

การออกแบบข้อวิเล็กโทรดสำหรับกำเนิดพลาสมาเพื่อกำจัดเชื้อแบคทีเรียใน  
น้ำในการเพาะเลี้ยงลูกปลานิล



นายศักดิ์นันทน์ แรมจันทิก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2565

ELECTRODE DESIGN FOR PLASMA GENERATOR TO ELIMINATE  
BACTERIA IN WATER FOR TILAPIA FLY NURSERY



SUKDINAN RAMJANTHUK

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering  
Suranaree University of Technology  
Academic Year 2022

การออกแบบข้อวิเสกโทรดสำหรับกำเนดพลาสมาเพื่อกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำในการ  
เพาะเลี้ยงลูกปลานิล

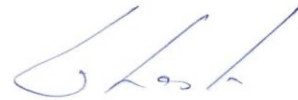
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบบัณฑิตวิทยาลัย



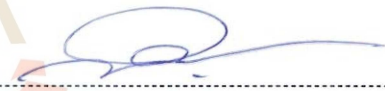
(ดร.อภิชาติ อินทรพานิชย์)

ประธานกรรมการ



(รศ. ดร.ชาญชัย ทองโสหา)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาบัณฑิตวิทยาลัย)



(ผศ. ดร.สำราญ สันतालุน)

กรรมการ



(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ศักดิ์นันท์ แรมจันทิก: การออกแบบขั้วอิเล็กโทรดสำหรับกำเนิดพลาสมาเพื่อกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำในการเพาะเลี้ยงลูกปลานิล: (ELECTRODE DESIGN FOR PLASMA GENERATOR TO ELIMINATE BACTERIA IN WATER FOR TILAPIA FLY NURSERY)  
อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภณ, 72 หน้า.

คำสำคัญ: การดิสชาร์จพลาสมา/ความเข้มสนามไฟฟ้า/ปฏิกิริยาออกซิเดชัน/การกำจัดเชื้อแบคทีเรีย

ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดที่คุณค่าทางเศรษฐกิจ สามารถเลี้ยงได้ในทุกสภาพอากาศ เป็นปลาที่เลี้ยงง่ายเจริญเติบโตเร็ว และมีผู้นิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นปลาที่ตลาดต้องการสูงมากขึ้นเรื่อยๆ แต่การเลี้ยงปลาของเกษตรกรก็ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญอีกหนึ่งปัจจัยก็คือ การนำพันธุ์ลูกปลานิลมาเลี้ยง มีปัจจัยสำคัญหลักๆที่ต้องควบคุม เช่น ค่าคุณภาพของน้ำ ศัตรูปลา เชื้อก่อโรค และปรสิต เป็นต้น โดยปกติแล้วแหล่งผลิตลูกพันธุ์ปลานิลจะต้องเคาะไข่ออกจากปากแม่พันธุ์ปลานิล และนำไปเพาะเลี้ยงต่อในระบบเพาะฟัก ในระยะนี้ไข่ปลาจะมีโอกาสติดเชื้อก่อโรคหรือปรสิตได้ง่ายจากปากของแม่พันธุ์ปลานิล ทำให้การเพาะพันธุ์ได้จำนวนลูกปลาลดลง และสร้างความเสียหายต่อรายได้จากการขายลูกพันธุ์ปลานิลได้ ดังนั้นการพัฒนาเครื่องมือทางวิศวกรรมที่มีความสามารถในการฆ่าเชื้อก่อโรค หรือปรสิตในน้ำ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการเพาะพันธุ์ปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาครั้งนี้ได้นำพลาสมามาประยุกต์ใช้ในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ โดยทำการออกแบบขั้วอิเล็กโทรด จำลองผลของสนามไฟฟ้าในโปรแกรม CST Studio Suite 3D EM Simulation and Analysis Software และทดสอบระยะห่างของปลายแหลมเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนักศึกษา.....*ศักดิ์นันท์*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*ชาญชัย*

SUKDINAN RAMJANTHUK: ELECTRODE DESIGN FOR PLASMA GENERATOR TO ELIMINATE BACTERIA IN WATER FOR TILAPIA FLY NURSERY. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHANCHAI THONGSOPA, Ph.D., 72 PP.

Keyword: PLASMA DISCHARGE/ELECTRIC FIELD INTENSITY/OXIDATION/REACTION/  
BACTERIA ELIMINATE

Tilapia is a freshwater fish species with significant economic value. It can be easily cultivated in various weather conditions, grows rapidly, and has a wide consumer base. However, tilapia farmers need to consider several important factors in fish farming, one of which is the selection of tilapia fly breeds. Key factors to be controlled include water quality, fish parasites, pathogens, and microorganisms. Normally, tilapia fly breeding involves manually stripping eggs from the mouth of the female tilapia and then using those eggs for further hatchery operations. During this process, the tilapia eggs are susceptible to bacterial infections or pathogens from the mouth of the female tilapia. This can lead to a decrease in the number of viable fly and result in financial losses from the sale of tilapia fly.

Therefore, developing engineering tools capable of effectively eliminating bacteria or pathogens in the water is one option for use in the tilapia breeding industry. In this study, plasma was applied to eliminate bacterial infections in water. The design of the electrode was simulated using CST Studio Suite 3D EM Simulation and Analysis Software, which simulated the effects of the electric field in the water. The effectiveness of bacteria elimination was tested by varying the distance between the pointed end of the electrode and the water.

School of Electronic Engineering  
Academic Year 2022

Student's Signature.....*fuad*.....

Advisor's Signature.....*Chanchai Thongsopa*.....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ อย่างดียิ่งทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินการวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

อาจารย์ ดร.สำราญ สันทาลุณย์ อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้คำปรึกษาทางวิชาการมาโดยตลอด และให้โอกาสในการศึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนเสฏฐ์ ทศศิริพัฒน์ อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้คำปรึกษาทางวิชาการมาโดยตลอด และให้โอกาสในการศึกษา

ขอขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบันที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำการวิจัย รวมถึงบุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ให้การอบรมเลี้ยงดู ให้ความรักความอบอุ่น และให้การสนับสนุนทางการศึกษาอย่างดีมาโดยตลอดอีกทั้งยังเป็นกำลังใจที่ยิ่งใหญ่ในยามที่ผู้วิจัยท้อแท้และท้อใจ ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัย จนสำเร็จการศึกษาไปด้วยดี

ศักดิ์นันท์ แรมจันทิก

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
<b>บทที่</b>	
<b>1. บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1    ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2    วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	9
1.3    สมมุติฐานของการวิจัย.....	10
1.4    ข้อตกลงเบื้องต้น.....	10
1.5    ขอบเขตของการวิจัย.....	10
1.6    วิธีดำเนินการวิจัย.....	10
1.7    ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	11
1.8    ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
1.9    รายละเอียดในวิทยานิพนธ์.....	12
<b>2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>18</b>
2.1    กล่าวนำ.....	18
2.2    ทฤษฎีพื้นฐานของสนามไฟฟ้า.....	18
2.3    ความหนาแน่นของฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า.....	19
2.4    รูปแบบของสนามไฟฟ้าในการกำเนิดพลาสมา.....	19
2.4.1    อิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ.....	20
2.4.2    อิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ.....	21
2.5    ทฤษฎีของพลาสมา.....	23
2.6    หลักการพื้นฐานและกระบวนการเกิดพลาสมา.....	24

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7	กระบวนการเกิดพลาสมา ..... 25
2.8	ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดพลาสมา ..... 25
2.9	ประเภทของพลาสมา ..... 26
2.9.1	พลาสมาอุณหภูมิสูง ..... 26
2.9.2	พลาสมาอุณหภูมิต่ำ ..... 26
2.10	ประเภทของพลาสมา ..... 27
2.10.1	การปล่อยคลื่นวิทยุความถี่สูง (Radio frequency discharge) ..... 27
2.10.2	การคายประจุไฟฟ้าคลื่นไมโครเวฟ (Microwave discharge) ..... 27
2.10.3	ดิสชาร์จเรืองแสง (Glow discharge) ..... 27
2.10.4	ดิสชาร์จโคโรนา (Corona discharge) ..... 28
2.10.5	ดิสชาร์จแบบมีไดอิเล็กตริกขวางกั้น (Dielectric barrier discharge) ..... 29
2.11	การดิสชาร์จของพลาสมาบนผิวของเหลว ..... 30
2.12	คุณสมบัติทางเคมีเมื่อน้ำถูกกระตุ้นด้วยพลาสมา ..... 31
2.13	กลไกการย่อยสลายของจุลินทรีย์เกี่ยวข้องกับการกระทำของพลาสมา ..... 33
2.14	สรุป ..... 34
<b>3.</b>	<b>การออกแบบเครื่องกำเนิดพลาสมา ..... 35</b>
3.1	กล่าวนำ ..... 35
3.2	การออกแบบสร้างเครื่องและขั้วอิเล็กโทรดสำหรับกำเนิดพลาสมา ..... 35
3.3	การจำลองขั้วอิเล็กโทรดสำหรับกำเนิดพลาสมา ..... 36
3.4	การออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมา ..... 41
3.5	สรุป ..... 48
<b>4.</b>	<b>ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล ..... 49</b>
4.1	บทนำ ..... 49
4.2	การวัดและผลการวัดวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง ..... 49
4.3	การวัดและเก็บผลการทดลองในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียด้วยพลาสมา ..... 55
4.3.1	สร้างขั้วอิเล็กโทรดกำเนิดพลาสมาแบบปลายแหลม-ระนาบ ..... 56



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.2 เตรียมการทดลองกับเชื้อแบคทีเรีย .....	57
4.3.3 ผลการทดลอง.....	58
4.3.4 สรุปผลการทดลอง.....	60
<b>5. สรุปผลการวิจัย.....</b>	<b>61</b>
5.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	61
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ .....	62
5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต .....	62
ประวัติผู้เขียน .....	72



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางในแต่ละกรณีของการปล่อยพลาสมาบนผิวหน้าในโปรแกรม จำลองผล CST studio .....	36
4.1 แสดงรูปแบบการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของปลายทองแดง ระยะห่างของปลายแหลมกับผิวหน้า และระยะเวลาในการทดสอบต่อ การฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำ.....	56
4.2 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของปลายแหลม ระยะห่างของปลายแหลม ถึงผิวหน้า และระยะเวลาในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ .....	60

## สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	ปัญหาสมภาวะทางน้ำที่เกิดจากมนุษย์ กิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อทางน้ำ ..... 2
1.2	ปลาณิลที่เกิดจากเชื้อฟลาโวแบคทีเรีย ..... 5
1.3	ปลาณิลที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียสเตรปโตคอคคัส ..... 5
1.4	ปลาณิลที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียอพิเดลิโอซีสทิส ..... 6
1.5	ปลาณิลที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียแอโรโมนเนสไฮโดรฟิลา ..... 7
1.6	แผนผังของระบบปล่อยพลาสมาในแบบต่างๆ ที่ใช้ในการบำบัดน้ำ ..... 8
1.7	พลาสมาที่ไม่ใช่ความร้อนในแบบต่างๆ ..... 9
1.8	การดิสชาร์จพลาสมา กับน้ำในแบบต่างๆ (a) การดิสชาร์จใต้น้ำ (b) การดิสชาร์จบนผิวน้ำ ..... 13
1.9	การดิสชาร์จพลาสมา กับน้ำในรูปแบบต่างๆ (c) การดิสชาร์จแบบมีไดอิเล็กตริกขวางกัน (d) การดิสชาร์จบนเซรามิกที่มีรูพรุน ..... 13
1.10	กลไกการยับยั้งแบคทีเรียของพลาสมาด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและทางกายภาพ ..... 14
1.11	กลไกการยับยั้งแบคทีเรียของการบำบัดด้วยพลาสมา กับสารละลายในน้ำที่ต่างกัน ..... 16
2.1	ลักษณะของข้อผิดพลาดที่มีผลต่อสนามไฟฟ้าในลักษณะต่างๆ ..... 20
2.2	สนามไฟฟ้ากระจายโดยการเปรียบเทียบรูปแบบลักษณะอิเล็กโทรดในแบบต่างๆ ..... 22
2.3	สถานะของสสาร ..... 23
2.4	แสดงโครงสร้างและหลักการเกิดการคายประจุไฟฟ้า ..... 28
2.5	แสดงลักษณะการเกิดการคายประจุไฟฟ้าโคโรนาของแบบด้านบวกและด้านลบ ..... 29
2.6	แสดงโครงสร้างของการคายประจุไฟฟ้าแบบไดอิเล็กตริกแบริเออร์ดิสชาร์จ ..... 30
2.7	ความสามารถในการออกซิเดชันของสารปฏิกิริยาต่างๆ ..... 32
2.8	สารประกอบที่เกิดจากกระบวนการปฏิกิริยาโดยใช้พลาสมาในการจัดการกับน้ำ ..... 33
3.1	วิเคราะห์เพื่อทดสอบการแผ่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าและ ความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ..... 36
3.2	ระยะห่างระหว่างปลายแหลม $d = 10$ มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่าง ปลายแหลมกับผิวน้ำ $h = 10$ มิลลิเมตร ..... 37

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 ระยะห่างระหว่างปลายแหลม $d = 10$ มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวหน้า $h = 20$ มิลลิเมตร.....	37
3.4 ระยะห่างระหว่างปลายแหลม $d = 20$ มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวหน้า $h = 10$ มิลลิเมตร.....	38
3.5 ระยะห่างระหว่างปลายแหลม $d = 20$ มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวหน้า $h = 20$ มิลลิเมตร.....	38
3.6 ระยะห่างระหว่างปลายแหลม $d = 30$ มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวหน้า $h = 10$ มิลลิเมตร.....	39
3.7 ระยะห่างระหว่างปลายแหลม $d = 30$ มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวหน้า $h = 20$ มิลลิเมตร.....	40
3.8 ลักษณะรูปแบบของปลายแหลมกับแผ่นระนาบแบบมีน้ำเป็นโหลดไดโอดเล็กตริก.....	42
3.9 โครงสร้างเครื่องกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำสำหรับเพาะเลี้ยงลูกปลานิล .....	42
3.10 ขนาดโครงเครื่องกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำสำหรับเพาะเลี้ยงลูกปลานิล .....	43
3.11 ขนาดกล่องชุดขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรดสำหรับกำเนิดพลาสมา.....	43
3.12 ต้นแบบของกล่องชุดขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรดสำหรับกำเนิดพลาสมา.....	44
3.13 แบบจริงของกล่องชุดขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรดสำหรับกำเนิดพลาสมา.....	44
3.14 แบบจริงของกล่องชุดขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรดสำหรับกำเนิดพลาสมายืดลงกล่อง .....	45
3.15 ต้นแบบของภาคแหล่งจ่ายกำลังให้กับกล่องชุดขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรดสำหรับกำเนิดพลาสมา .....	46
3.16 ภาคแหล่งจ่ายกำลังให้กับกล่องชุดขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรดสำหรับกำเนิดพลาสมา .....	46
3.17 ต้นแบบระบบเครื่องกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงลูกปลานิล .....	47
3.18 ระบบเครื่องกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงลูกปลานิล .....	47
4.1 แผนภาพวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าสูง .....	49
4.2 วัดความต้านทานภายใน Digital Multimeter (DMM).....	51
4.3 วัดแรงดันไฟฟ้าสูงด้วย Digital Multimeter (DMM).....	51
4.4 ทดสอบแรงดันไฟฟ้าสูง(Flyback Converter) วัดด้วย Digital Multimeter (DMM).....	52
4.5 ทดสอบวงจรแรงดันไฟฟ้าสูง (Flyback Converter) .....	52
4.6 ทดสอบวงจรแรงดันไฟฟ้าสูง (Flyback Converter) .....	53
4.7 กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากฝั่งอินพุตของ (Flyback Converter).....	53

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 ทดสอบวงจรแรงดันไฟฟ้าสูง (Flyback Converter) ต่อเข้ากับวงจร Voltage Multiplier .....	54
4.9 ทดสอบวงจรแรงดันไฟฟ้าสูง (Flyback Converter) ต่อเข้ากับวงจร Voltage Multiplier .....	54
4.10 กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากฝั่งอินพุตของ (Flyback Converter) ที่ต่อเข้ากับวงจร Voltage Multiplier .....	55
4.11 วงจรแรงดันไฟฟ้าสูง (Flyback Converter) ต่อเข้ากับวงจร Voltage Multiplier .....	55
4.12 แผนผังระบบการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ .....	57
4.13 ระบบการทดลองการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ .....	57
4.14 การทดลองใช้พลาสติกกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ .....	58
4.15 เซลล์มีชีวิตโดยวิธี Colony plate count ในอาหารเลี้ยงเชื้อ.....	58
4.16 ตัวอย่างน้ำในระบบการทดลองการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย .....	59

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันสัตว์น้ำหลายๆชนิดทางธรรมชาติมีจำนวนลดลงอย่างมาก เนื่องจากปัญหามลพิษทางน้ำ ในธรรมชาติมีสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ความเสื่อมโทรม ทำให้แหล่งวางไข่ของสัตว์น้ำในธรรมชาติลดลงส่งผลทำให้จำนวนสัตว์น้ำในธรรมชาติแต่ละชนิดลดลงไปด้วย จึงไม่เพียงพอต่อผู้บริโภค และความต้องการของท้องตลาดที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จึงส่งผลต่อแนวโน้มการเลี้ยงสัตว์น้ำเพิ่มมากขึ้น การเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่จึงเป็นการเพาะเลี้ยงในรูปแบบของฟาร์ม ในที่นี้จะยกตัวอย่างเป็นปลาน้ำจืดที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ และมีผู้นิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวาง นั่นก็คือ ปลานิล เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ปลานิลจึงมีราคาที่ดี ไม่ต้องกังวลปัญหาด้านการตลาด ในสถานการณ์ปัจจุบันการเกิดจากสถานการณ์ภัยแล้งสลับกับการเกิดสถานการณ์อุทกภัย ทั้งนี้ยังประสบกับสภาพอากาศแปรปรวนอยู่ตลอดเวลา อุณหภูมิ อากาศสูงขึ้น ฤดูร้อนที่ยาวนานขึ้น ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลช้าลง อ่อนแอและป่วยเป็นโรค ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงยาวนานขึ้น ส่งผลให้ภาพรวมของผลผลิตปลานิลค่อนข้างทรงตัว แต่อย่างไรก็ตามในช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2554 – 2563) มีจำนวนฟาร์มเลี้ยงเฉลี่ย 512,289 ฟาร์มต่อปี เนื้อที่ 822,603 ไร่ต่อปี มีผลผลิตเฉลี่ย 414,864 ตันต่อปี (ร้อยละ 42.07) คิดเป็นมูลค่า 24,331 ล้านบาทต่อปี โดยผลผลิตและมูลค่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 0.87 และ 2.22 ต่อปี ถึงแม้ว่ากรมชลประทานจะแจ้งว่าจะประสบภัยแล้งต่อเนื่อง จากปี 2563 เนื่องจากฝนตกล่าช้าและไม่ตกในบริเวณพื้นที่บริเวณที่สามารถเก็บน้ำได้ อย่างไรก็ตามโดยปกติภัยแล้งจะมีรอบการฟื้นตัว คาดว่าสถานการณ์ปริมาณน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติจะเริ่มดีขึ้น และมีเพียงพอต่อการเลี้ยงมากขึ้น ประกอบกับราคาปลานิลหน้าบ่อปรับตัวสูงขึ้น ซึ่งเป็นชนิดสัตว์น้ำที่นิยมเลี้ยงมากที่สุด และความต้องการบริโภคปลานิลเพิ่มขึ้นเนื่องจากหาง่ายในท้องถิ่น สามารถเลี้ยงได้ในทุกสภาพอากาศ เป็นปลาที่เลี้ยงง่ายเจริญเติบโตเร็ว ปลาที่บริโภคส่วนใหญ่มาจากการเพาะเลี้ยงเป็นหลัก เกษตรกรจึงหันมาประกอบอาชีพทางประมงเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ในการเลี้ยงปลาแต่ละชนิดจะมีวิธีการที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดของปลา และต้องควบคุมปัจจัยหลายอย่างเช่น ค่าคุณภาพของน้ำ ศัตรูปลา เชื้อก่อโรค และปรสิต เป็นต้น





รูปที่ 1.1 ปัญหามลภาวะทางน้ำที่เกิดจากมนุษย์ กิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อทางน้ำ

ในการเลี้ยงปลานิล มีความจำเป็นต้องมีการจัดการด้านความเหมาะสมของฟาร์มเลี้ยง ดังนั้น การเลี้ยงที่จะให้ได้ผลดี จึงต้องปฏิบัติให้ถูกประเภทของการเลี้ยง เช่น การเลี้ยงตามลักษณะการให้อาหาร โดยจะมีการเลี้ยงที่แบ่งออกเป็น การเลี้ยงแบบธรรมชาติ การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา และการเลี้ยงปลาแบบพัฒนา ส่วนการเลี้ยงตามสภาพที่เลี้ยงจะแบ่งออกเป็น การเลี้ยงปลาในบ่อดิน การเลี้ยงปลาในกระชัง และการเลี้ยงแบบผสมผสาน โดยปกติปลานิลสามารถผสมพันธุ์ได้ตลอดทั้งปี ประมาณ 2-3 เดือนต่อครั้ง แต่ถ้าอาหารเพียงพอในระยะเวลา 1 ปี จะสามารถผสมพันธุ์ได้ 5-6 ครั้ง ในธรรมชาติ ปลานิลเพศเมียฟักไข่โดยการอมไข่ไว้ในปากและขยับกระพุ้งแก้มเป็นจังหวะเพื่อให้ไข่เคลื่อนไหว ขณะเดียวกันช่วยให้ได้รับน้ำที่มีออกซิเจนสูง อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมอยู่ ในช่วง 27-28 องศาเซลเซียส ไข่จะฟักออกเป็นตัวและเจริญเป็นลูกปลาหมดภายในเวลา 4-6 วัน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ หลังจากฟักออกเป็นตัวแล้วประมาณ 3-4 วันแม่ปลาจะคายลูกปลาให้ว่ายออกจากปาก ลูกปลาในระยะนี้จะกินอาหารจำพวกพืชและไรน้ำเล็ก ๆ และเมื่ออายุได้ 3 สัปดาห์มักจะว่ายออกหากินรวมกันเป็นฝูง โดยในการเพาะเลี้ยงสำหรับนำไปเป็นพันธุ์ปลาเพื่อจะนำไปเป็นลูกพันธุ์ปลานั้น จะนำไข่ออกจากปากปลานิลเพศเมีย แล้วนำมายังโรงเรือนเพาะฟัก เพื่อทำการเพาะฟักไข่ปลาด้วยระบบกรวย ไข่ปลานิลมีลักษณะเป็นไข่จมไม่ติดวัสดุ ไข่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ หนัก และไม่พองน้ำ ระบบฟักไข่จึงต้องออกแบบให้มีการหมุนเวียนของกระแส น้ำ เพื่อให้ไข่มีการหมุนเวียนไม่ทับกัน

และได้รับออกซิเจนอย่างทั่วถึงสำหรับกรวยฟักไข่ในปัจจุบันได้มีการดัดแปลงมาจากวัสดุต่าง ๆ เช่น ขวดน้ำอัดลม กรวยจรรยาจร กระจบอก ถังพลาสติก โดยระบบน้ำในกรวยฟักมักใช้ระบบน้ำแบบปล่อยลง จากท่อด้านบน (down welling funnel) โดยกรวยฟักไข่ที่มีความจุน้ำ 1.5 ลิตร จะสามารถฟักไข่ปลาได้ 10,000-20,000 ฟอง เมื่อลูกปลาฟักเป็นตัว (ระยะที่ 4) ให้ทำการปรับอัตราการไหลของน้ำภายในกรวยฟักให้เบาลงโดยที่ไม่ให้ไข่ปลาที่ยังไม่ฟักตกซ้อนทับบริเวณก้นกรวย การปรับให้น้ำไหลผ่านกรวยข้างนี้ จะทำให้ลูกปลาที่ฟักเป็นตัวแล้วได้ว่ายน้ำขึ้นสู่บริเวณปากกรวยได้ง่ายขึ้น และออกไปกับน้ำลงสู่ถาดอนุบาลที่รองรับไว้แล้ว หรือถ้าหากว่าลูกปลาในกรวยฟักเป็นตัวหมดแล้วก็สามารถนำลูกปลาในกรวยเทลงถาดได้โดยตรง ซึ่งในระยะนี้ไข่ปลาจะมีโอกาสติดเชื้อก่อโรค หรือปรสิตจากปลานิลเทศเมียได้ง่าย และน้ำที่ใช้ในระบบฟักไข่ และอนุบาลลูกปลาในโรงเรือนเพาะฟักนั้นจำเป็นต้องสะอาดใส มีค่าคุณภาพน้ำที่เหมาะสม และต้องใช้ในปริมาณมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ระบบเวียนน้ำเพื่อช่วยปรับปรุงสภาพน้ำให้มีความเหมาะสม และมีส่วนช่วยในการประหยัดน้ำด้วย ซึ่งถ้าระบบเพาะฟักเกิดการติดเชื้อก่อโรคหรือปรสิต แล้วจะทำให้เกิดผลกระทบต่ออาการของลูกปลา ทำให้ได้จำนวนลูกปลาลดลง และสร้างความเสียหายต่อรายได้ ดังนั้นการลดโอกาสการติดเชื้อก่อโรคหรือปรสิตให้กับไข่ปลาก่อนการเพาะฟักจึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงปลาเป็นอย่างมาก การกำจัดเชื้อก่อโรคหรือปรสิตในการเพาะเลี้ยงปลามีหลายวิธีการ เช่น ใช้สารคลอรีนยาต้านจุลชีพ หรือยาปฏิชีวนะ และการใช้ก๊าซโอโซนและแสงอัลตราไวโอเล็ต ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ รวมทั้งแบคทีเรียและไวรัสที่ก่อโรค ซึ่งในการใช้คลอรีนหรือสารประกอบคลอรีนในการทำลายเชื้อนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากมีการออกฤทธิ์ในการทำลายจุลชีพสูง วิธีการไม่ยุ่งยากมาก ใช้ได้ดีในอุณหภูมิทั่วไป ชนิดของคลอรีนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำนั้นมีหลายชนิด โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของก๊าซคลอรีน คลอรีนไดออกไซด์ (ClO<sub>2</sub>) และสารประกอบไฮโปคลอไรต์ ซึ่งแต่ละชนิดจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อและพาหะต่าง ๆ ในน้ำ ขั้นตอนการเตรียมบ่อปูนใช้ในอัตรา 10-30 ppm การฆ่าเชื้อก๊าซในโรงเพาะฟัก โดยแช่ในอัตราส่วน 10-30 ppm คลอรีนทิ้งไว้ 1 คืน แล้วทำความสะอาด ส่วนพื้นโรงเพาะฟัก ใช้ในอัตราส่วน 50-100 ppm ทิ้งไว้ 30 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาด ต่อมาเป็นการใช้ยาต้านจุลชีพ หรือยาปฏิชีวนะ เป็นกลุ่มยาที่ใช้ในการรักษาโรคติดเชื้อแบคทีเรีย ชนิดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากหาง่ายและราคาถูกกว่ายาชนิดอื่น ได้แก่ ออกซิซอลิติกแอซิด (Oxolinic acid) นอร์ฟล็อกซาซิน (Norfloxacin) เอนโรฟล็อกซาซิน (Enrofloxacin) ไนโตรฟูรานโทอิน (Nitrofurantion) ไนโตรฟูราโซล (Nitrofurazone) และยาในกลุ่มซัลฟา เช่นซัลฟาเมอราซีน(Sulfameracin) ซัลฟาเมทอซอล/ไตรเมโทพริม (Sulfamethoxazole/Trimethoprim) เป็นต้น ยาต้านจุลชีพไม่ควรใช้ในการป้องกันโรค เพราะจะทำให้เกิดการดื้อยา รวมทั้งปัญหาการตกค้างของยาในสัตว์น้ำ ถ้าจะนำปลาไปขายจะต้องทำการหยุดยาก่อนจับขายอย่างน้อย 21 วัน เพื่อไม่ให้เกิดการตกค้างของยาในปลา และสุดท้ายการใช้ก๊าซโอโซน

และแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยโอโซน เป็นก๊าซที่ไม่เสถียรภาพที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ มีกลิ่นฉุน เป็นก๊าซที่มีสี แต่ที่อุณหภูมิต่ำจะสังเกตไม่เห็นสี โอโซนบริสุทธิ์ละลายที่อุณหภูมิ  $192.5 + -0.4$  องศาเซลเซียส กลไกการทำงานของโอโซน จะทำการย่อยสลายน้ำที่มาจากการปนเปื้อน เช่น Hydroxide ion Natural Organic matter และ Ferrous ion โดยการสลายตัวของโอโซนจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้านประกอบด้วย ค่า pH อุณหภูมิ และชนิดความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ การละลายของโอโซนในน้ำอธิบายได้ด้วยกฎของเฮนรี (Henry's law) โดยกฎของเฮนรี กล่าวว่าที่อุณหภูมิคงที่ความเข้มข้นของก๊าซที่ละลายในของเหลวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของก๊าซที่อยู่เหนือของเหลวนั้น การละลายน้ำของโอโซนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความดันบางส่วน ความสามารถในการละลายของก๊าซโอโซนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง ครึ่งชีวิตของโอโซนค่อนข้างสั้นในสภาพที่เป็นต่าง โดย pH 10 ครึ่งชีวิตของโอโซนในน้ำบริสุทธิ์ประมาณ 30 นาที การประยุกต์ใช้โอโซนในการเลี้ยงสัตว์น้ำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง โดยนำไปปรับปรุงคุณภาพของน้ำ เพราะเมื่อใช้แล้วไม่ทิ้งสารพิษตกค้าง และยังสลายตัวเป็นออกซิเจนได้อีกด้วย แต่ถ้าจะนำไปเลี้ยงสัตว์น้ำจะต้องพักน้ำไว้ประมาณ 30 นาที ก่อนจึงจะสามารถนำไปเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบได้ วิธีดังกล่าวมาข้างต้นนั้น ในส่วนของการใช้คลอรีนจะใช้ได้ในเฉพาะขั้นตอนแรกเท่านั้น ก็คือขั้นตอนในการเตรียมบ่อ ขั้นตอนของการฆ่าเชื้อในน้ำจะมีปัญหาของเชื้อแบคทีเรียหรือปรสิต ที่ติดมากับลูกปลานั้นไม่สามารถฆ่าได้

โดยปกติแล้วแหล่งผลิตลูกพันธุ์ปลานิลจะนำไข่ออกจากปากแม่พันธุ์ปลานิลและนำไปเพาะเลี้ยงต่อในระบบเพาะฟัก ในระยะนี้ไข่ปลาจะมีโอกาสติดเชื้อก่อโรคหรือปรสิตได้ง่ายจากปากของแม่พันธุ์ปลานิล อาจทำให้การเพาะพันธุ์ได้จำนวนลูกปลาลดลง และสร้างความเสียหายต่อรายได้จากการขายลูกพันธุ์ปลานิลได้ เราจะขอเจาะจงไปยังช่วงเวลาหนึ่งของปลาเท่านั้น โดยจะเป็นระยะไข่ปลานิลถึงระยะที่เป็นลูกปลานิล ซึ่งจะเป็นส่วนระบบของการเพาะเลี้ยงลูกปลานิล ในส่วนของโรคจากการติดเชื้อแบคทีเรียที่พบในปลานิล มีหลัก ๆ อยู่ 4 ชนิด

1) โรคคอถ่มนารีเกิดจากเชื้อฟลาโวแบคทีเรีย (*Flavobacterium columnare*) ชื่อเดิมคือแฟลกซิแบคเตอร์ (*Flexibacter columnaris*) โรคนี้มักเกิดจากปัจจัยต่างๆเหนี่ยวนำ เช่น ความเครียดจากการขนส่งโดยเฉพาะในช่วงหน้าร้อนและการเปลี่ยนแปลงอากาศกะทันหันอาการทางคลินิก คือ ลำตัวปลามีสีซีดเป็นแถบๆมีเหมือกมาก ครีบและเหงือกกร่อน (รูปที่ 1.2) อาจมีสีเหลืองเกิดขึ้นบริเวณบาดแผล การป้องกันการระบาดของโรคทำได้โดยการลดความบอบช้ำจากการจับและคัดขนาดปลา ไม่เลี้ยงปลาหนาแน่นเผื่อระวังอย่าให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำต่ำ





รูปที่ 1.2 ปลานิลที่เกิดจากเชื้อฟลาโวแบคทีเรีย

2) โรคติดเชื้อแบคทีเรียสเตรปโตคอคคัส (*Streptococcus* spp.) อาการของปลาที่เป็นโรคมืดตาขุนขาวและโปน ไม่ค่อยว่ายน้ำ ลอยนิ่ง บางตัวว่ายน้ำควงส่วาน ซ่องซบถ่ายบวมแดงพบประบาดรุนแรงในน้ำร้อน ทำให้ปลาตายจำนวนมากในเวลาอันสั้น หากมีการติดเชื้อรุนแรงอัตราการตายจากโรคนี้นับสูง เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 26 องศาเซลเซียส สำหรับอาการภายใน พบการติดเชื้อแบคทีเรียในอวัยวะหลายส่วน ได้แก่ ตับ ไต สมอ ม้าม หัวใจ โดยตับจะมีอาการบวมผิดปกติมีสีซีดและเซลล์ตับเกิดการตาย หัวใจมีการอักเสบบริเวณเยื่อหุ้มหัวใจ ม้ามมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยมีเซลล์บวมและมีสีแดงคล้ำ ภายในช่องท้องมีของเหลวสะสมอยู่ มีเลือดคั่งในระบบทางเดินอาหาร และเกิดการอักเสบบริเวณลำไส้ ลักษณะภายนอกคือปลานิลตาโปนขุนขาว เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรียสเตรปโตคอคคัส (รูปที่ 1.3)



รูปที่ 1.3 ปลานิลที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียสเตรปโตคอคคัส

3) โรคอิพิเดลิโอซิสทิส (Epitheliocystis) มีสาเหตุมาจากแบคทีเรียแกรมลบขนาดเล็กมักสร้างปัญหาในลูกปลานิลขนาดเล็ก (รูปที่ 1.4) หากติดเชื้อรุนแรงทำให้ปลาตายได้ ที่ติดเชื้อนี้จะพบรอยโรคมีลักษณะคล้ายซีสต์บริเวณเซลล์ของซีเหงือกทำให้เกิดปัญหาในการแลกเปลี่ยนออกซิเจน และทำให้เกิดการต้อยา ควรหยุดใช้ยาอย่างน้อย 21 วัน ก่อนจับขายเพื่อไม่ให้ยาเกิดการตกค้างในสัตว์น้ำ หากเกิดการติดเชื้อแบคทีเรียภายนอก เช่น ปลาที่เป็นโรคคอลลัมnalis ปลาจะมีลักษณะตัวต่างโรคนี้อาจเกิดขึ้นหลังจากการเคลื่อนย้ายปลาหรือช่วงที่มีอากาศเปลี่ยนแปลงกะทันหันช่วงอากาศเย็น หรือฝนตกหนักการรักษาอาจทำได้โดยใช้ยาเหลือง (Acriflavin) เข็มในอัตราความเข้มข้น 1-3 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากรายงานถ้ามีการเปลี่ยนถ่ายใส่น้ำเกลือ 1 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตรหรือฟอร์มาลิน 30 ซีซี ต่อน้ำ 1,000 ลิตร มีผลทำให้จำนวนซีสต์ บริเวณเหงือกลูกปลานิลลดลง



รูปที่ 1.4 ปลานิลที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียอิพิเดลิโอซิสทิส

4) โรคที่เกิดจากเชื้อแอโรโมนาสไฮโดรฟิลา (*Aeromonas hydrophila*) โรคนี้นี้เป็นโรคที่ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจและมักพบบ่อยในบ่อที่เลี้ยงโดยให้อาหารสดหรือการเลี้ยงแบบผสมผสานจะพบเชื้อแบคทีเรียนี้ ในแหล่งน้ำที่มีสารอินทรีย์สูงสาเหตุเหนี่ยวนำให้ปลาติดเชื้อ ได้แก่ ความเครียดหรือการบาดเจ็บจากการขนส่งการเคลื่อนย้าย ปริมาณออกซิเจนที่ต่ำ การให้อาหารที่มีคุณภาพไม่เหมาะสม รวมทั้งบาดแผลที่เกิดจากปรสิต ปลาที่ติดเชื้อจะว่ายน้ำเฉื่อยชา ไม่กินอาหาร ครีบก่อน มีการตกเลือด เกิดบาดแผล (รูปที่ 1.5) ท้องบวม ตับเหลือง และมีการตกเลือดบริเวณลำไส้



รูปที่ 1.5 ปลานิลที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียแอโรโมแนสไฮโดรฟิลา

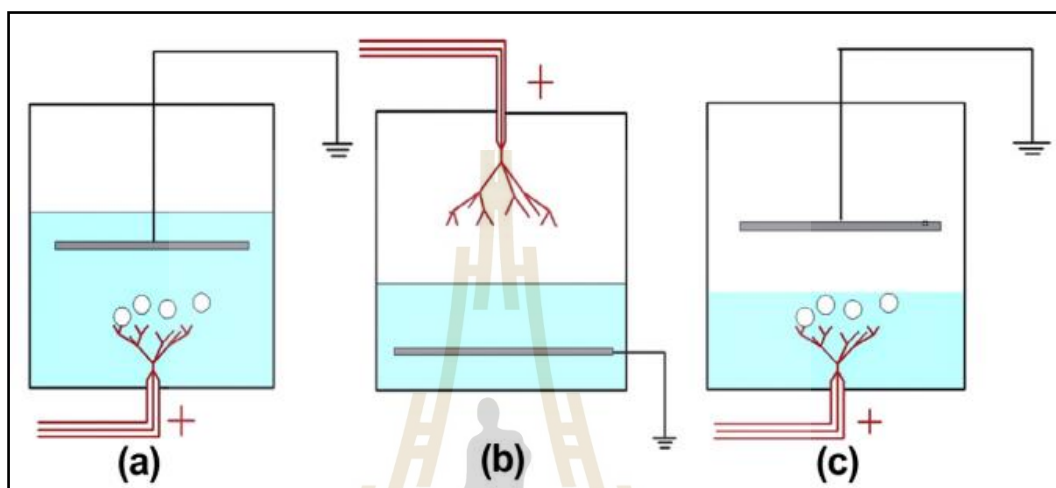
ดังนั้นการลดโอกาสการติดเชื้อก่อโรคหรือปรสิตให้กับไข่ปลาก่อนการเพาะฟักจึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงปลาเป็นอย่างมาก การกำจัดเชื้อก่อโรคหรือปรสิตในการเพาะเลี้ยงปลา ณ ปัจจุบันมีวิธีการหลายรูปแบบ เช่น ใช้คลอรีน ยาต้านแบคทีเรีย และสารเคมีต่างๆ เพื่อการป้องกันและรักษาโรคสัตว์น้ำ ยาและสารเคมีเหล่านี้หากมีการใช้งานอย่างถูกต้องตามคำแนะนำ และเหมาะสมจะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นน้อยไปด้วย แต่ถ้าหากเกิดการใช้ยาและสารเคมีที่ไม่ถูกต้องตามคำแนะนำ จะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมที่ตามมาอย่างมาก เช่น การทำลายความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในบริเวณนั้น การทำให้พวกเชื้อแบคทีเรียดื้อยา หรือเกิดการสะสมของสารเคมีในน้ำและสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ แต่วิธีดังกล่าวมักเกิดปัญหาสารเคมีตกค้างในน้ำและในสัตว์ ไม่ตอบโจทย์ของอาหารที่ปลอดสารเคมีในอนาคต

ปัจจุบันการใช้เทคโนโลยีพลาสมาได้ถูกนำมาใช้งานในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียอย่างแพร่หลาย เช่น การใช้พลาสมาสำหรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Cold Plasma ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ อุตสาหกรรมเนื้อแปรรูป มีการใช้เทคโนโลยี Cold Plasma เพื่อคงคุณภาพและความปลอดภัยของเนื้อและผลิตภัณฑ์ ซึ่งวัตถุประสงค์หลักใช้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ของชิ้นเนื้อ เช่น การใช้ Plasma jet ในการลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ผิวของเนื้อไก่ เนื้อหมู และเนื้อวัว จากการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์จำพวกไซโครโทรฟ (psychrotrophs) ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังสามารถยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้ยาวนานขึ้นอีกด้วย

การทดลองในการบำบัดน้ำ โดยใช้แรงดันไฟฟ้าที่ปล่อยออกมาต่ำกว่า 10 kV ในน้ำ การจ่ายกระแสไฟฟ้าในน้ำเหมาะสำหรับการใช้งานจริงของการบำบัดน้ำ เนื่องจากอุปกรณ์ที่จำเป็นอาจขนาดเล็ก ราคาไม่แพง และมีลักษณะการใช้พลังงานต่ำ ในวิจัยนี้ เป็นการตรวจสอบการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยการปล่อยแรงดันไฟฟ้าในน้ำ กระบวนการเปลี่ยนสีของสารละลายอินดิโกคาร์มิน และการฆ่าเชื้อ E. Coli ถูกนำออกมา โดยมีการทดลองเว้นช่องว่างสั้น ๆ ในน้ำนิ่งและเว้นช่องว่างขนาดใหญ่ในน้ำที่เป็นฟอง เมื่อเทียบกับวิธีการบำบัดน้ำในเรื่องการเปลี่ยนสี และประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ สูงขึ้น



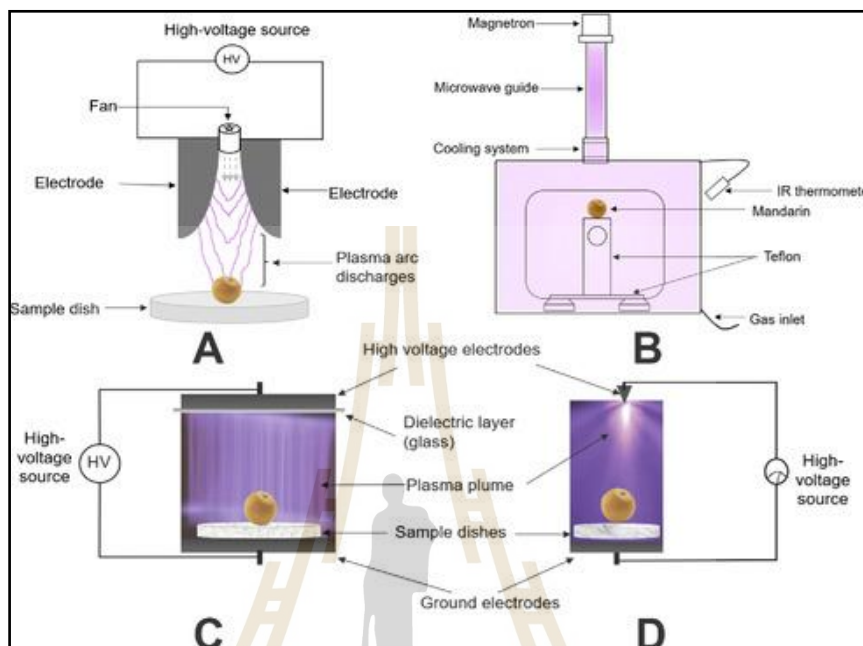
ด้วยโดยการเว้นช่องว่างให้มีขนาดใหญ่ เพื่อที่จะได้มีฟองก๊าซมากกว่าช่องว่างสั้น ๆ ในน้ำนิ่ง และปัจจัยของอากาศ ไนโตรเจน และออกซิเจนที่ใช้ในการบำบัดน้ำ โดยประสิทธิภาพการรักษาจะดีขึ้นเมื่อออกซิเจนถูกเป่าในสารละลาย เหล่านี้ผลลัพธ์อาจเป็นผลจากการสร้างสายพันธุ์อนุโมลลิสสะ เช่น โอโซน และยังเกิดจากการผสมรวมกัน และปริมาณการบำบัดที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 1.6 แผนผังของระบบปล่อยพลาสมาในแบบต่างๆ

การประยุกต์เอาพลาสมาใช้ในอาหารประเภท ถั่ว เมล็ดพืช และธัญพืช จัดเป็นอาหารหลักของประชากรโลก มีการนำเทคโนโลยีโคลด์พลาสมา (Cold Plasma) ผลิตภัณฑ์นมเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการบริโภคสูงใน แต่ละประเทศทั่วโลก ซึ่งนมถือเป็นแหล่งอาหารที่ดีของโปรตีน วิตามิน และเกลือแร่ เนื่องจากมีคุณค่า ทางโภชนาการสูง จึงทำให้เกิดการเสียหายจาก จุลินทรีย์จำเป็นต้องมีการแปรรูปที่เหมาะสม เช่น การใช้ความร้อนสูงในการยืดอายุการเก็บรักษา แต่การใช้ความร้อนสูงย่อมก่อให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารรวมถึงคุณลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ การสูญเสียกลิ่นรสที่ดี รวมถึงสีที่คล้ำขึ้นจาก การได้รับความร้อนสูงนั่นเอง เทคโนโลยีโคลด์พลาสมา จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแปรรูปและยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์นมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค งานวิจัยของ Kim et al. (2015) แสดงผลของการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในน้ำนม ได้แก่ *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* และ *Salmonella typhimurium* ซึ่งสามารถลดปริมาณ จุลินทรีย์ได้ถึง 2.40 log CFU/mL หรือในกรณีของ cheddar cheese การใช้โคลด์พลาสมาช่วยลด ปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดข้างต้น (Yong et al., 2015) ได้เป็นอย่างดีด้วย ทั้งนี้ Ponraj et al. (2017) นำ Argon Gas Plasma มาใช้ในการทำลายสิ่ง ปนเปื้อน ได้แก่จุลินทรีย์ในน้ำนมเพื่อรักษาคุณภาพของน้ำนม โดยออกแบบเครื่องมือในการสร้างพลาสมา ซึ่งพบว่าปริมาณ

จุลินทรีย์ในน้ำนม ที่ผ่านการใช้เทคโนโลยีพลาสมาสามารถรักษาคุณภาพของน้ำนมที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้ประมาณ 1 เดือนครึ่ง ในขณะที่นมพาสเจอร์ไรซ์ซึ่งเป็นตัวอย่าง ควบคุมมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นจาก 2.2 เป็น 4.2 log CFU/mL ภายใน 2 สัปดาห์



รูปที่ 1.7 พลาสมาที่ไม่ใช่ความร้อนในแบบต่างๆ

การพัฒนาเครื่องมือทางวิศวกรรมที่ใช้เทคโนโลยีพลาสมา ในการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย หรือ เชื้อก่อโรค จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการเพาะพันธุ์ลูกปลาได้ จากเทคโนโลยีที่กล่าวมา ผู้วิจัยได้มีแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบระบบกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงลูกปลานิล

ด้วยเหตุผลนี้ผู้วิจัยจึงได้เห็นความสำคัญและมีความสนใจที่จะนำเทคโนโลยีพลาสมา มาประยุกต์ใช้งานในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำโดยการดัดวงจรไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อกำเนิดพลาสมา ลงไปที่น้ำเพื่อทำการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ โดยจะทำการศึกษาระยะห่างระหว่างปลายแหลมของ ขั้วอิเล็กโทรด และระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดถึงผิวน้ำ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการเพาะเลี้ยงลูกปลานิล

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ออกแบบเครื่องกำเนิดพลาสมาโดยวิเคราะห์ขั้วอิเล็กโทรดจากการจำลองผลให้เหมาะสมต่อการกำเนิดพลาสมาเพื่อกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ ในการเพาะเลี้ยงลูกปลานิล

### 1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

1.3.1 การปล่อยพลาสมาลงไปใต้น้ำนั้น จะสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีในน้ำที่สามารถยับยั้งหรือกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้

1.3.2 ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้ปล่อยพลังงานที่เหมาะสมจะทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย

### 1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ออกแบบ และสร้างระบบกำเนิดพลาสมาสำหรับกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ

1.4.2 ทดสอบ และวิเคราะห์การใช้ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดสำหรับกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ

### 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ค้นคว้าหาข้อมูล และศึกษาเพิ่มเติมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำเนิดพลาสมา

1.5.2 วิจัย พัฒนา ออกแบบ และสร้างระบบกำเนิดพลาสมาสำหรับกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ

1.5.3 ทดสอบ และวิเคราะห์การใช้ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดสำหรับกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ

### 1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการวิจัย แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนได้แก่

1) ค้นคว้าหาข้อมูลวารสารงานวิชาการที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของการเกิดพลาสมา และการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ

2) ศึกษาออกแบบสร้างระบบการกำเนิดพลาสมา โดยน้ำเป็นโพลดที่อยู่ระหว่างขั้วอิเล็กโทรด

3) ออกแบบระบบ และสร้างเครื่องต้นแบบการกำเนิดพลาสมาสำหรับกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ

4) ทดสอบ และวิเคราะห์เปรียบเทียบผลถึงประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ

5) รวบรวมข้อมูลจัดทำวิทยานิพนธ์

### 1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานประยุกต์ ซึ่งดำเนินงานตามกรอบดังนี้

- 1) ค้นคว้าวารสารวิชาการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) ออกแบบ วิเคราะห์ และศึกษาความเป็นไปได้ของปฏิกิริยาพลาสมาในน้ำที่มี

ผลกระทบต่อแบคทีเรีย

3) สร้างเครื่องต้นแบบสำหรับกำเนิดพลาสมา เพื่อกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ ทดสอบ วัดผลประสิทธิผลการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย

1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ อาคารเครื่องมือ 3 (F3) ห้องวิจัย สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และ อาคารเกษตรวิวัฒน์ (F14) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

### 1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC)
- 2) เครื่องวัดสัญญาณทางไฟฟ้า (Oscilloscope)
- 3) กล้องตรวจจับภาพความร้อน (Thermal)

### 1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) รวบรวมข้อมูลจากการค้นคว้าวารสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) รวบรวมผลที่ได้จากการทำแบบจำลอง การออกแบบขั้วอิเล็กโทรด การสร้างเครื่องต้นแบบและวัดผลทดสอบการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ได้เครื่องต้นแบบการปล่อยพลาสมาสำหรับกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ ที่สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ และไม่ส่งผลกระทบต่อลูกปลา

1.7.2 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบระบบการกำเนิดพลาสมา ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถนำไปต่อยอดเพื่อยกระดับอุตสาหกรรมให้มีวิธีการกำจัดเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้นจากวิธีในปัจจุบัน

1.7.3 การพัฒนาความรู้ และเข้าใจที่มาจากวิเคราะห์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านอื่น ๆ เพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในทางปฏิบัติและมีประโยชน์ในต่อยอดวิชาชีพได้

## 1.8 ปรัชญารวบรวมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เข้าใจถึงความเป็นไปได้ของงานวิจัย ปัญหาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ซึ่งนำไปสู่วัตถุประสงค์หลัก โดยมีการศึกษาค้นคว้าผลงานวิจัยที่ผ่านมา จากการค้นคว้างานวิจัยที่เป็นที่ยอมรับและเป็นฐานข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ เช่น ฐานข้อมูลของ Scopus ,ScienceDirect ,IEEE โดยผลของการค้นคว้าผลงานวิจัยเหล่านี้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยต่อไป สำหรับเนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึงปรัชญารวบรวมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ของพลาสมา เพื่อการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ ซึ่งได้มีการรวบรวมข้อมูลนำมาวิเคราะห์ลักษณะของการปล่อยพลาสมา ให้มีความเหมาะสม โดยผลที่ได้จากการศึกษาข้อมูลดังต่อไปนี้

## 1.9 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท และภาคผนวก

**บทที่ 1** กล่าวถึงบทนำ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และรายละเอียดในวิทยานิพนธ์

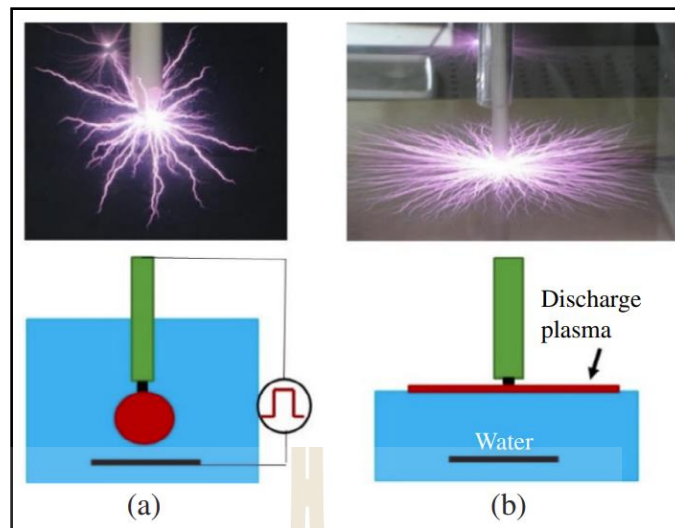
**บทที่ 2** กล่าวถึงทฤษฎีสนามไฟฟ้า หลักการ และพื้นฐานการกำเนิดพลาสมา ประเภทของพลาสมา ผลกระทบของพลาสมาบนผิวของเหลว คุณสมบัติทางเคมีที่เกิดจากพลาสมา และกลไกการยับยั้งแบคทีเรียของปฏิกิริยาทางเคมีของพลาสมา

**บทที่ 3** กล่าวถึงการออกแบบเครื่องกำเนิดพลาสมา การจำลองผลของความเข้มสนามไฟฟ้า ขั้วอิเล็กโทรด และสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับกำเนิดพลาสมา

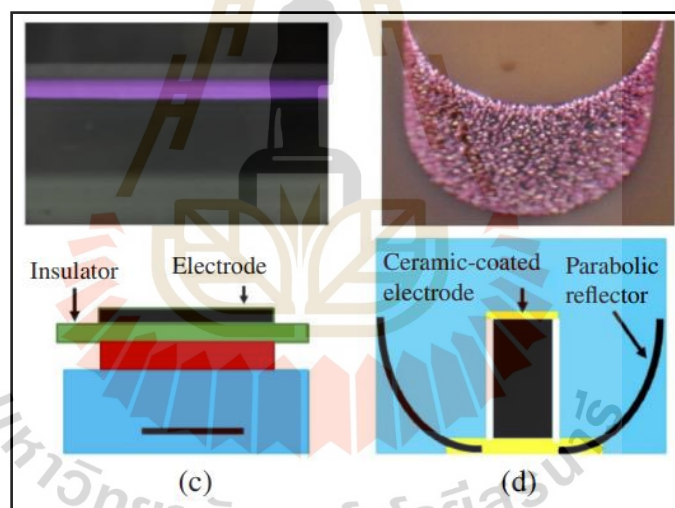
**บทที่ 4** กล่าวถึงการทดสอบวงจรแรงดันไฟฟ้าสูง และผลการทดลองความสัมพันธ์ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดในการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย

**บทที่ 5** กล่าวถึงสรุปผลการทดลอง รายละเอียดเกี่ยวกับการสรุปผลการวิจัยของวงจรในบทต่างๆ ทั้งหมด ปัญหาที่เกิดขึ้นข้อเสนอแนะ และแนวทางที่แก้ไขรวมทั้งแนวทางการพัฒนาในอนาคต

โดยเริ่มจากผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพลาสมาเป็นส่วนหลัก ๆ ซึ่งในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีการนำเทคโนโลยีพลาสมา เพื่อกำจัดแร่ธาตุหรือสารเคมีที่เป็นอันตราย และแบคทีเรียก่อโรคในน้ำเสีย สำหรับในส่วนของเทคโนโลยีพลาสมาเป็นแหล่งของสนามไฟฟ้าสูง มีอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า มีอะตอมของไฮโดรเจน อะตอมของไนโตรเจน อนุมูลออกซิไดซ์สปีชีส์ไอออน ยูวี เป็นต้น จากที่มีการศึกษาค้นคว้าและวิจัยนั้น ในบทความนี้จะมียุทธศาสตร์ที่แตกต่างกันในรูปแบบต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 การดิสชาร์จพลาสมากับน้ำในแบบต่าง ๆ (a) การดิสชาร์จใต้น้ำ (b) การดิสชาร์จบนผิวน้ำ



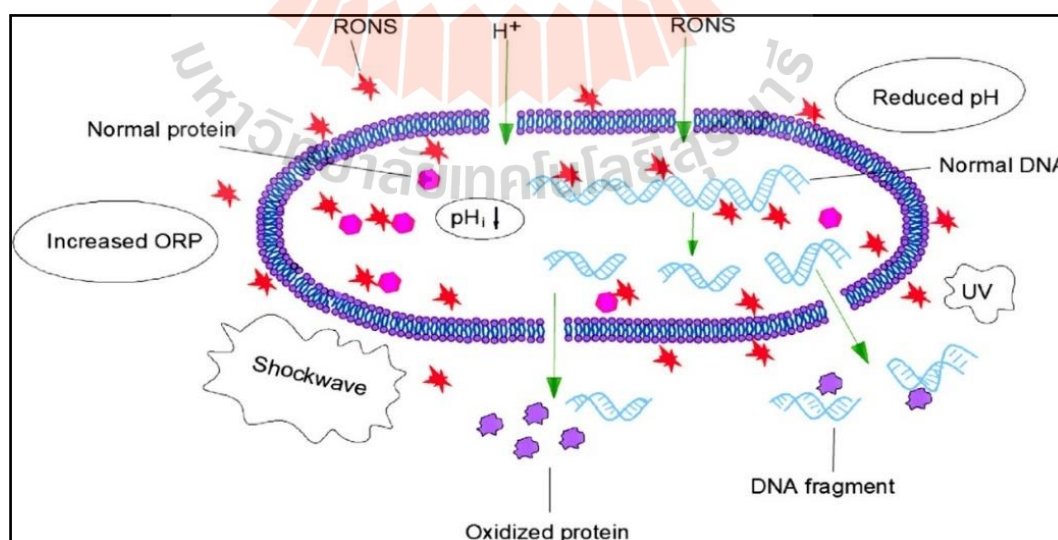
รูปที่ 1.9 การดิสชาร์จพลาสมากับน้ำในรูปแบบต่างๆ (c) การดิสชาร์จแบบมีไดอิเล็กทริกขวางกัน  
(d) การดิสชาร์จบนเซรามิกที่มีรูพรุน

ในบทความนี้จะเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้พลาสมากับน้ำ โดยบทความนี้จะมีประเภทของการดิสชาร์จ 4 แบบ ได้แก่ การดิสชาร์จใต้น้ำ การดิสชาร์จบนผิวน้ำ การดิสชาร์จแบบมีไดอิเล็กทริกขวางกัน และการดิสชาร์จบนเซรามิกที่มีรูพรุน การกำเนิดพลาสมาจะมีปัจจัยในเรื่องของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีส่วนสำคัญในการกำเนิดพลาสมาอย่างมาก โดยปรากฏการณ์ทางกายภาพและทางเคมีของการปลดปล่อยพลาสมาได้มีการใช้เครื่องกำเนิดพลาสมาที่แรงดันไฟฟ้า 70 กิโลโวลต์ กระแสไฟฟ้า 90 แอมป์ ระหว่างอิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตรกับกราวด์ เพื่อศึกษาการ



แพร่กระจายของพลาสมา นอกจากนี้ยังกล่าวถึงสนามไฟฟ้า คลื่นกระแทก และอนุมูลอิสระ สุกทำัยการประยุกต์ใช้การปล่อยพลาสมาในการกำจัดเชื้อ และกระบวนการบำบัดน้ำ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในส่วนของกลไกการยับยั้งแบคทีเรียของพลาสมาในด้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และทางกายภาพที่มีการศึกษา และวิจัยนั้นกลไกหลักสามารถแบ่งออกเป็น ความเครียดออกซิเดชันที่ผนังเซลล์ และเยื่อหุ้มเซลล์ ผลกระทบต่อส่วนประกอบภายในเซลล์ และผลกระทบทางกายภาพต่อเซลล์ จากการศึกษาในทางเคมีสารชีวโมเลกุลในร่างกาย เรียกว่า Reactive oxygen species รวมถึงออกซิเจนเดี่ยว อนุมูลไฮดรอกซิล และไฮโดรเจนเพอออกไซด์เป็นสารเคมีที่มีปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง เกิดขึ้นมาจากออกซิเจนไดอะตอมมิก อาจทำให้เกิดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในเซลล์ ในการศึกษาการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ โดยกระบวนการบำบัดน้ำด้วยพลาสมา(PAW) สำหรับยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสแตฟีโลค็อกคัสออเรียส จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณออกซิเจน และคาร์บอนลดลงหลังจากการบำบัดด้วยพลาสมา โดยมีการใช้สเปกโตรสโคปี Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) เพื่อระบุผลกระทบของพลาสมาต่อพันธะเคมีของแบคทีเรียสแตฟีโลค็อกคัสออเรียส นี้พบว่าการบำบัดด้วยพลาสมา 3 นาที 5 นาที และ 10 นาที มีความแตกต่างกันทางสถิติที่แสดงให้เห็นที่โดดเด่นที่ 2343, 950, 908, และ 808  $\text{cm}^{-1}$  ผลลัพธ์เหล่านี้บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง และพันธะเคมี เกิดจากความเครียดออกซิเดชันของ (PAW) และ Reactive oxygen species (ROS) บางส่วนรวมถึงอนุมูลไฮดรอกซิล (OH) โอโซน ( $\text{O}_3$ ) และไฮโดรเจนเพอออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) สามารถทำลายพันธะที่สำคัญของเปปไทโดไกลแคน ส่งผลให้ผนังเซลล์ชั้นนอกของแบคทีเรียถูกทำลาย แสดงดังรูปที่ 1.10



รูปที่ 1.10 กลไกการยับยั้งแบคทีเรียของพลาสมาด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและทางกายภาพ

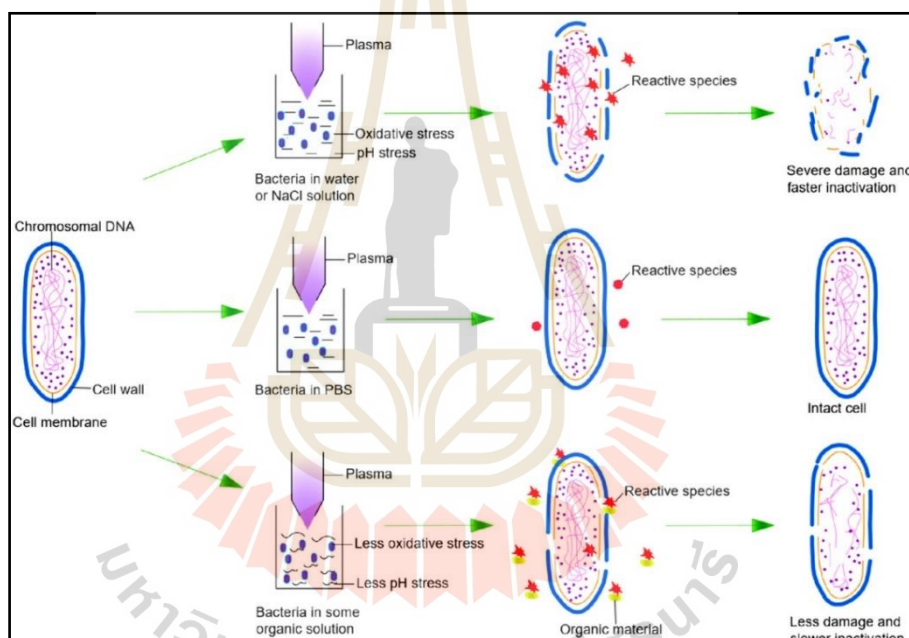
ผลกระทบต่อส่วนประกอบภายในเซลล์ จากการศึกษาความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยตรวจสอบการรั่วไหลของส่วนประกอบภายในเซลล์ระหว่างสภาพแวดล้อมภายในเซลล์และสภาพแวดล้อม หากเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียถูกทำลาย ไอออนขนาดเล็ก เช่นโพแทสเซียมมักจะรั่วออกมา ก่อน ตามด้วยโมเลกุลขนาดใหญ่รวมถึง DNA/RNA และโปรตีน ในการศึกษาสามารถตรวจสอบการรั่วไหลของโพแทสเซียมจากไซโทรพลาสซึมได้ โดยใช้อะตอมมิคดูดซับสเปกโตรเมตรี (AAS) และการตรวจจับการดูดกลืนแสงที่ 260 นาโนเมตร และ 280 นาโนเมตร ใช้ในการประมาณการปริมาณของ DNA/RNA ภายในเซลล์ และโปรตีนที่ปล่อยออกมา พบว่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น 228 % และ Optical density (OD) ที่ 260 nm และ 280 nm เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 5 นาที ในกลุ่มที่ได้รับการบำบัดด้วยพลาสมา ซึ่งบ่งชี้ว่าการตรวจพบโปรตีนน้อยลงหรือไม่มีเลย แสดงถึงความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์ได้รับความเสียหาย

ผลกระทบต่อสภาพต่อเซลล์ ผลกระทบทางกายภาพของพลาสมาต่อเซลล์ส่วนใหญ่รวมถึงค่า pH Oxidation reduction potential (ORP) รังสี UV และคลื่นกระแทก การก่อตัวของ RONS ส่งผลให้เกิด pH ที่เป็นกรดของพลาสมาตามที่อธิบายไว้ในส่วนของคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และค่า pH ของสิ่งแวดล้อมจะทำให้ pH ภายในเซลล์ pHi ลดลงตามที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ เมื่อ pHi ต่ำกว่าค่าเกณฑ์ที่กำหนดกระบวนการเมแทบอลิซึมเกือบทั้งหมดในจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะหยุดลงส่งผลให้เซลล์เสื่อมสภาพและตายได้ องค์การอนามัยโลก (WHO) ออกมาตราบฐานน้ำดื่มที่มีค่า ORP 650 mV ให้ฆ่าเชื้อแบคทีเรียในทันที ดังนั้นค่า ORP ที่สูงของพลาสมาจึงมีบทบาทสำคัญในการฆ่าเชื้อโรค และรังสียูวีมีส่วนช่วยในการยับยั้งจุลินทรีย์ จากการวิเคราะห์เชิงปริมาณรังสียูวีจากการปล่อยโคโรนาดีสชาร์จสู่น้ำและตรวจสอบความสำคัญของผลรังสียูวีต่อการยับยั้งแบคทีเรียและ 30% ของการยับยั้งเชื้อ E. Coli โดยรวมประเมินจากรังสียูวี รังสียูวีมีส่วน 40% ต่อการยับยั้งแบคทีเรียโดยรวม โดยการปล่อยพลาสมาโดยตรงใต้ผิวน้ำ และการนำไฟฟ้าของพลาสมา มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของรังสียูวี

โดยสรุปกลไกการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียในด้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และทางกายภาพ โดยสารชีวโมเลกุลในร่างกาย เรียกว่า Reactive oxygen species (ROS) รวมถึงออกซิเจนเดี่ยว อนุมูลไฮดรอกซิล และไฮโดรเจนเพอออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) อาจทำให้เกิดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในเซลล์ ทำให้ความสมบูรณ์ของเมมเบรนเสียหาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการก่อตัวของรูพรุนบนผิวเซลล์ทำให้สารที่อยู่ในเซลล์สามารถไหลระหว่างสภาพแวดล้อมภายในเซลล์กับสภาพแวดล้อมโดยรอบได้ เช่นโพแทสเซียมมักจะรั่วออกมา ก่อน ตามด้วยโมเลกุลขนาดใหญ่รวมถึง DNA/RNA และโปรตีน และผลกระทบต่อสภาพต่อเซลล์ส่วนใหญ่รวมถึง ค่า pH, ค่า Oxidation reduction potential (ORP), รังสี UV และคลื่นกระแทก การก่อตัวของ RONS ส่งผลให้เกิด ค่า pH ที่เป็นกรดของพลาสมา แล้วจะทำให้ค่า pH ภายในเซลล์ (pHi) ลดลง เมื่อ pHi ต่ำกว่าค่าเกณฑ์ที่

กำหนด กระบวนการเมแทบอลิซึมเกือบทั้งหมดในจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะหยุดลง ส่งผลให้เซลล์เสื่อมสภาพและตายได้

จากรูปที่ 1.11 จะมีการทดลองการยับยั้งการทำงานของเชื้อ E.coli ในสภาพแวดล้อมของของเหลวที่ต่างกัน ก็มีความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของพลาสมาของเหลวสามารถจำแนกได้เป็นส่วนใหญ่ในสารละลายอนินทรีย์ และอินทรีย์ สารละลายอนินทรีย์ ได้แก่ น้ำ น้ำเกลือ (0.85% NaCl) และน้ำเกลือบัฟเฟอร์ฟอสเฟต (PBS) โดยในบทความนี้จะสังเกตได้ว่าแบคทีเรียที่อยู่ในสภาพแวดล้อมของของเหลวที่เป็นน้ำหรือน้ำเกลือ ที่ได้รับการบำบัดด้วยพลาสมาแล้ว แสดงให้เห็นกลไกการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียได้ดีกว่า แบคทีเรียที่อยู่ในสภาพแวดล้อมของของเหลวที่เป็นบัฟเฟอร์ฟอสเฟต (PBS)



รูปที่ 1.11 กลไกการยับยั้งแบคทีเรียของการบำบัดด้วยพลาสมา กับสารละลายในน้ำที่ต่างกัน

เมื่อได้รับการบำบัดด้วยพลาสมาแล้วเหมือนกัน ก็แทบจะไม่มีหยุดการทำงานของแบคทีเรีย เพราะค่าความเป็นกรด-ด่างของบัฟเฟอร์ฟอสเฟต (PBS) แทบไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากความสามารถในการรักษาค่า pH และความเป็นกรดได้รับการพิสูจน์แล้วว่าจำเป็นสำหรับคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อทางชีวภาพของสารละลายในพลาสมา และเมื่อลดค่า pH ของบัฟเฟอร์ฟอสเฟต (PBS) ลงเหลือ 3.5 พบว่าสามารถเห็นกลไกการยับยั้งแบคทีเรียอย่างมีนัยสำคัญ

จากปริทัศน์วรรณกรรมต่าง ๆ ที่นำเสนอมานั้นเกี่ยวกับการลักษณะของพลาสติกในแต่ละแบบเพื่อดูปฏิกิริยาทางกายภาพและทางเคมีเพื่อศึกษาผลกระทบกับพวกแบคทีเรีย ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สามารถนำไปออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้รูปแบบการใช้งานที่เหมาะสมที่สุด



## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้พลาสมากับน้ำ และการแก้ปัญหาการปนเปื้อนของแบคทีเรียในระบบการเพาะเลี้ยงลูกปลานิล จำเป็นต้องศึกษาหลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับพลาสมา บทนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เป็นพื้นฐานทางทฤษฎี และฐานความรู้เพื่อทำหน้าที่เป็นขอบเขตสำหรับงานวิจัยที่ดำเนินการในการศึกษานี้ด้วยทฤษฎี และหลักการที่สำคัญเราสามารถค้นพบข้อมูลเกี่ยวกับการสร้างพลาสมา และปฏิกิริยาระหว่างพลาสมา-น้ำ ตลอดจนกลไกที่เกี่ยวข้องในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในน้ำ ซึ่งต้องศึกษาค้นคว้าหาข้อมูล และทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการงานวิจัย ซึ่งมีความสำคัญในการดำเนินงานวิจัยเพื่อเป็นพื้นฐานความรู้ และความเข้าใจในงาน สามารถใช้เป็นแหล่งอ้างอิงสำหรับงานวิจัยได้ ดังนั้นจึงได้นำเสนอทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยจะกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่สำคัญ และเป็นประโยชน์ หรือกล่าวอ้างถึงการดำเนินการดำเนินงานวิจัย โดยงานวิจัยจะทำการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของสนามไฟฟ้า ทฤษฎีของพลาสมา คุณสมบัติทางเคมีของน้ำเมื่อถูกกระตุ้นด้วยพลาสมา และกลไกการยับยั้งแบคทีเรีย

#### 2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของสนามไฟฟ้า

สนามไฟฟ้า(Electric Field) มีความสำคัญต่อการอัดประจุอนุภาคในสนามไฟฟ้าด้วยโคโรนาดีสชาร์จ เนื่องจากโคโรนาส่วนใหญ่ถูกสร้างด้วยสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ เช่น กระจ่างปลายแหลมสู่ระนาบ หรือระหว่างลวดแกนร่วมกับท่อทรงกระบอก เมื่อมีสนามไฟฟ้ามันจะออกแรงกับอิเล็กตรอนภายในโคโรนาดีสชาร์จ แรงนี้ทำให้อิเล็กตรอนได้รับพลังงาน และแตกตัวออกจากโมเลกุลของก๊าซ ทำให้อิออนบวกก่อตัวขึ้น และอิเล็กตรอนอิสระภายในบริเวณปล่อยโคโรนา ไอออนและอิเล็กตรอนเหล่านี้อยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้า เมื่ออนุภาคเข้าสู่บริเวณที่มีการปลดปล่อยโคโรนา อนุภาคเหล่านี้จะเกิดการชนกันแบบสุ่มกับไอออนบวกและอิเล็กตรอนอิสระเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบสุ่มแบบบราวเนียน การชนกันเหล่านี้ทำให้อนุภาคมีประจุผ่านการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างไอออน อิเล็กตรอน และตัวอนุภาคเอง สนามไฟฟ้านำทาง และเร่งอนุภาคที่มีประจุเหล่านี้ ทำให้มันเคลื่อนที่ไปยังบริเวณหรือพื้นผิวที่มีประจุตรงข้าม ความแรง และการกระจายของสนามไฟฟ้าภายในพื้นที่ปล่อยโคโรนาเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดประสิทธิภาพของการชาร์จอนุภาคสนามไฟฟ้าที่แรงและกระจายตัวดีทำให้มีโอกาสเกิดการชนกันระหว่างอนุภาค และมีประจุสูงขึ้น



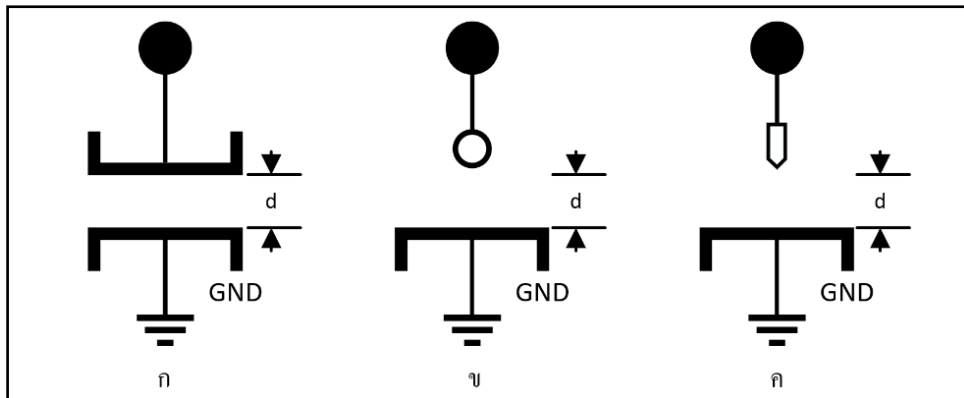
## 2.3 ความทนทานของฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า

ความทนทานของฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า หมายถึง ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด (Electric Field Stress) ที่ฉนวนทนได้ โดยไม่เกิดการเบรกดาวน์หรือทำให้การเป็นฉนวนเสื่อมสภาพ และเสียหาย มีหน่วยเป็นค่าแรงดันต่อความหนาของฉนวน หรือระยะห่างของอิเล็กโทรดเป็นโวลต์ต่อเมตร (V/m) หรือกิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร (kV/cm) ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่ใช้กำหนดค่าความทนทานของฉนวนไฟฟ้าโดยทั่วไป สามารถหาได้จากสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอ (Uniform Field) ความทนทานของฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า  $E_b$  ขึ้นอยู่กับหลายอย่าง เช่น รูปลักษณะเรขาคณิตของอิเล็กโทรด ลักษณะสมบัติของไดอิเล็กตริก (Dielectric) และเวลา เป็นต้น

## 2.4 รูปแบบของสนามไฟฟ้าในการกำเนิดพลาสมา

ลักษณะรูปแบบของสนามไฟฟ้าโดยทั่วไปอาจแบ่งเป็น 2 ชนิด คือสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ และสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ โดยสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอยังสามารถแบ่งออกได้อีก 2 แบบ คือสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย และสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง รูปแบบของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นตามรูปแบบของอิเล็กโทรดที่ถูกบ่อนด้วยแรงดันไฟฟ้า ในรูปแบบของสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (กระแสดลับ) พลาสมาสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสดลับถึงระดับที่เพียงพอเพื่อให้พลังงานเพียงพอสำหรับอิเล็กตรอนที่จะแยกออกจากอะตอมในสาร สิ่งนี้ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ อย่างอิสระ ต่อจากนั้นอิเล็กตรอนเหล่านี้จะชน และมีปฏิสัมพันธ์กับอะตอมหรืออิเล็กตรอนอื่นๆ ถ่ายโอนพลังงานเพิ่มเติมและทำให้มีการปล่อยอิเล็กตรอนมากขึ้น กระบวนการนี้สร้างสถานะพลาสมา ในสนามไฟฟ้ากระแสดลับ ความถี่สูงและแรงดันไฟฟ้าสลับทำให้เกิดพลาสมา อย่างไรก็ตาม การสร้างพลาสมาในสนามไฟฟ้ากระแสดลับมักเป็นส่วนย่อยของกระบวนการโดยรวมในการสร้างพลาสมาที่มีรูปร่างสมบูรณ์ และมีความสัมพันธ์กับความถี่ และแรงดันไฟฟ้าของสนามไฟฟ้า และในรูปแบบของสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ (กระแสดตรง) สนามไฟฟ้ากระแสดตรง พลาสมาสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อกระแสดตรงที่มีพลังงานเพียงพอเข้าสู่สารและให้พลังงานเพียงพอสำหรับอิเล็กตรอนที่จะถูกปลดปล่อยออกจากอะตอม คล้ายกับไฟฟ้ากระแสดลับ อิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาเหล่านี้ได้รับพลังงานมากพอที่จะชน และแตกตัวเป็นไอออนของอะตอมหรืออิเล็กตรอนอื่นๆ ซึ่งนำไปสู่การก่อตัวของพลาสมา การสร้างพลาสมาในสนามไฟฟ้ากระแสดตรงสามารถทำได้โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสดตรงพลังงานสูงให้กับสาร ทำให้เกิดสถานะพลาสมา โดยสรุปพลาสมาสามารถสร้างขึ้นได้ทั้งในสนามไฟฟ้ากระแสดลับ และกระแสดตรงโดยให้พลังงานเพียงพอกับอิเล็กตรอนอิสระ และสร้างสถานะของก๊าซไอออไนซ์ กลไก และเงื่อนไขเฉพาะสำหรับการสร้างพลาสมาอาจแตกต่างกันไประหว่างฟิลด์ AC และ DC แต่แนวคิดพื้นฐานยังคงเหมือนเดิม





รูปที่ 2.1 ลักษณะของหัวอิเล็กโทรดที่มีผลต่อสนามไฟฟ้าในลักษณะต่าง ๆ (ก) สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (ข) สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย (ค) สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง

2.4.1 อิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ หมายถึง สนามไฟฟ้าที่มีค่าเท่าๆกันทุกจุด เช่น ลักษณะของหัวอิเล็กโทรดในรูปแบบบรรนาบ 2 แผ่นวางขนานกัน ดังรูปที่ 2.1 แบบ (ก) สามารถคำนวณได้จากสมการ

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

เมื่อ  $V$  คือ แรงดันที่ป้อนเข้าไปยังหัวอิเล็กโทรด หน่วย เป็น  $V$

$d$  คือ ความห่างระหว่างอิเล็กโทรด หน่วยเป็น  $mm$

$E_{av}$  คือ ความเครียดของสนามไฟฟ้าเฉลี่ย ณ จุดใด ๆ ระหว่างอิเล็กโทรด หน่วยเป็น  $kV/mm$

$E_{\max}$  คือ ความเครียดของสนามไฟฟ้าค่าสูงสุด หน่วยเป็น  $kV/m$

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอจะเกิดเบรกดาวน์ทันทีที่ความเครียดสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดซึ่งเท่ากันทุกจุดถึงค่าที่กำหนดค่าหนึ่งโดยประมาณ และกระแสจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในทันทีทันใด โดยที่ค่ากระแสก่อนจะเกิดเบรกดาวน์นั้นจะวัดไม่ได้ ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันขณะจะเกิดเบรกดาวน์นี้ก็คือค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนนั่นเอง ซึ่งคำนวณได้จาก

$$E_b = \frac{V_b}{d} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $V_b$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดการเบรกดาวนด้วยสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ  
 $E_b$  คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดการเบรกดาวน  $V/m$

**2.4.2 อิเล็กโทรตสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ** หมายถึง ความเครียดทางสนามไฟฟ้าแต่ละจุดมีค่าต่างกันออกไปโดยจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งนั้น ๆ ความแตกต่างของค่าความเครียดของสนามไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของขั้วอิเล็กโทรด เช่น ขั้วรูปแบบทรงกลม ดังรูปที่ 2.1 แบบ (ข) คำนวณหาได้จากสมการที่ (2.3)

$$E_{\max} = \frac{V}{d\eta^*} \quad V/m \quad (2.3)$$

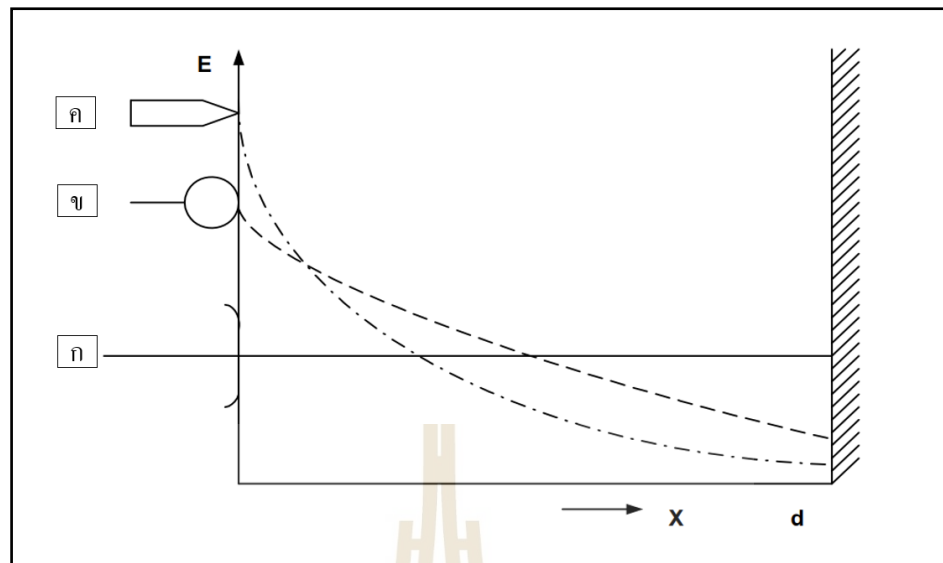
โดย  $\eta^*$  คือ แฟกเตอร์สนามไฟฟ้า (Field Utilization Factor)

$$\eta^* = \frac{E_{av}}{E_{\max}} \quad (2.4)$$

โดยอาจจะกล่าวได้ว่า  $\eta$  คือ ค่าดัชนีเพื่อให้ทราบว่าอิเล็กโทรดนั้นมีรูปแบบของลักษณะสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอเพียงใด โดยทั่วไปจะมีค่า  $\leq 1$  และแฟกเตอร์สนามไฟฟ้านี้เองจึงสามารถคำนวณหาเบรกดาวนของฉนวนในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยได้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.5)

$$E_b = \frac{V_b}{d\eta^*} \quad V/m \quad (2.5)$$

โดยสมการนี้จะใช้ได้เฉพาะในรูปแบบที่ไม่เกิดโคโรนา ก่อนเกิดการดิสชาร์จ อิเล็กโทรดที่มีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย หรือใช้กับรูปแบบที่เกิดก่อนเบรกดาวน แสดงดังรูปที่ 2.1 แบบ (ข) กล่าวคือ ก่อนการเบรกดาวนจะไม่มีกระแสไหลระหว่างอิเล็กโทรดและลักษณะสนามไฟฟ้าจะไม่มีเปลี่ยนแปลง และจะเกิดเบรกดาวนทันทีที่ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดสูงถึงค่าวิกฤติ



รูปที่ 2.2 สนามไฟฟ้ากระจายโดยการเปรียบเทียบรูปแบบลักษณะอิเล็กโทรดในแบบต่างๆ

รูปแบบอิเล็กโทรดที่มีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงซึ่งค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงจะอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับพื้นผิวอิเล็กโทรดที่มีผิวสัมผัสน้อยที่สุด เช่นรูปแบบของปลายแหลม ดังรูปที่ 2.1 แบบ (ค) ที่ระยะห่างออกไปจากผิวสัมผัส จะพบว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าจะมีค่าลดลงอย่างมาก ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งอิเล็กโทรดรูปแบบนี้ ถึงค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะถึงค่าวิกฤติแล้วก็จะยังไม่เกิดการเบรกดาวนแต่จะเป็นช่วงก่อนเกิดโคโรนาดิสชาร์จขึ้นในบริเวณผิวอิเล็กโทรดคือบริเวณที่มีค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด ส่วนบริเวณอื่นยังมีความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำจะไม่เกิดโคโรนา ฉะนั้นในพื้นที่ระหว่างขั้วไฟฟ้าจะเกิดการดิสชาร์จที่ไม่สมบูรณ์ จะเกิดไม่ตลอดทั้งขั้วอิเล็กโทรด เรียกว่า การดิสชาร์จบางส่วน จึงทำให้มีกระแสไหลในวงจรที่ป้อนแรงดันให้กับอิเล็กโทรดนี้ เรียกว่า กระแสโคโรนา ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดยังคำนวณได้จากสมการ (2.3) แต่  $\eta^*$  จะเปลี่ยนไป ดังนั้นค่าความเครียดเบรกดาวนจะคำนวณจากสมการ (2.5) ไม่ได้ anymore ก็ตามสมการ (2.5) นี้อาจใช้คำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าที่แรงดันโคโรนาเริ่มเกิด คำนวณได้จากสมการที่ (2.6)

$$E_i = \frac{V_i}{d\eta^*} \quad V/m \quad (2.6)$$

เมื่อ  $V_i$  คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าเริ่มเกิด  
 $E_i$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนแล้วโคโรนาเริ่มเกิด

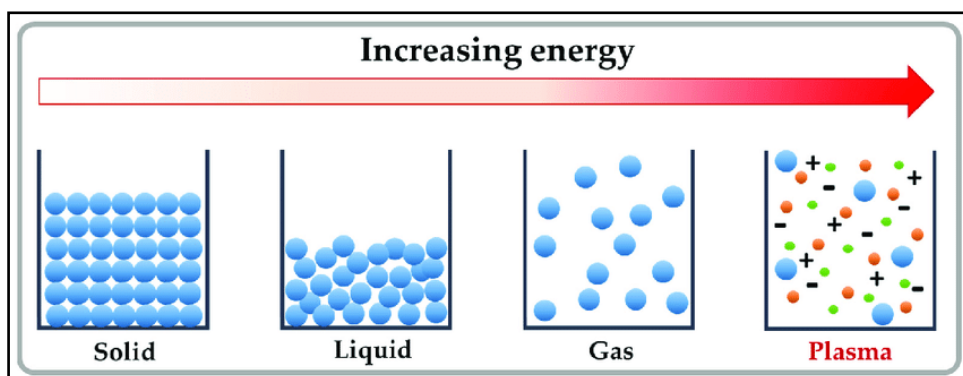
โดย  $E_i$  และ  $V_i$  คือความเครียดสนามไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าที่เริ่มเกิดโคโรนา ฉะนั้น จึงใช้ได้เฉพาะในตอนที่ไม่มีประจุไฟฟ้าค้างอยู่ที่ขั้วอิเล็กโทรด แสดงดังสมการที่ (2.6) นี้ใช้สำหรับ คำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้า(Starting Voltage, Threshold Voltage ,Inception Voltage) ซึ่งเป็นแรงดันที่ทำให้เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงในช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรด อาจจะเป็นเบรกดาวน ในกรณีที่อิเล็กโทรดเป็นแบบสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยและอาจจะเป็นแรงดันที่โคโรนาเริ่มเกิด ในเงื่อนไขแบบไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง ซึ่งค่าแรงดันเบรกดาวนจะมีค่าสูงกว่าค่าแรงดันเริ่มต้น แสดงดังสมการที่ (2.7)

$$V_i = E_i d \eta^* \quad (2.7)$$

เมื่อ  $V_i$  คือ แรงดันเริ่มต้น  
 $E_i$  คือ ความเครียดของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันเริ่มต้น  $V_i$

## 2.5 ทฤษฎีของพลาสมา

เมื่อพิจารณาถึงสถานะของสสารทั่วไป เราสามารถแบ่งได้เป็นสถานะหลัก 3 ประเภท คือ ของแข็ง (Solid) ของเหลว (Liquid) และ แก๊ส (Gas) อย่างไรก็ตาม พลาสมาถือเป็นสถานะที่ 4 และเป็นสถานะพิเศษ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไป พลาสมาเกิดขึ้นโดยการกระตุ้นด้วยพลังงานสูงมาก โดยใช้ก๊าซเป็นตัวกลาง การส่งพลังงานสูงผ่านก๊าซทำให้อิเล็กตรอนในก๊าซพุ่งชนชนกับอะตอมในบริเวณนั้น และส่งผลให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมกระบวนการนี้เรียกว่าการแตกตัวเป็นไอออน(Ionization) การแตกตัวเป็นไอออนเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดจากอะตอมออกมาเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้ก๊าซแตกตัวและกลายเป็นสถานะพลาสมา



รูปที่ 2.3 สสารเมื่อให้พลังงานจนเกิดเป็นสถานะพลาสมา

นอกจากนี้ ไอออนและอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในพลาสมาจะแสดงพฤติกรรมร่วมกัน (collective behavior) ซึ่งอนุภาคต่างๆ ที่เคลื่อนที่ในพลาสมาไม่เพียงแต่มีผลต่อพลาสมาด้วยกันในบริเวณนั้น แต่ยังมีผลต่ออนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงส่วนใหญ่ อนุภาคในพลาสมาที่สมดุลจะมีการสั่นสะเทือนที่สูงกว่าความถี่ในการชนกันของอนุภาคสองตัวที่อยู่ใกล้กัน จึงสามารถกล่าวได้ว่า พฤติกรรมร่วมนี้เป็นพฤติกรรมที่กลุ่มพลาสมาแสดงขึ้นร่วมกัน เมื่ออนุภาคประจุบวกหรือประจุลบในพลาสมาในบริเวณนั้นเปลี่ยนแปลง สามารถเกิดสนามไฟฟ้าขึ้นได้ สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าซึ่งนำไปสู่การเกิดทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กได้ จะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุตัวอื่นๆ ที่อยู่ไกลออกไป โดยความถี่การสั่นของอิเล็กตรอน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.4)

$$\omega_{pe} = \left( \frac{n_e e^2}{m \epsilon_0} \right)^{1/2} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $\omega_{pe}$  คือความถี่การสั่นของพลาสมา ( $rad / s$ )  
 $n_e$  คือปริมาณความหนาแน่นของอิเล็กตรอน ( $m^{-3}$ )  
 $e$  คือค่าประจุของอิเล็กตรอนมีค่า  $1.6 \times 10^{-19} C$   
 $m$  คือ มวลของอิเล็กตรอนมีค่า  $9.11 \times 10^{-31} kg$   
 $\epsilon_0$  คือค่าสภาพยอมในอวกาศว่างมีค่า  $8.8542 \times 10^{-12} F / m$

## 2.6 หลักการพื้นฐานและกระบวนการเกิดพลาสมา

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าที่สูงมากพอเข้ากับขั้วไฟฟ้าทั้งสองที่ฝั่งหนึ่งเป็นขั้วบวก และอีกฝั่งเป็นขั้วลบ วางห่างกันในระยะๆหนึ่ง สนามไฟฟ้าจะทำให้อิเล็กตรอนวิ่งเข้าหาขั้วบวก (Anode) เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าไหลระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้ว แต่กระแสนั้นมีค่าที่ต่ำมากๆ ถ้าแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าเบรคดาวน์ (Breakdown Voltage) แรงดันระหว่างขั้วไฟฟ้าถึงแรงดันไฟฟ้าทะลายจะเกิดปรากฏการณ์นี้ คือสนามไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าเบรคดาวน์จะทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงจนเกิดการไอออไนซ์ของโมเลกุลก๊าซ เมื่อเกิดการชนกันทำให้อิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นและถูกเร่งสู่ขั้วบวก ส่วนอนุภาคไอออนจากโมเลกุลของก๊าซจะวิ่งเข้าสู่ขั้วลบ จะทำให้เกิดการปล่อยอิเล็กตรอนอีกรอบ และถูกเร่งภายใต้สนามไฟฟ้าเข้าสู่ขั้วบวกทำให้เกิดการ ไอออไนซ์โมเลกุลของก๊าซอย่างต่อเนื่อง และรักษาสภาวะโกลว์ดิสชาร์จ (glow discharges) เอาไว้ แล้วอะตอมของขั้วลบที่ถูกชนจะหลุดออกมาพร้อมที่จะเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้า อะตอมที่หลุดออกมาส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาวะที่เป็นกลางทางไฟฟ้า หลังการชนระหว่างโมเลกุลของก๊าซกับอิเล็กตรอนจนเกิดการ



ไอออนในเซชัน ไอออนที่เกิดการเคลื่อนที่ช้ากว่าอิเล็กตรอนมากทำให้ใกล้ขั้วลบมีโพสิทีฟสเปซชาร์จ (Positive Space Charge) เกิดขึ้นสูง ส่วนอิเล็กตรอนถูกกวาดด้วยสนามไฟฟ้าสู่ขั้วบวกอย่างรวดเร็ว ศักย์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ตกคร่อมบริเวณนี้เกือบทั้งหมด พ้นจากบริเวณนี้สนามไฟฟ้าจะมีค่าต่ำ อิเล็กตรอนหลังจากการไอออนในเซชันสูญเสียพลังงานไปมากไม่สามารถเพิ่มพลังงานให้ตัวเองได้ภายใต้สนามไฟฟ้าต่ำนี้จึงไม่มีพลังงานสูงพอที่จะไอออนไนซ์ก๊าซในการชนครั้งต่อไปได้ โอกาสที่เป็นไปได้คือ ผลจากการชนจะทำให้เกิดก๊าซในสภาวะกระตุ้น (Excited Particle) เป็นส่วนใหญ่ อนุภาคไอออนเมื่อรวมตัวกันกับอิเล็กตรอนแล้วจะเป็นกลางทางไฟฟ้า และกลับสู่สถานะพื้น หรือการตกจากสภาวะกระตุ้นของอะตอมสู่สถานะพื้น จะมีการปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงความถี่แสงทำให้บริเวณนั้นเกิดเรืองแสง “โกลว์ดิสชาร์จ” ส่วนบริเวณระหว่างขั้วลบกับโพสิทีฟสเปซชาร์จเป็นการรวมตัวกันของไอออนกับอิเล็กตรอนและคายพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นจะให้ความถี่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตหรือแสงที่เป็นสีม่วง

## 2.7 กระบวนการเกิดพลาสมา

1. กระบวนการไอออนไนเซชัน (Ionization) โดยสนามไฟฟ้าจะกระทำให้โมเลกุลของก๊าซและอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เร็วขึ้น จนกระทั่งมีพลังงานจลน์ที่สูงมากขึ้น หลังจากนั้นอิเล็กตรอนและโมเลกุลของแก๊สจะเกิดการชนกัน และถ้าพลังงานของอิเล็กตรอนมากพอจะทำให้เกิดกระบวนการไอออนไนเซชันของแก๊ส หรือการแตกตัวเป็นอิเล็กตรอนและไอออน

2. สภาวะกระตุ้น (Excitation) สภาวะนี้จะเกิดหลังจากการชนกันของอิเล็กตรอนและโมเลกุลของแก๊ส โดยพลังงานที่โมเลกุลของแก๊สได้รับจากการชน จะส่งผลให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลแก๊สเคลื่อนตัวไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงขึ้น ทำให้อะตอมของโมเลกุลแก๊สอยู่ในสภาวะกระตุ้น ซึ่งในสภาวะนี้เกิดขึ้นก็ต่อเมื่อพลังงานที่โมเลกุลแก๊สได้รับจากการชนมีไม่เพียงพอต่อการเกิดไอออนไนเซชัน หลังจากนั้นอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นจะกลับสู่สถานะพื้น และทำการปล่อยพลังงานออกมาในรูปแบบของแสงเรียกว่า โฟตอน

3. การแตกตัว (Dissociation) สภาวะนี้เกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อพลังงานที่โมเลกุลแก๊สได้รับจากการชนของอิเล็กตรอนมีค่ามากกว่าพลังงานไอออนไนเซชัน

## 2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดพลาสมา

1. การวางขั้วอิเล็กโทรดที่ระยะห่างที่แตกต่างกันไป ในแต่ละรูปแบบจะมีผลต่อการกำเนิดพลาสมาเนื่องจาก ระยะห่างของช่องว่างมากหรือน้อยเกินไปอาจจะส่งผลทำให้การไหลของแก๊สและกระแสไฟฟ้า

2. ความเครียดหรือสนามไฟฟ้า มีผลต่อการกำเนิดพลาสมาโดยทำให้อากาศเกิดการแตกตัวเป็นไอออนเรียกว่ากระบวนการไอออนไนเซชัน ซึ่งสนามไฟฟ้าต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสมโดยแต่ละ

อากาศมีค่าสนามไฟฟ้าที่ต่างกันไปโดยลักษณะรูปแบบของสนามไฟฟ้าทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ และสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ โดยในส่วนของสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอจะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย และแบบไม่สม่ำเสมอสูง โดยรูปแบบของสนามไฟฟ้าขึ้นอยู่กับลักษณะของอิเล็กโทรด แสดงในรูปที่ 2.2

## 2.9 ประเภทของพลาสมา

พลาสมาสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามแหล่งกำเนิด คือ พลาสมาที่อยู่ในธรรมชาติ (Nature plasma) และพลาสมาที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นจากฝีมือมนุษย์ ซึ่งมีการแบ่งตามอุณหภูมิของพลาสมาออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

### 2.9.1 พลาสมาอุณหภูมิสูง

โดยพลาสมาในรูปแบบนี้จะเป็นการดิสชาร์จแบบสภาพสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกแบบเฉพาะ (local thermodynamic equilibrium, LTE) พลาสมาอุณหภูมิสูงเกิดจากการคายประจุแบบอาร์คดิสชาร์จ (arc discharge) ซึ่งเกิดจากกระแสไฟฟ้าถูกส่งไปยังขั้วอิเล็กโทรดระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ ทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างขั้ว จนกระตุ้นให้แก๊สแตกตัวอย่างรุนแรงจนกลายเป็นประจุบวกและอิเล็กตรอนเกิดขึ้นในจำนวนมาก และจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าที่อยู่ข้างหน้าขั้วลบ และเคลื่อนที่ไปชนกับอะตอมหรือโมเลกุลของแก๊สด้วยความถี่สูงและรุนแรง ซึ่งส่งผลให้เกิดการปล่อยประจุในรูปแบบสปาร์ค (spark) หรือเป็นเส้นเล็กๆ จำนวนมาก (filament) เกิดเป็นสถานะของพลาสมาที่มีความดันและพลังงานที่สูง

### 2.9.2 พลาสมาอุณหภูมิต่ำ

พลาสมาในรูปแบบนี้จะเป็นแก๊สดิสชาร์จแบบพลาสมาสภาพสมดุลเทอร์โมไดนามิกแบบไม่เฉพาะ (non-local thermodynamic equilibrium, non-LTE) มีลักษณะการปล่อยประจุแบบดิสชาร์จเรืองแสง (glow discharges) เป็นการพัฒนามาจากพลาสมาอุณหภูมิสูง เป็นการลดความดันในการเกิดพลาสมาให้ต่ำลง โดยเกิดอยู่ช่วง 0.001-10 ทอร์ หรือในความดันบรรยากาศทั่วไปก็สามารถเกิดพลาสมาได้ โดยอุณหภูมิมักจะไม่สูงเกินเมื่อเทียบกับอุณหภูมิห้อง แต่สำหรับอิเล็กตรอนจะมีอุณหภูมิสูงมาก ทำให้เกิดการชนกันแบบไม่ยืดหยุ่น กระบวนการดิสชาร์จเกิดเมื่อกระแสไฟฟ้าถูกส่งไปยังขั้วอิเล็กโทรดทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบที่สูงพอจนกระตุ้นให้แก๊สบางส่วนชนกันและแตกตัว กลายเป็นไอออนบวกและอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าไปยังขั้วบวก และเคลื่อนที่ไปชนกับอะตอมหรือโมเลกุลของแก๊ส ทำให้เกิดการกระตุ้นและแตกตัวเป็นไอออน อนุภาคที่อยู่ในสภาวะกระตุ้นจะปล่อยโฟตอนออกมาและกลับสู่สภาวะพื้น โดยโฟตอนที่ปล่อยออกมาจะทำให้เกิดแสงสว่าง

## 2.10 ประเภทของพลาสมา

### 2.10.1 การปล่อยคลื่นวิทยุความถี่สูง (Radio frequency discharge)

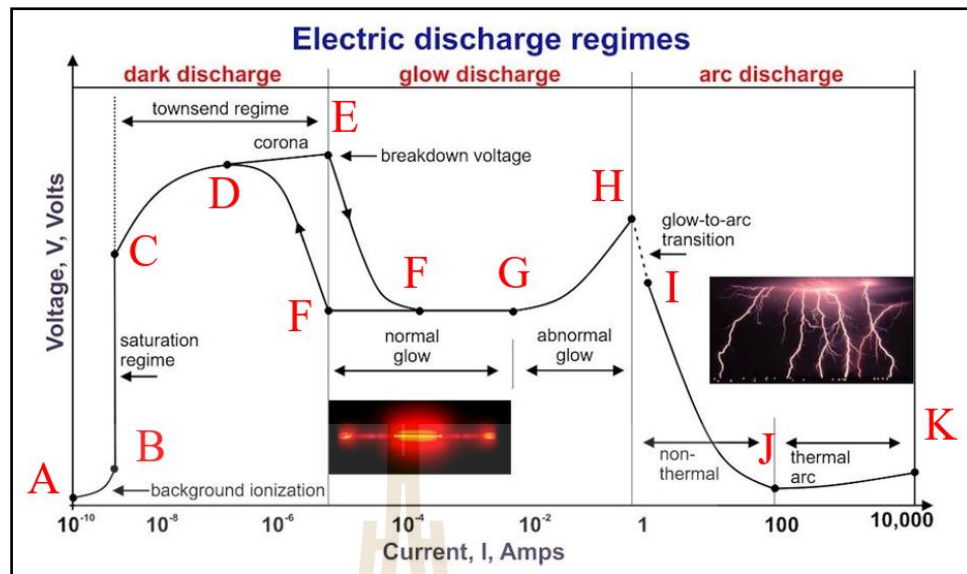
คลื่นความถี่ในการสร้างพลาสมา ความถี่ที่ใช้มักจะอยู่ในช่วงความถี่วิทยุ (RF) ซึ่งอาจจะอยู่ในช่วงเมกะเฮิรตซ์ (MHz) หรือ กิกะเฮิรตซ์ (GHz) ความถี่ในช่วงประมาณนี้สามารถสร้างพลาสมาได้อย่างมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพ เทคนิคนี้จะใช้ได้ดีที่ความดันต่ำ และ บางครั้งสามารถใช้ได้กับความดันบรรยากาศในการทำพลาสมาสมดุล

### 2.10.2 การคายประจุไฟฟ้าคลื่นไมโครเวฟ (Microwave discharge)

การคายประจุไฟฟ้าแบบคลื่นไมโครเวฟถูกใช้ในการสร้างพลาสมาแบบกึ่งสมดุล ความร้อน และพลาสมาที่ไม่สมดุลทางความร้อน ซึ่งพลาสมาแบบคลื่นไมโครเวฟจะถูกสร้างขึ้นด้วยแรงดันไฟฟ้าแบบพัลส์ซึ่งและการปล่อยคลื่นไมโครเวฟใช้พลังงานไฟฟ้าความถี่สูงในช่วงกิกะเฮิรตซ์ (GHz) ขึ้นไป โดยส่วนใหญ่ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในการกำเนิดพลาสมาคือ 2.45 GHz ซึ่งความถี่ในย่านนี้ไอออนและอิเล็กตรอนจะไม่เคลื่อนที่ เนื่องจากอิเล็กตรอนไม่สามารถตามการสั่นของความถี่ในย่านนี้ได้ ทำให้อิเล็กตรอนดูดซับพลังงานและชนกันกับโมเลกุลของก๊าซ ทำให้โมเลกุลเกิดการแตกตัวเป็นไอออน ซึ่งพลังงานของการชนกันของอิเล็กตรอนกับโมเลกุลที่รวมตัวกันก่อให้เกิดพลาสมาที่มีความหนาแน่นสูง

### 2.10.3 ดิสชาร์จเรืองแสง (Glow discharge)

การคายประจุไฟฟ้าแบบดิสชาร์จเรืองแสง (DC glow discharge) เป็นปรากฏการณ์ของการปล่อยไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอากาศหรือก๊าซ เมื่อมีการปลดปล่อยประจุไฟฟ้าเพียงพอโดยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้สำหรับจะอยู่ในช่วงหลักร้อยโวลต์และกระแสไฟฟ้าจะอยู่ในหลักมิลลิแอมป์ อาจเกิดขึ้นแตกต่างกันไปตามเงื่อนไขและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการใช้งาน ซึ่งแรงดันเบรกดาวน เป็นตามกฎของพาสเชน จากรูปที่ 2.4 เมื่อเริ่มต้นจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่แคโทดกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะอิ่มตัวด้วยจุด (B) เนื่องจากอิเล็กตรอนที่ออกจากขั้วแคโทดหรือเกิดขึ้นในก๊าซทั้งหมดวิ่งไปหาขั้วแอโนดหมด ทำให้ในช่วงนี้กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจะไม่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งเมื่อแรงดันไฟฟ้าถึงค่าหนึ่งกระแสไฟฟ้าจะเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างเอกซ์โพเนนเชียล เรียกว่าการคายประจุไฟฟ้าแบบทาวนเซนต์แต่ถ้าหากเพิ่มแรงดันไฟฟ้ามากขึ้น กระแสไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเพิ่มมาก ณ จุดนี้จะถูกเรียกว่าเบรกดาวน หลังจากการเกิดเบรกดาวนแล้วแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมในช่องว่างในการคายประจุไฟฟ้าจะยุบลงจนเหลือจุดต่ำสุด โดยช่วงจุด (E) และ (F) จะถูกเรียกว่าช่วงคายประจุไฟฟ้าแบบเรืองแสงปกติ ต่อจากนั้นถ้ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีก จุดนี้จะเกิดการแตกตัวจากความร้อนในก๊าซและที่ผิวโลหะซึ่งจะถูกเรียกว่าการคายประจุไฟฟ้าเรืองแสงไม่ปกติ ซึ่งอยู่ในย่าน (G) แต่ถ้ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นต่อไปอิเล็กตรอนจะหลุดจากแคโทดด้วยความร้อนและเกิดแสงจ้า ซึ่งจุดนี้จะถูกเรียกว่าการเกิดการสปาร์ค



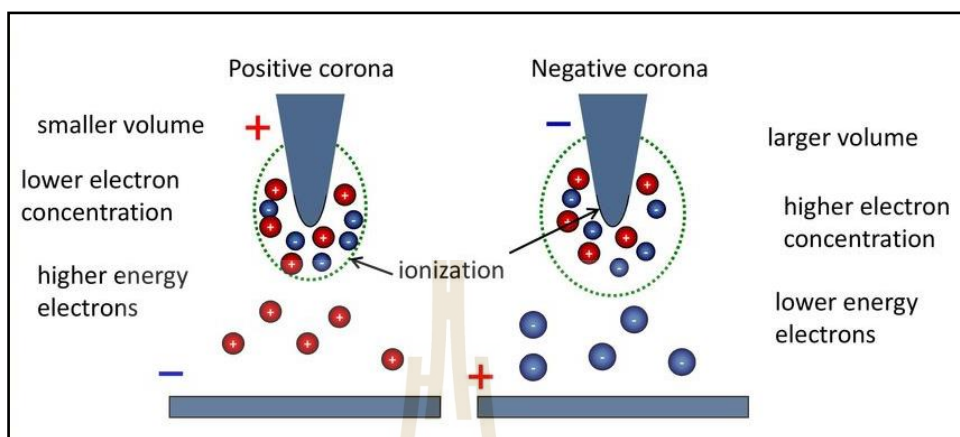
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างและหลักการเกิดการคายประจุไฟฟ้า

#### 2.10.4 ดิสชาร์จโคโรนา (Corona discharge)

ในทางทฤษฎีการคายประจุไฟฟ้าแบบโคโรนาจะเกิดขึ้นในอิเล็กโทรดที่มีลักษณะเป็นแบบปลายแหลม-ระนาบ (Point-to-plane) เพราะลักษณะขั้วอิเล็กโทรดเป็นแบบปลายแหลมสู่ระนาบจะเกิดสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอสูง ซึ่งทำให้เกิดการปล่อยประจุไฟฟ้าแบบโคโรนาได้ง่ายกว่าอิเล็กโทรดรูปแบบอื่น นอกจากนี้รูปแบบของการคายประจุไฟฟ้าแบบโคโรนาที่ความดันบรรยากาศปกติจะเกิดขึ้นที่บริเวณใกล้ๆปลายแหลมของอิเล็กโทรด ลักษณะของโคโรนาที่เกิดขึ้นจะถูกกำหนดด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอิเล็กโทรดไม่ว่าจะเป็นแรงดันไฟฟ้านานบวกลบและด้านลบ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ หรือความถี่ทางไฟฟ้าจะการคายประจุไฟฟ้าแบบโคโรนานั้นมีลักษณะแตกต่างกันโดยค่ากระแสไฟฟ้าของการคายประจุไฟฟ้าแบบโคโรนาที่เกิดขึ้นนั้นจะอยู่ในระดับไมโครแอมป์ การคายประจุไฟฟ้าแบบโคโรนาสามารถเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบโดยจะขึ้นอยู่กับขั้วของสนามไฟฟ้า โดยการปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนาสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ การปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนาด้านบวก (Positive corona discharge) และการปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนาด้านลบ เมื่อพิจารณาลักษณะกระบวนการคายประจุไฟฟ้าโคโรนาด้านบวกในอิเล็กโทรดแบบปลายแหลม-ระนาบ จะสังเกตได้ว่าการคายประจุไฟฟ้าจะเริ่มต้น ด้วยการคายประจุแบบเบิร์สต์พัลส์ (burst pulse corona) ต่อจากนั้นก็เปลี่ยนแปลงเป็นการคายประจุแบบสตรีมเมอร์ (Streamer corona) และพัฒนาเป็นการคายประจุแบบแสงเรือง (Glow corona) และสุดท้ายก็เปลี่ยนแปลงเป็นการคายประจุแบบสปาร์ก (Spark) สำหรับโคโรนาด้านลบ (Negative corona discharge) ลักษณะการคายประจุเริ่มต้น



ด้วยการคายประจุโคโรนาแบบ (Trichel pulse Corona) ต่อจากนั้นก็เปลี่ยนแปลงลักษณะกลายเป็นการคายประจุแบบ (Pulseless corona) และสุดท้ายก็กลายเป็นการคายประจุแบบสปาร์ก

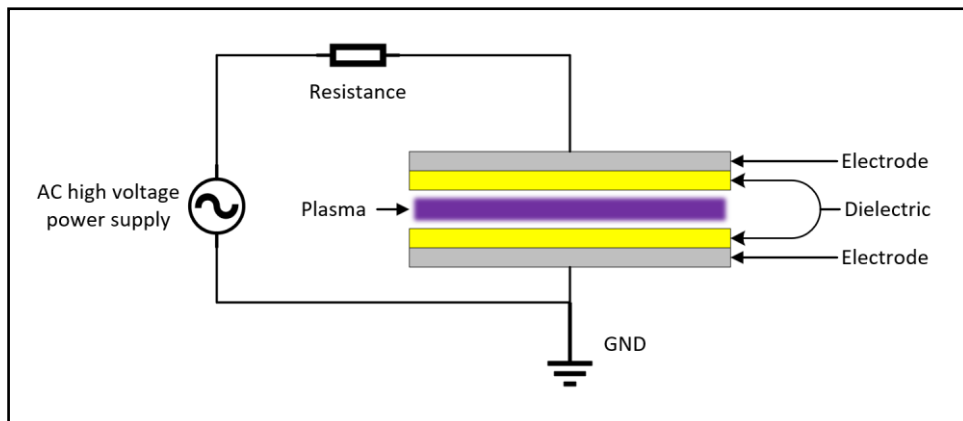


รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการเกิดการคายประจุไฟฟ้าแบบโคโรนาด้านบวกและโคโรนาด้านลบ

### 2.10.5 ดิจชาร์จแบบมีไดอิเล็กทริกขวางกั้น (Dielectric barrier discharge)

การคายประจุไฟฟ้าที่แยกด้วยฉนวนหรือมีฉนวนกั้น ที่เรียกว่าการคายประจุแบบระนาบสู่ระนาบนั้นเกี่ยวข้องกับอิเล็กโทรดแบนขนานที่มีชั้นไดอิเล็กทริกอยู่ระหว่างนั้น การกำหนดค่านี้จำกัดกระแสไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อป้องกันการพังทลายหรือประกายไฟ วิธีการชาร์จนี้เรียกอีกอย่างว่าการคายประจุแบบเงียบ (Silent discharge) เนื่องจากการทำงานที่เงียบ การประยุกต์ใช้การปล่อยไฟฟ้าที่แยกด้วยฉนวนได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ มีการนำไปใช้ในการตรวจจับออกซิเจน การสร้างไอโซนสำหรับการบำบัดน้ำเสีย และการฆ่าเชื้อโรคในระบบปรับอากาศ และอื่นๆ นอกจากนี้ เทคนิคการชาร์จโดยใช้วัสดุไดอิเล็กทริกยังทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ความดันบรรยากาศปกติ พลาสมาที่สร้างขึ้นด้วยวิธีนี้ทำงานที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง การปล่อยไฟฟ้าที่แยกด้วยฉนวนในการกำหนดค่าแบบระนาบสู่ระนาบช่วยให้การชาร์จประจุไฟฟ้ามีประสิทธิภาพและปลอดภัยเมื่อเทียบกับวิธีการชาร์จแบบอื่นๆ ด้วยการแนะนำชั้นอิเล็กทริกระหว่างอิเล็กโทรด ช่วยให้สามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำ ลดการสูญเสียพลังงานระหว่างกระบวนการชาร์จ และลดความเสียหายต่อวัสดุที่ใช้ในการชาร์จยิ่งกว่านั้น ลักษณะการคายประจุแบบเงียบของวิธีนี้ช่วยลดเสียงรบกวนระหว่างการทำงาน ทำให้กระบวนการทำงานเงียบ และไม่รบกวนสภาพแวดล้อมโดยรอบหรือพื้นที่ทำงานอื่นๆ การใช้การปล่อยไฟฟ้าที่แยกด้วยฉนวนด้วยชั้นอิเล็กทริกได้พิสูจน์แล้วว่าเป็นประโยชน์ในด้านต่างๆ มีวิธีที่เชื่อถือได้และมีประสิทธิภาพ

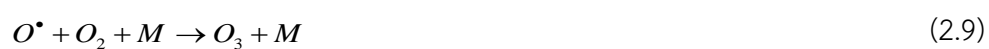


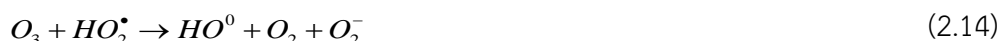


รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของการคายประจุไฟฟ้าแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ

### 2.11 การดิสชาร์จของพลาสมาบนผิวของเหลว

พลาสมาเคลื่อนที่ในเฟสก๊าซและสัมผัสกับน้ำ โดยอิเล็กตรอนในพลาสมาและพลังงานที่ถูกกระตุ้น ที่เรียกว่า การปลดปล่อยทางอ้อม ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเจนจำนวนมาก เช่น ไนเตรต ไนไตรท์ และอนุมูลอิสระ ในสมการที่ 2.5-2.19 การปลดปล่อยเหล่านี้มีความคล้ายคลึงกับอิเล็กโตรไลซิสของการปล่อยแบบเรืองแสงแบบสัมผัส เมื่อขั้วบวกของโลหะจมอยู่ใต้ของเหลวและพลาสมาถูกผลิตขึ้นในชั้นไอ ในการปลดปล่อยประจุเหล่านี้พลังงานส่วนหนึ่งจำนวนมากถูกทิ้งลงในของเหลว ทำให้อัตราการระเหยของของเหลวสูง





## 2.12 คุณสมบัติทางเคมีเมื่อน้ำถูกกระตุ้นด้วยพลาสมา

เมื่อน้ำถูกกระตุ้นด้วยพลาสมา น้ำจะแสดงคุณสมบัติทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไอออไนเซชันและการก่อตัวของพลาสมา คุณสมบัติทางเคมีที่โดดเด่นของพลาสมาประกอบด้วย ออกซิเจนเดี่ยว ซุปเปอร์ออกไซด์ ไอออน อิเล็กตรอน โอโซน และยูวี เมื่อพลาสมาทำปฏิกิริยากับน้ำ มันจะกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีแบบไดนามิกและก่อตัวเป็นรูปแบบของปฏิกิริยาชนิดน้ำ ในปัจจุบันได้มีการใช้เทคนิคหลายอย่างในการระบุและหาปริมาณของชนิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในของเหลวที่ได้รับ การบำบัดด้วยพลาสมา ได้แก่ อิเล็กตรอนพาราแมกเนติกเรโซแนนซ์ การวัดปริมาณรังสีเคมี โครมาโตกราฟีของเหลว นอกจากวิธีสีและการเรืองแสง เมื่อพลาสมาถูกสร้างขึ้นกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างสองส่วน เช่น การถ่ายโอนชนิดก๊าซไปสู่ของเหลว และปฏิกิริยาเคมีระหว่างก๊าซและโมเลกุลของเหลว การปล่อยพลาสมาที่เกิดขึ้นในของเหลวนั้นมีไดนามิกสูงชั่วคราว และเกี่ยวข้องกับกระบวนการสลายตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งส่วนใหญ่ขับเคลื่อนด้วยสนามไฟฟ้าแรงสูง การกระตุ้นน้ำด้วยพลาสมา นำไปสู่การแยกตัวของโมเลกุลของน้ำที่ไม่สมดุล ซึ่งส่งผลให้เกิดการก่อตัวของรูปแบบช่วงชีวิตที่สั้น เช่น เกิดเป็นไฮดรอกซิลไอออน ( $OH^\bullet$ ) และไฮเดรต (Solvated) อิเล็กตรอน อิเล็กตรอน ทำปฏิกิริยาเพื่อสร้างสปีชีส์ที่เสถียรมากขึ้นรวมถึง ซุปเปอร์ออกไซด์ ( $O_2^-$ ) โอโซน ( $O_3$ ) และ

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) ปฏิกริยาอนุมูลไฮดรอกซิล (HO) เป็นชนิดที่เกิดปฏิกิริยาช่วงอายุสั้น ซึ่งมีปฏิกิริยาสูง และมีศักยภาพในการรีดอกซ์สูงมากในสิ่งที่มีสารอินทรีย์อยู่ในของเหลว อนุมูลไฮดรอกซิล (HO) ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์เพื่อสร้างอนุมูลใหม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเพิ่มเติม

Oxidant	Oxidation potential [V]
hydroxyl radical	2.80
atomic oxygen	2.42
ozone	2.07
hydrogen peroxide	1.77
permanganate	1.67
chlorine dioxide	1.50
chlorine	1.36

รูปที่ 2.7 ความสามารถในการออกซิเดชันของสารปฏิกิริยาต่างๆ

ออกซิเจนเดี่ยว: การกระตุ้นของน้ำโดยพลาสมาสามารถสร้าง (singlet oxygen Singlet oxygen) เป็นออกซิเจนรูปแบบพลังงานสูงที่มีความสามารถในการดึงอิเล็กตรอนจากสารอื่น ๆ และแสดงคุณสมบัติในการออกซิไดซ์ที่รุนแรง

ซูเปอร์ออกไซด์: การกระตุ้นของน้ำด้วยพลาสมาสามารถนำไปสู่การก่อตัวของซูเปอร์ออกไซด์ ซูเปอร์ออกไซด์เป็นอนุภาคที่มีอิเล็กตรอนเพิ่มเติมในเปลือกนอกของออกซิเจน มีคุณสมบัติต่อต้านอนุมูลอิสระและสามารถกระตุ้นปฏิกิริยาต่างๆ เช่น ไฮโดรเจนและดีออกซิเดชัน

ไอออน: การกระตุ้นของน้ำโดยพลาสมาจะสร้างไอออน ไอออนเป็นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า แตกต่างจากประจุปกติของโมเลกุลของน้ำ การปรากฏตัวของไอออนในน้ำอาจส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและพลังงาน

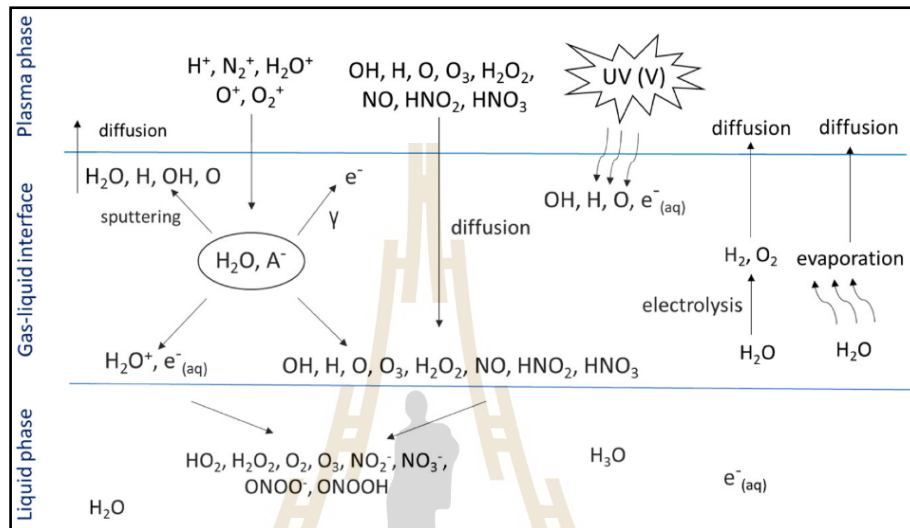
อิเล็กตรอน: การกระตุ้นของน้ำโดยพลาสมาทำให้เกิดการสร้างอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนเป็นอนุภาคที่มีประจุลบซึ่งมีบทบาทสำคัญในปฏิกิริยาเคมีและการนำไฟฟ้า

โอโซน: ปฏิกิริยาระหว่างพลาสมาและน้ำอาจส่งผลให้เกิดการก่อตัวของโอโซน โอโซนเป็นรูปแบบหนึ่งของออกซิเจนที่มีปฏิกิริยาสูงและแสดงคุณสมบัติในการออกซิไดซ์ที่รุนแรง

รังสี UV: การกระตุ้นของน้ำในพลาสมาสามารถสร้างรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) ได้ รังสี UV มีผลหลายอย่างต่อปฏิกิริยาเคมีและสามารถกระตุ้นกระบวนการโฟโตเคมีคอลได้

สนามไฟฟ้า: การกระตุ้นด้วยพลาสมาสร้างสนามไฟฟ้าที่สามารถมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของอนุภาคที่มีประจุในน้ำและส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางเคมีของน้ำ

สิ่งสำคัญคือต้องสังเกตว่าคุณสมบัติทางเคมีเฉพาะที่สังเกตได้เมื่อน้ำถูกกระตุ้นด้วยพลาสมาอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของพลาสมา สภาวะการทดลอง และปัจจัยอื่น ๆ



รูปที่ 2.8 สารประกอบที่เกิดจากกระบวนการปฏิกิริยาโดยใช้พลาสมาในการจัดการกับน้ำ

### 2.13 กลไกการย่อยสลายของจุลินทรีย์เกี่ยวข้องกับการกระทำของพลาสมา

เทคโนโลยีพลาสมาได้รับการตรวจสอบและยืนยันแล้วว่า มีผลทางปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้หลากหลายชนิด โดยกลไกหลักๆ สามารถแบ่งออกเป็น การกระตุ้นทางเคมี: พลาสมาสามารถกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีที่ส่งผลต่อจุลินทรีย์ ตัวอย่างเช่น การกระตุ้นกลุ่มฟีนอกซิลในพลาสมาสามารถรบกวนและยับยั้งส่วนประกอบที่สำคัญของโปรตีนเมมเบรนของจุลินทรีย์ ซึ่งนำไปสู่การทำลายเซลล์ของจุลินทรีย์ การทำให้โครงสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์เกิดการเปลี่ยนแปลง: พลาสมาสามารถซึมผ่านเซลล์ของจุลินทรีย์และทำให้ภายในเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยการรบกวนส่วนประกอบของไซโตพลาสซึม เช่น พลาสมาอาจทำให้กระบวนการภายในเกิดความเสียหายและหยุดการทำงานของเซลล์จุลินทรีย์ ความเครียดออกซิเดชัน: พลาสมาสามารถสร้างปฏิกิริยาออกซิเจน (ROS) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) เมื่อถูกกระตุ้นโดยสนามไฟฟ้าแรงสูง สปีชีส์ที่ออกซิเดชันเหล่านี้สามารถมีผลทำลายเซลล์จุลินทรีย์ ซึ่งนำไปสู่การหยุดทำงานการหยุดชะงักของเยื่อหุ้มเซลล์: พลาสมาสามารถทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์โดยจะก่อให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ เกิดการหยุดชะงักของเซลล์ อาจส่งผลกระทบต่อความสมบูรณ์ของเซลล์จุลินทรีย์ และทำให้เซลล์เหล่านี้ถูกทำลาย

โดยรวมแล้ว กลไกด้านจุลชีพของพลาสมาจากความสามารถในการกระตุ้นปฏิกิริยาเคมี เปลี่ยนแปลงโครงสร้างเซลล์ สร้างสปีชีส์ออกซิเดชัน และทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ กลไกเหล่านี้สามารถย่อยสลายและยับยั้งจุลินทรีย์

## 2.14 สรุป

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดพลาสมาและปฏิกิริยาทางเคมีในกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำด้วยเทคโนโลยีพลาสมา ซึ่งจะประกอบไปด้วยทฤษฎี และรูปแบบสนามไฟฟ้าเพื่อกำเนิดพลาสมา ทฤษฎีและกลไกการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพลาสมา ซึ่งในแต่ละหัวข้อในบทนี้ได้อธิบาย การวิเคราะห์การออกแบบ รวมไปถึงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพื่อนำมาซึ่งการวิเคราะห์การออกแบบเครื่องและทดสอบผลให้ได้ประสิทธิภาพที่เหมาะสม





## บทที่ 3

### การออกแบบเครื่องกำเนิดพลาสมา

#### 3.1 กล่าวนำ

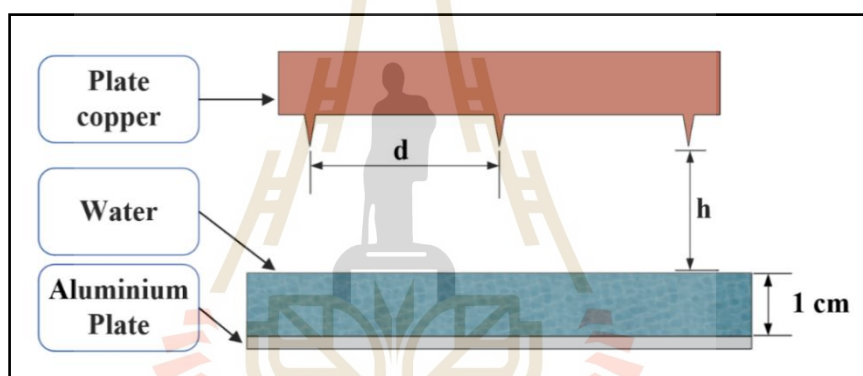
ในเนื้อหาบทต่อไปนี้จะเป็นการจำลองผล การวิเคราะห์และการออกแบบขั้วอิเล็กโทรด เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับกำจัดเชื้อแบคทีเรียในการเพาะเลี้ยงลูกปลานิล โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้พลาสมาในการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย ในการเพาะพันธุ์ลูกปลานิล เนื่องจากในระยะเพาะฝักในระบบอนุบาลลูกปลา อาจเกิดการติดเชื้อแบคทีเรียในระบบ ทำให้ส่งผลกระทบต่อลูกปลาได้ สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบขั้วอิเล็กโทรดสำหรับกำจัดเชื้อแบคทีเรียโดยการบำบัดด้วยพลาสมา จะใช้โปรแกรม CST Studio Suite 3D EM Simulation and Analysis Software เพื่อวิเคราะห์เชิงตัวเลขในการศึกษารูปแบบความเป็นไปได้ของการเกิดพลาสมา โดยจะศึกษาระยะห่างระหว่างปลายแหลมและระยะห่างจากผิวหน้าของการเกิดพลาสมา และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการแผ่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าบนผิวหน้า สำหรับการออกแบบขั้วอิเล็กโทรดจะเป็นแบบปลายแหลม-ระนาบ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการกำเนิดพลาสมาทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของสนามไฟฟ้าที่แผ่กระจายบนผิวหน้า และสามารถนำมาออกแบบและสร้างขั้วอิเล็กโทรดให้มีความเหมาะสม และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด การจำลองจะป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ 15 กิโลโวลต์ ผลการจำลองจะใช้เทคนิคการเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายแหลม และระยะห่างระหว่างผิวหน้า เพื่อหาตำแหน่งกำลังงานที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นแนวทางในการสร้างขั้วอิเล็กโทรดเพื่อทดสอบการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำต่อไป

#### 3.2 การออกแบบสร้างเครื่องและขั้วอิเล็กโทรดสำหรับกำเนิดพลาสมา

สำหรับการออกแบบเครื่องและขั้วอิเล็กโทรดสำหรับกำเนิดพลาสมานั้น จะกำหนดเงื่อนไขการจำลองผล โดยใช้วัสดุทองแดงเป็นเงื่อนไขขั้วอิเล็กโทรดฝั่งขั้วบวกในการกำเนิดพลาสมา วัสดุอลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรดฝั่งขั้วลบ และกำหนดไดอิเล็กตริกเป็นน้ำ โดยจะทำการจำลองผลการกำเนิดพลาสมาในรูปแบบต่างๆในโปรแกรม CST Studio Suite 3D EM โดยกำหนดให้ปลายแหลมของอิเล็กโทรดมีจำนวน 3 ปลายแหลม และมุมของปลายแหลมมีมุมที่ 30 องศา โดยจะยึดจากศูนย์กลางแล้วทำการปรับระยะห่างระหว่างปลายแหลมออกไปทางด้านซ้าย-ขวา และปลายแหลมของอิเล็กโทรดแต่ละแบบจะห่างจากผิวหน้า 10 มิลลิเมตร และ 20 มิลลิเมตรตามลำดับ โดยคงค่าไดอิเล็กตริกที่เป็นน้ำเอาไว้ที่ระยะ 10 มิลลิเมตร

### 3.3 การจำลองขั้วอิเล็กโทรดสำหรับกำเนิดพลาสมา

การวิเคราะห์และการออกแบบการแผ่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของขั้วอิเล็กโทรดที่เป็นทองแดง โดยมีน้ำเป็นไดอิเล็กทริกขั้วกันแผ่นอิเล็กโทรดที่เป็นอลูมิเนียม โดยจะจำลองผลของระยะของปลายแหลมที่มีระยะห่างกัน 3 รูปแบบ คือ ระยะห่างระหว่างปลายแหลม 10 ,20 และ 30 มิลลิเมตร โดยในแต่ละรูปแบบจะมีปลายแหลมห่างจากผิวหน้ามีทั้งหมด 2 รูปแบบ คือ ระยะห่างจากผิวหน้า 10 มิลลิเมตร และ 20 มิลลิเมตร แล้วจำลองปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าผ่านโหนดที่เป็นน้ำ และดูผลการจำลองการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้า สำหรับการจำลองการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้า โดยจะการกำหนดจุดบ่อนกำลังงาน 3 จุดที่ปลายขั้วอิเล็กโทรด ซึ่งจุดการบ่อนกำลังงานจะบ่อนที่ตำแหน่งเดิมในทุกการจำลอง และกำหนดพารามิเตอร์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 15 กิโลโวลต์ เท่ากันในทุกการจำลอง

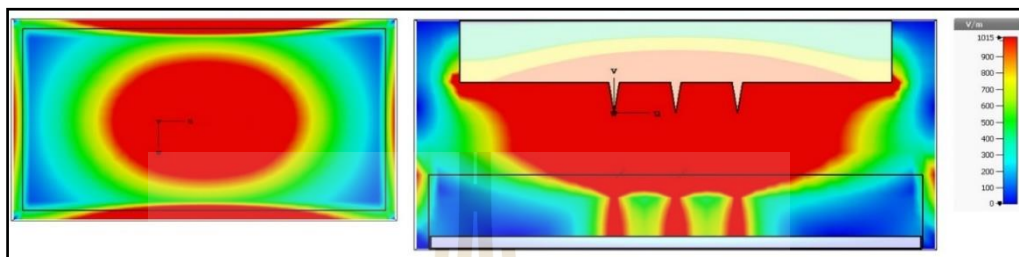


รูปที่ 3.1 แบบจำลองขั้วอิเล็กโทรดในศึกษาการแผ่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า และความเข้มสนามไฟฟ้า

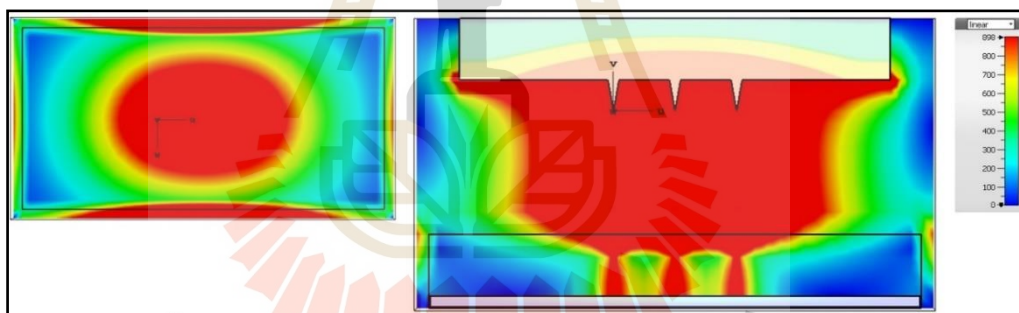
ตารางที่ 3.1 ตารางในแต่ละกรณีของการปล่อยพลาสมาบนผิวหน้าในโปรแกรมจำลองผล CST studio

รูปแบบ	ระยะห่างระหว่างปลายแหลม (d) (มิลลิเมตร)	ระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวหน้า (h) (มิลลิเมตร)
ก	10	10
		20
ข	20	10
		20
ค	30	10
		20

การจำลองขั้วอิเล็กโทรด แบบระยะห่างระหว่างปลายแหลม เท่ากับค่า (d) มิลลิเมตร และ ระยะปลายแหลมห่างจากผิวหน้าเปลี่ยนแปลงตามค่า (h) มิลลิเมตร รูปแบบ (ก) ระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 10$  มิลลิเมตร และ ระยะห่างระหว่างผิวหน้า เท่ากับ  $h = 10$  มิลลิเมตร และ 20 มิลลิเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 ระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 10$  มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวหน้า  $h = 10$  มิลลิเมตร



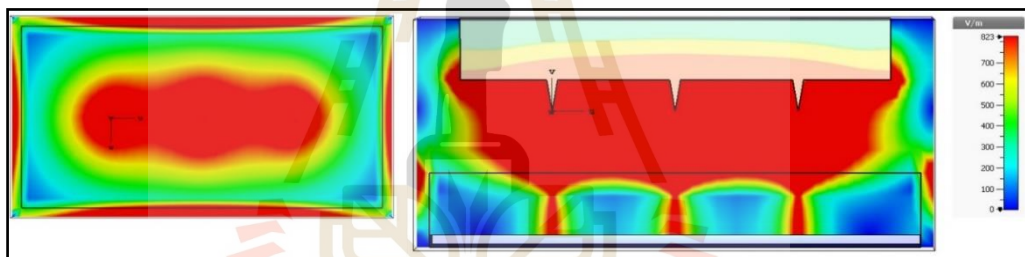
รูปที่ 3.3 ระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 10$  มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวหน้า  $h = 20$  มิลลิเมตร

จากการจำลองผลแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าโดยมีระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวหน้าที่กำหนดเป็นระยะ 10 มิลลิเมตร และ 20 มิลลิเมตร จากรูปที่ 3.2 ได้ทำการจำลองระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 10$  มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวหน้า  $h = 10$  มิลลิเมตร จากผลการจำลองพบว่า การแผ่กระจายของสนามไฟฟ้า และความเข้มของสนามไฟฟ้าแสดงรูปแบบลักษณะเป็นทรงกลม-รี กว้าง โดยมีค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าเท่ากับ  $1,015 \text{ V/m}$  ต่อจากนั้น ในรูปที่ 3.3 ทำการจำลองโดยมีระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 10$  มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวหน้า  $h = 20$  มิลลิเมตร การจำลองแสดงให้เห็นว่า การแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้า ยังแสดงรูปแบบลักษณะเป็นทรงกลม-รี

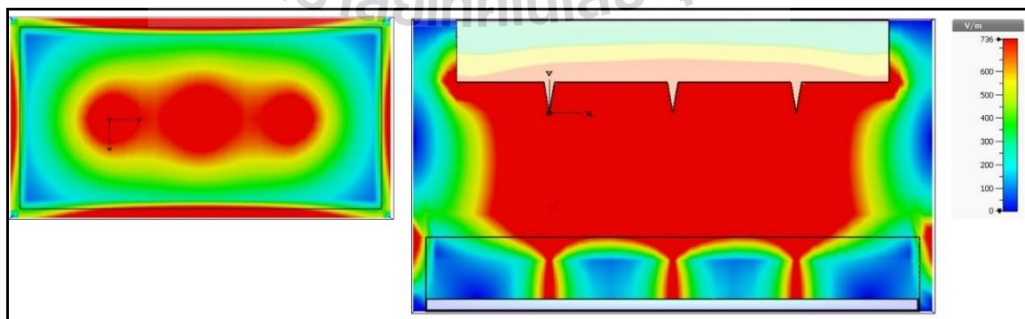
กว้าง คล้ายกับในรูปที่ 3.2 และการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้าค่อนข้างน้อยกว่า ในการกำหนดค่าของรูปที่ 3.3 โดยมีค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าได้เท่ากับ 953 V/m

โดยสรุป การจำลองการกำหนดค่าในรูปที่ 3.2 และ 3.3 แสดงลักษณะของการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้าในการจำลองด้วยระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 10$  มิลลิเมตร ที่ระยะห่างจากผิวหน้า 10 มิลลิเมตรและ 20 มิลลิเมตร ค่าทั้งสองแสดงรูปแบบลักษณะเป็นทรงกลม-รี กว้าง อย่างไรก็ตามเห็นได้ชัดว่าการกระจายสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้า ในรูปที่ 3.3 ค่าการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้า ค่อนข้างน้อยกว่าเล็กน้อย เมื่อเทียบกับรูปที่ 3.2

การจำลองขั้วอิเล็กโทรด แบบระยะห่างระหว่างปลายแหลม เท่ากับค่า  $(d)$  มิลลิเมตร และระยะปลายแหลมห่างจากผิวหน้าเปลี่ยนแปลงตามค่า  $(h)$  มิลลิเมตร รูปแบบ (ข) ระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 20$  มิลลิเมตร และ ระยะห่างระหว่างผิวหน้า เท่ากับ  $h = 10$  มิลลิเมตร และ 20 มิลลิเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 ระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 20$  มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวหน้า  $h = 10$  มิลลิเมตร

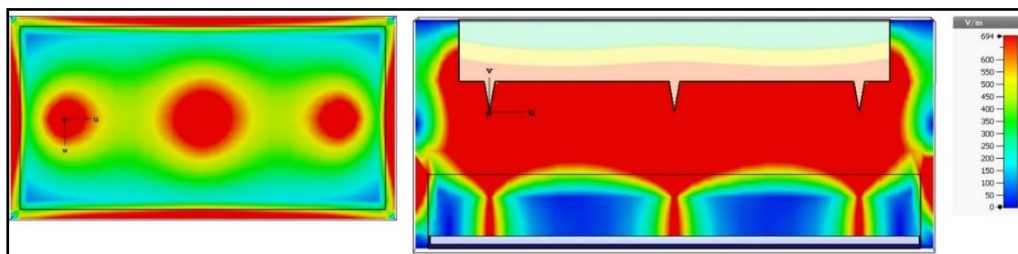


รูปที่ 3.5 ระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 20$  มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวหน้า  $h = 20$  มิลลิเมตร

จากผลการจำลองการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าโดยกำหนดระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวน้ำที่ระยะ 10 มิลลิเมตร และ 20 มิลลิเมตร ตามรูปที่ 3.4 ได้ทำการจำลองระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 20$  มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวน้ำ  $h = 10$  มิลลิเมตร จากผลการจำลองพบว่าการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้า แสดงรูปแบบลักษณะเป็นวงรีที่กว้าง เมื่อเทียบกับรูปที่ 3.2 และ 3.3 ที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้ การแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้าเกือบจะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นผิวของที่จำลอง โดยมีความเข้มของสนามไฟฟ้าเท่ากับ  $823 \text{ V/m}$  ต่อจากนั้น ในรูปที่ 3.5 ทำการจำลองโดยมีระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 20$  มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวน้ำ  $h = 20$  มิลลิเมตร การจำลองแสดงให้เห็นว่าการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้ายังแสดงรูปแบบลักษณะเป็นวงรี ที่กว้างน้อยกว่า โดยการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้าเกือบจะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่จำลอง คล้ายกับรูปที่ 3.4 อย่างไรก็ตาม สังเกตพบว่าการกระจายสนามไฟฟ้า และความเข้มของสนามต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับรูปที่ 3.4 โดยมีความเข้มของสนามไฟฟ้าเท่ากับ  $736 \text{ V/m}$

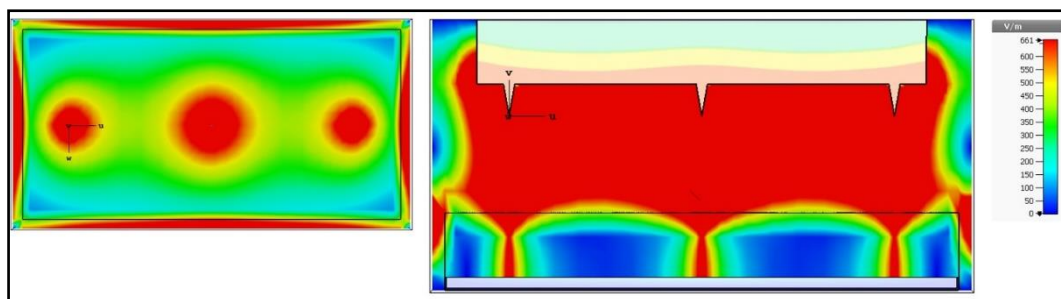
โดยสรุป การจำลองการกำหนดค่าในรูปที่ 3.4 และ 3.5 แสดงลักษณะของการกระจายสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้าในการจำลองด้วยระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 20$  มิลลิเมตร ที่ระยะห่างจากผิวน้ำ 10 มิลลิเมตรและ 20 มิลลิเมตร มีรูปแบบลักษณะเป็นวงรีที่กว้าง มีการกระจายความเข้มของสนามไฟฟ้าเกือบสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่จำลอง อย่างไรก็ตามเห็นได้ชัดว่าการแผ่กระจายสนามไฟฟ้า และความเข้มของสนามไฟฟ้าในรูปที่ 3.5 ค่าการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้า ค่อนข้างน้อยกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับรูปที่ 3.4

การจำลองขั้วอิเล็กโทรด แบบระยะห่างระหว่างปลายแหลม เท่ากับค่า ( $d$ ) มิลลิเมตร และระยะปลายแหลมห่างจากผิวน้ำเปลี่ยนแปลงตามค่า ( $h$ ) มิลลิเมตร รูปแบบ (ค) ระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 30$  มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างผิวน้ำ เท่ากับ  $h = 10$  มิลลิเมตร และ 20 มิลลิเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 ระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 30$  มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวน้ำ  $h = 10$  มิลลิเมตร





รูปที่ 3.7 ระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 30$  มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิว  
น้ำ  $h = 20$  มิลลิเมตร

จากการจำลองผลการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าโดยกำหนดระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวน้ำที่ระยะ 10 มิลลิเมตร และ 20 มิลลิเมตร จากรูปที่ 3.6 ได้ทำการจำลองระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 30$  มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวน้ำ  $h = 10$  มิลลิเมตร จากผลการจำลองพบว่าการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าที่บริเวณปลายแหลมของแต่ละอันจะมีลักษณะค่อนข้างเป็นทรงกลมหรืออยู่บริเวณปลายแหลมแต่ละอัน แต่บริเวณปลายแหลมที่อยู่ตรงกลางของการจำลองมีบริเวณการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าที่มากกว่าส่วนที่อยู่บริเวณข้างๆ จะเห็นได้ว่าการแผ่กระจายสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยกว่าบริเวณตรงกลาง โดยมีค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าเท่ากับ  $694 \text{ V/m}$  ถัดมารูปที่ 3.7 เป็นการจำลองระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 30$  มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมกับผิวน้ำ  $h = 20$  มิลลิเมตร จากการจำลองพบว่าการแผ่กระจายสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้ามีลักษณะเป็นทรงกลมอยู่บริเวณปลายแหลมแต่ละอัน แต่บริเวณปลายแหลมที่อยู่ตรงกลางของการจำลองมีบริเวณการแผ่กระจายสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าที่มากกว่าส่วนที่อยู่บริเวณข้างๆ จะเห็นได้ว่าการแผ่กระจายสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยกว่าบริเวณตรงกลาง คล้ายกับรูปที่ 3.6 และพบว่าการแผ่กระจายสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยกว่ารูปที่ 3.7 โดยมีค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าเท่ากับ  $661 \text{ V/m}$

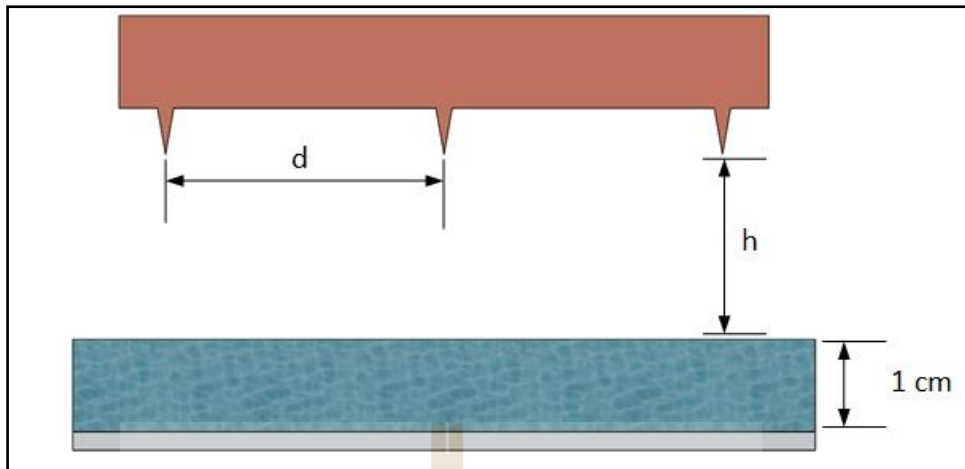
โดยสรุป การจำลองการกำหนดค่าในรูปที่ 3.6 และ 3.7 แสดงรูปแบบการกระจายสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้าในการจำลองด้วยระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 30$  มิลลิเมตร ที่ระยะห่างจากผิวน้ำ 10 มิลลิเมตรและ 20 มิลลิเมตร ค่าทั้งสองแสดงรูปแบบลักษณะเป็นทรงกลมอยู่บริเวณปลายแหลมแต่ละอัน แต่บริเวณปลายแหลมที่อยู่ตรงกลางของการจำลองมีบริเวณการแผ่กระจายสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าที่มากกว่าส่วนที่อยู่บริเวณข้างๆ อย่างไรก็ตามเห็นได้ชัดว่าการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้าในรูปที่ 3.7 ค่าการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้า ค่อนข้างน้อยกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับรูปที่ 3.6

จากผลการวิเคราะห์ผลการจำลองการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้า และความเข้มของสนามไฟฟ้าที่มีการป้อนกำลังงานที่ปลายแหลมของเล็ทโทรอด เมื่อพิจารณาระยะห่างของปลายแหลมและระยะห่างระหว่างปลายแหลมถึงผิวหน้าแล้ว ระยะห่างระหว่างปลายแหลมถึงผิวหน้ามีผลต่อการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าเป็นอย่างมากเนื่องจากความสัมพันธ์ของสมการสนามไฟฟ้า การจำลองผลในรูปแบบ ก ระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 10$  มิลลิเมตร และรูปแบบที่ ข ระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 20$  มิลลิเมตร จะมีลักษณะของการแผ่สนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้าเป็นลักษณะทรงกลม-รี ที่มีบริเวณค่อนข้างกว้าง ถึงจะมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างของปลายแหลมถึงผิวหน้า แต่ในการจำลองผลรูปแบบที่ ค ระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $d = 30$  มิลลิเมตร ทำให้การแผ่สนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้า จะมีแค่ที่ปลายแหลมของแต่ละอันเป็นลักษณะทรงกลม และถ้าระยะห่างของปลายแหลมถึงผิวหน้าเพิ่มขึ้นอีก ก็จะทำให้การแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้าลดลงไปอีก

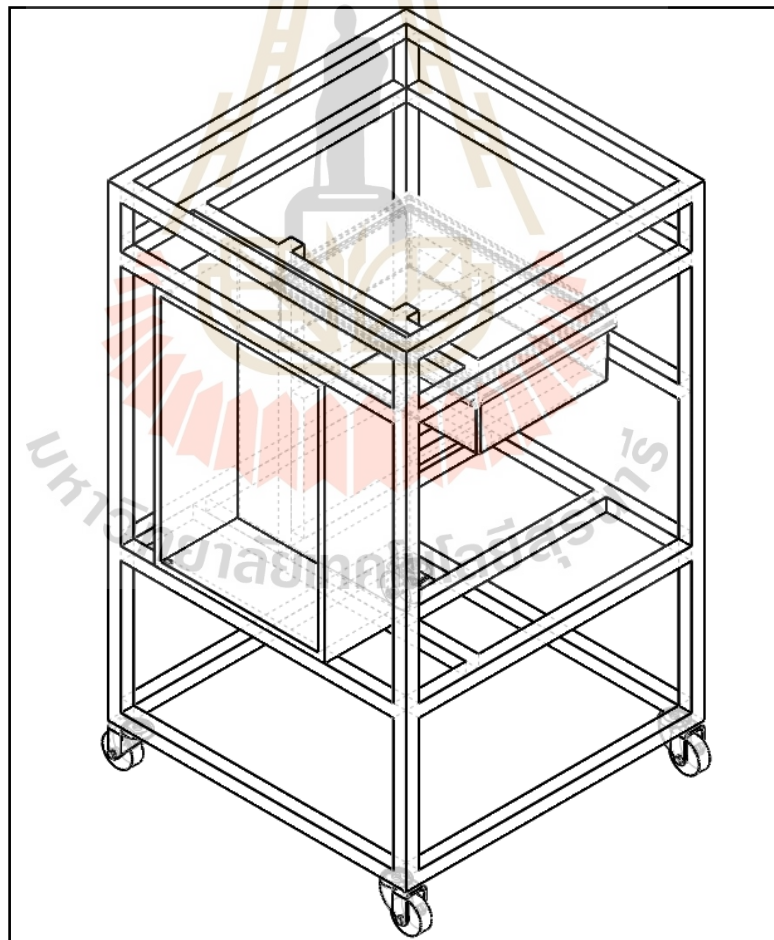
### 3.4 การออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมา

หลังจากทำการวิเคราะห์ผลการจำลองการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้าแล้ว การออกแบบเครื่องกำเนิดพลาสมาเพื่อกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำนั้นจะประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง 15 กิโลโวลต์ และส่วนรูปแบบของขั้วอิเล็กโทรอด และทำการใช้โปรแกรม Solid Work ในการออกแบบเครื่องต้นแบบ หลังจากนั้นก็สามารถสร้างเครื่องต้นแบบพร้อมกับระบบควบคุมทั้งหมด

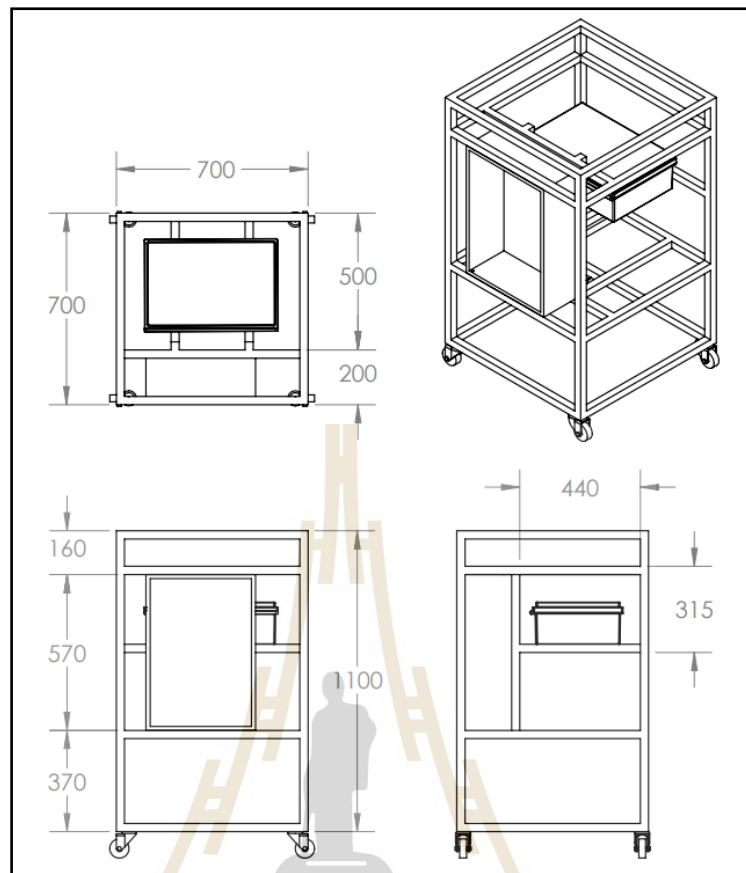
จากการวิเคราะห์รูปแบบของขั้วอิเล็กโทรอด ขั้วอิเล็กโทรอดจะเป็นลักษณะในรูปแบบของปลายแหลม-แผ่นระนาบ สำหรับการสร้างสนามไฟฟ้าในรูปแบบไม่สม่ำเสมอสูง แบบมีน้ำเป็นไดอิเล็กตริกขั้วกว้างกัน โดยลักษณะของปลายแหลมของขั้วอิเล็กโทรอดได้เลือกใช้รูปแบบ ข ลักษณะของรูปแบบขั้วอิเล็กโทรอด แสดงในรูปที่ 3.8 โดยระยะห่างระหว่างปลายแหลม ( $d$ ) มีค่าเท่ากับ 20 มิลลิเมตร และระยะปลายแหลมห่างจากผิวหน้าค่าเท่ากับ 10 มิลลิเมตร เนื่องจากมีรูปแบบลักษณะเป็นวงรีที่กว้าง มีการกระจายความเข้มของสนามไฟฟ้าเกือบสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่จำลอง แสดงในรูปที่ 3.4 ถึงจะมีค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าน้อยกว่าขั้วอิเล็กโทรอดในรูปแบบ ก เล็กน้อย แต่พื้นที่ในการทำให้เกิดสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้าเหมาะสมที่สุด ซึ่งในการออกแบบสร้างเครื่องจะยึดตามผลการจำลอง



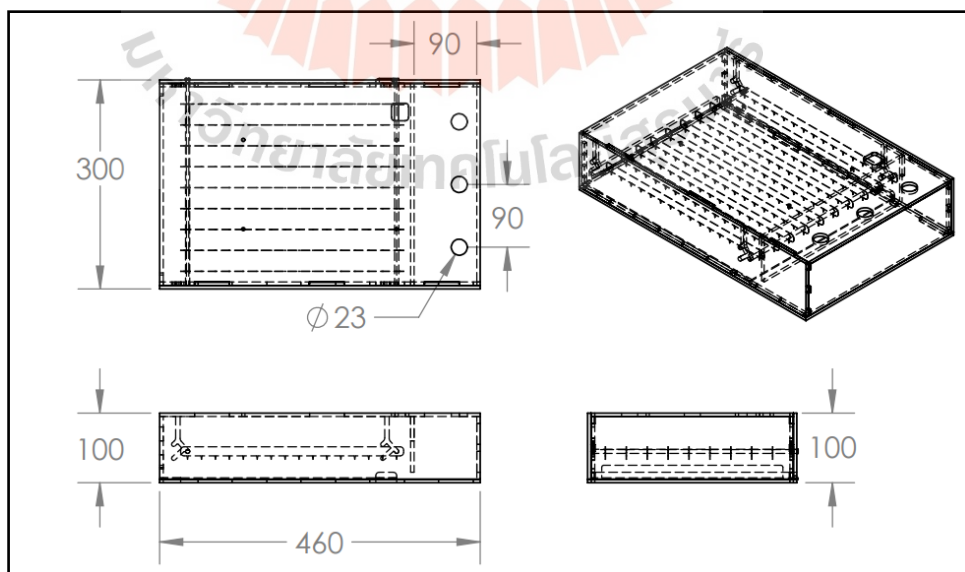
รูปที่ 3.8 ลักษณะรูปแบบของปลายแหลมกับแผ่นระนาบแบบมีน้ำเป็นโหลดได้อิเล็กตริก



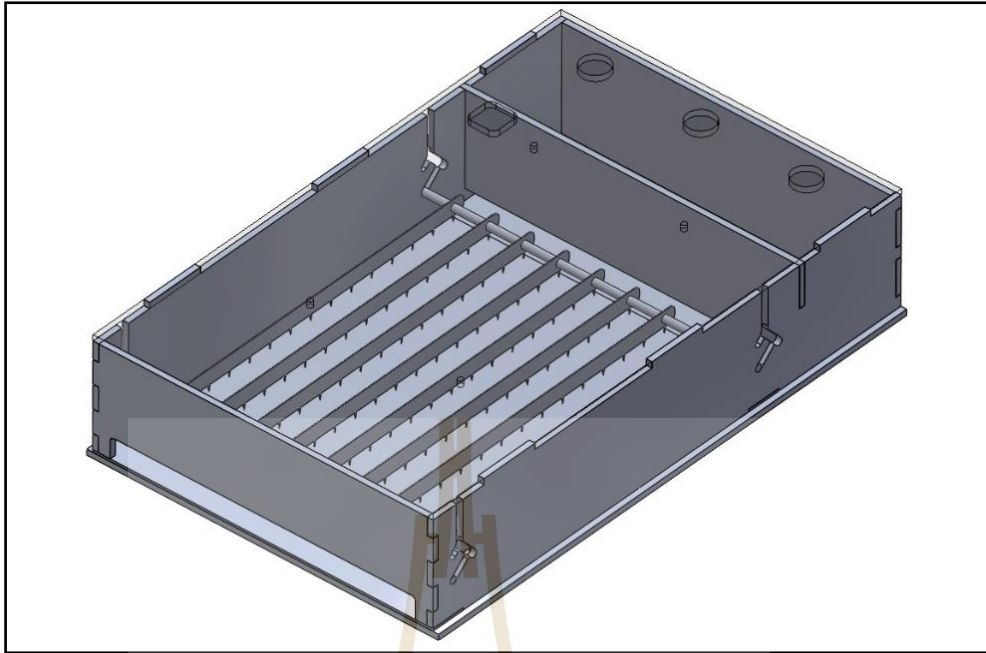
รูปที่ 3.9 โครงสร้างเครื่องกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำสำหรับเพาะเลี้ยงลูกปลานิล



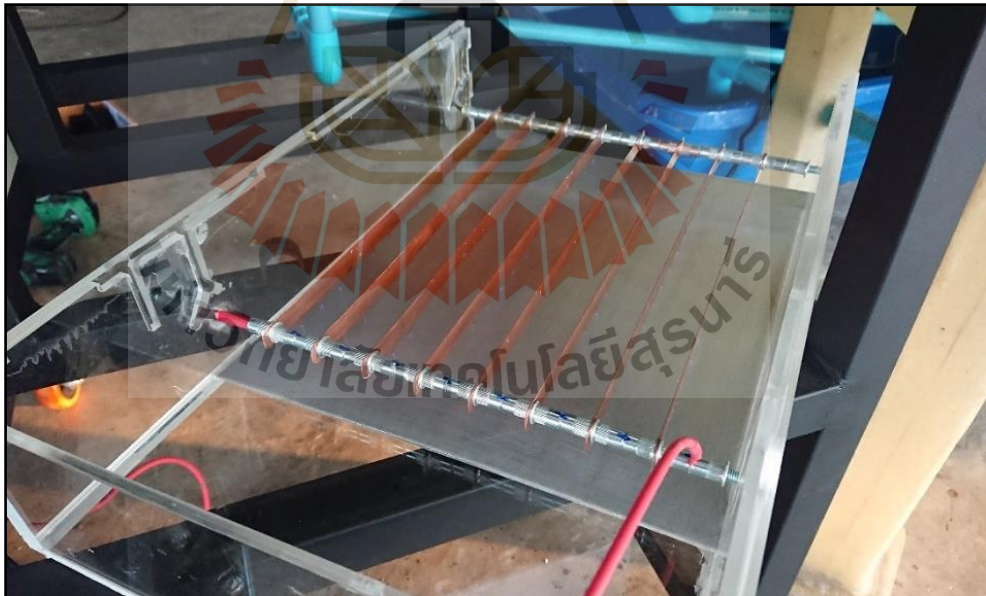
รูปที่ 3.10 ขนาดโครงเครื่องกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำสำหรับเพาะเลี้ยงลูกปลาชนิด



รูปที่ 3.11 ขนาดถาดรองชุดขั้วอิเล็กทรอนิกส์สำหรับกำเนิดปลา



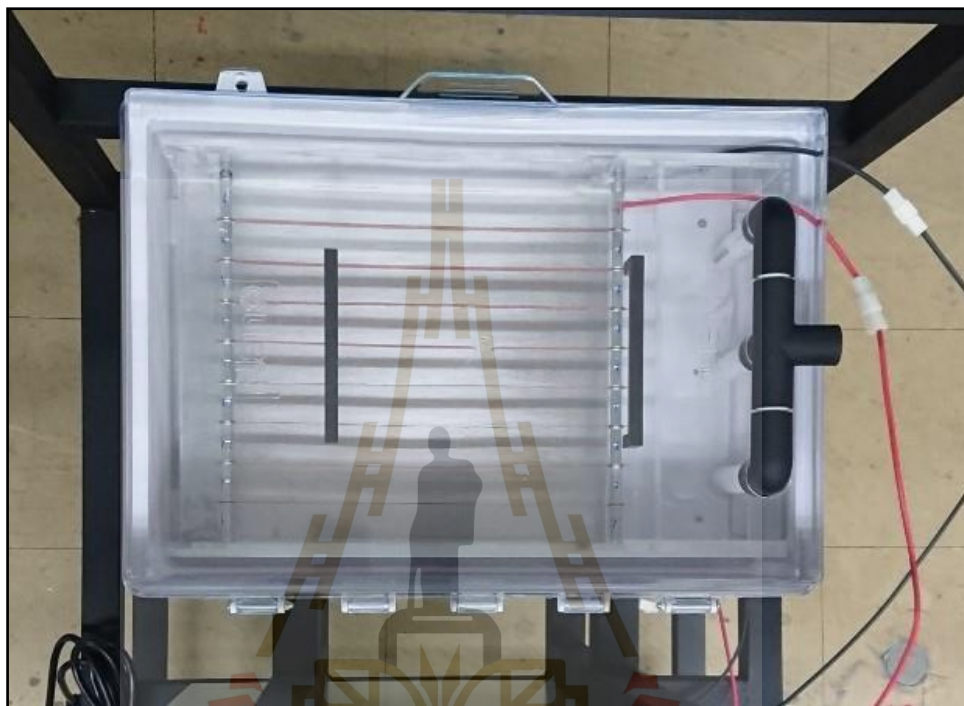
รูปที่ 3.12 ต้นแบบของกล่องชุดขั้วอิเล็กทรอนิกส์สำหรับกำเนิดพลาสมา



รูปที่ 3.13 แบบจริงของกล่องชุดขั้วอิเล็กทรอนิกส์สำหรับกำเนิดพลาสมา

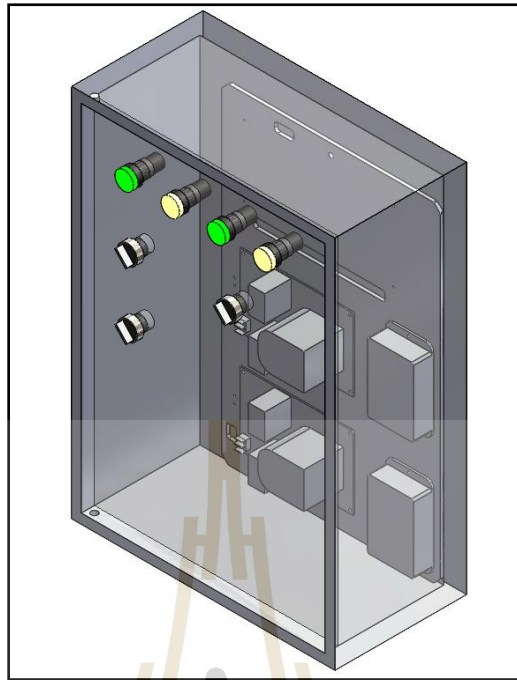


กล่องใส่ชุดอิเล็กโทรดที่มีระยะปลายแหลมห่างกัน 20 มิลลิเมตร มีจำนวนของปลายแหลมทั้งหมด 136 ปลายแหลม ในกล่องที่มีพื้นที่ปริมาตรประมาณ 1300 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยจะทำการควบคุมการไหลของน้ำไว้ที่ 9 ลิตรต่อนาทีเพื่อให้สอดคล้องกับระบบเพาะฟัก แสดงดังรูปที่ 3.13

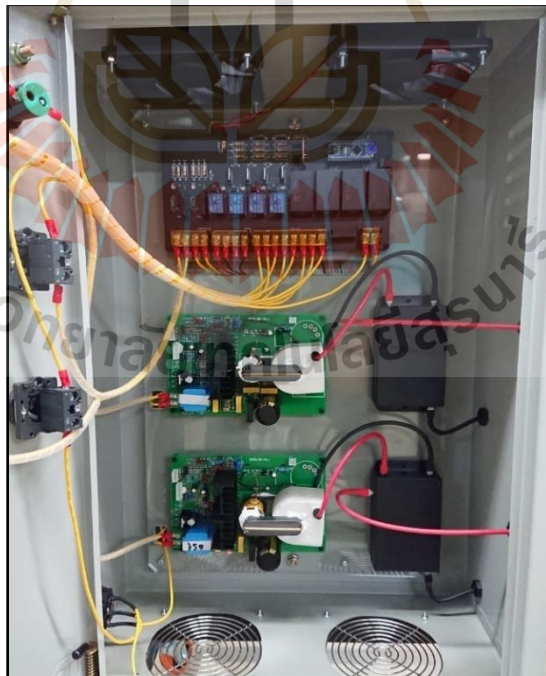


รูปที่ 3.14 แบบจริงของกล่องชุดขั้วอิเล็กโทรดสำหรับกำเนิดพลาสมาอีตลงกล่อง

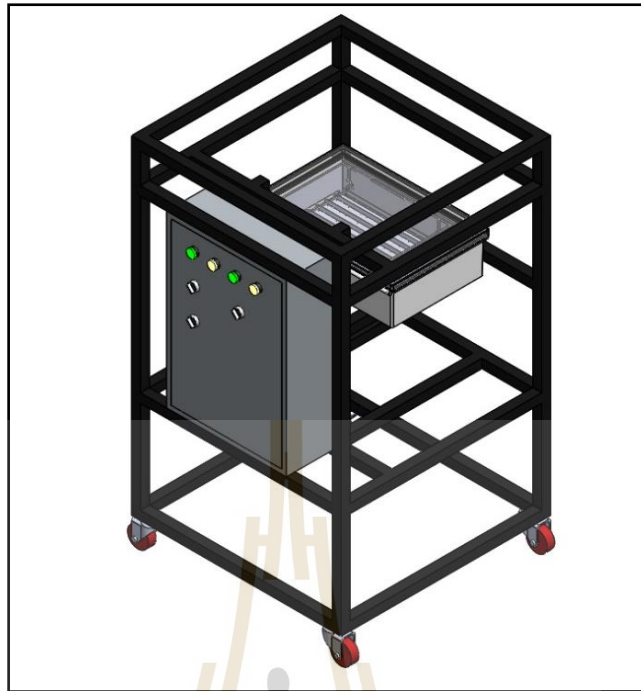
สำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง จะทำการจ่ายแรงดันขั้วบวกให้กับอิเล็กโทรดที่เป็นทองแดงปลายแหลม และจ่ายแรงดันขั้วลบให้อิเล็กโทรดที่เป็นแผ่นอลูมิเนียมโดยแรงดันไฟฟ้าจะเท่ากับ 10,752 โวลต์ แสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.15 ต้นแบบของภาคแหล่งจ่ายกำลังให้กับกล่องชุดขับเคลื่อนเล็กโทรดสำหรับกำเนิดพลาสมา



รูปที่ 3.16 ภาคแหล่งจ่ายกำลังให้กับกล่องชุดขับเคลื่อนเล็กโทรดสำหรับกำเนิดพลาสมา



รูปที่ 3.17 ต้นแบบระบบเครื่องกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงลูกปลานิล



รูปที่ 3.18 ระบบเครื่องกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงลูกปลานิล

### 3.5 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์จำลองผล การออกแบบขั้วอิเล็กโทรด และการออกแบบเครื่องสำหรับ สร้างเครื่องต้นแบบในการกำเนิดพลาสมา สำหรับการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในการเพาะเลี้ยงปลานิล โดยให้ได้พื้นที่ในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากการจำลอง จะพบการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและค่าความเข้มสนามไฟฟ้าต่อพื้นที่ เพื่อให้ได้การกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ จากผลการวิเคราะห์การจำลองในโปรแกรม พบว่าการจำลองขั้วของอิเล็กโทรดแบบปลายแหลม (d) ให้ห่างจากกัน 20 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมถึงผิวน้ำ (h) เท่ากับ 10 มิลลิเมตร จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า และความเข้มสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมกว่ารูปแบบอื่นๆ เนื่องจากบริเวณการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้ามีลักษณะเป็นวงรีที่กว้าง มีการกระจายความเข้มของสนามไฟฟ้าเกือบสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่จำลอง และค่าความเข้มสนามไฟฟ้าต่อพื้นที่ เท่ากับ 823 V/m ซึ่งจะทำการทดลองกับเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในน้ำและวิเคราะห์ผลการทดลองในบทที่ 4 ต่อไป



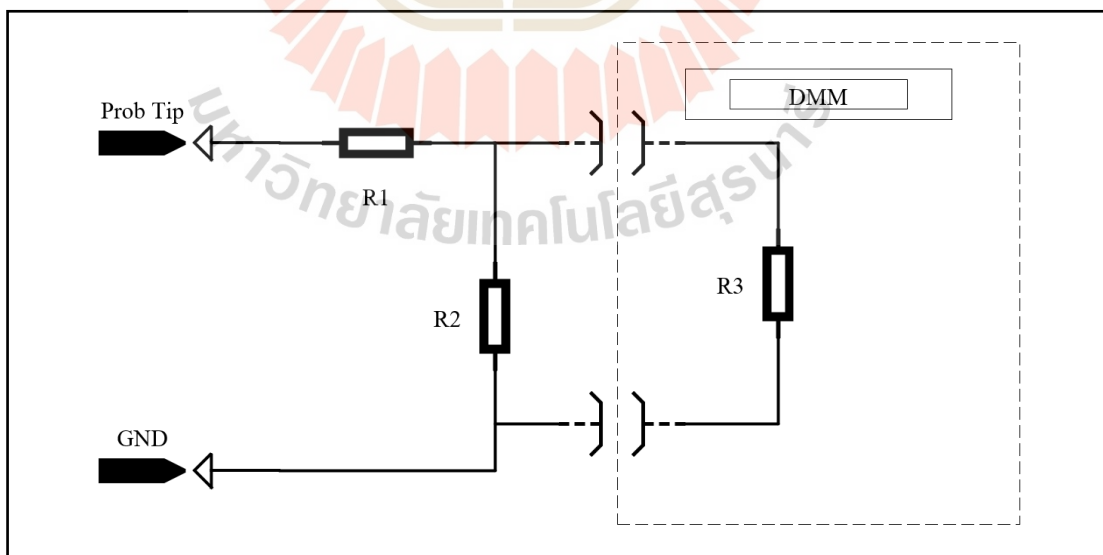
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

#### 4.1 บทนำ

ใบบทนี้จะเป็นการวัดผล วิเคราะห์และออกแบบขั้นตอนการทดลองสำหรับการกำจัดแบคทีเรียที่ก่อโรคในน้ำโดยใช้เทคโนโลยีพลาสมา ในส่วนแรกจะเป็นการวัดแรงดันไฟฟ้าสูงไฟฟ้ากระแสตรง จากแหล่งจ่ายที่นำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้าสูงเพื่อกำเนิดพลาสมา จากนั้นในส่วนการทดลองกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำจะเลือกเป็นเชื้อก่อโรคได้แก่ *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus iniae* และ *Aeromonas hydrophila* โดยจะนำผลที่ได้จากกระบวนการทดลองการกำจัดแบคทีเรียที่ก่อโรคในน้ำโดยใช้พลาสมาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งรวมถึงการประเมินการลดลงของจำนวนแบคทีเรียและการประเมินประสิทธิภาพของพลาสมาในกระบวนการกำจัด นอกจากนี้การศึกษายังต้องทดสอบระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ

#### 4.2 การวัดและผลการวัดวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง



รูปที่ 4.1 แผนภาพวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าสูง



หลักการทํางานของโพรบไฟฟ้าแรงสูงสามารถอธิบายได้ดังนี้ การวัดแรงดันไฟฟ้าสูงจะใช้หลักการของการแบ่งแรงดัน โดยจะมีวงจรแบ่งแรงดันภายในที่ลดแรงดันไฟสูงให้อยู่ในระดับที่สามารถวัดได้โดยไม่เกิดความเสียหายต่อเครื่องมือวัด และผู้ใช้เครื่องมือ สิ่งนี้ทำได้โดยใช้ชุดของตัวต้านทานที่เชื่อมต่อในการกำหนดค่าเฉพาะเพื่อแบ่ง และลดทอนแรงดันไฟฟ้า ในที่นี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.2)

โดยที่

$$V_{out} = V_{in} \left( \frac{R_2 // R_3}{R_1 + (R_2 // R_3)} \right) \quad (4.1)$$

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

$$V_{in} = \frac{(56.26)}{\left( \frac{10M\Omega // 11.09M\Omega}{1000M\Omega + (10M\Omega // 11.09M\Omega)} \right)}$$

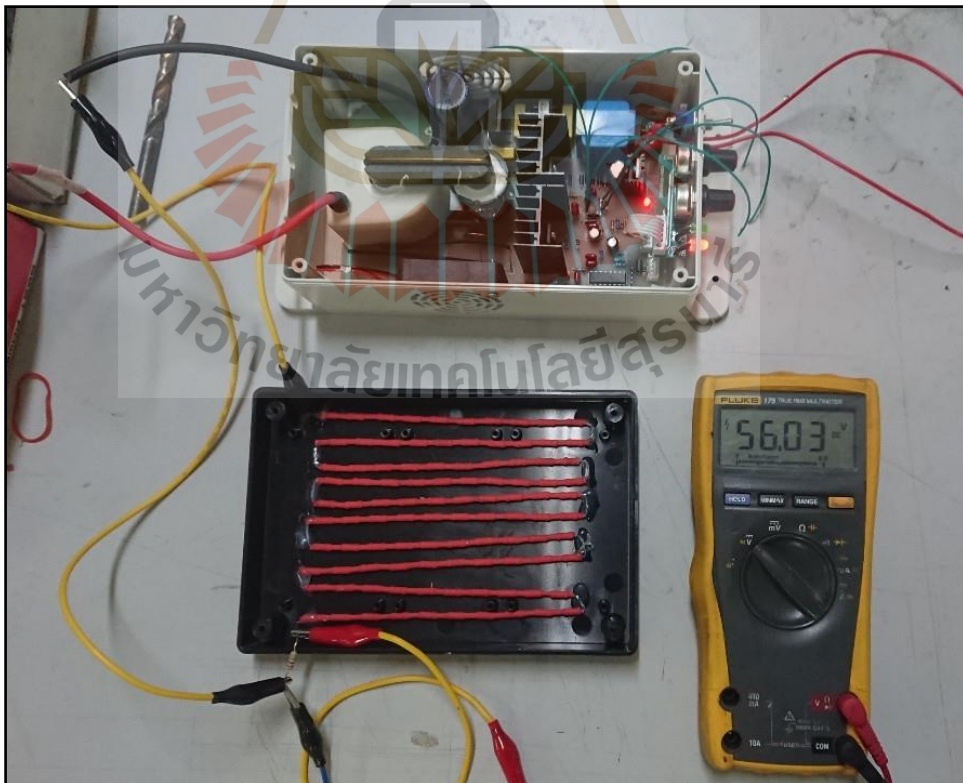
$$V_{in} = \frac{(56.26)}{(0.0052325)}$$

$$V_{in} = 10,752V$$

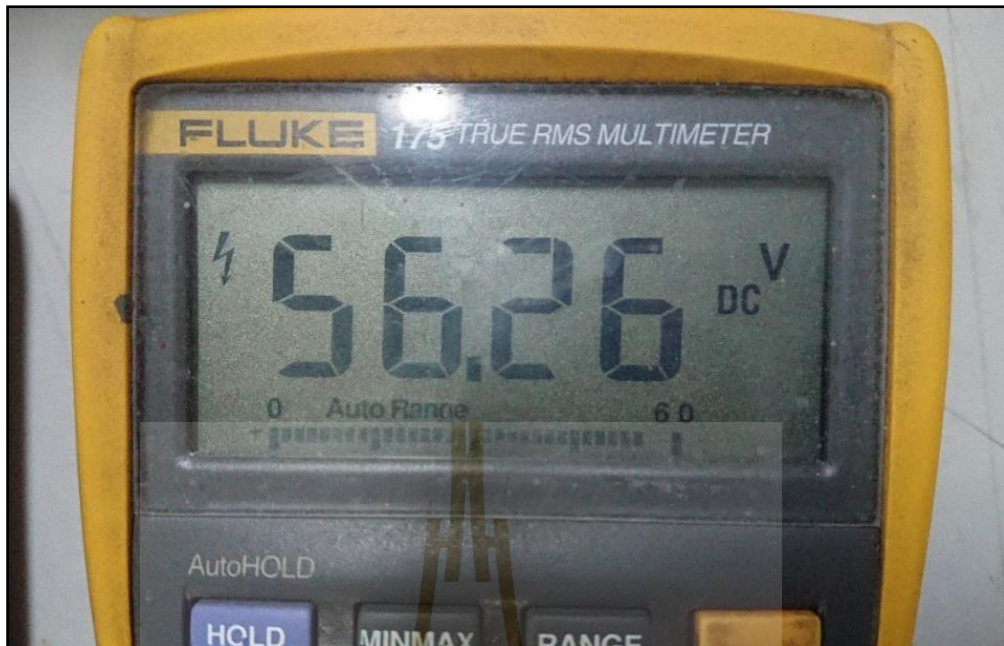
โดยการย้ายข้างสมการหาค่า  $V_{in}$  จะได้ค่าแรงดันที่ออกจากวงจรที่ประมาณ 10,752 โวลต์



รูปที่ 4.2 วัดความต้านทานภายใน Digital Multimeter (DMM)



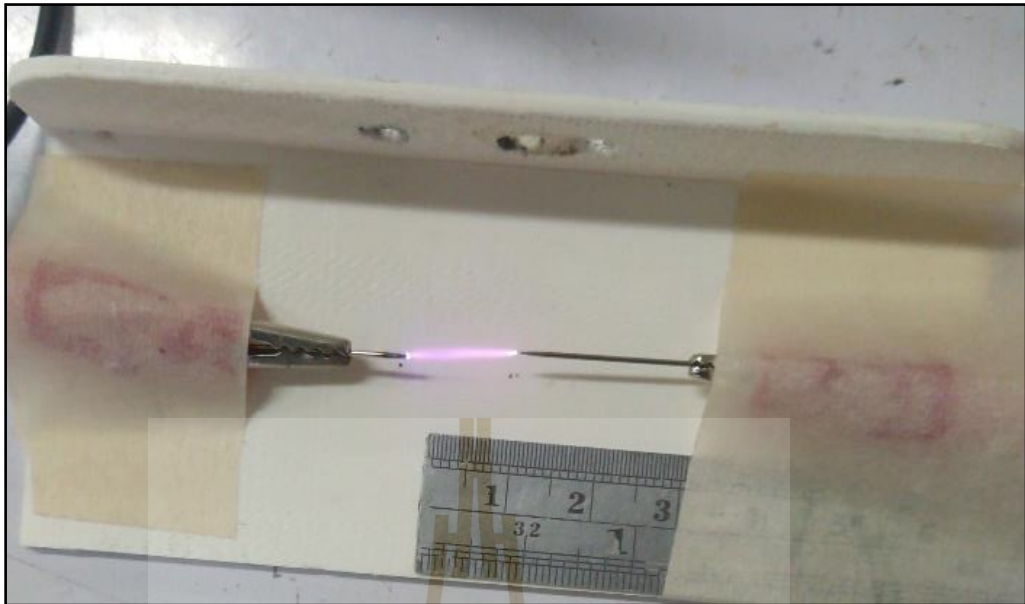
รูปที่ 4.3 วัดแรงดันไฟฟ้าสูงด้วย Digital Multimeter (DMM)



รูปที่ 4.4 ทดสอบแรงดันไฟฟ้าสูง(Flyback Converter) วัดด้วย Digital Multimeter (DMM)



รูปที่ 4.5 ทดสอบวงจรแรงดันไฟฟ้าสูง (Flyback Converter)



รูปที่ 4.6 ทดสอบวงจรแรงดันไฟฟ้าสูง (Flyback Converter)

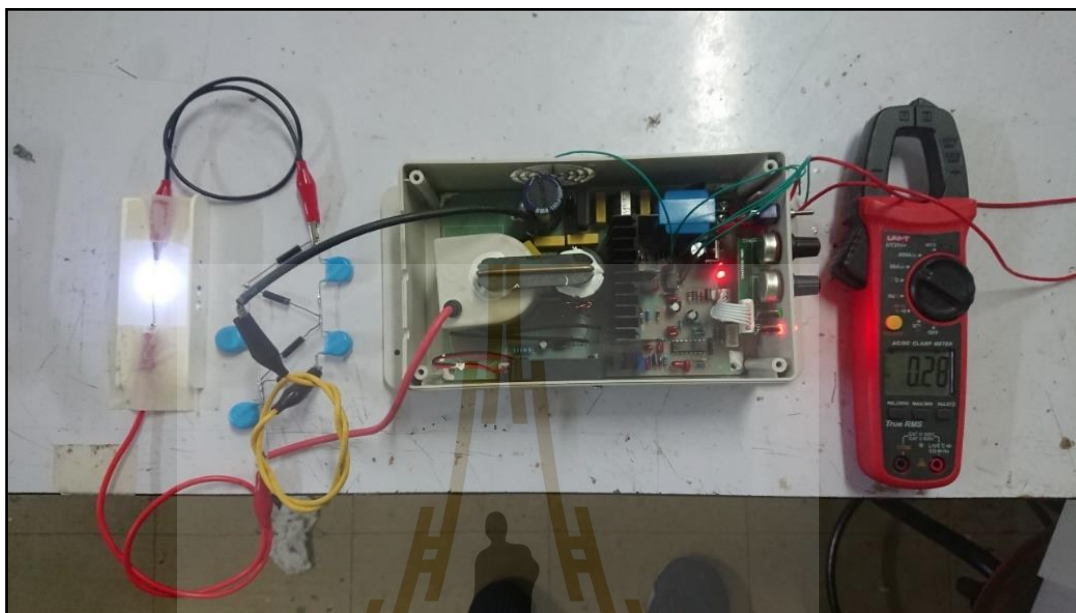


รูปที่ 4.7 กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากฝั่งอินพุตของ (Flyback Converter)

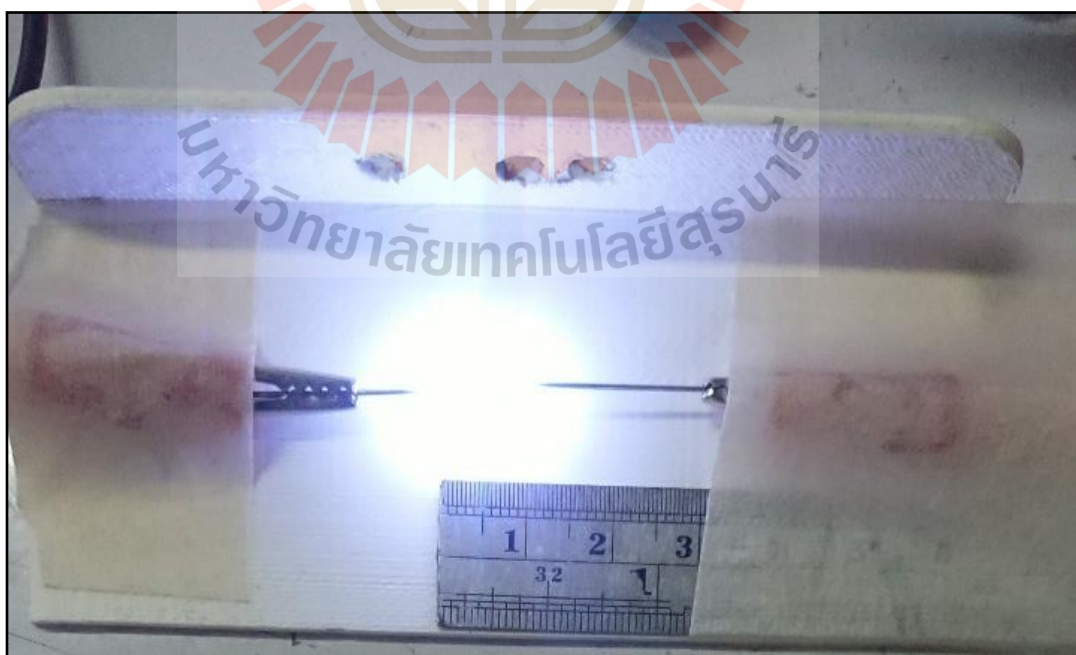
จากรูปที่ 4.5 เป็นการทดสอบวงจรแรงดันไฟฟ้าสูง (Flyback Converter) ปกติ การทดสอบนี้จะทดสอบที่ระยะ 10 มิลลิเมตร แรงดันที่ได้จากการวัดอยู่ที่ประมาณ 11,300 โวลต์ และในรูปที่ 4.8



เป็นการทดสอบวงจรแรงดันไฟฟ้าสูง (Flyback Converter) ต่อเข้ากับวงจร Voltage Multiplier พบว่าแรงดันมีค่าประมาณเท่าเดิมแต่มีการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.8 ทดสอบวงจรแรงดันไฟฟ้าสูง (Flyback Converter) ต่อเข้ากับวงจร Voltage Multiplier

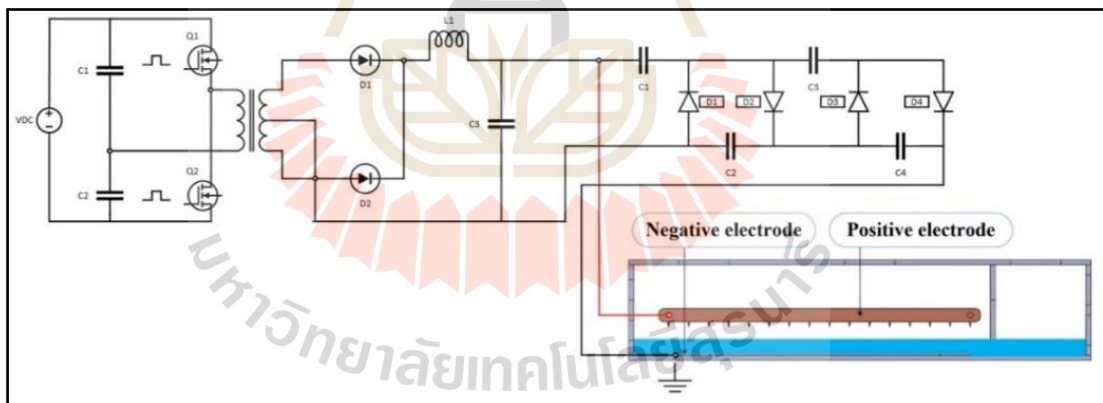


รูปที่ 4.9 ทดสอบวงจรแรงดันไฟฟ้าสูง (Flyback Converter) ต่อเข้ากับวงจร Voltage Multiplier





รูปที่ 4.10 กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากฝั่งอินพุตของ (Flyback Converter) ที่ต่อเข้ากับวงจร Voltage Multiplier



รูปที่ 4.11 วงจรแรงดันไฟฟ้าสูง (Flyback Converter) ต่อเข้ากับวงจร Voltage Multiplier

#### 4.3 การวัดและเก็บผลการทดลองในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียด้วยพลาสมา

ในการทดลองเครื่องกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ จะทำการทดลองในระบบการเพาะเลี้ยงลูกปลานิลหลังฟัก (Swimming up fly stage) โดยระบบเพาะไข่ปกติจะมีปริมาณน้ำในระบบเพาะเลี้ยงจำนวน 150 ลิตร ต่อไข่ 3000 ฟอง ไทลเวียนแลกเปลี่ยนออกซิเจนในระบบ โดยน้ำในระบบจะไหลเวียนผ่านเครื่องกำจัดเชื้อแบคทีเรียด้วยระบบพลาสมา โดยในการทดลองเราจะใช้เชื้อแบคทีเรีย

ก่อโรคและแบคทีเรียที่มีประโยชน์ ใส่งไปในระบบเพื่อทำการจำลองว่ามีแบคทีเรียปะปนอยู่ในน้ำ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ และนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง

#### 4.3.1 สร้างขั้วอิเล็กโทรดกำเนิดพลาสมาแบบปลายแหลม-ระนาบ

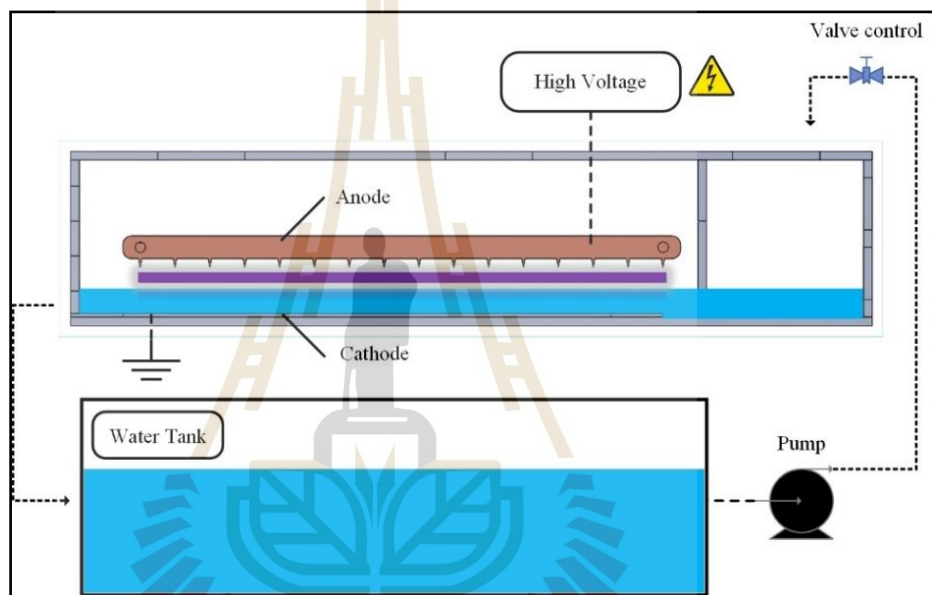
สำหรับการออกแบบขั้วอิเล็กโทรด โดยการจำลองผลการ Simulation ในลักษณะรูปแบบของปลายแหลม-ระนาบ การสร้างสนามไฟฟ้ารูปแบบไม่สม่ำเสมอสูง แบบมีน้ำเป็นโหลด ไดอิเล็กทริก โดยลักษณะของปลายแหลมของอิเล็กโทรดจะเลือกรูปแบบขั้วอิเล็กโทรด รูปแบบ ข ที่ระยะห่างระหว่างปลายแหลม (d) มีค่าเท่ากับ 20 มิลลิเมตรและระยะปลายแหลมห่างจากผิวหน้าค่าเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ในการทำให้เกิดการแผ่ของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้าได้เหมาะสมที่สุด โดยมีระยะความลึกของน้ำเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.13 ลักษณะรูปแบบของปลายแหลมกับแผ่นระนาบแบบมีน้ำเป็นโหลดไดอิเล็กทริก

ตารางที่ 4.1 แสดงรูปแบบการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของปลายแหลม ระยะห่างของปลายแหลมกับผิวหน้า และระยะเวลาในการทดสอบต่อกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ

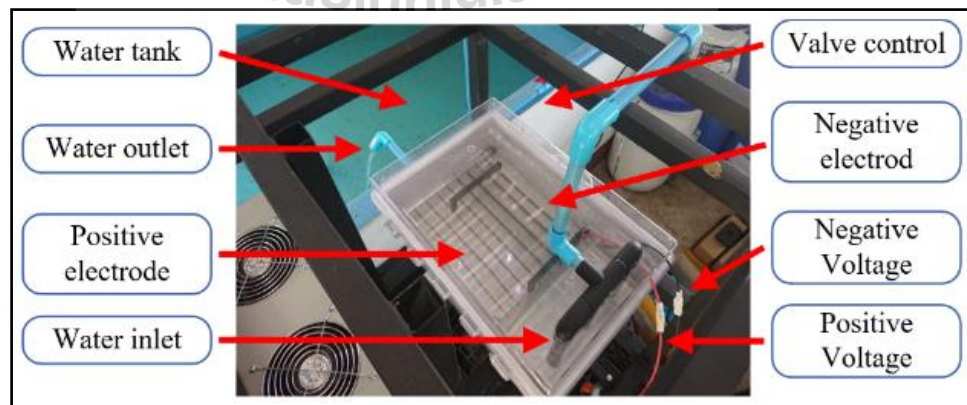
เวลา (นาท)	ระยะห่างระหว่างปลายทองแดงกับน้ำ (มม.)	ระยะห่างระหว่างปลายทองแดง (มม.)
10	10	10
		20
		30
	20	10
		20
		30
20	10	10
		20
		30
	20	10
		20
		30

### 4.3.2 เตรียมการทดลองกับเชื้อแบคทีเรีย

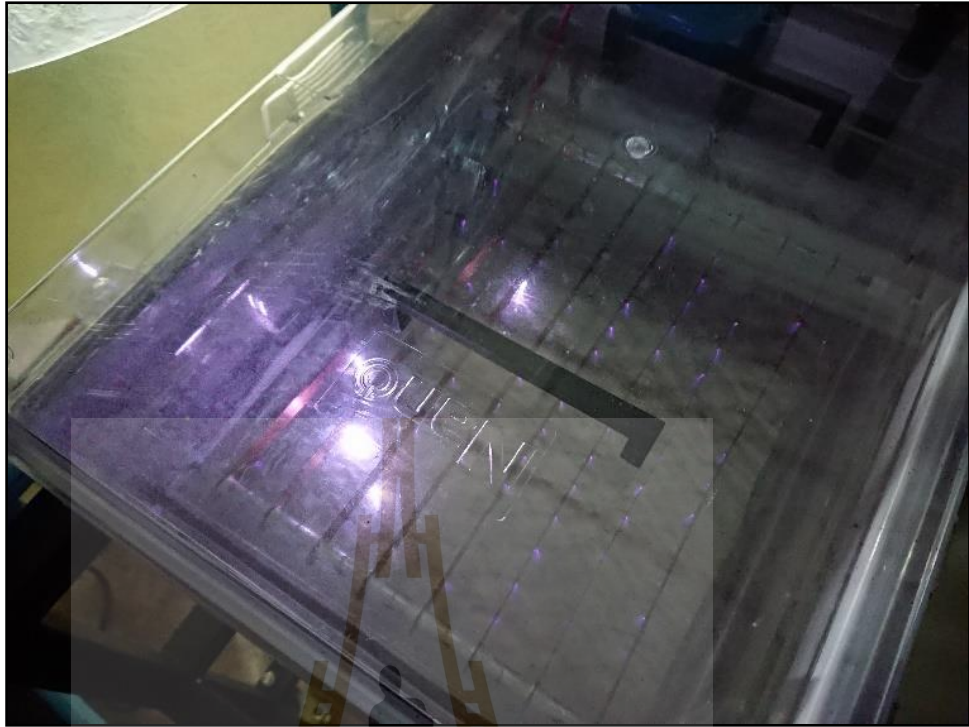
ในการศึกษาระยะห่างของปลายแหลม ระยะห่างของปลายแหลมกับผิวน้ำ และเวลาที่เหมาะสมต่อการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ จะมีใช้เชื้อแบคทีเรียก่อโรคจำนวน 3 ชนิด คือ *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus iniae* และ *Aeromonas hydrophila* โดยจะทำการเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic soy broth (TSB) เขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 rpm บ่มที่อุณหภูมิ 37 °c เป็นเวลา 18 ชม. แล้วนำมาคำนวณจำนวนเชื้อแบคทีเรียแต่ละชนิดให้มีจำนวนที่เท่ากัน ( $5 \times 10^4$  cfu/ml) ก่อนนำไปทดสอบ



รูปที่ 4.12 แผนผังระบบการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ



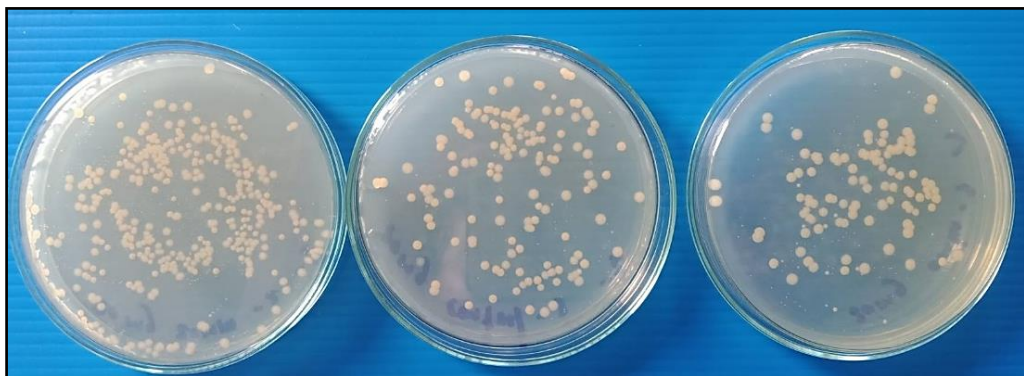
รูปที่ 4.13 ระบบการทดลองการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ



รูปที่ 4.14 การทดลองใช้พลาสติกกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ

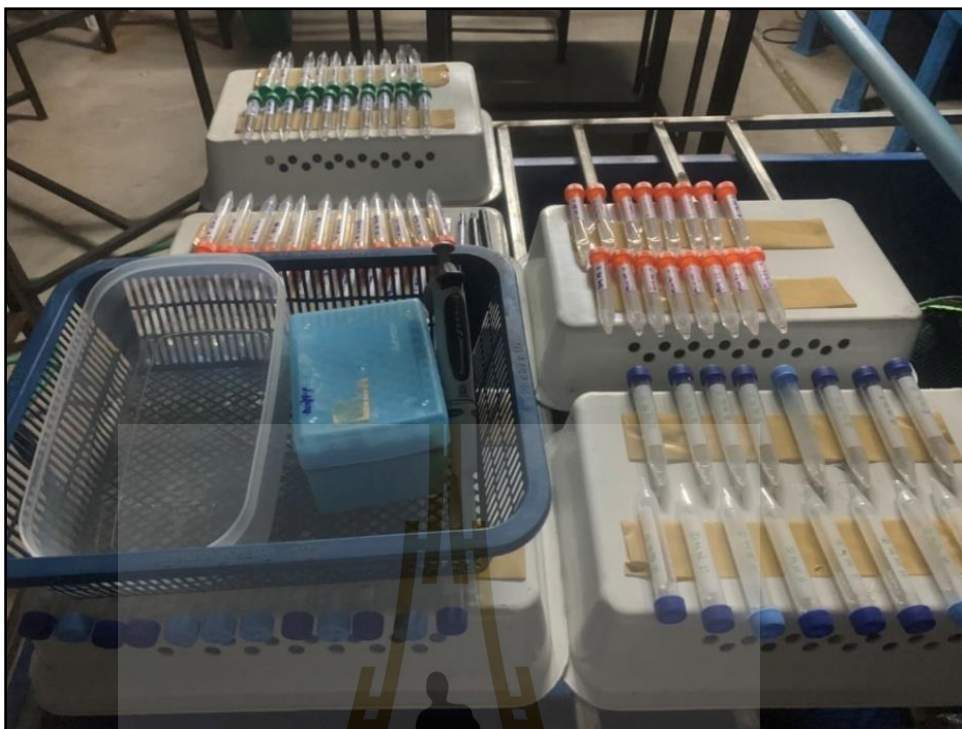
#### 4.3.3 ผลการทดลอง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการทดสอบด้วยพลาสติกมาแล้ว มาทำการเจือจางด้วยวิธี Multiple log dilution และนำมาเกลี่ยในอาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic soy agar (TSA) โดยบ่มที่อุณหภูมิ 37 °c เป็นเวลา 18 ชม. แล้วนับจำนวนเซลล์มีชีวิต (Colony plate count) ด้วยเครื่องนับจำนวนโคโลนี แล้วบันทึกผล ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.15 เซลล์มีชีวิตโดยวิธี Colony plate count ในอาหารเลี้ยงเชื้อ





รูปที่ 4.16 ตัวอย่างน้ำในระบบการทดลองการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย

จากการศึกษาระยะห่างของปลายแหลม ระยะห่างของปลายแหลมกับผิวน้ำ และเวลาที่ เหมาะสมต่อการฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำ พบว่า การใช้ปลายทองแดงที่ระยะห่าง 20 มม. ส่งผลต่อการ ฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับระยะระหว่างปลายทองแดง 10 มม. และ 30 มม. และ พบว่าระยะห่างปลายทองแดงกับผิวน้ำที่ 10 มม. ส่งผลต่อการฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำได้ดีกว่า 20 มม. และระยะเวลาการทดสอบที่ 20 นาที ส่งผลกระทบต่อการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำได้ดีกว่า 10 นาที ดังนั้น การใช้ปลายทองแดงที่ระยะห่าง 20 มม. ระยะห่างของปลายทองแดงกับผิวน้ำที่ 10 มม. และ ระยะเวลาการทดสอบ 20 นาที ส่งผลต่อการฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำได้สูงที่สุดที่ 32.30% ดังแสดง ในตารางที่ 4.2



ตารางที่ 4.2 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของปลายแหลม ระยะห่างของปลายแหลมถึงผิวหนัง และระยะเวลาในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ

เวลา (นาท)	ระยะห่าง ปลาย ทองแดงกับ ผิวหนัง (มม.)	ระยะห่างระหว่างปลายทองแดง					
		10 มม.		20 มม.		30 มม.	
		log cfu/ml	การฆ่า เชื้อใน น้ำ (%)	log cfu/ml	การฆ่า เชื้อใน น้ำ (%)	log cfu/ml	การฆ่า เชื้อใน น้ำ (%)
10	10	4.71±0.03	13.44	4.42±0.05	18.78	4.64±0.03	14.79
	20	4.95±0.05	9.02	4.83±0.03	11.23	4.87±0.02	10.44
20	10	4.23±0.03	22.32	3.67±0.20	32.30	4.28±0.15	21.34
	20	4.55±0.02	16.38	4.49±0.02	17.46	4.59±0.01	15.64

#### 4.3.4 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์และออกแบบระบบกำเนิดพลาสมา ในลักษณะของขั้วอิเล็กโทรดเป็นแบบปลายแหลม-ระนาบ สำหรับกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำ เพื่อการเพาะเลี้ยงลูกปลานิล โดยทำการวิเคราะห์และจำลองแบบตัวปล่อยกำลังงานพลาสมาแบบปลายแหลมบนแผ่นวัสดุทองแดงที่มีปลายแหลมวางในระยะที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบคือ 10 มิลลิเมตร, 20 มิลลิเมตร และ 30 มิลลิเมตร การเปรียบเทียบจำลองกับระยะห่างจากผิวหนัง 10 มิลลิเมตรและ 20 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลการให้กำลังงานบนผิวหนังที่ดีที่สุด จากผลการจำลองพบว่าที่ความห่างของปลายแหลมเท่ากับ 20 มิลลิเมตร มีพื้นที่การแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าได้เหมาะสมที่สุด และเมื่อทำการทดสอบการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำในเวลาการทดสอบ 20 นาที ส่งผลต่อการฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำได้ถึง 32.30 % โดยการใช้พลาสมาในระบบเพาะเลี้ยงลูกปลานิลไม่ส่งผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต อัตราการรอด และค่าองค์ประกอบทางเคมีในตัวปลา จากผลการทดลองสามารถนำไปพัฒนา เพื่อการกำจัดเชื้อแบคทีเรียให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นต่อไปในอนาคต

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

#### 5.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ ผู้ทำวิจัยได้นำเสนอการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงลูกปลานิล โดยใช้เทคนิคการกำเนิดพลาสมา โดยการออกแบบขั้วอิเล็กโทรดสำหรับกำเนิดสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอสูงในการสร้างพลาสมาขึ้นมา โดยใช้การจำลองผลของสนามไฟฟ้า (simulation) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (CST Studio Suite 3D EM Simulation and Analysis Software) เพื่อจำลองการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้าต่อพื้นที่ เพื่อกำหนดพลาสมาบนผิวหน้าได้เหมาะสมที่สุด ในส่วนของการวิเคราะห์และจำลองผล พบว่าที่ระยะความห่างระหว่างปลายแหลมเท่ากับ 20 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างปลายแหลมของขั้วอิเล็กโทรดถึงผิวหน้าเท่ากับ 10 มิลลิเมตร มีพื้นที่การแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าได้เหมาะสมที่สุด จากนั้นได้ทำการทดสอบจริงโดยการออกแบบขั้วอิเล็กโทรดฝังขั้วบวกให้มีระยะปลายแหลมที่ระยะห่างจากกันเท่ากับ 20 มิลลิเมตร ในฝั่งของขั้วลบจะเป็นเพลตอลูมิเนียม โดยมีความลึกของน้ำอยู่ 10 มิลลิเมตรอยู่ตรงกลางโดยจะไหลผ่านระหว่างขั้วอิเล็กโทรด โดยจะปล่อยแรงดันไฟฟ้าสูงกระแสตรง 15 กิโลโวลต์ เพื่อทำให้เกิดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงจะส่งผลทำให้เกิดพลาสมา และแบ่งเวลาการทดสอบการกำจัดเชื้อแบคทีเรียออกเป็น 10 นาที และ 20 นาที และทำการเก็บตัวอย่างของน้ำที่ผ่านพลาสมาแล้วมาทดสอบ และทำการเจือจางด้วยวิธี (Multiple log dilution) และนำมาเกลี่ยในอาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic soy agar (TSA) โดยบ่มที่อุณหภูมิ 37 °c เป็นเวลา 18 ชม. แล้วนับจำนวนเซลล์มีชีวิต (Colony plate count) ด้วยเครื่องนับจำนวนโคโลนี จากการกำจัดเชื้อแบคทีเรียด้วยพลาสมา ส่งผลต่อการลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียในน้ำลงได้ถึง 32.30 % โดยไม่ส่งผลกระทบต่อ การเพาะเลี้ยงลูกปลานิล โดยระบบดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียแทนการใช้สารเคมีได้ โดยไม่มีสารตกค้างในตัวปลาได้

## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

สำหรับปัญหาที่พบในการดำเนินงานทำวิทยานิพนธ์เกี่ยวกับการกำเนิดพลาสมาโดยมีน้ำเป็นไดอิเล็กทริกอยู่ระหว่างขั้วอิเล็กโทรด คือปัญหาในการทดสอบจริง โดยจะเกิดการเกาะของไอน้ำภายในบริเวณรอบ ๆ ข้างกล่องขั้วอิเล็กโทรด ซึ่งส่งผลให้เกิดการลัดวงจรของไฟฟ้าแรงดันสูงได้ ในกรณีนี้เราจำเป็นต้องออกแบบระบบให้มีการระบายอากาศอย่างเหมาะสมเพื่อแก้ไขปัญหานี้

## 5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

ในการศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในน้ำสำหรับเพาะเลี้ยงลูกปลานิลโดยใช้เทคโนโลยีพลาสมา เพื่อเสนอแนวทางในการพัฒนาในอนาคต หากต้องการประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้นและลดเวลาที่ใช้ให้น้อยลง วิธีที่เราสามารถทำได้คือเพิ่มจำนวนปลายแหลมสำหรับกำเนิดพลาสมาให้มีพื้นที่เพิ่มมากขึ้น เพื่อจะได้ใช้เวลาในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียที่รวดเร็วยิ่งขึ้น



## เอกสารอ้างอิง

- นายสัตวแพทย์ ดร.ทินรัตน์ ศรีสุวรรณ และ สัตวแพทย์หญิงดวงทอง ปัจฉิมะศิริ Thai-NIAH eJournal : ISSN 1905-5048, <http://www.dld.go.th/niah>, Volume 4 Number 3 (January - April 2010) หน้า 59-70
- สุปราณี ชินบุตร, เต็มดวง สมศิริ, พรเลิศ จันทร์รัชชกุล 2543. ยาและสารเคมีเพื่อการป้องกันและรักษาโรคสัตว์น้ำ. สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ กรมประมง.
- อุทัยรัตน์ ณ นคร. 2531. การเพาะขยายพันธุ์ปลา. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 148 น.
- นเรศ ช้วนยุค, หิรัญ กังแฮ, เรวัต คงประดิษฐ์และ กิจการ ศุภมาตย์. (2009). โรคติดเชื้อแบคทีเรีย *Streptococcus agalactiae* ในปลานิล (*Oreochromis niloticus*). *Vet Microbiol*, 14 (136), 180–183.
- เบญจพร สัมฤทธิ์เวช, ปวีณา ทวีกิจการ, เต็มดวง สมศิริ และชลดา มือนันต์. (2552). การรักษาโรค epitheliocystis ในลูกปลานิล การประชุมวิชาการ ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47. 17 – 20 มีนาคม 2552. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ธนากร น้ำหอมจันทร์และคณะ, 2553, หน้า 10; ธนากร น้ำหอมจันทร์, 2554 หน้า 46; ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล, 2546; สำรวย สังข์สะอาด, 2549; สำรวย สังข์สะอาด, 2550
- Kuffel, E., Zaengl, W. S. & Kuffel, J., 2000; Naidu, M. S. and Kamaraju, V., 1996
- Zeghioud, Hichem, and Nguyen-Tri, Phuong and Khezami, Lotfi and Amrane, Abdeltif and Assadi, Aymen Amine Review on discharge Plasma for water treatment: mechanism, reactor geometries, active species, and combined processes. *Journal of Water Process Engineering*, 38. 101664. ISSN 2214-7144. (2020).
- Khlyustova, A., Labay, C., Machala, Z., Ginebra, M.-P., & Canal, C. Important parameters in plasma jets for the production of RONS in liquids for plasma medicine: A brief review. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 13(2), 238–252., (2019 b).
- Oh, W.-D.; Dong, Z.; Lim, T.-T. Generation of sulfate radical through heterogeneous catalysis for organic contaminants removal: Current development, challenges and prospects. *Appl. Catal. B Environ.*, 194, 169–201, doi:10.1016/j.apcatb.2016.04.003. (2016)

- Bhujel, C. R. A Manual for Tilapia Business Management. Wallingford, Oxfordshire, UK. 199 p. (2014)
- Zhang, Q., Liang, Y., Feng, H., Ma, R., Tian, Y., Zhang, J., & Fang, J. A study of oxidative stress induced by non-thermal plasma-activated water for bacterial damage. *Applied Physics Letters*, 102(20), 203701, (2013).
- Yusupov, M., Bogaerts, A., Huygh, S., Snoeckx, R., van Duin, A. C. T., & Neyts, E. C. Plasma-induced destruction of bacterial cell wall components: A reactive molecular dynamics simulation. *The Journal of Physical Chemistry C*, 117(11), 5993–5998., (2013).
- K. Shimizu, S. Muramatsu, T. Sonoda, and M. Blajan Innovation and Joint Research Center, Shizuoka University, Japan, *Water Treatment by Low Voltage Discharge in Water* (2010).
- Spetlikova, E., Janda, V., Lukes, P., & Clupek, M. Role of UV radiation, solution conductivity and pulse repetition frequency in the bactericidal effects during pulse corona discharges. Paper presented at the WDS proceedings of contributed papers. Proceedings of the 19th annual conference of doctoral students held., (2010).
- Abdel-Fattah M El-Sayed & Mamdouh Kawanna, Optimum water temperature boosts the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fly reared in a recycling system, (2008).
- B.R. Locke, M. Sato, P. Sunka, M.R. Hoffmann, J.S. Chang, Electrohydraulic Discharge and Nonthermal Plasma for Water Treatment, *Ind Eng Chem Res* 45 882–905., (2006 a)
- A. Joshi, B.R. Locke, P. Arce, W.C. Finney, Formation of hydroxyl radicals, hydrogen peroxide and aqueous electrons by pulsed streamer corona discharge in aqueous solution, *J. Haz. Mater.* 41 (1995) 330.
- McFerson, L. Understanding ORP's role in the disinfection process. *Water Engineering and Management*, 140, 29–31, (1993).
- Kashket, E. R. Bioenergetics of lactic acid bacteria: Cytoplasmic pH and osmotolerance. *FEMS Microbiology Reviews*, 3(3), 233–244., (1987).
- Subhendu, D., Sources of Aquatic Pollution, its effects on fish & fisheries and Control options,



- Samah, M. B. Water pollution and aquatic biodiversity, *Biodiversity International Journal*, 4(1), 10-16, (2019)
- Zhang, G., Wang, T., Zhou, J., Jia, H., Zhu, L., Intrinsic mechanisms underlying the highly efficient removal of bacterial endotoxin and related risks in tailwater by dielectric barrier discharge plasma, *Water Research*, 226, 119214 (2022).
- Shojaei, E., Zare, S., Shirkavand, A., Fathollah, S., Mansouri, P., Biophysical evaluation of treating adipose tissue-derived stem cells using non-thermal atmospheric pressure plasma, *Scientific Reports*, 12(1),11127 (2022),
- Zeghioud, Hichem and Nguyen-Tri, Phuong and Khezami, Lotfi and Amrane, Abdeltif and Assadi, Aymen Amine Review on discharge Plasma for water treatment: mechanism, reactor geometries, active species and combined processes. (2020) *Journal of Water Process Engineering*, 38. 101664. ISSN 2214-7144
- P.J. Bruggeman<sup>1</sup> , M.J. Kushner<sup>2</sup> , B.R. Locke<sup>3</sup> , J.G.E. Gardeniers<sup>4</sup> , W.G. Graham<sup>5</sup> , D.B. Graves<sup>6</sup> , R.C.H.M. Hofman-Caris<sup>7</sup> , D. Maric<sup>8</sup> , J.P. Reid<sup>9</sup> , E. Ceriani<sup>10</sup>, D. Fernandez Rivas<sup>4</sup> , J. E. Foster<sup>11</sup> , S.C. Garrick<sup>1</sup> , Y. Gorbanev<sup>12</sup>, S. Hamaguchi<sup>13</sup>, F. Iza<sup>14</sup>, H. Jablonowski<sup>15</sup>, E. Klimova<sup>16</sup>, J. Kolb<sup>15</sup>, F. Krcma<sup>16</sup>, P. Lukes<sup>17</sup>, Z. Machala<sup>18</sup>, I. Marinov<sup>19</sup>, D. Mariotti<sup>20</sup>, S. Mededovic Thagard<sup>21</sup>, D. Minakata<sup>22</sup>, E. Neyts<sup>23</sup>, J. Pawlat<sup>24</sup>, Z.Lj. Petrovic<sup>8,25</sup>, R. Pflieger<sup>26</sup>, S. Reuter<sup>15</sup> , D.C. Schram<sup>27</sup>, S. Schröter<sup>28</sup>, M. Shiraiwa<sup>29</sup>, B. Tarabová<sup>18</sup>, P.A. Tsai<sup>30</sup>, J.R.R. Verlet<sup>31</sup>, T. von Woedtke<sup>15</sup>, K.R. Wilson<sup>32</sup>, K. Yasui<sup>33</sup>, G. Zvereva<sup>34</sup> et al 2016 *Plasma Sources Sci. Technol.* 25 053002
- Yi-Ming Zhao, Apurva Patange, Da-Wen Sun , & Brijesh Tiwari Accepted: 16 September 2020 DOI: 10.1111/1541-4337.12644
- Mammari, N.; Lamouroux, E.; Boudier, A.; Duval, R.E. Current Knowledge on the Oxidative-Stress Mediated Antimicrobial Properties of Metal-Based Nanoparticles. *Microorganisms* 2022, 10, 437. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020437>



ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Sukdinan Ramjanthuk, Chanchai Tongsoapa, Samran Santalunai, Thanaset

Thosdeekoraphat, Nuchanart Santalunai and Pichaya Chaipanya

THE DISINFECTION OF BACTERIA IN WATER FOR FISH CULTURE USING PLASMA  
DISCHARGES SYSTEM, The 17<sup>th</sup> South East Asian Technical University Consortium:  
SEATUC 2023 23 – 24 February 2023 Suranaree University of Technology, Nakhon  
Ratchasima, THAILNAND



## THE DISINFECTION OF BACTERIA IN WATER FOR FISH CULTURE USING PLASMA DISCHARGES SYSTEM

Sukdinan Ramjanthuk<sup>(1)</sup>, Chanchai Tongsopa<sup>(1)</sup>, Samran Santalunai<sup>(1)</sup>, Thanaset Thosdeekoraphat<sup>(1)</sup>, Nuchanart Santalunai<sup>(2)</sup> and Pichaya Chaipanya<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> School of Electronic engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology.

<sup>(2)</sup> Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan.

<sup>(3)</sup> Department of Electrical Engineering, Srinakharinwirot University, Nakhon Nayok, Thailand

Email: M6300920@g.sut.ac.th

### ABSTRACT

Bacteria in the water of the fish cultured system influence the growth rate of fish. Contaminated water makes the fish weak and sick with various diseases. Therefore, the analysis and design of a plasma discharge system for disinfecting bacteria in the water are being studied. The plasma discharge system consists of a saw-toothed copper plate as the positive electrode, an aluminum plate as the negative electrode, and water under test. The experimental findings were compared at distances between the saw-toothed of 1 cm, 2 cm, and 3 cm to study and analyze the best power distribution area. The best distribution of power can be achieved as 80% at a gap of 2 cm. When testing for the elimination of bacteria in water, the proposed plasma system can destroy 32.30% of bacteria in the water with a testing time of 20 minutes, which leads to the development of a plasma generator for the fish breeding industry in the future.

**Keywords:** Plasma discharge, Bacteria, Corona, Fish, Water

### 1. INTRODUCTION

Nowadays, the number of fish has decreased due to inappropriate environmental conditions such as water pollution and destruction of fish spawning sites (Samah, 2019). With the high growth rate of the world population, the number of fish in nature is not sufficient for consumers. Therefore, it is essential to use a water circulation system to improve water quality and conserve water. If the hatching system is infected with pathogens or parasites, it affects the survival rate of baby fish. The decreasing number of young fish is detrimental to the income of the fish farmers. Therefore, reducing the chances of infecting fish eggs with pathogens or parasites before hatching is of great importance to the fish farming industry (Bhujel, 2014).

Plasma technology has been widely used to disinfect bacteria in water treatment experiments by using low discharge voltage below 10kV. Plasma is a source of high electric fields, energetically charged particles, oxidizing species, reductive species, UV light, and even shockwaves. There are many studies that use plasma for the removal of organic compounds and pathogenic bacteria in wastewater. (Zhang, 2022) The type of discharge depends on the characteristics of the pointed electrode. There is a highly uneven distribution of electric field strength as the voltage difference between the electrodes increases until the insulating material glows at the region of high field strength. The highest electricity is at the pointed tip, and the resulting glow is called the corona. After the corona, if the potential difference between the electrodes increases gradually, there will be a break-down between the electrodes. (Joshi, 1995). This research concerns with the investigation of water treatment by releasing low voltage in water. For the mechanism of destruction of microorganisms, plasma is effective against a wide variety of microorganisms. The main mechanisms can be divided into three mechanisms.

Firstly, oxidative stress on microbes caused by oxygen and carbon is reduced after being prevented by plasma discharge. Hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) can break important peptidoglycan bonds as a result that the outer cell wall of bacteria is destroyed (Yusupov, 2013). Secondary, plasma system influences intracellular components. (shojaei 2022) can be checked about potassium that is leaked from the cytoplasm by using atomic absorbance spectroscopy (AAS) and absorbance detection at 260 nm and 280 nm. For estimate the amount of intracellular DNA/RNA and emitted protein, it seen that a potassium is increased of 228% in concentration and an optical density (OD) at 260 nm and 280 nm were observed to increase rapidly within 5



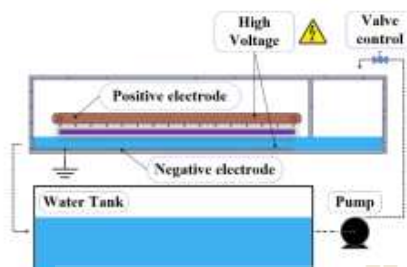


Fig. 1 The diagram of the plasma system.

minutes. This indicates that the integrity of the cell membrane is damaged (Zhang, 2013). And (Dolezalova, 2015). Finally, the physical effects of plasma on cells mainly include pH, oxidation-reduction potential (ORP), UV radiation, and shock waves. The formation of RONS results in an acidic pH of the plasma, as described in the chemical properties section. The physical and environmental pH causes the intracellular pH to decrease as previously mentioned. When the pH is below a certain threshold, almost all metabolic processes in living microorganisms is stopped. (Kashket, 1987) The World Health Organization (WHO) standardizes drinking water with an ORP of 650 mV, which provides instantaneous disinfection of bacteria. Therefore, a high ORP of plasma plays an important role in killing germs (McFerson, 1993). UV rays also inhibit microorganisms. A quantitative analysis of UV radiation from corona discharge into the water is determined and examined the importance of UV effects on bacterial inhibition and 30% of overall E. Coli (Spetlikova, 2010). Therefore, the plasma discharge system can effectively destroy bacteria in water. The diagram of plasma system for disinfecting bactericidal in water is presented in Fig. 1.

## 2. PLASMA DISCHARGE IN WATER

Chemical properties of water when stimulated by plasma include single oxygen, superoxides, ions, electrons, ozone, UV, and electric fields. When the plasma reacts with a water, catalyzes a dynamic chemical reaction, and forms an aqueous reaction. The transient highly dynamic release of the plasma produced in the liquid is associated with the rapid decay process, which is mostly driven by high-voltage electric fields. Plasma treatment of water leads to asymmetric dissociation of water molecules. This results in the formation of short-lived species such as hydroxyl ions and hydrated (Solvated) electrons. Ions and hydrated (solvated) electrons react to form more stable groups including superoxide, ozone, and hydrogen peroxide. (Bruggeman, 2016) and (Khlyustova, 2019). Hydroxyl radicals are short-lived, highly reactive species and have a very high redox potential in the presence of organic

liquids. Hydroxyl radicals influence water purification. It has been effectively explored for the removal of many toxins, reducing toxicity, and increasing biodegradability (Wang, 2018) and (Chamarro, 2001). Hydroxyl radicals are highly reactive free radicals, with a 2.80 V redox potential, which attacks organic molecules to destroy them (Oh, 2016).

Activation of water by plasma system can be done in two ways as plasma discharge in plasma-liquid systems and plasma discharge on the liquid surface.

### 2.1 Plasma discharge in plasma-liquid systems

The plasma discharge in plasma-liquid systems is like the gas phase plasma. The plasma-liquid system can be classified according to the method of creation. However, the type of liquid interaction is important for the plasma-liquid system because it affects the properties of the plasma. The system can be divided as follows: discharging in the gas phase above the liquid, direct discharging in liquid, multi-phase discharging, or a gas-liquid hybrid system. (B.R. Locke 2006) and (Bruggeman, 2012).

### 2.2 Plasma discharge on the liquid surface

In the gaseous phase, the plasma is exposed to water vapor by electrons in the plasma, and the excitation energy known as indirect release produces many reactive oxygen species, such as nitrates, nitrites, and free radicals. (Zeghiod, 2020)

## 3. DESIGN OF PLASMA DISCHARGE SYSTEM

For the design of the plasma discharge electrodes, copper material is used to determine the plasma emission conditions. The copper plate length is fixed at 70 mm, it performs a positive electrode. The electrode composes of three pointed tips and the distance from pointed tip of electrode to the water surface is shown in Fig. 2. The pointed tip is used with a copper sheet with a thickness, width and length of 0.5 mm, 10 mm, and 70 mm, respectively. Moreover, an aluminum plate is located under water at depth of 1 cm. In the experimental section, the proposed plasma discharge is divided into six experimental cases of testing that are case A1, A2, A3, B1, B2 and B3, determined the test cases as shown in Table 1. The optimized parameters are  $h$  and  $d$  that are height from pointed tip to water surface and the distance between pointed ends. There is a plasma discharge on the liquid surface.

## 4. RESULTS AND DISCUSSION

Bacteria preparation for testing, three pathogenic bacteria are streptococcus agalactiae, streptococcus iniae, and aeromonas hydrophila. In addition, three beneficial bacteria are bacillus subtilis, bacillus pumilus and pediococcus spp. Bacteria were cultured in tryptic soy broth (TSB) culture medium. They are shaken at 200 rpm at temperature of 37 °c for 18 hours. After that the number of bacteria of each type is calculated to equal (5x10<sup>4</sup> CFU/ml) and mixed before testing.



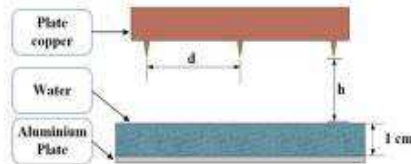


Fig. 2 Schematic overview of plasma discharge on the water surface when height between pointed tip characteristics to the water surface ( $h$ ) and distance between pointed ends ( $d$ ) are varied.

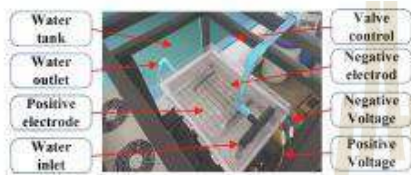


Fig. 3 Prototype of plasma system for disinfecting bactericidal in water.

Table 1. Experimental cases study of plasma discharge on the water surface.

Case	Height from the water surface ( $h$ ) (cm)	Distance between pointed ends ( $d$ ) (cm)
A1	1	1
A2	1	2
A3	1	3
B1	2	1
B2	2	2
B3	2	3

Fig.3 shows the photograph of bacteria destruction system by using plasma discharge emission when pointed tips are located over a water surface. The test was performed at the distance between the copper pointed tip ( $d$ ) and the distance of the pointed tip to the water surface ( $h$ ), in conjunction with the appropriate time to eliminate bacteria in the water. The prototype is composed of plasma discharge system, negative and positive voltages, valve control and water under test. The system is carried out with a volume of water circulating as 150 liters, with an experimental cases study as A1, A2, A3, B1, B2 and B3. In the water bactericidal test, 3 pathogenic bacteria and 3 beneficial bacteria are put into the proposed system and circulated through the plasma system. Then let the water flow down to the vortex tank. The time required for the test was 10 and 20 minutes. The samples of a water under tested (WUT) are collected as shown in Fig. 4. The samples are diluted by multiple log dilution and distributed in tryptic soy agar (TSA) medium

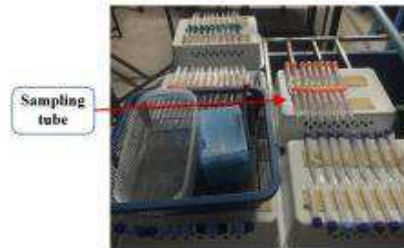


Fig. 4 Sample of water under test.

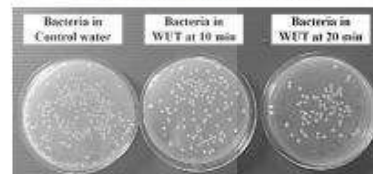


Fig. 5 Colony plate count bacteria.

Moreover, the sample water is incubated at temperature of 37 °C for 18 hours. Finally, living bacteria cells are counted and performed by using the colony plate method. The results are depicted in Fig. 5. The measurement results are shown in Table 2. From the test results, the distance of the pointed tip to the water surface is found using the pointed tip at 2 cm had the best effect on disinfecting bacteria in the water compared to the distance between the tip of 1 cm and 3 cm. The point of the tip is 1 cm away from the water surface, it has a better effect on disinfecting bacteria in the water than 2 cm, and the test time of 20 minutes has a better effect on disinfecting bacteria in the water than 10 minutes. Therefore, with the use of the pointed tip at 2 cm, at 1 cm from the water surface, and a test time of 20 min, the bactericidal effect in water is the highest at 32.30%.

## 5. CONCLUSIONS

The study presents the design and analysis of a plasma discharge system for disinfecting bacteria in water. A sawtooth plasma power emitter was constructed using a copper sheet with three pointed tips above the water surface. The optimal results for bacterial removal in water were obtained when the distance between the pointed tip was 2 cm and the distance from the pointed tip to the water surface was 1 cm, and the testing time was 20 minutes. The system was able to remove around 32.30% of bacteria in water. The results can be used to improve the effectiveness of future systems for disinfecting bacteria in water.

**Table 2.** Inactivation efficiency of bacteria in WUT

Time (min)	Distance between pointed and water (cm)	Distance between pointed tips					
		1 cm		2 cm		3 cm	
		Log CFU/ml	Inactivation efficiency of bacteria in water (%)	Log CFU/ml	Inactivation efficiency of bacteria in water (%)	Log CFU/ml	Inactivation efficiency of bacteria in water (%)
10	1	4.71±0.03	13.44	4.42±0.05	18.78	4.64±0.03	14.79
	2	4.95±0.05	9.02	4.83±0.03	11.23	4.87±0.02	10.44
20	1	4.23±0.03	22.32	3.67±0.20	32.30	4.28±0.15	21.34
	2	4.55±0.02	16.38	4.49±0.02	17.46	4.59±0.01	15.64

#### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Suranaree University of Technology (SUT). The authors deeply appreciate the valuable comments of the reviewers and recommend to be advantageous for revisions of this paper.

#### REFERENCES

- Zeghliou, Hichem, and Nguyen-Tri, Phuong and Khezami, Lotfi and Amrane, Abdelatif and Assadi, Aymen Amine Review on discharge Plasma for water treatment: mechanism, reactor geometries, active species, and combined processes. *Journal of Water Process Engineering*, 38, 101664. ISSN 2214-7144. (2020).
- Khlyustova, A., Labay, C., Machala, Z., Ginebra, M.-P., & Canal, C. Important parameters in plasma jets for the production of RONS in liquids for plasma medicine: A brief review. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 13(2), 238–252, (2019 b).
- Wang, J.; Wang, S. Activation of persulfate (PS) and peroxymonosulfate (PMS) and application for the degradation of emerging contaminants. *Chem. Eng. J.*, 334, 1502–1517. (2018 a).
- Bruggeman, P. J., Kushner, M. J., Locke, B. R., Gardeniers, J. G. E., Graham, W. G., Graves, D. B., ... Zvereva, G. Plasma-liquid interactions: A review and roadmap. *Plasma Sources Science and Technology*, 25(5), 053002, (2016 a).
- Zhang, Q., Ma, R. N., Tian, Y., Su, B., Wang, K. L., Yu, S., ... Fang, J. Sterilization efficiency of a novel electrochemical disinfectant against *Staphylococcus aureus*. *Environmental Science & Technology*, 50(6), 3184–3192, (2016).
- Dolezalova, E., & Lukes, P. (2015). Membrane damage and active but nonculturable state in liquid cultures of *Escherichia coli* treated with an atmospheric pressure plasma jet. *Bioelectrochemistry*, 103, 7–14.
- Oh, W.-D.; Dong, Z.; Lim, T.-T. Generation of sulfate radical through heterogeneous catalysis for organic contaminants removal: Current development, challenges and prospects. *Appl. Catal. B Environ.*, 194, 169–201, doi:10.1016/j.apcatb.2016.04.003. (2016)
- Bhujel, C. R. *A Manual for Tilapia Business Management*. Wallingford, Oxfordshire, UK, 199 p. (2014).
- Zhang, Q., Liang, Y., Feng, H., Ma, R., Tian, Y., Zhang, J., & Fang, J. A study of oxidative stress induced by non-thermal plasma-activated water for bacterial damage. *Applied Physics Letters*, 102(20), 203701, (2013).
- Yusupov, M., Bogaerts, A., Huygh, S., Snoeckx, R., van Duin, A. C. T., & Neyts, E. C. Plasma-induced destruction of bacterial cell wall components: A reactive molecular dynamics simulation. *The Journal of Physical Chemistry C*, 117(11), 5993–5998, (2013).
- Samukawa S, Hori M, Rauf S, Tachibana K, Bruggeman P J, Kroesen G, Whitehead J C, Murphy A B, Gutsol A F, Starikowska S M, Kortshagen U, Boeuf J P, Sommerer T J, Kushner M J, Czarnetzki U and Mason N J, The 2012 plasma roadmap. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 45 253001-37, (2012 b).
- K. Shimizu, S. Muramatsu, T. Sonoda, and M. Blajan Innovation and Joint Research Center, Shizuoka University, Japan, *Water Treatment by Low Voltage Discharge in Water* (2010).
- Spetlikova, E., Janda, V., Lukes, P., & Clupek, M. Role of UV radiation, solution conductivity and pulse repetition frequency in the bactericidal effects during pulse corona discharges. Paper presented at the WDS proceedings of contributed papers. Proceedings of the 19th annual conference of doctoral students held., (2010).
- Abdel-Fattah M El-Sayed & Mamdouh Kawanna, Optimum water temperature boosts the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry reared in a recycling system, (2008).
- B.R. Locke, M. Sato, P. Sunka, M.R. Hoffmann, J.S. Chang, *Electrohydraulic Discharge and Nonthermal Plasma for Water Treatment*, *Ind Eng Chem Res* 45 882–905., (2006 a)
- Chamarro, E. Use of fenton reagent to improve organic chemical biodegradability. *Water Res.*, 35, 1047–1051, doi:10.1016/S0043-1354(00)00342-0, (2001 b).
- A. Joshi, B.R. Locke, P. Arce, W.C. Finney, Formation of hydroxyl radicals, hydrogen peroxide and aqueous electrons by pulsed streamer corona discharge in aqueous solution, *J. Haz. Mater.* 41 (1995) 330.
- McFerson, L. Understanding ORP's role in the disinfection process. *Water Engineering and Management*, 140, 29–31, (1993).
- Kashket, E. R. Bioenergetics of lactic acid bacteria: Cytoplasmic pH and osmotolerance. *FEMS Microbiology Reviews*, 3(3), 233–244., (1987).
- Subhendu, D., Sources of Aquatic Pollution, its effects on fish & fisheries and Control options.
- Samah, M. B. Water pollution and aquatic biodiversity. *Biodiversity International Journal*, 4(1), 10–16. (2019).
- Zhang, G., Wang, T., Zhou, J., Jia, H., Zhu, L., Intrinsic mechanisms underlying the highly efficient removal of bacterial endotoxin and related risks in tailwater by dielectric barrier discharge plasma. *Water Research*, 226, 119214 (2022).
- Shojaei, E., Zare, S., Shirkavand, A., Fathollah, S., Mansouri, P., Biophysical evaluation of treating adipose tissue-derived stem cells using non-thermal atmospheric pressure plasma. *Scientific Reports*, 12(1), 11127 (2022).

## ประวัติผู้เขียน

นายศักดิ์นันทน์ แรมจันทิก เกิดเมื่อวันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2540 ที่อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนสีคิ้วสวัสดิ์ผดุงวิทยา อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อพ.ศ. 2562 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

