

บทที่ 4

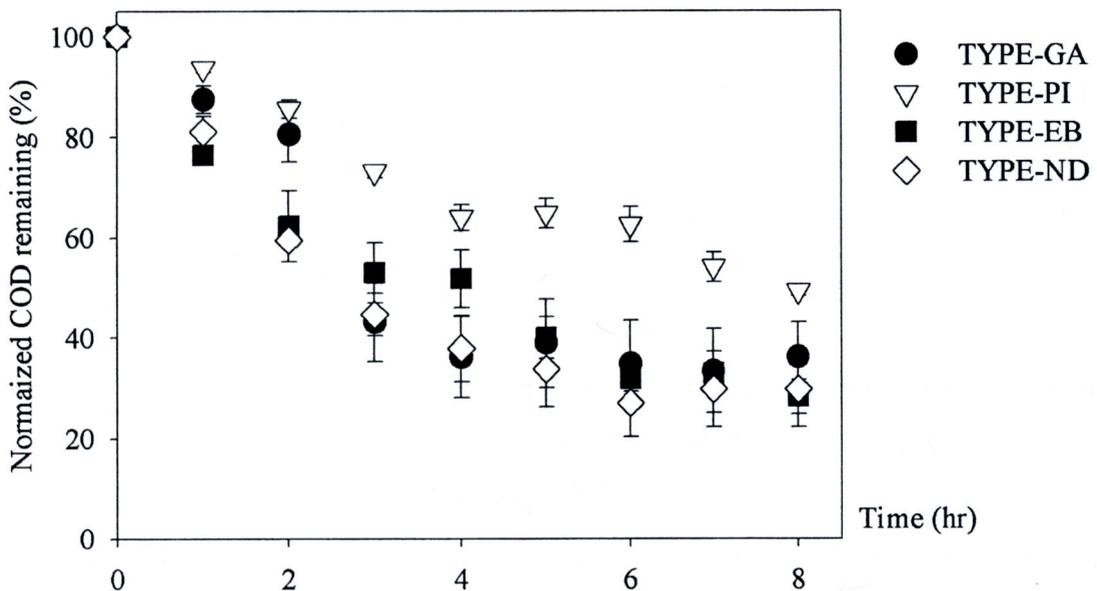
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการทดลองอิทธิพลของสารฆ่าเชื้อในการยับยั้งการบำบัดน้ำเสีย

4.1.1 ผลของอิทธิพลของชนิดสารฆ่าเชื้อ

การทดลองในขั้นตอนนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของสารฆ่าเชื้อชนิดต่าง ๆ ในการยับยั้งการบำบัดน้ำเสีย ตามที่กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมาสารฆ่าเชื้อที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเกรดการค้ามี 3 ชนิด (ซึ่งเป็นสารที่ใช้มากที่สุด 3 อันดับแรกในโรงพยาบาลตัวอย่าง) ได้แก่ กลูตารัลแอลดีไฮด์ (Glutaraldehyde; GA) โปวิดอนไอโอดีน (Povidone Iodine; PI) สารฆ่าเชื้อชีวภาพ (Eco-friendly biocide; EB) ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1

ชุดทดลองแบ่งเป็น 4 ชุด ซึ่งได้แก่ TYPE-GA TYPE-PI TYPE-EB และ TYPE-ND แสดงผลของสารฆ่าเชื้อ GA PI EB และชุดควบคุม (no disinfectant) ตามลำดับ (ข้อมูลดิบแสดงดังภาคผนวก ข1) รูปที่ 4.1 แสดงร้อยละค่าซีโอดีคงเหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง โดยค่าซีโอดีตั้งต้นเฉลี่ย เท่ากับ 370 มิลลิกรัมต่อลิตร แนวโน้มการกำจัดค่าซีโอดีในการทดลองทุกชุด ทั้งที่มีและไม่มีสารฆ่าเชื้อมีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ ค่าซีโอดีลดลงอย่างรวดเร็วในการทดลอง 4-5 ชั่วโมงแรก จากนั้นการลดค่าซีโอดีช้าลงหรือคงที่ในที่สุด



รูปที่ 4.1 ร้อยละค่าซีโอดีคงเหลือในศึกษาผลของชนิดสารฆ่าเชื้อในการยับยั้งการบำบัดน้ำเสีย

ภายหลังสิ้นสุดการทดลอง (8 ชั่วโมง) ค่าซีโอดีในชุดทดลอง TYPE-GA TYPE-PI TYPE-EB และ TYPE-ND ลดลงร้อยละ 64 42 67 และ 70 ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าสารฆ่าเชื้อต่างชนิดส่งผลยับยั้งการบำบัดน้ำเสียแตกต่างกัน ชุดทดลองควบคุม ซึ่งได้แก่ ชุดทดลอง TYPE-ND ไม่มีสารฆ่าเชื้อจึงป็นสามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 70 ในขณะที่ในชุดทดลองอื่น ๆ ซึ่งมีสารฆ่าเชื้อมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีน้อยกว่าชุดควบคุมประมาณร้อยละ 1 ถึง 20

ผลการยับยั้งซึ่งคำนวณจากสมการที่แสดงไว้ในบทที่ 3 และจลนพลศาสตร์การบำบัดน้ำเสียแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 การยับยั้งการบำบัดน้ำเสียโดยสารฆ่าเชื้ออยู่ระหว่างร้อยละ 4 ถึง 40 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม จลนพลศาสตร์การกำจัดค่าซีโอดีเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับที่ 1 โดยมีค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 0.09 ถึง 0.16 ชั่วโมง⁻¹ จากผลดังกล่าวชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าสารฆ่าเชื้อมีอิทธิพลต่อการการทำงานของเซลล์จุลินทรีย์ตะกอนเร่ง และส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่ระบุว่าสารฆ่าเชื้อทำลายจุลินทรีย์โดยการทำลายผนังเซลล์ (cell wall) เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) และไซโตพลาสซึม (cytoplasm) (Verlicchi et al., 2010)

ตารางที่ 4.1 การยับยั้งและจลนพลศาสตร์การบำบัดน้ำเสียเนื่องจากอิทธิพลของชนิดสารฆ่าเชื้อ

Reactor name	COD removal (%)	Inhibition (% of control)	Wastewater treatment kinetics		
			Equation*	R ²	Rate constant (hr ⁻¹)
TYPE-GA	64	8.57	$Y = -0.15X + 4.49$	0.79	0.15
TYPE-PI	42	40.00	$Y = -0.09X + 4.60$	0.97	0.09
TYPE-EB	67	4.28	$Y = -0.15X + 4.50$	0.97	0.15
TYPE-ND	70	Control	$Y = -0.16X + 4.44$	0.87	0.16

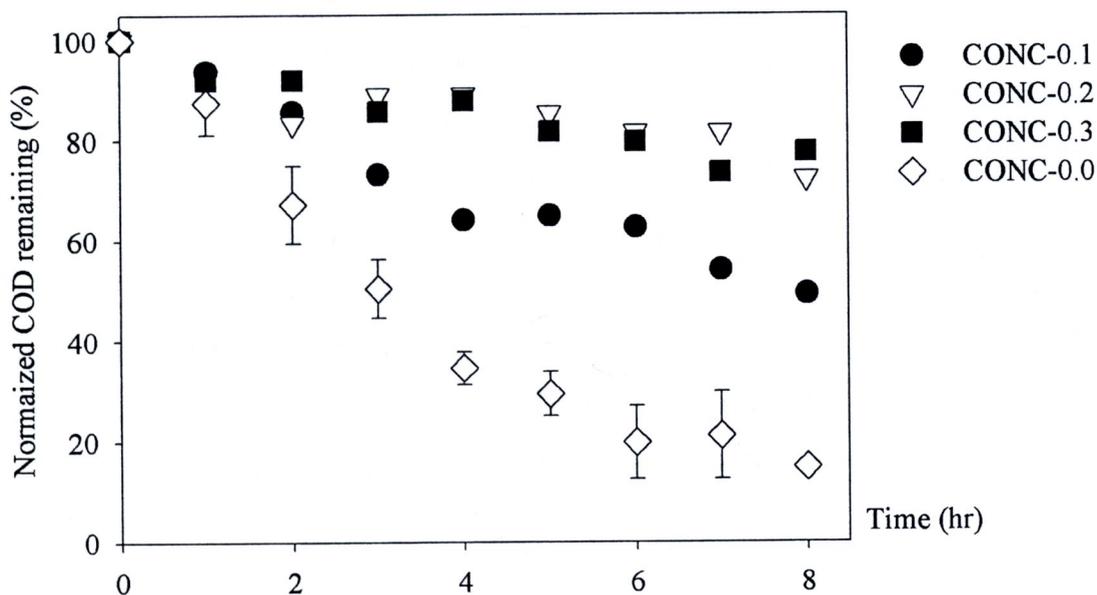
* $Y = \ln \text{COD}$ and $X = \text{time (hr)}$

สำหรับการเปรียบเทียบผลของสารฆ่าเชื้อชนิดต่าง ๆ ต่อการบำบัดน้ำเสีย จากผลการทดลองพบว่า PI ส่งผลยับยั้งการบำบัดน้ำเสียสูงที่สุด โดย PI ส่งผลยับยั้งสูงกว่า GA และ EB ถึง 5 และ 10 เท่าตามลำดับ จากผลการยับยั้งที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ได้พิสูจน์อย่างชัดเจนว่า EB ส่งผลต่อความสามารถในการบำบัดน้ำเสียเพียงเล็กน้อย เนื่องจาก EB เป็นสารฆ่าเชื้อชีวภาพซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนระหว่าง GA และ PI เป็นที่ทราบกันทั่วไปว่า PI จัดเป็นสารฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพปานกลาง ในขณะที่ GA จัดเป็นสารฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง (รุ่งทิพย์

ชวนชื่น, 2552) แต่จากผลการทดลองกลับพบว่า PI ส่งผลยับยั้งการบำบัดน้ำเสียสูงกว่า GA ซึ่ง คาดว่าอาจเกิดจากความเข้มข้นของสารที่ใช้งาน (working concentration) ในกิจการพยาบาล แตกต่างกัน กล่าวคือ โดยทั่วไปแล้ว PI ใช้สำหรับการฆ่าเชื้อผิวหนังหรือบาดแผลผู้ป่วย แต่ GA ใช้ฆ่าเชื้อเครื่องมือแพทย์ ดังนั้นความเข้มข้นใช้งานในกิจการพยาบาลของ PI จึงสูงกว่า GA ส่งผล ให้ความเข้มข้นปนเปื้อนในน้ำเสียสูงด้วยเช่นกัน

4.1.2 ผลของอิทธิพลของความเข้มข้นสารฆ่าเชื้อ

การทดลองในขั้นตอนนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นสารฆ่าเชื้อในการ ยับยั้งการบำบัดน้ำเสีย โดยการทดลองในขั้นตอนนี้คัดเลือกพิจารณาเฉพาะผลของ PI ซึ่งเป็นสารที่ ส่งผลต่อการบำบัดน้ำเสียสูงที่สุดดังที่แสดงในหัวข้อก่อนหน้านี้นี้ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2 ชุดทดลองแบ่งเป็น 4 ชุด ซึ่งได้แก่ CONC-0.1 CONC-0.2 CONC-0.3 และ CONC-0.0 ซึ่งแสดงผล ของ PI ที่ความเข้มข้นปนเปื้อนในน้ำเสีย เท่ากับ ร้อยละ 0.1 0.2 0.3 และ 0.0 (ชุดควบคุม) โดย ปริมาตร เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นใช้งาน (working concentration) ตามลำดับ (ข้อมูลดิบ แสดงดังภาคผนวก ข2) รูปที่ 4.2 แสดงร้อยละค่าซีโอดีคงเหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ในชุดควบคุม (CONC-0.0) ค่าซีโอดีลดลงอย่างรวดเร็วในการทดลอง 6 ชั่วโมงแรก จากนั้นการลดค่าซีโอดีลดลงเพียงเล็กน้อย ส่วนผลการทดลองในชุดทดลองอื่นที่มีสารฆ่าเชื้อ ปนเปื้อนมีแนวโน้มมีลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ ค่าซีโอดีลดลงช้า ๆ ตลอดการทดลอง



รูปที่ 4.2 ร้อยละค่าซีโอดีคงเหลือในศึกษาผลของความเข้มข้นสารฆ่าเชื้อ ในการยับยั้งการบำบัดน้ำเสีย

ภายหลังสิ้นสุดการทดลองชุดทดลอง CONC-0.1 CONC-0.2 CONC-0.3 และ CONC-0.0 กำจัดค่าซีไอดีได้ร้อยละ 50 27 23 และ 85 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารฆ่าเชื้อสูงขึ้น ส่งผลให้ความสามารถของชุดทดลองในการบำบัดน้ำเสียลดลงอย่างชัดเจน ผลการทดลองดังกล่าวคล้ายกับงานวิจัยในอดีตที่ระบุว่าเมื่อความเข้มข้นของสารปนเปื้อนพิษสูงขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์จะลดลง ดังตัวอย่างการศึกษาของ Ochoa-Herrera et al. (2009) ซึ่งรายงานว่าคุณสมบัติการบำบัดน้ำเสียลดลง เมื่อความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในน้ำเสียสูงขึ้นจาก 5 เป็น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร

สาเหตุที่ระบบการบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพลดลง คาดว่าเกิดจากการลดลงของปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิต เนื่องจากจุลินทรีย์บางส่วนถูกทำลายด้วยสาร PI ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเช่นกันในการศึกษาของ Anderson et al. (2010) โดยกลุ่มผู้วิจัยดังกล่าวได้รายงานว่ามีจุลินทรีย์ *Staphylococcus aureus* *Staphylococcus epidermidis* *Acinetobacter baumannii* *Pseudomonas aeruginosa* และ *Escherichia coli* ที่สัมผัสสาร PI ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลดลงประมาณ 10^2 ซีเอฟยูต่อมิลลิลิตร (CFU/mL) จากปริมาณเซลล์เริ่มต้น 10^7 ซีเอฟยูต่อมิลลิลิตร สำหรับกลไกการทำลายเซลล์จุลินทรีย์ด้วยสาร PI คือ สาร PI ซึ่งเป็นสารประกอบของสารไอโอดีน (iodide) และสารพาหะพอลิไวนิลไพร์โรไลดอน (polyvinylpyrrolidone) สารพาหะดังกล่าวทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บกักสารไอโอดีนอิสระ (free iodine) สารไอโอดีนจะค่อย ๆ ออกมาสัมผัสเซลล์จุลินทรีย์ จากนั้นจึงซึมเข้าผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และทำลายการทำงานของโปรตีน กรดไขมัน และนิวคลีโอไทด์ภายในเซลล์ ส่งผลให้จุลินทรีย์ไม่สามารถทำงานได้ (inactivation) และตายไปในที่สุด (Durani and Leaper, 2008)

ผลการยับยั้งซึ่งคำนวณจากสมการที่แสดงไว้ในบทที่ 3 และจลนพลศาสตร์การบำบัดน้ำเสียแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 การยับยั้งการบำบัดน้ำเสียโดยสารฆ่าเชื้ออยู่ระหว่างร้อยละ 41 ถึง 73 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม จลนพลศาสตร์การกำจัดค่าซีไอดีเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับที่ 1 โดยมีค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา เท่ากับ 0.03 ถึง 0.09 ชั่วโมง⁻¹ จากผลดังกล่าวชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าความเข้มข้นของสารฆ่าเชื้อมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ยังพบว่าจากผลการทดลองของชุดทดลอง CONC-0.2 และ CONC-0.3 ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกันบ่งชี้ได้ว่าความเข้มข้น PI เท่ากับ ร้อยละ 0.2 เป็นความเข้มข้นปนเปื้อนต่ำที่สุดที่ยับยั้งความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย กล่าวคือ แม้เพิ่มความเข้มข้นของสารฆ่าเชื้อสูงขึ้นการยับยั้งก็ยังคงมีลักษณะเช่นเดิม

ตารางที่ 4.2 การยับยั้งและจลนพลศาสตร์การบำบัดน้ำเสียเนื่องจากอิทธิพลของความเข้มข้นของสารฆ่าเชื้อ

Reactor name	COD removal (%)	Inhibition (% of control)	Wastewater treatment kinetics		
			Equation*	R ²	Rate constant (hr ⁻¹)
CONC-0.1	50	41.18	Y = -0.09X+4.60	0.97	0.09
CONC-0.2	27	68.24	Y = -0.03X+4.57	0.77	0.03
CONC-0.3	23	72.94	Y = -0.03X+4.58	0.91	0.03
CONC-0.0	85	Control	Y = -0.25X+4.64	0.98	0.25

* Y = ln COD and X = time (hr)

สำหรับค่าซีโอดี ที่ยังคงลดลงถึงร้อยละ 20 แม้มีสารฆ่าเชื้อปนเปื้อนสูงถึงร้อยละ 0.2 ถึง 0.3 (ชุดทดลอง CONC-0.2 และ CONC-0.3) (รูปที่ 4.2) อาจเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ การออกซิเดชันที่ไม่ใช่จากกระบวนการทางชีววิทยา (abiotic oxidation) เช่น การออกซิเดชันทางเคมี (chemical oxidation) การออกซิเดชันด้วยแสง (photo-oxidation) หรือประการที่สอง คือ เกิดจากจุลินทรีย์ที่ทน PI

สำหรับสาเหตุแรกในการทดลองนี้ได้กระทำการศึกษาชุดทดลองเปรียบเทียบในลักษณะของชุดควบคุมควบคู่กับการทดลองทั่วไป ซึ่งได้แก่ การทดลองศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีในน้ำเสียที่มีสารฆ่าเชื้อแต่ไม่มีเซลล์จุลินทรีย์ การทดลองดังกล่าวบ่งชี้ว่าค่าซีโอดีมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (น้อยกว่าร้อยละ 5) ดังนั้นสาเหตุแรกนี้คาดว่ามิใช่สาเหตุของการลดลงของค่าซีโอดีในงานวิจัยนี้

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่า จุลินทรีย์ตะกอนเร่งจากโรงพยาบาลแต่ละแห่งมีจุลินทรีย์หลักหลายชนิดแตกต่างกันออกไป ดังตัวอย่างเช่น ในตะกอนเร่งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้รับการปนเปื้อนจากยาชนิดต่าง ๆ หนึ่งแห่งในประเทศสโลวาเนีย ประกอบด้วย แบคทีเรียในสกุล *Alphaproteobacteria* *Betaproteobacteria* *Gammaproteobacteria* *Deltaproteobacteria* *Nitrospira* และ *Acidobacteria* เป็นต้น (Kraigher et al., 2008) แต่จนถึงปัจจุบันยังไม่มีความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลในประเทศไทย ส่วนงานวิจัยในอดีตมีการศึกษาครอบคลุมจุลินทรีย์ที่ทนต่อสาร PI บ้าง ดังเช่น การศึกษาของ Anderson et al. (2010) และ Durani and Leaper (2008) เป็นต้น แต่การศึกษาในอดีตยังไม่มีการครอบคลุมการทนสาร PI ในจุลินทรีย์ตะกอนเร่ง แต่อย่างไรก็ตามมีการศึกษาที่ชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าจุลินทรีย์บางสายพันธุ์ทนต่อสารกำจัดเชื้อ (biocide) ซึ่งรวมถึงสาร PI ด้วย (รุ่งทิพย์ ชวนชื่น, 2552; Durani and Leaper, 2008; Anderson et al., 2010) ดังนั้นสำหรับประเด็นสาเหตุที่สองที่กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่ง

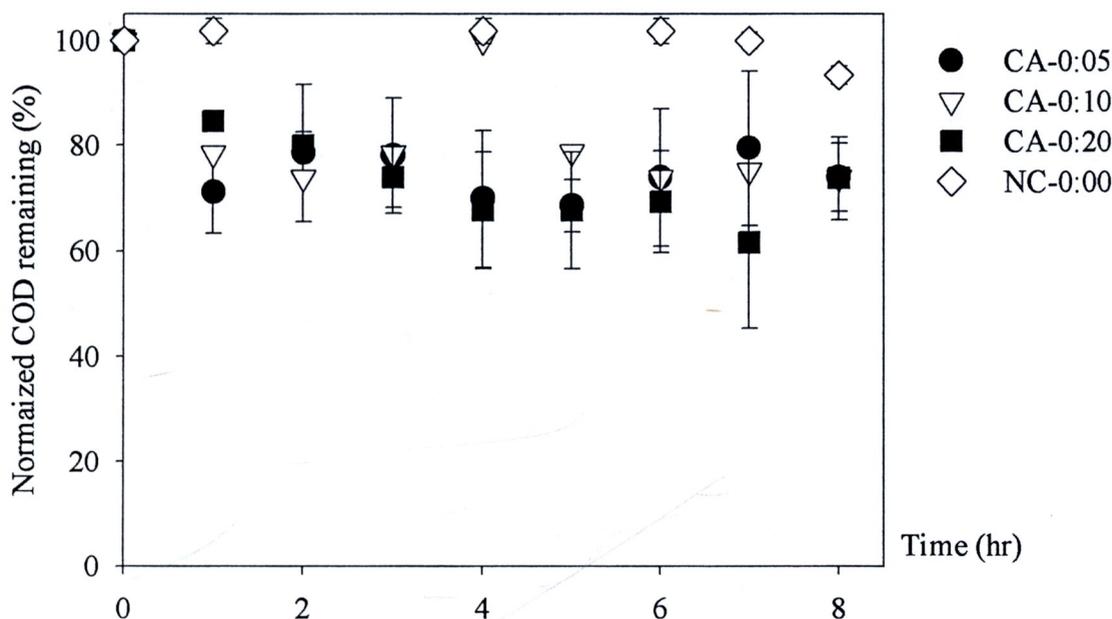
ได้แก่ ค่าซีไอดีทีลดลงจากจุลินทรีย์ที่ทน PI แม้ยังมีอาจสรุปได้อย่างชัดเจนแต่มีความเป็นไปได้สูง การศึกษาในประเด็นนี้ควร ได้มีงานวิจัยต่อเนื่องในประเด็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทนต่อสารปฏิชีวนะ (antibiotic resistant community) ในระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลต่อไป

4.2 ผลการทดลองการปรับปรุงการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลด้วยระบบเซลล์ดักติด

4.2.1 ผลการหาสภาวะการเตรียมเซลล์ดักติดที่เหมาะสม

การทดลองในขั้นตอนนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสภาวะในการเตรียมเซลล์ดักติดที่เหมาะสม ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารฆ่าเชื้อปนเปื้อน การทดลองขั้นตอนนี้ได้เตรียมเซลล์ดักติดที่อัตราส่วนต่าง ๆ (อัตราส่วนเซลล์ต่อวัสดุดักติด) และเซลล์อิสระ เพื่อศึกษาผลของสารฆ่าเชื้อต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์นั้น ๆ ในการบำบัดน้ำเสีย การทดลองประกอบด้วยชุดทดลอง 8 ชุด ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ได้แก่ กลุ่มชุดควบคุมซึ่งประกอบด้วยชุดทดลองที่ไม่มีเซลล์และวัสดุดักติด (NC-0:00) ชุดทดลองที่มีเฉพาะวัสดุดักติดปริมาณต่างกัน (CA-0:05 CA-0:10 และ CA-0:20) ส่วนกลุ่มที่สอง คือ กลุ่มชุดทดลองซึ่งประกอบด้วยชุดทดลองเซลล์ดักติดที่อัตราส่วนเซลล์ต่อวัสดุดักติดต่างกัน (CM-1:05 CM-1:10 และ CM-1:20) และเซลล์อิสระ (FC-1:00) รายละเอียดของส่วนประกอบในชุดทดลองต่าง ๆ แสดงไว้ในบทที่ 3 ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.3 ถึง 4.4 (ข้อมูลดิบแสดงไว้ในภาคผนวก ข3)

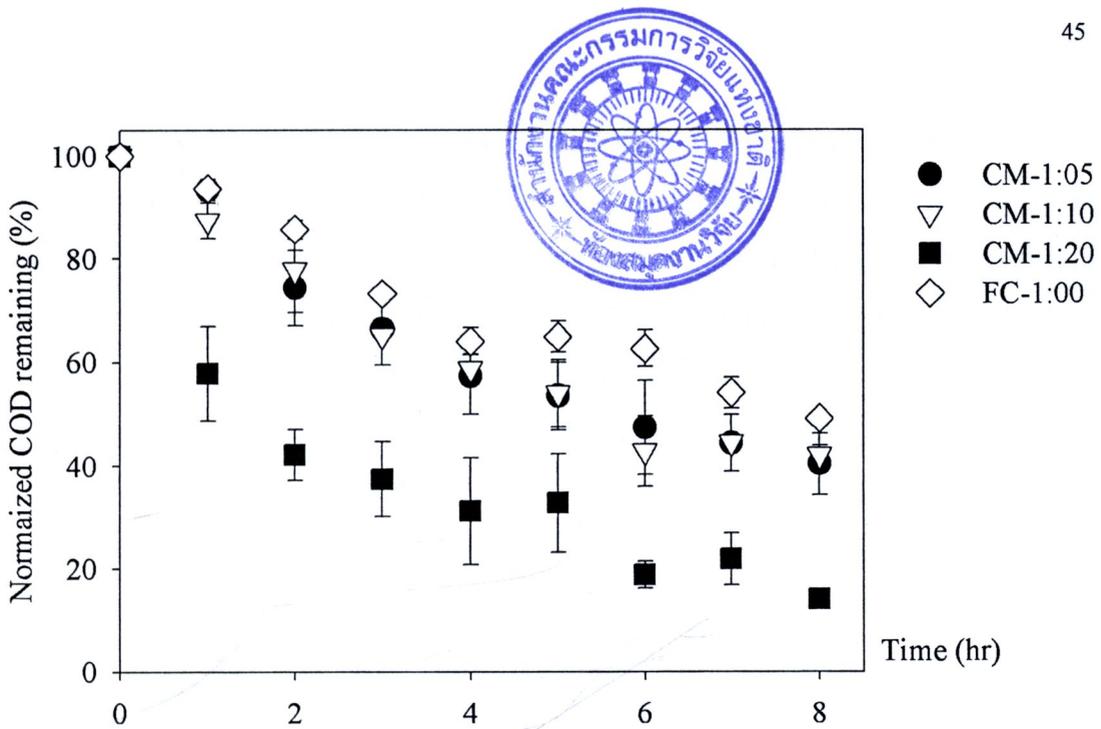
จากรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงผลร้อยละค่าซีไอดีคิงเหลือในน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยสารฆ่าเชื้อ PI ในชุดทดลองที่มีเฉพาะเม็ดแอสเจนิตที่เตรียมด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ ซึ่งการทดลองในส่วนนี้มีเป้าหมายเพื่อให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับค่าซีไอดีของเม็ดแอสเจนิตในอัตราส่วนต่างกัน ผลการทดลองพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าซีไอดีในการทดลองทุกชุดในส่วนนี้มีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ ค่าซีไอดีลดลงเล็กน้อยอย่างรวดเร็ว (ร้อยละ 11 ถึง 25) ในการทดลองชั่วโมงแรก จากนั้นการลดค่าซีไอดีคิงที่เหลือลดลงเพียงเล็กน้อยตลอดช่วงการทดลอง โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าซีไอดีในชุดทดลอง NC-0:00 CA-0:05 CA-0:10 และ CA-0:20 มีค่าคงเหลือเท่ากับร้อยละ 95 79 75 และ 73 ตามลำดับ จากผลดังกล่าวชี้ให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าเม็ด CA สามารถดูดซับค่าซีไอดีได้แต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่ระบุความสามารถในการดูดซับของวัสดุดักติดแต่ไม่มีนัยสำคัญเช่นกัน เช่น การดูดซับสารกำจัดวัชพืชอาหาราซินด้วยวัสดุดักติดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Siripattanakul et al., 2008) เป็นต้น



รูปที่ 4.3 ร้อยละค่าซีโอดีคงเหลือในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารฆ่าเชื้อปนเปื้อน ด้วยกลุ่มชุดควบคุม

นอกจากนี้จากผลการทดลองในรูปที่ 4.3 ยังพบว่าความสามารถการลดค่าซีโอดีของ เม็ดแคลเซียมแอลจีเนตมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมากแม้มีปริมาณของเม็ด CA เพิ่มขึ้น (ปริมาณเม็ด CA ไม่เท่ากันเป็นผลมาจากการกำหนดอัตราส่วนดักติดเซลล์ต่างกันซึ่งมีรายละเอียดแสดงไว้ในบทที่ 3) ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณเม็ด CA ในชุดทดลอง CA-0:10 คิดเป็นประมาณ 2 เท่าของชุดทดลอง CA-0:05 และชุดทดลอง CA-0:20 มีปริมาณเม็ด CA คิดเป็นประมาณ 2 เท่าของชุดทดลอง CA-0:10 เช่นกัน แต่ผลการดูดซับแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเพียงร้อยละ 2 เท่านั้น อาจเกิดได้จาก 2 สาเหตุ คือ ประการที่ 1 เม็ด CA ถูกชะละลายสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับออกมา (desorption) ส่งผลให้แม้มีเม็ด CA เพิ่มมากขึ้นแต่มีการชะละลายอินทรีย์ออกมากเช่นกัน ดังนั้นการดูดซับซีโอดีจึงมิได้เพิ่มมากขึ้น อย่างชัดเจนเมื่อเม็ด CA เพิ่มจำนวนขึ้น

ประการที่ 2 สาร CA เองก็เป็นสารอินทรีย์เช่นกันดังนั้นในระหว่างการบำบัดน้ำเสีย สาร CA อาจแตกย่อยและละลายออกมาบ้าง ส่งผลให้มีค่าซีโอดีออกมาจากวัสดุดักติด การแตกย่อยของเม็ด CA เป็นเหตุการณ์ทั่วไปที่เกิดขึ้นในวัสดุดักติดประเภทนี้ (Gentry et al., 2004; Siripattanakul and Khan, 2010) เนื่องจากกระบวนการดักติดแอลจีเนตเป็นปฏิกิริยาเชื่อมแบบ ไขว้ซึ่งเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ สำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลให้เกิดการผันกลับได้ คือ ค่าพีเอช หรือเกลือชนิดต่าง ๆ ตลอดจนปัจจัยแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น อุณหภูมิ เป็นต้น ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงอาจมีสาร CA ถูกชะละลายส่งผลต่อค่าซีโอดีเช่นกัน



รูปที่ 4.4 ร้อยละค่าซีไอดักเหลือในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารฆ่าเชื้อปนเปื้อน ด้วยกลุ่มชุดทดลอง

จากรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงผลร้อยละซีไอดักเหลือในน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยสารฆ่าเชื้อ PI ในชุดทดลองเซลล์ดักติดที่เตรียมด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ และเซลล์อิสระ ซึ่งการทดลองในส่วนนี้มีเป้าหมายเพื่อให้เห็นถึงความสามารถในการลดค่าซีไอของของเซลล์ดักติดในอัตราส่วนต่าง ๆ รวมทั้งเพื่อเปรียบเทียบกับเซลล์อิสระด้วย ผลการทดลองพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าซีไอในการทดลองทุกชุดในส่วนนี้มีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ ค่าซีไอลดลงอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องในการทดลอง 6 ชั่วโมงแรก จากนั้นการลดค่าซีไอลดลงเล็กน้อย โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 8 ชั่วโมง ค่าซีไอในชุดทดลอง CM-1:05 CM-1:10 CM-1:20 และ FC-1:00 มีค่าคงเหลือเท่ากับร้อยละ 43 42 14 และ 50 จากผลดังกล่าวชี้ให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าอัตราส่วนในการดักติดเซลล์ด้วย CA ส่งผลต่อความสามารถในการลดค่าซีไอจากน้ำเสียที่มีสารฆ่าเชื้อปนเปื้อน โดยเมื่อปริมาณของ CA เพิ่มขึ้น (อัตราส่วนเซลล์ต่อวัสดุดักติดลดลง ซึ่งในงานวิจัยนี้ คือ CM-1:20) ส่งผลให้ลดการยับยั้งการกำจัดซีไอได้ดีขึ้น

ตามที่กล่าวไว้ในเบื้องต้นอัตราส่วนในการดักติดเซลล์จุลินทรีย์ส่งผลต่อความสามารถของจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย จากงานวิจัยในอดีตได้รายงานว่ามีอัตราส่วนเซลล์ต่อวัสดุดักติดต่างกัน ส่งผลต่อความหนาแน่นของเซลล์จุลินทรีย์ในเมื่่วัสดุดักติดต่างกันด้วยเช่นกัน (Kim et al., 2001; Siripattanakul et al., 2008) ดังเช่น หากเปรียบเทียบชุดทดลอง CM-1:05 (อัตราส่วนเซลล์ต่อวัสดุดักติดสูง) และ CM-1:20 (อัตราส่วนเซลล์ต่อวัสดุดักติดน้อย) พบว่าปริมาณเซลล์และวัสดุดักติดแล้วมีปริมาตรวัสดุดักติดคิดเป็น 5 และ 20 เท่าของปริมาตรเซลล์ ตามลำดับ ในการทดลอง

ควบคุมปริมาณเซลล์จุลินทรีย์เท่ากัน (1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) ดังนั้นในชุดทดลอง CM-1:05 มีเซลล์จุลินทรีย์กระจายอยู่ในวัสดุคักคิตหนาแน่นมาก แต่ชุดทดลอง CM-1:20 มีเซลล์จุลินทรีย์กระจายอยู่ในวัสดุคักคิตหนาแน่นน้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยในอดีตในประเด็นศึกษานี้ มีผลการศึกษาที่แตกต่างกันไปตามชนิดของจุลินทรีย์และการใช้ประโยชน์ของจุลินทรีย์ (Kim et al., 2001; Siripattanakul et al., 2008) เนื่องจากการที่เซลล์จุลินทรีย์มีความหนาแน่นมากอาจส่งผลให้มีพื้นที่จุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อย มีความสามารถในการปกป้องสารพิษน้อย แต่ไม่มีผลเรื่องความสามารถในการซึมผ่านของสารอาหารมากนัก แต่ในทางกลับกันหากมีเซลล์หนาแน่นน้อย อาจมีปัญหาเรื่องจากซึมผ่านของอาหารและออกซิเจนสู่เซลล์จุลินทรีย์ที่อยู่ภายใน โดยสภาวะที่เหมาะสมของเซลล์จุลินทรีย์แต่ละชนิดก็แตกต่างกันไป

ผลการยับยั้งซึ่งคำนวณจากสมการที่แสดงไว้ในบทที่ 3 และจลนพลศาสตร์การบำบัดน้ำเสียแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 สำหรับการศึกษาความสามารถในการลดค่าซีโอดีของชุดทดลอง CM-1:20 ดีกว่าชุดทดลองอื่นอย่างชัดเจน การยับยั้งการลดค่าซีโอดีคิดเป็นเพียงร้อยละ 8 ในขณะที่ชุดทดลองอื่น ๆ พบการยับยั้งการทำงานถึงร้อยละ 38 ถึง 46 จากผลการทดลองนี้สามารถกล่าวได้ว่าการคักคิตเซลล์สามารถลดอิทธิพลของสารฆ่าเชื้อในการยับยั้งการบำบัดน้ำเสียได้ โดยอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนเซลล์ต่อวัสดุคักคิตที่ 1:20 ผลการศึกษายังบ่งชี้ได้ว่าที่อัตราส่วนนี้สารอาหารและออกซิเจนสามารถแพร่เข้าสู่ภายในเซลล์ได้ รวมทั้งยังสามารถป้องกันมิให้สาร PI สัมผัสกับเซลล์โดยตรงส่งผลให้ฤทธิ์ของสาร PI ไม่ส่งผลต่อเซลล์จุลินทรีย์ตะกอนเร่ง

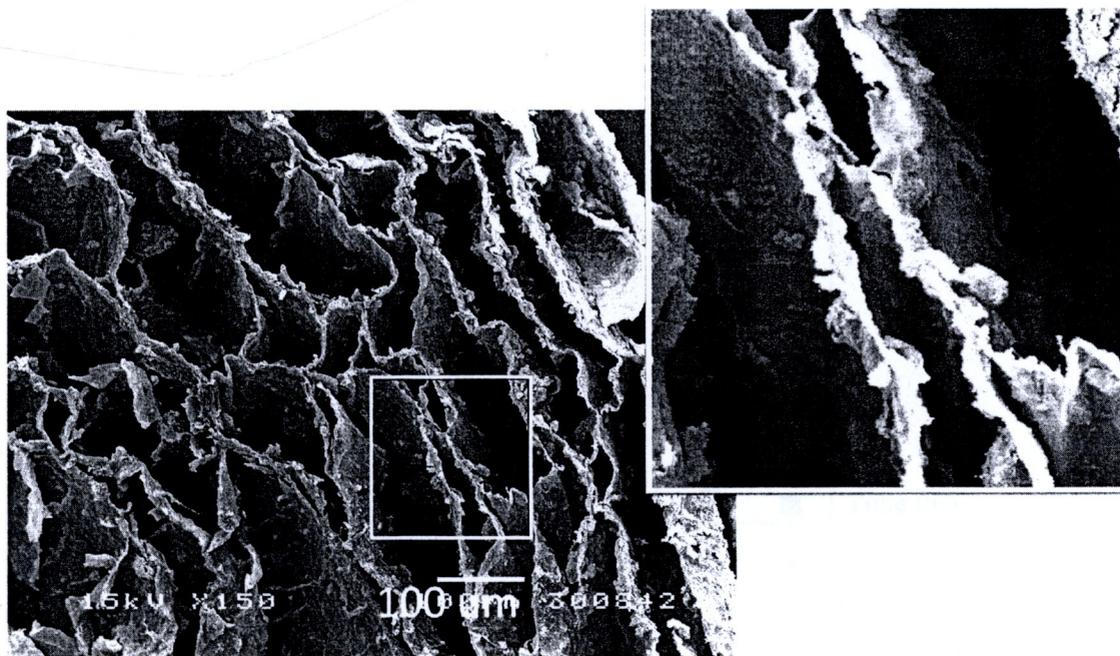
จากรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นภาพโครงสร้างของเซลล์คักคิตแบบตัดขวาง (cross-sectional view) ในระดับจุลภาคสนับสนุนผลการทดลองและการอภิปรายที่แสดงไว้ในข้างต้น กล่าวคือ เซลล์จุลินทรีย์ถูกคักคิตตามโครงสร้างของปฏิภานเชื่อมแบบไขว้ โดยภายในเม็ด CA มีโครงสร้างที่เป็นตาข่ายถี่มากจนมีลักษณะเป็นแผ่น โดยแผ่นตาข่ายนี้เชื่อมต่อกันส่งผลให้ช่องว่างขนาดใหญ่ (macro void) จำนวนมาก โดยช่องว่างดังกล่าวมีขนาดประมาณ 100 ไมโครเมตร ส่งผลให้สารอาหารและออกซิเจนสามารถเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปได้ อย่างไรก็ตามสำหรับการปกป้องสารพิษ คาดว่ากลไกที่เกิดขึ้น เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของวัสดุคักคิตที่เป็นแผ่นตาข่ายนี้ปกป้องมิให้สาร PI สัมผัสและทำลายเซลล์จุลินทรีย์โดยตรง ดังนั้นการยับยั้งการบำบัดน้ำเสียจึงลดลงตามไปด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.3 การยับยั้งและจลนพลศาสตร์การบำบัดน้ำเสียด้วยเซลล์ดักติดและเซลล์อิสระ

Reactor name	COD removal (%)	Inhibition (% of control)	Wastewater treatment kinetics		
			Equation ⁽¹⁾	R ²	Rate constant (hr ⁻¹)
CM-1:05	57	39.36	$Y = -0.11X + 4.56$	0.96	0.11
CM-1:10	58	38.30	$Y = -0.21X + 4.35$	0.92	0.21
CM-1:20	86	8.51	$Y = -0.24X + 4.41$	0.83	0.24
FC-1:00	50	46.81	$Y = -0.09X + 4.60$	0.97	0.09
Control ⁽²⁾	94	Control	$Y = -0.25X + 4.64$	0.98	0.25

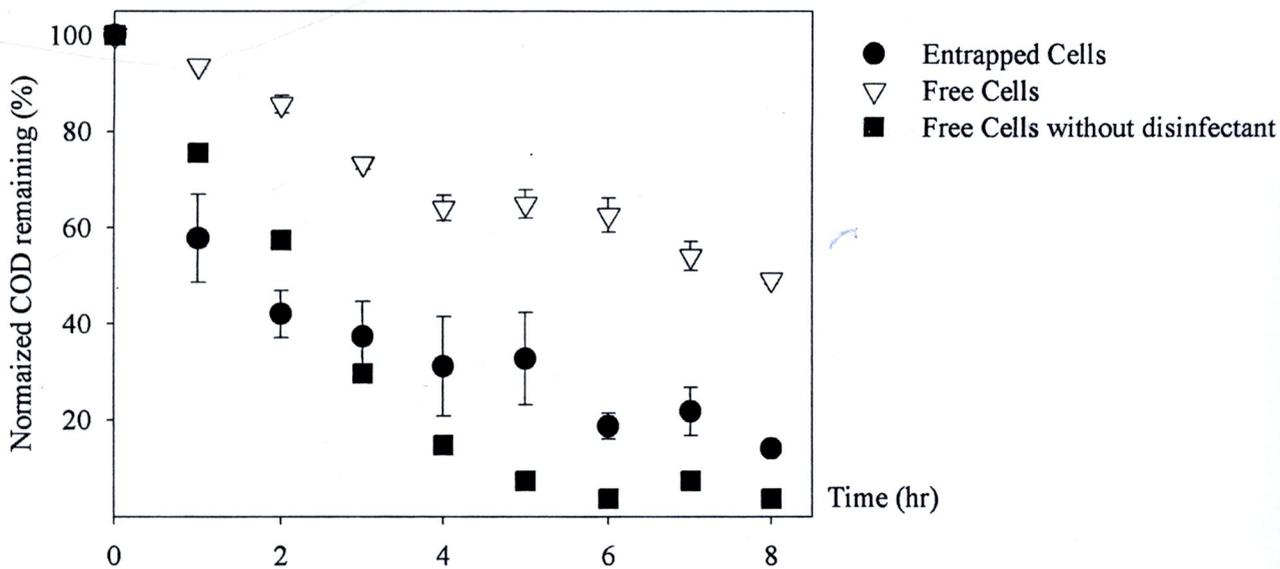
⁽¹⁾ $Y = \ln \text{COD}$ and $X = \text{time (hr)}$

⁽²⁾ Control is the traditional (free cell) wastewater treatment system without disinfectant.



รูปที่ 4.5 ลักษณะเซลล์ดักติดตักขวางในระดับจุลภาค (กำลังขยายที่ 150 เท่า)

จากรูปที่ 4.6 ซึ่งเปรียบเทียบผลร้อยละค่าซีโอดีคิงเหลือในการซูดทอลองเซลล์ดักติดที่อัตราส่วนที่เหมาะสม (1:20) และเซลล์อิสระในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสาร PI และน้ำเสียทั่วไป ผลการทดลองพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีในการทดลองทุกชุดในส่วนนี้มีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ ค่าซีโอดีลดลงอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ในการทดลอง 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นการลดค่าซีโอดีลดลงเล็กน้อย โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 8 ชั่วโมง ค่าซีโอดีในซูดทอลองเซลล์ดักติด เซลล์อิสระ และ ซูดควมคุมไม่มีสารฆ่าเชื้อมีค่าคงเหลือเท่ากับร้อยละ 14 50 และ 5 ตามลำดับ จากผลดังกล่าวชี้ให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าเซลล์ดักติดสามารถลดการยับยั้งได้ดี ส่งผลให้ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียมีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีสารฆ่าเชื้อปนเปื้อนในน้ำเสีย จากค่าคงที่จลนพลศาสตร์การบำบัดน้ำเสียแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 เซลล์ดักติดมีอัตราการบำบัดน้ำเสียคิดเป็น 2.67 เท่าของเซลล์อิสระ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าจากผลการศึกษางานวิจัยศักยภาพในการประยุกต์ใช้องค์ความรู้นี้เพื่อการแก้ปัญหาค่าความล้มเหลวของระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลได้



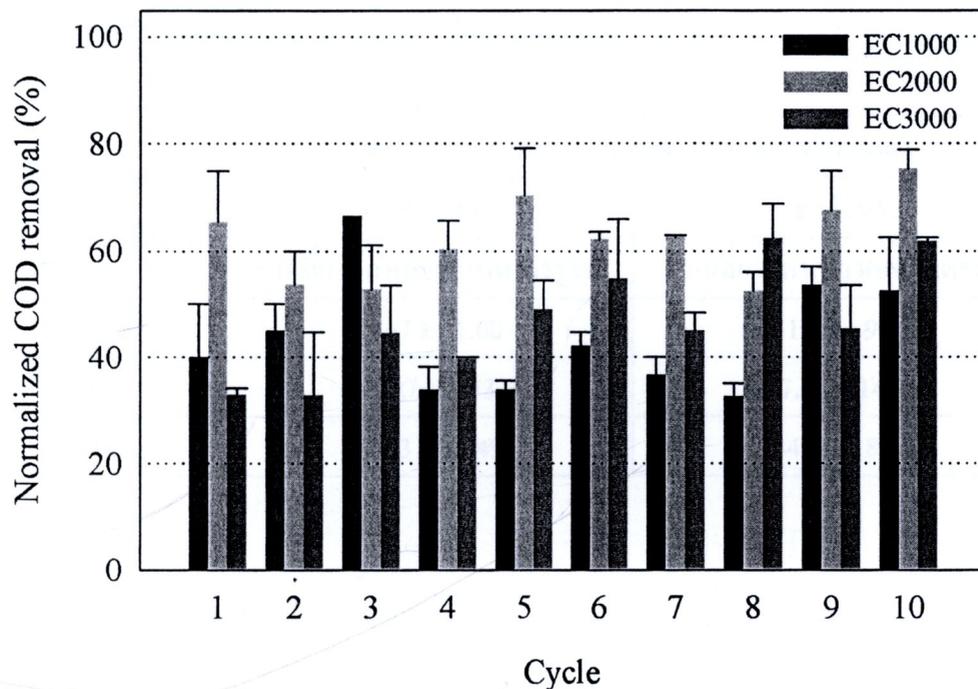
รูปที่ 4.6 ร้อยละค่าซีโอดีคิงเหลือในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารฆ่าเชื้อปนเปื้อนด้วยซูดทอลองเซลล์ดักติดและเซลล์อิสระเปรียบเทียบกับ การบำบัดน้ำเสียทั่วไปด้วยเซลล์อิสระ

4.2.2 ผลการหาปริมาณเซลล์ดักติดที่เหมาะสม

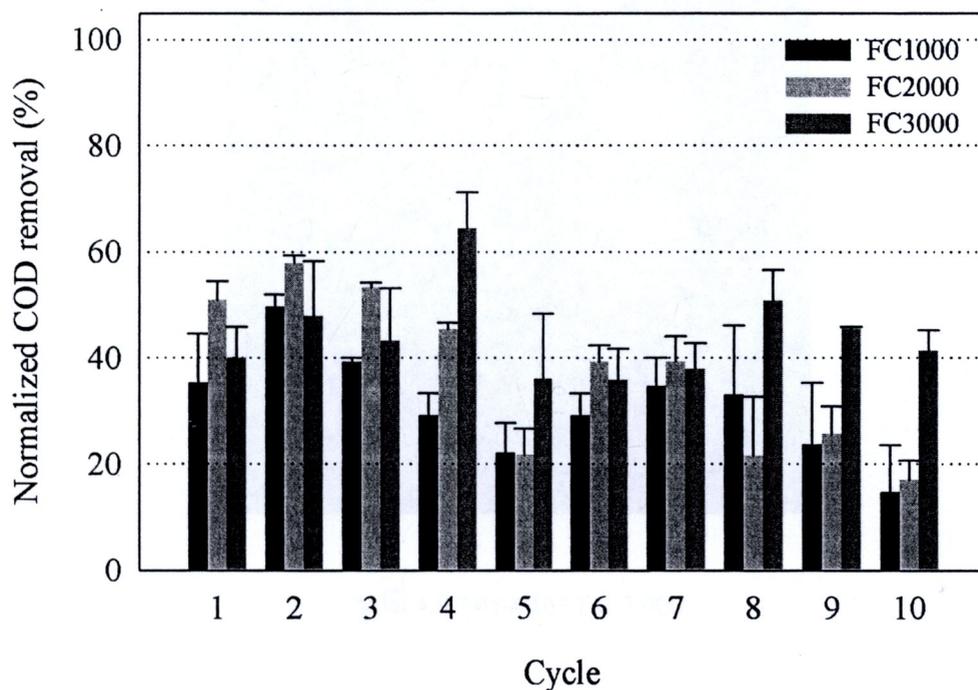
การทดลองในขั้นตอนนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อปริมาณเซลล์ดักติดที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารฆ่าเชื้อปนเปื้อน การทดลองขั้นตอนนี้ได้เตรียมเซลล์ดักติดที่อัตราส่วนที่เหมาะสมตามผลการทดลองที่ผ่านมาและเซลล์อิสระที่มีความเข้มข้นในถังปฏิกรณ์ 1,000 2,000 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงปฏิกรณ์เดินระบบแบบเอสปีอาร์ต่อเนื่อง 10 วัฏจักร การทดลองประกอบด้วยชุดทดลอง 6 ชุด ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ได้แก่ กลุ่มชุดเซลล์ดักติด (EC-1,000 EC-2,000 และ EC-3,000) ส่วนกลุ่มที่สอง คือ กลุ่มชุดทดลองเซลล์อิสระ (FC-1,000 FC-2,000 และ FC-3,000) รายละเอียดของส่วนประกอบในชุดทดลองต่าง ๆ แสดงไว้ในบทที่ 3 ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.7 ถึง 4.8 (ข้อมูลดิบแสดงไว้ในภาคผนวก ข4)

จากรูปที่ 4.7 ซึ่งแสดงร้อยละประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีในน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยสารฆ่าเชื้อ PI ในชุดทดลองเซลล์ดักติด ชุดทดลองเซลล์ดักติดสามารถบำบัดซีโอดีค่อนข้างคงที่ โดยสามารถบำบัดซีโอดีได้ประมาณร้อยละ 33 ถึง 75 ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละการลดค่าซีโอดี ชุดทดลองเซลล์ดักติดที่มีความเข้มข้น 1,000 2,000 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (EC-1,000 EC-2,000 และ EC-3,000) สามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 44 62 และ 47 ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงร้อยละประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีในชุดทดลองเซลล์อิสระ ชุดทดลองดังกล่าวสามารถลดค่าซีโอดีแต่มีแนวโน้มที่มีประสิทธิภาพลดลงเล็กน้อยอย่างต่อเนื่อง โดยสามารถบำบัดซีโอดีได้ประมาณร้อยละ 17 ถึง 64 ซึ่งชุดทดลองเซลล์อิสระที่มีความเข้มข้น 1,000 2,000 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (FC-1,000 FC-2,000 และ FC-3,000) สามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 31 38 และ 44 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4)

จากผลการทดลองชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าปริมาณเซลล์มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดี แต่แนวโน้มของชุดทดลองเซลล์ดักติดและเซลล์อิสระให้ผลแตกต่างกัน กล่าวคือ ในชุดทดลองเซลล์อิสระเมื่อปริมาณเซลล์เพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียก็เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน แต่ปริมาณเซลล์ที่สูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพดีขึ้นไม่มากนักซึ่งอาจเป็นผลมาจากเซลล์จุลินทรีย์บางส่วนถูกทำลายด้วยสาร PI ในทางตรงกันข้ามชุดทดลองเซลล์ดักติดที่มีปริมาณเซลล์สูง (3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) กลับมีประสิทธิภาพต่ำกว่าชุดทดลองที่มีเซลล์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอาจเกิดเนื่องมาจากสาเหตุทางกายภาพของถังปฏิกรณ์ จากการสังเกตชุดทดลอง EC-3,000 พบว่าเซลล์ดักติดมีจำนวนมากและอัดแน่นอยู่ในถังปฏิกรณ์ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งคาดว่าเป็นสาเหตุให้ปริมาณออกซิเจนและสารอาหารอื่น ๆ กระจายได้ไม่ทั่วถึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียลดลง



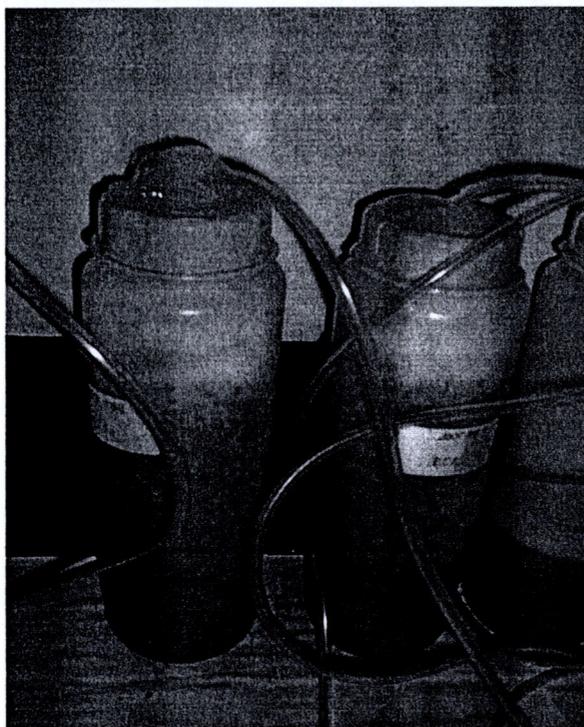
รูปที่ 4.7 ร้อยละการลดค่าซีโอดีในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารฆ่าเชื้อปนเปื้อนด้วยชุดทดลองเซลล์ดักติดในระบบเอสบีอาร์



รูปที่ 4.8 ร้อยละการลดค่าซีโอดีในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารฆ่าเชื้อปนเปื้อนด้วยชุดทดลองเซลล์อิสระในระบบเอสบีอาร์

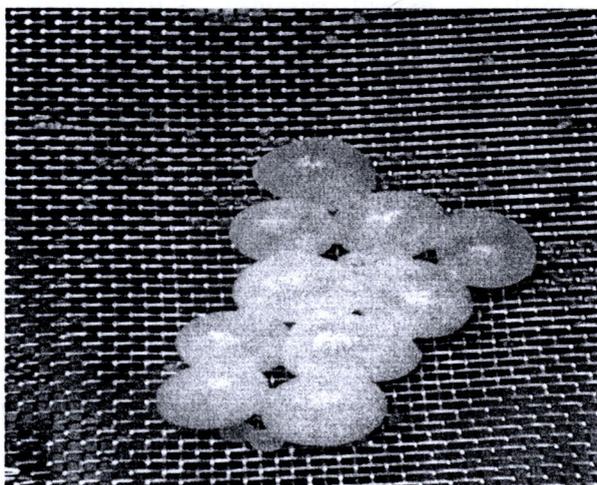
ตารางที่ 4.4 ร้อยละประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดีเฉลี่ย

ปริมาณเซลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดีของชุดทดลอง	
	เซลล์ดักติด	เซลล์อิสระ
	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1,000	43.67 ± 11.00	31.08 ± 9.77
2,000	62.27 ± 7.73	37.21 ± 14.83
3,000	46.83 ± 10.49	44.30 ± 8.61



รูปที่ 4.9 ชุดทดลอง EC-3,000

จากผลการทดลองบ่งชี้ว่าเซลล์ดักติดมีประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์อิสระ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความคงทน (durability) ของเซลล์ดักติดด้วย CA พบว่าภายหลังจากการใช้งาน 10 วัฏจักร สามารถสังเกตถึงการเปื่อยยุ่ยของเซลล์ดักติดได้ดังรูปที่ 4.10 ดังนั้นจากผลการศึกษานี้บ่งชี้ถึงการประยุกต์ใช้ประโยชน์ของเซลล์ดักติดในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารฆ่าเชื้อ แต่ในอนาคตควรมีการศึกษาต่อเนื่องถึงการพัฒนาวัสดุดักติดที่มีความคงทนสูงขึ้น เช่น การเปลี่ยนชนิดวัสดุดักติดที่มีความคงทนสูงขึ้น อาทิเช่น สารพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เซลลูโลสไตรอะซิเตรท เป็นต้น (Siripattanakul et al., 2010)



รูปที่ 4.10 การเปื่อยยุ่ยของวัสดุดักติด CA