บทที่ 4

บทวิจารณ์

1. ลักษณะน้ำเสียของโรงพยาบาล

น้ำเสียจากโรงพยาบาลทั้ง 3 แห่ง ที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ และผ่านกระบวนการบำบัดทางชีววิทยามีลักษณะสมบัติไม่แตกต่างกันมากนัก โดยพบว่าน้ำเสียก่อนเข้าบ่อเติมคลอรีนมี pH ในช่วง 5.84-6.55 มีปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของ COD ไม่สูงมาก โดยพบในช่วง 41-58 mg/l มีตะกอนแขวนลอย และ แอมโมเนียไนโตรเจน ในช่วง 20-28 และ 0.4-0.5 mg/l ตามลำดับ และพบคลอรีนตกค้าง 0.4 mg/l ซึ่งอาจเป็นคลอรีนที่หลงเหลือจากน้ำทิ้งโรงพยาบาล ส่วนในน้ำเสียที่ออกจากบ่อเติมคลอรีนของโรงพยาบาลราษฎร์ยินดีและโรงพยาบาลสงขลานครินทร์พบคลอรีนตกค้าง 0.4 mg/l ทั้ง ๆ ที่จากการสังเกตที่จุดเติมคลอรีนของโรงพยาบาลดังกล่าว ไม่พบว่ามีการเติมคลอรีนเลย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานโครงการตรวจสอบระบบกำจัดของเสียในโรงพยาบาลของระบบบำบัดน้ำเสียของศูนย์ส่งเสริมสุขภาพเขต 11 จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่สามารถวัดค่าคลอรีนตกค้างในน้ำทิ้งของระบบบำบัดได้ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้ง ๆ ที่ไม่มีการเติมคลอรีนในระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งอาจเป็นคลอรีนที่หลงเหลือมากับน้ำทิ้งโรงพยาบาล หรือน้ำประปาที่รั่วเข้าสู่ระบบ (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม, 2543) และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการกำจัด coliform และ fecal coliform ด้วยคลอรีน โดยเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างน้ำเสียก่อนเข้าบ่อเติมคลอรีนและน้ำเสียออกจากบ่อเติมคลอรีน พบว่าในระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลหาดใหญ่สามารถลดปริมาณ coliform และ fecal coliform ได้สูง โดยมีคลอรีนตกค้าง 3.7 mg/l ในน้ำเสียที่ออกจากบ่อเติมคลอรีน ขณะที่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลราษฎร์ยินดีและโรงพยาบาลสงขลานครินทร์มีการลดลงของ coliform และ fecal coliform ไม่มากนัก ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2543) ที่รายงานว่าโรงพยาบาลซึ่งมีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้คลอรีนในการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยออกจากระบบบำบัด ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณคลอรีนเหลือตกค้างอยู่ในน้ำเสียระหว่าง 0.1-1.85 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ยังคงตรวจพบปริมาณ coliform และ fecal coliform ที่สูงในช่วง $<2\text{-}1.6\times10^{8}$ และ $<2\text{-}5\times10^{6}$ MPN/100 ml ตามลำดับ นอกจากนี้จากรายงานของทิตยา แซ่อึ้ง และคณะ (2543) พบว่าไม่มีความเปลี่ยนแปลงด้านปริมาณของ coliform และ fecal coliform เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำก่อนเข้าและน้ำออกจากบ่อเติมคลอรีน ทั้งที่ตรวจพบ

ปริมาณคลอรีนตกค้างอยู่ระหว่าง 0.1-0.25 mg/l ในน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียในโรงพยาบาล อย่างไรก็ตามแม้ว่าประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลไว้ แต่เมื่อพิจารณาค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งได้กำหนดให้มีค่าคลอรีนอิสระไม่เกิน 1 mg/l เพื่อป้องกันอันตรายจากคลอรีนสู่สิ่งแวดล้อม

จากลักษณะของน้ำเสียที่ออกจากบ่อเติมคลอรีน ของโรงพยาบาลบาลราษฎร์ยินดีและโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ที่พบคลอรีนเหลือตกค้างอยู่ 0.4 mg/l และมีการลดลงของ coliform และ fecal coliform ไม่มากนั้น แสดงว่าการที่คลอรีนเหลือตกค้างอยู่ 0.4 mg/l หลังจากการสัมผัสจุลินทรีย์ คลอรีนสามารถทำลาย coliform และ fecal coliform ในน้ำเสียของโรงพยาบาลได้ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ที่ coliform และ fecal coliform มีการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดีในสภาวะของน้ำเสียที่ได้กล่าวมาข้างต้น

อย่างไรก็ตามในการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลราษฎร์ยินดี นอกจากจำนวน fecal coliform จะไม่ลดลงในน้ำเสียที่ออกจากบ่อเติมคลอรีนแล้ว ยังพบว่ามีค่า COD, แอมโมเนีย-ไนโตรเจน เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในน้ำเสียที่ออกจากบ่อเติมคลอรีน อาจเป็นเพราะว่าการทำงานของระบบไม่สมบูรณ์มากนัก มีน้ำไหลออกจากบ่อตกตะกอนเข้าสู่บ่อเติมคลอรีนในปริมาณน้อย และน้ำเสียตกค้างในบ่อเติมคลอรีนเป็นเวลานาน

2. การคงชีพของจุลินทรีย์และการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน

2.1 ปริมาณสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการคงชีพของจุลินทรีย์

จากผลการศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการคงชีพของ *E. coli* และ coliphage ในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า *E. coli* มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ coliphage ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อมีปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก coliphage จะต้องอาศัยและขยายพันธุ์ในแบคทีเรียในกลุ่ม coliform ขณะที่ *E. coli* ใช้สารอินทรีย์ที่มีส่วนประกอบที่สำคัญ ๆ ได้แก่ ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ เป็นอาหารเพื่อนำไปใช้ในการสร้างเซลล์และการเจริญเติบโต ดังนั้นการลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียและมีเวลาในการกักเก็บน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แหล่งรองรับน้ำเสียอาจเป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่จะช่วยกำจัดแบคทีเรียและสามารถลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียได้ ซึ่งสังเกตได้จากผลการทดลองในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารอินทรีย์ประมาณ 50 และ 100 mg/l จะพบว่าในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารอินทรีย์ประมาณ

50 mg/l มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของ *E. coli* (45.45%) ได้มากกว่าในน้ำที่มีสารอินทรีย์ประมาณ 100 mg/l (5%) ในช่วงเวลา 30 นาที

2.2 ผลของคลอรีนที่มีต่อการทำลายจุลินทรีย์

จากผลการทดลองในปัจจัยการทำลาย *E. coli* และ coliphage ด้วยคลอรีนในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงพยาบาล พบว่า คลอรีนมีผลต่อการทำลาย *E. coli* และ coliphage ทั้งในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงพยาบาล โดยพบว่าชุดทดลองที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นของคลอรีนสูง ทั้ง *E. coli* และ coliphage มีแนวโน้มการลดลงมากกว่าชุดทดลองที่ไม่มีการเติมคลอรีนและชุดทดลองที่มีการเติมคลอรีนแต่มีการเติมคลอรีนในปริมาณต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของคลอรีนที่เป็นสารออกซิไดซ์อย่างแรง ดังนั้น เมื่อเติมสารละลายคลอรีนลงไปในน้ำ คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว ถ้าเติมลงไปน้อยเกินไปก็จะไม่มีคลอรีนเหลือตกค้าง ในทางตรงกันข้ามถ้าเติมคลอรีนให้มากพอหลังจากทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ก็จะมีคลอรีนอิสระหรือคลอรีนรวมเหลือตกค้างอยู่ในน้ำที่สามารถทำลายเยื่อหุ้มเซลล์และเอนไซม์ที่สำคัญในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ ทำให้เซลล์หยุดการเจริญเติบโตและตายในที่สุด ซึ่งจากผลการทดลองในปัจจัยความเข้มข้นของคลอรีนที่มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์ จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมคลอรีนในปริมาณสูงจะพบว่า มีคลอรีนตกค้างเหลืออยู่สูง โดยในชุดทดลองที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1 mg/l มีคลอรีนเหลือตกค้าง 0.3 mg/l ในเวลา 30 นาที สามารถทำลาย *E. coli* และ coliphage ได้ 69.50 และ 15.12 % ตามลำดับ ในขณะที่ชุดทดลองที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1.5 mg/l มีคลอรีนเหลือตกค้าง 0.6 mg/l ในเวลา 30 นาที สามารถทำลาย *E. coli* และ coliphage ได้ >99.99 และ 35.83 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเติมคลอรีนในน้ำเสียให้มีความเข้มข้นสูงจะสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Hassen และคณะ (2000) ที่ได้ทำการศึกษาการทำลาย fecal coliform ด้วยคลอรีนในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว โดยทำการเติมคลอรีน 6.5 และ 13.6 mg/l พบอัตราการตายของจุลินทรีย์ในหน่วย log (-log(Nt/No)) เท่ากับ 2.75 และ 3.45 ตามลำดับ ในช่วงเวลา 30 นาที และเมื่อเติมคลอรีนในปริมาณ 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในน้ำเสีย พบว่าภายใน 30 นาที จะสามารถทำลายเชื้อ coliform ได้ประมาณ 99.9, 99.99 และ มากกว่า 99.999 % ตามลำดับ (Irvin , 1980 quoted in Feachem, *et al.*, 1983 : 230) Tree และคณะ (1997) ได้ศึกษาการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน โดยการเติม bacteriophage (MS-2), poliovirus และ *E. coli* ลงในน้ำเสียให้มีความเข้มข้น 10^7 PFU/100ml, 10^7 PFU/100ml และ10^8 CFU/100ml ตามลำดับ พบอัตราการตายของ bacteriophage (MS-2), poliovirus และ *E. coli* เท่ากับ 38, 74 และ

> 99.99% ตามลำดับ ในน้ำเสียที่มีคลอรีน 8 mg/l และมีอัตราการตาย 64, 98 และ > 99.99% ตามลำดับ ในน้ำเสียที่มีคลอรีน 16 mg/l ซึ่งจะเห็นได้ว่า poliovirus และ bacteriophage (MS-2) มีอัตราการตายมากขึ้น เมื่อคลอรีนมีความเข้มข้นมากขึ้น และยังพบว่า bacteriophage (MS-2) และ poliovirus ซึ่งเป็นเชื้อไวรัส จะมีความทนทานต่อการทำลายด้วยคลอรีนมากกว่า *E. coli* ซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ ที่พบว่าทั้งในน้ำเสียสังเคราะห์และในน้ำเสียจากโรงพยาบาล coliphage จะมีความทนทานต่อการทำลายจากสารประกอบคลอรีนมากกว่า *E. coli*

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน จะเห็นได้ว่าปริมาณคลอรีนมีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้สัมผัสจุลินทรีย์ คลอรีนที่มีความเข้มข้นสูงจะใช้เวลาน้อยในการทำลายจุลินทรีย์ ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองในน้ำเสียสังเคราะห์ คลอรีนสามารถทำลาย *E. coli* ได้ > 99.99 % ในชุดทดลองที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นของคลอรีนเท่ากับ 2 และ 1.5 mg/l ในเวลา 10 และ 30 นาที ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยอื่น ๆ ที่กล่าวว่าเมื่อเพิ่มเวลาสัมผัสมากขึ้น โอกาสในการทำลายจุลินทรีย์จะเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน (Tyrrell, *et al.*,1995 ; Tree, *et al.*, 1997 ; Hassen, *et al.*, 2000)

อนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีนระหว่างน้ำเสียสังเคราะห์กับน้ำเสียจากโรงพยาบาล ที่มี pH ใกล้เคียงกันคือ มี pH 6.57 – 6.63 และมีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นของคลอรีนในน้ำเสียเท่ากันคือ 1.3 mg/l จะเห็นได้ว่า *E.coli* และ coliphage ในน้ำเสียสังเคราะห์มีแนวโน้มลดลงมากกว่าในน้ำเสียจากโรงพยาบาล โดยในช่วง 30 นาที *E. coli* มีการลดลง 99.68% ในน้ำเสียสังเคราะห์ และ 85.94% (ชุดทดลอง A8) ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล ขณะที่ coliphage มีการลดลง 26.67% ในน้ำเสียสังเคราะห์และมีการลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในน้ำเสียจากโรงพยาบาล นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าในสภาวะของน้ำที่ลักษณะสมบัติใกล้เคียงกัน คลอรีนสามารถทำลาย *E. coli* ได้ดีกว่า coliphage ทั้งนี้การที่คลอรีนสามารถทำลายจุลินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์ได้มากกว่าในน้ำเสียจากโรงพยาบาล อาจเนื่องมาจากน้ำเสียจากโรงพยาบาลเกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ในแผนกต่าง ๆ ของโรงพยาบาล เช่น ตึกผู้ป่วย โรงครัว โรงอาหาร แผนกเอกซเรย์ เป็นต้น ทำให้น้ำเสียจากโรงพยาบาลมีการปนเปื้อนสารมลพิษต่าง ๆ มากมาย ทำให้คลอรีนที่มีอำนาจออกซิไดซ์สูงและพร้อมที่จะทำปฏิกิริยากับสารมลพิษต่าง ๆ เหล่านี้ ซึ่งในการทดลองในน้ำเสียจากโรงพยาบาลที่มี pH 6.6 และได้เติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นเพียง 1.3 mg/l สภาวะเงื่อนไขเช่นนี้อาจไม่เพียงพอต่อการทำลายจุลินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลได้

2.3 ผลของ pH และแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีต่อการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน

จากผลการทดลองปัจจัยความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำที่มีผลต่อการทำลาย *E. coli* และ coliphage ด้วยคลอรีนในน้ำเสีย พบว่าในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงพยาบาล ที่สภาพน้ำมีความเป็นกรด (pH<6) จะมีแนวโน้มการลดลงของจุลินทรีย์สูงที่สุด ทั้งนี้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณสารอินทรีย์ (ในเทอม COD) ประมาณ 100 mg/l ซึ่งมีแอมโมเนียไนโตรเจนอยู่ประมาณ 7 mg/l และน้ำเสียจากโรงพยาบาลมีแอมโมเนียไนโตรเจน 0.5-0.6 mg/l เมื่อเติมคลอรีนลงไปในน้ำที่มีแอมโมเนีย คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียไนโตรเจนเกิดเป็นคลอรามีนและมีอำนาจในการทำลายจุลินทรีย์ได้ ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาคลอรีนกับแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำจะมีคลอรีนบางส่วนที่อยู่ในรูปคลอรีนอิสระและคลอรีนอิสระเหล่านี้จะไปทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ รวมทั้งทำลายจุลินทรีย์ คลอรีนอิสระประกอบด้วยกรดไฮโปคลอรัส (HOCl) และ ไฮโปรคลอไรด์ ไอออน (OCl^-) ซึ่งการแตกตัวของคลอรีนจะอยู่ในรูป HOCl หรือ OCl^- นั้น ขึ้นอยู่กับ pH ของน้ำ น้ำที่มี pH ต่ำจะเกิด HOCl ได้สูง เช่น ที่อุณหภูมิ 30 ^{o}C มี HOCl > 90%, pH 6.6-6.4 มี HOCl อยู่ในช่วง 88.78 – 11.4% และที่ pH มากกว่า 8.5 มี HOCl < 10% ซึ่ง HOCl มีบทบาทสำคัญมากในการทำลายจุลินทรีย์เนื่องจากมีอำนาจในการทำลายจุลินทรีย์มากกว่า OCl^- 20 – 80 เท่า (White, 1992) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผลการศึกษาการทำลายจุลินทรีย์ *E. coli* และ coliphage ในน้ำที่มีสภาพเป็นกรดมีแนวโน้มการลดลงของจุลินทรีย์สูงโดยเฉพาะน้ำเสียจากโรงพยาบาล

คลอรามีน ประกอบด้วย สารประกอบโมโนคลอรามีน (NH_2Cl), ไดคลอรามีน ($NHCl_2$) และไตรคลอรามีน (NCl_3) ดังสมการ 10-12

$$HOCl + NH_3 \longrightarrow NH_2Cl + H_2O \qquad (10)$$

$$HOCl + NH_2Cl \longrightarrow NHCl_2 + H_2O \qquad (11)$$

$$HOCl + NHCl_2 \longrightarrow NCl_3 + H_2O \qquad (12)$$

pH และอัตราส่วนระหว่างคลอรีนและแอมโมเนียไนโตรเจน มีผลต่อการเกิดคลอรามีนในรูปต่าง ๆ และอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยา โดยอัตราส่วนของจำนวนโมลระหว่างคลอรีนและแอมโมเนียไนโตรเจน (Cl_2 : N) 1 : 1 โมล (5:1 โดยน้ำหนัก) หรือน้อยกว่าจะเกิดโมโนคลอรามีนและไดคลอรามีนได้ทั้งคู่แต่จะเกิดชนิดใดได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ pH ดังสมการ 13

$$2\,NH_2Cl + H^+ \longrightarrow NH^+_4 + NHCl_2 \qquad (13)$$

จากสมการ 13 เมื่อ pH ลดลง จะเกิดไดคลอรามีนมากกว่าโมโนคลอรามีน แต่ถ้า pH สูง จะเกิดโมโนคลอรามีนมากกว่าไดคลอรามีน ซึ่งที่ pH 8.3 จะเกิดโมโนคลอรามีนขึ้นอย่างรวดเร็ว สำหรับไดคลอรามีนจะเกิดได้ช้ามากเมื่อเปรียบเทียบกับการเกิดโมโนคลอรามีน แต่เมื่อ pH เข้าใกล้ 5 ไดคลอรามีนจะเกิดได้เร็วมาก โดยที่ pH 4.5 จะเกิดไดคลอรามีนได้อย่างสมบูรณ์ 100% และจะเกิดโมโนคลอรามีน 100% เมื่อ pH 8.5 ซึ่งคลอรามีนในรูปต่าง ๆ มีความสำคัญมาก เนื่องจากมีอำนาจในการทำลายจุลินทรีย์ได้แตกต่างกัน โดยไดคลอรามีนจะมีอำนาจในการทำลายจุลินทรีย์ได้มากกว่าโมโนคลอรามีน ประมาณ 2 เท่า (White, 1992) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผลการศึกษาการทำลาย coliphage และ *E. coli* ในน้ำเสียสังเคราะห์และในน้ำเสียจากโรงพยาบาลที่ pH ต่ำ มีอัตราการตายของจุลินทรีย์สูงกว่าน้ำเสียที่มี pH สูง ซึ่งเกิดจากการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรามีนที่อยู่ในรูปไดคลอรามีนที่มีมากกว่าและสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้มากกว่าโมโนคลอรามีน อย่างไรก็ตามอัตราการตาย ของ *E. coli* ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มี pH 8 จะสูงกว่าอัตราการตายในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มี pH 6-7 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าในน้ำที่ pH 8 คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียไนโตรเจนโดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะการเกิดโมโนคลอรามีน จึงส่งผลให้ *E. coli* ในน้ำเสียที่ pH 8 มีอัตราการตายอย่างรวดเร็ว

อนึ่ง นอกจากการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีนแล้ว ยังพบว่า pH ของน้ำยังมีผลต่อการคงอยู่ของจุลินทรีย์ด้วย ซึ่งจากผลการทดลองถึงการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในน้ำเสียโรงพยาบาลที่ไม่มีการเติมคลอรีน ในน้ำที่มี pH 3.3 พบว่า *E. coli* และ coliphage มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่น้ำเสียที่มีค่า pH 6.57-6.63 พบว่า *E. coli* และ coliphage ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากว่า pH มีผลต่อโปรตีนประจุของกรดอะมิโนใน polypetide chain มีอิทธิพลต่อโครงสร้างและหน้าที่ของโปรตีน ปกติเอนไซม์หมดกิจกรรมที่ค่า pH ต่ำมากหรือสูงมาก ซึ่ง *E. coli* สามารถดำรงชีพได้ในช่วง pH 4.4-9 แต่ที่ pH 6-7 จะเอื้อต่อการคงชีพมากที่สุด (ดวงพร คันธโชติ, 2538) และ bacteriophage ไม่มีความทนทานต่อกรดที่มี pH 3 และด่าง pH 10 (ประดิษฐ์ คล้ายดวง , 2543 : 20 อ้างจาก Ohgaki, *et al.*, 1986) จึงทำให้ผลการศึกษาในการทำลาย *E. coli* และ coliphage ที่ pH แตกต่างจาก 6-7 มีอัตราการตายสูง ดังนั้นในการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน pH ของน้ำเสียควรมีค่า pH แตกต่างจาก 6-7 คือมีความเป็นกรด หรือ มีความเป็นด่าง แต่น้ำเสียที่มีความเป็นกรดจะทำให้คลอรีนมีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ได้ดีกว่า

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่า คลอรีนจะมีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ได้ดีในน้ำเสียที่มีความกรด แต่น้ำเสียที่มีความเป็นกรดสูงมาก จะต้องทำการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง

ของน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งรองรับน้ำเสีย เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากน้ำที่มีความเป็นกรดสูงที่อาจก่ออันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำได้ ซึ่งหากพิจารณาจากค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ว่า น้ำทิ้งต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ในช่วง 5-9 นั้น คาดว่าน้ำเสียที่มี pH 5 น่าจะเป็นลักษณะน้ำเสียที่ดีในการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีนในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงปัจจัยร่วมอื่น ๆ ที่มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีนด้วย เช่น ปริมาณสารอินทรีย์ ตะกอนแขวนลอย เป็นต้น

2.4 ผลของแอมโมเนียที่มีต่อการทำลายจุลินทรีย์

จากผลการศึกษาการทำลาย *E. coli* และ coliphage ในน้ำเสียโรงพยาบาล พบว่า ในน้ำเสียที่มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำ มีแนวโน้มในการลดลงของจุลินทรีย์มากกว่าในน้ำเสียที่มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนสูง โดยแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำจะสามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีนเกิดเป็นคลอรามีน ซึ่งคลอรามีนสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีนอิสระแล้ว คลอรามีนมีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ได้น้อยกว่าคลอรีนอิสระมาก คลอรามีนที่เกิดจากอัตราส่วนคลอรีน 1 โมล และแอมโมเนียไนโตรเจน 1 โมล จะเกิดคลอรามีนในรูปของโมโนคลอรามีนและไดคลอรามีน แต่เมื่อคลอรีนและแอมโมเนียไนโตรเจนอัตราส่วนเพิ่มมากขึ้นประมาณ 2 : 1 โมล จะเกิดคลอรามีนในรูปของไดคลอรามีนมากยิ่งขึ้น และเมื่อคลอรีนและแอมโมเนียไนโตรเจนมีอัตราส่วนเพิ่มมากยิ่งขึ้นจะเกิดคลอรามีนในรูปของไตรคลอรามีนและจะเหลือคลอรีนอิสระตกค้างเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคลอรีนมากขึ้น ซึ่งคลอรีนอิสระจะมีอำนาจในการทำลายจุลินทรีย์ได้มากกว่าคลอรามีน โดยคลอรามีนในรูปไดคลอรามีนมีอำนาจในการทำลายจุลินทรีย์ได้สูงกว่าคลอรามีนในรูปโมโนคลอรามีนประมาณ 2 เท่า (White, 1992) ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของคลอรีนมีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ในน้ำที่มีแอมโมเนียไนโตรเจน โดยอัตราส่วนระหว่างคลอรีนและแอมโมเนียไนโตรเจนที่น้อยลงจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Fayyad และ Al - Shekh (2001) ที่ได้ทำการศึกษาการทำลายจุลินทรีย์ coliform ด้วยคลอรีนในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว โดยใช้คลอรีน 15 mg/l ในน้ำที่มี pH 6.8 พบว่าเมื่อน้ำมีแอมโมเนียมคลอไรด์ 5 mg/l สามารถทำลาย coliform ได้ 100% และเมื่อเพิ่มแอมโมเนียมคลอไรด์เท่ากับ 30 mg/l จะสามารถทำลายจุลินทรีย์ coliform ได้ 80% และ จากการศึกษาของ Ward และคณะ (1984) ที่ได้ทำการศึกษาการทำลายจุลินทรีย์ *E. coli* โดยใช้อัตราส่วนคลอรีนต่อแอมโมเนียไนโตรเจน 2 : 1, 3 : 1, 4 : 1 และ 5 : 1 พบว่าในน้ำที่มีอัตราส่วนระหว่างคลอรีนและแอมโมเนียไนโตรเจนสูง (5 : 1) สามารถทำลาย *E. coli* ได้มากกว่าในน้ำที่มีอัตราส่วนระหว่างคลอรีนและแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำ

ส่วนผลการศึกษาการทำลายจุลินทรีย์ *E. coli* และ coliphage ด้วยคลอรีนในน้ำเสียสังเคราะห์พบว่า คลอรีนมีผลในการทำลายจุลินทรีย์ทั้งสองตรงกันข้ามกับการทำลายจุลินทรีย์ในน้ำเสียโรงพยาบาล กล่าวคือ น้ำเสียที่มีปริมาณแอมโมเนียเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้คลอรีนสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้มากขึ้น ทั้ง ๆ ที่เมื่อเพิ่มแอมโมเนียมากขึ้นจะมีผลให้อัตราส่วนระหว่างคลอรีนและแอมโมเนียไนโตรเจนลดลง โดยมีอัตราส่วนคลอรีนต่อแอมโมเนียไนโตรเจนประมาณ 1 : 5, 1 : 11 และ 1 : 22 โดยน้ำหนัก ในชุดทดลองการศึกษาปัจจัยของแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนประมาณ 7, 14 และ 28 mg/l ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มแอมโมเนียจำนวนมาก โดยที่มีปริมาณของคลอรีนคงที่และมีปริมาณต่ำ ทำให้แอมโมเนียมีโอกาสทำปฏิกิริยากับคลอรีนได้เร็วขึ้น เกิดเป็นคลอรามีนที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้เมื่อคลอรีนทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียที่มากเกินพอ แอมโมเนียที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับคลอรีนเหล่านี้อาจไปทำลายจุลินทรีย์ได้ ถ้าอยู่ในรูปของแอมโมเนียไม่มีประจุ (NH_3) แต่ความสามารถในการทำลายจุลินทรีย์ของ NH_3 มีน้อยกว่าคลอรามีน ซึ่งจากการศึกษาการทำลายจุลินทรีย์ไวรัสด้วยแอมโมเนียพบว่า NH_3 จะไปกระตุ้น capsid proteins ให้ nuclease ทำงานเร็วขึ้นแล้วทำให้ RNA แตกสลาย โดย NH_3 เพิ่มมากขึ้นเมื่อ pH เพิ่มมากขึ้น เช่น ที่ pH 7 มี NH_3 0.8% เมื่อ pH 9.5 มี NH_3 68% (Ward and Ashley, 1978) ถึงแม้ว่าที่ pH 7 จะมี NH_3< 1% แต่ก็สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ จากผลการศึกษาการทำลายจุลินทรีย์ poliovirus type 2 และ Echovirus II ด้วย NH_4Cl 0.5 โมล ที่ pH 7 พบว่ายังพบจุลินทรีย์อยู่ 24 % และ 34% ตามลำดับ และยังมีอัตราการตายสูงกว่าการศึกษาใน phosphate buffered saline ซึ่งยังคงพบจุลินทรีย์ poliovirus type และ Echovirus 86 % และ 61% ตามลำดับ (Ward and Ashley, 1977) จะเห็นได้ว่าในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนสูงจะสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ดีกว่าในน้ำที่มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนมากเกินพอในน้ำเสียที่มี pH $\geq$7 และเหลือปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนสูงหลังจากทำปฏิกิริยากับคลอรีนจะทำให้การลดลงของจุลินทรีย์มากยิ่งขึ้นซึ่งอาจเกิดจากการทำลายจุลินทรีย์ของแอมโมเนียไนโตรเจนร่วมด้วย อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าแอมโมเนียไนโตรเจนจะสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ แต่จากลักษณะของน้ำเสียของโรงพยาบาล (ตาราง 4) ในน้ำเสียก่อนเข้าสู่บ่อเติมคลอรีน พบว่า มีปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนไม่สูงมากนัก โดยพบในช่วง 0.4-0.5 mg/l นอกจากนี้ในระบบบำบัดน้ำเสียจำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำเสียเพื่อลดค่าแอมโมเนียไนโตรเจนร่วมด้วย เพราะน้ำทิ้งที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนสูงเกินไปอาจจะก่อให้เกิดมลภาวะในแหล่งรองรับน้ำสาธารณะได้ เช่น ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลง จากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (nitrification) ขึ้นในแหล่งน้ำ

นอกจากนี้ยังเป็นสาเหตุหลักในการเกิดยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) อีกทั้งยังมีพิษต่อสัตว์น้ำและปลาเมื่อน้ำมี pH ≥7

2.5 ผลของตะกอนแขวนลอยที่มีต่อการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน

จากผลการศึกษาการทำลาย *E. coli* และ coliphage ในน้ำเสียที่มีปริมาณตะกอนแขวนลอยเพิ่มมากขึ้น จะเห็นได้ว่า *E. coli* และ coliphage มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันทั้งในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงพยาบาล โดยน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความสามารถของคลอรีนในการทำลายจุลินทรีย์ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจะถูกห่อหุ้มด้วยตะกอน หรือเกาะติดกับอนุภาคของตะกอนทำให้คลอรีนมีโอกาสสัมผัสกับจุลินทรีย์ได้น้อยลงหรือไม่สามารถสัมผัสกับจุลินทรีย์ได้โดยตรง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Stagg และคณะ (1977) ที่ได้ทำการศึกษาการทำลาย bacteriophage (MS-2) ด้วยคลอรีนในน้ำที่มีและไม่มีตะกอนดินเหนียว (clay) พบว่าการใช้คลอรีนในปริมาณความเข้มข้นที่เท่ากัน ในน้ำที่มีตะกอนดินเหนียวจะต้องใช้เวลาประมาณ 2 เท่าของน้ำที่ไม่มีตะกอน ในการทำลายจุลินทรีย์ 99 % และจากผลการศึกษาขนาดของอนุภาคที่มีผลต่อการทำลาย coliform ด้วยคลอรีนพบว่าตะกอนของแข็งที่มีขนาดของอนุภาคใหญ่กว่า 7 ไมครอน มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน (Berman, *et al.*, 1988) อย่างไรก็ตามในการศึกษาน้ำเสียของโรงพยาบาลนั้น พบว่าการเพิ่มขึ้นของตะกอนในน้ำเสียทำให้มีค่าปริมาณสารอินทรีย์ในเทอม COD เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนแขวนลอยมีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ด้วย

2.6 ผลของสารอินทรีย์ที่มีต่อการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน

จากผลการศึกษาการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีนในน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์ พบว่าคลอรีนสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้น้อยลงเมื่อน้ำมีสารอินทรีย์ (ในเทอมของสารละลายอินทรีย์) เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของสารอินทรีย์จะมีพันธะทางเคมีจำนวนมาก ซึ่งพันธะเคมีเหล่านี้พร้อมที่จะทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่มีอำนาจในการออกซิไดซ์สูง โดยเฉพาะสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น amino acids , protein และ urea ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีนได้อย่างรวดเร็วและมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับแอมโมเนียไนโตรเจนและไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้หรือสามารถทำลายได้ไม่มากนัก (White, 1992) จากการศึกษาชนิดของสารประกอบอินทรีย์ จำนวน 15 ชนิด พบว่ามีสารประกอบอินทรีย์จำนวน 9 ชนิด ที่มีผลทำให้การทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีนลดลง ในจำนวนสารประกอบอินทรีย์ 9 ชนิด พบว่ามีสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ cystine , tanic acid , humic acid , arginin ซึ่งสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีนได้อย่างรวดเร็วโดยเฉพาะ

arginin นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อมีปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้นความสามารถในการทำลายจุลินทรีย์ของคลอรีนจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Sung, quoted in White, 1992 : 237-238) โดยทั่วไปแล้วน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว ยังคงมีสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนเหลืออยู่ ซึ่งจะมีมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความสามารถในการบำบัดน้ำเสียแต่ละระบบบำบัด เช่น ระบบตะกอนเร่งจะพบสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนประมาณ 3-6 mg/l ระบบ tricking filters พบสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนประมาณ 0.75-1.5 mg/l (White, 1992) และจากผลการศึกษาของ Fayyad และ Al - Shekh (2001) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนทำให้การตายของแบคทีเรียจากการทำลายด้วยคลอรีนลดลง โดยได้ทำการศึกษาการทำลาย coliform ด้วยคลอรีน ในน้ำเสียก่อนที่จะเข้าสู่บ่อเติมคลอรีน โดยใช้คลอรีน 15 mg/l เวลา 15 นาที พบว่าสามารถทำลาย coliform ได้ 100 % และเมื่อนำไปเติมสารอินทรีย์ ซึ่งประกอบไปด้วย histidin, glycine และ phenylanin อย่างละ 15 mg/l พบอัตราการตายลดลงเหลือ 58, 78 และ 79 % ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มสารอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดอย่างละ 30 mg/l พบว่าคลอรีนไม่สามารถทำลาย coliform ได้เลย

3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำลาย *E. coli* และ coliphage ด้วยคลอรีน

จากผลการทดลองการทำลาย *E. coli* และ coliphage ด้วยคลอรีน จะเห็นได้ว่าในสภาวะเงื่อนไขที่ใกล้เคียงกัน คลอรีนจะสามารถทำลาย *E. coli* ได้ดีกว่า coliphage ดังเช่นในการทดลองในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีระดับความเข้มข้นของคลอรีน 1.5 mg/l ในช่วงเวลา 30 นาที จะไม่พบ *E. coli* ขณะที่ยังคงพบ coliphage 7.7 X 10^3 PFU/ml และมีการตายเพียง 35.83% หรือจากผลการทดลองในน้ำเสียโรงพยาบาลที่สภาวะเงื่อนไขของน้ำเสียที่ใกล้เคียงกันดังแสดงในตาราง 3 ของวิธีการศึกษาการคงชีพและการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน เช่น ชุดทดลอง 3, 5 และ 6 จะพบว่า มีการลดลงของ *E. coli* (ชุดทดลอง A3, A5, A6) อย่างรวดเร็วโดยจะไม่พบ *E. coli* ในช่วง 5 นาที ขณะที่ยังคงสามารถพบ coliphage (ชุดทดลอง B3, B5, B6) ได้ ในช่วง 30 นาที แต่พบในปริมาณไม่มากนัก ซึ่งจากผลการศึกษาของ Tree และ คณะ (1997) ได้ทำการศึกษาการทำลายแบคทีเรียและไวรัสด้วยคลอรีน พบว่าน้ำเสียที่ความเข้มข้นของคลอรีน 8 mg/l สามารถทำลาย *E. coli* ได้มากกว่า 99.99% ในขณะที่ bacteriophage (MS2) มีเปอร์เซ็นต์การตาย 38 % เท่านั้น ฉะนั้นจากการที่ coliphage มีความคงทนต่อการทำลายด้วยคลอรีนมากกว่า *E. coli* อีกทั้ง coliphage ซึ่งอยู่ในกลุ่มของ RNA–F-specific bacteriophage มีรายงานว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากมนุษย์ (Furuse, *et al.*, 1981) และจากการสำรวจ พบ RNA–F-specific bacteriophage ใน

น้ำเสียชุมชนทั่วไปอันได้แก่ น้ำเสียโรงพยาบาล โรงฆ่าสัตว์ และฟาร์มเลี้ยงสัตว์เลือดอุ่นโดยพบ ในช่วง 10-2.2X10^4 PFU/ml (ประดิษฐ์ คล้ายดวง, 2543) นอกจากนี้ coliphage ยังมีขนาดและโครงสร้างคล้ายคลึงกันกับไวรัสที่ก่อโรคในคน การตรวจสอบยังสามารถทำได้ง่าย รวดเร็ว ถูกต้อง และมีค่าใช้จ่ายไม่มากนัก (Bitton, 1980) coliphage จึงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่นำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีนในระบบบำบัดน้ำเสียได้

4. การลดลงของจุลินทรีย์จากปัจจัยต่าง ๆ

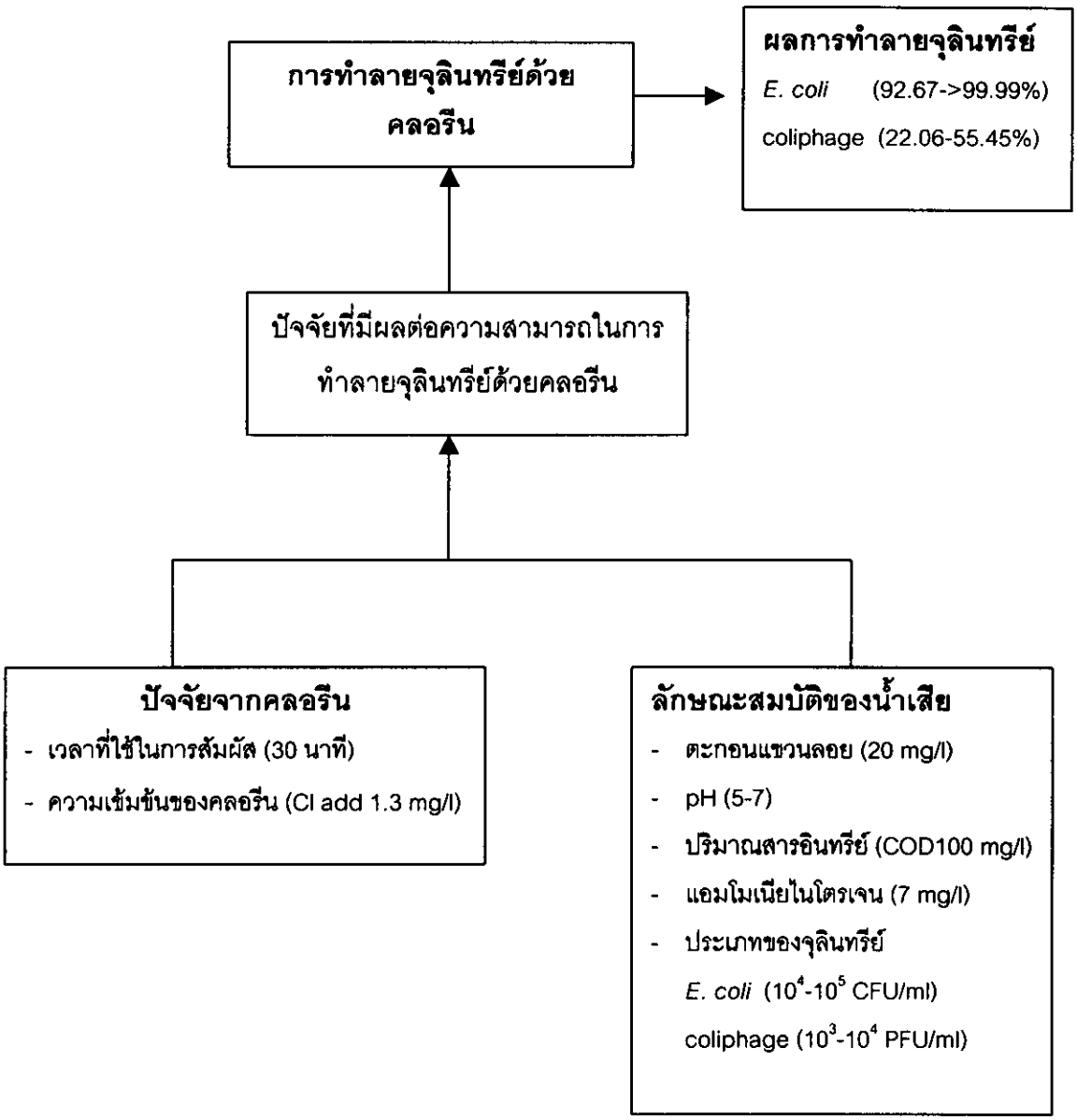
จากการศึกษาการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีนภายใต้ปัจจัยต่าง ๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า มีการทำลายจุลินทรีย์ได้แตกต่างกัน ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่าคงที่ (k) ของอัตราการตาย (ตาราง 5) โดยพบว่าน้ำเสียที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นของคลอรีนสูง (2mg/l) จะสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้มาก (k = 1.3904 นาที$^{-1}$) เมื่อเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ ที่มีการเติมคลอรีนในระดับความเข้มข้นเท่ากับ 1.3 mg/l กับชุดควบคุมที่มีลักษณะสมบัติของน้ำดังนี้ คือ มี pH ในช่วง 6.4-6.8 แอมโมเนียไนโตรเจน และ COD ประมาณ 7 และ 100 mg/l ตามลำดับ และไม่มีตะกอนแขวนลอย พบว่าค่าคงที่ (k) ของอัตราการตายของ *E.coli* มีค่าสูงกว่า ชุดควบคุม ในกรณีที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนเพิ่มขึ้น 4 เท่าของชุดควบคุม (k = 1.0718 นาที) และจะมีค่าลดน้อยลง ในน้ำที่มีความเป็นกรด (pH5) และน้ำที่มีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ (COD 50 mg/l) โดยมีค่า k เท่ากับ 0.7602 และ 0.4056 นาที$^{-1}$ ตามลำดับ ส่วนในกรณีที่มีตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียเท่ากับ 100 mg/l จะมีผลทำให้ค่า k ต่ำกว่าชุดควบคุมประมาณ 10 เท่า

สำหรับ coliphage จะพบค่าคงที่ (k) ของอัตราการตายมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม ในกรณีที่น้ำเสียมีความเป็นกรด (pH5), (k=0.0282 นาที$^{-1}$) และจะมีค่าลดน้อยลงในน้ำที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนเพิ่มขึ้น 4 เท่าของชุดควบคุม และน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ (0.5 เท่าของชุดควบคุม) โดยมีค่า k เท่ากับ 0.0264 และ 0.0187 นาที$^{-1}$ ตามลำดับ ส่วนในกรณีที่มีตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียเท่ากับ 100 mg/l จะมีผลทำให้ค่า k ต่ำกว่าชุดควบคุมประมาณ 17 เท่า

สำหรับน้ำเสียจากโรงพยาบาลที่มีค่า pH 3.2-3.4 และมีการเพิ่มปริมาณของตะกอนแขวนลอย แอมโมเนียไนโตรเจน สารอินทรีย์ หรือการเพิ่ม pH โดยให้น้ำมี pH 6.6 จะทำให้การทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีนลดลงตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบการลดลงของจุลินทรีย์ระหว่างน้ำเสียสังเคราะห์กับน้ำเสียจากโรงพยาบาลแล้ว พบว่า น้ำเสียจากโรงพยาบาลที่มีค่า pH 3.2-3.4 จุลินทรีย์จะมีการลดลงอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะการลดลงของ coliphage ที่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน จากการเปรียบเทียบอัตราการตายของ coliphage ในช่วงเวลา 30 นาที

น้ำเสียโรงพยาบาลที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l มีค่า pH ประมาณ 3 และปริมาณตะกอนแขวนลอย แอมโมเนียไนโตรเจน หรือ ปริมาณสารอินทรีย์ (ในเทอมของสารละลายอินทรีย์) เพิ่มขึ้น พบว่าอัตราการตายของ coliphage ในน้ำเสียโรงพยาบาลมีอัตราการตายสูงกว่าอัตราการตายของ coliphage ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นของคลอรีนสูง (2mg/l) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำเสียจากโรงพยาบาลมีความเป็นกรดสูง ทำให้คลอรีนมีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ได้สูง ซึ่งสังเกตได้จากชุดทดลองในน้ำเสียโรงพยาบาลที่มี pH 6.6 จะมีการลดลงของจุลินทรีย์ไม่มากนัก แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียที่มีลักษณะต่างกันจะส่งผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีนแตกต่างกันด้วย อย่างไรก็ตามน้ำเสียจากโรงพยาบาลที่ได้นำมาทำการศึกษานั้นมีความเป็นกรดสูง มีค่า pH ต่ำกว่าน้ำเสียของโรงพยาบาลโดยทั่วไปและไม่พบมีคลอรีนเหลือตกค้าง ซึ่งจากการสอบถามผู้ดูแลระบบบำบัดน้ำเสียถึงสาเหตุของน้ำเสียที่มีความเป็นกรดสูง คาดว่าอาจเกิดจากการใช้น้ำยาล้างห้องน้ำพร้อม ๆ กันเป็นปริมาณมากในการพัฒนาโรงพยาบาล และน้ำที่มีความเป็นกรดจะทำให้คลอรีนมีอำนาจในการออกซิไดซ์สูงจึงอาจทำให้ไม่พบคลอรีนเหลือตกค้าง ซึ่งสังเกตได้จากการทดลองในน้ำเสียโรงพยาบาลที่มีความเป็นกรด พบว่ามีการลดลงของคลอรีนอย่างรวดเร็ว ในขณะที่การทดลองในน้ำเสียมีค่า pH สูงขึ้นยังคงพบคลอรีนเหลือตกค้างอยู่

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลด้วยคลอรีนให้มีประสิทธิภาพ มีปัจจัยที่เป็นองค์ประกอบสำคัญอยู่ 2 ประการ ดังแสดงในภาพประกอบ 6 โดยประการที่ 1 เป็นปัจจัยของลักษณะสมบัติน้ำเสียก่อนเข้าสู่บ่อเติมคลอรีน ซึ่งประกอบด้วย ความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนียไนโตรเจน ตะกอนแขวนลอย ปริมาณสารอินทรีย์ (ในเทอมของสารละลายอินทรีย์) ประเภทของจุลินทรีย์ ประการที่ 2 เป็นปัจจัยจากกระบวนการดำเนินการเติมคลอรีนในระบบบำบัดน้ำเสีย เช่น ปริมาณความเข้มข้นของคลอรีน และ ระยะเวลาที่ใช้สัมผัสจุลินทรีย์ โดยลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เอื้อต่อประสิทธิภาพการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีนนั้น ควรเป็นน้ำเสียที่มีความเป็นกรด มีแอมโมเนียไนโตรเจน ตะกอนแขวนลอย และ สารอินทรีย์ในปริมาณต่ำ ถึงแม้ว่าการใช้คลอรีนที่มีความเข้มข้นสูง จะมีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ได้ดี แต่ในทางปฏิบัติจะเป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณค่าใช้จ่ายและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งรองรับน้ำทิ้งได้เนื่องจากมีคลอรีนเหลือตกค้างมาก ดังนั้นการนำปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลเอื้อต่อการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้านจุลชีพ เช่น การใช้เวลาในการสัมผัสกับจุลินทรีย์มากขึ้น และการปรับลักษณะสมบัติของน้ำเสียโดยเฉพาะให้น้ำเสียมีความเป็นกรด



ภาพประกอบ 6 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีนในน้ำเสียสังเคราะห์

อนึ่ง ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองถึงการคงอยู่ของจุลินทรีย์แต่ละชนิด ซึ่งจะได้ข้อมูลเบื้องต้นถึงปัจจัยที่มีผลต่อการทำลายแบคทีเรีย และ ไวรัสด้วยคลอรีนเท่านั้น ซึ่งถ้าในน้ำเสียจริงที่มีการปนเปื้อนของ coliform อยู่แล้ว จะสามารถเป็นโฮสท์ให้ coliphage อาศัย อาจทำให้ coliphage มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นได้