

การออกแบบระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2566

DESIGN OF DUST REMOVAL SYSTEM WITH CORONA DISCHARGE



NAPHAT SAOTHONG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2023

การออกแบบระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ดร.อภิชาติ อินทรพานิชย์)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.สำราญ สันทาลุนย์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ. ดร.ชาญชัย ทองโสภ)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(รศ. ดร.ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ฉันทรา สาทอง : การออกแบบระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ (DESIGN OF DUST REMOVAL SYSTEM WITH CORONA DISCHARGE)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำราญ สันทาลุนย์, 73 หน้า.

คำสำคัญ: การเว้นระยะห่างของอิเล็กทรอนิกส์/การกรองอนุภาค/เทคโนโลยีการปล่อยโคโรนา/ระบบฟอกอากาศ

ปัจจุบันได้เกิดปัญหามลภาวะทางอากาศที่รุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง PM 2.5 ซึ่งเป็นฝุ่นที่มีขนาดเล็กมาก มีขนาด 2.5 ไมครอน เทียบได้ว่ามีขนาด ประมาณ 1 ใน 25 ส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นผมมนุษย์ เล็กจนจนจมูกของมนุษย์ที่ทำหน้าที่กรองฝุ่นนั้นไม่สามารถกรองได้ จึงสามารถแพร่กระจายเข้าสู่ทางเดินหายใจและเข้าสู่อวัยวะอื่น ๆ ในร่างกายได้ ทำให้ต้องหาวิธีหลีกเลี่ยงและป้องกัน เพราะอาจเป็นอันตรายและส่งผลเสียต่อสุขภาพร่างกายอย่างมากในอนาคต ซึ่งในปัจจุบันวิธีการกำจัดฝุ่น PM 2.5 ที่ลอยอยู่ในอากาศมีหลายวิธีการด้วยกัน เช่น การฟ่นละอองน้ำกำจัดฝุ่น PM 2.5 ในพื้นที่โล่ง การใช้เครื่องสำหรับการฟอกอากาศหรือเครื่องกรองอากาศ ซึ่งจะมีแผ่นกรองอากาศ HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) ทำหน้าที่ดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ลอยอยู่ในอากาศและในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีฝุ่นจะใช้หลักการไฟฟ้าสถิตในการดักจับฝุ่น เป็นต้น ผู้วิจัยจึงได้สังเกตเห็นถึงความสำคัญของปัญหาฝุ่น PM 2.5 ที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและอนาคต จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าวิธีการกำจัดฝุ่น ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าพบว่ามียังอีกวิธีการที่สามารถกำจัดฝุ่นได้นั้นคือ โคโรนาดีสชาร์จ ซึ่งเป็นปรากฏการณ์สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรด ฉะนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนอวิธีการออกแบบขั้วอิเล็กโทรดเพื่อกำเนิดโคโรนาดีสชาร์จ สำหรับการประยุกต์ใช้ในการกำจัดฝุ่น ซึ่งได้นำเสนอการวิเคราะห์ผลของสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเพื่อให้ได้รู้ถึงผลการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้า โดยลักษณะการวิเคราะห์จะมีวิธีการคำนวณและการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และสร้างระบบต้นแบบสำหรับกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ รวมถึงการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งผลที่ได้จากการออกแบบวิเคราะห์และทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น ด้วยโคโรนาดีสชาร์จสามารถนำไปใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ปีการศึกษา 2566

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

NAPHAT SAOTHONG: DESIGN OF DUST REMOVAL SYSTEM WITH CORONA DISCHARGE. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. SAMRAN SANTALUNAI, Ph.D., 73 PP.

Keyword: ELECTRODE SPACING/PARTICULATE MATTER FILTRATION/CORONA DISCHARGING TECHNOLOGY/AIR PURIFICATION SYSTEM

At present, there is a more serious air pollution problem. Especially PM 2.5, which is a very small dust particle with a size of 2.5 microns. It is comparable in size to approximately 1/25th of the diameter of a human hair. So small that human nose hairs that filter dust cannot filter it. Therefore, it can spread into the respiratory tract and into other organs in the body. Makes you have to find a way to avoid and prevent it. Because it may be dangerous and have a very negative effect on your physical health in the future. At present, there are many methods for eliminating PM 2.5 dust floating in the air. For example, spraying water mist to eliminate PM 2.5 dust in open areas. Using an air purifier or air filter that has a HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) filter. It serves to trap small dust particles floating in the air and in dusty industrial plants, the principle of electrostatics is used to trap dust, etc. The researcher has therefore realized the importance of the PM 2.5 dust problem that occurs in the present and in the future. Therefore, there has been study and research on methods for eliminating dust. From research, it was found that there is another method that can eliminate dust, which is corona discharge. This is the phenomenon of the electric field occurring between the electrodes. Therefore, the researcher has proposed a method for designing electrodes to generate corona discharge. For applications in dust removal. It presents an analysis of the effects of the electric field and the electric field intensity that occurs between the electrodes. To know the effect of electric field propagation and electric field intensity. The analysis uses calculation methods and simulation results with ready-made programs. and created a prototype system for eliminating dust using a corona discharge. including testing of system performance. The results of the design, analysis and testing of dust removal efficiency with corona discharge Can be used effectively in the future.



School of Electronic Engineering
Academic Year 2023

Student's Signature S. Naphat
Advisor's Signature [Signature]

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำราญ สันทาลุนย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำปรึกษาช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภาก อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาให้การแนะนำชี้แนะ และคำปรึกษาการทำวิจัยรวมทั้งช่วยตรวจและแก้ไขเนื้อหาวิทยานิพนธ์มาโดยตลอดจนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนเสฏฐ ทศดีกรพัฒน์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้คำปรึกษาทางวิชาการมาโดยตลอด

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ บัณฑิตนักศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบันที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย รวมถึงบุคลากรทุกท่านที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้คำแนะนำให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูงต่ออาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ได้เผยแพร่ความรู้ทางวิชาการที่สำคัญทั้งในอดีตและปัจจุบัน ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมทั้งญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ให้การอบรมและเลี้ยงดู ด้วยความรักและความอบอุ่นเสมอมา รวมถึงการสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด ทั้งยังคอยให้กำลังใจทำให้ผู้วิจัยเกิดแรงผลักดันในยามที่ผู้วิจัยเกิดความท้อแท้ ทำให้ผู้วิจัยสามารถผ่านมาได้และประสบความสำเร็จในชีวิต สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แก่บิดา มารดา และญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัย จนสำเร็จการศึกษาไปด้วยดี

ณภัทร เสาทอง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.7 ปรัชญาหรือค่านิยมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
1.8 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์.....	7
2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 กล่าวนำ.....	8
2.2 ทฤษฎีการเกิดฝุ่น PM 2.5.....	8
2.2.1 อนุภาคฝุ่นละอองในอากาศ.....	8
2.2.2 ลักษณะทางสัณฐาน และขนาดของฝุ่นละออง.....	8
2.2.3 แหล่งกำเนิดและองค์ประกอบของฝุ่นละออง.....	10
2.2.4 ประเภทของฝุ่นละออง.....	11
2.2.5 ทางรับสัมผัสฝุ่นละออง.....	12
2.2.6 ผลกระทบอันมีสาเหตุมาจากฝุ่นละออง.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 ทฤษฎีของพลาสมา.....	15
2.3.1 พลาสมา.....	15
2.3.2 พลาสมาในก๊าซที่ความดันบรรยากาศ.....	16
2.4 หลักการและทฤษฎีการเกิดพลาสมา.....	16
2.5 กระบวนการเกิดพลาสมา.....	17
2.6 ลักษณะรูปแบบสนามไฟฟ้า.....	18
2.6.1 สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ.....	18
2.6.2 สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ.....	19
2.7 โครนาติสซาร์จ.....	20
2.8 ทฤษฎีการทวีแรงดัน.....	22
2.8.1 การใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจรทวีแรงดัน.....	23
2.9 สรุป.....	26
3 การศึกษาและออกแบบสร้างระบบโครนาติสซาร์จ.....	27
3.1 กล่าวนำ.....	27
3.2 การวิเคราะห์และการออกแบบขั้วอิเล็กโทรด.....	28
3.3 การวิเคราะห์และจำลองลักษณะการแผ่กระจายสนามไฟฟ้า.....	29
3.3.1 การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 0.5 เซนติเมตร.....	30
3.3.2 การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1 เซนติเมตร.....	30
3.3.3 การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 เซนติเมตร.....	31
3.3.4 การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 3 เซนติเมตร.....	32
3.4 การออกแบบขั้วอิเล็กโทรด.....	33
3.5 สรุป.....	39
4 ผลการทดสอบและการอภิปรายผล.....	40
4.1 กล่าวนำ.....	40
4.2 การวัดและผลการวัดของวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง.....	40
4.3 การวัดและการเก็บผลการทดลองในการกำจัดฝุ่นด้วยระบบโครนาติสซาร์จ.....	46
4.3.1 การเตรียมและวิธีการทดลอง.....	47
4.3.2 ผลการทดลอง.....	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.3 การประเมินประสิทธิภาพการกำจัด	53
4.4 สรุป	57
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	58
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	58
5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	59
รายการอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	64
ประวัติผู้เขียน.....	73

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะทางสัณฐานของฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ.....	9
2.2 ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 2.5 ไมครอนส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ.....	10
2.3 องค์ประกอบของฝุ่นละอองที่มาจากแหล่งกำเนิด	10
3.1 คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของวัสดุต่าง ๆ.....	28

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	ปัญหามลภาวะทางอากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์..... 1
1.2	การกำจัดฝุ่นและมลภาวะในอากาศ..... 2
1.3	แผนผังการทดลองการลดปริมาณฝุ่น PM 2.5 โดยใช้เครื่องกำเนิดพลาสมา 2 ประเภท..... 5
1.4	ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบ MPCD generator และ DBD generator..... 5
1.5	หลักการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต..... 6
2.1	ภาพเปรียบเทียบขนาดฝุ่น PM 2.5 กับเส้นผมมนุษย์..... 9
2.2	ภาพแสดงเส้นทางที่อนุภาคควันที่เป็นผลกระทบต่อร่างกาย..... 13
2.3	แสดงการจัดเรียงตัวของอนุภาคทั้ง 4 สถานะ..... 15
2.4	การกำเนิดพลาสมาด้วยไฟฟ้าแรงสูง..... 17
2.5	ลักษณะอิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ..... 18
2.6	ลักษณะอิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย..... 19
2.7	ลักษณะอิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง..... 20
2.8	ลักษณะของการเกิดโคโรนาดีสชาร์จบวก..... 21
2.9	ลักษณะของการเกิดโคโรนาดีสชาร์จลบ..... 21
2.10	ภาพถ่าย (ก) ลักษณะการเกิดของโคโรนาดีสชาร์จและ (ข) การเกิดสปาร์ค..... 22
2.11	ตัวอย่างวงจรวทรีแรงดัน..... 23
2.12	วงจรวทรีแรงดัน..... 23
2.13	วงจรวทรีแรงดันแบบเต็มคลื่น..... 24
2.14	การทำงานในช่วงครึ่งคลื่นบวกของวงจรวทรีแรงดันแบบเต็มคลื่น..... 24
2.15	การทำงานในช่วงครึ่งคลื่นลบของวงจรวทรีแรงดันแบบเต็มคลื่น..... 25
2.16	วงจรวทรีแรงดันแบบครึ่งคลื่น..... 25
2.17	การทำงานในช่วงครึ่งคลื่นฝั่งบวกของวงจรวทรีแรงดันแบบครึ่งคลื่น..... 26
2.18	การทำงานในช่วงครึ่งคลื่นฝั่งลบของวงจรวทรีแรงดันแบบครึ่งคลื่น..... 26
3.1	บล็อกไดอะแกรมระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ..... 27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.2	ลักษณะของระบบโคโรนาดีสชาร์จที่จำลองโดยใช้โปรแกรม Solid work.....	29
3.3	ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงาน.....	29
3.4	ผลการจำลองระยะห่าง 0.5 เซนติเมตร.....	30
3.5	ผลการจำลองระยะห่าง 1 เซนติเมตร.....	31
3.6	ผลการจำลองระยะห่าง 2 เซนติเมตร.....	32
3.7	ผลการจำลองระยะห่าง 3 เซนติเมตร.....	33
3.8	แสดงลักษณะชุดขั้วอิเล็กโทรด.....	34
3.9	ขั้วแอโนดขนาดจริง.....	34
3.10	รูปแบบของเครื่องที่ออกแบบไว้.....	35
3.11	ขนาดของโครงสร้างเครื่องกำจัดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดีสชาร์จ.....	35
3.12	โครงสร้างเครื่องสำหรับการประกอบ.....	36
3.13	ตำแหน่งการติดตั้งวงจรควบคุมและจ่ายกำลังงานที่ออกแบบ.....	36
3.14	การประกอบและติดตั้งส่วนของวงจรควบคุมและจ่ายกำลังงาน.....	37
3.15	ติดตั้งส่วนของวงจรควบคุมและจ่ายกำลังงาน.....	37
3.16	รูปแบบชุดกำจัดฝุ่นที่ออกแบบโดยโปรแกรมสำเร็จรูป.....	38
3.17	ติดตั้งชุดกำจัดฝุ่นเข้ากับโครงสร้าง.....	38
3.18	ต้นแบบเครื่องกำจัดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดีสชาร์จ.....	39
3.19	เครื่องกำจัดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดีสชาร์จ.....	39
4.1	แผนภาพวงจรวัดไฟฟ้าแรงดันสูง.....	40
4.2	วัดค่าความต้านทานภายใน Digital Multimeter (DMM).....	41
4.3	วัดแรงดันไฟฟ้าสูงด้วย Digital Multimeter (DMM).....	42
4.4	ทดสอบแรงดันไฟฟ้าสูง (Flyback Converter) วัดด้วย Digital Multimeter.....	42
4.5	ทดสอบวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง (Flyback Converter).....	43
4.6	ทดสอบวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง (Flyback Converter).....	43
4.7	กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากฝั่งอินพุตของ (Flyback Converter).....	44
4.8	ทดสอบวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง (Flyback Converter) ต่อเข้ากับ วงจร Voltage Multiplier.....	44

สารบัญรูป (ต่อ)

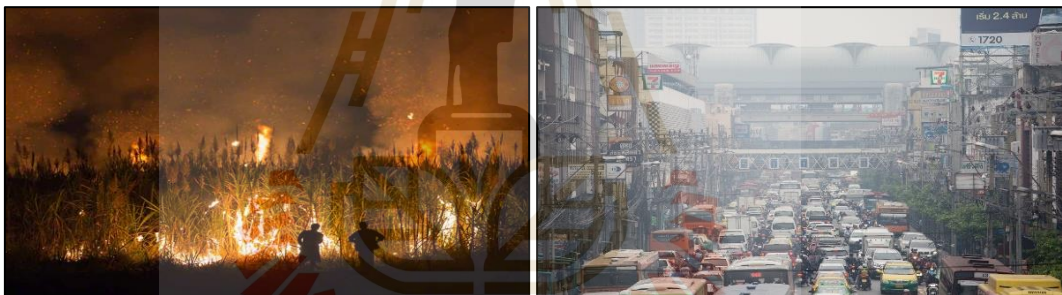
รูปที่	หน้า
4.9 ทดสอบวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง (Flyback Converter) ต่อเข้ากับ วงจร Voltage Multiplier.....	45
4.10 กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากฝั่งอินพุตของ (Flyback Converter) ต่อเข้ากับวงจร Voltage Multiplier.....	45
4.11 วงจรไฟฟ้าแรงดันสูง (Flyback Converter) ต่อเข้ากับวงจร Voltage Multiplier.....	46
4.12 โครงสร้างชุดขั้วอิเล็กทรอนิกส์ที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม 3 ระยะ.....	46
4.13 ขั้วอิเล็กทรอนิกส์ที่มีระยะห่างจากปลายแหลมถึงแผ่นกราวด์.....	47
4.14 แผนผังระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ.....	47
4.15 การทดลองกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ.....	48
4.16 กราฟแสดงค่าฝุ่น PM1 (Control Output PM1).....	48
4.17 กราฟแสดงค่าฝุ่น PM1 (Flow 2.4).....	49
4.18 กราฟแสดงค่าฝุ่น PM2.5 (Control Output PM2.5).....	50
4.19 กราฟแสดงค่าฝุ่น PM2.5 (Flow 2.4).....	50
4.20 กราฟแสดงค่าฝุ่น PM10 (Control Output PM10).....	52
4.21 กราฟแสดงค่าฝุ่น PM10 (Flow 2.4).....	52
4.22 ประสิทธิภาพการกำจัด PM1.....	54
4.23 ประสิทธิภาพการกำจัด PM2.5.....	55
4.24 ประสิทธิภาพการกำจัด PM10.....	56

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันปัญหาของฝุ่นและมลภาวะทางอากาศทั่วโลกมีความทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องมาจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น การทำการเกษตรที่มีการจุดไฟเผาเพื่อทำการเกษตร การทำอุตสาหกรรมบางอย่างที่มีการปล่อยมลพิษออกสู่อากาศ รวมถึงการใช้น้ำมันเผาไหม้ที่มีเครื่องยนต์แบบสันดาป แสดงดังรูปที่ 1.1 ซึ่งกิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศทั้งนั้น โดยปัญหาดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและยังส่งผลกระทบต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก



รูปที่ 1.1 ปัญหามลภาวะทางอากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

สำหรับในปัจจุบันได้เกิดปัญหาที่เกี่ยวกับมลภาวะทางอากาศที่รุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะปัญหาของเรื่องฝุ่น PM2.5 ซึ่งเป็นฝุ่นที่จะมีขนาดที่เล็กมาก ซึ่งเราไม่สามารถที่จะมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ มีขนาดเพียง 2.5 ไมครอน ขนาดเท่ากับ 1 ใน 25 ส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นผมมนุษย์ ขนาดที่เล็กมากจนขนจมูกของมนุษย์เราที่ทำหน้าที่คอยดักฝุ่นนั้นไม่สามารถที่จะกรองฝุ่นนี้ได้ จึงทำให้แพร่กระจายเข้าไปสู่ทางเดินหายใจ เข้าไปยังกระแสเลือด และเข้าไปสู่อวัยวะอื่น ๆ ในร่างกายของเราได้ จมูกเราไม่สามารถที่จะกรองฝุ่นนี้ไม่ให้ผ่านเข้าไปสู่ร่างกายได้ ทำให้ต้องหาวิธีหลีกเลี่ยงและการป้องกัน เพราะอาจส่งผลให้เป็นอันตรายและผลเสียต่อสุขภาพของเราเป็นอย่างมากในภายหลัง สำหรับผลกระทบในระยะยาวอาจจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของปอดลดลง อาจทำให้เกิดโรคถุงลมโป่งพองได้แม้จะไม่ได้สูบบุหรี่ก็ตาม และยังมีโอกาสทำให้เกิดโรคมะเร็งปอดได้อีกด้วย ฝุ่นซึ่งเป็นพาหะนำสารอื่นเข้ามาด้วย เช่น โลหะหนัก แคดเมียม และสารก่อมะเร็งอื่น ๆ อากาศที่เราหายใจ

เข้าไปก็ไม่ได้เป็นอากาศที่สะอาด เพราะจะมีฝุ่นละอองขนาดเล็กอย่าง PM 2.5 รวมถึงเชื้อโรค และ สารปนเปื้อนต่าง ๆ ที่มองไม่เห็นอีกมากมาย ฝุ่น PM 2.5 มาจากสองแหล่งกำเนิดใหญ่ ๆ แหล่งกำเนิด โดยตรง ได้แก่ การเผาในที่โล่ง การคมนาคม การผลิตไฟฟ้า อุตสาหกรรมการผลิต การจับตัวกันของ ก๊าซอื่น ๆ ในบรรยากาศ โดยเฉพาะก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน รวมทั้งสารพิษ อื่น ๆ ที่มีความเป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์ เช่น พรอท อาร์เซนิก หรือโพลีไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน ซึ่งในปัจจุบันนั้นการกำจัดฝุ่น PM 2.5 มีหลายวิธีการด้วยกัน เช่น การพ่นละอองน้ำ เพื่อกำจัดฝุ่น PM 2.5 แสดงดังรูปที่ 1.2 วิธีการนี้ไม่ส่งผลโดยตรงต่อการกำจัดฝุ่น PM 2.5 และ มีค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาอีกทั้งต้องใช้น้ำจำนวนมากอีกด้วย และการใช้เครื่องสำหรับฟอกอากาศหรือ กรองอากาศ แสดงดังรูปที่ 1.2 โดยเครื่องฟอกอากาศจะมีส่วนของแผ่นกรองอากาศ HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) ทำหน้าที่กรองและดักฝุ่นละอองขนาดเล็กที่อยู่ในอากาศ โดยการดูดอากาศให้ผ่านแผ่นกรองอากาศ เมื่ออากาศที่มีฝุ่นหรือมลภาวะก็จะติดที่แผ่นกรองอากาศ ทำให้อากาศที่ผ่านออกไปนั้นมีความสะอาดปราศจากฝุ่นและมลภาวะ ซึ่งแผ่นกรองอากาศจะต้องมีการทำความสะอาดในทุก ๆ เดือน เนื่องมาจากการติดสะสมของฝุ่นละอองต่าง ๆ ที่ทำการดักจับนั้น จะทำให้ตัวแผ่นกรองอากาศมีการอุดตัน ซึ่งอาจจะทำให้ประสิทธิภาพของการกรองฝุ่นนั้นลดลงไป ด้วยและจำเป็นที่จะต้องมีการเปลี่ยนในทุก ๆ ปี อีกทั้งแผ่นกรองอากาศก็มีราคาที่สูงทำให้ต้อง สิ้นเปลืองงบประมาณในการบำรุงรักษา รวมถึงปัญหาของการทิ้งการทำลายที่จะต้องอยู่ในการควบคุมทางสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 1.2 การกำจัดฝุ่นและมลภาวะในอากาศ

ซึ่งจากความเป็นมาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยเห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้ทำการศึกษาและ ออกแบบระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ ซึ่งจะมีการออกแบบ วิเคราะห์ และพัฒนา จนได้ระบบ กำจัดฝุ่นที่มีประสิทธิภาพให้เหมาะสำหรับการกำจัดฝุ่น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จที่เหมาะสมนำไปใช้งานได้จริง
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ผลของการปล่อยพลังงานโคโรนาดีสชาร์จต่อการกำจัดฝุ่นที่เหมาะสม
- 1.2.3 เพื่อให้ได้เครื่องกำจัดฝุ่น ที่สามารถกำจัดฝุ่นได้

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

การใช้โคโรนาดีสชาร์จในการกำจัดฝุ่นนั้น จะสามารถใช้กำจัดฝุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโคโรนาดีสชาร์จ
- 1.4.2 วิจัย พัฒนา ออกแบบและสร้างเครื่องกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ
- 1.4.3 ทดสอบและวิเคราะห์ระบบกำจัดฝุ่น เพื่อให้ได้เครื่องที่มีประสิทธิภาพ

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.5.1 แนวทางการดำเนินงานวิจัย แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนได้แก่
 - 1) ศึกษาและสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
 - 2) ศึกษาออกแบบสร้างระบบการเกิดโคโรนาดีสชาร์จ
 - 3) ทดสอบและวิเคราะห์เปรียบเทียบผลถึงประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่น
 - 4) จัดทำวิทยานิพนธ์
 - 5) เผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

1.5.2 ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานประยุกต์ ซึ่งดำเนินงานตามกรอบดังต่อไปนี้

- 1) สำรวจปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) ออกแบบ วิเคราะห์ และศึกษาการเกิดโคโรนาดีสชาร์จ เพื่อหาคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งาน

เหมาะสมกับการใช้งาน

3) สร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการกำจัดฝุ่น ทดสอบวัดผลประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น รวมถึงการปรับปรุงจนได้เครื่องที่สมบูรณ์

1.5.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการ สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อาคารเครื่องมือ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

1.5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC)
- 2) กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal)
- 3) ดิจิตอล มัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter)
- 4) เครื่องวัดปริมาณไอโซน
- 5) ออสซิลโลสโคป

1.5.5 การเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดลอง

- 1) เก็บรวบรวมจากการสำรวจปริทัศน์และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 2) เก็บรวบรวมผลจากการจำลองแบบ การออกแบบ การสร้างเครื่องต้นแบบและ

วัดทดสอบการกำจัดฝุ่น

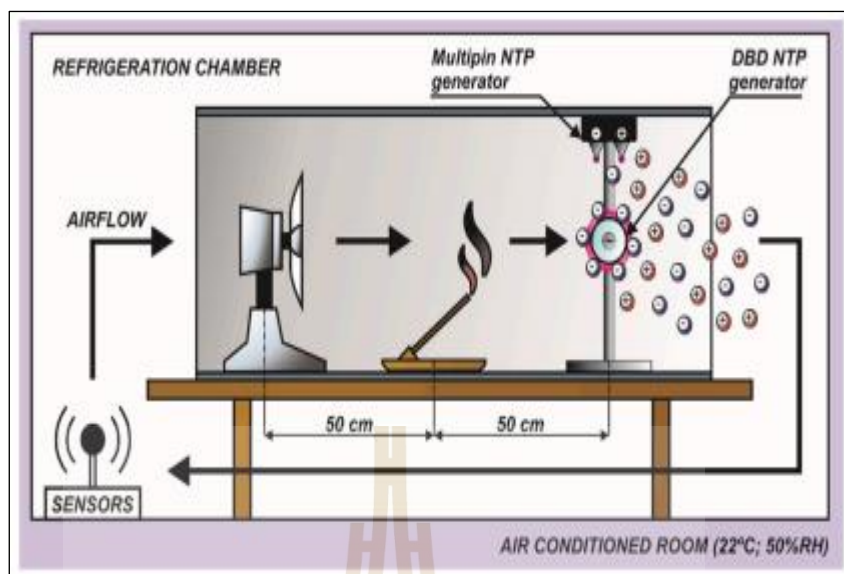
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ได้เครื่องต้นแบบสำหรับการกำจัดฝุ่นด้วยโคนาดีสชาร์จ
- 1.6.2 สามารถนำความรู้ที่ได้จากทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้กับงานอื่นได้
- 1.6.3 รู้จักกระบวนการคิด วิเคราะห์ อย่างเป็นระบบ เพื่อแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในทางปฏิบัติและสามารถนำความรู้ไปใช้ในการประกอบวิชาชีพได้

1.7 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

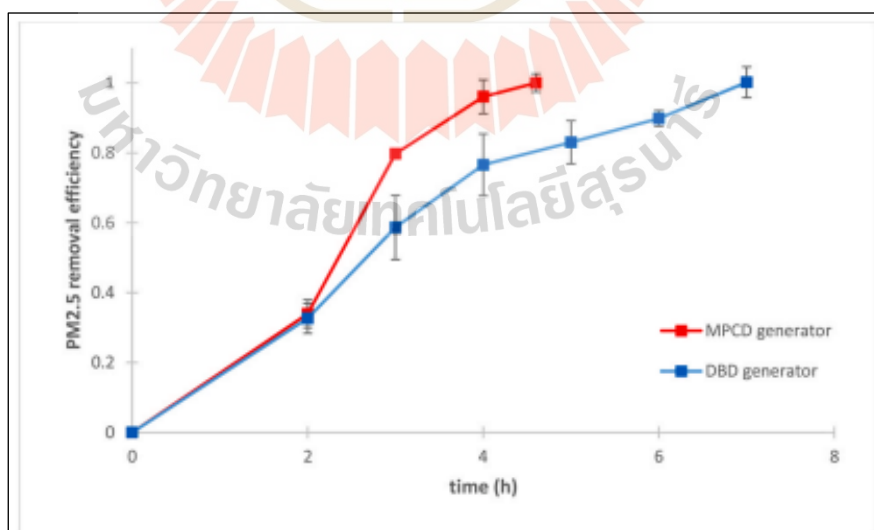
เพื่อให้ทราบถึงแนวทางและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทิศทางความเป็นไปได้ของงานวิจัย ตลอดจนปัญหาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักตามที่ตั้งไว้โดยได้ทำการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาและได้อาศัยฐานข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นงานวิจัยนี้เป็นฐานข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ มีชื่อเสียง และได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น ฐานข้อมูล ScienceDirect, IEEE และ SCOPUS นอกจากนี้ยังได้มีการสืบค้นงานวิจัยจากแหล่งสืบค้นข้อมูล อื่น ๆ เช่น จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยผลจากการสืบค้นข้อมูลที่ได้ จะนำมาใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป

จากงานวิจัยของ (Hernandez-Diaz, 2021) และคณะ ได้ทำการทดสอบเกี่ยวกับการลดปริมาณฝุ่น PM 2.5 ในห้องปิดที่มีการรีไซเคิลอากาศ 100% เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดพลาสมา 2 ประเภท โดยทำการทดลองในห้องปิดขนาด 2m*2m*1.5m โดยใช้เครื่องกำเนิดพลาสมา 2 ประเภท คือ Moltipin corona discharge NTP generator (MCDP generator) และ Dielectric barrier discharge NTP generator (DBD generator) วิธีการทดสอบแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แผนผังการทดลองการลดปริมาณฝุ่น PM 2.5 โดยใช้เครื่องกำเนิดพลาสมา 2 ประเภท

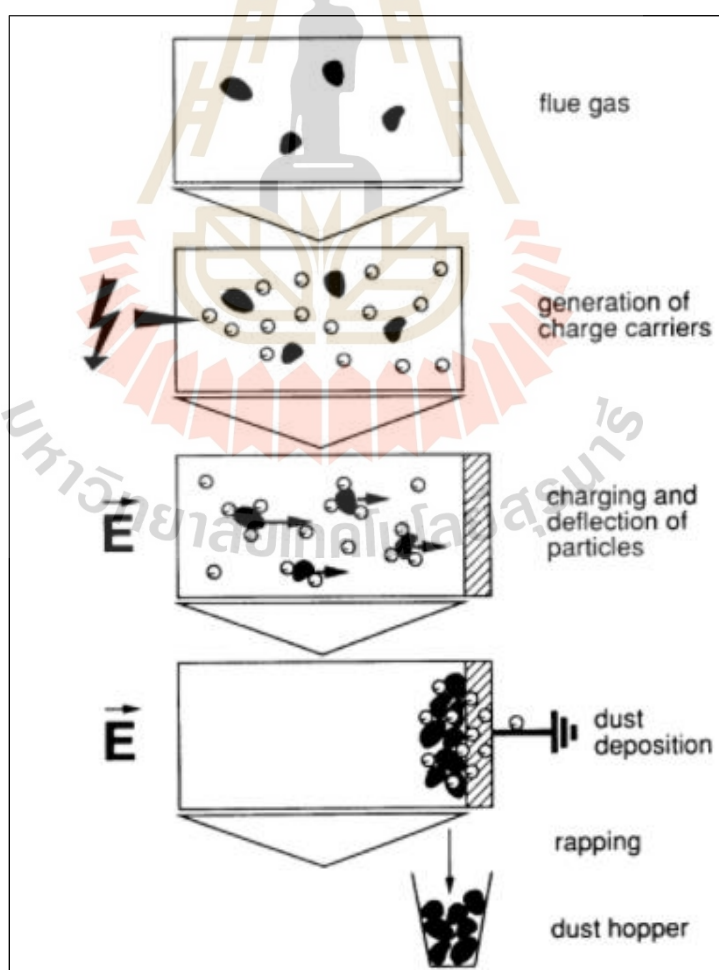
ในการทดสอบจะใช้การจุดกำยานเพื่อสร้างอนุภาค แล้วใช้พัดลมเป่าควันที่เกิดจากการจุดกำยาน ผ่านเครื่องกำเนิดพลาสมาทั้ง 2 ประเภท และเวียนอากาศภายในห้องซึ่งทดสอบโดยการเปิดเครื่องกำเนิดพลาสมาที่ละประเภท ใช้เวลาในการทดสอบประเภทละ 8 ชั่วโมง ห้องที่ใช้ทดสอบมีขนาด 2m*2m*1.5m ผลการแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบ MPCD generator และ DBD generator

จากการทดสอบพบว่า เครื่องกำเนิดพลาสมาทั้ง 2 แบบสามารถลดปริมาณของฝุ่น PM 2.5 ได้ แต่เครื่องกำเนิดพลาสมาแบบ MCDP generator จะมีประสิทธิภาพมากกว่าและใช้เวลาเพียง 4.5 ชั่วโมง ซึ่งเร็วกว่าเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบ DBD generator

จากงานวิจัยของ (Paker, 1997) ได้นำเสนอหลักการเกี่ยวกับการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต โดยที่ในเครื่องตกตะกอนจะมี 2 ส่วนหลัก ๆ นั่นคือ ส่วนที่เป็นดิสชาร์จอิเล็กโทรด และส่วนที่เป็นคอลเล็กชันอิเล็กโทรด เมื่อทำการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับส่วนของดิสชาร์จอิเล็กโทรดโดยใช้คอลเล็กชันอิเล็กโทรดเป็นแผ่นกราวด์ ทำให้เกิดพลังงานโคโรนาดิสชาร์จ ขึ้นบริเวณของดิสชาร์จอิเล็กโทรด ไอออนและอิเล็กตรอนจะถูกสร้างขึ้นบริเวณที่เกิดเป็นโคโรนา และเมื่อมีอากาศหรือไอเสียที่เป็นอนุภาคแขวนลอยไหลผ่าน จะทำให้มีการชนกันระหว่างอนุภาคกับไอออน หรือที่เรียกว่าการอัดประจุอนุภาค ส่งผลทำให้อนุภาคที่มีประจุไปตกลงบนคอลเล็กชันอิเล็กโทรดและมีการสะสมอยู่ที่บนแผ่นคอลเล็กชันอิเล็กโทรด โดยอนุภาคเหล่านี้จะถูกกำจัดออกจากคอลเล็กชันอิเล็กโทรด โดยการเคาะคอลเล็กชันอิเล็กโทรดหรือการสั่นสะเทือนเพื่อทำให้ฝุ่นหลุดตกลงไป ดังแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 หลักการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

จากปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลาสมาที่กำเนิดปรากฏการณ์โคโรนาดีสชาร์จ สามารถกำจัดฝุ่นและมลภาวะที่มีอยู่ในอากาศได้เป็นอย่างดี ซึ่งในการกำจัดฝุ่นและมลภาวะรวมถึงเชื้อไวรัสที่อยู่ในอากาศจำเป็นต้องมีตัวแปรหลักในการพิจารณาเพื่อทำให้การกำจัดฝุ่นและมลภาวะได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งตัวที่พิจารณานั้นประกอบไปด้วยกำลังงานหรือค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ซึ่งต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อที่จะได้นำไปทำการออกแบบเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการนำไปใช้งาน

1.8 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

ในส่วนของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประกอบด้วยส่วนของเนื้อหาทั้งหมด 5 บท ดังนี้

บทที่ 1 เป็นการกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของการเกิดปัญหา ตามด้วยวัตถุประสงค์ของการวิจัย สมมติฐานของการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีของการเกิดฝุ่น ประเภทของฝุ่นและผลกระทบที่มีสาเหตุมาจากฝุ่น ทฤษฎีการเกิดพลาสมา ลักษณะรูปแบบสนามไฟฟ้า และทฤษฎีเกี่ยวกับการเกิดโคโรนาดีสชาร์จ

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบสร้างระบบโคโรนาดีสชาร์จ ขั้วอิเล็กโทรด และออกแบบสร้างตัวเครื่องกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดสอบและการอภิปรายผล การทดสอบการกำจัดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดีสชาร์จ

บทที่ 5 เป็นการกล่าวสรุปผลการวิจัย ปัญหาที่เกิดขึ้นกับงานวิจัยนี้ ข้อเสนอแนะ และแนวทางพัฒนาในอนาคต

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

การออกแบบระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ จำเป็นต้องศึกษาถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดพลังงานโคโรนาดีสชาร์จ ซึ่งมีความสำคัญและเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัย เพื่อเป็นพื้นฐานของความรู้ และเพื่อให้เกิดความเข้าใจในตัวของงานมากขึ้น สามารถที่จะใช้เป็นแหล่งอ้างอิงสำหรับงานวิจัยได้ ดังนั้นจึงได้นำเสนอทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับงานวิจัยนี้ โดยจะเป็นการกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่สำคัญและเป็นประโยชน์ หรืออ้างอิงในการดำเนินงานวิจัย โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของสนามไฟฟ้า หลักการของวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง และหลักการของการเกิดโคโรนาดีสชาร์จ รวมทั้งกล่าวถึงการเกิดฝุ่น PM 2.5

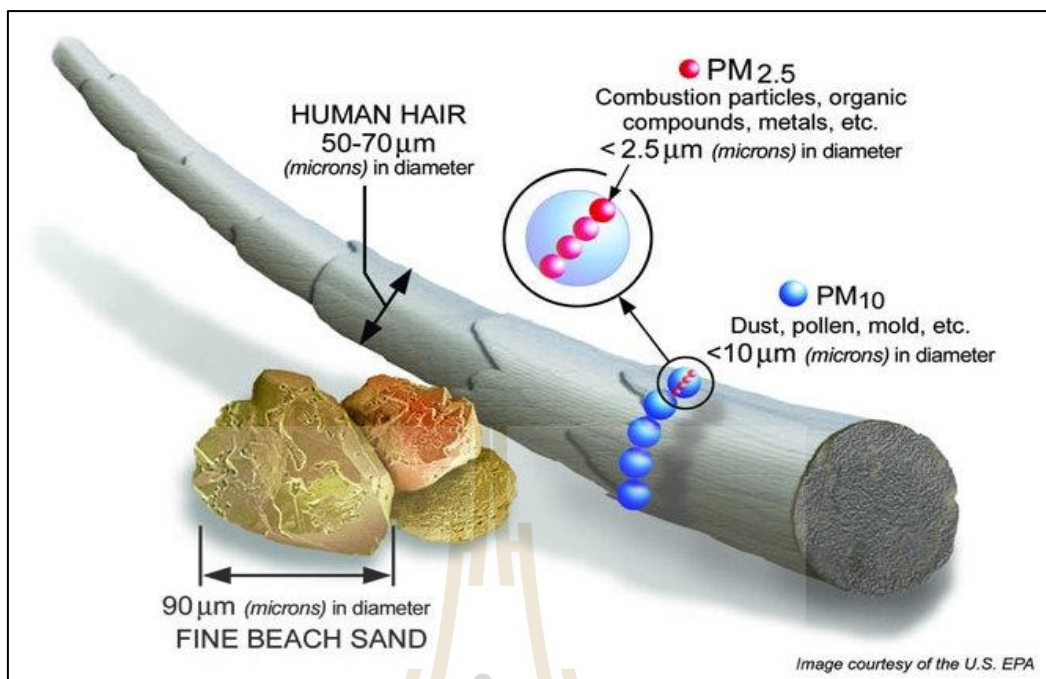
2.2 ทฤษฎีการเกิดฝุ่น PM 2.5

2.2.1 อนุภาคฝุ่นละอองในอากาศ

อนุภาคของฝุ่นละอองในอากาศที่เราพบเจอได้ทั่วไปอยู่ในรูปของ ฝุ่น เศษดิน เหม่า และควัน ที่สามารถฟุ้งกระจายและลอยอยู่ในอากาศ หรือจับตัวเข้ากับของเหลว ของแข็ง จากปฏิกิริยาของทางฟิสิกส์ หรือปฏิกิริยาของทางเคมี หรือทางเคมีแสง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีที่จับตัวอยู่กับอนุภาคของฝุ่น เช่น จากโรงงาน จากไอเสียของรถยนต์ และมาจากการเผาไหม้ในการทำเกษตร อนุภาคของฝุ่นที่มีขนาด 0.0002 ไมครอนจนถึงขนาดที่ใหญ่กว่า 500 ไมครอน ซึ่งอนุภาคที่มีขนาดใหญ่เหล่านี้สามารถที่จะลอยอยู่ในอากาศได้นานและจะมีขนาดที่ไม่เกิน 10 ไมครอน เนื่องจากอนุภาคเหล่านี้จะมีความเร็วของการตกลงสู่พื้นต่ำ หากมีแรงที่มากระทำจากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น กระแสลม

2.2.2 ลักษณะทางสัณฐาน และขนาดของฝุ่นละออง

ฝุ่นที่มีอยู่ในชั้นบรรยากาศจะมีขนาดเริ่มจาก 0.001–500 ไมครอน ทั้งที่อยู่ในรูปของแข็ง และของเหลว โดยทั่วไปแล้วขนาดฝุ่นที่พบได้มากในชั้นบรรยากาศจะมีขนาดในช่วง 0.1–10 ไมครอน คุณสมบัติของฝุ่นขึ้นอยู่กับลักษณะและขนาด โดยที่อนุภาคที่เป็นของแข็งจะอยู่ในรูปแบบที่ดูซับซ้อนมาก และจะมีความเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมโดยรอบ ลักษณะของฝุ่นละอองจะมีหลากหลายลักษณะด้วยกันได้แก่ ฝุ่นประเภทเส้นใยจะมีสัณฐานเป็นทรงกระบอก และควันที่เกิดมาจากการควบแน่นจะมีลักษณะที่เป็นทรงกลม แสดงดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ภาพเปรียบเทียบขนาดฝุ่น PM 2.5 กับเส้นผมมนุษย์

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางสัณฐานของฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ

ลักษณะทางสัณฐาน	เปอร์เซ็นต์ที่พบในบรรยากาศ	ชนิดของฝุ่นละออง
ทรงกลม	0-20	ควัน เกสร เก้าลอย
ไม่เป็นระเบียบ	10-90	แร่
สะเก็ด	0-10	แร่ หนังกำพร้าว
เส้นใย	3-35	เส้นใยของพืช เส้นใยผ้า
พลีอกจากการควบแน่น	0-40	คาร์บอน โฟม

โดยทั่วไปแล้วลักษณะของฝุ่นในทุกอนุภาคส่วนมากแล้วจะเป็นลักษณะทรงกลม สามารถกำหนดขนาดได้จาก ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลม ซึ่งจะมีหน่วยเป็นไมครอน ซึ่งฝุ่นที่มีสัดส่วนมากที่สุดจะมีขนาดที่เล็กมากกว่า 2.5 ไมครอน โดยทั่วไปแล้วจะเกิดขึ้นมาจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น ฝุ่นตะกั่วจากการทำอุตสาหกรรม การไถยานพาหนะ เป็นต้น ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 2.5 ไมครอน โดยที่ส่วนใหญ่แล้วจะมีแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ แสดงดังตารางที่

2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะทางสัณฐานของฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ

มวลสาร	ขนาดใหญ่ที่สุด(ไมครอน)	ขนาดเล็กที่สุด(ไมครอน)
สีฟัน	4	0.1
สีมีอก	2	0.001
ควันทูบหรี่	1	0.01
ควันท้ำมัน	1	0.03
ควันทิ้งค้อออกไซด์	0.3	0.01
ควันท่านหิน	0.2	0.01
ไวรัส	0.05	0.003

2.2.3 แหล่งกำเนิดและองค์ประกอบของฝุ่นละออง

การทำกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละวันนั้น ล้วนเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเป็นฝุ่นละอองที่กระจายอยู่ในอากาศ ซึ่งเราสามารถแบ่งแหล่งกำเนิดของฝุ่นได้ คือ จากชุมชนจะประกอบด้วย การคมนาคม การบริการ และยังรวมไปถึงกิจกรรมประจำวันต่าง ๆ เป็นต้น อุตสาหกรรมเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดฝุ่นมากที่สุด เช่น ฝุ่นจากโรงสี ฝุ่นจากงานก่อสร้าง ฝุ่นจากการขุดเหมือง เป็นต้น โดยองค์ประกอบของฝุ่นจะแตกต่างกันออกไปจะขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด แสดงดังตารางที่ 2.3 ฝุ่นที่เกิดโดยธรรมชาติ เช่น ฝุ่นที่มาจากเศษดิน เศษซากพืชซากสัตว์ โดยการพัดพาของลม ไฟไหม้ป่า นอกจากนี้ยังรวมไปถึงแร่ธาตุต่าง ๆ ที่มีการสลายตัว ในส่วนฝุ่นที่มาจากผลการกระทำของมนุษย์ เช่น ฝุ่นที่มีส่วนประกอบของซิลิเคอร์ที่มาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และฝุ่นที่มีตะกั่วเป็นส่วนประกอบที่เกิดจากโรงงานผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น โดยฝุ่นที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์จะเป็นอันตรายมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตได้มากกว่า โดยส่วนใหญ่จะมาจากโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของฝุ่นละอองที่มาจากแหล่งกำเนิด

ส่วนประกอบ	แหล่งกำเนิด
สารประกอบคาร์บอน	กระบวนการเผาไหม้
เกลือแอมโมเนีย	การทำให้เป็นกลางของกรดในอากาศ
ตะกั่ว	น้ำมันที่มีสารตะกั่ว
แคลเซียมซัลเฟต	วัสดุก่อสร้าง เช่น หิน ดิน และทราย
เกลือโซเดียมและแมกเนเซียมคลอไรด์	ทะเล
แร่ธาตุต่าง ๆ	ดิน

2.2.4 ประเภทของฝุ่นละออง

สำหรับฝุ่นที่มีอยู่ในบรรยากาศจะมีการแบ่งออกได้หลายประเภทด้วยกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่นำมาพิจารณา

1. แบ่งตามคุณลักษณะทางกายภาพ

1) ฝุ่นที่เกิดมาจากสารอินทรีย์ จะประกอบไปด้วย สารอินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตฝุ่นชนิดนี้จะทำให้มีอาการระคายเคืองและมีความเป็นพิษ เช่น ละอองเกสรของพืช เป็นต้น ส่วนสารอินทรีย์ที่มีชีวิต ฝุ่นนี้จะทำให้เกิดโรคในคนและในสัตว์ได้ด้วย เช่น แบคทีเรีย พังใจ และจุลินทรีย์ต่าง ๆ เป็นต้น

2) ฝุ่นที่มาจากสารอนินทรีย์ สำหรับฝุ่นที่ไม่มีส่วนประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์ส่วนใหญ่แล้วฝุ่นชนิดนี้จะเป็นฝุ่นที่เกิดจากการทำเกี่ยวกับอุตสาหกรรมจะมีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ซึ่งจะมีความเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้มากกว่าฝุ่นที่เกิดจากสารอินทรีย์ ฝุ่นประเภทนี้จะแบ่งได้ตาม องค์ประกอบของสารอนินทรีย์ ได้แก่

Asbestos Dust หรือ “ฝุ่นใยหิน” คือ ลักษณะของฝุ่นจะเป็นเส้นใย ซึ่งจะประกอบไปด้วยแมกนีเซียม เหล็ก ซิลิเกต เป็นต้น ฝุ่นใยหินจะมีความเป็นพิษที่สูงซึ่งจะเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดโรคปอดอักเสบ โรคมะเร็งปอด และโรคมะเร็งเยื่อหุ้มปอด ยังสามารถที่จะทำให้เกิดความผิดปกติที่เยื่อหุ้มปอดได้ โดยเฉพาะมะเร็งที่เยื่อหุ้มปอด มีความอันตรายสูงทำให้ผู้ป่วยสามารถเสียชีวิตได้ภายในเวลาอันรวดเร็ว พบได้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการผลิตผ้าเบรก กระเบื้อง ท่อซีเมนต์ เป็นต้น

Metal Dust หรือ “ฝุ่นโลหะ” ฝุ่นประเภทนี้จะแบ่งได้ตามส่วนประกอบของโลหะหนัก และความผิดปกติของฝุ่นชนิดนั้น เช่น ฝุ่นอลูมิเนียม ที่เกิดจากการทำงานหลอมอลูมิเนียมต้องเจอกับไอควันโลหะอลูมิเนียม ทำงานเกี่ยวกับกับอัลลอยที่มีอลูมิเนียมผสมอยู่ด้วย งานอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แผ่นเลเซอร์มีคัสที่ทำจากสารที่มีส่วนของอลูมิเนียมอยู่ด้วย และงานอื่น ๆ

Silica Dust หรือเรียกอีกชนิดหนึ่งว่า “ฝุ่นหิน” หรือ “ฝุ่นหินทราย” จะมีส่วนประกอบที่เป็นผลึกซิลิกาอยู่ หรือซิลิคอนไดออกไซด์ เป็นสารประกอบทางเคมีระหว่างซิลิคอนกับออกซิเจน มีรูปร่างทางเคมีเป็น 4 bond โดยมีออกซิเจนที่จับอยู่ 2 bond และอีก 2 bond จะไปจับกับออกซิเจนของซิลิคอนตัวอื่นทำให้ทั้ง 4 bond ของซิลิคอนมีออกซิเจนล้อมรอบอยู่ มีสูตรเคมี คือ SiO_2

2. แบ่งตามความเป็นพิษ ดังนี้

1) ฝุ่นที่ไม่เป็นพิษ หรือ ที่เรียกอีกชนิดว่า ฝุ่นเฉื่อย ส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ทำให้เกิดอันตรายที่ร้ายแรง ซึ่งอาการที่พบโดยส่วนมากจะเป็นพวกอการแพ้ เช่น ละอองเกสรเปลือกข้าว เป็นต้น

2) ฝุ่นที่มีพิษ ฝุ่นนี้จะทำให้มีอันตรายต่อร่างกายหรือทำให้เกิดโรคได้ เมื่อเราได้รับฝุ่นเป็นเวลานาน หรืออาจจะได้รับปริมาณที่มากในเวลาสั้น ๆ ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นสารอนินทรีย์ เช่น ตะกั่ว แคดเมียม เป็นต้น

3. แบ่งตามขนาดของอนุภาค

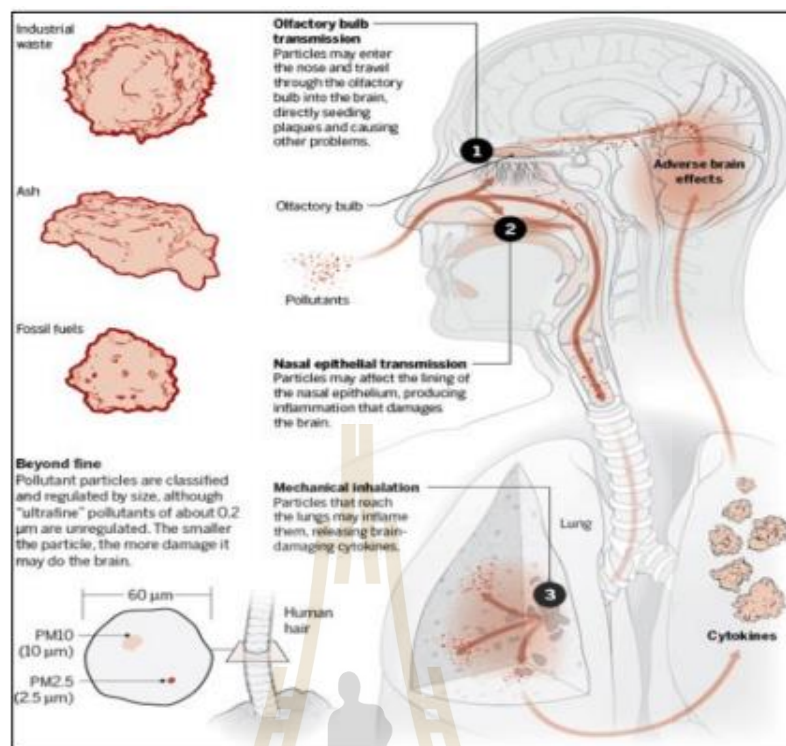
1) ฝุ่นละอองแขวนลอยรวม หรือ (TSP) คือ ฝุ่นที่อนุภาคจะเป็นของแข็ง กิ่งของแข็ง อาจจะมีขนาดเพียง 0.005 ไมครอน หรือมากกว่า 100 ไมครอน เป็นฝุ่นที่สามารถลอยในอากาศได้นาน และยังทำให้มองเห็นอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดตั้งแต่ 50 ไมครอนขึ้นไปด้วยตาเปล่าได้

2) ขนาดที่เล็กกว่า 10 ไมครอน หรือ (PM2.5) ได้แก่ ฝุ่นและควัน เป็นต้น ฝุ่นนี้สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้มากกว่าฝุ่นรวม และยังที่จะเข้าไปในทางเดินหายใจส่วนล่างได้อีกด้วย เป็นฝุ่นที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์

3) ขนาดที่เล็กกว่า 2.5 ไมครอน ซึ่งจะหมายถึงอนุภาคที่เป็นของแข็งหรือกิ่งของแข็งที่อยู่ในสภาพกึ่งระเหย มีขนาดที่เล็กกว่า 2.5 ไมครอน ซึ่งเกิดขึ้นมาจากไอระเหยที่สถานะที่มีอุณหภูมิสูงในกระบวนการของการเผาไหม้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีแล้วจับตัวเข้าด้วยกันเป็นฝุ่นละออง ได้แก่ ฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้า การเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะ เป็นต้น

2.2.5 ทางรับสัมผัสฝุ่นละออง

ระบบทางเดินหายใจของคนเราแบ่งได้ 2 ส่วน ประกอบด้วย ทางเดินหายใจส่วนบน เริ่มจากต้นโพรงจมูก ผ่านคอหอย ลงไปจนถึงกล่องเสียง ทางเดินของระบบหายใจส่วนล่างจะเริ่มจากท่อหลอดลมแยกออกหลอดลมใหญ่ขวาและซ้าย ไปจนถึงที่หลอดลมในส่วนปลาย ซึ่งอยู่ติดกับถุงลมปอดมีเซลล์ที่มีขน เซลล์ขับเมือกและเซลล์อื่น ๆ อีกหลากหลายชนิดที่อยู่ตลอดทางเดินหายใจในส่วนนี้ เนื้อของปอดจะประกอบไปด้วยถุงลมซึ่งจะเป็นส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถุงลมจะติดอยู่กับเส้นเลือดดำและเส้นเลือดฝอยและเส้นเลือดแดง (Pulmonary Arterial System) เพื่อแลกเปลี่ยนก๊าซ โดยทั่วไปแล้วในส่วนของทางเดินหายใจจะมีหน้าที่หลัก คือนำออกซิเจนเข้าสู่ในร่างกายและระบายคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกายโดยแลกเปลี่ยนก๊าซควบคุมค่า PH ในร่างกาย และระบายความร้อนออกจากร่างกาย เป็นต้น เมื่อได้รับฝุ่นเข้าสู่ปอดฝุ่นจะฝังตัวอยู่ในเนื้อของปอดทำให้ลดพื้นที่ของการแลกเปลี่ยนก๊าซ ทำให้ปอดได้รับความเสียหาย ก๊าซออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายได้น้อยลง ทำให้เกิดอาการเหนื่อยง่าย เป็นต้น



รูปที่ 2.2 ภาพแสดงเส้นทางที่อนุภาคควันที่เป็นผลกระทบต่อร่างกาย

2.2.6 ผลกระทบอันมีสาเหตุมาจากฝุ่นละออง

1. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ส่งผลกับพืช โดยที่ฝุ่นจะไปจับอยู่ที่บนใบของพืช ทำให้ก๊าซสามารถเข้าไปที่ใบได้น้อยลง ทำให้ใบของพืชเหลือง นอกจากนี้แล้วฝุ่นยังทำให้รังสีของดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 400-760 นาโนเมตร สะท้อนออกสูงมากขึ้นทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง และสามารถดูดซับรังสีของดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 1,750-1,850 นาโนเมตร ได้เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความร้อนด้านในใบที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้แล้วฝุ่นยังส่งผลต่อความสามารถของการมองเห็นของเราทำให้ทัศนวิสัยในการมองไม่ดี เพราะว่าฝุ่นนั้นเป็นอนุภาคของแข็งที่สามารถดูดซับแสงและหักเหแสงได้ ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับขนาดและจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของฝุ่นละอองนั้นด้วย และในส่วนที่ส่งผลกระทบต่อวัตถุ ฝุ่นละอองที่ร่วงลงมานั้นนอกจากจะทำให้เกิดเป็นความสกปรกเลอะเทอะแก่บ้านเรือนรวมถึงสิ่งก่อสร้างแล้วนั้น ยังมีการทำลายและเกิดกัดกร่อนผิวของหินอ่อน โลหะหรือวัตถุอื่น ๆ ได้อีกด้วย

2. ผลกระทบที่ส่งผลต่อมนุษย์ทางด้านสุขภาพอนามัย

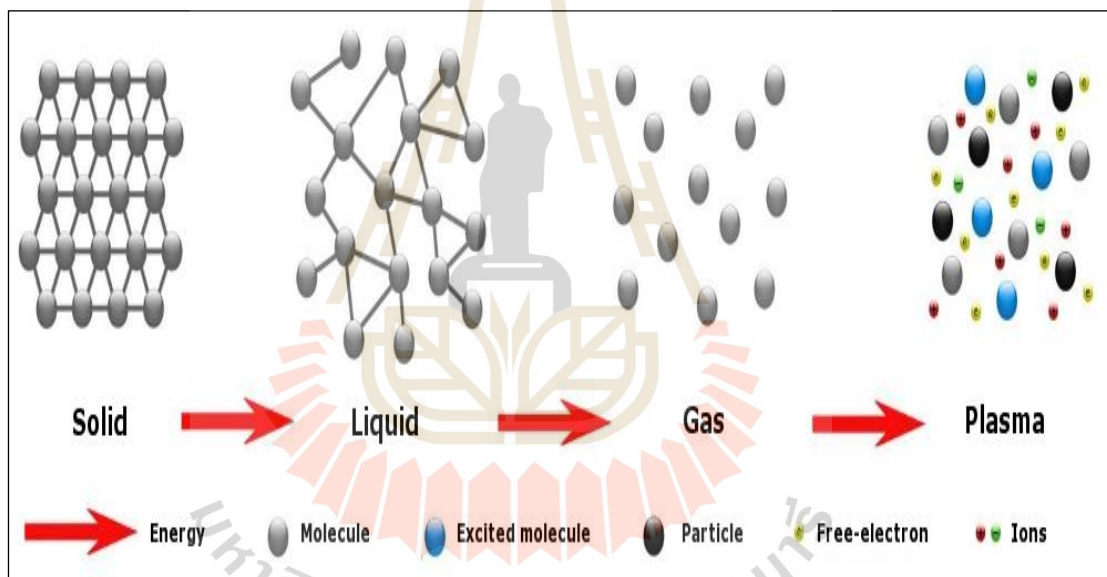
ความอันตรายที่มาจากฝุ่นนั้นจะอยู่ที่ความสามารถของการผ่านเข้าสู่ในระบบทางเดินหายใจ โดยฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เมื่อเราหายใจเข้าฝุ่นจะผ่านเข้าไปในระบบของทางเดินหายใจ และเข้าไปยังปอดจนไปจับตัวอยู่ในถุงลมของปอด ในการฝังตัวของอนุภาคฝุ่นนอกจากจะอยู่ที่ขนาดแล้ว ยังจะขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างและความหนาแน่น และความเป็นกรดเป็นด่างอีกด้วย ซึ่งสำหรับคนที่ปอดหลังจากที่ได้รับฝุ่นเข้าไปอยู่ในระบบของทางเดินหายใจ กลไกการทำงานของร่างกายที่ทำการกำจัดฝุ่นละอองเหล่านี้ จะทำหน้าที่ต่างกันไปตามตำแหน่งของระบบทางเดินหายใจที่บริเวณจมูก ลำคอ และที่หลอดลมในส่วนต้นจะมีเส้นขนเล็ก ๆ ทำหน้าที่โบกพัดและกำจัดฝุ่นละอองภายในระยะเวลา 1 วัน ที่บริเวณถุงลมปอดจะใช้เวลาในการกำจัดฝุ่นละอองนานถึงสัปดาห์หรือเป็นเดือน สำหรับฝุ่นที่สามารถฝังตัวอยู่บริเวณของถุงลมในปอดมากที่สุด คือ ฝุ่นขนาด 0.1-2.5 ไมครอน ซึ่งจะส่งผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์ได้มากและจะเป็นฝุ่นที่มีสารพิษรวมอยู่ด้วย คือ ปรอท ตะกั่ว โครเมียม เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถทำให้สุขภาพของเราไม่ได้ดีอีกด้วย คือ หอบหืด หลอดลมอักเสบ จาม ไอ มีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับทางระบาดวิทยาถึงความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลของอนุภาคของฝุ่นละอองและผลต่อสุขภาพร่างกาย ซึ่งสรุปได้ว่า

- 1) จะเพิ่มอัตราของการเสียชีวิตที่ความเข้มข้นของค่าฝุ่น 1,000 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- 2) ทำให้เกิดอาการของหลอดลมอักเสบที่มีความเข้มข้นของค่าของฝุ่นทั้งหมดตั้งแต่ 250-500 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- 3) ส่งผลให้เกิดความเปลี่ยนแปลงการทำงานของปอดเด็ก ในระดับค่าของฝุ่นที่ 200-420 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่มีผลต่อสุขภาพมีดังต่อไปนี้คือ ทำให้มีอาการระคายเคืองของเนื้อเยื่อต่าง ๆ รวมทั้งที่บริเวณของปลายประสาท ควบคุมการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต ทำให้เกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับทางเดินหายใจ โรคหัวใจ และยังทำให้ระบบภูมิคุ้มกันบกพร่องได้ เซลล์บริเวณปอดมีการเปลี่ยนแปลงและยังเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งอีกด้วย สำหรับฝุ่นที่ไม่ตกลงพื้นหรือต้องใช้เวลาที่นานกว่าที่จะตกลงสู่พื้นนี้เองที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพร่างกาย โดยที่เราสามารถพบโรคที่เกิดจากฝุ่นละอองเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคอีกมากมาย อาทิ โรคซิลิโคซิส ที่มีสาเหตุจากฝุ่นซิลิกา ซึ่งเป็นสารที่มีความทนทานต่อการแปรสภาพของกรด ต่าง และสารเคมี โดยพบมากในเม็ดทราย ฝุ่นจากโรงงานบดแร่และบดหิน จะมีขนาด 2 ไมครอน ลอยตัวอยู่ในอากาศผ่านเข้าทางจมูกและผ่านเข้าหลอดลมไปติดในบริเวณเนื้อเยื่อปอดได้ ซึ่งด้วยที่มีขนาดเล็กเมื่อไปจับเข้าที่เยื่อหุ้มเซลล์จะทำให้เซลล์แตกออก และเนื้อเยื่อที่ปอดจะถูกทำลายทำให้ปอดพยุ่น จนสูญเสียการทำหน้าที่ของระบบหายใจ ทำให้หายใจไม่คอยสะดวก มีปริมาตรของลมหายใจเข้าออกที่ลดลง และยังทำให้ปอดสามารถติดเชื้อได้ง่ายขึ้นอีกด้วย

2.3 ทฤษฎีของพลาสมา

2.3.1 พลาสมา

เมื่อพิจารณาถึงสถานะของสสารทั่วไป เราสามารถแบ่งได้เป็นสถานะหลัก 3 ประเภท คือ ของแข็ง (Solid) ของเหลว (Liquid) และ แก๊ส (Gas) อย่างไรก็ตาม พลาสมาถือเป็นสถานะที่ 4 และเป็นสถานะพิเศษ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไป พลาสมาเกิดขึ้นโดยการกระตุ้นด้วยพลังงานสูงมากโดยใช้ก๊าซเป็นตัวกลาง การส่งพลังงานสูงผ่านก๊าซทำให้อิเล็กตรอนในก๊าซพุ่งชนกับอะตอมในบริเวณนั้น และจะทำให้ตัวอิเล็กตรอนนั้นหลุดจากอะตอม เรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ว่าการแตกตัวเป็นไอออน ซึ่งจะเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วทำให้เกิดอิเล็กตรอนที่หลุดมาจากอะตอมเพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้ก๊าซแตกตัวและเปลี่ยนไปเป็นสถานะพลาสมา ดังที่แสดงในภาพที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการจัดเรียงตัวของอนุภาคทั้ง 4 สถานะ

โดยที่พลาสมาจะมีส่วนประกอบของอนุภาคที่มีประจุบวกและประจุลบ ในส่วนที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน โดยจะอยู่รวมกันประหนึ่งเป็นกลางและแสดงพฤติกรรมร่วมกัน ซึ่งจะหมายถึงการเคลื่อนที่ของอนุภาคในพลาสมาไม่ได้เพียงแต่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขเฉพาะของบริเวณนั้น แต่จะเป็นผลโดยรวมที่มาจากพลาสมาส่วนใหญ่ โดยที่ของแข็งจะจัดเรียงตัวกันแบบหนาแน่น ซึ่งเมื่อมีการรับพลังงานที่เพิ่มมากขึ้นก็จะเปลี่ยนเป็นของเหลว และถ้าได้รับพลังงานที่เพิ่มขึ้นอีกก็จะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นก๊าซและจะเปลี่ยนเป็นพลาสมาในที่สุด

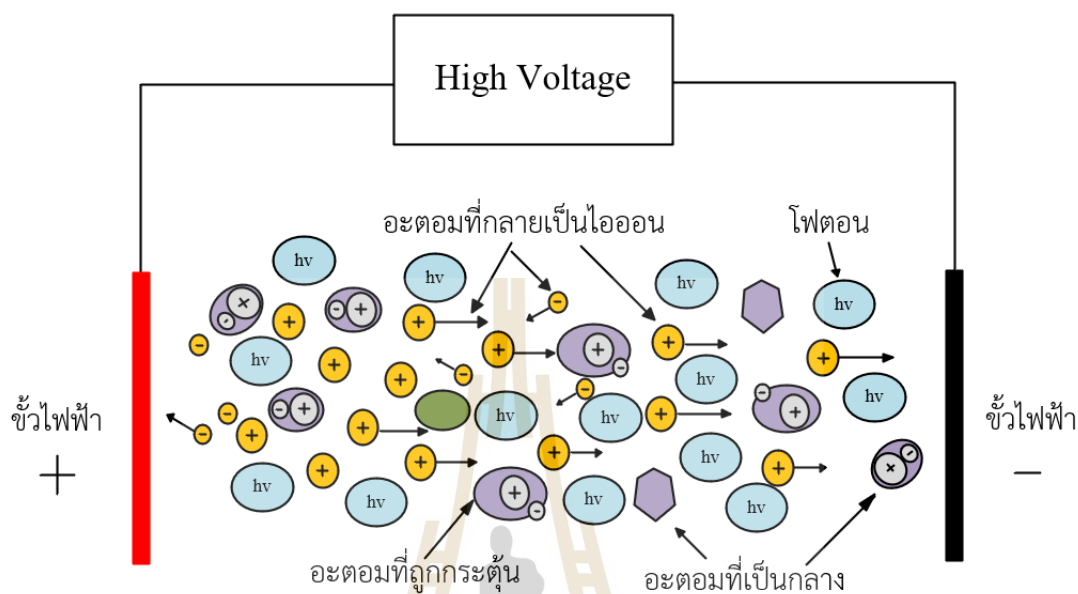
2.3.2 พลาสมาในก๊าซที่ความดันบรรยากาศ

การกำเนิดพลาสมาความดันบรรยากาศที่อุณหภูมิห้อง ทำได้โดยการใช้ไฟฟ้าแรงสูง เมื่ออิเล็กตรอนภายในช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าถูกทำให้เคลื่อนที่และมีพลังงานจลน์ สูงขึ้นจากการป้อนไฟฟ้าแรงสูงที่ขั้วไฟฟ้า อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ด้วยพลังงานสูงเกิดการปะทะกับอะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นกลาง ทำให้เกิดการถ่ายทอดพลังงานไปยังอะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นกลาง ถ้าพลังงานนี้สูงพอจะเกิดการกลายเป็นไอออนและพลาสมาขึ้น ส่วนอะตอมหรือโมเลกุลระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ถูกทำให้เกิดการตื่นกระตุ้นจะคืนสู่สภาพที่เป็นกลาง โดยมีการปล่อยพลังงานที่เป็นส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีแสง ซึ่งเป็นคุณลักษณะหนึ่งของพลาสมาที่รู้จักกันในนามการปล่อยประจุเรืองแสง

2.4 หลักการและทฤษฎีการเกิดพลาสมา

เมื่อเราจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่สูงมากพอให้กับขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้วที่ฝั่งหนึ่งเป็นขั้วบวกและอีกฝั่งเป็นขั้วลบที่วางห่างกันในระยะ ๆ หนึ่ง สนามไฟฟ้าจะทำให้อิเล็กตรอนวิ่งเข้าหาขั้วบวก (Anode) ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้ว แต่กระแสนั้นจะมีค่าต่ำมาก ๆ ถ้าแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ละลาย (Breakdown Voltage) เมื่อแรงดันระหว่างขั้วไฟฟ้าถึงแรงดันไฟฟ้าที่ละลายจะเกิดปรากฏการณ์นี้ คือ สนามไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าเบรคดาวน์จะทำให้อิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูงจนเกิดการไอออนไนซ์ของโมเลกุลก๊าซ และเมื่อมีการชนกันเกิดขึ้นทำให้อิเล็กตรอนที่เพิ่มขึ้นและถูกเร่งไปยังขั้วบวก ในส่วนของอนุภาคไอออนจากอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซจะวิ่งไปสู่ขั้วลบ (Cathode) อนุภาคไอออนที่เข้าไปชนขั้วลบจะทำให้เกิดการปล่อยอิเล็กตรอนอีกรอบ และถูกเร่งภายใต้สนามไฟฟ้าเข้าไปยังขั้วบวกทำให้เกิดการไอออนไนซ์โมเลกุลของก๊าซแบบต่อเนื่อง และจะมีการรักษาสถานะโกลด์สชาร์จเอาไว้ แล้วอะตอมที่ขั้วลบถูกชนจะหลุดออกมาพร้อมที่จะเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้า ส่วนของอะตอมที่มีการหลุดออกมานั้นส่วนใหญ่จะอยู่ในสถานะที่เป็นกลางทางไฟฟ้า หลังจากที่มีการชนกันระหว่างโมเลกุลของก๊าซกับอิเล็กตรอนจนทำให้เกิดการไอออนไนซ์ขึ้น ไอออนที่เกิดการเคลื่อนที่ช้ากว่าอิเล็กตรอนมากทำให้ใกล้ขั้วลบมีโพสิทีฟสเปซชาร์จเกิดขึ้นสูง และส่วนอิเล็กตรอนจะถูกกวาดด้วยสนามไฟฟ้าไปสู่ขั้วบวกอย่างรวดเร็ว ศักย์ไฟฟ้าส่วนใหญ่จะตกคร่อมบริเวณนี้เกือบทั้งหมด พ้นจากบริเวณนี้สนามไฟฟ้าจะมีค่าต่ำ อิเล็กตรอนหลังจากการไอออนไนซ์ขึ้นจะมีการสูญเสียพลังงานไปมาก และจะไม่สามารถเพิ่มพลังงานกลับให้ตัวเองได้ ภายใต้สนามไฟฟ้าต่ำนี้จึงไม่มีพลังงานสูงพอที่จะไอออนไนซ์ก๊าซสำหรับการชนกันครั้งต่อไปได้ โอกาสที่เป็นไปได้ คือ ผลจากการชนกันจะทำให้เกิดก๊าซในสถานะกระตุ้นเป็นส่วนใหญ่ อนุภาคไอออนเมื่อรวมตัวกันกับอิเล็กตรอนแล้วจะกลายเป็นกลางทางไฟฟ้า และจะกลับคืนสู่สถานะพื้นหรือการตกจากสถานะการกระตุ้นของอะตอมสู่สถานะพื้น จะเกิดการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ส่วนใหญ่แล้วจะอยู่ในช่วงของความถี่แสงทำให้บริเวณนั้นเกิดการเรืองแสง “โกลด์สชาร์จ” ส่วนบริเวณระหว่างขั้วลบบกับโพสิทีฟสเปซชาร์จเป็นการรวมตัวกันของไอออนกับอิเล็กตรอน และจะมี

การคายพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า นั้น จะให้ความถี่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งเป็นพลังงานที่ค่อนข้างสูงจึงทำให้เกิดขึ้นได้ยากกว่า ทำให้ช่วงบริเวณนั้นเป็นบริเวณที่มีมืด (Dark Space Region)



รูปที่ 2.4 การกำเนิดพลาสมาด้วยไฟฟ้าแรงสูง

2.5 กระบวนการเกิดพลาสมา

1. กระบวนการไอออไนเซชัน (Ionization) โดยโมเลกุลของแก๊สและอิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าจนกระทั่งมีพลังงานจลน์ที่สูงมาก หลังจากนั้นอิเล็กตรอนและโมเลกุลของแก๊สจะเกิดการชนกัน ซึ่งถ้าพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนมากพอจะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นอิเล็กตรอนและไอออน ทำให้อะตอมกลายเป็นไอออนและเกิดการเรืองแสง (Glow discharge) เปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมา แก๊สที่มีการเปล่งแสงสีม่วง (Ultraviolet) ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-700 นาโนเมตร

2. สภาวะการกระตุ้น (Excitation) จะมีพลังงานส่งผ่านเมื่ออิเล็กตรอนไปอยู่ในระดับที่มีพลังงานที่สูงขึ้น ทำให้อะตอมไปอยู่ในสถานะของการกระตุ้น ซึ่งค่าของพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนจะมีค่าที่น้อยกว่าค่าพลังงานของการแตกตัวเป็นไอออน

3. การแตกตัว (Dissociation) สภาวะนี้เกิดหลังจากการชนกันระหว่างอิเล็กตรอนและโมเลกุลของแก๊ส โดยพลังงานที่โมเลกุลของแก๊สได้รับจากการชน จะส่งผลให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลแก๊สเคลื่อนไปถึงระดับของพลังงานที่มากขึ้น ทำให้อะตอมของโมเลกุลแก๊สอยู่ในสภาวะกระตุ้น ซึ่งในสภาวะนี้เกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ พลังงานที่โมเลกุลแก๊สได้รับจากการชนมีไม่เพียงพอต่อการเกิดไอออไนเซชัน

2.6 ลักษณะรูปแบบสนามไฟฟ้า

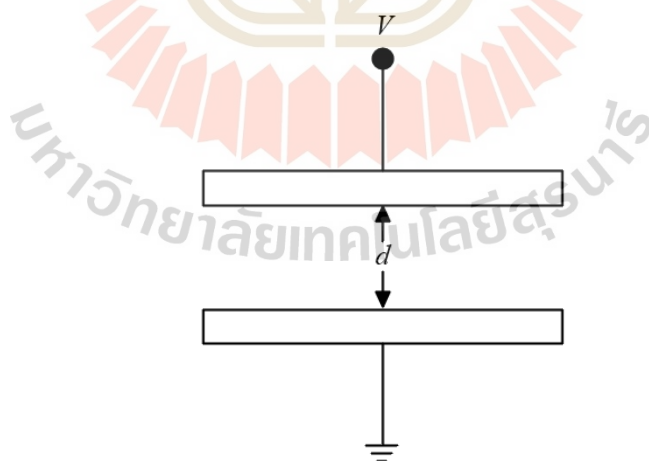
สนามไฟฟ้าเกิดจากการป้อนไฟแรงดันสูงให้กับอิเล็กโทรด โดยทั่วไปแล้วลักษณะของรูปแบบสนามไฟฟ้า จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (uniform field) และสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ (non-uniform field) สำหรับสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอนี้จะแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ที่ไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยและไม่สม่ำเสมอสูง ถ้าจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับตัวอิเล็กโทรดที่มีลักษณะที่ต่างกันที่วางอยู่ในอากาศ พบว่าแรงดันเบรกดาวน์จะมีค่าที่ไม่เท่ากันถึงจะกำหนดระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดให้เท่ากันก็ตาม

2.6.1 สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ คือ สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีเท่า ๆ กันในทุกจุด เช่น ในบริเวณช่องว่างของอิเล็กโทรดแผ่นขนาน ในรูปที่ 2.5 และสามารถคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุด (maximum electric field strength) ได้จาก

$$E_{\max} = E = \frac{V}{d} \quad (2.1)$$

เมื่อ E_{\max} คือ ความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงสุด E คือ ความเข้มของสนามไฟฟ้า ณ จุดใด ๆ ระหว่างอิเล็กโทรด V คือ แรงดันที่ป้อนให้ระหว่างอิเล็กโทรดและ d คือ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด



รูปที่ 2.5 ลักษณะอิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

2.6.2 สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ

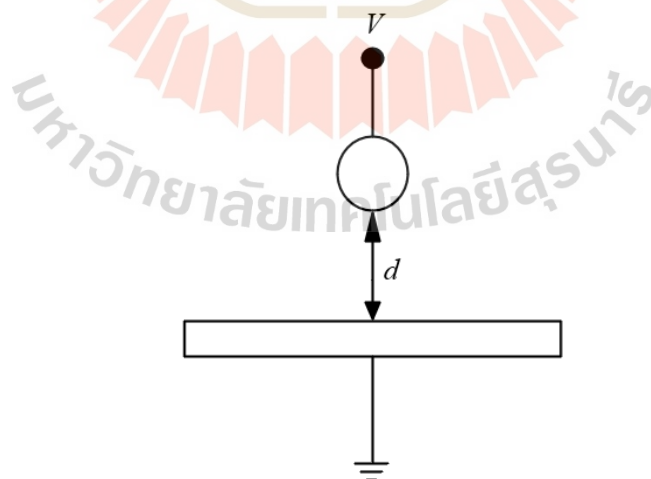
สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ คือ ความเข้มของสนามไฟฟ้าในแต่ละจุดจะมีค่าที่แตกต่างกัน โดยที่ความแตกต่างกันที่จุดต่าง ๆ จะมีค่ามากหรือค่าน้อยก็จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางเรขาคณิต ของตัวอิเล็กโทรดที่มีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ เช่น ลักษณะของการวางขั้วอิเล็กโทรดในรูปที่ 2.6 โดยที่ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นที่ผิวของอิเล็กโทรดที่เป็นทรงกลม สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E_{\max} = \frac{V}{d\eta^*} \quad (2.2)$$

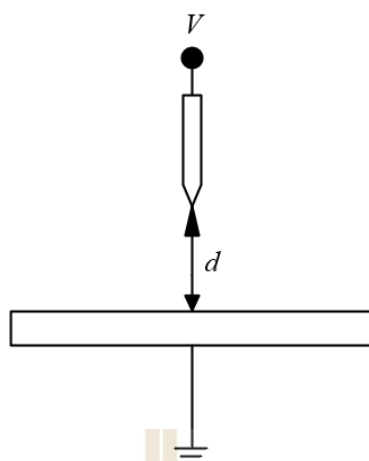
เมื่อ η^* คือ ตัวประกอบการใช้ประโยชน์สนามไฟฟ้า หาได้จาก

$$\eta^* = \frac{E_{av}}{E_{\max}} \quad 0 \leq \eta^* \leq 1 \quad (2.3)$$

เมื่อ E_{av} คือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มสนามไฟฟ้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ V/d สำหรับในกรณีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง ความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดจะอยู่ในบริเวณใกล้ผิวอิเล็กโทรดที่มีผิวน้อยที่สุด เช่น ขั้วอิเล็กโทรดปลายแหลมดังในรูปที่ 2.7



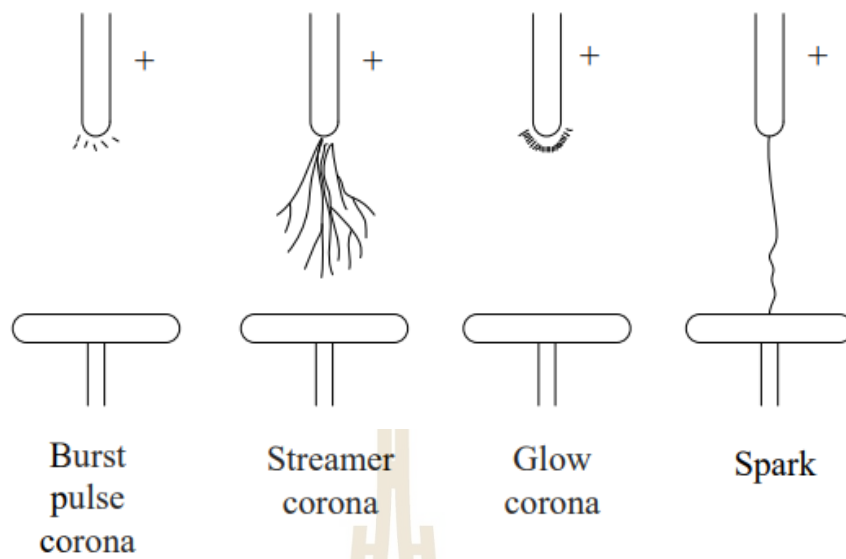
รูปที่ 2.6 ลักษณะอิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย



รูปที่ 2.7 ลักษณะอิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง

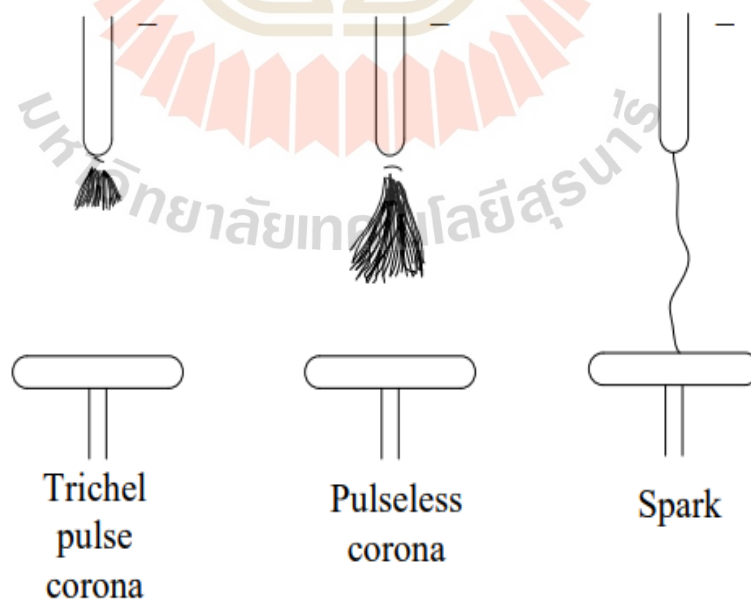
2.7 โครนาดีสชาร์จ

โครนาดีสชาร์จ (corona discharge) คือ การดีสชาร์จแบบประทุงตัวได้ ที่เกิดขึ้นก่อนที่มี การเบรกดาวน โดยเกิดการไหลของกระแสจากอิเล็กโทรดที่มีศักย์ไฟฟ้าที่สูงกว่าไปยังอากาศที่มี ศักย์ไฟฟ้าเป็นกลาง โดยการแตกตัวของไอออนอากาศที่สร้างขึ้นบริเวณรอบ ๆ ของอิเล็กโทรดโดยจะ มีกระแสที่ไหลในระดับไมโครแอมป์ (μA) รูปลักษณะของการเกิดโครนาโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับขั้ว (polarity) ของแรงดันไฟฟ้าที่ได้ป้อนให้กับอิเล็กโทรดและลักษณะรูปร่างทางเรขาคณิตของอิเล็กโทรด ด้วยเช่น ขนาด มิติและระยะห่างระหว่างขั้วของอิเล็กโทรด สำหรับการเกิดโครนาบวกของอิเล็กโทรด แบบเชื่อมกับแผ่นราบ การดีสชาร์จนั้นเริ่มจากเกิดเป็นโครนาแบบเบิร์สต์พัลส์ ที่มีลักษณะเป็นการงอก ยาวออกเป็นเส้นจำนวนมาก และตามด้วยโครนาแบบสตรีมเมอร์ (streamer corona) โครนาแบบ รุ่งแสงบริเวณผิวปลายขั้วอิเล็กโทรดและจะเกิดการสปาร์ค เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนไปให้แก่ขั้ว อิเล็กโทรดแบบเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.8



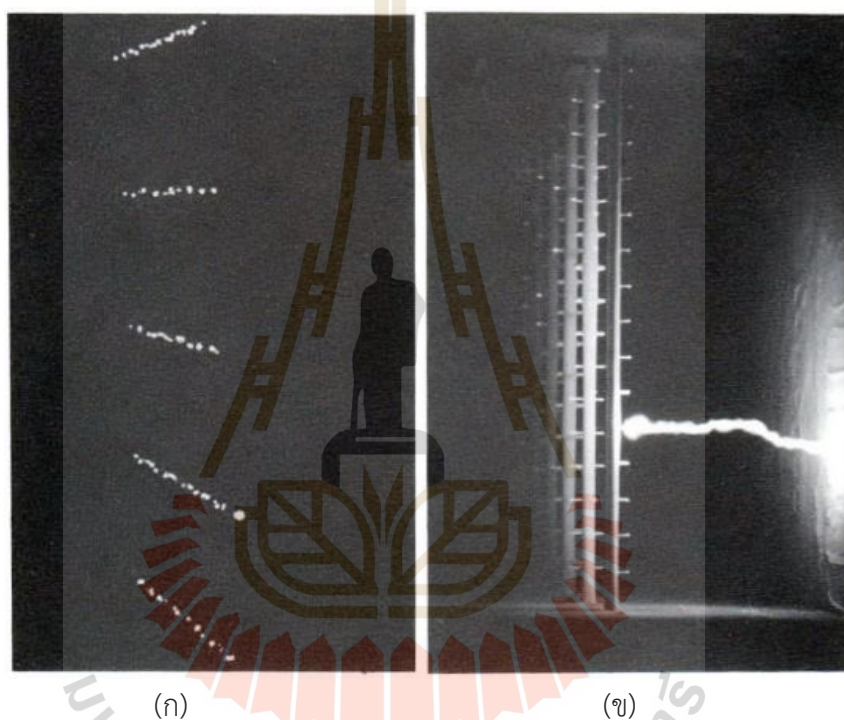
รูปที่ 2.8 ลักษณะของการเกิดโคโรนาดิสชาร์จบวก

สำหรับโคโรนาลบซึ่งเกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดที่เป็นรูปทรงเรขาคณิตเดียวกัน รูปแบบในการเกิด ดิสชาร์จจะเริ่มเป็นโคโรนาแบบ Trichel pulse ตามด้วยโคโรนาแบบ Pulseless และเกิดสปาร์ค ดิสชาร์จ (spark discharge) เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปให้อิเล็กโทรดแบบเข็มมีการเพิ่มสูงขึ้น ดัง แสดงไว้ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะของการเกิดโคโรนาดิสชาร์จลบ

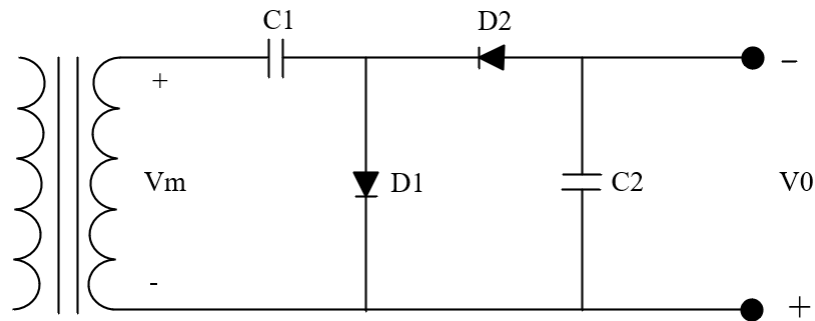
อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นแบบเส้นลวดกับแผ่นราบ โคโรนาบวกเกิดขึ้นที่บริเวณของเส้นลวดทำให้เกิดปอดกตั้งรอบ ๆ หรือเป็นสตรีมเมอร์เคลื่อนที่ออกมาจากบริเวณเส้นลวด ส่วนโคโรนาลบจะเกิดขึ้นที่บริเวณเส้นลวดซึ่งจะอยู่ในรูปแบบการรุ่งแสง (glow) โดยทั่วไปแล้วจะเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นแบบรวดเร็วหรือถ้าเกิดมีความเข้มที่น้อยก็จะมีลักษณะที่เป็นจุด ๆ ภาพถ่ายของการเกิดของโคโรนาดิสชาร์จในสนามไฟฟ้าที่เป็นเส้นลวดกับแผ่นราบ แสดงดังรูปที่ 2.10 (ก) และรูปที่ 2.10 (ข) แสดงการเกิดสปาร์คข้าม (sparkover) โคโรนาดิสชาร์จเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการอัดประจุไฟฟ้าให้กับอนุภาค เพราะเป็นกระบวนการในการสร้างไอออนที่ทำให้อนุภาคได้รับประจุ



รูปที่ 2.10 ภาพถ่าย (ก) ลักษณะการเกิดของโคโรนาดิสชาร์จและ (ข) การเกิดสปาร์ค

2.8 ทฤษฎีการทวีแรงดัน

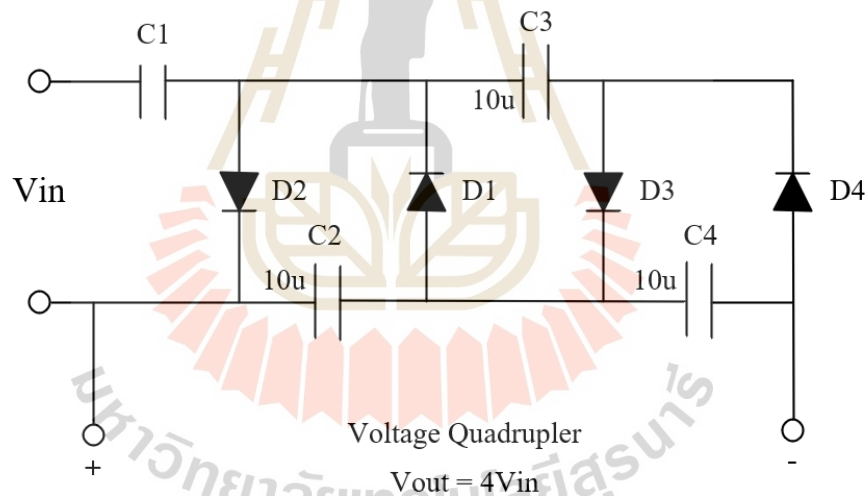
การทวีแรงดัน หรือ วงจรทวีแรงดันเป็นอุปกรณ์หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยทวีระดับแรงดัน โดยระดับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟให้มีระดับแรงดันสูงมากขึ้นจากที่รับเข้ามา



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างวงจรทวีแรงดัน

2.8.1 การใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจรทวีแรงดัน

สำหรับการทวีแรงดันเพื่อให้ได้ระดับแรงดันที่ต้องการ ในการกำเนิดเป็นไอออน นั้นจะอาศัยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 2 ชนิด คือ ไดโอด, ตัวเก็บประจุมาใช้ในการทวีแรงดัน

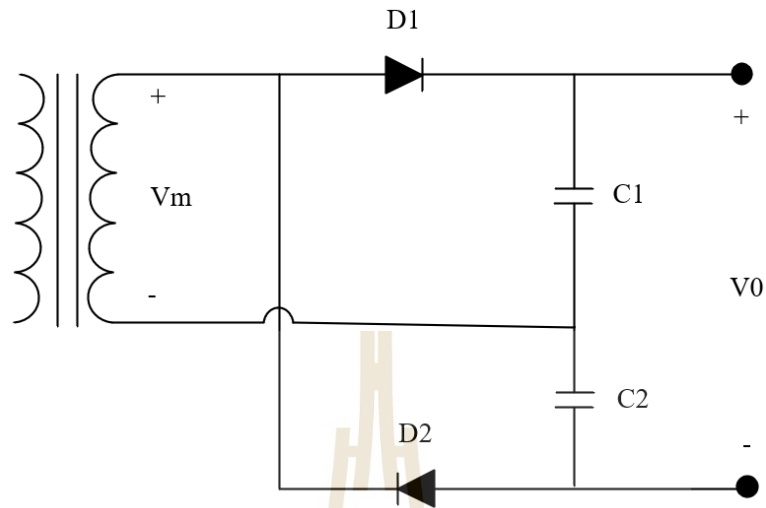


รูปที่ 2.12 วงจรทวีแรงดัน

วงจรทวีแรงดัน คือ วงจรที่สามารถทำให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในด้านขาออก มีค่าที่เพิ่มมากขึ้นเป็น 2 เท่า 3 เท่าและ 4 เท่า ฯลฯ ของค่าแรงดันสูงสุดที่ฝั่งขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ส่วนของวงจรทวีแรงดันแบบนี้ยมนำมาใช้มีดังนี้

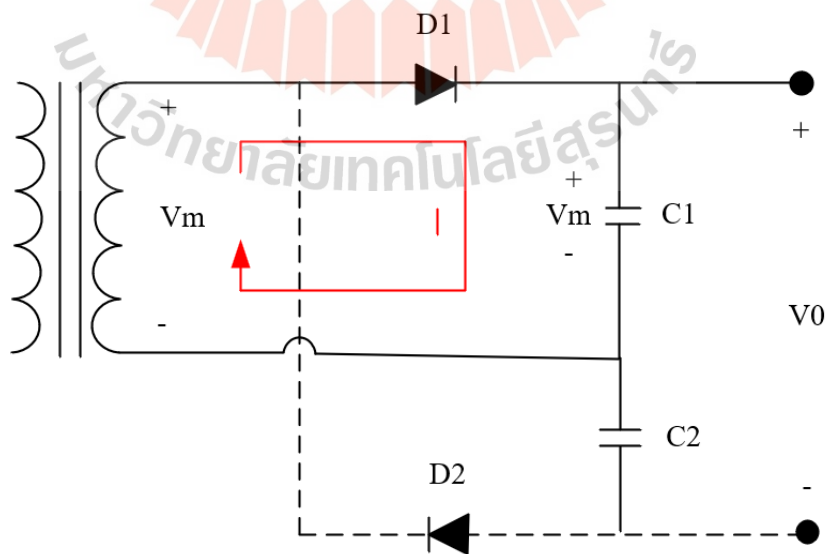
วงจร Voltage Doubler วงจรทวีแรงดันแบบ 2 เท่า คือวงจรที่สามารถทำให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านขาออก มีค่าที่เพิ่มมากขึ้นเป็น 2 เท่า เช่น จ่าย 2 ออก 4 จ่าย 5 ออก 10 สามารถออกแบบวงจรได้ 2 ลักษณะ คือทวีคูณแรงดันแบบเต็มคลื่นและทวีคูณแรงดันแบบครึ่งคลื่น

1) วงจรทวีแรงดัน 2 เท่า แบบเต็มคลื่น (Full Wave Voltage Doubler)



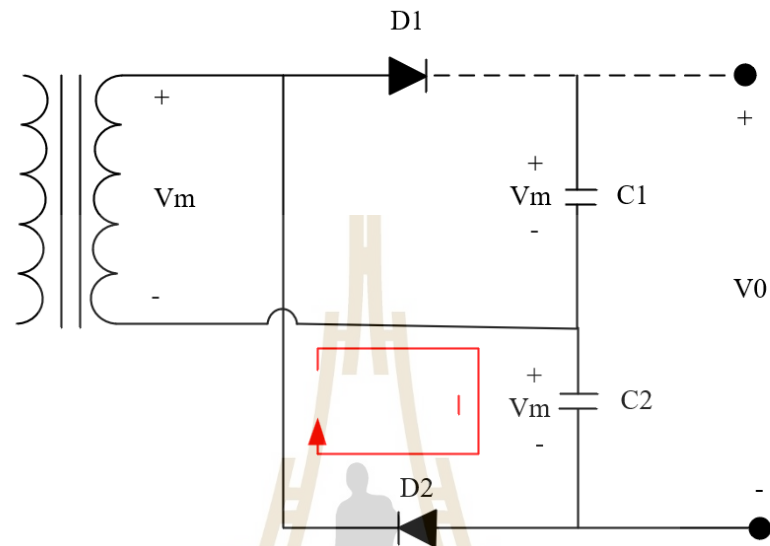
รูปที่ 2.13 วงจรทวีแรงดันแบบเต็มคลื่น

เมื่อมีสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับจากฝั่งของขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงในช่วงของครึ่งคลื่นฝั่งบวกจ่ายให้กับวงจร จะทำให้ไดโอด D1 ได้รับการไบอัสตรงจึงมีการนำกระแสเกิดขึ้น ส่วนของไดโอด D2 ได้รับการไบอัสกลับจึงไม่มีการนำกระแส ตัวเก็บประจุ C1 จะเริ่มชาร์จประจุและได้รับแรงดันตกคร่อม C1 เท่ากับแรงดันจากฝั่งขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง



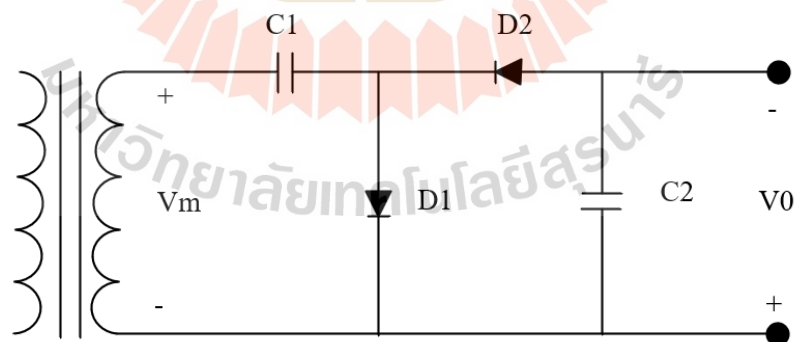
รูปที่ 2.14 การทำงานในช่วงครึ่งคลื่นบวกของวงจรทวีแรงดันแบบเต็มคลื่น

ในช่วงของครึ่งคลื่นฝั่งลบจะทำให้ไดโอด D1 ซึ่งได้รับการไบอัสกลับจึงไม่มีการนำกระแสเกิดขึ้น ในส่วนของไดโอด D2 จะได้รับการไบอัสตรงจึงมีการกระแสเกิดขึ้น ทำให้ตัวเก็บประจุ C2 เริ่มชาร์จและได้รับแรงดันตกคร่อม C2 เท่ากับแรงดันจากฝั่งของขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง



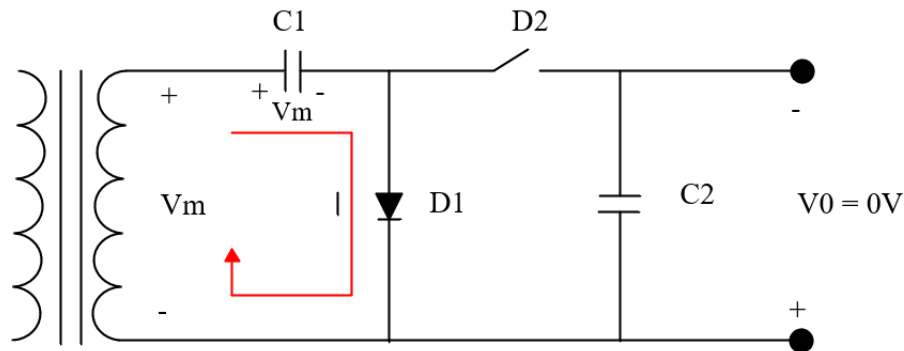
รูปที่ 2.15 การทำงานในช่วงครึ่งคลื่นลบของวงจรทวีแรงดันแบบเต็มคลื่น

- 2) วงจรทวีคูณแรงดัน 2 เท่า แบบครึ่งคลื่น (Half Wave Voltage Doubler)



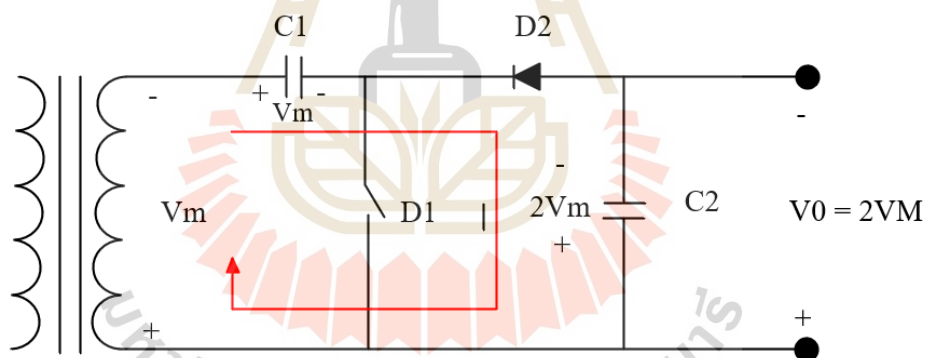
รูปที่ 2.16 วงจรทวีแรงดันแบบครึ่งคลื่น

เมื่อมีสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับจากฝั่งขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงในช่วงของครึ่งคลื่นของฝั่งบวกที่ได้ป้อนให้กับวงจร จะทำให้ไดโอด D1 ได้มีการไบอัสตรงจึงมีการนำกระแสไฟฟ้า ส่วนไดโอด D2 ได้รับความไบอัสกลับจึงไม่มีการนำกระแสเกิดขึ้น ตัวเก็บประจุ C1 ได้เริ่มการชาร์จได้รับแรงดันตกคร่อม C1 เท่ากับแรงดันจากขดลวดทุติยภูมิ



รูปที่ 2.17 การทำงานในช่วงครึ่งคลื่นฝั่งบวกของวงจรทวิแรงดันแบบครึ่งคลื่น

ในช่วงของครึ่งคลื่นฝั่งลบ จะทำให้ตัวไดโอด D1 ซึ่งได้รับการไบอัสกลับจึงทำให้ไดโอดไม่มีการนำกระแสไฟฟ้า ส่วนไดโอด D2 จะได้รับการไบอัสตรงจึงมีการนำกระแสเกิดขึ้น ตัวเก็บประจุ C1 จะคายประจุและทำให้แรงดันจากขดลวดขาออกที่ต่ออยู่กับ C1 มีแรงดันรวมจ่ายให้กับ C2 ทำให้ตัว C2 ชาร์จประจุได้เป็น 2 เท่า



รูปที่ 2.18 การทำงานในช่วงครึ่งคลื่นฝั่งลบของวงจรทวิแรงดันแบบครึ่งคลื่น

2.9 สรุป

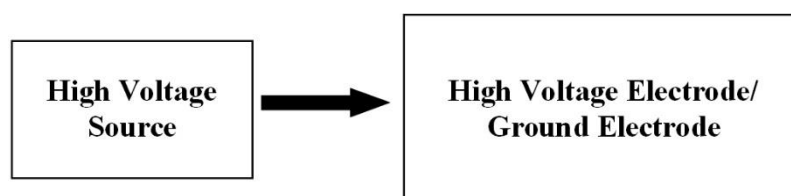
ระบบการกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จสิ่งที่สำคัญคือ ต้องเข้าใจหลักการที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาดีสชาร์จ รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในออกแบบการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วอิเล็กโทรดเพื่อให้เกิดเป็นโคโรนาดีสชาร์จ ในส่วนนี้ได้มีการกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ และกลไกที่ทำให้เกิดเป็นโคโรนาดีสชาร์จ โดยจะอธิบายถึงสมการของการเกิดเป็นโคโรนาดีสชาร์จและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบการกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ ทั้งนี้เพื่อนำข้อมูลและทฤษฎีที่ได้ศึกษาค้นคว้านำมาวิเคราะห์ออกแบบระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จและทดสอบให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 3

การศึกษาและออกแบบสร้างระบบโคโรนาดีสชาร์จ

3.1 กล่าวนำ

เนื้อหาของบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์การแผ่กระจายสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ ซึ่งเป็นระบบพลาสมาอุณหภูมิ ต่ำ (Low-temperature plasma) โดยจ่ายศักย์ไฟฟ้าสูงให้กับวัสดุตัวนำที่มีลักษณะปลายแหลมที่เป็นขั้วอิเล็กโทรดเกิดเป็นโคโรนาดีสชาร์จในสนามไฟฟ้า ซึ่งการออกแบบระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จนั้น จะต้องมีการออกแบบที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดโคโรนาดีสชาร์จ สำหรับการวิเคราะห์และการออกแบบรูปแบบการกระจายสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับอิเล็กโทรดนั้น จะใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO เพื่อวิเคราะห์เชิงตัวเลขในการศึกษาเกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ โดยในเบื้องต้นจะทำการวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของสนามไฟฟ้าที่มีการแผ่กระจายและความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น สำหรับการออกแบบระบบกำจัดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดีสชาร์จ ซึ่งสิ่งสำคัญในระบบนี้คือตัวปล่อยที่มีลักษณะเป็นปลายแหลมและระยะที่เหมาะสมระหว่างขั้วอิเล็กโทรด เพื่อให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาดีสชาร์จ การจำลองเพื่อวิเคราะห์การแผ่กระจายสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้านั้น จะใช้วิธีการป้อนแรงดันไฟฟ้าขนาด 15 kV โดยจะเริ่มจากการศึกษาผลของการจำลองแบบด้วยการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่าง ๆ และใช้เทคนิคการกำหนดระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด ซึ่งจะทำการจำลองที่ระยะห่าง 0.5, 1, 2 และ 3 เซนติเมตร เพื่อให้ได้ระยะห่างที่เหมาะสม ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ โดยระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จจะมีบล็อกไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 3.1 เมื่อทำการวิเคราะห์และออกแบบในส่วนต่าง ๆ เสร็จสมบูรณ์ และทำการทดสอบเพื่อให้ได้ระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จที่มีประสิทธิภาพสำหรับใช้งานต่อไป



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ

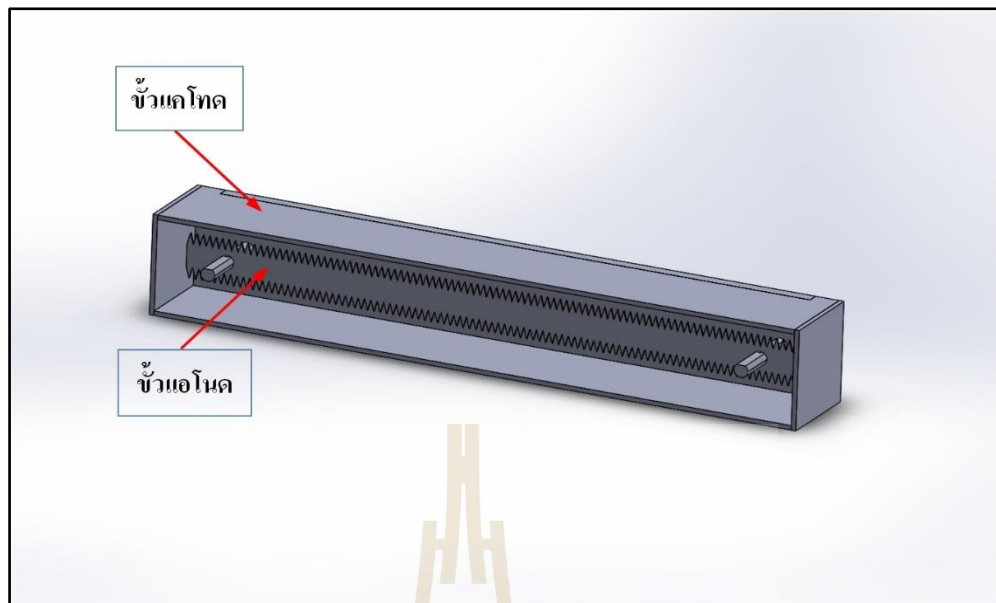
3.2 การวิเคราะห์และการออกแบบชิ้นอิเล็กทรอนิกส์

สำหรับในหัวข้อนี้จะทำการกล่าวถึงการวิเคราะห์ระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ ซึ่งส่วนที่สำคัญของระบบนั้นคือ ตัวที่ทำให้เกิดโคโรนาดีสชาร์จซึ่งจะต้องใช้วัสดุที่มีการนำไฟฟ้าที่ดี ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้า พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุแต่ละชนิดจะมีผลต่อการแผ่กระจายสนามไฟฟ้าได้ต่างกัน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเลือกวัสดุที่มีค่าตัวแปรของการนำไฟฟ้าและค่าความซึมซาบได้ โดยวัสดุที่ได้นำมาใช้นั้น ได้แก่ ทองแดง อลูมิเนียม วัสดุเหล็กโครงสร้าง และเหล็กกล้าไร้สนิม โดยเมื่อได้ทำการศึกษาแล้ว ทำให้พบว่าวัสดุที่เป็นทองแดง จะมีค่าสภาพนำทางไฟฟ้าเท่ากับ 59.6×10^6 S/m เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุชนิดอื่นซึ่งมีค่าของการนำไฟฟ้าที่น้อยกว่า ทำให้วัสดุที่เป็นทองแดงสามารถแพร่กระจายสนามไฟฟ้าได้ดีที่สุด ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ทองแดงเป็นวัสดุชิ้นแอโนดสำหรับปล่อยพลาสมา และในส่วนของชิ้นแคโทดใช้วัสดุเป็นอลูมิเนียมแผ่นในการจำลองและการออกแบบ โดยที่ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความซึมซาบได้ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของวัสดุต่าง ๆ

ชนิดวัสดุ	ค่าสภาพนำทางไฟฟ้า (S/m)	ค่าความซึมซาบได้
ทองแดง (Cu)	59.6×10^6	1
อลูมิเนียม (Al)	35.0×10^6	1
เหล็กโครงสร้าง (Fe)	10.0×10^6	4000
เหล็กกล้าไร้สนิม (SST)	1.45×10^6	200000

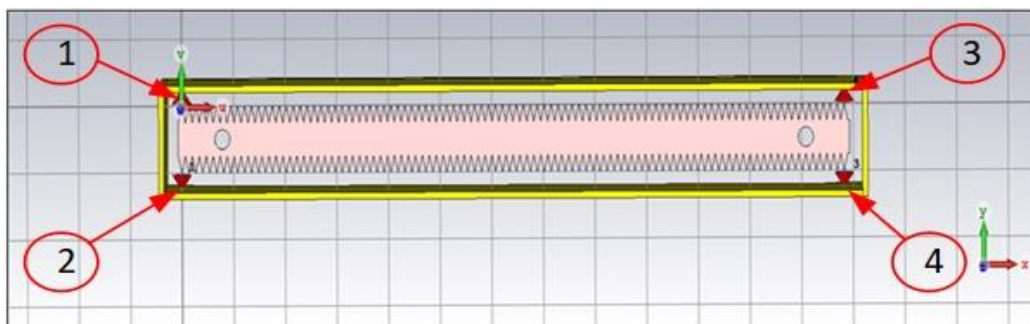
สำหรับการจำลองผลการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กทรอนิกส์ ได้ทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid work สำหรับการออกแบบ โดยทำการออกแบบ โดยกำหนดให้ชิ้นแอโนดทองแดงมีความหนา 0.5 mm ออกแบบในลักษณะซี่ฟันปลาที่มีปลายแหลมทั้งสองด้าน และในส่วนชิ้นแคโทดออกแบบโดยใช้อลูมิเนียมแผ่นเรียบที่มีความหนา 2 mm ซึ่งลักษณะที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid work แสดงดังรูปที่ 3.2 โดยการจำลองการออกแบบนั้นจะทำการออกแบบให้มีระยะห่างของอิเล็กทรอนิกส์ 4 ระยะด้วยกัน คือ 0.5, 1, 2 และ 3 เซนติเมตร และเมื่อทำการจำลองการออกแบบระบบการปล่อยพลาสมาเป็นที่เรียบร้อยแล้วจะนำแบบที่ได้ออกแบบทั้ง 4 แบบ ไปจำลองในโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO เพื่อจำลองการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3.2 ลักษณะของระบบโคโรนาดีสชาร์จที่จำลองโดยใช้โปรแกรม Solid work

3.3 การวิเคราะห์และจำลองลักษณะการแผ่กระจายสนามไฟฟ้า

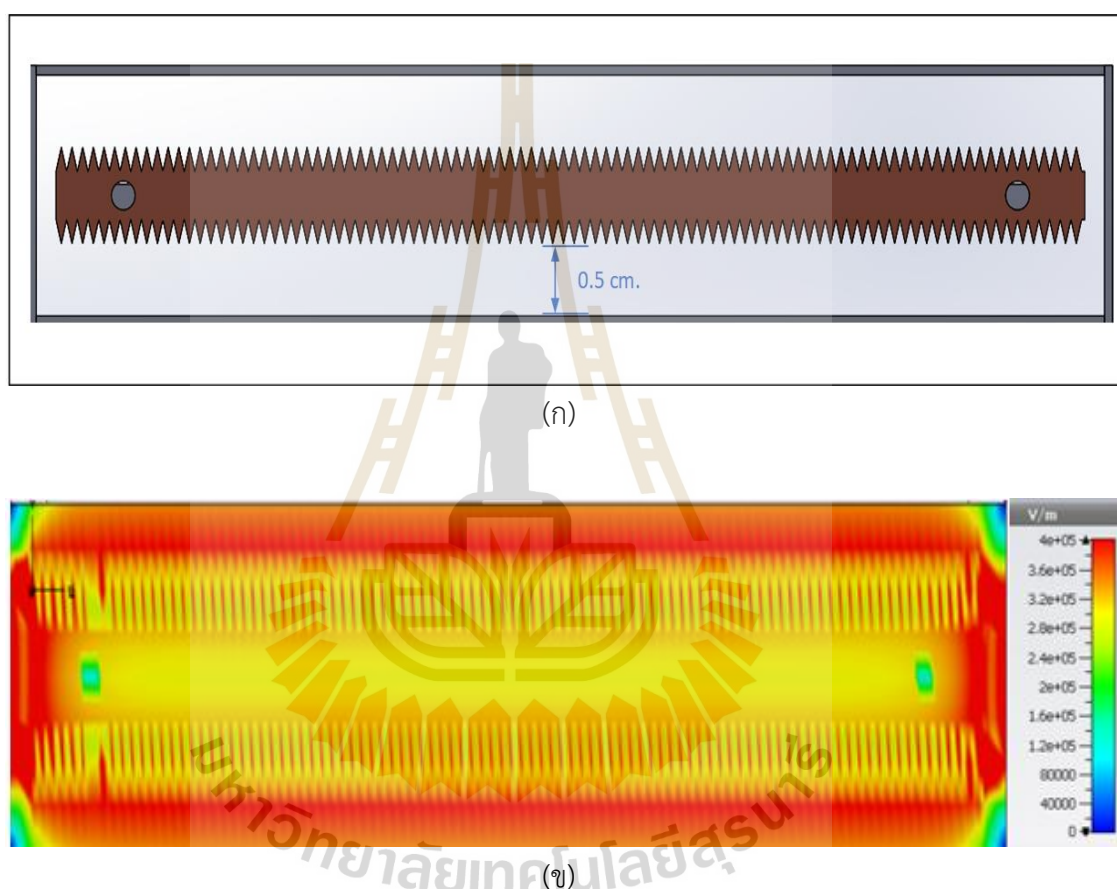
สำหรับการจำลองการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วอิเล็กโทรดจะใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO ในการจำลองการแผ่กระจายสนามไฟฟ้า โดยทำการจำลองที่ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับแคโทด 4 ระยะด้วยกัน คือ 0.5, 1, 2 และ 3 เซนติเมตร โดยทั้ง 4 ระยะห่างนี้ นั้นจะมีการกำหนดจุดป้อนกำลังงาน 4 จุด กำหนดแรงดันไฟฟ้า 15 kV และกำหนดกระแส 3 mA เท่ากันทุกรูปแบบ สำหรับจุดป้อนกำลังงานจะป้อนที่ปลายแหลมของขั้วแอโนดในทุกรูปแบบ แสดงดังรูปที่ 3.3 ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เป็นวัสดุสำหรับจำลองการแผ่กระจายสนามไฟฟ้า โดยที่ขั้วแอโนดกำหนดพารามิเตอร์ของวัสดุเป็นทองแดง และในส่วนของขั้วแคโทดกำหนดพารามิเตอร์ของวัสดุเป็นอลูมิเนียม



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงาน

3.3.1 การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 0.5 เซนติเมตร

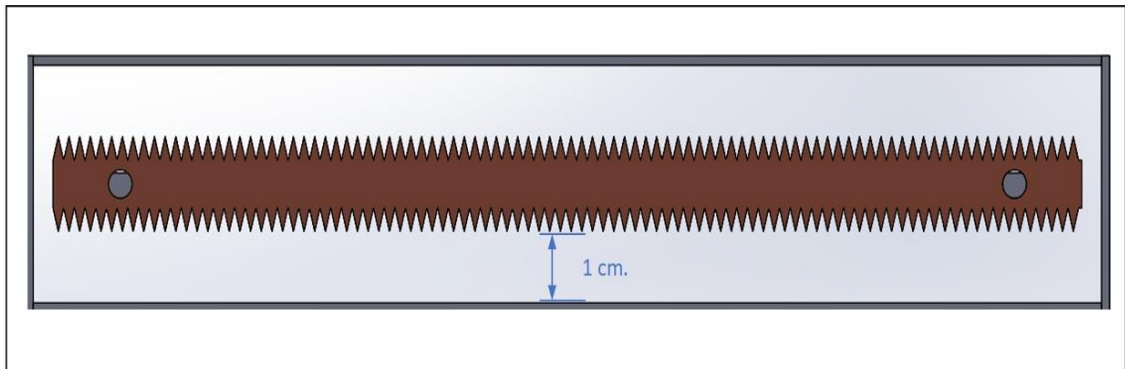
จำลองระยะห่างของอิเล็กโทรด 0.5 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.4 (ก) และผลการจำลองการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 3.4 (ข) ซึ่งจากการจำลองพบว่า การแผ่กระจายและความเข้มสนามไฟฟ้า จะมีการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าทั่วถึงกันทั้งหมดของอิเล็กโทรดที่ทำการจำลอง โดยค่าความเข้มสนามไฟฟ้าเท่ากับ 1,310 kV/m



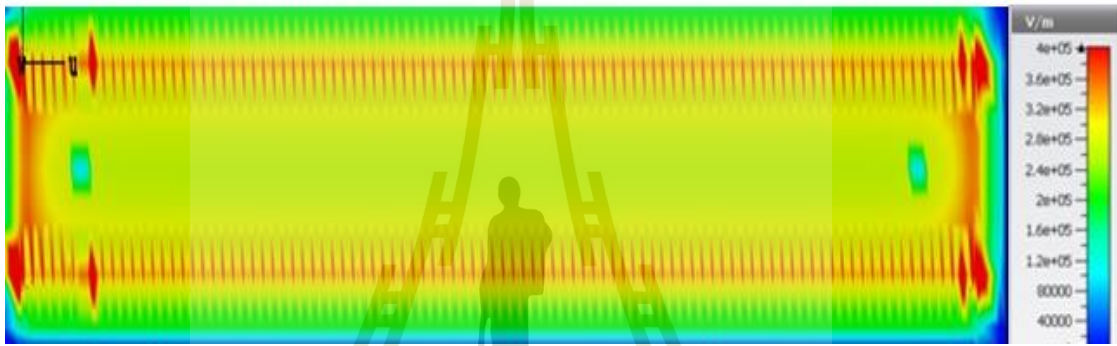
รูปที่ 3.4 ผลการจำลองระยะห่าง 0.5 เซนติเมตร

3.3.2 การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1 เซนติเมตร

การจำลองระยะห่างของอิเล็กโทรด 1 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.5 (ก) และผลการจำลองการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 3.5 (ข) ซึ่งจากการจำลองพบว่า การแผ่กระจายและความเข้มสนามไฟฟ้า จะมีการแผ่กระจายสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าทั่วถึงกันทั้งหมดของอิเล็กโทรด แต่จะมีในส่วนของจุดที่ป้อนกำลังงานที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่น โดยมีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงเท่ากับ 1,157 kV/m



(ก)

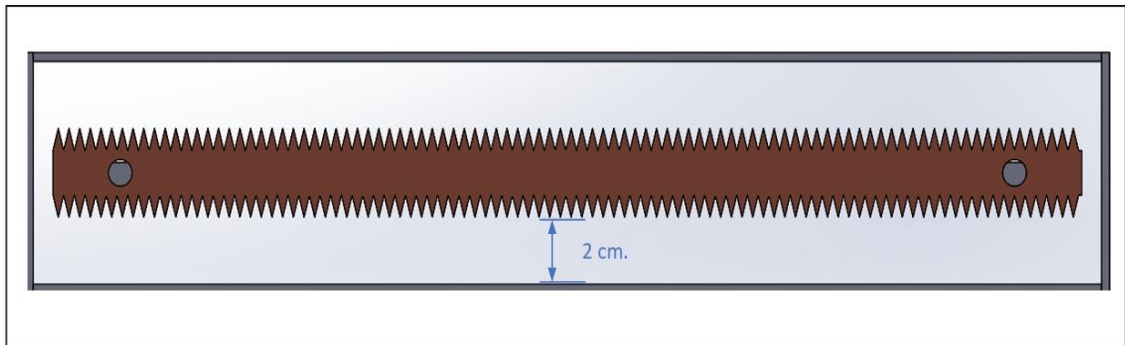


(ข)

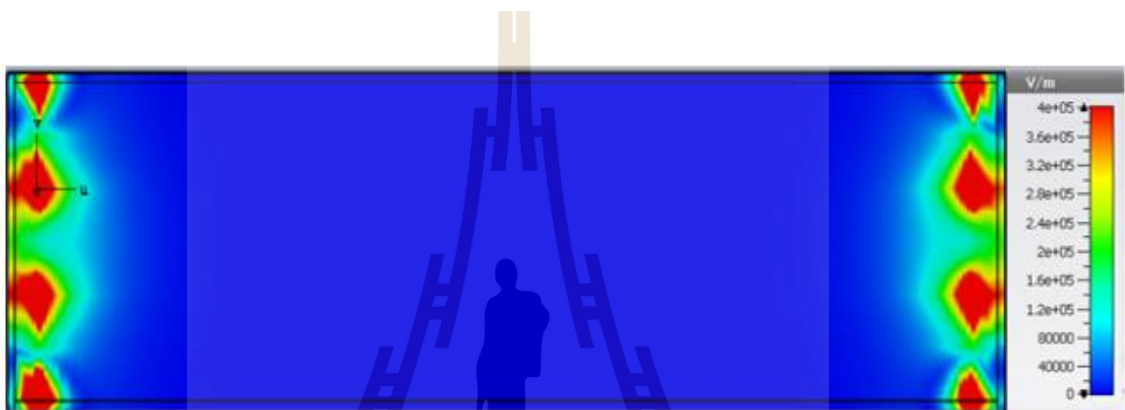
รูปที่ 3.5 ผลการจำลองระยะห่าง 1 เซนติเมตร

3.3.3 การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 เซนติเมตร

การจำลองระยะห่างของอิเล็กโทรด 2 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.6 (ก) และผลการจำลองการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.6 (ข) ซึ่งจากผลการจำลองพบว่า การแผ่กระจายและความเข้มของสนามไฟฟ้า จะมีการแผ่อยู่แค่เพียงบริเวณด้านข้างของอิเล็กโทรดเฉพาะบริเวณที่เป็นจุดบ่อนกำลังงาน ซึ่งจะเห็นว่าการกระจายและความเข้มของสนามไฟฟ้ามีการแผ่กระจายน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 ที่มีระยะห่าง 0.5 เซนติเมตร และในส่วนบริเวณตรงกลางของอิเล็กโทรดที่ทำการจำลองมีการแผ่กระจายและความเข้มของสนามไฟฟ้าน้อยมากเมื่อเทียบกับบริเวณด้านข้าง โดยค่าความเข้มสนามไฟฟ้าเท่ากับ 748 kV/m



(ก)

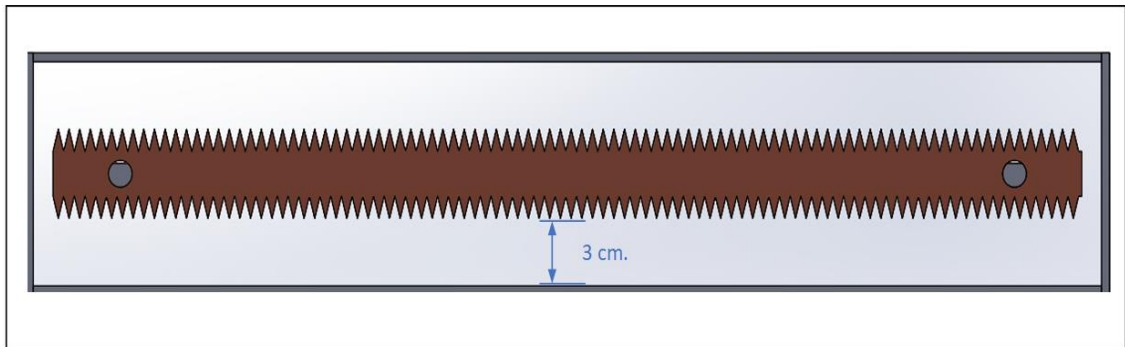


(ข)

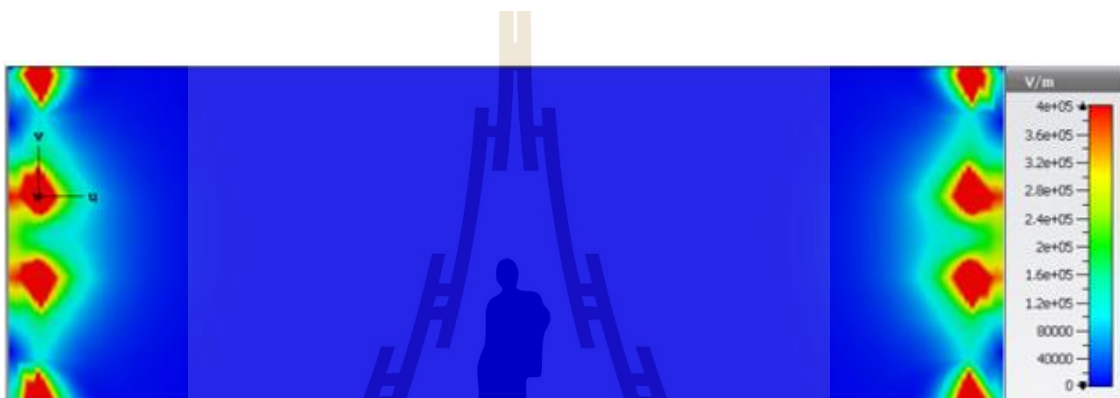
รูปที่ 3.6 ผลการจำลองระยะห่าง 2 เซนติเมตร

3.3.4 การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 3 เซนติเมตร

การจำลองระยะห่างของอิเล็กโทรด 3 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.7 (ก) และผลการจำลองการแผ่กระจายสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 3.7 (ข) ซึ่งจากผลการจำลองพบว่า การแผ่กระจายและความเข้มของสนามไฟฟ้าจะมีการแผ่อยู่แค่เพียงบริเวณด้านข้างของอิเล็กโทรดเฉพาะบริเวณที่เป็นจุดป้อนกำลังงานซึ่งลักษณะการแผ่กระจายและความเข้มสนามไฟฟ้ามักมีการแผ่กระจายน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 ที่มีระยะห่าง 0.5 เซนติเมตร ซึ่งจะมีลักษณะแผ่กระจายสนามไฟฟ้าคล้ายกับกรณีที่ 3 และในส่วนบริเวณตรงกลางของอิเล็กโทรดที่ทำการจำลองมีการแผ่กระจายและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่น้อยมากเมื่อเทียบกับบริเวณด้านข้าง โดยค่าความเข้มสนามไฟฟ้าเท่ากับ 431 kV/m



(ก)



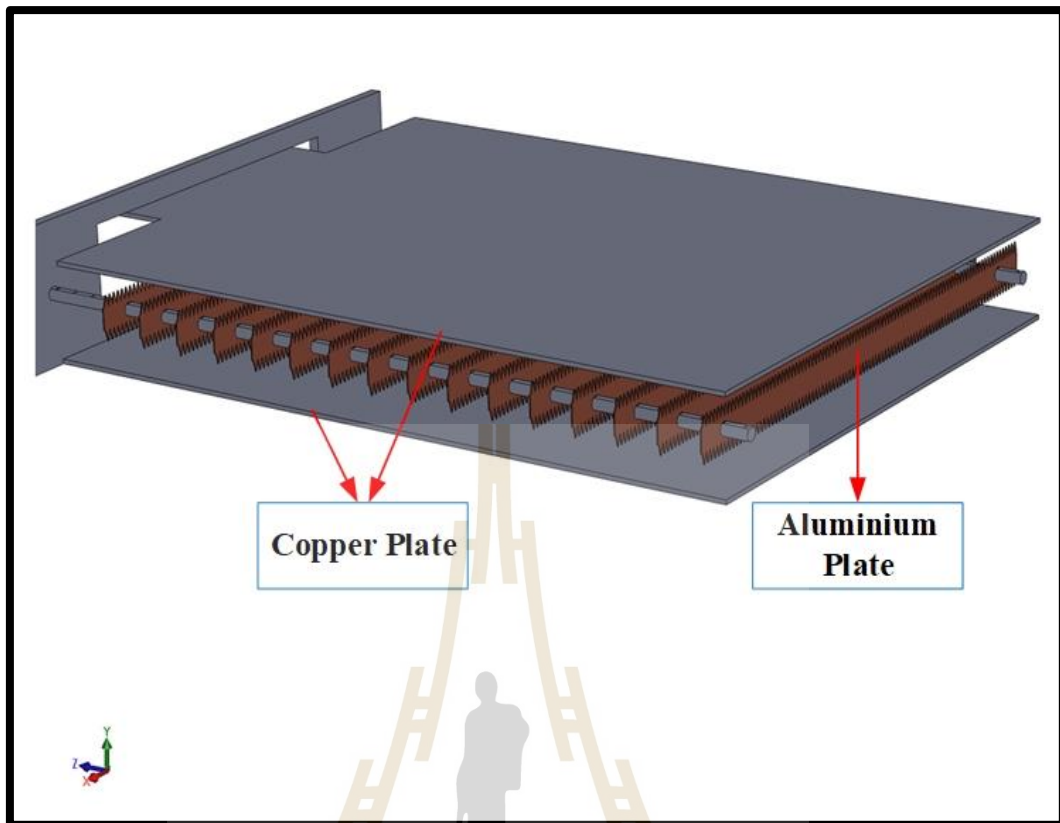
(ข)

รูปที่ 3.7 ผลการจำลองที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร

จากผลการจำลองการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรด ที่มีการกำหนดระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับแคโทดที่ระยะห่าง 0.5, 1, 2 และ 3 เซนติเมตร พบว่าในรูปแบบการกำหนดให้ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับแคโทดมีระยะห่าง 0.5 เซนติเมตร มีการกระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าแผ่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้การเกิดปรากฏการณ์โคโรนาดีสชาร์จเกิดขึ้นดีที่สุดในที่มีความเข้มสนามไฟฟ้า 1,310 kV/m

3.4 การออกแบบขั้วอิเล็กโทรด

สำหรับการออกแบบขั้วอิเล็กโทรด ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดโคโรนาดีสชาร์จ โดยในการออกแบบขั้วอิเล็กโทรดจะใช้วัสดุที่เป็นทองแดงและอลูมิเนียม โดยขั้วแอโนดใช้เป็นทองแดงที่มีความหนาเท่ากับ 0.5 mm กว้าง 2.5 cm ยาว 22 cm ลักษณะเป็นซี่ฟันปลายมีปลายทั้งสองด้านและขั้วแคโทดใช้อลูมิเนียมแผ่นมีความหนาเท่ากับ 2 mm กว้าง 22 cm ยาว 30 cm ซึ่งการออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.8 และลักษณะของขั้วแอโนดที่ได้ทำการสร้างขึ้นจากการออกแบบ แสดงดังรูปที่ 3.9

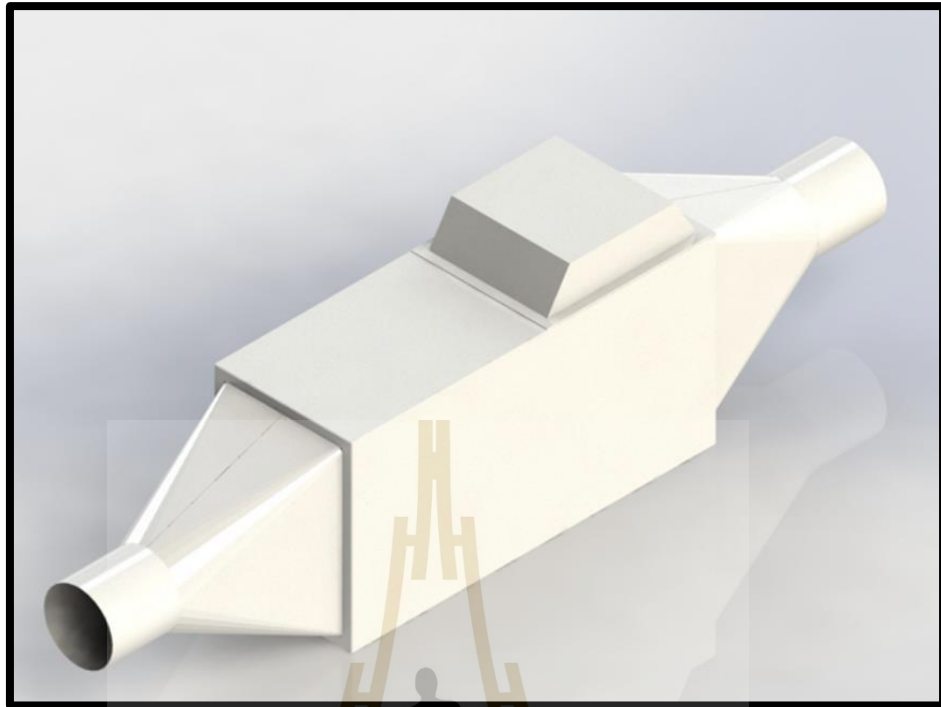


รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะชุดขั้วอิเล็กทรอนิกส์

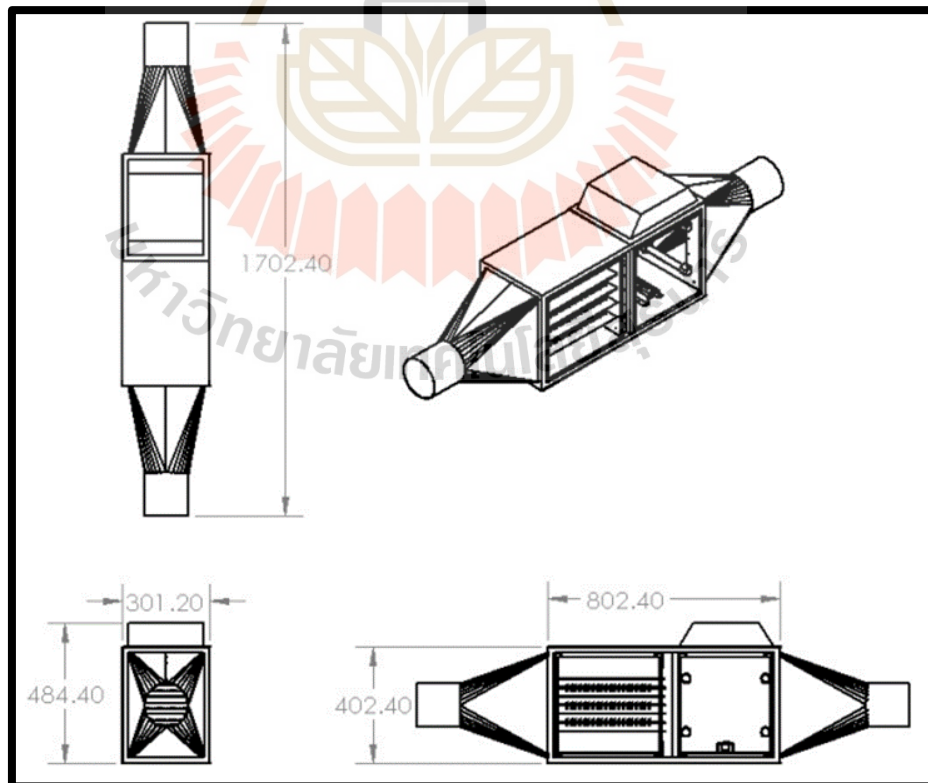


รูปที่ 3.9 ขั้วแอนเทนนาขนาดจริง

เมื่อทำการออกแบบในส่วนของขั้วอิเล็กทรอนิกส์ของระบบโคโรนาดีสชาร์จเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ส่วนถัดมาจึงทำการออกแบบโครงสร้างของเครื่องกำเนิดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดีสชาร์จจะมีขนาดของความกว้างเท่ากับ 40 เซนติเมตร ขนาดความยาวเท่ากับ 170 เซนติเมตรและมีความลึกเท่ากับ 30 เซนติเมตร โดยรูปแบบและขนาดของเครื่องกำเนิดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดีสชาร์จ แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 รูปแบบของเครื่องที่ออกแบบไว้

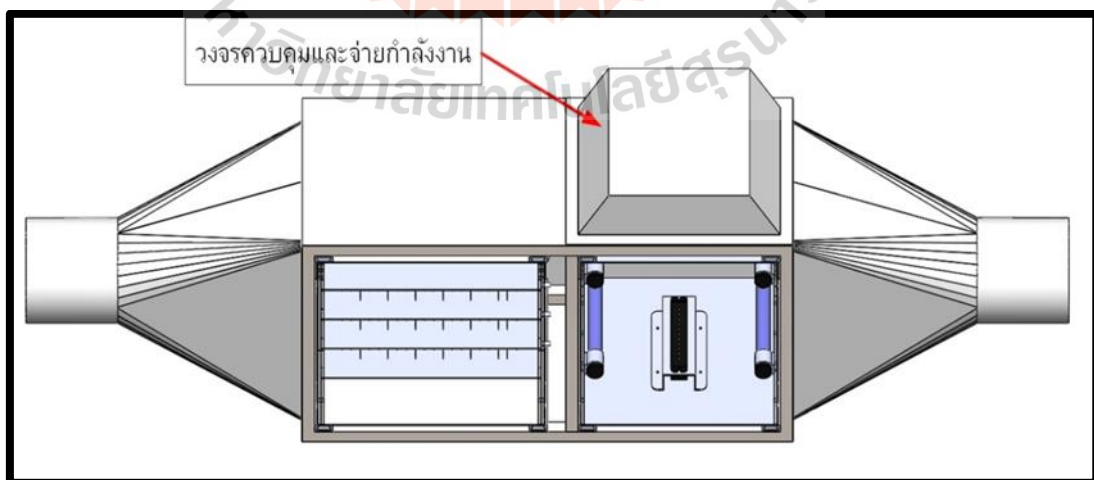


รูปที่ 3.11 ขนาดของโครงสร้างเครื่องกำจัดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดีสชาร์จ



รูปที่ 3.12 โครงสร้างเครื่องสำหรับการประกอบ

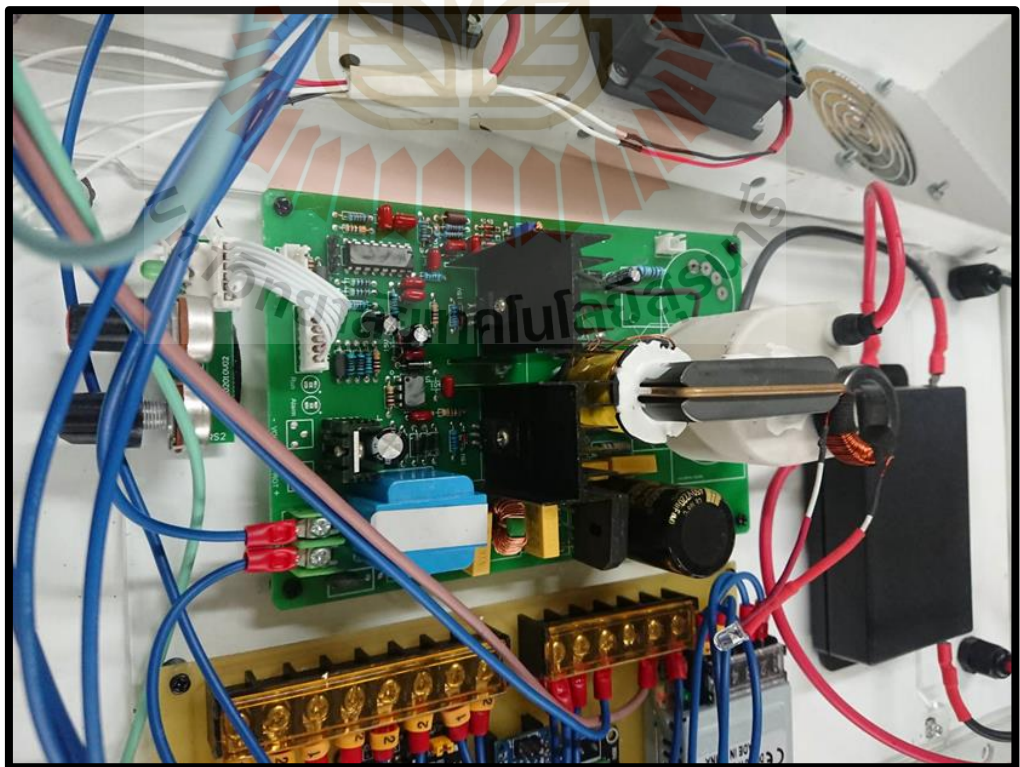
ในส่วนของวงจรควบคุมและจ่ายกำลังงาน ได้ทำการออกแบบติดตั้งอยู่ที่ด้านบนของเครื่อง ซึ่งประกอบด้วยวงจรเปิด-ปิดการทำงานของเครื่อง วงจรจ่ายกำลังงานให้กับชุดกำลังดัน โดยรูปจำลองตามที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ตำแหน่งการติดตั้งวงจรควบคุมและจ่ายกำลังงานที่ออกแบบ

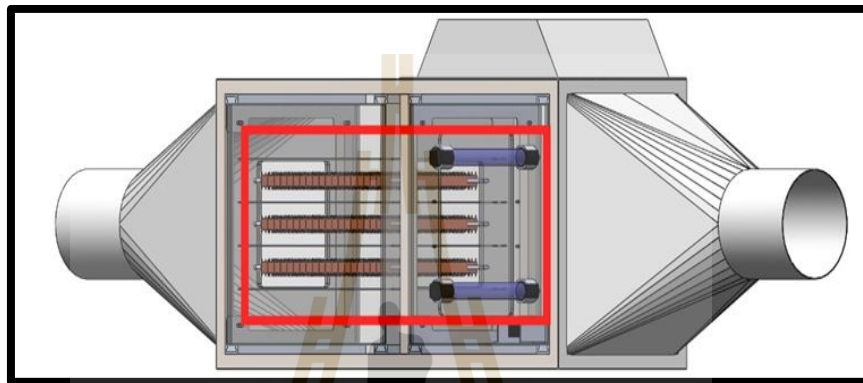


รูปที่ 3.14 การประกอบและติดตั้งส่วนของวงจรควบคุมและจ่ายกำลังงาน

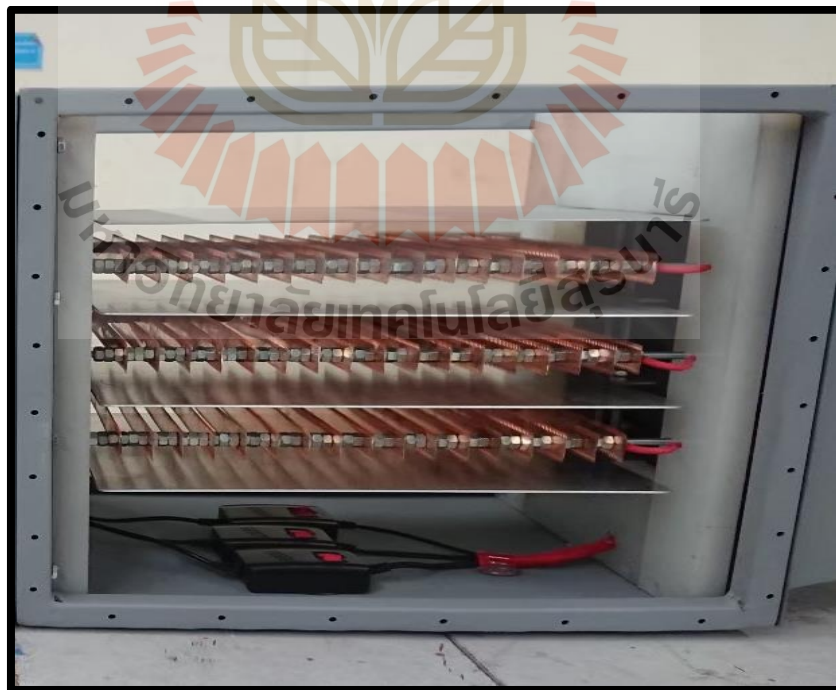


รูปที่ 3.15 ติดตั้งส่วนของวงจรควบคุมและจ่ายกำลังงาน

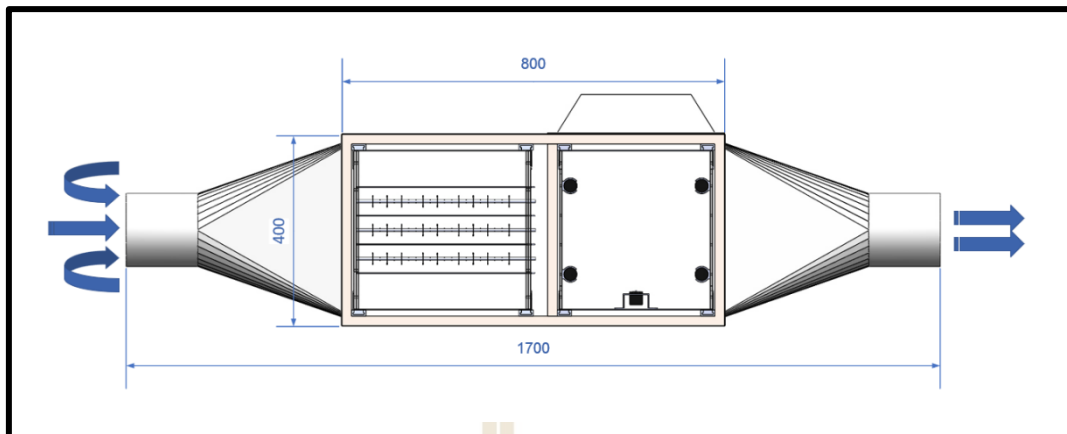
สำหรับส่วนถัดมาจะเป็นในส่วนของชุดกำจัดฝุ่น ซึ่งได้ทำการออกแบบและติดตั้งอยู่ภายในของเครื่องกำจัดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดีสชาร์จ โดยที่ชุดกำจัดฝุ่นจะมีส่วนประกอบคือ อิเล็กโทรดที่วางเรียงกัน 3 ชั้น ซึ่งอิเล็กโทรดชั้นบนนั้นทำมาจากวัสดุที่เป็นทองแดงมีลักษณะเป็นปลายแหลม ส่วนอิเล็กโทรดชั้นลบนั้นจะทำจากอลูมิเนียมแผ่นเรียบ แสดงในรูปที่ 3.16 และส่วนของการติดตั้งแสดงในรูปที่ 3.17 และเมื่อประกอบส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำจัดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดีสชาร์จเสร็จ ทุกส่วนสมบูรณ์พร้อมสำหรับการนำไปใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.19



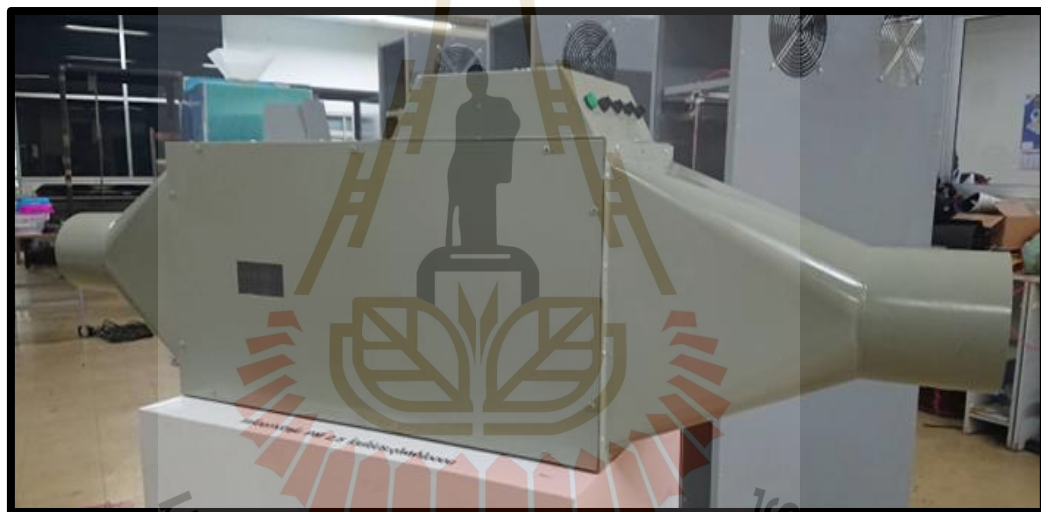
รูปที่ 3.16 รูปแบบชุดกำจัดฝุ่นที่ออกแบบโดยโปรแกรมสำเร็จรูป



รูปที่ 3.17 ติดตั้งชุดกำจัดฝุ่นเข้ากับโครงสร้าง



รูปที่ 3.18 ต้นแบบเครื่องกำจัดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดิสชาร์จ



รูปที่ 3.19 เครื่องกำจัดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดิสชาร์จ

3.5 สรุป

การวิเคราะห์และการออกแบบระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดิสชาร์จในบทนี้เป็นการวิเคราะห์การแผ่กระจายของสนามไฟฟ้า ความเข้มของสนามไฟฟ้าที่มีผลกับการเกิดโคโรนาดิสชาร์จ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่มีความเหมาะสมกับการเกิดพลังงานโคโรนาดิสชาร์จ และทำการออกแบบโครงสร้างเครื่องสำหรับระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดิสชาร์จ โดยการออกแบบในแต่ละส่วนได้มีการศึกษาจากข้อมูลต่าง ๆ เพื่อให้ได้ระบบต้นแบบสำหรับกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดิสชาร์จที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

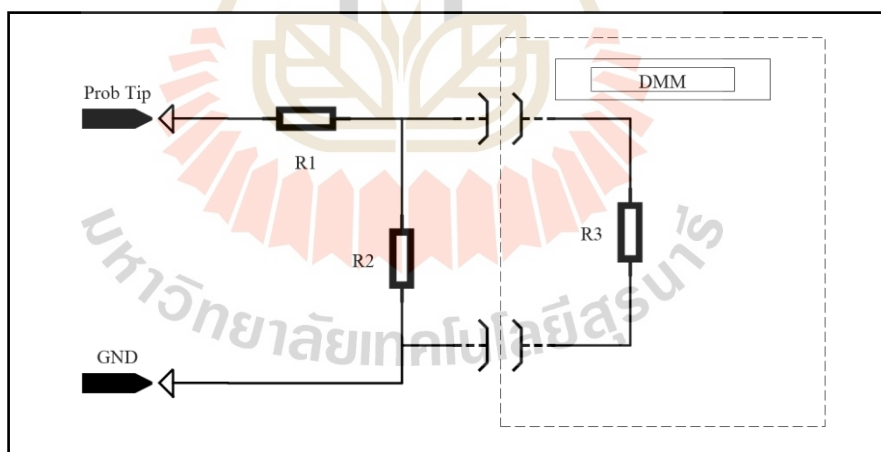
บทที่ 4

ผลการทดสอบและการอภิปรายผล

4.1 กล่าวนำ

บทนี้จะเป็นส่วนของการวัดผลและวิเคราะห์ผล การทดลองในการกำจัดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดีสชาร์จ ในส่วนแรกจะเป็นส่วนของการวัดแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูง จากแหล่งจ่ายที่นำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้าสูงเพื่อกำเนิดพลังงานโคโรนาดีสชาร์จ ในส่วนต่อมาจะเป็นการทดลองกำจัดฝุ่น ในการทดสอบจะใช้ควินรูปและกำหนดใช้ความเร็วลม 2.4 เมตรต่อวินาที มาทดสอบ ซึ่งการทดสอบในแต่ละครั้งใช้เวลาทดสอบ 1 ชั่วโมง โดยจะนำผลที่ได้จากกระบวนการทดลองการกำจัดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดีสชาร์จ มาวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นของเครื่อง

4.2 การวัดและผลการวัดของวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง



รูปที่ 4.1 แผนภาพวงจรวัดไฟฟ้าแรงดันสูง

หลักการการทำงานของโพรบวัดไฟฟ้าแรงสูงสามารถอธิบายได้ดังนี้ การวัดแรงดันไฟฟ้าสูงจะเป็นการใช้หลักการของการแบ่งแรงดัน โดยจะมีวงจรแบ่งแรงดันภายในที่ลดแรงดันไฟสูงให้อยู่ในระดับที่สามารถวัดได้ โดยไม่ทำให้มีความเสียหายเกิดขึ้นกับเครื่องมือวัดและผู้ใช้เครื่องมือ สิ่งนี้ทำได้โดยใช้ชุดของตัวต้านทานที่เชื่อมต่อในการกำหนดค่าเฉพาะเพื่อแบ่งและลดทอนแรงดันไฟฟ้า ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_2 // R_3}{R_1 + (R_2 // R_3)} \right)$$

$$V_{in} = \frac{(V_{out})}{\left(\frac{R_2 // R_3}{R_1 + (R_2 // R_3)} \right)}$$

$$V_{in} = \frac{(58.17)}{\left(\frac{10M\Omega // 11.09M\Omega}{1000M\Omega + (10M\Omega // 11.09M\Omega)} \right)}$$

$$V_{in} = \frac{(58.17)}{(0.0052325)}$$

$$V_{in} = 11,117.05V$$

โดยการย้ายข้างสมการหาค่า V_{in} จะได้ค่าแรงดันที่ออกจากวงจรที่ประมาณ 11,117.05 โวลต์



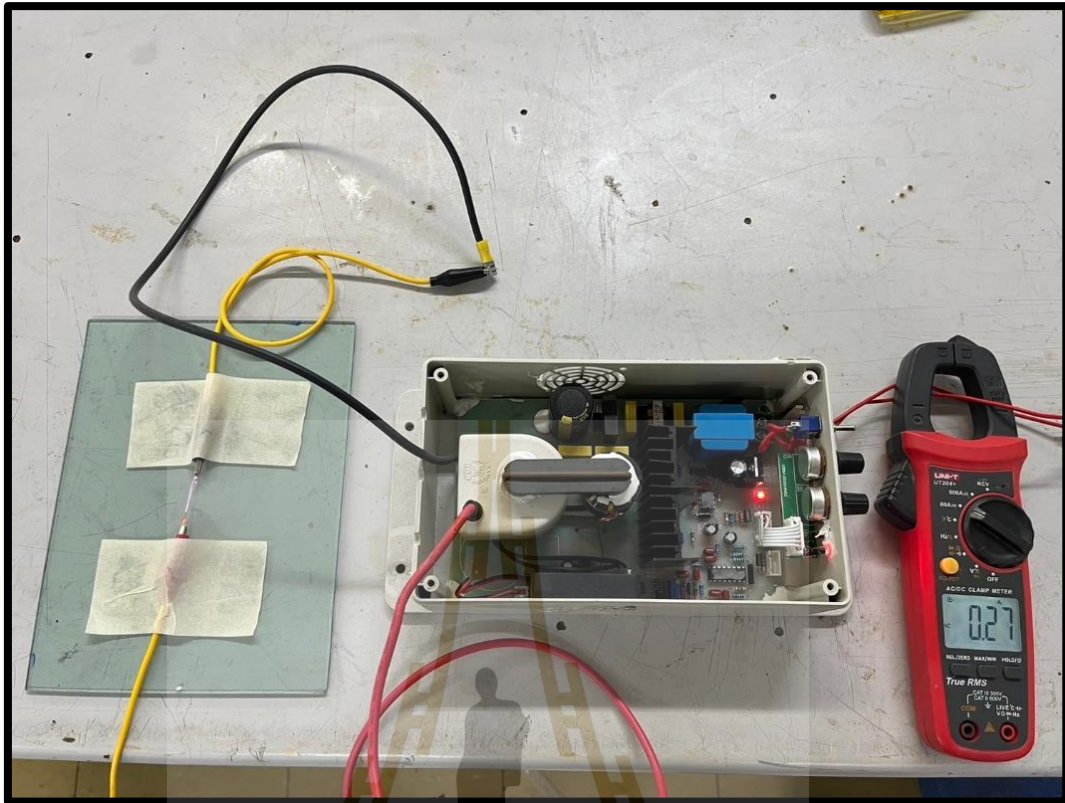
รูปที่ 4.2 วัดค่าความต้านทานภายใน Digital Multimeter (DMM)



รูปที่ 4.3 วัดแรงดันไฟฟ้าสูงด้วย Digital Multimeter (DMM)



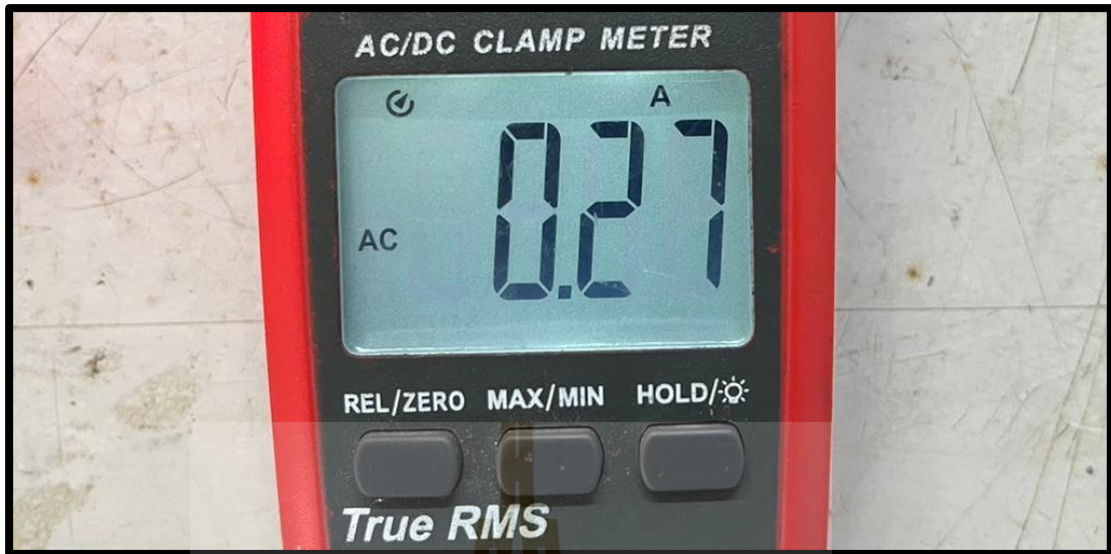
รูปที่ 4.4 ทดสอบแรงดันไฟฟ้าสูง (Flyback Converter) วัดด้วย Digital Multimeter



รูปที่ 4.5 ทดสอบวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง (Flyback Converter)

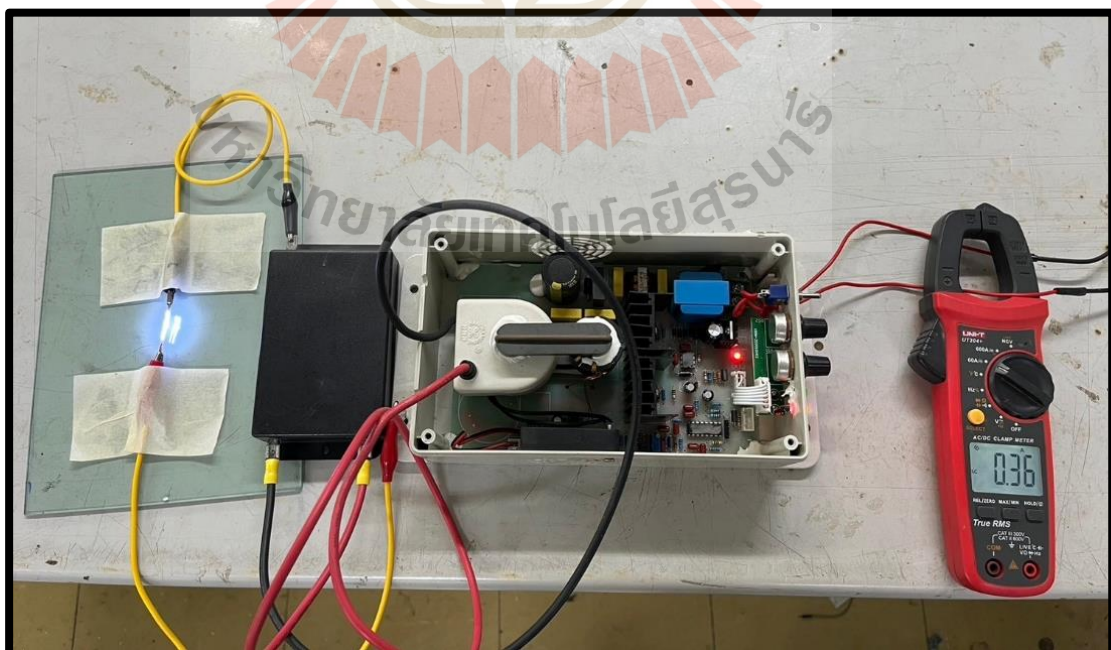


รูปที่ 4.6 ทดสอบวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง (Flyback Converter)

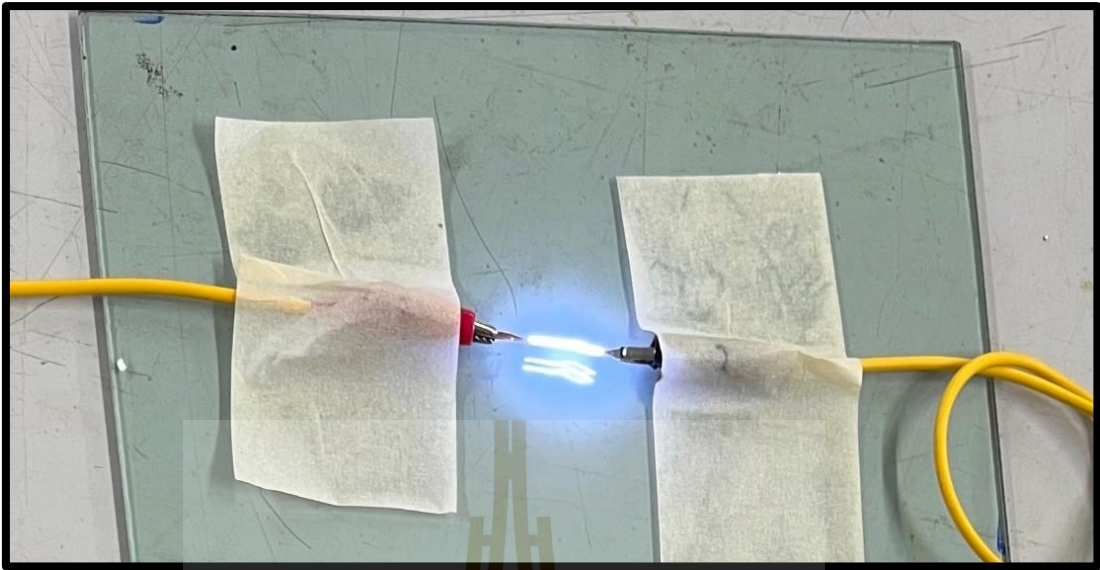


รูปที่ 4.7 กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากฝั่งอินพุตของ (Flyback Converter)

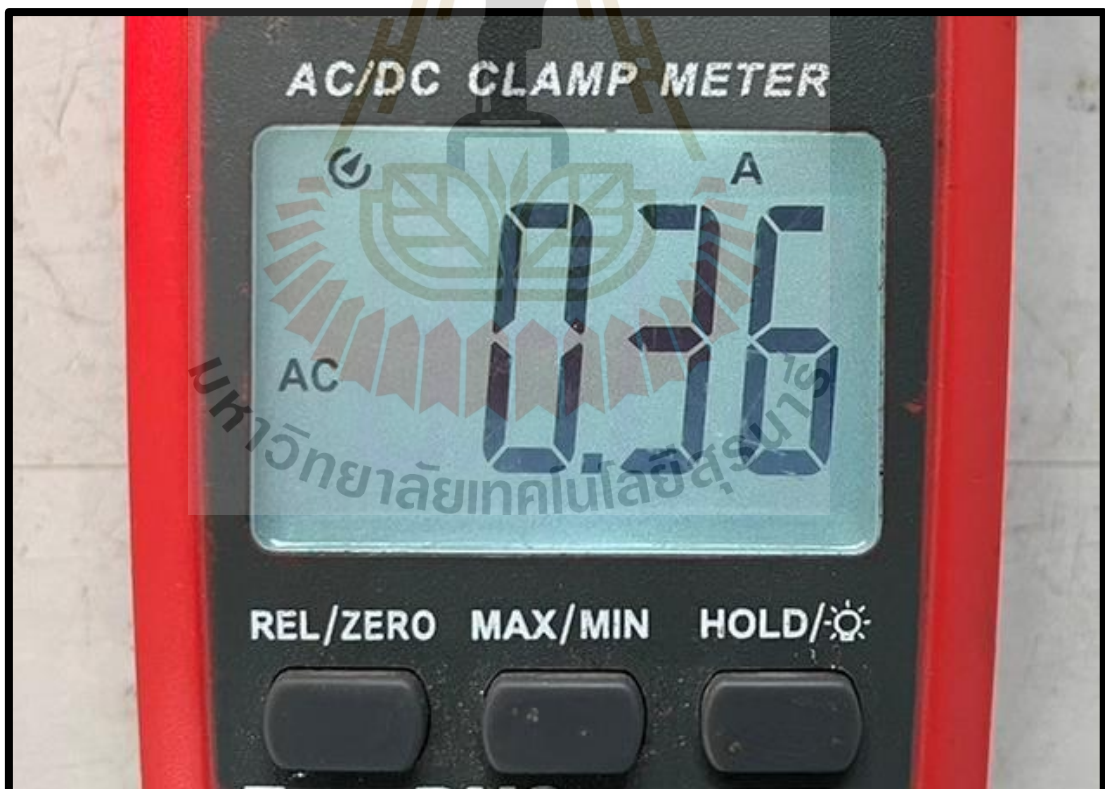
จากรูปที่ 4.5 เป็นการทดสอบวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง (Flyback Converter) ทำการทดสอบที่ระยะ 15 มิลลิเมตร แรงดันที่ได้จากการวัดอยู่ที่ประมาณ 11,117.05 โวลต์ และจากรูปที่ 4.8 เป็นการทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง (Flyback Converter) ต่อเข้ากับวงจร Voltage Multiplier พบว่าค่าของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จะมีค่าเท่าเดิมแต่ค่าของกระแสจะเพิ่มมากขึ้น



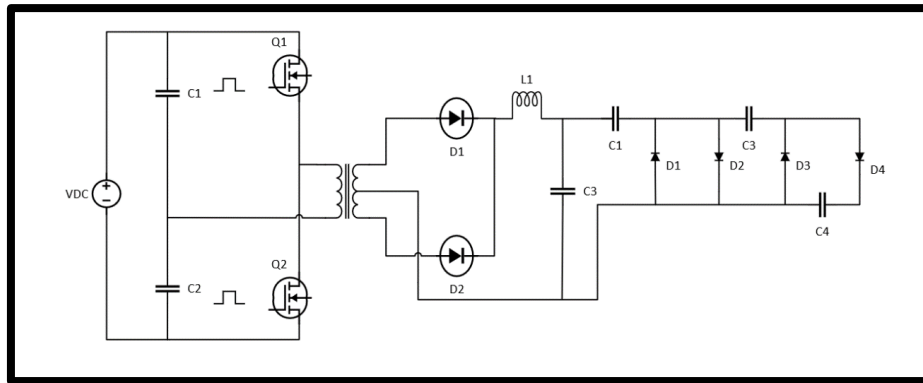
รูปที่ 4.8 ทดสอบวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง (Flyback Converter) ต่อเข้ากับวงจร Voltage Multiplier



รูปที่ 4.9 ทดสอบวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง (Flyback Converter) ต่อเข้ากับวงจร Voltage Multiplier



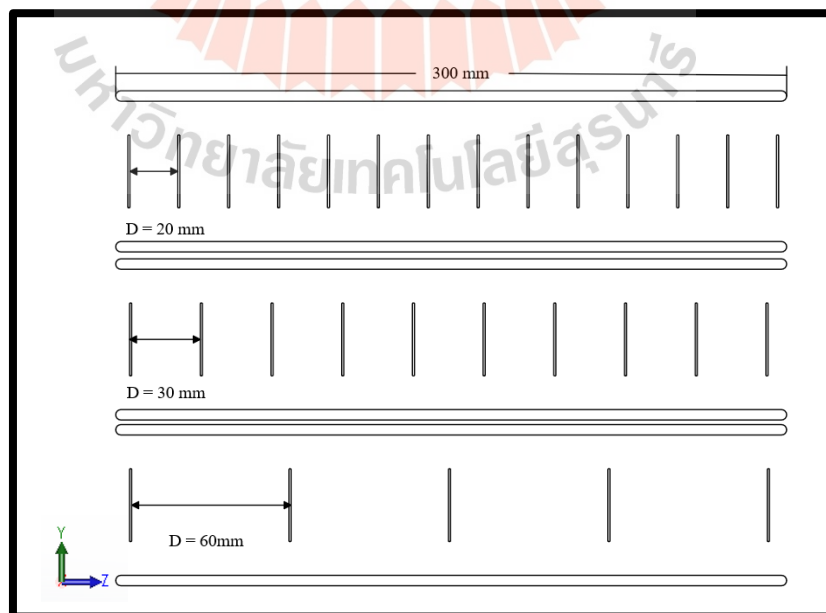
รูปที่ 4.10 กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากฝั่งอินพุตของ (Flyback Converter) ต่อเข้ากับวงจร Voltage Multiplier



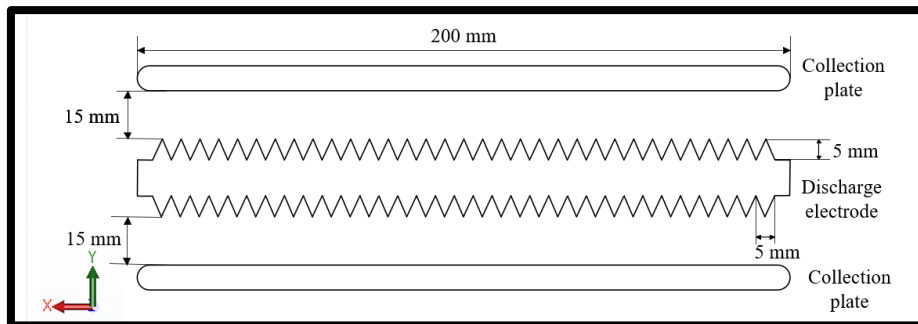
รูปที่ 4.11 วงจรไฟฟ้าแรงดันสูง (Flyback Converter) ต่อเข้ากับวงจร Voltage Multiplier

4.3 การวัดและการเก็บผลการทดลองในการกำจัดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดีสชาร์จ

การวิเคราะห์และออกแบบระบบกำจัดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดีสชาร์จ โดยทำการออกแบบตัวปล่อยเป็นแบบปลายแหลมใช้วัสดุเป็นทองแดงใช้ลวดลึงเป็นแผ่นกราวด์ ทำการทดลองเก็บผล โดยจะกำหนดแผ่นปลายแหลมไว้ 3 ชุด คือ 5 แผ่น, 10 แผ่น และ 15 แผ่น แต่ละชุดจะมีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม คือ 2, 3 และ 6 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ใช้ความเร็วลม 2.4 เมตรต่อวินาที และกำหนดระยะห่างจากปลายแหลมถึงแผ่นกราวด์ไว้คือ 1.5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ทำการทดลองโดยการใช้ควันทูบให้ผ่านเข้าไปในชุดหัวอิเล็กโทรด เพื่อนำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์



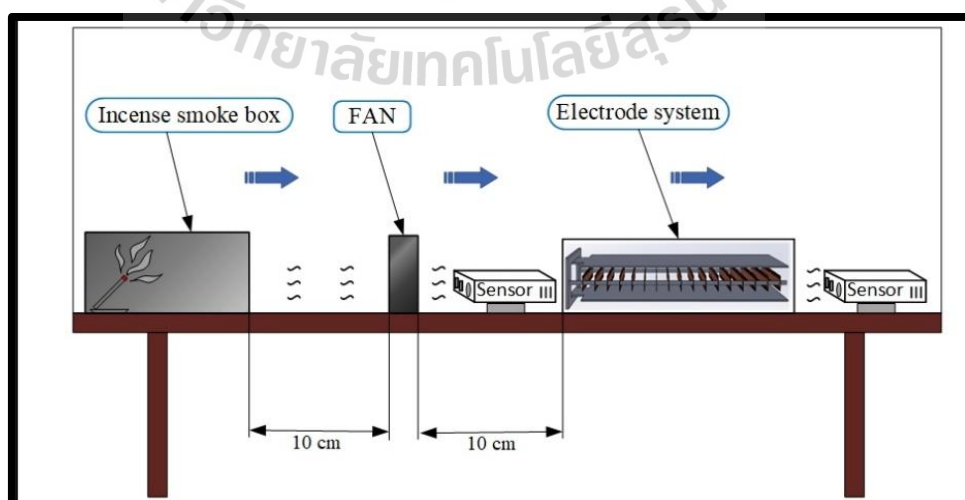
รูปที่ 4.12 โครงสร้างชุดหัวอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม 3 ระยะ



รูปที่ 4.13 ขั้วอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างจากปลายแหลมถึงแผ่นกราวด์

4.3.1 การเตรียมและวิธีการทดลอง

สำหรับการทดลองกำจัดฝุ่น จะทำการทดลองในห้องระบบปิดและกำหนดการทดลองทั้งหมด 3 รูปแบบ แต่ละรูปแบบใช้เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง โดยกำหนดใช้ความเร็วลม 2.4 เมตรต่อวินาที และกำหนดจำนวนแผ่นของปลายแหลมไว้ 3 ชุด คือ 5 แผ่น, 10 แผ่น และ 15 แผ่น โดยแต่ละชุดจะมีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม คือ 2, 3 และ 6 เซนติเมตร ทดลองโดยกำหนดใช้ความเร็วลม 2.4 เมตรต่อวินาที ในการวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่นจะใช้เซนเซอร์ Sensirion รุ่น SEN55-SDN-T Sensirion AG Sensors ซึ่งสามารถวัดค่าฝุ่น PM1, PM2.5 และ PM10 ได้ โดยในการทดลองจะใช้การจุดธูปในกล่องให้ควันธูปเต็มและเจาะรูเพื่อให้ควันธูปถูกดูดจากกล่องผ่านเข้าไปยังขั้วอิเล็กโทรด โดยที่จะวางเซนเซอร์ตรวจจับค่าของฝุ่นไว้ที่ตำแหน่งด้านทางเข้าและฝั่งด้านทางออกของขั้วอิเล็กโทรด ทดสอบกำจัดฝุ่น PM1, PM2.5 และ PM10 เมื่อผ่านขั้วอิเล็กโทรด ทั้ง 3 แบบขณะที่เปิดเครื่องแล้วนำมาเปรียบเทียบกับขณะที่ยังไม่ได้เปิดเครื่อง เพื่อจะวิเคราะห์ว่าขั้วอิเล็กโทรดแบบไหนมีประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น PM1, PM2.5 และ PM10 ได้ดีที่สุด



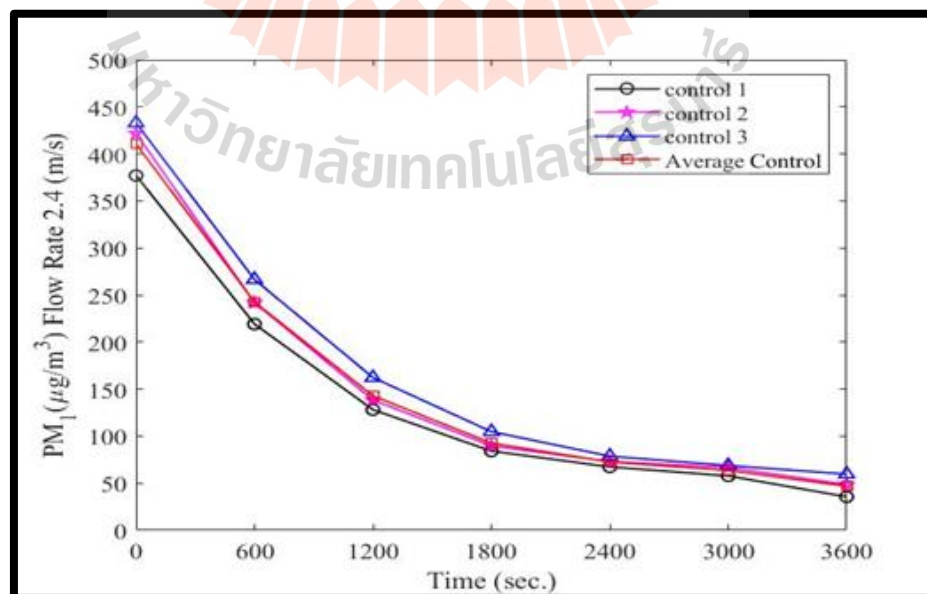
รูปที่ 4.14 แผนผังระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ



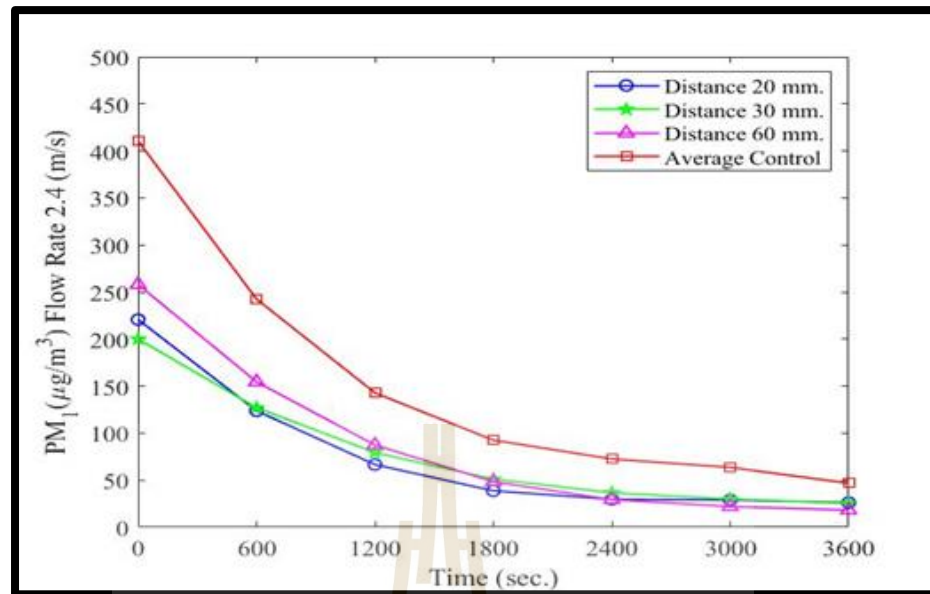
รูปที่ 4.15 การทดลองกำจัดฝุ่นด้วยระบบโคโรนาดีสชาร์จ

4.3.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองโดยการให้ควันรูปผ่านเข้าไปในชุดขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 3 แบบ ขณะที่ ยังไม่ได้เปิดการทำงานของเครื่องและขณะที่เปิดการทำงานของเครื่องแล้ว เพื่อจะดูผลการเปลี่ยนแปลงของค่าฝุ่น PM₁ ได้ผลตามที่แสดงตามรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16



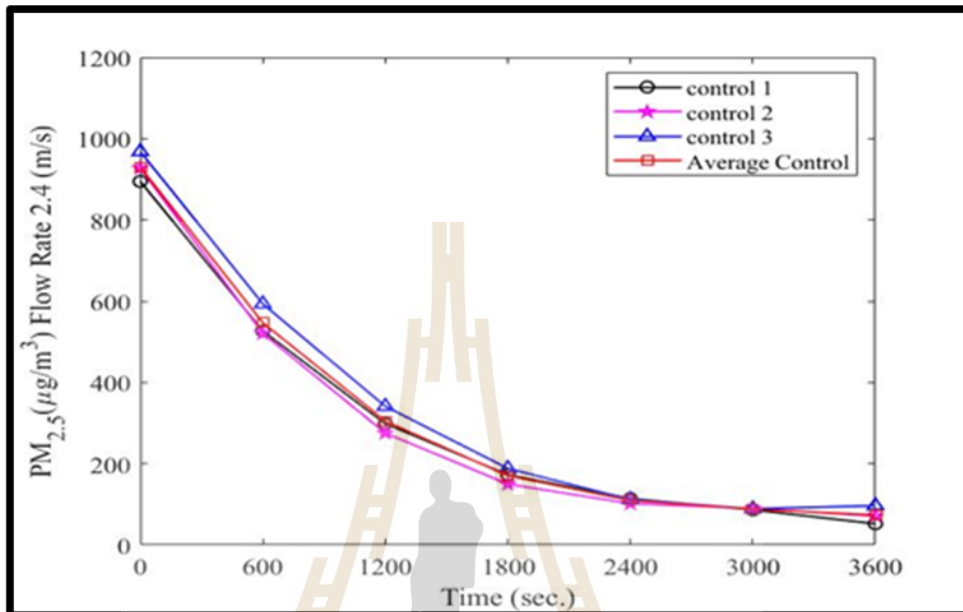
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าฝุ่น PM₁ (Control Output PM₁)



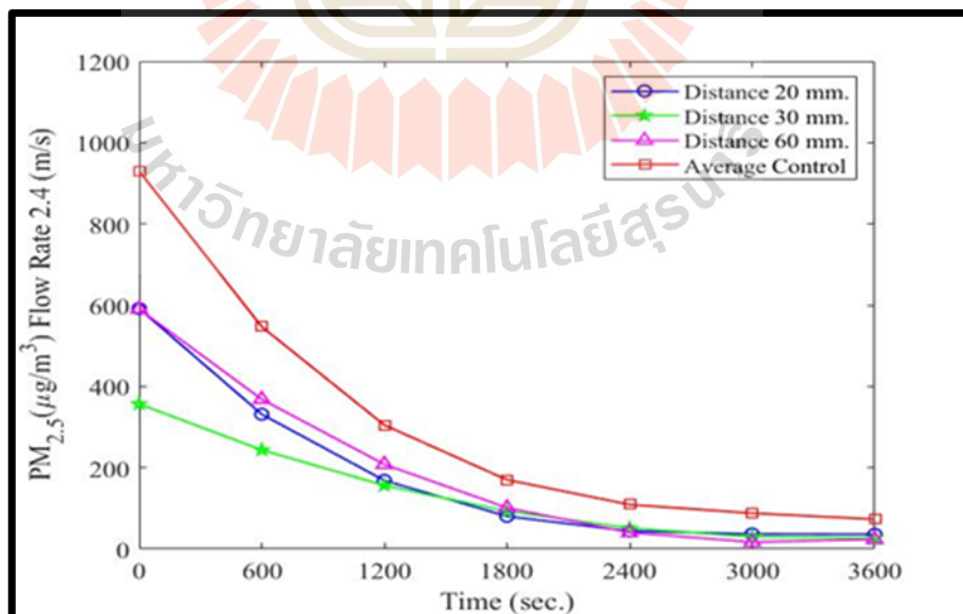
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่าฝุ่น PM1 (Flow 2.4)

จากรูปที่ 4.15 เป็นกราฟแสดงค่าฝุ่น PM1 โดยที่ให้ความเร็วผ่านระบบกำจัดฝุ่นด้วยความเร็วลม 2.4 เมตรต่อวินาที ขณะที่ยังไม่ได้เปิดเครื่องทำการทดสอบ 3 ครั้ง ใช้เวลาครั้งละ 1 ชั่วโมง จากกราฟจะเห็นว่าในช่วงเริ่มต้นค่าเฉลี่ยของฝุ่น PM1 จะเริ่มต้นที่ 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ค่าของ PM1 ลดลงอยู่ที่ 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเวลาครบ 1 ชั่วโมง ค่าของฝุ่น PM1 ลดลงเหลือที่ 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และจากรูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่า PM1 ขณะเปิดเครื่องเทียบกับค่าเฉลี่ยของฝุ่น PM1 ขณะยังไม่เปิดเครื่อง จะเห็นว่าเมื่อความเร็วผ่านระบบกำจัดฝุ่นที่มีชุดขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 3 รูปแบบ ค่าของฝุ่นในช่วงเริ่มต้นจะน้อยกว่าและลดลงเห็นได้ชัด เมื่อได้เทียบกับขณะที่ไม่ได้เปิดเครื่อง และที่ความเร็วลม 2.4 เมตรต่อวินาที โดยที่ชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างแผ่นปลายแหลม 2 เซนติเมตร ค่าฝุ่น PM1 เริ่มต้นที่ 220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ค่า PM1 ลดลงเหลือ 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเวลาครบ 1 ชั่วโมงค่า PM1 ลดลงเหลือ 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม 3 เซนติเมตร ค่าฝุ่น PM1 เริ่มต้นที่ 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ค่า PM1 ลดลงเหลือ 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งมีค่า PM1 ใกล้เคียงกับชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม 3 เซนติเมตร ชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม 6 เซนติเมตร ค่าฝุ่น PM1 เริ่มต้นที่ 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ค่า PM1 ลดลงเหลือ 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเวลาครบ 1 ชั่วโมงค่า PM1 ลดลงเหลือ 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อความเร็วผ่านชุดอิเล็กโทรดทั้ง 3 รูปแบบ จะเห็นได้ว่ารูปแบบชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม 3 เซนติเมตร กำจัดฝุ่นได้ดีกว่าอีกชุดขั้วอิเล็กโทรดอีก 2 แบบ

จากการทดลองโดยการให้ควันธูปผ่านเข้าไปในชุดขั้วอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 3 แบบ ขณะที่ยังไม่ได้เปิดการทำงานของเครื่องและขณะที่เปิดการทำงานของเครื่องแล้ว เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของค่าฝุ่น PM2.5 ได้ผลตามที่แสดงดังรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19



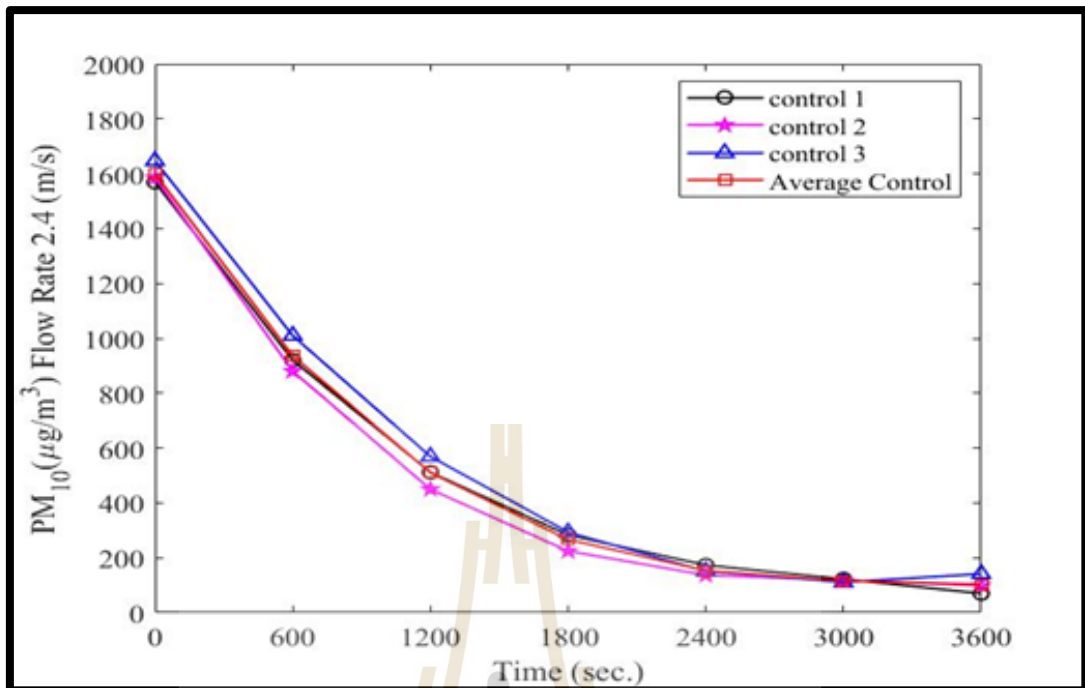
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าฝุ่น PM2.5 (Control Output PM2.5)



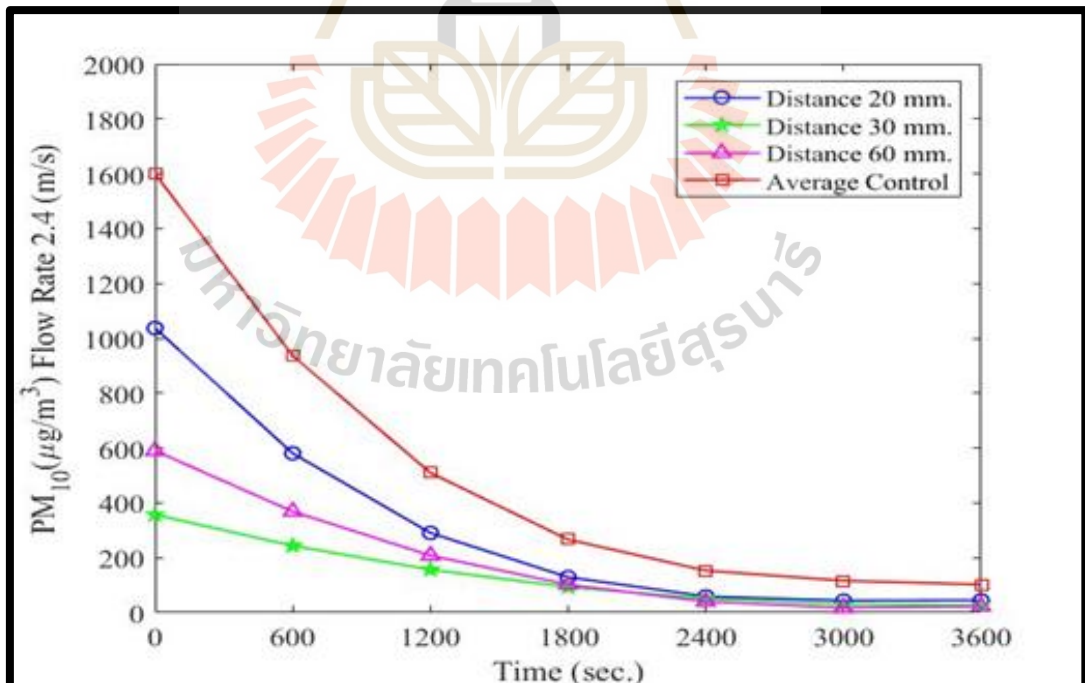
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่าฝุ่น PM2.5 (Flow 2.4)

จากรูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าของฝุ่น PM2.5 โดยที่ให้ความรู้ผ่านระบบกำจัดฝุ่นด้วยความเร็วลม 2.4 เมตรต่อวินาที ขณะที่ยังไม่ได้เปิดเครื่องทำการทดสอบ 3 ครั้ง ใช้เวลาครั้งละ 1 ชั่วโมง จากกราฟเห็นได้ว่าค่าของฝุ่น PM2.5 มีค่าที่ใกล้เคียงกันทั้ง 3 ครั้ง โดยมีค่าเฉลี่ยของฝุ่น PM2.5 ในช่วงเริ่มต้นอยู่ที่ 900 ug/m^3 เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาทีค่าฝุ่น PM2.5 ลดลงอยู่ที่ 600 และลดลงเรื่อย ๆ จนเมื่อเวลาครบ 1 ชั่วโมงค่าของฝุ่น PM2.5 จะลดลงเหลือ 70 ug/m^3 และจากรูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่า PM2.5 ขณะเปิดเครื่องเทียบกับค่าเฉลี่ยของฝุ่น PM2.5 ขณะที่ยังไม่ได้เปิดเครื่อง ที่ความเร็วลม 2.4 เมตรต่อวินาที จะเห็นว่าเมื่อความรู้ผ่านระบบกำจัดฝุ่นที่มีชุดขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 3 รูปแบบ ค่าของฝุ่นในช่วงเริ่มต้นจะน้อยกว่าและลดลงเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับขณะที่ยังไม่ได้เปิดเครื่อง โดยที่ชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างแผ่นปลายแหลม 2 เซนติเมตร ค่าฝุ่น PM2.5 เริ่มต้นที่ 600 ug/m^3 เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ค่า PM2.5 ลดลงเหลือ 360 ug/m^3 และลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเวลาครบ 1 ชั่วโมงค่า PM2.5 ลดลงเหลือ 28 ug/m^3 ชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม 3 เซนติเมตร ค่าฝุ่น PM2.5 เริ่มต้นที่ 360 ug/m^3 เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ค่า PM2.5 ลดลงเหลือ 200 ug/m^3 และลดลงเรื่อย ๆ ซึ่ง PM2.5 มีค่าใกล้เคียงกับชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างแผ่นปลายแหลม 2 เซนติเมตร ชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม 6 เซนติเมตร ค่าฝุ่น PM2.5 เริ่มต้นที่ 600 ug/m^3 เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ค่า PM2.5 ลดลงเหลือ 400 ug/m^3 และลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเวลาครบ 1 ชั่วโมงค่า PM2.5 ลดลงเหลือ 20 ug/m^3 เมื่อความรู้ผ่านชุดขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 3 รูปแบบ จะเห็นได้ว่ารูปแบบชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม 3 เซนติเมตร กำจัดฝุ่น PM2.5 ได้ดีกว่าอีก 2 รูปแบบอย่างเห็นได้ชัด

จากการทดลองโดยการให้ความรู้ผ่านเข้าไปในชุดขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 3 แบบ ขณะที่ยังไม่ได้เปิดการทำงานของเครื่องและขณะที่เปิดการทำงานของเครื่องแล้ว เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของค่าฝุ่น PM10 ได้ผลตามที่แสดงดังรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าฝุ่น PM10 (Control Output PM10)



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่าฝุ่น PM10 (Flow 2.4)

จากรูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่าของฝุ่น PM10 โดยที่ให้ควันทันระบบกำจัดฝุ่นด้วยความเร็วลม 2.4 เมตรต่อวินาที ขณะที่ยังไม่ได้เปิดเครื่องทำการทดสอบ 3 ครั้ง ใช้เวลาทดสอบครั้งละ 1 ชั่วโมง จากกราฟเห็นได้ว่าค่าของฝุ่น PM10 มีค่าที่ใกล้เคียงกันทั้ง 3 ครั้ง โดยที่ค่าเฉลี่ยของฝุ่น PM10 ในช่วงเริ่มต้นอยู่ที่ 1,600 ug/m³ เมื่อเวลาผ่านไปครบ 1 ชั่วโมงค่าของฝุ่น PM10 จะเหลือ 90 ug/m³ และจากรูปที่ 4.20 จะเป็นกราฟแสดงค่า PM10 ขณะเปิดเครื่องเทียบกับค่าเฉลี่ยของฝุ่น PM10 ขณะที่ยังไม่ได้เปิดเครื่องที่ความเร็วลม 2.4 เมตรต่อวินาที จะเห็นว่าเมื่อควันทันระบบกำจัดฝุ่นที่มีชุดขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 3 รูปแบบ ค่าของฝุ่นในช่วงเริ่มต้นจะน้อยกว่าและลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับขณะที่ยังไม่ได้เปิดเครื่อง โดยที่ชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างระหว่างปลายแหลม 2 เซนติเมตร ค่าฝุ่น PM10 เริ่มต้นที่ 1,000 ug/m³ เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ค่า PM10 ลดลงอยู่ที่ 600 ug/m³ และลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อเวลาครบ 1 ชั่วโมงค่า PM10 ลดลงเหลือ 35 ug/m³ ชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม 3 เซนติเมตร ค่าฝุ่น PM10 เริ่มต้นที่ 250 ug/m³ เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ค่า PM10 ลดลงเหลือ 200 ug/m³ และลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเมื่อเวลาที่ 30 นาทีไปจนครบ 1 ชั่วโมง ค่าของฝุ่น PM10 ใกล้เคียงกับชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างแผ่นปลายแหลม 2 เซนติเมตร ชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม 6 เซนติเมตร ค่าฝุ่น PM10 เริ่มต้นที่ 600 ug/m³ เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ค่า PM10 ลดลงเหลือ 400 ug/m³ และลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเวลาครบ 1 ชั่วโมงค่าฝุ่น PM10 ลดลงเหลือ 20 ug/m³ เมื่อควันทันระบบกำจัดฝุ่นที่มีชุดขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 3 รูปแบบ จะเห็นได้ว่ารูปแบบชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างแผ่นปลายแหลม 3 เซนติเมตร กำจัดฝุ่น PM10 ได้ดีกว่าชุดอิเล็กโทรดอีก 2 รูปแบบอย่างเห็นได้ชัด

4.3.3 การประเมินประสิทธิภาพการกำจัด

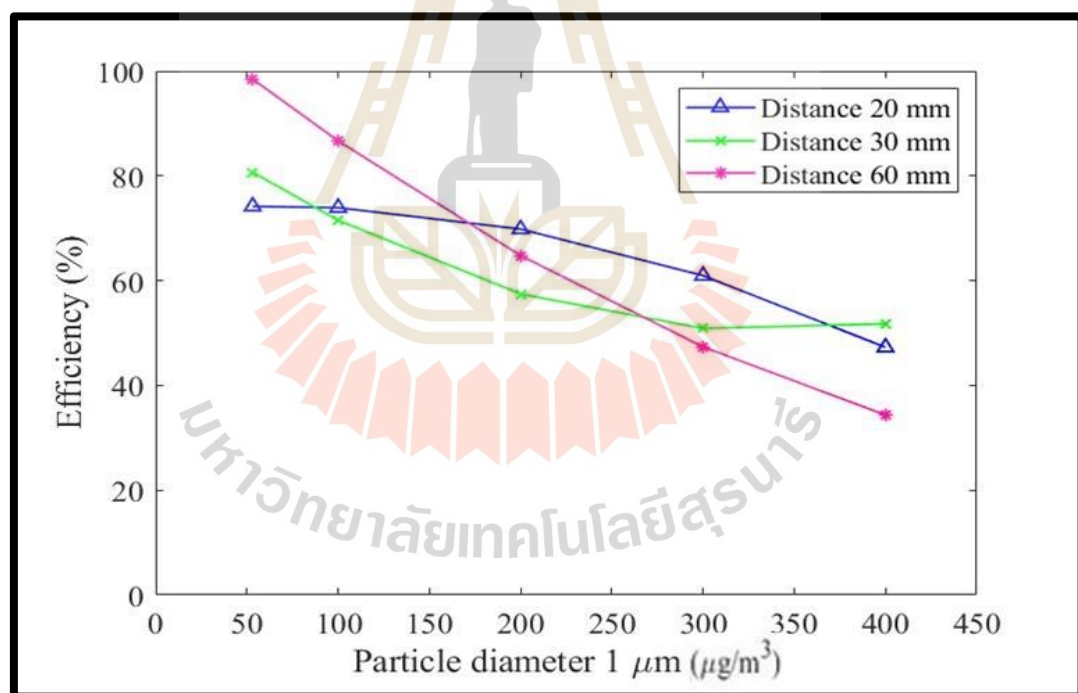
ในการทดลองกำจัดฝุ่นโดยการให้ควันทันระบบกำจัดฝุ่นที่มีชุดขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 3 แบบ การวัดค่า PM1, PM2.5 และ PM10 จะใช้อุปกรณ์วัดค่าที่ด้านทางเข้าของชุดขั้วอิเล็กโทรด (C_{in}) และด้านทางออก (C_{out}) โดยในการทดสอบจะนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกค่าของ C_{in} และ C_{out} มาคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดจากสมการ

$$\text{Removal efficiency} = \left[\frac{(C_{in} - C_{out})}{C_{in}} \right] \times 100\%$$

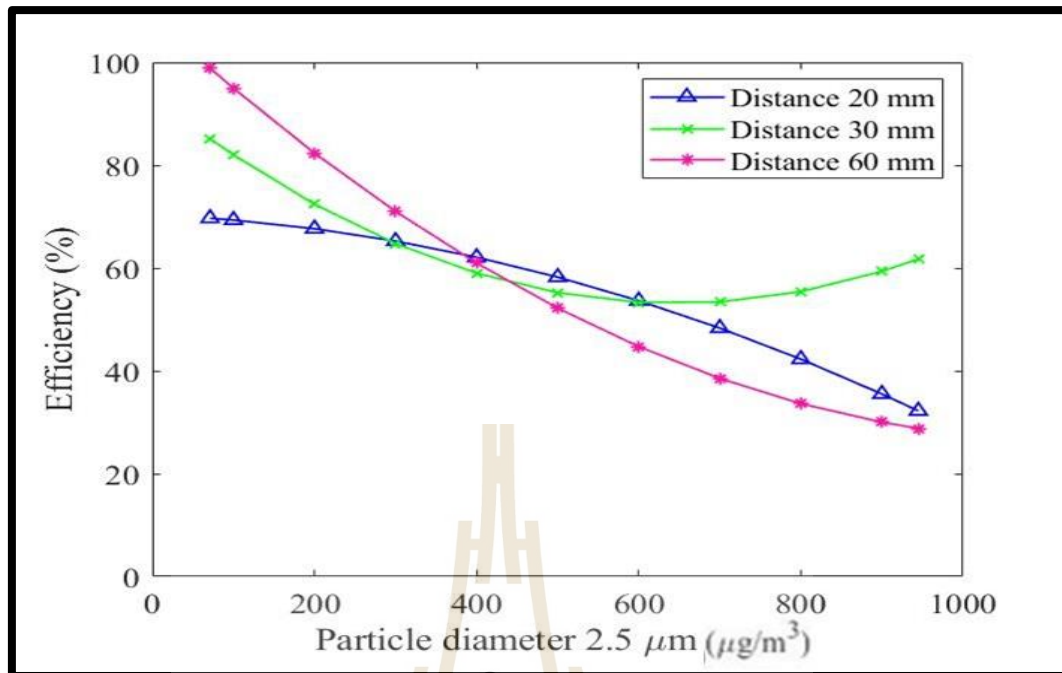
จากผลการคำนวณของสมการจะเห็นว่าที่ความเร็วลม 2.4 เมตรต่อวินาที อัตราการกำจัด PM1 ของชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างแผ่นปลายแหลม 2, 3 และ 6 เซนติเมตร มีอัตราการกำจัด PM1 แสดงในรูปที่ 4.22 คือ ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร การกำจัด PM1 ในช่วงค่า 400 ug/m³ ถึงค่า 300 ug/m³ ประสิทธิภาพการกำจัด PM1 อยู่ที่ 45% - 60% ในช่วงค่า 300 ug/m³ ถึงค่า 200 ug/m³

ประสิทธิภาพการกำจัดจะอยู่ที่ 60% - 72% และในช่วงค่า 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ถึง 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดจะอยู่ที่ 72% - 75% ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร ในช่วงค่า 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัด อยู่ที่ 55% - 50% ในช่วงค่า 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 50% - 57% ในช่วงค่า 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 57% - 80% และที่ระยะห่าง 6 เซนติเมตร ในช่วงค่า 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 35% - 48% ในช่วงค่า 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 48% - 65% และในช่วงค่า 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประสิทธิภาพในการกำจัดจะอยู่ที่ 65% - 100%

จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัด PM1 ในช่วงเริ่มต้นที่มีค่า 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีกว่าคือ 55% ในช่วงที่ PM1 ลดลงที่ 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ระยะห่าง 2 เซนติเมตรมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าคือ 60% - 72% และในช่วง PM1 ลดลงในช่วง 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ระยะห่าง 6 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่า คือ 65% - 100%



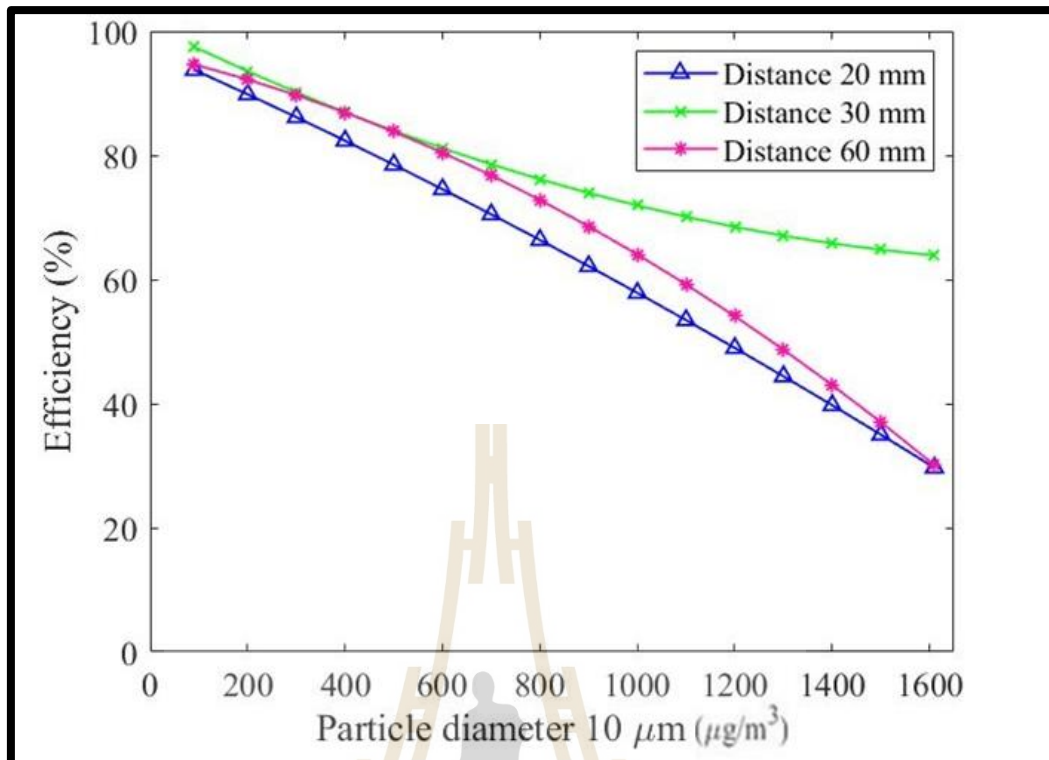
รูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพการกำจัด PM1



รูปที่ 4.23 ประสิทธิภาพการกำจัด PM2.5

จากรูปที่ 4.23 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด PM2.5 ของชุดอิเล็กทรอนิกส์ที่มีระยะห่างระหว่างปลายแหลม 2, 3 และ 6 เซนติเมตร เห็นได้ว่าที่ความเร็วลม 2.4 เมตรต่อวินาที ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร ในช่วงค่า $940 \text{ ug/m}^3 - 600 \text{ ug/m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดจะอยู่ที่ 37% - 55% ในช่วงค่า $600 \text{ ug/m}^3 - 400 \text{ ug/m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 55% - 65% ในช่วงค่า $400 \text{ ug/m}^3 - 70 \text{ ug/m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 65% - 70% ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร ในช่วงค่า $940 \text{ ug/m}^3 - 600 \text{ ug/m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 65% - 55% ในช่วงค่า $600 \text{ ug/m}^3 - 400 \text{ ug/m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 55% - 60% ในช่วงค่า $400 \text{ ug/m}^3 - 70 \text{ ug/m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดจะอยู่ที่ 60% - 86% และที่ระยะห่าง 6 เซนติเมตร ในช่วงค่า $940 \text{ ug/m}^3 - 600 \text{ ug/m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดจะอยู่ที่ 30% - 45% ในช่วงค่า $600 \text{ ug/m}^3 - 400 \text{ ug/m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 45% - 65% ในช่วงค่า $400 \text{ ug/m}^3 - 70 \text{ ug/m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 65% - 100%

จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัด PM2.5 ในช่วงเริ่มต้นที่มีค่าในช่วง $940 \text{ ug/m}^3 - 600 \text{ ug/m}^3$ ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีกว่าคือ 65% - 55% ในช่วงที่ PM2.5 ลดลงที่ $600 \text{ ug/m}^3 - 400 \text{ ug/m}^3$ ระยะห่าง 2 เซนติเมตรมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าคือ 55% - 65% และในช่วงที่ PM2.5 ลดลงในช่วง $400 \text{ ug/m}^3 - 70 \text{ ug/m}^3$ ที่ระยะห่าง 6 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่า คือ 65% - 100%



รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพการกำจัด PM10

จากรูปที่ 4.24 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด PM10 ของชุดอิเล็กทรอนิกส์ที่มีระยะห่างระหว่างปลายแหลม 2, 3 และ 6 เซนติเมตร จะเห็นว่าที่ความเร็วลม 2.4 เมตรต่อวินาที ในช่วงค่า 1,600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดจะอยู่ที่ 30% - 58% ในช่วงค่า 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 58% - 75% ในช่วงค่า 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 75% - 95% ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร ในช่วงค่า 1,600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 65% - 72% ในช่วงค่า 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 72% - 80% ในช่วงค่า 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดจะอยู่ที่ 82% - 97% และที่ระยะห่าง 6 เซนติเมตร ในช่วงค่า 1,600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดจะอยู่ที่ 30% - 65% ในช่วงค่า 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 65% - 80% ในช่วงค่า 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 80% - 95%

จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัด PM10 ในช่วงเริ่มต้นที่มีค่าในช่วง 1,600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีกว่าคือ 65% - 72% ในช่วงที่ PM10 ลดลงที่ 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ระยะห่าง 3 เซนติเมตร และระยะ 6 เซนติเมตรมี ประสิทธิภาพการกำจัดที่ใกล้เคียงกันและในช่วงความเข้มข้น PM10 ลดลงในช่วง 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าคือ 82% - 97%

4.4 สรุปผลการทดลอง

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์และออกแบบระบบกำจัดฝุ่นโดยใช้โคโรนาดีสชาร์จ โดยทำการออกแบบตัวปล่อยพลังงานโคโรนาดีสชาร์จ เป็นแบบปลายแหลมใช้วัสดุเป็นทองแดงและใช้อลูมิเนียมเป็นแผ่นกราวด์ ทำการทดลองเก็บผลโดยจะกำหนดแผ่นปลายแหลมไว้ 3 ชุด คือ 5 แผ่น, 10 แผ่น และ 15 แผ่น แต่ละชุดจะมีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม คือ 2, 3 และ 6 เซนติเมตร และกำหนดระยะจากปลายแหลมถึงแผ่นกราวด์ไว้คือ 1.5 เซนติเมตร ใช้ความเร็วลม 2.4 เมตรต่อวินาที ทำการทดลองโดยการใช้ควันรูปให้ผ่านเข้าไปในชุดขั้วอิเล็กโทรดในเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อนำผลจากการทดลองมาวิเคราะห์พบว่าเมื่อควันรูปผ่านชุดขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 3 แบบขณะที่ทำการเปิดเครื่อง ค่าฝุ่น PM1, PM2.5 และ PM10 ลดลงเมื่อเทียบกับควันรูปที่ผ่านชุดขั้วอิเล็กโทรดขณะที่ยังไม่ได้เปิดเครื่อง อิเล็กโทรดที่มีระยะห่าง 3 ระหว่างแผ่นปลายแหลม 3 เซนติเมตร จะมีประสิทธิภาพในการกำจัด PM10 ที่ดีกว่าในทุกช่วงค่าความเข้มข้น และชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม 3 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นได้ดีกว่าชุดขั้วอิเล็กโทรดแบบอื่น ๆ



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ โดยการวิจัยจะเริ่มจากการศึกษาถึงปัญหา และศึกษาทฤษฎีการเกิดโคโรนาดีสชาร์จรวมถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นทำการออกแบบขั้วอิเล็กโทรดแบบปลายแหลมสำหรับสร้างสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอสูงเพื่อให้เกิดโคโรนาดีสชาร์จ โดยใช้การจำลองผลของสนามไฟฟ้า (Simulation) ด้วยโปรแกรม (CST Studio Suite 3D EM Simulation and Analysis Software) เพื่อจำลองดูการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้า และความเข้มของสนามไฟฟ้า เพื่อกำหนดโคโรนาดีสชาร์จได้ดีที่สุด และทำการออกแบบขั้วอิเล็กโทรดแบบปลายแหลมกับแผ่นราบ โดยขั้วอิเล็กโทรดที่เป็นขั้วบวกจะเป็นแผ่นทองแดงและขั้วอิเล็กโทรดขั้วลบจะใช้เป็นอลูมิเนียมแผ่นเรียบ ในส่วนของการทดลองจะทำการทดลองในห้องระบบปิดและกำหนดการทดลองทั้งหมด 3 รูปแบบ แต่ละรูปแบบใช้เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง โดยใช้ความเร็วลม 2.4 เมตรต่อวินาที และกำหนดจำนวนแผ่นของปลายแหลมไว้ 3 ชุด คือ 5 แผ่น, 10 แผ่น และ 15 แผ่น โดยแต่ละชุดจะมีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม คือ 2, 3 และ 6 เซนติเมตร และกำหนดระยะห่างจากปลายแหลมถึงแผ่นกราวด์ คือ 1.5 เซนติเมตร โดยในการทดลองจะทำการจุ่มรูปในกล่องให้ควันทันรูปเต็มกล่อง และเจาะรูเพื่อให้ควันทันรูปถูกดูดจากกล่องผ่านเข้าไปยังชุดของอิเล็กโทรด โดยที่จะวางเซนเซอร์ตรวจจับค่าของฝุ่นไว้ที่ตำแหน่งด้านทางเข้าและทางออกของชุดขั้วอิเล็กโทรด เพื่อทำการทดลองกำจัดฝุ่นในห้องระบบปิด โดยจะทดสอบกำจัดฝุ่น PM1, PM2.5 และ PM10 เมื่อควันทันรูปผ่านชุดขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 3 แบบ ขณะที่เปิดเครื่องแล้วนำมาเปรียบเทียบกับขณะที่ยังไม่ได้เปิดเครื่อง เพื่อจะวิเคราะห์ผลที่ได้ว่าชุดขั้วอิเล็กโทรดแบบไหนที่สามารถกำจัดฝุ่น PM1, PM2.5 และ PM10 ได้ดีที่สุดในห้องทดลองกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จพบว่าชุดขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 3 แบบสามารถกำจัดฝุ่นได้ โดยที่อิเล็กโทรดที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นปลายแหลม 3 เซนติเมตร จะมีประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาค PM10 ได้ดีกว่าในทุกช่วงความเข้มข้น และจะเห็นได้ว่าชุดขั้วอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างแผ่นปลายแหลม 3 เซนติเมตร นั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นได้ดีกว่าชุดขั้วอิเล็กโทรดแบบอื่น ๆ

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการดำเนินงานคือ ในส่วนของการทดลองเก็บผลกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จนั้น การสร้างฝุ่นและควบคุมปริมาณค่าของฝุ่นให้คงที่ทำได้ยาก ซึ่งจะทำให้

การเก็บผลการทดลองนั้นทำได้ยากตามไปด้วย ดังนั้นการสร้างหุ่นควรใช้เครื่องกำเนิดหุ่นแทนการใช้
ควันทรงเพื่อให้สามารถควบคุมค่าของหุ่นให้คงที่สำหรับการทดลองได้

5.3 แนวทางพัฒนาในอนาคต

การออกแบบระบบกำจัดฝุ่นด้วยโคโรนาดีสชาร์จ เพื่อเสนอแนวทางในการพัฒนาในอนาคต
ในส่วนของระบบกำจัดฝุ่นในอนาคตควรสำรวจตัวแปรเพิ่มเติม เช่น ความชื้น อุณหภูมิ และสารมลพิษ
อื่น ๆ เพื่อเพิ่มความเข้าใจและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบกำจัดฝุ่น ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย
และออกแบบตัวเครื่องให้มีความสวยงามเหมาะสมกับการใช้งาน



รายการอ้างอิง

- Panich Intra “Electrostatic Aerosol Measurement and Control Technology” ,2015.
- D. Hernandez-Díaz. “Indoor PM2.5 removal efficiency of two different non-thermal plasma systems”, 2020.
- Parker, K.R. “Applied Electrostatic Precipitation”. Blackie Academic & Professional, New York, 1997.
- Chang, J., Kelly, A.J., and Crowley, J.M. “Handbook of Electrostatic Processes”. Marcel Dekker, Inc., New York, USA, 1995.
- Lu,Y.; Wang, D.; Wu, Y.; Ma, C.; Zhang, X.; Yang, C. Synergistic Effect of Nano photocatalysis and Nonthermal Plasma on the Removal of Indoor HCHO. *Int. J. Photoenergy* 2012,
- Xuanxuan, N., Jiayou, Z., Shihe, H., Kai, D., Xinguo, L., Xiaoming, Y., Development of Nasal Vaccines and the Associated Challenges, *Pharmaceutics*, 14 (2022), 1983
- Jintuo, Z., Pengli, J., Yaxin, H., Xinjian , H., Liang, W., Ruxue, Z., Jinyu, L., Performance of a new model of nasal filter when challenged against PM1 aerosols, *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 33 (2021), NO. 1, 388–394
- Padmanabhan, S., Francesco, B., Nurshahidah, A., Alden, T., Sakinah, M., Goh Lay, B., Enrico, I., Alfredo, P., A new aerodynamic endonasal filtration technology for protection against pollutants and respiratory infectious agents: evaluation of the particle filtration efficacy, *Frontiers in Medical Technology*, (2023), 8
- Cui, G., Zilong, Z., Alexis K H, L., Chang Q, Lin., Yuan Chieh, C., Jimmy, C., Wun Kai, J., Tony, T., Eng-Kiong, Y., Ta-Chien, C., Ly-Yun C., Xiang Qian, L., *Lancet Planet Health*, 2 (2018), e114–25
- Sun Young, K., Sung Hwan, J., Particulate-Matter Related Respiratory Diseases, *Tuberculosis and Respiratory Diseases*, 83 (2020), 116-121
- Klára, S., Nikolett, G., József, F., Tünde, V., Patrícia, N., József Á, B., László G, P., Gábor J, S., Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Epidemiology, Biomarkers, and Paving the Way to Lung Cancer, *Journal of Clinical Medicine*, 10 (2021), 2889

- Mei, W., Zhaofang, C., Wei, S., · Dezi, H., Lei, H., Yunhui, L., A review on Cadmium Exposure in the Population and Intervention Strategies Against Cadmium Toxicity, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 106 (2021), 65-74
- Jessica, B., Emmanuel, S., Renald, B., Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans, *Heliyon*, 6 (2020), e04691
- Nicole Pauly, H., Impaired visibility: the air pollution people see, *Atmospheric Environment*, 43 (2009), 182-195
- Wan-Sik, W., Rosy O., Woojoo, L., Sungkwan K., Pei-Chen, S., Yong-Jin, Y., Hygroscopic properties of particulate matter and effects of their interactions with weather on visibility, *Scientific Reports*, 11 (2021), 16401
- Erin E, M., Randall V, M., Joseph V, S., Richard, B., Steven J, S., Patrick, O., Melanie S, H., Aaron van , D., Liam, B., Viral, S., Lyatt, J., Gan, L., Fangqun, Y., Jamiu A, A., Jintai, L., Michael, B., Source sector and fuel contributions to ambient PM_{2.5} and attributable mortality across multiple spatial scales, *Nature Communication*, 12 (2021), 3594
- Ioannis, M., Elisavet, S., Agathangelos, S., Eugenia, B., Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review, *Frontiers Public Health*, 8 (2020), 14
- [13] Muhammad Ehsan, M., Human health and environmental impacts of coal combustion and post-combustion wastes, *Journal of Sustainable Mining*, 17 (2018), 87-96
- Susan C, A., Joshua, M., Ray, M., Li, D., Daven K, H., Forrest, L., Christopher S, M., Lisa, E., Vicente, F., Zbigniew, K., Chris, H., Impacts and mitigation of excess diesel-related NO_x emissions in 11 major vehicle markets, *Nature*, 545 (2017), 467-471
- Fengzhu, T., Yuming, Guo., Wei, Z., Xingyan, X., Ming, Z., Fan, M., Sicen, L., Shanshan, L., Lidia, M., Large-Scale Spraying of Roads with Water Contributes to, Rather Than Prevents, *Air Pollution, Toxics*, 9, (2021), 122
- Shaocai, Y., Water spray geoengineering to clean air pollution for mitigating haze in China's cities, *Environ Chem Let*, 12 (2014), 109-116

- Chiu-Fan, C., Chun-Hsiang, H., Yu-Jung, C., Chao-Hsien, Lee., David Lin, Lee., Efficacy of HEPA Air Cleaner on Improving Indoor Particulate Matter 2.5 Concentration, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (2022), 11517
- Bangwoo, H., Keejung, H., Dongho, S., Hak-Joon, K., Yong-Jin, K., Sang Bok, K., Sangwoo, K., Cheong-Ha, H., Kwang-Chul, N., Field Tests of Indoor Air Cleaners for Removal of PM_{2.5} and PM₁₀ in Elementary School Classrooms in Seoul, Korea, *Aerosol and Air Quality Research*, 22 (2022), 210383
- Stuti, D., Himanshi, R., Ajay, T., Assessing effectiveness of air purifiers (HEPA) for controlling indoor particulate pollution, *Heliyon*, 7 (2021), e07976
- Prabjit, B., Enkhjargal, G., Chimedsuren, O., Bayarkhuu, L., Bolor, B., Gerel, N., Buyantushig, B., Jargalsaikhan, G., Tsogtbaatar, B., Craig, J., Patricia A, J., Bruce P, L., Tim K, T., Scott A, V., Glenys M, W., Weiran, Y., Christopher D, P., Patrick J, P., Young Man, R., Ryan W, A., The effect of portable HEPA filter air cleaners on indoor PM_{2.5} concentrations and second hand tobacco smoke exposure among pregnant women in Ulaanbaatar, Mongolia: The UGAAR randomized controlled trial, *Science of The Total Environment*, 615 (2018), 1379-1389
- Chao-Yun, L., Chao-Heng, T., Kai-Feng, W, The Assessment of Indoor Formaldehyde and Bioaerosol Removal by Using Negative Discharge Electrostatic Air Cleaners , *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (2022), 7209
- Yen-Tang, C., Cheng-Lung, L., Shang-Jung, L., Da-Sheng, L., Electrostatic Precipitator Design Optimization for the Removal of Aerosol and Airborne Viruses, *Sustainability*, 15 (2023), 8432
- Hernández-Díaz, D., Martos-Ferreira, D., Hernández-Abad, V., Villar-Ribera, R., Tarrés, Q., Rojas-Sola, J.I., Indoor PM_{2.5} removal efficiency of two different non-thermal plasma systems , *Journal of Environmental Management*, 278 (2021), 111515
- Jaworek, A., Marchewicz, A., Sobczyk, A.T., Krupa, A., Czech , T., Two-stage electrostatic precipitator with dual-corona particle precharger for PM_{2.5} particles removal, *Journal of Cleaner Production*, 164 (2017), 1645-1664

- Jeong, Hoon B., Jungho, H., Jae Hong, P., Ki Young, Y., Byung Ju, K., Suk Hoon, Kang., Jun Ho, J., Collection of submicron particles by an electrostatic precipitator using a dielectric barrier discharge, *Journal of Aerosol Science*, 37 (2006), 1618-1628
- Fatemeh, R., Patrick, V., Anton, N., Rino, M., Nathalie De, G., Applications of Plasma-Liquid Systems: A Review, *Materials* 12 (2019), 2751
- Yagov, V. V., Getsina, M. L., Zuev, B. K., Use of Electrolyte Jet Cathode Glow Discharges as Sources of Emission Spectra for Atomic Emission Detectors in Flow-Injection Analysis, *Journal of Analytical Chemistry*, 59 (2004), No. 11, 1037-1041
- Yuanwei, L., Dinghui, W., Yuting, W., Chongfang, M., Xingjuan, Z., Chunxin, Yang., Synergistic Effect of Nanophotocatalysis and Nonthermal Plasma on the Removal of Indoor HCHO, *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy*, (2012), 8 page
- Alessandro Estarque de, O., Vádila Giovana, G., Influence of particle concentration and residence time on the efficiency of nanoparticulate collection by electrostatic precipitation, *Journal of Electrostatics*, 96 (2018), 1-9
- Hamedi Estakhrsar, M.H., Rafee, R., Effects of wavelength and number of bends on the performance of zigzag demisters with drainage channels, *Applied Mathematical Modelling*, 40 (2016), 685-699
- Marco, B., Federico, Messanelli., Compared ionic wind measurements on multi-tip corona and DBD plasma actuators, *Journal of Electrostatics*, 76 (2015), 278-287



ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Naphat Saothong, Samroeng Santalunai, Samran Santalunai, Chanchai Thongsopa, Weerawat Charoensiri, Jariya Pakprom, Thanasset Thosdeekorapat, Nuchanart Santalunai, Pichaya Chaipanya “Optimizing Particulate Matter Filtration: Evaluating the Efficacy of Electrode Spacing in Corona Discharge Dust Removal Systems”, PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 100 NR 8/2024



1. Naphat SAOTHONG¹, 2. Samroeng SANTALUNAI¹, 3. Samran SANTALUNAI^{1*}
4. Chanchai THONGSOPA¹, 5. Weerawat CHAROENSIRI¹ 6. Jariya PAKPROM¹
7. Thanaset THOSDEEKORAPHAT¹, 8. Nuchanart SANTALUNAI^{2*}, 9. Pichaya CHAIPANYA³

Suranaree University of Technology (1), Rajamangala University of Technology Isan (2), Srinakharinwirot University (3), Thailand
ORCID: 1.0009-0002-5546-2686; 2. 0009-0002-2581-0678; 3. 0000-0001-6777-2230; 4. 0000-0003-2534-4398; 5. 0009-0005-6861-8469;
6. 0009-0002-5540-2624; 7. 0000-0001-5976-2438; 8. 0000-0002-5598-1534; 9. 0000-0002-6890-9865;

doi:10.15199/48.2024.08.28

Optimizing Particulate Matter Filtration: Evaluating the Efficacy of Electrode Spacing in Corona Discharge Dust Removal Systems

Abstract. This comprehensive study delves into the efficiency of an electrode-based dust removal system, with a specific focus on its capability to filter various sizes of particulate matter: PM1, PM2.5, and PM10. Employing an innovative Corona discharging technology, the research critically evaluates how different electrode spacings influence the efficacy of particle removal. Conducted in a controlled environment, the experiments encompassed a range of electrode distances to ascertain their impact on reducing particle sizes commonly found in indoor air. The methodology involved systematic testing of electrode spacings at 2 cm, 3 cm, and 6 cm, across different particulate matter concentrations. The research utilized a combination of natural sedimentation in control scenarios and active filtration in experimental setups to measure the effectiveness of the dust removal system. Key parameters such as particle charge, airflow dynamics, and the strength of the electrical field across the electrodes were meticulously observed and analyzed. The results of this investigation reveal that electrode spacing is a critical factor in optimizing the removal efficiency of particulate matter. Particularly, the 3 cm electrode spacing emerged as the most effective across all particle sizes, indicating its potential as an optimal configuration for air purification systems. This finding underscores the necessity of a balanced approach in the design of such systems, where both the electric field strength and airflow dynamics are harmoniously aligned. This study contributes significantly to the field of environmental health and indoor air quality control. The insights gleaned from the research provide a foundation for developing more efficient air purification systems, tailored to varying environmental conditions and particulate compositions. The findings also pave the way for future research, exploring the impact of other environmental variables on the performance of electrode-based dust removal systems.

Streszczenie.

To kompleksowe badanie zagłębia się w efektywność systemu usuwania kurzu opartego na elektrodach, ze szczególnym uwzględnieniem jego zdolności do filtrowania różnych rozmiarów cząstek stałych: PM1, PM2.5 i PM10. Wykorzystując innowacyjną technologię ładowania Coronadish, badanie krytycznie ocenia, jak różne odległości między elektrodami wpływają na skuteczność usuwania cząstek. Przeprowadzone w kontrolowanym środowisku eksperymenty obejmowały szereg odległości elektrod, aby ustalić ich wpływ na redukcję rozmiarów cząstek powszechnie występujących w powietrzu w pomieszczeniach. Metodologia obejmowała systematyczne testowanie odstępów między elektrodami o wartościach 2 cm, 3 cm i 6 cm, w różnych stężeniach cząstek stałych. Badanie wykorzystywało połączenie naturalnej sedimentacji w scenariuszach kontrolnych i aktywnej filtracji w układach eksperymentalnych, aby zmierzyć skuteczność systemu usuwania kurzu. Kluczowe parametry, takie jak ładunek cząstek, dynamika przepływu powietrza i siła pola elektrycznego na elektrodach, były dokładnie obserwowane i analizowane. Wyniki tego dochodzenia ujawniają, że odstęp między elektrodami jest kluczowym czynnikiem w optymalizacji efektywności usuwania cząstek stałych. Szczególnie odstęp elektrod 3 cm okazał się najsukuteczniejszy we wszystkich rozmiarach cząstek, wskazując na jego potencjalne zastosowanie jako optymalnej konfiguracji dla systemów oczyszczania powietrza. Wynik ten podkreśla konieczność zrównoważonego podejścia w projektowaniu takich systemów, gdzie zarówno siła pola elektrycznego, jak i dynamika przepływu powietrza są harmonijnie dostosowane. To badanie znacząco przyczynia się do dziedziny zdrowia środowiskowego i kontroli jakości powietrza w pomieszczeniach. Wnioski płynące z badania stanowią podstawę do opracowania bardziej efektywnych systemów oczyszczania powietrza, dostosowanych do różnorodnych warunków środowiskowych i składów cząstek stałych. Wyniki te również otwierają drogę do przyszłych badań, badających wpływ innych zmiennych środowiskowych na wydajność systemów usuwania kurzu opartych na elektrodach. (Optymalizacja filtracji cząstek stałych: ocena skuteczności odstępu między elektrodami w systemach usuwania pyłu za pomocą wyładowań koronowych)

Keywords: Electrode Spacing, Particulate Matter Filtration, Corona discharging Technology, Air Purification Systems

Słowa kluczowe: Odstęp Elektrod, Filtracja Cząstek Stałych, Technologia Ładowania Coronadish, Systemy Oczyszczania Powietrza

1. Introduction

Air pollution has emerged as a critical environmental and public health concern, especially with the rising levels of fine particulate matter, including PM1, PM2.5, and PM10. These tiny particles, invisible to the naked eye, pose a significant threat due to their ability to penetrate deep into the respiratory system, enter the bloodstream, and potentially impact various organs. The human nasal filters are largely ineffective against these minuscule particles, thereby underscoring the necessity for efficacious strategies to prevent and mitigate their harmful effects [1-3]. Prolonged exposure to such particulates is linked to a decline in lung function, the development of non-smoker emphysema, and an increased risk of lung cancer [4-6]. Moreover, these particles often harbor additional hazardous substances like cadmium, mercury, and carcinogens, further contaminating the air with a variety of unseen germs and pollutants [7-8]. High concentrations of these particulates can impair visibility, leading to fog formation and negatively impacting both indoor and outdoor air quality [9-10].

The primary contributors to fine particle pollution include direct emissions from activities such as open burning, transportation, electricity generation, and various industrial processes. These sources release not only particulate matter but also noxious gases like sulfur dioxide (SO₂) and nitrogen oxides (NO_x), along with other toxins such as mercury, cadmium, arsenic, and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). The burning of diesel, particularly in areas of heavy traffic congestion, and the use of non-environmentally friendly fuels like coal exacerbate the problem, emitting substantial quantities of SO₂ and NO_x [11-14].

In the face of this growing challenge, numerous methods have been developed to reduce small particle pollution. Conventional approaches, such as water spraying, have limitations in their effectiveness on fine particles and are resource-intensive [15-16]. Air purifiers with High-Efficiency Particulate Air (HEPA) filters, while capable of trapping these particles, face constraints due to their dense structure, which can lead to reduced airflow and increased energy consumption or decreased efficiency [17-

18]. These filters also necessitate regular maintenance and environmentally responsible disposal [19-20]. Electrostatic precipitators, particularly those incorporating a two-stage system with a precharger and an electrostatic accumulator, have demonstrated enhanced efficiency in particle collection [21-22]. Additionally, recent advancements in plasma technology, including Multipin Corona Discharge (MCDP) and Dielectric Barrier Discharge (DBD) plasma generators, have shown promise in dust removal. Studies indicate that both types can effectively reduce dust levels, with MCDP generators exhibiting higher efficiency and faster operation [23-25]. The generation of plasma can be achieved by energizing an emitter to create a high-intensity electric field. The architecture of energy emitters has evolved, incorporating various designs for diverse applications, including the use of induction coils applicator [26-28] and curved plate applicator [29-30]. This study explores both plate-type and pointed-shape power release models [31-39]. It is discerned that the pointed tip configuration is particularly conducive for applications involving plasma energy sources, due to its efficient energy release pattern. This insight underscores the significance of emitter design in optimizing plasma generation for specific applications.

This article introduces the innovative Coronadish charging technology, a novel approach designed to remove fine particles using energy emitted through strategically placed copper electrodes. The focus of this study is to explore the effectiveness of this technology in eliminating PM₁, PM_{2.5}, and PM₁₀ particles, paving the way for its application in addressing air pollution challenges. The development and implementation of such advanced solutions like Coronadish charging are crucial in the ongoing battle against air pollution. These technologies represent significant strides toward effectively managing the issue of fine particulate matter, thereby helping to mitigate the profound impact of air pollution on human health and the environment.

2. Materials and Methods

This segment delineates the constituents utilized, along with the testing strategies implemented. It encompasses comprehensive explications of the power emitter's attributes, the protocols for installation and assessment procedures, the fundamental tenets of plasma dust eradication, and the techniques for quantifying the efficacy of dust removal. These subjects will be expounded in the ensuing sub-sections.

2.1 Characteristics Of The Power Emitter

The corona energy emitter, fabricated from copper, manifests an electrical conductivity quantified at 59.6×10^6 Siemens per meter [40]. Its dimensions are precisely 20 millimeters in width, 200 millimeters in length, and 0.5 millimeters in thickness, conforming to the conventional dimensions of a standard HEPA filter. The emitter's design integrates a triangular apex, each measuring 5 millimeters in both height and base length, with a total of 30 such apices distributed along the length of the copper plate. This plate is strategically positioned at a distance of 15 millimeters from the electrode on either side. The electrode itself is characterized by dimensions of 2 millimeters in thickness, 200 millimeters in width, and 300 millimeters in length, as delineated in Figure 1. The experimental apparatus comprises three sets of pointed plates, each set containing 5, 10, and 15 plates, with inter-plate spacings within each set being 20 millimeters, 30 millimeters, and 60 millimeters, respectively, as depicted in Figure 2. A high-voltage circuitry, rated at 15 kilovolts, energizes the generator set for the electrode test configuration.

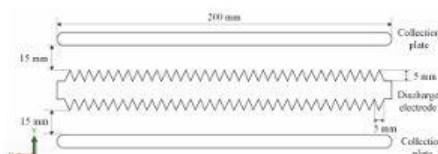


Fig.1 The power emitter's architecture is characterized by a tapered plate composed of copper.

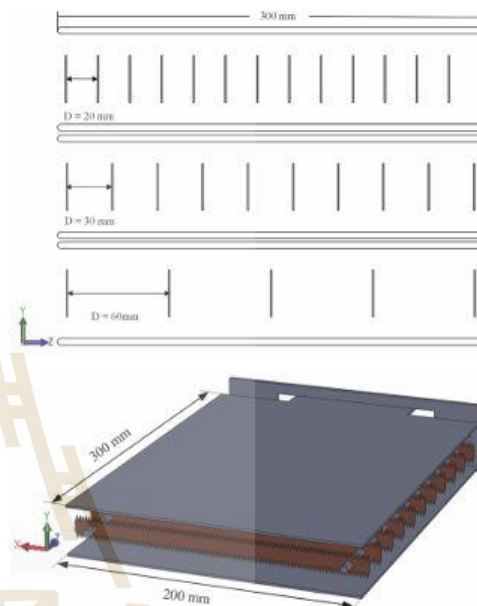


Fig. 2 The experimental apparatus comprises three sets of pointed plates.

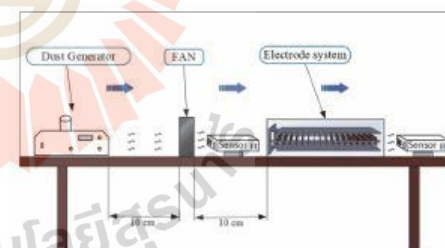


Fig. 3 Methodology for Installation and Evaluation Procedures.

2.2 Installation and Evaluation Procedures

The experiment dedicated to dust removal will be executed within a confined environment, incorporating three separately delineated experimental protocols, each with a duration of one hour. An airflow velocity of 2.4 meters per second will be employed for the procedure. In order to synthesize fine dust particulates, the smoke from burning incense will be utilized, confined within a polymer containment unit. A ventilation device, specifically modified

to draw the incense smoke through strategically placed perforations in the container, will facilitate the transport of the smoke into the dust removal apparatus. Instrumentation for measuring particulate concentrations will be strategically located at both the ingress and egress points of the system, thereby enabling a comprehensive evaluation of the system's proficiency in filtering fine dust particulates. This configuration is illustrated in Figure 3.

2.3 The Principles of Plasma Dust Removal

Plasma generation entails the application of a high direct current (DC) voltage across two electrodes, with the inter-electrode spacing typically ranging from approximately 1 millimeter to 10 millimeters, although this gap may be adjusted to suit specific applications. For example, establishing a voltage differential (e.g., 10 kilovolts) relative to the ground potential between these electrodes leads to the ionization of the gas traversing this gap. This ionization process is initiated as the elevated voltage energizes the gas ions, augmenting their energy states and consequently diminishing the gas's electrical resistance. When the resistance decreases sufficiently, a substantial potential difference induces an electrical arc from the higher to the lower potential side, a phenomenon recognized as spark discharge. In instances where the potential difference is not exceedingly high, no spark occurs; rather, a soft luminescence is observed, manifesting in various forms such as corona discharge, gliding arc discharge, and others. The introduction of a dielectric barrier between the two electrodes results in what is known as Dielectric Barrier Discharge (DBD). These diverse discharge manifestations constitute the fundamental mechanisms of plasma, with the dimly lit zone signifying the plasma region, capable of attaining temperatures ranging from 10,000 Kelvin to 100,000 Kelvin. [41-42]

In the context of the dust removal experiment, incense smoke was introduced through all three variations of electrode assemblies. The levels of particulate matter (PM1, PM2.5, and PM10) were quantitatively assessed using a specialized instrument at both the entry (C_{in}) and exit (C_{out}) points of the electrode configuration. The experiment involved the systematic recording of C_{in} and C_{out} data to facilitate the computation of particulate removal efficiency, as delineated in Equation 1 [43].

$$(1) \quad \text{Removal efficiency} = \left[\frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \right] \times 100\%$$

3. Results and discussions

3.1 Experimental results

During the control experiment, the natural sedimentation of particulate matter was observed in the absence of any active filtration mechanisms. The initial concentration of fine particulate matter (PM1) was quantified at 400 micrograms per cubic meter. Over time, this concentration exhibited a gradual decrement, descending to 250 micrograms per cubic meter after 10 minutes, and ultimately stabilizing at 50 micrograms per cubic meter post an hour. This observed decrease can primarily be ascribed to the intrinsic settling of particles coupled with minor passive filtration within the containment chamber.

Upon activation of the dust removal system, a pronounced enhancement in particulate reduction efficacy was noted. The incorporation of electrodes substantially augmented the system's capability to filter out PM1 particles. For electrodes spaced at 2 centimeters, the initial PM1 concentration of 220 micrograms per cubic meter reduced to 140 micrograms per cubic meter after 10 minutes, and significantly, to 20 micrograms per cubic meter following an hour, indicating a high efficiency of this configuration. In the

setup with electrodes spaced at 3 centimeters, a similar trend was observed, starting from a PM1 level of 200 micrograms per cubic meter and mirroring the results observed with 2-centimeter spacing. For electrodes spaced at 6 centimeters, the PM1 level, initially at 250 micrograms per cubic meter, declined to 150 micrograms per cubic meter in 10 minutes, eventually reaching 17 micrograms per cubic meter after an hour. While effective, this arrangement demonstrated a marginally lower particle reduction rate compared to the other configurations.

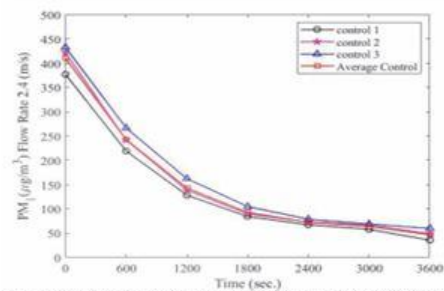


Fig. 4 Cumulative Findings Pertaining to the Quantification of PM1 Particulate Matter in the Control Apparatus.

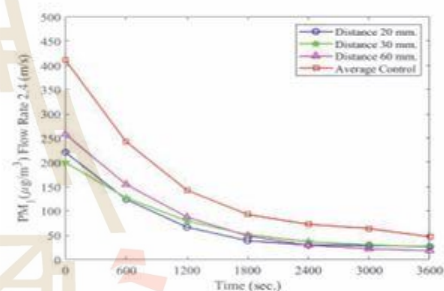


Fig. 5 Results of PM1 Particulate Matter Removal at Varied Electrode Distances.

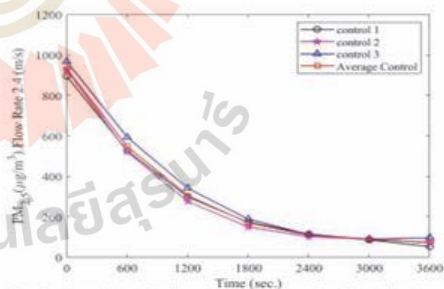


Fig. 6 Cumulative Findings Pertaining to the Quantification of PM2.5 Particulate Matter in the Control Apparatus.

These findings underscore the efficacy of the electrode-based dust removal system in diminishing PM1 concentrations, significantly surpassing the natural settling observed in the baseline tests. Among the electrode configurations examined, the 3-centimeter spacing exhibited the most consistent and effective results in PM1

reduction, suggesting an optimal inter-electrode distance for maximizing electrostatic particle attraction while maintaining efficient airflow.

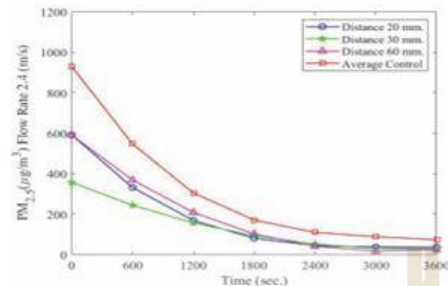


Fig. 7 Results of PM2.5 Particulate Matter Removal at Varied Electrode Distances.

In the baseline scenario, the initial concentration of particulate matter PM2.5 was noted to be 900 micrograms per cubic meter. Over the duration of an hour, a gradual decline was observed, culminating at 70 micrograms per cubic meter, attributable to natural sedimentation and minor passive filtration within the test chamber. When the dust removal system was operational, the reduction in PM2.5 levels was markedly more pronounced. With electrodes spaced at 2 centimeters, the initial PM2.5 concentration of 600 micrograms per cubic meter decreased to 360 micrograms per cubic meter after 10 minutes and further to 28 micrograms per cubic meter post an hour, indicative of a substantial filtration efficiency improvement. The 3-centimeter electrode spacing began with a PM2.5 level of 360 micrograms per cubic meter, reducing to 200 micrograms per cubic meter in 10 minutes, showcasing performance comparable to the 2-centimeter spacing. For the 6-centimeter spacing, the initial PM2.5 level of 600 micrograms per cubic meter declined to 400 micrograms per cubic meter in 10 minutes, reaching 20 micrograms per cubic meter after an hour, though exhibiting a slightly lower reduction rate compared to the other setups.

These results emphasize the considerable impact of the electrode-based dust removal system in curtailing PM2.5 levels, with the active filtration significantly outshining the natural settling noted in the baseline scenario. The 3-centimeter electrode spacing demonstrated the most consistent and effective reduction in PM2.5 levels, suggesting an optimal equilibrium between electrostatic attraction and airflow efficiency.

In the baseline tests, the mean initial concentration of PM10 was documented at 1600 micrograms per cubic meter. Over the course of an hour, a natural reduction in PM10 levels was recorded, settling at 90 micrograms per cubic meter, a decline attributed to natural sedimentation and minor passive filtration. The activation of the dust removal system led to a more pronounced reduction in PM10 levels. With electrodes spaced at 2 centimeters, the initial PM10 levels of 1000 micrograms per cubic meter decreased to 600 micrograms per cubic meter in 10 minutes, ultimately reducing to 35 micrograms per cubic meter after an hour, showcasing a considerable amelioration in the system's efficiency. The 3-centimeter electrode spacing started with a PM10 concentration of 250 micrograms per cubic meter, dropping to 200 micrograms per cubic meter in 10 minutes, exhibiting a consistent reduction rate akin to the 2-centimeter electrode spacing. For the 6-centimeter spacing, the initial PM10 level of 600

micrograms per cubic meter fell to 400 micrograms per cubic meter after 10 minutes, and ultimately to 20 micrograms per cubic meter after an hour, indicating significant filtration capability, albeit slightly less efficient than the other configurations.

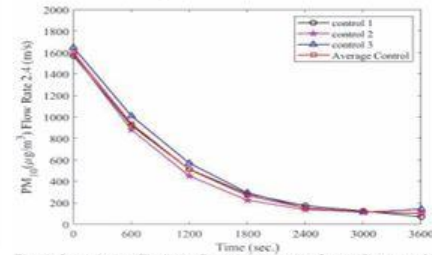


Fig. 8 Cumulative Findings Pertaining to the Quantification of PM10 Particulate Matter in the Control Apparatus.

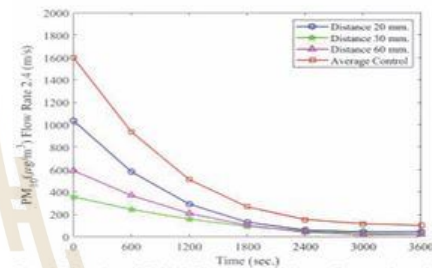


Fig. 9 Results of PM10 Particulate Matter Removal at Varied Electrode Distances.

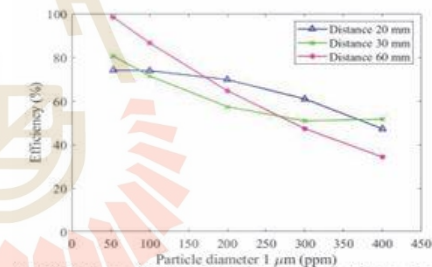


Fig. 10 Efficacy of PM1 dust abatement across diverse electrode spacings.

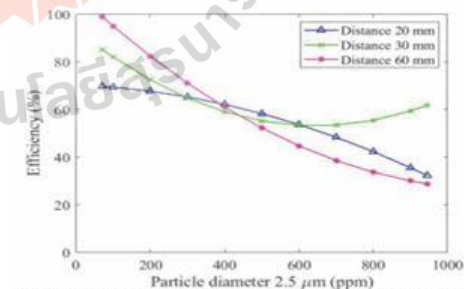


Fig. 11 Efficacy of PM2.5 dust abatement across diverse electrode spacings.

The experimental outcomes elucidate the effectiveness of the electrode-based dust removal system in substantially diminishing PM10 particle concentration, notably outperforming the natural reduction observed in the baseline scenario. Among the tested configurations, the 3-centimeter electrode spacing emerged as the most efficient in PM10 reduction, indicating an optimal balance between particle attraction and airflow dynamics.

3.2 Removal efficiency

The outcomes delineate a differential efficacy in the removal of PM1 particles contingent upon the inter-electrode spacing and varying PM1 concentration spectra. The 2-centimeter spacing exhibited heightened efficiency within the median concentration range (300 parts per million to 200 parts per million), whereas the 6-centimeter distance demonstrated augmented efficiency in the lower concentration spectrum (200 parts per million to 50 parts per million). The 3-centimeter inter-electrode distance seemed to offer an equilibrium between these divergent scenarios.

These observations imply that the distance between electrodes is a pivotal factor in determining the efficiency of PM1 particle removal. The observed variations in efficiency across different concentration brackets may be attributable to aspects such as the charge of the particles, the dynamics of the airflow, and the strength of the electrical field established between the electrodes.

The experimental data reveal disparate efficiencies in the removal of PM2.5 particles across varied electrode spacings and concentration ranges. Notably, the 3-centimeter spacing was observed to be more efficacious in the initial concentration range (940 parts per million to 600 parts per million), while the 2-centimeter distance proved to be more effective within the mid-range (600 parts per million to 400 parts per million). The 6-centimeter distance displayed increased efficiency in the lower concentration range (400 parts per million to 70 parts per million).

Such variations intimate that the spacing between electrodes significantly influences the efficiency of particle removal. The differences in efficiency across the concentration ranges could be ascribed to factors including the behavior of particles under varying electrical fields, patterns of airflow, and the intrinsic physical properties of the particles.

The findings elucidate varied efficacies in the removal of PM10 particles across different electrode distances and concentration spectrums. The 3-centimeter distance manifested superior efficiency across all examined concentration ranges, denoting its optimal balance for the removal of PM10 particles. The observed variations in efficiency might be owing to factors such as the intensity of the electric field, the charge properties of the particles, and the dynamics of airflow in the vicinity of the electrodes.

3.3 Discussions

The comprehensive analysis of this study yields critical insights into the efficacy of an electrode-based dust removal system, examining a range of particle sizes (PM1, PM2.5, and PM10) and electrode spacings. These insights are instrumental in elucidating the mechanisms of particulate matter filtration and the significance of electrode configurations in enhancing air purification systems.

Baseline Observations and Inherent Particle Dynamics: In the baseline assessments for each particle size category, a consistent decline in concentration over time was noted. This reduction is predominantly ascribed to gravitational settling and modest passive filtration within the test chamber. Understanding these innate reduction processes

is essential for comprehending the fundamental behavior of particulate matter in confined spaces, thereby establishing a

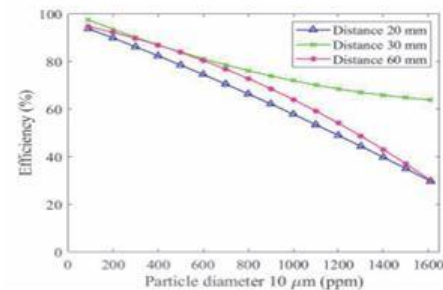


Fig. 12 Efficacy of PM10 dust abatement across diverse electrode spacings.

PM1 Particle Removal Analysis: The study revealed a differential removal efficiency for PM1 particles across various electrode spacings. The 2 cm spacing proved more effective in mid-range concentrations, while the 6 cm spacing exhibited heightened efficiency at lower concentration levels. This suggests that smaller particles, such as PM1, which are more prone to Brownian motion and less influenced by gravitational forces, exhibit distinct responses to variations in the electric field produced by different electrode distances. The 3 cm spacing offered a more uniform efficiency across a wider concentration spectrum, indicating its applicability in environments with fluctuating PM1 levels.

PM2.5 Particle Filtration Efficacy: The efficiency in removing PM2.5 particles also varied with electrode spacing. The enhanced efficiency at 3 cm in the initial concentration phase implies that this spacing ideally balances electric field intensity and particle interaction, especially for larger particles compared to PM1. The efficacy of the 2 cm spacing in mid-range concentrations can be linked to a more intense localized electric field, facilitating particle entrapment. The improved performance of the 6 cm spacing at lower concentrations hints at a more pronounced role of airflow dynamics, potentially less restricted at wider spacings.

PM10 Particle Reduction Dynamics: In the case of PM10 particles, the 3 cm electrode spacing was identified as the most efficient across all concentration brackets. This observation is critical, indicating that larger particles, such as PM10, which are more substantially affected by gravity and less by Brownian motion, necessitate an optimized equilibrium of electric field strength and airflow for effective filtration. The diminished efficiency at narrower and wider spacings suggests that extremes in electric field intensity and airflow dynamics may not be optimal for PM10 particle removal.

Electrode Spacing and Particle Dynamics: The pivotal role of electrode spacing in influencing removal efficiency is apparent across all particle sizes. This can be attributed to various factors, including the charge of the particles, the dynamics of airflow, and the intensity and distribution of the electric field. The interaction of these elements with particulate matter of varying sizes underscores the complexity inherent in designing efficient air purification systems.

Implications for Air Purification System Design: The outcomes of this investigation hold substantial implications

for the conceptualization and deployment of electrode-based dust removal systems. Grasping the interrelation between electrode spacing and particle size efficiency is critical in crafting air purifiers capable of adapting to diverse environmental conditions and particulate compositions. benchmark for evaluating the performance of active filtration systems. [44-46]

Future Research Directions: Future investigations should delve into the influence of other variables such as ambient humidity, temperature, and the presence of additional pollutants. Studies focused on real-world applications would be invaluable in understanding the efficacy of these systems in various indoor and outdoor settings.

This experiment highlights the intricate interplay between electrode spacing, electric field dynamics, airflow, and particle characteristics within the realm of air purification. The results provide a foundational basis for forthcoming advancements in air purification technology, tailored to meet a spectrum of environmental requirements and particle profiles.

4. Conclusions:

The experimental outcomes demonstrate that electrode spacing plays a crucial role in the efficiency of particulate matter removal in an electrode-based dust removal system. The study revealed that a 3 cm electrode spacing is generally the most effective across all particle sizes, striking a balance between electric field strength and airflow dynamics. These results offer valuable implications for the design and optimization of air purification systems, emphasizing the need for tailored approaches based on particle characteristics and environmental conditions. Future research should explore additional variables such as humidity, temperature, and other pollutants, to further enhance the understanding and efficiency of these systems in diverse settings.

Acknowledgments

This work was supported by Suranaree University of Technology (SUT) and the Office of the Higher Education under NRU project of Thailand.

Authors: Mr. Naphat Saonthong, E-mail: M6300613@g.sut.ac.th, School of Electronic Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand; Mr. Samroeng Santalunai, E-mail: D6400422@g.sut.ac.th, School of Electronic Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima; Assist. Prof. Dr. Samran Santalunai, E-mail: samran.sa@sut.ac.th, School of Electronic Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand; Assoc. Prof. Dr. Chanchai Thongsopa, E-mail: chan@sut.ac.th, School of Electronic Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima; Mr. Weerawat Charoensiri, E-mail: D6400422@g.sut.ac.th, School of Electronic Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Ms. Jariya Pakprom, E-mail: jariyakprom.jp@gmail.com, School of Electronic Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima; Assist. Prof. Dr. Thanaset Thosdeekoraphat, E-mail: thanaset@sut.ac.th, School of Electronic Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand; Assist. Prof. Dr. Nuchanart Santalunai, E-mail: nuchanart.1a@muti.ac.th, Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand; Assist. Prof. Dr. Pichaya Chaipanya, E-mail: pichayac@g.swu.ac.th, Department of Electrical Engineering, Srinakharinwirot University, Nakhon Nayok, Thailand..

REFERENCES

- [1] Xuanxuan, N., Jiayou, Z., Shihe, H., Kai, D., Xinguo, L., Xiaoming, Y., Development of Nasal Vaccines and the Associated Challenges, *Pharmaceutics*, 14 (2022), 1983
- [2] Jintuo, Z., Pengli, J., Yaxin, H., Xinjian, H., Liang, W., Ruxue, Z., Jinyu, L., Performance of a new model of nasal filter when challenged against PM1 aerosols, *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 33 (2021), NO. 1, 388–394
- [3] Padmanabhan, S., Francesco, B., Nurshahidah, A., Alden, T., Sakinah, M., Goh Lay, B., Enrico, I., Alfredo, P., A new aerodynamic endonasal filtration technology for protection against pollutants and respiratory infectious agents: evaluation of the particle filtration efficacy, *Frontiers in Medical Technology*, (2023), 8
- [4] Cui, G., Zilong, Z., Alexis K H, L., Chang Q, Lin., Yuan Chieh, C., Jimmy, C., Wun Kai, J., Tony, T., Eng-Kiong, Y., Ta-Chien, C., Ly-Yun C., Xiang Qian, L., *Lancet Planet Health*, 2 (2018), e114–25
- [5] Sun Young, K., Sung Hwan, J., Particulate-Matter Related Respiratory Diseases, *Tuberculosis and Respiratory Diseases*, 83 (2020), 116-121
- [6] Klára, S., Nikolett, G., József, F., Tünde, V., Patrícia, N., József Á, B., László G, P., Gábor J, S., Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Epidemiology, Biomarkers, and Paving the Way to Lung Cancer, *Journal of Clinical Medicine*, 10 (2021), 2889
- [7] Mei, W., Zhaofang, C., Wei, S., Dezi, H., Lei, H., Yunhui, L., A review on Cadmium Exposure in the Population and Intervention Strategies Against Cadmium Toxicity, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 106 (2021), 65-74
- [8] Jessica, B., Emmanuel, S., Renald, B., Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans, *Heliyon*, 6 (2020), e04691
- [9] Nicole Pauly, H., Impaired visibility: the air pollution people see, *Atmospheric Environment*, 43 (2009), 182-195
- [10] Wan-Sik, W., Rosy O., Woojoo, L., Sungkwan K., Pei-Chen, S., Yong-Jin, Y., Hygroscopic properties of particulate matter and effects of their interactions with weather on visibility, *Scientific Reports*, 11 (2021), 16401
- [11] Erin E, M., Randall V, M., Joseph V, S., Richard, B., Steven J, S., Patrick, O., Melanie S, H., Aaron van, D., Liam, B., Viral, S., Lyatt, J., Gan, L., Fangqun, Y., Jamiu A, A., Jintai, L., Michael, B., Source sector and fuel contributions to ambient PM2.5 and attributable mortality across multiple spatial scales, *Nature Communication*, 12 (2021), 3594
- [12] Ioannis, M., Elisavet, S., Agathangelos, S., Eugenia, B., Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review, *Frontiers Public Health*, 8 (2020), 14
- [13] Muhammad Ehsan, M., Human health and environmental impacts of coal combustion and post-combustion wastes, *Journal of Sustainable Mining*, 17 (2018), 87-96
- [14] Susan C, A., Joshua, M., Ray, M., Li, D., Daven K, H., Forrest, L., Christopher S, M., Lisa, E., Vicente, F., Zbigniew, K., Chris, H., Impacts and mitigation of excess diesel-related NOx emissions in 11 major vehicle markets, *Nature*, 545 (2017), 467-471
- [15] Fengzhu, T., Yuming, Guo, Wei, Z., Xingyan, X., Ming, Z., Fan, M., Sioen, L., Shanshan, L., Lidia, M., Large-Scale Spraying of Roads with Water Contributes to, Rather Than Prevents, Air Pollution, *Toxics*, 9, (2021), 122
- [16] Shaocai, Y., Water spray geoengineering to clean air pollution for mitigating haze in China's cities, *Environ Chem Let*, 12 (2014), 109-116
- [17] Chiu-Fan, C., Chün-Hsiang, H., Yu-Jung, C., Chao-Hsien, Lee., David Lin, Lee., Efficacy of HEPA Air Cleaner on Improving Indoor Particulate Matter 2.5 Concentration, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (2022), 11517
- [18] Bangwoo, H., Keejung, H., Dongho, S., Hak-Joon, K., Yong-Jin, K., Sang Bok, K., Sangwoo, K., Cheong-Ha, H., Kwang-Chul, N., Field Tests of Indoor Air Cleaners for Removal of PM2.5 and PM10 in Elementary School Classrooms in Seoul, Korea, *Aerosol and Air Quality Research*, 22 (2022), 210383
- [19] Stuti, D., Himanshi, R., Ajay, T., Assessing effectiveness of air purifiers (HEPA) for controlling indoor particulate pollution, *Heliyon*, 7 (2021), e07976

- [20] Prabit, B., Enkhjargal, G., Chimedsuren, O., Bayarkhuu, L., Bolor, B., Gerel, N., Buyantushig, B., Jargalsaikhan, G., Tsogtbaatar, B., Craig, J., Patricia A. J., Bruce P. L., Tim K. T., Scott A. V., Glenys M. W., Weiran, Y., Christopher D. P., Patrick J. P., Young Man, R., Ryan W. A., The effect of portable HEPA filter air cleaners on indoor PM2.5 concentrations and second hand tobacco smoke exposure among pregnant women in Ulaanbaatar, Mongolia: The UGAAR randomized controlled trial, *Science of The Total Environment*, 615 (2018), 1379-1389
- [21] Chao-Yun, L., Chao-Heng, T., Kai-Feng, W., The Assessment of Indoor Formaldehyde and Bioaerosol Removal by Using Negative Discharge Electrostatic Air Cleaners, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (2022), 7209
- [22] Yen-Tang, C., Cheng-Lung, L., Shang-Jung, L., Da-Sheng, L., Electrostatic Precipitator Design Optimization for the Removal of Aerosol and Airborne Viruses, *Sustainability*, 15 (2023), 8432
- [23] Hernández-Díaz, D., Martos-Ferreira, D., Hernández-Abad, V., Villar-Ribera, R., Tarrés, Q., Rojas-Sola, J.I., Indoor PM2.5 removal efficiency of two different non-thermal plasma systems, *Journal of Environmental Management*, 278 (2021), 111515
- [24] Jaworek, A., Marchewicz, A., Sobczyk, A.T., Krupa, A., Czech, T., Two-stage electrostatic precipitator with dual-corona particle precharger for PM2.5 particles removal, *Journal of Cleaner Production*, 164 (2017), 1645-1664
- [25] Jeong, Hoon B., Jungho, H., Jae Hong, P., Ki Young, Y., Byung Ju, K., Suk Hoon, Kang, Jun Ho, J., Collection of submicron particles by an electrostatic precipitator using a dielectric barrier discharge, *Journal of Aerosol Science*, 37 (2006), 1618-1628
- [26] Jakkarin, S., Thanaset, T., Santalunai, S., Thongsopa, C., Experiment of Induction Heating Application for Heating Multilayer Metallic Hollow Altered Cylinder, The 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), National University of Singapore, April 26-28, 2018.
- [27] Santalunai, S., Thosdeekoraphat, T., Thongsopa, C., Thermal Analysis of Inductive Coils Array against Cylindrical Material Steel for Induction Heating Applications, *Applied Mechanics and Materials*, 330, (2013) 754-759.
- [28] Pongprakhon, N., Thongsopa, C., Santalunai, S., Thosdeekoraphat, T., Santalunai, N., Chaipanya, P., The Study of Water Reconditioning using Magnetic Field for Plant Industry, *Przeegląd Elektrotechniczny*, 99, (2023), No. 7, 59-64
- [29] Kotchapradit, S., Thosdeekoraphat, T., Santalunai, S., Thongsopa, C., Improvement of Electric Field Focusing for Deep Hyperthermia in Breast Cancer Treatment by Using Microwave Dielectric Heating with Curved Plate Applicator, *Asia-Pacific Microwave Conference*, (2018), 1474-1476
- [30] Kotchapradit, S., Thosdeekoraphat, T., Santalunai, S., Thongsopa, C., Analysis of High Frequency Curved Plate Applicator for Deep Hyperthermia in Breast Cancer Treatment by Using Dielectric Heating, *International Symposium on Antennas and Propagation*, (2018), 8627807
- [31] Santalunai, S., Thongsopa, C., Thosdeekoraphat, T., The efficiency of dielectric heating by using symmetrically electric power ports on electrode plate for pest control, 2015 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, (2015), 1-4
- [32] Seehanan, T., Fhaffiem, N., Santalunai, S., Krachodnok, P., Analysis of electric fields distribution by using EBG structure for dielectric heating applications, 4th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology: Exploring Innovative Solutions for Smart Society, (2018), 1-4
- [33] Santalunai, N., Santalunai, S., Meesawad, P., Tongsopa, C., Santalunai, S., Plus-Shape of Mushroom-Like EBG with Square Microstrip Emitter to Expand the Working Space in Dielectric Heating Applications, *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 14 (2021), No. 3, 189-200
- [34] Santalunai, N., Santalunai, S., Adisak, R., Pichaya C., Meesawad, P., Tongsopa, C., Tajchai, P., Investigation on Characteristics of Metamaterials by Using Metallic Rod Structure for Antenna Engineering, *Przeegląd Elektrotechniczny*, 98, (2022), No. 5, 103-109.
- [35] N. Santalunai, S. Santalunai, W. Naktong, P. Chaipanya, P. Mesawad and P. Krachodnok, Advancements in Mobile Communication: A Novel Sectoral Antenna Design Incorporating Magneto-Electric Curved Strip Dipoles and PRS Superstrate, *IEEE Access*, 12 (2024), 29837-29849.
- [36] Sutacha, C., Santalunai, S., Thongsopa, C., Thosdeekoraphat, T., Penkhru, W., Inactivation of Contaminated Fungi in Rice Grains by Dielectric Heating, *Applied Sciences*, 12 (2022), No. 20, 10478
- [37] Yodrot, T., Santalunai, S., Thongsopa, C., Thosdeekoraphat, T., Santalunai, N., Measurement of Dielectric Properties in Soil Contaminated by Biodiesel-Diesel Blends Based on Radio Frequency Heating, *Applied Sciences*, 13 (2023), no. 3, 1248
- [38] Ratniyomchai, K., Santalunai, S., Thosdeekoraphat, T., Thongsopa, C., Optimization of capacitor copper plate for dielectric heating to eliminate insect, *Applied Mechanics and Materials*, 343 (2013), 101-105
- [39] Srisuma, C., Santalunai, S., Thosdeekoraphat, T., Thongsopa, C., The Analysis and Design of Milk Pasteurization System by Using Radio Frequency Electric Fields, The 2017 Asia-Pacific International EMC Symposium, (2017), 158-160
- [40] Ohring, M., *Engineering Materials Science*. New York: Academic Press, 1995.
- [41] Fatemeh, R., Patrick, V., Anton, N., Rino, M., Nathalie De, G., Applications of Plasma-Liquid Systems: A Review, *Materials* 12 (2019), 2751
- [42] Yagov, V. V., Getsina, M. L., Zuev, B. K., Use of Electrolyte Jet Cathode Glow Discharges as Sources of Emission Spectra for Atomic Emission Detectors in Flow-Injection Analysis, *Journal of Analytical Chemistry*, 59 (2004), No. 11, 1037-1041
- [43] Yuanwei, L., Dinghui, W., Yuting, W., Chongfang, M., Xingjuan, Z., Chunxin, Yang., Synergistic Effect of Nanophotocatalysis and Nonthermal Plasma on the Removal of Indoor HCHO, *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy*, (2012), 8 page
- [44] Alessandro Estarque de, O., Vádila Giovana, G., Influence of particle concentration and residence time on the efficiency of nanoparticulate collection by electrostatic precipitation, *Journal of Electrostatics*, 96 (2018), 1-9
- [45] Hamed Estakharsar, M.H., Rafee, R., Effects of wavelength and number of bends on the performance of zigzag demisters with drainage channels, *Applied Mathematical Modelling*, 40 (2016), 685-699
- [46] Marco, B., Federico, Messanelli., Compared ionic wind measurements on multi-tip corona and DBD plasma actuators, *Journal of Electrostatics*, 76 (2015), 278-287

ประวัติผู้เขียน

นายณภัทร เสาทอง เกิดเมื่อวันที่ 8 มกราคม พ.ศ.2539 ที่อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จ การศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนรณย์บุรีพิทยาคม รัชมังคลาภิเษก อำเภอบ้านด่าน จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยี วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์ จากนั้นในปี 2563 ได้เข้าศึกษาต่อใน ระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

