

การพัฒนาเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย
DEVELOPMENT OF A MULTI-NEEDLE ARC PLASMA FOR
WASTE WATER TREATMENT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2568

KMITL-2025-SC-M-030-032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF A MULTI-NEEDLE ARC PLASMA FOR
WASTE WATER TREATMENT



PRATHANA SUTJITJOON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2025

KMITL-2025-SC-M-030-032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2025

SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย
ชื่อนักศึกษา	นางสาวปรารธณา สุจจิตรจุล
รหัสประจำตัว	65056058
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
พ.ศ.	2568
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษกร ไฉ้เจริญรัตน์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากบ่อกักตะกอนในโรงพยาบาล การออกแบบเครื่องกำเนิดพลาสมาประกอบด้วยระบบพลาสมาโคโรนาดีสชาร์จ และแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูง โดยวิธีการทดสอบระบบจะหาระยะห่างวิกฤติที่เหมาะสมระหว่างแท่งปลายเข็มแหลมกับผิวน้ำซึ่งเป็นฟังก์ชันกับแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน และสเปกตรัมของพลาสมา จากนั้นเป็นการตรวจสอบการประเมินประสิทธิภาพของระบบโคโรนาดีสชาร์จต่อการบำบัดน้ำเสีย ผลการทดสอบพบว่าระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับผิวน้ำที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของระบบดีสชาร์จพลาสมาต่อการบำบัดน้ำเสียคือ 2 มิลลิเมตร และการประเมินประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ใช้เวลา 125 วินาที ซึ่งพบว่าระบบสามารถช่วยเพิ่มพลังงานต่อพื้นที่ทำให้ตัวอย่างน้ำเสียที่ถูกกระตุ้นเกิดการแตกตัวเป็นไอออนมากขึ้นอีกทั้งสามารถช่วยผลิตอนุมูลอิสระสำหรับเป็นตัวออกซิไดซ์ที่ดีในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสีย รวมถึงตัวอย่างน้ำเสียหลังผ่านระบบการบำบัดแล้วตรวจพบค่า BOD , COD และ DO อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งในอนาคตคาดว่าจะการพัฒนาเครื่องกำเนิดพลาสมาสามารถนำไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียได้ดีในอุตสาหกรรมต่อไป

คำสำคัญ : แรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน พลาสมา โคโรนาดีสชาร์จ การบำบัดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Development of a multi-needle arc plasma for waste water treatment
Student Name	Miss Prathana Sutjitjoon
Student ID	65056058
Degree	Master of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Year	2025
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Kitsakorn Locharoenrat

Abstract

This research introduced the development of a multi-needle arc plasma generator for wastewater treatment from sedimentation pond in a hospital. The design of this plasma generator system consisted of a plasma corona discharge system and a high voltage power supply. Efficiency of the system was achieved by testing the appropriate distance between the sharp needle tips and the water surface, which was a function of the breakdown voltage, electric field distribution, and spectrum of the plasma. The performance of the plasma discharge system for wastewater treatment was therefore examined. Test results revealed that the suitable distance between the needle tips and the water's surface for the plasma discharge system in wastewater treatment was 2 mm within 125 sec. This system can also increase energy per unit area, leading to enhanced ionization for further decomposition of contaminants, contributing to the production of free radicals for efficient wastewater treatment. Moreover, it was found that the BOD, COD, and DO values were complied with the wastewater quality standards set by the Department of Pollution Control, Ministry of Natural Resources and Environment. In the future, it is expected that the development of plasma generators can be applied to treat wastewater in industries.

Keyword: Breakdown voltage, plasma, corona discharge, waste water treatment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังระบบออนไลน์ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดขึ้นได้โดยได้รับความกรุณา ความช่วยเหลือ การสนับสนุนจากแหล่งทุน และการสนับสนุนในด้านต่างๆ จากบุคคลหลายท่านด้วยกัน ทำให้ได้รับโอกาสและสร้างแรงบันดาลใจ นำมาสู่ความสำเร็จที่เกิดขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อท่านทั้งหลาย ดังนี้

สำหรับความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความกรุณาอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษกร โส้เจริญรัตน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สาทราย เล็กชะอุ่ม ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ ดร. วศิน นุเปงกา นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ ฝ่ายนิวเคลียร์ฟิวชันและพลาสมา ศูนย์วิศวกรรมและเทคโนโลยีนิวเคลียร์ขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.) ที่กรุณาให้คำปรึกษาหัวข้อวิจัย ตลอดจนคำแนะนำ ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการทดลอง รวมถึงให้ความรู้ ทุนสนับสนุน และคำปรึกษาทางวิชาการตลอดจนปลูกฝังคุณธรรม จริยธรรม และช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บดินทร์ ดำรงค์ศักดิ์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่เป็นประธานกรรมการสอบเค้าโครงวิทยานิพนธ์และสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ แดงดีบ ดร. นพพร พูลยรัตน์ และพี่ๆ เจ้าหน้าที่ ฝ่ายนิวเคลียร์ฟิวชันและพลาสมา ศูนย์วิศวกรรมและเทคโนโลยีนิวเคลียร์ขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.) ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำในด้านวิชาการและการใช้ชีวิตได้เป็นอย่างดี และช่วยเหลือในการสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาเย็นเครื่องนี้ด้วยและขอขอบคุณคณะอาจารย์ เจ้าหน้าที่ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อในการทำการตรวจสอบวิเคราะห์ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนอุดหนุนการศึกษาประเภททุนยกเว้นค่าธรรมเนียมแบบเหมาจ่าย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สัญญาเลขที่ CW-2-2565-M-003 และได้รับการสนับสนุนความร่วมมือวิจัย โครงการส่งเสริมความร่วมมือการใช้ศักยภาพเครื่องมือวิจัยภายใต้โครงการ TINT to University ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.)

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่เมตตาให้ความรู้ตลอดจนให้ความช่วยเหลือ ในด้านต่างๆ และขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้ความ อุปการะทุน ในการศึกษาเล่าเรียน และคอยให้กำลังใจที่ดีตลอดมาสำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากโครงการ พิเศษฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับ บิดา มารดา ของ ข้าพเจ้าซึ่งเป็นที่รัก และเคารพยิ่ง ตลอดจนครู

อาจารย์ที่เคารพที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้ ได้ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ เมื่อผู้ยู่อัดเห็นาไปเซบประะโยชนด้านกาการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าพเจ้า ตลอดจนทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวมา ณ ที่นี้ ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยเล่มนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่มีความสนใจศึกษาหาความรู้เป็นอย่างยิ่ง

นางสาวปรารถนา สุจิตร์จูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ด
สารบัญภาพ	ต
สารบัญกราฟ	น
คำย่อ/สัญลักษณ์	ป
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 บทนำ	5
2.2 พลาสมา (Plasma)	5
2.2.1 ความหมายของพลาสมา (สถานะของสสาร)	5
2.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำพลาสมา	6
2.2.3 การผลิตน้ำพลาสมา	7
2.3 พลาสมาความดันบรรยากาศ (Atmospheric plasma)	7
2.3.1 พลาสมาร้อน (Thermal plasma or Hot plasma)	8
2.3.2 พลาสมาเย็น (Non-thermal plasma or Cold plasma)	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 รูปแบบของการดิสชาร์จในการผลิตพลาสมา	8
2.5 สเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง (Optical Emission Spectroscopy: OES)	10
2.5.1 กระบวนการเกิดและการวัดพลังงานของอิเล็กตรอน	10
2.6 อัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet and Visible Spectroscopy)	11
2.7 การบำบัดน้ำเสีย	12
2.8 เกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	16
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	19
3.1 การออกแบบและพัฒนาการสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย	19
3.1.1 ส่วนระบบพลาสมาโคโรนาดิสชาร์จของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็ม	20
3.1.2 ส่วนกำเนิดแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็ม	29
3.2 การหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าเบื้องต้น ณ อุณหภูมิต่ำที่สภาวะบรรยากาศของระบบกำเนิดพลาสมาโคโรนาดิสชาร์จ	34
3.2.1 การทดสอบวัดแรงดันเบรกดาวน์และกระแสคายประจุ	34
3.3 การหาค่าความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่ถูกกระตุ้นด้วยพลาสมาโคโรนาดิสชาร์จ ให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	37
3.3.1 การวิเคราะห์สารประกอบไนโตรเจน (Nitrogen)	37
3.3.2 การวิเคราะห์ไนเตรท (NO ₃ ⁻ - Analysis)	39
3.3.3 การวิเคราะห์แอมโมเนีย (Ammonia analysis)	41
3.3.4 การวิเคราะห์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide Analysis)	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การวัดค่าการดูดกลืน (Absorbance) ด้วยเครื่อง UV-Vis (The absorbance of UV-Vis spectroscopy)	45
3.4 การประเมินค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็ม สำหรับการเกิดโคโรนาดีสชาร์จในการบำบัดน้ำเสีย	48
3.4.1 การประเมินหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์ค หลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการวัดสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง (Optical Emission Spectroscopy: OES)	48
3.4.2 วิธีการวิเคราะห์น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยเครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คโดย ตรงแบบเข้ม(เดิม)	50
3.5 สรุป	50
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	51
4.1 การหาค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าเบื้องต้น ณ อุณหภูมิต่ำที่สภาวะบรรยากาศของ ระบบกำเนิดพลาสมาโคโรนาดีสชาร์จ	51
4.1.1 การทดสอบการวัดแรงดันเบรกดาวน์และกระแสคายประจุ	51
4.1.2 การวิเคราะห์หาแรงดันเบรกดาวน์ของเครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คหลายเข็ม	52
4.2 การทดสอบและวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ของพลาสมาเย็นที่สภาวะบรรยากาศ ของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี แบบเปล่งแสง	55
4.2.1 การทดสอบหาพารามิเตอร์ของพลาสมาเย็น	55
4.3 การทดสอบและวิเคราะห์หาค่าความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่ถูกกระตุ้นด้วย พลาสมาโคโรนาดีสชาร์จ ให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกรมควบคุม มลพิษกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	58
4.3.1 วิธีการทดสอบวัดค่าการนำไฟฟ้าและค่า pH ของน้ำเสียตัวอย่าง	58
4.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณอนุมูลอิสระต่างๆ ที่เกิดขึ้นในน้ำเสียตัวอย่าง	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การประเมินค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็ม สำหรับการเกิดโคโรนาดีสชาร์จในการบำบัดน้ำเสีย	64
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการทดลอง	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก	72
ประวัติผู้เขียน	92



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ขอบเขตของงานวิจัย	4
3.1	ข้อมูลจำเพาะของขั้วไฟฟ้าบวกและลบ	21
3.2	ค่าการดูดกลืนแสงของการวิเคราะห์ไนไตรท์ไอออน	39
3.3	ค่าการดูดกลืนแสงของการวิเคราะห์ไนเตรทไอออน	42
3.4	ค่าการดูดกลืนแสงของการวิเคราะห์แอมโมเนีย	42
3.5	การทำมาตรฐาน (Standardization) ของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate : $KMnO_4$) การไทเทรตได้จุดยุติที่ 12.50 มิลลิลิตร	45
4.1	ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนและกระแสคายประจุที่ระยะห่างต่างๆ ระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวหนัง	52
4.2	ผลการวิเคราะห์ค่าแรงดันเบรกดาวนและความเครียดสนามไฟฟ้าเบรกดาวนที่ระยะห่างต่างๆ ระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวหนัง	53
4.3	ค่าการทดลองของอนุมูลอิสระต่างๆ ที่เกิดขึ้นในน้ำเสียตัวอย่างจากโรงพยาบาล	61
4.4	ค่าการวัดดัชนีคุณภาพน้ำเสียตามมาตรฐานขององค์การอนามัยโลกเทียบกับการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลด้วยเครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คหลายเข็ม	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ลำดับของสถานะและกระบวนการของสสารก่อนเป็นพลาสมา	6
2.2	รูปแบบการเกิดอนุมูลของน้ำพลาสมา	7
2.3	รูปแบบของการดิซซาร์จพลาสมาสำหรับการกระตุ้นน้ำด้วยวิธีต่างๆ แบบเหนือน้ำ (a-f) แบบใต้น้ำ (g-k)	9
2.4	แผนภาพพลังงานแสดงการดูดกลืนแสงและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยแสงในรูปของการวาบแสง (Fluorescence) และการเรืองแสง (Phosphorescence)	11
2.5	การเกิดอันตรกิริยาของสารเคมีกับการแผ่รังสีหรือแสง	11
2.6	กระบวนการเกิดการกระตุ้น	12
3.1	ส่วนประกอบของระบบพลาสมาดิซซาร์จของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย	20
3.2	แท่งทั้งสแตนปลายเข็ม (ซ้าย) และแท่งทองแดง (ขวา)	21
3.3	ลักษณะของลำพลาสมา	22
3.4	ขนาดส่วนล่างของฉนวนหุ้มแท่งเข็มปลายแหลมใกล้ส่วนการดิซซาร์จ (หน่วยมิลลิเมตร)	24
3.5	ขนาดส่วนบนไว้ยึดติดของฉนวนหุ้มแท่งเข็มปลายแหลม (หน่วยมิลลิเมตร)	24
3.6	ขนาดส่วนลำตัวของฉนวนหุ้มแท่งเข็มปลายแหลม (หน่วยมิลลิเมตร)	25
3.7	ปีกเกอร์ปริมาตร 50 มิลลิลิตรที่ใช้ในการทดลอง	25
3.8	การจัดวางตำแหน่งของปีกเกอร์ปริมาตรสูงสุด 1000 มิลลิลิตรและแท่นยกห้องปฏิบัติการ	26
3.9	เครื่องปั่นเหวี่ยงประติษฐ์	27
3.11	ตำแหน่งในการติดตั้ง	27
3.12	ตำแหน่งการติดตั้งแผ่นอะคริลิกใสกับพัดลมระบายความร้อน	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13	ติมเมอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Dimmer)	28
3.14	แผ่นยกห้องปฏิบัติการหรือฐานปรับขึ้น-ลง	29
3.15	ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย	29
3.16	บล็อกไดอะแกรมของระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	30
3.17	วงจรการทำงานรวมของเครื่องกำเนิดพลาสมาเย็นแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย	31
3.18	Switching power supply Model: S-120-12	32
3.19	บอร์ดไดร์เวอร์คอยล์ (ZVS Driver)	32
3.20	คอยล์จุดระเบิด	33
3.21	โครงสร้างขาที่ใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบฟลายแบค	33
3.22	High Voltage Probe Model: HVP-39pro	34
3.23	Current monitor model 2877	34
3.24	Series MSO (Mixed Signal Oscilloscope)	34
3.25	การต่อวงจรสำหรับวัดแรงดันเบรกดาวน์และกระแสคายประจุของเครื่องกำเนิดพลาสมา	36
3.26	รูปสัญญาณการวัดแรงดันเบรกดาวน์และกระแสคายประจุของเครื่องกำเนิดพลาสมา	36
3.27	การเตรียมและวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไนโตรที่ไอออน (NO ₂ - Standard solution) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 3, 5, 7 และ 10 ppm (เรียงจากขวาไปหาซ้าย) ตามลำดับ	38
3.28	การเตรียมและวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไนเตรทไอออน (NO ₃ - Standard solution) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 3, 5, 7 และ 10 ppm (เรียงจากขวาไปหาซ้าย) ตามลำดับ	40
3.29	การเตรียมและวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย (NH ₄ ⁺ Standard solution) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 3, 5, 7 และ 10 ppm (เรียงจากขวาไปหาซ้าย) ตามลำดับ	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.30	โปรแกรม UV Solution 4.2	45
3.31	การตั้งชื่อสารละลายตัวอย่างที่นำมาวัดค่าการดูดกลืน	46
3.32	ลักษณะช่องสำหรับใส่คิวเวทท์ (Cuvette)	46
3.33	ตำแหน่งของแถบ Measure	46
3.34	ตัวอย่างการวัดค่าการดูดกลืน (Absorbance) ของการวิเคราะห์ไนเตรทไอออน (NO ₂ - Standard solution) ที่ความเข้มข้น 1 ppm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยมีค่าการดูดกลืนอยู่ที่ 0.179 นาโนเมตร	47
3.35	ตัวอย่างการวัดค่าการดูดกลืน (Absorbance) ของการวิเคราะห์ไนเตรทไอออน (NO ₃ - Standard solution) ที่ความเข้มข้น 1 ppm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร โดยมีค่าการดูดกลืนอยู่ที่ 0.070 นาโนเมตร	47
3.36	ตัวอย่างการวัดค่าการดูดกลืน (Absorbance) ของการวิเคราะห์แอมโมเนีย (NH ₄ ⁺ Standard solution) ที่ความเข้มข้น 1 ppm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 655 นาโนเมตร โดยมีค่าการดูดกลืนอยู่ที่ 0.057 นาโนเมตร	47
3.37	(ก) การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง, (ข) ระยะห่างระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวน้ำ	48
3.38	การใช้เกรตติง (Grating) ที่ (300, 600 นาโนเมตร)	49
3.39	การใช้เกรตติง (Grating) ที่ (1,200, 330 นาโนเมตร)	49
3.40	การเก็บผลการทดลองและการพล็อตกราฟ (Plot graph)	49
4.1	บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวัดแรงดันเบรกดาวน	52
4.2	บล็อกไดอะแกรมสำหรับการตรวจวัดรับสัญญาณสเปกตรัมของลำพลาสมา	55
4.3	ลักษณะสีของสารละลายเมททีลีนบลูที่ผ่านการบำบัดที่ระยะเวลา 0, 25, 50, 75, 100 และ 125 วินาที	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญกราฟ

กราฟที่		หน้า
3.1	กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) หรือ กราฟมาตรฐานความเข้มข้น (Concentration calibration curve) ของการวิเคราะห์ไนโตรที่ไอออน (NO_2^- Standard solution) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 3, 5, 7 และ 10 ppm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร	39
3.2	กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) หรือ กราฟมาตรฐานความเข้มข้น (Concentration calibration curve) ของการวิเคราะห์ไนเตรทไอออน (NO_3^- Standard solution) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 3, 5, 7 และ 10 ppm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร	40
3.3	กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) หรือ กราฟมาตรฐานความเข้มข้น (Concentration calibration curve) ของการวิเคราะห์แอมโมเนีย (NH_4^+ Standard solution) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 3, 5, 7 และ 10 ppm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 655 นาโนเมตร	42
4.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณระหว่างความดันบรรยากาศกับระยะห่างระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมและค่าความเครียดสนามไฟฟ้าเบรกดาวน์ของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน	54
4.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์กับระยะห่างระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวน้ำ	54
4.3	กราฟสเปกตรัมการเปล่งแสงของพลาสติกที่สภาวะบรรยากาศโดยใช้เกรตติ้งความละเอียด 300 groove/nm	57
4.4	กราฟสเปกตรัมการเปล่งแสงของพลาสติกที่สภาวะบรรยากาศโดยใช้เกรตติ้งความละเอียด 1200 groove/nm	57
4.5	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลูที่ระยะเวลา 0, 25, 50, 75, 100 และ 125 วินาที	59
4.6	ความสัมพันธ์ของค่าการนำไฟฟ้าระหว่างน้ำเสียโรงพยาบาลเทียบกับน้ำ DI	59
4.7	ความสัมพันธ์ของค่า pH ระหว่างน้ำเสียโรงพยาบาลเทียบกับน้ำ DI	60
4.8	ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของไนโตรที่ระหว่างน้ำเสียโรงพยาบาลเทียบกับน้ำ DI	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9	4.9 ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของไนเตรทระหว่างน้ำเสียโรงพยาบาลเทียบกับน้ำDI	62
4.10	4.10 ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียระหว่างน้ำเสียโรงพยาบาลเทียบกับน้ำDI	62
4.11	4.11 ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนเพอออกไซด์ระหว่างน้ำเสียโรงพยาบาลเทียบกับน้ำDI	63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

N1 : ชื่อเรียกแทนสารประกอบที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์แอมโมเนีย (NH_4^+ Analysis) ในน้ำเสีย ตัวอย่าง ซึ่งสารประกอบด้วย Sodium salicylate, Tri-sodium citrate, Sodium tartrate และ Sodium nitroprusside

N2 : ชื่อเรียกแทนสารประกอบที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์แอมโมเนีย (NH_4^+ Analysis) ในน้ำเสีย ตัวอย่าง ซึ่งสารประกอบด้วย Sodium hydroxide และ Sodium hypochlorite



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนา เป็นแหล่งกำเนิดของสิ่งมีชีวิตซึ่งได้แก่ พืช และสัตว์น้ำทำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์แก่สิ่งมีชีวิต มนุษย์สามารถใช้ประโยชน์จากน้ำได้หลายทาง เช่น การประมง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การขนส่งและการคมนาคม เป็นแหล่งผลิตพลังงาน การระบายของเสีย การเกษตร การอุตสาหกรรม การอุปโภคและบริโภค เป็นต้น การใช้ประโยชน์จากน้ำที่กล่าวมาก็จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะมลพิษทางน้ำ ได้แก่ การทิ้งน้ำจากครัวเรือน จากโรงงานอุตสาหกรรม จากการเกษตรกรรม ทำให้เกิดการสะสมของสารพิษในวงจรอาหารในระบบนิเวศน์และทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงเนื่องจากมีสารอินทรีย์ละลายอยู่

น้ำเสีย หมายถึง น้ำซึ่งผ่านการใช้งานแล้วโดยชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม สถาบัน หรือการงานประเภทอื่น ๆ ซึ่งมีมลสารปะปนอยู่ซึ่งเมื่อระบายลงสู่ลำน้ำแล้วจะก่อให้เกิดการปนเปื้อนของแหล่งรับน้ำจนถึงระดับที่ทำให้แหล่งรับน้ำนั้นใช้งานไม่ได้ดีดังเดิม น้ำเสียจะต้องประกอบไปด้วยมลสารประเภทใดประเภทหนึ่งหรือหลายประเภท คือ สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ โลหะหนักหรือสารพิษอื่น ๆ น้ำมันหรือไขมัน ความร้อน ปริมาณของแข็ง สีและความขุ่น กรดและด่าง สารก่อให้เกิดฟอง จุลินทรีย์ สารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เป็นต้น [1-3]

พลาสมาในทางฟิสิกส์ และเคมี คือ สถานะแก๊สที่มีสภาพเป็นไอออน และมักจะถือเป็นสถานะหนึ่งหรือจัดเป็นสถานะที่สี่ของสสาร การมีสภาพเป็นไอออนนั้นหมายความว่า จะมีอิเล็กตรอนอย่างน้อย 1 ตัว ถูกดึงออกจากโมเลกุล ประจุไฟฟ้าอิสระนี้ทำให้พลาสมามีสภาพการนำไฟฟ้าเกิดขึ้น และสามารถปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet, UV) พื้นฐานในการกำเนิดพลาสมาจะใช้หลักการให้พลังงานที่มากพอกับแก๊สอาร์กอนจนกระทั่งแก๊สอาร์กอนทั้งหมดที่ได้รับพลังงานจะเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) แต่พลาสมาที่เกิดขึ้นนี้จะมีอุณหภูมิสูง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางพลาสมาในการพัฒนาก้าวหน้าก่อให้เกิดเป็นนวัตกรรมใหม่ๆ เช่น การปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิว การบำบัดน้ำเสีย การฆ่าเชื้อโรค และแบคทีเรีย เครื่องห้ามเลือดด้วยเทคนิคพลาสมา (Argon Plasma Coagulation; APC) เป็นต้น [4-5] โดยการศึกษาพบว่าพลาสมาที่มีอุณหภูมิสูงจะมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ประโยชน์อันเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงมีการพัฒนาพลาสมาเย็น (Cold plasma) ที่ควบคุมการเกิดพลาสมาและอุณหภูมิของพลาสมาที่จะทำให้แก๊สแตกตัวเพียงบางส่วนด้วยการให้พลังงานกระตุ้นสสารที่มีสถานะเป็นแก๊ส

ภายใต้อุณหภูมิต่ำที่สภาวะบรรยากาศเพื่อลดปัญหาจากความร้อนที่เกิดขึ้นนั่นเอง อย่างไรก็ตามในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีของนวัตกรรมพลาสมาเย็นจะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบที่หนึ่งเป็นพลาสมาเย็นแบบหัวเจ็ต เป็นการใช้ระบบพลาสมา ณ สภาวะบรรยากาศอุณหภูมิต่ำที่ใช้แก๊สเฉื่อย เช่น อาร์กอนหรือฮีเลียม จ่ายผ่านไปยังหัวจ่ายภายใต้แรงดันทางไฟฟ้าศักย์สูง (High voltage) จนทำให้เกิดเป็นลำพลาสมาอุณหภูมิต่ำ โดยที่หัวจ่ายไม่ต้องสัมผัสกับผิว และแบบที่สอง คือ พลาสมาเย็นแบบหัวสัมผัส โดยจะใช้หลักการอากาศที่อยู่รอบหัวจ่ายเป็นสื่อให้เกิดพลาสมาผ่านตัวกลางไดอิเล็กทริก (Dielectric Barrier Discharge; DBD) เมื่อนำเข้าไปใกล้หรือสัมผัสโดยตรงกับผิวจะทำให้เกิดเป็นลำพลาสมาชนิดปล่อยละเอียดจำนวนมาก วิ่งไปยังผิวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวเพื่อใช้สำหรับการขัดล้างสปริงปนเปื้อน ไขมันและสิ่งตกค้าง รวมทั้งการฆ่าเชื้อโรค และแบคทีเรีย [5]

ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะนำเสนอการพัฒนาและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มด้วยวิธีแอคติเวจด์ชั้นสูงเพื่อการบำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิห้องภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศ โดยการพัฒนาเครื่องกำเนิดจะประกอบด้วยระบบพลาสมาโคโรนาดีสชาร์จ และแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูง การทดสอบจะตรวจสอบลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าโดยวิธีการปรับระยะห่างวิกฤติที่เหมาะสมระหว่างแท่งปลายเข็มแหลมกับผิวน้ำซึ่งเป็นฟังก์ชันของ แรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน และสเปกตรัมของพลาสมา รวมถึงการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบโคโรนาดีสชาร์จต่อการบำบัดน้ำเสียให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมก่อนปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ [6-7] ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิห้องภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศที่มีต้นทุนต่ำ นำไปประยุกต์ใช้ที่มีสะดวกและใช้งานง่ายต่องานภาคสนามในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็ม
- 1.2.2 เพื่อหาลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย
- 1.2.3 เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสียให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสีย
 - 1.3.2 ศึกษาลักษณะทางไฟฟ้าโดยทำการทดสอบหาระยะห่างวิกฤติระหว่างแท่งเข็มปลายแหลม
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับผิวน้ำ ณ อุณหภูมิที่สภาวะบรรยากาศด้วยเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย

1.3.3 ทำการทดสอบหาระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย

1.3.4 ศึกษาลักษณะทางแสงของสเปกตรัมพลาสมาด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง (Optical Emission Spectrometer, OES)

1.3.5 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดสอบการบำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิห้องเพื่อหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย

1.3.6 ศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการบำบัดน้ำเสียจากผลการกระตุ้นของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มที่สภาวะบรรยากาศกับวิธีมาตรฐานด้วยสารเมธิลินบลู (A standard organic dry model)

1.3.7 ศึกษาและทดลองหาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียจากผลการกระตุ้นด้วยวิธีหาค่าความหนาแน่นของอนุมูลอิสระในพลาสมาเย็นที่สำคัญโดยเฉพาะ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ไนเตรต (NO_3^-) ไนไตรท์ (NO_2^-) และแอมโมเนีย (NH_4^+) โดยใช้เทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis (The absorbance of UV-Vis spectroscopy)

1.3.8 ศึกษาและทดลองหาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียจากผลการกระตุ้นด้วยวิธีวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ BOD (Biochemical Oxygen Demand), วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ COD (Chemical Oxygen Demand) การละลายตัวของออกซิเจน DO (Dissolved oxygen) และวัดอุณหภูมิ (Temperature) [21]

1.3.9 วิเคราะห์ผลเพื่อประเมินหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่ทำการออกแบบพัฒนาและสร้างขึ้นให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมก่อนปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ

1.3.10 เขียนบทความทางวิชาการเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ

1.3.11 สรุปและอภิปรายผลการออกแบบพัฒนาและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย

1.3.12 จัดทำรายงานรูปเล่มฉบับสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 1.1 ขอบเขตของงานวิจัย

แผนการดำเนินงาน	ระยะเวลา											
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1. จัดหาอุปกรณ์	←→											
2. ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คแบบอาร์คหลายเข็ม		←→										
3. ทดสอบเครื่องกำเนิดพลาสมาที่สร้างขึ้นและตรวจสอบอนุพลอิสรสำคัญต่าง ๆ กับการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาล							←→					
4. เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล										←→		
5. สรุปรงานวิจัยและเขียนวารสาร											←→	

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในฆ่าเชื้อโรค การขจัดสารพิษ และบำบัดน้ำเสียด้วยต้นทุนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ การพัฒนาและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาเย็นแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากบ่อตกตะกอนในโรงพยาบาล ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องดำเนินการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการดำเนินงานวิจัย วิธีใกล้เคียงที่เคยมีการศึกษามาก่อน ผลการดำเนินงานวิจัย และข้อเสนอแนะต่าง ๆ จากคณะวิจัยตั้งแต่อดีตเป็นต้นมา

2.2 พลาสมา (Plasma)

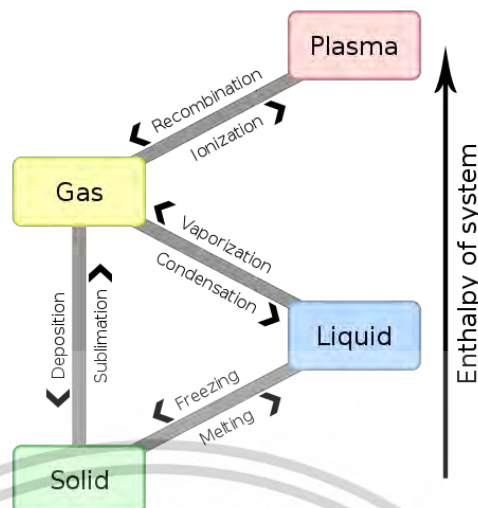
2.2.1 ความหมายของพลาสมา (สถานะของสสาร)

พลาสมา คือ สภาวะที่อะตอมหรือโมเลกุลก๊าซเกิดการเป็นไอออน (Ionization) ประกอบด้วย อิเล็กตรอน ไอออน อนุภาคมีประจุ และอนุภาคของก๊าซ ทำให้โดยรวมแล้วพลาสมายังคงสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า คำว่า “พลาสมา” นี้ถูกบัญญัติโดย แลงมัวร์ (Irving Langmuir) นักเคมีรางวัลโนเบลปี 1932 ใช้เพื่อบรรยายสภาพก๊าซที่ถูกทำให้เป็นไอออนโดยการดิสชาร์จด้วยไฟฟ้า (Electric discharge) อย่างไรก็ตามพลาสมาถูกผลิตได้จากกระบวนการต่อไปนี้ ได้แก่ การทำให้ร้อน (Heating) การดิสชาร์จด้วยไฟฟ้า การเป็นไอออนด้วยรังสี (Ionizing radiation) และการเป็นไอออนจากการชน (Collisional ionization) [5,8-9]

พลาสมาในทางฟิสิกส์และเคมี คือ แก๊สที่มีสภาพเป็นไอออน และมักจะถือเป็นสถานะหนึ่งของสสาร ซึ่งสสารโดยทั่วไปมีการเปลี่ยนสถานะเมื่อได้รับพลังงานที่เหมาะสมซึ่งลักษณะและคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงแสดงดังรูปที่ 2.1 และการมีสภาพเป็นไอออนดังกล่าวนี้ หมายความว่า จะมีอิเล็กตรอนอย่างน้อย 1 ตัว ถูกดึงออกจากโมเลกุล ประจุไฟฟ้าอิสระทำให้พลาสมามีสภาพการนำไฟฟ้าเกิดขึ้น

สถานะที่ 4 ของสสารนี้ มีการเอ่ยถึงครั้งแรก โดยเซอร์ วิลเลียม ครูกส์ (Sir William Crookes) เมื่อ ค.ศ. 1879 และในปี ค.ศ. 1928 นั้น เออร์วิง แลงมัวร์ (Irving Langmuir) คิดคำว่าพลาสมา (Plasma) ขึ้นมาแทนสถานะของสสารนี้เนื่องจากเขานึกถึงพลาสมาของเลือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ลำดับของสถานะและกระบวนการของสสารก่อนเป็นพลาสมา

(ที่มา : <https://th.wikipedia.org>)

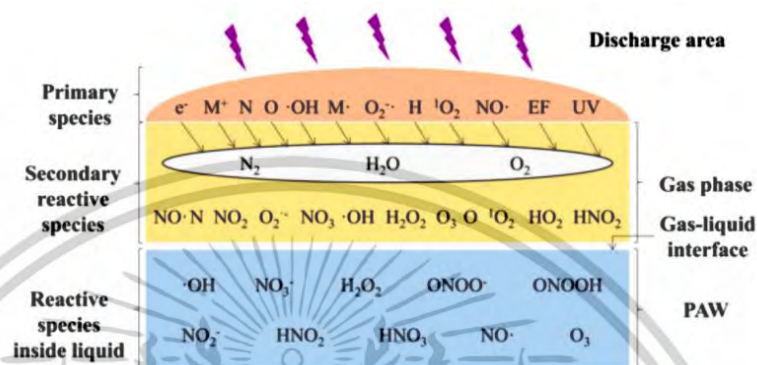
การที่พลาสมาจัดว่าเป็นสถานะที่ 4 ของสสาร เนื่องจากมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างไปจากสถานะอื่นอย่างชัดเจน พลาสมาประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุทั้งประจุบวกและลบ ในสัดส่วนที่ทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์ การอยู่ร่วมกันของอนุภาคเหล่านี้เป็นแบบประหนึ่งเป็นกลาง (Quasi neutral) ซึ่งหมายความว่าอิเล็กตรอนและไอออนในบริเวณนั้น โดยรวมแล้วมีจำนวนเท่า ๆ กัน และแสดงพฤติกรรมร่วม (Collective behavior)

พฤติกรรมร่วมนี้ หมายถึง การเคลื่อนที่ของอนุภาคในพลาสมา ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในบริเวณนั้น ๆ เท่านั้น แต่เป็นผลโดยรวมจากพลาสมาส่วนใหญ่ มากกว่าจะเป็นผลมาจากการชนกันของอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอนุภาคในพลาสมาที่สถานะสมดุล จะมีการสั่นด้วยความถี่ที่สูงกว่าความถี่ในการชนกันของอนุภาค 2 ตัวที่อยู่ใกล้กัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าพฤติกรรมร่วมนี้เป็นพฤติกรรมที่กลุ่มพลาสมาแสดงออกมารวมกัน [10]

2.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำพลาสมา

จากงานวิจัยของน้ำพลาสมาจำนวนมากได้ระบุว่าอนุมูลออกฤทธิ์ที่สำคัญของน้ำพลาสมา คือ Reactive oxygen species (ROS) และ Reactive nitrogen species (RNS) โดยที่ส่วนประกอบหลักของ ROS คือ อนุมูลไฮดรอกซิล (OH) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนอะตอมเดี่ยว (H_2O_2) ซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (O_2^-) และโอโซน (O_3) เป็นต้น ในขณะที่ RNS มีส่วนประกอบหลัก คือ ไนเตรต (NO_3^-) ไนไตรท์ (NO_2^-) เพอร์ออกซีไนไตรท์ (PN) อนุมูลไนตริกออกไซด์ (NO) และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_4^+) เป็นต้น จากองค์ประกอบทั้งหมดสารออกฤทธิ์ที่มีอายุยืนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาว คือ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ไนเตรต และไนไตรท์ รูปที่ 2.2 แสดงแผนผังองค์ประกอบในการผลิตน้ำพลาสมา ซึ่งประกอบไปด้วยพื้นที่ในการดิสชาร์จ เฟสก๊าซ และอนุภาคมูลอกฤทธิ์ที่ถูกผลิตขึ้นในของเหลว ยิ่งไปกว่านั้นคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำ เช่นการนำไฟฟ้า pH และศักยภาพในการเกิดออกซิเดชันรีดักชัน เป็นผลกระทบที่เกิดจากการเปิดใช้งานของพลาสมา [11-14]



รูปที่ 2.2 รูปแบบการเกิดอนุมูลของน้ำพลาสมา
(ที่มา : <http://sutir.sut.ac.th>)

2.2.3 การผลิตน้ำพลาสมา

น้ำพลาสมา จึงสามารถผลิตด้วยเทคนิคพลาสมากระตุ้นเหนือผิวน้ำ (PAW-A) และเทคนิคพลาสมากระตุ้นใต้ผิวน้ำ (PAW-B) คุณสมบัติของน้ำพลาสมาที่ผลิตขึ้นจากวิธีการกระตุ้นที่แตกต่างกันย่อมมีการตอบสนองต่างกันไป วิธีแรกเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบน้ำเนื่องจากพลาสมากระตุ้นเหนือผิวน้ำ (PAW-A) เป็นการดิสชาร์จที่บริเวณรอยต่อพลาสมา-น้ำ-ก๊าซ แต่เมื่อทำการดิสชาร์จต่ำกว่าผิวน้ำ (PAW-B) น้ำจะกลายเป็นส่วนหนึ่งของการตอบสนองการดิสชาร์จ ทำให้ปฏิกิริยามีความรุนแรงขึ้นและผลิตสารที่ออกฤทธิ์มากขึ้น

2.3 พลาสมาความดันบรรยากาศ (Atmospheric plasma)

พลาสมาที่ความดันบรรยากาศ หมายถึง การทำให้เกิดสถานะพลาสมาที่ความดันบรรยากาศหรือใกล้เคียงความดันบรรยากาศ พลาสมาที่ความดันบรรยากาศแบ่งเป็นหลายประเภทขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ติดตั้ง ลักษณะการเกิดดิสชาร์จหรือการปล่อยประจุ เช่น Thermal torch plasma arc corona discharge และ Dielectric Barrier Discharge (DBD) เป็นต้น ซึ่งแต่ละประเภทสามารถปรับปรุงพื้นผิวโดยตรง หรืออาศัยชนิดของพลาสมาที่เกิดขึ้นจากการไอออไนส์ทำปฏิกิริยากับสารหรือสิ่งที่ใส่เพิ่มเข้าไปเพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาและได้โครงสร้างทางเคมีใหม่บนพื้นผิวชิ้นงาน จากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งประเภทของพลาสมา พบว่า พลาสมาที่ความดันบรรยากาศมีทั้งชนิด Thermal plasma และ Non-thermal plasma

2.3.1 พลาสมาร้อน (Thermal plasma or Hot plasma)

พลาสมาร้อน คือ ก๊าซดิสชาร์จแบบพลาสมา LTE มีลักษณะการปล่อยประจุแบบ อาร์คดิสชาร์จ (Arc discharge) ซึ่งจากการเกิดกระบวนการดิสชาร์จนั้นเมื่อให้กระแสไฟฟ้าแก่ขั้วอิเล็กโทรด ทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างขั้วบวกและขั้วลบที่สูงจนกระตุ้นให้ก๊าซบางส่วนเกิดการแตกตัวอย่างรุนแรงกลายเป็นประจุบวกและอิเล็กตรอนที่มีความหนาแน่นสูง อิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าที่อยู่ข้างหน้าขั้วลบ และเคลื่อนที่ไปชนกับอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซด้วยความถี่สูงและรุนแรง เกิดการปล่อยประจุในลักษณะของสปาร์ค (Spark) ของประจุเป็นเส้นเล็ก ๆ จำนวนมาก (Filament) ทำให้เกิดสถานะของพลาสมาที่มีความดันและพลังงานสูง โดยพลาสมาร้อนนี้จะถูกสร้างที่ความดันใกล้เคียงความดันบรรยากาศหรือมากกว่านั้น ใช้ในการผลิตพลาสมาสเปร์ย์ หรือใช้ในการหลอมเชื่อม และตัดโลหะ

2.3.2 พลาสมาเย็น (Non-thermal plasma or Cold plasma)

พลาสมาเย็น คือ ก๊าซดิสชาร์จแบบพลาสมา Non - LTE มีลักษณะการปล่อยประจุแบบโกลว์ดิสชาร์จ (Glow discharges) เป็นการสร้างพลาสมาที่พัฒนามาจากพลาสมาร้อนเป็นการลดความดันในการเกิดพลาสมาให้ต่ำลง โดยเกิดที่ประมาณ 10^{-3} - 10 ทอร์ โดยอุณหภูมิของอนุภาคหนักจะมีค่าต่ำและมักจะไม่สูงกว่าอุณหภูมิห้อง แต่สำหรับอิเล็กตรอนจะมีอุณหภูมิสูงมากเพราะมีอุณหภูมिन้อยจึงถูกเร่งในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ง่าย การที่อิเล็กตรอนมีอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการชนกันแบบไม่ยืดหยุ่น ซึ่งจากกระบวนการดิสชาร์จเมื่อให้กระแสไฟฟ้าแก่ขั้วอิเล็กโทรดทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างขั้วบวกและขั้วลบที่สูงพอจนกระตุ้นให้ก๊าซบางส่วนแตกตัวและกลายเป็นประจุบวกและอิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าที่อยู่ข้างหน้าขั้วลบ และเคลื่อนที่ไปชนกับอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซ ทำให้เกิดการกระตุ้นและแตกตัวเป็นประจุ อนุภาคที่อยู่ในสถานะกระตุ้นจะปลดปล่อยรังสีออกมาและลงมาอยู่ในสถานะที่ต่ำลงมาทำให้เกิดแสงสว่าง นิยมใช้ในงานที่ไม่ต้องการความร้อน เช่น การกัด (Etching) หรือการทำฟิล์มบาง (Thin film) เป็นต้น [15]

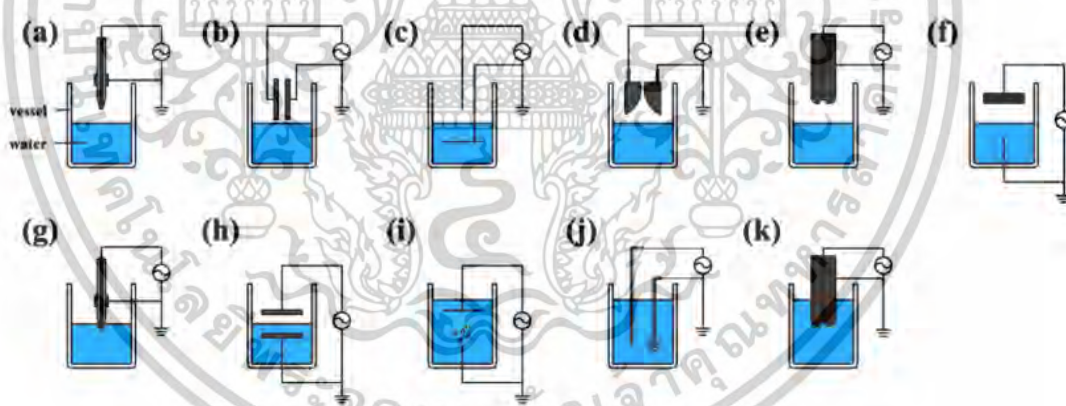
2.4 รูปแบบของการดิสชาร์จในการผลิตพลาสมา

รูปแบบหรือวิธีการดิสชาร์จเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตสถานะพลาสมา รูปแบบที่มักจะใช้ในการผลิตพลาสมา ได้แก่ Dielectric barrier discharge, Plasma jet, Glow discharge, Spark discharge, Corona discharge, Gliding และ Arc discharge เป็นต้น (แสดงในรูปที่ 2.3) น้ำพลาสมาที่ผลิตจากวิธี Spark discharge และ Microwave discharge มักจะประกอบไปด้วยอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ไนโตรเจนเป็นพื้นฐาน เช่น ไนเตรท และไนไตรท์ ในทางตรงกันข้ามน้ำพลาสมาที่ผลิตจากวิธี Glow discharge และ Dielectric barrier discharge ส่วนมากจะประกอบไปด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ และไนเตรต ซึ่งเหตุผลสำคัญ คือ การเพิ่มขึ้นของอนุมูลไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งยังส่งผลให้ความเข้มข้นของไนเตรตสูงขึ้น [16]

วิเคราะห์ความเข้มข้นของไนเตรต ไนไตรท์ และเพอร์ออกไซด์ในน้ำไร้ไอออนที่ถูกกระตุ้นด้วย Arc discharge กำลัง 150 W โดยผลที่ตามมา คือ ประสิทธิภาพในการเกิดไนไตรท์ ไนเตรต และเพอร์ออกไซด์ซึ่งเท่ากับปริมาณอนุมูลต่อจูล 23 nmol $\text{NO}_2^-/\text{g}/\text{J}$, 9 nmol $\text{NO}_3^-/\text{g}/\text{J}$ และ 2 nmol $\text{H}_2\text{O}_2/\text{g}/\text{J}$ ตามลำดับ นอกจากนี้โครงสร้างในการดิสชาร์จที่แตกต่างกันจะให้อนุมูลออกฤทธิ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีแตกต่างกัน น้ำพลาสมาผลิตจากวิธี Sliding arc discharge จะส่งผลให้น้ำพลาสมามีความเป็นกรด ในขณะที่ Spark discharge ทำให้น้ำมีค่า pH เป็นกลาง หรือเป็นด่างกว่า [12,17-18] ผลิตน้ำพลาสมาที่แตกต่างกัน 2 ลักษณะ โดยดิสชาร์จพลาสมาบนผิวด้านแอโนด และด้านแคโทดของแผ่นทองแดง โดยที่ Anodic oxidation PAW อุดมไปด้วยไนเตรต ซึ่งชี้ให้เห็นว่าปริมาณ Ionic conduction species ที่สูงกว่าน้ำพลาสมาแคโทดที่อุดมไปด้วยไนไตรท์



รูปที่ 2.3 รูปแบบของการดิสชาร์จพลาสมาสำหรับการกระตุ้นน้ำด้วยวิธีต่างๆ แบบเหนือน้ำ (a-f) แบบใต้น้ำ (g-k): (a) Plasma jet, (b) Dielectric barrier discharge, (c) Glow discharge, (d) R-Gliding arc discharge, (e) Spark discharge, (f) Gas-phase pulsed electrical discharge, (g) Plasma jet, (h) Dielectric barrier discharge, (i) Point-to-plate/mesh electrode discharge, (j) Bubble discharge, (k) Gliding arc discharge
(ที่มา : <https://www.step.cmu.ac.th>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

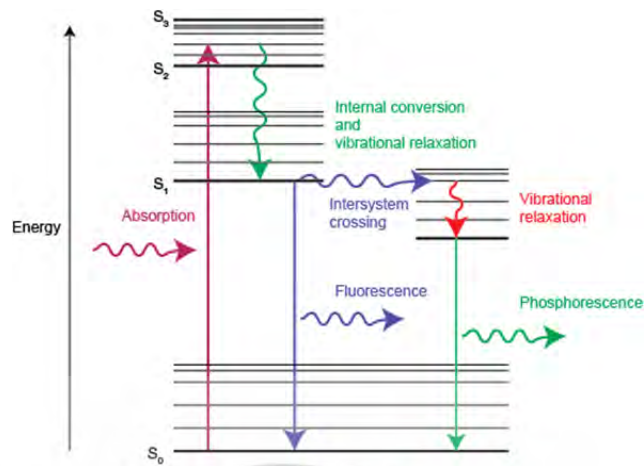
2.5 สเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง (Optical Emission Spectroscopy: OES)

สเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสงเป็นหนึ่งในหลายๆเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของสารทั้งในเชิงฟิสิกส์และเคมี โดยการใช้สเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสงทำให้สามารถตรวจสอบองค์ประกอบของสารได้ ตรวจสอบธาตุที่ประกอบขึ้นเป็นดาวเคราะห์ ดาวฤกษ์ได้ และศึกษาสมบัติภายในของอะตอม ไอออน หรือโมเลกุลได้ สเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสงสามารถตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่น 100-900 นาโนเมตร (UV-VIS-IR) ที่เปล่งออกมาจากอะตอม สเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสงเป็นเทคนิควิเคราะห์สารที่รู้จักและยอมรับกันมานาน แต่เป็นเทคนิคใหม่ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบและศึกษาสมบัติของพลาสมาแบบโกลว์

2.5.1. กระบวนการเกิดและการวัดพลังงานของอิเล็กตรอน

เป็นการวัดพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่คายออกมา เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลเกิดเปลี่ยนแปลงระดับพลังงาน (Transition) จากสถานะกระตุ้นไปสู่สถานะพื้น ดังรูปที่ 2.4 แผนภาพการเปล่งพลังงาน (Emission) อะตอมหรือโมเลกุลในสถานะกระตุ้นจะปลดปล่อยโฟตอนออกมาแล้วกลับมาสู่สถานะพื้น การเปล่งพลังงานจะเกิดขึ้นได้เมื่อพลังงานโฟตอน ($h\nu$) เท่ากับความแตกต่างของพลังงานระหว่างสถานะพื้นกับสถานะกระตุ้นเช่นเดียวกัน กระบวนการที่เกิดขึ้นในเทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง (Emission spectroscopy) เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลของสารที่สนใจจะถูกกระตุ้นด้วยความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้าหรือปฏิกิริยาเคมีเทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสงมีหลายชนิดขึ้นกับแหล่งพลังงานที่ทำให้อะตอมหรือโมเลกุลย้ายไปอยู่ที่สถานะกระตุ้น เช่น อะตอมหรือโมเลกุลที่เกิดอันตรกิริยากับโฟตอนของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดโมเลกุลลูมิเนสเซนซ์ (Luminescence) เรียกว่า โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence) โดยเทคนิคดังกล่าวแบ่งออกได้เป็นเทคนิคการวาวแสง (Fluorescence) และการเรืองแสง (Phosphorescence) โดยทั้งสองปรากฏการณ์นี้แตกต่างกันที่กระบวนการกลับมาสู่สถานะพื้นใหม่แต่ถ้าอะตอมหรือโมเลกุลของสารนั้นใช้พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาเคมี เรียกว่า Chemiluminescence โดยเทคนิค Chemiluminescence จะเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาเคมี ซึ่งทั้งสองเทคนิคนี้ คือ การวัดกำลังของคลื่นที่เปล่งออกมาเมื่ออิเล็กตรอนของอะตอมหรือโมเลกุลของสารที่กลับสู่สถานะพื้น ในทางปฏิบัติการวัดมักจะแสดงด้วยกราฟแบบสเปกตรัมที่เขียนระหว่างกำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปล่งออกมา (Intensity) กับความถี่หรือความยาวคลื่น (Wavelength) [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

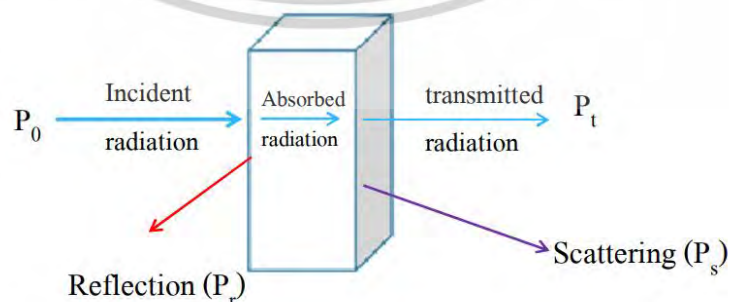


รูปที่ 2.4 แผนภาพพลังงานแสดงการดูดกลืนแสงและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยแสงในรูปของการวาวแสง (Fluorescence) และการเรืองแสง (Phosphorescence) (ที่มา : www.renishaw.com/en/photoluminescence-explained--25809)

2.6 อัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet and Visible Spectroscopy)

สเปกโทรสโกปี หมายถึง การแยก การตรวจสอบและบันทึกพลังงานที่เปลี่ยนไป เกี่ยวกับนิวเคลียส อะตอม ไอออน หรือโมเลกุล พลังงานที่เปลี่ยนไปนั้นเนื่องจากเกิดอีมิชัน (Emission) การดูดกลืน (Absorption) การกระเจิง (Scattering)

ในธรรมชาติสารสามารถดูดกลืนแสง รังสี หรือแสงได้แตกต่างกันทำให้วัตถุเหล่านั้นมีสีต่างกันไป นักวิทยาศาสตร์จึงนำสมบัติเหล่านี้ไปใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ เทคนิคการวิเคราะห์นี้บางครั้งนิยมเรียกว่า ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี แต่ถ้าเป็นสารที่ทำการวิเคราะห์มีสีหรือทำให้เกิดสีขึ้น สารที่มีสีนั้นจะดูดกลืนแสงในช่วงวิสิเบิล อาจเรียกได้ว่า คัลเลอร์ิเมตรี (Colorimetry)

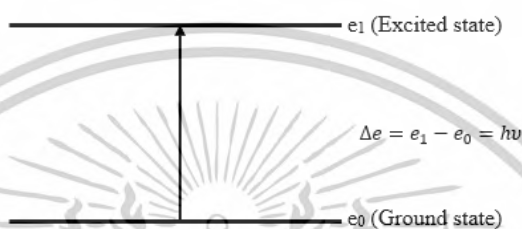


รูปที่ 2.5 การเกิดอันตรกิริยาของสารเคมีกับการแผ่รังสีหรือแสง

(ที่มา : <http://www.science.mju.ac.th>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อให้ลำแสงที่เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องกัน (Continuous beam of radiation) ผ่านเข้าไปในวัตถุใสจะพบว่าแสงบางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนเกิดการสะท้อน บางส่วนกระเจิง และบางส่วนทะลุผ่านออกไป ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ถ้าให้แสงที่ทะลุออกไปนั้นผ่านเข้าเครื่องกระจายแสง (เช่น ปริซึมหรือเกรตติง) จะเห็นว่าสเปกตรัมหายไปส่วนหนึ่ง ส่วนที่หายไปนี้เรียกว่า Absorption spectrum พลังงานที่ถูกดูดกลืนไปนั้นจะทำให้โมเลกุลหรืออะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้น (Ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น (Excited state) ดังรูปที่ 2.6 [20-21]



รูปที่ 2.6 กระบวนการเกิดการกระตุ้น

โดย Δe คือ ความแตกต่างของพลังงานระหว่าง 2 ระดับพลังงาน

e_1 คือ ระดับพลังงานที่สถานะกระตุ้น

e_0 คือ ระดับพลังงานที่สถานะพื้น

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant = 6.626×10^{-34} J s)

ν คือ ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (s^{-1})

2.7 การบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะของน้ำเสีย ระดับการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการ สภาพทั่วไปของท้องถิ่น ค่าลงทุนก่อสร้าง ค่าดำเนินการดูแล การบำรุงรักษา และขนาดของที่ดินที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เลือกมีความเหมาะสมกับแต่ละท้องถิ่น มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยการบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ตามกลไกที่ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย ได้ดังนี้

1. การบำบัดทางกายภาพ (Physical treatment) เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร กรวด ทراب ไขมัน และน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการบำบัดทางกายภาพ คือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังตกตะกอน ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก

2. การบำบัดทางเคมี (Chemical treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมี เพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ ค่าพีเอช (pH) สูงหรือต่ำเกินไป มีสารพิษ โลหะหนัก ของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก มีไขมัน และน้ำมันที่ละลายน้ำ ไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป และมีเชื้อโรค ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตะกอนตกตะกอน ถังกรอง และถังฆ่าเชื้อโรค

3. การบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย โดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยนำความสกปรกเหล่านี้มาใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกตกลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้ อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic organisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic organisms) ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ (Activate Sludge, AS), ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor, RBC), ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch, OD), ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon, AL), ระบบโป๊ปรอง (Trickling Filter), ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Stabilization Pond), ระบบยูเอเอสบี (Upflowed Anaerobic Sludge Blanket, UASB) และ ระบบกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter, AF) เป็นต้น [2,21]

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย

1. ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge Process ; AS) ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบโดยอาจจะทำให้มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง (มีอาหารมาก) ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีลักษณะเติบโตกระจายอยู่ทั่วไป (Dispersed growth) แทนที่การรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่ดี (Flocculation (Floc)) ผลให้ตะกอนไม่ดี น้ำออกขุ่น และมีค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand ; BOD) อยู่สูง หรืออาจเกิดขึ้นในทำนองตรงกันข้าม คือ มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำ (มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารน้อย) จนทำให้จำนวนจุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อยลง ดังนั้นการควบคุมการทำงานที่ดีจึงต้องควบคุมอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ในระบบให้มีค่าพอเหมาะ

2. อาหารเสริม

จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม (Nutrients) ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก นอกเหนือจากสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งนำมาใช้เป็นพลังงาน ปกติแร่ธาตุต่างๆ เหล่านี้มีอยู่ครบ อยู่ในน้ำเสียจากชุมชน (Domestic waste water) แต่อาจจะมีไม่พอในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขาดสารอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างอนุภาคตกตะกอน (Floc) เติบโตได้ไม่ดี จนทำให้จุลินทรีย์ชนิดเส้นใยเจริญเติบโตได้มากกว่า ซึ่งจะทำให้ตะกอนร่งตกตะกอนได้ยากและเกิดเป็นชั้นตะกอนอัดขึ้นมาสูงในถังตกตะกอนและอาจจะล้นไหลออกมากับน้ำทิ้งจนระบบไม่สามารถรองรับต่อไปอีกได้ นอกจากนี้การที่จุลินทรีย์หลายชนิดเจริญเติบโตได้ไม่ดีจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานต่างๆ ของระบบลดลงอีกด้วย โดยปกติจะควบคุมปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand; BOD) 100 กิโลกรัม ต้องมีไนโตรเจน 5 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 1 กิโลกรัม และเหล็ก 0.5 กิโลกรัม การเติมไนโตรเจนมักใส่ลงในรูปของแอมโมเนียหรือยูเรีย สำหรับฟอสฟอรัสจะใส่ลงในรูปของกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) และใส่เหล็กในรูปของเฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride) ในการเติมอาหารเสริมจะต้องสังเกตและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำออกให้มีค่าแร่ธาตุต่างๆ เหลืออยู่เพียงเล็กน้อย เพราะการใส่ลงไปมากเกินไปนอกจากจะเป็นการสิ้นเปลืองแล้ว ยังเป็นสารมลพิษทำลายสิ่งแวดล้อมได้อีกต่อไป

3. ออกซิเจนละลายน้ำ

ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหรือดีโอ (Dissolved Oxygen ; DO) หรือออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณของอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้เพื่อรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำนี้ ขึ้นกับอุณหภูมิหากอุณหภูมิสูงจุลินทรีย์สามารถทำงานได้มากจะต้องการออกซิเจนมาก นอกจากนั้นที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิ่มตัว (Saturation value) ต่ำ จึงทำให้ต้องใช้ออกซิเจนมากเมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังเติมอากาศสูง ในทำนองกลับกันหากอุณหภูมิน้ำต่ำจะทำให้มีความต้องการการเติมอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง ในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ค่าเท่ากัน

4. ระยะเวลาในการบำบัด

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศ จะต้องมีมากเพียงพอที่จุลินทรีย์ จะใช้ในการย่อยสลายมวลสารต่างๆ หากมีระยะเวลาต่ำกว่ามากไป สารที่ย่อยยากจะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้มีค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก สำหรับระยะเวลาในถังตกตะกอนชั้นสองเช่นเดียวกัน หากมีน้อยเกินไปจะทำให้ตะกอนเร่งตกตะกอนได้ไม่ดี แต่ถ้านานเกินไปจะทำให้ตะกอนเร่งขาดออกซิเจนและเน่าได้

การบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลมีหน้าที่ในการป้องกันสุขอนามัยและสภาพแวดล้อมของชุมชนจะเกิดขึ้นจากน้ำเสียของโรงพยาบาลเนื่องจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากและในน้ำเสียยังประกอบด้วยสารอินทรีย์ยาปฏิชีวนะและเชื้อโรคองค์ประกอบของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลประกอบด้วยระบบท่อบรรวมน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ คือ ระบบท่อบรรวมน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้น ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง ระบบบ่อกักตะกอน ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ บ่อปรับเสถียร บึงประดิษฐ์ ระบบรีดน้ำสลัดจ์และการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน โดยในงานวิจัยนี้จะขอกกล่าวถึงระบบบำบัดน้ำเสียจากบ่อกักตะกอน (แอกทิเวเตดสลัดจ์) ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียตัวอย่างจากโรงพยาบาลองค์กรักษ์ จ. นครนายก

ลักษณะสำคัญของระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ คือ เป็นระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ประเภทเติมเข้า-ถ่ายออก (Fill-and-Draw Activated Sludge) โดยมีขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียแตกต่างจากระบบตะกอนเร่งแบบอื่น ๆ คือ การเติมอากาศ (Aeration) และการตกตะกอน (Sedimentation) จะดำเนินการเป็นไปตามลำดับภายในถังปฏิกริยาเดียวกัน โดยการเดินระบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ 1 รอบการทำงาน (Cycle) จะมี 5 ช่วงตามลำดับ ดังนี้

- 1.) ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill) นำน้ำเสียเข้าระบบ
- 2.) ช่วงทำปฏิกริยา (React) เป็นการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (BOD)
- 3.) ช่วงตกตะกอน (Settle) ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกลงกันถึงปฏิกริยา
- 4.) ช่วงระบายน้ำทิ้ง (Draw) ระบายน้ำที่ผ่านการบำบัด
- 5.) ช่วงพักระบบ (Idle) เพื่อซ่อมแซมหรือรอรับน้ำเสียใหม่

การตรวจสอบโดยการวิเคราะห์ตัวอย่าง

การตรวจสอบโดยการวิเคราะห์ตัวอย่าง เป็นสิ่งจำเป็นในการควบคุมการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อนำไปใช้ในการประเมินสภาพการทำงาน วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นและคำนวณค่าที่ใช้ควบคุมระบบต่างๆ การตรวจสอบที่สำคัญมีดังต่อไปนี้ คือ

1. ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen; DO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี BOD (Biochemical Oxygen Demand)
3. ค่าปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือความต้องการออกซิเจนทางเคมี COD (Chemical Oxygen Demand)
4. อัตราการใช้ออกซิเจน (Oxygen consumption)
5. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS หรือ Total Suspended Solids; TSS)
6. ของแข็งแขวนลอยระเหย (Volatile Suspended Solids; VSS)
7. สารที่ตกตะกอนได้ (Sediment)
8. การทดสอบการตกตะกอน 30 นาที (30 – Minute Settling Test)
9. อาหารเสริม
10. ค่าพีเอช (pH)
11. สภาพกรดและสภาพด่าง (Acidity and Alkalinity)
12. อุณหภูมิ (Temperature)
13. น้ำมันและไขมัน
14. ดัชนีปริมาตรของตะกอน (Sludge volume index; SVI)
15. ดัชนีความหนาแน่นของตะกอน (Silt Density Index; SDI)
16. การวัดชั้นของตะกอน
17. อัตราการไหล (Volume flow rate, Q)
18. ระยะเวลาเก็บกัก
19. อัตราการเติมสารเคมี
20. การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ [3]

2.8 เกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

โดยที่ได้มีการปฏิรูประบบราชการโดยให้มีการจัดตั้งกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และให้โอนภารกิจของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ไปเป็นของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ประกอบกับเป็นการสมควรให้คณะกรรมการควบคุมมลพิษเป็นผู้พิจารณาเห็นชอบกับวิธีการตรวจค่ามาตรฐานการระบายน้ำทิ้ง นอกเหนือจากวิธีการที่กำหนดไว้แทนกรมควบคุมมลพิษ จึงสมควรแก้ไขปรับปรุงประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาด อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 55 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม แห่งชาติ พ.ศ. 2535 แก้ไขโดยมาตรา 114 แห่งพระราชกฤษฎีกาแก้ไขบทบัญญัติให้สอดคล้องกับการ โอนอำนาจหน้าที่ของส่วนราชการ ให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติปรับปรุงกระทรวง ทบวง กรม พ.ศ. 2545 พ.ศ. 2545 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและ เสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 48 มาตรา 50 และมาตรา 51 ของ รัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้ โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการ ควบคุมมลพิษ และโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ จึงออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

"น้ำทิ้ง" หมายความว่า น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้วจนเป็นไปตามมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้งตามที่กำหนดไว้ในประกาศนี้ โดยในข้อ 4.5 ได้กล่าวว่า อาคารประเภท ก. หมายความว่า อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์กรระหว่างประเทศ หรือของเอกชน ที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 55,000 ตารางเมตร ขึ้นไป มี มาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ประเภท ก. ตามข้อ 9 ต้องมีค่าดังต่อไปนี้

- (1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) ต้องมีค่าระหว่าง 5-9
- (2) บีโอดี (BOD) ต้องมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ต้องมีค่าไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (4) ซัลไฟด์ (Sulfide) ต้องมีค่าไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (5) สารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณ สารละลายในน้ำใช้ตามปกติไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (6) ตะกอนหนัก (Settleable solids) ต้องมีค่าไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (7) น้ำมันและไขมัน (Fat oil and Grease) ต้องมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (8) ทีเคเอ็น (TKN) ต้องมีค่าไม่เกิน 35 มิลลิกรัมต่อลิตร [6]

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาของ Chizoba et al. (2017) [11] ได้ทำการรายงานการนำเสนอภาพรวมของ การศึกษาล่าสุดเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้พลาสมาเย็นในอุตสาหกรรมอาหาร พื้นที่ที่ถูกพูดถึงเฉพาะคือ การปรับปรุงจากเชื้อสายพันธุ์ของผลิตภัณฑ์อาหาร การประมวลผลวัสดุบรรจุภัณฑ์ การปรับปรุง ความสามารถของวัสดุอาหาร และการลดความสะสมของสารเคมีในการเกษตรกรรม การประยุกต์ใช้

พลาสมาเย็นยังถูกขยายออกไปสู่พื้นที่อื่น เช่น การกำจัดน้ำมันอาหาร การลดอาการแพ้อาหาร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งขึ้นไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นาเปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปิดกั้นปัจจัยที่ไม่เป็นทางโภชนาการ การปรับแต่งประสิทธิภาพของการงอกเมล็ดพันธุ์และการจัดการน้ำเสีย นอกจากนี้ในงานวิจัยยังให้ข้อสรุปเกี่ยวกับเคมีและแหล่งที่มาของพลาสมาเย็น ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของพลาสมาเย็น และกลยุทธ์ในการเพิ่มประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังเน้นเนื้อหาสำคัญสำหรับงานวิจัยในอนาคตและข้อเสียที่สำคัญ

จากการศึกษาของ Chanan et al. (2018) [9] ได้ทำการรายงานเกี่ยวกับการบำบัดน้ำโดยใช้พลาสมา ซึ่งพลาสมาประกอบด้วยอิเล็กโทรดแบบเข็มสองอันที่ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิม ทั้งสแตนอะลูมิเนียม และกราไฟต์ โดยวางไว้เหนือสารละลายประมาณ 2 มิลลิเมตร โดยใช้สารละลายเมทิลีนบลูแบบจำลองสารละลายอินทรีย์ และใช้เวลาในการรักษาพลาสมาคือ 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสง อุณหภูมิ และค่า pH ของสารละลายก่อนและหลังการบำบัดโดยใช้อิเล็กโทรดต่างๆ เพื่อศึกษาว่าอิเล็กโทรดที่ใช้ในการปล่อยพลาสมาเพื่อลดการดูดกลืนแสงของเมทิลีนบลูชนิดไหนที่ดีที่สุด

จากการศึกษาของ Gururani et al. (2021) [13] ได้ทำการรายงานว่า พลาสมาเย็นเป็นเทคโนโลยีขั้นสูงที่ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อแก้ไขปัญหาบางประการเกี่ยวกับมลพิษทางน้ำจำนวนมากและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในน้ำต่างๆ รวมถึงไวรัส ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นใหม่นี้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของ SARS-CoV-2 หรือไวรัสโคโรนา ซึ่งทำหน้าที่เป็นช่องทางแพร่เชื้อของไวรัสที่ร้ายแรงในน้ำเสีย แต่การที่จะพัฒนาพลาสมาเย็นสำหรับการบำบัดน้ำเสียนั้นยังขาดข้อมูลต่างๆ เช่น การลงทุน และต้นทุนการดำเนินงาน เป็นต้น

จากการศึกษาของ Hichem et al. (2020) [15] ได้ทำการรายงานว่า พลาสมาเย็นเป็นหนึ่งในกระบวนการที่มีการศึกษาและพัฒนาอย่างกว้างขวางที่สุด เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่ำและใช้งานง่าย การกำหนดค่าล่าสุดของการปล่อยพลาสมาเพียงอย่างเดียวและควบคู่ไปกับกระบวนการอื่นๆ ทั้งในการกำหนดค่าหลังการบำบัดและก่อนการบำบัด ข้อดีและข้อเสียของการปล่อยพลาสมาสำหรับการบำบัดน้ำ

จากงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องถูกนำมาพัฒนาต่อยอดในการสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มที่สามารถช่วยลดระยะเวลาและเพิ่มอนุโมลอิสระต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล อีกทั้งยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องให้มีประสิทธิภาพตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยขั้นตอน วิธีการพัฒนาและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็ม ผลการทดลองต่างๆ และรายละเอียดอื่นๆ จะถูกกล่าวในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

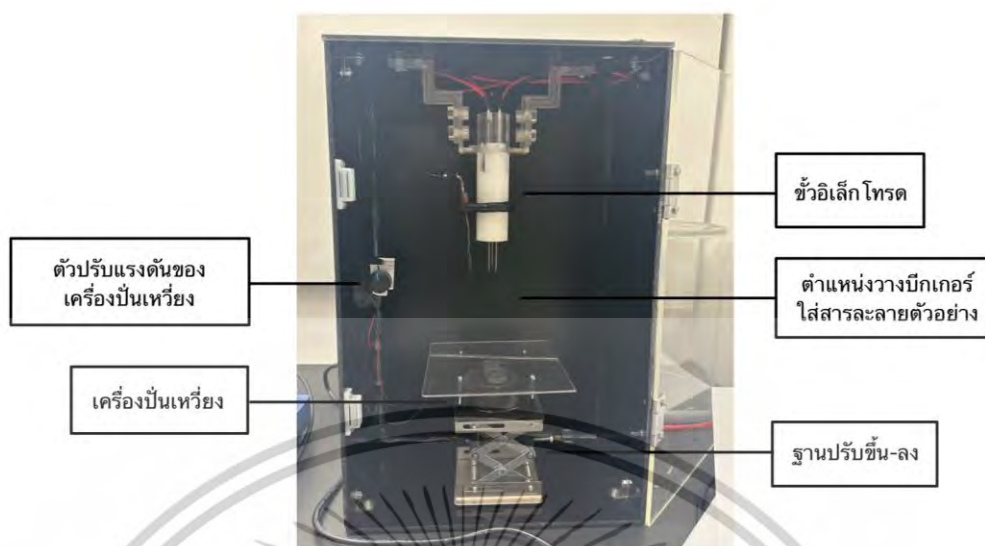
วิธีการดำเนินงานวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนาเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มด้วยวิธีแอดคทีฟเวจด์ขั้นสูงเพื่อฆ่าเชื้อโรคสำหรับการบำบัดน้ำเสีย โดยดำเนินการวิจัยที่ห้องปฏิบัติการพลาสมาเชิงประยุกต์ 1 อาคาร 14 ศูนย์วิศวกรรมและเทคโนโลยีนิวเคลียร์ขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1. การออกแบบและพัฒนาก่อสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย
- ขั้นตอนที่ 2 การหาลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าเบื้องต้น ณ อุณหภูมิที่สภาวะบรรยากาศของระบบกำเนิดพลาสมาโคโรนาดีสชาร์จ
- ขั้นตอนที่ 3 วิธีการหาค่าความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่ถูกกระตุ้นด้วยพลาสมาโคโรนาดีสชาร์จให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- ขั้นตอนที่ 4 การประเมินค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการเกิดโคโรนาดีสชาร์จในการบำบัดน้ำเสีย

3.1 การออกแบบและพัฒนาก่อสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย

ในการออกแบบเครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คโดยตรงแบบหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย ถูกออกแบบและสร้างขึ้นโดยคำนึงถึงความแข็งแรงความทนทาน มีความปลอดภัยในการดำเนินการทดลอง ต้นทุนการผลิตต่ำ และมีขนาดกะทัดรัดเหมาะสมสำหรับเคลื่อนย้ายเพื่อนำไปทดสอบกับสารละลายตัวอย่างที่มีกำหนดระยะเวลาในการจัดเก็บ เครื่องกำเนิดดังกล่าวมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ ระบบพลาสมาโคโรนาดีสชาร์จ และส่วนกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสูง ดังมีรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของระบบพลาสมาโคโรนาดีสชาร์จของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย

3.1.1 ส่วนระบบพลาสมาโคโรนาดีสชาร์จของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็ม

ในส่วนประกอบของระบบพลาสมาโคโรนาดีสชาร์จทำหน้าที่ให้กำเนิดพลาสมาซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า “การแอดติเวจด์ขึ้นสูงเพื่อฆ่าเชื้อโรคสำหรับการบำบัดน้ำเสีย” ระบบจะประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ฉนวนหุ้มแทงปลายเข็ม ตำแหน่งอุปกรณ์วางตัวอย่าง แทนยกห้องปฏิบัติการ เครื่องปั่นเหวี่ยง

ก. ขั้วไฟฟ้าบวกและขั้วไฟฟาลบ

1. แท่งปลายเข็ม ประกอบด้วยแท่งปลายเข็ม 3 แท่ง ทำหน้าที่เป็นขั้วอิเล็กโทรดหรือขั้วแอโนดสำหรับให้กำเนิดพลาสมา แต่ละแท่งจะทำด้วยทังสเตนโดยมีลักษณะปลายข้างหนึ่งเป็นปลายแหลม คุณสมบัติทางกายภาพ ดังแสดงข้อมูลจำเพาะของทังสเตนที่สำคัญรายละเอียดในตารางที่ 3.1 ระยะห่างระหว่างแท่งทังสเตนทั้ง 3 ถูกหุ้มด้วยฉนวน (แท่งพลาสติกเทฟลอน (TEFLON) PTFE (Polytetrafluorethylene) มีคุณสมบัติที่พิเศษ สามารถทนทานต่อความร้อนได้ดีเยี่ยม และอุณหภูมิการใช้งานอยู่ที่ -200 ถึง 260 องศาเซลเซียส) เพื่อป้องกันการสัมผัสกัน ด้านบนของแท่งอิเล็กโทรดจะถูกเชื่อมอยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าขั้วบวก (สายไฟสีแดง)

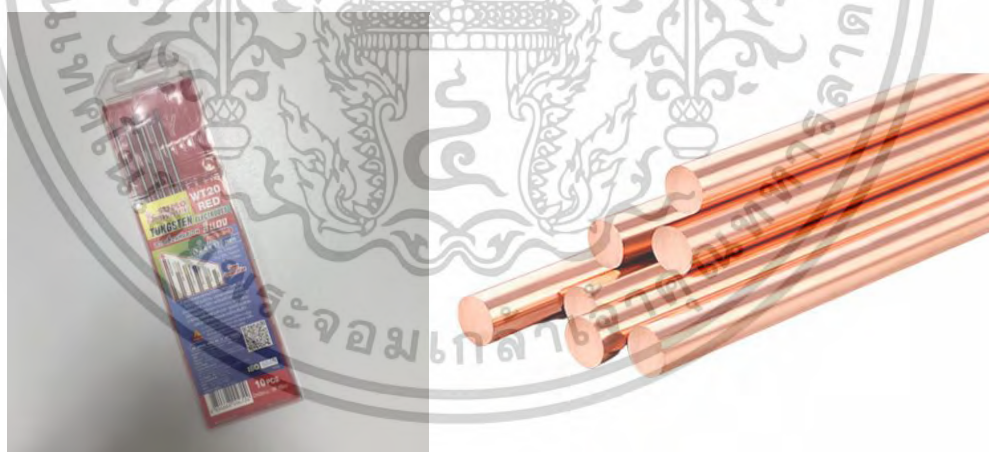
2. แท่งทองแดงทำหน้าที่เป็นขั้วอิเล็กโทรดหรือขั้วแคโทด คุณสมบัติทางกายภาพ ดังแสดงข้อมูล

จำเพาะของทองแดงที่สำคัญรายละเอียดในตารางที่ 3.1 แท่งทองแดงจะสัมผัสกับสารละลายตัวอย่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเชื่อมอยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าขั้วลบ (สายไฟสีดำ) เมื่อจ่ายแหล่งจ่ายไฟฟ้าในขณะที่ทำงานจะพบว่า สารละลายตัวอย่างจะแสดงสมบัติเป็นตัวนำทำให้วงจรมีการไหลของกระแสไฟฟ้าได้ครบวงจร เกิดลักษณะของลัมพลาสมา ดังรูปที่ 3.2

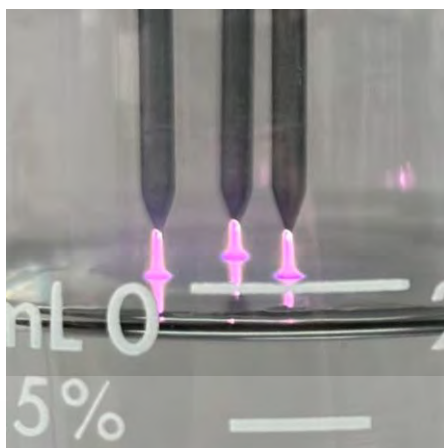
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะของขั้วไฟฟ้าบวกและลบ

วัสดุ	ชนิด	%ส่วนประกอบ	ขนาด	ขั้วไฟฟ้า	จุดหลอมเหลว	ความหนาแน่นที่ 20 °C
ทังสเตน (Tungsten/Wolfram, W)	Metal-2% Thoriated Tungsten, AWS A5.12 (ISO 6848), EWTh-2 (WTh20)	97.3% Tungsten 1.70-2.20% Thorium 0.5% อื่นๆ	2.4*175 mm	Anode (+)	3,410 °C	19.3 g/cc
ทองแดง (Copper rod, Cu)	T2 Red Copper Round Rod	99.9% Copper 0.1% อื่นๆ	2.5*128.9 mm	Cathode (-)	1,084.62 °C	8.96 g/cc



รูปที่ 3.2. แท่งทังสเตนปลายเข็ม (ซ้าย) และแท่งทองแดง (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ลักษณะของลำพลาสมา

ข. ฉนวนหุ้มแท่งปลายเข็ม

ฉนวนหุ้มนี้ทำจากพลาสติกเทฟลอนหรือเรียกอีกอย่างว่าฟลูออโรพลาสติก (TEFLON) PTFE (Polytetrafluorethylene) คือ พลาสติกเทคนิคประเภทเทฟลอน ซึ่งเป็นชื่อที่เรียกกันทั่วไปของ PTFE (Polytetrafluoroethylene) มีน้ำหนักโมเลกุล 9,000,000 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร จากการวัดโดยวิธี Radio Actively Labelled Initiators และพันธะทางเคมีระหว่างคาร์บอนกับฟลูออรีน ซึ่งพลังงานที่จะทำให้แยกตัวได้ต้องใช้แรงแยกสลาย (Dissociation energy) ถึง 460 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งเป็นพันธะทางเคมีที่สูงที่สุดของอินทรีย์เคมีที่รู้จักกันในปัจจุบัน สายโซ่คาร์บอน (Carbon chain) เกือบจะถูกอะตอมของฟลูออรีนป้องกันเกือบทั้งหมด จึงมีสภาพเป็นเกาะเคลือบของสายโซ่คาร์บอน ต่อผลกระทบภายนอก จากปรากฏการณ์ทางเคมีดังกล่าวนี้ ทำให้โพลีเมอร์ตัวนี้มีความทนทานต่อสารเคมีสูง

1. คุณสมบัติของฟลูออโรพลาสติก (TEFLON) PTFE (Polytetrafluorethylene)

เนื่องจากฟลูออโรพลาสติก เป็นพลาสติกเรซินหายากที่รวมคุณสมบัติพิเศษจำนวนมากไว้ในพลาสติกตัวเดียว ทำให้ถูกขนานนามว่าเป็น “เรซิน ปรากฏการณ์สุดท้าย” จากผลิตภัณฑ์เรซินทั้งหมด ฟลูออโรพลาสติกมีคุณสมบัติที่สำคัญ 7 ประการ คือ การทนความร้อน ทนความเย็น ไม่เกาะติด มีความเรียบลื่น ทนสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้า และทนต่อสภาพอากาศ

1.1 การทนความร้อน: เนื่องจาก PTFE สามารถทนความร้อนได้มากกว่าพลาสติกชนิดอื่นๆ โดยมีจุดหลอมเหลวที่ 380 องศาเซลเซียส และสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องที่ 260 องศาเซลเซียส จึงจำเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบนี้ ที่ไม่ต้องการให้พลาสติกเสื่อมสภาพแม้อยู่ในสภาวะที่มีความร้อนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การทนความเย็น: เนื่องจาก PTFE สามารถทนต่อความหนาวเย็นได้ถึง -253 องศาเซลเซียส ทำให้ถึงแม้จะผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ฟลูออโรพลาสติกแล้ว ก็ยังสามารถคงคุณสมบัติความทนทานต่อความหนาวเย็น โดยสามารถใช้ได้แม้ในอุณหภูมิที่ -100 องศาเซลเซียส

1.3 ไม่เกาะติดหรือไม่เหนียวติด (Non-stick): ฟลูออโรพลาสติกมีคุณสมบัติที่โดดเด่นคือ จะไม่มีวัตถุใดๆ สามารถเกาะติดสารชนิดนี้ได้ กล่าวคือ มีคุณสมบัติในการลอกออกที่ดียเยี่ยม เพราะถึงแม้มีวัตถุมาเกาะติดสารชนิดนี้ ก็สามารถลอกออกได้ในทันที และเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ไม่เกาะติด จึงเหมาะสำหรับกระบวนการผลิตอาหารหรืออุปกรณ์ในเครื่องพิมพ์ รวมถึงยังช่วยลดขั้นตอนในการทำ ความสะอาดจากคุณสมบัติการไม่เกาะติดนี้อีกด้วย

1.4 มีความลื่นสูง: ฟลูออโรพลาสติกมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำที่สุดในบรรดาของแข็งทั้งหมด จึงแทบจะไม่มี ความต้านทานแรงเสียดทานบนพื้นผิว เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการพื้นผิวที่มีความเรียบลื่นในกระบวนการผลิตหรือการลำเลียงที่ต้องการความลื่นแต่ไม่ต้องการให้เกิดรอยขีดข่วน

1.5 ทนสารเคมี: เนื่องจากฟลูออโรพลาสติกจะไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีและตัวทำละลาย เป็นส่วนใหญ่ ทำให้ไม่เกิดการเจือปนแม้สัมผัสกับกรดหรือด่างที่มีความเข้มข้น

1.6 ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (ไม่นำไฟฟ้า): ฟลูออโรพลาสติกมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและการสูญเสียแทนเจนต์ไดอิเล็กตริกที่ต่ำที่สุด ทำให้มีระดับการเป็นฉนวนที่สูงที่สุดในบรรดาพลาสติกทั้งหมด นอกจากนี้ความถี่และอุณหภูมิยังไม่มีผลกระทบต่อพลาสติกชนิดนี้ จึงมีการใช้ฟลูออโรพลาสติกกันอย่างแพร่หลายในงานประเภทอุปกรณ์การสื่อสารความเร็วสูงขนาดใหญ่ในย่านความถี่สูง

1.7 ทนต่อสภาพอากาศ (ทนต่อแดดกลางแจ้ง): ฟลูออโรพลาสติกยังสามารถใช้งานได้ดีแม้ในสภาวะที่โดนแสงอัลตราไวโอเล็ต แสงที่ตามองเห็นหรือความชื้น พลาสติกหลายชนิดจะเสื่อมสภาพลงเมื่อวางไว้กลางแจ้งเป็นเวลาหลายปี แต่ฟลูออโรพลาสติกแทบจะไม่ได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารเคมีหรือออกซิเจนที่อยู่ในอากาศ ทำให้พลาสติกชนิดนี้ยังคงมีความแข็งแรงและไม่เสื่อมสภาพ สามารถใช้งานได้ยาวนานกว่า 30 ปี

2. หลักการออกแบบแบ่งพลาสติกเทปลอน

การออกแบบแบ่งพลาสติกเทปลอนถูกออกแบบให้เป็นลักษณะทรงกระบอก ที่เป็นฉนวนหุ้มระหว่างแท่งทั้งสแตนเลสแต่ละแท่ง ทำให้แท่งทั้งสแตนเลสสัมผัสกันและจัดเรียงแท่งทั้งสแตนเลสให้สมมาตร โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนล่างใกล้กับส่วนการดิสชาร์จ ดังรูปที่ 3.4 ส่วนบนไว้ยึดติด ดังรูปที่ 3.5 และส่วนลำตัว ดังรูปที่ 3.6 เพื่ออำนวยความสะดวกในการประกอบเข้ากับชิ้นส่วนแท่งเซมิปลายแหลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. ตำแหน่งอุปกรณ์วางตัวอย่าง

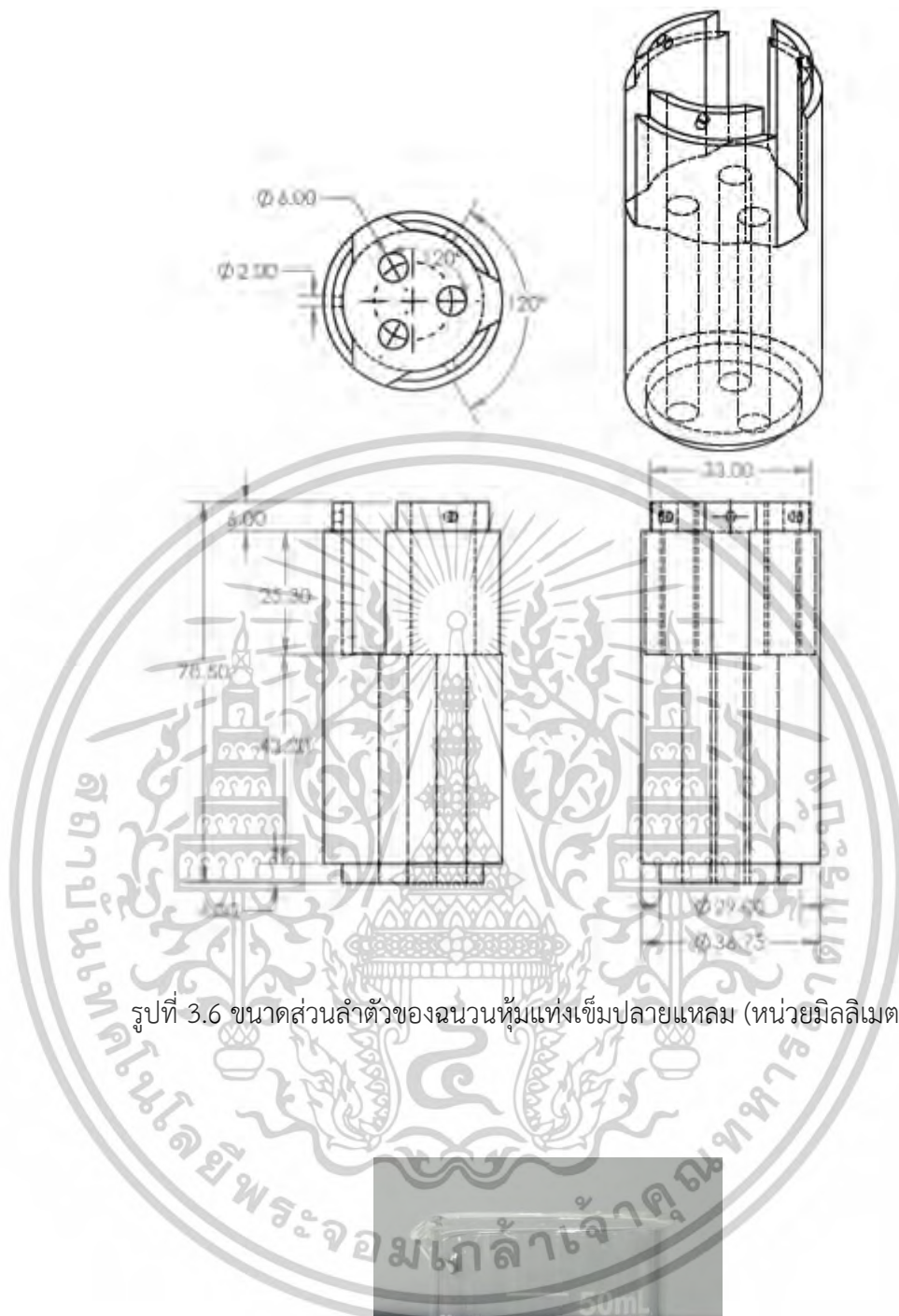
ตำแหน่งอุปกรณ์สำหรับวางปีกเกอร์ (Beaker) สำหรับใส่สารละลายตัวอย่างซึ่งจะถูกใช้งานกับ Magnetic Bars และเครื่องปั่นเหวี่ยงประติษฐ์โดยจะกล่าวในส่วนต่อไป โดยปีกเกอร์ใส่สารละลายตัวอย่างถูกวางไว้บนเครื่องปั่นเหวี่ยง(ประติษฐ์) สามารถใช้ปีกเกอร์ปริมาตรใดขนาดใดก็ได้ แต่ไม่ควรเกิน 1,000 มิลลิลิตรเพราะจะทำให้ไม่สะดวกในการทดลองและการรองรับน้ำหนักของเครื่องปั่นเหวี่ยงประติษฐ์ที่มีปริมาณจำกัด อาจเกิดอันตรายและภายในตัวเครื่องกำเนิดพลาสมานั้นมีพื้นที่ที่จำกัด โดยในการวิจัยนี้จะใช้ปีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตรแสดงดังรูปที่ 3.7 ดังแสดงในรูปที่ 3.8



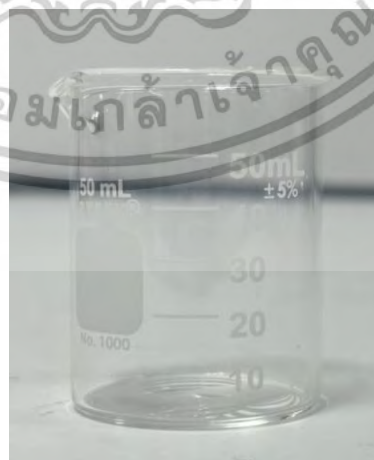
รูปที่ 3.4 ขนาดส่วนล่างของฉนวนหุ้มแท่งเชื่อมปลายแหลมใกล้ส่วนการดีสชาร์จ (หน่วย มิลลิเมตร)

รูปที่ 3.5 ขนาดส่วนบนไว้ยึดติดของฉนวนหุ้มแท่งเชื่อมปลายแหลม (หน่วยมิลลิเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ขนาดส่วนลำตัวของฉนวนหุ้มแท่งเข็มปลายแหลม (หน่วยมิลลิเมตร)



รูปที่ 3.7 ปีกเกอร์ปริมาตร 50 มิลลิลิตรที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การจัดวางตำแหน่งของปีกเกอร์ปริมาตรสูงสุด 1000 มิลลิลิตร และแท่นยกห้องปฏิบัติการ

ง. เครื่องปั่นเหวี่ยง

เครื่องปั่นเหวี่ยงถูกประดิษฐ์ขึ้นสำหรับการปั่นเหวี่ยงสารละลายเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการดิซซาร์ระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับสารละลายตัวอย่าง ถูกสร้างจากพัดลมระบายความร้อนที่ถูกติดตั้งแม่เหล็กสองชิ้นไว้ตรงกลางแสดงดังรูปที่ 3.9 และมีตัวปรับแรงดันไฟฟ้ามาช่วยปรับแรงดันรอบการหมุนของพัดลมระบายอากาศเพื่อควบคุมการปั่นเหวี่ยง โดยจะอธิบายในขั้นต่อไป



รูปที่ 3.9 เครื่องปั่นเหวี่ยงประดิษฐ์

ส่วนประกอบของเครื่องปั่นเหวี่ยง มีรายละเอียดดังนี้

1. พัดลมระบายความร้อน: พัดลมระบายความร้อนโครงเหล็ก ใบพัดพลาสติกแสดงดังรูปที่ 3.10 ออกแบบให้ใช้เป็นตัวนำในการหมุนให้กับแม่เหล็ก โดยจะใช้แกนควบคู่กับ Magnetic bars ที่อยู่ในปีกเกอร์สำหรับการทดลอง ซึ่งแรงในการหมุนของพัดลมระบายความร้อนที่ติดตั้งแม่เหล็กแล้ว จะทำเอกซารันเป็นเอกซารันที่ส่งวนไว้สำหรับเครื่องนี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ตัวMagnetic Bars นั้นเคลื่อนที่ตามแรงดูดของแม่เหล็กและหมุนบนเหียงสารละลายให้เข้ากัน ซึ่งการทำงานจะเหมือนกับเครื่องปั่นเหียงสารละลายในห้องปฏิบัติการทางเคมีทั่วไป โดยพัดลมระบายความร้อนมีรายละเอียดดังนี้



Voltage : AC 200-240 V

Frequency : 50Hz/60Hz

Current : 0.07 A

Power : 15 Watt

Bearing : Sleeve Bearing ขนาด : 9*9 cm

(ใช้สำหรับแรงเสียดทานแบบเลื่อนใช้เป็นสารหล่อลื่นและสารลดแรงเสียดทาน)

รูปที่ 3.10 พัดลมระบายความร้อน

2. แม่เหล็ก (Magnet): แม่เหล็กขนาด 9*19*6 มิลลิเมตร 2 อัน จะถูกติดตั้งไว้ที่ฐานตรงกลางใบพัดลมระบาย

ความร้อน โดยจะติดตั้งแม่เหล็กทั้ง 2 ให้ขนานกันและวางแม่เหล็กสลับขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) ดังรูปที่ 3.11 เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการส่งแรงดูดไปที่ทั้งส่วนต้นและส่วนปลายของ Magnetic bars ซึ่งระยะความสูงของแม่เหล็กกับแผ่นอะคริลิกใสจะไม่สัมผัสกันเพื่อลดแรงเสียดทาน แต่จะให้อยู่ใกล้กันมากที่สุด เพื่อให้แม่เหล็กทำงานต่อ Magnetic bars



รูปที่ 3.11 ตำแหน่งในการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



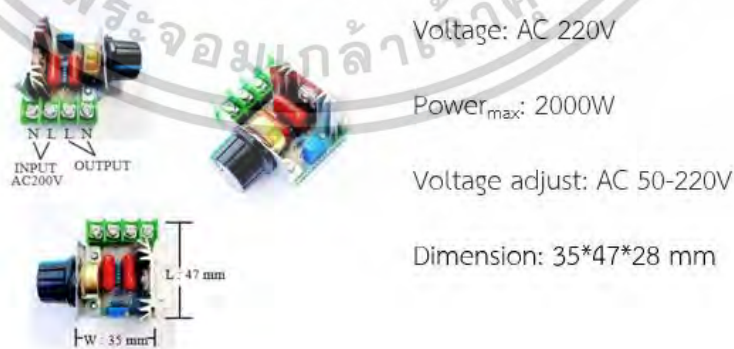
รูปที่ 3.12 ตำแหน่งการติดตั้งแผ่นอะคริลิกใสกับพัดลมระบายความร้อน

3. แผ่นอะคริลิกใส (Acrylic sheet)

แผ่นอะคริลิกใสขนาด 160*160*2 มิลลิเมตร ถูกติดตั้งที่โครงเหล็กของตัวพัดลมระบายความร้อน โดยยึดด้วยน็อตทั้ง 4 มุมและมีแท่งรองรับเพื่อกันไม่ให้แผ่นอะคริลิกสัมผัสกับแม่เหล็กแสดงดังรูปที่ 3.12 และติดตั้งเพื่อเป็นฐานที่ใช้อุปกรณ์รับปีกเกอร์สำหรับใส่สารละลายตัวอย่าง

4. ดิมเมอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Dimmer)

ดิมเมอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์จะถูกต่อเข้ากับพัดลมระบายอากาศเพื่อช่วยควบคุมรอบในการหมุนของมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.13 ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมการปั่นเหวี่ยงของ Magnetic bars ที่อยู่ในปีกเกอร์สำหรับใส่สารละลายตัวอย่างนั้นๆ โดยดิมเมอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.13 ดิมเมอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Dimmer)

จ. แท่นยกห้องปฏิบัติการ (Laboratory jack stainless steel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท่นยกห้องปฏิบัติการหรือฐานปรับขึ้น-ลงดังแสดงในรูปที่ 3.14 มีขนาดฐานใช้สำหรับปรับขึ้นและลงของตัวบีกเกอร์ไปพร้อมกับเครื่องปั่นเหวี่ยง วัสดุทำด้วยสแตนเลสหรือเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel)



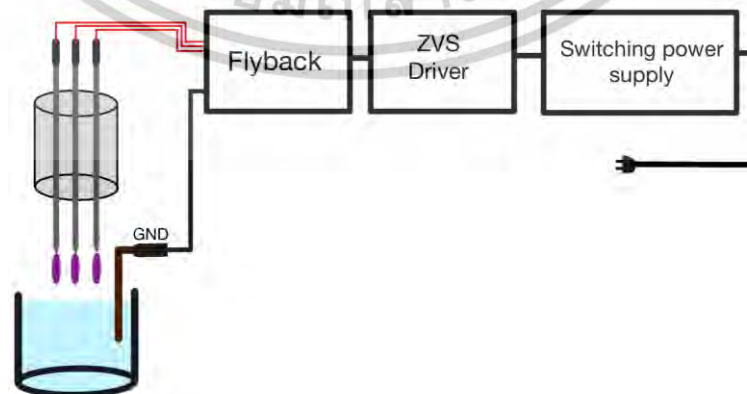
ข้อมูลจำเพาะของแท่นยกห้องปฏิบัติการหรือฐานปรับขึ้นลง
 ขนาดแผ่นด้านบน : 100*100 มิลลิเมตร
 ช่วงการขยาย : 45-150 มิลลิเมตร
 ความสูงสูงสุด : 150 มิลลิเมตร
 ความสูงขั้นต่ำ : 45 มิลลิเมตร
 โครงสร้าง : แท่นยก, ใต้พื้นและเพลาหมุน, วงล้อมือและส่วนประกอบอื่นๆ
 วัตถุประสงค์ : เพื่อยกและควบคุมตำแหน่งความสูงของวัตถุตัวอย่าง
 อุปกรณ์รองรับสำหรับการทดลองทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ

รูปที่ 3.14 แท่นยกห้องปฏิบัติการหรือฐานปรับขึ้น-ลง

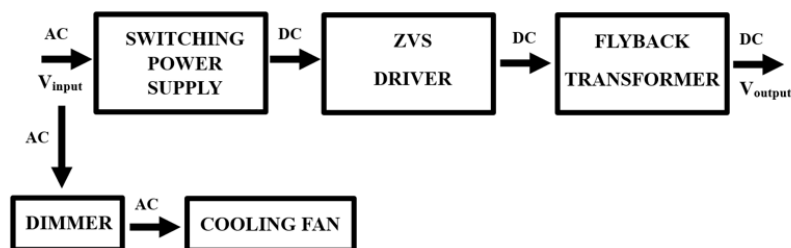
โดยแท่นยกห้องปฏิบัติการหรือฐานปรับขึ้นลงจะเป็นตัวกำหนดบีกเกอร์ที่ใช้สำหรับใส่สารละลาย ตัวอย่าง ให้มีช่องว่างระหว่างผิวน้ำกับแท่งเข็มปลายแหลม (Gap distance) ซึ่งสามารถปรับน้ำหนักได้สูงสุดเมื่อใส่สารละลายตัวอย่างปริมาตร 1000 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ แสดงตำแหน่งการวางดังรูปที่ 3.7

3.1.2 ส่วนกำเนิดแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็ม

ส่วนที่ 2 ออกแบบเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็ม สำหรับการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดพลาสมาเย็นแบบอาร์คหลายเข็มนี้ที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.15 ซึ่งชุดอุปกรณ์จะประกอบไปด้วย Switching power supply, ZVS Driver และ Flyback transformer



รูปที่ 3.15 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 บล็อกไดอะแกรมของระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในรูปที่ 3.16 และ รูปที่ 3.17 เป็นระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหรือไฟบ้าน (AC) ให้กับ Switching power supply ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) 12 โวลต์ (V) และมีกระแสไฟฟ้า 10 A จ่ายให้กับ วงจรบอร์ดไดร์เวอร์คอยล์ (ZVS Driver) ซึ่งเป็นวงจรขับฟลายแบ็คอย่างง่ายที่ใช้สำหรับขับคอยล์จุดระเบิด (Flyback transformer) เพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้าขาออก (V_{Output}) ต่อไป ส่วนถัดมาคือส่วนของดีมเมอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Dimmer) โดยจะรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) นำมาใช้ควบคุมความเร็วรอบในการหมุนของมอเตอร์พัดลมระบายความร้อนที่ใช้สำหรับสร้างเครื่องปั่นเหวี่ยงตามที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น



Switching power supply: Model S-120-12
 แรงดันไฟฟ้าอินพุต : AC 110V/220V \pm 15%
 แรงดันไฟฟ้าขาออก : DC 12 V
 กระแสไฟฟ้าขาออก : 10 A
 วัสดุเปลือก : เคสโลหะ
 การปฏิบัติตามความปลอดภัย : CCC/ Rohs
 อุณหภูมิในการทำงาน : 0 ถึง 40 องศาเซลเซียส
 อุณหภูมิในการจัดเก็บ : -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส
 ความชื้นแวดล้อม : 0% ถึง 95% ไม่ควบแน่น

รูปที่ 3.18 Switching power supply Model: S-120-12

2. ZVS Driver (Zero Voltage Switch Power Supply Driver Board)

แหล่งจ่ายไฟส่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 Vdc 10A จากนั้นนำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 Vdc จ่ายให้กับวงจรบอร์ดไดร์เวอร์คอยล์ (ZVS Driver) แสดงดังรูปที่ 3.19 เป็นวงจรขับฟลายแบ็คอย่างง่ายที่ใช้สำหรับขับคอยล์จุดระเบิด (Flyback transformer) วงจรการขับใช้ส่วนประกอบคุณภาพสูงที่มีคุณสมบัติของพลังงานขนาดใหญ่ ความร้อนต่ำ และความน่าเชื่อถือสูง โดยมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12-24 Vdc สามารถใช้แหล่งจ่ายไฟแบบสลับ, แบตเตอรี่ตะกั่วหรือ แบตเตอรี่ลิเธียมสำหรับแหล่งจ่ายไฟ นอกจากนี้ยังสามารถใช้หม้อแปลงหลังจากการกรองการแก้ไข สำหรับแหล่งจ่ายไฟตัวกรอง ตัวเก็บประจุไม่น้อยกว่า 10,000 μ F แผงวงจรแผงสองชั้น ด้านหลังทั้งหมดเป็นสายไฟวงจรเรโซแนนซ์ซึ่งมีความต้านทานเล็กน้อย ผลิตความร้อนได้น้อยลงและกระจายความร้อนได้ดีกว่าบอร์ดด้านเดียว ใช้กันอย่างแพร่หลายในการขับเคลื่อนการเปลี่ยนช่องว่างประกายไฟสำหรับขดลวด Tesla (SGTC), บันได Jacob, เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาร์กซ์และอุปกรณ์อื่น ๆ โดยมีข้อมูลจำเพาะ ดังต่อไปนี้



Material: PCB
 Input voltage: DC 12-36V
 Power: >12V or 10A
 Frequency: 30kHz-50kHz Adaptive
 Weight: 330g
 Dimension: 11*5.5*4 mm

รูปที่ 3.19 บอร์ดไดร์เวอร์คอยล์ (ZVS Driver)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คอยล์จุกะเบิด (Flyback transformer)

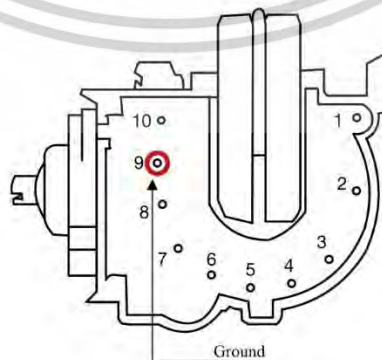
คอยล์จุกะเบิดหรือหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง แสดงดังรูปที่ 3.20 เมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงจากวงจรบอร์ดไดรเวอร์คอยล์ (ZVS Driver) โดยหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดนี้จะส่งแรงดันเอาต์พุต (Output) กระแสตรงขนาด 15.86 kV จ่ายให้กับแท่งเข็มปลายแหลมต่อหนึ่งขั้ว (มีทั้งหมดสามขั้ว 15.86×3 kV) ซึ่งจะกล่าวในขั้นต่อไป โดยมีขั้วแคโทดที่ต่อศักย์ไฟฟ้าเป็นกราวด์ที่ขาหมายเลข 9 แสดงดังรูปที่ 3.21 ซึ่งจะส่งผ่านกระแสไฟฟ้าไปที่สารละลายตัวอย่าง เพื่อให้เกิดการครบวงจรที่สมบูรณ์ โดยมีระยะห่างระหว่างกัน (Gap distance) ของแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวของสารละลายตัวอย่าง ทำให้เกิดการดีสชาร์จ (Discharge) เพื่อสร้างพลาสมาต่อไป โดยคอยล์จุกะเบิดมีข้อมูลจำเพาะดังนี้ ไมค์ไร้สายแบบคลื่นอินฟราเรด (IR) คือ การสื่อสารโดยใช้คลื่นสัญญาณอินฟราเรด

รหัสสินค้า : BSC25-T1010A, JF0501-N1156 (25 kV, 10 A)

ประเภท : Flyback Transformer for Color TV China Chassis.



รูปที่ 3.20 คอยล์จุกะเบิด



รูปที่ 3.21 โครงสร้างขาที่ใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบฟลายแบค เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าเบื้องต้น ณ อุณหภูมิที่สภาวะบรรยากาศของระบบ กำเนิดพลาสมาโคโรนาดีสชาร์จ

3.2.1 การทดสอบวัดแรงดันเบรกดาวน์และกระแสคายประจุ

ก. อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดแรงดันเบรกดาวน์และกระแสคายประจุของ เครื่องกำเนิดพลาสมาเป็นแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. หัววัดไฟฟ้าความต่างศักย์สูง (High voltage probe)



รูปที่ 3.22 High Voltage Probe Model: HVP-39pro

2. เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า (Current monitor model 2877)



รูปที่ 3.23 Current monitor model 2877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)

Input : FlexChannel 4 หรือ 6 ช่อง

FlexChannel แต่ละช่องมีอินพุตสัญญาณอนาล็อก 1 ช่องหรืออินพุตลอจิกดิจิทัล 8 ช่อง
พร้อมโพรบ TLP058

ปริมาณการรับส่งข้อมูล : 200 MHz, 350 MHz, 500 MHz, 1 GHz หรือ 1.5 GHz

อัตราตัวอย่าง 6.25 GS/s ในทุกช่องสัญญาณอนาล็อก/ดิจิทัล

การวิเคราะห์ขั้นสูง : สเปกตรัมการวิเคราะห์โดเมนแบบผสม, การวัดกำลังอัตโนมัติและการวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส



รูปที่ 3.24 4 Series MSO (Mixed Signal Oscilloscope)

ข. วิธีการทดสอบหาแรงดันเบรกตัวนำและกระแสคายประจุของเครื่องกำเนิดพลาสมา มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

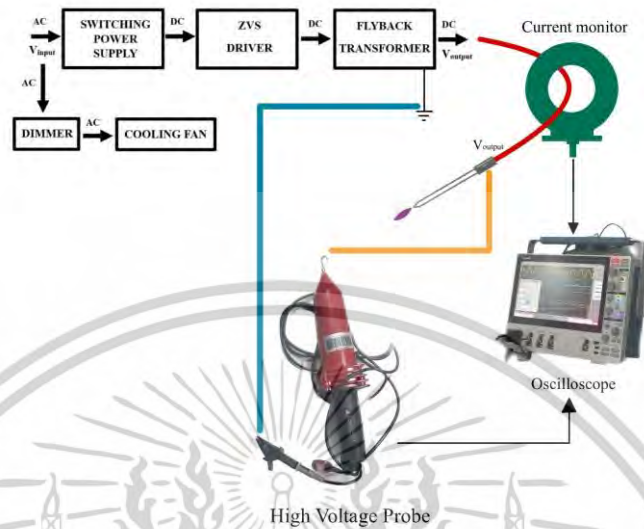
1. เชื่อมต่อตัววัดกับอุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้า โดยใช้สายโคแอกเซียล (Coaxial cable) ต่อเข้ากับเครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) จากนั้นต่อสายดิน (Ground) เข้ากับคลิปปากจระเข้ของตัวโพรบวัดแรงดันไฟฟ้า (High Voltage Probe) เพื่อการตอบสนองความถี่ที่ดีที่สุด (เส้นสีฟ้า) และทำการต่อหัวโพรบเข้ากับแท่งเข็มปลายแหลม (เส้นสีเหลือง)

2. นำสาย High Voltage ของ Flyback Transformer ที่ถูกเชื่อมต่อกับแท่งเข็มปลายแหลม รอดผ่าน Current monitor ซึ่งเป็นการวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านทางอ้อม จากนั้นเชื่อมต่อตัววัดกับ Current monitor โดยใช้สายโคแอกเซียล (Coaxial cable) ต่อเข้ากับเครื่องออสซิลโลสโคป

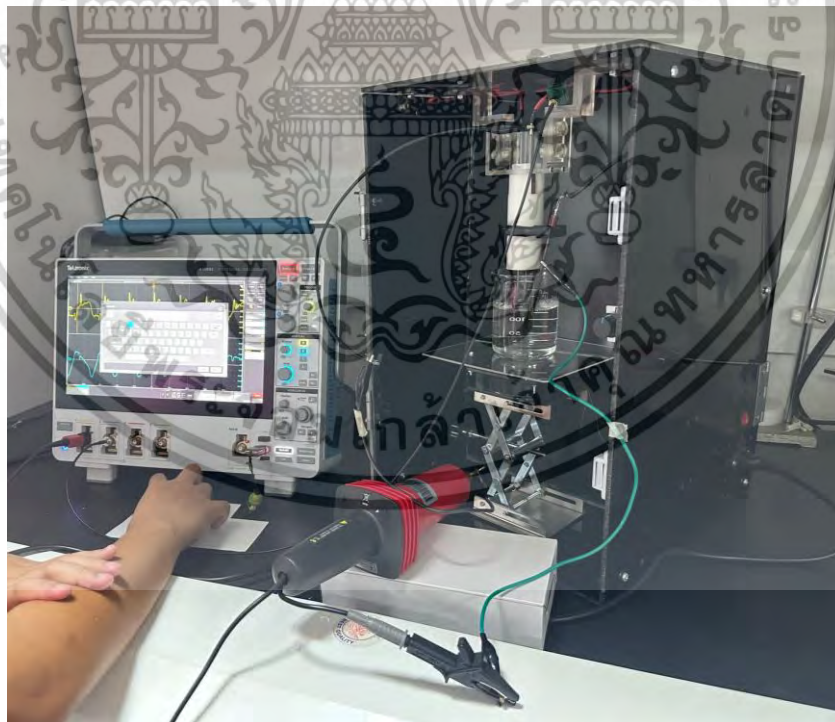
(Oscilloscope) แสดงดังรูปที่ 3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการเปิดระบบเครื่องกำเนิดพลาสมาและวัดแรงดันเบรกคาวน์และกระแสคายประจุโดยเครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ดังแสดงรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.25 การต่อวงจรสำหรับวัดแรงดันเบรกคาวน์และกระแสคายประจุของเครื่องกำเนิดพลาสมา



รูปที่ 3.26 รูปสัญญาณการวัดแรงดันเบรกคาวน์และกระแสคายประจุของเครื่องกำเนิดพลาสมา

ค. วิธีการทดสอบหาพารามิเตอร์พารามิเตอร์ของพลาสมาเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นวิธีการประเมินหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดพลาสมาโดยใช้วิธีการวัดสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง

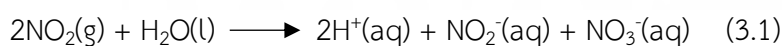
3.3 การหาค่าความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่ถูกกระตุ้นด้วยพลาสมาโคโรนา ดิสชาร์จ ให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการทดสอบประกอบด้วย การเตรียมตัวอย่างหลังจากการทดสอบ การนำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของอนุมูลอิสระในพลาสมาเย็นที่สำคัญโดยเฉพาะ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ไนเตรต (NO_3^-) ไนเตรท์ (NO_2^-) และแอมโมเนีย (NH_4^+) โดยใช้เทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis (The absorbance of UV-Vis spectroscopy) วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ BOD (Biochemical Oxygen Demand) วัดค่าปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ COD (Chemical Oxygen Demand) และวัดอุณหภูมิ (Temperature) โดยรายละเอียดแสดงไว้ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์อนุมูลอิสระ (ดังแสดงในตารางที่ 1 ภาคผนวก ก)
- ขั้นตอนที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์อนุมูลอิสระ (ดังแสดงในตารางที่ 2 ภาคผนวก ก)
- ขั้นตอนที่ 3 วิธีการวิเคราะห์น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลาย เข็มมีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 การวิเคราะห์สารประกอบไนโตรเจน (Nitrogen)

ความเข้มข้นของ NO_x ถูกกำหนดโดยการวัดสีโดยไดอะโซไทเซชัน (Diazotization) ของกรดซัลฟานิลิกและการทำปฏิกิริยากับ N-(1-Naphthyl) ethylenediamine (NED) และการวัดความเข้มของสีของโมเลกุล ที่ได้โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ UV-VIS ตั้งค่าที่ 540 นาโนเมตร ในสารละลาย NO และ NO_2 จะเกิดปฏิกิริยาต่อไปนี้เพื่อสร้าง NO_2^-



เมื่อเติมกรดซัลฟานิลิกและ N-(1-Naphthyl) ethylenediamine (NED) ลงในสารละลายจะเกิดโมเลกุลสีชมพูขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. การวิเคราะห์ไนไตรท์ (NO_2^- - Analysis)

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ไอออน (NO_2^- Standard solution) ทำโดยการชั่งสารโซเดียมไนไตรท์ (Sodium nitrite) ปริมาณ 0.1513 กรัม ละลายในปิ๊กเกอร์ แล้วเทลงในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน (De-ionized water; DI) จากนั้นนำมาเตรียมสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ไอออนที่มีความเข้มข้น 10 ppm ในขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 การเตรียมและวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไนไตรท์ไอออน (NO_2^- Standard solution) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 3, 5, 7 และ 10 ppm (เรียงจากขวาไปหาซ้าย) ตามลำดับ

2. การเตรียมสารละลายซอลท์มันน์รีเอเจนต์ (Salzmann reagent) โดยชั่งสาร Sulfanilamide ปริมาณ 2.15 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน (De-ionized water; DI) ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) 5.6 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3. การเตรียมสารละลาย N-(1-Naphthyl) Ethylenediamine (NED) โดยชั่งสารละลาย N-(1-Naphthyl) Ethylenediamine (NED) ปริมาณ 0.0152 กรัม ละลายด้วยน้ำ DI แล้วปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร

4. นำสารละลายที่ได้ทั้งสองชนิดมาผสมกันในอัตราส่วนของสารละลาย Sulfanilamide ใช้ 10 ส่วน ต่อสารละลาย N-(1-Naphthyl) Ethylenediamine (NED) 1 ส่วน (100:10)

ข. การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

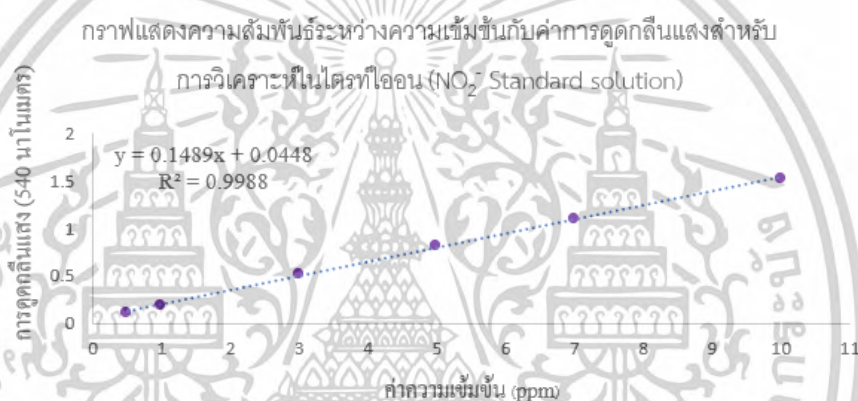
1. นำน้ำตัวอย่าง (น้ำเสีย) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร ผสมกับซอลท์มันน์รีเอเจนต์ (Salzmann reagent) 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที เพื่อทำให้เกิดสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการหาปริมาณการวัดด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ดังตารางที่ 3.2 และกราฟมาตรฐานความเข้มข้น (Concentration calibration curve) ของการวิเคราะห์ไนเตรทไอออน (NO_2^- Standard solution) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 3, 5, 7 และ 10 ppm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ดังกราฟที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 ค่าการดูดกลืนแสงของการวิเคราะห์ไนเตรทไอออน

หลอดทดลองที่	1	2	3	4	5	6
ความเข้มข้น (ppm)	0.5	1	3	5	7	10
Abs. ที่ 540 nm	0.104	0.179	0.515	0.808	1.093	1.515



กราฟที่ 3.1 กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) หรือกราฟมาตรฐานความเข้มข้น (Concentration calibration curve) ของการวิเคราะห์ไนเตรทไอออน (NO_2^- Standard solution) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 3, 5, 7 และ 10 ppm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

3.3.2 การวิเคราะห์ไนเตรท (NO_3^- - Analysis)

ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรทไอออน (NO_3^- Standard solution)

1. ชั่งสารโพแทสเซียมไนเตรท (Potassium nitrate) ปริมาณ 0.7223 กรัม ละลายด้วยน้ำ DI ในบีกเกอร์ แล้วเทลงในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตร จากนั้นนำมาเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรทไอออน (NO_3^- Standard solution) ที่มีความเข้มข้น 0.5, 1, 3, 5, 7 และ 10 ppm ในขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 3.28

2. การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ความเข้มข้น 4 โมลาร์ ชั่งสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ปริมาณ 16 กรัมละลายด้วยน้ำ DI แล้วปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เตรียมสารละลายซาลิไซลิกแอซิด (Salicylic acid) ความเข้มข้น 5% โดยมวลต่อปริมาตร ซิงซาลิไซลิกแอซิด (Salicylic acid) ปริมาณ 2.5 กรัม ละลายด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Sulfuric acid) 98% และปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรจนครบ 25 มิลลิลิตร



รูปที่ 3.28 การเตรียมและวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไนเตรทไอออน (NO_3^- Standard solution) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 3, 5, 7, 10 และ 100 ppm (เรียงจากขวาไปหาซ้าย) ตามลำดับ

ข. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ตารางที่ 3.3 ค่าการดูดกลืนแสงของการวิเคราะห์ไนเตรทไอออน

หลอดทดลองที่	1	2	3	4	5	6
ความเข้มข้น (ppm)	0.5	1	3	5	7	10
Abs. ที่ 540 nm	0.085	0.097	0.122	0.149	0.175	0.215



กราฟที่ 3.2 กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) หรือกราฟมาตรฐานความเข้มข้น (Concentration calibration curve) ของการวิเคราะห์ไนเตรทไอออน (NO_3^- Standard solution) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 3, 5, 7 และ 10 ppm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำน้ำตัวอย่าง (น้ำเสีย) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับซาลิไซลิกแอซิด (Salicylic acid) 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที และผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 60 นาที เพื่อทำให้เกิดสี แล้วทำการหาปริมาณการวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร ดังตารางที่ 3.3 และกราฟที่ 3.2

3.3.3 การวิเคราะห์แอมโมเนีย (Ammonia analysis)



รูปที่ 3.29 การเตรียมและวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย (NH_4^+ Standard solution) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 3, 5, 7, 10 และ 100 ppm (เรียงจากขวาไปหาซ้าย) ตามลำดับ

ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย (NH_4^+ Standard solution)

ชั่งสารแอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulfate) 0.4714 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารไปตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น และละลายด้วยน้ำ DI แล้วปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 3.29

ข. เตรียมสารละลาย N1

ชั่งสารโซเดียม ซาลิไซเลต (Sodium salicylate) 3.4 กรัม, สารโซเดียม ซิเตรท (Tri-Sodium citrate) 2.5 กรัม และสารโซเดียม ทาร์เทต (Sodium Tartrate) 2.5 กรัม ผสมให้เข้ากัน จากนั้นละลายด้วยน้ำ DI 75 มิลลิลิตร และเติมโซเดียมไนโตรพลัสไซด์ 0.012 กรัมแล้วปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

ค. เตรียมสารละลาย N2

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) 3 กรัม ละลายด้วยน้ำ DI 75 มิลลิลิตรแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นจากนั้นทำการปิเปต (Transfer pipette) สารโซเดียมไฮเปอร์คลอไรต์ (Sodium hypochlorite) 1 มิลลิลิตร ใส่ลงไปและทำการปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

ง. การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำน้ำตัวอย่าง (น้ำเสีย) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย N1 3.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที และเติมสารละลาย N₂ 3.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อทำให้เกิดสี จากนั้นทำการหาปริมาณการวัดด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 655 นาโนเมตร ดังตารางที่ 3.4 และกราฟที่ 3.3

ตารางที่ 3.4 ค่าการดูดกลืนแสงของการวิเคราะห์แอมโมเนีย

หลอดทดลองที่	1	2	3	4	5	6
ความเข้มข้น (ppm)	0.5	1	3	5	7	10
Abs. ที่ 540 nm	0.034	0.057	0.113	0.176	0.243	0.333



กราฟที่ 3.3 กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) หรือกราฟมาตรฐานความเข้มข้น (Concentration calibration curve) ของการวิเคราะห์แอมโมเนีย (NH₄⁺ Standard solution) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 3, 5, 7 และ 10 ppm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 655 นาโนเมตร

3.3.4 การวิเคราะห์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide Analysis)

ขั้นตอนการดำเนินการวิเคราะห์แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate : KMnO₄) ที่ความเข้มข้น 0.001 โมลาร์ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร

$$\text{คำนวณปริมาณสาร จากสูตร } \frac{g}{MW} = \frac{CV}{1000}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมวลโมเลกุลของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนสมีค่าเท่ากับ 158.03 กรัมต่อโมล เมื่อคำนวณได้ KMnO_4 0.0395 กรัม ดังนั้นเตรียมโดยการชั่งโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนส (Potassium permanganate : KMnO_4) 0.0395 กรัม ละลายด้วยน้ำ DI แล้วปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร

2. การเตรียมสารละลายโซเดียมออกซาเลต (Disodium oxalate : $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) ที่ความเข้มข้น 0.003 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

$$\text{- คำนวณปริมาณสาร จากสูตร } \frac{g}{MW} = \frac{CV}{1000}$$

ซึ่งมวลโมเลกุลของโซเดียมออกซาเลตมีค่าเท่ากับ 134 กรัมต่อโมล เมื่อคำนวณได้ $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0.0201 กรัม ดังนั้นเตรียมโดยการชั่งโซเดียมออกซาเลต (Disodium oxalate : $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) 0.0201 กรัม ละลายด้วยน้ำ DI แล้วปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร โดยการเตรียมสารละลายโซเดียมออกซาเลต (Disodium oxalate : $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) นั้นจะต้องทำการเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทำกรวิเคราะห์

3. การเตรียมสารละลายกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid : H_2SO_4) ที่ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์

$$\text{- คำนวณปริมาตรสาร จากสูตร } C_1V_1 = C_2V_2$$

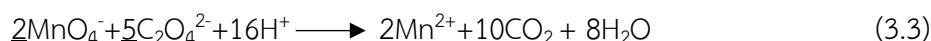
ซึ่งกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้น 98% (H_2SO_4 98%) มีความเข้มข้น 18.29 โมลาร์ เมื่อคำนวณหาปริมาตรได้ 136.68 มิลลิลิตร ดังนั้นเตรียมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2.5 โมลาร์ในปริมาตร 1000 มิลลิลิตร โดยเติมน้ำ DI ประมาณ 1ใน4 ของขวดปรับปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปิเปตสารละลายกรดซัลฟูริก 136.68 มิลลิลิตร (ต้องทำการเติมกรดลงน้ำทุกครั้ง) ปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI จนครบ 1000 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ให้หายร้อน จากนั้นทำการเขย่าผสมให้เข้ากันและทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI อีกครั้ง

- ถ้าต้องการเตรียมปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟูริกให้น้อยลง ให้ทำการคำนวณหาปริมาตรโดยกำหนดปริมาตรที่ต้องการ ซึ่งในปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จะใช้สารละลายกรดซัลฟูริก 136.68 มิลลิลิตร

4. วิธีการปรับเทียบมาตรฐาน (Standardization) ของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนส (Potassium permanganate: KMnO_4) ดังรูปที่ 3.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คำนวณปริมาตรสาร จากสูตร $\frac{C_1V_1}{2} = \frac{C_2V_2}{5}$ ซึ่งได้จาก



โดยที่ KMnO_4 มีความเข้มข้น 0.001 โมลาร์ และ $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ มีความเข้มข้น 0.003 โมลาร์ (สารทำมาตรฐานเพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ KMnO_4) เมื่อคำนวณหาปริมาตรได้ 12 มิลลิลิตร แสดงว่าการทำการไทเทรตควรจะได้จุดยุติที่ประมาณ 12-13 มิลลิลิตรของ KMnO_4 0.001 โมลาร์พอดีกับ $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0.003 โมลาร์ ดังนั้นสารละลายมาตรฐาน KMnO_4 มีความน่าเชื่อถือที่จะนำมาวิเคราะห์ตัวอย่าง

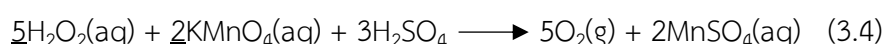
- ทำการไทเทรตเพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐาน KMnO_4 โดยการปิเปตสารละลายโซเดียมออกซาเลต (Sodium oxalate : $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 125 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid : H_2SO_4) ที่ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมมาไทเทรตกับสารละลาย KMnO_4 จนถึงจุดยุติ (ได้สีชมพูไม่จางหาย) บันทึกปริมาตร KMnO_4 ที่ใช้ แล้วทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

5. การหาปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide: H_2O_2) ในสารละลายตัวอย่าง (น้ำเสีย)

- ปิเปตสารละลายตัวอย่าง (น้ำเสีย) 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 125 มิลลิลิตร และเติมสารละลายกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid; H_2SO_4) ที่ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมมาไทเทรตกับสารละลาย KMnO_4 จนถึงจุดยุติ (ได้สีชมพูไม่จางหาย) บันทึกปริมาตร KMnO_4 ที่ใช้ แล้วทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide: H_2O_2)

6. วิธีการคำนวณ

- คำนวณจากสูตร $\frac{C_1V_1}{2} = \frac{C_2V_2}{5}$ ซึ่งได้จาก



เมื่อคำนวณจะได้ปริมาณความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์.

โดยที่ C_1 คือ ความเข้มข้นของ KMnO_4 0.001 โมลาร์


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_1 คือ ปริมาณการไทเทรต KMnO_4 กับสารละลายตัวอย่างที่ใช้

C_2 คือ ความเข้มข้นของตัวอย่างที่ต้องการทราบค่า

V_2 คือ ปริมาณสารละลายตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร

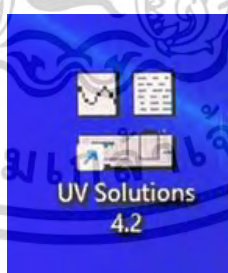
ตารางที่ 3.5 การทำมาตรฐาน (Standardization) ของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate : KMnO_4) การไทเทรตได้จุดยุติที่ 12.50 มิลลิลิตร

ครั้งที่	ปริมาตรที่จุดยุติโดยการไทเทรต KMnO_4 (มิลลิลิตร)	รูปประกอบแสดงลักษณะของสีที่จุดยุติ
1	12.5	
2	12.5	
3	12.5	
เฉลี่ย	12.5	

3.3.5 การวัดค่าการดูดกลืน (Absorbance) ด้วยเครื่อง UV-Vis (The absorbance of UV-Vis spectroscopy)

วิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำทั้งก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบเครื่องกำเนิดพลาสมาโคโรนาดิสชาร์จที่ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อหาค่า pH และค่าการนำไฟฟ้า ตั้งมีขั้นตอนดังนี้

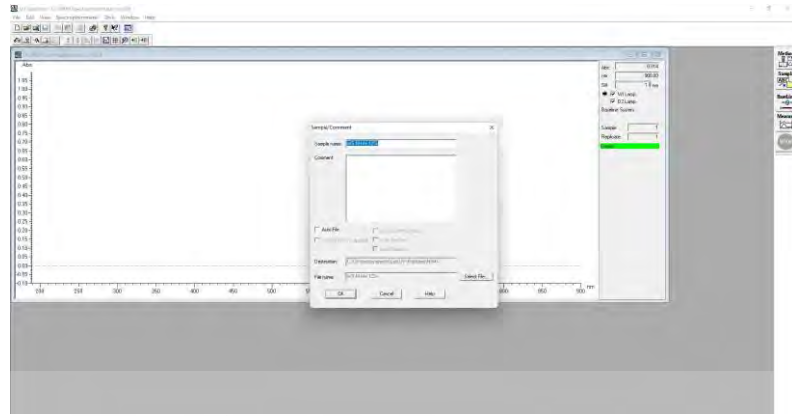
1. เปิดเครื่อง UV-Vis และเปิดโปรแกรม UV Solution ดังรูปที่ 3.30



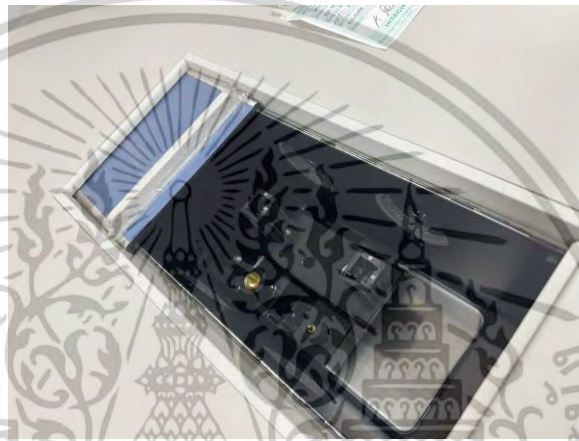
รูปที่ 3.30 โปรแกรม UV Solution 4.2

2. ทำการตั้งค่า Baseline ของเครื่องและตั้งชื่อตัวอย่างที่จะนำมาวัดค่าการดูดกลืนดังรูปที่ 3.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

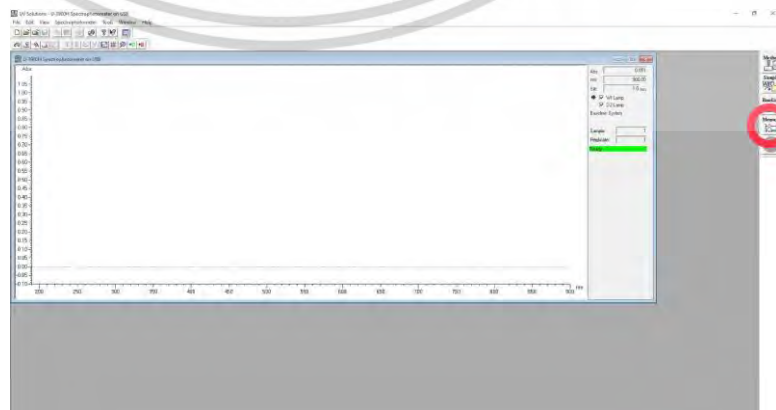


รูปที่ 3.31 การตั้งชื่อสารละลายตัวอย่างที่นำมาวัดค่าการดูดกลืน



รูปที่ 3.32 ลักษณะช่องสำหรับใส่คิวเวทท์ (Cuvette)

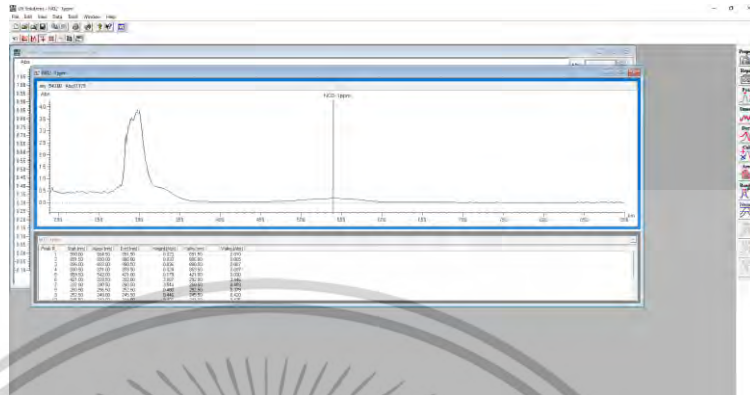
3. ใส่สารละลายตัวอย่างลงในคิวเวทท์ (Cuvette) นำใส่เครื่อง UV-Vis ซึ่งจะมีด้วยกัน 2 ช่องดังรูปที่ 3.32 โดยช่องที่เราได้ทำการตั้งค่า Baseline นั้นให้ใส่คิวเวทท์ (Cuvette) ที่ใส่สารละลายมาตรฐาน หรือสารละลายเริ่มต้นของสารละลายตัวอย่างนั้นๆ
4. จากนั้นปิดฝาตัวเครื่อง UV-Vis และทำการวัดโดยการกด Measure ตรงแถบด้านขวาดังรูปที่ 3.33 จากนั้นรอกกราฟค่าการดูดกลืน (Absorbance) ขึ้นเสร็จสมบูรณ์ ให้เลือกดูค่าการดูดกลืนตามค่าความยาวคลื่นของการวิเคราะห์สารประกอบแต่ละชนิดที่กำหนดไว้ข้างต้น



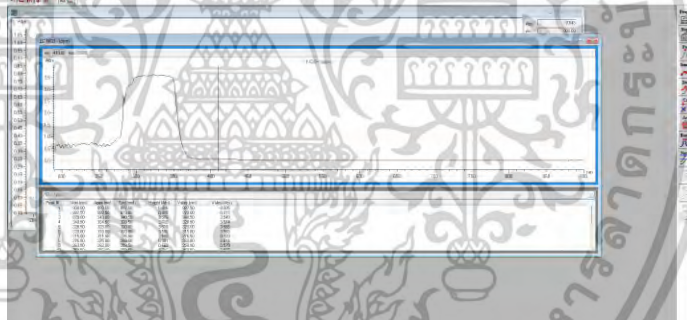
รูปที่ 3.33 ตำแหน่งของแถบ Measure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

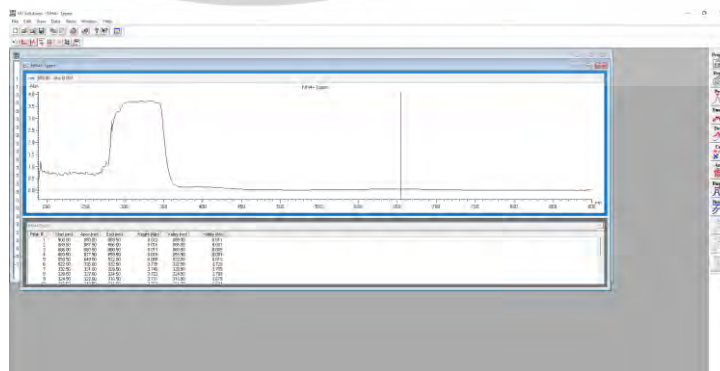
5. นำค่าการดูดกลืนที่ได้ของการวิเคราะห์สารประกอบต่างๆ มาสร้างเป็นกราฟเพื่อศึกษาดูลักษณะแนวโน้มของการวิเคราะห์สารประกอบนั้นๆ



รูปที่ 3.34 ตัวอย่างการวัดค่าการดูดกลืน (Absorbance) ของการวิเคราะห์ไนไตรท์ไอออน (NO_2^- Standard solution) ที่ความเข้มข้น 1 ppm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยมีค่าการดูดกลืนอยู่ที่ 0.179 นาโนเมตร



รูปที่ 3.35 ตัวอย่างการวัดค่าการดูดกลืน (Absorbance) ของการวิเคราะห์ไนเตรทไอออน (NO_3^- Standard solution) ที่ความเข้มข้น 1 ppm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร โดยมีค่าการดูดกลืนอยู่ที่ 0.070 นาโนเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.36 ตัวอย่างการวัดค่าการดูดกลืน (Absorbance) ของการวิเคราะห์แอมโมเนีย (NH_4^+ Standard solution) ที่ความเข้มข้น 1 ppm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 655 นาโนเมตร โดยมีค่าการดูดกลืนอยู่ที่ 0.057 นาโนเมตร

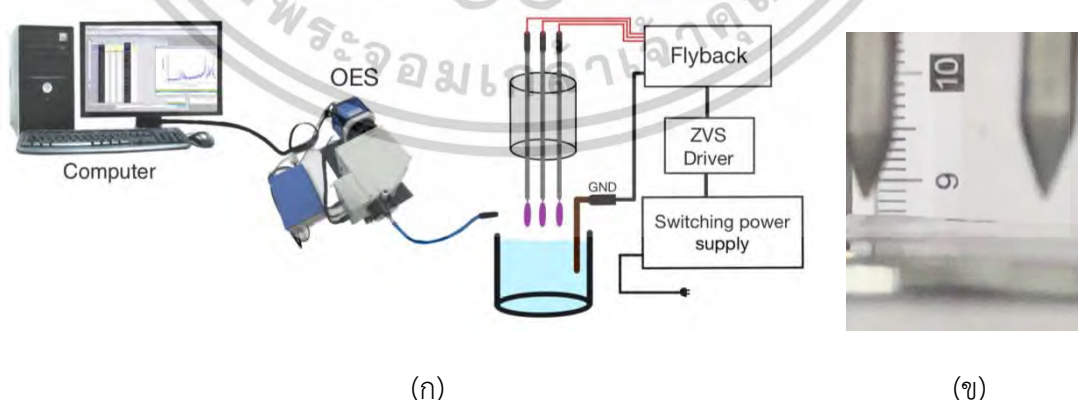
3.4 การประเมินค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการเกิดโคโรนาดีสชาร์จในการบำบัดน้ำเสีย

3.4.1 การประเมินค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการวัดสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง (Optical Emission Spectroscopy: OES)

การประเมินค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดพลาสมาโดยใช้วิธีการวัดสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง

1. ติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสงดังรูปที่ 3.37 (ก) โดยปรับระยะห่างระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวหน้า 2 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.37 (ข) และระยะห่างในการรับแสงของหัวอ่านออปติคัล (Optical probe) ควรห่างจากบริเวณที่เกิดการดีสชาร์จของพลาสมาประมาณ 2-5 มิลลิเมตร

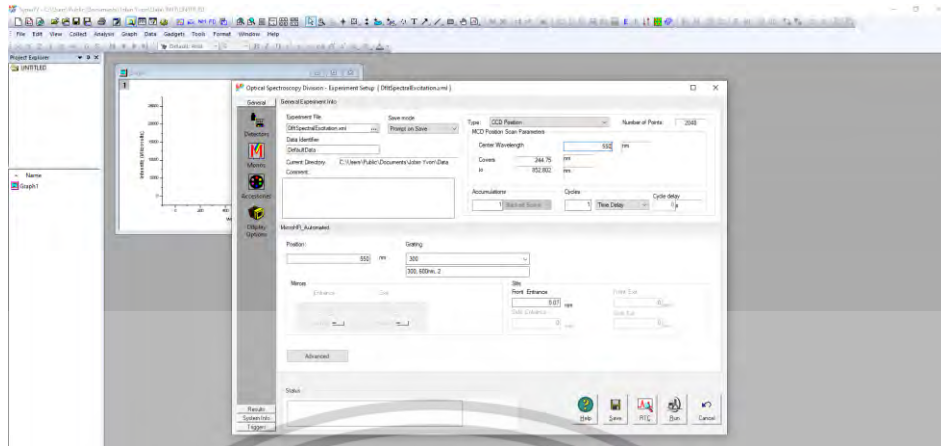
2. ใช้โปรแกรม SynerJY สั่งการการทำงานของเครื่องวัดสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง โดยสามารถเลือกปรับค่าให้เหมาะสมกับการใช้งานหรือความต้องการทราบในแต่ละช่วงความยาวคลื่น โดยหากปรับการใช้เกรตติง (Grating) ที่ (300, 600 นาโนเมตร) ช่วงความยาวคลื่นที่สามารถวัดได้สูงสุด 600 นาโนเมตร และการใช้เกรตติง (Grating) ที่ (1200, 330 นาโนเมตร) ช่วงความยาวคลื่นที่สามารถวัดได้สูงสุด 330 นาโนเมตร ดังรูปที่ 3.38 และ 3.39 ตามลำดับ



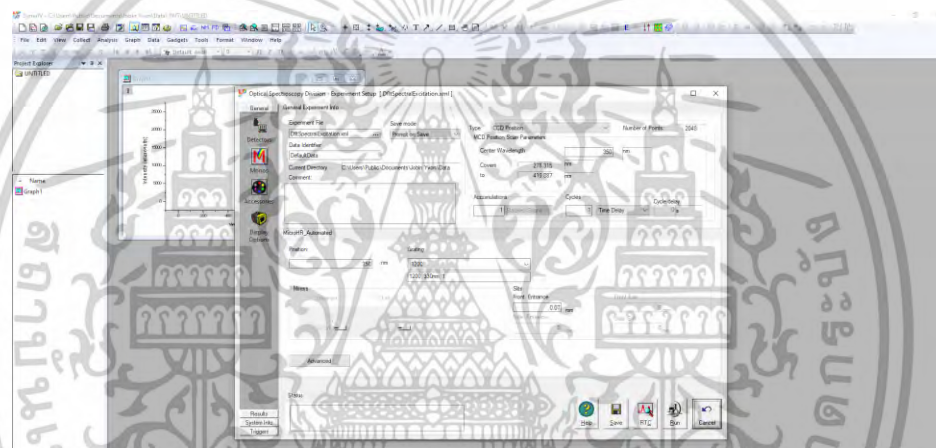
รูปที่ 3.37 (ก) การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) ระยะห่างระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวหน้า

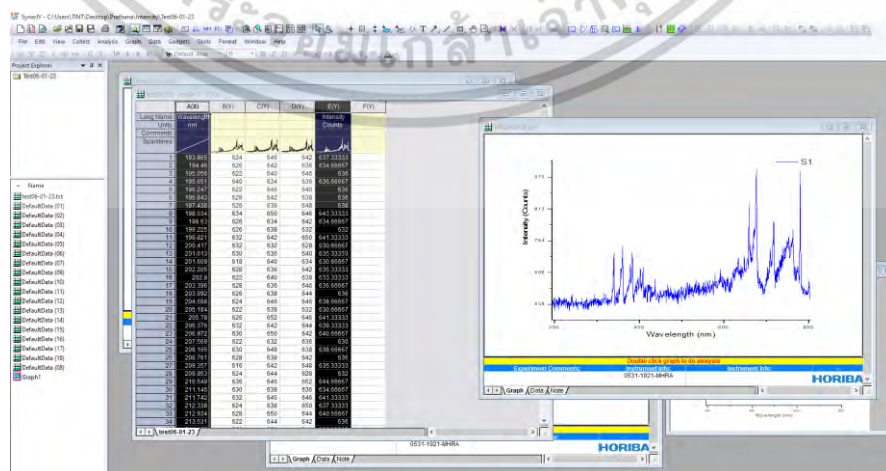


รูปที่ 3.38 การใช้เกรตติง (Grating) ที่ (300, 600 นาโนเมตร)



ภาพที่ 3.39 การใช้เกรตติง (Grating) ที่ (1200, 330 นาโนเมตร)

3. เมื่อตั้งค่าเสร็จแล้วให้ทำการคลิกปุ่ม “Run” และเก็บผลการทดลองโดยการทำการทดลองซ้ำหาค่าเฉลี่ยที่เหมาะสม ดังรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 การเก็บผลการทดลองและการพล็อตกราฟ (Plot graph)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 วิธีการวิเคราะห์น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยเครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คโดยตรงแบบเข็ม (เดิม)

วิธีการวิเคราะห์น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยเครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คโดยตรงแบบเข็ม(เดิม) เป็นการวิเคราะห์เครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คหัวเดียว โดยจะทำการวิเคราะห์เหมือนกันกับเครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย(3หัว) คือ การวิเคราะห์อนุมูลออกฤทธิ์ที่สำคัญของน้ำพลาสมา ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนอะตอมเดี่ยว (H_2O_2) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของ Reactive Oxygen Species (ROS) และวิเคราะห์ไนเตรต (NO_3^-) ไนไตรท์ (NO_2^-) และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_4^+) ที่เป็นส่วนประกอบหลัก Reactive Nitrogen Species (RNS) โดยมีวิธีการวิเคราะห์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

3.5 สรุป

ในบทที่ 3 นี้ได้กล่าวถึงวิธีการดำเนินวิจัยตั้งแต่การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสียรวมถึงการวิเคราะห์อนุมูลอิสระในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยเครื่องกำเนิดพลาสมาชนิดนี้ ซึ่งประกอบไปด้วย แหล่งที่มาของน้ำเสียที่นำมาทดสอบ การออกแบบเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสีย ที่ทำจากอะคริลิกที่บดแสงและอิเล็กทรอนิกส์แบบปลายแหลมทั้ง 3 หัว ที่ใช้สำหรับดีสชาร์จเพื่อสร้างพลาสมาระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับพื้นผิวน้ำตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย น้ำเสียสำหรับการทดสอบระบบบำบัดด้วยเครื่องกำเนิดพลาสมาชนิดนี้ที่ใช้ในงานวิจัยนำมาจากบ่อตกตะกอน ของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลองค์กรักษ์ อำเภองครักษ์ จังหวัดนครนายกและวิธีการทดสอบน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดซึ่งเป็นการวิเคราะห์อนุมูลอิสระโดยใช้สารเคมีด้วยเทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis (The absorbance of UV-Vis spectroscopy) แล้วมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ซึ่งจะขอกล่าวในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

การทดสอบและการวิเคราะห์ของการออกแบบและพัฒนาเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มด้วยวิธีแอคติเวจด์ชั้นสูงเพื่อฆ่าเชื้อโรคสำหรับการบำบัดน้ำเสียจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การทดสอบและวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางไฟฟ้าเบื้องต้น ณ อุณหภูมิต่ำที่สภาวะบรรยากาศของเครื่องกำเนิดพลาสมาเย็นสำหรับการบำบัดน้ำเสีย

ตอนที่ 2 การทดสอบและวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ของพลาสมาเย็นที่สภาวะบรรยากาศของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง

ตอนที่ 3 การทดสอบและวิเคราะห์หาค่าความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่ถูกกระตุ้นด้วยพลาสมา ให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ตอนที่ 4 การประเมินค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการเกิดโคโรนาดีสชาร์จในการบำบัดน้ำเสีย

ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดในการทดสอบและการวิเคราะห์แต่ละตอนได้ดังต่อไปนี้

4.1 การหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าเบื้องต้น ณ อุณหภูมิต่ำที่สภาวะบรรยากาศของระบบกำเนิดพลาสมาโคโรนาดีสชาร์จ

การวัดแรงดันเบรกดาวน์และกระแสคายประจุจะทำการวัดโดยการปรับระยะห่างต่างๆระหว่างแท่งปลายเข็มแหลมหรือขั้วอิเล็กโทรดกับผิวน้ำที่สภาวะบรรยากาศตามฟังก์ชันของขั้วแท่งปลายเข็มแหลมกับผิวน้ำของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มเพื่อหาค่าระยะห่างวิกฤติของระบบโคโรนาดีสชาร์จ

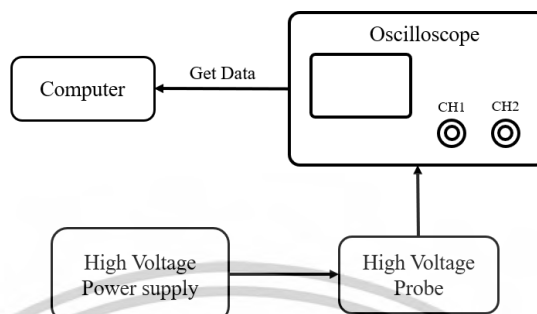
4.1.1 การทดสอบการวัดแรงดันเบรกดาวน์และกระแสคายประจุ

มีขั้นตอนการทดสอบและการวัดแรงดันเบรกดาวน์และกระแสคายประจุ ได้ดังนี้

1. จัดวงจรเพื่อวัดสัญญาณของแรงดันเบรกดาวน์และกระแสคายประจุดังรูปที่ 4.1
2. ปรับระยะระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวน้ำตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ถึง 10 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เปิดแหล่งจ่ายไฟของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มเพื่อบันทึกภาพสัญญาณของแต่ละระยะห่างระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวน้ำ
4. ทำซ้ำในข้อ 2-3 โดยเปลี่ยนระยะห่างระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวน้ำตามข้อที่ 2



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวัดแรงดันเบรกดาวน

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนและกระแสคายประจุที่ระยะห่างต่างๆ ระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวน้ำ

Distance, d (mm)	1.0	1.50	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	8.50	9	10.0
$V_B \text{max (kV)}$	-	10.29	15.72	15.72	15.12	15.68	18.76	19.82	19.55	20.55	23.83	-
$I_e \text{max (mA)}$	-	9.20	9.47	9.47	9.48	13.79	14.05	14.02	16.26	16.25	16.43	-

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่เกิดพลาสมาในการทดลอง

สำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนและกระแสคายประจุที่ระยะห่างต่างๆ ระยะห่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวน้ำที่ 1.5 mm เป็นจุดต่ำสุดที่เกิดการดีสชาร์จ แต่เสียงน้ำโดนแท่งเข็มปลายแหลมตอนปั่นเหวี่ยงของเครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คหลายเข็มที่สร้างขึ้น ซึ่งหมายถึงพลาสมาจะเริ่มเรืองแสง (Corona inception voltage) อันเนื่องมาจากผลกระทบจากการรวมตัวกันใหม่และอะตอมที่ถูกกระตุ้นกลับคืนสู่สถานะพื้นดิน และระยะห่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวน้ำที่ 9 mm ค่าสนามไฟฟ้ากับค่าแรงดันมีค่าเกือบเท่ากันซึ่งจุดนี้เป็นจุดสูงสุดที่เกิดการดีสชาร์จแต่มีผลเกิดความเสี่ยงที่กระแสพลาสมาวิ่งเข้าหากันรวมถึงการดีสชาร์จไม่ต่อเนื่อง

4.1.2 การวิเคราะห์หาแรงดันเบรกดาวนของเครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คหลายเข็ม

การคำนวณแรงดันเบรกดาวนตามกฎของ Paschen

สมการตามกฎของ Paschen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_B = \frac{BP_{\text{air}} d}{\ln(AP_{\text{air}} d) - \ln\left(\ln\left(1 + \frac{1}{\epsilon_s}\right)\right)} \quad (4.1)$$

กำหนดให้ V_B คือ แรงดันเบรกดาวน์ (kV)

P_{air} คือ ความดันบรรยากาศ (torr)

ϵ_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยอิเล็กตรอนของแคโทด ($\epsilon_s = 0.005$)

d คือ ระยะห่างระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวหน้า (cm)

A และ B คือ ค่าคงตัวของแก๊ส 15 (ion/pairs)/(cm · torr) และ 365 V/(cm · torr)

E_B คือ ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าเบรกดาวน์ (kV/cm)

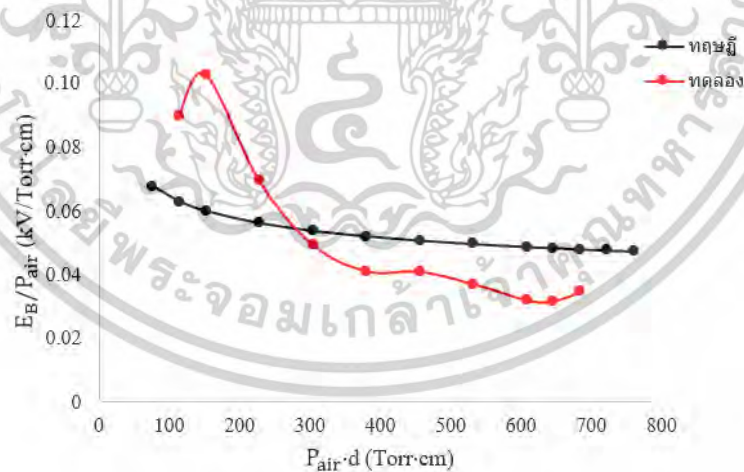
พิจารณาสมการที่ (4.1) การออกแบบถูกกำหนดภายใต้เงื่อนไขที่ความดันบรรยากาศ 760 torr ให้พลาสมามีสมบัติเป็นกลางทางไฟฟ้า นั่นคือค่าอัตราส่วนของแรงดันเบรกดาวน์ต่อสนามไฟฟ้ามีค่าประมาณ 1 เซนติเมตร ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณระหว่างความดันบรรยากาศกับระยะห่างระหว่างแท่งเข็มปลายแหลม ($P_{\text{air}} d$) และค่าความเครียดสนามไฟฟ้าเบรกดาวน์ (E_B) ของอากาศที่สภาวะมาตรฐานเป็นไปตามสมการที่ (4.2)

$$\frac{E_B}{d} = \frac{V_B}{P_{\text{air}} d} = \frac{B}{\ln\left(\frac{AP_{\text{air}} d}{\ln\left(1 + \frac{1}{\epsilon_s}\right)}\right)} \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

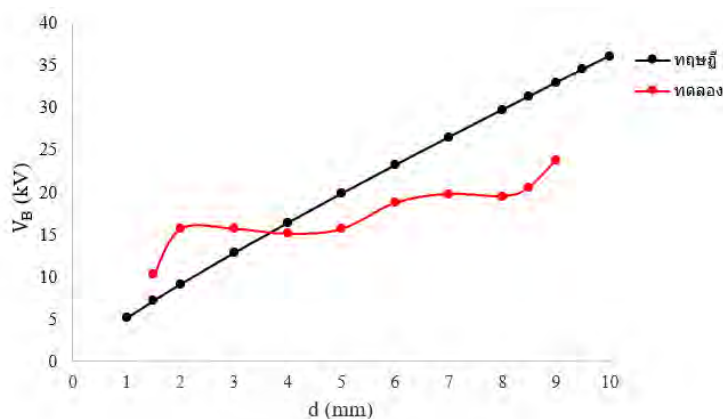
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าแรงดันเบรกดาวนและความเครียดสนามไฟฟ้าเบรกดาวนที่ระยะห่างต่างๆ ระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวน้ำ

d (mm)	V_B max (kV)		E_B (kV/cm)	
	คำนวณจากทฤษฎี	จากการทดลอง	คำนวณจากทฤษฎี	คำนวณจากการทดลอง
1	5.17	-	51.65	-
1.5	7.20	10.29	48.03	68.60
2	9.15	15.72	45.75	78.60
3	12.86	15.72	42.88	52.40
4	16.42	15.12	41.06	37.80
5	19.87	15.68	39.74	31.36
6	23.24	18.76	38.73	31.27
7	26.54	19.82	37.92	28.31
8	29.79	19.55	37.24	24.44
9	32.99	23.83	36.66	26.48
10	36.15	-	36.15	-



กราฟที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณระหว่างความดันบรรยากาศกับระยะห่างระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมและค่าความเครียดสนามไฟฟ้าเบรกดาวนของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนกับระยะห่างระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวหน้า

แรงดันไฟฟ้าสูงที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรดหรือแท่งเข็มปลายแหลมเกินกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าเบรกดาวน ทำให้ขั้วอิเล็กโทรดจะสร้างสนามไฟฟ้าความเข้มสูงทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนพุ่งกระจายออกจากปลายแหลมของขั้วอิเล็กโทรดในแบบสเปรย์ไอออน ประจุของไอออนจะเคลื่อนที่ในระยะทางที่สั้นมากๆ จะเกิดการชนกันระหว่างไอออนกับโมเลกุลของอากาศจนกลายเป็นไอออนตัวใหม่อย่างทวีคูณและกลายไปอยู่ในรูปพลาสมา ซึ่งจะสรุปได้ว่าความเครียดสนามไฟฟ้าเบรกดาวนและความแรงของสนามเบรกดาวนเมื่อคำนวณสำหรับอากาศที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิมาตรฐาน สำหรับความยาวช่องว่างที่ขยายตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ถึง 10 มิลลิเมตร โดยใช้สมการ (4.2) สอดคล้องกับการทดลองได้เป็นอย่างดี

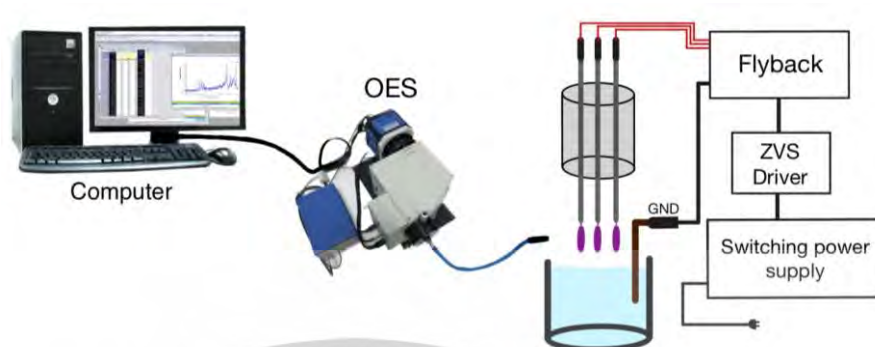
สรุปได้ว่าค่าระยะห่างวิกฤติที่เหมาะสมระหว่างอิเล็กโทรดกับผิวหน้าของระบบโคโรนาดีสชาร์จ คือ 2 mm

4.2 การทดสอบและวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ของพลาสมาเย็นที่สภาวะบรรยากาศของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง

เทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสงเป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวัดรับสัญญาณสเปกตรัมของลำพลาสมาที่สร้างขึ้นจากเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็ม และบ่งบอกองค์ประกอบของพลาสมาที่เกิดขึ้น โดยสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสงจะทำการรับสัญญาณสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 300-800 นาโนเมตร จากการใช้หัววัดแสง Optical emission spectrometer, OES (Fiber optic) ผ่านเกรตติงที่มีความละเอียด 300 และ 1200 groove/nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การทดสอบหาพารามิเตอร์ของพลาสมาเย็น



รูปที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการตรวจวัดรับสัญญาณสเปกตรัมของลำพลาสมา

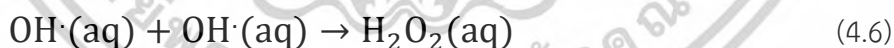
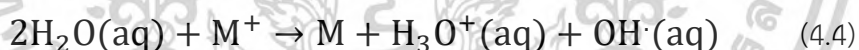
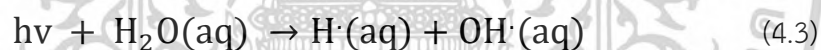
การทดสอบวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาเย็นมีขั้นตอนดังนี้

1. จัดวงจรและอุปกรณ์เพื่อตรวจวัดรับสัญญาณสเปกตรัมของลำพลาสมาดังรูปที่ 4.2
2. ทำการปรับระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทดกับผิวหน้าตามจุด Optimal electrode ที่ระยะ 2 มิลลิเมตร
3. ปรับระยะหัววัดแสง OES (Fiber optic) ให้ตั้งฉากกับลำพลาสมา และเลือกใช้ความละเอียดของเกรตติงที่ 300 และ 1200 groove/nm ตามลำดับ
4. ทำการเปิดเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบหลายเข็มและบันทึกผล จากนั้นทำซ้ำในข้อ 2-4 โดยเปลี่ยนเกรตติงที่ความละเอียดดังกล่าว

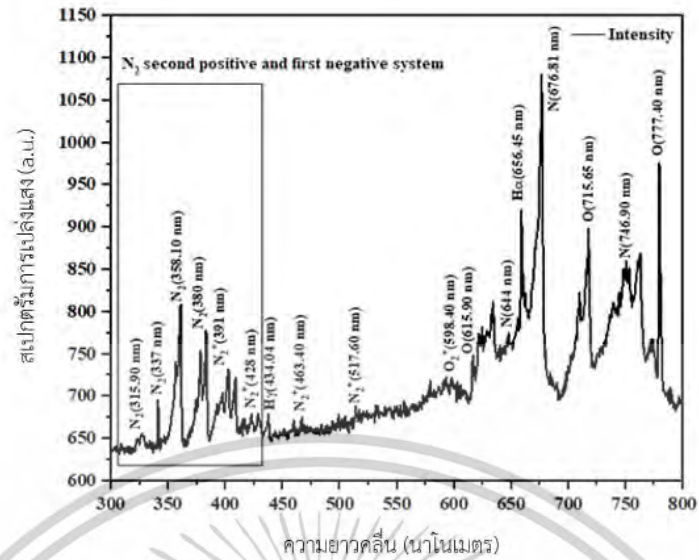
การทดสอบการตรวจวัดรับสัญญาณสเปกตรัมจากกราฟที่ 4.3 และ 4.4 แสดงให้เห็นเส้นสเปกตรัมที่เกิดจากองค์ประกอบของธาตุต่างๆ โมเลกุลและไอออนของลำพลาสมาโดยเน้นไปที่จุดยอดของเส้นสเปกตรัมที่เกิดขึ้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่ามีองค์ประกอบของไนโตรเจน ออกซิเจน และไฮโดรเจนเป็นส่วนมาก โดยเฉพาะเส้นสเปกตรัมของไนโตรเจนซึ่งเป็นไปได้ในสภาพแวดล้อมในสภาวะบรรยากาศที่จะพบส่วนผสมของไนโตรเจนอยู่ในปริมาณมากนั้นชี้ให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงอิเล็กตรอนภายในโมเลกุลและไอออนของไนโตรเจน โดยเฉพาะเส้นของไนโตรเจนที่คล้ายกันที่ความยาวคลื่น 644.00, 676.81 และ 746.90 นาโนเมตร แสดงถึงความเป็นไปได้ของอะตอมไนโตรเจนที่ได้รับการกระตุ้นที่เกิดขึ้น และอัตราการเกิดไอออนของไนโตรเจนแสดงให้เห็นว่ากระบวนการกระตุ้นด้วยอิเล็กตรอนสำหรับ N_2 และ N_2^+ ในพลาสมาที่มีอากาศชื้น (O_2 , N_2 , และ H_2O) มีความน่าจะเป็นที่เทียบเท่ากัน ส่วนเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนที่ความยาวคลื่น 434.04 และ 656.45 นาโนเมตร เป็นเส้นที่พบโดยทั่วไปในสเปกตรัมการปล่อยของอะตอมไฮโดรเจน และเส้นสเปกตรัมของออกซิเจน

ที่ความยาวคลื่น 598.40 นาโนเมตร ชี้ให้เห็นถึงอนุภาคของออกซิเจนที่ได้รับการไอออน ในขณะที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

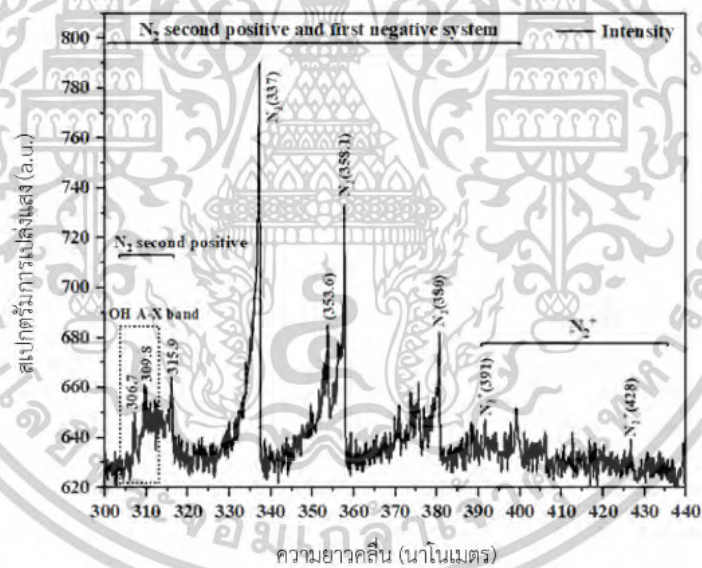
เส้นสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่น 615.90, 715.65 และ 777.40 นาโนเมตร ตามลำดับ จะเป็นลักษณะของอะตอมออกซิเจน และการเกิดเส้นสเปกตรัมของไฮดรอกซิล (OH) ในกราฟที่ 4.4 เป็นการสร้าง OH ที่พื้นผิวของน้ำในระหว่างการปล่อยพลาสมาซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนอยู่กับโมเลกุลของน้ำ เพื่อสร้างไฮดรอกซิลในขณะเดียวกันมีอะตอมไฮโดรเจนที่เกิดจากการแยกโมเลกุลของน้ำ ซึ่งโมเลกุลไนโตรเจนที่อยู่ในสถานะพื้นทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำ ทำให้เกิดสปีชีส์ไฮดรอกซิลตัวที่สอง อะตอมไฮโดรเจนและไนโตรเจนในสถานะพื้น จากนั้นไฮดรอกซิลสองตัวทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนเนี่ยล (N₂) เพื่อสร้างไฮโดรเจนเพอออกไซด์ (H₂O₂) และโมเลกุลไนโตรเจนเนี่ยลอื่นๆ นอกจากนี้ ไฮดรอกซิลที่เป็นกลางของน้ำ (H₂O (aq)) ถูกสร้างขึ้นด้วยกระบวนการดูดกลืนแสงและกระบวนการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนในโมเลกุลไนโตรเจน เป็นไปตามสมการที่ (4.3) ถึง (4.6) โดยกระบวนการที่มีการดูดกลืนแสงยูวี (UV) ทำให้โมเลกุลของน้ำถูกแยกออก เพื่อสร้างอะตอมไฮโดรเจน และไฮดรอกซิลตัวแรก จากนั้นสปีชีส์ของไนโตรเจนไอออน (N₂⁺) กระตุ้นแก๊สของน้ำสองโมเลกุลเพื่อสร้างไนโตรเจน (N₂), ไอออนไฮดรอกไซด์ (H₃O⁺) และไฮดรอกไซด์อีกหนึ่งตัว (OH[•]) โดยไฮดรอกไซด์ (OH[•]) สองตัวรวมกันเพื่อสร้างไฮโดรเจนเพอออกไซด์ (H₂O₂) ในน้ำตัวอย่าง ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญสำหรับการทำความสะอาด ฆ่าเชื้อโรคและการป้องกันการเกิดแบคทีเรียต่างๆ ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.3 กราฟสเปกตรัมการเปล่งแสงของพลาสมาเยื่อที่สภาวะบรรยากาศโดยใช้เกรตติ้งความละเอียด 300 groove/nm



กราฟที่ 4.4 กราฟสเปกตรัมการเปล่งแสงของพลาสมาเยื่อที่สภาวะบรรยากาศโดยใช้เกรตติ้งความละเอียด 1200 groove/nm

4.3 การทดสอบและวิเคราะห์หาค่าความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่ถูกกระตุ้นด้วยพลาสมาโครนาดีสชาร์จ ให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

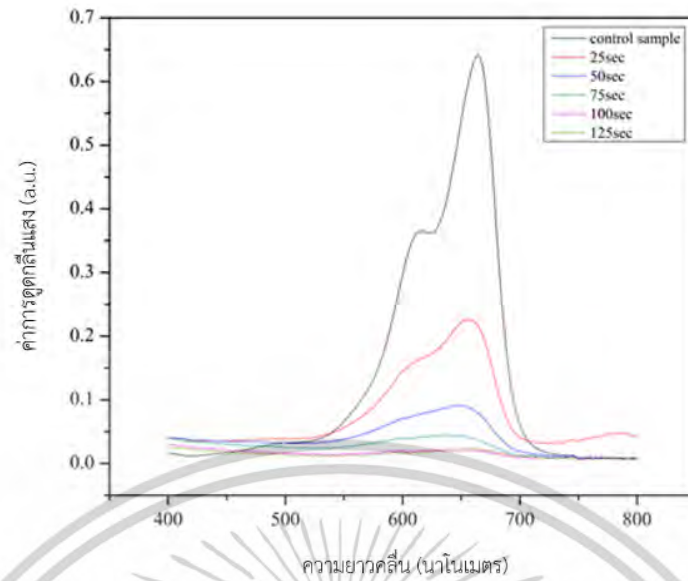
ค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มถูกกำหนดโดยการวิเคราะห์คุณสมบัติการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) (DIGICON, CD-439SD) และค่า pH (HANNA เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

instrument, HI1131) ของน้ำเสียจากบ่อดักตะกอน โดยนำตัวอย่างน้ำเสียมาจากโรงพยาบาล อังครักษ์ อำเภองครักษ์ จังหวัดนครนายกมาเปรียบเทียบกับน้ำปราศจากไอออน (Deionized water, DI) ก่อนการบำบัดที่เวลา $t = 0$ วินาที เมื่อนำมาบำบัดด้วยระบบพลาสมาโคโรนาดีซาร์จที่สร้างขึ้น ที่เวลา 25, 50, 75, 100 และ 125 วินาที ตามลำดับ และทำการวิเคราะห์หาอนุมูลอิสระต่างๆ ที่เกิดขึ้นในสารละลาย เช่น ไฮโดรเจนเพอออกไซด์ (H_2O_2), ไนไตรท์ (NO_2^-), ไนเตรท (NO_3^-) และแอมโมเนีย (NH_4^+)

4.3.1 วิธีการทดสอบวัดค่าการนำไฟฟ้าและค่า pH ของน้ำเสียตัวอย่าง

การทดสอบวัดค่าการนำไฟฟ้าและค่า pH ในน้ำเสียตัวอย่างได้ทำการวัดทั้งก่อนและหลังที่ได้รับการบำบัดด้วยเครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คหลายเข็มโดยใช้ระยะเวลาในการบำบัด 0, 25, 75, 100 และ 125 วินาทีตามลำดับ โดยถูกกำหนดระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียตัวอย่างจากการบำบัดสารละลายเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 6 ppm ปริมาตร 30 มิลลิลิตร จนกระทั่งใสไม่มีสีที่ระยะเวลา 125 วินาที ดังแสดงในกราฟที่ 4.5 และเมื่อนำน้ำเสียตัวอย่างมาบำบัดด้วยระบบพลาสมาโคโรนาดีซาร์จ ที่เวลา 25, 50, 75, 100 และ 125 วินาที พบว่า ค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียจากโรงพยาบาลที่ผ่านการบำบัดเทียบกับน้ำ DI ซึ่งเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงอย่างแท้จริงเพราะโมเลกุลที่เหลืออยู่จะมีเพียงโมเลกุลของน้ำ (H_2O) เท่านั้น ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามมาตรฐานของ WHO แสดงดังกราฟที่ 4.6 และ 4.7

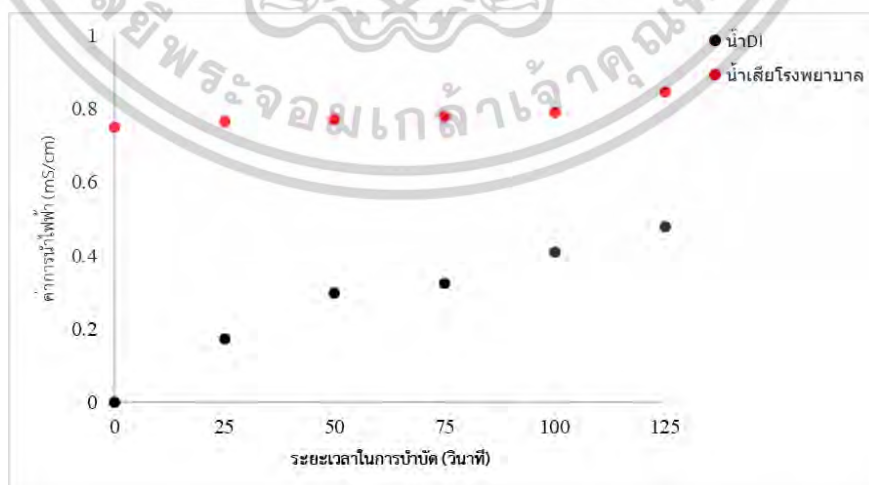
จากการพิจารณาว่าพลาสมามีสมบัติเป็นกลางทางไฟฟ้าโดยการตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้า โดยเริ่มต้นจากการพิจารณาตามสมการตามกฎของ Paschen นั่นคือค่าอัตราส่วนของแรงดันเบรกดาวน์ต่อสนามไฟฟ้ามีค่าประมาณหนึ่งเซนติเมตรนั้นสอดคล้องกับผลการทดลองอย่างชัดเจน และจากการศึกษาของ Chanan et al. ที่ได้ทำการกำหนดระยะห่างระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวน้ำที่ 2 มิลลิเมตรนั้น ซึ่งเป็นระยะเดียวกับงานวิจัยนี้ทำให้ที่ระยะ 2 มิลลิเมตรนั้นเป็นระยะที่ดีที่สุดและให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำเสีย อีกทั้งทำให้วัตถุประสงค์ในการพัฒนาเครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คหลายเข็มให้สามารถพัฒนาได้มากขึ้นและดียิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่เหมือนกัน โดยในการใช้ระยะเวลาในการบำบัดที่น้อยลงอย่างเห็นได้ชัด



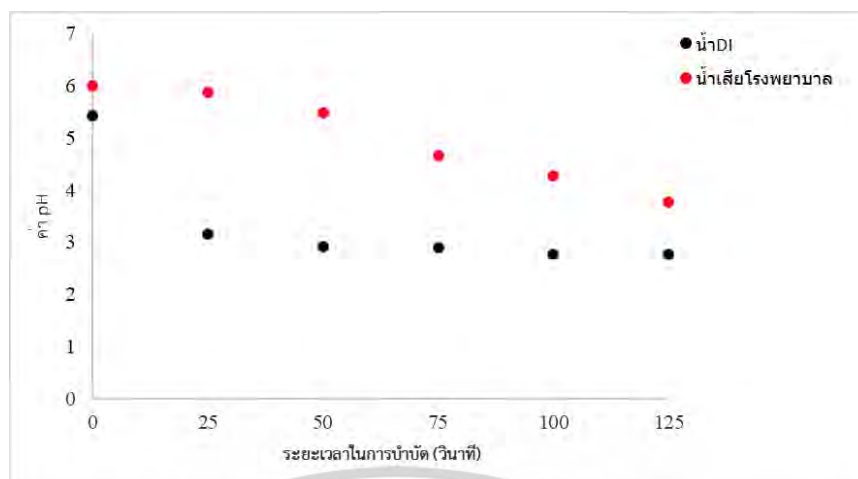
กราฟที่ 4.5 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลูที่สังเคราะห์ระยะเวลา 0, 25, 50, 75, 100 และ 125 วินาที



รูปที่ 4.3 ลักษณะสีของสารละลายเมทิลีนบลูที่ผ่านการบำบัดที่ระยะเวลา 0, 25, 50, 75, 100 และ 125 วินาที ตามลำดับ



กราฟที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของค่าการนำไฟฟ้าระหว่างน้ำเสียโรงพยาบาลเทียบกับน้ำ DI เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของค่า pH ระหว่างน้ำเสียโรงพยาบาลเทียบกับน้ำ DI

ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าค่าการนำไฟฟ้าเมื่อมีปริมาณไอออนต่ำจะมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ แต่เมื่อมีปริมาณไอออนสูงทำให้ปริมาณไอออนในสารละลายมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนประจุของอนุมลบริเวณพื้นผิวน้ำที่ถูกพลาสมากระตุ้น

4.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณอนุมลอิสระต่างๆ ที่เกิดขึ้นในน้ำเสียตัวอย่าง

การทดสอบวิเคราะห์หาอนุมลอิสระต่างๆ ที่เกิดขึ้นในสารละลาย เช่น ไฮโดรเจนเพอออกไซด์ (H_2O_2), ไนโตรท์ (NO_2^-), ไนเตรท (NO_3^-) และแอมโมเนีย (NH_4^+) มีรายละเอียดดังนี้

1). การวิเคราะห์ไฮโดรเจนเพอออกไซด์ (H_2O_2) จะใช้วิธีการไทเทรต (Titrate) สารละลายเพื่อหาความเข้มข้นโดยคำนวณจากสมการที่ (4.7)



-วิธีการคำนวณหาปริมาตรไฮโดรเจนเพอออกไซด์ในสารละลายตัวอย่าง

จากสมการที่ (4.7) จะเขียนแสดงความสัมพันธ์ใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{C_1 V_1}{2} = \frac{C_2 V_2}{5} \quad (4.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

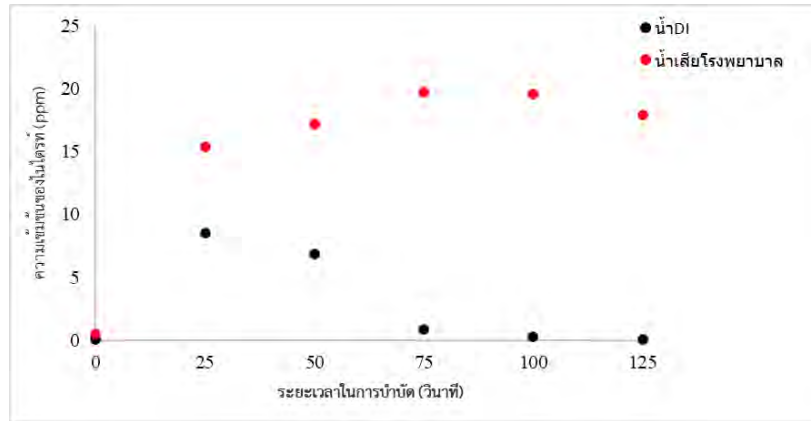
- โดยที่ C_1 คือ ความเข้มข้น KMnO_4 0.001 M หรือ 158.032 ppm
 V_1 คือ ปริมาตรการไทเทรต KMnO_4 กับสารละลายตัวอย่างที่บันทึกค่าได้
 C_2 คือ ความเข้มข้นของตัวอย่างที่ต้องการทราบค่า (H_2O_2)
 V_2 คือ ปริมาตรสารละลายตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร

2). การวิเคราะห์ NO_2^- , NO_3^- และ NH_4^+ ในการทดลองได้ทำการทดสอบสารละลายโดยใช้เทคนิคคัลเลอร์มิเตอร์ (Colorimeter) ซึ่งเป็นเทคนิคการวัดความเข้มสีโดยการกำหนดความเข้มข้นของสารประกอบที่มีสารละลาย ผ่านการวัดค่าดูดกลืนแสงของความยาวคลื่นเฉพาะของแสงด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer (Hitachi, U-3900H) วัดที่ความยาวคลื่น 540, 410 และ 655 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยทำการทดลองซ้ำหาค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.3

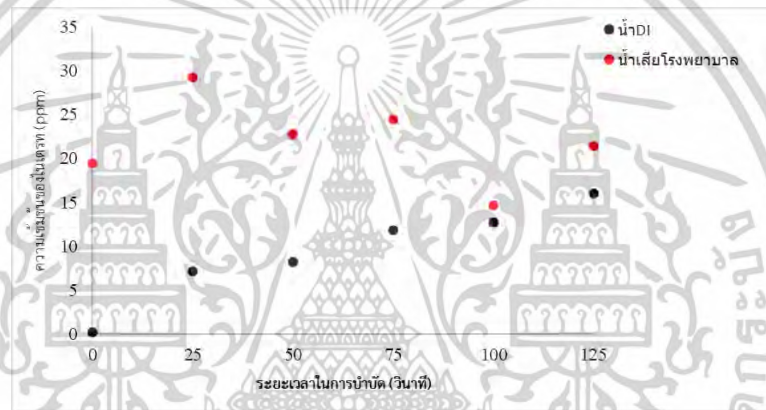
ตารางที่ 4.3 ค่าการทดลองของอนุมูลอิสระต่างๆ ที่เกิดขึ้นในน้ำเสียตัวอย่างจากโรงพยาบาล

ระยะเวลาในการบำบัด (วินาที)	ความเข้มข้นของอนุมูลอิสระต่างๆ (ppm)			
	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	H_2O_2
0	0.51	19.49	1.46	12.64
25	15.35	29.26	0.75	60.03
50	17.16	22.74	0.51	105.84
75	19.69	24.47	0.41	137.44
100	19.56	14.65	0.35	184.83
125	17.94	21.39	0.35	236.96

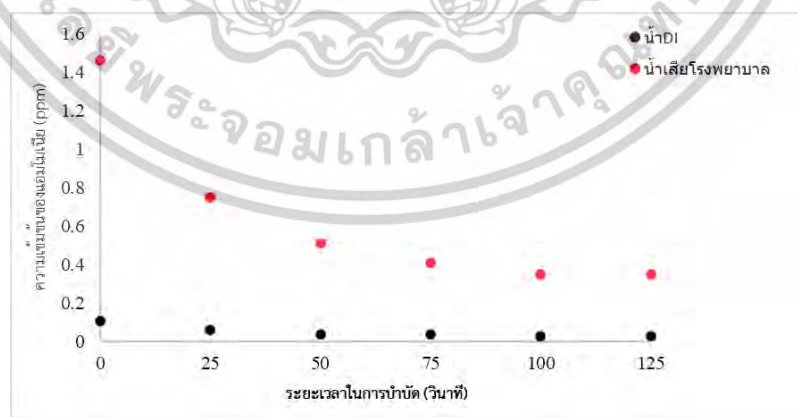
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนระหว่างน้ำเสียโรงพยาบาลเทียบกับน้ำ DI

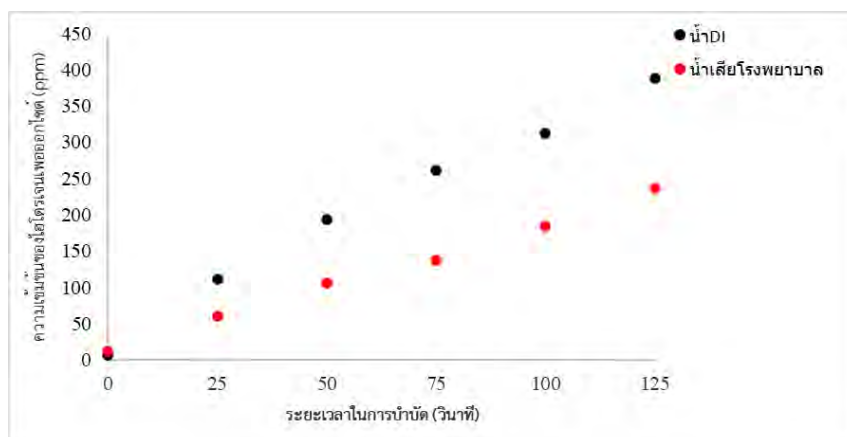


กราฟที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของไนเตรตระหว่างน้ำเสียโรงพยาบาลเทียบกับน้ำ DI



กราฟที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียระหว่างน้ำเสียโรงพยาบาลเทียบกับน้ำ DI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนเพอออกไซด์ระหว่างน้ำเสียโรงพยาบาลเทียบกับน้ำ DI

จากกราฟที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าการกระตุ้นน้ำด้วยเครื่องพลาสมา (Plasma Activated-water, PAW) ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด เนื่องจากปริมาณอนุมูลจากการสะสม NO_2^- , NO_3^- นั้นจะช่วยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นพิษในน้ำเสียและเพิ่มกิจกรรมในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานจะอยู่ในเกณฑ์การปล่อยน้ำทิ้งขององค์การอนามัยโลก (NO_2^- , $\text{NO}_3^- \leq 10$ ppm) NO_2^- และ NO_3^- ที่ได้รับการบำบัดด้วยเครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คหลายเข็มนี้ยังคงสูงกว่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก แต่ NO_3^- ยังมีความเข้มข้นไม่เกิน 50 ppm เพราะถ้าหากแหล่งน้ำพบปริมาณไนเตรตสูงมากกว่า 50 ppm เป็นเวลานานจะมีผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงส่งผลต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ เช่น ปลา เป็นต้น นอกจากนี้การวิเคราะห์แอมโมเนีย ($\text{NH}_4^+ < 3.7$ ppm) ซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่มไนโตรเจนถ้าพบในปริมาณมากจัดเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการเน่าเสียและสิ่งสกปรกในน้ำ จากกราฟที่ 4.10 บ่งชี้ได้ว่าแอมโมเนียในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยพลาสมานั้นมีแนวโน้มลดลงและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเปิดใช้งานของพลาสมา สำหรับในกราฟที่ 4.11 แสดงการเพิ่มขึ้นของอนุมูล H_2O_2 ซึ่งเป็นอนุมูลที่สำคัญที่ส่งผลช่วยในการกำจัดเชื้อโรคและแบคทีเรีย อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพทำลายเชื้อไวรัสได้ในระยะเวลาสั้น พบว่าความเข้มข้นของอนุมูล H_2O_2 อยู่ในเกณฑ์เทียบจากคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก ($\text{H}_2\text{O}_2 \leq 0.5\%$, 5000 ppm) ในการกำจัดเชื้อ COVID-19 และการฆ่าเชื้อในสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังสามารถใช้ในการลดค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั้งค่า COD และ BOD ของน้ำเสียได้ดังตารางที่ 4.4 โดยสามารถลดค่า COD และ BOD_5 ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งขององค์การอนามัยโลก และค่าออกซิเจนละลายในน้ำนั้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าการวัดดัชนีคุณภาพน้ำเสียตามมาตรฐานขององค์การอนามัยโลกเทียบกับการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลด้วยเครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คหลายเข็ม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	เกณฑ์กำหนดสูงสุดมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (ppm)	ค่าดัชนีคุณภาพน้ำเสียโรงพยาบาลก่อนการบำบัด (ppm)	ค่าดัชนีคุณภาพน้ำเสียโรงพยาบาลที่ได้รับการบำบัด (ppm)
COD	ไม่เกิน 60	40.00	25.60
BOD	ไม่เกิน 20	8.30	3.50
DO	5-8	24.00	5.90

4.4 การประเมินค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการเกิดโคโรนาดีสชาร์จในการบำบัดน้ำเสีย

การวิเคราะห์หาผลประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการบำบัดน้ำเสียนั้น ในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบระหว่างการใช้แท่งปลายเข็มแท่งเดียวกับแท่งปลายเข็มสามแท่ง โดยการเพิ่มแท่งปลายเข็มแหลมนั้นเป็นการเพิ่มพลังงานต่อพื้นที่ในการออกซิไดซ์ของพลาสมาระหว่างระบบขั้วอิเล็กโทรดกับผิวน้ำเสียตัวอย่าง และเป็นการช่วยลดระยะเวลาในการบำบัดโดยเทียบกับการบำบัดในสารละลายเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 6 ppm ปริมาตร 30 มิลลิลิตร พบว่าการเพิ่มแท่งปลายเข็มแหลมสามารถบำบัดสารละลายเมทิลีนบลูจนใสไม่มีสีได้ภายในระยะเวลา 2 นาที ส่วนการใช้แท่งเข็มปลายแหลมแท่งเดียวสามารถบำบัดได้ในระยะเวลา 6 นาที ถ้าพิจารณาหาความหนาแน่นของไอออนที่เกิดขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าสูงตกคร่อมระหว่างอิเล็กโทรดกับผิวน้ำจะทำให้อากาศซึ่งมีสภาพโมเลกุลเป็นกลางทางไฟฟ้าเมื่ออากาศได้รับพลังงานจนมีอุณหภูมิสูงยิ่งยวด (Hot air) จนทำให้อิเล็กตรอนอิสระชนกับอะตอมซึ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากอะตอมเพิ่มขึ้นเป็นประจุไอออนจำนวนมาก ประจุของไอออนจะเคลื่อนที่ในระยะทางที่สั้นมากๆ ก็จะเกิดการชนกันระหว่างไอออนกับโมเลกุลของอากาศจนกลายเป็นไอออนตัวใหม่อย่างทวีคูณ ซึ่งทำให้อากาศมีสภาพเปลี่ยนจากฉนวนไปเป็นตัวนำหรือเรียกว่าเกิดไอออนไนเซชันแล้วกลายเป็นพลาสมาที่มีความหนาแน่นของ n_p ที่จะมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของไอออนบวกที่มีความหนาแน่นของ n_i และอิเล็กตรอนที่มีความหนาแน่นของ n_e ในจำนวนที่เท่ากันจะเรียกว่า “กระบวนการการแตกตัวเป็นไอออน” (Ionization or Plasma) เนื่องจากพลังงานของพลาสมาเย็นไม่สูงมากนักเราจะพิจารณาพลังงานไอออนไนซ์ลำดับที่ 1 การคำนวณการแจกแจงของความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่ตำแหน่งที่ระยะขั้วอิเล็กโทรดกับผิวน้ำต่างๆ ในพลาสมาจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ของโบต์มันน์ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n_i(d) = n_e e^{-\left(\frac{eV}{k_B T_e}\right)} \quad (4.9)$$

โดย $k_B = 1.3807 \times 10^{-23} \frac{J}{K}$, $e = 1.6022 \times 10^{-19}$ coulombs, and $T_e = 11604.3$ K

นั่นคือ $n_i(d=0) = n_e = n_p$ ค่าความหนาแน่นกระแสของไอออน J_i ที่เกิดจากช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรด d เป็นดังไปตามสมการของ Child-Langmuir ดังต่อไปนี้ คือ

$$J_i = J_e = \frac{4\epsilon_0}{9} \left(\frac{2e}{m_e}\right)^{1/2} \frac{(V_B)^{3/2}}{d^2} \quad (4.10)$$

เมื่อ $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$ and $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{kg}$

สำหรับกฎการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอิเล็กตรอนและไอออนที่ไม่มีสนามไฟฟ้าในปริมาตรพลาสมา ความเร็วของไอออน (The ion velocity) $v = \sqrt{\frac{2k_B T_e}{m_e}}$ ดังนั้นค่าความหนาแน่นของไอออน (The ion density) คือ

$$n_i = \frac{J_i}{ev} \quad (4.11)$$

สำหรับขั้วอิเล็กโทรด 1 แท่ง ค่าความหนาแน่นของไอออน คือ $n_i = 1.23 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$

และ ขั้วอิเล็กโทรด 3 แท่ง ค่าความหนาแน่นของไอออน คือ $n_i = 3.69 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มแท่งปลายเข็มแหลมในระบบนั้นเป็นการเพิ่มพลังงานต่อพื้นที่ในการออกซีไดซ์ของพลาสมาและเป็นการช่วยลดระยะเวลาในการบำบัดได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการออกแบบและทดสอบเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบอาร์คหลายเข็มสำหรับการเกิดโคโรนา ดิสชาร์จสำหรับการบำบัดน้ำเสีย จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าเบื้องต้น อุณหภูมิต่ำที่สภาวะบรรยากาศนั้น ระยะห่างวิกฤติที่เหมาะสมระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวน้ำที่ตีที่ตีที่สุด คือ 2 มิลลิเมตร มีค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์และกระแสไฟฟ้า คือ 15.72 กิโลโวลต์ และ 9.47 มิลลิแอมแปร์ ตามลำดับ รวมถึงพารามิเตอร์ของการเกิดโคโรนา ดิสชาร์จด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสงแสดงให้เห็นเส้นสเปกตรัมที่เกิดจากองค์ประกอบของธาตุต่างๆ โมเลกุลและไอออนของพลาสมาซึ่งเน้นไปที่จุดยอดของเส้นสเปกตรัมที่เกิดขึ้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่ามีองค์ประกอบของไนโตรเจน ออกซิเจน และไฮโดรเจนเป็นส่วนมาก และอีกทั้งไฮดรอกซิลที่เป็นกลางของน้ำถูกสร้างขึ้นด้วยกระบวนการดูดกลืนแสงและกระบวนการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนในโมเลกุลไนโตรเจน ทำให้ในกระบวนการสามารถสร้างไฮโดรเจนเพอออกไซด์ในน้ำตัวอย่างได้ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญสำหรับการทำความสะอาด ฆ่าเชื้อโรคและการป้องกันการเกิดแบคทีเรียต่างๆ รวมถึงปริมาณอนุมูลจากการสะสมของไนโตรท ไนเตรท และการลดลงของแอมโมเนียหลังจากผ่านการกระตุ้นน้ำด้วยระบบเครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คหลายเข็มนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำปราศจากไอออนสรุปได้ว่าจัดอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งขององค์การอนามัยโลก รวมถึงปริมาณการผลิตอนุมูลอิสระของไฮโดรเจนเพอออกไซด์ที่เป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรงสำหรับการฆ่าเชื้อโรคและแบคทีเรียในน้ำเสียจากโรงพยาบาลได้สำเร็จเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานในเกณฑ์การกำจัดเชื้อโรคและการฆ่าเชื้อในสิ่งแวดล้อมจากคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก ดังนั้นสรุปได้ว่าระบบเครื่องกำเนิดพลาสมาอาร์คแบบอาร์คหลายเข็มจะสามารถสลายสารอินทรีย์ที่เป็นพิษในน้ำเสียและเพิ่มกิจกรรมในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำเสียได้จริง สำหรับใช้ในการกระตุ้นสำหรับบำบัดน้ำเสีย ซึ่งระยะห่างนี้มีผลต่อการเพิ่มพลังงานต่อพื้นที่ทำให้น้ำที่ถูกกระตุ้นเกิดการแตกตัวเป็นไอออนสูงสุดของพลาสมาประมาณ $3.69 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ และระบบนี้ช่วยลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น อีกทั้งในอนาคตสามารถนำไปใช้งานได้อย่างสะดวกและปลอดภัยในภาคสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1). การทดลองในการปรับระยะห่างระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวหนังต้องระมัดระวังในการวัดระยะห่างเป็นอย่างมากเพื่อความแม่นยำของผลที่ได้รับในแต่ละครั้ง ควรใช้สเกลของเครื่องมือในการวัดอย่างละเอียด

2). การจัดระบบเครื่องก่อนทำการทดลองควรระวังไม่ให้ขั้วแอโนดสัมผัสหรือใกล้เคียงกับแท่งเข็มปลายแหลมมากจนเกินไป ควรให้อยู่ระยะห่างประมาณหนึ่งเซนติเมตรขึ้นไปเพื่อหลีกเลี่ยงการอาร์คเข้าหากันของระบบ

3). หากใช้ไประยะเวลาานควรหมั่นเช็คและทำความสะอาดแท่งเข็มปลายแหลมอยู่เสมอ เนื่องจากเมื่อผ่านการใช้งานในระยะเวลาหนึ่งอาจเกิดการออกไซด์ที่บริเวณปลายเข็มทั้งสแตนเลสซึ่งจะส่งผลกับค่าการทดลอง

4). การเพิ่มจำนวนแท่งเข็มปลายแหลมในอนาคต ต้องคำนึงถึงปริมาณของสารละลายหรือน้ำเสียตัวอย่าง เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องการเกิดอนุมูลอิสระระหว่างการบำบัดน้ำเสีย หากน้ำเสียตัวอย่างลดลงจะส่งผลต่อค่าระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดปลายแหลมกับผิวหนังทำให้การค่าตั้งค่าเกิดข้อผิดพลาด

5). การเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซิ่ง (Switching Power Supply) ซึ่งเป็นวงจรแปลงพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงมาใช้งานในระบบเครื่องกำเนิดพลาสมานั้น ต้องคำนึงถึงการออกแบบอย่างรอบคอบเพื่อป้องกันแรงดันเกิน กระแสในระบบเกิน หรือการเกิดความร้อนสะสม

เอกสารอ้างอิง

- [1] คู่มือการจัดการน้ำเสียจากอาคารประเภทโรงพยาบาล. (2554). ลักษณะสมบัติน้ำเสียโรงพยาบาล. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [2] คู่มือความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น. (2558). ระบบบำบัดน้ำเสีย. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [3] คู่มือดูแลระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activates Sludge. (2558). ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activates Sludge. [ออนไลน์]. ได้จาก <https://www.greenwatertreat.com>
- [4] ธัญญา ธนะสมบัติ, วราภรณ์ กุณแสง (2562). การศึกษาความสัมพันธ์ของน้ำพลาสมา. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [5] ชีรวรรณ บุญญวรรณ. (2550). เทคโนโลยีพลาสมา. ศูนย์วิจัยนิวตรอนพลังงานสูง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [6] ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2548). กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [7] สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 13 (ชลบุรี). (2561). น้ำเสียและการบำบัดน้ำเสีย. ฝ่ายสุขาภิบาลโรงงาน กองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร.
- [8] Chaitanya S., N.N. Misra, Vladimir M., Paula B., Finbarr O'R., P.J. Cullen. Pesticide degradation in water using atmospheric air cold plasma, *Journal of Water Process Engineering* 9 (2016) 1-8. Doi: 10.1016/j.jwpe.2016.01.003.
- [9] Chanan, N., Kusumandari, Saraswati, T.E. (2018) "Water treatment using plasma discharge with variation of electrode materials," *Materials science and engineering*, 333, Article no. 012025.
- [10] Chiuderi, C., Velli, M. (2015). *Basics of Plasma Astrophysics*. Springer. P. 17. ISBN 978-88-470-5280-2.
- [11] Chizoba, E. F. G., Sun, D. W., Cheng, J. H., A review on recent advances in cold plasma technology for the food industry: Current applications and future trends, *Trends in food science and technology* (2017), Doi: 10.1016/j.tifs.2017.08.007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Darmanin M., Kozak D., Mallia J.D., Blundell R., Gatt R., Valdramidis V. P. (2020) "Generation of plasma functionalized water: antimicrobial assessment and impact on seed germination." *Food Control*, 113, Article no. 107168.
- [13] Gururani, P., Bhatnagar, P., Bisht, B., Kumar, V., Joshi N.C., Tomar, M.S., Pathak, B. (2021) "Cold plasma technology advanced and sustainable approach for wastewater treatment," *Environmental science and pollution research*, 28, Article no. 65062-65082.
- [14] Guo, D., Liu, H., Zhou, L., Xie, J., He, C. (2021) "Plasma-activated water production and its application in agriculture." *Science of food and agriculture*, 101(12), 4891–4899. Doi: 10.1002/jsfa.11258
- [15] Hichem, Z., Phuong, N., Lotfi, K., Abdeltif, A., Aymen, A. A. (2020) "Review on discharge Plasma for water treatment: mechanism, reactor geometries, active species and combined processes." *Journal of water process engineering*, 38, Article no. 101664.
- [16] Hoeben W.F.L.M., van Ooij P. P., Schram D. C., Huiskamp T., Pemen A.J.M. and Lukeš P. (2019) "On the possibilities of straightforward characterization of plasma activated water." *Plasma Chem Plasma Process*, 39, Article no. 597–626.
- [17] Paula B., Dana Z., Daniela B., Patrick J. C., Kevin K. The potential of cold plasma for safe and sustainable food production, *Trend in Biotechnology* 36(6) (2018) 615-626. Doi: 101016/j.tibtech.2017.11.001.
- [18] Prateek G., Pooja B., Bhawana B., Vinod K., Naveen C. J., Mahipal S. T., Beena P. Cold plasma technology: advanced and sustainable approach for wastewater treatment, *Environmental Science and Pollution Research* 28 (2021) 65062-65082. Doi: 10.1007/s11356-021-16741-x.
- [19] Silva, G.R., Menezes, L.D.M., Lanza, I.P., Oliveira, D.D., Silva, C.A., Klein, R.W.T., Assis, D.C.S., & Cançado S.V. (2017). Evaluation of the alpha-amylase activity as an indicator of pasteurization efficiency and microbiological quality of liquid whole eggs. *Poultry Science*, 96(9), 3375–3381.
- [20] Skoog, D.A., Holle,r F.J., & Crouch, S.R. (2007). *Principles of Instrumental Analysis*, 6th ed. Thomson Brooks/Cole.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [21] Y. Lee and U. von Gunten, Advances in predicting organic contaminant abatement during ozonation of municipal wastewater effluent: Reaction kinetics, transformation products, and changes of biological effects, *Environmental Science: Water Research & Technology*, 2 (2016) 421-442. Doi: 10.1039/C6EW00025H.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

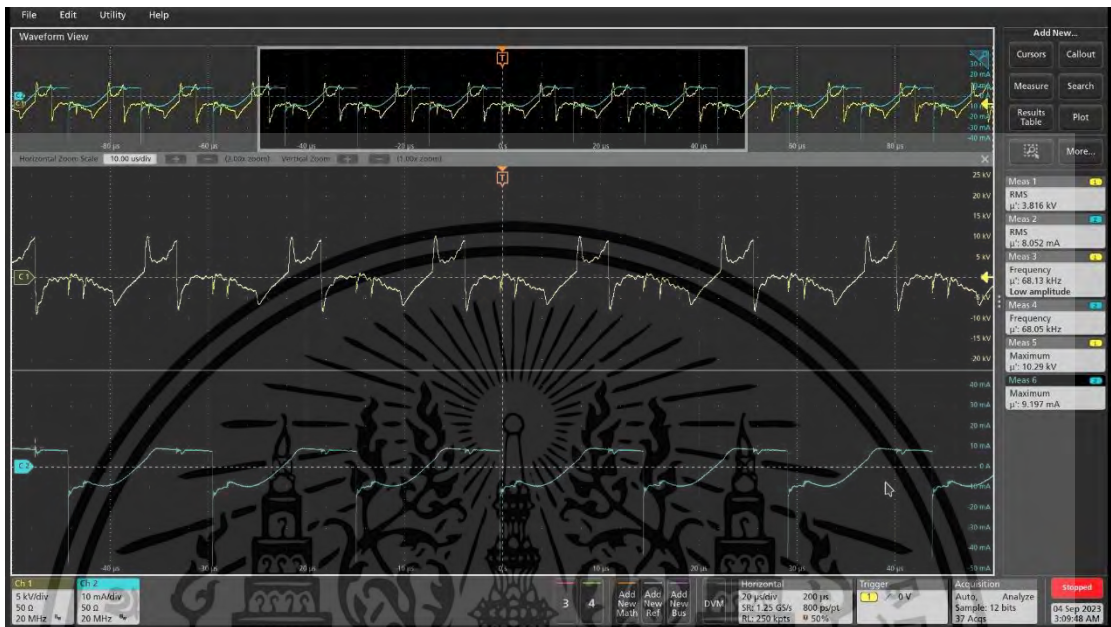


ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก การวัดแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์และกระแสคายประจุที่ระยะห่างต่างๆ ระหว่างแท่งเข็มปลายแหลมกับผิวหนัง

- ที่ระยะ 1.5 มิลลิเมตร

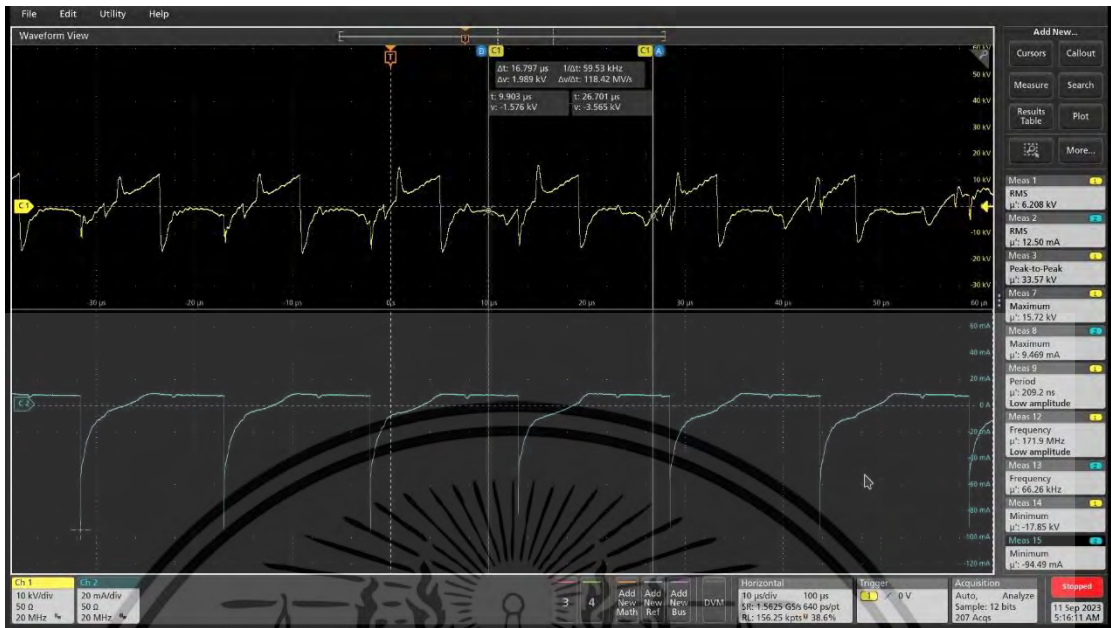


- ที่ระยะ 2 มิลลิเมตร

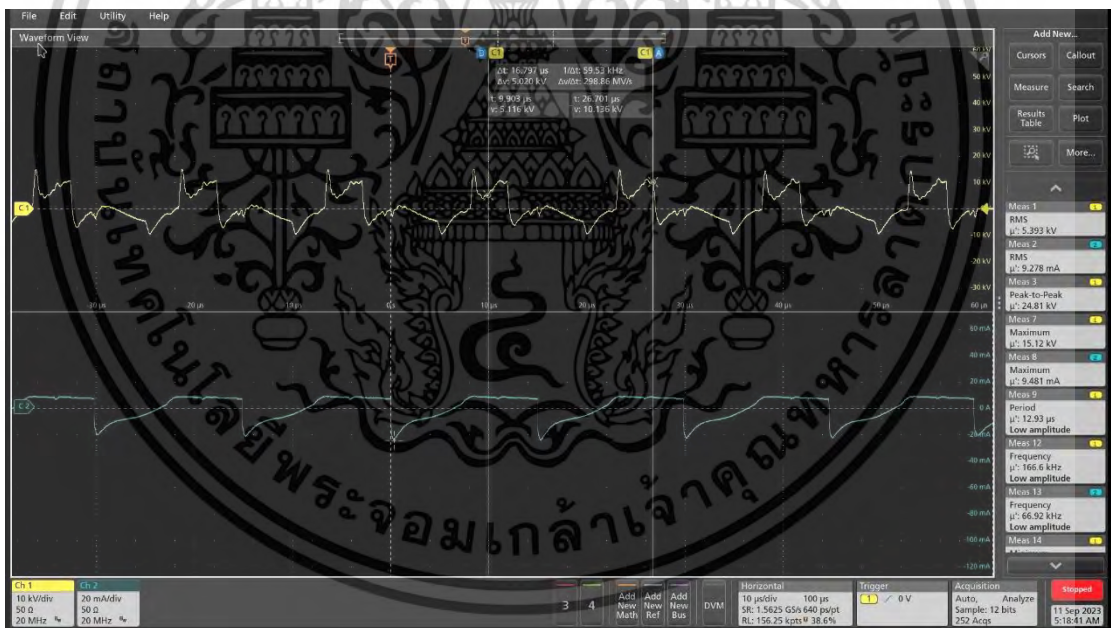


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ระยะ 3 มิลลิเมตร



- ที่ระยะ 4 มิลลิเมตร

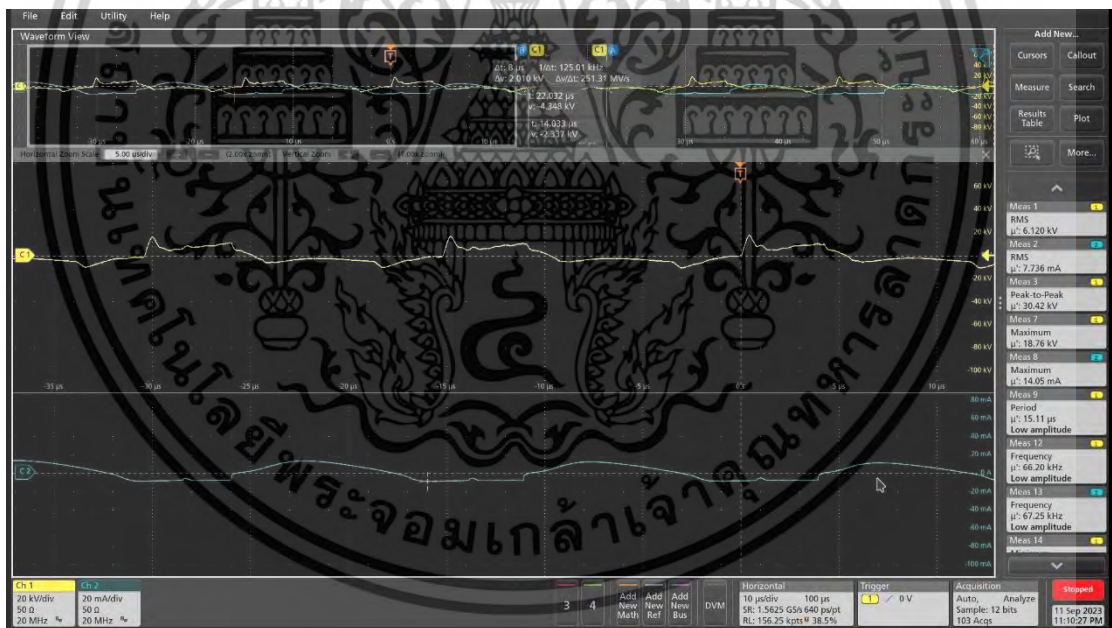


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร



- ที่ระยะ 6 มิลลิเมตร

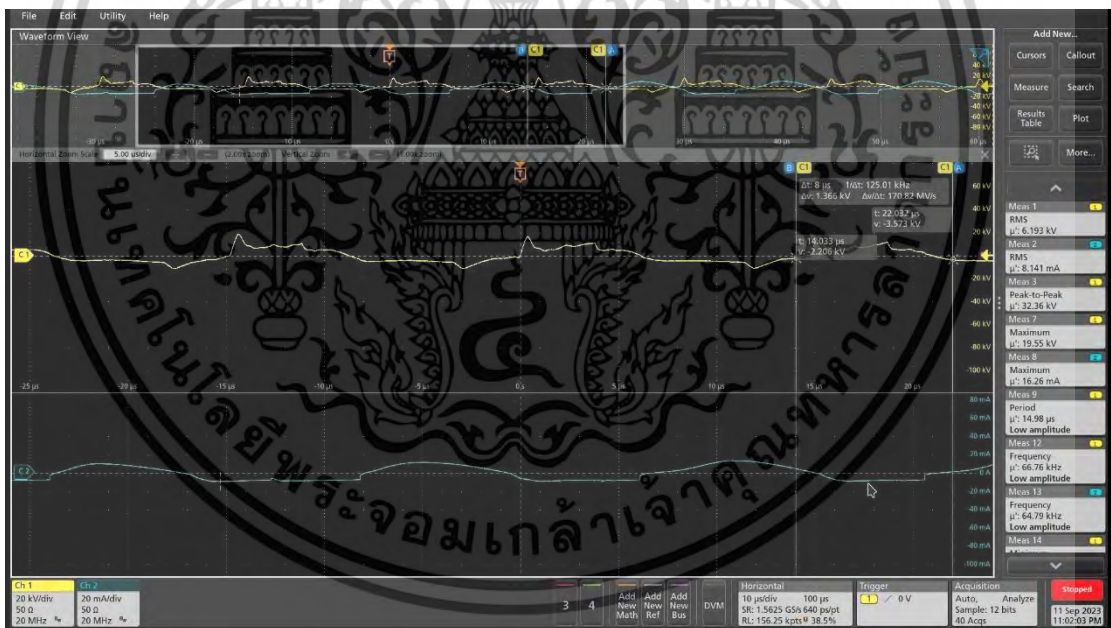


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ระยะ 7 มิลลิเมตร



- ที่ระยะ 8 มิลลิเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ระยะ 8.5 มิลลิเมตร



- ที่ระยะ 9 มิลลิเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์อนุมูลอิสระ

ลำดับ	ชื่อสารเคมี	รูปภาพประกอบ
1	โซเดียมไนไตรท์ (Sodium nitrite)	
2	Sulfanilamide	
3	กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid)	


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4	N-(1-Naphthyl) ethylenediamide (NED)	
5	โพแทสเซียมไนเตรท (Potassium nitrate)	
6	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	ซาลิไซลิกแอซิด (Salicylic acid)	
8	กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Sulfuric acid) 98%	
9	แอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulfate)	

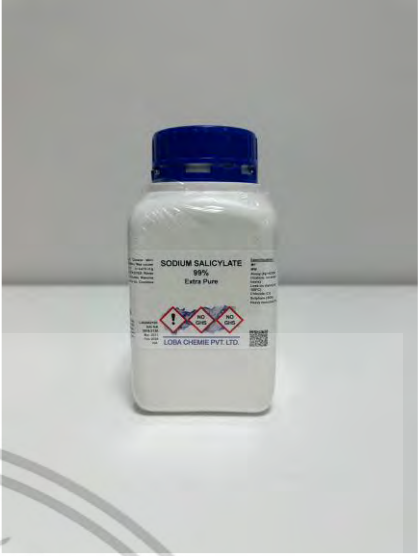
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10	โซเดียม ซาลิไซเลท (Sodium salicylate)	
11	โซเดียม ซิเตรท (Tri-sodium citrate)	
12	โซเดียม ทาร์เทต (Sodium tartrate)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13	โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite)	
14	โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate : KMnO_4)	
15	โซเดียมออกซาเลต (Disodium oxalate : $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$)	




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16	โซเดียมไนโตรพรัสไซด์ (Sodium nitroprusside)	
----	---	--


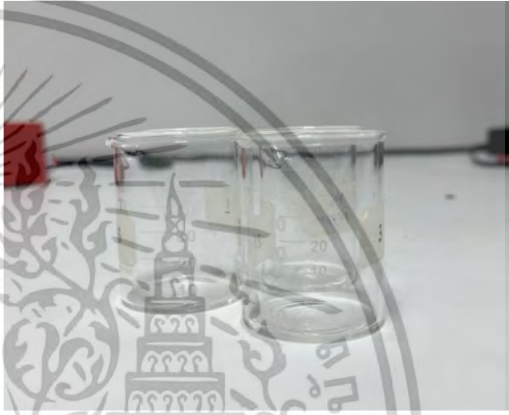



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ตารางที่ ข อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์อนุภูลิสระ

ลำดับ	ชื่ออุปกรณ์	รูปภาพประกอบ
1	เครื่อง UV-Vis spectroscopy	
2	Cuvette	
3	Micropipette ช่วง 100-1000 μ l	


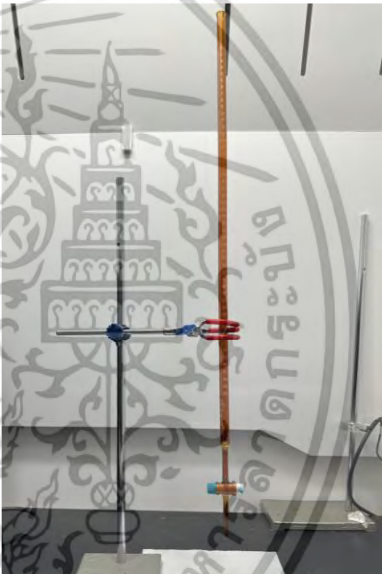

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4	Pipette tip	
5	ปีกเกอร์	
6	ขวดใส่สาร	

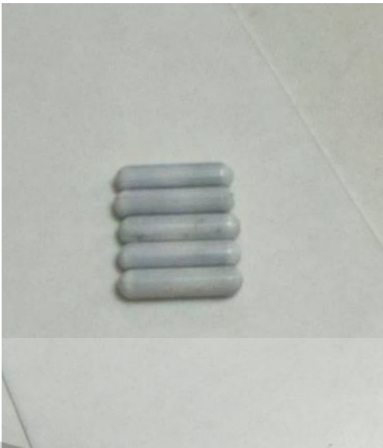
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	หลอดทดลอง	
8	แท่งแก้วคนสาร	
9	ขวดปรับปริมาตร 10-100 มิลลิลิตร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10	Pipette ปริมาตร 1-25 มิลลิลิตร	
11	Burette บิวเรตต์แก้วสีชา ขนาด 50 มิลลิลิตร	
12	ขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 100-125 มิลลิลิตร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13	Magnetic bars	
----	---------------	--



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข



Ecotech Water Systems Co., Ltd.

Page 3 of 5

Report for Sample Analysis

CUSTOMER NAME : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ADDRESS : 1 ซอย ฉลองกรุง 1 แขวง ลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
 CONTACT DETAILS :-
 SAMPLING SOURCE : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
 SAMPLE TYPE/NAME : **น้ำทดสอบ** REPORT NO. : JEX-Ww-23-J1175
 SAMPLING DATE : September 15, 2023 RECEIVED DATE : September 16, 2023
 SAMPLING TIME : - ANALYTICAL DATE : September 16 - 25, 2023
 SAMPLING METHOD : Sampling by Customer QUOTATION NO. : QLJ23/0403M/Pw
 SAMPLING BY : Sampling by Customer WORK NO. : Ww-23-J3287

PARAMETERS	UNIT	METHOD OF ANALYSIS	RESULT	REGULATORY
			H1	STANDARD
BOD	mg/L	5-Day BOD Test, Azide Modification Method	8.3	≤ 2
COD	mg/L	Close Reflux, Titrimetric Method	<LOQ (40.0)	≤ 40
DO	mg/L	Electrometric Method	24.0	≤ 0.1
SAMPLE CONDITION		Sample Color / Turbid : Yellow / Turbid Sediment : Brown		

Reference: Base on Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WEF, 23rd ed. Washington, 2017

Standard: Notification of the Ministry of Natural Resources and Environment, Subject: Establish control standards Drainage of wastewater from certain types and buildings of certain sizes, dated November 7, 2005, announced in the Government Gazette, Volume 122, Chapter 125 D, dated 29 December 2005.

Definition *: The test was subcontracted to another laboratory

Remark: **Bold-Italic** number meaning the value out of regulatory standard range



ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์เอกชน : ทะเบียนเลขที่ ว-295

Laboratory Manager: อังสนา รอมส้ายุด (นาง)
(Dr. Angsana Romsaiyud)
ว-295-ค-0002

Remark: 1) The above results are valid only for the analyzed / tested sample (s) as indicated in this report only.
2) Do not copy partial of this analysis report without official approval.

Ecotech Water Systems Co., Ltd.

20 Soi Kheharomkiao 74 yaek 6, Ratphathana, Saphansung, Bangkok 10240 Tel: 02-108-6468-9 Fax: 02-061-2809 E-mail: ecolab@ecotechthailand.com
www.ecotechthailand.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ง



รูปที่ จ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวปรารธณา สุจิตร์จุล

วัน เดือน ปีเกิด 25 มกราคม 2543

ที่อยู่ปัจจุบัน 7/3 หมู่ 5 ต.โคกพระเจดีย์ อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม 73120

ประวัติการศึกษา (2565) วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ เกรดเฉลี่ย 3.34
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทุนการศึกษาที่ได้รับ ทุนยกเว้นค่าธรรมเนียมแบบเหมาจ่าย สัญญาเลขที่ CW-2-2565-M-003

ผลงานทางวิชาการ 1. Water remediation with a dielectric-free portable triple-electrode cold plasma discharge system



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้