

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาน้ำเสียยังคงเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญอันดับต้นๆ ของประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำเสียชุมชน น้ำเสียจากโรงพยาบาล น้ำเสียจากภาคเกษตรกรรมและอื่นๆ สภาพน้ำที่เสื่อมคุณภาพหรือมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปจากสภาพธรรมชาติเนื่องจากมีสารมลพิษเข้าไปปะปนอยู่นั้นไม่เหมาะต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ และการบริโภคและอุปโภคของมนุษย์ โดยจะก่อให้เกิดปัญหาและผลกระทบต่อชุมชนแตกต่างกันไปตามลักษณะและองค์ประกอบของน้ำเสียนั้นๆ ทั้งนี้ น้ำเสียจากโรงพยาบาลนั้นจัดเป็นของเสียอันตรายเนื่องจากโรงพยาบาลเป็นแหล่งรวมของเชื้อโรคจากผู้ป่วยที่มารับการรักษาพยาบาล น้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ ในโรงพยาบาล จึงมีการปนเปื้อนด้วยเชื้อโรค เช่น *Shigella* spp. และ *Salmonella* spp. (Tsai et al., 1988) รวมทั้งสารรังสี สารเคมี ตลอดจนยาปฏิชีวนะต่างๆ เป็นจำนวนมาก ซึ่งหากไม่ได้รับการบำบัดอย่างเหมาะสมก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสมดุลระบบนิเวศน์และเป็นการแพร่กระจายเชื้อโรคที่มีน้ำเป็นสื่อจนกระทั่งก่อให้เกิดการระบาดของโรคได้

การบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลในประเทศไทยนั้นนิยมใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคเนื่องจากคลอรีนสามารถทำลายเชื้อโรคได้มากกว่า 99% รวมทั้ง *E. coli* และเชื้อไวรัส (กองสุขาภิบาลอาหารและน้ำ, 2549) ซึ่งนอกจากคลอรีนจะสามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้ในช่วงระยะเวลาที่ทำการเติมคลอรีนลงไปแล้ว ยังให้ผลตกค้างในระยะยาวอีกด้วย โดยคลอรีนที่เติมลงไปจะละลายน้ำอยู่ในรูปของคลอรีนอิสระ ทำหน้าที่ฆ่าเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนมาในภายหลัง แต่เป็นที่ทราบกันดีว่า คลอรีนนี้นั้นสามารถทำปฏิกิริยากับกลุ่มของกรดอินทรีย์ คือ กรดฮิวมิก เกิดไตรฮาโลมีเทน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง และกลายพันธุ์อันเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตโดยทั่วไป (กองสุขาภิบาลอาหารและน้ำ, 2549) และยังมีงานวิจัยรายงานว่าสปอร์ของแบคทีเรียและฟังไคที่มี ความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ดี เนื่องจากความจำเพาะของโครงสร้างเซลล์ ทำให้แอลกอฮอล์และไฮโปคลอไรต์ที่เป็นคลอรีนอิสระไม่สามารถกำจัดเชื้อโรคในกลุ่มนี้ได้ (Sagripanti & Bonifacino, 1999) และพบว่าคลอรีนไม่สามารถกำจัดแบคทีเรียที่ใกล้เคียงสายพันธุ์ *Bacillus*

subtilis และ *Bacillus licheniformis* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่สร้างเอนโดสปอร์ที่มีความทนทานสูงได้อย่างสมบูรณ์ (Macauley et al., 2006) รวมถึงไม่สามารถกำจัด *Cryptosporidium parvum* และ *Giardia lamblia* ซึ่งเป็นโปรโตซัวที่เป็นต้นเหตุของการเกิดอาการท้องร่วงอย่างรุนแรง (Betancourt & Rose, 2004) นอกจากนี้คลอรีนยังมีฤทธิ์กัดกร่อนและเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ ทำให้การใช้คลอรีนฆ่าเชื้อโรคในน้ำเสียในต่างประเทศนั้น เริ่มมีจำนวนที่ลดน้อยลงไปตามลำดับ โดยในหลายๆ ประเทศเริ่มที่หันมาหาทางเลือกใหม่ที่มีประสิทธิภาพดีกว่าและมีอันตรายน้อยกว่า มีการนำเอาเทคโนโลยีอื่นมาทดแทน เช่น การใช้โอโซน การกรองผ่านเมมเบรน หรืออิเล็กโตรเคมีคัล เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวมีความยุ่งยากซับซ้อนและมีราคาแพง ขณะที่การใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์โฟโตคะตะไลซิส (TiO_2 photocatalysis) หรือใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตซี (UV-C) นั้นเป็นวิธีที่ถูกลงกว่า ไม่ซับซ้อนและไม่เป็นอันตราย โดยหลักการทำงานของไทเทเนียมไดออกไซด์โฟโตคะตะไลซิส เริ่มจากการที่ไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นตัวคะตะไลสต์ เมื่อได้รับพลังงานโฟตอนจากแสงที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นน้อยกว่า 365 นาโนเมตร จะทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในชั้นวงนอกสุด (แถบวาเลนซ์) สามารถกระโดดข้ามไปยังชั้นแถบคอนดักชันที่มีพลังงานสูงกว่าได้ ทิ้งให้เกิดเป็นช่องว่างอยู่ในแถบวาเลนซ์ ซึ่งช่องว่างนั้นสามารถออกซิไดซ์ไฮดรอกไซด์ไอออนในน้ำเกิดเป็นไฮดรอกซิลแรดิคัล ($\text{OH}^\bullet$) ส่วนตัวอิเล็กตรอนในชั้นแถบคอนดักชันสามารถปรีดิวซ์ออกซิเจนในน้ำเกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์แรดิคัล ($\text{O}_2^\bullet$) ขึ้น ซึ่งทั้งสองตัวนี้ล้วนแต่เป็นตัวออกซิไดซ์และตัวรีดิวซ์ที่รุนแรง สามารถทำลายเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์และทำลายองค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์จนทำให้เซลล์นั้นตายในที่สุด (Rincón & Pulgarin, 2004) ขณะที่รังสีอัลตราไวโอเล็ตซีจะไปยับยั้งการคัดลอกสายดีเอ็นเอ ส่งผลให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Oguma et al., 2001) ดังนั้น Labas et al. (2005) ที่ใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตซีความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร กำจัด *E. coli* ได้ 99.99% ในเวลา 10 นาที ซึ่งกลไกดังกล่าวทำให้ไทเทเนียมไดออกไซด์โฟโตคะตะไลซิส และรังสีอัลตราไวโอเล็ตซีมีอำนาจในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำเสียที่คลอรีนกำจัดไม่ได้ และปลอดภัยกว่าการใช้คลอรีนในแง่ของสารพลอยได้เป็นอย่างมาก

ทั้งนี้งานวิจัยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาการใช้ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ในการกำจัดเชื้อโรคต่างๆ ในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งใช้น้ำเสียสังเคราะห์ในการทดลอง เช่นการศึกษาของ Bekbölet & Araz (1996) ใช้ผงไทเทเนียมไดออกไซด์กำจัดเชื้อ *E. coli* ได้ 97%, Ibàñez et al. (2003) ทดสอบการกำจัดเชื้อ *E. coli* ได้ 99.999%, Robertson et al. (2007) ใช้ผงไทเทเนียมไดออกไซด์กำจัดเชื้อ *E. coli* ได้ 99.997% ส่วน Liu & Yang (2003) ทดสอบการกำจัดเชื้อ

Lactobacillus ได้ 99.9% โดยเมื่อนำไปใช้งานในระบบบำบัดน้ำเสียอาจมีปัญหในการแยกผงไทเทเนียมไดออกไซด์ออกจากน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยลงสู่สภาพแวดล้อม อีกทั้งข้อมูลที่ได้อาจไม่ตรงกับสภาพการบำบัดในน้ำเสียจริง เช่นการศึกษาของ Alrousan et al. (2009) เปรียบเทียบการกำจัดเชื้อ *E. coli* K12 ในน้ำกลั่นกับน้ำผิวดิน พบว่าในน้ำกลั่นมีประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อดังกล่าวได้ 100% ขณะที่ในน้ำผิวดินมีประสิทธิภาพการกำจัดเพียง 75% เนื่องจากสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเชื้อ *E. coli* ลดลง ทั้งนี้การศึกษาวิจัยในเรื่องของการทดแทนการใช้คลอรีนในประเทศไทยยังคงมีอยู่น้อยมาก การศึกษานี้จึงได้นำเทคโนโลยีไทเทเนียมไดออกไซด์โฟโตคะตะลิสต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ตซีมาใช้ในการฆ่าเชื้อโรคแทนการใช้คลอรีนโดยการเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนกระจกและทำการทดสอบกับเชื้อ *E. coli* และสปอร์ของเชื้อ *Bacillus subtilis* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ที่มีความคงทนสูงในสิ่งแวดล้อม (Setlow, 2000) โดยศึกษาทั้งในน้ำกลั่นและน้ำเสียจริงของโรงพยาบาลควบคู่ไปกับวิธีการเติมคลอรีนแบบเดิม ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาจะนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีและส่งเสริมความปลอดภัยทั้งของผู้ที่ทำหน้าที่ในการดูแลระบบบำบัดและประชาชนทั่วไปที่อุปโภคบริโภคน้ำต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อโรคในน้ำเสียจากโรงพยาบาลโดยการเติมคลอรีน, ปฏิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์โฟโตคะตะลิสต์ และการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตซี
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ปฏิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์โฟโตคะตะลิสต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ตซี ในการกำจัดเชื้อโรคในน้ำเสียจากโรงพยาบาล

1.3 สมมติฐาน

1. ปฏิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์โฟโตคะตะลิสต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ตซีสามารถกำจัดแบคทีเรียที่มีสปอร์ได้ดีกว่าการเติมคลอรีน
2. ความเข้มของแสงอัลตราไวโอเล็ตซีที่มากขึ้น และระยะเวลาในการทำปฏิริยาที่นานขึ้นจะทำให้การกำจัดเชื้อโรคด้วยปฏิริยาโฟโตคะตะลิสต์ดีขึ้น
3. ความขุ่นและสารอินทรีย์ในน้ำเสีย มีผลกระทบต่อการกำจัดเชื้อโรคด้วยปฏิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์โฟโตคะตะลิสต์
4. ความขุ่นในน้ำเสียมีผลกระทบต่อการกำจัดเชื้อโรคด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตซี

5. ความเข้มแสงอัลตราไวโอเล็ตซีที่มากขึ้น จะทำให้การกำจัดเชื้อโรคได้ดีขึ้นและใช้เวลาในการทำปฏิริยาน้อยลง

1.4 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาดลองแบบที่ละเทในถังปฏิกรณ์ ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร โดยใช้แผ่นกระจกเคลือบด้วย P-25 ไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่มีปริมาณ ไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.65 ± 0.14 กรัมต่อตารางเซนติเมตร (เคลือบด้วยวิธี dip coating) ขนาด 20 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่นมาวางประกบที่ผนังด้านยาวของถังปฏิกรณ์ โดยให้ระดับน้ำมีความสูง 7.5 เซนติเมตร การศึกษาไทเทเนียมไดออกไซด์โฟโตคะตะไลซิส ใช้การกระตุ้นปฏิกิริยาด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตซี และมีการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมด้วย ขณะที่รังสีอัลตราไวโอเล็ตซี เป็นการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตซีเพียงอย่างเดียว (ไม่มีการเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์บนแผ่นกระจก และไม่ได้ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) โดยในช่วงแรกศึกษาในน้ำกลั่นที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ลงไป ก่อนเปลี่ยนเป็นน้ำเสียโรงพยาบาลโดยมีการควบคุมตัวแปร ได้แก่ ความเข้มของแสงอัลตราไวโอเล็ตซี กำหนดไว้ที่ 1.72 ± 0.02 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และ 3.94 ± 0.03 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ส่วนรังสีอัลตราไวโอเล็ตซี กำหนดไว้ที่ 2.1 ± 0.01 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และ 4.55 ± 0.02 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาในการทำปฏิริยากำหนดไว้ที่ 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที เชื้อจุลินทรีย์เป็นเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* (*E. coli*) ซึ่งเป็นตัวแทนของเชื้อจุลินทรีย์ที่วัดสำหรับคุณภาพน้ำ และสปอร์ของเชื้อ *B. subtilis* ซึ่งเป็นตัวแทนของแบคทีเรียที่มีความทนทานสูงและไม่สามารถกำจัดได้ด้วยการเติมคลอรีน หลังจากนั้นทำการทดสอบในกระบอกทดลองขนาด 89 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร ในลักษณะการไหลต่อเนื่อง การตรวจนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์กระทำโดยใช้วิธี plate count technique โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ MacConkey agar และ Tryptic soy agar สำหรับเชื้อ *E. coli* และ *B. subtilis* ตามลำดับ บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 18-24 ชั่วโมง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางปฏิบัติสำหรับการเลือกใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์โฟโตคะตะไลซิส และ/หรือ รังสีอัลตราไวโอเล็ตซีในการกำจัดจุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาลแทนการใช้วิธีเดิม คลอรีน
2. เพื่อลดความเสี่ยงปัญหาสุขภาพด้านระบบทางเดินหายใจของผู้ควบคุมระบบ บำบัดน้ำเสียและความเสี่ยงในการอุปโภคบริโภคน้ำที่ปนเปื้อนสารก่อมะเร็งจากสารพลอยได้ของการใช้คลอรีน
3. เพื่อเป็นการพัฒนาเทคโนโลยี และองค์ความรู้สำหรับการบำบัดน้ำเสียในประเทศไทย