equation is created. It is necessary to correspond to the differential equation of the problem being solved. The equations of each element created are then combined to form a large system of equations which, in the

physical sense, is similar to putting all elements together to form the whole shape of the real problem. Solving such equations, which will produce the desired approximate results at different points of the problem. The accuracy of the calculated approximate result depends on the size and number of elements used to solve the problem. In addition, the accuracy of the results depends on assuming the format of the internal estimation function applied to each element. That is, the fictitious internal estimation function How close is it to the exact outcome of the problem? The distribution characteristics of the internal estimation function of the element may Assume many forms, such as the form of a linear distribution. For example, if the temperature at the junction at the three corners of the triangular element is 30, 40, and 50 degrees Celsius, respectively, and if the triangular element is 30, 40, and 50 degrees Celsius, respectively, then the temperature at the junction of the three corners of the triangular element is 30, 40, and 50 degrees Celsius, respectively. Use the internal estimation function that takes the form of linear dispersion characteristics and temperature at different locations in this triangular element. FEM, or Finite Element Method, is a method used to find solutions to differential equations using numerical calculation methods.

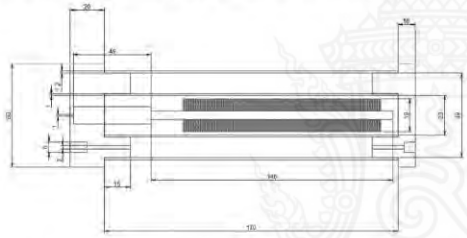


Figure 2.4 Model of the bristle electrode for 1 mm.

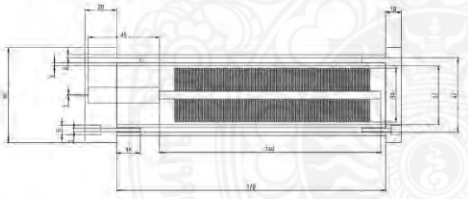
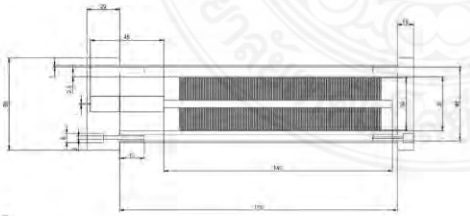


Figure 2.5 Model of the bristle electrode for 2 mm.



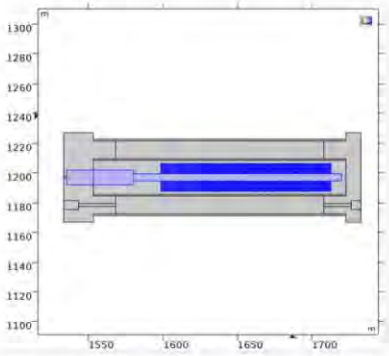


Figure 2.5 The material component picture is metal part.

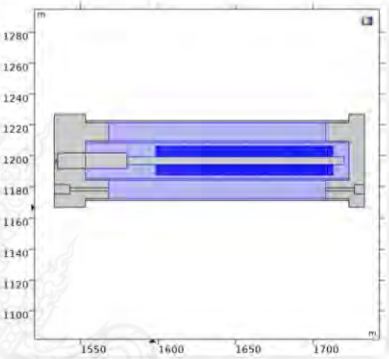


Figure 2.6 The image of the air part.

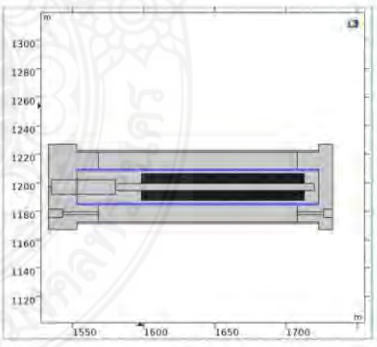


Figure 2.7 The image of the glass material

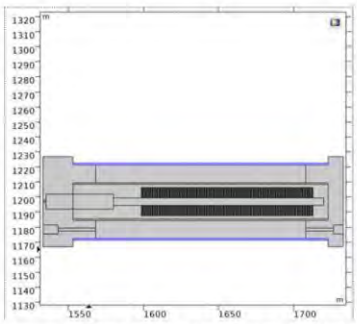


Figure 2.8 The image of the stainless steel pipe

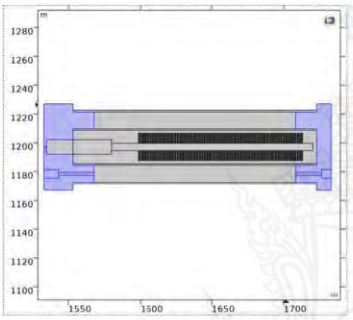


Figure 2.9 The image of the Teflon material part

Results of electric field analysis with Comsol software

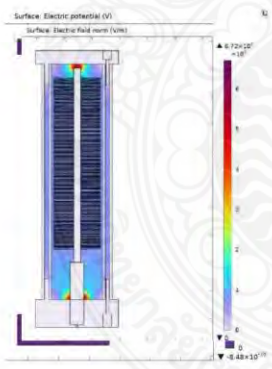


Figure 2.10 Calculated analysis results the right bar indicates red for max and blue for 1 mm.

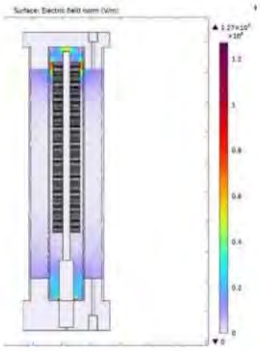


Figure 2.11 Calculated analysis results of distribution analysis of electric field stress potential for 1 mm.

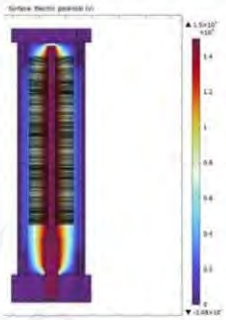


Figure 2.12 Calculated analysis results the right bar indicates red for max and blue for 2 mm.

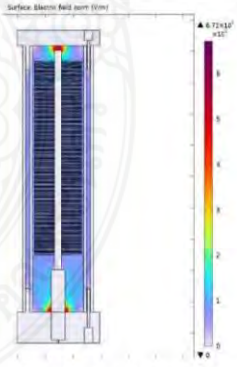


Figure 2.13 Calculated analysis results of distribution analysis of electric field stress potential for 2 mm.

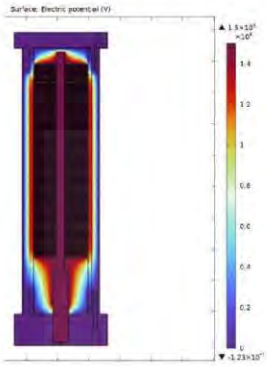


Figure 2.14 Calculated analysis results the right bar indicates red for max and blue for 2.5 mm.

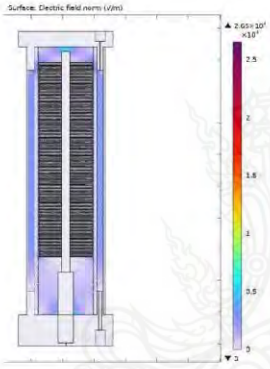


Figure 2.15 Calculated analysis results of distribution

analysis of electric field stress potential for 2.5 mm. Determination of variables from actual specimens used in the test to determine ozone detriment from changing electrode characteristics and factors in ionization of gas molecules in the air segment that occur in test kits with variable changes and transitions compared to samples of electric fields.





Figure 2.16 Assembling a test kit to be fitted to stainless steel tubes and glass tubes that are part of the dielectric layer.

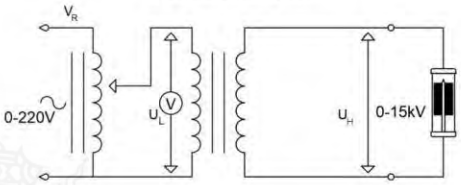


Figure 2.16 Electrode unit test circuit in high voltage

From the formulation of the operational process, including the formulation of simulation models in the previous chapter. In this chapter, the authors will compare the simulation results in this project using wire bristle electrodes with the results of previously experimental simulations, which are pointed electrodes. As a result, the simulation results in this project have more intense electric potential than the previous experiments as shown in the figure 2.16

III. ANALYSIS AND RESULTS



Figure 3.1 Ozone determination with spectrophotometer

Ozone determination with spectrophotometer by placing a sample of distilled water sprayed with ozone gas in a cuvette, then placed in a test chamber and measured.



Figure 3.2 Display of spectrophotometer The channel marked in red is the wavelength range in nanometers (nm.). The green line is the ozone concentration in milligrams per milliliter (mg./ml.)

Table 1 Results of electrodes with dielectric values 1 mm.

Voltage (V)	High Voltage (Electric Field) Maximum 220V=15kV	The amount of gas Ozone concentration (g./l./hr.)	Std (ppm)
20	1.36 kV	191	1.21E+07
60	4.09 kV	873	5.51E+07
100	6.82 kV	1,147	3.39E+08
140	9.54 kV	1,639	1.92E+08
180	12.27 kV	1,867	5.71E+08
220	15 kV	2,170	3.13E+08

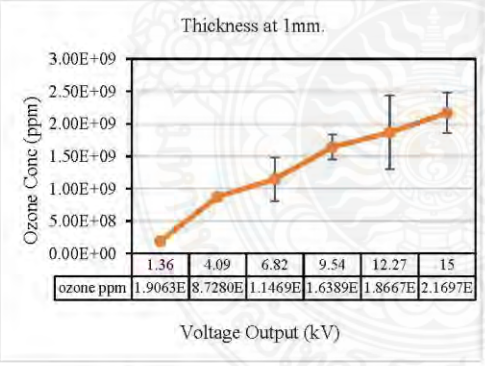


Figure 3.3 The graph shows the amount of ozone produced in each pressure of the electrode. with dielectric value 1 mm thick.

Table 1 Results of electrodes with dielectric values 1 mm.

Voltage (V)	High Voltage (Electric Field) Maximum 220V=15kV	The amount of gas Ozone concentration (g./l./hr.)	Std (ppm)
20	1.36 kV	1,245	1.24E+08
60	4.09 kV	1,279	1.28E+08
100	6.82 kV	1,671	1.67E+08
140	9.54 kV	1,736	1.74E+08
180	12.27 kV	2,068	2.07E+08
220	15 kV	2,340	2.34E+08

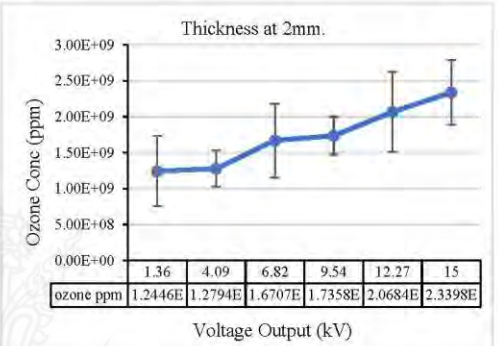


Figure 3.4 The graph shows the amount of ozone produced in each pressure of the electrode. with dielectric value 1.5 mm thick.

Table 1 Results of electrodes with dielectric values 1 mm.

Voltage (V)	High Voltage (Electric Field) Maximum 220V=15kV	The amount of gas Ozone concentration (g./l./hr.)	Std (ppm)
20	1.36 kV	1,409	1.41E+08
60	4.09 kV	1,564	1.56E+08
100	6.82 kV	1,647	1.65E+08
140	9.54 kV	1,687	1.69E+08
180	12.27 kV	1,778	1.78E+08
220	15 kV	2,600	2.60E+08

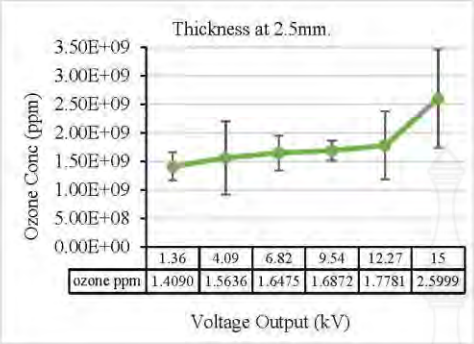


Figure 3.4 The graph shows the amount of ozone produced in each pressure of the electrode. with dielectric value 2.5 mm thick.

V. CONCLUSION

From this test, it can be seen that the workpiece using a thick glass tube. The ozone content will be small or large according to the pressure level. A workpiece using a 2 mm thickness glass tube will produce ozone better at low pressure. The voltage range of 20 – 60V is not much different. The results begin to fall apart in the 100V voltage range. Therefore, to increase the amount of ozone production, the voltage must be increased in 80V increments. Specimens using 2.5 mm thick glass tubes will produce ozone better at low voltage, but increasing the pressure Ozone production will not increase much except for a voltage of 220V that is higher than other voltages.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the support from Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering ,Rajamangala University of Technology Phra Nakhon.(RMUTP) to fund research and tools for research analysis and co-author thank for all.

REFERENCE

[1] IEC Publ. 383-1983, "Test on insulators of ceramic material or glass for overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V". 1983

[2] IEC Publ.1211-1994, "Insulators of ceramic material or glass for overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V-puncture testing"

[3]Australian Standard, AS2947.1-1989, "Insulators porcelain and glass for overhead power lines voltage greater than 1000 V-A. C Part I : Test methods

[4] Kuffel, E., Zaengl, W.S., Kuffel, J., High Voltage Engineering:Fundamentals, Newness, Oxford, 2000, p.50-74.

[5] Diesendorf. W., Insulation Co-ordination in High Voltage Electric Power Systems,Butterworth & Co., Ltd., 1974, p.47-48.

[6] T.Lantharthong and S.Nedphograw, "Analysis of Electric field and Modeling Design of High Voltage Cable terminators for PD Testing Using SF_6 Insulator", ICEE 2008 International Conference on Electrical Engineering 2008, July 5-10 2008, Okinawa Japan

[7] Supawud Nedphograw,HighVoltage Engineering Book, 2008,ISBN 978-974-0667-91-9.



Supawud Nedphograw He received M.Eng. and B.Eng degree in Electrical Engineering from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok,from Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand. and Ed.D. from University of Northern Philippines. He's currently studying a course. Ph.D in Electrical Engineering at Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand.His main research interests are include applications of High Voltage Technology, High Voltage.



Nattachote Rugthaicharoencheep He received Ph.D. degree from King Mongkut's University of Technology North Bangkok and M.Eng. degree in Electrical Engineering from Thammasat University, Bangkok, Thailand. His research interests include power system analysis renewable energy systems.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นามสกุล นายศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว
วัน เดือน ปีเกิด 16 ธันวาคม พ.ศ. 2519
ภูมิลำเนา อำเภอนครชัยศรี **(อำเภอ จังหวัด)** นครปฐม

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
(Ed.D.)	University of Northern Philippines (UNP)	2016
วศ.ม.	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2549
วศ.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	2542

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

รองผู้อำนวยการวิทยาการบริหารแห่งรัฐ สังกัดวิทยาลัยการบริหารแห่งรัฐ
สถานที่ทำงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ (ถ้ามี)

1. รางวัลนักวิจัยดีเด่น คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปี พ.ศ.2553
2. รางวัลชมเชยนักวิจัยดีเด่น ด้านการนำเสนอผลงานวิจัยและหรืองานสร้างสรรค์ไปใช้ประโยชน์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประจำปี 2565

ทุนการศึกษา (ถ้ามี)

- ไม่มี-