



การวิเคราะห์ปัญหาน้ำเสียที่มาจากกากการเผาไหม้ของเหง้าทลายปาล์มที่
โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลและพลังงานก๊าซชีวภาพเพื่อหาแนวทางควบคุม
คุณภาพน้ำด้วยระบบไฟฟ้าแรงดันสูง

Analysis of wastewater problems from the burning waste of
palm trees at biomass and biogas power plants to find quality
control methods by High Voltage system.

ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

- ชื่อเรื่อง** การวิเคราะห์ปัญหาน้ำเสียที่มาจากกากการเผาไหม้ของเหง้าทลายปาล์มที่โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลและพลังงานก๊าซชีวภาพเพื่อหาแนวทางควบคุมคุณภาพน้ำด้วยระบบไฟฟ้าแรงดันสูง
- นักวิจัย** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- พ.ศ.** 2563

บทคัดย่อ

การศึกษานี้วิเคราะห์ปัญหาน้ำเสียจากการเผาเหง้าทลายปาล์มที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่เป็นเจ้าของต้นปาล์ม ที่ได้มีการนำมาใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งมีน้ำเสียจำนวนมากจากบ่อหมักก๊าซในช่วงของการผลิตก๊าซเสร็จสมบูรณ์แล้วน้ำเสียเหล่านั้นจะถูกสูบออกจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพในปริมาณมาก ดังนั้นศึกษาการวิเคราะห์น้ำเสียเพื่อหาวิธีออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากระบบไฟฟ้าแรงสูงจากหลักการปล่อย โคโรน่า เมื่อเพิ่มโอโซนจำเป็นต้องวิเคราะห์ผลกระทบทางเคมีของน้ำเสียให้เป็นไปตามค่ามาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

คำสำคัญ : เหง้าทลายปาล์ม, บำบัดน้ำเสีย

Title Analysis of wastewater problems from the burning waste of palm trees at biomass and biogas power plants to find quality control methods by High Voltage system

Researcher Assistant Professor Dr.SupawudNedphokaew
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, RMUTP

Year 2020

ABSTRACT

This research study analyzes the problem of waste water from the burning of palm trees, which are used as fuel for power generation of palm ash. It is used to ferment biogas as a fuel for power generation, where a large amount of wastewater from the gas digester is completed. The wastewater is then pumped out of the gas digester. Biological in large quantities Therefore, to study the analysis of wastewater to find a method for designing a wastewater treatment system from high voltage systems from the corona discharge principle, when adding ozone, it is necessary to analyze the chemical effects of the wastewater according to the standard values of the Department of Industrial Works.

Keywords: Palm rhizomes, Wastewater treatment

กิตติกรรมประกาศ

โครงการงานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ปัญหาน้ำเสียที่มาจากกากการเผาไหม้ของเหง้าทลาย
ปาล์มที่โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลและพลังงานก๊าซชีวภาพเพื่อหาแนวทางควบคุมคุณภาพน้ำด้วยระบบ
ไฟฟ้าแรงดันสูงนี้ ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 ของ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และ บริษัท ซาราฟ เอ็นเนอร์ยี จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยใน
ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา ประโยชน์อัน
ใดที่เกิดจากงานวิจัยในครั้งนี้ ล้วนเป็นผลมาจากความกรุณาทุกท่าน คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบบูชาแด่ครูอาจารย์ทุกท่านที่
ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย

ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว

ผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารงานที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บทนำ	3
2.2 โอโซนเพื่อคุณภาพชีวิต (Ozone for better living)	3
2.3 ประวัติ ความเป็นมา	5
2.4 แหล่งกำเนิดของโอโซนในธรรมชาติ	6
2.5 ขบวนการผลิตก๊าซโอโซนในอุตสาหกรรม	7
2.6 คุณสมบัติของโอโซน	7
2.7 คุณสมบัติของก๊าซโอโซน	7
2.8 ประโยชน์ของก๊าซโอโซน	8
2.9 ขบวนการผลิตก๊าซโอโซนในอุตสาหกรรม	10
2.10 โอโซนในการบำบัดน้ำเสีย	11
2.11 ใช้โอโซนในการกำจัดสีของน้ำ	12
2.12 ใช้โอโซนในการกำจัดกลิ่นและรส	12
2.13 ใช้โอโซนในการสร้างตะกอน	12
2.14 รูปแบบการเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของโอโซน	13
2.15 ความเครียดสนามไฟฟ้า (Electric Field Stress)	15
2.16 ฉนวนแข็ง	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.17 เทคนิคการวัดแรงดันสูง	22
2.18 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	27
2.19 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	36
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	36
3.2 การออกแบบเครื่องกำเนิดโอโซน	38
3.3 การออกแบบชุดเข็มไดอิเล็กตริก	38
3.4 การออกแบบอิเล็กทรอนิกส์	41
3.5 หลักการเกิดโอโซน	42
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	49
4.1 การทดลองเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน (O_3)	49
4.2 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้โอโซน (O_3) และคลอรีนในการบำบัดน้ำ	51
4.3 การทดลองใช้โอโซน (O_3) ในการบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำ	52
บทที่ 5 สรุปผลของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	54
5.1 สรุปผลที่ได้จากงานวิจัย	54
5.2 อุปสรรคในการทำงานวิจัย	54
5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการ	54
เอกสารอ้างอิง	56
ประวัติผู้วิจัย	57

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน	35
4.1	ผลทดลองชุดกำเนิดก๊าซโอโซน (O ₃)	50
4.2	ตารางเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำ	53



สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 แสดงการเกิดโอโซน O_3	6
2.2 แสดงการเปรียบเทียบการใช้โอโซนและคลอรีนในการบำบัดขั้นต้นเพื่อลดความขุ่น	13
2.3 อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่างๆ กัน	16
2.4 เปรียบเทียบแรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ในไดอิเล็กตริกตามลักษณะสนามไฟฟ้า	17
2.5 สนามไฟฟ้าและเส้นศักย์เท่า	18
2.6 การติดตั้งช่องวางทรงกลมวัดแรงดัน	24
2.7 (a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันเบรกดาวน์กับระยะช่องวางทรงกลม	25
(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันเบรกดาวน์กับระยะช่องวางทรงกลม	26
2.8 ภาพวัตถุติดจากเหง้าหลายปาล์มที่นำออกจากกระบวนการสกัด เป็นน้ำมันปาล์มกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวล และพลังงานก๊าซชีวภาพ (มีเทน)	28
2.9 โรงงานไฟฟ้าพลังงานชีวมวล	28
2.10 โครงสร้างของโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล	29
2.11 กระบวนการหมักย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ	30
2.12 โรงไฟฟ้าแก๊สชีวภาพ	32
2.13 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแก๊สชีวภาพ	33
2.14 สภาพน้ำเสียที่ออกจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพจากขี้เถ้าเหง้าหลายปาล์ม	35
3.1 ไดอะแกรมของระบบการผลิตโอโซน	38
3.2 หลอดผลิตโอโซน	38
3.3 Supper Lean	39
3.4 หลอดแก้ว	39
3.5 หลอดสแตนเลส	40
3.6 การนำอุปกรณ์มาประกอบกัน	40
3.7 หลักการทำงานของหลอดผลิตโอโซน	41
3.8 หลักการทำงานของหลอดผลิตโอโซนสามารถแสดงได้โดยภาพตัดขวางในรูป	41
3.9 วงจรสมมูลของหม้อแปลงแรงดันสูงและความถี่สูง	42
3.10 วงจรการต่อหม้อแปลง 4 ตัว ขนานกัน	46
3.11 หม้อแปลงจ่ายกำลังด้านแรงดันต่ำ	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
3.12 Current Probe	47
3.13 รูปวงจรหม้อแปลงเตสลาโดยโปรแกรม MATLAB	47
3.14 ผลการทดสอบวงจรหม้อแปลงเตสลาโดยโปรแกรม MATLAB	48
3.15 ผลการคลื่นแรงดันด้าน Secondary ของหม้อแปลงเตสลา	48
4.1 วงจรการทดลองชุดกำเนิดก๊าซโอโซน (O_3)	50



บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันได้มีการนำระบบโอโซน (O_3) มาใช้ในระบบการฆ่าเชื้อโรค ไม่ว่าจะใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบน้ำดื่ม หรือในสระว่ายน้ำ เนื่องจากโอโซน (O_3) มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อโรค โดยไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนการบำบัดลงได้ เนื่องจากการบำบัดน้ำโดยระบบโอโซนจะช่วยให้สามารถลดปริมาณการใช้คลอรีนที่มีราคาแพงลงได้

ในทางวิศวกรรมสามารถผลิตโอโซน (O_3) ได้จากการใช้ไฟฟ้าแรงดันสูงทำให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าเพื่อให้เกิดปรากฏการณ์การถ่ายประจุโคโรนา (Corona Discharge Method) ทำให้อะตอมของออกซิเจน (O_2) แตกตัวออกมามีปฏิกิริยาสูงเคลื่อนที่รวดเร็วทำให้เกิดการไอออนไนเซชันกลายเป็นโอโซน (O_3) ซึ่งมีคุณสมบัติในการขจัดสารพิษหลายชนิด สามารถฆ่าเชื้อโรคและแบคทีเรียในอากาศและน้ำได้

ในโครงการวิศวกรรมนี้จะสร้างเครื่องกำเนิดโอโซน (O_3) จากหลักการการถ่ายประจุโคโรนา (Corona Discharge Method) ด้วยไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ 10 – 15 kV จากนั้นนำโอโซนที่ได้มาใช้ในการบำบัดน้ำสระว่ายน้ำ โดยกระบวนการบำบัดน้ำเริ่มจากการกรองน้ำทางกายภาพเพื่อจัดการกับสิ่งสกปรกแล้วจึงนำมาบำบัดเพื่อเพิ่มคุณภาพน้ำโดยโอโซน (O_3)

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการประยุกต์ใช้ก๊าซโอโซน เพื่อใช้ประโยชน์ในการบำบัดในสระว่ายน้ำ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาหลักการผลิตก๊าซโอโซนด้วยการใช้หลักการการคายประจุโคโรนาด้วยประจุไฟฟ้าแรงสูง
- 1.2.3 ประยุกต์ใช้ก๊าซโอโซนกับระบบบำบัดน้ำภายในสระว่ายน้ำของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
- 1.2.4 เปรียบเทียบผลทางกายภาพในการบำบัดน้ำให้สะอาดปราศจากเชื้อโรค เปรียบเทียบผลทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างการใช้ก๊าซโอโซนกับการใช้สารเคมีคลอรีน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน
- 1.3.2 ออกแบบระบบการจ่ายก๊าซโอโซนเพื่อผสมในระบบบำบัดน้ำของสระว่ายน้ำให้มีประสิทธิภาพ
- 1.3.3 ทดสอบประสิทธิผลการใช้สารเคมีคลอรีนกับก๊าซโอโซนในการบำบัดน้ำสระว่ายน้ำของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
- 1.3.4 เปรียบเทียบผลทางด้านกายภาพระหว่างการใช้ก๊าซโอโซนกับการใช้สารคลอรีน
- 1.3.5 เปรียบเทียบผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ระหว่างการใช้ก๊าซโอโซนกับการใช้สารคลอรีน

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาหลักการผลิตก๊าซโอโซนด้วยการใช้หลักการการคายประจุโคโรน่าด้วยประจุไฟฟ้าแรงสูง
- 1.4.2 กำหนดวัสดุและอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้
- 1.4.3 ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดโอโซนที่ละส่วน
- 1.4.4 ทดสอบอุปกรณ์ที่ละส่วนและบันทึกผลการทดลอง
- 1.4.5 นำส่วนประกอบต่างๆมาประกอบเข้าด้วยกัน
- 1.4.6 นำเครื่องกำเนิดโอโซนมาทำการบำบัดน้ำและบันทึกผลของน้ำก่อนและหลังการบำบัด

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย

- 1.5.1 มีความรู้เกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างของชุดกำเนิดก๊าซโอโซน เพื่อทำให้เกิดก๊าซโอโซนได้ปริมาณมากที่สุด
- 1.5.2 สามารถทราบถึงสภาวะตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด
- 1.5.3 มีความรู้เกี่ยวกับการนำก๊าซโอโซนไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำ

บทที่ 2

เอกสารงานที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

มลภาวะเป็นพิษของประเทศไทยในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นมลพิษทางน้ำ อากาศ อาหาร และในดิน กล่าวได้ว่าอยู่ในขั้นวิกฤติที่เดิวก่อผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตโดยรวมของประชาชนเป็นอย่างมากไม่ว่าในชุมชนชนบท และชุมชนเมือง โดยเฉพาะเมืองใหญ่สภาพแวดล้อมที่เป็นมลพิษบนท้องถนน บ้านพักอาศัย สำนักงาน โรงพยาบาล หรือน้ำสำหรับอุปโภคบริโภค พืชผัก ผลไม้ รวมไปถึงอาหารที่ใช้ในชีวิตประจำวันล้วนแต่ไม่พิษต่อมนุษย์

ในระยะ 10 ปีที่ผ่านมาประเทศไทยได้มีการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ และสังคมอย่างรวดเร็ว ทำให้คนไทยรู้จักนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในชีวิตประจำวันมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการขยายตัวทางอุตสาหกรรมภายในประเทศ แม้ว่าประชาชนจะมีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นแต่คุณภาพชีวิตกลับลดลงอย่างน่าวิตก เนื่องจากต้องเผชิญทั้งปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีปริมาณมลพิษสะสมในอากาศ และในน้ำเพิ่มมากขึ้น

การปนเปื้อนของสารพิษ เชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร และน้ำดื่มเป็นปัญหาทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอย่างเลี่ยงไม่ได้ เช่น โรคผิวหนัง โรคภูมิแพ้ โรคท้องร่วง โรคหลอดลมอักเสบ และโรคลำไส้ เป็นต้น ดังนั้น เพื่อเป็นการป้องกันสุขภาพอนามัยจากภัยของมลพิษต่างๆ ซึ่งแอบแฝงอยู่ในอาหาร อากาศและน้ำทำให้คุณภาพชีวิตดีขึ้น และมีอายุที่ยืนยาวปราศจากโรคร้ายไข้เจ็บต่างๆ ผู้เขียนได้เล็งเห็นคุณค่าของก๊าซโอโซน (O_3) ซึ่งเป็นก๊าซธรรมชาติที่ให้คุณประโยชน์มากมายต่อมนุษย์ในแง่ของการกำจัดสารพิษและเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หนังสือเล่มนี้จึงได้รวบรวมการประยุกต์ใช้ก๊าซโอโซนในด้านต่างๆ ทั้งในครัวเรือน การเกษตรกรรม และทางการแพทย์ เพื่อให้ผู้อ่านได้เข้าใจ และรู้จักโอโซน (O_3) อย่างถูกต้อง

2.2 โอโซนเพื่อคุณภาพชีวิต (Ozone for better living)

ในปัจจุบันคงไม่มีใครกล้าปฏิเสธว่าปัญหามลพิษได้เป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดซึ่งไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ และได้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์ พืช และสัตว์ ทั้งทางตรงและทางอ้อมรวมทั้งต่อสิ่งแวดล้อมที่ทุกชีวิตต้องพึ่งพาตลอดไป มนุษย์เป็นผู้นำทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่จำกัดมาใช้อย่างสิ้นเปลืองเพื่อตอบสนองความต้องการที่ไม่สิ้นสุดของมนุษย์เอง และยังเป็นผู้ทำลายธรรมชาติที่โลกนี้ได้สร้างขึ้นมาเป็นเวลาช้านาน แต่สิ่งที่มีมนุษย์มีให้กับธรรมชาติก็คือ มลพิษ (Pollution) ทั้งทางน้ำ

ทางบก และทางอากาศรวมทั้งสารพิษต่างๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหารที่มนุษย์และสัตว์ ต้องบริโภคเพื่อใช้เป็นพลังงานในการดำรงชีพด้วย ในขณะที่ปัญหามลพิษได้ก่อให้เกิดอันตรายอย่างมากต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยเฉพาะปัญหาการจราจรที่คับคั่งในเมืองหลวงทำให้เกิดสารพิษต่างๆ ได้แก่ ก๊าซพิษ ละอองตะกั่ว ละอองน้ำมัน ฝุ่นละออง และเขม่า ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ สมอ เสื่อม และโรคมะเร็งปอด นอกจากนี้ยังมีสาเหตุอื่นๆ ที่เป็นปัจจัยในการเกิดมลพิษทางอากาศและทางน้ำ ก็คือ การเจริญทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมทำให้เกิดอุตสาหกรรมใหม่ๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้สารเคมีหลากหลายชนิดเป็นวัตถุดิบในการผลิตวัสดุสังเคราะห์แทนวัสดุจากธรรมชาติ การใช้สิ่งของอย่างไม่รู้คุณค่าและการปล่อยสารพิษเข้าสู่สิ่งแวดล้อมโดยปราศจากสามัญสำนึกได้ก่อให้เกิดหายนะอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ตัวอย่างเช่น เมื่อปี พ.ศ.2506 ในประเทศญี่ปุ่น โรงงานผลิตพลาสติกพีวีซีซึ่งใช้สารปรอทเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และตั้งอยู่ใกล้อ่าวมินามาตาได้ปล่อยสารปรอทลงทะเล ทำให้ชาวประมงในหลายหมู่บ้านซึ่งจับปลาและหอยในอ่าวได้รับพิษสารปรอทโดยไม่รู้ตัวมีคนหลายร้อยได้ป่วยเป็นโรคมินามาตะ (Minamata disease) ซึ่งมีอาการผิดปกติของร่างกาย คือ ใบหน้า และมือบวม สายตามัว เป็นเหน็บชาตามตัว ความจำเสื่อมเป็นอัมพาต และถึงตาย ในปี พ.ศ.2508 พบว่ามีคนตายจากโรคนี้ถึง 40 คน เหตุการณ์ดังกล่าวทำให้รัฐบาลญี่ปุ่นต้องออกกฎหมายคุ้มครองสิ่งแวดล้อมอย่างเคร่งครัดโดยบังคับให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมทุกประเภทต้องมีระบบฟอกอากาศสำหรับมลพิษทางอากาศ และระบบบำบัดน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลอง สำหรับประเทศไทยก็มีกฎหมายสิ่งแวดล้อมมาตั้งแต่ปี 2535 เพื่อพิทักษ์สภาพแวดล้อมภายในประเทศให้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามปัญหามลพิษในประเทศไทยยังคงอยู่ในภาวะวิกฤต เพราะว่าปัญหาเหล่านี้ได้สะสมตัวเป็นระยะเวลานาน แม้ว่าทุกคนได้พยายามร่วมมือกันในการลดปัญหามลพิษได้ในระดับหนึ่งไม่ว่าจะเป็นการลดปริมาณขยะในบ้านเรือน การใช้น้ำมันไร้สารตะกั่ว การปลูกป่าทดแทน การเลิกใช้สารทำความเย็นประเภทสาร CFCs (Chloronfluorocarbons) เป็นต้น แต่การใช้เชื้อเพลิงอย่างสิ้นเปลือง และการใช้สารเคมีในรูปผลิตภัณฑ์ต่างๆ อย่างรู้เท่าไม่ถึงการณ์ ก็เป็นสาเหตุที่สำคัญในการเกิดมลพิษอย่างต่อเนื่อง อาทิ สารฆ่าแมลง ปุ๋ยสังเคราะห์ในการเกษตร น้ำมันหล่อลื่น โฟม ผงซักฟอก และพลาสติกชนิดต่างๆ ทำให้เกิดสารตกค้างในสิ่งแวดล้อมซึ่งเราทุกคนต้องมีส่วนรับผิดชอบและหาทางแก้ปัญหาอย่างจริงจัง สิ่งแรกที่สามารถปฏิบัติได้ ก็คือ การเริ่มต้นกำจัดมลพิษที่อยู่ใกล้ตัว เพื่อป้องกันตัวเองให้รอดพ้นจากอันตรายของสารพิษต่างๆ การรับประทานอาหารที่สะอาด ดื่มน้ำที่สะอาดและสูดอากาศหายใจที่บริสุทธิ์จะช่วยให้คุณภาพชีวิตของเราดีขึ้น และสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาโรคร้ายไข้เจ็บได้แต่วิธีหนึ่งที่มีส่วนช่วยในการกำจัดมลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ ก็คือการใช้โอโซน ซึ่งนำมาใช้ในการผลิตน้ำดื่ม และการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นเวลานานกว่า 90 ปี แล้วซึ่งได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคต่างๆ และถ้าสามารถกำจัดทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ได้มากมาย รวมทั้งยังไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างหลังการใช้ ขณะที่บำบัด

ด้วยสารเคมีอื่น ได้แก่ โพแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตหรือต่างทับทิม (KmnO_4) และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Naocl) สามารถฆ่าเชื้อโรคและทำลายสารเคมีได้บางชนิดเท่านั้น และมีสารตกค้างหลังจากการใช้ด้วยก๊าซโอโซนได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศส เพื่อผลิตน้ำบริโภคแทนก๊าซคลอรีน หลังจากนั้นการใช้โอโซนแพร่ขยายไปทั่วยุโรป ตั้งแต่ปี พ.ศ.2455 และได้นำมาใช้ในการบำบัดน้ำทั้งในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานฟอกย้อม โรงงานเยื่อกระดาษ โรงงานผลิตสารเคมี โรงกลั่นน้ำมัน และโรงงานทอผ้า เป็นต้น ในปี พ.ศ.2537 ประเทศญี่ปุ่นได้เริ่มนำก๊าซโอโซนมาใช้ในการบำบัดน้ำเป็นครั้งแรกโดยการพัฒนาเครื่องผลิตโอโซนขนาดเล็ก ซึ่งสามารถผลิตก๊าซโอโซนได้ในปริมาณเพียง 5 - 200 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคต่างๆ ในอากาศ ใช้ในการอบน้ำล้างผักผลไม้ และอาหารทะเลซึ่งมีการปนเปื้อนของสารพิษต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในสถานที่อื่นๆ ได้ ได้แก่ ร้านอาหาร ห้องประชุม และห้องสูบบุหรี่ ต่อมาการใช้โอโซนภายในอาคารจึงได้เริ่มนิยมมากขึ้นในแถบเอเชีย และในประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากการใช้ปริมาณโอโซนที่เหมาะสมมีส่วนช่วยให้อุณหภูมิของอากาศดีขึ้นโดยป้องกันอันตรายจากมลพิษและเชื้อโรคที่อยู่รอบข้างให้น้อยลง โอโซนยังช่วยทำให้ร่างกายมนุษย์ มีสุขภาพที่ดีขึ้นโดยการดูดซึมออกซิเจนของอวัยวะต่างๆ ในร่างกาย ทำให้ร่างกายเผาผลาญอาหารได้อย่างสมดุลมีการหมุนเวียนของโลหิตดีขึ้น และมีภูมิต้านทานต่อสิ่งที่แปลกปลอมต่างๆ ได้ดีขึ้น ในปัจจุบันโอโซนเป็นที่ยอมรับในวงการแพทย์มากยิ่งขึ้น และใช้เป็นวิธีหนึ่งในการบำบัดรักษาโรคได้หลายชนิด (Ozone therapy) อาทิ โรคไขมันอุดตัน (Atherosclerosis) โรคไขข้ออักเสบ (Rheumatism) โรคกระดูกเสื่อม (Osteoporosis) โรคโลหิตจาง (Sickle cell anemia) โรคมะเร็ง (Cancer) และโรคเอดส์ (AIDS) เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในโรงพยาบาล คลินิก และใช้ล้างเครื่องมือแพทย์ด้วย ดังนั้นตราบไคท์โลกของเรา ยังคงได้รับภัยคุกคามจากมลพิษมากขึ้นการใช้โอโซนก็มีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน

2.3 ประวัติ ความเป็นมา

- ปี พ.ศ.2328 Van Mawen นักวิทยาศาสตร์ชาวดัชต์ได้ พบว่ามีกลิ่นแปลกๆ คล้ายกลิ่นฟางขึ้นเกิดขึ้นในระหว่างการสปาร์คด้วยไฟฟ้า

- ปี พ.ศ.2383 C.F.Schonbein นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ได้พบก๊าซนี้ในระหว่างการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า และได้ตั้งชื่อว่า Ozone ซึ่งมาจากภาษากรีกว่า “Ozein” แปลว่ามีกลิ่น และพบว่าโอโซนเป็นก๊าซธรรมชาติที่เกิดขึ้นในอากาศ

- ปี พ.ศ.2400 Von Siemens นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันได้สร้างเครื่องผลิตโอโซนเป็นครั้งแรก

- ปี พ.ศ.2415 Schonbein ได้พิสูจน์โครงสร้างของโอโซนซึ่งประกอบด้วย 3 อะตอมออกซิเจน
- ปี พ.ศ.2449 โอโซนได้นำมาใช้ครั้งแรกในการผลิตน้ำดื่มที่ประเทศฝรั่งเศส
- ปี พ.ศ.2493 โอโซนได้นำมาใช้ฆ่าเชื้อโรคในสระว่ายน้ำเป็นครั้งแรกในยุโรป
- ปี พ.ศ.2519 โอโซนได้นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียเป็นครั้งแรกในยุโรป
- ปี พ.ศ.2520 โอโซนได้ใช้ในการฟอกเยื่อกระดาษเป็นครั้งแรกในนอร์เวย์
- ปี พ.ศ.2523 สร้างโรงบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้ก๊าซโอโซนมากกว่า 1,100 แห่งทั่วทวีปยุโรป
- ปี พ.ศ.2524 เริ่มใช้ก๊าซโอโซนในการรักษาโรคมะเร็งร่วมกับการฉายรังสี (Radiation therapy) ในประเทศฝรั่งเศสเป็นครั้งแรก
- ปี พ.ศ.2537 ประเทศญี่ปุ่นได้นำโอโซนมาใช้ในการบำบัดน้ำเป็นครั้งแรก

2.4 แหล่งกำเนิดของโอโซนในธรรมชาติ

โอโซนธรรมชาติพบได้ 2 แหล่ง คือ

2.4.1 ในชั้นบรรยากาศสตราโตเฟียร์ (Stratosphere) ที่ระดับความสูง 20 กิโลเมตร ซึ่งเรียกว่าชั้นโอโซน (Ozonosphere) มีความหนา 2 กิโลเมตร และความหนาแน่นประมาณ 3 - 5 ส่วน ในล้านส่วนชั้นโอโซนนี้จะทำหน้าที่กรองรังสีอัลตราไวโอเล็ตของแสงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 190 - 320 นาโนเมตร ทำให้สิ่งมีชีวิตรอดพ้นจากอันตรายของรังสีอัลตราไวโอเล็ตซึ่งเป็นสาเหตุของมะเร็งผิวหนังและต่อกระจกชั้นโอโซนนี้เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีทางแสง (Photochemical reaction) ของออกซิเจนโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ต และรังสีคอสมิกที่ระดับความสูง 70 กิโลเมตร



ภาพที่ 2.1 แสดงการเกิดโอโซน O_3

2.4.2 พบบนพื้นโลก โดยเฉพาะบริเวณชายทะเล น้ำบนยอดเขาซึ่งมีปริมาณออกซิเจนมากกว่าบริเวณอื่นๆ ก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากสายฟ้าแลบ และฟ้าผ่าในขณะที่ฝนตก แต่มีปริมาณเพียง 0.01 - 0.05 ส่วนในล้านส่วน ปริมาณโอโซนเล็กน้อยนี้สามารถทำให้มลพิษในอากาศโดยรอบถูก

ทำลายจนหมดสิ้น ดังนั้นอากาศในบริเวณชายทะเลและบนภูเขาจึงมีความสดชื่นและบริสุทธิ์มากกว่าอากาศในเมืองซึ่งมีมลพิษค่อนข้างสูง

2.5 ขบวนการผลิตก๊าซโอโซนในอุตสาหกรรม

ขบวนการผลิตมี 3 วิธี คือ

1. Ultraviolet method เป็นการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตแสงลงบนออกซิเจนที่มีความยาวคลื่น 185 นาโนเมตร โดยใช้หลอด UV ขนาด 40 W ซึ่งสามารถผลิตโอโซนได้สูงสุดถึง 0.25 % น้ำหนัก
2. Corona discharge method เป็นการฉายของอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงลงบนออกซิเจนโดยผ่านก๊าซออกซิเจน เข้าไปช่องว่างระหว่างแท่งอิเล็กโทรด 2 แท่ง ซึ่งเคลือบด้วยแก้วเป็นสารไดอิเล็กทริก วิธีนี้สามารถผลิตโอโซนได้สูงสุดถึง 8 % น้ำหนัก
3. Cold plasma method เป็นการฉายรังสีพลาสมาลงบนออกซิเจน โดยใช้แท่งแก้ว 2 แท่ง ที่บรรจุด้วยก๊าซเฉื่อย และผ่านกระแสไฟฟ้าแรงสูงลงบนแท่งแก้วทั้งสองเพื่อทำให้เกิดสนามพลาสมาวิธีนี้ให้โอโซนสูงถึง 15 % น้ำหนัก

2.6 คุณสมบัติของโอโซน

- โอโซนบริสุทธิ์เป็นก๊าซสีน้ำเงินอ่อนสามารถควบแน่นเป็นของเหลวสีม่วงที่อุณหภูมิ -111.9°C มีจุดเยือกแข็งที่ -192.7°C
- โอโซนสลายตัวได้ง่าย และเปลี่ยนเป็นก๊าซออกซิเจนที่อุณหภูมิห้อง
- มีเสถียรภาพต่ำ และมี Half-life 25 นาที
- ละลายได้ในน้ำเล็กน้อย คือ 0.57 กรัมต่อลิตร ที่ 20°C แต่จะละลายได้ดีในน้ำมันพาราฟินกลีเซอริน น้ำมันมะกอก และน้ำมันข้าวโพด
- เกิดการระเบิดได้เมื่อได้รับความร้อนสูง และมีความเข้มข้นมากกว่า 20 % โดยน้ำหนัก

2.7 คุณสมบัติของก๊าซโอโซน

2.7.1 สามารถฆ่าเชื้อโรคต่างๆ ได้แก่

2.7.1.1 เชื้อแบคทีเรีย เช่น *Bacillus antkacis* (โรคแอนแทรกซ์) , *Mycobacterium tuberculosum* (โรควัณโรค) , *Clostridium Botulium* (อาหารเป็นพิษจากอาหารกระป๋องและของดอง) , *Pasteurella tularensis* (โรคทูลารีเมีย) , *Salmonella enteritidis* (อาหารเป็นพิษจากเนื้อสัตว์) เป็นต้น

2.7.1.2 เชื้อไวรัสตัวอย่าง เช่น Shingles virus (โรคงูสวัด) , Hepatitis virus (โรคตับอักเสบ) , Infuema vims (โรคไขหวัดใหญ่) , Polio virus (โรคโปลิโอ) และเชื้อ HIV (โรคเอดส์) เป็นต้น

2.7.1.3 เชื้อรา เช่น Aspergillus niger (ราดำ) , A.flavus (ราเขียว) , Tnchophyton concentricum (เชื้อกลาก) เป็นต้น

2.7.1.4 เชื้อโปรโตซัว เช่น Entamoeba histolyca (โรคบิด) , Giardia lamblia (โรคเกียโดเอซิส) เป็นต้น

2.7.2 เป็นสารออกซิไดซ์รุนแรงกว่าสารออกซิไดซ์อื่นๆ เนื่องจากก๊าซโอโซนมีค่า Oxidative potential เท่ากับ 2.07 จึงมีคุณสมบัติในการออกซิไดซ์สารต่างๆ ได้มากกว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และคลอรีน ดังนั้นสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์ด้วยโอโซนจึงมีมากกว่า 100 ชนิด อาทิ สารไฮโดรคาร์บอน สารอัลคีน สารเอมีน สารอัลโคห์น สารซัลไฟด์ สารฟอสฟีน สารอาร์ซีน และสารไซเลน เป็นต้น รวมทั้งโลหะหนักต่างๆ ได้แก่ พรอท แคดเมียม ตะกั่ว นิเกิล โครเมียม เหล็ก เงิน เซเลเนียม สารหนู สังกะสีและทองแดง เป็นต้น

2.8 ประโยชน์ของก๊าซโอโซน

2.8.1 ใช้ในการรักษาโรคผิวหนังต่างๆ ได้แก่ กลาก รังแค โรคเท้าเปื่อย โรคงูสวัด และผื่นคัน เป็นต้น

2.8.2 ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในโรงพยาบาล คลินิก และในห้องปฏิบัติการ

2.8.3 ใช้ในการฟอกอากาศให้บริสุทธิ์ โอโซนสามารถกำจัดกลิ่นอาหาร ควันบุหรี่กลิ่นอับ และกลิ่นเหม็นต่างๆ ได้อย่างหมดสิ้น การเกิดกลิ่นเหม็นในน้ำเสียเป็นผลมาจากการย่อยสลายทางชีวภาพของอาหาร และสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic bacteria) ทำให้เกิดสารพิษต่างๆ ได้แก่ มีเทน (CH_4) , ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) , เมทิลเมอร์แคปแทน (CH_3SH) , ไดเมทิลซัลไฟด์ (CH_3SCH_3) , ฟอสฟีน (PH_3) , ไตรเมทิลเอมีน [$(\text{CH}_3)_3\text{N}$] และไฮดราซีน (NH_2NH_2) รวมทั้งควันบุหรี่ที่มีส่วนประกอบสารพิษมากมาย อาทิ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) , ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เป็นต้น สารเหล่านี้สามารถถูกออกซิไดซ์โดยโอโซนและเปลี่ยนให้เป็นสารที่ไม่มีกลิ่นและไม่เป็นพิษ

2.8.4 ใช้กำจัดสารตกค้างในผัก ผลไม้ และในอาหารทะเล สารตกค้างส่วนใหญ่ที่พบในผักผลไม้ และอาหารทะเล คือ สารฟอร์มาลดีไฮด์ หรือ สารฟอร์มาลินซึ่งมักเข้าใจผิดว่าเป็นสารที่ช่วยรักษาความสดให้นานขึ้น แต่ความเป็นจริงสารนี้เป็นสารพิษ เมื่อสะสมในร่างกายมากขึ้นจะก่อให้เกิดการอักเสบและเกิดมะเร็งในตับได้ นอกจากนี้ยังมีสารฆ่าแมลง และวัชพืชชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการเกษตรซึ่งเป็นสารตกค้างอยู่ในผักและผลไม้ เช่น สารดีดีที , สารพาราไธออน , สารเมวินฟลอส และสารอัลด

ริน เป็นต้น รวมทั้งสารอินโดลซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในอาหารทะเล สารตกค้างเหล่านี้เป็นสารพิษต่อดัปลั ไตและลำไส้ แต่สามารถถูกกำจัดได้ด้วยโอโซนให้เป็นสารไม่เป็นพิษ

2.8.5 ใช้กำจัดสารโลหะหนักที่ตกค้างในน้ำ โลหะหนักที่ละลายอยู่ในน้ำ ได้แก่ โครเมียม ,ปรอท , ตะกั่ว , เหล็ก และแมงกานีส เป็นต้น สามารถถูกออกซิไดซ์ด้วยโอโซน และเปลี่ยนเป็นรูปสารที่ไม่ละลายน้ำ

2.8.6 ใช้กำจัดกลิ่นคลอรีนในน้ำประปา กลิ่นคลอรีนในน้ำประปาเกิดขึ้นจากการใช้ก๊าซคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคทำให้เกิดสารตกค้างในรูปของไฮโปคลอไรต์ไอออน (OCl^-) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพและทำให้เกิดสารอินทรีย์ในรูปอื่นๆ อาทิ คลอโรฟอร์ม และไตรคลอโรเอทีลีน เป็นต้น เป็นสารก่อมะเร็ง แต่ก๊าซโอโซนสามารถออกซิไดซ์ (OCl^-) ให้เป็นคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ที่เสถียรมากกว่า A และปลอดภัยกว่า

2.8.7 ใช้กำจัดความกระด้างในน้ำประปา ความกระด้างชั่วคราวในน้ำประปาเกิดขึ้นจากเกลือไบคาร์บอเนตของแมกนีเซียม และแคลเซียมที่ละลายในน้ำ เมื่อได้รับเกลือเหล่านี้มากเกินไปร่างกายสามารถเปลี่ยนเป็นรูปของคาร์บอเนตที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุเกิดนิ่วในไตได้ ดังนั้นโอโซนจะออกซิไดซ์ไบคาร์บอเนตให้อยู่ในรูปของเกลือเปอร์คาร์บอเนต ซึ่งจะสลายตัวเป็นเกลือคาร์บอเนตในที่สุด

2.8.8 ใช้กำจัดแอมโมเนียในอ่างเลี้ยงปลา และบ่อเลี้ยงกุ้ง การเกิดแอมโมเนียในน้ำเป็นผลมาจากการย่อยสลายของมูลที่สัตว์น้ำปล่อยออกมา และสารอาหารที่ใช้เลี้ยงโดยแบคทีเรียทำให้น้ำมีความเป็นด่างมากเกินไป ($PH > 9$) ซึ่งไม่เหมาะต่อการเลี้ยงปลาและกุ้ง ดังนั้นการใช้โอโซนจะช่วยกำจัดแอมโมเนียในน้ำให้เป็นเกลือไนเตรท

2.8.9 ใช้ในการป้องกันการเกิดตะไคร้ในสระว่ายน้ำ เนื่องจากไขมันและสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟต เป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรียทำให้เกิดการแพร่กระจายของตะไคร้น้ำมากขึ้น ซึ่งเป็นขบวนการยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ทำให้น้ำมีกลิ่นเหม็นและเปลี่ยนเป็นสีเขียว ดังนั้นการใช้โอโซนจะช่วยทำลายแหล่งอาหารของแบคทีเรีย และฆ่าเชื้อแบคทีเรีย รวมทั้งทำให้ปริมาณของออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นและทำให้การเกิดตะไคร้ในน้ำลดลง

2.8.10 ใช้ในการบำบัดและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตัวอย่าง เช่น สารไซยาไนด์ที่ได้จากโรงงานชุบโลหะเหมือนแร่ทองและเงิน ร้านถ่ายรูป เนื่องจากสารไซยาไนด์เป็นสารพิษที่รุนแรงสามารถทำให้สัตว์น้ำตายได้เมื่อมีปริมาณมากกว่า 100 ส่วนในล้านส่วนในน้ำ ดังนั้นก๊าซโอโซนสามารถกำจัดไซยาไนด์เองได้โดยเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของไนเตรตไอออน

2.8.11 ใช้ในการชะล้างคราบไขมันและสิ่งสกปรกบนผิวหนัง และช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับต่อมผิวหนังเพื่อกระตุ้นการทำงานของเซลล์ผิวหนังทำให้ผิวหนังมีน้ำมีนวลชุ่มชื้นมากขึ้น และยังช่วยยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของกลิ่นตัว

2.8.12 ใช้ในการฟอกสีของสีย้อมต่างๆ ซึ่งเป็นสีสังเคราะห์ แต่ไม่ทำลายสีธรรมชาติ

2.8.13 สามารถใช้ป้องกันยุงและแมลงอื่นๆ ได้ เนื่องจากยุงมีระบบประสาทในการรับกลิ่นได้ ร่องไวกว่ามนุษย์ถึง 20 เท่า ดังนั้นกลิ่นของโอโซนสามารถรบกวนระบบประสาทของยุงทำให้ยุงบินหนีไปแม้ว่าจะใช้โอโซนในระดับต่ำกว่า 0.001 ส่วนในล้านส่วน สำหรับแมลงชนิดอื่นๆ เช่น แมลงวัน สามารถกำจัดให้ปริมาณโอโซนเพิ่มขึ้น

2.8.14 ใช้ในการบำรุงเส้นผมให้แข็งแรง และแก้ปัญหารังแคและเชื้อราบนศีรษะได้ เนื่องจาก โอโซนช่วยกระตุ้นต่อมผมให้ทำงานได้ดี และผลิตน้ำมันหล่อเลี้ยงให้กับเส้นผมมากเพิ่มขึ้น และยังเพิ่ม ปริมาณออกซิเจนให้กับรากผม จึงช่วยลดปัญหาผมหลุดร่วงและผมแตกปลายได้

2.8.15 ใช้ในการล้างแผลสด ล้างตา และฆ่าเชื้อโรคในช่องปากและหู

2.8.16 ใช้ในการรักษาโรคต่างๆ เช่น โรคทางเดินหายใจ โรคกระดูก โรคระบบทางเดินอาหาร โรคหัวใจ โรคมะเร็ง และโรคเอดส์ เป็นต้น อันตรายของก๊าซโอโซนตามมาตรฐานขององค์การชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งสหรัฐอเมริกา (Occupational Safety and Health adm1 Snistration, OSHA) ได้กำหนดปริมาณของโอโซนในอากาศไม่ควรเกิน 0.1 ส่วนในล้านส่วน (ppm) หรือมีความหนักแน่นไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยต่อสุขภาพ แต่ปริมาณต่ำสุดที่มนุษย์สามารถได้รับกลิ่นโอโซน คือ 0.01 ส่วนในล้านส่วน ในกรณีเมื่อได้รับโอโซนเกินกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นเวลานานกว่า 8 นาที จะเกิดอาการปวดหัว คลื่นไส้ ไอ คอแห้ง แสบตา เมื่อได้รับปริมาณเกินกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะมีผลทำให้เกิดไอเรื้อรัง เยื่อจมูกอักเสบ และปอดบวมได้

2.9 ขบวนการผลิตก๊าซโอโซนในอุตสาหกรรม

2.91. UV ozone Generator

แสงอัลตราไวโอเล็ตที่ใช้ในขบวนการปรับสภาพน้ำ มีความยาวคลื่น 185 นาโนเมตร แต่แสงอัลตราไวโอเล็ตที่ช่วงความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ไม่นิยมใช้ในเครื่องกำเนิดโอโซนเพราะจะได้ปริมาณโอโซนที่ต่ำกว่าแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 185 นาโนเมตร จะใช้ในการฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งแสงอัลตราไวโอเล็ตจะทำให้จุลินทรีย์เป็นหมัน (ไม่สามารถแพร่พันธุ์ได้) โดยการควบคุมน้ำให้ไหลภายในท่อสแตนเลสที่มีหลอดยูวีอยู่ภายในซึ่งเป็นแก้วควอทซ์เป็นตัวกันไม่ให้ น้ำสัมผัสกับหลอดยูวีโดยตรง เพื่อให้การทำงานของระบบฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวีเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านหลอดยูวีให้เหมาะสมกับขนาดของยูวี และต้องมีการล้างทำความสะอาดแล้วควอทซ์เป็นประจำเพราะอาจมีเมือกหรือตะกอนสารปนเปื้อนไปปิดกั้นแสงยูวีไม่ให้ผ่านแก้วควอทซ์ไปได้ ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจะหมดไปทันทีตรงกันข้ามกับเครื่องกำเนิดโอโซนด้วยแสงยูวี โดยทั่วไปจะใช้แสงยูวีที่มีความยาวคลื่น 185 นาโนเมตร เพื่อผลิต

โอโซนโดยโอโซนจะทำการฆ่าเชื้อหรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเจนนั้นกับสารปนเปื้อนในน้ำโดยตรง ขณะที่ผสมลงไปหรือน้ำหรือภายในถังน้ำซึ่งสามารถฆ่าเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีการบำรุงรักษาต่ำกว่าการใช้เครื่องฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวี

2.9.2 Corona Discharge Ozone Generator (CD ozone Generator)

เทคโนโลยีของเครื่องกำเนิดโอโซนระบบ Corona Discharge ในปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบแต่ใช้หลักการพื้นฐานเดียวกันทั้งหมด คือ ใช้อากาศผ่านการทำให้แห้งปราศจากความชื้นส่งผ่านเข้าสู่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะกระตุ้นให้โมเลกุลของออกซิเจน เกิดการแตกตัวและรวมตัวเป็นโอโซน โดยทั่วไปสามารถแบ่งชนิดของเครื่องกำเนิดโอโซนระบบ Coronadischarge ออกเป็น 3 ประเภท ตามความถี่ของสนามแม่เหล็กที่ใช้ ดังนี้

ก. ระบบความถี่ต่ำ ใช้ความถี่ประมาณ 50 - 100 Hz

ข. ระบบความถี่ปานกลาง ใช้ความถี่ประมาณ 100 - 1,000 Hz

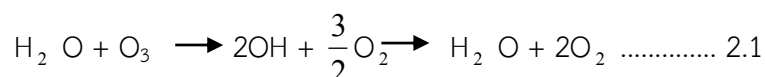
ค. ระบบความถี่สูง ใช้ความถี่ประมาณ 1,000 Hz ขึ้นไป

ซึ่งความถี่ของระบบยิ่งสูงจะสามารถผลิตโอโซนได้มากขึ้นตามลำดับ โดยพลังงานที่ใช้ในระบบประมาณ 85 - 95 % จะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อน ดังนั้นการระบายความร้อนจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมากสำหรับ CD ozone โดยทั่วไปการระบายความร้อนนิยมใช้

- 1) ระบายความร้อนด้วยอากาศ
- 2) ระบายความร้อนด้วยน้ำมัน
- 3) ระบายความร้อนด้วยน้ำ

2.10 โอโซนในการบำบัดน้ำเสีย

ใช้โอโซนในการย่อยสลายพันธะของสารต่างๆ เช่น พวกละอองลอย อีออน (ที่ PH สูงๆ) สารอินทรีย์ตามธรรมชาติ และเพอร์สอิดอน โดยโอโซนจะทำหน้าที่เป็นตัวทำปฏิกิริยา (Oxidize) หมู่ O-H ของอินทรีย์หลังจากการทำปฏิกิริยาแล้วนั้นสิ่งที่ได้ประกอบไปด้วยสารใหม่หลังจากการทำปฏิกิริยา และออกซิเจนบริสุทธิ์ ดังสมการ



การใช้โอโซนในการสลายพันธะของสารสกัดได้ผลพลอยได้ (By-product) จากกระบวนการออกซิเดชัน ซึ่งผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปมักเป็นสารประกอบที่มีขั้ว (Polar compound) รวมไปถึง

พวกอัลดีไฮด์ (Aldehydes) อลิฟาติก และโอโรมาติก คาร์บอนซิลิก แอซิด (Aliphatic and Aromatic Carboxylic Acids)

สารใหม่ที่ได้จากกระบวนการออกซิเดชันด้วยโอโซนจะสามารถย่อยสลายได้ง่ายขึ้น ดังนั้นในปัจจุบันนอกจากการใช้โอโซนเพียงอย่างเดียวในการบำบัดน้ำเสียแล้ว ยังอาจพบว่ามีการใช้โอโซนในการบำบัดขั้นต้นก่อนที่จะมีการบำบัดทางชีวจิตต่อ ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดียิ่งขึ้น

2.11 ใช้โอโซนในการกำจัดสีของน้ำ

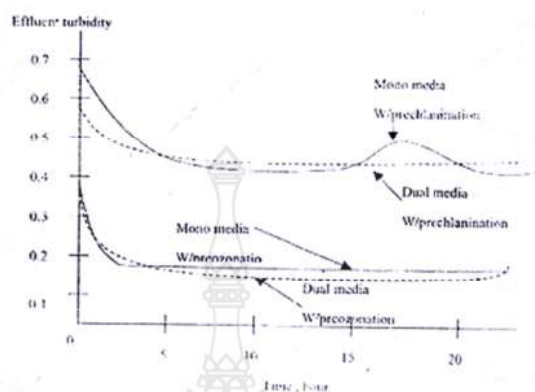
สีของน้ำโดยทั่วไปจากการปนเปื้อนของสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ที่ดูดซับแสงที่สามารถมองเห็นได้ (Absorb visible light) ซึ่งสีของน้ำแต่ละแหล่งจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสารที่ปนเปื้อนในส่วนองน้ำที่เกิดจากการปนเปื้อนสารอินทรีย์จากธรรมชาติ (Humid substance) ซึ่งเรียกว่าเป็นสีจริง พวกนี้อาจมีโครงสร้างที่ซับซ้อนของโลหะปนอยู่ด้วย การให้โอโซนเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical oxidant) โดยทั่วไปจะสามารถลดสีลงได้บ้างแต่การกำจัดอาจไม่สมบูรณ์ถึง 100 % กลไกในการเกิดปฏิกิริยายังไม่เป็นที่แน่ชัดแต่โดยหลักการ คือโอโซนซึ่งเป็นตัวทำปฏิกิริยา (Oxidizing Agent) จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับ Chromophores ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโมเลกุล ของสารอินทรีย์ที่ดูดซับแสงที่สามารถมองเห็นได้) และเปลี่ยน Chromophores เหล่านั้นให้อยู่ในรูปของสารเคมีที่ไม่ดูดซับแสงที่สามารถมองเห็นได้ มีการศึกษาถึงการกำจัดสี และ COD ของน้ำเสียโดยใช้โอโซน

2.12 ใช้โอโซนในการกำจัดกลิ่นและรส

กลิ่นและรสอาจมีสาเหตุมาจากพวกจุลินทรีย์หรือกระบวนการทางเคมีที่ก่อให้เกิดสารประกอบพวกซัลเฟอร์ขึ้นจากการทดลองทำให้ทราบว่าโอโซนสามารถกำจัดรสและกลิ่นของน้ำได้ แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการกำจัดกลิ่นและรสโดยใช้โอโซนในการทำปฏิกิริยาก็ยังมีข้อจำกัดอยู่

2.13 ใช้โอโซนในการสร้างตะกอน

โอโซนจะไม่ทำลายความเสถียร (Destabilize) ของคอลลอยด์ทำให้การรวมตัวเป็นตะกอนเกิดง่ายขึ้น รวมทั้งช่วยในการตกตะกอนและการกรองได้ง่ายขึ้น ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้เกิดโมเลกุลที่มีขั้ว และเกิดหมู่ Chelating เพิ่มขึ้น ซึ่งโมเลกุลเหล่านี้จะชักนำให้เกิดการตะกอนขึ้นมีการศึกษาในปี 1986 ดังรูปแสดงให้เห็นว่าโอโซนมีประสิทธิภาพในการช่วยสร้างตะกอนมากกว่าคลอรีน และปัจจุบันที่ประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการนำโอโซนมาใช้ในการบำบัดน้ำขั้นต้น (Preozonation) เพื่อช่วยในการตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสีย



ภาพที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบการใช้โอโซนและคลอรีนในการบำบัดขั้นต้นเพื่อลดความขุ่น

2.14 รูปแบบการเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของโอโซน

กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโอโซนจะมีขึ้นใน 2 ลักษณะ

กลไกแรก คือ สารจะถูกทำปฏิกิริยาโดยโอโซนโดยตรง ดังสมการ



ส่วนกลไกแบบที่ 2 คือ โอโซนจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารโดยการแตกตัวในรูปของประจุเป็น OH และ HO ซึ่งประจุเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์อีกทีหนึ่ง ซึ่งประจุที่แตกออกเหล่านี้จะสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก ได้แก่ สารอินทรีย์ประเภท Acids aldehydes ketone และพวก Less highly activated aromatic เป็นต้น อย่างเช่นการทำปฏิกิริยาของโอโซนในของเหลวโดยโอโซนอาจเข้าทำปฏิกิริยาทั้งโดยตรงกับสารและแตกตัวออกเป็นประจุแล้วเข้าทำปฏิกิริยากับสารอีกทีหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า PH เป็นสำคัญในการที่จะกำหนดปริมาณการเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงและโดยอ้อม และการแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาของสารกับโอโซน และปฏิกิริยาของสารกับโอโซน และปฏิกิริยาการแตกตัวแบบสมบูรณสำหรับโอโซน

Chalor Jamsuttirak ได้ศึกษาถึงการกำจัดสีของโรงงานฟอกผ้า โดยใช้โอโซนและการตกตะกอนด้วย Polyaluminum chloride (PAC) พบว่าโอโซนมีความสามารถในการกำจัดสีแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยสามารถลดสีรีแอคทีฟ (Reactive) ได้ถึง 99 % สีแวต (Vat) สามารถลดได้ 98 % เฉลี่ย และสตีส์เพิร์ส (Disperse) สามารถลดได้ 97 % ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาและระยะเวลาของการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น และ

ยังพบว่า PH มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีด้วย ซึ่งสีแต่ละชนิดจะมีค่า PH ที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีแตกต่างกัน

Frank Gahr, Frank Hemmut และ Wilhelm Oppemm ได้ศึกษาถึงเทคนิคสำคัญสำหรับการบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม เพื่อให้ได้มาตรฐานที่กฎหมายกำหนดโดยใช้โอโซน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าค่า PH มีส่วนสำคัญต่อการลดลงของสี นอกจากนี้ยังพบว่าในสารละลายที่เป็นกรด โอโซนที่เข้าปฏิกิริยาจะแตกตัวอยู่ในรูปของไฮดรอกซิล อีออน (O-H) ซึ่งจากเหตุผลนี้เองที่ทำให้ PH มีผลต่อการกำจัดสีออกจากน้ำเสีย จากการทดลองพบว่า สีชนิดรีแอคทีฟ (Reactive) จะถูกกำจัดได้ดีที่ PH สูงๆ

M.S.E.Abdo, H.Shaban และ M.S.H.Bader ได้ทำการศึกษาถึงการลดสีไ้ตรง (Direct) ของน้ำเสียจากโรงงานซึ่งการทดลองจะใช้สีไ้ตรง 2 ชนิด คือ Direct scarlet 4BS กับ Direct blue 3B พบว่ากราฟที่ได้จากการใช้โอโซนกำจัดสีทั้ง 2 ชนิด เป็นเส้นตรงที่ความเข้มข้นของโอโซนคงที่ดังสมการ

$$t = mC \dots\dots\dots 2.3$$

เมื่อ

t = ระยะเวลาต่ำสุดในการกำจัดสีโดยใช้โอโซน

c = ความเข้มข้นของสีเริ่มต้น

m = ค่าคงที่ (ขึ้นอยู่กับชนิดของสี)

และจากการทดลองสีชนิด Direct Scalet 4BS จะใช้เวลาในการกำจัดด้วยโอโซนนานกว่าสี Direct Bluee 3B ถึงแม้ว่าทั้งสองจะอยู่ในกรุปสีเดียวกันก็ตาม

Stephen Beszedits ได้ทำการศึกษาถึงการใช้อโอโซนในการกำจัดสีของน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมพบว่าโอโซนสามารถกำจัดสีได้เป็นอย่างดี ช่วยลดระดับสารอินทรีย์ในน้ำเสียช่วยให้สารต่างๆ ในน้ำสามารถสลายได้ง่ายขึ้น กำจัดฟีนอล (Phenol) และนอกจากนี้ยังช่วยในการฆ่าเชื้อโรคได้อีกด้วย ในส่วนของการกำจัดสีประสิทธิภาพของการกำจัดจะขึ้นกับชนิดของสีที่ใช้และความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าระบบ

Sheng H.Lin และ Wen M.Liu ได้ทำการศึกษาถึงการใช้อโอโซนในการกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมรวมถึงผลของโอโซนต่อการกำจัดค่า COD จากการทดลองโดยใช้ระยะเวลา ในการทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าสามารถกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมได้เกือบหมด และสามารถลดค่า COD ได้มากกว่า 50 % นอกจากนี้ยังพบว่าโอโซนจะทำให้โมเลกุลของสารอินทรีย์แตกออกจากกันทำให้ง่ายต่อการย่อยสลายต่อไปในระบบ Activated sludge และการใช้อโอโซนร่วมกับระบบ Activated sludge จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการบำบัดสูงมากยิ่งขึ้น

Sheng H.Lin และ Wen Y.Liu ได้ทำการศึกษาถึงการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมโดยใช้โอโซนร่วมกับการตกตะกอน พบว่าโอโซนกำจัดสีได้ดีมากในระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไม่เกิน 10 นาที ส่วนการตกตะกอนจะใช้เพื่อกำจัดสารแขวนลอยต่างๆ รวมถึงค่า COD ด้วยซึ่งพบว่าสามารถลดค่า COD ลงได้ถึง 66 % นอกจากนี้ยังมีการเชื่อมต่อบริเวณ Activated sludge เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งพบว่าน้ำทิ้งที่ออกมามีคุณภาพที่ดีมาก ตลอดจนมีการประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้โอโซนกำจัดสีในขั้นต้น (Preozonation) ก่อนเข้าสู่ระบบการตกตะกอนและระบบ Activated sludge พบว่าสามารถชำระค่าในการกำจัดสีได้น้อยกว่า 30 % จากระบบเดิมที่ไม่ใช้โอโซน

Sheng H.Lin และ Wen Y.Liu ได้ทำการศึกษาโอโซนบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมในถังปฏิกิริยาแบบ PACKED - BED พบว่าโอโซนนอกจากสามารถกำจัดสีได้แล้วยังสามารถลดค่า COD ของน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมได้อีกด้วย ในการลดสีโอโซนสามารถลดสีได้โดยใช้เวลาน้อยกว่า 5 นาที นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าเพิ่มหน่วยบำบัดโดยใช้กระบวนการตกตะกอนหรือการบำบัดทางชีวภาพโดยใช้อากาศจะสามารถลดค่า COD ได้ถึง 80 %

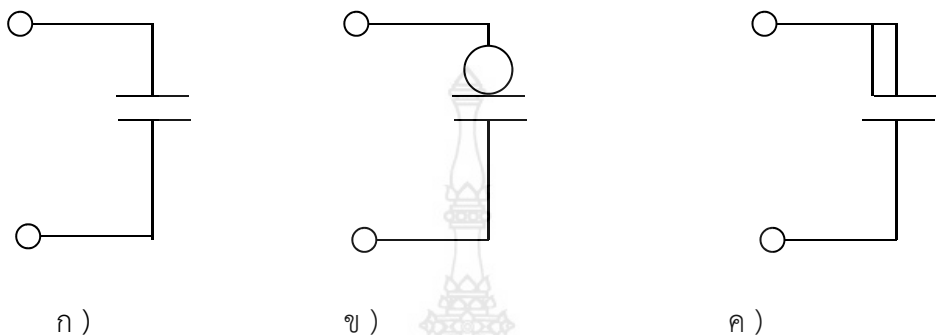
M.Tzitzis, D.V.Vayena S และ G.Lyberators ได้ทำการศึกษาถึงการใช้อิออนช่วยในการบำบัดขั้นต้น (Preozonation) ของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม ในการทดลองได้นำเอาน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมหลายชนิดมาทำการทดสอบ นอกจากนี้ยังใช้วิธีการทำปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ กันพบว่าหากบำบัดน้ำเสียดิบเข้าทำปฏิกิริยากับโอโซนโดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-15 นาที สีของน้ำเสียจะกลายเป็นสีออกเหลือง คิดเป็น 80 % ของประสิทธิภาพในการลดสีโดยที่ค่า COD และ BOD ไม่มีการเปลี่ยนแปลง หลังจากเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 20-31 นาที พบว่าสามารถลดค่า COD ได้ 40-45 % แต่ค่า BOD มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาค่า PH จะเพิ่มขึ้นจาก 8.2 เป็น 8.6 ในขณะเดียวกันก็ไม่พบว่ามีตะกอนเพิ่มขึ้น (Total solid, Suspended solid, Dissolved solid ยังคงเดิม)

2.15 ความเครียดสนามไฟฟ้า (Electric Field Stress)

ความคงทนของการฉนวนแรงดันไฟฟ้า หมายถึง ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ฉนวนนั้นสามารถทนอยู่ได้โดยไม่เกิดความเสียหายหรือเกิดเบรกดาวน์ หรือทำให้การฉนวนเสื่อมสภาพซึ่งมีหน่วยเป็น V/cm. หรือ kv/cm. มีหน่วยเป็นค่าแรงดันต่อหน่วยความหนาแน่นของฉนวน หรือระยะห่างของอิเล็กโทรด ความเครียดสนามไฟฟ้าใช้กำหนดค่าความคงทนของการฉนวนทางไฟฟ้าโดยทั่วไปจะหาจากสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (Uniform field) คือ เป็นสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดที่มีลักษณะเป็นแผ่นระนาบ (Plate-to-plate)

ความคงทนของการฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า E_b ขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ต่างๆ หลายประการซึ่งพอจะเขียนเป็นเกณฑ์ทั่วไปได้ว่า

$$E_b = f \text{ (ลักษณะแห่งเรขาคณิตของอิเล็กโทรด ลักษณะสมบัติของไดอิเล็กตริกและเวลา)}$$



ภาพที่ 2.3 อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่างๆ กัน

- ก) สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (Uniform field)
- ข) สนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอเพียงเล็กน้อย (Slightly nonuniform field)
- ค) สนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอสูง (Hightly nonuniform field)

ถ้าป้อนแรงดันให้กับอิเล็กโทรดลักษณะต่างๆ ที่วางอยู่ในอากาศ ดังรูปที่ 2.3 จะพบว่าแรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวนจะไม่เท่ากัน ถึงแม้ว่าจะจกระยะ d_1, d_2, d_3 ให้เท่ากันก็ตาม ค่าแรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวนสามารถวัดหาได้ง่าย ฉนวนแต่ละชนิดจะมีค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ามิใช่ตายตัวค่าใดค่าหนึ่ง ส่วนใหญ่จะเป็นค่าสถิติหรือค่าโดยประมาณมักกำหนดหรือระบบด้วยค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด E_{max} ที่เกิดขึ้น ณ จุดใดจุดหนึ่งระหว่างอิเล็กโทรด ในขณะที่เบรกดาวนเริ่มเกิดขึ้นซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ต่างๆ หลายประการ

อิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (ก)

อิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ หมายถึง อิเล็กโทรดที่มีสนามไฟฟ้าทุกๆ จุดในช่องระหว่างอิเล็กโทรดเท่ากัน ซึ่งคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$E_{max} = E = \frac{U}{D} \dots\dots\dots 2.4$$

เมื่อ

U คือ แรงดันที่ป้อนเข้าไประหว่างอิเล็กโทรด

d คือ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด

E คือ ความเครียดสนามไฟฟ้า ณ จุดใดๆ ระหว่างอิเล็กโทรด

 $E_{\max}$ คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด

นั่นหมายความว่า เมื่อป้อนแรงดันให้กับอิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอจะเกิดเบรกดาวน์หรือสปาร์กขึ้นที่ความเครียดสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรด (ซึ่งเท่ากันทุกจุด) ถึงค่าที่กำหนดค่าหนึ่งโดยประมาณและกระแสเพิ่มขึ้นอย่างมากในทันทีทันใด ค่ากระแสเบรกดาวน์นี้จะถูกจำกัดด้วยค่าอิมพีแดนซ์ของตัวจ่าย และวงจรภายนอกเท่านั้น ซึ่งก่อนจะเกิดเบรกดาวน์นั้นค่ากระแสนี้วัดไม่ได้ ดังรูป 2.4 (แบบ ก.) และค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันขณะจะเกิดเบรกดาวน์นี้ ก็คือค่าความคงทนทางไฟฟ้าหรือความคงทนแรงดันไฟฟ้าของการฉนวนนั่นเองซึ่งคำนวณได้จาก

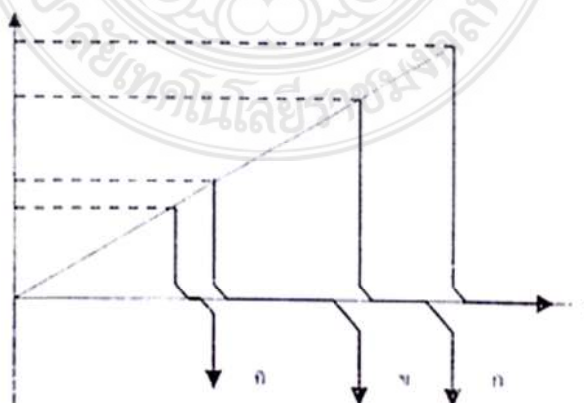
$$E_b = \frac{U}{D} \quad \dots\dots\dots 2.5$$

เมื่อ

 U_b คือ แรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

E_b คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ ซึ่งเรียกว่า ความคงทนทางไฟฟ้าของฉนวน

อย่างไรก็ตามค่า E_b นี้ของไดอิเล็กตริกชนิดหนึ่งก็มีค่าไม่คงตัวเสมอไปเพราะขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์ต่างๆ เช่น แม้แต่ความหนาหรือระยะห่าง d ที่ไม่เท่ากัน ค่า E_b ฉะนั้นในมาตรฐานที่กำหนดค่าความคงทนทางไฟฟ้าของการฉนวนมักจะกำหนดความหนาของไดอิเล็กตริกไว้ด้วยเสมอ



ภาพที่ 2.4 เปรียบเทียบแรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ในไดอิเล็กตริกตามลักษณะสนามไฟฟ้า

อิเล็กโตรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (ข. ค.)

อิเล็กโตรดแบบนี้ความเครียดสนามไฟฟ้าแต่ละจุดมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดนั้นความแตกต่างกัน ณ จุดต่างๆ จะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับลักษณะแห่งเรขาคณิตของอิเล็กโตรดที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมากหรือน้อย ดังเช่น อิเล็กโตรดในรูป 2.3 (ข.) ถ้าเขียนเส้นสนามไฟฟ้าและเส้นศักย์เท่าๆ จะได้ดังรูป 2.5 จะเห็นว่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ผิวของอิเล็กโตรดทรงกลมอาจคำนวณได้จากสมการ

$$E_b = \frac{U}{d\eta^*} \dots\dots\dots 2.6$$

เมื่อ η^* คือแฟคเตอร์สนามไฟฟ้า (Field Utilization factor) มีค่านิยามว่า

$$\text{เมื่อ } \eta^* = \frac{E_{av}}{E_{\max}} < 1 \dots\dots\dots 2.7$$

โดยที่ E_{av} คือ ค่าเฉลี่ยของสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ $\frac{U}{d}$

จึงอาจกล่าวได้ว่า ก็คือ ดรชนี้บอกให้ทราบว่าอิเล็กโตรดนั้นจะมีลักษณะสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมากน้อยเพียงใด และโดยอาศัยแฟคเตอร์สนามไฟฟ้านี้เอง จึงคำนวณหาความเครียดเบรกดาว์ของฉนวนในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสมการใช้ได้เฉพาะกรณีที่อิเล็กโตรดมีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย หรือใช้กับกรณีที่ไมโครนำดิสชาร์จ (Predischage) เกิดก่อนเบรกดาว์ตึงอิเล็กโตรดในรูป 2.3 (ข.) กล่าวคือ ก่อนเกิดเบรกดาว์จะไม่ปรากฏว่ากระแสไหลระหว่างอิเล็กโตรดเลย และลักษณะสนามไฟฟ้าจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงจะเบรกดาว์ทันทีที่ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงถึงค่าหนึ่ง คือ ค่าสนามไฟฟ้าวิกฤติ E_b



ภาพที่ 2.5 สนามไฟฟ้าและเส้นศักย์เท่า

ในกรณีที่มีอิเล็กโตรดมีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง (Highly nonuniform field) ความเครียดสนามไฟฟ้าจะอยู่ในบริเวณใกล้ผิวอิเล็กโตรดที่มีพื้นผิวน้อยที่สุด เช่น ปลายแหลม ดังภาพที่ 2.3 (ค.) เมื่อระยะออกไปจากผิวอิเล็กโตรดค่าความเครียดสนามไฟฟ้าจะลดลงต่ำลงอย่างรวดเร็วดังภาพที่ 2.6 อิเล็กโตรดถึงแม้ว่า ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าถึงค่าวิกฤติแล้วก็ตามจะไม่เกิดเบรกดาวน์แต่จะเกิดโคโรนา

ในลักษณะเดียวกันเมื่อตัวจริงที่ป้อนแรงดันกระแสตรงออก และตัววงจรระหว่างแผ่นอิเล็กโตรดของคาปาซิเตอร์จะมีกระแสไหลอยู่เป็นเวลานานนั้นเนื่องจากกระแสจากประจุเพิ่มเติม ผนวกต่อของชั้นฉนวน ซึ่งจะไหลผ่านความต้านทานของฉนวนที่มีสภาพความนำ 8 และ 8 จักรวรรดิ อันตรายจากคาปาซิเตอร์แรงสูง ซึ่งเป็นการดีสชาร์จที่ไม่สมบูรณ์ จะมีประกายค้างอยู่ที่รอยต่อของชั้นฉนวนเนื่องจากประจุเพิ่มเติมเมื่อเวลาผ่านไปจะมีความต่างศักย์ระหว่างชั้นคาปาซิเตอร์ปรากฏการณ์ลักษณะนี้เกิดขึ้นในฉนวนเนื้อเดียวกันได้เช่นกัน เช่น โพลีเอททิลีน ซึ่งมีผลของประจุเพิ่มเติมเป็นผลให้เกิดการสูญเสียเปลวจากแรงดันกระแสสลับมากขึ้น

2.16 ฉนวนแข็ง

ฉนวนไฟฟ้านอกจากจะทำหน้าที่กั้นหรือแยกส่วนที่มีไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์มิให้สัมผัสหรือลัดวงจรถึงกันแล้ว บางส่วนยังต้องทำหน้าที่ยึดให้มั่นคง หรือรับแรงกลอันเกิดจากน้ำหนักของโครงสร้างหรือแรงกลไดนามิกส์ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าอีกด้วย ฉนวนก๊าซและฉนวนเหลวใช้ทำหน้าที่การฉนวนทางไฟฟ้าได้ดีและเพียงพอ แต่ก็ต้องใช้ฉนวนแข็งประกอบทำหน้าที่ยึดและรับแรงกลตัวอย่างง่ายๆ เช่น สายไฟฟ้าซึ่งในอากาศ ใช้อากาศทำหน้าที่ฉนวน แต่สายไฟจะลอยหรือยึดอยู่ในอากาศได้อย่างไร จึงจำเป็นต้องใช้ฉนวนแข็ง เช่น ลูกถ้วยทำหน้าที่ยึดสายไฟไว้ให้มั่นคงห่างจากดิน และสายไฟอื่นที่มีศักย์ไฟฟ้าไม่เท่ากันหรือเคเบิลอัดก๊าซหรืออัดน้ำมันก็ตามต้องใช้ฉนวนแข็งเป็นตัวยึดนำ หรือในหม้อแปลงไฟฟ้าใช้ฉนวนเหลวหรือการเป็นตัวฉนวน แต่ก็ต้องใช้ฉนวนทำหน้าที่ยึดขดลวดต่างๆ และแกนเหล็กให้มั่นคง ให้มีระยะห่างตามที่กำหนดออกแบบ ฉะนั้นจึงกล่าวได้ว่าการฉนวนแข็งเป็นฉนวนที่สำคัญยิ่งในระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า ลักษณะสมบัติที่ต้องการของฉนวนแข็งอาจกำหนดด้วยคุณสมบัติที่สำคัญ คือ

- 1) ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า (Dielectric strength)
- 2) เพอร์มิตติวิตี (ϵ)
- 3) แฟกเตอร์พลังงานสูญเสียในไดอิเล็กตริก ($\tan \delta$)
- 4) ความคงทนต่อแรงกล
- 5) ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี ความร้อน

ฉนวนแข็งที่ดีนั้นต้องมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูง มีความต้านทานสูงทุกระดับแรงดันมีพลังงานสูญเสียเปล่าในไดอิเล็กตริกต่ำ ทนต่อแรงกลได้สูง ปลอดภัยจากฟองก๊าซและความชื้น และไม่ดูดซึมความชื้น ทนความร้อนได้สูง ทนต่อปฏิกิริยาเคมีได้ดี และไม่เป็นพิษเมื่อติดไฟ ฉนวนแข็งที่ใช้กันอยู่ทั่วไปอาจได้มาจาก

สารอินทรีย์ เช่น กระดาษ ผ้า ยาง เป็นต้น

สารอนินทรีย์ เช่น กระดาษ ผ้า ยาง เป็นต้น

สารอินทรีย์ เช่น ไมก้า แก้ว เซรามิกส์

สารสังเคราะห์ เช่น พลาสติก

รายละเอียดของสมบัติฉนวนแข็งที่ใช้กันทั่วไปจะนำมากล่าวในที่นี้ คือ

1. กระดาษ

กระดาษปกติที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์การฉนวนรู้จักกันในลักษณะกระดาษบางๆ หรือกระดาษเหนียว ความหนาแน่น และความหนาขึ้นอยู่กับการใช้งาน ความหนาแน่นต่ำ (0.8 g/cm^3) เหมาะกับการใช้เป็นไดอิเล็กตริกของ Capacitor ความถี่สูงและเป็นฉนวนของเคเบิล ความหนาแน่นปานกลาง (1 g/cm^3) ใช้เป็นไดอิเล็กตริกของ Capacitor ไฟฟ้ากำลัง กระดาษที่มีความหนาแน่นสูงใช้ใน Capacitor กระแสตรงเพื่อเก็บพลังงาน หรือเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

เนื่องจากกระดาษมีคุณสมบัติดูดซึมความชื้นได้ ฉะนั้นการใช้กระดาษเป็นฉนวนจำเป็นต้องทำให้แห้งและชดเชยความชื้น เช่น น้ำมันฉนวน ค่าเปอร์มิตติวิตีของกระดาษชดเชยความชื้นขึ้นอยู่กับค่าเปอร์มิตติวิตีของเซลล์โลสของกระดาษ และของฉนวนเหลวที่ชุบ และความหนาแน่นของกระดาษ ซึ่งค่าเปอร์มิตติวิตีรวมนี้สามารถคำนวณได้

2. เซรามิกส์

เซรามิกส์เป็นอนินทรีย์สารได้จากส่วนผสมของดินเหนียว หินบด เฟลสปาร์ ฟลิ้นท์อะลูมินา แล้วเผาด้วยอุณหภูมิสูง เซรามิกส์อาจแบ่งตามค่าเปอร์มิตติวิตีได้ออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่มีค่าเปอร์มิตติวิตีต่ำ ($\epsilon_r < 12$) ใช้ทำลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า

ส่วนอีกประเภทที่มีค่าเปอร์มิตติวิตีสูง ($\epsilon_r > 12$) ใช้เป็นไดอิเล็กตริกของ Capacitor

3. แก้ว

แก้วเป็นสารอนินทรีย์เทอร์โมพลาสติก ประกอบด้วย ออกไซด์ SiO_2 ที่ซับซ้อนค่าเปอร์มิตติวิตีมีค่าอยู่ในช่วง 3.5 ถึง 9 ความหนาแน่นตั้งแต่ 2.2 ถึง 6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิห้อง ค่าความต้านทานจำเพาะมีค่าตั้งแต่ 10^{12} ถึง 10^{20} โอห์ม-เซนติเมตร ค่าพลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก 0.005 ถึง 0.01 ว่าพลังงานสูญเสียเปล่านี้จะมีค่ามากที่สุดที่ความถี่ต่ำ ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 3,000 ถึง 5,000 kV/cm. และลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เหลือครึ่งหนึ่งที่ 100°C

4. ไมก้า

ไมก้าเป็นชื่อที่เรียกรวมทั่วไปของแร่ลิกซิลิเคทของอะลูมินาและโปแตช ซึ่งอาจแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มด้วยกัน คือ (1) Muscovite (2) phlogopite (3) Fibrolite และ (4) lipidolite โดยที่สองกลุ่มหลังนี้แข็งและเปราะจึงไม่ค่อยใช้ในการฉนวน ไมก้าสามารถแยกเป็นแผ่นบางมาก ๆ ได้ ไมก้าเป็นวัสดุฉนวนที่มีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูง มีพลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริกน้อย ทนต่อความร้อนสูง คงทนแรงกลได้ดี ด้วยเหตุนี้เองไมก้าจึงเหมาะที่จะใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าได้อย่างกว้างขวาง อุปกรณ์แรงดันต่ำใช้ไมก้าเป็นตัวกั้นระหว่างซีคอมมิวเตเตอร์ ขดลวดอาร์เมเจอร์ สวิตช์เกียร์ และอุปกรณ์ทำความร้อนและความเย็น ไมก้าที่บริสุทธิ์มากๆ เหมาะที่จะใช้กับความถี่

5. ยาง

ยางเป็นสารที่มีทั้งตามธรรมชาติและสังเคราะห์ของโพลิเมอร์ มีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ดี คุณสมบัติทางไฟฟ้าของยางขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและกรรมวิธีที่ทำให้ยืดหยุ่นได้ และยังขึ้นอยู่กับสิ่งเจือปน การเปลี่ยนแปลงทางเคมีตามเวลาที่ผ่านไป และความชื้นภายในตัวอย่างคุณสมบัติทางไฟฟ้าและการใช้งานของยางบางชนิด

6. พลาสติก

พลาสติกเป็นฉนวนแข็งที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะพลาสติกมีคุณสมบัติทนต่อแรงดันไฟฟ้าได้ดีพิเศษ การพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหลายในปัจจุบันต้องอาศัยพลาสติก พลาสติกประกอบด้วยจำนวนโมเลกุลเล็กมากมายเป็นโมเลกุลใหญ่ ฉะนั้นโครงสร้างต่างกันเป็นผลให้ชนิดของพลาสติกมากมาย สารสังเคราะห์เทอร์โมพลาสติกส่วนมากจะมีโครงสร้างของอะตอมเป็นพันธะ ใช้เชื่อมโยงเข้าด้วยกันไปในทิศทางหนึ่ง แต่สารสังเคราะห์เทอร์โมเซตติงประกอบด้วยโมเลกุลเป็นทรงลูกบาศก์ เนื่องจากพลาสติกมีมากมายหลายชนิด จึงขอล่าวแต่เฉพาะที่มีใช้งานเพื่อการฉนวน

7. โพลิเอทิลีน (Polyethylene : PE)

PE เป็นสารเทอร์โมพลาสติกที่มีคุณสมบัติพิเศษทางไฟฟ้า ทนต่อความชื้นและปฏิกิริยาเคมีได้สูงไม่มีความต้านทานจำเพาะ และความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูง แม้แต่ที่ความถี่สูง กระบวนการทำง่ายราคาไม่แพง ฉะนั้น PE จึงมีใช้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะใช้ในการฉนวนของสายเคเบิลแกนร่วม ทั้งใช้ในงานกำลังและสื่อสาร โดยที่กระบวนการผลิต PE มีแตกต่างกัน จึงอาจทำขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะกิจ จึงแบ่งออกเป็นประเภทตามความหนาแน่นมาก น้อย แบบเบา ปานกลาง และแบบหนัก และยังอาจใช้กรรมวิธีผ่านรังสีกัมมันตภาพเพื่อเพิ่มคุณสมบัติบางประการ

8. โปลีสเตออร์ (Polyesters)

โพลีสเตออร์เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติง ประกอบด้วยกรด Dicarboxylic และแอลกอฮอล์ Dihydric มีคุณสมบัติทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูงมาก ผิวแข็งเป็นพิเศษ ทนต่อปฏิกิริยาเคมีทั้งหลายได้ดี อาจแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ประเภทอิมิตัว และไม่อิมิตัว โพลีสเตออร์ไม่อิมิตัวใช้ในชั้น

แผ่นแก้วบางหรือหล่อแก้วไฟเบอร์ ซึ่งใช้มากในรูปขององค์ประกอบของอุปกรณ์ไฟฟ้า ส่วนโพลีเอสเตอร์อิมิตัวใช้ทำไฟเบอร์และฟิล์ม โพลีเอสเตอร์ไฟเบอร์ใช้ทำกระดาษ เสื้อ และใยผ้า เพื่อใช้ในงานไฟฟ้า ส่วนฟิล์มนั้นใช้หุ้มสายไฟและเคเบิลสำหรับมอเตอร์ คะปาซิเตอร์ และหม้อแปลงไฟฟ้า คุณสมบัติของฉนวนโพลีเอสเตอร์ขึ้นอยู่กับประเภทและความถี่ที่ใช้งาน มีค่าเปอร์มิตติวิตี ϵ_r 3-7 ค่าความต้านทานจำเพาะ $10^{13} - 10^{15}$ โอห์ม-เซนติเมตร แฟคเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าในไดอิเล็กตริกที่ความถี่ 50 Hz เท่ากับ 0.003 - 0.03 และที่ 1 MHz เท่ากับ 0.006 - 0.04 และจะยังต่ำลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 25-45 kV/mm.

9. โพลิสทีรีน (Polystyrene : PS)

โพลิสทีรีน เป็นสารประเภทเทอร์โมพลาสติก มีคุณสมบัติต่างๆ กันตามสี ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าราว 20 - 35 kV/mm. ความต้านทานจำเพาะเชิงปริมาตรราว 10^{19} โอห์ม-เซนติเมตร เปอร์มิตติวิตีที่ 20 °C ประมาณ 2.5 มีแฟคเตอร์สูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริกต่ำและไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ คือ $\tan \delta = 0.002$ ที่ความถี่พลังงานถึงความถี่ 10,000 MHZ ด้วยเหตุนี้จึงมีการ ใสโพลิสทีรีนฟิล์มเป็นไดอิเล็กตริกของคาปาซิเตอร์กันมาก เพราะจะทำให้ค่าคาปาซิแตนซ์คงตัวในช่วงความถี่กว้าง และมีความต้านทานสูง

2.17 เทคนิคการวัดแรงดันสูง

การวัดแรงดันสูงมีข้อแตกต่างจากการวัดแรงดันต่ำที่สำคัญ ก็คือ อุปกรณ์ชี้วัด (Indicators) หรือผู้สังเกตจะต้องอยู่ห่างจากจุดที่ต้องการวัดมากพอที่จะไม่เกิดอันตราย และต้องอาศัยการฉนวนที่ถูกต้องเหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันที่จะวัด ถ้าแรงดันสูงมากขึ้นระยะการฉนวน และระยะห่างของผู้วัดจะต้องมากขึ้น การวัดแรงดันสูงจึงต้องใช้เทคนิคพิเศษบางประการ โดยอาศัยอุปกรณ์และเครื่องช่วยวัด ลักษณะสมบัติที่ต้องการของอุปกรณ์และเครื่องวัดที่สำคัญ ได้แก่ ความถูกต้องเที่ยงตรง ความไวต่อสัญญาณที่ต้องการวัด ความเชื่อถือได้ ชัดความสามารถของเครื่องวัด ความเร็วของเครื่องวัดที่จะติดตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดแรงดันที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้น เช่น แรงดันอิมพัลส์

เทคนิคการวัดแรงดันสูงขึ้นอยู่กับชนิดของแรงดัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ แรงดันกระแสสลับ แรงดันกระแสตรง และแรงดันอิมพัลส์ ซึ่งสองชนิดหลังนี้มักจะหมายถึงแรงดันที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการทดลอง ส่วนชนิดแรก (แรงดันกระแสสลับ) นั้นจะมีการวัดทั้งภายในห้องปฏิบัติการและในระบบส่งจำหน่าย ในที่นี้จะได้แยกวิธีการวัดตามการแบ่งชนิดของแรงดัน

2.17.1 การวัดแรงดันสูง กระแสสลับและกระแสตรง

การวัดแรงดันกระแสสลับในห้องปฏิบัติการอาจวัดได้ด้วยวิธีดังต่อไปนี้

1. Electrostatic voltmeter
2. sphere gap
3. Series impedance
4. voltage divider

1. Electrostatic voltmeter

การวัดแรงดันด้วย Electrostatic voltmeter อาศัยผลของการเกิดแรงขึ้นจากสนามไฟฟ้า (Electric field) ระหว่างแผ่นโลหะสองแผ่นที่วางขนานกัน โดยทำขอบของอิเล็กโตรดให้มีลักษณะที่จะทำให้ค่าสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอเท่ากันตลอดหน้าแผ่นโลหะ เป็นวิธีวัดค่าสัมบูรณ์แรงดันที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมาก เช่น อากาศมี $\epsilon_r = 1$ ความเครียดสนามไฟฟ้าเท่ากับ 1,000 กิโลโวลต์ต่อเมตร แรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งพื้นที่เท่ากับ 4.427 นิวตันต่อตารางเมตร หรือเท่ากับ 450 กรัมแรงต่อตารางเมตร ฉะนั้นการที่จะใช้หลักการนี้วัดแรงดันสูงๆ จะต้องใช้อิเล็กโตรดที่มีพื้นที่กว้างๆ เพื่อให้ได้แรงดันมากพอที่จะวัดได้

เมื่อด้านหนึ่งของอิเล็กโตรดเคลื่อนที่ได้ แรงที่กระทำบนอิเล็กโตรดนั้นก็จะสามารถวัดได้โดยวัดการยืดของสปริงในกรณีวัดแรงสูงนั้นส่วนที่เคลื่อนที่เพียงเล็กน้อยก็สามารถวัดขนาดแรงดันได้ เนื่องจากแรงที่เกิดขึ้นเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับกำลังสองของแรงดันที่ป้อนระหว่างแผ่นระนาบจึงเป็นการวัด rms. ถ้ามีตัวชี้สำหรับอ่านค่าแรงดันโดยตรงจะต้องมีการแบ่งเทียบมาตรฐาน (Calibration)

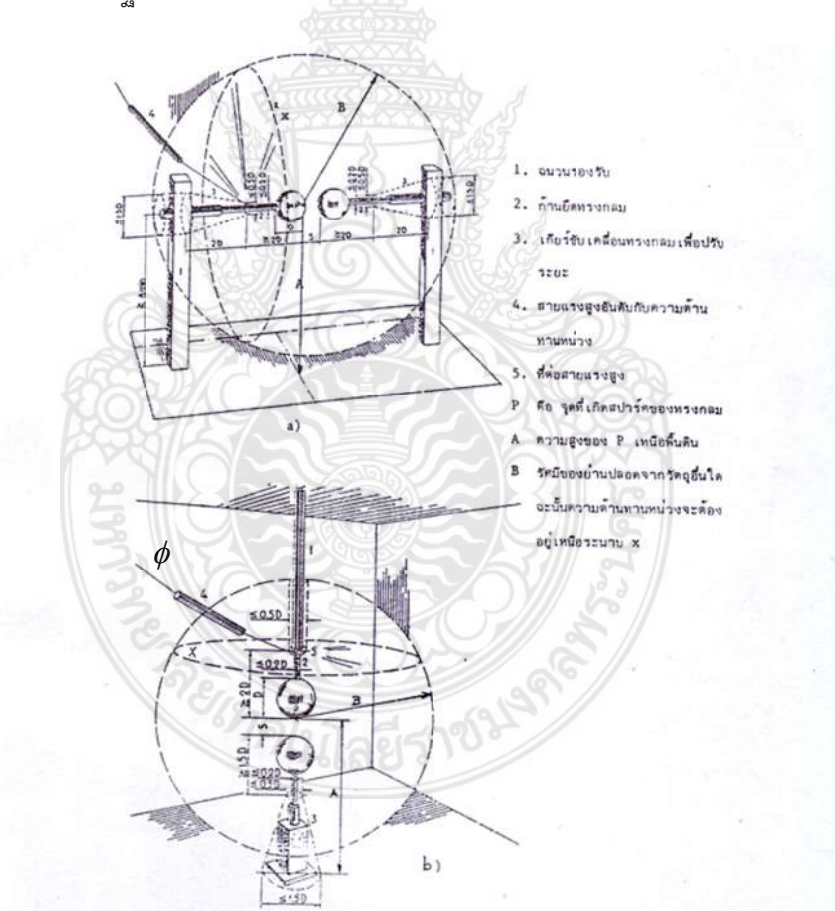
2. Sphere gap

การวัดแรงดันสูงด้วย Sphere gap เป็นวิธีที่ง่ายและมีความแน่นอนเชื่อถือได้ การเกิดสปาร์ค หรือเบรคดาวน์ระหว่างทรงกลมโลหะที่วางอยู่ในอากาศหรือก๊าซ ซึ่งเป็นไปตามกฎการเกิดดีสชาร์จของก๊าซ คือ สปาร์ค หรือเบรคดาวน์จะเกิดขึ้นเมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าถึงค่าหนึ่ง นั่นก็คือจะเกิดเบรคดาวน์ขึ้นเมื่อแรงดันสูงถึงค่าหนึ่งเป็นค่าแรงดันสถิติ (Statistic breakdown voltage) ที่ทราบค่าความคลาดเคลื่อนแน่นอนทำซ้ำเดิมได้ ค่าแรงดันที่ทำให้เกิดสปาร์คหรือเบรคดาวน์นั้นขึ้นอยู่กับความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของอากาศ หรือก๊าซ ระยะห่างระหว่างทรงกลมและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมนั้น คือ

$$U_b = f(d, D, \delta)$$

เมื่อ U_b = แรงดันที่ทำให้เกิดสปาร์ค
 d = ระยะช่องว่างระหว่างทรงกลม
 D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลม
 δ = ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของอากาศขึ้นอยู่กับความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ

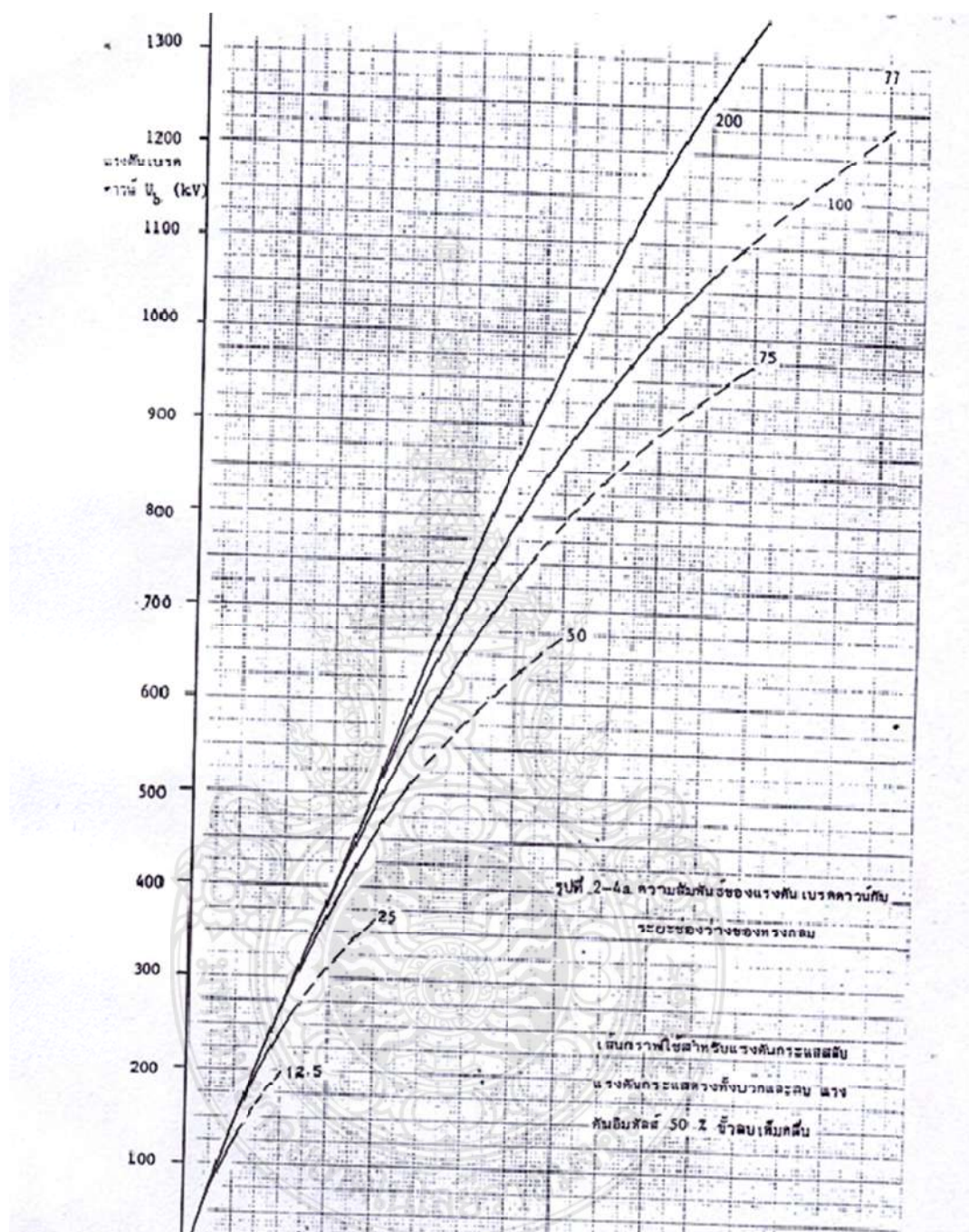
ตามมาตรฐานสากล IEC No.52 จะกำหนดค่าแรงดันเบรคดาวน์ของอากาศระหว่างทรงกลมไว้ที่สภาวะมาตรฐาน คือ ความดันอากาศ 760 มม.ปรอท และอุณหภูมิ 20°C ฉะนั้นค่าแรงดันเบรคดาวน์ที่วัดได้ที่มีความดันใด อุณหภูมิใดเมื่อจะเทียบกับค่ามาตรฐาน จะต้องแปลงที่วัดได้ไปเป็นค่าที่สภาวะมาตรฐาน



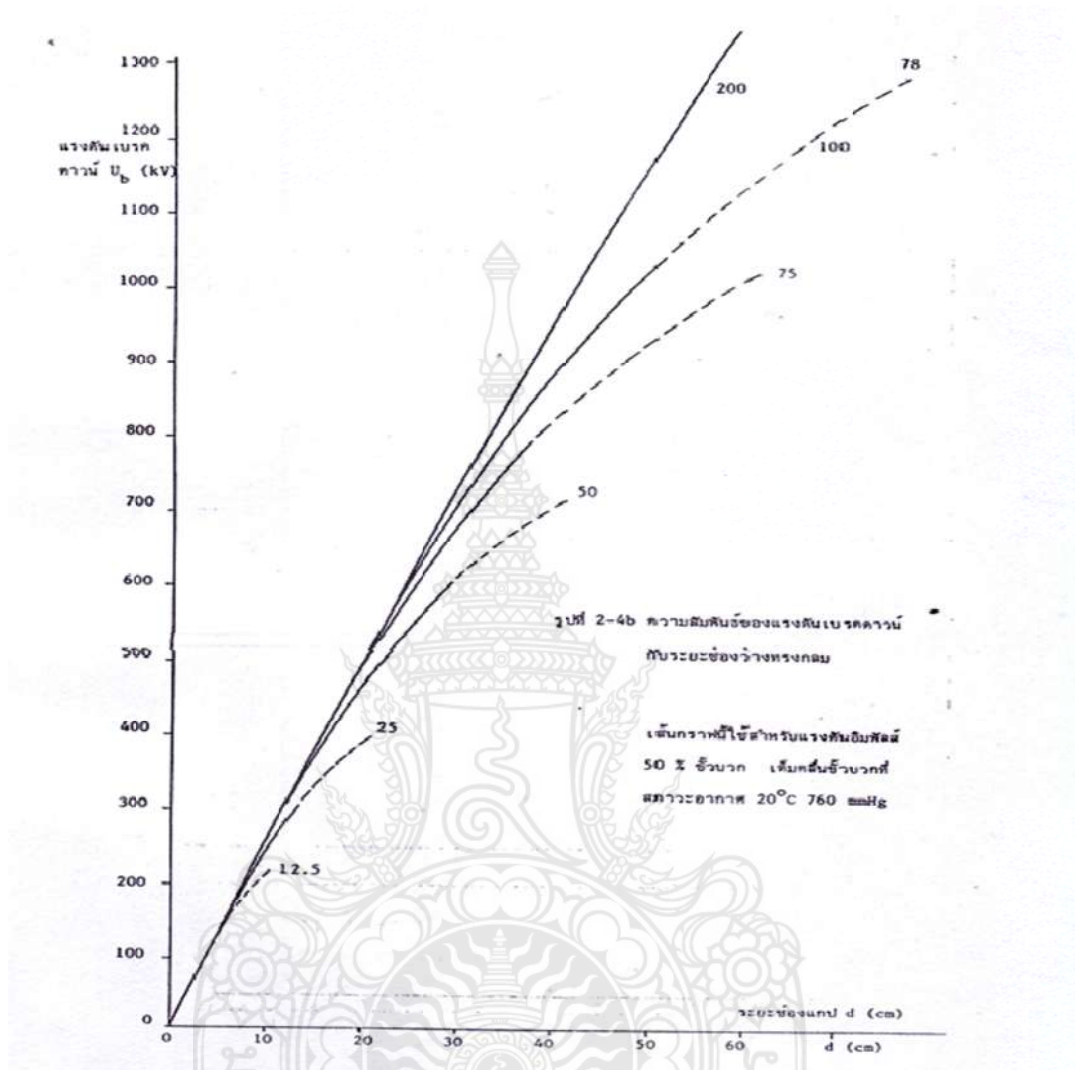
ภาพที่ 2.6 การติดตั้งช่องว่างทรงกลมวัดแรงดัน

a) ทรงกลมเล็กกว่า 25 cm. ϕ

b) ทรงกลมใหญ่กว่า 25 cm. ϕ



ภาพที่ 2.7 (a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันเบรคควานกับระยะช่องว่างทรงกลม



ภาพที่ 2.7 (b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันเบรคความถี่กับระยะช่องว่างทรงกลม

2.18 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

วิธีการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานชีวมวล กับพลังงานก๊าซชีวภาพ ในปัจจุบันยังประสบปัญหาในด้านการปล่อยน้ำเสียที่คุณภาพต่ำ เนื่องจากระบบบำบัดน้ำที่ใช้ในระบบยังไม่ค่อยมีประสิทธิภาพดีตามเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำน้ำชี้เข้าจากเผาไหม้ของเจ้าทลายปาล์มที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานชีวมวลมาหมักเป็นก๊าซมีเทนเพื่อใช้ก๊าซชีวภาพมาใช้ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานก๊าซชีวภาพอีกครั้ง จะทำให้น้ำเสียที่สูบออกจากบ่อหมักก๊าซมีเทนคุณภาพต่ำมาก และต้องนำมาทำการบำบัดน้ำให้มีคุณภาพตามเกณฑ์ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ก่อนที่จะปล่อยทิ้งออกจากโรงไฟฟ้า ปัญหาการนำน้ำที่คุณภาพต่ำหรือขาดการบำบัดให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจึงทำให้สิ่งแวดล้อมได้รับผลกระทบโดยตรงและเป็นที่มาที่จะต้องวิเคราะห์น้ำเสียที่คุณภาพต่ำเพื่อนำไปสู่การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้าแรงดันสูงต่อไปในอนาคต

2.19 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากในปัจจุบันมีการเติบโตในด้านธุรกิจและอุตสาหกรรมต่อเนื่องจึงทำให้มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งในการพัฒนาธุรกิจและอุตสาหกรรมในประเทศ ดังนั้นระบบไฟฟ้าจะต้องมีเสถียรภาพสูงมีความมั่นคงทางไฟฟ้าและมีความเชื่อถือได้ การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือกหรือพลังงานชีวมวล หรือพลังงานก๊าซชีวภาพ (มีเทน) จึงถือว่าการประยุกต์วัสดุที่เหลือใช้จากการแปรรูปทางการเกษตรนำมาสู่การใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า

เป็นการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยการป้อนความถี่และวิเคราะห์ผลตอบสนองของความถี่ (Frequency Response Analysis, FRA) ซึ่งใช้วงจรสมมูลไฟฟ้าของหม้อแปลงที่แทนด้วยค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้า ตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทาน ตามรูป 2.8



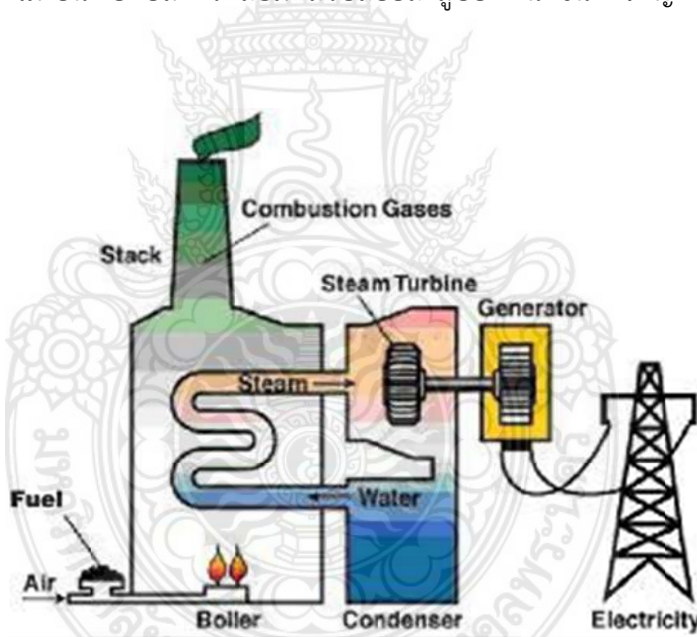
ภาพที่ 2.8 ภาพวัตถุดิบจากเหง้าทลายปาล์มที่นำออกจากกระบวนการสกัดเป็นน้ำมันปาล์ม
กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวล และพลังงานก๊าซชีวภาพ (มีเทน)

พลังงานชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ทุกรูปแบบที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ และสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานได้ โดยไม่นับการกลายเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลไปแล้ว โดยมากมาจากกากหรือเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เช่น แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย ใบและยอดอ้อย เศษไม้ เส้นใยและกะลาปาล์ม กากมันสำปะหลัง ชังข้าวโพด กาบและกะลามะพร้าว หรือแม้กระทั่งมูลสัตว์ต่างๆ ฯลฯ



ภาพที่ 2.9 โรงงานไฟฟ้าพลังงานชีวมวล

โรงไฟฟ้าชีวมวล คือ โรงไฟฟ้าที่ใช้เศษวัสดุต่างๆ ที่เป็นชีวมวล เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า หรือผลิตไอน้ำ ซึ่งอาจเป็นวัสดุชนิดเดียวกันหรือหลายชนิดรวมกัน เช่น โรงน้ำตาลใช้กากอ้อยที่ได้จากการหีบอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า โรงสีขนาดใหญ่ที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้า การใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) จากการหมักน้ำเสีย (ที่ได้มาจากระบบการผลิตทางอุตสาหกรรม) หรือมูลสัตว์ (จากฟาร์มเลี้ยงสัตว์) มาผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีหลักการทำงานในทำนองเดียวกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนทั่วไป ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจะเริ่มด้วยการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งผ่านการกรองแล้วเข้าสู่เครื่องผลิตไอน้ำ ขณะที่ชีวมวลต่างๆ ถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องบดเพื่อบดให้ละเอียด ก่อนส่งไปเข้าเตาเผาเพื่อให้เกิดความร้อนในระดับสูง ความร้อนที่ได้จะช่วยให้ไอน้ำในเครื่องผลิตไอน้ำกลายเป็นไอ ไอน้ำแรงดันสูงนี้ทำหน้าที่หมุนกังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกทีทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ไอน้ำที่ใช้ในการหมุนกังหันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะผ่านกระบวนการควบแน่นให้กลับมาเป็นน้ำและนำมาใช้หมุนเวียนหลายครั้ง จนสุดท้ายจึงถูกปรับคุณภาพให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานซึ่งไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมแล้วปล่อยลงสู่บ่อกักน้ำขนาดใหญ่ เพื่อให้ระเหยหายไปเองตามธรรมชาติ



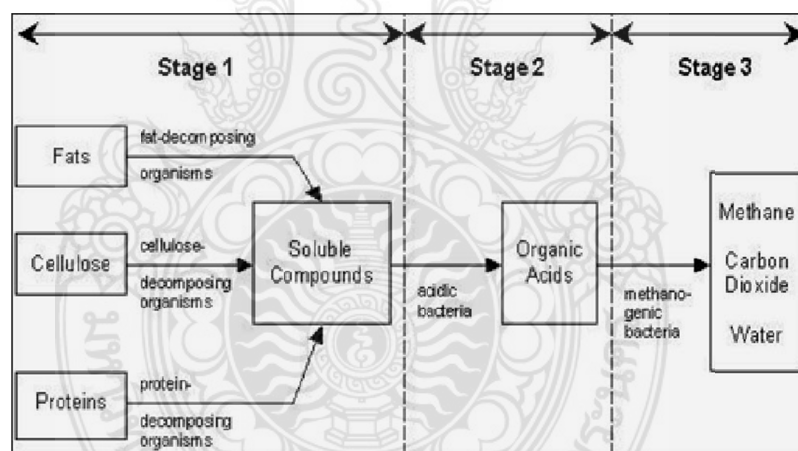
ภาพที่ 2.10 โครงสร้างของโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล

แก๊สชีวภาพ คือ แก๊สที่เกิดขึ้นจากผลของการหมักย่อยอินทรีย์สาร เช่น มูลสัตว์ทุกชนิด วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ตลอดจนน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยอินทรีย์สารจะถูกหมัก และย่อยสลายด้วยเชื้อจุลินทรีย์ในสภาพไม่มีอากาศภายใต้อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม ทำให้เกิดแก๊สขึ้น ซึ่งแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นแก๊สที่มีส่วนผสมระหว่างแก๊สชนิดต่างๆ ซึ่งมีคุณสมบัติติดไฟได้ สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้ประโยชน์ในการหุงต้ม ให้แสงสว่าง หรือนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิต

กระแสไฟฟ้า เช่นเดียวกับแก๊สเหลวที่บรรจุถังจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้านั้น สามารถใช้ได้ทั้งเครื่องยนต์เบนซิน, เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลง และเครื่องยนต์ที่ผลิตมาเพื่อใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงโดยเฉพาะ ทั้งนี้เครื่องยนต์เบนซินสามารถใช้ได้โดยไม่ต้องผ่านการดัดแปลงใดๆ แต่เครื่องยนต์เบนซินเป็นเครื่องยนต์ที่มีรอบการทำงานสูง สิ้นเปลืองพลังงาน ผลิตไฟฟ้าได้ไม่มาก และการสึกหรอสูงมาก จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องยนต์จำนวนมาก ส่วนเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงนั้นจะมีขนาดใหญ่ใช้รอบต่ำ ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน สามารถผลิตไฟฟ้าได้จำนวนมากๆ และยังมีการสึกหรอต่ำอีกด้วย ส่วนเครื่องยนต์ที่ผลิตมาเพื่อใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงโดยเฉพาะจะมีความทนทานสูง มีค่าบำรุงรักษาต่ำ ให้ประสิทธิภาพในการใช้งานสูงแต่จะมีราคาสูงตามคุณภาพด้วย

กระบวนการการเกิดแก๊สชีวภาพ

แก๊สชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ (ไร้ออกซิเจน) โดยกลุ่มแบคทีเรียชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายและเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ให้กลายเป็นแก๊สชีวภาพ



ภาพที่ 2.11 กระบวนการหมักย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ

กระบวนการทั้งหมดในการสร้างแก๊สชีวภาพ สามารถแบ่งเป็นสามขั้นตอน คือ การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis) การแปรสภาพเป็นกรด (Acidification) และการเกิดก๊าซมีเทน (Methane Formation)

1) ขั้นตอนแรกการย่อยสลายสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายภายนอกโดยสารเร่งปฏิกิริยาเคมีที่มีขนาดเล็กที่เติมเข้าไป เช่น เซลลูเลส อะมีเลส โปรติเอส และไลเปส แบคทีเรียทำให้ห่วงโซ่ที่ซับซ้อนของสารประกอบคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันมีขนาดเล็กลง ยกตัวอย่าง เช่น โพลีซัคคาไรด์ (Polysaccharides) เปลี่ยนเป็น โมโนซัคคาไรด์ (Monosaccharides) การแยกโปรตีนออกเป็นเปปไทด์ และกรดอะมิโน เป็นต้น

2) ขั้นตอนที่สอง การแปรสภาพเป็นกรด

เป็นการทำงานของแบคทีเรียที่สร้างกรด โดยทำหน้าที่เปลี่ยนสารตัวกลางโดยแบคทีเรียของกระบวนการหมักให้เป็นกรดอะซีติก (CH_3COOH) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แบคทีเรียเหล่านี้อยู่ในสภาพไร้อากาศและสามารถเติบโตในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด

3) ขั้นตอนที่สาม การเกิดแก๊สมีเทน

เป็นขั้นตอนที่แบคทีเรียทำให้เกิดก๊าซมีเทนโดยการย่อยสลายสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ตัวอย่างคือ แบคทีเรียใช้แก๊สไฮโดรเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และกรดอะซีติก เพื่อทำให้เกิดก๊าซมีเทน (CH_4) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ทำให้เกิดแก๊สชีวภาพนี้เป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่สามารถสังเกตเห็นได้โดยทั่วไป เช่น ในโคลนตมของหนองน้ำ คลอง บึง นาข้าว กระจาเสี้ยวเคี้ยวเอื้อง (วัว ควาย แพะ) ท่อระบายน้ำชุมชน บ่อพักน้ำ ฟาร์มปศุสัตว์ และบ่อน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร เป็นต้น

องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ

แก๊สชีวภาพ จะมีก๊าซที่เป็นองค์ประกอบหลักอยู่ 2 ชนิด คือ แก๊สมีเทน (CH_4) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในอัตราส่วนประมาณ 50-75% และ 25-50% ตามลำดับ และมีแก๊สอื่นๆปะปนในปริมาณเล็กน้อย ประมาณ 1-2% เช่น แก๊สไนโตรเจน (N_2) ไฮโดรเจน (H_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นต้น ทั้งนี้สภาวะของกระบวนการหมักย่อย และลักษณะสมบัติของน้ำเสียจะมีผลทำให้อัตราส่วนประกอบของแก๊สชีวภาพมีความแตกต่างกัน

ประโยชน์ของแก๊สชีวภาพ

การที่มีแก๊สมีเทนเป็นองค์ประกอบหลักในแก๊สแก๊สชีวภาพคล้ายคลึงกับแก๊สธรรมชาติ จึงทำให้แก๊สชีวภาพนั้นสามารถจุดติดไฟและเผาไหม้ได้แบบเดียวกับก๊าซธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้แก๊สชีวภาพสามารถใช้ทดแทน ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซหุงต้ม และน้ำมันเชื้อเพลิง รวมถึงเชื้อเพลิงฟอสซิลชนิดอื่นๆได้เป็นอย่างดี เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิง ใช้ในการเผาไหม้ให้ความร้อน ใช้แทนน้ำมันเตาในหม้อต้มไอน้ำใช้เดินเครื่องยนต์สันดาปภายใน รวมถึงใช้เดินเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า

ผลผลิตที่ได้จากการผลิตแก๊สชีวภาพ

1) ปุ๋ยอินทรีย์ (Bio-fertilizer) กากตะกอน และ/หรือ อินทรีย์วัตถุที่ผ่านการหมักย่อยแล้ว จะกลายเป็นปุ๋ยชีวภาพที่ไม่มีกลิ่นเหม็น และอุดมไปด้วยธาตุอาหารพืช รวมทั้งยังช่วยปรับปรุงสภาพดิน ให้มีความโปร่งพรุนที่พร้อมจะดูดซับธาตุอาหารและน้ำได้ดี

2) น้ำที่ผ่านการบำบัด (Treated water) น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว สามารถนำกลับมาใช้สำหรับการเพาะปลูก ชลประทาน และ/หรือ ทำความสะอาด บริเวณต่างๆ ได้

3) โรงไฟฟ้าแก๊สชีวภาพ

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแก๊สชีวภาพ

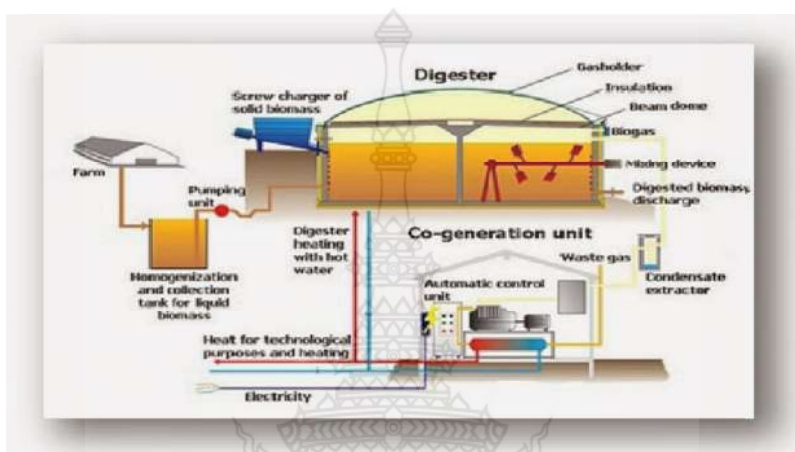


ภาพที่ 2.12 โรงไฟฟ้าแก๊สชีวภาพ

แก๊สชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากชีวมวลที่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โดยมีอุณหภูมิ ความชื้น และความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสม แก๊สที่เกิดขึ้นเป็นก๊าซผสมกันหลายชนิด ได้แก่ แก๊สมีเทน (CH_4) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สไนโตรเจน (N_2) และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) แต่ส่วนใหญ่แล้วจะประกอบด้วยก๊าซมีเทนเป็นหลักซึ่งมีคุณสมบัติติดไฟได้ แก๊สเหล่านี้สามารถพบได้ในการบำบัดน้ำเสียจากครัวเรือน โรงงานผลิตแอลกอฮอล์ โรงงานกำจัดขยะ โรงงานผลิตกรดมะนาว โรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง โรงงานข้าวโพด โรงงานน้ำมันปาล์ม ฟาร์มเลี้ยงสุกร โรงฆ่าสัตว์ ซึ่งน้ำเสียจากแหล่งเหล่านี้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้จำนวนมาก และนับเป็นพลังงานที่สามารถนำมาใช้ทดแทนหรือใช้ร่วมกับพลังงานอื่นที่ราคาแพงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้ความร้อนที่เกิดขึ้นยังนำไปใช้ให้ความร้อนกับหม้อน้ำ (Boiler) อบแห้งหรือนำไปใช้โดยตรงในชีวิตประจำวัน อาทิ เช่น ใช้เป็นแหล่งพลังงานของระบบปรับอากาศ เป็นต้น ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งกับภาวะขาดแคลนพลังงานในปัจจุบัน และถือได้ว่าเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญชนิดหนึ่ง

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแก๊สชีวภาพ สามารถทำได้ด้วยวิธีหลักๆ 3 วิธีกล่าว คือ

- (1) ระบบกังหันไอน้ำ
- (2) ระบบกังหันแก๊สเดินคู่กับระบบกังหันไอน้ำ
- (3) ระบบเครื่องยนต์แก๊สสันดาปภายใน



ภาพที่ 2.13 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแก๊สชีวภาพ

- (1) การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบกังหันไอน้ำ

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไป โดยระบบกังหันไอน้ำแต่ละระบบจะต่างกันตรงชนิดเชื้อเพลิงที่นำมาเผาให้ความร้อนแก่หม้อน้ำเท่านั้น ระบบนี้เป็นการนำก๊าซชีวภาพมาเผาเพื่อต้มน้ำในหม้อน้ำโดยตรงให้กลายเป็นไอน้ำ จากนั้นใช้ไอน้ำไปหมุนกังหันไอน้ำที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกทอดหนึ่ง อุปกรณ์หลักประกอบด้วย เตาเผาก๊าซชีวภาพ , หม้อน้ำ (Boiler) , ระบบจ่ายน้ำและบำบัดน้ำ , เครื่องควบแน่น (Condenser) , หอหล่อเย็น (Cooling Tower) , กังหันไอน้ำ (Turbine) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญที่ซับซ้อนหลายชนิด

จุดเด่นของระบบ คุณภาพและความดันของแก๊สชีวภาพที่ไม่จำเป็นต้องสูงมากนัก สิ่งที่ต้องระวัง ก็คือ อย่าให้การเผาแก๊สก่อความเสียหายแก่เตาเผาการจัดการกับแก๊สในระบบนี้ทำได้ง่าย

จุดด้อยของระบบ ระบบนี้มีความซับซ้อนมาก ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง การติดตั้งต้องใช้เวลานาน และใช้พื้นที่มาก การเคลื่อนย้ายระบบทำได้ลำบาก ปริมาณน้ำที่ใช้สูง ใช้แรงงานในการจัดการมาก และประสิทธิภาพของระบบต่ำอยู่ที่ประมาณ 15 %

- (2) การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบกังหันก๊าซเดินคู่กับระบบกังหันไอน้ำ

วิธีนี้จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด หลักการทำงาน ก็คือ ใช้ระบบกังหันก๊าซชนิดเดียวกับที่ใช้ในเครื่องบินไอพ่น โดยอัดอากาศผ่านเครื่องอัดความดันสูง แล้วนำอากาศความดันสูงที่ได้มาเผา

ร่วมกับก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้ ซึ่งทำให้ก๊าซที่เผาไหม้แล้วเกิดการขยายตัวทันที กลายเป็นพลังงานไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากก๊าซเสีย (ก๊าซผสม ที่ปล่อยทิ้ง) มีอุณหภูมิสูงถึง 450–550 องศา ดังนั้น จึงสามารถนำไปใช้ให้ความร้อนแก่มือน้ำ เพื่อไปหมุนกังหันไอน้ำที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อีกทอดหนึ่ง ระบบนี้ให้ประสิทธิภาพโดยรวมประมาณ 30 %

จุดเด่นของระบบ การทำงานของระบบมีความแน่นอนเชื่อถือได้ เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพของก๊าซชีวภาพ แม้จะมีกำมะถันและสิ่งอื่นเจือปนอยู่บ้างก็ไม่ใช่ปัญหา เนื่องจากระบบกังหันก๊าซมีประสิทธิภาพสูง แต่ขนาดไม่ใหญ่ สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ดังนั้น จึงเหมาะกับโครงการก๊าซชีวภาพที่ไม่มีความแน่นอนในเรื่องวัตถุดิบที่นำมาทำเชื้อเพลิง (ทั้งนี้ยังไม่รวมส่วนของระบบกังหันไอน้ำที่ใช้ก๊าซเสียจากระบบกังหันก๊าซเป็นแหล่งความร้อน)

จุดด้อยของระบบ ใช้พลังงานสูงในกระบวนการผลิตไฟฟ้า โดยเฉพาะระบบกังหันก๊าซ ซึ่งแม้จะมีประสิทธิภาพสูง แต่ก็ต้องการพลังงานสูงเช่นกันในการอัดก๊าซผสมจำนวนมาก ทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ได้ลดลงถึง 15–20 % เมื่อรวมกับพลังงานไฟฟ้าจากระบบกังหันไอน้ำส่งผลให้ประสิทธิภาพต่ำลง 10–15 % นอกจากนี้ยังมีข้อเสียอื่นๆ ของระบบกังหันไอน้ำเช่นเดียวกับวิธีที่ใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยระบบกังหันไอน้ำ

(3) การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบเครื่องยนต์แก๊สสันดาปภายใน

เครื่องยนต์สันดาปภายในเครื่องแรกที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง ผลิตขึ้นในปี ค.ศ. 1876 ที่ประเทศเยอรมนี ต่อมาอีก 10 ปี เครื่องยนต์สันดาปภายใน 4 จังหวะที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงได้ถือกำเนิดขึ้นที่เยอรมันเช่นกัน สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ก๊าซธรรมชาติและใช้ก๊าซชีวภาพนั้น การทำงานของเครื่องยนต์จะมีลักษณะเหมือนกับการทำงานของเครื่องยนต์ในรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน ซึ่งต้องมีการจุดระเบิดโดยใช้หัวเทียน แต่มีส่วนประกอบหรือชิ้นส่วนต่างๆ เหมือนกับเครื่องยนต์ดีเซลมากกว่า โดยก๊าซที่เผาไหม้ในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ก๊าซสันดาปภายในที่จุดศูนย์กลาง อาจมีอุณหภูมิสูงถึง 1,400 องศา ทำให้ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบนี้สูงกว่าระบบที่ใช้กังหันก๊าซเดินคู่กับระบบกังหันไอน้ำโดยมีค่าอยู่ที่ 32–40 % และค่าเฉลี่ยทั่วไปจะอยู่ที่ 35%

จุดเด่นของระบบ

1) คุณภาพของแก๊สไม่จำเป็นต้องสูงมากนัก และไม่ต้องเพิ่มความดันให้กับก๊าซที่นำมาใช้ ถ้าปริมาณ H_2S ในก๊าซชีวภาพไม่เกิน 200 mg./cc.m. ก็สามารถนำมาใช้ได้โดยตรง

2) ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงถึง 32–40 % หากนำความร้อนจากไอเสียมาใช้ให้เป็นประโยชน์ โดยทำน้ำร้อนและน้ำเย็นเพื่อใช้เป็นระบบปรับอากาศ อาจจะได้ประสิทธิภาพสูงถึง 80 %

3) การสูญเสียพลังงานในระบบการผลิตมีน้อย ปริมาณน้ำที่ใช้ไม่มาก พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตประมาณ 2-4 %

4) ค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ การติดตั้งใช้เวลาสั้น เครื่องยนต์ก๊าซสันดาปภายในใช้เทคโนโลยีไม่สูง ส่วนประกอบของเครื่องยนต์ 80% เหมือนกับเครื่องยนต์ดีเซล การซ่อมบำรุงรักษาทำได้ง่าย การรื้อถอนและขนย้ายทำได้สะดวก

5) สามารถสร้างได้ตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึง 10 MW

มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

พารามิเตอร์	มาตรฐาน
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5 -9.0
2. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) *	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ของแข็งแขวนลอย(Suspended Solids) **	ไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร
6. ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

ตารางที่ 1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน



ภาพที่ 2.14 สภาพน้ำเสียที่ออกจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพจากชี้เถ้าเห้างหลายปาล์ม

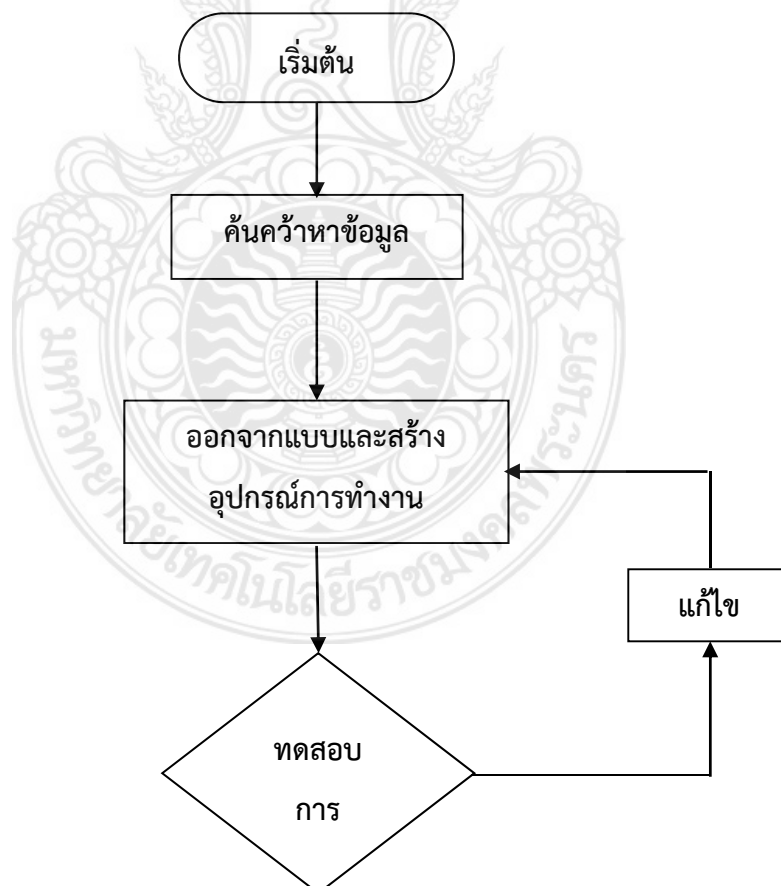
บทที่ 3

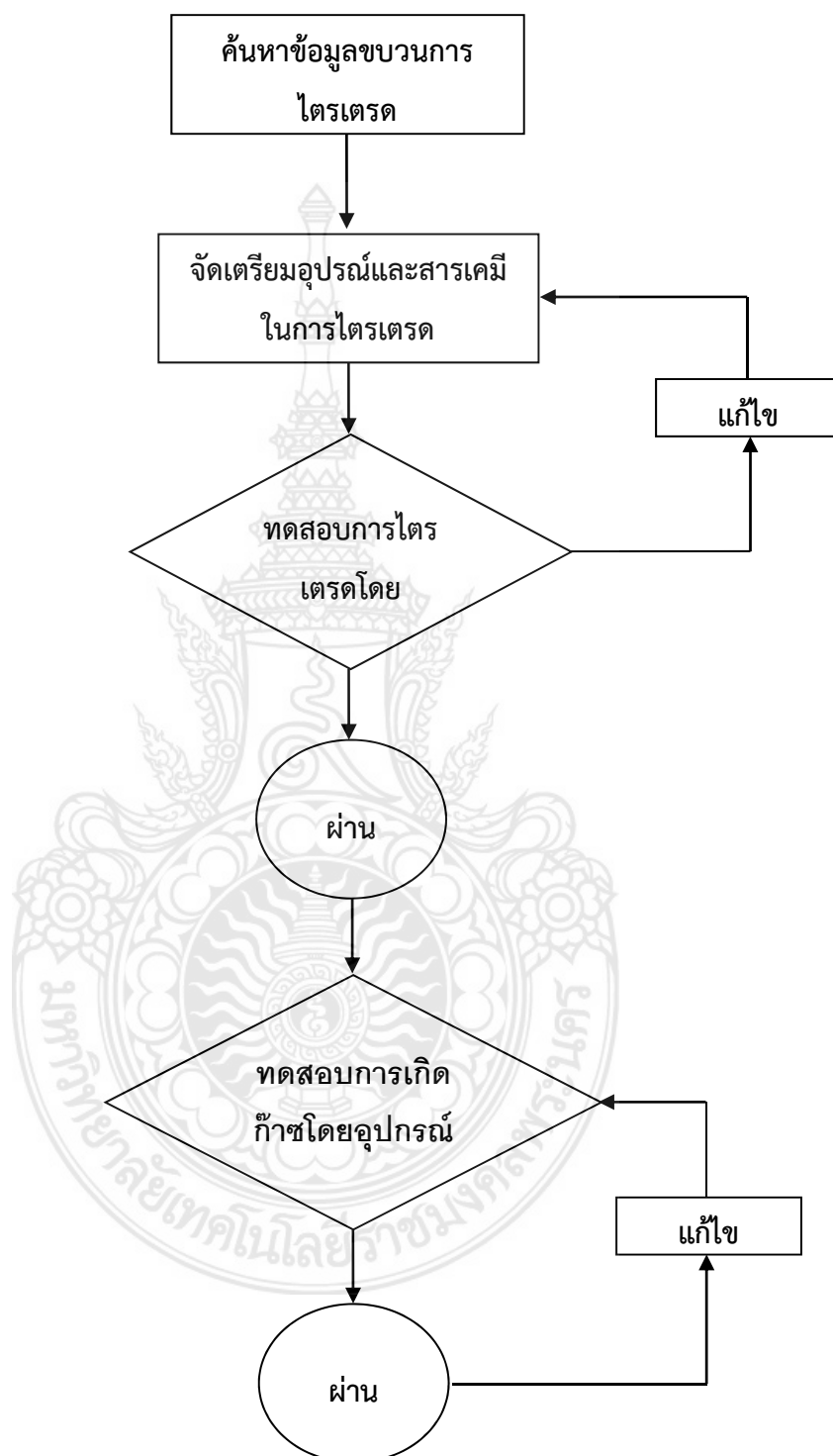
วิธีดำเนินการ

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

สำหรับการออกแบบเครื่องกำเนิดโอโซนนั้นจะใช้หลักการของโคโรนาดีสชาร์จ เพื่อนำเอาโอโซนไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ลักษณะการสร้างโอโซนจะอัดอากาศที่มีก๊าซออกซิเจนไหลผ่านช่องว่างไดอิเล็กตริกในสถานะที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูง ทำให้ก๊าซออกซิเจน (O_2) เกิดการแตกตัวเป็น (O) และเมื่อมีอากาศผ่านเข้ามาก็จะเกิดการรวมตัวกลายเป็นโอโซน (O_3) โดยมีไดอะแกรมขั้นตอนการทำงานดังนี้ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

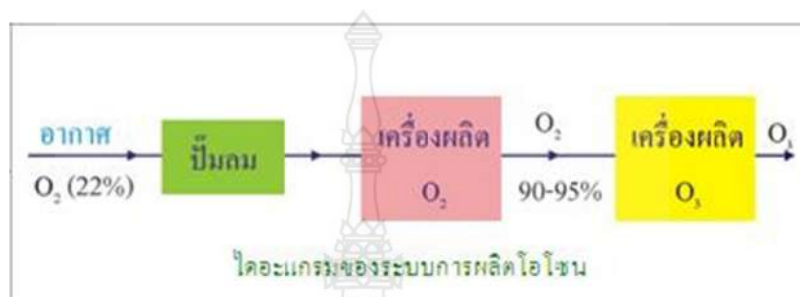
ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการทำงาน





3.2 การออกแบบเครื่องกำเนิดโอโซน

ในการออกแบบเครื่องกำเนิดโอโซนจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ โดยในการออกแบบในแต่ละส่วนต้องคำนึงให้แต่ละส่วนสามารถนำมาประกอบกันได้พอดี การทำงานของเครื่องกำเนิดโอโซนโดยใช้โคโรนาดีสชาร์จสามารถจำแนกส่วนประกอบแต่ละส่วน ดังนี้



ภาพที่ 3.1 ไดอะแกรมของระบบการผลิตโอโซน

3.3 การออกแบบชุดเข็มไดอิเล็กตริก

หลอดไดอิเล็กตริก ประกอบไปด้วยท่อสแตนเลส แปรงทองเหลือง Supper Lean ครอบหัวท้าย เป็นการสร้างปรากฏการณ์โคโรนาดีสชาร์จที่ปลายเข็มจากความเครียดสนามไฟฟ้า แรงดันสูงขนาด 15 kV เป็นส่วนสำคัญในการทำงานของเครื่องนี้ โดยอากาศจะถูกอัดจากปั๊มลมซึ่งมีความร้อนและไหลผ่านท่อมายังหลอดไดอิเล็กตริกผ่าน (ท่อสแตนเลส) ช่องว่างไดอิเล็กตริกที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าทำให้เกิดก๊าซโอโซนบริเวณนั้น



ภาพที่ 3.2 หลอดผลิตโอโซน

หลอดผลิตโอโซน

หลอดผลิตโอโซน ประกอบด้วยท่อทรงกระบอก 2 ชั้น ชั้นนอกสุดทำด้วยสแตนเลสหรืออะลูมิเนียม ชั้นที่ 2 เป็นท่อแก้วไฟเร็กซ์ ส่วนที่ 3 เป็นแท่งอิเล็กโทรดซึ่งเป็นชั้นในสุดสำหรับขนาดของท่อและความยาวของหลอดจะเป็นตัวกำหนดความเข้มของโอโซนที่หลอดผลิตได้อื่นๆ ดังนี้



ภาพที่ 3.3 Supper Lean



ภาพที่ 3.4 หลอดแก้ว



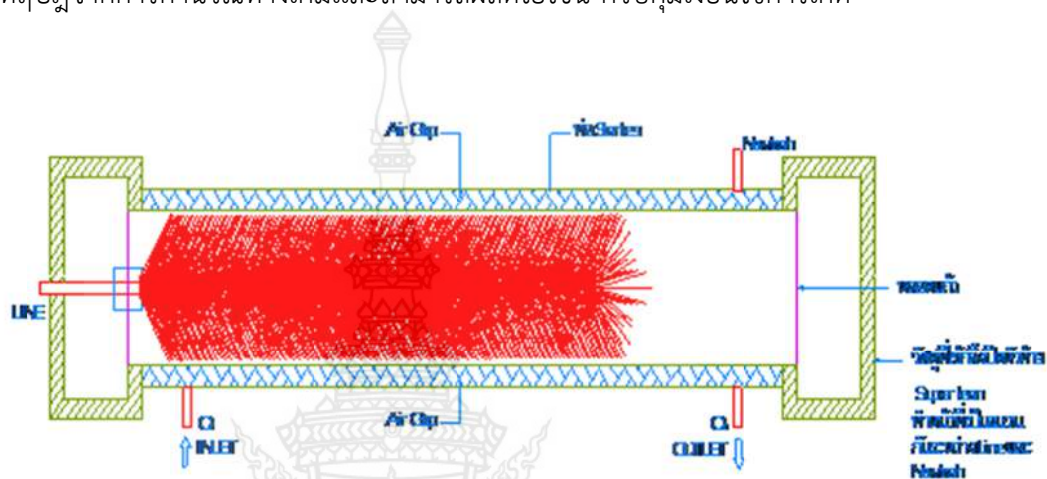
ภาพที่ 3.5 หลอดสแตนเลส



ภาพที่ 3.6 การนำอุปกรณ์มาประกอบกัน

3.4 การออกแบบอิเล็กทรอนิกส์

เป็นขั้นตอนการออกแบบเครื่องกำเนิดโอโซน เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานป้อน และความต้องการพลังงานของปฏิกิริยาเคมีในการผลิตโอโซน ส่วนการออกแบบอยู่บนพื้นฐานของการศึกษาลักษณะสนามไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับการแตกตัวของก๊าซ เพื่อพิสูจน์ทฤษฎีจากการคำนวณทางเคมีและสามารถผลิตโอโซน ควบคุมเงื่อนไขการเกิด



ภาพที่ 3.7 หลักการทำงานของหลอดผลิตโอโซน



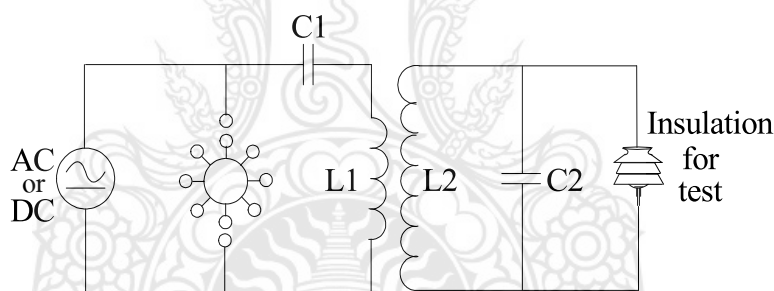
ภาพที่ 3.8 หลักการทำงานของหลอดผลิตโอโซนสามารถแสดงได้โดยภาพตัดขวางในรูป

3.5 หลักการเกิดโอโซน

หลักการเกิดโคโรนาดีสชาร์จจากการผลิตแรงดันสูง 10-15 kV ความถี่ 15-20 kHz จ่ายให้กับ อิเล็กโตรดและขนแปรงภายในหลอดแก้วขึ้นในสร้างคามเครียดสนามไฟฟ้าทำให้เกิดโคโรนาดีสชาร์จ ที่ผิวของแก้วโดยหลอดสแตนเลสชั้นนอกต่อกราวด์ โดยอากาศจะไหลผ่านช่องไดอิเล็กตริก สนามไฟฟ้าจะกระทำให้โมเลกุลออกซิเจน (O_2) ในอากาศเกิดการแตกตัว และโมเลกุลของก๊าซเกิดการรวมตัวกันใหม่เป็นโอโซน (O_3) งานวิจัยนี้สามารถผลิตก๊าซโอโซนในปริมาณเฉลี่ย 100 ppm./hr. โดยมาตรฐานของก๊าซโอโซน

จากทฤษฎีพื้นฐานของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงจะนำไปใช้ในการออกแบบหม้อแปลง ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญหลายส่วน ดังนี้ หม้อแปลงจ่ายแรงดันด้านแรงดันต่ำ ตัวเก็บประจุด้านแรงดันต่ำ ขดลวดทางด้านแรงดันต่ำ ขดลวดทางด้านแรงดันสูง ชุดสปาร์คแกป ซึ่งส่วนประกอบทั้งหมดจะถูกประกอบรวมอยู่บนฐานรองที่สามารถเคลื่อนที่ได้สะดวก

3.5.1 เงื่อนไขการออกแบบ



ภาพที่ 3.9 วงจรสมมูลของหม้อแปลงแรงดันสูงและความถี่สูง

ในการออกแบบสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงเป็นสิ่งแรก คือ ขนาดของตัวเก็บประจุทางด้านแรงสูง C_2 ว่ามีค่าน้อยเพียงใด เนื่องจากค่าแรงดันและค่าของความถี่ด้านจ่ายออกจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อขนาดของโหลด C_2 มีการเปลี่ยนแปลงหม้อแปลงแรงดันสูงและความถี่สูงที่ต้องการออกแบบนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบลูกถ้วยไฟฟ้าฉนวนพอร์ซเลนที่มีการวาบไฟตามผิวที่ 50 Hz ได้ที่ 200 kV หรือคิดเป็นค่ายอดที่ประมาณ 280 kV และมีความถี่ตามที่มาตรฐานกำหนดไม่น้อยกว่า 100 kHz กำหนดพิกัดของหม้อแปลงแรงดันสูงและความถี่สูง ดังต่อไปนี้

แรงดันพิกัดด้านแรงดันสูง	350	kVrms
ความถี่พิกัด	120	kHz
แรงดันป้อนเข้า	0-15	kVrm

การออกแบบและจัดสร้างในส่วนของการจัดสร้างจะเริ่มต้นจากการหาค่าความจุไฟฟ้า คือ โหลด C_2 ซึ่งจะประกอบไปด้วย

ความจุไฟฟ้าของลูกถ้วยมีค่าอยู่ในช่วง 10–50 pF

ความจุไฟฟ้าสเตร (Stray Capacitance) ของขดลวดแรงสูงมีค่าประมาณ 10 pF

ความจุไฟฟ้าของแกปทรงกลม (Sphere Gap) มีค่าประมาณ 5-10 pF

ความจุไฟฟ้าของหัวลวดความเครียดสนามไฟฟ้ามีค่าประมาณ 5-20 pF

โดยเมื่อคิดความจุของลูกถ้วยที่ค่าสูงสุด 50 pF เมื่อรวมความจุต่างๆ แล้วจะได้ค่าความจุ C_2 มีค่าประมาณ 90 pF

ในการพันขดลวดด้านแรงสูง ค่าความเหนี่ยวนำมีโอกาสผิดพลาดได้ เพื่อให้แน่ใจว่าจะได้ความถี่อยู่ในย่านที่กำหนด จึงเลือกความถี่ในการคำนวณครั้งแรกเป็น 120 kHz เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 3.1 จะเห็นว่า ถ้าพันลวดแล้วได้ความเหนี่ยวนำมากไป ความถี่จะต่ำลง ถ้าพันขดลวดแล้วได้ความเหนี่ยวนำน้อยไป จะไม่ทำให้เกิดปัญหาแต่อย่างใด จะได้ความถี่สูงขึ้นดังนั้นจากสมการที่ 3.1 เมื่อแทนค่า f_2 ที่ 200 kHz และผลรวมของโหลด C_2 เท่ากับ 90 pF จะได้

$$L_2 = \frac{1}{4\pi^2 \times (120\text{kHz})^2 \times (90\text{pF})} \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\cong 19.545 \text{ mH}$$

ค่าความเหนี่ยวนำทางด้านแรงดันสูง L_2 นี้จะเป็นเกณฑ์ประการหนึ่งในการออกแบบขดลวดแรงสูง โดยจะต้องหาขนาดของเส้นลวดที่จะนำมาพันขดลวดแรงสูง ซึ่งกำหนดด้วยความหนาแน่นของกระแส โดยคำนวณจากกระแสลัดวงจรของหม้อแปลงแรงดันสูงและความถี่สูง เมื่อใช้ทดสอบการเกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วย ซึ่งเปรียบเสมือนการลัดวงจรทางด้านแรงสูง ดังนั้นกระแสไหลในขดลวดแรงสูงจะถูกจำกัดด้วยอิมพีแดนซ์ของขดลวด สามารถคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรได้ ดังนี้

$$I_{SC} = \frac{V_{rms}}{Z} = \frac{V_{rms}}{2\pi f_2 L_2} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

แทนค่าจะได้

$$= \frac{350 \times 10^3}{2\pi \times 120 \times 10^3 \times 7.04 \times 10^{-3}}$$

$$= 23.7504 \text{ A}$$

แต่เนื่องจากกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะพัลส์ที่ไม่ต่อเนื่องตลอดคาบความถี่ของแรงดันที่ป้อนเข้าของหม้อแปลง (50 Hz) สัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นจะเกิดความกว้างประมาณครึ่งคาบของความถี่ 120 kHz (8.333 μ s) หลังจากครึ่งคาบเวลาผ่านไปแล้วกระแสที่ไหลผ่านขดลวดแรงสูงจะมีค่าเป็นศูนย์จนกว่าจะมีการสร้างแรงดันสูงขึ้นมาอีกครั้ง ถ้ามีพัลส์เกิดขึ้นทุกครั้งเมื่อแรงดันที่ป้อนเข้าเพิ่มขึ้นถึงค่ายอดความถี่ของพัลส์จะเป็น 100 Hz (10 ms) กระแสประสิทธิผลที่ไหลผ่านขดลวดแรงสูงจึงสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 I_{\text{eff}} &= I_{\text{sc}} \times \sqrt{\frac{\text{ช่วงเวลาที่มีกระแสตก}}{\text{ช่วงเวลาคาบ}}} & \dots\dots\dots(3.3) \\
 &= 23.7504 \times \sqrt{\frac{8.33 \mu\text{S}}{10\text{mS}}} \\
 &= 685.478 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

จากความหนาแน่นของกระแสที่ไหลผ่านขดลวด ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าประสิทธิภาพและอุณหภูมิที่เพิ่มและยอมรับได้ โดยทั่วไปทองแดงทั่วไปมีค่าเท่ากับ 2.5 A/mm² พื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดงจะหาได้จาก

$$A_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{eff}}}{J} \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 J &= \text{ความหนาแน่นของกระแส , A/mm}^2 \\
 I_{\text{eff}} &= \text{กระแสประสิทธิผล , A} \\
 A_{\text{eff}} &= \text{พื้นที่หน้าตัด , mm}^2
 \end{aligned}$$

แทนค่า

$$A_{\text{eff}} = \frac{714.896\text{mA}}{2.5\text{A/mm}^2}$$

$$= 0.274 \text{ mm}^2$$

หรือ

$$= 2.74 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$$

เมื่อคิดผลของสภาพนำเชิงผิว (Skin effect) ที่มีความลึกของสภาพนำเชิงผิว ซึ่งสามารถคำนวณความลึกของสภาพนำเชิงผิวได้จาก

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad \text{.....(3.5)}$$

เมื่อ	δ	=	ค่าความลึกของสภาพนำเชิงผิว
	σ	=	สภาพนำไฟฟ้าของตัวนำ ,mho/cm
	f	=	ความถี่ ,Hz
	μ	=	ค่าเบอมีอิลิตีของตัวนำ

ในกรณีของทองแดง $\sigma = 5.8 \times 10^9$ mho/cm ฉะนั้น

$$\delta_{CU} = \frac{6.62}{\sqrt{f}} \text{ cm} \quad \text{.....(3.6)}$$

และความถี่ที่ต้องการ คือ 120 kHz จะได้ค่า

$$\begin{aligned} \delta_{CU} &= \frac{6.62}{\sqrt{120 \times 10^3}} \\ &= 0.019 \text{ cm.} \end{aligned}$$

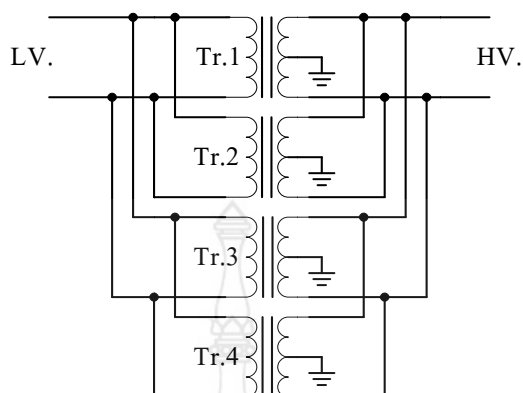
3.5.2 การเลือกหม้อแปลงจ่ายแรงดันด้านแรงดันต่ำ

ในการเลือกหม้อแปลงจ่ายแรงดันมีความสำคัญเนื่องจากจะเป็นตัวกำหนดค่าความจุของตัวเก็บประจุด้านแรงดันต่ำ ในโครงการนี้ได้เลือกใช้หม้อแปลงที่ใช้สำหรับจุดหลอดนีออน (Neon sign transformer) โดยมีขนาดพิกัด ดังนี้

Primary : 230 V 2.0 A

Secondary : 15,000 V 30 mA

450 VA 50Hz



ภาพที่ 3.10 วงจรการต่อหม้อแปลง 4 ตัว ขนานกัน

โดยที่นำเอาหม้อแปลงดังกล่าวจำนวน 4 ตัวมาขนานกัน เพื่อให้ได้กระแสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น เหตุผลว่าทำไมต้องนำเอาหม้อแปลงมาขนานกันจะกล่าวในหัวข้อถัดไปจากนั้นให้ทำการหาค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงทางด้านทุติยภูมิจากสมการที่ 3.7

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{V_{rms}}{I_{sc}} && \dots\dots\dots(3.7) \\
 &= \frac{1500 \text{ Vrms}}{120 \text{ mA}} \\
 &= 125 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$



ภาพที่ 3.11 หม้อแปลงจ่ายกำลังด้านแรงดันต่ำ

3.5.3 Current Probe

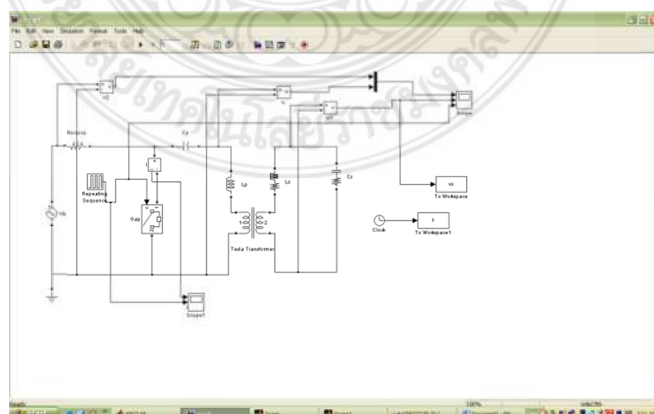
Current Probe เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจจับรูปคลื่นสัญญาณของกระแส การทำงานจะเหมือนกับ Current Transformer โดยจะมีตัวโพรบสำหรับนำไปคล้องกับวงจรที่ต้องการจะวัด ในการใช้งานจะต้องต่อร่วมกับ Oscilloscope ซึ่งชุด Current Probe ที่นำมาใช้งานเป็นของยี่ห้อ TEKTRONIX รุ่น TA 502A และตัวโพรบก็เป็นของยี่ห้อเดียวกันรุ่น A 6306



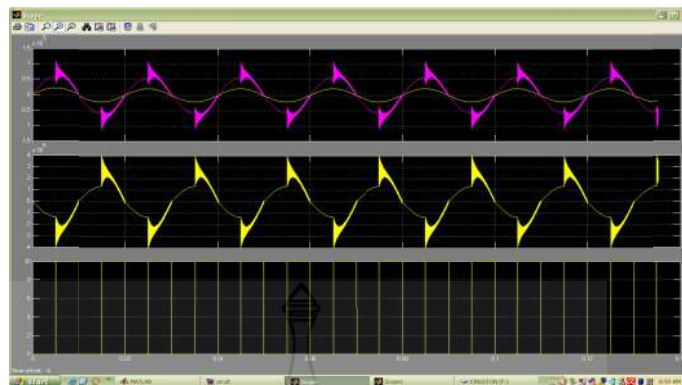
ภาพที่ 3.12 Current Probe

3.5.4 ผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Or CAD และโปรแกรม MATLAB

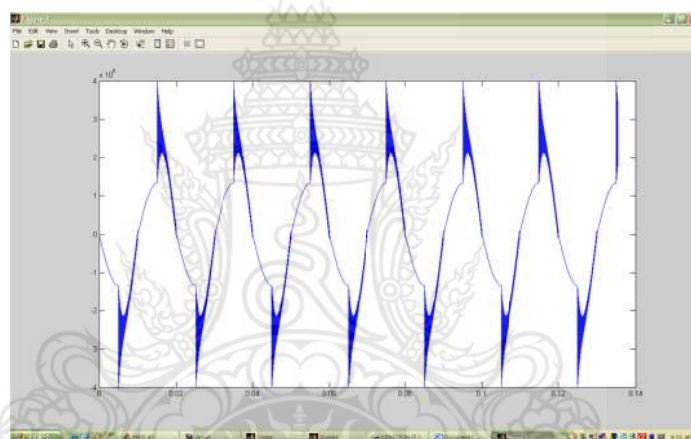
เมื่อคำนวณค่าต่างๆ แล้วนำค่าขดลวดทางด้านแรงต่ำ ค่าความจุทางด้านแรงต่ำ ค่าขดลวดทางด้านแรงสูง รวมทั้งค่าต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่องที่ได้มาทดลองด้วยโปรแกรม Or CAD และโปรแกรม Math LAB เพื่อทดสอบผลลัพธ์ว่าค่าที่ได้ทั้งจากการทดลองด้วยโปรแกรมและค่าที่คำนวณได้มีค่าเท่ากันหรือมีค่าใกล้เคียงกันที่สุด



ภาพที่ 3.13 รูปวงจรหม้อแปลงเทสลาโดยโปรแกรม MATLAB



ภาพที่ 3.14 ผลการทดสอบวงจรหม้อแปลงเตสลาโดยโปรแกรม MATLAB



ภาพที่ 3.15 ผลลูกคลื่นแรงดันด้าน Secondary ของหม้อแปลงเตสลา

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองเครื่องกำเนิดโอโซนนั้นจำเป็นต้องมีการทดลองการทำงานของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆ เช่น ชุดกำเนิดก๊าซโอโซน วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน (O_3) ระบบอัดอากาศ และชุดผสมโอโซนกับน้ำ โดยการทดลองจะทดลองอุปกรณ์เป็นลำดับขั้น จากนั้นจึงนำอุปกรณ์ที่ผ่านการทดสอบมาต่อทดสอบร่วมกันภายหลัง

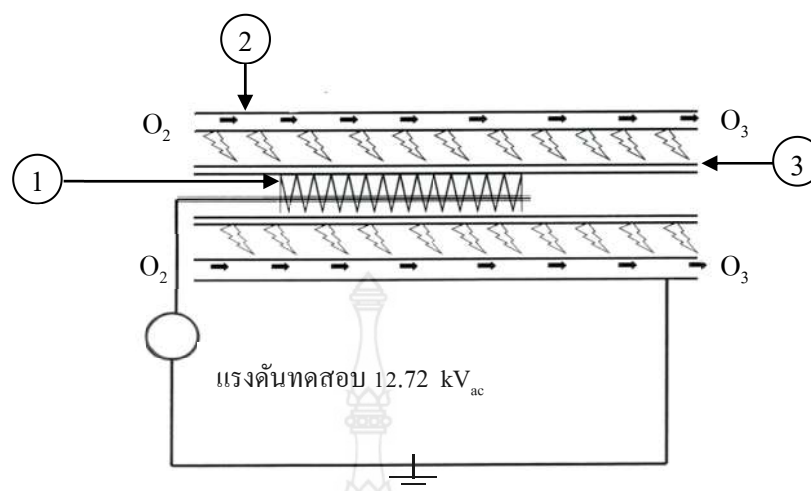
4.1 การทดลองเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน (O_3)

4.1.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

- 1) ชุดกำเนิดก๊าซโอโซน (O_3)
- 2) ระบบอัดอากาศ
- 3) วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน (O_3)

4.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ทดลองต่อหม้อแปลงนํ้าออนเข้ากับชุดกำเนิดโอโซน (O_3) เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วพัก 10 นาที ทำเช่นนี้ 5 ครั้ง แล้วบันทึกผลการทดลอง
- 2) ทดลองระบบอัดอากาศโดยต่อปั๊มลมเข้ากับระบบโดยที่ยังไม่จ่ายแรงดันให้กับชุดกำเนิดก๊าซโอโซน (O_3) โดยให้สังเกตอากาศที่ออกจากปั๊มลมแล้วบันทึกผลการทดลอง
- 3) ทดลองวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน (O_3) โดยสังเกตการทำงานของอุปกรณ์ว่าเป็นไปตามที่ออกแบบหรือไม่ โดยทำการทดลองนาน 3 ชั่วโมง สังเกตแล้วบันทึกผลการทดลอง
- 4) ประกอบอุปกรณ์ของเครื่องกำเนิดโอโซน (O_3) เข้าด้วยกัน แล้วเปิดเครื่องทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง สังเกตแล้วบันทึกผลการทดลอง



ภาพที่ 4.1 วงจรการทดลองชุดกำเนิดก๊าซโอโซน (O₃)

รายละเอียดของอุปกรณ์

1. อิเล็กโทรดปลายแหลม (Cylindrical Wire Branches Electrode)
2. ท่อสแตนเลส (Stainless Tube)
3. ท่อแก้ว (Discharge Glass Tube)

4.1.3 ผลการทดลอง

- 1) ผลการทดลองต่อหม้อแปลงนํ้าอนเข้ากับชุดกำเนิดโอโซน (O₃)

ตาราง 4.1 ผลทดลองชุดกำเนิดก๊าซโอโซน (O₃)

ครั้งที่	เกิดการเบรคดาวน	ไม่เกิดการเบรคดาวน
1	-	✓
2	-	✓
3	-	✓
4	-	✓
5	-	✓

ทดสอบที่ความดันบรรยากาศ 710 มิลลิเมตรปรอท ความชื้นสัมพัทธ์ 45 เปอร์เซ็นต์
อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ 30 องศาเซลเซียส แรงดันที่ใช้ทดสอบ 12.72 kV_{AC}

2) จากการทดลองระบบบำบัดอากาศผลการทดลอง ปรากฏว่าความดันลมที่ดูดจากปั๊มลม เข้าสู่เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน (O_3) กับความดันลมที่ออกมาจากเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน (O_3) พอเพียงที่จะนำโอโซน (O_3) ผสมกับน้ำได้ อากาศที่เข้ามาจะถูกกรองฝุ่นและถูกดักความชื้นของอากาศที่เข้าสู่ระบบได้ โดยสังเกตจากน้ำที่อยู่ในอุปกรณ์สำหรับดูดความชื้นของอากาศ แสดงว่าสามารถดักความชื้นได้จริง

3) จากการทดลองวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน (O_3) สามารถตั้งเวลาการทำงานตามที่ออกแบบไว้ได้ คือ ทำงาน 1 ชั่วโมง หยุด 10 นาที

4) จากการทดลองประกอบอุปกรณ์ของเครื่องกำเนิดโอโซน (O_3) เข้าด้วยกัน แล้วเปิดเครื่องทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง ปรากฏผลว่าสามารถทำงานเป็นปกติ คือ ทำงาน 1 ชั่วโมง หยุด 10 นาที โดยอากาศที่เข้าไปจะถูกกรองฝุ่นละออง กรองความชื้นตามที่ออกแบบไว้ โดยเครื่องไม่มีอาการผิดปกติเกิดขึ้น และคาดว่าปริมาณโอโซน (O_3) ที่เครื่องสามารถผลิตได้ประมาณ 2.2 ppm/นาที่ (ปริมาณน้ำ 100 ลิตร)

4.2 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้โอโซน (O_3) และคลอรีนในการบำบัดน้ำ

ในการทดสอบนี้จะเป็นการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำโดยวิธีการใช้โอโซน (O_3) ร่วมกับคลอรีน และการใช้คลอรีนเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะต้องมีการติดตั้งมาตรวัดวัตต์ชั่วโมง (Watt-hour Meter) ที่เครื่องกำเนิดโอโซนโอโซน (O_3) เพื่อเป็นการหาค่าพลังงานที่เครื่องกำเนิดโอโซน (O_3) ใช้ไป แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณเป็นค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่าย จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับค่าคลอรีนที่ใช้ในการบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำ

สรุปค่าใช้จ่ายการใช้คลอรีนสำหรับระบบการบำบัดน้ำสระว่ายน้ำใน ศรม.

ปริมาณการบำบัดน้ำประปาเฉลี่ย	=	1,525	ลบ.เมตร/วัน
จำนวนชั่วโมงที่ผลิต	=	12	ชม./วัน
จำนวนวันที่ผลิต	=	365	วัน/ปี
ปริมาณคลอรีนที่ใช้	=	80	กก./วัน
ปริมาณคลอรีนที่ต้องจัดซื้อ	=	2,400	บาท/เดือน
ราคาคลอรีนเฉลี่ย	=	12	บาท/กก.
ค่าใช้จ่าย (Baht/Day)	=	960	บาท/วัน
(Baht/Month)	=	28,800	บาท/เดือน
ค่าใช้จ่ายต่อน้ำ 1ลบ.เมตร	=	0.629	บาท

สรุปค่าใช้จ่ายการใช้เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน (O_3) สำหรับระบบผสมโอโซน (O_3) กับน้ำ

ป้อนอัตราการไหลของน้ำ 100 ลิตร/นาที่

$$\begin{aligned} \text{เปิดปั๊ม 1 ชม.} &= 100 \text{ ลิตร} \times 60 \\ &= 6,000 \text{ ลิตร} \\ &= 6 \text{ ลบ.เมตร/ชม.} \end{aligned}$$

(น้ำ 1,000 ลิตร = 1 ลูกบาศก์เมตร)

$$\begin{aligned} \text{เดินเครื่อง 8 ชม.} &= 8 \times 6 \text{ ลบ.เมตร} \\ &= 48 \text{ ลบ.เมตร} \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณการบำบัดน้ำสระเฉลี่ย} = 48 \text{ ลบ.เมตร/วัน}$$

$$\text{จำนวนชั่วโมงที่ผลิต} = 8 \text{ ชม./วัน}$$

$$\text{จำนวนวันที่ผลิต} = 365 \text{ วัน/ปี}$$

$$\text{เครื่องกำเนิดโอโซน (O_3) ทำงาน 1 ชม. ใช้} = 0.55 \text{ kW-h}$$

$$\text{ใช้พลังงาน/วัน} = 4.4 \text{ kW-h}$$

(Basic Price Energy = 2.2 บาท/kW-h)

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้า} = 9.68 \text{ บาท/วัน}$$

$$\text{(Baht/Month)} = 290.40 \text{ บาท/เดือน}$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายต่อน้ำ 1 ลบ.เมตร} = 0.201 \text{ บาท}$$

4.3 การทดลองใช้โอโซน (O_3) ในการบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำ

การทดลองในส่วนนี้จะเป็นการนำก๊าซโอโซน (O_3) ที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดโอโซน (O_3) มาบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำ แล้วเก็บตัวอย่างน้ำในสระว่ายน้ำไปตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งการเก็บตัวอย่างน้ำจะเก็บตัวอย่างน้ำก่อนและหลังการบำบัดน้ำ โดยใช้คลอรีนเทียบกับตัวอย่างน้ำที่ใช้โอโซน (O_3) มาร่วมในการบำบัด

ตาราง 4.2 ตารางเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำ

ชื่อตัวอย่าง	พารามิเตอร์								
	เวลาในการบำบัด (นาท)	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	ความขุ่น (NUT)	Coliform Bacteria	Feacal Coliform Bacteria	TS (mg/l)	TSS (mg/l)
น้ำประปา	-	6.919	ไม่พบ	ไม่พบ	0.91	<2	<2	-	-
น้ำสระว่ายน้ำ หลังการบำบัด โดยใช้คลอรีน	720	7.110	ไม่พบ	ไม่พบ	1.77	<2	<2	812	1.3
น้ำหลังการบำบัดโดยใช้ คลอรีนร่วมกับ โอโซน (O ₃)	10	7.085	ไม่พบ	ไม่พบ	1.77	<2	<2	704	0.3
น้ำหลังการบำบัดโดยใช้ คลอรีนร่วมกับ โอโซน (O ₃)	20	6.987	ไม่พบ	ไม่พบ	0.88	<2	<2	688	0.7

(น้ำที่ใช้ในการทดสอบประมาณ 80 ลิตร)

หมายเหตุ :

PH : การวัดความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ

BOD: การวัดความสกปรกของน้ำในเทอมของออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้

COD: การวัดปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ของน้ำ

NUT: เพื่อบอกความใสของน้ำ

TS : ของแข็งทั้งหมดที่เหลืออยู่หลังจากการระเหยน้ำออกหมดแล้ว

TSS : สารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำทั้งหมดมีความถ่วงจำเพาะสูงเมื่อตั้งทิ้งไว้สามารถจะตกลงมาบนก้นภาชนะได้

บทที่ 5

สรุปผลของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลที่ได้จากงานวิจัย

จากผลการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องที่ได้รับสามารถนำมาบำบัดน้ำได้และไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เพราะสามารถลดสารเจือปนในน้ำและลดเชื้อแบคทีเรียในน้ำได้ดี แต่น้ำที่ได้จากการบำบัดนี้อาจไม่ได้มาตรฐานน้ำของสระว่ายน้ำ ทั้งนี้เนื่องมาจาก

5.1.1 การบำบัดน้ำโดยโอโซน (O_3) ไม่สามารถกำจัดตะกอนหรือสิ่งตกค้าง

5.1.2 วัสดุในโครงงานที่นำมาใช้อาจมีผลต่อการเกิดโอโซน (O_3) และมีผลต่อโอโซน (O_3) ที่เกิดขึ้นด้วยจึงควรวิเคราะห์หาวัสดุที่มีความเหมาะสมที่สุด

5.1.3 ปริมาณการเกิดโอโซน (O_3) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปริมาณ โอโซน (O_3) ที่ได้จึงไม่แน่นอน ทำให้การบำบัดน้ำไม่มีประสิทธิภาพ

5.2 อุปสรรคในการทำงานวิจัย

5.2.1 ในการสร้างชุดกำเนิดโอโซน (O_3) การทำให้ระยะห่างของหลอดแก้วกับท่อสแตนเลสเท่ากันโดยตลอดทำได้ยาก และจากการทดลองมีการเกิดเบรคดาวนบ่อยครั้ง จึงควรทดสอบหาขนาดแรงดันที่เหมาะสมกับระยะห่างที่ใช้เพื่อความปลอดภัย

5.2.2 อากาศที่นำมาใช้ควรมีการกรองฝุ่นละอองและความชื้นก่อน เพื่อป้องกันการเกิดเบรคดาวน

5.2.3 โอโซน (O_3) ที่ผลิตได้ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าต้องใช้เครื่องวัด และการตรวจผลน้ำที่ทำการบำบัดต้องใช้เวลานานทำให้เสียเวลา

5.2.4 การระบายความร้อนหากระบายความร้อนไม่ดีพอจะทำให้เกิดการเบรคดาวน เนื่องจากความร้อนจากการดิสชาร์จภายในท่อกำเนิดโอโซน

5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงงาน

5.3.1 ควรมีการลดขนาดของเครื่องลงมาเพื่อการประหยัดพื้นที่ติดตั้ง

5.3.2 อุปกรณ์ที่สัมผัสโอโซน (O_3) ควรมีการเลือกใช้ให้เหมาะสม

5.3.3 แหล่งจ่ายแรงดันควรปรับค่าความถี่ได้ เพื่อจะได้ทราบถึงปริมาณโอโซน (O_3) ที่อาจเพิ่มขึ้นเนื่องจากความถี่ของแหล่งจ่าย อีกทั้งแหล่งจ่ายไฟควรมีความแน่นอนสามารถใช้งานเป็นเวลานานได้

5.3.4 ชุดกำเนิดโอโซน (O_3) ควรมีขนาดเล็กกะทัดรัดและทนแรงดันได้มากกว่าที่สร้างขึ้นมาเพื่อความปลอดภัย



เอกสารอ้างอิง

สำรวย สังข์สะอาด. (2549). **วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร:
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จิตติพงษ์ จันทรบุญเป็ง. (2557). **คาปาซิทีฟโวลเตจดีไวเดอร์พิกัดแรงดัน 50 กิโลโวลต์ 50
เฮิร์ตซ์**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. เชียงใหม่.

ธนากร บาดาล. (2550). **ชุดทดสอบแรงดันเบรตาวนของฉนวนเหลว**. คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. กรุงเทพฯ.

IEC Standard Publ.No 156 (1995-07)



ไม่มีเนื้อหาจากต้นฉบับ



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) ดร.ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว
 ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Dr.Supawud Nedphokaew
 ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
 หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง
 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
 โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4150
 โทรสาร 02-836-3000 ต่อ 4151
 e-mail supawud.n@rmutp.ac.th
 โทรศัพท์ 081-620-3266

ประวัติการศึกษา

ปริญญาเอก	Doctor of Education	University Of Northern Philippines (UNP)
	Educational Administration	
ปริญญาโท	วศ.ม.(วิศวกรรมไฟฟ้า)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
		ลาดกระบัง
ปริญญาตรี	วศ.บ.(วิศวกรรมไฟฟ้า)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- การจัดการด้านอนุรักษ์พลังงาน
- การตรวจสอบความปลอดภัยในอาคารควบคุม

ประสบการณ์งานวิจัย

1. **S. Nedphokaew**, “Design And Installer Solar Energy Systems Sun Tracking For Comparison”, 18th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH 2013), Seoul, Republic of Korea, August 25-30, 2013.
2. **S. Nedphokaew** V. Phupha and T. Tanmaneeprasert, “Design and Construction of A 1 kV Portable Impulse Voltage Generator,” 18th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH 2013), Seoul, Republic of Korea, August 25-30, 2013
3. **S. Nedphokaew**, “Designed and Construction the Spark Tester by DC High Voltage 15 KV Rated,” The International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD2014), to be held in Ramada Plaza Jeju Hotel, Jeju Island, Republic of Korea during September 21-25, 2014.
4. **S. Nedphokaew**, “The Optimization of Power Consumption by Peak Demand Charged Control”, Electrical Engineering Conference (EECON 37), Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel, Khon Kaen, Thailand, during November 19-21, 2014.

