บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำ คือ ปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของคนและสิ่งมีชีวิต เป็นแหล่งกำเนิดของสัตว์น้ำและพืชหลากหลายชนิด นอกจากนั้นน้ำยังมีประโยชน์ในด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม มีประโยชน์สำหรับครัวเรือน ในการดื่มกิน ใช้ประกอบอาหาร หรือใช้ชำระล้างร่างกายและสิ่งสกปรกต่าง ๆ และน้ำยังทำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์แก่สิ่งมีชีวิต

คุณสมบัติของน้ำที่เป็นประโยชน์สำหรับมนุษย์และสิ่งมีชีวิตมากที่สุดก็คือ น้ำบริสุทธิ์สะอาด ปราศจากเชื้อโรคและสารพิษเจือปน ในอดีตมนุษย์สามารถนำทรัพยากรน้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ได้ ต่างจากปัจจุบันที่เกิดปัญหาน้ำเสีย ซึ่งน้ำเสียนั้นเป็นของเหลวซึ่งผ่านการใช้แล้วทั้งที่มีกากและไม่มีกาก หรือของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลวรวมทั้งมวลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนในของเหลวนั้น จนไม่สามารถนำน้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติมาใช้ได้ ซึ่งปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ ได้แก่ 1) น้ำเสียจากชุมชน เป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันของประชาชนในชุมชน โดยมีแหล่งกำเนิดมาจาก อาคารบ้านเรือน ร้านค้าพาณิชย์กรรม ตลาดสด ร้านอาหาร สถาบันการศึกษา สถานที่ราชการ โรงแรม โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น ความสกปรกในชุมชนส่วนใหญ่เป็นอินทรีย์สารที่ย่อยสลายได้โดยกระบวนการธรรมชาติ 2) น้ำเสียจากอุตสาหกรรม เป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำล้างในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ซึ่งมีสมบัติแตกต่างกันตามประเภทของอุตสาหกรรม น้ำเสียอุตสาหกรรมบางแห่งอาจปนเปื้อนโลหะหนัก หรือสารประกอบที่ต้องอาศัยกระบวนการบำบัดที่ซับซ้อนกว่าน้ำเสียชุมชน และ 3) น้ำเสียจากการเกษตร เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร เช่นน้ำเสียจากการล้างคอกสัตว์เลี้ยง เช่น คอกหมู คอกวัว เล้าไก่ น้ำเสียจากนาข้าว จากฟาร์มเลี้ยงกุ้ง เป็นต้น โดยน้ำเสียจากเกษตรกรรมส่วนใหญ่จะปนเปื้อนสารเคมี ยาฆ่าแมลง หรือปุ๋ย

โดยเฉพาะน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ที่เป็นน้ำเสียจากการเกษตร ที่ส่งกลิ่นเหม็น สร้างมลภาวะเป็นพิษก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญให้กับชุมชนได้เป็นอย่างมาก รวมทั้งเป็นแหล่งแพร่เชื้อโรค ฉะนั้นจึงควรทำการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ เพื่อ 1) ทำลายตัวการที่ทำให้เกิดโรค 2) เปลี่ยนสภาพน้ำเสียให้อยู่ในสภาพที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ 3) ไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญ ซึ่งความรำคาญที่เกิดขึ้น เช่น กลิ่นของน้ำเสีย หรือสีที่เป็นที่น่ารังเกียจ และ 4) ป้องกันไม่ให้เกิดภาวะมลพิษ

แนวทางการแก้ไขจึงควรใช้การบำบัดน้ำเสียด้วยหลาย ๆ วิธีรวมกัน ได้แก่ ด้วยวิธีทางไฟฟ้า คือ การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส โดยระบบอิเล็กโทรไลซิสจะทำการแยกสารละลายต่าง ๆ ออกจากน้ำเสีย ทำให้ได้น้ำดีที่สะอาด ต่อมาจึงทำการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ ได้แก่ การบำบัดน้ำเสียด้วยการกรองหยาบและการกรองละเอียด จะทำให้ได้น้ำดีที่สะอาดยิ่งขึ้นแต่ยังมีเชื้อโรคและสารเคมีปนเปื้อนอยู่ ต่อมาจึงทำการบำบัดด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ การบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซนและรังสียูวีซีเพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคและสลายสารพิษ ซึ่งจะทำให้ได้น้ำดีที่ปราศจากเชื้อโรคและสารพิษ

ปนเปื้อนซึ่งสามารถนำไปใช้ในการอุปโภคได้ทันที แต่หากต่อมาทำการกรองในขั้นสุดท้ายด้วยเครื่องกรอง 5 ขั้นตอน จะทำให้ได้น้ำสะอาดที่สามารถนำไปบริโภคได้ในที่สุด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะสร้างและทดสอบเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี

2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์

3.2 ด้านเนื้อหา

เนื้อหาของการวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษา

3.2.1 น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์

3.2.2 ระบบอิเล็กโทรไลซิส

3.2.3 ระบบนาโนโอโซน

3.2.4 รังสียูวีซี

3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี

3.3.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ 1) ความเปนกรด-ดาง 2) บีโอดี 3) ซีโอดี 4) ปริมาณสารของแข็งทั้งหมด 5) ไนโตรเจน (Nitrogen) และฟอสฟอรัส และ 6) โคลิฟอรมแบคทีเรีย

3.4 เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ประกอบด้วยคุณลักษณะโครงสร้างและการทำงาน ดังนี้

3.4.1 ระบบโครงสร้าง ประกอบด้วย

1) ชุดถังน้ำเสีย

2) ชุดกรองหยาบและกรองละเอียด

3) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส

4) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซน

5) ชุดถังน้ำดี

6) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยรังสียูวีซี

7) ชุดกรองน้ำ 5 ขั้นตอน

9) ชุดเก็บกากของเสียของน้ำเสีย

3.4.2 ระบบการทำงานของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี มีดังนี้

1) ปั๊มน้ำดูดนำน้ำเสียมาบรรจุในชุดถังน้ำเสีย

2) ปั๊มน้ำดูดน้ำเสียจากชุดถังน้ำเสียเข้าสู่ชุดถังบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส

3) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยอิเล็กโทรไลซิส จะทำการแยกสารละลายต่าง ๆ ออกจากน้ำเสีย

4) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซน จะทำการฆ่าเชื้อโรคและสลายสารพิษ

5) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยรังสียูวีซีจะทำการฆ่าเชื้อโรคซ้ำอีกครั้งหนึ่ง

7) ชุดกรองน้ำ 5 ขั้นตอน จะทำการกรองน้ำให้กลายเป็นน้ำสะอาดที่สามารถบริโภค

8) กากของเสียของน้ำเสียจะปล่อยลงสู่ชุดเก็บกากของเสียเพื่อนำไปทำปุ๋ยต่อไป

4. สมมติฐานการวิจัย

สมมติฐานการวิจัย คือ เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซีน่าจะสามารถบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ให้กลายเป็นน้ำดีที่สามารถนำไปอุปโภคและบริโภคได้อย่างปลอดภัย

5. นิยามศัพท์เฉพาะ

เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี หมายถึง เครื่องจักรกลที่ทำหน้าที่ในการแยกสารละลายต่าง ๆ ออกจากน้ำเสีย ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส แล้วกรองด้วยเครื่องกรองหยาบและกรองละเอียด รวมทั้งทำการฆ่าเชื้อโรคและสลายสารพิษด้วยก๊าซโอโซนร่วมกับรังสียูวีซี และสุดท้ายกรองด้วยเครื่องกรอง 5 ขั้นตอน

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

6.1 ได้เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล

6.2 ได้น้ำดีมาใช้ในการอุปโภคและบริโภคจากน้ำเสียที่ไม่มีประโยชน์ ที่ทิ้งไปในลำคลองสาธารณะจะทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

6.3 องค์กร หน่วยงาน และหรือประชาชนที่สนใจสามารถนำไปบำบัดน้ำเสียตามที่ต้องการได้

6.4 ทำให้สามารถนำไปจดอนุสิทธิบัตรกับกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์ต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเรื่อง เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์
2. ระบบอิเล็กโทรไลซิส
3. ระบบนาโนโอโซน
4. รังสียูวีซี
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
6. กรอบแนวคิดการวิจัย

1. น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2563; ออนไลน์) และบริษัท กรีน วอเทอร์ ทรีท จำกัด (2015; ออนไลน์) ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำเสีย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ความหมายของน้ำเสีย

น้ำเสีย หมายถึง ของเหลวซึ่งผ่านการใช้แล้วทั้งที่มีกากและไม่มีกาก หรือของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลวรวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนในของเหลวนั้น (บริษัท กรีน วอเทอร์ ทรีท จำกัด, 2015; ออนไลน์)

ภาพที่ 2.1 น้ำเสีย

1.2 วัตถุประสงค์ในการบำบัดน้ำเสีย

บริษัท กรีน วอเทอร์ ทรีท จำกัด (2015; ออนไลน์) กล่าวว่า ในปัจจุบันนี้ได้เกิดปัญหาการขาดแคลนแหล่งน้ำธรรมชาติที่จะนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค และแหล่งน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดในปัจจุบันนี้ก็เกิดปัญหามลภาวะมลพิษต่าง ๆ ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เหมือนแต่ก่อน ซึ่งจำเป็นต้องนำมาบำบัดก่อนนำมาใช้เพื่อการบริโภคอุปโภค โดยวัตถุประสงค์ของการบำบัดน้ำเสียคือ

1.2.1 เพื่อทำลายตัวการที่ทำให้เกิดโรค

1.2.2 เพื่อเปลี่ยนสภาพน้ำเสียให้อยู่ในสภาพที่สามารถนำกลับมาใช้ได้

1.2.3 เพื่อไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญ ซึ่งความรำคาญที่เกิดขึ้น เช่น กลิ่นของน้ำเสีย หรือสีที่เป็นที่น่ารังเกียจ

1.2.4 และเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดภาวะมลพิษ

1.3 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

บริษัท กรีน วอเทอร์ ทรีท จำกัด (2015; ออนไลน์) กล่าวถึงแหล่งกำเนิดน้ำเสียว่า โดยทั่วไปแล้วแบ่งแหล่งกำเนิดของน้ำเสียได้ 3 แหล่ง คือ

1.3.1 น้ำเสียจากชุมชน เป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันของประชาชนในชุมชน โดยมีแหล่งกำเนิดมาจาก อาคารบ้านเรือน ร้านค้าพาณิชย์กรรม ตลาดสด ร้านอาหาร สถาบันการศึกษา สถานที่ราชการ โรงแรม โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น ความสกปรกในชุมชนส่วนใหญ่เป็นอินทรีย์สารที่ย่อยสลายได้โดยกระบวนการธรรมชาติ

1.3.2 น้ำเสียจากอุตสาหกรรม เป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำล้างในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ซึ่งมีสมบัติแตกต่างกันตามประเภทของอุตสาหกรรม น้ำเสียอุตสาหกรรมบางแห่งอาจปนเปื้อนโลหะหนัก หรือสารประกอบที่ต้องอาศัยกระบวนการบำบัดที่ซับซ้อนกว่าน้ำเสียชุมชน

1.3.3 น้ำเสียจากการเกษตร เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร เช่นน้ำเสียจากการล้างคอกสัตว์เลี้ยง เช่น คอกหมู คอกวัว เล้าไก่ น้ำเสียจากนาข้าว จากฟาร์มเลี้ยงกุ้ง เป็นต้น โดยน้ำเสียจากเกษตรกรรมส่วนใหญ่จะปนเปื้อนสารเคมี ยาฆ่าแมลง หรือปุ๋ย

1.4 ลักษณะและสมบัติน้ำเสีย

บริษัท กรีน วอเทอร์ ทรีท จำกัด (2015; ออนไลน์) ได้กล่าวถึง ลักษณะของน้ำเสียแบ่งออกได้ 3 ลักษณะ คือ

1.4.1 ลักษณะทางกายภาพ (Physicals Characteristics) ลักษณะทางกายภาพได้แก่ สี กลิ่น อุณหภูมิ ของแข็งต่าง ๆ ความขุ่น และความหนาแน่น เป็นต้น

1.4.2 ลักษณะทางเคมี (Chemicals Characteristics) ซึ่งได้แก่ คามเป็นกรด - ด่าง สารอินทรีย์ ไขมัน สารซักฟอก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ โลหะหนัก เป็นต้น

1.4.3 ลักษณะทางชีวภาพ (Biological Characteristics) จุลินทรีย์มีความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะในน้ำเสียมีจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อชีวิตและสุขภาพของมนุษย์ ในขณะเดียวกันในระบบบำบัดน้ำเสียก็ใช้จุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่งเป็นตัวย่อยสลายสิ่งสกปรกต่าง ๆ ได้แก่ แบคทีเรีย ซึ่งเป็นตัวที่ช่วยย่อยสลายสิ่งสกปรกในน้ำเสีย 95 % นอกนั้นก็จะเป็น รา สาหร่าย และโปรโตซัว

1.5 องค์ประกอบของน้ำเสีย

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2563; ออนไลน์) ได้กล่าวว่า องค์ประกอบของน้ำเสียแตกต่างกันไปอย่างกว้างขวาง นี่คือบางส่วนของรายการสิ่งที่มันอาจจะมี:

1.5.1 น้ำ (> 90%) ซึ่งมักจะถูกเทหรือลาดลงไปตอนชำระล้างเพื่อส่งของเสียลงท่อระบายน้ำ;

1.5.2 เชื้อโรคเช่นแบคทีเรีย, ไวรัส, พรีออนและพยาธิ; แบคทีเรียที่ไม่ทำให้เกิดโรค;

1.5.3 อนุภาคอินทรีย์เช่นอุจจาระ, ขน, อาหาร, อาเจียน, เส้นใยกระดาษ, วัสดุจากพืช , ปุ๋ยอินทรีย์ ฯลฯ

1.5.4 สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้เช่นยูเรีย, น้ำตาลผลไม้, โปรตีนที่ละลายน้ำได้, ยา ฯลฯ

1.5.5 อนุภาคอนินทรีย์เช่นทราย, กรวด, อนุภาคโลหะ, เซรามิก ฯลฯ

1.5.6 สารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้เช่นแอมโมเนีย, เกลือทะเล, ไซยาไนด์, ก๊าซไข่เน่า thiocyanates, thiosulfates ฯลฯ

1.5.7 สัตว์เช่นโปรโตซัว, แมลง, ปลาขนาดเล็ก ฯลฯ ;

1.5.8 ของแข็งเช่นผ้าอนามัย, ผ้าอ้อม, ถุงยางอนามัย, เข็ม, ของเล่นเด็ก, สัตว์ที่ตาย หรือพืช ฯลฯ

1.5.9 แก๊สเช่นแก๊สไข่เน่า, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, มีเทน ฯลฯ

1.5.10 อิมัลชันเช่นสี, กาว, มายองเนส, สีผม, emulsified น้ำมัน ฯลฯ

1.5.11 สารพิษเช่นสารกำจัดศัตรูพืช, สารพิษ, สารเคมีกำจัดวัชพืช ฯลฯ

1.6 พารามิเตอร์ของน้ำเสีย

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2020; ออนไลน์) ได้กล่าวถึง พารามิเตอรที่เกี่ยวของกับน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ มีดังนี้

1.6.1 ความเปนกรด-ดาง (pH) เป็นค่าที่บอกถึงคาความเปนกรด–ดางของน้ำเสีย โดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตในน้ำหรือจุลินทรียในระบบบำบัดน้ำเสียสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะเปน กลางคือ pH ประมาณ 6-8

1.6.2 บีโอดี (BOD : Biochemical Oxygen Demand) เปนคาที่บอกถึงปริมาณ ออกซิเจนที่จุลินทรียใชในการยอยสารอินทรียชนิดที่ยอยสลายไดโดยวิธีทางชีววิทยาใหกลายเปนคาร บอนไดออกไซดและน้ำดังนั้นแหลงน้ำที่มีคาบีโอดีสูงยอมหมายถึงมีความสกปรกหรือสารอินทรีย ในน้ำสูงเนื่องจากจุลินทรียตองใชปริมาณออกซิเจนในการยอยสลายสารอินทรียในน้ำปริมาณมาก

1.6.3 ซีโอดี (COD : Chemical Oxygen Demand) เปนค่าที่บอกถึงปริมาณ ออกซิเจนทั้งหมดที่ต่องการเพื่อใชในการยอยสลายสารอินทรียดวยวิธีทางเคมีใหกลายเปนคารบอนได ออกไซดและน้ำโดยที่สารอินทรียเกือบทั้งหมด (95-100%) จะสามารถยอยสลายได้ซึ่งคาซีโอดีที่วิ เคราะหไดจากแหล่งน้ำเดียวกันจะสูงกวาคาบีโอดีเนื่องจากความสามารถในการยอยสลายสารอินทรีย โดยวิธีทางเคมีจะสูงกวาความสามารถในการยอยสลายสารอินทรียโดยจุลินทรียหรือวิธีทางชีววิทยา เนื่องจากการยอยสลายสารอินทรียด้วยวิธีทางชีววิทยาไมสามารถยอยสลายสารอินทรียจำพวก สารประกอบแอลิฟาติก, อะโรมาติกไฮโดรคารบอน, ไพรีดีน, บีเทน (straight-chain aliphaticcompound, aromatic hydrocarbon, pyridine, betaine) แตการยอยสลายสารอินทรีย โดยวิธีทางเคมีสามารถยอยสลายได

1.6.4 ปริมาณสารของแข็งทั้งหมด (Total Solids: TS) ปริมาณสารที่เปนของแข็งตาง ๆ ที่มีอยูในน้ำเสียทั้งหมดทั้งที่ละลายน้ำได้และไม่ละลายน้ำประกอบด้วยของแข็งตกตะกอน (Settleable Solids) ของแข็งละลาย (Dissolved Solids) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) และของแข็งระเหยงาย (Volatile Solids) ซึ่งหากในน้ำเสียมีปริมาณของแข็งดังกลาวอยูในปริมาณ

มากกอให้เกิดการตื้นเขินของบอน้ำหรือแหลงน้ำนอกจากนี้ของแข็งที่มีอยู่ในน้ำจะบดบังแสงแดดที่ส องลงสูแหลงน้ำโดยสังเกตเห็นความสกปรกและความขุนในแหลงน้ำได้อย่างชัดเจน

1.6.5 ไนโตรเจน (Nitrogen) และฟอสฟอรัส (Phosphorus) ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเปนธาตุอาหารสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตดังนั้นการปลอยน้ำเสียที่มีสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณของสาหราย อย่างรวดเร็ว (Algal Bloom) เปนผลให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดต่ำมากในชวงกลางคืนและอาจสงผลกระทบตอสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหลงน้ำนั้น

1.6.6 โคลิฟอรมแบคทีเรีย (Coliform Bacteria) แม้จะไมใชพารามิเตอรที่ถูกกำหนดมาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟารมสุกรแตก็เปนดัชนีที่สำคัญเพราะใชบงชี้ถึงความสกปรกที่ปนเปอนมาจากสิ่งขับถายของมนุษยและสัตวโดยที่แบคทีเรียกลุมโคลิฟอรมนี้อาศัยอยู่ในลำไส้ของคนและสัตว โดยไมก่อให้เกิดโรคแตหากพบแบคทีเรียกลุมนี้ในแหลงน้ำมาก ๆ อาจจะแสดงได้วาแหลงน้ำนั้นมีโอกาสที่จะมีเชื้อโรคบางชนิดแพรกระจายปะปนอยู่ในแหลงน้ำได้เช่นอหิวาตบิดและไทฟอยดเปนตน

สรุปได้ว่า พารามิเตอร์ของน้ำเสียประกอบด้วย ความเปนกรด-ดาง บีโอดี ซีโอดี ปริมาณสารของแข็งทั้งหมด ไนโตรเจน (Nitrogen) และฟอสฟอรัส และ โคลิฟอรมแบคทีเรีย

ในการวิจัยเรื่อง เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ในครั้งนี้ น้ำที่ได้จากการบำบัดจะทำการวัดปริมาณ ความเปนกรด-ด่าง บีโอดี ซีโอดี ปริมาณสารของแข็งทั้งหมด ไนโตรเจน (Nitrogen) และฟอสฟอรัส และ โคลิฟอรมแบคทีเรีย ซึ่งเรียกว่าเป็นตัวแปรตาม

1.7 มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟารมสุกร

กรมสงเสริมการปกครองท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย. (ม.ป.ป.; ออนไลน์) ได้กำหนดมาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟารมสุกรไว้ดังนี้

การเลี้ยงสุกรประเภท ก หมายถึง การเลี้ยงสุกรพอพันธุแมพันธ์ สุกรขุน หรือลูกสุกรชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ที่มีน้ำหนักหนวยปศุสัตวเกินกวา 600 หนวย

การเลี้ยงสุกรประเภท ข หมายถึง การเลี้ยงสุกรพอพันธุแมพันธ์ สุกรขุน หรือลูกสุกรชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ที่มีน้ำหนักหนวยปศุสัตว์ตั้งแต่ 60 หน่วยแต่ไม่เกินกวา 600 หนวย

การเลี้ยงสุกรประเภท ข หมายถึง การเลี้ยงสุกรพอพันธุแมพันธ์ สุกรขุน หรือลูกสุกรชนิดใดชนิดหนึ่งหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ที่มีน้ำหนักหนวยปศุสัตว์ตั้งแต่ 6 หน่วยแต่ไม่เกินกวา 60 หนวย

มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

ดัชนีคุณภาพของน้ำ	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานสูงสุด	
		มาตรฐาน ก	มาตรฐาน ข
ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	5.5-9	5.5-9
2. บีโอดี (BOD)	มก./ล. (ppm)	60	100
3. ซีโอดี (COD)	มก./ล. (ppm)	300	400

มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพของน้ำ	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานสูงสุด	
		มาตรฐาน ก	มาตรฐาน ข
4. สารแขวนลอย (SS)	มก./ล. (ppm)	150	200
5. ไนโตรเจนรวม (TKN)	มก./ล. (ppm)	120	200

หมายเหตุ มาตรฐาน ก ใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟารมประเภท ก และมาตรฐาน ข ใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งสำหรับฟารม ประเภท ข และ ค

เมื่อ น้ำหนักหนวยปศุสัตว 1 หนวยเทากับน้ำหนักสุกรรวม 500 กิโลกรัม

โดย น้ำหนักเฉลี่ยสุกรพอ-แมพันธเทากับ 170 กิโลกรัม

น้ำหนักเฉลี่ยสุกรขุน เทากับ 60 กิโลกรัม

น้ำหนักเฉลี่ยลูกสุกร เทากับ 12 กิโลกรัม

1.8 สาเหตุที่ก่อให้เกิดน้ำเสีย

Lux Royal (Thailand) Co.,Ltd. (2015; ออนไลน์) กล่าวว่า สาเหตุที่ก่อให้เกิดน้ำเสีย ได้แก่

1.8.1 เกิดจากน้ำทิ้งและสิ่งปฏิกูลจากแหล่งชุมชน เช่น น้ำที่ใช้ซักฟอกทำความสะอาด ซึ่งส่วนใหญ่มีสารอินทรีย์ปะปนมากับน้ำทิ้งเหล่านั้นจนทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ

1.8.2 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหากโรงงานมีการลักลอบปล่อยน้ำเสียลงในแหล่งน้ำทำให้น้ำเน่าเสียได้ง่ายเพราะมีปริมาณมากและสารปนเปื้อนมีอัตราสูง

1.8.3 น้ำเสียที่เกิดจากธรรมชาติ อาจเกิดจากการเน่าเสียเมื่อน้ำอยู่ในสภาพนิ่งไม่มีการไหลเวียนถ่ายเท

1.8.4 เกิดจากพื้นที่ทำการเกษตร เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้น้ำยาปราบศัตรูพืชกันมากขึ้น จึงทำให้มีสารตกค้างอยู่ตามต้นพืชและพื้นผิวดิน เมื่อฝนตกและพัดพาเอาสารพิษที่ตกค้างลงสู่แม่น้ำลำคลองก็ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำขึ้นได้

1.9 ผลกระทบที่เกิดจากน้ำเสีย

Lux Royal (Thailand) Co.,Ltd. (2015; ออนไลน์) กล่าวถึง ผลกระทบที่เกิดจากน้ำเสีย ได้แก่

1.9.1 กระทบต่อวงจรชีวิตของสัตว์น้ำ เช่นน้ำเสียที่เกิดจากสารพิษอาจทำให้ปลาและสิ่งมีชีวิตตายทันที ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากออกซิเจนในน้ำลดต่ำลง อาจทำลายพืชและสัตว์น้ำเล็กๆที่เป็นอาหารของปลา ทำให้ความอุดมสมบูรณ์หรือแหล่งอาหารของสัตว์น้ำลดลง

1.9.2 เป็นแหล่งแพร่ระบาดของเชื้อโรค เช่น อหิวาตกโรค บิด และท้องเสีย

1.9.3 มีผลกระทบต่อการเพาะปลูก เพราะน้ำเสียที่มีความเป็นกรดและด่างไม่เหมาะสำหรับทำการเกษตร

1.9.4 มีผลต่อกระทบต่อทัศนียภาพ เพราะความสวยงามของแหล่งน้ำสามารถใช้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ หรือจัดกิจกรรมทางน้ำเพื่อความบันเทิงได้

1.9.5 ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศ เช่น มีกลิ่นเหม็นจากน้ำเน่าเสีย

1.10 วิธีการบำบัดน้ำเสีย

การเลือกระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะของน้ำเสีย ระดับการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการ สภาพทั่วไปของท้องถิ่น ค่าลงทุนก่อสร้างและค่าดำเนินการดูแลและบำรุงรักษา และขนาดของที่ดินที่ใช้ในการ ก่อสร้าง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เลือกมีความเหมาะสมกับแต่ละท้องถิ่น ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยการบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ตามกลไกที่ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำ เสีย ได้ดังนี้

1.10.1. การบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment) : เป็น วิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร กรวด ทราย ไขมันและน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดทางกายภาพ คือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังตกตะกอน ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก

1.10.2 การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment) : เป็น วิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมี เพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ ค่าพีเอชสูงหรือต่ำเกินไป มีสารพิษ มีโลหะหนัก มีของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก มีไขมันและน้ำมันที่ละลายน้ำ มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป และมีเชื้อโรค ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอน ถังกรอง และถังฆ่าเชื้อโรค

1.10.3 การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment) : เป็น วิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ใน ถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Organisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Organisms) ก็ได้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบ แอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activate Sludge, AS) ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor, RBC) ระบบคลอง วนเวียน (Oxidation Ditch, OD) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon, AL) ระบบโปรยกรอง(Trickling Filter) ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Stabilization Pond) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) และ ระบบกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter, AF) เป็นต้น

สรุปได้ว่า วิธีการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปแบ่งออกได้ 3 วิธี ได้แก่ บำบัดทางกายภาพ การบำบัดทางเคมี และการบำบัดทางชีวภาพ

ในการวิจัยเรื่อง เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ในครั้งนี้ จะทำการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์โดยวิธีทางไฟฟ้า คือ ระบบอิเล็กโทรไลซิส ร่วมกับการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ คือ การกรองหยาบและกรองละเอียดและด้วยเครื่องกรอง 5 ระดับ และร่วมกับการบำบัดน้ำเสียทางเคมี ได้แก่ การบำบัดด้วยระบบโอโซนและรังสียูวีซี

2. ระบบอิเล็กโทรไลซิส

2.1 ความหมายของระบบอิเล็กโทรไลซิส

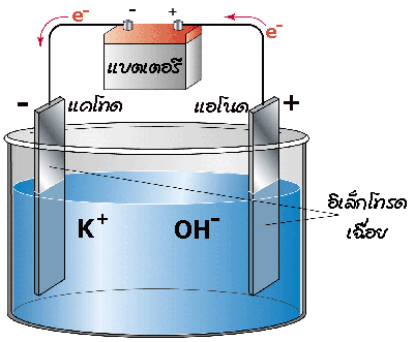
อิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) คือ กระบวนการผ่านกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.) จากภายนอกเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ตัวอย่างเช่น อิเล็กโตรลิซึม และการชุบ (กระบวนการที่ผ่านกระแสไฟฟ้า ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี)

เครื่องมือที่ใช้แยกสารละลายด้วยไฟฟ้า เรียกว่า เซลล์อิเล็กโทรไลต์ หรืออิเล็กโทรลิติกเซลล์อิเล็กโทรไลต์ ประกอบด้วย

2.1 ขั้วไฟฟ้า (Electrode) คือ แผ่นตัวนำที่จุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วต่อกับเซลล์ไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ แบ่งเป็น ขั้วแอโนด (Anode) และ ขั้วแคโทด (Cathode)

2.2 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือ สารละลายที่นำไฟฟ้าได้ เพราะมีไอออนบวกและไอออนลบ ไอออนบวกวิ่งไปรับอิเล็กตรอนที่ขั้วลบ เกิดปฏิกิริยารีดักชัน จึงเรียกขั้วลบว่า แคโทด และเรียกไอออนบวกว่า แคตไอออน (cation) ไอออนลบ วิ่งไปให้อิเล็กตรอนที่ขั้วบวกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกว่า แอโนด และเรียก ไอออนลบว่า แอนไอออน (Anion)

2.3 เครื่องกำเนิดกระแสตรง (D.C.) เช่น เซลล์ไฟฟ้า หรือ แบตเตอรี่



ภาพที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของเซลล์อิเล็กโทรไลต์

2.2 ประโยชน์ของกระบวนการ อิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis)

การใช้ประโยชน์ของกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) มีหลายอย่างด้วยกัน เช่น การแยกธาตุประกอบของน้ำด้วยไฟฟ้า การแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์โดยใช้เซลล์อิเล็กโทรไลต์ การชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า

ในการวิจัยเรื่อง เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ในครั้งนี้ จะทำการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์โดยวิธีทางไฟฟ้า คือ ระบบอิเล็กโทรไลซิส โดยใช้ 1) ขั้วไฟฟ้า (Electrode) คือ โดยใช้แผ่นสแตนเลส เป็นแผ่นตัวนำที่จุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เป็น ขั้วแอโนด (Anode) และ ขั้วแคโทด (Cathode) 2) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือ น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ และ 3) แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้าทั้งขั้วแอโนด (ขั้วบวก) และขั้วแคโทด (ขั้วลบ)

3. ระบบนาโนโอโซน

ข้อมูลระบบนาโนโอโซนอ้างถึงใน สุริยะว์กิจ ศิริมงคล มงคล ธุระ และ ประสงค์ วงศ์แก้ว (2564; 57-66) โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ความหมายของก๊าซโอโซน

สืบตระกูล วิเศษสมบัติ.(ม.ป.ป.; ออนไลน์) กล่าวว่า โอโซน คือ สารอยู่ในสถานะก๊าซ ประกอบด้วยโมเลกุลของออกซิเจน 3 โมเลกุล ก๊าซโอโซนพบมากที่ระดับความสูงประมาณ 10-50 กิโลเมตรเหนือผิวโลกในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ (Stratospheres) ช่วย ลดอันตรายจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ ก๊าซโอโซนเกิดได้เองในธรรมชาติจากกระแสไฟฟ้าแรงสูงในอากาศ เนื่องจากฟ้าผ่า หรือฟ้าแลบทำให้ก๊าซออกซิเจนซึ่งปรกติประกอบด้วยออกซิเจน 2 อะตอม รวมกันเป็น 1 โมเลกุล (O_2) แตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอม (O) อิสระแล้วรวมกับก๊าซออกซิเจนโมเลกุลอื่นเกิดเป็นโอโซนโมเลกุล (O_3) ดังแสดงในรูปที่ 1 นอกจากนี้รังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ก็ทำให้ออกซิเจนโมเลกุลแตกตัวเกิดก๊าซโอโซนได้เช่นกัน O_3 ที่เกิดโดยวิธีนี้มีความปริมาณเพียง 0.02-0.2 ppm เท่านั้น (Horvath et al., 1985)

$$O_1 \text{ (atom)} + O_2 \text{ (oxygen gas)} = O_3 \text{ (ozone)}$$

ภาพที่ 2.3 แสดงปฏิกิริยาการเกิดโอโซน (O_3)

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2563, ออนไลน์) กล่าวว่า โอโซน (Ozone หรือ O_3) เป็นโมเลกุลที่ประกอบจากออกซิเจน 3 อะตอม เกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซออกซิเจน 1 โมเลกุลกับอะตอมออกซิเจนอิสระ 1 อะตอมที่แตกตัวจากก๊าซออกซิเจนโดยการกระตุ้นของรังสีอัลตร้าไวโอเลตซี (UV-C) ปรากฏอยู่ในชั้นบรรยากาศของโลกโดยที่ชั้นสตราโทสเฟียร์ (Stratosphere) ซึ่งเป็นบรรยากาศที่ระดับความสูงระหว่าง 10 - 50 กิโลเมตรจากผิวดินเป็นชั้นบรรยากาศที่มีโอโซนหนาแน่นที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นชั้นที่ผลิตแหล่งก๊าซโอโซน โดยชั้นโอโซนดังกล่าวทำหน้าที่เป็นเกราะคุ้มกัน ปกป้องพืชและสัตว์จากรังสีที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะรังสีอัลตร้าไวโอเลตบี (UV-B) ซึ่งเป็นรังสีที่เป็นอันตรายต่อชีวิตและธรรมชาติหากได้รับในปริมาณที่มากเกินไป

สรุปได้ว่า โอโซน (Ozone หรือ O_3) คือ โมเลกุลที่ประกอบจากออกซิเจน 3 อะตอม ที่เกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซออกซิเจน 1 โมเลกุลกับอะตอมออกซิเจนอิสระ 1 อะตอมที่แตกตัวจากก๊าซออกซิเจนโดยการกระตุ้นของรังสีอัลตร้าไวโอเลตซี (UV-C)

3.2 ความเป็นมาของก๊าซโอโซน

ก๊าซโอโซนถูกค้นพบครั้งแรกโดยนักเคมีชาวดัตช์ ชื่อ วอน มารุม (Van Marum) จากอุปกรณ์จับปริมาณก๊าซ โดยนายมารุมได้กลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์รอบๆ ขั้วผลิตกระแสไฟฟ้าจากอุปกรณ์ชุดทดลองของเขา อย่างไรก็ตาม การค้นพบโอโซนได้ถูกบันทึกเป็นลายลักษณ์อักษรในปี ค.ศ. 1840 คือ คริสเตียน ฟรีดริช เชินไบน์ (Christian Friedrich Schönbein) นักเคมีชาวเยอรมัน โดยเขาตั้งชื่อก๊าซตามภาษากรีกคำว่า ozein ซึ่งแปลว่ากลิ่น หลังจากนั้น เครื่องผลิตโอโซนเครื่องแรกได้ถูกผลิตโดย วอน ซีเมนต์ (Von Siemens) ในกรุงเบอร์ลิน (Berlin)

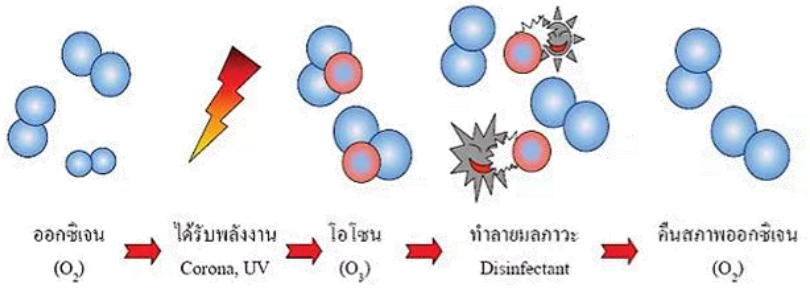
โอโซนเข้มข้นมีสีฟ้าที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (Standard Temperature and Pressure; STP) เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง -112 °C โอโซนจะเป็นเป็นของเหลวสีน้ำเงิน และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า -193 °C ก็จะกลายเป็นของแข็งสีดำ

มนุษย์ได้นำโอโซนไปใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน เช่น นำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเคมีภัณฑ์ นำไปใช้เป็นสารซักฟอก ใช้ฆ่าแบคทีเรีย เป็นต้น ก๊าซโอโซนจัดเป็นก๊าซพิษ การสูดดมก๊าซโอโซนเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ ซึ่งแตกต่างจากคำว่าโอโซนที่บางครั้งถูกใช้ในบริบทของการท่องเที่ยวหรือการพักผ่อนหย่อนใจ เช่นในวลีว่า "สูดโอโซน", "รับโอโซน" หรือ "แหล่งโอโซน" เป็นต้น ถือว่าเป็นการใช้โอโซนผิดความหมาย เพราะความจริงแล้วโอโซนมีความเป็นพิษต่อมนุษย์ บริเวณที่มีโอโซนมากในประเทศไทย ได้แก่ นิคมอุตสาหกรรมแก่งคอย นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด และย่านถนนสีลมในกรุงเทพมหานคร คำว่าโอโซนที่คนจำนวนมากใช้กันผิด ๆ ก็คือ ไปใช้ในเชิงการสื่อความหมายถึงออกซิเจนหรืออากาศบริสุทธิ์ซึ่งดีต่อระบบการหายใจ โดยไม่รู้ความจริงว่าแท้จริงแล้วก๊าซโอโซนมีความเป็นพิษสูงและมีอันตรายต่อสุขภาพ (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2563, ออนไลน์)

3.3 คุณสมบัติของโอโซน

บริษัท นิวแม็ก จำกัด (2018; ออนไลน์) ได้กล่าวว่า ความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ทำให้ทราบว่าโอโซนเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติบนพื้นผิวโลกและในชั้นบรรยากาศสูงขึ้นไป ที่เรียกว่า Lower Stratosphere ในระดับความสูง 14.4-30.4 กม. จากพื้นผิวโลก ก๊าซออกซิเจนมีออกซิเจนอะตอมอยู่รวมกัน 2 อะตอม (O_2) ในขณะที่ในรูปของโอโซน มีอยู่ 3 อะตอม (O_3) โอโซนมีประโยชน์และมีโทษขึ้นอยู่กับแหล่งที่เกิดโอโซนตามธรรมชาติ เป็นก๊าซที่ไม่คงรูป จะมีการเปลี่ยนแปลงกลับไปอยู่ในสภาพของก๊าซออกซิเจนในช่วง 10-20 นาที เป็นที่น่าสังเกตว่าสภาพอากาศที่แจ่มใสหลังจากเกิดพายุฝนฟ้าคะนองส่วนหนึ่ง เป็นผลมาจากโอโซนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีการผลิตก๊าซโอโซน โดยกระแสไฟฟ้าแรงสูงผ่านอากาศที่มีก๊าซออกซิเจน ทำให้โมเลกุลของออกซิเจนแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอม (O) และรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนเป็นโอโซน มีสภาพเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไปจนถึงมีสีน้ำเงิน มีกลิ่นฉุน

โอโซนจัดเป็นตัวออกซิไดส์ (oxidizing agent) ที่แรงที่สุดที่อนุญาตให้นำมาใช้ประโยชน์ ในปัจจุบัน โดยมีฤทธิ์สูงกว่าก๊าซคลอรีนถึง 51% และมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ ได้เร็วกว่า 3.125 เท่าตัว สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในเยื่อเมมเบรนของแบคทีเรียเมื่อทำปฏิกิริยากับโอโซนทำให้ผนังเซลล์อ่อนแอและแตกออก ทำให้เซลล์ตาย โอโซนสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ ส่วนใหญ่รวมทั้งสารอนินทรีย์ ทำให้เกิดการแตกตัวและสลายตัวในกระบวนการสลายตัวทางชีวภาพได้ง่าย สารอินทรีย์บางชนิดทำปฏิกิริยากับโอโซนอย่างสมบูรณ์ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โอโซนสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส สปอร์ ราเมือก ราน้ำค้าง เชื้อราอะมีบา และเชื้อที่อยู่ ในรูปของถุงน้ำ ตามปริมาณความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้ต่างกัน



ภาพที่ 2.4 แสดงกระบวนการเกิดก๊าซโอโซนและกระบวนการออกซิไดส์ทำให้เซลล์ตาย

มีการจำแนกโอโซนเป็น oxidising biocide ใน L8 มีรายงานผลการทดสอบอย่างเป็นทางการของ Department of Environment ในคุณสมบัติที่เป็นไบโอไซด์ (biocide) โดยไม่มีความจำเป็น ในการใช้สารไบโอไซด์ (biocide) ชนิดอื่นๆ มาประกอบการใช้มีการใช้ประโยชน์โอโซนในการกำจัด เชื้อโรคในน้ำที่นำมาใช้ประโยชน์เพื่อการบริโภคมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2447 ในปัจจุบันยังมีการเทคโนโลยี เครื่องผลิตโอโซนมาใช้ประโยชน์ในวัตถุประสงค์เดียวกันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในการกำจัด คราบแบคทีเรียและ อะมีบาในระบบทำความเย็นด้วยน้ำ ทั้งนี้มีการควบคุมปริมาณและความเข้มข้น ของโอโซนที่ใช้ ในสภาพแวดล้อมต่างๆขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ อุณหภูมิ และอัตราการหมุนเวียนของน้ำ ในระบบ

3.4 การเกิดก๊าซโอโซน

การเกิดก๊าซโอโซนแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะดังนี้

3.4.1 การเกิดก๊าซโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโทสเฟียร์

มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน (2018; ออนไลน์) กล่าวว่าการเกิดก๊าซโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโทสเฟียร์ เกิดเมื่อรังสีอัลตราไวโอเลตผ่านบรรยากาศชั้นสตราโทสเฟียร์ จะทำให้โมเลกุลของก๊าซออกซิเจนแตกตัวออกเป็นสองอะตอม หนึ่งโมเลกุลของออกซิเจน จะรวมกับหนึ่งอะตอมของออกซิเจนที่แตกตัว ทำให้เกิดก๊าซโอโซนขึ้น

ก๊าซโอโซนมีความสามารถในการดูดซึมรังสีอัลตราไวโอเลต และรังสีก็อาจทำให้มันแตกตัวกลับดังเดิมได้ ดังนั้นจึงมีการเกิดและทำลายในชั้นโอโซนได้อย่างต่อเนื่องตามธรรมชาติ ที่ระดับความสูง 50 กิโลเมตรจากพื้นดิน การดูดซึมรังสีอัลตราไวโอเลต ทำให้เกิดความร้อนจัดขึ้นในบรรยากาศชั้นนี้ คือ ที่ระดับสูงสุดของสตราโทสเฟียร์เรียกว่า เขตอุ่น (warm region)

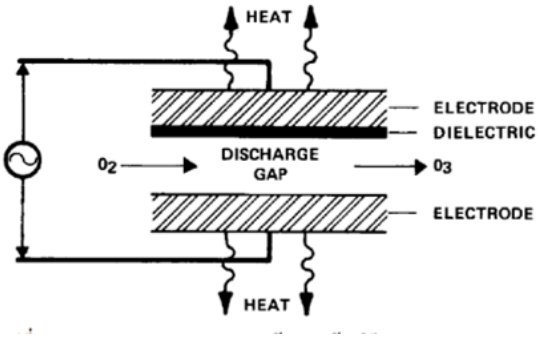
ก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศนี้ เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ไม่ถือว่า เป็นสารมลพิษ หน้าที่สำคัญของก๊าซโอโซนในที่นี้คือ กรองรังสีอัตราไวโลเลต ส่วนที่เป็นอันตรายต่อคน สัตว์ และพืช

3.4.2 การเกิดก๊าซโอโซนโดยการผลิตก๊าซโอโซน

สืบตระกูล วิเศษสมบัติ (ม.ป.ป.; ออนไลน์) กล่าวว่าวิธีการผลิตก๊าซโอโซนที่นิยมใช้ในการผลิตโอโซนในปัจจุบันมี 4 วิธี (Barlow, 1994)

1) Corona Discharge เป็นวิธีจำลองการเกิด O_3 ตามปรากฏการฟ้าผ่าในธรรมชาติโดยใช้กระแสไฟฟ้า ความต่างศักดิ์สูงทำลายโมเลกุลของ O_2 แล้วจึงลดพลังงานโมเลกุลลง

เพื่อเอื้อให้เกิดการจับกันของโมเลกุลออกซิเจนอิสระ ได้เป็น O_3 ในที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3 วิธีนี้นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากต้นทุนต่ำและสร้าง O_3 ได้มากพอในการใช้ประโยชน์เชิงการค้า



ภาพที่ 2.5 การผลิตก๊าซโอโซนด้วยวิธี Corona Discharge

2) UV radiation เป็นวิธีจำลองการเกิด O_3 ในธรรมชาติกล่าวคือใช้รังสี UV ความยาวคลื่นสั้น โดยเฉพาะที่ 254 nm ซึ่งจะมีพลังงานมากพอที่จะทำให้โมเลกุลของ O_2 ไม่เสถียรได้เป็นโมเลกุลออกซิเจนอิสระแล้วจึงสร้าง O3 ได้ใหม่วิธีนี้มีต้นทุนสูงและผลิต O_3 ได้น้อยกว่า

3) Electrolysis วิธีนี้ทำโดยให้กระแสไฟฟ้าวิ่งในตัวนำไฟฟ้าที่มีสถานะเป็นของเหลว (Electrolyte) เช่น น้ำ หรือ H_2SO_4 วิธีนี้ประสิทธิภาพในการผลิต O_3 ไม่ดียังต้องการการพัฒนาต่อไป

4) Radiochemical ใช้สารกัมมันตรังสี (Radioactive) เป็นแหล่งพลังงานเพื่อแยกโมเลกุล O_2 เป็นวิธีที่ผลิต O_3 ได้ปริมาณมาก ต้นทุนต่ำ แต่ต้องมีการควบคุมความปลอดภัยที่ดีพอ

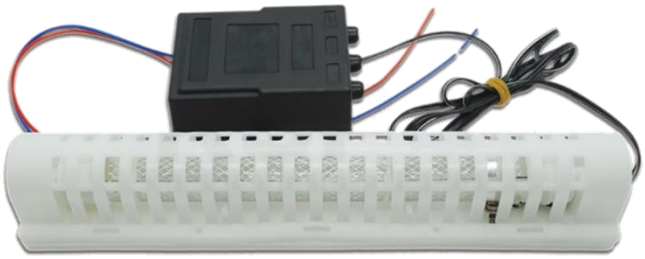
ตัวอย่างการเกิดก๊าซโอโซนโดยการผลิตก๊าซโอโซน เช่น เครื่องผลิตโอโซนสำหรับใช้ภายในบ้าน เครื่องผลิตโอโซนสำหรับใช้ทำความสะอาดยานพาหนะ เครื่องผลิตโอโซนสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม เป็นต้น

ในการวิจัยครั้งนี้จะใช้ก๊าซโอโซนจากเครื่องผลิตก๊าซโอโซนหรือเครื่องกำเนิดก๊าซ

3.5 เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน

เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนที่จำหน่ายโดยทั่วไปมีหลายลักษณะ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

3.5.1 หลอดโอโซน 9 นิ้ว OZONE 220V 50Hz 6W ผลิตโอโซน 100-150 mg/h



ภาพที่ 2.6 หลอดโอโซน 9 นิ้ว

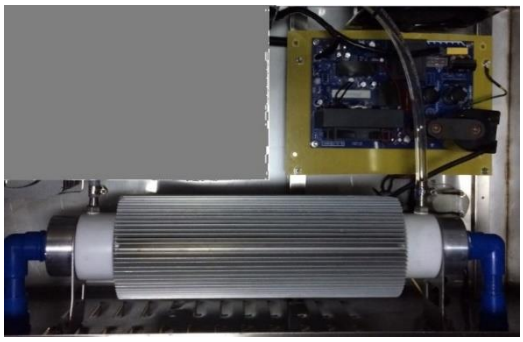
หลอดโอโซน 9 นิ้ว (OZONE) พิกัด ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V 50 Hz ขนาด 6 W สามารถผลิตโอโซนได้ในปริมาณ 100-150 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง (mg/h)

3.5.2 เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนแบบท่อขนาด 7,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง (Ozone Generating Tube 7,000 mg/hr.)

ภาพที่ 2.7 เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนแบบท่อขนาด 7,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง

เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนแบบท่อขนาด 7,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง พิกัด ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V 50 Hz สามารถผลิตโอโซนได้ในปริมาณ 7,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง (mg/h)

3.5.3 เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนแบบท่อขนาด 30,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง (Ozone Generating Tube 30,000 mg/hr.)



ภาพที่ 2.8 เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนแบบท่อขนาด 30,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง

เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนแบบท่อขนาด 30,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง พิกัด ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V 50 Hz สามารถผลิตโอโซนได้ในปริมาณ 30,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง (mg/h)

3.5.4 เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนแบบเซรามิก

ภาพที่ 2.9 เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนแบบเซรามิก

เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนแบบเซรามิก พิกัด ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V 50 Hz ขนาด 70-85 W สามารถผลิตโอโซนได้ในปริมาณ 10 กรัมต่อชั่วโมง (g/h)

ในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนแบบท่อขนาด 7,000 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง

3.6 ประโยชน์ของโอโซนในชีวิตประจำวัน

Big Ozone (2015; ออนไลน์) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของโอโซนในชีวิตประจำวันดังนี้

3.6.1 ดับกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ เช่น ไอระเหยในสาร อินทรีย์ต่าง ๆ โอโซนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับกลิ่นเหล่านั้นทำให้เกิดสารประกอบที่ไม่มีกลิ่น โดยการนำไปประยุกต์ใช้งานได้แก่

1) กำจัดกลิ่นอาหารและควันบุหรี่ในที่ทำงาน ร้านอาหารและสถานบันเทิง ฯลฯ

2) อบฆ่าเชื้อโรคในช่องแอร์เบาะ พรม ทำให้อากาศในรถยนต์บริสุทธิ์

3) อบห้องเพื่อฆ่าเชื้อโรค ดับกลิ่นเหม็นอับ ในรองเท้าตู้เย็น ตู้เสื้อผ้าและห้องน้ำ

4) ฆ่าเชื้อดับกลิ่นเหม็นอับในห้องนอน กำจัดไรฝุ่น แมลงสาบและช่วยบำบัดโรคภูมิแพ้

3.6.2 ทำลายและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค โดยโอโซนจะเข้าไป ทำลายผนังเซลล์ของเชื้อโรคต่าง ๆ ทำให้เชื้อโรคไม่สามารถเจริญเติบโตและตายไป โดยการนำไปประยุกต์ใช้งานได้แก่

1) ย่อยสลายสารพิษ (ฟอร์มาลีน) ยืดอายุการเก็บรักษาพืช ผัก ผลไม้เนื้อสัตว์และอาหารทะเล

2) น้ำโอโซนสามารถล้าง ฆ่าเชื้อภาชนะเครื่องแก้ว จาน ชาม ขวดนม เครื่องใช้สำหรับเด็ก ทำให้ภาชนะแวววาว ไม่เกิดคราบของสารเคมีและสบู่

3) ฆ่าเชื้อโรคและเพิ่มออกซิเจนในน้ำสำหรับดื่ม ทำน้ำบ้วนปากช่วยฆ่าเชื้อและป้องกันกลิ่นปาก และยังใช้ในการซักผ้าเพื่อฆ่าเชื้อ และขจัดผงซักฟอก ที่ติดค้างทำให้ผ้านุ่ม

4) น้ำมันมะกอกผสมโอโซนใช้ใส่ผมขจัดรังแค และป้องกันผมร่วง

5) น้ำโอโซนสามารถนำมารดน้ำต้นไม้ทำให้ต้นไม้เจริญเติบโตรวดเร็วรากไม่เน่า

3.6.3 ด้านอนามัย

อาบน้ำโอโซนช่วยทำให้สุขภาพดีสดชื่น ผิวขาวนวลขึ้น ช่วยลดกลิ่นและอาการคัน

3.6.4 บำบัดโรค

โดยโอโซนจะฆ่าแบคทีเรีย, เชื้อรา,ไวรัส และสารพิษที่อยู่ในกระแสเลือด และบนผิวหนัง

3.6.5 สลายแก๊สพิษ

1) โดยโอโซนจะเข้าไปทำลายโครงสร้างของแก๊ส พิษต่าง ๆ ทำให้แก๊สพิษเหล่านั้น สลายตัวหรือเปลี่ยนรูปกำจัดพิษของสารฆ่าแมลงชนิดต่าง ๆ ที่ตกค้าง

2) ลดพิษของสารฟอร์มาดีไฮด์ที่ออกมาจากการทาสีบ้านใหม่

สรุปได้ว่าประโยชน์ของโอโซนในชีวิตประจำวัน ประกอบด้วย ใช้ดับกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ ใช้ทำลายและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค ใช้ประโยชน์ด้านอนามัย ใช้ประโยชน์ด้านบำบัดโรค และใช้สลายแก๊สพิษ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะใช้ประโยชน์ของก๊าซโอโซนในการกำจัดเชื้อโรคและกำจัดสารพิษที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย

3.7 อันตรายของโอโซน

บริษัท นิวแม็ก จำกัด (2018; ออนไลน์) ได้กล่าวว่า โอโซนจัดเป็นก๊าซพิษ การมีปริมาณโอโซนสูงมากผิดปกติในบาง พื้นที่น่าจะเป็น ผลเสียต่อ สุขภาพมากกว่าที่จะเป็นผลดี มีการกำหนดเกณฑ์ปริมาณความเข้มข้นสูงสุดที่ได้รับโดยเฉลี่ยไม่เกิน 0.1 ppm ในช่วงระยะเวลาของการทำงานนาน 8 ชั่วโมง

อันตรายจากการได้รับโอโซนเป็นประจำอาจจะเป็นอันตรายต่อปอด โดยเฉพาะในวัยเด็กที่ปอดกำลังพัฒนา อาจก่อให้เกิดความเสียหายกับระบบสืบพันธุ์และพันธุกรรม อาจจะเป็นอันตรายต่อเด็กในครรภ์ ทำให้เกิดโรคปอดกำเริบ เช่น กลีบปอดพองลม และโรคหลอดลมอักเสบ ทำให้ภูมิคุ้มกันใน ระบบหายใจลดลง อาการหอบหืดและโรคหัวใจกำเริบ ลดปริมาณลมหายใจ รวมทั้งทำให้ปริมาณของ เหลวในปอดเพิ่มขึ้นทำให้หายใจขัด ก๊าซโอโซนทำให้เกิดอาการระคายเคือง ในระบบหายใจ ทำให้ไอ ระคายคอหรือแน่นหน้าอก ปวดศีรษะ ท้องเสีย แน่นท้อง มีอาการป่วย และอาเจียน การสัมผัสโอโซน ที่อยู่ในสภาพของเหลวที่มีความเข้มข้นสูงที่ผิวหนังหรือดวงตา อาจจะทำให้เกิดอาการระคายเคือง อาการไหม้รุนแรง ปวดแสบปวดร้อน

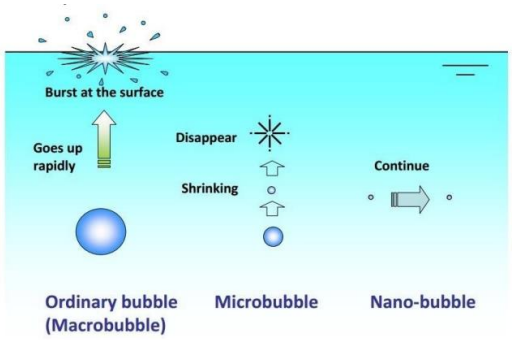
3.8 ระบบผสมโอโซน แบบไมโคร-นาโนบับเบิล

3.8.1 ความหมายของไมโคร-นาโนบับเบิล (Micro Nano-bubble: MNB)

ประมุข อุณหเลขกะ และคณะ (2559; 29) ได้ให้ความหมายว่า ไมโคร-นาโนบับเบิล คือ ฟองก๊าซที่มีขนาด 50 -200 ไมคอน โดยฟองไมโครบับเบิลที่มีขนาดมากกว่า 50 ไมคอน จะลอยช้า ๆ ขึ้นสู่ผิวน้ำหรือของเหลว ในระหว่างการลอยขึ้นก๊าซจะละลายเข้าสู่น้ำหรือ

ของเหลว ฟองที่มีขนาด 50 ลงมาจะยุบตัวและละลายเข้าสู่น้ำจนหมด กรณีที่น้ำหรือของเหลวนั้นมีสารอิเลคโตไลต์ (electrolyte) ฟองไมโครบับเบิลจะมีประจุลบ ล้อมรอบ ระหว่างผิวสัมผัสระหว่าง (interface) ก๊าซกับน้ำ โดยฟองไมโครบับเบิลจะมีค่า zeta potential ประมาณ -40 mV เมื่อฟองไมโครบับเบิลยุบตัวลงจะเกิดปรากฏการณ์ salting-out ที่ทำให้แรงตึงผิวเท่ากับ แรงไฟฟ้าป้องกันไม่ให้ก๊าซละลายจนหมด แต่จะคงตัวเป็นฟองขนาดนาโนเมตรที่เรียกว่า Nano-bubble และคงตัวอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานาน

รุ่งระวี ทองดอนเอ (ม.ป.ป..; ออนไลน์) ได้ให้ความหมายว่า ไมโครนาโนบับเบิล (Micro/nano bubbles) เป็นเทคโนโลยีฟองอากาศที่มีอนุภาคขนาดเล็กมากระดับไมโครเมตรหรือนาโนเมตร ฟองอากาศระดับไมโครเมตร หรือ ไมโครบับเบิล (Microbubble) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10-50 ไมโครเมตร มองเห็นน้ำมีลักษณะคล้ายสีของนม และค่อย ๆ ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ส่วนฟองอากาศระดับนาโนเมตร หรือ นาโนบับเบิล (Nanobubble) มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 200 นาโนเมตรมีขนาดเล็กมากไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าและคงอยู่ในน้ำได้นานกว่าฟองอากาศทั่วไปหลายเดือน เนื่องจากนาโนบับเบิลมีพื้นที่ผิวของอากาศจำนวนมาก ไม่รวมตัวกันเป็นฟองขนาดใหญ่ ทำให้สามารถละลายหรือแทรกตัวในตัวกลางที่เป็นของเหลว เช่น น้ำ ได้มากกว่าสภาวะปกติหลายเท่าตัว และทำให้มีแรงลอยตัวต่ำ จึงทำให้การลอยขึ้นสู่ผิวน้ำช้ากว่าฟองอากาศทั่วไป



ภาพที่ 2.10 การเปรียบเทียบฟองอากาศแบบปกติ ไมโคร และ นาโน

สรุปได้ว่า ไมโครนาโนบับเบิล (Micro/nano bubbles) ขนาดฟองอากาศที่มีอนุภาคขนาดเล็กมากระดับไมโครเมตรหรือนาโนเมตร โดยฟองอากาศระดับไมโครบับเบิล (Microbubble) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10-50 ไมโครเมตร สามารถมองเห็นน้ำมีลักษณะคล้ายสีของนม และค่อย ๆ ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ส่วนฟองอากาศระดับนาโนบับเบิล (Nanobubble) มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 200 นาโนเมตร ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าและคงอยู่ในน้ำได้นานกว่าฟองอากาศทั่วไปหลายเดือน

บริษัท เอ็มเอ็มเอส เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (ม.ป.ป.; ออนไลน์) กล่าวว่า ระบบไมโครนาโนบับเบิล หรือ ระบบผสมโอโซน แบบไมโคร-นาโน เป็นระบบการทำละลายระหว่างอากาศกับน้ำ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบเดิมถึง 60-90% เพราะระดับฟองอากาศเล็กเพียง 20-30 ไมโครมิลลิเมตร มีขนาดเล็กมาก ๆ ซึ่งโมเลกุลของอากาศสามารถเรียงตัวกันได้มากกว่าปกติ ฟองอากาศขนาดเล็ก ๆ นี้ยังสามารถจับพื้นผิวของโมเลกุลที่อยู่ในน้ำเพื่อคัดแยกออกจากน้ำได้ดีอีกด้วย เป็นที่

นิยมแพร่หลายในหลาย ๆ ประเทศทั่วโลก อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ ได้หลากหลายเช่นกัน

3.8.2 ประโยชน์ของระบบผสมแบบไมโคร-นาโนบับเบิล

บริษัท เอ็มเอ็มเอส เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (ม.ป.ป.; ออนไลน์) ได้กล่าวว่า ประโยชน์ของระบบผสมแบบไมโคร-นาโนบับเบิล มีดังนี้

1) เพิ่มออกซิเจนในน้ำได้ในระดับสูง

2) ลดอุณหภูมิในน้ำได้อย่างรวดเร็ว

3) คัดแยกสารเคมี สิ่งสกปรก ออกจากน้ำได้สูงสุดถึง 90%

4) สามารถกำจัดเชื้อโรคในน้ำได้ได้ถึง 99.9% และดีกว่าการเติมอากาศแบบเดิม

5) ลดการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบถึง 30-60%

6) สามารถลดค่า BOD, COD, SS และ N-Hex ได้สูงสุดถึง 90%

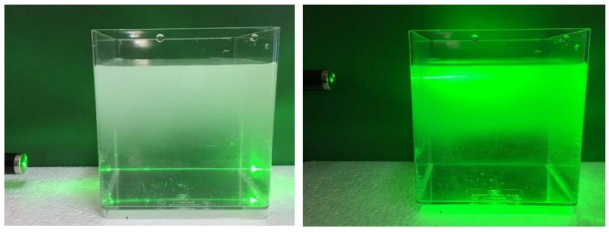
7) ระยะเวลาลดลงเมื่อเทียบกับระบบเดิม

8) การติดตั้งง่ายไม่ยุ่งยาก

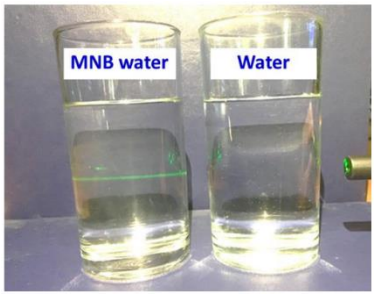
9) ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและง่ายต่อการรักษา

3.8.3 การทดสอบระบบไมโคร-นาโนบับเบิล

การทดสอบด้วยการใช้แสงเลเซอร์ยิงผ่านในน้ำที่มีฟองอากาศอนุภาคไมโครนาโน (Micro/nano bubbles: MNB) จะมองเห็นฟองอากาศอนุภาคขนาดนาโนเป็นฟองอากาศขนาดเล็กมากผ่านลำแสงลอยอยู่ใต้ผิวน้ำ ส่วนฟองอากาศที่เป็นขนาดไมโครลักษณะคล้ายฟองนมจะลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ เมื่อยิงแสงเลเซอร์ลำแสงไม่สามารถส่องผ่านฟองอากาศขนาดไมโครได้ ลำแสงปะทะกับอนุภาคจึงเกิดการกระเจิงของแสง ทำให้ไม่สามารถมองเห็นเป็นเส้นลำแสงได้ ดังภาพที่ 2.26 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำเปล่าและน้ำที่มีฟองอากาศอนุภาคนาโน พบว่าน้ำเปล่าไม่ปรากฏลำแสงสีเขียวของแสงเลเซอร์ ซึ่งแตกต่างจากน้ำที่มีฟองอากาศอนุภาคขนาดนาโนลำแสงเลเซอร์ส่องผ่านได้เห็นเป็นลำแสงสีเขียว ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 แสดงฟองอากาศที่มีขนาดเป็นไมโคร



ภาพที่ 2.12 แสดงฟองอากาศที่มีขนาดเป็นนาโนแสงเลเซอร์สามารถส่องผ่านเห็นเป็นลำแสงสีเขียว

นอกจากฟองอากาศอนุภาคขนาดนาโน หรือ นาโนบับเบิล เหล่านี้จะมีขนาดเล็กมากและสามารถคงตัวอยู่ในน้ำได้นานแล้ว นาโนบับเบิลยังมีพื้นที่ผิวของอากาศจำนวนมหาศาลและมีประจุลบล้อมรอบจำนวนมาก ท้าให้นาโนบับเบิลมีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากฟองอากาศทั่วไป ซึ่งประเทศญี่ปุ่นมีการนำมาประยุกต์ในด้านต่าง ๆ มากมาย เช่น การบ้าบัดน้ำ การทำความสะอาดพื้นผิว ตลอดจนการเกษตรกรรม และ การประมง นอกจากนั้น สถาบันวิจัยเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม ประเทศญี่ปุ่น (2004; ออนไลน์) ได้กล่าวว่า การผลิตฟองขนาดนาโนของออกซิเจนที่คงทนอยู่ในน้ำได้อย่างยาวนานโดยไม่สลายตัว ทำให้สามารถเลี้ยงปลาน้ำจืดร่วมกับปลาน้ำเค็มในตู้เลี้ยงปลาตู้เดียวกันได้ในเชิงปฏิบัติเป็นครั้งแรก ประเด็นความสำเร็จของงานวิจัยนี้ ใช้ระบบวิศวกรรมที่มีศักยภาพสูงที่ทำให้ฟองนาโนคงทนอยู่ในน้ำได้นานมาก กลไกการสร้างฟองนาโนจะอาศัยแรงผลักเชิงไฟฟ้าที่มีประจุแตกต่างกันทำให้อิออนต่าง ๆ สะสมกันอย่างหนาแน่นบริเวณผิวสัมผัส ฟองนาโนของก๊าซโอโซนจะยังคงมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อและสิ่งสกปรกในน้ำได้ยาวนานว่า 1 เดือน ส่วนน้ำที่มีฟองนาโนของออกซิเจนจะช่วยทำให้สิ่งมีชีวิตมีชีวิตยืนยาวมากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถนำฟองนาโนมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ อาหาร และการประมง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ฟองนาโนสร้างขึ้นจากการแตกสลายฟองขนาดไมโครเมตร (microbubble) อย่างรวดเร็วทำให้มีการสะสมสารอินทรีย์และอิออนชนิดต่าง ๆ อยู่รอบผิวนอกของฟองนาโนมีลักษณะคล้ายเป็นเปลือกของฟองนาโน ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์ salting-out ที่สามารถยับยั้งการแพร่ของก๊าซที่อยู่ภายในฟองนาโน ซึ่งปรากการณ์นี้สามารถเกิดขึ้นได้จริงที่ความเล็กระดับนาโนเท่านั้น ฟองนาโนของก๊าซโอโซนที่สังเคราะห์ขึ้นจากการแตกสลายฟองโอโซนขนาดไมโครเมตรในน้ำที่มีสารอิเล็กทรอไลต์ละลายอยู่ ซึ่งถึงแม้ว่าจะทิ้งไว้นาน 2 สัปดาห์ก็ยังคงมีก๊าซโอโซนเหลืออยู่ในฟองนาโนเป็นปริมาณมาก

ในการวิจัยเรื่อง เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ไม่ได้ใช้ระบบนาโนโอโซนบับเบิลในการบำบัดน้ำเสีย โดยการฆ่าเชื้อโรคและสลายสารพิษที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย เพราะว่างานวิจัยเรื่องนี้ ได้รับงบประมาณสนับสนุนการทำวิจัยน้อยเกินไป ทำได้เพียงการใช้ระบบโอโซนในการฆ่าเชื้อโรคและสลายสารพิษที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียเท่านั้น

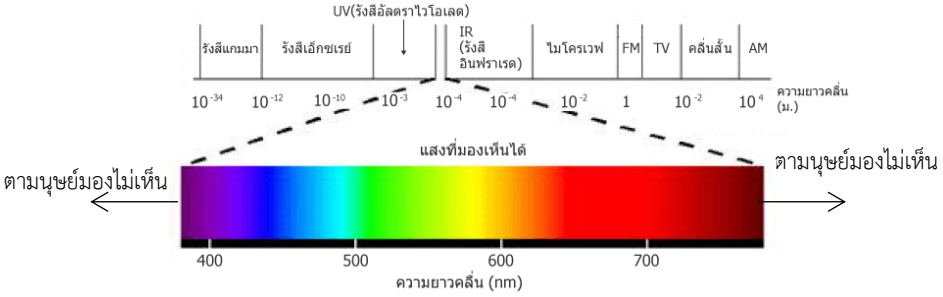
4. รังสียูวีซี

ข้อมูลเกี่ยวกับรังสียูวีซีอ้างถึงใน สุริยะว์กิจ ศิริมงคล มงคล ธุระ และ ประสงค์ วงศ์แก้ว (2564; 22-31)

1. ความหมายของรังสียูวี

รังสีอัลตราไวโอเลต หรือ รังสียูวี (ultraviolet) หรือในชื่อภาษาไทยว่า รังสีเหนือม่วง เป็นช่วงหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าแสงที่มองเห็น แต่ยาวกว่ารังสีเอกซ์อย่างอ่อน มีความยาวคลื่นในช่วง 400-10 นาโนเมตร และมีพลังงานในช่วง 3-124 eV (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2563; ออนไลน์)

มันได้ชื่อดังกล่าวเนื่องจากสเปกตรัมของมันประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่าคลื่นที่มนุษย์มองเห็นเป็นสีม่วง



ภาพที่ 2-13 รังสีอัลตราไวโอเลต หรือ รังสียูวี (ultraviolet)

จากภาพที่ 2-13 แสงคือ "คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า" ชนิดหนึ่ง "คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า" มีลักษณะตามมาตรฐานของ "ความยาวคลื่น" และเมื่อเริ่มจากที่มีความยาวคลื่นยาว จะแบ่งได้เป็น คลื่นวิทยุ รังสีอินฟราเรด แสงที่มองเห็นได้ รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีเอกซเรย์ และรังสีแกมมา

เมื่อความยาวคลื่นแสงกระทบกับวัตถุ คลื่นแสงที่สะท้อนออกจากวัตถุที่วัตถุไม่ได้ดูดซับไว้จะทำให้ดวงตาของมนุษย์ (เรตินา) มองเห็นได้ เมื่อปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้น มนุษย์เราจะรับรู้ความยาวคลื่นเหล่านี้ว่าเป็น "สี" ของวัตถุ ซึ่งดัชนีหักเหของคลื่นแสงจะแตกต่างกันตามความยาวคลื่น ดังนั้นด้วยเหตุนี้เราจึงสามารถรับรู้ "สี" ต่าง ๆ ของวัตถุได้จากการที่แสงสะท้อนออกจากตัววัตถุ ตัวอย่างเช่น ผลแอปเปิลมีสีแดง เพราะว่าเมื่อแสงกระทบกับแอปเปิล แอปเปิลจะดูดซับความยาวคลื่นแสงอื่น ๆ ไว้ทั้งหมด แต่จะสะท้อนเฉพาะความยาวคลื่นแสงสีแดง (ที่มีความยาวคลื่น 600 ถึง 700 nm) ออกมาเข้าสู่ตาเรา (เรตินา) ทำให้ตาเรามองเห็นแอปเปิลเป็นสีแดง * ส่วนวัตถุที่มีสีดำ แสดงว่าวัตถุนั้นดูดซับคลื่นแสงไว้ทั้งหมดจึงปรากฏเป็นสีดำ

จากภาพที่ 2-13 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นอยู่ในระยะที่มนุษย์สามารถมองเห็นเรียกว่า "รังสีที่มองเห็นได้" รังสีที่มองเห็นได้มีความยาว 360 ถึง 830 nm ส่วนความยาวคลื่นที่สั้นหรือยาวกว่า "รังสีที่มองเห็นได้" ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตามนุษย์

2. สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าของรังสีอัลตราไวโอเลต

สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าของรังสีอัลตราไวโอเลตหรือแสงเหนือม่วงสามารถแบ่งย่อยได้หลายวิธี ตารางมาตรฐาน ISO ที่กำหนดชนิดแสงเปล่งของดวงอาทิตย์ (ISO-DIS-21348) อธิบายช่วงเหล่านี้ดังตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.2 สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าของรังสีอัลตราไวโอเลตหรือแสงเหนือม่วง ตารางมาตรฐาน ISO ที่กำหนดชนิดแสงเปล่งของดวงอาทิตย์ (ISO-DIS-21348)

ชื่อ	ตัวย่อ	ช่วงความยาวคลื่น เป็นนาโนเมตร	พลังงานต่อโฟตอน
อัลตราไวโอเลต เอ, คลื่นยาว, หรือ แบลกไลต์	UVA	400 nm - 315 nm	3.10 - 3.94 eV
ใกล้	NUV	400 nm - 300 nm	3.10 - 4.13 eV
อัลตราไวโอเลต บี หรือ คลื่นกลาง	UVB	315 nm - 280 nm	3.94 - 4.43 eV
กลาง	MUV	300 nm - 200 nm	4.13 - 6.20 eV
อัลตราไวโอเลต ซี, คลื่นสั้น, หรือ germicidal	UVC	280 nm - 100 nm	4.43 - 12.4 eV
ไกล	FUV	200 nm - 122 nm	6.20 - 10.2 eV
สุญญากาศ	VUV	200 nm - 10 nm	6.20 - 124 eV
ไกลยิ่ง	EUV	121 nm - 10 nm	10.2 - 124 eV

3. ผู้ค้นพบรังสีอัลตราไวโอเลต

ผู้ค้นพบรังสีอัลตราไวโอเลต คือ โยฮันน์ วิลเฮล์ม ริตเตอร์ (Johann Wilhelm Ritter) ซึ่งเป็นนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน โดยหลังจากที่เขาค้นพบรังสีอินฟราเรด เขาต้องการค้นหารังสีที่อยู่ตรงข้ามกับรังสีอินฟราเรด นั่นคือรังสีอินฟราเรดซึ่งเป็นรังสีที่มีความยาวคลื่นยาวกว่าแสงสีแดงแต่ริตเตอร์ต้องการจะค้นหารังสีชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าแสงสีม่วง เขาจึงได้ทดลองค้นหารังสีที่อยู่ตรงข้ามกับรังสีอินฟราเรด โดยเขาได้ใช้กระดาษอาบซิลเวอร์คลอไรด์วางไว้กลางแดด พบว่ากระดาษนั้นเปลี่ยนเป็นสีดำ ริตเตอร์จึงเรียกรังสีนี้ว่า deoxidizing rays ต่อมาก็เปลี่ยนชื่อเป็นรังสีอัลตราไวโอเลตหรือรังสียูวี ดังเช่นในปัจจุบัน (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2563; ออนไลน์)

4. โทษของรังสีอัลตราไวโอเลต

การรับรังสีอัลตราไวโอเลตมากเกินควร ก่อให้เกิดอันตรายกับระบบต่าง ๆ ของร่างกายได้ โดยรังสีอัลตราไวโอเลตซี (UVC) มีพลังงานสูงที่สุดและที่สำคัญคือ อันตรายที่สุด แต่พบได้น้อยเพราะบรรยากาศชั้นโอโซนได้กรองรังสีอัลตราไวโอเลตซีเอาไปหมดแล้ว

รังสีอัลตราไวโอเลตทั้งสามชนิดคือ UVA, UVB และ UVC สามารถทำให้คอลลาเจนในผิวหนังเสื่อมสภาพได้ ซึ่งเป็นเหตุหนึ่งให้เกิดริ้วรอยหรือผิวหนังเกิดการเหี่ยวย่นก่อนวัย แต่ UVA มี

ความรุนแรงน้อยที่สุด เพราะไม่สามารถก่อให้เกิดอาการแดดเผา (sunburn) ทว่ายังน่ากลัวอยู่ที่สามารถแปลงสภาพ DNA ได้ จนอาจก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนัง แต่ร่างกายก็สามารถป้องกันได้ โดยการสร้างเม็ดสีเมลานินขึ้นมา เพื่อป้องกันการทะลวงของรังสียูวีเอ (UVA) จึงทำให้ผิวคล้ำดำมากขึ้น

นอกจากผิวหนังแล้ว รังสียูวียังเป็นอันตรายต่อดวงตา โดยเฉพาะรังสี UVB จะทำให้เกิดอาการที่เรียกว่า arc eye คือ รู้สึกเหมือนมีทรายเข้าตา หรือถ้ารุนแรงกว่านั้นอาจทำให้เป็นโรคต้อกระจก (cataract) อักเสบได้ โดยเฉพาะในหมู่ช่างเชื่อมโลหะที่ขณะเชื่อมโลหะแล้วมีแสงสว่าง หรือมีรังสี UVB จากการเชื่อมโลหะสะท้อนเข้าสู่ดวงตาหรือเชื่อมโลหะโดยไม่ใส่หน้ากากป้องกัน วิธีการป้องกันรังสี UVB คือ สวมใส่แว่นกันแดดป้องกัน หรือแค่ทาโลชั่นที่มีค่า SPF 50+ ขึ้นไป

นอกจากมีโทษต่อร่างกายแล้วรังสีอัลตราไวโอเลต มีผลกระทบต่อพืชด้วย โดย รังสีอัลตราไวโอเลตที่เพิ่มขึ้นมีโทษทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อพืช เช่น ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง ทำลาย DNA และเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในพืช ทำให้ลักษณะทางกายภาพ และขบวนการเจริญเติบโตของพืชเปลี่ยนแปลงไป นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงมวลทางชีวภาพและผลิตผลลดลง ถึงแม้ว่าจะมีกลไกที่ลดหรือซ่อมแซมและความสามารถในการปรับตัวต่อการเพิ่มระดับของรังสี UV ที่จำกัด ทำให้การเจริญเติบโตของพืชได้รับผลกระทบโดยตรงจากรังสี UVB

การเปลี่ยนแปลงทางอ้อมที่เกิดจากรังสี UVB (เช่น การเปลี่ยนรูปร่างของพืช) อาจสำคัญเท่า ๆ กันหรือบางครั้งก็มากกว่าผลกระทบในการทำลายของรังสี UVB การเปลี่ยนแปลงนี้มีความสำคัญต่อพืชที่มีการแข่งขันกันอย่างสมดุล สัตว์ที่กินพืช โรคพืช และวัฏจักร biogeochemical เช่นกัน (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2563; ออนไลน์)

5. ประโยชน์ของรังสีอัลตราไวโอเลต

รังสีอัลตราไวโอเลตนอกจากจะมีโทษแล้วยังมีประโยชน์มาก ดังจะได้กล่าวคร่าว ๆ ต่อไปนี้

5.1 แบลกไลต์

แบลกไลต์ (black light) เป็นหลอดที่เปล่งรังสียูวีคลื่นยาว มีสีม่วงดำ ใช้ตรวจเอกสารสำคัญ เช่น ธนบัตร, หนังสือเดินทาง, บัตรเครดิต ฯลฯ ว่าเป็นของจริงหรือปลอม หลายประเทศได้ผลิตลายน้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในรังสีชนิดนี้ นอกจากนี้ แบลกไลต์ยังสามารถใช้ล่อแมลงให้มาติดกับ เพื่อที่จะกำจัดภายหลังได้

5.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือหลอดเรืองแสง ใช้หลักการผลิตรังสีอัลตราไวโอเลต โดยการทำให้ไอปรอทแตกตัว รังสีที่ได้จะไปกระทบสารเรืองแสงหรือสารฟอสเฟอร์ที่เคลือบอยู่ด้างข้างในหลอดแก้วทำให้เปล่งแสงสว่างที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ออกมา จึงทำให้พื้นที่บริเวณโดยรอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์ สว่างขึ้นมา

5.3 ดาราศาสตร์

ในทางดาราศาสตร์จะใช้ประโยชน์จากรังสียูวีในการศึกษาเทหะวัตถุในอวกาศ เพราะว่าโดยปกติแล้ววัตถุที่ร้อนมากจะเปล่งรังสียูวีออกมา เราจึงสามารถศึกษาวัตถุท้องฟ้าหรือเทหะวัตถุเหล่านั้นได้โดยผ่านทางรังสียูวี แต่ทว่าจะต้องออกไปศึกษาในอวกาศโดยการส่งกล้องโทรทัศน์

ออกไปปฏิบัติการในอวกาศ เพราะว่าถ้าทำการศึกษาวัตถุท้องฟ้าเหล่านั้นภายในโลกจะไม่สามารถศึกษาได้เนื่องจากว่ารังสียูวีส่วนมากจะถูกอากาศชั้นโอโซนของโลกดูดซับเอาไว้หมด

5.4 การวิเคราะห์แร่

รังสีอัลตราไวโอเลตมีประโยชน์ในการใช้ตรวจวิเคราะห์ชนิดของแร่ต่าง ๆ ได้ แม้ว่ารูปร่างภายนอกของสินแร่ต่าง ๆ จะดูเหมือนกันภายใต้แสงที่มองเห็นตามปกติ แต่เมื่อใช้รังสียูวีผ่านเข้าไปในสินแร่เหล่านั้นแล้วก็จะเห็นถึงความแตกต่างของชนิดแร่ต่าง ๆ ได้

5.5 การฆ่าเชื้อโรค

รังสีอัลตราไวโอเลตมีประโยชน์ในการที่สามารถใช้ฆ่าเชื้อโรคได้ โดยเฉพาะในน้ำดื่ม และยังสามารถนำไปฆ่าเชื้อในเครื่องมือ หรืออาหารได้ด้วย ซึ่งปัจจุบันได้นำเทคโนโลยีเหล่านี้ไปใช้กับเครื่องกรองน้ำอย่างแพร่หลาย

รังสีอัลตราไวโอเลตหรือรังสียูวีเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น 200-280 นาโนเมตร (nm) มีความสามารถทำลายเชื้อโรคที่เรียกว่า Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) โดยทำลายได้ทั้งแบคทีเรีย ไวรัส ราเส้นใย ยีสต์ เป็นต้น โดยปกติจะไม่พบรังสียูวีซี (UVC) ในธรรมชาติเนื่องจากรังสียูวีซีจะไม่สามารถผ่านชั้นโอโซนของโลกลงมายังพื้นดินได้ การทำลายเชื้อโรคจึงต้องใช้แหล่งกำเนิดรังสี ได้แก่ หลอดไอปรอทที่มีแรงดันภายในหลอดต่ำหรือที่ทั่วไปเรียกว่า “หลอดฆ่าเชื้อ” และ UVC-LEDs ที่ให้รังสี UVC ที่ความยาวคลื่นไม่ต่ำกว่า 253.7 นาโนเมตร (nm)

5.5.1 กลไกการฆ่าเชื้อโรค

กลไกการฆ่าเชื้อโรค (ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีปิโตรเคมีและวัสดุ, 2020; ออนไลน์) ของรังสีอัลตราไวโอเลตเกิดจากการที่สารพันธุกรรมของเชื้อโรค เช่น DNA และ/หรือ RNA จะดูดซับรังสี UV ที่ความยาวคลื่น 253.7 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นของรังสี UVC รังสียูวีซีจะทำลายโครงสร้างกรดนิวคลีอิกซึ่งเป็นองค์ประกอบของ DNA และ RNA ทำให้เชื้อโรคไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้และตายในที่สุด

5.5.2 ประสิทธิภาพการทำลายเชื้อโรค

ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อโรคสามารถประเมินได้จากปริมาณรังสี UVC ที่เชื้อโรคสัมผัสหรือเรียกว่ายูวี โดส (UV dose) โดยที่

UV dose = UV intensity x เวลา

หน่วยวัด : UV dose คือ Ws/m^2

โดยที่หน่วยวัดของ ความเข้มของรังสียูวี (UV intensity) คือ W/m^2 และหน่วยวัดเวลา คือ วินาที ตัวอย่างเช่น การฆ่าเชื้อโคโรน่าไวรัสที่เป็นสาเหตุของโรค SARS ด้วย UVC ที่ความยาวคลื่น 254 nm ด้วยความเข้มแสง 0.9 W/m^2 ที่ระยะห่าง 80 cm จะต้องใช้เวลา 60 นาที จึงจะทำลายเชื้อโรคได้หมด

5.5.3 ข้อควรระวัง

1) สิ่งของที่จะนำมาฆ่าเชื้อโรคด้วย UVC ต้องทำความสะอาดไม่ให้มีคราบสกปรกหรือฝุ่นละอองเกาะติดอยู่ เนื่องจากรังสี UVC มีความสามารถในการทะลุผ่านได้ต่ำ

2) ต้องวางสิ่งของให้สัมผัสกับ UVC โดยตรง

3) ตรวจสอบความเข้มของรังสี ระยะห่าง และระยะเวลาสัมผัสให้เหมาะสม

4) ผู้ใช้งานควรหลีกเลี่ยงการสัมผัส UVC โดยตรง เนื่องจากทำให้เกิดการอักเสบของดวงตาและผิวหนังได้

5.5.4 ข้อสังเกต

1) ปัจจุบันหลอด UVC-LEDs ยังไม่มีมาตรฐานสากลรับรองเรื่องประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรค ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพ UVC ก่อนนำมาใช้งาน

2) การเลือกซื้อหลอดฆ่าเชื้อโรค UVC ควรพิจารณาคุณลักษณะ (Specification) ของหลอด เรื่อง กำลังไฟฟ้า ปริมาณความเข้มข้นของ UVC ที่แผ่ออกมาและความยาวคลื่นของแสง UVC ต้องไม่ต่ำกว่า 253.7 nm

3) UVC มีผลต่อวัสดุประเภทพลาสติกและยาง โดย UVC จะทำลายพันธะเคมี ทำให้พลาสติกและยางเสื่อมคุณภาพไวกว่าปกติ

4) หลอด UV (คำที่ใช้เรียกทั่วไป) หมายถึง หลอดที่สามารถกำเนิดรังสี UV ได้ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด

5) หลอดรังสี UV-A มีความยาวคลื่น 315 – 380 nm เป็นรังสีที่นำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การพิมพ์ การอบสี การอบเคลือบกาว การดักแมลง เป็นต้น

6) หลอดรังสี UV-B มีความยาวคลื่น 280 – 315 nm มีการนำมาใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย ส่วนมากใช้ในทางการแพทย์เพื่อรักษาโรคผิวหนังบางชนิด

7) หลอดรังสี UV-C มีความยาวคลื่น 200 – 280 nm เป็นรังสีที่อันตรายต่อเนื้อเยื่อ มักถูกนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อโรค

ในงานวิจัยเรื่อง เครื่องทำความสะอาดหัวรีดนมวัวด้วยรังสียูวีและอบฆ่าเชื้อโรคด้วยก๊าซโอโซน ในครั้งนี้จึงใช้รังสียูวีซี (UVC) ในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำที่ใช้ทำความสะอาดเครื่องทำความสะอาดหัวรีดนมวัว

6. แหล่งกำเนิดรังสีอัลตราไวโอเลต

แหล่งกำเนิดรังสีอัลตราไวโอเลตมีดังนี้ (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2563; ออนไลน์)

6.1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (solar radiation) เป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของการแผ่รังสีที่ส่องมาถึงโลก โดยประกอบด้วย

6.1.1 รังสีอัลตราไวโอเลตซี (UVC)

6.1.2 รังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB)

6.1.3 รังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA)

6.1.4 คลื่นแสงที่มนุษย์มองเห็น

6.1.5 รังสีอินฟาเรด

โดยรังสีบางส่วนจะถูกดูดซับไว้ในชั้นบรรยากาศ ส่วนที่เหลือสามารถส่องมาถึงผิวโลกในระดับไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

พลังงานของช่วงคลื่นที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์ ตั้งแต่ช่วงคลื่นสั้นต่าง ๆ จนถึง 175 นาโนเมตร จะถูกดูดซับด้วยออกซิเจนในชั้นสตราโทสเฟียร์ที่ความสูงประมาณ 100 กิโลเมตร และ

พลังงานความยาวคลื่นตั้งแต่ 175 ถึง 280 นาโนเมตร หรืออยู่ในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเลตซี (UVC) จะถูกดูดชั้นโอโซนทำลาย ซึ่งช่วงคลื่นเหล่านี้มีระดับพลังงานสูงหากผ่านมาถึงผิวโลกจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์มาก แต่ปัจจุบันชั้นโอโซนถูกทำลายลงมากทำให้อัตราการแผ่รังสียูวีซี (UVC) ลงมาถึงผิวโลกมีเพิ่มมากขึ้น

สำหรับพลังงานในช่วงคลื่นตั้งแต่ 280-3000 นาโนเมตร ประกอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB) 280-315 นาโนเมตร รังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA) 315-400 นาโนเมตร ช่วงคลื่นที่ตามนุษย์มองเห็น 400-760 นาโนเมตร และรังสีอินฟาเรด 760-3000 นาโนเมตร

ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น และช่วงคลื่นรังสีอินฟาเรดจะสามารถเข้าสู่ผิวหนังของมนุษย์ได้ แต่จะไม่ถูกดูดซับไว้จึงไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ แต่รังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA) และ รังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB) สามารถเข้าสู่ผิวหนัง และถูกดูดซับไว้ โดยรังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA) จะเข้าสู่ผิวหนังลึกสุดและดูดซับมากกว่ารังสีอัลตราไวโอเลต (UVB)

รังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB) มีค่าพลังงานมากกว่ารังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA) มีผลสามารถทำลายดีเอ็นเอ (DNA) และเกิดมะเร็งส่วนผิวหนังได้ รังสีอัลตราไวโอเลต (UVA) ถึงแม้จะมีระดับพลังงานที่ต่ำกว่า แต่ยังสามารถแทรกสู่ผิวได้ลึกกว่า หากสัมผัสในระยะเวลานาน และต่อเนื่องจะทำให้เซลล์ผิวหนังอ่อนล้า เสื่อมเร็ว แลดูเหี่ยวย่นจนถึงระดับรุนแรงที่อาจเกิดเป็นเซลล์มะเร็งขึ้นได้

รังสีอัลตราไวโอเลต (UV) หากได้รับในระดับต่ำจะมีประโยชน์ต่อการสร้างวิตามินดี และช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของร่างกาย แต่หากได้รับในปริมาณมากเกินความเป็นประโยชน์จะมีผลต่อการทำลายระบบภูมิคุ้มกัน การทำลายเนื้อเยื่อเซลล์ ทำให้ผิวหนังแลดูเหี่ยวหย่นจนถึงขั้นระดับรุนแรงกลายเป็นเซลล์มะเร็ง

6.2 แหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้น (artificial sources) ได้แก่ วัตถุทุกชนิดที่ถูกทำให้ร้อน จนมีอุณหภูมิสูง มากกว่า 2500 องศาเคลวิน สามารถปล่อยรังสีอัลตราไวโอเลตได้ ซึ่งเป็นวัตถุ อุปกรณ์ที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นสำหรับการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ทางการแพทย์ ทางการเกษตร เป็นต้น

7. หลอดยูวีซี (UVC Lamp) (บริษัท เมโทรโลยี เทคนิคคอล จำกัด, ออนไลน์)

หลอดยูวีซีเป็นแหล่งกำเนิดรังสีอัลตราไวโอเลตซี (UVC) ที่มนุษย์สร้างขึ้น (artificial sources) สำหรับการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น สำหรับฆ่าเชื้อโรคทางการแพทย์ ทางการเกษตร เป็นต้น

7.1 หลอดไฟ UVC สำหรับฆ่าเชื้อ (Germicidal Lamp)

7.1.1 รหัส T8 คือ หลอดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 26 มิลลิเมตร (D=26 ม.ม.) ที่เรียกว่าหลอดผอม (หลอดปกติที่ซื้อขายกันทั่วไปขณะนี้)

7.1.2 รหัส T12 ที่เรียกกันว่าหลอดอ้วน เป็นหลอดไฟสมัยก่อน ขณะนี้ประเทศไทยเลิกใช้แล้ว

7.1.3 รหัส T5 คือ คือ หลอดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร (D=16 ม.ม.) ที่เรียกว่าหลอดประหยัดไฟรุ่นใหม่ (จะมีความยาวที่ต่างไป)

7.2 คุณสมบัติของหลอดยูวีซี

7.2.1 ให้แสงสำหรับฆ่าเชื้อโรคแต่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

7.2.2 เป็นหลอดสำหรับงานจุลชีววิทยา อาทิ ห้องปลอดเชื้อ ตู้ Laminar Air Flow เป็นต้น

7.2.3 ความเข้มแสง UVC จะลดลง ตามระยะห่างจากแหล่งกำเนิด การลดลงไม่เป็น Linear แต่มีลักษณะความเข้มแสงที่ลดลงเป็นอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน

7.2.4 ให้แสง UVC ความยาวคลื่น 253.7 nm ซึ่งไม่สามารถทะลุผ่านกระจกและโพลีคาร์บอเนต

7.2.5 ให้แสง UVC ความยาวคลื่น 253.7 nm ซึ่งไม่สะท้อนกระจกเงา

7.2.6 ให้แสง UVC ความยาวคลื่น 253.7 nm ซึ่งสามารถทะลุผ่านถุงพลาสติกที่ใส่อาหาร (ถุงข้าวแกง, ถุงร้อน) ได้ แต่ความเข้มแสงจะลดลงตามความหนาของถุงพลาสติก

7.2.7 ส่วนแสงแดดช่วงกลางวัน (13.00 น.) ท้องฟ้าโปร่ง มีค่าความเข้มแสง UVC ประมาณ 12 μW/cm2

7.2.8 แสง UVC เป็นอันตรายต่อผิวหนัง การได้รับแสง UVC เข้มข้นนาน ๆ จะทำให้ผิวหนังไหม้ได้ ห้ามมองแสง UVC โดยตรง จะทำให้ดวงตาได้รับบาดเจ็บหรือตาบอดได้

7.2.9 การติดตั้ง ควรใช้ฐานหลอดไฟเฉพาะ ที่มีสัญลักษณ์แจ้งเตือนอันตราย เพื่อให้ผู้อื่นทราบ และเป็นจุดบ่งบอกให้ทราบว่าตำแหน่งนี้จะต้องติดตั้งหลอดไฟ UVC

7.3 ข้อแนะนำในการเลือกขนาดความยาวหลอด

7.3.1 ความโตของหลอด (D) สามารถใช้แทนกับหลอดไฟฟูออเรสเซนต์ หรือหลอด UV. เดิมได้ ถึงความโตจะแตกต่างกันเล็กน้อย

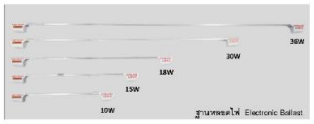
7.3.2 ความยาว ของหลอด ให้วัดความยาวที่หลอดเดิมเป็นหลัก หรือวัดที่ความกว้างของขาใส่หลอดไฟที่รางหลอดไฟ

7.3.3 Guide line การเปรียบเทียบ ความยาวหลอด UV กับความยาวหลอดไฟแสงสว่างที่ใช้ในบ้านเรือน

7.3.4 "หลอดสั้น" (ปกติที่ใช้ในบ้านคือ หลอดอ้วน 20 W หรือ หลอดผอม 18W) ความยาวปกติ 588-600 ม.ม. ใช้หลอด UV. Model G17W สามารถนำไปเปลี่ยนใช้กับฐานหลอดเดิมได้

7.3.4 "หลอดยาว" (ปกติ ที่ใช้ในบ้านคือ หลอดอ้วน 40W หรือ หลอดผอม 36W) ความยาวปกติ 1199 ม.ม. ใช้หลอด UV. Model G36W สามารถนำไปเปลี่ยนใช้กับฐานหลอดเดิมได้

7.3.5 "หลอดประหยัดไฟ รุ่นใหม่" ที่มีความโตของหลอด D=16 ม.ม. หลอด UV. ในตารางด้านบนไม่สามารถนำไปใช้กับฐานหลอดเดิมได้



NO	Cat.Not	Watt	L (mm)	D(mm)	ขั้วหลอด	UVC (W)	Life time (Hr)	ระยะฐาน(mm)
1.	TUV10WT8	9.0	332	28	G13	2.5	18,000	452
2.	TUV15WT8	15.9	438	28	G13	4.9	18,000	558
3.	TUV18WT8	16.7	590	28	G13	4.5	18,000	710
4.	TUV30WT8	30.0	895	28	G13	12.0	18,000	1015
5.	TUV36WT8	36.0	1199	28	G13	15.0	18,000	1319

ขั้วหลอด G13 เท่ากับหลอดไฟที่ใช้ปกติตามบ้าน
(หลอดสั้น – หลอดยาว , ไม่ใช่หลอด T5)
สามารถนำไปใช้กับฐานหลอดไฟแสงสว่างเดิมได้
หลอดยาว ใช้รุ่นTUV36WT8 , หลอดสั้น ใช้รุ่น
TUV18WT8

ภาพที่ 2-14 แสดงลักษณะและสมบัติของหลอดยูวีซี

8. ชนิดของหลอดยูวีซี

8.1 ชนิดกระบอก

หลอดยูวีซีชนิดกระบอกมีหลายขนาดเช่น ขนาด 9W เหมาะกับบ่อขนาด 1-5 ตัน ขนาด 36W เหมาะกับบ่ อ ขนาด 9-25 ตัน เป็นต้น โดยกระบอกอาจทำด้วยพลาสติก หรือ โลหะสแตนเลส

ภาพที่ 2-15 แสดงหลอดยูวีซีชนิดกระบอก

หลอดยูวีซีชนิดกระบอกใช้ได้กับ ตู้ปลา บ่อปลา และพื้นที่เลี้ยงปลาระบบหมุนเวียน สระว่ายน้ำ ช่วยฆ่าเชื้อโรค แบคทีเรีย ลดการเกิดสาหร่ายตะไคร่เขียว ช่วยทำให้น้ำใส น้ำไม่เขียว

วิธีใช้ คือ นำเครื่องสูบน้ำต่อเข้ากระบอก UV และต่อท่อหรือสายยางออกจากกระบอก UV ไปพื้นที่ที่ต้องการ

อัตราการคำนวณ UV เลือกใช้หลอด UV จากการคำนวณปริมาตรน้ำ เช่น 1 วัตต์ ต่อน้ำ 1 ตัน (1,000 ลิตร) ในกรณีปลาในบ่อน้อย หรือโดนแสงแดดน้อย และ 4 วัตต์ ต่อน้ำ 1 ตัน (1,000 ลิตร) ในกรณีปลาเยอะ หรือ โดนแสงแดดมากเป็นเวลานานต่อ 1 วัน

8.2 ชนิดจุ่มน้ำได้ (Submersible UV Lamp)

ภาพที่ 2-16 แสดงหลอดยูวีซีชนิดจุ่มน้ำได้

หลอดยูวีซีชนิดจุ่มน้ำได้มีลักษณะเป็นชนิดหลอดแก้ว สำหรับฆ่าเชื้อโรค และตะไคร่น้ำเขียว ในบ่อหรือตู้ปลา หลอดแก้วสามารถจุ่มลงในน้ำใช้งานโดยแช่ไว้ในบริเวณที่มีน้ำไหลผ่านของเชื้อโรค หรือตะไคร่น้ำเขียว

โดยมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

-Input : AC 220V 50Hz

-กำลังไฟ 11 วัตต์

-ช่วยกระจายแสง UV ลงไปในน้ำ พร้อมกับน้ำเข้า ช่วยให้ประหยัดพื้นที่

-ติดตั้งง่าย ใช้งานง่าย

-ช่วยลด ปัญหาตะไคร่ หรือปัญหาน้ำเขียว ในตู้ปลาได้

-จุ๊บสุญญากาศ : 2 ชิ้น

-ใช้ได้ทั้งน้ำจืดและน้ำทะเล

วิธีใช้งาน

-ใช้ได้กับ ตู้ปลา บ่อปลา

-สามารถจุ่มลงในน้ำใช้งานโดยแช่ไว้ในบริเวณที่มีน้ำไหลผ่านเหมาะสำหรับตู้ปลา

-เสียบปลั๊กพร้อมใช้งานได้ทันที

-1 วัตต์ ต่อน้ำ 1 ตัน (1,000ลิตร)

-ในกรณีปลาในบ่อน้อย หรือโดนแสงแดดน้อย 4 วัตต์ ต่อน้ำ 1 ตัน (1,000ลิตร)

*ข้อควรระวัง

-จุ่มหลอดให้อยู่ในน้ำตลอด เมื่อใช้งาน

-ควรไม่ให้แสงถูกสัตว์น้ำ หรือคน หากต้องการใช้ในตู้ปลาควรครอบ หรือหาวัสดุทึบแสงมาบังแสงไว้เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากแสง UV

-แสงของ UV เป็น อันตราย ต่อดวงตา ไม่ควรมองเป็นเวลานาน

-ควรหลีกเลี่ยงไม่ให้ อะแดปเตอร์ โดนน้ำ

-ห้ามสัมผัสไส้หลอด ด้วยมือเปล่า ควรมีอุปกรณ์ป้องกันเช่นผ้าหรือถุงมือ (*อาจจะทำให้หลอดแตกได้ในเวลาร้อนจัด)

8.3 ชนิดจุ่มน้ำไม่ได้ (UV Sterilizer Lamp)

ขนาดหลอด 11 Watt T5 (5 หุน) 4/1 (4 ขั้ว 1 ด้าน) ยาว≈28.6 ซม. มี 4 ขั้ว สำหรับเสียบจุ๊บหลอด อยู่ด้านเดียวกัน ทำหน้าที่ผลิตแสง Ultra Violet ในย่าน UV-C ช่วงความยาว

คลื่น 100 - 280 nm อายุการใช้งาน 8,000 ชั่วโมง (ถ้าเปิดทั้งวันก็ประมาณ 365 - 500 วันหรือประมาณ 1 ปี) สามารถฆ่าเชื้อโรค, แบคทีเรีย, สิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ รวมทั้งตะไคร่น้ำ เป็นรังสีที่มีอันตรายต่อร่างกายได้อย่างรุนแรง เช่น ผิวแดงไหม้เกรียม (Erythema) หรือ เยื่อบุตาอักเสบ (Conjunctivitis)

ข้อมูลเฉพาะของ หลอดยูวี หลอดUVC หลอดฆ่าเชื้อ 11W 4 ขั้ว 1 ด้าน รุ่น 09-UVL-11W1 WAVE LENGTH 254NM (UV GERMICIDAL LAMP 11W 4

ภาพที่ 2-17 แสดงหลอดยูวีซีชนิดจุ่มน้ำไม่ได้

ในงานวิจัยเรื่อง เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ในครั้งนี้จึงใช้หลอดยูวีซีชนิดกระบอกแบบพลาสติกเพื่อให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากก๊าซโอโซนให้ไหลผ่านหลอดยูวีซี

5. เครื่องกรอง 5 ระดับ

บริษัท ฟิลเตอร์ ซัพพลาย จำกัด (2022) ได้กล่าวว่า เครื่องกรองน้ำ 5 ขั้นตอน เป็นเครื่องกรองน้ำที่สามารถกรองน้ำได้สะอาดด้วยไส้กรอง 5 ชนิด ที่จะช่วยให้ได้ดื่มน้ำที่มีคุณภาพดี ไม่มีกลิ่น และสีในราคาที่ไม่สูงเกินไป เหมาะสำหรับบ้านพัก ที่อยู่อาศัย สำนักงาน ที่ต้องการเครื่องกรองน้ำในการกรองน้ำไว้ดื่มกิน ไส้กรองผลิตจากวัสดุอย่างดีที่ได้มาตราฐาน ได้มีการปรับปรุงกระบอกให้เป็นรูปแบบใหม่ สามารถรับแรงดันน้ำได้มากกว่า 15 บาร์ เครื่องกรองรุ่นนี้จึงสามารถใช้ได้ทุกที่ที่ต้องการแม้ในที่ที่มีแรงดันน้ำสูง

ภาพที่ 2.18 ลักษณะของเครื่องกรอง 5 ระดับ

5.1 คุณสมบัติและอายุการใช้งานไส้กรองน้ำ

เครื่องกรองน้ำ 5 ขั้นตอน ประกอบด้วยการกรอง 5 ขั้นตอน ได้แก่

5.1.1 ขั้นตอนที่ 1 ไส้กรองหยาบ (PP Colandas (Sediment) 5 Micron) ทำหน้าที่ ในการกรองสิ่งสกปรกขนาดใหญ่ เช่น ตะกอน สนิม กรวด ทราย โคลน ตะไคร่น้ำ และสารแขวนลอยต่างที่ที่มีขนาดมากกว่า 5 micron อายุการใช้งาน 3-6 เดือน

5.1.2 ขั้นตอนที่ 2 ไส้กรองเกล็ดคาร์บอน (GAC : Granular Activated Carbon) ทำหน้าที่ ดูดซับกลิ่นสีสารเคมี คลอรีน ด้วยขนาดเกล็ดที่มีขนาดเล็กทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำได้มาก ส่งผลให้ดูดซับกลิ่นสีสารเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ อายุการใช้งาน 6-12 เดือน

5.1.3 ขั้นตอนที่ 3 ไส้กรองคาร์บอน (Carbon Block Colandas) ขนาด 10 นิ้ว ทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรกพร้อมดูดซับกลิ่นสี สารเคมี สิ่งสกปรกต่าง ๆ ด้วยคุณสมบัติของกรองใยสังเคราะห์ทำให้สามารถสกัดสิ่งสกปรกต่างๆที่มากับน้ำได้ดีเยี่ยม อายุการใช้งาน 6-12 เดือน

5.1.4 ขั้นตอนที่ 4 ไส้กรองโพสคาร์บอนใหญ่ (Post Carbon-Big) ขนาด 12 นิ้ว ในกระบอกแคปซูล ทำหน้าที่ปรับกลิ่นและรสชาดของน้ำ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำอีกด้วย อายุการใช้งาน 6-12 เดือน

5.1.5 ขั้นตอนที่ 5 ไส้กรองโพสคาร์บอนเล็ก (Post Carbon-Small) ขนาด 10 นิ้ว ในกระบอกแคปซูล ทำหน้าที่ปรับรสชาติ กลิ่นและเพิ่มความเป็นด่างให้กับน้ำ เพื่อให้น้ำที่ได้จากการกรองมีกลิ่นและรสชาดที่ดี อายุการใช้งาน 6-12 เดือน

หมายเหตุ : อายุการใช้งานข้างต้น วิเคราะห์จากคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว เช่น น้ำประปา เป็นต้น

5.2 การดูแลรักษาเครื่องกรองน้ำดื่ม

5.2.1 ไม่ควรติดตั้งไว้ในที่สกปรก อับชื้น

5.2.2 ควรเปิดน้ำทิ้งทุก 3-5 วันหากไม่ได้ใช้งานเพื่อป้องการการสะสมของเชื้อแบคทีเรีย

5.2.3 ควรทำความสะอาดเครื่องกรองน้ำดื่ม สายยาง ก๊อกน้ำ อย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง

5.2.4 ควรเปลี่ยนไส้กรองน้ำดื่ม ตามระยะเวลาที่กำหนด

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรากรณ พูลจันทร และ กรองกาญจน มหาชนะวงศ. (2563). ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียดวยวิธีถังกรองไรอากาศ โดยงานวิจัยเชิงทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงคเพื่อศึกษาและทดลองหาระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียดวยวิธีถังกรองไรอากาศทำการทดลองโดยการสรางถังบำบัดน้ำเสียซึ่งคำนวณจาก BOD loading ของตัวกลางกรองและใชน้ำเสียจากบอหมักไขมันของโรงประกอบอาหารโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชที่มีคา BOD 400–500 มิลลิกรัมตอลิตรกำหนดอัตราการไหลอยูที่ 150 ลิตรตอวันใชตัวกลางกรองรูปทรงถังเบียรขนาดพื้นที่ผิว 170 ตารางเมตรตอลูกบาศกเมตรมีคาอัตราการกำจัด BOD = 0.63 kg-BOD/m2/d ทดลองที่ระยะเวลาเก็บกัก 29, 30, 31 และ 32 ชั่วโมงตามลำดับผลการทดลองพบวาระยะเวลาการเก็บกัก 29 ชั่วโมงคา BOD-removal = 63%, ระยะเวลาการเก็บกัก 30 ชั่วโมงคา BOD-removal = 66%, ระยะเวลาการเก็บกัก 31 ชั่วโมงคา BOD-removal = 70% และระยะเวลา

การเก็บกัก 32 ชั่วโมงคา BOD-removal = 72% โดยระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีถังกรองไร้อากาศคือระยะเวลาการเก็บกักที่ 31 ชั่วโมงเนื่องจากได้คา BOD-removal = 70% และคา pH = 7.17 ถึงแม้จะเพิ่มระยะเวลาการเก็บกักเป็น 32 ชั่วโมงแต่คาเปอร์เซ็นต์ของ BOD-removal เพิ่มขึ้นเพียง 2% ซึ่งไม่คุ้มคากับงบประมาณและระยะเวลากักเก็บที่เพิ่มขึ้นโดยผลการวิจัยในครั้งนี้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบขนาดที่เหมาะสมของถังบำบัดแบบกรองไร้อากาศซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียลดลง

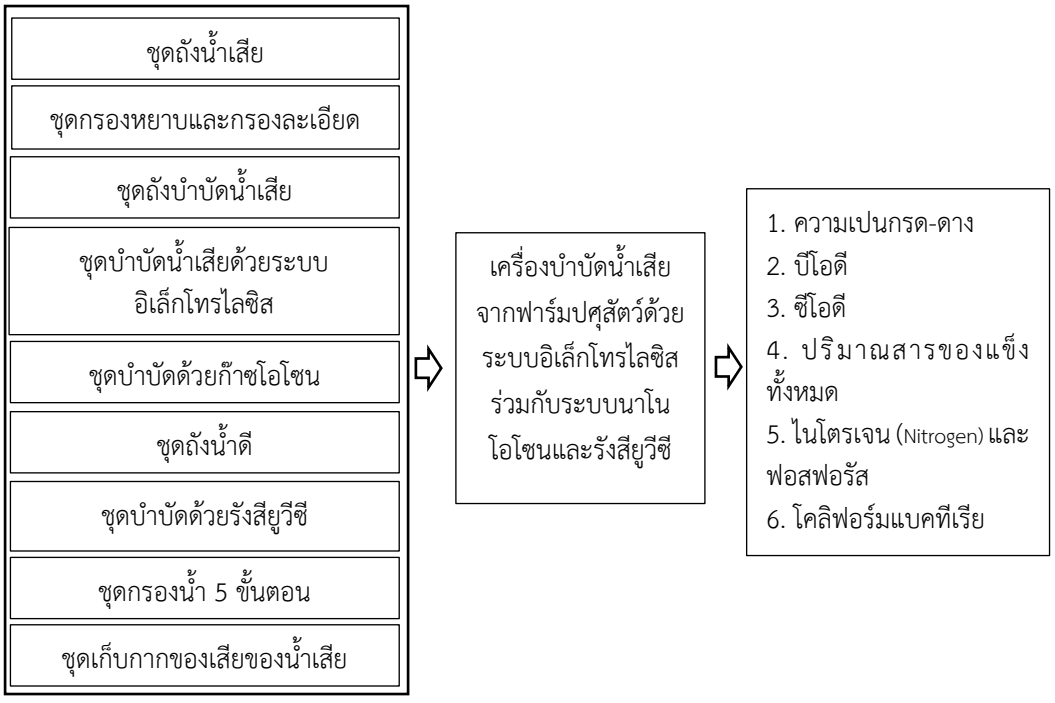
มงคล พัชรวงศ์สิริ (2021) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงแรมและรีสอร์ทโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม ระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ ที่ทำการวิจัยนี้เพื่อแก้ไขปัญหาการปล่อยน้ำเสียของโรงแรมและรีสอร์ท ที่มีลักษณะของน้ำเสียจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นสำคัญ จากการประกอบอาหาร เศษอาหาร เครื่องปรุง และคราบน้ำมัน จากการทำความสะอาดชำระล้าง ผงซักฟอกและน้ำยาล้างห้องน้ำ เป็นหลัก ดังนั้นการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมทดลอง สลับใช้พืช 4 ชนิด ผักกูด บัวอเมซอล เตยหอม และบัวบก เพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงแรมและรีสอร์ทของพืชแต่ละชนิด การทดลองพบว่า น้ำเสียที่ไหลผ่านระบบบำบัดพื้นที่ชุมน้ำประดิษฐ์ผสม โดยพื้นที่ชุมน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านผิวดิน 1 ถัง ที่อัตราการไหล 0.1221 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านตัวกลาง 2 ถัง ที่อัตราการไหล 0.1361 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระยะเวลาผ่านระบบ 9 วัน การทดลองพบว่าพืชที่มีผลบำบัดดีที่สุด คือ ผักกูด โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด ค่าบีโอดี ร้อยละ 94.27, ค่าซีโอดี ร้อยละ 96.67, ค่าของแข็งละลายน้ำ ร้อยละ 25.72, ค่าสารแขวนลอย ร้อยละ 95.62, ค่าน้ำมันและไขมัน ร้อยละ 99.60 ค่าทีเคเอ็น ร้อยละ 92.67, และค่าความเป็นกรดและด่าง อยู่ที่ 6.70 และมีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

จิรัฏฐ์ เหมือนวิหาร (2020; 38) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง ศึกษาสภาพการจัดการบำบัดน้ำเสียของเทศบาลเมืองและเทศบาลตำบลในอำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพการจัดการบำบัดน้ำเสียของเทศบาลเมืองและเทศบาล ตำบลในอำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี และเสนอแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการบำบัดน้ำเสียของเทศบาล เมืองและเทศบาลตำบลในอำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยแบบผสานวิธีในการวิจัย เชิงปริมาณ กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ประชาชนในเขตเทศบาลเมืองและเทศบาลตำบลในอำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานีจำนวน 425 คน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นแบบสอบถาม และสถิติที่ใช้ในการ วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ วิเคราะห์เฉลี่ย และสวนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way-ANOVA) โดยวิธีการของเชฟเฟ g (Scheffe’s) และการทดสอบวิเคราะห์ที(t-test) ในการทดสอบสมมติฐาน และการทดสอบสมมติฐานการถดถอยพหุคุณแบบขั้นตอน ส<วนการวิจัยเชิงคุณภาพ ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล จากการสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้างจากผู้บริหาร เจ้าหน้าที่ของเทศบาลเมืองอำเภอลำลูกกา และผู้นำชุมชน ประชาชนในพื้นที่ รวมทั้งสิ้นจำนวน 55 คน โดยการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัย พบว่า 1) การจัดการบำบัดน้ำเสียของเทศบาลเมืองและเทศบาลตำบลในอำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี ทุกด้านอยู่ในระดับปานกลาง โดยด้านการพัฒนาประสิทธิผลการจัดการบำบัดน้ำเสียมีวิเคราะห์สูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ ปัจจัยการจัดการบำบัดน้ำเสียและนโยบายการจัดการบำบัดน้ำเสีย ตามลำดับ 2) เพศ การศึกษา อายุที่แตกต่างกัน มีความ

คิดเห็นต่อการจัดการบำบัดน้ำเสียของเทศบาลเมืองและ เทศบาลตำบลในอำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 3) นโยบายการจัดการน้ำเสียและปัจจัยการจัดการบำบัดน้ำเสีย สามารถร่วมกันอธิบายความผันแปร ของการพัฒนาประสิทธิผลการจัดการการบำบัดน้ำเสียของการพัฒนาประสิทธิผลการจัดการการบำบัดน้ำเสีย ของเทศบาลเมืองและเทศบาลตำบลในอำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานีโดยรวม ได้ร้อยละเท่ากับ 63.80 4) แนวทางที่เหมาะสมในการจัดการบำบัดน้ำเสียควรมีการสนับสนุนให้มีระบบบำบัดน้ำเสียของ เทศบาลเมืองและเทศบาลตำบลในอำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานีทุกแห่ง และมีการจัดการบำบัดน้ำเสีย ตั้งแต่ครัวเรือนก่อนปล่อยน้ำเสียลงแม่น้ำลำคลองสาธารณะ รวมทั้งการสร้างความเข้าใจในการจัดการการบำบัดน้ำเสียของเทศบาลเมืองและเทศบาลตำบลในอำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานีอย่างต่อเนื่อง

7. กรอบแนวคิดการวิจัย

เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี มีกรอบแนวคิดในการวิจัย ที่ประกอบด้วย ชุดถังน้ำเสีย ชุดกรองหยาบและกรองละเอียด ชุดถังบำบัดน้ำเสีย ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยอิเล็กโทรไลซิส ประกอบด้วย 1) ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 2) ชุดขั้วแคโถดและอาโนด ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซน ชุดถังน้ำดี ชุดบำบัดด้วยรังสียูวีซี และชุดกรองน้ำ 5 ขั้นตอน นำมาสร้างเป็นตัวแปรต้น คือ เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี แล้วนำไปทำการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ ได้แก่ 1) ความเปนกรด-ดาง 2) บีโอดี 3) ซีโอดี 4) ปริมาณสารของแข็งทั้งหมด 5) ไนโตรเจน (Nitrogen) และฟอสฟอรัส 6) โคลิฟอร์มแบคทีเรีย ดังแสดงในภาพที่ ภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์

2. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

3.1 ตัวแปรต้น คือ เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี

3.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ (1) ความเปนกรด-ดาง (2) บีโอดี (3) ซีโอดี (4) ปริมาณสารของแข็งทั้งหมด (5) ไนโตรเจน (Nitrogen) และฟอสฟอรัส และ (6) โคลิฟอรมแบคทีเรีย

3. เครื่องมือในการวิจัยและการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ผู้วิจัยดำเนินการสร้างดังนี้

1) การกำหนดปัญหา สาเหตุของปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหาการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ที่แปลกใหม่ แตกต่างจากการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์แบบเดิม

2) การประเมินความพร้อมที่จะสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี โดยการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับสิทธิบัตร สิ่งประดิษฐ์ เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ออกแบบและร่างแบบ สอบถามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิพร้อมทำการปรับปรุงแก้ไขตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ทำการประมาณการ และทำการประเมินความพร้อมที่จะสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ด้วยหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ได้แก่ พอประมาณ มีเหตุผล และมีภูมิคุ้มกัน ร่วมกับทฤษฎี 4 M 1V 1O ได้แก่ (1) คน (Man) หมายถึง จำนวนคน ความรู้ทักษะและประสบการณ์ของคณะผู้จัดทำเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี (2) งบประมาณ (Money) หมายถึง งบประมาณที่ใช้ในการสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี (3) วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องจักร (Material) หมายถึง วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องจักรที่ใช้ในการสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี (4) วิธีดำเนินการ (Method) หมายถึง วิธีดำเนินการสร้างและทดสอบเครื่องบำบัดน้ำเสียจาก

ฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี (5) คุณค่า (Value) หมายถึง ประโยชน์ของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ที่จะสร้าง (6) อื่น ๆ (Other) หมายถึง สิ่งอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ได้แก่ เวลาและสถานที่ ที่ใช้ในการสร้าง

3) การสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี โดยการเขียนเค้าโครงโครงการสิ่งประดิษฐ์เพื่อทำการวางแผนการดำเนินโครงการ ทำการสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี สอบถามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิพร้อมปรับปรุงแก้ไขตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ โดยกำหนดคุณลักษณะของโครงสร้างและการทำงาน ดังนี้

3.1) ระบบโครงสร้าง ประกอบด้วย

3.1.1) ชุดถังน้ำเสีย

3.1.2) ชุดกรองหยาบและกรองละเอียด

3.1.3) ชุดถังบำบัดน้ำเสีย

3.1.4) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส ควบคุมด้วยสวิตช์ S1 ประกอบด้วย

(1) ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

(2) ชุดขั้วแคโถดและอาโนด

3.1.5) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซน ควบคุมด้วยสวิตช์ S2

3.1.6) ชุดถังน้ำดี

3.1.7) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยรังสียูวีซี ควบคุมด้วยสวิตช์ S3

3.1.8) ชุดกรองน้ำ 5 ขั้นตอน

3.1.9 ชุดเก็บกากของเสียของน้ำเสีย

3.2) ระบบการทำงานของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี มีดังนี้

3.2.1) ปั๊มน้ำดูดนำน้ำเสียมาบรรจุในชุดถังน้ำเสีย

3.2.2) ปั๊มน้ำดูดน้ำเสียจากชุดถังน้ำเสียเข้าสู่ชุดถังบำบัดน้ำเสียผ่านชุดกรองหยาบประมาณ 30 ลิตร

3.2.3) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยอิเล็กโทรไลซิส ซึ่งประกอบด้วย ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายไฟฟ้า จะจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 22 V 50.7 A ให้กับ ชุดขั้วแคโถดและอาโนดซึ่งติดตั้งอยู่ในชุดถังบำบัดน้ำเสีย ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส จะทำการแยกสารละลายในน้ำเสียออกจากน้ำเสีย โดยสารละลายที่เบาจะลอยขึ้นบนผิวน้ำ ส่วนสารละลายที่หนักจะตกลงข้างล่างถังบำบัดน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียมีลักษณะใสขึ้น

3.2.4) ทำการเปิดวาล์วจากชุดถังบำบัดน้ำเสียผ่านชุดกรองหยาบและกรองละเอียดเข้าสู่ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซน เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคและสลายสารพิษ

3.2.5) เปิดวาล์วจากชุดบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซนเข้าสู่ชุดถังน้ำดี ซึ่งน้ำจากถังน้ำดีนี้กำหนดให้เป็นน้ำดี 1 สามารถนำไปใช้ในการอุปโภค เช่น รดน้ำต้นไม้ ล้างพื้นที่ต่าง ๆ เป็นต้น

3.2.6) ทำการเปิดวาล์วสามทางอันที่ 1 ของชุดถังน้ำดี จะทำให้ปั๊มน้ำปั๊มน้ำให้ไหลเวียนเข้าสู่ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยรังสียูวีซีเพื่อฆ่าเชื้อโรคซ้ำอีกครั้งหนึ่ง แล้วปล่อยลงสู่ชุดถังน้ำดีวนเวียนไปเช่นนี้จนกว่าจะฆ่าเชื้อโรคให้หมดไป

3.2.7 เมื่อทำการปิดวาล์วสามทางอันที่ 1 เปิดวาล์วสามทางอันที่ 2 ปั๊มน้ำจะทำการปั๊มน้ำในชุดถังน้ำดีให้ไหลผ่านชุดกรองน้ำ 5 ขั้นตอน เพื่อทำการกรองน้ำให้กลายเป็นน้ำสะอาดที่สามารถบริโภคหรือใช้ดื่มได้ กำหนดให้เป็นน้ำดี 2

3.1.2 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายการวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ที่	รายการ	จำนวน
1	น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์	200 ลิตร
2	เครื่องวัด TDS และ EEC	1 เครื่อง
3	เครื่องวัดอุณหภูมิ	1 เครื่อง
4	นาฬิกาจับเวลา	1 เครื่อง

2. เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลและการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล คือ แบบบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ซึ่งวิธีการสร้างและการหาคุณภาพของแบบบันทึกผลการทดสอบ ผู้วิจัยได้ดำเนินการดังนี้

2.1 ศึกษาเอกสาร ตำรา เกี่ยวกับวิธีการสร้างแบบบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพ

2.2 ศึกษาโครงสร้างส่วนประกอบ คุณสมบัติ คุณลักษณะ การทำงานของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี วัตถุประสงค์การวิจัย และสมมติฐานการวิจัย เพื่อกำหนดรายการที่ทำการทดสอบ

2.3 นำแบบบันทึกผลการทดสอบและแบบสอบถามความสอดคล้องของแบบบันทึกผลการทดสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน (ดังรายชื่อในภาคผนวก 38 ก) ทำการประเมินความสอดคล้องของแบบบันทึกผลการทดสอบ โดยแบบประเมินความสอดคล้องเชิงเนื้อหาของแบบบันทึกผลการทดสอบ เป็นแบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับ ได้แก่ สอดคล้อง ไม่แน่ใจและไม่สอดคล้อง รวมทั้งตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาภาษาที่ใช้แล้วนำมาปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องของข้อคำถามของแบบสอบถามความพึงพอใจตามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญโดยใช้ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item Objective Congruence: IOC) เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2543: 124)

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ IOC หมายถึง ดัชนีความสอดคล้อง

$\sum R$ หมายถึง ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

N หมายถึง จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนจะนำมาแปลงเป็นคะแนนดังนี้

มีความเห็นว่าสอดคล้องกำหนดคะแนนเป็น +1

มีความเห็นว่าไม่แน่ใจกำหนดคะแนนเป็น 0

มีความเห็นว่าไม่สอดคล้องกำหนดคะแนนเป็น -1

จากนั้นนำคะแนนการประเมินผลของผู้เชี่ยวชาญมาแทนค่าในสูตรดัชนีความสอดคล้อง ถ้าค่าดัชนีความสอดคล้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.50 ขึ้นไปถือว่าเกณฑ์การให้คะแนนดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ไม่ต้องทำการปรับปรุง ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องได้ค่าคะแนนความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 ถึง 1.00 จึงถือว่าแบบบันทึกผลการทดสอบ มีความสอดคล้องกับประเด็นที่ศึกษา (เครื่องมืออยู่ในภาคผนวก ข)

2.4 จัดพิมพ์แบบบันทึกผลการทดสอบเป็นฉบับสมบูรณ์เพื่อนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลต่อไป

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยทำการรวบรวมข้อมูลการทดสอบดังนี้

3.1 เมื่อเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี เริ่มทำงาน ระบบจะทำการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบต่าง ๆ จนได้น้ำดี ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ น้ำดี 1 ที่ได้จากชุดถังน้ำดี และน้ำดี 2 ที่ได้จากชุดกรองน้ำ 5 ขั้นตอน

3.2 นำน้ำดี 1 และน้ำดี 2 มาทำการวัดค่า 1) ความเปนกรด-ดาง (pH) 2) บีโอดี (BOD) 3) ซีโอดี (COD) 4) ปริมาณสารของแข็งทั้งหมด (TDS) 5) ไนโตรเจน (Nitrogen) และฟอสฟอรัส 6) โคลิฟอรมแบคทีเรีย และ 7) วัดอุณหภูมิ

3.3 ทำการวัดและบันทึกค่า ระยะเวลา แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้า

3.4 ทำการทดลองวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำที่ได้จากการบำบัดน้ำเสีย จำนวน 3 ครั้ง (ทำการทดลองการบำบัดน้ำเสีย 1 ครั้ง) และทำการบันทึกผลการทดลองลงในแบบบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ด้วย ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี และ 2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี โดยผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ตอนตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้

1. ผลการออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี

1. ผลการออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี

ผลการออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ในครั้งนี้ ออกแบบและสร้างขึ้นจากกรอบแนวคิดที่มี ระบบโครงสร้าง ประกอบด้วย ชุดถังน้ำเสีย ชุดกรองหยาบและกรองละเอียด ชุดถังบำบัดน้ำเสีย ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยอิเล็กโทรไลซิส ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซน ชุดถังน้ำดี ชุดบำบัดด้วยรังสียูวีซี และชุดกรองน้ำ 5 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 4-1

ภาพที่ 4-1 แสดงโครงสร้างของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี

จากภาพที่ 4-1 เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี โดยมีโครงสร้างประกอบด้วย

1. ระบบโครงสร้าง ประกอบด้วย
    1.1 ชุดถังน้ำเสีย
    1.2 ชุดกรองหยาบและกรองละเอียด
    1.3 ชุดถังบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส
    1.4 ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส ควบคุมด้วยสวิตช์ S1 ประกอบด้วย
        1.4.1 ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
        1.4.2 ชุดขั้วแคโถดและอาโนด
    1.5 ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซน ควบคุมด้วยสวิตช์ S2
    1.6 ชุดถังน้ำดี
    1.7 ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยรังสียูวีซี ควบคุมด้วยสวิตช์ S3
    1.8 ชุดกรองน้ำ 5 ขั้นตอน
    1.9 ชุดเก็บกากของเสียของน้ำเสีย

2. ระบบการทำงานของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี มีดังนี้

2.1 ปั๊มน้ำดูดนำน้ำเสียมาบรรจุในชุดถังน้ำเสีย

2.2 ปั๊มน้ำดูดน้ำเสียจากชุดถังน้ำเสียเข้าสู่ชุดถังบำบัดน้ำเสียผ่านชุดกรองหยาบประมาณ 30 ลิตร

2.3 ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยอิเล็กโทรไลซิส จะทำการแยกสารละลายในน้ำเสียออกจากน้ำเสีย โดยสารละลายที่เบาจะลอยขึ้นบนผิวน้ำ ส่วนสารละลายที่หนักจะตกลงข้างล่างถังบำบัดน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียมีลักษณะใสขึ้น

2.4 น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสจะไหลเข้าสู่ชุดถังบำบัดด้วยก๊าซโอโซนผ่านชุดกรองหยาบและกรองละเอียดเพื่อฆ่าเชื้อโรคและสลายสารพิษด้วยชุดบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซน กลายเป็นน้ำที่สะอาดปราศจากเชื้อโรคและสารพิษ

2.5 เปิดวาล์วจากชุดถังบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซนน้ำที่สะอาดปราศจากเชื้อโรคและสารพิษ จะไหลเข้าสู่ชุดถังน้ำดี เมื่อทำการเปิดวาล์วสามทางอันที่ 1 ของชุดถังน้ำดี ปั๊มน้ำจะดูดน้ำในถังน้ำดีให้ไหลเวียนเข้าสู่ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยรังสียูวีซีเพื่อฆ่าเชื้อโรคซ้ำอีกครั้งหนึ่ง แล้วปล่อยลงสู่ชุดถังน้ำดีวนเวียนไปเช่นนี้จนกว่าจะฆ่าเชื้อโรคให้หมดไป น้ำดีที่ได้จะสะอาดสามารถนำไปใช้เพื่อการอุปโภคได้

2.6 เมื่อทำการปิดวาล์วสามทางอันที่ 1 เปิดวาล์วสามทางอันที่ 2 ปั๊มน้ำจะดูดน้ำในชุดถังน้ำดีให้ไหลผ่านชุดกรองน้ำ 5 ขั้นตอน เพื่อทำการกรองน้ำให้กลายเป็นน้ำสะอาดที่สามารถบริโภคหรือใช้ดื่มได้

2.7 เมื่อเปิดวาล์วของชุดถังบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส กากของเสียเหลืออยู่ในจะไหลลงสู่ชุดเก็บกากของเสียของน้ำเสียเพื่อนำไปทำปุ๋ยต่อไป

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการน้ำเสียของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี

ครั้งที่	ชนิดของน้ำทดสอบ	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	BOD (ppm)	COD (ppm)	TDS (ppm)	EEC (µS/cm)	โคลิฟอรมแบคทีเรีย	อุณหภูมิ (°C)
1	น้ำเสีย (Before)	4.5	ไม่มีเครื่องมือวัด	ไม่มีเครื่องมือวัด	467	934	มีเชื้อโรค	29.80
		3.5			470	940	มีเชื้อโรค	29.00
		4.0			475	930	มีเชื้อโรค	29.50
	$\bar{X}$ (SD)	4.00 (0.50)	-	-	470.67 (4.04)	934.67 (5.03)	มีเชื้อโรค	29.43 (0.40)
2	น้ำดี 1 (After 1)	7.6	ไม่มีเครื่องมือวัด	ไม่มีเครื่องมือวัด	317	664	ไม่มีเชื้อโรค	29.00
		7.5			310	670	ไม่มีเชื้อโรค	29.50
		7.5			319	680	ไม่มีเชื้อโรค	29.70
	$\bar{X}$ (SD)	7.53 (0.06)	-	-	315.33 (4.73)	671.33 (8.08)	ไม่มีเชื้อโรค	29.40 (0.36)
3	น้ำดี (After 2)	7.8	ไม่มีเครื่องมือวัด	ไม่มีเครื่องมือวัด	352	678	ไม่มีเชื้อโรค	28.00
		8.0			355	675	ไม่มีเชื้อโรค	29.00
		7.8			350	670	ไม่มีเชื้อโรค	28.70
	$\bar{X}$ (SD)	7.87 (0.12)	-	-	352.33 (2.52)	674.33 (4.04)	ไม่มีเชื้อโรค	28.57 (0.51)
4	น้ำดื่มปกติ	7.0	ไม่มีเครื่องมือวัด	ไม่มีเครื่องมือวัด	27	54	ไม่มีเชื้อโรค	27
		7.0			28	55	ไม่มีเชื้อโรค	27
		7.0			27	53	ไม่มีเชื้อโรค	27
	$\bar{X}$ (SD)	**7.00 (0.00)**	-	-	**27.33 (0.58)**	**54.00 (1.00)**	ไม่มีเชื้อโรค	**27 (0.00)**

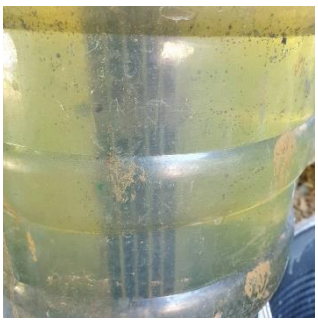
หมายเหตุ: เริ่มทดลอง 11:30 นาฬิกา เสร็จสิ้นเวลา 13:15 นาฬิกา รวมเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที ใช้แรงดันไฟฟ้า 21.9 V 50.7 A คิดเป็นกำลังไฟฟ้า 1,110.33 Watt คิดเป็นพลังงานไฟฟ้า 1.94308 kW-h

จากตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี พบว่า สามารถบำบัดน้ำเสีย (Before) ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยเท่ากับ 4.00 ($\bar{X}$=4.00; SD=0.5) ให้เป็นน้ำดี 1 (After 1) ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยเท่ากับ 7.53 ($\bar{X}$=7.53; SD=0.06) และให้เป็นน้ำดี 2 (After 2) ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยเท่ากับ 7.87 ($\bar{X}$=7.87; SD=0.12) ขณะที่น้ำดื่มปกติมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยเท่ากับ 7.00 ($\bar{X}$=7.00; SD=0.00) สามารถบำบัดน้ำเสีย (Before)

ที่มีค่า TDS เฉลี่ยเท่ากับ 470.67 ppm ($\bar{X}$=470.67 ppm; SD=4.04 ppm) ให้เป็นน้ำดี 1 (After 1) ที่มีค่า TDS เฉลี่ยเท่ากับ 315.33 ppm ($\bar{X}$=315.33 ppm; SD=4.73 ppm) และให้เป็นน้ำดี 2 (After 2) ที่มีค่า TDS เฉลี่ยเท่ากับ 352.33 ppm ($\bar{X}$=352.33 ppm; SD=2.52 ppm) ขณะที่น้ำดื่มปกติมีค่า TDS เฉลี่ยเท่ากับ 27.33 ppm ($\bar{X}$=27.33 ppm; SD=0.58 ppm) สามารถบำบัดน้ำเสีย (Before) ที่มีค่า EEC เฉลี่ยเท่ากับ 934.67 µS/cm ($\bar{X}$=934.67 µS/cm; SD=5.03 µS/cm) ให้เป็นน้ำดี 1 (After 1) ที่มีค่า EEC เฉลี่ยเท่ากับ 671.33 µS/cm ($\bar{X}$=671.33 µS/cm; SD=8.08 µS/cm) และให้เป็นน้ำดี 2 (After 2) ที่มีค่า EEC เฉลี่ยเท่ากับ 674.33 µS/cm ($\bar{X}$=674.33 µS/cm; SD=4.04 µS/cm) ขณะที่น้ำดื่มปกติมีค่า EEC เฉลี่ยเท่ากับ 54.00 µS/cm ($\bar{X}$=54.00 µS/cm; SD=1.00 µS/cm) ที่อุณหภูมิน้ำเสีย (Before) เฉลี่ยเท่ากับ 29.43 °C ($\bar{X}$=29.43 °C ; SD=4.04 °C) ที่อุณหภูมิน้ำดี 1 (After 1) เฉลี่ยเท่ากับ 29.40 °C ($\bar{X}$=29.43 °C ; SD=0.36 °C) ที่อุณหภูมิน้ำดี 2 (After 2) เฉลี่ยเท่ากับ 28.57 °C ($\bar{X}$=28.57 °C ; SD=0.51 °C) ขณะที่น้ำดื่มปกติมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 27 °C ($\bar{X}$=27.00 °C; SD=0.00 °C) ดังแสดงในภาพ 4.2

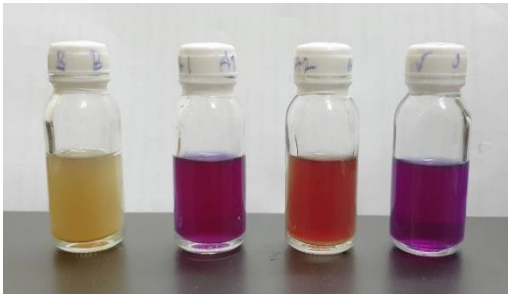
(ก) น้ำเสียก่อนการบำบัด

(ข) น้ำเสียก่อนการบำบัด



(ค) น้ำเสียระหว่างการบำบัด

(ง) น้ำเสียก่อนการบำบัด (จ) น้ำดี 1 (ฉ) น้ำดี 2 (ช) น้ำดื่มปกติ



(ซ) น้ำเสียก่อนการบำบัด-มีเชื้อโรค (ฌ) น้ำดี 1-ไม่มีเชื้อโรค (ญ) น้ำดี 2-ไม่มี (ฎ) น้ำดื่มปกติ-ไม่มี

ภาพที่ 4.2 ผลการทดสอบการบำบัดน้ำเสีย

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี และ 2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี โดยผู้วิจัยได้สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. สรุปผล

ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี

ผลการออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซีประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

1.1.1 ระบบโครงสร้าง ประกอบด้วย

1) ชุดถังน้ำเสีย

2) ชุดกรองหยาบและกรองละเอียด

3) ชุดถังบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส

4) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส ควบคุมด้วยสวิตช์ S1 ประกอบด้วย

4.1) ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

4.2) ชุดขั้วแคโถดและอาโนด

5) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซน ควบคุมด้วยสวิตช์ S2

6) ชุดถังน้ำดี

7) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยรังสียูวีซี ควบคุมด้วยสวิตช์ S3

8) ชุดกรองน้ำ 5 ขั้นตอน

9) ชุดเก็บกากของเสียของน้ำเสีย

1.1.2 ระบบการทำงานของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี มีดังนี้

1) ปั๊มน้ำดูดนำน้ำเสียมาบรรจุในชุดถังน้ำเสีย

2) ปั๊มน้ำดูดน้ำเสียจากชุดถังน้ำเสียเข้าสู่ชุดถังบำบัดน้ำเสียผ่านชุดกรองหยาบประมาณ 30 ลิตร

3) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยอิเล็กโทรไลซิส จะทำการแยกสารละลายในน้ำเสียออกจากน้ำเสีย โดยสารละลายที่เบาจะลอยขึ้นบนผิวน้ำ ส่วนสารละลายที่หนักจะตกลงข้างล่างถังบำบัดน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียมีลักษณะใสขึ้น

4) น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสจะไหลเข้าสู่ชุดถังบำบัดด้วยก๊าซโอโซนผ่านชุดกรองหยาบและกรองละเอียดเพื่อฆ่าเชื้อโรคและสลายสารพิษด้วยชุดบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซน กลายเป็นน้ำที่สะอาดปราศจากเชื้อโรคและสารพิษ

5) เปิดวาล์วจากชุดถังบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซนน้ำที่สะอาดปราศจากเชื้อโรคและสารพิษ จะไหลเข้าสู่ชุดถังน้ำดี เมื่อทำการเปิดวาล์วสามทางอันที่ 1 ของชุดถังน้ำดี ปั๊มน้ำจะดูดน้ำในถังน้ำดีให้ไหลเวียนเข้าสู่ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยรังสียูวีซีเพื่อฆ่าเชื้อโรคซ้ำอีกครั้งหนึ่ง แล้วปล่อยลงสู่ชุดถังน้ำดีวนเวียนไปเช่นนี้จนกว่าจะฆ่าเชื้อโรคให้หมดไป น้ำดีที่ได้จะสะอาดสามารถนำไปใช้เพื่อการอุปโภคได้

6) เมื่อทำการปิดวาล์วสามทางอันที่ 1 เปิดวาล์วสามทางอันที่ 2 ปั๊มน้ำจะดูดน้ำในชุดถังน้ำดีให้ไหลผ่านชุดกรองน้ำ 5 ขั้นตอน เพื่อทำการกรองน้ำให้กลายเป็นน้ำสะอาดที่สามารถบริโภคหรือใช้ดื่มได้

7) เมื่อเปิดวาล์วของชุดถังบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส กากของเสียเหลืออยู่ในจะไหลลงสู่ชุดเก็บกากของเสียของน้ำเสียเพื่อนำไปทำปุ๋ยต่อไป

1.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี

1.2.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี พบว่า สามารถบำบัดน้ำเสีย (Before) ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยเท่ากับ 4.00 ($\bar{X}$=4.00; SD=0.5) ให้เป็นน้ำดี 1 (After 1) ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยเท่ากับ 7.53 ($\bar{X}$=7.53; SD=0.06) และให้เป็นน้ำดี 2 (After 2) ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยเท่ากับ 7.87 ($\bar{X}$=7.87; SD=0.12) ขณะที่น้ำดื่มปกติมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยเท่ากับ 7.00 ($\bar{X}$=7.00; SD=0.00) สามารถบำบัดน้ำเสีย (Before) ที่มีค่า TDS เฉลี่ยเท่ากับ 470.67 ppm ($\bar{X}$=470.67 ppm; SD=4.04 ppm) ให้เป็นน้ำดี 1 (After 1) ที่มีค่า TDS เฉลี่ยเท่ากับ 315.33 ppm ($\bar{X}$=315.33 ppm; SD=4.73 ppm) และให้เป็นน้ำดี 2 (After 2) ที่มีค่า TDS เฉลี่ยเท่ากับ 352.33 ppm ($\bar{X}$=352.33 ppm; SD=2.52 ppm) ขณะที่น้ำดื่มปกติมีค่า TDS เฉลี่ยเท่ากับ 27.33 ppm ($\bar{X}$=27.33 ppm; SD=0.58 ppm) สามารถบำบัดน้ำเสีย (Before) ที่มีค่า EEC เฉลี่ยเท่ากับ 934.67 µS/cm ($\bar{X}$=934.67 µS/cm; SD=5.03 µS/cm) ให้เป็นน้ำดี 1 (After 1) ที่มีค่า EEC เฉลี่ยเท่ากับ 671.33 µS/cm ($\bar{X}$=671.33 µS/cm; SD=8.08 µS/cm) และให้เป็นน้ำดี 2 (After 2) ที่มีค่า EEC เฉลี่ยเท่ากับ 674.33 µS/cm ($\bar{X}$=674.33 µS/cm; SD=4.04 µS/cm) ขณะที่น้ำดื่มปกติมีค่า EEC เฉลี่ยเท่ากับ 54.00 µS/cm ($\bar{X}$=54.00 µS/cm; SD=1.00 µS/cm) ที่อุณหภูมิน้ำเสีย (Before) เฉลี่ยเท่ากับ 29.43 °C ($\bar{X}$=29.43 °C ; SD=4.04 °C) ที่อุณหภูมิน้ำดี 1 (After 1) เฉลี่ยเท่ากับ 29.40 °C ($\bar{X}$=29.43 °C ; SD=0.36 °C) ที่อุณหภูมิน้ำดี 2 (After 2) เฉลี่ยเท่ากับ 28.57 °C ($\bar{X}$=28.57 °C ; SD=0.51 °C) ขณะที่น้ำดื่มปกติมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 27 °C ($\bar{X}$=27.00 °C; SD=0.00 °C)

2. อภิปรายผล

จากสรุปผลการวิจัยมีประเด็นสำคัญที่นำมาอภิปรายผล ดังนี้

2.1 จากผลการวิจัยที่พบว่า ผลการออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ 1.1 ระบบโครงสร้าง ประกอบด้วย 1) ชุดถังน้ำเสีย 2) ชุดกรองหยาบและกรองละเอียด 3) ชุดถังบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส 4) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส ควบคุมด้วยสวิตช์ S1 ประกอบด้วย 4.1) ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 4.2) ชุดขั้วแคโถดและอาโนด 5) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซน ควบคุมด้วยสวิตช์ S2 6) ชุดถังน้ำดี 7) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยรังสียูวีซี ควบคุมด้วยสวิตช์ S3 8) ชุดกรองน้ำ 5 ขั้นตอน และ 9) ชุดเก็บกากของเสียของน้ำเสีย และ 1.2 ระบบการทำงาน ซึ่งมีการทำงาน ดังนี้ 1) ปั๊มน้ำดูดนำน้ำเสียมาบรรจุในชุดถังน้ำเสีย 2) ปั๊มน้ำดูดน้ำเสียจากชุดถังน้ำเสียเข้าสู่ชุดถังบำบัดน้ำเสียผ่านชุดกรองหยาบประมาณ 30 ลิตร 3) ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยอิเล็กโทรไลซิส จะทำการแยกสารละลายต่าง ๆ ออกจากน้ำเสีย โดยสารละลายที่เบาจะลอยขึ้นบนผิวน้ำ ส่วนสารละลายที่หนักจะตกลงข้างล่างถังบำบัดน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียมีลักษณะใสขึ้น 4) น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสจะไหลเข้าสู่ชุดถังบำบัดด้วยก๊าซโอโซนผ่านชุดกรองหยาบและกรองละเอียดเพื่อฆ่าเชื้อโรคและสลายสารพิษด้วยชุดบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซน ทำให้กลายเป็นน้ำที่สะอาดปราศจากเชื้อโรคและสารพิษ 5) เปิดวาล์วจากชุดถังบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซนน้ำที่สะอาดปราศจากเชื้อโรคและสารพิษจะไหลเข้าสู่ชุดถังน้ำดี เมื่อทำการเปิดวาล์วสามทางอันที่ 1 ของชุดถังน้ำดี ปั๊มน้ำจะดูดน้ำในถังน้ำดีให้ไหลเวียนเข้าสู่ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยรังสียูวีซีเพื่อฆ่าเชื้อโรคซ้ำอีกครั้งหนึ่ง แล้วปล่อยลงสู่ชุดถังน้ำดีวนเวียนไปเช่นนี้จนกว่าจะฆ่าเชื้อโรคให้หมดไป น้ำดีที่ได้จะสะ อาดสามารถนำไปใช้เพื่อการอุปโภคได้ 6) เมื่อทำการปิดวาล์วสามทางอันที่ 1 เปิดวาล์วสามทางอันที่ 2 ปั๊มน้ำจะดูดน้ำในชุดถังน้ำดีให้ไหลผ่านชุดกรองน้ำ 5 ขั้นตอน เพื่อทำการกรองน้ำให้กลายเป็นน้ำสะอาดที่สามารถบริโภคหรือใช้ดื่มได้ และ 7) เมื่อเปิดวาล์วของชุดถังบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส กากของเสียเหลืออยู่ในจะไหลลงสู่ชุดเก็บกากของเสียของน้ำเสียเพื่อนำไปทำปุ๋ยต่อไป ทั้งนี้เพราะว่า เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ทำงานโดยใช้ระบบอิเล็กโทรไลซิส โดยเมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขั้วบวกเข้าที่ขั้วแอโนด (+) และขั้วลบเข้าที่ขั้วแคโถด (-) สารละลายต่าง ๆ ของน้ำเสียจะเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือ เป็นสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ ไอออนบวกวิ่งไปรับอิเล็กตรอนที่ขั้วลบ เกิดปฏิกิริยารีดักชัน และไอออนลบวิ่งไปให้อิเล็กตรอนที่ขั้วบวกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกริยาทั้งสองทำให้สารละลายรวมตัวกันเป็นสารประกอบที่แยกตัวออกจากน้ำ โดยสารประกอบที่เบาจะลอยขึ้นด้านบน และสารประกอบหนักจะตกลงด้านล่าง จึงทำให้น้ำเสียมีลักษณะใสขึ้น กลายเป็นน้ำดีที่สะอาด ต่อมาผ่านชุดกรองหยาบและการกรองละเอียด จึงทำให้ได้น้ำดีที่สะอาดยิ่งขึ้นแต่ยังมีเชื้อโรคและสารเคมีปนเปื้อนอยู่ เมื่อนำมาผ่านการบำบัดด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ การบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซนและรังสียูวีซีเพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคและสลายสารพิษ ซึ่งจะทำให้ได้น้ำดีที่ปราศจากเชื้อโรคและสารพิษปนเปื้อนซึ่งสามารถนำไปใช้ในการอุปโภคได้ทันที แต่หากต่อมาทำการกรองในขั้นสุดท้ายด้วยเครื่องกรอง 5 ขั้นตอน จะทำให้ได้น้ำสะอาดที่สามารถนำไปบริโภคได้ในที่สุด ดังนั้นจึงทำให้เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี มีโครงสร้างและการทำงานดังกล่าว

2.2 จากผลการวิจัยที่พบว่า ผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี พบว่า สามารถสามารถบำบัดน้ำเสีย (Before) ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยเท่ากับ 4.00 ($\bar{X}$=4.00; SD=0.5) ให้เป็นน้ำดี 1 (After 1) ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยเท่ากับ 7.53 ($\bar{X}$=7.53; SD=0.06) และให้เป็นน้ำดี 2 (After 2) ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยเท่ากับ 7.87 ($\bar{X}$=7.87; SD=0.12) ขณะที่น้ำดื่มปกติมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยเท่ากับ 7.00 ($\bar{X}$=7.00; SD=0.00) สามารถบำบัดน้ำเสีย (Before) ที่มีค่า TDS เฉลี่ยเท่ากับ 470.67 ppm ($\bar{X}$=470.67 ppm; SD=4.04 ppm) ให้เป็นน้ำดี 1 (After 1) ที่มีค่า TDS เฉลี่ยเท่ากับ 315.33 ppm ($\bar{X}$=315.33 ppm; SD=4.73 ppm) และให้เป็นน้ำดี 2 (After 2) ที่มีค่า TDS เฉลี่ยเท่ากับ 352.33 ppm ($\bar{X}$=352.33 ppm; SD=2.52 ppm) ขณะที่น้ำดื่มปกติมีค่า TDS เฉลี่ยเท่ากับ 27.33 ppm ($\bar{X}$=27.33 ppm; SD=0.58 ppm) สามารถบำบัดน้ำเสีย (Before) ที่มีค่า EEC เฉลี่ยเท่ากับ 934.67 µS/cm ($\bar{X}$=934.67 µS/cm; SD=5.03 µS/cm) ให้เป็นน้ำดี 1 (After 1) ที่มีค่า EEC เฉลี่ยเท่ากับ 671.33 µS/cm ($\bar{X}$=671.33 µS/cm; SD=8.08 µS/cm) และให้เป็นน้ำดี 2 (After 2) ที่มีค่า EEC เฉลี่ยเท่ากับ 674.33 µS/cm ($\bar{X}$=674.33 µS/cm; SD=4.04 µS/cm) ขณะที่น้ำดื่มปกติมีค่า EEC เฉลี่ยเท่ากับ 54.00 µS/cm ($\bar{X}$=54.00 µS/cm; SD=1.00 µS/cm) ที่อุณหภูมิน้ำเสีย (Before) เฉลี่ยเท่ากับ 29.43 °C ($\bar{X}$=29.43 °C ; SD=4.04 °C) ที่อุณหภูมิน้ำดี 1 (After 1) เฉลี่ยเท่ากับ 29.40 °C ($\bar{X}$=29.43 °C ; SD=0.36 °C) ที่อุณหภูมิน้ำดี 2 (After 2) เฉลี่ยเท่ากับ 28.57 °C ($\bar{X}$=28.57 °C ; SD=0.51 °C) ขณะที่น้ำดื่มปกติมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 27 °C ($\bar{X}$=27.00 °C; SD=0.00 °C) ทั้งนี้เพราะว่า ระบบอิเล็กโทรไลซิสสามารถแยกสารละลายออกจากน้ำจึงทำให้น้ำเสียกลายเป็นน้ำดี รวมทั้ง ก๊าซโอโซนทำหน้าที่ฆ่าเชื้อโรคและสลายสารพิษ และรังสียูวีซีทำหน้าที่ในการฆ่าเชื้อโรคและชุดกรอง 5 ขั้นตอน ทำหน้าที่กรองน้ำให้สะอาดยิ่งขึ้น สอดคล้องกับ วรากรณ พูลจันทร และ กรองกาญจน มหาชนะวงศ. (2563). ที่ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีถังกรองไร้อากาศ และสอดคล้องกับ มงคล พัชรวงศ์สิริ (2021) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงแรมและรีสอร์ทโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมที่พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีค่าใกล้เคียงกัน

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

ในการนำเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ไปใช้งานผู้ใช้งานควรดำเนินการดังนี้

3.1.1 ในขณะทำการบำบัดน้ำเสียสารละลายเบาจะลอยขึ้นข้างบนจนล้นออกนอกชุดถังบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส ให้ทำการตัดทิ้งไปเก็บไว้ในชุดเก็บกากของเสียของน้ำเสีย

3.1.2 เนื่องจากเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี ไม่ได้ทำงานอย่างอัตโนมัติเพราะได้รับงบประมาณจำกัด ดังนั้นผู้ควบคุมเครื่องจะต้องคอยปิดเปิดวาล์ว ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับการทำงานของระบบ เช่น

ต้องทำการเปิดวาล์วของชุดถังบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสเมื่อน้ำเสียถูกบำบัดแล้วจนมีลักษณะใสเข้าสู่ชุดบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซนผ่านชุดกรองหยาบและกรองละเอียด เป็นต้น

3.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ในการจัดทำวิจัยครั้งต่อไป ผู้สนใจควรศึกษาวิจัยเรื่อง การบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี การบำบัดน้ำเสียจากแหล่งอุตสาหกรรมด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี เป็นต้น

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2020). **คู่มือการจัดการน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ เอบีอาร์.** สืบค้นเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2565. จาก https://www.pcd.go.th/publication/4521/.

กรมสงเสริมการปกครองท่องถิ่น กระทรวงมหาดไทย. (ม.ป.ป.). **มาตรฐานและตัวชี้วัดในการจัดการมลพิทางน้ำ.** สืบค้นเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2565. จาก http://www.dla.go.th/work/e_book/eb1/10_9.pdf.

จิรัฏฐ์ เหมือนวิหาร. (2020). ศึกษาสภาพการจัดการบำบัดน้ำเสียของเทศบาลเมืองและเทศบาลตำบลในอำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี. ***วารสารวิชาการ.*** 11(2). 38-49.

บริษัท กรีน วอเทอร์ ทรีท จำกัด. (2015). **น้ำเสียหมายถึง.** สืบค้นเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2565. จาก https://www.greenwatertreat.com/15931257/น้ำเสียหมายถึง.

บริษัท เทคโนโลยี RisingSun Membrane (Beijing) จำกัด. (2018). **ตัวชี้วัดคุณภาพน้ำทิ้งที่ใช้ทั่วไปและความสำคัญ.** สืบค้นเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2565. จาก http://www.ufmembranes.com/news/commonly-used-sewage-quality-indicators-and-si-15821270.html

พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2543). **วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์.** (พิมพ์ครั้งที่ 7) กรุงเทพมหานคร : สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

มงคล พัชรวงศ์สิริ (2021) ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงแรมและรีสอร์ทโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม. ***วารสารวิชาการ.*** 11(2).

วรากรณ พูลจันทร และ กรองกาญจน มหาชนะวงศ. (2563). การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียดวยวิธีถังกรองไรอากาศ. ***วารสารวิชาการ.*** 15(2), 57-68.

สุริยะว์กิจ ศิริมงคล มงคล ธุระ และ ประสงค์ วงศ์แก้ว. (2564). **เครื่องทำความสะอาดหัวรีดนมวัวด้วยรังสียูวีและอบฆ่าเชื้อโรคด้วยก๊าซโอโซน.** วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่ อาชีวศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2563). **น้ำเสีย.** สืบค้นเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2565. จาก https://th.wikipedia.org/wiki/น้ำเสีย#แหล่งกำเนิด.

สุริยะว์กิจ ศิริมงคล มงคล ธุระ และ ประสงค์ วงศ์แก้ว. (2564). **เครื่องล้างทำความสะอาดอาหารสดระบบนาโนโอโซน.** วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่ อาชีวศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ.

Lux Royal (Thailand) Co.,Ltd. (2015). **สาเหตุและผลกระทบ จากมลพิษทางน้ำ.** สืบค้นเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2565. จาก https://lux.co.th/cpt_blog/cause-and-impact-of-water-pollution/.

ภาคผนวก

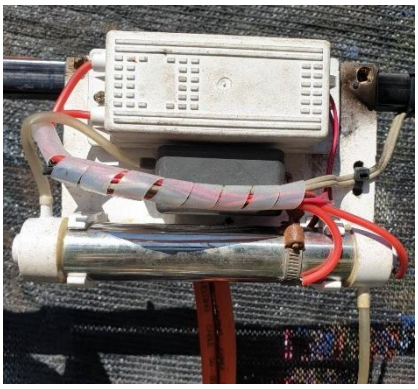
ภาคผนวก ก
รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

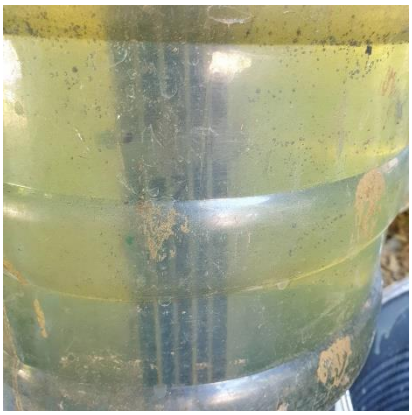
1. ดร. เสริมศักดิ์ นิลวิลัย	ตำแหน่ง ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคสตูล วิทยฐานะชำนาญการพิเศษ สถานที่ทำงาน วิทยาลัยเทคนิคสตูล
2. ดร. ปวีณกรณ์ แป้นกลัด	ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะชำนาญการพิเศษ สถานที่ทำงาน วิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงใหม่
3. ครูจิตต์ใส แก้วบุญเรือง	ตำแหน่ง ข้าราชการบำนาญ วิทยฐานะ เชี่ยวชาญ สถานที่ทำงาน วิทยาลัยอาชีวศึกษาลำปาง

ภาคผนวก ข
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

1. เครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี



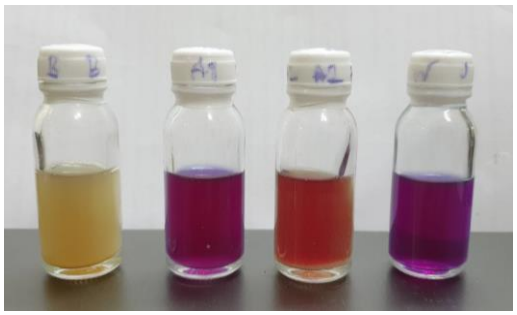


2. เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล

ตารางที่ 4.1 แบบบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเครื่องบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบนาโนโอโซนและรังสียูวีซี

ครั้งที่	ชนิดของน้ำทดสอบ	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	BOD (ppm)	COD (ppm)	TDS (ppm)	EEC (µS/cm)	โคลิฟอรมแบคทีเรีย	อุณหภูมิ (°C)
1	น้ำเสีย (Before)							
	$\bar{X}$ (SD)							
2	น้ำดี 1 (After 1)							
	$\bar{X}$ (SD)							
3	น้ำดี 2 (After 2)							
	$\bar{X}$ (SD)							
4	น้ำดื่มปกติ							
	$\bar{X}$ (SD)							

ภาคผนวก ค
ภาพผลการทดสอบ



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล นายมงคล ธุระ
วัน เดือน ปี เกิด 30 มกราคม 2501
สถานที่อยู่อาศัย เลขที่ 10/4 ถนน มหิดล ตำบล สุเทพ
อำเภอ เมือง จังหวัด เชียงใหม่ รหัสไปรษณีย์ 50200
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน ครู วิทยฐานะเชี่ยวชาญ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่
เลขที่ 9 ถ.เวียงแก้ว ต.ศรีภูมิ อ.เมือง จ.เชียงใหม่

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2524	ปวส. (ไฟฟ้ากำลัง) วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตเทคนิคภาคพายัพ จังหวัดเชียงใหม่
พ.ศ. 2527	ศษ.บ. (บริหารการศึกษา) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธิราช กรุงเทพฯ
พ.ศ. 2531	ศษ.บ. (คณิศาสตร์) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธิราช กรุงเทพฯ
พ.ศ. 2534	คอ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ
พ.ศ. 2539	ศศ.ม. (วิจัยและสถิติการศึกษา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

ผลงานวิชาการ :

1. หนังสือวงจรไฟฟ้า 1 ภาคทฤษฎี
2. หนังสือวงจรไฟฟ้า 1 ภาคปฏิบัติที่ใช้ขั้นตอนการเรียนรู้แบบสืบสอบ
3. หนังสือวงจรไฟฟ้า 1 ภาคปฏิบัติ
4. หนังสือเครื่องวัดไฟฟ้า ภาคทฤษฎี
5. หนังสือเครื่องวัดไฟฟ้าภาคปฏิบัติที่ใช้ขั้นตอนการเรียนรู้แบบทักษะ

ผลงานวิจัย :

1. การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบร่วมกับชุดฝึกทักษะสถานการณ์จำลองกล่องดำเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการแก้ปัญหาของผู้เรียนด้านอาชีวศึกษา (พ.ศ. 2553)

2. เครื่องล้างผักและผลไม้ระบบน้ำไหลวนและฆ่าเชื้อโรคด้วยหลอดยูวีระดับครัวเรือน

3. การสร้างและพัฒนาเครื่องฆ่าเชื้อโรคในหมวกนิรภัยด้วยก๊าซโอโซน

4. การสร้างและพัฒนาเครื่องซักผ้าระบบโอโซน

5. เครื่องปรับอากาศระบบสารละลายโซเดียมคลอไรด์

6. เครื่องทำน้ำอุ่นอินฟราเรด

7. เครื่องปรับอากาศระบบน้ำเย็น

8. การสร้างและพัฒนาเครื่องเพาะเมล็ดพันธ์พืชระบบอัลตราโซนิกส์

รางวัลเกียรติยศ :

1. ได้รับคัดเลือกเป็นผู้ได้รับเครื่องหมายเชิดชูเกียรติ **“คุรุสดุดี”** ในฐานะเป็นผู้ปฏิบัติตนตามจรรยาบรรณของวิชาชีพเป็นที่ประจักษ์ชัด จากสำนักงาน คุรุสภา ประจำปี 2561

2. ได้รับรางวัล ครูดีศรีอาชีวะ จากสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ประจำปี 2560

3. ได้รับรางวัล ผู้ทำคุณประโยชน์ทางด้านการศึกษาระดับจังหวัด เป็นแบบอย่างที่ดีในด้านการปฏิบัติงาน และพัฒนาคุณภาพชีวิตให้ดีขึ้นเป็นที่ประจักษ์ต่อสาธารณชน จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมสวัสดิการและสวัสดิภาพครูและบุคลากรทางการศึกษา (สกสค.) กระทรวงศึกษาธิการ ประจำปี 2555

4. ได้รับรางวัล ครูสอนดี พุทธศักราช 2554 จังหวัดเชียงใหม่ จากสำนักงานส่งเสริมสังคมแห่งการเรียนรู้และคุณภาพเยาวชน (สสค.)

5. ได้รับรางวัล ครูนักวิจัยอาชีวศึกษาดีเด่นวันครูโลก 2553 ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กลุ่มที่ 3 งานวิจัยนวัตกรรมและเทคโนโลยี เรื่อง เครื่องทำน้ำอุ่นอินฟราเรด เนื่องในวันครูโลก ในการประชุมสัมมนาการศึกษานานาชาติแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5 ณ อาคาร Hall 2 ศูนย์แสดงสินค้าและการประชุมอิมแพค เมืองทองธานี จังหวัดนนทบุรี