

ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมแบบไร้อากาศ - เต็มอากาศ ด้วยสารช่วยลอย



นางสาวปุกณภา ธนปุกยพันธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFICIENCY OF TEXTILE WASTEWATER TREATMENT BY  
ANAEROBIC-AEROBIC PROCESS USING DECOLORANT ADDITION



Miss Punnapa Tanapunyanun

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University



ปริญญานิพนธ์ : ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมแบบ  
 ไร้อากาศ-เติมอากาศ ด้วยสารช่วยลดสี. (Efficiency of Textile Wastewater  
 Treatment by Anaerobic-Aerobic Process Using Decolorant Addition)  
 อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน, 129 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วย  
 ถึงปฏิกริยาแบบแบคทีเรียที่มีการเดินระบบแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ โดยศึกษาอายุตะกอน 3  
 ค่า คือ 96 44 และ 29 วัน และศึกษาผลกระทบของการใส่ผงถ่านกัมมันต์ เพอริกคลอไรด์  
 และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการทำงานของระบบ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากนมขาดมัน  
 เนย และสีชนิด Reactive Black 5 ที่มีค่าความเข้มข้นสีเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ  
 7000 เอดีเอ็มไอ ค่าซีโอดีเริ่มต้น 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการศึกษาพบว่า อายุตะกอนที่  
 เหมาะสม คือ 29 วัน และอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ คือ  $0.2 \text{ วัน}^{-1}$  โดยมีสีถูกกำจัดในสภาวะ  
 ไร้อากาศ 0.20-0.34 เอดีเอ็มไอต่อวัน และซีโอดีถูกกำจัดในสภาวะเติมอากาศ 0.35-0.47  
 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 80 เปอร์เซ็นต์ และสี 75  
 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเติมผงถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 200-500 มิลลิกรัมต่อลิตร  
 มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีและสีเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 9.92 และ 18.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ  
 การเติมเพอริกคลอไรด์ความเข้มข้น 50-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า มีประสิทธิภาพการ  
 บำบัดค่าซีโอดีและสีเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 12.62 และ 15.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในส่วนของ  
 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 50-800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง  
 ของสี ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าถึงปฏิกริยาแบบไร้อากาศ-เติมอากาศนี้สามารถกำจัดซีโอดี  
 และสีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสารช่วยลดสีที่มี  
 ประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อคำนึงถึงเรื่องค่าใช้จ่าย คือ ผงถ่านกัมมันต์ ที่ความเข้มข้น 200  
 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต .....ปริญญานิพนธ์.....  
 สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
 ปีการศึกษา 2553.....



## 4970828821 : MAJOR Environmental Engineering

KEYWORDS : Batch Reactor / Anaerobic-Aerobic Wastewater Treatment / Textile Wastewater / Decolorant

PUNNAPA TANAPUNYANUN : EFFICIENCY OF TEXTILE WASTEWATER TREATMENT BY ANAEROBIC-AEROBIC PROCESS USING DECOLORANT ADDITION. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. SARUN TEJASEN, Ph.D., 129 pp.

This research studied the efficiency of using batch reactors operating in sequential anaerobic-aerobic conditions to treat textile wastewater. Controlled sludge ages were 29, 44, and 96 days. Effects of adding conventional decolorants such as activated carbon, ferric chloride, and hydrogen peroxide were also studied. Wastewater representing textile wastewater were synthesized using non-fat milk and reactive black 5 color having initial COD of 5,000 mg/L and color of 100 mg/L or 7,000 ADMI unit. Sludge age of 29 days and F/M ratio was 0.2 day<sup>-1</sup> was found to have the best efficiency, resulting in COD and color removal of 80% and 75%, respectively. Color was removed during anaerobic condition with a rate of 0.20-0.34 ADMI unit/day, and COD was removed during aerobic condition with a rate of 0.35-0.47 mg-COD/L/d. Addition of 200-500 mg/L activated carbon or 50-1,000 mg/L ferric chloride increased COD removal efficiency by 9.92-12.67% and color removal efficiency by 15.51-18.67%, respectively. Hydrogen peroxide was not resulted in color removal. The results showed that anaerobic-aerobic batch reactors can effectively remove both COD and color in textile wastewater treatment. Addition of 200 mg/L activated carbon achieved best efficiency and was the most cost effective.

Department : Environmental Engineering.... Student's Signature ปณณภา ตันปัญญานันท์  
Field of Study : Environmental Engineering.. Advisor's Signature AS TS  
Academic Year : 2010.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษาแนะแนวทาง หลักการในการดำเนินงานวิจัย และแก้ไขในสิ่งที่บกพร่องมาตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย ซึ่งมีส่วนสำคัญมากในการทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รองศาสตราจารย์ ดร. ฐเรศ ศรีสถิตย์ ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ตลอดจน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณะณ์ พึ่งรัศมี และ ดร.ขจรศักดิ์ โกศลมนตรี ที่ได้ให้คำปรึกษาจนวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ช่วยให้คำชี้แนะ ให้ความช่วยเหลืองานด้านเอกสาร และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณรามนรี เนตรวิเชียร เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง และศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ ผู้จัดการห้องปฏิบัติการ บริษัท Dystar Thai Co.,Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์สิทธิ์เพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ บริษัท เสริมสุข จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เชื้อจุลชีพเพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ บริษัท ไทยอัมบริกา เคมีคัลส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำเสียเพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ ทนอดทน วิทยานิพนธ์ จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนค่าใช้จ่ายจนวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา และดูแลกันและกัน ในระหว่างการทำวิจัยมาโดยตลอด

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา น้องชาย ซึ่งสนับสนุน ส่งเสริม และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 บทนำ.....	3
2.2 แหล่งกำเนิดน้ำเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อม.....	3
2.3 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย.....	5
2.3.1 สีย้อม.....	6
2.3.2 สารเคมีที่ใช้ช่วยในกระบวนการฟอกย้อมรวมทั้งสารเคมี ที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จ.....	10
2.3.3 สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย.....	10
2.3.4 เศษเส้นใย.....	13
2.3.5 สิ่งสกปรกเจือปนอื่นๆ.....	13
2.4 พันธะเอโซ.....	14
2.5 สีย้อมรีแอกทีฟ.....	15
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะสมบัติของน้ำเสีย.....	16
2.7 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม.....	17
2.8 การบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม.....	19

2.8.1 การกำจัดสีด้วยวิธีการทางกายภาพ.....	19
2.8.2 การกำจัดสีด้วยวิธีการทางเคมี.....	21
2.8.3 การกำจัดสีด้วยวิธีการทางชีวภาพ.....	23
2.9 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์.....	29
2.9.1 หลักการทำงานของระบบเอสปีอาร์.....	29
2.9.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบเอสปีอาร์.....	30
2.10 การควบคุมอายุสลัดจ์.....	32
2.11 แนวทางการนำผลที่ได้จากงานวิจัยไปใช้ในการออกแบบระบบจริง.....	33
2.12 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	38
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>46</b>
3.1 แผนการดำเนินการวิจัย.....	46
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	46
3.3 วิธีการทดลอง.....	47
3.3.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษา.....	47
3.3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	48
3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์.....	59
3.5 การวัดสี.....	59
<b>บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....</b>	<b>60</b>
4.1 การเริ่มเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์.....	60
4.1.1 การเดินระบบกับน้ำเสียจริง.....	60
4.1.2 การเดินระบบใหม่ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์.....	62
4.2 ผลการศึกษาการหาอายุตะกอนที่เหมาะสม.....	62
4.3 ผลการศึกษาการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ การเดินระบบบำบัด แบบเติมอากาศ และการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ.....	70
4.4 ผลการศึกษาผลกระทบของการใส่สารช่วยลดสีที่มีต่อการทำงานของ ของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ.....	72
4.4.1 ผลของผงถ่านกัมมันต์.....	72
4.4.2 ผลของเพอริกคลอไรด์.....	75

4.4.3 ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	78
4.5 การนำไปใช้ในการออกแบบระบบจริง.....	79
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>80</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	80
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	81
<b>รายการอ้างอิง.....</b>	<b>82</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>87</b>
ภาคผนวก ก. ผลการทดลอง.....	88
ภาคผนวก ข. รายการคำนวณ.....	119
ภาคผนวก ค. วิธีการวิเคราะห์สี.....	124
<b>ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....</b>	<b>129</b>

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญญัตราสาร

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงลักษณะของโครโมฟอร์ และออกซิโครมของสีย้อม.....	7
2.2	การจำแนกสีย้อมตามลักษณะทางกายภาพและเคมี และแนวทางการบำบัด.....	11
2.3	ลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามผลิตภัณฑ์.....	18
2.4	ความสามารถในการกำจัดซีไอดีและสีของน้ำเสียจากการย้อม สีรีแอกทีฟโดยระบบแพคท์.....	39
2.5	ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการกำจัดสีและซีไอดี จากงานวิจัยที่ผ่านมา.....	40
2.6	ความเข้มข้นของเพอริกคลอไรด์ที่ใช้ในการกำจัดสีและซีไอดี.....	43
3.1	ตัวแปรที่ทำการศึกษา.....	47
3.2	พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์.....	59
4.1	ผลการคำนวณหาค่าอายุตะกอนจากการทิ้งน้ำ 1 2.5 และ 4 ลิตร.....	66
4.2	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเดินระบบแบบไร้อากาศ แบบเติมอากาศ และ แบบไร้อากาศ-เติมอากาศ.....	72
ก.1	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 1.....	89
ก.2	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 2.....	91
ก.3	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 3.....	93
ก.4	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 4.....	95
ก.5	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 5.....	97
ก.6	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 6.....	99
ก.7	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 7.....	101
ก.8	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 8.....	103
ก.9	ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 9.....	105
ก.10	ผลการทดลองการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ.....	107
ก.11	ผลการทดลองการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ.....	107
ก.12	ผลการทดลองการเดินระบบบำบัดแบบเติมอากาศ.....	108
ก.13	ผลการทดลองผงถ่านกัมมันต์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	109

ตารางที่		หน้า
ก.14	ผลการทดลองผงถ่านกัมมันต์ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	110
ก.15	ผลการทดลองผงถ่านกัมมันต์ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	111
ก.16	ผลการทดลองผงถ่านกัมมันต์ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	112
ก.17	ผลการทดลองเฟอริกคลอไรด์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	113
ก.18	ผลการทดลองเฟอริกคลอไรด์ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	114
ก.19	ผลการทดลองเฟอริกคลอไรด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	115
ก.20	ผลการทดลองเฟอริกคลอไรด์ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	116
ก.21	ผลการทดลองเฟอริกคลอไรด์ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	117
ก.22	ผลการทดลองถึงควบคุม.....	118
ค.1	ตารางการคำนวณค่า CIE Tristimulus ในการคำนวณหาหน่วยสีเอดีเอ็มไอ.....	126

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในแต่ละขั้นตอนของ กระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ.....	4
2.2	โครงสร้างของสี Reactive Black 5.....	16
2.3	การบำบัดสีเอโซและกลุ่มอะโรมาติกเอมีนของสภาวะไร้อากาศ-เติมอากาศ.....	27
2.4	การทำงานของระบบเอสปีอาร์.....	30
2.5	ระบบบำบัดเอสปีอาร์แบบไร้อากาศ-เติมอากาศ.....	31
2.6	ถังปฏิกริยาระบบแบบแบทช์.....	33
2.7	ถังปฏิกริยาระบบ Plug Flow .....	34
2.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/r_A$ กับ $C_A$ .....	35
2.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/r_A$ กับ $C_A$ .....	36
2.10	สมมูลมวลของระบบบำบัด.....	37
3.1	แผนผังสรุปขั้นตอนการทดลอง.....	48
3.2	แผนผังสรุปการเลี้ยงเชื้อจุลชีพโดยใช้น้ำเสียจริง.....	50
3.3	แผนผังสรุปการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์.....	52
3.4	แผนผังสรุปการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ แบบเติมอากาศ และแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ.....	54
3.5	แผนผังสรุปการดำเนินการชุดการทดลองที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์ และเฟอริกคลอไรด์.....	56
3.6	แผนผังสรุปการดำเนินการชุดการทดลองที่มีการเติม ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ชั้นที่ 1.....	57
3.7	แผนผังสรุปการดำเนินการชุดการทดลองที่มีการเติม ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ชั้นที่ 2.....	58
4.1	การเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีเทียบกับเวลาของการเริ่มเลี้ยงเชื้อจุลชีพ.....	60
4.2	การเปลี่ยนแปลงของสีเทียบกับเวลาของการเริ่มเลี้ยงเชื้อจุลชีพ.....	61
4.3	การศึกษาการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมโดยการทิ้งน้ำตะกอน 1 ลิตร.....	63
4.4	การศึกษาการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมโดยการทิ้งน้ำตะกอน 2.5 ลิตร.....	64
4.5	การศึกษาการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมโดยการทิ้งน้ำตะกอน 4 ลิตร.....	65

รูปที่	หน้า
4.6 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีและสีต่อเวลา ในสภาวะไร้อากาศ.....	67
4.7 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีและสีต่อเวลา ในสภาวะเติมอากาศ.....	67
4.8 อัตราการบำบัดค่าซีไอดีและสีในสภาวะไร้อากาศ.....	68
4.9 อัตราการบำบัดค่าซีไอดีและสีในสภาวะเติมอากาศ.....	69
4.10 ผลการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ แบบเติมอากาศ และแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ.....	71
4.11 ผลของการเติมผงถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 0 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	73
4.12 ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีและสีที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์.....	74
4.13 ผลของการเติมเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0 50 100 200 500 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	76
4.14 ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีและสีที่มีการเติมเฟอริกคลอไรด์.....	77
4.15 ผลของการทำจาร์เทสต์ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	78

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมประเภทที่มีการใช้น้ำและสารเคมีจำนวนมาก ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ การปล่อยน้ำทิ้งที่ประกอบด้วย สี ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี กรด-ด่าง สารแขวนลอย ความร้อน และอื่นๆ ซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดการทำลายทัศนียภาพและเป็นที่น่ารังเกียจ มลสารส่วนใหญ่ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมนั้นมาจากกระบวนการย้อมสี (Dyeing) และการตกแต่งสำเร็จ (Finishing) โดยส่วนมากแล้วมลสารเหล่านี้และสีบางประเภทสามารถบำบัดได้ด้วยวิธีต่างๆ ไป แต่มีสีบางประเภทที่ไม่สามารถบำบัดได้ด้วยวิธีการดังกล่าว ซึ่งสีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีหลายชนิด เช่น สีรีแอคทีฟ สีเอซิด สีเบสิก สีไดเรกต์ สีแวนท สีดิสเพอร์ส เป็นต้น ผลเสียที่เกิดขึ้นจากสีนอกจากจะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติขาดความสวยงามแล้วยังลดอัตราการนำเข้าของออกซิเจนที่เข้าสู่ผิวหน้าของแหล่งน้ำ และบดบังปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกลงสู่ผิวน้ำทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ จะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงทำให้สัตว์น้ำอาจตายได้

การแก้ปัญหาที่ผ่านมาได้มีการใช้กระบวนการบำบัดหลายวิธีด้วยกัน เช่น การบำบัดทางกายภาพขั้นสูง เช่น การใช้ระบบ RO การตกตะกอนด้วยวิธีทางเคมี ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ โดยแต่ละวิธียังมีประสิทธิภาพในการบำบัดไม่มากนัก เนื่องด้วยข้อจำกัดต่างๆ เช่น ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ไม่สามารถย่อยสลายสีที่เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากจึงมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไม่ค่อยดี การตกตะกอนด้วยวิธีทางเคมีก็มีปัญหาในเรื่องค่าใช้จ่ายของสารเคมีและการกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้น ส่วนระบบ RO ก็มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและบำรุงรักษาแพง โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศมาใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมซึ่งแสดงประสิทธิภาพค่อนข้างดีและสามารถบำบัดสีได้ด้วย (Zaoyan และคณะ, 1992; Randall, 1993; Shaw และคณะ, 2001; Frijter และคณะ, 2006 และปรีชาวิทย์ รอดรัตน์, 2543) งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบบำบัดไร้อากาศ-เติมอากาศแบบแบทช์มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียนี้อย่างไรก็ตาม เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดสีจึงได้มีการศึกษาหาสารที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดสีเพิ่มขึ้น โดยสารที่เลือกมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้แก่ ผงถ่านกัมมันต์ เพอริกคลอไรด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์



## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมโดยใช้  
ถึงปฏิกิริยาแบบแบคทีเรียที่มีการเดินระบบแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ

1.2.2 เพื่อหาค่าอายุตะกอนที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมโดยใช้  
ถึงปฏิกิริยาแบบแบคทีเรียที่มีการเดินระบบแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ

1.2.3 เพื่อศึกษาผลกระทบของการใส่ผงถ่านกัมมันต์ เพอริกคลอไรด์ และไฮโดรเจน  
เปอร์ออกไซด์ที่มีต่อการทำงานของระบบ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยกำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ดังนี้

1.3.1 งานวิจัยนี้เป็นการทดลองระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้ถึงปฏิกิริยาแบบแบคทีเรีย ขนาด  
5 ลิตร จำนวน 9 ถัง และขนาด 1.25 ลิตร จำนวน 9 ถัง

1.3.2 น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียจริงและน้ำเสียสังเคราะห์จากนมขาดมันเนย และสีชนิด  
Reactive Black 5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.3.3 สารช่วยลดสีที่นำมาใช้มี 3 ชนิด คือ ผงถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้น 200-500  
มิลลิกรัมต่อลิตร เพอริกคลอไรด์ ความเข้มข้น 50-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร และไฮโดรเจนเปอร์  
ออกไซด์ ความเข้มข้น 50-800 มิลลิกรัมต่อลิตร

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบแนวทางและสามารถนำไปออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม  
ด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ

1.4.2 ทราบค่าอายุตะกอนที่เหมาะสม

1.4.3 ทราบประสิทธิภาพของการเติมสารช่วยลดสีแต่ละชนิด

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

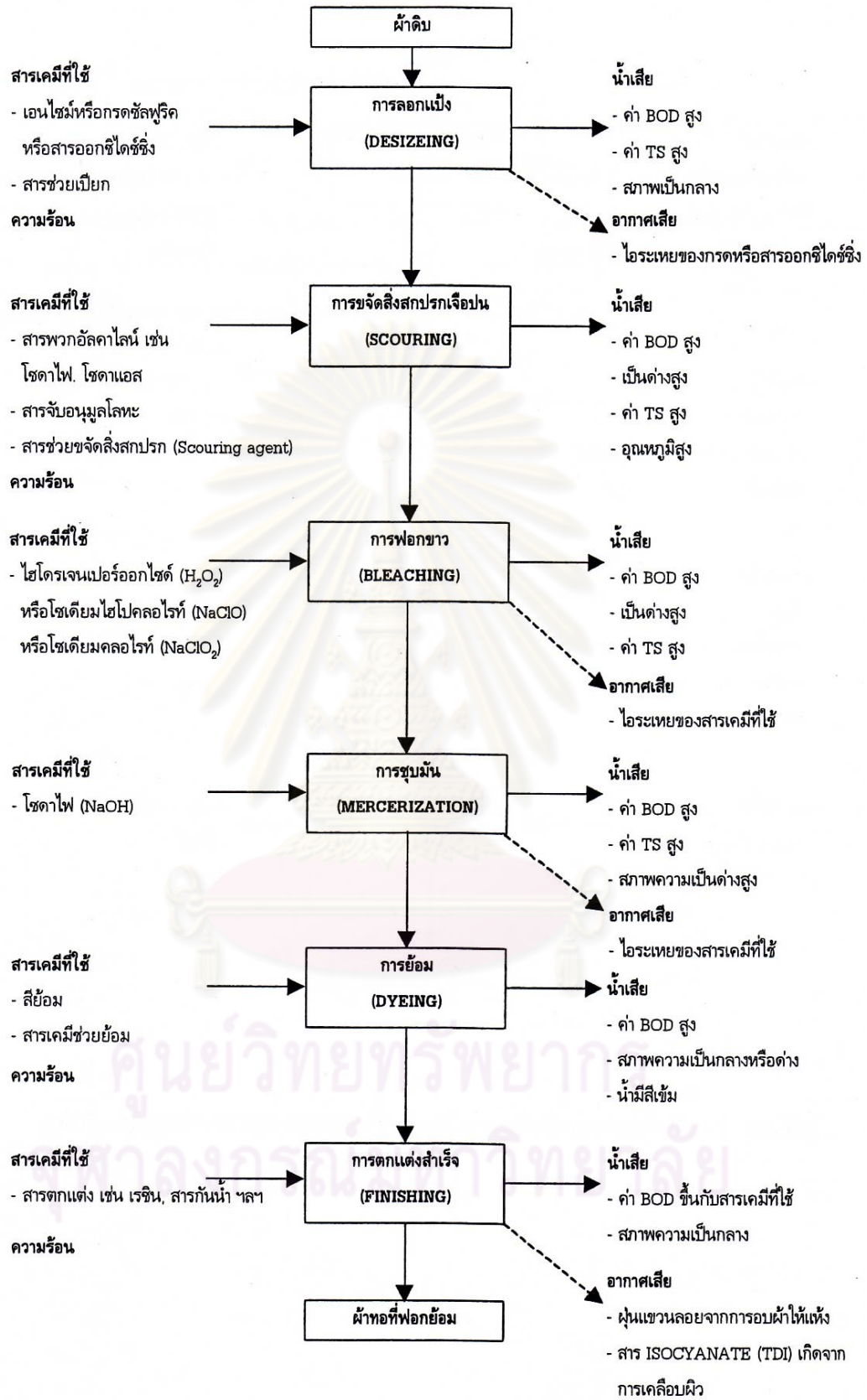
ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมส่วนใหญ่เกิดจากน้ำเสียที่มีแหล่งกำเนิดในเกือบทุกขั้นตอน ตั้งแต่การเตรียมผ้า การใช้สี และการตกแต่งสำเร็จ โดยเฉพาะในกระบวนการชำระล้างทำความสะอาดของแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้น้ำในอัตราที่สูงมาก ซึ่งสิ่งที่พบได้ในน้ำเสียเสมอ ได้แก่ เศษเส้นใย สารเคมี กรดด่าง ไขมัน สบู่ สีย้อม และตัวทำละลาย ทำให้ปริมาณสารมลพิษในน้ำเสียมีปริมาณสูงและเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

#### 2.2 แหล่งกำเนิดน้ำเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

สภาพการเกิดและการระบายน้ำเสียจะเริ่มจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่ถ่ายน้ำเสียลงในรางระบายน้ำภายในโรงงาน หลังจากนั้นน้ำเสียจะไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานก่อนระบายทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะต่อไป ซึ่งน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีที่มาจากแหล่งต่างๆ ที่สำคัญ 5 แหล่งด้วยกัน คือ

##### 2.2.1 กระบวนการผลิต

ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการดำเนินการฟอกย้อม น้ำใช้ในส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้างในระหว่างขั้นตอนการผลิต แต่ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้ยังอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกย้อมซึ่งมีปริมาณไม่มากนักแต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนที่ค่อนข้างสูง และน้ำที่ใช้ในการซักล้างภายหลังการฟอกย้อมจะมีปริมาณมากแต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนต่ำกว่า ซึ่งลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแตกต่างกันไปในแต่ละขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2542)

### 2.2.2 หม้อไอน้ำ

กระบวนการฟอกย้อมอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการและเป็นตัวให้ความร้อนในตู้อบไอน้ำ ถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อ ก็จะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งเข้าไปให้ความร้อนแก่สารละลายย้อมโดยตรง ก็จะเป็นการเพิ่มปริมาตรของสารละลายย้อม และจะถูกรวมเป็นน้ำเสียที่สกปรกที่สุด

### 2.2.3 การหล่อเย็น

ในกระบวนการฟอกย้อม มีบ่อยครั้งที่ทางโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของสารละลายย้อมในเวลาอันสั้น ซึ่งจะทำให้ได้โดยการใช้น้ำหล่อเย็น น้ำที่จากการหล่อเย็นนี้มักมีปริมาณไม่มากนักและมีความสกปรกต่ำ

### 2.2.4 น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน

น้ำส่วนนี้นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม และในบางกรณีก็เป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมากด้วย เช่น น้ำล้างถังเตรียมสีย้อม เป็นต้น

### 2.2.5 น้ำจากแหล่งอื่นๆ

นอกจากน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว โรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมยังอาจมีน้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ อีก เช่น น้ำใช้ของคนงาน หรือน้ำฝน เป็นต้น

## 2.3 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2542)

สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมนั้น มีทั้งสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ ตัวอย่างของสารอนินทรีย์ เช่น ด่างและกรดอินทรีย์ ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต ( $2\text{Na}_2\text{OSiO}_2$ ) โซเดียมซัลไฟด์ ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) แอมโมเนียซัลเฟต ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) โซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaCl}$ ) โซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) และสารฟอกขาวธรรมชาติ ส่วนสารอินทรีย์นั้นมีการใช้อย่างกว้างขวาง ซึ่งประกอบด้วย กรดอินทรีย์ เช่น กรดฟอร์มิก ( $\text{HCOOH}$ ) กรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) กรดไขมัน พวกสบู่ แป้ง สารอินทรีย์ที่ใช้แทนแป้ง ผงซักฟอก สารที่ทำให้เกิดความอ่อนนุ่ม สีย้อม สารนำพา และสารเคมีอื่นๆ อีก เช่น สารที่ป้องกันการซึมของน้ำ สารกันเชื้อรา สารกันไฟ ซึ่งล้วนแต่นำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อผ้าระหว่างกระบวนการตกแต่งสำเร็จทั้งสิ้น

สารเคมีบางตัวอาจมีค่าบีโอดีสูง ซึ่งในขณะที่เดียวกันสารเคมีอื่นๆ ที่มีค่าบีโอดีและมีคุณสมบัติคล้ายกันก็สามารถนำมาใช้ทดแทนกันได้ จึงนิยมใช้สารเคมีที่มีค่าบีโอดีต่ำ เช่น การใช้ Carboxymethyl Cellulose แทนแป้ง ซึ่งมีประโยชน์และไม่เป็นอันตราย หรือหาทางขจัดออกไปได้ง่ายโดยวิธีทางเคมีหรือทางฟิสิกส์แต่ทั้งนี้อาจจะมีสารเคมีบางตัวที่ใช้ทดแทนแล้วทำให้เกิดผลต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลเสียหายต่อสัตว์น้ำหรือการใช้น้ำในอนาคต และทำให้ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้น

เมื่อนำน้ำใช้ไปผ่านกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนนั้นจะมีการใช้สารเคมีหลายชนิดและปริมาณต่างๆ กัน หลังจากนั้นน้ำใช้ผ่านเข้าไปในกระบวนการผลิตแล้วก็จะกลายเป็นน้ำเสียซึ่งจะต้องนำไปปรับปรุงให้มีคุณภาพที่เหมาะสมก่อนที่จะปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะโดยน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการฟอกย้อมนั้นมีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่มากมายหลายประเภท ซึ่งอาจจะจำแนกออกเป็นประเภทที่สำคัญๆ ได้ดังนี้ คือ

### 2.3.1 สีย้อม

สีย้อมเป็นสารเคมีที่สกัดมาจากน้ำมันปิโตรเลียมและถ่านหิน เมื่อผ่านการสกัดจะได้สารไฮโดรคาร์บอน เช่น เบนซีน ไชลีน แอนทาซีน โทลูอีน แนพทาลิน และพาราฟิน ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว สารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้จะถูกนำไปทำปฏิกิริยาด้วยกระบวนการไนเตรชัน แอมมิเนชัน ฯลฯ เพื่อเปลี่ยนสารไฮโดรคาร์บอนไปเป็นสารตัวกลาง (Intermediate) และสารตัวกลางนี้จะถูกนำไปเปลี่ยนเป็นสีย้อมด้วยเทคนิคต่างๆ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527ข) ซึ่งสีย้อมที่ผลิตขึ้นมาจะมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับเส้นใย และกระบวนการย้อมที่มีลักษณะแตกต่างกันไป

#### 1) การเกิดสีของสีย้อม

สีซึ่งปรากฏออกมาทำให้ตามนุษย์ปกติมองเห็นได้เกิดจากการเรียงตัวของกลุ่มอะตอมประเภทหนึ่งภายในโมเลกุลของสีย้อม กลุ่มอะตอมที่กล่าวนี้เรียกกันว่า “โครโมฟอร์” (Chromophores) ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 7 กลุ่ม (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527ข) คือ

- กลุ่มไนโตรโซ (Nitroso Group) :  $-NO$  (หรือ  $=N-OH$ )
- กลุ่มไนโตร (Nitro Group) :  $-NO_2$  (หรือ  $=NO.OH$ )
- กลุ่มเอโซ (Azo Group) :  $-N=N-$



- กลุ่มเอทิลีน (Ethylene Group) :  $\diagup\text{C}=\text{C}\diagdown$
- กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl Group) :  $\diagup\text{C}=\text{O}$
- กลุ่มคาร์บอนิล-ไนโตรเจน (Carbonyl-Nitrogen Group) :  $\diagup\text{C}=\text{NH}$  และ  $-\text{CH}=\text{N}-$
- กลุ่มซัลเฟอร์ (Sulphur Group) :  $\diagup\text{C}=\text{S}$  และ  $-\text{C}-\text{S}-\text{S}-\text{C}-$

กลุ่มอะตอมต่างๆ เหล่านี้จะเป็นตัวเพิ่มสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติก โดยการดูดกลืนแถบสีขาวยุ่บางแถบและปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้มองเห็นสีของสีย้อมมีโทนสีแตกต่างกันไป

สีย้อมโดยทั่วไปนอกจากจะต้องมีกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์แล้ว ยังจำเป็นต้องมีกลุ่มอะตอมอีกชนิดหนึ่ง ได้แก่ กลุ่มอะตอมออกซิโครม (Auxochromes) อันได้แก่ OH, NH<sub>2</sub>, NHR, NR<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> และ COOH เพื่อให้สีย้อมสามารถทำปฏิกิริยายึดติดกับเส้นใยได้ โมเลกุลใดที่ปราศจากกลุ่มอะตอมออกซิโครมโมเลกุลนั้นจะแสดงสมบัติของสีออกมาได้แต่จะขาดสมบัติในการยึดติดกับเส้นใย โมเลกุลดังกล่าวนี้เรียกว่า โครมาเจน (Chromagen) โดยทั้งกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์ออกซิโครม และโครมาเจนนี้จะเป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาแบ่งกลุ่มของสีย้อมตามสูตรโครงสร้างทางเคมี

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของโครโมฟอร์ และออกซิโครมของสีย้อม (บุษรา ประชุมญาติ, 2545)

โครงสร้างทางเคมีของสีย้อม	หมู่พันธะเคมี	ชื่อพันธะ
Chromophores	$-\text{N}=\text{N}-$	Azo
	$>\text{C}=\text{S}$	Thio
	$-\text{N}=\text{O}$	Nitroso
	$\begin{array}{c} \oplus \\   \\ -\text{N}=\text{N}- \\   \\ \text{O} \ominus \end{array}$	Azoxy
	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \nearrow \\ -\text{N} \\ \searrow \\ \text{O} \end{array}$	Nitro

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของโครโมฟอร์ และออกโซโครมของสีย้อม (บุษรา ประชุมญาติ, 2545) (ต่อ)

โครงสร้างทางเคมีของสีย้อม	หมู่พันธะเคมี	ชื่อพันธะ
Chromophores	-C=N-	Azomethine
	>C=O	Carbonyl
	>C=C<	Ethenyl
Auxochromes	-NH <sub>2</sub>	Amino
	-NHCH <sub>3</sub>	Methylamino
	-NH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Dimethyl amino
	-SO <sub>3</sub> H	Sulphonic acid
	-OH	Hydroxy
	-COOH	Carboxylic acid
	-CL	Chloro
	-CH <sub>3</sub>	Methyl
	-OCH <sub>3</sub>	Methoxy
	-CN	Cyano
	-COCH <sub>3</sub>	Acetyl
	-CONH <sub>2</sub>	Amido

## 2) การจำแนกสีย้อม (อัจฉราพร ไสละสูต, 2527)

การจำแนกสีย้อม สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ

(1) จำแนกตามลักษณะทางกายภาพ สามารถแบ่งสีย้อมได้เป็น 2 ชนิด ชนิดหนึ่งละลายน้ำได้เรียกว่า สีย้อม (Dyes) อีกชนิดหนึ่งไม่ละลายน้ำเรียกว่า ปิกเมนต์ (Pigments)

(2) จำแนกตามส่วนประกอบทางเคมี จะมีความยุ่งยากสำหรับผู้ที่ไม่ได้ผ่านการศึกษาด้านเคมีมาโดยตรง นอกจากนี้ สีในกลุ่มเคมีเดียวกันอาจมีวิธีการย้อมแตกต่างกัน ใช้กับเส้นใยแตกต่างกัน อีกประการหนึ่งคือ สูตรโครงสร้างที่แท้จริงของสีย้อมหลายชนิดที่นิยมใช้ในปัจจุบันยังไม่ทราบกันเป็นที่แน่ชัด ทำให้มีข้อจำกัดในการจำแนกสีย้อมด้วยวิธีนี้ อย่างไรก็ตาม สามารถจำแนกสีตามโครงสร้างเคมีของสีได้ดังนี้

## 2.1) Azo Colorants

### 1) Aromatic Diazo Compound

- Diazotization and Diozo Compounds
- The Coupling Reaction

### 2) Azo Compound

- Basic Dyes
- Acid Dyes
- Mordant and Premetallized Dyes
- Direct Dyes

### - Azoic Dyes

## 2.2) Phenylmethane Dyes

## 2.3) Xantene Dyes

## 2.4) Indigoid Dyes

## 2.5) Polycyclicquinone (Anthraquinone, etc.) Dyes

### 1) Anthraquinone Group – Vat Dyes

- Acylamino Anthraquinones
- Condensation Products of Amino Anthraquinone and Cyanuric Chloride
- Anthraquinone Acridones
- Benzanthrone
- Anthanthrones
- Pyranthone and Flavanthrone
- Anthrimides
- Carbazoles
- Sulfur-Containing Anthraquinone Compounds

### 2) Napthalenic Acid Group – Vat Dyes

### 3) Esters of Anthraquinone – Vat Dyes

### 4) Anthraquinonoid – Acid Dyes

2.6) Sulfur Fusion Dyes

2.7) Amine Oxidation Colorants

2.8) Phthalocyanine Colorants

2.9) Onium Dyes

2.10) Reactive Dyes

2.11) Pigments

(3) จำแนกตามลักษณะทางกายภาพและทางเคมีเพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

2.3.2 สารเคมีที่ใช้ช่วยในกระบวนการฟอกย้อม รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จ สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมและการตกแต่ง มีอยู่หลายประเภท แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ 3 กลุ่มดังนี้

- สารช่วยย้อม (Auxiliaries Chemicals) ได้แก่ สารช่วยขจัดสิ่งสกปรก (Scouring Agent) สารช่วยเปียก (Wetting Agent) และสารที่ช่วยในการย้อมสีให้ได้สีที่สม่ำเสมอ (Levelling Agent)

- สารเคมีพื้นฐาน (Basic Chemicals) เป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมโดยตรง ได้แก่ กรด ด่าง บัฟเฟอร์ เกลือ สารฟอกขาว และสารลอกแป้ง

- สารเคมีตกแต่งสำเร็จ ได้แก่ สารที่ป้องกันการซึมของน้ำ สารกันเชื้อรา สารกันไฟ กันยับ ฯลฯ สารเคมีต่างๆ ที่กล่าวข้างต้นเมื่อนำมาใช้ในกระบวนการฟอกย้อม สารเคมีเหล่านี้ส่วนใหญ่จะคงเหลืออยู่ในสารละลายย้อมหรือน้ำซักล้าง และจะถูกปล่อยปนออกมาในน้ำเสีย

### 2.3.3 สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย

วัสดุสิ่งทอที่ถูกนำมาผ่านกระบวนการฟอกย้อมล้วนแต่มีสิ่งสกปรกเจือปน โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติจะมีสิ่งสกปรกเจือปนสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ เพราะนอกจากจะมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมาในระหว่างกระบวนการผลิตแล้ว ยังมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมากับธรรมชาติซึ่งมีปริมาณค่อนข้างมากด้วย เช่น เส้นใยขนแกะมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมากับธรรมชาติที่ต้องขจัดออกไปในขั้นตอนการเตรียมผ้าถึงร้อยละ 10 สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้มีทั้งที่เป็นสารซีผึ้ง ไชมัน โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่างๆ นอกจากนี้ ในกระบวนการผลิตก็ยังมีสารเคมีต่างๆ ลงไปในเส้นใยด้วย เช่น พวกสารหล่อลื่น และแป้งที่ใช้ในการลงแป้งเส้นด้ายยืน เป็นต้น

สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้จะถูกขจัดออกจากเส้นใยในขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนการฟอกย้อมและจะหลุดติดมาในน้ำเสียจากขั้นตอนการเตรียมผ้า

ตารางที่ 2.2 การจำแนกสีย้อมตามลักษณะทางกายภาพและเคมี และแนวทางการบำบัด

ประเภทสีย้อม	ลักษณะทางกายภาพและทางเคมี	แนวทางการบำบัด
สีย้อมเอซิด (Acid Dye)	- กระจุลบ - ละลายน้ำได้ดี - สีติดไม่แน่น	- กระบวนการทางชีวภาพแบบไร้อากาศ (Brown และ Hamburger, 1987)
สีย้อมเมทัลคอมเพล็กซ์เอซิด (Metal Complex Acid Dye)	- กระจุลบ - ละลายน้ำได้น้อย - สีติดแน่น	- ยังไม่มีรายงาน
สีย้อมแวท (Vat Dye)	- เป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- กระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนต ไฮเดรตเบสีกกับปูนขาว สารส้ม และปูนขาว (สมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ, 2525) - กระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527ก)
สีย้อมไดเรกต์ (Direct Dye)	- กระจุลบ - ละลายน้ำได้ดี - สีติดไม่แน่น	- กระบวนการทางชีวภาพแบบไร้อากาศ (Brown และ Hamburger, 1987) - กระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527ก)
สีย้อมดิสเพอร์ส (Disperse Dye)	- ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมาก - กระจายเป็นอนุภาคคอลลอยด์ - สีติดแน่นดี	- กระบวนการเอสปีอาร์แบบธรรมดา และแบบแอนนอนอกซิก- แอโรบิก/ออกซิก (จินตนา แป้นสุวรรณ, 2539) - กระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้เฟอริกคลอไรด์ (Kim และคณะ, 2004)



ตารางที่ 2.2 การจำแนกสีย้อมตามลักษณะทางกายภาพและเคมี และแนวทางการบำบัด (ต่อ)

ประเภทสีย้อม	ลักษณะทางกายภาพและทางเคมี	แนวทางการบำบัด
<p>สีย้อมอะโซอิก (Azoic Dye)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เป็นคอลลอยด์</li> <li>หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำ</li> <li>- ไม่ละลายน้ำ</li> <li>- สีติดแน่น</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- กระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนต ไฮเดรตเบสิกกับปูนขาว สารส้ม และปูนขาว (สมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ, 2525)</li> <li>- กระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527ก)</li> </ul>
<p>สีย้อมรีแอกทีฟ (Reactive Dye)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- กระจุลบ</li> <li>- ละลายน้ำได้ดี</li> <li>- สีติดแน่นดี</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- กระบวนการออกซิเดชันโดยใช้ไฮโอโซน (Horning, 1978 อ้างถึงโดย Reife และ Freeman, 1996)</li> <li>- กระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนต ไฮเดรตเบสิก (Panswad และ Wongchaisuwan, 1986)</li> <li>- กระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ (นवलละออ เนียมสะอั้ง, 2525; ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527ก; อภิชาติ หิรัญจิตต์, 2539; กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์, 2540)</li> <li>- กระบวนการเอสปีอาร์แบบธรรมดา และแบบแอนนอนอกซิก- แอโรบิก/ออกซิก (จินตนา แป้นสุวรรณ, 2539)</li> <li>- กระบวนการออกซิเดชันโดยใช้สารเคมีเฟนตัน (วุฒิ วิพันธ์พงษ์, 2540)</li> <li>- กระบวนการไร้อากาศ-เติมอากาศแบบเอสปีอาร์ (วรวิทย์ เหลืองติลก, 2541)</li> <li>- กระบวนการทางชีวภาพแบบแบทช์โดยใช้แบคทีเรียสายพันธุ์ <i>Pseudomonas luteola</i> (Chang และ Lin, 2000)</li> <li>- กระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้เฟอริกคลอไรด์ (Kim และคณะ, 2004)</li> </ul>

ตารางที่ 2.2 การจำแนกสีย้อมตามลักษณะทางกายภาพและเคมี และแนวทางการบำบัด (ต่อ)

ประเภทสีย้อม	ลักษณะทางกายภาพและทางเคมี	แนวทางการบำบัด
สีย้อมเบสิก (Basic or Cationic Dye)	- กระจุก - ละลายน้ำได้ดี	- กระบวนการออกซิเดชันโดยใช้ไฮโดรเจน (Horning, 1978 อ้างถึงโดย Reife และ Freeman, 1996)
สีย้อมมอร์แดนต์หรือโครม (Mordant or Chrome)	- กระจุก - ละลายน้ำได้ดี - สีติดแน่นดี	- กระบวนการทางชีวภาพแบบไร้อากาศ (Brown และ Hamburger, 1987)
สีย้อมซัลเฟอร์ (Sulphur Dye)	- เป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- กระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนต ไฮเดรตเบสีกกับปูนขาว สารส้ม และปูนขาว (สมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ, 2525) - กระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527ก) - กระบวนการเอสปีอาร์แบบธรรมดา และแบบแอนนอนอกซิก - แอโรบิก/ออกซิก (จินตนา แป้นสุวรรณ, 2539)

#### 2.3.4 เศษเส้นใย

ในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมมีองค์ประกอบอื่นหนึ่งที่จะหลีกเลี่ยงไม่ได้ คือ เศษเส้นใยที่หลุดออกมา เศษเส้นใยนี้หากมีปริมาณมากก็อาจทำให้เกิดปัญหาการอุดตันของน้ำเสียในเครื่องย้อมได้ นอกจากนี้ ในกรณีของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ยังมีสารโอลิโกเมอร์ (Oligomer) ที่อาจหลุดออกมาจากเส้นใยและปะปนในน้ำเสียด้วย

#### 2.3.5 สิ่งสกปรกเจือปนอื่นๆ

นอกจากสิ่งสกปรกเจือปนต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว น้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมยังอาจมีสิ่งสกปรกชนิดอื่นๆ อีก เช่น สารเคมีพิเศษที่ใช้ในการซักดรอยเปื้อนบนผ้าซึ่งมักจะเป็นสารประกอบพวก Chlorinated Benzene พวกสารเคมีที่ใช้ในการล้างเครื่องเหล่านี้ เป็นต้น ซึ่งสารเคมีบางตัวก็อาจมีผลอย่างมากต่อลักษณะสมบัติของน้ำเสียในภายหลัง

จากที่กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า สิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมมีความหลากหลายอย่างยิ่งในแง่ขององค์ประกอบทางเคมี แต่น้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทนี้ยังมีข้อดีอยู่บ้างตรงที่สารส่วนใหญ่เป็นสารที่ง่ายต่อการบำบัด และมีค่าความเป็นพิษต่ำ

## 2.4 พันธะเอโซ (Azo Bond)

พันธะเอโซ (-N=N-) ทำหน้าที่เป็นโครโมฟอร์ (Chromophores) อาจมีหนึ่งกลุ่มหรือมากกว่าก็ได้และมีออกซิโครมได้หลายกลุ่ม สารตัวกลางในปฏิกิริยา (Intermediate) มี 2 ชนิด คือ ไดเอโซ และสารร่วมทำปฏิกิริยา (Coupling) ซึ่งดำเนินปฏิกิริยาในสภาวะเป็นกรดหรือต่างประเภทของสีย้อมที่มีพันธะเอโซเป็นโครโมฟอร์ ได้แก่ (บุษรา ประชุมญาติ, 2545)

2.4.1 Monoazo dyes ประกอบด้วยโครโมฟอร์เอโซเพียง 1 กลุ่ม และแบ่งออกได้อีกเป็น 8 ชนิด คือ

- 1) Monoazo Direct dyes
- 2) Monoazo Acid dyes
- 3) Monoazo food colours
- 4) Monoazo Mordant dyes
- 5) Monoazo Solvent dyes
- 6) Monoazo Disperse dyes
- 7) Monoazo Cationic dyes
- 8) Monoazo Reactive dyes

2.4.2 Diazo หรือ Biazo dyes มีโครโมฟอร์เอโซ 2 กลุ่ม

2.4.3 Triazo dyes มีโครโมฟอร์เอโซ 3 กลุ่ม

2.4.4 Polyazo dyes ประกอบด้วยโครโมฟอร์เอโซตั้งแต่ 4 กลุ่มขึ้นไป

2.4.5 Mordant azo dyes คือ กลุ่มเอโซที่มีสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะทำหน้าที่เป็นมอร์แดนท์หรือตัวช่วยเพิ่มการย้อมเกาะ

2.4.6 Stilbene azo dyes ประกอบด้วยเอโซหนึ่งกลุ่มหรือมากกว่า ซึ่งให้สีเหลืองหรือส้มที่สามารถย้อมได้รวดเร็วและมีการย้อมเกาะที่ดีสำหรับเส้นใยฝ้าย

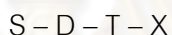
2.4.7 Pyrazolone azo dyes เป็นสีย้อมเอโซที่มีหมู่ไพราซอลในโครงสร้าง

## 2.5 สีย้อมรีแอกทีฟ (Reactive Dyes)

สีย้อมรีแอกทีฟเป็นชื่อสีย้อมที่เรียกตามลักษณะการใช้งาน สีย้อมรีแอกทีฟเป็นสีที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน (Hu, 1992 อ้างโดยโกมล, 2541) เนื่องจากสีชนิดนี้ละลายน้ำได้ดี และย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด โดยจะมีคุณสมบัติเป็นอไอออนลบเมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่าง ขณะย้อมโมเลกุลของสีจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซี (OH) ของเส้นใยเซลลูโลส แล้วเชื่อมโยงติดกันโดยพันธะโคเวเลนต์เพื่อสร้างสารประกอบครอสลิงค์กับเซลลูโลสซึ่งเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่ ทำให้เกิดเป็นสีที่มีความทนทานต่อการซักฟอก

### 2.5.1 โครงสร้างเคมีของสีย้อมรีแอกทีฟ

โครงสร้างทางเคมีของสีย้อมรีแอกทีฟประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 กลุ่ม และสามารถเขียนได้เป็นสัญลักษณ์ของโครงสร้างอย่างง่ายคือ



D = Chromophoric Group เป็นกลุ่มที่ทำให้เกิดสี และสร้างการยึดเกาะกับเส้นใยเซลลูโลส

X = Reactive System เป็นกลุ่มที่ทำให้เกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซี (OH) ของเส้นใยเซลลูโลส

T = Bridging Group เป็นกลุ่มที่ทำหน้าที่เชื่อมระหว่าง Reactive System กับ Chromophore

S = Solubilising Group คือ กลุ่มที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูงและเป็นกลุ่มที่อยู่ติดกับโครโมฟอร์ (Chromophoric Group) โดยทั่วไปเป็นพวกกรดซัลโฟนิก ( $-SO_2Na$ ) อาจมี 1 กลุ่มหรือมากกว่า

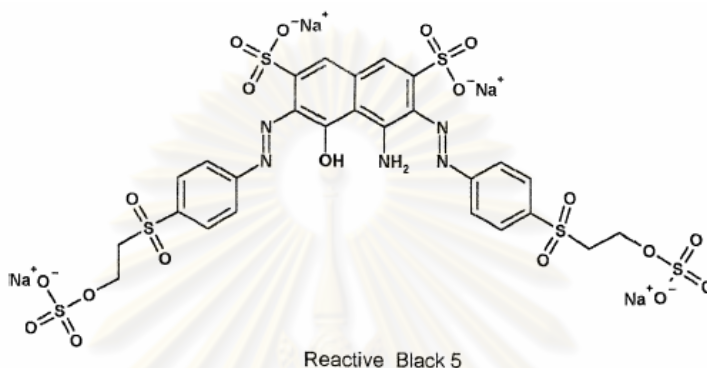
ส่วนประกอบ 2 ส่วนที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สีย้อมแต่ละชนิดแตกต่างกัน คือ

1) กลุ่มโครโมฟอร์ (D)

2) กลุ่มรีแอกทีฟ (X)

### 2.5.2 สี Reactive Black 5

สี Reactive Black 5 มีสูตรทางเคมีคือ  $C_{26}H_{21}N_5Na_4O_{19}S_6$  มีน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) เท่ากับ 991.82 โครงสร้างโครโมฟอร์ (D) เป็นโมเลกุลของกลุ่มไดเอโซ ส่วนกลุ่มที่ทำให้เกิดปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซีของเส้นใยเซลลูโลส (X) คือ Sulphatoethylsulphone โดยมีโครงสร้าง ดังนี้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของสี Reactive Black 5 (Forgacs และคณะ, 2004)

## 2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม กล่าวได้ว่า เป็นน้ำเสียที่มีความหลากหลายเป็นอย่างยิ่งในแง่ของส่วนประกอบของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย ซึ่งจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ คือ

### 2.6.1 กระบวนการฟอกย้อมผลิตภัณฑ์

กระบวนการฟอกย้อมผลิตภัณฑ์แบ่งออกเป็น 3 กระบวนการใหญ่ๆ ดังนี้

- 1) กระบวนการฟอกย้อมเส้นด้าย กระบวนการนี้เริ่มจากการนำเส้นด้ายดิบไปผ่านกระบวนการเตรียมแล้วจึงทำการย้อมสี
- 2) กระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ กระบวนการนี้เริ่มต้นจากการลอกแป้ง การทำความสะอาด การชุบมัน ฟอกขาว แล้วจึงนำมาย้อมสี ก่อนทำการตกแต่งสำเร็จ
- 3) กระบวนการฟอกย้อมผ้าถัก กระบวนการนี้จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับการฟอกย้อมผ้าทอ แตกต่างกันที่การฟอกย้อมผ้าถักจะไม่มีขั้นตอนการลอกแป้ง



สำหรับลักษณะของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการทั้ง 3 ข้างต้นมีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ มีสภาพเป็นด่าง มีค่าบีโอดี ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด และอุณหภูมิสูง

#### 2.6.2 ชนิดของสารลงแป้งบนผ้าทอ

ชนิดของสารลงแป้งบนผ้าทอมีผลอย่างมากต่อลักษณะสมบัติของน้ำเสีย โดยเฉพาะ แป้งที่ใช้กับผ้าฝ้าย ส่วนใหญ่จะเป็นแป้งธรรมชาติซึ่งมีค่าบีโอดีสูง

#### 2.6.3 ชนิดและความสกปรกของเส้นใย

โดยทั่วไป น้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นใยธรรมชาติจะมีความสกปรกมากกว่า เส้นใยสังเคราะห์ เนื่องจากมีสิ่งสกปรกเจือปนติดมามากกว่า

#### 2.6.4 ชนิดของสีย้อมและกรรมวิธีการย้อม

เส้นใยแต่ละชนิดจะมีสีย้อมให้เลือกใช้ได้หลายประเภท แต่ละประเภทก็มีกรรมวิธีการย้อม และมีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีในการช่วยย้อมที่แตกต่างกันไป นอกจากนี้ ในการย้อมสีย้อมแต่ละประเภทก็ยังมีกรรมวิธีการย้อมให้เลือกได้หลายวิธี และแต่ละวิธีก็มีการใช้สารเคมีที่แตกต่างกันไปทั้งในแง่ของชนิดและปริมาณด้วย

### 2.7 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2542)

ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมเป็นดังนี้

1) มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียเกิดจากแป้ง สีย้อม กรดอะซิติก เส้นใย และเส้นด้ายที่ปนออกมากจากกระบวนการย้อมและตกแต่ง นอกจากนี้แล้วสารอินทรีย์อาจเกิดจากสบู่ ไขมัน น้ำมัน ซึ่งเป็นฝ้าคลุมผิวน้ำ และสารทำความสะอาดซึ่งมีลักษณะเป็นฟอง โดยทั่วไปแล้วน้ำเสียนี้นักมีค่าบีโอดีประมาณ 100-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าซีโอดีประมาณ 500-1200 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) มีค่าพีเอชและค่าสภาพด่าง (Alkalinity) สูง น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมักมีค่าพีเอชประมาณ 9-12 และมีค่าสภาพด่างประมาณ 300-900 มิลลิกรัมหินปูนต่อลิตร สารที่ทำให้ น้ำเสียฟอกย้อมมีค่าพีเอชและค่าสภาพด่างสูง ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต

3) มีอุณหภูมิสูง น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีอุณหภูมิสูงประมาณ 50 องศาเซลเซียส

- 4) มีปริมาณของแข็งละลายน้ำสูง ส่วนใหญ่เป็นการละลายของแข็งพวกเกลือโซเดียมและกรดต่างๆ
- 5) มีความขุ่นสีสูง โดยเป็นสีที่ขุ่นขมฝ้า
- 6) มีโลหะหนักเจือปนอยู่ โลหะหนักเหล่านี้เจือปนอยู่ในสีขุ่นขมฝ้า โดยส่วนใหญ่แล้วได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว โครเมียม และสังกะสี
- 7) มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูง

โดยสำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน (2542) ได้ทำการสำรวจโดยการเก็บตัวอย่างน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จำนวน 100 ตัวอย่าง ซึ่งการเก็บตัวอย่างน้ำเสียได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงตัก (Grab Sample) ที่จุดรวมน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย โดยค่าที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ ความสกปรกในรูปของค่าบีโอดี (BOD) ค่าซีโอดี (COD) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) และค่าปริมาณสี โดยใช้วิธีการเทียบสี (Platinum Cobalt Method) ซึ่งได้ผลสรุปค่าประเมินต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ฟอกย้อม	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด					จำนวนข้อมูล (แหล่ง)
	pH	BOD (มก./ล.)	COD (มก./ล.)	SS (มก./ล.)	สี (หน่วย Pt Co)	
ฟอกย้อมด้าย	8.2	120	300	43	450	13
ฟอกย้อมผ้าฝ้าย	9.0	110	370	50	570	16
ฟอกย้อมผ้าทอ	8.6	400	1,200	140	670	41
ฟอกย้อมด้ายและผ้าหรืออื่นๆ	9.1	230	713	65	400	30

ที่มา : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2542

## 2.8 การบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม

ในการกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมที่ใช้ย้อมหลายวิธี เนื่องมาจากสีย้อมที่ใช้กันนั้นมีมากมายหลายชนิด มีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน อีกทั้งในการผลิตยังมีการเติมสารช่วยย้อมต่างๆ ลงไปด้วย ดังนั้นในการเลือกวิธีการกำจัดสีจึงขึ้นอยู่กับสีและกระบวนการฟอกย้อมแต่ละประเภท โดยสรุปวิธีต่างๆ ที่ใช้ในการกำจัดสีได้ดังนี้

### 2.8.1 การกำจัดสีด้วยวิธีการทางกายภาพ

#### 1) กระบวนการโคแอกกูเลชัน

เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการกำจัดสีโดยใช้สารเคมี เช่น ปูนขาว สารส้ม เกลือเฟอริกหรือสารโพลีอิเล็กโทรไลต์เติมลงในน้ำเสียที่มีสีเจือปน เพื่อให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคจนเกิดเป็นฟล็อกแล้วตามด้วยการตกตะกอนฟล็อกที่เกิดขึ้น ซึ่งสีจะถูกจับรวมอยู่ในฟล็อกด้วยจึงทำให้เกิดการลดสีได้ แต่วิธีนี้ต้องใช้สารเคมีปริมาณมากในการกำจัดสีจึงทำให้เกิดสลดจ์ทางเคมีขึ้นในปริมาณมากทำให้ต้องเพิ่มวิธีการกำจัดสลดจ์อีกชั้นตอนหนึ่งและเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นด้วย และที่สำคัญคือ วิธีนี้ใช้ได้กับสีที่ไม่ละลายน้ำ (Reife และ Freeman, 1996)

สมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ (2525) ศึกษาการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันกำจัดสีย้อมประเภทต่างๆ ในน้ำเสียย้อมฝ้าย โดยเลือกแมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรตเบสิกกับปูนขาว สารส้ม และ ปูนขาว เป็นสารโคแอกกูแลนต์ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดขึ้นกับประเภทสีย้อม กล่าวคือ สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำได้แก่ สีย้อมแวท สีย้อมซัลเฟอร์ สีย้อมอะโซอิก สีย้อมเมทัลลิก จะถูกกำจัดได้ง่าย ในขณะที่สีย้อมที่ละลายน้ำได้ดึ้นนั้นกำจัดได้ยากมาก เช่น สีย้อมรีแอกทีฟ ส่วนสีย้อมไคเร็กซ์ซึ่งไม่เด่นชัดว่าละลายน้ำหรือไม่นั้นถูกกำจัดได้ที่ปริมาณโคแอกกูแลนต์สูงๆ นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันยังขึ้นกับโตนสี และชนิดของสารโคแอกกูแลนต์อีกด้วย

Panswad และ Wongchaisuwan (1986) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการลดสีโดยใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรตเบสิกเป็นสารสร้างตะกอนในน้ำเสียสีสังเคราะห์ของสีย้อมรีแอกทีฟที่มีความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่า การใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรตเบสิกเพียงอย่างเดียวเป็นสารสร้างตะกอนจะทำให้ประสิทธิภาพการลดสีต่ำลง แต่เมื่อใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรตเบสิกร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารสร้างตะกอนทำให้

ประสิทธิภาพการลดสีสูงขึ้นตามความเข้มข้นของแมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮดรตเบสิก คือ เมื่อใช้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮดรตเบสิกต่ำกว่า 250 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำให้ประสิทธิภาพการลดสีต่ำมาก แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นแมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮดรตเบสิก 500 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำให้ประสิทธิภาพการลดสีสูงถึง 92 เปอร์เซ็นต์

## 2) กระบวนการดูดติดผิว

การกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดติดผิวเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งต่างๆ ซึ่งนิยมใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) โดยจะมีพื้นที่ผิวระหว่าง 500-1400 ตารางเมตรต่อกรัม (Reife และ Freeman, 1996) นอกจากนี้ยังมีดินเหนียวดูดซึม ชี้อ่าง ดินเหนียวทนไฟ ซิลิกาเจล ไม้ โพลีเมอร์สังเคราะห์ ฯลฯ โดยถ่านกัมมันต์จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงสำหรับสีที่ละลายน้ำได้น้อย ซึ่งได้แก่ สีดีสเพอร์ส สีแวท และสีฟักเมนต์

การใช้ผงถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสีพบว่าประสิทธิภาพการลดสีได้ดี จากงานวิจัยของ อภิชาติ หิรัญจิตต์ (2539) พบว่า ปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดและโทนสีของสีย้อม คือ ถ้าต้องการลดสีย้อมรีเอกทีฟที่มีโทนสีแดงและสีน้ำเงินให้ได้ 95 เปอร์เซ็นต์ ต้องใช้ปริมาณผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 800 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และยังพบว่าต้องมีการใช้สารสร้างตะกอนเพื่อช่วยให้ถ่านกัมมันต์ตกตะกอนได้ดีซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูง ส่วนงานวิจัยของกมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์ (2540) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการลดสีของสีย้อมรีเอกทีฟด้วยระบบแพคท์ พบว่า ประสิทธิภาพการลดสีขึ้นอยู่กับปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ คือ เมื่อใช้ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 25 50 100 150 และ 225 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดสีได้ 26 37 50 64 และ 68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

## 3) กระบวนการเมมเบรน

เป็นวิธีการกำจัดสีที่มีประสิทธิภาพสูง ส่วนมากจะใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมที่มีความเข้มข้นของสีสูง และน้ำที่ได้จากการบำบัดด้วยวิธีการนี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาสูง

#### 4) กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

วิธีการแลกเปลี่ยนไอออนเหมาะกับสารละลายเจือจาง โดยที่เรซินประจุลบใช้กำจัดสีย้อมที่มีประจุลบ ในขณะที่เรซินประจุบวกใช้กำจัดสีย้อมที่มีประจุบวก เรซินจะมีอัตราการแลกเปลี่ยนสูงและง่ายต่อการฟื้นฟูสภาพ โดยเรซินที่มีประจุบวกจะใช้กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก หรือโซเดียมคลอไรด์ทำการฟื้นฟูสภาพ เรซินประจุลบจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำการฟื้นฟูสภาพ ซึ่งมีการนำวิธีแลกเปลี่ยนไอออนมาใช้กำจัดสีในน้ำเสีย โดยที่ประสิทธิภาพในการลดสีแอสิด สีรีแอกทีฟ และสีดิสเพอร์สสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ แต่มีประสิทธิภาพการกำจัดสีได้น้อย

### 2.8.2 การกำจัดสีด้วยวิธีการทางเคมี

#### 1) การออกซิเดชัน

เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูง โดยให้สีทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์เพื่อลดสี สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ คลอรีนในรูปของเหลวหรือก๊าซ ไฮโปคลอไรต์ และโอโซน รวมทั้งการใช้สารเคมีเฟนตัน ในการใช้สารเคมีเหล่านี้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเจือปน ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงทั้งในด้านสารเคมีและอุปกรณ์ต่างๆ นอกจากนี้ ในการบำรุงรักษาต้องกระทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจากสารเหล่านี้มีความเป็นพิษ

การใช้คลอรีนในการลดสีพบว่ามีประสิทธิภาพการลดสีสูง แต่เมื่อใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้มีคลอรีนเหลือตกค้างในน้ำเสีย อาจทำให้เกิดสารประกอบไตรฮาโลมีเทนซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม Ghosh และคณะ (1978) อ้างถึงโดย Reife และ Freeman (1996) พบว่า เมื่อใช้คลอรีน 150 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีประสิทธิภาพการลดสีจากโรงงานฟอกย้อมเท่ากับ 77 เปอร์เซ็นต์ แต่จะมีคลอรีนตกค้างในน้ำเสียประมาณ 110 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อใช้คลอรีนในปริมาณที่ต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไม่มีคลอรีนตกค้างแต่มีประสิทธิผลการลดสีเหลือ 57 เปอร์เซ็นต์

ต่อมาได้มีการใช้โอโซนซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการออกซิไดซ์สูงกว่าคลอรีน และไม่มีสารตกค้างในน้ำเสีย จากงานวิจัยของ Horning (1978) อ้างถึงโดย Reife และ Freeman (1996) พบว่า การใช้โอโซนปริมาณ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดสีรีแอกทีฟ และสีเบสิกได้ แต่มีประสิทธิภาพต่ำเมื่อใช้กับสีดิสเพอร์ส ส่วนในการกำจัดสีไดเรกชันนั้นมีความไม่แน่นอน



นอกจากนี้ การกำจัดสีด้วยไฮโซสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) ได้เพียงเล็กน้อย และต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการติดตั้งระบบ

วุฒิ วิพันธ์พงษ์ (2540) ได้ทำการศึกษาค่าการใช้สารเคมีเฟนตัน (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ + เหล็ก) ในการกำจัดสีของโรงงานฟอกย้อม พบว่า ประสิทธิภาพการลดสีขึ้นอยู่กับปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และอัตราส่วนระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับเหล็กที่ใช้ คือ ประสิทธิภาพการลดสีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระหว่าง 0 ถึง 500 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ประสิทธิภาพการลดสีไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และเมื่อต้องการประสิทธิภาพการลดสีให้ได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์น้อยที่สุดเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ต้องใช้อัตราส่วนระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับเหล็กเท่ากับ 5:1 สำหรับสีย้อมโทนสีดำ แดง และน้ำตาลอ่อน ส่วนสีย้อมโทนสีม่วงต้องใช้อัตราส่วนระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับเหล็กเท่ากับ 10:1

## 2) การรีดักชัน

เป็นการเติมสารเคมีเพื่อทำปฏิกิริยากับสี โดยในปฏิกิริยาจะใช้สีเป็นตัวรับอิเล็กตรอนทำให้โครงสร้างสีแตกจึงเกิดการลดสี สารเคมีที่ใช้โดยทั่วไป คือ โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ (sodium hydrosulfite) หรือ โซเดียมไดไธโอนิต (sodium dithionite) ไทโอยูเรียไดออกไซด์ (thiourea dioxide) หรือ formamidine sulfinic (FAS) acid โซเดียมฟอร์มัลดีไฮด์ซัลไฟต์ (sodium formaldehydesulfoxylate) และ tin (II) chloride (Reife และ Freeman, 1996)

จากการศึกษาของ Brown และ Hamburger (1987) พบว่าในสภาวะไร้อากาศสามารถลดสีย้อมชนิดเอโซได้ โดยพบว่าการลดสีเกิดจากการสลายพันธะของกลุ่มอะตอมเอโซด้วยปฏิกิริยารีดักชัน แต่เมื่อเกิดการสลายพันธะของเอโซจะทำให้เกิดสารประกอบพวกอะโรมาติกซึ่งเป็นสารพิษ และสารเหล่านี้สามารถย่อยสลายได้ในสภาวะเติมอากาศ จึงมีการนำสารรีดิวซ์ซึ่งมาใช้ในกระบวนการบำบัดขั้นต้นและตามด้วยการบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการลดสีของสารรีดิวซ์ซึ่งแต่ละประเภทจะขึ้นอยู่กับค่าพีเอชใน น้ำเสีย เช่นที่ค่าพีเอชเท่ากับ 4 โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์จะมีประสิทธิภาพการลดสีดีที่สุด ส่วนที่ค่าพีเอชเท่ากับ 10.7 ไทโอยูเรียไดออกไซด์จะมีประสิทธิภาพการลดสีดีที่สุด (Reife และ Freeman, 1996)

### 3) กระบวนการทางไฟฟ้าเคมี

จากการที่สถาบัน American Textile ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมทำให้ทราบต่อมาว่านอกจากจะสามารถกำจัดโลหะหนักแล้วยังสามารถกำจัดสีให้ลดลงได้อีกด้วย จึงทำให้มีการใช้เทคโนโลยีนี้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมเป็นครั้งแรก (Uhrich, 1989 อ้างโดย Reife และ Freeman, 1996) โดยใช้ชื่อว่า Andco Environmental Process ซึ่งนอกจากจะสามารถกำจัดสีและโลหะหนักได้แล้วยังสามารถกำจัดบีโอดี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอยได้อีกด้วยโดยจะต้องมีขั้นตอนอื่นๆ ประกอบ เช่น ถังน้ำใส ถังกรอง ตลอดจนการกำจัดสิ่งเจือปนที่เป็นพิษออกจากร้าน้ำทิ้ง ทำให้สามารถนำน้ำที่ผ่านขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วข้างต้นกลับไปใช้ในกระบวนการฟอกย้อมได้อีก

Kennedy (1991) แนะนำวิธีการกำจัดสีในน้ำเสียด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี ซึ่งกระบวนการนี้ไอออนของเหล็ก 200-500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดสีได้ 90-98 เปอร์เซ็นต์ โดยโมเลกุลสีย้อมจะถูกกำจัดด้วยกลไกการดูดติดผิวบนเมตริกซ์ของเฟอร์รัสไอออน ด้วยแรงดึงดูดแบบไฟฟ้าสถิตย์และการถูกล้อมแบบกายภาพ และสีย้อมยังถูกกำจัดด้วยกลไกอื่นๆ เช่น มีพันธะกับไอออนไฮดรอกไซด์ หรือโมเลกุลของสีย้อมเกิดปฏิกิริยารีดักชันขึ้น

#### 2.8.3 การกำจัดสีด้วยวิธีการทางชีวภาพ

##### 1) กระบวนการทางชีวภาพแบบเติมอากาศ

การบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการทางชีวภาพแบบเติมอากาศเป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีการอื่นแต่ปัญหาที่พบคือการทำบำบัดสีย้อม เนื่องจากสีย้อมที่ผลิตขึ้นมาสามารถต้านทานการย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจน และมีการเติมสารเคมีลงไปในสีย้อมเพื่อให้ทนต่อการออกซิไดซ์โดยสารเคมีและแสง สีบางชนิดมีความเป็นพิษต่อจุลชีพ อีกทั้งยังเป็นการยากที่จุลชีพจะสามารถปรับตัวให้ชินกับน้ำเสียได้ เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทั้งจากกระบวนการย้อม สีที่ใช้ย้อม และสารช่วยย้อมต่างๆ

Porter และ Snider (1976) อ้างถึงโดย Dubrow และคณะ (1996) พบว่า เมื่อทดสอบค่าบีโอดี 30 วัน โมเลกุลสีจะถูกย่อยสลายมากกว่าที่ทดสอบที่ค่าบีโอดี 5 วัน โดยการศึกษาใช้กลุ่มจุลชีพที่ไม่ชินกับน้ำเสียที่มีสีย้อมปนเปื้อน ซึ่งสรุปได้ว่าน้ำเสียที่มีสีย้อมต้องการ

ระยะเวลาในการปรับตัวของกลุ่มจุลินทรีย์พืชนานและย่อยสลายได้ช้าซึ่งตรงกับงานวิจัยของ Shriver และ Daque (1978) อ้างโดย Reife และ Freeman (1996) ได้กล่าวว่า น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมจะย่อยสลายได้ช้ากว่าน้ำเสียจากชุมชนโดยทำการทดลองวัดค่าบีโอดีเมื่อเวลาผ่านไป 10 วันพบว่า น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมถูกย่อยสลายไปเพียง 31 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่น้ำเสียชุมชนถูกย่อยสลายไป 92 เปอร์เซ็นต์

Shaul และคณะ (1986) ได้อธิบายไว้ว่ากลไกแรกที่สำคัญสำหรับการกำจัดสีโดยกระบวนการทางชีวภาพแบบเติมอากาศ คือ การดูดติดผิวสไลด์ ความสามารถในการกำจัดสีขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญคือ สมบัติ โครงสร้างและโมเลกุลของสี จำนวนและตำแหน่งของกลุ่มย่อย (Substituents) ในโมเลกุลสี ความสามารถในการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นหากว่ามีกลุ่มไฮดรอกซิล (OH) ไนโตร (nitro) เอโซ (azo) อยู่ในโมเลกุลสี และการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของโมเลกุลสี แต่ถ้าในโมเลกุลของสีมีกลุ่มซัลโฟ (sulfo) อยู่จะทำให้ความสามารถในการกำจัดสีโดยกระบวนการแยกทิวเต็ดสไลด์ลดลง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของฟล็อก ขนาดพื้นที่ผิวของฟล็อก และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยพบว่าถ้าเพิ่มพื้นที่ผิวและค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า จะทำให้ความสามารถในการกำจัดสีเพิ่มขึ้น

Marquez และ Costa (1996) ศึกษาการใช้ระบบ PACT (Powder Activated Carbon Treatment) ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ที่ย่อยยาก โดยการเติมผงถ่านกัมมันต์ในระบบแยกทิวเต็ดสไลด์จำลองในห้องปฏิบัติการ แล้วศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพ (biomass) กับการกำจัดสี พบว่า ที่ความเข้มข้นมวลชีวภาพประมาณ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการกำจัดสีได้ดีที่สุด เนื่องจากมีพื้นที่ผิวเพียงพอในการดูดติดสีและให้จุลินทรีย์ยึดเกาะและเจริญเติบโต แต่เมื่อความเข้มข้นมวลชีวภาพมากกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร พื้นที่ผิวของผงถ่านมีน้อยลงเนื่องจากมีมวลชีวภาพยึดเกาะมากเกินไปจนขาดพื้นที่ผิวเหลือสำหรับการดูดติดผิวกับสีย้อม

กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์ (2540) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีในระบบแยกทิวเต็ดสไลด์ด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ พบว่า ประสิทธิภาพการลดสีขึ้นอยู่กับปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ คือ เมื่อใช้ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 25 50 100 150 และ 225 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี 26 37 50 64 และ 68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยระบบแยกทิวเต็ดสไลด์ที่เติมผงถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้นจาก 13.5-27

เปอร์เซ็นต์ เป็น 26-68 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นจาก 67-75 เปอร์เซ็นต์ เป็น 74-84 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ผงถ่านกัมมันต์ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนของสลัดจ์จากระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ด้วย

## 2) กระบวนการทางชีวภาพแบบไร้อากาศ

การศึกษากการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเจือปนด้วยระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ซึ่งในอดีตได้มีการศึกษาเกี่ยวกับแบคทีเรียที่ใช้สำหรับระบบบำบัดแบบไร้อากาศเพื่อบำบัดสีย้อม โดยจากผลการศึกษาพบว่าแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในลำไส้ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีความสามารถย่อยสลายสีย้อมอาหารชนิดเอโซได้ (Carliell และคณะ, 1995) ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาการสลายพันธะเอโซด้วยจุลชีพประเภทเดียวกับที่อยู่ในลำไส้ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

Haug และคณะ (1991) ได้เสนอว่าการย่อยสลายสีย้อมจนสมบูรณ์ได้ควรมีทั้งขั้นตอนไร้อากาศและขั้นตอนเติมอากาศ อีกทั้งจำเป็นต้องใช้จุลชีพหลายชนิดจึงจะทำให้เกิดการย่อยสลายสีย้อมจนสมบูรณ์

Chung และคณะ (1992) ได้รวบรวมผลการศึกษากับแบคทีเรียหลายชนิดซึ่งเป็นแบคทีเรียในลำไส้ที่ต่างก็สามารถลดสีชนิดเอโซได้ และมักจะพบเอนไซม์ azoreductase ในแบคทีเรียเหล่านี้ และ Chung ยังได้ระบุว่าเอนไซม์ azoreductase นี้ไม่สามารถทนออกซิเจนได้ และต้องการสารประกอบฟลาวิน (flavin) เช่น โคเอนไซม์ FAD เพื่อช่วยในการทำงานของเอนไซม์ นั่นคือ สาร FAD จะถูกรีดิวซ์ด้วยสาร NADH กลายเป็น FADH<sub>2</sub> (reduced flavin nucleotides) และ FADH<sub>2</sub> ก็ถ่ายอิเล็กตรอนให้กับพันธะเอโซของสีย้อม แล้วพันธะเอโซก็แตกออกนั่นเอง ดังนั้นการลดสีในน้ำเสียจึงไม่ใช่การย่อยสลายโดยตัวสีเป็นสารให้อิเล็กตรอนเช่นสารอินทรีย์ในน้ำเสียทั่วไป แต่ทำหน้าที่เป็นสารออกซิไดซ์เอเจนต์สำหรับ FADH<sub>2</sub> ในการเปลี่ยนรูปกลับเป็นโคเอนไซม์ FAD ในระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป (Gingell และ Waker, 1971 อ้างโดย Carliell และคณะ, 1995)

Carliell และคณะ (1996) ได้เสนอกลไกการรับอิเล็กตรอนของสีเอโซภายใต้สภาวะไร้อากาศ และยังมีการศึกษาการลดสีด้วยแบคทีเรียชนิดต่างๆ มากมาย และส่วนใหญ่แบคทีเรียที่สามารถลดสีได้ก็มักจะมีเอนไซม์ azoreductase ที่เป็นตัวการทำให้พันธะเอโซแตกออกเช่นเดียวกับแบคทีเรียในลำไส้

การศึกษาการลดสีด้วยแบคทีเรียในลำไส้ที่กล่าวมาข้างต้น จึงเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาการลดสีย้อมจากโรงงานฟอกย้อมภายใต้สภาวะไร้อากาศ เนื่องจากสีย้อมส่วนใหญ่มักจะมีกลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพันธะเอโซ ดังนั้น ถ้ามีการทำลายพันธะเอโซได้กลุ่มโครโมฟอร์ของสีย้อมเหล่านี้ก็จะไม่สามารถแสดงสีได้ต่อไป ทำให้เป็นประโยชน์ต่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในระยะหลังที่มีการผลิตสีรีแอกทีฟขึ้นมาใช้ ถึงแม้จะเป็นสีที่ยึดติดกับเส้นใยได้เป็นอย่างดีแต่ก็เป็นสีที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูงทำให้น้ำเสียที่มีสีย้อมรีแอกทีฟหลงเหลืออยู่ยังบำบัดได้ยาก

งานวิจัยที่มีคุณประโยชน์อย่างยิ่ง และเป็นเอกสารอ้างอิงของงานวิจัยต่อๆ มาที่เกี่ยวกับการลดสีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ก็คือ งานวิจัยของ Brown และ Hamburger (1987) ที่ทำการศึกษาสีย้อมอะโซ 14 ชนิด พบว่าสีเกือบทุกชนิดที่ได้นำมาศึกษาซึ่งมีทั้งสีเอซิด สีไดเร็กซ์ และสีเมอร์แดนท์ ถูกย่อยสลายได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่า สารประกอบที่เกิดจากการย่อยสลายโมเลกุลของสีชนิดเอโซส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะโรมาติกเอมีน

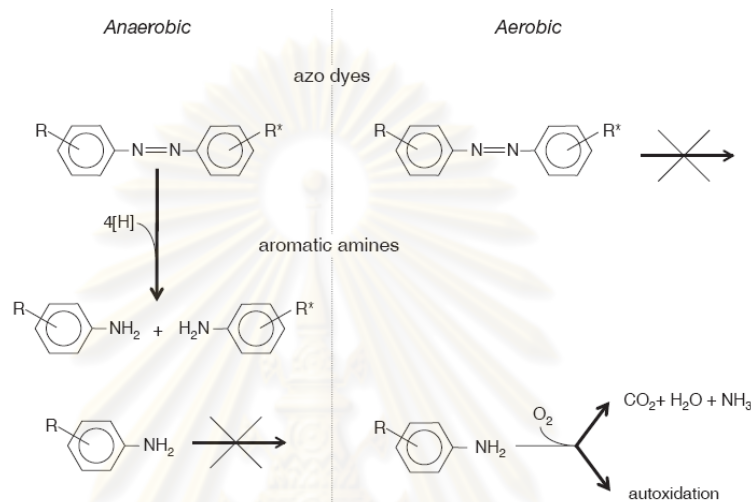
ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการลดสีที่เกิดขึ้นในช่วงสภาวะไร้อากาศสามารถสรุปได้ดังนี้ (ปรีชาวิทย์ รอดรัตน์, 2543)

- ปริมาณไนเตรตในระบบ พบว่า เมื่อมีไนเตรตในระบบจะทำให้เกิดการยับยั้งการลดสีเนื่องจากไนเตรตมีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่าสีย้อม
- ความเข้มข้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการลดสีต่ำลงเล็กน้อย แต่ปริมาณการลดสีเพิ่มขึ้น
- เวลาพักน้ำในช่วงสภาวะไร้อากาศ เมื่อเวลากักน้ำนานขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการลดสีสูงขึ้น
- โครงสร้างทางเคมีของสีย้อม พบว่า การลดสีจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อสีย้อมเป็นโครงสร้างอะโซ



### 3) กระบวนการทางชีวภาพแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ

จากการศึกษา พบว่า ในสภาวะไร้อากาศจะสามารถลดสีย้อมเอโซได้ โดยพบว่าการลดสีเกิดจากการสลายพันธะของกลุ่มอะตอมเอโซ แต่เมื่อเกิดการสลายพันธะจะทำให้เกิดสารประกอบอะโรมาติกเอมีนซึ่งเป็นสารอันตรายและไม่สามารถย่อยสลายได้ในสภาวะไร้อากาศ แต่จะสามารถย่อยสลายได้ในสภาวะเติมอากาศ



รูปที่ 2.3 การบำบัดสีเอโซและกลุ่มอะโรมาติกเอมีนของสภาวะไร้อากาศ-เติมอากาศ  
(Van der Zee และ Villaverde, 2005)

Zaoyan และคณะ (1992) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมโดยใช้ระบบจานหมุนชีวภาพ (RBC) ร่วมกับระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ โดยระบบจานหมุนชีวภาพที่ใช้ประกอบด้วยจานหมุน 3 ชุดต่ออนุกรมกันและเป็นระบบไร้อากาศ โดยจานหมุนจะจมอยู่ใต้ระดับน้ำทั้งหมด และมีชุดจานหมุนแบบจุลชีพใช้อากาศอีก 3 ชุดต่ออนุกรมกันเช่นเดียวกัน และตามด้วยระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การบำบัดน้ำเสียที่มีสีด้วยขั้นตอนไร้อากาศเพียงอย่างเดียวไม่สามารถลดสีได้ดีเท่ากับการใช้กระบวนการไร้อากาศร่วมกับขั้นตอนเติมอากาศ Zaoyan กล่าวว่า ขั้นตอนไร้อากาศสามารถลดสีในน้ำเสียลงได้ และยังสามารถย่อยสลายที่ย่อยสลายได้ยากให้กลายเป็นสารที่ย่อยง่ายขึ้น และสามารถถูกออกซิไดซ์ได้สมบูรณ์ด้วยขั้นตอนเติมอากาศต่อไป

Randall (1993) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีขั้นตอนไร้อากาศแล้วตามด้วยขั้นตอนเติมอากาศ โดยเปลี่ยนแปลงเวลากักน้ำในขั้นตอนไร้อากาศเป็น 2 ค่า โดยในช่วงแรกของการทดลองที่เวลากักน้ำ 12 ชั่วโมง และในช่วงหลังเป็น 6 ชั่วโมง ส่วนระบบเติมอากาศมีเวลา

กักน้ำ (HRT) เท่ากับเวลากักตะกอน (SRT) ประมาณ 30 วัน ผลการทดลองปรากฏว่า การลดสีในชั้นตอนไร้อากาศที่การทดลองเวลากักน้ำ 12 ชั่วโมงมีมากกว่าที่ 6 ชั่วโมง และการลดสีส่วนใหญ่ของระบบเกิดขึ้นในชั้นตอนไร้อากาศ คือ ประมาณ 55-60 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ชั้นตอนการเติมอากาศลดสีได้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการดูดติดผิวในสลัดจ์ ส่วนการกำจัดคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) ในชั้นตอนไร้อากาศมีค่อนข้างน้อย แต่จะถูกกำจัดมากในชั้นตอนการเติมอากาศ ดังนั้น Randall จึงเสนอว่า ควรใช้การบำบัดแบบไร้อากาศร่วมกับการบำบัดแบบเติมอากาศในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมให้ได้ผลดีที่สุด

จินตนา แป้นสุวรรณ (2539) ศึกษาการกำจัดสีจากโรงงานฟอกย้อมด้วยกระบวนการเอสปีอาร์แบบธรรมดา และแบบแอนนออกซิก-แอโรบิก/ออกซิก ( $A_2O$ -SBR) โดยมีการเติมแหล่งคาร์บอน 2 ชนิด คือ น้ำตาลและกรดอะซิติก เมื่อศึกษาสีที่ต่างชนิดกัน คือ สีดีสเพอร์ส สีรีแอกทีฟ และสีซัลเฟอร์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดเรียงจากมากไปน้อย โดยสีดีสเพอร์สและสีซัลเฟอร์มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงในช่วงออกซิก เนื่องจากสีทั้งสองละลายน้ำได้ไม่ดีจึงถูกกำจัดโดยกระบวนการดูดติดผิวของฟล็อกของแบคทีเรีย ส่วนการกำจัดสีรีแอกทีฟจะมีประสิทธิภาพการกำจัดในช่วงแอนนออกซิก-แอนแอโรบิกสูง อาจเนื่องจากสีรีแอกทีฟมีความสามารถในการละลายน้ำสูงจึงถูกดูดติดที่ผิวฟล็อกได้เล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในช่วงแอนนออกซิก-แอนแอโรบิก ที่ระยะเวลายาวนาน จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสูงกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเอสปีอาร์แบบธรรมดากับแบบแอนนออกซิก-แอโรบิก/ออกซิก ( $A_2O$ -SBR) ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของระบบแบบแอนนออกซิก-แอโรบิก/ออกซิก ( $A_2O$ -SBR) มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย การกำจัดสารอินทรีย์ ไนโตรเจนรูปที่เคเอ็น และฟอสฟอรัส มีค่าใกล้เคียงกันมาก

วรวิทย์ เหลืองดิลก (2541) ศึกษาผลของโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมรีแอกทีฟต่อการลดสีโดยกระบวนการไร้อากาศ-เติมอากาศแบบเอสปีอาร์ โดยทำการทดลองบำบัดน้ำเสียสีรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินที่มีโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกัน โดยมีการเติมกลูโคสและกรดอะซิติกเป็นแหล่งคาร์บอนที่ความเข้มข้น 20 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า การลดลงของสีที่โครงสร้างต่างๆ กันจะมีประสิทธิภาพการลดสีแตกต่างกัน คือ โครงสร้างสีเอไซจะถูกลดสีโดยการแตกพันธะเอไซ สีโครงสร้างแอนทราควิโนนจะถูกลดโดยกระบวนการดูดซับบนฟล็อก สีโครงสร้างออกซาซีน ไม่สามารถสรุปกลไกได้เนื่องจากมีสมบัติทางเคมีที่แปลก และความสามารถในการลดสีจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้น

Van der Zee และ Villaverde (2005) อธิบายเกี่ยวกับการกำจัดสีว่ากระบวนการแรก คือ กระบวนการไร้อากาศจะสามารถแตกพันธะสีทำให้สีมีค่าลดลงแต่จะทำให้เกิดกลุ่มสารประกอบอะโรมาติกเอมีนซึ่งเป็นสารอันตรายและไม่สามารถกำจัดได้ในขั้นตอนนี้ แต่กลุ่มสารประกอบอะโรมาติกเอมีนสามารถลดลงได้เมื่ออยู่ในกระบวนการเติมอากาศซึ่งเป็นกระบวนการที่สอง ดังนั้นกระบวนการไร้อากาศ-เติมอากาศจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับบำบัดสีเอโซ

Isik และ Sponza (2008) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมสังเคราะห์โดยใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ ที่ค่าเวลาเก็บกัก (HRT) ต่างๆ พบว่าประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดีอยู่ในช่วง 91-97 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการลดสีอยู่ในช่วง 84-91 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าเวลาเก็บกัก (HRT) ของไร้อากาศและเติมอากาศ คือ 19.17 และ 1.22 วัน ตามลำดับ และยังพบว่าสารประกอบอะโรมาติกเอมีนลดลงเมื่อบำบัดแบบเติมอากาศ

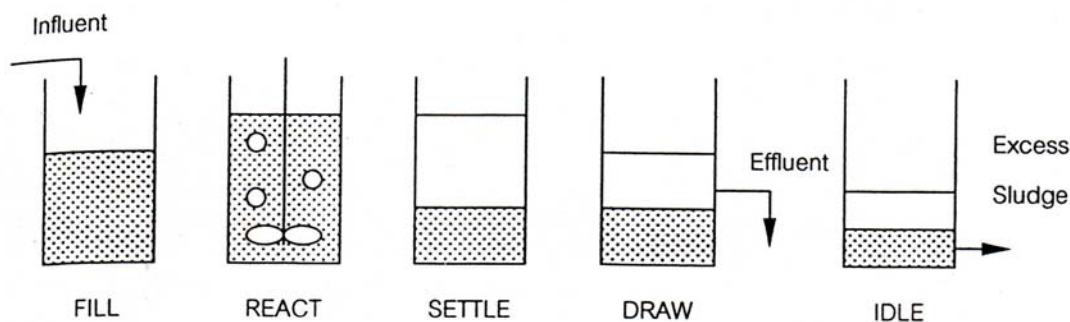
## 2.9 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR)

ระบบเอสบีอาร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ถังเติมอากาศ ทำหน้าที่ทั้งการเติมอากาศเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ และทำหน้าที่แยกสลัดจ์ด้วยการตกตะกอนภายในถังเดียวกัน โดยขั้นตอนการทำงานจะปล่อยให้ น้ำเสียไหลเข้าสู่ถังที่มีจุลชีพอยู่ภายในถังและทำการเติมอากาศ เมื่อถึงเวลาที่กำหนดจะหยุดเติมอากาศเพื่อทิ้งให้ตกตะกอน ซึ่งจะได้น้ำใสส่วนบนที่สามารถปล่อยทิ้งออกได้เป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการบำบัด จากนั้นจะเริ่มกระบวนการใหม่

### 2.9.1 หลักการทำงานของระบบเอสบีอาร์

ขั้นตอนการทำงานของระบบเอสบีอาร์จะทำงานเป็นวัฏจักร ซึ่งแต่ละวัฏจักรประกอบด้วย 5 ขั้นตอน (Metcalf และ Eddy, 2004) ดังรูปที่ 2.4 ได้แก่

- 1) ขั้นตอนการรับน้ำเสีย คือ การเติมน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยาจนเต็มถัง ซึ่งปกติจะมีน้ำและสลัดจ์ค้างอยู่แล้วในขั้นตอนพักระบบอยู่ประมาณ 25% ของปริมาตรถัง ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 25% ของวัฏจักร
- 2) ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยา ในขั้นตอนนี้จะมีการเติมอากาศและการกวนอย่างสมบูรณ์และใช้เวลาประมาณ 35% ของวัฏจักร
- 3) ขั้นตอนการตกตะกอน ขั้นตอนนี้จะไม่มีการเติมอากาศและการกวน เพื่อปล่อยให้สลัดจ์จมตัวลง ใช้เวลาประมาณ 20% ของวัฏจักร



รูปที่ 2.4 การทำงานของระบบเอสปีอาร์ (ธนินทร์ ปัญญาภิญญผล, 2543)

4) ขั้นตอนการระบายน้ำทิ้ง เป็นการปล่อยน้ำใสส่วนบนทิ้ง เหลือน้ำและสลัดจ์ในถังปฏิกิริยาประมาณ 35% ของปริมาตรถัง

5) ขั้นตอนการพักระบบ จะใช้ในการพักระบบในกรณีที่มีการใช้ถังเติมอากาศหลายใบเพื่อรับน้ำเสียได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งต้องมีการเหลื่อมเวลากันในการรอน้ำเสียของแต่ละใบ และเมื่อครบรอบการทำงานก็จะเริ่มรับน้ำเสียอีกครั้ง นอกจากนี้อาจมีการระบายสลัดจ์ส่วนเกินทิ้งในขั้นตอนนี้

ในกรณีที่ระบบเอสปีอาร์มีถังเติมอากาศใบเดียวไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนการพักระบบและการระบายสลัดจ์ส่วนเกินทิ้ง อาจทำได้ในปลายขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาหรือในช่วงเริ่มต้นของขั้นตอนการตกตะกอน ส่วนความถี่และปริมาณการระบายสลัดจ์ทิ้งขึ้นอยู่กับค่าอายุสลัดจ์

## 2.9.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบเอสปีอาร์

### 2.9.2.1 ข้อดีของระบบเอสปีอาร์

- ไม่ต้องมีถังตกตะกอนและระบบหมุนเวียนสลัดจ์ ซึ่งจะทำให้ประหยัด และการควบคุมระบบไม่มีความยุ่งยาก

- ป้องกันการเกิดการไหลลัดวงจรของน้ำเสีย

- จำกัดการเจริญเติบโตของจุลชีพแบบเส้นใย (Filamentous Bacteria) ซึ่งเป็นการป้องกันสลัดจ์ไม่จมตัว

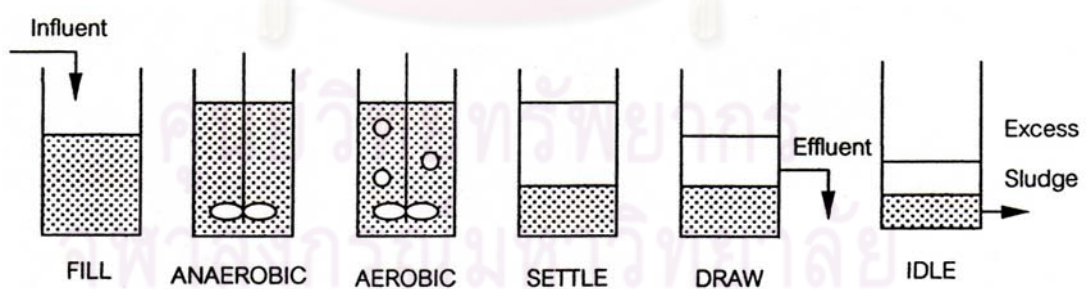
- ระบบสามารถดัดแปลงหรือปรับปรุงเพื่อให้เป็นกระบวนการกำจัดธาตุอาหาร (Biological Nutrient Removal) ได้ง่าย

- ตามทฤษฎี ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบแบบที่ย่อมดีกว่าการไหลต่อเนื่อง สามารถรองรับน้ำเสียในกรณีที่มีปริมาณมากหรือมีความเข้มข้นสูงในช่วงเวลาสั้นๆ ได้ดี
- มีความยืดหยุ่นในการปรับระยะเวลาในแต่ละหน้าที่การทำงานให้เหมาะสมกับความเข้มข้นของน้ำเสีย

### 2.9.2.2 ข้อเสียของระบบเอสปีอาร์

- การใช้ระบบเอสปีอาร์เพื่อรับน้ำเสียที่ไหลแบบต่อเนื่อง และมีการไหลแบบแปรผันจะทำให้ยากแก่การควบคุม
- อาจต้องมีถังพักน้ำเสียที่มีขนาดใหญ่เพื่อความสะดวกในการควบคุมระบบ
- มีความยุ่งยากในการออกแบบระบบระบายน้ำทิ้ง ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญเป็นอย่างมากในการออกแบบ มิฉะนั้นอาจทำให้สลัดจ์หลุดออกไปกับน้ำทิ้งได้

อย่างไรก็ตาม สำหรับในงานวิจัยนี้ ได้มีการนำระบบเอสปีอาร์มาประยุกต์ใช้เป็นระบบเอสปีอาร์แบบไร้อากาศ-เติมอากาศ โดยมีขั้นตอนในการเดินระบบ คือ ปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ถังที่มีจุลชีพอยู่ภายในถัง ทำการกวนและเดินระบบในสภาวะไร้อากาศจากนั้นเมื่อครบตามเวลาที่กำหนดจะทำการเติมอากาศ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการเติมอากาศจะปล่อยทิ้งไว้ให้ตกตะกอน แล้วนำน้ำใสส่วนบนปล่อยทิ้งออกถือเป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการบำบัด จากนั้นจะเริ่มกระบวนการใหม่ (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 ระบบบำบัดเอสปีอาร์แบบไร้อากาศ-เติมอากาศ (ธนิษฐ์ ปัญญาภิณูญผล, 2543)



## 2.10 การควบคุมอายุสลัดจ์

อายุสลัดจ์หรือเวลากักพักของแข็ง (Sludge Retention Time, SRT) หมายถึง ระยะเวลาเฉลี่ยที่จุลชีพหมุนเวียนอยู่ในระบบ เป็นค่าที่สำคัญในการออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบและมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ การควบคุมค่าอายุสลัดจ์ให้มีค่าคงที่จะทำให้อัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพมีค่าคงที่ไปด้วย ซึ่งค่าที่ควบคุมเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของน้ำทิ้ง ในการควบคุมระบบจะต้องทดลองหาค่าอายุสลัดจ์ที่เหมาะสม โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอายุสลัดจ์กับน้ำทิ้ง เช่น บีโอดี และของแข็งแขวนลอย แล้วเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยค่าอายุสลัดจ์สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{อายุสลัดจ์} = \frac{\text{น้ำหนักของจุลชีพในถังเติมอากาศ}}{\text{น้ำหนักของจุลชีพที่ออกจากระบบต่อวัน}}$$

สำหรับการหาค่าอายุสลัดจ์ในการเดินระบบแบบแบทช์สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V_w = V_D + V_{EX} \quad (1)$$

โดยที่

$$V_w = \text{ปริมาตรน้ำที่ทิ้งทั้งหมด (ลิตร)}$$

$$V_D = \text{ปริมาตรน้ำที่ทิ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ลิตร)}$$

$$V_{EX} = \text{ปริมาตรน้ำที่นำออกไปใช้วิเคราะห์ (ลิตร)}$$

$$F_w = \frac{V_w}{t_{EX}} \quad (2)$$

โดยที่

$$F_w = \text{อัตราการทิ้งน้ำรวม (ลิตร)}$$

$$t_{EX} = \text{เวลาในการทดลองแต่ละรอบ (วัน)}$$



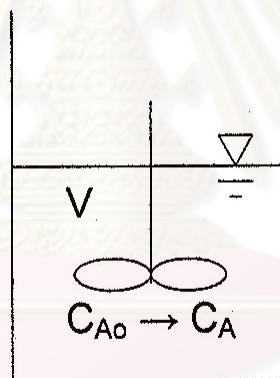
$$\theta_c = \frac{V_R}{F_W} \quad (3)$$

โดยที่  $\theta_c$  = อายุตะกอน (วัน)  
 $V_R$  = ปริมาณน้ำในถังปฏิกริยา (ลิตร)

## 2.11 แนวทางการนำผลที่ได้จากงานวิจัยไปใช้ในการออกแบบระบบจริง

### 2.11.1 ระบบแบบแบทช์ (Batch)

การทำงานของระบบแบบแบทช์ คือ การนำสารตั้งต้นทั้งหมดป้อนเข้าสู่ถังปฏิกริยาแล้วจึงเริ่มปฏิกริยา เติมนปฏิกริยาตามเวลาที่กำหนดถือเป็นการเสร็จสิ้นปฏิกริยานั้น โดยที่ความเข้มข้นของสารเริ่มต้นจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา



รูปที่ 2.6 ถังปฏิกริยาแบบแบทช์

สมดุลมวล :

$$r_A V = \frac{d(M_A)}{dt}$$

โดยที่

$$M_A = C_A V$$

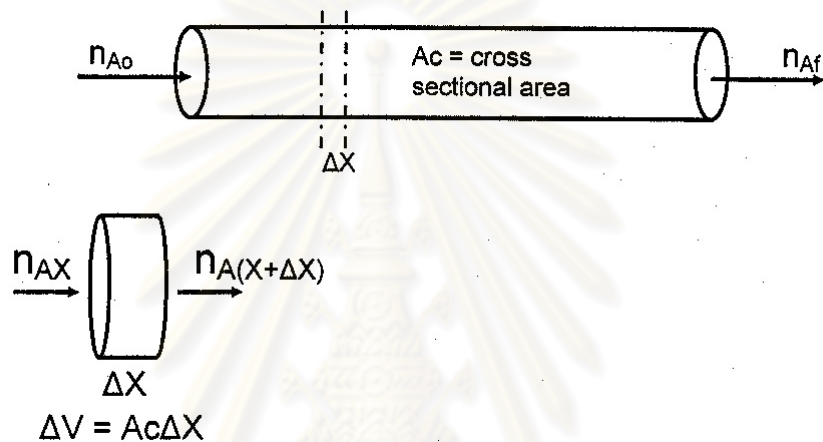
$$r_A V = \frac{d(C_A V)}{dt}$$

$$-r_A = \frac{dC_A}{dt}$$

(4)

### 2.11.2 ระบบ Plug Flow

ในระบบ Plug Flow ของเหลวหรือของไหลจะไหลผ่านท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันตลอด ในลักษณะลูกสูบที่ถูกดันออกไป ด้วยความเร็วที่เท่ากันและเวลาเดียวกัน ความเข้มข้นในแนวตั้งฉากกับการไหลเท่ากันตลอด และจะไม่มีการผสมในแนวเดียวกับการไหล เพราะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ตามทฤษฎีการไหลแบบ Plug Flow อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของถังปฏิกิริยาจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 10 ( $L/W \geq 10$ )



รูปที่ 2.7 ถังปฏิกิริยาแบบ Plug Flow

$$\begin{aligned} \text{สมดุลมวล} : \quad n_{Ax} - n_{A(x+\Delta X)} + r_A \cdot Ac \cdot \Delta X &= d(Ac \cdot \Delta X \cdot C_A)/dt \\ -(n_{A(x+\Delta X)} - n_{Ax})/\Delta X + r_A \cdot Ac &= Ac \cdot dC_A/dt \\ -dn_A/dX + r_A \cdot Ac &= Ac \cdot dC_A/dt \end{aligned}$$

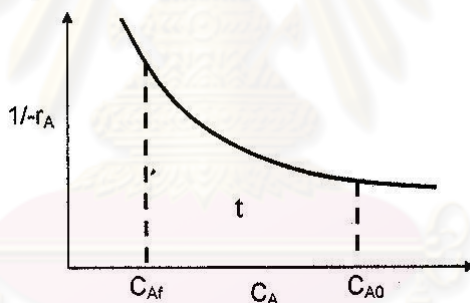
$$\begin{aligned} n_A = F \cdot C_A, \text{ Steady State } dC_A/dt = 0 : -F \cdot dC_A/dX + r_A \cdot Ac &= 0 \\ -r_A &= F/Ac \cdot dC_A/dX \end{aligned} \quad (5)$$

### 2.11.3 การหาเวลาเก็บกักของระบบแบบแบทช์ (Batch) และระบบ Plug Flow

#### 1) ระบบแบบแบทช์ (Batch)

อัตราการเกิดปฏิกิริยาของระบบแบบแบทช์ คือ การเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นเทียบกับเวลา

$$\begin{aligned} \text{จาก } r_A &= \frac{dC_A}{dt} \\ t &= \int_{C_{A0}}^{C_{Af}} \frac{dC_A}{r_A} = \int_{C_{Af}}^{C_{A0}} \frac{dC_A}{-r_A} \\ t &= \int_{C_{Af}}^{C_{A0}} \frac{dC_A}{-r_A} \\ t &= \int_{C_{Af}}^{C_{A0}} \frac{1}{-r_A} dC_A \end{aligned}$$



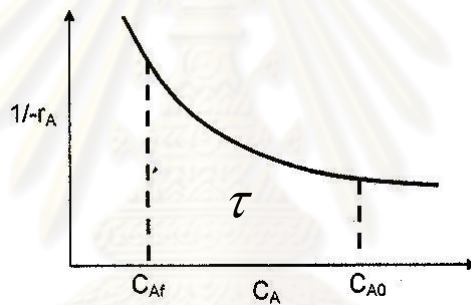
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $1/r_A$  กับ  $C_A$

จากรูปที่ 2.8 สามารถหาเวลาเก็บกักได้จากพื้นที่ใต้กราฟในช่วง  $C_{Af} - C_{A0}$  ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $1/r_A$  กับ  $C_A$

## 2) ระบบ Plug Flow

อัตราการเกิดปฏิกิริยาของระบบแบบ Plug Flow

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad -r_A &= \frac{F}{A_C} \cdot \frac{dC_A}{dX} \\ dV &= A_C \cdot dX = F \cdot \frac{dC_A}{-r_A} \\ \int_0^V dV &= F \cdot \int_{C_{Af}}^{C_{A0}} \frac{dC_A}{-r_A} \\ \tau = \frac{V}{F} &= \int_{C_{Af}}^{C_{A0}} \frac{dC_A}{-r_A} \end{aligned}$$



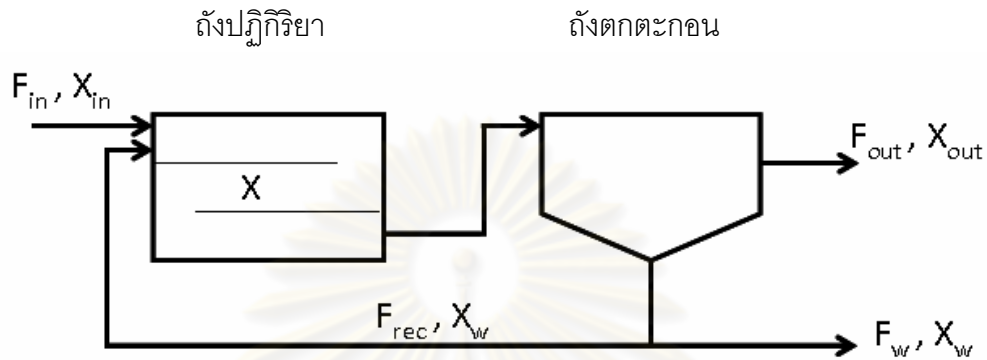
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $1/r_A$  กับ  $C_A$

จากรูปที่ 2.9 สามารถหาเวลาเก็บกักได้จากพื้นที่ใต้กราฟในช่วง  $C_{Af} - C_{A0}$  ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $1/r_A$  กับ  $C_A$

จะเห็นได้ว่า ระยะเวลาเก็บกักของระบบแบบแบทช์มีค่าเท่ากับระบบแบบ Plug Flow เพราะฉะนั้นในการนำผลที่ได้จากการทดลองนี้ซึ่งเป็นระบบแบบแบทช์ไปใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจึงสามารถประยุกต์ใช้เป็นระบบแบบ Plug Flow ได้ ซึ่งจะสามารถทำให้เดินระบบแบบต่อเนื่องได้

### 2.11.4 การหาอัตราการใช้ตะกอน

ในการควบคุมอายุตะกอนให้ได้ตามที่ต้องการ ปัจจัยที่สำคัญ คือ อัตราการใช้ตะกอน ออกจากระบบ แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 สมดุลมวลของระบบบำบัด

โดยที่	$F_{in}$	=	อัตราการไหลของน้ำที่เข้าระบบ (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)
	$X_{in}$	=	ความเข้มข้นของเซลล์จุลชีพที่เข้าระบบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	$F_{out}$	=	อัตราการไหลของน้ำที่ออกจากระบบ (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)
	$X_{out}$	=	ความเข้มข้นของเซลล์จุลชีพที่ออกจากระบบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	$F_w$	=	อัตราการใช้ตะกอน (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)
	$X_w$	=	ความเข้มข้นของเซลล์จุลชีพที่ออกจากถังตกตะกอน (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	$F_{rec}$	=	อัตราการหมุนเวียนน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)
	$X$	=	ความเข้มข้นของเซลล์จุลชีพในถังเติมอากาศ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

โดยการคำนวณเพื่อหาอัตราการใช้ตะกอนสามารถคำนวณได้จากสมการ (6)

$$\text{จาก } \theta_c = \frac{V \cdot X}{(F_{out} \cdot X_{out}) + (F_w \cdot X_w)}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } X_{\text{out}} = 0; \quad \theta_c &= \frac{V \cdot X}{F_w \cdot X_w} \\ F_w &= \frac{V \cdot X}{\theta_c \cdot X_w} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } \theta_c &= \text{ค่าอายุตะกอน (วัน)} \\ V &= \text{ปริมาตรของถัง (ลูกบาศก์เมตร)} \end{aligned}$$

### 2.11.5 การควบคุมอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (Food to Microorganism, F/M ratio)

จุลชีพที่มีสมรรถภาพในการทำงานจะต้องมีปริมาณอาหารที่พอเหมาะ ซึ่งควบคุมได้โดยการรักษาอัตราส่วนของน้ำหนักบีโอดีที่ส่งเข้ามาบำบัดต่อน้ำหนักจุลชีพ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{F/M ratio} = \frac{\text{อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)} \times \text{บีโอดี (มก./ล.)}}{\text{ปริมาตรของถังเติมอากาศ (ลบ.ม.)} \times \text{MLVSS (มก./ล.)}}$$

### 2.12 งานวิจัยที่ผ่านมา

**นวลละออ เนียมสอิ่ง (2525)** ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์และสีพร้อมกันโดยใช้ระบบพีเอซี-แอกทิเวเตดสลัดจ์

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลการเติมผงถ่านกัมมันต์ในระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบเอสบีอาร์ ที่อายุสลัดจ์ 10 วัน เวลาพักน้ำ 2 วัน ในการกำจัดสีข้อมรีแอกทีฟได้ผลดังตารางที่ 2.4 ซึ่งผลจากตารางที่ 2.4 พบว่า ปริมาณผงถ่านที่อยู่ในช่วง 200-300 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นปริมาณที่เหมาะสมโดยสังเกตจากซีโอดี และสีจะไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ความเข้มข้นของผงถ่านมากกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตร



**ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2527ก)** งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากำจัดสีย้อมผ้า 6 ชนิด ได้แก่ สีย้อมไคเรท สีย้อมแวท สีย้อมรีแอกทีฟ สีย้อมซัลเฟอร์ สีย้อมอะโซอิก และสีย้อมเมททาลิก โดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เติมลงในระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 2.4 ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าผงถ่านกัมมันต์มีความสามารถกำจัดสีในระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ค่อนข้างดี

**ตารางที่ 2.4** ความสามารถในการกำจัดสีไอทีและสีของน้ำเสียจากการย้อมสีรีแอกทีฟโดยระบบแพคท์

ความเข้มข้น ของผงถ่าน (มก./ล.)	สีไอที			สี		
	น้ำเสีย (มก./ล.)	น้ำทิ้ง (มก./ล.)	% การกำจัด	น้ำเสีย (ADMI)	น้ำทิ้ง (ADMI)	% การกำจัด
0	543	55	90	1500	1380	8
100	543	51	90	1500	1100	27
200	543	32	94	1500	600	60
300	543	25	95	1500	110	93
350	543	16	97	1500	110	93
400	543	15	97	1500	60	96
500	543	12	98	1500	50	97

หมายเหตุ : สีรีแอกทีฟที่ใช้ประกอบด้วยสีแดง Remazol Red F3 B, เหลือง Remazol Yellow R., น้ำเงิน Remazol Brill RN. ผสมปริมาณอย่างละเท่าๆ กัน

**กมลรัตน์ ดิประเสริฐวงศ์ (2540)** ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีในระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ พบว่า ประสิทธิภาพการลดสีขึ้นอยู่กับปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ คือ เมื่อใช้ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 25 50 100 150 และ 225 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี 26 37 50 64 และ 68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ที่เติมผงถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้นจาก 13.5-27 เปอร์เซ็นต์ เป็น 26-68 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพในการกำจัดสีไอทีเพิ่มขึ้นจาก 67-75 เปอร์เซ็นต์ เป็น 74-84 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ผงถ่านกัมมันต์ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนของสลัดจ์จากระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ด้วย

ตารางที่ 2.5 ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการกำจัดสีและซีไอดีจากงานวิจัยที่ผ่านมา

ผู้วิจัย	ความเข้มข้นของผงถ่าน (mg/l)	ซีไอดี			สี		
		น้ำเสีย (mg/l)	น้ำทิ้ง (mg/l)	%การกำจัด	น้ำเสีย (ADMI)	น้ำทิ้ง (ADMI)	%การกำจัด
นวลละออง เนียมสอชิง (2525)	0-500	543	55-12	90-98	1500	1380-50	8-97
ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2527ก)							
- สีรีแอกทีฟ	0-500	543	55-12	90-98	1500	1380-50	8-97
- สีไดเรกท์	0-400	665	65-25	90-96	1500	1150-280	23-81
- สีแวนท์	0-300	700	80-55	89-92	670	200-50	70-92
- สีซัลเฟอร์	0-300	1340	70-45	95-96	820	60-50	93-94
- สีอะโซอิก	0-300	1300	100-130	92-90	1760	80-50	99-97
- สีเมทิลลิด	0-300	4550	3600-3400	20-25	2460	450-400	82-84
- สีย้อมรวม	0-350	888	200-80	77-91	1400	1200-200	14-86
กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์ (2540)	0-215	229-280	60-45	74-84	89-122*	66-39*	26-68

หมายเหตุ : \* หน่วยเอสยู (SU)

Chang และ Lin (2000) ศึกษาความสามารถในการกำจัดสีของแบคทีเรียสายพันธุ์ *Pseudomonas luteola* ในระบบบำบัดทางชีวภาพแบบแบทช์ (Fed-Batch Bioreactor Strategies for Microbial Decolorization of Azo Dye Using a *Pseudomonas luteola* Strain)

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีของแบคทีเรียสายพันธุ์ *Pseudomonas luteola* ที่นำมาใช้ในระบบบำบัดทางชีวภาพแบบแบทช์ ซึ่งในการทดลองนี้ได้แบ่งขั้นตอนหลักๆ ออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 1 เป็นการนำแบคทีเรียสายพันธุ์ *Pseudomonas luteola* มาเลี้ยงในสภาวะที่มีอากาศโดยมีการหมุนใบพัดด้วยความเร็ว 40 รอบต่อนาที (1 vol of air/vol of medium/min) ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส กับ YG medium (ประกอบด้วย กลูโคส 1.25 กรัมต่อลิตรและ Yeast Extract 3 กรัมต่อลิตร) ส่วนขั้นที่ 2 เป็นการทำให้เกิดการกำจัดสีซึ่งจะเริ่มเมื่อ *Pseudomonas luteola* ถูกเลี้ยงจนอยู่ในช่วงแรกๆ ของ Stationary Phase (1 – 1.5 กรัมเซลล์ต่อลิตร) จากนั้นจะเริ่มทำการกำจัดสีโดยปรับอัตราการปั่นป่วน (ความเร็วของใบพัด) ให้อยู่ในช่วง 0 – 200 รอบต่อนาที และอัตราการเติมอากาศอยู่ในช่วง 0 – 0.05 ลิตรต่อนาที โดยในระหว่างการ

เดินระบบนี้จะมีการเติม yeast extract ซึ่งจะเติมในอัตราส่วน yeast extract/dye weight (Y/D) ที่ 1.25 สำหรับผลของการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า ในการกำจัดสีให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดด้วยระบบนี้จะต้องทำให้เกิดอัตราความปั่นป่วนต่ำกว่า 100 รอบต่อนาที และไม่ต้องการทำให้เกิดการเติมอากาศหรือไม่ให้มีค่าออกซิเจนละลาย อีกทั้งความเข้มข้นเริ่มต้นของสี Reactive Red 22 ต้องมีค่าไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถ้ามากกว่านี้อัตราการกำจัดจะลดลง ส่วนในการศึกษาค่าของ yeast extract พบว่าไม่ได้มีนัยสำคัญมากนัก แต่ค่าที่มีความสำคัญที่สุดคืออัตรากระบวนการทุกสีย่อย สำหรับอัตราการกำจัดสี ( $V_{dye}$ ) และประสิทธิภาพการกำจัดสีทั้งหมด ( $\eta_{dye}$ ) ที่ดีที่สุดจากการทดลองนี้ คือ 113.7 และ 86.3 มิลลิกรัมของสีย่อยต่อกรัมของเซลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าทั้งสองจะเกิดขึ้นเมื่อสีย่อยถูกป้อนเข้าไปอย่างต่อเนื่องในปริมาตรการเลี้ยงเชื้อเริ่มต้น (Initial Culture Volume) 2 ลิตร ที่อัตรากระบวนการทุกสีย่อยคงที่ที่ 200 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง และ Y/D ratio 1.25 (อย่างไรก็ตามจะต้องรักษาค่า Y/D ให้สูงกว่า 0.5 ด้วย)

**Shaw และคณะ (2001)** ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยใช้ระบบบำบัดแบบ anaerobic/aerobic sequencing batch (Anaerobic/aerobic treatment of coloured textile effluents using sequencing batch reactors)

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วย แป้ง Polyvinyl Alcohol (PVOH) และ Carboxymethyl Cellulose (CMC) ของอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยใช้ระบบบำบัดแบบ anaerobic/aerobic sequence redox ซึ่ง 1 รอบการทำงานจะแบ่งเป็น 6 ขั้นตอน คือ การเติม การทำปฏิกิริยาแบบไร้อากาศ การทำปฏิกิริยาแบบเติมอากาศ การตกตะกอน การระบายน้ำใส และทำให้ถังว่าง สำหรับในการทดลองนี้จะเตรียมระบบเอสปีอาร์ข้างต้นออกเป็น 2 ชุดโดยน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดที่ 1 จะมีสีย่อยปนอยู่ในน้ำเสียตั้งแต่เริ่มแรก ส่วนในชุดที่ 2 น้ำเสียที่ถูกป้อนเข้าจะยังไม่มีสีปนอยู่ โดยทั้งสองระบบจะมีเวลากักพักน้ำ 2.6 วัน และมีอัตราภาระอินทรีย์ 1.49 และ 1.35 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ ทั้งนี้ระบบเอสปีอาร์ทั้ง 2 ชุด จะทำการเดินระบบแบบต่อเนื่อง 245 วันโดยในช่วงที่เดินระบบนี้จะทำการควบคุมให้มีการเดินระบบแบบครบทั้ง 6 ขั้นตอน และปรับให้เดินระบบแบบไร้อากาศเท่านั้น อีกทั้งในช่วงตั้งแต่วันที่ 200 เป็นต้นไปจะมีการเติมสีย่อยเข้าสู่ระบบชุดที่ 2 ด้วย ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย่อยเจือปนจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดลดลง และในกรณีของการกำจัดของแข็งแขวนลอยพบว่าสีย่อยเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยลดลง สำหรับความสามารถในการกำจัดสีของระบบนี้ พบว่า มีความสามารถในการ

กำจัดสีคิงที่ประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 90 และจากการศึกษานี้ยังพบว่า ความสามารถในการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเดินระบบแบบไร้อากาศและต่อด้วยการเดินระบบแบบเติมอากาศ

**Kim และคณะ (2004)** ศึกษาการกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สและสีย้อมรีแอกทีฟโดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (Decolorization of disperse and reactive dye solutions using ferric chloride)

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากำจัดสีย้อมดิสเพอร์สและสีย้อมรีแอกทีฟโดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 2.6 ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าเฟอร์ริกคลอไรด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟค่อนข้างดี และมีความสามารถในการกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สดีมาก

**Frijters และคณะ (2006)** ศึกษาการกำจัดสีและความเป็นพิษของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอที่มีการปนเปื้อนของสีย้อมที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำโดยใช้ระบบแบบไร้อากาศควบคู่กับเติมอากาศ (Decolorizing and detoxifying textile wastewater containing both soluble and insoluble dyes, in a full scale combined anaerobic/aerobic system)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบ sequential anaerobic/aerobic ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยระบบ sequential anaerobic/aerobic ประกอบด้วยถังปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบดที่เดินระบบแบบไร้อากาศ ขนาด 70 ลูกบาศก์เมตร และถังเติมอากาศที่มีการติดตั้งแผ่นเอียงขนาด 450 ลูกบาศก์เมตร โดยน้ำที่ส่งเข้าสู่ถังปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบดจะต้องปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.9 ถึง 7.4 และควบคุมอุณหภูมิของระบบให้อยู่ที่ 35-40 องศาเซลเซียส ส่วนในระบบเติมอากาศจะควบคุมเวลากักน้ำที่ 43 ชั่วโมง และอายุตะกอนที่ 12 วัน โดยมีการเติมอากาศที่ผิวน้ำที่อัตรา 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจากผลการวิจัยนี้พบว่าระบบไร้อากาศมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 80-95 และระบบเติมอากาศแทบจะไม่มีนัยสำคัญสำหรับการกำจัดสี แต่เป็นที่น่าสนใจว่าสีประเภทสีย้อมแวท แอนทราควิโนน และอินดิโกจะถูกกำจัดโดยระบบเติมอากาศเป็นหลัก ทั้งนี้การทดลองนี้ยังแสดงให้เห็นว่าระบบ sequential anaerobic/aerobic สามารถกำจัดสีย้อมได้ทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ระบบ sequential anaerobic/aerobic ยังสามารถกำจัดความเป็นพิษได้อย่างสมบูรณ์ด้วยเมื่อวัดความเป็นพิษตามวิธี Microtox™® ซึ่งในการทดลองนี้เมื่อวัดค่าความเป็นพิษของน้ำที่ออกจากระบบไร้อากาศพบว่ายังมีความเป็นพิษสูง แต่เมื่อวัดค่าความเป็นพิษของน้ำที่ผ่านการบำบัดที่ผ่านทั้งระบบไร้อากาศและเติมอากาศจะไม่พบความเป็นพิษ อย่างไรก็ตาม เมื่อทดลอง

ตารางที่ 2.6 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์ที่ใช้ในการกำจัดสีและซีไอดี

ผู้วิจัย	ความเข้มข้นของ เฟอริกคลอไรด์ (mM)	TCOD			SCOD			สี		
		น้ำเสีย (mg/l)	น้ำทิ้ง (mg/l)	%การ กำจัด	น้ำเสีย (mg/l)	น้ำทิ้ง (mg/l)	%การ กำจัด	น้ำเสีย (ADMI)	น้ำทิ้ง (ADMI)	%การ กำจัด
Kim และคณะ (2004)										
- Disperse dye										
- D.B. 106	0.93	685	121	82.3	542	114	79.0	500	11.14	97.7
- D.Y. 54	0.74	864	104	88.0	443	90	79.7	500	2.21	99.6
- Reactive dye										
- R.B. 49	2.78	336	274	26.5	333	229	31.2	500	195.57	60.9
- R.Y. 84	1.85	245	82	66.5	237	77	67.5	500	143.56	71.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



โดยให้นำผ่านการบำบัดโดยระบบเติมอากาศเพียงอย่างเดียวก็พบว่ายังมีความเป็นพิษอยู่ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการกำจัดความเป็นพิษจะต้องมีการบำบัดทั้งแบบไร้อากาศและเติมอากาศจึงจะสามารถกำจัดความเป็นพิษได้

**Seesuriyachan และคณะ (2007)** ศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อมเอโซโดยใช้ *Lactobacillus casei* สายพันธุ์ TISTR 1500 และปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการกำจัดสี (Metabolism of azo dyes by *Lactobacillus casei* TISTR 1500 and effects of various factors on decolorization)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อมประเภทเอโซ (Methyl Orange) ด้วย *Lactobacillus casei* สายพันธุ์ TISTR 1500 โดยนำเชื้อจุลินทรีย์มาจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานนมและโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า *Lactobacillus casei* สายพันธุ์ TISTR 1500 จะเจริญเติบโตได้ดีภายใต้สภาวะ Microaerophilic ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และในการกำจัดสีนั้น *Lactobacillus casei* สายพันธุ์ TISTR 1500 จะเปลี่ยน sulfonated azo dye (Methyl Orange) เป็นผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือ N,N-dimethyl-p-phenylenediamine และ 4-aminobenzenesulfonic acid ซึ่งทำให้พันธะของสีย้อมเอโซแตกออกจากกัน นอกจากนี้ค่าพีเอชก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการกำจัดสี โดยในการทดลองนี้พบว่าที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6 จะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด อีกทั้งในกระบวนการกำจัดสีนี้ต้องการคาร์บอน (ซูโครส) เป็นแหล่งพลังงานด้วย

**ปภาวดี โชคสุวรรณกิจ (2550)** ศึกษาความสามารถของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา และแกลลวยแอสฟัลท์ในการลดซีไอดีและสีในน้ำกากส่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มและปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์โดยใช้จาร์เทสต์ และศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากส่าเมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา และแกลลวยแอสฟัลท์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยเปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาว ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าความสามารถของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและแกลลวยแอสฟัลท์ในการเป็นโคแอกกูแลนต์เพื่อลดซีไอดีและสีในน้ำกากส่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาว พบว่าร้อยละการบำบัดซีไอดีจากการตกตะกอนที่สภาวะที่เหมาะสมด้วยปูนขาวจะมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา สารส้ม และแกลลวยแอสฟัลท์ ซึ่งมีค่าเป็น 40.20 30.77 22.88 และ 13.51% ตามลำดับ ส่วนร้อยละการบำบัดความเข้มข้นจากการตกตะกอนด้วยปูนขาวจะมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ สารส้ม กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา และแกลลวยแอสฟัลท์ ซึ่งมีค่า



เป็น 37.76 26.32 23.50 และ -15.71% ตามลำดับ ต่อมาเมื่อทำการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่า ร้อยละการบำบัดซีไอดีจากการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาจะมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ สารส้ม เถ้าลอยแอสฟัลท์ และปูนขาว ซึ่งมีค่าเป็น 51.92 42.24 26.87 และ 24.31% ตามลำดับ ส่วนร้อยละการบำบัดความเข้มข้นซีไอดีจากการตกตะกอนด้วยเถ้าลอยแอสฟัลท์จะมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา สารส้ม และปูนขาว ซึ่งมีค่าการบำบัดเป็น 54.92 14.85 11.92 และ 3.20% ตามลำดับ เมื่อพิจารณากระบวนการบำบัดทั้งหมด พบว่า กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาสามารถบำบัดน้ำกากส่าร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีโดยรวมมากที่สุด คือ 67.26% (240 ก./ล. ของ  $H_2O_2$ ) และปูนขาวสามารถบำบัดน้ำกากส่าร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีโดยรวมมากที่สุด 43.83% (150 ก./ล. ของ  $H_2O_2$ )

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังได้ทำการศึกษาผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างต่อซีไอดีโดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่คงค้างอยู่ในน้ำกากส่าถ้ามีมากจะส่งผลต่อการวิเคราะห์ซีไอดีเนื่องจากเกิดการรบกวนของโพแทสเซียมไดโครเมต ซึ่งจากผลการทดลองที่มีการนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากวนผสมกับน้ำกากส่า พบว่า หลังจากตั้งทิ้งไว้เป็นเวลาตั้งแต่ 12 ชั่วโมงเป็นต้นไป ค่าซีไอดีจากผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ค่อนข้างคงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ยังคงค้างอยู่มีผลต่อซีไอดีน้อยมากหรือแทบไม่มีผล

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองเป็นการทดลองย่อยได้ดังนี้

3.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในแง่ของการกำจัดค่าซีโอดีและสี โดยใช้ถังปฏิกริยาแบบแบทช์ที่มีการเดินระบบแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ ซึ่งน้ำเสียที่นำมาใช้เป็นน้ำเสียจริง น้ำเสียสังเคราะห์จากนมขาดมันเนย และสีชนิด Reactive Black 5

3.2.2 ศึกษาหาค่าอายุตะกอนที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม โดยจะทำการหาค่าอายุตะกอนที่เหมาะสมโดยการทิ้งน้ำ 1.25 และ 4 ลิตร จากถังปฏิกริยาขนาดจุน้ำ 5 ลิตร

3.2.3 ศึกษาผลกระทบของการใส่ผงถ่านกัมมันต์ (Powder Activated Carbon) เฟอริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) ที่มีต่อการทำงานของระบบ

#### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

##### 3.2.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- ถังปฏิกริยาทำจากถังน้ำพลาสติกขนาด 6 ลิตร และ 1.5 ลิตร โดยคลุมด้วยพลาสติกสีดำเพื่อป้องกันแสงแดด

- เครื่องเติมอากาศ พร้อมสายยาง และหัวเติมอากาศแบบหัวฟู

- เครื่องเขย่าแบบ Shaker

- เครื่อง Spectrophotometer

- พีเอชมิเตอร์ (pH meter)

- ตู้อบความร้อนที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Drying Oven)

- กรวยกรอง (Membrane Filter Funnel)

- ปั๊มสุญญากาศ (Suction Pump) พร้อมขวดสุญญากาศขนาด 500 มล.

- กระดาษกรอง GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 ซม.

- บิวเรต

- ออโตปิเปต

### 3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- สารช่วยลดสี ได้แก่ ผงถ่านกัมมันต์ เฟอริกคลอไรด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
- สารละลายมาตรฐานโบตัสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) เข้มข้น 0.1 N
- สารละลายกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) ผสมซิลเวอร์ซัลเฟต ( $Ag_2SO_4$ )
- สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.02 N
- สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroun Indicator)
- สารละลายมาตรฐานไดโพแทสเซียมฟอสเฟต ( $K_2HPO_4$ )
- สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $KH_2PO_4$ )

### 3.3 วิธีการทดลอง

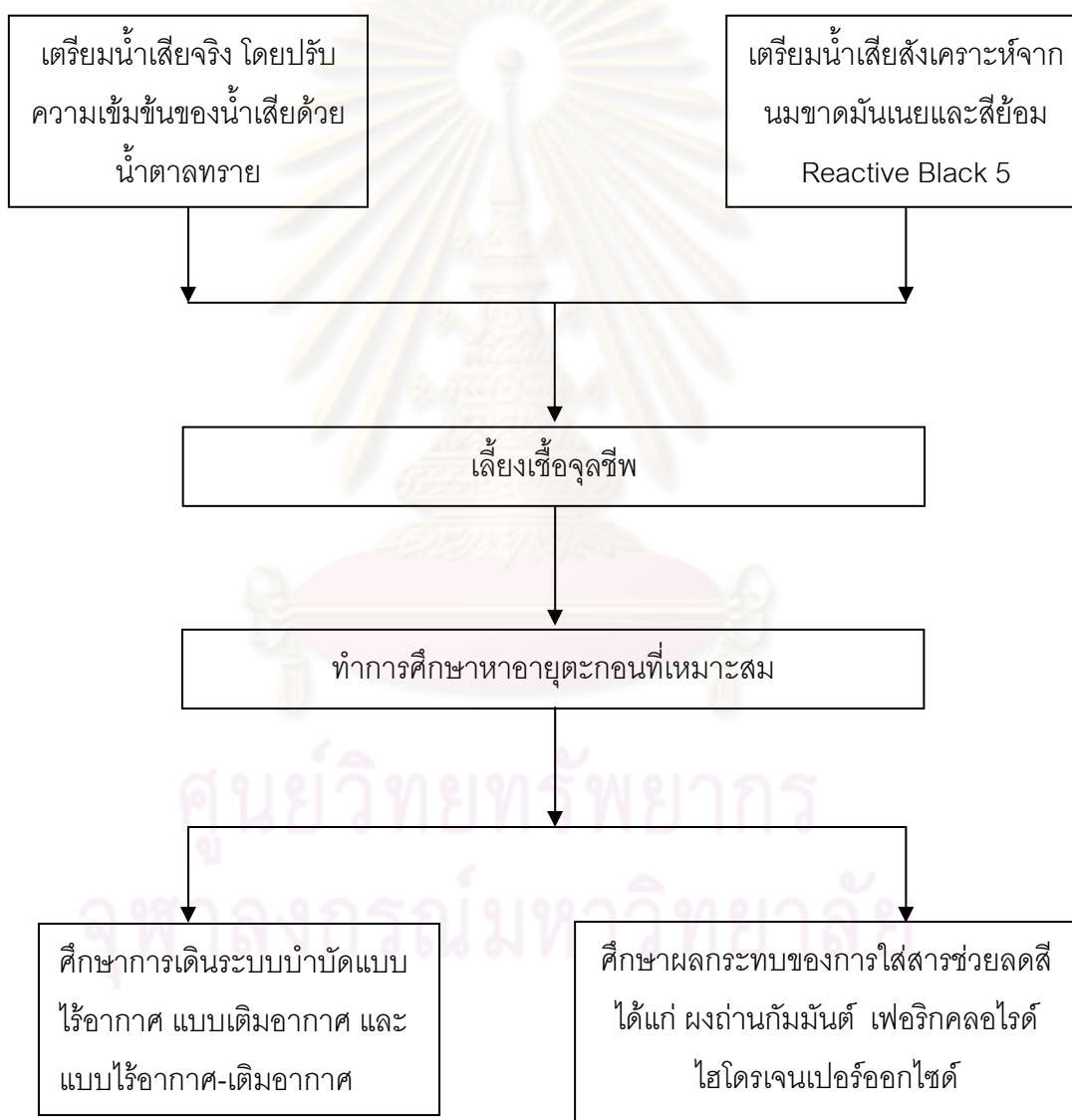
#### 3.3.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. การทิ้งน้ำ	- 1 2.5 และ 4 ลิตร
2. ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์	- 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ความเข้มข้นเฟอริกคลอไรด์	- 50 100 200 500 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	- 50 100 200 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร
ตัวแปรควบคุม	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. ความเข้มข้นตะกอนจุลชีพเริ่มต้น	- 3000 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ชนิดและองค์ประกอบของน้ำเสียตั้งต้น	- น้ำเสียจริง น้ำเสียสังเคราะห์จากนมขาดมันเนย และสีย้อมผ้าชนิด Reactive Black 5
3. ค่าซีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสีย	- 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. ความเข้มข้นสีเริ่มต้น	- 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ค่าพีเอช	- 7 ถึง 7.2
ตัวแปรตาม	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์
1. ซีโอดี	- Close Reflux Method
2. สี	- Spectrophotometer
3. อายุตะกอน	- คำนวณจากการทิ้งน้ำในการทดลอง

### 3.3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยออกเป็น 4 ตอนหลัก คือ การเตรียมน้ำเสียและ  
 ไลยงเชื้อจุลชีพ การหาอายุตะกอนที่เหมาะสม การศึกษาการเดินระบบแบบไร้อากาศ แบบเติม  
 อากาศ และแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ และการศึกษาผลกระทบของการใส่สารช่วยลดสี แสดง  
 ดังรูปที่ 3.1

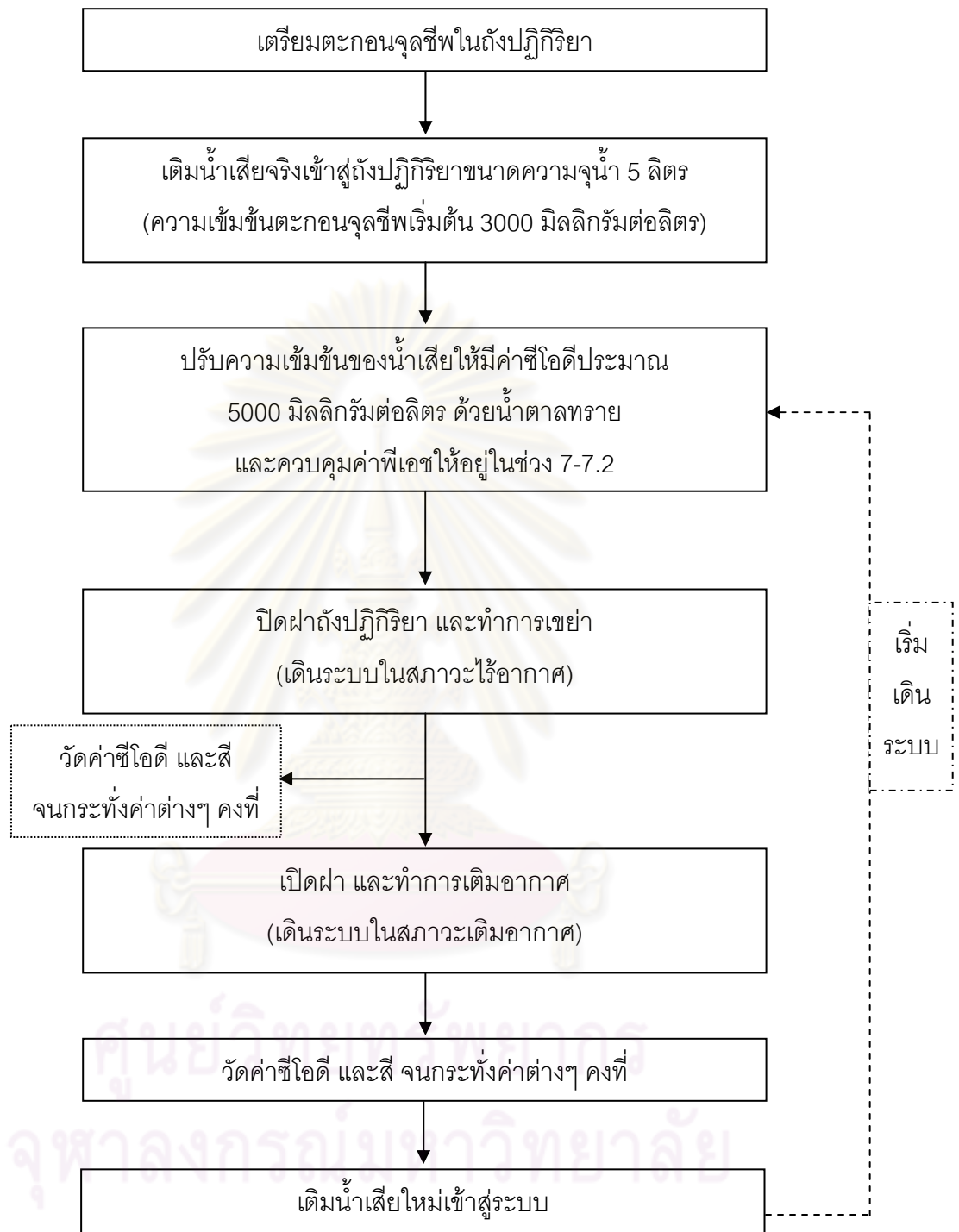


รูปที่ 3.1 แผนผังสรุปขั้นตอนการทดลอง

### 3.3.2.1 การทดลองกับน้ำเสียจริง

- 1) เตรียมถังปฏิกิริยาขนาด 6 ลิตร มีความจุน้ำ 5 ลิตร
- 2) นำเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดแบบไร้อากาศของบริษัท เสริมสุข จำกัด ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดและตะกอนแขวนลอยปนกันมาปั่นให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ทำการเตรียมเชื้อจุลินทรีย์ให้มีความเข้มข้น 3000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนใส่ลงในถังปฏิกิริยา
- 3) เติมน้ำเสียจริงจากบริษัท ไทยอัมบริก้า เคมีคัลส์ จำกัด ลงในถังปฏิกิริยาให้มีปริมาตรน้ำในถังเท่ากับ 5 ลิตร และทำการปรับความเข้มข้นของน้ำเสียให้มีค่าซีไอดีประมาณ 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยน้ำตาลทราย และปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้อยู่ในช่วง 7-7.2 ตลอดการทดลองโดยใช้ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต ( $K_2HPO_4$ ) และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $KH_2PO_4$ )
- 4) เริ่มเดินระบบโดยการปิดฝาถังปฏิกิริยาเพื่อให้อยู่ในสภาวะไร้อากาศและนำไปวางบนเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เพื่อให้เกิดการผสมที่สมบูรณ์ตลอดการทดลอง ทำการวัดค่าซีไอดีและสี จนกระทั่งค่าต่างๆ คงที่ จากนั้นทำการเติมน้ำเสียใหม่และน้ำตาลทรายเข้าสู่ระบบเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียให้มีค่าซีไอดีประมาณ 5000 มิลลิกรัมต่อลิตรและทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ระยะเวลาในการบำบัดที่คงที่
- 5) เมื่อระบบในสภาวะไร้อากาศคงที่แล้วจึงเริ่มเดินระบบแบบเติมอากาศโดยใช้หัวฟู่ วัดการเปลี่ยนแปลงของค่าซีไอดีและสี จนกระทั่งคงที่
- 6) เติมน้ำเสียใหม่และน้ำตาลทรายเข้าสู่ระบบ จากนั้นจึงเริ่มเดินระบบแบบไร้อากาศและต่อด้วยการเดินระบบแบบเติมอากาศ จนกระทั่งค่าซีไอดีและสีคงที่ ทำเช่นเดิมจนกว่าจะได้ระยะเวลาในการบำบัดที่คงที่ แสดงดังรูปที่ 3.2

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายเหตุ : ทำการทดลองช้าเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ระยะเวลาในการบำบัดคงที่

รูปที่ 3.2 แผนผังสรุปการเลี้ยงเชื้อจุลชีพโดยใช้น้ำเสียจริง



### 3.3.2.2 การทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์

#### 1) การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์จากนมขาดมันเนยโดยคาดว่าน้ำเสียจากนมขาดมันเนยจะมีสารอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของจุลชีพ และมีแอสคาร์ที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลชีพ ซึ่งเลือกใช้ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 25 (นม 1 ส่วนต่อน้ำ 25 ส่วน) เพื่อให้ได้ค่าซีโอดีเริ่มต้นประมาณ 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร และเลือกใช้สีย้อมผ้าชนิด Reactive Black 5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (Van der Zee และ Villaverde, 2005)

#### 2) การหาค่าอายุตะกอนที่เหมาะสม

2.1) เตรียมถังปฏิกรณ์ขนาด 6 ลิตร มีความจุน้ำ 5 ลิตร จำนวน 9 ถัง แต่ละถังประกอบด้วยน้ำเสียสังเคราะห์จากนมขาดมันเนยที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้น 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีย้อมผ้าชนิด Reactive Black 5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และตะกอนจุลชีพที่มีความเข้มข้น 3000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2) ศึกษาการทิ้งตะกอนที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ เพื่อใช้บำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเจือปน เริ่มเดินระบบโดยการปิดฝาถังปฏิกรณ์ทั้ง 9 ถัง เพื่อให้อยู่ในสภาวะไร้อากาศและนำไปวางบนเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เพื่อให้เกิดการผสมที่สมบูรณ์ตลอดการทดลอง ควบคุมค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 7-7.2 ทำการวัดค่าซีโอดีและสี จนกระทั่งค่าต่างๆ คงที่ จากนั้นเปิดฝาของถังปฏิกรณ์ออกและเติมอากาศด้วยหัวฟู่ วัดการเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีและสี จนกระทั่งยุติ จากนั้นเขย่าเพื่อให้ผสมกันอย่างทั่วถึงและดูน้ำตะกอนออก โดยถังที่ 1-3 ดูน้ำออก 1 ลิตร ถังที่ 4-6 ดูน้ำออก 2.5 ลิตร และ ถังที่ 7-9 ดูน้ำออก 4 ลิตร จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้ตะกอนแยกตัวออกจากน้ำแล้วดูน้ำใสส่วนบนออกให้เหลือแต่ตะกอนจุลชีพ เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้ถือเป็นการจบการทดลองหนึ่งรอบ ต่อจากนั้นจะเติมน้ำเสียใหม่เข้าสู่ระบบแล้วทำการทดลองเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวข้างต้นจนครบรอบการทดลอง ซึ่งจะทำให้การทดลองจนกว่าเวลาในแต่ละรอบคงที่ และการทิ้งตะกอนที่เหมาะสมจากประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดของค่าซีโอดีและสี เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป แสดงดังรูปที่



3) การทดลองเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ แบบเติมอากาศ และแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ แสดงดังรูปที่ 3.4

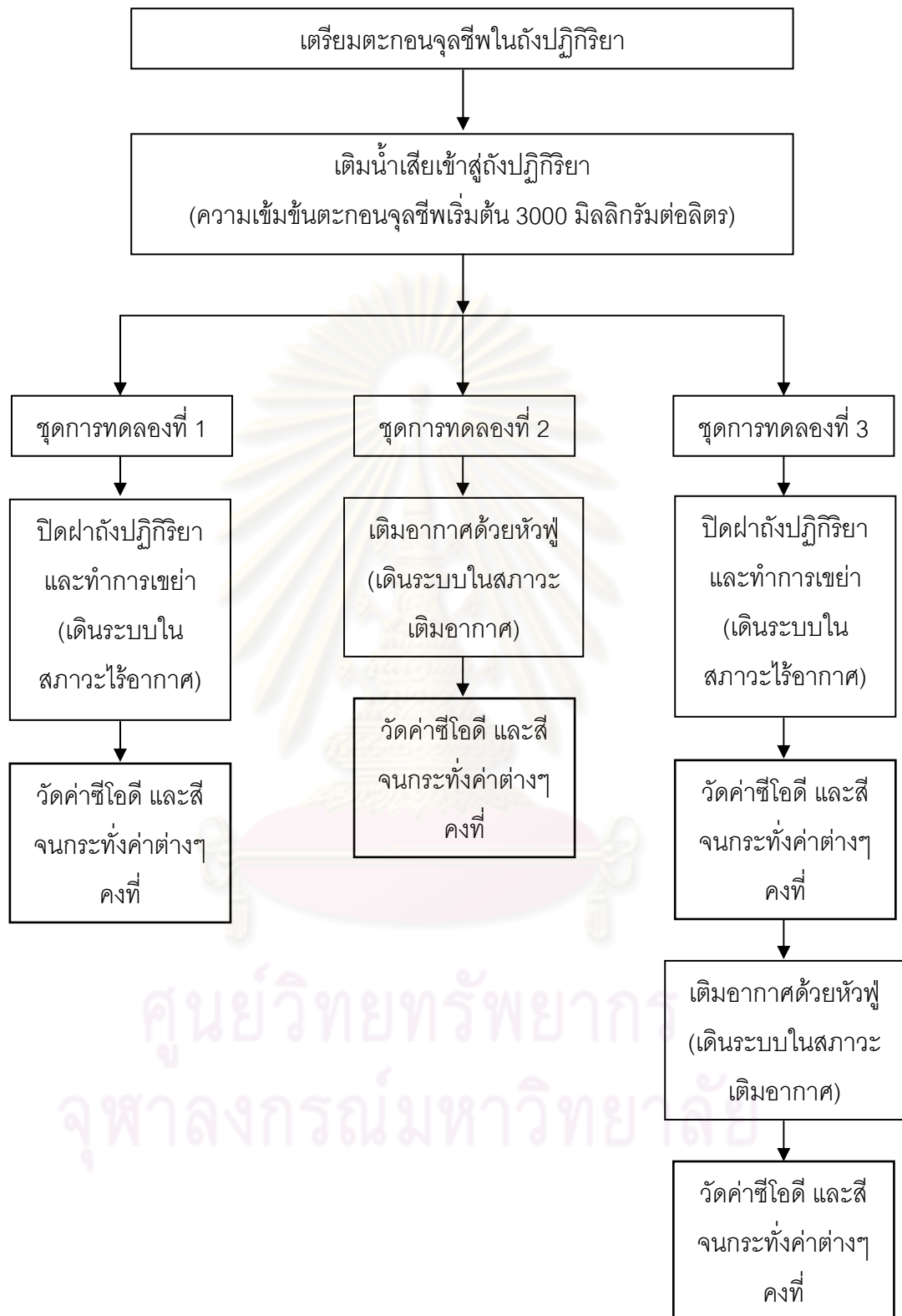
3.1) นำตะกอนจุลชีพที่ได้จากหัวข้อ 2) มาแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 เดินระบบแบบไร้อากาศ ชุดการทดลองที่ 2 เดินระบบแบบเติมอากาศ และชุดการทดลองที่ 3 เดินระบบแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ โดยแต่ละชุดการทดลองประกอบด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของค่าซีไอดีเริ่มต้น 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นสีเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ตะกอนจุลชีพความเข้มข้น 3000 มิลลิกรัมต่อลิตร และควบคุมค่าพีเอชให้มีค่า 7-7.2 ตลอดการทดลอง

3.2) ชุดการทดลองที่ 1 หลังจากเตรียมน้ำเสียด้วยวิธีข้างต้นใส่ในถังปฏิกริยาขนาด 1.25 ลิตร ปิดฝาเพื่อให้อยู่ในสภาวะไร้อากาศ นำไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาทีตลอดการทดลอง และทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าซีไอดีและสี จนกว่าค่าซีไอดีและสีจะคงที่

3.3) ชุดการทดลองที่ 2 หลังจากเตรียมน้ำเสียด้วยวิธีข้างต้นใส่ในถังปฏิกริยาขนาด 1.25 ลิตร นำไปเติมอากาศด้วยหัวฟู่ตลอดการทดลอง และทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าซีไอดีและสี จนกว่าค่าซีไอดีและสีจะคงที่

3.4) ชุดการทดลองที่ 3 หลังจากเตรียมน้ำเสียด้วยวิธีข้างต้นใส่ในถังปฏิกริยาขนาด 1.25 ลิตร ปิดฝาเพื่อให้อยู่ในสภาวะไร้อากาศ นำไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที และทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าซีไอดีและสี จนกว่าค่าซีไอดีและสีจะคงที่ จากนั้นเปิดฝาของถังปฏิกริยาออกและเติมอากาศด้วยหัวฟู่ วัดการเปลี่ยนแปลงของค่าซีไอดีและสี จนกระทั่งยุติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



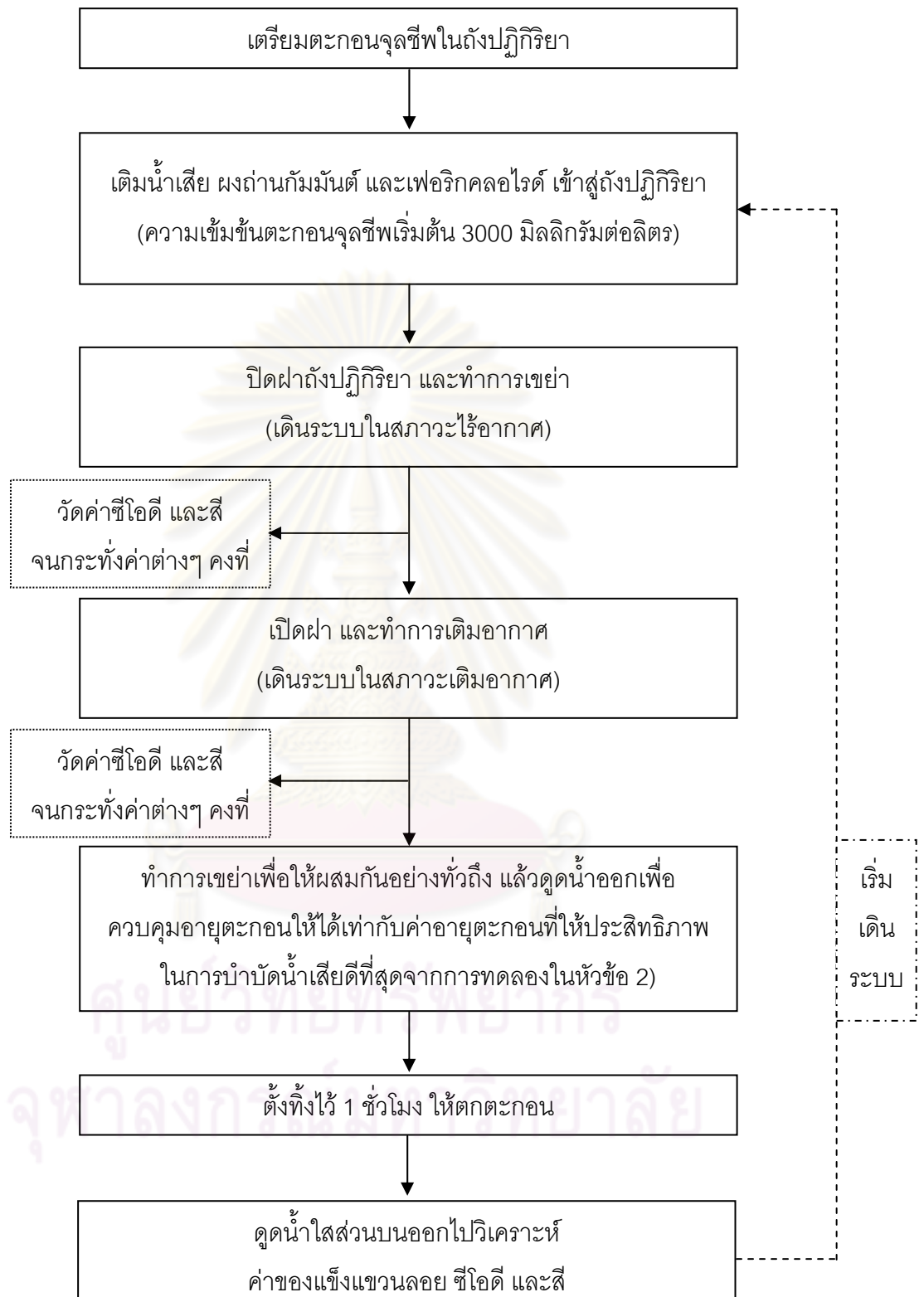
รูปที่ 3.4 แผนผังสรุปการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ แบบเติมอากาศ และแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ

4) การทดลองโดยการใส่สารช่วยลดสี 3 ชนิด คือ ผงถ่านกัมมันต์ เพอริกคลอไรด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

4.1) นำตะกอนจุลชีวะที่ได้จากหัวข้อ 2) มาแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง เพื่อทำการเติมสารช่วยลดสี ได้แก่ ผงถ่านกัมมันต์ เพอริกคลอไรด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

4.2) ชุดการทดลองที่ 1 (ผงถ่านกัมมันต์) เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของค่าซีไอดีเริ่มต้น 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นสีเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ตะกอนจุลชีวะความเข้มข้น 3000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ได้จากหัวข้อ 2) โดยเตรียมทั้งหมด 4 ชุด ซึ่งในแต่ละชุดจะมีการเติมผงถ่านกัมมันต์ที่มีความเข้มข้น 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ (นวลละออง เนียมสอั้ง, 2525; ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527ก และกมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์, 2540) จากนั้นเดินระบบในสภาวะไร้อากาศโดยนำไปไว้บนเครื่องเขย่าเพื่อให้เกิดการผสมอย่างสมบูรณ์ เก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลจนการลดลงของค่าซีไอดีและสีคังที่ จากนั้นนำถึงปฏิบัติการไปเติมอากาศ แล้วเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลจนการลดลงของค่าซีไอดีและสีคังที่ แสดงดังรูปที่ 3.5 ทั้งนี้เมื่อเริ่มเดินระบบรอบใหม่จะทำการเติมความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์เท่ากับความเข้มข้นที่เติมในครั้งแรกในรอบ เพราะคาดว่าประสิทธิภาพของผงถ่านกัมมันต์ถูกใช้จนหมดไปแล้ว

4.3) ชุดการทดลองที่ 2 (เพอริกคลอไรด์) เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของค่าซีไอดี สี และตะกอนจุลชีวะ เช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 จำนวน 5 ชุด และทำการเติมเพอริกคลอไรด์ความเข้มข้น 50 100 200 500 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร (Kim และคณะ, 2004) ตามลำดับ แล้วทำการเดินระบบและวิเคราะห์เช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.5 สำหรับในแต่ละครั้งที่มีการเริ่มต้นการทดลองใหม่ ในการเติมเพอริกคลอไรด์ จะไม่ได้เติมในปริมาณเท่ากับค่าเริ่มต้น แต่จะทำการเติมในปริมาณเท่ากับเพอริกคลอไรด์ที่หลุดออกจากระบบ ซึ่งหาได้จากการคำนวณหาปริมาณเพอริกคลอไรด์ที่หลุดออกไปจากระบบทั้งในส่วนของ การควบคุมอายุตะกอน การเก็บน้ำตัวอย่างไปวิเคราะห์ และการระบายน้ำใส

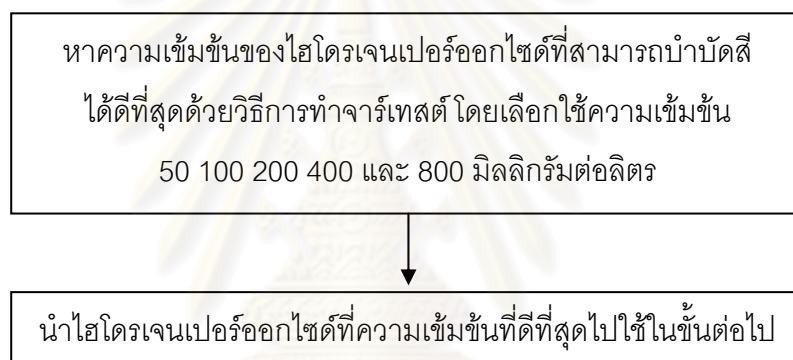


หมายเหตุ : ทำการทดลองซ้ำเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ระยะเวลาเดินระบบในแต่ละรอบคงที่

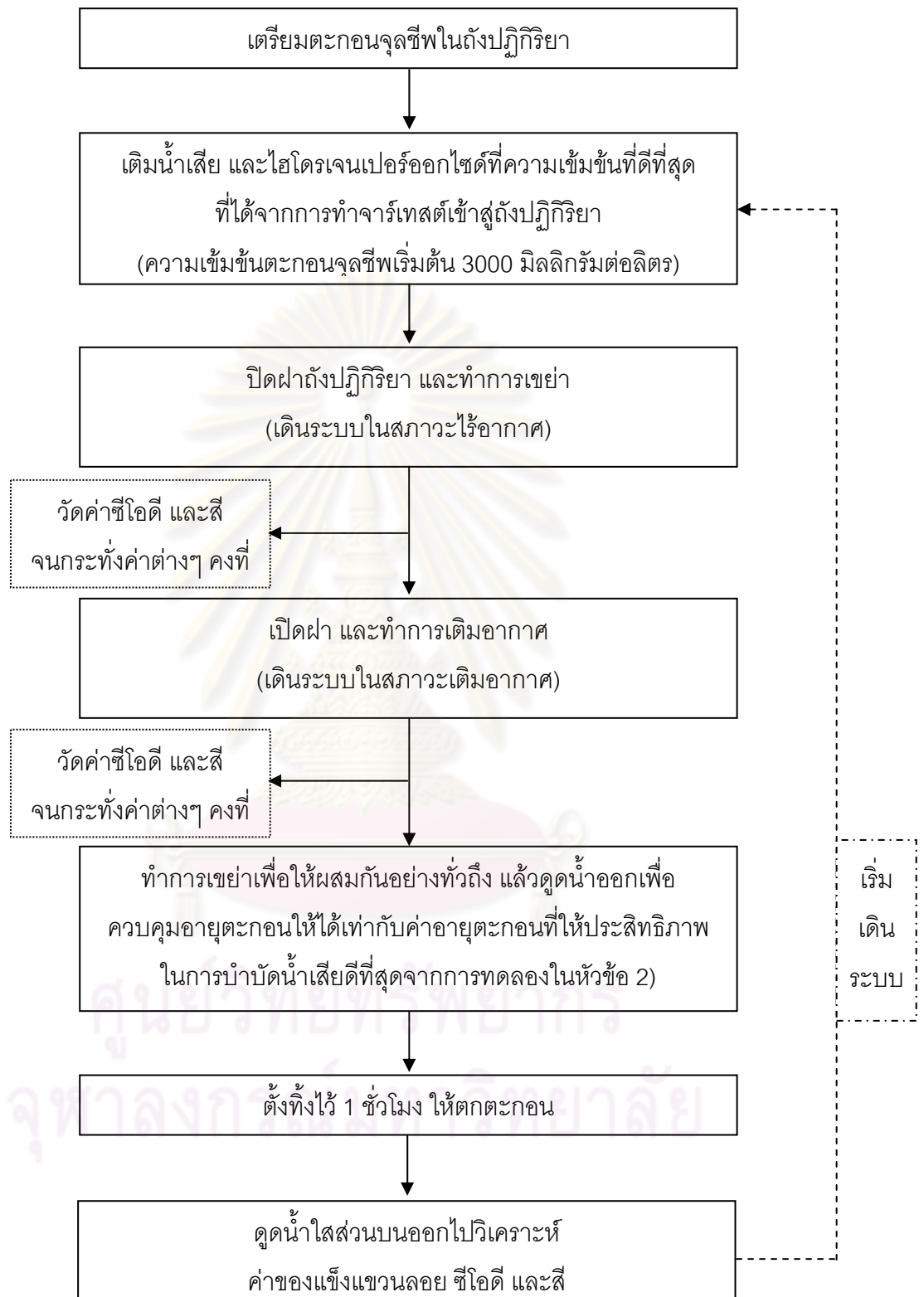
รูปที่ 3.5 แผนผังสรุปการดำเนินการชุดการทดลองที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์และเฟอริกคลอไรด์



4.3) ชุดการทดลองที่ 3 เป็นการศึกษาหาความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นการบำบัดเบื้องต้นก่อนที่จะบำบัดต่อด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ เริ่มต้นการทดลองโดยการทำการทดสอบเพื่อหาความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมที่สามารถบำบัดได้ดีที่สุด และทำการควบคุมค่าพีเอชให้มีค่า 7-7.2 ตลอดการทดลอง เลือกใช้ความเข้มข้น 50 100 200 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร (วุฒิ วิพันธ์พงษ์ ,2540) เมื่อได้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นเตรียมน้ำเสียเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 และ 2 แล้วเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในความเข้มข้นที่ได้จากการทำการทดสอบ และทำการเดินระบบเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังรูปที่ 3.6 และ 3.7



รูปที่ 3.6 แผนผังสรุปการดำเนินการชุดการทดลองที่มีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ชั้นที่ 1



หมายเหตุ : ทำการทดลองซ้ำเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ระยะเวลาเดินระบบในแต่ละรอบคงที่

รูปที่ 3.7 แผนผังสรุปการดำเนินการชุดการทดลองที่มีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ชั้นที่ 2

### 3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

#### 3.4.1 การเก็บตัวอย่าง

- ช่วงสภาวะไร้อากาศ จะทำการเก็บตัวอย่างวันเว้นวัน
- ช่วงสภาวะเต็มอากาศ จะทำการเก็บตัวอย่างทุกวัน

โดยการเก็บตัวอย่างนี้ระยะเวลาอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

#### ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์
พีเอช	pH meter
ของแข็งแขวนลอย	Cell COD = TCOD - SCOD
ซีโอดี	Close Reflux Method
สี	Spectrophotometer

### 3.5 การวัดสี

สำหรับการวัดสีในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนดังนี้ คือ นำตัวอย่างน้ำไปกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ก่อนแล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง 0.45 ไมครอน จากนั้นทำการวัดสีโดยวัดค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่นแสงตั้งแต่ 400 ถึง 700 นาโนเมตร วัดในช่วงละ 10 นาโนเมตร และนำมาคำนวณเป็นค่าสีในหน่วยเอดีเอ็มไอ (Allen และคณะ, 1973)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

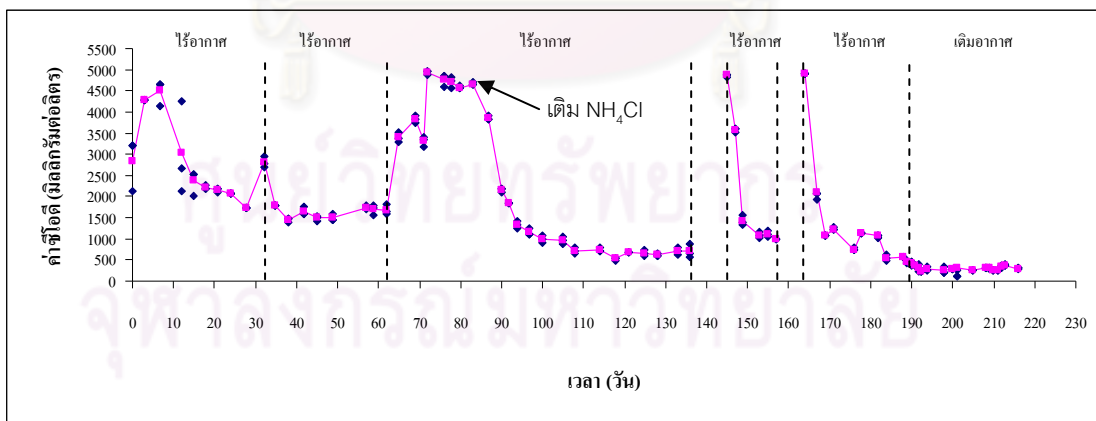
## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

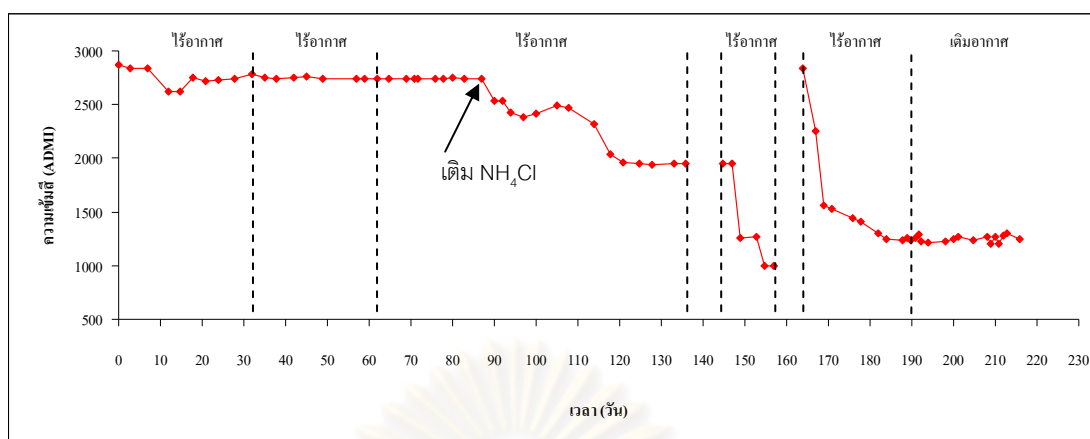
#### 4.1 การเริ่มเลี้ยงเชื้อจุลชีพ (Start-up)

##### 4.1.1 การเดินระบบกับน้ำเสียจริง

ในงานวิจัยนี้ใช้หัวเชื้อจุลชีพจากบริษัท เสริมสุข จำกัด มีลักษณะเป็นเม็ดและตะกอนแขวนลอยปนกัน เม็ดจุลชีพมีขนาดประมาณ 1-3 มิลลิเมตร โดยนำไปปั่นให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้มีความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพ 3000 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วนำตะกอนจุลชีพที่ความเข้มข้นดังกล่าวใส่ในถังปฏิกรณ์แบบแบทช์ที่มีขนาด 5 ลิตร และเติมน้ำเสียจริงจากบริษัท ไทยอัมบริกา เคมีคัลส์ จำกัด ซึ่งมีค่าซีโอดีประมาณ 4500 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าบีโอดีประมาณ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วเติมน้ำตาลทรายเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของค่าซีโอดีให้มีค่าประมาณ 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชเริ่มต้นรวมถึงตลอดการทดลองให้อยู่ในช่วง 7-7.2 โดยใช้ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต ( $K_2HPO_4$ ) และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $KH_2PO_4$ ) แล้วทำการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีเทียบกับเวลาของการเริ่มเลี้ยงเชื้อจุลชีพ



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของสีเทียบกับเวลาของการเริ่มเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

จากผลการทดลองการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในช่วงแรกของการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดียังไม่ดีมากนักหรือประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และสีไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งคาดว่าในน้ำเสียนี้มีสารอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ ดังนั้นในการเดินระบบรอบที่ 3 จึงได้มีการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) ลงไป ซึ่งก็พบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีมากขึ้น คือ 70-90 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มข้นของสีก็มีการลดลงประมาณ 45-50 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเริ่มทำการเดินระบบแบบเติมอากาศก็พบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ แต่สีไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยใช้เวลาในการทดลองทั้งหมด 216 วัน

ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า จุลินทรีย์ใช้เวลาในการปรับตัวกับน้ำเสียนาน อาจเนื่องมาจากน้ำเสียจริงอาจมีสารที่เป็นพิษ หรือสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก และมีสารอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการไม่เพียงพอ นอกจากนี้ เมื่อเดินระบบแบบเติมอากาศ พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดยังไม่ดีพอซึ่งอาจเกิดจากจุลินทรีย์ยังไม่สามารถปรับตัวให้อาศัยอยู่ได้ทั้งสภาวะไร้อากาศและเติมอากาศ ดังนั้น หากต้องการให้จุลินทรีย์มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ดีในทั้งสองสภาวะอาจต้องใช้เวลาอีกนานเพื่อให้จุลินทรีย์ปรับตัวได้ อีกทั้งได้เกิดอุบัติเหตุมีกรดซัลฟูริกผสมซิลเวอร์ซัลเฟตหกใส่ในถังปฏิกริยาจึงทำให้เชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาตาย ทำให้ต้องเริ่มเดินระบบใหม่ โดยเปลี่ยนจากน้ำเสียจริงมาใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์จากนมขาดมันเนย และสีย้อมชนิด Reactive Black 5 เนื่องจากคาดว่าน้ำเสียสังเคราะห์นี้น่าจะมีแต่สารที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ และมีสารอาหารเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์

#### 4.1.2 การเดินระบบใหม่ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์

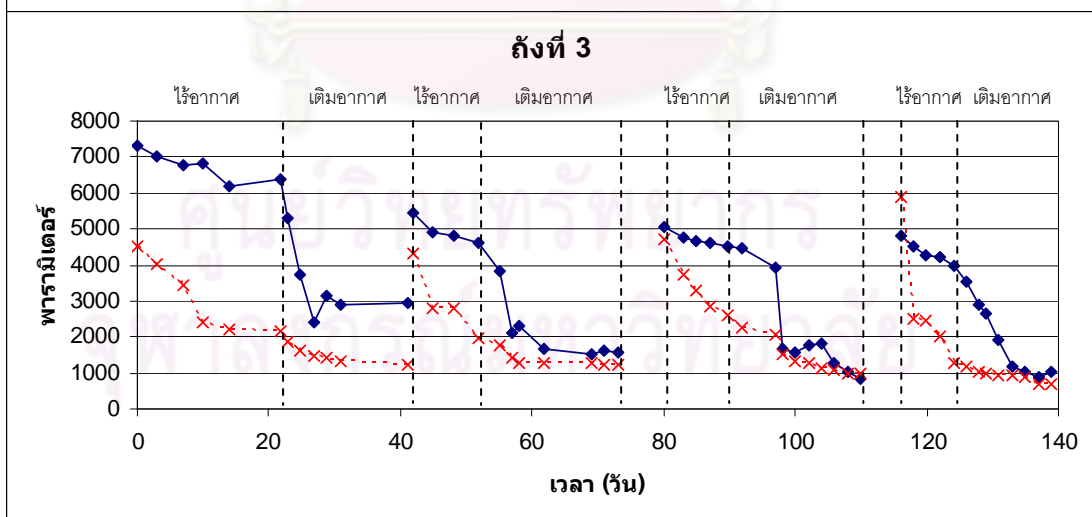
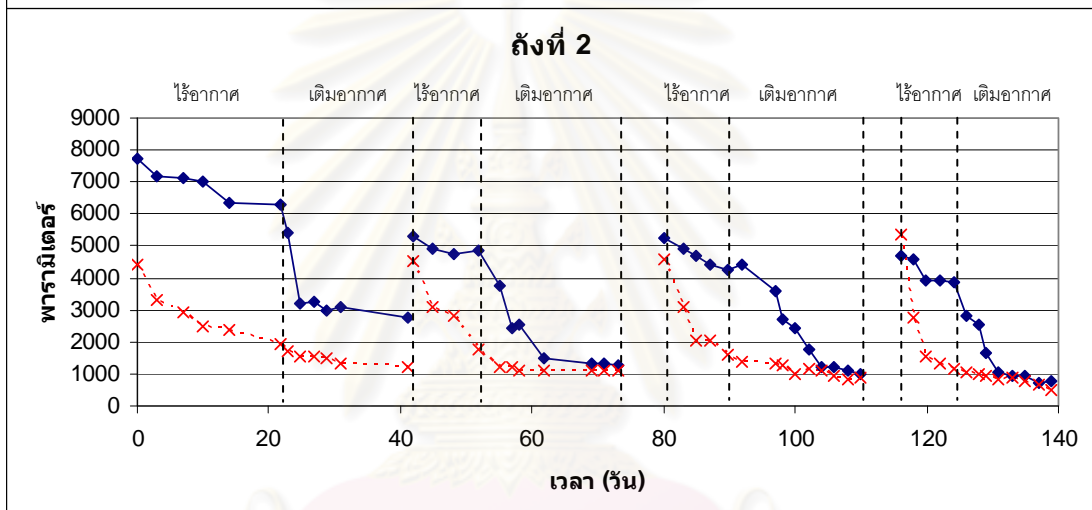
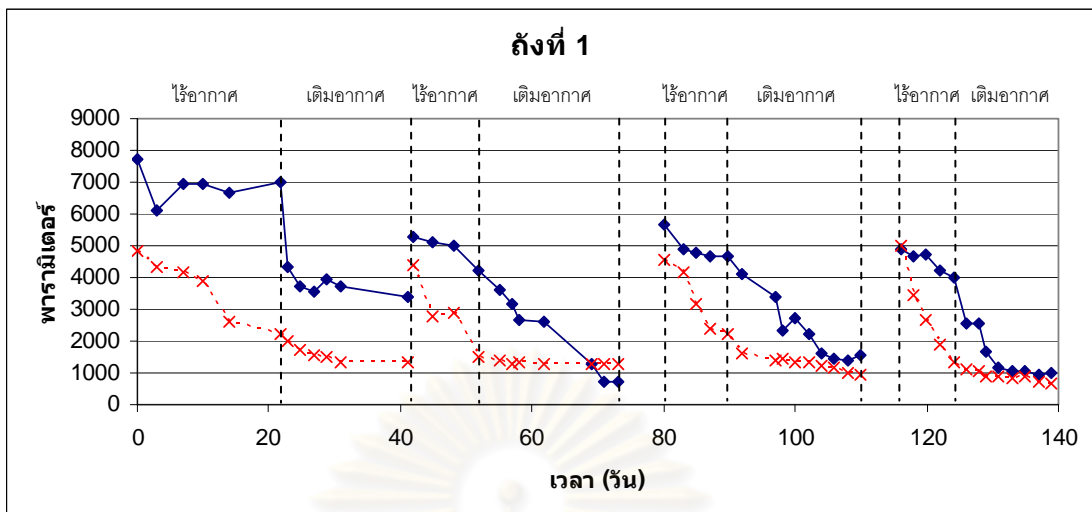
ในงานวิจัยนี้ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากบริษัท เสริมสุข จำกัด โดยนำไปปั่นให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน คำนวณหาค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ได้ 51,500 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นนำไปคำนวณด้วยวิธีการเทียบอัตราส่วนให้ได้ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3000 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วนำตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นดังกล่าวใส่ในถังปฏิกรณ์แบบแบทช์ที่มีขนาด 5 ลิตร จำนวน 9 ถัง และเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำจากนมขาดมันเนยซึ่งมีค่าซีโอดีประมาณ 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร และสีชนิด Reactive Black 5 ที่มีค่าความเข้มข้นสีเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชเริ่มต้นรวมถึงตลอดการทดลองให้อยู่ในช่วง 7-7.2 โดยใช้โดโพแทสเซียมฟอสเฟต ( $K_2HPO_4$ ) และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $KH_2PO_4$ ) แล้วทำการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ โดยมีการควบคุมอายุตะกอนตั้งแต่เริ่มต้นเดินระบบรอบใหม่

#### 4.2 ผลการศึกษาการหาอายุตะกอนที่เหมาะสม

การศึกษาค่าอายุตะกอนที่เหมาะสม 3 ค่า ด้วยวิธีการทิ้งน้ำหลังจากเดินระบบครบรอบของการทดลอง โดยใช้ถังปฏิกรณ์ทั้งหมด 9 ถัง คือ ถังที่ 1-3 ทิ้งน้ำ 1 ลิตร ถังที่ 4-6 ทิ้งน้ำ 2.5 ลิตร และถังที่ 7-9 ทิ้งน้ำ 4 ลิตร ซึ่งในการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าซีโอดีและสี จะทำการเก็บถังละ 1 ตัวอย่างและทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ซึ่งจากผลการทดลองการวิเคราะห์ค่าซีโอดีและสีเทียบกับเวลา พบว่า การทำงานของระบบบำบัดจะค่อนข้างคงที่เมื่อทำการทดลองไปทั้งหมด 4 รอบ และมีประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดในแต่ละรอบใกล้เคียงกัน แสดงดังรูปที่ 4.3 4.4 และ 4.5

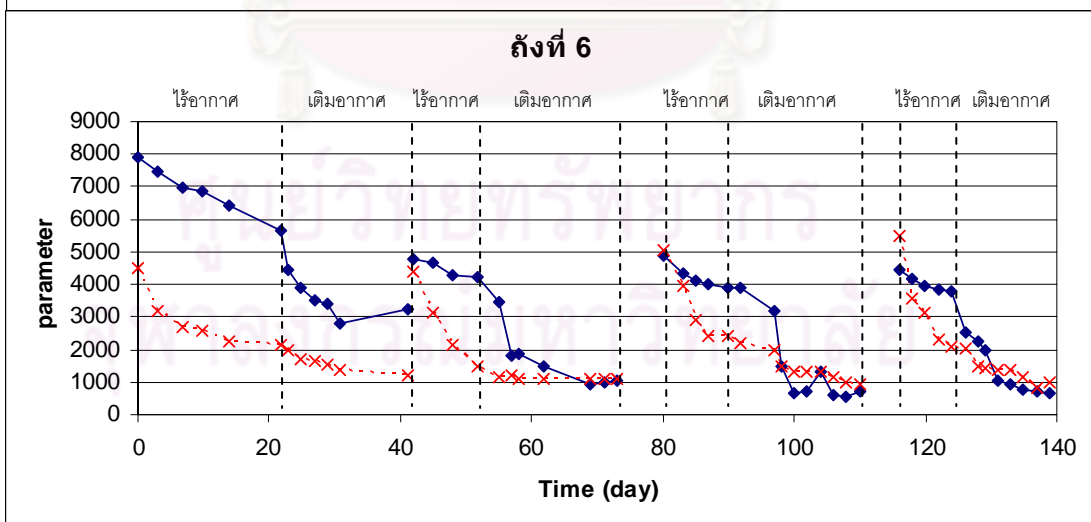
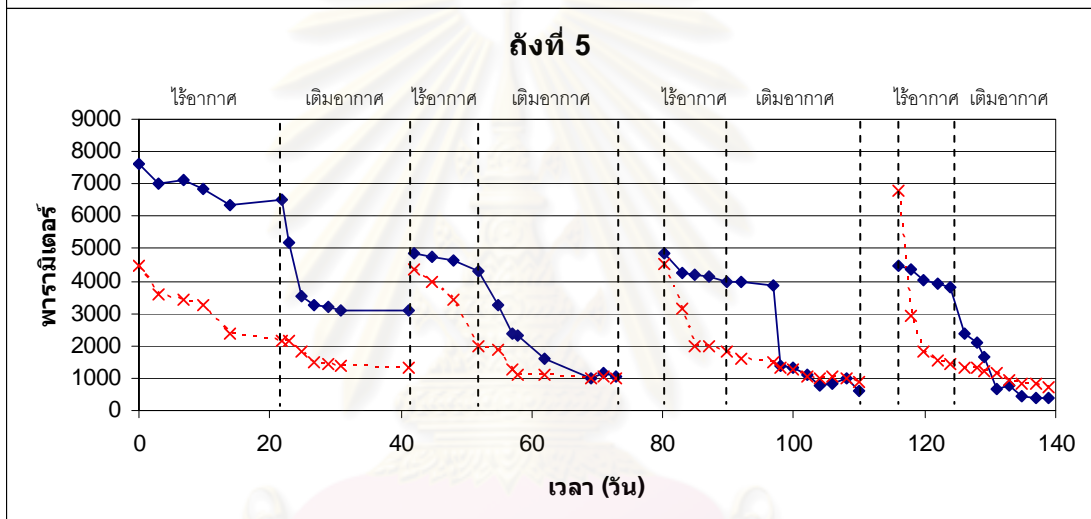
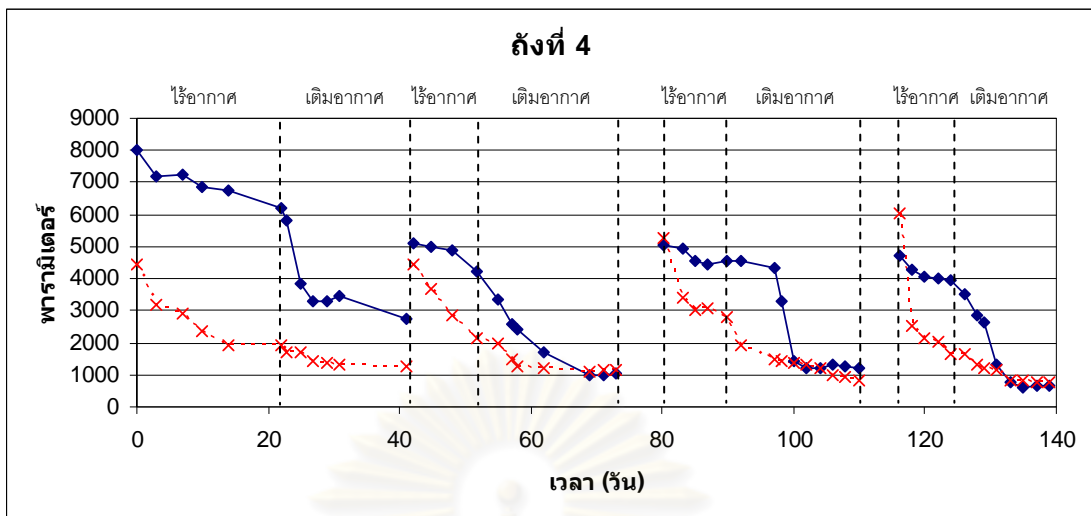
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





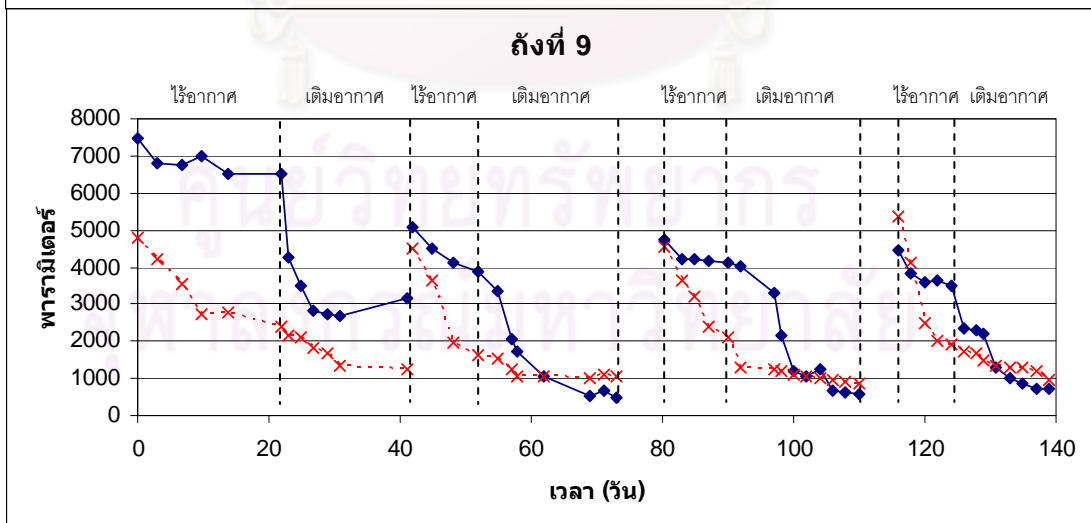
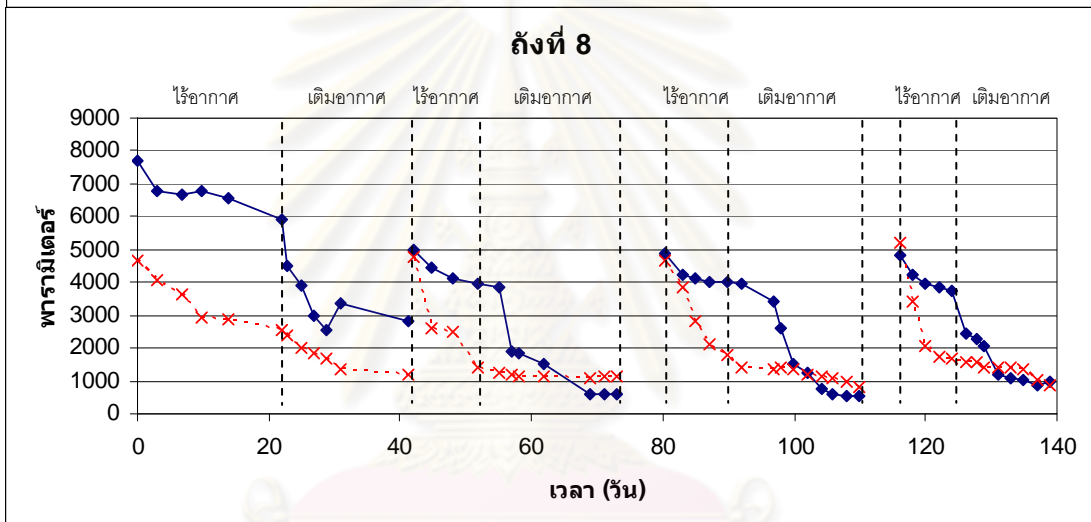
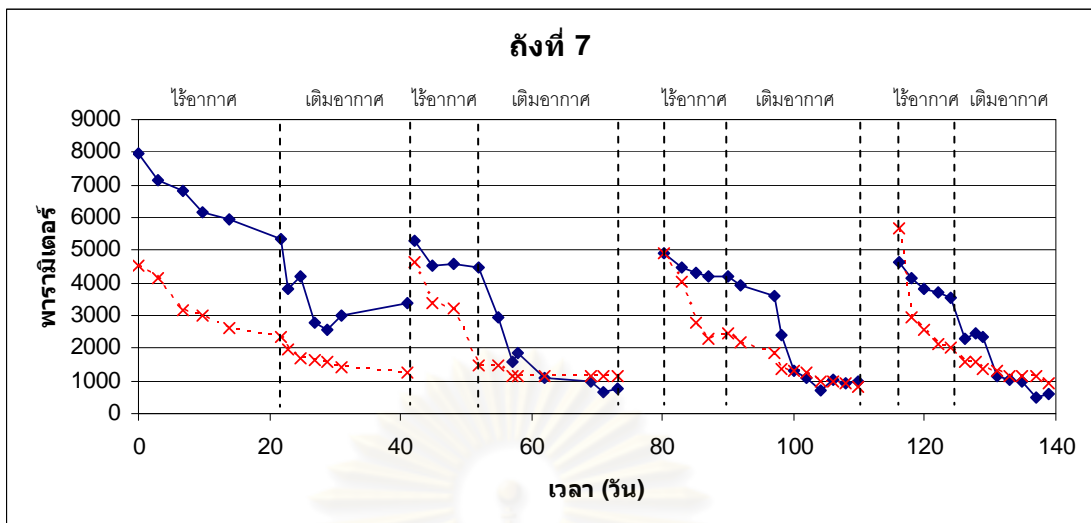
◆— ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)    
 -x- ซี (เอดีเอ็มไอ)

รูปที่ 4.3 การศึกษาการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมโดยการทิ้งน้ำตะกอน 1 ลิตร



◆ ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)    -x- สี (เอดีเอ็มไอ)

รูปที่ 4.4 การศึกษาการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมโดยการทิ้งน้ำตะกอน 2.5 ลิตร



◆— ชื้ออดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)    
 -x- สี (เอ็ดดีเอ็มไอ)

รูปที่ 4.5 การศึกษาการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมโดยการทิ้งน้ำตะกอน 4 ลิตร

จากผลการทดลองข้างต้น จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของกราฟทั้งค่าซีโอดีและซีของ การทดลองรอบที่ 1 ยังมีแนวโน้มการลดลงที่ไม่คงที่ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์อาจยังอยู่ในช่วงปรับ สภาพให้เข้ากับน้ำเสีย และเมื่อเริ่มควบคุมอายุตะกอนตั้งแต่จบการทดลองรอบที่ 1 จะเห็นได้ว่า กราฟทั้งค่าซีโอดีและซีมีแนวโน้มการลดลงที่คงที่และมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงใช้เวลาในการ บำบัดแต่ละรอบน้อยลง

การหาค่าอายุตะกอนสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3) ดังที่กล่าวในบทที่ 2 ซึ่งผล ของการคำนวณค่าอายุตะกอนแสดงดังตารางที่ 4.1 สำหรับค่า MLVSS ของแต่ละอายุตะกอนใน การทดลองนี้หาได้จากการนำค่าเฉลี่ยของ ns-COD ของทั้ง 3 ถึง ที่มีค่าอายุตะกอนเดียวกันมาทำ การเฉลี่ยเป็นค่า MLVSS ของอายุตะกอนนั้นๆ

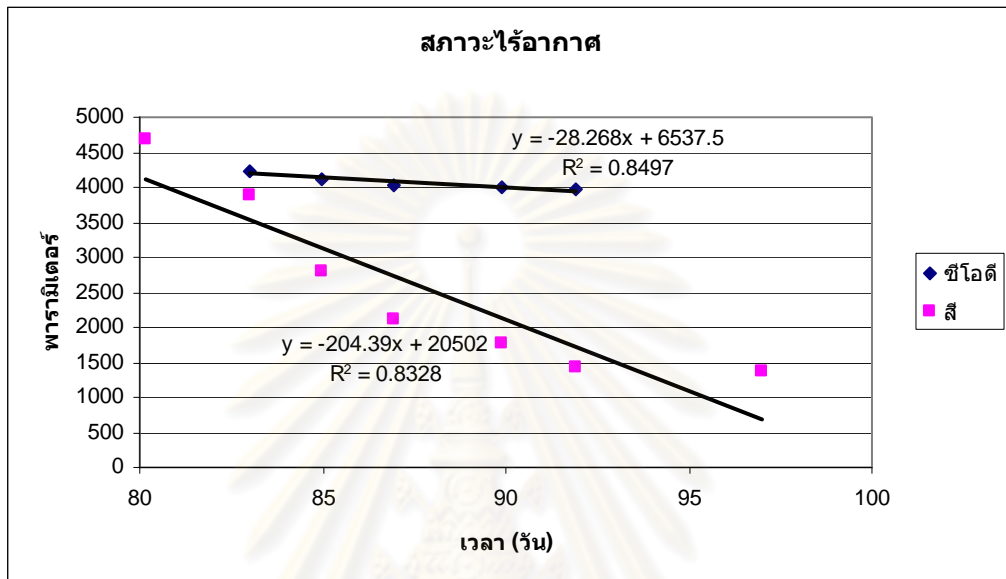
ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณหาค่าอายุตะกอนจากการทิ้งน้ำ 1 2.5 และ 4 ลิตร

การทิ้งน้ำ (ลิตร)	อายุตะกอน* (วัน)	MLVSS (มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร)
1	96	1671±64
2.5	44	1442±93
4	29	1270±14

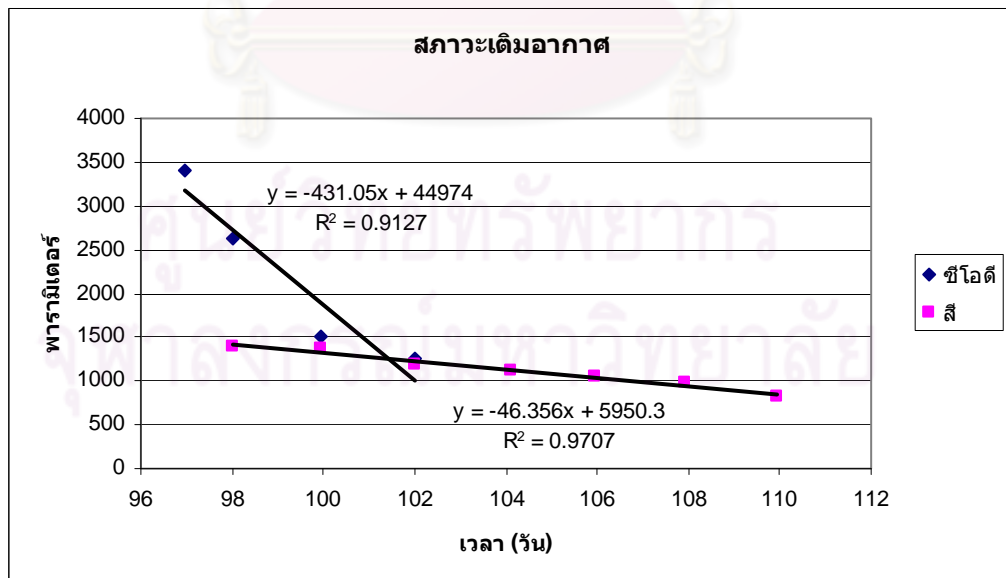
\* คิดจากการเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ตลอดการทดลองรวมกับการทิ้งน้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ในแต่ละรอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณหาอัตราการบำบัดค่าซีไอดีและสีในการทดลองนี้ สามารถทำได้โดยการนำค่าซีไอดีและสีของแต่ละสภาวะในแต่ละรอบในช่วงเริ่มต้นที่มีแนวโน้มการลดลงชันที่สุดไปสร้างเป็นกราฟเส้นตรงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีและสีต่อเวลา แสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7

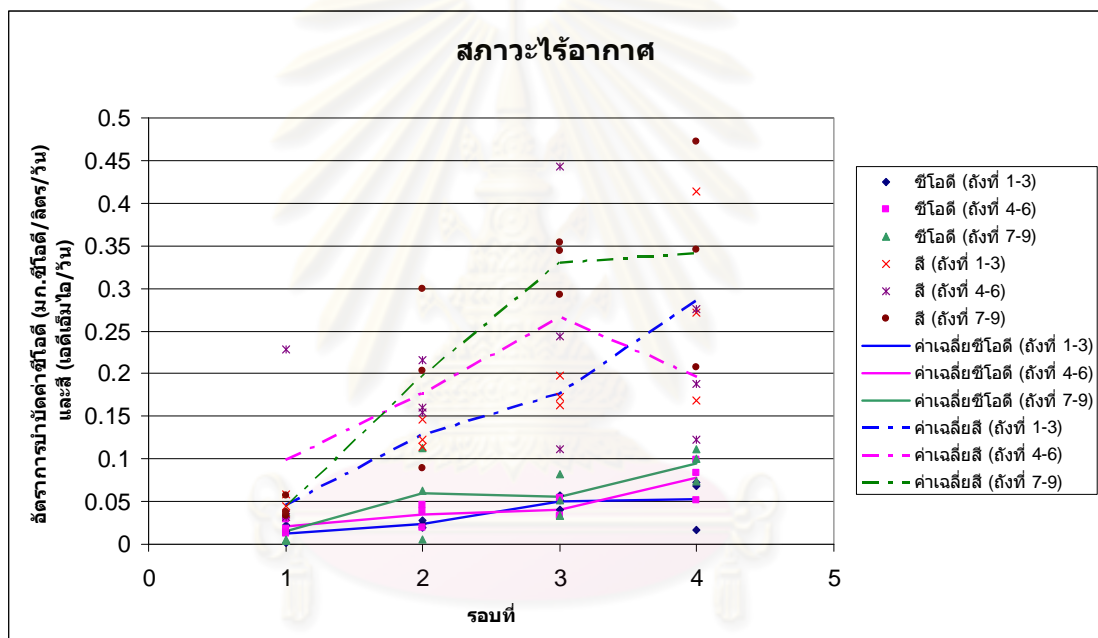


รูปที่ 4.6 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีและสีต่อเวลาในสภาวะไร้อากาศ



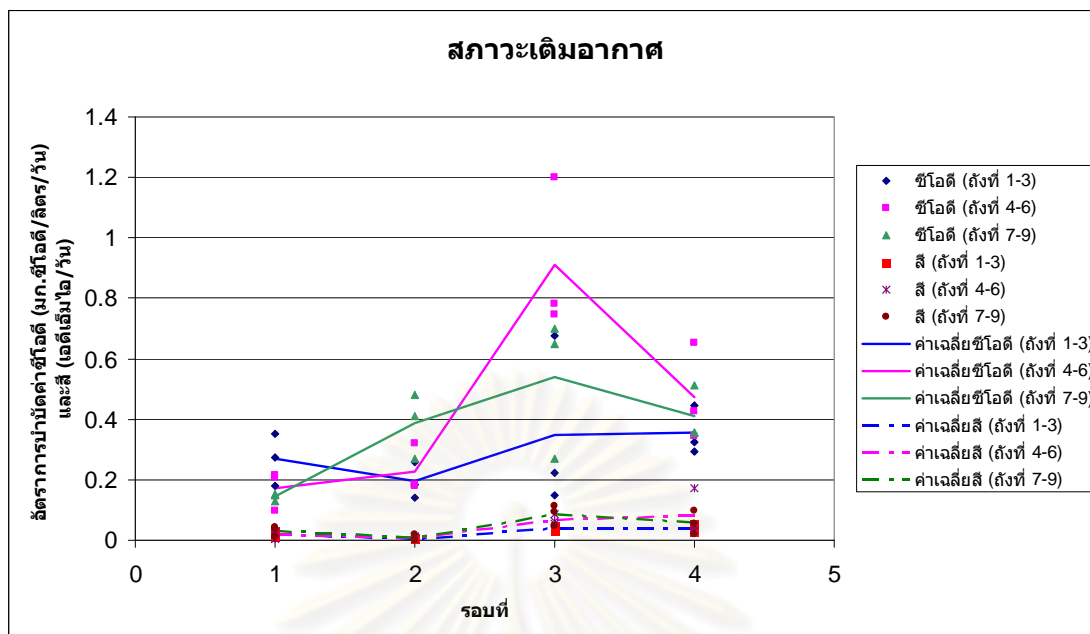
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีและสีต่อเวลาในสภาวะเติมอากาศ

จากนั้นนำค่าความชื้นที่ได้ของแต่ละถังไปหารด้วยค่าเฉลี่ยของ MLVSS ในช่วงนั้นๆ (MLVSS ในแต่ละช่วงคิดจากค่าเฉลี่ยของ ns-COD ในช่วงนั้นๆ) ได้เป็นอัตราการบำบัดของช่วงดังกล่าว เมื่อทำครบทุกรอบของแต่ละสภาวะแล้วสามารถสร้างเป็นกราฟอัตราการบำบัดค่าซีไอดีและซี ซึ่งพบว่า แนวโน้มของอัตราการบำบัดทั้งค่าซีไอดีและซีของทุกค่าอายุตะกอนในรอบที่ 1 และ 2 นั้น เป็นช่วงการปรับตัวของเชื้อจุลินทรีย์ จึงจะเห็นได้ว่าอัตราการบำบัดค่าซีไอดีและซีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและจะค่อนข้างคงที่ในรอบที่ 3 และ 4 โดยในสภาวะไร้อากาศค่าซีไอดีจะถูกบำบัดได้เพียงเล็กน้อยแต่ซีจะถูกบำบัดได้มาก ส่วนในสภาวะเติมอากาศมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีสูง แต่การบำบัดซีจะเกิดขึ้นน้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.8 อัตราการบำบัดค่าซีไอดีและซีในสภาวะไร้อากาศ





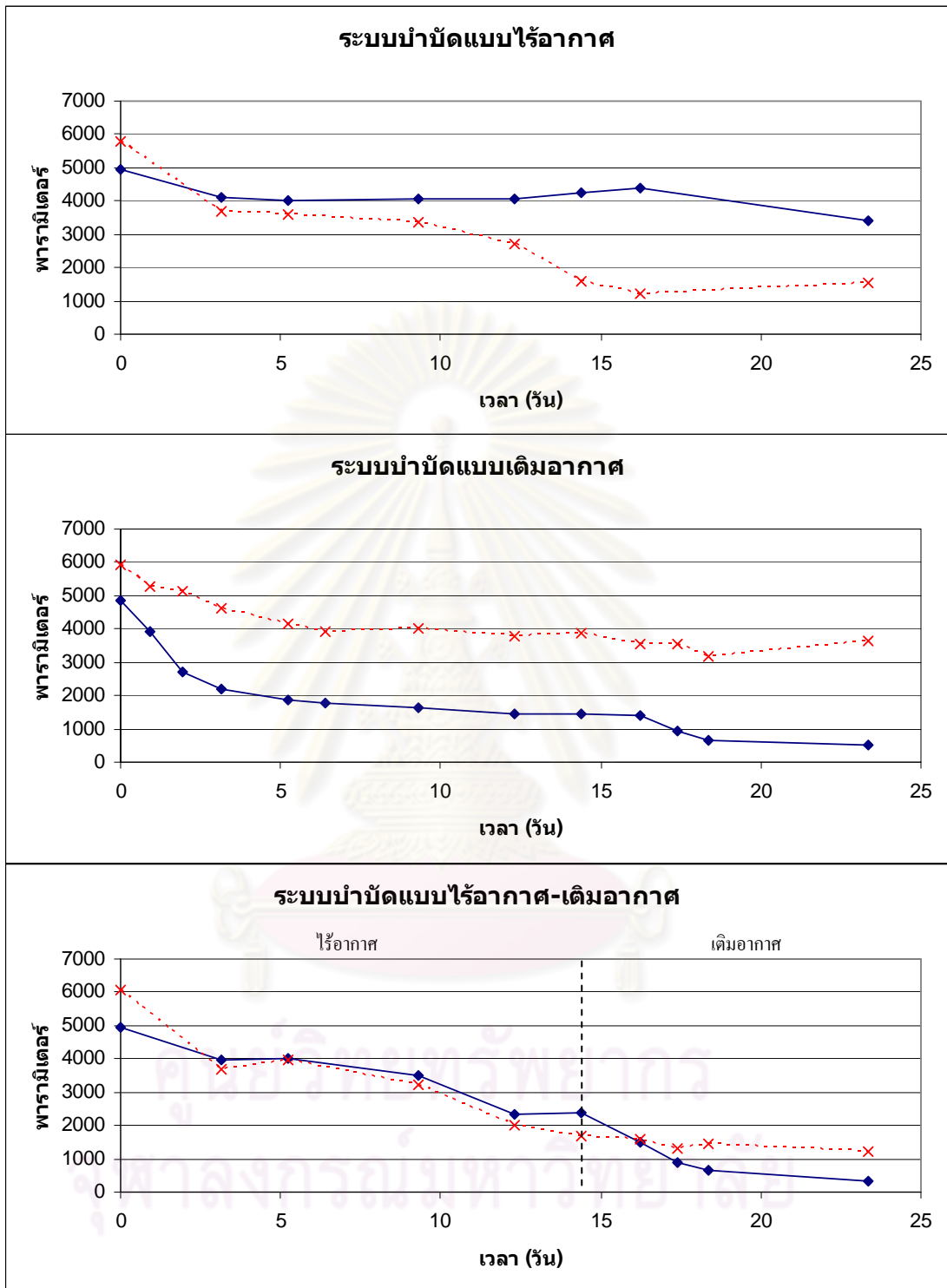
รูปที่ 4.9 อัตราการบำบัดค่าซีโอดีและลีในสภาวะเต็มอากาศ

การศึกษ้อัตราการลดลงของค่าซีโอดีและลีทั้ง 3 ค่าอายุตะกอน พบว่า ในสภาวะไร้อากาศอัตราการลดลงของลีในถังที่ 7-9 ที่ควบคุมอายุตะกอน 29 วัน มีแนวโน้มของอัตราการลดลีที่ดีที่สุด ส่วนอัตราการลดลงของค่าซีโอดีมีค่าใกล้เคียงกันทุกถัง และในสภาวะเต็มอากาศแม้ว่าอัตราการลดลงของค่าซีโอดีในถังที่ 4-6 จะดีที่สุดแต่ก็มีค่าใกล้เคียงกับถังที่ 7-9 ส่วนอัตราการลดลงของลีมีค่าใกล้เคียงกันทุกถัง และเนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการเน้นในเรื่องการศึกษาการบำบัด ลีทั้งอัตราการบำบัดค่าซีโอดีของแต่ละถังก็มีค่าต่างกันไม่มากนัก ดังนั้น จึงเลือกถังที่ 7-9 ที่มีค่าอายุตะกอน 29 วัน ไปใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป และผลการศึกษากการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมในการเดินระบบรอบสุดท้ายทำให้เราทราบระยะเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการบำบัดในสภาวะไร้อากาศ คือ 8 วัน และ ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดในสภาวะเต็มอากาศ คือ 6 วัน โดยเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Isik และ Sponza (2008) พบว่า ระยะเวลาเก็บกักของงานวิจัยนี้ในช่วงไร้อากาศมีค่าน้อยกว่า แต่ช่วงเต็มอากาศมีค่ามากกว่า นอกจากนี้ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zaoyan และคณะ (1992); Randall (1993); Shaw และคณะ (2001); Frijter และคณะ (2006) และปริชาวิทย์ รอดรัตน์ (2543) ที่กล่าวว่า เมื่อระยะเวลาเก็บกักในช่วงไร้อากาศเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดลียังจะเพิ่มขึ้นตาม ส่วนระยะเวลาเก็บกักในช่วงเต็มอากาศที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่านานกว่างานวิจัยของ Isik และ Sponza (2008) อาจเกิดจากงานวิจัยนี้เป็นการทดลองในถังปฏิกริยาแบบแบทช์ที่เดินระบบทั้งสองสภาวะในถังเดียว เมื่อมีการเปลี่ยนสภาวะกะทันหันจึงทำให้เชื้อจุลินทรีย์อาจจะต้องใช้ระยะเวลาในการปรับตัว

#### 4.3 ผลการศึกษาการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ แบบเติมอากาศ และแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ

การศึกษาในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาข้อแตกต่างของการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ แบบเติมอากาศ และแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ สำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเจือปน โดยแต่ละระบบใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำจากนมขาดมันเนยซึ่งมีค่าซีโอดีประมาณ 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร และสีชนิด Reactive Black 5 ที่มีค่าความเข้มข้นสีเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชเริ่มต้นรวมถึงตลอดการทดลองให้อยู่ในช่วง 7-7.2 และเลือกใช้ค่าอายุตะกอน 29 วัน โดยเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้มาจากการทดลองการหาค่าอายุตะกอนที่เหมาะสม ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.10

จากผลการทดลอง พบว่า การเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศเพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีได้ไม่ดีนัก แต่จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีดี เนื่องจากในการบำบัดแบบไร้อากาศจะเกิดการสลายพันธะของกลุ่มอะตอมไฮโดรเจนในโมเลกุลสีทำให้สีลดลง (Van der Zee และ Villaverde, 2005) ส่วนการเดินระบบบำบัดแบบเติมอากาศเพียงอย่างเดียวจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีดีมาก แต่จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีไม่ค่อยดีนัก และในการเดินระบบบำบัดแบบเติมอากาศนี้จะเกิดฟองขึ้นเป็นจำนวนมากในช่วงแรกของการเดินระบบซึ่งถือเป็นข้อเสียอย่างหนึ่งของการเดินระบบบำบัดแบบเติมอากาศ และเมื่อทำการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ พบว่า ระบบจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีทั้งค่าซีโอดีและสี เพราะฉะนั้นการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเจือปนมากกว่าการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศหรือเติมอากาศเพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zaoyan และคณะ (1992); Randall (1993); Shaw และคณะ (2001); Frijter และคณะ (2006) และปรีชาวิทย์ รอดรัตน์ (2543) อีกทั้งเมื่อมีการเดินระบบทั้งสองอย่างต่อเนื่องกัน พบว่า ในสภาวะเติมอากาศจะช่วยย่อยสลายสารประกอบอะโรมาติกเอมีนซึ่งเป็นสารที่เป็นพิษที่เกิดจากการย่อยสลายพันธะของกลุ่มอะตอมไฮโดรเจนด้วยกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศได้ (Van der Zee และ Villaverde, 2005)



—◆— ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)     - -x- - สี (เอซีเอ็มไอ)

รูปที่ 4.10 ผลการเดินระบบน้ำบาดแบบไร่อากาศ แบบเติมอากาศ และแบบไร่อากาศ-เติมอากาศ

**ตารางที่ 4.2** เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเดินระบบแบบไร้อากาศ แบบเติมอากาศ และแบบ  
ไร้อากาศ-เติมอากาศ

ระบบ	% การบำบัด	
	ค่าซีไอดี	สี
แบบไร้อากาศ	31.35	73.17
แบบเติมอากาศ	89.28	38.40
แบบไร้อากาศ-เติมอากาศ	93.55	79.56

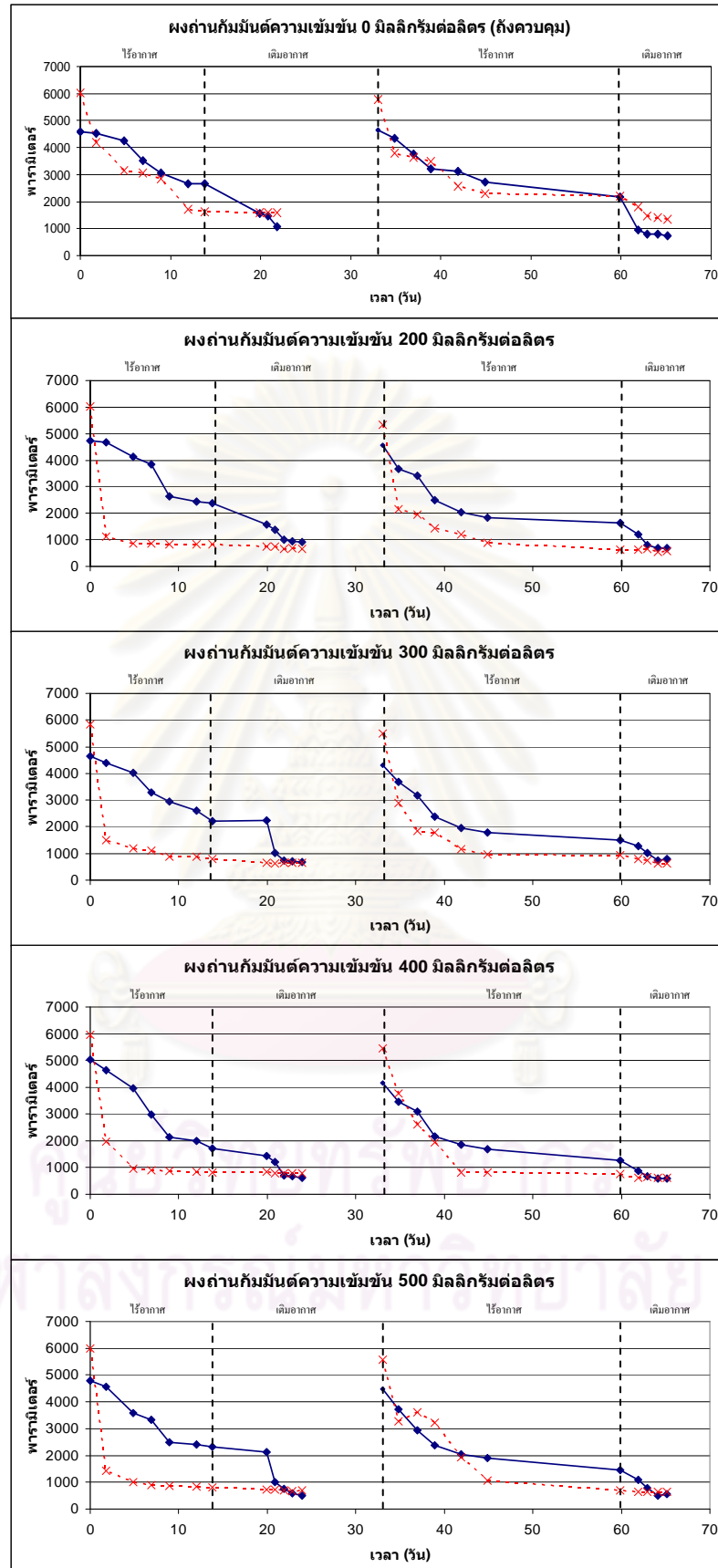
**4.4 ผลการศึกษาผลกระทบของการใส่สารช่วยลดสีที่มีต่อการทำงานของระบบบำบัดแบบ  
ไร้อากาศ-เติมอากาศ**

จากการศึกษาผลของสารช่วยลดสีได้แก่ ผงถ่านกัมมันต์ เฟอริกคลอไรด์ และไฮโดรเจน  
เปอร์ออกไซด์ ได้ผลดังนี้

**4.4.1 ผลของผงถ่านกัมมันต์**

ในการเติมผงถ่านกัมมันต์เพื่อเป็นสารช่วยลดสี เป็นการทำให้เกิดกระบวนการดูดซับ  
(Adsorption Process) โดยผงถ่านกัมมันต์จะทำหน้าที่เป็นสารดูดซับ (adsorbent) อนุภาคของสี  
ซึ่งอนุภาคของสีจะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ ทั้งที่ผิวภายในโพรงของตัว  
ดูดซับและที่ผิวภายนอกของตัวดูดซับ

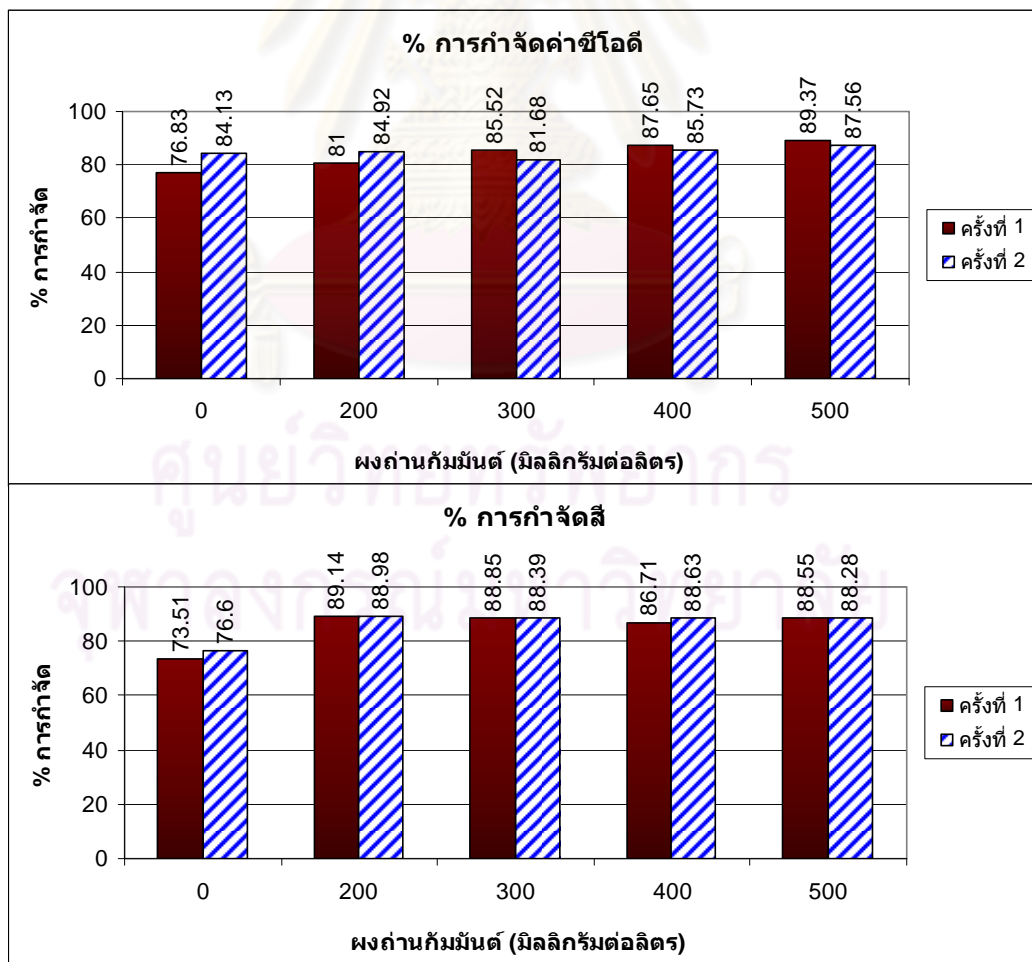
จากการทดลองเพื่อศึกษาหาผลกระทบของการเติมผงถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 200  
300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าสู่ถังปฏิกริยาที่มีการเดินระบบในสภาวะไร้อากาศ-  
เติมอากาศ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของค่าซีไอดีเริ่มต้น 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเข้มข้น  
ของสีเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยควบคุมอายุตะกอนให้มีค่า 29 วัน และทำการทดลอง  
2 รอบการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.11



—◆— ชีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)    -×- ซี (เอดีเอ็มไอ)

รูปที่ 4.11 ผลของการเติมผงถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 0 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลของการทดลองการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศในถังควบคุมมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีเฉลี่ย 80.48 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพในการบำบัดสีเฉลี่ย 75.05 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อทดลองเติมผงถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าสู่ระบบ พบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 83-88 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการบำบัดสีเฉลี่ย 88-89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.12 และเมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดของค่าซีไอดีและสีที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์ที่มีค่าสูงที่สุดไปเปรียบเทียบกับกรเดินระบบแบบไม่ได้เติมผงถ่านกัมมันต์ พบว่า การเติมผงถ่านกัมมันต์ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีและสีเพิ่มขึ้น 9.92 เปอร์เซ็นต์ และ 18.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ นวลละออ เนียมสอชิง (2525); ธงชัย พรธนะสวัสดิ์ (2527ก) และกมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์ (2540) ที่พบว่าปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดสีย่อมจะมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 200-300 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดี 90-98 เปอร์เซ็นต์ และสี 60-97 เปอร์เซ็นต์ ก็พบว่าผลการทดลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้



รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีและสีที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์



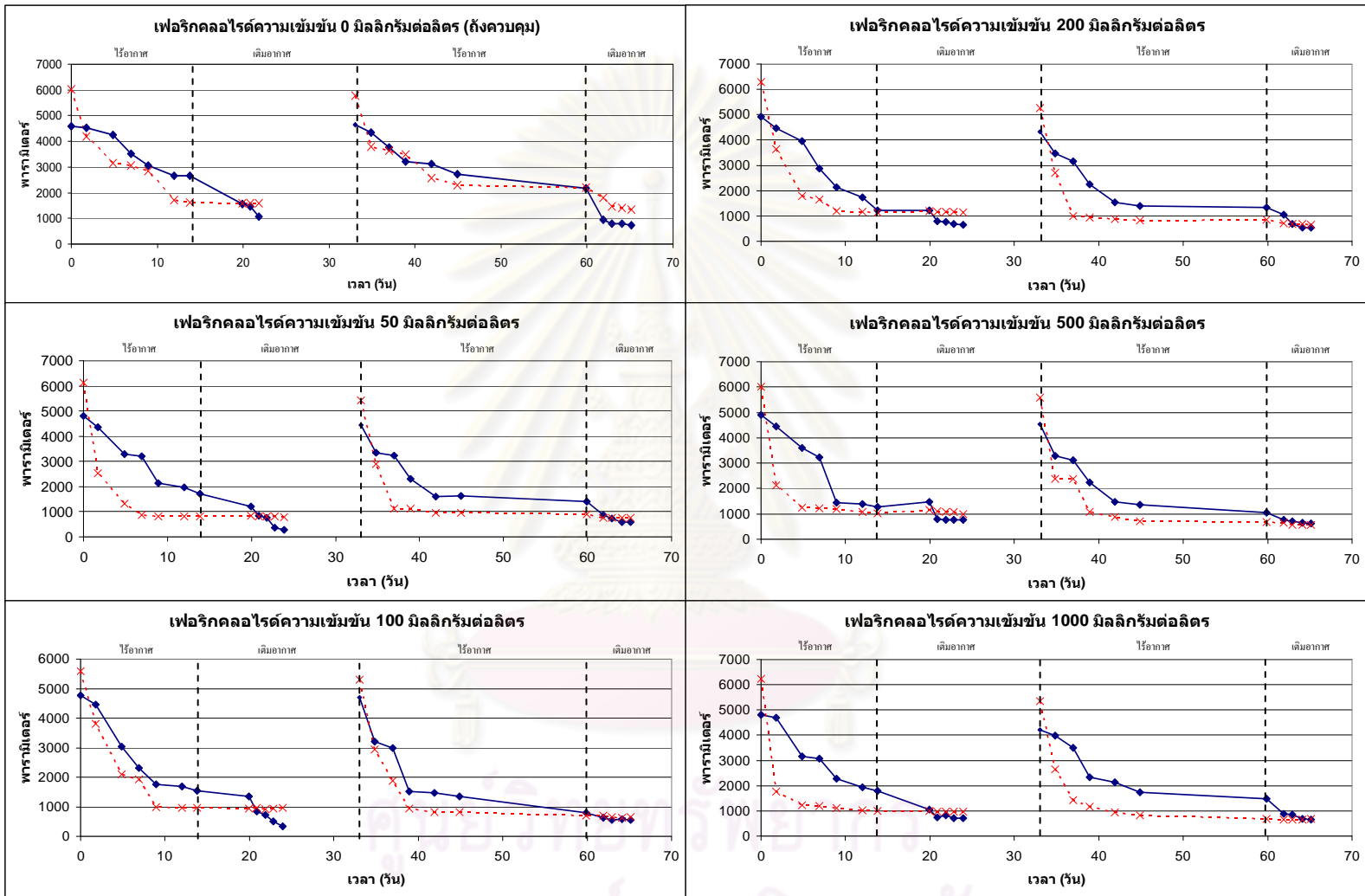
#### 4.4.2 ผลของเฟอริกคลอไรด์

ในการเติมเฟอริกคลอไรด์เพื่อเป็นสารช่วยลดสี เป็นการทำให้เกิดกระบวนการตกตะกอน (Precipitation) โดยเฟอริกคลอไรด์จะทำหน้าที่เป็นสารก่อตะกอน (Coagulant) ซึ่งจะเพิ่มประจุบวกในน้ำทำให้เกิดการลดแรงผลักรวมของอนุภาคที่มีประจุลบ ส่งผลให้อนุภาคเคลื่อนตัวเข้าหากันและเกาะกันมากขึ้น เกิดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่สามารถตกตะกอนได้ง่าย

จากการทดลองเพื่อศึกษาหาผลกระทบของการจากการเติมเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 50 100 200 500 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ที่มีการเดินระบบในสภาวะไร้อากาศ-เติมอากาศ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของค่าซีไอดีเริ่มต้น 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเข้มข้นของสีเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยควบคุมอายุตะกอนให้มีค่า 29 วัน และทำการทดลอง 2 รอบการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.13



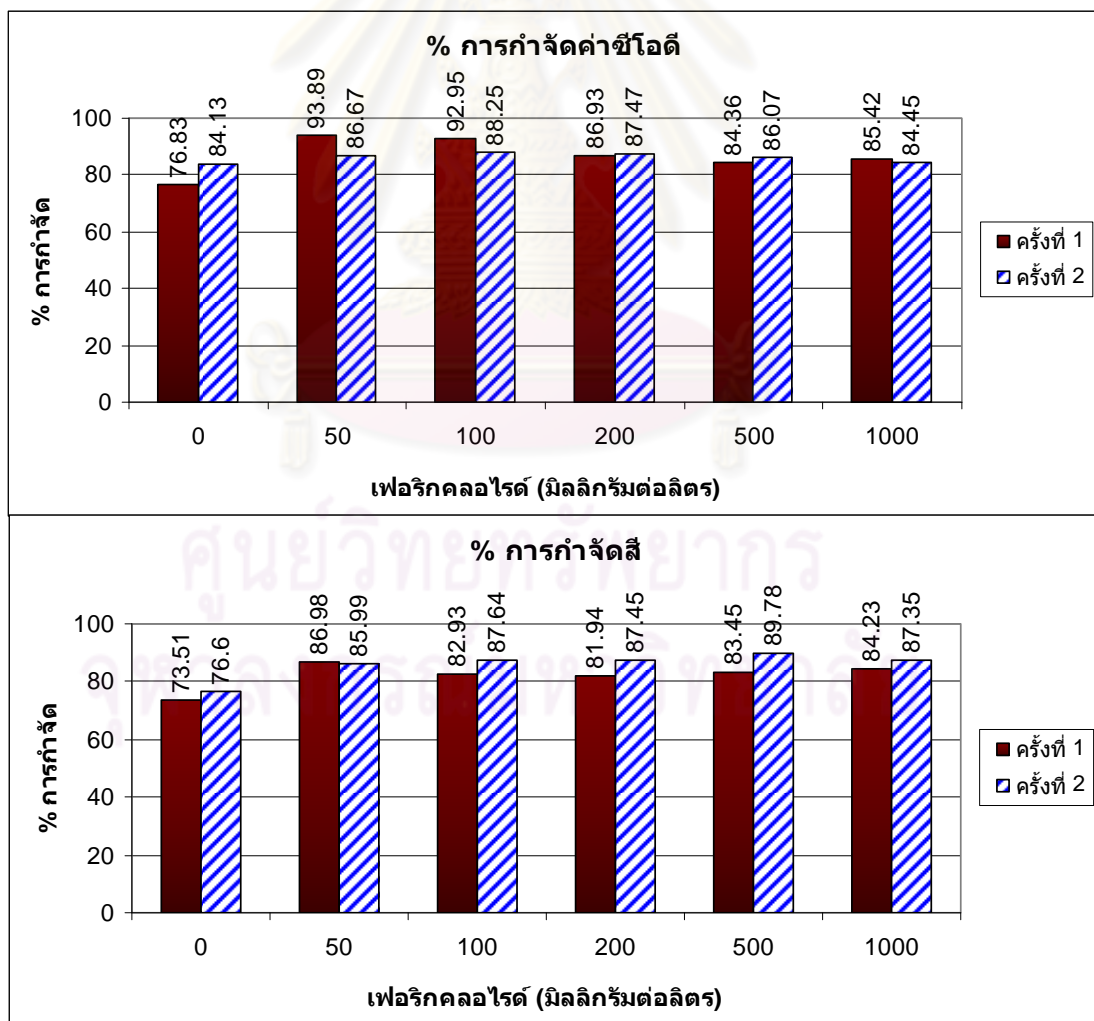
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



◆ ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)      -x- ลี้ (เอดีเอ็มไอ)

รูปที่ 4.13 ผลของการเติมเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0 50 100 200 500 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

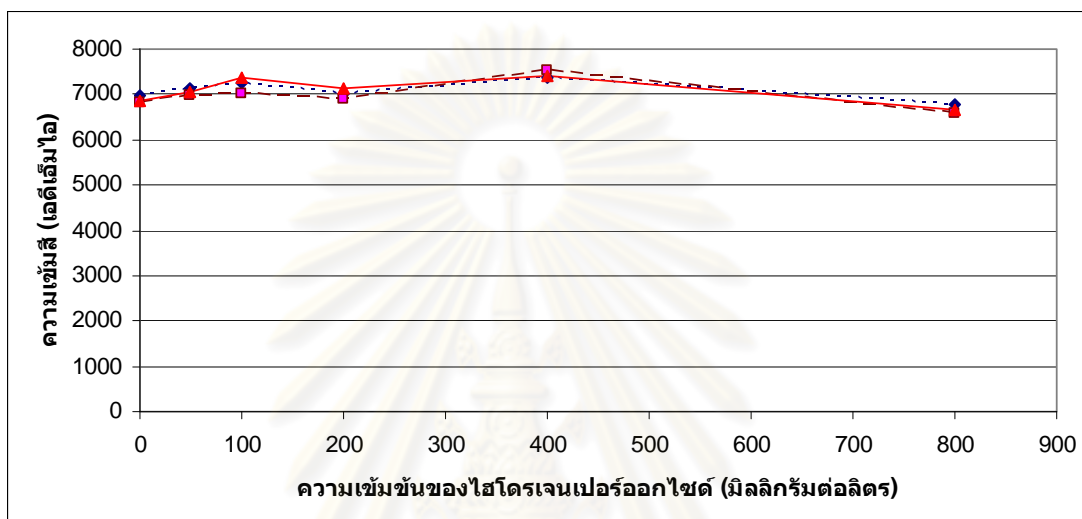
ผลของการทดลองการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศในถังควบคุมมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีเฉลี่ย 80.48 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพในการบำบัดสีเฉลี่ย 75.05 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อทดลองเติมเฟอริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 50 100 200 500 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าสู่ระบบ พบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ 85-91 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการบำบัดสีเฉลี่ย 85-87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.14 และเมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดของค่าซีโอดีและสีที่มีการเติมเฟอริกคลอไรด์ที่มีค่าสูงที่สุดไปเปรียบเทียบกับการเดินระบบแบบไม่ได้เติมเฟอริกคลอไรด์ พบว่า การเติมเฟอริกคลอไรด์ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีและสีเพิ่มขึ้น 12.62 เปอร์เซ็นต์ และ 15.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Kim และคณะ (2004) พบว่า ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ซึ่งเป็นการบำบัดสีด้วยกระบวนการไร้อากาศ-เติมอากาศและใส่เฟอริกคลอไรด์ มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีและสีสูงกว่าการบำบัดโดยใช้เฟอริกคลอไรด์เป็นสารก่อก่อนเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีและสีที่มีการเติมเฟอริกคลอไรด์

#### 4.4.3 ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

จากการทดลองหาความเข้มข้นที่ดีที่สุดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 50 100 200 400 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยวิธีการทำจาร์เทสต์และควบคุมค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 7-7.2 เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในระบบบำบัดทางชีวภาพได้ พบว่า ทุกความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ได้เลือกใช้ข้างต้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ผลของการทำจาร์เทสต์ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

#### 4.5 การนำไปใช้ในการออกแบบระบบจริง

การนำงานวิจัยนี้ไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ มีขั้นตอนดังนี้ คือ จากงานวิจัยนี้ซึ่งเป็นการทดลองแบบแบทช์ ทำให้ทราบระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมของการบำบัดทั้งช่วงไร้อากาศและเติมอากาศ ซึ่งหาได้จากการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมในการเดินระบบรอบสุดท้ายคือ ในช่วงไร้อากาศมีระยะเวลาเก็บกัก 8 วัน และช่วงเติมอากาศมีระยะเวลาเก็บกัก 6 วัน ในการนำไปใช้ออกแบบระบบจริงหากมีอัตราการไหลของน้ำเสียอย่างต่อเนื่องสามารถปรับให้เป็นระบบแบบ Plug Flow ได้ เนื่องจากระบบแบบแบทช์และระบบแบบ Plug Flow มีระยะเวลาเก็บกักเท่ากัน โดยเมื่อทราบอัตราการไหลของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะสามารถคำนวณหาขนาดของถังปฏิกริยาทั้งในช่วงไร้อากาศและเติมอากาศได้ ทั้งนี้ ขนาดของถังปฏิกริยาจะต้องมีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของถังมากกว่าหรือเท่ากับ 10 เพื่อให้เกิดการไหลแบบ Plug Flow ที่สมบูรณ์ ในส่วนของการควบคุมอายุตะกอนให้ได้ 29 วัน ตามผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถทำได้โดยการควบคุมอัตราการทิ้งตะกอนออกจากระบบ ซึ่งคำนวณได้ตามสมการ (6) ดังที่กล่าวในบทที่ 2 และควบคุมอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพให้มีค่าเท่ากับ 0.20 วัน<sup>-1</sup> (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

1) จากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีสีเจือปนด้วยระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ พบว่า การบำบัดค่าซีโอดีจะเกิดขึ้นในทั้งสองสภาวะ แต่จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด ในสภาวะเติมอากาศ ส่วนการบำบัดสีจะเกิดขึ้นในสภาวะไร้อากาศเป็นหลัก ซึ่งคาดว่าเกิดจากการบำบัดโดยแบคทีเรียสร้างกรด (Acid-forming bacteria) สังเกตได้จากช่วงที่ค่าพีเอชของระบบลดลงก็จะเกิดการลดลงของสีมากตามไปด้วย แต่เมื่อค่าพีเอชคงที่แล้วจะเกิดการลดลงของสีเพียงเล็กน้อย และเมื่ออยู่ในสภาวะเติมอากาศระบบจะมีประสิทธิภาพการบำบัดสีน้อยมาก

2) จากค่าอายุตะกอนทั้ง 3 ค่า คือ 96 44 และ 29 วัน พบว่า ค่าอายุตะกอนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ การทิ้งน้ำ 4 ลิตร หรือคิดเป็นอายุตะกอน 29 วัน มีค่า MLVSS  $1270 \pm 14$  มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร

3) การใส่ผงถ่านกัมมันต์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีและสีโดยเฉลี่ย 9.92 และ 18.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การใส่เฟอริกคลอไรด์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีและสีโดยเฉลี่ย 12.62 และ 15.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยที่การเพิ่มความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์และเฟอริกคลอไรด์มากขึ้นไม่ทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น การใส่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 50-800 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการลดลงของสี ซึ่งผลของผงถ่านกัมมันต์ และเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ มีประสิทธิภาพในการช่วยลดสีใกล้เคียงกัน ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบทางด้านค่าใช้จ่าย พบว่า ผงถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีราคาถูกลงกว่าการเติมเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ 0.02 บาทต่อลิตร และ 0.08 บาทต่อลิตร ตามลำดับ และมีตะกอนเกิดขึ้นน้อยกว่า

4) สามารถนำไปใช้ออกแบบเป็นระบบแบบ Plug Flow ได้ โดยกำหนดให้มีระยะเวลาเก็บกักในช่วงไร้อากาศ 8 วัน ช่วงเติมอากาศ 6 วัน มีค่าอายุตะกอน 29 วัน ค่า MLVSS 1270 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร และควบคุมอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพให้มีค่าเท่ากับ  $0.20 \text{ วัน}^{-1}$  ซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีและสีเฉลี่ย 75.05 และ 80.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



## 5.2 ข้อเสนอแนะ

### 5.2.1 ข้อเสนอแนะเพื่อนำไปศึกษาหรือวิจัยต่อ

- 5.2.1.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าอายุตะกอนหลายๆ ค่า เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด
- 5.2.1.2 ศึกษาการบำบัดกับสีชนิดอื่นๆ และเปลี่ยนมาทดลองใช้กับน้ำเสียจริง
- 5.2.1.3 ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีสีข้มเจือปนกับระบบแบบ Attached Growth

### 5.2.2 ข้อเสนอแนะเพื่อนำไปประยุกต์ใช้

- 5.2.2.1 ถ้าเพิ่มค่า MLSS จะสามารถทำให้เวลาเก็บกัก และขนาดถังลดลงได้
- 5.2.2.2 .ในการนำระยะเวลาเก็บกักที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปใช้จริงอาจสามารถลดระยะเวลาในแต่ละสภาวะลงได้ เนื่องจากระยะเวลาเก็บกักที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้รวมช่วงคงที่ของแต่ละสภาวะเข้าไปด้วย
- 5.2.2.3 เมื่อนำระบบนี้ไปใช้จริงแม้จะต้องใช้พื้นที่มาก มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง แต่มีค่าใช้จ่ายในการดูแลระบบต่ำ
- 5.2.2.4 ปัจจุบันโรงงานนิยมใช้ระบบ RO ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีเจือปน แต่ในทางปฏิบัติโรงงานอาจลักลอบทิ้งน้ำเสียโดยไม่ผ่านระบบ RO ได้ แต่หากโรงงานติดตั้งระบบบำบัดทางชีวภาพจะเป็นการบังคับให้ต้องเดินระบบต่อเนื่องตลอดเวลา

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์. 2540. การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบแยกทิวเต็ดสลัดจ์ในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โกมล เขียมเสมอ. 2541. ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของสีรีแอกทีฟชนิดเอซีโดยกระบวนการเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิกซึ่งมีและไม่มีสารอาหารที่ส่งเสริมกระบวนการอีพีอาร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จินตนา แป้นสุวรรณ. 2539. การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะภาพของการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อมระหว่างกระบวนการเอสปีอาร์แบบธรรมดา กับแบบแอนนออกซิก+แอนแอโรบิก/ออกซิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2527ก. การกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า เล่มที่ 1 : สรุปรวม. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลและสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2527ข. การกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า เล่ม 2 : ข้อมูลพื้นฐาน. รายงานวิจัยขั้นสมบูรณ ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลและสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธนิษฐ์ ปัญญาภิญโญผล. 2543. ผลของอัตราส่วนเวลากักแอนแอโรบิก/แอโรบิก ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่แบ่งมันสำปะหลัง โดยกระบวนการแยกทิวเต็ดสลัดจ์ชนิดเอซีเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นวลละออ เนียมสะอั้ง. 2525. การกำจัดสารอินทรีย์และสีพร้อมกันโดยใช้ระบบพีเอซี-แยกทิวเต็ดสลัดจ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- บุษรา ประชุมญาติ. 2545. การกำจัดสีรีแอกทีฟหมู่อะโซด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปรีชาวิทย์ รอดรัตน์. 2543. ผลของเวลากักแวนแเอโรบิกและความเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟหมู่ที่พชนิดอะโซที่มีโครงสร้างทางเคมีต่างกัน โดยกระบวนการเอสปีอาร์แบบแวนแเอโรบิก-แเอโรบิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปภาวดี ไชคสุวรรณกิจ. 2550. การบำบัดน้ำกากส่าโดยใช้กากตะกอนระบบผลิตน้ำประปาเข้าลอย แอสฟัลท์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์ และ มันรัช ตันฑุลเวศม์. 2547. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรวิทย์ เหลืองดิลก. 2541. ผลของโครงสร้างทางเคมีของสีรีแอกทีฟต่อการลดสีโดยกระบวนการเอสปีอาร์แบบแวนแเอโรบิก-แเอโรบิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วุฒิ วิพันธ์พงษ์. 2540. การใช้สารเคมีเพนตันกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ. 2525. การกำจัดสีของน้ำเสียจากการย้อมผ้าโดยใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรตเบสิค. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2542. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกย้อม. กรุงเทพมหานคร : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย
- อภิชาติ หิรัญจิตต์. 2539. การกำจัดสีรีแอกทีฟจากน้ำเสียย้อมผ้าด้วยกระบวนการร่วมของการดูดติดผิวและโคแอกกูเลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อัฉรภาพร ไสละสูต. 2527. คู่มือการย้อมสี. กรุงเทพมหานคร : เทคนิค 19 การพิมพ์กรุงเทพ.

## ภาษาอังกฤษ

- Allen, W., Prescott, W.B., Derby, R.E., Garland, C.E., Peret, J.M. and Saltzman, M. 1973. Proceeding of the 28<sup>th</sup> Perdue Industrial Wastewater Conference Part 2., Purdue University : 661-675.
- American Public Health Association. 1995. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 19<sup>th</sup>ed. Washington, DC : American Public Health Association.
- Brown, D. and Hamburger, B. 1987. The Degradation of Dyestuffs : Part III – Investigations of their ultimate degradability. Chemosphere 16: 1539-1553.
- Carliell, C.M., Barclay, S.J., Naidoo, N., Buckley, C.A., Mulholland, D.A. and Senior, E. 1995. Microbial decolourization of a reactive azo dye under anaerobic conditions. Water SA 21: 61-69.
- Carliell, C.M., Barclay, S.J. and Buckley, C.A. 1996. Treatment of exhausted reactive dyebath effluent using anaerobic digestion : laboratory and full-scale trials. Water SA 22: 225-233.
- Chang, J.S. and Lin, Y.C. 2000. Fed-batch bioreactor strategies for microbial decolorization of azo dye using a pseudomonas luteola strain. Biotechnol.Prog. 16: 979-985.
- Chung, K., Stevens, S.E. Jr. and Cerniglia, C.E. 1992. The reduction of azo dyes by the intestinal microflora. Crit.Rev.Microbiol 18: 175-190.
- Dubrow, S.F., Boardman, G.D. and Michelsen, D.J. 1996. Chemical pretreatment and aerobic-anaerobic degradation of textile dye wastewater. Environmental Chemistry of Dyes and Pigments. John Wiley & Sons. Inc., 75-104.
- Forgaces, E., Cserhati, T. and Oros, G. 2004. Removal of synthesis dyes from wastewater: a review. Environment International 30: 953-971.
- Frijters, C.T.M.J., Vos, R.H., Scheffer, G. and Mulder, R. 2006. Decolorizing and detoxifying textile wastewater, containing both soluble and insoluble dyes, in a full scale combined anaerobic/aerobic system. Water Research 40: 1249-1257.

- Gregor, K.H. 1992. Oxidation decolorization of textile wastewater with advanced oxidation process. Chemical oxidation Volume 2 : Proceeding of the 2<sup>nd</sup> International Symposium Chemical Oxidation : Technology for the Nineties., 161-193.
- Haug, W., Schmidt, A., Nortemann, B., Hempel, D.C., Stolz, A. and Knackmuss, H.J. 1991. Mineralization of the sulfonated azo dye mordant yellow 3 by 6-aminonaphthalene-2-sulfonate degrading bacterial consortium. Appl. Environ. Microbiol. 57: 3144-3149.
- Isik, M., and Sponza, D, T. 2008. Anaerobic/aerobic treatment of a simulated textile wastewater. Separation and Purification Technology 60: 64-72.
- Kennedy, M. 1991. Electrochemical wastewater treatment technology for textile. American Dyestuff Report., 26-28.
- Kim, T.H., Park, C., Shin, E.B. and Kim, S. 2004. Decolorization of disperse and reactive dye solutions using ferric chloride. Desalination 161: 49-58.
- Marquez, M.C. and Costa, C. 1996. Biomass concentration in PACT process. Water Research 30: 2079-2085.
- Metcalf and Eddy. 2004. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. 4<sup>th</sup> ed. Singapore : McGraw-Hill.
- Panswad, T. and Wongchaisuwan, S. 1986. Mechanisms of dye wastewater colour removal by magnesiumcarbonate-hydrated basic. Wat.Sci.Tech. 18: 139-144.
- Randall, W.B. 1993. Pilot scale study on anaerobic treatment of a textile wastewater. Hazardous and Industrial Wastes Proceeding of the Mid Atlantic Industrial Waste Conf., 218-227.
- Reife, A. and Freeman, H.S. 1996. Carbon adsorption of dyes and selected intermediates. Environmental Chemistry of Dyes and Pigments. John Wiley & Sons. Inc., 3-32.
- Seesuriyachan P., Shinji T., Kuntiya A., Klayraung S., Shuichiro M. and Kenji A. 2007. Metabolism of azodyes by *Lactobacillus casei* TISTR 1500 and effects of various factors on decolorization. Water Research 41: 985-992.

- Shaul, G.M., Dempsey, C.R., Dostal, K.A. and Lieberman, R.J. 1986. Fate of azo dyes in the activated sludge process. 41<sup>th</sup> Purdue Industrial Waste Conference Proceedings., 603-611.
- Shaw, C.B., Carliell, C.M. and Wheatley, A.D. 2001. Anaerobic/aerobic treatment of coloured textile effluents using sequencing batch reactors. Water Research 36: 1993-2001.
- Van der Zee, F, P. and Villaverde, S. 2005. Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes-A short review of bioreactor studies. Water Research 39: 1425-1440.
- Zaoyan, Y., Ke, S., Guangliang, S., Fan, Y., Jinshan, D. and Huanian, M. 1992. Anaerobic-aerobic treatment of a dye wastewater by combination of RBC with activated sludge. Wat.Sci.Tech. 26: 2093-2096.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 1. ข้อมูลดิบจากการทดลอง

### 1.1 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสม

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 1

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
1	28/9/2009	0	7722	3588	4134	4842.948
	1/10/2009	2.88	6084	3042	3042	4341.047
	5/10/2009	6.86	6918	4286.4	2631.6	4168.501
	8/10/2009	9.83	6918	4136	2782	3867.639
	12/10/2009	13.85	6664	2984	3680	2604.936
	20/10/2009	21.86	6984	3492	3492	2245.083
	21/10/2009	22.88	4345.6	698.4	3647.2	1993.201
	23/10/2009	24.84	3744	780	2964	1708.791
	26/10/2009	26.86	3574.51	867.31	2707.2	1560.516
	28/10/2009	28.86	3971.73	979.73	2992	1474.876
	30/10/2009	30.86	3735.2	879.2	2856	1330.112
	9/11/2009	41.14	3398.92	1010.92	2388	1342.876
2	10/11/2009	42.01	5304	3360	1944	4368.01
	13/11/2009	44.84	5095.73	3080.52	2015.21	2790.158
	16/11/2009	48.01	4990	3309.6	1680.4	2878.716
	20/11/2009	51.84	4212	2744	1468	1498.586
	23/11/2009	54.97	3600	2418	1182	1399.858
	25/11/2009	57	3146.67	1066.67	2080	1297.663
	26/11/2009	57.94	2666.67	640	2026.67	1308.074
	30/11/2009	61.93	2613.33	640	1973.33	1281.447
	7/12/2009	69.03	1286.67	265.33	1021.34	1259.87
	9/12/2009	71.04	720.53	411.73	308.8	1261.66
	11/12/2009	73	742.93	463.2	279.73	1250.48

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 1 (ต่อ)

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
3	18/12/2009	80.19	5653.33	2986.67	2666.66	4576.86
	21/12/2009	83.01	4869.84	3083.71	1786.13	4176.31
	23/12/2009	84.97	4765	3221.15	1543.85	3186.33
	25/12/2009	86.96	4653.95	3327.28	1326.67	2387.58
	28/12/2009	89.88	4650.77	3365	1285.77	2200.02
	30/12/2009	91.92	4088.53	3572.8	515.73	1619.72
	4/1/2010	96.98	3397.04	3188.77	208.27	1405.97
	5/1/2010	98.03	2329.6	582.4	1747.2	1441.97
	7/1/2010	99.96	2698.68	1047.48	1651.2	1344.3
	9/1/2010	101.99	2234.28	479.88	1754.4	1312.42
	11/1/2010	104.09	1602.91	465.36	1137.55	1198.64
	13/1/2010	105.93	1447.78	413.65	1034.13	1152.4
	15/1/2010	107.94	1396.08	775.6	620.48	989.73
	18/1/2010	109.93	1561.6	416.43	1145.17	928.01
4	24/1/2010	116.02	4874.77	2861.28	2013.49	4989.819
	26/1/2010	117.89	4662.83	3126.21	1536.62	3428.833
	28/1/2010	119.89	4727.52	2663.92	2063.6	2663.985
	30/1/2010	121.96	4223.71	3126.64	1097.07	1892.066
	1/2/2010	124.02	4024.24	3375.97	648.27	1329.072
	3/2/2010	126.05	2561.95	1645.15	916.8	1084.502
	5/2/2010	127.9	2561.95	1696.08	865.87	1040.949
	6/2/2010	128.99	1656.4	344.4	1312	889.4129
	8/2/2010	130.92	1164.4	399.07	765.33	899.9041
	10/2/2010	132.9	1061.17	307.04	754.13	835.5775
	12/2/2010	134.83	1034.48	230.48	804	896.4617
	14/2/2010	136.92	953.44	630.24	323.2	745.6071
	16/2/2010	138.82	980.88	284.08	696.8	680.5199

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 2

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
1	28/9/2009	0	7722	3276	4446	4405.681
	1/10/2009	2.88	7162	2808	4354	3331.713
	5/10/2009	6.86	7144	3384	3760	2918.994
	8/10/2009	9.83	6993.6	3684.8	3308.8	2500.159
	12/10/2009	13.85	6344	3144	3200	2388.551
	20/10/2009	21.86	6285.6	3259.2	3026.4	1940.845
	21/10/2009	22.88	5432	2172.8	3259.2	1695.192
	23/10/2009	24.84	3198	546	2652	1573.49
	26/10/2009	26.86	3273.71	616.64	2657.07	1565.572
	28/10/2009	28.86	2974.4	510.4	2464	1486.09
	30/10/2009	30.86	3119.2	487.2	2632	1311.447
	9/11/2009	41.14	2762.12	1568.12	1194	1233.78
2	10/11/2009	42.01	5309.32	3160.12	2149.2	4529.658
	13/11/2009	44.84	4914	3204.53	1709.47	3118.721
	16/11/2009	48.01	4744	2584	2160	2813.608
	20/11/2009	51.84	4885.6	2418	2467.6	1769.735
	23/11/2009	54.97	3760	1760	2000	1232.221
	25/11/2009	57	2453.33	640	1813.33	1187.729
	26/11/2009	57.94	2560	533.33	2026.67	1126.908
	30/11/2009	61.93	1493.33	533.33	960	1114.711
	7/12/2009	69.03	1345.07	318.4	1026.67	1110.79
	9/12/2009	71.04	1346.93	205.87	1141.06	1121.2
	11/12/2009	73	1286.67	463.2	823.47	1115.44

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 2 (ต่อ)

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
3	18/12/2009	80.19	5226.67	3040	2186.67	4598.51
	21/12/2009	83.01	4930.4	2978.64	1951.76	3083.69
	23/12/2009	84.97	4707.01	3115.01	1592	2059.65
	25/12/2009	86.96	4441.68	3327.28	1114.4	2016.24
	28/12/2009	89.88	4265	3415	850	1592.91
	30/12/2009	91.92	4438.93	3356.27	1082.66	1404.97
	4/1/2010	96.98	3609.04	3398.91	210.13	1344.17
	5/1/2010	98.03	2684	145.6	2538.4	1275.06
	7/1/2010	99.96	2440.68	376.68	2064	1002.22
	9/1/2010	101.99	1769.88	325.08	1444.8	1185.87
	11/1/2010	104.09	1189.25	465.36	723.89	1106.21
	13/1/2010	105.93	1240.96	103.41	1137.55	965.49
	15/1/2010	107.94	1096.08	568.77	527.31	848.78
	18/1/2010	109.93	989.01	520.53	468.48	861.79
4	24/1/2010	116.02	4700.72	2878.32	1822.4	5381.874
	26/1/2010	117.89	4556.85	3020.24	1536.61	2735.427
	28/1/2010	119.89	3924.51	2974.04	950.47	1527.035
	30/1/2010	121.96	3924.51	3425.84	498.67	1321.349
	1/2/2010	124.02	3868.03	2808.29	1059.74	1164.259
	3/2/2010	126.05	2816.61	1848.88	967.73	1054.015
	5/2/2010	127.9	2561.95	1594.21	967.74	1005.645
	6/2/2010	128.99	1656.4	235.07	1421.33	931.3762
	8/2/2010	130.92	1061.17	199.31	861.86	836.9604
	10/2/2010	132.9	945.73	453.73	492	871.4393
	12/2/2010	134.83	953.44	414.77	538.67	754.6274
	14/2/2010	136.92	691.28	123.28	568	667.0242
	16/2/2010	138.82	766.48	284.08	482.4	516.8336



ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 3

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
1	28/9/2009	0	7332	3588	3744	4504.442
	1/10/2009	2.88	7006	3354	3652	4018.341
	5/10/2009	6.86	6768	3158.4	3609.6	3420.476
	8/10/2009	9.83	6843.2	3910.4	2932.8	2426.069
	12/10/2009	13.85	6184	3384	2800	2209.037
	20/10/2009	21.86	6363.2	3569.6	2793.6	2157.637
	21/10/2009	22.88	5276.8	1862.4	3414.4	1865.044
	23/10/2009	24.84	3744	546	3198	1627.893
	26/10/2009	26.86	2421.44	466.24	1955.2	1484.885
	28/10/2009	28.86	3150.4	334.4	2816	1401.676
	30/10/2009	30.86	2895.2	487.2	2408	1344.809
	9/11/2009	41.14	2921.32	1408.92	1512.4	1238.286
2	10/11/2009	42.01	5464	3160.12	2303.88	4317.927
	13/11/2009	44.84	4885.6	3257.07	1628.53	2821.286
	16/11/2009	48.01	4831.72	2984	1847.72	2802.203
	20/11/2009	51.84	4602	2886	1716	1963.033
	23/11/2009	54.97	3840	2080	1760	1747.981
	25/11/2009	57	2133.33	586.67	1546.66	1442.032
	26/11/2009	57.94	2293.33	693.33	1600	1278.346
	30/11/2009	61.93	1653.33	426.67	1226.66	1282.926
	7/12/2009	69.03	1526.67	318.4	1208.27	1254.93
	9/12/2009	71.04	1595.47	205.87	1389.6	1204.72
	11/12/2009	73	1546.93	360.27	1186.66	1211.95

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 3 (ต่อ)

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
3	18/12/2009	80.19	5066.67	3146.67	1920	4692.18
	21/12/2009	83.01	4760.08	3188.77	1571.31	3737.2
	23/12/2009	84.97	4653.95	3486.48	1167.47	3283.65
	25/12/2009	86.96	4601.33	3592.61	1008.72	2837.92
	28/12/2009	89.88	4515	3915	600	2623.36
	30/12/2009	91.92	4449.57	3518.67	930.9	2281.04
	4/1/2010	96.98	3924.24	2926.11	998.13	2064.38
	5/1/2010	98.03	1650.13	679.47	970.66	1519.04
	7/1/2010	99.96	1563.48	428.28	1135.2	1325.55
	9/1/2010	101.99	1769.88	686.28	1083.6	1258.49
	11/1/2010	104.09	1809.73	465.36	1344.37	1135.66
	13/1/2010	105.93	1292.67	361.95	930.72	1101.16
	15/1/2010	107.94	1051.2	568.77	482.43	998.34
	18/1/2010	109.93	832.85	468.48	364.37	986.41
4	24/1/2010	116.02	4821.79	2914.27	1907.52	5890.235
	26/1/2010	117.89	4513.12	2663.92	1849.2	2502.861
	28/1/2010	119.89	4273.57	3076.77	1196.8	2432.163
	30/1/2010	121.96	4223.71	3375.97	847.74	1991.867
	1/2/2010	124.02	3974	3126.21	847.79	1286.736
	3/2/2010	126.05	3515.07	2749.73	765.34	1167.093
	5/2/2010	127.9	2918.48	2052.61	865.87	1018.605
	6/2/2010	128.99	2663.81	1797.95	865.86	985.862
	8/2/2010	130.92	1929.73	563.07	1366.66	943.3655
	10/2/2010	132.9	1168.91	360.91	808	921.5646
	12/2/2010	134.83	1007.31	360.91	646.4	876.7303
	14/2/2010	136.92	873.68	391.28	482.4	709.1451
	16/2/2010	138.82	1034.48	337.68	696.8	681.527

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 4

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
1	28/9/2009	0	8034	3744	4290	4459.967
	1/10/2009	2.88	7162	2964	4198	3209.628
	5/10/2009	6.86	7219.2	3384	3835.2	2910.062
	8/10/2009	9.83	6843.2	3684.8	3158.4	2333.369
	12/10/2009	13.85	6744	3944	2800	1934.633
	20/10/2009	21.86	6208	3529.2	2678.8	1896
	21/10/2009	22.88	5820	2483.2	3336.8	1694.061
	23/10/2009	24.84	3822	546	3276	1702.736
	26/10/2009	26.86	3273.71	716.91	2556.8	1411.33
	28/10/2009	28.86	3267.73	275.73	2992	1387.437
	30/10/2009	30.86	3455.2	263.2	3192	1290.015
	9/11/2009	41.14	2762.12	851.72	1910.4	1266.404
2	10/11/2009	42.01	5095.73	3519.73	1576	4445.879
	13/11/2009	44.84	4990	3319.32	1670.68	3666.001
	16/11/2009	48.01	4904	3120	1784	2836.906
	20/11/2009	51.84	4212	3144	1068	2138.962
	23/11/2009	54.97	3360	2042	1318	1959.185
	25/11/2009	57	2560	800	1760	1463.565
	26/11/2009	57.94	2400	586.67	1813.33	1245.589
	30/11/2009	61.93	1706.67	533.33	1173.34	1198.442
	7/12/2009	69.03	1008.27	212.27	796	1089.64
	9/12/2009	71.04	977.87	360.27	617.6	1174.56
	11/12/2009	73	1029.33	360.27	669.06	1153.88

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 4 (ต่อ)

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
3	18/12/2009	80.19	5066.67	2986.67	2080	5288.08
	21/12/2009	83.01	4922.37	3188.77	1733.6	3375.18
	23/12/2009	84.97	4547.81	3327.28	1220.53	3037.13
	25/12/2009	86.96	4441.68	3486.48	955.2	3075.94
	28/12/2009	89.88	4547.2	3715	832.2	2813.07
	30/12/2009	91.92	4554.64	3085.6	1469.04	1905.92
	4/1/2010	96.98	4315	3398.91	916.09	1472.02
	5/1/2010	98.03	3300.27	2475.2	825.07	1402.97
	7/1/2010	99.96	1408.68	531.48	877.2	1363.98
	9/1/2010	101.99	1202.28	376.88	825.4	1294.76
	11/1/2010	104.09	1189.25	258.53	930.72	1217.09
	13/1/2010	105.93	1292.67	517.07	775.6	1005.4
	15/1/2010	107.94	1251.2	517.07	734.13	914.22
	18/1/2010	109.93	1197.23	416.43	780.8	838.2
4	24/1/2010	116.02	4727.52	2905.12	1822.4	6034.365
	26/1/2010	117.89	4291.92	2914.27	1377.65	2514.813
	28/1/2010	119.89	4079.97	2755.31	1324.66	2143.204
	30/1/2010	121.96	4024.24	3226.37	797.87	2027.889
	1/2/2010	124.02	3924.51	3076.77	847.74	1660.078
	3/2/2010	126.05	3515.07	3077.73	437.34	1646.869
	5/2/2010	127.9	2867.55	2205.41	662.14	1305.121
	6/2/2010	128.99	2612.88	2205.41	407.47	1194.346
	8/2/2010	130.92	1328.4	453.73	874.67	1133.905
	10/2/2010	132.9	791.84	253.17	538.67	831.6371
	12/2/2010	134.83	630.24	414.77	215.47	807.9219
	14/2/2010	136.92	659.28	337.68	321.6	758.3214
	16/2/2010	138.82	659.28	391.28	268	744.7736

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 5

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
1	28/9/2009	0	7644	3666	3978	4486.678
	1/10/2009	2.88	7006	2964	4042	3614.656
	5/10/2009	6.86	7144	3384	3760	3420.407
	8/10/2009	9.83	6843.2	3760	3083.2	3280.276
	12/10/2009	13.85	6344	3464	2880	2350.195
	20/10/2009	21.86	6518.4	3336.8	3181.6	2144.099
	21/10/2009	22.88	5199.2	1241.6	3957.6	2169.592
	23/10/2009	24.84	3510	780	2730	1832.481
	26/10/2009	26.86	3273.71	666.77	2606.94	1479.05
	28/10/2009	28.86	3209.07	217.07	2992	1419.498
	30/10/2009	30.86	3119.2	431.2	2688	1378.997
	9/11/2009	41.14	3080.52	1010.92	2069.6	1331.701
2	10/11/2009	42.01	4885.6	3362.13	1523.47	4387.065
	13/11/2009	44.84	4752.12	3239.72	1512.4	3982.982
	16/11/2009	48.01	4664	3064	1600	3431.95
	20/11/2009	51.84	4290	2880	1410	1979.533
	23/11/2009	54.97	3280	1886	1394	1865.742
	25/11/2009	57	2346.67	586.67	1760	1296.533
	26/11/2009	57.94	2293.33	480	1813.33	1104.513
	30/11/2009	61.93	1600	640	960	1093.898
	7/12/2009	69.03	1008.27	265.33	742.94	996.35
	9/12/2009	71.04	1132.27	411.73	720.54	1038.23
	11/12/2009	73	1029.33	360.27	669.06	1014.33

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 5 (ต่อ)

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
3	18/12/2009	80.19	4840	3306.67	1533.33	4515.44
	21/12/2009	83.01	4229.41	3293.84	935.57	3123.73
	23/12/2009	84.97	4186.91	3115.01	1071.9	2006.33
	25/12/2009	86.96	4115	3221.15	893.85	1986.66
	28/12/2009	89.88	3964.08	3265	699.08	1828.62
	30/12/2009	91.92	3951.73	3789.33	162.4	1622.15
	4/1/2010	96.98	3891.17	2715.97	1175.2	1480.83
	5/1/2010	98.03	1358.93	436.8	922.13	1301.56
	7/1/2010	99.96	1305.48	479.88	825.6	1247.62
	9/1/2010	101.99	1099.08	583.08	516	1052.1
	11/1/2010	104.09	775.6	361.95	413.65	1000.12
	13/1/2010	105.93	827.31	465.36	361.95	1028.46
	15/1/2010	107.94	989.25	420.48	568.77	987.41
	18/1/2010	109.93	624.64	156.16	468.48	860.01
4	24/1/2010	116.02	4459.52	2771.12	1688.4	6775.87
	26/1/2010	117.89	4344.91	3179.2	1165.71	2930.52
	28/1/2010	119.89	4024.24	3276.24	794.8	1801.193
	30/1/2010	121.96	3924.51	2974.04	509.33	1553.273
	1/2/2010	124.02	3815.04	3020.24	152.8	1441.726
	3/2/2010	126.05	2358.21	1848.88	748	1350.451
	5/2/2010	127.9	2103.55	1950.75	950.47	1313.751
	6/2/2010	128.99	1656.4	508.4	1148	1240.545
	8/2/2010	130.92	663.07	399.07	264	1184.473
	10/2/2010	132.9	791.84	630.24	161.6	946.1848
	12/2/2010	134.83	414.77	199.31	215.46	854.1844
	14/2/2010	136.92	391.28	337.68	53.6	819.8426
16/2/2010	138.82	391.28	337.68	53.6	731.9098	



ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 6

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
1	28/9/2009	0	7878	4290	3588	4512.649
	1/10/2009	2.88	7474	3042	4432	3189.125
	5/10/2009	6.86	6993.6	3459.2	3534.4	2664.441
	8/10/2009	9.83	6843.2	3910.4	2932.8	2587.15
	12/10/2009	13.85	6424	3304	3120	2269.917
	20/10/2009	21.86	5664.8	3414.4	2250.4	2164.097
	21/10/2009	22.88	4423.2	620.8	3802.4	1983.868
	23/10/2009	24.84	3900	780	3120	1686.538
	26/10/2009	26.86	3524.37	616.64	2907.73	1637.508
	28/10/2009	28.86	3385.07	745.07	2640	1515.873
	30/10/2009	30.86	2783.2	487.2	2296	1389.097
	9/11/2009	41.14	3239.72	931.32	2308.4	1198.778
2	10/11/2009	42.01	4752.12	3239.72	1512.4	4389.702
	13/11/2009	44.84	4675.47	3309.6	1365.87	3119.009
	16/11/2009	48.01	4264	3064	1200	2134.944
	20/11/2009	51.84	4212	2886	1326	1504.023
	23/11/2009	54.97	3480	1800	1680	1160.058
	25/11/2009	57	1813.33	693.33	1120	1198.351
	26/11/2009	57.94	1866.67	693.33	1173.34	1107.397
	30/11/2009	61.93	1493.33	586.67	906.66	1114.473
	7/12/2009	69.03	955.2	106.13	849.07	1100.458
	9/12/2009	71.04	977.87	514.67	463.2	1098.47
	11/12/2009	73	1029.33	308.8	720.53	1118.56

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 6 (ต่อ)

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
3	18/12/2009	80.19	4865.67	3200	1665.67	5042.78
	21/12/2009	83.01	4315	2821.04	1493.96	3942.54
	23/12/2009	84.97	4134.37	3168.08	966.29	2900.76
	25/12/2009	86.96	4017.15	3274.21	742.94	2402.13
	28/12/2009	89.88	3911.01	3315	596.01	2387.76
	30/12/2009	91.92	3897.6	3464.53	433.07	2206.34
	4/1/2010	96.98	3188.77	2610.91	577.86	1952.16
	5/1/2010	98.03	1504.53	582.4	922.13	1455.96
	7/1/2010	99.96	634.68	118.68	516	1312.63
	9/1/2010	101.99	686.28	273.48	412.8	1331.86
	11/1/2010	104.09	1292.67	517.07	775.6	1305.17
	13/1/2010	105.93	620.48	568.77	51.71	1167.31
	15/1/2010	107.94	568.77	420.48	148.29	1006.33
	18/1/2010	109.93	728.75	260.27	468.48	948.51
4	24/1/2010	116.02	4445.12	2931.92	1513.2	5489.266
	26/1/2010	117.89	4185.95	2914.27	1271.68	3577.202
	28/1/2010	119.89	3974	3232.19	741.81	3132.224
	30/1/2010	121.96	3824.77	3026.91	797.86	2316.955
	1/2/2010	124.02	3774.91	3076.77	698.14	2094.934
	3/2/2010	126.05	2511.01	1848.88	662.13	2006.439
	5/2/2010	127.9	2256.35	2052.61	203.74	1460.815
	6/2/2010	128.99	1984.4	399.07	1585.33	1418.48
	8/2/2010	130.92	1055.07	617.73	437.34	1362.412
	10/2/2010	132.9	953.44	360.91	592.53	1355.493
	12/2/2010	134.83	791.84	414.77	377.07	1134.783
	14/2/2010	136.92	712.88	337.68	375.2	824.0468
	16/2/2010	138.82	659.28	498.48	160.8	978.9307

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 7

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
1	28/9/2009	0	7956	3744	4212	4548.764
	1/10/2009	2.88	7152	3354	3798	4122.946
	5/10/2009	6.86	6843.2	3158.4	3684.8	3174.764
	8/10/2009	9.83	6144	3684.8	2459.2	3015.501
	12/10/2009	13.85	5944	3464	2480	2602.887
	20/10/2009	21.86	5363.2	3569.6	1793.6	2334.634
	21/10/2009	22.88	3802.4	388	3414.4	1980.343
	23/10/2009	24.84	4212	390	3822	1667.892
	26/10/2009	26.86	2772.37	817.17	1955.2	1626.651
	28/10/2009	28.86	2563.73	158.4	2405.33	1605.336
	30/10/2009	30.86	3007.2	431.2	2576	1408.887
	9/11/2009	41.14	3398.92	533.32	2865.6	1265.374
2	10/11/2009	42.01	5304	3467.2	1836.8	4616.157
	13/11/2009	44.84	4513.32	3276	1237.32	3356.77
	16/11/2009	48.01	4602	3160.12	1441.88	3231.866
	20/11/2009	51.84	4465.33	3144	1321.33	1453.625
	23/11/2009	54.97	2960	2240	720	1466.875
	25/11/2009	57	1600	906.67	693.33	1160.595
	26/11/2009	57.94	1866.67	693.33	1173.34	1131.635
	30/11/2009	61.93	1066.67	693.33	373.34	1130.382
	7/12/2009	69.03	977.6	371.47	606.13	1125.88
	9/12/2009	71.04	669.07	463.2	205.87	1131.49
	11/12/2009	73	772	720.53	51.47	1127.78

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 7 (ต่อ)

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
3	18/12/2009	80.19	4906.67	3146.67	1760	4887.72
	21/12/2009	83.01	4494.75	3451.44	1043.31	4011.84
	23/12/2009	84.97	4330.67	3380.35	950.32	2762.12
	25/12/2009	86.96	4215	3380.35	834.65	2273.79
	28/12/2009	89.88	4176.35	3765	411.35	2439.75
	30/12/2009	91.92	3930.4	3626.93	303.47	2162.24
	4/1/2010	96.98	3609.04	3031.17	577.87	1857.25
	5/1/2010	98.03	2426.67	1407.47	1019.2	1366.09
	7/1/2010	99.96	1305.48	489.48	816	1302.73
	9/1/2010	101.99	1099.08	531.48	567.6	1256.94
	11/1/2010	104.09	723.89	465.36	258.53	1008.37
	13/1/2010	105.93	1034.13	568.77	465.36	984.06
	15/1/2010	107.94	923.89	517.07	406.82	949.85
	18/1/2010	109.93	989.01	468.48	520.53	842.89
4	24/1/2010	116.02	4618.32	2797.92	1820.4	5680.32
	26/1/2010	117.89	4132.96	2808.29	1324.67	2940.529
	28/1/2010	119.89	3815.04	3073.23	741.81	2554.762
	30/1/2010	121.96	3725.04	2927.17	797.87	2151.247
	1/2/2010	124.02	3525.57	3026.91	498.66	2042.256
	3/2/2010	126.05	2307.28	1797.95	509.33	1601.986
	5/2/2010	127.9	2460.08	2358.21	101.87	1598.742
	6/2/2010	128.99	2367.07	1711.07	656	1355.301
	8/2/2010	130.92	1164.4	453.73	710.67	1317.451
	10/2/2010	132.9	1034.48	712.88	321.6	1160.373
	12/2/2010	134.83	980.08	444.88	535.2	1131.803
	14/2/2010	136.92	468.64	360.91	107.73	1123.034
	16/2/2010	138.82	576.37	414.77	161.6	907.6689

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 8

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
1	28/9/2009	0	7722	3588	4134	4684.537
	1/10/2009	2.88	6772	3042	3730	4070.966
	5/10/2009	6.86	6692.8	3308.8	3384	3621.664
	8/10/2009	9.83	6768	3534.4	3233.6	2946.164
	12/10/2009	13.85	6584	3144	3440	2847.299
	20/10/2009	21.86	5906.4	2638.4	3268	2571.959
	21/10/2009	22.88	4500.8	1629.6	2871.2	2385.193
	23/10/2009	24.84	3900	312	3588	2005.195
	26/10/2009	26.86	2972.91	666.77	2306.14	1843.064
	28/10/2009	28.86	2563.73	158.4	2405.33	1678.998
	30/10/2009	30.86	3343.2	375.2	2968	1378.903
	9/11/2009	41.14	2841.72	453.72	2388	1197.843
2	10/11/2009	42.01	4990	3519.73	1470.27	4770.963
	13/11/2009	44.84	4424	3398.92	1025.08	2581.706
	16/11/2009	48.01	4097.6	2984	1113.6	2495.354
	20/11/2009	51.84	3978	2886	1092	1425.476
	23/11/2009	54.97	3840	2000	1840	1253.554
	25/11/2009	57	1920	1226.67	693.33	1204.493
	26/11/2009	57.94	1866.67	1066.67	800	1140.335
	30/11/2009	61.93	1493.33	533.33	960	1134.689
	7/12/2009	69.03	583.73	159.2	424.53	1093.71
	9/12/2009	71.04	617.6	360.27	257.33	1121.44
	11/12/2009	73	617.6	360.27	257.33	1118.9

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 8 (ต่อ)

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
3	18/12/2009	80.19	4853.33	3360	1493.33	4676.37
	21/12/2009	83.01	4239.44	3503.97	735.47	3874.49
	23/12/2009	84.97	4115	3486.48	628.52	2809.11
	25/12/2009	86.96	4017.15	3433.41	583.74	2106.48
	28/12/2009	89.88	4005.87	3465	540.87	1773.25
	30/12/2009	91.92	3964.08	3681.07	283.01	1416.55
	4/1/2010	96.98	3398.91	2768.51	630.4	1382.51
	5/1/2010	98.03	2620.8	2135.47	485.33	1382.87
	7/1/2010	99.96	1511.88	789.48	722.4	1361.57
	9/1/2010	101.99	1253.88	428.28	825.6	1189.51
	11/1/2010	104.09	775.6	568.77	206.83	1112.19
	13/1/2010	105.93	620.48	413.65	206.83	1061.22
	15/1/2010	107.94	568.77	206.83	361.94	986.01
	18/1/2010	109.93	520.53	468.48	52.05	817.64
4	24/1/2010	116.02	4837.92	2690.72	2147.2	5211.334
	26/1/2010	117.89	4238.93	3179.2	1059.73	3419.194
	28/1/2010	119.89	3974	3126.21	847.79	2054.005
	30/1/2010	121.96	3874.64	2927.17	947.47	1743.846
	1/2/2010	124.02	3725.04	3375.97	349.07	1705.995
	3/2/2010	126.05	2421.73	1328.4	1093.33	1583.263
	5/2/2010	127.9	2256.35	1543.28	713.07	1567.299
	6/2/2010	128.99	2052.61	1492.35	560.26	1424.464
	8/2/2010	130.92	1219.07	508.4	710.67	1419.496
	10/2/2010	132.9	1061.17	199.31	861.86	1400.599
	12/2/2010	134.83	1034.48	552.08	482.4	1339.348
	14/2/2010	136.92	873.68	605.68	268	1028.235
	16/2/2010	138.82	953.44	360.91	592.53	890.7033



ตารางที่ ก.9 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 9

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
1	28/9/2009	0	7488	3588	3900	4788.865
	1/10/2009	2.88	6786	3042	3744	4203.096
	5/10/2009	6.86	6768	3459.2	3308.8	3559.33
	8/10/2009	9.83	6993.6	3835.2	3158.4	2737.801
	12/10/2009	13.85	6509	3464	3045	2786.879
	20/10/2009	21.86	6518.4	2483.2	4035.2	2373.685
	21/10/2009	22.88	4268	698.4	3569.6	2169.899
	23/10/2009	24.84	3510	624	2886	2090.656
	26/10/2009	26.86	2822.51	967.57	1854.94	1796.68
	28/10/2009	28.86	2739.73	393.07	2346.66	1658.987
	30/10/2009	30.86	2671.2	655.2	2016	1327.447
	9/11/2009	41.14	3160.12	1010.92	2149.2	1269.235
2	10/11/2009	42.01	5070.52	3558.12	1512.4	4519.662
	13/11/2009	44.84	4504	3304	1200	3656.047
	16/11/2009	48.01	4097.6	3414.67	682.93	1983.734
	20/11/2009	51.84	3900	3120	780	1626.166
	23/11/2009	54.97	3360	2400	960	1552.608
	25/11/2009	57	2080	1226.67	853.33	1265.866
	26/11/2009	57.94	1706.67	960	746.67	1069.602
	30/11/2009	61.93	1066.67	693.33	373.34	1048.983
	7/12/2009	69.03	530.67	371.47	159.2	1029.682
	9/12/2009	71.04	669.07	463.2	205.87	1087.429
	11/12/2009	73	463.2	257.33	205.87	1055.178

ตารางที่ ก.9 ผลการทดลองการหาอายุตะกอนที่เหมาะสมของถังที่ 9 (ต่อ)

Round	Day	Time (day)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
3	18/12/2009	80.19	4746.67	3466.67	1280	4560.28
	21/12/2009	83.01	4222.4	3346.37	876.03	3629.12
	23/12/2009	84.97	4215	3592.61	622.39	3187.25
	25/12/2009	86.96	4186.91	3380.35	806.56	2388.07
	28/12/2009	89.88	4123.28	3615	508.28	2114.28
	30/12/2009	91.92	4017.15	3464.53	552.62	1283.15
	4/1/2010	96.98	3293.84	2715.97	577.87	1225.24
	5/1/2010	98.03	2135.47	1601.6	533.87	1184.72
	7/1/2010	99.96	1202.28	273.48	928.8	1108.23
	9/1/2010	101.99	1047.48	634.68	412.8	1067.56
	11/1/2010	104.09	1240.96	206.83	1034.13	1011.74
	13/1/2010	105.93	672.187	413.65	258.537	935.13
	15/1/2010	107.94	620.48	155.12	465.36	914.43
	18/1/2010	109.93	564.37	208.21	356.16	882.51
4	24/1/2010	116.02	4437.92	2597.92	1840	5383.074
	26/1/2010	117.89	3815.04	2861.28	953.76	4109.184
	28/1/2010	119.89	3603.09	2808.29	794.8	2469.495
	30/1/2010	121.96	3625.31	3076.77	548.54	1993.197
	1/2/2010	124.02	3475.71	3126.64	349.07	1921.281
	3/2/2010	126.05	2358.21	1696.08	662.13	1740.967
	5/2/2010	127.9	2307.28	2052.61	254.67	1670.914
	6/2/2010	128.99	2203.07	1328.4	874.67	1462.822
	8/2/2010	130.92	1273.73	781.73	492	1348.552
	10/2/2010	132.9	1007.31	468.64	538.67	1315.845
	12/2/2010	134.83	845.71	414.77	430.94	1309.33
	14/2/2010	136.92	712.88	552.08	160.8	1201.106
	16/2/2010	138.82	712.88	444.88	268	943.9675

1.2 ผลการทดลองการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ การเดินระบบ  
บำบัดแบบไร้อากาศ และการเดินระบบบำบัดแบบเติมอากาศ

ตารางที่ ก.10 ผลการทดลองการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ

DAY	TIME (day)	Parameter			
		TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
12/6/2010	3.17	3953.81	2849.81	1104	3685.501
14/6/2010	5.21	4036.43	2591.76	1444.67	3959.016
18/6/2010	9.29	3511.09	2512.96	998.13	3224.83
21/6/2010	12.33	2353.49	1355.36	998.13	1994.353
23/6/2010	14.4	2391.04	1658.88	732.16	1702.992
5/7/2010	16.24	1495.04	727.04	768	1591.025
6/7/2010	17.37	906.24	368.64	537.6	1309.201
7/7/2010	18.35	663.33	179.6	483.73	1461.187
12/7/2010	23.35	318.4	116.48	201.92	1235.91

ตารางที่ ก.11 ผลการทดลองการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

DAY	TIME (day)	Parameter			
		TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
12/6/2010	3.17	4125.55	2972.48	1153.07	3702.028
14/6/2010	5.21	4036.43	3458.56	577.87	3581.934
18/6/2010	9.29	4062.69	3143.36	919.33	3382.161
21/6/2010	12.33	4062.69	3484.83	577.86	2715.546
23/6/2010	14.4	4235.84	3595.84	640	1589.394
5/7/2010	16.24	4389.44	3391.04	998.4	1204.641
12/7/2010	23.35	3388	3228.8	159.2	1555.065

ตารางที่ ก.12 ผลการทดลองการเดินระบบบำบัดแบบเติมอากาศ

DAY	TIME (day)	Parameter			
		TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
9/6/2010	0	4837.01	3634.88	1202.13	5905.183
10/6/2010	0.92	3929.28	2972.48	956.8	5273.144
11/6/2010	1.92	2727.15	1868.48	858.67	5149.163
12/6/2010	3.17	2187.41	1647.68	539.73	4635.331
14/6/2010	5.21	1855.04	1675.84	179.2	4158.218
15/6/2010	6.41	1752.64	1424.64	328	3932.05
18/6/2010	9.29	1619.89	1225.89	394	3991.987
21/6/2010	12.33	1462.29	1278.43	183.86	3789.678
23/6/2010	14.4	1451.07	1179.6	271.47	3869.663
5/7/2010	16.24	1398	1183.73	214.27	3558.227
6/7/2010	17.37	946.34	664.68	281.66	3532.052
7/7/2010	18.35	633.39	479.6	153.79	3175.686
12/7/2010	23.35	518.4	316.48	201.92	3637.476

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 1.3 ผลการทดลองผลกระทบของการใส่สารช่วยลดสีที่มีต่อการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ-เติมอากาศ

#### 1.3.1 ผลของผงถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ก.13 ผลการทดลองผงถ่านกัมมันต์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

Round	TIME (day)	Parameter			
		TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
1	0	4731.25	3610.69	1120.56	6023.772
	1.75	4681.6	3494.48	1187.12	1130.498
	4.88	4130.37	3264.24	866.13	874.1927
	6.92	3849.067	3059.73	789.337	847.3611
	8.92	2628.8	2117.92	510.88	836.9781
	11.98	2428.76	1985.43	443.33	827.533
	13.83	2383.71	1599.44	784.27	831.424
	19.93	1568	408.8	1159.2	743.494
	20.85	1390.4	299.73	1090.67	740.255
	21.85	1008	296.8	711.2	670.569
	22.8	955.07	136.4	818.67	687.061
	23.91	928	196	732	653.896
2	33.07	4551.8	2675.91	1875.89	5328.167
	34.86	3669.33	2656	1013.33	2144.401
	36.94	3417.6	2420.8	996.8	1939.364
	38.92	2483.52	1209.92	1273.6	1429.12
	41.91	2045.44	666.77	1378.67	1202.024
	44.9	1833.6	789.47	1044.13	896.576
	59.88	1641.07	675.73	965.34	642.819
	61.89	1208.27	971.87	236.4	625.729
	62.9	796	504.13	291.87	653.283
	64.09	693.33	320	373.33	558.601
	65.15	686.31	412.94	273.37	587.378

ตารางที่ ก.14 ผลการทดลองผงดำนกัมมันต์ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร

Round	TIME (day)	Parameter			
		TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
1	0	4639.23	3377.92	1261.31	5842.806
	1.75	4402.93	3695.12	707.81	1491.568
	4.88	4022.11	3047.71	974.4	1196.259
	6.92	3289.067	2793.067	496	1116.141
	8.92	2946.24	1651.68	1294.56	885.7552
	11.98	2593.41	1467.54	1125.87	886.497
	13.83	2199.176	1244.22	954.956	782.027
	19.93	2240	1464.8	775.2	662.039
	20.85	1008	464.8	543.2	628.907
	21.85	738.67	344.4	394.27	648.388
	22.8	710.4	199.73	510.67	646.319
	23.91	672	448	224	651.529
	2	33.07	4303.52	2593.14	1710.38
34.86		3696	2816	880	2879.158
36.94		3180.27	2515.73	664.54	1839.387
38.92		2377.39	1369.12	1008.27	1777.467
41.91		1945.17	942.51	1002.66	1165.598
44.9		1782.67	713.07	1069.6	973.116
59.88		1496.27	651.6	844.67	922.772
61.89		1287.07	840.53	446.54	788.407
62.9		1008.27	477.6	530.67	725.137
64.09		746.67	213.33	533.34	632.264
65.15		788.35	257.64	530.71	637.446



ตารางที่ ก.15 ผลการทดลองผงดำนกัมมันต์ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

Round	TIME (day)	Parameter				
		TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)	
1	0	5018.16	3556.56	1461.6	5964.014	
	1.75	4642.59	3566.93	1075.66	1969.717	
	4.88	3967.97	2777.04	1190.93	952.959	
	6.92	2969.067	1902.4	1066.667	887.1214	
	8.92	2132.8	1190.4	942.4	861.508	
	11.98	1984.07	1057.48	926.59	854.21	
	13.83	1702	968.8	733.2	821.219	
	19.93	1447.203	307.71	1139.493	830.991	
	20.85	1214.4	234.67	979.73	798.323	
	21.85	710.67	508.4	202.27	778.932	
	22.8	672	532	140	781.772	
	23.91	620	336	284	792.889	
	2	33.07	4165.58	3034.53	1131.05	5464.327
		34.86	3456	2496	960	3763.241
36.94		3085.33	2302.13	783.2	2625.076	
38.92		2165.12	1316.05	849.07	1945.983	
41.91		1844.91	792.11	1052.8	810.486	
44.9		1680.8	483.87	1196.93	811.331	
59.88		1279.07	820.53	458.54	749.907	
61.89		866.8	604.13	262.67	617.687	
62.9		666.67	186.67	480	644.38	
64.09		583.73	424.53	159.2	620.975	
65.15		594.31	341.09	253.22	621.094	

ตารางที่ ก.16 ผลการทดลองผงดำนกัมมันต์ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

Round	TIME (day)	Parameter			
		TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
1	0	4801.63	3540.32	1261.31	5994.83
	1.75	4570.13	3845.6	724.53	1430.153
	4.88	3589.04	2706.67	882.37	1006.899
	6.92	3326.4	2793.067	533.333	907.0946
	8.92	2480	1502.88	977.12	879.731
	11.98	2402	1316.67	1085.33	844.91
	13.83	2337.576	1170.403	1167.173	825.696
	19.93	2128	711.2	1416.8	738.543
	20.85	1000.4	836.4	164	733.718
	21.85	756	568	188	706.124
	22.8	576.8	464.8	112	671.7049
	23.91	510.4	123.47	386.93	686.381
	2	33.07	4469.04	2951.77	1517.27
34.86		3722.67	2922.67	800	3286
36.94		2942.93	2159.73	783.2	3617.653
38.92		2377.39	1846.72	530.67	3211.477
41.91		2037.33	840.4	1196.93	1924.571
44.9		1895.04	892.37	1002.67	1072.08
59.88		1448	675.73	772.27	702.448
61.89		1103.2	420.27	682.93	643.598
62.9		796	451.07	344.93	650.274
64.09		506.67	126.67	380	646.708
65.15		555.82	247.29	308.53	653.336

### 1.3.2 ผลของเฟอริกคลอไรด์

ตารางที่ ก.17 ผลการทดลองเฟอริกคลอไรด์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

Round	TIME (day)	Parameter			
		TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
1	0	4801.63	3468.071	1333.559	6131.343
	1.75	4347.2	3360.72	986.48	2537.802
	4.88	3302.13	2560.51	741.62	1310.248
	6.92	3215.55	2137.07	1078.48	865.6978
	8.92	2132.8	1006.88	1125.92	820.5047
	11.98	1960.44	873.271	1087.169	816.333
	13.83	1705.55	570.67	1134.88	806.814
	19.93	1215.2	784	431.2	836.037
	20.85	840	296.8	543.2	824.796
	21.85	765.23	470.13	295.1	814.627
	22.8	364	168	196	808.9809
	23.91	293.33	275.73	17.6	798.206
	2	33.07	4441.45	2979.36	1462.09
34.86		3349.33	2736	613.33	2891.352
36.94		3227.73	2207.2	1020.53	1112.694
38.92		2297.79	1422.19	875.6	1125.334
41.91		1604.4	636.67	967.73	960.766
44.9		1619.31	566.51	1052.8	942.803
59.88		1399.73	892.93	506.8	894.954
61.89		866.8	630.4	236.4	760.727
62.9		742.93	344.93	398	755.595
64.09		586.67	213.33	373.34	747.35
65.15		592.18	244.36	347.82	761.806

ตารางที่ ก.18 ผลการทดลองเฟอริกคลอไรด์ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

Round	TIME (day)	Parameter			
		TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
1	0	4763.73	3323.79	1439.94	5589.172
	1.75	4458.67	3271.55	1187.12	3818.543
	4.88	3047.71	2111.2	936.51	2104.152
	6.92	2315.55	1353.067	962.483	1925.658
	8.92	1750.88	446.8	1304.08	978.7852
	11.98	1691	398.1	1292.9	969.344
	13.83	1539.47	340.003	1199.467	954.64
	19.93	1360.8	672	688.8	948.993
	20.85	836.4	579.47	256.93	956.818
	21.85	728	308	420	923.952
	22.8	510.4	271	239.4	947.668
	23.91	336	168	168	954.178
	2	33.07	4689.73	3496.63	1193.1
34.86		3216	2416	800	2932.046
36.94		2990.4	1922.4	1068	1885.119
38.92		1519.04	541.44	977.6	935.571
41.91		1477.07	560.27	916.8	812.762
44.9		1351.47	844.67	506.8	819.685
59.88		788	588	200	704.831
61.89		636.8	344.93	291.87	701.308
62.9		560	206.67	353.33	651.094
64.09		576.34	253.5	322.84	618.59
65.15	551.04	238.41	312.63	654.862	

ตารางที่ ก.19 ผลการทดลองเฟอริกคลอไรด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

Round	TIME (day)	Parameter				
		TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)	
1	0	4926.13	3594.45	1331.68	6302.258	
	1.75	4475.39	3566.93	908.46	3650.505	
	4.88	3967.97	2576.75	1391.22	1802.838	
	6.92	2862.4	1902.4	960	1651.521	
	8.92	2147.68	977.12	1170.56	1184.349	
	11.98	1747.36	569.322	1178.038	1153.091	
	13.83	1216.54	229.283	987.257	1124	
	19.93	1232	560	672	1181.447	
	20.85	804.332	514.97	289.362	1164.38	
	21.85	781.73	437.33	344.4	1177.276	
	22.8	693.07	334.45	358.62	1158.872	
	23.91	644	168	476	1138.053	
	2	33.07	4331.1	3117.29	1213.81	5276.59
		34.86	3482.67	2336	1146.67	2708.188
36.94		3156.53	1780	1376.53	1004.248	
38.92		2244.72	1316.05	928.67	929.906	
41.91		1544.11	566.51	977.6	891.423	
44.9		1399.73	724	675.73	828.553	
59.88		1349.73	483.87	865.86	848.139	
61.89		1050.67	788	262.67	711.166	
62.9		689.87	291.87	398	671.261	
64.09		533.33	320	213.33	688.143	
65.15		542.68	296.54	246.14	662.439	

ตารางที่ ก.20 ผลการทดลองเฟอริกคลอไรด์ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

Round	TIME (day)	Parameter			
		TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
1	0	4909.89	3285.89	1624	6001.345
	1.75	4441.95	3438.75	1003.2	2112.147
	4.88	3589.04	1910.91	1678.13	1251.803
	6.92	3244.44	1262.4	1982.04	1229.913
	8.92	1438.4	312.48	1125.92	1181.293
	11.98	1386.371	368.14	1018.231	1084.67
	13.83	1262.67	340.027	922.643	1019.692
	19.93	1472.8	624	848.8	1154.696
	20.85	800.8	336	464.8	1099.38
	21.85	764.13	508.4	255.73	1074.942
	22.8	753.07	141.07	612	1064.697
	23.91	768	588	180	993.016
	2	33.07	4524.21	2841.43	1682.78
34.86		3296	2389.33	906.67	2387.44
36.94		3109.07	2492	617.07	2393.54
38.92		2244.72	1241.76	1002.96	1069.412
41.91		1477.07	738.53	738.54	873.248
44.9		1368.64	541.44	827.2	719.632
59.88		1061.87	892.93	168.94	687.202
61.89		769.47	371.47	398	645.806
62.9		720	400	320	561.998
64.09		656.28	358	298.28	577.908
65.15		630.4	315.2	315.2	571.112



ตารางที่ ก.21 ผลการทดลองเฟอริกคลอไรด์ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

Round	TIME (day)	Parameter				
		TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)	
1	0	4801.63	3556.56	1245.07	6225.83	
	1.75	4681.6	3494.48	1187.12	1756.953	
	4.88	3172.21	2468.48	703.73	1225.941	
	6.92	3075.73	1849.067	1226.663	1187.947	
	8.92	2266.72	1225.12	1041.6	1118.378	
	11.98	1947.01	783.296	1163.714	1010.727	
	13.83	1783.97	690.616	1093.354	987.947	
	19.93	1047.2	728	319.2	998.992	
	20.85	728	319.2	408.8	979.558	
	21.85	836.4	535.73	300.67	969.846	
	22.8	710.4	182.13	528.27	970.727	
	23.91	700	168	532	981.569	
	2	33.07	4220.76	2869.01	1351.75	5341.79
		34.86	3989.33	3082.67	906.66	2653.918
36.94		3512.53	2302.13	1210.4	1433.556	
38.92		2324.32	1873.25	451.07	1158.925	
41.91		2139.2	1171.47	967.73	938.253	
44.9		1744.64	716.91	1027.73	820.334	
59.88		1472.13	699.87	772.26	692.086	
61.89		893.07	394	499.07	652.942	
62.9		849.07	344.93	504.14	657.13	
64.09		693.33	320	373.33	659.416	
65.15		656.2	318.5	337.7	675.907	

## 1.3.3 ถึงควบคุม

ตารางที่ ก.22 ผลการทดลองถึงควบคุม

Round	TIME (day)	Parameter			
		TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	ns-COD (mg/L)	สี (ADMI)
1	0	4592	4144	448	6021.296
	1.75	4536	4144	392	4187.268
	4.88	4256	3696	560	3153.432
	6.92	3526.4	2969.6	556.8	3065.077
	8.92	3062.4	2644.8	417.6	2833.347
	11.98	2644.8	2459.2	185.6	1723.726
	13.83	2644.8	2459.2	185.6	1605.672
	19.93	1568	672	896	1591.833
	20.85	1456	616	840	1587.348
	21.85	1064	784	280	1595.002
	22.8	4634.56	3310.4	1324.16	5792.51
	23.91	4336	3482.67	853.33	3801.048
2	33.07	3773.6	2824.27	949.33	3645.833
	34.86	3199.92	2297.78	902.14	3482.374
	36.94	3106.93	2750.4	356.53	2579.205
	38.92	2722.24	2170.77	551.47	2284.818
	41.91	2172	1061.87	1110.13	2195.186
	44.9	955.2	318.4	636.8	1804.286
	59.88	800	266.67	533.33	1471.866
	61.89	784.9	348	436.9	1392.097
	62.9	735.47	577.87	157.6	1355.45
	64.09	4592	4144	448	6021.296
	65.15	4536	4144	392	4187.268



ภาคผนวก ข

รายการคำนวณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### การหาค่าอายุตะกอนที่เหมาะสมในการเดินระบบแบบแบทช์ (Batch)

สำหรับการหาค่าอายุสลัดจ์ในการเดินระบบแบบแบทช์สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V_w = V_D + V_{EX} \quad (1)$$

โดยที่  $V_w$  = ปริมาณน้ำที่ทิ้งทั้งหมด (ลิตร)  
 $V_D$  = ปริมาณน้ำที่ทิ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ลิตร)  
 $V_{EX}$  = ปริมาณน้ำที่นำออกไปใช้วิเคราะห์ (ลิตร)

$$F_w = \frac{V_w}{t_{EX}} \quad (2)$$

โดยที่  $F_w$  = อัตราการทิ้งน้ำรวม (ลิตร)  
 $t_{EX}$  = เวลาในการทดลองแต่ละรอบ (วัน)

$$\theta_c = \frac{V_R}{F_w} \quad (3)$$

โดยที่  $\theta_c$  = อายุตะกอน (วัน)  
 $V_R$  = ปริมาณน้ำในถังปฏิกริยา (ลิตร)

ศูนย์วิทยพักรพยากกร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ถังที่ 1-3**

ถังจุน้ำ ( $V_R$ ) ขนาด	5000	มิลลิลิตร
ทิ้งน้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ( $V_D$ )	1000	มิลลิลิตร
ทำการเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ครั้งละ	20	มิลลิลิตร
จำนวนครั้งที่เก็บตัวอย่าง	13	ครั้ง
ดังนั้น ปริมาณน้ำที่นำออกไปใช้วิเคราะห์ ( $V_{EX}$ ) =	$20 \times 13$	
	= 260	มิลลิลิตร
จาก $V_w = V_D + V_{EX}$	=	$1000 + 260$
	=	1260 มิลลิลิตร
ทำการทดลอง ( $t_{EX}$ )	24	วัน
เพราะฉะนั้น อัตราการทิ้งน้ำรวม( $F_w$ )	=	$1260 / 24$
	=	52.50 ลิตรต่อวัน
เพราะฉะนั้นจะได้ค่าอายุตะกอน ( $\theta_c$ )	=	$5000 / 52.50$
	=	95.24 วัน
หรือคิดเป็นค่าอายุตะกอน	=	96 วัน

**ถังที่ 4-6**

ถังจุน้ำ ( $V_R$ ) ขนาด	5000	มิลลิลิตร
ทิ้งน้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ( $V_D$ )	2500	มิลลิลิตร
ทำการเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ครั้งละ	20	มิลลิลิตร
จำนวนครั้งที่เก็บตัวอย่าง	13	ครั้ง
ดังนั้น ปริมาณน้ำที่นำออกไปใช้วิเคราะห์ ( $V_{EX}$ ) =	$20 \times 13$	
	= 260	มิลลิลิตร
จาก $V_w = V_D + V_{EX}$	=	$2500 + 260$
	=	2760 มิลลิลิตร
ทำการทดลอง ( $t_{EX}$ )	24	วัน
เพราะฉะนั้น อัตราการทิ้งน้ำรวม( $F_w$ )	=	$2760 / 24$
	=	115 ลิตรต่อวัน
เพราะฉะนั้นจะได้ค่าอายุตะกอน ( $\theta_c$ )	=	$5000 / 115$
	=	43.48 วัน
หรือคิดเป็นค่าอายุตะกอน	=	44 วัน

ถังที่ 7-9

ถังจุน้ำ ( $V_R$ ) ขนาด	5000	มิลลิลิตร
ถังน้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ( $V_D$ )	4000	มิลลิลิตร
ทำการเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ครั้งละ	20	มิลลิลิตร
จำนวนครั้งที่เก็บตัวอย่าง	13	ครั้ง
ดังนั้น ปริมาตรน้ำที่นำออกไปใช้วิเคราะห์ ( $V_{EX}$ ) =	$20 \times 13$	
	=	260 มิลลิลิตร
จาก $V_w = V_D + V_{EX}$	=	$4000 + 260$
	=	4260 มิลลิลิตร
ทำการทดลอง ( $t_{EX}$ )	24	วัน
เพราะฉะนั้น อัตราการทิ้งน้ำรวม ( $F_w$ )	=	$4260 / 24$
	=	177.50 ลิตรต่อวัน
เพราะฉะนั้นจะได้ค่าอายุตะกอน ( $\theta_c$ )	=	$5000 / 177.50$
	=	28.17 วัน
หรือคิดเป็นค่าอายุตะกอน	=	29 วัน



### การหาอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (Food to Microorganism, F/M ratio)

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในระบบแบบเบทซ์ซึ่งไม่มีค่าอัตราการไหลของน้ำเสีย แต่จากที่ได้กล่าวข้างต้นไว้แล้วว่า ระยะเวลาเก็บกักของระบบแบบเบทซ์มีค่าเท่ากับระบบแบบ Plug Flow เพราะฉะนั้นในการนำผลที่ได้จากการทดลองนี้ซึ่งเป็นระบบแบบเบทซ์ไปใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจึงสามารถประยุกต์ใช้เป็นระบบแบบ Plug Flow ได้ จึงสามารถหาค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{F/M ratio} &= \frac{\text{อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)} \times \text{บีโอดี (มก./ล.)}}{\text{ปริมาตรของถังเติมอากาศ (ลบ.ม.)} \times \text{MLVSS (มก./ล.)}} \\ &= \frac{F \times \text{BOD}_5}{V \times \text{MLVSS}} \end{aligned}$$

$$\text{โดยที่ } \tau = V/F$$

= ระยะเวลาเก็บกักของช่วงไร้อากาศและเติมอากาศ คือ 14 วัน

จะได้

$$\text{F/M ratio} = \frac{\text{BOD}_5}{\tau \times \text{MLVSS}}$$

สมมติให้

-  $\text{BOD}_5$  มีค่าประมาณ 50% ของค่า COD =  $5000 \times 0.5 = 2500 \text{ mg/L}$

- VSS คือ  $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$  ซึ่งที่  $1 \text{ mg-VSS/L}$  มีค่า COD =  $1.42 \text{ mg-cell COD/L}$

จะได้

$$\begin{aligned} \text{MLVSS} &= \frac{1270 \text{ mg-cell COD}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ mg-VSS/L}}{1.42 \text{ mg-cell COD/L}} \\ &= 894.36 \text{ mg-VSS/L} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$\begin{aligned} \text{F/M ratio} &= \frac{2500}{14 \times 894.36} \\ &= 0.20 \text{ day}^{-1} \end{aligned}$$



ภาคผนวก ค

วิธีการวิเคราะห์สี

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## หน่วยสีเอดีเอ็มไอ (ADMI Unit)

สถาบันผู้ผลิตสีแห่งอเมริกา (American Dye Manufacturers Institute; ADMI) ซึ่งมีสมาชิกอยู่ 23 บริษัทด้วยกัน โดยที่บริษัทผลิตสีรายใหญ่ร่วมเป็นสมาชิกอยู่ด้วยทั้งหมด ในปี ค.ศ.1970 สถาบันนี้ได้จัดตั้งคณะกรรมการทางนิเวศวิทยาขึ้นเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของสีย้อมผ้า (dyes) ต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้จำเป็นต้องหาวิธีในการวัดสีที่สามารถเชื่อถือได้มากกว่าวิธีการวัดสีที่มีอยู่ในขณะนั้น โดยมีบรรทัดฐาน 4 ข้อ คือ

- เป็นหน่วยสีที่สามารถเปรียบเทียบความเข้มสีได้กับทุกเฉดสี (hue)
- สามารถบ่งบอกถึงความแตกต่างของค่าสีที่ปริมาณน้อยๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- สัมพันธ์กับค่าวัดสีในหน่วย APHA
- เครื่องมือที่ใช้ในการวัดราคาไม่สูงมากนัก

สิ่งที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ คือ การวัดสีในหน่วยเอดีเอ็มไอ ซึ่งปกติการวัดสีในหน่วยเอดีเอ็มไอนี้ตามวิธี 2120E จาก Standard Methods, 1995 จะต้องใช้เครื่องฟิลาเตอร์โฟโตมิเตอร์ โดยใช้ CIE tristimulus filters ประกอบด้วย แต่ที่ทำหวัข้อนี้ใน Standard Methods ก็ยังได้บอกว่าการวัดสีในหน่วยเอดีเอ็มไอนั้นยังสามารถหาได้โดยการใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยอ้างอิงถึงการศึกษานของ Allen และคณะ (1973)

เนื่องจากการวัดสีในหน่วยเอดีเอ็มไอนี้ ต้องทำการวัดโดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตชัน ดังนั้น ตัวอย่างน้ำที่จะใช้ในการวัดจะต้องทำการกำจัดคอลลอยด์และของแข็งแขวนลอยออกเสียก่อน

การวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการวัดตัวอย่างด้วยเครื่อง Single Beam Spectrophotometer และทำการบันทึกค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตชันที่ทุกๆ 10 นาโนเมตร ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร (ความยาวคลื่นในช่วงที่ตามนุษย์มองเห็น) คำนวณเป็นค่า Tristimulus Values X, Y, Z ตามตารางที่ ข.1 จากนั้นแปลงค่า X, Y, Z ให้เป็นค่า  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  โดยใช้โปรแกรม QuickBasic ช่วยในการคำนวณ

ตารางที่ ค.1 ตารางการคำนวณค่า CIE Tristimulus ในการคำนวณหาหน่วยสีเอ็ดดีเอ็มไอ  
(Allen และคณะ, 1973)

Wavelength (nm)	%T	X		Y		Z	
		Factor	%T x Fact.	Factor	%T x Fact.	Factor	%T x Fact.
700		0.00156		0.00056		0	
690		0.00171		0.00062		0	
680		0.00369		0.00134		0	
670		0.00708		0.00259		0	
660		0.01361		0.00504		0	
650		0.02349		0.00886		0	
640		0.03693		0.01443		0	
630		0.05309		0.0219		0	
620		0.0707		0.03153		0.00002	
610		0.08325		0.04176		0.00002	
600		0.08949		0.05316		0.00007	
590		0.08984		0.06627		0.0001	
580		0.08417		0.07992		0.00016	
570		0.07322		0.09147		0.0002	
560		0.0588		0.09841		0.00039	
550		0.04282		0.09832		0.00086	
540		0.02785		0.09149		0.00195	
530		0.01523		0.07934		0.00388	
520		0.00576		0.06462		0.00712	
510		0.00089		0.04833		0.0152	
500		0.00052		0.03401		0.02864	
490		0.00363		0.02358		0.05274	
480		0.01112		0.01618		0.09461	
470		0.02272		0.01058		0.14972	
460		0.03362		0.00694		0.19299	
450		0.03915		0.00443		0.20638	
440		0.03975		0.00262		0.19938	
430		0.02997		0.00122		0.14628	
420		0.01238		0.00037		0.05949	
410		0.00329		0.00009		0.0157	
400		0.00108		0.00002		0.00513	
		X SUM =		Y SUM =		Z Sum =	

ตัวอย่างโปรแกรมการคำนวณหาค่า  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  และค่าเอ็ดเวิร์ดไฮ โดยโปรแกรมQuickBasic

```

10 INPUT "X=",x
11 INPUT "Y=",y
12 INPUT "Z=",z
15 u = 1
16 v = 1
17 w = 1
20 IF x = 0 THEN
        END
25 ELSE
        GOTO 40
27 END IF
35 u = u + .001
40 c = .98071 * (1.2219 * u - 0.23111 * u ^ 2 + 0.23951 * u ^ 3 - 0.021009 * u ^ 4 +
        0.0008404 * u ^ 5)
50 d = INT(c)
60 e = (c - d) * 1000
70 f = INT (e)
80 g = f / 1000
90 h = d + g
100 IF h < x THEN
        GOTO 35
110 ELSE GOTO 130
120 END IF
130 PRINT u, c
140 v = v = 0.001
150 i = (1.2219 * v - 0.23111 * v ^ 2 + 0.23951 * v ^ 3 - 0.021009 * v ^ 4 +
        0.0008404 * v ^ 5)
160 j = INT (i)

```

```

170 k = (i - j) * 1000
180 l = INT (k)
190 m = l / 1000
200 n = j + m
300 IF n < y THEN
            GOTO 140
310 ELSE
            GOTO 320
315 END IF
320 PRINT v, i
330 w = w + .001
340 o = 1.181032 * (1.2219 * w - 0.23111 * w ^ 2 + 0.23951 * w ^ 3 - 0.021009 * w ^ 4 +
            0.008404 * w ^ 5)
350 p = INT (o)
360 q = (o - p) * 1000
370 r = INT (q)
380 s = r / 1000
390 t = p + s
400 IF t < z THEN
            GOTO 330
410 ELSE
            GOTO 430
420 END IF
430 PRINT w, o
440 a = ((.23 * (9.902 - v)) ^ 2 + (v - u - .002) ^ 2 + (.4 * (w - v - .008)) ^ 2) ^ .5
450 b = 1338.858 * a
455 PRINT "DE=", a
460 PRINT "ADMI=", b
470 GOTO 10
1000 END

```



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปณณภา ธนปณยพันธ์ เกิดเมื่อวันที่ 21 เดือนมีนาคม พ.ศ.2528 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2549



ศูนย์วิทยพัทยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย