

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและอีโคไลในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ\*

Correlations of dissolved oxygen and hydrogen peroxide concentration to the amount of coliform bacteria and *Escherichia coli* in oxidation ponds of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project

ธนิศร์ ปัทมพิฑูร \*\*

เกษม จันท์แก้ว \*\*\*

ปราโมทย์ ศิริโรจน์ \*\*\*\*

บทคัดย่อ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและอีโคไลในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการลดปริมาณของแบคทีเรียโคลิฟอร์มและอีโคไลในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งตามระยะเวลาที่กักน้ำเสีย จากการศึกษาพบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นและแปรผันตามค่าออกซิเจนละลายน้ำตามระยะเวลาที่กักน้ำเสียตั้งแต่บ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) ถึงบ่อที่ 3 (บ่อฝิ่ง) โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในบ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) ถึงบ่อที่ 3 (บ่อฝิ่ง) มีค่า 0.0-2.2 ไมโครกรัม/ลิตร และออกซิเจนละลายน้ำจากบ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) ถึงบ่อที่ 3 (บ่อฝิ่ง) มีค่า 0.7-8.1 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับการลดปริมาณของแบคทีเรียโคลิฟอร์มและอีโคไล พบว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ( $R^2=1$ ) ส่งผลให้ทั้งแบคทีเรียโคลิฟอร์มและอีโคไลมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วแตกต่างกันตามระยะเวลาที่กักอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดแบคทีเรียโคลิฟอร์มและอีโคไลได้ร้อยละ 99.8 และ 97.0 ตามลำดับ

\* บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่อง “ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของรังสีแสงอาทิตย์ต่อการลดปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและแบคทีเรียก่อโรคในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่ง” ภายใต้ทุนวิจัยของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สำนักงานมูลนิธิชัยพัฒนา

\*\* ดร.ธนิศร์ ปัทมพิฑูร นักวิชาการสิ่งแวดล้อม โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

E-mail: thanitku58@gmail.com

\*\*\* ศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันท์แก้ว ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

\*\*\*\* ดร.ปราโมทย์ ศิริโรจน์ ภาควิชาจุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## Abstract

The study on correlations of dissolved oxygen and hydrogen peroxide concentration to the amount of coliform bacteria and *Escherichia coli* in oxidation ponds of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project aimed to study the correlations between dissolved oxygen and hydrogen peroxide concentration to decreasing of the amount of coliform bacteria and *Escherichia coli* in different detention time of oxidation ponds. The study found that the increasing of hydrogen peroxide concentration depended on dissolved oxygen concentration at different detention time. Hydrogen peroxide and dissolved oxygen concentration found in the 1<sup>st</sup> pond (sedimentation pond) through the 3<sup>rd</sup> pond (oxidation pond) were in the range of 0.0-2.2 µg/L and 0.7-8.1 mg/L, respectively. The correlations of hydrogen peroxide concentration and decreasing of the amount of coliform bacteria and *Escherichia coli* found highly significance ( $R^2=1$ ). Because of the amount of coliform bacteria and *Escherichia coli* were very highly decreasing up to detention time and highly significance at confident level of 0.01, Therefore, the efficiency of oxidation ponds for coliform bacteria and *Escherichia coli* reduction were 99.8 percentages and 97.0 percentages, respectively.

## บทนำ

การบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อลดปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและอีโคไลมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การเติมคลอรีนในรูปผงคลอรีน ( $\text{CaOCl}_2$ ) การใช้โอโซนในรูปก๊าซโอโซน ( $\text{O}_3$ ) หรือการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต ชนิดซีจากหลอดต้นกำเนิด (UV-C; 200-295 นาโนเมตร) ด้วยวิธีการดังกล่าวแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและอีโคไล แต่กลับมีค่าใช้จ่ายสูงไม่ว่าจะเป็นค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินการ ค่าซ่อมบำรุง และดูแลรักษา รวมถึงต้องอาศัยผู้มีความรู้ความสามารถเฉพาะด้านเป็นผู้ควบคุมระบบ ด้วยเหตุนี้การวิจัยเพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการธรรมชาติช่วยธรรมชาติ (natural by natural processing) ได้แก่ การใช้แสงแดดและกระแสลม ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ง่ายต่อการควบคุมดูแลรักษา และประหยัด รวมถึงสามารถ นำสิ่งที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้ได้แต่กลับมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย เทียบเท่าเทคโนโลยีขั้นสูง อาทิเช่น ระบบตะกอนเร่ง (activated sludge: AS) ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง (oxidation ponds) ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือก เนื่องจากเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการธรรมชาติช่วยธรรมชาติ โดยมีรังสีแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานช่วยขับเคลื่อนกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยมีส่วนสำคัญในการเพิ่ม การละลายของออกซิเจนลงสู่น้ำเสียด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ของแพลงก์ตอนพืชและสาหร่าย และกระบวนการเทอร์โมไซฟอนด์ (thermo-siphon) เพื่อให้แบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับ

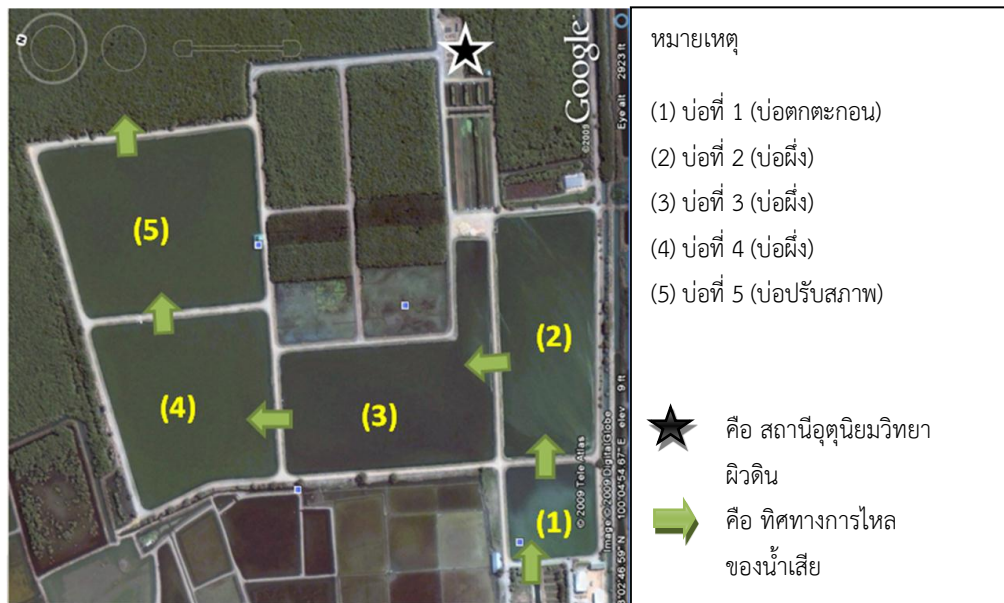
อิเล็กทรอนิกส์นำไปใช้ในย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียชุมชนให้มีปริมาณลดลงตามมาตรฐานกำหนด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สตรีไทย (2544) ที่พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งเพียง 3 บ่อ ซึ่งประกอบด้วยบ่อตกตะกอน บ่อฝิ่ง และบ่อปรับสภาพ ตามลำดับ ก็เพียงพอและมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้รังสีแสงอาทิตย์ยังสามารถกระตุ้นโมเลกุลของออกซิเจนที่ละลายน้ำและโมเลกุลน้ำให้เกิดการแตกตัว เรียกระบวนการนี้ว่า radiolysis กลายเป็นอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งมีสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) (ธนิศร์ และคณะ, 2556) จากนั้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเข้าทำปฏิกิริยากับไขมัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบในเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียโคลิฟอร์มและอีโคไล เรียกรูปการนี้ว่า lipid peroxidation ซึ่งจะสร้างความเสียหายให้กับเยื่อหุ้มเซลล์และส่งผลให้แบคทีเรียตายในเวลาต่อมา (Davies *et al.*, 1997; Asad *et al.*, 1998) ดังนั้นจึงควรศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและอีโคไล เพื่อนำผลไปใช้วางแผนและ/หรือปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดแบคทีเรีย โคลิฟอร์มและอีโคไล

## วิธีการวิจัย

### 1. สถานที่ทำงานวิจัย

ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อฝิ่งของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมผักเป็ดบ้านเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ตั้งอยู่บนพิกัดทางภูมิศาสตร์ประมาณเส้นรุ้งที่ 130 02' 40" ถึง 130 03' 20" เหนือ และเส้นแวงที่ 1000 05' 10" ถึง 1000 06' 05" ตะวันออกหรือพิกัด UTM ที่ 1442240 ถึง 1443480 เหนือ และ 0617780 ถึง 0619271 ตะวันออก ระบบบำบัด เป็นบ่อดินเหนียวอัดแน่นจำนวน 5 บ่อ ประกอบไปด้วย บ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) บ่อที่ 2-4 (บ่อฝิ่ง) และบ่อที่ 5 (บ่อปรับสภาพ) ทำหน้าที่บำบัดน้ำเสียชุมชนจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี มีสมรรถนะการรองรับน้ำเสียรวม 244,913.2 ลูกบาศก์เมตร และมีระยะเวลาที่พักน้ำเสียรวมทั้งสิ้น 69 วัน (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ

## 2. วิธีการวิจัย

2.1 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย จะเก็บตัวอย่างน้ำเสียตามระยะเวลาที่กัก (hydraulic retention time; HRT) เพื่อติดตามความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และออกซิเจนละลายน้ำต่อปริมาณของแบคทีเรียโคลิฟอร์มและอีโคไล ตั้งแต่บ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) จนถึงบ่อที่ 3 (บ่อผึ่ง) เนื่องจากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ ที่ผ่านมา พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถลดความสกปรกในรูปบีโอดี แบคทีเรียโคลิฟอร์ม และอีโคไลได้เป็นอย่างดีภายในบ่อที่ 3 (บ่อผึ่ง) จากบ่อบำบัดจำนวนทั้งสิ้น 5 บ่อ (อรุณ และคณะ, 2543; สตรีไทย, 2544)

การเก็บตัวอย่างน้ำเสียจะเก็บบริเวณกึ่งกลางบ่อที่มีความลึก 30 เซนติเมตรจากผิวน้ำ ในเวลา 10.00 น. ของทุกวัน เป็นเวลา 37 วัน (ตารางที่ 1) คือเก็บตัวอย่าง น้ำเสียตั้งแต่ไหลเข้าสู่บ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) นับเป็นวันที่ 1 ซึ่งบ่อที่ 1 จะมีระยะเวลาที่กักน้ำเสีย 6 วัน จากนั้นวันที่ 7 ถึง วันที่ 20 ย้ายไปเก็บตัวอย่างน้ำในบ่อที่ 2 (บ่อผึ่ง) ซึ่งมีระยะเวลาที่กักน้ำเสีย 14 วัน และในวันที่ 21 ถึงวันที่ 37 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในบ่อที่ 3 (บ่อผึ่ง) ซึ่งมีระยะเวลาที่กักน้ำเสีย 17 วัน

ตารางที่ 1 ระยะเวลาการกักพืชน้ำเสียภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ

บ่อบำบัด	พื้นที่ผิว (ตารางเมตร)	ความลึก (เมตร)	ปริมาตรบ่อ (ลูกบาศก์เมตร)	ระยะเวลาการกักพืชน้ำ (วัน)
บ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน)	10,217.0	2.1	21,455.7	6
บ่อที่ 2 (บ่อฝิ่ง)	30,408.0	1.6	48,652.8	14
บ่อที่ 3 (บ่อฝิ่ง)	34,047.0	1.8	61,284.6	17
บ่อที่ 4 (บ่อฝิ่ง)	35,424.0	1.5	53,136.0	15
บ่อที่ 5 (บ่อปรับสภาพ)	43,131.5	1.4	60,384.1	17
รวม	153,227.5	-	244,913.2	69

หมายเหตุ: ระยะเวลาการกักพืชน้ำคำนวณจากปริมาณน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีที่ไหลเข้าระบบบำบัดของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ เฉลี่ยในช่วงฤดูร้อน มีค่าเท่ากับ 3,525.0 ลูกบาศก์เมตร/วัน

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย โดยเก็บรักษาตัวอย่างน้ำเสียและนำตัวอย่างกลับมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำยังห้องปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตามวิธีมาตรฐาน (APHA, AWWA and WEF, 1995) ได้แก่ อุณหภูมิ (temperature) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของแข็งละลายได้ (total dissolved solid; TDS) ออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO) ความสกปรกในรูปบีโอดี (biochemical oxygen demand; BOD) ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen; TN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus; TP) แบคทีเรียทั้งหมด (total bacteria; TB) แบคทีเรียโคลิฟอร์ม (total coliform bacteria; TCB) และอีโคไล (*Escherichia coli*; *E.coli*) สำหรับการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide;  $H_2O_2$ ) ทำการวิเคราะห์ ณ จุดเก็บตัวอย่างด้วยวิธีการไทเทรตตามวิธีมาตรฐาน (SOLVAY Chemicals, 2009)

### 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance; ANOVA) เพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลที่ได้จากการศึกษา และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเชิงซ้อนเพื่อจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาด้วยวิธี Duncan's new multiple's range test (DMRT)

3.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์และแสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient;  $R^2$ )

## ผลการวิจัย

### 1. คุณภาพน้ำเสียภายในบ่อบำบัดน้ำเสีย

จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียตามระยะเวลาการกักพืชน้ำเสีย ตั้งแต่บ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) ถึงบ่อที่ 3 (บ่อฝิ่ง) ในเวลา 10.00 น. ต่อเนื่องเป็นเวลา 37 วัน พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งมีประสิทธิภาพใน

การบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยสามารถบำบัดความสกปรกในรูปบีโอดีจาก 37.8 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ 17.8 มิลลิกรัม/ลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 52.9 สามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดจาก 14.6 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ 5.4 มิลลิกรัม/ลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 63.0 และสามารถบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดจาก 3.9 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ 2.1 มิลลิกรัม/ลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 46.1 อย่างไรก็ตามระบบบำบัดไม่สามารถลดปริมาณของแข็งละลายได้ภายในบ่อที่ 3 (บ่อผึ่ง) โดยพบว่ายังคงมีค่าสูงถึง 551.8 มิลลิกรัม/ลิตร (ตารางที่ 2)

สำหรับดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำที่สำคัญต่อการลดปริมาณของแบคทีเรียโคลิฟอร์มและอีโคไล ได้แก่ ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากการศึกษพบว่า ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในแต่ละบ่อมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยในบ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) มีออกซิเจนละลายน้ำเพียง 0.7 มิลลิกรัม/ลิตร จากนั้นเมื่อน้ำเสียไหลเข้าสู่บ่อที่ 2 (บ่อผึ่ง) และบ่อที่ 3 (บ่อผึ่ง) ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำจะเพิ่มขึ้น มีค่าเท่ากับ 5.2 และ 8.1 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พบว่ามี ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่พักเช่นกัน โดยในบ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) จากไม่สามารถตรวจพบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ แต่กลับมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำเสียไหลเข้าสู่บ่อที่ 2 (บ่อผึ่ง) เป็น 1.9 ไมโครกรัม/ลิตร และเมื่อน้ำเสียไหล เข้าสู่บ่อที่ 3 (บ่อผึ่ง) พบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 2.2 ไมโครกรัม/ลิตร อย่างไรก็ตาม ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในบ่อที่ 2 (บ่อผึ่ง) และบ่อที่ 3 (บ่อผึ่ง) นั้นมีความเข้มข้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำเสียภายในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งโครงการแหลมผักเบี้ยฯ

ดัชนี	คุณภาพน้ำเสีย			ค่ามาตรฐาน	ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
	บ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) (HRT 6 วัน)	บ่อที่ 2 (บ่อผึ่ง) (HRT 14 วัน)	บ่อที่ 3 (บ่อผึ่ง) (HRT 17 วัน)		
Temp. (°C)	26.0 <sup>a</sup>	26.4 <sup>b</sup>	27.4 <sup>b</sup>	-	-
pH (-)	7.7 <sup>a</sup>	7.7 <sup>a</sup>	8.1 <sup>b</sup>	5.5-9.0	-
TDS (mg/l)	484.3 <sup>a</sup>	503.4 <sup>b</sup>	551.8 <sup>c</sup>	-	-
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (µg/l)	ND <sup>a</sup>	1.9 <sup>b</sup>	2.2 <sup>b</sup>	-	-
DO (mg/l)	0.7 <sup>a</sup>	5.2 <sup>b</sup>	8.1 <sup>c</sup>	-	-
BOD (mg/l)	37.8 <sup>a</sup>	27.1 <sup>b</sup>	17.8 <sup>c</sup>	20.0	52.9
TN (mg/l)	14.6 <sup>a</sup>	8.8 <sup>b</sup>	5.4 <sup>c</sup>	20.0	63.0
TP (mg/l)	3.9 <sup>a</sup>	2.7 <sup>b</sup>	2.1 <sup>b</sup>	2.0	46.1
TB (CFU/ml)	1.1×10 <sup>8 a</sup>	5.2×10 <sup>4 b</sup>	2.4×10 <sup>4 b</sup>	-	99.9
TCB (CFU/ml)	1.9×10 <sup>5 a</sup>	7.1×10 <sup>2 b</sup>	3.8×10 <sup>2 b</sup>	-	99.8
<i>E.coli</i> (CFU/ml)	2.0×10 <sup>3 a</sup>	2.2×10 <sup>2 b</sup>	60 <sup>b</sup>	-	97.0



หมายเหตุ: มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

ND คือ ตรวจไม่พบ (non-detect)

a, b และ c ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งมีความสามารถในการลดปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำเสียได้จาก  $1.1 \times 10^8$  โคโลนี/มิลลิลิตร ในบ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) เป็น  $2.4 \times 10^4$  โคโลนี/มิลลิลิตร ในบ่อที่ 3 (บ่อฝิ่ง) คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 99.9 สามารถลดปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มจาก  $1.9 \times 10^5$  โคโลนี/มิลลิลิตร ในบ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) เป็น  $3.8 \times 10^2$  โคโลนี/มิลลิลิตร ในบ่อที่ 3 (บ่อฝิ่ง) คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 99.8 และสามารถลดปริมาณอีโคไลในบ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) จาก  $2.0 \times 10^3$  โคโลนี/มิลลิลิตร เป็น 60 โคโลนี/มิลลิลิตร ในบ่อที่ 3 (บ่อฝิ่ง) คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 97.0 และเมื่อพิจารณาการลดปริมาณของแบคทีเรียในน้ำเสียที่ไหลผ่านบ่อบำบัดแต่ละบ่อ พบว่าเมื่อน้ำเสียไหลผ่านบ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) เข้าสู่บ่อที่ 2 (บ่อฝิ่ง) ซึ่งมีระยะเวลาพักน้ำเสียรวม 20 วัน ระบบบำบัดสามารถลดปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและแบคทีเรียโคลิฟอร์มได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถลดปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดจาก  $1.1 \times 10^8$  โคโลนี/มิลลิลิตร เป็น  $5.2 \times 10^4$  โคโลนี/มิลลิลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 99.9 และสามารถลดปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มจาก  $1.9 \times 10^5$  โคโลนี/มิลลิลิตร เป็น  $7.1 \times 10^2$  โคโลนี/มิลลิลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 99.6 สำหรับอีโคไล พบว่าระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 89.0 โดยสามารถลดปริมาณอีโคไลจาก  $2.0 \times 10^3$  โคโลนี/มิลลิลิตร เหลือ  $2.2 \times 10^2$  โคโลนี/มิลลิลิตร

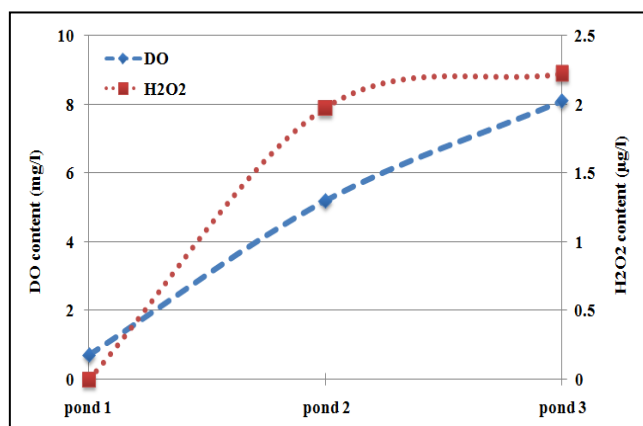
จากนั้นเมื่อน้ำเสียไหลจากบ่อที่ 2 (บ่อฝิ่ง) เข้าสู่บ่อที่ 3 (บ่อฝิ่ง) พบว่าความสามารถในการลดปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและแบคทีเรียโคลิฟอร์มของระบบบำบัดลดลง โดยสามารถลดปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดจาก  $5.2 \times 10^4$  โคโลนี/มิลลิลิตร เป็น  $2.4 \times 10^4$  โคโลนี/มิลลิลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 53.8 และสามารถลดปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มจาก  $7.1 \times 10^2$  โคโลนี/มิลลิลิตร เป็น  $3.8 \times 10^2$  โคโลนี/มิลลิลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 46.4 แต่สำหรับอีโคไล พบว่าระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยสามารถลดปริมาณอีโคไลในบ่อที่ 2 (บ่อฝิ่ง) จาก  $2.2 \times 10^2$  โคโลนี/มิลลิลิตร เหลือเพียง 60 โคโลนี/มิลลิลิตร เมื่อไหลเข้าสู่บ่อที่ 3 (บ่อฝิ่ง) คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 72.7

## 2. ความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนละลายน้ำกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

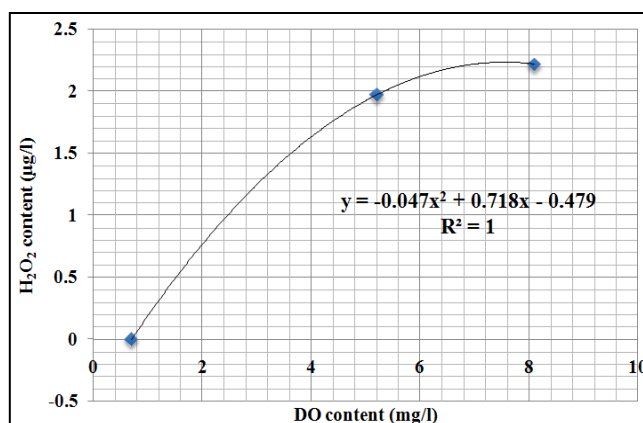
ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาพัก น้ำเสียตั้งแต่บ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) ถึงบ่อที่ 3 (บ่อฝิ่ง) รวม 37 วัน เนื่องจากมีการเติมออกซิเจนลงสู่น้ำเสียด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช จากนั้นจะเกิด radiolysis ของโมเลกุลออกซิเจนที่ละลายในน้ำและโมเลกุลของน้ำแปรสภาพเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ธนิศร์ และคณะ, 2556) จากการศึกษาพบว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในบ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) จะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ

ออกซิเจนละลายน้ำ และเมื่อน้ำเสียไหลสู่บ่อที่ 2 (บ่อผึ่ง) ซึ่งมีค่าออกซิเจนละลายในน้ำเท่ากับ 5.2 มิลลิกรัม/ลิตร ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีค่าเท่ากับ 1.9 ไมโครกรัม/ลิตร และมีแนวโน้มคงที่ถึงแม้ว่าออกซิเจนละลายน้ำจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 8.1 มิลลิกรัม/ลิตร ในบ่อที่ 3 (บ่อผึ่ง) ก็ตาม ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นเพียง 2.2 ไมโครกรัม/ลิตร ซึ่งไม่แตกต่างจากบ่อที่ 2 (บ่อผึ่ง) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (รูปที่ 2)

เมื่อนำข้อมูลมาจัดทำกราฟวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำเสียที่ไหลผ่านบ่อตกตะกอนที่ 1 จนถึงบ่อผึ่งที่ 3 ด้วยสมการพหุนามพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) มีค่าเท่ากับ 1 (รูปที่ 3)



รูปที่ 2 ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในระบบบำบัดน้ำเสียโครงการแหลมผักเบี้ยฯ

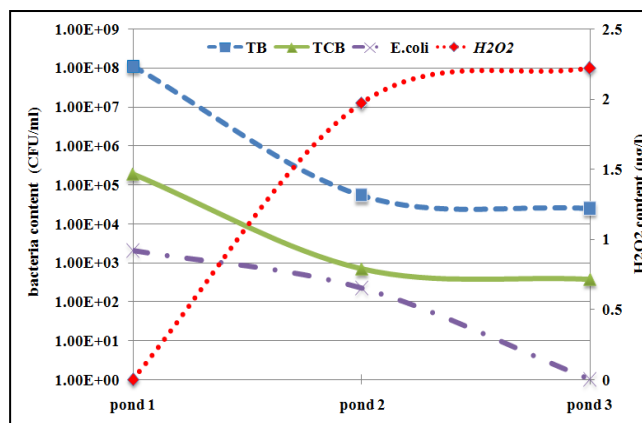


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำเสียที่ไหลผ่านบ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) จนถึงบ่อที่ 3 (บ่อผึ่ง)



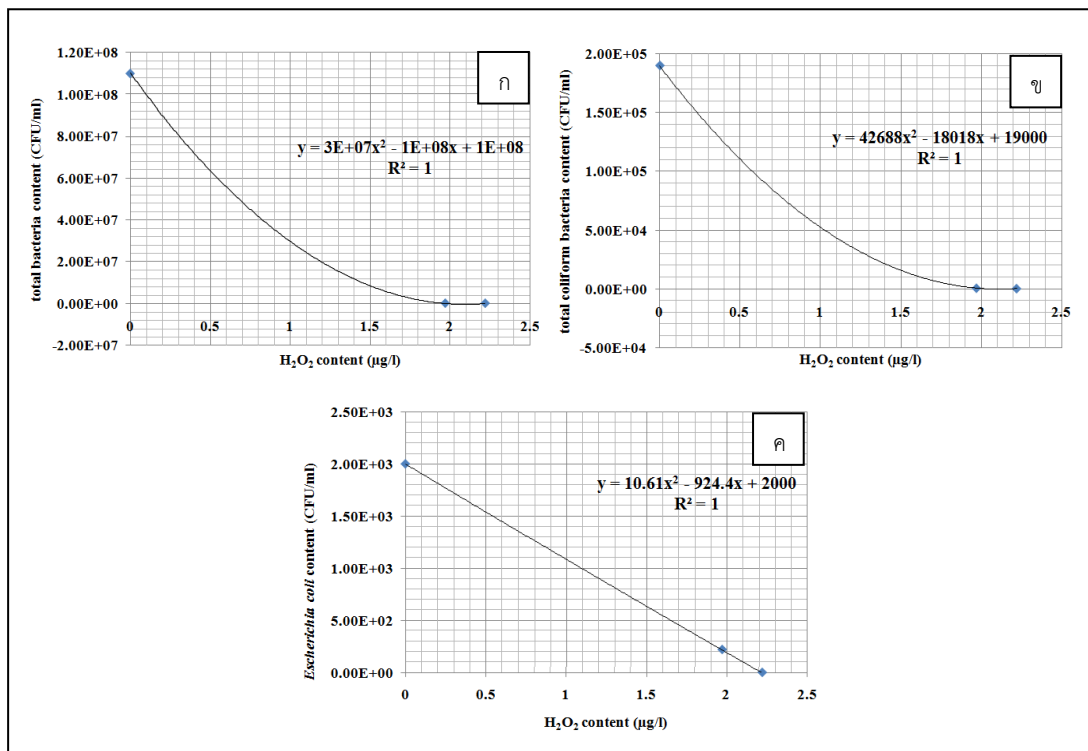
### 3. ความสัมพันธ์ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อปริมาณแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสีย

จากผลการศึกษา พบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่กัก โดยมีความเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากบ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) จากที่ไม่สามารถตรวจพบเป็น 1.9 ไมโครกรัม/ลิตร ในบ่อที่ 2 (บ่อผึ่ง) และเมื่อน้ำเสียไหลเข้าสู่บ่อที่ 3 (บ่อผึ่ง) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีความเข้มข้นเป็น 2.2 ไมโครกรัม/ลิตร แต่ไม่แตกต่างจากบ่อที่ 2 (บ่อผึ่ง) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาาร่วมกับแบคทีเรียทั้งหมด แบคทีเรียโคลิฟอร์ม และอีโคไล พบว่าแบคทีเรียทั้ง 3 กลุ่มมีปริมาณลดลงแปรผกผันกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เริ่มส่งผลต่อการลดปริมาณของแบคทีเรียภายในระบบบำบัดน้ำเสีย คือ 1.9 ไมโครกรัม/ลิตร (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และปริมาณแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียโครงการแหลมผักเบี้ยฯ

เมื่อนำข้อมูลมาจัดทำกราฟวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด แบคทีเรียโคลิฟอร์ม และอีโคไลด้วยสมการพหุนาม พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) มีค่าเท่ากับ 1 แสดงให้เห็นว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการ radiolysis ของโมเลกุลออกซิเจนที่ละลายในน้ำและโมเลกุลของน้ำโดยมีรังสีแสงอาทิตย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ธนิษฐ์ และคณะ, 2556) เป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการลดปริมาณของแบคทีเรียทั้งหมด แบคทีเรียโคลิฟอร์ม และอีโคไลในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับปริมาณแบคทีเรีย (ก) แบคทีเรียทั้งหมด (ข) แบคทีเรียโคลิฟอร์ม และ (ค) อีโคไล

สำหรับกลไกการเข้าทำปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับเซลล์แบคทีเรียนั้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเข้าทำปฏิกิริยากับชั้นไขมันซึ่งพบได้มากในเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบ ได้แก่แบคทีเรียโคลิฟอร์มและอีโคไล เนื่องจากไขมันเป็นองค์ประกอบสำคัญของชั้น lipopolysaccharide ซึ่งเป็นเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกสุด (outer membrane) เรียกกระบวนการนี้ว่า lipid peroxidation (Chamberlain and Moss, 1987; Biplab *et al.*, 1989; Peng *et al.*, 2010) ทำให้เกิดการรั่วไหลของไซโตพลาสซึมออกจากเซลล์และส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียสูญเสียสภาพการแลกเปลี่ยนสารละลาย จากนั้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเข้าทำลายโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ต่อ เรียกว่า protein peroxidation และเข้าทำลายออร์แกเนลต่างๆ รวมถึงดีเอ็นเอภายในเซลล์ ส่งผลให้แบคทีเรียตายในเวลาต่อมา (Elisa *et al.*, 2000; Radoslav *et al.*, 2011)

**สรุปผล**

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งเกิดจากกระบวนการ radiolysis ของโมเลกุลน้ำและโมเลกุลของออกซิเจนละลายน้ำโดยมีรังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นปัจจัยสำคัญต่อการลดปริมาณของแบคทีเรีย โคลิฟอร์มและอีโคไลในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งในระดับสูง (R<sup>2</sup> = 1) โดยกลไกการลดปริมาณของแบคทีเรียโคลิฟอร์มและอีโคไลโดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสียเกิดขึ้นในระหว่างบ่อที่ 1 (บ่อ

ตกตะกอน) ถึงบ่อที่ 2 (บ่อฝัง) โดยพบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.9 ไมโครกรัม/ลิตร เป็นความเข้มข้นที่ส่งผลต่อการลดปริมาณของแบคทีเรียภายในระบบบำบัดน้ำเสีย ส่งผลให้แบคทีเรียโคลิฟอร์มและอีโคไลมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วจากบ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) ไปยังบ่อที่ 2 (บ่อฝัง) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แต่เมื่อน้ำเสียไหลเข้าสู่บ่อที่ 3 (บ่อฝัง) พบว่าแบคทีเรียโคลิฟอร์มและอีโคไลมีปริมาณไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 กับบ่อที่ 1 (บ่อตกตะกอน) และบ่อที่ 2 (บ่อฝัง)

## เอกสารอ้างอิง

### ภาษาไทย

ธนิศร์ ปัทมพิฑูร เกษม จันทร์แก้ว และพรธณี พักคง. “ความสัมพันธ์ของรังสีแสงอาทิตย์ต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝังโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.” Veridian E-Journal 6, 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม 2556): 963-975.

สตรีไทย สถิติ. “ระยะเวลาและจำนวนบ่อฝังที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2544.

อรุณ บ่างตระกูลนนท์ นพรัตน์ همانริม ศรีรัตน์ พรเรืองวงศ์ วิทยา โคสิตานนท์ กานดิษฐ์ สิงหากัน และ นวลตา ม่วงน้อยเจริญ. “การศึกษาหาเชื้อโรคอุจจาระร่วงจากน้ำเสียก่อนบำบัดและหลังบำบัดด้วยระบบบ่อฝัง.” ใน สัมมนาวิชาการ รายงานการศึกษาวิจัยวิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ, 39-12 ถึง 39-19. กรุงเทพฯ : 2543.

### ภาษาต่างประเทศ

APHA, AWWA and WEF. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 19<sup>th</sup> (ed.). Washington DC: America Public Health Association, 1995.

Asad N.R., L.M. Asad, A.B. Silva, I. Felzenszwalb and A.C. Leitao. “Hydrogen peroxide effect in *Escherichia coli* cell.” Acta Biochim Pol, 45 (1998): 677-690.

Biplab, B. S. Agarwal and S.N. chatterjee. “UV-A induced lipid peroxidation in liposomal membrane.” Radiation and Environmental Biophysics, 28 (1989): 59-65.

Chamberlain J. and S.H. Moss. “Lipid peroxidation and other membranedamage produced in *Escherichia coli* K1060 by near-UV radiation and deuterium oxide.” Photochemistry and Photobiology, 45 (1987): 625-630.

- Davies C., R.J., A.M. Donnison and D.J. Speed. “Sunlight wavelengths Inactivating faecal indicator microorganisms in waste stabilization ponds.” Water Science and Technology, 35 (1997): 219-225.
- Elisa, C., J. Tamarit and J. Ros. “Oxidative stress in bacteria and protein damage by reactive oxygen species.” Internatl Microbiol, 3 (2000): 3-8.
- Peng, L., W. Duan, Q. Wang and X. Li. “The damage of outer membrane of *Escherichia coli* in the presence of TiO<sub>2</sub> combined with UV light.” Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 78 (2010): 171-176.
- Radoslav, A., E. Krumova, V. Dishliska, R. Eneva, S. Engibarov, I. Abrashev and M. Angelova. “Differential effect of paraquat and hydrogen peroxide on the oxidative stress response in *Vibrio cholera* non 01 26/06.” Biotechnol & Biotechnol Eq, 25 (2011): 72-76.
- SOLVAY Chemicals. Determination of Hydrogen Peroxide Concentration (0.1%-5%) Technical Data Sheet [Online]. Accessed 13 April 2009. Available from <http://www.solvaychemicals.us/SiteCollectionDocuments/tds/XX-122.pdf>