

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

**การศึกษาระบบโอโซนเพื่อใช้งานร่วมกับสระว่ายน้ำ
OZONE SYSTEM STUDY FOR SWIMMING POOL**



T119555



เลขที่.....
เลขเรียกเก็บ.....
วัน,เดือน,ปี..... - 8 S.ศ. 2554

b.....
i.....

**ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553
การศึกษาระบบโอโซนเพื่อใช้งานร่วมกับสระว่ายน้ำ
OZONE SYSTEM STUDY FOR SWIMMING POOL

โดย

นาย รัชฎะ

ธัญญรักษ์

นาย ลือศักดิ์

หมื่นศรี

นางสาว วรัญญา

เทพพิทักษ์

นาย องอาจ

มาน้อยทวีทรัพย์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล

ดร. พีรุฒิ ยุทธโกวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาระบบไอโซนเพื่อใช้งานร่วมกับสระข่ายน้ำ

ผู้จัดทำ

1. นาย รัชฎะ ธีชญูรักษ์
2. นาย ลือศักดิ์ หมื่นศรี
3. นางสาว รัชฎญา เทพพิทักษ์
4. นาย อองอาจ มาน้อยทวีทรัพย์



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร. พีรชาติ ยุทธโกวิท)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาระบบโอโซนเพื่อใช้งานร่วมกับสระว่ายน้ำ

นาย รัชฎะ รัญญรักษ์
นาย ลือศักดิ์ หมื่นศรี
นางสาว วรัญญา เทพพิทักษ์
นาย อองอาจ มาน้อยทวีทรัพย์
รศ. ศิริวัฒน์ โภธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร. พีรวุฒิ ยุทธโกวิท อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้ นำเสนอผลการศึกษาระบบโอโซนที่ใช้ร่วมกับสระว่ายน้ำ โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพการเกิดโอโซนเมื่อเปลี่ยนชนิดแรงดันที่จ่ายให้อิเล็กโทรด จากการทดสอบแรงดันทั้งหมดพบว่าแรงดันกระแสสลับที่ความถี่ 15-20 KHz มีประสิทธิภาพในการเกิดโอโซนที่ต่ำกว่าแรงดันกระแสตรงขั้วลบ, ขั้วบวก และแรงดันกระแสสลับความถี่กำลัง เมื่อนำโอโซนที่ได้ผสมกับน้ำในสระว่ายน้ำจำลองขนาด $17.5 \times 35 \times 6 \text{ cm}^3$ มีความเข้มข้นของปริมาณโอโซน 0.05 ppm สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดได้ 91.30% และเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดได้ 91.58%

จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมช่วยคำนวณขนาดระบบโอโซนที่ใช้กับสระว่ายน้ำขึ้นมา ซึ่งโปรแกรมจะบอกขนาดของบ่อบำบัดน้ำเสียที่ใช้ ปริมาณโอโซนและขนาดถังผสมโอโซน ซึ่งได้ทำการคำนวณสระตัวอย่างนั้นคือ สระว่ายน้ำสมเด็จพระเทพฯ ขนาด $20 \times 50 \times 1.3 \text{ m}^3$ กำหนดอัตราการไหลที่ 8 hr ต้องการความเข้มข้นของโอโซนขนาด 0.05 ppm จะได้ขนาดของบ่อบำบัด 2 เครื่อง เครื่องกำเนิดโอโซน 8.125 g/hr และขนาดถังผสมโอโซน 5.42 m^3 ซึ่งเครื่องกำเนิดโอโซนที่เหมาะสมสำหรับสระว่ายน้ำนี้ ต้องมีขนาดการผลิตโอโซนที่มากกว่า 8.125 g/hr

Ozone System Study For Swimming Pool

Ratchatar	Thanyarak	
Wathanya	Theappitak	
Luesak	Muensri	
Ongart	Manoitaweesup	
Assoc.Prof. Siriwat	Potivejkul	Supervisor
Dr. Peerawut	Yutthagowith	Supervisor

2010

ABSTRACT

This Thesis presents studies of an ozone system for a swimming pool. From study, an efficiency of the generator is varied by a type of a voltage. The experimental results show that a 15-20 kHz voltage provides the high efficiency when it is compared with DC and AC power frequency voltages. From the experimental results with a simulated swimming pool with size of 17.5x35x6 cm³ and ozone dosage is 0.05 ppm, the Coliform bacteria and all bacteria were eliminated by 91.30% and 91.58%, respectively.

Then, a program is developed in order to calculate ozone system size for a swimming. This program display circulatory pump size, ozone dosage and contact tank. The program is use for calculating those of The Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn swimming pool having size of 20x50x1.3 m³ and flow rate of 8 hr, an appropriate ozone density and a size of the ozone generator were calculated as 0.05 ppm, the ozone system is 2 circulatory pumps and contact tank size is 5.42 m³. The size of ozone generator has to generate more than 8.125 g/hr, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ร.ศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล และดร.พีรภูมิ ยุทธโกวิท ที่ให้คำแนะนำในการทำโครงการนี้จนสำเร็จ ขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนงานวิจัยจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ภาควิชาเคมีและภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สระว่ายน้ำสมเด็จพระเทพฯ และขอขอบคุณพี่ปณณวีร์ ทองเขียว พี่สรรัชย์ อานอาชา บริษัท พีเอสซี เทคดิง แอนด์ เดเวลอปเม้นท์ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคล องค์กร รวมถึงบริษัทที่ได้กล่าวมาแล้ว โครงการนี้จึงสามารถเสร็จสมบูรณ์ได้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยส่งเสียเงินทอง ให้ผู้จัดทำ เรียบหนังสือจนจบในครั้งนี้ และขอขอบคุณสมาชิกเพื่อนในกลุ่มที่ให้ความร่วมมือจนทำให้โครงการนี้ประสบผลสำเร็จ



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.2.3 คุณสมบัติความเป็นพิษ	20
2.2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของโอโซนกับคลอรีน	21
2.2.4 ค่าครึ่งชีวิตของก๊าซโอโซน (Half Life)	22
2.3 ระบบสระว่ายน้ำ	22
2.3.1 ระบบหมุนเวียนน้ำ	23
2.3.1.1 โครงสร้างของระบบหมุนเวียนน้ำ	24
2.3.2 ระบบบำบัดน้ำ	25
2.3.2.1 ระบบคลอรีน (Chlorine)	25
2.3.2.2 ระบบเกลือ (Salt Water)	25
2.3.2.3 ระบบโอโซน	25
2.3.3 ปัญหาที่พบเสมอในระบบบำบัดแบบคลอรีน	26
2.3.3.1 เชื้อโรค แบคทีเรีย และเชื้อไวรัส	26
2.3.3.2 ผลกระทบจากสารเคมี	26
2.3.3.3 ผลกระทบอื่นๆ	26
2.3.4 การใช้ระบบบำบัดโอโซนในสระว่ายน้ำ	26
2.3.5 ค่ามาตรฐานของสระว่ายน้ำ	27
2.3.6 ค่ามาตรฐานทางเคมีของสระว่ายน้ำ	28
บทที่ 3 การออกแบบ	29
3.1 การทำงานของระบบโอโซนร่วมกับระบบคลอรีนภายในสระว่ายน้ำ การกีฬาแห่งประเทศไทย	29
3.1.1 ระบบหมุนเวียนน้ำ	30
3.1.1.1 ปัมพ์หมุนเวียนน้ำ	31
3.1.1.2 ถังกรอง	33
3.1.2 ระบบบำบัดน้ำ	34
3.1.2.1 ระบบเซนเซอร์วัดค่า O ₃ , คลอรีน และ pH	35
3.1.2.2 ระบบโอโซน	36
3.1.2.3 ระบบคลอรีนและปรับค่า pH	42
3.2 โปรแกรมคำนวณอุปกรณ์ในสระว่ายน้ำในระบบโอโซน	44
3.2.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรมคำนวณระบบโอโซน	45
3.2.2 การเขียนโปรแกรมโดยใช้ Visual Studio C# 2005	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.3 ตัวอย่างการคำนวณสระวายน้ำพระเทพฯ สจล. โดยใช้โปรแกรมช่วยคำนวณ	47
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	48
4.1 การออกแบบการทดลอง	48
4.1.1 การทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อพิสูจน์ว่าแรงดัน ชนิดใดที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในการผลิตโอโซน	49
4.1.2 การหาประสิทธิภาพของโอโซนในการบำบัดน้ำเสีย	50
4.2 การวัดขนาดของเครื่องกำเนิดโอโซนความถี่สูง	50
4.2.1 การวัดค่าของหลอดโคโรนาที่ใช้ในเครื่องกำเนิด โอโซนความถี่สูง	50
4.2.2 การวัดสัญญาณแรงดันสูงความถี่สูงจากเครื่องกำเนิดโอโซน	51
4.3 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อพิสูจน์หาแรงดันที่มี ประสิทธิภาพและเหมาะสมในการผลิตโอโซน	52
4.3.1 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าด้าน แรงดันสูงกระแสตรงขั้วบวกและขั้วลบต่อปริมาณโอโซน	54
4.3.2 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าด้าน แรงดันสูงกระแสสลับ 50 Hz ต่อปริมาณโอโซน	57
4.4 ชนิดของแรงดันในการผลิตก๊าซโอโซนในการนำไปใช้งานจริง	60
4.5 การทดลองด้านเคมีวิเคราะห์	63
4.5.1 การวัดค่า Conductivity, ค่า TDS และค่า pH	63
4.5.2 การวัดค่าคลอรีนอิสระ	67
4.5.3 การวัดค่าความกระด้าง	67
4.5.4 การวัดค่าไนเตรท	69
4.5.5 การวัดโอโซนในน้ำ	70
4.6 การทดลองด้านชีววิทยาวิเคราะห์	72
4.6.1 การวิเคราะห์หาปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด	73
4.6.2 การวิเคราะห์หาปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด	74
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	76
5.1 สรุปผลการทดลอง	76
5.2 ข้อเสนอแนะ	78

เอกสารอ้างอิง
ภาคผนวก
ประวัติผู้เขียน



VII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า	
2.1	การเกิดโอโซนตามธรรมชาติ	5
2.2	วิธีการเกิดโอโซนจากสนามไฟฟ้าแบบโคโรนาดีสชาร์จ	6
2.3	เส้นสนามไฟฟ้า และเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่าของอิเล็กโตรดทรงกลม	10
2.4	เปรียบเทียบสนามไฟฟ้าของอิเล็กโตรดลักษณะต่างๆ	11
2.5	การหักเหของสนามไฟฟ้าตรงรอยต่อของฉนวน	13
2.6	ชั้นฉนวนซ้อนกันในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ	14
2.7	เปรียบเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นกับค่าเฉลี่ย	16
2.8	ทรงกระบอกซ้อนกันร่วม	17
2.9	ลักษณะการเปลี่ยนแปลง V_b และ E_r ในเทอมของ r_1 เมื่อกำหนดให้ r_2 คงที่	18
2.10	ไดอะแกรมระบบสรวายน้ำ	22
2.11	ระบบการทำงานของสรวายน้ำ	23
2.12	ไดอะแกรมโครงสร้างของระบบหมุนเวียนน้ำ	24
2.13	มอเตอร์ปั้มน้ำ	24
2.14	ถังกรองน้ำ	25
2.15	การทำงานของระบบโอโซน	27
3.1	แผนผังการติดตั้งของสรวายน้ำระบบโอโซนการกีฬาแห่งประเทศไทย	29
3.2	ไดอะแกรมระบบโอโซนของสรวายน้ำ กกท.	30
3.3	ไดอะแกรมแสดงระบบหมุนเวียนน้ำในสรวายน้ำ	30
3.4	มอเตอร์ที่ใช้ปั้มน้ำเข้าระบบหมุนเวียนน้ำ	31
3.5	มอเตอร์ที่ใช้ทั้ง 4 ตัว	31
3.6	ชุดควบคุมมอเตอร์ทั้ง 4 ตัว	32
3.7	ท่อที่ใช้กับปั้ม	32
3.8	ระบบกรองน้ำ (ขนาดท่อที่ใช้กับถังกรองใช้ท่อขนาด 3 นิ้ว)	34
3.9	ไดอะแกรมแสดงระบบบำบัดน้ำในสรวายน้ำ	34
3.10	ตัวเซนเซอร์และวาล์วเปิดปิดน้ำ	35
3.11	หน้าจอแสดงผลค่าที่เซนเซอร์วัดได้	35
3.12	ไดอะแกรมการทำงานของระบบโอโซน	36
3.13	Feed Gas Proparation และ Ozone Generator	37
3.14	Ozone Contact Tank	37
3.15	Ozone Destruction	38
3.16	หลักการของท่อ Venturi	39
3.17	Venturi ต่อร่วมกับ Union ball valve ที่ใช้ในระบบผสม	39

VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.18 Ozone Mixing Pump	40
3.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความสูงของน้ำที่ปั๊มส่งได้	41
3.20 ปั๊มผสมโอโซน	41
3.21 ไดอะแกรมระบบกระจายน้ำ กทท.	42
3.22 ชุดคลอรีน	43
3.23 ชุดปรับค่า pH	43
3.24 โปรแกรมคำนวณอุปกรณ์ในกระจายน้ำในระบบโอโซน	44
3.25 การเขียนโปรแกรมโดยใช้ Visual studio C# 2005	46
3.26 ตัวอย่างคำนวณอุปกรณ์ในกระจายน้ำในระบบโอโซนโดยใช้โปรแกรม	47
4.1 ชุดเครื่องกำเนิดโอโซนความถี่สูง	49
4.2 ไดอะแกรมการทดลองหาค่าพารามิเตอร์	49
4.3 ไดอะแกรมการหาประสิทธิภาพของโอโซนในการบำบัดน้ำเสีย	50
4.4 เครื่องมือในการวัดค่าจำนวนของหลอดโคโรนาที่ใช้ในเครื่องกำเนิดโอโซนความถี่สูง	50
4.5 วงจรการวัดสัญญาณแรงดันและความถี่จากเครื่องกำเนิดโอโซน	51
4.6 สัญญาณแรงดันขาเข้าเครื่องกำเนิดโอโซน	51
4.7 สัญญาณแรงดันขาออกของเครื่องกำเนิดโอโซน	51
4.8 หม้อแปลงน็ออน ขนาด 220V/15kV, 50 Hz	52
4.9 Variac ขนาด 220 V	53
4.10 ไดโอด	53
4.11 ตัวเก็บประจุ 22nF อนุกรม 3 ตัว	53
4.12 อิเล็กโทรดแบบทรงกระบอกซ้อนกันร่วม	53
4.13 โพรบ High volt 1:1000	54
4.14 งานเทียบสวิตช์ปริมาณโอโซน	54
4.15 วงจรสำหรับการทดลองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขั้วบวก	54
4.16 วงจรสำหรับการทดลองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบ	55
4.17 การต่อวงจรสำหรับการทดลองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขั้วบวกและขั้วลบ	55
4.18 ปริมาณโอโซนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขั้วบวก-ขั้วลบ	56
4.19 วงจรสำหรับการทดลองแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz	57
4.20 การต่อวงจรสำหรับการทดลองแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz	57
4.21 ปริมาณโอโซนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz	58
4.22 ปริมาณโอโซนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขั้วบวกขั้วลบและแรงดันกระแสสลับ 50 Hz	59
4.23 ชุดกำเนิดโอโซนความถี่สูง 15 kHz	59

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.24 ปริมาณโอโซนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 15 kHz	60
4.25 เปรียบเทียบปริมาณโอโซนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงและความถี่ต่ำ	61
4.26 เปรียบเทียบปริมาณโอโซนต่อชนิดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขั้วบวก-ขั้วลบ	61
4.27 วงจรการต่อโหลดจำลอง R-C	62
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกของ โหลดอิเล็กทรอนิกส์และโหลดจำลอง R-C	63
4.29 เครื่องตรวจวัดค่า Conductivity, TDS และ pH	64
4.30 การวัดค่า Conductivity และ ค่า TDS	65
4.31 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า TDS และ Conductivity ของแหล่งน้ำธรรมชาติ	65
4.32 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า TDS และ Conductivity ของบ่อกักน้ำสระว่ายน้ำ	65
4.33 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของแหล่งน้ำธรรมชาติ	66
4.34 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของบ่อกักน้ำสระว่ายน้ำ	66
4.35 ชุดตรวจสอบคลอรีนอิสระ	67
4.36 ชุดทดสอบความกระด้างของน้ำ	68
4.37 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความกระด้างของแหล่งน้ำธรรมชาติ	68
4.38 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความกระด้างของบ่อกักน้ำสระว่ายน้ำ	68
4.39 ชุดทดสอบค่าไนเตรทในน้ำ	69
4.40 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าไนเตรทของแหล่งน้ำธรรมชาติ	69
4.41 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าไนเตรทของบ่อกักน้ำสระว่ายน้ำ	70
4.42 ชุดจานเทียบสีสำหรับวัดค่า Ozone residual	70
4.43 ขั้นตอนการตรวจวัดค่า Ozone residual	71
4.44 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโอโซน	72
4.45 อาหารของเชื้อแบคทีเรียโคลิฟอร์มที่ทำการเจือจาง 3 ระดับ	73
4.46 น้ำตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านและผ่านระบบการบำบัดโอโซน	73
4.47 ขั้นตอนการผสมน้ำตัวอย่างกับอาหารเชื้อ	74
4.48 หลอดที่พบเชื้อโคลิฟอร์มจะเกิดก๊าซภายในหลอด	74
4.49 การทดลองตรวจวัดจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด	75
4.50 เพลทที่เป็นวันเมื่อผสมอาหารกับน้ำตัวอย่างเสร็จแล้ว	75
5.1 โปรแกรมช่วยคำนวณอุปกรณ์ในระบบโอโซนสำหรับสระว่ายน้ำ	78

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางปฏิบัติงาน	3
2.1 ข้อมูลเฉพาะของไอโซน	6
2.2 ระดับพลังงานในการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของก๊าซ	9
2.3 ระดับไอโซนและผลที่เกิดขึ้น	20
2.4 ความสามารถในการฆ่าเชื้อ (99%) ที่เป็นอันตรายของสารประกอบคลอรีนเทียบกับไอโซนที่ pH 6-7	21
2.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไอโซนกับคลอรีน	21
2.6 ค่าครึ่งชีวิต (Half life) ของไอโซนในน้ำที่ pH 7	22
3.1 แสดงขนาดมอเตอร์ที่ใช้	31
3.2 แสดงเวลาที่มอเตอร์ทำงาน	32
3.3 แสดงขนาดท่อที่ใช้กับปั๊ม	33
3.4 ขนาดถังกรองที่ใช้	33
3.5 ตารางแสดงขนาดท่อเวนจูรี่ที่เลือก	40
3.6 แสดงขนาดมอเตอร์ที่ใช้ในการผสมไอโซน	42
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	52
4.2 ตารางแสดงผลการทดลองระหว่างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงบวกต่อปริมาณไอโซน	55
4.3 ตารางแสดงผลการทดลองระหว่างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงลบต่อปริมาณไอโซน	56
4.4 ตารางแสดงผลการทดลองระหว่างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz ต่อปริมาณไอโซน	58
4.5 ตารางแสดงผลการทดลองระหว่างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 15 kHz ต่อปริมาณไอโซน	60
4.6 ผลการทดลองหาแรงดันขาออกโดยใช้โหนดจำลอง R-C	62
4.7 แสดงผลการทดลองทางด้านชีววิทยาวิเคราะห์	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันสระว่ายน้ำในประเทศไทยได้มีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงระบบการฆ่าเชื้อและทำความสะอาด แต่เนื่องจากผลกระทบที่มีต่อร่างกายจากการใช้คลอรีน เช่น เส้นผมแห้งกรอบ ผิวแห้งกร้าน ฟันสึกและกร่อน และการเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งผิวหนัง จึงส่งผลให้คนกลัวการว่ายน้ำในสระว่ายน้ำ

ระบบทั่วไปที่ใช้ในปัจจุบัน คือ ระบบคลอรีน ระบบน้ำเกลือ ระบบโอโซน โดยแต่ละระบบจะมีข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันออกไป การออกแบบระบบการฆ่าเชื้อในสระว่ายน้ำจึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องพิจารณา ซึ่งมีหลายปัจจัยในการวิเคราะห์ เช่น ขนาดสระ จำนวนคนที่มาใช้บริการ สิ่งแวดล้อมโดยรอบ ระบบโอโซนเป็นระบบที่มีความน่าเชื่อถือที่สุดในแง่ของการฆ่าเชื้อ เพราะสามารถฆ่าได้แม้กระทั่งเชื้อไวรัส และเนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของโอโซนที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคสูง สามารถนำมาแก้ปัญหาในเรื่องของการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักเจือปนอยู่ สามารถกำจัดสี กลิ่น ก๊าซพิษ และสารเคมีในน้ำเสียได้ และยังไมก่อให้เกิดสารประกอบอื่นตกค้างเหมือนคลอรีน อีกทั้งโอโซนยังเป็น oxidation agent ที่รุนแรงและสลายตัวเร็วสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าออกซิเจน มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคได้เร็วกว่าคลอรีน 3,125 เท่า น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อจากระบบนี้เกือบจะเป็นน้ำบริสุทธิ์ไม่มีสารตกค้าง แต่มีข้อเสียก็คือ มีราคาสูง

เนื่องจากน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อจากเครื่องโอโซนแล้วเมื่อนำไปใช้ในสระว่ายน้ำเมื่อเกิดเชื้อขึ้น จะไม่มีอะไรที่สามารถฆ่าเชื้อโรคได้จนกว่าจะนำน้ำกลับมาที่เครื่องโอโซนอีกครั้ง สระว่ายน้ำในหลายๆแห่งจึงต้องใช้ระบบการฆ่าเชื้อและทำความสะอาด 2 ระบบในการทำงาน คือการใช้โอโซนควบคู่ไปกับระบบเกลือหรือคลอรีน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อนำความรู้ทางวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้
2. เพื่อศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับระบบของเครื่องกำเนิดโอโซนในสระว่ายน้ำ
3. เพื่อศึกษาและแก้ปัญหาด้านความสะอาดปราศจากเชื้อโรคและแบคทีเรียของน้ำภายในสระว่ายน้ำโดยการใช้โอโซน
4. เพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียในสระว่ายน้ำโดยการนำโอโซนมาใช้ร่วมกับระบบคลอรีน
5. เพื่อส่งเสริมให้เกิดการวิจัยเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีภายในประเทศ

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ออกแบบระบบการฆ่าเชื้อและทำความสะอาดน้ำในสระว่ายน้ำโดยใช้เครื่องกำเนิดโอโซน
2. วิธีการนำโอโซนไปใช้ในสระว่ายน้ำ
3. หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดโอโซนเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการผลิตโอโซนสูงสุด
4. การดูแลระบบสระว่ายน้ำหลังการติดตั้งเครื่องกำเนิดโอโซน

1.4 แผนการดำเนินโครงการ

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลระบบการทำงานของสระว่ายน้ำ
2. ศึกษาลักษณะการทำงาน โครงสร้าง คุณสมบัติ ผลกระทบ รวมถึงแนวทางในการนำโอโซนไปใช้ร่วมกับระบบสระว่ายน้ำ
3. ศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อและทำความสะอาดน้ำในสระว่ายน้ำของการกีฬาแห่งประเทศไทยซึ่งใช้ระบบโอโซนร่วมกับคลอรีนและนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์
4. ทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อพิสูจน์ว่าแรงดันชนิดใดที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในการผลิตโอโซน
5. เก็บน้ำตัวอย่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติ มาผ่านระบบโอโซนและนำไปตรวจสอบปริมาณของเชื้อโรคและแบคทีเรียที่หลงเหลืออยู่ในน้ำ เพื่อพิสูจน์ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อต่างๆ ของโอโซนและสามารถควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐานได้
6. ออกแบบและทำการเขียนโปรแกรมเพื่อช่วยในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการติดตั้งระบบโอโซนเพื่อใช้งานในสระว่ายน้ำ
7. จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ตารางที่ 1.1 ตารางปฏิบัติงาน

การดำเนินงาน	ระยะเวลา											
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.		
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลระบบการทำงานของสระว่ายน้ำ	←.....→		←.....→									
2. ศึกษาลักษณะการทำงานโครงสร้าง คุณสมบัติ ผลกระทบ รวมถึงแนวทางในการนำไอโซนไปใช้ร่วมกับระบบสระว่ายน้ำ		←.....→		←.....→								
3. ศึกษาระบบการฆ่าเชื้อและทำความสะอาดน้ำในสระว่ายน้ำของ การกีฬาแห่งประเทศไทยซึ่งใช้ระบบไอโซนร่วมกับคลอรีนและนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์			←.....→		←.....→							
4. ทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อพิสูจน์ว่าแรงดันชนิดใดที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในการผลิตไอโซน					←.....→		←.....→					
5. เก็บน้ำตัวอย่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติ มาผ่านระบบไอโซนและนำไปตรวจสอบปริมาณของเชื้อโรคและแบคทีเรียที่หลงเหลืออยู่ในน้ำ เพื่อพิสูจน์ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อต่างๆ ของไอโซนและสามารถควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐานได้							←.....→		←.....→			
6. ออกแบบและทำการเขียนโปรแกรมเพื่อช่วยในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการติดตั้งระบบไอโซนเพื่อใช้งานในสระว่ายน้ำ									←.....→		←.....→	
7. จัดทำปฏิญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์									←.....→		←.....→	

←.....→ วางแผน

←.....→ ดำเนินการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ช่วยในการส่งเสริมและสนับสนุนการค้นคว้าวิจัยของนักศึกษาและอาจารย์ เพื่อพัฒนาวิศวกรรมรุ่นใหม่
2. สามารถนำเทคโนโลยีการผลิตไอโซนมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการบำบัดน้ำเสีย และเชื้อโรคในสระว่ายน้ำได้
3. สามารถนำเทคโนโลยีที่ผลิตขึ้นในประเทศมาต่อยอดทางความคิดเพื่อให้เกิดการพัฒนาต่อไป
4. สามารถสร้างบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถและความเชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมไฟฟ้าตรงกับความต้องการภาคอุตสาหกรรม

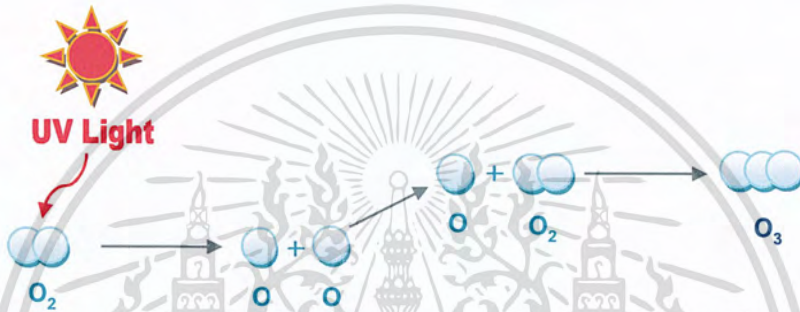


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

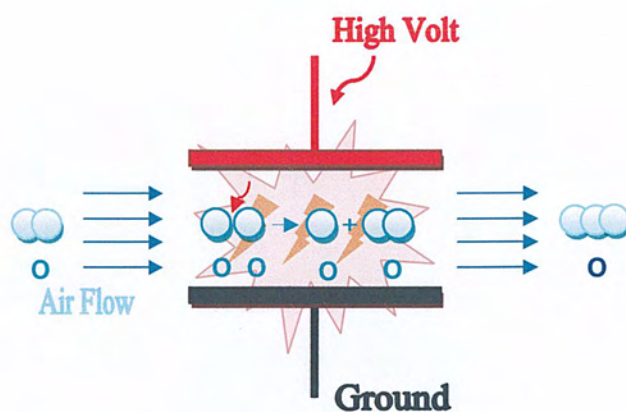
2.1 ทฤษฎีการเกิดก๊าซโอโซน [1]

โอโซนเป็นโมเลกุลที่ประกอบไปด้วยออกซิเจนสามอะตอม มีสัญลักษณ์ทางเคมีเป็น O_3 โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรและสลายได้ด้วยตัวเอง โดยปกติโอโซนจะเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติจากการที่รังสีอัลตราไวโอเล็ต ในแสงอาทิตย์ทำให้โมเลกุลของออกซิเจนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ที่ระดับความสูง 15-50 กิโลเมตรเหนือระดับน้ำทะเลแตกตัวออกเป็นอะตอมเดี่ยวของออกซิเจนและไปทำปฏิกิริยารวมตัวกับออกซิเจนตัวอื่นกลายเป็นโอโซน ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเกิดโอโซนตามธรรมชาติ

นอกจากการเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติแล้ว โอโซนยังสามารถเกิดขึ้นได้จากการผ่านอากาศแห้งและมีคุณสมบัติที่เหมาะสมเข้าไปยังสนามไฟฟ้าแบบโคโรนาดีสชาร์จทำให้ออกซิเจนในอากาศบางส่วนแตกตัวเกิดอะตอมออกซิเจน ซึ่งจะรวมตัวกับออกซิเจนตัวอื่นเกิดเป็นโอโซนได้ การที่จะทำให้ออกซิเจนแตกพันธะได้นั้น จะต้องป้อนพลังงานจากภายนอกเข้าไปกระตุ้นให้ก๊าซออกซิเจน (O_2) แตกพันธะออกเป็นอะตอมอิสระของออกซิเจน (O) แล้วจึงรวมตัวกับ O_2 กลายเป็น O_3 ซึ่งพลังงานของ O_3 จะน้อยกว่า O_2 มากนั่นคือในกรณีที่มีการเพิ่มพลังงานให้กับระบบที่มี O_3 อยู่พลังงานเพียงเล็กน้อยก็จะสามารถทำให้ O_3 สลายตัวได้ ดังนั้นในระบบจึงไม่ควรเกิดความร้อนขึ้นภายในช่องว่างอากาศมากเกินไป เช่นความร้อนที่เกิดเนื่องจากการเบรกดาวน นั่นคือพลังงานที่อิเล็กทรอนิกส์รับจากสนามไฟฟ้าควรมีค่าน้อยกว่าพลังงานไอออไนเซชัน แต่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการแยกตัวของอะตอมออกซิเจนออกจากกัน การเกิดโอโซนจากสนามไฟฟ้าแบบโคโรนาดีสชาร์จแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วิธีการเกิดโอโซนจากสนามไฟฟ้าแบบโคโรนาดิสชาร์จ

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลเฉพาะของโอโซน [1]

Section	Detail	
1.Product Identification	Product Name	OZONE
	Synonyms	Activated Oxygen, Triatomic Oxygen
	Chemical Family	Oxidizer
	Molecular Formula	O ₃
	Molecular Weight	48
2.Hazardous Ingredients	Component	Ozone Gas
	Concentration	0-4 % by weight
3.Health Hazard Data	Permissible Exposure	0.1 ppm. (in Air)
	Symptoms	Irritation for sensitive tissues as eyes, nose and throat. Pungent smell, notice at 0.04 ppm. High concentration of OZONE destroyed lung.
	Toxicological Property	High concentration of OZONE endanger human respiratory organs. Effect on chromosomes structure. Destroyed the exposed tissues.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

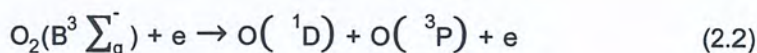
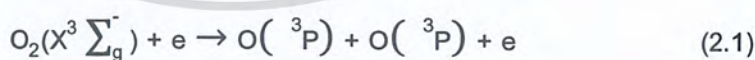
2.1.1 กระบวนการแตกตัวของก๊าซโอโซนและการผลิตโอโซน [1]

ในอากาศจะประกอบไปด้วยก๊าซไนโตรเจน (N_2) 79% และก๊าซออกซิเจน (O_2) 21 % โดยประมาณ นอกจากนั้นเป็นก๊าซเฉื่อยและไอน้ำ โอโซนเป็นก๊าซที่ประกอบไปด้วยออกซิเจน 3 อะตอม จับกันอยู่ในสถานะไม่เสถียร สลายตัวได้ง่ายขึ้นกับเงื่อนไขสภาพแวดล้อมและความหนาแน่นของปริมาณที่ผลิต ขั้นตอนการผลิตประกอบด้วยกระบวนการสร้างอะตอมอิสระของออกซิเจน (free radical) จากโมเลกุลก๊าซออกซิเจนในอากาศ หลังจากนั้นอะตอมอิสระเหล่านี้จะรวมตัวเข้ากับโมเลกุลก๊าซออกซิเจนเกิดเป็นโอโซน O_3 ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ การเกิดก๊าซโอโซนเกิดจากปรากฏการณ์โคโรน่า ซึ่งทำให้อากาศเกิดการแตกตัวอันเนื่องมาจาก ได้รับความพลังงานจากสนามไฟฟ้าค่าหนึ่งซึ่งเพียงพอโดยก๊าซออกซิเจนจะเปลี่ยนเป็นก๊าซโอโซนได้ จากปรากฏการณ์ 2 ชนิดคือกระบวนการไอออไนเซชัน (ionization) และกระบวนการแยกตัว (dissociation) ในกระบวนการแตกตัวของก๊าซนั้น เมื่อเกิดไอออไนเซชัน คือการเพิ่มของประจุแบบทวีคูณ (Electron avalanche) นำไปสู่การเบรกดาวน์ในฉนวนที่พิจารณา กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากการเกิดเบรกดาวน์ที่เกิดขึ้น ทำให้อิออนซึ่งมีพลังงานพันธะต่ำเกิดการสลายตัว ดังนั้นการผลิตโอโซนจึงไม่ควรเกิดการเบรกดาวน์เกิดขึ้น นั่นคือพลังงานที่อิเล็กตรอนรับจากสนามไฟฟ้าควรมีค่าน้อยกว่าพลังงานไอออไนเซชัน (W_i) แต่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการแยกตัวของอะตอมออกซิเจนออกจากกัน

ขั้นตอนการแตกโครงสร้างโมเลกุลก๊าซออกซิเจนเป็นอะตอมอิสระ ออกซิเจนมีระดับพลังงานที่ต่างกันหลายระดับซึ่งค่าพลังงานที่สามารถทำให้ออกซิเจนรวมตัวเริ่มเกิดเป็นโอโซนมี 2 ระดับด้วยกันคือ $O(^3P)$ และ $O(^1D)$ ขั้นตอนการสร้างโอโซนประกอบด้วย 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 การแตกโครงสร้างโมเลกุลก๊าซออกซิเจนออกเป็นอะตอมอิสระ (Dissociation Reaction)

ขั้นตอนนี้คือปฏิกิริยาดูดพลังงาน แหล่งพลังงานในงานวิจัยที่พิจารณาคือการชนถ่ายทอดพลังงานของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่ออ้างอิงเทียบกับระดับพลังงานของออกซิเจนแล้วแสดงในสมการ 2.1 และ 2.2

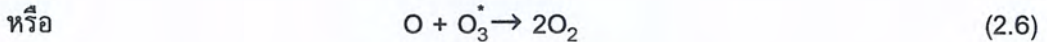
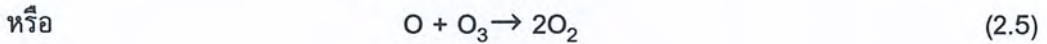


อิเล็กตรอนต้องมีพลังงานมากกว่า พลังงานของพันธะของโมเลกุลก๊าซ โดยประมาณคืออยู่ในช่วง 6-9 eV หรือ 595.4 kJ/mol หรือ 700 kJ/mol

ขั้นตอนที่ 2 การจับตัวของอะตอมอิสระในข้อ 1 กับโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนเป็นโอโซน (Ozone Generation)



เมื่อ M คือ ก๊าซอื่นอาจเป็น O_2 หรือ N_2 ซึ่งเป็น 3rd Collision partner ช่วงเวลาสำหรับการเกิดปฏิกิริยานี้อยู่ในย่าน 1-2 μs แต่ข้อระวังก็คือ ในช่วงเวลาสั้นๆนี้เองสามารถเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงซึ่งเป็นผลเสียต่อกระบวนการผลิตด้วยเช่น



เมื่อ O_3^* คือ โอโซนที่สภาวะถูกกระตุ้นชั่วขณะ (Transient excited state) ซึ่งเป็นสภาวะเริ่มของการจับตัวระหว่าง O กับ O_2 จากสมการที่ 2.3 ปฏิกิริยาในสมการที่ 2.4 และ 2.6 เกิดเนื่องจากความหนาแน่นของอะตอมออกซิเจนอิสระมากเกินไป

ในอากาศที่ผ่านกระบวนการเพื่อผลิตโอโซนจะได้สารผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นผลของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในก๊าซหลังการแตกตัวที่ความดัน 1 bar อุณหภูมิ 300 K (79% N_2 + 21% O_2) นอกจากโอโซนแล้วยังตรวจพบออกไซด์ประเภท N_2O และ N_2O_2 ด้วย ซึ่งระดับความหนาแน่นต่ำกว่าโอโซนแต่ปริมาณที่ตรวจพบจะเพิ่มมากขึ้นในกรณีที่คุณภาพก๊าซที่ใช้ไม่เหมาะสมคือมีความชื้นสูง ออกไซด์เหล่านี้ส่งผลเสียต่อชุดอิเล็กทรอนิกส์และปริมาณโอโซนที่ผลิตได้ ดังนั้นระบบเตรียมก๊าซก่อนกระบวนการ (Feed gas preparation system) จึงเป็นส่วนสำคัญของระบบส่วนหนึ่งด้วย เมื่อพิจารณาแหล่งพลังงานที่กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาในสมการที่ 2.2 และ 2.3 แล้วพบว่าพลังงานเป็นองค์ประกอบสำคัญในการสร้างอะตอมมูลฐานของการผลิตโอโซนคือ O การเลือกย่านพลังงานที่เลือกใช้ที่เหมาะสมจะช่วยให้ประสิทธิภาพการผลิตดีขึ้น นั่นคือในการออกแบบส่วนผลิตก๊าซจึงต้องใช้ความรู้เบื้องต้นเรื่องทฤษฎีจลน์ของก๊าซและสนามไฟฟ้าแรงสูง รวมถึงกลไกการเกิดองค์ประกอบทางเคมีในการแตกตัวก๊าซดังจะกล่าวต่อไป

ในก๊าซประกอบด้วยอนุภาคต่างๆหลายชนิดมีทั้งประจุ (+,-) และอนุภาคที่เป็นกลาง การเคลื่อนที่ของอนุภาคเหล่านี้แบบสุ่ม (Random motion) สนามไฟฟ้าจากภายนอกทำให้อนุภาคที่มีประจุเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่แน่นอนแบบมีความเร็ว อิเล็กตรอนเป็นอนุภาคประจุลบที่มีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับประจุบวกทั่วไป จึงทำให้ตัวมันมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้นในการแตกตัวของก๊าซ เช่นเดียวกันในการผลิตโอโซนพลังงานหลักที่ทำให้ออกซิเจนเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างขึ้นส่งถ่ายมาจากการชนของอิเล็กตรอนกับโมเลกุลของก๊าซ การชนมี 2 ชนิดคือการชนแบบยืดหยุ่น (Elastic collision) พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนก่อนชนเท่ากับหลังชน และการชนแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic collision) คืออิเล็กตรอนสูญเสียพลังงานไปบางส่วนระหว่างการชนให้กับอนุภาคที่ถูกชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่ถ่ายทอดไปนี้แบ่งออกเป็น 3 ระดับพลังงานคือ พลังงานแตกตัว (Dissociation energy : W_D) พลังงานกระตุ้น (Excited energy : W_E) และพลังงานไอออไนเซชัน (Ionization Energy : W_I) ตัวอย่างระดับพลังงานเหล่านี้แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระดับพลังงานในการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของก๊าซ [1]

GAS	W_D (eV)	W_E (eV)	W_I (eV)
H ₂	4.46	7	15.4
H	-	10.16	13.59
N ₂	9.76	6.3	15.6
N	-	10.33	14.54
O ₂	5.11	7.9	12.5
O	-	9.15	13.61
H ₂ O	-	7.6	12.59
CO ₂	-	10	14.4

2.1.2 สนามไฟฟ้า [2]

สนามไฟฟ้า หมายถึง ความเข้มของสนามไฟฟ้าเกิดจากอำนาจของประจุที่มีอยู่ในรูปแบบต่างๆ กันในลักษณะสนามไฟฟ้าที่ต่างกัน การวิเคราะห์ผลของสนามไฟฟ้าต่อพฤติกรรมของการกระจายสนามไฟฟ้าในเนื้อฉนวนเป็นประโยชน์มากเพื่อนำมาออกแบบอุปกรณ์ เครื่องมือให้ใช้งานอย่างถูกต้องปลอดภัย สนามไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทคือ

1. สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (uniform field)
2. สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย (slightly nonuniform field)
3. สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง (highly nonuniform field)

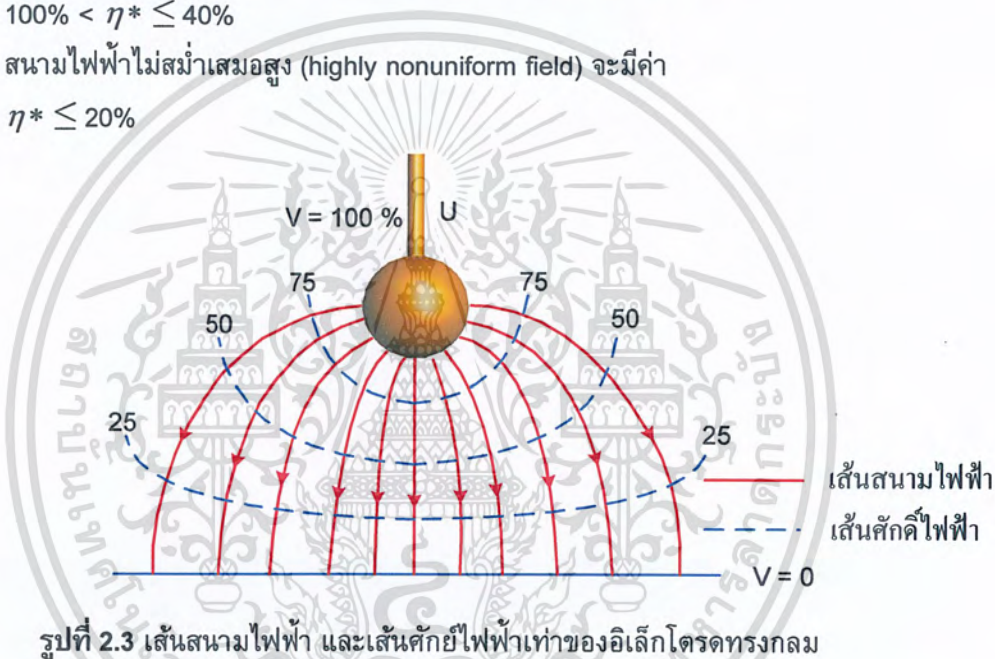
สำหรับสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอ (uniform field) เมื่อทำการป้อนแรงดันให้กับอิเล็กโทรด สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอจะเกิดการเบรกดาวน หรือสปาร์คทันทีที่ความเครียดสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรด (ซึ่งเท่ากันทุกจุด) ถึงค่าที่กำหนดค่าหนึ่งโดยประมาณ และกระแสเพิ่มขึ้นอย่างมากในทันทีทันใด ส่วนสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ (nonuniform field) อิเล็กโทรดแบบนี้ความเครียดสนามไฟฟ้าแต่ละจุดมีค่าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดนั้น ความแตกต่างกัน ณ จุดต่างๆ จะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับลักษณะแห่งเรขาคณิตของอิเล็กโทรดที่มีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอมากหรือน้อย แต่ถ้าเขียนเส้นสนามไฟฟ้า และเส้นศักย์เท่าจะได้ดังภาพที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ผิวของอิเล็กโทรดทรงกลม ซึ่งอาจจะคำนวณได้จากสมการ

$$E_{\max} = \frac{U}{d\eta^*} \quad (2.7)$$

เมื่อ E_{\max} คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าโคโรนาเริ่มเกิด
 U_i คือ แรงดันป้อนที่โคโรนาเริ่มเกิด (corona inception voltage)
 η^* คือ แฟคเตอร์สนามไฟฟ้า (field utilization factor) มีนิยามว่า

$$\eta^* = \frac{E_{av}}{E_{\max}} \leq 1 \quad (2.8)$$

โดย สนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ (uniform field) จะมีค่า η^* เท่ากับ 1
 สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย (slightly nonuniform field) จะมีค่า
 $100\% < \eta^* \leq 40\%$
 สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง (highly nonuniform field) จะมีค่า
 $\eta^* \leq 20\%$



รูปที่ 2.3 เส้นสนามไฟฟ้า และเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่าของอิลีกโตรดทรงกลม

รูปที่ 2.3 อิลีกโตรดแบบนี้ ถึงแม้ว่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าถึงค่าวิกฤตแล้วก็ตาม จะไม่เกิดเบรกดาวนแต่จะเกิดโคโรนาในบริเวณที่ใกล้ๆ ผิวอิลีกโตรดคือบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูง ส่วนบริเวณอื่นๆ ยังมีความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำจะไม่เกิดโคโรนา ฉะนั้นในช่องว่างระหว่างอิลีกโตรดจะเกิดดิสชาร์จที่ไม่สมบูรณ์ (คือไม่ตลอดแนวระหว่างอิลีกโตรด) เรียกว่า ดิสชาร์จบางส่วน (partial discharge) ปรากฏการณ์นี้อาจจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหรือเป็นช่วงๆ จึงทำให้มีกระแสไหลในวงจรที่ป้อนแรงดันให้อิลีกโตรด กระแสนี้จะเกิดขึ้นและวัดได้ก่อนเกิดการเบรกดาวน เรียกว่า “กระแสโคโรนา (corona current) หรือ กระแสดิสชาร์จ” การเกิดโคโรนาจึงทำให้สนามไฟฟ้าแห่งเราคาดคิดเปลี่ยนไป เพราะมีประจุค้าง (space charge) ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดยังคำนวณได้จากสมการ (2.7) แต่ η^* จะเปลี่ยนไป ดังนั้นค่าความเครียดเบรกดาวนของฉนวนจะคำนวณจากสมการ(2.7) ไม่ได้

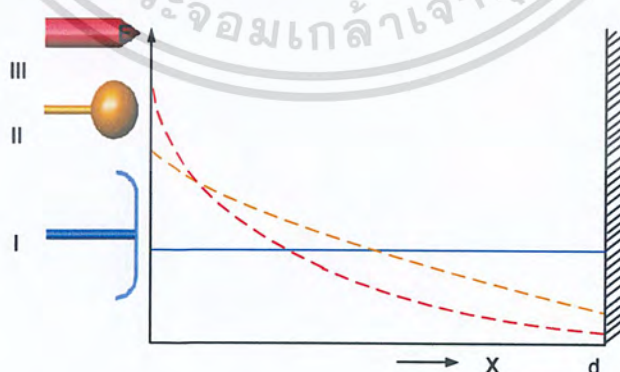
อย่างไรก็ตาม สมการ (2.7) นี้อาจใช้คำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าที่แรงดันโคโรนาเริ่มเกิดได้ เพราะสนามไฟฟ้าแห่งเรขาคณิตยังไม่เปลี่ยนแปลง จึงใช้ได้เฉพาะกรณีที่ไม่มีประจุค้างระหว่างอิเล็กโทรด (free of space charge) หรือกล่าวคือ สมการ (2.7) นี้ใช้สำหรับการคำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าหรือแรงดันเริ่มต้น (starting voltage *, threshold voltage, inception voltage) หมายถึง แรงดันที่ทำให้เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงในช่องระหว่างอิเล็กโทรด อาจจะเป็นแรงดันเบรกดาวน (ในกรณีที่ไม่มีอิเล็กโทรดเป็นแบบสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ หรือไม่สม่ำเสมอเพียง เล็กน้อย) หรือเป็นแรงดันที่โคโรนาเริ่มเกิด (ในกรณีที่ไม่มีอิเล็กโทรดเป็นแบบสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง ค่าแรงดันเบรกดาวนจะมีค่าสูงกว่าค่าแรงดันเริ่มต้น) ค่าแรงดันเริ่มต้นจึงอาจเขียนในรูปสมการทั่วไปได้ว่า

$$U_i = E_i \cdot d\eta^* \quad (2.9)$$

เมื่อ U_i คือ แรงดันเริ่มต้น

E_i คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันเริ่มต้น U_i

ในกรณีที่อิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ หรือสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย ค่า U_i คือ U_b และ E_i คือ E_b ถ้าเป็นอิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง $U_b > U_i$ ค่าแรงดันเบรกดาวนนี้อาจจะคำนวณได้ง่ายๆ ทั้งนี้เพราะไม่ทราบถึงการกระจายของประจุค้างว่าเป็นอย่างไร ฉะนั้นการคำนวณความคงทนต่อแรงดันทางไฟฟ้าของการฉนวนที่อิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงมักจะกำหนดด้วยค่าแรงดันเริ่มต้น หรือความเครียดสนามไฟฟ้าเริ่มต้นเป็นตัวบอกถึงค่าความคงทนการฉนวนต่อแรงดันทางไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม ความคงทนการฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้านี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับลักษณะแห่งเรขาคณิตของอิเล็กโทรด เช่น ระยะห่างของอิเล็กโทรด, รัศมีความโค้งของอิเล็กโทรด, ลักษณะพื้นผิวของอิเล็กโทรดแล้วยังขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์อื่นๆ อีกหลายประการ



รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1 ความเครียดสนามไฟฟ้า E (Electrical field stress)

จากของกฎคูลอมบ์

$$F = \frac{Q_1}{4\pi r^2} \frac{1}{\epsilon} Q_2 \hat{r} \quad (2.10)$$

ถ้าใช้นิยามของความหนาแน่นฟลักซ์ไฟฟ้า จะเขียนได้ว่า

$$F = \frac{D}{\epsilon} Q_2 \quad (2.11)$$

จากสมการ (2.10) จะเห็นได้ว่าแรงกระทำบนประจุ Q_2 เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ D/ϵ ซึ่งมีหน่วยเป็นนิวตันต่อคูลอมบ์ (N/C) กล่าวคือ เป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยประจุ เป็นแรงในสนามไฟฟ้าหรือเรียกว่าความเครียดสนามไฟฟ้า E (electrical field stress) ซึ่งนิยามด้วยความสัมพันธ์ว่า

$$F = \frac{D}{\epsilon} \quad (2.12)$$

โดยกฎของคูลอมบ์ จึงเขียนเป็นสมการทั่วไปได้ว่า

$$F = QE \quad (2.13)$$

จะเห็นได้ว่า แรงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียดสนามไฟฟ้า บางทีเรียกว่า ความเข้มสนามไฟฟ้า มีหน่วยเป็น V/mm, kV/cm, kV/m เป็นต้น ในทำนองเดียวกันความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในตัวนำไอโซโทโรปิกเชิงเส้น เป็นสัดส่วนกับสนามไฟฟ้า จึงเขียนได้ว่า

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2.14)$$

เมื่อ \vec{J} คือ ความหนาแน่นของกระแส เป็นเวกเตอร์ มีหน่วยเป็น A/m^2

σ คือ สภาพนำของตัวนำ มีหน่วยเป็น $S/m = \text{Siemens/meter} = 1/\rho$

ρ คือ สภาพต้านทาน เป็น $\Omega \cdot m$

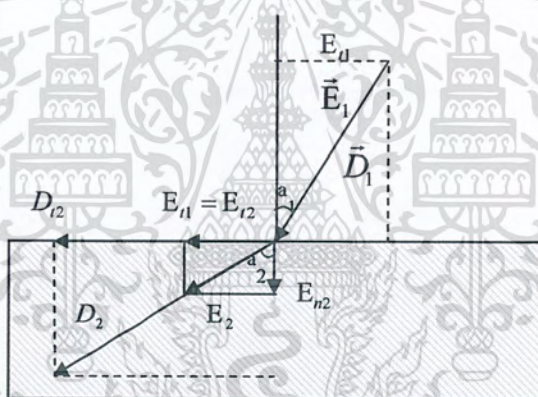
ความเครียดสนามไฟฟ้าถือเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญ ต่อการฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือระบบไฟฟ้าแรงสูง

2.1.2.2 ความเครียดสนามไฟฟ้าในวัสดุสารเนื้อต่างกัน

ฉนวนในทางปฏิบัติส่วนมาก นอกจากจะทำหน้าที่เป็นฉนวนแล้ว ยังต้องทำหน้าที่เป็นตัวยึด หรือรองรับน้ำหนัก ด้วย นั่นหมายความว่าโครงสร้างของฉนวนจะต้องทนต่อแรงทางกลได้ด้วย ฉะนั้นการฉนวนด้วยของเหลวหรือก๊าซ จึงจำเป็นที่จะต้องใช้กับฉนวนที่เป็นของแข็ง ฉนวนที่ใช้ต่างกันย่อมมีค่าเปอร์มิตติวิตี (permittivity) และค่าความต้านทานจำเพาะต่างกัน ย่อมทำให้เกิดเป็นชั้นต่อของฉนวนขึ้น อันเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือหักเหของเส้นทางสนามไฟฟ้าและความเครียดสนามไฟฟ้าในชั้นของฉนวนต่าง ๆ ในกรณีที่เป็นสนามไฟฟ้าจากแรงดันกระแสตรง การกระจายของสนามไฟฟ้าจะกำหนดด้วยความต้านทานของการฉนวน และเกิดประจุค้าง

2.1.2.2.1 การหักเหแนวเส้นสนามไฟฟ้าที่รอยต่อของฉนวนต่างชนิด

การหักเหแนวเส้นสนามไฟฟ้าที่รอยต่อของฉนวนต่างชนิด โดยอาศัยหลักความจริงที่ว่า ความเครียดสนามไฟฟ้าในแนวสัมผัส E , ของรอยต่อฉนวนต่างชนิดกันมีค่าคงตัว และความหนาแน่นของเส้นฟลักซ์ไฟฟ้า D_n ในแนวตั้งฉากกับรอยต่อมีค่าคงตัว กล่าวคือ $E_{n1} = E_{n2}$ และ $D_{n1} = D_{n2}$ ดังแสดงในภาพที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การหักเหของสนามไฟฟ้าตรงรอยต่อของฉนวน

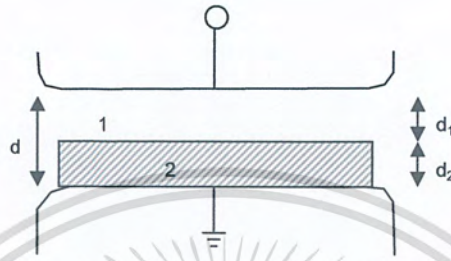
จากความสัมพันธ์ $D = \epsilon E$ ดังนั้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

$$\frac{\tan(\alpha_1)}{\tan(\alpha_2)} = \frac{E_{n2}}{E_{n1}} = \frac{D_{n1}}{D_{n2}} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \quad (2.15)$$

จึงกล่าวสรุปได้ว่า เส้นฟลักซ์ไฟฟ้า \vec{D} และสนามไฟฟ้า \vec{E} ในเนื้อสารที่มีค่ามากกว่าจะหักเหห่างจากแนวตั้งฉาก หรือหักเหเข้าหารอยต่อนั้นเอง แต่เส้นศักย์ไฟฟ้าเท่าในส่วนที่มี ϵ , สูงจะหักเหเข้าหาแนวตั้งฉาก

2.1.2.2.2 ชั้นฉนวนต่างชนิดซ้อนกันในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

โดยทฤษฎีแล้วการวางชั้นฉนวนระหว่างอิเล็กโทรดที่ดีที่สุด คือการวางไม่ให้เกิดการหักเหของสนามไฟฟ้า หรือเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่านั้น กล่าวคือวางให้รอยต่อของฉนวนอยู่บนผิวศักย์ไฟฟ้าเท่า และหลีกเลี่ยงความเครียดสนามไฟฟ้าในแนวเส้นสัมผัส ความเครียดสนามไฟฟ้าในชั้นฉนวนแต่ละชั้นมีค่าคงตัวหรือเท่ากันตลอด เมื่อวางอยู่ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ดังภาพที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ชั้นฉนวนซ้อนกันในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

สนามไฟฟ้า และแรงดันกระจายในฉนวนทั้งสองอาจหาคำนวณได้จากสมการสนามไฟฟ้าพื้นฐาน คือ $E = U/d$ เพราะเป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอและใช้ความสัมพันธ์ $D = \epsilon E$ เมื่อสนามไฟฟ้าเป็นแบบไฟฟ้ากระแสสลับ ฉะนั้นจะมีค่าคงตัว D และลักษณะการวางของฉนวนอยู่ในสนามไฟฟ้า เสมือนว่ามีตัวเก็บประจุต่อกัน ฉะนั้นประจุในตัวเก็บประจุแต่ละชั้นจะมีค่าเท่ากันคือ

$$Q = C_1 U_1 = C_2 U_2 \quad (2.16)$$

เมื่อ C_1 และ C_2 เป็นค่าความจุไฟฟ้าของฉนวนชั้นที่มี ϵ_1 และ ϵ_2 ตามลำดับ แต่เนื่องจาก

$$C_1 \approx \frac{\epsilon_1}{d_1} \quad \text{และ} \quad C_2 \approx \frac{\epsilon_2}{d_2} \quad (2.17)$$

ฉะนั้น อัตราส่วนของแรงดัน

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \cdot \frac{d_1}{d_2} \quad (2.18)$$

$$U_2 = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \cdot \frac{d_2}{d_1} \cdot U_1 \quad (2.19)$$

แต่ $U = U_1 + U_2 \quad (2.20)$

$$= U_1 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \cdot \frac{d_2}{d_1} \cdot U_1 \quad (2.21)$$

$$= U_1 \left(1 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \cdot \frac{d_2}{d_1} \right) \quad (2.22)$$

ฉะนั้น $U_1 = \frac{U}{\left(1 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \cdot \frac{d_2}{d_1} \right)} \quad (2.23)$

แทนค่า U_1 จะได้

$$U_2 = \frac{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \cdot \frac{d_2}{d_1} \cdot U}{\left(1 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \cdot \frac{d_2}{d_1} \right)} \quad (2.24)$$

ฉะนั้นความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนทั้งสองคือ

$$E_1 = \frac{U_1}{d_1} = \frac{U}{d_1} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \cdot \frac{d_2}{d_1} \right)} \quad (2.25)$$

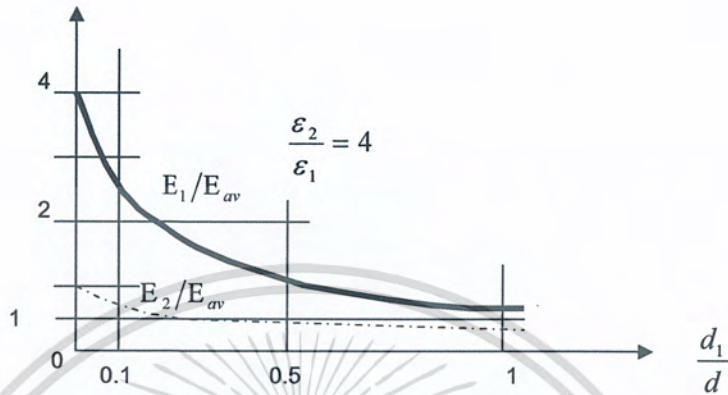
$$E_2 = \frac{U_2}{d_2} = \frac{U \cdot \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \cdot \frac{d_2}{d_1}}{d_2 \left(1 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \cdot \frac{d_2}{d_1} \right)} \quad (2.26)$$

$$E_2 = \frac{U \epsilon_1 / \epsilon_2}{d_1 \left(1 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \cdot \frac{d_2}{d_1} \right)} \quad (2.27)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่า ความเครียดสนามไฟฟ้า E_1 จะมากกว่า E_2 ตามอัตราส่วน $\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$ เมื่อ $\epsilon_2 > \epsilon_1$ ถ้าเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในส่วนฉนวนที่มี TM (Transverse Magnetic Waves) ค่า สนามไฟฟ้าจะยิ่งสูงขึ้น ดังภาพที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นกับค่าเฉลี่ย

2.1.2.3 สนามไฟฟ้าในฉนวนเนื้อเดียวกัน

การฉนวนทางไฟฟ้าแรงสูงจะถูกจำกัด หรือกำหนดด้วยความเครียดสนามไฟฟ้าเป็นประการสำคัญ ฉะนั้นการออกแบบการฉนวนจึงควรจะทราบรูปลักษณะและขนาดความเครียดของสนามไฟฟ้า เพื่อเลือกชนิดและรูปร่างแห่งเรขาคณิตของสนามไฟฟ้าได้เหมาะสม

2.1.2.3.1 ทรงกระบอกซ้อนกันแกนร่วม

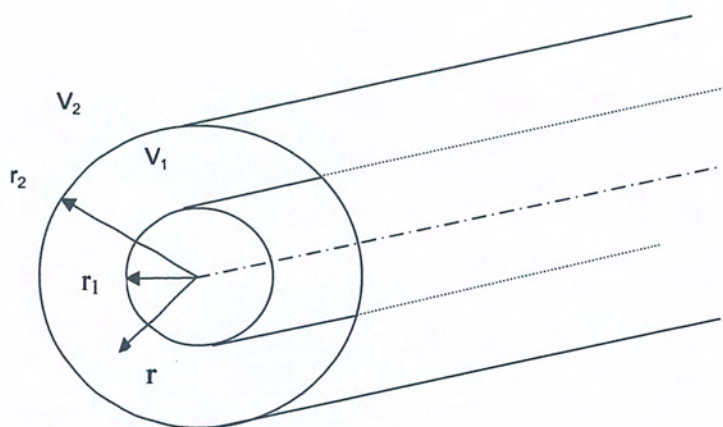
ทรงกระบอกซ้อนกันแกนร่วม เมื่ออิเล็กโตรดมีลักษณะเป็นทรงกระบอกซ้อนกันแกนร่วม เส้นฟลักซ์ไฟฟ้าจะอยู่ในแนวรัศมี และพื้นผิวของทรงกระบอกก็คือ พื้นผิวศักย์ไฟฟ้าเท่า ดังนั้นโดยอาศัยอินทิกรัล สมการที่สี่ของแมกซ์เวลล์

$$Q = \int \vec{D} \cdot d\vec{A} \quad (2.29)$$

สำหรับทรงกระบอกซ้อนกันแกนร่วมมีความยาว l รัศมี r ($r_1 \leq r \leq r_2$) ดังภาพที่ 2.10 และ $E = D/\epsilon$ จะหาค่าสนามไฟฟ้าที่รัศมี r ได้คือ

$$E_r = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \cdot \ln \frac{r_1}{r_2} \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม

และเส้นแรงดันที่ป้อนระหว่างทรงกระบอกทั้งสองคือ

$$U = \int_{r_1}^{r_2} E_r dr = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} \quad (2.31)$$

$$U = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (2.32)$$

จึงได้ความเครียดสนามไฟฟ้าที่ $r_1 < r < r_2$

$$E_r = \frac{U}{r \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.33)$$

ฉะนั้นความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด E_{\max} จะเกิดที่ผิวทรงกระบอกอันใน นั่นคือ

$$E_{\max} = E_{r_1} = \frac{U}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.34)$$

จากนิยามแฟคเตอร์สนาม $\eta^* = E_{av}/E_{\max}$ โดยที่

$$E_{av} = \frac{U}{r_2 - r_1} \quad (2.35)$$

119555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉะนั้น

$$\eta^* = \frac{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}{r_2 - r_1} \quad (2.36)$$

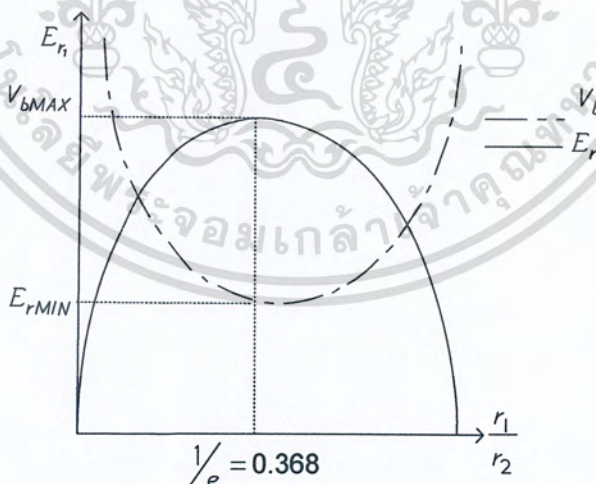
ความจุไฟฟ้าของทรงกระบอกซ้อนกันร่วม คำนวณจาก $Q = CU$ จากสมการที่ (2.32)

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \frac{r_1}{r_2}} \quad (2.37)$$

2.1.2.3.2 มิติที่เหมาะสม (Optimum dimension)

ในทางวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง มิติที่พอเหมาะคือลักษณะการออกแบบที่ให้มิติที่เล็กที่สุดทนต่อแรงดันได้สูงที่สุด ตัวอย่างเช่นในกรณีกำหนดรัศมีอิเล็กโตรดนอก r_2 ให้ถ้าอิเล็กโตรดในรัศมี r_1 ใกล้เคียงกับ r_2 มาก ๆ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรดนอกและในคือ $d = r_2 - r_1$ มีค่าน้อยเกิดเบรกดาวน์ง่าย แต่การลดรัศมี r_1 ลงเพื่อเพิ่มค่า d จะทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าที่ผิวตัวนำเพิ่มสูงขึ้นมาก จนถึงค่าวิกฤติและเกิดโคโรนาได้ง่าย การหาค่าจุดที่พอเหมาะของ r_1 ที่อยู่ระหว่าง $0 - r_2$ ที่ทำให้ระบบทนแรงดันได้สูงสุดโดยไม่เกิดโคโรนา ก่อน กรณีอิเล็กโตรดทรงกระบอกซ้อนกันร่วมคือ

$$\left(\frac{r_2}{r_1}\right)_{opt} = e \quad (2.38)$$



รูปที่ 2.9 ลักษณะการเปลี่ยนแปลง V_b และ E_r ในเทอมของ r_1 เมื่อกำหนดให้ r_2 คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติของ โอโซน (O₃)

2.2.1 คุณสมบัติเด่นของโอโซน (O₃) [3]

1. โอโซนเป็น Oxidizing agent ที่รุนแรงและสลายตัวเร็ว
2. เป็นก๊าซมีกลิ่น สัมผัสได้ที่ความเข้มข้นต่ำในอากาศ 0.01 ppm.
3. ความหนาแน่น (Density) 150% ของออกซิเจน
4. สถานะแก๊ส ที่อุณหภูมิมิบรรยากาศเป็นของเหลวที่ -170 °F (-111.9 °C) (มีสีน้ำเงินเข้ม) และเป็นของแข็ง หรือแข็งตัวที่ -420 °F (-251 °C) จุดหลอมเหลวอยู่ที่ -192.7 °C ความสามารถในการละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 20 °C มีค่าเท่ากับ 0.003 g/l (3 ppm.) และความหนาแน่นของไอเท่ากับ 1 (เท่ากับอากาศ)

5. สามารถละลายน้ำได้ดีกว่าออกซิเจน (O₂)

6. มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคได้เร็วกว่าคลอรีน 3,125 เท่า

7. ฆ่าเชื้อโรค อาทิ ไวรัส (Virus), แบคทีเรีย (Bacteria), รา (Fungus), Mold,

Yeast

8. ทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายน้ำ

9. ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ

10. กำจัดกลิ่นในอากาศ

11. ลด COD, BOD ในน้ำเสีย

12. ช่วยลดเวลาสำหรับกระบวนการตกตะกอน

13. ป้องกันตะกอนและตะไคร่น้ำในระบบท่อฝังเย็น

14. กำจัดเชื้อโรคในน้ำดื่มก่อนบรรจุขวด

15. สามารถย่อยสลายสี กลิ่น ก๊าซพิษ และสารเคมีได้ดี

2.2.2 ข้อมูลอันตรายต่อสุขภาพ (Health Hazard Data)

2.2.2.1 ปริมาณที่เหมาะสม

โดยมาตรฐานแล้วอนุญาตให้มีก๊าซโอโซนอยู่ในอากาศประมาณ 0.1 ppm. โดยเฉลี่ยที่ประมาณ 8 ชั่วโมง หรือประมาณ 0.2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ปริมาณโอโซนในน้ำไม่ได้มีมาตรฐานกำหนดไว้

2.2.2.2 ลักษณะอาการเมื่อได้รับก๊าซโอโซน

จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองเมื่อสูดดมกลิ่นที่มีความเข้มข้นของโอโซนประมาณ 0.04 ppm. และเมื่อความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเพิ่มขึ้นกลิ่นของก๊าซโอโซนจะลดลง จะทำให้เกิดการระคายเคืองตาและทำให้จมูกและลำคอแห้งและทำให้ไอ เมื่อความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเพิ่มขึ้นมากๆ อาจทำให้เกิดอาการปวดหัว โรคกระเพาะ อาเจียน เหนื่อยหอบ สุดท้ายถึงกับส่งผลอันตรายต่อปอดและถึงแก่เสียชีวิตได้

2.2.2.3 คุณสมบัติความเป็นพิษ

ก๊าซโอโซนจะทำลายระบบทางเดินหายใจ ซึ่งเราสามารถได้กลิ่นของโอโซนได้ที่ความเข้มข้นต่ำประมาณ 0.02 ppm. ถึง 0.05 ppm. ก๊าซโอโซนจะส่งผลถึงตาและเยื่อจมูกต่างๆ และมีผลต่อปอดที่ระดับความเข้มข้นสูงๆ ในระบบร่างกาย ได้มีรายงานเกี่ยวกับผลกระทบจากการแพร่กระจายของประจุไฟฟ้าซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอันตรายต่อโครงสร้างโครโมโซม ถึงแม้ว่าผลกระทบจากการได้รับโอโซนจะมีลักษณะที่เกิดอย่างเฉียบพลัน แต่ก็สามารถเกิดอาการเรื้อรังเช่นเกิดกับปอดซึ่งทำให้ร่างกายอ่อนแอลงโอโซนเป็นสารเคมีที่ไม่เคยตรวจพบในการใช้งานเลยว่าเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ในช่วง 100 ปีที่ผ่านมาในขณะที่สารผลิตภัณฑ์ของคลอรีนหลายชนิดเป็นพิษอย่างรุนแรง นอกจากนี้โอโซนยังจัดว่าเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อและปลอดเชื้อที่สมบูรณ์แบบ แต่โดยคุณสมบัติตัวมันแล้ว โอโซนเป็นก๊าซพิษ ค่าศักย์ออกซิเดชันสูงถึง 2.07 V (สำหรับคลอรีน 1.36 V) ดังนั้น ถ้าปราศจากความรู้และความเข้าใจ การใช้งานจึงมีอันตรายมาก

ตารางที่ 2.3 ระดับโอโซนและผลที่เกิดขึ้น [2]

Ozone Level (ppm : part per million)	Effect
0.001-0.125	ระดับที่พบในชั้นบรรยากาศ ค่านี้แปรผันตามตำแหน่งและสภาพบรรยากาศแวดล้อม
0.05	ระดับสูงสุดที่ผลิตจาก Electronic air cleaner และ อุปกรณ์ในบ้าน
0.1	ระดับสูงสุดที่ยอมให้มีในบรรยากาศ บริเวณอุตสาหกรรม และ ที่สาธารณะ
0.3	เริ่มปรากฏผลต่อสิ่งมีชีวิตที่สัมผัสโดยตรง ในพืชเกิดจุดดำ สีซีด มีใบตาย ในสัตว์เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ
0.5	เกิดอาการปวดศีรษะ ปวดถูกทำลาย ติดเชื้อทางเดินหายใจ
1.00-2.00	ในการทดสอบการสูดดมเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเกิดอาการป่วย คือ ปวดศีรษะ ปวดหน้าอก และทางเดินหายใจแห้งผาก
1.4-5.6	การทดสอบกับต้นถั่วพบว่าใน 70 วินาที ใบถั่วเกิดอาการป่วยอย่างรุนแรง
25 up	เป็นอันตรายเฉียบพลันต่อสิ่งมีชีวิต ในการทดสอบกับสัตว์พบอาการป่วยซึ่งน่าจะเป็นขั้นสุดท้ายแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของโอโซนกับคลอรีน

สารเคมีหลายชนิดมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคโดยเฉพาะสารประกอบคลอรีน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับโอโซนแล้วจะเห็นข้อแตกต่างทางความสามารถที่ชัดเจนดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความสามารถในการฆ่าเชื้อ (99%) ที่เป็นอันตรายของสารประกอบคลอรีนเทียบกับโอโซนที่ pH 6-7 [2]

Microorganism	Disinfectant (mg * min/L)			
	Free Chlorine	Performed Chloramine	Chlorine Dioxide	Ozone
<i>E. Coli</i>	0.034-0.05	95-180	0.4-0.75	0.02
<i>Polio I</i>	1.1-2.5	770-3740	0.2-6.7	0.1-0.2
<i>Rotavirus</i>	0.01-0.05	3810-6480	0.2-2.1	0.006-0.06
<i>Phage f2</i>	0.08-0.18	-	-	-
<i>G.Lambia cysts</i>	47-150	-	-	0.5-0.6
<i>G.Muris cysts</i>	30-630	1400	7.2-18.5	1.8-2.0

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของโอโซนกับคลอรีน [2]

คลอรีน (Chlorine)	โอโซน (Ozone)
1. มีความเป็นพิษสูง และเป็นก๊าซพิษ	1. ระดับความเป็นพิษอยู่ที่ 1 mg/l มีกลิ่นจุนเริ่มสังเกตได้ที่ระดับ 0.01 mg/l ที่ระดับสูงกว่านี้มีการระคายเคืองมากสูงมาก
2. คลอรีนจะถูกเก็บที่ภาชนะบรรจุความดันสูงและสามารถเป็นอันตรายได้เมื่อมีการรั่วไหลเกิดขึ้น	2. โอโซนต้องทำการผลิต ณ ตำแหน่งที่ใช้ งานไม่สามารถเก็บได้
3. คลอรีนเมื่อผสมกับยูรีนและเหงื่อจะทำให้เกิดสารประกอบโครเดนซึ่งทำให้เกิดการระคายเคืองตาและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ	3. โอโซนมีวงจรรชีวิตสั้น หลังทำปฏิกิริยาสลายตัวเป็นออกซิเจน
4. ราคาสูง	4. ราคาโอโซนต่ำลงเนื่องจากการพัฒนาเทคโนโลยีและการใช้พลังงานน้อยลงในการผลิตปัจจุบัน
5. คลอรีนมีค่าความรุนแรงในการทำปฏิกิริยา (Oxidation potential) 1.36 V	5. โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่ทำปฏิกิริยาสูงสุดเนื่องจากค่า (Oxidation potential) 2.07 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) เปรียบเทียบคุณสมบัติของโอโซนกับคลอรีน [2]

6. คลอรีนฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้แต่ไม่สามารถฆ่าเชื้อไวรัสได้	6. โอโซนที่ค่าความเข้มข้นเดียวกับคลอรีนสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียและไวรัสได้ดีกว่าคลอรีน 600 – 3000 เท่า
7. คลอรีนมีกลิ่นรุนแรงตกค้างหลังจากการบำบัด	7. โอโซนไม่มีกลิ่นตกค้าง แต่สามารถกำจัดกลิ่นของยูรีน ควัน อาหาร และสีได้
8. คลอรีนกำจัดตะไคร่น้ำได้ดีมาก	8. โอโซนพบปัญหาการเติบโตของตะไคร่น้ำ ต้องใช้คลอรีนช่วยกระทำ Shock treatment
9. คลอรีนทำงานได้ดีต้องควบคุม pH ให้อยู่ในย่าน 7.0 – 7.4	9. โอโซนไม่ต้องมีการควบคุม pH

2.2.4 ค่าครึ่งชีวิตของก๊าซโอโซน (Half Life)

ค่าครึ่งชีวิต (Half life) ของโอโซนในน้ำจะมีค่าประมาณ 12-15 นาทีตามอุณหภูมิอากาศประเทศเรา ดังตารางที่ 2.6 เพราะฉะนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 12-15 นาที ปริมาณโอโซนจะเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณเริ่มต้นตามปริมาณที่ต้องการ

ตารางที่ 2.6 ค่าครึ่งชีวิต (Half life) ของโอโซนในน้ำที่ pH 7 [2]

Temp (°C)	Half life
15	30 min
20	20 min
25	15 min
30	12 min
35	8 min

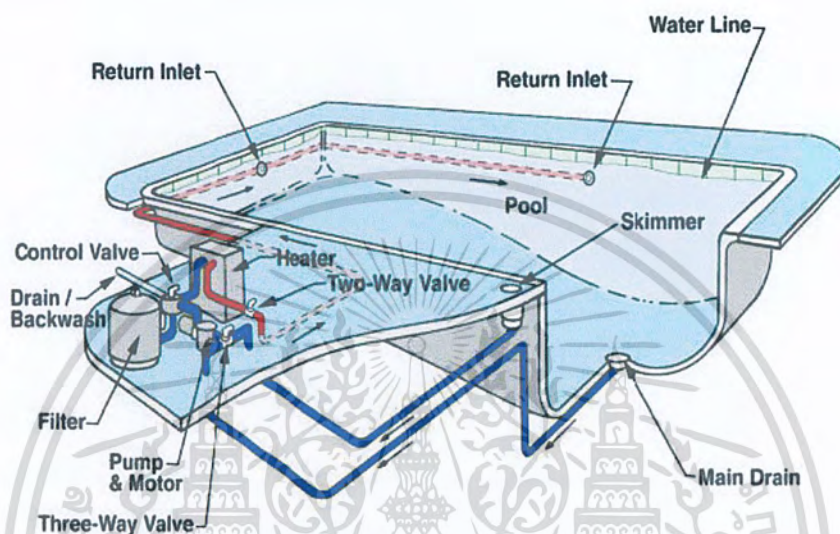
2.3 ระบบกระจายน้ำ



รูปที่ 2.10 ไดอะแกรมระบบกระจายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบของสระว่ายน้ำมีทั้งหมด 3 ระบบคือ ระบบหมุนเวียนน้ำ ระบบบำบัด และระบบแสงสว่างในสระว่ายน้ำ โดยระบบบำบัดน้ำนั้นเป็นระบบที่สำคัญมากในการกำจัดของเสียและฆ่าเชื้อโรคในสระว่ายน้ำ เช่น ตะกอน สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ เชื้อโรคต่าง ๆ แบคทีเรีย และเชื้อไวรัส การทำงานของระบบบำบัดจะแตกต่างกันออกไป ระบบบำบัดน้ำที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีทั้งหมด 3 ระบบ คือระบบคลอรีน ระบบน้ำเกลือและระบบโอโซน วิธีที่ใช้มากที่สุดในเมืองไทยก็คือระบบบำบัดแบบคลอรีน



รูปที่ 2.11 ระบบการทำงานของสระว่ายน้ำ

ระบบสระว่ายน้ำประกอบด้วยระบบหมุนเวียนน้ำ ระบบบำบัดน้ำและระบบแสงไฟ ซึ่งในปริญญาโทฉบับนี้จะพิจารณาเพียงระบบหมุนเวียนน้ำและระบบบำบัดน้ำ

2.3.1 ระบบหมุนเวียนน้ำ ประกอบด้วย 2 ระบบคือ ระบบสกิมเมอร์และระบบน้ำล้น

ระบบสกิมเมอร์ (Skimmer System) น้ำในสระจะถูกนำไปบำบัดโดยผ่านทางด้านข้างผนังสระทำให้ระดับน้ำอยู่ที่ระดับต่ำกว่าพื้นรอบสระ 5-10 cm โดยไม่มีถึงพักน้ำจึงประหยัดน้ำ มีราคาถูกกว่าระบบน้ำล้น แต่มีข้อจำกัดคือ เหมาะสมกับสระที่มีขนาดเล็กไม่เกิน 6x12 m

ระบบน้ำล้น (Overflow System) เหมาะกับผู้ที่ต้องการสระว่ายน้ำแบบไม่มีขอบสระ ผิวหน้าดูดีสวยงาม เพราะอยู่ในระดับเดียวกับพื้นรอบสระ และมีรางน้ำล้นอยู่รอบสระ ซึ่งสามารถออกแบบเพื่อหลบรางน้ำล้นได้โดยทำขอบให้ต่ำกว่าระดับสระมาก ๆ

โครงสร้างของระบบหมุนเวียนน้ำ



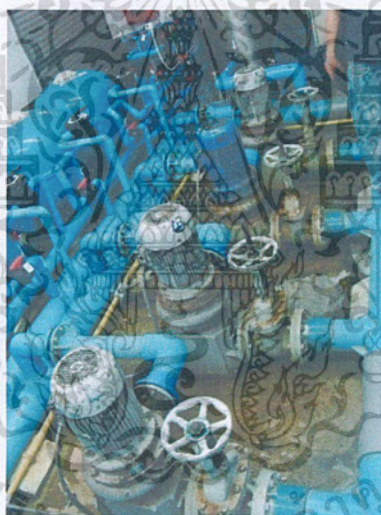
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของระบบหมุนเวียนน้ำ

บ่อพักน้ำ

น้ำในสระจะถูกนำไปบำบัดโดยการทำให้ล้นออกมายังรางน้ำล้นข้างสระ แล้วไหลไปยังถังพัก

ปั๊มหมุนเวียน

ปั๊มจะดูดน้ำจากบ่อพักน้ำผ่านไปเข้าเครื่องกรองน้ำ

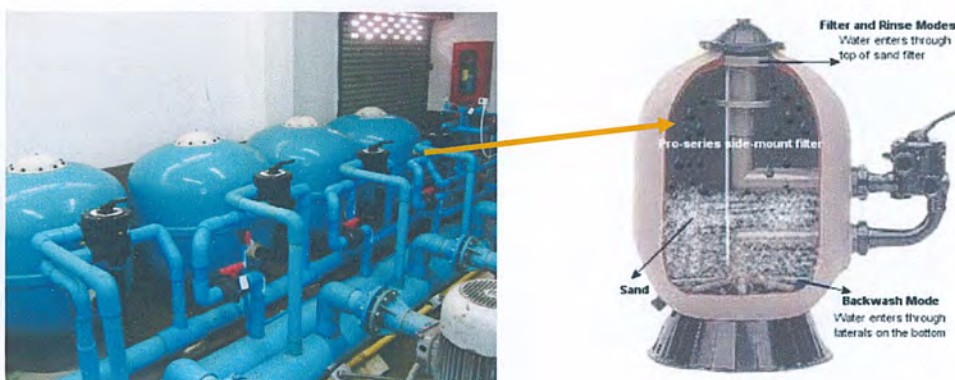


รูปที่ 2.13 มอเตอร์ปั้มน้ำ

เครื่องกรองน้ำ

ระบบที่ใช้กรองน้ำเป็นระบบทรายซึ่งภายในจะประกอบด้วยทราย 3 ชนิด ได้แก่ ทรายหยาบ ทรายปานกลางและทรายละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ถังกรองน้ำ

2.3.2 ระบบบำบัดน้ำ [4]

2.3.2.1 ระบบคลอรีน (Chlorine)

เป็นระบบฆ่าเชื้อโรคที่นิยมใช้กันมาก เพราะมีราคาถูกและมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำพอสสมควร คลอรีนที่จำหน่ายในท้องตลาดมักอยู่ในรูปของเหลว เม็ดและผง เพียงแค่ละลายลงในสระว่ายน้ำก็สามารถฆ่าเชื้อโรคได้แล้ว แต่ค่า pH ของน้ำในสระว่ายน้ำที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 7.2-7.8 หากมีค่าสูงแสดงว่าน้ำมีความเป็นด่าง ควรเติมกรดเพื่อปรับสภาพน้ำ และหากน้ำในสระมีค่า pH ต่ำ คือ ความเป็นกรดสูง ก็ต้องเติมสารที่เป็นด่างจำพวก Buffer หรือ Soda Ash เพื่อปรับสภาพน้ำให้เป็นกลาง คลอรีนเป็นสารที่ทำให้เกิดความระคายเคืองกับผิวหนังได้ ดังนั้นการละลายคลอรีนจึงควรทำในช่วงเย็น หลังจากใช้สระเสร็จแล้ว และควรเปิดบ่มให้ระบบทำงานไว้อย่างน้อย 6-8 ชั่วโมง

2.3.2.2 ระบบเกลือ (Salt Water)

ปัจจุบันมีการค้นพบวิธีการใหม่ เพื่อควบคุมความสะอาดของน้ำด้วยระบบเกลือ ซึ่งมีความปลอดภัยกว่าการใช้คลอรีนแบบเดิม โดยอาศัยเครื่องฟอกน้ำบรรจุเกลือ ที่มีสมรรถนะสูงเรียกว่า Salt-Chlorinator สามารถรักษาน้ำในสระให้สะอาดเหมือนน้ำในทะเล (แต่ความเค็มน้อยกว่าน้ำทะเลประมาณ 10 เท่า) เนื่องจากเกลือที่ใช้เป็นสารที่ได้จากธรรมชาติจึงไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมทั้งยังช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับผิวหนังอีกด้วย แต่ราคาติดตั้งเริ่มแรกจะสูงและมีความเป็นด่าง จึงทำให้น้ำในสระมีความกร่อยเล็กน้อย 3 ระบบโอโซน เป็นระบบที่นำก๊าซโอโซนซึ่งผลิตจากเครื่องอัดอากาศมาบำบัดน้ำในสระ เป็นระบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงและไม่มีสารตกค้างในน้ำ ระบบโอโซนจะมีระยะเวลาในการฆ่าเชื้อโรคสั้นกว่าระบบอื่น

2.3.2.3 ระบบโอโซน

เป็นระบบที่นำก๊าซโอโซนซึ่งผลิตจากเครื่องอัดอากาศมาบำบัดน้ำในสระ เป็นระบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงและไม่มีสารตกค้างในน้ำ ระบบโอโซนจะมีระยะเวลาในการฆ่าเชื้อโรคสั้นกว่าระบบอื่นและมีราคาติดตั้งสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ปัญหาที่พบเสมอในระบบบำบัดแบบคลอรีน

2.3.3.1 เชื้อโรค แบคทีเรีย และเชื้อไวรัส

คลอรีนนั้นไม่สามารถฆ่าเชื้อโรคบางตัวได้โดยทันทีเช่นเชื้อคริปโต (Cryptococcus) สามารถทนคลอรีนได้หลายวัน ดังนั้นหากเกิดการแพร่กระจายของเชื้อคริปโตในสระว่ายน้ำแล้ว ก็เป็นการยากที่จะควบคุมการติดเชื้อได้ และคลอรีนไม่สามารถฆ่าเชื้อไวรัสได้ซึ่งเชื้อไวรัสสามารถติดต่อกับทางการสัมผัสน้ำ โดยเป็นพาหะของโรคการอักเสบของเยื่อในตา การอักเสบในลำคอ และโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ อีกทั้งยังมีเชื้อโรคบางตัวที่สามารถทนฤทธิ์คลอรีนในสระว่ายน้ำได้ เช่น เชื้อใจอาเดรีย, เชื้ออีโคไล (E.coli) และเชื้อครีฟโตสปอริเดียม

2.3.3.2 ผลกระทบจากสารเคมี

อันตรายจากสารคลอรีนนั้นได้แก่ การฟุ้งร่อนของฟีน ระบายเคื่องตา โพรงจมูก อาการอักเสบของเยื่อปากช่องคลอด เส้นผมแห้งกรอบ ผิวหนังลอกแห้ง ก่อให้เกิดสารตกค้าง Trichloromethanes หลังจากการฆ่าเชื้อซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง และหากกลิ่นน้ำที่มีคลอรีนมากๆ จะทำให้ท้องเสีย

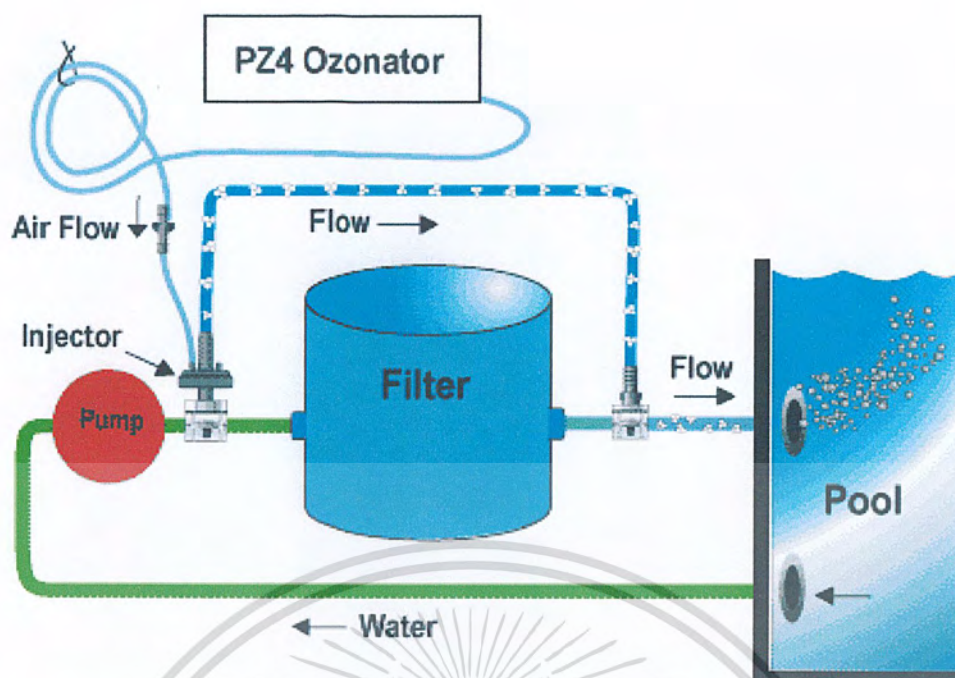
2.3.3.3 ผลกระทบอื่นๆ

ผลกระทบอื่นๆของคลอรีนเช่น กลิ่นฉุนของคลอรีน

2.3.4 การใช้ระบบบำบัดโอโซนบำบัดในสระว่ายน้ำ

จากปัญหาในหัวข้อ 2.3.3 ทำให้มีการใช้โอโซนเข้ามาบำบัดน้ำแทนการใช้คลอรีน โดยระบบบำบัดโอโซนจะประกอบด้วย

1. เครื่องสูบน้ำ
2. กระจบอกฉีด
3. เครื่องฉีดอากาศ
4. เครื่องผลิตโอโซน
5. เครื่องกรอง



รูปที่ 2.15 การทำงานของระบบโอโซน

2.3.5 ค่ามาตรฐานของสระว่ายน้ำ [5]

1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.2 – 8.4
2. คลอรีนอิสระ (Free chlorine) 0.6 – 1.0 ppm
3. คลอรีนที่รวมกับสารอื่น (Combined chlorine) 0.5 – 1.0 ppm
4. ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) 80 – 100 ppm
5. ความกระด้าง (Calcium hardness) 250 – 600 ppm
6. กรดไซยานูริก (Cyanuric acid) 30 – 60 ppm
7. คลอไรด์ (Chloride) ไม่เกิน 600 ppm
8. แอมโมเนีย (Ammonia) ไม่เกิน 20 ppm
9. ไนเตรท (Nitrate) ไม่เกิน 50 ppm
10. โคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria) น้อยกว่า 10 ต่อ 100 ml โดยวิธีเอ็มพีเอ็น (Most Probable Numbers) ในอัตราส่วน 100 ml
11. ตรวจไม่พบฟิคอลโคลิฟอร์ม (Fecal coliform) ตรวจไม่พบจุลินทรีย์หรือตัวบ่งชี้จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 ค่ามาตรฐานทางเคมีของสระว่ายน้ำ [6]

1. คลอรีนอิสระ (Free chlorine) 0.6 – 1.0 ppm
2. คลอรีนรวม (Total chlorine)
3. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.2 – 8.4
4. ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) 80 – 100 ppm
5. ของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids)
1000 – 2000 ppm
6. ความกระด้าง (Calcium hardness) 250 – 600 ppm
7. กรดไซยานูริก (Cyanuric Acid) 30 – 50 ppm
8. ปริมาณโอโซนในน้ำ 0.1 – 0.2 ppm

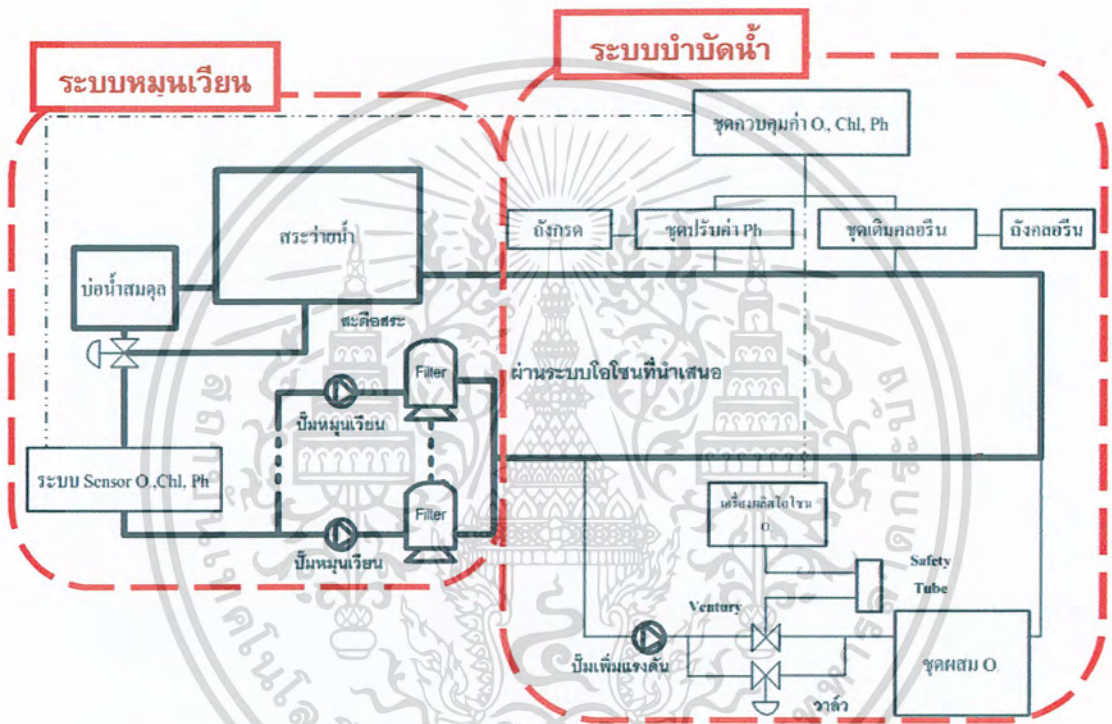


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบการทดลอง

3.1 การทำงานของระบบโอโซนร่วมกับระบบคลอรีนภายในสระว่ายน้ำการกีฬาแห่งประเทศไทย



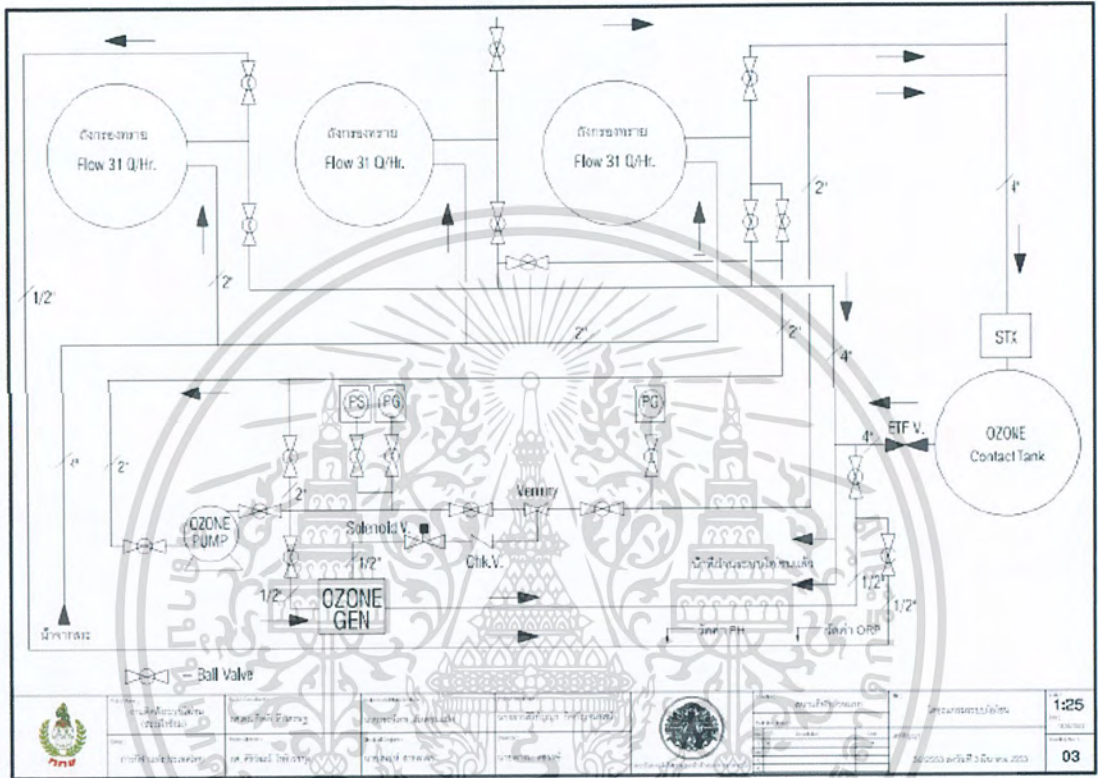
รูปที่ 3.1 แผนผังการติดตั้งของสระว่ายน้ำระบบโอโซนการกีฬาแห่งประเทศไทย

หลักการการทำงานของสระว่ายน้ำ น้ำจากสระน้ำหรือน้ำที่ล้นออกมาจากสระว่ายน้ำจะไหลมาเข้าบ่อน้ำสมดุล จากนั้นจะใช้ปั๊มขนาด 400 V 15.4 A 7.5 kW 50Hz ดึงน้ำเข้าระบบหมุนเวียน ผ่านระบบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณ โอโซน pH และคลอรีน แล้วมาเข้าถังกรองน้ำ ซึ่งในสระนี้จะใช้ถังกรองทั้งหมด 8 ถัง โดยทรายที่ใช้ในถังกรองจะมีทราย 3 ชนิด (หยาบ กลางละเอียด) เพื่อกรองสิ่งสกปรกและฝุ่นละออง ระบบกรองน้ำส่วนหนึ่งจะนำน้ำมาเข้าระบบโอโซนโดยใช้มอเตอร์ปั๊มน้ำเข้าขนาด 230/390V 5.9/3.4A 1.5kW 50 Hz ผ่านท่อเวนจูรี่เพื่อเพิ่มแรงดัน นำน้ำไปผสมกับก๊าซโอโซนที่ Ozone Contact Tank โดยโอโซนจะผลิตและปล่อยมาจาก Ozone Generator แล้วส่งน้ำออกไปผสมกับน้ำอีกส่วนหนึ่งกลับลงสระว่ายน้ำ โดยขนาดท่อที่นำน้ำออกและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

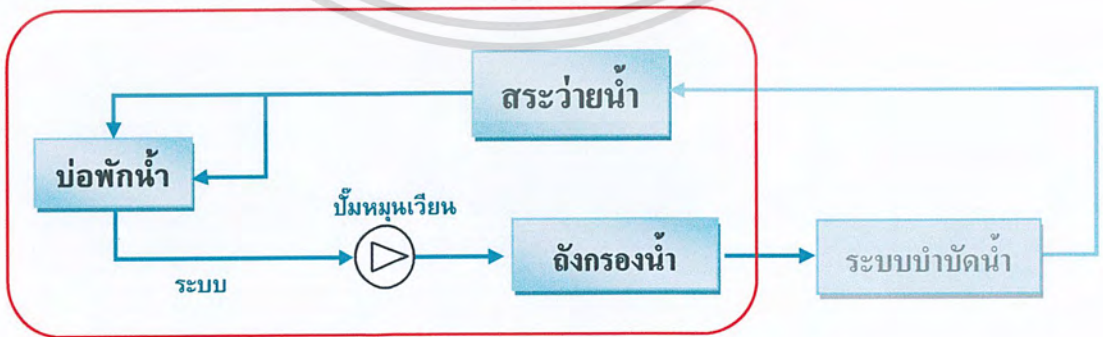
เข้าสระจะใช้ขนาด 8 นิ้ว ขนาดท่อที่นำน้ำเข้า-ออก ระบบโอโซนขนาด 4 นิ้ว ขนาดท่อนำน้ำเข้าบ่ยมุมเวียน 6 นิ้ว ขนาดท่อนำน้ำออกจากบ่ยมุมเวียน 4 นิ้ว ขนาดท่อนำน้ำเข้าถังกรอง 3 นิ้ว

โดยในส่วนการจ่ายโอโซน คลอรีนและปรับ pH ระบบเซนเซอร์จะตรวจดูน้ำที่ออกจากสระก่อนเข้าระบบหมุนเวียน แล้วจะมาปรับค่า pH และคลอรีนของน้ำก่อนที่น้ำจะเข้าสระโดยจะใช้โซดาแอสในการปรับ pH และคลอรีนช่วยผสมร่วมกับโอโซน



รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมระบบโอโซนของสระว่ายน้ำ กกท.

3.1.1 ระบบหมุนเวียนน้ำ



รูปที่ 3.3 ไดอะแกรมแสดงระบบหมุนเวียนน้ำในสระว่ายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

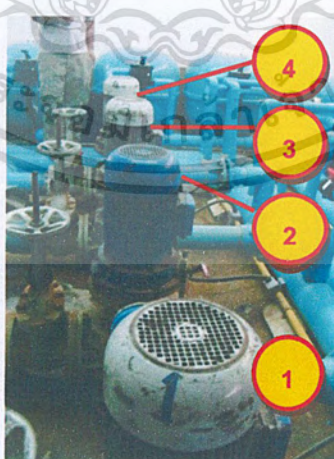
สรวายน้ำการกัพาแห่งประเทศไทยจะไ้ระบบน้ำลันซึ่งจะมีส่วนประกอบดั่งนี้
 3.1.1.1 ป้มหมุนเวียนน้ำ
 ระบบของสรวายน้ำการกัพาจะไ้มอเตอร์ 4 ตัว



รูปที่ 3.4 มอเตอร์ที่ไ้ป้มน้ำเข้าระบบหมุนเวียนน้ำ

ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดมอเตอร์ที่ไ้

Emod No.03708232			
V	400	V	460
A	15.4	A	16.4
KW	7.5	KW	9.0
1450rpm /50Hz		1740 rpm /60Hz	



รูปที่ 3.5 มอเตอร์ที่ไ้ทั้ง 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงเวลาที่มอเตอร์ทำงาน

ปั๊มตัวที่	เวลาที่มอเตอร์ทำงาน	
	06.00 – 20.00 น	20.00 – 06.00 น
1	ไม่ทำงาน	ทำงาน
2	ทำงาน	ไม่ทำงาน
3	ทำงาน	ไม่ทำงาน
4	ไม่ทำงาน	ทำงาน



รูปที่ 3.6 ชุดควบคุมมอเตอร์ทั้ง 4 ตัว



รูปที่ 3.7 ท่อที่ใช้กับปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงขนาดท่อที่ใช้กับปั๊ม

ขนาดท่อที่ใช้	
น้ำออกจากบ่อพัก	8 นิ้ว
น้ำเข้าปั๊ม	6 นิ้ว
น้ำออกปั๊ม	3 นิ้ว

คำนวณหาพิกต์มอเตอร์ที่เหมาะสม

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรสระว่ายน้ำ} &= \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{ลึก} \\ &= 25 \times 50 \times 1.2 \\ &= 1500 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

อัตราการไหลตามมาตรฐาน 8 hrต่อปริมาตรสระว่ายน้ำ

$$= 8 \text{ hr}/1500\text{m}^3 \quad [9][\text{ภาคผนวก ข.}]$$

$$\text{ชั่วโมงต่อปริมาตรสระว่ายน้ำ} = 0.052 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{ใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง} = 8 \text{ นิ้ว}$$

$$= 0.032 \text{ m}^2$$

ใช้ปั๊มมอเตอร์ขนาด 220 V 7.5 kW 10 hp 103 m³/h

$$\text{อัตราการไหล} = 0.0286 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{ปั๊มทำงาน ตัว 2} = 0.0572 \text{ m}^3/\text{s}$$

จากการคำนวณ $0.0572 > 0.052$ ขนาดมอเตอร์สามารถให้อัตราการไหลที่มากกว่าอัตราการไหลที่ต้องการได้

3.1.1.2 ถังกรอง

ใช้ถังกรองแบบกรองทราย 8 ตัว ซึ่งถังกรองน้ำสามารถเลือกได้ 3 โหมด ในการกรองน้ำจะใช้โหมด Filter

ตารางที่ 3.4 ขนาดถังกรองที่ใช้

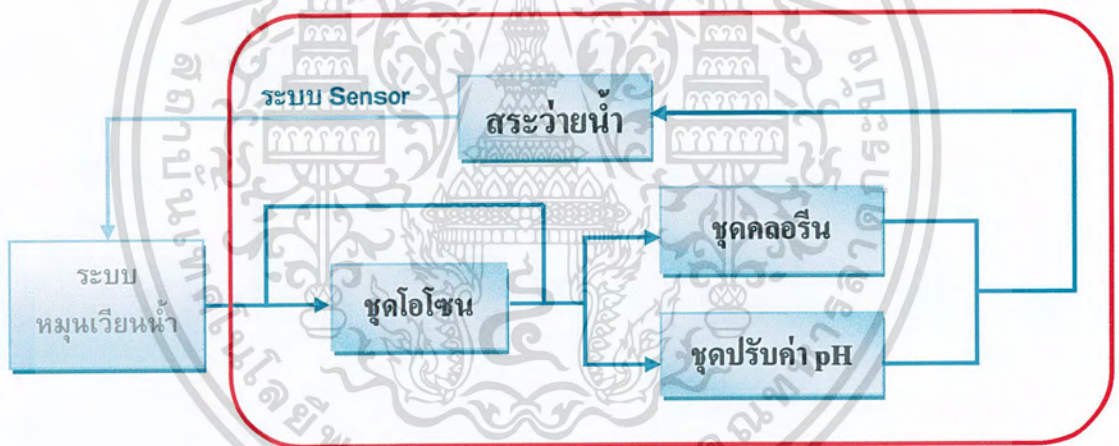
Connection (BPS)	3"
Media Required	375Kg
Flow Rate	13 cubic meters/hr.
Max. Pressure	22psi
Recommended Pump	ITT unit AV250EC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ระบบกรองน้ำ (ขนาดท่อที่ใช้กับถังกรองใช้ท่อขนาด 3 นิ้ว)

3.1.2 ระบบบำบัดน้ำ

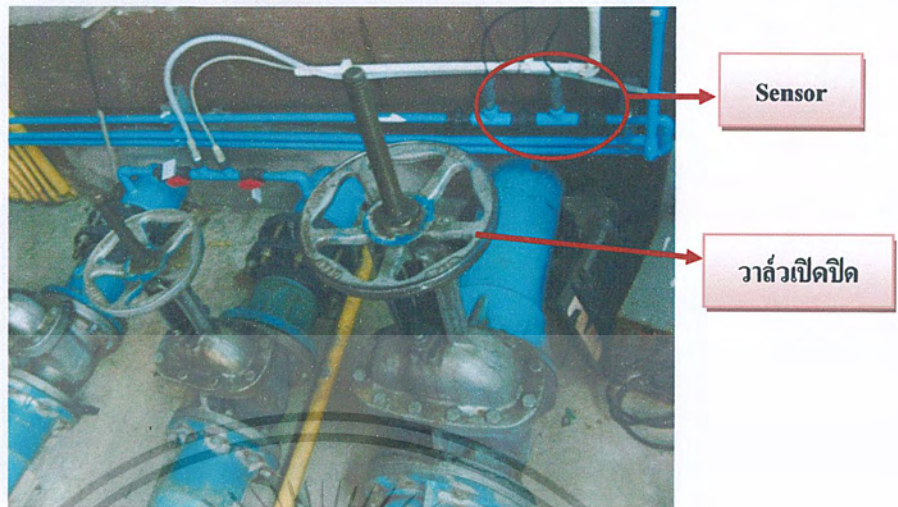


รูปที่ 3.9 ไดอะแกรมแสดงระบบบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำ

สระว่ายน้ำการกีฬาแห่งประเทศไทยจะใช้ระบบบำบัดน้ำคลอรีน ร่วมกับระบบ
โอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.1 ระบบเซนเซอร์วัดค่า O₃, คลอรีน และ pH



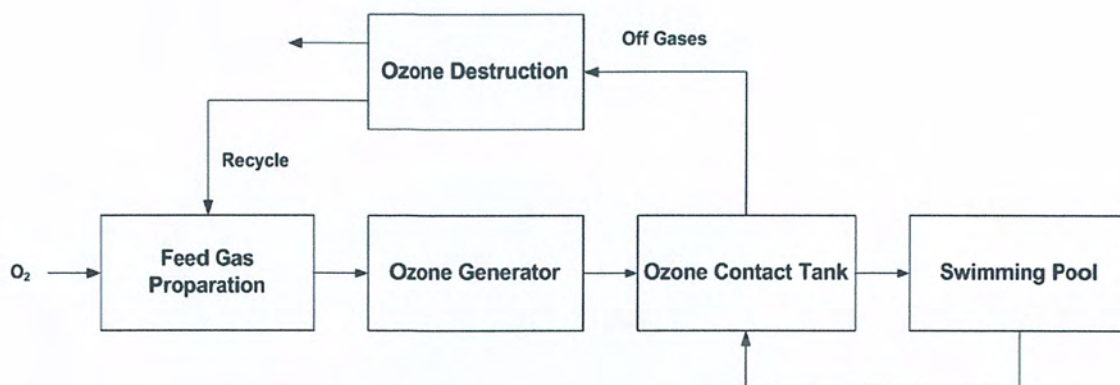
รูปที่ 3.10 ตัวเซนเซอร์และวาล์วเปิดปิดน้ำ



รูปที่ 3.11 หน้าจอแสดงผลค่าที่เซนเซอร์วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.2 ระบบโอโซน



รูปที่ 3.12 ไดอะแกรมการทำงานของระบบโอโซน

ระบบโอโซนประกอบด้วยส่วนสำคัญทั้งหมด 4 ส่วนคือ

ก. Feed Gas Preparation

การทำงานของระบบเริ่มจากการเตรียมลมแห้งจาก Feed Gas Preparation โดยนำอากาศผ่านเข้าเครื่องกรองลม (Air Filter) และเครื่องทำลมแห้ง (Air Dryer) เพื่อควบคุมคุณภาพอากาศให้มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ

ข. Ozone Generator

มีหน้าที่ผลิตก๊าซโอโซน เพื่อส่งไปบำบัดน้ำเสียใน Ozone Contact Tank

การคำนวณหาขนาด Ozone Generator

สมมุติให้ปริมาตรสระว่ายน้ำคือ 1500 m^3 มีอัตราการไหลที่ 8 ชั่วโมง ต้องการความเข้มข้นโอโซนที่ 0.05 ppm (ระดับความเข้มข้นมาตรฐานที่ใช้ในระบบโอโซนในสระว่ายน้ำ)

$$\begin{aligned} \text{ขนาด Ozone Generator} &= (1500/8) \times 0.05 \\ &= 9.375 \text{ g/hr} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะต้องใช้ ขนาด Ozone Generator ขนาดมากกว่า 9.375 g/hr ในการผลิตโอโซน



รูปที่ 3.13 Feed Gas Preparation และ Ozone Generator

ค. Ozone Contact Tank

ก๊าซโอโซนที่ผลิตจะส่งไปบำบัดน้ำเสียใน Ozone Contact Tank โดยน้ำที่มีเชื้อโรคที่เข้ามาจะต้องมีระยะเวลาอยู่ใน Ozone Contact Tank นานอย่างน้อย 2 นาทีเพื่อให้โอโซนได้ทำปฏิกิริยาในการฆ่าเชื้อโรค สลายสารพิษ กำจัดสี กำจัดกลิ่น ย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้อย่างเต็มที่ ก่อนที่จะปล่อยน้ำที่กำจัดเชื้อโรคด้วยโอโซนแล้วกลับสู่สระว่ายน้ำ



รูปที่ 3.14 Ozone Contact Tank

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาขนาด Ozone Contact Tank

โดยทั่วไปจะใช้น้ำไหลเข้าสู่ระบบโอโซน 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่จะไหล กลับคืนสู่ กระจายน้ำทั้งหมดซึ่งจะทำให้ค่าความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้ในการผสมจะต้องใช้ 4 เท่า เพื่อที่จะให้ ได้ค่าความเข้มข้นที่ต้องการ และจากมาตรฐานค่า Contact time ต้องมากกว่า 1.6 [10] สามารถ คำนวณขนาดของ Ozone Contact Tank ได้จาก

$$CT = \text{ความเข้มข้นโอโซน} \times \text{เวลาที่ใช้ในการผสม}$$

สมมุติให้ปริมาตรกระจายน้ำคือ 1500 m³ มีอัตราการไหลที่ 8 ชั่วโมง ต้องการ ความเข้มข้นโอโซนที่ 0.05 ppm (ระดับความเข้มข้นมาตรฐานที่ใช้ในระบบโอโซนในกระจายน้ำ) [11] ดังนั้นจะต้องใช้โอโซนความเข้มข้น 0.2 ppm เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลเข้าสู่ Ozone Contact Tank ต่อ นาที} &= (1500 \times 0.25) / (8 \times 60) \\ &= 0.78125 \text{ m}^3 / \text{minute} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เวลาที่ใช้ในการผสม} &= 1.6 / 0.02 \text{ minute} \\ &= 8 \text{ minute} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ขนาด Ozone Contact Tank} &= 0.78125 \times 8 \text{ m}^3 \\ &= 6.25 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

ดังนั้นจะต้องใช้ Ozone Contact Tank ขนาด 6.25 m³ ในการผสมโอโซนกับน้ำ

ง. Ozone Destruction

โอโซนส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะถูกทำลาย ซึ่งมีหลายวิธี เช่น การใช้รังสี ULTRAVIOLET, ความร้อน และ Activited Carbon โดยปกติเราจะเลือกใช้ Activited Carbon เพราะประหยัดพลังงานและส่วนก๊าซที่หลงเหลือจะไม่เยอะ



รูปที่ 3.15 Ozone Destruction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

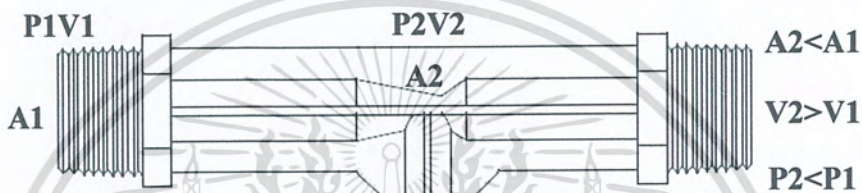
จ. การผสมโอโซนด้วยท่อเวนจูรี

เพื่อที่จะให้โอโซนผสมกับน้ำได้อย่างสมบูรณ์จึงต้องใช้ท่อเวนจูรี ในการผสม การผสมกันของก๊าซโอโซนมี 2 ขั้นตอนคือ Static Mixing และ Dynamic Mixing

1. Static Mixing

วิธีนี้เป็นการผสมก๊าซโอโซนกับน้ำด้วยวิธีการใช้ Venturi หรือ Injector ทำงานโดยอาศัยเครื่องสูบน้ำฉีดน้ำผ่านหัวพ่นเวนจูรีที่มีรูปร่างเป็นคอขวดเพื่อเพิ่มความเร็ว

ของน้ำ อาศัยหลักการของการสร้างความแตกต่างของแรงดัน จนกระทั่งเกิดแรงดูดโอโซนลงมาผสมกับน้ำทำให้เกิดการถ่ายเทโอโซนลงไปใต้น้ำ



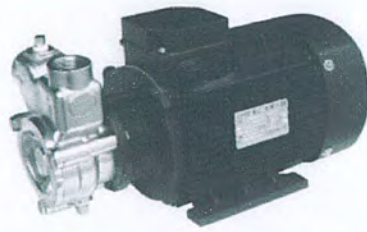
รูปที่ 3.16 หลักการของท่อ Venturi



รูปที่ 3.17 Venturi ต่อร่วมกับ Union ball valve ที่ใช้ในระบบผสม

2. Dynamic Mixing

เป็นวิธีการผสมก๊าซโอโซนเข้ากับน้ำด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Ozone Mixing Pump ดังรูปที่ 3.25 ปัมพ์ชนิดนี้ได้ถูกออกแบบมาเพื่อการผสมระหว่างก๊าซโอโซนกับน้ำโดยเฉพาะ ดังนั้นประสิทธิภาพของการผสมก๊าซโอโซนเข้ากับน้ำด้วยวิธีนี้จะทำให้อัตราการเข้ากันของก๊าซโอโซนกับน้ำได้ผลดีมาก



รูปที่ 3.18 Ozone Mixing Pump

การหาขนาดท่อเวนจูรี

จากปั๊มน้ำหมุนเวียน จะได้แรงดันอยู่ที่ 17 – 28 เมตร หรือ 22.7 - 38.4 psi เนื่องจากระบบที่ใช้ไม่ได้นำไปใช้ในที่สูง ดังนั้นเลือกแรงดันต่ำสุดมาพิจารณา

เมื่อ แรงดันน้ำ = 22.7 psi -Injector Inlet

แรงดันก๊าซโอโซนจากเครื่องกำเนิดโอโซน = 33 l/m [ภาคผนวก จ.]

= 69.92 ft³/h--Air Suction SCFH

แรงดันน้ำโอโซนที่ต้องการ = 7 psi--Injector Outlet [12]

นำไปพิจารณาในตาราง

ตารางที่ 3.5 แสดงขนาดท่อเวนจูรีที่เลือก [ภาคผนวก จ.]

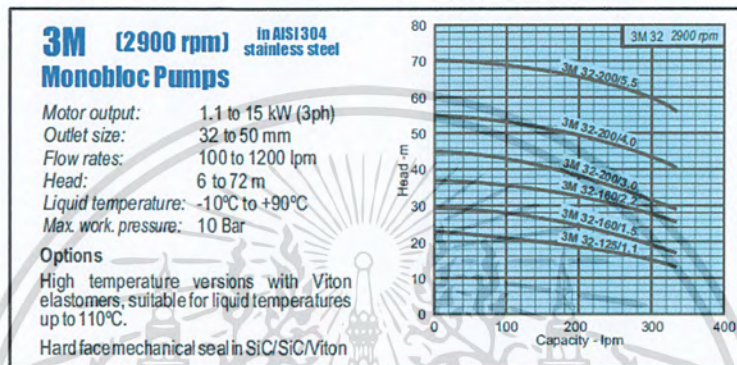
Mazzei Injector Company, LLC Injector Performance Table																	
Air Suction Capacity • Injector Inlet Pressure 5-50 PSIG																	
Operating Pressure PSIG		Model 1584 1.5" Threads		Model 1585X 1.5" Threads		Model 1587 1.5" Threads		Model 2081 2" Threads		Model 3090 3" Threads		Model 4091 4" Threads					
Injector Inlet	Injector Outlet	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH				
5	0		47.0		56.4		65.9						1200				
	1	18.0	40.0	10.3	12.0	17.0	21.9	33	73	103	131	131	1151				
	2		31.8		6.9		15.7						941				
	3		20.6				8.7						618				
	4		(4.0)		10.7		(3.5)						(4.1)	(4.5)	(4.0)	(4.5)	618
0			98.0				65.0							127.8		422	
10	2	25.5	72.4	14.5	20.1	24.0	61.1	46	103	103	186	186	1305				
	5		37.1		11.7		21.7						945				
	7		20.6				9.8						48	868			
	8		(8.5)		12.7		(6.5)						(8.7)	(9.0)	(8.5)	(8.8)	724
	0				144.0								117.3		153.8		523
15	5	31.3	71.7	17.8	18.7	29.4	42.7	57	127	127	227	227	1300				
	7		45.7		11.7		26.8						1118				
	10		23.9		0.2		13.7						63	262			
	12		(13.0)		9.4		(9.4)						(13.5)	(13.3)	(13.5)	(13.1)	389
	0				170.0								130.8		173.1		606
20	5	36.1	102.1	20.6	31.1	33.9	64.3	66	146	146	263	263	1574				
	10		41.1		12.7		25.5						88	391			
	12		31.2		6.4		18.8						79	296			
	15		(17.0)		12.7		(12.7)						(17.0)	(17.5)	(17.0)	(17.5)	533
	0				185.0								145.4		195.6		670
25	5	40.3	128.9	23.0	48.6	37.9	91.1	73	164	164	294	294	1691				
	10		65.7		20.3		43.5						137	541			
	15		33.1		8.1		19.1						88	314			
	20		(21.5)		12.0		(15.4)						(22.1)	(22.3)	(21.5)	(21.7)	475
	0				185.0								145.4		195.6		670

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ Motive Flow 73 GPM ดังนั้นจึงเลือกใช้ Model 2081 ขนาดท่อ 2 นิ้ว จากนั้นเมื่อเรารู้ขนาดการใช้ท่อเวนจู้จึงทำให้เราสามารถที่จะหาขนาดของปั๊มผสมโอโซน (Ozone Mixing Pump) ต่อไป

การหาขนาดปั๊มน้ำผสมโอโซน

จากการหาขนาดท่อเวนจู้ ทำให้ทราบถึงขนาดของอัตราการไหลภายในท่อเวนจู้ คือ 73 GPM หรือ m/l 276.3



รูปที่ 3.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความสูงของน้ำที่ปั๊มส่งได้

จากการคำนวณหาขนาดท่อเวนจู้ ได้อัตราการไหล 276.3 lpm และในระวางน้ำนี้ไม่ได้ส่งน้ำในระดับที่สูงมากนัก จากกราฟจึงสามารถเลือกปั๊มที่ใช้ได้ตั้งแต่ขนาด 3M 32-125/1.1 [ภาคผนวก ข.] เป็นขนาดที่เล็กที่สุด ซึ่งในการเลือกปั๊มนี้ ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้

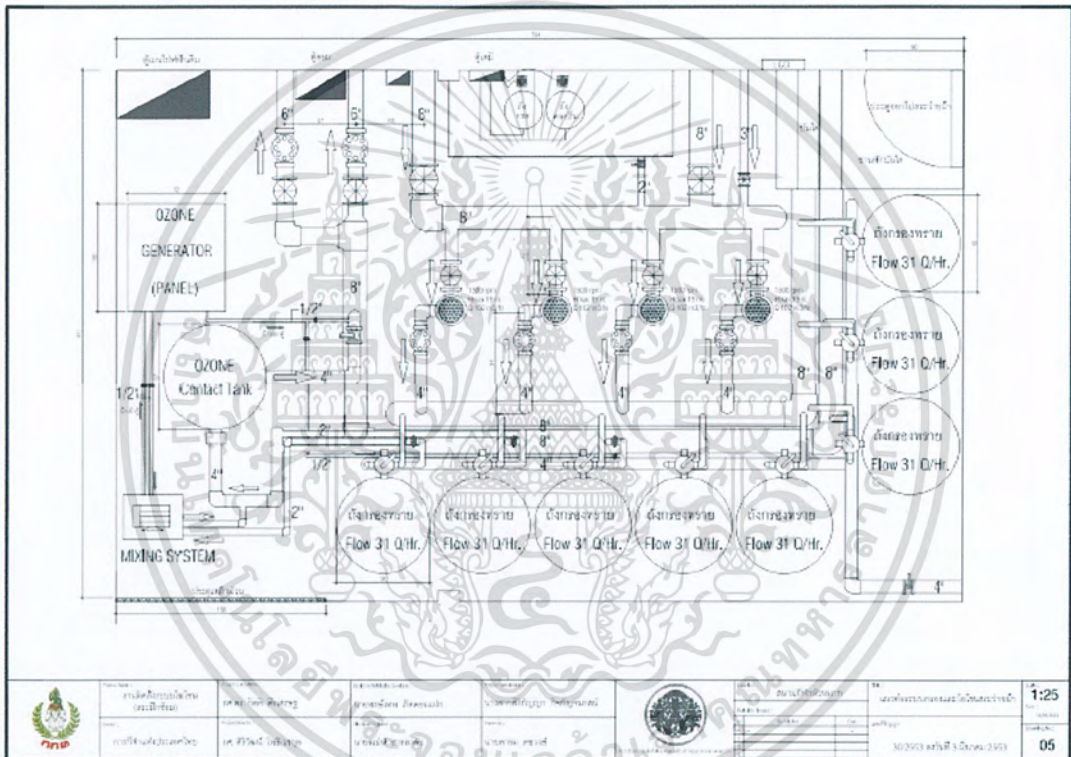


รูปที่ 3.20 ปั๊มผสมโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 แสดงขนาดมอเตอร์ที่ใช้ในการผสมโอโซน

TYPE 3M 32-160/1.5			BJ7		
Q 6-20	m ³ /h	H 28-17	m	H max 29.5	m
V 220-240 Δ/ 380-415 Y			H max 17		m
P2 1.5 kw	HP 2	Hz 50	A 5.9/3.4		
P1 2.0 kw	Phase 3	Min 2830	Tmax liquid 90°C		
IP 55					
kg 18.5		P/N 1300202404			



รูปที่ 3.21 ไดอะแกรมระบบกระจายน้ำ กทท.

3.1.2.3 ระบบคลอรีนและปรับค่า pH

ระบบคลอรีนและปรับ pH ระบบเซนเซอร์จะตรวจดูน้ำที่ออกจากสระก่อนเข้าระบบหมุนเวียนแล้วจะมาปรับค่า pH และคลอรีนของน้ำก่อนที่น้ำจะเข้าสระโดยจะใช้โซดาแอซในการปรับ pH และคลอรีนช่วยผสมร่วมกับโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1)

2)

รูปที่ 3.22 ชุดคลอรีน

1) ชุดเติมคลอรีน 2) ตัวดูดกลืนคลอรีน



รูปที่ 3.23 ชุดปรับค่า pH

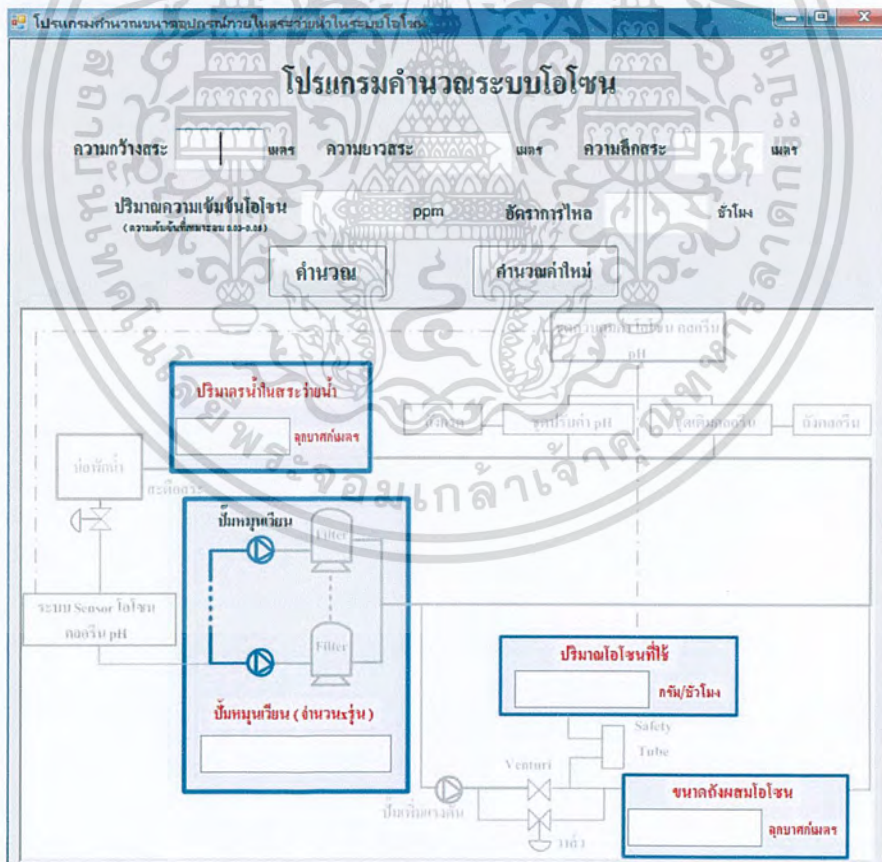
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลของสระว่ายน้ำ หลังจากติดตั้งโอโซนแล้วปริมาณโอโซนที่หลงเหลือในน้ำลดลง จากค่าคลอรีนก่อนติดตั้งค่าคลอรีนสูงสุดอยู่ที่ 2.6 ppm. หลังจากการติดตั้งระบบโอโซนแล้ว ค่าคลอรีนสูงสุดอยู่ที่ 0.6 ppm.

3.2 โปรแกรมคำนวณอุปกรณ์ในสระว่ายน้ำในระบบโอโซน

จากตัวอย่างวิธีการคำนวณขนาดเครื่องผลิตโอโซนที่จะติดตั้งในระบบสระว่ายน้ำ, ขนาดปั๊มหมุนเวียนน้ำ และขนาด Ozone Contact Tank เพื่อความสะดวกในการเลือกขนาดอุปกรณ์เหล่านี้ ในปริณญาณิพนธ์ฉบับนี้จึงทำการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้น เพื่อช่วยในการคำนวณและเลือกขนาดอุปกรณ์

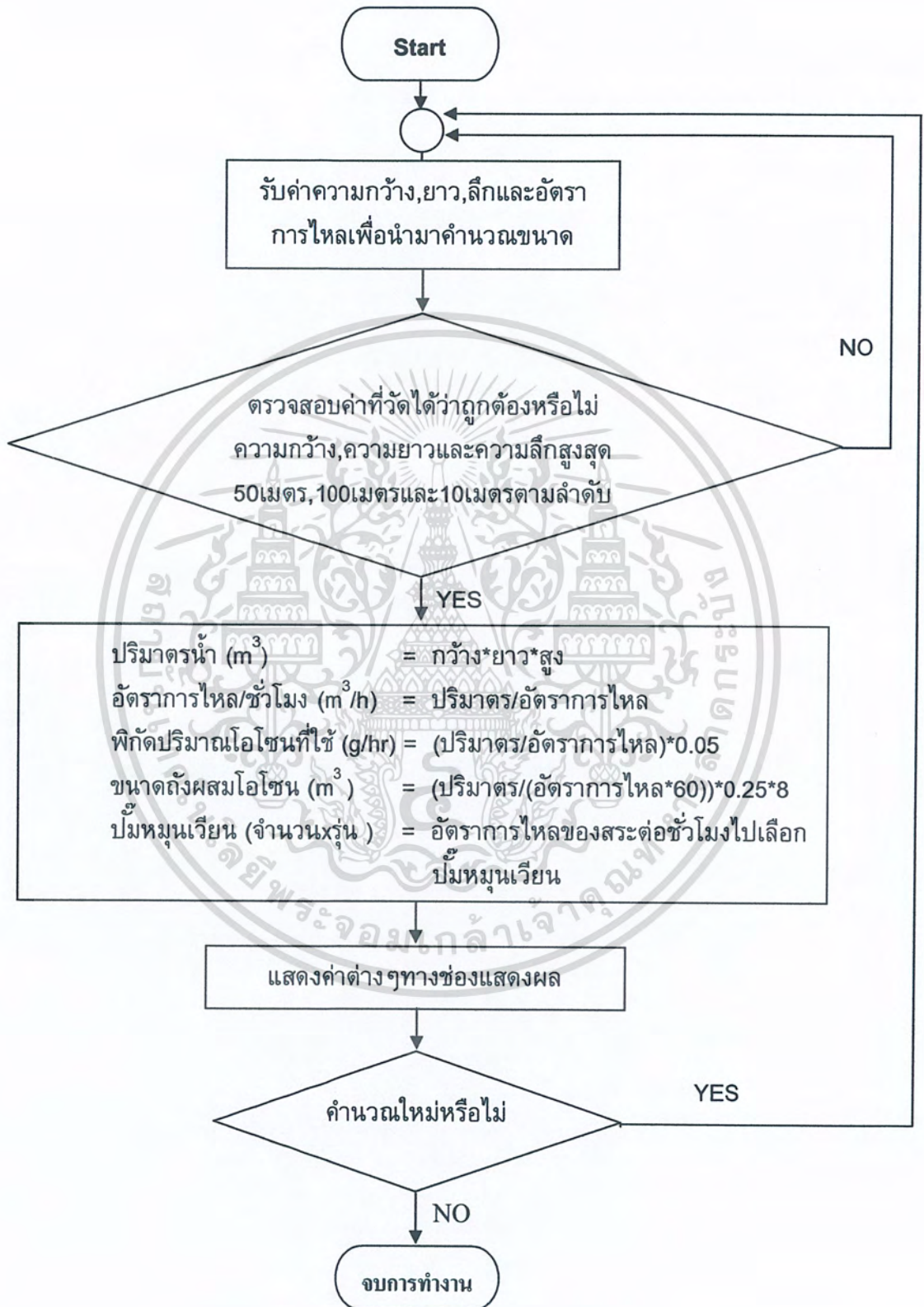
โดยผู้ใช้งานจะต้องป้อนค่า ความกว้าง, ความยาว, ความสูง, อัตราการไหลและค่าความเข้มข้นของโอโซนให้กับโปรแกรม จากนั้นโปรแกรมจะทำการแปลงค่าเป็นอัตราการไหลของระบบ และคำนวณร่วมกับค่าความเข้มข้นของโอโซนที่ผู้ใช้งานต้องการและแสดงผลเป็นขนาดปริมาณเครื่องกำเนิดโอโซนที่เหมาะสม, ปั๊มหมุนเวียนน้ำ [ภาคผนวก ก.] และขนาด Ozone Contact Tank



รูปที่ 3.24 โปรแกรมคำนวณอุปกรณ์ในสระว่ายน้ำในระบบโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรมคำนวณระบบโอโซน

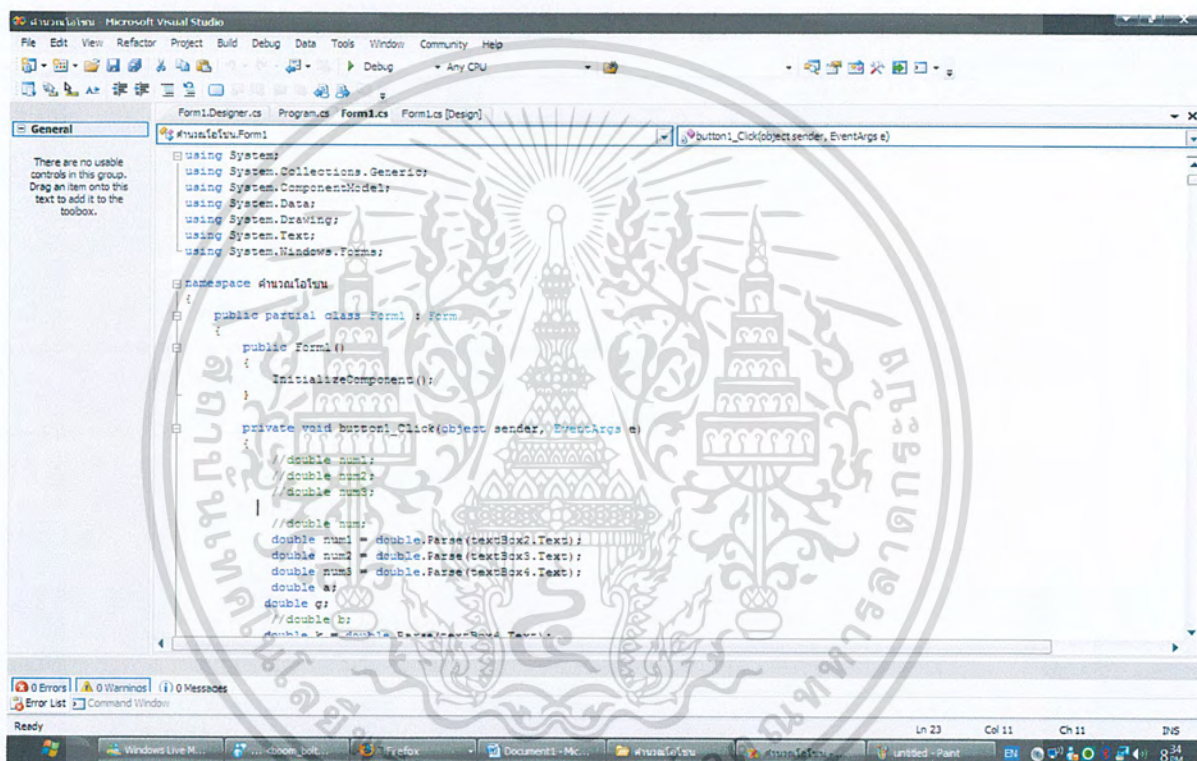


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตของโปรแกรม

ความกว้างอยู่ในช่วง	0-50	m
ความยาวอยู่ในช่วง	0-100	m
ความลึกอยู่ในช่วง	0-10	m
ความเข้มข้นโอโซนอยู่ในช่วง	0-0.1	ppm
อัตราการไหลอยู่ในช่วง	4-10	hours

3.2.2 การเขียนโปรแกรมโดยใช้ Visual studio C# 2005

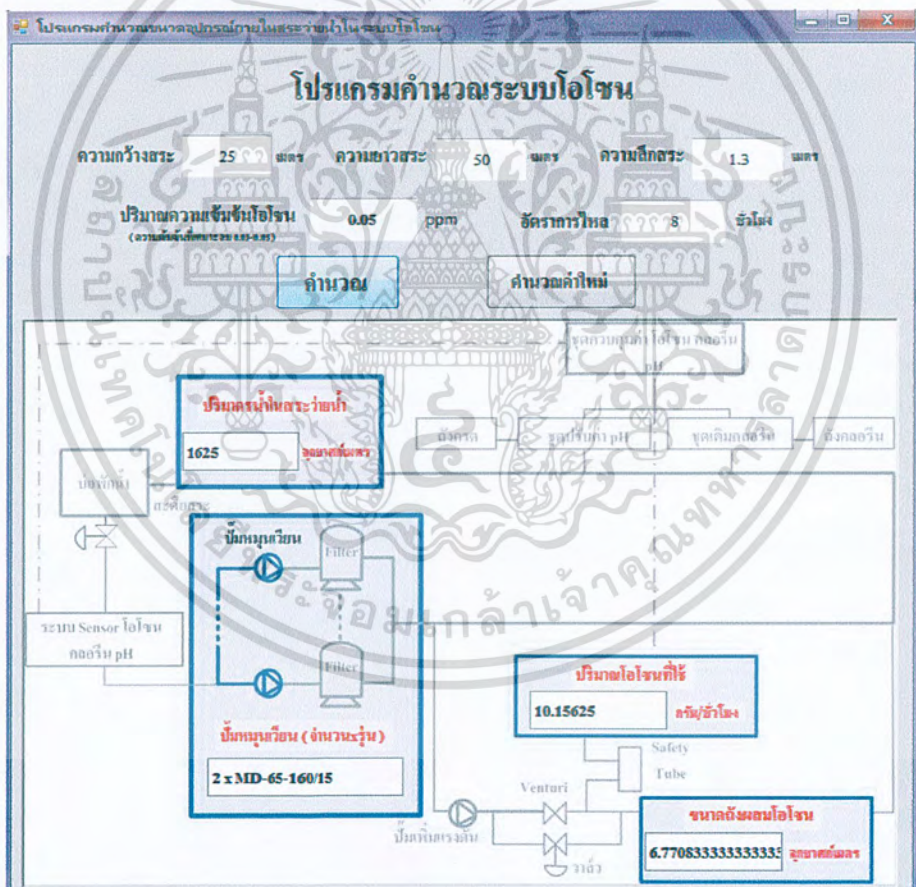


รูปที่ 3.25 การเขียนโปรแกรมโดยใช้ Visual studio C# 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ตัวอย่างการคำนวณสระว่ายน้ำพระเทพฯ สจล. โดยใช้โปรแกรมช่วยคำนวณ
สระขนาด กว้าง 25 m ยาว 50 m และ สูง 1.3 m ให้อัตราการไหล 8 hr
ความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้ 0.05 ppm

วิธีคำนวณ ปริมาตรน้ำ = $25 \times 50 \times 1.3 = 1,625 \text{ m}^3$
 พิกัดปริมาณโอโซนที่ใช้ = $(1,625 / 8) \times 0.05 = 10.156 \text{ g/hr}$
 ขนาดถังผสมโอโซน = $(1,625 / (8 \times 60)) \times 0.25 \times 8 = 6.77 \text{ m}^3$
 อัตราการไหล/ชั่วโมง = $1625 / 8 = 203.125 \text{ m}^3/\text{h}$
 ปั๊มหมุนเวียน(จำนวนรุ่น) = จากอัตราการไหลต่อชั่วโมงของสระ
 ได้ $203.125 \text{ m}^3/\text{hr}$ ทำให้เลือกมอเตอร์รุ่น MD-65-160/15 จำนวน 2 ตัว



รูปที่ 3.26 ตัวอย่างคำนวณอุปกรณ์ในสระว่ายน้ำในระบบโอโซนโดยใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

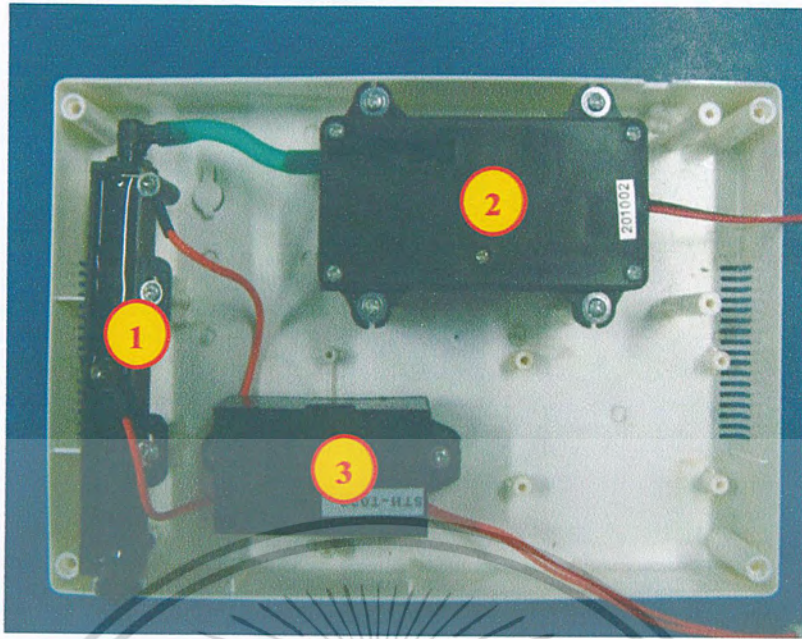
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

จากการพิสูจน์สมมติฐานที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า ตามที่กล่าวไว้ในบทการ ออกแบบการทดลอง นำไปสู่การออกแบบการใช้เครื่องกำเนิดโอโซนกับสระว่ายน้ำ ซึ่งหลักในการออกแบบประกอบด้วย ประเภทของแรงดันซึ่งมีการออกแบบให้มีลักษณะแรงดันที่ต่างกันคือ แรงดันกระแสดับและแรงดันกระแสดร่ง เพื่อศึกษาแรงดันที่เหมาะสมในการผลิตโอโซน และหลังจากที่ได้แรงดันที่เหมาะสมแล้ว นั่นคือ แรงดันกระแสดับ เรานำมาวิเคราะห์ว่าประเภทของความถี่จะมีผลต่อการเกิดโอโซนหรือไม่ อย่างไร โดยรูปแบบของอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้คือ ทรงกระบอกซ้อนกันแน่น ดังนั้นลักษณะการออกแบบการทดลองด้วยวิธีนี้ จึงเป็นการศึกษาในกรณีเบื้องต้นว่าหากการออกแบบในวิธีนี้สามารถวิเคราะห์และสรุปผลออกมาได้ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไปในอนาคต ผลการทดสอบทั้งหมดจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่ออธิบายการทดลองต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นด้วย โดยได้แบ่งส่วนการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ลักษณะคือ 1. ประเภทของแรงดันคือ แรงดันกระแสดับและแรงดันกระแสดร่ง 2. ชนิดของความถี่คือ ความถี่สูงกับความถี่ต่ำ และเมื่อได้แรงดันที่เหมาะสมแล้ว นำแรงดันที่ได้ไปใช้งานจริงในการสร้างโอโซนและพิสูจน์ว่าโอโซนสามารถฆ่าเชื้อโรคได้จริง โดยการจ่ายโอโซนลงในน้ำจากแหล่งธรรมชาติและบ่อบำบัดน้ำจากสระว่ายน้ำ และแบ่งส่วนการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนคือ ทางด้านเคมีวิเคราะห์ และทางด้านชีววิทยาวิเคราะห์

4.1 การออกแบบการทดลอง

เป็นการทดลองเพื่อที่จะหาค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อทำการพิสูจน์ว่าแรงดันชนิดใดที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมที่สุดในการผลิตโอโซน โดยชนิดของแรงดันดังกล่าวจะนำไปทดลองใช้กับอิเล็กทรอนิกส์ทรงกระบอกซ้อนกันแน่นซึ่งรูปอยู่เป็นชุดของเครื่องกำเนิดโอโซนโดยมีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 3 ส่วนดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 ชุดเครื่องกำเนิดไอโซนความถี่สูง

1) อิเล็กโทรด 2) บีมลัม 3) ชุดกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง

การทดลองศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อเครื่องกำเนิดไอโซน โดยแบ่งเงื่อนไขการพิจารณาออกเป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

4.1.1 การทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อพิสูจน์ว่าแรงดันชนิดใดที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในการผลิตไอโซน

ในขั้นตอนนี้เราจะเลือกชนิดของแรงดันทั้งกระแสตรงและกระแสสลับมาทำการศึกษาและทำการทดลอง โดยใช้อิเล็กโทรดชนิดทรงกระบอกซ้อนกันร่วมมาทำการทดลองโดยจ่ายให้กับอิเล็กโทรด

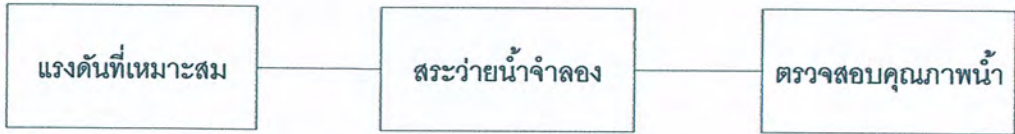


รูปที่ 4.2 ไตอะแกรมการทดลองหาค่าพารามิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การหาประสิทธิภาพของโอโซนในการบำบัดน้ำเสีย

โดยจำลองสระว่ายน้ำ ทำการทดลองและตรวจวัดค่าตามมาตรฐานของสระว่ายน้ำ ได้แก่ TDS, conductivity, pH, คลอรีนอิสระ, ความกระด้าง, ไนเตรต, ปริมาณเชื้อคลอริฟอร์มและจุลินทรีย์ที่เหลือในน้ำ

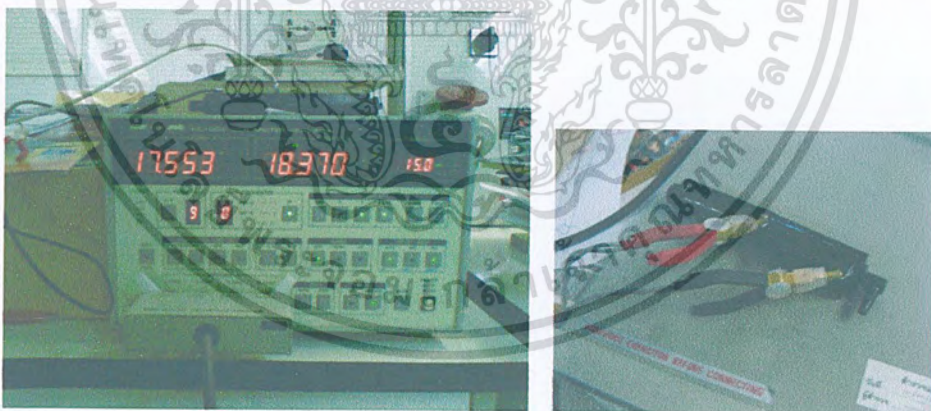


รูปที่ 4.3 โดอะแกรมการหาประสิทธิภาพของโอโซนในการบำบัดน้ำเสีย

4.2 การวัดขนาดของเครื่องกำเนิดโอโซนความถี่สูง

ในการวัดขนาดของเครื่องกำเนิดโอโซนความถี่สูง ประกอบด้วย การวัดค่าฉนวนของหลอดโคโรนาที่ใช้ในเครื่องกำเนิดโอโซนความถี่สูงเพื่อหาค่าตัวเก็บประจุและตัวต้านทานในหลอดโคโรนาและการวัดสัญญาณแรงดันสูงความถี่สูงจากเครื่องกำเนิดโอโซนก่อนที่จะนำไปจ่ายแรงดันให้กับหลอดโคโรนาเพื่อพิจารณาหาค่าแรงดันขาออกและวิเคราะห์ผลของปริมาณโอโซนที่ได้

4.2.1 การวัดค่าฉนวนของหลอดโคโรนาที่ใช้ในเครื่องกำเนิดโอโซนความถี่สูง



1)

2)

รูปที่ 4.4 เครื่องมือในการวัดค่าฉนวนของหลอดโคโรนาที่ใช้ในเครื่องกำเนิดโอโซนความถี่สูง

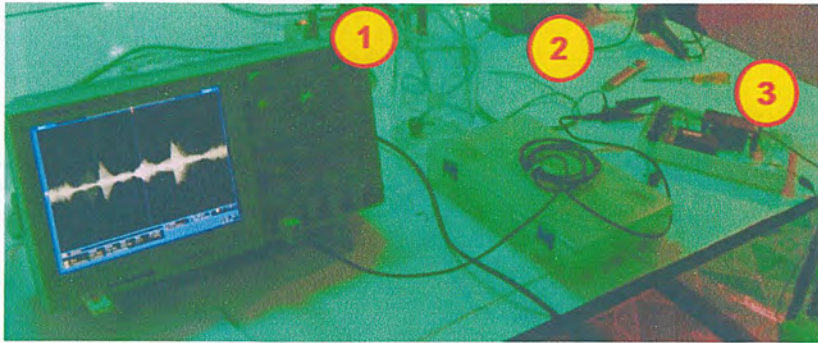
1) KC-605 LCR Meter 2) หลอดอิเล็กโทรด

C 17.553 pF, R 29 MΩ, R_s 18.37 kΩ, f 15 kHz

เมื่อทดลองวัดค่าตัวเก็บประจุและความต้านทานแล้วจะได้ค่าตัวเก็บประจุ 17.553 pF ค่าความต้านทาน 195.51 MΩ ค่าความต้านทานอนุกรม 18.37 kΩ และความถี่

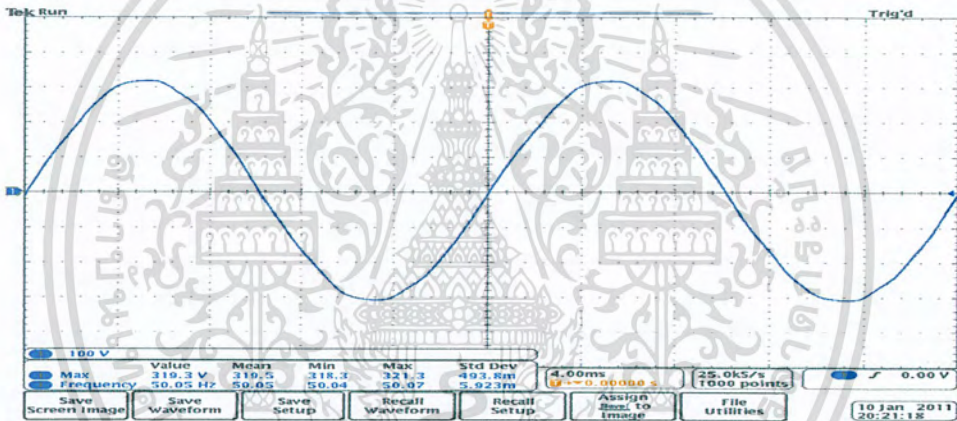
15 kHz ดังภาพที่ 4.4 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การวัดสัญญาณแรงดันสูงความถี่สูงจากเครื่องกำเนิดไอโซน



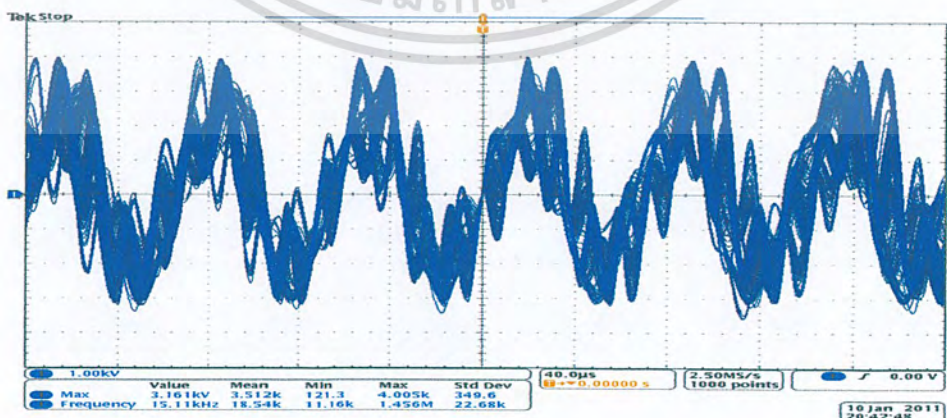
รูปที่ 4.5 วงจรการวัดสัญญาณแรงดันและความถี่จากเครื่องกำเนิดไอโซน

- 1) ออสซิลโลสโคป Tektronix DPO 4054
- 2) โพรบวัดสัญญาณ อัตราส่วน 100:1
- 3) ชุดกำเนิดไอโซน



รูปที่ 4.6 สัญญาณแรงดันขาเข้าเครื่องกำเนิดไอโซน

ที่ Volt/Div = 100 V , Time/Div = 4 ms



รูปที่ 4.7 สัญญาณแรงดันขาออกของเครื่องกำเนิดไอโซน

เมื่อ Volt/Div = 1000 V , Time/Div = 40 us

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทดลองวัดสัญญาณแรงดัน ทั้งขาเข้าและขาออกจากเครื่องกำเนิดไอโซนแล้ว จะได้สัญญาณ ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับแรงดันขาเข้า 225 Vrms 50 Hz แรงดันขาออกจากชุดกำเนิดแรงดันสูง 3.16 kV ความถี่ 15.11 kHz

4.3 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อพิสูจน์หาแรงดันที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในการผลิตไอโซน

จากขั้นตอนการศึกษางานวิจัย ทำให้ทราบว่าชนิดของแรงดันไฟฟ้ามีผลต่อการผลิตไอโซน ซึ่งแรงดันกระแสสลับจะดีกว่าแรงดันกระแสตรง ในขั้นตอนนี้เราจะเลือกชนิดของแรงดันทั้งกระแสตรงขั้วบวก-ลบ และกระแสสลับมาทำการทดลอง โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์ทรานซิมิเตอร์ประกอบขึ้นกัน

ตารางที่ 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

AC	DC
1. หม้อแปลงน็ออน ขนาด 220 V/15 kV, 50 Hz	1. หม้อแปลงน็ออน ขนาด 220 V/15 kV, 50 Hz
2. Variac ขนาด 220 V	2. Variac ขนาด 220 V
3. อิเล็กทรอนิกส์แบบทรานซิมิเตอร์ประกอบขึ้นกัน	3. ไดโอด
4. งานเทียบสัปดาห์ปริมาณไอโซน	4. ตัวเก็บประจุ 22nF อนุกรม 3 ตัว
5. โพรบ High volt 1:1000	5. อิเล็กทรอนิกส์แบบทรานซิมิเตอร์ประกอบขึ้นกัน
	6. งานเทียบสัปดาห์ปริมาณไอโซน
	7. โพรบ High volt 1:1000



รูปที่ 4.8 หม้อแปลงน็ออน ขนาด 220V/15kV, 50 Hz

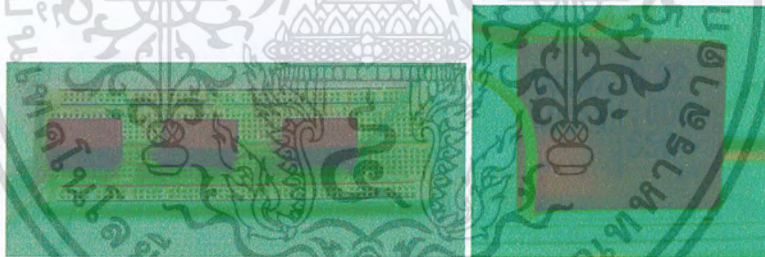
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



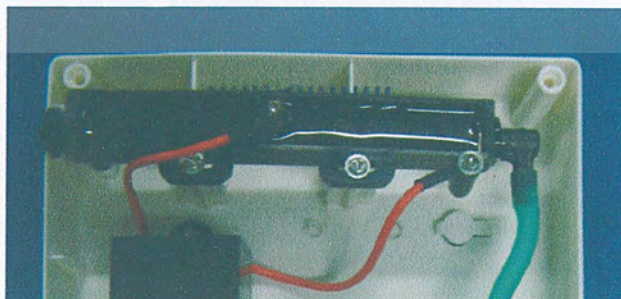
รูปที่ 4.9 Variac ขนาด 220 V



รูปที่ 4.10 ไดโอด

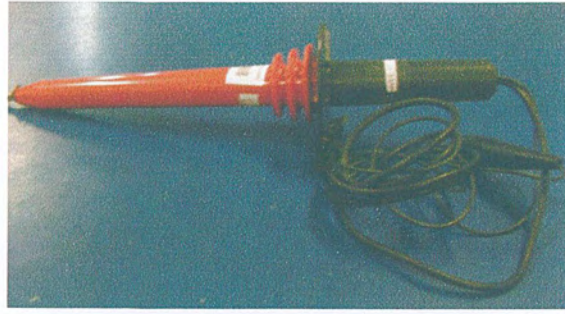


รูปที่ 4.11 ตัวเก็บประจุ 22nF อนุกรม 3 ตัว



รูปที่ 4.12 อิเล็กทรอนิกส์แบบทรงกระบอกซ้อนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

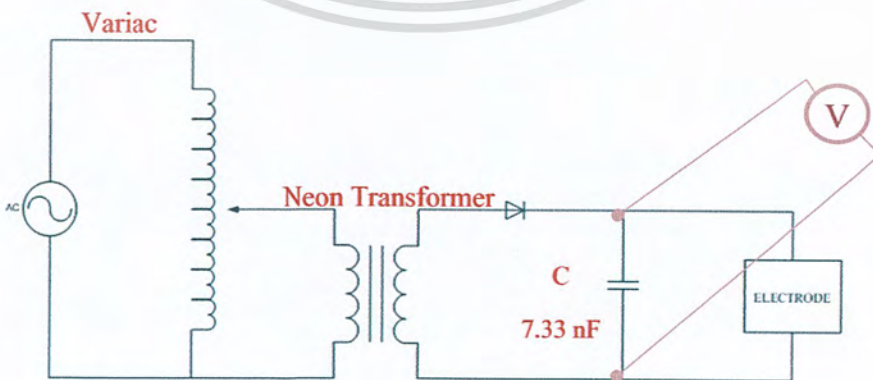


รูปที่ 4.13 โพรบ High volt 1:1000



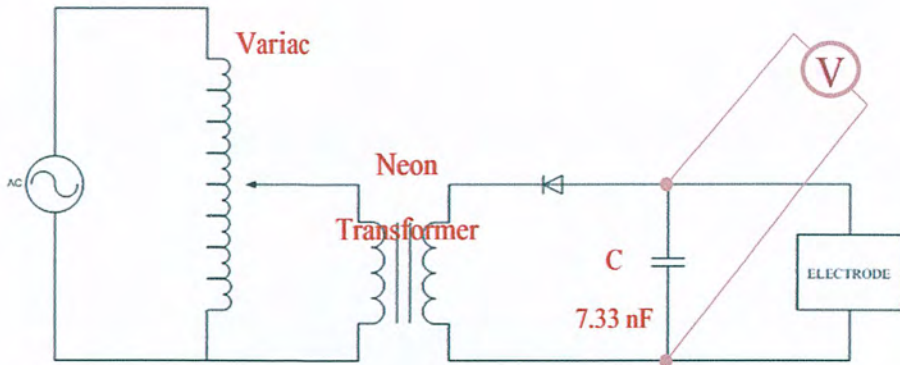
รูปที่ 4.14 งานเทียบสวิตช์ปริมาณไอโซน

4.3.1 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าด้านแรงดันสูง กระแสตรงขั้วบวกและขั้วลบต่อปริมาณไอโซน โดยใช้เวลาในการเปิดเครื่อง 5 นาที ปริมาตรน้ำ 600 ml

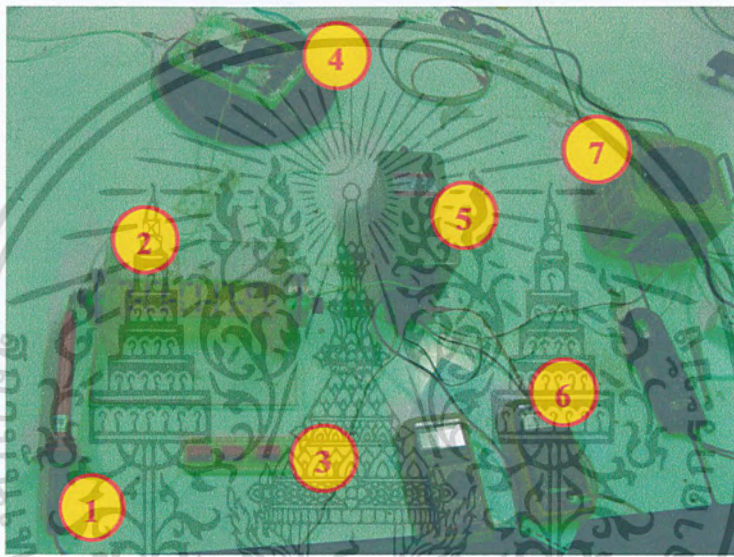


รูปที่ 4.15 วงจรสำหรับการทดลองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขั้วบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 วงจรสำหรับการทดลองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชั่วพล



รูปที่ 4.17 การต่อวงจรสำหรับการทดลองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชั่วพลวงและชั่วพล

1) โพรบ Highvolt 1:1000 2) ไดโอด 3) Capacitor

4) อิเล็กโทรด 5) หม้อแปลงนีออน 6) Multimeter 7) Variac 220 V

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการทดลองระหว่างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงบวกต่อปริมาณโอโซน

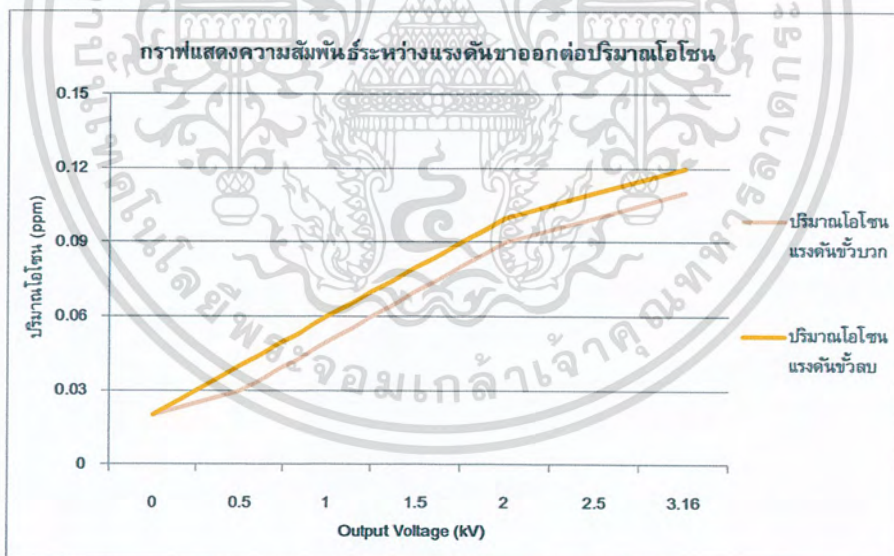
แรงดันกระแสตรงชั่วพลวง		ปริมาณโอโซน (ppm)
Input (V)	Output (kV)	
0	0	0.02
21.26	0.50	0.03
30.11	1.00	0.05
39.49	1.50	0.07
50.28	2.00	0.09
60.72	2.50	0.10
72.80	3.16	0.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการทดลองระหว่างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงลบต่อปริมาณไอโซน

แรงดันกระแสตรงขั้วลบ		ปริมาณไอโซน (ppm)
Input (V)	Output (kV)	
0	0	0.02
19.25	0.50	0.04
28.55	1.00	0.06
38.39	1.50	0.08
49.80	2.00	0.10
58.50	2.50	0.11
70.80	3.16	0.12

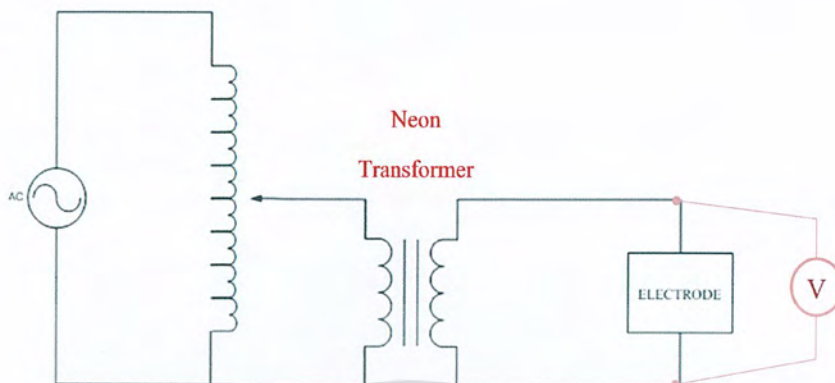
จากตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า ใช้แรงดันกระแสตรงขั้วบวก และแรงดันกระแสตรงขั้วลบ เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น ปริมาณไอโซนก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่นกันแต่ในการใช้แรงดันกระแสตรงขั้วลบ จะมีการเกิดปริมาณไอโซนมากกว่าการใช้แรงดันกระแสตรงขั้วบวก เมื่อนำข้อมูลไปพล็อตกราฟ จะแสดงได้ดังรูปที่ 4.18



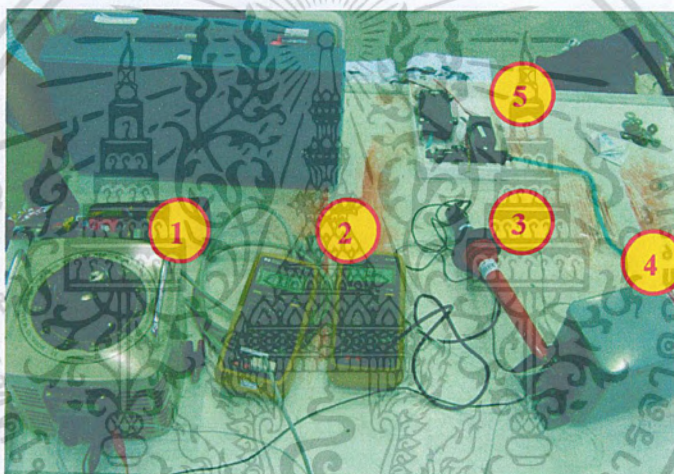
รูปที่ 4.18 ปริมาณไอโซนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขั้วบวก-ขั้วลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าต้านแรงดันสูง กระแสสลับ 50 Hz ต่อปริมาณไอโซน โดยใช้เวลาในการเปิดเครื่อง 5 นาที ปริมาตรน้ำ 600 ml



รูปที่ 4.19 วงจรสำหรับการทดลองแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz



รูปที่ 4.20 การต่อวงจรสำหรับการทดลองแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz

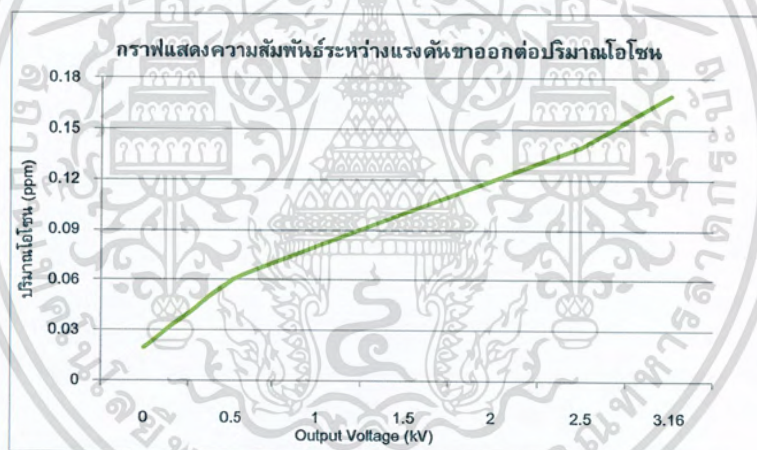
- 1) Variac 220 V
- 2) Multimeter
- 3) โพรบ High volt 1:1000
- 4) หม้อแปลงเนออน
- 5) อิเล็กโทรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการทดลองระหว่างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz ต่อปริมาณโอโซน

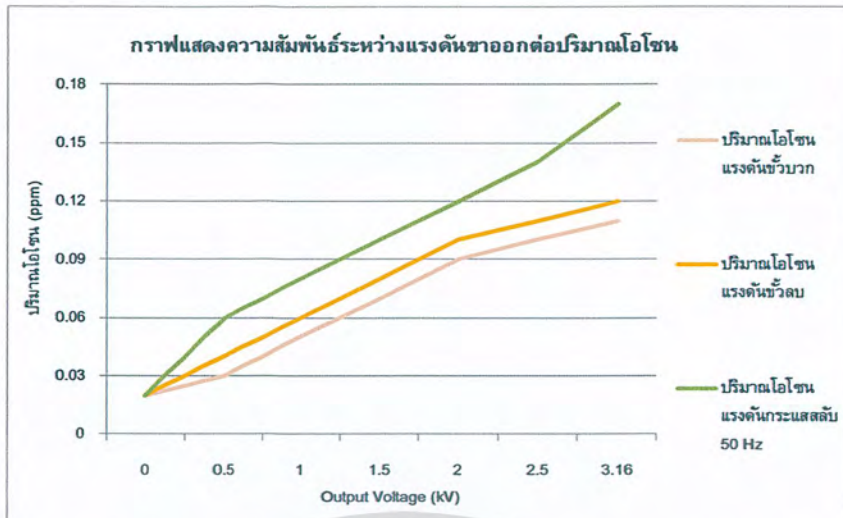
แรงดันกระแสสลับความถี่ 50 Hz		ปริมาณโอโซน (ppm)
Input (V)	Output (kV)	
0	0	0.02
22.70	0.50	0.06
39.52	1.00	0.08
52.30	1.50	0.10
66.80	2.00	0.12
80.50	2.50	0.14
98.50	3.16	0.17

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น ปริมาณโอโซนก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อนำข้อมูลไปพล็อตกราฟ จะแสดงได้ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ปริมาณโอโซนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz

จากข้อมูลความสัมพันธ์ที่ได้ในการทดลองที่ 4.3.1 และ 4.3.2 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการเกิดโอโซน แรงดันกระแสสลับให้ประสิทธิภาพการเกิดโอโซนมากกว่าแรงดันกระแสตรงขั้วลบ และแรงดันกระแสตรงขั้วลบให้ประสิทธิภาพการเกิดโอโซนมากกว่าแรงดันกระแสตรงขั้วบวก ดังรูปที่ 4.22

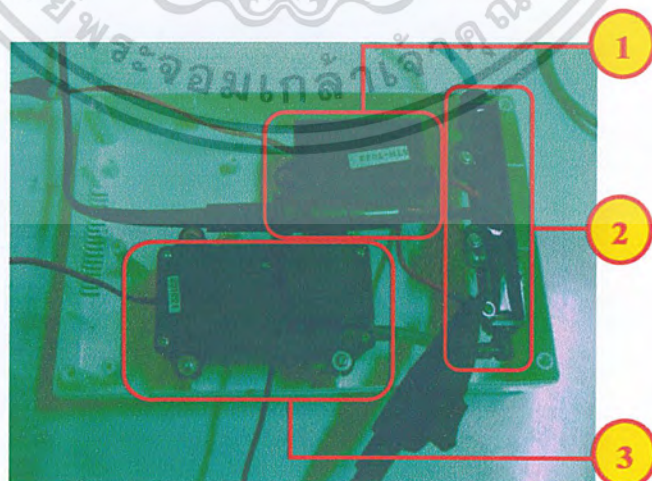


รูปที่ 4.22 ปริมาณโอโซนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขั้วบวกขั้วลบและแรงดันกระแสสลับ 50 Hz

จากกราฟสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ว่า แรงดันกระแสสลับมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการทำให้เกิดปริมาณโอโซนเมื่อเทียบกับแรงดันกระแสตรง เนื่องจากแรงดันกระแสสลับมีความถี่ ดังนั้นเราจึงนำแรงดันกระแสสลับความถี่ต่ำมาทดลองเปรียบเทียบกับแรงดันกระแสสลับความถี่ที่สูงขึ้น เพื่อเปรียบเทียบว่าความถี่มีผลต่อประสิทธิภาพการเกิดโอโซนหรือไม่ อย่างไร โดยใช้อิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกันเหมือนเดิม

4.4 ชนิดของแรงดันในการผลิตก๊าซโอโซนในการนำไปใช้งานจริง

ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าด้านแรงดันสูงกระแสสลับ 50 Hz และ 15 kHz ต่อปริมาณโอโซน โดยใช้เวลาในการเปิดเครื่อง 5 นาที ปริมาตรน้ำ 600 ml



รูปที่ 4.23 ชุดกำเนิดโอโซนความถี่สูง 15 kHz

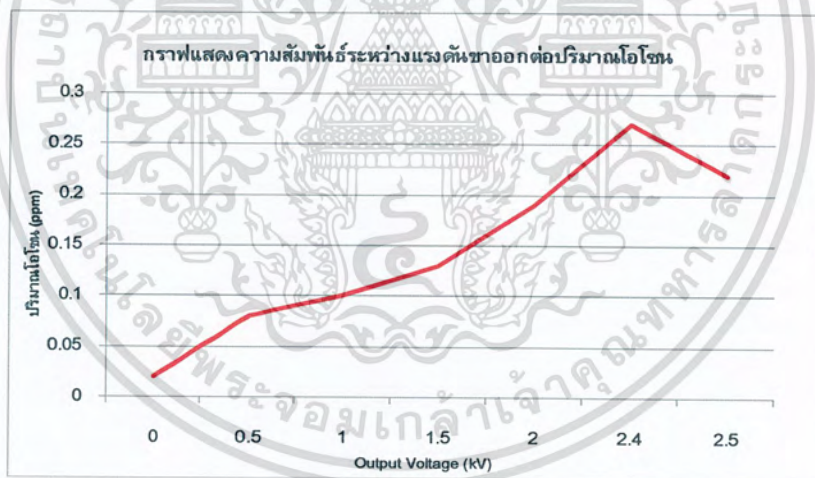
1) บั้มลม 2) อิเล็กโทรด 3) หม้อแปลงสวิตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการคือจ่ายไฟเข้า Variac ผ่านไปที่หม้อแปลงสวิตซ์ ซึ่งจากนั้นหม้อแปลงสวิตซ์จะจ่ายแรงดันสูงออกไปที่อิเล็กทรอนิกส์เพื่อสร้างโอโซน และควรใช้ป้อนเนื่องจากสร้างโอโซนภายในอิเล็กทรอนิกส์ยังมีก๊าซค้างอยู่ภายในหลอดอิเล็กทรอนิกส์ การใช้ป้อนเพื่อขับไล่ก๊าซโอโซนภายในอิเล็กทรอนิกส์ให้ออกไป ให้มีประสิทธิภาพในการเกิดโอโซนสูงสุด

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงผลการทดลองระหว่างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 15 kHz ต่อปริมาณโอโซน

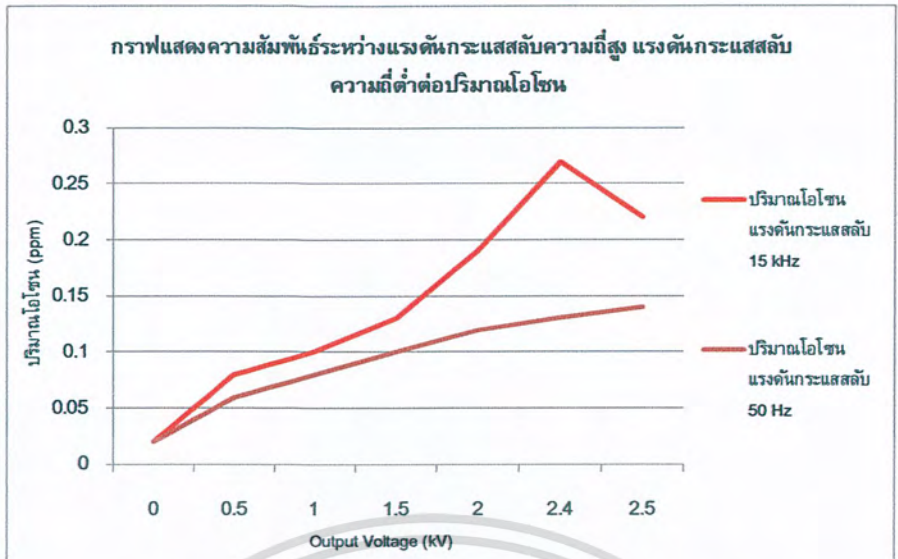
แรงดันกระแสสลับความถี่ 15 kHz		ปริมาณโอโซน (ppm)
Input (V)	Output (kV)	
0	0	0.02
33.16	0.50	0.08
68.80	1.00	0.10
98.80	1.50	0.13
128.70	2.00	0.19
173.90	2.50	0.22
230.00	2.40	0.27



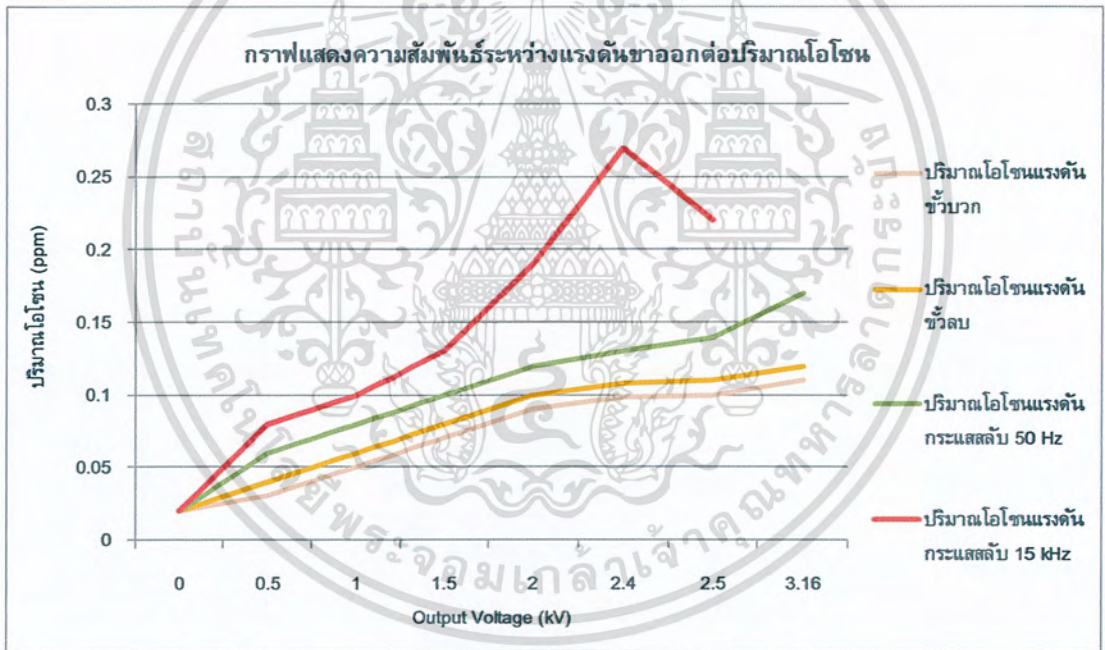
รูปที่ 4.24 ปริมาณโอโซนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 15 kHz

นำผลการทดลองที่ได้ในตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงดันกับปริมาณโอโซน จะได้กราฟดังรูปที่ 4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบปริมาณโอโซนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงและความถี่ต่ำ



รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบปริมาณโอโซนต่อชนิดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขั้วบวก-ขั้วลบ

จากการหาแรงดันที่เหมาะสมทั้ง 4 แบบ สามารถบอกได้ว่าแรงดันกระแสสลับให้ประสิทธิภาพในการเกิดโอโซนดีกว่าแรงดันกระแสตรง และความถี่ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเกิดโอโซนด้วย ยิ่งความถี่สูงขึ้น ประสิทธิภาพในการเกิดโอโซนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ความถี่ที่ให้ประสิทธิภาพในการเกิดโอโซนสูงสุดจะอยู่ที่ช่วงประมาณ 15-20 kHz [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่า แรงดันกระแสสลับความถี่สูงมีประสิทธิภาพในการผลิตโอโซนสูงที่สุด จากกราฟสังเกตได้ว่าแรงดันกระแสสลับความถี่สูงที่ได้ เส้นกราฟตกในช่วงแรงดันที่ 2.4 - 2.5 kV ดังรูปที่ 4.26 จึงทำการทดลองเพื่อหาว่าทำไมแรงดันจึงตกลง โดยการแทนโหนดด้วยโหนดจำลอง R-C ที่มีค่าใกล้เคียงกัน โดยใช้ R 29 M Ω , C 17 pF ดังรูปวงจรที่ 4.27 ได้ผลดังตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.27 วงจรการต่อโหนดจำลอง R-C

1) หม้อแปลงสวิตซ์ 2) Variac 220 V 3) โหนดจำลอง R-C 4) โพรบ High volt 1:1000

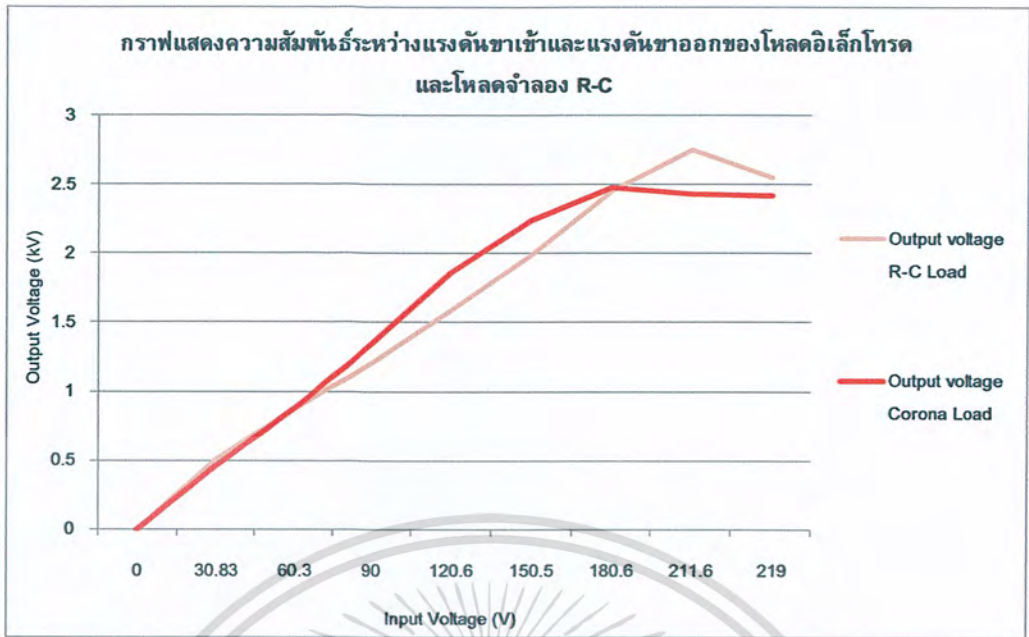
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองหาแรงดันขาออกโดยใช้โหนดจำลอง R-C

Input voltage (V)	Output voltage (kV)
30.83	0.5013
60.30	0.8800
90.00	1.2100
120.60	1.5860
150.50	1.9940
180.60	2.4560
211.60	2.7520
219.00	2.5470

นำผลการทดลองที่ได้ในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 มาพล็อตกราฟ

เปรียบเทียบระหว่างแรงดันขาเข้าและขาออก ได้กราฟดังรูปที่ 4.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกของโวลต์อิเล็กทรอนิกส์และโวลต์จำลอง R-C

4.5 การทดลองด้านเคมีวิเคราะห์

การวัดค่าความเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำที่ผ่านระบบโอโซนแล้วนั้น ก็เป็นอีกช่องทางหนึ่งที่จะสามารถแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบโอโซนในการบำบัดน้ำเสีย เพื่อนำไปใช้งานจริง โดยค่าทางเคมีที่จะทำการวัดจะประกอบไปด้วย ค่า TDS (Total Dissolve Solid), Conductivity, pH, คลอรีนอิสระ, ความกระด้าง, ค่าไนเตรทและ Ozone residual

4.5.1 การวัดค่า Conductivity, ค่า TDS และค่า pH

Conductivity (สภาพนำไฟฟ้า) เป็นคุณลักษณะหรือดัชนีคุณภาพน้ำที่สำคัญชนิดหนึ่ง โดยจะบ่งบอกถึงความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า สภาพนำไฟฟ้านี้จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายชนิด ตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายอยู่ในน้ำ อุณหภูมิของน้ำขณะทำการตรวจวัด ชนิดของสารที่มีประจุและความเข้มข้นของสารมีประจุแต่ละชนิด ซึ่งส่วนมากจะเกิดจากสารประกอบอนินทรีย์มากกว่าสารประกอบอินทรีย์ นอกจากนี้จำนวนประจุของสารที่มีประจุจะมีผลต่อความสามารถในการนำไฟฟ้าของน้ำนั้นด้วย

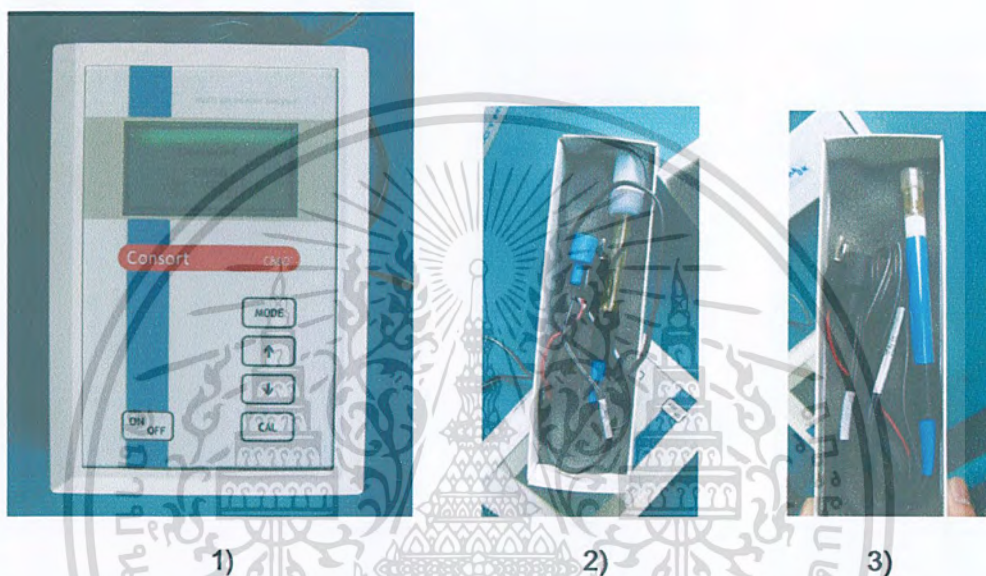
Total dissolved solid ; TDS (ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ มีขนาดสามารถผ่านกระดาษกรองใยแก้วได้ สารแขวนลอย และสารที่ละลายได้ทั้งหมด จะใช้บอกกำลังความสกปรกของน้ำได้

pH เป็นค่าที่แสดงความเป็นกรดเป็นด่าง ค่า pH เกิดจากการแตกตัวให้อนุมูลกรด - ด่าง มีค่าตั้งแต่ 0-14 ซึ่งค่า pH > 7 หมายถึง ความเป็นด่าง ค่า pH < 7 หมายถึงความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นนอกเหนือจากนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นกรด น้ำสะอาดจะมีค่า pH = 7 ซึ่งเป็นกลาง ค่า pH มีผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นต่อการกักกรองของน้ำ วัตถุประสงค์หลักในการกำหนดเกณฑ์ค่า pH เพื่อลดการกักกรองต่อสิ่งมีชีวิต ช่วงการวัด pH 0.0 to 14.0 pH ค่าความถูกต้อง ± 0.1 pH ซึ่งค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับในระวายน้ำจะอยู่ในช่วง 7.2-8.4 ในระดับนี้มีความเหมาะสมเนื่องจากเป็นช่วงที่มีอัตราการกักกรองน้อย

ในการตรวจวัดจะใช้เครื่องมือชนิดเดียวกัน คือ เครื่อง Multi Parameter Analysis ซึ่งสามารถใช้วัดได้ทั้งค่า Conductivity, ค่า TDS และค่า pH



รูปที่ 4.29 เครื่องตรวจวัดค่า Conductivity, TDS และ pH

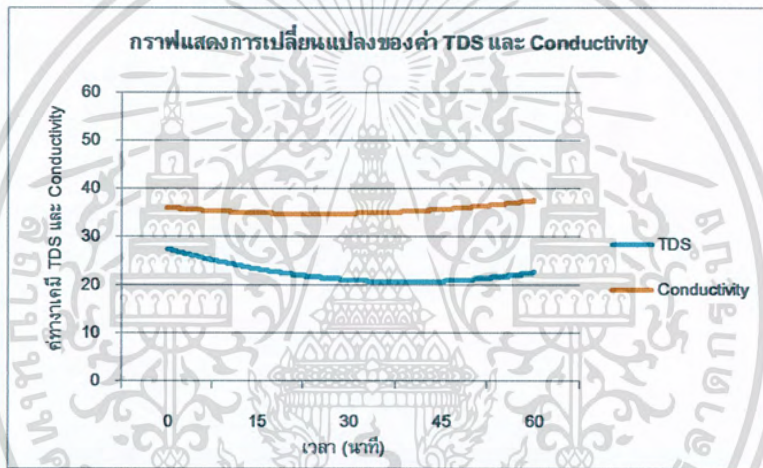
- 1) Multi Parameter Analysis
- 2) โพรบตรวจวัดค่า pH
- 3) โพรบตรวจวัดค่า Conductivity และ ค่า TDS

วิธีการวัด นำโพรบวัดค่าที่ต้องการวัดต่อเข้ากับเครื่อง Multi Parameter Analysis เลือกโหมดที่ต้องการวัดค่า แล้วจุ่มโพรบลงในน้ำตัวอย่างที่ต้องการทำการวัด ทิ้งไว้สักครู่จนตัวเลขบนหน้าจอนิ่งก่อน แล้วจึงอ่านค่า หลังจากที่ได้ค่าจากน้ำตัวอย่างเสร็จแล้ว ให้ล้างหัวโพรบด้วยน้ำกลั่น แล้วซับให้แห้งด้วยสำลีทุกครั้งหลังจากทำการวัดเสร็จหรือทุกครั้งที่ต้องการวัดตัวอย่างน้ำใหม่ เพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนหรือเกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

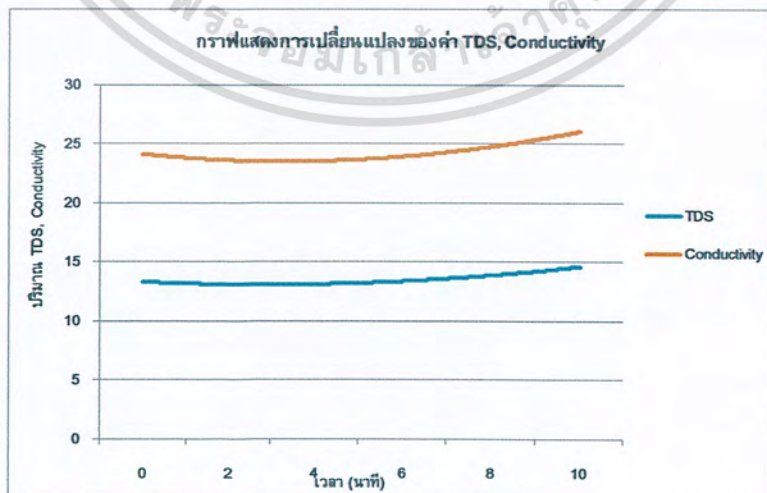
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 การวัดค่า Conductivity และ ค่า TDS

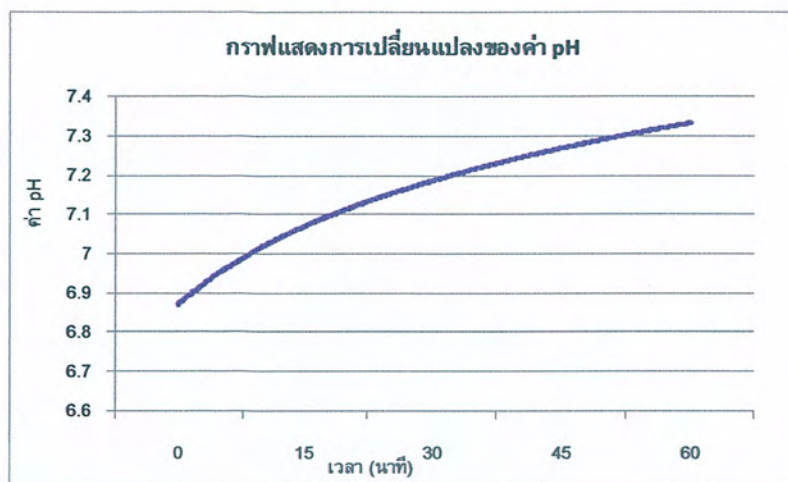


รูปที่ 4.31 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า TDS และ Conductivity ของแหล่งน้ำธรรมชาติ

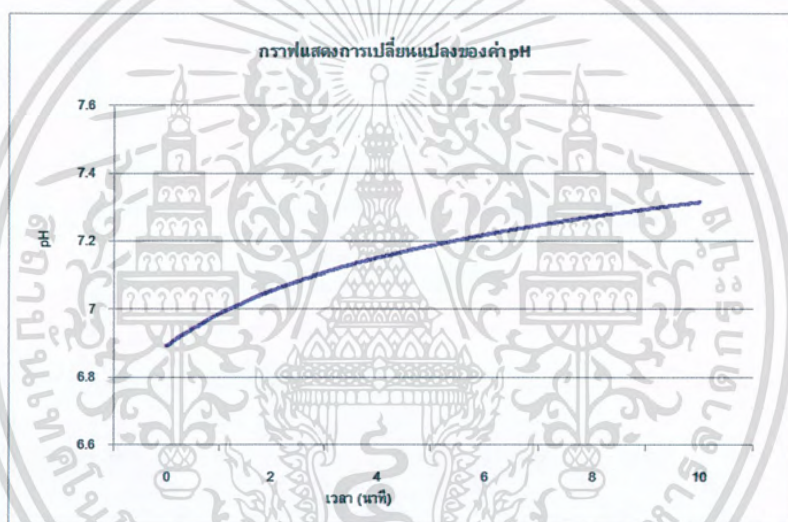


รูปที่ 4.32 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า TDS และ Conductivity ของบ่อพักน้ำสระว่ายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของแหล่งน้ำธรรมชาติ



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของบ่อกักน้ำสระว่ายน้ำ

จากผลการทดลองค่า Conductivity และค่า TDS มีแนวโน้มที่ลดลง ค่านี้จะเป็นค่าที่บอกระดับความสกปรกของน้ำในระบบ โอโซนจะสามารถลดค่าเหล่านี้ได้ แต่เนื่องจากระบบการจำลองสระว่ายน้ำเป็นระบบเปิด ผุ่นผง หรือตะกอนต่างๆ สามารถเข้ามาสู่ระบบได้ทำให้ค่านี้จะไม่คงที่ สามารถเพิ่มขึ้นได้ตามระยะเวลา ส่วนค่า pH มีค่าอยู่ในช่วง 7.2 – 8.4 ซึ่งในการใช้งานระบบโอโซนจริง ค่า pH ของน้ำควรจะมีการควบคุมให้อยู่ในช่วงนี้ เนื่องจากเป็นช่วงที่มีอัตราการกัดกร่อนน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 การวัดค่าคลอรีนอิสระ

คลอรีนอิสระที่มีอยู่ FAC (Free Available Chlorine) คือสัดส่วนของคลอรีนทั้งหมดที่ยังเหลืออยู่ในน้ำที่ผ่านคลอรีนแล้ว และยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาใดๆ กับสิ่งปนเปื้อน คลอรีนอิสระนี้จะทำหน้าที่ในการฆ่าแบคทีเรียและสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ

การตรวจวัดในการทดลองนี้จะใช้ชุดตรวจ (Test Kits) HI-3831F Range (0.0-2.5 ppm) โดยวิธีการคือ หยดสารและทำตามขั้นตอนที่ถูกต้อง แล้วเทียบสีของน้ำตัวอย่างกับระดับสีของชุดทดสอบ จากนั้นจึงอ่านค่าที่ได้



รูปที่ 4.35 ชุดตรวจสอบคลอรีนอิสระ

ในการทดลองนี้ เนื่องจากใช้แหล่งน้ำธรรมชาติ จึงตรวจไม่พบค่าของคลอรีนอิสระที่หลงเหลืออยู่ในน้ำ

4.5.3 การวัดค่าความกระด้าง

ความกระด้างของน้ำมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ ความกระด้างชั่วคราว และความกระด้างถาวร มาตรฐานความกระด้างของน้ำดื่ม จะอยู่ที่ไม่เกิน 100 ppm สำหรับน้ำใช้หรือน้ำบาดาล จะอยู่ที่ไม่เกิน 300 ppm ส่วนในสระว่ายน้ำจะอยู่ที่ 250-600 ppm น้ำที่มีความกระด้างจะสังเกตเห็นง่าย ๆ คือ ล้างสบู่จะไม่ค่อยมีฟอง และถ้าวางทิ้งไว้ในภาชนะกว้าง ๆ เช่นกะละมัง เป็นคราบขาวลอยอยู่หรือเมื่อต้มจะเป็นตะกอน

ความกระด้างชั่วคราว คือความกระด้างที่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต หรือหินปูน ซึ่งความกระด้างชนิดนี้จะกำจัดออกได้โดยการต้ม และแคลเซียมคาร์บอเนตจะตกตะกอน เกิดเป็นตะกอน ถ้าเป็นตะกอนแล้วน้ำที่ต้มก็ดื่มได้ตามปกติ เพราะความกระด้างในน้ำจะลดลง

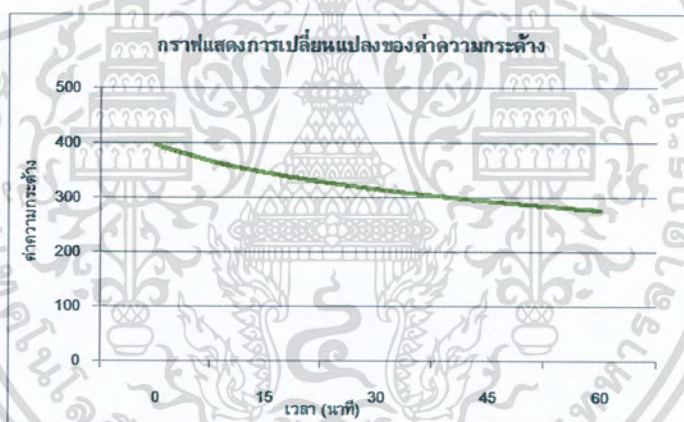
ความกระด้างถาวร คือความกระด้างที่เกิดจาก แคลเซียมคลอไรด์ หรือ แคลเซียมซัลเฟต ส่วนใหญ่จะเกิดกับน้ำกร่อย ไม่สามารถกำจัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

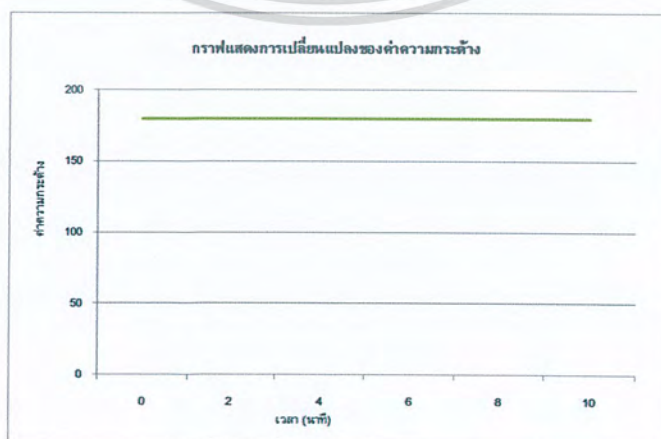
การตรวจวัด ใช้ชุดทดสอบความกระด้าง Total Hardness Test เป็นกระดาษวัดความกระด้างของน้ำ วิธีการวัดคือ นำกระดาษวัดจุ่มลงไปในน้ำ 3 วินาที จากนั้นนำมาเทียบสีแล้วอ่านค่าความกระด้างของน้ำ



รูปที่ 4.36 ชุดทดสอบความกระด้างของน้ำ



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความกระด้างของแหล่งน้ำธรรมชาติ



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความกระด้างของบ่อพักน้ำสระว่ายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

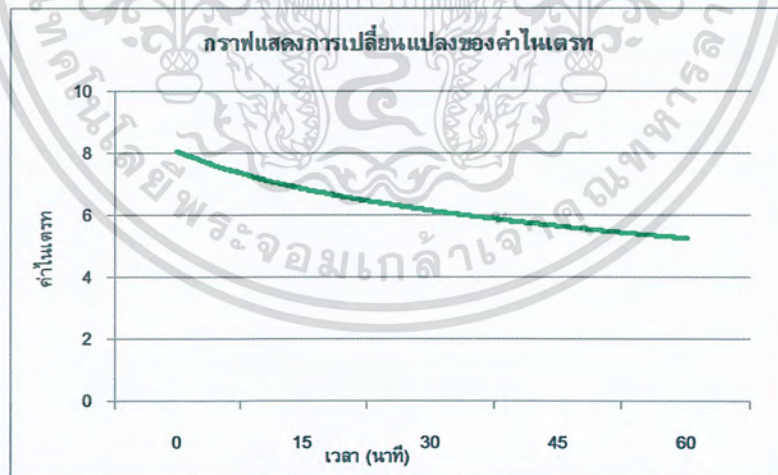
4.5.4 การวัดค่าไนเตรท

ไนเตรท (Nitrate) เป็นสารที่เกิดจากการย่อยสลายสารไนโตรเจน ซึ่งเกิดมาจากสารแอมโมเนีย ถ้าพบว่ามีสารไนเตรทในน้ำแสดงว่าสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำได้ถูกย่อยสลายจนเสร็จสิ้นสมบูรณ์ และโดยทั่วไปจะไม่มีผลอันตรายต่อสุขภาพ ซึ่งในสระว่ายน้ำควรจะมไนเตรทไม่เกิน 50 ppm

การตรวจวัดจะใช้ชุด Tetra Test NO₃ ซึ่งวิธีการวัด คือใส่น้ำตัวอย่างลงไปในห้องตรวจวัด จากนั้นจึงหยดสารต่างๆ ลงไปตามวิธีการตรวจที่ถูกต้อง เมื่อเสร็จสิ้นตามขั้นตอน ก็นำน้ำตัวอย่างที่ได้มาส่งกับแสงเพื่อทำการอ่านค่าเทียบกับสีจากชุดทดสอบ

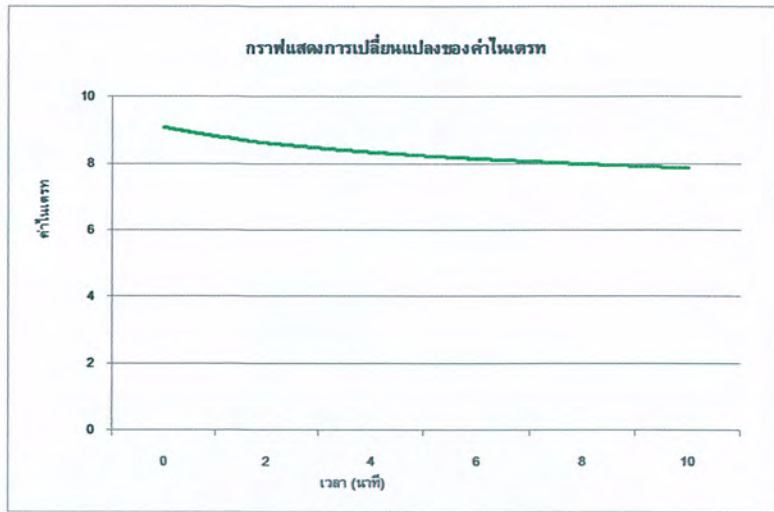


รูปที่ 4.39 ชุดทดสอบค่าไนเตรทในน้ำ



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าไนเตรทของแหล่งน้ำธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าไนเตรทของบ่อกักน้ำสระว่ายน้ำ

4.5.5 การวัดโอโซนในน้ำ

การวัดค่าโอโซนที่ละลายอยู่ในน้ำ (Residual Ozone) เพื่อให้ทราบถึงผลลัพธ์ของการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งแสดงถึงผลลัพธ์ของการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ โดยในปริมาณที่พอเหมาะนี้จะใช้อุปกรณ์ตรวจวัดด้วยหลักการเทียบสี เป็นการใส่สารทดสอบโอโซน (Ozone Reagent) ใส่ลงในน้ำที่มีก๊าซโอโซนผสมอยู่จากนั้นนำมาเทียบสี ซึ่งมีทั้งแบบเทียบสีด้วยตา และแบบ Digital (เทียบสีด้วยเครื่อง Photometer)

การวัดค่า Ozone residual จะใช้จานเทียบสีในการวัด โดยจำเป็นต้องทำการวัดทันทีที่เก็บตัวอย่างน้ำ เนื่องจากโอโซนที่ละลายอยู่ในน้ำจะสลายตัวอย่างรวดเร็ว ถ้าไม่ทำการวัดทันทีจะทำให้ค่าที่ได้จากการวัดผิดพลาด



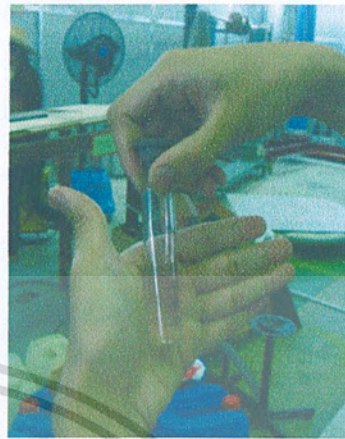
รูปที่ 4.42 ชุดงานเทียบสีสำหรับวัดค่า Ozone residual

ในขั้นตอนการวัดค่าโอโซนในน้ำ จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาผ่านโอโซนในเวลาต่างๆ แล้วนำน้ำตัวอย่างเพียง 10 มิลลิลิตร ใส่สารที่ใช้เป็นตัวทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิบัติการลงไปใต้น้ำตัวอย่าง แล้วเขย่าเป็นเวลา 3 นาทีแล้วทำการเทียบสีทันที โดยอ่านค่า Ozone residual ในหน่วย ppm



1)



2)

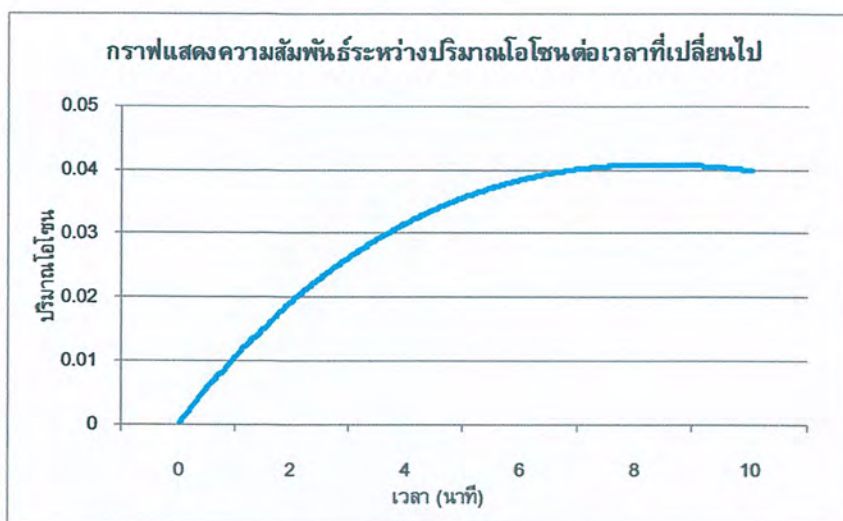


3)

รูปที่ 4.43 ขั้นตอนการตรวจวัดค่า Ozone residual

1) ใส่สารตรวจวัด 2) เขย่าน้ำตัวอย่างเป็นเวลา 3 นาที 3) อ่านค่าที่ได้จากการเทียบสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโอโซน

4.6 การทดลองด้านชีววิทยาวิเคราะห์ [7,8]

คุณภาพน้ำทางด้านชีวภาพ หรือทางด้านจุลินทรีย์ประกอบไปด้วยจุลินทรีย์มากมายหลายชนิดทั้งที่ทำให้เกิดโรคและไม่ทำให้เกิดโรค การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางแบคทีเรียจึงเป็นดัชนีที่จะบ่งชี้ถึงความสกปรกของน้ำ เนื่องจากมีแบคทีเรียหลายชนิดที่ก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับทางเดินอาหาร เช่น ไทฟอยด์ บิด และอหิวาห์ ซึ่งสามารถตรวจพบได้ในอุจจาระ เมื่อถูกขับถ่ายปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำจะถูกแพร่กระจายไปโดยมีน้ำเป็นสื่อ และจะมีผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของคนที่ใช้น้ำในแหล่งน้ำนั้น ดังนั้นในการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางแบคทีเรีย จึงต้องวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของแบคทีเรียที่เป็นอันตราย (Pathogens) ต่างๆ ในน้ำ การตรวจสอบชนิดของแบคทีเรียที่เป็นอันตราย (Pathogens) ต่างๆ ในตัวอย่างน้ำโดยตรงอาจต้องใช้เวลา นาน ยุ่งยาก และสิ้นเปลืองมาก ซึ่งในปัจจุบันมักนิยมใช้การตรวจหาแบคทีเรียชี้แนะแทน (Bacteriological indicator) โดยเฉพาะแบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์ม เพื่อเป็นดัชนีชี้แนะว่าแหล่งน้ำนั้นน่าจะมีการปนเปื้อนของแบคทีเรียที่เป็นอันตรายมากน้อยเพียงใด

การทดลองนี้เป็นขั้นตอนการทดลองที่สำคัญ ที่จะสร้างความมั่นใจให้กับผู้ใช้งาน ให้ทราบว่าการนำโอโซนเข้ามาใช้งานในการบำบัดน้ำนั้นมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้จริง ซึ่งในการทำการทดลองนี้ ได้ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สจล. ซึ่งมีเจ้าหน้าที่ควบคุมการทดลองอย่างเคร่งครัด โดยการทดลองจะประกอบด้วย การวิเคราะห์หาปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coli form bacteria) และการวิเคราะห์หาปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Total Bacteria)

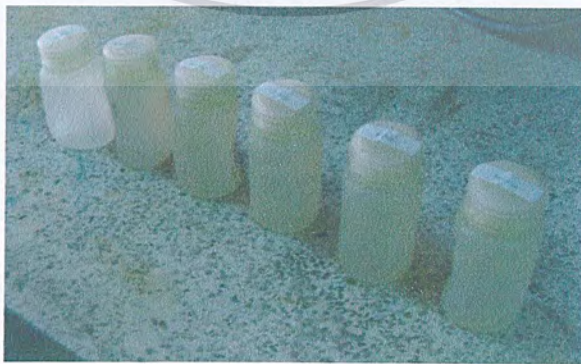
4.6.1 การวิเคราะห์หาปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coli form bacteria)

TCB (Total Coliform Bacteria) หมายถึง กลุ่มแบคทีเรียชนิดหนึ่ง ส่วนใหญ่อาศัยในลำไส้มนุษย์หรือสัตว์ แต่บางครั้งอาจพบในบริเวณอื่น หากพบแบคทีเรียชนิดนี้ปนเปื้อนในน้ำแสดงถึงความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนหรือแพร่กระจายของเชื้อโรคที่ทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหาร

การตรวจวัดปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด ใช้วิธี MPN ในการวิเคราะห์ผล เป็นการวิเคราะห์ปริมาณของเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรีย โดยอาศัยความสามารถในการย่อยสลายอาหารให้เกิดก๊าซในหลอดทดลอง จากจำนวนของหลอดที่ให้ผล positive ของแต่ละการเจือจาง 3 ระดับ แล้วนำไปอ่านค่าในตารางดัชนี MPN (MPN index) ซึ่งจะบอกจำนวนของโคลิฟอร์มที่มีอยู่ในน้ำ 100 ml. โดยค่าในตารางดัชนี MPN นี้เป็นค่าการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งจะเป็นการประมาณทางสถิติถึงปริมาณของโคลิฟอร์มที่น่าจะตรวจพบได้ในน้ำ (Most Probable Number per 100 ml. of sample)



รูปที่ 4.45 อาหารของเชื้อแบคทีเรียโคลิฟอร์มที่ทำการเจือจาง 3 ระดับ



รูปที่ 4.46 น้ำตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านและผ่านระบบการบำบัดไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.47 ขั้นตอนการผสมน้ำด้วยยางกับอาหารเชื้อ



รูปที่ 4.48 หลอดที่พบเชื้อโคลิฟอร์มจะเกิดก๊าซภายในหลอด

4.6.2 การวิเคราะห์หาปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Total Bacteria)

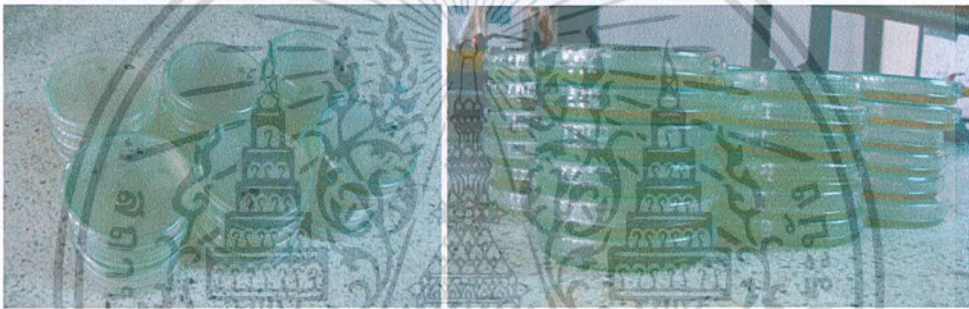
แบคทีเรีย (Bacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดโตกว่าไวรัส สามารถมองเห็นได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดา โรคที่เกิดจากแบคทีเรียที่มีน้ำเป็นสื่อที่สำคัญมีหลายโรค เช่น อหิวาตกโรค (Cholera) โรคบิด (Bacillary Dysentery) โรคไขรากสาดหรือไข้ไทฟอยด์ (Typhoid Fever) เป็นต้น

การตรวจจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (Total Bacteria or Standard Plate Count) เป็นการตรวจวัดจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดโดยการเพาะเลี้ยงบนอาหารวุ้น (Agar) แล้วนับจำนวนกลุ่มหรือจุดเล็กๆ (Colony) ของแบคทีเรียที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.49 การทดลองตรวจวัดจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด



รูปที่ 4.50 เพลทที่เป็นวุ้นเมื่อผสมอาหารกับน้ำตัวอย่างเสร็จแล้ว

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองทางด้านชีววิทยาวិเคราะห์

แหล่งน้ำ	ปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด (MPN/100ml)			ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (CFU/1 ml)		
	ก่อนผสมไอโซน	หลังผสมไอโซน	อัตราการถูกกำจัด %	ก่อนผสมไอโซน	หลังผสมไอโซน	อัตราการถูกกำจัด %
ธรรมชาติ 30 นาที	230	80	65.22	38×10^2	15×10^2	60.53
ธรรมชาติ 60 นาที	230	20	91.30	38×10^2	32×10^1	91.58
บ่อกักน้ำจากสระว่ายนน้ำ	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ปัญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการประยุกต์ใช้งานก๊าซโอโซนร่วมกับสระว่ายน้ำเพื่อการใช้งานแทนคลอรีน จึงทำการศึกษาการบำบัดน้ำด้วยวิธีอื่น โดยเลือกนำโอโซนมาศึกษาและวิเคราะห์ เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของโอโซนที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคสูง สามารถนำมาแก้ปัญหาในเรื่องของการบำบัดน้ำเสียได้ อีกทั้งยังไม่ก่อให้เกิดสารประกอบอันตรายตกค้างเหมือนคลอรีน

จากการศึกษาในเบื้องต้น จึงได้ทำการทดลองการพิสูจน์สมมติฐานว่าแรงดันกระแสสลับดีกว่าแรงดันกระแสตรงในด้านประสิทธิภาพการผลิตโอโซนจริงหรือไม่ อย่างไร โดยการแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกคือ การหาแรงดันที่เหมาะสมในการผลิตโอโซนเพื่อการใช้งานจริง โดยแรงดันที่เลือกใช้ได้แก่ แรงดันกระแสสลับ 50 Hz และแรงดันกระแสตรงขั้วบวกและขั้วลบ วิธีการคือ จ่ายโอโซนเป็นเวลา 5 นาที ในปริมาตรน้ำ 600 ml ผลที่ได้คือ แรงดันกระแสสลับให้ประสิทธิภาพในการผลิตโอโซนมากกว่าแรงดันกระแสตรง ทำให้ทราบว่าความถี่มีผลต่อการเกิดโอโซน จึงทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเกิดโอโซนระหว่างแรงดันกระแสสลับความถี่ 50 Hz และความถี่สูง 15 kHz ผลที่ได้คือ ที่แรงดันความถี่สูงจะให้ปริมาณโอโซนที่มากที่สุด ซึ่งช่วงความถี่สูงที่เหมาะสมของการเกิดโอโซนอยู่ที่ 15-20 kHz [1]

เมื่อได้ชนิดของแรงดันที่เหมาะสมแล้ว นำแรงดันที่ได้ไปใช้งานจริงในด้านการบำบัดน้ำ ในส่วนที่สอง คือ การพิสูจน์ประสิทธิภาพของโอโซนในด้านการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งในการทดลอง จะนำน้ำตัวอย่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำจากบ่อพักน้ำสระว่ายน้ำ พระเทพฯ สจล. มาทำการจำลองสระว่ายน้ำ ขนาด $17.5 \times 35 \times 6 \text{ cm}^3$ ผ่านโอโซนเป็นเวลา 60 นาที แล้วนำน้ำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางด้านเคมีและชีววิทยา ซึ่งได้ผลดังนี้

- ค่า Conductivity และค่า TDS เป็นค่าที่บ่งบอกความสกปรกของน้ำ โอโซนสามารถลดค่าเหล่านี้ได้ แต่เนื่องจากระบบโอโซนที่ทำการทดลองเป็นระบบเปิด ผุ่นผงหรือตะกอนต่างๆ สามารถเข้ามาสู่ระบบได้ทำให้ค่านี้จะไม่คงที่ สามารถเพิ่มขึ้นได้ตามระยะเวลา

- ค่า pH อยู่ในช่วง 7.2-8.4 ซึ่งในการใช้งานระบบโอโซน pH ของน้ำควรจะมีการควบคุมให้อยู่ในช่วงนี้ เนื่องจากเป็นช่วงที่มีอัตราการกัดกร่อนน้อยมาก

- คลอรีนอิสระที่หลงเหลือในน้ำ ในแหล่งน้ำธรรมชาติตรวจไม่พบ ส่วนน้ำจากบ่อพักน้ำมีแนวโน้มลดลง

- ค่าความกระด้างมีแนวโน้มลดลงและอยู่ในช่วง 250-600 ppm ตามค่ามาตรฐาน ค่าไนเตรทมีแนวโน้มลดลงและไม่เกิน 50 ppm ตามค่ามาตรฐาน

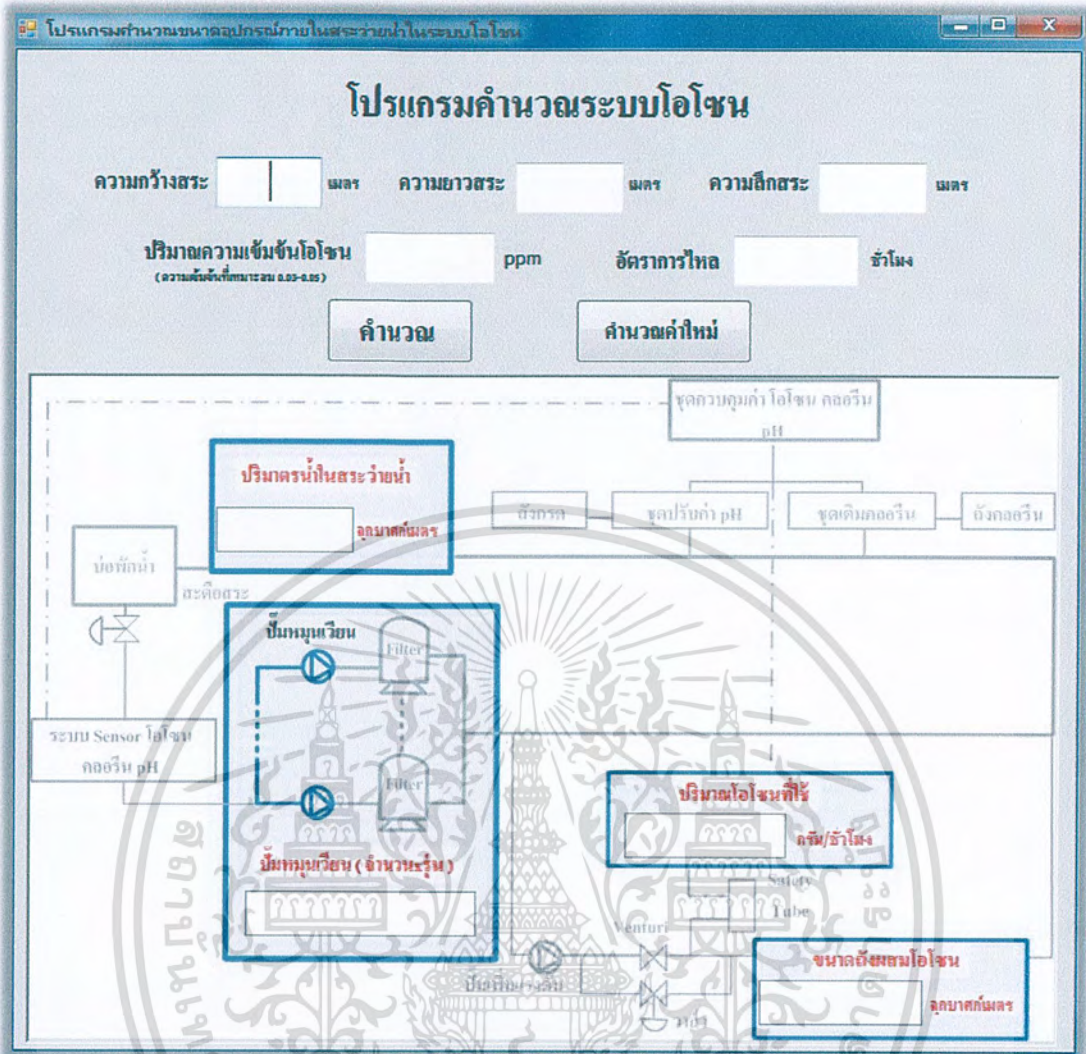
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าไอโซนที่ละลายอยู่ในน้ำมีค่าความเข้มข้น 0.05 ppm อยู่ในช่วง 0.04-0.1 ppm ซึ่งเป็นช่วงที่ไอโซนสามารถยับยั้งการเกิดโคลิฟอร์ม จุลินทรีย์ แบคทีเรียและเชื้อไวรัสต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ส่วนผลการวิเคราะห์ทางด้านชีววิทยาจะทำการตรวจหาปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดและปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ซึ่งเมื่อน้ำธรรมชาติผ่านระบบโอโซนไป 60 นาที ปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดถูกกำจัดไป 91.30% และปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดถูกกำจัดไป 91.58% ส่วนน้ำจากบ่อกักน้ำในสระว่ายน้ำนั้น ตรวจไม่พบปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดและปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด

ในการใช้งานในระบบสระว่ายน้ำจริง จากการศึกษาระบบโอโซนที่มีการใช้งานจริงที่สระว่ายน้ำของราชภัฏวชิรเวศน์ กทม. การกักน้ำแห่งประเทศไทย ขนาด $25 \times 50 \times 1.2 \text{ m}^3$ ได้ใช้มอเตอร์ในการดูดน้ำจากบ่อกักน้ำสระว่ายน้ำจำนวน 4 ตัว ซึ่งใช้ 2 ตัวในตอนกลางวันและอีก 2 ตัวในตอนกลางคืนสลับกันไป ถึงกรองทรายที่ใช้จะใช้ 8 ตัว ขนาด $31 \text{ m}^3/\text{hr}$ ถึงผสมโอโซนที่ใช้สูง 2.75 m และหลังจากที่ติดตั้งระบบโอโซนในระบบบำบัดแล้วนั้น ปริมาณโอโซนที่ใช้ลดลงไปถึง 76.92% ซึ่งยังคงคุณภาพในด้านการฆ่าเชื้อโรคได้ดีมากและไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างในสระว่ายน้ำอีกด้วย

จากการศึกษาระบบสระว่ายน้ำ จึงได้นำมาออกแบบและทำการคำนวณหาขนาดระบบโอโซนที่เหมาะสมเมื่อปริมาตรสระเปลี่ยนไป โดยการเขียนโปรแกรมช่วยคำนวณขึ้นมาเพื่อสามารถหาขนาดปั๊มหมุนเวียนน้ำ ปริมาณโอโซนที่ใช้ต่อชั่วโมงและขนาดถังผสมโอโซนที่เหมาะสมดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 โปรแกรมช่วยคำนวณอุปกรณ์ในระบบไอโซนสำหรับสระว่ายน้ำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทำโครงการนี้พบปัญหาคือ ขาดแคลนอุปกรณ์การวัดปริมาณไอโซน ซึ่งจะต้องทำการสั่งซื้อจากบริษัทโดยเฉพาะ ไม่มีการขายตามท้องตลาดทั่วไป
2. ในการตรวจวัดเชื้อต่างๆ จำเป็นจะต้องขอความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมืออาหารเชื้อและสถานที่ในการทำการทดลอง จึงมีปัญหาในเรื่องของการทำซ้ำตัวอย่างน้ำ เนื่องจากอาหารมีราคาค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พรพิมล รัตนวิเชียร, “เครื่องผลิตก๊าซโอโซนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์”, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543
- [2] สำราญ สังข์สะอาด, “วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง”, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ สนพ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [3] ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว, “การศึกษาเรื่องกำเนิดโอโซนด้วยการกระจายของสนามไฟฟ้า”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549
- [4] WATER THAI TECH, สระว่ายน้ำ, TRUST OUR EXPERIENCE TO MANAGE YOUR WATER POOL, <http://www.waterthai.co.th/waterpool2.html>
- [5] กรมสาธารณสุข, “การควบคุมการประกอบกิจการสระว่ายน้ำหรือกิจการอื่นๆในทำนองเดียวกัน”, เอกสารคำแนะนำของคณะกรรมการสาธารณสุข, 2550
- [6] University of California, 1999. Pool Treatment 101 : Introduction to Chlorine Sanitizing
- [7] American Public health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation. “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.” 18th Edition, American Public Health Association Inc., Washington D.C., 1992.
- [8] กรรณิการ์ สิริสิงห์ และคณะ “เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์” คณะสาธารณสุขศาสตร์ ม.มหิดล พ.ศ. 2525.
- [9] http://poolplaza.com/pool-school/pool_flow_rates.shtml
- [10] <http://www.genqao-o3.com/sdp/80067/4/cp-1081188/0.html>
- [11] http://www.absoluteozone.com/ozone_generator_swimming_pools.htm
- [12] http://www.ozonerp.com/injection_en.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการ

การศึกษาระบบโอโซนเพื่อใช้งานร่วมกับสระว่ายน้ำ

Ozone System Study For Swimming Pool

รัชฎะ ธีชญารักษ์ ดิอศักดิ์ วัฒนศิริ รัชฎญาเทพพิทักษ์ องอาจ มาน้อยทวีทรัพย์
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซ.ลาดกระบัง 1 เขตลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร. 0-2329-8330

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ นำเสนอผลการศึกษาระบบโอโซนที่ใช้ร่วมกับสระว่ายน้ำ โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพการเกิดโอโซนเมื่อเปลี่ยนชนิดแรงดันที่จ่ายให้อิเล็กโทรด จากกรณีลดสเปกตรัมแรงดันที่จําแนกพบว่าแรงดันกระแสสลับที่ความถี่ 15-20 kHz มีประสิทธิภาพในการเกิดโอโซนที่ต่ำกว่าแรงดันกระแสตรงจำนวน ชั่วโมง และแรงดันกระแสสลับความถี่กำลังเมื่อนำโอโซนที่ได้ผสมกับน้ำในสระว่ายน้ำ จําลองขนาด 17.5x35x6 cm³ มีความเข้มข้นของปริมาณ โอโซน 0.05 ppm สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียโกลิฟอร์มที่ จมลดได้ 91.30% และเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดได้ 91.58% จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมช่วยคำนวณขนาดระบบโอโซนที่ใช้กับสระว่ายน้ำ ขึ้นมาซึ่งโปรแกรมจะบอกขนาดของปั๊มหมุนเวียนที่ใช้ ปริมาณ โอโซนและขนาดถังผสม โอโซน ซึ่งได้ทำการคำนวณ สระตัวอย่างนั้นคือ สระว่ายน้ำ สมเด็จพระเทพฯ ขนาด 20x50x1.3 m³ กำหนดอัตราการไหลที่ 8 hr คือการความเข้มข้นของโอโซนขนาด 0.05 ppm จะได้ขนาดของปั๊มจำนวน 2 เครื่อง เครื่องกําหนดโอโซน 8.125 g/hr และขนาดถังผสมโอโซน 5.42 m³ ซึ่งเครื่องกําหนดโอโซนที่เหมาะสมสำหรับสระว่ายน้ำ นี้ต้องมีขนาดการผลิตโอโซนที่มากกว่า 8.125 g/hr

คำสำคัญ: ผลิตโอโซน, แรงดัน, ความถี่, สระว่ายน้ำ

Abstract

This Thesis presents studies of an ozone system for a swimming pool. From study, an efficiency of the generator is varied by a type of a voltage. The experimental results show that a 15-20 kHz voltage provides the high efficiency when it is compared with DC and AC power frequency voltages. From the experimental results with a simulated swimming pool with size of 17.5x35x6 cm³ and ozone dosage is 0.05 ppm, the Coli form bacteria and all bacteria were eliminated by 91.30% and 91.58%, respectively.

Then, a program is developed in order to calculate ozone system size for a swimming. This program display circulatory pump size, ozone dosage and contact tank. The program is use for calculating those of The Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn swimming pool having size of 20x50x1.3 m³ and flow rate of 8 hr, an appropriate ozone density and a size of the ozone generator were

calculated as 0.05 ppm, the ozone system is 2 circulatory pumps and contact tank size is 5.42 m³. The size of ozone generator has to generate more than 8.125 g/hr, respectively.

KEY WORD : Ozone, Voltage, Frequency, Swimming Pool

1. บทนำ

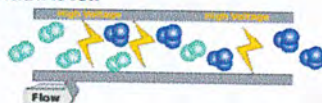
ปัจจุบันระบบจลกรน้ำในสระว่ายน้ำ จะใช้ระบบคลอรีนเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากคลอรีนนําน้ำได้จืดกว่าโอโซน แต่เนื่องจากคลอรีนนั้นเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูง มีความยุ่งยากในการใช้งาน ราคาสูง อีกทั้งยังมีความเป็นไปได้ว่าจะมีสารตกค้างจากการบำบัดซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้บริการสระว่ายน้ำ ซึ่งการศึกษากการบำบัดนี้ ศึกษาริธีอื่น โดยเลือกนำโอโซนมาศึกษาและวิเคราะห์ เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของโอโซนที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคสูง สามารถนำมาแก้ปัญหาในเรื่องของการบำบัดน้ำเสียได้ อีกทั้งยังไม่มีก่อให้เกิดสารประกอบอันตรายเหมือนคลอรีน สามารถฆ่าเชื้อโรคได้เร็วกว่าคลอรีนถึง 3.125 เท่าและยังมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรค โดยเฉพาะเชื้อไวรัสซึ่งคลอรีนไม่สามารถทำลายได้ น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อจากระบบโอโซนจึงถือได้ว่าเป็นน้ำที่เกือบจะบริสุทธิ์ และไม่มีสารตกค้าง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การกําหนดโอโซน [1]

โอโซน (O₃) เป็นก๊าซที่ประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอม จับกันอยู่ในสถานะไม่เสถียร สลายตัวได้ง่ายโดยชนกับเงื่อนไข สภาพแวดล้อมและความหนาแน่นของปริมาณที่ผลิต

การเกิดโอโซนสามารถเกิดขึ้นได้จากการผ่านอากาศแห้งและมีคุณสมบัติที่เหมาะสมเข้าไปยังสนามไฟฟ้าแบบโคโรนาดีสชาร์จทำให้ออกซิเจนในอากาศบางส่วนแตกตัวเกิดอะตอมออกซิเจน ซึ่งจะรวมตัวกับออกซิเจนเกิดเป็นโอโซนได้ การที่จะทำให้ออกซิเจนแตกพันธะได้นั้น จะต้องป้อนพลังงานจากภายนอกเข้าไปกระตุ้นให้ก๊าซออกซิเจนแตกพันธะออกเป็นอะตอมอิสระของออกซิเจนแล้วจึงรวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็นโอโซน



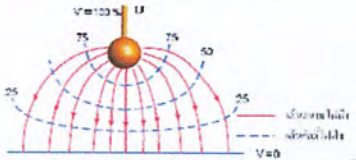
รูปที่ 1 การเกิดโอโซนจากสนามไฟฟ้าแบบโคโรนาดีสชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform field) [2]

- สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย (Slightly non-uniform field) คือสนามไฟฟ้าที่มีค่า $100\% < \eta * \leq 40\%$ คุณสมบัติใกล้เคียงกับสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมาก

- สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง (Highly non-uniform field) คือสนามไฟฟ้าที่มีค่า $\leq 20\%$ คุณสมบัติที่โดดเด่นของสนามไฟฟ้าแบบนี้คือมีผลของประจุลึกลับเกิดขึ้นทำให้สนามไฟฟ้าผิดเพี้ยนไปจากปกติ สิ่งที่เกิดขึ้นคือ จะเกิดกระแสไหลก่อนเกิดแรงกดยาวนานมาก



รูปที่ 2 เส้นสนามไฟฟ้าและเส้นศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโตรดทรงกลม

2.4 คุณสมบัติของโอโซนเปรียบเทียบกับคลอรีน

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบ โอโซนและคลอรีน [1]

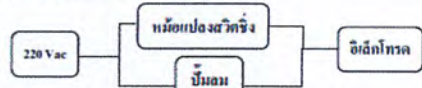
คลอรีน (Chlorine)	โอโซน (Ozone)
1. มีความเป็นพิษสูง และเป็นก๊าซพิษ	1. ระดับความเข้มข้นอยู่ที่ 1 mg/l มีกลิ่นฉุน รบกวนกลิ่นได้ที่ระดับ 0.01 mg/l ที่ระดับสูงกว่านี้มีการระคายเคืองมากกว่า
2. คลอรีนจะถูกเก็บที่ภาชนะบรรจุ ความดันสูงและสามารถเป็นอันตรายได้เมื่อมีการรั่วไหลเกิดขึ้น	2. โอโซนต้องทำราวผลิต ผลักแทนที่ใช้งานไม่สามารถเก็บได้
3. คลอรีนเมื่อผสมกับยูรีนจะก่อให้เกิดการระคายเคืองตาและ เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ	3. โอโซนมีวงจรรวดสั้น หลังทำปฏิกิริยาจะกลายเป็นออกซิเจน
4. ราคาสูง	4. ราคาโอโซนต่ำลงเนื่องจากการพัฒนาเทคโนโลยีและการไหลเวียนของในภาคผลิตปัจจุบัน
5. คลอรีนมีค่าความรุนแรงในการทำปฏิกิริยา (Oxidation potential) 1.36 V	5. โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่ปฏิกิริยาสูงสุด (เมื่อเทียบกับ) (Oxidation potential) 2.07 V
6. คลอรีนฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้แต่ไม่สามารถฆ่าเชื้อไวรัสได้	6. โอโซนที่ความเข้มข้นเดียวกับคลอรีนสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียและไวรัสได้ดีกว่าคลอรีน 600 – 3000 เท่า
7. คลอรีนมีกลิ่นรุนแรงรบกวนทางสุขภาพอนามัย	7. โอโซนไม่มีกลิ่นรบกวน แต่สามารถกำจัดกลิ่นของยูรีน สควิน อหิวา และสีได้
8. คลอรีนกำจัดโลหะหนัก ได้ดีไม่มาก	8. โอโซนพบปัญหาการดับโลหะหนัก ไรรั่ว จึงต้องใช้คลอรีนช่วยกระทำ Shock treatment
9. คลอรีนทำงานได้ดีต้องควบคุม pH ให้อยู่ในย่าน 7.0 – 7.4	9. โอโซนไม่ต้องการควบคุม pH

2.4 ค่ามาตรฐานต่างๆ ของสารละลายน้ำ [3]

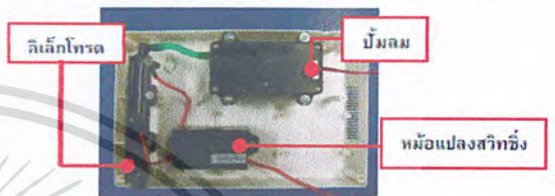
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.2 – 8.4
2. คลอรีนอิสระ (Free chlorine) 0.6 – 1.0 ppm
3. คลอรีนที่รวมกับสารอื่น (Combined chlorine) 0.5 – 1.0 ppm
4. ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) 80 – 100 ppm
5. ความกระด้าง (Calcium hardness) 250 – 600 ppm
6. กรดไซยานูริก (Cyanuric acid) 30 – 60 ppm
7. คลอไรด์ (Chloride) ไม่เกิน 600 ppm
8. แอมโมเนีย (Ammonia) ไม่เกิน 20 ppm
9. ไนเตรท (Nitrate) ไม่เกิน 50 ppm

10. โคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria) น้อยกว่า 10 ต่อ 100 ml โดยวิธีเอ็มพีเอ็น (Most Probable Numbers) ในอัตราส่วน 100 ml
11. ตรวจไม่พบฟิโคไล โคลิฟอร์ม (Fecal coliform)
12. ตรวจไม่พบจุลินทรีย์หรือตัวบ่งชี้ จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

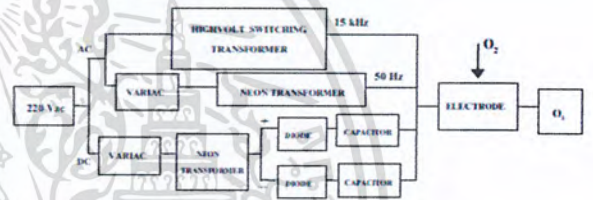
3. การออกแบบการทดลอง



รูปที่ 3 ไลอะแกรมของชุดเครื่องกำเนิดโอโซนที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4 ชุดเครื่องกำเนิดโอโซนความถี่สูง



รูปที่ 5 ไลอะแกรมการออกแบบการทดลอง

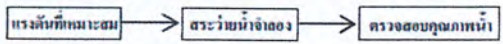
3.1 การทดลองศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อเครื่องกำเนิดโอโซน โดยแบ่งเงื่อนไขการพิจารณาออกเป็น 2 หัวข้อดังนี้

3.1.1 การทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อพิสูจน์ว่าแรงดันชนิดใดที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในการผลิตโอโซน ในขั้นตอนนี้จะเลือกใช้ชนิดของแรงดันที่ กระแสตรงและกระแสสลับมาทำการศึกษาและทำการทดลอง โดยใช้อิเล็กโทรดชนิดทรงกระบอกซ้อนกันมาทำการทดลองโดยง่ายให้กับอิเล็กโทรด



รูปที่ 6 บล็อกไลอะแกรมการทดลองหาค่าพารามิเตอร์

3.1.2 การหาประสิทธิภาพของโอโซนในการบำบัดน้ำเสีย โดยจำลองสารละลายน้ำ ที่ทำการทดลองและตรวจวัดค่าตามมาตรฐานของสารละลายน้ำ ได้แก่ TDS, conductivity, pH, คลอรีนอิสระ, ความกระด้าง, ไนเตรด, ปริมาณเชื้อโคลิฟอร์มและจุลินทรีย์ที่เหลือในน้ำ



รูปที่ 7 บล็อกไลอะแกรมการพิสูจน์โอโซนในการบำบัดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลการทดลอง

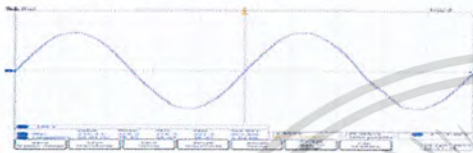
4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไอโซมความถี่สูง

4.1.1 การวัดพารามิเตอร์ของหลอดโคโรน่าที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไอโซมความถี่สูงโดยใช้ KC-605 LCR Meter ในการวัดแสดงดังตารางที่ 2

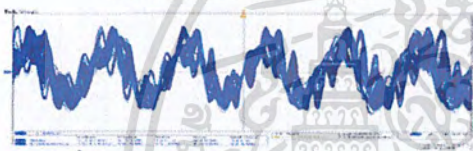
ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไอโซมความถี่สูง

C	R	R _s	f
17.553 pF	29 MΩ	18.37 kΩ	15 kHz

4.1.2 การวัดสัญญาณแรงดันสูงความถี่สูงจากเครื่องกำเนิดไอโซม จะได้สัญญาณ ดังภาพที่ 8 และ 9



รูปที่ 8 สัญญาณแรงดันขาเข้าเครื่องกำเนิดไอโซม ที่ Volt/Div = 100 V, Time/Div = 4 ms แรงดันขาเข้า 1225 Vrms ความถี่ 50 Hz



รูปที่ 9 สัญญาณแรงดันขาออกของเครื่องกำเนิด ไอโซม เมื่อ Volt/Div = 1000 V Time/Div = 40 us แรงดัน 3.16 kV ความถี่ 15.11 kHz

4.2 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้้าด้านแรงดันไอโซมที่ผลิต

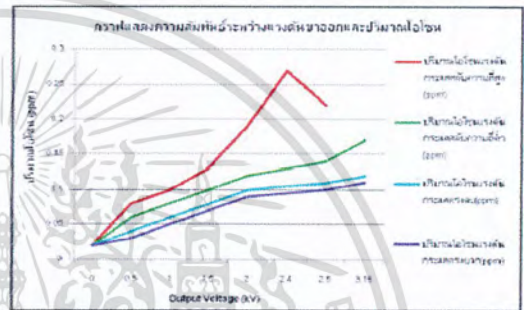
การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้้าด้านแรงดันสูงกระแสตรงบวก แรงดันสูงกระแสตรงลบ แรงดัน สูงกระแสสลับ ความถี่ต่ำ 150 Hz และแรงดันสูงกระแสสลับความถี่สูง 15 kHz ต่อปริมาณไอโซมโดยใช้เวลาในการเปิดเครื่อง 5 นาที ปริมาณน้ำ 600 ml ได้ผลตามตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของแรงดันกระแสตรงต่อปริมาณ ไอโซม

แรงดัน		ปริมาณไอโซม DC บวก (ppm)	ปริมาณไอโซม DC ลบ (ppm)	ปริมาณไอโซม AC 50Hz (ppm)
Input (V)	Output (kV)			
0	0	0.02	0.02	0.02
21.26	0.5	0.03	0.04	0.06
30.11	1.0	0.05	0.06	0.08
39.49	1.5	0.07	0.08	0.10
50.28	2.0	0.09	0.10	0.12
60.72	2.5	0.10	0.11	0.14
72.80	3.16	0.11	0.12	0.17

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ของแรงดันกระแสสลับ 15 kHz ต่อปริมาณ ไอโซม และพลังงานที่ใช้

แรงดัน		กระแสไฟฟ้าแรงดันสูง (mA)	พลังงานที่ใช้ (watt)	ปริมาณไอโซม AC 15kHz (ppm)
Input (V)	Output (kV)			
0	0	0	0	0.02
33.16	0.5	0.5497	0.0151	0.08
68.80	1.0	1.3489	0.0910	0.10
98.80	1.5	1.9539	0.1909	0.13
128.70	2.0	2.5025	0.3131	0.19
173.90	2.5	3.3445	0.5593	0.22
230.00	2.4	3.2674	0.5338	0.27

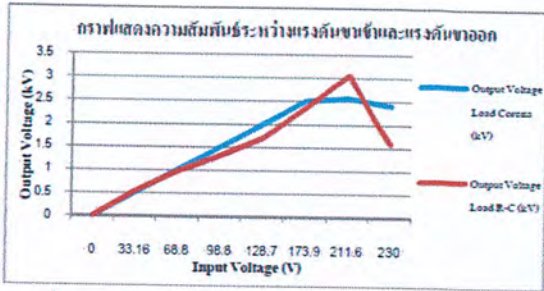


รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้าและขาออกของแรงดันกระแสสลับความถี่ต่ำ ความถี่สูง และกระแสรั่วบวกและลบ

จากผลทดลองที่ได้ จะเห็นว่าเมื่อแรงดันเพิ่มปริมาณไอโซมที่ จะเพิ่มขึ้น และแรงดันกระแสสลับความถี่สูงมีประสิทธิภาพในการผลิต ไอโซมสูงสุด แต่สังเกตจากเส้นกราฟแรงดันจะลดลงในช่วง 2.4-2.5 kV ดังรูปที่ 10 จึงทำการทดลองเพื่อหาว่าทำไมแรงดันจึงลดลง โดยการแทนโพลด้วย โพลจำลอง R-C ที่มีค่าใกล้เคียงกัน โดยใช้ R 29 MΩ, C 17 pF ได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดลองหาแรงดันขาออกโดยใช้โพล R-C

Input voltage (V)	Output voltage (kV)
30.83	0.5013
60.30	0.8800
90.00	1.2100
120.60	1.5860
150.50	1.9940
180.60	2.4560
211.60	3.0520
219.00	1.0470



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกของโพลีเอสเตอร์และโพลีเอสเตอร์ R-C

4.3 ประสิทธิภาพโอโซนในการบำบัดน้ำเสีย

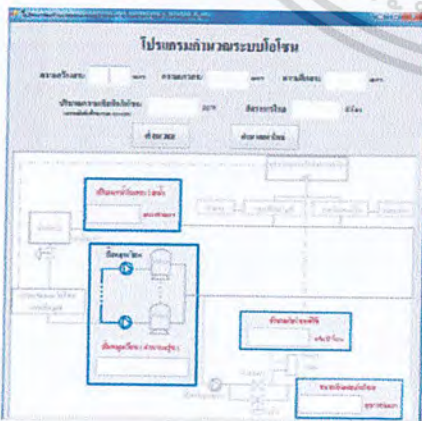
ตารางที่ 6 แสดงผลการพิสูจน์ทางด้านเคมี ณ แหล่งน้ำธรรมชาติ

ค่าต่างๆ ทางเคมี	ก่อนผสมโอโซน	หลังผสมโอโซน
pH	6.8	7.3
TDS	27.0	21.0
Conductivity (mS/cm)	36.3	37.0
คลอรีนอิสระ (ppm)	0	0
ความกระด้าง (ppm)	400	280
ไนเตรต (ppm)	6	5

ตารางที่ 7 แสดงผลการพิสูจน์ทางด้านชีววิทยา

แหล่งน้ำ	ปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด (MPN/100ml)			ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (CFU/ml)		
	ก่อนผสมโอโซน	หลังผสมโอโซน	อัตราการรอดตาย (%)	ก่อนผสมโอโซน	หลังผสมโอโซน	อัตราการรอดตาย (%)
ธรรมชาติ 30 นาที	230	80	65.22	38×10^7	15×10^7	60.53
ธรรมชาติ 60 นาที	230	20	91.30	38×10^7	32×10^7	91.58
บ่อน้ำจากสระว่ายน้ำ	0	0	0	0	0	0

4.4 โปรแกรมช่วยคำนวณอุปกรณ์ในระบบโอโซน



รูปที่ 12 โปรแกรมช่วยคำนวณอุปกรณ์ในระบบโอโซน

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นปริมาณ โอโซน ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และจากการทดลองแรงดันที่เหมาะสมทั้ง 4 แบบ สามารถบอกได้ว่าแรงดันกระแสสลับให้ประสิทธิภาพในการเกิด โอโซน ดีที่สุด ทำให้ทราบว่าความถี่มีผลในการเกิด โอโซนจริง โดยความถี่ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 15-20 kHz [1]

ประสิทธิภาพโอโซนในด้านการบำบัดน้ำ เติบโตConductivity และค่า TDS เป็นค่าที่บอกระดับความสกปรกของน้ำในระบบจากผลที่ได้มีแนวโน้มที่ลดลง ค่า pH มีค่าอยู่ในช่วงที่มีอัตราการกัดกร่อนน้อยมาก ค่า Residual Ozone มีค่าความเข้มข้น 0.05 ppm อยู่ในช่วง 0.04-0.1 ppm ซึ่งเป็นช่วงที่โอโซนสามารถยับยั้งการเกิดโคลิฟอร์มจุลินทรีย์ แบคทีเรียและเชื้อไวรัสต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากข้อมูลที่ได้สามารถนำมาเขียนโปรแกรมช่วยคำนวณขนาดระบบโอโซนที่ใช้กันระหว่างนี้ขึ้นมา ซึ่งโปรแกรมจะบอกขนาดของปั๊มหมุนเวียนที่ใช้ ปริมาณ โอโซนและขนาดถังผสมโอโซน ซึ่งได้ทำการคำนวณจากสระตัวอย่างนั้นคือ สระว่ายน้ำ สมเด็จพระเทพฯ ขนาด $20 \times 50 \times 1.3 \text{ m}^3$ กำหนดอัตราการไหลที่ 8 hr ต้องการความเข้มข้นของโอโซนขนาด 0.05 ppm จะได้ขนาดของปั๊มจำนวน 2 เครื่อง เครื่องกิโลวัตต์ โอโซน 8.125 g/hr และขนาดถังผสมโอโซน 5.42 m^3 ซึ่งเครื่องกิโลวัตต์ โอโซนที่เหมาะสมสำหรับสระว่ายน้ำนี้ นี้ต้องมีขนาดการผลิตโอโซนที่มากกว่า 8.125 g/hr

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ร.ศ.ศิริวัฒน์ โทษะอุบล ค.ศ.พิรุณ ฤทธิโกวิท ที่ให้คำแนะนำในการทำโครงการนี้จนสำเร็จ ขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนงานวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ภาควิชาเคมีและภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. สระว่ายน้ำ สมเด็จพระเทพฯ สจล.ที่ปทุมธานี ทองเขยวที่ศรีราช อานาชา บริษัท ทีเอสซี เทคโนโลยี แอนด์ เควลอปเม้นท์ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคล องค์กร และบริษัทดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โครงการนี้จึงสามารถเสร็จสมบูรณ์ได้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] พรพิมล รัตนวิเชียร, "เครื่องผลิตก๊าซโอโซนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2543
- [2] สำราญ สังข์สะอาด, "วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง", พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ สมท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [3] กรมสาธารณสุข, "การควบคุมการประกอบกิจการสระว่ายน้ำ หรือกิจการอื่นๆ ในทำนองเดียวกัน", เอกสารคำแนะนำของคณะกรรมการสาธารณสุข, 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

Poster

การออกแบบและติดตั้งเครื่องกำเนิดโอโซนในสระว่ายน้ำ

Design and Installation of Ozone Generators in a Swimming Pool

นายรัฐภูง อัญญรัตน์ นายจิตศักดิ์ หมั่นศรี นางสาวอัญญา เกษติกัมภ์ นายอองอาจ มาน้อยทวีทรัพย์
รศ.ศิริวัฒน์ โพธิ์เวมกุล, ดร.พิรุณ ฤกษ์โกวิท
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ความเป็นมา

ปัจจุบันระบบจัดการน้ำในสระว่ายน้ำจะใช้ระบบคลอรีนเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากคลอรีนนั้นหาได้ง่ายกว่าโอโซน แต่เนื่องจากคลอรีนนั้นเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูง มีความถูกต้องในการใช้ปริมาณ ราคาย่อมเยากว่า และไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีต่างจากคลอรีน ซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบบกกับผู้ใช้บริการสระว่ายน้ำ ซึ่งได้ทำการสำรวจการบำบัดน้ำด้วยวิธีบำบัดน้ำด้วยโอโซนที่มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของโอโซนที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของ สารกัมมันตภาพรังสี ยาฆ่าแมลง สารพิษต่าง ๆ และสารอินทรีย์ในน้ำ อีกทั้งยังไม่มีกลิ่นเหม็นเหมือนคลอรีน สามารถฆ่าเชื้อโรคได้เร็วกว่าคลอรีนถึง 125 เท่าและยังไม่มีผลต่อปฏิกิริยาเคมีของโอโซนและสารอินทรีย์ที่คลอรีนไม่สามารถทำลายได้ น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำด้วยโอโซนได้เป็นน้ำที่ปลอดภัย และไม่มีสารตกค้าง



ผลการทดลองทางด้านการบำบัดน้ำเสีย

ตารางแสดงผลการพิสูจน์ทางเคมี

ค่าต่าง ๆ ทางเคมี	ก่อนผสมโอโซน	หลังผสมโอโซน
pH	6.80	7.30
TDS (ppb)	20.70	20.20
Conductivity (mS/cm)	36.30	35.50
คลอรีนอิสระ (ppm)	0	0
ความขุ่นขาว (ppm)	400	400
ไนเตรต (ppm)	6	5

ตารางแสดงผลการพิสูจน์ทางชีววิทยา

แหล่งน้ำ	ปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด (MPN/100ml)			ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (CFU/1 ml)		
	ก่อนผสมโอโซน	หลังผสมโอโซน	อัตราการลดกำจัด%	ก่อนผสมโอโซน	หลังผสมโอโซน	อัตราการลดกำจัด%
แหล่งน้ำธรรมชาติ	230	20	91.30	38x10 ⁴	32x10 ⁴	91.58

การออกแบบ

เครื่องกำเนิดโอโซนจำเป็นต้องใช้ระบบในการแยกตัวออกซิเจน ซึ่งการทดลองพิสูจน์ทางเคมีและชีววิทยาที่มีประสิทธิภาพและระบบการกรองน้ำด้วยโอโซน โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าเครื่องกำเนิดโอโซนแบบแห้ง

เมื่อได้วงจรที่เหมาะสมแล้ว จะทำการทดลองประสิทธิภาพของโอโซนในการบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำ



โครงสร้างการทดลองระบบบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำ

การทดลอง

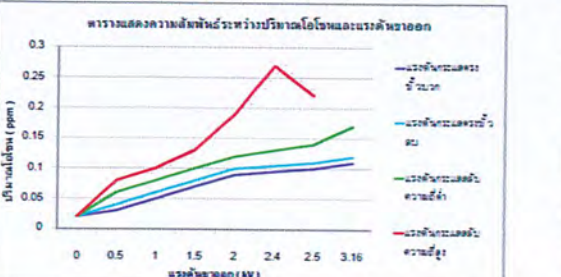
ทำการทดลองระบบการทดลองและระบบควบคุม โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างน้ำในสระว่ายน้ำกับปริมาณโอโซน และเปรียบเทียบกับระบบการกรองน้ำ ความถี่อยู่ที่ 15-20 Hz



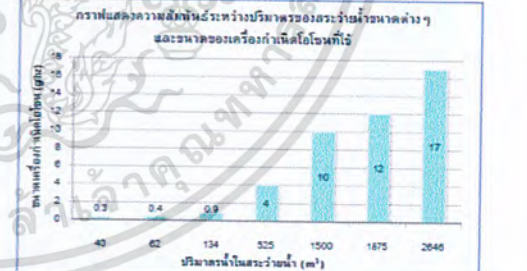
การทดลองแสดงให้เห็นว่าแรงดันและประจุไฟฟ้ามีผลต่อปริมาณโอโซน โดยแรงดันและกระแสที่ระดับแรงดันต่ำออกซิเจนก็ ประจุจะเข้าไปในโอโซนมากกว่าระดับสูง และแรงดันกระแสจะเข้าไปในโอโซนมากกว่าระดับกระแส นอกจากนี้ระบบการทดลองที่มีผลต่อการเกิดโอโซนแล้ว ความถี่ก็จะมีผลต่อการเกิดโอโซนด้วย คือที่ระดับความถี่ที่สูงขึ้น ปริมาณการเกิดโอโซนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยช่วงความถี่ที่เหมาะสมในการเกิดโอโซนจะอยู่ในช่วง 15-20 Hz

จากนั้นจึงได้ดำเนินการที่มีประสิทธิภาพดีที่เหมาะสมสำหรับการทดลองประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำ

ผลการทดลองทางไฟฟ้า



การคำนวณหาขนาดเครื่องกำเนิดโอโซนที่เหมาะสม
ขนาดสระที่พิจารณา (สระน้ำขนาด 20x50x1.3 เมตร) 20x50x1.3 เมตร = 1,300 ลูกบาศก์เมตร
อัตราการใช้ 8 ชั่วโมงต่อ 1,300 ลูกบาศก์เมตร = 2,709 ลิตร/นาที
ขนาดของโอโซนในสระน้ำที่มีอัตราการไหล = 2,709 x 60 x 1000 กรัม/ชั่วโมง
คิดเป็นอัตราการใช้ = 162,540,000 กรัม/ชั่วโมง
ต้องการความเข้มข้นของโอโซน 0.05 ppm (ถ้าไม่ใช้ประมาณ 0.04-0.06 ppm ในเวลาสั้น 0.1 ppm)
(162,540,000 x 0.05) / 1,000,000 = 8.127 กรัม/ชั่วโมง
ดังนั้น ควรเลือกใช้เครื่องกำเนิดโอโซนที่มีขนาดมากกว่า 8.127 กรัม/ชั่วโมง



สรุป

จากการทดลองทางเคมีและชีววิทยาที่เหมาะสมที่ 15-20 Hz สามารถลดค่าปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดที่มีประสิทธิภาพในการเกิดโอโซนได้มากกว่าระดับกระแส และค่าที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเกิดโอโซนด้วย ซึ่งค่าที่สูงขึ้นประสิทธิภาพในการเกิดโอโซนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ค่าที่สูงเกินไปประสิทธิภาพในการเกิดโอโซนสูงจะอยู่ที่ช่วงประมาณ 15-20 Hz ดังนั้น ค่า Conductivity และค่า TDS เป็นค่าที่บ่งชี้ระดับความสกปรกของน้ำในระบบ มีแนวโน้มที่ลดลง ค่า pH มีค่าอยู่ในช่วงที่เอื้อต่อการเกิดโอโซนมาก ค่า Residual Ozone มีความเข้มข้น 0.05 ppm อยู่ในช่วง 0.04-0.1 ppm ซึ่งเป็นช่วงที่โอโซนสามารถช่วยในการเกิดคลอรีน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และสารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยรักษาคุณภาพน้ำ

จากการคำนวณหาขนาดเครื่องกำเนิดโอโซนที่เหมาะสม ยกตัวอย่างการพิจารณาว่าขนาดเครื่องกำเนิดโอโซนของ 0.05 ppm จะได้น้ำที่สะอาดกว่าน้ำที่มีค่าคลอรีน 0.127 กรัม/ชั่วโมง และนั่นก็คือการติดตั้งเครื่องกำเนิดโอโซนสำหรับสระว่ายน้ำนี้ ควรเลือกใช้งานเครื่องกำเนิดโอโซนที่ผลิตโอโซนได้มากกว่า 8.127 กรัม/ชั่วโมง เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ศิริวัฒน์ โพธิ์เวมกุล ดร.พิรุณ ฤกษ์โกวิท ที่ให้คำแนะนำในการทำโครงการนี้จนสำเร็จ ขอขอบคุณประภัสสรณัฐสุนทรงานวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ขอขอบคุณ พญ.ณิชากร พงษ์เจริญ พิศนภพ อานนธา พิศนภพ เกษติกัมภ์ บริษัท ฟิเธอร์ เทคโนโลยี เฮลท์แคร์ แอนด์ เควอเรนซ์ จำกัด ภาควิชาเคมีและภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอขอบคุณจากบุคคล ออทีท และบริษัทที่ได้อุปกรณ์และโครงการนี้จึงสามารถเสร็จสมบูรณ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

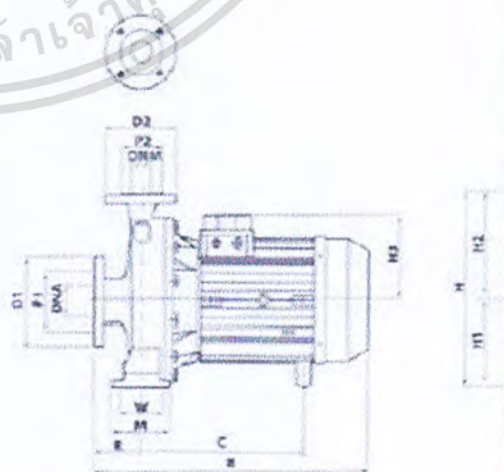
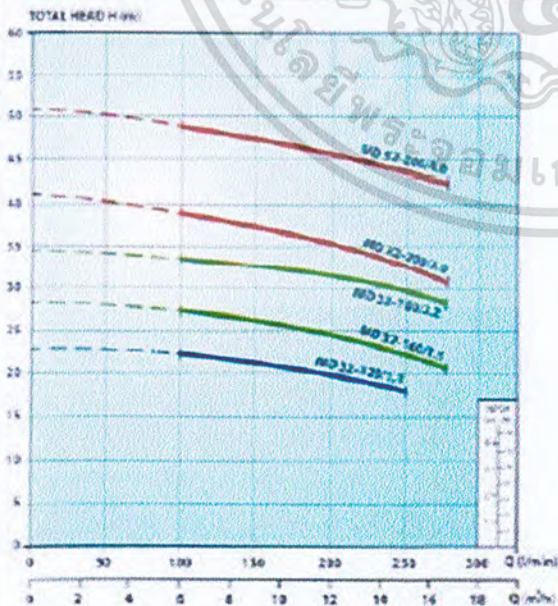
ภาคผนวก ค ข้อมูลปั๊มหมุนเวียน



ปั๊มน้ำหยอซ่งหน้าแปลน Ebara md 32
ใช้ไฟฟ้า 220 v และ 380 V /50 Hz พร้อม
สวิตช์กันความร้อน
เพื่อป้องกันมอเตอร์ไหม้ เจียบไม่มีเสียง
รบกวน
ทางเข้าหน้า 2" ทางนำออก 1 1/4"

▶ ปั๊มน้ำหยอซ่งหน้าแปลน Ebara md 32

รุ่น Model	รหัสสินค้า Code	ปริมาณน้ำ Flow		แรงดัน Pressure	ขนาดมอเตอร์ Motor		ไฟฟ้า Phase	
		lit/min	m ³ /hr		kW	HP	1 เฟส	3 เฟส
MD 32-160/2.2M	410-MD3216022M	100-250	6-17	28.5-34.5	2.2	3.0	●	
MD 32-125/1.1	410-MD3212511	100-250	6-15	18.5-22.5	1.1	1.5		●
MD 32-160/1.5	410-MD3216015	100-250	6-17	20.5-27.0	1.5	2.0		●
MD 32-160/2.2	410-MD3216022	100-250	6-17	28.5-34.5	2.2	3.0		●
MD 32-200/3.0	410-MD3220030	100-250	6-17	30.5-41.0	3.0	4.0		●
MD 32-200/4.0	410-MD3220040	100-250	6-17	42.5-50.5	4.0	5.5		●



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dimensional table

DIMENSIONAL TABLE

Pump type	Dimension (mm)																				
	DA	PA	K1	D1	Ea	PAW	PD	K2	D2	SM	H	H1	H2	H3	H4	W	W1	W2	W3	W4	
MD 40-125/1.5	50	102	125	165	20	30	78	100	180	18	262	102	108	122	135	50	70	140	100	190	85
MD 40-125/2.2	50	102	125	165	20	30	78	100	180	18	262	102	108	122	135	50	70	140	100	190	85
MD 40-160/3.0	56	102	125	165	20	30	78	100	180	18	262	102	108	122	135	50	70	140	100	190	85
MD 40-160/4.0	56	102	125	165	20	30	78	100	180	18	262	102	108	122	135	50	70	140	100	190	85
MD 40-200/5.5	56	102	125	165	20	30	78	100	180	18	262	102	108	122	135	50	70	140	100	190	85
MD 40-200/7.5	56	102	125	165	20	30	78	100	180	18	262	102	108	122	135	50	70	140	100	190	85
MD 40-200/11.0	56	102	125	165	20	30	78	100	180	18	262	102	108	122	135	50	70	140	100	190	85
MD 40-200/15.0	56	102	125	165	20	30	78	100	180	18	262	102	108	122	135	50	70	140	100	190	85

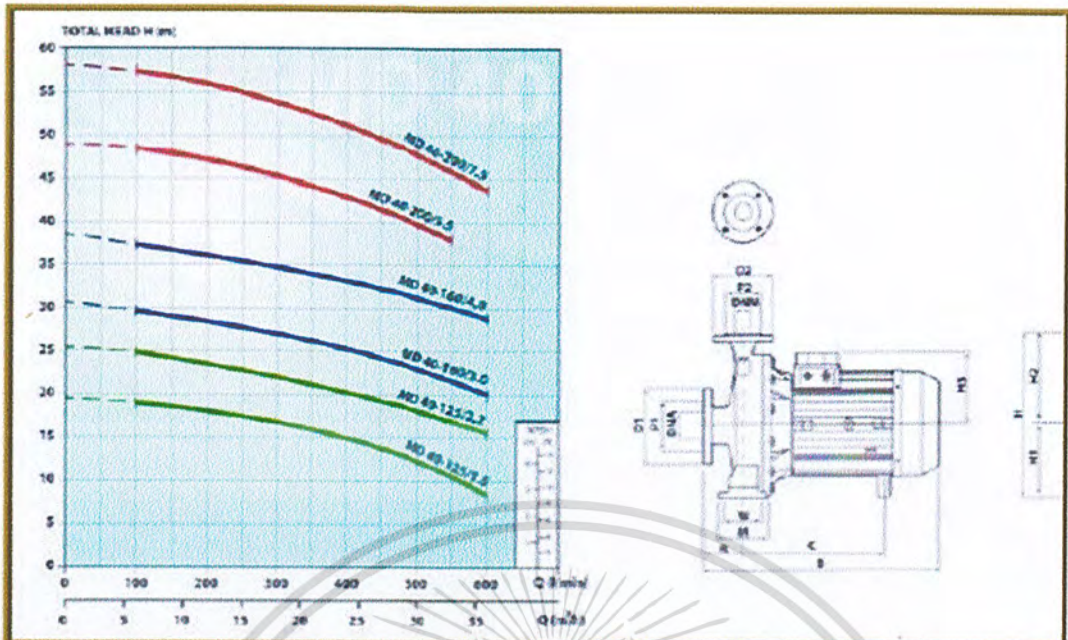


มีหน้าหอยโขงหน้าแปลน Ebara md 40
ใช้ไฟฟ้า 220 v และ 380 V /50 Hz พร้อม
สวิตช์กันความเร็ว
เพื่อป้องกันมอเตอร์ไหม้ เวียบไม่มีเสียง
รบกวน
ทางเข้าน้ำ 2 1/2" ทางน้ำออก 1 1/2"

มีหน้าหอยโขงหน้าแปลน Ebara md 40

รุ่น Model	รหัสสินค้า Code	ปริมาตรน้ำ Flow		แรงดัน Pressure	ขนาดมอเตอร์ Motor		ไฟฟ้า Phase	
		m ³ /hr	lit / min		kw	HP	1 เฟส	3 เฟส
MD 40-125/1.5	410-MD4012515	100-600	6-35	11.5-13.5	1.5	2.0		●
MD 40-125/2.2	410-MD4012522	100-600	6-35	15.5-25.0	2.2	3.0		●
MD 40-160/3.0	410-MD4016030	100-600	6-35	23.0-30.5	3.0	4.0		●
MD 40-160/4.0	410-MD4016040	100-600	6-35	29.0-38.0	4.0	5.5		●
MD 40-200/5.5	410-MD4020055	100-650	6-35	38.0-49.0	5.5	7.5		●
MD 40-200/7.5	410-MD4020075	100-600	6-35	41.0-58.5	7.5	10.0		●
MD 40-125/2.2M	410-MD4012522M	100-600	6-35	15.5-25.0	2.2	3.0	●	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

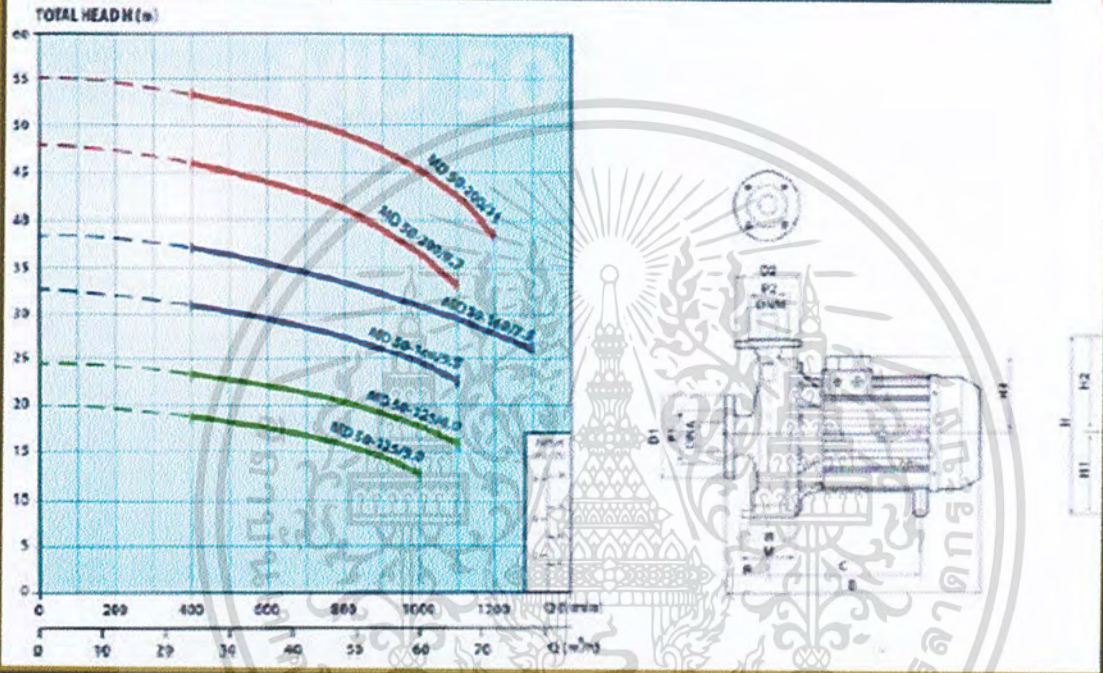


มีมอเตอร์หอยโข่งหน้าแปลน Ebara md 50
 ไร้อิทธิพล 380 V / 50 Hz พร้อมสวิทช์กัน
 ความร้อน
 เพื่อป้องกันมอเตอร์ไหม้ เย็นไม่มียาง
 ระบาย
 ทางเข้า 2 1/2" ทางออก 2"

มี มอเตอร์หอยโข่งหน้าแปลน Ebara md 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รุ่น Model	รหัสสินค้า Code	ปริมาณน้ำ Flow		แรงดัน Bar Pressure (MPa)	ขนาดมอเตอร์ Motor		ไฟฟ้า Phase	
		ลิตร/วินาที L/Sec	ม ³ /ชั่วโมง m ³ /hr		KW	HP	1 เฟส	3 เฟส
MD 50-125/3.0	410-MD5012530	400-1,000	24-60	13.0-20.0	3.0	4.0		●
MD 50-125/4.0	410-MD5012540	400-1,100	24-66	16.0-24.5	4.0	5.5		●
MD 50-160/5.5	410-MD5016055	400-1,100	24-66	22.5-32.5	5.5	7.5		●
MD 50-160/7.5	410-MD5016075	400-1,250	24-75	26.0-38.0	7.5	10.0		●
MD 50-200/9.2	410-MD5020092	400-1,100	24-66	33.0-47.5	9.2	12.5		●
MD 50-200/11	410-MD5020011	400-1,200	24-72	38.0-55.0	11.0	15.0		●

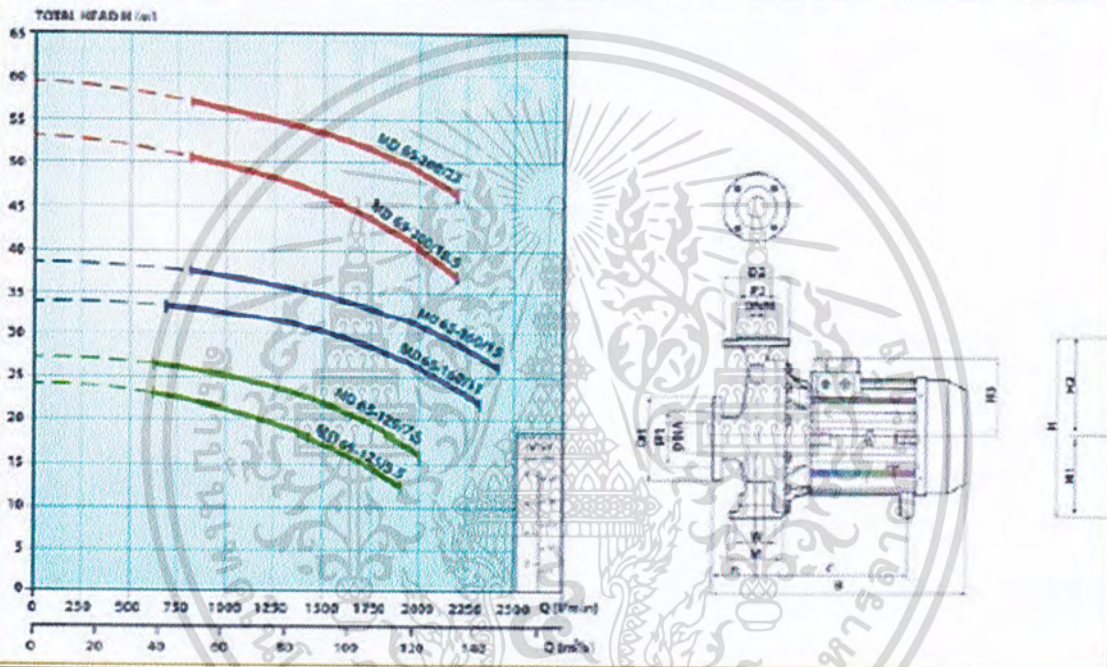


มี หน้าทอยช่องหน้าแปลน Ebara md 65
ใช้ไฟฟ้า 380 V / 50 Hz พร้อมสวิทช์กัน
ความร้อน
เพื่อป้องกันมอเตอร์ไหม้ เจริญไม่มีเสียง
รบกวน
ทางเข้าน้ำ 3 1/4" ทางน้ำออก 2 1/2"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

▶ ป้อน้ำหยดโครงการแปล Ebara md 65

รุ่น Model	รหัสสินค้า Code	ปริมาณน้ำ Flow		แรงดัน Head Pressure (kg)	ขนาดมอเตอร์ Motor		ไฟฟ้า Phase	
		ลิตร/วินาที	ลบ.ม./ชม.		kW	HP	1 เฟส	3 เฟส
MD 65-125/5.5	410-MD6512555	600-1,900	36-114	13.5-24.0	5.5	7.5		●
MD 65-125/7.5	410-MD6512575	600-2,000	36-120	16.0-27.0	7.5	10.0		●
MD 65-160/11.0	410-MD6516011	667-2,300	40-138	22.0-34.0	11.0	15.0		●
MD 65-160/15.0	410-MD6516015	800-2,400	48-144	26.0-38.2	15.0	20.0		●
MD 65-200/18.5	410-MD65200185	800-2,200	48-132	37.0-53.5	18.0	25.0		●
MD 65-200/22.0	410-MD6520022	800-2,200	48-132	46.0-59.5	22.0	30.0		●



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

เวลา Turn over ของสระขนาดต่างๆ

Pool Flow Rates

The first job of the pool pump is to circulate the pool water through the filter and back out to the pool. To do so, the pump must have a minimum flow rate in GPM (gallons per minute) that will allow it to move all the water through the filter within a given amount of time..

To determine the minimum flow rate you must do two things:

Determine the capacity of your pool in gallons.

Rectangular Pools - Length x Width x Average Depth x 7.5 = Gallons in Pool

If the pool is 30 feet long by 18 feet wide by 4.5 feet deep, the approximate pool volume is 18,225 gallons.

(30 times 18 times 4.5 times 7.5)

Length	Width	Avg. Depth	7.5	Gallons
30	18	4.5	7.5	18225
25	16	3.5	7.5	10500

Round Pools - Radius x Radius x 3.14 x Average Depth x 7.5 = Gallons in Pool

If the round pool has a 14 foot radius, and a depth of 4.5 ft. then the approximate pool volume would be 20,771

(14 times 14 times 3.14 times 4.5 times 7.5) REMEMBER: Radius equals diameter divided by 2.

Radius ²	3.14	Avg. Depth	7.5	Gallons
14 x 14	3.14	4.5	7.5	20771
12.5 x 12.5	3.14	3.5	7.5	12878

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Determine the desired turnover rate.

In other words, how long should it take to move the entire contents of your swimming pool through the filter. Divide the pool gallonage by the turnover rate to determine the minimum flow rate per hour. Divide that number by 60 to determine the minimum flow rate per minute.

Gallons In Pool	Flow Rate Required for Proper Turnover		
	6 hr. turnover (high use)	8 hr turnover (medium use)	10 hr turnover (low use)
10,000	27.8	20.8	16.7
15,000	41.7	31.3	25.0
20,000	55.6	41.7	33.3
25,000	69.4	52.1	41.7
30,000	83.3	62.5	50.0
40,000	111.1	83.3	66.7
50,000	138.9	104.2	83.3
10,0000	277.8	208.3	166.7

If the pool holds 20,000 gallons of water and enjoys a medium level of usage, you would look at the 20,000 gallon line and go to the 8 hour turnover column (for medium use). You would find that the pool requires a 41.7 gallon per minute flow rate to achieve proper turnover. You can look at the [pump charts](#) to find out the pump that will deliver that level of performance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ขนาด Ozone Contact Tank

Swimming Pool Ozone System

Ozone System Use The Swimming Pool

When you are swimming in the pool, you are surrounded by the water, which may get into your mouth. If the water is not healthy, it may bring some diseases to your eyes, skin and breathing apparatus. What's worse is that it may cause typhus, cholera, syphilis, red dysentery and so on. Meanwhile the water may be polluted by the germs brought by swimmers, so disinfection equipment must be installed. The traditional method is the chlorine disinfection whose disinfectant includes chlorin(liquid chlorin usually), merchlore, merichlore dioxide, chloramine, bleaching powder and bleaching extract. But this method would damage eyes and breathing apparatus erode the equipments and pipes in swimming pool and need good management, otherwise accident would happen. And touching the water containing chlorin for a long period would make your hair turn grey and skin dry. What's more, the chlorine ramifications may be carcinogen which can damage people's heath greatly

Swimming pool of water ozone systems design



Design of disinfection system

1. Ozone system CT value

"C" represents the ozone concentration whose unit of measurement is "mg/L"; "T" represents the contact time whose unit of measurement is "min"; CT value expressses disinfection validity. For example, the ozone concentration is 0.4mg/L, the contact time is 4min, and the CT value is 1.6. The features of swimming pool water are as following:

- (1) The water is of closed circulation, at least 4 times one day.
- (2) Needed oxidant is increasing with the increasing of swimmers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

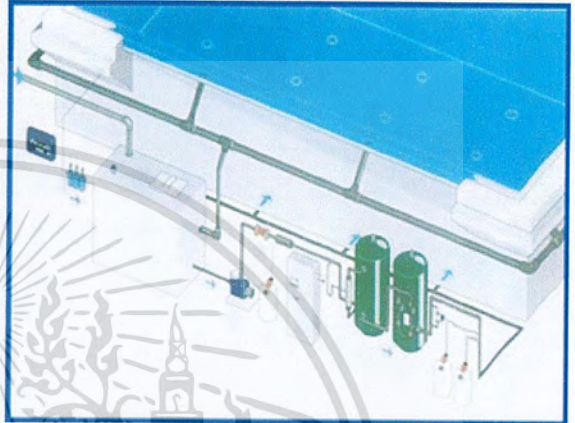
(3) The regular temperature of the water is between 5°C and 40°C.

(4) Chlorine is needed to be the assistant disinfectant.

The swimming pool circulation water is disinfected with ozone after being filtered. That the CT value is 1.6 is safe for the swimming pool disinfection system. In some areas CT value is taken as 0.8, ozone concentration 0.2mg/L~0.25mg/L and contact time 3.5min~4min, when the amount of chlorine, the assistant disinfectant, is reduced to 65%. When chlorine is a primary disinfectant and ozone fine treatment disinfectant, CT value can be less than 0.8, ozone concentration less than 0.5mg/L and contact time less than 1min.

2. The oxidation of ozone and water

Ozone is led into water through injector fit in bypass pipe, where pipe pump is installed to ensure the inlet pressure of injector. The water and the ozone mixed liquor go into reaction tin from the upside. After being mixed completely, they go out from the underside and connect with the main pipe of the swimming pool circulation water. After the water in bypass pipe is disinfected under high ozone concentration, the water in bypass and main pipes will mix and be oxidized. That the circulation period of commercial swimming water is 6 hours and the flow rate of bypass pipe is 15%~5% as that of main pipe ensure the good mass transfer efficiency and enough contact time before ozone goes into the main pipe.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

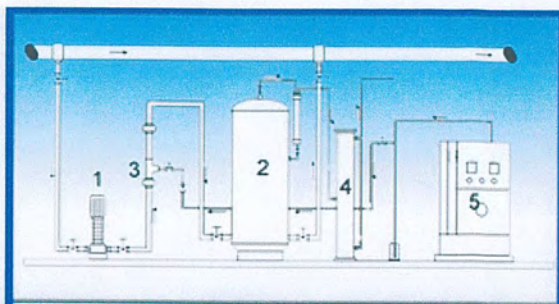


Fig 1. Ozone Using the Swimming pool Cell

- 1. Water pump 2. Water Tank 3. Ejector
- 4. Ozone Deconstruction 5. Ozone Generator

3. Ozone output

$$\text{Ozone output (g/h)} = \text{flow rate of circulation water (m}^3/\text{h)} \times \text{ozone concentration (g/m}^3\text{)}$$

The dissolved ozone in water would be oxidized, disinfected and sterilized.

The exhaust valve in the top of reaction tin should be connected with ozone

breakdown setting in order to eliminate undissolved ozone before going into the air.

$$\text{The capability of reaction tin (m}^3\text{)} = \text{flow rate of circulation water (m}^3/\text{h)} \times$$

$$\text{percentage of bypass water} \times \text{reaction time}$$

The saturation concentration of water abides by Henry Law within the swimming pool water temperature bound, that is, the higher the ozone concentration in the ozone generator is, the higher the water saturation concentration is, and the higher the mass transfer balance concentration of dissolved ozone and so is the disinfection. This point should be taken into account when choosing ozone generator.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
ปริมาณความเข้มข้นโอโซนในสระว่ายน้ำ

MADE-IN-CANADA SOLUTION TO THE WORLD'S CLEAN ENVIRONMENT



Bottled Water



Industrial Processes



Aquaculture



Pharmaceutical



Soil Remediation



Food Processing



Wineries



Cooling Towers



Swimming Pools and Spas



Waste Water Treatment

Benefits of Ozone vs. Chlorine:

Over the life of the pool Ozone reduces the on-going operating and maintenance costs. These costs can be significant. Chlorine is famous for destroying pool infrastructures, rusting out ventilation systems and destroying pool liners etc. Ozone poses no such problems [Click here to see more!](#)

Selecting an Ozone Generator for your pool:

We recommend selecting ozone generator according to the German DIN 19643 norms. In these norms amongst others a temperature dependent ozone dose is used.

We recommend for chemical free pool residual ozone concentration of 0.03ppm - 0.05ppm

For swimming pools with a water temperature of 28°C or 33 - 35°C an ozone dosage of respectively 0.8 and 1.2 gram per m³ is used.

[Please see more information here about ozone generators for swimming pools an example of swimming pool ozone generator calculations](#)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
Model เครื่องผลิตก๊าซโอโซน รุ่น PSC_150

Model PSC_150



SPECIFICATION

CLASS	Xx
พิภักการผลิดก๊าซโอโซน(O3)	150 g/hr
แรงดันก๊าซโอโซน(O3)	33 l/m
ระบบควบคุมการทำงานControl(PLC)	Programmable Logic
ก๊าซตั้งต้นในการผลิดก๊าซโอโซน	Oxygen ที่มีความบริสุทธิ์ ไม่น้อยกว่า90 %
รูปแบบการผลิดก๊าซโอโซน	Corona Discharge แบบแรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง(5 kHz – 8 KHz)
หลอดผลิด โอโซน	ทำงาน 6 หลอด มีสำรอง 2 หลอด
เครื่องผลิดก๊าซ Oxygen	30 L/m ความบริสุทธิ์ ไม่น้อยกว่า90 %
ระบบตรวจจับและป้องกันเครื่อง แท่งผลิดก๊าซโอโซน(O3)ชำรุด	มี
อุณหภูมิกายในหลอดผลิดก๊าซโอโซน	มี
ปริมาณการไหลของอากาศผิดปกติ	มี
ความดันน้ำของระบบผสมผิดปกติ	มี
อุปกรณ์ไล่ความชื้น	มี
กระแสไฟฟ้ารั่วไหลระบบไฟฟ้าป้อนเข้า	มี
ระบบไฟฟ้า	3 เฟส 380 V AC 50 Hz
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด	1500 W
ตัวตู้เครื่องฯ	ทำด้วยเหล็กหนาไม่น้อยกว่า1.5 mm
สี	สีฝุ่นโพลีเอสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
ตารางขนาดท่อ Venturi

Mazzei Injector Company, LLC Injector Performance Table													
Air Suction Capacity • Injector Inlet Pressure 5-50 PSIG													
Operating Pressure PSIG		Model 287 1/2" Threads		Model 384 1/2" Threads		Model 484 1/2" & 3/4" Threads		Model 484X 3/4" Threads		Model 584 1/2" & 3/4" Threads		Model 684 3/4" Threads	
Injector Inlet	Injector Outlet	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH
5	0	0.29	0.5	0.7	0.6	1.1	5.5	1.1	7.8	2.0	8.8	3.4	9.1
	1		0.2		2.0		2.8		3.3		5.7		
	2		0.4		0.1		0.7		1.3		3.1		
	3		0.1		0.5		0.7		1.0				
	4		(3.5)		(3.9)		(4.4)		(3.5)		(4.4)		(4.3)
10	0	0.31	1.0	1.0	3.5	1.6	9.6	1.6	13.1	2.8	14.6	4.8	13.3
	2		0.5		1.6		3.7		3.9		5.9		
	5		0.3		0.7		1.2		1.7		3.6		
	7		0.3		0.3		0.4		0.8		1.5		
	8		(7.7)		(8.2)		(8.4)		(7.5)		(9.0)		(8.5)
15	0	0.41	2.0	1.2	6.6	2.0	12.6	2.0	17.7	3.5	17.4	5.8	15.5
	5		0.5		1.1		2.3		2.8		4.6		7.2
	7		0.6		1.3		1.3		1.5		2.7		4.4
	10		0.6		0.6		0.6		1.0		2.1		
	12		(11.5)		(12.9)		(12.5)		(9.6)		(13.5)		(13.0)
20	0	0.50	3.0	1.3	8.9	2.3	14.7	2.3	21.5	4.0	20.6	6.7	23.6
	5		0.5		2.2		4.7		5.4		8.2		15.0
	10		0.6		1.3		1.3		1.5		2.9		5.7
	12		0.8		0.5		1.0		1.7		3.8		
	15		(16.0)		(16.5)		(17.0)		(13.2)		(18.0)		(16.5)
25	0	0.57	3.5	1.5	9.6	2.6	15.8	2.6	24.8	4.5	23.2	7.5	27.6
	5		0.5		3.0		6.1		8.5		10.6		19.7
	10		1.2		2.1		2.1		4.8		8.3		
	15		0.7		1.3		2.0		3.7				
	20		(19.5)		(20.5)		(21.6)		(16.5)		(22.0)		(21.0)
30	0	0.63	3.5	1.6	10.0	2.8	16.6	2.8	27.4	4.9	26.1	8.2	30.5
	5		0.5		3.6		9.1		10.5		13.7		23.7
	10		1.5		3.9		3.9		3.3		6.8		11.9
	15		0.8		1.7		1.9		3.3		6.0		
	20		0.7		0.7		0.8		1.8		3.4		
25	(24.5)	(25.2)	(25.5)	(19.8)	(27.0)	(26.0)	1.3						
35	0	0.69	4.0	1.8	10.4	3.0	17.5	3.0	30.6	5.3	28.4	8.9	33.1
	5		0.5		3.8		11.8		14.3		18.6		25.9
	10		1.8		3.0		5.5		4.8		9.4		16.4
	15		1.0		2.6		2.4		5.3		8.9		
	20		0.6		1.4		1.8		2.8		5.6		
25	(27.0)	(28.6)	(29.5)	(23.5)	(31.5)	(29.5)	3.1						
40	0	0.74	4.5	1.9	10.7	3.2	18.2	3.2	32.9	5.7	30.8	9.5	35.1
	5		1.0		4.6		12.7		17.0		19.5		27.2
	10		0.5		2.3		7.5		7.3		10.9		21.0
	15		1.3		3.6		3.6		3.2		6.9		11.8
	20		0.8		1.9		2.4		4.2		8.1		
25	1.2	1.2	0.8	2.7	4.9								
30	(31.0)	(32.0)	(33.3)	(26.1)	(35.5)	(35.0)	3.5						
45	0	0.79	4.5	2.0	11.6	3.4	19.3	3.4	33.0	6.0	31.6	10.1	37.0
	5		2.0		5.5		13.7		19.9		21.5		29.9
	10		0.5		2.9		8.4		9.0		12.7		23.6
	15		1.7		4.5		4.2		9.4		15.5		
	20		1.0		2.9		2.6		5.8		9.8		
25	0.7	1.7	2.1	3.9	6.6								
30	0.9	0.9	0.8	2.5	4.1								
35	(35.0)	(36.1)	(36.8)	(29.6)	(40.0)	(37.5)	2.6						
50	0	0.83	4.5	2.1	12.5	3.6	20.8	3.6	33.9	6.3	33.1	10.6	42.0
	5		2.5		6.2		15.3		23.5		22.6		33.0
	10		0.5		3.5		9.1		11.7		16.1		28.5
	15		2.0		5.1		5.4		10.3		19.5		
	20		1.3		3.5		3.4		7.7		12.1		
25	0.9	2.8	2.5	5.0	8.0								
30	1.4	1.4	2.0	3.6	5.9								
35	0.9	0.9	0.5	2.3	3.8								
40	(39.0)	(39.6)	(41.0)	(32.6)	(45.0)	(42.0)	2.1						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้า
 ** Numbers in parenthesis indicate the injector outlet pressure when suction stops (Zero Suction Point). **
 ไม่สามารถแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mazzei Injector Company, LLC Injector Performance Table

Air Suction Capacity • Injector Inlet Pressure 5-50 PSIG

Operating Pressure PSIG		Model 1584 1.5" Threads		Model 1585X 1.5" Threads		Model 1587 1.5" Threads		Model 2081 2" Threads		Model 3090 3" Threads		Model 4091 4" Threads	
Injector Inlet	Injector Outlet	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH
5	0	18.0	47.0	10.3	56.4	17.0	65.9	33	73	131	1200		
	1		40.0		12.0		21.9				1151		
	2		31.8		6.9		15.7				1046		
	3		20.6				8.7				941		
	4		(4.0)		10.7		(3.5)				(4.1)	(4.5)	(4.0)
10	0	25.5	98.0	14.5	65.0	24.0	127.8	46	103	186	1830		
	2		72.4		20.1		61.1				230	635	
	5		37.1		11.7		21.7				61	379	
	7		20.6				9.8				48	293	
	8		(8.5)		12.7		(6.5)				(8.7)	(9.0)	(8.5)
15	0	31.3	144.0	17.8	117.3	29.4	153.8	57	127	227	2355		
	5		71.7		18.7		42.7				150	670	
	7		45.7		11.7		26.8				80	422	
	10		23.9		0.2		13.7				63	262	
	12		(13.0)		9.4		(9.4)				(13.5)	41	(13.5)
20	0	36.1	170.0	20.6	130.8	33.9	173.1	66	146	263	2273		
	5		102.1		31.1		64.3				244	851	
	10		41.1		12.7		25.5				88	391	
	12		31.2		6.4		18.8				79	295	
	15		(17.0)		12.7		(12.7)				(17.0)	61	(17.0)
25	0	40.3	185.0	23.0	145.4	37.9	195.6	73	164	294	2389		
	5		128.9		48.6		91.1				365	1002	
	10		65.7		20.3		43.5				137	541	
	15		33.1		8.1		19.1				88	314	
	20		(21.5)		12.0		(15.4)				(22.1)	52	(21.5)
30	0	44.2	194.0	25.2	169.3	41.5	230.5	80	179	322	2584		
	5		152.8		60.8		114.6				468	1139	
	10		99.4		25.7		54.8				211	680	
	15		54.4		14.8		30.0				107	388	
	20		28.5		0.2		17.5				89	253	
25	(26.0)	10.0	(19.3)	(25.6)	43	(26.0)	43	(25.5)	437				
35	0	47.7	206.0	27.2	175.6	44.9	230.7	87	194	347	2746		
	5		173.5		78.2		143.6				559	1244	
	10		123.4		34.2		70.9				287	747	
	15		72.4		20.6		41.6				140	451	
	20		39.8		10.5		27.0				107	299	
25	(30.5)	22.6	(22.4)	(29.0)	89	(30.5)	197	(29.5)	619				
40	0	51.0	212.0	29.1	177.0	48.0	255.0	93	207	371	2858		
	5		186.7		87.4		189.7				634	1242	
	10		147.8		45.3		89.8				344	794	
	15		98.7		24.9		52.4				199	532	
	20		59.7		16.7		36.2				124	352	
25	38.4	2.7	25.7	109	246								
30	(35.0)	21.9	(25.5)	(33.2)	85	(33.5)	85	(32.5)	158	(35.0)	542		
45	0	54.1	222.0	30.9	229.9	50.9	267.3	98	219	394	3114		
	5		197.5		105.4		207.9				696	1401	
	10		157.7		51.2		91.2				433	1017	
	15		111.0		32.6		58.9				259	750	
	20		73.7		21.6		39.9				144	475	
25	49.7	12.2	26.2	123	345								
30	32.5		18.9	109	234								
35	(39.5)	21.2	(28.7)	(38.3)	80	(38.0)	80	(36.0)	30	(38.9)	600		
50	0	57.1	226.0	32.5	203.7	53.6	269.3	104	231	415	3140		
	5		207.9		129.6		222.0				761	1416	
	10		175.6		56.7		111.5				519	1167	
	15		133.1		38.1		70.7				321	787	
	20		98.7		27.4		51.7				195	548	
25	68.4	17.6	37.4	139	426								
30	47.1	6.4	22.8	125	306								
35	31.8		19.6	109	226								
40	(42.5)	18.6	(32.4)	(41.0)	14.4	(41.5)	74	(40.5)		(43.1)	450		

** Numbers in parenthesis indicate the injector outlet pressure when suction stops (Zero Suction Point). **

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mazzei Injector Company, LLC Injector Performance Table

Air Suction Capacity • Injector Inlet Pressure 5-50 PSIG

Operating Pressure PSIG		Model 784 3/4" Threads		Model 878-2 1" Threads		Model 885X-2 1" Threads		Model 978-2 1" Threads		Model 1078-2 1" Threads		Model 1583 1.5" Threads	
Injector Inlet	Injector Outlet	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH
5	0	4.3	11.7	3.5	15.0	3.4	18.4	4.1	18.6	5.3	24.3	10.3	39.5
	1		9.9		5.4		9.1		5.2		6.4		17.1
	2		4.8		1.6		1.5		1.8		2.7		4.0
	3		2.2		0.4				0.9		1.5		2.1
	4		(4.5)		1.0		(4.0)		(4.0)		(3.8)		0.4
10	0	6.1	19.4	5.0	33.9	4.8	26.9	5.8	30.0	7.4	40.1	14.5	85.3
	2		15.7		8.6		15.2		11.2		16.2		25.9
	5		5.7		2.9		1.8		3.1		4.1		8.3
	7		2.0		0.9				1.3		1.6		4.2
	8		(9.0)		0.9		(8.7)		(7.5)		(8.0)		0.9
15	0	7.5	28.9	6.1	36.1	5.9	38.4	7.0	38.0	9.1	48.6	17.8	114.9
	5		16.5		7.5		7.9		8.9		13.1		21.7
	7		8.8		3.8		3.4		5.6		7.9		13.9
	10		4.1		0.7				2.5		3.4		6.3
	12		(13.0)		1.9		(12.5)		(11.0)		(12.0)		1.3
20	0	8.6	33.8	7.0	44.3	6.8	47.1	8.1	44.1	10.5	55.0	20.6	133.2
	5		21.3		12.6		13.6		14.6		22.2		35.6
	10		8.1		4.3		3.6		6.1		8.6		14.8
	12		5.0		2.7				4.1		5.6		9.4
	15		(17.5)		2.4		(16.5)		(14.0)		(16.8)		2.1
25	0	9.7	40.1	7.8	44.8	7.6	57.2	9.1	48.1	11.7	60.9	23.0	139.5
	5		29.1		17.4		28.0		18.7		33.3		48.8
	10		14.0		6.8		7.2		8.7		14.3		23.5
	15		3.3		3.4		2.8		4.6		7.5		11.8
	20		(22.3)		1.2		(17.0)		(20.8)		(21.9)		3.4
30	0	10.6	48.2	8.6	51.1	8.4	66.9	10.0	49.8	12.9	70.6	25.2	158.3
	5		32.6		26.1		46.3		26.6		46.4		56.7
	10		20.3		11.4		12.3		12.6		20.5		30.9
	15		9.6		6.4		5.6		7.2		11.2		16.3
	20		4.2		3.0		2.1		3.8		6.1		8.9
25	(26.5)	2.1	(26.1)	(20.5)	(26.5)	1.5	(26.0)	(26.0)	(26.0)				
35	0	11.4	46.5	9.3	51.9	9.0	67.5	10.8	48.2	13.9	74.0	27.2	161.4
	5		38.1		34.4		27.5		29.2		52.9		68.4
	10		29.8		14.1		16.0		16.3		24.7		36.2
	15		15.2		8.7		8.0		11.0		13.7		22.0
	20		8.2		4.8		4.3		6.9		9.1		13.6
25	(31.0)	4.1	(30.1)	(24.0)	(30.3)	3.3	(30.0)	(30.0)	(29.4)	(29.4)			
40	0	12.2	53.0	9.9	55.9	9.7	80.9	11.5	52.0	14.9	79.9	29.1	173.4
	5		44.9		40.7		39.2		38.7		57.9		79.2
	10		35.9		17.6		21.3		20.3		31.4		43.4
	15		20.5		11.7		11.3		13.2		18.9		28.4
	20		11.5		6.7		6.9		8.6		13.1		18.9
25	7.1	4.9	4.5	5.5	8.1	12.3							
30	(34.0)	3.2	(34.4)	(27.0)	(34.3)	3.3	(34.4)	(34.4)	(34.4)	(33.4)	(33.4)		
45	0	12.9	56.5	10.5	66.9	10.3	77.2	12.2	54.9	15.8	85.9	30.9	194.4
	5		48.2		42.2		48.7		42.5		62.8		97.5
	10		38.6		20.8		27.2		23.5		38.4		51.3
	15		29.1		12.6		14.7		16.2		23.3		34.0
	20		15.0		9.0		9.1		11.2		15.8		23.5
25	9.5	5.2	6.5	7.3	11.3	16.2							
30	6.0	4.2	3.5	4.9	7.0	13.0							
35	(38.0)	2.6	(38.4)	(31.0)	(38.7)	2.8	(38.7)	(38.7)	(38.7)	(37.5)	(37.5)		
50	0	13.6	58.2	11.1	64.9	10.8	83.9	12.9	61.2	16.6	87.7	32.5	195.1
	5		52.0		48.8		49.6		48.3		66.5		109.4
	10		43.1		23.8		32.3		27.0		42.4		59.1
	15		35.8		16.2		17.8		19.3		25.7		41.4
	20		20.4		10.4		11.3		13.8		16.2		28.2
25	13.6	8.4	7.6	10.0	12.8	18.9							
30	9.3	4.7	4.9	6.8	8.7	14.0							
35	6.0	4.4		4.6	5.3	9.8							
40	(42.8)	2.8	(42.3)	(36.0)	(42.1)	2.5	(43.9)	(43.9)	(43.9)	(41.9)	(41.9)		

** Numbers in parenthesis indicate the injector outlet pressure when suction stops (Zero Suction Point). **

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mazzei Injector Company, LLC Injector Performance Table

Air Suction Capacity • Injector Inlet Pressure 60-120 PSIG

Operating Pressure PSIG		Model 287 1/2" Threads		Model 384 1/2" Threads		Model 484 1/2" & 3/4" Threads		Model 484X 3/4" Threads		Model 584 1/2" & 3/4" Threads		Model 684 3/4" Threads	
Injector Inlet	Injector Outlet	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH
60	0	0.91	6.0	2.3	13.5	4.0	20.2	4.0	36.6	6.9	36.2	11.6	42.8
	5		1.1		8.0		17.0		30.3		26.7		35.0
	10				4.4		11.8		16.4		21.1		31.5
	15				2.8		7.7		10.2		13.6		27.6
	20				1.8		5.1		5.3		10.0		17.2
	30				1.0		2.5		2.8		5.7		9.4
	35				0.6		1.6		2.1		4.4		6.8
	40						1.3				2.9		5.3
	45		(47.0)								2.0		3.2
	50												
70	0	0.98	7.0	2.5	14.5	4.3	20.7	4.3	39.7	7.5	36.6	12.6	42.9
	5		1.5		9.6		18.5		31.6		28.8		39.6
	10				5.5		14.6		20.9		23.6		35.2
	15				3.7		10.1		15.2		17.2		31.5
	20				2.4		7.0		7.6		12.8		27.1
	30				1.3		3.9		3.7		8.1		13.6
	40				0.9		2.2		2.4		4.7		8.2
	45						1.6		1.8		3.8		5.9
	50						1.0				2.7		4.5
	55		(55.0)								1.8		2.8
80	0	1.05	7.0	2.7	15.9	4.6	21.4	4.6	40.3	8.0	38.0	13.4	42.9
	5		1.1		11.3		20.0		38.2		31.1		41.9
	10				6.7		16.0		28.8		26.3		36.7
	15				4.8		11.8		18.3		22.0		34.5
	20				3.3		8.5		10.1		16.0		32.2
	30				1.9		5.1		5.1		10.4		17.1
	40				1.2		3.0		3.2		7.1		10.9
	50				0.9		1.7		2.1		4.7		6.6
	60						0.9				2.7		4.3
	65		(63.0)								1.8		3.1
90	0	1.11	7.0	2.8	17.2	4.9	22.0	4.9	42.6	8.5	38.6	14.3	43.1
	5		1.1		12.9		20.4		39.8		32.8		42.4
	10				7.8		17.7		32.9		28.9		39.5
	20				4.1		10.3		18.0		19.8		34.4
	30				2.3		6.2		7.2		13.0		24.7
	40				1.6		4.4		4.5		8.8		14.8
	50				1.1		2.7		2.9		5.9		10.2
	60				0.8		1.6		1.6		3.9		7.2
	70						0.9				2.3		4.2
	75		(71.0)								1.8		3.0
100	0	1.17	7.0	3.0	17.9	5.1	22.0	5.1	44.4	9.0	39.3	15.0	43.6
	5		1.1		13.9		20.9		42.7		35.3		43.2
	10				8.9		18.9		38.6		30.4		42.1
	20				4.7		12.2		18.7		23.1		38.2
	30				2.7		7.6		10.3		14.4		33.0
	40				1.9		5.5		6.1		11.0		18.1
	50				1.4		3.5		4.0		7.7		13.1
	60				1.1		2.1		2.7		5.3		9.5
	70				0.8						3.4		6.7
	80		(79.0)								2.0		3.9
120	0	1.28	7.0	3.3	19.6	5.6	22.9	5.6	48.8	9.8	40.4	16.5	43.9
	5				15.4		21.9		47.0		38.5		43.2
	10				11.2		21.0		42.7		33.5		42.6
	20				6.2		15.4		26.1		27.5		39.9
	30				3.8		10.8		15.0		18.6		38.5
	40				2.7		7.8		8.5		14.0		27.3
	50				2.0		5.9		5.6		10.8		18.1
	60				1.5		4.2		4.2		7.6		13.7
	70				1.2		2.9		3.0		6.2		10.9
	80				1.0		2.0				4.4		8.3
90					3.1	5.9							
100	(95.0)				1.9	3.8							

** Numbers in parenthesis indicate the injector outlet pressure when suction stops (Zero Suction Point). **

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mazzei Injector Company, LLC Injector Performance Table

Air Suction Capacity • Injector Inlet Pressure 60-120 PSIG

Operating Pressure PSIG		Model 784 3/4" Threads		Model 878-2 1" Threads		Model 885X-2 1" Threads		Model 978-2 1" Threads		Model 1078-2 1" Threads		Model 1583 1.5" Threads	
Injector Inlet	Injector Outlet	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH
60	0	14.9	59.4	12.1	71.4	11.8	120.5	14.1	73.1	18.2	91.5	35.6	214.2
	5		57.5		54.9		58.3		57.0		76.3		150.3
	10		49.4		33.5		45.1		37.3		57.6		75.6
	15		44.1		20.3		23.0		24.7		34.5		52.6
	20		35.0		14.7		16.4		18.2		24.4		39.6
	30		15.5		7.8		8.8		10.7		14.0		20.8
	35		10.4		5.8		6.6		7.9		10.4		16.9
	40		8.1		4.4		3.0		5.7		7.3		11.9
	45		(50.0)		4.9		(51.2)		2.4		(43.0)		3.7
70	0	16.1	60.0	13.1	77.1	12.8	135.5	15.2	73.7	19.6	100.5	38.5	241.4
	5		59.8		60.1		63.5		62.8		81.8		189.0
	10		54.7		40.7		46.3		49.4		67.5		100.3
	15		49.7		25.6		29.9		32.0		46.3		67.2
	20		46.4		19.1		22.6		23.0		31.8		47.7
	30		22.3		11.3		12.9		15.0		19.7		27.5
	40		13.5		6.8		7.7		9.2		12.5		18.0
	45		9.8		5.0		5.4		6.9		8.8		12.6
	50		7.6		4.1		5.4		6.9		7.0		12.0
55	(58.3)	4.2	(58.3)	2.2	(51.0)	2.9	(58.9)	4.5	(56.7)	11.1			
80	0	17.3	61.0	14.0	81.2	13.7	154.6	16.3	76.4	21.0	105.6	41.1	249.5
	5		60.1		65.0		61.2		67.4		89.6		198.2
	10		58.0		49.9		55.2		55.9		74.9		108.4
	15		54.1		31.0		34.3		38.1		57.8		72.5
	20		51.7		23.2		28.7		27.9		39.5		58.9
	30		34.1		14.1		16.3		19.0		24.7		37.5
	40		18.4		9.1		10.1		11.6		17.0		23.8
	50		11.7		5.8		6.2		7.5		10.2		15.1
	60		6.3		3.8		3.8		4.1		6.3		12.4
65	(67.0)	3.5	(67.5)	2.4	(57.0)	3.7	(68.5)	4.6	(65.0)	8.9			
90	0	18.3	62.0	14.9	85.3	14.5	168.1	17.2	87.9	22.3	112.7	43.6	262.6
	5		62.0		69.5		68.3		69.8		96.3		208.4
	10		61.7		56.5		61.7		61.2		81.7		139.5
	20		56.2		27.0		35.0		33.2		48.9		71.4
	30		48.2		17.3		19.8		22.6		29.4		47.4
	40		25.3		12.1		13.1		16.0		20.8		31.5
	50		16.5		7.9		8.8		9.9		14.9		21.9
	60		11.0		5.1		4.6		7.2		9.2		12.9
	70		5.7		3.4		4.6		4.4		5.9		7.2
75	(76.0)	3.6	(75.6)	2.1	(66.0)	3.7	(76.9)	4.3	(73.1)	7.2			
100	0	19.3	62.0	15.7	88.7	15.3	185.0	18.2	90.9	23.5	116.7	46.0	279.1
	5		62.9		72.5		73.5		76.2		103.1		231.1
	10		61.5		62.8		65.2		67.4		87.8		166.5
	20		58.3		31.0		42.6		39.1		62.9		80.8
	30		52.7		20.3		24.1		27.7		37.2		55.2
	40		35.7		14.5		15.9		19.3		25.8		38.4
	50		20.9		10.1		11.4		13.3		18.1		26.7
	60		14.6		7.3		7.8		9.7		12.6		19.3
	70		9.6		5.1		7.8		7.0		8.4		17.4
80	(85.0)	5.0	(84.5)	2.9	(73.0)	4.5	(85.1)	5.6	(81.3)	13.4			
120	0	21.1	63.4	17.2	98.1	16.7	209.5	19.9	93.9	25.7	124.7	50.4	296.0
	5		63.6		81.0		79.8		81.8		110.9		248.5
	10		63.2		70.9		73.3		71.7		97.9		216.2
	20		62.6		41.9		52.8		48.4		77.8		107.1
	30		57.3		26.2		28.6		33.5		47.0		71.1
	40		55.1		19.2		21.4		24.0		33.6		53.3
	50		34.5		14.5		16.9		16.1		25.0		39.7
	60		22.6		10.8		11.6		13.4		19.2		29.3
	70		16.7		7.9		9.9		10.1		14.2		20.6
	80		11.8		5.8		3.9		7.8		10.3		19.9
	90		7.3		4.6		4.6		5.6		6.7		16.1
100	(102.0)	2.5	(101.5)	2.5	(85.0)	4.0	(103.0)	5.2	(102.0)	5.2	(98.4)	16.1	

** Numbers in parenthesis indicate the injector outlet pressure when suction stops (Zero Suction Point). **

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mazzei Injector Company, LLC Injector Performance Table

Air Suction Capacity • Injector Inlet Pressure 60-120 PSIG

Operating Pressure PSIG		Model 1584 1 1/2" Threads		Model 1585X 1 1/2" Threads		Model 1587 1 1/2" Threads		Model 2081 2" Threads		Model 3090 3" Threads		Model 4091 4" Threads	
Injector Inlet	Injector Outlet	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH	Motive Flow GPM	Air Suction SCFH
60	0	62.5	238.0	35.6	232.6	58.8	306.7	114	1046	253	1710	455	3924
	5		219.2		182.1		250.7		865		1560		3780
	10		190.9		77.8		161.9		667		1296		3435
	15		157.7		51.6		96.1		422		930		2940
	20		120.6		35.7		71.8		301		630		2303
	30		68.4		18.6		40.4		152		414		1415
	35		53.0		10.2		32.0		139		312		1065
	40		37.1				23.3		127		222		720
	45		25.9				21.9		105		170		513
	(51.5)				(38.2)				(49.9)				(50.0)
70	0	67.5	244.0	38.5	261.3			123	1129	274	1812		
	5		232.1		213.6				955		1710		
	10		207.9		90.3				790		1518		
	15		179.2		60.0				568		1260		
	20		150.6		46.5				405		822		
	30		91.9		26.9				198		576		
	40		56.4		12.3				152		324		
	45		43.1						141		252		
	50		33.1						125		198		
	55		21.2						96		90		
(60.0)		(44.7)		(57.0)		(58.5)		(58.5)					
80	0	72.2	248.0	41.1	276.3			131	1202	293	1980		
	5		239.8		233.7				1031		1860		
	10		222.9		120.2				894		1620		
	15		199.7		79.4				697		1350		
	20		174.2		59.0				485		1110		
	30		117.2		34.5				281		696		
	40		79.8		22.2				175		498		
	50		49.0		11.5				153		258		
	60		27.8						120		66		
	65		17.9						85		12		
(68.0)		(51.1)		(66.0)		(66.5)		(67.5)					
90	0	76.5	250.0	43.6	291.6			139		310	2100		
	5		246.8		234.5				2040				
	10		234.4		138.3				1920				
	20		193.8		65.9				1326				
	30		142.2		41.9				798				
	40		98.1		27.7				630				
	50		68.4		13.2				456				
	60		46.4						300				
	70		26.5						150				
	75		17.9						48				
(77.0)		(57.5)		(74.0)		(75.5)		(76.5)					
100	0	80.7	252.0	46.0	318.2			147		327	1980		
	5		252.2		250.7				1860				
	10		245.2		188.6				1332				
	20		208.6		76.9				1218				
	30		168.4		51.5				756				
	40		122.0		33.6				594				
	50		89.2		21.8				432				
	60		61.7		7.2				312				
	70		42.4						222				
	80		25.2						90				
(86.0)		(63.2)		(81.9)		(83.0)		(85.0)					
120	0	88.4	260.0	50.4	337.6								
	5		257.7		262.4								
	10		255.4		234.1								
	20		237.5		100.3								
	30		208.6		65.0								
	40		169.9		46.2								
	50		130.3		35.5								
	60		98.7		22.2								
	70		75.8		8.4								
	80		55.0										
90	37.1												
100	21.9												
(103.0)		(75.3)		(97.9)									

** Numbers in parenthesis indicate the injector outlet pressure when suction stops (Zero Suction Point). **

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก ข้อมูลปั๊มไอโซน

"3" Series End Suction Pumps to DIN 2425 standard



"3M, 3M4"

These series of stainless steel pumps feature a unique one piece volute casing that are produced using an advanced computer controlled Plasma stamping system that ensures total quality control during manufacture. With the smooth surfaces of stamped stainless steel, this results in consistent high standard products, of superior quality and high efficiency.

The back pull-out construction permits the disassembly and overhaul of the impeller, shaft and bearings without removal of the suction or discharge piping, or pump casing.

The centre line discharge and foot support under the casing ensure maximum resistance to misalignment and distortion from pipe loads.

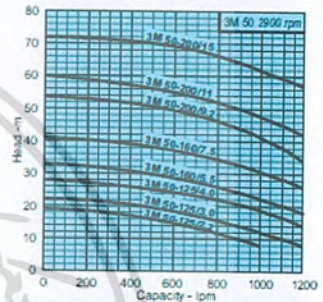
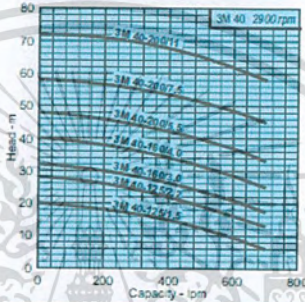
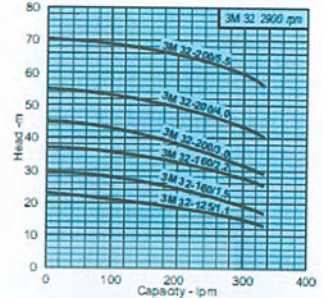
3M (2900 rpm) In AISI 304 stainless steel Monobloc Pumps

Motor output: 1.1 to 15 kW (3ph)
Outlet size: 32 to 50 mm
Flow rates: 100 to 1200 lpm
Head: 6 to 72 m
Liquid temperature: -10°C to +90°C
Max. work pressure: 10 Bar

Options

High temperature versions with Viton elastomers, suitable for liquid temperatures up to 110°C.

Hard face mechanical seal in SIC/SIC/Viton



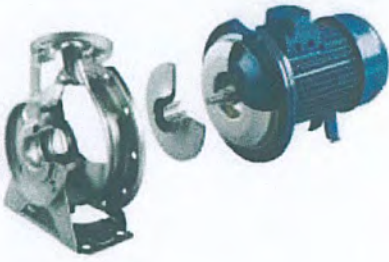
3M4 (1450 rpm) In AISI 304 stainless steel Monobloc Pumps

Motor output: 0.7 to 2.2 kW (2ph)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The centre line discharge and foot support under the casing ensure maximum resistance to misalignment and distortion from pipe loads.



Suitable for many applications:-

- Industrial, commercial and agricultural applications
- Water supply • Irrigation • Cooling towers
- Booster sets • Washing plants or machines
- Air conditioning systems • Heat exchangers
- For the pumping or boosting of water in general

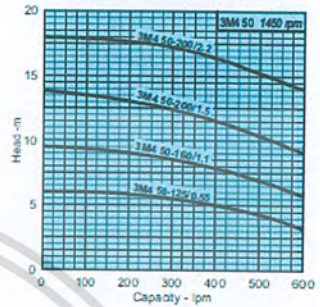
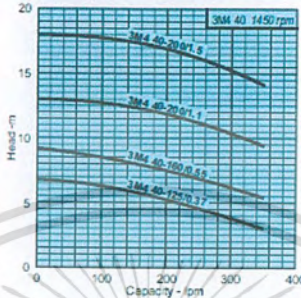
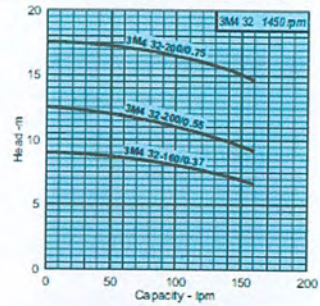
3M4 (1450 rpm) In AISI 304 stainless steel Monobloc Pumps

Motor output: 0.37 to 2.2 kW (3ph)
Outlet size: 32 to 50 mm
Flow rates: 50 to 600 lpm
Head: 3 to 18 m
Liquid temperature: -10°C to +90°C
Max. work pressure: 10 Bar

Options

High temperature versions with Viton elastomers, suitable for liquid temperatures up to 110°C.

Hard face mechanical seal in SiC/SiC/Viton



“3LS”

In AISI 316L stainless steel

3LS (2900 rpm) In AISI 316L stainless steel Stub Shaft Pumps

All the hydraulic and wetted components are manufactured in AISI 316L stainless steel, and fitted standard with SiC/SiC/Viton mechanical seal.

Standard IEC motors used, allowing for single phase, special enclosure, or specific brand motors to be fitted.

For performance refer to 3M curves.

Specifications

Motor output: 1.1 to 15 kW (3ph)
Outlet size: 32 to 50 mm
Flow rates: 100 to 1200 lpm
Head: 6 to 7.2 m
Liquid temperature: -10°C to +110°C
Max. work pressure: 10 Bar

Materials

Casing, impeller, casing cover and shaft in AISI 316L stainless steel.
SiC/SiC/Viton mechanical seal.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นายรัชฎะ รัชฎณรัษ์ เกิดเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนราชโบริกานุเคราะห์ และสำเร็จการศึกษาวិชากรรมศาสตรบัณฑิต จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail : ratchatar@hotmail.com

ฝึกงานที่ : บริษัท ซีเอสเอ็น เอนจิเนียริง จำกัด



นายลือศักดิ์ หมั่นศรี เกิดเมื่อวันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา และสำเร็จการศึกษาวิชากรรมศาสตรบัณฑิตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail : Luesakmuensri@gmail.com

ฝึกงานที่ : บริษัท black & Veatch (Thailand) จำกัด



นางสาววธัญญา เทพพิทักษ์ เกิดเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนราชโบริกานุเคราะห์ และสำเร็จการศึกษาวิชากรรมศาสตรบัณฑิต จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail : wathanya_th@hotmail.com

ฝึกงานที่ : บริษัท ซีเอสเอ็น เอนจิเนียริง จำกัด



นายองอาจ มาน้อยทวีทรัพย์ เกิดเมื่อวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดลำปาง สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนลำปางกัลยาณี และสำเร็จการศึกษาวิชากรรมศาสตรบัณฑิตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail : aungart@hotmail.com

ฝึกงานที่ : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้