

เครื่องฟอกอากาศโดยอาศัยหลักการความเข้มของสนามไฟฟ้าและเครื่องผลิตโอโซน  
AIR PURIFIER BY PRINCIPLE OF ELECTRIC FIELD INTENSITY AND OZONE  
GENERATOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

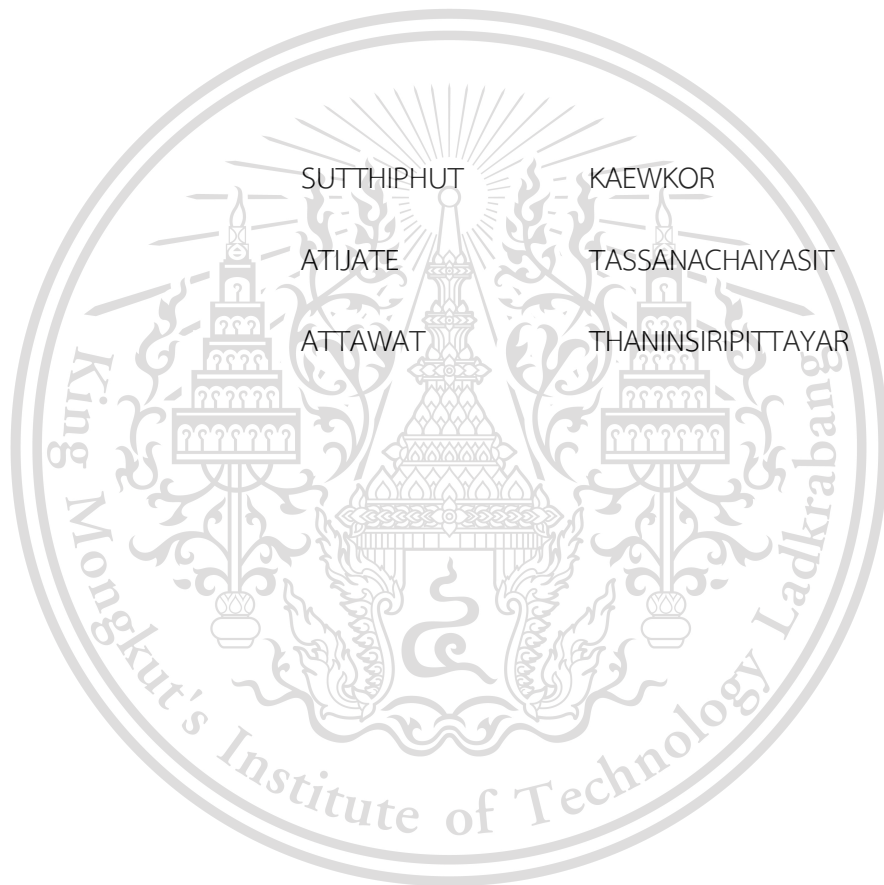
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2563  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

AIR PURIFIER BY PRINCIPLE OF ELECTRIC FIELD INTENSITY AND OZONE GENERATOR



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
2020  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ปีการศึกษา 2563

เครื่องฟอกอากาศโดยอาศัยหลักการความเข้มของสนามไฟฟ้าและเครื่องผลิตโอโซน

AIR PURIFIER BY PRINCIPLE OF ELECTRIC FIELD INTENSITY AND OZONE GENERATOR



อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่อาจารย์มอบหมายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รศ. ดร. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องฟอกอากาศโดยอาศัยหลักการความเข้มของสนามไฟฟ้าและเครื่องผลิตโอโซน

ผู้จัดทำ

1. นายสุทธิภัทร แก้วกอน
2. นายอธิเจต ทัศนชัยสิทธิ์
3. นายอรรถวัฒน์ ธนินสิริพิทยา



A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'an'.

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาขอรับไปใช้  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ)

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

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

## เครื่องฟอกอากาศโดยอาศัยหลักการความเข้มของสนามไฟฟ้าและเครื่องผลิตโอโซน

นาย สุทธิภัทร แก้วกอน

นาย อธิเจต ทักชนชัยสิทธิ์

นาย อรรถวิจน์ ธนินสิริพิทยา

รศ. ดร. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2563

### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและการสร้างเครื่องฟอกอากาศโดยอาศัยหลักการทางความเข้มของสนามไฟฟ้า และเครื่องผลิตก๊าซโอโซน โดยที่เครื่องฟอกอากาศจะอาศัยหลักการ การจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต เป็นการออกแบบให้เป็นเครื่อง 2 ตอน คือมีส่วนในการให้ประจุ และส่วนการดักจับฝุ่น โดยเริ่มต้นจะทำการให้ประจุกับอนุภาค หลังจากการทำให้อนุภาค อนุภาคจะไปติดในส่วนการดักจับฝุ่น ซึ่งเป็นแผ่นโลหะ 2 แผ่นที่มีสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่น ซึ่งจะทำให้อนุภาคเกาะที่ส่วนนั้น ต่อมาจะได้อากาศที่ไม่มีฝุ่น แต่ยังคงมีกลิ่น หรือไวรัส อยู่จึงนำอากาศที่ออกจากเครื่องกรองฝุ่นทำการผ่านภาคโอโซนเพื่อทำการกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ กำจัดไวรัส เพื่อที่จะให้อากาศที่ออกจากเครื่องกรอง มีความสะอาดมากขึ้น และการออกแบบวงจรเครื่องกรองฝุ่น และวงจรผลิตก๊าซโอโซนจะใช้หลักการ ของวงจรสวิตซ์ซึ่งในการออกแบบทำให้สามารถลดกำลังไฟฟ้า และลดขนาดของตัวอุปกรณ์ลงทำให้สามารถสร้างวงจรที่มีขนาดเล็กกระทัดรัด แต่มีประสิทธิภาพสูงได้ และอุปกรณ์ยังสามารถนำไปใช้งานในบ้าน คอนโด เพื่อที่จะกำจัดฝุ่น หรือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์รวมถึงสามารถกำจัดไวรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## AIR PURIFIER BY PRINCIPLE OF ELECTRIC FIELD INTENSITY AND OZONE GENERATOR

Mr. Sutthiphut Kaewkorn

Mr. Atijate Tassanachaiyasit

Mr. Attawat Thaninsiripittayar

Assoc. Prof. Dr. Anuwat Jangwanitlert Advisor

### ABSTRACT

This project presents the design and creation of Air purifier by principle of electric field intensity and ozone generator. By the air purifier's the principle, the electrostatic dust collection is designed as 2 parts of circuits. First part is the charger to particles. Second part is the dust collection. After charged particles, they have been trapped in the dust collection area, where is two parallel metal plates with an electric field. That will cause the particles to adhere the collection plates. Latter, there will be air without dust. However, there is still a bad smell or a virus. Therefore, the air having been come out of the dust filter is passed through the ozone to get rid of the unwanted odor, and virus removal. That allows the air to come out of the filter much cleaner. In addition, the design of dust filter circuit and the ozone circuit will use the principle of the flyback converter. Its design makes to reduce electrical power and reduce the size of the circuits. Additionally, it will make to create a compact circuit and get highly effective. Finally, the air purifier can also be used in houses, condos to remove dust or an unpleasant smell, including effective virus removal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use<sup>ii</sup> only, not allowed for commercial use.

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

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไขปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณพี่อ้อ ซึ่งเป็นเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่กรุณาช่วยเตรียมสารเคมีเพื่อสำหรับใช้ในการทดสอบสำหรับวิชาโครงการ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการแก้ปัญหาด้วยดีมาตลอด

นอกจากนี้ผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ ตลอดจนคุณกมลวรรณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกเบเสร็จของโครงการ

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีก อีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use <sup>iii</sup> only, not allowed for commercial use.

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

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	IX
สารบัญตาราง	XIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำโครงการ	1
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำโครงการ	2
1.5 เครื่องกรองฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต	2
1.6 เครื่องผลิตก๊าซไอโซน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีฝุ่น	6
2.1.1 ความหมายของฝุ่นละออง	6
2.1.2 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง	6
2.1.3 ผลกระทบของฝุ่นละออง	7
2.2 เครื่องดักจับฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต	8
2.3 ทฤษฎีการเกิดประจุด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1	หลักการเกิดประจุ	8
2.3.2	การคำนวณหาค่าประจุที่เกิดขึ้นบนแผ่นโลหะ	11
2.3.3	การประจุแบบโคโรน่าให้กับอนุภาค	13
2.3.4	การคำนวณหาค่าประจุสูงสุดบนอนุภาคทรงกลม	17
2.3.5	การคำนวณอัตราการประจุของอนุภาคในทรงกลม	19
2.3.6	การประจุโดยการแพร่	20
2.3.7	ผลการทดลองการคายประจุเป็นวงกลม	22
2.3.8	ปัจจัยทางเคมีที่มีผลต่อการประจุ	23
2.3.9	การเคลื่อนที่ของอนุภาค	23
2.3.10	ลมไอออน	25
2.4	การประยุกต์ใช้หลักการทางไฟฟ้าสถิตเพื่อปรับปรุงก๊าซ	28
2.4.1	บทนำ	28
2.4.2	ทฤษฎีว่าด้วยการดักจับในการไหลที่เป็นลักษณะชั้นๆ	31
2.4.3	ทฤษฎีว่าด้วยการดักจับในการไหลที่ไม่เป็นลักษณะชั้นๆ	34
2.4.4	ความสมบูรณ์แบบของสมการดอยท์ซ	36
2.4.5	ผลของคุณสมบัติของฝุ่นต่อการดักจับ	37
2.4.6	การไอออนเซชันย้อนกลับ	38
2.4.7	สภาพต้านทานไฟฟ้าของฝุ่น	39
2.4.8	ผลของแรงทางอากาศพลศาสตร์	41
2.4.9	ผลของการใส่ศักย์ไฟฟ้าให้กับเครื่องดักจับฝุ่น	41
2.4.10	ผลเนื่องจากลักษณะของเครื่อง	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use<sup>v</sup> only, not allowed for commercial use.

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

2.4.11 เครื่องดักจับแบบ 2 ตอน	43
2.4.12 เครื่องดักจับฝุ่นขนาดเล็ก	44
2.5 ลักษณะทั่วไปของเครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต	46
2.5.1 หลักการของเครื่องดักจับด้วยไฟฟ้าสถิต	48
2.5.2 ชนิดของเครื่องดักจับฝุ่นจากไฟฟ้าสถิต	51
2.5.3 การนำฝุ่นออกจากเครื่อง	52
2.6 ทฤษฎีไอออน	53
2.6.1 การกำเนิดไอออน	53
2.6.2 คุณสมบัติของไอออน	53
2.6.3 ลักษณะทั่วไปของก๊าซไอออน	53
2.6.4 ผลกระทบของก๊าซไอออนต่อสิ่งมีชีวิต	53
2.7 ส่วนประกอบของเครื่องผลิตไอออน	56
2.8 หลักการทำงานของเครื่องผลิตก๊าซไอออน	58
2.9 หลักการออกแบบอุปกรณ์ผลิตไอออน	59
2.9.1 การออกแบบชุดอิเล็กโตรด	59
2.9.2 การหาสนามไฟฟ้าที่หลอดแก้ว	59
2.10 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง	61
2.10.1 วงจรเรียงกระแส	62
2.10.2 หม้อแปลงไฟฟ้า	67
2.10.3 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยวิธีผลคูณพื้นที่	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในสถานศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น  
 2.10.4 แหล่งจ่ายกำลังสวิตซิ่ง 76  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย</b>	86
3.1 การวิจัยและดำเนินการในส่วน of เครื่องดักจับฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต	86
3.1.1 ขอบเขตในการดำเนินการ	86
3.1.2 การดำเนินการสร้างและออกแบบส่วนดักจับฝุ่น	87
3.1.3 การดำเนินการสร้างและออกแบบส่วนที่เก็บฝุ่น	92
3.1.4 การดำเนินการสร้างและออกแบบส่วนของพัดลมดูดอากาศ	96
3.1.5 การดำเนินการสร้างและออกแบบระบบสั่น	96
3.1.6 การดำเนินการสร้างและออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง	99
3.2 การวิจัยและดำเนินการในส่วน of เครื่องผลิตก๊าซไอโซน	112
3.2.1 การดำเนินการสร้างและออกแบบชุดอิเล็กทรอนิกส์	112
3.2.2 การดำเนินการสร้างและออกแบบหลอดผลิตก๊าซไอโซน	112
3.2.3 การดำเนินการสร้างและออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง	117
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	129
4.1 ผลการทดลองวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง	129
4.2 ผลการทดลองของเครื่องดักจับฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต	139
4.3 ผลการทดลองของเครื่องผลิตก๊าซไอโซน	143
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองวิจารณ์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	148
5.1 ส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง	148
5.2 ส่วนของเครื่องดักจับฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต	148
5.3 ส่วนของเครื่องผลิตก๊าซไอโซน	148

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการ  
 5.4 ข้อเสนอแนะ 149  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง	150
ภาคผนวก	152
ภาคผนวก ก อุปกรณ์	153
ภาคผนวก ข เครื่องมือวัด	159
ภาคผนวก ค บทความทางวิชาการ	162
ประวัติผู้เขียน	167



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use<sup>viii</sup> only, not allowed for commercial use.

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

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 อนุภาคของตัวนำที่เป็นทรงกลมเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า	14
2.2 เส้นทางเดินของไอออนลบ ที่เคลื่อนที่ไปชนอนุภาคตัวนำ	24
2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสในการคายประจุไปยังระนาบ	40
2.4 เครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตแบบ 2 ตอน	45
2.5 เครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตที่ใช้ในโรงงานขนาดใหญ่	46
2.6 การผลิตไอออน	55
2.7 หลอดไอออน	58
2.8 ลักษณะการทำงานของชุดหลอดผลิตก๊าซไอออน	59
2.9 บล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบสวิตชิงในเครื่องกรองฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต	61
2.10 บล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบสวิตชิงในการผลิตก๊าซไอออน	61
2.11 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น	62
2.12 หม้อแปลงไฟฟ้า	67
2.13 วงจรสมมูลหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอุดมคติ	67
2.14 นิยามของ $A_c$ แลพ $A_w$	72
2.15 การเปรียบเทียบขนาดของแหล่งจ่ายสวิตชิงกับแหล่งจ่ายแบบเชิงเส้น	77
2.16 วงจรสมมูลฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์	77
2.17 วงจรสมมูลฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ขณะนำกระแส	78
2.18 วงจรสมมูลฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ขณะไม่นำกระแส	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การเขียนแบบของส่วนหัวปล่อยประจุ	87
3.2 รูปด้านหน้าของส่วนหัวปล่อยประจุจากโปรแกรม Sketch up	88
3.3 รูปด้านหน้าส่วนหัวประจุของตัวอุปกรณ์เมื่อทำการสร้างเสร็จแล้ว	88
3.4 การเขียนแบบของส่วนสำหรับดักจับฝุ่นหรือรวบรวมฝุ่น	89
3.5 การวางแผนเหล็กสลักกันจากโปรแกรม Sketch up	90
3.6 การวางแผนเหล็กสลักกันเมื่อทำการสร้างอุปกรณ์เสร็จแล้ว	90
3.7 แผ่นเหล็กทั้งสองชุดหลังจากนำมาใส่โครงของเครื่องจากโปรแกรม Sketch up	91
3.8 แผ่นเหล็กทั้งสองชุดหลังจากนำมาใส่โครงของเครื่องเมื่อทำเสร็จ	92
3.9 การเขียนแบบของส่วนที่เก็บฝุ่นส่วนฐาน	93
3.10 การเขียนแบบของส่วนที่เก็บฝุ่นส่วนด้านข้าง	93
3.11 การเขียนแบบของส่วนที่เก็บฝุ่นส่วนด้านจับเปิดลิ้นชัก	94
3.12 ส่วนที่เก็บฝุ่นของเครื่องในโปรแกรม Sketch up	94
3.13 การเขียนแบบของส่วนฐานเครื่องกรองฝุ่น	95
3.14 ส่วนของฐานเครื่องจากโปรแกรม Sketch up	95
3.15 พัดลมมอเตอร์ไฟฟ้าจากพาวเวอร์ซัพพลายของคอมพิวเตอร์	96
3.16 มอเตอร์สัน	97
3.17 ที่ติดตั้งระบบสันของเครื่องกรองฝุ่น	98
3.18 ตัวเครื่องกรองฝุ่นแบบสมบูรณ์แบบจากโปรแกรม Sketch up	98
3.19 ตัวเครื่องกรองในแบบสมบูรณ์	99
3.20 ตารางเลือกแกนเหล็ก E - I	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้เฉพาะในการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use<sup>x</sup> only, not allowed for commercial use.

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

3.22 มอสเฟต (MOSFET) รุ่น IRF740	108
3.23 หม้อแปลงฟลายแบ็ก	109
3.24 Pulse generator รุ่น 2 Channel Square Wave PWM Pulse Frequency Duty Cycle Adjustable Module	110
3.25 ตัวเก็บประจุแบบเซรามิก	110
3.26 วงจรสมมูลเครื่องกรองฝุ่นจากโปรแกรม PSIM	111
3.27 วงจรเครื่องกรองฝุ่น	111
3.28 รูปร่างลักษณะของชุดหลอดผลิตก๊าซไอโซน	112
3.29 ชุดหลอดผลิตก๊าซไอโซนจากโปรแกรม Sketch up	116
3.30 ชุดหลอดผลิตก๊าซไอโซน	116
3.31 ตารางเลือกแกนเหล็ก E - I	119
3.32 ตารางเปรียบเทียบขนาดของลวดทองแดง	123
3.33 ตารางเปรียบเทียบขนาดของลวดทองแดง (ต่อ)	124
3.34 มอสเฟต (MOSFET) รุ่น IRF740	125
3.35 หม้อแปลงฟลายแบ็ก	126
3.36 Pulse generator รุ่น 2 Channel Square Wave PWM Pulse Frequency Duty Cycle Adjustable Module	126
3.37 ตัวเก็บประจุแบบเซรามิก	127
3.38 วงจรสมมูลฟลายแบ็กสำหรับเครื่องผลิตก๊าซไอโซนจากโปรแกรม PSIM	127
3.39 วงจรฟลายแบ็กสำหรับเครื่องผลิตก๊าซไอโซน	128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.1 กราฟอัตราส่วนแรงดันอินพุต ต่อแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงฟลายแบ็ก	131
4.2 กราฟแรงดันอินพุตของวงจรด้านปฐมภูมิ	132
4.3 กราฟกระแสอินพุตของวงจรด้านปฐมภูมิ	132
4.4 กราฟแรงดันเอาต์พุตของวงจรด้านทุติยภูมิ	133
4.5 กราฟกระแสเอาต์พุตของวงจรด้านทุติยภูมิ	133
4.6 กราฟแรงดันหลังผ่านวงจรกรองกระแสแบบฟูลบริดจ์	134
4.7 กราฟกระแสหลังผ่านวงจรกรองกระแสแบบฟูลบริดจ์	134
4.8 กราฟแรงดันระหว่างขาเดรน และซอส	135
4.9 กราฟแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง	135
4.10 กราฟกระแสด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง	136
4.11 กราฟสัญญาณ Pulse	136
4.12 กราฟแรงดันระหว่างขาเดรน และซอส	137
4.13 กราฟแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง	137
4.14 กราฟสัญญาณ Pulse	138
4.15 เครื่อง DUSTTRAK II	140
4.16 ผลการทดลองที่แรงดันค่าต่างๆ กับอัตราการดักจับฝุ่นของ PM10	141
4.17 ผลการทดลองที่แรงดันค่าต่างๆ กับอัตราการดักจับฝุ่นของ PM2.5	142
4.18 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาปริมาณไอโซนที่เกิดขึ้น	144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use<sup>xii</sup> only, not allowed for commercial use.

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

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ข้อดีข้อเสียของเครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต	3
2.1 เกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยของคุณภาพอากาศ (PM 2.5)	8
2.2 ตารางอาการผิดปกติที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อสูดดมโอโซนในปริมาณต่างๆ	54
2.3 ตารางปริมาณโอโซน กับระยะเวลาที่สามารถสัมผัสได้	54
2.4 ปริมาณความเข้มข้นของโอโซน และระยะเวลาที่สามารถกำจัดสิ่งต่างๆ	55
4.1 ค่าอัตราส่วนของ โพรบแรงดันสูง	129
4.2 อัตราส่วนของแรงดันด้านเข้า ต่อแรงดันด้านออก	130
4.3 ปริมาณของ Sodium thiosulfate ที่ใช้	145
4.4 ปริมาณก๊าซโอโซนที่ได้จากการการทดลอง	146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use<sup>xiii</sup> only, not allowed for commercial use.

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

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ในยุคปัจจุบันได้มีมนุษย์ได้มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีต่างๆมากมาย ไม่ว่าจะเป็นในด้าน การคมนาคม, การแพทย์, เศรษฐกิจ หรือ ด้านอื่นๆ เพื่อเป็นประโยชน์ และทำให้เกิดความสะดวกสบายในการใช้ชีวิตประจำวัน แต่ถึงกระนั้นก็ยังมีข้อดี และมีข้อเสียตามมาด้วย ซึ่งก็คือผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นมลภาวะทางน้ำ มลภาวะทางเสียง มลภาวะทางอากาศ ฯลฯ ซึ่งส่งผลให้คุณภาพชีวิตของมนุษย์แย่ลง ในปัจจุบันจึงได้มีการศึกษาค้นคว้า พัฒนาวิธีการต่างๆเพื่อที่จะนำมาจัดการกับผลกระทบต่างๆ ที่ทำให้คุณภาพชีวิตของมนุษย์แย่ลง ตั้งแต่การแก้ปัญหาในระดับพื้นฐาน ไปจนถึงระดับอุตสาหกรรม ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังอยู่ในยุคอุตสาหกรรม ซึ่งทำให้ประสบปัญหาต่างๆดังที่กล่าวมาข้างต้น

### 1.2 วัตถุประสงค์ในการทำโครงการ

1. เพื่อศึกษาการดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต
2. เพื่อศึกษาแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงในการทำให้เกิดการแตกตัวของก๊าซ
3. เพื่อนำเครื่องต้นแบบไปใช้งานจริง

### 1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาลักษณะการแตกตัวของอากาศ และประโยชน์ทางการจับอนุภาค
2. ศึกษา และคัดเลือกแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง
3. ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาประกอบโครงการ
4. ทดลองออกแบบส่วนดักจับฝุ่นที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

6. ทดสอบระบบโดยรวม รวมทั้งประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องดักจับฝุ่น
7. ออกแบบ และทดลองเครื่องผลิตก๊าซไอโซน
8. ทดสอบเพื่อหาปริมาณของก๊าซไอโซนที่สามารถผลิตออกมาได้
9. ทดสอบเครื่องกรองอากาศที่ประกอบไปด้วย เครื่องกรองฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต และเครื่องผลิตก๊าซไอโซน

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำโครงการ

1. สามารถเข้าใจปรากฏการณ์ของไฟฟ้าสถิต เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานได้
2. เข้าใจหลักการทำงานของแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงหลายๆแบบ
3. เข้าใจถึงปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาในการทำโครงการ
4. มีประสบการณ์ในการค้นคว้าหาข้อมูล อุปกรณ์ และวิธีการที่จำเป็นสำหรับการจัดทำโครงการ
5. สามารถใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า และการประเมินค่าทางสถิติในการทดลองจริงได้

#### 1.5 เครื่องกรองฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต

การใช้แรงดูดทางไฟฟ้าสถิตเพื่อรวบรวมฝุ่น หรืออนุภาคขนาดเล็ก ถูกคิดค้นครั้งแรกโดย โฮเฟล(Hohlfeld) ในปี ค.ศ. 1824 ในประเทศเยอรมนี แต่ยังไม่ได้มีการศึกษาอย่างจริงจังจนกระทั่ง โอลิเวอร์ ลอดจ์ (Oliver Lodge) ได้จดลิขสิทธิ์เครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตสำหรับรวบรวมฝุ่น ที่เกิดจากการถูกรั้วในเหมืองขึ้นเป็นคนแรกในปี ค.ศ. 1880 แต่ถึงอย่างนั้นในช่วงแรกของการพัฒนาตัวเครื่องต้นแบบยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าและเนื่องจากในช่วงเวลานั้นยังไม่มีแหล่งจ่ายไฟที่มีค่าสูงเพียงพอสำหรับการดักจับฝุ่น จนสุดท้ายในปี ค.ศ. 1907 ก็สามารถพัฒนาเครื่องดักจับฝุ่นจนสำเร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต นั้นเป็นอุปกรณ์รวบรวมฝุ่น หรืออนุภาคขนาดเล็ก โดยใช้พลังงานไฟฟ้าในการแยกฝุ่นโดยตรง เครื่องดักจับฝุ่นที่ได้พัฒนาขึ้นในโครงการนี้ ได้อาศัยรูปแบบเครื่องดักจับฝุ่น ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นต้นแบบ แต่ได้ทำการปรับปรุงรูปแบบขนาด และวิธีการใช้งาน ให้เหมาะสมกับสถานที่ใช้งานและระยะเวลา รวมทั้งค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินการศึกษา โดยออกแบบให้มีความสามารถในการทำให้อากาศแตกตัว (Ionize) เป็นไอออน ซึ่งไอออนเหล่านี้จะไปประทะกับอนุภาคของฝุ่น ทำให้เกิดการถ่ายเทประจุให้กับอนุภาคของฝุ่น จากนั้นฝุ่นที่มีประจุเกาะติดจะลอยไป สู่แผ่นดักจับฝุ่นที่มีประจุตรงข้ามกัน และยังประกอบไปด้วยระบบดูดอากาศ ซึ่งใช้พัดลมระบายอากาศชนิดแรงเหวี่ยง และมีอุปกรณ์ให้แรงสั่นสะเทือนแก่แผ่นรวบรวมฝุ่น เพื่อทำให้ฝุ่นที่เกาะติดกับขั้วรวบรวมฝุ่น (Collection Electrode) สามารถหลุดลงสู่ถาดเก็บฝุ่นด้านล่างได้เมื่อได้รับแรงสั่น โดยใช้มอเตอร์สั่น (Vibrator Motor)

ส่วนแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงที่ให้กับระบบ ใช้แหล่งจ่ายแบบสวิตซิ่ง (Switching Power Supply) ผสมกับวงจรทวีแรงดัน (Voltage Multiplier) เพื่อผลิตแรงดันไฟฟ้าให้ได้สูงมาก ที่จะทำให้สามารถดักจับฝุ่นที่ผ่านเข้ามา และมีประสิทธิภาพ เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าแก่ส่วนแผ่นดักจับฝุ่น เมื่อรูปแทนอนุภาคของฝุ่น สามารถสรุปข้อดีข้อเสียของเครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตได้ดังนี้

#### ตารางที่ 1.1 ข้อดีข้อเสียของเครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตได้ดังนี้

ข้อดี	ข้อเสีย
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นสูง คืออยู่ในช่วง 80 - 99.9 % ในขนาดฝุ่น 0.01 ไมโครเมตร</li> <li>2. ค่าใช้จ่ายในการทำงานต่ำ</li> <li>3. ระยะในการเริ่มทำงานน้อยมาก อยู่ในช่วง 0.1-1 วินาที</li> <li>4. สะดวกในการทำความสะดวกฝุ่นออก</li> <li>5. ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งน้อย</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งค่อนข้างสูง</li> <li>2. อาจเกิดก๊าซโอโซน ซึ่งเป็นก๊าซที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ซึ่งสามารถเกิดได้จากขั้วปล่อยประจุระหว่างการไอออนในเซชันของก๊าซ</li> </ol>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## 1.6 เครื่องผลิตก๊าซโอโซน

โอโซนถูกค้นพบครั้งแรกในปี พ.ศ. 2538 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ชื่อว่า C.F. Schonbein ต่อมาในปี พ.ศ. 2431 ได้จดลิขสิทธิ์ชื่อว่า “ก๊าซโอโซน” ซึ่งก๊าซโอโซนสามารถละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในรูปของสารละลายโอโซนที่มีคุณสมบัติเป็นสารที่ไวกำจัดเชื้อโรค ซึ่งคุณสมบัติของก๊าซโอโซนสามารถสรุปออกเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1. สามารถตกกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้
2. ก๊าซโอโซนจะใช้เวลาในการสลายตัวในอากาศไม่นาน ทำให้ไม่มีสารพิษหลงเหลืออยู่ในอากาศ หรือในน้ำ
3. สามารถใช้ในการกำจัดเชื้อโรคสำหรับในอุตสาหกรรม และในครัวเรือน
4. สามารถกำจัดไวรัส แบคทีเรีย เชื้อรา
5. สามารถทำลายสารพิษ หรือสารชีวพิษ
6. กำจัดสี หรือฟอกสี
7. สามารถใช้เป็นสารออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์

### ข้อเสียของก๊าซโอโซน

1. หากได้รับก๊าซโอโซนในปริมาณมากจะทำให้เกิดอันตรายได้
2. ควรใช้ในพื้นที่ ที่อากาศถ่ายเท ไม่ควรใช้ในพื้นที่อับ

และเนื่องจากประเทศไทยในตอนนี้ประสบปัญหาในเรื่องของการแพร่ระบาดของของไวรัส COVID-19 ซึ่งมีการติดต่อทางด้านการหายใจรวมกันกับผู้ป่วย หรือการที่สัมผัสเชื้อจากพื้นผิวสิ่งของที่ถูกละอองจากระบบทางเดินหายใจของผู้ป่วย เมื่อผู้ป่วยไอหรือจาม จะส่งผลให้เกิดการติดเชื้อ COVID-19 ได้ และประกอบกับในอากาศนั้นยังมีเชื้อโรค แบคทีเรีย และสิ่งสกปรกในอากาศรวมอยู่ด้วย

การแก้ไขปัญหาในเรื่องของฝุ่นที่เกิดขึ้นในอากาศนั้น ส่วนใหญ่แก้ปัญหาด้วยการใช้แผ่นกรองอากาศ ต้นไม้ที่ดูดซับฝุ่น การปิดที่อยู่อาศัยให้มิดชิด หรือแม้แต่การซื้อเครื่องฟอกอากาศที่มีราคาแพง ส่วนในเรื่องของ เชื้อโรค สิ่งสกปรกในอากาศ แบคทีเรีย ก็จะแก้ปัญหาด้วยการ ซื้อเครื่องปรับอากาศที่มีฟังก์ชันในการกำจัด แบคทีเรีย กำจัดเชื้อโรคในอากาศ ซึ่งที่กล่าวมานั้นเป็นสิ่งที่ค่อนข้างแพง และบางสิ่งอาจจะทำให้เกิด ขยะ หรือมลพิษได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ซึ่งโครงการนี้ได้ทำการศึกษา และนำหลักการของทั้งสองอย่างมารวมกัน คือ

1. หลักการของเครื่องกรองฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต
2. หลักการของเครื่องผลิตโอโซนมารวมกัน

เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และมีราคาที่ย่อมเยาที่สุดเมื่อเทียบกับสินค้าข้างต้นแล้ว โดยในโครงการนี้จะใช้หลักการทางอิเล็กทรอนิกส์กำลัง มาปรับใช้เพื่อแก้ไขปัญหาลำนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีฝุ่น (Dust theory)

ฝุ่น (Dust) หมายถึง มลสารอนุภาค (Particulate Matter) ซึ่งมีสถานะเป็นของแข็งเท่านั้น ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 1 ไมครอนขึ้นไป และสามารถแขวนลอยในอากาศได้ชั่วคราว และถ้าหากอนุภาคนี้มีขนาดโตมากกว่า 100 ไมครอน อาจเรียกว่า อนุภาคหยาบ (Coarse Particle) และขนาดที่เล็กกว่า 100 ไมครอน จะเรียกว่า อนุภาคละเอียด (Fine Particle)

สาเหตุของการเกิดฝุ่นนั้นมีได้หลากหลายสาเหตุ เช่น ฝุ่นบางชนิดอาจจะเกิดในขั้นตอนการผลิต หรืออาจจะเกิดจากขั้นตอนการแปรรูปวัตถุดิบ หรืออาจจะเกิดจากการขนย้ายวัตถุ เป็นต้น ซึ่งผลกระทบของฝุ่นจะทำให้สภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยต่อผู้ที่ทำงานหรืออาศัยอยู่ในพื้นที่ดังกล่าวได้ โดยที่ผลกระทบเหล่านี้จะไม่ส่งผลในระยะสั้น แต่จะส่งผลในระยะยาว เพราะว่าฝุ่นเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคต่างๆ และฝุ่นบางชนิดอาจจะส่งผลร้ายแรงต่อชีวิต

2.1.1 ความหมายของฝุ่นละออง คือ ฝุ่นละออง (Particulate Matter) คือ อนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่ลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งเกิดจากวัตถุที่ถูกทุบ ตี บด กระทบจนแตกออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ เมื่อถูกกระแสลมพัดก็จะปลิวกระจายตัวอยู่ในอากาศ และตกลงสู่พื้น ซึ่งเวลาในการตกจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับน้ำหนักของอนุภาคฝุ่นแหล่งกำเนิดของฝุ่นจะแสดงถึงคุณสมบัติความเป็นพิษของฝุ่นด้วย เช่น แอสเบสตอส ตะกั่ว ไฮโดรคาร์บอน กัมมันตรัง เป็นต้น

2.1.2 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

2.1.2.1 ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Particle) เกิดจากกระแสลมที่พัดผ่านตามธรรมชาติทำให้เกิดฝุ่น เช่น ดิน ทราย ละอองน้ำ เขม่าควันจากไฟฟ้า เป็นต้น

2.1.2.2 ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมที่มนุษย์ (Man-made Particle) เช่น ฝุ่นละอองที่เกิดจากการคมนาคมเช่น การขนส่ง รถบรรทุกดิน บรรทุกทราย หรือปูนซีเมนต์ ฝุ่นที่เกิดจากการก่อสร้าง เช่น การก่อสร้างอาคารสูงๆ ทำให้ผงปูนซีเมนต์ถูกลมพัดจากอาคาร การรื้อถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

การทำลายสิ่งก่อสร้าง หรืออาคาร เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การไหม้เชื้อเพลิง หรือกระบวนการผลิตสินค้าที่มีฝุ่นออกมา

### 2.1.3 ผลกระทบของฝุ่นละออง โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ คือ

2.1.3.1 ผลกระทบต่ออากาศ โดยที่ฝุ่นละออง จะลดความสามารถในการมองเห็น ทำให้ทัศนวิสัยไม่ดี เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นอนุภาคของแข็งที่ดูดซับและหักเหแสงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและความหนาแน่น และองค์ประกอบของฝุ่นละออง

2.1.3.2 ผลกระทบต่อวัตถุ และสิ่งก่อสร้าง โดยที่ฝุ่นละอองที่ตกลงมา นอกจากจะทำให้เกิดความสกปรกแก่บ้านเรือน อาคาร สิ่งก่อสร้างแล้ว ยังทำให้เกิดการทำลายและกัดกร่อนผิวหน้าของโลหะ หินอ่อน หรือวัตถุอื่นๆ เช่น รั้วเหล็ก หลังคาสังกะสี รูปปั้น

2.1.3.3 ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ นอกจากฝุ่นละอองจะก่อให้เกิดอาการระคายเคืองตาแล้ว ยังทำอันตรายต่อระบบหายใจเมื่อเราสูดเอาอากาศที่มีฝุ่นละอองเข้าไป โดยอาการระคายเคืองนั้นจะเกิดขึ้นตามส่วนต่างๆ ของระบบทางเดินหายใจขึ้นอยู่กับขนาดของฝุ่นละออง โดยฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ร่างกายจะดักไว้ได้ที่จมูก ส่วนฝุ่นที่มีขนาดเล็กนั้นสามารถเล็ดลอดเข้าไปในระบบหายใจ ทำให้ระคายเคืองแสบจมูก ไอ จาม มีเสมหะ หรือมีการสะสมของฝุ่นในถุงลมปอด ทำให้การทำงานของปอดเสื่อมลง และโดยทั่วไปฝุ่นละออง ที่มีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน จะส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยฝุ่นขนาดเล็กจะสามารถผ่านเข้าไปในระบบหายใจได้ ดังนั้น องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (Environmental Protection Agency -EPA) ให้ความสนใจกับฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็ก โดยแบ่งออกเป็น 2 ขนาด คือ

- PM 10 หมายถึง ฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ไมครอน และมีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 2.5 – 10 ไมครอน โดยฝุ่นเกิดจาก ถนนที่ไม่ได้ลาดยาง โรงงานไม้ เป็นต้น โดยที่ PM 10 นั้นเป็นสาเหตุของโรคหอบหืด (Asthma) และโรคทางเดินหายใจบางชนิด

- PM 2.5 หมายถึง ฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ไมครอน โดยฝุ่นเกิดจากการเผาไหม้ของรถยนต์ กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยที่ PM 2.5 นั้นมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคหัวใจ และโรคปอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยของคุณภาพอากาศ (PM 2.5)

ระดับของฝุ่น	การแปลความหมายคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษประเทศไทย	สีที่ใช้ของกรมควบคุมมลพิษประเทศไทย
0 – 25	คุณภาพอากาศดีมาก	
26 – 50	คุณภาพอากาศดี	
51 – 100	คุณภาพอากาศปานกลาง	
101 – 150	เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ	
151 – 200	เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ	
201 – 300	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	
301 – 500 >	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	

## 2.2 เครื่องดักจับฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต

กล่าวถึงในเรื่องของทฤษฎีการแตกตัวของอากาศ ซึ่งเป็นเรื่องที่สำคัญในการทำงานของเครื่องดักจับฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต ซึ่งจะสามารถทำให้เข้าใจถึงหลักการทำงานของเครื่องได้เป็นอย่างดี และสามารถกำหนดรูปแบบ ขนาดของเครื่อง ที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน และในบทหลังจะกล่าวถึงทฤษฎีแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงแบบต่างๆที่นำมาใช้ในโครงงานนี้

## 2.3 ทฤษฎีการเกิดประจุด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต

2.3.1 หลักการการเกิดประจุ คือ การเกิดประจุ จะเกิดจากการเสียดสีกันระหว่างวัตถุสองชนิด ซึ่งเราไม่สามารถควบคุมค่าของประจุที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากการเกิดประจุจะเปลี่ยนไปตามสภาพวัตถุ สภาพอากาศ ฯลฯ แต่เมื่อทำการประจุลงบนพื้นผิวที่มีการกำหนดทิศทางแน่นอน จะทำให้เกิดการคายประจุเป็นรูปร่างกลม หรือเรียกว่า โคโรนาดิสชาร์จ (Corona Discharge) ซึ่งส่งผลทำให้เกิดไอออนที่มีขั้วเดียวกันหมดกระจายอยู่ทั่วบริเวณพื้นผิว ซึ่งสามารถควบคุมอัตราการเกิดประจุได้จาก ค่าพื้นที่ผิวกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใส่เข้าไป

ปรากฏการณ์โคโรนาดิสชาร์จ (Corona Discharge) จะเกิดขึ้นเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่มีค่าเอกสารนี้เป็นสูงมากระหว่างขั้วไฟฟ้าสองขั้ว แล้วทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอ และสนามไฟฟ้านี้จะก่อให้เกิดการไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

คายประจุในขอบเขตที่จำกัด ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้ว ซึ่งอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณนี้ จะถูกเร่งให้ไปชนกับอะตอม และหลังจากนั้นอะตอมจะปลดปล่อยอิเล็กตรอน ทำให้อะตอมกลายเป็นไอออนบวก ส่วนอิเล็กตรอนที่เพิ่มขึ้นจะถูกเร่งให้เกิดคู่อิเล็กตรอนและไอออนบวกเช่นนี้เพิ่มขึ้นไปอีก ส่งผลให้เกิดอิเล็กตรอนขึ้นจำนวนมาก โดยจะทำให้เกิดแสงขึ้นในกระบวนการไอออนไนเซชัน ซึ่งจะมีลักษณะเป็นแสงเรืองที่สามารถมองเห็นได้บริเวณขั้วไฟฟ้า เรียกการคายประจุแบบนี้ว่า ปฏิกิริยาการคายประจุเป็นวงกลม ซึ่งจะใช้คำนี้อ้างอิงถึงตลอดในโครงงานนี้

เนื่องจากไอออนลบ หรืออิเล็กตรอน (Electron) และไอออนบวก หรือโปรตรอน (Proton) นั้นมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เป็นลบสูงมาก จะเกิดอิเล็กตรอนขึ้นระหว่างขั้วทั้งสอง ซึ่งจะเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า และแยกตัวออกเป็นอะตอมที่เป็นกลาง และอิเล็กตรอนที่อิสระ อิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้จะถูกเร่งให้ห่างออกไปจากจุดที่เป็นขั้วลบ และเข้าสู่จุดที่เป็นขั้วบวก โดยสนามไฟฟ้าที่มีค่าสูงมากเกิดจากการแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่จ่ายเข้าให้กับขั้วทั้งสอง สำหรับอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานสูงมากพอที่จะเกิดการไอออนไนเซชัน (Ionization) อะตอมใดๆ ก็ตามที่มาชนจะทำให้เกิดกระบวนการทวีคูณอิเล็กตรอน (The Electron Multiplication) นี้อย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งอิเล็กตรอนตัวใหม่ถูกเร่งห่างออกไปถึงจุดที่มันไม่สามารถรับพลังงานค่าที่เหมาะสมจากสนามไฟฟ้าระหว่างการชน เพื่อที่จะทำให้เกิดการไอออนไนเซชัน อะตอมต่อไปได้อีก อิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานมากพอ จากสนามไฟฟ้าจะชนกับขั้วไฟฟ้า และปล่อยอิเล็กตรอนลำดับสอง (Secondary Electron) ซึ่งจะรวมกับการคายประจุจากขั้ว และจะเกิดการไอออนไนเซชัน แบบแสงขึ้น (Photoionization) ในอากาศ อิเล็กตรอนซึ่งมีพลังงานไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิด คู่อิเล็กตรอนและไอออนบวก จะไปชนกับอะตอมที่เป็นกลาง ทำให้เกิดไอออนที่เป็นลบขึ้นมา ซึ่งไอออนเหล่านี้จะทำให้เกิดค่ากระแสจำนวนมากนอกบริเวณที่เกิดไอออนไนเซชัน

เมื่อขั้วไฟฟ้าถูกทำให้มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก อิเล็กตรอนซึ่งถูกไอออนไนเซชันในบริเวณที่มีค่าสนามไฟฟ้าสูงมากจะถูกดึงเข้าไปที่จุดนี้ ส่วนไอออนบวกก็จะเคลื่อนไปยังแผ่นโลหะ โดยไอออนบวกที่วิ่งอยู่จะไปชนกับโมเลกุลที่เป็นกลาง และสูญเสียพลังงานให้กับมัน แต่จะไม่เกิดการไอออนไนเซชัน หลังจากนั้นไอออนบวกจะวิ่งไปถึงขั้วลบ ซึ่งตอนนั้นมีพลังงานในตัวค่อนข้างต่ำ ไม่สามารถทำให้เกิดอิเล็กตรอนอันดับสองได้ ส่วนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นบริเวณที่เกิดการไอออนไนเซชัน ก็จะเคลื่อนไปทางขั้วบวก ทำให้เกิดการแตกตัวของอิเล็กตรอนและไอออนจำนวนมากในก๊าซด้วย การใช้การคายประจุเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
แม้ว่ากรณีใด ๆ ที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้แต่เพียงอย่างเดียวก็ตาม และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เกิดการปลดปล่อยทางแสงจากขั้วไฟฟ้าได้ และกระแสที่เกิดขึ้นในบริเวณที่ว่าง นอกบริเวณไอออนเซชัน ก็เกิดโดยไอออนที่มีขั้วเดียวกัน

เมื่อให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เป็นบวกกับขั้วที่เป็นเส้นลวด ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นคือ อิเล็กตรอน จะกระจายอยู่ทั่วตามเส้นลวด มีลักษณะคล้ายหมอกห่อหุ้มเส้นลวดอยู่ แต่ถ้าหากใช้ศักย์ไฟฟ้าที่เป็นลบ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์การคายประจุ มีลักษณะเป็นวงกลม หรือจุดกลมๆ ตลอดทั้งเส้นลวด โดยเส้น ผ่านศูนย์กลางของการเรืองแสงจะเพิ่มขึ้น เมื่อให้ค่าศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

การคายประจุทั้งบวก และลบในช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้า จะเป็นการเคลื่อนที่ของ ไอออน ที่ทำให้เกิดการชนกับโมเลกุลที่เป็นกลางบ่อยครั้งขึ้น โดยขึ้นอยู่กับขนาดของไอออน ผลที่เกิดขึ้น คือเกิดการถ่ายเทโมเมนตัม จากตัวไอออนไปสู่ตัวโมเลกุลที่ให้ก๊าซที่เคลื่อนที่อย่างมากในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้าสถิต โดยเกิดขึ้นจากไอออนจำนวนมาก และเกิดขึ้นโดยได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้า แต่อากาศไม่ได้มีเพียงเฉพาะไอออนเท่านั้นที่เคลื่อนที่ แต่รวมถึงการเคลื่อนที่ของก๊าซด้วยความเร็วลม

ไอออนที่เกิดขึ้นในการคายประจุแบบวงกลม จะขยายสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสอง โดยทำให้ค่าสนามไฟฟ้าใกล้ขั้ว ที่เป็นลวดมีค่าลดลงแต่จะเพิ่มค่าสนามที่อยู่ใกล้กับแผ่นโลหะ ผลคือ สนามไฟฟ้าที่ถูกเปลี่ยนแปลงโดยไอออนนี้จะไม่สม่ำเสมอ แต่สนามไฟฟ้าที่อยู่บริเวณที่ว่างระหว่างขั้วอาจ ถือได้ว่ามีค่าสม่ำเสมอได้ซึ่งสามารถประมาณค่าจากสมการ

$$\Delta V = Ed \quad (2.1)$$

โดยที่

<b>d</b>	หมายถึง ระยะห่างระหว่างขั้วทั้งสอง
<b><math>\Delta V</math></b>	หมายถึง ความต่างศักย์ที่ให้กับขั้วทั้งสอง
<b>E</b>	หมายถึง สนามไฟฟ้า

ปรากฏการณ์ โครโรนาดีสชาร์จ ส่วนใหญ่จะอธิบายโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส (Current) และค่าศักย์ไฟฟ้า(Voltage) ซึ่งการใช้ศักย์ไฟฟ้าบวก หรือศักย์ไฟฟ้านลบจะให้ความแตกต่าง

เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ข้อแตกต่างสำคัญอย่างหนึ่ง คือ ถ้าใช้ศักย์ไฟฟ้าที่เป็นบวกจะทำให้เกิดประกาย  
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับกรรเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ไฟง่ายกว่า เมื่อเทียบการใช้ศักย์ไฟฟ้าที่เป็นลบ ซึ่งในทางปฏิบัติ ถ้าเลือกได้ปกติจึงนิยมใช้ค่าศักย์ไฟฟ้าลบมากกว่า

ค่าศักย์ไฟฟ้าที่จะทำให้เริ่มเกิดการคายประจุเป็นวงกลมนี้ (Corona Inception Voltage) ค่อนข้างที่ละเอียดมาก คือ ค่าที่เมื่อกระแสเพิ่มขึ้นทันทีจากค่าที่สามารถตัดทิ้งไปอยู่ที่ระดับ 1 ไมโครแอมแปร์ โดยมีความสัมพันธ์เป็น

$$I = KV(V - V_0) \quad (2.2)$$

โดยที่  $V_0$  หมายถึง ค่าศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นที่จะทำให้เกิดการคายประจุเป็นวงกลม หรือปรากฏการณ์ โคโรนาดีสชาร์จ

$K$  หมายถึง ค่าคงที่ ที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของตัวเครื่องซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งกับขั้วที่เป็นจุด เป็นแผ่น หรือเป็นทรงกลม

โดยสรุปปรากฏการณ์ โคโรนาดีสชาร์จอย่างอธิบายแบบอย่างง่าย ๆ ได้ว่าจะประกอบด้วยค่าสนามไฟฟ้าแรงสูงที่ทำให้เกิดการไอออนเซชัน ของก๊าซใกล้กับจุดที่ปล่อยประจุ ซึ่งประจุที่เกิดขึ้นเป็นได้ทั้งชนิดไอออนบวก และไอออนลบ

2.3.2 การคำนวณค่าประจุที่เกิดขึ้นบนแผ่นโลหะ จากการที่ไอออนที่เกิดจากการคายประจุเป็นวงกลมนี้ สามารถนำไปประจุบนแผ่นผิวระนาบได้ สำหรับแผ่นที่เป็นฉนวน และถูกแบ่งแยกออกจากกัน ความหนาแน่นประจุจะถูกจำกัดโดยค่าไอออนเซชันของอากาศ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อค่าสนามที่ผิวมีค่าประมาณ  $3 \times 10^8$  โวลต์ต่อเมตร ส่วนค่าสนามพัง (Breakdown Field) จะใช้สัญลักษณ์  $E_b$  และค่าสนามไฟฟ้าจะใช้สัญลักษณ์  $E$  โดยที่สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิว จะมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นประจุ โดยสามารถใช้กฎของเกาส์ ได้ตามสมการ ข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

จากความหนาแน่นประจุบริเวณพื้นผิว จะสอดคล้องกับค่าสนามพ้ง ดังนั้นจะได้ว่า

$$Q_0 = \epsilon_0 E_b \quad (2.3)$$

ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ  $2.64 \times 10^{-6}$  คูลอมบ์ต่อลูกบาศก์เมตร

สนามไฟฟ้าของการคายประจุเป็นวงกลม ที่บริเวณที่เป็นแผ่นนั้นปกติจะมีค่าเท่ากับ  $3 \times 10^8$  โวลต์ต่อเมตร ซึ่งก็คือเมื่อแทนค่าแล้วความหนาแน่นประจุที่ผิวนี้จะมีค่าเพียง  $2.64 \times 10^{-6}$  คูลอมบ์ต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเพียงพอที่จะขับไอออนให้เคลื่อนที่ต่อไปได้

ค่าความหนาแน่นของประจุที่พื้นผิวที่มีมากที่สุดจะเพิ่มขึ้น โดยการใส่แผ่นที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ หลังแผ่นที่เป็นฉนวนอีกทีหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เกิดประจุขึ้นในแผ่นที่เป็นโลหะ และจะไปลดค่าสนามที่เกิดขึ้นที่ผิวลง เมื่อใช้แผ่นที่มีฉนวนที่บางๆ เคลือบอยู่ ซึ่งจะทำให้แยกได้ ยกเว้นแผ่นที่เป็นโลหะ ทำให้เกิดการแยกประจุออกเป็น 2 ส่วน และทำให้สนามไฟฟ้าที่ผิวลดลงจนเป็นศูนย์สู่ประจุที่ผิว และประจุเสมือนที่เกิดขึ้นอาจจะถือเป็นตัวเก็บประจุ ซึ่งสนามไฟฟ้าทั้งหมดจะอยู่ระหว่างแผ่นโลหะนั้นแต่ในความเป็นจริงแล้ว จะเกิดค่าสนามไฟฟ้าน้อยๆ ที่บริเวณผิว เนื่องจากไม่ได้เป็นตัวเก็บประจุที่สมบูรณ์แบบจริงๆ

เมื่อค่าของสนามไฟฟ้าที่อยู่เหนือผิวโลหะมีค่าต่ำ ค่าประจุจะถูกจำกัดโดยการรั่วไหลแทนที่จะเป็นการพ้งของสนามไฟฟ้า การประมาณค่าของศักย์ไฟฟ้าบริเวณพื้นผิว ( $V_p$ ) จะทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ากระแสและศักย์ไฟฟ้าของการคายประจุเป็นวงกลม เมื่อมีการเคลื่อนที่ของบางๆที่แผ่นโลหะ โดยกระแสรั่วไหลที่เกิดขึ้น มีค่าเป็น

$$I_L = \frac{V_p}{R} \quad (2.4)$$

โดยที่  $I_L$  หมายถึง กระแสที่รั่วไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$V_p$  หมายถึง ค่าศักย์ไฟฟ้าบริเวณพื้นผิว

$R$  หมายถึง ความต้านทานระหว่างผิวโลหะ และกราวด์ (สำหรับวัสดุที่เป็นฉนวน จะไม่เป็นไปตามกฎของโอห์ม และค่าของ  $R$  จะขึ้นอยู่กับ  $V_p$ )

ขณะที่เกิดประจุขึ้นจากการคายประจุเป็นวงกลมบนพื้นผิว ( $V_p$ ) จะเพิ่มขึ้นและกระแสรั่วไหล ( $I_L$ ) ก็เพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามขณะที่ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวเพิ่มขึ้น ค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วที่เกิดการโคโรน่า และพื้นผิวโลหะจะมีค่าลดลง และกระแสที่เกิดจากประจุ ( $I_0$ ) ก็จะลดลง เมื่อกระแสรั่วไหลมีค่าเท่ากับค่ากระแสที่เกิดจากการประจุ ก็จะถึงขีดจำกัดของการประจุบนแผ่นโลหะได้

และค่าของ กระแสโคโรน่า จะมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์ระหว่างขั้วที่ปล่อยประจุกับแผ่นโลหะ  $V - V_p$  คือ

$$I_0 = K(V - V_p)(V - V_p - V_0) \quad (2.5)$$

โดยที่  $K$  สามารถหาได้จาก ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของกระแสและศักย์ไฟฟ้าของการคายประจุเป็นวงกลม เมื่อใส่แผ่นโลหะไปแทนผิวที่เป็นฉนวน จากค่า  $I_L$

$I_0$  และ  $I_L$  จะสามารถหาค่า  $V_p$  เมื่อทำการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่เริ่มเกิดปรากฏการณ์โคโรน่า และค่าคงที่โคโรน่า คือค่า  $K$  และค่าความต้านทาน  $R$

2.3.3 การประจุแบบโคโรน่าให้กับอนุภาค เมื่อมีอนุภาคอยู่ในสนามไฟฟ้าที่มีค่าสม่ำเสมอ จะเกิดปรากฏการณ์โพลาริเซชัน ซึ่งจะเกิดการดึงดูดไอออนที่มีขั้วต่างกับตัวของอนุภาค ที่เป็นกลางที่จะถูกประจุได้โดยนำอนุภาคไปติดกับไอออนที่มีขั้วเพียงขั้วเดียวและจะคายประจุ โดยเมื่อไปอยู่ในสนามที่มีการไอออไนเซชัน ทั้งบวกและลบ

จำนวนประจุที่มาถึงตัวอนุภาคนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าของสนามไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาค ซึ่งก็คือการคำนวณค่าประจุสูงสุดที่สม่ำเสมอที่สุดที่สามารถอยู่บนอนุภาคนั้น ซึ่งจะพิจารณาถึงความนำของวัตถุที่เป็นทรงกลมในสนามไฟฟ้าที่มีค่าสม่ำเสมอค่าสนาม และจะมีค่าลดลงเนื่องมาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การตลาดของสนามจะเกิดขึ้นเนื่องจากการนำที่ผิวของอนุภาคทรงกลม และขั้วไฟฟ้าที่เป็นแผ่นโลหะซึ่งจะไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดสนามสมำเสมอโดยมีค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากันหมด ดังนั้นเส้นแรงสนามไฟฟ้าจะต้องเกิดการ फैน (ลดลง) เพื่อจะคงความตรงของเส้นศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าเท่ากันตลอดไว้

จากรูปที่ 2.1 เป็นรูปของอนุภาคทรงกลมที่เป็นตัวนำที่อยู่ในสนามที่มีค่าสนามสมำเสมอ ไอออนบวกที่อยู่สนามไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของสนามตามทิศของลูกศร ส่วนไอออนลบจะเคลื่อนที่ไปยังฝั่งตรงข้ามดังนั้นเมื่ออนุภาคอยู่ในสนามไฟฟ้าไอออนในเซชัน ที่มีประจุเพียงค่าเดียว ซึ่งเกิดจากการคายประจุเป็นวงกลม ตัวไอออนจะไหลไปตามทิศของเส้นแรงสนาม และเพิ่มประจุให้กับอนุภาค เมื่ออนุภาคได้รับประจุแล้วค่าศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคก็จะเปลี่ยนแปลงทำให้สนามไฟฟ้ามีค่าลดลง หรือมีความ फैนเกิดขึ้น



รูปที่ 2.1 อนุภาคของตัวนำที่เป็นทรงกลมเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า

ก. เมื่ออนุภาคไม่มีประจุ

ข. เมื่ออนุภาคมีประจุบวก

หลังจากทำการประจุให้กับอนุภาค หรือพิจารณาว่ามีประจุไอออนบวก และลบกระจายอยู่ทั่วพื้นผิว อนุภาคในปริมาณที่เท่ากัน และจากในรูปที่ 2.1 ข) ซึ่งไอออนบวกจะสะสมอยู่ที่บริเวณพื้นผิวเล็กๆ จะ เอกสารนี้เป็นพบว่าถ้าอนุภาคอยู่ในสนามไฟฟ้าที่มีไอออนทั้งค่าบวก และลบ (เช่นที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับ) ตัว อนุภาค ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

อนุภาคจะจับไอออนลบไว้ทั่วพื้นผิวส่วนที่ใหญ่กว่า ทำให้มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า เมื่อพิจารณารูป 2.2 ก) อีกครั้งถ้าไอออนทั้งสองมีสภาพคล่องตัวไม่เท่ากัน อนุภาคก็จะจับไอออนไว้บนพื้นผิวของมันทั้งหมดก็จริง แต่จะมีขั้วไฟฟ้าตามไอออนตัวที่มีสภาพคล่องสูงกว่าหรือตัวที่เคลื่อนที่เร็วกว่านั่นเอง ทำให้ผลรวมของประจุไม่เป็นศูนย์

ในสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการไอออนในเซชัน ที่มีขั้วทางไฟฟ้าเพียงขั้วเดียว ซึ่งเกิดจากการคายประจุเป็นวงกลมด้วยไฟฟ้ากระแสตรง อนุภาคจะถูกประจุให้จนอิ่มตัว เมื่อสนามดึงดูด (Attractive Field) เนื่องจากความเพี้ยนของสนามมีค่าเท่ากับสนามผลักดัน (Repulsive Field) และเนื่องจากประจุที่อยู่บนตัวอนุภาค และผลสุดท้ายคือจะไม่มีการประจุให้กับอนุภาคอีก ค่าประจุสูงสุดซึ่งอนุภาคสามารถรับได้เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ โดยที่ไอออน ที่มีขั้วเพียงชนิดเดียวนั้นคำนวณได้จากแรงเนื่องจากการเพี้ยนของสนาม (ใช้วิธีการแปลงลาปลาซ (Laplace's Equation)) และแรงผลักดันเนื่องจากอนุภาคที่มีประจุโดย  $q_{max}$  คือค่าประจุสูงสุดดังกล่าว

$$q_{max} = 4\pi\epsilon_0 a^2 pE \quad (2.6)$$

เมื่อ

$$p = \frac{3\epsilon_T}{\epsilon_T + 2} \quad (2.7)$$

เมื่อค่าของ  $p$  จะใช้ได้ทั้งอนุภาคที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน และตัวนำ โดยที่ค่าของ  $p$  จะเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่างอนุภาคที่เป็นตัวนำ (มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเท่ากับอนันต์) และ มีค่าเป็น 1 สำหรับกรณีที่มีอนุภาคที่เป็นฉนวน (มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเท่ากับ 1)

จากสมการจะพบว่าค่าประจุสูงสุดจะแปรผันตรงกับค่าสนามไฟฟ้า และกำลังสองของค่ารัศมีของอนุภาค และขึ้นกับค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเพียงเล็กน้อย แต่จะไม่ขึ้นกับความหนาแน่นของจำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ไอออน บังคับต่างๆเหล่านี้จะมีผลกระท้อมเมื่ออยู่ในช่วงเวลาที่ใช้ในการทำให้ประจุบนอนุภาคอิมตัว และจากประจุบนตัวอนุภาคที่เวลา  $t$  ใด ๆ หาได้จาก

$$q = q_{max} \left( \frac{1}{1 + \frac{t}{\tau}} \right) \quad (2.8)$$

โดยที่  $\tau$  หมายถึง เวลาที่ใช้ทำให้ประจุบนอนุภาคมีค่ากึ่งหนึ่งของค่าประจุอิมตัว ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$\tau = \frac{4\epsilon_0}{N_0 e b} \quad (2.9)$$

โดยที่  $N_0$  หมายถึง ค่าความหนาแน่นของไอออน (ตัวต่อลูกบาศก์เมตร)  
 $b$  หมายถึง ค่าสภาพคล่องตัวของไอออน หาได้จากสมการด้านล่าง

$$b = \frac{u}{E} \quad (2.10)$$

โดยที่  $u$  หมายถึง ความเร็วของไอออนในสนามไฟฟ้า  $E$

และเราสามารถเขียนสมการที่ 2.9 ให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นของกระแส ( $J$ ) และสนามไฟฟ้า ( $E$ ) โดยใช้ความสัมพันธ์

$$J = N_0 e u \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

และจากสมการ

$$u = Eb \quad (2.12)$$

นำค่ามาแทนในสมการที่จะได้ว่า

$$u = \frac{4\epsilon_0 E}{J} \quad (2.13)$$

สำหรับการคายประจุเป็นวงกลมโดยทั่วไป ค่าของความหนาแน่นของกระแส (J) จะมีค่า  $10^{-4}$  แอมป์ต่อตารางเมตร และค่าของสนามไฟฟ้า (E) จะมีค่า  $3 \times 10^5$  โวลต์ต่อเมตร หลังจากแทนค่าในสมการแล้วจะได้ค่าของ  $\tau \approx 0.1$  วินาที

นั่นคือ อนุภาคจะมีค่าประจุ 50% จากค่าประจุเริ่มต้นทั้งหมดโดยจะใช้เวลา 0.1 วินาที และจะถึง 90% ในเวลา 1 วินาที เวลาที่ใช้ในการประจุอนุภาคจะเป็นฟังก์ชันของสภาพคล่องของประจุพาหะ ซึ่งหมายถึงไอออนที่จะไปประจุให้กับอนุภาค ซึ่งปกติอิเล็กตรอนจะมีค่ามากกว่าไอออนบวก

2.3.4 การคำนวณค่าประจุสูงสุดบนอนุภาคทรงกลมที่อยู่ในสนามการคายประจุแบบวงกลม โดยที่ แรงสุทธิของไอออนที่ไปถึงผิวของอนุภาคที่ถูกประจุขึ้น เป็นการรวมแรงที่เกิดจากแรงดึงดูดบนทรงกลม (เกิดขึ้นเนื่องจากความเพี้ยน หรือการลดลงของสนามไฟฟ้าเมื่อมีอนุภาคเข้าไปอยู่) และแรงผลักเนื่องจากประจุที่มีอนุภาคภาคอยู่แล้วสนามไฟฟ้า (E) ที่ผิวของอนุภาคทรงกลมที่เป็นตัวนำ และยังไม่ได้รับการให้ประจุที่อยู่ในสนามไฟฟ้า (ที่ป้อนให้ขั้วไฟฟ้า) สม่าเสมอ ( $E_0$ ) มีความสัมพันธ์เป็นสมการ

$$E = 2E_0 \cos\theta \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เมื่อค่าของ  $\theta$  เท่ากับ 0 คือ ทิศทางของสนามไฟฟ้าที่ใส่เข้าไป ซึ่งก็คือสนามที่ดึงดูด ดังนั้นจะมีเครื่องหมายเป็นบวก สนามผลึกที่ผิวของทรงกลม เนื่องจากประจุ  $q$  บนทรงกลมจะมีค่าเป็น  $-\frac{q}{4\pi\epsilon_0 a^2}$  เมื่อ  $a$  เป็นรัศมีของทรงกลม และค่าประจุมัธยที่เพิ่มขึ้นเมื่อค่าสนามทั้งสองมีค่าเท่ากัน และ  $3E_0 \cos\theta$  มีค่าสูงสุด นั่นคือ  $\cos\theta = 1$  ดังนั้น  $q_{\max}$  จะมีค่าเป็น

$$3E_0 = \frac{q_{\max}}{4\pi\epsilon_0 a^2} \quad (2.15)$$

จะได้ค่า  $q_{\max}$  คือ

$$q_{\max} = 12\pi E_0 \epsilon_0 a^2 \quad (2.16)$$

ถ้าอนุภาคเป็นสารไดอิเล็กทริก ที่มีค่าเพอร์มิททิวิตีสัมพัทธ์ (Relative permittivity)  $\epsilon_r$  จะทำให้สนามไฟฟ้าที่ผิวมีค่าเปลี่ยนแปลงไป คือมีค่าเป็น  $E_p \cos\theta$  เมื่อ  $p = \frac{3\epsilon_r}{\epsilon_r + 2}$  ดังนั้นสำหรับสารไดอิเล็กทริก ค่าประจุสูงสุดที่มีได้ก่อนมีสนามผลึกตัน เนื่องจากประจุบนทรงกลมจะผลึกประจุออกไปมากกว่านี้คือ

$$q_{\max} = 4\pi\epsilon_0 E_0 p a^2 \quad (2.17)$$

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ของวัตถุที่เกือบจะเป็นฉนวนโดยสิ้นเชิงจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1-10 ดังนั้นค่า  $p$  จะมีค่าระหว่าง 1 และ 2.5 สำหรับอนุภาคที่เป็นตัวนำนั้นจะมีค่า  $p = 3$  จะทำให้สมการ 2.17 ลดรูปลงเป็นสมการสำหรับทรงกลมที่เป็นตัวนำเท่านั้น และจากสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในบริเวณที่เกิดการคายประจุเป็นวงกลมปกติจะมีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันฟิงเง้นคือ  $E$  ในสมการ 2.15 มีค่าน้อยกว่า  $E_0$  ถึง 10 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.3.5 การคำนวณอัตราการประจุของอนุภาคทรงกลมในการคายประจุเป็นวงกลม จากอัตราที่อนุภาคทรงกลมจะถูกประจุมีค่าเท่ากับ จำนวนประจุที่ไปถึงบริเวณพื้นผิวต่อหนึ่งวินาที โดยทำการ อินทิเกรต ตลอดพื้นผิว จะได้ว่า

$$\frac{dq}{dt} = \int N_0 e u dA \quad (2.18)$$

โดยที่  $N_0$  หมายถึง จำนวนไอออนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร  
 $e$  หมายถึง ค่าประจุต่อไอออน 1 ตัว  
 $u$  หมายถึง ความเร็วของ ไอออน

จาก ถ้าไอออนมีสภาพคล่อง  $b$  จะได้ว่า

$$u = Eb \quad (2.19)$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่าสมการที่ 2.19 ลงในสมการที่ 2.18 จะได้ว่า

$$\frac{dq}{dt} = \int N_0 e b E dA \quad (2.20)$$

จากค่าสนามไฟฟ้า ( $E$ ) ที่ผิวของอนุภาคที่เวลา  $t$  ใดๆ คือผลของสนามไฟฟ้าเริ่มต้น ( $E_0$ ) ที่ถูกลดลง หรือทำให้เพี้ยนโดยการมีอนุภาคทรงกลมอยู่ ( $E_0 P \cos \theta$ ) และค่าของสนาม เนื่องจากประจุ  $q$  ได้ไปถึงทรงกลมเรียบร้อยแล้ว ( $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำไว้สำหรับใช้ประกอบการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$\frac{dq}{dt} = N_0 e b \int \left( 3E_0 p \cos\theta - \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \right) \sin\theta d\theta \quad (2.21)$$

$$\frac{dq}{dt} = 2\pi r^2 N_0 e b \int \left( 3E_0 p \cos\theta - \frac{q E_0 p \cos\theta}{q_{\max}} \right) \sin\theta d\theta \quad (2.22)$$

โดยที่  $q_{\max} = 4\pi\epsilon_0 r^2 p E_0$  หมายถึง เวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคมีประจุครึ่งหนึ่งของค่าประจุ ค่าสุดท้ายของประจุ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าของสภาพคล่องของพาหะพาประจุ และความมากน้อยของประจุที่มีอยู่ตั้งแต่เริ่มต้น

2.3.6 การประจุโดยการแพร่ เกิดจากการชนกันระหว่างไอออนและอนุภาค เนื่องมาจากไอออนในก๊าซเคลื่อนที่แบบสุ่ม เมื่อได้รับพลังงานความร้อน

จากการที่ประจุที่ใช้สนามไฟฟ้าเป็นทรงกลม จะให้ค่าประจุที่เป็นสัดส่วนกับค่ารัศมีของอนุภาคยกกำลังสอง ดังนั้นถ้าเป็นอนุภาคขนาดเล็กๆ ก็จะเก็บประจุไว้ได้เพียงเล็กน้อย และเมื่อมีรัศมีน้อยกว่า 1.5 ไมโครเมตร การประจุโดยการแพร่นี้จะมีความสำคัญมากกว่า

ซึ่งการคำนวณค่าประจุโดยการแพร่นี้ หาได้จาก ทฤษฎีจลน์ของก๊าซโดยความน่าจะเป็นที่ไอออนจะมีพลังงานมากกว่าศักย์ผลักกัน (Repulsive Potentials ; W) เนื่องจากอนุภาคมีประจุอยู่บ้างแล้วคือ

$$N = N_0 e^{\left(\frac{W}{kT}\right)} \quad (2.23)$$

โดยที่  $N$  หมายถึง ค่าพลังงานของไอออนที่มากกว่า พลังงานศักย์ผลักกัน ( $W$ )

$N_0$  หมายถึง จำนวนไอออนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

$k$  หมายถึง ค่าคงที่ของ โบลซ์มานน์ มีค่าเท่ากับ  $1.38 \times 10^{-23}$  จูลต่อเคลวิน

$T$  หมายถึง อุณหภูมิสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$W$  หมายถึง ค่าพลังงานศักย์ผลักระหว่างไอออนที่มีประจุ  $e$

และจาก อนุภาคที่มีรัศมี  $a$  และประจุ  $q$  จะได้ว่า

$$W = \frac{qe}{4\pi\epsilon_0 a} \quad (2.24)$$

จากจำนวนครั้งของการชนต่อ 1 วินาทีของไอออนกับอนุภาค จะเป็นอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงประจุต่อเวลา  $\frac{dq}{dt}$  ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ

จำนวนความหนาแน่นของไอออน ซึ่งมีพลังงานมากเพียงพอที่จะไปชนไอออนได้

1. ความเร็วของไอออน  $V$
2. พื้นที่หน้าตัดของอนุภาค ( $\pi a^2$ )

นำค่าต่างๆ แทนค่าในสมการ

$$\frac{dq}{dt} = \pi a^2 N u_i = \pi a^2 e u_i N_0 \exp\left(\frac{qe}{4\pi\epsilon_0 a kT}\right) \quad (2.25)$$

จากหาประจุ  $q$  ที่เวลา  $t$  จากกร อินทิเกรต ทั้งสองข้างของสมการ

$$q = \left(\frac{4\pi\epsilon_0 a kT}{e}\right) \left[\ln\left(\frac{aN_0 q^2 u_i t}{4\epsilon_0 kT}\right) + 1\right] \quad (2.26)$$

เราจะไม่สามารถคำนวณค่าประจุสูงสุดที่อนุภาคจะรับได้โดยการประจุแบบแพร่นี้ เพราะสำหรับค่าประจุใดๆ ก็ตาม ค่าความน่าจะเป็นที่ผลสุดท้ายจะมีไอออนที่มีพลังงานมากพอที่จะเอาชนะความต่างศักย์เนื่องจากประจุบนอนุภาคมีค่าน้อยและจำกัด ดังนั้นค่าประจุสูงสุดจะถูกจำกัด โดยการคายประจุเมื่อสนามรอบ ๆ อนุภาคถึงค่า  $3 \times 10^6$  โวลต์ต่อเมตร

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 ผลการทดลองการประจุในการคายประจุเป็นวงกลม จากนักวิทยาศาสตร์ ได้ทำการทดลอง โดยมีรายชื่อ คือ เอดมอนสัน (*Edmonson*) (ทำการทดลองเมื่อ 1961), ฮิววิต (Hewitt.) (ทำการทดลองเมื่อ 1957), โปเตนเฮอและมอรี-อาโน (*Pauthenier and Moreau-Hanot*) (ทำการทดลองเมื่อ 1932), เพนนีและลินช์ (*Penny and Lynch*) (ทำการทดลองเมื่อ 1957), และไวท์ (*White*) (ทำการทดลองเมื่อ 1963) นักวิทยาศาสตร์ได้ทำการทดลองวัดค่าประจุที่มีอยู่บนอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 ไมโครเมตร โดยที่ โปเตนเฮอและมอรี-อาโน สามารถวัดค่าประจุที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางครอบคลุมไปถึงขนาด 100 ไมโครเมตร ผลการศึกษาทั้งหมดนั้นออกไปในทางที่สอดคล้องกันกับทฤษฎีการประจุ โดยสนามไฟฟ้าของ โปเตนเฮอและมอรี-อาโน โดยจากการทดลองที่กล่าวมาทั้งหมด คิดว่าอนุภาคนั้นเป็นทรงกลมเรียบ แต่ฮิวนิท (*Hignilt*) (ทำการทดลองเมื่อ 1967) ใช้ซีลเป็นตัวยุติขนาด 2.5 - 100 ไมโครเมตร ซึ่งจะกลมก็ต่อเมื่อมีขนาดเล็กมาก ๆ อัตราการประจุของอนุภาคเหล่านี้ค่อนข้างมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี เช่น อนุภาคขนาด 13.5 ไมโครเมตรจะใช้เวลาถึง 1 วินาทีในการประจุให้ได้ 80% ของค่าทั้งหมด แทนที่จะใช้เวลา 0.1s ตามค่าที่ได้จากการคำนวณ แต่อย่างไรก็ตาม อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่กว่า 50 ไมโครเมตร อาจใช้เวลามากกว่าค่าที่คำนวณได้ เนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่จะไม่เป็นทรงกลมเรียบตามแบบที่ใช้ในการคิดตามทฤษฎี

จากอนุภาคที่ขนาดเล็กๆ นั้น ฮิวนิทได้ทำการวัดความสัมพันธ์ระหว่างประจุที่อยู่บนอนุภาค และขนาดของอนุภาคความหนาแน่นของกระแสไอออน และค่าสนามภายนอก โดยใช้อนุภาคของไดออกทาเลท (*Diocetyl Phthalate*) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.1 - 1.3 ไมโครเมตรผลที่ได้ คือ

1. ความคล่องตัวของไฟฟ้าของอนุภาค (ซึ่งขึ้นอยู่กับประจุ มวล และวิธีการวัดความสามารถที่มันจะเคลื่อนที่ไปในสนามไฟฟ้าได้) มีค่าน้อยที่สุด สำหรับอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.02 - 0.4 ไมโครเมตร
2. สนามไฟภายนอกจะมีผลกับอนุภาคที่มีขนาดเล็กเท่ากับ 0.14 ไมโครเมตร
3. ใช้ทฤษฎีการประจุโดยการแพร่ เมื่อไม่มีค่าสนามไฟฟ้าภายนอกใส่เข้าไป
4. เมื่อสนามไฟฟ้ามีค่าสูงและอนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมโครเมตรจะใช้ทฤษฎีการประจุของพาวเทเนียร์
5. การคิดค่าผลรวมของประจุทั้งหมดใช้ทั้งวิธี การประจุโดยการแพร่ และการประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.3.8 ปัจจัยทางเคมีที่มีผลต่อการประจุทฤษฎีการประจุ จะใช้การสมมติว่าในขณะที่ไอออนเคลื่อนตัวไปถึงอนุภาค แล้วจะไปติดอยู่กับตัวอนุภาคซึ่งในความเป็นจริงพบว่าไม่ได้เป็นแบบนี้เสมอไป ความน่าจะเป็นที่ไอออนจะยังคงติดอยู่กับอนุภาค ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของผิวของอนุภาค ซึ่งค้นพบโดย สามพูรัน-ซิง (Sanpuran -Singh, 1981) โดยในการทดลองบางครั้งจะเกิดปัญหาขึ้นในการหาค่าประจุสูงสุดบริเวณผิวของผงที่มีคุณสมบัติโพลีเมอร์ โดยจะได้รับความสัมพันธ์ว่าการประจุได้ขึ้นอยู่กับการขาดโมเลกุลที่มีรั้วในบริเวณผิวของอนุภาค ซึ่งความสัมพันธ์นี้ได้มีการอธิบายไว้ 2 ลักษณะคือ

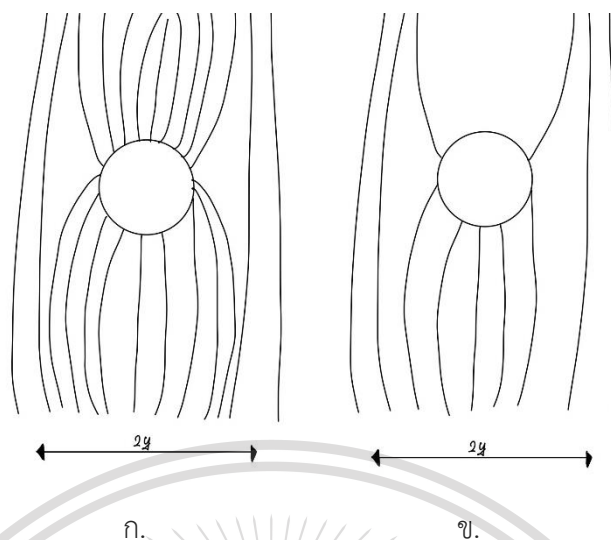
1. อนุภาคที่ธาตุโมเลกุลที่มีอยู่ในตัว มีแนวโน้มที่จะมีความต้านทานบริเวณผิวสูงมากกว่าที่บริเวณอื่น ทำให้ประจุไม่สามารถแผ่กระจายไปได้ทั่วพื้นผิว อนุภาคด้านที่มีไอออนมาชนจะมีค่าประจุสูงมาก และจะดึงไอออนที่มีอยู่เดิมในอนุภาคนั้นให้เคลื่อนที่ไปยังอีกด้านหนึ่งของอนุภาคซึ่งจะทำให้อนุภาคเกิดการอิมิตัว (ปรากฏการณ์เช่นนี้บอกให้ทราบว่าอนุภาคจะไม่หมุนไปในทางเดินของอากาศ)
2. จากหลักการในการสร้างพันธะนั้นไอออนจำเป็นจะต้องจับกับโมเลกุลที่มีขั้ว ซึ่งจะเกิดขึ้นโดยโมเลกุลที่มีขั้วจะดูดไอออนที่มีประจุตรงข้ามกับตัวมันไว้ที่ผิวของตัวมัน ซึ่งจากทดลองโดยใช้ผงไนลอน (NY-LON) พบว่าผงไนลอนจะสามารถถูกประจุได้ง่าย เมื่อใช้การคายประจุเป็นวงกลมแบบขั้วบวก แต่ถ้าใช้แบบขั้วลบ จะทำให้ประสิทธิภาพการประจุลดลง ซึ่งเมื่อพิจารณาโครงสร้างของไนลอนแล้วพบว่าโมเลกุล OH ขั้วลบอยู่ที่พื้นผิว ซึ่งจะสนับสนุนทฤษฎีดังกล่าวว่า การประจุขึ้นกับสมบัติทางเคมีของอนุภาคนั้นๆ

2.3.9 การเคลื่อนที่ของอนุภาค เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่เทียบกับสนามไฟฟ้าแล้ว ปกติก็มักจะเกิดแรงทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Force) ขึ้นด้วย แต่ว่า วิปเปิล และคาลเมอร์ (Whipple and Chalners, 1944) ได้ทำการศึกษารวบรวมไอออนด้วยตัวรวบรวมทรงกลมที่มีค่าประจุอยู่ โดยการใส่สนามไฟฟ้าขนานไปกับทิศการไหลของอากาศพบว่า ความเร็วของอากาศไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.2 เส้นทางเดินของไอออนลบ ที่เคลื่อนที่ไปชนอนุภาคตัวนำ

ก. อนุภาคเคลื่อนที่ด้วยความเร็วปกติ

ข. อนุภาคเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $2bE$

จากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงทางเดินของไอออนลบตรงไปยังอนุภาคที่เป็นกลาง เมื่อไม่มีการไหลของอากาศและมีการไหลของอากาศด้วยความเร็ว  $y = 2bE$  ในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของไอออน  $b$  คือสภาพความคล่องตัวของไอออน และ  $E$  คือค่าสนามไฟฟ้าตั้งนั้นการไหลของอากาศจะมีค่าเป็นสองเท่าของความเร็วของไอออน ถ้า  $y$  คือระยะทางจากแกนของขีดจำกัด ของทางเดินของไอออนที่จะมาบรรจบกัน วิปเปิล และคาลเมอร์ พบว่า

$$y^2 = \frac{b(3Ea^2 + \frac{q}{4\pi\epsilon_0})}{3Ea^2(v+bE)} \quad (2.27)$$

เมื่อไม่มีประจุอยู่บนอนุภาคเลย และความเร็วของอากาศฯ เป็นศูนย์ด้วย ทำให้ลดรูปลงมาเป็น  $3a^2$  นั้นหมายถึง อนุภาคทรงกลมที่เป็นตัวนำ และยังไม่ได้ทำการประจุ จะสามารถจับไอออนจากทรงกระบอกได้

โดยมีพื้นที่หน้าตัดเป็นสามเท่าของพื้นที่หน้าตัดของทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

โดยที่จะมีอัตราการจับไอออนเป็น

$$G = \frac{[\pi nb(3Ea^2 + \frac{q}{4\pi\epsilon_0})]}{3Ea^2} \quad (2.28)$$

โดยที่  $q$  หมายถึง ประจุของอนุภาค

ซึ่งจากสมการด้านบน จะเห็นว่าเป็นอิสระต่อความเร็วของก๊าซและการให้ประจุ  $q$  ระหว่าง  $12\pi\epsilon_0 a^2$  แต่ในทางปฏิบัติอนุภาคจะอยู่นอกเหนือช่วงนี้

ถ้าไอออนเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับสนามเหมือนกับอนุภาค ความเร็วของอนุภาคก็จะมีผลต่อประจุด้วย เช่น อนุภาคอาจจะเคลื่อนที่เร็วมาก จนกระทั่งไอออนไม่สามารถจะตามอนุภาคทัน ทำให้การประจุลดลง ในกรณีนี้  $y$  จะมีค่า

$$y^2 = -\frac{4bq}{4\pi\epsilon_0(v-bE)} \quad (2.29)$$

ถ้ากรณีที่  $q$  เป็นประจุบวก ความเร็วของอากาศจะต้องมีค่าน้อยกว่า  $bE$  ถ้า  $y^2$  เป็นบวก และ  $y$  เป็นจำนวนจริงใดๆ

2.3.10 ลมไอออน (Ion Wind) ค่าระยะทางเฉลี่ย (Mean Free Path) ของไอออน ในอากาศที่มีความดันบรรยากาศปกติ (นั่นคือระยะทางที่ไอออนสามารถเคลื่อนที่ไปได้ก่อนที่จะไปชนกับโมเลกุลที่เป็นกลาง) จะมีค่าประมาณ  $2 \times 10^{-7}$  เมตร เมื่อคิดว่ามวลของไอออนมีขนาดเท่ากับมวลของโมเลกุลของก๊าซที่เป็นกลาง หลังจากการชนสนามไฟฟ้าจะเท่ากับการเร่งตัวไอออนให้ไปชนกับโมเลกุลที่เป็นกลางตัวอื่น การชนเช่นนี้จะเกิดขึ้นหลายครั้งก่อนที่ไอออนจะไปถึงขั้วไฟฟ้าศักย์ศูนย์รวมทั้งทำให้โมเลกุลที่เป็นกลางมีความเร็วที่มีทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า เรียกเหตุการณ์เช่นนี้ว่าลมไอออน (*Ion Wind*) ลมนี้จะถูกสร้างขึ้น โดยการถ่ายเทพลังงานจากไอออน ไม่ได้เกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออน

เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เราสามารถหาความเร็วของ ไอออนโดยเริ่มจาก

เมื่อพิจารณาไอออนเคลื่อนที่จากจุด  $x = 0$  ไปยังระยะ  $x = L$  พลังงานของสนามไฟฟ้าจะถ่ายเทไปเป็นการเคลื่อนที่ของปริมาตรของก๊าซ จากหลักการของการอนุรักษ์พลังงานจะได้สมการว่า

$$\frac{Du^2}{2} = \int_0^L Q_v E dx \quad (2.30)$$

โดยที่

$D$  หมายถึง ความหนาแน่นของก๊าซ

$Q_v$  หมายถึง ความหนาแน่นของประจุ

$u$  หมายถึง ความเร็วของลมไอออน

จากกฎของปัวซอง (Poisson's Law)

$$\rho = \epsilon_0 \text{div } E$$

(2.31)

นั่นคือ

$$u = \left[ \left( \frac{2\epsilon_0}{D} \right) \int_0^L (\text{div } E) E_x dx \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.32)$$

จากจะเห็นว่า สามารถค่าความเร็วของลมในระบบใดก็ได้ โดยต้องทราบค่าสนามไฟฟ้า และเกรเดียนต์ของสนาม (*Field Gradient*) ถ้าพิจารณาในระบบ 1 มิติ คือ ค่าของสนามไฟฟ้าจะมีค่า  $\frac{V}{L}$  ( $V$  คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ ให้กับขั้วไฟฟ้า )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$\text{div } \mathbf{E} = \frac{V}{L^2} \quad (2.33)$$

และ

$$u = \left(\frac{2\varepsilon_0 E}{D}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.34)$$

แต่ในทางปฏิบัติ สนามไฟฟ้าที่เกิดจากการคายประจุเป็นวงกลมจะไม่ทราบค่าแน่นอน แต่ก็สามารถวัดค่ากระแสและศักย์ไฟฟ้าของโคโรนา ได้โดยทำการแปลงสมการ ให้อยู่ในรูปความหนาแน่นกระแส ( $J$ )

$$u^2 = \frac{2}{D} \int_0^L \frac{J}{b} dx \quad (2.35)$$

โดยความหนาแน่นกระแสจะเป็นฟังก์ชันของ  $x$  ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของระบบ โดยที่ โรบินสัน ได้ใช้ตัวแปรรูปร่าง  $g$  ในการคิด และ  $k$  คือ ค่าพลังงานที่สูญเสียไปในระบบที่ยอมรับได้ เมื่อการไหลของอากาศเปลี่ยนแปลง จะได้ค่าความเร็วลมในรูปแบบของกระแส  $I$  จากวงจรรายนอกเป็น

$$u = g \left(\frac{I}{Dbk}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.36)$$

โดยที่  $b$  หมายถึง สภาพความคล่องตัวของไอออน

ซึ่งเราสามารถประมาณค่าความเร็วลมสูงสุดหาได้จากสมการที่ (2.2.20) โดยใช้ค่าสนามสูงสุดซึ่งก็คือ ค่าสนามพัง (Breakdown Field) ของอากาศ  $3 \times 10^6$  โวลต์ต่อตารางเมตร ทำให้ได้ค่าความเร็วลมสูงสุด 10.8 เมตรต่อวินาที ซึ่งในการใช้สนามโคโรนา  $3 \times 10^5$  โวลต์ต่อตารางเมตร ถ้าทำให้ได้ความเร็วของลมไอออนอยู่ในช่วง 1-2 เมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ความเร็วของลมไอออนจะเพิ่มขึ้นเมื่อสนามไฟฟ้า ซึ่งก็หมายถึง ความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้น ดังนั้นสามารถทำให้ค่าความเร็วลมมากขึ้นได้ โดยการเปลี่ยนรูปร่างของขั้วไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้ค่าความหนาแน่นกระแสเพิ่ม เช่นการเพิ่มจำนวนจุดในระบบที่เป็นการเรียงตัวของจุดกับขั้วที่เป็นระนาบ จะทำให้ความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้นถึงจุดที่ระยะห่างระหว่างขั้วมีค่าประมาณ 1 เซนติเมตรซึ่งค่าที่ต่ำกว่านี้ จะไม่ทำให้ค่าความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้นอีกความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นเมื่อสภาพความคล่องตัวของไอออนลดลง ดังนั้นการคายประจุบวกจะทำให้ความเร็วลมมีค่ามากกว่าการคายประจุลบในก๊าซที่ไม่มีอิเล็กตรอนติดอยู่ เช่น ไนโตรเจนจะเกิดจากประจุบวกเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากอิเล็กตรอนมีสภาพความคล่องตัวสูงมาก ดังนั้นจากสมการจะเห็นว่าความเร็วของลมไอออนขึ้นกับผลคูณระหว่างความหนาแน่นของก๊าซ และความคล่องตัวของไอออน เนื่องจากสภาพความคล่องตัวของไอออนแปรผกผันกับความหนาแน่นของก๊าซ ดังนั้นถ้าให้ก๊าซชนิดหนึ่งๆ ไหลผ่านระบบ ความเร็วของลมก็จะแปรผกผันกับความหนาแน่นของก๊าซ หรือความดัน และประสิทธิภาพภายในการแปลงพลังงานจากสนามไฟฟ้าไปเป็นลมไอออน หาได้จากพลังงานจลน์ที่ถ่ายเทสู่มวล 1 ของก๊าซต่อ 1 หน่วยเวลากำลังไฟฟ้าขาเข้าซึ่งโรบินสันพบว่ามีความประมาณ 1%

## 2.4 การประยุกต์ใช้หลักการทางไฟฟ้าสถิตเพื่อปรับปรุงสภาพก๊าซ

2.4.1 บทนำ จากสูตรทางแรงทางไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นกับอนุภาคที่มีประจุ  $q$  ในสนามไฟฟ้า  $E$  คือ

$$F_s = qE \quad (2.37)$$

ทั้งค่าสนามไฟฟ้า และค่าประจุจะถูกจำกัด โดยค่าการนำไฟฟ้าของอากาศทำให้แรงทางไฟฟ้าสถิตค่อนข้างจะมีค่าน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตาม ค่าประจุสูงสุดที่สามารถบรรจุให้กับอนุภาคได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ผิวของอนุภาค ดังนั้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลงจะทำให้อัตราส่วนระหว่างค่าประจุกับมวลมีค่าเพิ่มขึ้น และในที่สุด แรงทางไฟฟ้าสถิตก็จะมีค่าเกินแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นก็จะสามารถใช้แรงทางไฟฟ้าสถิตควบคุม และบังคับการเคลื่อนไหวของอนุภาคที่มีประจุหรือละอองน้ำที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเล็กมากได้ โดยช่วงขนาดอนุภาคดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่กระทำกับอนุภาคทรงกลม รัศมี  $a$  ความหนาแน่น  $D$  คือ

$$F_s = \frac{4}{3}\pi a D g \quad (2.38)$$

และแรงทางไฟฟ้าสถิตสูงสุด คือ

$$F_s = q_{\max} E_{\max} \quad (2.39)$$

ค่าประจุต่อหน่วยพื้นที่สูงสุดสามารถคำนวณได้จากกฎของเกาส์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $2.64 \times 10^{-6}$  ดังนั้นสำหรับทรงกลมรัศมี  $a$  แรงเนื่องจากไฟฟ้าสถิตจะมีค่าเท่ากับ

$$F_s = 2.64 \times 10^{-6} \times 4 \pi a E_{\max} \quad (2.40)$$

แรงทางไฟฟ้าสถิตจึงมีค่ามากกว่าแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เมื่อเทียบสมการ 2.38 และ 2.40 จะได้ว่า

$$a < 8 \times 10^{-6} \frac{E_{\max}}{D} \quad (2.41)$$

ถ้าอนุภาคมีความหนาแน่น  $10^3$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์ ในสนามไฟฟ้าที่ค่าขีดจำกัด การนำกระแสของอากาศ (Electrical Field at The Breakdown Limit of Air) เป็น  $5 \times 10^5$  โวลต์ต่อเมตร จะได้ค่ารัศมีอนุภาค คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$a < 24 \times 10^{-3} \quad (2.42)$$

นี่คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากที่สุด ที่สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวโดยสามารถใช้แรงทางไฟฟ้าสถิตได้

แต่ในทางปฏิบัติ เราไม่สามารถที่จะคงค่าสนามไฟฟ้าที่มีค่าขีดจำกัดการนำกระแสของอากาศได้ ซึ่งโดยปกติจะใช้ค่า  $5 \times 10^5$  โวลต์ต่อเมตร ค่ารัศมีของอนุภาคสูงสุดที่แรงไฟฟ้าสถิตสามารถจะบังคับการเคลื่อนที่ของอนุภาคนั้นได้จริงๆ จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ เมื่อสมมติให้ค่าประจุและค่าสนามไฟฟ้าเป็นค่าสูงสุด

จากขีดจำกัดของความเร็ว ( $u$ ) ของอนุภาคที่มีประจุ ในสนามไฟฟ้าบนอากาศสามารถที่จะคำนวณได้โดยเทียบ แรงทางไฟฟ้าสถิตกับแรงต้านของอากาศ ตามกฎของสโตรก (Stroke Law)

$$6\pi\eta au = 2.64 \times 10^{-6} \times 4\pi a^2 E \quad (2.43)$$

โดยที่

$\eta$  หมายถึง ความหนืดของอากาศ มีค่าประมาณ  $1.8 \times 10^{-5} \text{ N s m}^{-2}$

$$u = 1.76 \times 10^{-5} a E \eta^{-1} \quad (2.44)$$

จะได้ว่า

$$u \approx Ea \quad (2.45)$$

ดังนั้น เมื่อใช้ค่าสนามไฟฟ้าที่ค่าขีดจำกัดการนำกระแสของอากาศเป็น  $5 \times 10^5$  โวลต์ต่อเมตรจะได้ค่าความเร็วสูงสุด คือ 50 เมตรต่อวินาที ที่อนุภาคที่มีขนาด 100 ไมโครเมตร และ 0.5 เมตรต่อวินาที ที่อนุภาครัศมีขนาด 0.1 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

จากสมการที่ 2.45 จะเห็นได้ว่า อนุภาคที่มีขนาดเล็กมากๆ คือ ต่ำกว่าไมครอน จะเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าได้ช้ามาก และการไหลของอากาศจะมีอิทธิพลมากกว่าค่าแรงทางไฟฟ้าสถิต ช่วงขนาดรัศมีของอนุภาคที่อยู่ในวิสัยควบคุมของแรงทางไฟฟ้าสถิตจะอยู่ระหว่าง 1 ไมโครเมตร ถึง 2 มิลลิเมตร

แรงคูลอมบ์ที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุ ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอจากสมการที่ 2.37 จะกระทำต่ออนุภาคที่ไม่มีประจุในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอด้วย แต่เรียกเป็น แรงไดโพล (Dielectric Phoretic Force) ซึ่งสามารถเกิดได้จากสนามไฟฟ้าที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรง และไฟฟ้ากระแสสลับ แต่จะมีค่าต่ำกว่าแรงคูลอมบ์ โดยที่แรงนี้จะมีผลอย่างมากกับอนุภาคบางชนิด เช่น ของเหลว

2.4.2. ทฤษฎีว่าด้วยการดักจับในการไหลที่มีลักษณะเป็นชั้นๆ (Laminar Flow) ถ้าหากพิจารณาฝุ่นผงที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง ในเครื่องดักจับฝุ่นที่มีลักษณะทางเดินของก๊าซเป็นทรงกระบอกด้วยความเร็ว  $u$  แรงทางไฟฟ้าสถิตที่กระทำต่ออนุภาคในสนามไฟฟ้า  $E_0$  คือ

$$F_s = qE_0 \quad (2.46)$$

เมื่ออนุภาครัศมี  $a$  ( $a > 1 \mu\text{m}$ ) จาก ทฤษฎีการประจุของพาวเทนเนียร์ (Pauthenier's Charging) จะได้ค่าประจุสูงสุดที่อนุภาคนั้นๆ สามารถที่จะถูกประจุไว้ได้มีค่าเท่ากับ

$$q_{\text{max}} = 4\pi_0 p E_0 a^2 \quad (2.47)$$

โดยที่  $E_0$  หมายถึง ค่าสนามไฟฟ้าที่อนุภาคถูกประจุ

$\epsilon_0$  หมายถึง ค่าคงที่มีค่า  $8.8 \times 10^{-12} \frac{F}{m}$

$p$  หมายถึง ค่าคงที่มีค่า  $\frac{3\epsilon_t}{(\epsilon_t+2)}$  และมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก  $\epsilon_t = 2$  จะได้ค่า

$p = 1.5$  และในขณะที่ถ้าเป็นโลหะ  $\epsilon_t = \infty$  จะได้ค่า  $p = 3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ดังนั้น แรงทางไฟฟ้าสถิต ที่กระทำต่ออนุภาคที่เป็นไดอิเล็กทริก และมีประจุสะสมอยู่เต็ม คือ

$$F_s = 6\pi\epsilon_0 a^2 E_c E_0 \quad (2.48)$$

และแรงต้านของอากาศที่กระทำต่ออนุภาค ซึ่งหาได้จากกฎของสโตรก คือ

$$F_d = 6\pi\eta a w \quad (2.49)$$

โดยที่

$\eta$  หมายถึง ค่าความหนืดของอากาศ เมื่อเทียบสมการ 2.48 และ 2.49 จะได้ว่า

$$F_d = 6\pi\eta a w \quad (2.50)$$

$$F_s = 6\pi\epsilon_0 a^2 E_c E_0 \quad (2.51)$$

และ

$$w = \frac{\epsilon_0 a E_c E_0}{\eta} \quad (2.52)$$

ถ้าอนุภาคนั้นมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร จะต้องปรับแรงต้านของอากาศ ด้วยค่าแก้ไขของ คันทิงแฮม (Cunningham Correction Factor) และจะต้องรวมค่าประจุที่เกิดจากการแพร่ เข้าไปในการคำนวณ ประจุที่เกิดขึ้นบนอนุภาคด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ถ้า  $t$  คือ เวลาทั้งหมดที่มีอนุภาคที่มีประจุจะต้องใช้เพื่อเคลื่อนที่ไปในสนามไฟฟ้าได้ ระยะทาง  $d$  เพื่อไปยังตัวรวบรวม ซึ่งก็คือขั้วที่มีประจุเป็นตรงข้าม สามารถหาได้จาก

$$t = \frac{d}{w} = \frac{d}{\epsilon_0 a E_c E_0} \quad (2.53)$$

ดังนั้น เวลาที่ใช้สำหรับอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ไมโครเมตร เพื่อเคลื่อนที่ไปยังตัวรวบรวมจะมีค่า 0.68 วินาที

จากเวลา  $t'$  อนุภาคจะถูกประจุให้ตัวเองมีประจุ  $q$  มีความสัมพันธ์เป็น

$$\frac{q}{q_{\max}} = \frac{t'}{t' + \tau} \quad (2.54)$$

เมื่อ

$$\tau = \frac{4\epsilon_0 E}{J} \quad (2.55)$$

อนุภาคจะมีประจุครึ่งหนึ่งของประจุสูงสุดที่เวลา  $\tau$  อนุภาคจะมีประจุ 90% หลังจากเวลาผ่านไป  $9\tau$

ช่วงระยะเวลาที่ประสิทธิภาพการจับสูงสุดจะมี ค่าหลายวินาที แต่ก็ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพ ของการประจุประจุเข้าสู่ตัวอนุภาค และระยะเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่ไปสู่ตัวรวบรวม

ซึ่งในทางปฏิบัติ เครื่องดักฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตส่วนใหญ่ จะใช้ในการทำความสะอาดก๊าซ ที่มีปริมาตรสูงมีขนาดใหญ่ เช่น ในการจับเถ้าถ่านที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหิน ซึ่งในการทำงานเช่นนี้ การไหลออกของอากาศจะไม่เป็นชั้นๆ และตัวรวบรวมส่วนใหญ่จะเป็นแผ่นคู่ขนานไม่ใช่ทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.4.3. การไหลที่มีลักษณะไม่เป็นชั้น (Non-Laminar Flow) และสมการของดอยท์ซ (Deutsch Equation) จากทฤษฎีที่อธิบายการดักจับ ในการไหลแบบไม่เป็นระเบียบ หรือมีรูปแบบไม่แน่นอนพัฒนาขึ้นโดยดอยท์ซ (Deutsch, 1922) ด้วยการสมมติให้การดักจับแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ บริเวณที่อยู่ใกล้ขั้วไฟฟ้าที่มีศักย์สูง จะมีลักษณะเป็นชั้นๆ และบริเวณที่ไม่เป็นระเบียบ จะอยู่ในส่วนที่เหลือ ซึ่งมีบริเวณกว้างมาก ส่วนในบริเวณที่คาบเกี่ยวกัน จะสมมติให้เป็นบริเวณที่มีประจุมีพฤติกรรมที่ผิดแผกไปจากปกติ ซึ่งปกติจะมีค่าความหนาแน่นของประจุตลอดในพื้นที่หน้าตัดหนึ่งๆ เมื่ออนุภาคอยู่ในบริเวณขอบเขตที่เป็นชั้นๆ อนุภาคนั้นจะอยู่ภายใต้แรงทางไฟฟ้าสถิตเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $w$  ตรงไปยังแผ่นคู่ขนาน เรียกความเร็วนี้ว่าความเร็วในการเคลื่อนย้าย (Migration Velocity) ในช่วงเวลาเล็กๆ  $dt$  อนุภาคจะเคลื่อนที่ไปได้ระยะทาง  $w dt$  เมื่อคิดพื้นที่ที่ขั้วรับหรือแผ่นคู่ขนาน  $dA$  ซึ่งจะทำให้ลดความหนาแน่นประจุลงไป  $dC$

และ เมื่อเทียบอัตราการสูญเสียอนุภาคจากก๊าซ กับอัตราที่อนุภาคไปถึงยังบริเวณพื้นผิวรวบรวมจะได้ว่า

$$u_0 dC_0 = -w C_0 dA \quad (2.56)$$

โดยที่  $u_0$  หมายถึง ปริมาตรอัตราการไหลของก๊าซ  
จะได้ว่า

$$\frac{1}{C_0} dC_0 = -\frac{w}{u_0} dA \quad (2.57)$$

ทำการอินทิเกรต จะได้ค่าประสิทธิภาพ  $\mathcal{E}$  ออกมาเป็น

$$\mathcal{E} = \frac{1 - C_{out}}{C_{in}} \quad (2.58)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$\varepsilon = 1 - e^{-\frac{Aw}{U_0}} \quad (2.59)$$

โดยที่  $C_{in}$  หมายถึง ความหนาแน่นขาเข้า  
 $C_{out}$  หมายถึง ความหนาแน่นขาออก  
 $A$  หมายถึง พื้นที่ ที่ใช้รวบรวมฝุ่นทั้งหมด  
 $\frac{A}{U_0}$  หมายถึง พื้นที่รวบรวมเฉพาะ

จากกำหนดให้  $\frac{A}{U_0}$  เป็น  $\alpha$  จะสามารถเขียนค่าประสิทธิภาพได้เป็น

$$\varepsilon = 1 - e^{-\alpha W} \quad (2.60)$$

โดยเราจะเรียกสมการนี้ว่า สมการของดอยท์ซ (Deutsch Equation)

และถ้าใช้ ทฤษฎีการประจุของพาวเทเนี่ย จะทำให้ความเร็วในการเคลื่อนย้าย มีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากสมการที่ 2.52 ทำให้สามารถเขียนสมการของดอยท์ซได้เป็น

$$\varepsilon = 1 - e^{-\frac{\varepsilon_0 a E_c E_0 \alpha}{\eta}} \quad (2.61)$$

ทำการประมาณค่าให้  $E_c E_0 = \frac{V^2}{d}$  และทำการใช้ลอการิทึม จะได้เป็น

$$\ln(1 - \xi) = \frac{\varepsilon_0 a V^2 \alpha}{\eta d} \quad (2.62)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

และจาก การทดลองของไวท์ (White) ได้ทำการประมาณจากสูตรว่า ค่าของ  $E_c E_0$  เป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานที่การปล่อยประจุเป็นวงกลม (ค่าศักย์ไฟฟ้าคูณกับค่ากระแส) ตามสมการ

$$I = KV(V - V_0) \quad (2.63)$$

โดยที่  $V_0$  หมายถึง ค่าศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้น

$K$  หมายถึง ค่าคงที่

จะพบว่าหลักการทั้งสองมีค่าไม่เท่ากัน การประมาณค่าของ ไวท์ จะทำให้ได้ ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงๆ ความเร็วในการเคลื่อนย้ายจะเป็นอิสระ ไม่ขึ้นกับค่าศักย์ไฟฟ้า เมื่อฝุ่นผง หรือซีเอนั้นมีค่าสภาพต้านทานสูง ค่ากระแสจะถูกลดทอนลง เนื่องจากเกิดการไอออนไนเซชันย้อนกลับ (Back Ionization) ดังจะอธิบายต่อไป ส่วนค่า  $E_c E_0 = \frac{V^2}{d}$  จะเป็นการประมาณค่าที่ใกล้เคียงกว่า แต่ทั้งสองหลักการก็สามารถหาค่า ประสิทธิภาพได้จากตัวแปรที่สามารถวัดได้

2.4.4 ความสมบูรณ์แบบของสมการดอยท์ซ จากในหัวข้อที่แล้ว จะพบว่าสมการของดอยท์ซ จะประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนที่ค่าสูงสุด ซึ่งในความเป็นจริงอาจจะต่ำกว่าที่คำนวณได้ค่อนข้างมาก โดยมีรูปสมการทั่วไป คือ

$$\varepsilon = 1 - e^{-aw} \quad (2.64)$$

แต่เนื่องจากค่าความเร็วสัมพัทธ์ในการเคลื่อนตัวของอนุภาค (Effective Migration Velocity) จะมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากสมการที่ 2.52 และจะขึ้นอยู่กับความเร็วของก๊าซ ที่เป็นแบบเชิงเส้น และเนื่องจากสมการที่ 2.62 เกิดขึ้นมาจากการประมาณค่าต่างๆ ดังนั้นค่าที่คำนวณได้จึงแสดงค่าที่ได้อยู่ในรูปค่าทั่วไปหรืออย่างกว้าง ๆ เท่านั้นโดยสมการ 2.62 ประมาณค่าดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

1. ความหนาแน่นของอนุภาค ในบริเวณพื้นที่หน้าตัดของตัวเครื่อง มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งในความเป็นจริงจะเกิดในบริเวณที่ไม่มีฝุ่นอยู่เลย คือบริเวณใกล้กับขั้วปล่อยประจุ และจะมีขนาดกว้างขึ้นเมื่อมีก๊าซเคลื่อนที่ผ่าน
2. คิดว่าอนุภาคทุกอนุภาคมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันหมด
3. ทุกอนุภาคเคลื่อนที่ได้ระยะทาง  $w dt$  เท่านั้น จะไม่เกิดการพลิกกลับเข้ามาในทางเดินของก๊าซอีกครั้งหนึ่ง

ซึ่งจากการทดลองนั้น จะพบว่าฝุ่นที่มีค่าด้านทานสูงจะเกิดปลิวหลุดกลับเข้ามาในทางเดินของก๊าซอีกครั้งหนึ่ง ในเวลาเพียง 2-3 วินาทีที่ หลังจากไปเกาะติดกับแผ่นรวบรวม

จากสมการของดอยท์ซ สามารถจะใช้ทำนาย ขนาดของเครื่องตกตะกอนฝุ่นได้ เมื่อกำหนดค่าประสิทธิภาพของเครื่องที่ต้องการไว้ก่อน โดยเปลี่ยนรูปสมการใหม่เป็น

$$1 - \varepsilon = e^{-(\omega_k \alpha)^k} \quad (2.65)$$

เมื่อ  $k$  เป็นค่าคงที่อยู่ที่ 0.5 และ  $\omega_k$  มีค่าเทียบเท่ากับความเร็วในการเคลื่อนตัว แต่เป็นค่าที่คำนวณสำหรับผลที่ไม่เป็นอุดมคติ และสามารถเปลี่ยนแปลงไปกับสภาพด้านทานของฝุ่น ขนาดของอนุภาค ฯลฯ เช่นฝุ่นที่มีค่าสภาพด้านทานสูงมากอาจมีค่าเท่ากับ 12-15 เมตรต่อวินาที และถ้ามีความด้านทานต่ำ ก็จะมีค่าเป็น 60-70 เมตรต่อวินาที โดยถึงแม้ว่า สมการของดอยท์ซ ไม่ได้มาจากทฤษฎี แต่มาจากการสังเกตผลของการทดลอง ซึ่งก็ให้ผลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงสูง

2.4.5 ผลของคุณสมบัติของฝุ่นต่อการดักจับ ในปัจจุบันวิธีที่เหมาะสมที่สุด ที่จะหาขนาดของเครื่องดักจับฝุ่นคือการทำกรทดลองที่หลาย ๆ ขนาดแล้วนำผลมาเปรียบเทียบกันโดยใช้ทั้งวิธีใช้  $\omega_k$  หรือเส้นสมรรถภาพเป็นเบื้องต้นทฤษฎีของดอยท์ซเพียง แต่ทำนายขนาดของรัศมีของอนุภาค และค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่มีผลต่อความสามารถในการดักจับเท่านั้น แต่จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติอื่น ๆ ของฝุ่น ก็มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่ากัน เช่น พบว่าฝุ่นที่มีค่าสภาพด้านทานสูง ต้องการขนาดเครื่อง หรือพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคที่มีค่าสภาพด้านทานปานกลางหรือทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ฝุ่นที่มีค่าสภาพต้านทาน ประสิทธิภาพในการจับที่ค่าศักย์ไฟฟ้าที่กำหนด กับศักย์ไฟฟ้าสูงสุดที่จะยังคงค่าไว้ได้โดยไม่เกิดการอาร์ค (Arc) ขึ้น จะมีค่าลดลงซึ่งผลที่เกิดขึ้นทั้งคู่ ช่วยให้เข้าใจปรากฏการณ์การพังทลายไฟฟ้าของอากาศ (Electrical Breakdown) ที่เกิดขึ้นกับฝุ่นที่ติดอยู่ที่ตัวจับ ซึ่งเรียกชื่อเฉพาะว่าการไอออไนเซชันย้อนกลับ (Back Ionization) ซึ่งจะอยู่ในหัวข้อถัดไป

การวัดการแจกแจงขนาดของอนุภาค และค่าสภาพต้านทาน สามารถบอกถึงความยากง่ายที่จะสามารถรวบรวมฝุ่นได้ แต่ไม่ได้บอกถึงขนาดของตัวเครื่องได้ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าฝุ่นบางประเภทเกาะติดกับตัวรวบรวมได้แน่นกว่าบางชนิด และ ยากที่จะสามารถพลิกกลับมาในทางเดินของก๊าซได้อีก แต่ก็ยังไม่สามารถพิสูจน์ถึง ความสามารถในการดักจับของฝุ่นชนิดนี้ได้

2.4.6 การไอออไนเซชันย้อนกลับ (Back Ionization) การไอออไนเซชันย้อนกลับเป็นคำที่อธิบายปรากฏการณ์การพังทลายไฟฟ้า (Electrical Breakdown) ของอากาศ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเกิดฝุ่นที่มีประจุไปเกาะติดบนผิวรวบรวม ที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ เป็นชั้นๆ ซึ่งจะมีความสำคัญอย่างมาก ทั้งการรวบรวมฝุ่นที่มีค่าสภาพต้านทานสูง ในเครื่องดักจับ และในกระบวนการเคลือบด้วยไฟฟ้าสถิต และจากค่าของการพังทลายไฟฟ้าของผง หรือฝุ่นที่ไปเกาะเป็นชั้นๆ อยู่ในช่วง  $10^6$  และ  $10^7$  โวลต์ต่อเมตร ค่าสนามที่เกิดขึ้นระหว่างชั้น สามารถประมาณได้จากค่าสภาพต้านทาน และค่าความหนาแน่นกระแส ( $J$ ) โดยใช้กฎของโอห์ม

$$E = \rho J \quad (2.66)$$

โดยที่  $\rho$  หมายถึง ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า

$J$  หมายถึง ค่าความหนาแน่นของกระแส

และค่าความหนาแน่นกระแสต่างๆไป ที่แผ่นรวบรวมของเครื่องดักฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต คือ  $10^{-4}$  แอมป์ต่อตารางเมตร ดังนั้น ค่าสนามที่เกิดขึ้นระหว่างชั้น สามารถที่จะทำให้เกิดการพังทลายไฟฟ้าได้ เมื่อสภาพต้านทาน มีค่าเกิน  $10^{-10} - 10^{-11}$  โอห์ม-เมตร เมื่อเกิดการคายประจุในชั้นของฝุ่น จะเกิดไอออนบวก และอิเล็กตรอนขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ถ้าคิดว่าเครื่องตกตะกอนใช้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เป็นลบ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านเคลื่อนที่ผ่านชั้นตรงไปยังตัวรวบรวม และไอออนบวกจะถูกดูดซับที่ว่างระหว่างขั้วไฟฟ้า ตรงไปยังขั้วศักย์ไฟฟ้าแรงสูงที่เป็นตัวจ่ายให้กับเครื่อง ไอออนบวกเหล่านี้ก็ประพฤติตัวเหมือน เป็นการคายประจุของฝุ่น ดังนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องลดลงเมื่อเกิดการไอออนเซชันย้อนกลับในระบบ กระแสของวงจรมายนอกจะเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย (ไอออนบวกเคลื่อนที่ไปยังเส้นลวด ซึ่งมีขั้วเหมือนกับกระแส ในขณะที่ไอออนลบเคลื่อนที่ไปยังทิศตรงข้ามและสนามไฟฟ้า เนื่องจากประจุบวกในบริเวณช่องว่าง จะไปเพิ่มค่ากระแสในฝั่งลบ)

2.4.7 สภาพต้านทานไฟฟ้าของฝุ่น จากการที่เกิดการไอออนเซชันแบบย้อนกลับจะยิ่งมีค่ามากขึ้น เมื่อสภาพต้านทานไฟฟ้าของฝุ่นมีค่าสูง ทำให้สามารถเทียบสภาพต้านทานทางไฟฟ้าของฝุ่นว่าเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพหรือวิธีการทำงานของเครื่องได้ แต่ความสัมพันธ์นี้ก็ยังไม่ได้มีการทดลองอย่างจริงจังมีวิธีการง่ายๆ 2 แบบที่ใช้วัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า คือ

วิธีที่ 1 ใส่ฝุ่นในพื้นที่ปิดที่มีการควบคุมสภาพภายนอกด้วยไม้อัดหนา 2 นิ้วที่ระยะห่างประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ใส่ศักย์ไฟฟ้าประมาณ 2-3 กิโลโวลต์ ที่ขั้วทั้งสองจะทำให้เกิดกระแส (I) ไหลผ่านเครื่องวัดฝุ่นวัดค่าที่ได้แล้วนำไปแทนในสมการ

$$\rho = \frac{AV}{Id} \quad (2.67)$$

โดยที่ A หมายถึง พื้นที่ของขั้วไฟฟ้า

d หมายถึง ระยะห่างระหว่างขั้ว

วิธีที่ 2 ใช้วิธีการวัดค่าที่เกิดขึ้นระหว่างการคายประจุเป็นวงกลม ศักย์ไฟฟ้าพื้นผิว  $V_s$  ของชั้นฝุ่น ที่เกาะอยู่ด้วยความหนา (d) จะวัดได้ เมื่อทราบความหนาแน่นกระแส (J)

$$\rho = \frac{V_s}{dj} \quad (2.68)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

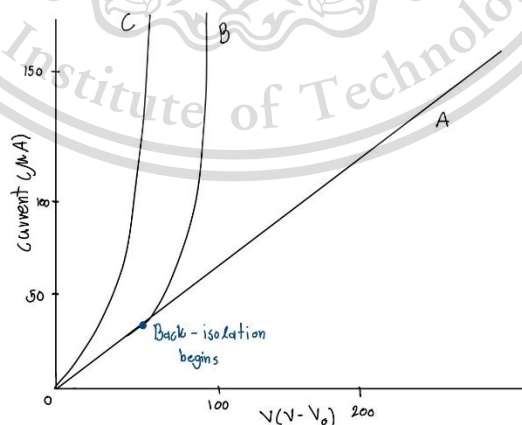
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การวัดศักย์ไฟฟ้าที่พื้นผิวทำได้ โดยใช้เครื่องวัด หรือสังเกตการเคลื่อนไปจะหาค่าเริ่มต้นของ (Corona Voltage) โดยที่ทั้ง 2 วิธี จะเกิดปัญหาขึ้นเมื่อเกิดการไอออนในเซชันย้อนกลับ การไอออนในเซชันย้อนกลับจะทำให้เกิดไอออนเพิ่มมากขึ้นก็คือ มีกระแสไหลได้มากยิ่งขึ้น ทำให้สภาพต้านทานสัมผัสของชั้นฝุ่นมีค่าลดลงถึงแม้ว่า ชั้นฝุ่นเองนั้นจะมีค่าสภาพต้านทานที่สูงมากที่สุดตาม การไอออนในเซชันย้อนกลับจะทำให้เกิดกระแสไหลเพียงเล็กน้อยได้ด้วย เมื่อชั้นฝุ่นมีความบางมากๆ ปัญหานี้ทำให้เกิดขีดจำกัดขึ้น เมื่อวัดฝุ่นที่เป็นลักษณะตัวนำ และมีค่าการไอออนในเซชันย้อนกลับต่ำ

แต่ค่าสภาพต้านทานทางไฟฟ้าของฝุ่น มีความจำเป็นต้องใช้เพื่อทำนายแนวโน้มของการเกิดการไอออนในเซชันย้อนกลับ อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ดังกล่าวระหว่างความต้านทานไฟฟ้า และการไอออนในเซชันย้อนกลับ จะถูกทำให้เข้าใจได้ด้วย ความสัมพันธ์ของ กระแสและศักย์ไฟฟ้าของการคายประจุแบบวงกลม เพื่อจับค่าการเกิดการไอออนในเซชันย้อนกลับแทน

ขณะยังไม่เกิดการไอออนในเซชันย้อนกลับ กระแสที่เกิดขึ้นขณะคายประจุเป็นวงกลม จะเป็นสัดส่วนกับค่า  $V(V - V_0)$  เมื่อ ( $V_0$  คือค่า Corona Voltage เริ่มแรก) ดังนั้นกราฟระหว่าง  $I$  กับ  $V(V - V_0)$  จะเป็นเส้นตรง ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เบนออกไปจากเส้นตรงนี้ก็คือ ค่าการไอออนในเซชันย้อนกลับที่เกิดขึ้นนั่นเอง ซึ่งจะทำให้เกิดความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้า ระหว่าง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับศักย์ไฟฟ้าของ การเกิดไอออนในเซชันย้อนกลับ กับ การไม่เกิดไอออนในเซชันย้อนกลับขึ้นดังรูปที่ 2.9

ถึงแม้ว่า การเกิดไอออนในเซชันย้อนกลับ มีบทบาทสำคัญในความสามารถในการดักจับของฝุ่นชนิดต่างๆ แต่ขณะนี้ก็ยังไม่มีการเขียนออกมาเป็นสูตร หรือความสัมพันธ์ที่แน่นอน



รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ศักย์ไฟฟ้าและกระแสในการคายประจุไปยังระนาบ เมื่อ A ไม่เกิดเอกสารนี้เป็นอุกสิทธิ์สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า การไอออนในเซชัน B เกิดการไอออนในเซชันปานกลาง และ C มากที่สุด ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.8 ผลของแรงทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Force) จากหลักในการออกแบบหลักอากาศพลศาสตร์ของเครื่องดักจับฝุ่นขนาดใหญ่ คือ

1. แรงดันอากาศรวมที่ตกลงเมื่อผ่านตัวเครื่องควรมีค่าน้อยที่สุด
2. ก๊าซจะต้องถูกลดความเร็วจากความเร็วฝุ่น (Dust Velocity) ปกติมากกว่าหรือเท่ากับ 15 เมตรต่อวินาที เป็นความเร็วของเครื่องดักจับ 1-2 เมตรต่อวินาที
3. ฝุ่นที่ถูกลดความเร็วจะต้องถูกกระจายเข้าไปในภาชนะรวบรวม (Collection-Chamber) ในการประมาณขนาดเครื่องดักจับ เราจะสมมติว่าก๊าซมีการกระจายสม่ำเสมอครอบคลุมพื้นที่หน้าตัดของอุปกรณ์
4. การไหลของก๊าซที่กั้นภาชนะรวบรวมจะต้องมีค่าน้อยที่สุด
5. ก๊าซจะต้องค่อยๆถูกเร่งออกจากภาชนะรวบรวม

จากมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะต้องหาค่าความเร็วของก๊าซสม่ำเสมอ เนื่องจากความเร็วสัมพัทธ์ของการเคลื่อนย้ายของอนุภาคเป็นฟังก์ชันของอัตราการไหลของก๊าซ (โดยบางทีอาจจะมาจากการกลับเข้าไปในทางเดินของก๊าซอีกครั้ง ซึ่งก็เป็นฟังก์ชันของความเร็วก๊าซด้วย) ก็จะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดลงที่ตำแหน่งต่างๆ ในระบบ ซึ่งทั้งจากทางทฤษฎีและผลจากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นของระบบนั้นจะมีค่ามากยิ่งขึ้น ถ้าอัตราการไหลเป็นแบบไม่เป็นระเบียบ เครื่องดักจับฝุ่นจะมีประสิทธิภาพมากกว่าที่หาได้จาก สมการของดอยท์ซ (ซึ่งสมมติให้มีความไม่เป็นระเบียบสูง) หรือมีค่ามากกว่าที่เคยมีการบันทึกไว้เมื่อใช้งานจริงเหตุผลที่ทำให้เกิดเหตุการณ์เช่นนี้ ยังไม่ได้มีการศึกษาอย่างจริงจัง แต่ได้มีการตั้งสมมติฐานไว้ว่าเพราะเกิดจากการกลับเข้ามาของก๊าซที่ผ่านออกไปแล้ว

การใช้แบบทดลองในการออกแบบตัวเครื่อง ก็ยังไม่ได้ผลที่ตรงกับความเป็นจริงนัก เนื่องจากในการทำงานจริงๆ จะมีลมไอออน ซึ่งมีความเร็วประมาณ 1-2 เมตรต่อวินาที รวมอยู่ด้วย ทำให้ผลการศึกษาด้วยตัวแบบไม่ตรงกับความเป็นจริง รวมทั้งรูปแบบการไหลของก๊าซก็ยิ่งขึ้นกับรูปร่างของชิ้นที่ปล่อยประจุอีกด้วย

2.4.9 ผลของการใส่ศักย์ไฟฟ้าให้กับเครื่องดักจับฝุ่น จากในเครื่องดักจับฝุ่นจะต้องให้ศักย์ไฟฟ้าที่เป็นลบที่มีค่าสูงมากกับเส้นลวด เพราะจะไม่ทำให้เกิดการอาร์คมาก ส่วนในเครื่องที่มีขนาด

เอกสารนี้เป็น เล็กไม่คอยจะมีปัญหาเรื่องการอาร์ค ซึ่งต้องการประสิทธิภาพสูงก็ใช้ศักย์ไฟฟ้าที่เป็นบวกที่มีค่าสูงมาก การคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะจะไม่ทำให้เกิดก๊าซโอโซน (เนื่องจากประจุมตัวกับก๊าซออกซิเจน) รวมทั้งในบางกรณีศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการอาร์คจะมีค่าสูงมากกว่าการใช้ศักย์ไฟฟ้าที่เป็นลบ (เช่นในกรณีที่อุณหภูมิและความดันมีค่าสูงมาก) ในทางทฤษฎี ประสิทธิภาพของการจับจะขึ้นอยู่กับค่าของกำลังสองของศักย์ไฟฟ้าที่ให้เข้าไป และการทำงานจะดีที่สุดหรือดีขึ้นไปอีก เมื่อยิ่งให้ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ในทางปฏิบัติพบว่ารูปคลื่นที่ออกมาจากวงจรเรียงกระแส และวงจรกรองกระแส ที่ไม่เรียบจะให้ผลที่ต่ำกว่าแหล่งจ่ายไฟที่ให้ค่าเรียบสนิท คือ ช่วงเวลาการสวิตช์นาน ๆ นั้นจะทำให้เวลาการสปาร์คหมดไป และที่แหล่งจ่ายไฟสลับยังไม่ได้แสดงนั้น จะทำให้ได้ค่าศักย์ไฟฟ้ามากกว่า ที่กรองง่ายกว่าไม่ต้องหาอุปกรณ์สนับสนุนการกรองอีกที่หนึ่ง แต่ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าที่สูงมาก ๆ ย่อมจะต้องเกิดการสปาร์คเป็นธรรมดา แต่ถ้ามากเกินไปก็จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องลดลง เครื่องขนาดใหญ่ปกติจะจำกัดให้การสปาร์คเกิดขึ้นได้ประมาณ 100 ครั้งต่อนาที แต่ถ้าในกรณีที่ฝุ่นมีความต้านทานสูงพบว่า การโอออไนเซชันย้อนกลับที่ค่าศักย์ไฟฟ้าที่สูง ๆ จะทำให้ประสิทธิภาพลดลง โดยการเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้สูงมากขึ้นไปอีก ไม่สามารถช่วยให้ประสิทธิภาพสูงกว่านี้ได้ ในกรณีเช่นนี้การใช้ศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำจะมีประสิทธิภาพดีกว่าเพราะว่าศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำจะทำให้เกิดการโอออไนเซชันย้อนกลับลดลง และลดการเกิดการสปาร์ค

การสปาร์คที่เกิดขึ้นในระบบขึ้นกับความหนาของขนาดต่างๆที่อยู่บนแผ่นรับซึ่งถือเป็นขั้นตอนที่ไม่สามารถทำนายได้ (Random Process) ดังนั้นความน่าจะเป็นที่การสปาร์คจะเกิดขึ้นในการคายประจุเป็นวงกลมจะเพิ่มขึ้น เมื่อเส้นลวดมีความยาวเพิ่มขึ้นสามารถแสดงให้เห็นถึงค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องที่มี  $n$  ช่อง  $V_n$  ในรูปของศักย์ไฟฟ้าสูงสุดใน 1 ช่องได้เป็นสมการ

$$V_n = V_1 - \ln\left(\frac{n}{b}\right) \quad (2.69)$$

โดยที่  $V_n$  หมายถึง ศักย์ไฟฟ้าที่สูงสุดในจำนวน  $n$  ช่อง

$n$  หมายถึง จำนวนช่อง

$b$  หมายถึง ค่าคงที่ใดๆ ได้จากการคำนวณมีค่าอยู่ที่ 1

ดังนั้นจากสมการจะเห็นว่า จะได้ผลดียิ่งๆ ถ้าเพิ่มความถี่ของแผ่นเหล็กของเครื่อง

ออกเป็นหลาย ๆ ช่องโดยแต่ละช่องที่มีศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้ไม่เท่ากัน ซึ่งคิดได้อีกในแง่หนึ่งว่า ถ้ามีเพียง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องเดียวก็จะกินพลังงานทั้งหมดเพียงตัวเดียวจะทำให้เกิดการอาร์คได้สูงขึ้น จำนวนแหล่งจ่ายไฟที่จะต้องจ่ายให้ระบบที่แบ่งเป็นช่อง ๆ นั้น จะต้องพิจารณาถึงความสามารถที่มันจะส่งถ่ายพลังงานที่อยู่ในรูปกระแสที่จะเปลี่ยนไปเป็นกำลังงานให้แก่เครื่องจ่ายไม่มีการสูญเสียศักย์ไฟฟ้า

2.4.10 ผลเนื่องจากรูปแบบ หรือรูปร่างลักษณะของตัวเครื่อง จากในเครื่องดักจับในรูปทรงกระบอก ก๊าซและฝุ่นทั้งหมดจะต้องผ่านส่วนทำความสะอาด ซึ่งทางเดินจะมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะทรงกระบอก มีเส้นลวดอยู่ภายในทรงกระบอก โดยเปิดหัวท้ายทรงกระบอก แต่อย่างไรก็ตามในเครื่องขนาดใหญ่ เราสามารถเพิ่มปริมาตรของทรงกระบอกได้ และสามารถทำซ้ำปล่อยประจุที่ใช้ก็มีหลายรูปแบบ เช่น เส้นตรง, สายพันไขว้กัน, ลวดหนาม หรือมีลักษณะหยักเป็นรูปฟันเลื่อย จากการทดลองพบว่าไม่มีแบบใดดีกว่ากัน และความแตกต่างระหว่างข้อต่างๆก็จะยิ่งน้อยลงไปใหญ่ ถ้ามีฝุ่นมาเกาะบริเวณระหว่างการทำงาน แต่จะพบว่า ลวดหนามหรือข้อรูปฟันเลื่อย จะยังคงสะอาดอยู่และยังสามารถปล่อยประจุให้อยู่ในช่วงปกติได้อยู่ แต่เส้นลวดเรียบเป็นปกติจะเกิดการเรืองแสงตลอด ค่าความยาวของเส้นลวดทำให้ประสิทธิภาพลดลงซึ่งในหลาย ๆ กรณี การออกแบบจะขึ้นอยู่กับแบบทางเครื่องกลมากกว่าจะคำนึงถึงการทำงานทางไฟฟ้า

จากการทดลองของไฮริส (Heinricg, 1956) ได้สังเกตพบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะมีค่ามากกว่าเมื่อออกแบบให้ส่วนลักจับมีความกว้าง 350 มิลลิเมตร มากกว่าแบบเดิมคือ 250 มิลลิเมตร วิธีการทดสอบ คือ นำแผ่นรับประจุออก 1 แผ่น (1 ซ้ำปล่อยประจุมีแผ่นรับประจุ 2 แผ่นนำออก 1 แผ่นให้เหลือเพียง 1 แผ่น) แล้วทำการจัดเรียงเสียใหม่ ทำให้ได้ว้าพื้นที่เพิ่ม 2 เท่า และเพิ่มศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ว้าเป็น 2 เท่า แต่ค่ากระแสให้มีค่าเท่าเดิมพบว่าประสิทธิภาพของการทำงานยังคงไม่เปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ถึงแม้ว่าจากสมการของลอยย์ จะทำนายไว้ว่า ประสิทธิภาพจะต้องมีค่าลดลง เนื่องจากพื้นที่ในการจับมีค่าลดลง แต่การศึกษาพบว่า การทดลองเช่นนี้จะทำให้ความเร็วสัมพัทธ์ในการเคลื่อนที่ของอนุภาค มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะห่างระหว่างว้าที่เพิ่มขึ้น และเหตุผลอื่น ๆ อีกมาก รวมทั้งผลของความเข้มข้นของฝุ่นมากน้อยขนาดต่างๆกัน ในการแพร่แบบไม่เป็นระเบียบ และอิทธิพลของสนามไฟฟ้าที่แรงกว่าเมื่อมีพื้นที่เพิ่มมากขึ้น

2.4.11 เครื่องดักจับแบบ 2 ตอน (Two-stage Precipitator) จากเครื่องดักจับแบบ 2 ตอนนั้นสามารถที่จะลดปัญหา การเกิดการโอโอไอแซนย้อนกลับ ที่เกิดกับฝุ่นที่มีความต้านทานสูงได้ในตอนที่หนึ่งเป็นส่วนให้ประจุ (Precharger Stage) จะทำการประจุให้แก่อนุภาค แต่ไม่มีการจับฝุ่นหรืออนุภาคนั้น ๆ ในตอนที่สองมีการให้สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นรับประจุ 2 แผ่น แต่ไม่มีซ้ำปล่อยประจุแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

โคโรนา ดังนั้นจึงมีการไหลของกระแสที่มาก ทำให้เกิดการโอโอไอเซชันย้อนกลับน้อยมากในกรณีเครื่อง  
ดักจับแบบ 2 ตอน

แต่เครื่องดักจับแบบ 2 ตอนนี้มีปัญหาอยู่ 2 ข้อคือ

1. มีประจุจำนวนจำกัดที่จะให้แก่ฝุ่นได้ เพราะสนามไฟฟ้าเนื่องจากฝุ่นมีค่าได้ไม่เกินค่า  
แรงดันพังของก๊าซ ในระบบขนาดใหญ่ข้อจำกัดนี้จะมีผลอย่างมาก

2. การเกิดโอโอไอเซชันย้อนกลับจะยังคงเกิดขึ้นได้ในตอนที่ 2 แม้ว่าจะไม่มีกระแส  
เนื่องจากการคายประจุเป็นวงกลมแล้วก็ตาม แต่จะมาจากประจุที่ฝุ่นนำติดตัวไปในตอนแรก

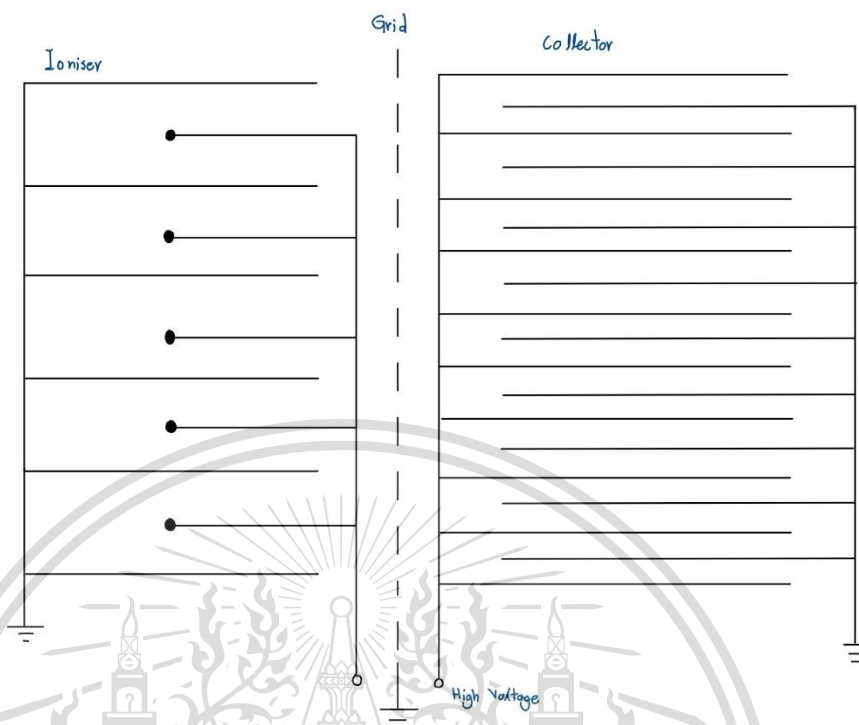
2.4.12 เครื่องดักจับฝุ่นขนาดเล็ก จากเครื่องดักจับฝุ่นขนาดเล็กใช้ในการกรองควันทูหรือ  
ออกจากอากาศในโรงแรม บ้าน รถยนต์ หรือส่วนกรองฝุ่นในเครื่องปรับอากาศ โดยที่พัดลมจะพัดอากาศ  
ในห้อง ให้ผ่านเข้ามาในบริเวณที่จะให้ชาร์จประจุ (Charging Zone) และอนุภาคจะถูกนำออกไป โดยแรง  
ทางไฟฟ้าสถิตที่กล่าวมาแล้ว เครื่องขนาดเล็กโดยปกติจะไม่มีขั้วรับประจุอยู่ในตอนเดียวกัน แต่จะแยก  
ออกเป็นระบบ 2 ตอน โดยที่ส่วนจับฝุ่นจะสามารถถอดออกเปลี่ยนได้ ดังนั้นเครื่องดักจับฝุ่นในห้อง  
โดยทั่วไป จะประกอบด้วยส่วนให้ประจุกับอนุภาคสั้น ๆ ซึ่งเป็นเส้นลวดซึ่งเป็นแถวขนานกับแผ่นโลหะ  
และจะมีส่วนจับประจุค่อนข้างจะยาว ประกอบไปด้วยแผ่นโลหะคู่ขนานสลักกันระหว่างแผ่น ที่มี  
ศักย์ไฟฟ้าสูง และศักย์ไฟฟ้าที่เป็นศูนย์

แต่ว่าเครื่องดักจับในห้องจะกำจัดฝุ่นออกไป แต่ยังมีกลิ่นอยู่ในอากาศ ดังนั้นการกรองควันทูหรือจึงกรอง  
เฉพาะควันทูเท่านั้น แต่กลิ่นบูหรือยังอยู่ และยังคงต้องแน่ใจว่าไม่เกิดก๊าซโอโซนขึ้นในระบบอีกด้วย โดยการ  
ควบคุมหรือ กำจัดโอโซนทำได้โดยการใช้ศักย์ไฟฟ้าที่เป็นบวก แต่ถึงแม้จะใช้วิธีนี้ก็ตาม อาจเกิดการ  
ปล่อยก๊าซโอโซนเกินขีดจำกัด ได้ถ้าใช้เครื่องดักจับนี้ในบริเวณที่ไม่มีการถ่ายเทอากาศจะเกิดก๊าซโอโซน  
และกลิ่นสามารถจะกำจัดไปได้ โดยใช้แผ่นกรองที่เป็นถ่านดักอยู่ในส่วนที่เป็นท่อนำอากาศขาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.4 เครื่องดักฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตแบบ 2 ตอน

จากในปัจจุบันพบว่า ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นในเครื่องแบบ 2 ตอน ขนาดเล็กจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ถ้าใส่ขั้วแหลม (Grid) ที่มีศักย์ศูนย์ระหว่างตอนทั้งสอง โดยมีเหตุผลประกอบ 3 ข้อ คือ

1. การไอออไนเซชันจะเกิดเพิ่มขึ้นระหว่างขั้วปล่อยประจุกับขั้วแหลม
2. เกิดสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นระหว่างส่วนแรก และส่วนที่สอง
3. ขั้วแหลมก็จะตัวเหมือนเป็นขั้วรับประจุที่เพิ่มขึ้นด้วย

เครื่องดักจับแบบใดๆ ถูกออกแบบให้สามารถจับ เขม่าคาร์บอน (Carbon Soot) จากเครื่องยนต์ดีเซลได้ แต่ถ่าน (Carbon) จะจับยากมาก เนื่องจากอนุภาคของคาร์บอนมีขนาดเล็กมาก และมีความนำทางไฟฟ้าสูง เครื่องจับเขม่า จะมีอยู่ 3 ตอนด้วยกัน ส่วนให้ประจุซึ่งจะให้ประจุแก่อนุภาคส่วนรวมตัวให้เป็นก้อน (Precoagulator) เป็นส่วนที่ทำให้เขม่าเกาะตัวกันให้มีขนาดประมาณ 1 ไมโครเมตร ซึ่งจะทำให้สามารถจับเขม่าโดยเครื่องได้ ส่วนรวมตัวให้เป็นก้อนนี้ประกอบไปด้วย แผ่นโลหะคู่ขนานที่วางอยู่ใกล้กันมาก ซึ่งจะทำให้ฝุ่นเข้าไปติดในตอนแรก และหลุดออกมา รวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้น (ประสิทธิภาพของระบบ

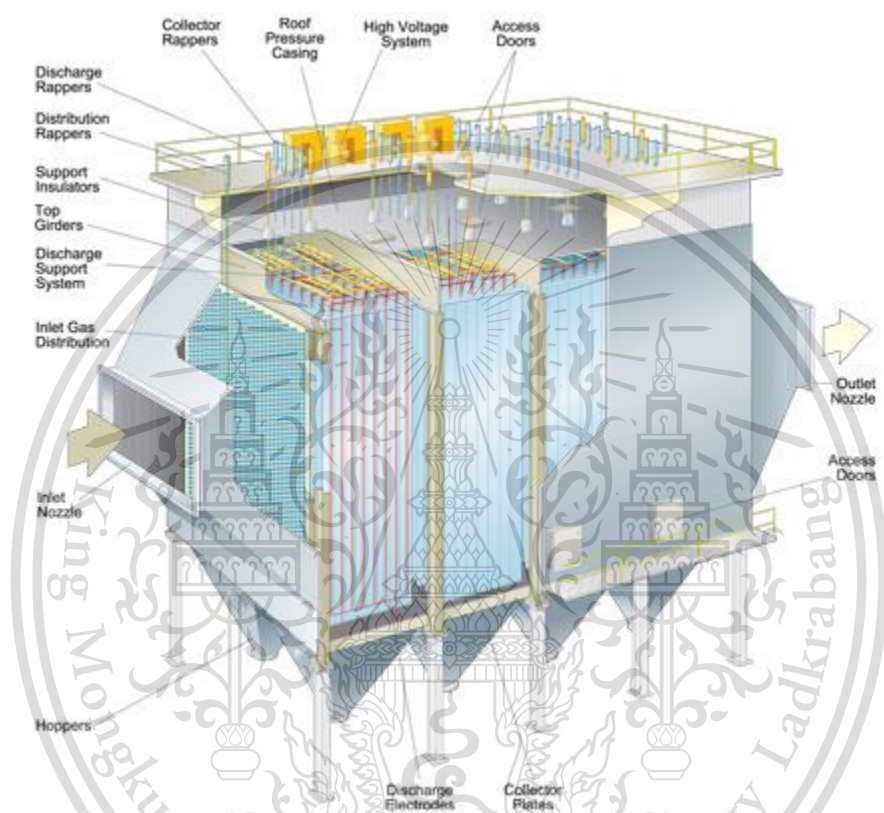
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือขาย  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

จะเพิ่มจาก 75% เมื่อไม่มีส่วนรวมตัวให้เป็นก้อนเป็น 95% เมื่อมีส่วนรวมตัวให้เป็นก้อน) ในตอนสุดท้ายก็จะเป็นตัวรวบรวมเหมือนกับในระบบปกติ

## 2.5 ลักษณะทั่วไปของเครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต



รูปที่ 2.5 เครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตที่ใช้ในโรงงานขนาดใหญ่

(ที่มา [https://www.babcock.com//media/images/esp\\_configuration.ashx?h=402&w=540&la=en&hash=F83FA169FB3323F0B7CBF46BF8A3117A2F5F7903](https://www.babcock.com//media/images/esp_configuration.ashx?h=402&w=540&la=en&hash=F83FA169FB3323F0B7CBF46BF8A3117A2F5F7903))

เครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตสามารถแบ่งออกได้อย่างกว้างๆ ออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนดักจับ และส่วนที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ส่วนที่ใช้ในการดักจับ ประกอบไปด้วย ขั้วรวบรวม (Collection Electrode) และชั้นปล่อยประจุ (Discharge Electrode), ระบบทำความสะอาดด้วยไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

อุปกรณ์กระจายก๊าซ, ส่วนที่เชื่อมต่อกับภายนอก และหม้อเก็บฝุ่น (Hopper) ส่วนที่เป็นด้านอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง (HV Power Supply) และส่วนที่เชื่อมต่อกับส่วนดักจับ

ก่อนที่ก๊าซจะเข้าสู่ระบบ อาจจะมีหรือไม่มีส่วนปรับปรุงสภาพก๊าซ (Pretreatment) ก่อนที่ก๊าซจะเข้าไปยังระบบ ส่วนปรับปรุงสภาพก๊าซอาจจะประกอบไปด้วย ส่วนที่ใช้กำจัดฝุ่นเชิงกล เช่น แผลงตาข่ายถ่าน สำหรับดักฝุ่นที่มีขนาดใหญ่

เครื่องดักจับนี้จะถูกปิดผนึกในกล่อง จะมีส่วนที่เป็นทางผ่านของก๊าซทั้งขาเข้า และขาออก และจะมีในส่วนของหม้อเก็บรวบรวมฝุ่น (Hopper) ขั้วปล่อยประจุ (Discharge Electrode) และฉนวนป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง (High-Voltage Insulator)

ระบบกระจายก๊าซ ประกอบด้วย ใบพัดหมุนทำหน้าที่ให้อากาศไหลผ่านด้วยความเร็ว ฝุ่นตกค้ำงน้อย ลดการกีดขวาง และการกระจายฝุ่น

ระบบรวบรวม ประกอบด้วยพื้นผิวรวบรวม (Collecting Surface) ที่ฝุ่นจะไปติดอยู่เพื่อรอการทำให้ดักจับ, อุปกรณ์สำหรับเคาะหรือสั่น (Rapping or Shocking) พื้นผิวรวบรวม

ระบบแรงดันไฟฟ้าสูง (High voltage) ประกอบด้วย ขั้วปล่อยประจุ (Discharge Electrode), อาจจะมีระบบเคาะขั้วปล่อยประจุ

ระบบที่มีขนาดใหญ่อาจแบ่งออกเป็นหลายๆ ส่วนๆ เรียกว่า Bus Section ซึ่งในส่วนนั้นจะเป็นส่วนที่เล็กที่สุดของเครื่องดักจับ โดยในเครื่องดักจับฝุ่นสามารถที่จะประกอบไปด้วยหลายๆ Bus Section ได้

การทำงานของเครื่องดักจับจะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ Bus Section หลายๆ ส่วน หรือ การใช้แรงดันไฟฟ้าสูงหลายๆ ค่าในแต่ละ BUS Section ซึ่งเรียกว่า การแบ่งเป็นส่วนๆ (Sectionalized ion) ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องดักจับเพิ่มมากขึ้น

เครื่องดักจับฝุ่นสามารถแบ่งออกเป็นหลายๆ (Sectionalization) ได้ทั้งแบบขนาน และการต่อแบบอนุกรมเป็นแบบที่สำคัญมาก แต่จะต้องมีแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม เพื่อที่จะให้การจับเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ (Uniform) ถ้าใช้แรงดันที่มีค่าเท่ากัน การดักจับที่จะเกิดขึ้นก็จะไปกระจุกตัวรวมกันอยู่ในบริเวณทางเข้า ซึ่งจะทำให้เกิดผลเสีย คือ จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ส่วนแรกสุดมีค่าลดลง และทำให้ความเร็วของก๊าซเพิ่มขึ้น ซึ่งผลทั้งสองจะทำให้ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นมีค่าลดลงเพื่อที่จะลดค่าที่ไม่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเหล่านี้ จึงต้องทำการวางส่วนที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไว้ ส่วนหน้าสุด และส่วนถัดไปก็ค่อยๆ มีค่าลดลงไป ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

โดยอัตราการไหลนั้นจะต้องมีพื้นที่หน้าตัด การไหลแบบสม่ำเสมอ ส่วนความเร็วของอนุภาคในแต่ละส่วนจะไม่เท่ากันโดยจะค่อยๆ ลดลง แบบขนานจะใช้เมื่อมีการไหลของก๊าซไม่สม่ำเสมอ โดยส่วนที่อยู่กลางจะมีอัตราการไหลมากที่สุด ซึ่งเหมาะกับสถานที่ ที่มีขนาดใหญ่มาก ทำให้การไหลของก๊าซไม่สม่ำเสมอ เครื่องดังกล่าวจะทำงานด้วยไฟฟ้าสถิต ต้องการแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าตรง ที่มีแรงดันสูงมาก

2.5.1 หลักของเครื่องดักจับด้วยหลักการไฟฟ้าสถิต จากมีกลไกต่างๆ มากมายที่ทำให้อนุภาคมีประจุไฟฟ้า อนุภาคโดยปกติจะมีประจุไฟฟ้าได้ เมื่ออนุภาคได้รับพลังงานสูง ซึ่งอาจจะได้มาจากการไปติดหรือถูกกับแหล่งที่มีพลังงานสูง เช่น แสง เพลวไฟ หรือแม้แต่วัสดุคอสมิกที่อยู่ในบรรยากาศของโลก และการเกิดประจุอาจจะทำได้จากการมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงมากๆ ก็ได้

ในธรรมชาติ อนุภาคจะมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า อนุภาคที่มีประจุตามธรรมชาติจะมีค่าไม่เพียงพอที่จะใช้ในเครื่องดักจับด้วยไฟฟ้าสถิตได้ โดยในเครื่องดักจับนี้จะใช้แรงดันไฟฟ้า ค่าสูงมากอยู่ในช่วง 10-100 กิโลโวลต์ (แต่ปกติใช้ 40-60 กิโลโวลต์) ซึ่งจะถูกใส่ให้กับขั้ว ปล่อยประจุ และขั้วรับประจุ เพื่อให้ก๊าซเกิดการไอออไนเซชัน โดยในบริเวณนี้จะมีไอออนบวกและ ไอออนลบเกิดขึ้นอย่างมากมาย (การไอออไนเซชันของก๊าซ เป็นการแยกจากกันของโมเลกุลก๊าซเป็นไอออนอิสระ) แรงดันสูงที่ทำให้ระหว่างขั้วทั้งสอง จะทำให้เกิดการแตกตัวของก๊าซ ที่ไม่นำไฟฟ้าให้เป็นไอออน ที่สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ โดยการเคลื่อนที่ของไอออน เวลาที่ใช้ในการประจุปกติจะมี ค่าประมาณ 0.01 วินาที หรือน้อยกว่านี้ ปกติจะมีไอออนลบประมาณ 10 ตัวต่อลูกบาศก์เซนติเมตรเมื่อใช้การคายประจุเป็นทรงกลม (Corona Discharge)

ก๊าซที่ผ่านระหว่างขั้วทั้งสอง อนุภาคจะถูกชนด้วยไอออน ที่วิ่งจากขั้วปล่อยประจุไปยังขั้วรับประจุ ซึ่งอนุภาคจะได้รับประจุทั้งสองขั้วจากขั้วปล่อยประจุ ทำให้อนุภาคที่วิ่งไปยังขั้วรับประจุมีทั้งบวกและลบ

การพังของสนามไฟฟ้า บางส่วนของก๊าซที่อยู่รอบๆ ขั้วปล่อยประจุ จะปรากฏเป็นการเรืองแสงสีน้ำเงินเรียกว่า การทรงกลม (Corona or Corona Glow) การเพิ่มค่าแรงดัน ที่มากกว่าแรงดันที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ (Corona Voltage) จะเป็นผลให้กระแสที่ไม่จำกัดถูกส่งผ่านระหว่างขั้วทั้งสอง และจะอยู่ในรูปของการเกิดสปาร์คเกินขีดจำกัด (Sparkover)

ในการทดลองพบว่า การเกิดสปาร์คเกินขีดจำกัด ในบางระบบอาจมีค่าสูงถึง 100 ครั้งต่อ ต่อนาที และ 1 ครั้งต่อนาทีในบางระบบ สปาร์คอาจจะเปลี่ยนเป็นอาร์ค (Arc) ได้ โดยสังเกตได้ว่า จะเกิดการลุกไหม้ที่ขั้วทั้งสองอย่างรวดเร็ว

ผลจากการที่อนุภาคได้รับการประจุ คือ แรงแยกตัว ซึ่งเป็นสัดส่วนของค่าประจุคูณด้วยค่า ของความหนาแน่นของสนามไฟฟ้าๆ ตัวอย่างขนาดของแรง เช่น 3000 เท่าของแรงโน้มถ่วงของโลก

เอกสารนี้เป็นสำหรับอนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ไมครอน และ 300 เท่าของแรงโน้มถ่วงโลกสำหรับอนุภาคที่มีขนาด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ไมครอน ถ้าอนุภาคมีความหนาแน่นเท่ากับหนึ่ง จากข้อมูล ดังกล่าวจะเห็นว่า เครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตนี้ใช้ได้ผลดีและมีประสิทธิภาพสูง อนุภาคที่ถูกประจุโดยไอออนนั้น จะพยายามเคลื่อนที่เข้าหาขั้วรับ อัตราการเคลื่อนที่ที่จะขึ้นกับ ค่าความต่างศักย์ระหว่างชั้น (หรือ แรงดันไฟฟ้าค่าสูงๆ ที่ให้เข้าไป) หรือในทางกลับกันอัตราในการเคลื่อนที่นี้จะขึ้นกับสภาพความต้านทานของฝุ่น โดยสภาพต้านทานนี้จะอยู่ในรูปของความต้านทานของตัวกลางต่อการไหลของกระแส อิเล็กตรอน สภาพความต้านทานของฝุ่นที่ใช้ในเครื่องดักจับ สามารถแบ่งได้อย่าง 3 กลุ่ม

1. ฝุ่นที่มีสภาพต้านทานต่ำกว่า  $5 \times 10^3$  โอห์ม-เซนติเมตร
2. ฝุ่นที่มีสภาพต้านทานอยู่ระหว่าง  $5 \times 10^3$  และ  $2 \times 10^{10}$  โอห์ม-เซนติเมตร
3. ฝุ่นที่มีสภาพต้านทานมากกว่า  $2 \times 10^{10}$  โอห์ม-เซนติเมตร

จากการทดลองพบว่า อนุภาคในกลุ่ม 1 จะรวบรวมได้ยาก เนื่องจากอนุภาคเหล่านี้ ถูกประจุ และดักจับได้ง่าย แต่เมื่อไปถึงขั้วรับแล้ว มันก็จะสูญเสียสภาพความมีขั้วของอนุภาค และจะมี เป็นขั้วเดียวกับขั้วรับแทน

เมื่อมีขั้วเดียวกันอนุภาคก็就会被ผลักกลับไปในทางเดินของก๊าซอีกครั้งหนึ่ง จะเกิดการหนีการดักจับ เมื่อเข้าไปอยู่ใน ทางเดินของก๊าซก็จะถูกประจุ โดยสนามไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะสามารถแก้ไขเหตุการณ์นี้ได้โดยการสร้างตัวกัน (Buffer) ที่ผิวขั้วรับประจุ (Collection Wall) ดังแสดงในรูปที่ 2.22 จะเห็นว่า ที่ผิวของขั้วรับประจุจะถูกทำให้มีลักษณะเป็นรอยหยักหรือมีเหลี่ยม หรือวัสดุชิ้นเล็กๆ คั่นอยู่ เมื่อฝนจะหลุดไปยังทางเดินของก๊าซอีกครั้งหนึ่ง ก็จะไปติดตรงบริเวณนี้ ทำให้ไม่สามารถกลับเข้าไป ในทางเดินอากาศได้อีก

จากการทดลองพบว่าอนุภาคที่มีสภาพต้านทานในกลุ่ม 2 เป็นอนุภาคที่เหมาะสมที่จะถูกเครื่องดักจับด้วยไฟฟ้าสถิตจับได้มากที่สุด อนุภาคจะไม่สูญเสียประจุ เมื่อสัมผัสกับขั้วรับเร็วเกินไป หรือทำให้เกิดการไอออนในเซชันย้อนกลับทำให้การไอออนในเซชันย้อนกลับจะลดลงได้ เมื่อทำให้ คุณสมบัติของก๊าซที่ไหลผ่านระบบเปลี่ยนแปลงไป เช่น เปลี่ยนอุณหภูมิ, เปลี่ยนสารที่ให้ความชื้น หรือการผสมสารเคมี เพื่อให้คุณสมบัติของก๊าซที่ผ่านระบบเปลี่ยนแปลงไป

จากการทดลองพบว่า อนุภาคที่มีพิภคความต้านทานในกลุ่ม 3 จะทำให้เกิดจากการ ไอออนในเซชันย้อนกลับ (Back Ionization) ซึ่งก็คือ การคายประจุที่จำกัดอยู่ในบริเวณขั้วรับประจุ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อผิวขั้วรับประจุถูกเคลือบด้วยชั้นของสารที่ไม่นำไฟฟ้า (ซึ่งก็คือฝุ่นนั่นเอง) การเกิดการไอออนในเซชันย้อนกลับอย่างอ่อนจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการ สปาร์คเกินขีดจำกัด (Sparkover) ลดลงเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าเกิดการไอออนในเซชันย้อนกลับมากๆ (Strong Back Ionization) จะสร้างการคายประจุไอออนบวกที่ขั้ว โดยปรากฏการณ์การเกิดการไอออนในเซชันย้อนกลับจะส่งผลกระทบรุนแรงมาก ยิ่งขึ้นเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นของฝุ่น หรือแนวของฝุ่น ที่เกาะหรือเคลือบอยู่บนขั้วรับ มีสภาพต้านทานของชั้นมากกว่า  $10^{11}$  โอห์ม-เซนติเมตร

ค่าสภาพต้านทานจะลดลงในช่วงอุณหภูมิสูงขึ้น หรือลดลงกว่าค่าหนึ่ง ความชื้นของก๊าซจะมีผลต่อการจับอนุภาคเช่นกัน เพราะจะทำให้สภาพต้านทานของอนุภาคเปลี่ยนแปลงไป อนุภาคที่เป็นของแข็งจะดูดกลืนความชื้นในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ และในกรณีสภาพอื่นๆ ค่าของความชื้นมีค่า 20% หรือ น้อยกว่า ซึ่งจากสภาพดังกล่าวจะทำให้ค่าสภาพต้านทานมีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤต คือ  $2 \times 10^{10}$  โอห์ม-เซนติเมตร ตัวอย่างเช่น การใช้ระบบเพิ่มความชื้นของก๊าซที่ทางเข้า จะทำให้ค่าสภาพต้านทานของฝุ่นลดลงอย่างมาก

การไหลของก๊าซก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญมากอีกตัวหนึ่ง ในการรวบรวมอนุภาค เช่น ความเร็วของก๊าซที่มากเกินไป สามารถทำให้เกิดการไหลวนของก๊าซ ทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่ของฝุ่นไม่แน่นอน ซึ่งพื้นที่ที่เกิดเหตุการณ์เช่นนี้ได้แก่

1. ผนังที่เก็บฝุ่น
2. ทางเข้าเครื่องตกตะกอน
3. ช่อง หรือจุดเชื่อมที่เกิดการรั่วไหลของก๊าซ

และสุดท้ายสภาพทางเคมีของก๊าซ ก็มีผลอย่างมากต่อการลดลงของสภาพต้านทานทางไฟฟ้าๆ ซึ่งก็จะทำให้ประสิทธิภาพของการรวบรวมฝุ่นดีขึ้น

ขนาดของเครื่องดักจับฝุ่นจะมีตั้งแต่ขนาดเล็กที่ใช้ภายในรถยนต์ ไปจนถึงขนาดใหญ่ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นการดักจับขี้เถ้าซึ่งเกิดจากการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงโดยที่ความจริงขนาดของเครื่องดักจับนี้จะสามารถกำหนด ด้วยพื้นที่ขั้วรับประจุที่ต้องการ ขนาดของขั้วรับประจุ สามารถหาได้จากการไหล ของก๊าซ, ประสิทธิภาพที่ต้องการ และความเร็วของ อนุภาค ความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่ในการรับประจุกับประสิทธิภาพในการจับฝุ่น (นั่นคือ พื้นที่ของแผ่น รับประจุอัตราการใช้ของก๊าซ =  $\frac{A}{Q}$ ) ได้มาจากสมการของดอยท์ซ ซึ่งกล่าวมาแล้วข้างต้น โดยแปลงรูปเป็น

$$E = 1 - \frac{1}{eQV_p} \quad (2.70)$$

โดยที่ E หมายถึง ประสิทธิภาพของเครื่องดักจับฝุ่น

A หมายถึง พื้นที่ Collection Plate

Q หมายถึง การไหลของก๊าซ

$V_p$  หมายถึง ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่วิ่งไปยังขั้วรับประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

และความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคหนึ่งตัว จะแปรผันโดยตรงกับขนาดของอนุภาค (นั่นคือ รัศมี ความเร็วเฉลี่ยที่มีค่าตั้งแต่ 3 เซนติเมตรต่อวินาที เมื่ออนุภาคมีขนาด 0.5 ไมครอนในก๊าซที่ร้อน และสามารถสูงถึง 45 เซนติเมตรต่อวินาที สำหรับอนุภาคขนาด 50 ไมครอนในอากาศทั่วไป โดยปกติ เครื่อง ดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต จะใช้ได้ดีกับฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย เล็กกว่า 20 ไมครอน เนื่องจากว่าที่ฝุ่นขนาดใหญ่กว่านี้ เมื่อใช้วิธีอื่น ในการจับจะเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า แต่ตามคุณสมบัติของ ตัวเครื่องเองแล้ว สามารถจับได้ตั้งแต่อนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ทรายหยาบ ไปจนถึงฝุ่นที่ไม่สามารถมองเห็น ได้ด้วยตาเปล่าซึ่งต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ในการตรวจสอบ และประสิทธิภาพของเครื่องจะแปรตามขนาด ของฝุ่น คือ ยิ่งอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากๆ ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นลดลง

นอกจากฝุ่นที่เป็นอนุภาคแล้ว เครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต ก็ยังสามารถจะจับหยดน้ำหรือ ละอองก๊าซได้อีกด้วย โดยของเหลวนั้นจะต้องมีคุณสมบัติความมีขั้วซึ่งจะทำให้มีผลต่อแรงเนื่องจาก สนามไฟฟ้า

2.5.2 ชนิดของเครื่องดักจับฝุ่นจาก เครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต จะมีความแตกต่างกันตามวัสดุประสงค์ในการผลิตในเบื้องต้น สามารถแบ่งชนิด การทำงานของเครื่องได้สองแบบ คือ เครื่องดักจับแบบเปียก และแบบแห้ง โดยปกติเครื่องดักจับแบบเปียก เป็นตัวจับที่มีประสิทธิภาพมากกว่า นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งตามชนิดของพื้นผิวในการรับประจุได้เป็น เครื่องดักจับชนิดที่มีพื้นผิวเป็น ท่อ (Pipe) คือ เป็นทรงกระบอก หรือหลายเหลี่ยมกลวง โดยมีขั้วปล่อยประจุอยู่ที่จุดศูนย์กลางของ ทรงกระบอกทอดไปตามความยาวขนาดของทรงกระบอก โดยที่ความยาวของ ทรงกระบอกนั้นขึ้นอยู่กับ ปริมาณก๊าซ และพื้นที่ของระบบที่มีอยู่ และอีกชนิดที่มีพื้นผิวเป็นแผ่น (Plate) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นแผ่น บาง คู่ขนานกัน โดยมีขั้วปล่อยประจุที่อยู่ ในตำแหน่งระหว่างแผ่นคู่ขนานพอดี เพื่อทำให้เกิดสนามไฟฟ้า ที่เป็นลักษณะสมมาตร ระยะห่างระหว่างแผ่นอยู่ในช่วง 15-30 เซนติเมตร วัสดุที่นำมาใช้ทำนั้นมีอยู่ มากมาย เช่น อลูมิเนียม, ทองแดง, เหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) , Nichrome, Hastelloy เป็นต้น ซึ่งต้อง พิจารณาคุณสมบัติความคงทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี และความแข็งแรงเมื่อได้รับแรง กระแทก เพราะจะต้องมีการกระแทก เพื่อให้ฝุ่นที่ติดอยู่หลุดออกมา นอกจากนี้แล้ว ทิศทางการไหลของ ก๊าซ ก็สามารถแบ่งชนิดของ เครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตได้ คือเครื่องดักจับฝุ่นชนิดของก๊าซที่ไหลตาม แกนตั้ง กับชนิดไหลตามแกนนอน ชนิดไหลตามแกนนอนจะเหมาะเมื่อมีพื้นที่ในการทำระบบค่อนข้างมาก และต้องการให้การกระจายของอากาศเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ แต่จะมีปัญหาเมื่อต้องการนำฝุ่นออกจาก ระบบ เพราะค่อนข้างจะยุ่งยาก ส่วนชนิดไหลตามแกนตั้งนั้นเหมาะกับบริเวณที่มีพื้นที่น้อย และจะนำ ฝุ่นออกจากระบบได้ง่ายเพราะมีแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกทำให้ฝุ่นหลุดออกได้ง่าย แต่ระบบ ระบายอากาศนั้นจะทำให้ค่อนข้างจะยุ่งยากเนื่องจากพื้นที่มีน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.5.3 การนำฝุ่นที่ดักจับเรียบร้อยแล้วออกจากระบบการเคลื่อนย้ายอนุภาคที่ถูกดักจับแล้วมีความสำคัญเนื่องจากอนุภาคที่ถูกรวบรวมแล้วอาจจะถูกทำให้เคลื่อนที่ลอยขึ้นไปในกระแสก๊าซใต้ระบบการทำความสะอาดขั้วรับฝุ่น จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเครื่องของเครื่องดักจับฝุ่น โดยที่ตัวเครื่องของเครื่องดักจับอาจจะออกแบบให้มีการรวบรวม และเคลื่อนย้ายอนุภาคที่รวบรวมได้ ด้วยการผ่านน้ำค่าน้อยๆ แล้วทำให้น้ำไหลอยู่ตลอดเวลาถ้าเป็นกรณีของเครื่องดักจับฝุ่นแบบเปียก ส่วนในกรณีเครื่องดักจับแบบแห้ง การทำความสะอาดพื้นผิวรับจะใช้วิธีเชิงกล เช่น การสั่น, การเคาะ หรือบางครั้งใช้การพ่นน้ำเป็นละอองเข้าไปในระบบก็ได้ ส่วนขั้วปล่อยประจุ นั้น ก็มีความจำเป็นที่จะต้องทำความสะอาดอยู่เสมอ เพราะอย่างที่ทราบแล้วว่าจะมีไอออนทั้งบวก และลบเกิดขึ้นจากขั้วปล่อยประจุทำให้อาจมีประจุที่มีขั้วตรงกันข้ามกับขั้ว ปล่อยประจุเกิดไปทำการประจุให้กับอนุภาค และถูกตีกกลับมาหาขั้วปล่อยประจุได้อีก และอาจจะทำให้เกิดฝุ่น มาเกาะอยู่ที่ขั้วปล่อยประจุ เป็นผลให้ขั้วปล่อยประจุไม่สามารถปล่อยประจุได้เต็มที่ ผลก็คือค่าของสนามไฟฟ้ามีค่าลดลง ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องลดลงด้วย วิธีการเคาะ (Rapping) ที่ใช้ใน เครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตแบบแห้งนั้น อาจจำแนก เครื่องมือที่ใช้ ออกได้เป็น 2 แบบ คือ ชนิดให้แรงกระเทือนกับขั้วรับประจุ ซึ่งเปรียบได้เหมือนกับ การใช้ค้อนเคาะ และอีกแบบหนึ่งคือ ใช้การสั่นที่ต่อเนื่องกับระบบ ชนิดที่ใช้การกระเทือนเหมาะ สำหรับการทำความสะอาดขั้วรับประจุ ในขณะที่ชนิดการสั่นใช้ได้ดี สำหรับทำความสะอาดขั้วปล่อยประจุ ระบบสั่น หรือระบบการกระเทือนนั้น จะทำให้สารที่ดักจับ หลุดออกจากแผ่นรับประจุ หรือขั้วปล่อย และให้มันตกลงไปในหม้อเก็บฝุ่น (Hopper) แล้วหลังจากนั้นจะนำออกจากเครื่องอีกทีหนึ่ง อัตรา และความแรงของการสั่นหรือการกระเทือนมีความสำคัญมากเพื่อที่จะทำให้ฝุ่นที่ปลิวกลับเข้ามาในระบบมีค่าต่ำที่สุด

และปัญหาในการสั่นหรือเคาะ ในเครื่องดักจับแบบแห้งเกิดเนื่องมาจาก ระบบที่ซับซ้อน, การเปราะบางของส่วนต่างๆ ที่เป็นโลหะ และการไม่ทนต่อการปฏิบัติ เมื่ออากาศมีความชื้น, สกปรก และเกิดการกัดกร่อนได้ง่าย รวมทั้งค่าติดตั้งและบำรุงรักษา เครื่องเคาะหรือสั่นแบบที่นิยม คือ แบบใช้แม่เหล็ก เนื่องจากสามารถทำให้เกิดการสั่นได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถควบคุมได้ง่าย

โดยที่เครื่องดักจับแบบแห้งนี้ สามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 ชนิด คือ

แบบ 1 ตอน จะใช้การไอออนไนเซชัน และรวบรวมอนุภาคในชั้นตอนเดียว

แบบ 2 ตอนนั้น จะมีการไอออนไนเซชันก่อน แล้วจึงรวบรวมอนุภาคและแบบหลังนี้เหมาะสำหรับรวบรวม ฝุ่นที่มีปริมาณมาก

เครื่องดักจับแบบเปียก จะใช้วิธีการล้าง เพื่อนำฝุ่นออก น้ำจะถูกส่งผ่านวงแหวนเพื่อ กำหนด ปริมาณน้ำให้แน่นอน จากส่วนบนสุดของขั้วรับประจุ น้ำนั้นเมื่อใช้ไปแล้วก็นำไปทำความสะอาด แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และควรใช้น้ำที่สะอาด และมีแคลเซียมอิสระอ่อนๆ เป็นส่วนประกอบ และควร

เอกสารนี้เป็นเป็นน้ำไม่กระด้างด้วยซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นในเครื่องดักจับแบบเปียกญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ทฤษฎีโอโซน (Ozone Theory)

2.6.1 การกำเนิดโอโซน โดยทั่วไปแล้วสูตรโมเลกุลของ โอโซน คือ  $O_3$  และมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ที่ 48 และโอโซนในธรรมชาตินั้นส่วนมากจะเกิดขึ้นขึ้นจากชั้นบนบรรยากาศ โดยที่โอโซนจะทำหน้าที่เหมือนเกราะป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยที่ในปัจจุบันการทำลาย และลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศนั้น ทำให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตนั้นส่องมายังโลกมากขึ้น และยังทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บนโลกอีกด้วย แต่ถ้าในกรณีที่มีโอโซนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และในปี ค.ศ. 1840 นักวิทยาศาสตร์สามารถที่จะรวบรวมวิธีการผลิตก๊าซโอโซนในห้องปฏิบัติการ โดยจะมีจำนวน 3 วิธี คือ

1. การกระตุ้นออกซิเจนด้วยรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet exposure of  $O_2$ )
2. การใช้ปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic process)
3. การดิสชาร์จทางไฟฟ้า (Electrical discharge)

ซึ่งในโครงการนี้จะใช้วิธี ที่ 3 ซึ่งก็คือ วิธีการดิสชาร์จทางไฟฟ้า เพราะว่าวิธีการนี้นั้นสามารถที่จะกำหนดปริมาณของก๊าซโอโซนได้แน่นอนว่า ต้องการปริมาณเท่าไรผ่านการคำนวณ และสามารถที่จะปรับเปลี่ยนความถี่ หรือแรงดันเพื่อควบคุมปริมาณการเกิดก๊าซโอโซนได้ โดยจะกลางถึงการผลิตโอโซนด้วยวิธีการดิสชาร์จทางไฟฟ้าในหัวข้อถัดไป และสามารถที่จะหาปริมาณของการเกิดก๊าซโอโซน ได้จากการทดลองทางเคมี โดยจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.6.2 คุณสมบัติของโอโซน จากโอโซน ( $O_3$ ) เป็นก๊าซที่ไม่มีความเสถียร และเกิดจากการรวมตัวกันของธาตุออกซิเจน และมีสูตรโมเลกุลเป็น  $O_3$  มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ที่ 48 g/mol และโอโซนนั้น ยังเป็นตัวออกซิแดนซ์ที่รุนแรง โดยมีค่าออกซิแดนซ์อยู่ที่ +2.07 V และโอโซนนั้นยังสามารถที่จะเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์ได้เกือบทุกชนิด และโอโซนจะมีครึ่งชีวิตในน้ำประมาณ 15 นาที และจะมีค่าครึ่งชีวิตในอากาศนานกว่าครึ่งชีวิตในน้ำ และก๊าซโอโซนนั้นจะเสถียรมากเมื่ออยู่ในพื้นที่แห้ง และมีอากาศเย็น

2.6.3 ลักษณะทั่วไปของก๊าซโอโซน จากโอโซนเป็นก๊าซที่ไม่มีสี แต่มีกลิ่นที่อุทกภูมิห้อง และมีความหนาแน่นประมาณ 1.6 เท่าของอากาศ ที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ แต่ในขณะที่ระดับที่มีความเข้มข้นสูง โอโซนจะมีกลิ่นฉุนมาก และยังสามารถสร้างความอันตรายให้กับสิ่งมีชีวิตได้อีกด้วย

2.6.4 ผลกระทบของก๊าซโอโซนต่อสิ่งมีชีวิต จากโอโซนนั้นเป็นก๊าซพิษที่อาจจะก่อให้เกิดความระคายเคืองอย่างรุนแรง ถ้าได้รับในปริมาณที่มีความเข้มข้นสูง และโอโซนนั้นยังเป็นอันตรายต่อระบบประสาท และทำให้เยื่อหุ้มเซลล์อักเสบ หรืออาจจะทำให้เสียชีวิตได้ โดยทั่วไปแล้ว ปริมาณโอโซนที่รับได้ จะอยู่ในช่วง 0.02 – 0.05 ppm และ The Public Health Service ได้กำหนด

เอกสารนี้เป็นปริมาณที่สารสุดคมแล้วไม่เป็นอันตรายคือ 0.1 ppm โดยปริมาตร แต่เนื่องจากมนุษย์ของรานั้นสามารถค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับรู้กลิ่นของโอโซนได้ที่ปริมาณ 0.01 ppm โดยปริมาตร ดังนั้นเราจึงสามารถที่จะหลีกเลี่ยงการรับโอโซนเกินปริมาณที่กำหนดได้ และจากมาตรฐานของ FDA หรือ ออย. ของสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับเครื่องผลิตโอโซนที่ใช้ภายในอาคารสำหรับพื้นที่ปิด ว่าไม่ควรเกิน 0.05 ppm

**ตารางที่ 2.2** ตารางอาการผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นเมื่อสูดดมโอโซนในปริมาณต่างๆ

ที่มา Francis L. Evans III, 1977

ปริมาณโอโซน (PPM)	อาการผิดปกติที่ปรากฏ
0.02 – 0.03	เกิดการระคายเคืองของจมูก และคอ
0.1	ระบบหายใจแห้ง
0.1 – 0.2	คอแห้ง
0.2 – 0.5	เกิดปัญหากับระบบสายตา
0.1 – 1	เกิดผลกระทบต่อระบบปอด
1.0	ปวดศีรษะ (ถ้าสูดดมมากกว่า 30 นาที)

**ตารางที่ 2.3** ตารางปริมาณโอโซน กับระยะเวลาที่สามารถสัมผัสได้

ที่มา <https://www.airwaveplus.com/17596069/>

ปริมาณโอโซนตกค้างในอากาศ (PPM)	ระยะเวลาในการสัมผัส	ผลกระทบ
0.01 – 0.02	ไม่จำกัด	มีกลิ่นคล้ายหญ้าสด
0.10	8 ชั่วโมงต่อวัน	มีกลิ่นคาวเล็กน้อย
0.30	15 นาทีต่อชั่วโมง	มีกลิ่นคาวมาก
0.4	ไม่ปลอดภัย	วิงเวียนศีรษะ, คลื่นไส้
0.60	ไม่ปลอดภัย	อาจจะมีผลกระทบต่อทางเดินหายใจ

2.6.4 ปริมาณโอโซนกับการกำจัดเชื้อโรค จากปริมาณที่โอโซนนั้นสามารถที่จะกำจัดไวรัส เชื้อโรค กำจัดแบคทีเรีย และกำจัดเชื้อรา โดยปริมาณที่ใช้นั้นจะแบ่งออกเป็น 3 ปริมาณ ตามตารางที่ 2.3 คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

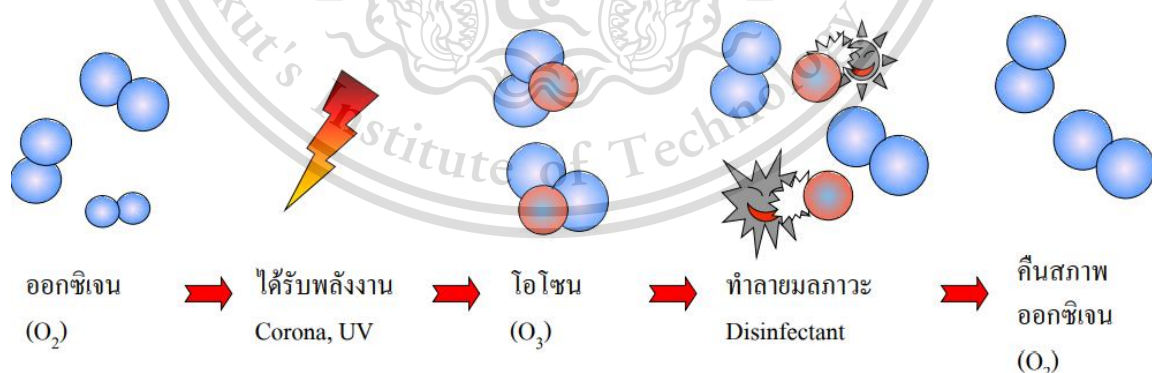
## ตารางที่ 2.4 ปริมาณความเข้มข้นของโอโซน และระยะเวลาที่สามารถกำจัดสิ่งต่างๆ

ที่มา <https://welbest.co.th/>

เชื้อโรค	ปริมาณความเข้มข้นของโอโซน (PPM)	ระยะเวลา
ระงับการเติบโตของเชื้อโรค	น้อยกว่า 0.05	ไม่จำกัด
ไวรัส	0.5 – 1.5	อย่างน้อย 4 นาที
แบคทีเรีย	10	อย่างน้อย 10 นาที
เชื้อรา	20	อย่างน้อย 30 นาที

จากตารางที่ 2.4 จะเห็นว่ายิ่งความเข้มข้นของโอโซนมากก็ยิ่งสามารถที่จะกำจัด เชื้อโรค และ แบคทีเรีย รวมถึงเชื้อรา ได้ดี แต่ยิ่งความเข้มข้นมากก็จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ และสิ่งมีชีวิต ดังนั้นหากที่จะใช้ โอโซนเพื่อที่จะกำจัด เชื้อโรคควรจะใช้ในพื้นที่เปิดโล่ง หรือใช้ในที่ ที่มีอากาศถ่ายเท เพื่อลดอันตรายที่ อาจเกิดขึ้นต่อมนุษย์ และสิ่งมีชีวิต ซึ่งในขอบเขตของโครงการนี้ จะออกแบบให้ผลิตโอโซน ให้อยู่ ในช่วง 0.5 – 1.5 เพื่อที่จะกำจัดไวรัส ในอากาศ เพียงเท่านั้น

2.6.4 การสร้างก๊าซโอโซนโดยวิธีการดิสชาร์จทางไฟฟ้า ก๊าซโอโซนสามารถผลิตได้จาก อากาศแห้ง และออกซิเจนบริสุทธิ์ โดยจะให้ก๊าซนั้นผ่านช่องแคบที่มีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว โดยที่มีขั้วทั้งสองขั้ว มีความต่างศักย์ไฟฟ้าประมาณ 2000 – 3000 โวลต์ โดยที่สถานะนี้เรียกว่า Corona discharge ซึ่ง โมเลกุลของออกซิเจน ( $O_2$ ) บางส่วนจะแตกตัวเป็นอะตอมของออกซิเจน ( $O$ ) โดยเกิดจากการวิ่งชน ของอิเล็กตรอน ( $e^-$ ) หลังจากนั้นอะตอมของออกซิเจนจะมารวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจน ( $O_2$ )



กลายเป็น ( $O_3$ )

### รูปที่ 2.6 การผลิตโอโซน

(ที่มา <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.pneumax.co.th>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

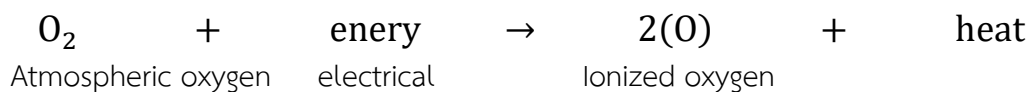
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

%2Farticleozone&sig=AOvVaw35jwvz2XZCrgX48CFsmp6G&ust=1620959903208000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCOjzbzavQxfACFQAAAAAdAAAAABAD)

จากรูปที่ 2.6 สามารถอธิบายปฏิกิริยาการผลิตโอโซนได้จาก



หลักของการผลิตโอโซน คือ จากในสมการที่ 1 โมเลกุลของออกซิเจน จะแตกตัวเป็นอะตอมของออกซิเจน และให้พลังงานความร้อน หลังจากนั้น อะตอมของออกซิเจน จะมาทำปฏิกิริยากับ โมเลกุลของออกซิเจน หลังจากนั้นจะเกิดเป็นก๊าซโอโซน หรือ  $\text{O}_3$  โดยที่ข้อสำคัญของการเกิดโอโซนด้วยวิธีนี้ คือ อากาศที่ป้อนเข้าไปในเครื่องเพื่อสร้างก๊าซโอโซนนั้น จะต้องมีความแห้ง และปราศจากความชื้น เพราะว่าความชื้นนั้นมีผลต่อปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้น และมียังมีผลต่อการใช้งานของเครื่องกำเนิดโอโซนอีกด้วย

## 2.7 ส่วนประกอบของเครื่องผลิตโอโซน

เครื่องผลิตโอโซนที่ใช้หลักการ การดิสชาร์จทางไฟฟ้านั้นจะประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ

1. ส่วนขั้วอิเล็กโตรด ควรจะทำจากวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซโอโซน เช่น อะลูมิเนียม, ทองแดง, สแตนเลส, ตะกั่ว หรือเงิน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะนิยม ใช้ขั้วที่ทำจากสแตนเลส หรือขั้วที่ทำจากอะลูมิเนียม เพราะว่าสามารถให้ปริมาณการเกิดก๊าซ โอโซน ได้มาก เมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่นๆ ที่กล่าวมา และขั้วของอิเล็กโตรดจะประกอบไปด้วย 2 ขั้ว คือ ขั้วที่มีศักย์ไฟฟ้าสูง และขั้วที่เป็นขั้วศักย์ไฟฟ้าต่ำ หรือเรียกว่าขั้วดิน
2. ไดอิเล็กทริก ที่วางชั้นไว้ระหว่างขั้วอิเล็กโตรดทั้งสอง จะมีหน้าที่เพื่อที่ทำให้เกิดการดิสชาร์จอย่างสม่ำเสมอ และที่สำคัญคือจะป้องกันการเกิดการอาร์คทางไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อเครื่องผลิตโอโซน โดยที่ ไดอิเล็กทริกมักจะทำจากแก้ว เพราะว่าแก้วนั้นมีสาร ไดอิเล็กทริกสูง หาง่ายราคาไม่แพง ส่วนใหญ่นิยมที่ความหนาอยู่ระหว่าง 1 – 3 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3. แหล่งกำเนิดไฟฟ้าความต่างศักย์สูง ส่วนมากจะใช้แหล่งจ่ายฟ้ากระแสสลับ หรือแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ความถี่สูง โดยช่วงของความถี่จะอยู่ที่ 10 kHz ขึ้นไป และช่วงของความต่างศักย์ไฟฟ้าจะอยู่ที่ 2000 – 3000 โวลต์ ถ้าหากเราใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มากเกินไปอาจจะทำให้ เกิดความเสียหายของ ไดอิเล็กทริก ซึ่งทำมาจากแก้วได้

ตัวแปรที่ผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตโอโซน

1. ตัวแปรทางไฟฟ้า คือ แรงดันไฟฟ้า, ความถี่ทางไฟฟ้า

2. ตัวแปรของเครื่องผลิตโอโซน ซึ่งขึ้นกับตัวแปร

2.1 ช่องดิสชาร์จ (Discharge gap) ระยะห่างระหว่างช่องดิสชาร์จ และรูปร่างของช่องที่ใช้ในการดิสชาร์จ

2.2 ไออิเล็กทริก ได้แก่ ความยาว ความหนา พื้นที่ผิว และรวมถึงรูปร่างของขั้วอิเล็กทริก

2.3 ขั้วอิเล็กโทรด ซึ่งคือชนิดของโลหะที่ใช้ ในบริเวณที่สัมผัสระหว่างอิเล็กโทรด กับไดอิเล็กทริก และการสัมผัสกันระหว่างขั้วกำเนิดไฟฟ้า กับขั้วแรงสูง

3. อากาศที่ให้กับเครื่องผลิตโอโซน ซึ่งจะมี ชนิดของอากาศ, ความดัน, ความแห้งของอากาศ, ปริมาณของออกซิเจนในอากาศ, อุณหภูมิ, ความชื้นของอากาศ, ความสะอาดของอากาศ และระยะเวลาที่อากาศอยู่ในช่องการดิสชาร์จ

จากเงื่อนไขการเกิดก๊าซโอโซนที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซโอโซนด้วยวิธีการดิสชาร์จ จะเป็นไปตามความสัมพันธ์ของ Francis L. ซึ่งก็คือ

$$v \propto \frac{p}{g} \quad (2.71)$$

และ

$$\frac{Y}{A} \propto \frac{f\varepsilon v^2}{d} \quad (2.72)$$

โดยที่  $v$  หมายถึง ความต่างศักย์ที่ให้กับช่องดิสชาร์จ

$p$  หมายถึง ความดันของก๊าซในช่องดิสชาร์จ

$g$  หมายถึง ความกว้างของช่องดิสชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และจะวางจำหน่ายต่อไปยังบุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$f$  หมายถึง ความถี่ของไฟฟ้าที่ใช้

$\mathcal{E}$  หมายถึง ค่าคงที่ไออิเล็กทรอนิกส์

$d$  หมายถึง ความหนาไออิเล็กทรอนิกส์

ซึ่งจากความสัมพันธ์ของสมการด้านบนเราสามารถสรุปได้ว่า

1. จากความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{p}{g}$  สามารถที่จะช่วยให้สามารถใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำๆ ได้ซึ่งการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าต่ำ จะสามารถรักษา และป้องกันการถูกทำลายของ ไออิเล็กทรอนิกส์ และผิวของ อิเล็กโทรดจากความต่างศักย์สูงๆ ได้
2. จากไดอิเล็กทริกใช้ควรมบาง และมีค่าไดอิเล็กทริกที่สูงเพราะว่า คุณสมบัติทั้งสองนั้นจะช่วยให้เครื่องผลิตไอออนมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น
3. แหล่งกำเนิดไฟฟ้า ควรที่จะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความถี่สูง เพราะว่าจะสามารถลด การสูญเสียการเปลี่ยนแปลงพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้า และที่ความถี่สูงจะทำให้เกิดความเสียหายต่อผิวอิเล็กทรอนิกส์น้อยกว่าที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงๆ ทำให้สามารถยืดระยะเวลาการใช้งานของเครื่องผลิตไอออน

## 2.8 หลักการทำงานของเครื่องผลิตก๊าซไอออน

จากเครื่องผลิตก๊าซไอออนจะมีหลักการทำงานคือ พัดลมจะพัดอากาศที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ผ่านช่องการดิสชาร์จ หลังจากทำการจ่ายไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูงให้กับ ช่องดิสชาร์จแล้ว อากาศที่ประกอบไปด้วย ออกซิเจน จะเกิดการแตกตัวแล้วกลายเป็น ก๊าซไอออน ( $O_3$ ) โดยที่พลังงานที่ใช้ในการผลิตก๊าซไอออนนั้น จะใช้เพียง 10% ในส่วนของพลังงานที่เหลือจะสูญเสียไปในรูปของ แสง เสียง และความร้อน ซึ่งในการทำให้เครื่องผลิตก๊าซไอออนนั้นมีประสิทธิภาพควรที่จะ จัดการระบบระบายความร้อนให้ดี อย่าให้เครื่องผลิตไอออนร้อนจนเกินไป เพราะถ้าหากเครื่องผลิตไอออนมีอุณหภูมิสูง จะส่งผลเสียต่อปริมาณไอออนที่เกิดขึ้น และอุณหภูมิสูงมีผลอย่างมากในการสลายตัวของก๊าซไอออน และอาจจะทำให้กระทบต่อ ไดอิเล็กทริก และอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงควรที่จะออกแบบระบบกำจัดความร้อนที่ดี เพื่อที่จะทำให้ เครื่องผลิตไอออนนั้นสามารถใช้งานได้ยาวนาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.7 หลอดไอออน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## 2.9 หลักการการออกแบบอุปกรณ์ผลิตไอออน

ในการออกแบบอุปกรณ์ผลิตไอออน จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยจะประกอบไปด้วย ส่วนที่ 1 คือ การออกแบบชุดอิเล็กโตรด ส่วนที่ 2 การหาสนามไฟฟ้าที่หลอดแก้ว

2.9.1 การออกแบบชุดอิเล็กโตรด ในการออกแบบชุดอิเล็กโตรด จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนอิเล็กโตรดที่อยู่ภายใน และอิเล็กโตรดที่อยู่ส่วนภายนอก โดยในส่วนของอิเล็กโตรดที่อยู่ภายในจะนิยมใช้วัสดุเป็นสแตนเลส หรืออะลูมิเนียม โดยจะม้วนเป็นทรงกระบอกแล้วไว้ภายในหลอดแก้ว และในส่วนของอิเล็กโตรดที่อยู่ภายนอกจะใช้เป็นตาข่ายอะลูมิเนียมพันอยู่ภายนอกหลอดแก้ว จึงจะทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาดิสชาร์จ ทำให้ออกซิเจนที่ออกซิเจนที่อยู่ภายนอกหลอดแก้วเกิดการแตกตัวและไปรวมกับออกซิเจนที่อยู่ในอากาศทำให้เกิดเป็นก๊าซไอออน



รูปที่ 2.8 ลักษณะการทำงานของชุดหลอดผลิตก๊าซไอออน

### 2.9.2 การหาสนามไฟฟ้าที่หลอดแก้ว

กำหนด

$r_1$  หมายถึง รัศมีอิเล็กโตรดตรงในสุด

$r_2$  หมายถึง รัศมีหลอดแก้ววงกลาง

$r_3$  หมายถึง รัศมีอิเล็กโตรดตรงนอกสุด

$l$  หมายถึง ความยาวของหลอดแก้ว

ค่าของความยาวหลอดแก้วรวมกับค่าของแท่งอิเล็กโตรดเรียบร้อยแล้ว และเราสามารถหาปริมาตรของอากาศภายในหลอดแก้วได้ จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน  $v = \pi(r_3^2 - r_2^2)l$  ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (2.73) ารค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

และจากที่ย่านพลังงาน  $5.58 \text{ kW} - \text{h/m}^3$  ถึง  $7.73 \text{ kW} - \text{h/m}^3$  จะมีออกซิเจนอยู่ประมาณ 21% ดังนั้นจึงใช้ในย่านพลังงานที่  $1.172 - 1.620 \text{ kW} - \text{h/m}^3$

และจากสมการ

$$w = \text{energy} \times \text{volumn} \quad (2.74)$$

จะได้ว่าที่ย่านพลังงาน  $1.172 \text{ kW} - \text{h/m}^3$

$$W = 1.172 \times 10^3 \times \text{volumn} \quad (2.75)$$

และที่ย่านพลังงาน  $1.620 \text{ kW} - \text{h/m}^3$

$$W = 1.620 \times 10^3 \times \text{volumn} \quad (2.76)$$

และสามารถหาพลังงานของสนามไฟฟ้า (E) ได้จากสมการ

$$W = \frac{1}{2} \int \epsilon E^2 dV \quad (2.77)$$

ทำการ อินทิเกรต ทั่วพื้นผิวของหลอดแก้วแล้วหาค่าสนามไฟฟ้า จากสมการด้านบนจะได้ว่า

$$E = \sqrt{\frac{2W}{\epsilon \times \text{volumn}}} \quad (2.78)$$

และจากค่าที่ได้จากสมการด้านบนจะเป็นค่าของสนามไฟฟ้าโดยประมาณที่เกิดขึ้นที่หลอดแก้ว และสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับค่าของ ความถี่ทางไฟฟ้าและ ระยะห่างระหว่างขั้ว อิเล็กโตรดทั้งสอง ส่วนค่าที่ได้จากสมการนั้นจะเป็นค่าโดยประมาณที่มาจากขนาดของหลอดไอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## 2.10 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับเครื่องกรองฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต และหลอดผลิตก๊าซโอโซน

ในการออกแบบวงจรจะแบ่งวงจรออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจะเป็นของไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับเครื่องกรองฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต และส่วนที่สองจะเป็นสำหรับหลอดผลิตก๊าซโอโซนโดยที่ วงจรทางไฟฟ้าของทั้งสองส่วนจะเหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันตรงที่แรงดันไฟฟ้าที่ให้จ่ายให้กับวงจรทั้งสอง



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบสวิตชิ่งในเครื่องกรองฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบสวิตชิ่งในการผลิตก๊าซโอโซน

จากบล็อกไดอะแกรมด้านบน เป็นหลักการทำงานของวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับเครื่องกรองฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต และวงจรสำหรับผลิตก๊าซโอโซน โดยจะมีหลักการทำงาน คือ ทำการแปลงไฟฟ้าบ้านที่ 220 V โดยผ่านหม้อแปลงลดแรงดันเป็นแรงดันต่ำ (Step down transformer) หลังจากนั้นก็จะไปเชื่อมต่อกับ วงจรเรียงกระแสเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง (rectifier) และจะนำไปต่อกับ วงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ (Flyback converter) เพื่อทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้เป็น ไฟฟ้าแรงดันสูง แล้วสุดท้ายเราจะทำการต่อกับวงจรของเครื่องกรองฝุ่น และเครื่องผลิตก๊าซโอโซนตามลำดับ ในส่วนของหัวข้อต่อไปจะทำการอธิบายถึง ทฤษฎี และหลักการทำงานของวงจรตามที่กล่าวมา และจะอธิบายถึงหลักการการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรวมอยู่ด้วย

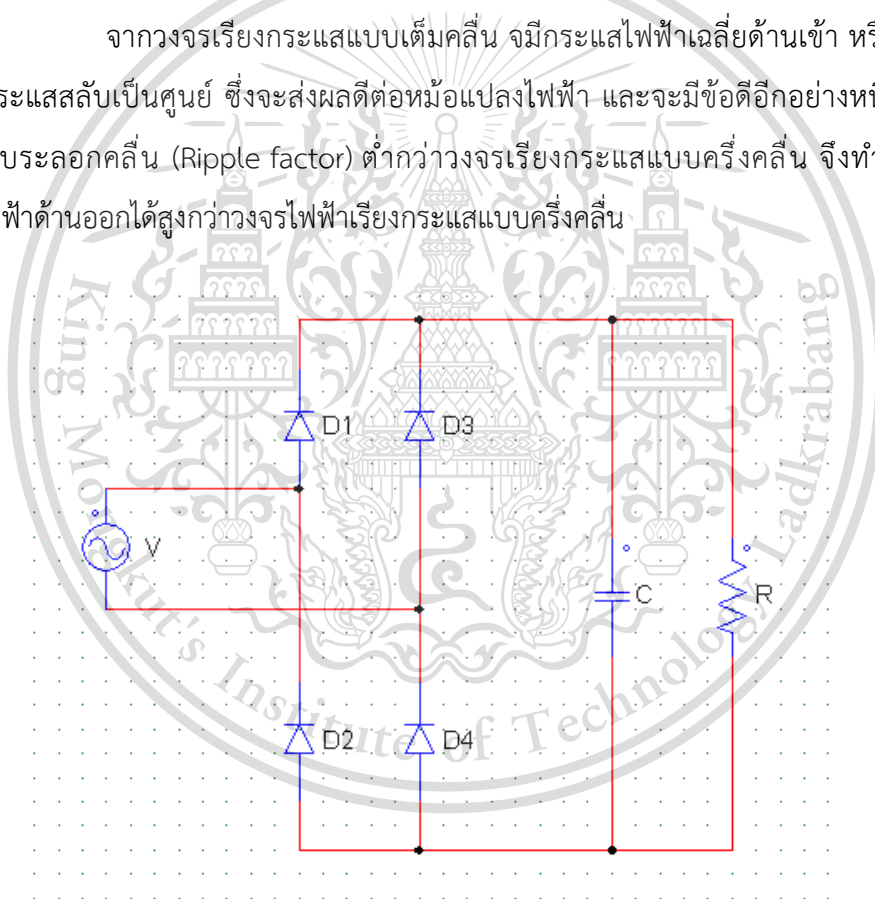
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.10.1 วงจรเรียงกระแส (Rectifier circuit) จากวงจรเรียงกระแสจะทำหน้าที่ในการแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยที่วงจรเรียงกระแสมีทั้งที่เป็นแบบครึ่งคลื่น และแบบเต็มคลื่น โดยที่แบบครึ่งคลื่นมักจะใช้เมื่อพิกัดกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าต่ำ แต่วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น จะมีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยด้านเข้าไม่เป็นศูนย์ทำให้เกิดปัญหาหม้อแปลงอิมิตัวได้ง่าย แต่ในส่วนของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น จะสามารถนำไปใช้ในงานที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าที่สูงได้ และค่ากระแสฟ้าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ทำให้เกิดการอิมิตัวของหม้อแปลงที่ต่อกับวงจรด้านเข้าอิมิตัวยากกว่าแบบวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น โดยที่ในโครงการนี้จะใช้ในส่วนของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น เพราะว่าเนื่องจากมีข้อดีมากกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

จากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น จะมีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยด้านเข้า หรือด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเป็นศูนย์ ซึ่งจะส่งผลดีต่อหม้อแปลงไฟฟ้า และจะมีข้อดีอีกอย่างหนึ่งคือ จะมีค่าตัวประกอบระลอกคลื่น (Ripple factor) ต่ำกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น จึงทำให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าด้านออกได้สูงกว่าวงจรไฟฟ้าเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น



รูปที่ 2.11 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

หลักการการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

1. การทำงานของไดโอดจะนำกระแสเป็นคู่โดยที่ไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  จะทำงานคู่กัน และไดโอด  $D_3$  และ  $D_4$  จะทำงานคู่กัน เป็นผลทำให้กระแสไฟฟ้าไหลจะเป็นบวก หรือเป็นศูนย์ไม่มีโอดาคที่ จะเป็นลบ

2. เมื่อไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  นำกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดจะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย และเมื่อไดโอด  $D_3$  และ  $D_4$  นำกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดจะตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย คือเท่ากับ  $-V_s$

3. ค่าแรงดันไฟฟ้าไบอัสย้อนกลับสูงสุดที่ตกคร่อมไดโอด จะเท่ากับค่ายอดของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย ซึ่งก็คือ เมื่อไดโอด  $D_1$  นำกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด  $D_3$  จะตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย

4. กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายเข้าไปในวงจร คือ  $i_{D1} - i_{D4}$  ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าแหล่งจ่ายเฉลี่ยจะเป็นศูนย์

5. ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย จะเท่ากับค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสที่โหลด

6. ทำการต่อตัวเก็บประจุขนานกับโหลดของวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวแบบเต็มคลื่น จะสามารถทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าแรงดันไฟฟ้าใกล้เคียงกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้

การวิเคราะห์วงจร

จากสมการเมื่อ ไดโอด 1 คู่ นำกระแส

$$V_o(t) = V_m \sin(\omega t) \quad (2.79)$$

และสมการเมื่อ ไดโอดไม่นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$V_o(t) = [V_m \sin(\omega t)] \times e^{-\frac{(\omega t - \theta)}{\omega RC}} \quad (2.80)$$

โดยที่  $\theta$  หมายถึง มุมที่ไดโอดเริ่มหยุดนำกระแส ซึ่งจะคล้ายกับกรณีวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวแบบครึ่งคลื่น จะได้

$$\theta = \tan^{-1}(-\omega RC) \quad (2.81)$$

$$\theta = -\tan^{-1}(-\omega RC) + \pi \quad (2.82)$$

และจากค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดด้านออกจะมีค่าเท่ากับ  $V_m$  และค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดด้านออกจะหาได้จากการแทนค่ามุมที่ไดโอดคู่ที่สองเริ่มนำกระแส  $\omega t = \pi + \alpha$  และทำการแทนลงในสมการด้านบน  
ดังนั้นจะได้จุดขอบเขต (Boundary point)

$$[V_m \sin(\theta)] \times e^{-\frac{(\pi + \alpha - \theta)}{\omega RC}} = -V_m \sin(\pi + \alpha) \quad (2.83)$$

หรือ

$$[\sin(\theta)] \times e^{-\frac{(\pi + \alpha - \theta)}{\omega RC}} - \sin(\alpha) = 0 \quad (2.84)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

และสามารถใช้วิธีระเบียบเชิงตัวเลขเพื่อทำการแก้สมการอดิศัย ในการหาค่าของ  $\alpha$  และจะได้ค่าระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับ

$$\Delta V_o = V_m - |V_m \sin(\pi + \alpha)| \quad (2.85)$$

$$\Delta V_o = V_m [1 - \sin(\alpha)] \quad (2.86)$$

สำหรับวงจรในทางปฏิบัติจะได้ว่า  $\omega R_c \gg \pi$

$$\theta \approx \frac{\pi}{2} \quad (2.87)$$

$$\alpha \approx \frac{\pi}{2} \quad (2.88)$$

และค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดด้านออกจะสามารถประมาณได้จากสมการที่ 2.80 เมื่อไดโอดหยุดนำกระแสที่เวลา  $\omega t = \pi$  จะได้ว่า

$$v_o(\pi + \alpha) = V_m \times e^{-\frac{(\pi + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2})}{\omega R_c}} \quad (2.89)$$

$$v_o(\pi + \alpha) = V_m \times e^{-\frac{\pi}{\omega R_c}} \quad (2.90)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีเหตุที่เบี่ยงเบนเนื้อหา และต้องอยู่ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$\Delta V_o \approx V_m(1 - e^{-\frac{\pi}{\omega RC}}) \quad (2.91)$$

สำหรับเทอม  $e^{-\frac{\pi}{\omega RC}}$  จะสามารถประมาณโดยใช้วิธีกระจายแบบอนุกรมได้

$$e^{-\frac{\pi}{\omega RC}} \approx 1 - \frac{\pi}{\omega RC} \quad (2.92)$$

และนำมาแทนในสมการที่ 2.93 จะได้ว่า

$$\Delta V_o \approx \frac{V_m \pi}{\omega RC} \quad (2.93)$$

และจะได้ว่าค่าระลอกคลื่นแรงดัน (Ripple voltage) ด้านออกมีค่าเท่ากับสมการด้านล่าง

$$\Delta V_o \approx \frac{V_m}{2fRC} \quad (2.94)$$

และเราสามารถกำหนดค่าระลอกคลื่นแรงดันได้ และสามารถหาค่าของตัวเก็บประจุได้จากสมการ

$$C \approx \frac{1}{2fR\left(\frac{\Delta V_o}{V_m}\right)} \quad (2.95)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.10.2 หม้อแปลงไฟฟ้า นิยามของหม้อแปลงไฟฟ้าทางทฤษฎีคือ อุปกรณ์แม่เหล็กที่ประกอบไปด้วยขดลวดทองแดงหลายขด ซึ่งมีหน้าที่ในการถ่ายเทพลังงานไฟฟ้าจากด้านเข้าไปยังด้านออก และยังไม่มีการสะสมพลังงานไฟฟ้าในตัวเองแต่อย่างใด แต่ในทางปฏิบัติหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีการสะสมพลังงานไฟฟ้าบางส่วนในตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (Magnetizing inductor) และตัวเหนี่ยวนำรั่ว (Leakage inductor) ซึ่งจะมีผลกระทบต่อวงจรไฟฟ้า และทำให้เกิดผลเสียต่อวงจรไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับหม้อแปลง เพราะฉะนั้นการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าที่ดีต้องออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าให้มีค่าตัวเหนี่ยวนำรั่วให้มีค่าน้อยที่สุด



รูปที่ 2.12 หม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

พื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้าจะประกอบไปด้วย ขดลวดทองแดงสองขดพันตามรอบแกนของหม้อแปลง โดยที่ลักษณะของแกนหม้อแปลง ก็จะแตกต่างกันออกไปตามที่ผู้ใช้งานเลือกใช้ โดยจะมาจากการคำนวณ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป และโดยทั่วไปแล้วขดลวดทองแดงที่รับพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงาน จะเรียกว่าขดลวดปฐมภูมิ (*primary*) ในขณะที่ขดลวดทองแดงที่ต่ออยู่กับด้านโหลด จะเรียกว่า ขดลวดทุติยภูมิ (*secondary*) นอกจากนี้การถ่ายเทพลังงานไฟฟ้าจากด้านแหล่งจ่ายไปยังโหลด จะอาศัยสนามแม่เหล็กเป็นตัวกลางในการถ่ายเทพลังงานไฟฟ้างดังกล่าว

จากรูปที่ 2.11 และ 2.12 สามารถเขียนสมการของวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าได้เป็น

$$N_1 i_1 - \Phi \mathcal{R} = N_2 i_2 \quad (2.96)$$

และถ้ากำหนดให้ค่าความซาบซึมแม่เหล็ก ( $\mu$ ) มีค่ามากเพียงพอซึ่งกรณีของหม้อแปลงในอุดมคติจะมีค่าเท่ากับอนันต์ จะส่งผลให้ค่าความต้านทานแม่เหล็ก ( $\mathcal{R}$ ) มีประมาณ 0 และจะทำให้ได้สมการ

$$N_1 i_1 = N_2 i_2 \quad (2.97)$$

และจากกฎของฟาราเดย์จะได้ว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดปฐมภูมิเท่ากับ

$$v_1 = e_1 = N_1 \left( \frac{d\Phi}{dt} \right) \quad (2.98)$$

และเนื่องจากที่ขดลวดทุติยภูมิเส้นแรงแม่เหล็กจะเป็นชุดเดียวกับขดลวดปฐมภูมิ ดังนั้นจะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดทุติยภูมิ มีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$v_2 = e_2 = N_2 \left( \frac{d\phi}{dt} \right) \quad (2.99)$$

ทำให้ได้ความสัมพันธ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ คือ

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{i_2}{i_1} \quad (2.100)$$

โดยที่

$$\left( \frac{d\phi}{dt} \right) \neq 0 \quad (2.101)$$

จากสมการที่ 2.100 จะเห็นได้ว่าหม้อแปลงในอุดมคติต้องมีค่าอนุพันธ์ของเส้นแรงแม่เหล็กต่อเวลาไม่เท่ากับศูนย์ กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออกซึ่งหมายความว่าไม่มีการสูญเสียค่าของกระแส และแรงเคลื่อนไฟฟ้าสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ด้วยการเปลี่ยนอัตราส่วนจำนวนรอบในการพันขดลวดทองแดงของด้าน ปฐมภูมิต่อด้านทุติยภูมิ (turn ratio)

และจากในทางปฏิบัติจะไม่สามารถละทิ้งค่าของความต้านทานแม่เหล็กได้ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดปฐมภูมิ ถึงแม้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ขดทุติยภูมิจะเป็นศูนย์ก็ตาม และเมื่อกำหนดให้ค่าของกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิเป็นศูนย์ จะได้ค่าความเหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก (*Magnetizing inductance*) มีค่าเท่ากับ

$$L_m = \frac{N_1^2}{\mathfrak{R}} \quad (2.102)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติค่าความซาบซึมได้ของแกนแม่เหล็กไม่เท่ากับอนันต์เหมือนกรณีอุดมคติ ทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กบางส่วนที่ไม่ไหลผ่านแกนแม่เหล็ก แต่จะไหลผ่านอากาศแทน ดังนั้นที่ขดปฐมภูมิจะได้เส้นแรงแม่เหล็กเท่ากับ

$$\Phi_1 = \Phi_{l1} + \Phi \quad (2.103)$$

โดยที่  $\Phi_{l1}$  หมายถึง เส้นแรงแม่เหล็กที่รั่วผ่านอากาศ

$\Phi$  หมายถึง เส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไหลผ่านแกนแม่เหล็ก และตัดผ่านขดลวดทองแดงทุติยภูมิ

ทำให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำรั่วด้านปฐมภูมิจะมีค่าเท่ากับ

$$L_{l1} = \frac{N_1^2}{\mathfrak{R}_{leak}} \quad (2.104)$$

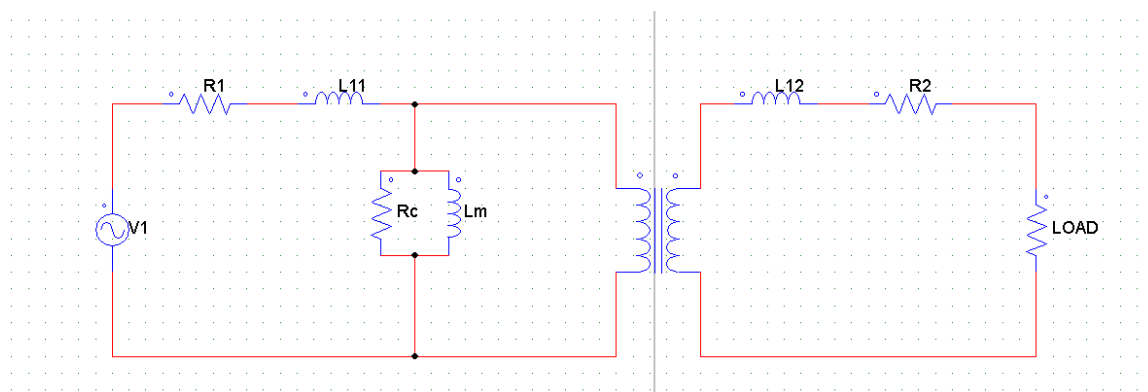
ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำทางด้านทุติยภูมิก็จะสามารถหาได้ในทำนองเดียวกัน

นอกจากนั้นค่าของกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้าจะแทนด้วยสัญลักษณ์ตัวต้านทานในวงจรสมมูล โดยค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงที่ใช้พันรอบแกนแม่เหล็กจะแทนด้วยค่าความต้านทาน ได้แก่  $R_1$  แทนค่าความต้านทานของขดลวดปฐมภูมิ และ  $R_2$  แทนค่าความต้านทานของขดลวดทุติยภูมิ โดยที่ความต้านทานนั้นจะขึ้นอยู่กับ ขนาดของขดลวดทองแดง ส่วนผสม อุณหภูมิ และ ความถี่ที่ใช้งาน และในขณะที่  $R_c$  แทนค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในแกนแม่เหล็ก (core loss) และวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในทางปฏิบัติจะแสดงในรูปข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในทางปฏิบัติ

โดยทั่วไปแล้วการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำของแม่เหล็ก ( $L_m$ ) มีค่ามากๆ เพื่อที่จะทำให้ค่ากระแสเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (*magnetizing current*) มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดกระแสไฟฟ้าของโหลด และในกรณีที่แกนแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัวจะมีผลทำให้ค่าของตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็กมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งหมายถึงการลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม ก็จะมีข้อยกเว้น ในกรณีการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้กับวงจรฟลายแบ็ก (*Flyback transformer*) เพียงกรณีเดียวเท่านั้นที่จะต้องทำการออกแบบให้มีค่าความเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กมีค่าน้อยๆ เพื่อที่จะทำให้ค่าของกระแสเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กมีค่าสูงๆ

2.10.3 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยวิธีผลคูณพื้นที่ สำหรับหม้อแปลงความถี่สูงมีไว้สำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ได้แก่ วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward converter), วงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-bridge converter), วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-bridge converter), วงจรpush-pull คอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull converter), และวงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ (Flyback converter)

จากหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงเป็นอุปกรณ์แม่เหล็กพื้นฐานที่ใช้ในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า เช่น อินเวอร์เตอร์ และแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงเป็นต้น และในหัวข้อนี้จะอธิบายหลักการ การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลังสวิตชิง

โดยทั่วไปแล้ว ในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะนิยมใช้วิธีผลคูณพื้นที่ (Area product) ซึ่งสามารถนิยามได้ด้วยสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

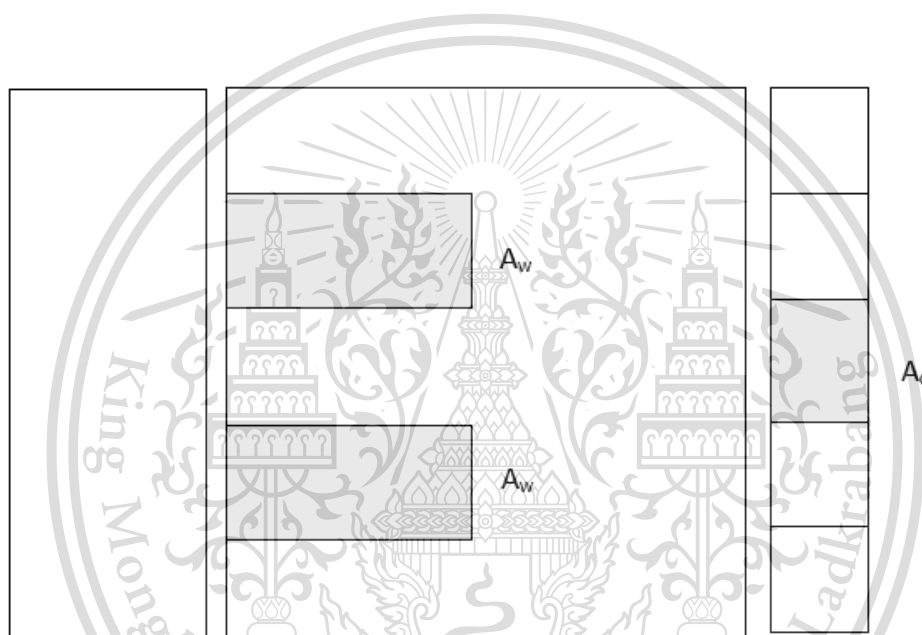
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$A_p = A_c \times A_w \quad (2.105)$$

โดยที่  $A_p$  หมายถึง ผลคูณพื้นที่ (Area product)

$A_c$  หมายถึง พื้นที่หน้าตัดของแกน (Core cross section)

$A_w$  หมายถึง พื้นที่ภายในกรอบว่างของแกน (Windows area)



รูปที่ 2.14 นิยามของ  $A_c$  และ  $A_w$

จากสมการแรงดันเหนี่ยวนำย้อนกลับของหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$E_{rms} = K_f E_{av} \quad (2.106)$$

$$E_{rms} = 4K_f N f B_m A_c \quad (2.107)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

โดยที่  $K_f$  หมายถึง ค่าคงที่ โดยจะมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 1.11 สำหรับกรณีรูปคลื่นแรงดันสี่เหลี่ยม และ รูปคลื่นแรงดันรูปไซน์ ตามลำดับ

$N$  หมายถึง จำนวนขดลวด

$f$  หมายถึง ความถี่

$B_m$  หมายถึง ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด ( $wb/m^2$ )

$A_c$  หมายถึง พื้นที่หน้าตัดของแกน ( $m^2$ )

จะได้ค่าจำนวนรอบด้านปฐมภูมิ

$$N_1 = \frac{E_1}{4K_f A_c B_m f} \quad (2.108)$$

และด้านทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ

$$N_2 = \frac{E_2}{4K_f A_c B_m f} \quad (2.109)$$

กระแสไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับ

$$I = J a_{wire} \quad (2.110)$$

โดยที่  $I$  หมายถึง กระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน  $J$  หมายถึง ความหนาแน่นของกระแส ( $A/m^2$ ) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$a_{wire}$  หมายถึง พื้นที่หน้าตัดของตัวนำซึ่งกระแสไหลผ่าน ( $m^2$ )

และถ้ากำหนดให้ขดลวดด้านปฐมภูมิ ( $N_1$ ) มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ ( $a_1$ ) และขดลวดตัวนำด้านทุติยภูมิ ( $N_2$ ) มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ ( $a_2$ ) ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดของตัวนำทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ  $N_1 a_1 + N_2 a_2$  ซึ่งในทางทฤษฎี พื้นที่หน้าตัดของตัวนำทั้งหมดควรจะพอดีกับพื้นที่หน้าต่าง (Window area) อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ ขดลวดไม่ได้ประกอบด้วยตัวนำเท่านั้น แต่จะประกอบไปด้วย เช่น ฉนวนของขดลวด กระจาดฉนวนระหว่างขดลวด และช่องว่างอากาศเพื่อการระบายความร้อน เป็นต้น และถ้า  $K_w$  นิยามว่าหมายถึง Windows utilization factor ซึ่งเป็นแฟกเตอร์ ที่ใช้ในการชดเชยผลดังกล่าว และโดยทั่วไปจะมีค่าน้อยกว่าหนึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ คือ

$$K_w A_w = N_1 a_1 + N_2 a_2 \quad (2.111)$$

และเราสามารถแทนค่าสมการ  $a_{wire} = \frac{I}{j}$  ลงในสมการด้านบนจะได้ว่า

$$K_w A_w J = N_1 I_1 + N_2 I_2 \quad (2.112)$$

โดยที่  $I_1$  หมายถึง ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสปฐมภูมิ (A)

$I_2$  หมายถึง ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสทุติยภูมิ (A)

$N_1$  หมายถึง จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

$N_2$  หมายถึง จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

ทำการแทนค่า  $N_1$  และ  $N_2$  ลงในสมการที่ ... จะได้สมการว่าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$K_w A_w J = \frac{E_1 I_1 + E_2 I_2}{4K_f A_c B_m f} \quad (2.113)$$

และทำการย้ายข้างของสมการจะได้ว่า

$$A_p = A_c \times A_w \quad (2.114)$$

$$A_p = \frac{[E_1 I_1 + E_2 I_2]}{4JK_f K_w B_m f} \quad (2.115)$$

กรณีรูปคลื่นสัญญาณไซน์ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงด้านทุติยภูมิ ( $P_{o2}$ ) จะมีค่าเท่ากับ

$$P_{o2} = E_2 I_2 \quad (2.116)$$

โดยที่  $E_2$  หมายถึง ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านทุติยภูมิ

$I_2$  หมายถึง ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสด้านทุติยภูมิ

และจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงด้านปฐมภูมิ

$$P_{o1} = E_1 I_1 \quad (2.117)$$

$$P_{o1} = \frac{P_{o2}}{\eta} \quad (2.118)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

- โดยที่  $E_1$  หมายถึง ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านปฐมภูมิ
- $I_1$  หมายถึง ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสด้านปฐมภูมิ
- $\eta$  หมายถึง ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

ดังนั้นจะได้ว่า

$$A_p = \frac{P_{O2} \left[1 + \frac{1}{\eta}\right]}{4JK_f K_w B_m f_s} \quad (2.119)$$

- โดยที่  $P_{O2}$  หมายถึง ค่ากำลังไฟฟ้าจริงด้านทุติยภูมิ (W)
- $K_f$  หมายถึง form factor จะมีค่าเท่ากับ 1.11 สำหรับกรณีเป็นคลื่นรูปไซน์ และจะมีค่าเท่ากับ 1 กรณีเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม
- $K_w$  หมายถึง Windows utilization factor

จากสมการที่ 2.119 แสดงให้เห็นว่า ขนาดของกำลังไฟฟ้าที่สามารถรองรับได้จะสัมพันธ์กับขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า นอกจากนี้ โดยทั่วไปแล้วในทางปฏิบัติจะกำหนดให้ค่า  $K_w$  มีค่าประมาณ 0.3 – 0.4 และค่าความหนาแน่นของกระแส (J) จะมีค่าประมาณ 3.5 – 5 A/mm<sup>2</sup>

ในการเลือกแกนแม่เหล็กที่มีอยู่ทั่วไปให้เหมาะสมกับการใช้งาน จะทำได้โดยการคำนวณหาค่า  $A_p$  ดังแสดงในสมการ 2.119 เปรียบเทียบกับค่า  $A_p$  ที่กำหนดให้โดยบริษัทผู้ผลิต โดยจะต้องเลือกค่า  $A_p$  ที่กำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตให้มีค่ามากกว่า  $A_p$  ที่ได้จากการคำนวณ

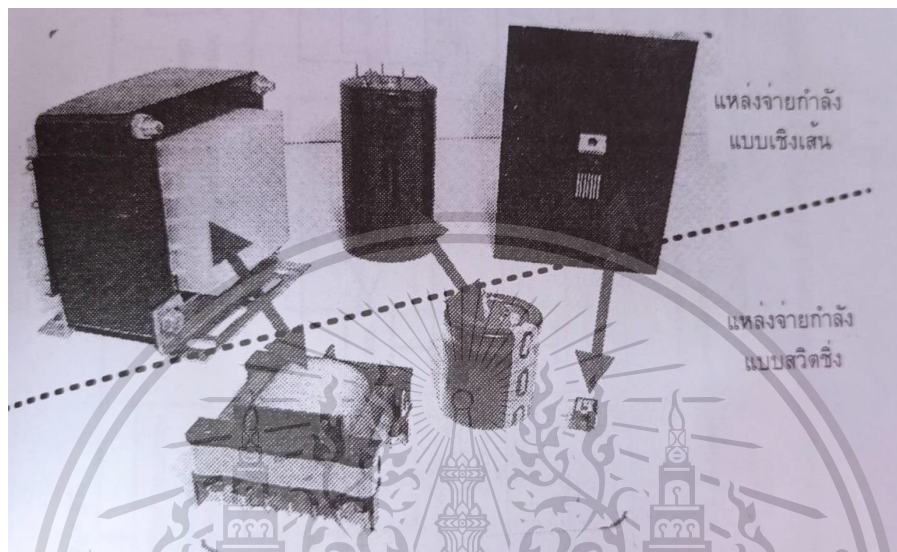
2.10.4 แหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง ในหัวข้อที่ 2.10.4 จะอาศัยข้อดีของเทคโนโลยีอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เช่น มอสเฟต (MOSFET), ไอจีบีที (IGBT) เป็นต้น และจากแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงจะมีการแยกกันทางไฟฟ้าโดยอาศัยหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (High frequency transformer) และสาเหตุที่ต้องมีการแยกกันทางไฟฟัาระหว่างด้านเข้า และด้านออก เพราะค่านี้ถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งาน โดยอาศัยการแยกสายนิวตรอน (Neutral line) ของการไฟฟ้า ออกจากขั้วอ้างอิงของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

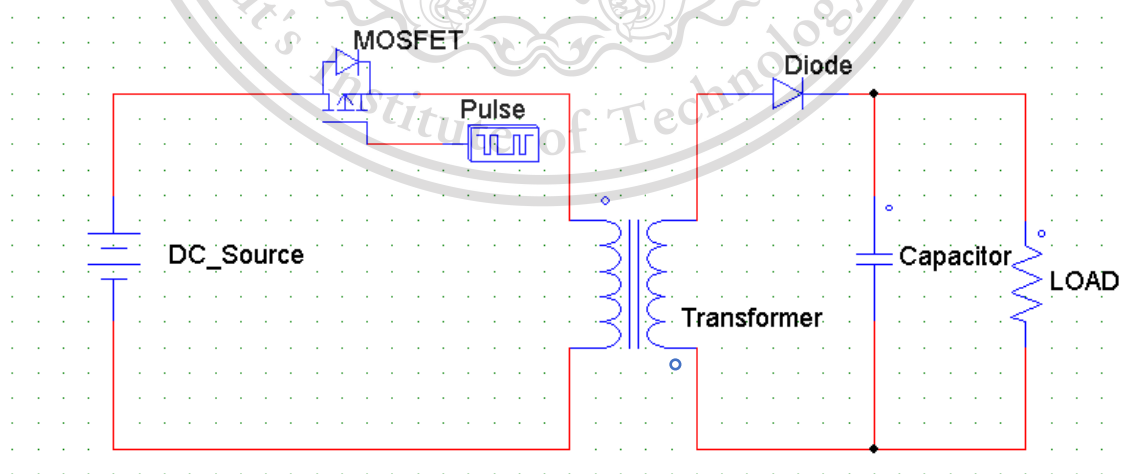
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

และจากรูปที่ 2.15 แสดงถึงภาพตัวอย่างการเปรียบเทียบขนาดของแหล่งจ่ายสวิตชิงกับแหล่งจ่ายแบบเชิงเส้น



รูปที่ 2.15 แสดงถึงภาพตัวอย่างการเปรียบเทียบขนาดของแหล่งจ่ายสวิตชิงกับแหล่งจ่ายแบบเชิงเส้น

วงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)



รูปที่ 2.16 วงจรสมมูลฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

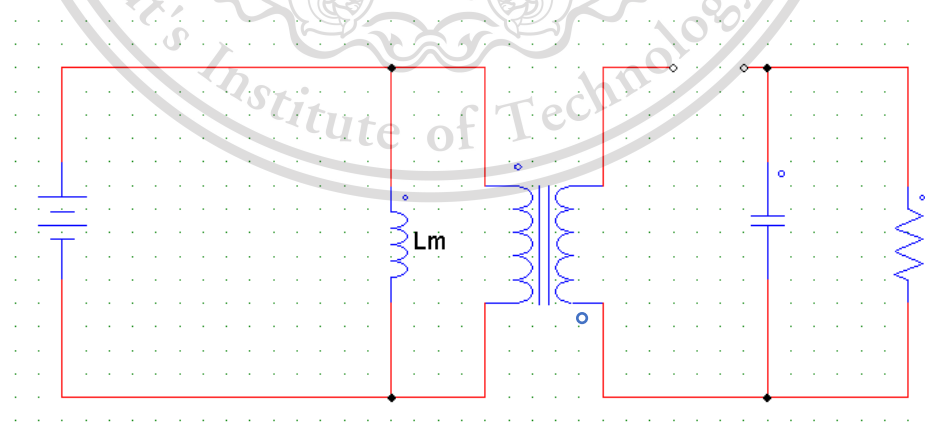
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

จากวงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์จัดอยู่ในประเภทการป้อนแบบแรงดันไฟฟ้า (Voltage fed) และรูปแบบของวงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ และวงจรสมมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของวงจรในรูปที่ 2.18 จะกำหนดเงื่อนไขของการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้งหมด เช่น สวิตช์ และไดโอด จะถือว่าเป็นอุดมคติ
2. วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า จะถือว่าเป็นอุดมคติคือ ไม่มีตัวเหนี่ยวนำรั่ว (Leakage inductance) แต่จะมีค่าตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (Magnetizing inductor) ขนาดขึ้นอยู่กับขดลวดด้านปฐมภูมิเท่านั้น
3. ค่าของตัวเก็บประจุด้านออกจะมีขนาดใหญ่มาก จนถือได้ว่าแรงดันไฟฟ้านำออกของวงจรมีค่าคงที่
4. พิจารณาวงจรขณะทำงานในสภาวะคงตัวเท่านั้น ซึ่งหมายถึงแรงดัน และกระแสไฟฟ้าจะเป็นสัญญาณรายคาบ
5. ค่าตัวตีไซเคิล (Duty cycle) ของสวิตช์  $D$  จะมีช่วงเวลาขณะนำกระแสเท่ากับ  $DT$  และมีช่วงเวลาขณะไม่นำกระแสเท่ากับ  $(1-D)T$

และสำหรับการทำงานของวงจรฟลายแบ็ก จะคล้ายกับหลักการการทำงานของวงจรบัก - บูสต์ โดยตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก จะสะสมพลังงานขณะสวิตช์นำกระแส และจะคายพลังงานไปยังโหลดขณะสวิตช์ไม่นำกระแส และการวิเคราะห์การทำงานของวงจรจะพิจารณาการทำงานของสวิตช์ทั้งสองสถานะดังต่อไปนี้

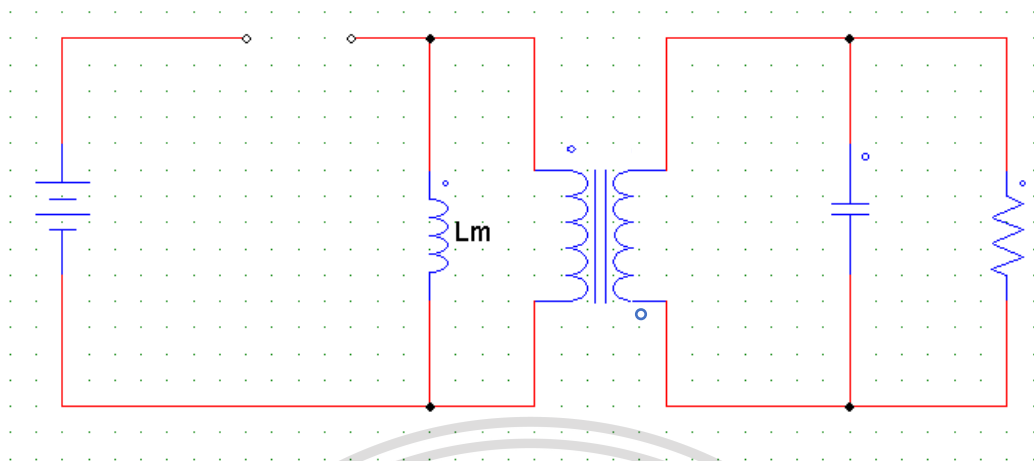


รูปที่ 2.17 วงจรสมมูลฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ขณะนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.18 วงจรสมมูลฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ขณะไม่นำกระแส

การวิเคราะห์กรณีสวิตช์นำกระแส

จากพิจารณาด้านเข้าของหม้อแปลงไฟฟ้า จะได้สมการ

$$v_1 = V_s = L_m \frac{di_{Lm}}{dt} \quad (2.120)$$

$$\frac{di_{Lm}}{dt} = \frac{\Delta i_{Lm}}{\Delta t} = \frac{\Delta i_{Lm}}{DT} = \frac{V_s}{L_m} \quad (2.121)$$

การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเท่ากับ

$$(\Delta i_{Lm})_{closed} = \frac{V_s DT}{L_m} \quad (2.122)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

พิจารณาด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$v_2 = v_1 \left( \frac{N_2}{N_1} \right) = V_s \left( \frac{N_2}{N_1} \right) \quad (2.123)$$

$$v_D = -V_o - V_s \left( \frac{N_2}{N_1} \right) < 0 \quad (2.124)$$

และ  $i_2 = 0, i_1 = 0$

พิจารณาด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า เนื่องจากไดโอดไม่นำกระแสเป็นผลทำให้กระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งหมายถึงกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้ามักจะมีค่าเท่ากับศูนย์เช่นกัน และในขณะที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าสวิตช์กำลังนำกระแส เป็นผลทำให้เกิดกระแสทำแม่เหล็กสะสมพลังงานในตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กเท่านั้น ซึ่งในทางอุดมคติจะถือว่ากระแสไฟฟ้าทำแม่เหล็กมีค่าน้อยมาก จนถึงได้ว่ากระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์เช่นกัน และในทางปฏิบัติกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่กระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับศูนย์

การวิเคราะห์กรณีสวิตช์ไม่นำกระแส

รูปที่ 2.18 เป็นรูปของวงจรฟลายแบ็กกรณีสวิตช์ไม่นำกระแส เมื่อสวิตช์เปลี่ยนสถานะจากนำกระแสมาเป็นไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างทันทีทันใด เป็นผลทำให้ยังคงมีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่โดยกระแสไฟฟ้า  $i_{Lm}$  จะไหลเข้าจุดที่ไม่มีขั้ว ด้านขดลวดปฐมภูมิ และกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจะไหลออกจากจุดที่ไม่มีขั้ว และแรงดันไฟฟ้าจะเป็นบวก ณ จุดที่ไม่มีขั้วเช่นกัน ซึ่งจะทำให้ไดโอดได้รับไบอัสและนำกระแส แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกมีค่าคงที่เท่ากับ  $V_o$  ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำย้อนกลับที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ  $L_m$  ด้านขดลวดปฐมภูมิเท่ากับ  $-V_o$  ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$v_1 = -V_o \frac{N_1}{N_2} \quad (2.125)$$

จากแรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะสวิตช์ไม่นำกระแสจะมีค่าเท่ากับ

$$v_2 = -V_o \quad (2.126)$$

$$v_1 = v_2 \frac{N_1}{N_2} = -V_o \frac{N_1}{N_2} \quad (2.127)$$

และจากสมการ

$$L_m \frac{di_{Lm}}{dt} = v_1 = -V_o \frac{N_1}{N_2} \quad (2.128)$$

$$\frac{di_{Lm}}{dt} = \frac{\Delta i_{Lm}}{\Delta t} = \frac{\Delta i_{Lm}}{(1-D)T} = -\frac{V_o N_1}{L_m N_2} \quad (2.129)$$

การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับ

$$(\Delta i_{Lm})_{opened} = \frac{-V_o(1-D)T N_1}{L_m N_2} \quad (2.130)$$

และเนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวนำ  $L_m$  จะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจากสมการที่  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
2.131  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$(\Delta i_{Lm})_{closed} + (\Delta i_{Lm})_{opened} = 0 \quad (2.131)$$

จะได้ว่า

$$\left(\frac{V_s D T}{L_m}\right) - \left(\frac{V_o (1-D) T}{L_m} \frac{N_1}{N_2}\right) = 0 \quad (2.132)$$

จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกมีค่าเท่ากับ

$$V_o = V_s \frac{D}{1-D} \frac{N_2}{N_1} \quad (2.133)$$

จากสมการ 2.133 จะสังเกตเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า และแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะคล้ายกับกรณีของวงจรบัก - บูสต์ แต่จะแตกต่างกันแค่เพียงในวงจรฟลายแบ็กมีการเพิ่มอัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้าเพียงเท่านั้น

สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดด้านออก ตัวเก็บประจุด้านออก และแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสวิตช์จะสามารถหาได้ดังนี้

$$i_D = -i_1 \left(\frac{N_1}{N_2}\right) = i_{Lm} \left(\frac{N_1}{N_2}\right) \quad (2.134)$$

$$v_{sw} = V_s - v_1 = V_s + V_o \left(\frac{N_1}{N_2}\right) \quad (2.135)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$i_R = \frac{V_o}{R} \quad (2.136)$$

$$i_c = i_D - i_R = i_{Lm} \left( \frac{N_1}{N_2} \right) - \frac{V_o}{R} \quad (2.137)$$

พิจารณาสมการที่ 2.135 จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์ หรือแรงดันเค้น (Voltage stress) จะมีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายเท่ากับ  $V_o \left( \frac{N_1}{N_2} \right)$

ในอุดมคติ ค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับจะต้องมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนจากแหล่งจ่าย

$$P_s = P_o \quad (2.138)$$

หรือ

$$V_s I_s = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.139)$$

และค่ากระแสไฟฟ้าด้านเข้าเฉลี่ย  $I_s$  จะสัมพันธ์กับค่ากระแสทำแม่เหล็กเฉลี่ย  $I_{Lm}$  ดังนี้

$$I_s = \frac{I_{Lm} D T}{T} = (I_{Lm}) D \quad (2.140)$$

และแทนค่าสมการที่ 2.140 ลงในสมการ 2.139 เพื่อหาค่ากระแสไฟฟ้่า  $I_{Lm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$V_s I_{Lm} D = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.141)$$

$$I_{Lm} = \frac{V_o^2}{V_s D R} \quad (2.142)$$

และทำการแทนค่าแรงดัน  $V_o$  ลงในสมการที่ 2.133 และลงในสมการที่ 2.142 จะได้ว่า

$$I_{Lm} = \frac{V_s D}{(1-D)^2 R} \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad (2.143)$$

$$I_{Lm} = \frac{V_o}{(1-D)R} \left( \frac{N_2}{N_1} \right) \quad (2.144)$$

และค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด และต่ำสุดไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ  $L_m$  จะสามารถหาได้จากสมการที่ 2.144 และ 2.122 เท่ากับ

$$I_{Lm,max} = I_{Lm} + \frac{\Delta i_{Lm}}{2} \quad (2.145)$$

$$I_{Lm,max} = \frac{V_s D}{(1-D)^2 R} \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 + \frac{V_s D T}{2 L_m} \quad (2.146)$$

$$I_{Lm,min} = I_{Lm} - \frac{\Delta i_{Lm}}{2} \quad (2.147)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$I_{Lm,min} = \frac{V_s D}{(1-D)^2 R} \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 - \frac{V_s D T}{2L_m} \quad (2.148)$$

กรณีการทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ จะต้องทำให้ค่ากระแสไฟฟ้า  $I_{Lm, min}$  ในสมการที่ 2.148 มีค่ามากกว่าศูนย์ และที่ขอบเขตระหว่างโหมดนำกระแสแบบต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่องจะอยู่ที่เงื่อนไข

$$I_{Lm,min} = 0 \quad (2.149)$$

จะได้ว่า

$$\frac{V_s D}{(1-D)^2 R} \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = \frac{V_s D T}{2L_m} = \frac{V_s D}{2L_m f_s} \quad (2.150)$$

โดยที่  $f_s$  หมายถึง ความถี่สวิตซ์ซิ่ง

และค่าความเหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก  $L_m$  ต่ำที่สุดที่ทำให้กระแสไฟฟ้ายังคงไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง จะมีค่าเท่ากับ

$$(L_m)_{min} = \frac{(1-D^2)R}{2f_s} \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (2.151)$$

และเนื่องจากโครงสร้างทางด้านออกของวงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ จะเหมือนกับกรณีของวงจรบู้ก - บูสต์ ดังนั้นจะได้ว่าสมการระลอกคลื่นด้านออกของวงจรทั้งสองจะมีค่าเท่ากัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf_s} \quad (2.152)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## บทที่ 3

### การดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การวิจัย และดำเนินการในส่วน of เครื่องจักรจับฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต

ก่อนการวิจัย และดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบ จำเป็นต้องกำหนดเป้าหมายของการออกแบบก่อน เพื่อที่จะกำหนดมูลค่าที่แน่นอนของอุปกรณ์ เพื่อไม่ให้เกิดการสิ้นเปลืองเวลา หรือค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินการในโครงการนี้ โดยที่การออกแบบตัวอุปกรณ์ในโครงการนี้จะใช้โปรแกรม Sketch Up ในการออกแบบตัวอุปกรณ์เครื่องจักรจับฝุ่น ก่อนที่จะลงมือทำตัวอุปกรณ์จริง

3.1.1 ขอบเขตในการดำเนินการสร้างส่วนตัวจักรจับฝุ่น จากการออกแบบเครื่องจักรจับฝุ่นที่ใช้ในโครงการนี้ จะมีเครื่องกรองฝุ่นที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็นต้นแบบ แต่จะทำการย่อสัดส่วนลงมาให้เหมาะกับพื้นที่ ซึ่งสามารถที่ใช้ภายในห้อง ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้ง ในห้องนั่งเล่น ในห้องนอน ในห้องครัว ฯลฯ และขอบเขตของฝุ่นที่ใช้ในการทดลองนั้น คือ ฝุ่น P.M. 2.5 และ P.M. 10 ซึ่งการออกแบบเครื่องจักรจับฝุ่นนั้นจะออกแบบเป็นอย่างไร ไม่มีความซับซ้อน เพราะว่าชนิดของฝุ่นที่ทำการดักจับนั้น ไม่มีความหลากหลาย ซึ่งขอบเขตของความสามารถของเครื่องจักรจับฝุ่น ที่ทำการออกแบบภายในโครงการนี้จะแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

1. เครื่องจักรจับฝุ่นที่ออกแบบจะเป็นเครื่องจักรจับฝุ่นแบบ 2 ตอน
  - 1.1 ส่วนที่ 1 จะเป็นส่วนของขั้วปล่อยประจุ
  - 1.2 ส่วนที่ 2 จะเป็นส่วนของดักจับฝุ่น และรวบรวมฝุ่น
2. การออกแบบส่วนที่เก็บฝุ่น
3. การออกแบบระบบพัดลมดูดอากาศ
4. การออกแบบระบบสั่น หรือเคาะแผ่นที่ทำการเก็บสะสมฝุ่น
5. การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับเครื่องกรองฝุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

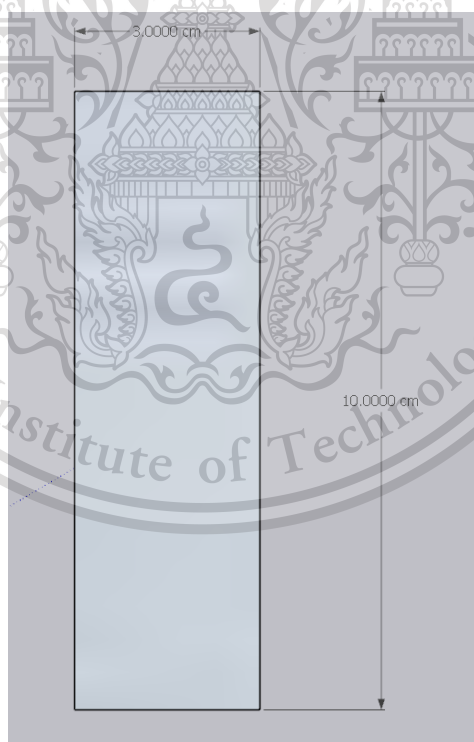
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

3.1.2 การดำเนินการสร้าง และออกแบบส่วนดักจับฝุ่นจากรูปแบบของเครื่องดักจับฝุ่นที่ใช้ในโครงการนี้จะออกแบบเป็นแบบ 2 ตอน (2 Section) โดยที่ในส่วนแรกจะเป็นส่วนของการปล่อยประจุ และในส่วนที่สองจะเป็นส่วนที่ใช้สำหรับดักจับฝุ่น และรวบรวมฝุ่น

#### ส่วนที่ 1 ส่วนของขั้วการปล่อยประจุ

ในส่วนของขั้วปล่อยประจุจะใช้ลวด SWG เบอร์ 27 สำหรับใช้ในการปล่อยประจุให้กับอนุภาค และใช้แผ่นอะลูมิเนียมหนา 0.3 เซนติเมตร มีความกว้าง 3 เซนติเมตร และมีความยาว 10 เซนติเมตรเป็นขั้วดิน วางอยู่ระหว่างเส้นขั้วปล่อยประจุ แล้วสลักกันไประหว่าง ขั้วดิน และขั้วปล่อยประจุ โดยที่ระยะระหว่างขั้วปล่อยประจุ และขั้วดินจะห่างกัน 1 เซนติเมตร หลังจากนั้นจะนำมาใส่โครงของส่วนที่ 1 โดยจะมีแผ่นอะคริลิกที่มีความหนา 0.5 เซนติเมตร มีความกว้าง 18 เซนติเมตร และมีความสูง 10 เซนติเมตร ประกอบเข้าไปกับในส่วนของขั้วการปล่อยประจุ และทำการติดตาข่ายพลาสติกเข้าไปเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้

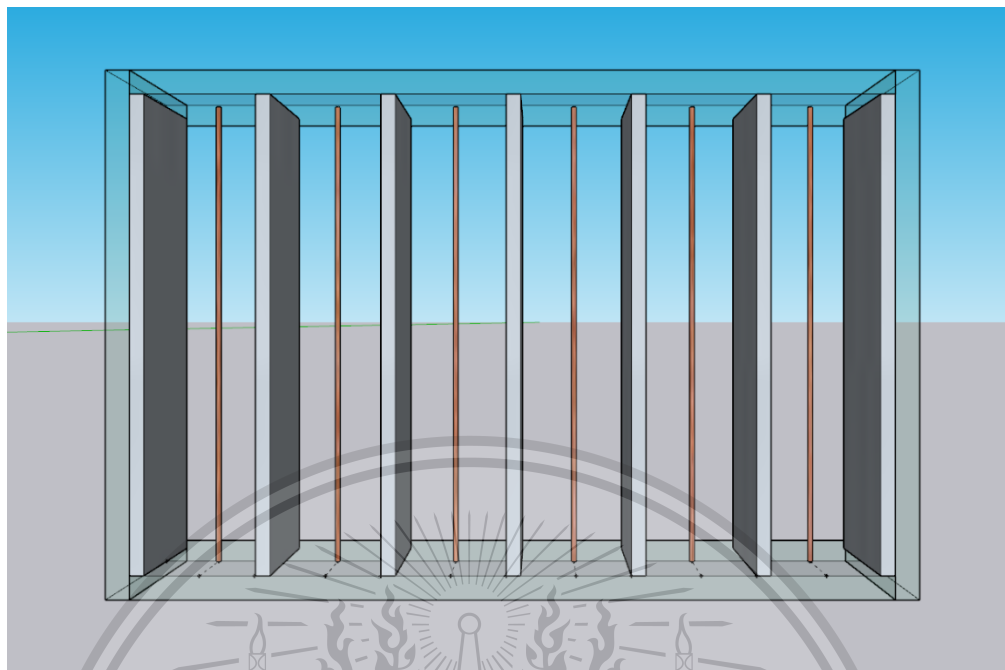


รูปที่ 3.1 รูปการเขียนแบบของส่วนขั้วปล่อยประจุ

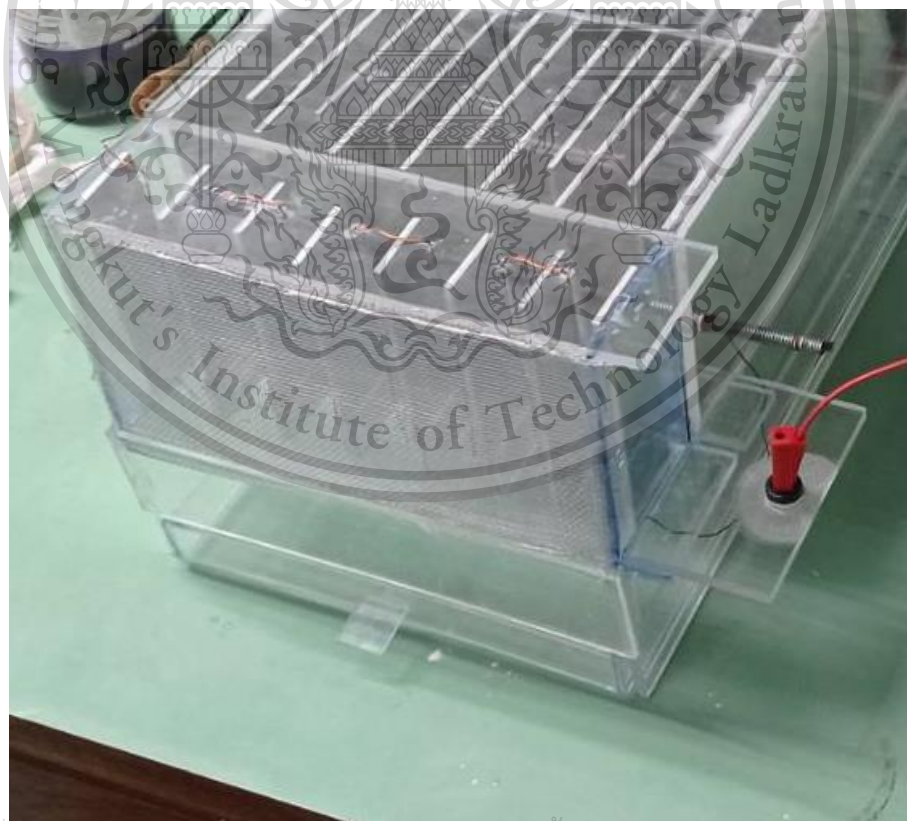
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.2 รูปด้านหน้าของส่วนขั้วปล่อยประจุจากโปรแกรม Sketch up



รูปที่ 3.3 รูปด้านหน้าส่วนขั้วปล่อยประจุของตัวอุปกรณ์ เมื่อทำการสร้างเสร็จแล้ว

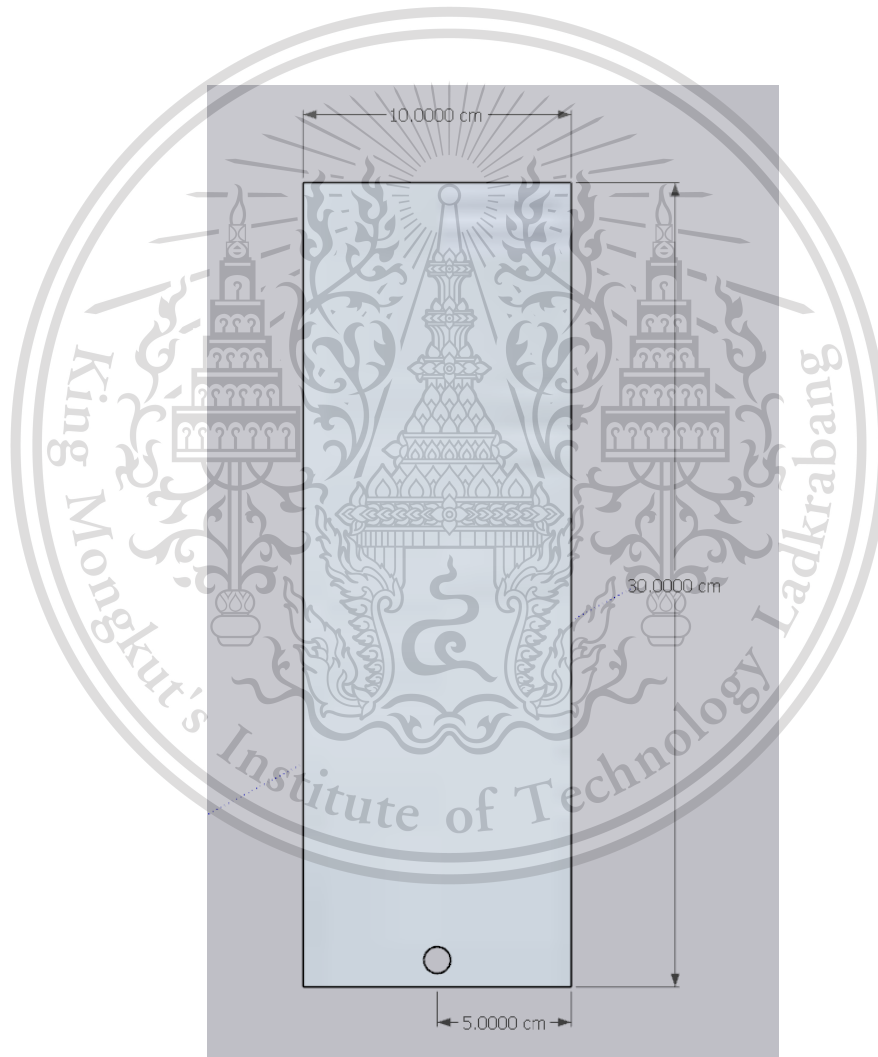
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## ส่วนที่ 2 ส่วนที่ใช้สำหรับจับดักฝุ่น และรวบรวมฝุ่น

ในส่วนที่ 2 จะออกแบบโดยใช้แผ่นอะลูมิเนียมขนาด กว้าง 10 เซนติเมตร และยาว 30 เซนติเมตร และมีความหนา 0.3 เซนติเมตร เพื่อที่ใช้เป็นในส่วนของส่วนที่รวบรวมฝุ่น โดยจะทำการสลักกันระหว่างซี่บวกและซี่ลบเพื่อให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นอะลูมิเนียมทั้งสอง เพื่อจะทำให้อนุภาคเคลื่อนตัวไปติดอยู่กับแผ่นอะลูมิเนียม โดยแผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้เป็นส่วนรวบรวมฝุ่น จะทำการวัดเข้ามาจากขอบของแผ่นเป็นระยะ 1 เซนติเมตร แล้วทำการเจาะรูเพื่อที่จะทำการเชื่อมต่อซี่ของแผ่นอะลูมิเนียมที่ระยะต่างๆ ให้มีซี่เดียวกัน โดยทำการใช้แท่งเหล็กจำนวน 2 แท่ง เพราะว่ามีทั้งซี่บวก และซี่ลบ



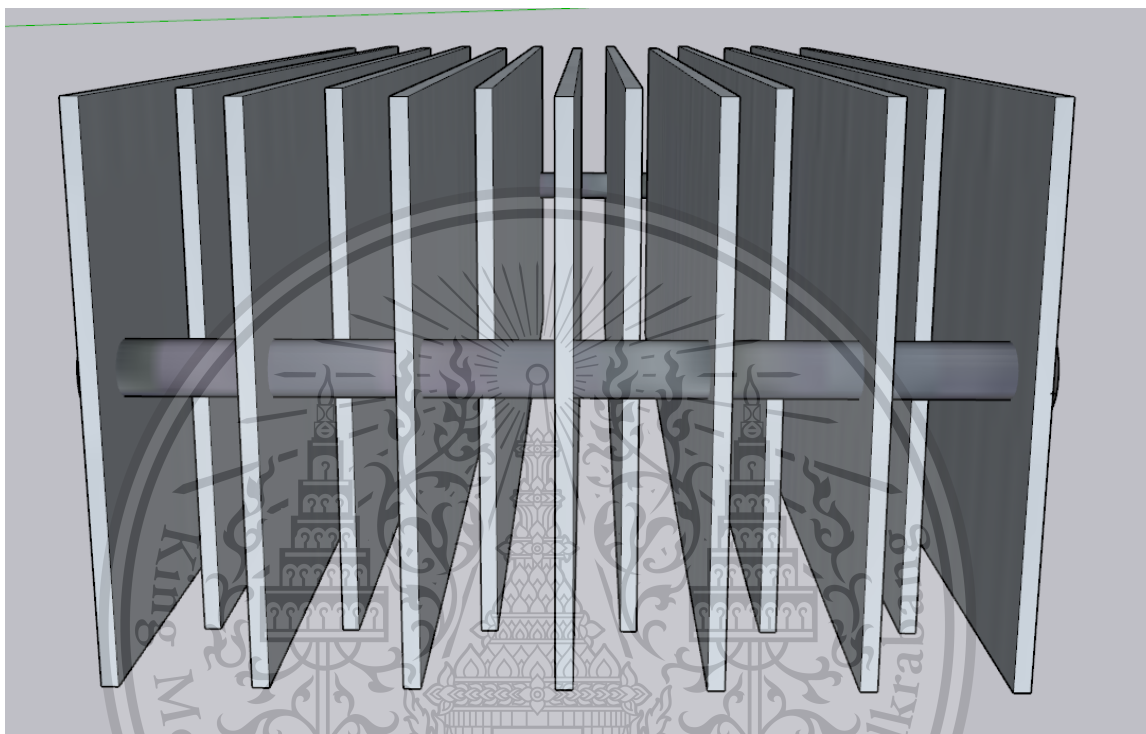
รูปที่ 3.4 การเขียนแบบของส่วนสำหรับดักจับฝุ่น หรือรวบรวมฝุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

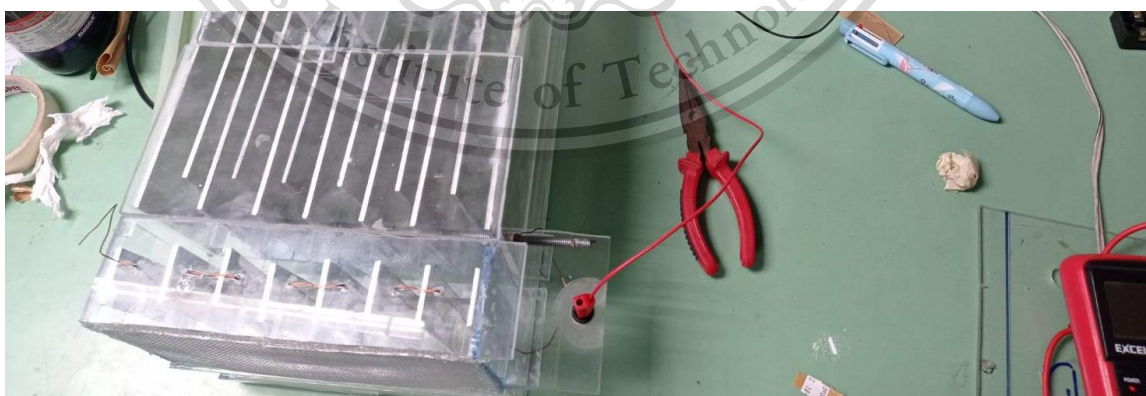
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

และหลังจากทำการเชื่อมแผ่นอะลูมิเนียมด้วยแท่งเหล็กแล้ว จากนั้นก็จะนำแผ่นเหล็กทั้งสองชุดมาวางสลับกันโดยมีระยะระหว่างแผ่นเหล็กทั้งสอง คือ 2 เซนติเมตร สลับกันไปมาระหว่างซี่บวก และซี่ลบ โดยที่แผ่นตามรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การวางแผ่นเหล็กสลับกันจากโปรแกรม Sketch up



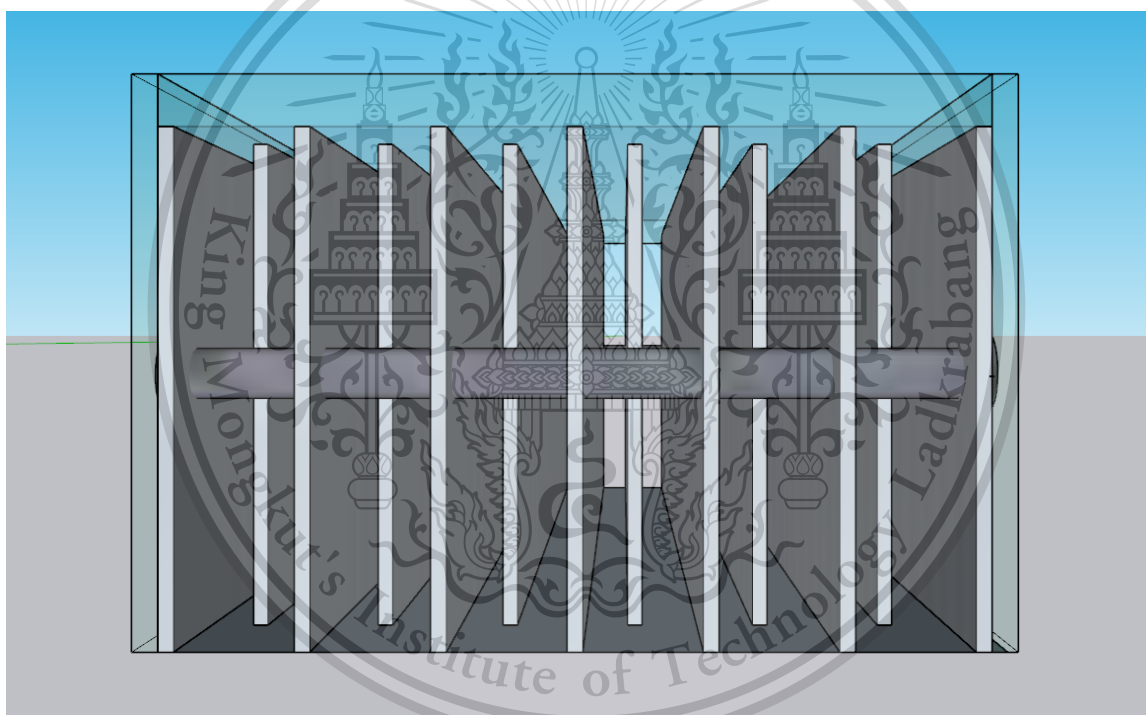
รูปที่ 3.6 การวางแผ่นเหล็กสลับกัน เมื่อทำการสร้างอุปกรณ์เสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

หลังจากนำแผ่นเหล็กทั้งสองชุดมาวางสลับกันแล้ว ก็จะนำไปใส่ในโครงสร้างของเครื่อง โดยที่โครงสร้างของเครื่องจะใช้แผ่นอะคริลิก เพื่อเป็นการป้องกันหากผู้ใช้จะสัมผัสกับตัวอุปกรณ์จะได้ไม่เกิดการช็อตกันระหว่างตัวเครื่องกับผู้ใช้ จึงเลือกใช้แผ่นอะคริลิก ขนาดหนา 0.5 เซนติเมตรเป็นตัวโครงทางด้านฝาเครื่อง ทั้งฝั่งซ้าย และฝั่งขวาโดยที่แผ่นอะคริลิก จะมีขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร และยาว 35 เซนติเมตร เพื่อให้ครอบคลุมทั้งแผ่นอะลูมิเนียม และฝาบนของเครื่องจะมีแผ่นอะคริลิก ขนาดหนา 0.5 เซนติเมตร และมีความกว้าง 18 เซนติเมตร และมีความยาว 16 เซนติเมตรจำนวนสองแผ่นเพื่อปิดส่วนบนของเครื่องกรองฝุ่น และจะเหลือช่องว่างตรงกลางด้านบนไว้โดยมีระยะความยาว 18 เซนติเมตร และความกว้าง 3 เซนติเมตร เพื่อที่จะติดมอเตอร์สั่นฝุ่น หรือมอเตอร์เคาะฝุ่น ที่ติดอยู่กับแผ่นอะลูมิเนียมโดยจะเว้นระยะตามค่าดังกล่าวที่กล่าวมา

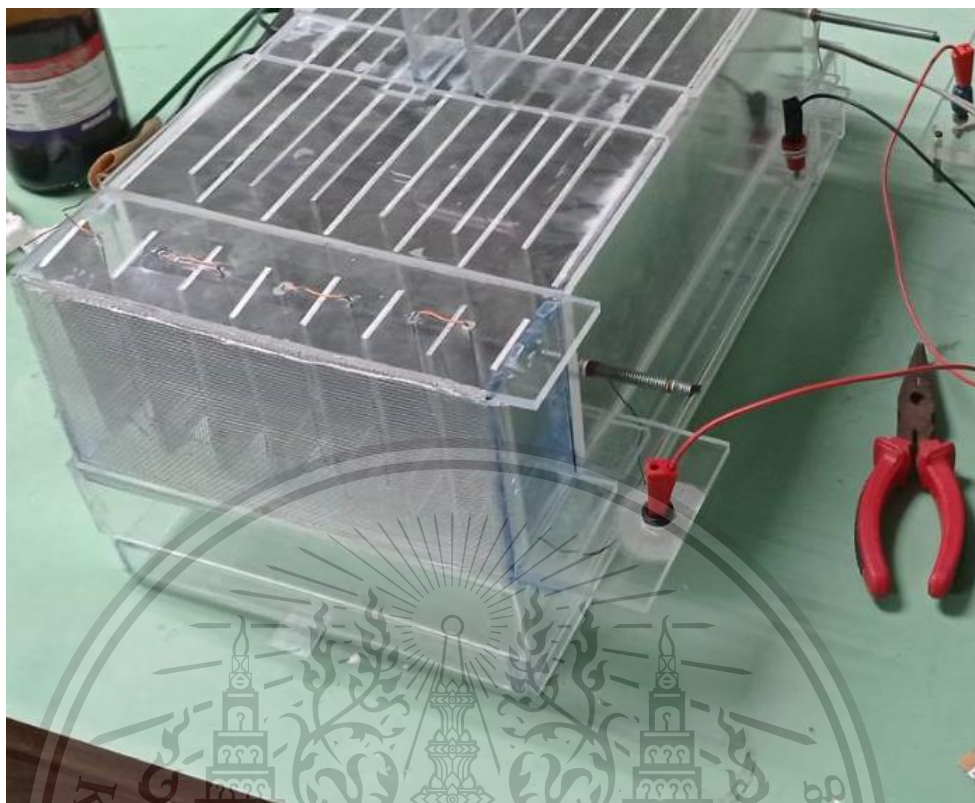


รูปที่ 3.7 แผ่นเหล็กทั้งสองชุดหลังจากนำมาใส่ในโครงของเครื่องจากโปรแกรม Sketch up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.8 แผ่นหลักทั้งสองชุดหลังจากนำมาใส่ในโครงของเครื่อง เมื่อทำเสร็จแล้ว

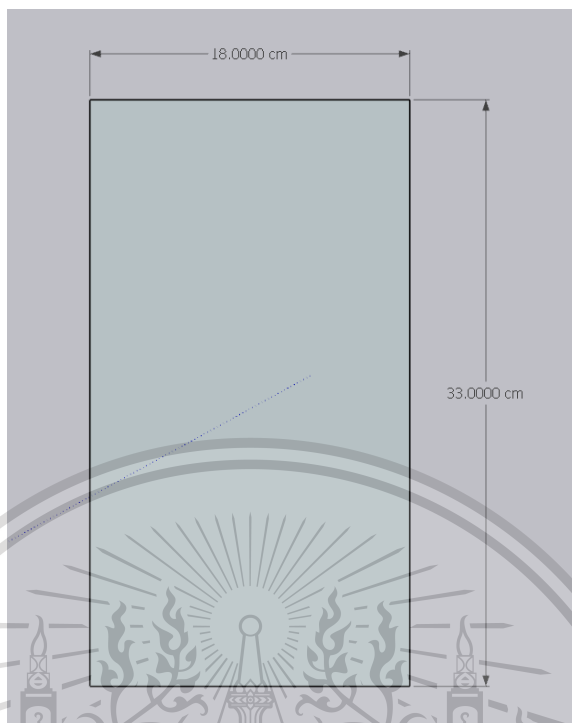
### 3.1.3 การดำเนินการสร้าง และออกแบบส่วนที่เก็บฝุ่น

การออกแบบส่วนที่เก็บฝุ่นนั้นจะใช้ แผ่นอะคริลิกในการทำเป็นตัวโครงของส่วนที่เก็บฝุ่นโดนจะทำเป็น เหมือนกับล้นชัก ไม้ที่ข้างใต้ของส่วนขั้วปล่อยประจุ และส่วนของดักจับฝุ่น โดยที่แผ่นอะคริลิกที่ใช้จะมี ความหนา 0.3 เซนติเมตร ในส่วนของฐานมีความกว้าง 18 เซนติเมตร และมีความยาว 33 เซนติเมตร และฝาทางฝั่งซ้าย และขวา จะมีความสูง 3 เซนติเมตร และมีความยาว 33 เซนติเมตร และในส่วนของฝา ข้างหน้า และฝาข้างหลังจะมีความสูง 3 เซนติเมตร และมีความกว้าง 18 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.9 การเขียนแบบของส่วนที่เก็บฝุ่นส่วนฐาน

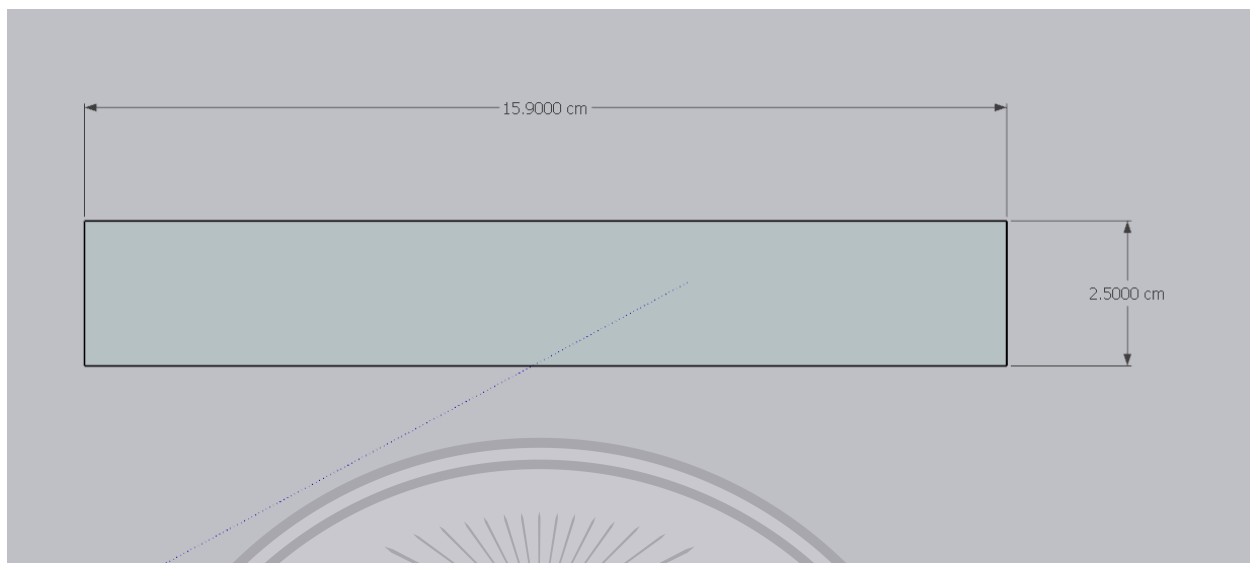


รูปที่ 3.10 การเขียนแบบของส่วนที่เก็บฝุ่นส่วนด้านข้าง

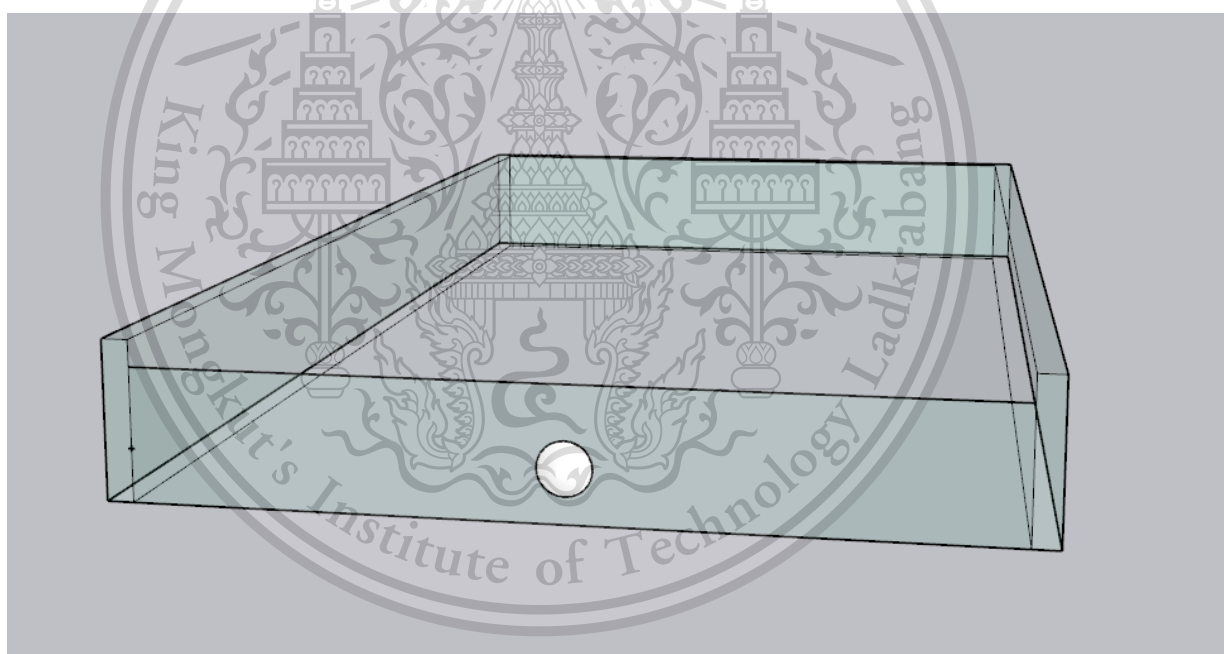
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.11 การเขียนแบบของส่วนที่เก็บฝุ่นส่วนด้ามจับเปิดลิ้นชัก



รูปที่ 3.12 ส่วนที่เก็บฝุ่นของเครื่อง ในโปรแกรม sketch up

และในส่วนของฐานของตัวเครื่องจะใช้แผ่นอะคริลิก ที่มีความหนา 1 เซนติเมตร เพราะต้องทำการรับน้ำหนักในส่วนของแผ่นอะลูมิเนียมซึ่งหนักประมาณ 1.8 กิโลกรัม และรวมไปถึงโครงสร้างของเครื่อง และมอเตอร์สั่น ซึ่งหนักรวมกันประมาณ 0.2 กิโลกรัม ทำให้น้ำหนักโดยรวมของเครื่องหนักประมาณ 2 กิโลกรัม ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

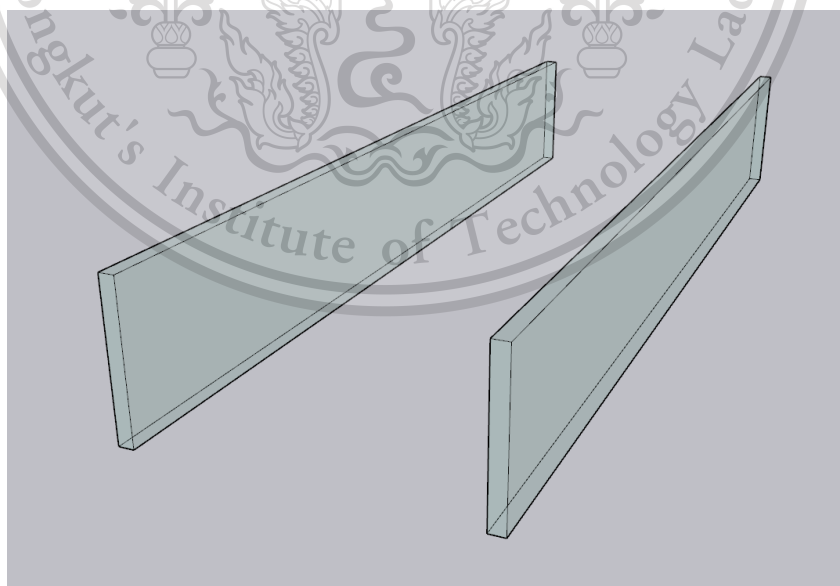
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

2 กิโลกรัม จึงต้องใช้แผ่นอะคริลิก ที่มีความหนามากกว่าปกติเพื่อที่จะทำให้สามารถรับน้ำหนักเครื่องทั้งหมดได้โดยไม่เกิดการแตกหักของแผ่นอะคริลิก และแผ่นอะคริลิกที่ใช้มีความสูง 5 เซนติเมตร และความยาว 35 เซนติเมตรจำนวนสองแผ่นเพื่อเป็นขอบของเครื่อง ในส่วนของด้านหลังเครื่องจะใช้แผ่นอะคริลิก จำนวนหนึ่งแผ่นจะมีความสูง 5 เซนติเมตร และมีความกว้าง 18 เซนติเมตร และในส่วนของด้านหน้าเครื่องจะใช้แผ่นอะคริลิก ที่มีความสูง 2 เซนติเมตร และมีความกว้าง 18 เซนติเมตร โดยในส่วนของหน้าเครื่องจะเว้นช่องไว้เพื่อที่จะทำการใส่ตัวภาคเก็บฝุ่นเข้าไปในตัวเครื่องกรอง



รูปที่ 3.13 การเขียนแบบของส่วนของฐานเครื่องกรองฝุ่น



รูปที่ 3.14 ส่วนของฐานตัวเครื่องจากโปรแกรม Sketch up

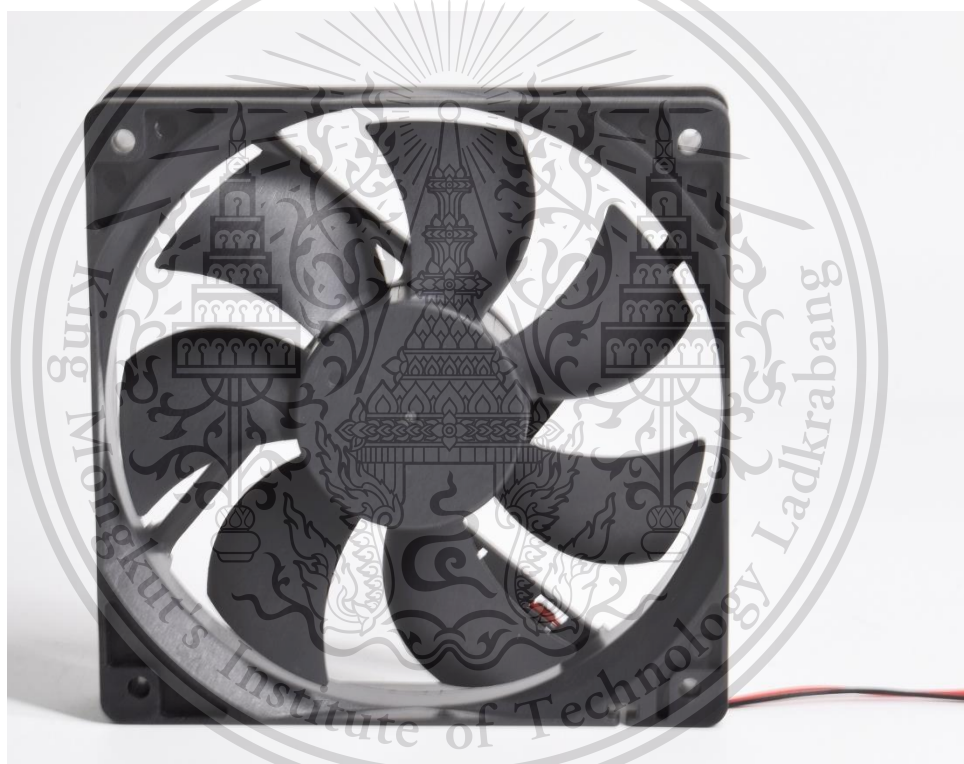
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการวิจัยและพัฒนาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

### 3.1.4 การดำเนินการสร้าง และออกแบบส่วนของพัดลมดูดอากาศ

ในส่วนระบบพัดลมระบายอากาศจะใช้ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับรอบของความเร็วในการหมุนได้เพื่อที่จะสามารถหาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการที่จะทำให้อนุภาคได้รับประจุ แล้วหลังจากนั้นอนุภาค ก็จะสามารถไปเกาะที่แผ่นที่กักเก็บประจุ โดยที่มอเตอร์ไฟฟ้าที่เลือกใช้คือ มอเตอร์ไฟฟ้าที่อยู่ในพาวเวอร์ซัพพลายของคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะมีขนาดความกว้าง และความยาวคือ 15 เซนติเมตร และจะทำการติดตั้งพัดลมไว้ทางด้านหลังถัดจาก ส่วนที่สองของเครื่องดักจับฝุ่น ซึ่งก็คือหลังส่วนดักจับฝุ่น และจากรูปด้านล่างจะเป็นรูปของมอเตอร์ไฟฟ้าที่มาจากพาวเวอร์ซัพพลายของคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.15 พัดลมมอเตอร์ไฟฟ้าจากพาวเวอร์ซัพพลายของคอมพิวเตอร์

### 3.1.5 การดำเนินการสร้าง และออกแบบส่วนของระบบสั่น หรือเคาะแผ่นที่ทำการเก็บสะสมฝุ่น

ในส่วนของระบบสั่น จะใช้หลักการการเกิดแรงเหวี่ยงจากการหมุนของลูกเบี้ยวที่ไม่สมดุลของปลายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า มอเตอร์ที่ติดกับเพลลา โดยที่ส่วนของมอเตอร์สั่นจะติดตั้งไว้ทางด้านบนของแผ่นที่เก็บฝุ่น ไว้ระหวางกลาง ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ของตัวเครื่อง เพื่อให้การสั่นนั้นสามารถกระจายได้ทั่วแผ่นอะลูมิเนียมแล้วฝุ่นก็จะหล่นลงมาในส่วนของหม้อเก็บฝุ่น หรือลิ้นชักเก็บฝุ่น และทำการเก็บไว้ในกล่องไม้ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ใช้งาน



รูปที่ 3.16 มอเตอร์สั่น

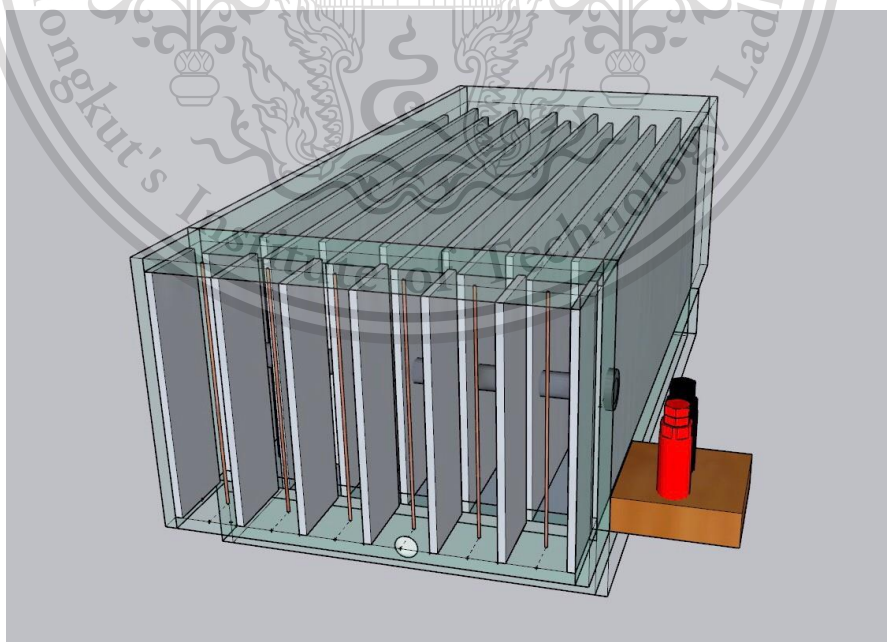
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



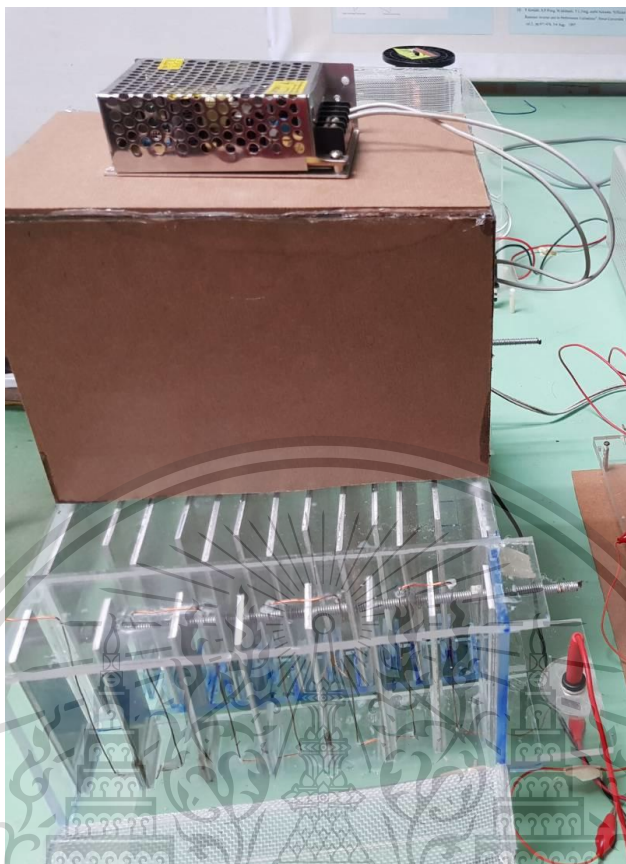
รูปที่ 3.17 ที่ติดตั้งระบบสั่นของเครื่องกรองฝุ่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในที่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต  
รูปที่ 3.18 ตัวเครื่องกรองฝุ่นแบบสมบูรณ์จากโปรแกรม Sketch up  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.19 ตัวเครื่องกรองฝุ่นแบบสมบูร์ณ

### 3.1.6 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับเครื่องกรองฝุ่น

ในหัวข้อที่ 3.1.4 จะอธิบายถึงหลักการการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับเครื่องกรองฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต โดยที่จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. หม้อแปลงลดแรงดัน (Step down voltage)
2. วงจรเรียงกระแส (Rectifier circuit)
3. วงจรสวิตซิ่ง (Switching Power Supply)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ส่วนที่หนึ่งคือ เป็นการออกแบบหม้อแปลงลดแรงดัน ที่ลดแรงดันไฟฟ้าจาก 220V 50Hz (ไฟบ้าน) ให้เป็น ไฟฟ้าที่แรงดัน 24V 50Hz

จากกำหนดให้

$$\text{แรงดันขาเข้า } (V_p) = 220 \text{ V}$$

$$\text{แรงดันขาออก } (V_s) = 24 \text{ V}$$

$$\text{กระแสขาออก } (I_s) = 2 \text{ A}$$

$$\text{กระแสขาเข้า } (I_p) = 0.22 \text{ A}$$

$$\text{ขนาดของหม้อแปลง } (VA) = 48 \text{ VA}$$

จะทำการพันหม้อแปลงขนาด 48 VA

ขั้นตอนที่ 1 ทำการคำนวณหาขนาดของหม้อแปลงจากสูตร และทำการเพื่อขนาดของหม้อแปลงไว้ ประมาณ 20% ให้มากกว่ากำลังของโหลด

$$A = \sqrt{\frac{1.2VA}{5.58}} \quad (3.1)$$

ทำการแทนค่าลงในสมการที่ 3.1 จะได้ว่า

$$A = \sqrt{\frac{1.2 \times 24 \times 2}{5.58}}$$

ได้ค่าพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก 3.21 ตารางนิ้ว

เอกสารนี้เป็นหลังจากได้ขนาดของพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.21 ตารางนิ้ว นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

และจากสูตร

$$area = A \times B \quad (3.2)$$

จากเลือกให้ค่า A มีค่าเท่ากับ 1 นิ้ว หรือเท่ากับ 25.4 มิลลิเมตร

และหาค่าของ B จากสมการที่ 3.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

จะได้ค่า B เท่ากับ 3.21 นิ้ว หรือเท่ากับ 81.5 มิลลิเมตร

ประเภท	a	b	c	d	e	หลุม	รูรับแสง(Φ)
EI-28	28	4	6	8	17		
EI-35	35	5	7.5	10	19.5		
EI-41	41	6	8	13	21		
EI-42	42	7	7	7	14		
EI-48	48	8	8	16	24		
EI-50	50	8	9	16	25.5		
EI-57	57	9.5	9.5	19	28.5	4	4
EI-60	60	10	10	20	30	4	5
EI-85.8	85.8	14.3	14.3	28.6	42.9	4	5
EI-96	96	16	16	32	48	4	6
EI-105	105	17.5	17.5	35	52.5	4	6
EI-108	108	18	18	36	54	4	5.5
EI-114	114	19	19	38	57	4	6
EI-120	120	20	20	40	60	4	7
EI-133.2	133.2	22.2	22.2	44.4	66.6	4	7
EI-150	150	25	25	50	75	4	8

รูปที่ 3.20 ตารางเลือกขนาดแกนเหล็ก E-I

จะได้ว่า ค่า  $A = d = 25.4$  มิลลิเมตรจึงเลือกขนาดแกนเหล็ก EI-76.2 และทำให้بوببينให้มีความยาวเท่ากับ 81.5 มิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 2 ทำการคำนวณหาจำนวนรอบต่อ 1 โวลต์ (ตรงนี้จะหมายความว่า หม้อแปลงลูกที่จะพันนี้ ถ้าพันขดลวดทองแดงรอบแกนเหล็กไปกี่รอบถึงจะเหนี่ยวนำแรงดันออก 1 V) จากสมการ

$$\frac{N}{V} = \frac{7.5}{A} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ทำการแทนค่าของ A ลงในสมการที่ 3.3

$$\frac{N}{V} = \frac{7.5}{3.21}$$

จะได้ค่าของ  $\frac{N}{V}$  มีค่าเท่ากับ 2.34 ซึ่งจะหมายความว่า หม้อแปลงลูกนี้จะพันลวดทองแดงไป 2.34 รอบ  
จะได้แรงดัน 1 V

ขั้นตอนที่ 3 นำค่าจาก  $\frac{N}{V}$  มาคำนวณหาจำนวนรอบที่จะพันหม้อแปลงไฟฟ้าด้านเข้า 220V (Primary)  
และทางด้านไฟฟ้าด้านออก (Secondary) ซึ่งมาจากสมการ  
จำนวนรอบด้านเข้า (Primary)

$$N_p = V_p \frac{N}{V} \tag{3.4}$$

แทนค่าของ  $\frac{N}{V}$  และ  $V_p$  ลงในสมการที่ 3.4

$$N_p = 220 \times 2.34$$

$$N_p = 514.8$$

จะได้จำนวนรอบด้านเข้า (Primary) เท่ากับ 514.8 รอบ จะทำการพัน 515 รอบ

จำนวนรอบด้านออก (Secondary)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$N_s = V_s \frac{N}{V} \quad (3.5)$$

แทนค่าของ  $\frac{N}{V}$  และ  $V_s$  ลงในสมการที่ 3.5

$$N_p = 24 \times 2.34$$

$$N_p = 56.2$$

จะได้จำนวนรอบดำนอก (Secondary) เท่ากับ 56.2 รอบ จะทำการพัน 57 รอบ

ขั้นตอนที่ 4 ทำการคำนวณหาค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดเพื่อที่จะนำไปเทียบกับตารางเพื่อหาขนาดของขดลวดทองแดงจากสูตร

$$I_p = \frac{VA}{V_p} \quad (3.6)$$

แทนค่าลงในสมการ 3.6 เพื่อหากระแสดำนเข้า (Primary)

$$I_p = \frac{48}{220}$$

จะได้กระแสดำนเข้า 0.22 A

$$I_s = \frac{VA}{V_s} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

แทนค่าลงในสมการ 3.7 เพื่อหากระแสต้านออก (Secondary)

$$I_s = \frac{48}{24}$$

จะได้กระแสต้านออก 2 A

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาขนาดของเซอร์คูลาร์มิล เพื่อทำการเปิดตารางหาขนาดของเบอร์ลวดทองแดง จากสมการหาเซอร์คูลาร์มิล

$$\text{Circular Mill} = I \times 500 \quad (3.8)$$

ทางด้านเข้า (Primary)

$$\text{Circular Mill} = I_p \times 500 \quad (3.9)$$

$$\text{Circular Mill} = 0.22 \times 500$$

จะได้ค่าของเซอร์คูลาร์มิล (Circular mill) เท่ากับ 110

ทางด้านออก (Secondary)

$$\text{Circular Mill} = I_s \times 500 \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$\text{Circular Mill} = 2 \times 500$$

จะได้ค่าของเซอร์คูลาร์มิล (Circular mill) เท่ากับ 1000

ขั้นตอนที่ 6 นำค่าเซอร์คูลาร์มิลไปทำการเปิดตารางเพื่อหาขนาดเบอร์ลวดของทองแดงเพื่อใช้ในการพันหม้อแปลง

ตารางเปรียบเทียบขนาดขดลวดทองแดงไฟฟ้า				
เบอร์ SWG	เส้นผ่าศูนย์กลาง		พื้นที่หน้าตัด	
	นิ้ว	มิลลิเมตร	เซอร์คูลาร์มิล	ตาราง มม.
0000	0.4			
000	0.372			
00	0.334			
0	0.324	8.23	106,500	54,186
1	0.3	7.62	90,000	46,451
2	0.276	7.06	77,176	39,847
3	0.252	6.4	66,370	32,768
4	0.232	5.89	52,630	27,753
5	0.212	5.38	41,740	23,155
6	0.192	4.88	33,100	18,215
7	0.176	4.46	30,976	15,913
8	0.16	4.06	26,250	13,026
9	0.144	3.66	20,766	10,716
10	0.128	3.24	16,510	8,398
11	0.166	2.94	13,090	6,914
12	0.104	2.642	10,816	5,548
13	0.092	2.336	8,234	4,305
14	0.08	2.03	6,530	3,296
15	0.072	1.828	5,178	2,673
16	0.064	1.625	4,107	2,112
17	0.056	1.422	3,257	1,617
18	0.048	1.219	2,048	1,188
19	0.04	1.061	1,642	0.83
20	0.036	0.914	1,288	0.67
21	0.032	0.812	1,022	0.53
22	0.028	0.711	810.10	0.40
23	0.024	0.61	624.40	0.30
24	0.022	0.553	509.50	0.25
25	0.2	0.506	404.00	0.21
26	0.018	0.457	320.40	0.17
27	0.916	0.406	254.10	0.13

รูปที่ 3.21 ตารางเปรียบเทียบขนาดของลวดทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางเปรียบเทียบขนาดขดลวดทองแดงไฟฟ้า				
เบอร์ SWG	เส้นผ่าศูนย์กลาง		พื้นที่หน้าตัด	
	นิ้ว	มิลลิเมตร	เซอร์คิวลาร์มิล	ตาราง มม.
28	0.0148	0.376	201.50	0.11
29	0.0136	0.345	184.90	0.10
30	0.012	0.304	159.80	0.07
31	0.011	0.29	126.70	0.07
32	0.0102	0.274	116.20	0.06
33	0.01	0.254	100.50	0.05
34	0.009	0.228	81.00	0.04
35	0.008	0.203	79.10	0.03
36	0.0076	0.193	50.15	0.03
37	0.0068	0.172	39.75	0.02
38	0.0061	0.155	31.52	0.02
39	0.0052	0.132	25.00	0.01
40	0.0048	0.121		0.00
41	0.0044	0.111	19.80	0.01
42	0.004	0.1	15.72	0.01
43	0.0036	0.0914	12.47	0.01
44	0.0032	0.0812	9.89	0.01

รูปที่ 3.21 ตารางเปรียบเทียบขนาดของลวดทองแดง(ต่อ)

จากทางด้านของด้านเข้า (Primary) ที่มีค่าเซอร์คิวลาร์มิล (Circular mil) เท่ากับ 110 จะใช้ลวดทองแดง SWG เบอร์ 32

และทางด้านของด้านออก (Secondary) ที่มีค่าเซอร์คิวลาร์มิล (Circular mill) เท่ากับ 1000 จะใช้ลวดทองแดง SWG เบอร์ 21

ส่วนที่สองจะเป็นการออกแบบวงจรเรียงกระแส (Rectifier circuit)

หลังจากแปลงแรงดันขาเข้ามาเป็น 24 โวลต์ กระแส 2 แอมแปร์ ซึ่งได้หลังจากการใช้หม้อแปลงลดแรงดันจาก 220 โวลต์มาเป็น 24 โวลต์ แล้วทำการเรียงกระแสให้เป็นกระแสตรงโดยผ่านวงจรเรียงกระแสแบบฟูลบริดจ์ หลังจากนั้นทำการต่อตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ ที่มีค่าความจุ 100 ไมโครฟารัด ซึ่งจะได้แรงดันที่คร่อมตัวเก็บประจุมีค่าประมาณ

$$V_{dc} = V_{rms} \times 1.4 \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ทำการแทนค่า  $V_{rms}$  ลงในสมการที่ 3.11

$$V_{dc} = 24 \times 1.4$$

ได้ค่า  $V_{dc}$  เท่ากับ 33.6 V

ส่วนที่สามจะเป็นการออกแบบวงจรสวิทชิง

เลือกหม้อแปลงฟลายแบ็ก (Flyback transformer) รุ่น FFA940 Series โดยที่หม้อแปลงฟลายแบ็กรุ่นนี้ จะมีกำลังสูงสุด 120 W และสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าด้านออกได้ 27,000 โวลต์ และเลือกสวิทช์ มอสเฟต (MOSFET) รุ่น IRF740 และยึดกับแผงระบายความร้อนอะลูมิเนียม



รูปที่ 3.22 มอสเฟตรุ่น (MOSFET) IRF740

หลังจากนั้นใช้ขดลวดทองแดงหุ้มฉนวนพันบนแกนเหล็กของหม้อแปลงฟลายแบ็กเป็นจำนวน 50 รอบ และใช้ความถี่ที่ 30 kHz ซึ่งหม้อแปลงฟลายแบ็ก สามารถสร้างแรงดันเอาต์พุต ได้สูงสุดถึง 27,000 โวลต์ และกระแสอินพุตอยู่ระหว่าง 0.04 ถึง 0.25 A โดยที่อัตราส่วนของแรงดันด้านเข้า ต่อ แรงดันด้านออกจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.23 หม้อแปลงฟลายแบ็ก

หลังจากนั้นสามารถสร้างสัญญาณ PWM จาก Pulse generator รุ่น 2 Channel Square Wave PWM Pulse Frequency Duty Cycle Adjustable Module ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณ PWM โดยมีช่วงของความถี่ที่สร้างได้ตั้งแต่ 1 Hz ถึง 150 kHz โดยที่มีความถูกต้อง (Accuracy) 2% และใช้แรงดัน 5 ถึง 30V และกินกระแสตั้งแต่ 8 ถึง 30 mA โดยอุปกรณ์นี้สามารถตั้งความถี่ตามที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.24 Pulse generator รุ่น 2 Channel Square Wave PWM Pulse Frequency Duty Cycle Adjustable Module

และสุดท้ายทำการต่อตัวเก็บประจุแบบเซรามิก ที่มีค่าความจุ 1000 พิโคฟารัดที่ทนแรงดันได้สูงสุด 30 kV ต่อขนานกับด้านขาออกของหม้อแปลงฟลายแบ็ก เพื่อที่จะทำการเรียงกระแสไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้ ฟ้ากระแสตรง

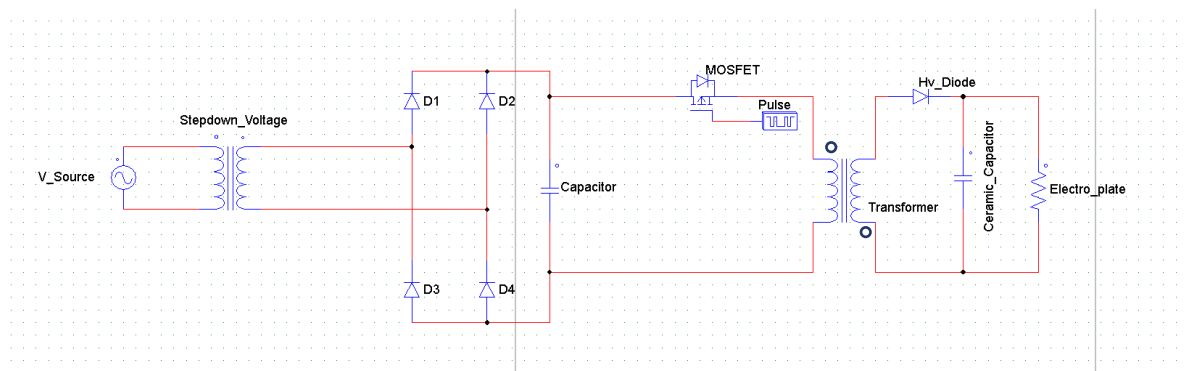


รูปที่ 3.25 ตัวเก็บประจุแบบเซรามิก

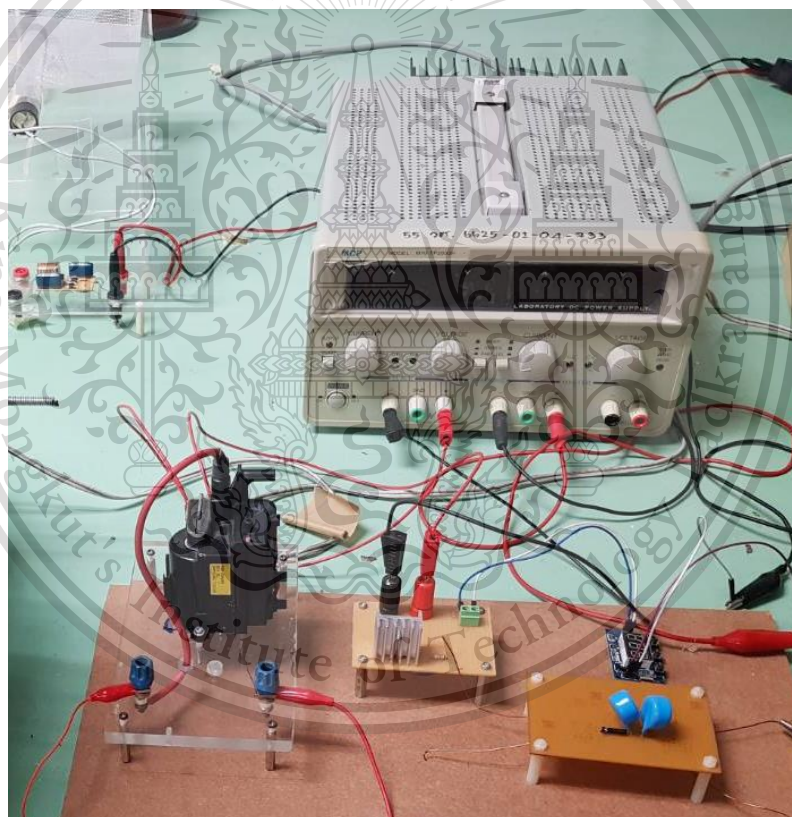
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.26 วงจรสมมูลเครื่องกรองฝุ่นจากโปรแกรม PSIM



รูปที่ 3.27 วงจรเครื่องกรองฝุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

### 3.2 การวิจัย และดำเนินการในส่วนเครื่องผลิตก๊าซโอโซน

การออกแบบในส่วนเครื่องผลิตก๊าซโอโซน จะแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

1. การออกแบบชุดอิเล็กทรอนิกส์
2. การออกแบบหลอดผลิตก๊าซโอโซน
3. การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับเครื่องผลิตก๊าซโอโซน

#### 3.2.1 การออกแบบชุดอิเล็กทรอนิกส์

ในการออกแบบชุดอิเล็กทรอนิกส์ทรงกระบอกแกนร่วมสองชั้น มีหลักการการออกแบบเป็นภายในของหลอดแก้วจะใช้ แผ่นอะลูมิเนียมม้วนเป็นทรงกระบอกเพราะว่า แผ่นอะลูมิเนียมนั้นสามารถผลิตก๊าซโอโซนออกมาได้มากที่สุดที่แรงดันไฟฟ้า และที่ความถี่เดียวกันกับวัสดุชนิดอื่น อาทิ เช่น แผ่น ตะกั่ว, แผ่นสแตนเลส, แผ่นทองแดง เป็นต้น และการออกแบบภายนอกของหลอดแก้วจะเป็นตาข่ายอะลูมิเนียมพันอยู่ทางด้านนอกของหลอดแก้ว



รูปที่ 3.28 รูปร่างลักษณะของชุดหลอดผลิตก๊าซโอโซน

#### 3.2.2 การออกแบบหลอดผลิตก๊าซโอโซน

ชุดหลอดผลิตก๊าซโอโซนจะประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ

ชั้นที่ 1 เป็นชั้นในสุดโดยที่อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในโครงงานจะใช้ แผ่นอะลูมิเนียม ม้วนเป็นทรงกระบอก ที่มี ความยาว 12 เซนติเมตร มีพื้นที่หน้าตัด 1.28 เซนติเมตร และมีความหนา 1 มิลลิเมตร

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ขั้นที่ 2 จะเป็นหลอดแก้วไพเร็กซ์ (Pyrex) ที่มีความยาว 24 เซนติเมตร มีพื้นที่หน้าตัด 1.56 เซนติเมตร และมีความหนา 1.4 มิลลิเมตร

ขั้นที่ 3 จะเป็นอิเล็กทรอนิกส์ชั้นนอกที่ทำจากตาข่ายอะลูมิเนียมที่ไวพันรอบหลอดแก้ว โดยที่ตาข่ายอะลูมิเนียมจะมีความยาว 13 เซนติเมตร มีพื้นที่หน้าตัด 1.7 เซนติเมตร และมีความหนา 1 มิลลิเมตร

ขั้นที่ 4 จะเป็นท่อพีวีซี (PVC) ที่มีความยาว 40 เซนติเมตร มีพื้นที่หน้าตัด 3.4 เซนติเมตร และมีความหนา 1.5 มิลลิเมตร โดยที่ท่อพีวีซี จะมีไว้เพื่อสำหรับการทดลองหาปริมาณก๊าซไอโซนที่ผลิตออกมา

หลักจากที่ทำการออกแบบ และเลือกวัสดุสำหรับชุดผลิตก๊าซไอโซนแล้ว หลังจากนั้นจะต้องมาทำการหาพลังงานไฟฟ้าที่หลอดแก้ว ที่ใช้สำหรับในการทำให้เกิดก๊าซไอโซน

การหาสนามไฟฟ้าที่หลอดแก้ว

ทำการหาปริมาตรของอากาศภายในหลอดแก้วจากสมการ

$$v = \pi(r_3 - r_2)^2 l \quad (3.12)$$

เมื่อ  $r_1$  คือ รัศมีขีงอิเล็กทรอนิกส์ในสุด มีค่าเท่ากับ 0.64 เซนติเมตร

$r_2$  คือ รัศมีของหลอดแก้ว มีค่าเท่ากับ 0.78 เซนติเมตร

$r_3$  คือ รัศมีของอิเล็กทรอนิกส์นอกสุด มีค่าเท่ากับ 0.85 เซนติเมตร

$l$  คือ ความยาวของหลอดแก้ว มีค่าเท่ากับ 24 เซนติเมตร

และจะสามารถหาปริมาตรของอากาศภายในหลอดแก้วได้โดยการแทนค่าลงในสมการที่ 3.12

$$v = \pi(0.85 - 0.78)^2 \times 0.24$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนที่แจกจ่ายให้นักเรียนนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$v = 8.604 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$v = 8.604 \text{ cm}^3$$

จะได้ปริมาตรของอากาศภายในหลอดแก้วมีค่าเท่ากับ  $8.604 \text{ cm}^3$

และจากที่ย่านพลังงาน  $5.58 \text{ kW} - \text{h/m}^3$  ถึง  $7.73 \text{ kW} - \text{h/m}^3$  จะมีออกซิเจนอยู่ประมาณ 21% ดังนั้นจึงใช้โนยานพลังงานที่  $1.172 - 1.620 \text{ kW} - \text{h/m}^3$

และจากสมการ

$$w = \text{energy} \times \text{volumn} \quad (3.13)$$

จะได้ว่าที่ย่านพลังงาน  $1.172 \text{ kW} - \text{h/m}^3$

$$W = 1.172 \times 10^3 \times 8.604 \times 10^{-6}$$

$$W = 0.010083 \text{ wh}$$

และที่ย่านพลังงาน  $1.620 \text{ kW} - \text{h/m}^3$

$$W = 1.620 \times 10^3 \times 8.604 \times 10^{-6}$$

$$W = 0.013938 \text{ wh}$$

และสามารถหาพลังงานของสนามไฟฟ้า (E) ได้จากสมการ

$$W = \frac{1}{2} \int \epsilon E^2 dV \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นและทำการอินทิเกรต ทั่วพื้นผิวของหลอดแก้วแล้วหาค่าสนามไฟฟ้า จากสมการด้านบนจะได้ว่าชนด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$E = \sqrt{\frac{2W}{\epsilon \times \text{volumn}}} \quad (3.15)$$

สามารถหาค่าของสนามไฟฟ้าที่น้อยที่สุดที่จะทำให้เกิดก๊าซไอโซนได้ โดยจะมีค่าเท่ากับ

$$E_{\min} = \sqrt{\frac{2 \times 0.010083}{(8.854 \times 10^{-12}) \times 8.604}}$$

$$E_{\min} = 16.27 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$$

และสามารถหาค่าของสนามไฟฟ้าที่มากที่สุดที่จะทำให้เกิดก๊าซไอโซนได้ โดยจะมีค่าเท่ากับ

$$E_{\max} = \sqrt{\frac{2 \times 0.013938}{(8.854 \times 10^{-12}) \times 8.604}}$$

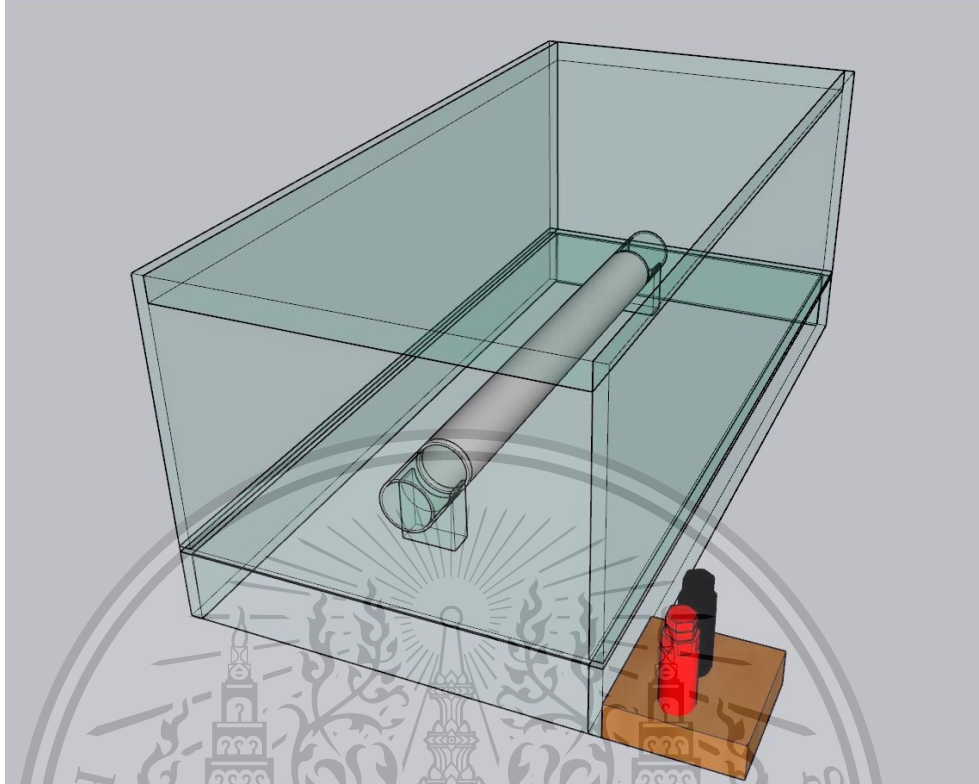
$$E_{\max} = 19.13 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$$

จากค่าที่ได้เป็นค่าของสนามไฟฟ้าโดยประมาณซึ่งมีค่าที่  $16.27 - 19.13 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$  จะเห็นว่าค่าของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่หลอดแก้วนั้นจะมีค่ามาก หรือค่าน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับความถี่ และระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง และค่าที่คำนวณได้นั้นจะเป็นค่าโดยประมาณที่ประมาณจากขนาดของหลอดแก้วที่ใช้ผลิตไอโซน

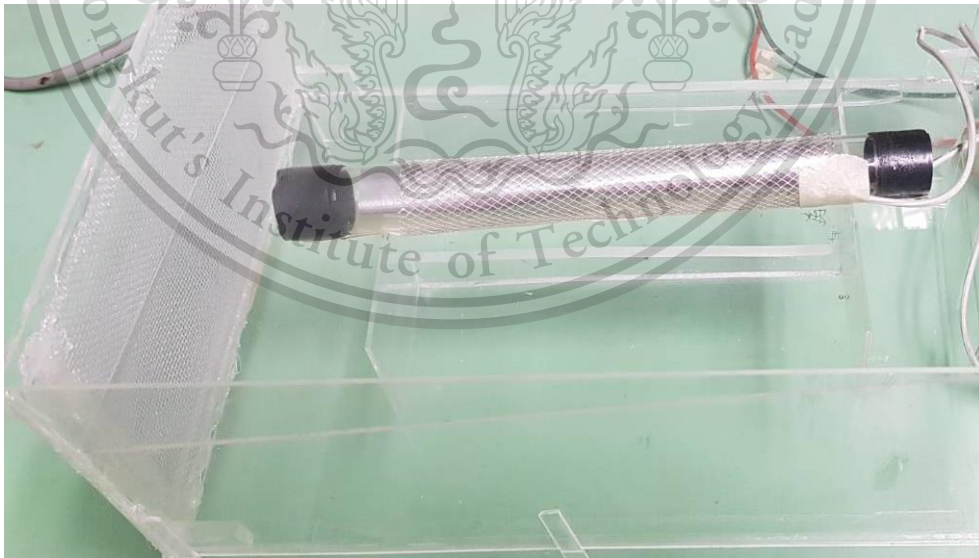
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.29 ชุดหลอดผลิตก๊าซไอโซนจากโปรแกรม Sketch up



รูปที่ 3.30 ชุดหลอดผลิตก๊าซไอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

### 3.2.3 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับเครื่องผลิตก๊าซไอโซน

ในหัวข้อที่ 3.1.4 จะอธิบายถึงหลักการการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับเครื่องผลิตก๊าซไอโซน โดยที่จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. หม้อแปลงลดแรงดัน (Step down voltage)
2. วงจรเรียงกระแส (Rectifier circuit)
3. วงจรสวิตชิง (Switching Power Supply)

ส่วนที่หนึ่งคือ เป็นการออกแบบหม้อแปลงลดแรงดัน ที่ลดแรงดันไฟฟ้าจาก 220V 50Hz (ไฟบ้าน) ให้เป็นไฟฟ้าที่แรงดัน 6V 50Hz

จากกำหนดให้

$$\text{แรงดันขาเข้า } (V_p) = 220 \text{ V}$$

$$\text{แรงดันขาออก } (V_s) = 12 \text{ V}$$

$$\text{กระแสขาออก } (I_s) = 2 \text{ A}$$

$$\text{กระแสขาเข้า } (I_p) = 0.22 \text{ A}$$

$$\text{ขนาดของหม้อแปลง } (VA) = 24 \text{ VA}$$

จะทำการพันหม้อแปลงขนาด 24 VA

ขั้นตอนที่ 1 ทำการคำนวณหาขนาดของหม้อแปลงจากสูตร และทำการเพื่อขนาดของหม้อแปลงไว้ประมาณ 20% ให้มากกว่ากำลังของโหลด

$$A = \sqrt{\frac{1.2VA}{5.58}} \quad (3.16)$$

ทำการแทนค่าลงในสมการจะได้ว่า  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$A = \sqrt{\frac{1.2 \times 12 \times 2}{5.58}}$$

ได้ค่าพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก 2.27 ตารางนิ้ว

หลังจากได้ขนาดของพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.27 ตารางนิ้ว

และจากสูตร

$$area = A \times B \quad (3.17)$$

จากเลือกให้ค่า A มีค่าเท่ากับ 1 นิ้ว หรือเท่ากับ 25.4 มิลลิเมตร

และหาค่าของ B จากสมการที่ 3.17

$$2.27 = 1 \times B$$

จะได้ค่า B เท่ากับ 2.27 นิ้ว หรือเท่ากับ 57.7 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ประเภท	a	b	c	d	e	หลุม	รับแสง(๕)
EI-28	28	4	6	8	17		
EI-35	35	5	7.5	10	19.5		
EI-41	41	6	8	13	21		
EI-42	42	7	7	7	14		
EI-48	48	8	8	16	24		
EI-50	50	8	9	16	25.5		
EI-57	57	9.5	9.5	19	28.5	4	4
EI-60	60	10	10	20	30	4	5
EI-66	66	11	11	22	33	4	4
EI-76.2	76.2	12.7	12.7	25.4	38.1	4	5
EI-78	78	13	13	26	39	4	5
EI-84	84	14	14	28	41	4	6
EI-85.8	85.8	14.3	14.3	28.6	42.9	4	5
EI-96	96	16	16	32	48	4	6
EI-105	105	17.5	17.5	35	52.5	4	6
EI-108	108	18	18	36	54	4	5.5
EI-114	114	19	19	38	57	4	6
EI-120	120	20	20	40	60	4	7
EI-133.2	133.2	22.2	22.2	44.4	66.6	4	7
EI-150	150	25	25	50	75	4	8

รูปที่ 3.31 ตารางเลือกขนาดแกนเหล็ก E-I

จะได้ว่า ค่า  $A = d = 25.4$  มิลลิเมตรจึงเลือกขนาดแกนเหล็ก EI-76.2 และทำให้بوببينให้มีความยาวเท่ากับ 40.9 มิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 2 ทำการคำนวณหาจำนวนรอบต่อ 1 โวลต์ (ตรงนี้จะหมายความว่า หม้อแปลงลูกที่จะพันนี้ ถ้าพันขดลวดทองแดงรอบแกนเหล็กไปกี่รอบถึงจะเหนี่ยวนำแรงดันออก 1 V) จากสมการ

$$\frac{N}{V} = \frac{7.5}{A} \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ทำการแทนค่าของ A ลงในสมการที่ 3.18

$$\frac{N}{V} = \frac{7.5}{2.27}$$

จะได้ค่าของ  $\frac{N}{V}$  มีค่าเท่ากับ 3.30 ซึ่งจะหมายความว่า หม้อแปลงลูกนี้จะพันลวดทองแดงไป 3.30 รอบ  
จะได้แรงดัน 1 V

ขั้นตอนที่ 3 นำค่าจาก  $\frac{N}{V}$  มาคำนวณหาจำนวนรอบที่จะพันหม้อแปลงไฟฟ้าด้านเข้า 220V (Primary)  
และทางด้านไฟฟ้าด้านออก (Secondary) ซึ่งมาจากสมการ  
จำนวนรอบด้านเข้า (Primary)

$$N_p = V_p \frac{N}{V} \quad (3.19)$$

แทนค่าของ  $\frac{N}{V}$  และ  $V_p$  ลงในสมการที่ 3.19

$$N_p = 220 \times 3.30$$

$$N_p = 726.9$$

จะได้จำนวนรอบด้านเข้า (Primary) เท่ากับ 726.9 รอบ จะทำการพัน 727 รอบ

จำนวนรอบด้านออก (Secondary)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$N_s = V_s \frac{N}{V} \quad (3.20)$$

แทนค่าของ  $\frac{N}{V}$  และ  $V_s$  ลงในสมการที่ 3.20

$$N_p = 12 \times 3.30$$

$$N_p = 39.6$$

จะได้จำนวนรอบด้านนอก (Secondary) เท่ากับ 39.6 รอบ จะทำการพัน 40 รอบ

ขั้นตอนที่ 4 ทำการคำนวณหาค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดเพื่อที่จะนำไปเทียบกับตารางเพื่อหาขนาดของขดลวดทองแดงจากสูตร

$$I_p = \frac{VA}{V_p} \quad (3.21)$$

แทนค่าลงในสมการที่ 3.21 เพื่อหากระแสด้านเข้า (Primary)

$$I_p = \frac{24}{220}$$

จะได้กระแสด้านเข้า 0.11 A

$$I_s = \frac{VA}{V_s} \quad (3.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

แทนค่าลงในสมการ 3.22 เพื่อหากระแสต้านออก (Secondary)

$$I_p = \frac{24}{12}$$

จะได้กระแสต้านออก 2 A

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาขนาดของเซอร์คูลาร์มิล เพื่อทำการเปิดตารางหาขนาดของเบอร์ลวดทองแดง

จากสมการหาเซอร์คูลาร์มิล

$$\text{Circular Mill} = I \times 500$$

(3.23)

ทางด้านเข้า (Primary)

$$\text{Circular Mill} = I_p \times 500$$

$$\text{Circular Mill} = 0.11 \times 500$$

จะได้ค่าของเซอร์คูลาร์มิล (Circular mill) เท่ากับ 55

ทางด้านออก (Secondary)

$$\text{Circular Mill} = I_s \times 500$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$\text{Circular Mill} = 2 \times 500$$

จะได้ค่าของเซอร์คูลาร์มิล (Circular mill) เท่ากับ 1000

ขั้นตอนที่ 6 นำค่าเซอร์คูลาร์มิลไปทำการเปิดตารางเพื่อหาขนาดเบอร์ลวดของทองแดงเพื่อใช้ในการพันหม้อแปลง

ตารางเปรียบเทียบขนาดขดลวดทองแดงไฟฟ้า				
เบอร์ SWG	เส้นผ่าศูนย์กลาง		พื้นที่หน้าตัด	
	นิ้ว	มิลลิเมตร	เซอร์คูลาร์มิล	ตาราง มม.
0000	0.4			
000	0.372			
00	0.334			
0	0.324	8.23	106,500	54,186
1	0.3	7.62	90,000	46,451
2	0.276	7.06	77,176	39,847
3	0.252	6.4	66,370	32,768
4	0.232	5.89	52,630	27,753
5	0.212	5.38	41,740	23,155
6	0.192	4.88	33,100	18,215
7	0.176	4.46	30,976	15,913
8	0.16	4.06	26,250	13,026
9	0.144	3.66	20,766	10,716
10	0.128	3.24	16,510	8,398
11	0.166	2.94	13,090	6,914
12	0.104	2.642	10,816	5,548
13	0.092	2.336	8,234	4,305
14	0.08	2.03	6,530	3,296
15	0.072	1.828	5,178	2,673
16	0.064	1.625	4,107	2,112
17	0.056	1.422	3,257	1,617
18	0.048	1.219	2,048	1,188
19	0.04	1.061	1,642	0.83
20	0.036	0.914	1,288	0.67
21	0.032	0.812	1,022	0.53
22	0.028	0.711	810.10	0.40
23	0.024	0.61	624.40	0.30
24	0.022	0.553	509.50	0.25
25	0.2	0.506	404.00	0.21
26	0.018	0.457	320.40	0.17
27	0.016	0.406	254.10	0.13

รูปที่ 3.32 ตารางเปรียบเทียบขนาดของลวดทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางเปรียบเทียบขนาดขดลวดทองแดงไฟฟ้า				
เบอร์ SWG	เส้นผ่าศูนย์กลาง		พื้นที่หน้าตัด	
	นิ้ว	มิลลิเมตร	เซอร์กิวลาร์มิล	ตาราง มม.
28	0.0148	0.376	201.50	0.11
29	0.0136	0.345	184.90	0.10
30	0.012	0.304	159.80	0.07
31	0.011	0.29	126.70	0.07
32	0.0102	0.274	116.20	0.06
33	0.01	0.254	100.50	0.05
34	0.009	0.228	81.00	0.04
35	0.008	0.203	79.10	0.03
36	0.0076	0.193	50.15	0.03
37	0.0068	0.172	39.75	0.02
38	0.0061	0.155	31.52	0.02
39	0.0052	0.132	25.00	0.01
40	0.0048	0.121		0.00
41	0.0044	0.111	19.80	0.01
42	0.004	0.1	15.72	0.01
43	0.0036	0.0914	12.47	0.01
44	0.0032	0.0812	9.89	0.01

รูปที่ 3.33 ตารางเปรียบเทียบขนาดของลวดทองแดง(ต่อ)

จากทางด้านของด้านเข้า (Primary) ที่มีค่าเซอร์คิวลาร์มิล (Circular mill) เท่ากับ 110 จะใช้ลวดทองแดง SWG เบอร์ 35

และทางด้านของด้านออก (Secindary) ที่มีค่าเซอร์คิวลาร์มิล (Circular mill) เท่ากับ 1000 จะใช้ลวดทองแดง SWG เบอร์ 21

ส่วนที่สองจะเป็นการออกแบบวงจรเรียงกระแส (Rectifier circuit)

หลังจากแปลงแรงดันขาเข้ามาเป็น 24 โวลต์ กระแส 2 แอมแปร์ ซึ่งได้หลังจากการใช้หม้อแปลงลดแรงดันจาก 220 โวลต์มาเป็น 24 โวลต์ แล้วทำการเรียงกระแสให้เป็นกระแสตรงโดยผ่านวงจรเรียงกระแสแบบฟูลบริดจ์ หลังจากนั้นทำการต่อตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ ที่มีค่าความจุ 100 ไมโครฟารัด ซึ่งจะได้แรงดันที่คร่อมตัวเก็บประจุมีค่าประมาณ

$$V_{dc} = V_{rms} \times 1.4 \quad (3.24)$$

ทำการแทนค่า  $V_{rms}$  ลงในสมการที่ 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$V_{dc} = 12 \times 1.4$$

ได้ค่า  $V_{dc}$  เท่ากับ 16.8 V

ส่วนที่สามจะเป็นการออกแบบวงจรสวิทซ์

เลือกหม้อแปลงฟลายแบ็ก (Flyback transformer) รุ่น FFA940 Series โดยที่หม้อแปลงฟลายแบ็กรุ่นนี้ จะมีกำลังสูงสุด 120 W และสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าด้านออกได้ 27,000 โวลต์ และเลือกสวิทช์ มอสเฟต (MOSFET) รุ่น IRF740 และยึดกับแผงระบายความร้อนอะลูมิเนียม



รูปที่ 3.34 มอสเฟตรุ่น (MOSFET) IRF740

หลังจากนั้นใช้ขดลวดทองแดงหุ้มฉนวนพันบนแกนเหล็กของหม้อแปลงฟลายแบ็กเป็นจำนวน 250 รอบ และใช้ความถี่ที่ 30 kHz ซึ่งหม้อแปลงฟลายแบ็ก สามารถสร้างแรงดันเอาต์พุต ได้สูงสุดถึง 3,000 โวลต์ และกระแสอินพุตอยู่ระหว่าง 0.04 ถึง 0.25 A โดยที่อัตราส่วนของแรงดันขาเข้า ต่อ แรงดันขาออกจะอยู่

ในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

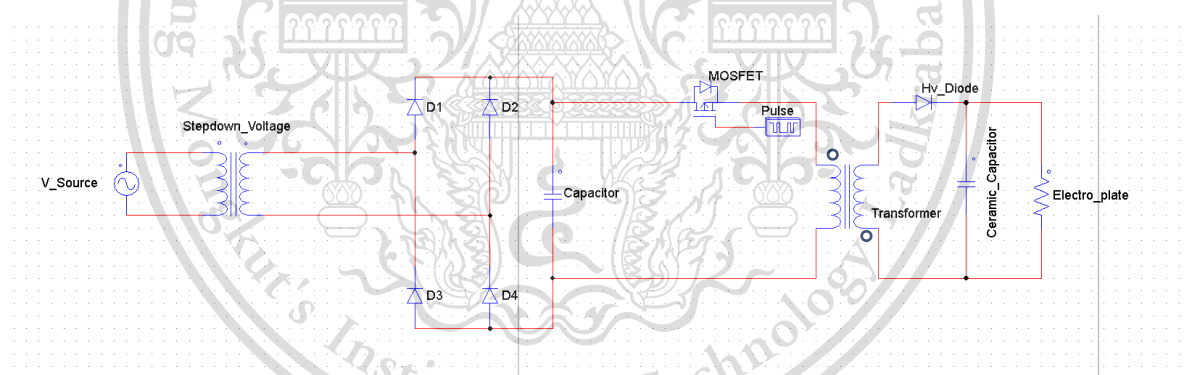
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



และสุดท้ายทำการต่อตัวเก็บประจุแบบเซรามิก ที่มีค่าความจุ 1000 พิโคฟารัดที่ทนแรงดันได้สูงสุด 30 kV ต่อขนานกับด้านขาออกของหม้อแปลงฟลายแบ็ก เพื่อที่จะทำการเรียงกระแสไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.37 ตัวเก็บประจุเซรามิก

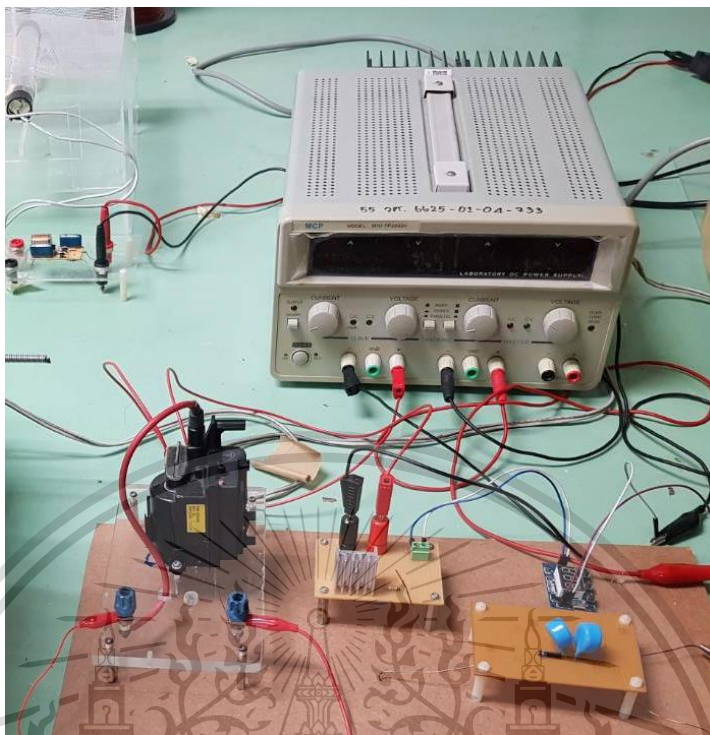


รูปที่ 3.38 วงจรสมมูลฟลายแบ็กสำหรับเครื่องผลิตก๊าซไอโซนจากโปรแกรม PSIM

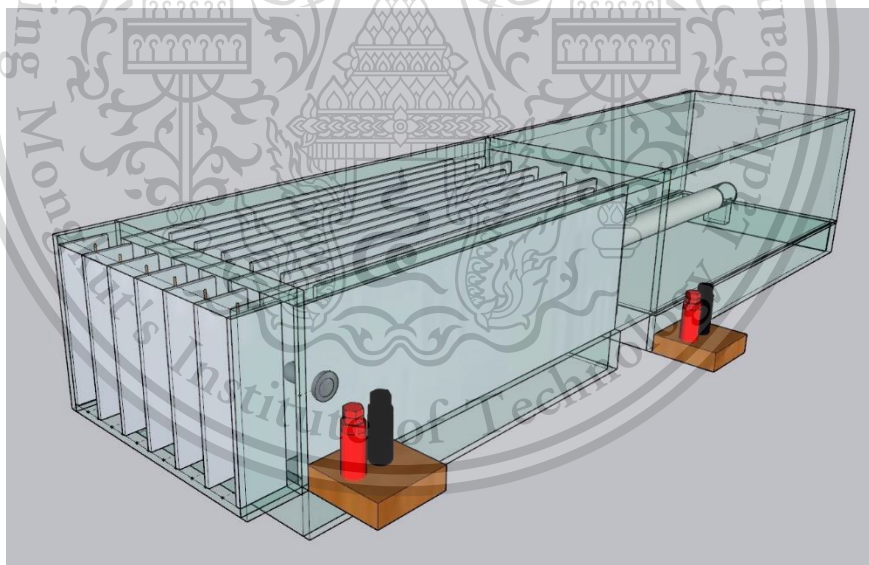
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.39 วงจรฟลายแบ็กสำหรับเครื่องผลิตก๊าซไอโซน



รูปที่ 3.40 เครื่องกรองฝุ่น และชุดหลอดผลิตไอโซนจากโปรแกรม Sketch up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## บทที่ 4

### การทดลอง และผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลองวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

เมื่อทำการออกแบบการสร้างวงจรตามที่ออกแบบไว้แล้ว ทำการทดสอบวงจรเพื่อทำให้ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

จากตารางที่ 4.1 เป็นผลการทดลองอัตราส่วนของแรงดันอินพุต ต่อแรงดันเอาต์พุต ของวงจรฟลายแบ็กที่ใช้ความถี่ในการสวิตซิ่ง 30 kHz และมีค่าดิวตี้ (Duty) เท่ากับ 40% เพื่อป้องกันการที่หม้อแปลงจะเกิดการอิ่มตัว และทำการวัดแรงดันโดยใช้ โพรบแรงดันสูง (High Voltage Probe) รุ่น fluke 80k-40 ซึ่งมีช่วงในการวัดได้ตั้งแต่ 1 kV ถึง 40 kV DC หรือ AC 28 kV rms ac

โดยที่ โพรบแรงดันสูงจะมีอัตราส่วน แรงดันอินพุต ต่อแรงดันเอาต์พุตเป็น

#### ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราส่วนของ โพรบแรงดันสูง

แรงดันด้านเข้า (Input Voltage)	กระแสที่ไหล	แรงดันด้านออก (Output Voltage)
10 V	10 nA	10 mV
100 V	100 nA	100 mV
1000 V	1 $\mu$ A	1 V
10000 V	10 $\mu$ A	10 V
20000 V	20 $\mu$ A	20 V
30000 V	30 $\mu$ A	30 V
40000 V	40 $\mu$ A	40 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนของแรงดันด้านเข้า ต่อแรงดันด้านออก

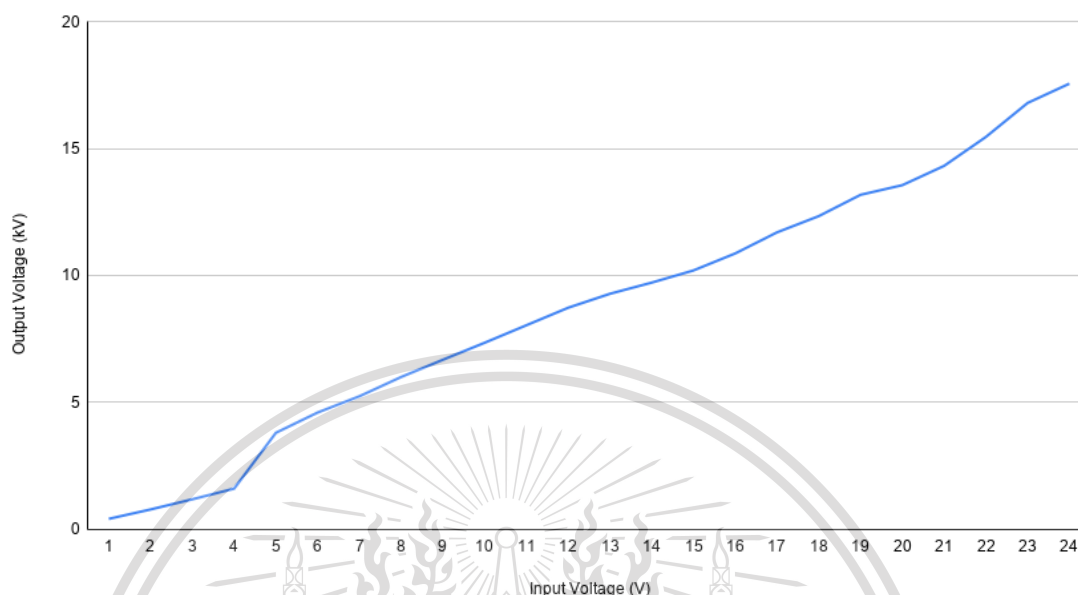
แรงดันด้านเข้า (Input Voltage) V	แรงดันด้านออก (Output Voltage) kV
1	0.41
2	0.78
3	1.18
4	1.60
5	3.8
6	4.6
7	5.24
8	6.00
9	6.68
10	7.35
11	8.04
12	8.73
13	9.28
14	9.72
15	10.2
16	10.87
17	10.70
18	12.34
19	13.18
20	13.56
21	14.32
22	15.46
23	16.80
24	17.56
25	18.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Input Voltage : Output Voltage



รูปที่ 4.1 กราฟอัตราส่วนแรงดันอินพุต ต่อแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงฟลายแบ็ก

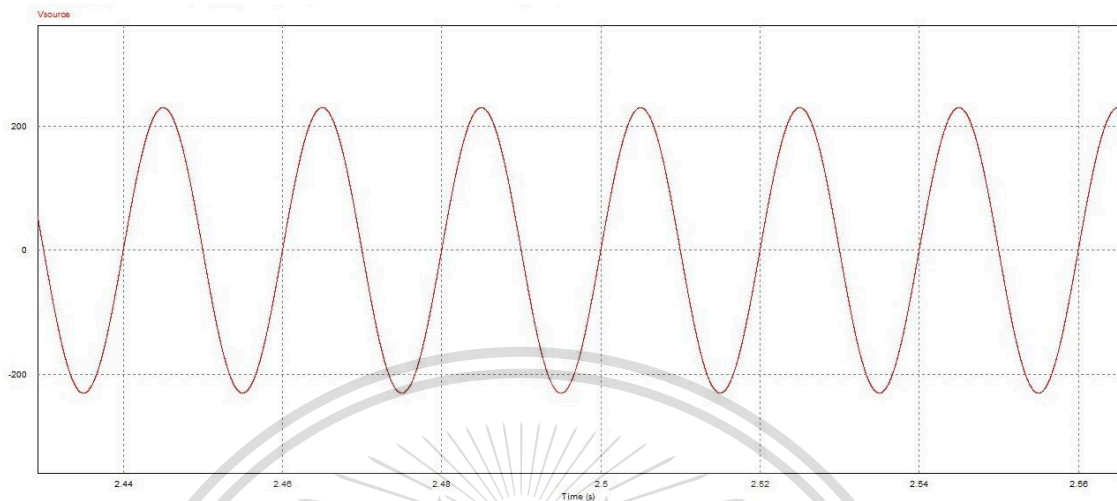
จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อที่แรงดันสูงที่หลังจากที่แรงดัน อินพุตมากกว่า 20 โวลต์ ที่ความถี่ 30 kHz จะพบว่าแรงดันเอาต์พุต เริ่มที่จะไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นของค่าความซาบซึ่มแม่เหล็ก (Magnetic Permeability) ในวัสดุแกนหม้อแปลงแบบเฟอร์ไรต์ ในแต่ละรุ่นของหม้อแปลงฟลายแบ็ก และถ้าหากต้องการที่จะใช้แรงดันที่ 20 kV ขึ้นไปควรที่ใช้ความถี่ที่มากกว่า 33 kHz ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

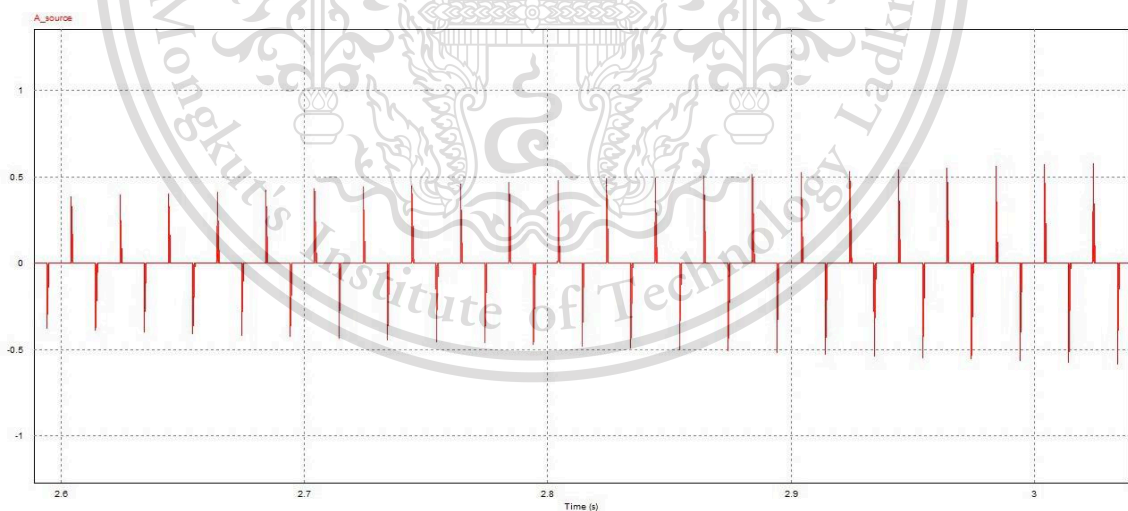
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

ผลการซิมูเลชัน ของวงจรที่ได้ทำการออกแบบในการทดลองจากโปรแกรม PSIM



รูปที่ 4.2 กราฟแรงดันอินพุตของวงจรด้านปฐมภูมิ

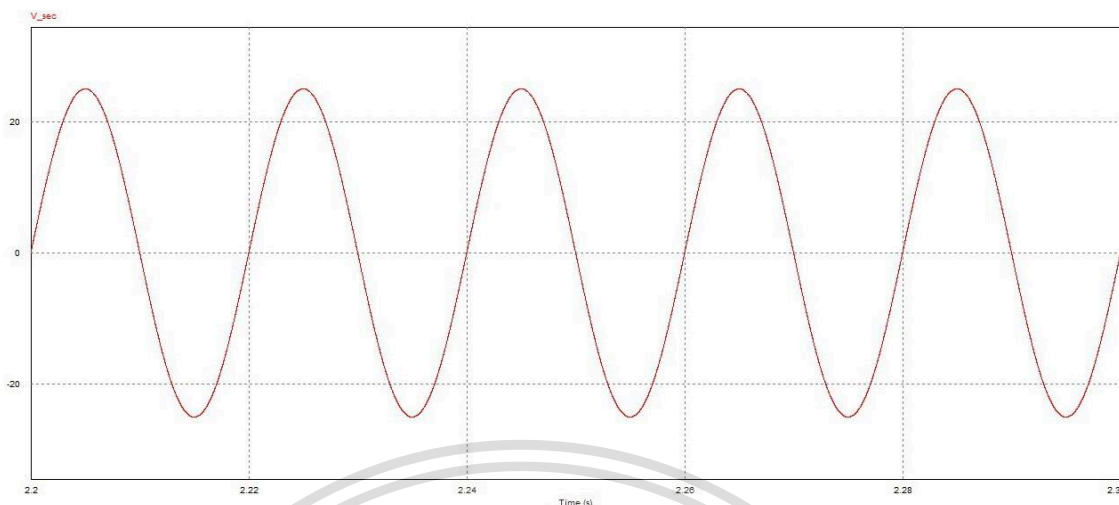


รูปที่ 4.3 กราฟกระแสอินพุตของวงจรด้านปฐมภูมิ

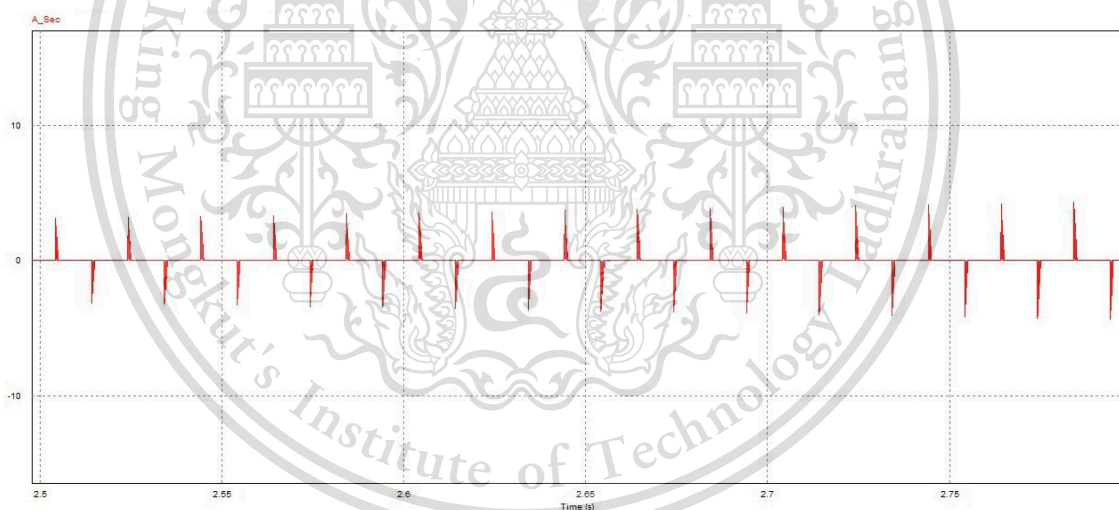
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.4 กราฟแรงดันเอาต์พุตของวงจรด้านทุติยภูมิ

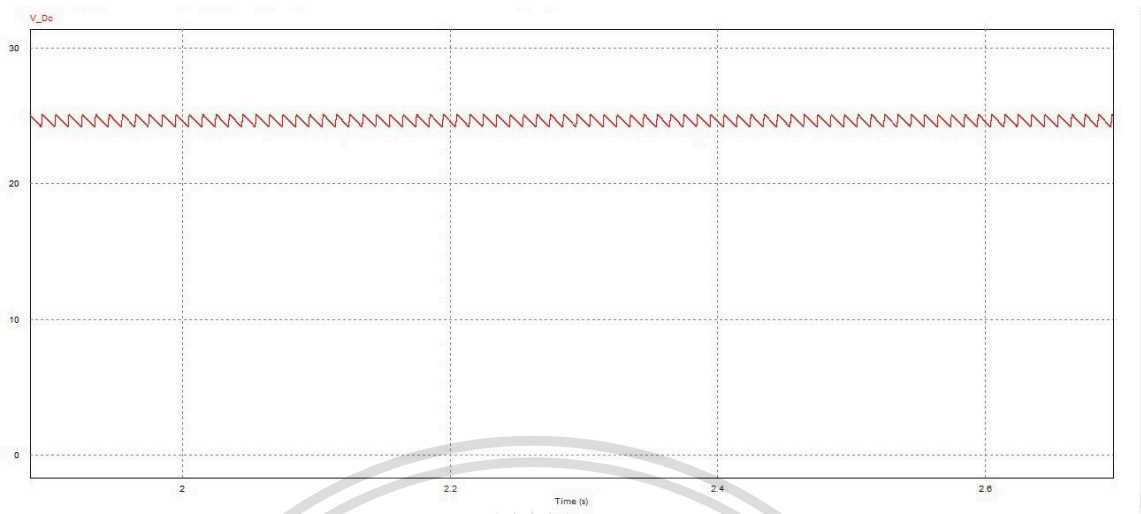


รูปที่ 4.5 กราฟกระแสเอาต์พุตของวงจรด้านทุติยภูมิ

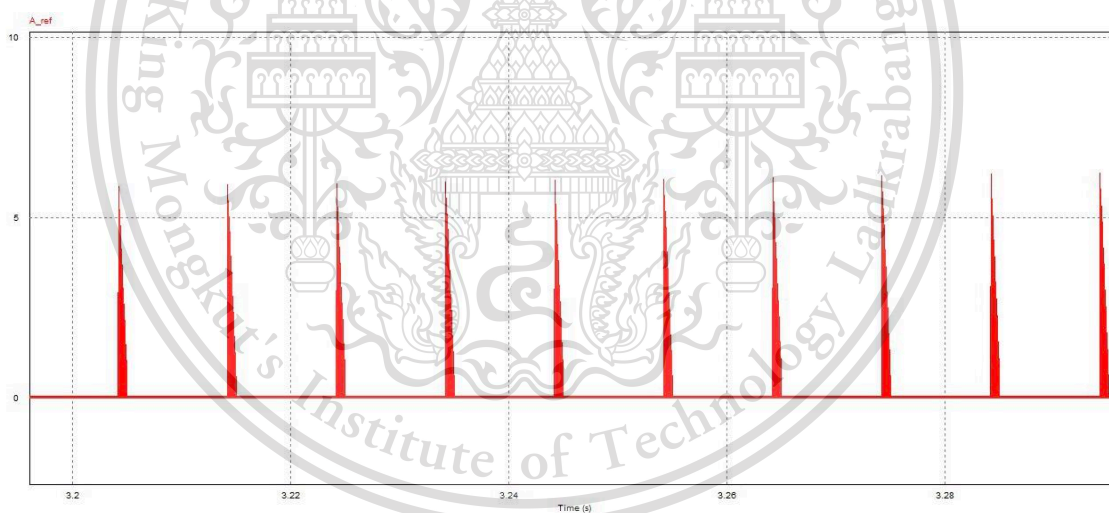
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.6 กราฟแรงดันหลังผ่านวงจรกรองกระแสแบบฟูลบริดจ์

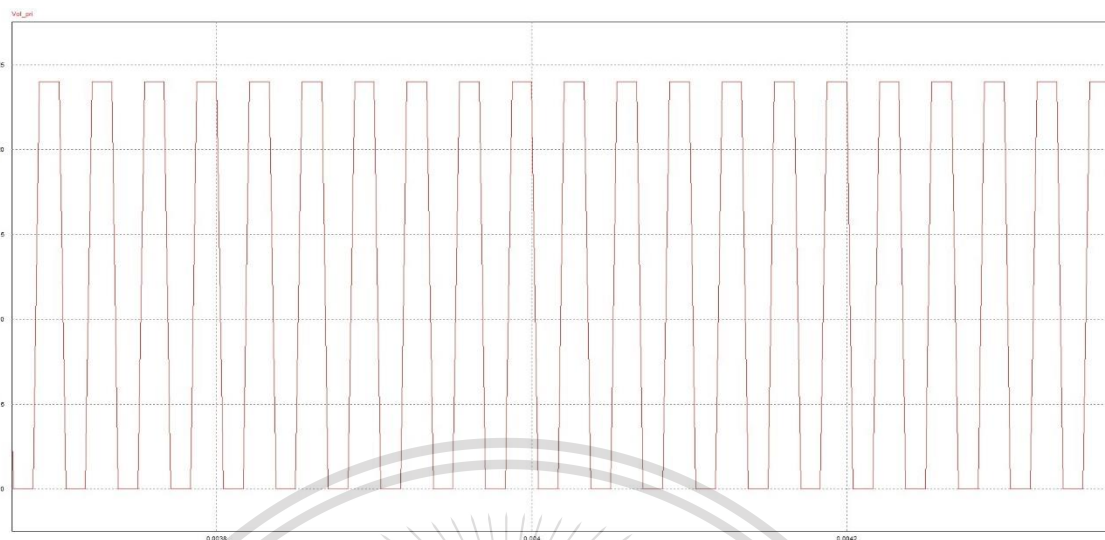


รูปที่ 4.7 กราฟกระแสหลังผ่านวงจรกรองกระแสแบบฟูลบริดจ์

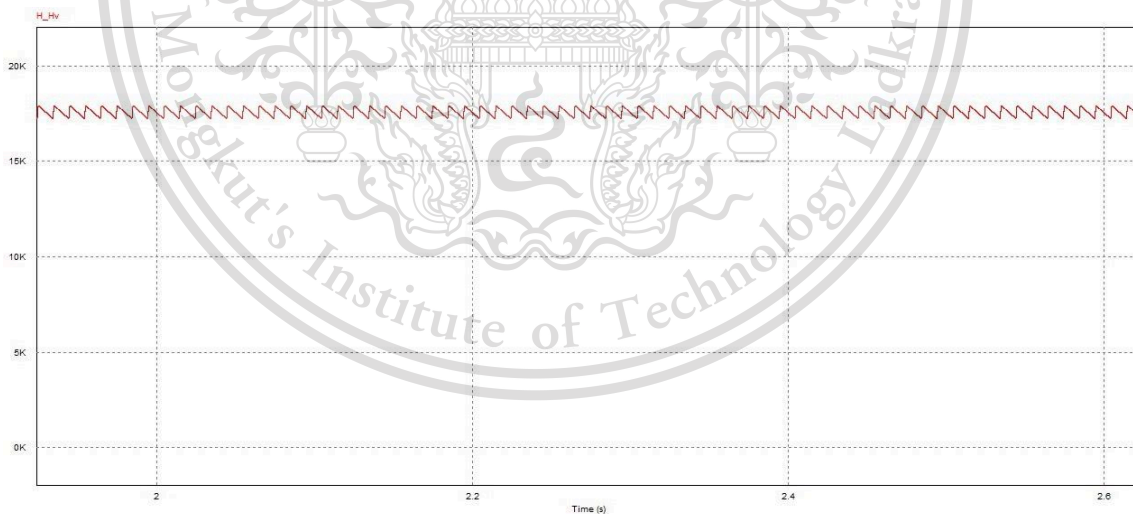
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.8 แรงดันระหว่างขาเดรน และขาซอส

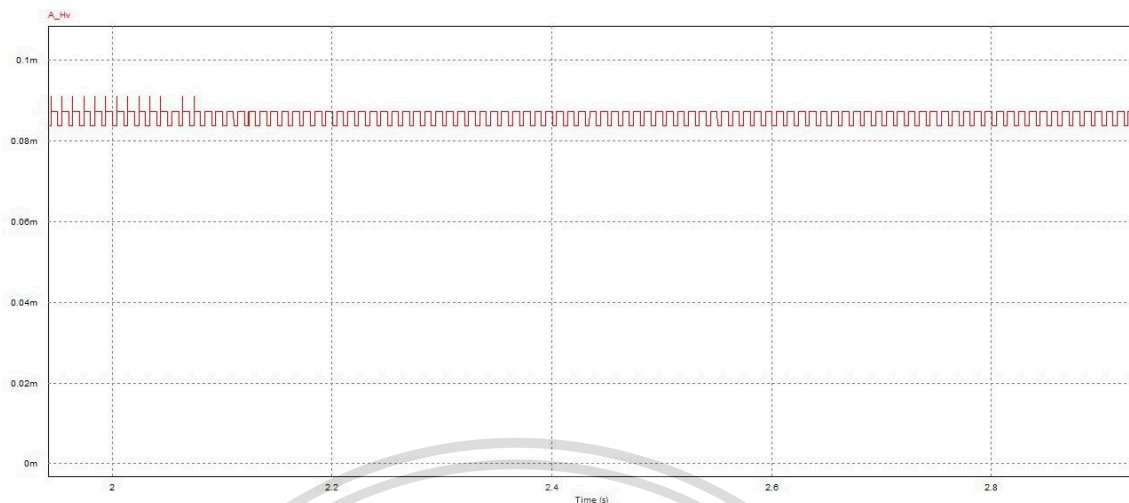


รูปที่ 4.9 กราฟแรงดันด้านพุตยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง

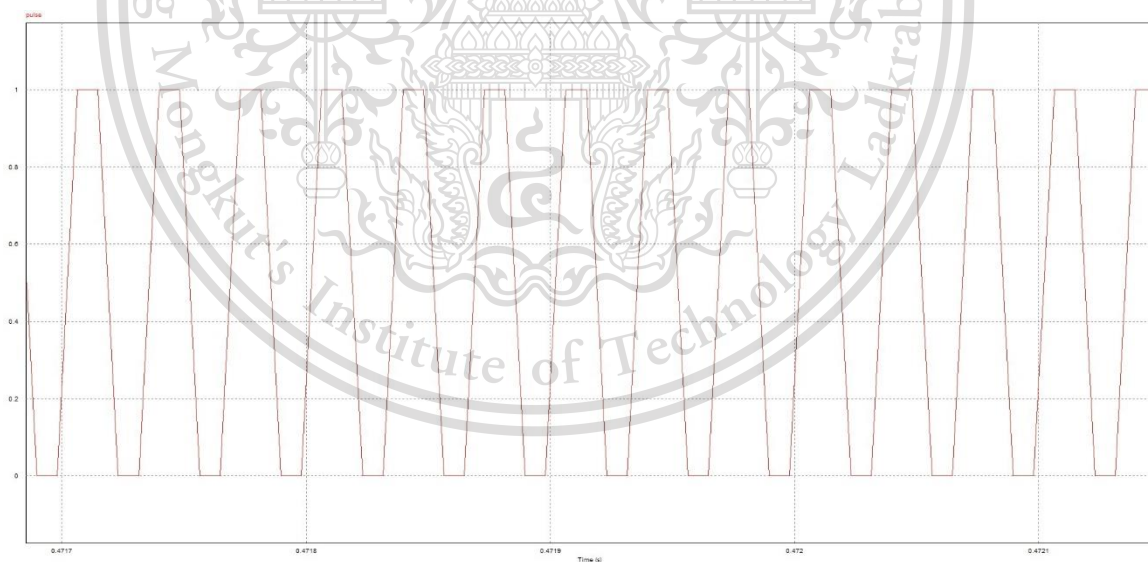
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.10 กราฟกระแสด้านทุติยภูมิของของหม้อแปลงความถี่สูง



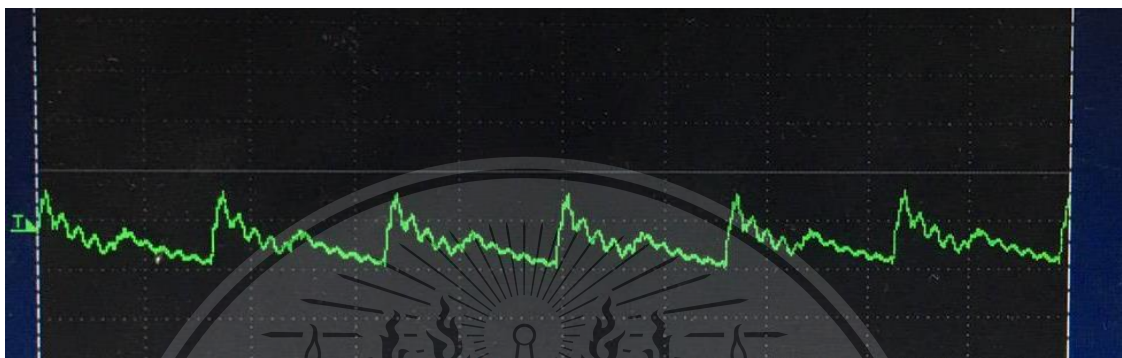
รูปที่ 4.11 กราฟสัญญาณ Pulse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

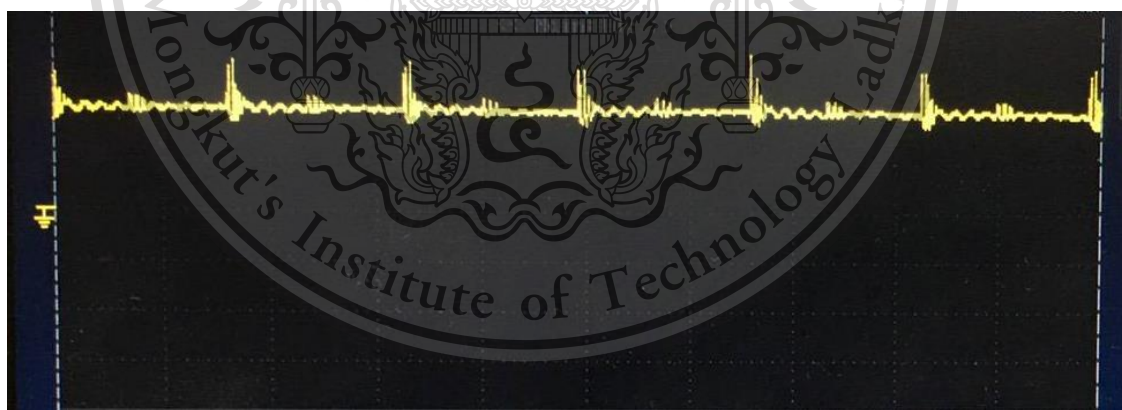
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

ผลการทดลองของวงจรที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องมือวัด



รูปที่ 4.12 กราฟแรงดันระหว่างขาเดรน และซอส



รูปที่ 4.13 กราฟแรงดันด้านพุตติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.14 กราฟสัญญาณ Pulse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

#### 4.2 ผลการทดลองของเครื่องดักจับฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต

จากการทดลองเกี่ยวกับการหาค่าประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นจะแบ่งการทดลองการวัดค่าออกเป็นฝุ่น 2 ขนาดคือ ขนาดแรกเป็นฝุ่น PM10 และขนาดที่สองเป็นฝุ่น PM2.5 โดยใช้เครื่องวัดรุ่น DUSTTRAK II ซึ่งเครื่องมือวัดฝุ่นที่มีคุณสมบัติ คือ

1. เครื่องวัดฝุ่นแบบอ่านผลทันที (Real-Time Dust Monitoring)
2. Particle Size Range 0.1 to 10 PM (PM10, PM2.5, PM1.0, Respirable size fractions)
3. แสดงผลผ่านหน้าจอสี ทำงานโดยระบบTouch screen
4. สามารถแสดงผลในรูปแบบของกราฟได้จากตัวเครื่อง
5. สามารถบันทึกข้อมูลผ่านUSB flash drive
6. ตรวจวัด ช่วงในการตรวจวัด 0.001-400mg/m<sup>3</sup>
7. สามารถเลือกรุ่นที่เป็นHand Held หรือ Desktop
8. Desktop สามารถทำ Gravimetric reference sample ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.15 เครื่อง DUSTTRAK II

โดยที่จะทำการหาค่าแรงดันที่ใช้ในการทดสอบเพื่อที่จะหาว่า ที่ค่าแรงดันใดจะทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันไปหลายๆค่า แล้วทำการวัดค่าของการดักจับฝุ่นว่าที่แรงดันเท่าใดเครื่องจะมีประสิทธิภาพสูงสุด และไม่เกิดการสปาร์คทางไฟฟ้า หรือเกิดการพังทางไฟฟ้า (Break down) โดยจะแบ่งออกเป็น 2 การทดลองคือ

#### การทดลองที่ 1 PM10

หลังจากทำการต่อชุดแหล่งจ่ายไฟ เข้ากับตัวอุปกรณ์ดักจับฝุ่น จึงทำการทดลองการดักจับฝุ่นโดยเริ่มจากการตั้งค่าเครื่องวัดฝุ่นรุ่น DUSTTRAK II ให้วัดเป็นเวลาต่อเนื่องจำนวน 5 นาที แล้วนำข้อมูลที่ได้ออกมาหาค่าเฉลี่ยของฝุ่นที่วัดได้ โดยจะแบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

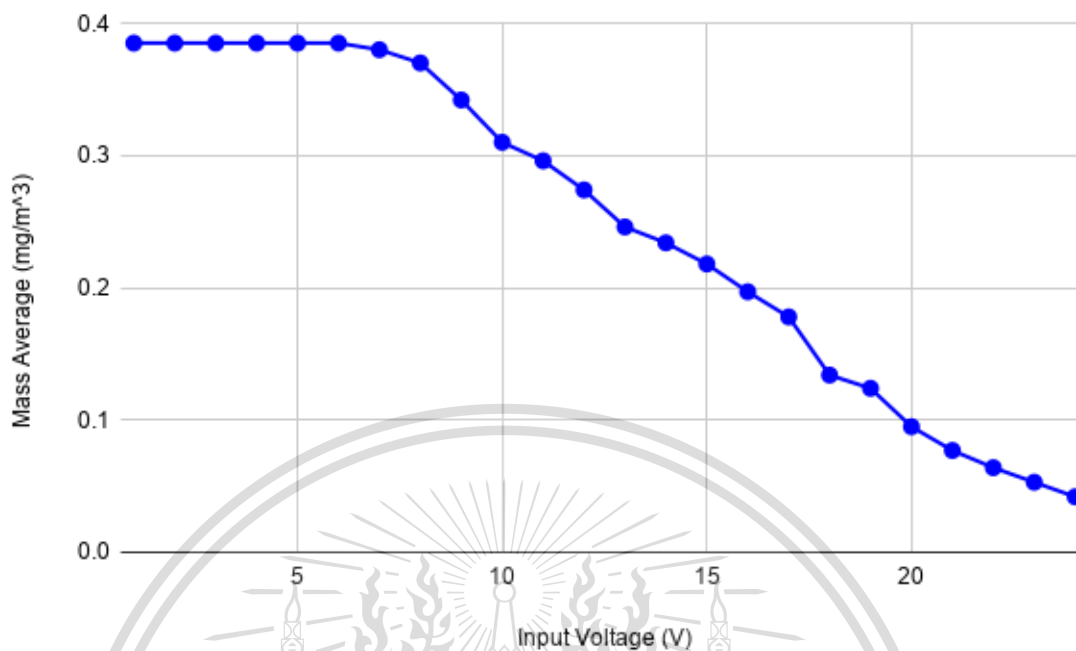
1. วัดค่าของฝุ่น PM10 ที่เกิดจากรูป เป็นเวลา 5 นาที
2. ทำการปรับค่าของแรงดันที่ค่าต่างๆ แล้วดูอัตราการดักจับฝุ่น

ค่า PM10 ที่เกิดจากรูปมีค่าเท่ากับ  $0.385 \text{ mg/m}^3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.16 ผลการทดลองที่แรงดันค่าต่างๆ กับอัตราการดักจับฝุ่นของ PM10

#### สรุปผลการทดลอง PM10

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการเพิ่มแรงดันอินพุตสูงขึ้นจะส่งผลทำให้แรงดันเอาต์พุตมากขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิที่ติดกับแผ่นที่เก็บประจุมากขึ้น โดยจากการทดลองพบว่าที่แรงดัน อินพุตที่ 1 ถึง 6 โวลต์ซึ่งก็คือแรงดันเอาต์พุต ระหว่างช่วง 0.41 kV ถึง 4.6 kV พบว่าอุณหภูมิของฝุ่น PM10 ที่วัดค่าออกมาได้มีค่าอยู่ในช่วงของ 0.38 ถึง 0.386 mg/m<sup>3</sup> ซึ่งหมายความว่าอุณหภูมิที่นั่นแทบจะไม่ไปเกาะที่ขั้วแผ่นเก็บประจุ แต่หลังจากที่แรงดัน อินพุตตั้งแต่ 7 โวลต์ เป็นต้นไปซึ่งแรงดันเอาต์พุตก็คือ 5.24 kV จะพบว่าอุณหภูมิที่นั่นเริ่มที่จะไปเกาะที่แผ่นเก็บประจุ และหลังจากทำการเพิ่มแรงดันอินพุตเพิ่มขึ้นไปจนถึง 24 โวลต์ซึ่งก็คือแรงดันเอาต์พุตตั้งแต่ 5.24 kV ถึง 17.56 kV จะพบว่าอุณหภูมิจะไปเกาะที่แผ่นเก็บประจุโดยดูจากอัตราการทดลองของ PM10 ที่ทำการวัดออกมา และหลังจากที่ 25 โวลต์ซึ่งก็คือ 18.54 kV จะเกิดการพังทลายของสนามไฟฟ้า (Electrical Breakdown) ซึ่งในโครงการนี้จึงทำการตั้งค่าของแรงดันอินพุตไว้ที่ 24 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

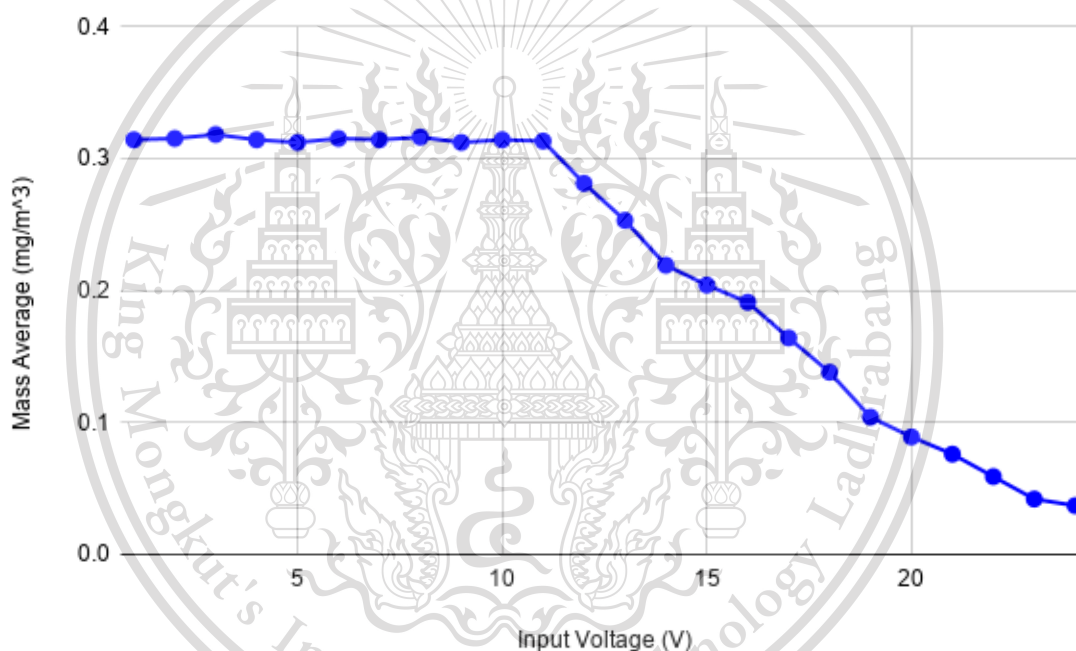
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### การทดลองที่ 2 PM2.5

หลังจากทำการต่อชุดแหล่งจ่ายไฟ เข้ากับตัวอุปกรณ์ดักจับฝุ่น จึงทำการทดลองการดักจับฝุ่นโดยเริ่มจากทำการตั้งค่าเครื่องวัดฝุ่นรุ่น DUSTTRAK II ให้วัดเป็นเวลาต่อเนื่องจำนวน 5 นาที แล้วนำข้อมูลที่ได้ออกมาหาค่าเฉลี่ยของฝุ่นที่วัดได้ โดยจะแบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

1. วัดค่าของฝุ่น PM2.5 ที่เกิดจากรูป เป็นเวลา 5 นาที
2. ทำการปรับค่าของแรงดันที่ค่าต่างๆ แล้วดูอัตราการดักจับฝุ่น

ค่า PM2.5 ที่เกิดจากรูปมีค่าเท่ากับ  $0.312 \text{ mg/m}^3$



รูปที่ 4.17 ผลการทดลองที่แรงดันค่าต่างๆ กับอัตราการดักจับฝุ่นของPM2.5

### สรุปผลการทดลอง PM2.5

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการเพิ่มแรงดันอินพุตสูงขึ้นจะส่งผลทำให้แรงดันเอาต์พุตมากขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิขึ้นไปติดกับแผ่นที่เก็บประจุมากขึ้น โดยจากการทดลองพบว่าที่แรงดัน อินพุตที่ 1 ถึง 11 โวลต์ซึ่ง

ก็คือแรงดันเอาต์พุต ระหว่างช่วง 0.41 kV ถึง 8.04 kV พบว่าอุณหภูมิของฝุ่น PM2.5 ที่วัดค่าออกมาได้มีค่าอยู่ในช่วงของ  $0.312$  ถึง  $0.318 \text{ mg/m}^3$  ซึ่งหมายความว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะไม่ไปเกาะที่ขั้วแผ่นเก็บ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ประจุแต่หลังจากที่แรงดัน อินพุตตั้งแต่ 11 โวลต์ เป็นต้นไปซึ่งแรงดันเอาต์พุตก็คือ 8.04 kV จะพบว่าอนุภาคนั้นเริ่มที่จะไปเกาะที่แผ่นเก็บประจุ และหลังจากทำการเพิ่มแรงดันอินพุตเพิ่มขึ้นไปจนถึง 24 โวลต์ซึ่งก็คือแรงดันเอาต์พุตตั้งแต่ 8.04 kV ถึง 17.56 kV จะพบว่าอนุภาคจะไปเกาะที่แผ่นเก็บประจุโดยดูจากอัตราการลดลงของ PM2.5 ที่ทำการวัดออกมา และหลังจากที่ 25 โวลต์ซึ่งก็คือ 18.54 kV จะเกิดการพังทลายของฉนวนไฟฟ้า (Electrical Breakdown) ซึ่งในโครงการนี้จึงทำการตั้งค่าของแรงดันอินพุตไว้ที่ 24 โวลต์

### 4.3 ผลการทดลองของเครื่องผลิตก๊าซโอโซน

ทำการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรงให้กับหลอดโอโซนที่แรงดัน 2500 โวลต์ และที่ความถี่ 30 kHz ต่อเข้ากับระบบเพื่อทำการหาว่าเครื่องผลิตโอโซน สามารถผลิตก๊าซโอโซนออกมาได้เท่าใดในหน่วยของ  $\text{mgO}_3/\text{L}$  และเป็นปริมาณที่ผลิตได้ต่อ 1 หลอด

วิธีการทดสอบหาปริมาณก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้นจะใช้วิธีการทดสอบทางเคมี โดยใช้การวิเคราะห์ทางเคมีที่เรียกว่าการไทเทรต (Titration) โดยจะมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เตรียมสาร 3 ชนิด คือ 1. Potassium iodide 2. น้ำแข็ง 3. Sodium thiosulfate
2. นำสาร Potassium iodide มาใส่ขวดรูปชมพู่ จำนวน 3 ขวด
3. นำก๊าซโอโซนมาทำปฏิกิริยา โดยการให้โอโซนเป็นเวลา 10 นาที
4. นำ Potassium iodide ที่หลังจากทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซนแล้วมาหยดน้ำแข็ง
5. ทำการไทเทรต Potassium iodide ให้กลับคืนมาเป็นน้ำสีขาวใส ด้วยการหยดสาร Sodium thiosulfate
6. นำปริมาณของ Sodium thiosulfate ที่ใช้ในการไทเทรตไปคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.18 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้น

#### ผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมสาร 3 ชนิด คือ 1. Potassium iodide 2. น้ำแป้ง 3. Sodium thiosulfate

โดยที่

เตรียมสาร Potassium iodide (KI) 0.06 mol/L ของ KI ซึ่งก็คือ KI 10 g ต่อน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เตรียมน้ำแบ่งสำหรับเป็นตัวอินดิเคเตอร์ (Indicator) จำนวน 25mL ซึ่งก็คือใช้แบ่ง 1 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นจำนวน 25 mL แล้วคนให้ละลาย

เตรียมนสารละลายมาตรฐานสำหรับการไทเทรต หรือ Sodium thiosulfate ที่มีความเข้มข้น 0.05012 mol/L ที่มีปริมาณ 100 ml ซึ่งก็คือใช้สาร Sodium thiosulfate 1.244 G ต่อน้ำ 100 mL

ขั้นตอนที่ 2 นำสาร Potassium iodide มาใส่ขวดรูปชมพู่ จำนวน 3 ขวด เป็นปริมาตรขวดละ 50 mL

ขั้นตอนที่ 3 นำก๊าซไอโอดีนมาทำปฏิกิริยา โดยการให้ไอโอดีนเป็นเวลา 10 นาที

เป็นการนำหลอดไอโอดีนที่ได้ทำการออกแบบมา มาใส่ในท่อพีวีซี (PVC) แล้วทำการต่อปั๊มลมเข้ากับท่อเพื่อทำการ นำอากาศเข้าไปในหลอดไอโอดีน และต่อท่อออกมาแล้วนำไปใส่ที่ขวดรูปชมพู่ เพื่อที่จะทำให้อากาศไอโอดีนทำปฏิกิริยากับสารละลาย Potassium iodide เป็นเวลา 1 นาที ซึ่งจะทำการทดลองจำนวน 3 ครั้ง

ขั้นตอนที่ 4 นำ Potassium iodide ที่หลังจากทำปฏิกิริยากับก๊าซไอโอดีนแล้วมาหยดน้ำแบ่ง

โดยจะเติมน้ำแบ่งเป็นปริมาณ 1 mL และน้ำแบ่งยังเป็นตัวอินดิเคเตอร์ (Indicator) ซึ่งทำให้สารละลาย Potassium iodide กลายเป็นสีน้ำเงิน หรือสีม่วงดำ

ขั้นตอนที่ 5 ทำการไทเทรต Potassium iodide ให้กลับคืนมาเป็นน้ำสีขาวใส ด้วยการหยดสารละลาย Sodium thiosulfate

ขั้นตอนที่ 6 นำปริมาณของ Sodium thiosulfate ที่ใช้ในการไทเทรตไปคำนวณ

ปริมาณของ Sodium thiosulfate ที่ใช้จากการไทเทรตจำนวน 3 ครั้งคือ

**ตารางที่ 4.3** ปริมาณของ Sodium thiosulfate ที่ใช้

Sodium thiosulfate $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mL)
0.7
0.8
0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

การคำนวณหาปริมาณโอโซน

จากความสัมพันธ์  $0.1 \text{ N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  1 ml มีค่าเท่ากับ  $2.4 \text{ mgO}_3/\text{h}$

ตัวอย่างการคำนวณหา เช่น  $0.1 \text{ N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ปริมาณที่ใช้ในการไทเทรตมีปริมาณ 0.7 ml ละดูเข้มข้นโอโซนเป็นเวลา 1 นาที

จะได้ว่า คือ ปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตได้มีค่าประมาณ  $0.7 \times 2.4 \times 60 = 100.8 \text{ mgO}_3/\text{h}$

ตารางที่ 4.4 ปริมาณก๊าซโอโซนที่ได้จากการทดลอง

ครั้งที่	ปริมาณก๊าซโอโซน ( $\text{mgO}_3/\text{h}$ )
1	100.8
2	115.2
3	115.2
เฉลี่ย	110.4

เป็นปริมาณของโอโซนต่อ 1 หลอด

จากทำการแปลงหน่วยจาก  $\text{mgO}_3$  เป็น PPM จะได้ว่า เครื่องผลิตก๊าซโอโซนสามารถผลิตก๊าซโอโซนออกมาได้ประมาณ 56.235 PPM ซึ่งเป็นปริมาณความเข้มข้นที่สามารถกำจัดไวรัส และเชื้อโรคได้

และจากขนาดของห้องที่โดยจะอ้างอิงจากขนาดของห้องโพรเจค โดยจะใช้วิธีการคำนวณจากวิธีการอบโอโซน โดยหลักการคือจะเป็นการให้เครื่องผลิตก๊าซโอโซนออกมาให้เพียงพอกับปริมาตรของพื้นที่ของห้องโพรเจค เพื่อที่จะให้ได้ประสิทธิภาพที่เต็มที่ในการกำจัดเชื้อโรค เชื้อไวรัส หรือกลิ่นได้

วิธีการคำนวณ จากห้องโพรเจคมีขนาด กว้าง 6 เมตร ยาว 8 เมตร และสูง 3 เมตร โดยจะมีปริมาตรของห้องคือ 144 ลูกบาศก์เมตร และจากปริมาณของโอโซนที่สามารถใช้ในการกำจัดเชื้อโรค เชื้อไวรัส หรือกลิ่น คือ จำนวนมิลลิกรัมของโอโซนที่ผลิตได้ต่อชั่วโมง โดยที่ 1000 มิลลิกรัมของโอโซนต่อชั่วโมงจะสามารถทำการอบฆ่าเชื้อได้ห้องที่มีขนาด 27 ลูกบาศก์เมตร จึงจะสามารถกำจัดเชื้อโรค เชื้อไวรัส และกลิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากขนาดของห้องโพรเจคมีขนาด 144 ลูกบาศก์เมตรจึงต้องใช้โอโซน เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

5.33 กรัมต่อชั่วโมง และจากผลการทดลอง หลอดไอโซน 1 หลอดสามารถผลิตได้โดยเฉลี่ย 110.4 มิลลิกรัมต่อชั่วโมงทำให้ต้องใช้เวลาเท่ากับ 48 ชั่วโมงในการที่จะกำจัดเชื้อโรค เชื้อไวรัส และกลิ่นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองวิจารณ์ผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 ส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง

1. วงจรพลาเยแบ็กเหมาะสำหรับงานที่มีกำลังไม่เกิน 150 W แต่ต้องการไฟฟ้าที่แรงดันสูง และวงจรพลาเยแบ็กยังเป็นวงจรที่ไม่มีความซับซ้อน สามารถออกแบบแล้วเก็บไว้ในกล่องที่มีพื้นที่จำกัดได้ เนื่องจากเป็นวงจรที่ใช้อุปกรณ์เพียงไม่กี่อย่าง

2. วงจรพลาเยแบ็ก สามารถผลิตไฟฟ้าแรงดันสูงซึ่งมีความอันตรายต่อผู้ใช้ ดังนั้นผู้ใช้ต้องทำการออกแบบกล่องเก็บอุปกรณ์ให้มีความปลอดภัย

#### 5.2 ส่วนของเครื่องดักจับฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต

1. ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้า เมื่อเพิ่มค่าของแรงดันไฟฟ้ามากขึ้นจะสามารถทำให้ดักจับฝุ่นได้มากขึ้น แต่เมื่อถึงแรงดันค่าหนึ่งจะทำให้เกิดการสปาร์ค หรือการพังทลายของสนามไฟฟ้า

2. ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นจะแปรตามขนาดของฝุ่น เมื่อฝุ่นมีขนาดเล็กลงก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นลดลงตามไปด้วย

3. ในส่วนของระบบสั่นที่จะทำให้ฝุ่นหล่นลงมาในหม้อเก็บฝุ่น มีค่าไม่เพียงพอที่จะทำให้ฝุ่นขนาดเล็กนั้นหลุดออกจากแผ่นที่รวบรวมฝุ่นได้ทั้งหมด แต่ต้องใช้วิธีการนำแผ่นรวบรวมฝุ่นไปล้างแทนถึงจะสามารถทำความสะอาดได้โดยไม่เหลือฝุ่น แต่ถ้าเป็นฝุ่นขนาดใหญ่ก็ยังสามารถที่จะหลุดลงมาได้บ้างแต่อย่างไรก็ตามฝุ่นจำนวนมากที่ค้างอยู่ที่แผ่นรวบรวมฝุ่น จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องกรองฝุ่นลดลง

#### 5.3 ส่วนของเครื่องผลิตก๊าซไอโซน

1. ก๊าซไอโซนที่ผลิตออกมานั้นค่อนข้างที่จะมีความอันตราย ดังนั้นผู้ใช้งานควรที่จะใช้ในที่ ที่มีอากาศถ่ายเทสะดวกไม่ควรใช้ในพื้นที่ปิด เพราะจะทำให้เกิดอันตรายกับผู้ใช้ได้

2. ที่ตัวหลอดผลิตก๊าซไอโซนยังมีแรงดันไฟฟ้าที่สูง ที่สามารถทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ได้ ดังนั้นผู้ออกแบบจึงควรที่จะนำหลอดผลิตไอโซนไปใส่ในกล่อง หรือท่อพีวีซีที่ สามารถป้องกันการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ส่วนตัวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ผู้ใช้จะไปสมัคร

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## 5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ในส่วนของเครื่องฝุ่นควรที่จะเพิ่มตอน (Section) เข้าไปให้มากกว่า 1 section และแต่ละ section ควรที่จะมีโวลต์ที่ต่างกันเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นทุกในทุขนาด และทำการเพิ่มตัวกัน (Buffer) ในแต่ละ section เพื่อลดปริมาณการเกิดไอออไนเซชันย้อนกลับ และลดปริมาณของฝุ่นที่จะย้อนกลับเข้ามาในระบบเมื่อเกิดการไอออไนเซชันย้อนกลับ

2. ในส่วนของหลอดผลิตไอโซนอาจจะทำการเพิ่มความถี่ที่ใช้เข้าไปในระบบเพื่อให้ปริมาณไอโซนที่เกิดขึ้นมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และทำการเพิ่มจำนวนของหลอดเข้าไปเพื่อลดระยะเวลาในการกำจัดเชื้อโรค ไวรัส และกลิ่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ชินวุฒน์ ทรัพย์จรัสแสง;/และคนอื่นๆ, “เครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต,” **โครงการพิเศษ หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต**, สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2536.
- [2] ขจรศักดิ์ กิตติชาคร;/และคนอื่นๆ, “วงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบฟลูบริดจ์ สวิตซ์ซิงด้วยแรงดันศูนย์และกระแสศูนย์”, **ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.
- [3] ธีระเดช เจียรวรรณ;/และคนอื่นๆ, “การศึกษาเปรียบเทียบวงจรควบคุมแบบ PWM, PDM และ PS-PWM ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ฟลูบริดจ์แรงดันสูงความถี่สูงแบบ LCC เรโซแนนซ์สำหรับเครื่องกำเนิดโอโซน,” **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556.
- [4] บุญเลิศ สือเฉย และ ชัยพิสิษฐ์ ฝิวอ่อน, “การเปรียบเทียบการผลิตก๊าซโอโซนโดยใช้แท่งอิเล็กโทรด สเตนเลส อะลูมิเนียม ทองแดง เงินและตะกั่ว ด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงแบบสวิตซิง,” **เอกสารวิชาการ**, มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์, 2559, หน้า 9-14.
- [5] อาทิตย์ ยาวุฑฒิ และ พิสิษฐ์ วิมลธนสิทธิ์, “การสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงจากหม้อแปลงฟลายแบคสำเร็จรูป,” **เอกสารวิชาการ**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมงคลราชมงคลล้านนา, 2561, หน้า 8-13.
- [6] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิระเศรษฐ์, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง**, กรุงเทพฯ, สนพ. ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง, 2561.
- [7] Ketkaew and Jangwanitlert, “A study of Ozone gas generating technique using a high frequency high voltage DC switching power supply of high ripple voltage,” **Academic documents**, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, pp. 1-5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

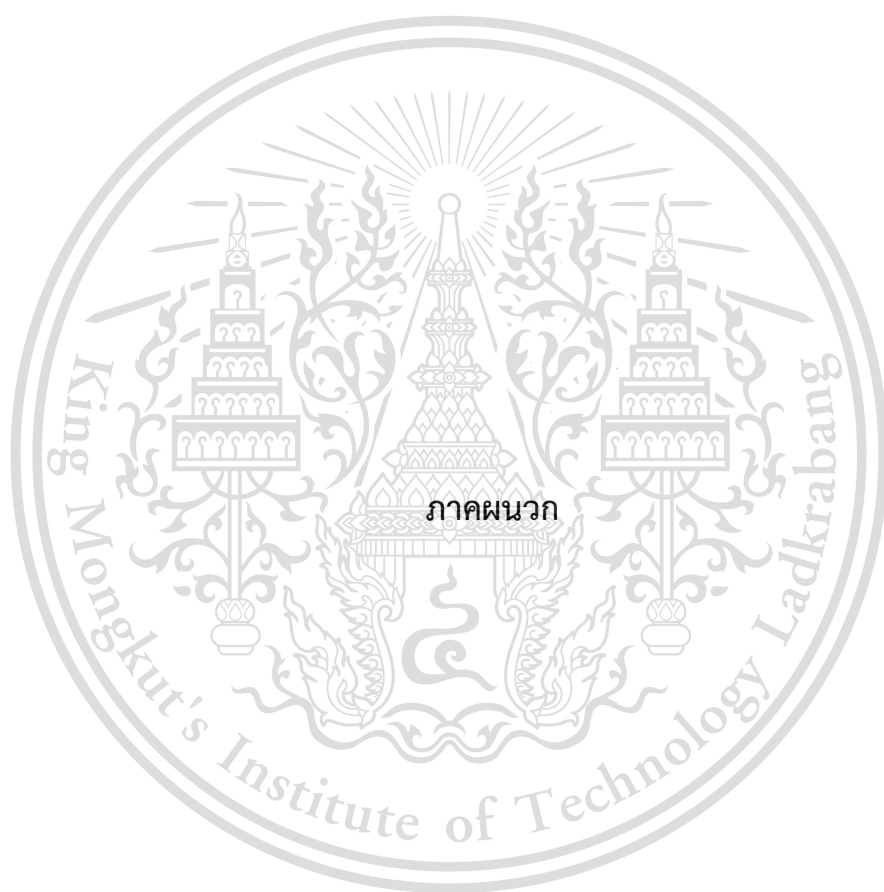
- [8] Vishal Bhatt1 Babariya Ajay and R. V. Pandya, “Ozone generation using HVDC power supply,” *International Journal for Scientific Research & Development*, Junagadh, Gujrat India, pp. 1-3.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## Flyback transformer



### ■ Specification

#### a. General

Maximum Rating				Normal Rating			
Power	HV	Focus	Screen	Power	HV	Focus	Screen
120W	34 kV	35%	1300V	82W	27.3 kV	25% ~ 32%	300V ~ 900V

#### b. Typical Model Specification (Model Name : FFA94048L)

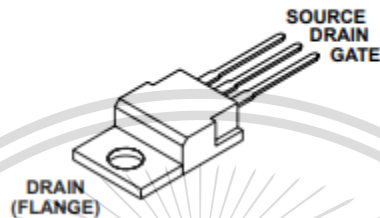
Item	Inch		Frequency		Ldy (Horizontal)		Ct	Cs		
SET Condition	TV 25" ~ 29"		15.734 kHz		1.40 mH		12200 pF	0.36 uF		
Pin NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Circuit	Vcp	+B	VIDEO	12.5 Vdc	BOOST	26 Vdc	GND	ABL	HEATER	AFC
Output	1140 Vp-p	132 Vdc	209 Vdc	12.9 Vdc	145 Vdc	27.4 Vdc	-	-	6.1 Vrms	85 Vp-p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## MOSFET

JEDEC TO-220AB  
TOP VIEW

PARAMETER		SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Drain to Source Breakdown Voltage		$BV_{DSS}$	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$ (Figure 10)	400	-	-	V	
Gate to Threshold Voltage		$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu A$	2.0	-	4.0	V	
Zero Gate Voltage Drain Current		$I_{DSS}$	$V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V$	-	-	25	$\mu A$	
			$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V, T_J = 125^\circ C$	-	-	250	$\mu A$	
On-State Drain Current (Note 2)		$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = 10V$	10	-	-	A	
Gate to Source Leakage Current		$I_{GSS}$	$V_{GS} = \pm 20V$	-	-	$\pm 500$	nA	
Drain to Source On Resistance (Note 2)		$r_{DS(ON)}$	$V_{GS} = 10V, I_D = 5.2A$ (Figures 8, 9)	-	0.47	0.550	$\Omega$	
Forward Transconductance (Note 2)		$g_{fs}$	$V_{DS} > 50V, I_D = 5.2A$ (Figure 12)	5.8	8.9	-	S	
Turn-On Delay Time		$t_{D(ON)}$	$V_{DD} = 200V, I_D = 10A, R_G = 9.1\Omega$	-	15	21	ns	
Rise Time		$t_r$	$R_L = 20\Omega, V_{GS} = 10V$	-	25	41	ns	
Turn-Off Delay Time		$t_{D(OFF)}$	MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature	-	52	75	ns	
Fall Time		$t_f$		-	25	36	ns	
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)		$Q_g(TOT)$	$V_{GS} = 10V, I_D = 10A, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$ $I_{G(REF)} = 1.5mA$ (Figure 14)	-	41	63	nC	
Gate to Source Charge		$Q_{gs}$	Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature	-	6.5	-	nC	
Gate to Drain "Miller" Charge		$Q_{gd}$		-	23	-	nC	
Input Capacitance		$C_{ISS}$	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V, f = 1.0MHz$ (Figure 11)	-	1250	-	pF	
Output Capacitance		$C_{OSS}$		-	300	-	pF	
Reverse-Transfer Capacitance		$C_{RSS}$		-	80	-	pF	
Internal Drain Inductance		$L_D$	Measured From the Contact Screw on Tab to Center of Die	Modified MOSFET Symbol Showing the Internal Devices Inductances	-	3.5	-	nH
			Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) From Package to Center of Die		-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance		$L_S$	Measured From the Source Lead, 6mm (0.25in) From Header to Source Bonding Pad		-	7.5	-	nH
Thermal Resistance Junction to Case		$R_{\theta CS}$		-	-	1.0	$^\circ C/W$	
Thermal Resistance Junction to Ambient		$R_{\theta JA}$	Free Air Operation	-	-	62.5	$^\circ C/W$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## Pulse Generator



### Specifications:

- Frequency Range: 1Hz-150KHz
- Duty Cycle Range: 0%-100%
- Accuracy: 2%
- Working Voltage: DC 5-30V
- Output Current: 8-30mA
- Output Amplitude: 5V V-PP(default, changed by external power supply)
- Module Size: 41X29mm/1.61X1.14inch(L\*W)

### Display Instructions:

There are 3 display range:

- XXXX->the unit is 1Hz, range is 1Hz-999Hz
- XX.X->the unit is 0.1KHz, range is 0.1KHz-99.9KHz
- X.X.X->the unit is 1KHz, range is 1KHz-150KHz
- e.g.:100->100Hz;54.1->54.1KHz;1.2.4.->12KHz

### Setting Instructions:

1. Short press"Set" to interchange display the 4 values(FR1:PWM1 frequency;dU1:PWM1 duty cycle;FR2:PWM2 frequency;dU2:PWM2 duty cycle)
2. press"Up" and "Down" to set the current value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## Ceramic Capacitor



เซรามิค คาปาซิเตอร์ 1000PF 30000V (102 30KV)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## High Voltage Diode



Repetitive Peak Reverse Voltage	20kV
Average Forward Current	5mA
Maximum Surge Current	0.5A
Avg. Forward Voltage Drop	44V
Peak Reverse Current	2 $\mu$ A@25°C 5 $\mu$ A@100°C
Reverse Recovery Time	100ns
Dimensions	$\Phi$ 3mm $\times$ 12mm( $\Phi$ 0.12inch $\times$ 0.48inches)
Terminals	Axial Lead

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## High voltage probe



Input Voltage	Loading Current	Output Voltage
10V	10 nA	10 mV
100V	100 nA	100 mV
1 kV	1 $\mu$ A	1V
10 kV	10 $\mu$ A	10V
20 kV	20 $\mu$ A	20V
30 kV	30 $\mu$ A	30V
40 kV	40 $\mu$ A	40V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## DUSTTRAK II



## คุณสมบัติ :

- เครื่องวัดฝุ่นแบบอ่านผลทันที (Real-Time Dust Monitoring)
- Particle Size Range 0.1 to 10 PM (PM10, PM2.5, PM1.0, Respirable size fractions)
- แสดงผลผ่านหน้าจอสี ทำงานโดยระบบTouch screen
- สามารถแสดงผลในรูปแบบของกราฟได้จากตัวเครื่อง
- สามารถบันทึกข้อมูลผ่านUSB flash drive
- ตรวจวัด ช่วงในการตรวจวัด 0.001-400mg/m<sup>3</sup>
- สามารถเลือกรุ่นที่เป็นHand Held หรือ Desktop
- Desktop สามารถทำ Gravimetric reference sample ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## การทำเครื่องฟอกอากาศโดยอาศัยหลักการความเข้มของสนามไฟฟ้า และเครื่องผลิตโอโซน

### AIR PURIFIER BY PRINCIPLE OF ELECTRIC FIELD INTENSITY AND OZONE GENERATOR

ศุทธิภัทร แก้วกอน อธิเจต ทศนชัยสิทธิ์ และ อรรถวัฒน์ ชนินสิริพิทยา

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: 60011164@kmitl.ac.th

#### บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและการสร้างเครื่องฟอกอากาศโดยอาศัยหลักการทางความเข้มของสนามไฟฟ้า และเครื่องผลิตก๊าซโอโซน โดยที่เครื่องฟอกอากาศจะอาศัยหลักการ การจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต เป็นการออกแบบให้เป็นเครื่อง 2 ตอน คือมีส่วนในการให้ประจุ และส่วนการดักจับฝุ่น โดยเริ่มต้นจะทำการให้ประจุกับอนุภาคหลังจากการทำให้อนุภาค อนุภาคจะไปติดในส่วนของดักจับฝุ่นซึ่งเป็นแผ่นโลหะ 2 แผ่นที่มีสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่น ซึ่งจะทำให้อนุภาคเกาะที่ส่วนนั้น ต่อมาจะได้อากาศที่ไม่มีฝุ่น แต่ยังคงมีกลิ่น หรือไวรัส อยู่จึงนำอากาศที่ออกจากเครื่องกรองฝุ่นทำการผ่านกาซโอโซนเพื่อทำการกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ กำจัดไวรัส เพื่อที่จะให้อากาศที่ออกจากเครื่องกรอง มีความสะอาดมากขึ้นและการออกแบบวงจรเครื่องกรองฝุ่น และวงจรผลิตก๊าซโอโซนจะใช้หลักการ ของวงจรสวิตซ์ซึ่งในการออกแบบทำให้สามารถลดกำลังไฟฟ้า และลดขนาดของตัวอุปกรณ์ลงทำให้สามารถสร้างวงจรที่มีขนาดเล็กกระทัดรัด แต่มีประสิทธิภาพสูงได้ และอุปกรณ์ยังสามารถนำไปใช้งานในบ้าน คอนโด เพื่อที่จะกำจัดฝุ่น หรือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์รวมถึงสามารถกำจัดไวรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ

of electric field intensity and ozone generator. By the air purifier's the principle, the electrostatic dust collection is designed as 2 parts of circuits. First part is the charger to particles. Second part is the dust collection. After charged particles, they have been trapped in the dust collection area, where is two parallel metal plates with an electric field. That will cause the particles to adhere the collection plates. Latter, there will be air without dust. However, there is still a bad smell or a virus. Therefore, the air having been come out of the dust filter is passed through the ozone to get rid of the unwanted odor, and virus removal. That allows the air to come out of the filter much cleaner. In addition, the design of dust filter circuit and the ozone circuit will use the principle of the flyback converter. Its design makes to reduce electrical power and reduce the size of the circuits. Additionally, it will make to create a compact circuit and get highly effective. Finally, the air purifier can also be used in houses, condos to remove dust or an unpleasant smell, including effective virus removal.

**Keyword :** Air purifier, Ozone generator, Switching power supply

**คำสำคัญ :** เครื่องฟอกอากาศ, เครื่องผลิตก๊าซโอโซน, วงจรสวิตซ์

#### Abstract

This project presents the design and creation of Air purifier by principle

#### 1. บทนำ

ในยุคปัจจุบันได้มีมนุษย์ได้มีการพัฒนาทางด้ายเทคโนโลยีต่างๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นในด้าน การคมนาคม, การแพทย์, เศรษฐกิจ หรือ ด้านอื่นๆ เพื่อเป็นประโยชน์ และทำให้เกิดความสะดวกสบายในการใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ชีวิตประจำวัน แต่ถึงกระนั้นก็มีข้อดี และมีข้อเสียตามมาด้วย ซึ่งก็คือผลกระทบต่อทางด้านมลภาวะอากาศ ทำให้เกิดอากาศเสียเกิดขึ้นกลุ่มของผู้วิจัยได้นำหลักการทางไฟฟ้าสถิต, หลักการทางอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และ หลักการผลิ This project presents the design and creation of Air purifier by principle ดักก๊าซโอโซนเข้ามาใช้ในการแก้ปัญหาอากาศเสีย โดยที่จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1. ส่วนของการดักจับฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต 2. ส่วนที่ทำให้อากาศสะอาด โดยใช้หลักการของการผลิตก๊าซโอโซนเพื่อกำจัดเชื้อโรค เชื้อไวรัส และกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีของฝุ่น

ฝุ่น (Dust) หมายถึง มลสารอนุภาค (Particulate Matter) ซึ่งมีสถานะเป็นของแข็งเท่านั้น ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 1 ไมครอนขึ้นไป และสามารถแขวนลอยในอากาศได้ชั่วคราว และถ้าหากอนุภาคนี้มีขนาดโตมากกว่า 100 ไมครอน อาจเรียกว่า อนุภาคหยาบ (Coarse Particle) และขนาดที่เล็กกว่า 100 ไมครอน จะเรียกว่า อนุภาคละเอียด (Fine Particle)

### 2.2 เครื่องดักจับฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิต

หลักการของเครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตแบ่งออกเป็น 2 ตอน (Two stage precipitator) คือ 1. ส่วนในการให้ประจุกับอนุภาค 2. ส่วนที่ดักจับอนุภาค โดยที่ในส่วนที่ 1 จะทำการให้ประจุกับอนุภาคหลังจากที่อนุภาคมีประจุ อนุภาคจะเคลื่อนตัวไปยังส่วนที่ 2 ซึ่งในส่วนที่ 2 จะมีสนามไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง เพื่อทำการสลัก หรือดันประจุที่มีอนุภาคเป็นลบไปเกาะในขั้วบวกของแผ่นเก็บสะสมฝุ่น และสุดท้ายหลังจากที่อนุภาคไปเกาะ ที่แผ่นเก็บฝุ่นจะใช้มอเตอร์ส่งไปส่งแผ่นที่เก็บอนุภาคทำให้อนุภาคของฝุ่น หล่นลงมายังที่เก็บฝุ่น หรือหม้อเก็บฝุ่น และเครื่องดักจับฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิตจะแบ่งตามชนิดการทำงานได้ 2 แบบคือ เครื่องดักจับแบบเปียก และเครื่องดักจับแบบแห้ง

### 2.3 ทฤษฎีของโอโซน

สูตรโมเลกุลของโอโซนคือ  $O_3$  และมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ที่ 48 กรัม โดยที่คุณสมบัติของก๊าซโอโซนสามารถกำจัดเชื้อโรค เชื้อไวรัส แบคทีเรีย เชื้อรา และกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ โดยที่ลักษณะทั่วไปของก๊าซโอโซนเป็นก๊าซที่ไม่มีสี แต่มีกลิ่นคาวที่อึดหูกมึนหึ่ง และก๊าซโอโซนจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต เพราะ โอโซนเป็นก๊าซพิษที่จะก่อให้เกิดความระคายเคืองอย่างรุนแรงถ้าได้รับในปริมาณมาก และโอโซนสามารถสลายไปภายในอากาศ เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง

## 2.4 ลักษณะของเครื่องผลิตโอโซน

เครื่องผลิตโอโซนจะประกอบไปด้วย 4 ส่วนคือ ชุดของอิเล็กทรอนิกส์ภายใน ส่วนมากจะนิยมใช้ชิ้นสแตนเลส หรืออะลูมิเนียม ฝั้วนเข้าไปภายในหลอดแก้ว ส่วนของอิเล็กทรอนิกส์ภายนอก จะใช้เป็นดาข่ายอะลูมิเนียม ส่วนของหลอดแก้วจะใช้เป็นช่องว่างเพื่อให้เป็นระยะช่องคิสซาร์จ และท่อพีวีซีเพื่อป้องกันอันตราย

### 2.5 หลักการแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

แปลงไฟบ้าน 220 โวลต์ โดยผ่านหม้อแปลงลดแรงดันเป็นแรงดันต่ำ (Step down transformer) แล้วเชื่อมต่อกับ วงจรเรียงกระแส เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง (rectifier) และนำไปต่อกับ วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback converter) เพื่อทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้าแรงดันสูง สุดท้ายทำการต่อกับวงจรของเครื่องกรองฝุ่น และเครื่องผลิตก๊าซโอโซนตามลำดับ

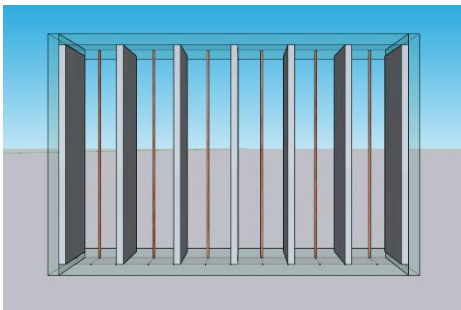
## 3. การดำเนินการวิจัย

### 3.1 การออกแบบเครื่องกรองฝุ่น

เครื่องกรองฝุ่นออกแบบโดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1. ส่วนที่ให้ประจุกับอนุภาคฝุ่น โดยใช้แผ่นอะลูมิเนียม วางสลับกับเส้นลวดทองแดงดั่งรูปที่ 1 โดยมีเพื่อให้ประจุกับอนุภาคที่ลอยเข้ามาทำให้อนุภาคมีประจุพร้อมที่จะไปเกาะกับขั้วเก็บฝุ่น 2. ส่วนของการดักจับอนุภาคใช้แผ่นอะลูมิเนียมวางสลับกันทำเป็นช่องๆ ดังรูปที่ 2 เพื่อที่จะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้อนุภาคฝุ่นที่มีประจุไปเกาะกับแผ่นที่เก็บฝุ่นแล้วทำการเชื่อมแต่ละแผ่นของอะลูมิเนียมด้วยแท่งเหล็ก เพื่อให้แผ่นอะลูมิเนียมมีขั้วที่ต่างกัน



รูปที่ 1 ส่วนให้ประจุกับอนุภาค



รูปที่ 2 ส่วนในการดักจับฝุ่น

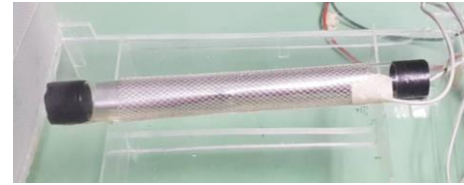
และสุดท้ายทำการติดมอเตอร์ขึ้นไว้ที่แผ่นอะลูมิเนียมเพื่อที่จะทำการเคาะฝุ่นให้ตกลงมายังหม้อเก็บฝุ่น



รูปที่ 3 มอเตอร์เคาะฝุ่น และตัวเครื่องกรองฝุ่น

### 3.การออกแบบเครื่องผลิตก๊าซไอโซน

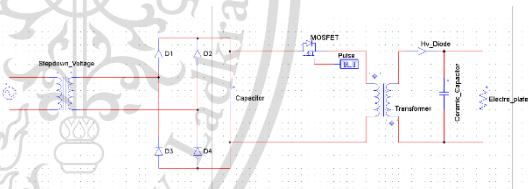
เครื่องผลิตก๊าซไอโซนที่ออกแบบคือ ส่วนของอิเล็กทรอนิกส์ภายในใช้เป็น แผ่นอะลูมิเนียมอ่อนม้วนเป็นรูปทรงกระบอกแล้วใส่ไปในหลอดแก้ว ในส่วนของอิเล็กทรอนิกส์ภายนอกจะใช้เป็นแผ่นดาข่ายอะลูมิเนียม



รูปที่ 4 หลอดผลิตก๊าซไอโซน

### 3.3การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

การออกแบบวงจรการทำงานในส่วนของเครื่องกรองฝุ่น และเครื่องผลิตก๊าซไอโซนใช้วงจรเดียวกัน โดยมีหลักการการทำงานคือ แปลงไฟบ้าน 220 โวลต์ โดยผ่านหม้อแปลงลดแรงดันเป็นแรงดันต่ำ (Step down transformer) เป็น ไฟฟ้า 12 โวลต์แล้วเชื่อมต่อกับ วงจรเรียงกระแสเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง (rectifier) ซึ่งเป็น ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันประมาณ 16.8 โวลต์ และนำไปต่อกับวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback converter) เพื่อทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้าแรงดันสูงโดยใช้หม้อแปลงฟลายแบค ร่วมด้วย (Flyback transformer) สุดท้ายทำการต่อกับวงจรของเครื่องกรองฝุ่น และเครื่องผลิตก๊าซไอโซนตามลำดับ โดยที่แรงดันเอาต์พุตของเครื่องกรองฝุ่น และเครื่องผลิตไอโซนมีค่าต่างกัน



รูปที่ 5 วงจรของเครื่องกรองฝุ่น และเครื่องผลิตก๊าซไอโซน

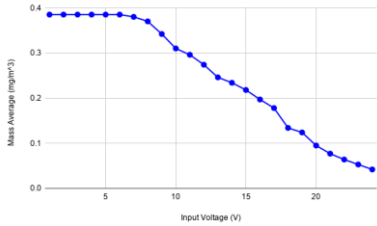
### 4การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1ผลการทดลองการกรองฝุ่น

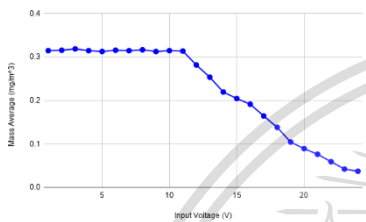
ในการวัดปริมาณของฝุ่นที่กรองได้จะใช้เครื่องวัดรุ่น DUSTTRAK II ซึ่งสามารถวัดได้ทั้ง PM10 และ PM2.5 โดยที่ทำการเปลี่ยนหัวของเครื่องวัด ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าปริมาณของฝุ่นหรืออนุภาคที่กรองได้นั้นจะขึ้นอยู่กับระดับของแรงดันไฟฟ้าระหว่างแผ่นอะลูมิเนียมโดยที่ ยิ่งเพิ่มแรงดันไฟฟ้ามากขึ้นก็จะยิ่งทำให้สามารถดักจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคฝุ่นได้ดีขึ้น แต่ต้องระวังในเรื่องของการเกิดการเบรกควานในอากาศ



รูปที่ 6 ผลการทดลอง PM10



รูปที่ 7 ผลการทดลอง PM2.5

และจากผลการทดลองยังพบว่ายิ่งขนาดของอนุภาคมีขนาดเล็กก็ยิ่งต้องใช้แรงดันสูงขึ้นเพื่อให้การดักจับฝุ่นมีประสิทธิภาพมากขึ้น

#### 4.2 ผลการทดลองการผลิตก๊าซโอโซน

วิธีการที่หาปริมาณ โอโซนใช้วิธีการไทเทรตเพื่อหาปริมาณของก๊าซโอโซนที่ออกมาเพื่อดูว่ามีปริมาณเพียงพอที่จะกำจัดเชื้อไวรัส เชื้อโรค หรือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ โดยทำการทดลองจำนวน 3 ครั้ง

ครั้งที่	ปริมาณก๊าซโอโซน (mgO <sub>3</sub> /h)
1	100.8
2	115.2
3	115.2
เฉลี่ย	110.4

รูปที่ 8 ผลการทดลองปริมาณก๊าซโอโซน

ซึ่งจากผลการทดลองเครื่องผลิตโอโซนสามารถผลิตโอโซนได้ 110.4 mgO<sub>3</sub>/h และมีความเข้มข้น 56.24 PPM ซึ่งเข้มข้นพอที่จะสามารถกำจัดเชื้อโรค เชื้อไวรัส และกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้

#### 5.สรุป

จากการทำเครื่องกรองฝุ่นด้วยหลักการทางไฟฟ้าสถิตและ  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนและการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 เครื่องผลิตก๊าซโอโซนในส่วนการกรองฝุ่นพบว่ายังทำการเพิ่ม  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นประสิทธิภาพของการกรองฝุ่นก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น โดยต้องระวังในเรื่องของการเกิดการพังทางอากาศ และการสปาร์คกันทางไฟฟ้าของแผ่นอะลูมิเนียมทั้งสอง และในส่วนของหลอดโอโซนเมื่อทำการเพิ่มความถี่ เพิ่มแรงดันก็สามารถที่จะทำให้เกิดก๊าซโอโซนมากขึ้น และมีความเข้มข้นมากพอที่จะสามารถกำจัดไวรัส กำจัดเชื้อโรค ได้

#### เอกสารอ้างอิง

- [1]บุญเลิศ สือเกษ และ ชัยพิสิษฐ์ ผิวอ่อน, “การเปรียบเทียบการผลิตก๊าซโอโซนโดยใช้แท่งอิเล็กโตรด สเตนเลส อะลูมิเนียม ทองแดง เงินและตะกั่ว ด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงแบบสวิตซ์ชิ่ง,” เอกสารวิชาการ, มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์, 2559, หน้า 9-14
- [2]อาทิตย์ ยาอุทมิ และ พิสิษฐ์ วิมลธนสิทธิ์, “การสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงจากหม้อแปลง ปลายแบคสำเร็จรูป,” เอกสารวิชาการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมจรราชมงคลล้านนา, 2561, หน้า 8-13.
- [3]ชินวุฒน์ ทรัพย์จรัสแสง;และคนอื่นๆ, “เครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต,” โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2536.

#### ประวัติผู้เขียน



นายสุทธิภัทร แก้วกอน  
 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายอริเขต ทัศนชัยสิทธิ์  
 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายอรอดวัน ธนินสิริพิทยา  
 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ - นามสกุล สุทธิภัทร แก้วกอน  
 วัน - เดือน - ปีเกิด 27 กันยายน 2541  
 ที่อยู่ 148\137 หมู่ 5 ซอย7 ถนนกาญจนาวิถี  
 ต.บางกุ่ม อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี 84000

## ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2559 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา จากโรงเรียนสุราษฎร์พิทยา

ปีการศึกษา 2563 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ - นามสกุล อธิเจต ทัศนชัยสิทธิ์  
 วัน - เดือน - ปีเกิด 6 กันยายน 2541  
 ที่อยู่ 1 ถนนพฤษชาติ1 ต.บ้านโป่ง อ.บ้านโป่ง  
 จ.ราชบุรี 70110

## ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2559 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา จากโรงเรียนสารสิทธิ์พิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ออกจากรีpositor เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

