

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคลอรีน และกรดเปอร์อะซิติคในการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลในสังกัดกระทรวงสาธารณสุขในเขตกรุงเทพมหานครประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ความหมายของน้ำเสีย แหล่งกำเนิด และปริมาณน้ำเสียจากโรงพยาบาล
2. ลักษณะของน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงพยาบาล
3. กระบวนการฆ่าเชื้อในน้ำเสีย
4. ประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อ
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของน้ำเสีย แหล่งกำเนิด และปริมาณน้ำเสียจากโรงพยาบาล

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีการปนเปื้อนสิ่งสกปรกในปริมาณสูง จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการและเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไปที่พบเห็น สิ่งเจือปนที่ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำเสีย ได้แก่ สารอินทรีย์ต่างๆ กรด ต่าง ของแข็งหรือสารแขวนลอย และสิ่งที่ลอยปนอยู่ในน้ำ เช่น น้ำมัน ไขมัน เกลือและแร่ธาตุที่เป็นพิษ เช่น โลหะหนัก สารที่ทำให้เกิดฟอง ความร้อน สารพิษเช่น ยาฆ่าแมลง สี กลิ่น เชื้อโรค เช่น แบคทีเรีย ไวรัส เป็นต้น โดยปกติน้ำเสียมีแหล่งกำเนิดจาก 3 แหล่งใหญ่ๆ คือ 1.น้ำเสียจากชุมชน ซึ่งหมายรวมถึงน้ำเสียจากอาคารประเภทต่างๆที่มนุษย์ใช้ในการพักอาศัยและทำกิจกรรมต่างๆ ในการดำรงชีวิต 2.น้ำเสียจากอุตสาหกรรม 3.น้ำเสียจากเกษตรกรรม

น้ำเสียจากโรงพยาบาล หมายถึง น้ำเสียที่มีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมต่างๆที่มีการใช้น้ำในโรงพยาบาล ซึ่งจัดเป็นประเภทของน้ำเสียที่มีแหล่งกำเนิดจากชุมชนประเภทหนึ่ง โดยที่กิจกรรมต่างๆ ที่ก่อเกิดน้ำเสียในโรงพยาบาล มีดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

- 1) สถานที่ตรวจคนไข้นอก มีผู้ป่วยและญาติมาใช้ห้องน้ำ
- 2) สถานที่ตรวจคนไข้ใน มีผู้ป่วยมารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลรวมทั้งญาติมาเฝ้า ลักษณะน้ำเสีย จะแตกต่างกันตามสภาพการบริการ ลักษณะน้ำเสียจึงอาจมีการปนเปื้อนน้ำยาฆ่าเชื้อโรคในการทำ ความสะอาดแผล
- 3) โรงซักผ้า ได้แก่ เสื้อผ้าผู้ป่วย หมอนเตียง ผ้าห่ม น้ำเสียอาจปนเปื้อนเชื้อโรค น้ำยาซักผ้าและ น้ำร้อน
- 4) โรงครัวและห้องอาหาร น้ำเสียมีเศษอาหารและไขมันปนเปื้อนมาก
- 5) ห้องผ่าตัด ห้องคลอด และห้องเก็บศพ น้ำเสียมีการปนเปื้อนของเลือด น้ำยาฆ่าเชื้อโรค

6) ห้องปฏิบัติการ ลักษณะน้ำเสียประกอบด้วยเชื้อโรคที่ตรวจวิเคราะห์ อาหารเลี้ยงเชื้อ และ สารเคมีฆ่าเชื้อโรค

7) ห้องยา น้ำเสียเกิดจากการปรุงยา

8) อาคารบ้านพักภายในโรงพยาบาล น้ำเสียมีลักษณะเหมือนกับน้ำเสียชุมชน

9) อาคารสถานที่ทำการต่างๆ เช่น ตึกอำนวยการ มีน้ำเสียจากอ่างล้างมือ และน้ำโสโครกจาก ชักโครก

ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากโรงพยาบาล จะพิจารณาจากจำนวนเตียงผู้ป่วยและ อัตราการเกิดน้ำเสียต่อเตียงผู้ป่วย ในปี พ.ศ. 2555 กระทรวงสาธารณสุขรายงานว่า ประเทศไทยมี โรงพยาบาลทั้งหมดทั้งภาครัฐและภาคเอกชนจำนวน 1,348 แห่ง มีจำนวนเตียงทั้งหมด 146,994 เตียง (กระทรวงสาธารณสุข, 2555) และกรมควบคุมมลพิษได้รายงานปริมาณน้ำเสียจากอาคารประเภท ต่างๆ ซึ่งรวมถึงปริมาณน้ำเสียต่อเตียงของโรงพยาบาล พบว่าโรงพยาบาลมีปริมาณน้ำเสียที่ 800 ลิตรต่อ เตียงต่อวัน

ดังนั้นการคาดการณ์ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นต่อวันจากโรงพยาบาล จากข้อมูลอัตราการเกิดน้ำ เสียที่ 800 ลิตรต่อเตียงต่อวัน พบว่าโรงพยาบาลทั้งประเทศมีอัตราการเกิดน้ำเสียอยู่ที่ 117,595.2 ลม.ต่อวัน ซึ่งเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำเสียชุมชนทั้งหมดของประเทศไทยซึ่งมีปริมาณ 14 ล้าน ลม.ต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) แม้ว่าน้ำเสียโรงพยาบาลจะมีสัดส่วนไม่สูงมากนัก แต่เนื่องด้วยมีการ ปนเปื้อนของเชื้อโรคอันตรายที่มากกว่าน้ำเสียชุมชนทั่วไป จึงนับว่าเป็นสิ่งที่มองข้ามไม่ได้ในการที่จะต้อง กำจัดน้ำเสียเหล่านี้อย่างถูกวิธี

2.2 ลักษณะของน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสีย และมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงพยาบาล

2.2.1 ลักษณะน้ำเสียจากโรงพยาบาล

น้ำเสียจากโรงพยาบาลนั้นมีลักษณะคล้ายกับน้ำเสียจากบ้านเรือน แต่จะมีการปนเปื้อน ได้แก่ จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ยาที่มีองค์ประกอบที่เป็นอันตราย สารเคมีฆ่าเชื้อโรค และสารกัมมันตรังสี ซึ่ง เกิดจากกิจกรรมการให้บริการรักษาผู้ป่วยในปริมาณที่สูงกว่า น้ำเสียจากบ้านเรือน น้ำเสียจาก โรงพยาบาลมีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ ,2545)

1) สารอินทรีย์ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น สิ่งขับถ่ายจากคน เศษอาหาร เป็นต้น สารอินทรีย์ในน้ำเสียมีทั้งที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยและสารละลาย ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้โดย จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจน และอาจเกิดสภาพเน่าเสียได้ ปริมาณของ สารอินทรีย์ในน้ำนิยมวัดด้วยค่าบีโอดี (BOD) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก และสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย

2) โลหะหนักและสารพิษ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ และสามารถสะสมอยู่ในวงจรรอาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น โลหะหนัก ยา สารเคมีต่างๆ ที่ใช้และถ่ายทิ้งลงในน้ำเสียจากโรงพยาบาล

3) จุลินทรีย์ น้ำเสียจากโรงพยาบาลจะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมากมายหลายประเภท ทั้งจุลินทรีย์ก่อโรคที่ถูกขับถ่ายออกจากร่างกายมนุษย์เช่นไวรัสและแบคทีเรีย หรือจุลินทรีย์ถูกชะล้างจากภาชนะเครื่องใช้ในโรงพยาบาลและห้องปฏิบัติการ จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกทำลายในขั้นตอนการฆ่าเชื้อ ซึ่งเป็นขั้นตอนมาตรฐานการปฏิบัติ(Standard Operation Procedures, SOPs)ก่อนถูกชะล้างลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย แต่อาจจะมีจุลินทรีย์ก่อโรคบางชนิดเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียได้โดยไม่ได้ตั้งใจโดยทั่วไปแล้วกระบวนการบำบัดน้ำเสียอาจจะช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งได้แต่เพื่อเป็นการป้องกันผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ระบบบำบัดน้ำเสียจึงต้องมีระบบฆ่าเชื้อเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคในน้ำทิ้งก่อนที่จะปล่อยออกสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือทางระบายน้ำสาธารณะภายนอก

2.2.2 การบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล

โรงพยาบาลเป็นแหล่งรวมของเชื้อโรคจากผู้ป่วยที่มารับการรักษาพยาบาล น้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ ในโรงพยาบาล จึงมีการปนเปื้อนด้วยเชื้อโรคเหล่านี้ ดังนั้น หากระบบบำบัดน้ำเสีย มีประสิทธิภาพการบำบัดไม่ดี ก็จะมีโอกาสเกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกโรงพยาบาล น้ำเสียจากโรงพยาบาลมีทั้งปริมาณความเข้มข้น และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดจากอาคารให้บริการรักษาผู้ป่วยทุกหลังภายในโรงพยาบาลต้องผ่านการบำบัดและใช้น้ำยาฆ่าเชื้อโรคก่อนระบายออกสู่คู/ท่อระบายน้ำสาธารณะภายนอกโรงพยาบาล (กรมควบคุมมลพิษ,2545)

การบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลนั้น กระทรวงสาธารณสุขได้ดำเนินการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียในโรงพยาบาลครั้งแรก ตั้งแต่ปี พ.ศ.2516 โดยเฉพาะโรงพยาบาลประจำจังหวัด และทยอยก่อสร้างเพิ่มขึ้นในโรงพยาบาลชุมชน เทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียนั้นมีความแตกต่างกัน ตามประเภทของโรงพยาบาล เช่นระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียนซึ่งเป็นการกำจัดน้ำเสียใช้อากาศแบบเลี้ยงตะกอน ต่อมากระทรวงสาธารณสุขได้ดำเนินการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลชุมชนทั่วประเทศ เป็นโครงการในลักษณะออกแบบรวมก่อสร้าง (Turnkey Project) ซึ่งหมายถึงผู้รับจ้างจะต้องดำเนินการสำรวจศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นที่ต่อใช้ในการออกแบบและก่อสร้างระบบรวบรวมน้ำเสีย แล้วออกแบบรายละเอียดสำหรับการก่อสร้าง และก่อสร้างตามแบบที่ได้รับความเห็นชอบจากผู้ว่าจ้าง รวมถึงการจัดหาและติดตั้งเครื่องจักร อุปกรณ์และองค์ประกอบต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย ให้ระบบรวบรวมน้ำและบำบัดน้ำเสียที่สร้างขึ้นมานั้นใช้งานได้ และผู้รับจ้างจะต้องดำเนินการตรวจสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วอย่างน้อย 3 เดือนต่อครั้ง

รูปแบบของระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล ของกระทรวงสาธารณสุขที่ดำเนินการมี 3 รูปแบบ คือ

1) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch)

เป็นระบบที่ใช้กับ โรงพยาบาลที่มีน้ำเสียมาก หรือโรงพยาบาลที่มีพื้นที่จำกัด หลักการของระบบน้ำเสียแบบคลองวนเวียนคือ เมื่อน้ำเสียไหลจากบ่อสูบเข้าสู่คลองวนเวียนนั้น จะมีจุลินทรีย์ปะปนมาด้วย น้ำเสียจะไหลวนเวียนตามคลองวนเวียน จนกว่าจะถึงทางน้ำออก มีการเติมอากาศโดยใช้ใบพัดเติมอากาศช่วยในการปั่นทวนน้ำเสีย เพื่อเพิ่มให้อากาศแทรกอยู่ในน้ำให้มีปริมาณเพียงพอ ในการที่จุลินทรีย์จะใช้เพื่อการเจริญเติบโตต่อไป เมื่ออาหารหรือของเสีย อากาศ และสภาพแวดล้อมในคลองวนเวียน มีสภาพที่เหมาะสม จุลินทรีย์จะเติบโตและขยายจำนวนเพิ่มมากขึ้น จนเห็นเป็นตะกอนสีน้ำตาลแดงได้ด้วยตาเปล่า น้ำปนตะกอนนี้จะไหลออกจากคลองวนเวียนเข้าสู่ถังตะกอนเพื่อแยกตะกอนและน้ำออกจากกัน น้ำใสจะไหลล้นฝายน้ำล้นจากถังตกตะกอนเข้าสู่ถังเติมคลอรีน เพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำทิ้ง ก่อนระบายออกสู่ภายนอกต่อไป ส่วนตะกอนจะแยกตัวจากน้ำแล้วเกาะรวมกัน จนมีขนาดใหญ่ขึ้น มีน้ำหนักมากขึ้น และตกลงสู่ก้นถังตกตะกอน เครื่องสูบจะสูบตะกอนบางส่วนกลับคลองวนเวียน ส่วนตะกอนจุลินทรีย์มีมากเกินไปความต้องการใช้ในคลองวนเวียนจะถูกสูบขึ้นไปตากไว้ให้แห้ง บนลานตากตะกอนประมาณ 5-7 วัน แล้วจึงคลาดตะกอนแห้งออกทิ้ง หรือนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ

2) ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา แบบไร้อากาศชนิดหนึ่ง มีหลักการทำงานแบ่งตามปฏิกิริยาเคมี ดังนี้ หลักการในขั้นแรก สารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสีย เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ จะถูกแบคทีเรียประเภทที่ดำรงชีพอยู่ได้ ทั้งในสภาพที่มี หรือไม่มีอากาศ (Facultative Bacteria) และแบคทีเรียประเภทที่ดำรงชีวิตอยู่ได้ ในสภาพที่ไม่มีอากาศ (Anaerobic Bacteria) กลุ่มหนึ่งที่เรียกว่า แอซิดฟอร์เมอร์ (Acid Formers) แยกสลายเป็นกรดอินทรีย์ขนาดเล็กๆ หลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ กรดอะซิติก และกรดไพรูวอิก ในขั้นตอนนี้ สารอินทรีย์ส่วนน้อยเท่านั้น ที่ถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ ในขั้นตอนที่สอง กรดอินทรีย์ต่างๆ จะถูกย่อยสลาย โดยแบคทีเรียอีกกลุ่มที่ดำรงชีพไม่ได้ ในสภาวะที่มีอากาศอยู่ (Obligate Anaerobic Bacteria) เรียกว่า มีเทนฟอร์เมอร์ (Methane Formers) ทำลายกรดอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ลดลง (BOD ลดลง) และปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น จะแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย สำหรับระบบถังกรองไร้อากาศนี้ เพิ่งพัฒนาขึ้นมา เมื่อประมาณ 20 ปีที่ผ่านมา ส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ถังที่มีลักษณะคล้ายถังกรอง แต่ภายในบรรจุด้วยหินหรือถังพลาสติก (Plastic Media) แทนก็ได้ น้ำเสียจะไหลเข้าด้านล่าง แล้วไหลขึ้นออกข้างบน (Upflow) ลักษณะเช่นนี้ จะทำให้น้ำท่วมถึงสูงตลอดเวลา และทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ อยู่ภายในถังกรอง น้ำที่ไหลออกจึงใส มีปริมาณสารแขวนลอยน้อย โดยไม่ต้องมีถังตกตะกอน ระบบถังกรองไร้อากาศเหมาะที่จะเป็น

ระบบบำบัดทางชีวะเบื้องต้น สำหรับน้ำเสียที่มีความสกปรก (BOD) สูง เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท

3) ระบบบ่อผึ่ง (Stabilization Pond)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยธรรมชาติในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งแบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 3 รูปแบบคือ

ก. บ่อหมัก (Anaerobic pond) ซึ่งมีความลึก 2-4 เมตร โดยจะรับสารอินทรีย์ได้สูง และจะถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน

ข. บ่อแฟคัลทีทีฟ (Facultative pond) ซึ่งมีความลึก 1-1.5 เมตร โดยบ่อจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนบนของบ่อจะเป็นบ่อแบบมีออกซิเจนและส่วนล่างอยู่ในสภาพไม่มีออกซิเจน

ค. บ่อบ่ม (Maturation pond) ซึ่งมีความลึก 1-1.5 เมตร เป็นสภาพมีออกซิเจนตลอดทั้งบ่อ ทำหน้าที่การตกตะกอนของแข็งและปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งโดยปกติบ่อปรับเสถียรนั้นจะมีการต่ออนุกรมอย่างน้อย 3 บ่อ

4) ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) หรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวทเตด สลัดจ์ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ถังเติมอากาศ และถังตกตะกอน ถังเติมอากาศมีหน้าที่เป็นถังเลี้ยงแบคทีเรียให้กินน้ำเสียเป็นอาหาร ทำให้ความสกปรกตกลง ส่วนแบคทีเรียจะแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องแยกแบคทีเรียออกจากน้ำเสียในถังตกตะกอน ก่อนจะระบายน้ำเสียทิ้งได้

ความลึกของถังเติมอากาศขึ้นอยู่กับโครงสร้างของอาคารและความสามารถของเครื่องเติมอากาศที่ใช้ ส่วนรูปร่างของถังเติมอากาศควรจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีด้านยาวยาวกว่าด้านกว้างมากที่สุดเท่าที่พื้นที่จะอำนวย เพื่อที่จะสามารถเปลี่ยนการควบคุมการทำงานได้หลายแบบในการแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้น ระบบเติมอากาศจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับสภาพและสถานที่ตั้งของบริเวณบำบัดน้ำเสีย ถ้าเป็นห้องปิดควรใช้ระบบเป่าอากาศลง ไปในน้ำ หรือใช้เครื่องกลเติมอากาศแบบจมน้ำ เพราะหากเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำ จะทำให้เกิดปัญหาเรื่องละอองน้ำและการถ่ายเทอากาศได้

2.2.3 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงพยาบาล

โรงพยาบาลเป็นสถานที่ที่ต้องมีการควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งก่อนการปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ซึ่งได้กำหนดมาตรฐานไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามประเภทมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง		
		อาคารประเภท ก ตั้งแต่ 30 เดียง	อาคารประเภท ข 10 – 29 เดียง	หมายเหตุ
pH		5-9	5-9	*เป็นค่าที่เพิ่ม ปริมาณสารละลาย ในน้ำใช้ตามปกติ
BOD	mg/L	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 30	
ปริมาณของแข็ง				
ค่าสารแขวนลอย	mg/L	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 40	
ค่าตะกอนหนัก	mg/L	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	
ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด	mg/L	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*	
ซัลไฟด์	mg/L	ไม่เกิน 1.0	ไม่เกิน 1.0	
TKN	mg/L	ไม่เกิน 35	ไม่เกิน 35	
Oil and grease	mg/L	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	

ที่มา กรมควบคุมมลพิษ

จากตารางดังกล่าวจะเห็นว่า ยังมีได้มีการกำหนดมาตรฐานด้านจุลินทรีย์ที่ยอมรับได้ในน้ำทิ้งจากโรงพยาบาล

อุไรวรรณ อินทร์ม่วง (2541) ได้ศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียก่อนการบำบัดและน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสีย ของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จำนวน 18 แห่ง ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของน้ำเสียก่อนการบำบัดและน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสีย ของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

ดัชนีคุณภาพน้ำเสีย	หน่วย	ความเข้มข้น			
		น้ำเสียก่อนการบำบัด (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)	เฉลี่ย	น้ำทิ้งหลังการบำบัด (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)	เฉลี่ย
pH		6.3 - 8.8	7.34	6.5 - 9.3	7.55
ตะกอนหนัก	mg/L	2.0 - 222	60.4	0 - 283.0	28.11
BOD	mg/L	10.4 - 328	282	4.8 - 87.0	24.55
TKN	mg/L	5.3 - 44.2	18.3	0.66 - 22.96	6.66
สารแขวนลอย	mg/L	1 - 375	110.8	0 - 303.0	54.21
total coliform	MPN/100 ml	$4.6 \times 10^3 - 1.1 \times 10^9$	1.5×10^8	$0.03 - 2.70 \times 10^6$	1.93×10^6
fecal coliform	MPN/100 ml	$9.3 \times 10^2 - 1.1 \times 10^9$	1.2×10^8	$3.0 - 9.4 \times 10^6$	1.254×10^6
คลอรีนอิสระตกค้าง	mg/L	-	-	0.0 - 1.0	0.13

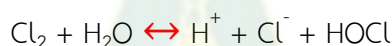
จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า น้ำทิ้งจากโรงพยาบาลยังมีการปนเปื้อนโคลิฟอร์ม และ ฟีคัลโคลิฟอร์มแม้ว่าจะผ่านการบำบัดแล้ว

นอกจากนี้ นิสิต อินลี (2553) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลในจังหวัดนนทบุรี ที่ใช้ระบบตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียพบว่า ยังคงพบการปนเปื้อน โคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม และ อีโคไลในน้ำทิ้งจากทุกโรงพยาบาล

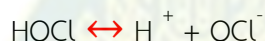
จากมาตรฐานน้ำทิ้งและผลการวิจัยข้างต้น พบว่ายังคงมีการตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ที่ถูกใช้เป็นตัวชี้วัดการปนเปื้อนปะปนออกมากับน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลและยังไม่มีการศึกษาถึงจุลินทรีย์ที่ก่อโรคอื่น ๆ ได้ เช่น ไวรัส ในน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด ดังนั้นเป็นที่น่าสงสัยว่าระบบฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนในน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลมีประสิทธิภาพเพียงพอในการกำจัดจุลินทรีย์ก่อโรคหรือไม่และมีทางเลือกอื่น เช่น กรดเปอร์อะซิติค ให้ประสิทธิภาพดีกว่าการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนหรือไม่ และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแตกต่างจากการใช้คลอรีนหรือไม่

2.2.4 ไตรฮาโลมีเทน

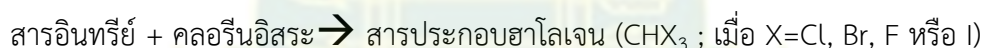
สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes :THMs) เป็นสารเคมีอันตรายตกค้างที่พบในกระบวนการทำปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ เช่น กรดฮิวมิกกับคลอรีนอิสระที่เกิดขึ้นตอนการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำ โดยเมื่อเติมคลอรีนลงไปในน้ำจะ เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสดังสมการ



กรดเกลือ HCl สามารถแตกตัวได้อย่างสมบูรณ์ แต่กรดไฮโปคลอรัส (HOCl) เป็นกรดอ่อนจึงแตกตัวได้บางส่วน เกิดเป็นคลอรีนอิสระดังสมการ



สารอินทรีย์ในน้ำทำปฏิกิริยากับคลอรีนอิสระ(OCl^-) เกิดเป็นสารประกอบฮาโลเจน (CHX_3) ดังสมการ



สารกลุ่ม THMs ประกอบไปด้วย คลอโรฟอร์ม (CHCl_3), โบรโมไดคลอโรมีเทน (CHCl_2Br), ไดโบรโมคลอโรมีเทน (CHClBr_2), และโบรโมฟอร์ม (CHBr_3) ซึ่งคลอโรฟอร์มเป็นสารที่พบในสัดส่วนมากที่สุด ผลรวม ของสาร THMs ทั้งสี่ชนิดรวมเรียกว่า Total Trihalomethanes (TTHMs) ความเป็นพิษของสาร THMs ส่วนใหญ่เกิดจากความเป็นพิษของ CHCl_3 , CHCl_2Br , CHClBr_2 และ CHBr_3 คือ มีผลต่อความสามารถในการสืบพันธุ์ การคลอด ระบบไหลเวียนโลหิต และอาจส่งผลกระทบต่ออวัยวะภายใน เช่น ตับ ไต และอาจมีผลต่อการเกิด มะเร็งในมนุษย์ได้(ศศิธร และคณะ, 2561)

2.2.5 จุลินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวชี้วัด

เนื่องจากจุลินทรีย์ในธรรมชาติมีหลากหลายชนิด ทั้งกลุ่มที่ไม่ก่อให้เกิดโรค กลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค จุลินทรีย์บางกลุ่มอาจก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำได้หากมีมากเกินไป ในการบ่งชี้ปัญหามลพิษทางน้ำจากจุลินทรีย์นั้นไม่สามารถทำการตรวจจำแนกจุลินทรีย์ที่ก่อโรคได้โดยตรงเนื่องจากการจำแนกจุลินทรีย์กลุ่มนี้

ทำได้ยากและใช้เวลานาน ดังนั้นจึงนิยมใช้จุลินทรีย์กลุ่มอื่นที่มีความทนทานการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม ตรวจวิเคราะห์ได้ง่าย และเป็นจุลินทรีย์ที่มาจากแหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำ เช่นใช้โคลิฟอร์มแบคทีเรียเป็นตัวบ่งชี้ว่าน้ำมีการปนเปื้อนด้วยอุจจาระของสัตว์เลือดอุ่น และใช้ *E.coli* เป็นตัวบ่งชี้การปนเปื้อนอุจจาระของมนุษย์ในน้ำ

1) โคลิฟอร์ม

โคลิฟอร์ม เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่จัดอยู่ในวงศ์ *Enterobacteriaceae* ลักษณะรูปร่างเป็นท่อน ติดสีแกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ สามารถเจริญได้ทั้งในที่ที่มีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจน มีคุณสมบัติเฉพาะที่สามารถใช้น้ำตาลแลคโตสแล้วให้กรดและก๊าซ ภายในเวลา 24-48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส โคลิฟอร์มแบ่งตามที่มาได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. *Fecal coliform* เป็นแบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์ม ที่สามารถใช้น้ำตาลแลคโตสแล้วให้กรดและก๊าซ ที่อุณหภูมิประมาณ 44.5-45.5 องศาเซลเซียส ได้ พวกนี้อาศัยอยู่ใน ลำไส้ของคนและสัตว์เลือดอุ่น ถูกขับถ่ายออกมากับอุจจาระเมื่อเกิดการระบาดของโรคระบบทางเดินอาหาร ตัวอย่างของฟีคัลโคลิฟอร์มได้แก่ *E. coli*
2. *Non - fecal coliform* พวกนี้อาศัยอยู่ในดินและพืชมีอันตรายน้อยกว่าพวกแรก ใช้บ่งบอกถึงความไม่สะอาดของน้ำได้ ตัวอย่างของ นันฟีคัลโคลิฟอร์ม เช่น *Enterobacter aerogenes*

คุณสมบัติของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย มีดังนี้ คือ

1. รูปร่างเป็นท่อนเล็ก ๆ (rod shape) ไม่มีสปอร์ (non-spore forming)
2. เป็นพวกแกรมลบ (gram negative)
3. สามารถย่อยพวกแล็กโทส (lactose) ให้เกิดกรดและก๊าซ เมื่อเอาไปอบที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง หรือ 48 ชั่วโมง
4. สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพที่มีอากาศ (aerobic) และไม่มีอากาศ (anaerobic) จึงนับแบคทีเรียพวกนี้เป็นแฟคัลเตติฟ (facultative anaerobes)
5. สามารถทำให้เกิดก๊าซจากอาหารเหลว Brilliant Green Lactose Bile broth ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 48 ชั่วโมง หรือเร็วกว่านั้น
6. สามารถเจริญเติบโตในอาหารแข็ง อีเอ็มบี (EMB, Eosine Methylene Blue Agar) ที่ 35 องศาเซลเซียส ในเวลา 24 ชั่วโมง

แบคทีเรีย ในกลุ่มโคลิฟอร์ม มักถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้สุขภาพในแหล่งน้ำ อาหาร รวมถึงกระบวนการผลิต เนื่องจากพบได้ในระบบทางเดินอาหารของสิ่งมีชีวิต และสามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาวะแวดล้อมภายนอก เช่น ดิน และแหล่งน้ำได้ดี ซึ่งถ้าพบในน้ำหรืออาหารก็แสดงถึงโอกาสของการปนเปื้อนจากสิ่งขับถ่ายของสิ่งมีชีวิต ดิน ฯลฯ ส่วนฟิโคลิฟอร์ม มักถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้โอกาส ของการปนเปื้อนจากสิ่งขับถ่ายของมนุษย์ เนื่องจากพบแบคทีเรียกลุ่มนี้พบได้ในลำไส้ของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่นทั่วไป โดยแบคทีเรียที่สำคัญและถูกกำหนดให้เป็นตัวบ่งชี้อยู่เสมอ ๆ ได้แก่ *E. coli* ซึ่งถ้าพบในอาหารหรือน้ำก็แสดงให้เห็นถึงโอกาสการปนเปื้อนจากอุจจาระของมนุษย์ โดยอาจเกิดจากการขาดการควบคุมระบบสุขภาพที่ดี หรือกระบวนการผลิตที่ไม่ถูกต้อง โดยการบ่งชี้ดังกล่าวนอกจากจะบอกถึงความสะอาดแล้ว ยังบอกถึงอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคจากแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ ที่พบในระบบทางเดินอาหารอีกด้วย

2) *Escherichia coli*

E. Coli มีลักษณะเป็นรูปท่อน แกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ อาจเคลื่อนที่ได้หรือไม่เคลื่อนที่ บางสายพันธุ์ที่แยกได้จากนอกลำไส้สามารถสร้างแคปซูลได้ ให้โคโลนีเรียบ ไม่มีสี มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 มม. แต่ถ้าเลี้ยงในอาหารที่แสดงความแตกต่าง (differential media) เช่น Mac Conkey agar โคโลนีมีสีแดงชมพู ขนาดใหญ่ เนื่องจาก ferment แล็คโตส หรือเลี้ยงในอาหาร Eosin Methylene Blue Agar (EMB) และ Endo agar โคโลนีมีสีมันวาวคล้ายโลหะ ถ้าเลี้ยงบนอาหารผสมเลือดบางสายพันธุ์เกิดการย่อยสลายเม็ดเลือดแดงแบบเบตาฮีโมไลซิส เชื้อนี้เจริญได้ในอุณหภูมิช่วงกว้าง ประมาณ 15-45 องศาเซลเซียส บางสายพันธุ์ ทนความร้อน 60 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลา 15 นาที หรือ 55 องศาเซลเซียส 60 นาที โรคที่เกิดจาก *E. Coli* มีหลายโรค ได้แก่

1. โรคอุจจาระร่วง จะพบในกลุ่มคน 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นเด็กเล็ก เรียกโรคที่เกิดขึ้นว่า infantile diarrhea ส่วนใหญ่เกิดจากเชื้อ *Enteropathogenic* เด็กได้รับเชื้อปนมากับน้ำ นม อาหาร อีกกลุ่มหนึ่งเป็นโรคอุจจาระร่วงจาก *E. coli* คือ ผู้ใหญ่ที่เดินทางไปต่างถิ่น เรียกโรคนี้ว่า travelers diarrhea เกิดจากเชื้อ *Enteropathogenic E. coli* ระยะฟักตัว 5 - 15 วัน อาการคือ ถ่ายอุจจาระเป็นน้ำ มีไข้ต่ำ ๆ คลื่นไส้ อาเจียน
2. โรคติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ มักมีสาเหตุมาจากเชื้อที่อาศัยอยู่ในลำไส้ของผู้ป่วยเอง การติดเชื้อพบบ่อยในผู้หญิง เนื่องจากท่อปัสสาวะค่อนข้างจะสั้นและ

ตรงเข้าสู่กระเพาะปัสสาวะ จึงทำให้เกิดโรคการติดเชื้อที่กระเพาะปัสสาวะ เกิดกระเพาะปัสสาวะอักเสบ ซึ่งอาจ จะลุกลามไปยังไตได้ด้วย

3. โรคติดเชื้ออื่น ๆ ที่เกิดจากเชื้อ *E. coli* เช่น เยื่อหุ้มสมองอักเสบในเด็กเกิดใหม่ ปอดบวม แผลติดเชื้อ และโลหิตเป็นพิษ มักเกิดเนื่องจากการผ่าตัด การใช้ เครื่องช่วยหายใจ การใช้สายสวนท่อปัสสาวะ

3) *Enterococci*

เป็นแบคทีเรียแกรมบวกรูปร่างกลม ไม่มีสปอร์ สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพที่มีอากาศ (aerobic) และไม่มีอากาศ (anaerobic) จึงนับแบคทีเรียพวกนี้เป็นแฟคคัลเตดทีฟ (facultative anaerobes) จุลินทรีย์ชนิดนี้สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี สามารถอยู่รอดได้ในช่วงอุณหภูมิ 10-40 องศาเซลเซียส ทนสภาพการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง ได้ในช่วง pH 4-10 และทนต่อสภาพที่มีความเค็มได้ดี แบคทีเรียชนิดนี้จะพบได้ในทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์ ดังนั้นจึงสามารถใช้แบคทีเรียกลุ่มนี้บ่งชี้การปนเปื้อนจุลินทรีย์ที่มีความทนทานต่อกระบวนการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งได้

4) Coliphage

เป็นไวรัสที่สามารถอาศัยอยู่ในแบคทีเรีย *Escherichia coli* หรือ *E.coli* ได้ ในสหรัฐอเมริกา US EPA ใช้ไวรัสกลุ่มนี้เป็นตัวชี้วัดการปนเปื้อนไวรัสก่อโรค (enteric virus pathogen) ในน้ำ เนื่องจากไวรัสกลุ่มนี้จะมีความทนทานต่อการฆ่าเชื้อมากกว่าแบคทีเรีย (vegetative bacteria) แต่มีความปลอดภัยในการตรวจวิเคราะห์ และตรวจวิเคราะห์ได้ง่ายกว่าการตรวจหาไวรัสก่อโรคโดยตรง มีโครงสร้างและรูปร่างเหมือนกับไวรัสก่อโรค นอกจากนี้ยังพบได้ในจำนวนที่มากกว่า และตรวจนับจำนวนได้ง่าย ไวรัสกลุ่มนี้สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มคือ *Somatic Coliphage* และ *male-specific coliphage*

1) *Somatic Coliphage*

เป็นไวรัสที่เข้าไปอาศัยอยู่ในแบคทีเรีย *E.coli* ได้ผ่านทางเยื่อหุ้มเซลล์ จากการที่ไวรัสชนิดนี้เข้าไปอาศัยและเพิ่มจำนวนภายในเซลล์ของแบคทีเรีย *E.coli* ซึ่งอาศัยอยู่ในลำไส้ของสัตว์เลือดอุ่น จึงสามารถถูกใช้ในการบ่งชี้การปนเปื้อนของไวรัสในน้ำได้ ไวรัสกลุ่มนี้สามารถถูกแบ่งตามลักษณะรูปร่างออกได้เป็น 4 พวก ได้แก่ *Siphoviridae*, *Myoviridae*, *Podoviridae*, และ *Microviridae* ไวรัส *Somatic Coliphage* มักถูกใช้เป็นตัวชี้วัดการปนเปื้อนไวรัสที่มีที่มาจากอุจจาระมนุษย์ และ

พบจำนวนได้มากกว่าไวรัสกลุ่ม *male-specific coliphage* แต่ไวรัสกลุ่ม *male-specific coliphage* มีความทนทานต่อการฆ่าเชื้อมากกว่า

2) Male-Specific (F_{amp}) Coliphage

ไวรัสชนิด *male-specific* (หรือ F_{amp}) RNA coliphage เป็นไวรัสที่เข้าสู่แบคทีเรีย *E.coli* ได้ผ่านทาง ขน(pili) ของแบคทีเรีย แม้ว่าจะพบไวรัสชนิดนี้ได้บ่อยในอุจจาระของมนุษย์ แต่จะพบไวรัสชนิดนี้ได้มากในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ไวรัสชนิดนี้มีความทนทานสูงต่อการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน และมีความทนทานต่อการฆ่าเชื้อมากกว่า *Somatic Coliphage* ดังนั้นไวรัสกลุ่ม *male-specific coliphage* จึงเหมาะที่จะถูกใช้ในการบ่งชี้ประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว

2.3 กระบวนการฆ่าเชื้อในน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศโดยทั่วไป เช่นระบบตะกอนเร่ง จะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียประมาณได้ร้อยละ 80 เมื่อมีการควบคุมสภาวะการทำงานของระบบที่เหมาะสม แต่ไม่สามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคที่มีอยู่ในน้ำเสียลงได้ ดังนั้นจึงต้องมีการทำลายเชื้อโรคในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยก่อนที่จะปล่อยออกสู่แหล่งรองรับน้ำ เช่น แหล่งน้ำตามธรรมชาติ คู คลองต่าง การทำลายเชื้อโรคหรือการฆ่าเชื้อโรคในน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแล้วนั้นมีหลายวิธี เช่น การฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน การฆ่าเชื้อด้วยก๊าซโอโซน การฆ่าเชื้อด้วยรังสีเหนือม่วง หรือแสงอัลตราไวโอเล็ต หรือการใช้สารเคมีอื่นๆ

การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เป็นกระบวนการเพื่อลดจำนวนของจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ไม่สามารถก่อโรคในได้ ลดการแพร่กระจายในสิ่งแวดล้อม โดยทำให้อยู่ในสภาพที่ไม่ก่อโรคหรือถูกทำลาย ทั้งนี้วิธีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งสามารถเป็นออกตามกลไกที่ใช้ในการฆ่าเชื้อได้ 2 ประเภทดังนี้

- 1.1 **วิธีทางกายภาพ (Physical disinfection)** เป็นวิธีที่ใช้หลักการทางกายภาพเพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำเสียหรือน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วคือวิธีรังสียูวี (Ultraviolet disinfection)

รังสียูวี รังสี Ultraviolet (UV) เป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 100 – 400 nm เป็นช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่างรังสีเอ็กซ์ (X-rays) และแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้ (Visible light) โดยรังสียูวี สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยตามช่วงความยาวคลื่นคือ vacuum UV (100-200 nm), UV-C

(200-280 nm), UV-B (280-315 nm) และ UV-A (315-400 nm) ช่วงความยาวคลื่นที่มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์จะอยู่ในช่วง 200-300 nm

กลไกการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เริ่มจากพลังงานรังสียูวีความยาวคลื่น 200-300 nm ถูกดูดซึมโดย อาร์เอ็นเอและดีเอ็นเอของเซลล์ การดูดซึมของพลังงานรังสียูวีนี้ทำให้เกิดการสร้างพันธะใหม่ระหว่าง nucleic acid ที่อยู่ติดกันเป็นพันธะคู่หรือ dimers (dimerization) การสร้างพันธะที่พบมากที่สุดคือระหว่าง thymine ที่เกิดขึ้นในดีเอ็นเอ ทำให้เกิดความผิดพลาดในการสำเนาข้อมูลจากอาร์เอ็นเอและดีเอ็นเอ นำไปสู่การขัดขวางกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์และกระบวนการทางชีวภาพอื่น ๆ เป็นผลให้เซลล์ถูกทำลายในที่สุด แต่เนื่องจากการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีนั้น รังสียูวีไม่ได้สัมผัสกับน้ำเสียตลอดเวลา เมื่อน้ำเสียหยุดการสัมผัสกับรังสียูวี จะทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีลดลงและทำให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถกลับมาเจริญเติบโตได้อีกครั้งโดยกระบวนการซ่อมแซมตัวเองได้

1.2 **วิธีทางเคมี (Chemical disinfection)** เป็นวิธีที่ใช้หลักการทางชีวภาพเพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ การกำจัดเชื้อจุลินทรีย์โดยวิธีใช้สารประกอบคลอรีน (Chlorination disinfection), การกำจัดเชื้อจุลินทรีย์โดยวิธีใช้สารโอโซน (Ozonation disinfection), การกำจัดเชื้อจุลินทรีย์โดยวิธีใช้สารประกอบเฟอร์เรต (VI) (Ferrate disinfection), การกำจัดเชื้อจุลินทรีย์โดยวิธีใช้สารประกอบกรดเปอร์อะซิติก (Peracetic acid disinfection)

1.2.1 การกำจัดเชื้อจุลินทรีย์โดยวิธีใช้สารประกอบคลอรีน

คลอรีนเป็นสารชนิดหนึ่งที่มีความไวในการเกิดปฏิกิริยา โดยเป็นกลุ่มฮาโลเจน คลอรีนมีอิเล็กตรอนทั้งหมด 14 อิเล็กตรอน แบ่งออกเป็น 3 ชั้นคือชั้นในจะประกอบด้วย 2 อิเล็กตรอน ชั้นกลางประกอบด้วย 8 อิเล็กตรอน ส่วนในชั้นนอกสุดมี 7 อิเล็กตรอน ซึ่งที่ชั้นนอกนี้จะสามารถเติมได้อีก 1 อิเล็กตรอน

คลอรีนสามารถอยู่ในสภาพที่เสถียรได้เช่น NaCl หรืออยู่ในสภาพที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเช่น HCl เมื่อ HCl ละลายในน้ำจะเกิดเป็นกรดไฮโดรคลอริก ไฮโดรเจนอะตอมจะให้อิเล็กตรอนแก่คลอรีนอะตอม เกิดเป็นไฮโดรเจนไอออนและคลอรีนไอออนซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับสารอื่น

คลอรีนเป็นสารออกซิแดนท์และสารฆ่าเชื้อโรคที่ดี สำหรับนำมาใช้กับเชื้อโรคหรือสารปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสีย สลัดจ์ หรือสระว่ายน้ำ ทั้งนี้คลอรีนสามารถเกิดเป็นสารประกอบอื่นๆ เช่น ไตรฮาโลมีเทน, หรือสารประกอบฮาโลเจนซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่จำเป็นต้องมีการติดตามการใช้งานด้วย

ชนิดของคลอรีนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือแก๊สคลอรีน สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ แคลเซียมไฮโปคลอไรท์และโบรมีนคลอไรด์ การเลือกชนิดของคลอรีนขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่าย รูปแบบการจัดเก็บและสถานะความเป็นกรด -ด่างที่ต้องการ

- 1) แก๊สคลอรีน (Cl_2) มีลักษณะเป็นสีเหลืองเขียว หนักกว่าอากาศ เมื่อหายใจเข้าไป จะทำให้เกิดการระคายเคืองระบบทางเดินหายใจและผนังเยื่อปอด และทำให้เสียชีวิตได้ แก๊สคลอรีนที่นำมาขายกันจะถูกอัดด้วยอากาศเป็นของเหลวสีชา ซึ่งมีราคาต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่น ๆ
- 2) สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ($NaOCl$) เป็นสารละลายสีเหลืองอ่อน มีความเป็นด่างสูง มีคุณสมบัติกัดกร่อนและมีกลิ่นคลอรีนแรง เป็นสารเคมีที่นิยมนำมาใช้ในครัวเรือน (สารฟอกขาว) มีอายุการใช้งานสั้น แต่สามารถจัดการใช้งานได้ง่ายกว่ารูปแบบอื่น ๆ เมื่อนำไปใช้บำบัดสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ จะมีผลเพิ่มค่าพีเอชในน้ำที่ถูกบำบัด ปริมาณที่ต้องการเพื่อนำมาบำบัดใช้ความเข้มข้นต่ำกว่ารูปแบบสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรด์และแก๊สคลอรีน
- 3) สารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ($Ca(OCl)_2$) ผลิตมาจากแก๊สคลอรีน ซึ่งมีรูปแบบเป็นเกล็ดหรือเป็นเม็ดสีขาว มีกลิ่นฉุนมากและสามารถสร้างความร้อนจนทำให้เกิดการระเบิดได้ ดังนั้นไม่ควรเก็บรักษาบริเวณที่ใกล้กับสิ่งที่สามารถเกิดการลุกไหม้ได้หรือเชื้อเพลิง นอกจากนี้เมื่อนำไปใช้บำบัดสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์จะมีผลเพิ่มค่าพีเอชในน้ำที่ถูกบำบัด
- 4) โบรมีนคลอไรด์ ($BrCl$) เป็นสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวกันของโบรมีน 1 อะตอมและคลอรีน 1 อะตอม มีรูปแบบเป็นของเหลวสีแดงคล้ำภายใต้ความดัน โดยสารตกค้างของสารโบรมีนคลอไรด์จะมีค่าความเป็นพิษต่ำกว่าสารประกอบคลอรีนรูปแบบอื่น ๆ

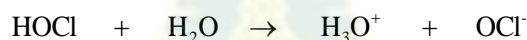
กลไกการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน

คลอรีนฆ่าเชื้อโรคเช่น ไวรัสและแบคทีเรีย โดยการตัดพันธะเคมีภายในโมเลกุล เมื่อเอนไซม์สัมผัสกับคลอรีน ไฮโดรเจนอะตอมจะถูกแทนที่ด้วยคลอรีน ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างของโมเลกุล ส่งผลให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้และตายในที่สุด สามารถอธิบายการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้

- 1) เมื่อคลอรีนถูกเติมลงในน้ำ จะเกิดการสร้างเป็นกรดไฮโปคลอรัส



- 2) ที่ค่า pH สูงกรดไฮโปคลอรัสจะเปลี่ยนเป็น ไฮโปคลอไรท์ไอออน



กรดไฮโปคลอรัสจะมีสถานะทางไฟฟ้าเป็นกลาง ส่วนไฮโปคลอไรท์ไอออนจะมีสถานะทางไฟฟ้าเป็นลบ เมื่อสารทั้งสองไปสร้างพันธะจะเกิดคลอรีนอิสระขึ้นเพื่อไปฆ่าเชื้อ โดยกรดไฮโปคลอรัสจะมีความแรงในการฆ่าเชื้อมากกว่าไฮโปคลอไรท์ไอออน เนื่องจากผนังเซลล์ของเชื้อก่อโรคมักเป็นลบ ดังนั้นกรดไฮโปคลอรัสที่มีประจุเป็นกลางจึงสามารถผ่านเข้าเซลล์ได้มากกว่า นอกจากนี้เมื่อกรดไฮโปคลอรัสแยกออกเป็นกรดไฮโดรคลอริกและอะตอมของออกซิเจน อะตอมของออกซิเจนจะถูกนำไปใช้ในการฆ่าเชื้อต่อไป

คุณสมบัติในการฆ่าเชื้อในน้ำของคลอรีนจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการออกซิไดส์ของอะตอมของออกซิเจนอิสระและการแทนที่ของคลอรีน ที่ pH ประมาณ 7 คลอรีนประมาณ 80 % จะอยู่ในรูปกรดไฮโปคลอรัสที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อ เมื่อ pH มีค่าลดลงจะทำให้กรดไฮโปคลอรัสเปลี่ยนไปอยู่ในรูปไฮโปคลอไรท์ไอออนซึ่งมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อต่ำกว่า

การควบคุมสถานะการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อของคลอรีนได้แก่ ปริมาณคลอรีนที่เติม, การผสม, ระยะเวลาการสัมผัสระหว่างคลอรีนและน้ำเสีย สถานะการฆ่าเชื้อถูกควบคุมผ่านปริมาณของคลอรีนที่คงเหลือ โดยการผสมอย่างรวดเร็วและแรงในช่วย

เริ่มต้นของการผสม เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาในช่วงแรกระหว่างคลอรีนอิสระและแอมโมเนียไนโตรเจน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสารประกอบอื่นๆ ระยะเวลาที่สัมผัสระหว่างคลอรีนและน้ำเสียโดยทั่วไปประมาณ 30 นาที ส่วนปริมาณของคลอรีนจะถูกปรับตามลักษณะของของเสีย ความต้องการใช้คลอรีน โดยทั่วไปช่วงที่ใช้คือ 5 ถึง 20 mg/L

การใช้คลอรีนฆ่าเชื้อโรคในน้ำสะอาดอย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการดังนี้

1. ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ (Free chlorine residual) ความเข้มข้นและปริมาณของคลอรีนที่เติมลงในน้ำไม่ใช่สิ่งที่สำคัญที่สุดในการฆ่าเชื้อโรค หากแต่เป็นปริมาณคลอรีนอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำ ซึ่งวัดได้หลังจากช่วงระยะเวลาสัมผัสอันหนึ่งแต่การเติมคลอรีนน้อยเกินไป จะไม่ทำให้เกิดคลอรีนอิสระขึ้นและอาจจะทำลายเชื้อโรคในน้ำได้ไม่ทั้งหมด แต่การเติมคลอรีนในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้น้ำมีกลิ่นฉุนของคลอรีนและทำให้รสชาติของน้ำเสียไปด้วย ทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองคลอรีน นอกจากนี้ คลอรีนยังมีฤทธิ์กัดกร่อน อาจทำให้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เสียหายได้ ดังนั้น ในการเติมคลอรีนจึงต้องเติมในปริมาณที่พอเหมาะ คือ สามารถฆ่าเชื้อโรคได้หมด รวมทั้งก่อให้เกิดคลอรีนอิสระที่แนะนำคือระหว่าง 0.2-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (0.2-0.5 ppm.) ณ เวลาสัมผัส 30 นาที กล่าวคือภายหลังจากที่ทำการเติมสารละลายคลอรีนไปแล้ว 30 นาที ต้องสามารถวัดปริมาณคลอรีนอิสระได้ระหว่าง 0.2-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อโรค (Duration of contact) ทั้งนี้โดยเริ่มตั้งแต่เวลาที่เติมสารละลายผงปูนคลอรีนลงไปในน้ำจนถึงเวลาที่ผู้ใช้เริ่มใช้น้ำเป็นรายแรกไม่ควรน้อยกว่า 30 นาที หรือถ้านานกว่านั้นการฆ่าเชื้อโรคของสารละลายผงปูนคลอรีนก็จะมีมากขึ้นด้วย และทำให้กลิ่นลดลง

3. อุณหภูมิ (Temperature) ถ้าอุณหภูมิสูงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของผงคลอรีนจะลดลง แต่ในทางตรงข้ามถ้าอุณหภูมิต่ำ ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของผงปูนคลอรีนจะดีขึ้น

4. ความขุ่นของน้ำ (Turbidity) อนุภาคความขุ่นในน้ำอาจเป็นเกราะกำบังให้เชื้อโรค ทำให้คลอรีนไม่สามารถเข้าไปสัมผัสและฆ่าเชื้อโรคได้ ดังนั้น

ถ้าต้องการให้คลอรีนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีจึงต้องทำให้น้ำมีความใสสูง คือ ต้องมีความขุ่นน้อยกว่า 10 NTU (Nephelometric Turbidity Units) โดยการเติมสารส้ม เพื่อให้อนุภาคของความขุ่นจับตัวรวมกันตกตะกอน และผ่านถึงกรอง

5. สภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) มีผลต่อการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีน เนื่องจากคลอรีนจะแตกตัวเป็นไฮโปคลอรัส (Hypochlorous : HOCl) ซึ่งมีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีเมื่อน้ำมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย หาก pH สูงกว่า 7.5 จะทำให้เกิด OCl^- มากขึ้น ซึ่ง OCl^- นี้มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคด้อยกว่า HOCl จะทำให้ต้องสิ้นเปลืองคลอรีนมากขึ้น และหากค่า pH สูงถึง 9.5 จะเกิด OCl^- ถึง 100%

ข้อดี-ข้อด้อยของการใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค Cl_2 , HOCl และ OCl^- เรียกว่าคลอรีนอิสระคงเหลือ (Free residual Chlorine) ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือชนิดใดจะมากหรือน้อยกว่ากันอยู่ที่สภาพ pH ของน้ำ ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว

1) ข้อดีของการใช้คลอรีน

คลอรีนเป็นสารเคมีที่หาได้ง่าย ราคาไม่แพง มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิปกติจึงนิยมนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำสะอาดเพื่อการบริโภค เช่นน้ำประปาและหากใช้อย่างเหมาะสมจะไม่ทำให้น้ำเสียรสชาติ และไม่เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์เลี้ยงอย่างรุนแรง คลอรีนสามารถฆ่าเชื้อโรคในเวลาไม่นานเกินไปและมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรคในน้ำต่อไปได้อีก จึงทำให้สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพได้ด้วยการหาปริมาณคลอรีนตกค้างในน้ำ ส่วนการฆ่าเชื้อโรคในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว มักจะเติมคลอรีนในน้ำจนกระทั่งมีปริมาณคลอรีนตกค้างประมาณ 2 มิลลิกรัม ต่อลิตร

2) ข้อด้อยของการใช้คลอรีน

การใช้คลอรีนในน้ำที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับกลุ่มของกรดอินทรีย์ (Organic acid) คือ กรดฮิวมิก (Humic acid) เกิด ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes : THMs) และกรดฮาโลอะซีติก (Haloacetic acids: HAAs) ซึ่งเชื่อว่าเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นในแง่ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ สำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อม สหรัฐอเมริกา จึงกำหนดความเข้มข้นสูงสุดของไตรฮาโลมีเทน (THMs) ไว้ที่ 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm.)

ในน้ำดื่ม ณะที่องค์การอนามัยโลก (World Health Organization : WHO) กำหนดความเข้มข้นของไตรฮาโลมีเทน (THMs) ที่ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm.)

จากข้อดีและข้อดีของการใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อในน้ำ อาจสรุปได้ว่า คลอรีนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อก่อโรคในน้ำสะอาดเช่น น้ำประปาได้ดี แต่เมื่อนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำที่ยังมีสารอินทรีย์ในปริมาณสูง คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่มีในน้ำก่อนทำให้ต้องใช้ปริมาณสารมากขึ้น และมีผลผลิตพลอยได้จากการทำปฏิกิริยาดังกล่าวคือ สารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน ซึ่งจัดเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการฆ่าเชื้อในน้ำทั้งจากระบบบำบัดน้ำเสียทดแทนการใช้คลอรีนจึงอาจเป็นวิธีที่เหมาะสมมากกว่า

1.2.2 การฆ่าเชื้อด้วยสารโอโซน

โอโซนมีสัญลักษณ์คือ O_3 มีสถานะเป็นก๊าซที่ไม่คงตัว เกิดจากการแตกตัวของโมเลกุลออกซิเจนได้เป็นออกซิเจนโมเลกุลเดี่ยว แล้วเข้าจับกับโมเลกุลของออกซิเจนอื่นๆ แหล่งพลังงานที่ใช้เพื่อผลิตโอโซนได้แก่ แสงยูวี อิเล็กโทรไลซิส ปฏิกิริยาที่ใช้แสงและเคมี ปฏิกิริยารังสีเคมี ที่อุณหภูมิห้องโอโซนจะเป็นก๊าซมีสีฟ้า ความคงตัวของโอโซนในอากาศจะดีกว่าเมื่ออยู่ในน้ำ

อุณหภูมิมีผลต่อความคงตัวของโอโซนอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โอโซนจะมีอัตราการเสื่อมสลายเพิ่มขึ้น ซึ่งจากคุณสมบัตินี้เองนำมาใช้ในการออกแบบระบบโอโซนโดยใช้ความเย็นเพื่อเพิ่มความคงตัว

โอโซนที่มีค่าความเข้มข้น 240 g/m^3 สามารถทำให้เกิดการระเบิดได้ แต่เนื่องจากความเข้มข้นที่ใช้เพื่อการฆ่าเชื้อคือไม่เกิน 50 g/m^3 จึงไม่สามารถเกิดการระเบิดได้ในการใช้เพื่อฆ่าเชื้อ

ค่าการละลายในน้ำของโอโซนมีความสำคัญ เนื่องจากความสามารถในการฆ่าเชื้อของโอโซนขึ้นอยู่กับปริมาณของโอโซนที่ละลายอยู่ในน้ำ ความสามารถในการฆ่าเชื้อแปรผันตามปริมาณของโอโซนที่ละลายในน้ำ

คุณสมบัติทางเคมี

โอโซนเป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความแรง โดนมมีค่า oxidation potential อยู่ที่ 2.07 V เมื่อส่งผ่านโอโซนเข้าไปในน้ำ โอโซนจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยา “ozone demand” เนื่องจากปฏิกิริยาของโอโซนเกิดขึ้นในเวลาสั้นและหากน้ำเสียมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์สูงก็จะต้องใช้ความเข้มข้นของโอโซนสูงด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบและทำการศึกษาใน pilot scale ก่อน

หลักการฆ่าเชื้อของโอโซน

กลไกในการฆ่าเชื้อของระบบโอโซนเกิดจากโอโซนแตกตัวในน้ำ เกิดเรดิคัลของ $\cdot\text{OH}_2$ และ $\cdot\text{OH}$ ซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์ที่แรงและมีผลในการฆ่าเชื้อดังสรุปได้ดังนี้

- 1) ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผนังเซลล์ทำให้เกิดการรั่วของสารที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์สู่ภายนอกทำให้เซลล์ตาย
- 2) ทำปฏิกิริยากับเรดิคัลของสารที่เกิดจากการสลายตัวของโอโซน
- 3) ทำลายส่วนประกอบของกรดนิวคลีอิก ได้แก่ พิวรีนและไพริมิดีน
- 4) ทำลายพันธะระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนทำให้เกิดกระบวนการ depolymerization ทำลายโพลิเมอร์

1.2.3 การกำจัดเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้สารประกอบกรดเปอร์ออกไซด์ิก

กรดเปอร์ออกไซด์ิก หรือที่เรียกว่ากรดเปอร์ออกไซด์ิกคือสารประกอบเปอร์ออกไซด์ของกรดอะซิติก(AA) ผลิตได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดอะซิติกหรืออะซิติกแอนไฮไดรด์กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยมีกรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้เป็นของเหลวที่ไม่มีสี มี และไม่ก่อให้เกิดฟอง มีกลิ่นฉุนของน้ำส้มสายชู ค่าพีเอชต่ำกว่า 2 ในสารละลายที่ประกอบด้วย 5% กรดเปอร์ออกไซด์ิก, 20% - 24% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ 10% - 12 % กรดอะซิติกจะมีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.10 กรดเปอร์ออกไซด์ิกสามารถละลายน้ำได้และสามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขี้ นอกจากนี้ยังสามารถละลายได้บ้างในตัวทำละลายอะโรมาติกจัดเป็นสารประกอบออร์แกนิก เปอร์ออกไซด์ (organic peroxy) ที่มีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยาออกซิไดส์สูงซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติออกเดชันแรง และคุณสมบัติการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ โดยความสามารถในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าคลอรีนหรือคลอรีนออกไซด์ PPA ที่มีจำหน่ายจะอยู่ในรูป quaternary ใน

สภาวะสมดุลจะที่สารที่ประกอบด้วย AA, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, PAA และน้ำ ตามสมการเคมีดังนี้



โดย CH_3COOH คือ กรดอะซิติก, $\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$ คือ กรดเปอร์อะซิติก, H_2O_2 คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

กรดเปอร์อะซิติกเป็นสารกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความแรงด้วยความเข้มข้นต่ำและสามารถกำจัดเชื้อได้หลายชนิด จากการศึกษาพบว่าที่ระดับการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ระดับเดียวกันต้องใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณมากกว่ากรดเปอร์อะซิติก

ในด้านความคงสภาพกรดเปอร์อะซิติกมีความเสถียรน้อยกว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กรดเปอร์อะซิติกที่ความเข้มข้น 40% ในน้ำจะมีการสูญเสียปริมาณสารสำคัญ 1-2% ต่อเดือนในขณะที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 30-90 % มีอัตราการสูญเสียปริมาณสารสำคัญเพียง 1% ต่อปี และกรดเปอร์อะซิติกที่ความเข้มข้น 1% จะสูญเสียปริมาณสารสำคัญ 50% ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสภายใน 6 วัน อย่างไรก็ตามกรดเปอร์อะซิติกที่จำหน่ายที่ระดับความเข้มข้น 10-15 % มีความคงสภาพมากกว่าที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่าหรือต่ำกว่านี้

การเก็บรักษาให้เก็บรักษาในสภาวะปกติ เย็น ในภาชนะที่ผู้จำหน่ายใส่มา สามารถเก็บได้ในแก้ว แต่ไม่ควรเก็บไว้ในภาชนะพลาสติกที่มีส่วนประกอบของไวนิลและยางสังเคราะห์

กลไกการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของกรดเปอร์อะซิติก

กรดเปอร์อะซิติกสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ด้วยการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับผนังเยื่อหุ้มเซลล์ อิเล็กตรอนจะถูกส่งผ่านเข้าไปภายในเซลล์และทำลายกลไกการทำงานของเซลล์ ทำให้เชื้อจุลินทรีย์หยุดการทำงานอย่างรวดเร็ว

กลไกการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของกรดเปอร์อะซิติกจะเป็นคุณสมบัติของออกซิไดส์ โดยการปลดปล่อยออกซิเจนไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่งผลให้เกิดการขัดขวางการทำงานของระบบ chemiosmotic ของ lipoprotein cytoplasmic membrane และการขนส่งผ่านการแตกออกของผนังเซลล์ การทำงานของกรด

เปอร์อะซิติกคือทำให้โปรตีนเสียสภาพทำให้เกิดการทำลายสปอร์และไข่ของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังมีผลในการออกซิไดส์เอโนไซม์ภายในเซลล์ ทำให้เกิดความเสียหายของสารที่อยู่ภายในเซลล์

ผลิตภัณฑ์พลอยได้

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเสื่อมสลายของกรดเปอร์อะซิติกคือ กรดอะซิติก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ออกซิเจนและน้ำ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในน้ำมี 3 ปฏิกริยาคือ spontaneous decomposition, hydrolysis, และ transition-metal-catalyzed decomposition สำหรับที่ค่าพีเอช 5.5-8.2 ปฏิกริยาหลักที่เกิดขึ้นคือ spontaneous decomposition ได้ผลิตภัณฑ์เป็น กรดอะซิติกและออกซิเจน น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกรดเปอร์อะซิติกพบสารพิษน้อยมาก ในรูปกรดคาร์บอกซิลิกซึ่งไม่เป็นสารก่อกลายพันธุ์ กรดคาร์บอกซิลิกที่พบเกิดขึ้นจากปฏิกริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ในน้ำโดยกรดเปอร์อะซิติก ไม่มีผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เป็นสารประกอบฮาโลเจน ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีของกรดเปอร์อะซิติกเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ก๊าซคลอรีน คลอรีนออกไซด์ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ หรือโอโซน ดังนั้นจึงมีการใช้กรดเปอร์อะซิติก ในการฆ่าเชื้อหรือการทำปลอดเชื้อในห้องปฏิบัติการ อุตสาหกรรมอาหาร-เครื่องดื่ม การแพทย์ และเภสัชกรรม นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดเปอร์อะซิติกในการฆ่าเชื้อและฟอกสีของอุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งทอ ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อในการทำความสะอาดฮอฝิ่งเย็น

ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้กรดเปอร์อะซิติกสำหรับน้ำเสียจะประกอบด้วย

1) อุณหภูมิ

กรดเปอร์อะซิติกสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง ทั้งนี้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นระหว่างที่ทำการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์จะมีผลทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์ลดลงมากขึ้นด้วย

2) ค่าพีเอช

กรดเปอร์อะซิติกจะสามารถทำงานได้ดีที่ค่าพีเอชต่ำ รูปของกรดเปอร์อะซิติกที่มีผลในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์คือรูปกรดที่ไม่แตกตัว โดยค่าคงที่ของการแตกตัวของกรดเปอร์อะซิติก (pKa) เท่ากับ 8.2 ดังนั้นในสารละลายต่างจะทำให้เกิดการแตกตัวของกรดเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัด

เชื้อลดลง สำหรับแบคทีเรียความสามารถในการกำจัดเชื้อจะมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยในช่วงค่าพีเอช 5 ถึง 8 แต่ประสิทธิภาพจะลดลงที่ค่าพีเอชเท่ากับ 9

3) TSS และบีโอดี

ประสิทธิภาพของกรดเปอร์อะซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการลดลงของปริมาณ TSS และบีโอดีสำหรับน้ำเสียที่จะนำมากำจัดเชื้อจุลินทรีย์

4) จลนศาสตร์

ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะลดลงในช่วง 10 นาทีของการสัมผัส ลักษณะของการลดลงเป็นรูปแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1

ในปัจจุบันพบว่า กรดเปอร์อะซิติกสามารถทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ถูกใช้เป็นตัวชี้วัดในน้ำเสียได้เป็นอย่างดี และยังสามารถใช้ร่วมกับระบบฆ่าเชื้ออื่น ๆ เช่น ระบบรังสีอัลตราไวโอเล็ตหรือระบบแสงยูวี ทำให้ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อของระบบแสงยูวี สูงขึ้นเป็นอย่างมาก ข้อเด่นของการใช้กรดเปอร์อะซิติกฆ่าเชื้อในน้ำเสียคือกรดเปอร์อะซิติกก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงของสารที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (Disinfection by-products, DBPs) ที่เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งน้อยมาก กรดเปอร์อะซิติกจึงเป็นสารฆ่าเชื้อหนึ่งในห้าชนิดที่ หน่วยงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (US EPA) แนะนำให้ใช้ในการฆ่าเชื้อในน้ำที่ไหลล้นท่อระบายน้ำสาธารณะ

ข้อดีอีกประการหนึ่งของกรดเปอร์อะซิติกคือสามารถใช้แทนสารละลายคลอรีนในระบบฆ่าเชื้อที่ใช้คลอรีนซึ่งติดตั้งในระบบบำบัดน้ำเสียอยู่แล้วในปัจจุบันโดยต้องการการดัดแปลงอุปกรณ์เพียงเล็กน้อย จึงเป็นข้อเด่นที่เอื้อประโยชน์ให้ผู้ดูแลระบบบำบัดน้ำเสียสามารถนำกรดเปอร์อะซิติกมาใช้ทดแทนสารละลายคลอรีนเพื่อการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียโดยมีการเปลี่ยนแปลงหรือดัดแปลงระบบฆ่าเชื้อดั้งเดิมที่มีอยู่แล้วน้อยมาก

จากการศึกษาของ Park E. และคณะ(2014) พบว่า กรดเปอร์อะซิติกที่ระดับความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการลด จุลินทรีย์

อีโคไลในน้ำ ได้สูงถึงร้อยละ 99.9 และ Pradhan S.K. และคณะ(2013) พบว่า กรดเปอร์อะซิติก ที่ระดับความเข้มข้น 3 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพดีในการลดจุลินทรีย์ตัวชี้วัดในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย (อีโคไล) และจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวชี้วัดไวรัสในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย (F- specific coliphage)

ทั้งนี้ การเลือกใช้ระบบการฆ่าเชื้อแต่ละระบบนั้น จะต้องพิจารณาถึงการปรับปรุงลักษณะน้ำทิ้งให้มีความเหมาะสม และ ต้นทุนในการดำเนินการ ตลอดจนความยากง่ายในการดูแลระบบฆ่าเชื้อให้คงประสิทธิภาพ ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาล มักเลือกใช้ระบบการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง การควบคุมระบบ และการบำบัดที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการฆ่าเชื้อระบบอื่นๆ อาทิ ระบบโอโซน และระบบ แสงเหนือม่วง หรือ แสง ยู-วี นอกจากนี้ ระบบการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนเป็นระบบที่ใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการดำเนินการ จึงถูกนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว

ดังนั้นการวิจัยเพื่อหาประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลของสารเคมีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ คลอรีน และสารเคมีอื่น ได้แก่ กรดเปอร์อะซิติก จึงถูกจัดทำขึ้นเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของคลอรีนและกรดเปอร์อะซิติกในการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้ง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคที่พบได้ในน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลของคลอรีน และกรดเปอร์อะซิติก

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คลอรีนเป็นสารเคมีที่รู้จักมานานและนิยมใช้ในการฆ่าเชื้อทั้งในน้ำสะอาดและน้ำเสีย เนื่องจากใช้ได้สะดวก และราคาไม่สูง แต่การใช้คลอรีนกับน้ำเสียนั้นก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์พลอยได้ ตกค้างในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ส่วนกรดเปอร์อะซิติกนั้น นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหาร และเริ่มมีการนำมาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนเนื่องจากไม่มีสารพาทตกค้าง เหมือนกับคลอรีน ซึ่งตัวอย่างการศึกษาการใช้กรดเปอร์อะซิติกในการบำบัดน้ำเสียมีดังนี้

Ronald Gehr และ คณะ (2003) ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อของ กรดเปอร์อะซิติก แสง UV และ โอโซน ในน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาแล้ว โดยทำการศึกษาลดลงของจุลินทรีย์ตัวชี้วัด ได้แก่ ฟิคัลโคลิฟอร์ม เอนเทอโรคอคไค MS-2 coliphage หรือ *Clostridium perfringens* ผลการศึกษา

พบว่า กรดเปอร์อะซิติค ความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณ ฟิคัลโคลิฟอร์ม และ เอนเทอโรคอคไคได้ดี กรดเปอร์อะซิติคสามารถลด MS-2 coliphage ได้ 1-log reduction แต่ไม่พบผลการยับยั้ง *Clostridium perfringens* ในน้ำเสียตัวอย่าง

Surenda K. Pradhan และคณะ (2013) ศึกษาการลดลงของจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียเมื่อใช้ Fe^{3+} และ Al^{3+} ในการตกตะกอนและฆ่าเชื้อด้วยกรดเปอร์อะซิติค พบว่ากรดเปอร์อะซิติค 5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดจุลินทรีย์ชี้วัดได้แก่ อี โคไล เอนเทอโรคอคไค F-specific RNA coliphages และ somatic DNA coliphages) ได้ดี

Eunyoung Park และคณะ(2014) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของกรดเปอร์อะซิติคในการยับยั้ง แบคทีเรีย ไวรัส และสปอร์ในน้ำ พบว่ากรดเปอร์อะซิติคที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้ง *E. faecium* ได้ และการยับยั้ง coliphage(male-specific(F^+) coliphage) และ โพรโตซัว (*Bacillus subtilis* spores) ต้องใช้กรดเปอร์อะซิติคเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร และ 3000 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

M. Antonelli และ คณะ (2013) ทำการประเมินการใช้กรดเปอร์อะซิติคฆ่าเชื้อในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในประเทศอิตาลี พบว่ากรดเปอร์อะซิติคที่ระดับความเข้มข้นมากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณ ฟิคัลโคลิฟอร์มและ อีโคไล ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง และการนำไปใช้เพื่อการเกษตร และไม่พบการเจริญเติบโตของแบคทีเรียภายหลังการบำบัด และความเป็นพิษของกรดเปอร์อะซิติคต่อสัตว์น้ำที่ใช้เป็นตัวชี้วัด ได้แก่ *Vibrio fischeri* *Daphnia mahna* และ *Selenastrum capricornutum* เกิดจากปริมาณกรดเปอร์อะซิติคที่หลงเหลือในน้ำ แต่ไม่ได้เกิดจากสารตกค้างจากปฏิกิริยาเคมี