

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า % inhibition ในการทดสอบ Toxicity ของน้ำที่ผ่านการบำบัดซึ่งมีฟอร์มาลดีไฮด์เจือปนในน้ำที่เริ่มต้นที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้เวลาในการบำบัด 150 และ 300 นาที

ความเข้มข้นของ ฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น ในน้ำที่	150 นาที		300 นาที	
	% การยับยั้ง จุลินทรีย์ (ผลการ ทดสอบ Toxicity)	ความเข้มข้น ฟอร์มาลดีไฮด์ใน น้ำที่บำบัดแล้ว	% การยับยั้ง จุลินทรีย์ (ผลการ ทดสอบ Toxicity)	ความเข้มข้น ฟอร์มาลดีไฮด์ใน น้ำที่บำบัดแล้ว
0.033 M	10.20	0.00	0.71	0.00
0.099 M	18.89	0.00	4.90	0.00
0.165 M	80.63	0.00	21.30	0.00
0.231 M	85.21	213	42.21	0.00
0.333 M	91.63	1,104	73.95	0.00
0.999 M	100.00	6,342	98.91	3,571

ผลการทดสอบ Toxicity Test ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)/H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ค่าต่างๆ กัน คือ 0.033 M, 0.099 M, 0.165 M, 0.333 M, 0.666 M และ 0.999 M แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า % inhibition ในการทดสอบ Toxicity ของน้ำที่ผ่านการบำบัดซึ่งมีฟอร์มาลดีไฮด์เจือปนในน้ำที่เริ่มต้นที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้เวลาในการบำบัด 150 และ 300 นาที ด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)/H}_2\text{O}_2/\text{UV}$

ความเข้มข้นของ ฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น ในน้ำที่	10 นาที		80 นาที	
	% การยับยั้ง จุลินทรีย์ (ผลการ ทดสอบ Toxicity)	ความเข้มข้น ฟอร์มาลดีไฮด์ใน น้ำที่บำบัดแล้ว	% การยับยั้ง จุลินทรีย์ (ผลการ ทดสอบ Toxicity)	ความเข้มข้น ฟอร์มาลดีไฮด์ใน น้ำที่บำบัดแล้ว
0.033 M	15.20	0.00	0.02	0.00
0.099 M	89.89	1,230	5.25	0.00
0.165 M	90.63	1,579	8.51	0.00
0.231 M	95.35	2,154	49.71	0.00
0.333 M	95.89	2,425	85.68	600
0.999 M	100.00	5,658	98.96	3,245

จากผลการทดสอบ Toxicity Test ของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ หรือ photo-Fenton พบว่าผลของ Toxicity Test ให้ผลยืนยันว่าแม้ฟอร์มาลดีไฮด์จะถูกย่อยสลายไปแล้ว แต่น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วยังคงมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์อยู่ เช่นเดียวกับน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ ส่วนที่แตกต่างของทั้งสองระบบ คือ เมื่อใช้กระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ ในการย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์นั้น จะสามารถทำให้ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 7,000 มก./ล. หดไปจากน้ำทิ้งได้ในเวลาอันสั้นกว่าอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยกระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ จะใช้เวลาในการบำบัดประมาณ 240 นาที ในขณะที่กระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ จะใช้เวลาเพียง 80 นาทีเท่านั้น ในส่วนของความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่มากกว่า 7,000 มก./ล. นั้น หากใช้อัตราส่วนความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 1:2 มีแนวโน้มว่าต้องใช้เวลามากกว่า 80 นาทีในการกำจัด แต่อย่างไรก็ดีหากพิจารณาผลการทดลองในส่วนของผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ (หัวข้อ 4.2.1) แล้ว จะพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์จะสามารถเพิ่มสูง หรือสามารถบำบัดให้หมดได้ภายในเวลาอันสั้น ด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ให้สูงขึ้นโดยให้อัตราส่วนเป็น 1:2.5 หรือ 1:3 ซึ่งจะทำให้ได้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น

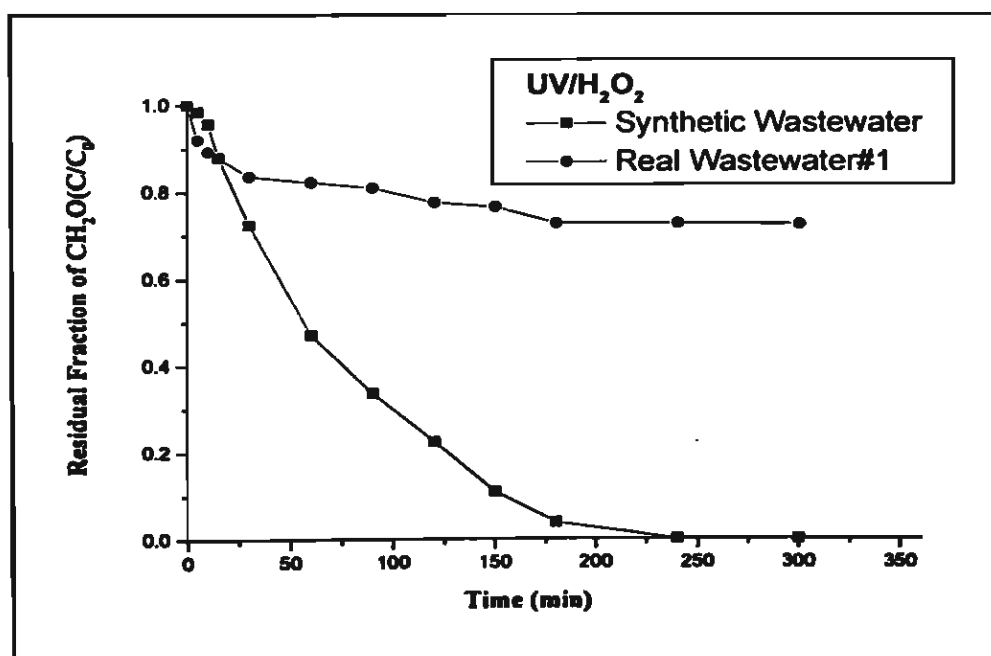
หากพิจารณาความเหมาะสมทางเทคโนโลยีในการนำระบบนี้ไปใช้งาน อาจกล่าวได้ว่ากระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ที่สูงกว่ากระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ ที่เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เท่ากัน โดยหากใช้อัตราส่วนของความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 1:2 จะสามารถบำบัดน้ำทิ้งที่มีฟอร์มาลดีไฮด์เจือปนในน้ำเสียเริ่มต้นในปริมาณต่ำกว่า 7,000 มก./ล. ได้หมดภายในเวลา 80 นาที โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดไม่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ ส่วนน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้นในปริมาณมากกว่า 7,000 มก./ล. สามารถบำบัดได้ด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ เช่นเดียวกัน แต่ต้องเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้มากขึ้น

4.4 การทดสอบการบำบัดน้ำทิ้งฟอร์มาลีนจากโรงพยาบาลด้วยกระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ และ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$

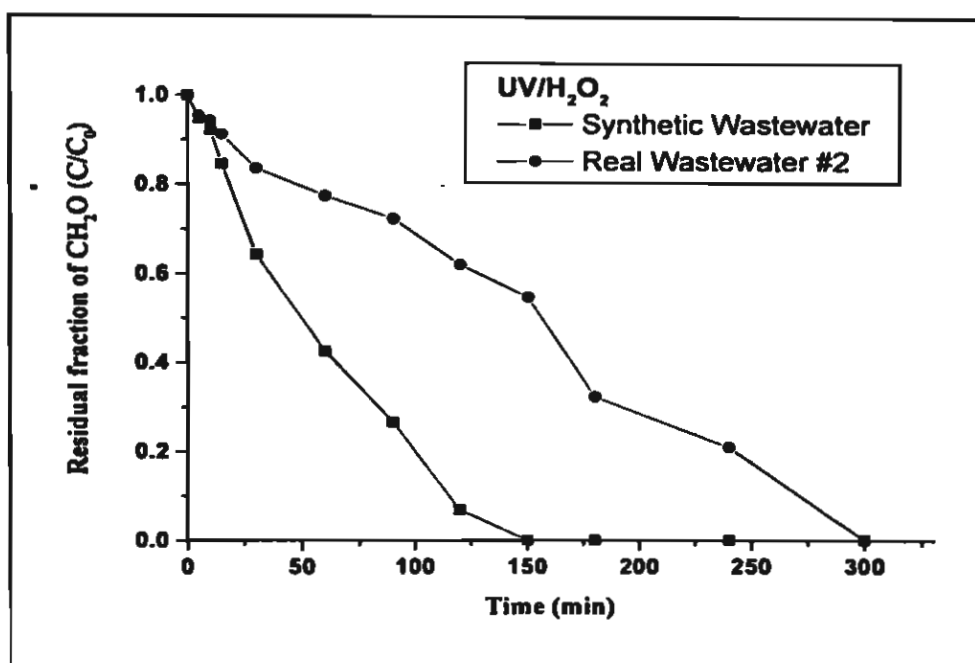
การทดลองในขั้นตอนนี้ ได้นำน้ำทิ้งฟอร์มาลีนจากโรงพยาบาลราชวิถี และ โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้ามาใช้ในการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ และ $\text{Fe(II)/H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ โดยผลที่ได้จากการทดลองนี้จะเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีการทดลองแล้วข้างต้น และเปรียบเทียบกับผลจากการบำบัดน้ำทิ้งฟอร์มาลีนด้วยทั้งสองกระบวนการที่ศึกษาอยู่

สถานะที่ใช้ในการทดลองของกระบวนการ UV/H₂O₂ คือ อัตราส่วนของความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 1:2 ค่าพีเอชที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 7 ซึ่งสถานะที่ใช้นี้เป็นสถานะที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ผ่านมา โดยผลในการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงพยาบาลราชวิถีซึ่งมีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ 10,000 มก./ล. แสดงคู่กับผลการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ 10,000 มก./ล. ในรูปที่ 4.19 ในขณะที่ผลของการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าซึ่งมีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ 5,000 มก./ล. แสดงไว้ในรูปที่ 4.20

จากผลการทดลองที่แสดงในกราฟ เมื่อความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลมีค่าสูงมาก เช่น 10,000 มก./ล. เป็นต้น กระบวนการ UV/H₂O₂ ไม่สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ให้หมดไปได้ ในขณะที่กรณีของน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าซึ่งมีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ 5,000 มก./ล. กระบวนการ UV/H₂O₂ สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ให้หมดไปได้ในเวลา 300 นาที ซึ่งใช้เวลามากกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ประมาณ 2 เท่า



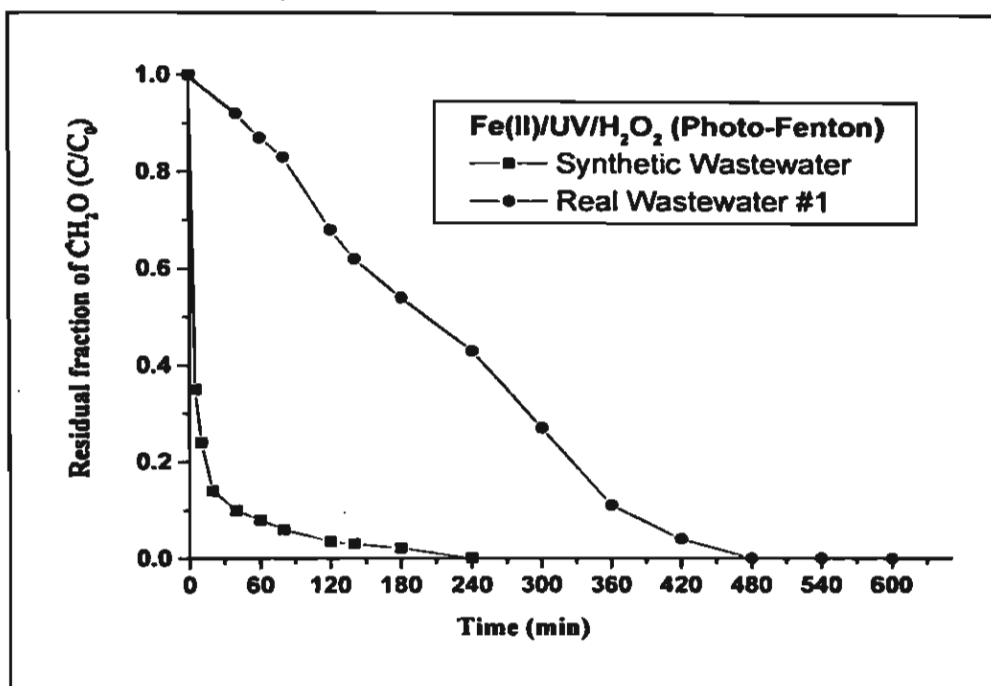
รูปที่ 4.19 ผลของการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลราชวิถีที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ 10,000 มก./ล. ด้วยกระบวนการ UV/H₂O₂



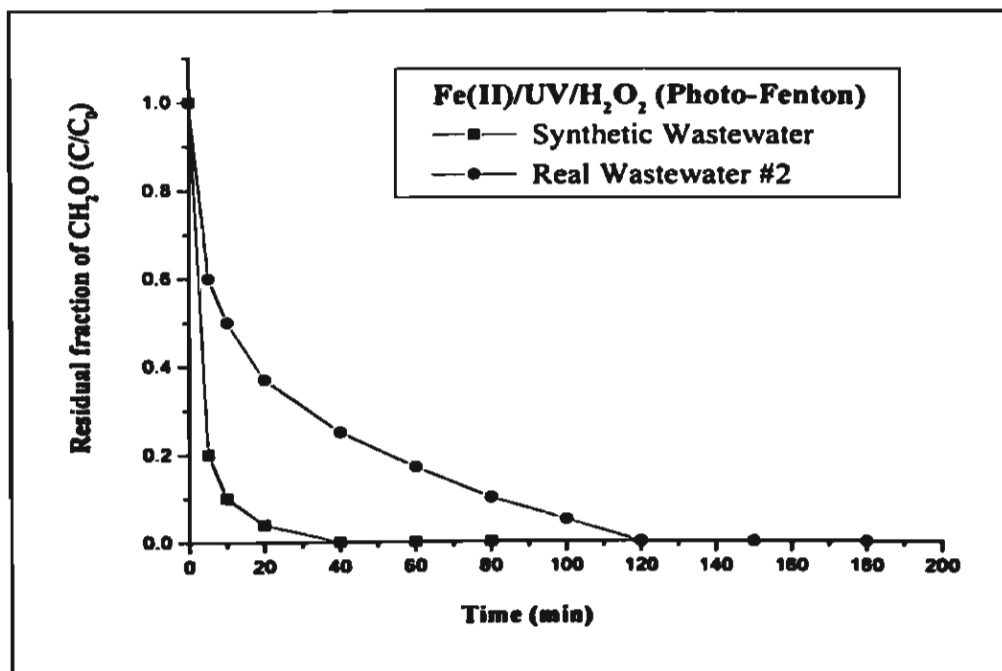
รูปที่ 4.20 ผลของการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าที่มีฟอร์มาลดีไฮด์
ความเข้มข้น 5,000 มก./ล. ด้วยกระบวนการ UV/H₂O₂

ส่วนผลของการบำบัดน้ำเสียที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ปนอยู่จากโรงพยาบาลทั้งสองแห่ง ด้วยกระบวนการ Fe(II)/UV/H₂O₂ แสดงไว้ในรูปที่ 4.21 และ 4.22 สภาวะที่ใช้ในการทดลองในกระบวนการนี้คือ อัตราส่วนของความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 1:2 ความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออนเป็น 6.67×10^{-2} M ค่าพีเอชที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 2.6

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า กระบวนการ Fe(II)/UV/H₂O₂ สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้เวลาในการกำจัดมากกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ กล่าวคือ ในกรณีของน้ำเสียจากโรงพยาบาลราชวิถีซึ่งมีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ 10,000 มก./ล. ใช้เวลาในการบำบัด 480 นาที ซึ่งใช้เวลามากกว่าการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ 2 เท่า ส่วนการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์จากน้ำเสียโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าซึ่งมีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ 5,000 มก./ล. พบว่าใช้เวลาในการบำบัด 120 นาที ซึ่งมากกว่าการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ประมาณ 2 เท่าเช่นเดียวกัน

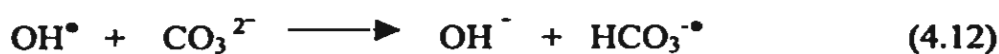
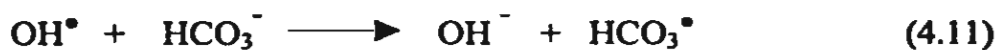


รูปที่ 4.21 ผลของการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลราชวิถีที่มีฟอร์มาลดีไฮด์
ความเข้มข้น 10,000 มก./ล. ด้วยกระบวนการ Fe(II)/UV/H₂O₂



รูปที่ 4.22 ผลของการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าที่มีฟอร์มาลดีไฮด์
ความเข้มข้น 5,000 มก./ล. ด้วยกระบวนการ Fe(II)/UV/H₂O₂

จากการเปรียบเทียบการบำบัดน้ำทั้งขั้นต้นด้วยกระบวนการ UV/H₂O₂ และ Fe(II)/UV/H₂O₂ จะเห็นว่าในการบำบัดน้ำเสียจริงจะใช้เวลามากกว่าในการบำบัดน้ำเสียเมื่อเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียทั้งสองชนิดที่เวลาเดียวกันนั้น ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจริงจะต่ำกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำเสียจริงจะมีสารอินทรีย์ และสารอื่นๆอีกเป็นองค์ประกอบในน้ำเสีย ซึ่งสารเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลได้ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ลดลง โดยจากรายงานวิจัยของผู้ที่ได้ศึกษามาก่อนหน้านี้ ได้รายงานถึงการขัดขวางของสารต่างๆ ไว้ โดยแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้(Duguet et al. 1989)



สารที่เข้ามาเป็นตัวขัดขวางในการทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ได้แก่ ไบคาร์บอเนต ไอออน คาร์บอเนตไอออน เฟอร์สไอออน และคลอไรด์ไอออน ซึ่งสารเหล่านี้เป็นที่คาดการณ์ได้ว่ามีสารเหล่านี้เจือปนมากในน้ำ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหลักทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงพยาบาลนั้นมีประสิทธิภาพลดลง

4.5 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของกระบวนการ UV/H₂O₂ และ Fe(II)/UV/H₂O₂

ในการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของกระบวนการ UV/H₂O และ Fe(II)/UV/H₂O ได้ใช้ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทั้งฟอร์มาลีนในช่วงที่พบจากการสำรวจโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าเป็นเกณฑ์การคำนวณ ซึ่งมีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทั้งฟอร์มาลีน 5000 มก./ล. จึงใช้ค่านี้ในการพิจารณาค่าใช้จ่ายเป็นหลัก และใช้ค่าการทดลองสถานะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ค่าใช้จ่ายสารเคมีของกระบวนการ UV/H₂O

ค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ 5000 มก./ล.

ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ 2 เท่าของค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์

ความเข้มข้นทั้งหมดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ = 10,000 มก./ล.

ราคาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ปริมาตร 2.5 ลิตร หรือ 2825 กรัม = 1700 บาท

ค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ค่อน้ำเสีย 1 ลิตร คิดเป็น 6.02 บาท

รวมราคาสารเคมีของระบบ 6.02 บาทค่อน้ำเสีย 1 ลิตร

ค่าใช้จ่ายสารเคมีของกระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$

ค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ 5000 มก./ล.

1) ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2 เท่าของค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์
ความเข้มข้นทั้งหมดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ = 10,000 มก./ล.

ราคาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ปริมาตร 2.5 ลิตรหรือ 2825 กรัม = 1700 บาท

ค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ค่อน้ำเสีย 1 ลิตร คิดเป็น 6.02 บาท

2) ความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออนที่ใช้ 6.67×10^{-2} โมล/ล. = 18.54 ก./ล.

ราคาของเฟอร์รัสซัลเฟต 500 กรัม = 340 บาท

ค่าเฟอร์รัสซัลเฟตค่อน้ำเสีย 1 ลิตรคิดเป็น 6.30 บาท

รวมราคาค่าสารเคมี 12.32 บาทค่อน้ำเสีย 1 ลิตร

จากการคำนวณค่าใช้จ่ายสารเคมีพบว่าค่าใช้จ่ายของทั้งสองระบบพบว่าการบำบัดน้ำเสียของกระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ คิดเป็น 6.02 บาทค่อน้ำเสีย 1 ลิตร และค่าสารเคมีของกระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ คิดเป็น 12.32 บาทค่อน้ำเสีย 1 ลิตร ซึ่งค่าสารเคมีของกระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ คิดเป็นสองเท่าของกระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ โดยหากเทียบเชิงประสิทธิภาพกระบวนการของ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีกว่ากระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ โดยในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ที่ 5000 มก./ล. ด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ จะใช้เวลา 120 นาที ในขณะที่กระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ จะใช้เวลาเป็น 2.5 เท่า คือ 300 นาที แต่ถ้าพิจารณาการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นสูง เช่น ที่ความเข้มข้น 10,000 มก./ล. จะเห็นได้ว่ากระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ ไม่สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ ในขณะที่กระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ ยังคงสามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในแง่การพิจารณาการเลือกใช้จึงควรพิจารณาเลือกใช้กระบวนการที่สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ซึ่งสามารถลดความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้เป็นหลัก จึงควรเลือกใช้กระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดและลดความเป็นพิษของน้ำทิ้งฟอร์มาลีน แม้ว่าราคาจะสูงกว่ากระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$

บทที่ 5

การบำบัดน้ำทิ้งสารเคมีด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ

การทดลองชุดนี้เป็นการหาความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดของน้ำทิ้งสารเคมี ที่ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ ในช่วงแรกของการเริ่มต้นเดินระบบ ได้นำเชื้อตะกอนจุลินทรีย์มาจากน้ำเสียจริงของสารเคมีที่ออกจากห้องปฏิบัติการของโรงพยาบาล บางประกอบ 3 โดยเป็นน้ำเสียที่ออกจาก เครื่องเคาเตอร์ทีซีรี (Coulter t-series) สำหรับตรวจวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (CBC) และ เครื่องไลซิส (Liasys) ซึ่งสามารถตรวจวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังนี้ กูโคส, กรดยูริก, โคลเรสเตอรอล, ไตรกรีเซอไรด์, โปรตีน เป็นต้น โดยนำมาเลี้ยงจนเข้าสู่สภาวะคงตัวเป็นเวลา 24 วัน โดยมีค่าซีไอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วประมาณ 34 มก./ล. จากนั้นจึงนำเชื้อตะกอนนั้นมาทดสอบความสามารถในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารเคมีปนเปื้อนอยู่ โดยทำการทดลอง 5 ชุด โดยมีค่าซีไอดีที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าซีไอดีเริ่มต้นของน้ำทิ้งที่นำมาใช้ในการทดลอง

ถังปฏิกรณ์ชุดที่	ค่าซีไอดีเริ่มต้นของน้ำทิ้ง (มก./ล.)
1	3600 (ถังปฏิกรณ์ชุดควบคุม)
2	450
3	1350
4	2250
5	3600

หมายเหตุ: ถังปฏิกรณ์ชุดควบคุมใช้น้ำเสียสังเคราะห์

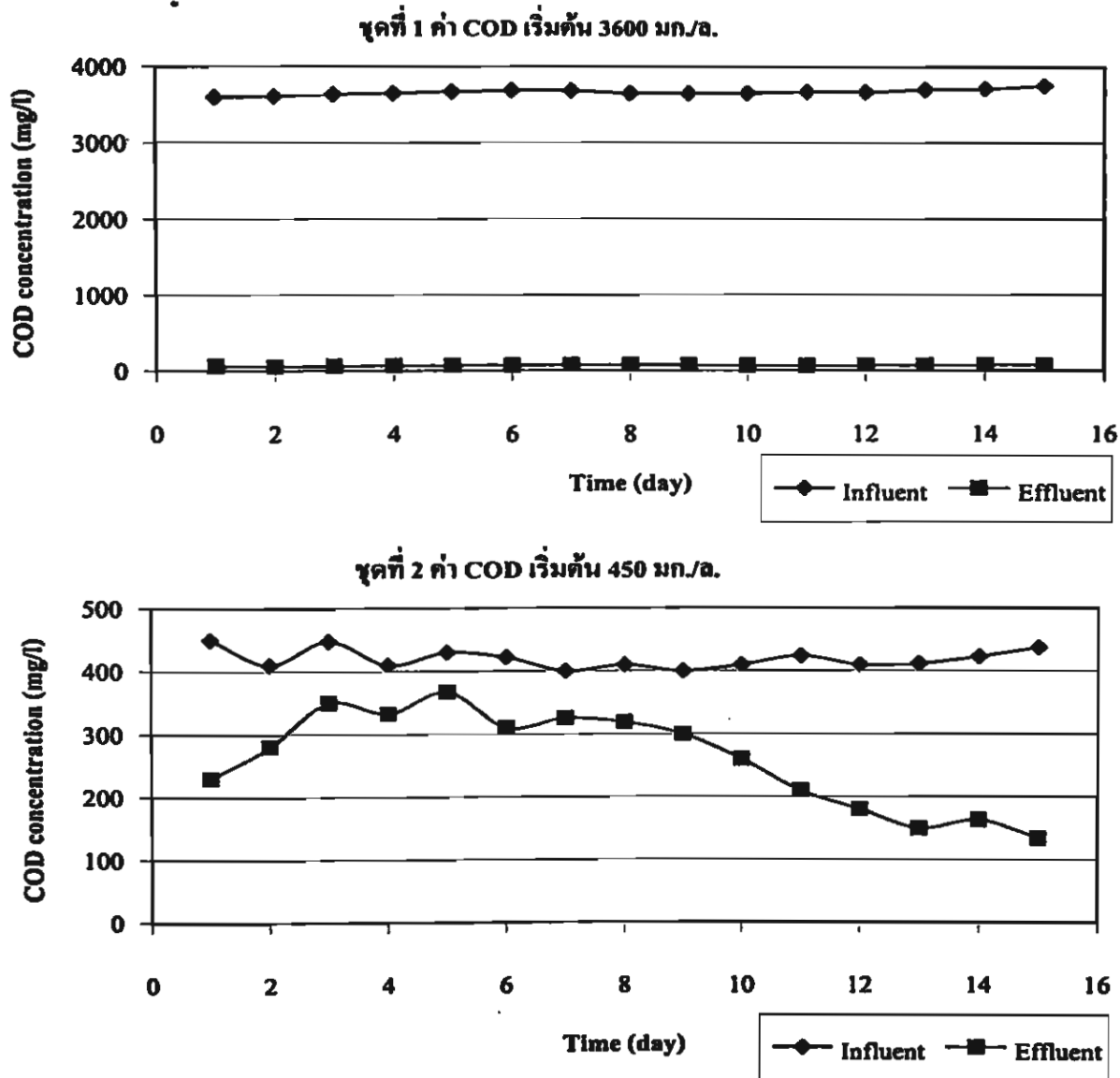
ผลของการทดลองของถังปฏิกรณ์ทั้ง 5 ชุด เมื่อแยกพิจารณาตามพารามิเตอร์หลัก ได้แก่ ค่าซีไอดี, ค่าบีไอดี, และลักษณะทางกายภาพ สามารถนำมาแปลผลได้ดังนี้

5.1 ผลของการบำบัดทางชีวภาพเมื่อพิจารณาจากค่าซีไอดี

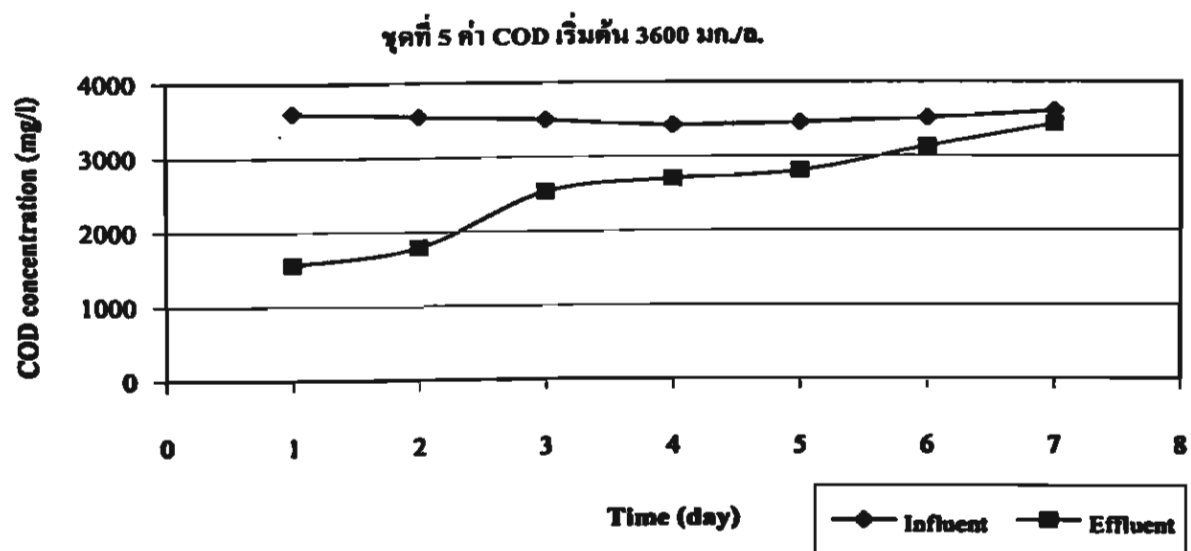
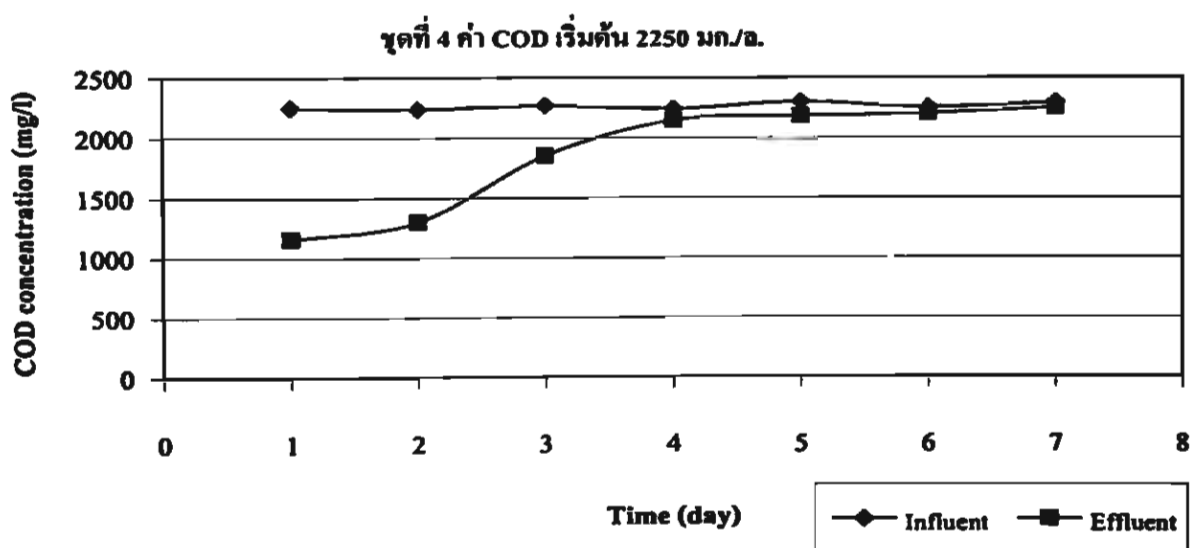
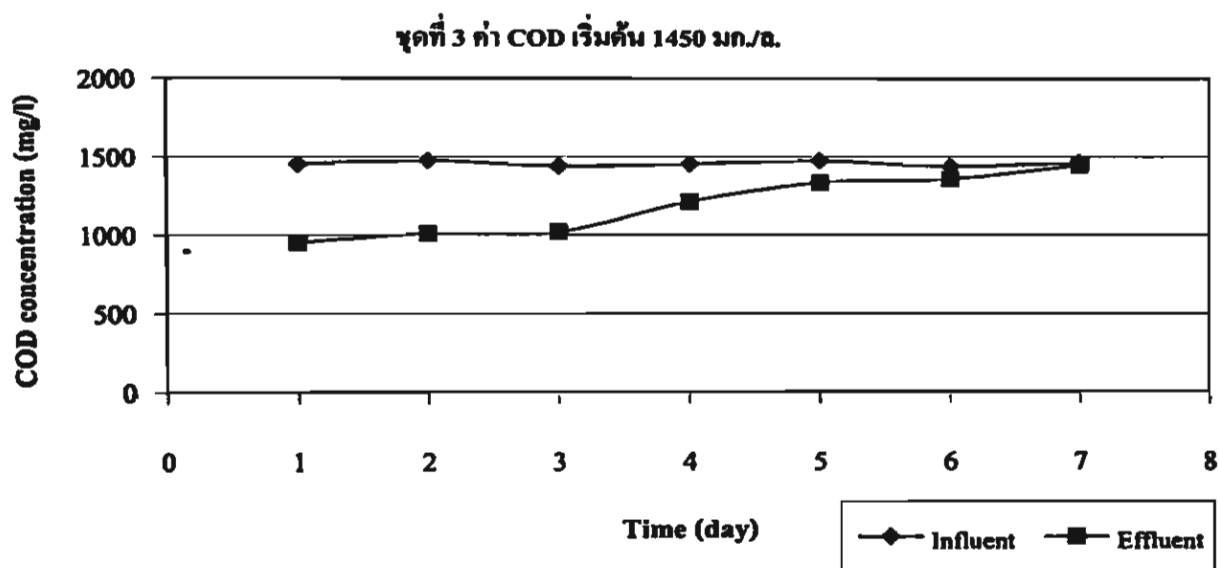
ในการทดลองนี้ได้พิจารณาค่าซีไอดี ในน้ำที่ผ่านการบำบัดของถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2-5 เทียบกับถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 ซึ่งเป็นถังควบคุมโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการบำบัดทางชีวภาพในการกำจัดซีไอดี ได้อย่างชัดเจน โดยค่าซีไอดีที่ผ่านการบำบัดแล้วนั้นได้นำมาแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 5.1

จากผลของถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 เมื่อใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ระบบบำบัดชีวภาพสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยค่าซีไอดีจะลดจาก 3600 มก./ล. ลงมาที่ค่าเฉลี่ย 67 มก./ล. ตลอดช่วงการ

ทดลอง 15 วัน เมื่อมีน้ำเสียสารเคมีเข้าสู่ระบบโดยมีค่าซีโอดีต่ำ คือที่ 450 มก./ล. (ดังปฏิกรณ์ชุดที่ 2) ระบบบำบัดน้ำเสียยังคงทำงานได้โดยในช่วงแรกระบบยังไม่สามารถบำบัด น้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพมากนักจนกระทั่งจุลินทรีย์สามารถปรับตัวเข้ากับน้ำเสียสารเคมีได้ดี จึงสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงหลัง



รูปที่ 5.1 ค่าซีโอดีของระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพที่รับน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นแตกต่างกัน



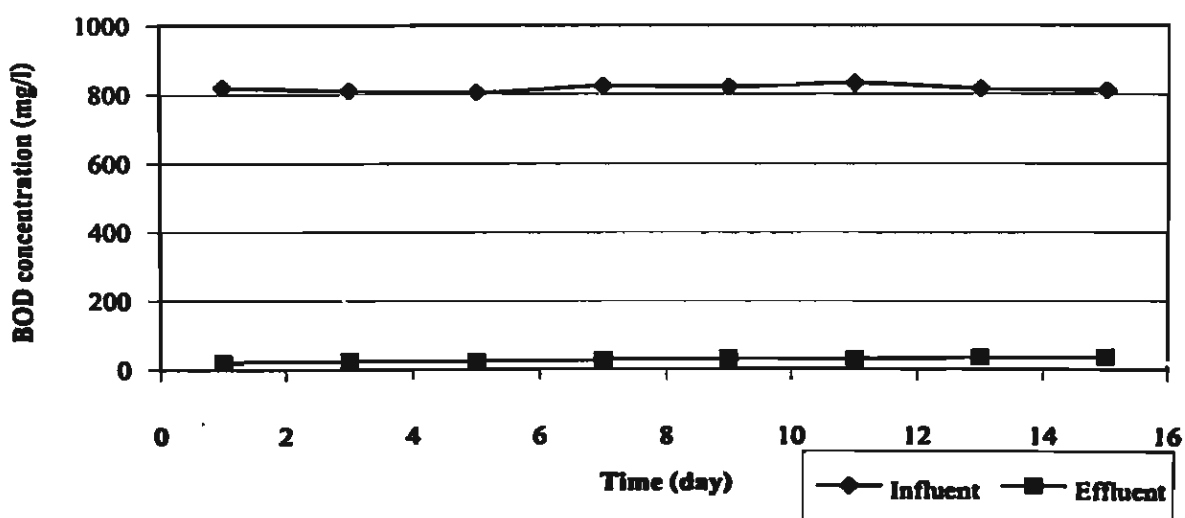
รูปที่ 5.1 ค่าซีไอของระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพที่รับน้ำเสียที่มีค่าซีไอเริ่มต้นแตกต่างกัน (ต่อ)

เมื่อพิจารณาที่ค่าซีโอดีที่สูงขึ้นในช่วง 1500-3600 มก./ล. ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 3, 4 และ 5 จะพบว่าในช่วงแรกของการทดลอง ระบบสามารถบำบัดได้ในช่วงหนึ่ง แต่เมื่อดำเนินการทดลองต่อไปจะพบว่าระบบจะมีการสะสมของสารเคมี(ในรูปของค่าซีโอดี) ที่ไม่ถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์นั้นมากขึ้นเรื่อยๆ โดยจะเห็นได้จากค่าซีโอดีที่สูงขึ้นเรื่อยๆ จนไม่สามารถบำบัดน้ำทิ้งสารเคมีได้อีก ซึ่งทำให้ค่าซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดมีค่าเท่ากับค่าซีโอดีของน้ำที่เข้าระบบ

5.2 ผลของการบำบัดทางชีวภาพเมื่อพิจารณาจากค่าบีโอดี,

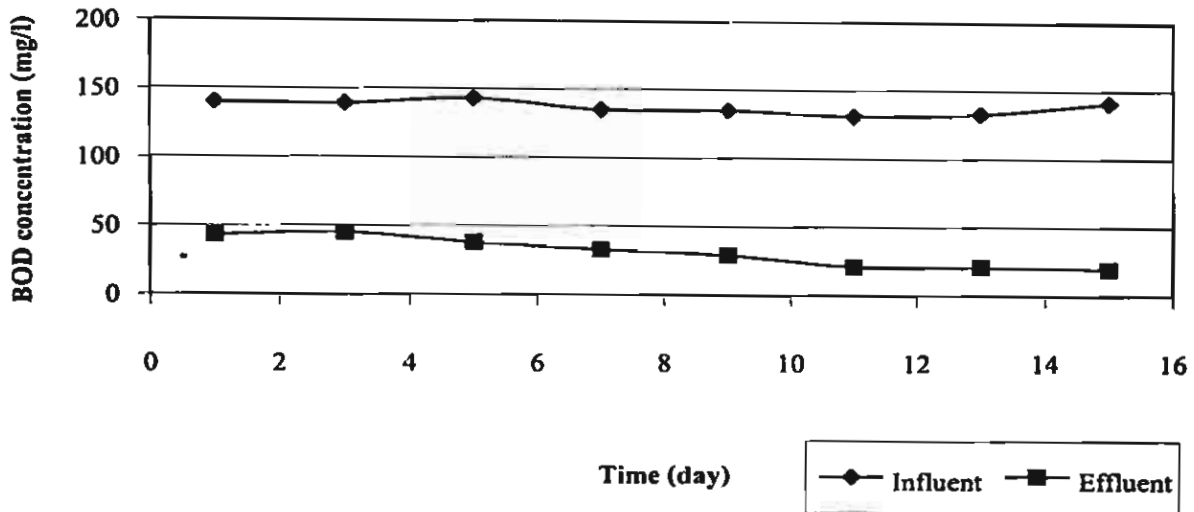
จากค่าบีโอดี, เริ่มต้นของการเริ่มต้นเดินระบบของถังปฏิกรณ์ทุกชุด จะขึ้นอยู่กับค่าซีโอดี เริ่มต้นของการเดินระบบ เมื่อพิจารณาที่ถังปฏิกรณ์ชุดควบคุมที่ดำเนินการทดลอง 15 วัน โดยระบบมีค่าบีโอดี, ก่อนข้างคงที่ที่ 27 มก./ล. ส่วนถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมน้ำเสียสารเคมีนั้น ถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 (ค่าซีโอดี 500 มก./ล.) ค่าบีโอดี,เริ่มลดลงตั้งแต่วันแรกของการทดลอง และลดลงเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่อง และเมื่อถึงวันที่ 15 ของการทดลอง ค่าบีโอดี, จะเหลือเพียง 19 มก./ล. ในขณะที่ถังปฏิกรณ์ชุดอื่นๆ ซึ่งมีการบำบัดน้ำเสียทางเคมีนั้น เมื่อเทียบค่าบีโอดี, ที่เหลืออยู่ในถังควบคุม กับค่าบีโอดี, ของแต่ละถังเมื่อเวลาผ่านไป พบว่าค่าบีโอดี, นั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการบำบัดน้ำเสียที่ระยะเวลายาวนานมากขึ้น โดยในขณะที่ถังปฏิกรณ์ชุดที่ 3 (ค่าซีโอดี 1500 มก./ล.) ค่าบีโอดี, จะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ และถังปฏิกรณ์ชุดอื่นๆ ที่มีความเข้มข้นมากกว่านี้ ค่าบีโอดี, จะเพิ่มในช่วงเวลาที่สั้นลงเรื่อยๆ โดยในช่วงการทดลอง 3 วันแรก ค่าบีโอดี,ยังไม่เพิ่มขึ้นมากนัก แต่หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งใกล้เคียงกับค่าบีโอดี, ของน้ำเสียสารเคมีที่ได้เติมเข้าสู่ระบบ ซึ่งแสดงถึงการลดลงของจุลินทรีย์ในระบบ อันเนื่องมาจากความเป็นพิษของสารเคมีที่ค่าความเข้มข้นสูงๆ

ชุดที่ 1 ค่า COD เริ่มต้น 3600 มก./ล.

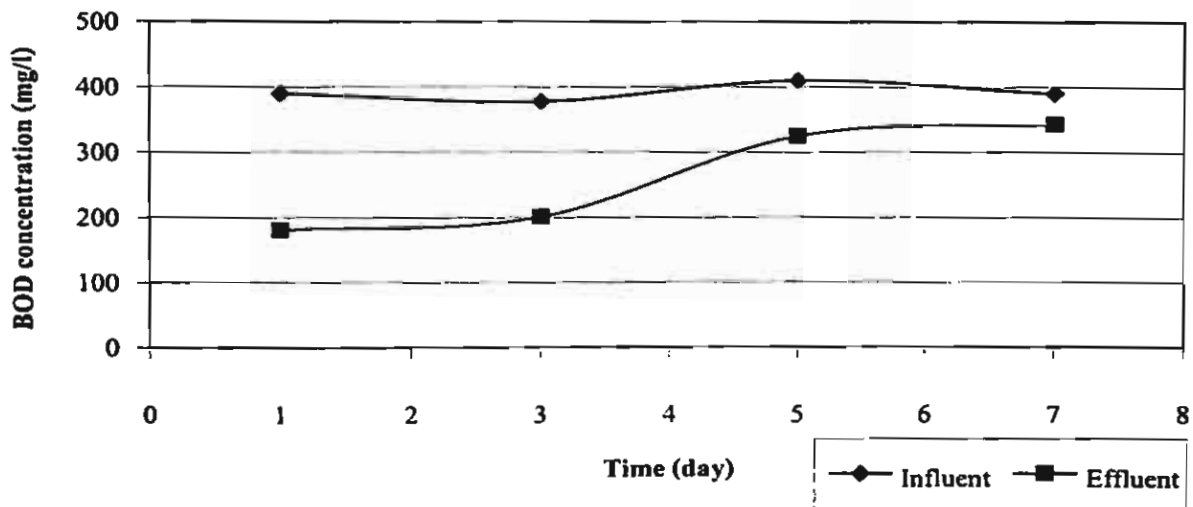


รูปที่ 5.2 ค่าบีโอดี, ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพที่รับน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นแตกต่างกัน

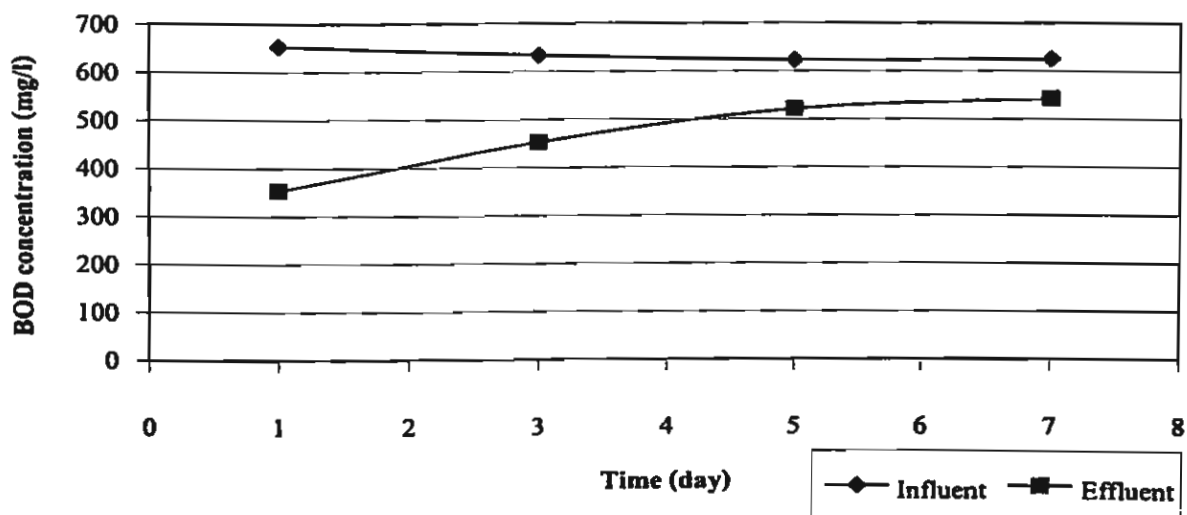
ชุดที่ 2 ค่า COD เริ่มต้น 450 มก./ล.



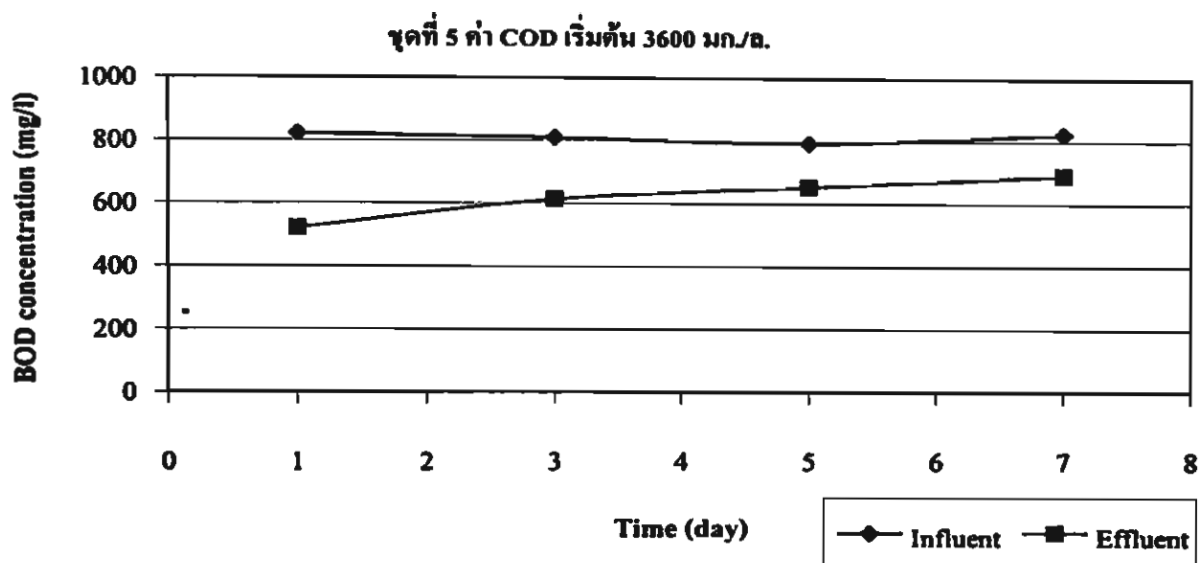
ชุดที่ 3 ค่า COD เริ่มต้น 1250 มก./ล.



ชุดที่ 4 ค่า COD เริ่มต้น 2250 มก./ล.



รูปที่ 5.2 ค่าบีโอดี, ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ
ที่รับน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นแตกต่างกัน (ต่อ)



รูปที่ 5.2 ค่าบีโอดี, ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ
ที่รับน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นแตกต่างกัน (ต่อ)

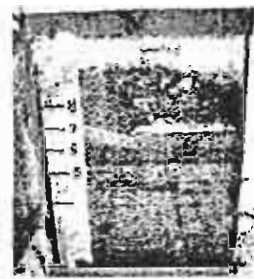
5.3 ผลของการบำบัดทางชีวภาพเมื่อพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ

จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย จะพบว่าในช่วงต้นของการทดลอง น้ำที่มีอยู่ในถังปฏิกรณ์จะมีปริมาณเชื้อตะกอนจุลินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก แต่เมื่อทำการทดลองเป็นเวลาหลายวันติดต่อกัน ถึงปฏิกรณ์จุดที่ 1 (ใช้น้ำเสียสังเคราะห์) และ ถึงปฏิกรณ์จุดที่ 2 (ค่าซีโอดี 450 มก./ล.) จะมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ ตลอดช่วงของการทดลองในระบบจะมีตะกอนจุลินทรีย์ค่อนข้างคงที่ และตะกอนจุลินทรีย์จะมีสีน้ำตาลเข้ม ส่วนถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมน้ำเสียสารเคมีที่มีค่าซีโอดีมากกว่า 450 มก./ล. ลงในระบบจะมีตะกอนจุลินทรีย์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในช่วงแรกของการทดลอง ตะกอนจุลินทรีย์จะมีสีน้ำตาลเข้มและเมื่อเวลาผ่านไปตะกอนของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมน้ำเสียสารเคมี จะเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลไปเป็นสีน้ำตาลอ่อนในช่วงประมาณวันที่ 3 ของการทดลอง นอกจากนี้ตะกอนจะมีการจมตัวได้ไม่ดี ทำให้มีตะกอนบางส่วนหลุดออกไปกับน้ำที่ออกจากระบบบำบัด จากนั้นตะกอนจุลินทรีย์จะมีสีขาวขุ่น และเหลือตะกอนในถังปฏิกรณ์น้อยมากจนใส โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อการทดลองเข้าใกล้ 7 วัน น้ำที่อยู่ในระบบจะใส โดยมีตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่น้อยมากซึ่งแสดงถึงการตายของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งเมื่อได้รับสารเคมีในน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัด ลักษณะทางกายภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละถังเมื่อเวลาเริ่มต้นและวันสิ้นสุดการทดลอง แสดงในรูปที่ 5.3

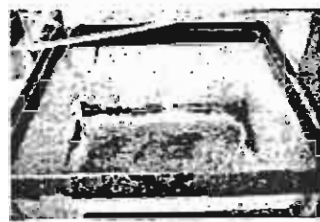
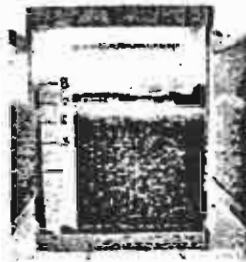
วันที่เริ่มต้นทำการทดลอง

วันที่สิ้นสุดการทดลอง

Control



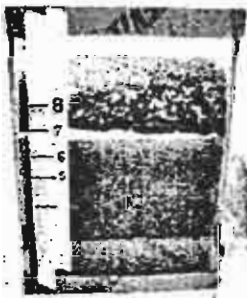
450 mg/l



1250 mg/l



2250mg/l



3600 mg/l



รูปที่ 5.3 ลักษณะทางกายภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ
ที่รับน้ำเสียที่มีค่าซีไอแตกต่างกัน

จากผลการทดลองทั้งหมดในส่วนการหาความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดของน้ำทิ้งสารเคมี ที่ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ จะเห็นได้ชัดเจนว่าค่าซีโอดีในน้ำทิ้งสารเคมีมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ค่อนข้างมาก โดยพบว่าเมื่อน้ำทิ้งสารเคมีมีค่าซีโอดีมากกว่า 1,500 มก./ล. เป็นต้นไปนั้น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพสามารถบำบัดได้ในช่วงแรกเท่านั้น และเมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพในการบำบัดจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าบีโอดี, ของระบบ ในขณะที่เกี่ยวกับการลดลงของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดนั้นสามารถเห็นได้ชัดเจนจากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของระบบ การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพจะสามารถบำบัดน้ำทิ้งสารเคมีได้ถ้าค่าซีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสียมีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ 450 มก./ล. ซึ่งจุลินทรีย์ในระบบจะใช้เวลาในการปรับตัวระยะหนึ่ง แล้วจึงสามารถบำบัดน้ำเสียทำให้มีค่าซีโอดีและบีโอดี, ลดลงได้อย่างชัดเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าซีโอดีในน้ำทิ้งสารเคมีควรจะมีค่าน้อยกว่า 500 มก./ล. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพจึงสามารถทำการบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

บทที่ 6

การบำบัดน้ำทิ้งสารเคมีด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี

6.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้งสารเคมี ด้วยวิธี UV/H_2O_2

6.1.1 การทดลองชุดควบคุม

การทดลองที่สภาวะควบคุมเป็นการทดลองเพื่อศึกษาถึงการลดค่าซีไอดี และทีไอซีในน้ำเสียในสภาวะที่มีการเติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยไม่มีฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต และในสภาวะที่มีการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตเท่านั้น ลักษณะน้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองทั้งหมดในการบำบัดน้ำเสียทางเคมีนี้ เป็นน้ำเสียจริงจากโรงพยาบาลบางปะกอก 3 โดยมีลักษณะน้ำเสียดังนี้

ซีไอดี 1350 มก./ล.

บีไอซี, 410 มก./ล.

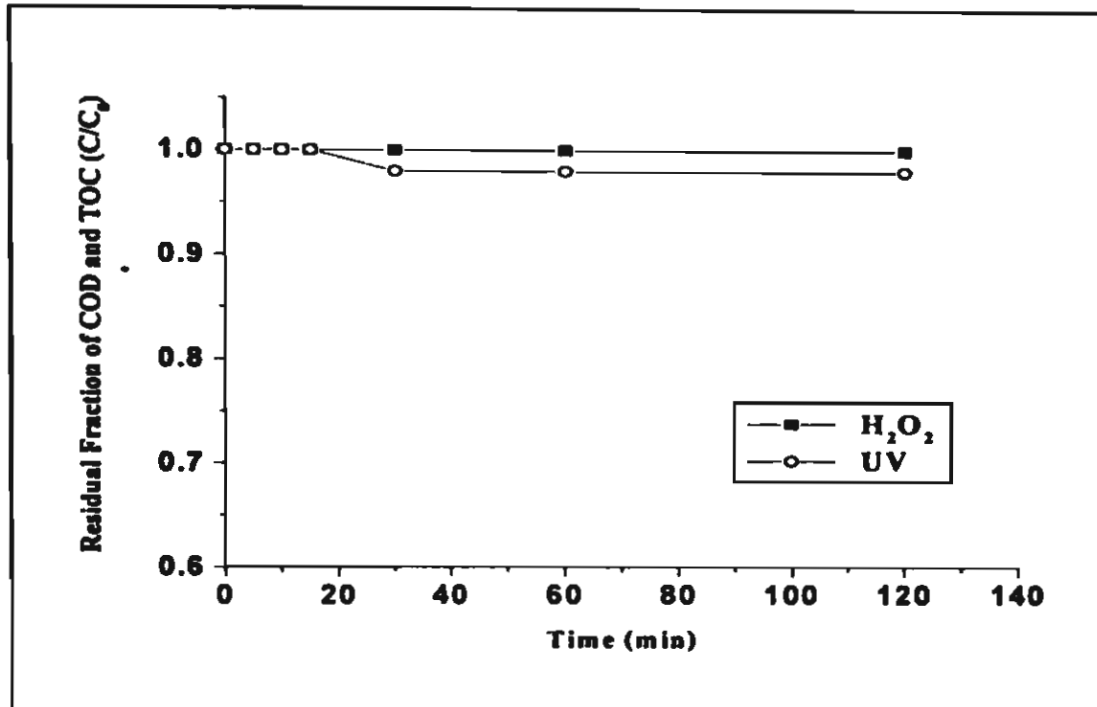
ทีไอซี 1050 มก./ล.

ค่าพีเอชเป็น 7.1

น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียที่ไม่ผ่านการเจือจาง

ในการทดลองชุดควบคุมได้แบ่งออกเป็น 2 การทดลองด้วยกัน คือการทดลองที่ 1 ทำการทดลองที่สภาวะควบคุมที่มีแต่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่านั้น โดยในการทดลองนี้ได้ทำการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1,350 มก./ล. เพียงอย่างเดียวซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนของซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1:1.0 และในการทดลองที่ 2 ทำการทดลองที่สภาวะควบคุมที่มีแต่การฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์ เพียงอย่างเดียว

จากการทดลองพบว่า ภายใต้อุณหภูมิที่ทำการทดลองโดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถลดค่าซีไอดีของน้ำเสียห้องปฏิบัติการโรงพยาบาลลงไปจากเดิมได้ และการทดลองภายใต้อุณหภูมิที่ทำการทดลองโดยฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตเพียงอย่างเดียว นั้น สามารถลดค่าซีไอดีของน้ำเสียได้เล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 6.1 ทั้งนี้คาดว่าเป็นผลมาจากสารเคมีในน้ำเสียโรงพยาบาลเป็นสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้ยาก ดังนั้นสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียโรงพยาบาล จึงไม่สามารถถูกออกซิไดส์ได้อย่างสมบูรณ์ด้วยการทดลองที่เติมเพียงไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตเพียงอย่างเดียวได้ นอกจากนี้ยังพบว่า สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียเป็นสารที่ไม่ระเหยออกจากระบบในช่วงของการทดลอง ดังนั้นการลดลงของ ค่าซีไอดี และทีไอซี ในการทดลองต่อไป คาดว่าเป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ ไฮดรอกซิลที่เกิดจากการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยมีแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นตัวกระตุ้นเท่านั้น



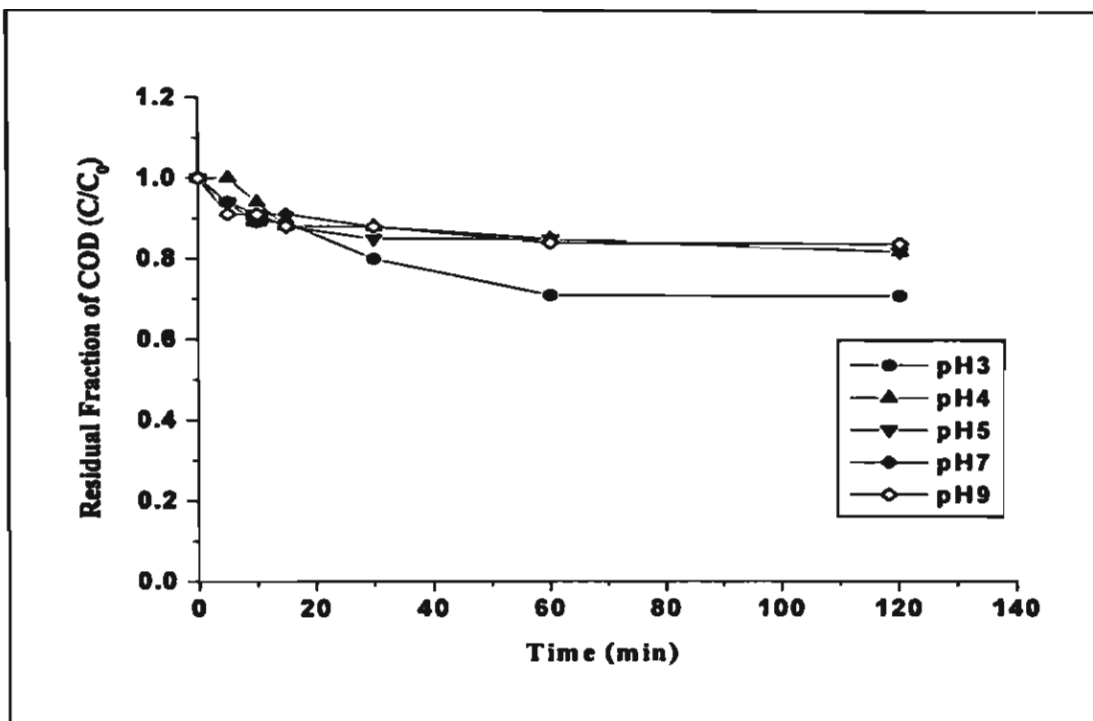
รูปที่ 6.1 ค่าซีไอดี และทีโอซี ที่เหลืออยู่เป็นเวลาต่างๆ ในระบบควบคุมที่มีแต่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือแสงอัลตราไวโอเลตเพียงอย่างเดียว

6.1.2 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

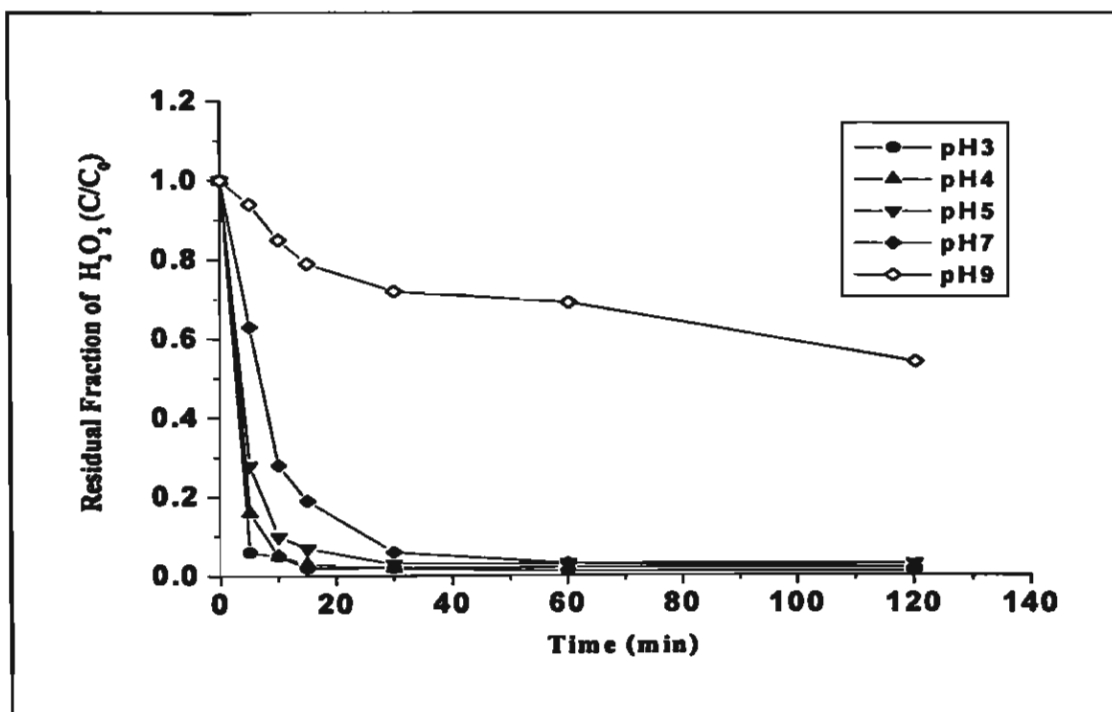
6.1.2.1 ผลของพีเอชที่มีต่อการลดค่าซีไอดีตามช่วงเวลา

ในการทดลองผลของพีเอชเริ่มต้นต่อการลดค่าซีไอดีนั้น ได้กำหนดให้มีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่คงที่เท่ากับ 1,350 มก./ล. คิดเป็นอัตราส่วนของซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1:1.0 โดยทำการฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์ และระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาคือ 120 นาที โดยเปลี่ยนแปลงพีเอชเริ่มต้นที่ 2, 3, 4, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ โดยแสดงผลของการทดลองในรูปที่ 6.2

จากการทดลองพบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่เวลา 120 นาที ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งสารเคมีในรูปของซีไอดี ที่ทดลองที่ค่าพีเอช 3 จะได้ประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดีที่เวลา 120 นาทีที่มากที่สุดถึงร้อยละ 29 ดังแสดงในรูปที่ 6.2 (ก) โดยสัดส่วนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในน้ำที่พีเอชต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.2 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.2 ค่าซีไอดี และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่เหลืออยู่ที่พีเอชเริ่มต้นต่างๆ ตามช่วงเวลา

(ก) ค่าซีไอดีที่เหลืออยู่ที่พีเอชเริ่มต้นต่างๆ ตามช่วงเวลา

(ข) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ที่พีเอชเริ่มต้นต่างๆ ตามช่วงเวลา

จากรูปที่ 6.2 (ข) จะเห็นได้ว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สถานะเป็นกรด (พีเอช 3, 4 และ 5) และกลาง (พีเอช 7) เมื่อพิจารณาที่เวลา 0-15 นาที ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะลดลงอย่างรวดเร็วและเหลืออยู่ในระบบน้อยมาก ส่วนที่สถานะเป็นด่าง (พีเอช 9) ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในระบบยังคงหลงเหลืออยู่ในปริมาณมาก โดยประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีที่พีเอชเริ่มต้น 3 นั้นสามารถลดค่าซีโอดีได้มากที่สุดถึงร้อยละ 29 ในขณะที่พีเอชอื่นๆ อยู่ในช่วงร้อยละ 16-22 ทั้งนี้สืบเนื่องจากการที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะสามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระไฮดรอกซิลได้ไม่ดีเท่ากับที่พีเอชเป็นกรด (พีเอช 3, 4 และ 5) และกลาง (พีเอช 7) จึงทำให้มีปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่หลงเหลืออยู่ในระบบมีปริมาณมาก โดยจากรูปที่ 6.2 (ก) พบว่าประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีที่พีเอช 3 นั้นเกิดได้ดีที่สุด ในขณะที่ค่าพีเอชอื่นๆ นั้นให้ค่าการลดประสิทธิภาพของซีโอดีไม่แตกต่างกันมากนัก โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนนี้นั้นค่าสุดท้ายที่พีเอช 9 ทั้งนี้คาดว่าสืบเนื่องมาจากการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอชเป็นด่างซึ่งแตกตัวได้น้อย จึงทำให้บำบัดได้น้อยลงไปด้วย ผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Jung et al., 1997) ซึ่งได้ทำการศึกษการย่อยสลายซีโอดีของน้ำเสียปิโตรเคมี โดยผู้วิจัยพบว่าพีเอชที่เหมาะสมที่สามารถย่อยสลายซีโอดีได้มากที่สุดคือที่พีเอช 3 ซึ่งสามารถลดค่าซีโอดีได้มากกว่าที่พีเอช 11 ถึง 2 เท่า

สมการการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สถานะเป็นกรดและด่าง แสดงได้ดังนี้

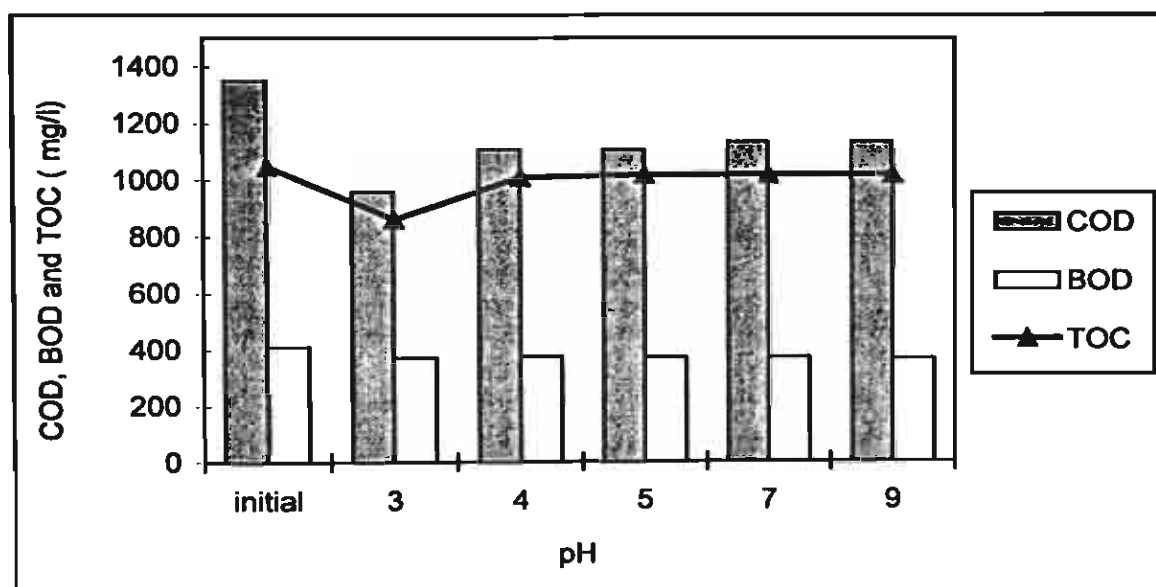


จากสมการที่ (6.3) พบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะสามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระไฮดรอกซิลได้มากถึง 2 โมล ในสถานะที่เป็นกรดดังแสดงในสมการที่ (6.3) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระไฮดรอกซิลได้เพียง 1 โมล ในสถานะที่เป็นด่างดังแสดงในสมการที่ (6.1) และ (6.2)

จากผลการทดลองในส่วนนี้พบว่าพีเอชเริ่มต้นในช่วงกรดส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียห้องปฏิบัติการโรงพยาบาลไม่มากนัก และจากผลการทดลองสามารถบอกได้ว่าพีเอชที่สามารถลดซีโอดีในช่วงระยะสั้น (120 นาที) ได้ดีคือ ที่พีเอช 3 ซึ่งในการทดลองต่อไปจะเลือกใช้พีเอชเริ่มต้นที่ 3 ตลอดการทดลอง

6.1.2.2 ผลของพีเอชเริ่มต้นที่แตกต่างกันต่อการลดค่า ซีไอดี, บีไอดี, และ ทีไอซี

ผลการทดลองในชุดนี้แสดงถึงผลของพีเอชเริ่มต้นที่แตกต่างกันต่อการลดค่าซีไอดี, บีไอดี, และ ทีไอซี โดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 1,350 มก./ล. คิดเป็นอัตราส่วนของซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 1:1.0 โดยทำการฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์ และระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาคือ 120 นาที โดยเปลี่ยนแปลงพีเอชเริ่มต้นที่ 3, 4, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ นำค่าซีไอดี, บีไอดี, และ ทีไอซีของน้ำเสียที่เวลาเริ่มต้นและที่ผ่านการบำบัดแล้วที่เวลา 120 นาที ที่พีเอชเริ่มต้นต่างๆมาวาดกราฟ ผลที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 ค่าซีไอดี, บีไอดี, และ ทีไอซี ที่เหลืออยู่ที่พีเอชเริ่มต้นต่างๆ ที่เวลา 120 นาที

จากผลการทดลองพบว่าพีเอชเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองส่งผลกระทบต่อค่าซีไอดี, บีไอดี, และทีไอซีของน้ำเสียห้องปฏิบัติการโรงพยาบาลน้อยมาก โดยค่าซีไอดีนั้นลดลงในช่วง 959.00 ถึง 1134.00 มก./ล., ค่าบีไอดีลดลงในช่วง 350.00 ถึง 375.00 มก./ล. และค่าทีไอซีลดลงในช่วง 861.00 ถึง 1019.00 มก./ล. และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.3 พบว่าที่ทุกๆ พีเอชนั้นการลดลงของค่าซีไอดี, บีไอดี, และทีไอซีนั้นจะลดลงน้อยมาก และมีความแตกต่างในค่าซีไอดีหลังการบำบัดแล้วน้อยมาก

6.1.3 การหาความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้งสารเคมี

6.1.3.1 ผลของความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นที่มีต่อการลดค่าซีไอดีตามช่วงเวลา

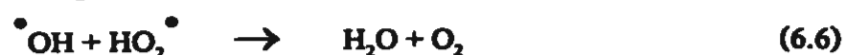
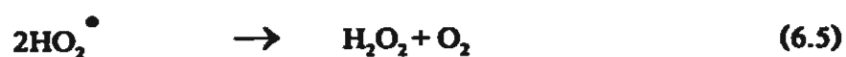
ในการทดลองชุดนี้ ได้กำหนดให้มีการแปรเปลี่ยนความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นแตกต่างกันเป็น 135, 405, 675, 1350, 2025 และ 2700 มก./ล. ตามลำดับ หรือคิดเป็นอัตราส่วนของซีไอดีเริ่มต้น:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 1:0.1, 1:0.3, 1:0.5, 1:1.0, 1:1.5 และ 1:2.0

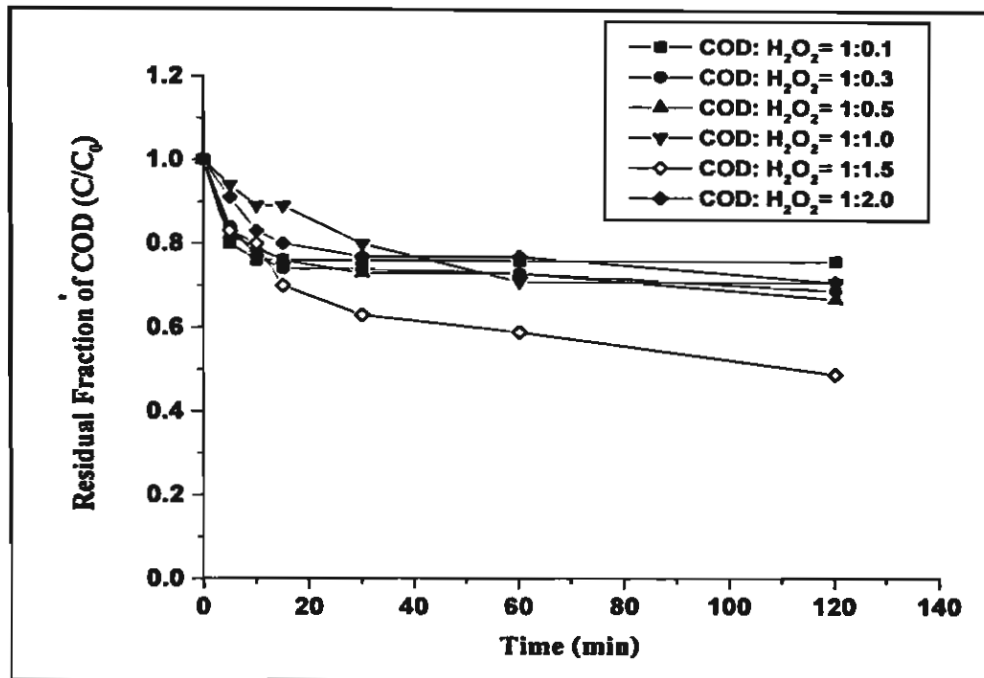
ตามลำดับ ทำการทดลองที่พีเอช 3 และฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์ เป็นเวลา 120 นาที ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 6.4

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่อัตราส่วนของซีโอดีเริ่มต้น:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1:1.5 นั้นสามารถลดค่าซีโอดีได้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 51 สำหรับอัตราส่วนอื่นๆ นั้นค่าซีโอดีที่ลดลงจะอยู่ในช่วงร้อยละ 24-33 ดังแสดงในรูปที่ 6.4 (ก) นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีในช่วงเวลาทำปฏิกิริยา 30 นาทีแรกที่มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วน 1:0.1, 1:0.3, 1:0.5, 1:1.0 และ 1:2.0 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยไม่แตกต่างกันมากนักยกเว้นที่อัตราส่วน 1:1.5 ที่ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ในสถานะที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1.5 และ 1:2 ที่เวลา 120 นาที ยังคงมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หลงเหลืออยู่ในระบบ ดังรูปที่ 6.4 (ข) อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ยังคงมีเหลืออยู่ในระบบที่อัตราส่วน 1:2 ในปริมาณมากนั้น มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีแตกต่างจากการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1.5 ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในปริมาณที่มากเกินไปจนเกินความจำเป็นของระบบนั้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เมื่อได้รับการกระตุ้นจากแสงอัลตราไวโอเลตทำให้เกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลจำนวนมาก และ อนุมูลอิสระไฮดรอกซิลที่มีปริมาณมากนี้เองอาจมีแนวโน้มที่จะจับตัวกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือจับกับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลด้วยกันเอง ทำให้ในระบบมีปริมาณอนุมูลอิสระที่สามารถจับตัวกับสารอินทรีย์เพื่อทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง ซึ่งเป็นผลให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียเกิดการย่อยสลายน้อยลง จึงทำให้การลดลงของค่าซีโอดีน้อยกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ

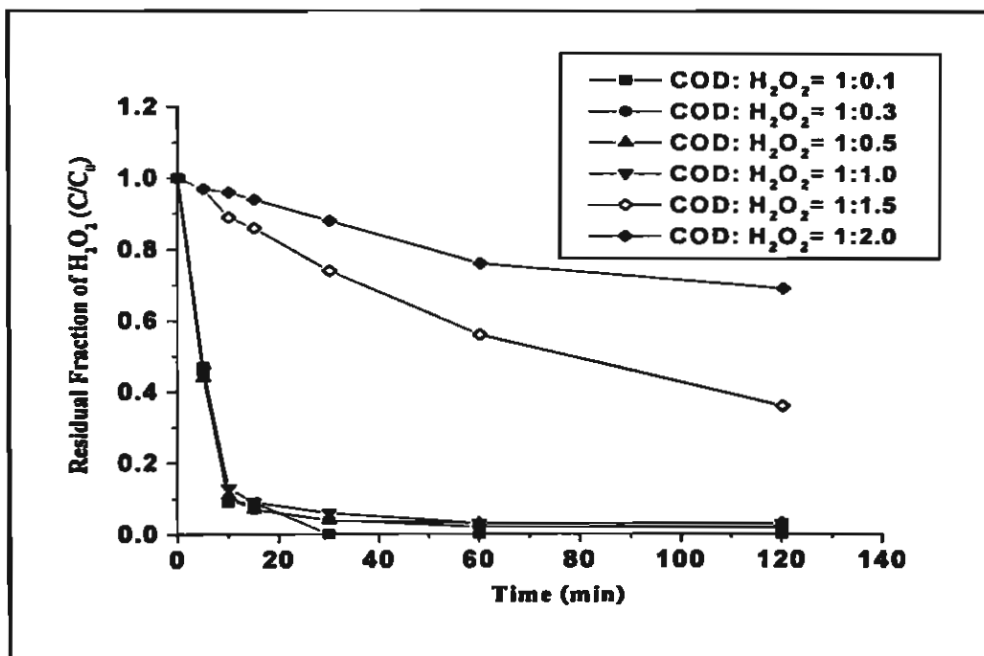
เมื่อพิจารณาที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วน 1:0.1 นั้นจะเห็นว่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในระบบจะหมดลงเมื่อทำการทดลองผ่านไปเป็นเวลา 30 นาที และเมื่อพิจารณาที่รูป 6.4 (ก) ที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วน 1:0.1 นั้นจะพบว่าการลดค่าซีโอดี ก็จะหยุดลงด้วยเช่นกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ลงในระบบในปริมาณที่น้อยจนเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีนั้นลดลงเช่นกัน

อนุมูลอิสระไฮดรอกซิลที่ทำปฏิกิริยากันเองเกิดเป็นน้ำ และออกซิเจนนั้น อาจแสดงได้ดังสมการที่ 6.4-6.6 (Yang et al., 1998)





(ก)



(ข)

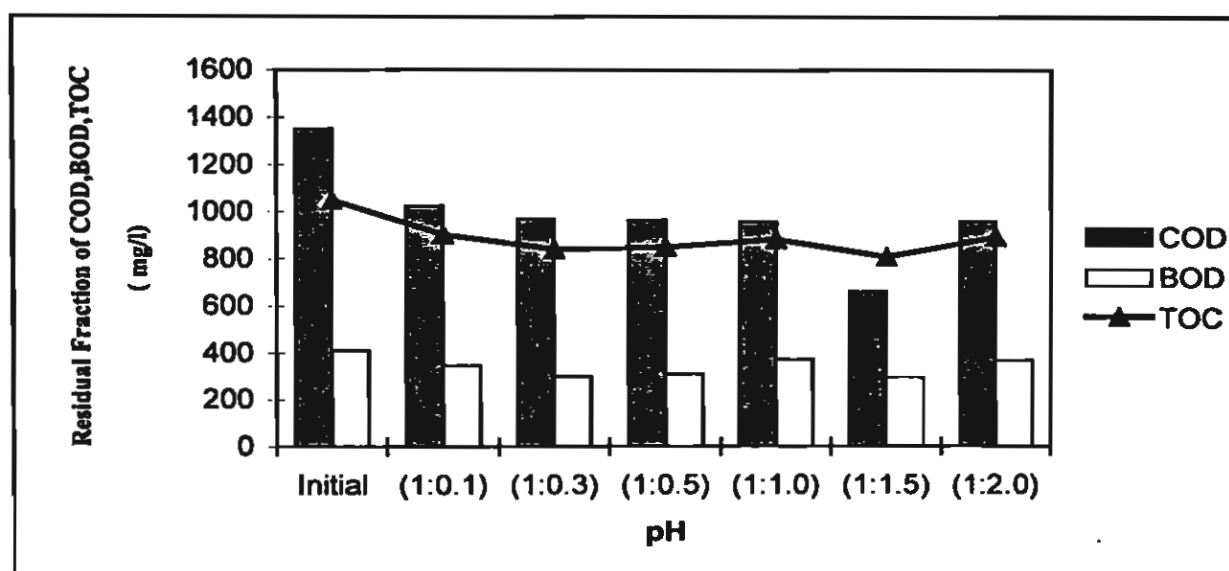
รูปที่ 6.4 ค่าซีโอดี และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่เหลืออยู่ตามช่วงเวลา

(ก) ค่าซีโอดีที่เหลืออยู่ที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นต่างๆ ตามช่วงเวลา

(ข) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นตามช่วงเวลา

6.1.3.2 ผลของความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นที่แตกต่างกันต่อการลดค่า ซีไอดี, บีไอดี, และ ทีไอซี

การทดลองในชุดนี้แสดงถึงผลของความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นที่แตกต่างกันต่อการลดค่าซีไอดี, บีไอดี, และ ทีไอซี โดยทดลองที่ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 3 และฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์ เป็นเวลา 120 นาที โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 135, 405, 675, 1350, 2025 และ 2700 มก./ล. ตามลำดับ หรือคิดเป็นอัตราส่วนของซีไอดีเริ่มต้น:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 1:0.1, 1:0.3, 1:0.5, 1:1.0, 1:1.5 และ 1:2.0 ตามลำดับ.



รูปที่ 6.5 ค่าซีไอดี, บีไอดี, และ ทีไอซี ที่เหลืออยู่ที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นต่างๆ ที่เวลา 120 นาที

จากรูปที่ 6.5 พบว่าที่ทุกๆความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้น การลดลงของค่าซีไอดี และทีไอซี จะลดลงไม่มากนักจากค่าความเข้มข้นเริ่มต้น โดยในสภาวะที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนของซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 1:1.5 นั้นสามารถลดค่าซีไอดี, บีไอดี, และ ทีไอซี ได้มากที่สุด คือลดลงเหลือ 662.00, 296.80 และ 809.00 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นเริ่มต้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมคือ ที่อัตราส่วนซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1:1.5 อย่างไรก็ตามหากพิจารณาในภาพรวมจะเห็นได้ว่าการใช้กระบวนการ UV/H₂O₂ ในการลดค่าซีไอดี, บีไอดี, และทีไอซีนั้น แม้ว่าในสภาวะที่เหมาะสม คือที่พีเอช 3 และความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 1:1.5 กระบวนการนี้ไม่สามารถลดความปนเปื้อนในน้ำทิ้งสารเคมีได้น้อยมาก ทั้งนี้อาจอธิบายได้ว่าสารเคมีในน้ำทิ้งของโรงพยาบาลนั้น อาจเป็นสารเคมีที่ย่อยสลายได้ยากหรือมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากจึงทำให้การลดลงของค่าซีไอดี, บีไอดี, และทีไอซีนั้นต่ำ

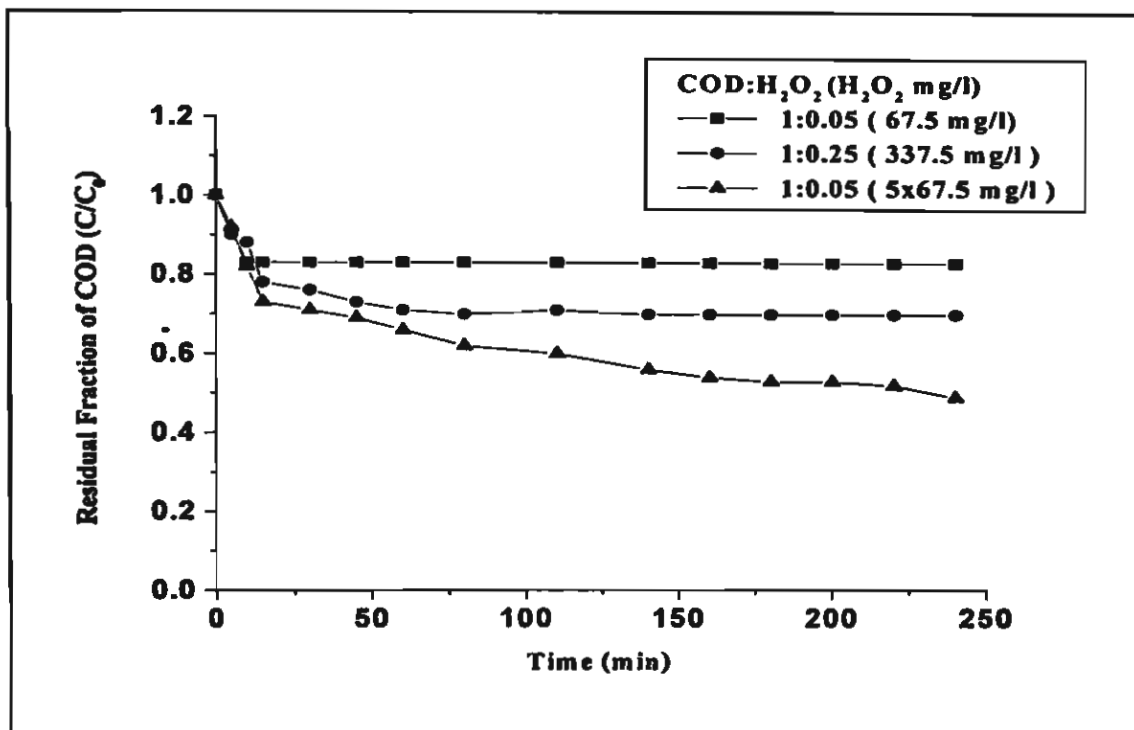
6.1.4 การหาความเข้มข้นของการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลา

ในการทดลองผลของการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลานี้ ได้ทำการทดลองโดยใช้ลักษณะน้ำเสียเดียวกันกับการทดลองที่ผ่านมา คือ ซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 1350 มก./ล. ทีเอชเริ่มต้นที่ 3 และทำการฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์ เป็นเวลา 240 นาที โดยเปลี่ยนแปลงการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากอัตราส่วนของซีโอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) เท่ากับ 1:0.05 ไปเป็น 1:0.1 และ 1:0.2 ตามลำดับ โดยในทุกๆ ความเข้มข้นเริ่มต้นนั้น การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะลดลงไปเมื่อในระบบมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หลงเหลืออยู่น้อยมากหรือเกือบหมด

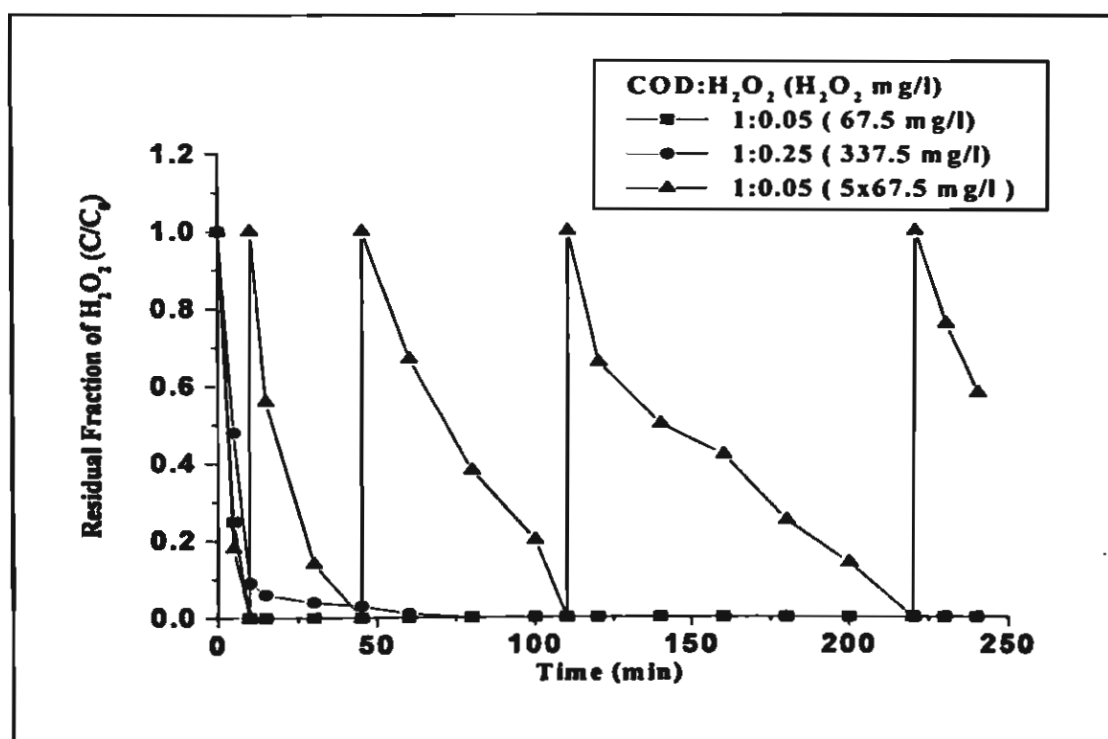
โดยในการทดลองชุดนี้จะแตกต่างจากการทดลองที่ผ่านมา กล่าวคือโดยทั่วไปในกระบวนการ UV/H₂O₂ นั้น การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้กับระบบจะเป็นแบบการเติมครั้งเดียวที่เวลาเริ่มต้นการทดลอง เมื่อสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หมดลง จะไม่มีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มเติมลงไป ซึ่งการทดลองที่ผ่านมาเป็นการทดลองในลักษณะดังกล่าว ซึ่งพบว่าที่สภาวะเหมาะสมคือที่ทีเอช 3 และอัตราส่วนของซีโอดีต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 1:2 นั้น ทำให้ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีได้มากที่สุดที่ร้อยละ 51, บีโอดี, ได้มากที่สุดที่ร้อยละ 28 และทีโอซีได้มากที่สุดที่ ร้อยละ 23 ซึ่งเป็นค่าที่ยังไม่น่าพอใจ จึงได้มีการพิจารณาการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลา โดยคาดว่าประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดี, บีโอดี, และทีโอซี จะเพิ่มมากขึ้น

6.1.4.1 ผลของการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลาที่มีความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกต่างกัน ต่อการลดค่า ซีโอดี

รูปที่ 6.6 (ก) และ (ข) เป็นผลการทดลองเปรียบเทียบที่เกิดจากการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในความเข้มข้น 67.5 มก./ล. หรือในอัตราส่วนซีโอดีเริ่มต้น:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1:0.05 เพียงครั้งเดียวในช่วงเริ่มต้นการทดลอง เทียบกับการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณเท่ากันแต่เติม 5 ครั้ง ($5 \times 67.5 = 337.5$ มก./ล.) โดยมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เข้าสู่ระบบในแต่ละครั้งเป็น 67.5 มก./ล. โดยมีข้อมูลของการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณรวม 337.5 มก./ล. ที่เท่ากันนี้แต่เติมครั้งเดียวในตอนเริ่มต้นเปรียบเทียบในกราฟ ทั้งนี้ในการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้น จะพิจารณาว่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในระบบจะต้องหมดก่อนแล้วจึงค่อยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าสู่ระบบใหม่ การทดลองในรูปแบบเดียวกัน แต่เป็นการใช้อัตราส่วนของซีโอดีเริ่มต้น:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกันออกไป แสดงในรูปที่ 6.7 และ 6.8



(ก)

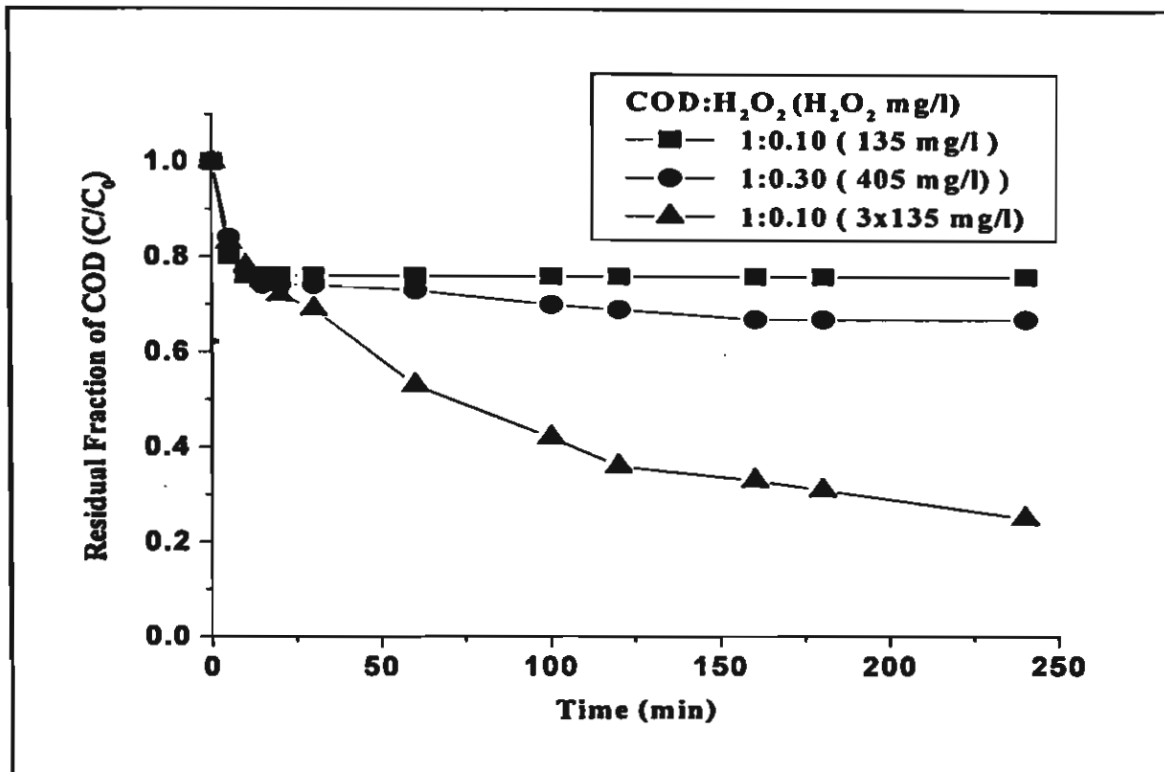


(ข)

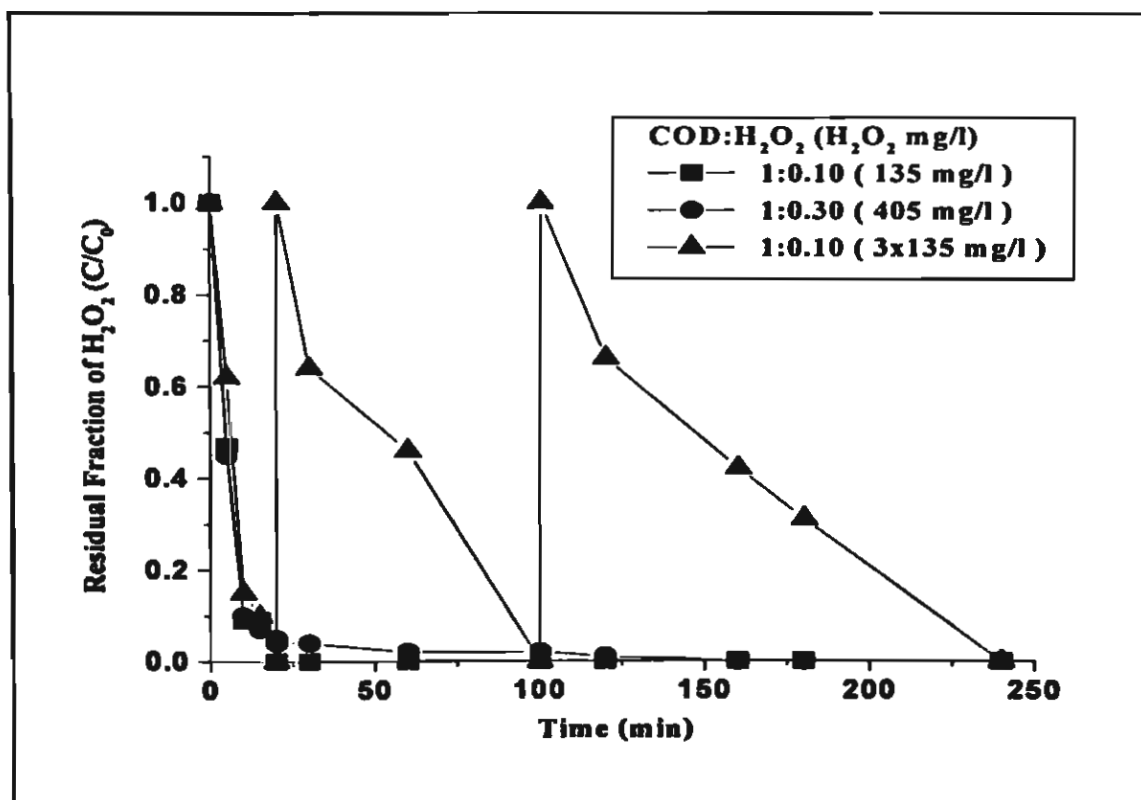
รูปที่ 6.6 ค่าซีโอดี และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่เหลืออยู่ ตามช่วงเวลา

(ก) ค่าซีโอดีที่เหลืออยู่ ที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ (1:0.05)

(ข) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ ที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ(1:0.05)



(ก)

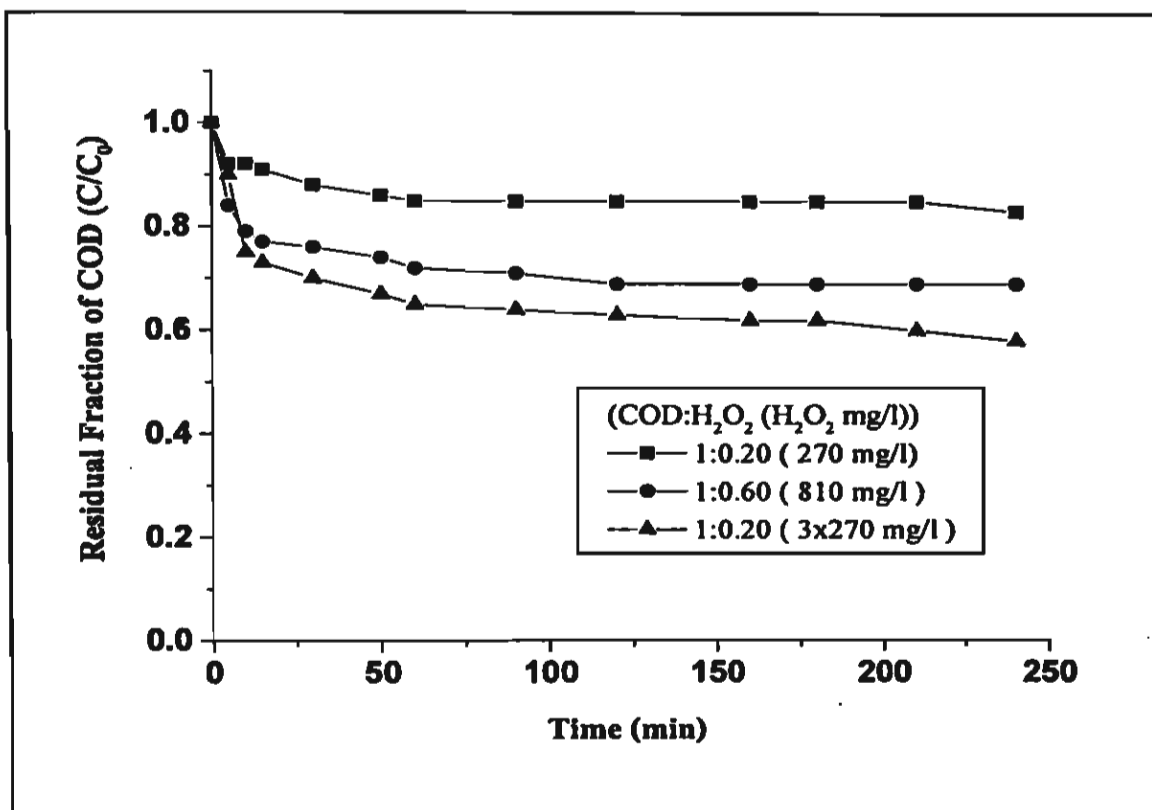


(ข)

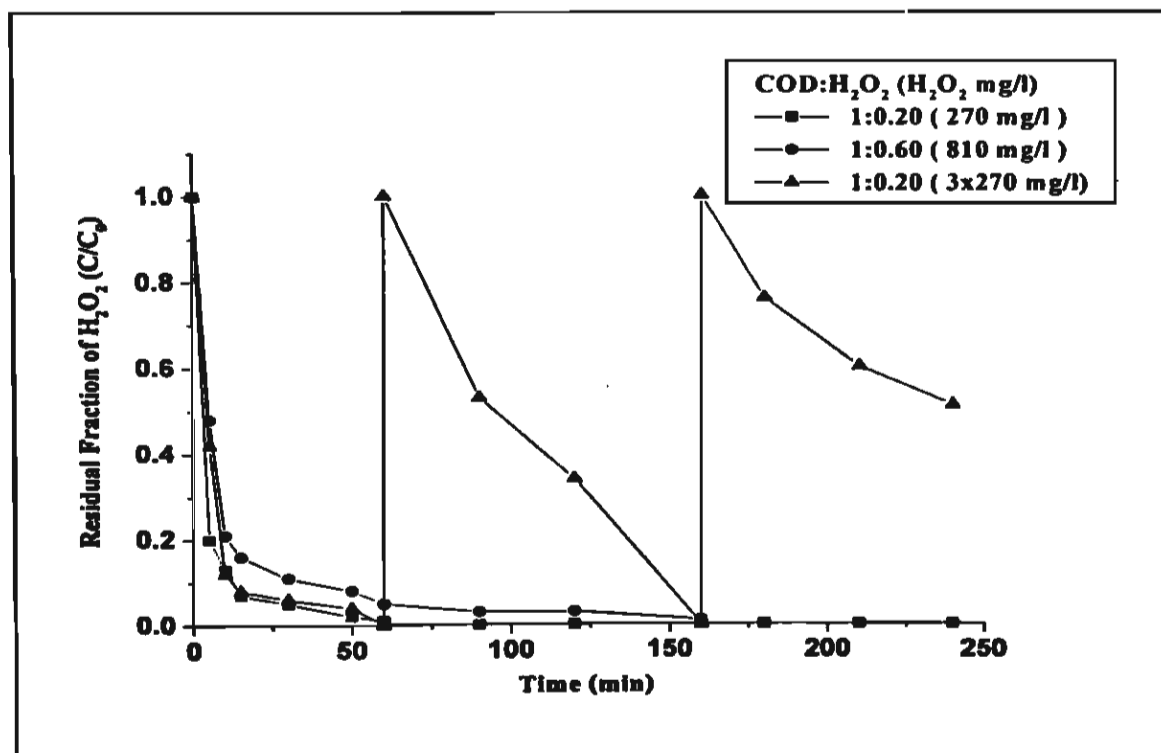
รูปที่ 6.7 ค่าซีไอซี และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่เหลืออยู่ ตามช่วงเวลา

(ก) ค่าซีไอซีที่เหลืออยู่ ที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ (1:0.1)

(ข) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ ที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ (1:0.1)



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.8 ค่ายิโอดี และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่เหลืออยู่ ตามช่วงเวลา

(ก) ค่ายิโอดีที่เหลืออยู่ ที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ (1:0.2)

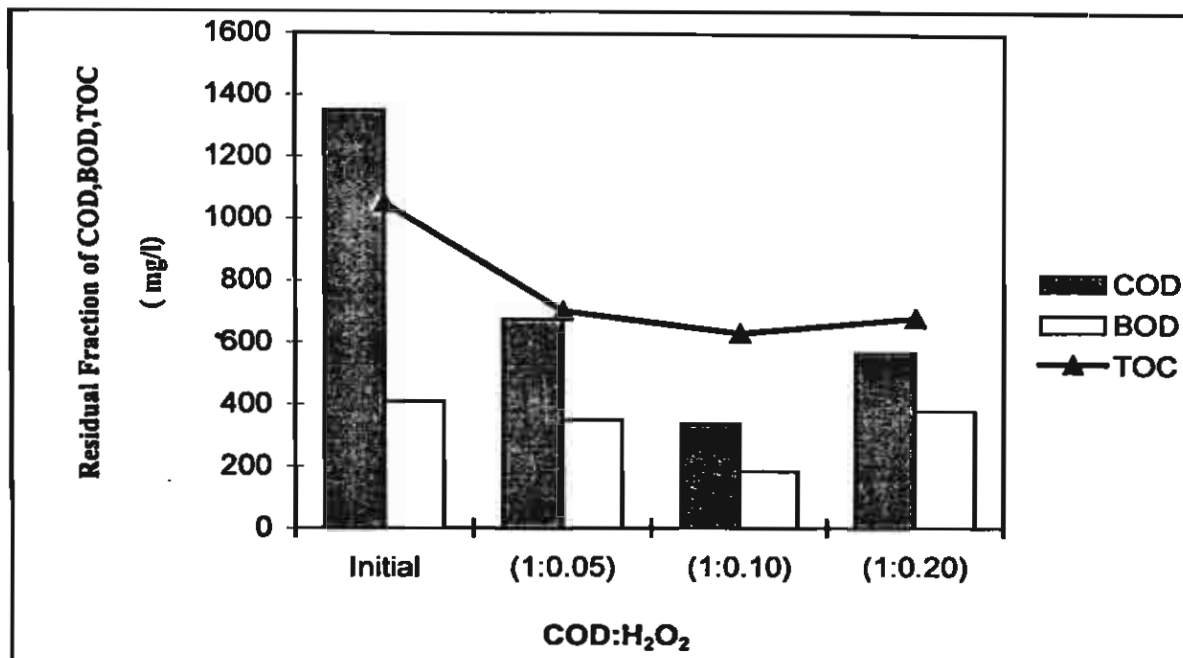
(ข) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ ที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ (1:0.2)

เมื่อพิจารณาที่รูป 6.6 (ก), 6.7 (ก) และ 6.8 (ก) พบว่าการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลา จะมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดีไคมากกว่าการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบครั้งเดียว จากรูปที่ 6.6, 6.7 และ 6.8 สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อทำการทดลองโดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงครั้งเดียวปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อาจน้อยจนเกินไป และเมื่อระบบใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จนหมดลง ประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดีก็จะหยุดลงด้วยเช่นกัน แต่หากในระบบมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าไปในระบบอีก เมื่อระบบได้รับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้ามา ระบบจะสามารถทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ต่อไป แต่เมื่อเทียบการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณรวมที่เท่ากันกับการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลารวมกันนั้น แต่เป็นการเติมเพียงครั้งเดียว จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดียังคงต่ำกว่าที่การเติมแบบหลายช่วงเวลา ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงครั้งเดียวที่เวลาเริ่มต้นนั้น อาจทำให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในระบบมากเกินไป จึงทำให้เกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ในระบบมากเกินไป และทำให้เกิดการจับตัวกันเองของอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล หรือการจับตัวกันของอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้สารอินทรีย์ไม่สามารถจับตัวทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลได้ จึงทำให้ไม่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ขึ้น

จากผลการทดลอง พบว่าการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายครั้ง โดยให้อัตราส่วนซีไอดีเริ่มต้น:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1:0.1 นั้น โดยมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นจำนวน 3 ครั้ง สามารถลดซีไอดีลงได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการลดซีไอดี 75เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดีจากการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายครั้งสูงกว่าการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงครั้งเดียวได้อย่างชัดเจน

6.1.4.2 ผลของการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลาที่มีความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกต่างกัน ต่อการลดค่า ซีไอดี, บีไอดี, และ ทีไอซี

ในการทดลองผลของการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลานี้ ได้ทำการทดลองที่ค่า ซีไอดีเริ่มต้นเท่ากับ 1350 มก./ล., ค่าทีไอซีเริ่มต้น 1050 มก./ล., ค่าบีไอดี, เริ่มต้น 410 มก./ล., พีเอชเริ่มต้นที่ 3 และทำการฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์ เป็นเวลา 240 นาที โดยเปลี่ยนแปลงการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากอัตราส่วนของซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 1:0.05 ไปเป็น 1:0.1และ1:0.2 ตามลำดับ โดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปในระบบเมื่อระบบมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หลงเหลืออยู่น้อยมากหรือเกือบหมด ผลที่ได้จากการทดลองนี้แสดงในรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 ค่าซีไอดี, บีไอดี, และ ทีไอซี ที่เหลืออยู่ที่เวลา 240 นาที

จากกราฟผลของค่าซีไอดี, บีไอดี, และ ทีไอซีที่ได้มาจากการทดลองโดยทำการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลา ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าที่ทุกๆ อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้นการลดลงของค่าซีไอดีและค่าบีไอดี, จะลดลงอย่างสอดคล้องกัน โดยเมื่อพิจารณาว่าการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนของซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1:0.10 พบว่าสามารถลดค่าซีไอดีและค่าบีไอดี, ได้มากที่สุด คือลดลงเหลือ 553.50 และ 300.00 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลาที่มีอัตราส่วนของซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 1:0.10 นั้นเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถลดค่าซีไอดีและบีไอดี, ได้มากที่สุด

ในส่วนการลดลงของค่าทีไอซีนั้น การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทั้งสามอัตราส่วนส่งผลให้การลดลงของค่าทีไอซีนั้นไม่แตกต่างกันมากนัก โดยค่าทีไอซีที่ลดลงจะอยู่ในช่วง 600-660 มก./ล. โดยเมื่อพิจารณาว่าการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนของซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1:0.10 พบว่าสามารถลดค่าซีไอดีและค่าบีไอดี, ได้มากที่สุด คือลดลงเหลือ 337 และ 184 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลาที่มีอัตราส่วนของซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 1:0.10 นั้นเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถลดค่าซีไอดีและบีไอดี, ได้มากที่สุดเมื่อน้ำเสียมีซีไอดีเริ่มต้น 1350 มก./ล.

6.1.4.3 แนวโน้มในการบำบัดน้ำเสีย (บีโอดี/ซีโอดี)

ผลการทดลองในขั้นตอนนี้จะแสดงถึงผลของการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบช่วงเวลาเดียวและหลายช่วงเวลา ที่อัตราส่วนในการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกต่างกันต่อแนวโน้มในการบำบัดน้ำเสีย (บีโอดี/ซีโอดี) โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ค่าซีโอดีเริ่มต้นที่ 1350 มก./ล. และค่าบีโอดี เริ่มต้นที่ 410 มก./ล. ที่พีเอชเริ่มต้น 3 โดยเป็นผลของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วที่เวลา 240 นาที ที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นต่างกัน และผลที่ได้เป็นไปดังตารางที่ 6.1 และ 6.2

ตารางที่ 6.1 แนวโน้มในการบำบัดน้ำเสียของการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลา (บีโอดี/ซีโอดี)

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เติมลงในระบบต่อครั้ง	อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เติมลงในระบบทั้งหมด	ค่า บีโอดี/ซีโอดี
น้ำเสียที่เริ่มต้นก่อนผ่านกระบวนการบำบัด		0.3037
1:0.05	1:0.25	0.5191
1:0.10	1:0.30	0.5420
1:0.20	1:0.60	0.6700

ตารางที่ 6.2 แนวโน้มในการบำบัดน้ำเสียของการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบช่วงเวลาเดียว (บีโอดี/ซีโอดี)

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เติมลงในระบบ	ค่า บีโอดี/ซีโอดี
น้ำเสียที่เริ่มต้นก่อนผ่านกระบวนการบำบัด	0.3037
1:0.05	0.3148
1:0.10	0.3377
1:0.20	0.3149
1:0.25	0.3150
1:0.30	0.3087
1:0.50	0.3213

จากตารางที่ 6.1 พบว่าค่าบีไอดี/ซีไอดี ที่เวลาเริ่มต้นหรือก่อนการบำบัดนั้นมีค่าอยู่ที่ 0.3037 และจากผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการทดลองที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลาที่อัตราการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ค่าบีไอดี/ซีไอดี เท่ากับ 1:0.25, 1:0.3 และ 1:0.60 นั้นค่าบีไอดี/ซีไอดี จะเพิ่มขึ้นมาจากเดิม จากตอนเริ่มต้นก่อนการบำบัดเท่ากับ 0.3037 ไปเป็น 0.5191, 0.5420 และ 0.6700 ตามทฤษฎีแล้วหากค่าบีไอดี, ต่อซีไอดีมีค่าสูงขึ้นเช่นที่บีไอดี,ต่อซีไอดี เพิ่มขึ้นจะแปลผลได้ว่าน้ำเสียจะสามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีขึ้น เช่น จากค่า 0.1 เป็น 0.4 เป็นต้น(Alaton and Gurses, 2004) ซึ่งจากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลาทำให้แนวโน้มของอัตราส่วนการย่อยสลายทางชีวภาพ

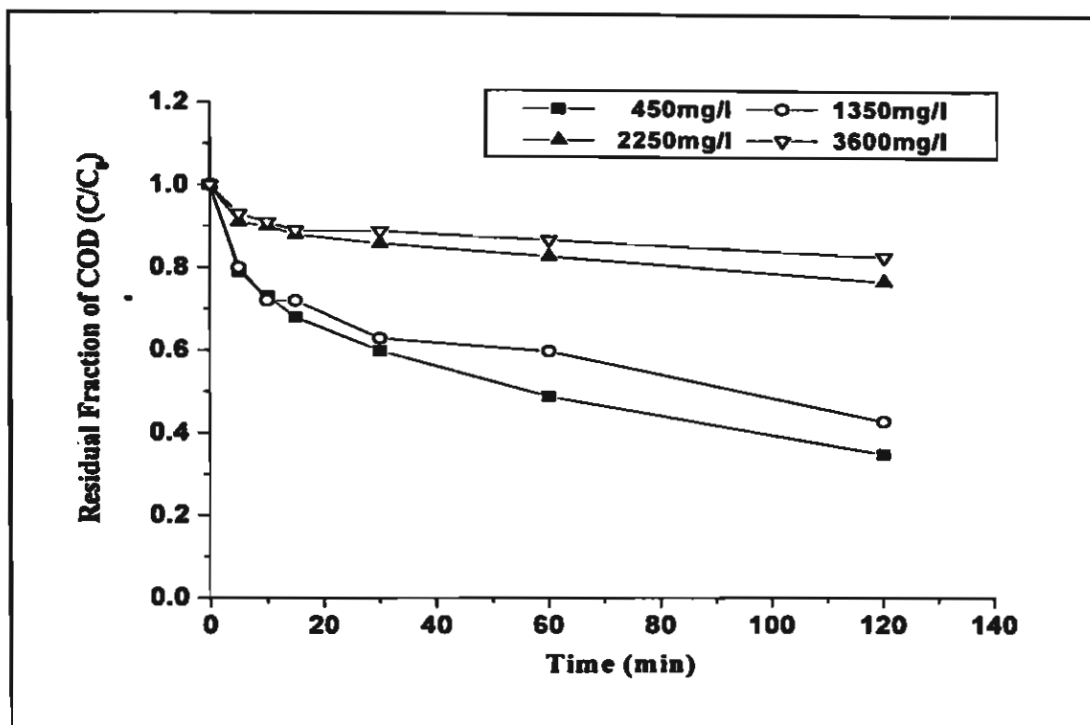
จากตารางที่ 6.2 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าบีไอดี/ซีไอดี จะพบว่าเมื่อทำการทดลองที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบช่วงเวลาเดียวโดยเติมในอัตราส่วนของซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 1:0.05 ถึง 1:0.6 ค่าบีไอดี/ซีไอดี ที่ได้หลังจากผ่านการทำปฏิกิริยาแล้ว 240 นาที อยู่ในช่วง 0.30-0.32 แต่เมื่อพิจารณาที่ค่าบีไอดี/ซีไอดีที่ได้จากการทดลองที่ทำการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลาดังแสดงในตารางที่ 6.1 พบว่าการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลาจะมีค่าบีไอดี/ซีไอดีอยู่ในช่วง 0.4540-0.5420 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลาสามารถทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีกว่าการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบช่วงเวลาเดียว และยังทำให้ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

6.1.5 ผลของค่าซีไอดีเริ่มต้นที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียเคมีด้วยกระบวนการ UV/H₂O₂

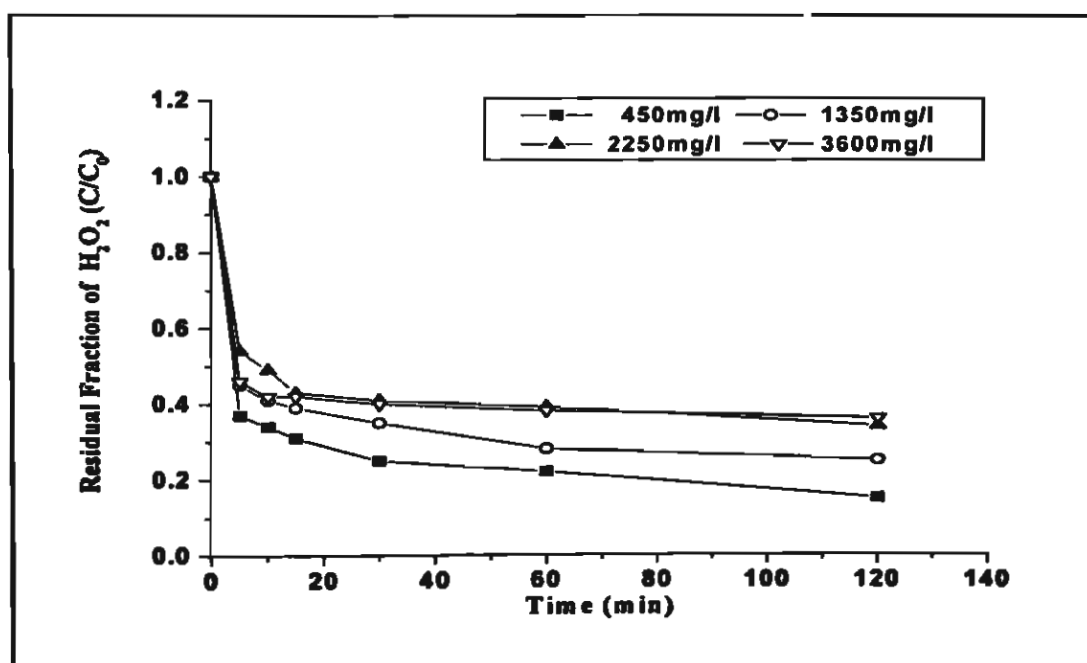
6.1.5.1 ผลของซีไอดีเริ่มต้นที่มีต่อการลดค่าซีไอดีตามช่วงเวลาเมื่อมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงครั้งเดียว

ผลของค่าความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีต่อการย่อยสลายน้ำเสียจากโรงพยาบาลด้วยกระบวนการฉายแสงอัลตราไวโอเลตร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และทำการทดลองโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ คือ พีเอช 3 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นที่อัตราส่วนของซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 1:1.5 โดยฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 120 นาที โดยเปลี่ยนแปลงค่าซีไอดีเริ่มต้นที่ 450, 1350, 2250 และ 3600 มก./ล. ตามลำดับ

ผลของซีไอดีเริ่มต้นที่มีต่อการลดค่าซีไอดีตามช่วงเวลาเมื่อมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงครั้งเดียวแสดงดังรูปที่ 6.10 (ก) และ 6.10 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.10 ค่าซีไอดี และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่เหลืออยู่ที่ค่าซีไอดีเริ่มต้นต่างๆ ตามช่วงเวลา

(ก) ค่าซีไอดีที่เหลืออยู่ที่ค่าซีไอดีเริ่มต้นต่างๆ ตามช่วงเวลา

(ข) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ที่ค่าซีไอดีเริ่มต้นต่างๆ ตามช่วงเวลา

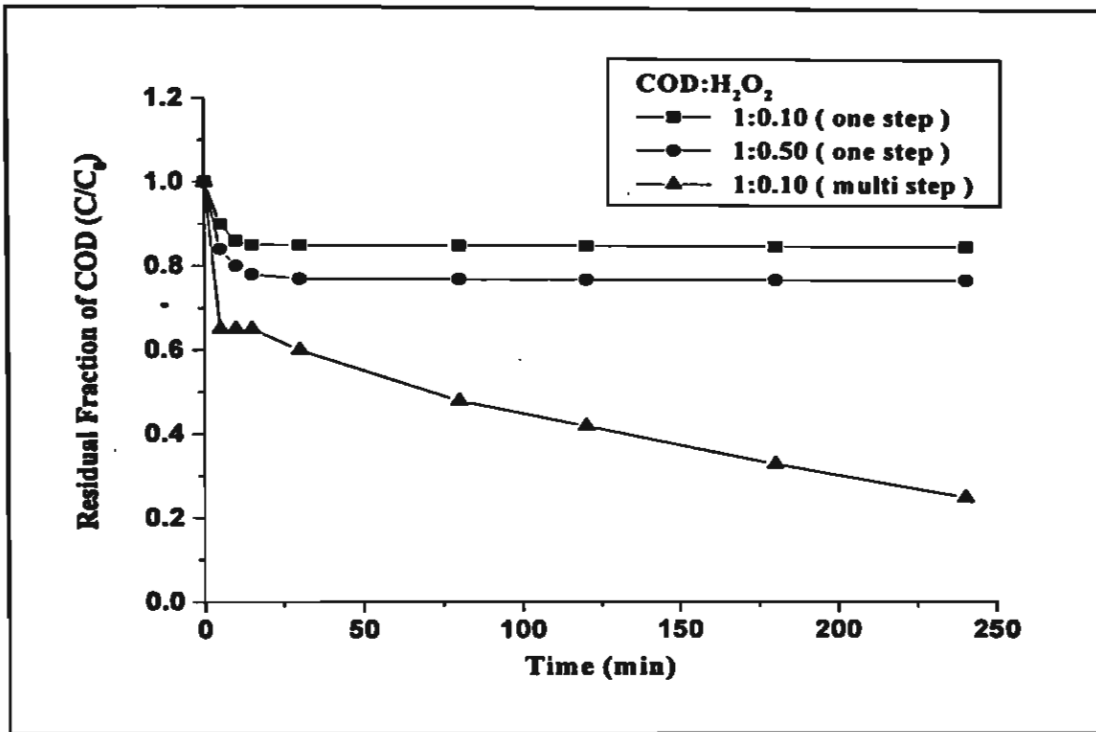
แสดงให้เห็นว่าค่าซีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสียมีผลต่อการลดลงของค่าซีโอดี โดยเมื่อพิจารณาจากรูปแล้วจะเห็นว่าที่ค่าซีโอดีเริ่มต้น 450 มก./ล. นั้น ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีสูงถึงร้อยละ 61 ในขณะที่เมื่อพิจารณารูปที่ 6.10 (ข) จะเห็นว่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีอยู่ในระบบนั้นยังคงมีเหลืออยู่พอสมควร และหากมีการเพิ่มเวลาการทำปฏิกิริยาให้มากขึ้นคาดว่าประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีก็จะสูงขึ้นด้วยเช่นกัน และเมื่อพิจารณาจากรูป 6.10 (ก) พบว่าเมื่อค่าซีโอดีเริ่มต้นมีค่าสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของระบบจะต่ำลง โดยเมื่อพิจารณาที่รูป 6.10 (ก) และ 6.10 (ข) พบว่าเมื่อค่าซีโอดีเริ่มต้นสูงกว่าระดับ 1350 มก./ล. นั้น ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีจะอยู่ในช่วงร้อยละ 10-19 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในการลดค่าซีโอดีด้วยกระบวนการทดลองที่ใช้แสงอัลตราไวโอเลตร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้น ค่าซีโอดีเริ่มต้นเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลดลงของค่าซีโอดีด้วย

6.1.5.2 ผลของการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลาที่ซีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสียที่แตกต่างกันต่อการลดค่าซีโอดีตามช่วงเวลา

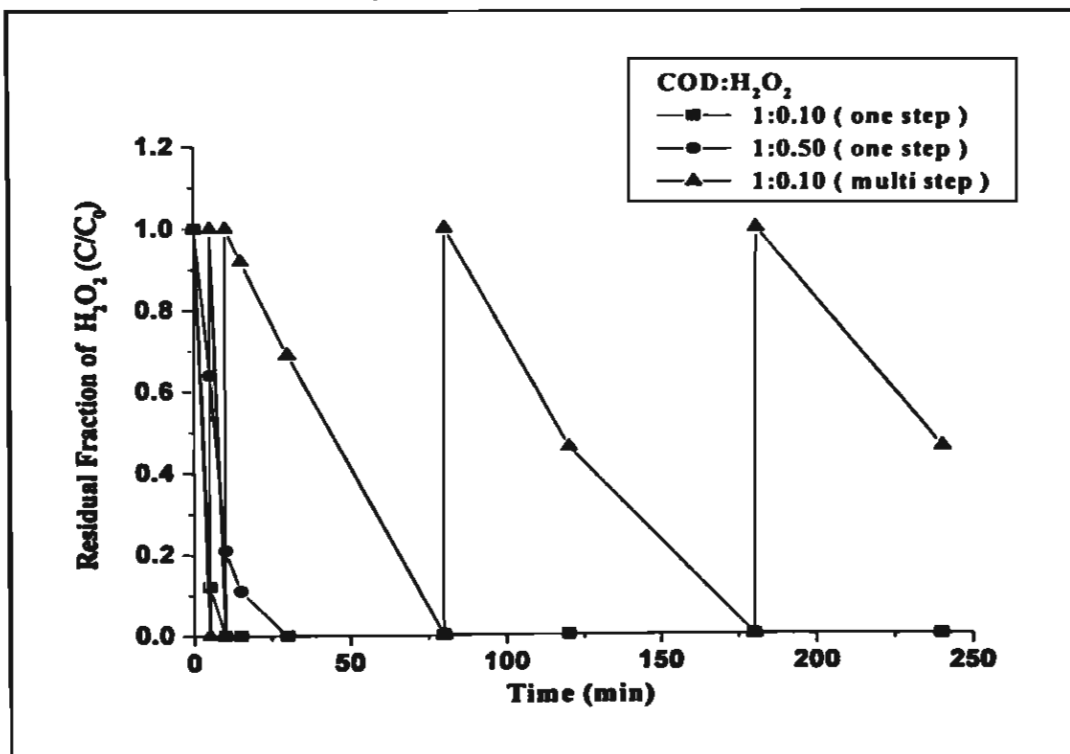
ในการทดลองผลของการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลาที่ค่าซีโอดีเริ่มต้นแตกต่างกัน ได้ทำการทดลองที่พีเอช 3 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นที่อัตราส่วนของซีโอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 1:0.1 โดยฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาคือ 240 นาที โดยเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีเริ่มต้นที่ 450, 1350 และ 2250 และ มก./ล. ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า ผลของค่าซีโอดีเริ่มต้นโดยทำการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงครั้งเดียวนั้น ค่าซีโอดีเริ่มต้นมีผลต่อกระบวนการ UV/H_2O_2 คือที่ค่าซีโอดีเริ่มต้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1350 มก./ล. กระบวนการ UV/H_2O_2 จะสามารถลดค่าซีโอดีให้ต่ำลงได้ แต่ที่ค่าซีโอดีเริ่มต้นมากกว่า 1350 มก./ล. จะลดค่าซีโอดีได้น้อยลง ดังนั้นจึงทำการทดลองโดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสีย

ผลการทดลองของการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลาที่ซีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสียที่ 450 มก./ล. แสดงดังรูปที่ 6.11 ที่ซีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสียที่ 1350 มก./ล. แสดงดังรูปที่ 6.12 และที่ซีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสียที่ 2250 มก./ล. แสดงดังรูปที่ 6.13



(ก)

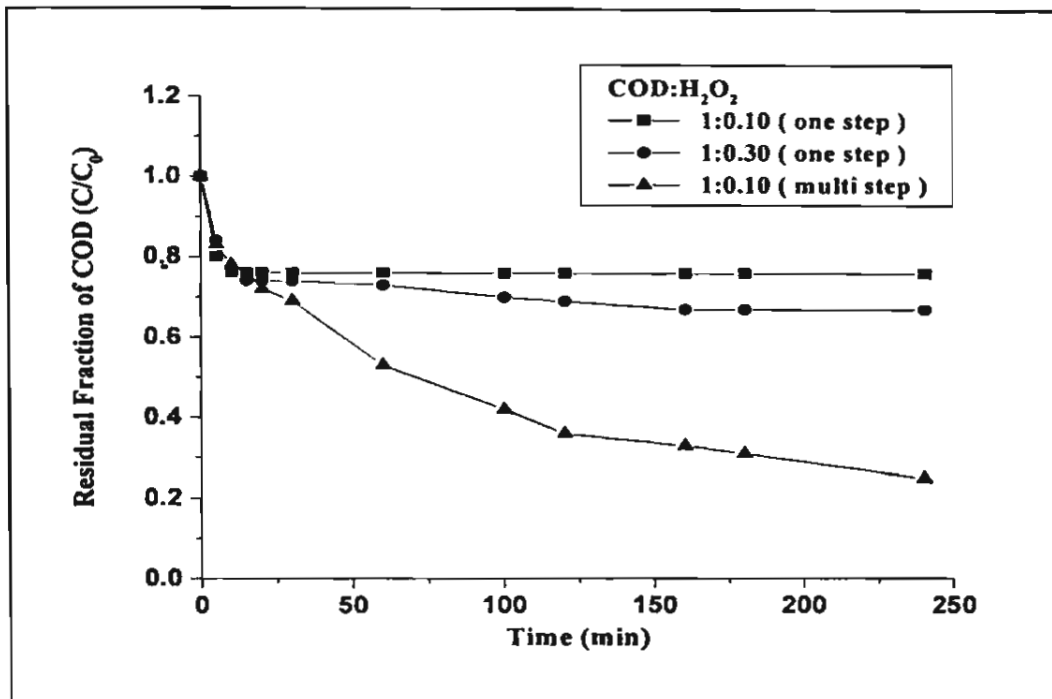


(ข)

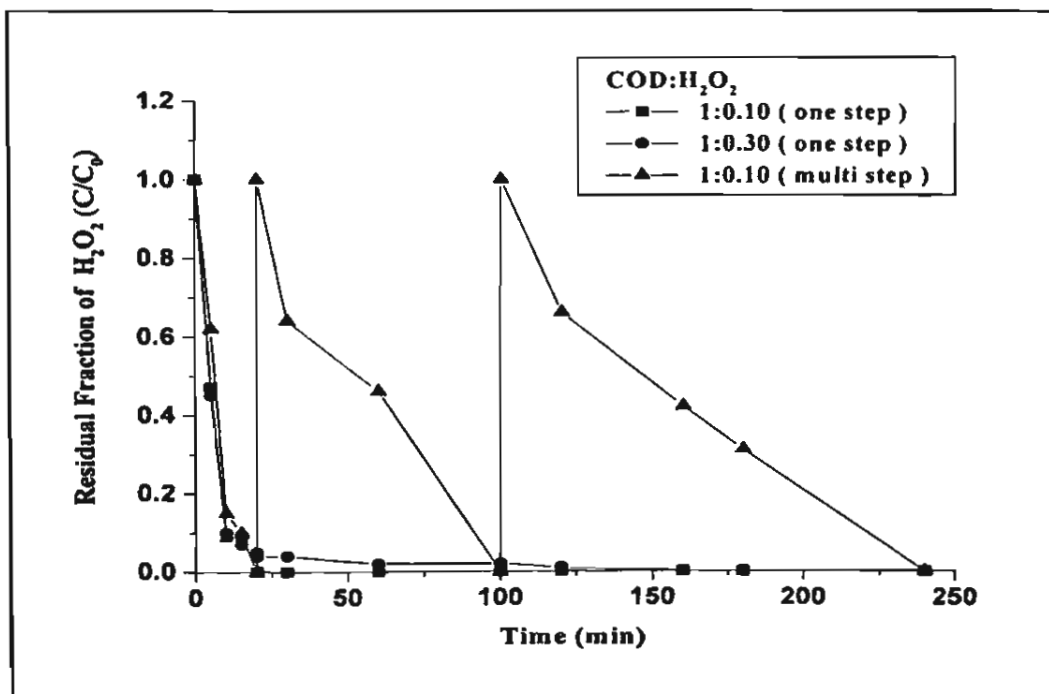
รูปที่ 6.11 ค่าซีโอดี และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่เหลืออยู่ ตามช่วงเวลาที่ยูโอดีเริ่มต้น 450 มก./ล.

(ก) ค่าซีโอดีที่เหลืออยู่ ที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ (1:0.1)

(ข) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ ที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ (1:0.1)



(ก)

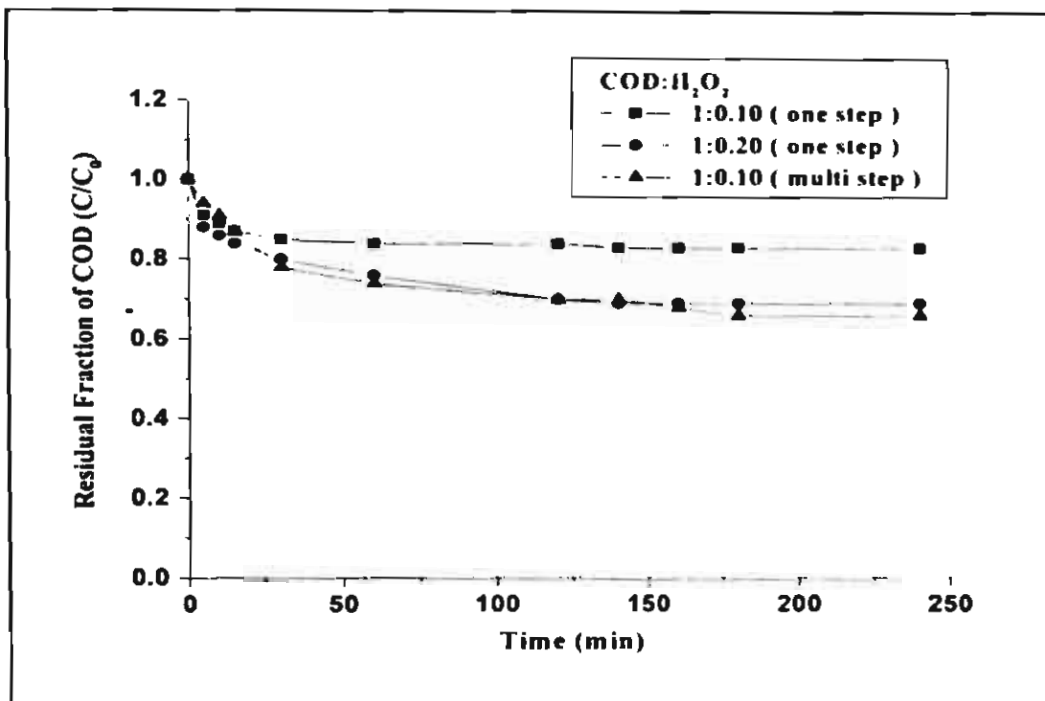


(ข)

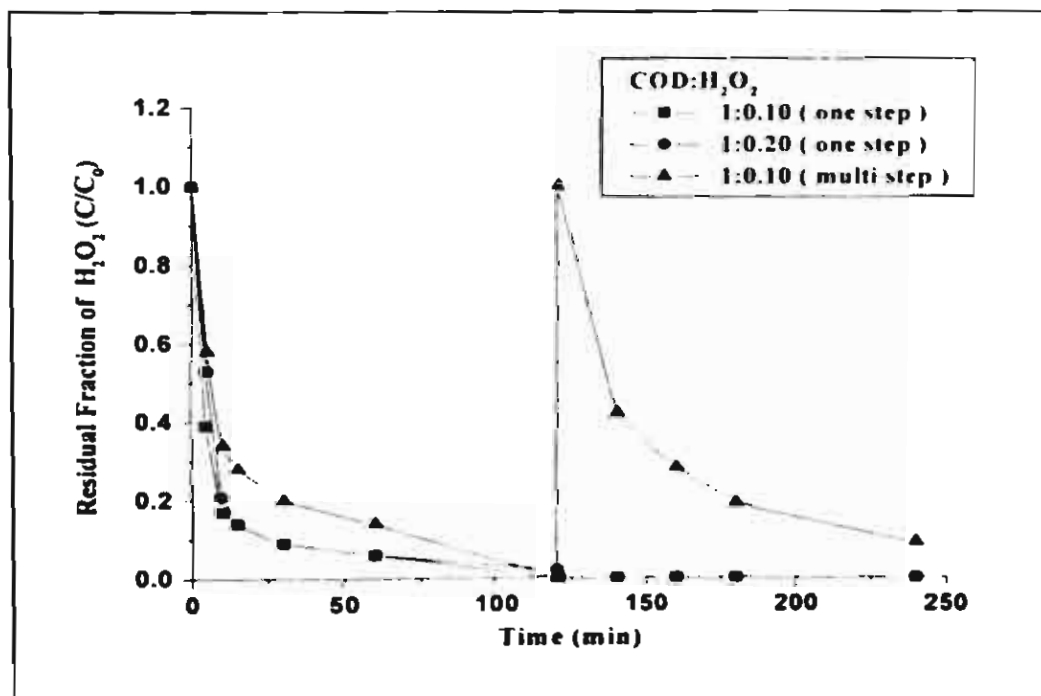
รูปที่ 6.12 ค่าซีโอดีและ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ตามช่วงเวลาที่ซีโอดีเริ่มต้น 1350 มก./ล.

(ก) ค่าซีโอดีที่เหลืออยู่ ที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ (1:0.1)

(ข) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ ที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ (1:0.1)



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.13 ค่าซีไอดีและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ตามเวลาที่ซีไอดีเริ่มต้น 2250 มก./ล.

(ก) ค่าซีไอดีที่เหลืออยู่ ที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ (1:0.1)

(ข) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ ที่การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ (1:0.1)

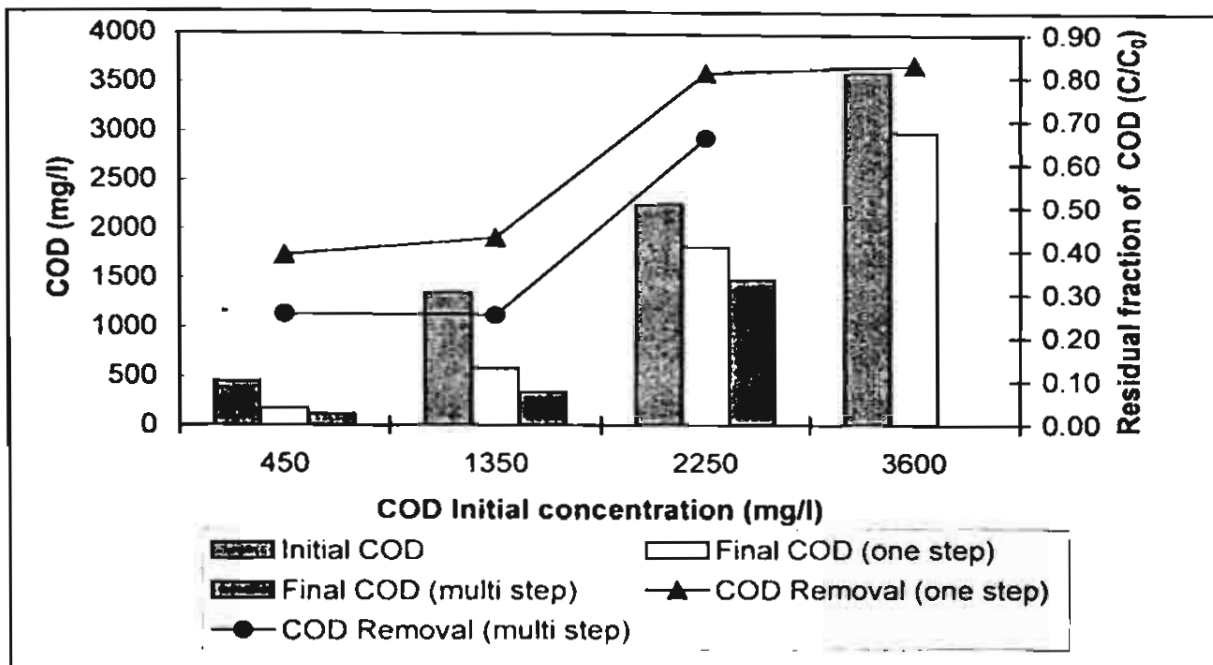
จากการทดลองพบว่า การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลานั้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีให้เพิ่มมากขึ้นได้ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายขั้นเพิ่มประสิทธิภาพในการลดซีโอดีจาก 18-22 เปอร์เซ็นต์ เป็น 75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อค่าซีโอดีเริ่มต้นเป็น 450 มก./ล. และเมื่อค่าซีโอดีเริ่มต้นเป็น 1350 มก./ล. ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีเพิ่มขึ้นจาก 21-31 เปอร์เซ็นต์ เป็น 75 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเมื่อค่าซีโอดีเริ่มต้นเป็น 2250 มก./ล. การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายขั้นนั้นไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีมากนัก โดยประสิทธิภาพในการลดซีโอดีไม่แตกต่างจากการเติมซีโอดีเพียงครั้งเดียว โดยมีค่าอยู่ในช่วง 18-34 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายขั้นที่ค่าดังกล่าว สามารถเติมได้เพียงสองครั้งเท่านั้น โดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เหลือค้างในระบบมาก ทำให้มีแนวโน้มเกิดการจับตัวกันเองของอนุภาคลิธเรโซรอกซิล หรือการจับตัวกันของอนุภาคลิธเรโซรอกซิลกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งทำให้อนุภาคลิธเรโซรอกซิลที่มีอยู่ในน้ำเหลือน้อยลง ซึ่งทำให้การลดของซีโอดีเกิดขึ้นได้น้อยลง

แต่ในการทดลองครั้งนี้ที่ค่าซีโอดีเริ่มต้น 3600 มก./ล. ไม่สามารถทำการทดลองโดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลาได้ เนื่องจากปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่หมดลงภายในเวลา 240 นาที จึงทำให้เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้เพียงครั้งเดียว

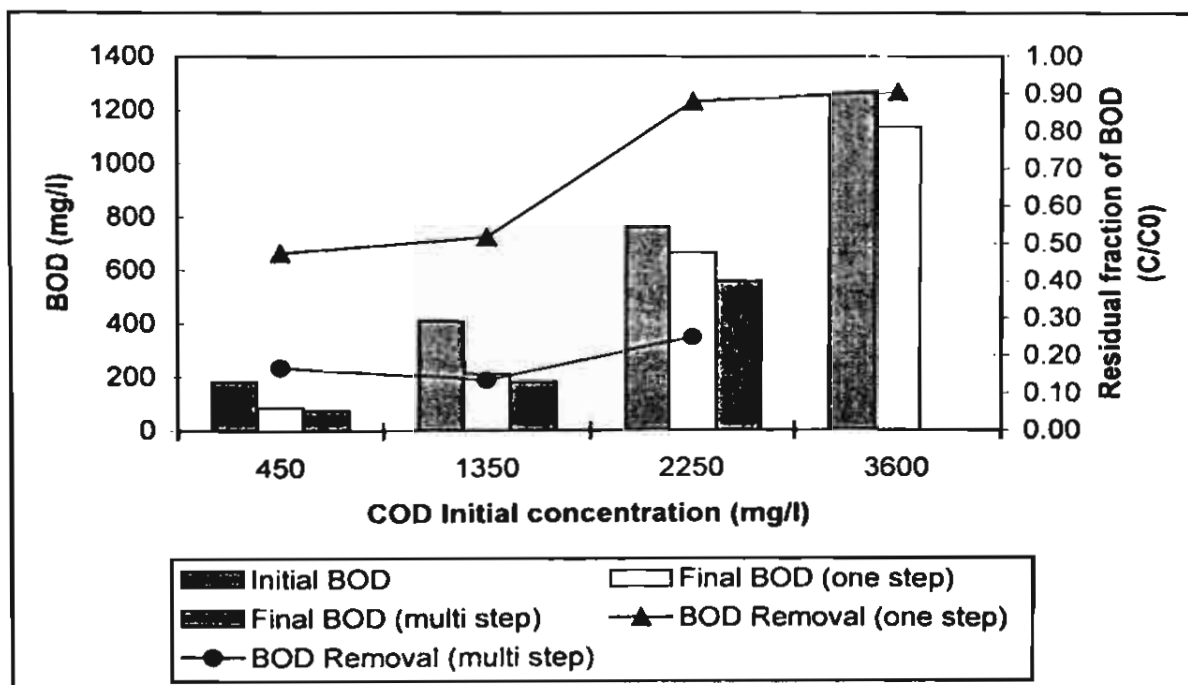
6.1.5.3 ผลของซีโอดีเริ่มต้นที่แตกต่างกันต่อการลดค่า ซีโอดี, บีโอดี, และ ทีโอซี

ในการทดลองผลของค่าซีโอดีเริ่มต้นที่แตกต่างกันต่อการลดค่า ซีโอดี, บีโอดี, และ ทีโอซี ได้ทำการทดลองที่พีเอช 3 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นที่อัตราส่วนซีโอดีเริ่มต้น: ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 1:1.5 โดยฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 120 นาที โดยเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีเริ่มต้นที่ 450, 1350, 2250 และ 3600 มก./ล. ตามลำดับ จากนั้นเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งในส่วนของการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลา และการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงครั้งเดียว

จากรูปที่ 6.11 พบว่าที่ ค่าซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 450 มก./ล. นั้นประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดี, บีโอดี, และ ทีโอซี นั้นสูงที่สุด รองลงมาคือที่ค่าซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 1350 มก./ล. และความสามารถในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการนี้จะลดลงเมื่อน้ำเสียนั้นมีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูงมากขึ้นเรื่อยๆ โดยพบว่า การลดลงของค่าซีโอดีและบีโอดีนั้นอยู่ในรูปแบบเดียวกัน และจากผลการทดลองพบว่าค่าทีโอซินั้นเป็นค่าที่มีการลดลงน้อยที่สุดโดยไม่ขึ้นอยู่กับค่าซีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสีย แม้ว่าน้ำทิ้งสารเคมีจะมีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำคือ 450 มก./ล. ระบบไม่สามารถลดค่าทีโอซีลงไปในระดับที่น่าพอใจได้ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้นอยู่ในกลุ่มของสารเคมีที่ย่อยสลายได้ยาก



(ก)



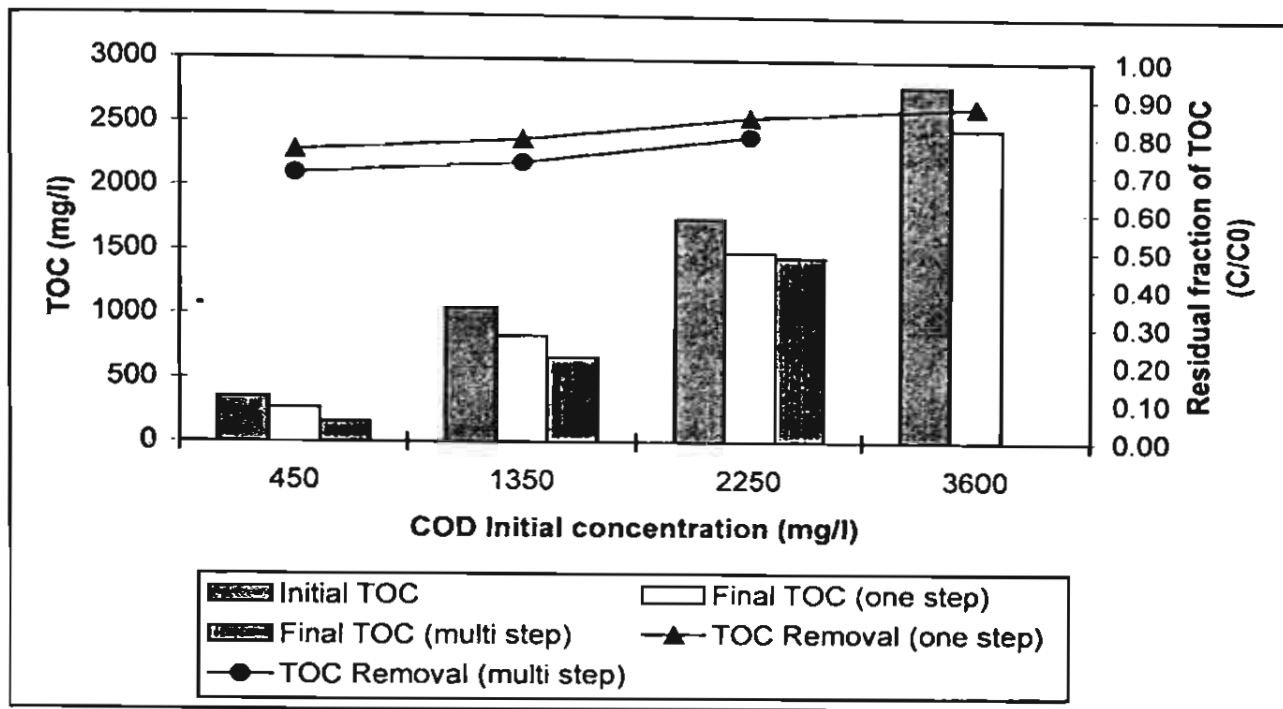
(ข)

รูปที่ 6.11 ค่าซีไอดี, บีไอดี, และ ทีไอซี ที่เวลา 0, 120 นาที และ C/C_0 ที่ค่าซีไอดีเริ่มต้นต่างๆ

(ก) ค่าซีไอดีที่เวลา 0, 120 นาที และ C/C_0 ที่ค่าซีไอดีเริ่มต้นต่างๆ

(ข) ค่าบีไอดี, ที่เวลา 0, 120 นาที และ C/C_0 ที่ค่าซีไอดีเริ่มต้นต่างๆ

(ค) ค่าทีไอซีที่เวลา 0, 120 นาที และ C/C_0 ที่ค่าซีไอดีเริ่มต้นต่างๆ



(ก)

รูปที่ 6.11 ค่าซีไอดี, บีไอดี, และ ทีไอซี ที่เวลา 0, 120 นาที และ C/C_0 ที่ค่าซีไอดีเริ่มต้นต่างๆ (ต่อ)

(ก) ค่าซีไอดีที่เวลา 0, 120 นาที และ C/C_0 ที่ค่าซีไอดีเริ่มต้นต่างๆ

(ข) ค่าบีไอดีที่เวลา 0, 120 นาที และ C/C_0 ที่ค่าซีไอดีเริ่มต้นต่างๆ

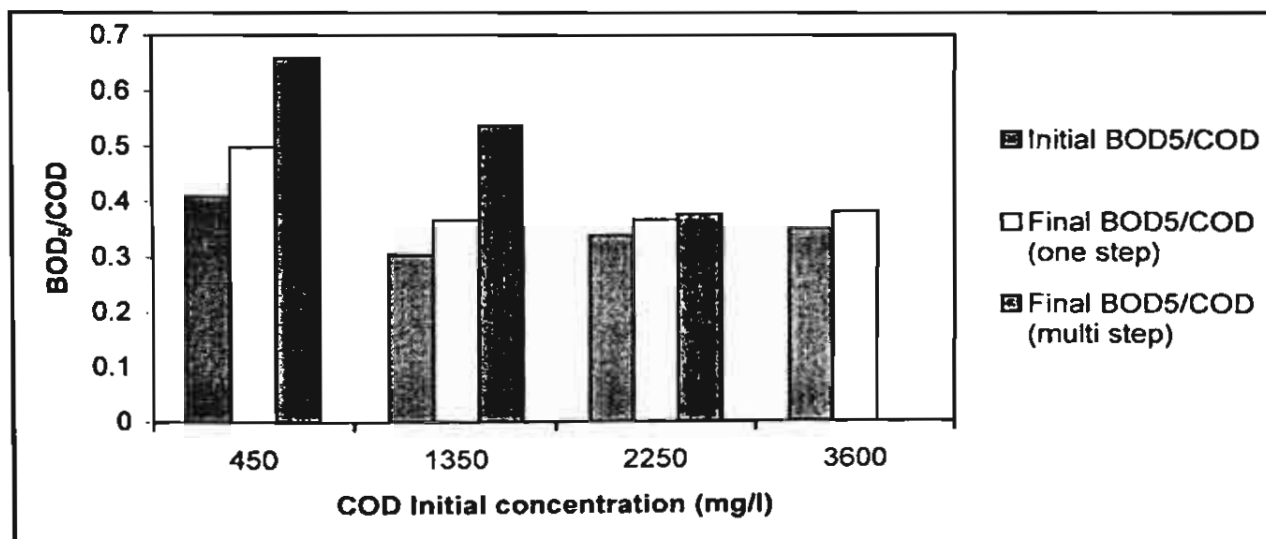
(ค) ค่าทีไอซีที่เวลา 0, 120 นาที และ C/C_0 ที่ค่าซีไอดีเริ่มต้นต่างๆ

นอกจากนี้เมื่อเทียบประสิทธิภาพของระบบเมื่อมีการเติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลา กับการเติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงครั้งเดียว พบว่าระบบที่มีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หลายครั้งจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดี, บีไอดี, และทีไอซีได้ดีกว่าระบบที่มีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงครั้งเดียว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลาเพื่อเพิ่มอนุโมลอิสระไฮดรอกซิลในเวลาที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบเป็นอย่างมาก โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการลดซีไอดีได้ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มประสิทธิภาพในการลดบีไอดีได้ประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามจากการทดลองของน้ำทิ้งสารเคมีนี้พบว่าการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบหลายช่วงเวลานั้นไม่สามารถทำการทดลองที่น้ำเสียที่มีค่าซีไอดีเริ่มต้นที่ค่าสูงกว่า 2250 มก./ล. ได้ เนื่องจากหลักการในการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คือจะเติมเมื่อพบว่าในระบบนั้นมีการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปจนหมด โดยที่น้ำเสียที่มีค่าซีไอดีมากกว่าค่าดังกล่าว ระบบจะมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เหลือค้างในระบบ ทำให้ไม่สามารถเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มได้ จึงไม่มีการรายงานผลของการ

ทดลองในส่วนของการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หลายช่วงเวลาในการทดลองชุดที่มีค่าซีไอดีเริ่มต้นสูงกว่า 2250 มก./ล.

6.1.5.4 แนวโน้มในการบำบัดน้ำเสีย (บีโอดี/ซีไอดี)

ผลการทดลองในขั้นตอนนี้ แสดงถึงผลของค่าซีไอดีเริ่มต้นที่แตกต่างกันต่อแนวโน้มในการบำบัดน้ำเสีย (บีโอดี/ซีไอดี) โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง โดยมีค่าพีเอชเริ่มต้น 3 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นที่อัตราส่วนของซีไอดีเริ่มต้นต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 1:1.5 โดยฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาคือ 120 นาที โดยเปลี่ยนแปลงค่าซีไอดีเริ่มต้นที่ 450, 1350, 2250, 3600 และ 4500 มก./ล. ตามลำดับ



รูปที่ 6.12 ค่า บีโอดี/ซีไอดี ที่ค่าซีไอดีเริ่มต้นต่างๆ ที่เวลา 120 นาที

จากการหาค่าบีโอดี/ซีไอดี ที่เวลาเริ่มต้นของค่าซีไอดีเริ่มต้น 450, 1350, 2250 และ 3600 มก./ล. มีค่าอยู่ที่ 0.4083, 0.3037, 0.3373 และ 0.3489 ตามลำดับ และจากรูปที่ 6.10 พบว่าเมื่อทำการทดลองที่พีเอชเริ่มต้น 3 โดยมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนของซีไอดีต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1:1.5 ทั้งแบบการเติมเพียงครั้งเดียวและการเติมแบบหลายช่วงเวลา โดยพบว่าที่น้ำทิ้งสารเคมีที่มีค่าซีไอดีเริ่มต้นที่ 450 มก./ล. นั้น ค่า บีโอดี/ซีไอดี จะเพิ่มมากขึ้นจาก 0.4083 ไปเป็น 0.4982 และ 0.6591 เมื่อมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบการเติมเพียงครั้งเดียว และการเติมแบบหลายช่วงเวลาตามลำดับ ส่วนในการทดลองที่ค่าซีไอดีเริ่มต้น 1350 มก./ล. นั้นการเพิ่มของค่าบีโอดี/ซีไอดีอยู่ในลักษณะเดียวกันกับการทดลองที่มีค่าซีไอดีเริ่มต้น 450 มก./ล. กล่าวคือค่าของบีโอดี/ซีไอดีจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการบำบัดด้วยการฉายแสงอัลตราไวโอเลตร่วมกับการเติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยมีค่าของบีโอดี/ซีไอดี จะเพิ่มมากขึ้นจาก 0.3037 ไปเป็น 0.3661

และ 0.5372 เมื่อมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบการเติมเพียงครั้งเดียว และการเติมแบบหลายช่วงเวลาตามลำดับ ทั้งนี้สังเกตได้ว่าค่าของ บีไอดี₅/ซีไอดี₅ มีแนวโน้มลดลงเมื่อน้ำเสียมีค่าซีไอดีเริ่มต้นมากขึ้น โดยเมื่อน้ำเสียมีค่าซีไอดีเริ่มต้นมีค่ามากกว่า 1350 มก./ล. ค่าบีไอดี₅/ซีไอดี₅ ที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียด้วย UV/H₂O₂ จะแตกต่างจากค่า บีไอดี₅/ซีไอดี₅ ของน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดน้อยมาก แสดงให้เห็นว่ากระบวนการ UV/H₂O₂ สามารถเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ เมื่อน้ำซีไอดีเริ่มต้นของน้ำเสียมีค่าน้อยกว่า 1350 มก./ล.เท่านั้น ซึ่งหากค่าซีไอดีเริ่มต้นมีค่ามากกว่า 1350 มก./ล. การบำบัดด้วยกระบวนการ UV/H₂O₂ จะส่งผลน้อยมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ค่าซีไอดีสูงขึ้นปริมาณของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยทำให้กระบวนการ UV/H₂O₂ ไม่สามารถย่อยสลายได้

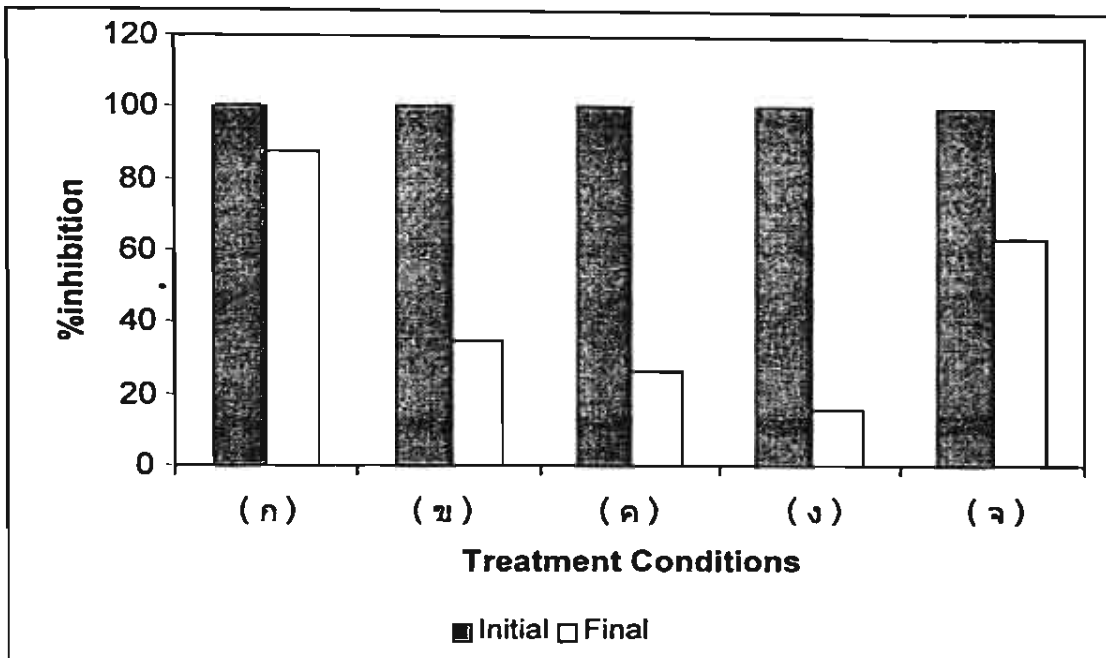
6.1.6 ผลการศึกษาการลดความเป็นพิษของน้ำทิ้งโรงพยาบาลด้วย Toxicity test

ในการทดลองเพื่อศึกษาการลดความเป็นพิษของน้ำทิ้งสารเคมีจากโรงพยาบาลนี้ ได้ใช้กระบวนการ UV/H₂O₂ ที่สภาวะต่างๆ มาทำการทดลองแล้วจึงเก็บน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วที่เวลา 240 นาที มาทำการทดสอบความเป็นพิษของน้ำเสียต่อจุลินทรีย์ โดยวิธีที่ใช้ในการทดสอบนี้เรียกว่า วิธีไบโอลูมิเนสเซนซ์ท็อกซิซิตีเทส (bioluminescent toxicity test) ซึ่งหลักการของวิธีการนี้คือ การวัดค่าการเปล่งแสงของแบคทีเรียก่อนและหลังจากการได้รับน้ำตัวอย่างที่นำมาทดสอบความเป็นพิษ

การทดลองในส่วนนี้ประกอบด้วยการลดความเป็นพิษของน้ำทิ้งสารเคมีที่มีค่าซีไอดีเริ่มต้น 1350 มก./ล. โดยใช้รูปแบบการทดลองแตกต่างกัน โดยมีผลการทดลองแสดงในรูปที่ 6.13 และ การหาการลดความเป็นพิษของน้ำทิ้งสารเคมีที่มีค่าซีไอดีเริ่มต้นแตกต่างกัน คือ 450, 1350, 2250 และ 3600 มก./ล. โดยผ่านการบำบัดด้วยการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับการเติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ผ่านมาในการทดลอง โดยผลการทดลองแสดงในรูปที่ 6.14

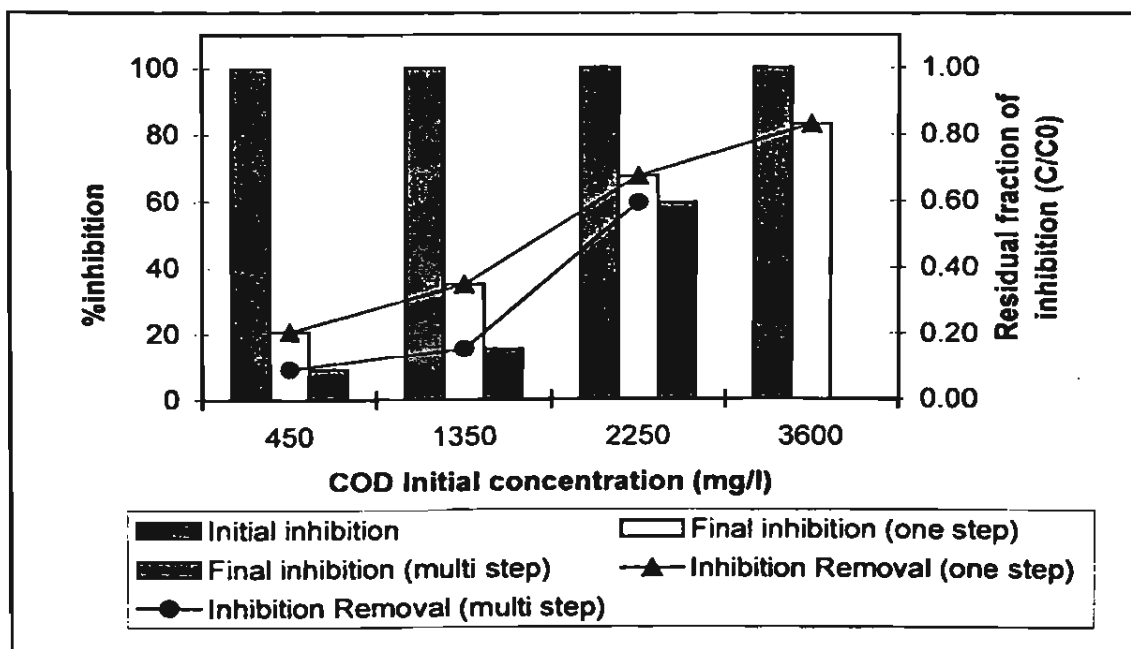
จากผลการทดลองในรูปที่ 6.13 พบว่าค่าความเป็นพิษของน้ำทิ้งสารเคมีเมื่อไม่ผ่านการบำบัดใดๆ พบว่ามีร้อยละของการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เป็น 100เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงถึงความเป็นพิษของน้ำทิ้งสารเคมีดังกล่าว ซึ่งมีแนวโน้มส่งผลต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพโดยตรง โดยจุลินทรีย์ในระบบบำบัดไม่สามารถย่อยสลายได้และอาจตายในที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในบทที่ 5 ที่ได้กล่าวมาแล้ว

เมื่อพิจารณาร้อยละของการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดที่สภาวะต่างๆ ด้วยวิธีการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าค่าการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยตามทฤษฎีแล้ว ที่ค่าความเข้มข้นที่ทำให้ร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์ Inhibition) ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.13 ร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ของน้ำเสียที่สภาวะการทดลองที่ค่าซีไอดี เริ่มต้น 1350 มก./ล. พีเอชเริ่มต้นที่ 3

- (ก) ค่าซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ (1:1.0) เดิมเพียงครั้งเดียว
 (ข) ค่าซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ (1:1.5) เดิมเพียงครั้งเดียว
 (ค) ค่าซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ(1:0.05) โดยเดิมแบบหลายช่วงเวลา
 (ง) ค่าซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ (1:0.10) โดยเดิมแบบหลายช่วงเวลา
 (จ) ค่าซีไอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ (1:0.20) โดยเดิมแบบหลายช่วงเวลา



รูปที่ 6.14 ร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ของน้ำเสียที่ค่าซีไอดีเริ่มต้นต่างๆ

แสดงถึงค่าความเป็นพิษในระดับที่จุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ในขณะที่ค่าความเข้มข้นที่ทำให้ร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ มากกว่า 50เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลค่าความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ซึ่งในน้ำเสียดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะส่งผลให้จุลินทรีย์ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

จากผลการทดลอง(รูปที่ 6.6) พบว่าการบำบัดน้ำทิ้งสารเคมีที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้น 1350 มก./ล. โดยใช้อัตราส่วนของค่าซีโอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ (1:0.10) โดยเติมแบบหลายช่วงเวลานั้น ให้ค่าร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่ำที่สุด คือ 18เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการทดลองที่ผ่านมา ในสภาวะดังกล่าวนอกจากจะเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดซึ่งให้ค่าซีโอดี, บีโอดี, และทีโอซีที่เหลือน้ำต่ำที่สุดแล้ว ยังลดค่าความเป็นพิษของน้ำทิ้งสารเคมีได้ดีที่สุดอีกด้วย ส่วนผลการทดลองในชุดอื่นๆ พบว่าที่อัตราส่วนการเติมสารเคมีที่ค่าซีโอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1:1.5 โดยเติมเพียงครั้งเดียวและที่อัตราส่วนการเติมสารเคมีที่ค่าซีโอดี:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1:0.05 โดยเติมแบบหลายช่วงเวลาสามารถลดค่าความเป็นพิษของน้ำทิ้งสารเคมีให้มีค่าร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงผลว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดที่สภาวะดังกล่าวมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์น้อยมาก และจุลินทรีย์มีแนวโน้มที่จะสามารถดำรงชีวิตและย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในสภาวะดังกล่าวได้

จากผลการทดลองในรูปที่ 6.14 ซึ่งเป็นการแสดงร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด UV/H_2O_2 เมื่อน้ำเสียมียค่าซีโอดีเริ่มต้นแตกต่างกัน พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่าร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลดลง โดยพบว่าเมื่อน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดนั้นมาจากน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง เช่น มากกว่า 2250 มก./ล. เป็นต้น การลดค่าความเป็นพิษของน้ำเสียจะมีค่าต่ำ ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดนั้นมาจากน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นเป็น 450 และ 1350 มก./ล. นั้น ร้อยละของการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ และ 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงว่าน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นในช่วงดังกล่าวเมื่อนำมาบำบัดด้วยกระบวนการ UV/H_2O_2 แล้วจะสามารถนำไปบำบัดต่อด้วยกระบวนการทางชีวภาพได้ โดยมีแนวโน้มที่จะไม่ส่งผลอันตรายกับจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ ส่วนน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในช่วง 2250 มก./ล. พบว่ามีค่าร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อยู่ที่ 60เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 50เปอร์เซ็นต์ มาเล็กน้อย ซึ่งแสดงว่าจุลินทรีย์อาจมีชีวิตรอดเมื่ออยู่ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วด้วย UV/H_2O_2

6.1.7 สรุปการบำบัดน้ำทิ้งสารเคมีด้วย UV/H_2O_2

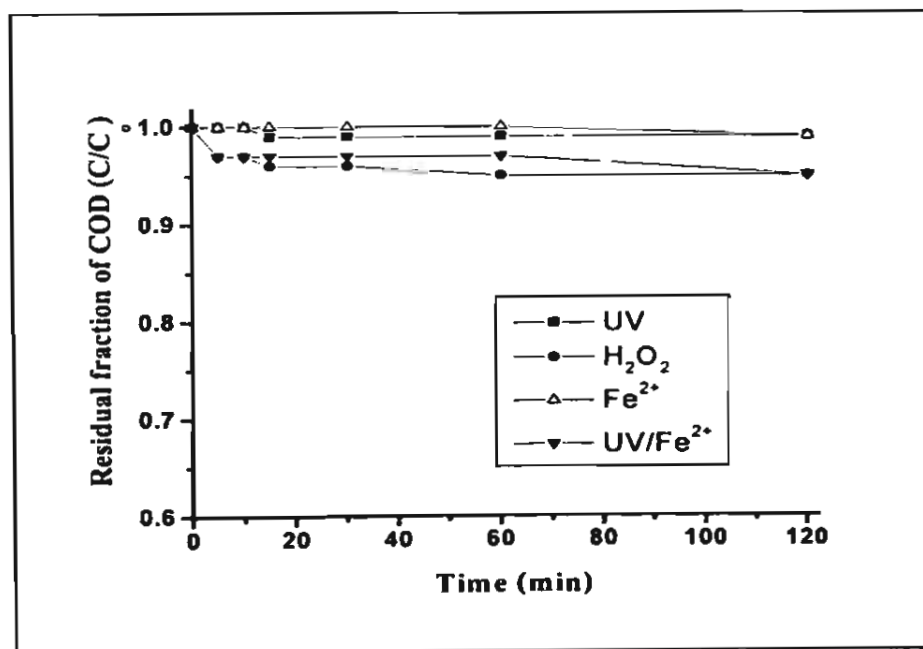
ผลจากการทดลองในชุดนี้แสดงให้เห็นว่าในการบำบัดน้ำทิ้งสารเคมีนั้น UV/H_2O_2 สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยสามารถลดค่าซีโอดีจากน้ำเสียลงได้ 75 เปอร์เซ็นต์ และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดดังกล่าวไม่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ และสามารถนำไปบำบัดต่อด้วยระบบบำบัดทาง

ชีวภาพได้ โดยสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดคือ ค่าพีเอชเริ่มต้น 3 โดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนซีไอดีเริ่มต้น:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 1:1.5 โดยเป็นการเติมแบบหลายช่วงเวลา พร้อมกับมีการฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์ ในช่วงเวลา 240 นาที โดยน้ำเสียที่สามารถบำบัดด้วยกระบวนการนี้ได้ดีต้องมีค่าซีไอดีเริ่มต้นในน้ำทิ้งสารเคมีต่ำกว่าหรือเท่ากับ 2250 มก./ล.

6.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้งสารเคมี ด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$

6.2.1 การทดลองชุดควบคุม

การทดลองสภาวะควบคุมเป็นการทดสอบการย่อยสลายสารอินทรีย์ปนเปื้อนในน้ำเสียโรงพยาบาลเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีแต่ผลกระทบของแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์ หรือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1,350 มก./ล. หรือ เพอร์สไอออนที่ความเข้มข้นเท่ากับ 135 มก./ล. เพียงอย่างเดียว และในสภาวะที่มีแสงอัลตราไวโอเลตรวมกับเพอร์สไอออนโดยไม่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปรากฏในน้ำ โดยแสดงผลในรูปที่ 6.14



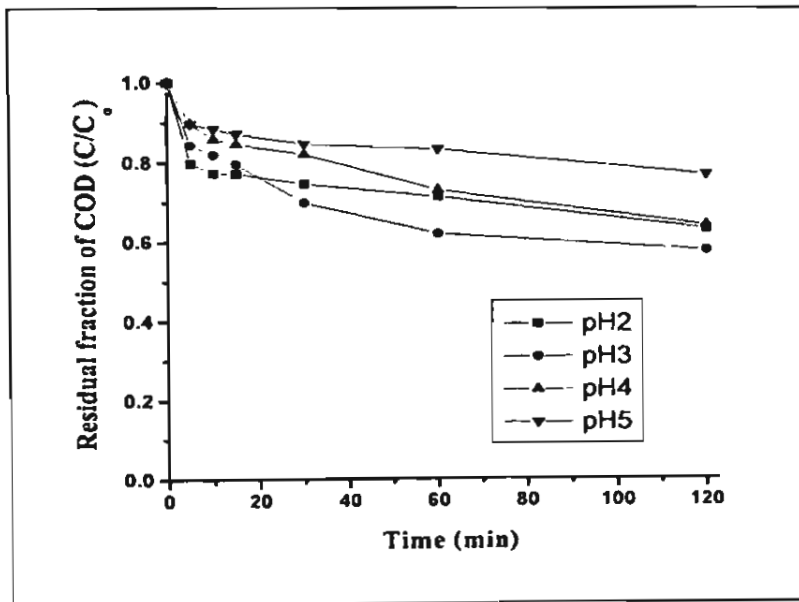
รูปที่ 6.14 ผลของสภาวะควบคุมต่อการลด ค่าซีไอดี

จากการทดลองพบว่าที่สภาวะควบคุมทั้ง 4 แบบไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ปนเปื้อนในน้ำเสียโรงพยาบาลได้ โดยสามารถดูได้จากค่าซีไอดีที่ลดลงได้ในทุกสภาวะมีค่าต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ทั้งหมด ทั้งนี้คาดว่าเป็นผลมาจากสารเคมีในน้ำเสียโรงพยาบาลเป็นสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้ยาก ดังนั้นสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียโรงพยาบาลจึงไม่สามารถที่จะถูกออกซิไดซ์ได้อย่างสมบูรณ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือแสงอัลตราไวโอเลตเพียงอย่างเดียวได้

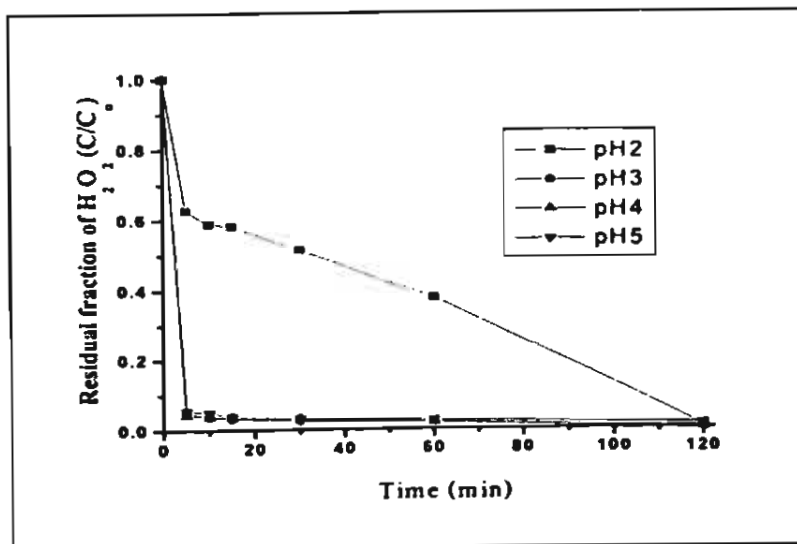
6.2.2 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

6.2.2.1 ผลของพีเอชที่มีต่อการลดค่าซีโอดีตามช่วงเวลา

ผลกระทบของค่าพีเอชที่มีต่อการย่อยสลายน้ำเสียจากโรงพยาบาลด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ทำการทดลองโดยให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงที่ที่ 1350 มก./ล. และปริมาณเฟอร์รัสไอออนคงที่ที่ 135 มก./ล. หรือ คิดเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าซีโอดีต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสไอออน คือ 1 ต่อ 1 ต่อ 0.1 ทำการแปรผันค่าพีเอชที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ จากรูปที่ 6.15 (ก) แสดงการย่อยสลายน้ำเสียโรงพยาบาล ที่พีเอช 2, 3, 4 และ 5 และ รูปที่ 6.15 (ข) แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในน้ำ



(ก) $\text{COD}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{Fe}^{2+} = 1:1:0.1$



(ข) $\text{COD}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{Fe}^{2+} = 1:1:0.1$

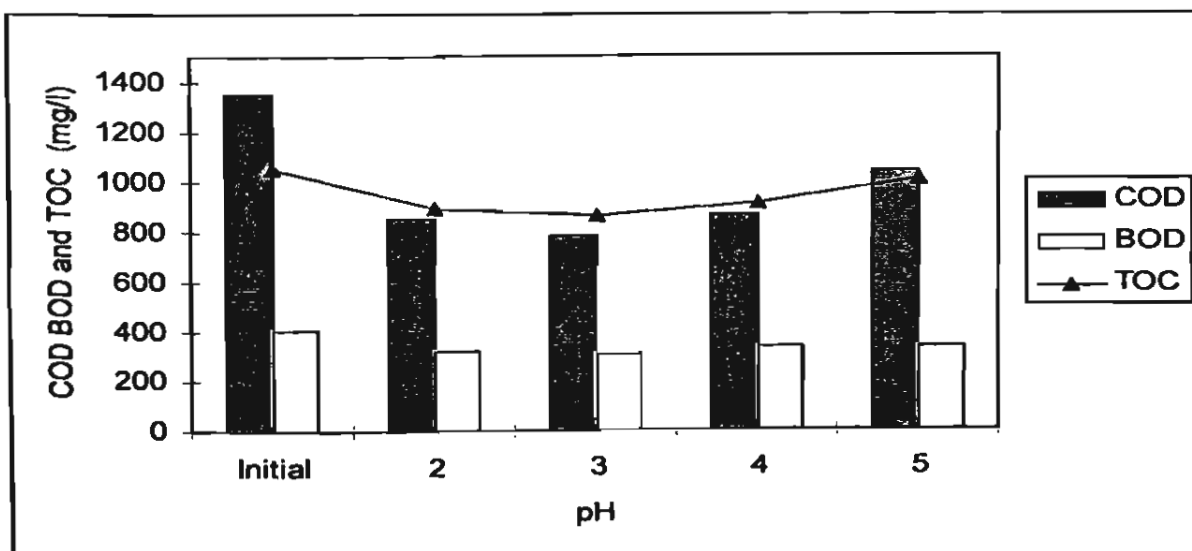
รูปที่ 6.15 ผลกระทบของพีเอชในกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ที่มีต่อ

(ก)ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี (ข)ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

กระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ นี้สามารถลดค่าซีโอดีได้เป็น 37, 43, 36 และ 24 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและลดได้สูงสุดถึง 43 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอชมีค่าเท่ากับ 3 จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมากระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ จะมีค่าพีเอชดีที่สุดเท่ากับ 3 (Pignatello et. al., 1999) ทั้งนี้เนื่องมาจากเฟอร์รัสที่พีเอช 2-3 จะอยู่ในรูป $\text{Fe(OH)}^{2+}(\text{H}_2\text{O})_5$ ซึ่งเป็นรูปของเฟอร์รัสที่มีค่าคงที่ของการดูดซับแสงกว้างที่สุด ทำให้เกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ($\text{OH}^\cdot$) ได้ดีที่สุด จากรายงานการวิจัยพบว่าในกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระไฮดรอกซิลได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด (Kang et. al., 2000) นอกจากนี้ยังพบว่าพีเอชในช่วงกรดเป็นพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ในการบำบัดน้ำเสียหลายชนิด เช่น น้ำชะขยะมูลฝอย (Kim et. al., 1997) สารอินทรีย์ที่มีในโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (Maletzky and Bauer, 1998) สีในน้ำเสียจากโรงงานสีย้อม (Kang et. al., 1999) เป็นต้น

6.2.2.2 ผลของการลดค่า ซีโอดี, บีโอดี, และทีโอซี ของน้ำเสียที่ค่าพีเอชต่างๆ

ในส่วนของการทดลองนี้แสดงถึงผลของการลดค่า ซีโอดี, บีโอดี, และทีโอซี ของน้ำเสียที่ค่า พีเอชต่างๆด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ จากรูปที่ 6.16 แสดงถึงการย่อยสลายน้ำเสียโรงพยาบาลที่พีเอช 2, 3, 4 และ 5 สามารถลดค่าซีโอดีจากที่ความเข้มข้นเริ่มต้นจาก 1350 มก./ล. ลงมาที่ 853.75, 780.72, 865.38 และ 1,038.46 มก./ล. ตามลำดับและที่พีเอชดังกล่าว สามารถลดค่า บีโอดี, จาก 410 มก./ล. เหลือ 320.25, 299.89, 333.33 และ 333.33 มก./ล. ตามลำดับและลดค่าทีโอซีจาก 1,050 มก./ล. เหลือ 897, 862.5, 908.5 และ 1,002 มก./ล. ตามลำดับ



รูปที่ 6.16 ผลกระทบของพีเอชในกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ที่มีต่อประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี, บีโอดี, และ ทีโอซี

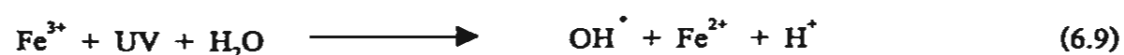
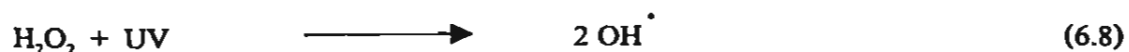
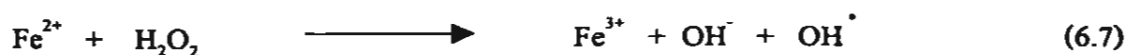
จากกราฟผลของพีเอชในช่วงค่าที่เป็นกรดส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดี, บีไอดี, และทีไอซี ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นในการนำกระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ ไปใช้งานสำหรับน้ำเสียจากโรงพยาบาลประเภทนี้ถ้าค่าเริ่มต้นของค่าพีเอชอยู่ในช่วงค่าที่เป็นกรดแล้วสามารถนำมาผ่านกระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ นี้ได้โดยไม่ต้องทำการปรับพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้น

6.2.3 ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

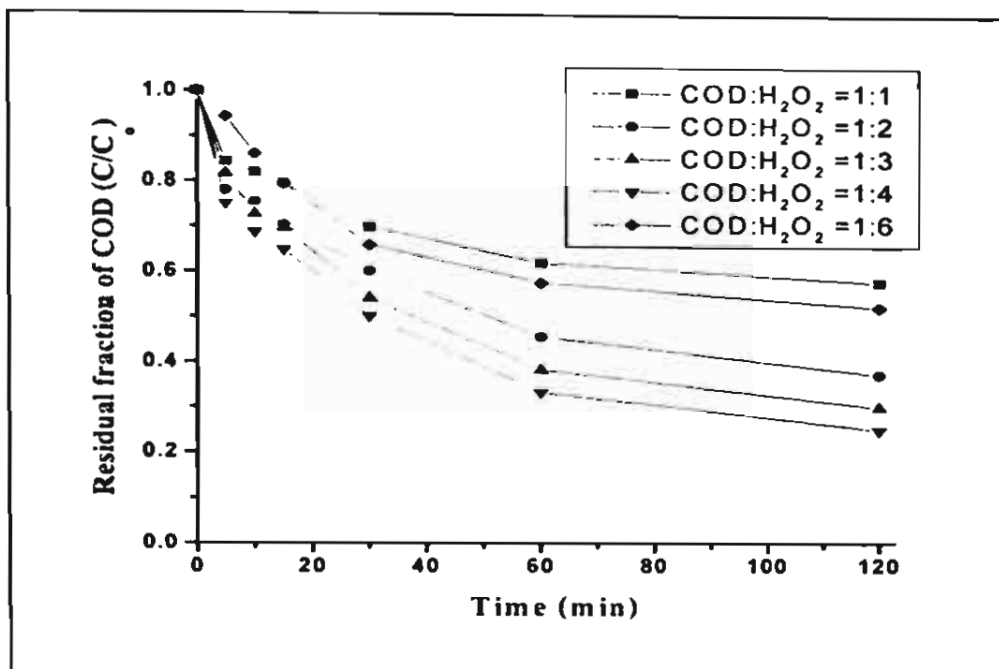
6.2.3.1 ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีต่อการลดค่าซีไอดีตามช่วงเวลา

ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นที่มีต่อการย่อยสลายน้ำเสียจากโรงพยาบาลด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ ทำการทดลองโดยใช้ค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองที่ 6.2.1 โดยมีพีเอชของการทดลองเป็น 3 และทำการทดลองเมื่อมีปริมาณเฟอร์รัสไอออนที่ 67.5 มก./ล. หรือ คิดเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าซีไอดีต่อเฟอร์รัสไอออน คือ 1 ต่อ 0.05 เท่าของค่าซีไอดีเริ่มต้น และแปรเปลี่ยนค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 1,350, 2,700, 4,050, 5,400 และ 8,100 มก./ล หรือคิดเป็น 1, 2, 3, 4 และ 6 เท่าของค่าซีไอดีเริ่มต้น ตามลำดับ ดังรูปที่ 6.17 แสดงอัตราส่วนของค่าซีไอดี (ก) และอัตราส่วนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

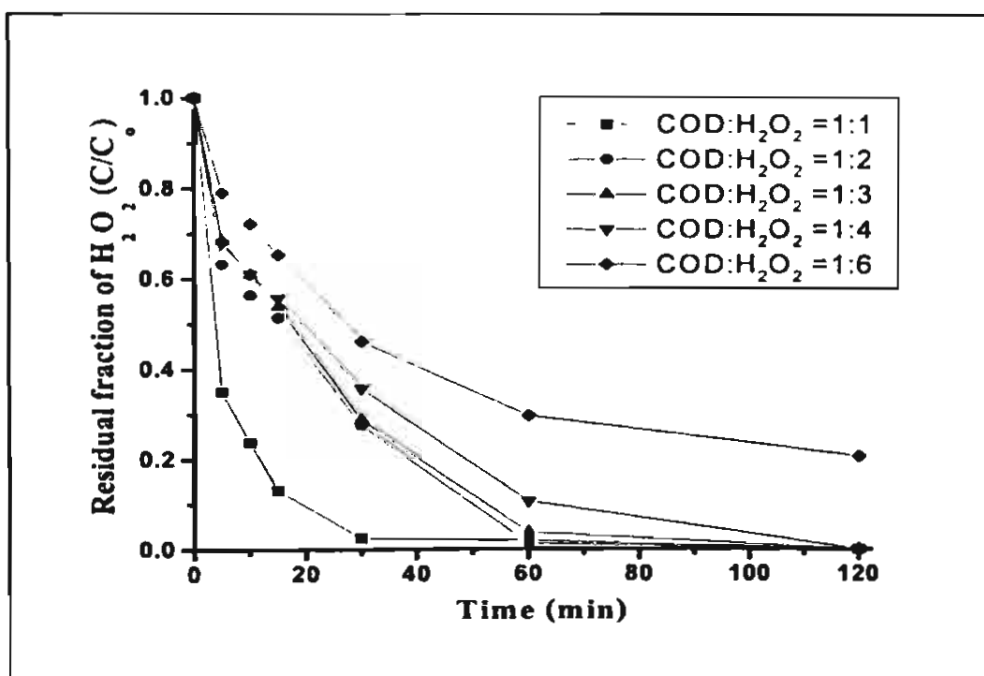
จากกราฟจะเห็นได้ว่าที่พีเอช 3 เฟอร์รัสไอออน 67.5 มก./ล เมื่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นในน้ำมีค่าแตกต่างกันเป็น 1,350, 2,700, 4,050, 5,400 และ 8,100 มก./ล ทำให้ลดค่าซีไอดีลดลงได้ 43 , 63 , 70 , 75 และ 48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ตามลำดับ ทั้งนี้อาจอธิบายได้ว่าการที่ปฏิกิริยาหลักของการเกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลของกระบวนการ $\text{Fe(II)/H}_2\text{O}_2\text{/UV}$ เกิดจาก 3 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการของกระบวนการเฟนตัน (Fenton Reaction) กระบวนการโฟโตไลซิสของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Photolysis of Hydrogen Peroxide) และกระบวนการโฟตรีดักชันของเฟอร์ริกไอออน (Photoreduction of Ferric ion) ตามสมการที่ 6.7, 6.8 และ 6.9 ตามลำดับ (Baxendale and Wilson, 1956; Faust and Hoigne, 1990; Fenton, 1894)



และจากกราฟในรูป 6.16 แสดงถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะพบว่าเมื่อให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณที่น้อยเกินไป เช่น ที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1,350 มก./ล. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะถูกนำไปใช้ในการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว ทำให้หมดไปภายในเวลาไม่ถึง 30 นาที จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์มีค่าประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้มากขึ้น เช่น เมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2700, 4050 และ 5400 มก./ล. จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.17 ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นในกระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ ที่มีต่อ

(ก) ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของน้ำเสีย

(ข) ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในน้ำ
ที่สภาวะการทดลองต่างๆ

การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพของกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ เมื่อมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นนั้นเนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยดังแสดงใน สมการที่ 6.7 และ 6.8 อย่างไรก็ตามก็มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มากเกินไป เช่น เมื่อมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 8,100 มก./ล ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะแข่งทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลทำให้ประสิทธิภาพลดลง ซึ่งอธิบายได้โดยสมการที่ 6.10 (Walling, 1975; Perez et. al., 2002)

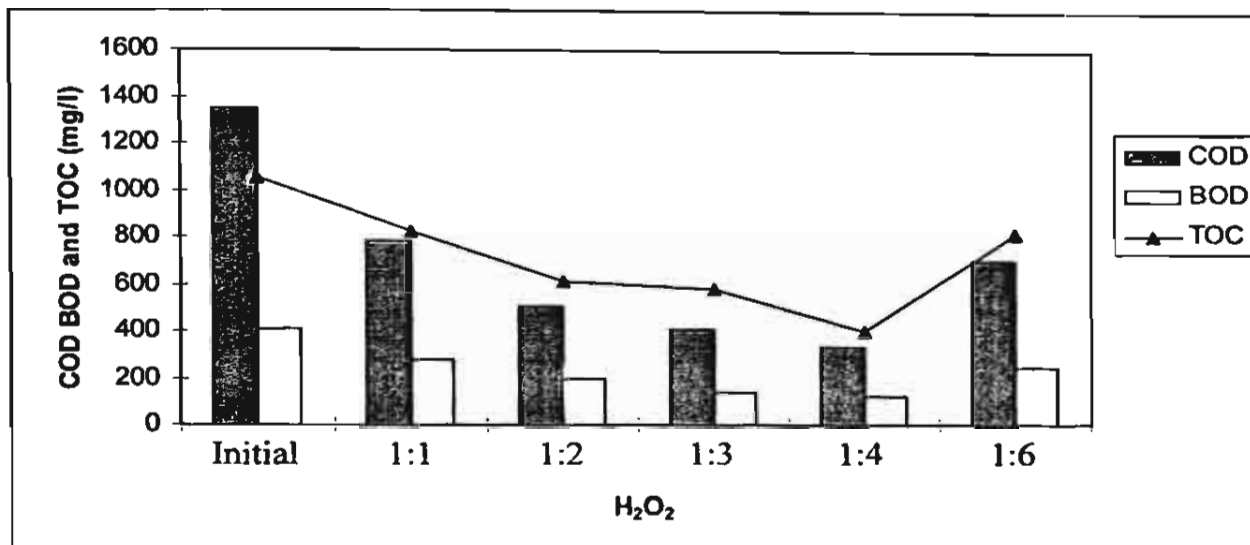


จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าในการใช้กระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ในการบำบัดน้ำเสียควรมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมจึงจะสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในการทดลองโดยใช้กระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ บำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5,400 มก./ล. ที่เฟอรัสไอออนเท่ากับ 67.5 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุด คือ สามารถลดค่า ซีโอดีลงได้ 67.5เปอร์เซ็นต์

6.2.3.2 ผลของการลดค่าซีโอดี, บีโอดี, และทีโอดีของน้ำเสียที่ค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ

ในส่วนของการทดลองนี้แสดงถึงผลของการลดค่า ซีโอดี, บีโอดี, และทีโอดี ของน้ำเสียที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่าง ๆ ด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ จากรูปที่ 6.18 โดยแสดงถึงภาพรวมของการย่อยสลายน้ำเสียโรงพยาบาลในรูปของค่าซีโอดี, บีโอดี, และทีโอดี โดยทำแปรเปลี่ยนค่าเริ่มต้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ค่าต่างๆ โดยกำหนดให้มีค่าที่เอชเริ่มต้นในการทำปฏิกิริยาครั้งที่พีเอช 3 และ ทดลองที่เฟอรัสไอออนเท่ากับ 67.5 มก./ล. หรือคิดเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าซีโอดีต่อเฟอรัสไอออนเท่ากับ 1 ต่อ 0.05 ทำแปรเปลี่ยนอัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 1, 2, 3, 4 และ 6 เท่าของค่าซีโอดีเริ่มต้น

จากรูปที่ 6.18 พบว่าสถานะที่ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลนี้ได้ดีที่สุด คือที่อัตราส่วนระหว่างซีโอดีต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1 ต่อ 4 โดยสามารถลดค่าซีโอดีจาก 1350 มก./ล.เหลือ 337.5 มก./ล. ค่าบีโอดี, จาก 395 มก./ล. มาเป็น 195 มก./ล. และค่าทีโอดีจาก 1100 มก./ล.มาเป็น 390 มก./ล. เมื่อนำผลดังกล่าวพิจารณาพร้อมกับผลการทดลองในรูปที่ 6.17 จะพบว่าค่าต่างๆที่ลดลงมานั้นมีลักษณะในทิศทางเดียวกันในการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ นี้ จำเป็นจะต้องเติมในปริมาณที่เหมาะสมถ้าน้อยเกินไปจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลในปริมาณที่น้อยหรือถ้ามากเกินไปอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลที่เกิดขึ้นนั้นจะไปจับตัวกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำให้ความสามารถในการลดค่าซีโอดี, บีโอดี, และทีโอดีต่ำลงมา



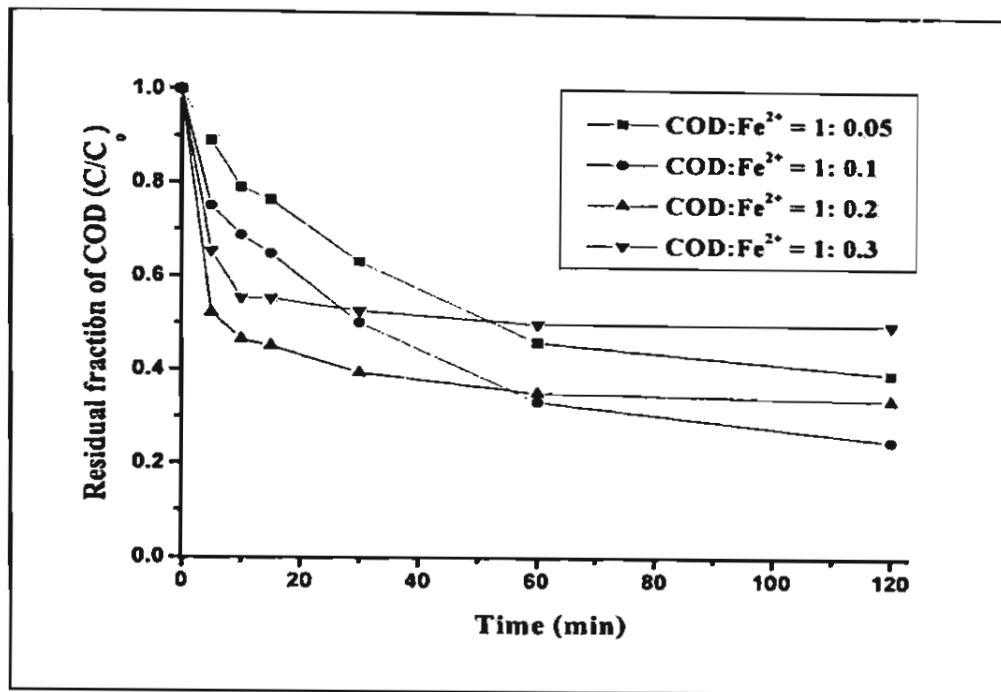
รูปที่ 6.18 ผลกระทบของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในกระบวนการ Fe(II)/H₂O₂/UV ที่มีต่อประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดี, บีไอดี, และ ทีไอซี

6.2.4 ผลของเฟอร์รัสไอออนที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

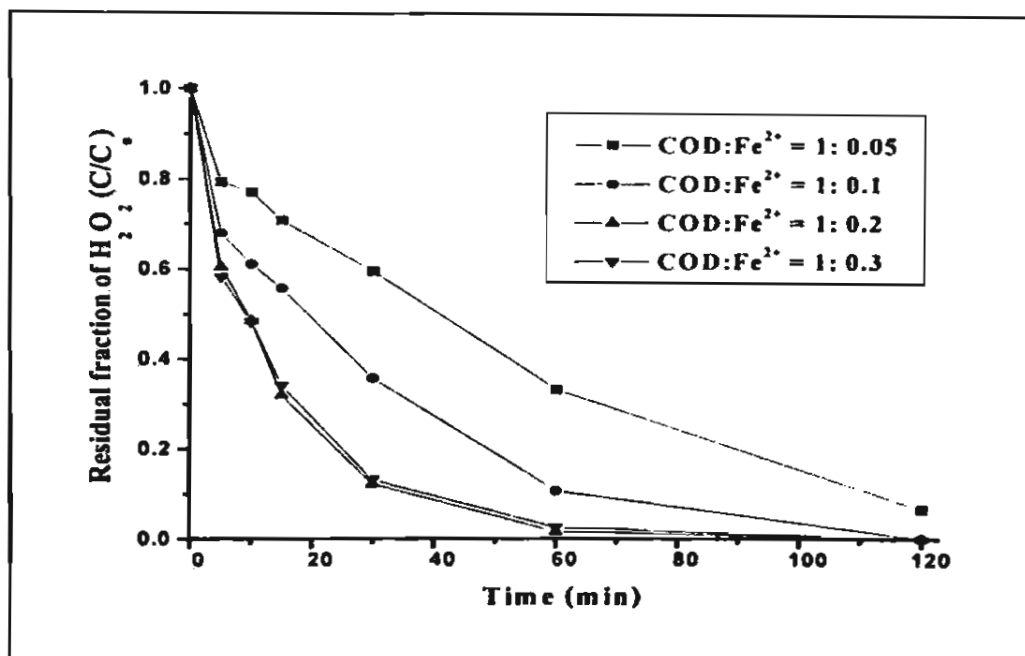
6.2.4.1 ผลของเฟอร์รัสไอออนที่มีต่อการลดค่าซีไอดีตามช่วงเวลา

ผลกระทบของค่าเฟอร์รัสไอออนเริ่มต้นที่มีต่อการย่อยสลายน้ำเสียจากโรงพยาบาลด้วยกระบวนการ Fe(II)/H₂O₂/UV ทำการทดลองโดยการให้พีเอชเริ่มต้นในการทำปฏิกิริยาที่ได้จากการทดลองที่ 6.2.1 เท่ากับพีเอช 3 คงที่ และทดลองการเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออน โดยให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 5,400 มก./ล. หรือ คิดเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าซีไอดีต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คือ 1 ต่อ 4 เท่าของค่าซีไอดีเริ่มต้นซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลองส่วนที่ 6.2.2 และในการทดลองนี้ ทำการแปรผันค่าเฟอร์รัสไอออนในแต่ละค่าที่ 67.5, 135, 270 และ 405 มก./ล. หรือคิดเป็น 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 เท่าของค่าซีไอดีเริ่มต้น ตามลำดับ ผลของการทดลองแสดงในรูปที่ 6.19 และ 6.20

จากกราฟพบว่าที่พีเอช 3 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5400 มก./ล. ปริมาณเฟอร์รัสไอออนเริ่มต้นเท่ากับ 67.5, 135, 270, 405 มก./ล. สามารถลดค่าซีไอดีได้ 61, 75, 67 และ 50เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลของปริมาณของเฟอร์รัสไอออนเริ่มต้นจะส่งผลโดยตรงต่อความเร็วของปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลเนื่องจากเฟอร์รัสไอออนเป็นตัวเร่งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในการสร้างอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วสอดคล้องกับกราฟไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังรูปที่ 6.19 เมื่อพิจารณาในกรณีเพิ่มค่าความเข้มข้นเฟอร์รัสให้มากขึ้นจาก 67.5 มก./ล. ไปเป็น 135 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีไอดีจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยจาก 61 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 75 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เมื่อเฟอร์รัสไอออนเพิ่มขึ้นปริมาณอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลในน้ำจะเพิ่มขึ้นตามทำให้การกำจัดซีไอดีมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นดังอธิบายได้จากสมการ 6.10



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.19 ผลกระทบของปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นในกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ที่มีต่อ
 (ก) ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของน้ำเสีย
 (ข) ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในน้ำ

อย่างไรก็ดีเมื่อมีเฟอร์รัสไอออนในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดี เนื่องจากอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลที่เกิดขึ้นจะไปทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และทำปฏิกิริยากับเฟอร์รัสไอออน ดังสมการที่ 6.11 และ 6.12 (Walling, 1975; Perez et al., 2002) ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีเฟอร์รัสไอออนเริ่มต้นที่ 270 และ 405 ลดต่ำลงอยู่ที่ 67เปอร์เซ็นต์ และ 50เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าค่าซีโอดีที่ถูกกำจัดโดยเฟอร์รัสไอออนเริ่มต้นที่ 135 มก./ล. ซึ่งสามารถลดค่า ซีโอดีได้สูงสุดที่ 75เปอร์เซ็นต์

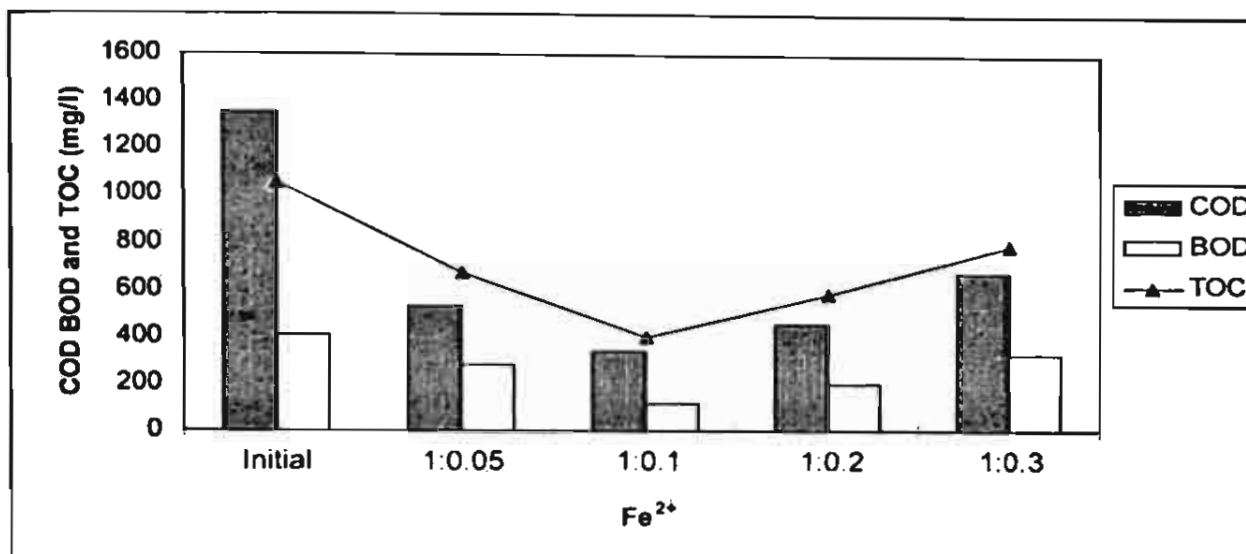


6.2.4.2 ผลของการลดค่าซีโอดี, บีโอดี, และทีโอซี ของน้ำเสียที่ค่าเฟอร์รัสไอออนต่างๆ

ในส่วนของการทดลองนี้แสดงถึงผลของการลดค่าซีโอดี, บีโอดี, และทีโอซี ของน้ำเสียที่ความเข้มข้นเฟอร์รัสไอออนต่างๆด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ จากรูปที่ 6.19 แสดงถึงการย่อยสลายน้ำเสียโรงพยาบาลในรูปของค่าซีโอดี, บีโอดี, และทีโอซี โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าเริ่มต้นของเฟอร์รัสไอออนที่ค่าต่างๆ โดยให้ค่าพีเอชคงที่ที่ 3 และเลือกปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 5400 มก./ล. หรือคิดเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าซีโอดีต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1 ต่อ 4 เท่า ซึ่งได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ และเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเฟอร์รัสไอออนที่ 0.05, 0.1, 0.2 และ 0.3 เท่าของค่าซีโอดีเริ่มต้น โดยแสดงผลของการทดลองในรูปที่ 6.20

จากกราฟพบว่าค่าของซีโอดี, บีโอดี, และทีโอซีที่ลดลงมานั้นมีลักษณะในทิศทางเดียวกับการทดลองที่ 6.2.4.1 กล่าวคือ ในการเติมปริมาณเฟอร์รัสไอออนจะต้องเติมในปริมาณที่เหมาะสมและสัมพันธ์กับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ถ้ามีในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลอย่างรวดเร็วและไปจับตัวกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ส่งผลต่อคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพที่ลดลง

ปริมาณเฟอร์รัสไอออนเริ่มต้นที่มีต่อการลดค่าความสกปรกทั้งในแง่ของ ซีโอดี, บีโอดี, และทีโอซี โดยจะเห็นได้จากทุกสภาวะที่มีการเปลี่ยนค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยปริมาณเฟอร์รัสไอออน ที่ให้ผลในการลดค่าซีโอดี, บีโอดี, และทีโอซี ดีที่สุดจะเป็น 1 ต่อ 0.1



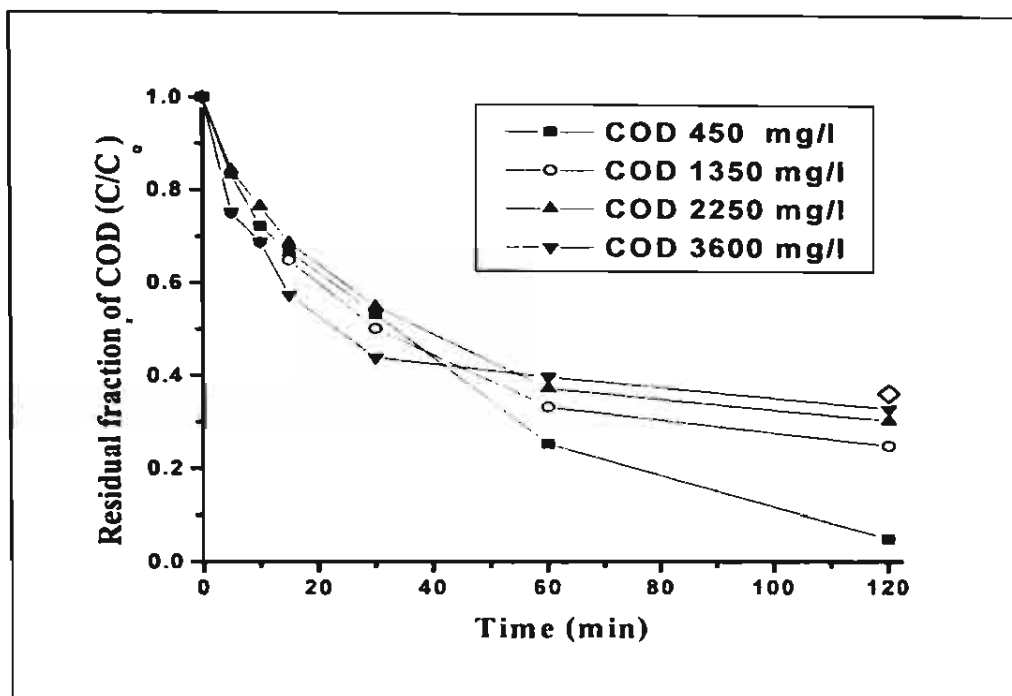
รูปที่ 6.20 ผลกระทบของเฟอร์รัสไอออนในกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ที่มีต่อประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดี, บีไอดี, และทีไอซี

6.2.3 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย

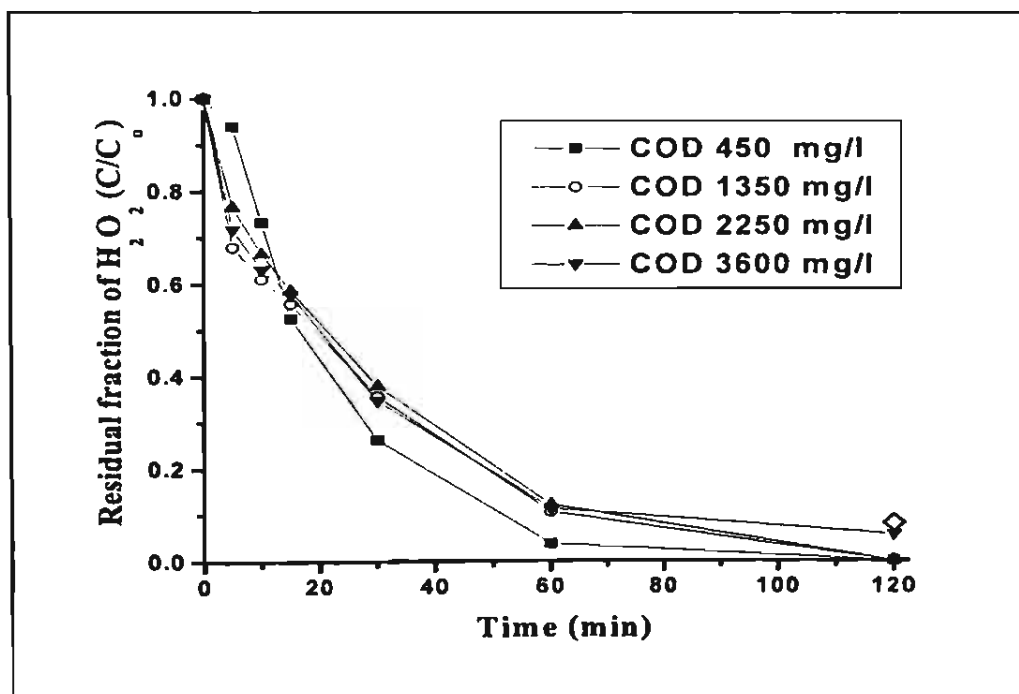
6.2.3.1 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีต่อการลดค่าซีไอดีตามช่วงเวลา

ผลของค่าความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีต่อการย่อยสลายน้ำเสียจากโรงพยาบาลด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ทำการทดลองโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ คือ ทำการทดลองที่พีเอช 3 โดยมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเฟอร์รัสไอออน คิดเป็น อัตราส่วนระหว่างค่าซีไอดีต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสไอออน คือ 1 ต่อ 4 ต่อ 0.1 เท่าของค่าซีไอดีเริ่มต้น โดยในการทดลองชุดนี้ แปรเปลี่ยนค่าซีไอดีเริ่มต้นของน้ำเสียที่ 450, 1350, 2250 และ 3600 มก./ล. (หมายเหตุ: การทดลองนี้ทำโดยนำน้ำเสียสารเคมีที่มีความเข้มข้น 3600 มก./ล. และนำไปเจือจางให้ได้ค่าซีไอดีตามต้องการ) ผลการทดลองโดยแสดงสัดส่วนของซีไอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในรูปที่ 6.21 (ก) และสัดส่วนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่แสดงในรูปที่ 6.21 (ข)

จากรูปที่ 6.21 แสดงถึงผลกระทบของปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีต่อการย่อยสลายน้ำเสียด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ที่อัตราส่วนระหว่างค่าซีไอดีต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสไอออนที่เท่ากับ 1 ต่อ 4 ต่อ 0.1 นั้นจะพบว่าที่ค่าซีไอดีเริ่มต้นที่ความเข้มข้นเพียง 450 มก./ล. นั้นประสิทธิภาพในการบำบัดจะสูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 120 นาทีและเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 1350, 2250 และ 3600 มก./ล. สามารถลดค่าซีไอดีได้ 75 , 70 และ 67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.21 ผลกระทบของปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นในกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ที่มีต่อ

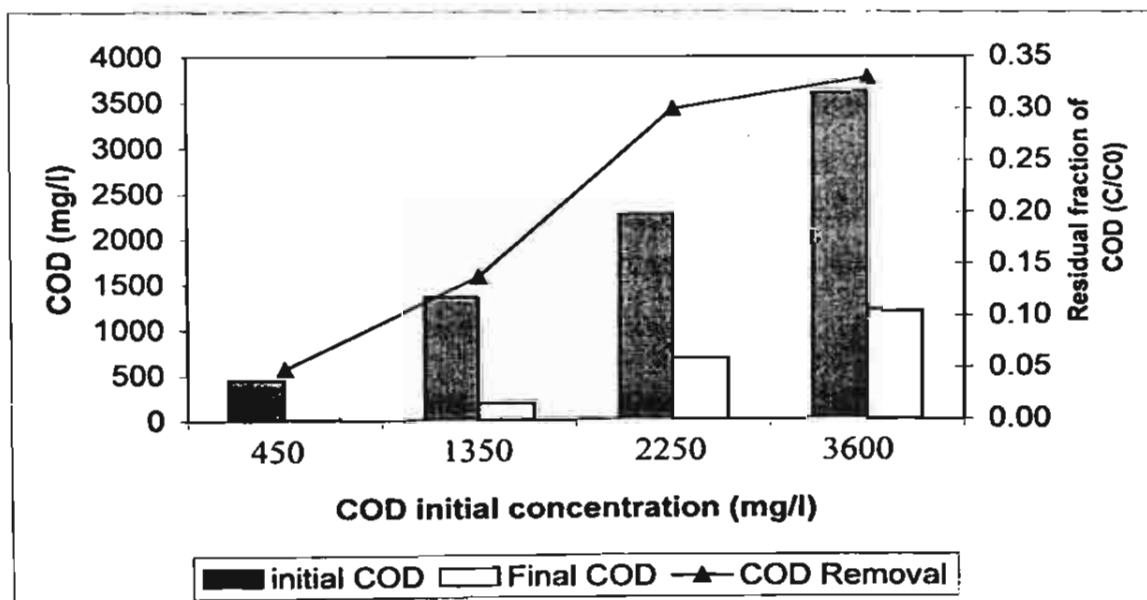
(ก) ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของน้ำเสีย

(ข) ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในน้ำ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นให้สูงขึ้นตั้งแต่ 1350 มก./ล. ขึ้นไป ประสิทธิภาพในการย่อยสลายจะแตกต่างกันไม่มากนักเนื่องจากในน้ำเสียจากโรงพยาบาลชนิดนี้มีสารที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้ โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นให้สูงขึ้น โดยให้อัตราส่วนระหว่างค่าซีไอดีต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสไอออนคงที่ จะทำให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเฟอร์รัสไอออนสูงขึ้นตามความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย จึงทำให้สารที่สามารถบำบัดด้วยกระบวนการนี้จึงถูกบำบัดไปด้วย แต่อย่างไรก็ดีในน้ำเสียชนิดนี้ยังคงมีสารบางชนิดที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ยังคงอยู่ทำให้ปริมาณสารที่ไม่สามารถย่อยสลายนี้ไม่ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นให้สูงขึ้นเพียงใด ประสิทธิภาพในการบำบัดจึงไม่เพิ่มมากขึ้นเท่าใดนัก

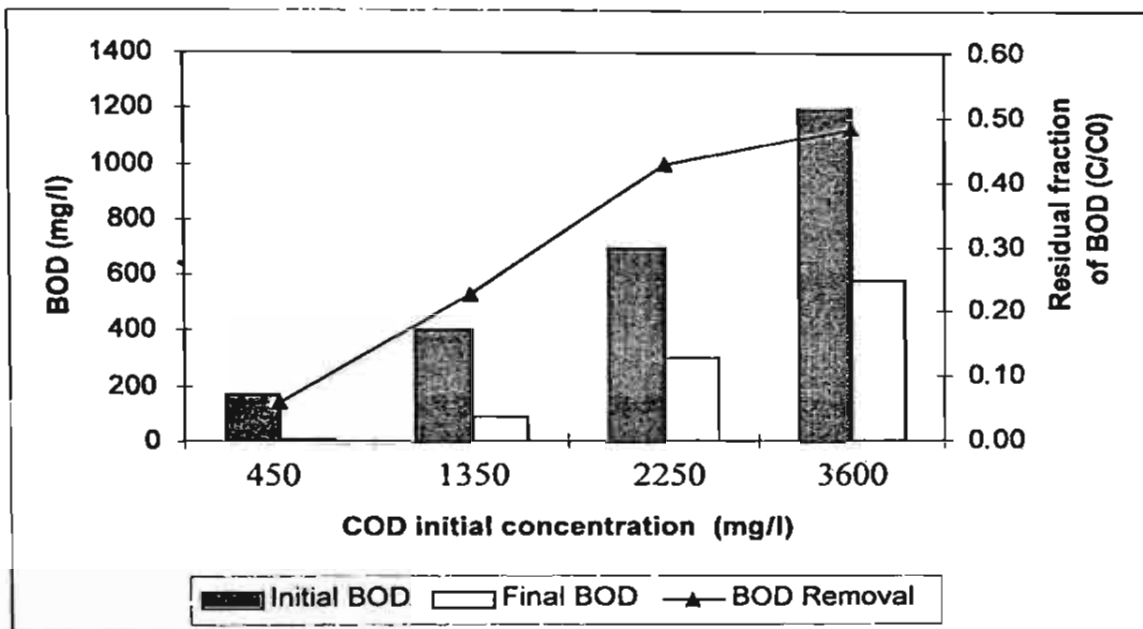
6.2.3.2 ผลของการลดค่าซีไอดี, บีไอดี, และทีไอซีของน้ำเสียที่ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ

ผลของการลดค่าซีไอดี, บีไอดี, และทีไอซีของน้ำเสียที่ค่าพีเอชต่างๆด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ แสดงดังรูปที่ 6.22

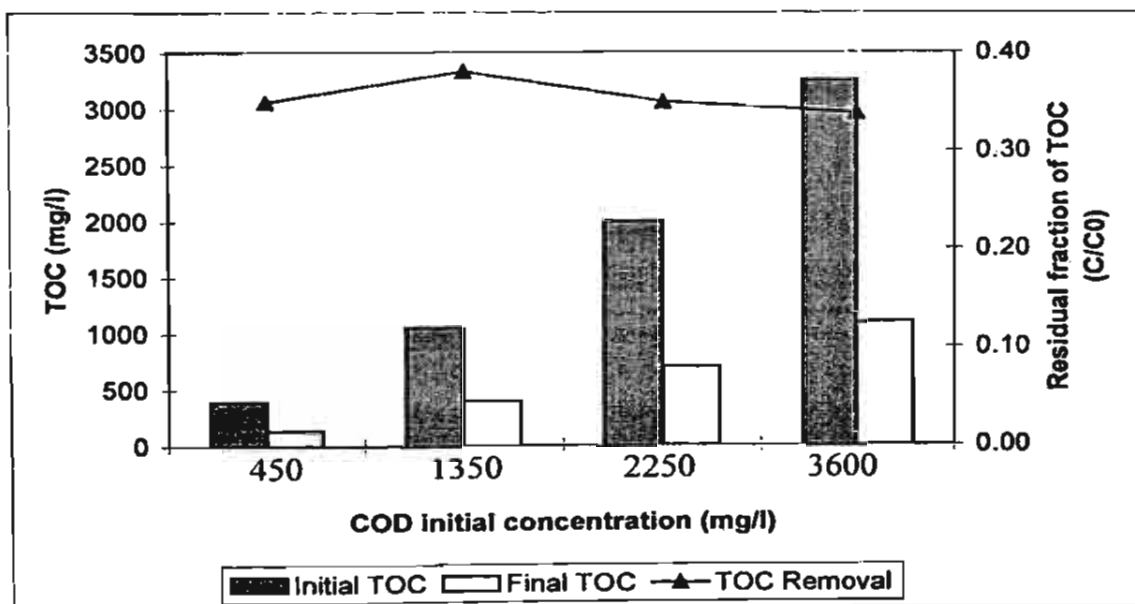


(ก)

รูปที่ 6.22 ผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้นที่ส่งผลต่อกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ในการลดค่าของ (ก) ซีไอดี (ข) บีไอดี, และ (ค) ทีไอซี



(ข)



(ค)

รูปที่ 6.22 ผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้นที่ส่งผลต่อกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ในการลดค่าของ (ก) ซีไอดี (ข) บีไอดี, และ (ค) ทีไอซี(ต่อ)

จากรูปที่ 6.22 แสดงถึงการย่อยสลายน้ำเสียโรงพยาบาล ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเท่ากับ 1350, 2250, 3600 และ 4500 มก./ล. ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีเป็น 95, 86, 70 และ 67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีเป็น 94, 77, 57 และ 52 เปอร์เซ็นต์ ส่วนประสิทธิภาพในการลดค่าทีโอดีเป็น 65, 62, 65 และ 66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากกราฟจะพบว่าที่ความเข้มข้นของน้ำเสียเริ่มต้นสูงขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดทั้งค่าบีโอดี, และซีโอดี จะมีค่าลดลง ในขณะที่ประสิทธิภาพในการลดค่าทีโอดีไม่เปลี่ยนแปลงไปกับค่าซีโอดีของน้ำเสียเริ่มต้น ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำเสียจากโรงพยาบาลมีสารอินทรีย์บางชนิดที่ไม่สามารถย่อยสลายด้วยกระบวนการโฟโตเฟน-คันจึงทำให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการลดค่าทีโอดีไม่เปลี่ยนแปลง

เมื่อเทียบค่าค่าสุดของซีโอดีและบีโอดีที่กระบวนการ $\text{Fe(II)/H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ สามารถบำบัดได้กับค่า ค่าสุดของซีโอดีและบีโอดีที่ระบบบำบัดทางชีวภาพสามารถบำบัดได้จากการทดลองที่แสดงไว้ในบทที่ 5 ซึ่งได้รายงานไว้ว่า ถ้าน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าซีโอดีต่ำกว่า 500 มก./ล. ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพจะสามารถบำบัดน้ำเสียเคมีนั้นได้ จะพบว่า น้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นที่ 2250 มก./ล. เมื่อผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)/H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ แล้ว จะทำให้ได้ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเป็น 187 มก./ล. ซึ่งต่ำกว่าระดับของค่าซีโอดีของน้ำเสียที่สามารถบำบัดได้ทางชีวภาพที่ได้รายงานไว้ น้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในระดับนี้เมื่อผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)/H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ จึงมีแนวโน้มที่จะสามารถบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพในขั้นต่อมาได้

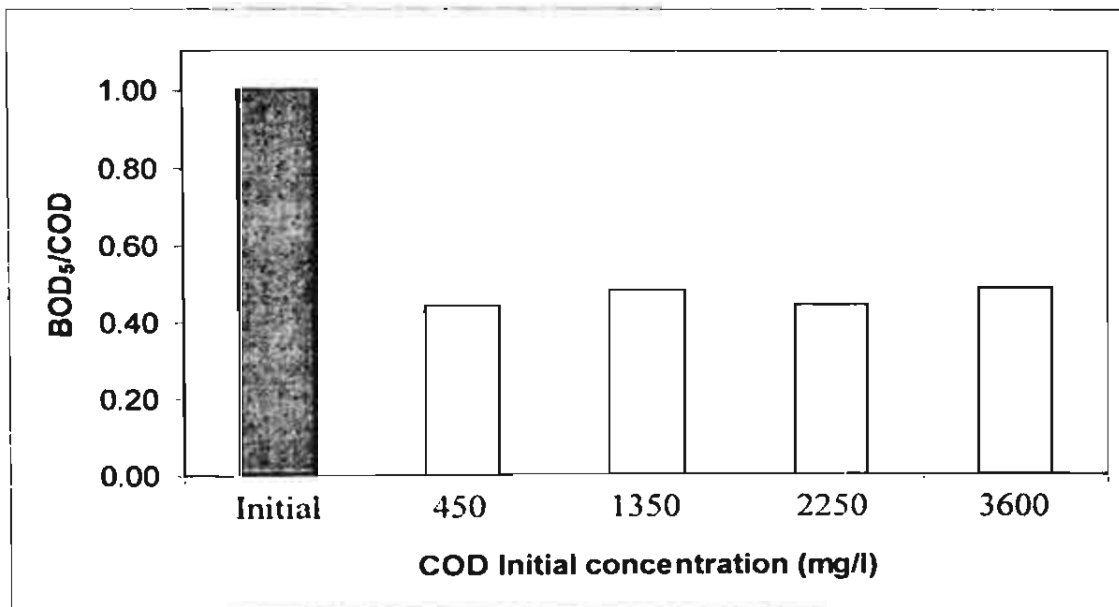
ส่วนน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นที่ 2250 มก./ล. นั้น เมื่อผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)/H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ แล้ว จะทำให้ได้ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเป็น 675 มก./ล. ซึ่งสูงกว่าระดับของค่าซีโอดีที่ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพสามารถรับได้เล็กน้อย น้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในระดับนี้ เมื่อผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)/H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ แล้ว จึงมีแนวโน้มที่จะสามารถบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพได้เช่นกัน แต่อาจใช้เวลานานกว่ามากเมื่อเทียบกับน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำกว่า

ส่วนน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นที่ 3600 มก./ล. นั้น เมื่อผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)/H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ แล้ว จะทำให้ได้ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเป็น 1188 มก./ล. ซึ่งสูงกว่าระดับของค่าซีโอดีที่ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพสามารถรับได้เป็นอย่างมาก น้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นในระดับดังกล่าว แม้ว่าน้ำเสียนี้จะผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)/H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ แล้ว ยังคงมีแนวโน้มที่จะไม่สามารถบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพได้

6.5 แนวโน้มของการบำบัดน้ำเสียด้วยชีวภาพหลังจากผ่านการบำบัดด้วย $\text{Fe(II)/H}_2\text{O}_2/\text{UV}$

ในการทดลองนี้ที่ค่าซีโอดีของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเริ่มต้นที่ 450 มก./ล. นั้นเมื่อผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)/H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ แล้วจะให้ค่าบีโอดี, เท่ากับ 8.125 มก./ล. ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงพยาบาลกำหนดที่ 30 มก./ล. และค่าซีโอดีหลังผ่านการบำบัดเท่ากับ 25 มก./ล.

ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานเช่นกัน ซึ่งที่ความเข้มข้นดังกล่าวกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ สามารถบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงไม่ต้องผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพอีก ในการทดลองชุดนี้จึงไม่ได้นำน้ำเสียดังกล่าวมาพิจารณา ในการทดลองนี้ได้นำน้ำเสียที่มีค่า ซีโอดีเริ่มต้นเป็น 1350, 2250 และ 3600 มก./ล.มาใช้ในการทดลอง โดยใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างบีโอดี, ค่อซีโอดี (BOD_5/COD) เป็นเกณฑ์พิจารณาความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ ผลของการทดลองแสดงในรูปที่ 6.23

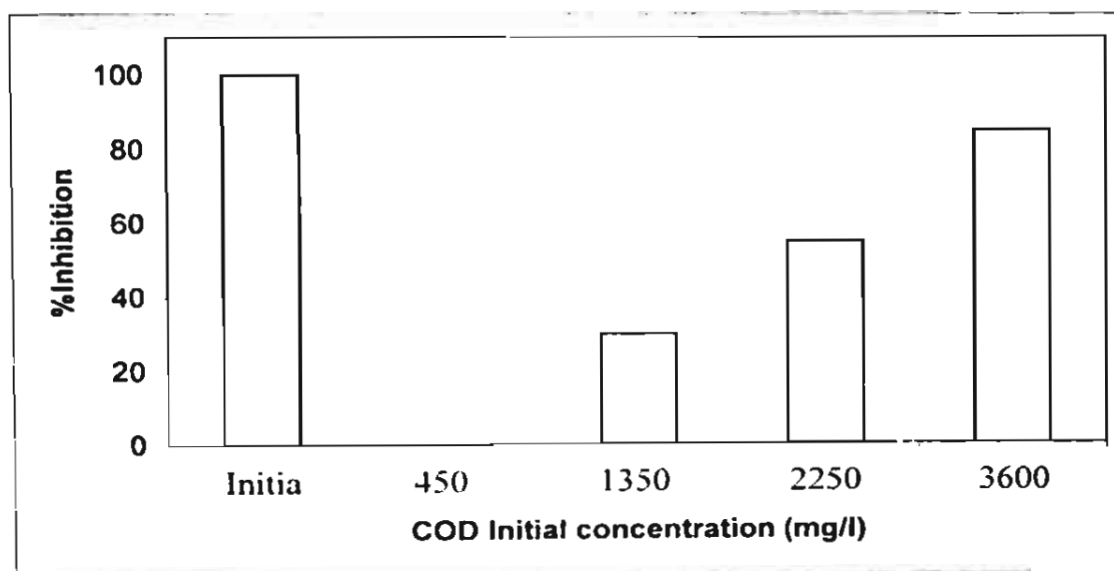


รูปที่ 6.23 แสดงผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีต่อแนวโน้มของการบำบัดน้ำเสียด้วยชีวภาพหลังจากผ่านการบำบัดด้วย $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$

ตามทฤษฎีแล้วหากค่าบีโอดี, ค่อซีโอดีมีค่าสูงขึ้นเช่นที่บีโอดี, ค่อซีโอดีเพิ่มจาก 0.1 เป็น 0.4 จะแปรผลได้ว่าน้ำเสียจะสามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีขึ้น เป็นต้น (Alaton, and Gurses, 2004.) จากรูปที่ 6.23 จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 1350, 2250 และ 3600 มก./ล. เมื่อผ่านการบำบัดแล้วอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพจะเพิ่มสูงขึ้นจากค่าของน้ำเสียเริ่มต้นประมาณ 0.3 ไปเป็น 0.55, 0.64, 0.63 เมื่อน้ำเสียมีค่าซีโอดีเริ่มต้นเป็น 1350, 2250 และ 3600 มก./ล. ตามลำดับ ทำให้น้ำเสียประเภทนี้เมื่อผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ แล้วมีแนวโน้มที่จะเพิ่มความสามารถในการนำไปบำบัดทางชีวภาพได้ โดยมีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นจากน้ำเสียเริ่มต้นที่ไม่ผ่านการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นอย่างเห็นได้ชัด

6.3.1 ผลของการลดความเป็นพิษของน้ำเสียจากโรงพยาบาลหลังการบำบัดด้วยกระบวนการ Fe(II)/H₂O₂/UV

การทดลองนี้เป็นการหาผลของการลดความเป็นพิษของน้ำเสียจากโรงพยาบาลหลังการบำบัดที่สภาวะเหมาะสมที่สุดด้วยกระบวนการ Fe(II)/H₂O₂/UV โดยสภาวะที่ใช้ในการทดลอง คือ ที่ค่า พีเอชเท่ากับ 3 อัตราส่วนระหว่างค่าซีไอดีต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสไอออน เท่ากับ 1 ต่อ 4 ต่อ 0.1 เท่าของค่าซีไอดีเริ่มต้น โดยน้ำเสียนี้อาศัยค่าซีไอดีเริ่มต้นที่แตกต่างกันเป็น 450, 1350, 2250 และ 3600 มก./ล. ผลของการทดลองแสดงในรูปที่ 6.24



รูปที่ 6.24 ผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีต่อแนวโน้มของการลดความเป็นพิษ หลังจากผ่านการบำบัดด้วย Fe(II)/H₂O₂/UV

จากกราฟ จะเห็นว่าความเป็นพิษของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการของโรงพยาบาลก่อนการบำบัดมีความเป็นพิษ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อทำการบำบัดด้วยกระบวนการ Fe(II)/H₂O₂/UV แล้ว ความเป็นพิษของน้ำเสียจากโรงพยาบาลน้อยลงมาอยู่ที่ 0, 28.3, 48.2 และ 82.1 เปอร์เซ็นต์ โดยตาม ทฤษฎีแล้ว ที่ค่าความเข้มข้นที่ทำให้ร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์ Inhibition) ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงถึงค่าความเป็นพิษในระดับที่จุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตอยู่ ได้ ในขณะที่ค่าความเข้มข้นที่ทำให้ร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ซึ่งในน้ำเสียดังกล่าวจุลินทรีย์จะไม่สามารถดำรงชีวิต อยู่ได้ ผลการทดลองนี้ได้แสดงให้เห็นว่า น้ำเสียที่ความเข้มข้นของซีไอดีเริ่มต้น 450, 1350 และ 2250 มก./ล. เมื่อนำมาบำบัดด้วยกระบวนการ Fe(II)/H₂O₂/UV แล้วจะทำให้ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด มีความเป็นพิษลดลง และสามารถนำไปบำบัดในระบบทางชีวภาพต่อไปได้ แต่ที่ความเข้มข้นของ

ซีโอดีเริ่มต้นมากกว่า 2250 มก./ล. กระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ จะไม่สามารถลดความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ทั้งนี้ น้ำทิ้งสารเคมีจากโรงพยาบาลที่ได้มีการสำรวจ (9 โรงพยาบาลในเขตกรุงเทพมหานคร) มักมีค่าซีโอดีโดยเฉลี่ยในช่วง 1000-2500 มก./ล. โดยมีค่าซีโอดีสูงสุดจากการสำรวจเป็น 3600 มก./ล. ซึ่งได้นำมาใช้ในการทดลองนี้

6.3.2 สรุปการบำบัดน้ำทิ้งสารเคมีด้วย $\text{Fe(II)}/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$

ผลจากการทดลองในชุดนี้ แสดงว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองของกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ คือ อัตราส่วนระหว่างค่าซีโอดีต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสไอออน เท่ากับ 1 ต่อ 4 ต่อ 0.1 เท่าของค่าซีโอดีเริ่มต้น โดยมีค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 3 พร้อมกับมีการฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์ โดยการบำบัดน้ำทิ้ง สารเคมีด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยสามารถลด ค่าซีโอดีจากน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้น 1350 มก./ล.ลงได้ 75เปอร์เซ็นต์ และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดดังกล่าวไม่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ และสามารถนำไปบำบัดต่อด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพได้ ในแง่ของการลดความเป็นพิษแล้ว กระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ สามารถลดความเป็นพิษของน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำกว่า 2250 มก./ล. ลดลงได้ และสามารถนำไปบำบัดในระบบทางชีวภาพต่อไปได้ แต่ที่ความเข้มข้นของซีโอดีเริ่มต้นมากกว่า 2250 มก./ล. กระบวนการ $\text{Fe(II)}/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ จะไม่สามารถลดความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้

6.4 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสารเคมีในการบำบัดน้ำเสียของกระบวนการ $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ และ $\text{Fe(II)}/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$

ในการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของกระบวนการ $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ และ $\text{Fe(II)}/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ได้ใช้ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งสารเคมีที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเกณฑ์ และใช้ค่าการทดลองสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ค่าใช้จ่ายสารเคมีของกระบวนการ $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$

ค่าซีโอดีเริ่มต้น 1350 มก./ล.

ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ 1.5 เท่าของค่าซีโอดี โดย เติม 3 ครั้ง

ความเข้มข้นทั้งหมดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 4.5 เท่าของค่าซีโอดี = 6075 มก./ล.

ราคาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาตร 2.5 ลิตรหรือ 2825 กรัม = 1700 บาท

ค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร คิดเป็น 3.66 บาท

รวมราคาสารเคมีของระบบ 3.66 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลิตร

ค่าใช้จ่ายสารเคมีของกระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}$

ค่าซีโอดีเริ่มต้น 1350 มก./ล.

1) ความเข้มข้นทั้งหมดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 4 เท่าของค่าซีโอดี = 5400 มก./ล.

ราคาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาตร 2.5 ลิตร หรือ 2825 กรัม = 1700 บาท

ค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ค่อน้ำเสีย 1 ลิตร คิดเป็น 3.25 บาท

2) ความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออนที่ใช้ 0.1 เท่าของค่าซีโอดี = 135 มก./ล.

ราคาของเฟอร์รัสซัลเฟต 500 กรัม = 340 บาท

ค่าเฟอร์รัสซัลเฟตค่อน้ำเสีย 1 ลิตรคิดเป็น 0.10 บาท

รวมราคาสารเคมี 3.35 บาทค่อน้ำเสีย 1 ลิตร

จากการคำนวณค่าใช้จ่ายสารเคมีพบว่าค่าใช้จ่ายของทั้งสองระบบมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก คือค่าสารเคมีของกระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ คิดเป็น 3.66 บาทค่อน้ำเสีย 1 ลิตร และค่าสารเคมีของกระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}$ คิดเป็น 3.35 บาทค่อน้ำเสีย 1 ลิตร โดยหากเทียบเชิงประสิทธิภาพกระบวนการของ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}$ จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีกว่ากระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ โดยหากคิดที่ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีที่เท่ากันคือ 75เปอร์เซ็นต์ กระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}$ จะใช้เวลาเพียง 120 นาที ในขณะที่กระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ จะใช้เวลาเป็น 2 เท่า คือ 240 นาที ในแง่การพิจารณาการเลือกใช้กระบวนการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นของน้ำทิ้งสารเคมี จึงควรเลือกใช้กระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}$ ซึ่งเหมาะสมทั้งทางประสิทธิภาพในการบำบัดและค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า

บทที่ 7

ภาพรวมของผลจากงานวิจัย

7.1 การบำบัดน้ำทิ้งฟอร์มาลิน

ในการบำบัดน้ำทิ้งฟอร์มาลิน สามารถสรุปได้ดังนี้

- ฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทิ้งฟอร์มาลินมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์สูงมาก แม้ว่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำมากคือที่ 10 มก./ล. นั้น ระบบบำบัดแบบชีวภาพสามารถบำบัดได้ในช่วงแรกเท่านั้น และเมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพในการบำบัดจะลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดของฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทิ้งฟอร์มาลินควรมีค่าน้อยมากหรือน้อยกว่า 10 มก./ล. จึงจะส่งผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพน้อยที่สุด

- สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองของกระบวนการ UV/H_2O_2 คือ อัตราส่วนของความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 1:2 ค่าพีเอชที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 7 พร้อมกับมีการฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์

- ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลราชวิถีและโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าพบว่าเมื่อความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลราชวิทยามีค่าสูงมาก เช่น 10,000 มก./ล. เป็นต้น กระบวนการ UV/H_2O_2 ไม่สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ให้หมดไปได้ ในขณะที่กรณีของน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าซึ่งมีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ 5,000 มก./ล. กระบวนการ UV/H_2O_2 สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ให้หมดไปได้ในเวลา 300 นาที

- สภาวะที่ใช้ในการทดลองที่ได้จากกระบวนการ $Fe(II)/UV/H_2O_2$ คือ อัตราส่วนของความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 1:2 ความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออนเป็น 6.67×10^{-2} M ค่าพีเอชที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 2.6 พร้อมกับมีการฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์

- กระบวนการ $Fe(II)/UV/H_2O_2$ สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ ในกรณีของน้ำเสียจากโรงพยาบาลราชวิถีซึ่งมีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ 10,000 มก./ล. ใช้เวลาในการบำบัด 480 นาที ส่วนการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์จากน้ำเสียโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าซึ่งมีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ 5,000 มก./ล. พบว่าใช้เวลาในการบำบัด 120 นาที ซึ่งกระบวนการนี้สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์จากน้ำเสียได้หมด ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดไม่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์

- ข้อเปรียบเทียบในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทั้งสองวิธี พบว่ากระบวนการ $Fe(II)/UV/H_2O_2$ ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้สูงกว่ากระบวนการ UV/H_2O_2 และสามารถลดความเป็นพิษของน้ำทิ้งจากการทดสอบวิธี Toxicity test ได้ สูงกว่าอีกด้วย ในขณะที่

กระบวนการ UV/H₂O₂ จะไม่สามารถใช้ในการลดความเป็นพิษได้ถ้าน้ำเสียมีความเข้มข้นของฟอร์มาลินสูง

- ค่าสารเคมีของกระบวนการ UV/H₂O₂ คิดเป็น 6.02 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลิตร และค่าสารเคมีของกระบวนการ Fe(II)/UV/H₂O คิดเป็น 12.32 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลิตร โดยใช้ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียจริงที่ 5000 มก./ล. เป็นเกณฑ์ในการคิดซึ่งค่าสารเคมีของกระบวนการ Fe(II)/UV/H₂O คิดเป็นสองเท่าของกระบวนการ UV/H₂O₂

- ในการเลือกใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น ควรเลือกใช้กระบวนการ Fe(II)/UV/H₂O ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดและลดความเป็นพิษของน้ำทิ้งฟอร์มาลินทั้งในน้ำเสียฟอร์มาลินที่มีระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำ (5,000 มก./ล.) และความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์สูง (10,000 มก./ล.) แม้ว่าราคาจะสูงกว่ากระบวนการ UV/H₂O₂ ทั้งนี้ในช่วงของความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์สูง (10,000 มก./ล.) กระบวนการ UV/H₂O₂ ลดความเป็นพิษของน้ำเสียฟอร์มาลินได้ดี

7.2 น้ำทิ้งสารเคมีทั่วไป

ในการบำบัดน้ำทิ้งฟอร์มาลิน สามารถสรุปได้ดังนี้

- สภาพที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองของกระบวนการ UV/H₂O₂ คือ การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อัตราส่วนซีโอดีเริ่มต้น:ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 1:1.5 โดยเป็นการเติมแบบหลายช่วงเวลา โดยมีค่าพีเอชของน้ำเสีย เริ่มต้นเท่ากับ 3 พร้อมกับมีการฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์

- การบำบัดน้ำทิ้งสารเคมีด้วยกระบวนการ UV/H₂O₂ นั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยสามารถลดค่าซีโอดีจากน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้น 1350 มก./ล. ลงได้ 75% และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดดังกล่าวไม่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ และสามารถนำไปบำบัดต่อด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพได้

- กระบวนการ UV/H₂O₂ สามารถลดความเป็นพิษของน้ำเสียที่มีค่าซีโอดี เริ่มต้นต่ำกว่า 2250 มก./ล. ลดลงได้ และสามารถนำไปบำบัดในระบบทางชีวภาพต่อไปได้ แต่ที่ความเข้มข้นของซีโอดีเริ่มต้นมากกว่า 2250 มก./ล. กระบวนการ UV/H₂O₂ จะไม่สามารถลดความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้

- สภาพที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองของกระบวนการ Fe(II)/UV/H₂O₂ คือ อัตราส่วนระหว่างค่าซีโอดีต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสไอออน เท่ากับ 1 ต่อ 4 ต่อ 0.1 เท่าของค่าซีโอดีเริ่มต้น โดยมีค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 3 พร้อมกับมีการฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่ 254 นาโนเมตร ขนาด 10 วัตต์

- การบำบัดน้ำทิ้งสารเคมีด้วยกระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยสามารถลดค่าซีไอดีจากน้ำเสียที่มีค่าซีไอดีเริ่มต้น 1350 มก./ล.ลงได้ 75% และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดดังกล่าวไม่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ และสามารถนำไปบำบัดต่อด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพได้

- กระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ สามารถลดความเป็นพิษของน้ำเสียที่มีค่าซีไอดีเริ่มต้นต่ำกว่า 2250 มก./ล. ลดลงได้ และสามารถนำไปบำบัดในระบบทางชีวภาพต่อไปได้ แต่ที่ความเข้มข้นของซีไอดีเริ่มต้นมากกว่า 2250 มก./ล. กระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ จะไม่สามารถลดความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้

- ข้อเปรียบเทียบในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทั้งสองวิธี พบว่า เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของกระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ จะน้อยกว่าเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของกระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ โดยพิจารณาที่ประสิทธิภาพในการลดค่า ซีไอดีที่เท่ากัน และสามารถลดความเป็นพิษของน้ำทิ้งจากการทดสอบวิธี Toxicity test ได้เท่ากัน กระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ จะใช้เวลา 120 นาที ในขณะที่กระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ จะใช้เวลา 240 นาที

- ค่าใช้จ่ายของทั้งสองกระบวนการมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก คือค่าสารเคมีของกระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ คิดเป็น 3.66 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลิตร และค่าสารเคมีของกระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ คิดเป็น 3.35 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลิตร

- ในการพิจารณาการเลือกใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น ควรเลือกใช้กระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ ซึ่งเหมาะสมทั้งทางประสิทธิภาพในการบำบัดและค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า

7.3 การบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลในภาพรวม

จากผลการทดลอง กระบวนการ Advanced Oxidation Processes ทั้งสองวิธี คือ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ และ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ สามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถลดค่าความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ลงได้เป็นอย่างดี โดยในการบำบัดน้ำทิ้งฟอร์มาลินนั้น กระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ มีประสิทธิภาพในการบำบัดและลดความเป็นพิษของน้ำทิ้งฟอร์มาลินทั้งในน้ำเสียฟอร์มาลินที่มีระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำ (5,000 มก./ล.) และความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์สูง (10,000 มก./ล.) ได้เป็นอย่างดี ในขณะที่ระดับความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์สูง (10,000 มก./ล.) กระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ ลดความเป็นพิษของน้ำเสียฟอร์มาลินได้ต่ำ ในการพิจารณาเลือกใช้จึงควรเลือกใช้กระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ แม้ว่าจะราคาสูงกว่ากระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$

ส่วนการบำบัดน้ำทิ้งสารเคมีทั่วไปมีข้อจำกัดคือ จะต้องมียูทิลิตี้ต่ำกว่า 2250 มก./ล. จึงจะทำให้ น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดทั้งสองวิธีมีค่าซีไอดีต่ำกว่า 500 มก./ล. ซึ่งไม่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ และสามารถนำมาบำบัดต่อด้วยระบบชีวภาพได้ และหากเปรียบเทียบประสิทธิภาพใน

การบำบัดแล้วจะพบว่ากระบวนการ $\text{Fe(II)/UV/H}_2\text{O}_2$ ให้ประสิทธิภาพสูงกว่ากระบวนการ $\text{UV/H}_2\text{O}_2$ และมีราคาค่าใช้จ่ายสารเคมีที่ต่ำกว่าอีกด้วย

บทที่ 8
ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงการ

8.1. บทความทางวิชาการ

8.1.1 ผลงานตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

- รวบรวมผลงาน 2 เรื่อง

- 1) Photochemical Oxidation of Formaldehyde in Aqueous Solutions by UV/H₂O₂: Influence of Operational Parameters

Water Research (submitted on October 18, 2004)

Puangrat Kajitvichyanukul, Arissara Tariya, Chih-Hsiang Liao, Wanpen Wirojanagud, and Thammarat Koottatep

- 2) Formaldehyde degradation in the presence of methanol in photo-fenton process

Chemical Engineering Journal (Submitted on October 26, 2004)

Puangrat Kajitvichyanukul, Ming Chun Lu, Adidsuda Chamreansan, Wanpen Wirojanagud, and Thammarat Koottatep.

- เตรียมบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ 2 เรื่อง คาดว่าจะส่งวารสารภายในวันที่ 30 กันยายน 2548

8.1.2 เอกสารประกอบการประชุมระดับนานาชาติ 2 เรื่อง

- 1) Effect of UV/H₂O₂ on Degradation of Formaldehyde in Aqueous Solution

Asian-Pacific Regional Conference on Practical Environment Technologies, Taiwan, December 18-21, 2003

Puangrat Kajitvichyanukul, Arissara Tariya, Wanpen Wirojanagud, Thammarat Koottatep, and Chih-Hsiang Liao

- 2) Effect of Photo-Fenton on Degradation of Formaldehyde in Aqueous Solution

Asian-Pacific Regional Conference on Practical Environment Technologies, Taiwan, December 18-21, 2003

Authors: Puangrat Kajitvichyanukul, Adidsuda Chamreansan, Wanpen Wirojanagud, Thammarat Koottatep, and Ming Chun Lu

8.1.3 เอกสารประกอบการประชุมในประเทศ 2 เรื่อง

- 1) “ การย่อยสลายน้ำเสียจากโรงพยาบาลโดยใช้กระบวนการโฟโตเฟนตัน”
พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกุล, ณัฐพล สุนทรวิภาต
การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 4 จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ที่จังหวัดชลบุรี วันที่ 19-21 มกราคม 2548
- 2) “ การย่อยสลายน้ำเสียจากโรงพยาบาลโดยใช้กระบวนการยูวีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์”
พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกุล, อาทิตย์พันธุ์ สัยชนะนิจู
การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 4 จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ที่จังหวัดชลบุรี วันที่ 19-21 มกราคม 2548

8.2. การผลิตบุคลากร

นักศึกษาปริญญาโท

4 คน

8.3. เทคโนโลยีในการแก้ไขปัญหาด้านการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล

เอกสารอ้างอิง

- เสกสรร เขียวธัญญกิจ และ อاطر แสงพรหมมา, 2541, “ผลกระทบของไลโซลที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์”, โครงการศึกษาปริญญานิเทศศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 35.
- พัศกรวิมล เพียรล้ำเลิศ และ ธงชัย พรหมสวัสดิ์, 2534, “การบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลในกรุงเทพมหานคร”, วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม, ปีที่ 16, เล่มที่ 2, หน้า 15.
- สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2535, รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการประเมินปรับปรุงและขยายระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล25แห่ง, เสนอกรมอนามัยกระทรวงสาธารณสุข, หน้า 7.
- สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537, “รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาความเหมาะสมและแนวทางการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล”, เสนอกรมอนามัยกระทรวงสาธารณสุข, หน้า 16.
- สิริวรรณ เอี่ยมสะอาด, นฤมล สุทธิศิริ, วรณี วิเชียนชัย และ ชिरุทธ จินดา ยก, 2545, “การลดความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์โดยกระบวนการเฟ้นตัน”, โครงการศึกษาปริญญานิเทศศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 16.
- Alaton, A.I. and Gurses, F., 2004. “Photo-Fenton-like and Photo-Fenton-like Oxidation of Procaine Penicillin G Formulation Effluent”, *Journal of Photochemistry and Photobiology A*, Vol. 165, pp. 165.
- Andreozzi, R., Caprio, V., Insola, A., and Marotta, R., 2000, “The oxidation of metol (N-methyl-P-aminophenol) in aqueous solution by UV/H₂O₂ photolysis”, *Water Research*, Vol. 34, pp. 463.
- Arslan, I., Balcioglu I. A., and Tuhkanen, T., 1999, “Advance oxidation of synthetic dyehouse effluent by O₃, H₂O₂/O₃, and H₂O₂/UV processes”, *Enviromental Technology*, Vol. 20, pp. 91.
- Baxendale, J.H. and Wilson, J.A., 1956, “The photolysis of Hydrogen Peroxide at High Light Intensities”, *Trans Faraday Society*, Vol. 53, pp. 344.
- Chu, W., 2001, “Modeling the quantum yields of herbicide 2,4-D decay in UV/H₂O₂ process”, *Chemosphere*, Vol. 44, pp. 935.
- Crittenden, J. C., Hu, S., Hand, D. W., and Green, S. A., 1999, “A kinetic model for UV/H₂O₂ process in a completely mixed batch reactor”, *Water Research*, Vol. 33, Issue 10, pp. 2315.

- De Laat, J., Tace, E., and Dore, M., 1994, "Degradation of chloroethanes in dilute aqueous solution by H_2O_2/UV ", **Water Research**, Vol. 28, pp. 2507.
- Duguet, J. P., Anse, C., and Mallevialle, J., 1989, "New advances in oxidation processes: Some examples of application of ozone/hydrogen peroxide combination for removal of micropollutants for drinking water", **Water Nagoya, ASPAC IWSA**.
- Eilbeck, W.J. and Mattock, G., 1987, **Chemical Process in Wastewater Treatment**, Chichester, Ellis Horwood, pp. 102.
- Faust, B.C. and Hoigne, J., 1990, "Photolysis of Fe Complexes as Sources of OH Radicals in Clouds, Fog, and Rain III", **Atmospheric Environment**, Vol. A24, pp. 79.
- Faust, B.C. and Hoigne, J., 1990, "Photolysis of Fe Complexes as Sources of OH Radicals in Clouds, Fog, and Rain III", **Atmospheric Environment**, Vol. A24, pp. 79.
- Fenton, H.J.H., 1894, "Oxidation of Tartaric in the Presence of Ion", **Chemical Society Reviews**, Vol. 65, pp. 899.
- Flaherty, K.A. and Huang, C.P., 1992, "Continuous Flow Application of Fenton's Reagent for the Treatment of Refractory Wastewater", **Chemical Oxidation**, Vol. 2, pp. 58.
- Gonzalez, M. C. and Braun, A. M., 1996, "Vacuum UV photolysis of aqueous solution of nitrate effect of organic matter. II. Methanol", **Journal of Photochemical Photobiology Analysis**, Vol. 95, pp. 67.
- Heit, G., Neuner, A., Saugy, P. Y., and Braun, A. M., 1998, "Actinometry: The quantum yield of the photolysis of water", **Journal Physical Chemical Analysis**, Vol. 102, pp. 5551.
- Juang, L. C., Tseng D. H., and Yang, S. C., 1997, "Treatment of petrochemical wastewater by UV/H₂O₂ photodecomposed system" **Water Science and Technology**, Vol. 36, pp. 357.
- Kang S. F., Liao C. H., Po S. T., 2000, "Decolorization of Textile Wastewater by Photo-Fenton Oxidation Technology", **Chemosphere**, Vol. 41, pp. 1287.
- Kang, S.F., Liao, C.H. and Hung, H.P., 1999, "Peroxidation Treatment of Dye Manufacturing Wastewater in the Presence of Ultraviolet Light and Ferrous Ions", **Journal of Hazardous materials**, Vol. B65, pp. 317.
- Kang, S.F., Liao, C.H. and Po, S.T., 2000, "Decolorization of Textile Wastewater by Photo-fenton Oxidation Technology", **Chemosphere**, Vol. 41, pp. 1287.

- Kang, S.F., Liao, C.H. and Po, S.T., 2000, "Decolorization of Textile Wastewater by Photo-fenton Oxidation Technology", **Chemosphere**, Vol. 41, pp. 1287.
- Kim, S.M., Geissen, S. and Vogelpohl, A., 1997, "Landfil Leachate Treatment by a Photoassisted Fenton Reaction", **Water Science and Tenhnology**, Vol. 35, pp. 239.
- Kusakabe, K., Aso, S., Wada, T., Hayashi, J.I., Morooka, S., and Isomura, K., 1991, "Destruction rate of volatile organochlorine compounds in water by ozonation with ultraviolet radiation", **Water Research**, Vol. 25, Issue 10, pp. 1199.
- Legrini, O., Oliveros, E., and Braun, A.M., 1993, "Photochemical processes for water treatment" **Chemical Revision**, Vol. 93, pp. 671.
- Lin, S.H. and Chang, C.C., 2000, "Treatment of Landfill Leachate by Combined Electro-Fenton Oxidation and Sequencing Batch Reactor Method", **Water Research**, Vol. 34, No. 17, pp. 4243.
- Lopez, A., Pagano, M., Volpe, A. and Di Pinto, A.C., 2004, "Fenton's Pre-Treatment of Mature Landfill Leachate", **Chemosphere**, Vol. 54, pp. 1005.
- Lu, M.C. and Chen, J.N., 1997, "Pretreatment of pesticide wastewater by photocatalytic oxidation", **Water Science and Technology**, Vol. 36, Issues 2-3, pp. 117.
- Maletzky, P. and Bauer, R., 1998, "The Photo-fenton Method Degradation of Nitrogen Containing Organic Compounds", **Chemosphere**, Vol. 37, pp. 899.
- Mohanty, R. and Wei, W., 1993, "Oxidation of 2,4-Dinitrotoluene Using Fenton's Reagent : Reaction Mechanism and Their Practical Applications", **Hazardous Waste and Hazardous Materials**, Vol. 10, No. 2, pp. 171.
- Mokrini, A., Ousse, D. and Esplugas, S., 1997, "Oxidation of aromatic compounds with UV radiation/ozone/hydrogen peroxide", **Water Science and Technology**, Vol. 35, Issue 4, pp. 95.
- Oppenlander, T., 2003, **Photochemical Purification of Water and Air**, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Orlando, M., Rodolfo, J. and Alberto, E., 2001, "Degradation Kinetics of 2,4-D in Water Employing Hydrogen Peroxide and UV Radiationn", **Chemical Engineering Journal**, Vol. 82, pp. 209.
- Perez, M., Torrades, F., Domenech, X. and Peral, J., 2002. "Fenton and Photo-Fenton Oxidation of Textile Effluents", **Water Research**, Vol. 36, pp. 2703.

- Pignatello, J.J., Liu, D. and Huston, P., 1999, "Evidence for as Additional Oxidant in the Photoassisted Fenton Reaction", **Environmental Science & Technology**, Vol. 33, pp. 18.
- Rajagopalan, V. and Robert, W., 1993, "Chemical Oxidation Technologies : Ultraviolet Light/ Hydrogen peroxide, Fenton's Reagent, and Titanium Dioxide-Assisted Photocatalysis", **Hazardous Waste and Hazardous Materials**, Vol. 10, No. 2, pp. 107.
- Richard, J., Matthew, D. and Paul, A., 1990, "Treatment of Pentachlorophenol Contaminated Soil Using Fenton's Reagent", **Hazardous Waste and Hazardous Materials**, Vol. 7, No. 4, pp. 335.
- Stefan, M. I. and Bolton, J. R., 1998, "Mechanism of the degradation of 1,4-Dioxan in dilute aqueous solution using the UV/H₂O₂ process", **Environmental Science Technology**, Vol. 32, pp. 870.
- Trapido, M. and Kallas, J., 2000, "Advanced oxidation processes for the degradation and detoxification of 4-nitrophenol", **Environmental Technology**, Vol. 21, pp. 799.
- Walling, C., 1975, "Fenton reagent: V. "Hydroxylation and Side-chain Cleavage of Aromatics", **Accounts of Chemical Research**, Vol. 8, pp. 125.
- Wenpeng, Z., Zhilhua, Y. and Li, W., 1996, "Application of Ferrous Hydrogen Peroxide for the Treatment of H-Acid Management Process Wastewater", **Water Research**, Vol. 30, No. 12, pp. 2949.
- Yang, Y., Wyatt, D. T. II., and Bahorshky, M., 1998, "Decolorization of Dyes Using UV/H₂O₂ Photochemical Oxidation", **Textile Chemist and Colorist**, Vol. 30, pp. 27.
- Yoon, H.C., Cho, S.H. and Ko, S.O., 2001, "Modification of Coagulation and Fenton Oxidation Processes for Cost-Effective Leachate Treatment", **Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering**, Vol. 36, Issue 1, pp. 39.
- Yung S. S., Young K., and Kuen C. L., 1995, "The effect of light absorbance on the decomposition of chlorophenols by ultraviolet radiation and UV/H₂O₂ process", **Water Research**, Vol. 29, pp. 907.

ภาคผนวก ก

Manuscript และ บทความวิจัยสำหรับการเผยแพร่

ภาคผนวก

**Photochemical Oxidation of Formaldehyde in Aqueous Solutions by UV/H₂O₂:
Influence of Operational Parameters**

P. Kajitvichyanukul^{1,*}, A. Tariya², C.-H. Liao³, W. Wirojanagud⁴ and T. Koottatep⁵

¹ Department of Environmental Engineering,
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand

² National Research Center in Environmental and Hazardous Waste Management,
Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

³ Department of Environmental Engineering and Science
Chia Nan University of Pharmacy and Science, Tainan, Taiwan.

⁴ Department of Environmental Engineering, Khonkaen University,
Khonkaen, Thailand

⁵ School of Environment, Resources and Development (SERD),
Asian Institute of Technology(AIT), Thailand

Submitted to *Water Research*

October 18, 2004

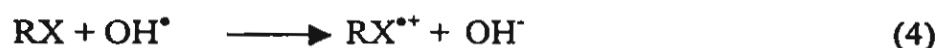
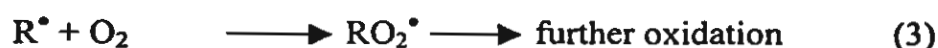
* Corresponding author. Tel.: +66-2-4709163; fax: +66-2-8748185; E-mail address:
puangrat.kaj@kmutt.ac.th

1. Introduction

Medical wastewater contains a variety of toxic organic contaminants in a wide range of concentrations. The toxic chemicals used in hospitals include formalin solution as 40% formaldehyde and other chemicals such as acetone chloroform, etc. Previous study indicated that formaldehyde exhibits mutagenic and carcinogenic effects (Grafstrom et al., 1985). Pollution from formaldehyde can have effects at low concentrations. Aquatic organisms, for instance, respond negatively to low concentrations of formaldehyde (Murphy et al., 1989). Many attempts have been investigated to find the proper way to handle this toxic substance. The inhibition effect of formaldehyde on wastewater treatment efficiency in biological treatment process was reported (Lu and Hegemann, 1998; Qu and Bhattacharya, 1997). Hickey et al. (1987) showed that formaldehyde was toxic from 10-100 mg/l in batch systems. While Sharma et al. (1994) reported that biomass support particles can resist formaldehyde toxicity up to 375 mg/l in continuous systems. In chemical processes, sodium sulphite is believed to react with formaldehyde forming sodium formaldehyde bisulphate, which is non-toxic to microorganisms and is a biodegradable substance (Lofty and Rashed, 2002). However, investigations on practical ways of treating formaldehyde wastewater are still limited.

Advance Oxidation Processes (AOPs) have been considered with great interest as a viable method for organic contaminant removal from water (Andreozzi et al., 1999). They rely on the formation of reactive and short-lived oxygen containing intermediates such as hydroxyl radical ($\text{OH}^\bullet$) and they exploit the high reactive character of these species. Hydroxyl radicals are a powerful oxidant and a short-lived, highly reactive and non-selective reagent that is easy to produce. Among these new technologies, chemical oxidation using ultraviolet radiation (UV) in the presence of

hydrogen peroxide (H_2O_2) is a very promising technique. The obtainable hydroxyl radicals come from the dissociation of H_2O_2 by light from a mercury lamp emitting at 254 nm wavelength. Hydroxyl radicals can oxidize organic compounds (RH) producing organic radicals ($\text{R}^\bullet$), which are highly reactive and can be further oxidized. The major reactions that occur during UV/ H_2O_2 oxidations are as follow (Legrini et al., 1993):



As shown in (Eq. (1)), the hydrogen peroxide is transformed to a hydroxyl radical by an hydrogen abstraction pathway. This reaction generates organic radicals and addition of molecular oxygen yields peroxy radicals (Eq. (2)). This intermediates initiate thermal (chain) reactions of oxidative degradation (Eq. (3)), leading finally to carbon dioxide, water and inorganic salts. In addition to hydrogen abstraction, electron transfers to the hydroxyl radical (Eq. (4)) and electrophilic addition (Eq. (5)) are other reactions of hydroxyl radicals with organic compounds.

The major advantages of this process are commercial availability, thermal stability, storage on-site, infinite solubility in water and low cost operation, which can be realized by controlling H_2O_2 concentrations (Legrini et al., 1993; Hoigné, 1998). Therefore, the objective of this paper is to evaluate the applicability of the UV/ H_2O_2 advanced oxidation process to the degradation of formaldehyde used for medical purposes in various operational parameters such as initial pH, H_2O_2 dosage, and initial

1 concentration of formaldehyde. In addition, the mineralization of formaldehyde is also
2 investigated and reported.

3

4 **2. Materials and methods**

5 **2.1 Reagents**

6 Formaldehyde (40% solution) and hydrogen peroxide (H_2O_2 , 30% solution)
7 were purchased from Carlo Erba Chemicals. Sodium sulfite, sulfuric acid (96%),
8 sodium hydroxide were purchased from Merck Chemicals. All chemicals were used
9 as received. The water used in all experiments was taken from a Milli-Q water
10 purification system (Millipore).

11

12 **2.2 Photoreactor**

13 All experiments were carried out in a batch photoreactor. The photochemical
14 reactor was purchased from ACE Glass Co. A 10 W low-pressure mercury lamp with
15 a principal wavelength of 254 nm was used as the light source in all experiments. The
16 UV lamp was inserted into a double-walled quartz immersion-well located at the
17 center of the reactor. The UV lamp was kept on during the experiment. Fresh tap
18 water was flushed through the immersion-well to prevent the lamp from overheating.
19 The solution was fully stirred with a magnetic stirrer to ensure sufficient mixing. The
20 reaction temperature was kept constant at 25°C.

21

22 **2.3 Experimental procedure**

23 In each experiment, 0.33 M of formaldehyde and variable concentrations of
24 hydrogen peroxide were transferred to a photochemical reactor. Then the lamp was
25 turned on to initiate the reaction. During irradiation, the solution was agitated at a

constant rate. The solution samples were taken for analysis at set time intervals. The samples were immediately analyzed to avoid further reaction. Enzyme catalase was also added to each sample to decompose hydrogen peroxide residue, preventing hydrogen peroxide from reacting with organic substrates during the analysis. The standard iodometric method was used to determine the hydrogen peroxide residual concentrations. The concentrations of formaldehyde residue were determined by gas chromatography equipped with a flame ionization detector (GC-17A Shimadzu with ATTM-Aquawax glass capillary column 30 m. x 0.25 mm. x 0.25 µm film thickness). Initial and treated TOC were analyzed with a Shimadzu 700 TOC ANALYZER 0-1 Analytical. The bioluminescence tests were conducted using DrLange LUMISTox 300 photometer; reagents and *Vibrio fischeri* luminescent bacteria were supplied by Dr. Lange, GmbH (Dusseldorf, Germany). Solvent extracts were tested according to DIN 38412 and international standard ISO DIS11348.

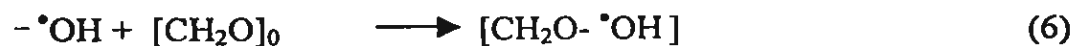
3. Results and discussion

3.1 Effect of UV radiation in the presence of H₂O₂

The primary analysis of formaldehyde degradation was carried out under the following conditions: (i) volatilization, (ii) UV irradiation only, (iii) hydrogen peroxide without UV radiation, and (iv) UV radiation plus hydrogen peroxide. The results are shown in Fig. 1. There was no observable loss of formaldehyde using the volatilization pathway. For the formaldehyde solution with UV application only, 43% formaldehyde degradation was observed. With hydrogen peroxide in the absence of UV, 38% of formaldehyde was reduced from the initial concentration. The results indicate a remarkable decrease of formaldehyde concentrations when the sample was irradiated by UV in the presence of H₂O₂. The decomposition of formaldehyde was

complete within 300 min of irradiation. This loss can be related to the production of hydroxyl radicals, which form a powerful oxidizing agent. The pH measurement at the end of the UV/H₂O₂ process showed that the solution became slightly acidic and decreased from 3.0 to 2.0 and remained constant after 120 min of irradiation. This result can be explained in that formaldehyde was oxidized into its reaction byproduct, formic acid, which is refractory to hydroxyl radical oxidation (Murphy et al., 1989).

The behavior of formaldehyde degradation by UV/H₂O₂ as shown in Fig. 1 may be interpreted quantitatively by the following simplified kinetic model.



In Eq. (6), [CH₂O-•OH] represents the intermediate from the reaction between formaldehyde and hydroxyl radical. The corresponding kinetic equations for H₂O₂, CH₂O and •OH are:

$$-d[\text{H}_2\text{O}_2]/dt = \phi I_a \quad (8)$$

$$-d[\text{CH}_2\text{O}]/dt = k_1[\text{CH}_2\text{O}][\bullet\text{OH}] \quad (9)$$

$$-d[\bullet\text{OH}]/dt = k_1[\text{CH}_2\text{O}][\bullet\text{OH}] + k_2[\text{CH}_2\text{O}-\bullet\text{OH}][\bullet\text{OH}] - 2\phi I_a \quad (10)$$

In Eq. (8), ϕ is the quantum yield of the photochemical dissociation of H₂O₂, I_a is the radiation intensity absorbed by H₂O₂. From Eq. (10), the concentration of •OH can be calculated as:

$$[\cdot\text{OH}] = \frac{2\phi I_a}{k_1[\text{CH}_2\text{O}] + k_2[\text{CH}_2\text{O} \cdot \text{OH}]} \quad (11)$$

In the beginning stages of the process, the initial concentration of formaldehyde can be written as:

$$[\text{CH}_2\text{O}]_0 \approx [\text{CH}_2\text{O}] + [\text{CH}_2\text{O} \cdot \text{OH}] \quad (12)$$

The following relationship is obtained by substituting Eqs. (11) and (12) in Eq. (9):

$$\frac{-d[\text{CH}_2\text{O}]}{dt} = \frac{k_1 2\phi I_a}{(k_1 - k_2)[\text{CH}_2\text{O}] + k_2[\text{CH}_2\text{O}]_0} [\text{CH}_2\text{O}] \quad (13)$$

The difference between k_1 and k_2 is supposed to be negligible ($k_1 \approx k_2$), hence it can be written as:

$$k_2[\text{CH}_2\text{O}]_0 \gg (k_1 - k_2)[\text{CH}_2\text{O}]$$

As the apparent reaction rate constant, k_{ap} is related to k_1 and k_2 and it can be written as follows (Behnajady et al., 2004):

$$k_{ap} = \frac{k_1 2\phi I_0 f_{\text{H}_2\text{O}_2}}{k_2[\text{CH}_2\text{O}]} \quad (14)$$

or more simply:

$$-d[\text{CH}_2\text{O}]/dt = k_{ap}[\text{CH}_2\text{O}] \quad (15)$$

This relationship corresponds to a first order reaction. Eqs. (14) and (15) also indicate that k_{ap} is a function of H_2O_2 concentration. The apparent reaction rate constants, k_{ap} ,