

## การเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลแบบติดกับที่ด้วย ระบบเซลล์ดักติด เซลล์อิสระและเซลล์ยึดเกาะ

### Comparison of On-Site Hospital Wastewater Treatment Using Entrapped Cell, Free Cell, and Attached Cell Systems

สุมนา สิริพัฒน์กุล<sup>\*1,2</sup> ฐาปกรณ์ ปรีระชา<sup>1</sup> สัน แอบกระโทก<sup>1</sup> ฐิติพร ทองเกลี้ยง<sup>1</sup>

<sup>1</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

<sup>2</sup>ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

Sumana Siripattanakul<sup>\*1,2</sup> Thapakorn Preerakha<sup>1</sup> Sun Abgratok<sup>1</sup> Thitiporn Tongkliang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Warinchamrap, Ubonratchathani 34190

Tel : 0-4535-3300 E-mail: sumana.s@ubu.ac.th

<sup>2</sup> National Center of Excellence for Environmental and Hazardous Waste Management,

Ubon Ratchathani University, Warinchamrap, Ubonratchathani 34190

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลแบบติดกับที่โดยใช้เซลล์ดักติด เปรียบเทียบกับระบบที่มีอยู่เดิม ซึ่งได้แก่ระบบเซลล์อิสระ และเซลล์ยึดเกาะ เซลล์ดักติดเตรียมโดยใช้สารแคลเซียมแอลจีเนต ส่วนระบบเซลล์ยึดเกาะใช้ตัวกลางพลาสติกในการยึดเกาะ สำหรับการทดลองกระทำโดยการดำเนินระบบแบบเอสบีอาร์ต่อเนื่อง 10 วัฏจักร แต่ละวัฏจักรใช้เวลารวมประมาณ 9 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วย ระยะเวลาเติมอากาศ 6 ชั่วโมง เวลาตกตะกอน 2 ชั่วโมง และเวลาถ่ายน้ำเสียเข้าออกและพักระบบ 1 ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่าระบบเซลล์ดักติดมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบอื่น ๆ กล่าวคือระบบเซลล์ดักติดมีประสิทธิภาพลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 88 ส่วนระบบเซลล์ยึดเกาะและเซลล์อิสระมีประสิทธิผลค่าซีโอดีได้ร้อยละ 66 นอกจากนี้ยังพบว่าระบบเซลล์ดักติดมีความเสถียรสูงกว่าระบบเซลล์ยึดเกาะและเซลล์อิสระ ส่วนผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชของระบบพบว่ามีความคงที่อยู่ระหว่าง 6.5-7.5 ตลอดช่วงการทดลอง ดังนั้นจากผลการทดลองนี้สามารถกล่าวได้ว่าระบบเซลล์ดักติดมีศักยภาพสำหรับการใช้งานบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่

**คำหลัก** แคลเซียมแอลจีเนต เซลล์ดักติด เซลล์ยึดเกาะ

เซลล์อิสระ น้ำเสียโรงพยาบาล ระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่

#### Abstract

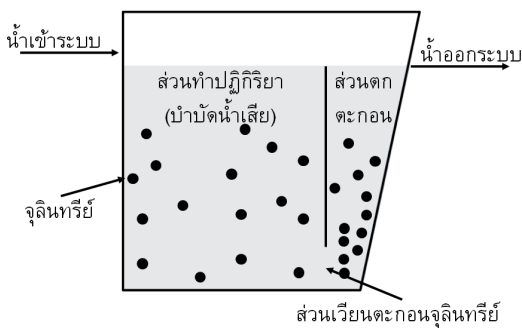
Examination of on-site hospital wastewater treatment using entrapped cell system compared to existing systems (free and attached cell systems) was carried out. Calcium alginate cell entrapment method was chosen for entrapped cell preparation while plastic media were used for cell attachment. The experiment was run in SBR mode for 10 cycles consecutively. Each cycle (approximately 9 hours) included aeration period of 6 hours, settling period of 2 hours, and fill-draw-break periods of 1 hour. The result showed that the entrapped cell system performed better than other systems. The entrapped cell system gave COD removal of 88 % while the attached and free cell systems accomplished COD removal of 66%. Moreover, it was found that the entrapped cell system was more stable than the attached and free cell systems. For pH monitoring result, the pH values were quite stable between 6.5

and 7.5 for entire of the experiment. The study indicated that the entrapped cell system was promising for on-site wastewater treatment.

**Keywords:** Calcium alginate, entrapped cell, attached cell, free cell, hospital wastewater, on-site wastewater treatment

## 1. บทนำ

ปัจจุบันโรงพยาบาลขนาดกลางและเล็กโดยทั่วไปมีระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลเป็นแบบติดกับที่ (on-site system) เชื่อมต่อกับอาคารต่าง ๆ ระบบดังกล่าวเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (activated sludge system) ขนาดเล็กซึ่งมีประสิทธิภาพดี ระบบบำบัดแบบติดกับที่ดังกล่าวส่วนมากเป็นถึงปฏิกรณ์เดี่ยวที่แบ่งส่วนทำงานออกเป็นสองส่วน (รูปที่ 1) คือ ส่วนทำปฏิกิริยา (บำบัดน้ำเสีย) และส่วนตกตะกอนจุลินทรีย์ก่อนปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดออกสู่ชุมชน และเวียนตะกอนจุลินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ ในทางปฏิบัติการใช้งานระบบบำบัดแบบติดกับที่มีหลายขนาด ซึ่งโรงพยาบาลจะได้เลือกถึงปฏิกรณ์ที่มีขนาดเหมาะสม สำหรับปริมาณน้ำเสียในแต่ละอาคาร แต่ในหลายกรณีพบว่าโรงพยาบาลมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีน้ำเสียปริมาณมากเกินกว่าศักยภาพระบบ ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียล้มเหลว ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีการระดมทุนหรือระบบอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสีย โดยแนวทางในการแก้ไขปัญหาต้องเป็นวิธีการที่ดำเนินการได้ง่าย ใช้เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายน้อย รวมทั้งไม่ใช้พื้นที่มาก



รูปที่ 1 ผังระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่ทั่วไป

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบติดกับที่ที่นิยมใช้ทั่วไป คือ การเติมตัวกลางพลาสติกเพื่อให้จุลินทรีย์เจริญและยึดเกาะกับตัวกลาง (attached growth) มีลักษณะดังรูปที่ 2 การเติมตัวกลางดังกล่าวมีข้อดี คือ สามารถเพิ่มปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ได้ เนื่องจากเซลล์ถูกยึดติดเกาะ ส่งผลให้ระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น แต่การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์แบบยึดติดกับตัวกลางใช้เวลานาน และการยึดติดมีความแข็งแรงน้อย [1-2]



รูปที่ 2 ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการเติมตัวกลางยึดเกาะ

การดักติดเซลล์ (cell entrapment) เป็นการตรึงเซลล์จุลินทรีย์ไว้ภายในสารพอลิเมอร์ เช่น สารแคลเซียมแอลจีเนต สารพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น [3-4] ระบบดังกล่าวมีข้อดีหลายประการ คือ สามารถควบคุมปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ได้ดี และสารพอลิเมอร์สามารถป้องกันจุลินทรีย์จากสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ เช่น สภาวะที่มีความเป็นกรด-ด่างสูงหรือต่ำเกินไป สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป สภาวะที่มีสารพิษ เป็นต้น [4-5] จากสมบัติของเซลล์ดักติดดังกล่าว ระบบเซลล์ดักติดเป็นระบบที่มีศักยภาพ สามารถประยุกต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลได้ โดยเซลล์ดักติดนอกจากจะมีความเหมาะสมในด้านสมบัติแล้ว วิธีการผลิตเซลล์ดักติดเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก ค่าใช้จ่ายน้อย ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์หรือเทคโนโลยีขั้นสูง รวมทั้งเซลล์ดักติดสามารถนำไปใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่เดิมได้

จากเหตุผลข้างต้นงานวิจัยนี้มีเป้าหมาย เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลด้วยเซลล์ดักติด ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ยังไม่มีการประยุกต์ใช้

กับน้ำเสียโรงพยาบาลหรือระบบแบบติดกับที่ใด ๆ โดยการศึกษาเน้นเน้นการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้เซลล์ตกติด เปรียบเทียบกับเซลล์อิสระ และเซลล์ยึดติดกับตัวกลาง สารพอลิเมอร์ที่เลือกใช้เป็นวัสดุตกติดในการศึกษานี้ คือ สารแคลเซียมแอลจีเนต ซึ่งเป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการตกติดเซลล์ได้ดี มีความคงทน และเตรียมเซลล์ตกติดด้วยสารพอลิเมอร์นี้ได้ง่าย [6-7]

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์เตรียมจากสารเคมี 3 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลซูโครส ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) ยูเรีย ( $CO(NH_2)_2$ ) และ แคลเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ ) โดยน้ำเสียมีสัดส่วนค่าซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD:N:P) เท่ากับ 100:5:1 น้ำเสียสังเคราะห์ค่าซีโอดี และพีเอชประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 6.5-7.0 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวอ้างอิงจากลักษณะน้ำเสียของโรงพยาบาลตัวอย่างแห่งหนึ่งในจังหวัดอุบลราชธานี

### 2.2 การเลี้ยงและปรับสภาพจุลินทรีย์ตั้งต้น

จุลินทรีย์ตั้งต้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นจุลินทรีย์สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยจุลินทรีย์ดังกล่าวเพาะเลี้ยงและปรับสภาพในห้องปฏิบัติการ เป็นระยะเวลาประมาณ 2 เดือน ก่อนเริ่มการทดลอง ถึงปฏิกรณ์สำหรับเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์มีขนาด 30 ลิตร เติมนระบบแบบเอสบีอาร์ (SBR; Sequencing Batch Reactor) มีเวลากักน้ำ (hydraulic retention time) และเวลากักตะกอน (solid retention time) เท่ากับ 1 และ 30 วัน ตามลำดับ

### 2.3 การเตรียมเซลล์อิสระ เซลล์ตกติด และเซลล์ยึดเกาะ

จุลินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 3 ลักษณะ คือ เซลล์อิสระ เซลล์ตกติด และเซลล์ยึดเกาะ รายละเอียดของการเตรียมเซลล์จุลินทรีย์ทั้งสามลักษณะมีดังนี้

เซลล์อิสระเตรียมจากจุลินทรีย์ตั้งต้น (1,000 มิลลิลิตร) โดยนำจุลินทรีย์ดังกล่าวไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 7,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นรินน้ำอาหารเลี้ยงเชื้อออกจากตะกอนจุลินทรีย์ แล้วจึงเจือจางตะกอนจุลินทรีย์และปรับปริมาตรด้วยน้ำดีไอ (DI; deionized water) เป็น 10

มิลลิลิตร ตะกอนจุลินทรีย์เข้มข้นนี้จะนำไปเติมลงในชุดทดลองต่อไป

เซลล์ตกติดเตรียมตามวิธีการตกติดเซลล์ด้วยสารแคลเซียมแอลจีเนตของ Pramanik and Khan [8] ซึ่งดัดแปลงมาจาก Smidsrod and Skjak-Braek [9] วิธีการนี้เป็นวิธีที่กระทำได้ง่ายและประสบความสำเร็จในการใช้งานหลายลักษณะ [6-7, 10] วิธีการเริ่มต้นจากเตรียมสารละลายโซเดียมแอลจีเนต (Fluka, Singapore) ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผสมกับตะกอนจุลินทรีย์เข้มข้น (เตรียมด้วยวิธีการเดียวกับการเตรียมเซลล์อิสระ) ด้วยอัตราส่วนปริมาตรจุลินทรีย์ต่อปริมาตรสารละลายโซเดียมแอลจีเนตเท่ากับ 1:20 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่จุลินทรีย์สามารถทำงานได้ดี [3] หลังจากกวนผสมสารข้างต้นจนเข้ากันดี จากนั้นหยดส่วนผสมดังกล่าวลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ส่วนผสมจะแข็งตัวเป็นเม็ดเจลทรงกลมที่มีจุลินทรีย์ตกติดภายใน (มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-5 มิลลิเมตร) จากนั้นแช่เม็ดเซลล์ตกติดในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อไปเป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อให้เม็ดเซลล์ตกติดมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น หลังจากนั้นแช่เซลล์ตกติดไว้ในน้ำดีไอก่อนนำไปใช้งาน เม็ดเซลล์ตกติดมีลักษณะดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เซลล์ตกติดด้วยแคลเซียมแอลจีเนต

สำหรับเซลล์ยึดเกาะเตรียมโดยผสมตะกอนจุลินทรีย์เข้มข้น (เตรียมด้วยวิธีการเดียวกับการเตรียมเซลล์อิสระ) และวัสดุยึดเกาะลงในถังปฏิกรณ์จำลอง

โดยตรงก่อนเริ่มทดลอง วัสดุยึดเกาะเป็นพลาสติกโดยจำนวนที่ใส่ลงในถังปฏิกรณ์คิดเป็นพื้นที่ผิวรวมทั้งหมดเท่ากับ 19 ตารางเซนติเมตรต่อลิตร ตามเกณฑ์การใช้งานของเซลล์ยึดเกาะ [11] ข้อสังเกตสำหรับการเตรียมเซลล์ยึดเกาะโดยทั่วไปตามทฤษฎีในการใช้เซลล์ยึดเกาะต้องมีการเลี้ยงและปรับสภาพเพื่อให้จุลินทรีย์เกาะติดเป็นฟิล์มชีวภาพ (biofilm) ที่วัสดุยึดเกาะก่อนการใช้งาน แต่ในงานวิจัยนี้เติมตะกอนจุลินทรีย์และวัสดุยึดเกาะลงในถังปฏิกรณ์จำลองโดยตรง เนื่องจากเป็นลักษณะการประยุกต์ใช้จริงในโรงพยาบาล

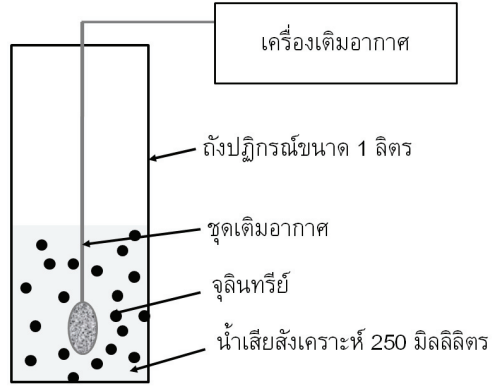
**2.4 การเตรียมถังปฏิกรณ์จำลองและเดินระบบ**

ถังปฏิกรณ์จำลองเป็นถังพลาสติกทรงกระบอกขนาด 1 ลิตร (ปริมาตรน้ำเสียทดลอง 250 มิลลิลิตร) ต่อกับเครื่องเติมอากาศ (ควบคุมให้มีปริมาณออกซิเจนละลายมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีลักษณะดังรูปที่ 4 ถึงปฏิกรณ์เดินระบบแบบเอสบีอาร์ โดยระบบเอสบีอาร์แต่ละ วัฏจักรมีช่วงการทำงาน 5 ช่วง คือ เวลาเติมน้ำเสีย (fill) ทำปฏิกิริยา (react) ตกตะกอน (settle) ระบายน้ำเสีย (draw) และพักระบบ (idle) รวมทั้งสิ้นใช้เวลาประมาณ 9 ชั่วโมง ซึ่งมีช่วงเวลาทำปฏิกิริยาและตกตะกอนเท่ากับ 6 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ

งานวิจัยนี้มีชุดทดลองทั้งหมด 6 ชุด (ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป) ชุดทดลองทุกชุดเดินระบบถึงปฏิกรณ์ 10 วัฏจักร โดยแต่ละวัฏจักรมีการเก็บตัวอย่างน้ำก่อนและหลังออกจากระบบ เพื่อวิเคราะห์ค่าซีโอดีและค่าพีเอช สำหรับการประเมินประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย การทดลองทุกชุดได้ดำเนินการในลักษณะเดียวกัน 2 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของการทดลอง

**2.5 ชุดทดลอง**

งานวิจัยนี้มีชุดทดลองทั้งหมด 6 ชุด ซึ่งประกอบด้วย ชุดทดลองหลัก 3 ชุด สำหรับการศึกษาการทำงานของเซลล์อิสระ เซลล์ตกติด และเซลล์ยึดเกาะ และชุดควบคุม 3 ชุด ควบคู่กับชุดทดลองหลัก รายละเอียดของชุดทดลองแต่ละชุดแสดงไว้ในตารางที่ 1



รูปที่ 4 ลักษณะถังปฏิกรณ์จำลอง

ตารางที่ 1 รายละเอียดของชุดทดลอง

ชุดทดลอง	รายละเอียดชุดทดลอง	ปริมาณจุลินทรีย์รวมในถังปฏิกรณ์จำลอง (มิลลิกรัม เซลล์แห้ง/ลิตร)	ปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ในถังปฏิกรณ์จำลอง (มิลลิลิตร)
1. F-Cell	เซลล์อิสระ	1,000	250
2. E-Cell	เซลล์ตกติด	1,000	250
3. A-Cell	เซลล์ยึดเกาะ	1,000	250
4. F-Ctrl	ชุดควบคุม ไม่มีจุลินทรีย์	0	250
5. E-Ctrl	วัสดุตกติด ไม่มีจุลินทรีย์	0	250
6. A-Ctrl	วัสดุยึดเกาะ ไม่มีจุลินทรีย์	0	250

**2.6 การวิเคราะห์ค่าซีโอดีและพีเอช**

การวิเคราะห์ค่าซีโอดีใช้วิธีการย่อยด้วยสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมต (รีฟลักซ์แบบปิด) ตามวิธีการมาตรฐาน [12] ส่วนการวัดค่าพีเอชใช้เครื่องวัดค่าพีเอช (InoLab pH level 1, WTW GmBH, Weilheim, Germany)

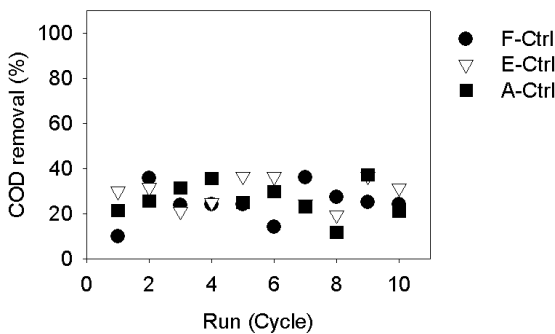
**3. ผลการวิจัย**

**3.1 การลดค่าซีโอดี**

การศึกษาลดค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียที่มีลักษณะการเจริญเติบโตของเซลล์ที่ต่างกัน ประกอบด้วย เซลล์อิสระ เซลล์ตกติด และเซลล์ยึดเกาะ โดยการดำเนินระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ทั้งหมด 10 วัฏจักร ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5

และ 6 รูปที่ 5 แสดงร้อยละค่าซีโอดีที่ลดลงหลังผ่านการบำบัดน้ำเสียของชุดทดลองที่ 4-6 ซึ่งเป็นชุดควบคุม (รายละเอียดของชุดทดลองแสดงไว้ในหัวข้อที่ 2.5) ส่วนรูปที่ 6 แสดงร้อยละค่าซีโอดีที่ลดลงหลังผ่านการบำบัดน้ำเสียของชุดทดลองที่ 1-3 ซึ่งได้แก่ ชุดทดลอง F-Cell E-Cell และ A-Cell จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปค่าเฉลี่ยร้อยละการลดค่าซีโอดีหลังผ่านการบำบัดของแต่ละชุดทดลองได้ดังตารางที่ 2

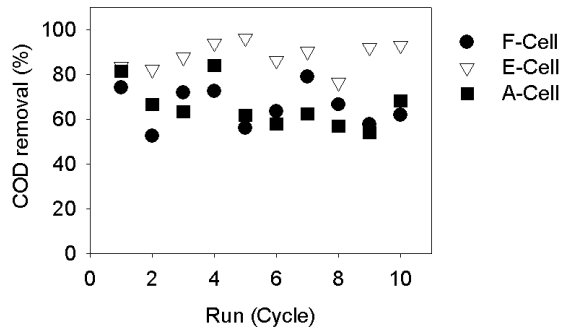
จากรูปที่ 5 จะพบว่าในชุดทดลองทั้งสาม (F-Ctrl E-Ctrl และ A-Ctrl) แม้ว่าจะไม่มีการเติมจุลินทรีย์ลงในถังปฏิกรณ์แต่ค่าซีโอดีก็ลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งโดยภาพรวมค่าซีโอดีลดลงใกล้เคียงกันทั้งสามชุดทดลองตลอดทั้ง 10 วัฏจักร โดยค่าซีโอดีลดลงประมาณร้อยละ 20-40 จากผลการทดลองนี้สามารถบ่งชี้ได้ว่าในน้ำเสียสังเคราะห์หรือถังปฏิกรณ์จำลองมีจุลินทรีย์ธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ ส่งผลให้ค่าซีโอดีลดลงสม่ำเสมอ



รูปที่ 5 ร้อยละการลดค่าซีโอดีของชุดทดลอง F-Ctrl E-Ctrl และ A-Ctrl

ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการรายงานถึงการปลดปล่อยค่าซีโอดีจากวัสดุตกติด (แคลเซียมแอลจีเนต) ซึ่งอาจส่งผลให้น้ำเสียมีปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อนสูงขึ้น [6] หรือในทางตรงกันข้ามมีงานวิจัยได้เสนอศักยภาพการดูดซับสารอินทรีย์โดยวัสดุตกติด แต่ความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ไม่สูงนัก กล่าวคือ วัสดุตกติดสามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้เมื่อใช้งานครั้งแรก ๆ เท่านั้น [4, 13] จากผลการทดลองของค่าซีโอดีของชุดทดลอง E-Ctrl (วัสดุตกติดเปล่า) ที่มีค่าใกล้เคียงกับ F-Ctrl (ชุดควบคุม) ตลอดทั้ง 10 วัฏจักร สามารถบ่งชี้ได้ว่าในงานศึกษานี้

วัสดุตกติดไม่ได้ปลดปล่อยหรือดูดซับสารอินทรีย์ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายของงานวิจัย ที่มุ่งเน้นการใช้วัสดุตกติด เพื่อการตรึงเซลล์จุลินทรีย์ให้อยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียในปริมาณสูงขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์เท่านั้น



รูปที่ 6 ร้อยละการลดค่าซีโอดีของชุดทดลอง F-Cell E-Cell และ A-Cell

ตารางที่ 2 การลดค่าซีโอดีระบบบำบัดน้ำเสียชุดทดลองต่าง ๆ

ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ยร้อยละประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1. F-Cell	65.71	8.71
2. E-Cell	88.29	6.16
3. A-Cell	65.76	10.00
4. F-Ctrl	24.47	8.05
5. E-Ctrl	29.24	6.44
6. A-Ctrl	26.24	7.61

สำหรับรูปที่ 6 ซึ่งแสดงร้อยละค่าซีโอดีที่ลดลงของชุดทดลอง F-Cell E-Cell และ A-Cell ผลการทดลองบ่งชี้ว่า ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของชุดทดลอง F-Cell และ A-Cell มีแนวโน้มลักษณะใกล้เคียงกัน คือเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมพบว่าชุดทดลองทั้งสองมีประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีมีค่าใกล้เคียงกัน รวมทั้งยังมีแนวโน้มที่ประสิทธิภาพของการบำบัดค่าซีโอดีลดลงเล็กน้อยอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง 10 วัฏจักร (ประมาณร้อยละ 20) เช่นกัน ซึ่งคาดว่าสาเหตุที่ประสิทธิภาพของการบำบัดค่าซีโอดีลดลง เนื่องมาจากการตกตะกอนไม่ดี จากการสังเกตชั้นตอนการตกตะกอนพบว่าในชุดทดลอง F-Cell และ A-Cell มีเซลล์จุลินทรีย์บางส่วนเบาและลอยฟุ้งในน้ำเสีย ทำให้มีเซลล์



จุลินทรีย์ดังกล่าวหลุดออกไปกับน้ำเสียที่ระบายออกจากระบบ ซึ่งแม้ว่าจะมีจุลินทรีย์เจริญเติบโตขึ้นในถังปฏิกรณ์จำลองก็ยังมีน้อยกว่าจำนวนจุลินทรีย์ที่หลุดออกจากระบบ ดังนั้นความสามารถในการลดค่าซีโอดีของชุดทดลอง F-Cell และ A-Cell จึงลดลงเรื่อย ๆ

จากรูปที่ 6 และตารางที่ 2 พบว่าชุดทดลอง F-Cell และ A-Cell มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเฉลี่ยใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากเซลล์จุลินทรีย์ในชุดทดลอง A-Cell อาจยึดเกาะกับพื้นผิวของวัสดุตัวกลางเพียงเล็กน้อย ซึ่งผลการทดลองนี้เป็นไปตามทฤษฎีที่ในการยึดเกาะเซลล์จุลินทรีย์อาจใช้เวลาานนับเดือนจึงเกิดแผ่นฟิล์มชีวภาพ [2, 7, 14] แต่ในการศึกษานี้มีได้เพาะบ่มจุลินทรีย์ให้ยึดเกาะกับวัสดุตัวกลางก่อน เนื่องจากการทดสอบตามสภาพการใช้งานจริงตามที่ได้อ้างไว้ในช่วงข้อ 2.3 ดังนั้นผลการทดลองของชุดทดลอง F-Cell และ A-Cell จึงใกล้เคียงกันมาก ซึ่งจากผลดังกล่าวบ่งชี้ได้ว่าตามทฤษฎีแล้วระบบเซลล์ยึดเกาะเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ในการใช้งานจริงประสิทธิภาพของระบบขึ้นอยู่กับความสามารถและความเข้าใจของผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย ลักษณะการประยุกต์ใช้เซลล์ยึดเกาะในระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลแบบติดกับที่ในปัจจุบันยังไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียได้ เนื่องจากรูปแบบการเดินระบบบำบัดน้ำเสียไม่เอื้อต่อการเกิดฟิล์มชีวภาพ กล่าวคือ การใช้งานเซลล์ยึดเกาะจำเป็นต้องพัฒนาฟิล์มชีวภาพบนวัสดุตัวกลางก่อนใช้งาน แต่ในการเดินระบบจริงมิได้มีขั้นตอนนี้ ประกอบกับระบบบำบัดน้ำเสียมีภาระน้ำเสียสูงตามที่ได้อ้างไว้ ความเป็นมาของการศึกษานี้ แต่ขนาดของถังปฏิกรณ์บำบัดน้ำเสียมีขนาดเท่าเดิมทำให้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย (contact time) ลดลง ส่งผลให้การพัฒนาฟิล์มชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นไปได้ไม่ดีนัก

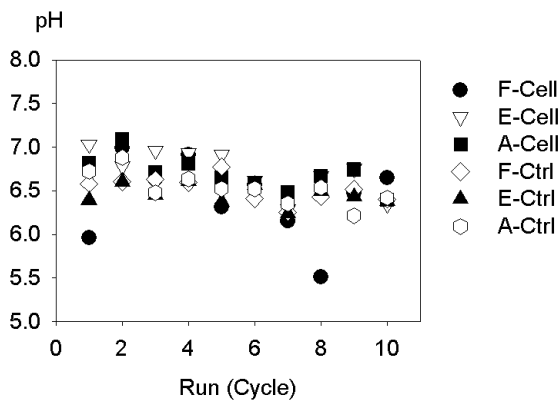
ส่วนชุดทดลอง E-Cell มีประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีสูงกว่าชุดทดลองอื่น ๆ อย่างชัดเจนดังที่ปรากฏในรูปที่ 6 และมีแนวโน้มที่ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีสูงขึ้นเล็กน้อย (ประมาณร้อยละ 10) โดยตั้งแต่วิจัยครั้งที่ 6 ชุดทดลอง E-Cell สามารถลดค่าซีโอดีได้สูงกว่าร้อยละ 90 ชุดทดลอง E-Cell เป็นการดักติดเซลล์จุลินทรีย์ในวัสดุตัวกลาง กล่าวคือ เซลล์จุลินทรีย์ถูกดักติดไว้ในโครงตาข่ายระดับจุลภาคแคลเซียมแอลจีเนต [7, 9] จุลินทรีย์ไม่ได้ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับวัสดุตัวกลาง

จากผลข้างต้นสามารถบ่งชี้ได้ว่าเซลล์จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตและทำงานได้ดีทำให้อาจมีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นมากกว่าชุดทดลอง F-Cell และ A-Cell ซึ่งมีการรายงานผลการศึกษาลักษณะคล้ายกันในอดีตเช่นกัน [3, 4, 6, 8] ตัวอย่างเช่นในการศึกษาของ Pramanik and Khan [8] ดังกล่าวพบว่าเซลล์ดักติดมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate) ของจุลินทรีย์สูงกว่าเซลล์อิสระ ซึ่งส่งผลให้ระบบเซลล์ดักติดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าเช่นกัน นอกจากนี้เมื่อดักติดมีน้ำหนักรวมจึงช่วยให้เกิดการตกตะกอนได้ดี ประกอบกับเซลล์จุลินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่ภายในเม็ดวัสดุตัวกลาง ส่งผลให้ในขั้นตอนการปล่อยน้ำทิ้งมีอาจมีเพียงจุลินทรีย์ที่อยู่ผิววัสดุตัวกลางหลุดลอกออกไปได้ แต่ก็คาดว่ายังมีปริมาณน้อยมาก ส่งเสริมให้การบำบัดน้ำเสียของชุดทดลอง E-Cell มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

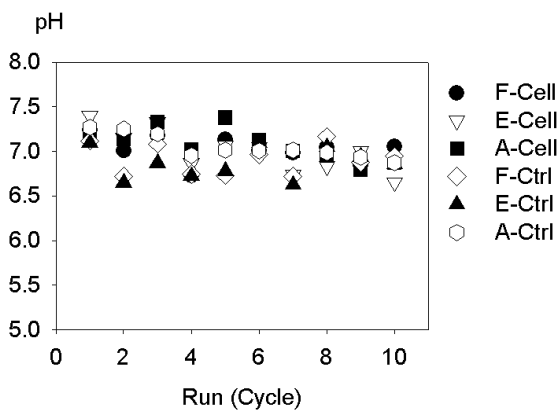
### 3.2 การติดตามค่าพีเอช

ผลการติดตามค่าของพีเอชก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียทั้ง 6 ชุดทดลอง แสดงไว้ในรูปที่ 7 และ 8 โดยพบว่าค่าของพีเอชก่อนและหลังบำบัดของการทดลองทุกชุดมีแนวโน้มคงที่และใกล้เคียงกัน โดยมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 7.5 จากผลในรูปที่ 7 และ 8 สามารถสรุปค่าพีเอชเฉลี่ยค่าได้ดังตารางที่ 3

ค่าพีเอชในช่วงดังกล่าวนี้เป็นช่วงที่เซลล์จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีสอดคล้องกับผลการลดค่าซีโอดี กล่าวคือ ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเซลล์ทั้งสามลักษณะมีความสามารถในการลดค่าซีโอดีได้ดี (ร้อยละ 65-88) ซึ่งเกิดเนื่องจากสภาพแวดล้อมในน้ำเสียเหมาะสมแก่การทำงานของจุลินทรีย์ นอกจากนี้จากค่าพีเอชคงที่ตลอด 10 วิจัยกร ยังสามารถบ่งชี้ได้ว่าสาเหตุที่การลดค่าซีโอดีของระบบทั้งสามแตกต่างกัน โดยชุดทดลอง E-Cell มีประสิทธิภาพสูงกว่าชุดทดลอง F-Cell และ A-Cell เกิดมาจากการหลุดลอกของจุลินทรีย์จากชุดทดลอง F-Cell และ A-Cell ออกจากระบบขณะถ่ายน้ำเสียออก มิได้เกิดจากประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ลดลง



รูปที่ 7 ค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนการบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ 8 ค่าพีเอชของน้ำเสียหลังการบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 3 ค่าพีเอชเฉลี่ยก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย

ชุดทดลอง	ค่าพีเอชเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด
1. F-Cell	6.42 ± 0.45	7.02 ± 0.15
2. E-Cell	6.73 ± 0.25	7.01 ± 0.24
3. A-Cell	6.70 ± 0.20	7.10 ± 0.19
4. F-Ctrl	6.52 ± 0.15	6.91 ± 0.18
5. E-Ctrl	6.46 ± 0.12	6.87 ± 0.17
6. A-Ctrl	6.53 ± 0.19	7.05 ± 0.14

### 3.3 การประเมินเสถียรภาพของระบบเบื้องต้น

จากผลการทดลองการลดค่าซีโอดีและการติดตามค่าพีเอชของชุดทดลองต่าง ๆ ทำให้สามารถบ่งชี้ความเสถียรของระบบบำบัดในการใช้เซลล์แต่ละชนิดในเบื้องต้นได้ โดยพิจารณาความเสถียรของระบบบำบัดจากความคงที่ของการบำบัดน้ำเสีย จากตารางที่ 2 จะพบว่าชุดทดลอง E-Cell มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการลดค่าซีโอดีเท่ากับ 6.16 ซึ่งน้อยกว่าชุดทดลอง F-Cell และ A-Cell ที่มีค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 8.71 และ 10.00

ตามลำดับ ส่วนผลการติดตามค่าพีเอช (ตารางที่ 3) พบว่ามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานใกล้เคียงกันทุกชุดทดลอง (0.12-0.45) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าชุดทดลอง E-Cell มีแนวโน้มที่มีความเสถียรของการบำบัดน้ำเสียสูงที่สุด ซึ่งอาจเนื่องมาจากเซลล์ที่ถูกดักติดมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสีย [4, 7]

เมื่อพิจารณาทั้งประสิทธิภาพและเสถียรภาพของการบำบัดน้ำเสียแล้วพบว่าระบบเซลล์ดักติดเป็นระบบที่มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้งานบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลแบบติดกับที่ได้ดี โดยระบบดังกล่าวนอกจากจะมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพสูงแล้ว ในทางปฏิบัติสามารถประยุกต์ใช้เซลล์ดักติดโดยการเติมลงในชุดถังปฏิกรณ์บำบัดน้ำเสียที่มีอยู่เดิม การใช้งานมีความยืดหยุ่นสูง กล่าวคือ การใช้ประยุกต์ใช้สามารถเติมเซลล์ดังกล่าวลงในปริมาณและความถี่ตามแต่เหมาะสมได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในอนาคตการประยุกต์ใช้เซลล์ดักติดสามารถเพิ่มศักยภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่ได้ รวมทั้งสามารถพัฒนาระบบเซลล์ดักติดต่อไปเพื่อการประยุกต์ใช้ในรูปแบบอื่น ๆ ได้ เช่น การฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน การกำจัดของเสียหรือน้ำเสียอุตสาหกรรม เป็นต้น

### 4. สรุป

จากผลการศึกษาสามารถกล่าวได้ว่าระบบเซลล์ดักติดมีศักยภาพสำหรับการใช้งานบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่ โดยพบว่าการใช้เซลล์ดักติดบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลมีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 88 ในขณะที่การบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลด้วยระบบที่มีอยู่เดิม ซึ่งได้แก่ ระบบเซลล์อิสระและเซลล์ยึดเกาะสามารถบำบัดน้ำเสียได้เพียงร้อยละ 66 นอกจากนี้ยังพบว่าระบบเซลล์ดักติดมีความเสถียรสูงกว่าระบบเซลล์อิสระและเซลล์ยึดเกาะ

แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยเป็นการศึกษาศักยภาพเบื้องต้นของระบบเซลล์ดักติด โดยมุ่งเน้นการเปรียบเทียบระบบที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นจึงควรได้มีงานศึกษาต่อเนื่องจากงานวิจัยนี้ในแง่การทดลองศึกษาโดยใช้น้ำเสียโรงพยาบาลจริง รวมทั้งควรได้ศึกษาสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสม เช่น ระยะเวลาพักน้ำ ระยะเวลาพักตะกอน เป็นต้น ตลอดจนการจำลอง

การบำบัดน้ำเสียในระดับน้ำรอง ก่อนจะได้ประยุกต์ใช้จริงในอนาคต

#### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาคีวิศวกรเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับสถานที่และอุปกรณ์สำหรับดำเนินงานวิจัยนี้

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Cochet, N., Lebeault, J.M., and Vijayalakshmi, M.A. 1990. Physicochemical aspects of cell adsorption. In Tyagi, R.D. and Vembu, K., Wastewater Treatment by immobilized Cells, CRC press, Florida, USA.
- [2] Jen, A.C., Wake, M.C., and Mikos, A.G. 1996. Review: hydrogels for cell immobilization. *Biotechnology and Bioengineering*, 50: 357-364.
- [3] Siripattanakul, S., Pochant, C.J., and Khan, E. 2008. Immobilized Cell Bioaugmentation for Nitrate Removal from Agricultural Infiltrate: A Sand Column Study. IWA World Water Congress 2008, Vienna, Austria, Sep. 7-12, 2008.
- [4] Siripattanakul, S., Wirojanagud, W., McEvoy, J., and Khan E. 2008. Effect of cell-to-matrix ratio in polyvinyl alcohol immobilized pure and mixed cultures for atrazine degradation. *Water Air Soil Pollution: Focus*, 8: 257-266.
- [5] van Veen, J.A., van Overbeek, L.S., and van Elsas, J.D. 1997. Fate and activity of microorganism introduced into soil. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 61: 121-135.
- [6] Hill, C.B. and Khan E. 2008. A Comparative Study of Immobilized Nitrifying and Co-Immobilized Nitrifying and Denitrifying Bacteria for Ammonia Removal of Sludge Digester Supernatant. *Water, Air, and Soil Pollution*, 195: 23-33.
- [7] Siripattanakul, S. and Khan, E. 2010. Fundamentals and Applications of Entrapped Cell Bioaugmentation for Contaminant Removal. In Vishal Shah, *Emerging Environmental Technologies*, Volume 2, Springer, New York, USA.
- [8] Pramanik, S., Khan, E. 2008. Effects of cell entrapment on growth rate and metabolic activity of mixed cultures in biological wastewater treatment. *Enzyme and Microbial Technology*, 43: 245-251.
- [9] Smidsrod, O. and Skjak-Braek, G. 1990. Alginate as immobilization matrix for cells. *Trends in Biotechnology*, 8: 71-78.
- [10] Gentry T.J., Rensing C. and Pepper I.L. 2004. New approach for bioaugmentation as a remediation technology. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 34: 447-494.
- [11] สันทัต ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549. ระบบบำบัดน้ำเสีย : การเลือกใช้ การออกแบบ การควบคุม และการแก้ปัญหา. สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, กรุงเทพฯ.
- [12] American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20<sup>th</sup> ed., Washington DC, USA.
- [13] Lin, Y., Fugetsu, B., Terui, N., and Tanaka, S. 2005. Removal of organic compounds by alginate gel beads with entrapped activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 120: 237-241.
- [14] Metcalf and Eddy. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 3<sup>rd</sup> ed., Mc Graw-Hill Inc., Singapore.