การกำจัดสีรีแอกทีฟหมู่อะโซด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์

นางสาวบุษรา ประชุมญาติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-1216-2
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DECOLORIZATION OF AZO GROUP REACTIVE DYES USING SODIUM BOROHYDRIDE

Miss Butsara Prachumyat

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1216-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดสีรีแอกทีฟหมู่อะโซด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์
โดย	นางสาวบุษรา ประชุมญาติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เขมรัฐ โอสถาพันธุ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บุษรา ประชุมญาติ : การกำจัดสีรีแอกทีฟหมู่อะโซด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (DECOLORIZATION OF AZO GROUP REACTIVE DYES USING SODIUM BOROHYDRIDE) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 232 หน้า. ISBN 974-17-1216-2.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ในรูปของสารละลายที่เป็นด่าง (SBH) ซึ่งมีความเข้มข้นของ $NaBH_4$ เท่ากับ 1.2% ใน 4% ของ NaOH เพื่อกำจัดสีรีแอกทีฟหมู่อะโซ 3 ชนิด ได้แก่ สี C.I. Reactive Black 5 สี C.I. Reactive Red 180 และสี C.I. Reactive Blue 171 โดยเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในขั้นแรกของการทดลองจะทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเป็นพีเอช 4 พีเอช 10 และไม่ปรับพีเอช จากนั้นจึงเติมโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ตามด้วย SBH ในปริมาณมากเกินพอเพื่อหาระยะเวลาการกวนเร็วที่เหมาะสม ผลการศึกษาทำให้ได้ค่าระยะเวลากวนเร็วคือ 30 นาที สำหรับสี C.I. Reactive Black 5 10 นาที สำหรับสี C.I. Reactive Red 180 และ 25 นาที สำหรับสี C.I. Reactive Blue 171 ในขั้นตอนต่อไปจึงทำการแปรค่าปริมาณ SBH เป็น 1 3 5 และ 7 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดคือ พีเอชเท่ากับ 10 และปริมาณ SBH เป็น 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 สี C.I. Reactive Red 180 และ สี C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 94.08 เปอร์เซ็นต์ 93.85 เปอร์เซ็นต์ และ 99.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดลองแปรค่าตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ทำให้ได้ปริมาณที่เหมาะสมคือ 28 เท่า 20 เท่า และ 14 เท่าของสตอยชิโอเมตริก สำหรับสี C.I. Reactive Black 5 สี C.I. Reactive Red 180 และสี C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพในการลดสีสูงกว่า 88 เปอร์เซ็นต์ และจากการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 โดย SBH มีค่าต่ำกว่าโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ที่ทุกความเข้มข้นของสีย้อม ในขณะที่สี C.I. Reactive Black 5 และสี C.I. Reactive Blue 171 ต้องมีความเข้มข้นต่ำกว่า 70 มิลลิกรัมต่อลิตร โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์จึงจะให้ประสิทธิภาพการลดสีที่ดีกว่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต	.....
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	.....
ปีการศึกษา	2545		

4370374621 : MAJOR Environmental Engineering

KEYWORD : Sodium borohydride / Borohydride reduction / Azo dyes / Reactive dyes

BUTSARA PRACHUMYAT : DECOLORIZATION OF AZO GROUP REACTIVE DYES USING SODIUM BOROHYDRIDE. THESIS ADVISOR : Assc. prof. Petchporn Chawakitchareon Ph.D. , 232 pp. ISBN 974-17-1216-2

This research explored methodology of wastewater treatment by using a stable aqueous solution of sodium borohydride (SBH) containing 1.2% $NaBH_4$ and 4% NaOH to remove colors from reactive dye wastewater. The SBH processes for reactive azo dyes are as follows: C.I. Reactive Black 5, C.I. Reactive Red 180 and C.I. Reactive Blue 171 with concentrations of 50, 70, 90, 150 and 200 mg/l synthetic wastewater. The first step was to adjust the initial pH of wastewater to pH4, normal pH and pH10. Then sodium metabisulphite was added followed by SBH. Both chemicals were added in redundant doses in order to find out the mixing times for treatment. The results were as follows: 30 minutes for C.I. Reactive Black 5; 10 minutes for C.I. Reactive Red 180; and 25 minutes for C.I. Reactive Blue 171. The next step was to vary the SBH doses to 1, 3, 5 and 7 times of the stoichiometric amounts. The results found that the best conditions for treatment are at pH10 and 7 times the chemical dose. The efficiency of color removal can be respectively identified as 94.08%, 93.85% and 99.03% for C.I. Reactive Black 5, C.I. Reactive Red 180 and C.I. Reactive Blue 171 at a concentration of 200 mg/l. Finally, doses of the catalyst, sodium metabisulphite were required for C.I. Reactive Black 5; C.I. Reactive Red 180 and C.I. Reactive Blue 171 at 28 times, 20 times and 14 times of stoichiometric amounts, at 200 mg/l concentration, with an efficiency of over 88%. According to this research, it can be concluded that the efficiency of C.I. Reactive Red 180 removal is lower than sodium hydrosulphite for all concentrations. When C.I. Reactive Black 5 and C.I. Reactive Blue 171 were less than 70 mg/l, the use of sodium hydrosulphite showed higher efficiency.

Department Environmental Engineering Student's signature .....

Field of study Environmental Engineering Advisor's signature .....

Academic Year 2545

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยปลูกฝังวินัยในการทำงาน ตลอดจนให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างมาก รวมทั้งขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้กรุณาตรวจสอบและให้การเสนอแนะในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัย ได้แก่ ทุนวิจัยบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มอบเงินทุนอุดหนุนการวิจัยนี้ และขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ ที่ได้มอบเงินทุนส่วนตัวให้เข้าอบรมโครงการส่งเสริมความเป็นผู้นำและการพัฒนาความฉลาดทางอารมณ์

ขอขอบพระคุณบริษัท ไดสตาร์ไทย จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์ตัวอย่างสีฟอกย้อมโดยไม่จำกัดปริมาณ

ขอขอบพระคุณครูห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์เคมี ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

ขอบคุณเพื่อนๆ และพี่น้องร่วมรุ่นทุกคน ที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลืออย่างเต็มใจ

ขอบคุณเพื่อนเก่าจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และโรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ที่ให้หยิบยืมอุปกรณ์อันจำเป็นต่างๆ ตลอดจนเป็นกำลังใจ และให้คำปรึกษาเสมอมา

ขอบคุณบุคคลซึ่งอาจมิได้เอ่ยถึงทุกท่าน อันมีส่วนในความช่วยเหลือเพื่อให้ได้มาถึงความสำเร็จในครั้งนี้

ท้ายนี้ใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณยาย และพี่ชาย ซึ่งคอยห่วงใยเป็นแรงใจอย่างเต็มที่จนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูปภาพ ..... ต
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตการวิจัย 2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 แนวคิดและทฤษฎี 3
2.1.1 วิธีการกำจัดสีออกจากน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม 3
2.1.2 เคมีของสีย้อม 6
2.1.3 สีย้อมอะโซ (Azo Dyes) 9
2.1.4 สีย้อมรีแอกทีฟ (Reactive Dyes) 9
2.1.5 โซเดียมโบโรไฮไดรด์ 17
2.1.6 การใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ในการกำจัดสีฟอกย้อม 21
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 27
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 27
3.2 พารามิเตอร์ของการทดลอง 29
3.3 ขั้นตอนการทดลอง 30
3.4 วิธีการทดลอง 31
การทดลองที่ 3.4.1 31
การทดลองที่ 3.4.2 34
การทดลองที่ 3.4.3 37
การทดลองที่ 3.4.4 38
3.5 จำนวนชุดการทดลอง 39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ 39
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 40
4.1 คุณสมบัติของสีย้อมและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 40
4.2 ผลการหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสม 45
4.2.1 น้ำเสียสีย้อม C.I. Reactive Black 5.....45
4.2.2 น้ำเสียสีย้อม C.I. Reactive Red 180 55
4.2.3 น้ำเสียสีย้อม C.I. Reactive Blue 171 63
4.3 ผลการทดลองหาปริมาณ SBH ที่เหมาะสม 72
4.3.1 C.I. Reactive Black 5 72
4.3.2 C.I. Reactive Red 180 96
4.3.3 C.I. Reactive Blue 171 123
4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสี 149
4.4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 149
4.4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 158
4.4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171 166
4.5 ผลการทดลองแปรค่า SBH : $Na_2S_2O_5$ และเปรียบเทียบกับ $Na_2S_2O_4$ 174
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 177
5.1 ผลของพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน 177
5.2 ผลของความเข้มข้นสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน 177
5.3 ผลของปริมาณสารเคมี SBH ต่อการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน 177
5.4 ผลของอากาศต่อการเพิ่มขึ้นของค่าสีในน้ำเสีย 177
5.5 ตะกอนสลัดจ์จากการทำปฏิกิริยา 178
5.6 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม 178
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะ 179
รายการอ้างอิง 180
บรรณานุกรม 182
ภาคผนวก 184

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก. ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ……..…… 185
ภาคผนวก ข. ความปลอดภัยในการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ……... 187
ภาคผนวก ค. ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสม……190
ภาคผนวก ง. ผลการทดลองหาค่าพีเอชและปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์
ที่เหมาะสม …….. 199
ภาคผนวก จ. ผลการทดลองหาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม
เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ …….. 223
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ……232

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 โครโมฟอร์ (Chromophore) และออกโซโครม (Auxochromes) ของสีย้อม ……. …….6
ตารางที่ 2.2 การแบ่งประเภทของสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี ……7
ตารางที่ 2.3 เปอร์เซ็นต์การกระจายของลักษณะโครงสร้างของกลุ่มโครโมฟอร์ ในสีรีแอกทีฟแบ่งตามโทนสีต่างๆ……..…..11
ตารางที่ 2.4 กลุ่มรีแอกทีฟที่สำคัญ ……..……12
ตารางที่ 2.5 โครงสร้างของสีย้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟประเภท Monofunction ……15
ตารางที่ 2.6 โครงสร้างของสีย้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟประเภท Bifunction ……..17
ตารางที่ 3.1 สีย้อมที่ใช้ในการทดลอง ……28
ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองของการทดลองที่ 3.4.2 ……..36
ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นโดยโมลของสีย้อมที่ใช้ในการทดลอง ……..…40
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของ SBH ที่ใช้ในการทดลอง ……..40
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาและรีดิวซิ่งเอเจนต์ที่ใช้เปรียบเทียบ ในการทดลอง ……..…40
ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์สารละลายสีย้อม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร……..41
ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์สารละลายสีย้อม ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร ……41
ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์สารละลายสีย้อม ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร ……42
ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์สารละลายสีย้อม ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร ……...42
ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์สารละลายสีย้อม ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร …… 43
ตารางที่ 4.9 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจนสมบูรณ์ระหว่าง $SBH/Na_2S_2O_5$ กับสีย้อม ……...…….71
ตารางที่ 4.10 ระยะเวลากวนเร็วที่เลือกใช้สำหรับสีย้อมประเภทต่างๆ …… 72
ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง $SBH/Na_2S_2O_5$ กับ $Na_2S_2O_4$ ของสี C.I. Reactive Black 5 ……174

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง SBH/$Na_2S_2O_5$ กับ $Na_2S_2O_4$ ของสี C.I. Reactive Red 180 ……174
ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง SBH/$Na_2S_2O_5$ กับ $Na_2S_2O4_5$ ของสี C.I. Reactive Blue 171 ……175
ตารางที่ ก.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลองของสีย้อม C.I. Reactive Black 5 ปริมาตร 1,500 มิลลิลิตร ……186
ตารางที่ ก.2 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลองของสีย้อม C.I. Reactive Red 180 ปริมาตร 1,500 มิลลิลิตร ……186
ตารางที่ ก.3 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลองของสีย้อม C.I. Reactive Blue 171 ปริมาตร 1,500 มิลลิลิตร ……186
ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร……...191
ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร……...191
ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร……...192
ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร……...192
ตารางที่ ค.5 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร……...193
ตารางที่ ค.6 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร……....193
ตารางที่ ค.7 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร……....194
ตารางที่ ค.8 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร……....194
ตารางที่ ค.9 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร……..195

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค.10 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร……..……..…..195
ตารางที่ ค.11 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร…….……..……196
ตารางที่ ค.12 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร…….……..……196
ตารางที่ ค.13 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร……..……..…..197
ตารางที่ ค.14 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร……..……..…….197
ตารางที่ ค.15 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร……..……..……198
ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 ..……..……..200
ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.63) ..……..…200
ตารางที่ ง.3 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 ……..……...…201
ตารางที่ ง.4 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 ..……..……...…201
ตารางที่ ง.5 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.54) ..……...…202
ตารางที่ ง.6 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10.……..……..202
ตารางที่ ง.7 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 ..……..……...…203
ตารางที่ ง.8 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.49) ..……...…… 203

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ง.9 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 ……204

ตารางที่ ง.10 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 ……..…..…204

ตารางที่ ง.11 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (6.64) ..… ….…...…205

ตารางที่ ง.12 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 ……..…….205

ตารางที่ ง.13 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 ……..…….206

ตารางที่ ง.14 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.53) ..…….…...…206

ตารางที่ ง.15 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 ……..…….207

ตารางที่ ง.16 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 ……..…..…207

ตารางที่ ง.17 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.55) ..……...…208

ตารางที่ ง.18 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 ……..…..….208

ตารางที่ ง.19 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 ……..…….209

ตารางที่ ง.20 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.16) ..……...…209

ตารางที่ ง.21 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 ……..……...210

ตารางที่ ง.22 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 ……..…….210

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ง.23 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.49) 211
ตารางที่ ง.24 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 211
ตารางที่ ง.25 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 212
ตารางที่ ง.26 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.17) 212
ตารางที่ ง.27 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 213
ตารางที่ ง.28 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 213
ตารางที่ ง.29 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.7) 214
ตารางที่ ง.30 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 214
ตารางที่ ง.31 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 215
ตารางที่ ง.32 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.27) 215
ตารางที่ ง.33 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 216
ตารางที่ ง.34 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 216
ตารางที่ ง.35 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.55) 217
ตารางที่ ง.36 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 217

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ง.37 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 ……..…….218
ตารางที่ ง.38 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.94) …..……...…218
ตารางที่ ง.39 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 ……..……219
ตารางที่ ง.40 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 ……219
ตารางที่ ง.41 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.54) …..…...…220
ตารางที่ ง.42 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 ……...……220
ตารางที่ ง.43 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 ……221
ตารางที่ ง.44 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.76) …..…...…221
ตารางที่ ง.45 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 ……..……222
ตารางที่ จ.1 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร ……..…….224
ตารางที่ จ.2 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร ……..…….224
ตารางที่ จ.3 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร ……..…….225

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ จ.4 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับ
รีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Black 5
ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร ……..…….225
ตารางที่ จ.5 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับ
รีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Black 5
ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร ……..……...226
ตารางที่ จ.6 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับ
รีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Red 180
ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร ……..…….226
ตารางที่ จ.7 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับ
รีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Red 180
ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร ……..…….227
ตารางที่ จ.8 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับ
รีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Red 180
ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร ……..…….227
ตารางที่ จ.9 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับ
รีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Red 180
ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร ……..……..…….228
ตารางที่ จ.10 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับ
รีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Red 180
ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร ……..……...228
ตารางที่ จ.11 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับ
รีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Blue 171
ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร ……..…….229
ตารางที่ จ.12 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับ
รีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Blue 171
ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร ……..…….229

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ จ.13 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับ
รีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Blue 171
ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร ……..…….230
ตารางที่ จ.14 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับ
รีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Blue 171
ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร ……..…..…….230
ตารางที่ จ.15 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับ
รีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Blue 171
ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร ……..……..……231

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างอย่างง่ายของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 18
รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาการแทนที่ในหมู่คาร์บอนิลโดยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 18
รูปที่ 3.1 โครงสร้างเคมีของสีย้อมที่ใช้ในการทดลอง 28
รูปที่ 3.2 แผนผังการทดลอง 31
รูปที่ 3.3 แผนผังการทดลองที่ 3.4.1 34
รูปที่ 3.4 แผนผังการทดลองที่ 3.4.2 37
รูปที่ 4.1 สี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร 44
รูปที่ 4.2 สี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร 44
รูปที่ 4.3 สี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร 44
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอช
และโออาร์พีของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร 46
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พี
และค่าสีของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร 46
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอช
และโออาร์พีของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม/ลิตร.....48
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พี
และค่าสีของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม/ลิตร 48
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอช
และโออาร์พีของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม/ลิตร.....50
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พี
และค่าสีของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม/ลิตร 50
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอช
และโออาร์พีของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม/ลิตร.....52
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พี
และค่าสีของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม/ลิตร 52
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอช
และโออาร์พีของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร.....54
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พี
และค่าสีของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร 54

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอช และโออาร์พีของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร……..……56
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พี และค่าสีของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ……..…...56
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอช และโออาร์พีของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม/ลิตร…….……58
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พี และค่าสีของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม/ลิตร ……...…...58
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอช และโออาร์พีของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม/ลิตร……59
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พี และค่าสีของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม/ลิตร ……...……...59
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอช และโออาร์พีของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม/ลิตร……..61
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พี และค่าสีของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม/ลิตร ……..…….61
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอช และโออาร์พีของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร…...……..62
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พี และค่าสีของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร ……..….62
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอช และโออาร์พีของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร…..……...64
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พี และค่าสีของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ……..……64
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอช และโออาร์พีของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม/ลิตร…….....66
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พี และค่าสีของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม/ลิตร ……...……..66

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอช
และโออาร์พีของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม/ลิตร…….....67
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พี
และค่าสีของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม/ลิตร ……..…..67
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอช
และโออาร์พีของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม/ลิตร…...……...69
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พี
และค่าสีของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม/ลิตร ……...…...69
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอช
และโออาร์พีของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร…...……...70
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พี
และค่าสีของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร ….....…...…...70
รูปที่ 4.34 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 mg/l…….…….73
รูปที่ 4.35 กราฟความสัมพันธ์ของค่า ORP ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 mg/l…….…….75
รูปที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI
ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 mg/l…...…….76
รูปที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 mg/l……..…….78
รูปที่ 4.38 กราฟความสัมพันธ์ของค่า ORP ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 mg/l…..…….80
รูปที่ 4.39 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI
ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 mg/l……..….82
รูปที่ 4.40 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 mg/l…….……...…….83
รูปที่ 4.41 กราฟความสัมพันธ์ของค่า ORP ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 mg/l…….……..……..…….84

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.42 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI
ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 mg/l……..……86
รูปที่ 4.43 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 mg/l…….…….87
รูปที่ 4.44 กราฟความสัมพันธ์ของค่า ORP ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 mg/l…..…….89
รูปที่ 4.45 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI
ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 mg/l……...……91
รูปที่ 4.46 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 mg/l…..…….92
รูปที่ 4.47 กราฟความสัมพันธ์ของค่า ORP ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 mg/l……..……94
รูปที่ 4.48 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI
ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 mg/l…...…..……95
รูปที่ 4.49 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 mg/l…….…….97
รูปที่ 4.50 กราฟความสัมพันธ์ของค่า ORP ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 mg/l…..…….99
รูปที่ 4.51 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยา
ของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 mg/l……..……...101
รูปที่ 4.52 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 mg/l…….……..…….103
รูปที่ 4.53 กราฟความสัมพันธ์ของค่า ORP ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 mg/l…...…….105
รูปที่ 4.54 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยา
ของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 mg/l……..……...107
รูปที่ 4.55 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 mg/l…….109

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.56 กราฟความสัมพันธ์ของค่า ORP ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 mg/l…….……110
รูปที่ 4.57 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI
ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 mg/l……...112
รูปที่ 4.58 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 mg/l……..…….114
รูปที่ 4.59 กราฟความสัมพันธ์ของค่า ORP ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 mg/l…….……..…….115
รูปที่ 4.60 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยา
ของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 mg/l…..……..…….117
รูปที่ 4.61 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 mg/l…….…….…….….119
รูปที่ 4.62 กราฟความสัมพันธ์ของค่า ORP ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 mg/l…….……..…….120
รูปที่ 4.63 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI
ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 mg/l…..……...122
รูปที่ 4.64 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 mg/l……....124
รูปที่ 4.65 กราฟความสัมพันธ์ของค่า ORP ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 mg/l……..…….…….126
รูปที่ 4.66 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยา
ของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 mg/l…..……..……..128
รูปที่ 4.67 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 mg/l……...…..……....130
รูปที่ 4.68 กราฟความสัมพันธ์ของค่า ORP ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 mg/l……..…….…….131
รูปที่ 4.69 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI
ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 mg/l…..……..133

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.70 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 mg/l……..……..……..…..135
รูปที่ 4.71 กราฟความสัมพันธ์ของค่า ORP ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 mg/l……. ……..……..……..…….136
รูปที่ 4.72 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI
ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 mg/l…....…....138
รูปที่ 4.73 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 mg/l……..……..…….…….139
รูปที่ 4.74 กราฟความสัมพันธ์ของค่า ORP ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 mg/l……..……..……...…...141
รูปที่ 4.75 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI
ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 mg/l……...143
รูปที่ 4.76 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 mg/l……...……...….144
รูปที่ 4.77 กราฟความสัมพันธ์ของค่า ORP ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี
C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 mg/l…….…….....146
รูปที่ 4.78 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI
ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 mg/l…….…147
รูปที่ 4.79 ผลการทดลองหาปริมาณ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5
ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 10 ……..……151
รูปที่ 4.80 ผลการทดลองหาปริมาณ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5
ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 10 ……..……151
รูปที่ 4.81 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 : 50 mg/l ……152
รูปที่ 4.82 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 : 70 mg/l ……153
รูปที่ 4.83 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 : 90 mg/l ……154
รูปที่ 4.84 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 : 150 mg/l……...155
รูปที่ 4.85 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 : 200 mg/l……...156
รูปที่ 4.86 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5
ที่ใช้ปริมาณ SBH 3 เท่า ……..……...157

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.87 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5
ที่ใช้ปริมาณ SBH 5 เท่า ……...……..……...157
รูปที่ 4.88 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5
ที่ใช้ปริมาณ SBH 7 เท่า ……...……..……...157
รูปที่ 4.89 ผลการทดลองหาปริมาณ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180
ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 10 ……..……..…159
รูปที่ 4.90 ผลการทดลองหาปริมาณ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180
ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 10 ……159
รูปที่ 4.91 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 : 50 mg/l ……...…160
รูปที่ 4.92 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 : 70 mg/l ……...…161
รูปที่ 4.93 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 : 90 mg/l ……...…162
รูปที่ 4.94 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 : 150 mg/l ……163
รูปที่ 4.95 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 : 200 mg/l ……164
รูปที่ 4.96 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180
ที่ใช้ปริมาณ SBH 1 เท่า ……...……...165
รูปที่ 4.97 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180
ที่ใช้ปริมาณ SBH 3 เท่า ……...……..165
รูปที่ 4.98 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180
ที่ใช้ปริมาณ SBH 5 เท่า ……...……...165
รูปที่ 4.99 ผลการทดลองหาปริมาณ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171
ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 10 ……..……..…167
รูปที่ 4.100 ผลการทดลองหาปริมาณ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171
ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 10 ……..……..…167
รูปที่ 4.101 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171 : 50 mg/l ……...168
รูปที่ 4.102 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171 : 70 mg/l ……...169
รูปที่ 4.103 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171 : 90 mg/l ……...170
รูปที่ 4.104 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171 : 150 mg/l ……171
รูปที่ 4.105 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171 : 200 mg/l ……172

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.106 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171
ที่ใช้ปริมาณ SBH 3 เท่า ……...…….……...173
รูปที่ 4.107 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171
ที่ใช้ปริมาณ SBH 5 เท่า …….……...173
รูปที่ 4.108 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171
ที่ใช้ปริมาณ SBH 7 เท่า …….……...173
รูปที่ 4.109 ผลการทดลองแปรค่า SBH : $Na_2S_2O_5$ และเปรียบเทียบกับ $Na_2S_2O_4$
ของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณ SBH 7 เท่า โดยมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 10 ……...176
รูปที่ 4.110 ผลการทดลองแปรค่า SBH : $Na_2S_2O_5$ และเปรียบเทียบกับ $Na_2S_2O_4$
ของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณ SBH 5 เท่า โดยมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 10 ……...176
รูปที่ 4.111 ผลการทดลองแปรค่า SBH : $Na_2S_2O_5$ และเปรียบเทียบกับ $Na_2S_2O_4$
ของสี C.I. Reactive Blue ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณ SBH 7 เท่า โดยมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 10 ……...176

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มนับว่ามีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จนปัจจุบันเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญที่สุดของประเทศไทย พร้อมไปกับการเป็นแหล่งสร้างน้ำเสียที่มีปริมาณสูง เนื่องจากกระบวนการฟอกย้อมต้องใช้น้ำจำนวนมาก ซึ่งการทำปฏิกิริยาระหว่างสีย้อมกับเส้นใยโดยปกติไม่สามารถเกิดได้สมบูรณ์ทั้งหมด ดังนั้นจึงมีสีย้อมและสารเคมีตกค้างอยู่ในน้ำที่ออกจากกระบวนการเสมอ

สีย้อมซึ่งใช้กันทั่วไปในโรงฟอกย้อมมักจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสูตรโครงสร้างใหญ่ ซับซ้อน และอาจเป็นสารที่มีพิษ เมื่อถูกระบายลงแหล่งน้ำสาธารณะ นอกจากจะเป็นที่น่ารังเกียจแล้ว ยังสามารถทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม นอกจากนั้นอนุภาคของสีบางชนิดจะไปบดบังการแพร่กระจายของแสงลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้สมดุลของระบบนิเวศวิทยาในน้ำเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสีฟอกย้อมถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณที่มากจะทำให้เกิดสภาวะการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน ซึ่งส่งผลต่อภาวะมลพิษอย่างรุนแรงได้

สีย้อมที่เหลือจากการย้อมหรือการพิมพ์ผ้าเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้น้ำเสียของโรงฟอกย้อมมีสีออกมาในเกณฑ์ค่อนข้างสูง ประกอบกับปัจจุบันอุตสาหกรรมการย้อมนิยมใช้สีย้อมประเภทรีแอกทีฟเป็นส่วนใหญ่จึงทำให้ปัญหาสีในน้ำเสียรุนแรงยิ่งขึ้น (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527) เนื่องจากสีรีแอกทีฟเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนทำให้การย่อยสลายโดยจุลชีพเป็นไปได้ยาก นอกจากนั้นยังสามารถละลายน้ำได้ดี จึงยากแก่การตกตะกอนด้วยวิธีทางเคมีเช่นเดียวกัน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีหลายวิธีซึ่งมีข้อดีข้อเสียและความเหมาะสมแตกต่างกันไป วิธีดังกล่าวได้แก่ การดูดซับด้วยคาร์บอน โอโซนเนชัน วิธีไฟฟ้าเคมี การบำบัดเบื้องต้นด้วยสารเคมีและบำบัดขั้นที่สองด้วยการย่อยสลายแบบแอโรบิก-แอนแอโรบิก และระบบ PACT (Powder Activated Carbon Treatment) เป็นต้น อย่างไรก็ตามแต่ละระบบยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ (Cook, 1996)

การใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ในการกำจัดสีหมู่อะโซเป็นอีกวิธีที่น่าสนใจ เนื่องจากโซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นรีดิวซิ่งเอเจนต์อย่างแรงซึ่งสามารถรีดิวซ์ไบซัลไฟต์ให้กลายเป็นอนุมูลที่มีประจุลบของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่จะไปทำลายพันธะของหมู่อะโซในโมเลกุลของสีย้อม และ

กำจัดสีได้ (Cook, 1996) แต่การนำสารเคมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์มาใช้กำจัดสีฟอกย้อมในน้ำเสียยังมีผู้ทำศึกษากันน้อย ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งที่จะศึกษาการใช้งานที่เหมาะสมของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในการลดสีในน้ำเสีย เพื่อนำความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้จริงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟที่มีหมู่อะโซเป็นองค์ประกอบออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์

1.2.2 ศึกษาพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสียก่อนการบำบัด ปริมาณสารเคมี (Dose) และเวลาสัมผัส (Contact time) ระหว่างสารเคมีกับน้ำเสียในการกำจัดสี

1.2.3 ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างสารเคมีกับตัวเร่งปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี โดยวิธีแปรค่าปริมาณของโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์เป็น 2 3 และ 4 เท่าของปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาการใช้สารละลายโบโรไฮไดรด์ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ (SBH) กำจัดสีย้อมรีแอกทีฟที่มีหมู่อะโซออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการทดลองแบบแบทช์ โดยแปรเปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำเสียและปริมาณสารเคมีเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด ตลอดจนพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสีฟอกย้อม โดยทำการวิเคราะห์สีด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ด้วยวิธี SU และ ADMI

1.3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ของสีย้อมรีแอกทีฟโทนดำ แดง และน้ำเงินที่มีหมู่อะโซ ระดับความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.3.3 การศึกษาผลการแปรค่าอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาไบซัลไฟต์ จะใช้ปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ในการทดลองเท่ากับ 2 3 และ 4 เท่าของปริมาณสารเคมี SBH ที่เหมาะสม

1.3.4 เปรียบเทียบกระบวนการกำจัดสีกับวิธีรีดักชันด้วยโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_4$) โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีและค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุด

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 วิธีการกำจัดสีออกจากน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม (Reife, 1996)

2.1.1.1 การดูดซับด้วยคาร์บอน

วิธีดูดซับด้วยคาร์บอนจะใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากถ่านหินลิกไนต์ และบิทูมินัส ไม้ กากของเยื่อกระดาษ หรือเปลือกมะพร้าว เป็นตัวดูดซับสีแอซิด สีไดเร็ค สีเบสิค สีรีแอกทีฟ และสีดิสเพอร์ส ค่าความสามารถของการดูดซับแสดงได้โดยเส้นกราฟไอโซเทอร์ม สีย้อมที่เหมาะกับการกำจัดโดยกระบวนการดูดซับด้วยคาร์บอน ได้แก่

1) สีดิสเพริ์ส และสีที่มีประจุบวก

พารามิเตอร์ 4 ประการที่มีผลต่อการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ชนิดผง คือ

- ความเข้มข้น
- พีเอช
- สารลดแรงตึงผิว (Surfectant)
- เกลือของด่าง (Alkali salt)

2) สีที่มีประจุลบ

สำหรับสีย้อมซึ่งมีประจุลบมักใช้การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับวิธีรีดักชันทางเคมีเพื่อกำจัดสีย้อมที่มีหมู่อะโซซึ่งละลายน้ำได้ รีดิวซิ่งเอเจนต์ที่ใช้ได้แก่ โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ไธโอยูเรียไดออกไซด์ และโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ในการทำลายพันธะของหมู่อะโซให้เกิดเป็นอะโรมาติกอะมีนที่ปราศจากสี ตามปกติแล้วน้ำเสียสีย้อมรีแอกทีฟที่มีหมู่อะโซจะบำบัดได้ยาก เนื่องจากมีหมู่กรดซัลโฟนิกที่ทำให้สีย้อมละลายน้ำได้ดีและมีสภาพขั้ว จึงไม่สามารถถูกดูดซับได้ทันทีบนพื้นผิวของคาร์บอนซึ่งเป็นชนิดไม่มีขั้ว ดังนั้นสีย้อมจึงต้องผ่านการย่อยสลายขั้นต้นก่อน แล้วผลผลิตเกิดขึ้นจึงสามารถถูกดูดซับได้ด้วยถ่านกัมมันต์

2.1.1.2 โอโซนเนชัน

หลักการทำงานของโอโซนคือจะไปจับกับบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาง่ายที่สุด (Reactive site) ของโมเลกุล ซึ่งอาศัยการออกซิไดส์เพื่อทำลายระบบคอนจูเกทของโมเลกุลสีย้อม

วิธีโอโซนเนชันสามารถใช้กับสีย้อมดังต่อไปนี้

- Stilbene dyes
- Triphenylmethane dyes
- Indigoid dyes
- Anthraquinone dyes
- Azomethine dyes
- Metal containing dyes
- Azo dyes
- Xanthenes
- Diphenylmethane dyes
- Phenothiazenes and Phenoxazines

การทำปฏิกิริยาของโอโซนกับสีย้อมประมาณได้ว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นจลนพลศาสตร์อันดับที่หนึ่ง (First–order rate) โดยสีย้อมที่มีการดูดซึมแสงที่ความยาวคลื่นสูงกว่าจะถูกรีดิวซ์ได้ง่ายกว่า นอกจากนี้โอโซนเนชันยังทำให้ค่าทีโอซีและซีโอดีลดลง แต่บีโอดีกลับเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงควรบำบัดน้ำเสียต่อด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

2.1.1.3 วิธีไฟฟ้าเคมี

วิธีไฟฟ้าเคมีเป็นการกำจัดสีและสิ่งปนเปื้อนอื่นออกจากน้ำเสีย เนื่องจากโรงงานสิ่งทอส่วนใหญ่จะมีน้ำเสียที่ประกอบด้วยสีย้อม โลหะหนัก และ/หรือสิ่งปนเปื้อนอินทรีย์ ความสามารถของวิธีไฟฟ้าเคมีจะกำจัดได้ทั้งบีโอดี ซีโอดี ทีโอซี ของแข็งละลาย ของแข็งแขวนลอย และโลหะหนัก เช่น โครเมียม ทองแดง โมลิบดินัม และสังกะสี

หลักการทำงานของเซลล์ไฟฟ้าเคมีคือ จะสร้างเฟอรัสไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_2$) จากขั้วอิเล็คโทรดเหล็กกล้าที่ใช้ ดังนั้นเมื่อปล่อยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดออกจากระบบจึงต้องปรับค่าพีเอชให้เป็นด่างมากกว่า 11 เพื่อทำให้เกิดการตกตะกอนของเฟอรัสไฮดรอกไซด์ และผ่านกระบวนการกรองอีกขั้นหนึ่ง โดยอาจใช้โพลิเมอร์ช่วยในการตกตะกอนด้วย

2.1.1.4 การบำบัดเบื้องต้นด้วยสารเคมี และการย่อยสลายแบบแอโรบิก-แอนแอโรบิก

การบำบัดเบื้องต้นต้นด้วยสารเคมี และการย่อยสลายแบบแอโรบิก-แอนแอโรบิก ครอบคลุมถึงกระบวนการบำบัดอันได้แก่

1) การบำบัดเบื้องต้นทางเคมี
2) การบำบัดทางชีวภาพแบบแอโรบิก
3) การบำบัดทางชีวภาพแบบแอนแอโรบิก
4) การบำบัดทางชีวภาพแบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก ที่ต่อแบบอนุกรม (tandem)

การบำบัดเบื้องต้นด้วยสารเคมีประกอบด้วยออกซิไดซิ่งและรีดิวซิ่งเอเจนต์ เพื่อกำจัดสีและเตรียมน้ำเสียสำหรับกระบวนการทางชีวภาพที่จะตามมา การบำบัดเบื้องต้นดังกล่าวได้แก่ กระบวนการโคแอกกูเลชัน-ฟลอคคูเลชัน

2.1.1.4.1 กระบวนการบำบัดเบื้องต้น (Pretreatment)

ก. การบำบัดเบื้องต้นทางกายภาพ (Physical Pretreatment)

เป็นการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยสารโคแอกกูแลนท์เคมี วิธีนี้ใช้ได้ดีสำหรับการกำจัดสีย้อมอินทรีย์ เม็ดสีหรือรงควัตถุ (pigment) และสารประกอบใดๆ ที่ถูกดูดซับได้ด้วยมวลชีวะหรือฟล็อค รวมทั้งสารประกอบที่ขัดขวางกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ

ข. การบำบัดเบื้องต้นทางเคมี

1) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน :โดยใช้ออกซิไดซิ่งเอเจนต์ เช่น คลอรีน หรือโอโซน เป็นต้น

2) ปฏิกิริยารีดักชัน : โดยใช้รีดิวซิ่งเอเจนต์ เช่น ไฮโดรซัลไฟต์ ไธโอยูเรีย โบโรไฮไดรด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อทำลายพันธะของหมู่อะโซ

2.1.1.4.2 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบแอโรบิก

เป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไปสำหรับบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ อย่างไรก็ตามเนื่องจากความมีประสิทธิภาพต่ำในการกำจัดสีซึ่งทำให้เกิดปัญหาด้านสุนทรียภาพ ประกอบกับธรรมชาติของสีย้อมนั้นมีความต้านทานต่อการย่อยสลาย เพราะคุณสมบัติของสีย้อมที่ต้องทนต่อการซีดจางของสีนั่นเอง

กระบวนการทางชีวภาพชี้ให้เห็นว่า สีย้อมในปริมาณไม่มากนักเท่านั้นที่ถูกกำจัดได้ในกระบวนการ โดยกลไกเบื้องต้นคือการถูกดูดซับโดยแอกทิเวเทตสลัดจ์ และย่อยสลายได้ช้ากว่าน้ำเสียชุมชน

2.1.1.4.3 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบแอนแอโรบิก

โดยใช้กระบวนการแอนแอโรบิกในการทำปฏิกิริยารีดักชันสีย้อมที่มีหมู่อะโซ ได้สารประกอบอะโรมาติกอะมีนซึ่งสามารถบำบัดต่อด้วยระบบแอโรบิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากอะโรมาติกอะมีนที่ได้จากปฏิกิริยารีดักชันในกระบวนการแอนแอโรบิกเป็นสารมีพิษ ดังนั้นระบบแอโรบิกที่นำมาบำบัดต่อเนื่องจะต้องมีประสิทธิภาพสูงพอที่จะป้องกันสารประกอบมีพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม กล่าวโดยสรุปแล้วระบบแอนแอโรบิกสามารถกำจัดสีได้สูงกว่าระบบแอโรบิก รวมทั้งกำจัดสารอินทรีย์ได้ดีกว่าด้วย

2.1.1.5 ระบบ PACT

PACT คือระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ผงถ่าน (Powder Activated Carbon หรือ PAC) เติมลงในระบบแอกทิเวเทตสลัดจ์ และเรียกว่า PAC Treatment หรือ PACT ใช้สำหรับปั่นระบบบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เจือจางมากเกินกว่าที่จะใช้วิธีออกซิเดชันโดยอากาศหรือการเผาที่อุณหภูมิสูง

การทำงานของระบบแอโรบิก PACT มีข้อดีที่เหนือกว่าแอกทิเวเทตสลัดจ์ คือ

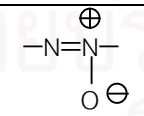
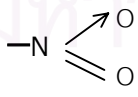
- การกำจัดสารอินทรีย์
- การควบคุมกลิ่น (VOCs)
- การกำจัดสี
- การกำจัดโลหะ
- ไนตริฟิเกชัน
- ความเสถียรของระบบ
- ความต้านทานต่อภาระเฉียบพลัน (Shock load)
- เวลากักน้ำ
- ความมีเสถียรภาพที่อุณหภูมิต่ำ
- การตกตะกอน และทำข้นสลัดจ์
- การขนถ่ายและกำจัดสลัดจ์
- ความเป็นพิษของน้ำที่ออกจากระบบ
- การควบคุมการเกิดโฟมในระบบ

2.1.2 เคมีของสีย้อม

ส่วนประกอบที่ทำให้เกิดสีในสีย้อม คือ

1. **โครโมฟอร์ (Chromophores)** เป็นกลุ่มอะตอมของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสีในกลุ่มที่ไม่อิ่มตัว ทำหน้าที่ให้สีแก่โมเลกุลของสีย้อม
2. **ออกโซโครม (Auxochromes)** เป็นกลุ่มที่สร้างลักษณะของความเข้มสี (Intensity) และ/หรือปรับปรุงคุณสมบัติในการดูดติดกับเส้นใยให้กับสีย้อม

ตารางที่ 2.1 โครโมฟอร์ (Chromophore) และออกโซโครม (Auxochromes) ของสีย้อม (Rangnekar,1980)

	Linkage	ชื่อ
Chromophores	—N=N—	Azo
	>C=S	Thio
	—N=O	Nitroso
		Azoxy
		Nitro
	—CH=N—	Azomethine
	>C=O	Carbonyl
	>C=C<	Ethenyl

ตารางที่ 2.1 โครโมฟอร์ (Chromophore) และออกโซโครม (Auxochromes) (ต่อ)

	ชื่อ	Group
Auxochromes	Amino	$-NH_2$
	Methylamino	$-NHCH_3$
	Dimethyl amino	$-NH(CH_3)_2$
	Sulphonic acid	$-SO_3H$
	Hydroxy	$-OH$
	Carboxylic acid	$-COOH$
	Chloro	$-Cl$
	Methyl	$-CH_3$
	Methoxy	$-OCH_3$
	Cyano	$-CN$
	Acetyl	$-COCH_3$
	Amido	$-CONH_2$

สีย้อมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. **ตามโครงสร้างทางเคมี** โดยการพิจารณาโครโมฟอร์ที่ประกอบอยู่ในโมเลกุลของสีย้อม
2. **ตามการใช้งาน** โดยพิจารณาสีย้อมที่ใช้กับเส้นใยประเภทต่างๆ

<u>แบ่งตามโครง สร้างทางเคมี</u>

ตารางที่ 2.2 การแบ่งประเภทของสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี (Rangnekar, 1980)

Class	Subclass
Nitro	-
Nitroso	-
Azo	Monoazo
	Bisazo
	Trisazo
	Polyazo
	Mordant azo

Class	Subclass
Indamine & Indophenol	-
Azine	-
Oxazine	-
Thiazine	-
Cyanine	Methine
	Quinoline
Sulphur	-

ตารางที่ 2.2 การแบ่งประเภทของสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี (ต่อ)

Class	Subclass
Azo	Stilbene azo Pyrazolone azo
Diphenylmethane	-
Triphenylmethane	-
Xanthene	-
Acridine	-
Thiazole	-

Class	Subclass
Lactone	-
Aminoketone	-
Hydroxy ketone	-
Anthraquinonoid	-
Indigoid	-
Sulphurized vat dyes	-
Phthlocyanine	-

<u>แบ่งตามการใช้งาน</u>

สำหรับการแบ่งประเภทของสีย้อมตามการใช้งาน จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายน้ำของสีและการยึดเกาะกับเส้นใย (Affinity/Substantivity) รวมทั้งสถานะของโมเลกุลสีย้อม ยกตัวอย่างเช่น สถานะที่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กกระจายอยู่ในของเหลวสำหรับสีย้อมดิสเพอร์ส เป็นต้น

สามารถแบ่งประเภทของสีย้อมออกตามการไช้งานได้ดังนี้ (Needles, 1981)

1. สีย้อมแอซิด (Acid dyes)
2. สีย้อมแอซิดมอร์แดนท์ (Acid Mordant dyes)
3. สีย้อมเบสิก (Basic dyes)
4. สีย้อมไดเร็ค (Direct cotton dyes หรือ Direct dyes)
5. สีย้อมอะโซอิก (Azoics)
6. สีย้อมมอร์แดนท์ (Mordant dyes)
7. สีย้อมแวต (Vat dyes)
8. สีย้อมโซลูบิไลซ์แวต (Solubilised Vat dyes)
9. สีย้อมซัลเฟอร์ (Sulphur dyes)
10. สีย้อมซัลเฟอไรส์แวต (Sulphurised Vat dyes)
11. สีย้อมอินเกรน (Ingrain dyes)
12. สีย้อมดิสเพอร์ส (Disperse dyes)
13. สีย้อมรีแอกทีฟ (Reactive dyes)
14. สีย้อมดิสเพอร์สรีแอกทีฟ (Disperse Reactive dyes)
15. สีย้อมแคทไอออน (Cationic dyes)

2.1.3 สีย้อมอะโซ (Azo Dyes)

สีย้อมอะโซ (—N=N—) ประกอบด้วยกลุ่มอะโซหนึ่งกลุ่มหรือมากกว่าทำหน้าที่เป็นโครโมฟอร์ และมีออกโซโครมได้หลายกลุ่ม สารตัวกลางในปฏิกิริยา (Intermediate) มี 2 ชนิด คือ ไดอะโซ และสารร่วมทำปฏิกิริยา (coupling) ซึ่งดำเนินปฏิกิริยาในสภาวะเป็นกรดหรือด่าง

ไดอะโซเนียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะริลลามีนหรือเฮทเทอโรไซคลิกอะมีนกับสารร่วมปฏิกิริยา

ประเภทของสีย้อมอะโซ ได้แก่ (Rangnekar, 1980)

1. **Monoazo dyes** ประกอบด้วยโครโมฟอร์อะโซเพียง 1 กลุ่ม และแบ่งออกได้อีกเป็น 8 ชนิด คือ
   - 1.1 Monoazo Direct dyes
   - 1.2 Monoazo Acid dyes
   - 1.3 Monoazo food colours
   - 1.4 Monoazo Mordant dyes
   - 1.5 Monoazo Solvent dyes
   - 1.6 Monoazo Disperse dyes
   - 1.7 Monoazo Cationic dyes
   - 1.8 Monoazo Reactive dyes
2. **Diazo หรือ Biazo dyes** มีโครโมฟอร์อะโซ 2 กลุ่ม
3. **Triazo dyes** มีโครโมฟอร์อะโซ 2 กลุ่ม
4. **Polyazo dyes** ประกอบด้วยโครโมฟอร์อะโซตั้งแต่ 4 กลุ่มขึ้นไป
5. **Mordant azo dyes** คือ กลุ่มอะโซที่มีสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะทำหน้าที่เป็นมอร์แดนท์หรือตัวช่วยเพิ่มการยึดเกาะ
6. **Stilbene azo dyes** ประกอบด้วยอะโซหนึ่งกลุ่มหรือมากกว่า ซึ่งให้สีเหลืองหรือส้มที่สามารถย้อมได้เร็วและมีการยึกเกาะที่ดีสำหรับเส้นใยฝ้าย
7. **Pyrazolone azo dyes** เป็นสีย้อมอะโซที่มีหมู่ไพราซอลในโครงสร้าง

2.1.4 สีย้อมรีแอกทีฟ (Reactive Dyes)

สีรีแอกทีฟเป็นสีย้อมที่ละลายน้ำได้ดี และย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด โดยจะมีคุณสมบัติเป็นอิออนลบเมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่าง ขณะย้อมโมเลกุลของสีจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซี (OH^-) ของเส้นใยเซลลูโลส แล้วเชื่อมโยงติดกันโดยพันธะโคเวเลนต์เพื่อสร้างสารประกอบครอสลิงค์กับเซลลูโลสซึ่งเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่ ทำให้เกิดเป็นสีที่มีความทนทานต่อการซักฟอก

โครงสร้างเคมีที่เป็นองค์ประกอบของสีรีแอกทีฟมีได้ทุกประเภท ยกตัวอย่างเช่น กลุ่มอะโซ แอนทราควิโนนอยด์ ฟาทาโลไซยานีน เป็นต้น

2.1.4.1 โครงสร้างเคมีของสีรีแอกทีฟ

โครงสร้างทางเคมีของสีย้อมรีแอกทีฟประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 กลุ่ม และสามารถเขียนได้เป็นสัญลักษณ์ของโครงสร้างอย่างง่ายคือ

$$S - D - T - X$$

1) D = Chromophoric group เป็นกลุ่มที่ทำให้เกิดสี (Chromophore) และสร้างการยึดเกาะ (Substantivity) กับเส้นใยเซลลูโลส

2) X = Reactive system เป็นกลุ่มที่ทำให้สีย้อมเกิดปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซี (OH^-) ของเส้นใย โดยได้แสดง Reactive system ชนิดต่างๆ ไว้ในตารางที่ 3.4

3) T = Bridging group เป็นกลุ่มที่ทำหน้าที่เชื่อมระหว่าง Reactive system กับ Chromophore ยกตัวอย่างเช่น หมู่ $-NH-$, $-NHCO-$, $-SO_2-$, $-NHSO_2-$ และ $-NCH_3-$ เป็นต้น

4) S = Solubilising group คือ กลุ่มที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง และเป็นกลุ่มที่อยู่ติดกับโครโมฟอร์ (Chromophoric group) โดยทั่วไปเป็นพวกกรดซัลโฟนิก ($-SO_2Na$) ซึ่งอาจมีเพียงกลุ่มเดียวหรือมากกว่า 1 กลุ่ม

ส่วนประกอบ 2 ส่วนที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สีย้อมแต่ละชนิดแตกต่างกัน คือ

(1) กลุ่มโครโมฟอร์ (D)

(2) กลุ่มรีแอกทีฟ (X)

ในบางกรณีกลุ่มรีแอกทีฟ (Reactive group) อาจต่ออยู่กับโครโมฟอร์โดยตรงโดยที่ไม่มี Bridging group ก็ได้ และกลุ่มรีแอกทีฟส่วนใหญ่จะเป็นสาร heterocyclic ring

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 เปอร์เซ็นต์การกระจายของลักษณะโครงสร้าง ของกลุ่มโครโมฟอร์ในสีรีแอกทีฟแบ่งตามโทนสีต่างๆ (Shore, 1990)

Chemical Class	% การกระจายของโทนสี								% ของสีรีแอกทีฟทั้งหมด
	เหลือง	ส้ม	แดง	ม่วง	ฟ้า	เขียว	น้ำตาล	ดำ	
Unmetallised azo	97	90	90	63	20	16	57	42	66
Metal-complex azo	2	10	9	32	17	5	43	55	15
Anthraquinone				5	34	37		3	10
Phthalocyanine					27	42			8
อื่น ๆ	1		1		2				1
รวม	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

สีรีแอกทีฟส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกลุ่มโครโมฟอร์ชนิดอะโซซึ่งได้แก่ Unmetallised azo และ Metal – complex azo เป็นส่วนมาก โดยสูงถึงร้อยละ 81 เพราะฉะนั้นในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมประเภทรีแอกทีฟ ถ้าสามารถทำลายพันธะอะโซในกลุ่มโครโมฟอร์ได้ ก็จะลดสีในน้ำเสียลงได้

2.1.4.2 กลไกการทำปฏิกิริยาของกลุ่มรีแอกทีฟกับเส้นใย

1) Nucleophilic Substitution

ปฏิกิริยาการแทนที่เกิดจากค่าอิเล็คโตรเนกาติวิตีหรือความสามารถที่อะตอมจะถึงดูดอิเล็กตรอนเข้ามาหาตัวมันเอง โดยกลุ่มที่เข้ามาแทนที่อะตอมของธาตุฮาโลเจนในโมเลกุลของสีย้อมเป็นได้ทั้งประจุลบของเส้นใยเซลลูโลสและไฮดรอกไซด์อิออน (OH^-) ซึ่งกรณีแรกจะทำให้เกิดการยึดติดของสีย้อมบนเส้นใย ในขณะที่กรณีหลังทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสีย้อมรีแอกทีฟ

2) Nucleophilic Addition

เช่นเดียวกับปฏิกิริยาการแทนที่ กลุ่มที่เข้ามาสร้างพันธะกับโมเลกุลของสีย้อมเป็นได้ทั้งประจุลบของเส้นใยเซลลูโลสและไฮดรอกไซด์อิออนโดยการสลายพันธะคู่ของคาร์บอนอะตอมในกลุ่มไวนิลซัลโฟน แล้วเชื่อมต่อกับคาร์บอนตัวสุดท้ายของกลุ่มไวนิลซัลโฟนดังกล่าว

ดังได้กล่าวไปแล้วว่าทั้งประจุลบของเส้นใยและไฮดรอกไซด์อิออนสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสีย้อมได้ อย่างไรก็ตามความสามารถในการสร้างพันธะของสีกับเส้นใยจะมีมากกว่าไฮดรอกไซด์อิออน ส่วนสีย้อมบางส่วนที่สร้างพันธะกับไฮดรอกไซด์อิออนแล้วซึ่งเรียกว่าสีที่ถูกไฮโดรไลซ์จะไม่สามารถสร้างพันธะกับเส้นใยได้อีกจึงหลงเหลือไปกับน้ำย้อมและน้ำล้าง

2.1.4.3 ชนิดของกลุ่มรีแอกทีฟ

1) Monofunctional Systems ได้แก่ สีย้อมที่ประกอบด้วยกลุ่มรีแอกทีฟที่เข้าทำปฏิกิริยาได้เพียง 1 หมู่

2) Bifunctional Systems ได้แก่ สีย้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟ 2 หมู่ ซึ่งให้ผลในด้านการยึดเกาะกับเส้นใยที่สูงกว่าพวกกลุ่มรีแอกทีฟแบบโมโนฟังก์ชัน

ตารางที่ 2.4 กลุ่มรีแอกทีฟที่สำคัญ (Shore, 1995)

กลุ่มรีแอกทีฟ	
Monofunctional	**Bifunctional**
Dichlorotriazine	Bis (aminochlorotriazine)
Aminochlorotriazine	Bis (aminonicotinotriazine)
Aminofluorotriazine	Aminochlorotriazine-Sulphatoethylsulphone
Trichloropyrimidine	Aminofluorotriazine- Sulphatoethylsulphone
Chlorodifluoropyrimidine	
Dichloroquinoxaline	
Sulphatoethylsulphone	
Sulphatoethylsulphonamide	

2.1.4.3.1 Monofunctional Systems

1) Dichloro-s-triazine dyes

โมเลกุลของกลุ่มรีแอกทีฟประเภทไดคลอโรไตรอะซีนจะมีขั้วที่พันธะของ C═N และ C─Cl เนื่องจากอะตอมของ N กับ Cl มีค่าอิเล็คโตรเนกาติวิตี้หรือความสามารถที่อะตอมจะดึงดูดอิเล็คตรอนเข้ามาหาอะตอมนั้นสูงกว่าอะตอมที่เป็นองค์ประกอบของสีย้อม ซึ่งคาดได้ว่าจะเกิดปฏิกิริยาแบบแทนที่ (Nucleophilic Substitution) ยกตัวอย่างเช่นสี C.I. Reactive Red 1

2) Aminochloro-s-triazine dyes

กลุ่มรีแอกทีฟอะมิโนคลอโรไตรอะซีนได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างสีย้อมไดคลอโรไตรอะซีนกับอะมีนที่อุณหภูมิ 25 ~ 45 องศาเซลเซียส เกิดเป็นสีย้อมรีแอกทีฟที่มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาที่ต่ำกว่าพวกสีย้อมไดคลอโรไตรอะซีนมาก ยกตัวอย่างเช่นสีย้อม C.I. Reactive Red 3 ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกลุ่มรีแอกทีฟพวก 2–amino-4-chloro

3) Aminofluoro-s-triazine dyes

การทำงานของกลุ่มรีแอกทีฟอะมิโนฟลูออโรไตรอะซีนคือ ขณะย้อมอะตอมฟลูออรีนจะแตกตัวออกจากโมเลกุลของสีย้อม และการที่ฟลูออรีนมีค่าอิเล็คโตรเนกาติวิตีสูงกว่าคลอรีนทำให้สีย้อมมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าสีย้อมพวกที่มีกลุ่มรีแอกทีฟเป็นอะมิโนคลอโร

4) Trichloropyrimidine dyes

สีย้อมไตรคลอโรไพริมิดีนได้จากปฏิกิริยาการแทนที่ (Nucleophilic Substitution) ของอะตอมคลอรีนตำแหน่งที่ 4 เพื่อสร้างพันธะระหว่าง NH กับโครโมฟอร์

5) Chlorodifluoropyrimidine dyes

เป็นสีย้อมจำพวกไพริมิดีนที่มีธาตุหมู่ 7 (Halopyrimidine) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับเส้นใยได้ง่ายกว่า ด้วยการปรับปรุงโครงสร้างโดยการใช้ฟลูออรีนแทนคลอรีนเพื่อเป็นกลุ่มรีแอกทีฟส่วนมากที่ใช้กันได้แก่ กลุ่มรีแอกทีฟ 5-chloro-2,6-difluoropyrimidine

6) Dichloroquinoxaline dyes

สีย้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟประเภทนี้จะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าสีย้อมไดคลอโรไพริมิดีน โดยเปรียบได้กับกลุ่มรีแอกทีฟไดคลอโรไตรอะซีน และไดฟลูออโรไพริมิดีน

7) Sulphatoethyl-sulphone และ -sulphonamide dyes

สีย้อมที่มีหมู่รีแอกทีฟประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีการยึดเกาะที่ต่ำกว่าสีย้อมพวกฮาโลเฮทเทอโรไซคลิกมาก โดยจะมีหมู่ซัลฟาโตที่อยู่ท้ายสุดของโมเลกุลทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำ

8) Phosphonic acid dyes

โครงสร้างของสีย้อมชนิดกรดฟอสฟอนิกส่วนใหญ่เป็นสารตัวกลางระเหยง่าย อันได้แก่ 3-aminophenylphosphonic acid ซึ่งเกาะอยู่กับหมู่โครโมเจนโมโนอะโซ กลุ่มรีแอกทีฟประเภทนี้จะมีความเสถียรในการสร้างพันธะกับเส้นใยมากเป็นพิเศษ โดยมีค่าสูงกว่าสีย้อมคลอโรไตรอะซีนที่ย้อมภายใต้สภาพกรด และสีย้อมไวนิลซัลโฟนที่ย้อมภายใต้สภาวะด่าง

2.1.4.3.2 Bifunctional Systems

1) Bis (aminochlorotriazine) dyes

ประกอบด้วยกลุ่มรีแอกทีฟที่เหมือนกัน 2 หมู่ ซึ่งทำให้มีการดูดติดและการยึดเกาะกับเส้นใยสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสีย้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟอะมิโนคลอโรไตรอะซีนเพียงหมู่เดียว รวมทั้งมีปริมาณสีย้อมที่หลุดไปกับน้ำทิ้งน้อยกว่าด้วย สำหรับขนาดของโมเลกุลจะมีค่าเป็นสองเท่าของสีย้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟเดียว นอกจากนั้นสีย้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟ 2 กลุ่ม จะเกิดการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำต่ำกว่าที่มีกลุ่มรีแอกทีฟเพียงกลุ่มเดียว

2) Bis (aminonicotinotriazine) dyes

ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างสีย้อมอะมิโนคลอโรไตรอะซีนกับเทอเทียรีอะมีน เกิดเป็นอนุพันธ์ของควอทเทอนารีแอมโมเนีย โดยอะตอมไนโตรเจนตัวที่ 4 ที่เพิ่มขึ้นนี้จะเป็นตัวนำพาประจุบวก จึงทำให้พันธะ C—N ที่เชื่อมอยู่กับวงของไตรอะซีนมีสภาพขั้วมากขึ้น และทำให้สีย้อมประเภทนี้เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าสีย้อมที่มีโครงสร้างแบบเดิม

3) Aminochlorotriazine-sulphatoethylsulphone dyes

ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างสีย้อมไดคลอโรไตรอะซีนกับอะริลอะมีนที่มีหมู่ 2-sulphatoethylsulphone ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับเส้นใยได้โดยหมู่โมโนคลอโรไตรอะซีนหรือหมู่ไวนิลซัลโฟน ซึ่งหมู่ไวนิลซัลโฟนนี้จะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าหมู่โมโนคลอโรไตรอะซีน

4) Aminofluorotriazine-sulphatoethylsulphone dyes

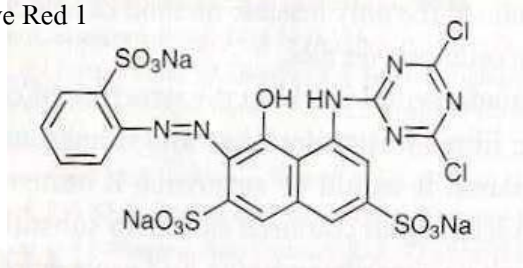
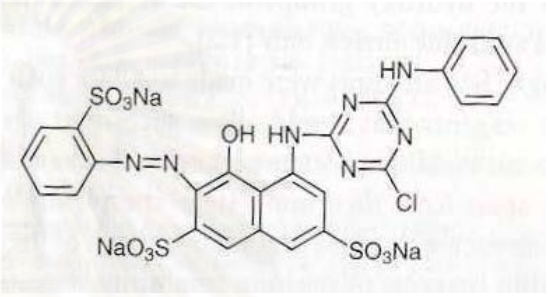
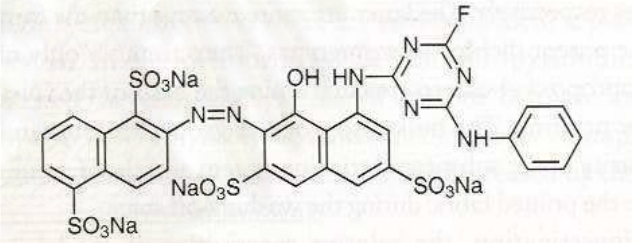
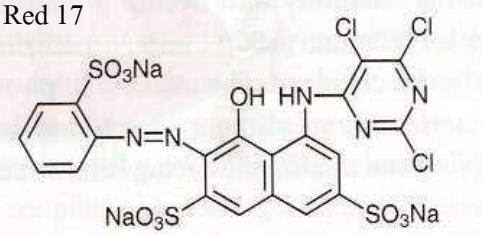
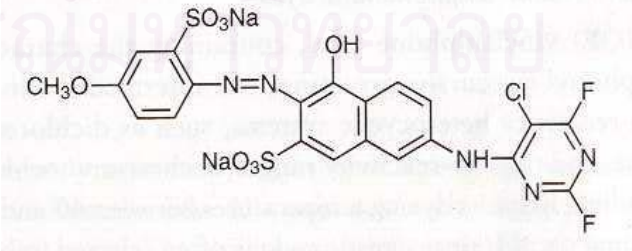
ประกอบด้วยหมู่อะลิฟาติกไวนิลซัลโฟน และ Bridging group คือ โมโนฟลูออโรไตรอะซีนหรืออะริลไวนิลซัลโฟน วัตถุประสงค์การใช้งานของสีย้อมประเภทนี้ได้แก่ ค่าสัมพรรคภาพที่อยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงปานกลาง แต่มีการยึดเกาะสูง สีย้อมชนิดนี้จึงเหมาะสมในการรักษาสภาพแวดล้อมมากที่สุด

2.1.4.4 สีย้อมรีแอกทีฟหมู่อะโซ

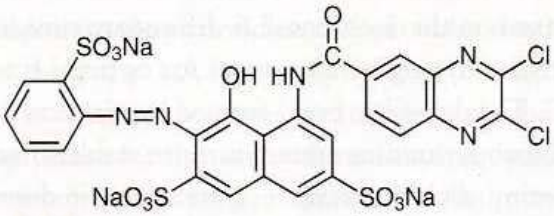
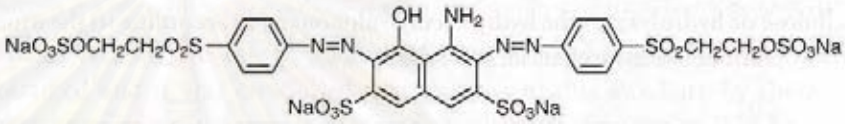
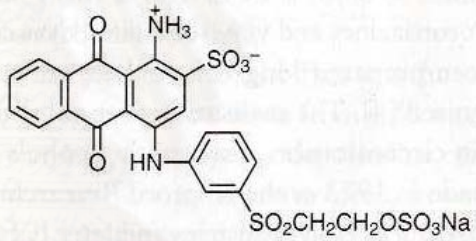
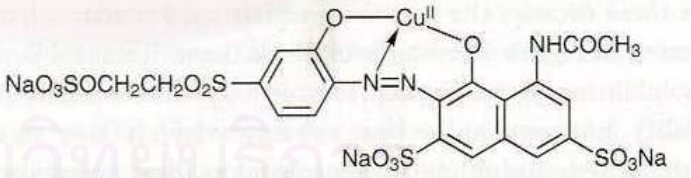
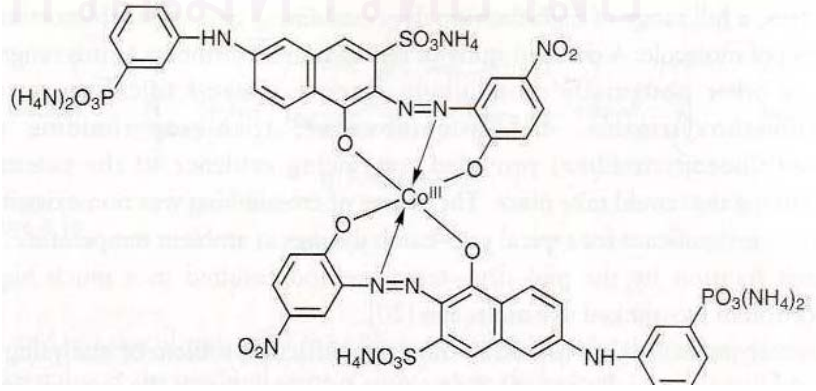
สีรีแอกทีฟเป็นชื่อสีย้อมที่เรียกตามลักษณะของการใช้งาน ซึ่งสีย้อมชนิดดังกล่าวมีความเหมาะสมต่อการย้อมเส้นใยเซลลูโลสและมีคุณสมบัติการละลายน้ำที่ดี และต้องการสภาวะการย้อมที่เป็นด่าง สำหรับสีย้อมรีแอกทีฟหมู่อะโซจะมีโครงสร้างโครโมฟอร์ของโมเลกุลเป็นอะโซ (—N=N—) ซึ่งได้แก่สัญลักษณ์กลุ่ม D หรือ Chromophoric group ในโครงสร้างเคมีตามที่แสดงในหัวข้อ 2.1.4.1 ส่วนกลุ่ม Reactive system (X) Bridging group (T) หรือ Solubilising group (S) ในโครงสร้างจะเป็นหมู่ใดก็ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

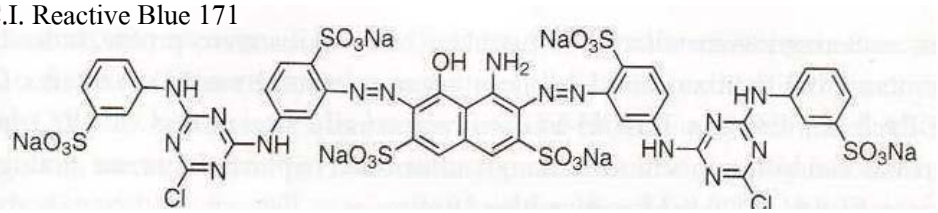
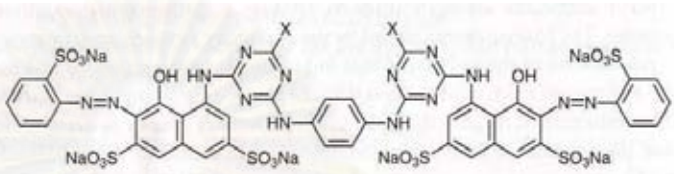
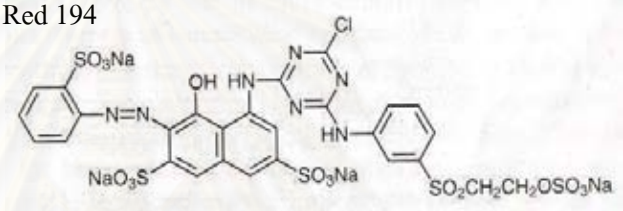
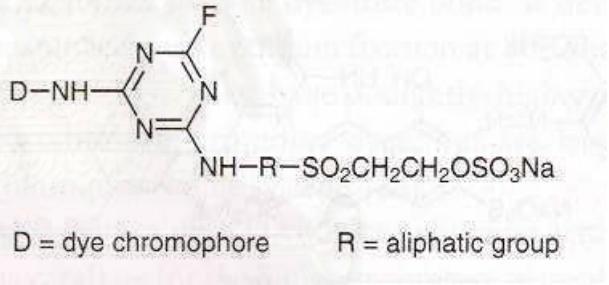
ตารางที่ 2.5 โครงสร้างของสีย้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟประเภท Monofunction (Shore, 1995)

กลุ่มรีแอกทีฟ	ตัวอย่าง
Dichloro-s-triazine	C.I. Reactive Red 1 
Aminochloro-s-triazine	C.I. Reactive Red 3 
Aminofluoro-s-triazine	
Trichloropyrimidine	C.I. Reactive Red 17 
Chlorodifluoro pyrimidine	

ตารางที่ 2.5 โครงสร้างของสีย้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟประเภท Monofunction (ต่อ)

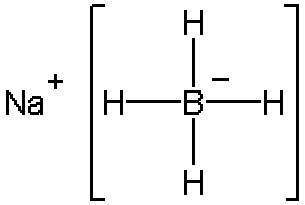
กลุ่มรีแอกทีฟ	ตัวอย่าง
Dichloroquinoxaline	
Sulphatoethyl-sulphone และ -sulphonamide	C.I. Reactive Black 5  C.I. Reactive Blue 19  C.I. Reactive Violet 5 
Phosphonic acid	C.I. Reactive Red 179 

ตารางที่ 2.6 โครงสร้างของสีย้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟประเภท Bifunction (Shore, 1995)

กลุ่มรีแอกทีฟ	ตัวอย่าง
Bis (aminochlorotriazine)	C.I. Reactive Blue 171 
Bis (aminonicotinotriazine)	C.I. Reactive Red 221 : Substituent X = Nicotino 
Aminochlorotriazine-sulphatoethylsulphone	C.I. Reactive Red 194 
Aminofluorotriazine-sulphatoethylsulphone	

2.1.5 โซเดียมโบโรไฮไดรด์

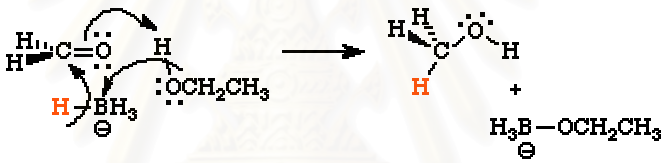
โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นสารรีดิวซ์อย่างแรงที่มักใช้กันในรูปของสารละลาย และมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม ยกตัวอย่างเช่น ใช้ทำปฏิกิริยารีดักชันนิกเกิล ทู คลอไรด์ (Nickel (II) chloride) เพื่อผลิตผิวนิกเกิลบนพลาสติกสำหรับเป็นต้นแบบตัวบันทึกไวนิลคุณภาพสูง (High – quality Vinyl Record Masters)



Soduim borohydride

รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างอย่างง่ายของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (University of Bristol, 2001)

สารรีดิวซ์โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นแหล่งของไฮไดรด์ (H^+) ซึ่งมันจะให้ไฮโดรเจนอิออนแก่สารที่ทำปฏิกิริยาด้วย และตัวมันเองจะกลายเป็น BH_3^- ดังตัวอย่างของปฏิกิริยาการแทนที่หมู่คาร์บอนิลในคีโตนโดยโซเดียมโบโรไฮไดรด์



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาการแทนที่ในหมู่คาร์บอนิลโดยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (University of Bristol, 2001)

2.1.5.1 การใช้งาน (University of Bristol, 2001)

การนำไปใช้งานของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในปัจจุบันสรุปได้ดังนี้

1. ใช้กำจัดโลหะออกจากน้ำเสียอุตสาหกรรมเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่

โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นสารรีดิวซ์ที่ใช้ในการกำจัดโลหะออกจากน้ำเสียอุตสาหกรรมหรือกระบวนการตกแต่งผิวโลหะ ยกตัวอย่างเช่น อุตสาหรรมถ่ายภาพและอิเล็คทรอนิคส์ ซึ่งจะทำให้ได้คุณภาพน้ำที่บำบัดแล้วเป็นไปตามมาตรฐาน และโลหะที่แยกออกได้ในรูปของธาตุมากกว่ารูปเชิงซ้อน ซึ่งเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมนำกลับมาใช้ใหม่ (recovery) ในขณะเดียวกันก็จะเป็นการลดปริมาณของสลัดจ์ได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับการบำบัดด้วยเฟอรัสซัลเฟต นอกจากนั้นยังพบว่าสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในชื่อการค้าคือ Venmet ของ Morton สามารถใช้บำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วยโลหะมีค่าและโลหะหนัก ซึ่งมีความคุ้มค่าทั้งในเชิงประสิทธิภาพและต้นทุนในการนำกลับมาใช้ใหม่ของโลหะทองแดงจากน้ำเสียในการผลิตแผงวงจรไฟฟ้า (Printed circuit board ; PCB) สำหรับโลหะในกลุ่มของทองคำ เงิน และแพลททินัมในน้ำเสียชุบโลหะและ

ในอุตสาหกรรมอื่น พบว่ามีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน และยังเป็นการลดต้นทุนของกระบวนการพร้อมไปกับการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม

2. ใช้เป็นตัวกำเนิดไฮไดรด์และตัวทำระเหยในพลาสมาสเปคโตรมิเตอร์

เทคนิคของเครื่องกำเนิดไฮไดรด์จะใช้ธาตุซึ่งสร้างไฮไดรด์ในสภาพโคเวเลนต์ และอยู่ในสภาวะแก๊สที่อุณหภูมิสูง ธาตุดังกล่าวได้แก่ อาร์เซนิก (As) เซเลเนียม (Se) เทลลูเรียม (Te) พลวง (Sb) บิสมัท (Bi) และ ดีบุก (Sn) และอาจใช้ตะกั่ว (Pb) กับ เจอร์มาเนียม (Ge) ก็ได้ ซึ่งมันจะถูกทำให้ระเหยโดยการเติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (โซเดียมเตตระไฮโดรบอเรต [III]) และสารละลายกรดเกลือลงไป สารเคมีชนิดอื่นก็สามารถใช้ได้เช่นเดียวกันแต่จะเกิดการสร้างไฮไดรด์ที่ช้ากว่าจึงไม่เป็นที่นิยมใช้

3. ใช้ในการผลิตสารเคมี

ในกระบวนการผลิตสารเคมีโบโรไฮไดร์จะถูกใช้เพื่อลดสารเจือปน ควบคุมสี กลิ่น และความเสถียรของสารอินทรีย์เคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้กำจัดสารเจือปนพวกคาร์บอนิล เปอร์ออกไซด์ และสารประกอบโลหะในกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ กลีคอล อะมีนและอะมีด ตลอดจนอีเธอร์

4. ใช้ผลิตเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) จะเป็นแหล่งพลังงานในอนาคตที่สำคัญเพราะเป็นพลังงานที่สะอาดและราคาถูกกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น โดยการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงจะใช้โบโรไฮไดรด์เป็นแหล่งกำเนิดของไฮโดรเจนซึ่งจะเก็บพลังงานจำนวนมากไว้ในรูปของเหลวที่ควบคุมและใช้ได้ง่าย แบตเตอรี่และเซลล์เชื้อเพลิงโบโรไฮไดรด์ถือว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานที่สูง ในขณะที่ใช้พลังงานต่ำและง่ายในการควบคุมในรูปเชื้อเพลิงเหลว ความแตกต่างประการหลักระหว่างเซลล์เชื้อเพลิงโบโรไฮไดรด์กับแบตเตอรี่โบโรไฮไดรด์อยู่ที่การใช้งาน ในกรณีของแบตเตอรี่โบโรไฮไดรด์ทั้งหมดจะถูกบรรจุไว้ตั้งแต่แรก และหลังจากเชื้อเพลิงหมดไปแบตเตอรี่ก็จะหมดอายุใช้งาน หรือในกรณีของเซลล์เชื้อเพลิงมันจะเก็บพลังงานและจ่ายออกไปทางขั้วอิเล็คโทรดทำให้สามารถเติมเชื้อเพลิงใหม่ได้ง่าย

สมการที่ขั้วอิเล็คโทรดของเชื้อเพลิงโบโรไฮไดรด์ คือ

$$BH_4^- + 8\,OH^- \rightarrow BO_2^- + 6\,H_2O + 8\,e^-$$

เชื้อเพลิงดังกล่าวสามารถเก็บไว้ในรูปของเหลวเพื่อเป็นแหล่งผลิตไฮโดรเจนได้ต่อไป

ปฏิกิริยาที่อีกขั้วอิเล็คโทรด

$$8\,e^- + 4\,H_2O + 2\,O_2 \rightarrow 8\,OH^-$$

ดังนั้นปฏิกิริยารวม คือ

$$BH_4^- + 2\,O_2 \rightarrow BO_2^- + 2\,H_2O + \text{High energy}$$

ข้อดีของการใช้หลักการทางเคมีของแบตเตอรี่โบโรไฮไดรด์ในเซลล์เชื้อเพลิงแทนการใช้เชื้อเพลิงอื่นในเครื่องกำเนิดไฮโดรเจนคือการที่ได้พลังงานสูงกว่าในขณะที่ป้อนเชื้อเพลิงเข้าปริมาณเท่ากัน และเซลล์เชื้อเพลิงโบโรไฮไดรด์ก็สามารถเติมและใช้ได้อีกหลายครั้ง ประกอบกับการผลิตโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่ทำได้ในราคาไม่แพง

5. ใช้ผลิตไฮโดรซัลไฟต์เพื่อฟอกสีกระดาษ

ในอุตสาหกรรมฟอกกระดาษจะใช้โบโรไฮไดรด์เป็นสารรีดิวซ์ให้เกิดไฮโดรซัลไฟต์ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษด้วยวิธีทางกล (Mechanical pulping process) โดยไฮโดรซัลไฟต์จะเป็นตัวฟอกสีลิกนินในไม้ (ที่มีสีน้ำตาลซึ่งจะเห็นได้ในกระดาษที่ไม่ผ่านการฟอก) ซึ่งเหลือจากกระบวนการทางกลดังกล่าว แต่ถ้าใช้กระบวนการฟอกเยื่อด้วยวิธีทางเคมีลิกนินส่วนใหญ่จะถูกกำจัดออกหมดจึงไม่จำเป็นต้องใช้โบโรไฮไดรด์ สารละลายของโซเดียมโบโรไฮไดรด์หรือที่เรียกว่า Borol สามารถให้ไฮโดรซัลไฟต์ได้เป็นสองเท่าของน้ำหนักตัวมันเอง และมีต้นทุนที่ถูกกว่าการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

2.1.5.2 การผลิตโซเดียมโบโรไฮไดรด์

โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ($NaBH_4$) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว มีคุณสมบัติละลายน้ำได้และจะมีความเสถียรถ้าอยู่ในสภาวะที่เป็นด่าง ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดบอริกกับเมธานอลเพื่อให้ได้ไตรเมทิลบอเรต (Tri-methyl borate) หรือใช้ไดบอเรน (Diborane) มาทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮไดรด์ (Sodium hydride) หรือโซเดียมเมทอกไซด์ (Sodium methoxide) ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งทำให้เกิดโซเดียมโบโรไฮไดรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ) พร้อมทั้งพวกเมทิลที่สามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการใหม่ได้ในรูปของเมธานอล โดยจะต้องกำจัดสิ่งเจือปนและน้ำมันด้วยกระบวนการทำให้บริสุทธิ์เสียก่อน ในการผลิตต้องระมัดระวังมิให้เกิดการระเบิดจากปฏิกิริยาของเมทิลบอเรตกับโซเดียมไฮไดรด์ โดยโบโรไฮไดรด์ที่ผลิตได้จะอยู่ในรูปที่เสถียรในอากาศและความชื้น รวมทั้งไม่ไวต่อการสั่นสะเทือน รูปที่นิยมผลิตได้แก่สารละลาย Borol ที่ประกอบด้วยสารละลาย 12 เปอร์เซ็นต์กับโซดาไฟและน้ำ นอกจากนั้นยังผลิตในรูปของของแข็งชนิดเกร็ด (Granules) ชนิดเม็ด (Pellets หรือ Caplets) และชนิดผง (Powder) ซึ่งมีขนาดแตกต่างกันไป โดยแบบเกร็ดมีขนาด 10 – 40 mesh ส่วนแบบเม็ดมีขนาด 7/16 นิ้ว

สำหรับศักยภาพในปฏิกิริยารีดักชันทางเคมี (E^0_{298}) ของโบโรไฮไดรด์มีค่าเท่ากับ 1.24 โวลท์ เทียบกับไฮโดรเจนอิเล็คโทรดมาตรฐาน

2.1.6 การใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ในการกำจัดสีฟอกย้อม

ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมอันประกอบด้วยหมู่อะโซเป็นสารโครโมฟอร์ สามารถกำจัดสีได้โดยการทำลายพันธะของหมู่อะโซดังกล่าว ปฏิกิริยารีดักชันด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่มีไบซัลไฟต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นวิธีหนึ่งที่มีศักยภาพในการกำจัดสีย้อมชนิดละลายน้ำได้ที่มีองค์ประกอบในหมู่อะโซหรือหมู่อื่นที่ถูกรีดิวซ์ได้ และสีย้อมที่มีโลหะทองแดงเป็นส่วนประกอบ

หลักการกำจัด คือ โซเดียมโบโรไฮไดรด์จะรีดิวซ์ให้โมเลกุลสีย้อมเล็กลง และเป็นผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากสี ซึ่งสามารถนำเข้ากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเทตสลัดจ์ การออกซิไดส์ด้วยสารเคมี การดูดซับด้วยคาร์บอน หรือการตกผลึกของแข็งด้วยสารตกผลึกที่มีประจุบวก (Polycationic agent) ได้โดยไม่เกิดปัญหาตามมา

สมการการแตกตัวของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในน้ำ เป็นดังนี้

$$BH_4^- + 8OH^- \rightarrow B(OH)_4^- + 4H_2O + 8e^- \quad E^0_{298} = 1.24\ V \quad _____ (1)$$

E^0 คือ ค่าศักยภาพการออกซิเดชัน-รีดักชันทางเคมี เทียบกับไฮโดรเจนอิเล็คโทรดมาตรฐาน

แต่โซเดียมโบโรไฮไดรด์ไม่สามารถใช้ได้โดยตรงในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสีย เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วที่พีเอชต่ำกว่าหรือเท่ากับ 8 และมีแนวโน้มที่จะรีดิวซ์ในรูปไฮไดรด์ในสภาพที่เป็นกรด ดังสมการ

$$BH_4^- + 3H_2O + H^+ \rightarrow B(OH)_3 + 4H_2\uparrow \quad \Delta F^0_{298} = -88.8\ kcal/mol\ BH_4^- \quad _____ (2)$$

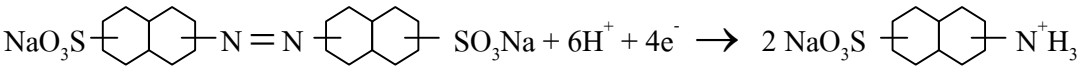
ข้อบกพร่องดังกล่าวแก้ไขได้โดยใช้ไบซัลไฟต์ร่วมกับโบโรไฮไดรด์ ซึ่งโบโรไฮไดรด์นี้จะรีดิวซ์ไบซัลไฟต์ให้เป็น**ไดไธโอไนต์**ได้อย่างรวดเร็วในช่วงพีเอช 5-8 เมื่อไม่มีสารชนิดอื่นที่ถูกรีดิวซ์ได้ ดังนี้

$$BH_4^- + 8HSO_3^- + H^+ \xrightarrow[pH\ 5\text{-}8]{} 4S_2O_4^{2-} + B(OH)_3 + 5H_2O \quad _____ (3)$$

ประสิทธิภาพการผลิตไดไธโอไนต์ ($S_2O_4^{2-}$) โดย BH_4^- มีค่าตั้งแต่ 90% ขึ้นไป จากนั้นไดไธโอไนต์จะแตกตัวได้เองในทันทีเป็นอนุมูลที่มีประจุลบของ SO_2 ตามสมการ

$$4\ S_2O_4^{2-} \rightarrow 2\ [SO_2^{\bullet -}]$$

เหตุผลของการใช้ไบซัลไฟต์เนื่องมาจากการที่หมู่อะโซในสีฟอกย้อมถูกรีดิวซ์ได้ด้วยรีดิวซิ่งเอเจนต์อันได้แก่ ไดไธโอไนต์ กรดฟอร์มามิดีนซัลฟินิก (FAS) หรือดีบุกคลอไรด์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์คือสารประกอบอะโรมาติกอะมีน ดังรูป



กลไกของปฏิกิริยาตามสมการที่ (3) ไม่สามารถระบุได้แน่นอน แต่สรุปได้ว่า $[BH_5]$ และ $[SO_2^{\bullet-}]$ จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนสารตัวกลาง (Intermediate) ของปฏิกิริยา ดังสมการ

$$BH_4^- + H^+ \rightarrow [BH_5] \qquad \text{_____ (4)}$$

$$[BH_5] + 8HSO_3^- \rightarrow\rightarrow 8[SO_2^{\bullet-}] + B(OH)_3 + 5H_2O \qquad \text{_____ (5)}$$

อนุมูล (Radical) ที่มีอิออนลบของ SO_2 เป็นรีดิวซิ่งเอเจนต์อย่างแรง และได้ไบซัลไฟต์เป็นผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกัน

$$[SO_2^{\bullet-}] + H_2O \rightarrow HSO_3^- + H^+ + e^- \qquad \text{_____ (6)}$$

สมการ (4) + (5) ได้ (7)

$$BH_4^- + 8HSO_3^- + H^+ \rightarrow 8[SO_2^{\bullet-}] + B(OH)_3 + 5H_2O \qquad \text{_____ (7)}$$

$$8[SO_2^{\bullet-}] + 2R_1R_2ArN{=}NArR_3R_4 + 4H^+ + 8H_2O \rightarrow 8HSO_3^- + 2R_1R_2ArNH_3^+ + 2R_3R_4ArNH_3^+$$

$$\text{_____ (8)}$$

$$BH_4^- + 2R_1R_2ArN{=}NArR_3R_4 + 5H^+ + 3H_2O \xrightarrow[\text{pH 6}]{HSO_3^-} 2R_1R_2ArNH_3^+ + 2R_3R_4ArNH_3^+ + B(OH)_3$$

$$\text{_____ (9)}$$

สมการที่ (9) ได้จากการรวมสมการที่ (7) และ (8) เข้าด้วยกัน และจะเห็นได้ว่าปริมาณไบซัลไฟต์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจึงเป็นเพียงตัวเร่งปฏิกิริยาหรือโครีเอเจนต์เท่านั้น

การใช้วิธีรีดักชันด้วยโบโรไฮไดรด์โดยมีไบซัลไฟต์เป็นสารตัวกลางเพื่อกำจัดน้ำเสียสีฟอกย้อมที่มีหมู่อะโซ ปัจจุบันถือว่าประสบความสำเร็จในเชิงการค้า-อุตสาหกรรม แต่อย่างไรก็ตามผลผลิตซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างโบโรไฮไดรด์ที่มีไบซัลไฟต์เป็นคู่รีดอกซ์หรือตัวเร่งปฏิกิริยากับโมเลกุลของสีย้อมยังไม่เป็นที่แน่ชัด รวมทั้งยังไม่มีรายละเอียดของค่าสตอยชิโอเมตริกและจลนพลศาสตร์ของกระบวนการ

Voyksner และผู้ร่วมงานพบว่าปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดจากไดไธโอไนต์ หรือ ดีบุกคลอไรด์ ($SnCl_2$) อาจทำให้เกิดอะโรมาติกอะมีนจากหมู่อะโซอย่างง่าย แต่ในกรณีของหมู่อะโซที่มีองค์ประกอบซึ่งไวต่อปฏิกิริยารีดักชัน เช่น $-NO_2$, $-CO_2CH_3$ และ $-CN$ จะทำให้เกิดผลผลิตได้หลายชนิด (Cook, 1996)

ข้อเสียของการใช้โบโรไฮไดรด์ที่มีไบซัลไฟต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา คือ เมื่อใช้บำบัดน้ำเสียที่เจือจางของสีย้อมจะให้ผลเป็นน้ำเสียปริมาตรสูงซึ่งมีการปนเปื้อนของโบรอนและอะโรมาติกอะมีนที่อาจเป็นพิษ ยิ่งไปกว่านั้นปฏิกิริยาข้างเคียงของโบโรไฮไดรด์กับน้ำ และไดไธโอไนต์กับออกซิเจน ทำให้เกิดผลผลิตจากปฏิกิริยารีดักชัน ดังสมการ

การทำปฏิกิริยากับน้ำ : $BH_4^- + 3H_2O + H^+ \rightarrow B(OH)_3 + 4H_2\uparrow$ _____ (2)

การทำปฏิกิริยากับออกซิเจน : $S_2O_4^{2-} + {}^1\!/\!_2\, O_2 \rightarrow S_2O_5^{2-}$ _____(10)

ดังนั้นกระบวนการนี้ควรใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาตรน้อยแต่ความเข้มข้นของสีย้อมสูง

<u>ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมโดยรีดักชันด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์</u>

ถึงแม้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียจริงจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของมลสารที่อยู่ในน้ำเสีย แต่กระบวนการโดยทั่วไปที่ใช้กับน้ำเสียจริงจะมีขั้นตอนดังนี้

1. ปรับพีเอชให้อยู่ระหว่าง 5-6
2. เติมไบซัลไฟต์ (โดยทั่วไปเท่ากับ 200-500 มก. $Na_2S_2O_5$/ลิตร)
3. เติมสารละลายโบโรไฮไดรด์* จนกระทั่งมีค่าโออาร์พีเท่ากับ –500 ~ -600 มิลลิโวลท์ (หรือจนกระทั่งเหลือสีในระดับที่ต้องการ)
4. (ทางเลือก) การเติมสารเคมีประจุบวก (โพลีอะมีน หรือ โคแอกกูแลนท์ที่มีอลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบ) ตามด้วยการกรอง
5. การดูดซับด้วยคาร์บอน การออกซิไดส์ด้วยเปอร์ออกไซด์ หรือบำบัดขั้นสุดท้ายด้วยระบบทางชีวภาพ

หมายเหตุ * ใช้สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 1.2% ซึ่งเตรียมจากสารละลายที่มีจำหน่าย ซึ่งมีความเข้มข้นของ $NaBH_4$ 12% และ NaOH 40% ซึ่งเป็นรูปที่เสถียรของสารละลาย

<u>ความเหมาะสมในทางปฏิบัติของการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ในกระบวนการกำจัดสี</u>

(Decolorization)

กระบวนการนี้ให้ผลที่เสถียรทางเคมี และสร้างผลิตภัณฑ์ คือ กรดบอริกกับโซเดียมไบซัลไฟต์ซึ่งเป็นผลพลอยได้ ไบซัลไฟต์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถปล่อยออกโดยไม่จำเป็นต้องมีการบำบัดเพิ่มเติม (แม้ว่าไบซัลไฟต์จะถูกออกซิไดส์โดยอากาศเป็นซัลเฟตได้) วิธีบำบัดดังกล่าวเป็นได้ทั้งแบบทีละเท (Batch) และแบบต่อเนื่อง และสามารถใช้ระบบจ่ายโบโรไฮไดรด์อัตโนมัติที่ควบคุมด้วยเครื่องโออาร์พี กระบวนการนี้จะรีดิวซ์สีย้อมกลุ่มอะโซที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนไปเป็นหมู่อะมีนที่ไม่ใช่สารโครโมฟอร์และมีโมเลกุลเล็กลง หรือในกรณีของสารประกอบเชิงซ้อนของทองแดง ก็จะรีดิวซ์ทองแดงอิออนไปเป็นโลหะทองแดง สิ่งที่ได้จาก

ปฏิกิริยารีดักชันจะถูกแยกออกในรูปของของแข็ง หรือในกรณีของอะมีนที่เป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาจะถูกดูดซับบนคาร์บอน ออกซิไดส์หรือบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพ

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Cook (1996) ทำการศึกษาปฏิกิริยารีดักชันโดยโบโรไฮไดรด์ที่มีไบซัลไฟต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อกำจัดสีย้อมที่ละลายน้ำได้ประเภทไดเร็ค แอซิด และรีแอกทีฟ ทั้งหมดประกอบด้วยโครงสร้างเคมีของหมู่อะโซ โดยศึกษาที่พีเอชเท่ากับ 6 ณ อุณหภูมิบรรยากาศ และทำการเปรียบเทียบระหว่างรีดิวซิ่งเอเจนต์ อันได้แก่ไดไธโอไนต์กับ FAS (Formamidine Sulfinic Acid) ผลปรากฏว่า FAS ไม่สามารถลดสีในน้ำเสียได้เลย ในขณะที่การรีดิวซ์พันธะเคมีของอะโซด้วยโบโรไฮไดรด์จะให้ผลผลิตเป็นอะโรมาติกอะมีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลง และเป็นการกำจัดสีพร้อมกันไปด้วย สำหรับสีย้อมที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบได้ทดลองร่วมกับการใช้สารโคแอกกูแลนท์ประจุบวกตามด้วยโพลิเมอร์ประจุลบ โดยเติมในขณะทำปฏิกิริยาหรือหลังการทำปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสี

นอกจากนั้น Cook ยังได้ศึกษากับน้ำเสียจริงทางอุตสาหกรรมซึ่งเป็นส่วนผสมของสีย้อมในกลุ่มอะโซ โดยใช้โบโรไฮไดรด์ที่มีไบซัลไฟต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อรีดิวซ์สีย้อม ตามด้วยการตกผลึกของแข็งด้วยสารโคแอกกูแลนท์ประจุบวก และพบว่าประสิทธิภาพการรีดิวซ์สีมีมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ ที่พีเอช 5~6 ด้วยการเติมไบซัลไฟต์ก่อนหน้า (200-500 มก.$Na_2S_2O_5$/ลิตร) หลังจากนั้นจึงเติมสารละลายด่างของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในปริมาณมากกว่าทฤษฎีเพียงเล็กน้อยจากค่าสตอยชิโอเมตริก ปฏิกิริยาที่เกิดจะเสถียรอยู่ที่พีเอช 5.5-7.0

Larson และคณะ (1996) ศึกษาการกำจัดสารประกอบไนโตรอะโรมาติกโดยวิธีรีดักชันทางเคมีโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ในสภาวะที่เป็นด่างปริมาณมากเกินพอร่วมกับการสัมผัสแสงอุลตร้าไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่นสูงกว่า 280 นาโนเมตร ซึ่งทำให้เกิดการสลายตัวของสารประกอบไนโตรอะโรมาติกได้มาก ในขณะที่การบำบัดกากของเสียที่มีสารประกอบชนิดนี้ด้วยวิธีออกซิเดชันจะไม่สามารถทำได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากการย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ใช้อากาศทำได้ยากรวมทั้งมีความทนทานต่อสารออกซิไดส์ที่ใช้

ผลการทดลองพบว่าอัตราการกำจัดสารประกอบไนโตรอะโรมาติกทั้ง 4 ชนิดที่ทำการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นแม้ว่าจะทำการทดลองในสภาวะไร้ออกซิเจน นอกจากนี้ยังเกิดผลิตผลที่ได้จากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเกชัน ดีซัลโฟเนชัน รีดักชัน และการควบแน่นขึ้นด้วย โดยปฏิกิริยาโฟโตรีดักชันเกิดขึ้นจากกลไกการถ่ายเทอิเล็คตรอนจากโบโรไฮไดรด์ไปยังสารประกอบไนโตร

สารประกอบไนโตรอะโรมาติกเป็นสารมลพิษที่สำคัญเนื่องจากความเป็นพิษ ความเสถียรในสิ่งแวดล้อมและสามารถเกิดเป็นสารประกอบที่มีพิษมากยิ่งขึ้นได้ เช่น สารประกอบไนโตรโซ

ตามปกติจะพบสารประกอบไนโตรอะโรมาติกในรูปของโมโนไนโตร ไดไนโตร และไตรไนโตรในวงเบนซีน ในบางครั้งอาจพบในรูปของสารมลพิษที่อยู่ในน้ำ ไดไนโตรโทลูอีน (DNTs : ไอโซเมอร์ 2,4- และ 2,6-) ที่ถูกปล่อยจากกระบวนการผลิตสารไนโตรโทลูอีน 2,4,6- หรือ TNT รวมทั้งอุตสาหกรรมผลิตโฟมโพลียูรีเทน ซึ่งใช้ DNT เป็นสารสังเคราะห์ สำหรับสารประกอบไนโตรอะโรมาติกชนิดอื่นๆ ได้แก่ ไดไนโตรเบนซีน ซัลโฟนิก แอซิด และสารประกอบไนโตรในรูปที่ถูกรีดิวซ์ได้ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตอาวุธสงคราม

สารประกอบโนโตรอะโรมาติกนั้นค่อนข้างเสถียรในสภาวะมีอากาศเนื่องจากสถานะออกซิไดส์ที่มีค่าสูง แต่เกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้นในสภาวะไร้อากาศที่เกิดรีดักชันได้ ปัจจุบันน้ำเสียจากการผลิต TNT ซึ่งประกอบด้วยไนโตรซัลโฟนิกแอซิด และสารปนเปื้อนอีกหลายชนิดเป็นปัญหาอย่างยิ่งต่อการบำบัด เนื่องจากรดเหล่านี้มีอิเล็คตรอนน้อยมากทำให้กำจัดโดยกระบวนการออกซิเดชันแบบธรรมดาได้ยาก วิธีการที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันคือการเผากากของเสียที่อุณหภูมิสูง จากนั้นจึงนำไปฝังกลบในหลุมที่ถูกสุขลักษณะ

สารประกอบไนโตร ณ สภาวะที่ถูกกระตุ้นสามารถเกิดปฏิกิริยาได้หลายชนิด สำหรับสารประกอบไนโตรอะโรมาติกมักเกิดปฏิกิริยาแทนที่แบบ Nucleophilic เช่นปฏิกิริยารีดักชันรวมทั้งปฏิกิริยาบางชนิดที่นำไปสู่โฟโต้รีดักชันได้ ยกตัวอย่างเช่น การเกิดปฏิกิริยากับเมทอกไซด์ ไซยาไนด์ และโบโรไฮไดรด์ ดังนั้นสารประกอบไดโนอะโรมาติกจะสามารถเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้นเมื่อถูกเพิ่มตัวให้อิเล็คตรอนหรือเพิ่มปฏิกิริยาการแทนที่แบบนิวคลิโอไฟล์

สารรีแอกแตนท์สำหรับการย่อยสลายแบบโฟโต้เคมิคัลเพื่อลดจำนวนอิเล็คตรอนของสารมลพิษอะโรมาติกซึ่งทำการศึกษาโดย Epling และคณะ สามารถเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาสำหรับโฟโต้รีดักชันของพีซีบีได้เป็นอย่างมาก โดยการเติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ($NaBH_4$) การทดลองเริ่มจากให้พลังงานกระตุ้นพีซีบีด้วยแสงยูวีความยาวคลื่นสั้นที่ 254 นาโนเมตร ซึ่งจะถูกดูดซึมด้วยสารประกอบดังกล่าว และเนื่องจากสีแดงที่อยู่ในน้ำเสียเรดวอเตอร์สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ที่สูงกว่านี้ การทดลองนี้ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะทำการย่อยสลายน้ำเสียชนิดดังกล่าวและทำลายสารประกอบไนโตรด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์โดยให้สัมผัสแสงอาทิตย์แล้วจึงบำบัดด้วยสารละลายโบโรไฮไดรด์ในรูปที่เป็นด่าง

ในการทดลองใช้สารประกอบไนโตรอะโรมาติกได้แก่ 1,3-ไดไนโตรเบนซีน (DNB) 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน (DNT) 2,4-ไดไนโตรเบนซีนซัลโฟนิกแอซิด (DNBSA) และ 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน-3-ซัลโฟนิกแอซิด (DNTSA) โดยทำการทดลองภายใต้สภาวะต่างๆ กัน 4 สภาวะ คือ การเกิดปฏิกิริยาในที่มืด การเกิดปฏิกิริยาภายใต้แสง และการเกิดปฏิกิริยาในสภาวะไร้อากาศและมีอากาศ ผลิตผลที่ได้จากปฏิกิริยาจะทำการตรวจสอบโดยเครื่อง HPLC เทียบกับสารมาตรฐาน และยืนยันผลด้วยเครื่อง GC/MS เพื่อตรวจสอบมวลโมเลกุล จากการตรวจสอบด้วยเครื่องมือ HPLC และ GC/MS พบว่าสารประกอบที่เกิดขึ้นหลังจากปฏิกิริยาได้แก่ 3-ไนโตรแอนนิลีน อะโซ อะซอกซี

2-เมทิล-5-ไนโตรแอนนิลีน 4-เมทิล-3-ไนโตรแอนนิลีน ฟีนิลไฮดรอกซีอะมีน ไดไนโตรไดเมทิลอะโซ ไดไนโตรไดเมทิลอะซอกซี และ Meisenheimer complex

นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาผลของออกซิเจนต่อปฏิกิริยาโฟโต้เคมิคอล กล่าวคือออกซิเจนจะลดอัตราการสลายตัวของสารประกอบไนโตรอะโรมาติก เนื่องจากเป็นตัวขัดขวางการเกิดของสภาวะที่ถูกกระตุ้นและอนุมูลอิสระ นอกจากนั้นออกซิเจนยังเป็นตัวรับอิเล็คตรอนที่ดี ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดปฏิกิริยาจึงต้องกำจัดออกซิเจนออกให้หมด

Laszlo (1997) ศึกษาการรีเจนเนอเรทควอเทอร์ไนซ์เซลลูโลสที่อิ่มตัวด้วยสีย้อมโดยการทำลายพันธะอะโซด้วยปฏิกิริยารีดักชันโดยโบโรไฮไดรด์ที่มีไบซัลไฟต์เป็นสารตัวกลาง พบว่าเซลลูโลสแลกเปลี่ยนอิออนชนิดควอเทอร์ไนซ์เซลลูโลสและควอเทอร์ไนซ์ลิกโนเซลลูโลสที่อิ่มตัวด้วยสีย้อมซึ่งมีหมู่โมโนอะโซ ได้แก่ สีแอซิดออเรนจ์ และ สีรีแอกทีฟเรด 180 เมื่อทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะระหว่างหมู่อะโซกับเซลลูโลสด้วยปฏิกิริยารีดักชันโดยคู่ปฏิกิริยารีดอกซ์ คือ โปแตสเซียมโบโรไฮไดรด์และโซเดียมไบซัลไฟต์ ($KBH_4/NaHSO_3$) จะสามารถฟื้นคุณสมบัติการแลกเปลี่ยนประจุได้มากกว่า 74 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้รีเจนเนอแรนท์ชนิดธรรมดา ทั้งนี้ทำให้นำเซลลูโลสกลับมาใช้ใหม่ได้ จึงเป็นการลดต้นทุนการผลิตของเซลลูโลสแลกเปลี่ยนประจุลง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เครื่องมือ

1) เครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง Horiba (pH meter)
2) เครื่องวัดศักย์ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน Hana (ORP meter)
3) เครื่องกวนจาร์เทสต์ (Jar test)
4) เครื่องยูวีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (UV Spectrophotometer)
5) เครื่องกวนชนิดแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
6) เครื่องชั่งละเอียด
7) เครื่องแก้ว
8) เครื่องกรองบุคเนอร์ (Buchner funnel) และกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C) เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร

3.1.2 สารเคมี

1) สารรีดิวซ์ : สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (SBH) 1.2 เปอร์เซ็นต์ เตรียมจากสารละลาย สต๊อกซึ่งมีความเข้มข้นของ $NaBH_4$ 12 เปอร์เซ็นต์ (อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตร) และ NaOH 40 เปอร์เซ็นต์ (อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตร)

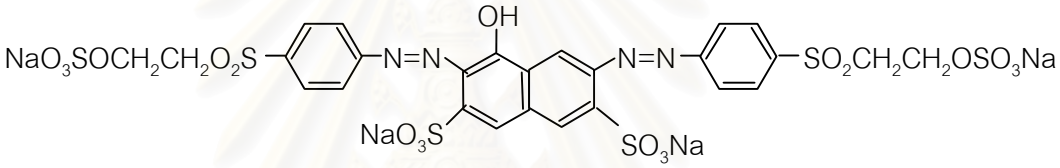
   เตรียมโดยละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามอัตราส่วนดังกล่าวข้างต้น

2) ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) หรือ สารตัวกลาง (Intermediate) :
   - โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) หรือ โซเดียมไบซัลไฟต์ ($NaHSO_3$) ชนิดผง
3) สารปรับพีเอช : - สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl)
   - สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
4) สีย้อม : รีแอกทีฟที่มีหมู่อะโซโทนดำ แดง และน้ำเงิน
5) สารรีดิวซ์เปรียบเทียบ : โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_4$) ซึ่งอยู่ในรูปของโซเดียมไดไธโอไนต์ ($Na_2S_2O_4 + H_2O$)

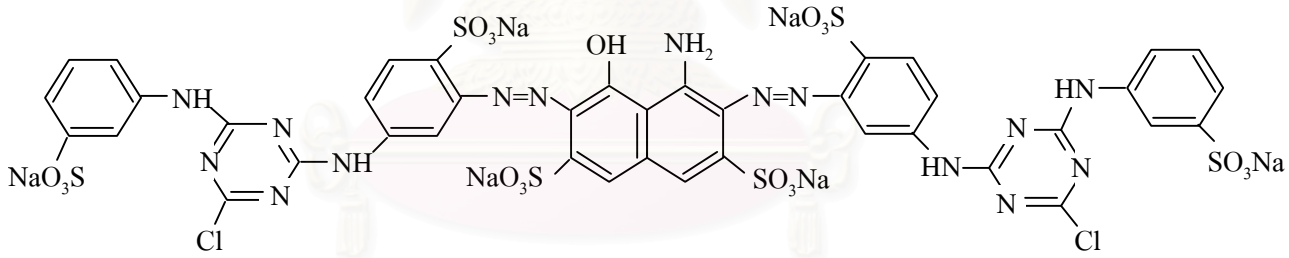
ตารางที่ 3.1 สีย้อมที่ใช้ในการทดลอง

Dyes	Reactive System	Chemical Class
C.I. Reactive Black 5 (Remazol Black B gran 133%)	Sulphatoethylsulphone	Diazo
C.I. Reactive Red 180 (Remazol Brilliant Red F3B Granulate)	Sulphatoethylsulphone	Monoazo
C.I. Reactive Blue 171 (Navy H-ER 150)	Bis (Aminochlorotriazine)	Diazo

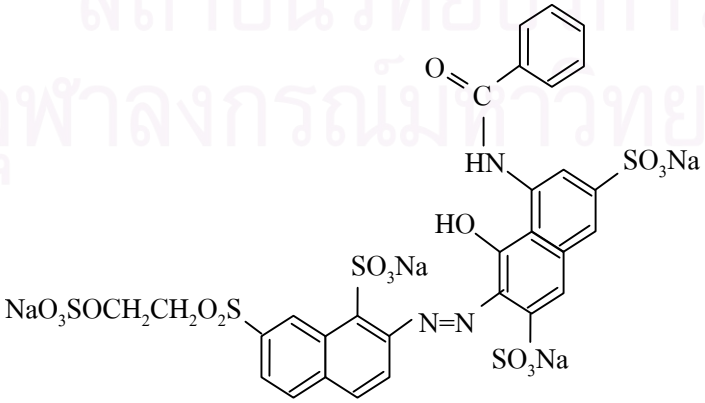
C.I. Reactive Black 5



C.I. Reactive Blue 171



C.I. Reactive Red 180



รูปที่ 3.1 โครงสร้างเคมีของสีย้อมที่ใช้ในการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.3 น้ำเสียสังเคราะห์ (สารละลายของสีย้อม) : ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2 พารามิเตอร์ของการทดลอง

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	
1. ชนิดของสีย้อม	สีย้อมรีแอกทีฟที่มีหมู่อะโซ โทนดำ แดง และน้ำเงิน
2. ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์	50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ชนิดของสารเคมี	โซเดียมโบโรไฮไดรด์ และโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์
4. พีเอชเริ่มต้น	พีเอช 4 พีเอช 10 และไม่ปรับพีเอช
5. อุณหภูมิ	28 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส
ตัวแปรคงที่	
1. ปริมาณสารเคมี	<u>การทดลองที่ 3.4.1</u> - SBH และ $Na_2S_2O_5$ = 5 และ 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก <u>การทดลองที่ 3.4.2</u> - SBH = 1 3 5 และ 7 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก - $Na_2S_2O_5$ = 10 และ 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก <u>การทดลองที่ 3.4.3</u> - $Na_2S_2O_5$ = 2 3 และ 4 เท่าของปริมาณสาร SBH ที่เหมาะสม
2. ปริมาณน้ำเสีย	1.5 ลิตร
3. ความเร็วรอบในการกวน	100 รอบต่อนาที (มณีรัตน์, 2542)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 พารามิเตอร์ของการทดลอง (ต่อ)

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรตาม	
1. เวลาในการเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์	ระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสม (นาที)
2. สมบัติของสารละลายหลังปฏิกิริยา	- พีเอช - โออาร์พี - ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือในหน่วยของค่าสี SU และ ADMI
3. ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน	- เปอร์เซ็นต์การกำจัดสี

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

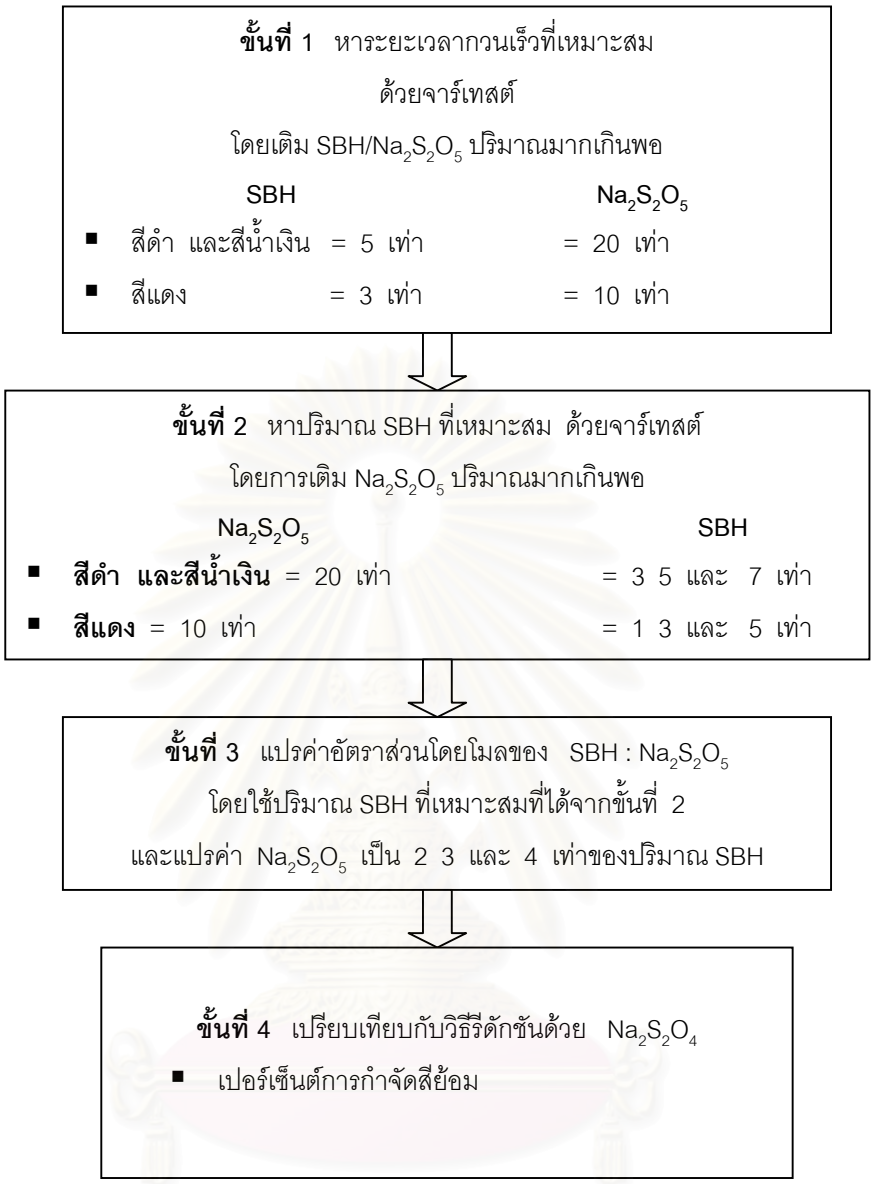
3.3.1 ศึกษาระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยสมบูรณ์ของสีย้อมกับโซเดียมโบโรไฮไดรด์/โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ โดยการทดสอบด้วยจาร์เทสต์

3.3.2 หาค่าพีเอชและปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมในการกำจัดสีโดยการทดสอบด้วยจาร์เทสต์

3.3.3 แปรค่าอัตราส่วนของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ : โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ เป็น 2 3 และ 4 เท่าของปริมาณสารเคมี SBH ที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2

3.3.4 เปรียบเทียบกระบวนการกำจัดสีกับวิธีรีดักชันด้วยโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_4$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 แผนผังการทดลอง

3.4 วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 3.4.1 ศึกษาระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยสมบูรณ์ของสีย้อมกับโซเดียมโบโรไฮไดรด์/โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์

หาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสีย้อมกับโซเดียมโบโรไฮไดรด์/โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ โดยศึกษาในรูปความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการกวนเร็วกับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น รวมทั้งปริมาณสีย้อมที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ ณ เวลาต่างๆ เพื่อหาระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ และนำไปใช้เป็นเวลากวนเร็วของการทดลอง โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

3.4.1.1 เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ของสารละลายสีย้อมประเภทต่างๆ จากข้อ 3.1.3 ปริมาตร 1,500 มิลลิลิตร อย่างละ 1 ตัวอย่าง โดยบรรจุในบีกเกอร์ และวัดพีเอชเริ่มต้น

3.4.1.2 เติมโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ในรูปผง (เพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับอากาศหากเตรียมในรูปของสารละลาย) คนจนละลายหมด แล้วจึงเติมโซเดียมไบโรไฮไดรด์ โดยใช้ปริมาณสารเคมีทั้งสองชนิดที่มากเกินพอดังนี้

- สี C.I. Reactive Black 5 ใช้ปริมาณสารเคมี 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก
- สี C.I. Reactive Red 180 ใช้ปริมาณสารเคมี 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก
- สี C.I. Reactive Blue 171 ใช้ปริมาณสารเคมี 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

3.4.1.3 นำเข้าเครื่องจาร์เทสต์ กวนเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 1 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 60 นาที หลังจากหยุดกวนเร็วแล้วจึงทิ้งไว้จนครบ 120 นาที (2 ชั่วโมง) เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย

ค่าสตอยชิโอเมตริกคำนวณจากสมการเคมี คือ

$$BH_4^- + 8HSO_3^- + H^+ \rightarrow 8[SO_2^{\bullet -}] + B(OH)_3 + 5H_2O$$

$$8[SO_2^{\bullet -}] + 2R_1R_2ArN{=}NArR_3R_4 + 4H^+ + 8H_2O \rightarrow 8HSO_3^- + 2R_1R_2ArNH_3^+ + 2R_3R_4ArNH_3^+$$

เมื่อรวม 2 สมการข้างต้นเข้าด้วยกันจะได้สมการของปฏิกิริยารีดักชัน คือ

$$BH_4^- + 2R_1R_2ArN{=}NArR_3R_4 + 5H^+ + 3H_2O \xrightarrow[pH\ 6]{HSO_3^-} 2R_1R_2ArNH_3^+ + 2R_3R_4ArNH_3^+ + B(OH)_3$$

ปริมาณสตอยชิโอเมตริกของ $NaBH_4$ = 0.5 เท่าของจำนวนโมลของสีย้อม

สรุป**อัตราส่วนโดยโมล**ของสมการเคมีคือ

ไบซัลไฟต์ : โซเดียมโบโรไฮไดรด์ : สีย้อม = 8 : 1 : 2

(HSO_3^-) (SBH) (dyes)

และสมการการแตกตัวของโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์เป็นดังนี้

$$Na_2S_2O_5 \rightarrow 2Na^+ + S_2O_5^{2-} \quad \text{..... (3.1)}$$

$$H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^- \quad \text{.....(3.2)}$$

$$S_2O_5^{2-} + H_2O \leftrightarrow 2\,SO_3^- + H_2 \quad \text{.....(3.3)}$$

เมื่อรวมสมการที่ 3.1 ถึง 3.3 จะได้สมการที่ 3.4 คือ

$$Na_2S_2O_5 + H_2O \leftrightarrow 2\,SO_3^- + H_2 + 2Na^+ \quad \text{..... (3.4)}$$

หรือ

$$S_2O_5^{2-} + H_2O \rightarrow 2HSO_3^- \quad \text{..... (3.5)}$$

ดังนั้นการผลิตไบซัลไฟต์จึงเป็นไปตามอัตราส่วนของ $Na_2S_2O_5 : HSO_3^- = 1 : 2$ นั่นคือ**ปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ในการทดลอง**จะเท่ากับ

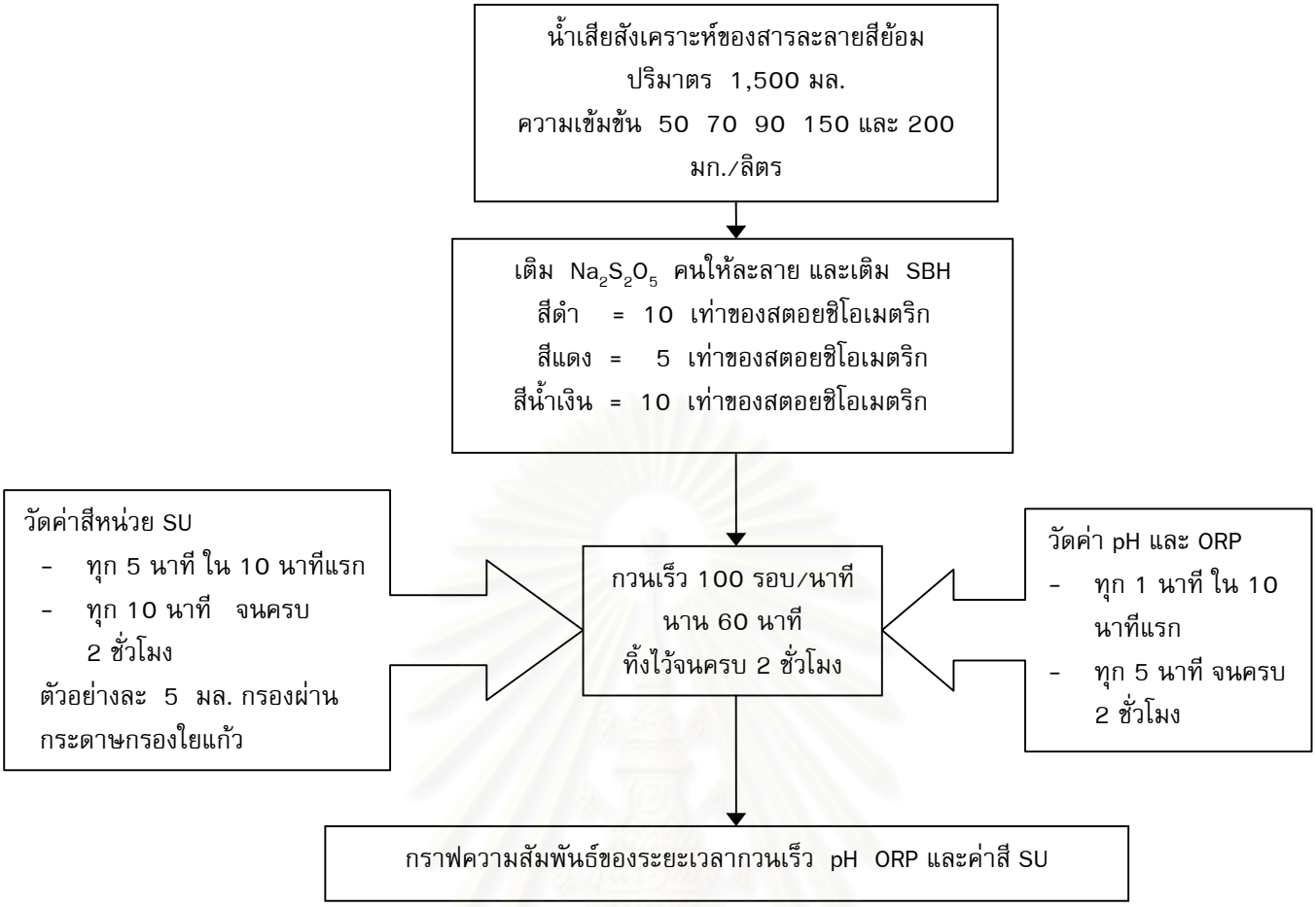
โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ : โซเดียมโบโรไฮไดรด์ : สีย้อม = 4 : 1 : 2

($Na_2S_2O_5$) (SBH) (dyes)

3.4.1.4 วัดค่าพีเอช โออาร์พี และปริมาณสีย้อมที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยทำการวัดค่าพีเอชและโออาร์พีทุก 1 นาที ภายใน 10 นาทีแรก หลังจากนั้นวัดค่าทุกๆ 5 นาที จนหยุดกวนเร็วและจนกระทั่งครบ 120 นาที สำหรับค่าสีคงเหลือวัดโดยเก็บตัวอย่างน้ำทุก 5 นาที ภายใน 10 นาทีแรก หลังจากนั้นจึงเก็บตัวอย่างทุกๆ 10 นาที จนครบ 120 นาที ปริมาตรของแต่ละตัวอย่างเท่ากับ 5 มิลลิลิตร โดยนำสารละลายไปกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C) และนำไปวัดค่าสีในหน่วย SU ในทันทีที่เก็บตัวอย่างเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง

3.4.1.5 หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการกวนเร็วกับพีเอช โออาร์พี และค่าสีที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ในหน่วย SU เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ และนำไปใช้เป็นระยะเวลากวนเร็วของการทดลองต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 แผนผังการทดลองที่ 3.4.1

การทดลองที่ 3.4.2 หาค่าพีเอชและปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมในการกำจัดสี

ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีฟอกย้อมออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่มีไบซัลไฟต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทดลองใน 2 องค์ประกอบ คือ พีเอช (ช่วงที่เป็นกลาง เป็นด่าง และช่วงพีเอชปกติ) และปริมาณสารเคมีที่ใช้

3.4.2.1 เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ของสารละลายสีย้อมแต่ละประเภท แต่ละความเข้มข้น ปริมาตร 1,500 มิลลิลิตร บรรจุในบีกเกอร์ วัดพีเอช โออาร์พี และค่าสีเริ่มต้นในหน่วย SU และ ADMI

3.4.2.2 เติมโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์และโซเดียมโบโรไฮไดรด์ โดยแปรค่าปริมาณสารเคมีที่ใช้ดังนี้

<u>โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์</u>

- สี C.I. Reactive Black 5 ใช้ปริมาณสารเคมี 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก
- สี C.I. Reactive Red 180 ใช้ปริมาณสารเคมี 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก
- สี C.I. Reactive Blue 171 ใช้ปริมาณสารเคมี 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

โซเดียมโบโรไฮไดรด์

- สี C.I. Reactive Black 5 ใช้ปริมาณสารเคมี 3 5 และ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก
- สี C.I. Reactive Red 180 ใช้ปริมาณสารเคมี 1 3 และ 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก
- สี C.I. Reactive Blue 171 ใช้ปริมาณสารเคมี 3 5 และ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

3.4.2.3 กวนเร็วตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.1

3.4.2.4 วัดค่าพีเอช, โอออาร์พี และค่าสีของน้ำเสียในหน่วย SU และ ADMI

- การวัดค่าพีเอช และโอออาร์พี วัดค่าทุก 5 นาที จนกระทั่งหยุดกวนเร็ว หลังจากนั้นจึงวัดค่าทุก 10 นาที จนถึงนาทีที่ 60 และทุกๆ 20 นาที จนครบ 120 นาที
- การวัดค่าสี SU และ ADMI เก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 5 มิลลิลิตร ในนาทีที่ 5 20 40 60 80 100 และ 120 นำมากรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C) แล้ววัดสี

3.4.2.5 หาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดสีกับค่าโอออาร์พี และพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ประสิทธิภาพในการกำจัดสีคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(A - B)}{A} \times 100$$

A = ค่าสีก่อนบำบัด

B = ค่าสีหลังบำบัด

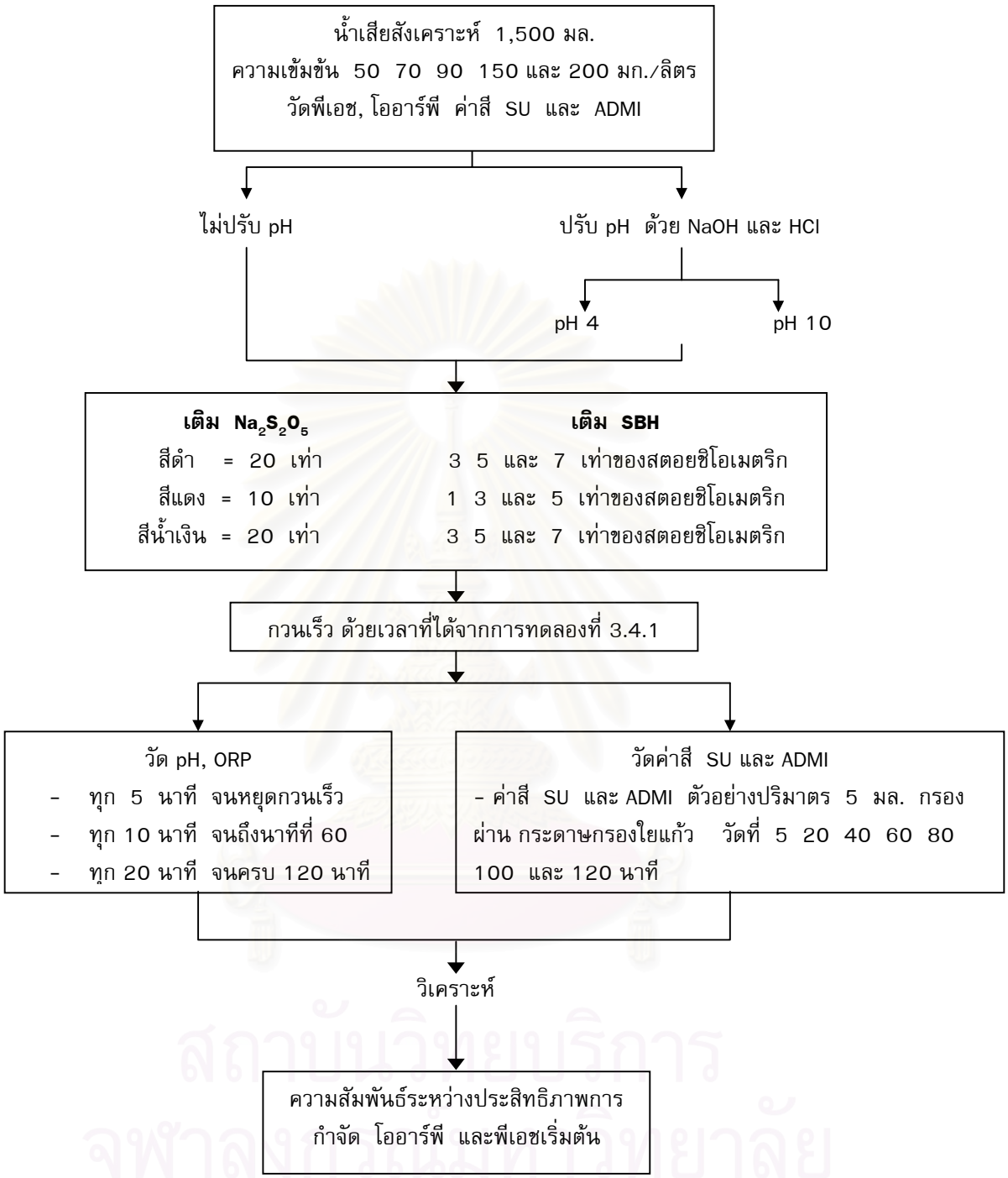
3.4.2.6 ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.4.2.1) ถึง 3.4.2.5 ADMI) แต่ปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนเติมโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์และโซเดียมโบโรไฮไดรด์ เป็น 4 (กรด) และ 10 (ด่าง) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดไฮโดรคลอริก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองของการทดลองที่ 3.4.2

สีย้อม	จำนวนเท่าของสารเคมี		พีเอช		
	$Na_2S_2O_5$	SBH	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
C.I. Reactive Black 5	20x	3x	4	ปกติ	10
	20x	5x	4	ปกติ	10
	20x	7x	4	ปกติ	10
C.I. Reactive Red 180	10x	1x	4	ปกติ	10
	10x	3x	4	ปกติ	10
	10x	5x	4	ปกติ	10
C.I. Reactive Blue 171	20x	3x	4	ปกติ	10
	20x	5x	4	ปกติ	10
	20x	7x	4	ปกติ	10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 แผนผังการทดลองที่ 3.4.2

การทดลองที่ 3.4.3 แปรค่าอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ : โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์

เมื่อได้ค่าพีเอชและปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.4.2 แล้ว จะนำค่าดังกล่าวมาใช้ในการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างสารรีดิวซ์คือโซเดียมโบโรไฮไดรด์

ต่อสารเร่งปฏิกิริยาไบซัลไฟต์ โดยแปรค่าปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์เท่ากับ 2 3 และ 4 เท่าของปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.2 นั่นคือจะแปรค่าอัตราส่วนโดยโมลตามสตอยชิโอเมตริกของ SBH : $Na_2S_2O_5$ เป็น 3 ค่า คือ เท่ากับ 1 : 8 1 : 12 และ 1 : 16 หรือ SBH : HSO_3^- เท่ากับ 1 : 16 1 : 24 และ 1 : 32

3.4.3.1 เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ของสีย้อมทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ทั้ง 5 ค่าปริมาตร 1,500 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์

3.4.3.2 เติมสารเคมีโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์เป็นจำนวน 2 3 และ 4 เท่าของปริมาณสารเคมี SBH ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.2 เช่น ถ้าได้ปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมตามการทดลองที่ 3.4.2 เท่ากับ 5 เท่า ในการทดลองนี้จะต้องเติม สารเคมีเท่ากับ 5 เท่าของอัตราส่วน SBH : $Na_2S_2O_5$ ซึ่งจะได้ค่าเป็น 5 : 10 5 : 15 และ 5 : 20 ตามลำดับ

3.4.3.3 เติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ตามปริมาณที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.2

3.4.3.4 กวนเร็วโดยใช้เวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.1

3.4.3.5 วัดค่าพีเอช โออาร์พี และค่าสีของน้ำเสียในหน่วย SU และ ADMI

- การวัดค่าพีเอช และโออาร์พี วัดค่าในนาทีที่ 5 60 และ 120
- การวัดค่าสีหน่วย SU และ ADMI วัดโดยเก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 5 มิลลิลิตร ในนาทีที่ 5 60 และ 120 นำมากรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C) แล้ววัดสี

3.4.3.6 หาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดสีกับค่าโออาร์พี และเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการกำจัดที่อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ต่อโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์เป็นตามการทดลองที่ 3.4.2

การทดลองที่ 3.4.4 เปรียบเทียบกับวิธีรีดักชันด้วยโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_4$)

เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ทั้ง 5 ความเข้มข้น โดยการใช้สารรีดิวซ์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ชนิดผงซึ่งอยู่ในรูปของโซเดียมไดไธโอไนต์ ($Na_2S_2O_4$ + H_2O) ณ สภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ พีเอชในช่วงปกติ (4.0 ~ 8.0) และปริมาณโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร (ปวีณา, 2539) เทียบกับการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่สภาวะอันเหมาะสมที่สุด โดยมีขั้นตอนการศึกษาคือ

3.4.4.1 ทำการทดลองแบบแบทช์ด้วยเครื่องจาร์เทสต์โดยใช้รีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์

3.4.4.2 วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสี

3.4.4.3 เปรียบเทียบผลของปฏิกิริยาระหว่างการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์กับโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ในหัวข้อของเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีย้อม

สมการปฏิกิริยาการแตกตัวของรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์เป็นดังนี้

$$S_2O_4^{2-} + 4OH^- \rightarrow 2SO_3^{2-} + 2H_2O + 2e^- \quad ; E^0 = 1.12\ V$$

3.5 จำนวนชุดการทดลอง

การทดลองที่ 3.4.1 = 5 x 3 = 15 ชุดการทดลอง

การทดลองที่ 3.4.2 = 5 x 3 x 3 x 3 = 135 ชุดการทดลอง

การทดลองที่ 3.4.3 = 5 x 3 x 3 = 45 ชุดการทดลอง

การทดลองที่ 3.4.4 = 5 x 3 x 3 = 75 ชุดการทดลอง

รวม = 15 + 135 + 45 + 75 = 270 ชุดการทดลอง

3.6 วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์
ค่าพีเอช	-	เครื่องวัดพีเอชแบบ Glass electrode
ค่าโออาร์พี	มิลลิโวลท์	เครื่องวัด ORP
ค่าสี	เอสยู (SU ; Space Unit)	1. กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C 2. วัดค่าการดูดกลืนแสดง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 400 ~ 700 นาโนเมตร โดยเครื่องยูวีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ จะได้กราฟที่มีแกนตั้งเป็นค่าการดูดกลืนแสงและแกนนอนเป็นความยาวคลื่น 3. แปลงค่าพื้นที่ใต้กราฟเป็นค่าสีในหน่วยเอสยู ใช้เป็นตัวแทนสำหรับดูแนวโน้มในการกำจัดสี
	เอดีเอ็มไอ (ADMI)	1. กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C 2. วัดค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสง (% Transmittance) ที่ความยาวคลื่น 400 ~ 700 นาโนเมตร โดยเครื่องยูวีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ 3. คำนวณค่าสีเอดีเอ็มไอ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการลดสีด้วยรีดิวซิ่งเอเจนต์ SBH โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ จะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ของสีรีแอกทีฟโทน ดำ แดง และน้ำเงิน ได้แก่ C.I. Reactive Black 5 C.I. Reactive Red 180 และ C.I. Reactive Blue 171 ทั้งหมด 5 ความเข้มข้น คือ 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียก่อนเริ่มการทดลอง รวมทั้งสมบัติของสารเคมีที่ใช้ในปฏิกิริยารีดักชันและที่เป็นรีดิวซิ่งเอเจนต์สำหรับเปรียบเทียบ ผลการศึกษาดังสรุปในตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.8

4.1 คุณสมบัติของสีย้อมและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นโดยโมลของสีย้อมที่ใช้ในการทดลอง

สีย้อม	น้ำหนักโมเลกุล (กรัม/โมล)	ความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์ (มิลลิโมลาร์)				
		50 มก./ลิตร	70 มก./ลิตร	90 มก./ลิตร	150 มก./ลิตร	200 มก./ลิตร
C.I. Reactive Black 5	991.79	0.050	0.071	0.091	0.151	0.202
C.I. Reactive Red 180	933.74	0.054	0.075	0.096	0.161	0.214
C.I. Reactive Blue 171	1418.92	0.035	0.049	0.063	0.106	0.141

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของ SBH ที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	ชื่อเคมี	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	ความเข้มข้น (โมลาร์)	pH	ORP (มิลลิโวลท์)
SBH (1.2% $NaBH_4$: 4.0% NaOH)	Sodium borohydride	37.83	0.317	13.51	-597

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาและรีดิวซิ่งเอเจนต์ที่ใช้เปรียบทียบในการทดลอง

สารเคมี	ชื่อเคมี	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	ลักษณะทางกายภาพ	สมบัติอื่นๆ
$Na_2S_2O_5$	Sodium metabisulphite	190.10	เป็นผงสีขาว	มีฤทธิ์กัดกร่อนเมื่อสัมผัสกับความชื้น
$Na_2S_2O_4 + H_2O$	Sodium dithionite	192.12	เป็นผงสีขาวครีม	มีกลิ่นเหม็นและคงตัวในสภาพแอนไฮดรัส ณ อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์สารละลายสีย้อมความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร

ประเภท	ความเข้มข้น (มิลลิโมลาร์)	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	pH	ค่าสี SU	ค่าสี ADMI	ORP (มิลลิโวลท์)	ปริมาณสตอยซิโอเมตริกของสารเคมี / น้ำเสีย 1 ลิตร	
							SBH (มิลลิลิตร)	$Na_2S_2O_5$ (กรัม)
C.I. Reactive Black 5 (Ramazol Black B gran 133%)	0.050	991.79	4.96	209	3,749	+ 360	0.08	0.0192
C.I. Reactive Red 180 (Ramazol Brilliant Red F3B Granulate)	0.054	933.74	4.60	130	5,676	+ 100	0.08	0.0204
C.I. Reactive Blue 171 (Procion Navy H-ER 150)	0.035	1418.92	5.20	128	2,423	+ 295.5	0.06	0.0134

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์สารละลายสีย้อมความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม/ลิตร

ประเภท	ความเข้มข้น (มิลลิโมลาร์)	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	pH	ค่าสี SU	ค่าสี ADMI	ORP (มิลลิโวลท์)	ปริมาณสตอยซิโอเมตริกของสารเคมี / น้ำเสีย 1 ลิตร	
							SBH (มิลลิลิตร)	$Na_2S_2O_5$ (กรัม)
C.I. Reactive Black 5 (Ramazol Black B gran 133%)	0.071	991.79	4.89	291	5,041	+ 354	0.11	0.0268
C.I. Reactive Red 180 (Ramazol Brilliant Red F3B Granulate)	0.075	933.74	4.40	144	5,124	+ 97.5	0.12	0.0285
C.I. Reactive Blue 171 (Procion Navy H-ER 150)	0.049	1418.92	4.90	152	2,869	+ 296.4	0.08	0.0188

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์สารละลายสีย้อมความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม/ลิตร

ประเภท	ความเข้มข้น (มิลลิโมลาร์)	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	pH	ค่าสี SU	ค่าสี ADMI	ORP (มิลลิโวลท์)	ปริมาณสตอยซิโอเมตริกของสารเคมี / น้ำเสีย 1 ลิตร	
							SBH (มิลลิลิตร)	$Na_2S_2O_5$ (กรัม)
C.I. Reactive Black 5 (Ramazol Black B gran 133%)	0.091	991.79	4.99	385	6,458	+ 350	0.14	0.0345
C.I. Reactive Red 180 (Ramazol Brilliant Red F3B Granulate)	0.096	933.74	4.37	193	7,189	+ 98.3	0.15	0.0366
C.I. Reactive Blue 171 (Procion Navy H-ER 150)	0.063	1418.92	4.60	193	3,609	+ 288.5	0.10	0.0241

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์สารละลายสีย้อมความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม/ลิตร

ประเภท	ความเข้มข้น (มิลลิโมลาร์)	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	pH	ค่าสี SU	ค่าสี ADMI	ORP (มิลลิโวลท์)	ปริมาณสตอยซิโอเมตริกของสารเคมี / น้ำเสีย 1 ลิตร	
							SBH (มิลลิลิตร)	$Na_2S_2O_5$ (กรัม)
C.I. Reactive Black 5 (Ramazol Black B gran 133%)	0.151	991.79	4.94	620	10,586	+ 347	0.24	0.0575
C.I. Reactive Red 180(Ramazol Brilliant Red F3B Granulate)	0.161	933.74	4.39	260	9,184	+ 100	0.25	0.0611
C.I. Reactive Blue 171(Procion Navy H-ER 150)	0.106	1418.92	4.60	290	5,213	+ 283.7	0.17	0.0402

ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์สารละลายสีย้อมความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร

ประเภท	ความเข้มข้น (มิลลิโมลาร์)	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	pH	ค่าสี SU	ค่าสี ADMI	ORP (มิลลิโวลท์)	ปริมาณสตอยซิโอเมตริกของสารเคมี / น้ำเสีย 1 ลิตร	
							SBH (มิลลิลิตร)	$Na_2S_2O_5$ (กรัม)
C.I. Reactive Black 5 (Ramazol Black B gran 133%)	0.202	991.79	4.94	793	13,457	+ 345	0.32	0.0767
C.I. Reactive Red 180(Ramazol Brilliant Red F3B Granulate)	0.214	933.74	4.50	351	11,518	+ 97.4	0.34	0.0814
C.I. Reactive Blue 171(Procion Navy H-ER 150)	0.141	1418.92	4.60	424	7,291	+ 280.5	0.22	0.0536

ค่าโออาร์พีของน้ำเสียสังเคราะห์สี C.I. Reactive Black 5 C.I. Reactive Red 180 และ C.I. Reactive Blue 171 ที่ทุกความเข้มข้น ล้วนมีค่าเป็นบวกทั้งนี้แสดงถึงภาวะที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้ นอกจากนั้นยังพบว่าค่าสีเริ่มต้นของ C.I. Reactive Black 5 มีค่าสูงกว่า C.I. Reactive Blue 171 และ C.I. Reactive Red 180 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์จะเห็นได้ว่าสี C.I. Reactive Black 5 มีความเข้มข้นสูงสุด โดยรองลงมาได้แก่สี C.I. Reactive Red 180 และ C.I. Reactive Blue 171 นอกจากนั้นน้ำเสียสังเคราะห์ของสีย้อมรีแอกทีฟจะมีค่าพีเอชค่อนข้างไปในทางเป็นกรด กล่าวคือมีพีเอชต่ำกว่า 5

รูปที่ 4.1 ถึงรูป 4.3 แสดงการเปรียบเทียบสีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ของ C.I. Reactive Black 5 C.I. Reactive Red 180 และ C.I. Reactive Blue 171

ก : 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
ข : 70 มิลลิกรัมต่อลิตร
ค : 90 มิลลิกรัมต่อลิตร
ง : 150 มิลลิกรัมต่อลิตร
จ : 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก ข ค ง จ

รูปที่ 4.1 สี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก : 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
ข : 70 มิลลิกรัมต่อลิตร
ค : 90 มิลลิกรัมต่อลิตร
ง : 150 มิลลิกรัมต่อลิตร
จ : 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก ข ค ง จ

รูปที่ 4.2 สี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก : 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
ข : 70 มิลลิกรัมต่อลิตร
ค : 90 มิลลิกรัมต่อลิตร
ง : 150 มิลลิกรัมต่อลิตร
จ : 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก ข ค ง จ

รูปที่ 4.3 สี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

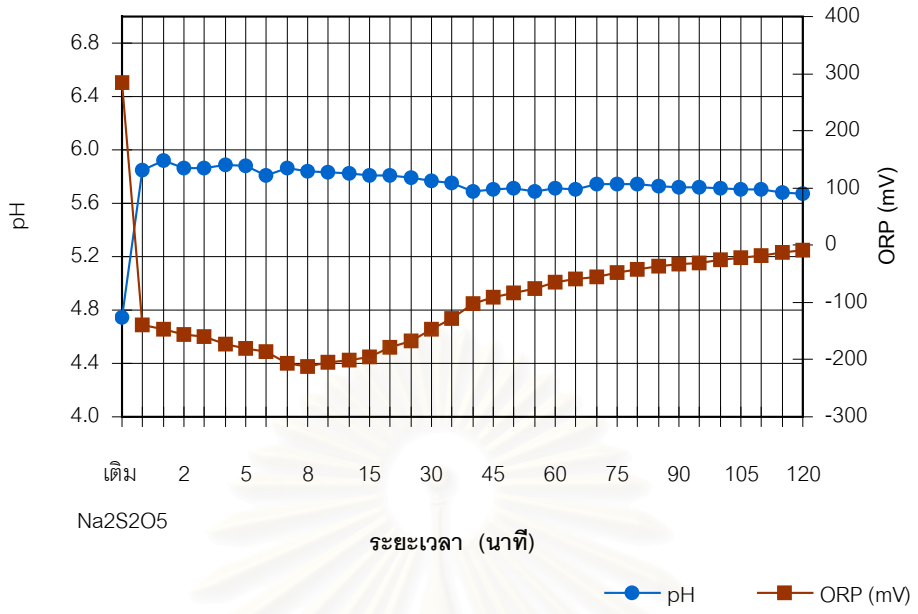
4.2 ผลการหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสม (ศึกษาระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยสมบูรณ์)

4.2.1 น้ำเสียสีย้อม C.I. Reactive Black 5

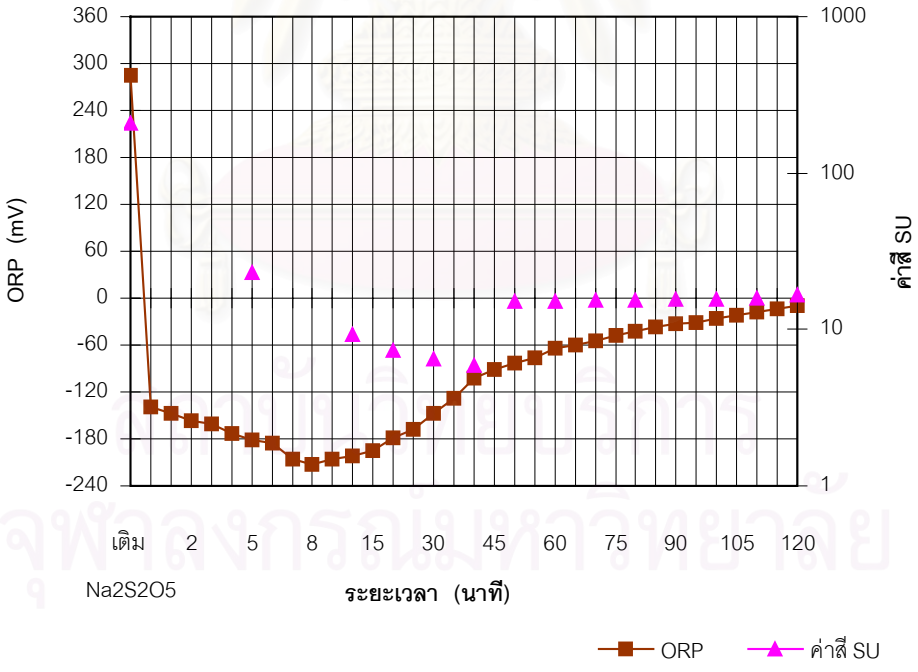
น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าโออาร์พี พีเอช และค่าสีเริ่มต้นตามตารางที่ 4.4 ถึงตารางที่ 4.9 ซึ่งแสดงไว้ในหัวข้อ 4.1 เมื่อเติมสารเคมีในปริมาณมากเกินพอเพื่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน โดยทำการกวนเร็วเป็นเวลา 60 นาที ปรากฏว่าผลการทดลองเป็นไปตามรูปที่ 4.4 ถึงรูปที่ 4.13 กล่าวคือ

รูปที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พีของสี C.I. Reactive Black 5 ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าพีเอชและโออาร์พีเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนเติมสารเคมีเท่ากับ 4.96 และ +360 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ เมื่อเติม $Na_2S_2O_5$ ลงไปจะทำให้ค่าพีเอชเปลี่ยนเป็น 4.74 ซึ่งมีค่าลดลง และโออาร์พีมีค่าลดลงอยู่ที่ประมาณ +285 มิลลิโวลท์ ต่อมาเมื่อทำปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH ในนาทีที่ 0 จึงทำให้ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองมีค่าเปลี่ยนแปลง กล่าวคือพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นในทันทีเป็น 5.85 และโออาร์พีมีค่าเปลี่ยนเป็นลบคือประมาณ –139.5 มิลลิโวลท์ หลังจากที่ปฏิกิริยาดำเนินต่อไป pH จะมีค่าค่อยๆ ลดลงทีละน้อย จนกระทั่งมี pH เป็น 5.67 เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่เวลา 2 ชั่วโมง สำหรับค่าโออาร์พีหลังจากเติม SBH จะมีค่าเป็นลบมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงนาทีที่ 8 โออาร์พีจึงมีค่าติดลบสูงสุดเท่ากับ –212.3 มิลลิโวลท์ แล้วจึงมีค่าเป็นไปในเชิงบวกมากขึ้น โดยเมื่อจบการทดลองโออาร์พีจะมีค่าเข้าใกล้ 0 มิลลิโวลท์

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสีคงเหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งวัดในหน่วย SU ของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งค่าสีเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าเท่ากับ 209 พบว่าเมื่อเติม $Na_2S_2O_5$ ไม่ได้ทำให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไป แต่เมื่อเติม SBH เพื่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน จะทำให้ค่าสีในน้ำเสียลดลงเหลือ 23 ในนาทีที่ 5 จากนั้นค่าสียังคงลดลงต่อไปจนถึงนาทีที่ 40 จึงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 6 แล้วจึงมีค่าสีคงเหลือเพิ่มขึ้นเป็น 17 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งเมื่อพิจารณาอัตราการลดลงของค่าสีพบว่า มีการลดลงของสีสูงสุดภายใน 5 นาทีแรกของการทำปฏิกิริยา และหลังจากนั้นจึงมีอัตราของการลดสีต่ำลง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีคงเหลือกับค่าโออาร์พีจากผลการทดลองปรากฏว่า ในขณะที่ค่าโออาร์พีเป็นลบสูงสุดในนาทีที่ 8 หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นจุดที่ปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นสมบูรณ์ ณ จุดนี้ค่าสีคงเหลือยังคงลดลงต่อไปอีกจนถึงนาทีที่ 40 ดังกล่าวข้างต้น



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พี ของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร



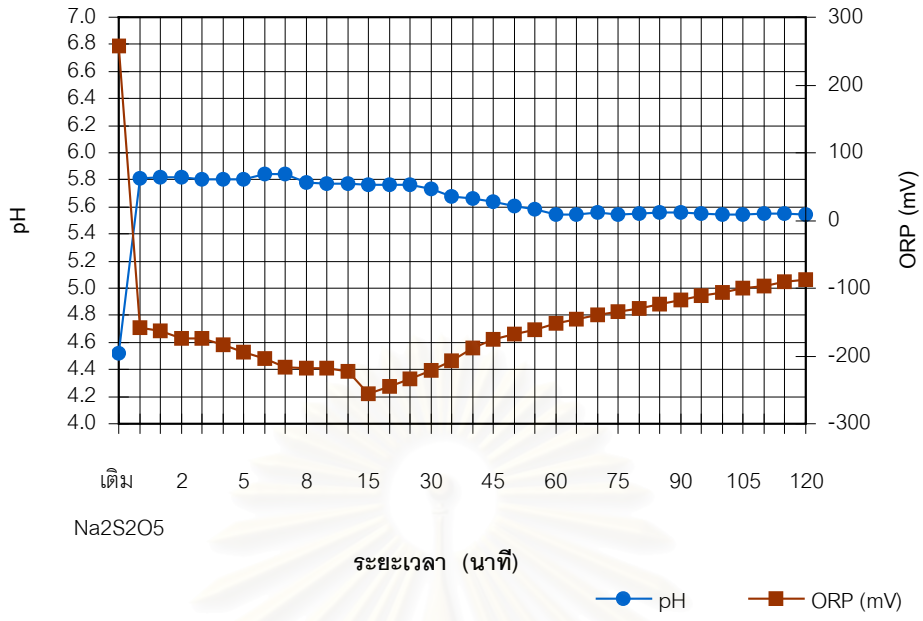
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสี ของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พี ของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าพีเอชและโออาร์พีของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนเติมสารเคมีเท่ากับ 4.89 และ 354 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ เมื่อเติม $Na_2S_2O_5$ จึงมีค่าพีเอชลดลงเป็น 4.52 และโออาร์พีเปลี่ยนเป็น +258 มิลลิโวลท์ และหลังจากเติม SBH ในนาทีที่ 0 ปรากฏว่าน้ำเสียมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 5.81 และโออาร์พีมีค่าเป็นลบในทันทีเท่ากับ –158.7 มิลลิโวลท์ ดังรูปที่ 4.6 และเมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไป น้ำเสียจะมีค่าพีเอชลดลงเพียงเล็กน้อยจนถึงสิ้นสุดการทดลองจึงมีค่าเป็น 5.54 สำหรับค่าโออาร์พีจะมีค่าเป็นลบสูงสุดในนาทีที่ 15 ของการทำปฏิกิริยา หลังจากนั้นจึงมีค่าติดลบน้อยลง เมื่อจบการทดลองที่เวลา 2 ชั่วโมง โออาร์พีมีค่าอยู่ที่ประมาณ –87.2 มิลลิโวลท์

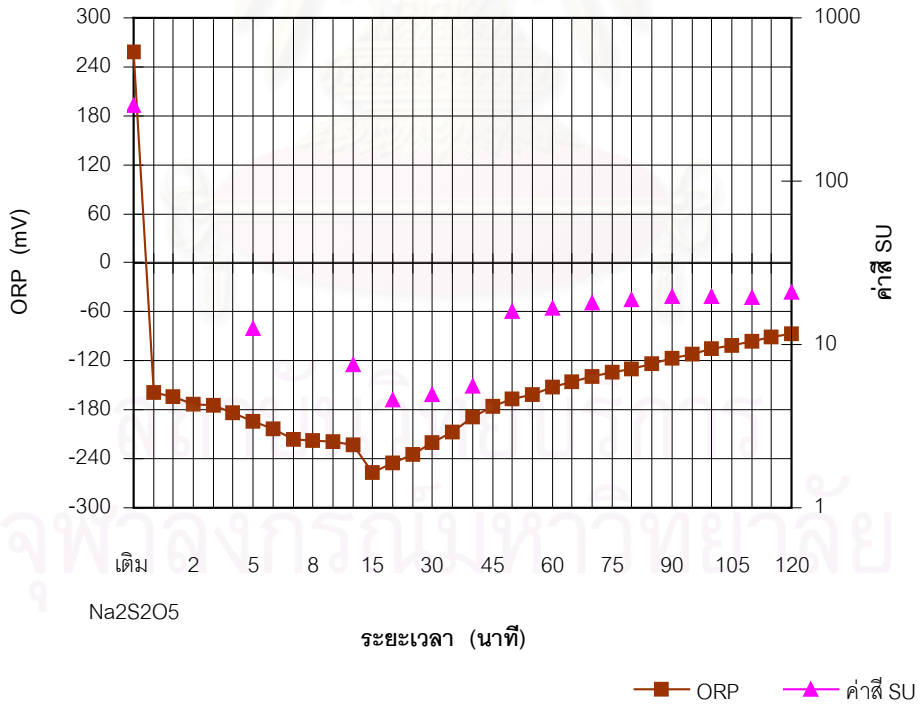
จากนั้นเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยากับค่าโออาร์พี และค่าสีคงเหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ของสี C.I. Reactive Black 5 ที่มีความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสีเริ่มต้นของน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 291 ในหน่วย SU และไม่มีค่าเปลี่ยนแปลงเมื่อเติม $Na_2S_2O_5$ ลงไป แต่จะมีค่าสีลดลงอย่างรวดเร็วหลังเติม SBH ภายใน 5 นาทีแรกของการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน โดยมีค่าสีคงเหลือประมาณ 13 และยังคงลดลงเรื่อยๆ จนถึงนาทีที่ 20 ของการทดลองจึงมีค่าสีต่ำสุดเท่ากับ 5 หลังจากนั้นจึงมีค่าสีคงเหลือเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง จะมีค่าสีเป็น 21 ซึ่งสูงกว่าใน 5 นาทีแรกของการทำปฏิกิริยาเคมี กราฟความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ดังกล่าวแสดงตามรูปที่ 4.7

นอกจากนั้นจากการทดลองยังพบว่าในนาทีที่ 15 โออาร์พีมีค่าเป็นลบมากที่สุด และค่าสีคงเหลือมีค่าต่ำสุดภายในช่วงเวลา 10 ถึง 20 นาทีของการทดลองเช่นเดียวกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พี ของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสี ของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร

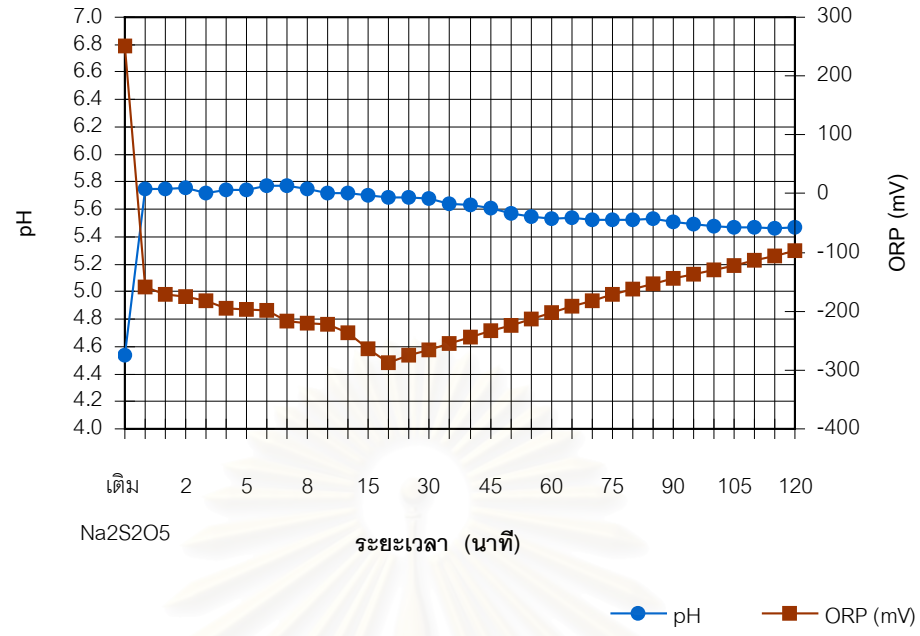
รูปที่ 4.8 คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พีของสี C.I. Reactive Black 5 ที่มีความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลองมีค่าพีเอช 4.99 และค่าโออาร์พี +350 มิลลิโวลท์ เมื่อเติม $Na_2S_2O_5$ ทำให้มีค่าพีเอชต่ำลง และโออาร์พีต่ำลงเช่นกัน โดยมีค่าเท่ากับ 4.54 และ +251 มิลลิโวลท์ตามลำดับ

ในนาทีที่ 0 เมื่อมีการเติม SBH จึงทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้นเป็น 5.75 และโออาร์พีมีค่าติดลบเท่ากับ -159 มิลลิโวลท์ หลังจากที่ปฏิกิริยาดำเนินต่อไป ค่าพีเอชจึงลดต่ำลงเล็กน้อย สำหรับโออาร์พีจะมีค่าเป็นลบสูงสุดในนาทีที่ 20 โดยมีค่าเท่ากับ –287.4 มิลลิโวลท์ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองจะมีพีเอชอยู่ที่ 5.47 และโออาร์พีมีค่า –97.9 มิลลิโวลท์ โดยจะมีค่าเป็นลบน้อยลงภายหลังนาทีที่ 20 ของการเกิดปฏิกิริยา

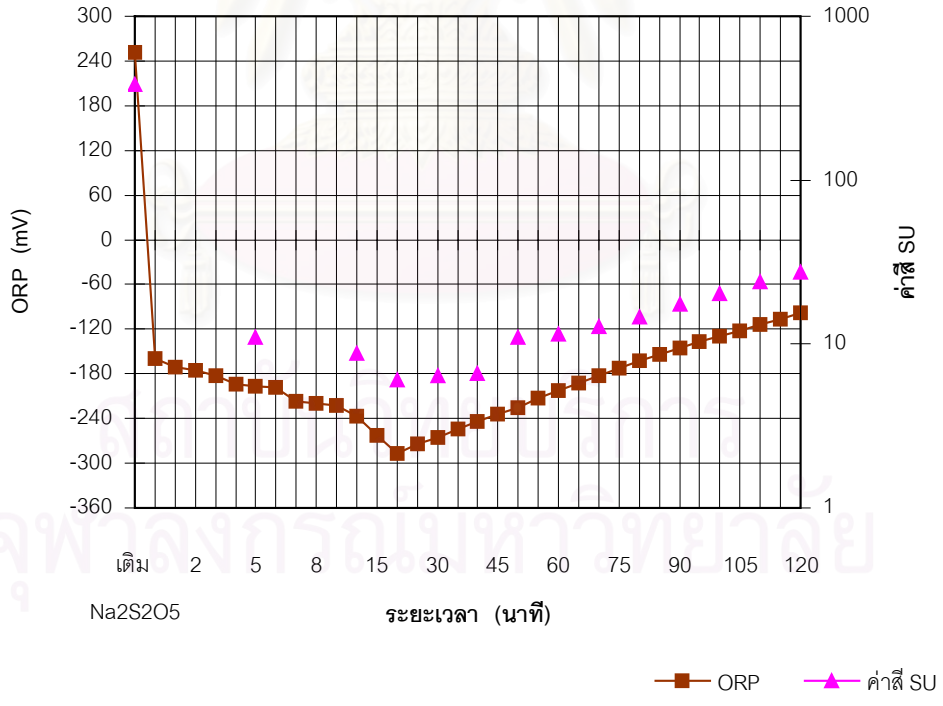
เมื่อกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสีคงเหลือ ของสี C.I. Reactive Black 5 ที่มีความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสีเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังเติม $Na_2S_2O_5$ มีค่าคงเดิมคือ 385 เมื่อเติม SBH ปรากฏว่ามีค่าสีลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 5 นาทีแรกของการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน โดยมีค่าสีคงเหลือต่ำสุดในนาทีที่ 20 คือมีค่าเท่ากับ 6 ในหน่วย SU หลังจากนั้นจะมีค่าสีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งจบการทดลอง จึงมีค่าสีอยู่ที่ 28 ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.9

จากการทดลองพบว่าค่าโออาร์พีเป็นลบสูงสุดในนาทีที่ 20 ซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกับจุดที่ให้ค่าสีคงเหลือต่ำสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พี ของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร



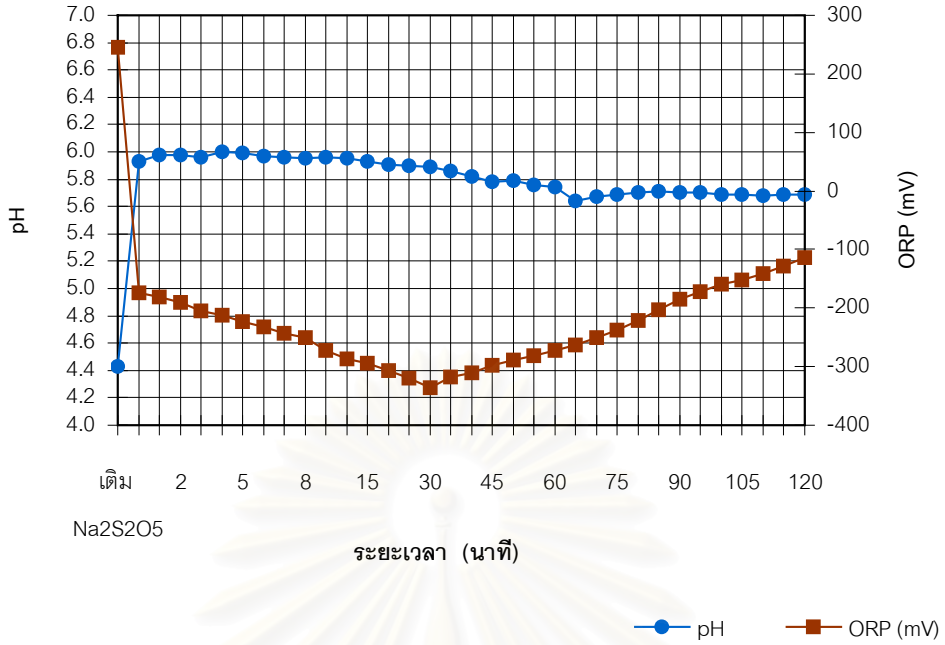
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสี ของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร

สำหรับสี C.I. Reactive Black 5 ที่มีความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้แสดงผลการทดลองไว้ในรูปที่ 4.10 และ 4.11

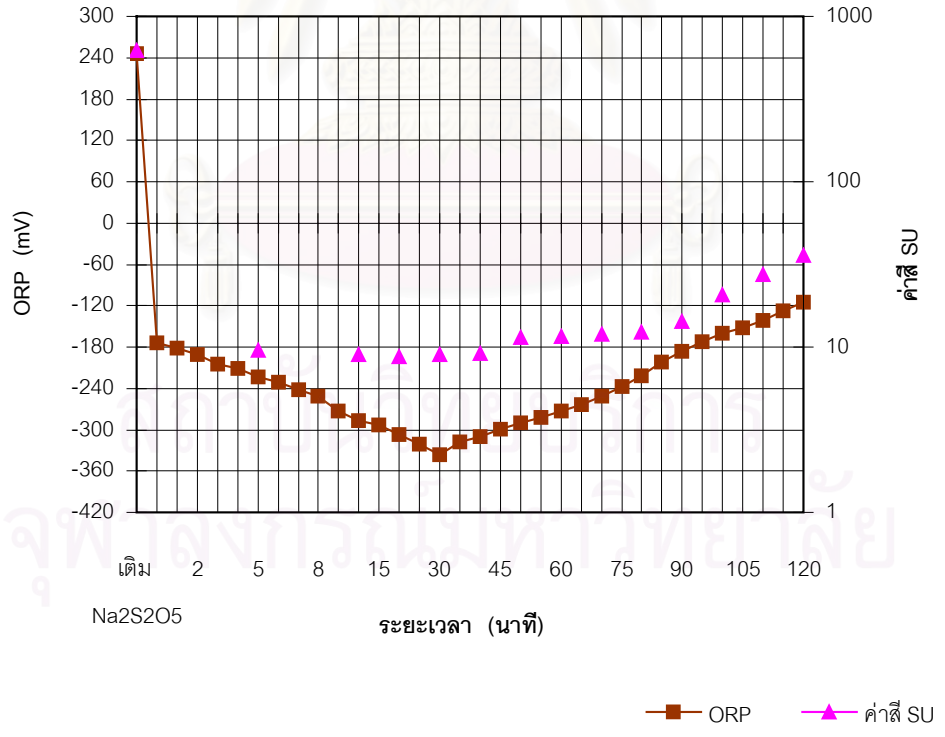
โดยรูปที่ 4.10 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พีของสี C.I. Reactive Black 5 ที่มีความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร คุณสมบัติเริ่มต้นก่อนการทดลองมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.94 หลังจากเติม $Na_2S_2O_5$ แล้วจึงทำให้ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองเปลี่ยนแปลง กล่าวคือพีเอชมีค่าลดลงเหลือ 4.43 และโออาร์พีมีค่า +246 มิลลิโวลท์ ซึ่งมีค่าลดลงจากก่อนการทดลองที่มีโออาร์พีเท่ากับ +347 มิลลิโวลท์ จากนั้นเมื่อเติม SBH พบว่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 5.93 และโออาร์พีมีค่าเท่ากับ –174.4 มิลลิโวลท์ เมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไปน้ำเสียสังเคราะห์จึงมีพีเอชค่อยๆ ลดต่ำลงจนมีค่าเท่ากับ 5.69 ในชั่วโมงที่ 2 สำหรับโออาร์พีจะมีค่าเป็นลบสูงสุดในนาทีที่ 30 จากนั้นกราฟจึงมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าบวก โดยมีโออาร์พีสุดท้าย ณ เวลา 2 ชั่วโมงเท่ากับ –114.2 มิลลิโวลท์

การเปลี่ยนแปลงของโออาร์พีที่สัมพันธ์กับค่าสีคงเหลือได้แสดงไว้ตามรูปที่ 4.11 ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าสีก่อนการทดลองในหน่วย SU เท่ากับ 620 และไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเติม $Na_2S_2O_5$ แต่ภายหลังที่ใส่ SBH ค่าสีจะลดลงอย่างรวดเร็วเหลืออยู่ที่ค่า 10 ภายใน 5 นาทีของการเกิดปฏิกิริยารีดักชันและมีค่าต่ำสุดในช่วง 20 ถึง 40 นาทีของการทดลอง หลังจากนั้นจึงมีแนวโน้มของค่าสีคงเหลือสูงขึ้นเรื่อยๆ จนสิ้นสุดการทดลอง โดยมีค่าสีอยู่ที่ 36 และมีความสัมพันธ์กับค่าโออาร์พีซึ่งมีค่าต่ำสุดในนาทีที่ 30 ของการทำปฏิกิริยา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พี ของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสี ของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พีของสี C.I. Reactive Black 5 ที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าพีเอชเป็น 4.94 หลังจากเติม $Na_2S_2O_5$ ทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลงเป็น 4.48 และมีโออาร์พีเท่ากับ +233 มิลลิโวลท์ ลดลงจากเดิมที่มีค่าเป็น +345 มิลลิโวลท์ และภายหลังเติม SBH ซึ่งทำให้ค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งเป็น 6.01 ในนาทีที่ 0 และ 6.09 ในนาทีที่ 1 ของการทดลอง จากนั้นจึงมีแนวโน้มคงที่ และเริ่มลดลงหลังนาทีที่ 30 เป็นต้นไป จนสุดท้ายมีค่าพีเอชอยู่ที่ 5.72 ณ เวลา 2 ชั่วโมงของปฏิกิริยา

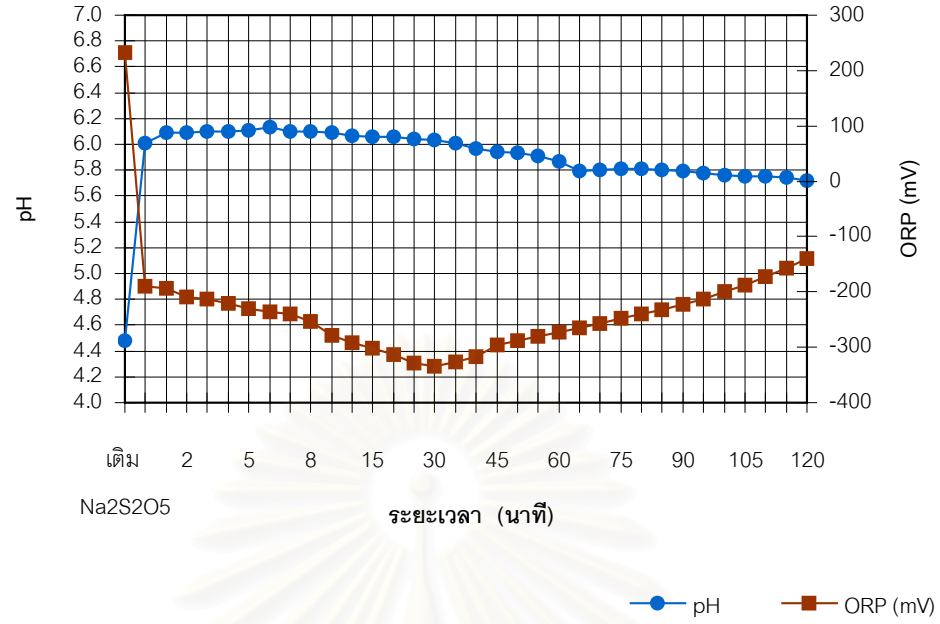
ค่าโออาร์พีในนาทีที่ 0 หลังเติม SBH ปรากฏว่ามีค่าเป็นลบในทันทีที่ประมาณ –190.4 มิลลิโวลท์ และลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าติดลบสูงสุดในนาที่ที่ 30 คือมีค่าเท่ากับ –334.9 มิลลิโวลท์ และเมื่อจบการทดลองจึงมีค่าโออาร์พีสุดท้ายอยู่ที่ –139.4 มิลลิโวลท์

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสีคงเหลือในน้ำเสียของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.13 ค่าสีเริ่มต้นก่อนและหลังเติม $Na_2S_2O_5$ มีค่าเท่ากันคือ 793 ในหน่วย SU หลังจากเติม SBH และเริ่มจับเวลา พบว่าค่าสีลดลงเหลือ 10 ณ เวลา 5 นาที ของการปฏิกิริยารีดักชัน และเริ่มมีค่าสีคงเหลือสูงขึ้นภายหลังเวลาดังกล่าว โดยสุดท้ายที่เวลา 2 ชั่วโมง จึงมีค่าสีในหน่วย SU เท่ากับ 32 เมื่อพิจารณาค่าโออาร์พีประกอบกับค่าสีคงเหลือพบว่า ในนาทีที่โออาร์พีมีค่าติดลบสูงสุด ค่าสีคงเหลือจะอยู่ที่ค่าประมาณ 15 โดยเป็นจุดที่แนวโน้มของค่าสีกำลังสูงขึ้น

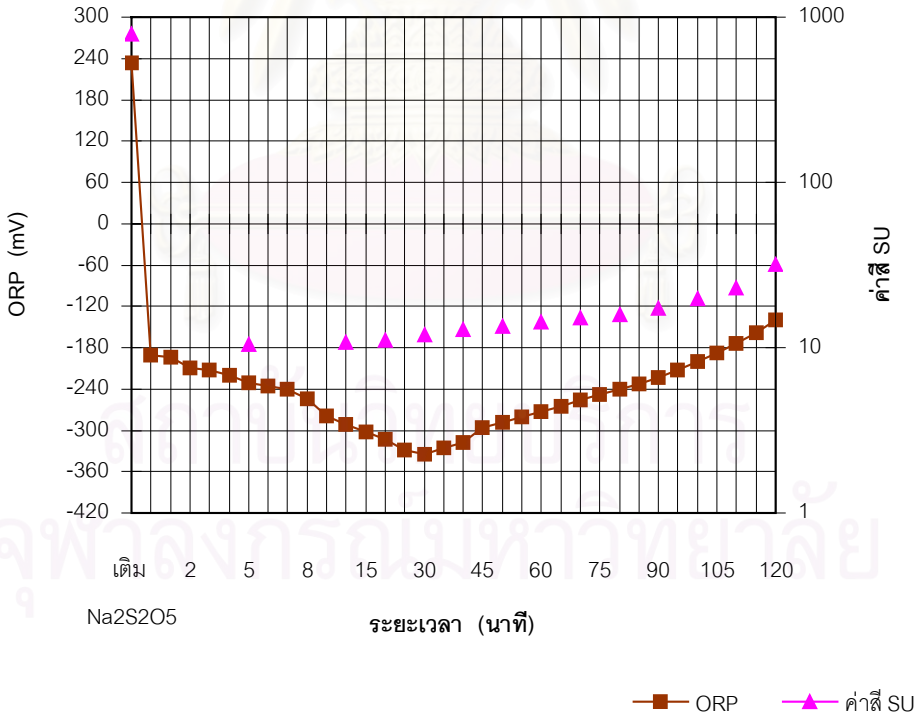
จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.4 ถึงรูปที่ 4.13 เห็นได้ว่าค่าสีที่เหลือหลังจากปฏิกิริยามีค่าลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 5 นาทีแรก จากนั้นจึงลดลงอีกทีละน้อยจนได้ค่าต่ำสุดโดยเฉลี่ยในช่วง 20 ถึง 40 นาทีหลังเกิดปฏิกิริยา แล้วจึงมีค่าสีค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งจบการทดลอง

สำหรับค่าพีเอชของปฏิกิริยาในขณะเริ่มต้นเติมสารเคมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์จะมีค่าสูงขึ้นในทันทีและค่อยๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง เช่นเดียวกับค่าโออาร์พีของสารละลายที่เป็นลบในทันทีหลังจากเติมสารเคมีดังกล่าว และมีค่าเป็นลบมากขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสูงสุดในช่วงนาทีที่ 20 ถึง 30 หลังจากนั้นจึงกลับเป็นบวกเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าโออาร์พีที่ประกอบกับค่าสีที่เหลืออยู่ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นจนสมบูรณ์ที่ช่วงเวลาประมาณ 20 ถึง 30 นาทีหลังเติม SBH จึงนำมาหาค่าเฉลี่ยและใช้ค่าดังกล่าวเป็นระยะเวลาในการกวนเร็วที่เหมาะสมของการทดลองในขั้นที่ 2 ต่อไป



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พี ของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสี ของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

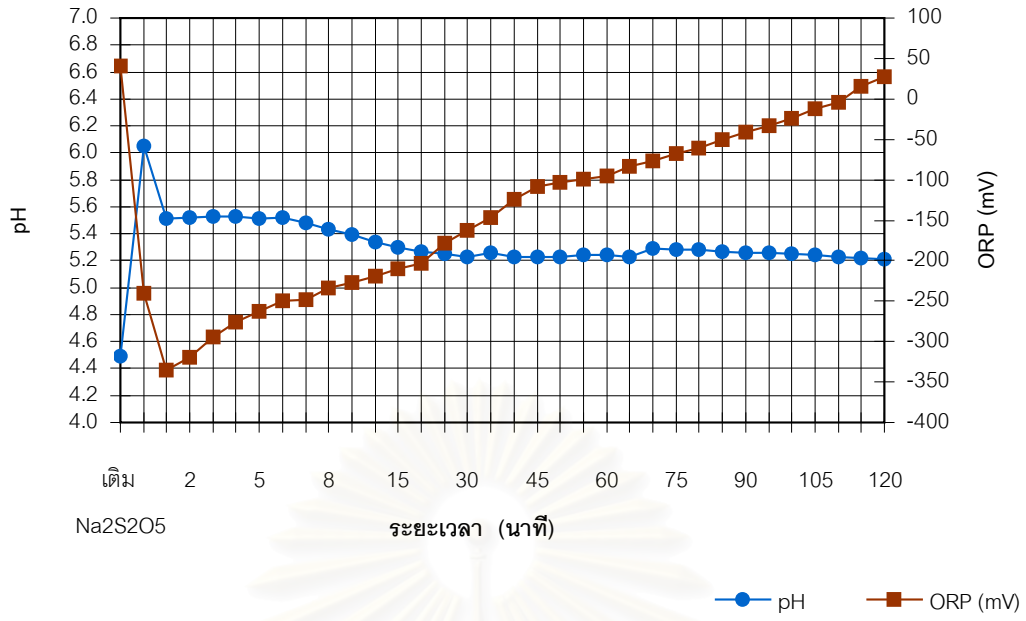
4.2.2 น้ำเสียสีย้อม C.I. Reactive Red 180

เมื่อทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยเติมสารเคมีในปริมาณมากเกินพอ และทำการกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 60 นาที ทำให้ได้ผลการทดลองของสี C.I. Reactive Red 180เป็นไปตามรูปที่ 4.14 ถึง 4.23

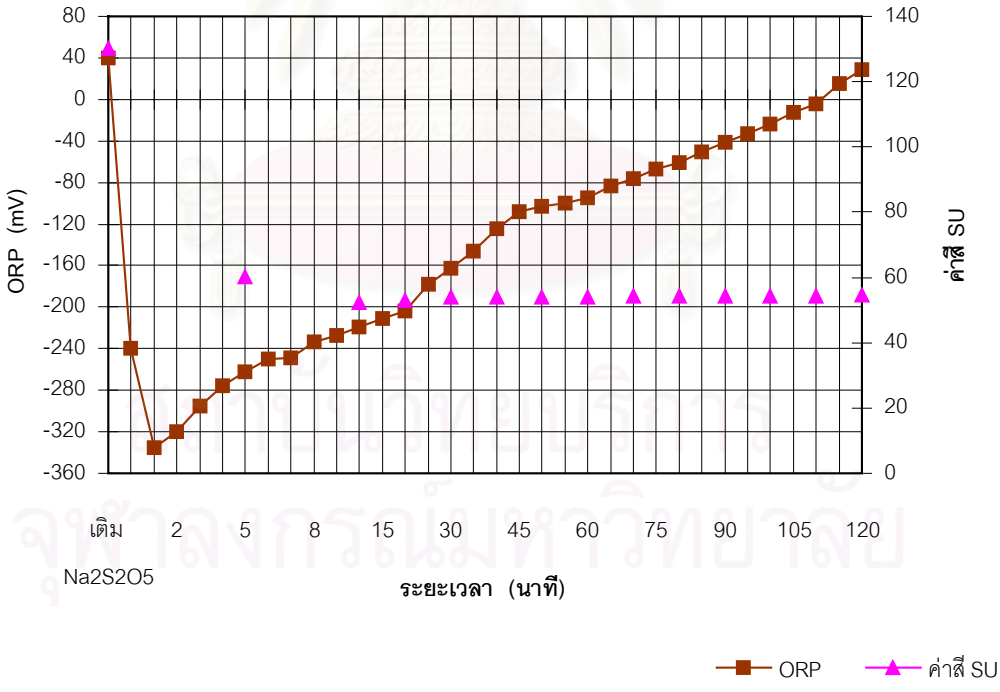
รูปที่ 4.14 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พีของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชและโออาร์พีเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าเท่ากับ 4.60 และ +100 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ หลังจากเติม $Na_2S_2O_5$ แล้วจะทำให้ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองเปลี่ยนแปลงไปในทางลดลง กล่าวคือพีเอชมีค่าเป็น 4.49 และโออาร์พีเท่ากับ + 40 มิลลิโวลท์ จากนั้นเมื่อใส่ SBH ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ จึงทำให้พีเอชมีค่าเป็นด่างในทันทีและโออาร์พีมีค่าติดลบอย่างรวดเร็ว โดยพีเอชมีค่าเท่ากับ 6.05 และโออาร์พีเป็น –240 มิลลิโวลท์ เมื่อทำการทดลองต่อไปพีเอชจึงมีค่าลดลงเหลือ 5.51 ในนาทีที่ 1 และมีแนวโน้มลงลงจนมีค่าพีเอชเป็น 5.21 เมื่อเวลาผ่านไปครบ 2 ชั่วโมง สำหรับค่าโออาร์พีนั้น จะมีค่าเป็นลบสูงสุดเท่ากับ –335 มิลลิโวลท์ เมื่อถึงนาทีที่ 1 จากนั้นกราฟจึงเข้าสู่ค่าเชิงบวก ซึ่งมีโออาร์พีเท่ากับ +28.1 มิลลิโวลท์ เมื่อจบการทดลอง

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสีคงเหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงได้ดังรูปที่ 4.15 ค่าสีเริ่มต้นของน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 130 หน่วย SU การเติมสารเคมี $Na_2S_2O_5$ ไม่ได้ทำให้ค่าสีเกิดการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด เมื่อทำการเติม SBH แล้วจึงพบว่าค่าสีคงเหลือลดลงอยู่ที่ค่า 60 หน่วย เมื่อนาทีที่ 5 แล้วลดลงจนมีค่าต่ำสุดในนาทีที่ 10 คือมีค่าเท่ากับ 52 หน่วย ในขณะที่จุดซึ่งให้โออาร์พีติดลบสูงสุดอยู่ที่เวลา 1 นาทีของการเกิดปฏิกิริยา โดยหลังจากนาทีที่ 10 เป็นต้นไป ค่าสีคงเหลือจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ มากนัก จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พี ของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร



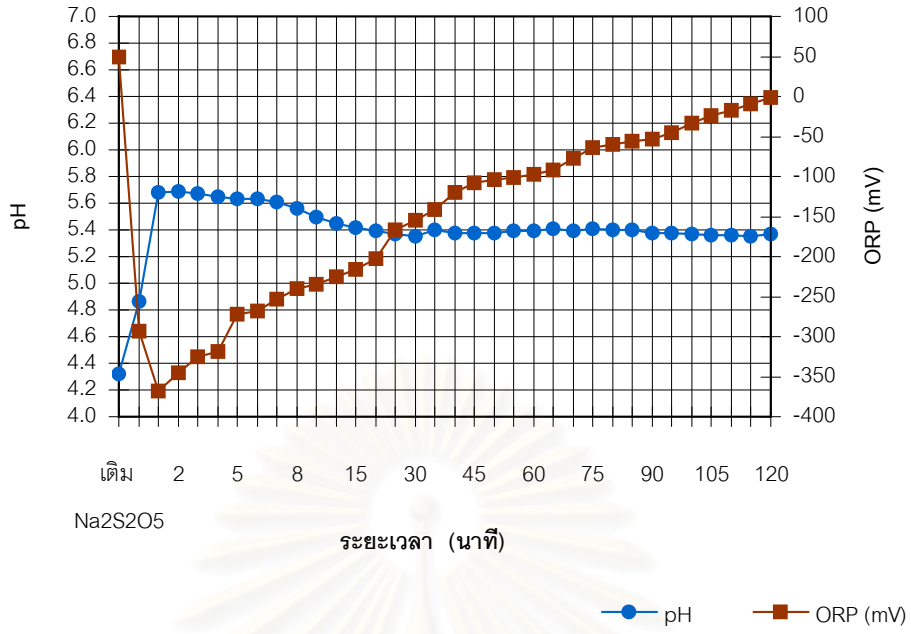
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสี ของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

สี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยารีดักชันกับค่าพีเอชและโออาร์พีโดยน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4.40 และมีโออาร์พีเป็น + 97.5 มิลลิโวลท์ เมื่อทำการเติม $Na_2S_2O_5$ ปรากฏว่าสารละลายมีค่าพีเอชลดลงเหลือ 4.32 และโออาร์พีเหลือ + 50 มิลลิโวลท์ หลังจากเติม SBH แล้ว จึงทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 4.86 และเพิ่มขึ้นต่อไปจนถึงนาทีที่ 1 ซึ่งให้ค่าพีเอชสูงสุดเท่ากับ 5.68 จากนั้นจึงมีแนวโน้มลดลงจนกระทั่งคงเหลือพีเอช 5.37 เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปครบ 2 ชั่วโมง ผลการเติม SBH ที่มีต่อโออาร์พีในขณะเริ่มการทดลอง ณ นาทีที่ 0 มีค่าเท่ากับ – 293 มิลลิโวลท์ และลดลงต่ำสุดอยู่ที่ – 368.2 มิลลิโวลท์ ในนาทีที่ 1 หลังจากนั้นค่าโออาร์พีจึงมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเข้าใกล้ 0 มิลลิโวลท์ เมื่อครบ 2 ชั่วโมงของการทดลอง

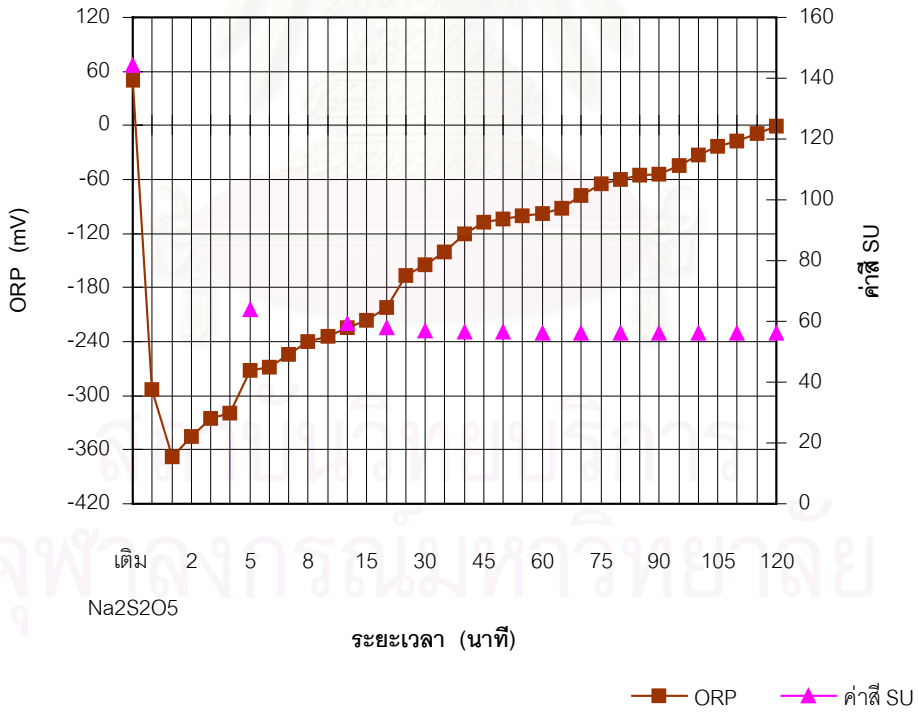
รูปที่ 4.17 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับโออาร์พีและค่าสีคงเหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าสีในหน่วย SU เท่ากับ 145 หลังจากเติมสารเคมี SBH ทำให้ค่าสีลดลงอย่างรวดเร็วเหลือ 64 หน่วยภายใน 5 นาทีแรกของการทำปฏิกิริยา และตั้งแต่นาทีที่ 10 เป็นต้นไปค่าสีจะลดลงอีกเพียงเล็กน้อยจากนั้นจึงมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าโออาร์พีจึงพบว่าในช่วงเวลาที่ให้ค่าโออาร์พีเป็นลบสูงสุด ค่าสีคงเหลือในน้ำเสียจะมีอัตราการลงสูงสุดเช่นเดียวกัน

น้ำเสียสังเคราะห์สี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 4.18 และ 4.19 โดยรูปที่ 4.18 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พีก่อนการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าพีเอช 4.37 และโออาร์พี + 98.3 มิลลิโวลท์ ภายหลังการเติม $Na_2S_2O_5$ จึงทำให้พีเอชและโออาร์พีลดลงเป็น 4.06 และ + 60 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ ต่อจากนั้นเมื่อเติม SBH สารละลายจึงมีค่าพีเอชสูงขึ้น โดยในนาทีที่ 0 มีพีเอชเป็น 4.28 และเพิ่มขึ้นสูงสุดในนาทีที่ 1 ซึ่งมีพีเอชเท่ากับ 5.69 สำหรับโออาร์พีหลังเติม SBH จะมีค่าเป็นลบในทันทีที่ –290 มิลลิโวลท์ และมีจุดซึ่งให้ค่าติดลบสูงสุดเท่ากับ –375.6 มิลลิโวลท์ ณ นาทีที่ 1 ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดของกราฟ หลังจากนั้นโออาร์พีจึงมีค่าเป็นลบต่ำลง โดยโออาร์พีสุดท้ายที่เวลา 2 ชั่วโมง มีค่าเข้าใกล้ 0 มิลลิโวลท์

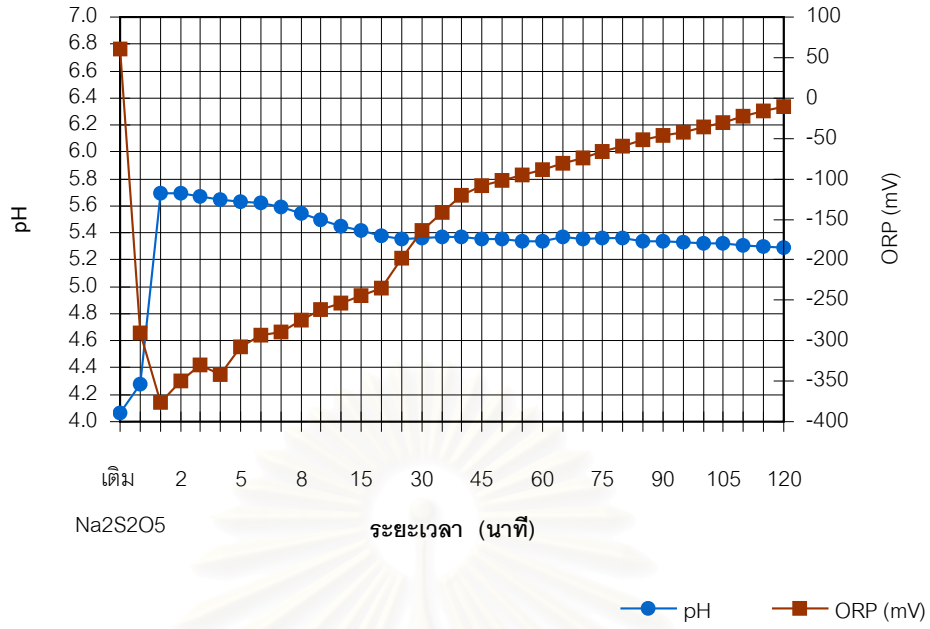
สำหรับรูปที่ 4.19 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับโออาร์พีและค่าสีคงเหลือของสี C.I. Reactive Red 180 ที่มีความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสีเริ่มต้นทั้งก่อนและหลังเติม $Na_2S_2O_5$ มีค่าเท่ากับ 193 หน่วย เมื่อเริ่มทำปฏิกิริยากับ SBH ปรากฏว่าค่าสีลดลงอย่างรวดเร็วเหลือ 28 หน่วย ในนาทีที่ 5 หลังจากนั้นสียังคงลดลงต่อไป และเมื่อผ่านนาทีที่ 10 ของการเกิดปฏิกิริยาไปแล้ว ค่าสีจึงเริ่มคงที่ จนกระทั่งครบ 2 ชั่วโมง จึงมีค่าสีเท่ากับ 15 หน่วย สำหรับค่าโออาร์พีจะมีค่าต่ำสุดในนาทีที่ 1 ดังกล่าวมาแล้ว และเกิดขึ้นในช่วงเดียวกันกับที่ค่าสีมีการลดลงต่ำสุด ซึ่งอาจเกิดขึ้นในระหว่างนาทีที่ 0 ถึงนาทีที่ 5



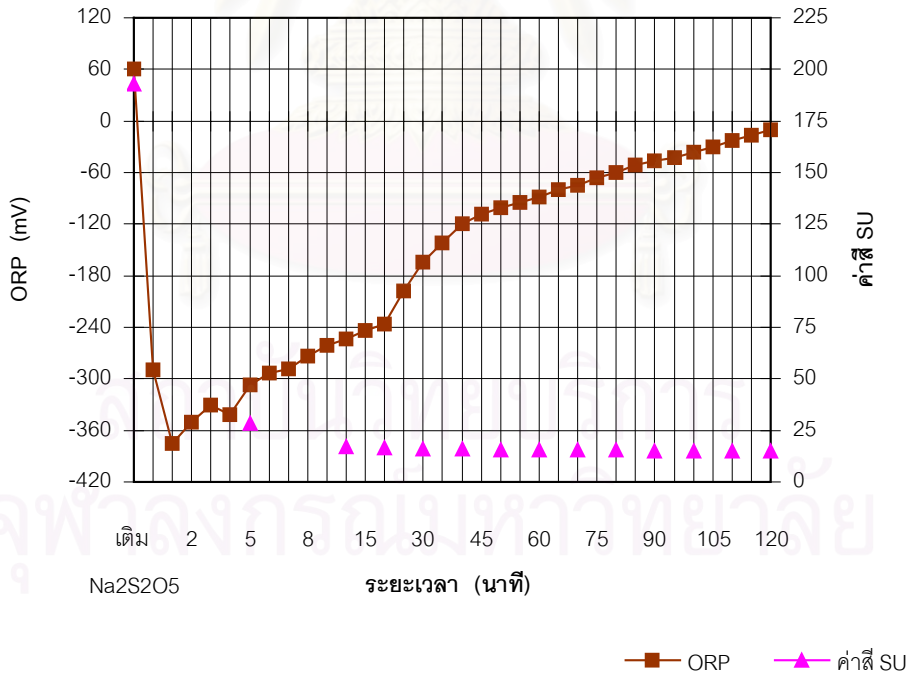
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พี ของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสี ของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พี ของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสี ของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร

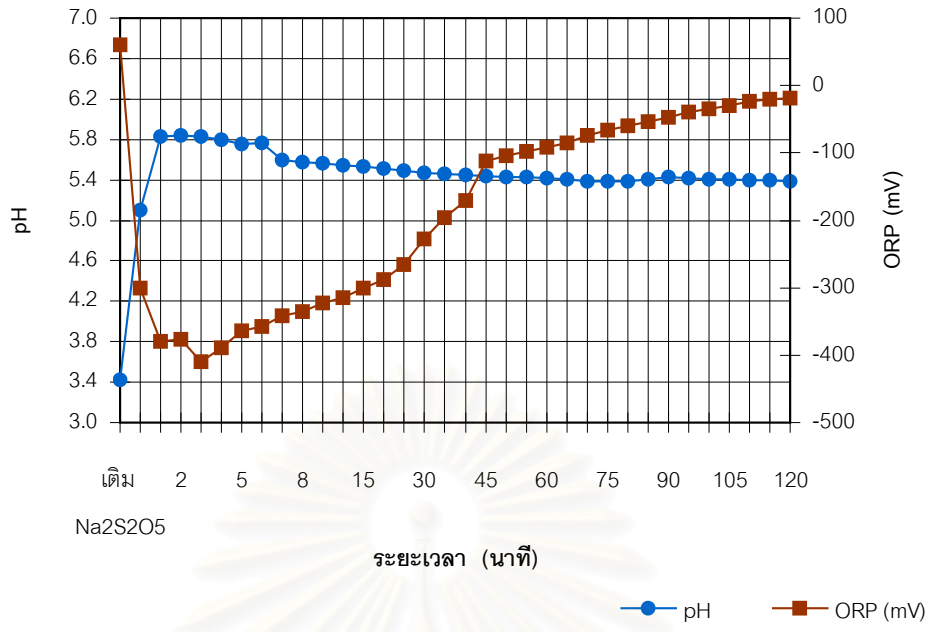
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พีของน้ำเสียสังเคราะห์สี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.20 โดยมีพีเอชและโออาร์พีก่อนทำการทดลองเท่ากับ 4.39 และ +100 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ หลังจากเติม $Na_2S_2O_5$ แล้วจึงมีค่าพีเอชเปลี่ยนเป็น 3.42 และโออาร์พีเป็น + 61 มิลลิโวลท์ เมื่อทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วย SBH ในนาทีที่ 0 พีเอชจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 5.1 ณ จุดเดียวกันนี้โออาร์พีเปลี่ยนจากบวกเป็นลบโดยมีค่าเท่ากับ –300 มิลลิโวลท์พีเอชหลังนาทีที่ 0 จะยังมีค่าเพิ่มขึ้นต่อไป กระทั่งถึงนาทีที่ 1 จึงให้ค่าสูงสุดอยู่ที่ 5.83 หลังจากนั้นจึงมีแนวโน้มของกราฟค่อยๆ ลดลง เมื่อสิ้นสุดการทดลองจะมีค่าพีเอชอยู่ที่ 5.39 ส่วนค่าโออาร์พีภายหลังนาทีที่ 0 ซึ่งเป็นจุดที่เติม SBH ทำให้มีค่าโออาร์พีเปลี่ยนเป็นลบและยังคงลดลงต่อไปจนถึงนาทีที่ 3 ซึ่งให้ค่าลบสูงสุดเท่ากับ – 410 มิลลิโวลท์จากนั้นจึงมีค่าติดลบน้อยลงจนกระทั่งมีค่าเข้าใกล้ 0 มิลลิโวลท์ เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสีคงเหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าสีเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 260 ในหน่วย SU ดังแสดงตามรูปที่ 4.21 หลังจากเติม $Na_2S_2O_5$ ค่าสีจะยังคงเดิม แต่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเติม SBH ซึ่งทำให้ค่าสีลดลงเหลือ 19 หน่วย ภายใน 5 นาทีแรกของการทำปฏิกิริยา หลังจากนั้นค่าสีคงเหลือจะมีค่าค่อนข้างคงที่จนสิ้นสุดการทดลอง จุดที่มีค่าโออาร์พีเป็นลบสูงสุดคือในนาทีที่ 3 ของการทดลอง ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับที่ค่าสีเกิดการลดลงเหลือต่ำสุด

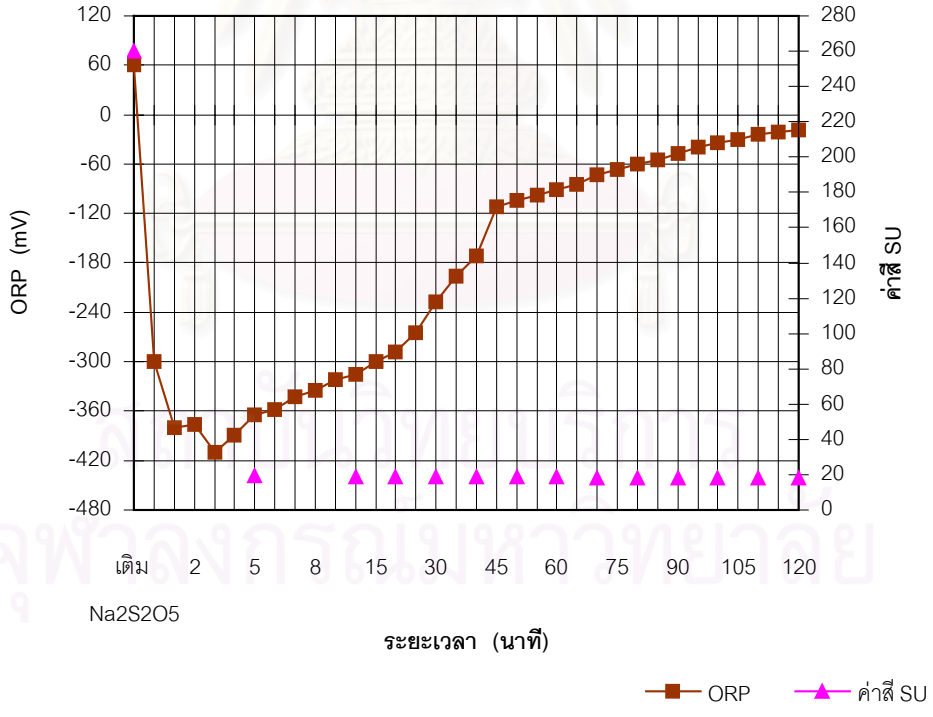
เมื่อทำการทดลองกับน้ำเสียสีย้อม C.I. Reactive Red 180 เข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์อันได้แก่ พีเอช โออาร์พี และค่าสีคงเหลือ จึงได้ผลการทดลองดังแสดงตามรูปที่ 4.22 และ 4.23

รูปที่ 4.22 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยากับพีเอชและโออาร์พีของสี C.I. Reactive Red 180 ที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์มีพีเอชเริ่มต้น 4.50 และโออาร์พีเท่ากับ + 97.4 มิลลิโวลท์ ภายหลังเตมสารเคมี $Na_2S_2O_5$ จะมีพีเอชและโออาร์พีลดลงเป็น 3.31 และ + 58 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ เมื่อมีการเติม SBH ทำให้ค่าพีเอชกลายเป็นด่างโดยมีค่าอยู่ที่ 4.68 และโออาร์พีมีค่าเป็น –370 มิลลิโวลท์ จากนั้นค่าพีเอชจะยังคงสูงขึ้นในขณะที่โออาร์พีเป็นลบมากขึ้นเช่นเดียวกัน และในนาทีที่ 1 จะให้ค่าพีเอชสูงสุดที่ 5.93 สำหรับโออาร์พีจะมีค่าเป็นลบสูงสุดในนาทีที่ 3 คือ – 417 มิลลิโวลท์ และเมื่อเวลาผ่านไปครบ 2 ชั่วโมง จึงมีค่าโออาร์พีเหลือเท่ากับ – 89.4 มิลลิโวลท์ รวมทั้งมีพีเอชสุดท้ายเป็น 5.44

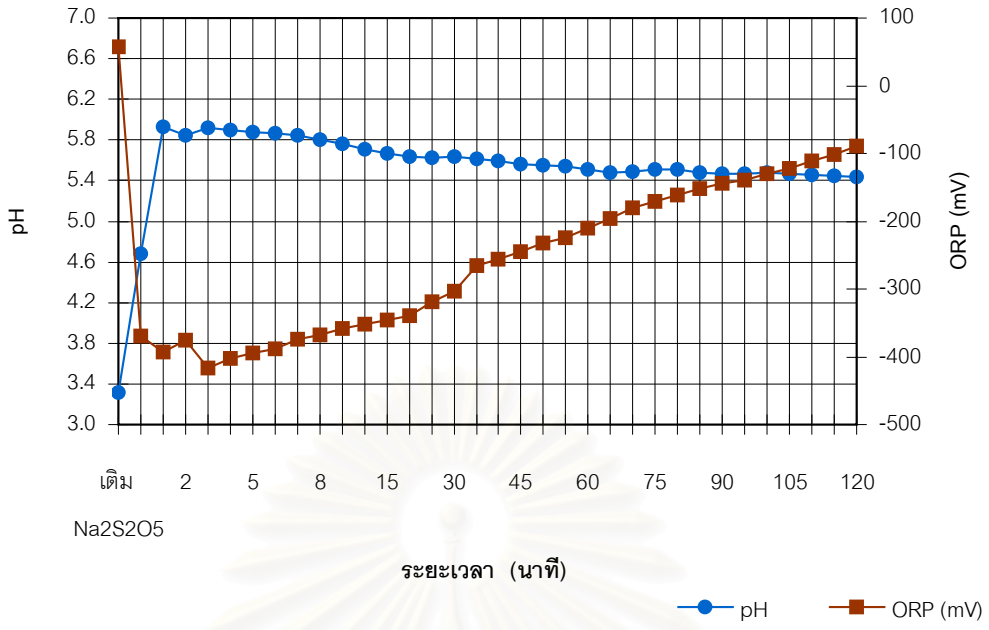
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับโออาร์พีและค่าสีคงเหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ของสี C.I. Reactive Red 180 ที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.23 จากสมบัติเริ่มต้นของน้ำเสียพบว่า ค่าสีก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 351 หน่วย ซึ่งจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ แต่ภายหลังการเติม SBH ค่าสีจะลดลงอย่างรวดเร็วเหลือ 23 หน่วย จากนั้นจะยังคงลดลงเพียงเล็กน้อย จนกระทั่งในนาทีที่ 40 จึงมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มาก และมีค่าสีคงเหลือใน



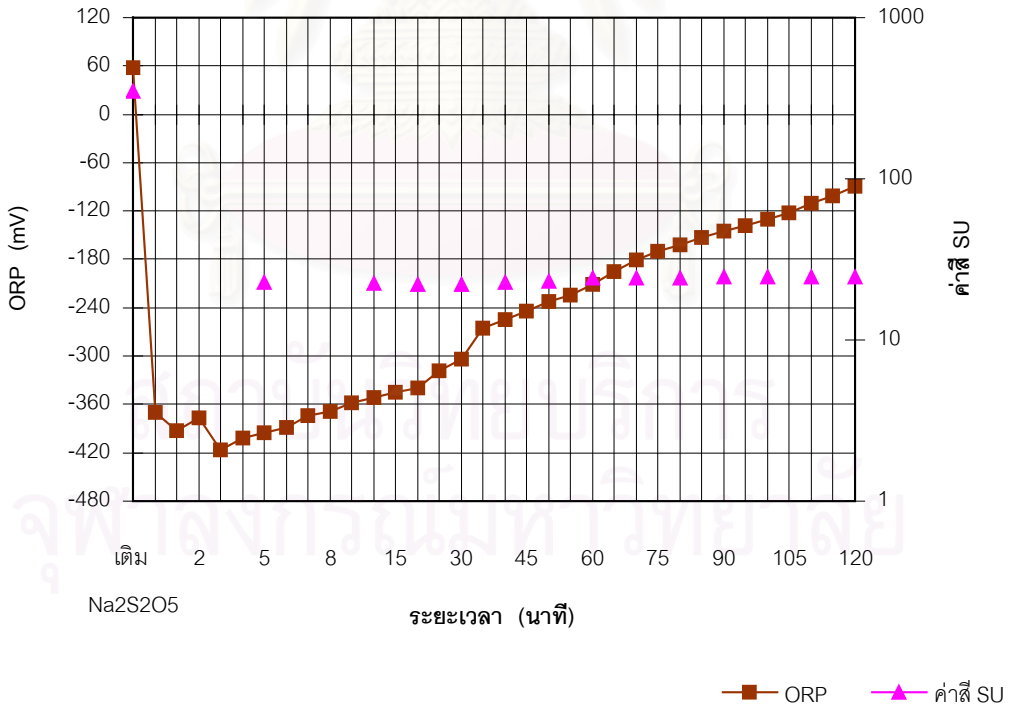
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พี ของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสี ของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พี ของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสี ของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

น้ำเสียสังเคราะห์เป็น 25 หน่วย เมื่อจบการทดลอง ซึ่งโดยประมาณแล้วค่าสีสุดท้ายจะเท่ากับเมื่อเริ่มเติมสารเคมี SBH สำหรับค่าโออาร์พีจะลดลงต่ำสุดในนาทีที่ 3 ซึ่งนับเป็นช่วงเดียวกับที่ค่าสีลดลงต่ำสุด

จากกราฟในรูปที่ 4.14 ถึงรูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่าค่าสีที่เหลือหลังจากปฏิกิริยามีค่าลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 5 นาทีแรกเช่นเดียวกับสี C.I. Reactive Black 5 จากนั้นจึงลดลงอีกทีละน้อยจนได้ค่าต่ำสุดในช่วง 10 นาทีหลังเกิดปฏิกิริยา แล้วกลับมีค่าสีค่อยๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนกระทั่งจบการทดลองที่เวลา 2 ชั่วโมง

สำหรับค่าพีเอชของปฏิกิริยาในขณะเริ่มต้นเติมสารเคมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์จะมีค่าสูงขึ้นในทันที และค่อยๆ ลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง เช่นเดียวกับค่าโออาร์พีของสารละลายที่เป็นลบในทันทีหลังจากเติมสารเคมีดังกล่าว และมีค่าเป็นลบมากขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสูงสุดภายใน 5 นาทีแรกของการเกิดปฏิกิริยา หลังจากนั้นจึงกลับเป็นบวกเพิ่มขึ้น

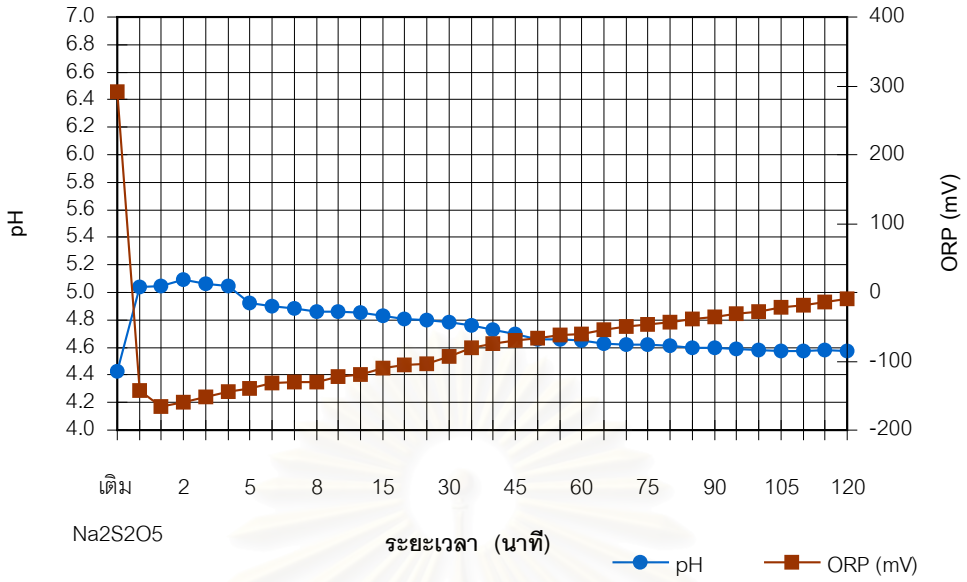
และเมื่อพิจารณาค่าโออาร์พีที่ประกอบกับค่าสีคงเหลือของน้ำเสียสังเคราะห์ กราฟแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นจนสมบูรณ์ภายใน 10 นาทีหลังเติมสารเคมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์ จึงนำค่าเวลาดังกล่าวมาหาค่าเฉลี่ยและใช้เป็นระยะเวลาในการกวนเร็วที่เหมาะสมของการทดลองในขั้นที่ 2 ของสี C.I. Reactive Red 180

4.2.3 น้ำเสียสีย้อม C.I. Reactive Blue 171

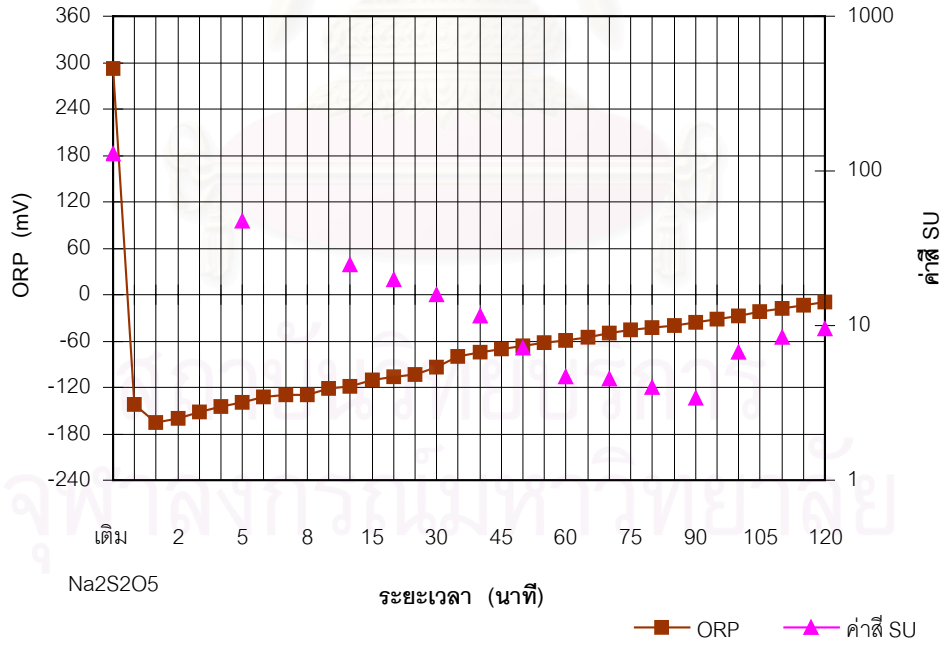
เมื่อเติม $Na_2S_2O_5$ และ SBH ในปริมาณมากเกินพอ จะได้ผลการทดลองเป็นไปตามรูปที่ 4.24 ถึงรูปที่ 4.33

รูปที่ 4.24 กราฟได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พีของสี C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าพีเอชกับโออาร์พีเริ่มต้นเท่ากับ 5.20 และ +2 95.5 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ ซึ่งหลังจากที่เติม $Na_2S_2O_5$ แล้วจะได้ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือพีเอชมีค่า 4.43 และโออาร์พีเท่ากับ +291.8 มิลลิโวลท์ ต่อจากนั้นเมื่อเติม SBH ค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นเป็น 5.04 และโออาร์พีเปลี่ยนเป็น –142.6 มิลลิโวลท์ เมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไปค่าพีเอชที่สูงขึ้นในช่วงแรกจะลดลงเมื่อถึงนาทีที่ 5 สำหรับโออาร์พีมีค่าต่ำสุดในนาทีที่ 1 แล้วจึงติดลบน้อยลง เมื่อถึงนาทีที่ 120 จึงมีค่าพีเอชและโออาร์พีสุดท้ายอยู่ที่ 4.57 และ – 9.3 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ

เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสีคงเหลือของ C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงกราฟตามรูปที่ 4.25 โดยค่าสีเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์อยู่ที่ 128 หน่วย หลังจากที่เติม $Na_2S_2O_5$ พบว่าค่าสีไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด แต่ภายหลังใส่ SBH จึงทำให้ค่าสีลดลงเหลือ 47 หน่วย ในนาทีที่ 5 และยังคงลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงนาทีที่ 90 ของการทดลอง ซึ่งให้ค่าสีคงเหลือต่ำสุดที่ 3 หน่วย ต่อจากนั้นค่าสีจึงเพิ่ม



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พี ของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสี ของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

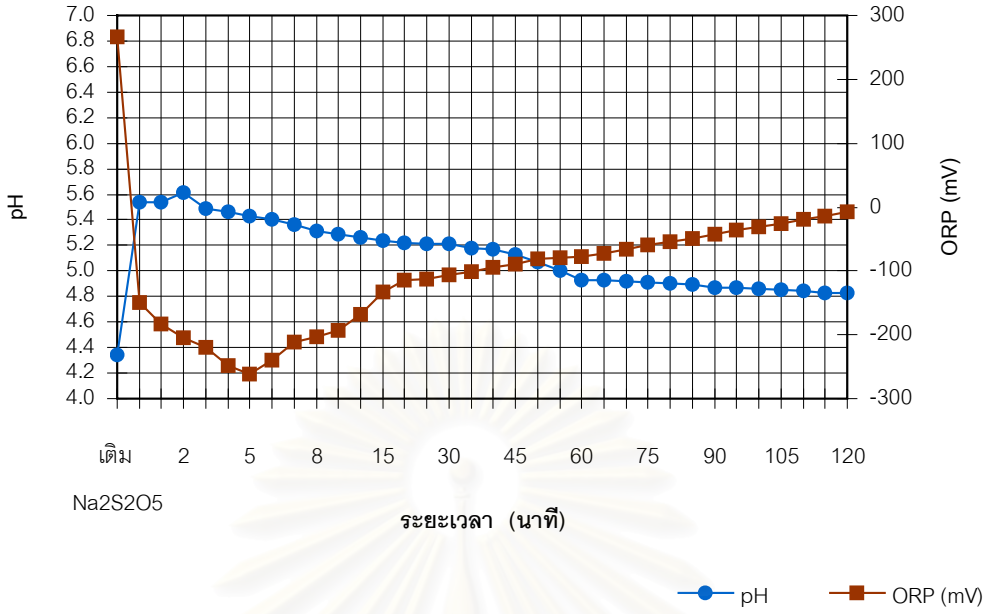
ขึ้น เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่าสีอยู่ที่ 9 หน่วย สำหรับโออาร์พีจะมีค่าต่ำสุดในนาทีที่ 1 ของการทดลอง โดยค่าโออาร์พีจะอยู่ที่ – 36.2 มิลลิโวลท์ ณ จุดที่ค่าสีคงเหลือต่ำสุด

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พีของน้ำเสียสังเคราะห์สี C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.26 คุณสมบัติเริ่มต้นของน้ำเสียมีค่าพีเอชและโออาร์พีเท่ากับ 4.90 และ +296.4 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ เมื่อเริ่มการทดลองโดยเติม $Na_2S_2O_5$ ค่าพีเอชจะเปลี่ยนเป็น 4.34 ซึ่งมีค่าลดลง และโออาร์พีเป็น + 267.0 มิลลิโวลท์ โดยมีค่าบวกลดลงจากเดิม ภายหลังเติม SBH ค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็น 5.54 ในขณะที่โออาร์พีมีค่ากลายเป็น –150.3 มิลลิโวลท์ จากการทดลองค่าพีเอชจะเป็นด่างสูงสุดในนาทีที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 5.61 หลังจากนั้นจึงมีค่าลดลง สำหรับค่าโออาร์พีภายหลังเติม SBH ในนาทีที่ 0 แล้วจะยังมีค่าลดลงจนกระทั่งถึงนาทีที่ 5 จึงมีค่าอยู่ที่ –262.1 มิลลิโวลท์ ซึ่งเป็นจุดที่มีค่าต่ำสุด เมื่อสิ้นสุดการทดลองในนาทีที่ 120 ค่าพีเอชและโออาร์พีจึงมีค่าเท่ากับ 4.83 และ -7.8 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ

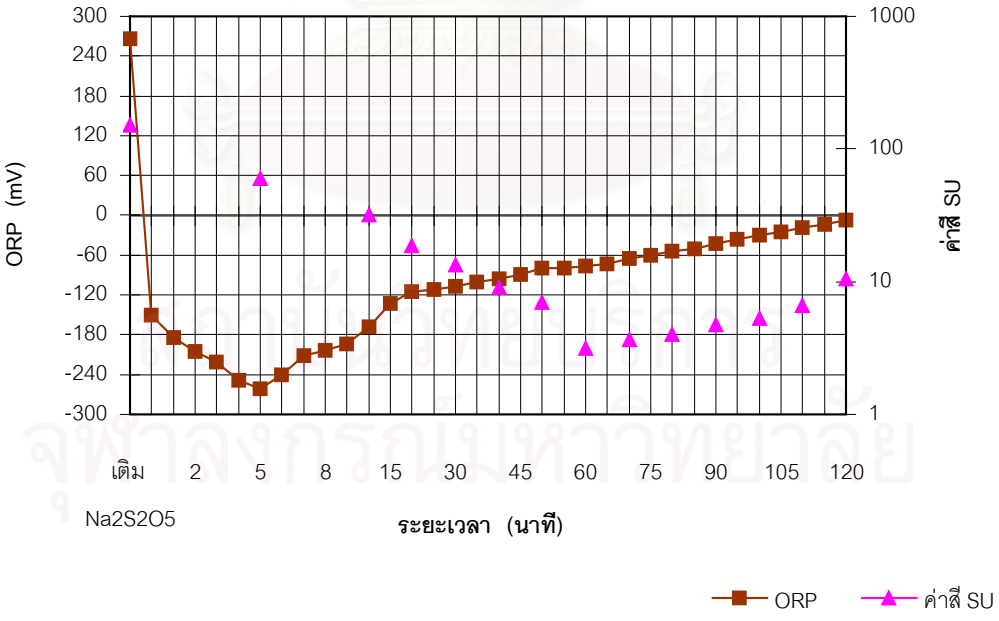
วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสีคงเหลือของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงกราฟตามรูปที่ 4.27 ค่าสีเริ่มต้นทั้งก่อนและหลังเติม $Na_2S_2O_5$ มีค่า 152 หน่วย เมื่อเติม SBH ค่าสีจึงลดลงเหลือ 60 หน่วย เมื่อทำการวัดสีในนาทีที่ 5 ของการทดลอง จากนั้นค่าสียังคงลดลงต่อไปจนกระทั่งเหลือค่าต่ำสุดในนาทีที่ 60 เท่ากับ 3 หน่วย และจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้นเป็น 11 หน่วย หลังครบ 120 นาทีของการทำปฏิกิริยา โดยจุดที่ค่าสีลดเหลือต่ำสุดนี้โออาร์พีกลับกำลังมีแนวโน้มเป็นบวกเพิ่มขึ้น

เมื่อทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 4.28 คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พีค่าพีเอชและค่าโออาร์พีก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 4.60 และ + 288.5 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ เมื่อเติม $Na_2S_2O_5$ พบว่าค่าพีเอชเปลี่ยนเป็น 3.61 และโออาร์พีเป็น +264.4 มิลลิโวลท์ หลังจากนั้นเมื่อใส่สารเคมี SBH ค่าพีเอชจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นด่างที่ 5.59 สำหรับโออาร์พีกลายเป็น –172 มิลลิโวลท์ ในทันทีที่เติมสารเคมี เมื่อดำเนินการทดลองต่อไป ค่าพีเอชจะยังคงเป็นด่างมากขึ้น จนถึงนาทีที่ 2 ของการทดลองค่าพีเอชจนสูงสุดอยู่ที่ 5.66 แล้วจึงค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง และค่าโออาร์พีจะเป็นลบมากที่สุดในนาทีที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ -235.4 มิลลิโวลท์ แล้วจึงติดลบน้อยลงหลังจากนั้น เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองค่าพีเอชกับโออาร์พีจะอยู่ที่ 4.74 และ –22.9 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ

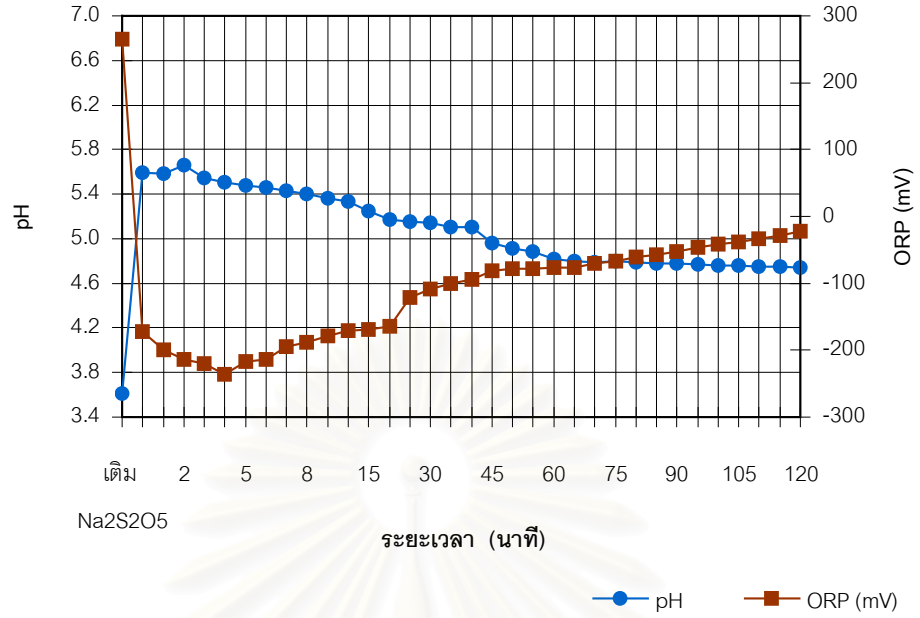
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสีคงเหลือของ C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปที่ 4.29 ค่าสีเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ มีค่าเท่ากับ 193 ในหน่วย SU และมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงภายหลังเติม $Na_2S_2O_5$ แต่ค่าสีจะลดลงเมื่อเติม SBH โดยมีค่าสีคงเหลือต่ำสุดเท่ากับ 3 หน่วย ในนาทีที่ 60 ของการทดลอง หลังจากนั้นค่าสีจึงเพิ่มขึ้นเป็น 13 หน่วย เมื่อเวลาผ่านไปครบ 2 ชั่วโมง การลดลงของค่าสีคงเหลือในน้ำเสียสังเคราะห์



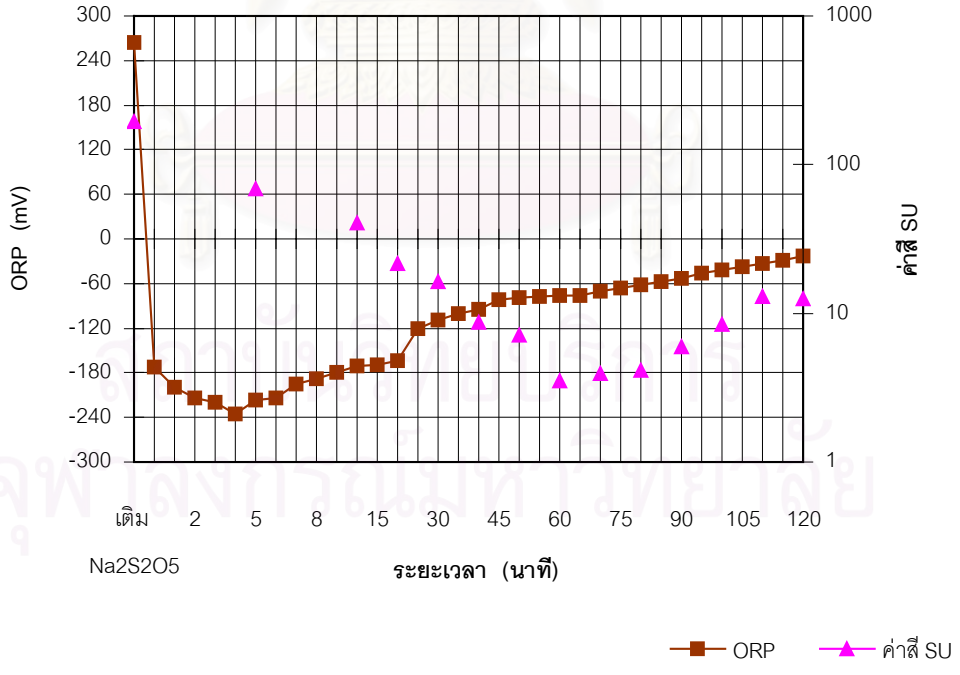
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พี ของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสี ของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พี ของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสี ของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร

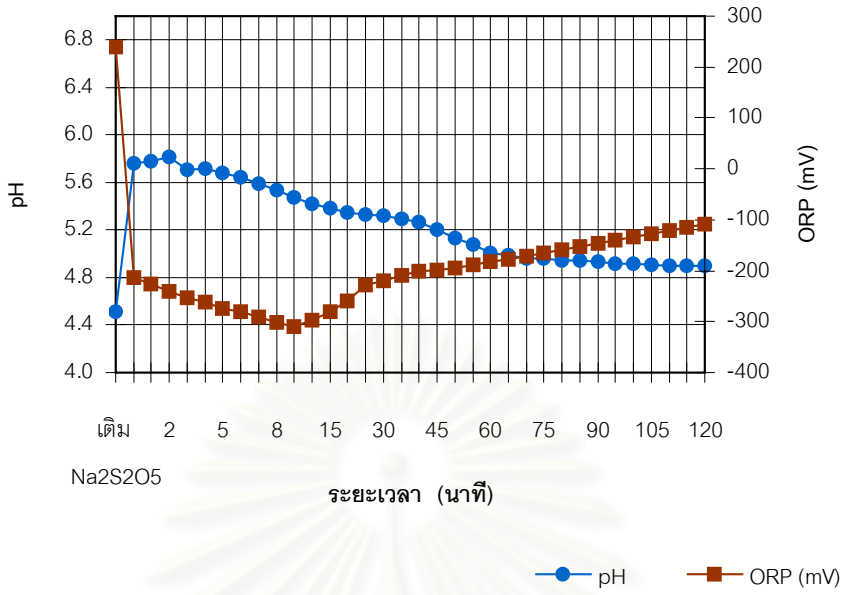
ภายใน 5 นาทีแรกของการทดลองจะมีอัตราเร็วสูงสุด ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ค่าโออาร์พีกำลังมีค่าเป็นลบมากขึ้น

รูปที่ 4.30 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พีของน้ำเสียสังเคราะห์สี C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4.60 และโออาร์พีเป็น + 283.7 มิลลิโวลท์ เมื่อเริ่มการทดลองโดยเติม $Na_2S_2O_5$ ค่าพีเอชจะลดลงเหลือ 4.51 และโออาร์พีเป็นบวกลดลงคือมีค่าเท่ากับ + 239.7 มิลลิโวลท์ หลังจากนั้นเมื่อใส่สารเคมี SBH จึงทำให้พีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 5.76 และโออาร์พีกลายเป็น –214.4 มิลลิโวลท์ อย่างรวดเร็ว โดยในนาทีที่ 2 ของการทดลองพีเอชจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 5.81 และโออาร์พีมีค่าติดลบมากที่สุดเท่ากับ –309.9 มิลลิโวลท์ ณ นาทีที่ 9 หลังจากที่พารามิเตอร์ทั้งสองมีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดแล้ว จากนั้นกราฟจะหักเหกลับไปในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ หลังจากนาทีที่ 2 พีเอชจะมีแนวโน้มลดลง และหลังจากนาทีที่ 9 โออาร์พีจะมีแนวโน้มกลับสู่ค่าบวก เมื่อเวลาของการทดลองผ่านไปครบ 120 นาที ค่าพีเอชและโออาร์พีจะอยู่ที่ 4.9 และ –109.4 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ

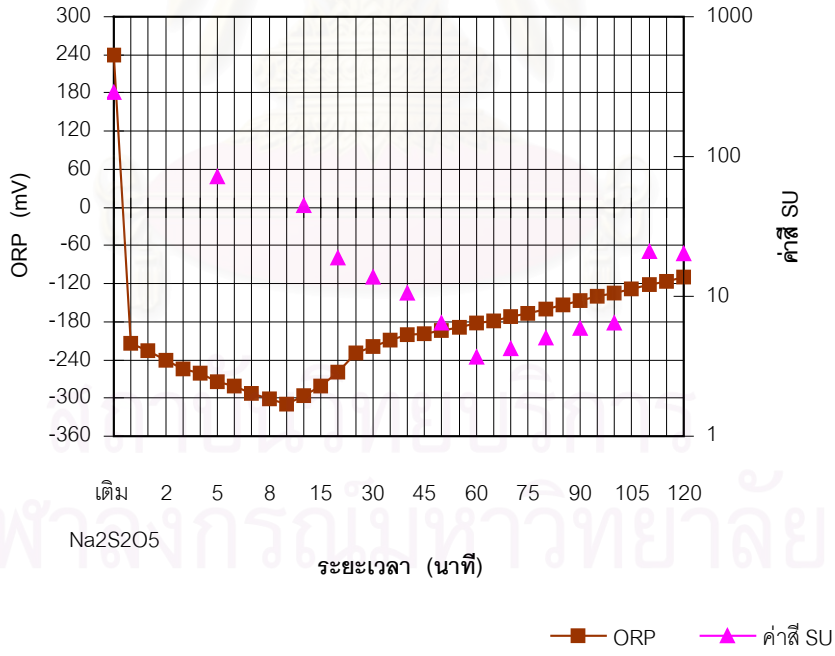
เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับโออาร์พีและค่าสีคงเหลือของ C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.31 โดยมีค่าสีเริ่มต้นในหน่วย SU ก่อนและหลังเติม $Na_2S_2O_5$ เท่ากับ 290 ซึ่งภายหลังเติม SBH จะทำให้สีลดลงมาอยู่ที่ค่า 72 ใน 5 นาทีแรกของการทดลอง จากนั้นจึงยังคงลดลงต่อไปจนกระทั่งเหลือ 4 หน่วย ในนาทีที่ 60 ของการทดลอง และเมื่อเวลาผ่านไปครบ 120 นาที ค่าสีจึงเพิ่มมาอยู่ที่ 20 หน่วย โดยจุดที่ค่าสีคงเหลือต่ำสุดจะอยู่ในช่วงที่โออาร์พีกำลังกลับเข้าสู่ค่าบวก

ผลการทดลองของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 4.32 คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พีค่าพีเอชและโออาร์พีของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนเริ่มการทดลองมีค่าเท่ากับ 4.60 และ + 280.5 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ เมื่อเติม $Na_2S_2O_5$ ทำให้พีเอชมีค่าลดลงเหลือ 4.54 และโออาร์พีลดลงมาอยู่ที่ +239.8 มิลลิโวลท์ จากนั้นในนาทีที่ 0 หลังจากเติม SBH ค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นเป็น 5.86 และมีค่าสูงสุดในนาทีที่ 1 คือมีค่าเท่ากับ 5.93 แล้วจึงมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองที่เวลา 120 นาที พีเอชมีค่าอยู่ที่ 5.03 สำหรับโออาร์พีภายหลังเติม SBH จะมีค่าเป็นลบในทันที โดยอยู่ที่ –241.4 มิลลิโวลท์ และยังคงลดลงต่อไปจนมีค่าเป็น –359 มิลลิโวลท์ ในนาทีที่ 15 จากนั้นจึงมีค่าติดลบน้อยลง เมื่อครบ 120 นาที ปรากฏว่าโออาร์พียังคงมีค่าเป็นลบอยู่ที่ –236.2 มิลลิโวลท์

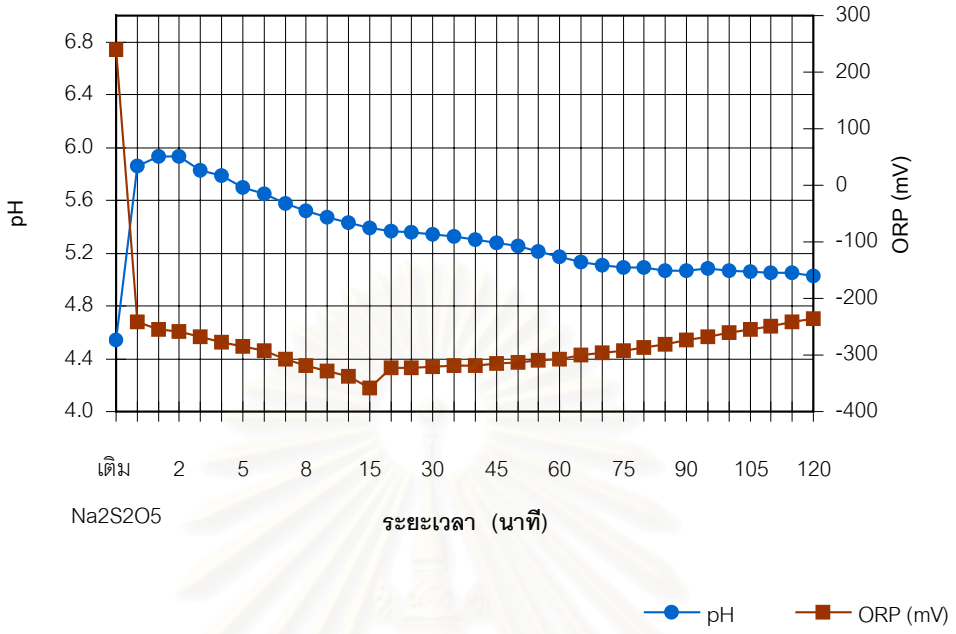
โดยรูปที่ 4.33 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสีคงเหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีค่าสีเริ่มต้นเท่ากับ 424 หน่วย เมื่อเติม SBH จะทำให้สีลดลงมาอยู่ที่ค่า 69 เมื่อทำการวัดค่าในนาทีที่ 5 จากนั้นค่าสียังคงลดลงต่อไปจนกระทั่งถึงนาทีที่ 60 จะลดเหลือค่าต่ำสุดเท่ากับ 5 หน่วย แล้วจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 18 ในนาทีที่ 120 ของการทดลอง



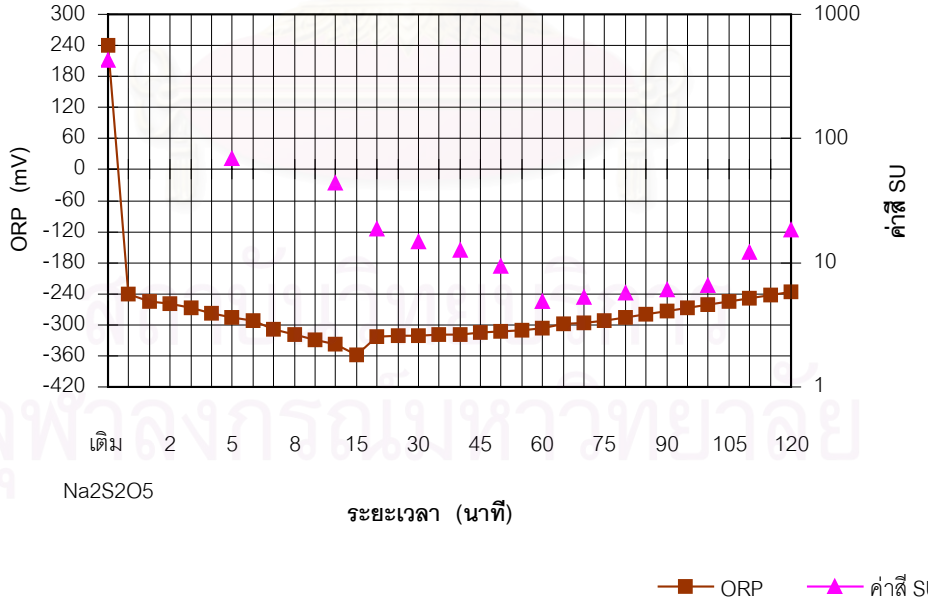
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พี ของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสี ของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าพีเอชและโออาร์พี ของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าโออาร์พีและค่าสี ของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากกราฟในรูปที่ 4.24 ถึงรูปที่ 4.33 แสดงให้เห็นว่าค่าสีที่เหลือหลังจากปฏิกิริยามีค่าลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 10 นาทีแรกหลังจากเติมสารเคมี จากนั้นจึงลดลงอีกทีละน้อยจนได้ค่าต่ำสุดในช่วง 50 ถึง 70 นาทีหลังเกิดปฏิกิริยา แล้วกลับมีค่าสีค่อยๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนกระทั่งจบการทดลองที่เวลา 2 ชั่วโมง

สำหรับค่าพีเอชของปฏิกิริยาจะเป็นไปในลักษณะเดียวกับสีรีแอกทีฟอีก 2 ชนิดที่ใช้ในการทดลอง กล่าวคือในขณะเริ่มต้นเติมสารเคมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์จะมีค่าสูงขึ้นในทันที และค่อยๆ ลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง เช่นเดียวกับค่าโออาร์พีของสารละลายที่เป็นลบในทันทีหลังจากเติมสารเคมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์ และมีค่าเป็นลบมากขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสูงสุดภายใน 5 นาทีแรกของการเกิดปฏิกิริยา หลังจากนั้นจึงกลับเป็นบวกเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสีย้อมกับโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่สมบูรณ์แล้ว

เมื่อพิจารณาค่าโออาร์พีที่ประกอบกับค่าสีคงเหลือของน้ำเสียสังเคราะห์ของสี C.I. Reactive Blue 171 จากกราฟแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นจนสมบูรณ์ภายใน 30 นาทีหลังเติมสารเคมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์ จึงนำค่าเวลาดังกล่าวมาหาค่าเฉลี่ยและใช้เป็นระยะเวลาในการกวนเร็วที่เหมาะสมของการทดลองในขั้นที่ 2 ต่อไป ดังแสดงผลสรุปของค่าระยะเวลากวนเร็วตามตารางที่ 4.29 และ 4.30 ซึ่งเป็นระยะเวลากวนเร็วที่ได้จากการทดลองสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นต่างๆ และผลค่าเฉลี่ยตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจนสมบูรณ์ระหว่าง SBH/$Na_2S_2O_5$ กับสีย้อม

สีย้อม / ความเข้มข้น	ระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสม (นาที)					
	50 มก./ลิตร	70 มก./ลิตร	90 มก./ลิตร	150 มก./ลิตร	200 มก./ลิตร	**เฉลี่ย**
C.I. Reactive Black 5	40	20	20	30	30	**28**
C.I. Reactive Red 180	10	30	10	5	5	**12**
C.I. Reactive Blue 171	10	30	30	30	20	**24**

เนื่องจากจะเห็นได้ว่าระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาจนสมบูรณ์สำหรับสีย้อมชนิดเดียวกันแต่มีความเข้มข้นต่างๆ กันนั้นจะให้ระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมไม่เหมือนกัน แต่เพื่อให้การควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียเป็นไปโดยง่าย ดังนั้นจึงใช้ค่าเฉลี่ยจากตารางที่ 4.9 มาเป็นระยะเวลากวนเร็วในการเกิดปฏิกิริยาโดยสี C.I. Reactive Black 5 เลือกใช้เวลาในการกวนเร็วเท่ากับ 30 นาที สี C.I. Reactive Red 180 เลือกใช้ที่ 10 นาที และสี C.I. Reactive Blue 171 ใช้เวลากวนเร็ว 25 นาที ดังแสดงค่าสรุปในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ระยะเวลากวนเร็วที่เลือกใช้สำหรับสีย้อมประเภทต่าง ๆ

สีย้อม	ระยะเวลากวนเร็ว (นาที)
C.I. Reactive Black 5	30
C.I. Reactive Red 180	10
C.I. Reactive Blue 171	25

4.3 ผลการทดลองหาปริมาณ SBH ที่เหมาะสม โดยเติม $Na_2S_2O_5$ มากเกินพอ

จากผลการทดลองตามหัวข้อที่ 4.3 ทำให้ได้ระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาสำหรับขั้นที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.10

4.3.1 C.I. Reactive Black 5

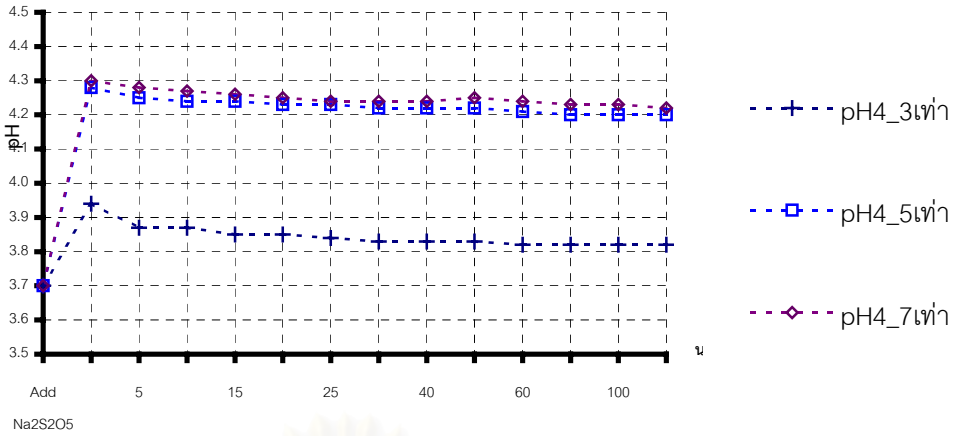
จากการทดลองสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนไปในระหว่างเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ ดังแสดงในโดยรูปที่ 4.34 ก. ถึงรูปที่ 4.34 ค. โดย 4.34 ก. แสดงกราฟของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ถูกปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 4 รูปที่ 4.34 ข. น้ำเสียสังเคราะห์มีพีเอชปกติ และรูปที่ 4.34 ค. น้ำเสียสังเคราะห์มีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 อธิบายผลการทดลองได้ดังนี้

รูปที่ 4.34 ก. ตัวอย่างที่ 1 น้ำเสียสังเคราะห์มีพีเอช 4 และทำการเติม SBH 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริกตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 มีพีเอช 4 เช่นเดียวกัน แต่เติม SBH ในปริมาณ 5 และ 7 เท่า พบว่าเมื่อเติม $Na_2S_2O_5$ จะทำให้น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าพีเอชลดลงมาอยู่ที่ 3.7 และภายหลังเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH แล้วพีเอชของทั้ง 3 ตัวอย่างจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่ 3 ซึ่งเติม SBH ในปริมาณสูงสุดคือ 7 เท่าจะให้ค่าพีเอชสูงสุดเช่นเดียวกัน จากนั้นเมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไป ค่าพีเอชจะมีการเปลี่ยนแปลงในทางลดลง

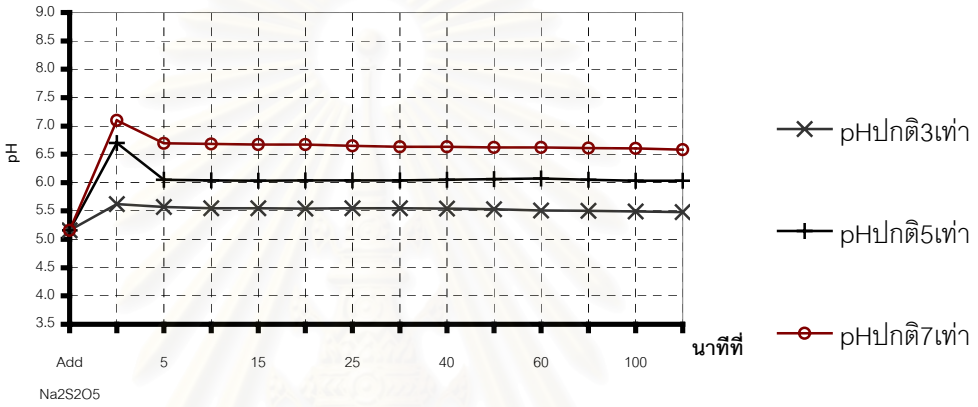
รูปที่ 4.34 ข. ตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 จะถูกเติม SBH ในปริมาณ 3 5 และ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริกตามลำดับ โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ดังกล่าวแล้ว ในนาทีที่ 0 คือจุดเริ่มการทดลอง โดยทำปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH จะทำให้พีเอชสูงขึ้น โดยมีค่าเท่ากับพีเอช 5.62 พีเอช 6.70 และพีเอช 7.10 สำหรับตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 หลังจากนั้นค่าพีเอชจึงมีแนวโน้มลดลง

รูปที่ 4.34 ค. น้ำเสียเริ่มต้นที่ถูกปรับพีเอชให้เป็น 10 เมื่อเติม $Na_2S_2O_5$ ค่าพีเอชจะลดลงเหลือ 8.60 จากนั้นเมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH โดยตัวอย่างที่ 1 เติม SBH 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ตัวอย่างที่ 2 เติม SBH 5 เท่า และตัวอย่างที่เติม 7 เท่า โดยในนาทีที่ 0 ซึ่งเป็นจุดเริ่มเกิดปฏิกิริยา ค่าพีเอชจะลดลงเหลือต่ำกว่า 6.40 สำหรับทุกตัวอย่าง จากนั้นจะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย

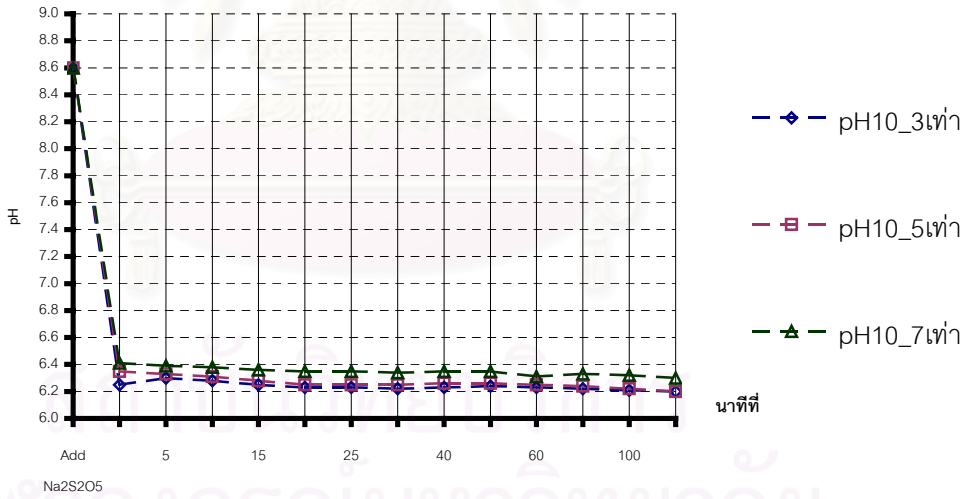
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.34 กราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.63)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.35 ก. ถึงรูปที่ 4.35 ค. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่างเดียวกันกับรูปที่ 4.34 ก. ถึงรูปที่ 4.34 ค.

รูปที่ 4.35 ก. น้ำเสียมีโออาร์พีเริ่มต้นเป็น + 267.2 มิลลิโวลท์ เมื่อเติม SBH ปรากฏว่าค่าโออาร์พีของทั้ง 3 ตัวอย่างลดลงมาอยู่ที่ต่ำกว่า – 60 มิลลิโวลท์ ต่อจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งจบการทดลอง

รูปที่ 4.35 ข. น้ำเสียสังเคราะห์มีโออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ เท่ากับ + 196.8 มิลลิโวลท์ จากนั้นจึงมีค่าโออาร์พีเปลี่ยนเป็นลบเมื่อทำปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH โดยตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีโออาร์พีสูงขึ้นเมื่อทำการวัดค่าในขณะที่เติม SBH โดยเท่ากับ – 87.6 และ – 151.4 มิลลิโวลท์ สำหรับตัวอย่างที่ 3 หลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันแล้วโออาร์พีจะยังคงลดลงต่อไปจนกระทั่งนาทีที่ 10 จึงมีค่าลบสูงสุดเท่ากับ – 231.5 มิลลิโวลท์ ซึ่งเมื่อผ่านจุดต่ำสุดดังกล่าวไปแล้วโออาร์พีจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อจบการทดลองตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีค่าโออาร์พีเป็นบวก ในขณะที่ตัวอย่างที่ 3 ยังมีมีค่าติดลบ

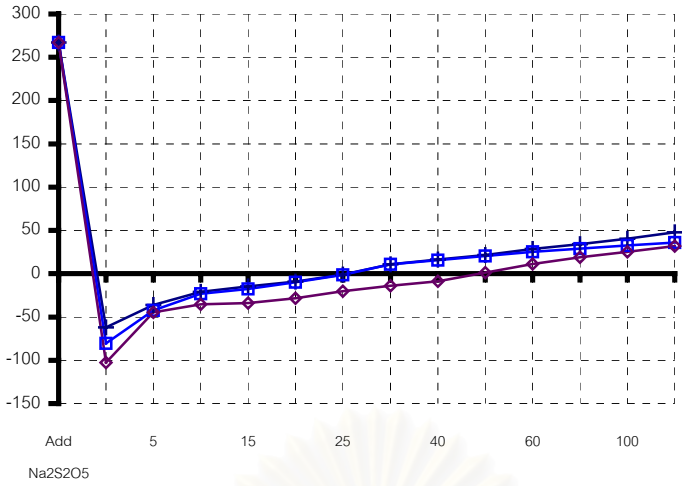
รูปที่ 4.35 ค. หลังเติม $Na_2S_2O_5$ ทำให้โออาร์พีมีค่าเท่ากับ + 194.0 มิลลิโวลท์ และเมื่อเติม SBH เพื่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ค่าโออาร์พีจึงลดต่ำลงโดยประมาณเป็น –150 มิลลิโวลท์ สำหรับตัวอย่างที่ 1 และ 2 และ –214.5 มิลลิโวลท์ สำหรับตัวอย่างที่ 3 จากนั้นตัวอย่างที่ 1 จึงมีโออาร์พีเพิ่มขึ้นในนาทีที่ 5 ของการทดลอง แต่ตัวอย่างที่ 2 และ 3 ยังคงมีการลดของค่าโออาร์พีต่อไปจนกระทั่งมีจุดต่ำสุดของกราฟ ณ นาทีที่ 5 และ 15 ตามลำดับ แล้วจึงมีค่าเพิ่มขึ้นในภายหลัง เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีโออาร์พีเป็นบวกได้และตัวอย่างที่ 3 จะยังคงมีค่าโออาร์พีติดลบที่ – 89.6 มิลลิโวลท์

รูปที่ 4.36 ก. ถึงรูปที่ 4.36 ข. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเสียสังเคราะห์ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสีเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 3749 หน่วย ADMI

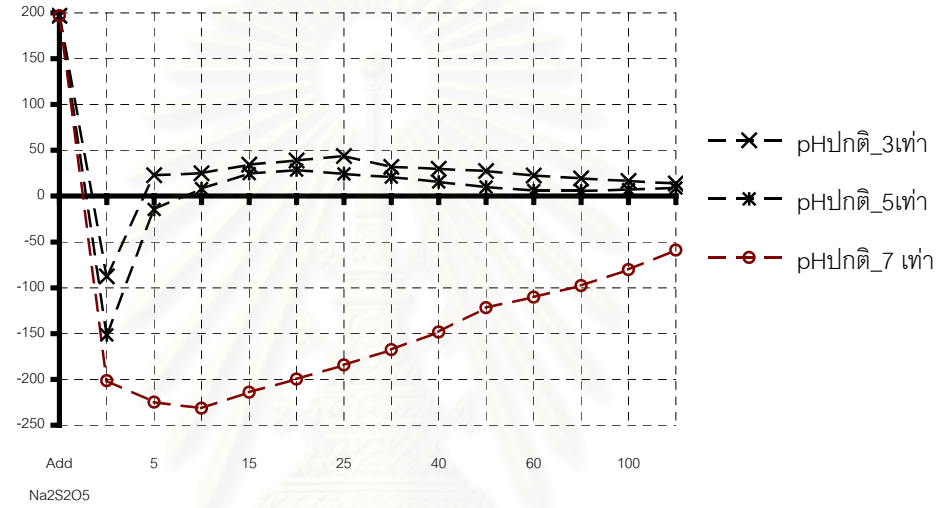
รูปที่ 4.36 ก. เป็นชุดการทดลองที่เติม SBH 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 มีพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับพีเอช 4 พีเอชปกติ และ พีเอช 10 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าภายหลังเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH แล้วจึงมีค่าสีลดลง โดยตัวอย่างที่มีค่าสีคงเหลือต่ำกว่า 2200 สำหรับตัวอย่างที่ 1 และ 2 โดยตัวอย่างที่ 3 มีค่าต่ำกว่า 2100 หน่วย จากนั้นทุกตัวอย่างจึงมีค่าสีลดลงอีกเล็กน้อยจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

สำหรับชุดการทดลองที่เติม SBH 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ดังแสดงในรูปที่ 4.36 ข. ตัวอย่างที่ 1 ถึงตัวอย่างที่ 3 ถูกปรับค่าพีเอชเริ่มต้นเป็นเช่นเดียวกันกับรูปที่ 4.36 ก. เมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH ทำให้ค่าสีลดต่ำลงเหลือ 2174 หน่วย สำหรับตัวอย่างที่ 1 2233 หน่วยสำหรับตัวอย่างที่ 2 และ 2134 หน่วยสำหรับตัวอย่างที่ 3 เรียงตามลำดับมากไปน้อย หลังจากนั้นค่าสีของทั้ง 3 ตัวอย่างจะยังคงลดลงอีก โดยตัวอย่างที่ 2 และ 3 มีค่าสีคงเหลือใกล้เคียงกัน

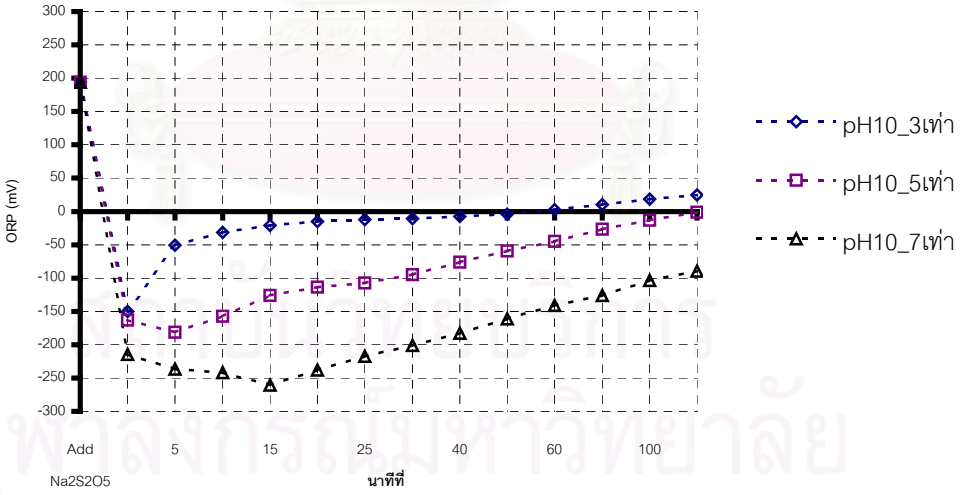
(ก)



(ข)



(ค)



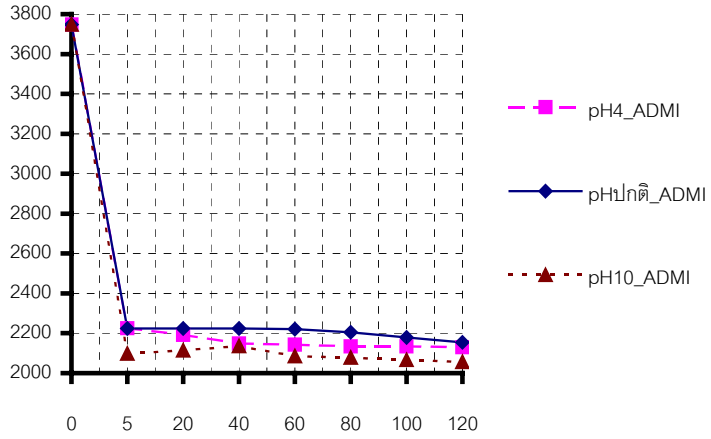
รูปที่ 4.35 กราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

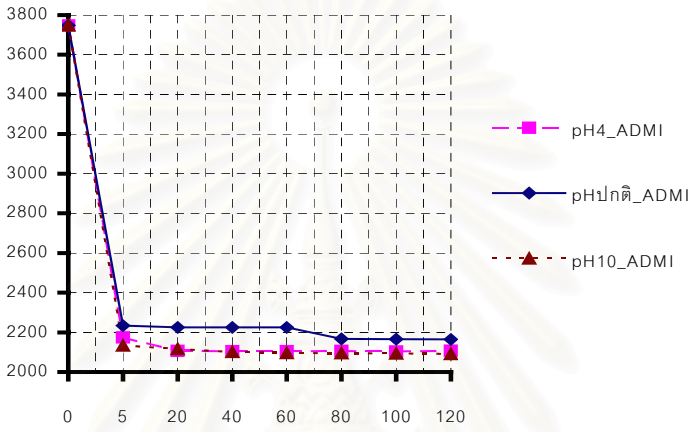
(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.63)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

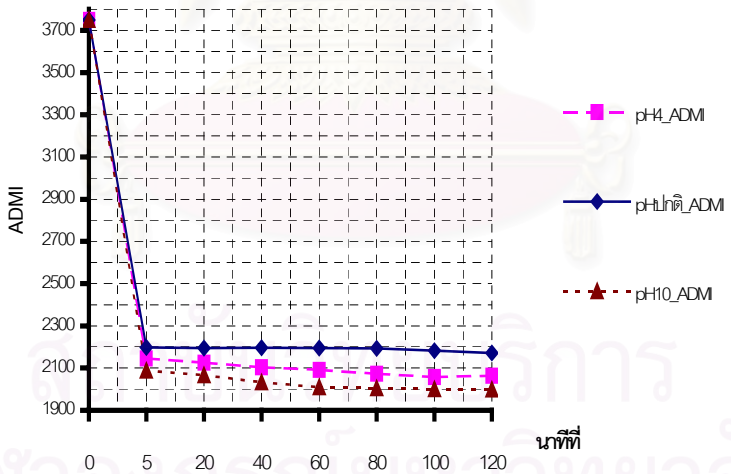
(ก



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) ปริมาณสารเคมีเป็น 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ข) ปริมาณสารเคมีเป็น 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ค) ปริมาณสารเคมีเป็น 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

รูปที่ 4.36 ค. เป็นชุดการทดลองที่เติม SBH 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 ถูกปรับค่าพีเอชเริ่มต้นเป็นเช่นเดียวกันกับรูปที่ 4.36 ก. และ 4.36 ข. เมื่อทำการเติม SBH ค่าสีจะลดลงอย่างรวดเร็วเหลือต่ำกว่า 2200 หน่วย สำหรับตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 และยังคงลดลงต่อไปจนกระทั่งถึงนาทีที่ 120 ซึ่งเป็นจุดสิ้นสุดของการทดลอง

รูปที่ 4.37 ก. ถึงรูปที่ 4.37 ค. เป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร แบ่งเป็น 3 ชุดตัวอย่าง ได้แก่ ชุดที่ 1 คือรูปที่ 4.37 ก. น้ำเสียสังเคราะห์ถูกปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 4 ชุดที่ 2 แสดงในรูปที่ 4.37 ข. ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ปกติที่ไม่มีการปรับค่าพีเอชและชุดที่ 3 ดังรูปที่ 4.37 ค. น้ำเสียถูกปรับค่าพีเอชเป็น 10 แต่ละชุดมี 3 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ทำการเติม SBH 3 เท่า 5 เท่า และ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริกตามลำดับ

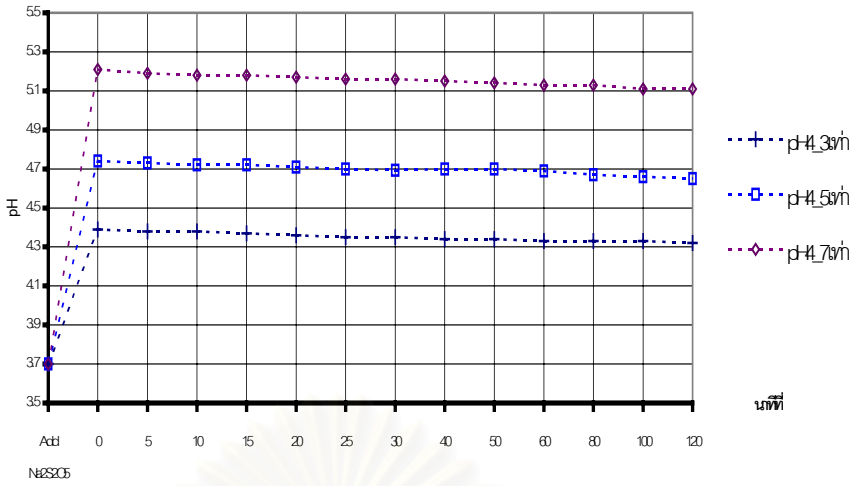
ชุดตัวอย่างแรก น้ำเสียมีพีเอชหลังเติม $Na_2S_2O_5$ เท่ากับ 3.70 จากนั้นเมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH ค่าพีเอชจึงสูงขึ้นตามลำดับจากมากไปน้อยได้แก่ ตัวอย่างที่ 3 2 และ 1 โดยมีค่าเท่ากับพีเอช 4.39 พีเอช 4.74 และพีเอช 5.21 ในขณะที่ปฏิกิริยาดำเนินต่อไป ค่าพีเอชของทั้ง 3 ตัวอย่างจึงลดลงเล็กน้อย ดังแสดงได้โดยรูปที่ 4.37 ก.

ชุดตัวอย่างที่ 2 สมบัติเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์มีพีเอช 4.89 ภายหลังใส่ $Na_2S_2O_5$ จึงมีพีเอชต่ำลงเหลือ 5.12 เมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH ค่าพีเอชจะสูงขึ้น โดยมีค่ามากกว่า 5.8 สำหรับทุกตัวอย่าง หลังจากนั้นพีเอชจึงมีค่าลดต่ำลงจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ผลการทดลองแสดงไว้ตามรูปที่ 4.37 ข.

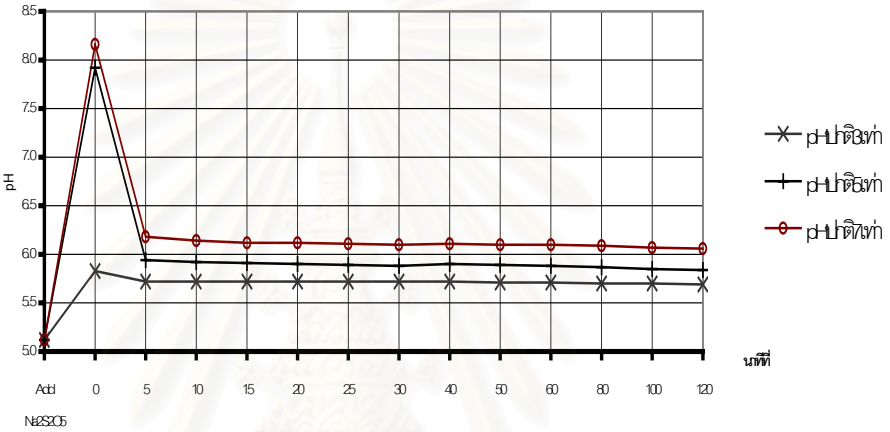
สำหรับรูปที่ 4.37 ค. น้ำเสียสังเคราะห์มีพีเอชภายหลังเติม $Na_2S_2O_5$ เป็น 8.04 จากนั้นเมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันพีเอชกลับมีค่าลดลงมาอยู่ที่ต่ำกว่า 6.5 สำหรับทุกตัวอย่าง และเมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไปพีเอชของทั้ง 3 ตัวอย่างจะลดลงอีกเพียงเล็กน้อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

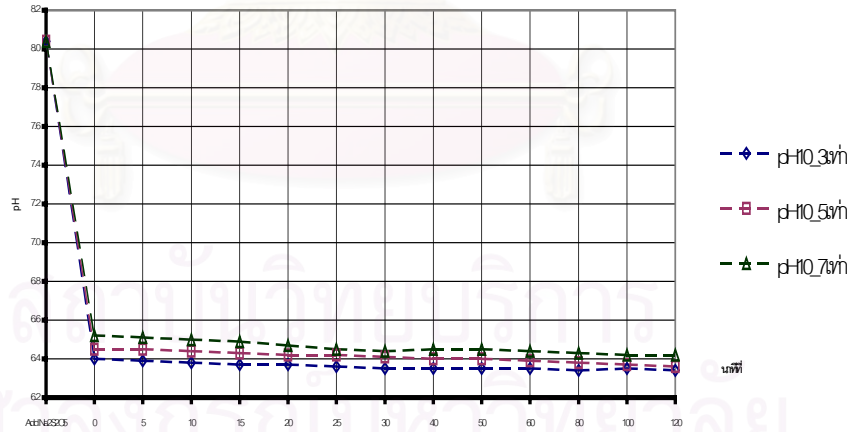
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.54)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

รูปที่ 4.38 ก. ถึงรูปที่ 4.38 ค. เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างเกิดปฏิกิริยาการลดสีของน้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่างเดียวกับรูปที่ 4.37 ก. ถึงรูปที่ 4.37 ค. โดยสามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

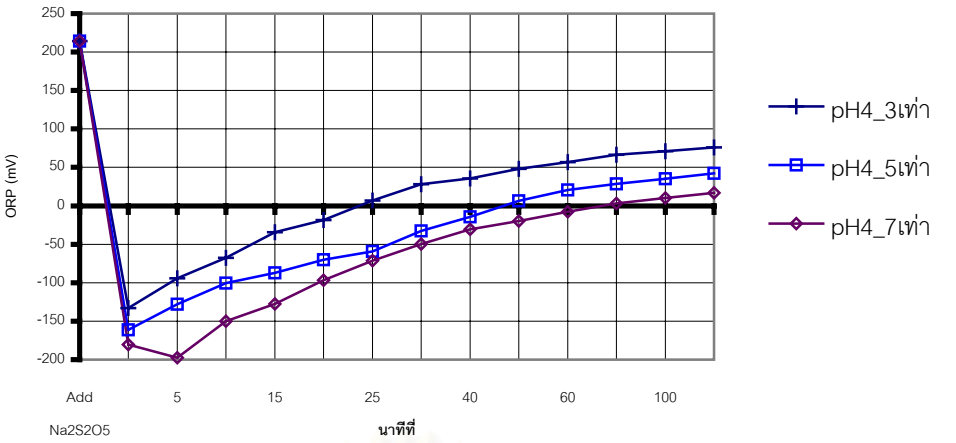
รูปที่ 4.38 ก. น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งถูกปรับพีเอชเป็น 4 มีค่าโออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ เท่ากับ + 210 มิลลิโวลท์ โดยเมื่อทำปฏิกิริยากับ SBH จึงให้ค่าโออาร์พีที่เป็นลบในทันที เรียงตามลำดับคือ ตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 โดยมีโออาร์พีต่ำว่า -120 มิลลิโวลท์ สำหรับตัวอย่างสุดท้ายจะมีค่าโออาร์พีต่ำสุด ณ นาทีที่ 5 ของปฏิกิริยา ในขณะที่ 2 ตัวอย่างแรกเกิดจุดต่ำสุดทันทีที่เติม SBH หลังจากนั้นจึงค่อยๆ มีค่าโออาร์พีเพิ่มขึ้นจนกระทั่งกลายเป็นบวกเมื่อถึงนาทีที่ 120

และเมื่อทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ตามปกติ ในรูปที่ 4.38 ข. พบว่าภายหลังเติม $Na_2S_2O_5$ น้ำเสียจึงมีโออาร์พีเท่ากับ + 200 มิลลิโวลท์ และกลายเป็นลบเมื่อเติม SBH ลงในสารละลาย โดยตัวอย่างที่ 1 มีค่าเป็นลบสูงสุด ณ จุดที่เติมสารรีดิวซ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ - 250 มิลลิโวลท์ ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 เกิดจุดที่โออาร์พีติดลบสูงสุดในนาทีที่ 5 และ 10 ตามลำดับ มีค่าโออาร์พีเท่ากับ - 300 มิลลิโวลท์ และ - 350 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ

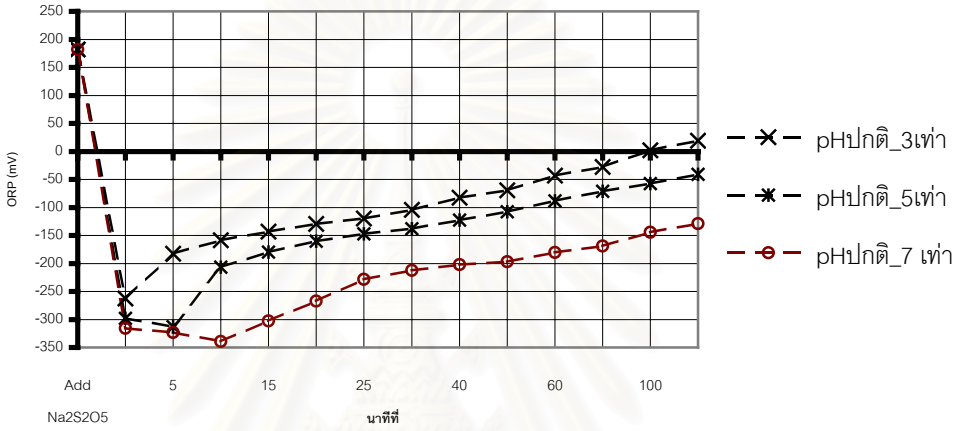
ชุดตัวอย่างที่ปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 10 ดังรูปที่ 4.38 ค. พบว่าเมื่อน้ำเสียสังเคราะห์เกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH พบว่าค่าโออาร์พีเปลี่ยนเป็นลบในทันที โดยมีจุดต่ำสุดสำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 อยู่ที่นาทีที่ 5 นาทีที่ 10 และนาทีที่ 15 ของปฏิกิริยาตามลำดับ ต่อจากนั้นจึงเป็นเช่นเดียวกับชุดตัวอย่างอื่นๆ คือค่าโออาร์พีจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

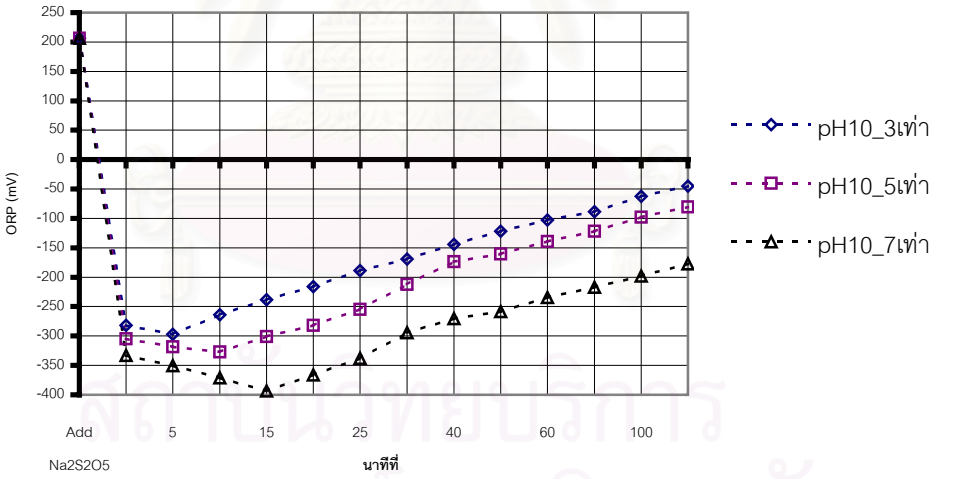
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.38 กราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.54)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

รูปที่ 4.39 ก. ถึงรูปที่ 4.39 ค. เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเสียสังเคราะห์ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าสีเริ่มต้นในหน่วย ADMI เท่ากับ 5100 หน่วย โดยรูปที่ 4.39 ก. เป็นชุดการทดลองที่เติม SBH 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก รูปที่ 4.39 ข. เติม SBH 5 เท่า และรูปที่ 4.39 ค. เติม SBH ในปริมาณ 7 เท่า โดยแต่ละชุดประกอบด้วย 3 ตัวอย่าง คือตัวอย่างที่ 1 มีพีเอช 4 ตัวอย่างที่ 2 มีพีเอชปกติ และตัวอย่างที่ 3 มีพีเอช 10

จากการทดลองพบว่าปฏิกิริยารีดักชันตามรูปที่ 4.39 ก ทำให้ค่าสีมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 5 นาทีแรก โดยเรียงตามลำดับของค่าสีคงเหลือจากมากไปน้อย ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ซึ่งมีค่าสีต่ำกว่า 1800 หน่วย จากนั้นตัวอย่างที่ 1 จะมีค่าสีค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 กลับมีค่าสีเพิ่มขึ้นโดยมีค่าอยู่ที่ค่าประมาณ 1500 หน่วย ตามลำดับ ณ จุดสิ้นสุดของการทดลอง

ชุดตัวอย่างที่ 2 ซึ่งเติม SBH เป็น 5 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.39 ข. ผลการทดลองพบว่าเมื่อเติม SBH ในปริมาณ 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ค่าสีคงเหลือของตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 ลดลงมาอยู่ที่ 250 หน่วย ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงมีค่าสีเพิ่มขึ้น โดยเมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปจนครบ 120 นาที ค่าสีจะเพิ่มเป็น 1250 หน่วย

เมื่อเติม SBH ในปริมาณ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก โดยผลการทดลองแสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 4.39 ค. ทำให้ค่าสีของตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ลดลงเหลือประมาณ 150 หน่วย ตามลำดับ และต่อจากนั้นค่าสีจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ 2 ชุดตัวอย่างแรก คือค่าสีจะอยู่ที่ 1000 ถึง 1250 หน่วย

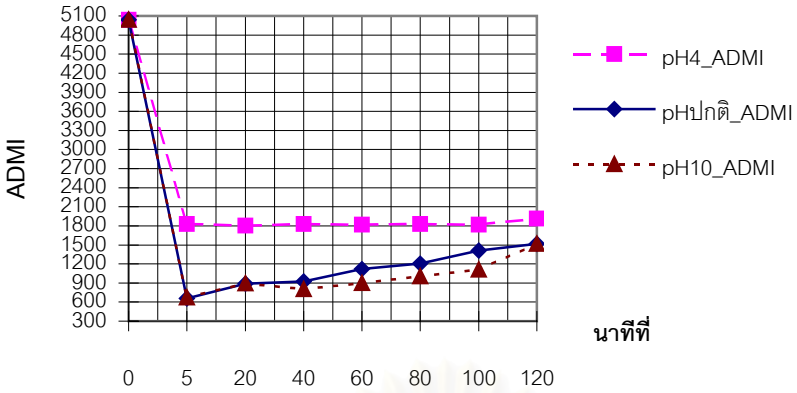
รูปที่ 4.40 ก. ถึง ค. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร 2 ชุดตัวอย่างแรกซึ่งถูกปรับพีเอชน้ำเสียเป็น 4 และที่ไม่ปรับพีเอชดังแสดงในรูปที่ 4.40 ก. และรูปที่ 4.40 ข. ผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชเป็นไปในลักษณะเดียวกันคือ ภายหลังเกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วยด้วย SBH แล้ว ค่าพีเอชจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ต่อจากนั้นจึงมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่รูปที่ 4.40 ค. ซึ่งเป็นชุดที่ปรับค่าพีเอช 10 เมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันพีเอชกลับมีค่าลดลง

รูปที่ 4.41 ก. ถึงรูปที่ 4.41 ค. แสดงกราฟโออาร์พีของ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยรูปที่ 4.41 ก. น้ำเสียสังเคราะห์มีพีเอช 4 รูปที่ 4.41 ข. ไม่ปรับพีเอช และรูปที่ 4.41 ค. มีพีเอช 10

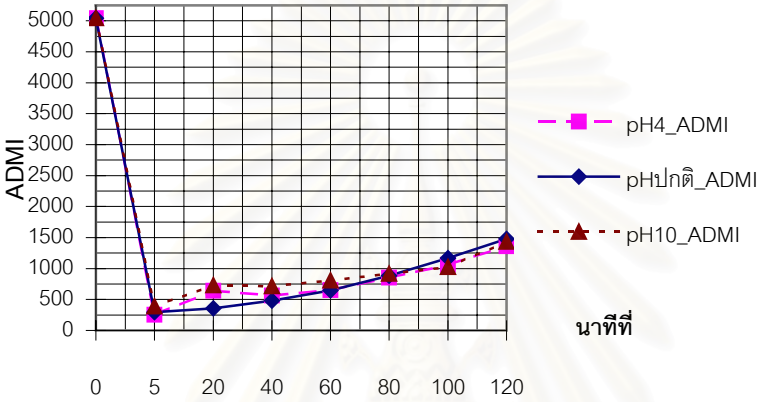
รูปที่ 4.41 ก. น้ำเสียสังเคราะห์มีโออาร์พีเริ่มต้นเป็น +250 มิลลิโวลท์ และเมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันจึงทำให้ค่าโออาร์พีเปลี่ยนเป็นลบต่ำกว่า -50 มิลลิโวลท์ ในทันทีที่เติม SBH หลังจากนั้นจึงมีค่าสูงขึ้น เมื่อถึงนาทีที่ 120 ของการทดลองโออาร์พีจะมีค่าเป็นบวกทั้ง 3 ตัวอย่าง

รูปที่ 4.41 ข. เมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชัน พบว่าโออาร์พีที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าติดลบสูงกว่าชุดตัวอย่างที่ปรับพีเอช 4 และสำหรับตัวอย่างที่ 2 และ 3 จะเกิดจุดต่ำสุดของกราฟในนาทีที่ 15 ของปฏิกิริยา หลังจากนั้นค่าโออารีพีจึงค่อยๆ สูงขึ้นตามลำดับ

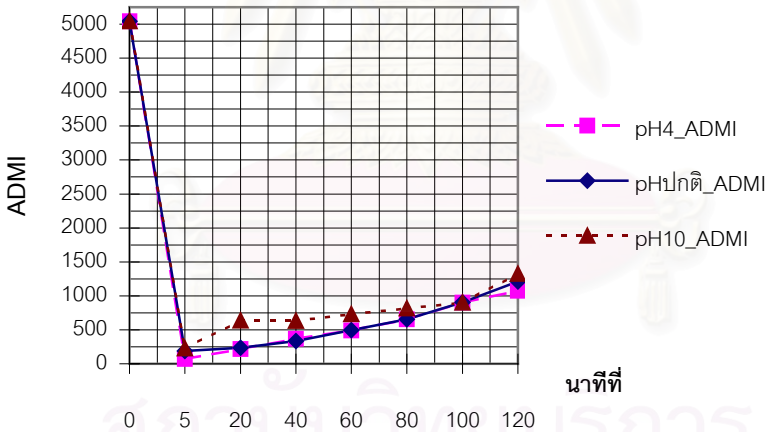
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.39 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร

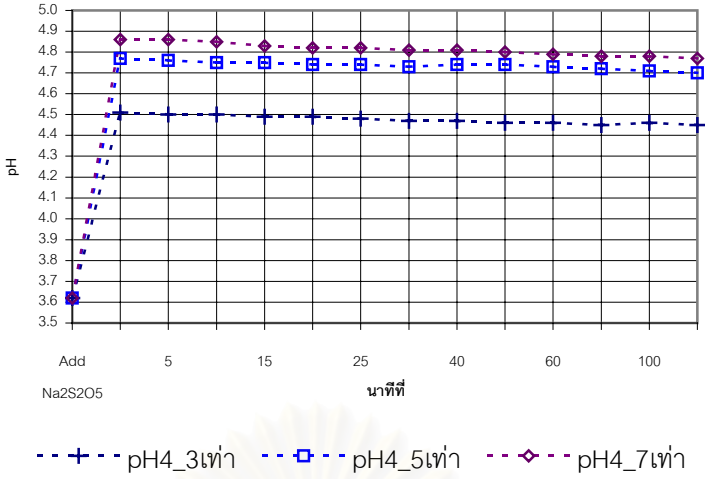
(ก) ปริมาณสารเคมีเป็น 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ข) ปริมาณสารเคมีเป็น 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

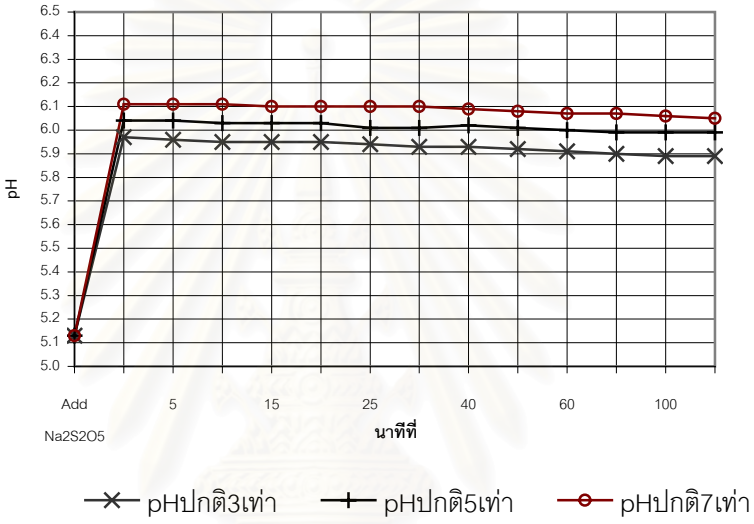
(ค) ปริมาณสารเคมีเป็น 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

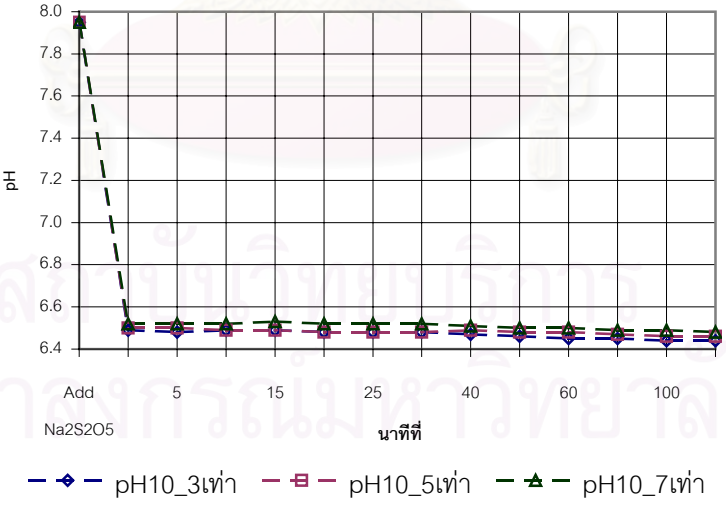
(ก)



(ข)



(ค)



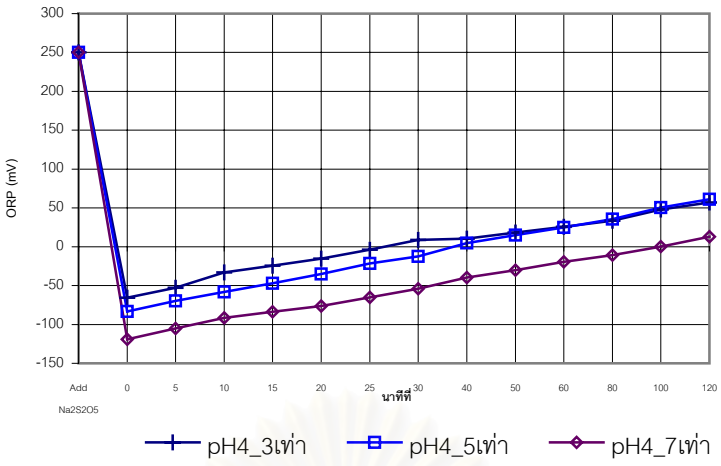
รูปที่ 4.40 กราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

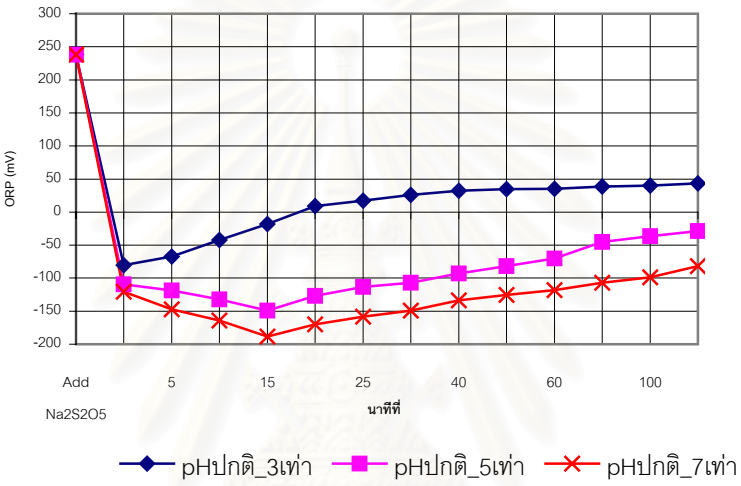
(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.49)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

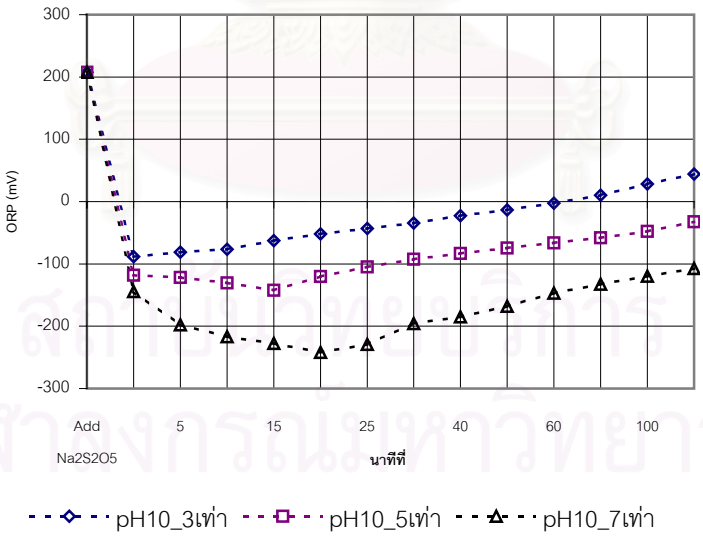
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.41 กราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.49)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.41 ค. ค่าโออาร์พีที่เปลี่ยนแปลงภายหลังเติม SBH มีค่าลบสูงกว่า 2 ชุดตัวอย่างข้างต้น ทั้งที่ปรับพีเอชเป็น 4 และ พีเอชปกติ แนวโน้มของเส้นกราฟเป็นไปในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อผ่านจุดต่ำสุดไปแล้วค่าโออาร์พีจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.42 ก. ถึงรูปที่ 4.42 ค. คือกราฟค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ขณะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยรูปที่ 4.42 ก. เป็นกราฟความสัมพันธ์ของชุดตัวอย่างที่มีการเติม SBH ในปริมาณ 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก รูปที่ 4.42 ข. เป็นกราฟของชุดตัวอย่างที่เติม SBH 5 เท่า และรูปที่ 4.42 ค. จะแสดงกราฟของชุดตัวอย่างที่เติม SBH เท่ากับ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ในแต่ละกราฟประกอบด้วย 3 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 คือน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีพีเอช 4 ตัวอย่างที่ 2 เป็นน้ำเสียที่มีพีเอชปกติ และตัวอย่างที่ 3 น้ำเสียสังเคราะห์มีพีเอช 10 ค่าสีเริ่มต้นก่อนเกิดปฏิกิริยาของทุกตัวอย่างมีค่า 6600 หน่วย และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของแต่ละกราฟได้ดังนี้

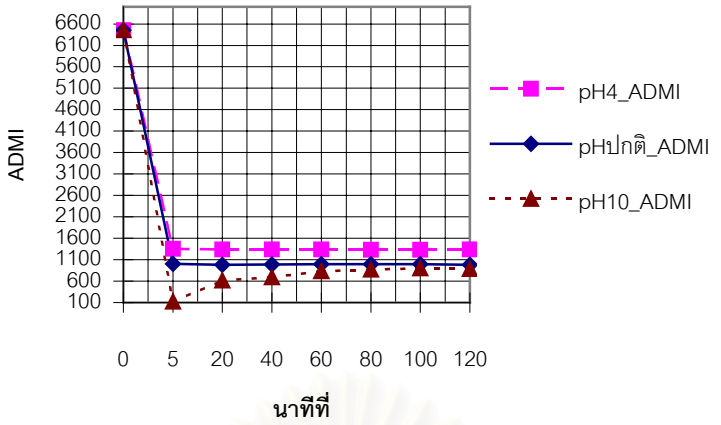
ชุดตัวอย่างที่ 1 เมื่อทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วย SBH ปรากฏว่าในนาทีที่ 5 ค่าสีลดลงเหลือต่ำกว่า 1600 หน่วย ทุกตัวอย่าง หลังจากนั้นจึงมีแนวโน้มคงที่ตลอดการทดลอง ดังรูปที่ 4.42 ก.

เมื่อเติม SBH ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดตัวอย่าง 2 ดังรูปที่ 4.42 ข. สารเคมีจะรีดิวซ์สีย้อมทุกตัวอย่างจนมีค่าสีคงเหลือต่ำกว่า 100 หน่วยเมื่อทำการวัดสี ณ นาทีที่ 5 ของการทดลอง หลังจากนั้นค่าสีคงเหลือจะมีค่าคงที่จนสิ้นสุดการทดลองในนาทีที่ 120

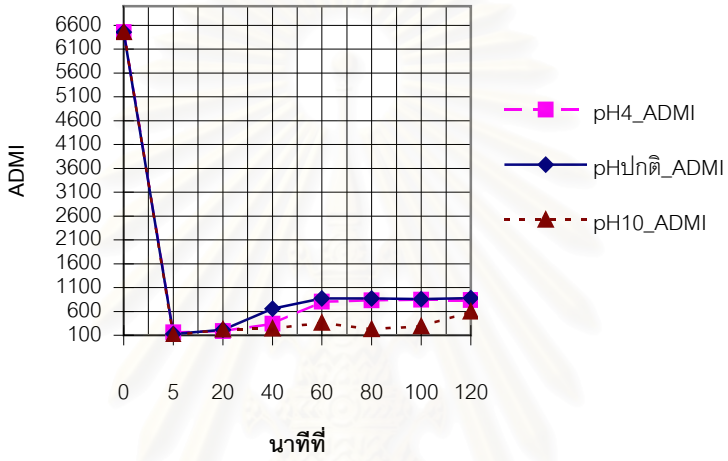
เมื่อพิจารณากราฟในรูปที่ 4.42 ค. หลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH ค่าสีจะลงลงอย่างรวดเร็ว โดยทุกตัวอย่างมีการลดของสีต่ำกว่า 50 หน่วย ADMI

รูปที่ 4.43 ก. ถึงรูปที่ 4.43 ค. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ 1 มีการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเป็น 4 และแสดงผลการทดลองตามรูปที่ 4.43 ก. ชุดการทดลองที่ 2 ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่ได้ทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยแสดงไว้ในรูปที่ 4.43 ข. และชุดการทดลองที่ 3 ถูกปรับค่าพีเอชเป็น 10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ตามรูปที่ 4.43 ค. โดยในแต่ละชุดการทดลองยังถูกแบ่งออกเป็น 3 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งเติม SBH ในปริมาณ 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ตัวอย่างที่ 2 เติม SBH เป็น 5 เท่า และตัวอย่างที่ 3 จะเติมในปริมาณ 7 เท่า อธิบายผลการทดลองได้ดังนี้

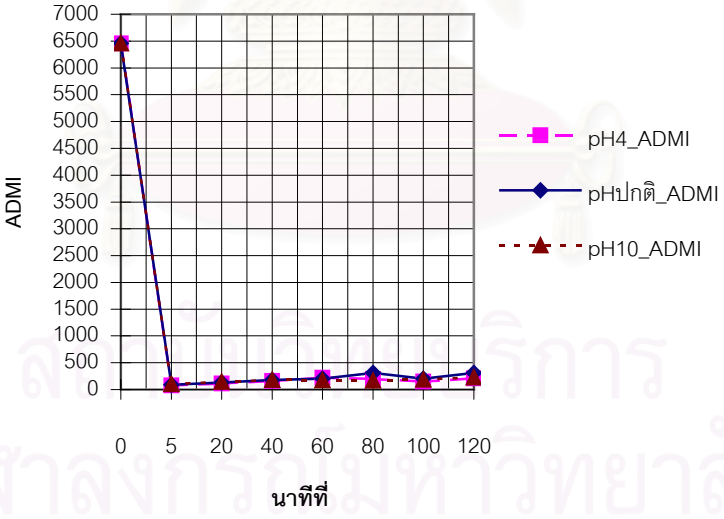
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.42 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร

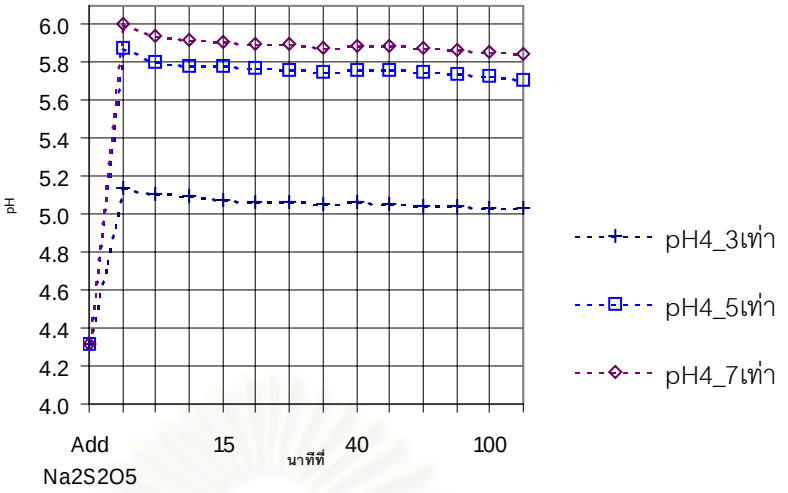
(ก) ปริมาณสารเคมีเป็น 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ข) ปริมาณสารเคมีเป็น 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

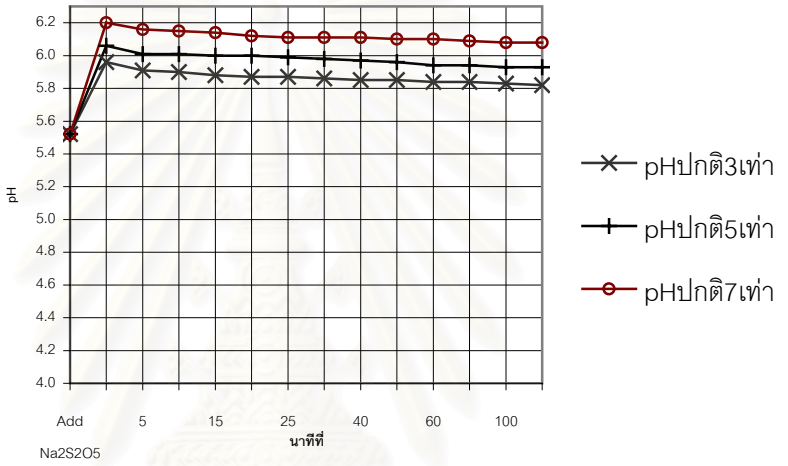
(ค) ปริมาณสารเคมีเป็น 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

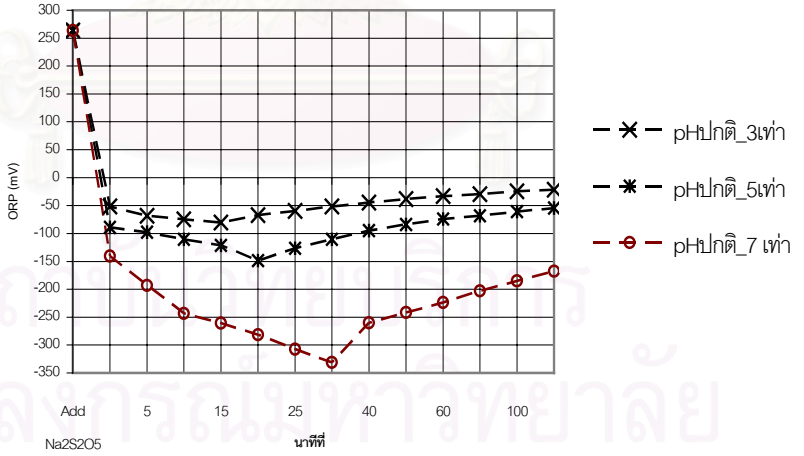
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.43 กราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 6.64)

รูปที่ 4.43 ก. ทั้ง 3 ตัวอย่างจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.3 ภายหลังเติม $Na_2S_2O_5$ ซึ่งลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับคุณสมบัติเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ แต่หลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH แล้ว ค่าพีเอชของทุกตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นสูงกว่า 5.1 หลังจากนั้นเมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไป พบว่าค่าพีเอชของทุกตัวอย่างจะลดลงอีกเพียงเล็กน้อยกระทั่งสิ้นสุดการทดลองที่เวลา 2 ชั่วโมง

รูปที่ 4.43 ข. เมื่อเติม SBH ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ ค่าพีเอชจึงเพิ่มขึ้นเมื่อวัดค่าในนาทีที่ 5 โดยเรียงตามลำดับน้อยไปมากจากตัวอย่างที่ 1 ถึงตัวอย่างที่ 3 โดยมีพีเอชมากกว่า 5.5 จากนั้นแนวโน้ม จะลดเล็กอีกเล็กน้อยจนกระทั่งจบการทดลองในนาทีที่ 120

รูปที่ 4.43 ค. ภายหลังเติม $Na_2S_2O_5$ ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ ทำให้พีเอชลดลงจาก 10 เหลือที่ 8.9 และเมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ทุกตัวอย่างจึงเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 6.2 ถึง 6.4 ตามลำดับ หลังจากนั้นเป็นต้นไปค่าพีเอชของทั้ง 3 ตัวอย่างจะมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง

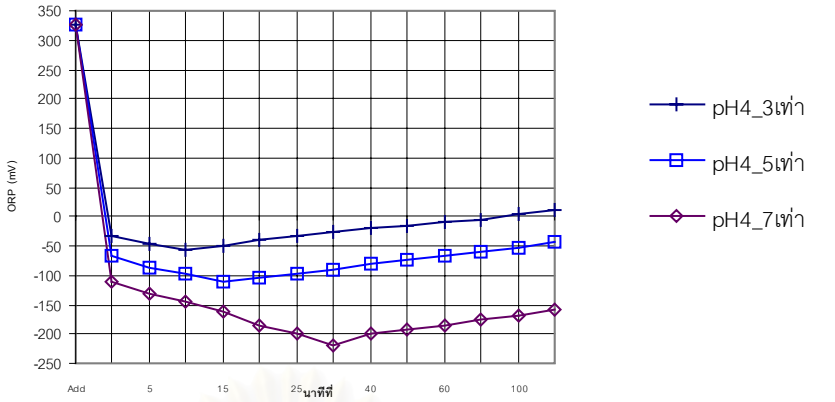
รูปที่ 4.44 ก. ถึงรูปที่ 4.44 ข. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง และ 3 ตัวอย่างในแต่ละชุดเช่นเดียวกันกับการทดลองอื่นๆ กล่าวคือ รูปที่ 4.44 ก. เป็นชุดที่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 4 รูปที่ 4.44 ข. ใช้น้ำเสียที่มีพีเอชปกติ และรูปที่ 4.44 ค. จะปรับพีเอชให้เป็น 10

รูปที่ 4.44 ก. โออาร์พีจะมีค่าลดลงในทันทีภายหลังเติม SBH โดยตัวอย่างที่ 1 (SBH 3 เท่า) และตัวอย่างที่ 2 (SBH 5 เท่า) มีค่าโออาร์พีลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงนาทีที่ 120 ซึ่งเป็นจุดสุดท้ายของการทดลอง พบว่าค่าโออาร์พียังมีแนวโน้มที่จะลดลงต่อไปอีก แสดงถึงระยะเวลาของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ช้า แต่สำหรับตัวอย่างที่ 3 (SBH 7 เท่า) จะมีค่าโออาร์พีต่ำสุด ณ นาทีที่ 30 โดยมีค่าเป็น –220 มิลลิโวลท์ และหลังจากจุดต่ำสุดของกราฟจากนั้นโออาร์พีจึงมีค่าเพิ่มขึ้น

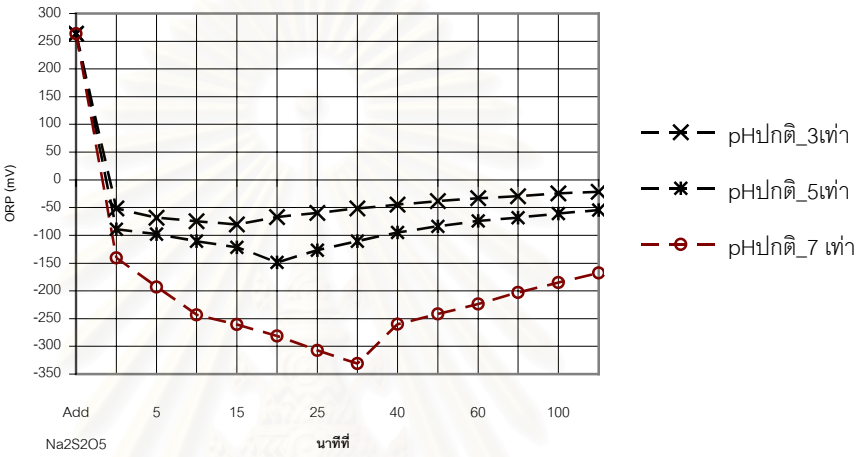
รูปที่ 4.44 ข. หลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันค่าโออาร์พีของทุกตัวอย่างจะมีค่ากลายเป็นลบในทันที โดยจุดต่ำสุดของกราฟอยู่ ณ นาทีที่เติม SBHโดยมีค่าอยู่ในช่วง –50 ถึง -150 มิลลิโวลท์ จากนั้นโออาร์พีจึงมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาของปฏิกิริยาดำเนินไปครบ 2 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 มีค่าโออาร์พีสูงกว่า –200 มิลลิโวลท์

รูปที่ 4.44 ค. ตัวอย่างที่ 1 หลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH ค่าโออาร์พีจะลดลงต่ำสุดทันทีเมื่อวัดค่าในนาทีที่เริ่มเกิดปฏิกิริยา และในนาทีที่ 120 ของการเกิดปฏิกิริยา ทั้ง 3 ตัวอย่างจะยังคงมีโออาร์พีที่เป็นลบ

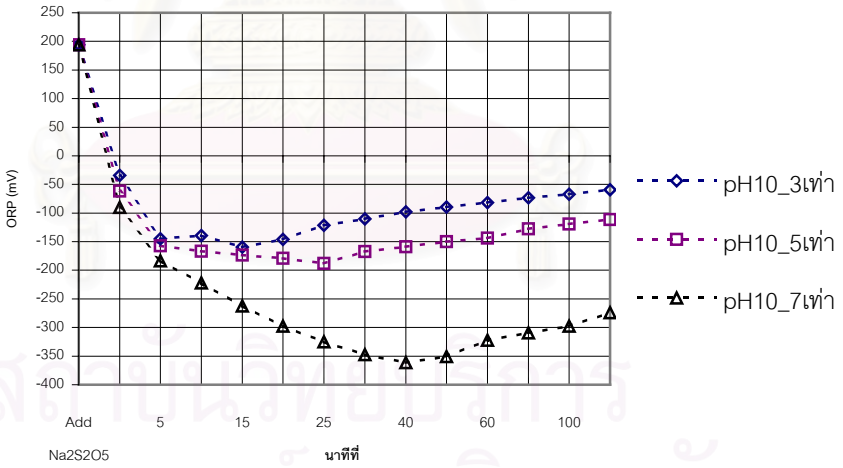
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.44 กราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 6.64)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.45 ก. ถึงรูปที่ 4.45 ค. คือกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือระหว่างเกิปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Black 5 เข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าสีเริ่มต้น 10,500 หน่วย ADMI โดยรูปที่ 4.45 ก. แสดงกราฟของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติมปริมาณสารเคมี SBH เท่ากับ 3 เท่าของปริมาณทางสตอยชิโอเมตริก รูปที่ 4.45 ข. และรูปที่ 4.45 ค. แสดงกราฟที่เติม SBH เท่ากับ 5 เท่าและ 7 เท่า นอกจากนั้นน้ำเสียสีย้อมจะถูกปรับค่าพีเอชเป็น 3 ค่า ได้แก่ พีเอช 4 พีเอชปกติ และ พีเอช 10 โดยกำหนดให้เป็นตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับในแต่ละชุดการทดลอง

กราฟแสดงค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ของน้ำเสียสังเคราะห์ C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เติม SBH เท่ากับ 3 เท่าของปริมาณที่เหมาะสมตามสมการเคมี ดังรูปที่ 4.45 ก. พบว่าหลังเกิดปฏิกิริยารีดักชันค่าสีของทั้ง 3 ตัวอย่างลดลงเหลือค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าประมาณ 500 ถึง 1000 หน่วย หลังขากนั้นค่าสีคงเหลือจะค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง

โดยรูปที่ 4.45 ข. แสดงถึงการลดลงของค่าสีซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 ซึ่งมีค่าประมาณ 200 หน่วย จากนั้นแนวโน้มค่าสีจึงค่อนข้างคงที่ไปตลอดการทดลอง เมื่อพิจารณารูปที่ 4.45 ค. เมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันค่าสีลดลงเหลือค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 ตัวอย่าง คืออยู่ที่ค่าประมาณ 150 หน่วย เมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไปพบว่าค่าสีคงเหลือจะมีค่าค่อนข้างคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองที่เวลา 2 ชั่วโมง

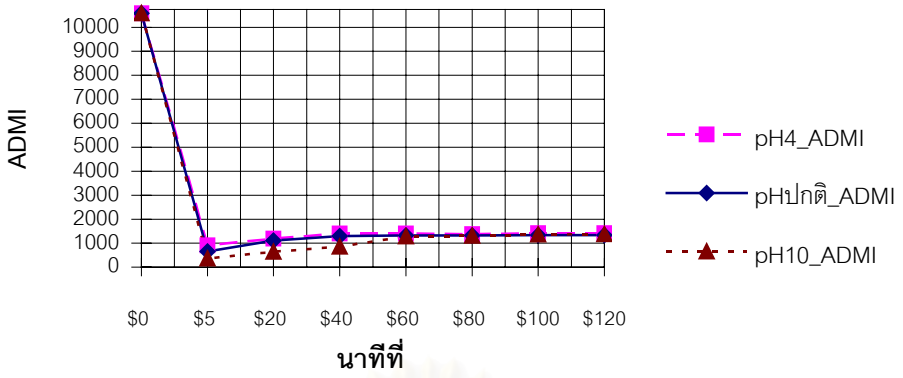
รูปที่ 4.46 ก. ถึงรูปที่ 4.46 ค. เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์อันได้แก่พีเอชและโออาร์พีที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแบ่งออกเป็น 3 ชุดตัวอย่างตามการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง ได้แก่ ชุดที่ 1 มีพีเอช 4 ชุดที่ 2 พีเอชปกติ และชุดที่ 3 พีเอช 10 นอกจากนั้นแต่ละชุดยังแบ่งเป็น 3 ตัวอย่างตามปริมาณ SBH ที่เติมลงในสารละลาย คือ 3 เท่า 5 เท่าและ 7 เท่า สำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3

รูปที่ 4.46 ก. จากกราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในปฏิกิริยารีดักชัน พบว่าหลังเติมสารเคมีลงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ถูกปรับพีเอชก่อนการทดลองให้เป็น 4 SBH จะทำให้พีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่ 1 มีค่าพีเอช 5.1 ตัวอย่างที่ 2 มีพีเอช 5.7 และตัวอย่างที่ 3 มีพีเอช 6.0 เมื่อทำการวัดค่า ณ นาทีที่เติม SBH ภายหลังจากนั้นแนวโน้มของกราฟพีเอชจะมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย

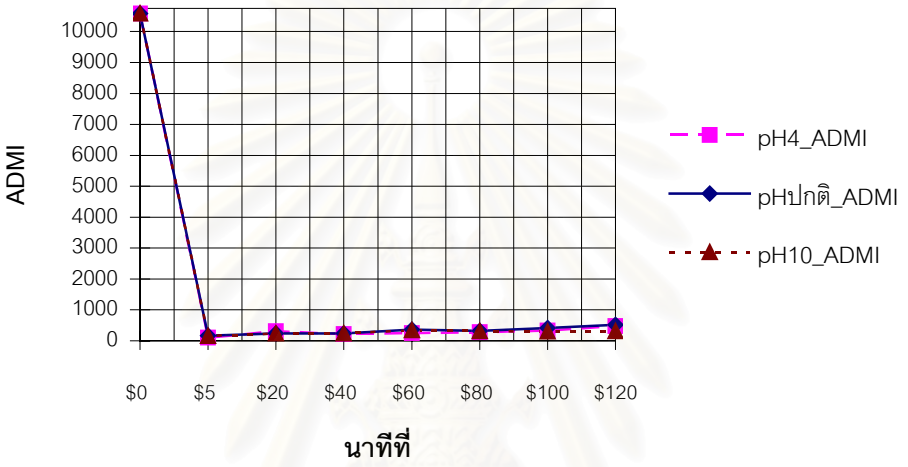
รูปที่ 4.46 ข. ผลการทดลองพบว่าภายหลังเติม SBH แล้วค่าพีเอชของทั้ง 3 ตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นมากกว่า 6.0 เรียงตามลำดับต่ำไปสูงจากตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ต่อจากนั้นจึงมีค่าลดลงเล็กน้อยจนกระทั่งจบการทดลอง

รูปที่ 4.46 ค. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ถูกปรับพีเอชเป็น 10 ภายหลังเติม $Na_2S_2O_5$ จะทำให้พีเอชลดลงเหลือ 6.5 และเมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH พบว่าตัวอย่างที่ 1 (SBH 3 เท่า) กลับมีพีเอชต่ำลงเป็น 5.0 เมื่อทำการวัดค่าในนาทีที่เริ่มการทดลอง หลังจากนั้นจึงมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลองในขณะที่

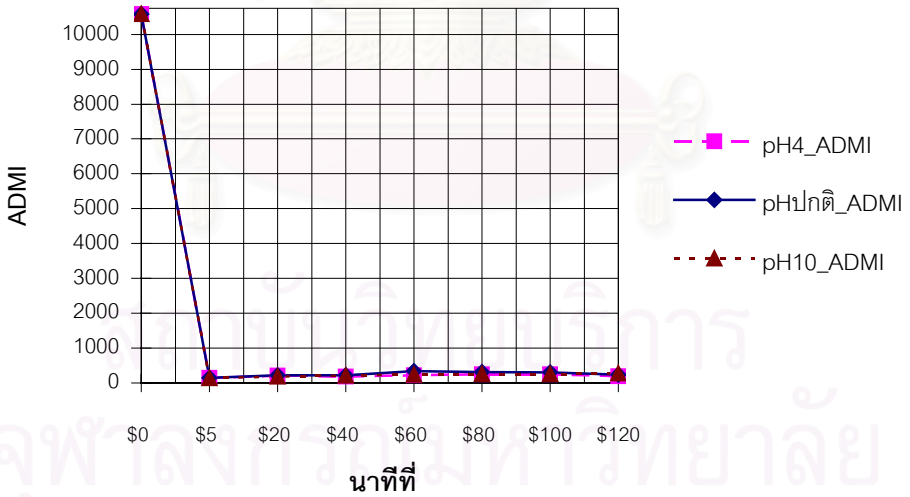
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.45 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

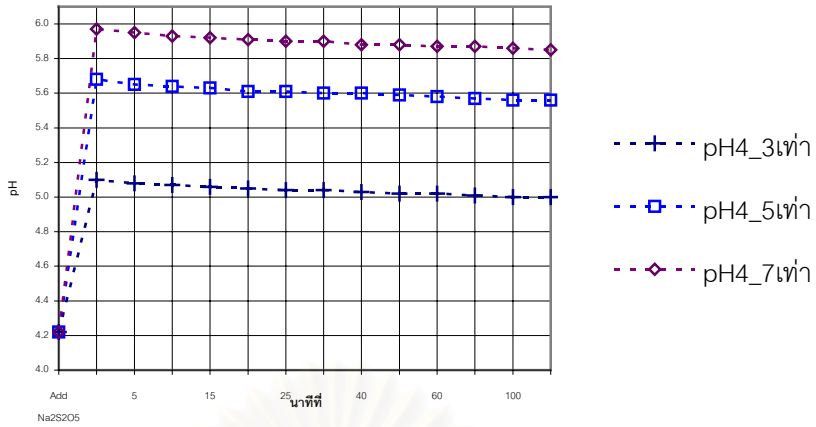
(ก) ปริมาณสารเคมีเป็น 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ข) ปริมาณสารเคมีเป็น 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

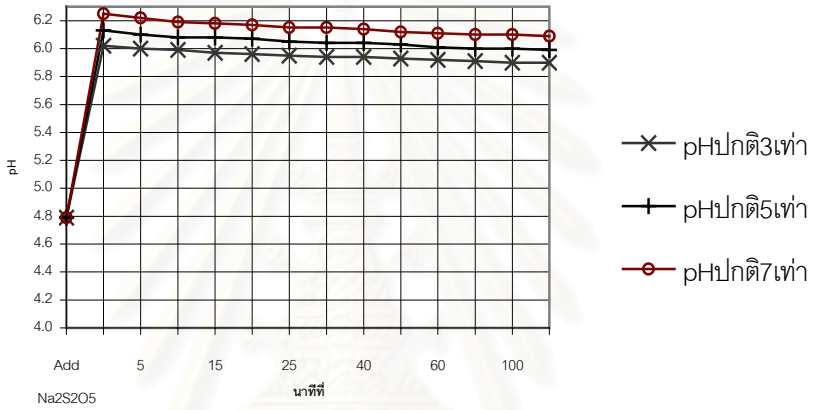
(ค) ปริมาณสารเคมีเป็น 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

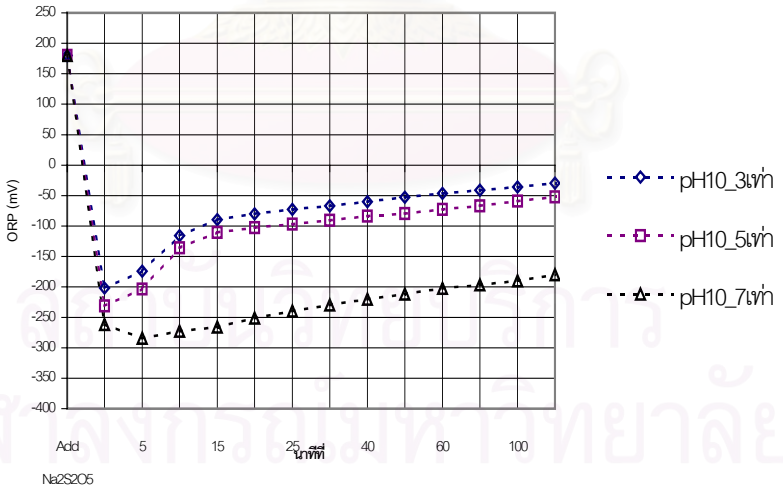
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.46 กราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.53)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

ตัวอย่างที่ 2 (SBH 5 เท่า) และตัวอย่างที่ 3 (SBH 7 เท่า) มีพีเอชเพิ่มมากกว่า 5.5 เมื่อเติม SBH และมีแนวโน้มของพีเอชลดลงเล็กน้อยเมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไป

กราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีที่เปลี่ยนไปในปฏิกิริยาของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 ซึ่งปรับพีเอชเริ่มต้นให้เท่ากับ 4 ดังแสดงในรูปที่ 4.47 ก. หลังเกิดปฏิกิริยารีดักชันพบว่า ทั้ง 3 ตัวอย่างมีโออาร์พีลดลง แต่มีจุดต่ำสุดของกราฟเกิดขึ้น ณ เวลาต่างกัน กล่าวคือ ตัวอย่างที่ 1 มีโออาร์พีต่ำสุดขณะเติม SBH ตัวอย่างที่ 2 มีโออาร์พีต่ำสุด ณ นาทีที่ 10 ของการทดลอง และตัวอย่างที่ 3 เกิดในนาทีที่ 30 แสดงให้เห็นถึงอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่แตกต่างกันของทั้ง 3 ตัวอย่าง หลังจากจุดต่ำสุดของกราฟแล้วค่าโออาร์พีจึงเพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.47 ข. ภายหลังน้ำเสียสังเคราะห์เกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH ทำให้โออาร์พีมีค่าติดลบในทันทีที่เติม SBH โดยทุกตัวอย่างมีค่าโออาร์พีต่ำกว่า -100 มิลลิโวลท์ หลังจากนั้นจึงมีค่าเพิ่มขึ้นกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ณ นาทีที่ 120

รูปที่ 4.47 ค. เมื่อเติม SBH ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ ทำให้ตัวอย่างที่ 1 มีโออาร์พีลดลงต่ำสุดเท่ากับ -200 มิลลิโวลท์ ในทันทีที่เติม SBH ส่วนตัวอย่างที่ 2 และ 3 จะมีค่าโออาร์พีติดลบสูงสุด ณ นาทีที่ 5 โดยเมื่อผ่านจุดต่ำสุดดังกล่าวไปแล้วค่าจึงเพิ่มขึ้น เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปจนครบ 2 ชั่วโมง

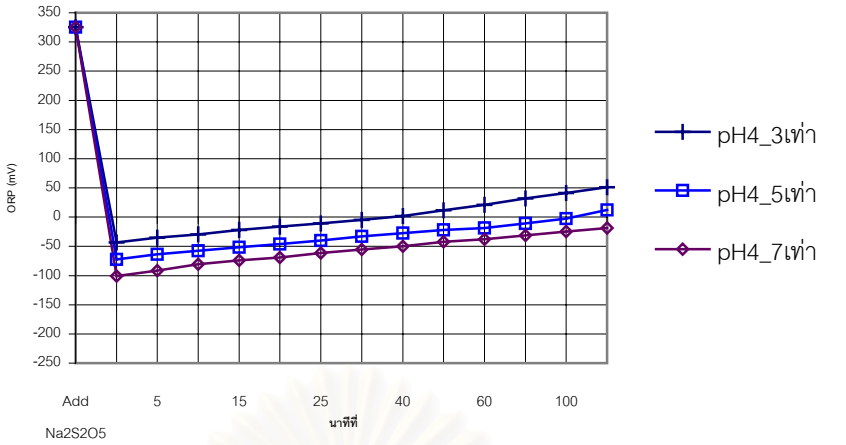
รูปที่ 4.48 ก. ถึงรูปที่ 4.48 ข. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือหน่วย ADMI ที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับรูปที่ 4.47 ก. ถึงรูปที่ 4.48 ค. แต่ได้แบ่งหมวดของกราฟความสัมพันธ์ต่างกันเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 แสดงกราฟของการทดลองที่เติม SBH ในปริมาณ 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ชุดที่ 2 เติม SBH 5 เท่า และชุดที่ 3 เติม SBH เท่ากับ 7 เท่า โดยในแต่ละชุดประกอบด้วยน้ำเสีย 3 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่ 1 มีพีเอชเริ่มต้นเป็น 4 ตัวอย่างที่ 2 พีเอชปกติ และตัวอย่างที่ 3 พีเอช 10 ซึ่งมีค่าสีก่อนการทดลองเท่ากับ 13,000 หน่วย ผลการทดลองได้แสดงดังต่อไปนี้

กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของ C.I. Reactive Black 5 เข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.48 ก. ที่ทำการเติม SBH ในปริมาณเท่ากับค่าสตอยชิโอเมตริก พบว่าภายหลังเติม SBH ค่าสีของทุกตัวอย่างลดลงเท่าๆ กันโดยมีค่าคงเหลือโดยประมาณเท่ากับ 2890 หน่วย ต่อจากนั้นค่าสีคงเหลือจะคงที่ตลอดการทดลอง

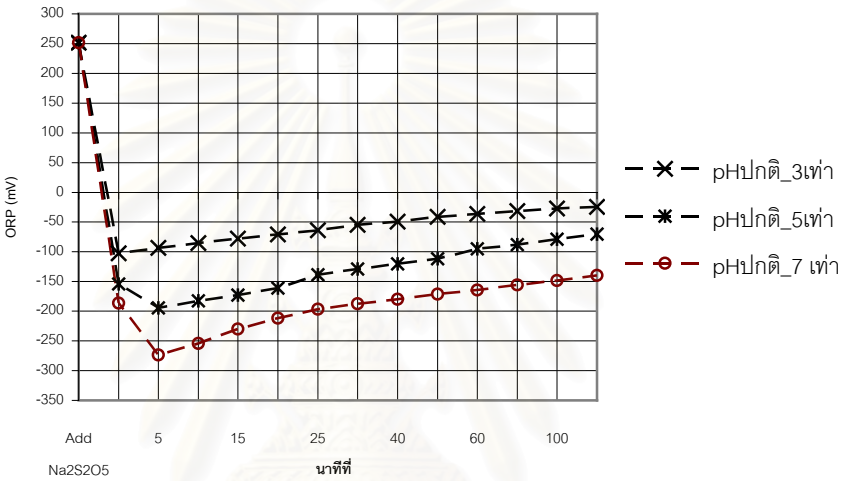
รูปที่ 4.48 ข. เมื่อเติม SBH ในปริมาณ 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริกแล้ว ตัวอย่างที่ 3 และซึ่งมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 และ 4 จะมีค่าสีลดลงเหลือต่ำสุดโดยประมาณใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าสีคงเหลือเท่ากับ 1000 หน่วย เมื่อเริ่มเกิดปฏิกิริยา รองลงมาคือตัวอย่างที่ 2 (พีเอชปกติ) มีค่าสีต่ำสุด ณ นาทีที่ 0 และตัวอย่างที่ 1 (พีเอช 4) ค่าสีคงเหลือเท่ากับ 2000 หน่วย ณ นาทีที่ 40 ภายหลังจากจุดต่ำสุดดังกล่าวแล้วค่าสีจะค่อนข้างคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

รูปที่ 4.48 ค. เมื่อทำการเติม SBH ในปริมาณ 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก พบว่าค่าสีจะลดลงเหลือใกล้เคียงกันทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 690 หน่วย ADMI สำหรับตัวอย่างที่ 1 2

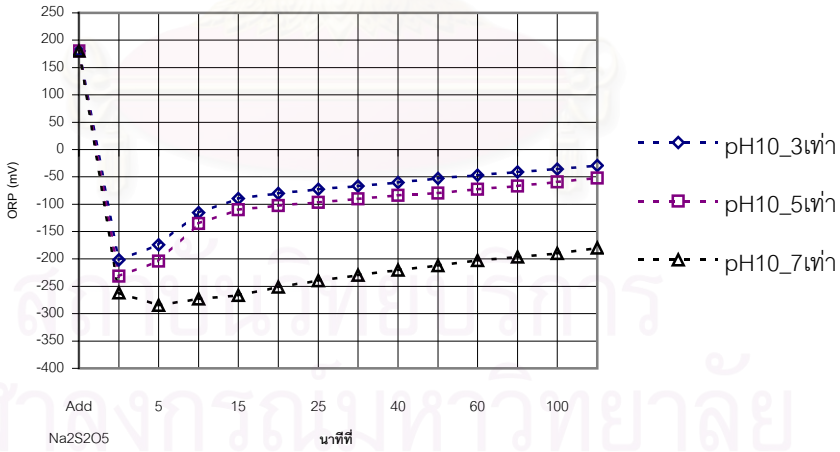
(ก)



(ข)



(ค)



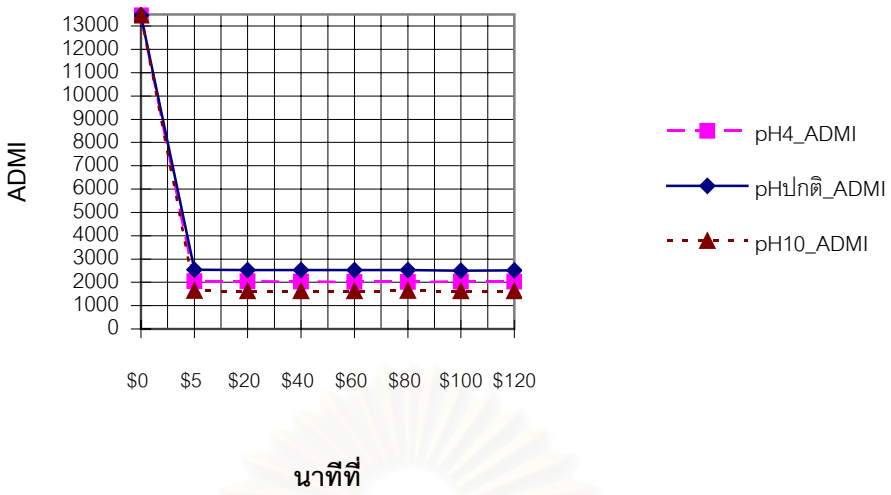
รูปที่ 4.47 กราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

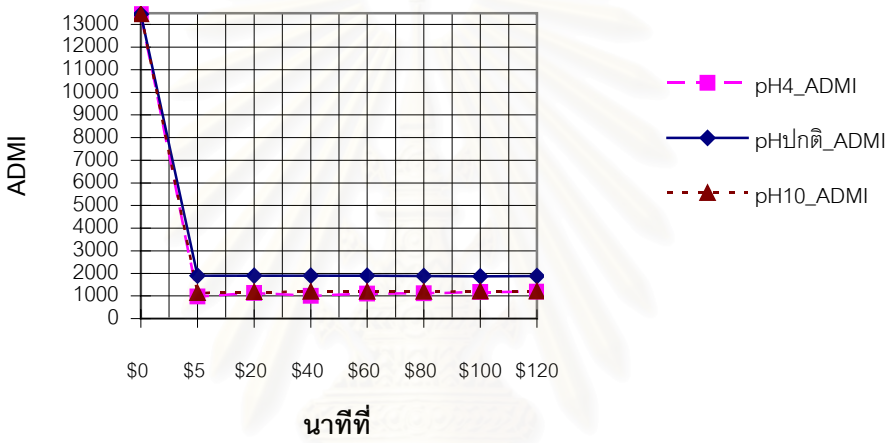
(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.53)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

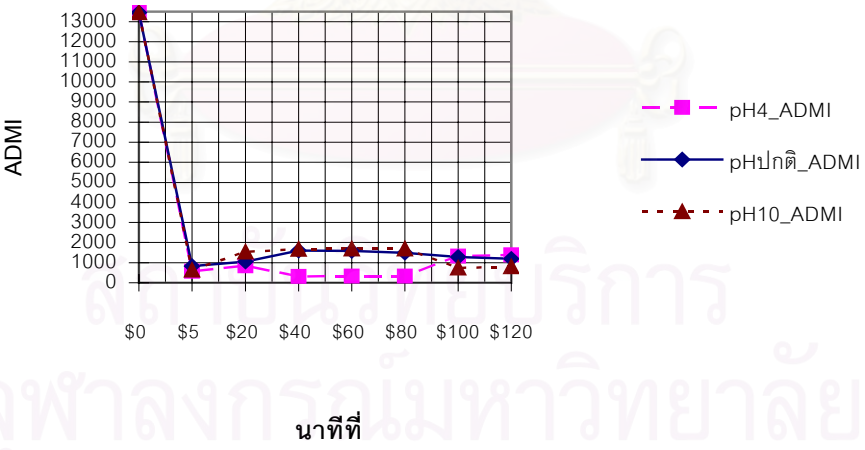
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.48 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ง) ปริมาณสารเคมีเป็น 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(จ) ปริมาณสารเคมีเป็น 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ฉ) ปริมาณสารเคมีเป็น 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และ 3 ตามลำดับ ต่อจากนั้นค่าสีคงเหลือจึงเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับรูปที่ 4.48 ก. และรูปที่ 4.48 ข. กล่าวคือมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง

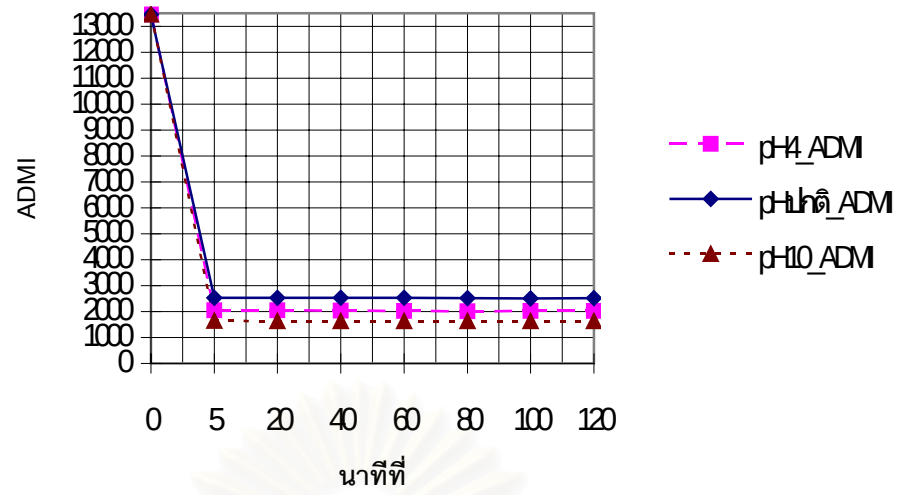
4.3.2 C.I. Reactive Red 180

ในการทดลองขั้นที่ 2 น้ำเสียสังเคราะห์ของสี C.I. Reactive Red 180 ที่มีความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร จะถูกปรับค่าพีเอชเริ่มต้นเป็น 3 ค่า ได้แก่ พีเอช 4 ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น และพีเอช 10 ซึ่งในแต่ละชุดการทดลองจะมีการเติม $Na_2S_2O_5$ ในปริมาณมากเกินพอ คือ 10 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก จากนั้นจึงแปรค่าปริมาณสารเคมี SBH เป็น 1 เท่า 3 เท่า และ 5 เท่าของปริมาณสตอยชิโอเมตริก ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าพีเอชค่า โออาร์พี และค่าสีคงเหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดสีฟอกย้อม

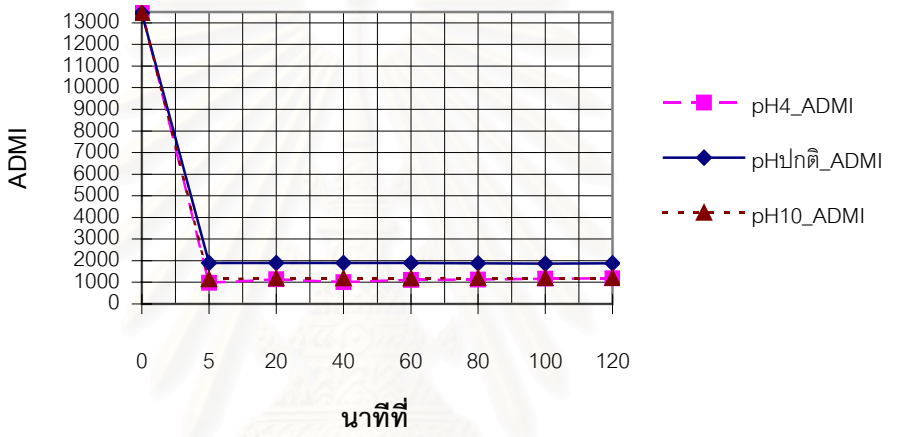
รูปที่ 4.49 ก. แสดงความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในระว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเสียสังเคราะห์สี C.I. Reactive Red 180 ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปรับค่าพีเอชเริ่มต้นให้เท่ากับ 4 เริ่มการทดลองโดยเติม $Na_2S_2O_5$ ในปริมาณมากเกินพอ คือ 10 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก จากนั้นจึงใส่ SBH โดยแปรค่าปริมาณสารเคมีเป็น 3 ค่า ได้แก่ 1 เท่า 3 เท่า และ 5 เท่าของปริมาณสตอยชิโอเมตริก สำหรับตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 ตามลำดับ พบว่าภายหลังการเติม $Na_2S_2O_5$ ค่าพีเอชจะลดต่ำลงเหลือ 3.02 และเมื่อทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วย SBH สารละลายจึงกลับมีพีเอชสูงขึ้นเป็น 4.24 5.43 และ 5.60 สำหรับตัวอย่างที่เติมสารเคมี SBH ในปริมาณ 1 3 และ 5 เท่าตามลำดับ ซึ่งหลังจากนั้นทั้ง 3 ตัวอย่างจึงมีค่าพีเอชลดต่ำลงเล็ก จนกระทั่งในนาทีที่ 120 ของการทดลองจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.16 สำหรับตัวอย่างที่ 1 พีเอช 5.35 สำหรับตัวอย่างที่ 2 และพีเอช 5.49 สำหรับตัวอย่างที่ 3

รูปที่ 4.49 ข. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Red 180 ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่มีการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีการเติมสารเคมี $Na_2S_2O_5$ และ SBH เหมือนกับตัวอย่างที่มีการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นเป็น 4 และ 10 จากผลการทดลองพบว่าหลังเติม $Na_2S_2O_5$ ค่าพีเอชจะมีการเปลี่ยนแปลงในทางลดลงคือมีพีเอชเท่ากับ 5.05 ทั้ง 3 ตัวอย่าง จากนั้นเมื่อใส่สารเคมี SBH เพื่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน น้ำเสียสังเคราะห์จึงมีค่าพีเอชสูงขึ้นในทันทีหลังเติมสารเคมี โดยมีค่าพีเอชเท่ากับ 5.88 สำหรับตัวอย่างที่ 1 พีเอช 5.98 สำหรับตัวอย่างที่ 2 และพีเอช 6.29 สำหรับตัวอย่างที่ 3 โดยหลังจากนั้นค่าพีเอชของทั้ง 3 ตัวอย่างจะมีแนวโน้มลดต่ำลงเล็กน้อย ซึ่งในนาทีที่ 120 ของการทดลองจะมีค่าพีเอชคงเหลือเท่ากับ 5.79 5.90 และ 6.20 สำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

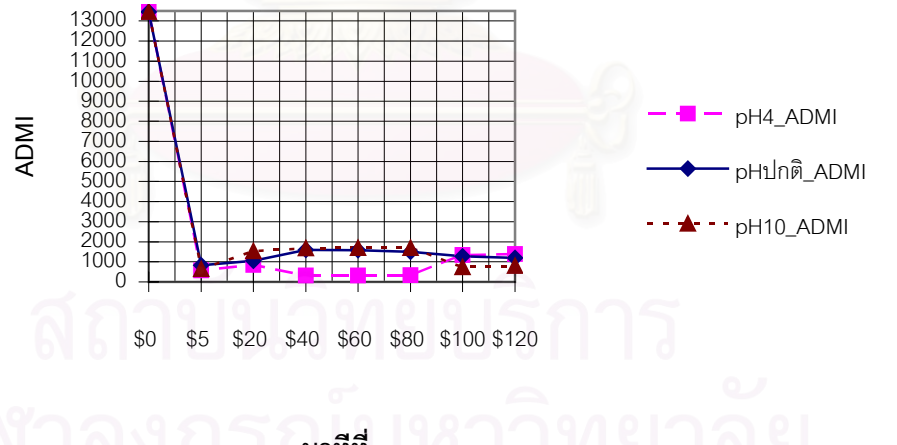
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.49 กราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.55)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

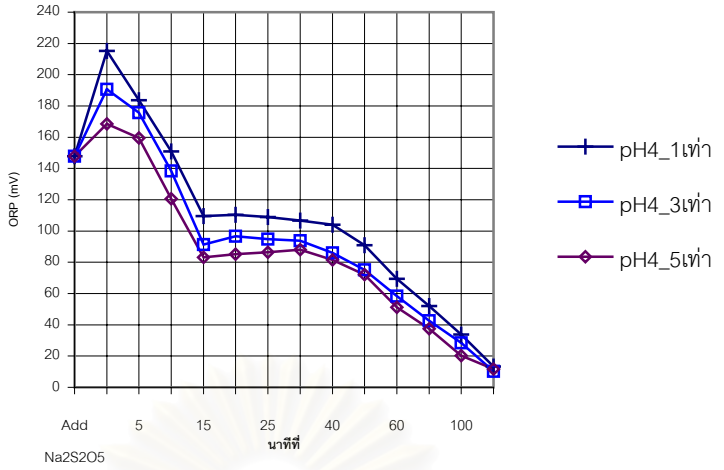
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นให้เป็น 10 โดยเติมสารเคมี $Na_2S_2O_5$ ในปริมาณ 10 เท่าของของค่าสตอยชิโอเมตริกซึ่งมากเกินพอ แสดงไว้ในรูปที่ 4.49 ค. สำหรับ SBH จะเติมในปริมาณ 1 เท่า 3 เท่า และ 5 เท่าสำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ เช่นเดียวกับน้ำเสียอีก 2 ค่าพีเอชข้างต้น จากการทดลองพบว่าค่าพีเอชจะลดต่ำลงมาที่ 6.65 หลังจากเติม $Na_2S_2O_5$ เหมือนกันทั้ง 3 ตัวอย่าง เมื่อเติม SBH จึงทำให้พีเอชมีค่าลดลงเหลือ 6.30 6.38 และ 6.47 สำหรับตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 หลังจากนั้นพีเอชจะมีค่าลดลงต่อไปอีก จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองที่เวลา 2 ชั่วโมง น้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 จะมีค่าพีเอชเป็น 6.20 6.30 และ 6.37 เมื่อพิจารณาในแง่แสดงความสัมพันธ์ของค่า โออาร์พี ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของน้ำเสีย สังเคราะห์สี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.50 ก. ซึ่งปรับค่าพีเอชเริ่มต้นให้เท่ากับ 4 โดยตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 จะทำการเติม $Na_2S_2O_5$ในปริมาณมากเกินพอ ในขณะที่ใช้ SBH ในปริมาณ 1 เท่า 2 เท่า และ 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริกตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่าเมื่อเติม $Na_2S_2O_5$จะทำให้ โออาร์พี เพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ + 147.9 มิลลิโวลท์ และภายหลังการเติม SBH ค่า โออาร์พี จึงกลับเป็นบวกมากขึ้น กล่าวคือมีค่า +215.2 +190.7 และ +168.6 มิลลิโวลท์ สำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 หลังจากนั้น โออาร์พี จึงมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว จนถึงนาทีที่ 15 ค่า โออาร์พี จะหยุดการเปลี่ยนแปลงและมีค่าค่อนข้างคงที่ จากนั้นเริ่มลดลงอีกครั้งหลังจากนาทีที่ 30 ของการทดลอง โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองในนาทีที่ 120 ทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่า โออาร์พี เท่ากับ +13.3 +10.3 และ +11.6 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ

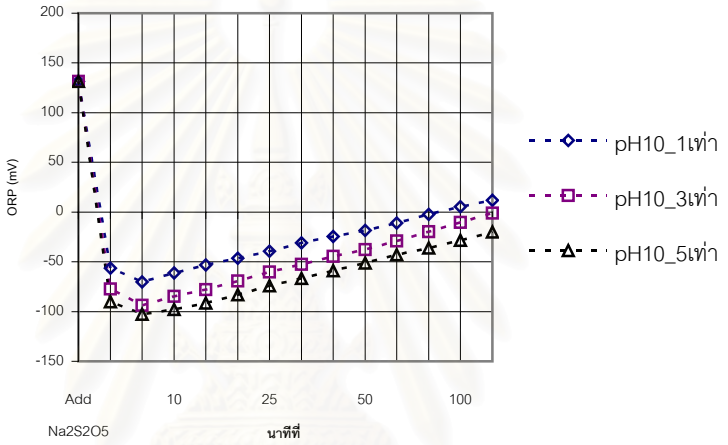
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า โออาร์พี ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่มีการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง แสดงในรูปที่ 4.50 ข. ตัวอย่างที่ 1 ถึงตัวอย่างที่ 3 จะทำการเติมสารเคมี SBH ในปริมาณ 1 เท่า 3 เท่า และ 5 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก จากการทดลองพบว่า เมื่อเติม $Na_2S_2O_5$ ค่า โออาร์พี จะเป็น +150.9 มิลลิโวลท์ และเมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH ค่า โออาร์พี ของทั้ง 3 ตัวอย่างจึงเปลี่ยนเป็นลบในทันที โดยมีค่าเท่ากับ – 52.3 - 67.1 และ - 87.5 มิลลิโวลท์ จากนั้น โออาร์พี ยังคงลดลงต่อไปจนถึงนาทีที่ 5 โดยมีค่า โออาร์พี ต่ำสุด ณ จุดดังกล่าว คือ –7 0.4 - 98.5 และ - 120.2 มิลลิโวลท์ สำหรับตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 แล้วจึงมีค่ากลับเข้าสู่เชิงบวกหลังจากผ่านจุดต่ำสุดไปแล้ว สุดท้าย โออาร์พี จะมีค่า + 28.9 มิลลิโวลท์ สำหรับตัวอย่างที่ 1 - 9.2 มิลลิโวลท์ สำหรับตัวอย่างที่ 2 และ – 23.6 มิลลิโวลท์ สำหรับตัวอย่างที่ 3

กราฟความสัมพันธ์ของค่า โออาร์พี ที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ถูกปรับ พีเอช เริ่มต้นเป็น 10 ก่อนการทดลอง แสดงในรูปที่ 4.50 ค. โดยทำการเติมสารเคมี SBH ในปริมาณ 1 เท่า 3 เท่า และ 5 เท่าของ

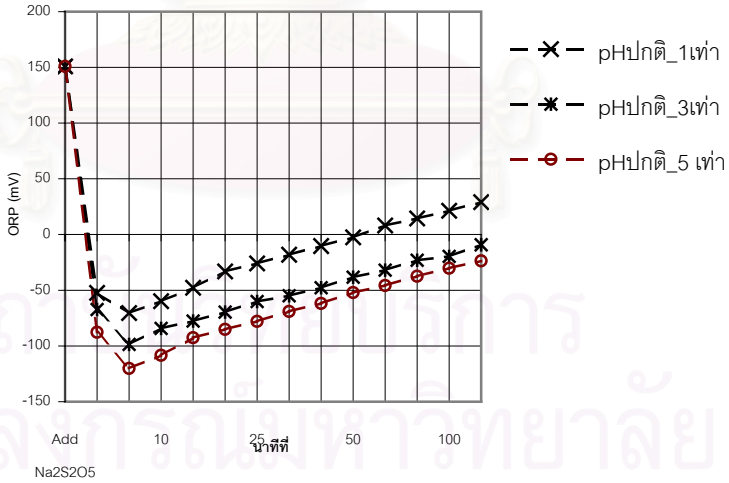
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.50 กราฟความสัมพันธ์ของค่า โออาร์พี ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.55)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

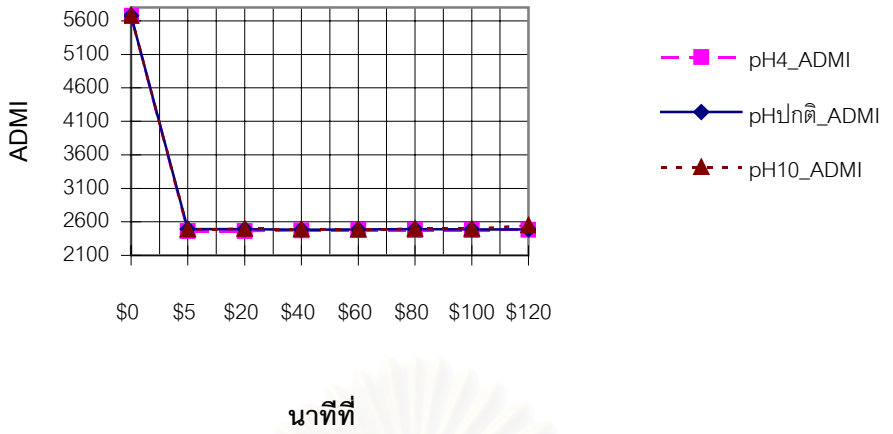
สตอยชิโอเมตริกสำหรับตัวอย่างที่ 1 ถึงตัวอย่างที่ 3 ตามลำดับ ค่า โออาร์พี เมื่อเติม $Na_2S_2O_5$ มีค่า + 131.5 มิลลิโวลท์ และเมื่อเกิดปฏิกิริยากับ SBH จึงทำให้ โออาร์พี ของตัวอย่างทั้ง 3 มีค่าติดลบอยู่ที่ – 56.5 - 77.4 และ – 90.2 มิลลิโวลท์ จากนั้นจะมีค่าต่ำสุดเท่ากับ – 70.3 - 93.7 และ – 102.8 มิลลิโวลท์ ตามลำดับในนาทีที่ 5 ของการทดลอง หลังจากนี้ โออาร์พี จึงมีค่าติดลบน้อยลง จนกระทั่งครบ 120 นาทีของการทดลอง ทั้ง 3 ตัวอย่าง จะมี โออาร์พี ท่ากับ +11.7 มิลลิโวลท์ สำหรับตัวอย่างที่ 1 -1.1 มิลลิโวลท์ สำหรับตัวอย่างที่ 2 และ –19.9 มิลลิโวลท์ สำหรับตัวอย่างที่ 3

ในการแสดงความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในระหว่างที่ปฏิกิริยาดำเนินไปนั้นวัดในหน่วย ADMI โดยแบ่งการเปรียบเทียบออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ระหว่างชุดการทดลองที่มีการเติมสารเคมี SBH ในปริมาณ 1 เท่า 3 เท่า และ 5 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ในแต่ละกลุ่มประกอบด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ที่ถูกปรับค่าพีเอชเริ่มต้นเป็นพีเอช 4 ไม่มีการปรับค่าพีเอช และปรับพีเอชเป็น 10 ค่าสีเริ่มต้นของทุกตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 5766 หน่วย ADMI ซึ่งแสดงผลการทดลองที่อธิบายจากกราฟความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้

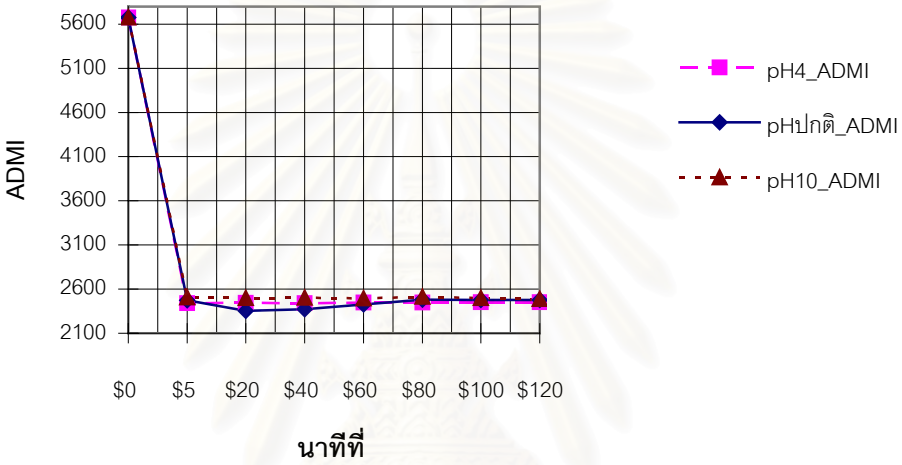
รูปที่ 4.51 ก. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือที่วัดในหน่วย ADMI ในระหว่างการทำปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ปริมาณสารเคมี SBH เป็น 1 เท่าของสตอยชิโอเมตริก โดยตัวอย่างที่ 1 ปรับค่าพีเอชเริ่มต้นเป็น 4 ตัวอย่างที่ 2 เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการปรับพีเอชเริ่มต้น และตัวอย่างที่ 3 มีการปรับพีเอชให้เป็น 10 ซึ่งค่าสีเริ่มต้นของการทดลองมีค่าเท่ากันทั้ง 3 ตัวอย่าง หลังจากเติม SBH เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าสีคงเหลือลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 5 นาทีแรกของการทดลอง โดยตัวอย่างที่ 1มีค่าสีคงเหลือเท่ากับ 2463 หน่วย ADMI ตัวอย่างที่ 2 มีค่าสีคงเหลือเท่ากับ 2490 หน่วย ADMI และตัวอย่างที่ 3 เท่ากับ 2488 หน่วย ADMI หลังจากนาทีที่ 5 ของการทดลองเป็นต้นไป ค่าสีคงเหลือของทั้ง 3 ตัวอย่างจะยังคงลดลงอีกเพียงเล็กน้อย จนกระทั่งจบการทดลองในชั่วโมงที่ 2 ค่าสีจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากใน 5 นาทีแรกมากนัก กล่าวคือ มีค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI เท่ากับ 2481 2488 และ 2548 สำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ของน้ำเสียสังเคราะห์สี C.I. Reactive Red 180 ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเติมสารเคมี SBH ในปริมาณ 3 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ดังรูปที่ 4.51 ข. ค่าสีเริ่มต้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากเติม $Na_2S_2O_5$ ดังกล่าวมาแล้ว จากนั้นเมื่อใส่ SBH ลงในน้ำเสียจึงทำให้ค่าสีคงเหลือลดลงอย่รวดเร็วภายใน 5 นาทีแรกของการทำปฏิกิริยารีดักชัน โดยมีค่าเท่ากับ 2442 หน่วย สำหรับตัวอย่างที่ 1 (พีเอชเริ่มต้น 4) 2474 หน่วย สำหรับตัวอย่างที่ 2 (ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น) และ 2505 หน่วย สำหรับตัวอย่างที่ 3 (พีเอชเริ่มต้น 10) เมื่อเวลาผ่านไปค่าสีคงเหลือของทุกตัวอย่างจะค่อนข้างคงที่ โดยในนาทีที่ 120 ของการทดลองตัวอย่างที่ 1 จะมีค่าสีเพิ่มขึ้นเป็น 2452 หน่วย ส่วนตัวอย่างที่ 2 และ 3 มีค่าสีคงเหลือ 2477 หน่วย และ 2488 หน่วย ตามลำดับ

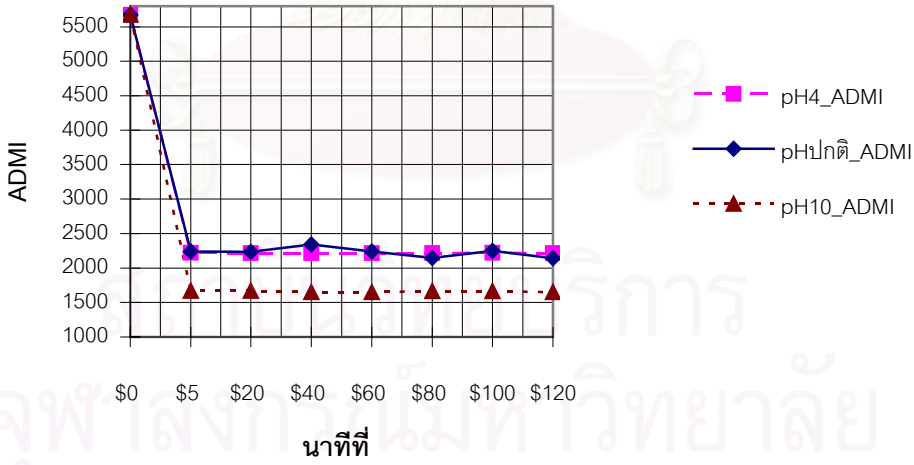
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.51 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) ปริมาณสารเคมีเป็น 1 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ข) ปริมาณสารเคมีเป็น 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ค) ปริมาณสารเคมีเป็น 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

รูปที่ 4.51 ค. คือกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือที่วัดในหน่วย ADMI ในระหว่างการทำปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเสียสังเคราะห์สี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนการทดลองให้มีค่าพีเอช 4 ไม่ปรับพีเอช และพีเอช 10 โดยใช้ปริมาณสารเคมี SBH เป็น 5 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ค่าสีเริ่มต้นของทุกตัวอย่างมีค่าเท่ากันและไม่มีค่าเปลี่ยนแปลงหลังเติม $Na_2S_2O_5$ แต่ค่าสีคงเหลือจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วย SBH กล่าวคือในนาทีที่ 5 ของการทดลองเมื่อทำการวัดสีพบว่า ตัวอย่างที่ 1 มีค่าสีเท่ากับ 2219 หน่วย ตัวอย่างที่ 2 มีค่าสีคงเหลือ 2241 หน่วย และตัวอย่างที่ 3 เท่ากับ 1667 หน่วย หลังจากนั้นค่าสีจะมีค่าค่อนค่างคงที่สำหรับตัวอย่างที่ 1 และ 3 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองในนาทีที่ 120 แต่ตัวอย่างที่ 2 จะมีกราฟของค่าสีคงเหลือไม่สม่ำเสมอดัง 2 ตัวอย่างข้างต้น

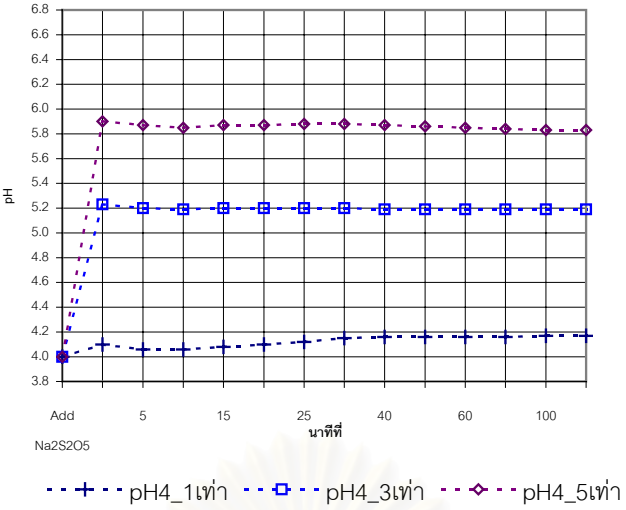
รูปที่ 4.52 ก. ถึงรูปที่ 4.54 ค. จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์อันได้แก่ พีเอช โออาร์พี และค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ของน้ำเสียสังเคราะห์ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับแต่ละชุดตัวอย่างที่ทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นเป็นพีเอช 4 ไม่ปรับพีเอช และพีเอช 10 โดยใช้สารเคมีคือ $Na_2S_2O_5$ ในปริมาณมากเกินพอ คือ 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก และใช้ SBH เป็น 1 เท่า 3 เท่า และ 5 เท่าของปริมาณที่เหมาะสมทางเคมี

เมื่อทดลองกับน้ำเสียที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ของค่า พีเอช ที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการทำปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ได้ดังรูปที่ 4.52 ก. ถึง ค. โดยรูป 4.52 ก. เป็นตัวอย่างที่ปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 4 ก่อนการทดลอง ตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 เป็นตัวแทนของชุดการทดลองที่ถูกเติม SBH เป็น 1 เท่า 3 เท่า และ 5 เท่าตามลำดับ จากนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้มาพล็อตกราฟเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชในระหว่างปฏิกิริยารีดักชัน พบว่าหลังเติม $Na_2S_2O_5$ ค่าพีเอชมีค่าเท่ากับ 4.0 ต่างจากคุณสมบัติของน้ำเสียก่อนการทดลองที่มีพีเอช เป็น 4.40 แต่ภายหลังเติม SBH จะทำให้พีเอชมีค่าสูงขึ้นในทันที โดยทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าพีเอชเป็น 4.10 สำหรับตัวอย่างที่ 1 พีเอช 5.23 สำหรับตัวอย่างที่ 2 และพีเอช 5.90 สำหรับตัวอย่างที่ 3 ต่อจากนั้นแนวโน้มของพีเอช สำหรับตัวอย่างที่ 1 (พีเอชเริ่มต้น 4) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่ตัวอย่างที่ 2 และ 3 มีแนวโน้มลดต่ำลง

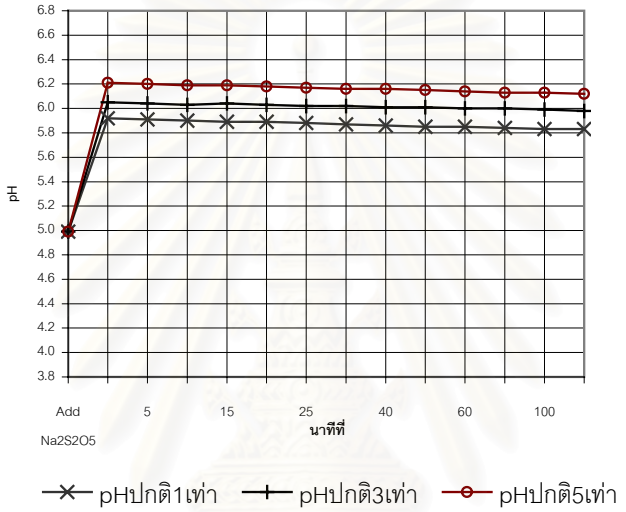
รูปที่ 4.52 ข. คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างการทำปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับรูปที่ 10 แต่ไม่มีการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ หลังเติม $Na_2S_2O_5$ ค่า พีเอช จะกลายเป็น 4.99 ซึ่งเพิ่มจากค่าพีเอชก่อนการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.40 จากนั้นเมื่อเติม SBH จึงทำให้สารละลายมีพีเอชกลายเป็นด่างในทันที โดยมีค่าอยู่ที่ประมาณ 6 ต่อมาพีเอชจึงมีค่าลดต่ำลงสำหรับทั้ง 3 ตัวอย่าง เมื่อครบเวลา 120 นาทีของการทดลอง ทั้ง 3 ตัวอย่างจะมีค่าพีเอชลดลงจากเมื่อเริ่มเกิดปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อย

รูปที่ 4.52 ค. คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีการปรับพีเอช

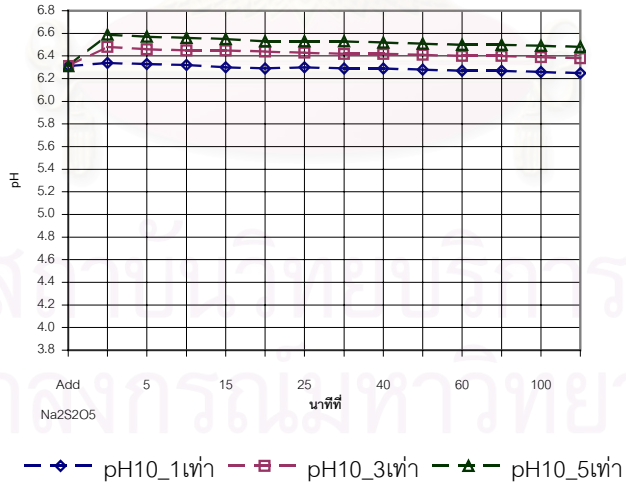
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.52 กราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.16)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

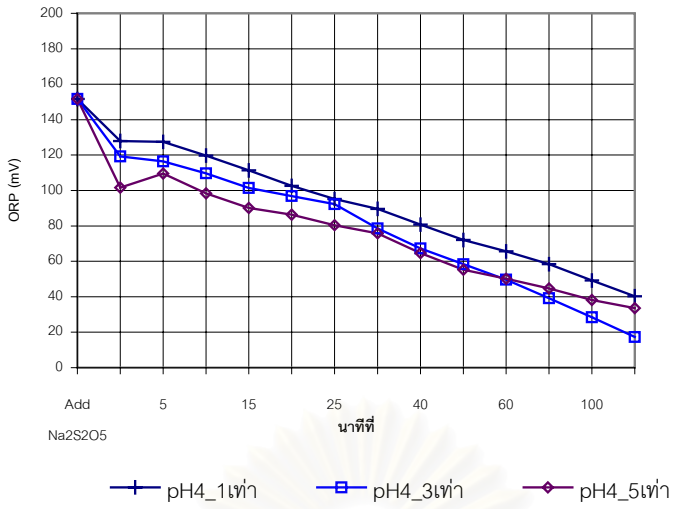
ของน้ำเสียให้เป็น 10 ก่อนการทดลอง พบว่าหลังเติม $Na_2S_2O_5$ แล้วค่าพีเอชจะเพิ่มเป็น 6.31 จากนั้นเมื่อให้ทำปฏิกิริยากับ SBH จึงทำให้พีเอชสูงขึ้นมาอยู่ในช่วง 6-7 สำหรับตัวอย่างที่ 1 (SBH 1 เท่า) ถึงตัวอย่างที่ 3 (SBH 5 เท่า) แต่เมื่อเวลาผ่านไปค่าพีเอชจึงค่อยๆ ลดลง เมื่อครบ 2 ชั่วโมง พีเอชของทั้ง 3 ตัวอย่างจึงมีค่าเหลือประมาณ 6

รูปที่ 4.53 ก. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่า โออาร์พี ที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียให้เป็น 4 ตัวอย่างที่ 1 เป็นตัวแทนของน้ำเสียสังเคราะห์ พีเอช 4 ที่เติม SBH 1 เท่า ตัวอย่างที่ 2 เติม SBH 3 เท่า และตัวอย่างที่ 3 เติม SBH ในปริมาณ 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเติม $Na_2S_2O_5$ ในปริมาณที่เกินพอแล้ว ค่า โออาร์พี ของสารละลายจะมีค่าเพิ่มจากเดิมก่อนการทดลอง โดยมี โออาร์พี เท่ากับ + 151.7 มิลลิโวลท์ เมื่อเทียบกับคุณสมบัติของน้ำเสียเริ่มต้นที่มี โออาร์พี เป็น + 97.5 มิลลิโวลท์ โดยหลังจากเติม SBH จึงทำให้ โออาร์พี ของทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าเป็นบวกต่ำลง ซึ่งมีแนวโน้มของกราฟเข้าสู่ค่าลบ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง โออาร์พี ของน้ำเสียตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 จะมีค่าต่ำกว่า + 40 มิลลิโวลท์

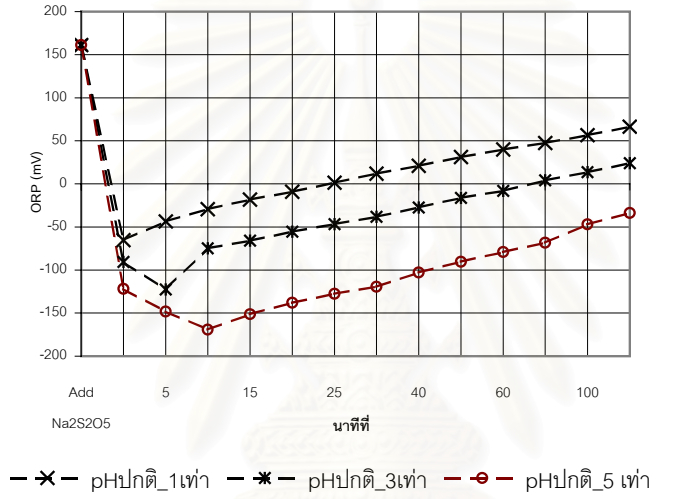
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า โออาร์พี ที่มีการเปลี่ยนแปลงในขณะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสีฟอกย้อม C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียก่อนการทดลอง ดังรูปที่ 4.53 ข. ปรากฏว่าหลังเติม $Na_2S_2O_5$ แล้ว โออาร์พี จะมีค่าเป็น +161.0 มิลลิโวลท์ และเมื่อใส่สารเคมี SBH จึงทำให้ โออาร์พี มีค่าเปลี่ยนเป็นลบต่ำกว่า –50 มิลลิโวลท์ สำหรับตัวอย่างที่ 1 ถึงตัวอย่างที่ 3 หลังจากนี้ตัวอย่างที่ 1 จะมีเส้นกราฟ โออาร์พี เข้าสู่ค่าบวก ในขณะที่ตัวอย่างที่ 2 และ 3 จะยังมี โออาร์พี เป็นลบต่อไปจนถึงนาทีที่ 5 สำหรับตัวอย่างที่ 2 และนาทีที่ 10 สำหรับตัวอย่างที่ 3 ซึ่งเป็นจุดที่กราฟมีค่า โออาร์พี ติดลบสูงสุด ภายหลังจุดต่ำสุดดังกล่าวแล้ว โออาร์พี จึงมีแนวโน้มของกราฟกลับเข้าสู่ค่าบวกในที่สุด โดยเมื่อถึงนาทีที่ 120 ของการทดลองตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 มี โออาร์พี อยู่ที่มากกว่า –33 มิลลิโวลท์

กราฟความสัมพันธ์ของค่า โออาร์พี ที่มีเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปรับ พีเอช เริ่มต้นของน้ำเสียก่อนการทดลองเป็น พีเอช10 ดังรูปที่ 4.53 ค. โดย โออาร์พี ของน้ำเสียเริ่มต้นมีค่า + 97.5 มิลลิโวลท์ จากผลการทดลองพบว่าหลังเติม $Na_2S_2O_5$ แล้ว โออาร์พี จะมีค่าเป็น + 138.4 มิลลิโวลท์ และเมื่อใส่สารเคมี SBH จึงทำให้ โออาร์พี กลายเป็นลบอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าต่ำกว่า –120 มิลลิโวลท์ สำหรับตัวอย่างที่ 1 (SBH 1 เท่า) ตัวอย่างที่ 2 (SBH 3 เท่า) และตัวอย่างที่ 3 (SBH 5 เท่า) หลังจากนี้ทั้ง 3 ตัวอย่างจะยังคงมีค่า โออาร์พี เป็นลบสูงขึ้น จนถึงนาทีที่ 5 ของการทดลอง ตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 มี โออาร์พี ต่ำกว่า –150 มิลลิโวลท์ ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดของกราฟ ต่อจากนั้น โออาร์พี จึงมีแนวโน้มกลับเข้าสู่ค่าบวก โดยในนาทีที่ 120 ของการทดลองจึงมี โออาร์พี อยู่ที่ค่ามากกว่า -100 มิลลิโวลท์

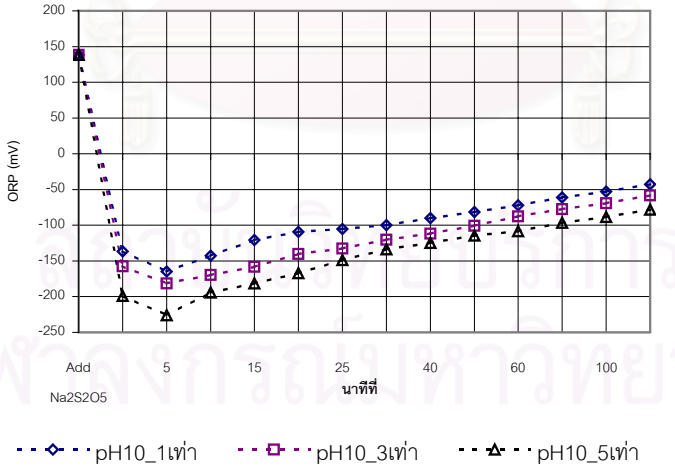
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.53 กราฟความสัมพันธ์ของค่า โออาร์พี ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.16)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

รูปที่ 4.54 ก. ถึงรูปที่ 4.54 ค. เป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และชุดที่ 3 ซึ่งจะใช้ปริมาณ SBH เป็น 1 เท่า 3 เท่า และ 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริกตามลำดับ โดยในแต่ละชุดนั้นน้ำเสียสังเคราะห์จะถูกปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง 3 ค่า ด้วยกัน คือ พีเอช 4 เป็นตัวอย่างที่ 1 ไม่ปรับพีเอช เป็นตัวอย่างที่ 2 และพีเอช 10 เป็นตัวอย่างที่ 3 สำหรับแต่ละชุดการทดลอง

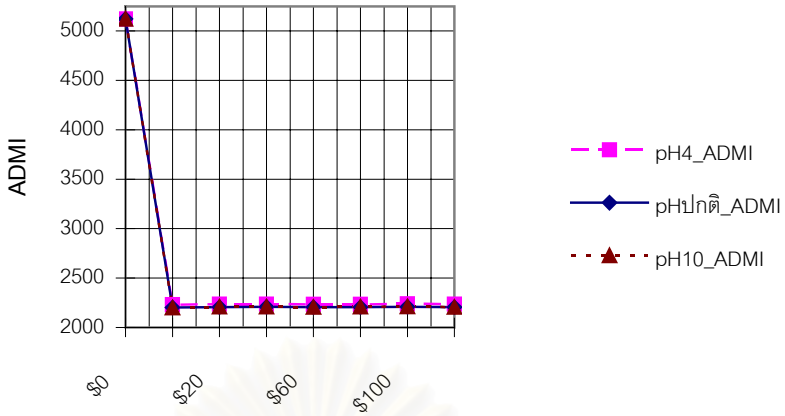
รูปที่ 4.54 ก. คือกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ C.I. Reactive Red 180 ที่มีความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้ปริมาณ SBH เท่ากับ 1 เท่าของปริมาณที่เหมาะสมทางสมการเคมี ผลการทดลองพบว่า หลังจากเติม $Na_2S_2O_5$ ในปริมาณมากเกินพอ ค่าสีของน้ำเสียสังเคราะห์ในหน่วย ADMI มีค่า 5124 หน่วย แต่เมื่อเติม SBH จึงทำให้ค่าสีลดลงเหลือต่ำกว่า 2250 หน่วย สำหรับตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 เรียงจากมากไปน้อยตามลำดับ หลังจากนั้นค่าสีคงเหลือจะค่อนข้างคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

รูปที่ 4.54 ข. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือภายหลังปฏิกิริยารีดักชัน โดยใช้ปริมาณสารเคมี SBH เท่ากับ 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริกสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร และภายหลังเกิดปฏิกิริยารีดักชันใน 5 นาทีแรก จึงมีค่าสีคงเหลือต่ำกว่า 2500 หน่วย สำหรับตัวอย่างที่ 1 ถึงตัวอย่างที่ 3 ต่อจากนั้นค่าสีของตัวอย่างที่ 1 และ 3 จะมีค่าค่อนข้างคงที่ จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ที่เวลา 2 ชั่วโมง ยกเว้นตัวอย่างที่ 2 ที่มีค่าสีเพิ่มขึ้นภายหลังนาทีที่ 20 ของการทดลอง

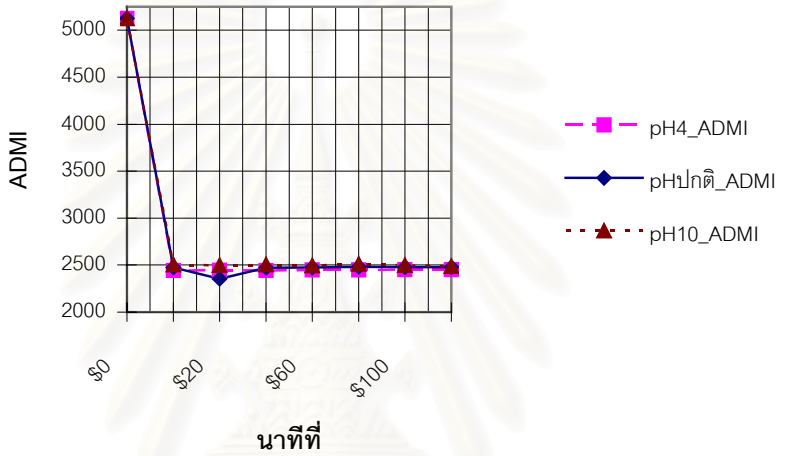
รูปที่ 4.54 ค. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ทำการเติม SBH ในปริมาณ 5 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ภายหลังเติม SBH จึงมีค่าสีลดลงเหลือต่ำกว่า 2250 หน่วย โดยตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 จะมีค่าสีคงเหลือต่ำกว่าตัวอย่างที่ 1 อย่างเห็นได้ชัด โดยเป็นค่าสีที่ทำการวัดที่ 5 นาทีของการเกิดปฏิกิริยา ต่อจากนั้นค่าสีคงเหลือของตัวอย่างที่ 1 กับ 3 จะมีค่าค่อนข้างคงที่จนจบการทดลอง ในขณะที่ตัวอย่างที่ 2 มีค่าสีคงเหลือค่อนข้างแปรเปลี่ยน

รูปที่ 4.55 ก. ถึงรูปที่ 4.54 ค. เป็นกราฟแสดงค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นพีเอช 4 ก่อนเริ่มการทดลองซึ่งแสดงกราฟความสัมพันธ์ไว้ตามรูปที่ 4.55 ก. ชุดที่ 2 จะไม่มีการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ดังแสดงผลในรูปที่ 4.55 ข. และชุดที่ 3 มีการปรับพีเอชเป็น 10 ผลการทดลองตามรูปที่ 4.55 ค. นอกจากนั้นในแต่ละชุดการทดลองยังมีการแปรค่าปริมาณสารเคมีออกเป็น 3 ค่า คือ 1 เท่า 3 เท่า และ 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก โดยกำหนดให้เป็นตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

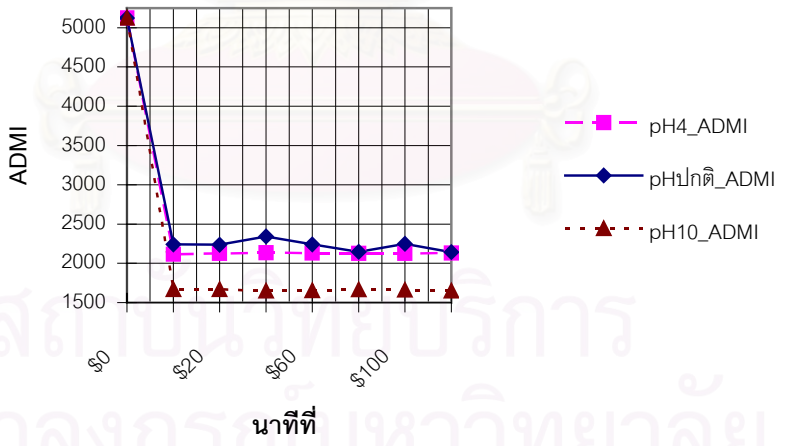
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.54 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) ปริมาณสารเคมีเป็น 1 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ข) ปริมาณสารเคมีเป็น 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ค) ปริมาณสารเคมีเป็น 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.55 ก. มีการปรับค่าพีเอชเป็น 4 ก่อนเริ่มการทดลอง คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์หลังเติม $Na_2S_2O_5$ จะมีพีเอชลดต่ำลงเล็กน้อย จากนั้นเมื่อทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH สารละลายจึงมีพีเอชเพิ่มขึ้นเป็นพีเอช 4.32 สำหรับตัวอย่างที่ 1 พีเอช 5.53 สำหรับตัวอย่างที่ 2 และพีเอช 5.97 สำหรับตัวอย่างที่ 3 และเมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไป พบว่าพีเอชมีค่าลดลง เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าพีเอชของตัวอย่างที่ 1 ถึงตัวอย่างที่ 3 มีค่าต่ำกว่า 5.1

รูปที่ 4.55 ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองมีพีเอชเป็นปกติ จากผลการทดลองพบว่าหลังจากเติม SBH ค่าพีเอชของทุกตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่แตกต่างกัน โดยตัวอย่างที่ 3 ซึ่งมีการเติมสารเคมี SBH ในปริมาณ 5 เท่า จะให้ค่าพีเอชสูงสุดเท่ากับ 5.95 รองลงมาคือตัวอย่างที่ 2 มีพีเอช 5.67 และตัวอย่างที่ 1 มีค่าพีเอช 5.33 ต่อจากนั้นแนวโน้มของค่าพีเอชจะมีการลดลงอีกเล็กน้อย จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

รูปที่ 4.55 ค. น้ำเสียสังเคราะห์ถูกปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 10 ก่อนการเกิดปฏิกิริยา พบว่าภายหลังเติม $Na_2S_2O_5$ แล้วค่าพีเอชของทั้ง 3 ตัวอย่างจะลดลงจากพีเอช 10 เป็นพีเอช 6.75 ต่อจากนั้นเมื่อใส่ SBH ลงไปในสารละลาย จึงทำให้ค่าพีเอชลดลงต่อไปอีก โดยมีค่าต่ำกว่า 6.5 สำหรับตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 หลังจากนั้นแนวโน้มของกราฟพีเอชจะลดต่ำลงอีกเล็กน้อยจนกระทั่งจบการทดลอง โดยตัวอย่าง ที่ 3 จะมีค่าพีเอชต่ำกว่าตัวอย่างที่ 2

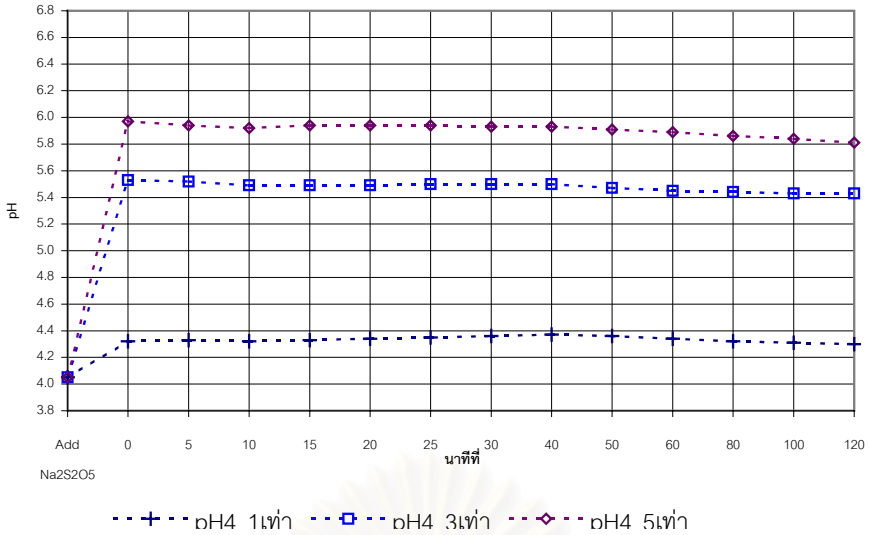
รูปที่ 4.56 ก. ถึงรูปที่ 4.56 ค. เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่แบ่งจำนวนชุดการทดลองเป็นเช่นเดียวกับการหาความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในรูปที่ 4.55 ก. ถึง 4.55 ค. ผลการทดลองได้ถูกแสดงดังต่อไปนี้

รูปที่ 4.56 ก. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พีในระหว่างการทำปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ถูกปรับค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ให้เป็นให้เท่ากับพีเอช4 โดยมีค่าโออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ เท่ากับ + 173.3 มิลลิโวลท์ จากนั้นเมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชัน จึงทำให้โออาร์พีมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่ยังคงอยู่ในค่าบวก จนกระทั่งจบการทดลอง ตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 จะมีโออาร์พีเป็น + 9.9 + 15.2 และ + 31.1 มิลลิโวลท์ตามลำดับ

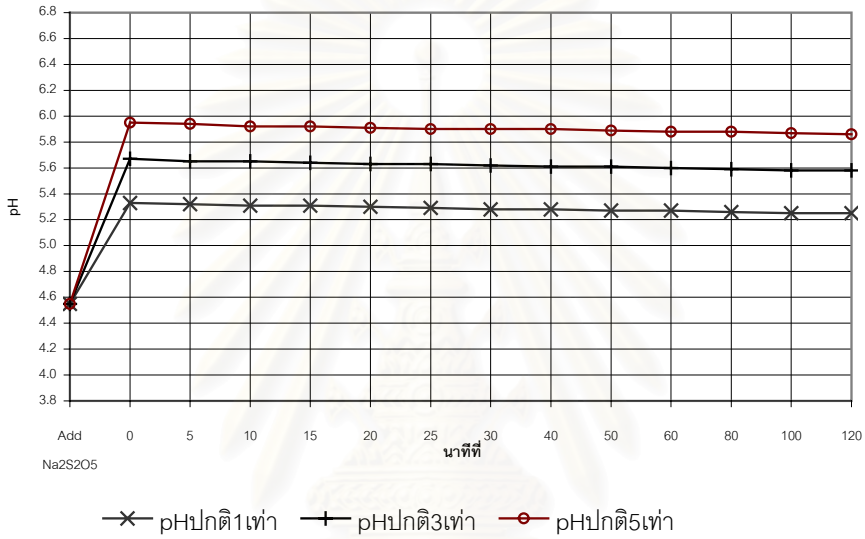
รูปที่ 4.56 ข. น้ำเสียสังเคราะห์จะไม่มีการปรับค่าพีเอชเริ่มต้น จากผลการทดลองพบว่าในขณะเติม $Na_2S_2O_5$ ค่าโออาร์พีจะยังคงเป็นบวกอยู่ จนกระทั่งเติม SBH ลงไป ทั้ง 3 ตัวอย่างจึงมีค่าติดลบต่ำกว่า - 25 มิลลิโวลท์ หลังจากนั้นจะมีค่าติดลบน้อยลง และมีค่ากลับเป็นบวกเมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปครบ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 4.56 ค. เป็นชุดตัวอย่างที่น้ำเสียสังเคราะห์ถูกปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เท่ากับพีเอช 10 ก่อนการทำปฏิกิริยา พบว่าเมื่อใส่ $Na_2S_2O_5$ ลงไปในน้ำเสีย ค่าโออาร์พีจะยังคงเป็นบวกเช่นเดียวกับชุดการทดลองอื่นๆ แต่หลังจากเติม SBH จะทำให้โออาร์พีเป็นลบในทันที โดยตัวอย่าง

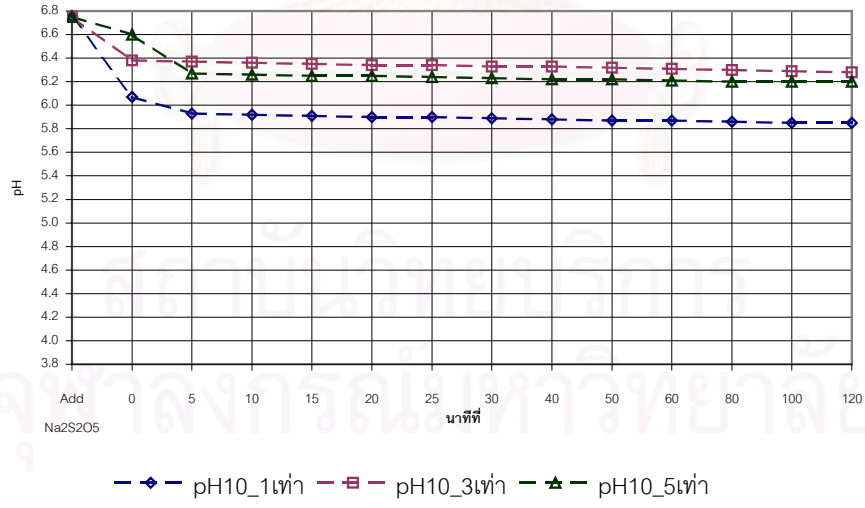
(ก)



(ข)



(ค)



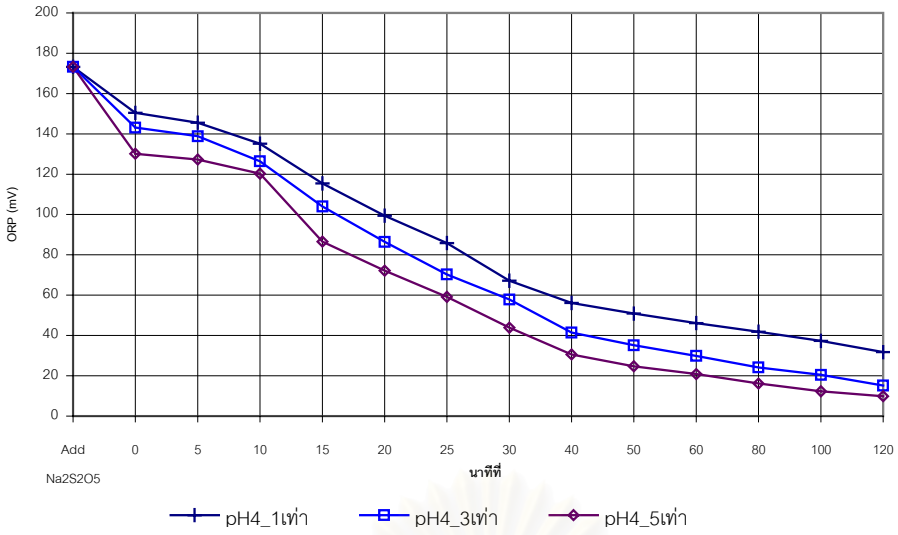
รูปที่ 4.55 กราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

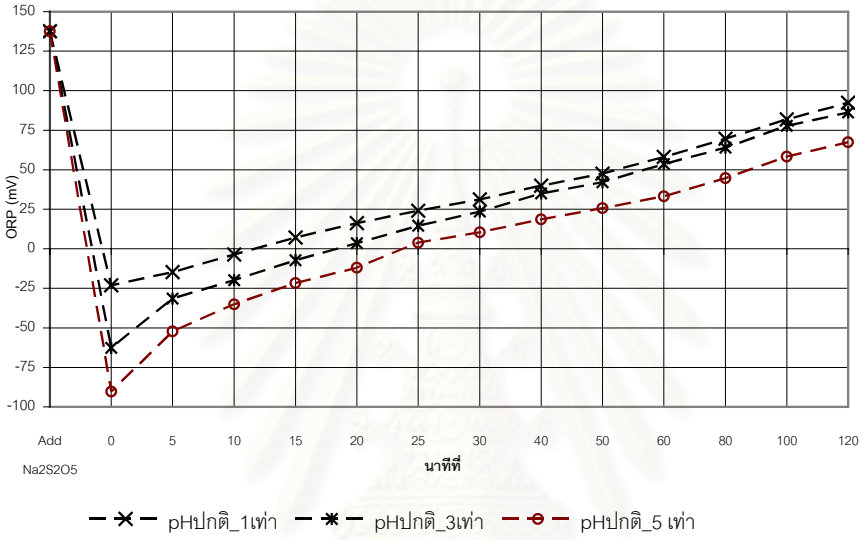
(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.49)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

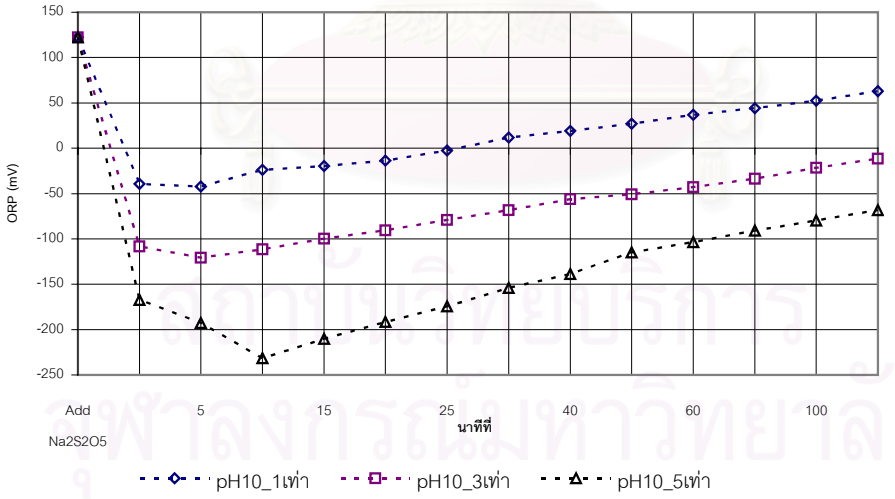
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.56 กราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.49)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

ที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 จะมีโออาร์พีต่ำสุด ณ นาทีที่ทำการเติม SBH ส่วนตัวอย่างที่ 3 ในนาทีที่ 10 จึงมีค่าต่ำสุด ต่อจากนั้นกราฟจึงเปลี่ยนทิศเข้าสู่แกนบวก สุดท้ายตัวอย่างที่ 1 จะมีโออาร์พีเป็นบวก สำหรับตัวอย่างที่ 2 และ 3 ค่าจะยังคงติดลบในชั่วโมงที่ 2 ของการทดลอง

รูปที่ 4.57 ก. ถึงรูปที่ 4.57 ค. คือกราฟค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ขณะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยรูปที่ 4.57 ก. เป็นกราฟความสัมพันธ์ของชุดตัวอย่างที่มีการเติม SBH ในปริมาณ 1 เท่าของสตอยชิโอเมตริก รูปที่ 4.57 ข. เป็นกราฟของชุดตัวอย่างที่เติม SBH 3 เท่า และรูปที่ 4.57 ค. จะแสดงกราฟของชุดตัวอย่างที่เติม SBH เท่ากับ 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ในแต่ละกราฟประกอบด้วย 3 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 คือน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีพีเอช 4 ตัวอย่างที่ 2 เป็นน้ำเสียที่มีพีเอชปกติ และตัวอย่างที่ 3 น้ำเสียสังเคราะห์มีพีเอช 10 ค่าสีเริ่มต้นก่อนเกิดปฏิกิริยาของทุกตัวอย่างมีค่า 7189 หน่วย และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของแต่ละกราฟได้ดังนี้

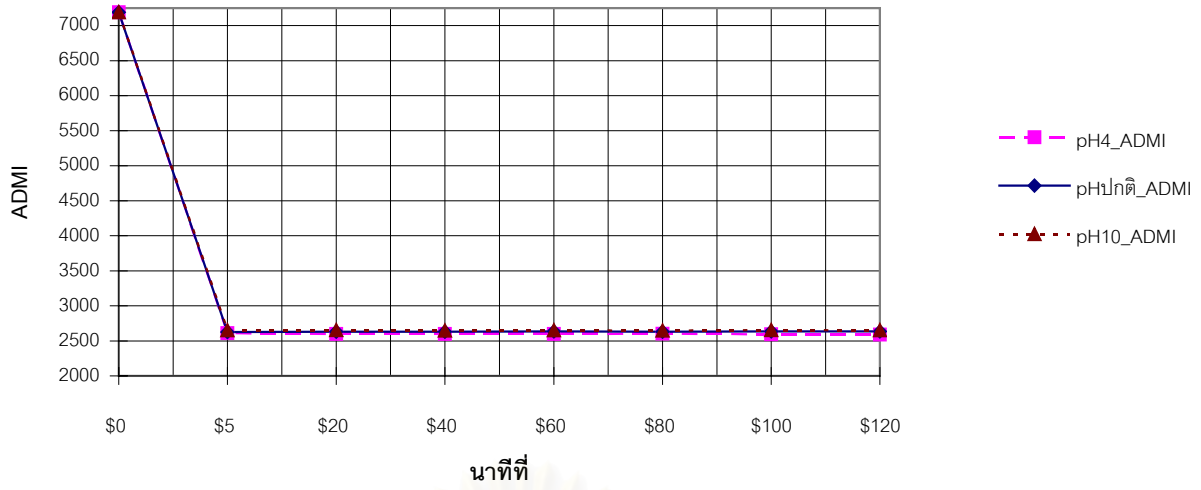
รูปที่ 4.57 ก. เมื่อทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันในนาทีที่ 5 ค่าสีจะลดลงเหลือค่าใกล้เคียงกันทุกตัวอย่างคือเท่ากับ 2500 หน่วย หลังจากนั้นจึงมีแนวโน้มคงที่ตลอดการทดลองทั้ง 3 ตัวอย่าง

รูปที่ 4.57 ข. เมื่อเติม SBH ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ สารเคมีจะรีดิวซ์สีย้อมทุกตัวอย่างจนมีค่าสีคงเหลือต่ำกว่า 2600 หน่วย เมื่อทำการวัดสี ณ นาทีที่ 5 ของการทดลอง หลังจากนั้นค่าสีคงเหลือจะมีค่าคงที่จนสิ้นสุดการทดลองในนาทีที่ 120

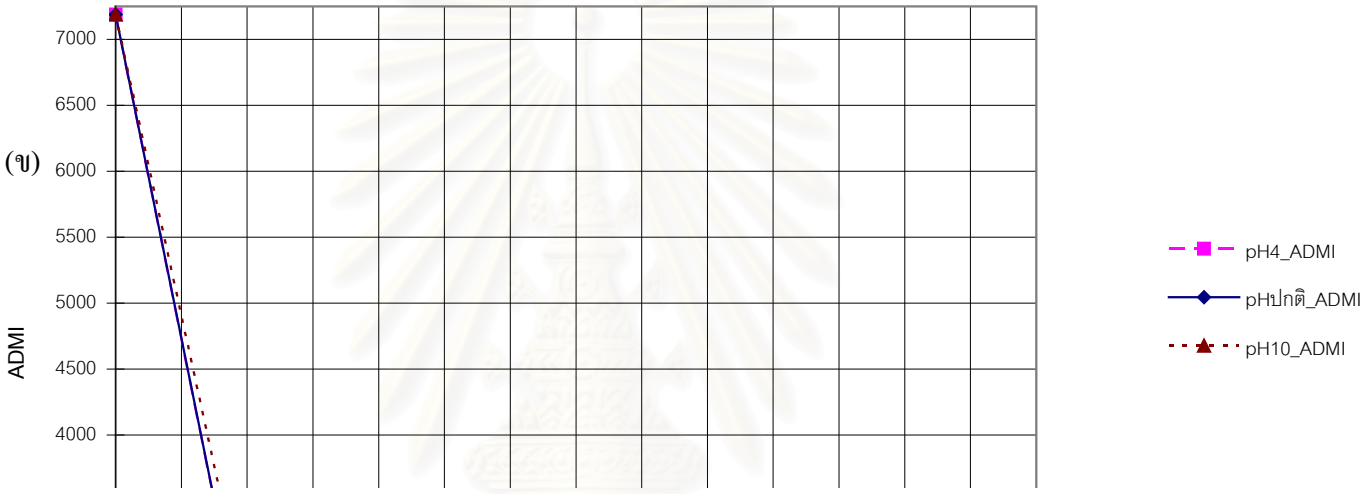
รูปที่ 4.57 ค. หลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH ค่าสีจะลงลงอย่างรวดเร็ว โดยตัวอย่างที่ 1 มีค่าเท่ากับ 2628 หน่วย ADMI สำหรับตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 จะมีค่าสีคงเหลือใกล้เคียงกันคือประมาณ 2250 หน่วย

รูปที่ 4.58 ก. ถึงรูปที่ 4.58 ค. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ 1 มีการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเป็น 4 และแสดงผลการทดลองตามรูปที่ 4.58 ก. ชุดการทดลองที่ 2 ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่ได้ทำการปรับค่าพีเอชแสดงในรูปที่ 4.58 ข. และชุดการทดลองที่ 3 ถูกปรับค่าพีเอชเป็น 10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ตามรูปที่ 30 โดยในแต่ละชุดการทดลองยังถูกแบ่งออกเป็น 3 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งเติม SBH ในปริมาณ 1 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ตัวอย่างที่ 2 เติม SBH เป็น 3 เท่า และตัวอย่างที่ 3 จะเติมในปริมาณ 5 เท่า อธิบายผลการทดลองได้ดังนี้

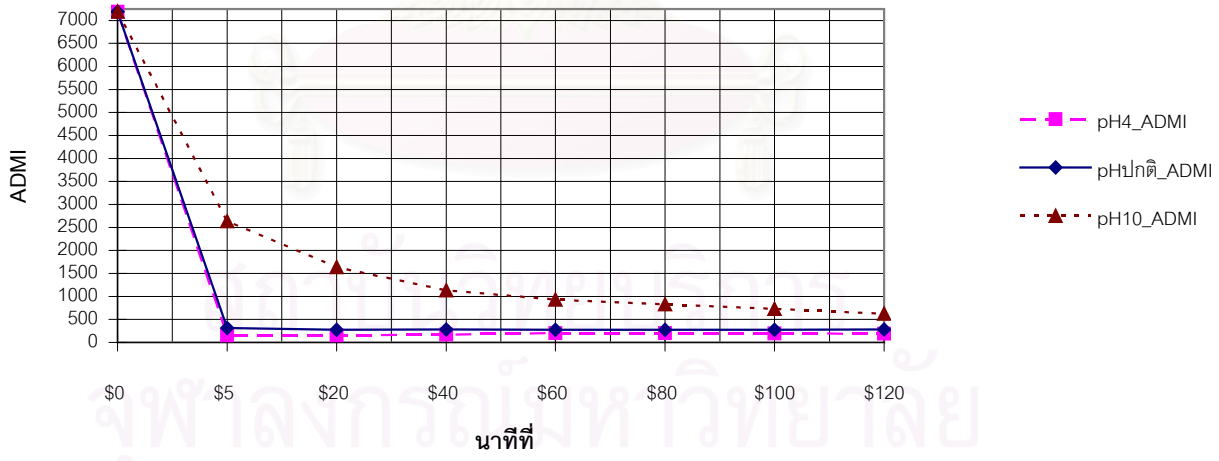
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.57 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) ปริมาณสารเคมีเป็น 1 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ข) ปริมาณสารเคมีเป็น 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ค) ปริมาณสารเคมีเป็น 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

รูปที่ 4.58 ก. ทั้ง 3 ตัวอย่างจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.22 ภายหลังเติม $Na_2S_2O_5$ ซึ่งลดลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับคุณสมบัติเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 4.39) แต่หลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH แล้ว ค่าพีเอชของตัวอย่างที่ 1 กลับมีค่าลดลงอีก โดยเมื่อทำการวัดค่าในนาทีที่ 5 ของการทดลอง น้ำเสียสังเคราะห์จะมีพีเอช 3.84 สำหรับตัวอย่างที่ 2 และ 3 ค่า พีเอช เพิ่มขึ้นเมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งมีค่าพีเอชมากกว่า 5.82 หลังจากนั้นเมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไป ค่าพีเอชของทุกตัวอย่างจะลดลงอีกเพียงเล็กน้อยกระทั่งสิ้นสุดการทดลองที่เวลา 2 ชั่วโมง

รูปที่ 4.58 ข. เมื่อเติม SBH ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ ค่าพีเอชจึงเพิ่มขึ้นเมื่อวัดค่าในนาทีที่ 5 โดยเรียงตามลำดับน้อยไปมากจากตัวอย่างที่ 1 ถึงตัวอย่างที่ 3 ได้เท่ากับ พีเอช 5.69 พีเอช 5.94 และพีเอช 5.69 จากนั้นแนวโน้มของค่าพีเอชจะลดเล็กอีกเล็กน้อยจนกระทั่งจบการทดลองในนาทีที่ 120

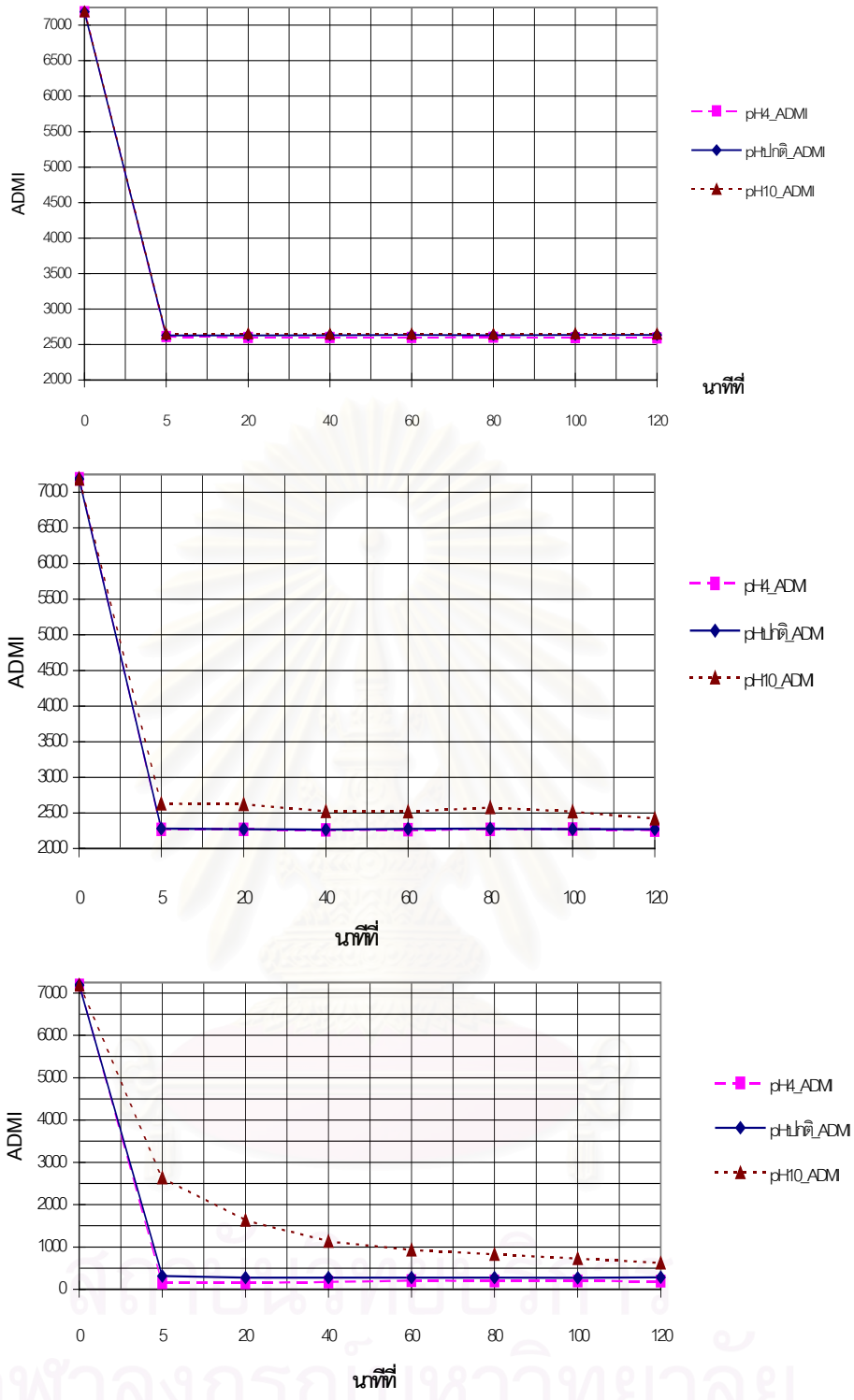
รูปที่ 4.58 ค. ภายหลังเติม $Na_2S_2O_5$ ลงในน้ำเสียสังเคราะห์พีเอชจะลดลงจาก 10 เหลือ 6.08 และเมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ตัวอย่างที่ 2 และ 3 จึงเพิ่มขึ้นเป็นพีเอช 6.24 และพีเอช 6.39 ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างที่ 1 กลับมีค่าพีเอชลดลงเป็น 6.03 เมื่อทำการวัดค่าในนาทีที่ 5 หลังจากนั้นเป็นต้นไปค่าพีเอชของทั้ง 3 ตัวอย่างจะมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง

รูปที่ 4.59 ก. ถึงรูปที่ 4.59 ค. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง และ 3 ตัวอย่างในแต่ละชุดเช่นเดียวกันกับการทดลองอื่นๆ ได้แก่ รูปที่ 4.59 ก. เป็นชุดที่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 4 รูปที่ 4.59 ข. ใช้น้ำเสียที่มีพีเอชปกติ และรูปที่ 4.59 ค. จะปรับพีเอชเป็น 10

รูปที่ 4.59 ก. โออาร์พีมีค่าลดลงในทันทีภายหลังเติม SBH โดยตัวอย่างที่ 1 (SBH 1 เท่า) และ ตัวอย่างที่ 2 (SBH 3 เท่า) มีค่าโออาร์พีลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงนาทีที่ 120 ซึ่งเป็นจุดสุดท้ายของการทดลอง พบว่าค่าโออาร์พียังมีแนวโน้มที่จะลดลงต่อไปอีก แสดงถึงระยะเวลาของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ช้า แต่สำหรับตัวอย่างที่ 3 (SBH 5 เท่า) จะมีค่าโออาร์พีต่ำสุด ณ นาทีที่ 5 โดยมีค่าเป็น – 69.2 มิลลิโวลท์ และหลังจากจุดต่ำสุดของกราฟจากนั้นโออาร์พีจึงมีค่าเพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.59 ข. หลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันค่าโออาร์พีของทุกตัวอย่างจะมีค่ากลายเป็นลบในทันที โดยจุดต่ำสุดของกราฟอยู่ ณ นาทีที่เติม SBHโดยมีค่าต่ำกว่า - 60 มิลลิโวลท์ จากนั้นค่าโออาร์พีจึงเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาของปฏิกิริยาดำเนินไปครบ 2 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 มีค่าโออาร์พีสูงกว่า - 10 มิลลิโวลท์

รูปที่ 4.59 ค. ตัวอย่างที่ 1 หลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH ค่าโออาร์พีจะลดลงต่ำสุดทันทีเมื่อวัดค่าในนาทีที่เริ่มเกิดปฏิกิริยา ภายหลังจุดต่ำสุดกราฟจึงมีแนวโน้มของค่าโออาร์พีเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงนาทีที่ 120 ค่าโออาร์พีจะเท่ากับ + 50.7 มิลลิโวลท์ สำหรับตัวอย่างที่ 2 และ 3 หลังเติม SBH ค่าโออาร์พีจะลดลงจนมีจุดต่ำสุดของกราฟอยู่ ณ นาทีที่ 5 ของการทดลอง หลังจากนั้นกราฟ



รูปที่ 4.58 กราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างเกิดปฏิกิริยา

ของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

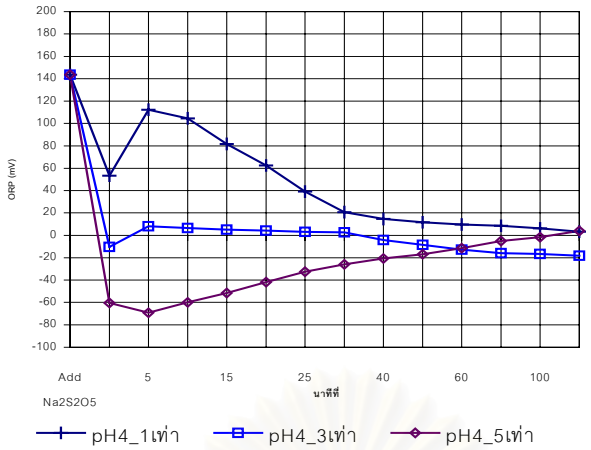
(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.17)

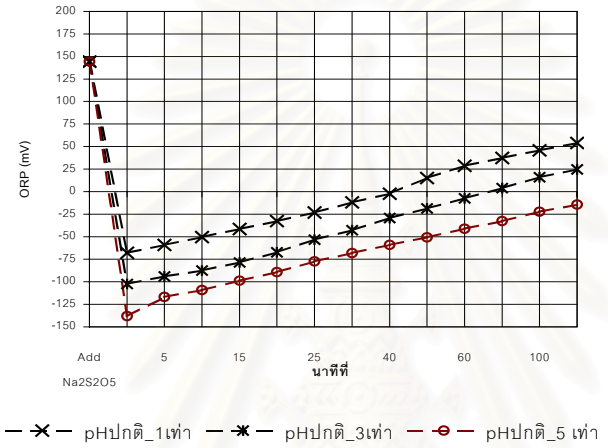
(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

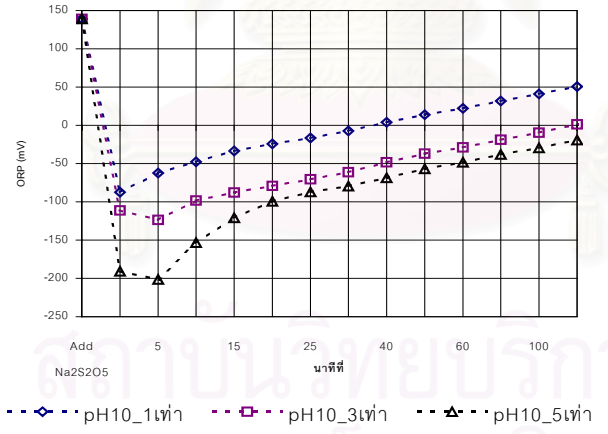
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.59 กราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.17)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จึงเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1 คือมีค่าโออาร์พีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยจะเข้าใกล้ 0 มิลลิโวลท์ ในนาทีที่ 120 ของการเกิดปฏิกิริยา

รูปที่ 4.60 ก. ถึงรูปที่ 4.60 ค. คือกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือระหว่างเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Red 180 เข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าสีเริ่มต้น 9139 หน่วย ADMI โดยรูปที่ 4.60 ก. แสดงกราฟของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติมปริมาณสารเคมี SBH เท่ากับปริมาณทางสตอยชิโอเมตริก รูปที่ 4.60 ข. และรูปที่ 4.60 ค. แสดงกราฟที่เติม SBH เท่ากับ 3 เท่า และ 5 เท่า นอกจากนั้นน้ำเสียสีย้อมจะถูกปรับค่าพีเอชเป็น 3 ค่า ได้แก่ พีเอช 4 พีเอชปกติ และ พีเอช 10 โดยกำหนดให้เป็นตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับในแต่ละชุดการทดลอง

รูปที่ 4.60 ก. เป็นกราฟแสดงค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ของน้ำเสียสังเคราะห์ C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เติม SBH เท่ากับปริมาณที่เหมาะสมตามสมการเคมี พบว่าหลังเกิดปฏิกิริยารีดักชันค่าสีของทั้ง 3 ตัวอย่างลดลงเหลือค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าประมาณ 2800 หน่วย หลังขากนั้นค่าสีคงเหลือจะค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง

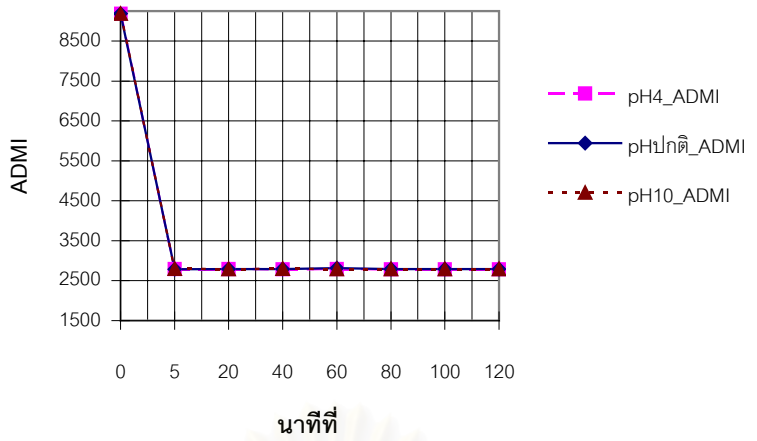
รูปที่ 4.60 ข. แสดงถึงการลดลงของค่าสีซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับตัวอย่างที่ 1 และ 2 ซึ่งมีค่าประมาณ 2700 หน่วย ในขณะที่ตัวอย่างที่ 3 มีค่าสีลดลงเหลือเพียง 1782 หน่วย จากนั้นแนวโน้มค่าสีจึงค่อนข้างคงที่ไปตลอดเช่นเดียวกับรูปที่ 4.60 ก.

รูปที่ 4.60 ค. เมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันค่าสีลดลงเหลือค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 ตัวอย่าง คืออยู่ที่ค่าประมาณ 560 หน่วย เมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไปพบว่าค่าสีคงเหลือจะมีค่าค่อนข้างคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองที่เวลา 2 ชั่วโมง

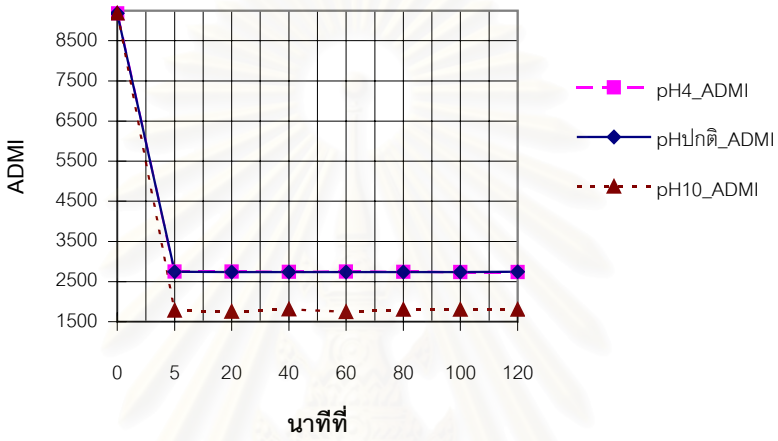
รูปที่ 4.61 ก. ถึงรูปที่ 4.61 ค. เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์อันได้แก่ พีเอช และโออาร์พี ที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแบ่งออกเป็น 3 ชุดตัวอย่างตามการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง ได้แก่ ชุดที่ 1 พีเอช 4 ชุดที่ 2 พีเอชปกติ และชุดที่ 3 พีเอช 10 นอกจากนั้นแต่ละชุดยังแบ่งเป็น 3 ตัวอย่างตามปริมาณ SBH ที่เติมลงในสารละลาย คือ 1 เท่า 3 เท่า และ 5 เท่า สำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

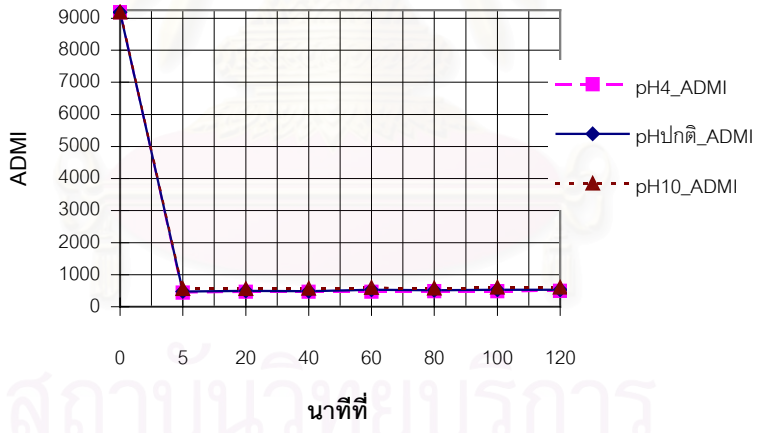
(ก)



(ข)



(ค)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.60 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) ปริมาณสารเคมีเป็น 1 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ข) ปริมาณสารเคมีเป็น 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ค) ปริมาณสารเคมีเป็น 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

รูปที่ 4.61 ก. จากกราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในปฏิกิริยารีดักชัน พบว่าหลังเติมสารเคมีลงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ถูกปรับพีเอชก่อนการทดลองให้เป็นพีเอช 4 SBH จะทำให้พีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่ 1 มีค่าพีเอช 5.11 ตัวอย่างที่ 2 มีพีเอช 5.65 และตัวอย่างที่ 3 มีพีเอช 5.98 เมื่อทำการวัดค่า ณ นาทีที่เติม SBH ภายหลังจากนั้นแนวโน้มของกราฟพีเอชจะมีค่าลดลง สุดท้ายในนาทีที่ 120 ตัวอย่างที่ 1 ถึงตัวอย่างที่ 3 มีพีเอชเหลือต่ำกว่า 5.86

รูปที่ 4.61 ข. ผลการทดลองพบว่าภายหลังเติม SBH แล้วค่าพีเอชของทั้ง 3 ตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นมากกว่า 5.61 เรียงตามลำดับต่ำไปสูงจากตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ต่อจากนั้นจึงมีค่าลดลงเล็กน้อยจนกระทั่งจบการทดลอง

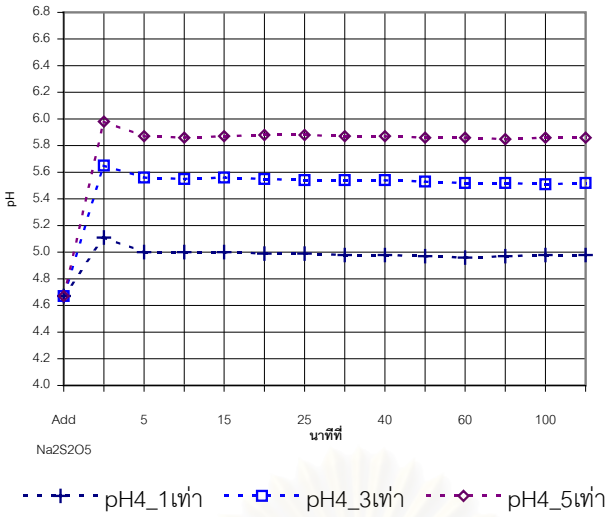
รูปที่ 4.61 ค. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ถูกปรับพีเอชเป็น 10 ภายหลังเติม $Na_2S_2O_5$ จะทำให้พีเอชลดลงเหลือ 5.99 และเมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH พบว่าตัวอย่างที่ 1 (SBH 1 เท่า) กลับมีพีเอชต่ำลงเป็น 5.79 เมื่อทำการวัดค่าในนาทีที่เริ่มการทดลอง หลังจากนั้นจึงมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลองในขณะที่ตัวอย่างที่ 2 (SBH 3 เท่า) และตัวอย่างที่ 3 (SBH 5 เท่า) มีพีเอชเพิ่มเป็น 6.17 และ 6.48 เมื่อเติม SBH และมีแนวโน้มพีเอชลดลงเล็กน้อยเมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไป

รูปที่ 4.62 ก. เป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีที่เปลี่ยนไปในปฏิกิริยาของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 ซึ่งปรับพีเอชเริ่มต้นให้เท่ากับ 4 หลังเกิดปฏิกิริยารีดักชันพบว่า ทั้ง 3 ตัวอย่างมีโออาร์พีลดลง แต่มีจุดต่ำสุดของกราฟเกิดขึ้น ณ เวลาต่างกัน กล่าวคือ ตัวอย่างที่ 1 มีโออาร์พีต่ำสุดขณะเติม SBH ตัวอย่างที่ 2 มีโออาร์พีต่ำสุด ณ นาทีที่ 10 ของการทดลอง และตัวอย่างที่ 3 เกิดในนาทีที่ 30 แสดงให้เห็นถึงอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่แตกต่างกันของทั้ง 3 ตัวอย่าง หลังจากจุดต่ำสุดของกราฟแล้วค่าโออาร์พีจึงเพิ่มขึ้น

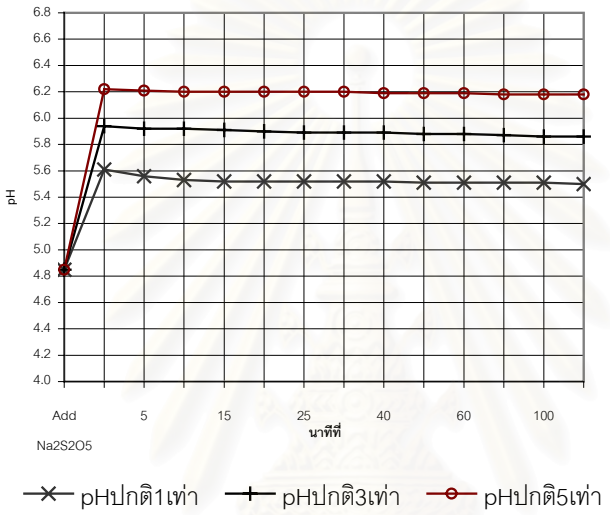
รูปที่ 4.62 ข. ภายหลังน้ำเสียสังเคราะห์เกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH ทำให้โออาร์พีมีค่าติดลบในทันทีที่เติม SBH โดยทุกตัวอย่างมีค่าโออาร์พีต่ำกว่า - 80 มิลลิโวลท์ หลังจากนั้นน้ำเสียจึงมีโออาร์พีเพิ่มขึ้น กระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ณ นาทีที่ 120

รูปที่ 4.62 ค. เมื่อเติม SBH ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ ทำให้ตัวอย่างที่ 1 มีโออาร์พีลดลงต่ำสุดเท่ากับ –199.5 มิลลิโวลท์ ในทันทีที่เติม SBH ส่วนตัวอย่างที่ 2 และ 3 จะมีค่าโออาร์พีติดลบสูงสุด ณ นาทีที่ 5 โดยเมื่อผ่านจุดต่ำสุดดังกล่าวไปแล้วค่าโออาร์พีจึงเพิ่มขึ้น เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปจนครบ 2 ชั่วโมง

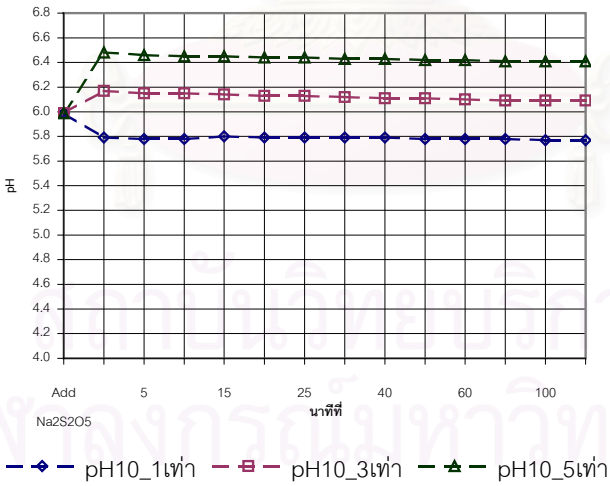
(ก)



(ข)



(ค)



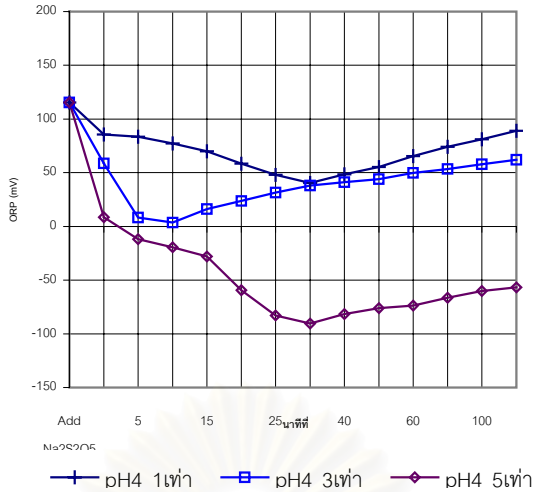
รูปที่ 4.61 กราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

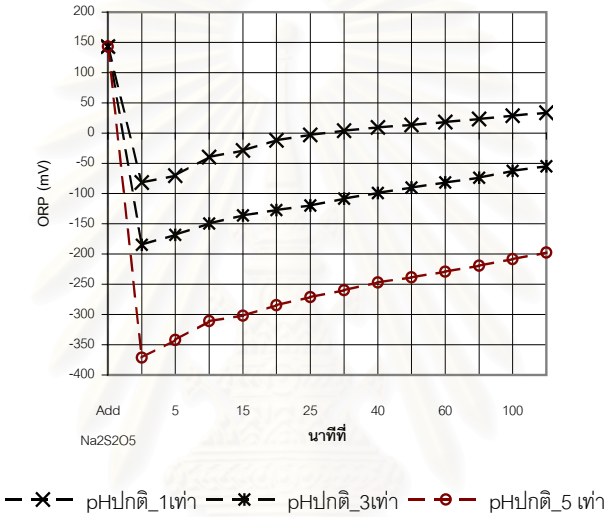
(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.7)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

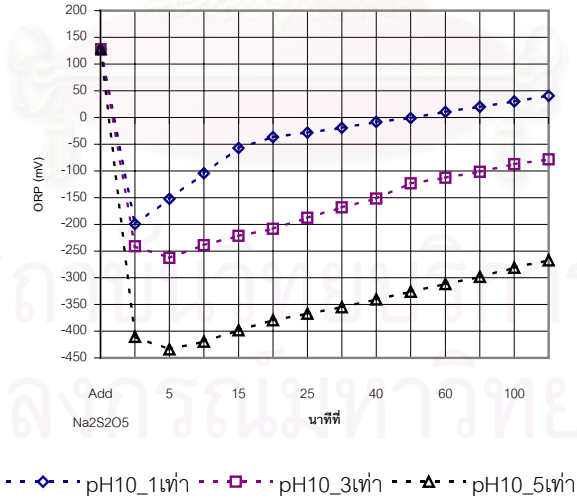
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.62 กราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.7)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

รูปที่ 4.63 ก. ถึงรูปที่ 4.63 ค. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือหน่วย ADMI ที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับรูปที่ 4.62 ก. ถึงรูปที่ 4.62 ค. แต่ได้แบ่งหมวดของกราฟความสัมพันธ์ต่างกันเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 แสดงกราฟของการทดลองที่เติม SBH ในปริมาณ 1 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ชุดที่ 2 เติม SBH 3 เท่า และชุดที่ 3 เติม SBH เท่ากับ 5 เท่า โดยในแต่ละชุดประกอบด้วยน้ำเสีย 3 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่ 1 มีพีเอชเริ่มต้นเป็น 4 ตัวอย่างที่ 2 พีเอชปกติ และตัวอย่างที่ 3 พีเอช 10 ซึ่งมีค่าสีก่อนการทดลองเท่ากับ 11518 หน่วย ผลการทดลองได้แสดงดังต่อไปนี้

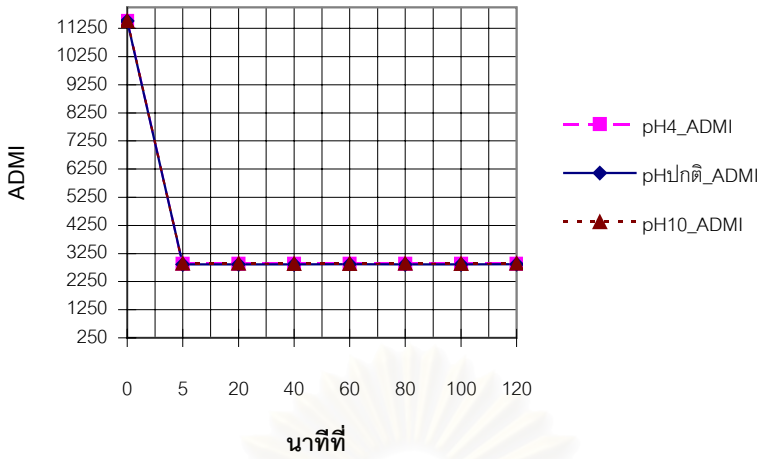
รูปที่ 4.63 ก. เป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของ C.I. Reactive Red 180 เข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ทำการเติม SBH ในปริมาณเท่ากับค่าสตอยชิโอเมตริก พบว่าภายหลังเติม SBH ค่าสีของทุกตัวอย่างลดลงเท่าๆ กันโดยมีค่าคงเหลือโดยประมาณเท่ากับ 2890 หน่วย ต่อจากนั้นค่าสีคงเหลือจะคงที่ตลอดการทดลอง

รูปที่ 4.63 ข. เมื่อเติม SBH ในปริมาณ 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริกแล้ว ตัวอย่างที่ 3 ซึ่งมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 จะมีค่าสีลดลงเหลือต่ำสุด โดยค่าสีคงเหลือเท่ากับ 480 หน่วย เมื่อเริ่มเกิดปฏิกิริยา รองลงมาคือตัวอย่างที่ 2 (พีเอชปกติ) มีค่าสีต่ำสุด ณ นาทีที่ 0 และตัวอย่างที่ 1 (พีเอช 4) ค่าสีคงเหลือเท่ากับ 462 หน่วย ณ นาทีที่ 40 ภายหลังจากจุดต่ำสุดดังกล่าวแล้วค่าสีจะค่อนข้างคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

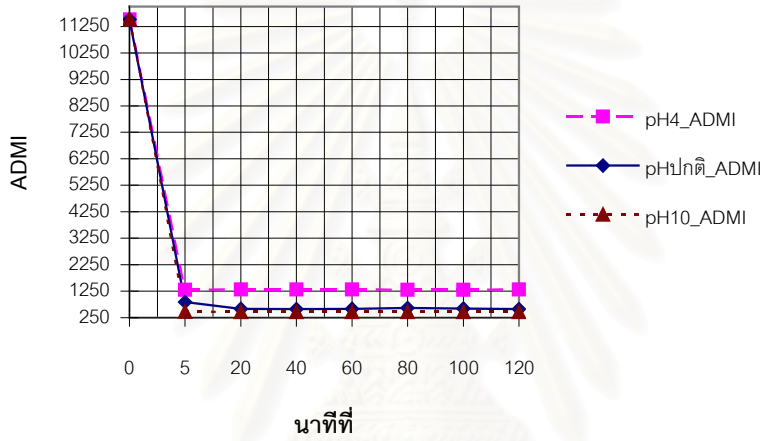
ผลการทดลองชุดสุดท้ายของสี C.I. Ractive Red 180 ได้แก่ รูปที่ 4.63 ค. พบว่าเมื่อทำการเติม SBH ในปริมาณ 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก พบว่าค่าสีจะลดลงเหลือใกล้เคียงกันทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 690 หน่วย ADMI สำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ต่อจากนั้นค่าสีคงเหลือจึงเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับรูปที่ 43 และรูปที่ 44 กล่าวคือมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

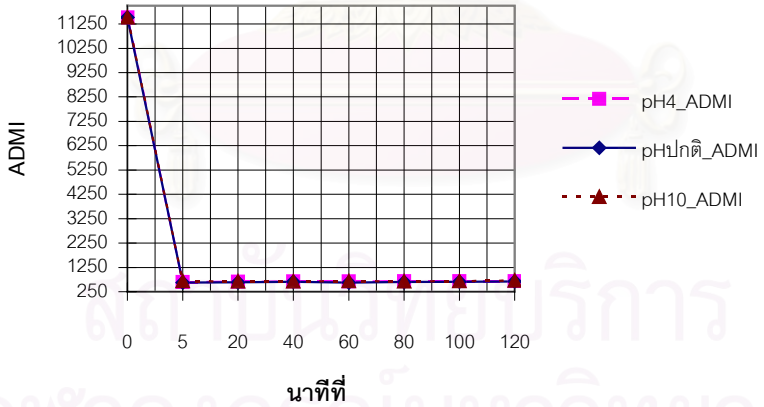
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.63 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) ปริมาณสารเคมีเป็น 1 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ข) ปริมาณสารเคมีเป็น 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ค) ปริมาณสารเคมีเป็น 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.3 C.I. Reactive Blue 171

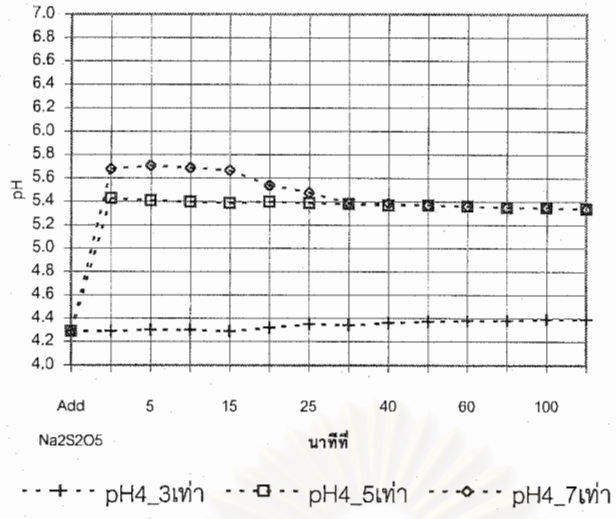
ในการทดลองนี้ น้ำเสียสังเคราะห์ของสี C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร จะถูกปรับค่าพีเอชเริ่มต้นเป็น 3 ค่า ได้แก่ พีเอช 4 ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น และพีเอช 10 ซึ่งในแต่ละชุดการทดลองจะมีการเติม $Na_2S_2O_5$ ในปริมาณมากเกินพอ คือ 20 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก จากนั้นจึงแปรค่าปริมาณสารเคมี SBH เป็น 3 เท่า 5 เท่า และ 7 เท่าของปริมาณสตอยชิโอเมตริก โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลองถูกนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าพีเอช ค่าโออาร์พี และค่าสีคงเหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยา เพื่อใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดสี

รูปที่ 4.64 ก. แสดงความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในระว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเสียสังเคราะห์สี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปรับค่าพีเอชเริ่มต้นให้เท่ากับ 4 จากนั้นจึงเริ่มทดลองโดยเติม $Na_2S_2O_5$ ปริมาณมากเกินพอเท่ากับ 20 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก แล้วจึงใส่ SBH โดยแปรปริมาณสารเคมีเป็น 3 ค่า คือ 3 เท่า 5 เท่า และ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก สำหรับตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 ตามลำดับ พบว่าภายหลังการเติม $Na_2S_2O_5$ ค่าพีเอชจะลดต่ำลงเหลือ 4.3 และเมื่อทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วย SBH สารละลายจึงกลับมีพีเอชสูงขึ้นมากกว่า 5.4 สำหรับตัวอย่างที่ 2 และ 3 ในขณะที่ตัวอย่างที่ 1 ยังคงมีค่าพีเอชค่อนข้างคงที่

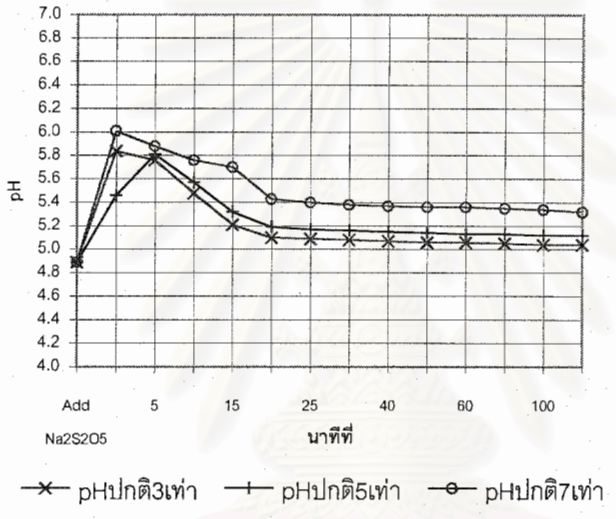
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสีย้อม ดังรูปที่ 4.64 ข. ซึ่งในการทดลองนี้ไม่มีการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีการเติมสารเคมี $Na_2S_2O_5$ และ SBH เหมือนกับตัวอย่างที่มีการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นเป็น 4 และ 10 จากผลการทดลองพบว่าหลังเติม $Na_2S_2O_5$ ค่าพีเอชจะมีการเปลี่ยนแปลงในทางลดลงคือมีพีเอชเท่ากับ 4.8 และเมื่อทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วย SBH น้ำเสียสังเคราะห์จึงมีค่าพีเอชสูงขึ้นในทันทีหลังเติมสารเคมี โดยมีค่ามากกว่า 5.4 เรียงลำดับพีเอชจากต่ำไปสูง คือตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 จากนั้นค่าพีเอชของทั้ง 3 ตัวอย่างจะลดต่ำลงจนกระทั่งจบการทดลองจึงมีค่าอยู่ระหว่าง 5.0 ถึง 5.4

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของสีฟอกย้อม C.I. Reactive Blue 171 ที่มีการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นให้เป็น 10 ตามรูปที่ 4.64 ค. พบว่าผลการทดลองเป็นเช่นเดียวกับน้ำเสียอีก 2 ค่าพีเอชข้างต้น กล่าวคือค่าพีเอชจะลดต่ำลงหลังจากเติม $Na_2S_2O_5$ ทั้ง 3 ตัวอย่าง และเมื่อเติม SBH จึงทำให้พีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ยังคงต่ำกว่า 10

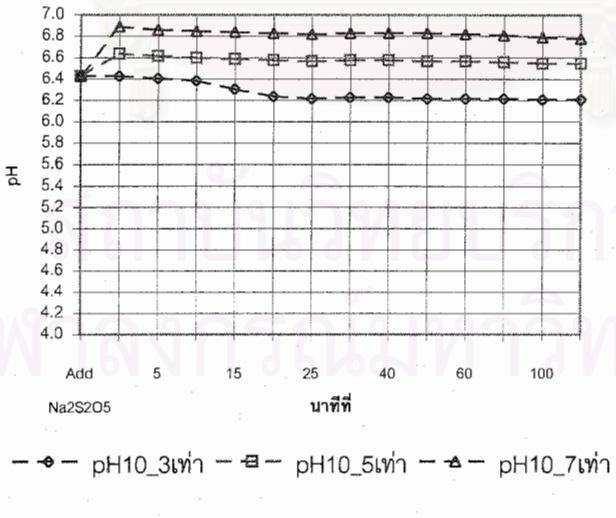
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.64 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH ในระหว่างเกิดปฏิกิริยา ของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 mg/l

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.27)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

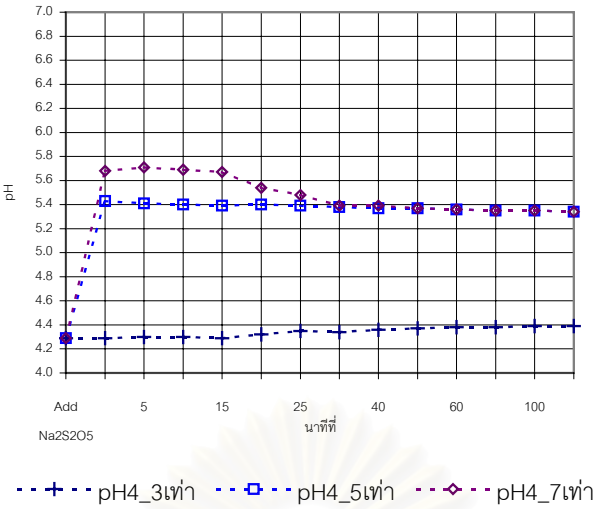
รูปที่ 4.65 ก. เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของน้ำเสียสังเคราะห์สี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปรับค่าพีเอชเริ่มต้นให้เท่ากับ 4 โดยตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 จะทำการเติม $Na_2S_2O_5$ ในปริมาณมากเกินพอ ในขณะที่ใช้ SBH ในปริมาณ 3 เท่า 5 เท่า และ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริกตามลำดับ และภายหลังการเติม SBH ค่าโออาร์พีจะยังคงเป็นบวกแต่มีแนวโน้มลดต่ำลง จนกระทั่งถึงนาทีที่ 25 ของการทดลอง ทั้ง 3 ตัวอย่างจึงมีค่าโออาร์พีกลับเป็นบวกมากขึ้น

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่มีการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง ดังรูปที่ 4.65 ข. ตัวอย่างที่ 1 ถึงตัวอย่างที่ 3 จะทำการเติมสารเคมี SBH ในปริมาณ 3 เท่า 5 เท่า และ 7 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก จากการทดลองพบว่า เมื่อเติม $Na_2S_2O_5$ ค่าโออาร์พีจะเป็น + 100 มิลลิโวลท์ และเมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH ค่าโออาร์พีของทั้ง 3 ตัวอย่างจึงเปลี่ยนเป็นลบในทันที โดยมีค่าต่ำกว่า –50 มิลลิโวลท์ จากนั้น โออาร์พี ยังคงลดลงต่อไปจนกระทั่งมีจุดต่ำสุดของที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 ในนาทีที่ 5 ของการทดลอง แล้วจึงมีค่ากลับเข้าสู่เชิงบวกหลังจากผ่านจุดต่ำสุดไปแล้ว สุดท้ายโออาร์พีจะยังคงมีค่าติดลบแต่เข้าใกล้ศูนย์ทุกตัวอย่าง

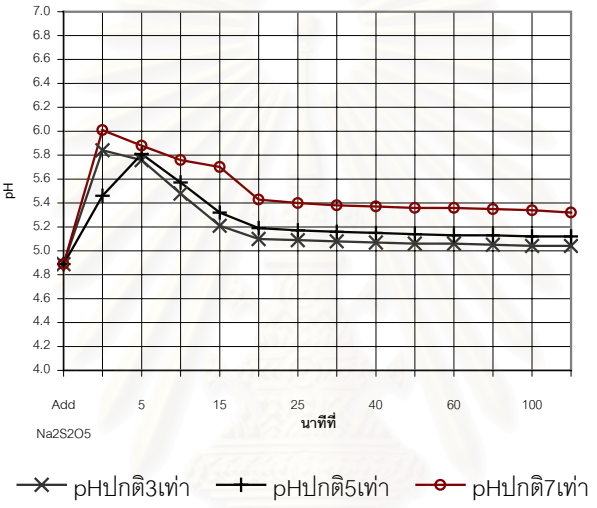
เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ถูกปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 10 ก่อนการทดลอง ดังรูปที่ 4.65 ค. เมื่อเกิดปฏิกิริยากับ SBH จึงทำให้โออาร์พีมีค่ากลายเป็นลบ โดยเท่ากับ –100 -150 และ –250 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ จากนั้นตัวอย่างที่ 2 และ 3 จะมีค่าต่ำสุดในนาทีที่ 5 ของการทดลอง หลังจากนี้จึงมีค่าเข้าสู่แกนบวก จนกระทั่งครบ 120 นาทีของการทดลอง ทั้ง 3 ตัวอย่าง จะยังมีโออาร์พีเป็นลบ

ในการแสดงความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในระหว่างที่ปฏิกิริยาดำเนินไปนั้นวัดในหน่วย ADMI โดยแบ่งการเปรียบเทียบออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ระหว่างชุดการทดลองที่มีการเติมสารเคมี SBH ในปริมาณ 3 เท่า 5 เท่า และ 7 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ในแต่ละกลุ่มประกอบด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ที่ถูกปรับค่าพีเอชเริ่มต้นเป็น 4 ไม่มีการปรับค่าพีเอช และปรับพีเอชเป็น 10 ค่าสีเริ่มต้นของทุกตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 2400 หน่วย ADMI ซึ่งแสดงผลการทดลองที่อธิบายจากกราฟความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้

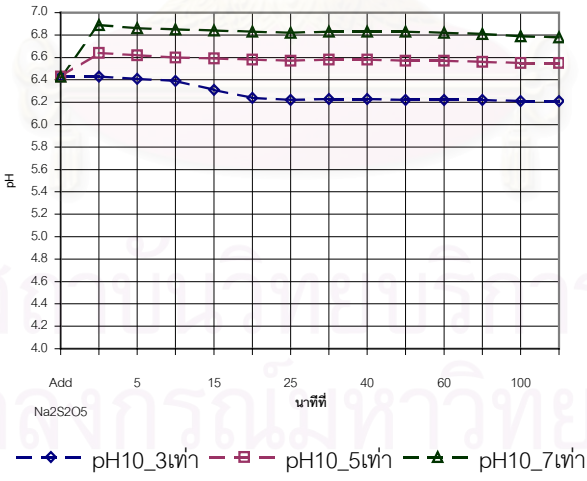
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.65 กราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.27)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

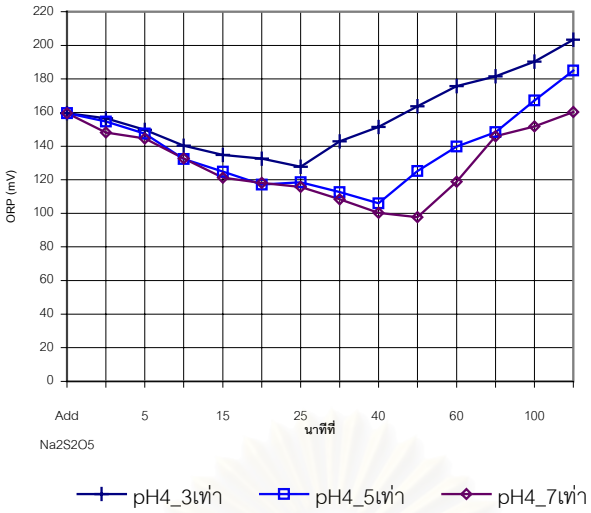
รูปที่ 4.66 ก. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือที่วัดในหน่วย ADMI ในระหว่างการทำปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ปริมาณสารเคมี SBH เป็น 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก หลังจากเติม SBH เพื่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันพบว่า น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าสีคงเหลือลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 5 นาทีแรกของการทดลอง โดยตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 มีค่าสีคงเหลือเรียงตามลำดับเท่ากับ 1200 หน่วย 1000 หน่วย 800 หน่วย หลังจากนาทีที่ 5 ของการทดลองเป็นต้นไป ค่าสีคงเหลือของตัวอย่างที่ 1 และ 2 จะยังคงลดลงอีกเพียงเล็กน้อย ขณะที่ตัวอย่างที่ 3 มีค่าสีต่ำสุดเป็น 600 หน่วย ณ นาทีที่ 5 เมื่อจบการทดลองในชั่วโมงที่ 2 ค่าสีของตัวอย่างที่ 1 จะเพิ่มขึ้นเป็น 1300 หน่วย

ผลการทดลองตามรูปที่ 4.67 ข. คือกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ของน้ำเสียสังเคราะห์สี C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเติม SBH เป็นปริมาณ 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก เมื่อใส่ SBH ลงในน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าค่าสีคงเหลือลดลงอย่ารวดเร็วภายใน 5 นาทีแรกของการทำปฏิกิริยารีดักชัน โดยมีค่าเท่ากับ 800 หน่วย ใกล้เคียงกันทุกตัวอย่าง เมื่อเวลาผ่านไปค่าสีคงเหลือของทุกตัวอย่างจะลดลงอีกและค่อนข้างคงที่หลังจากนั้น

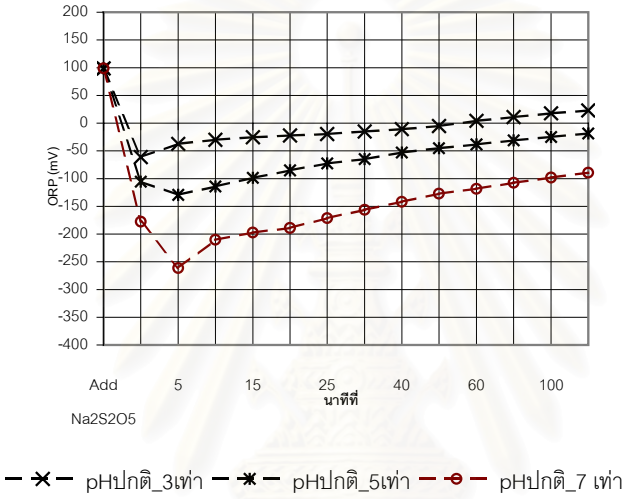
เมื่อทดลองใช้ SBH ในปริมาณ 7 เท่า ดังรูปที่ 4.67 ค. ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือที่วัดในหน่วย ADMI ในระหว่างการทำปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนการทดลองให้เป็น 3 ช่วงดังกล่าวแล้ว โดยใช้ปริมาณ SBH เป็น 7 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ค่าสีเริ่มต้นของทุกตัวอย่างมีค่าเท่ากันและไม่มีค่าเปลี่ยนแปลงหลังเติม $Na_2S_2O_5$ แต่ค่าสีคงเหลือจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วย SBH กล่าวคือในนาทีที่ 5 ของการทดลองเมื่อทำการวัดสีพบว่า ตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 มีค่าสีต่ำกว่า 700 หน่วย หลังจากปฏิกิริยาดำเนินต่อไปถึงนาทีที่ 40 ค่าสีจะมีค่าค่อนค่างคงที่

รูปที่ 4.67 ก. ถึงรูปที่ 4.67 ข. เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์อันได้แก่ พีเอช โออาร์พี และค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ของน้ำเสียสังเคราะห์ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับแต่ละชุดตัวอย่างที่ทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้น 4 ไม่ปรับพีเอช และพีเอช 10 โดยใช้สารเคมีคือ $Na_2S_2O_5$ ในปริมาณมากเกินพอเท่ากับ 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก และแปร SBH เป็น 3 เท่า 5 เท่า และ 7 เท่าของปริมาณที่เหมาะสมทางเคมี

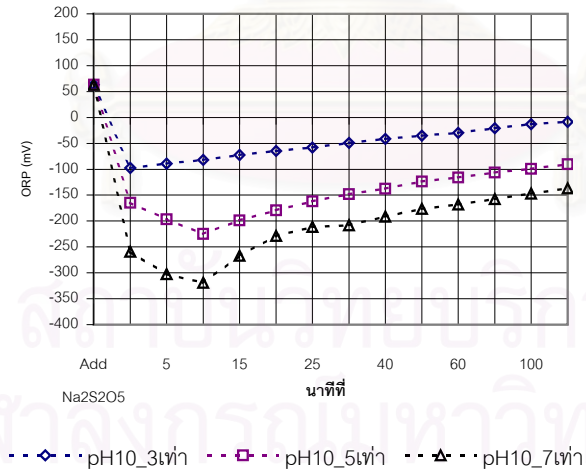
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.66 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) ปริมาณสารเคมีเป็น 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ข) ปริมาณสารเคมีเป็น 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ค) ปริมาณสารเคมีเป็น 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.67 ก. เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการทำปฏิกิริยาของสีย้อมกับรีดิวซิ่งเอเจนต์ โดยน้ำเสียถูกปรับพีเอชเริ่มต้นให้เป็น 4 ก่อนการทดลอง ตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 เป็นตัวแทนของชุดการทดลองที่ถูกเติม SBH เป็น 3 เท่า 5 เท่า และ 7 เท่าตามลำดับ จากนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้มาพล็อตกราฟเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชในระหว่างปฏิกิริยารีดักชัน ภายหลังเติม SBH จะทำให้พีเอชกลับมีค่าสูงขึ้นจาก 4.2 มาอยู่ในช่วงพีเอช 5.4 ถึง 6.2 ต่อจากนั้นแนวโน้มของพีเอชในทุกตัวอย่างจะมีค่าแนวโน้มลดลง

กราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างการทำปฏิกิริยาของสีย้อมที่ไม่มีการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งแสดงด้วยรูปที่ 4.67 ข. ผลการทดลองพบว่า หลังเติม $Na_2S_2O_5$ ค่าพีเอชจะเป็น 5.0 จากนั้นเมื่อเติม SBH จึงทำให้สารละลายมีพีเอชเพิ่มขึ้นในทันที โดยมีค่าอยู่ที่ประมาณ 5.6 ถึง 6.1 ต่อมาพีเอชจึงมีค่าค่อนข้างคงที่สำหรับทั้ง 3 ตัวอย่าง

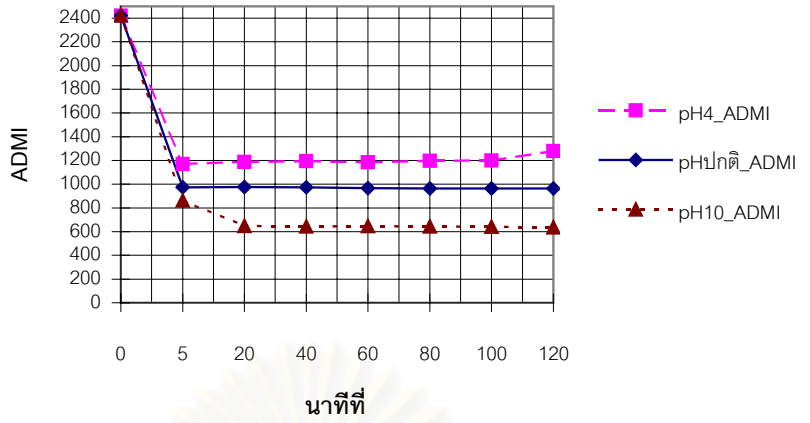
สำหรับรูปที่ 4.67 ค. คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสีย้อมที่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียให้เป็น 10 ก่อนการทดลอง พบว่าหลังเติม $Na_2S_2O_5$ แล้วพีเอชจะลดลงเป็น 6.4 จากนั้นเมื่อให้ทำปฏิกิริยากับ SBH ที่ 7 เท่าเพียงปริมาณเดียวที่ทำให้พีเอชสูงขึ้นมาอยู่ในช่วง 6.7 แต่เมื่อเวลาผ่านไปค่าพีเอชจึงค่อยๆ ลดลง

รูปที่ 4.68 ก. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Blue ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียให้เป็น 4 ตัวอย่างที่ 1 เป็นตัวแทนของน้ำเสียสังเคราะห์พีเอช 4 ที่เติม SBH 3 เท่า ตัวอย่างที่ 2 เติม SBH 5 เท่า และตัวอย่างที่ 3 เติม SBH ในปริมาณ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเติม $Na_2S_2O_5$ ในปริมาณที่เกินพอแล้ว ค่าโออาร์พีของสารละลายจะยังมีค่าเป็นบวก และหลังจากเติม SBH จึงทำให้โออาร์พีของทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าต่ำลง ซึ่งมีแนวโน้มของกราฟเข้าสู่ค่าลบ แต่กลับเป็นบวกเพิ่มขึ้นเมื่อตอนท้ายของการทดลอง

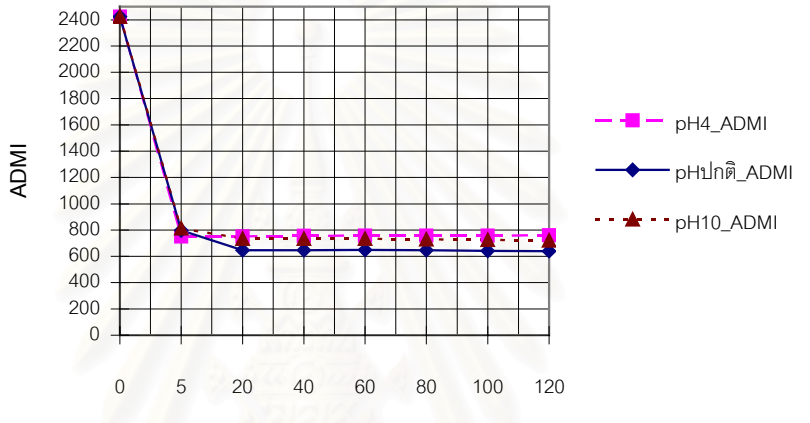
รูปที่ 4.68 ข. เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าโออารืพีที่มีการเปลี่ยนแปลงในขณะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสีฟอกย้อมที่ไม่ถูกปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียก่อนการทดลอง ปรากฏว่าหลังเติม $Na_2S_2O_5$ แล้วโออาร์พีจะมีค่าเป็นบวกอยู่ และเมื่อใส่สารเคมี SBH จึงทำให้โออาร์พีมีค่าเปลี่ยนเป็นลบเฉพาะตัวอย่างที่เติม SBH สูงสุด คือ 7 เท่า

รูปที่ 4.68 ค. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีที่มีเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน โดยทดลองกับน้ำเสียที่ปรับพีเอชเริ่มต้นก่อนการทดลองเป็น 10 โออาร์พีก่อนเมื่อใส่สารเคมี SBH จึงทำให้โออาร์พีกลายเป็นลบอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าต่ำกว่า –75 มิลลิโวลท์ สำหรับทุกตัวอย่าง

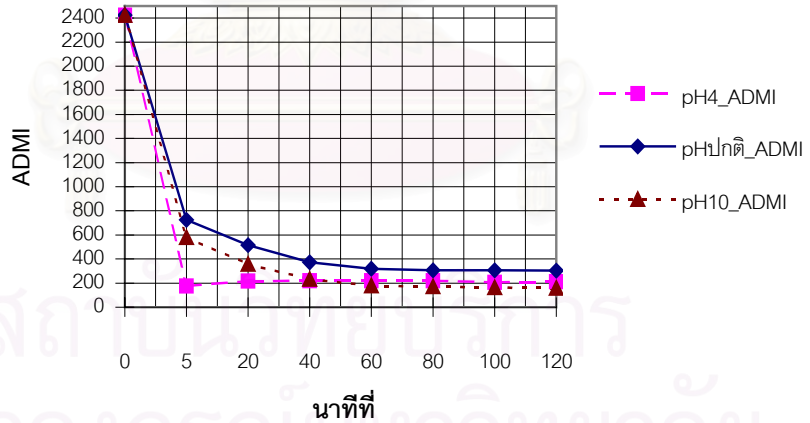
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.67 กราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร

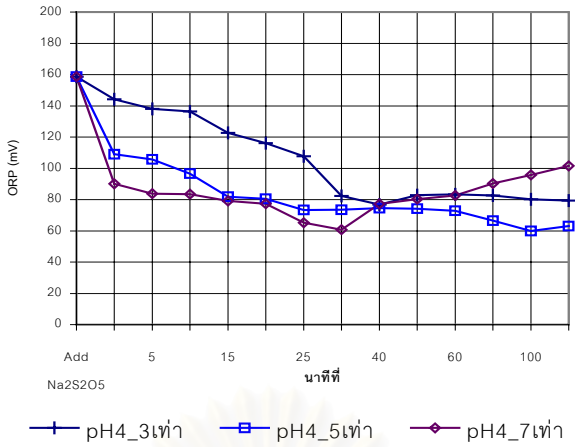
(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.55)

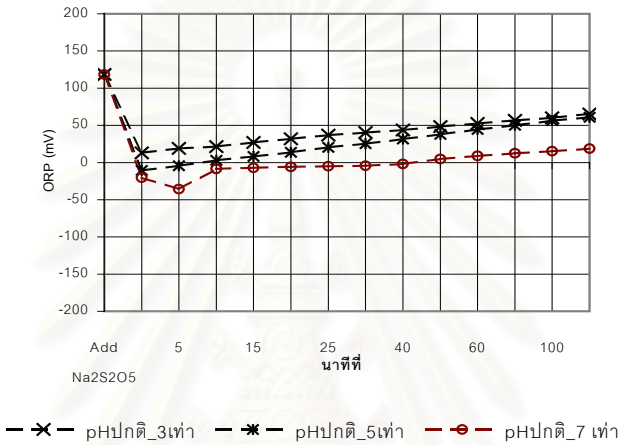
(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

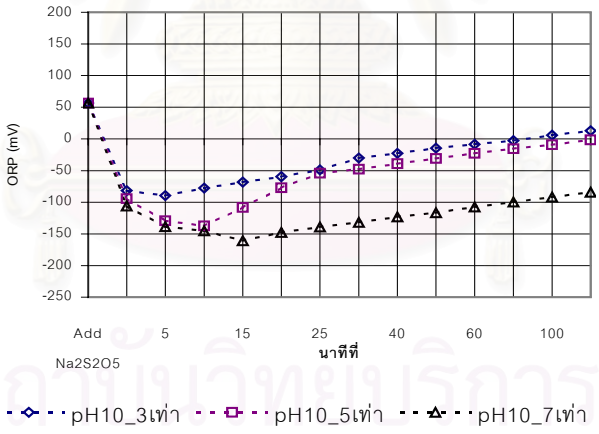
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.68 กราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.55)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

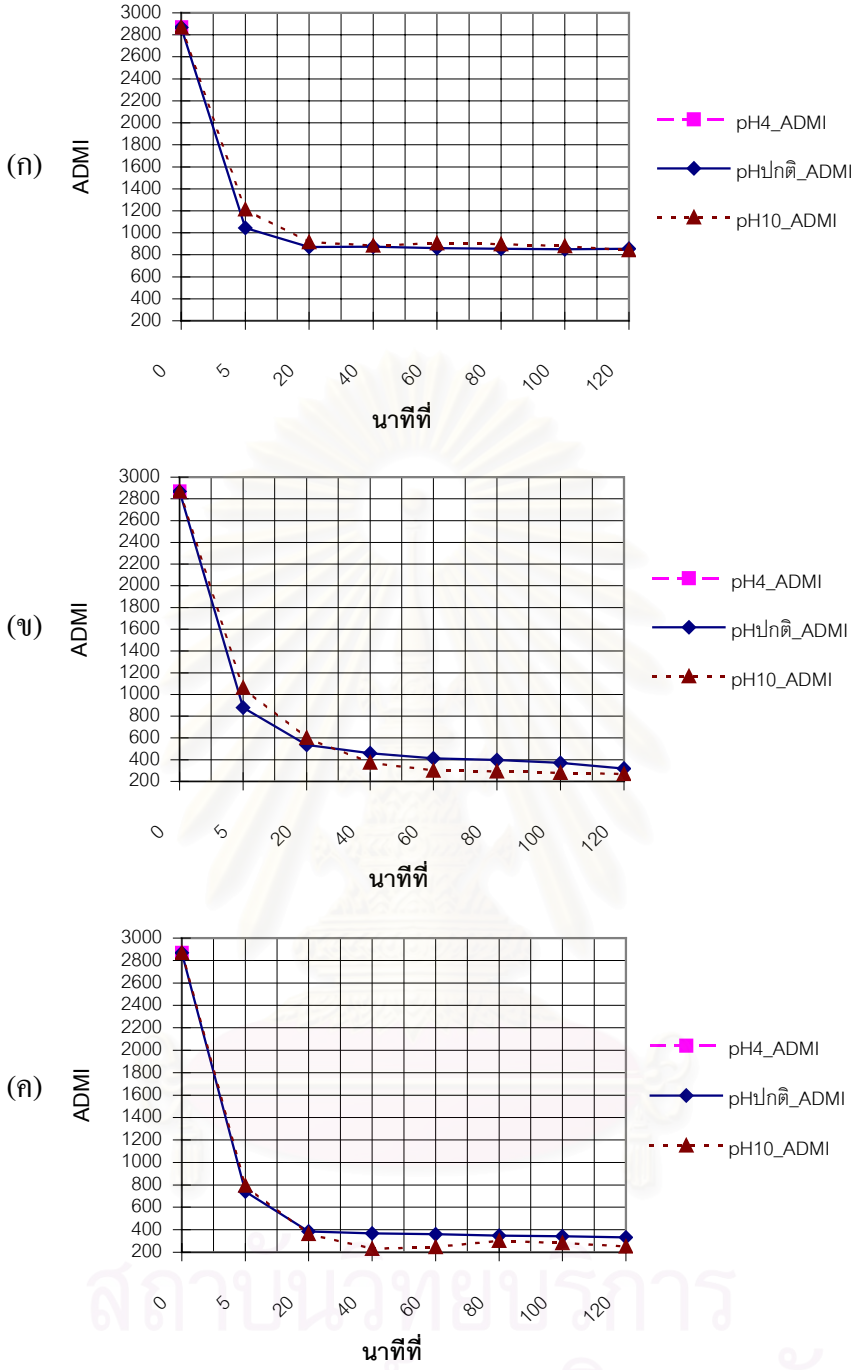
รูปที่ 4.69 ก. ถึงรูปที่ 4.69 ค. เป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และชุดที่ 3 ซึ่งจะใช้ปริมาณ SBH เป็น 3 เท่า 5 เท่า และ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริกตามลำดับ โดยในแต่ละชุดนั้นน้ำเสียสังเคราะห์จะถูกปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง 3 ค่า ด้วยกัน คือ พีเอช 4 เป็นตัวอย่างที่ 1 ไม่ปรับพีเอชเป็นตัวอย่างที่ 2 และพีเอช 10 เป็นตัวอย่างที่ 3 สำหรับแต่ละชุดการทดลอง

รูปที่ 4.69 ก. คือกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้ปริมาณ SBH เท่ากับ 3 เท่าของปริมาณที่เหมาะสมทางสมการเคมี ผลการทดลองพบว่า หลังจากเติม $Na_2S_2O_5$ ในปริมาณมากเกินพอ ค่าสีของน้ำเสียสังเคราะห์ในหน่วย ADMI มีค่า 2800 หน่วยคงเดิม แต่เมื่อเติม SBH จึงทำให้ค่าสีลดลงเหลือต่ำกว่า 1200 หน่วย สำหรับตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 เรียงจากมากไปน้อยตามลำดับ หลังจากนั้นค่าสีคงเหลือจะค่อนข้างคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือภายหลังปฏิกิริยารีดักชัน โดยใช้ปริมาณสารเคมี SBH เท่ากับ 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริกสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์สี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงโดยรูปที่ 4.69 ข. ภายหลังเกิดปฏิกิริยารีดักชันใน 5 นาทีแรก จะมีค่าสีคงเหลือต่ำกว่า 1000 หน่วย สำหรับทุกตัวอย่าง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ทำการเติม SBH ในปริมาณ 7 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ในรูปที่ 4.69 ค. ภายหลังเติม SBH ในนาทีที่ 5 ของการทดลองจึงมีค่าสีลดลงเหลือต่ำกว่า 400 หน่วยในนาทีที่ 20 ต่อจากนั้นค่าสีคงเหลือจะค่อนข้างคงที่จนจบการทดลองที่เวลา 120 นาที

รูปที่ 4.70 ก. ถึงรูปที่ 4.70 ค. เป็นกราฟแสดงค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 4 ก่อนเริ่มการทดลองซึ่งแสดงกราฟความสัมพันธ์ไว้ตามรูปที่ 4.70 ก. ชุดที่ 2 จะไม่มีการปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ดังแสดงผลในรูปที่ 4.70 ข. และชุดที่ 3 มีการปรับพีเอชเป็น 10 ผลการทดลองตามรูปที่ 4.70 ค. นอกจากนั้นในแต่ละชุดการทดลองยังมีการแปรค่าปริมาณสารเคมีออกเป็น 3 ค่า คือ 3 เท่า 5 เท่า และ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก โดยกำหนดให้เป็นตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.69 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) ปริมาณสารเคมีเป็น 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ข) ปริมาณสารเคมีเป็น 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ค) ปริมาณสารเคมีเป็น 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.70 ก. มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เท่ากับ 4 ก่อนเริ่มการทดลอง คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์หลังเติม $Na_2S_2O_5$ จะมีพีเอชลดต่ำลงเล็กน้อย จากนั้นเมื่อทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH สารละลายจึงมีพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 5.7 สำหรับตัวอย่างที่ 1 พีเอช 5.8 สำหรับตัวอย่างที่ 2 และ พีเอช 6.0 สำหรับตัวอย่างที่ 3 และเมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไปค่าพีเอชจึงลดลงเล็กน้อย

รูปที่ 4.70 ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองมีพีเอชเป็นปกติ จากผลการทดลองพบว่าหลังจากเติม SBH ทำให้ค่าพีเอชของทุกตัวอย่างเพิ่มขึ้นในอัตราที่แตกต่างกัน โดยตัวอย่างที่ 3 ซึ่งมีการเติมสารเคมี SBH ในปริมาณ 7 เท่า จะให้ค่าพีเอชสูงสุดเท่ากับ 5.9 ถัดมาคือตัวอย่างที่ 2 มีพีเอช 5.8 และตัวอย่างที่ 1 มีค่าพีเอชเป็น 5.5 ต่อจากนั้นแนวโน้มของพีเอชจะมีการลดลงอีกเล็กน้อย จนกระทั่งจบการทดลอง

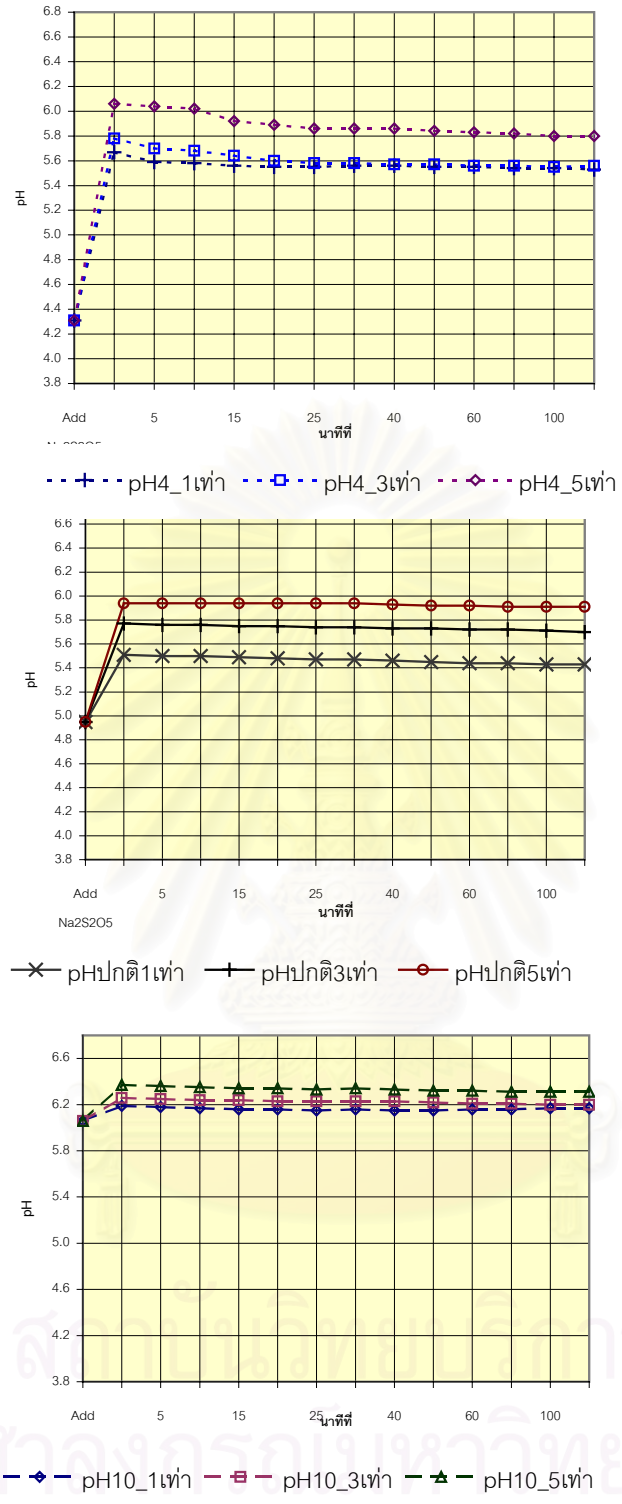
รูปที่ 4.70 ค. น้ำเสียสังเคราะห์ถูกปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 10 ก่อนการเกิดปฏิกิริยา พบว่าภายหลังเติม $Na_2S_2O_5$ แล้วค่าพีเอชของทั้ง 3 ตัวอย่างจะลดลงจาก 10 เป็น 6.0 ต่อจากนั้นเมื่อใส่ SBH ลงไปในสารละลาย จะทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 6.2

รูปที่ 4.71 ก. ถึงรูปที่ 4.71 ค. เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่แบ่งจำนวนชุดการทดลองเป็นเช่นเดียวกับการหาความสัมพันธ์ของค่าพีเอช ผลการทดลองได้ถูกแสดงดังต่อไปนี้

รูปที่ 4.71 ก. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พีในระหว่างการทำปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ถูกปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียสังเคราะห์ให้เป็นให้เท่ากับ 4 โดยมีค่าโออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ เท่ากับ +150 มิลลิโวลท์ จากนั้นเมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH จึงทำให้โออาร์พีมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องแต่ยังคงอยู่ในค่าบวก จนกระทั่งจบการทดลอง

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการปรับค่าไม่มีเริ่มต้น แสดงดังรูปที่ 4.71 ข. จากผลการทดลองพบว่าในขณะเติม $Na_2S_2O_5$ ค่าโออาร์พีจะยังคงเป็นบวกอยู่ จนกระทั่งเติม SBH ลงไป ตัวอย่างที่ 2 และ 3 จึงมีค่าติดลบต่ำกว่า 0 มิลลิโวลท์ หลังจากนั้นจึงมีแนวโน้มเข้าสู่แกนบวกของกราฟ และมีค่าเป็นบวกในที่สุดเมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปครบ 2 ชั่วโมง

ชุดตัวอย่างที่น้ำเสียสังเคราะห์ถูกปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เท่ากับ 10 ก่อนการทำปฏิกิริยา ดังรูปที่ 4.71 ค. พบว่าเมื่อใส่ $Na_2S_2O_5$ ลงไปในน้ำเสียค่าโออาร์พีจะยังคงเป็นบวกเช่นเดียวกับชุดการทดลองอื่นๆ แต่หลังจากเติม SBH จะทำให้โออาร์พีเป็นลบในทันที ต่อจากนั้นกราฟจึงเปลี่ยนทิศเข้าสู่แกนบวก สุดท้ายตัวอย่างที่ 1 จะมีโออาร์พีเป็นบวก สำหรับตัวอย่างที่ 2 และ 3 ค่าจะยังคงติดลบในชั่วโมงที่ 2 ของการทดลอง



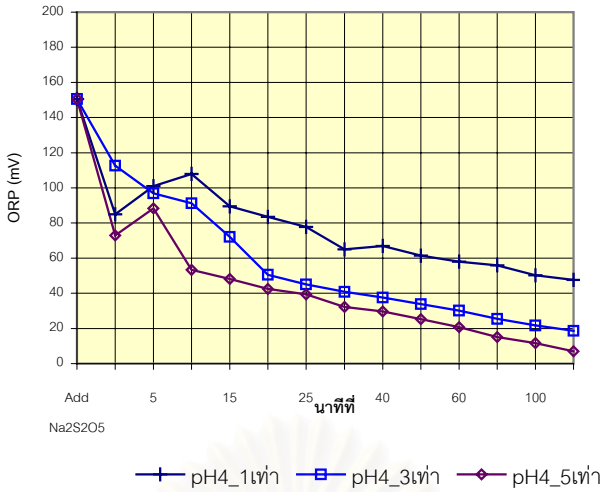
รูปที่ 4.70 กราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

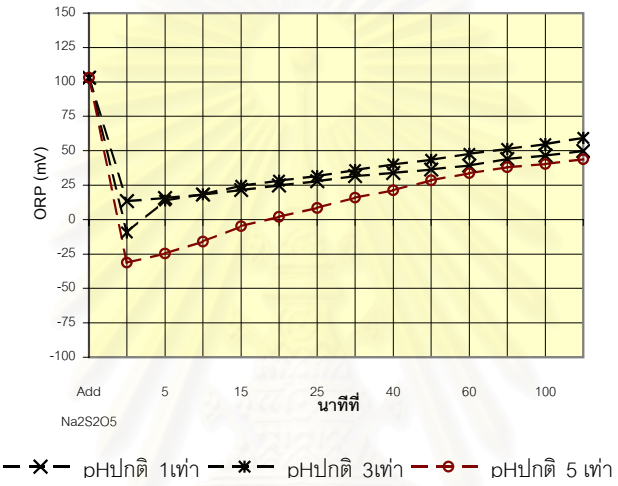
(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.94)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

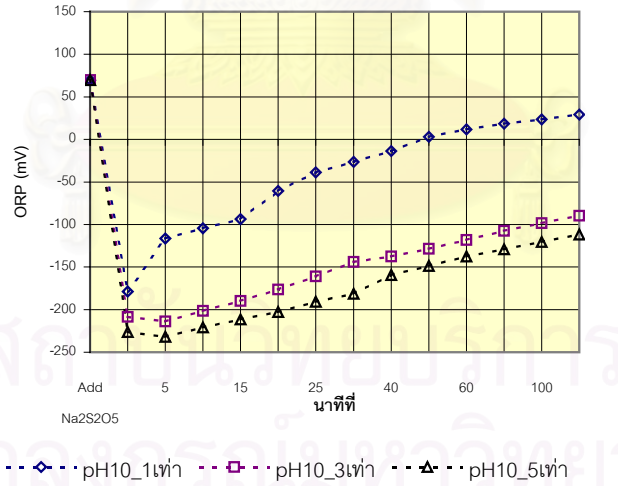
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.71 กราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.94)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

รูปที่ 4.72 ก. ถึงรูปที่ 4.72 ข. คือกราฟค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ขณะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยรูปที่ 4.72 ก. เป็นกราฟความสัมพันธ์ของชุดตัวอย่างที่มีการเติม SBH ในปริมาณ 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก รูปที่ 4.72 ข. เป็นกราฟของชุดตัวอย่างที่เติม SBH 5 เท่า และรูปที่ 4.72 ค. จะแสดงกราฟของชุดตัวอย่างที่เติม SBH เท่ากับ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ในแต่ละกราฟประกอบด้วย 3 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 คือน้ำเสียสังเคราะห์ที่มี พีเอช 4 ตัวอย่างที่ 2 เป็นน้ำเสียที่มีพีเอชปกติ และตัวอย่างที่ 3 น้ำเสียสังเคราะห์มีพีเอช 10 ค่าสีเริ่มต้นก่อนเกิดปฏิกิริยาของทุกตัวอย่างมีค่า 3500 หน่วย และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของแต่ละกราฟได้ดังนี้

รูปที่ 4.72 ก. เมื่อทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันในนาทีที่ 5 ค่าสีจะลดลงเหลือ 1250 หน่วย สำหรับทุกตัวอย่าง หลังจากนั้นจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในตอนท้ายของการทดลอง

รูปที่ 4.72 ข. เมื่อเติม SBH ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ สารเคมีจะรีดิวซ์สีย้อมทุกตัวอย่างจนมีค่าสีคงเหลือต่ำกว่า 500 หน่วยเมื่อทำการวัดสี ณ นาทีที่ 20 ของการทดลอง หลังจากนั้นค่าสีคงเหลือจะเพิ่มขึ้น

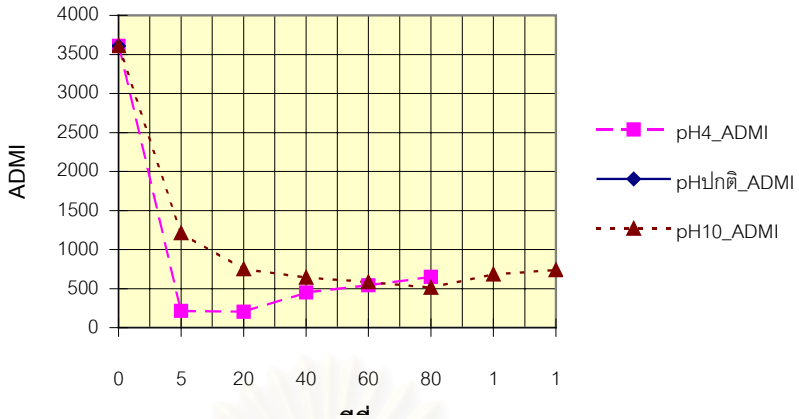
รูปที่ 4.72 ค. หลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH ค่าสีจะลงลงอย่างรวดเร็ว โดยตัวอย่างที่ 1 มีค่าเท่ากับ 250 หน่วย ADMI ในนาทีที่ 20 จากนั้นผลการทดลองจึงเป็นในลักษณะเดียวกับรูปที่ 4.72 ข. คือค่าสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

รูปที่ 4.73 ก. ถึงรูปที่ 4.73 ค. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ 1 มีการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเป็น 4 และแสดงผลการทดลองตามรูปที่ 4.73 ก. ชุดการทดลองที่ 2 ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่ได้ทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยแสดงไว้ในรูปที่ 4.73 ข. และชุดการทดลองที่ 3 ถูกปรับค่าพีเอชเป็น 10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ตามรูปที่ 4.73 ค. โดยในแต่ละชุดการทดลองยังถูกแบ่งออกเป็น 3 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งเติม SBH ในปริมาณ 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ตัวอย่างที่ 2 เติม SBH เป็น 5 เท่า และตัวอย่างที่ 3 จะเติมในปริมาณ 7 เท่า อธิบายผลการทดลองได้ดังนี้

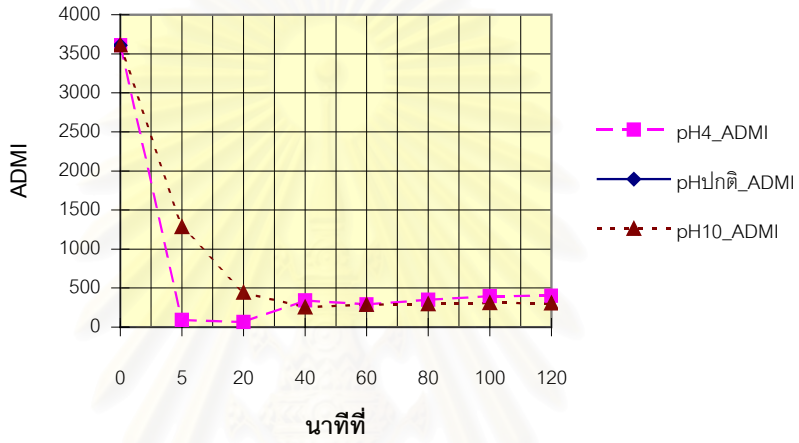
รูปที่ 4.73 ก. ทั้ง 3 ตัวอย่างจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.2 ภายหลังเติม $Na_2S_2O_5$ ซึ่งลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับคุณสมบัติเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ แต่หลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH แล้วค่าพีเอชของทุกตัวอย่างจะเพิ่มขึ้น โดยน้ำเสียสังเคราะห์จะมีพีเอชสูงกว่า 5.5 สำหรับทุกตัวอย่าง หลังจากนั้นเมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไป พบว่าค่าพีเอชของทุกตัวอย่างจะลดลงอีกเพียงเล็กน้อยกระทั่งสิ้นสุดการทดลองที่เวลา 2 ชั่วโมง

รูปที่ 4.73 ข. เมื่อเติม SBH ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ ค่าพีเอชจึงเพิ่มขึ้นเมื่อวัดค่าในนาทีที่ 5 โดยเรียงตามลำดับน้อยไปมากจากตัวอย่างที่ 1 ถึงตัวอย่างที่ 3 โดยอยู่ในช่วงพีเอช 5.7 ถึง 6.2 เช่นเดียวกับรูปที่ 4.73 ก.จากนั้นแนวโน้มจะคงที่จนกระทั่งจบการทดลองในนาทีที่ 120

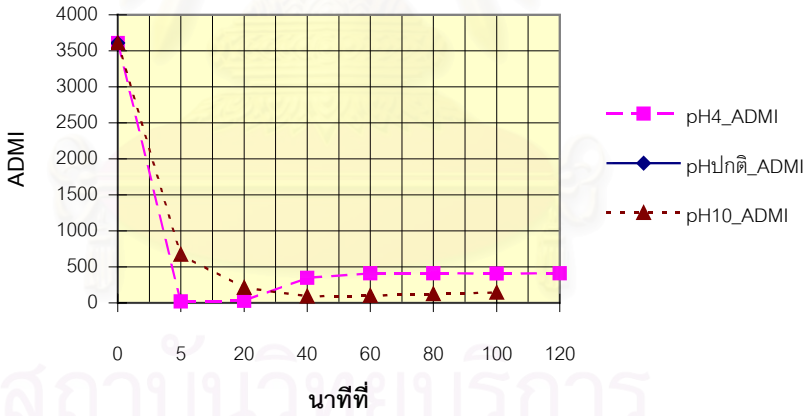
(ก)



(ข)



(ค)



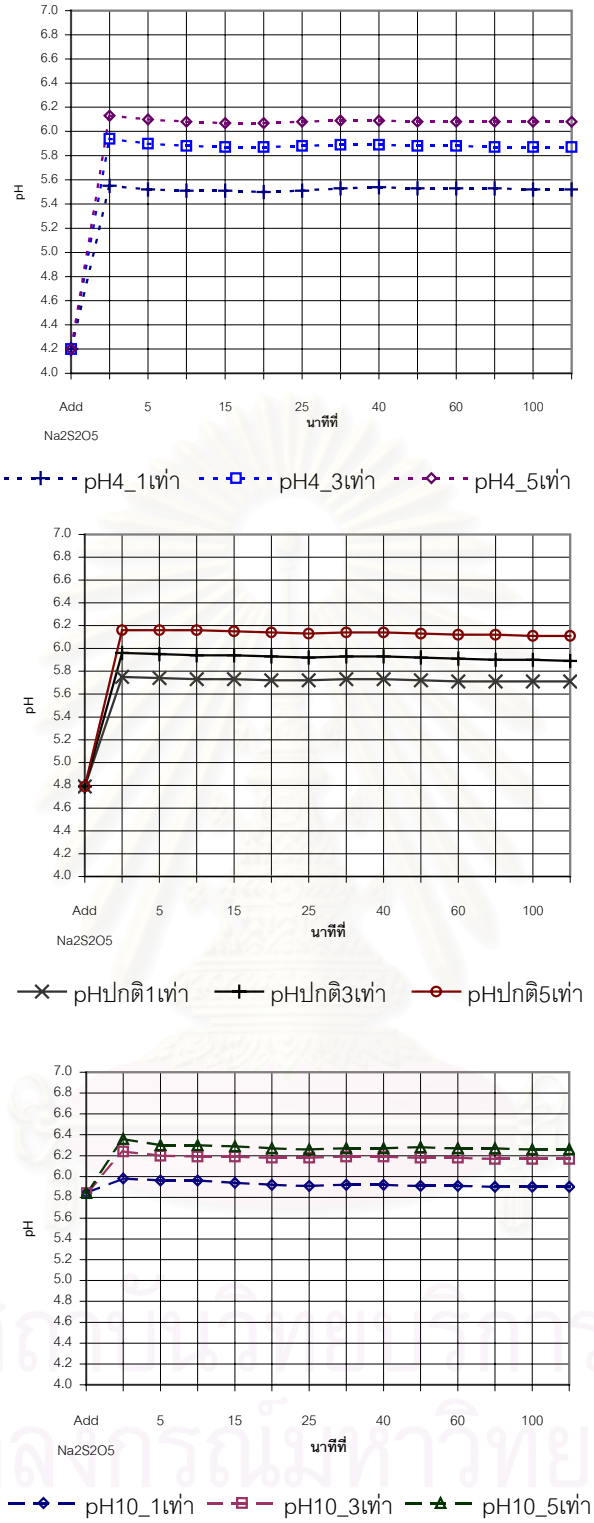
รูปที่ 4.72 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) ปริมาณสารเคมีเป็น 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ข) ปริมาณสารเคมีเป็น 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ค) ปริมาณสารเคมีเป็น 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.73 กราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.54)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

รูปที่ 4.73 ค. ภายหลังเติม $Na_2S_2O_5$ ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ ทำให้พีเอชลดลงจาก 10 เหลือ 5.8 และเมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ทุกตัวอย่างจึงเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 6.0 ถึง 6.4 หลังจากนั้นเป็นต้นไปค่าพีเอชของทั้ง 3 ตัวอย่างจะมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง

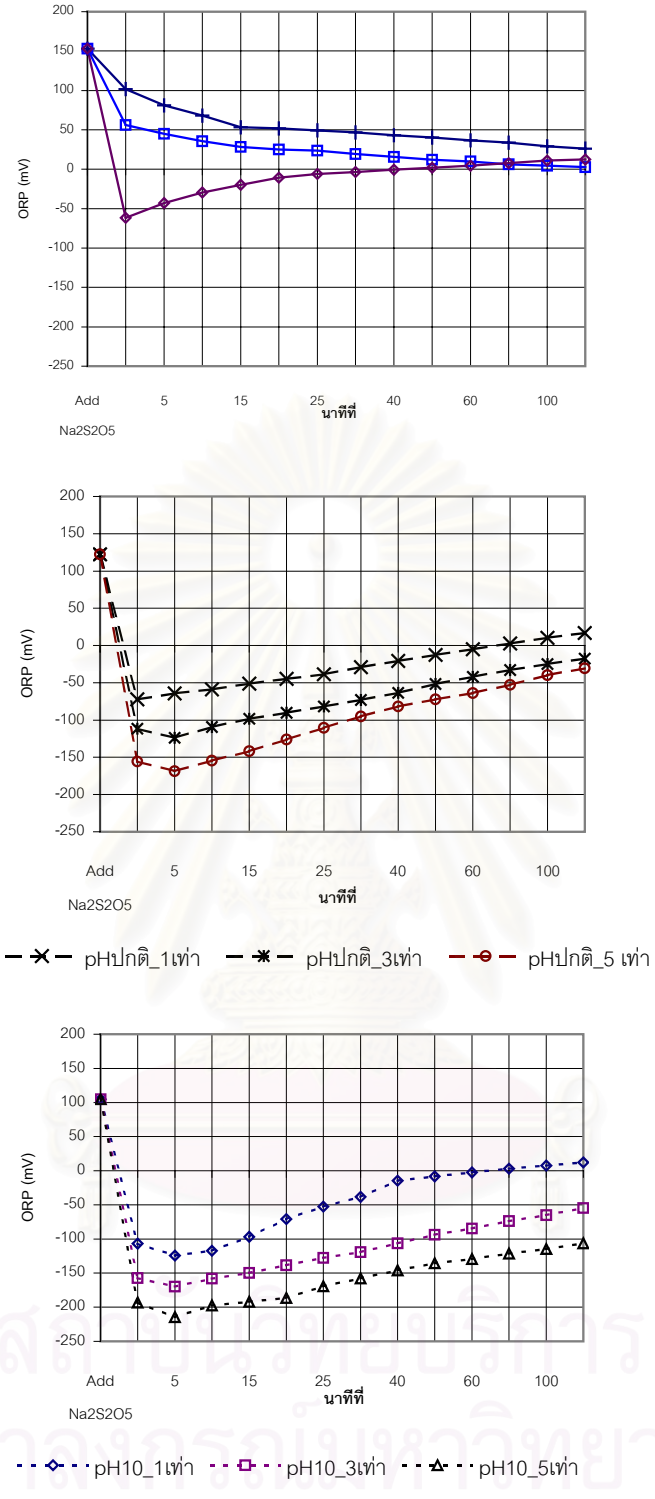
รูปที่ 4.74 ก. ถึงรูปที่ 4.74 ค. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง และ 3 ตัวอย่างในแต่ละชุดเช่นเดียวกันกับการทดลองอื่นๆ กล่าวคือ รูปที่ 4.74 ก. เป็นชุดที่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 4 รูปที่ 4.74 ข. ใช้น้ำเสียที่มีพีเอชปกติ และรูปที่ 4.74 ค. จะปรับพีเอชให้เป็น 10

รูปที่ 4.74 ก. โออาร์พีจะมีค่าลดลงในทันทีภายหลังเติม SBH โดยตัวอย่างที่ 1 (SBH 3 เท่า) และตัวอย่างที่ 2 (SBH 5 เท่า) มีค่าโออาร์พีลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงนาทีที่ 120 ซึ่งเป็นจุดสุดท้ายของการทดลอง พบว่าค่าโออาร์พียังมีแนวโน้มที่จะลดลงต่อไปอีก แสดงถึงระยะเวลาของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ช้า แต่สำหรับตัวอย่างที่ 3 (SBH 7 เท่า) จะมีค่าโออาร์พีเป็น –50 มิลลิโวลท์ และหลังจากจุดต่ำสุดของกราฟจากนั้นโออาร์พีจึงมีค่าเพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.74 ข. หลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันค่าโออาร์พีของทุกตัวอย่างจะมีค่ากลายเป็นลบในทันที โดยจุดต่ำสุดของกราฟอยู่ ณ นาทีที่เติม SBH โดยมีค่าอยู่ในช่วง –70 ถึง -150 มิลลิโวลท์ จากนั้นโออาร์พีจึงมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาของปฏิกิริยาดำเนินไปครบ 2 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 มีค่าโออาร์พีสูงกว่า - 50 มิลลิโวลท์

รูปที่ 4.74 ค. ทุกตัวอย่างหลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH ค่าโออาร์พีจะลดลงต่ำสุดในนาทีที่ 5 ภายหลังจุดต่ำสุดกราฟจึงมีแนวโน้มของค่าโออาร์พีเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงนาทีที่ 120 ค่าโออาร์พีจะเป็นบวกเฉพาะตัวอย่างที่ 1

รูปที่ 4.75 ก. ถึงรูปที่ 4.75 ค. คือกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือระหว่างเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสี C.I. Reactive Blue 171 เข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าสีเริ่มต้น 5100 หน่วย ADMI โดยรูปที่ 4.75 ก. แสดงกราฟของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติมปริมาณสารเคมี SBH เท่ากับ 3 เท่าของปริมาณทางสตอยชิโอเมตริก รูปที่ 4.75 ข. และรูปที่ 4.75 ค. แสดงกราฟที่เติม SBH เท่ากับ 5 เท่าและ 7 เท่า นอกจากนั้นน้ำเสียสีย้อมจะถูกปรับค่าพีเอชเป็น 3 ค่า ได้แก่ พีเอช 4 พีเอชปกติ และพีเอช 10 โดยกำหนดให้เป็นตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับในแต่ละชุดการทดลอง



รูปที่ 4.74 กราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.54)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

รูปที่ 4.75 ก. เป็นกราฟแสดงค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ของน้ำเสียสังเคราะห์ C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เติม SBH เท่ากับ 3 เท่าของปริมาณที่เหมาะสมตามสมการเคมี พบว่าหลังเกิดปฏิกิริยารีดักชันค่าสีของทั้ง 3 ตัวอย่างลดลงแตกต่างกัน โดยทุกตัวอย่างมีค่าต่ำกว่า 1600 หน่วย หลังจากนั้นค่าสีคงเหลือจะยังคงลดลงอีกและค่อนข้างคงที่ในตอนสุดท้ายของการทดลอง

รูปที่ 4.75 ข. แสดงถึงการลดลงของค่าสีซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับตัวอย่างที่ 1 และ 2 ซึ่งมีค่าประมาณ 1100 หน่วย ในขณะที่ตัวอย่างที่ 3 มีค่าสีลดลงเหลือเพียง 100 หน่วย จากนั้นแนวโน้มค่าสีของตัวอย่างนี้จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีค่าสีลดเหลือต่ำสุดในนาทีที่ 40

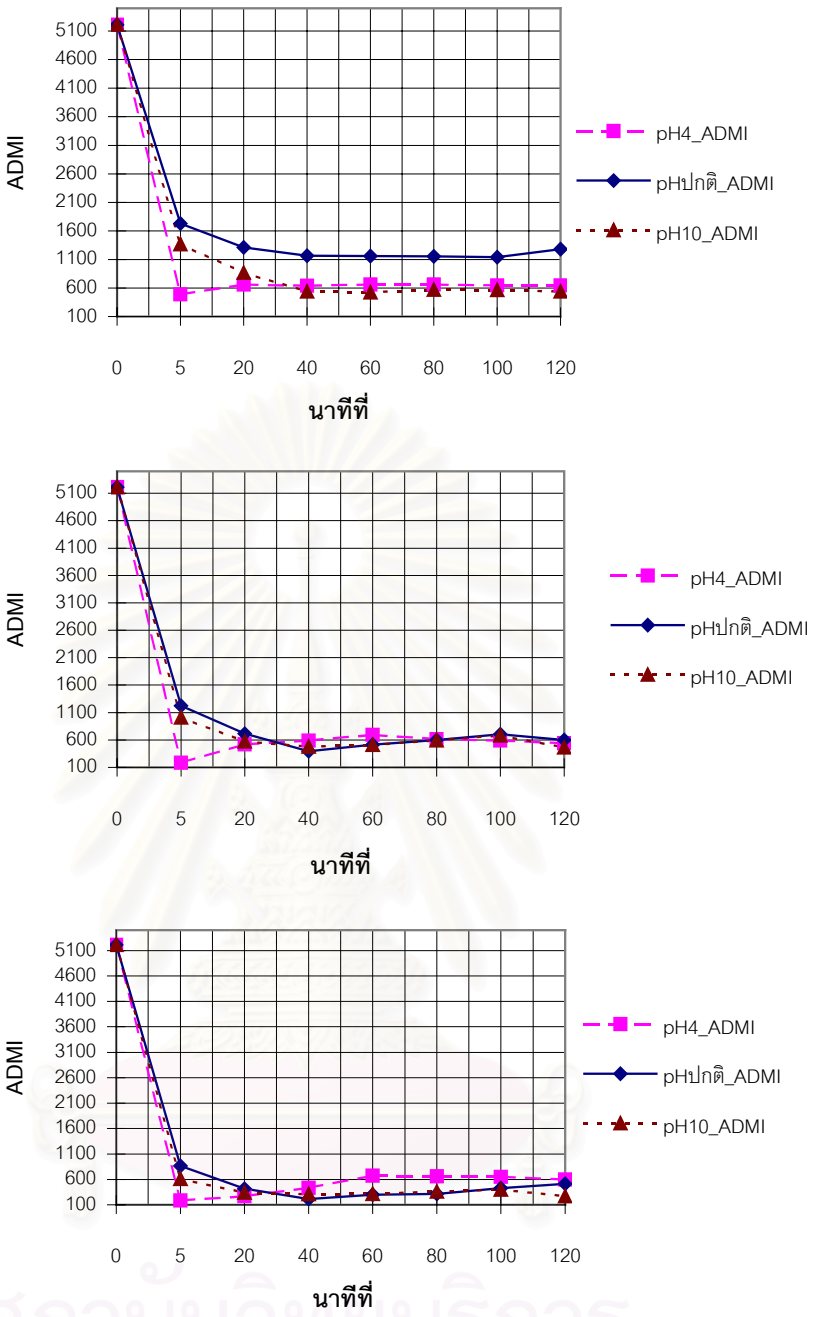
รูปที่ 4.75 ค. เมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันค่าสีลดลงเหลือต่ำกว่า 800 หน่วยทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ 3 มีค่าสีต่ำสุด หลังจากนั้นจึงเพิ่มขึ้น และสำหรับตัวอย่างที่ 2 และ 3 ค่าสีกลับลดลงต่อไปจนถึงนาทีที่ 40 ของการทดลอง

รูปที่ 4.76 ก. ถึงรูปที่ 4.76 ข. เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์อันได้แก่พีเอชและโออาร์พีที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแบ่งออกเป็น 3 ชุดตัวอย่างตามการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง ได้แก่ ชุดที่ 1 มีพีเอช 4 ชุดที่ 2 พีเอชปกติ และชุดที่ 3 พีเอช 10 นอกจากนั้นแต่ละชุดยังแบ่งเป็น 3 ตัวอย่างตามปริมาณ SBH ที่เติมลงในสารละลาย คือ 3 เท่า 5 เท่า และ 7 เท่า สำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3

รูปที่ 4.76 ก. จากกราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปในปฏิกิริยารีดักชัน พบว่าหลังเติมสารเคมีลงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ถูกปรับพีเอชก่อนการทดลองให้เป็น 4 SBH จะทำให้พีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่ 1 มีค่าพีเอช 5.7 ตัวอย่างที่ 2 มีพีเอช 6.0 และตัวอย่างที่ 3 มีพีเอช 6.2 เมื่อทำการวัดค่า ณ นาทีที่เติม SBH ภายหลังจากนั้นแนวโน้มของกราฟพีเอชจะมีค่าคงที่โดยตลอดการทดลอง

รูปที่ 4.76 ข. ผลการทดลองพบว่าภายหลังเติม SBH แล้วค่าพีเอชของทั้ง 3 ตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นมาอยู่ในช่วง 5.6 ถึง 6.2 เรียงตามลำดับต่ำไปสูงจากตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ต่อจากนั้นจึงมีค่าคงที่จนกระทั่งจบการทดลอง

รูปที่ 4.76 ค. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ถูกปรับพีเอชเป็น 10 ภายหลังเติม $Na_2S_2O_5$ จะทำให้พีเอชลดลงเหลือ 5.2 และเมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH จึงมีพีเอชเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 5.9 ถึง 6.3



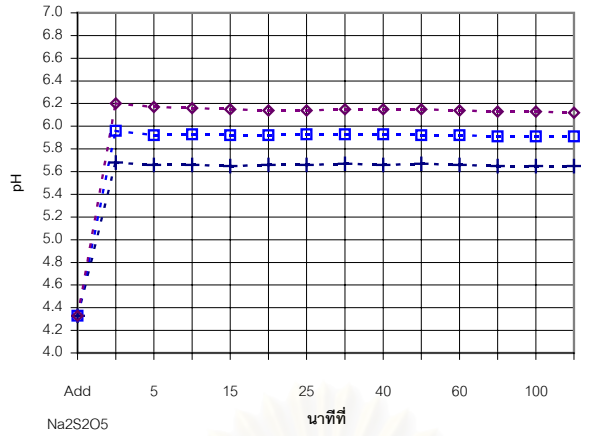
รูปที่ 4.75 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

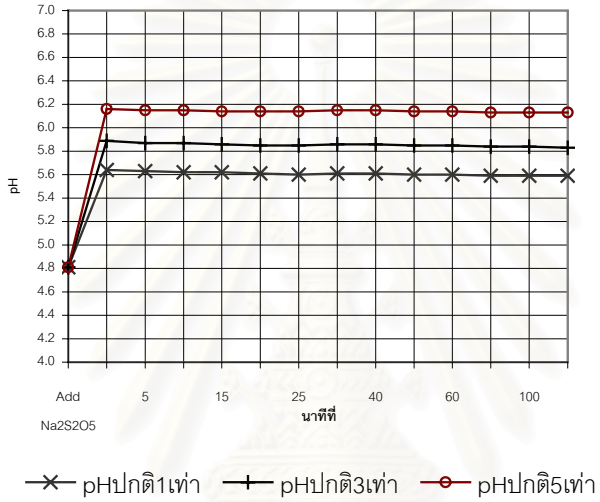
(ก) ปริมาณสารเคมีเป็น 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

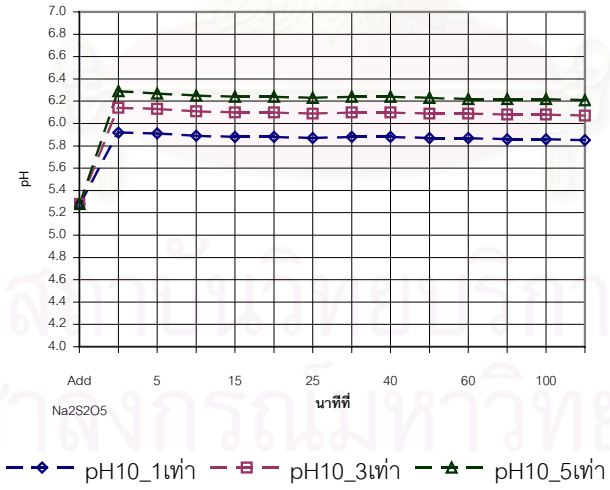
(ข) ปริมาณสารเคมีเป็น 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ค) ปริมาณสารเคมีเป็น 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย







รูปที่ 4.76 กราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอชในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.76)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10

รูปที่ 4.77 ก. เป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีที่เปลี่ยนไปในปฏิกิริยาของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 ซึ่งปรับพีเอชเริ่มต้นให้เท่ากับ 4 หลังเกิดปฏิกิริยารีดักชันพบว่า ทั้ง 3 ตัวอย่างมีโออาร์พีลดลง แต่มีจุดต่ำสุดของกราฟเกิดขึ้น ณ นาทีที่ 10 ของการทดลอง หลังจากจุดต่ำสุดของกราฟแล้วค่าโออาร์พีจึงเพิ่มขึ้นเป็นบวกในที่สุด

ภายหลังน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการปรับค่าพีเอชเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ SBH ทำให้โออาร์พีมีค่าติดลบในทันทีที่เติม SBH โดยทุกตัวอย่างมีค่า โออาร์พี ต่ำกว่า -100 มิลลิโวลท์ หลังจากนั้นจึงมีค่าเพิ่มขึ้น กระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ณ นาทีที่ 120 ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.77 ข.

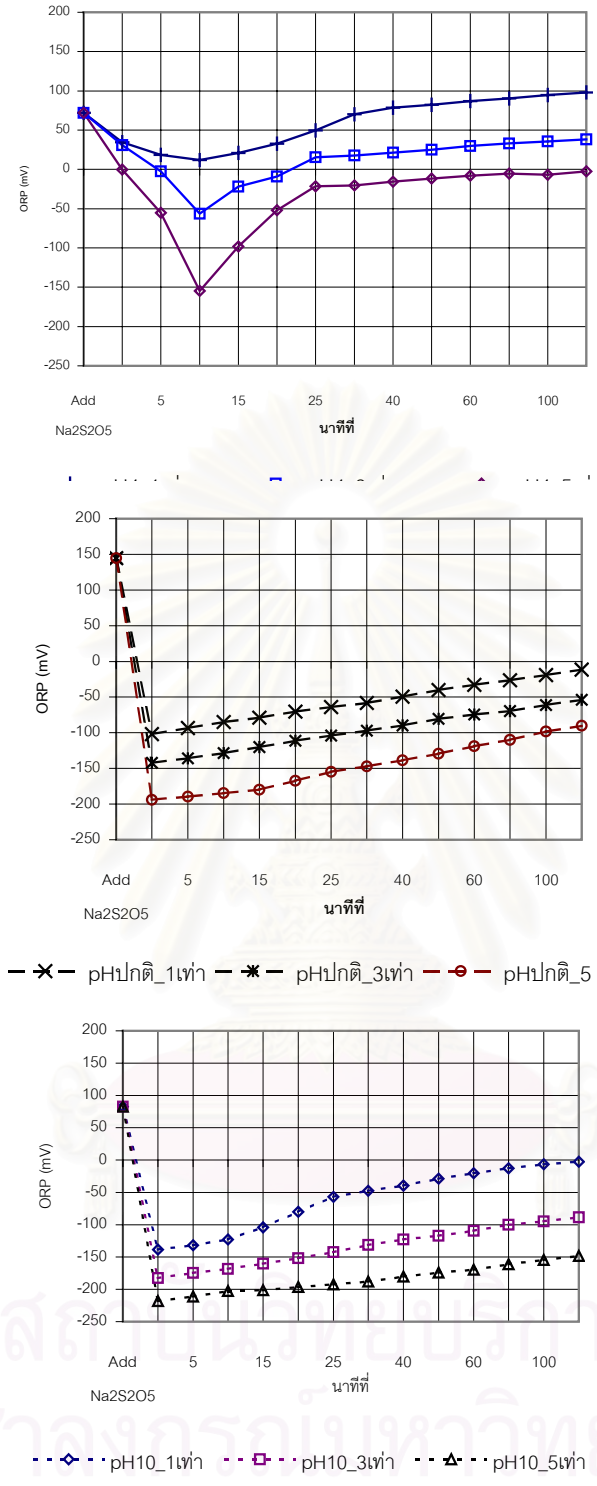
เมื่อเติม SBH ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีพีเอชเริ่มต้นเป็น 10 ทำให้ตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 มีโออาร์พีลดลงต่ำสุดเท่ากับ –150 –180 และ – 220 มิลลิโวลท์ ในทันทีที่เติม SBH โดยเมื่อผ่านจุดต่ำสุดดังกล่าวไปแล้วค่าจึงเพิ่มขึ้น เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปจนครบ 2 ชั่วโมง ดังแสดงตามรูปที่ 4.77 ค.

รูปที่ 4.78 ก. ถึงรูปที่ 4.78 ค. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือหน่วย ADMI ที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับรูปที่ 4.77 ก. ถึงรูปที่ 4.77 ค. แต่ได้แบ่งหมวดของกราฟความสัมพันธ์ต่างกันเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 แสดงกราฟของการทดลองที่เติม SBH ในปริมาณ 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ชุดที่ 2 เติม SBH 5 เท่า และชุดที่ 3 เติม SBH เท่ากับ 7 เท่า โดยในแต่ละชุดประกอบด้วยน้ำเสีย 3 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่ 1 มีพีเอชเริ่มต้นเป็น 4 ตัวอย่างที่ 2 พีเอชปกติ และตัวอย่างที่ 3 พีเอช 10 ซึ่งมีค่าสีก่อนการทดลองเท่ากับ 7250 หน่วย ผลการทดลองได้แสดงดังต่อไปนี้

รูปที่ 4.78 ก. เป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยาของ C.I. Reactive Blue 171 เข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ทำการเติม SBH ในปริมาณเท่ากับค่าสตอยชิโอเมตริก พบว่าภายหลังเติม SBH ค่าสีของทุกตัวอย่างลดลงแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดโดยตัวอย่างแรกมีค่าคงเหลือ 50 หน่วย ตัวอย่างที่ 2 เหลือ 1500 หน่วย และตัวอย่างที่ 3 เท่ากับ 1750 หน่วย ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวเกิดตรงข้ามกับสีรีแอกทีฟชนิดอื่นๆ อย่างไรก็ตามตัวอย่างแรกซึ่งมีพีเอชเริ่มต้นเป็น 4 นั้นเมื่อเวลาของการทำปฏิกิริยานานขึ้น ทำให้ค่าสีกลับเพิ่มขึ้นมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ

เมื่อเติม SBH ในปริมาณ 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริกแล้ว ตัวอย่างที่ 3 ซึ่งมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 จะมีค่าสีลดลงเหลือต่ำสุด โดยค่าสีคงเหลือเท่ากับ 700 หน่วย รองลงมาคือตัวอย่างที่ 2 (พีเอชปกติ) มีค่าสีต่ำสุด ณ นาทีที่ 40 เช่นเดียวกัน และตัวอย่างที่ 1 (พีเอช 4) ค่าสีคงเหลือกลับเพิ่มขึ้นในนาทีที่ 40 ผลการทดลองแสดงตามรูปที่ 4.78 ข.

เมื่อใช้ SBH ในปริมาณ 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ดังแสดงในรูปที่ 4.78 ค. พบว่าค่าสีจะลดลงอย่างแตกต่างกันทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 250 หน่วย 500 หน่วย และ 1500

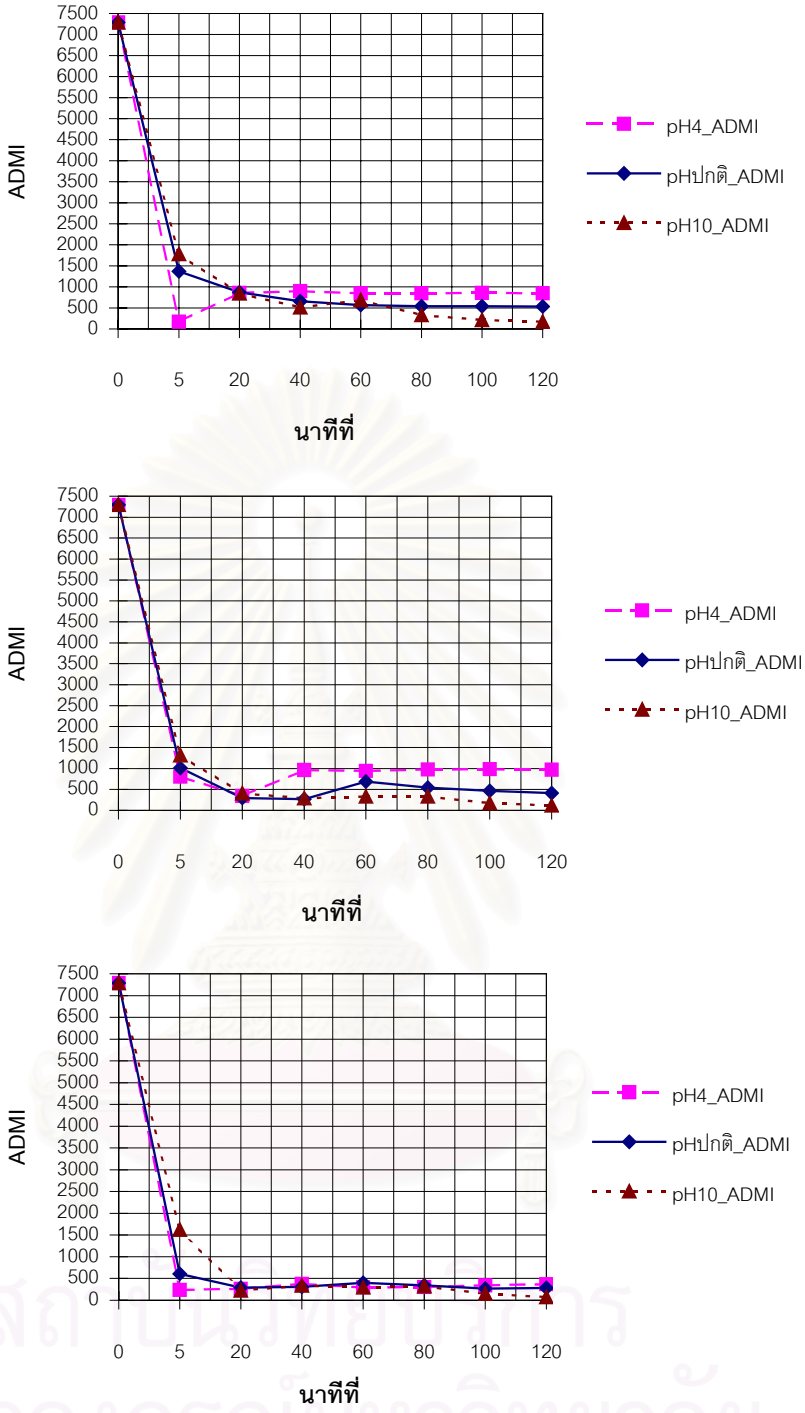


รูปที่ 4.77 กราฟความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีในระหว่างเกิดปฏิกิริยาของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4

(ข) ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 5.76)

(ค) พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10



รูปที่ 4.78 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสีคงเหลือในหน่วย ADMI ระหว่างเกิดปฏิกิริยา ของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก) ปริมาณสารเคมีเป็น 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ข) ปริมาณสารเคมีเป็น 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

(ค) ปริมาณสารเคมีเป็น 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน่วย ADMI สำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ต่อจากนั้นค่าสีคงเหลือของตัวอย่างแรกจะเพิ่มขึ้นมาสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ เมื่อเวลาผ่านไป 100 นาที

ซึ่งเมื่อพิจารณาทุกกราฟผลการทดลองประกอบกัน จากกราฟความสัมพันธ์ของค่าพีเอช แสดงให้เห็นว่าที่ทุกความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช จะเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับการทดลองขั้นที่ 1 กล่าวคือ สำหรับตัวอย่างที่ปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4 และตัวอย่างที่ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น จะมีพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเติมสารเคมี SBH ส่วนตัวอย่างที่ปรับค่าพีเอชเริ่มต้นเป็น 10 เมื่อเติม SBH จะมีค่าพีเอชลดต่ำลง และหลังจากนั้นพีเอชของปฏิกิริยาในทุกตัวอย่างจะค่อยๆ ลดลง โดยมีค่าพีเอชสุดท้ายของปฏิกิริยาต่ำกว่าเมื่อเริ่มเติม SBH เพียงเล็กน้อย ซึ่งค่าแนวโน้มของพีเอชในขณะเกิดปฏิกิริยาเป็นไปตามตัวแปร 2 ค่า คือ พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ และปริมาณของสารเคมี SBH ที่เติมลงในน้ำเสีย

สำหรับกราฟค่าโออาร์พีจะได้ว่าที่ทุกๆ ความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังจากเติม SBH ลงในน้ำเสียทำให้สารละลายจะมีค่า โออาร์พี ลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว โดยค่าโออาร์พีที่เป็นลบนั้นเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเกิดปฏิกิริยารีดักชันในสารละลาย ลักษณะการลดลงของค่าโออาร์พีขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ 2 ค่า ได้แก่ ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ และปริมาณ SBH ที่เติมลงในน้ำเสีย อธิบายได้ดังนี้

- ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เท่ากับ 10 จะให้ โออาร์พี ของปฏิกิริยาเป็นลบสูงกว่าที่ค่า พีเอช เริ่มต้นอื่นๆ ณ ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากัน
- ปริมาณ SBH ที่เติมลงในน้ำเสีย เมื่อใช้สารเคมีปริมาณมากขึ้นจะทำให้ค่าโออาร์พีเป็นลบสูงขึ้นด้วย

ค่าสีคงเหลือในสารละลายหลังปฏิกิริยาที่วัดโดยหน่วย SU และ ADMI เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างปริมาณ SBH ที่ใช้กับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าที่ปริมาณสารเคมี SBH เท่ากัน ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าเท่ากับ 10 หรือพีเอชเป็นด่างจะให้ประสิทธิภาพในการลดสีในน้ำเสียที่สูงกว่า โดยค่าสีที่ลดลงทั้งในหน่วยของ SU และ ADMI ต่างมีค่าไปในแนวทางเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณสารเคมี SBH ที่ใช้ พบว่าเมื่อใส่สารเคมีในปริมาณมากจะทำให้ค่าประสิทธิภาพในการลดสีสูงขึ้นตามไปด้วย

เมื่อพิจารณาปริมาณตะกอนจากการทำปฏิกิริยา ภายหลังการกรองด้วยเครื่องบุคเนอร์โดยใช้กระดาษกรอง GF/C พบว่าไม่มีตะกอนสลัดจ์เกิดขึ้น ประกอบกับผลจากการทำคุณภาพวิเคราะห์เบื้องต้นโดยใช้วิธีเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) และโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ซึ่งได้สารละลายเป็นสีน้ำเงิน ทำให้ทราบว่า ปฏิกิริยารีดักชันระหว่าง SBH กับสีย้อม จะเกิดกรดบอริก (H_3BO_3) เป็นองค์ประกอบของผลผลิต ซึ่งกรดชนิดนี้มีการละลายน้ำได้สูงถึง 60 กรัมต่อลิตร

(Stocchi, 1990) ดังนั้นจึงไม่เกิดสลัดจ์ขึ้นในกระบวนการ แต่จะทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบลดต่ำลง สำหรับโลหะโบรอนที่ออกมากับน้ำเสียหลังการบำบัด ตาม Standard Method ระบุว่ายังไม่มีรายงานการเป็นสารก่อมะเร็ง อย่างไรก็ตามธาตุโบรอนอาจทำอันตรายต่อพืชและสัตว์ได้ถ้ารับในปริมาณมาก

นอกจากนั้นการที่ค่าสีกลับมามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทิ้งไว้เป็นระยะเวลานาน สามารถอธิบายได้จากทฤษฎีอินทรีย์เคมีของการทำปฏิกิริยาระหว่างอะมีนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยารีดักชันของโมเลกุลสีย้อมกับอากาศซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์ ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นสารละลายสีเหลืองถึงน้ำตาล

4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสี

4.4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5

ประสิทธิภาพการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นพีเอช 4 พีเอชปกติ และพีเอช 10 พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดที่ใกล้เคียงกันคือเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ แม้ว่าอัตราส่วน SBH ที่ใช้จะแตกต่างกัน

สำหรับ สี C.I. Reactive Black 5 ที่มีความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่ พีเอช เริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็น พีเอช4 และ พีเอช ปกติ และ พีเอช10 นั้นจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณ SBH 7 เท่า คือมีค่าเท่ากับ 78.71 เปอร์เซ็นต์ 75.93 เปอร์เซ็นต์ และ 73.75 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ พีเอช 4 พีเอชปกติ และพีเอช 10 ตามลำดับ และที่ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองเป็นไปในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ ที่ปริมาณ SBH 7 เท่า จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงสุด เท่ากับ 96.76 เปอร์เซ็นต์ 95.17 เปอร์เซ็นต์ และ 96.50 เปอร์เซ็นต์ สำหรับพีเอช 4 พีเอชปกติ และพีเอช 10 ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของปริมาณสารเคมี SBH แล้ว จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีไม่แตกต่างกันนักที่ปริมาณ 5 เท่าและ 7 เท่า

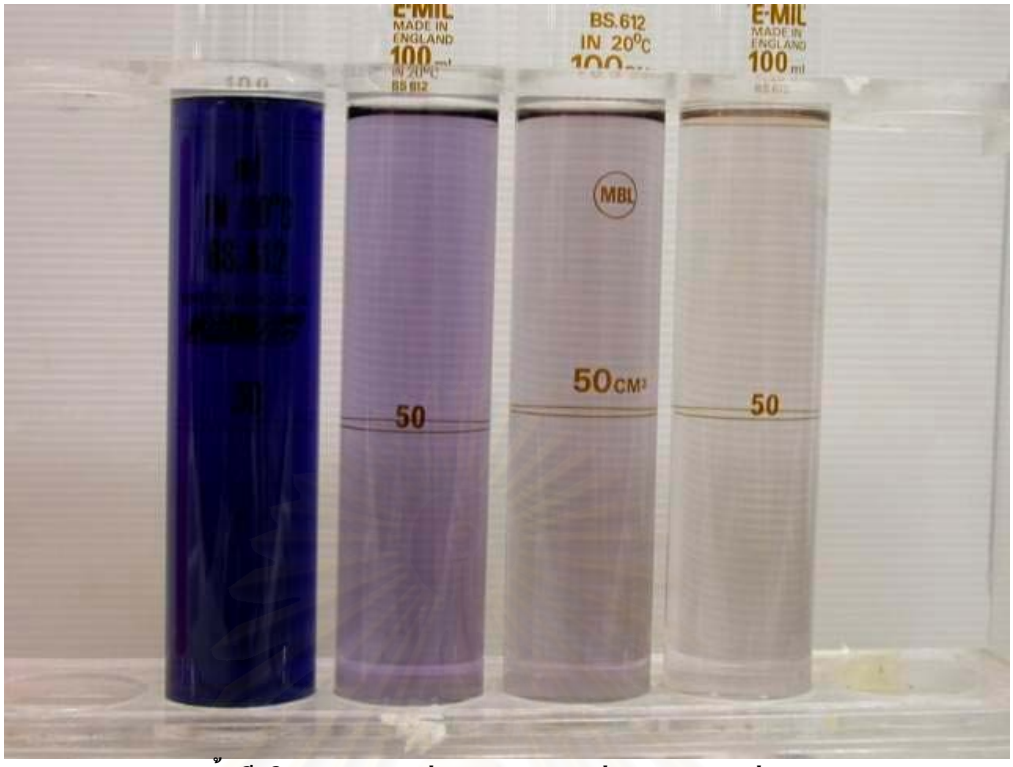
ประสิทธิภาพการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 ที่มีความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าใกล้เคียงกันไม่ว่าค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์จะเป็นพีเอช 4 พีเอชปกติ หรือพีเอช 10 แต่ปริมาณสารเคมี SBH จะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี โดยที่ปริมาณ SBH 7 เท่าจะให้ประสิทธิภาพสูงสุด กล่าวคือ 98.19 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพีเอชเป็น 4 97.74 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอชปกติ และ 97.43 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10

เมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีไม่แตกต่างกันมากนักไม่ว่าจะพิจารณาในแง่ของพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์หรือปริมาณ SBH ที่ใช้ โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.79 ถึง 4.80 แสดงการเปรียบเทียบสีที่เวลา 2 ชั่วโมงของการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ถูกบำบัดด้วย SBH ในปริมาณแตกต่างกัน และรูปที่ 4.81 ถึง 4.88 จะแสดงกราฟประสิทธิภาพการกำจัดสีของ SBH ณ เวลา 2 ชั่วโมงของปฏิกิริยา

อัตราส่วนของ SBH ที่ใช้ตามสมการเคมีซึ่งมีค่า $Na_2S_2O_5$: SBH : Dyes = 4 : 1 : 2 ในที่นี้เป็นสมการของสีย้อมที่โมโนอะโซ อย่างไรก็ตามสี C.I. Reactive Black 5 มีโครงสร้างโครโมฟอร์เป็นไบอะโซ ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมซึ่งรายงานไว้ในผลการทดลองจึงเป็นค่าที่คิดจากสมการเคมีของสีย้อมโมโนอะโซ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

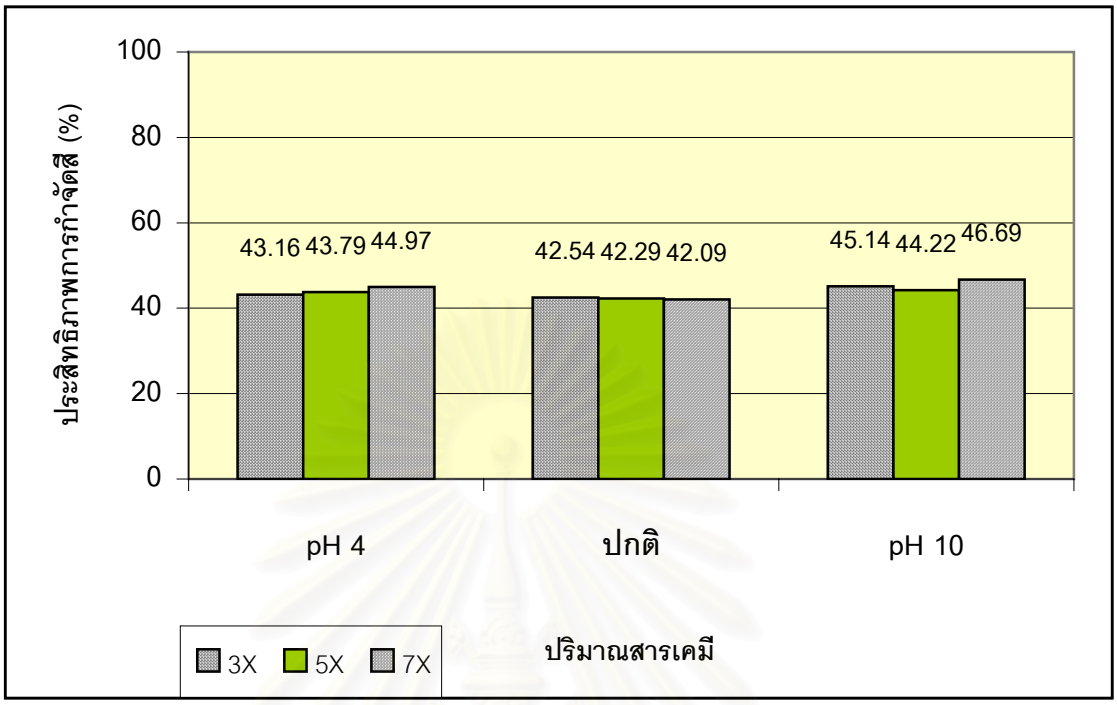


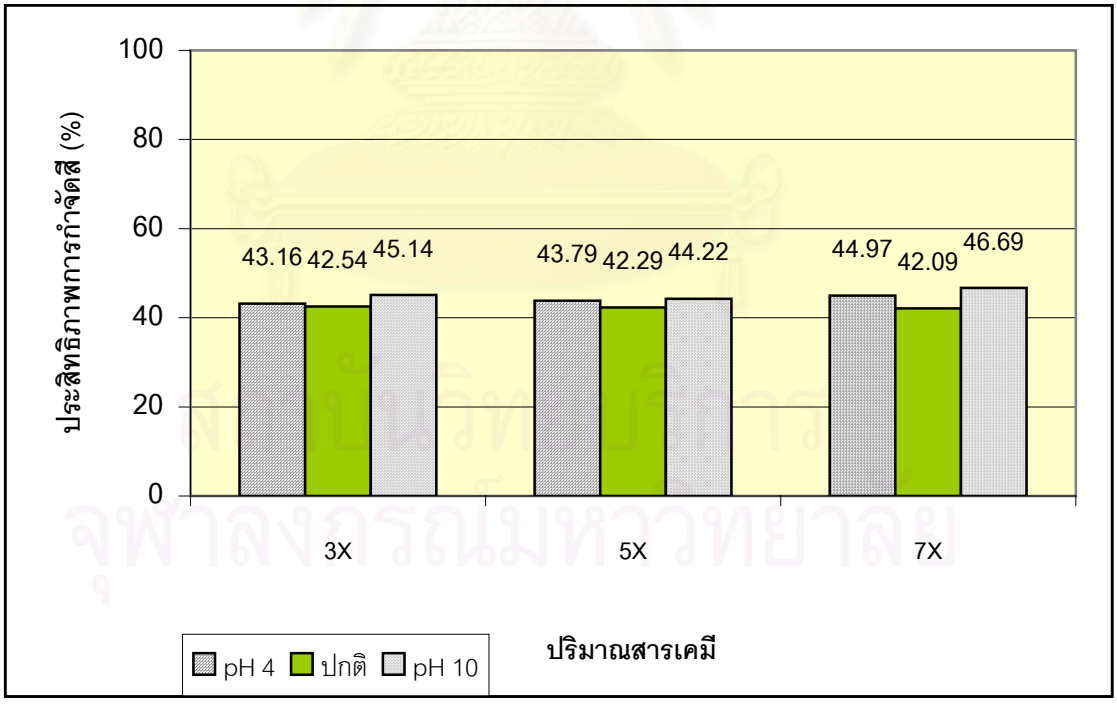
ก : น้ำเสียดิบ ข : 3 เท่า ค : 5 เท่า ง : 7 เท่า

รูปที่ 4.79 ผลการทดลองหาปริมาณ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมี พีเอช เริ่มต้นเท่ากับ 10

ก : น้ำเสียดิบ ข : 3 เท่า ค : 5 เท่า ง : 7 เท่า

รูปที่ 4.80 ผลการทดลองหาปริมาณ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมี พีเอช เริ่มต้นเท่ากับ 10

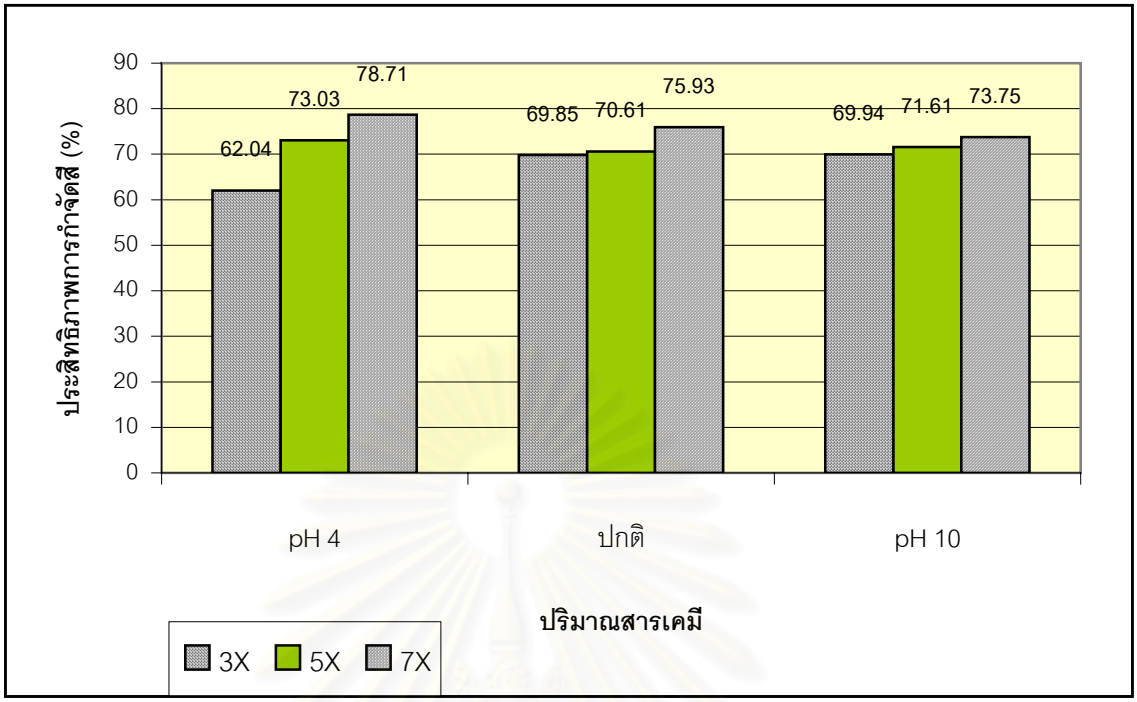


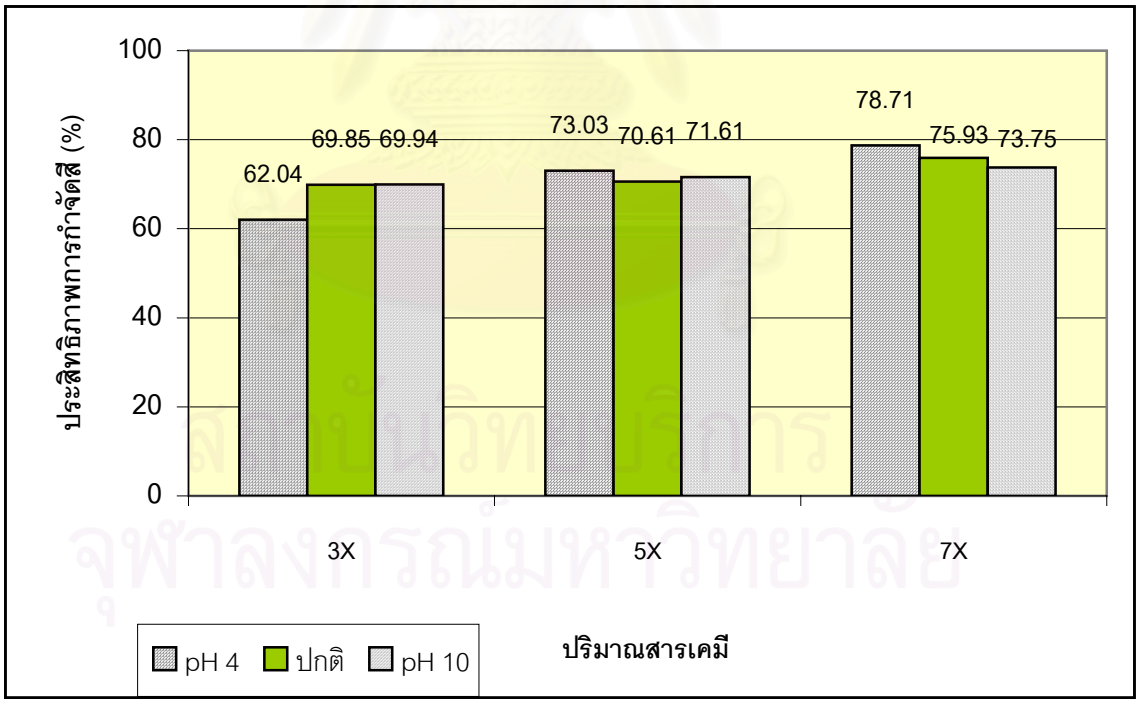


รูปที่ 4.81 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 : 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. เปรียบเทียบกับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ข. เปรียบเทียบกับปริมาณ SBH ที่ใช้

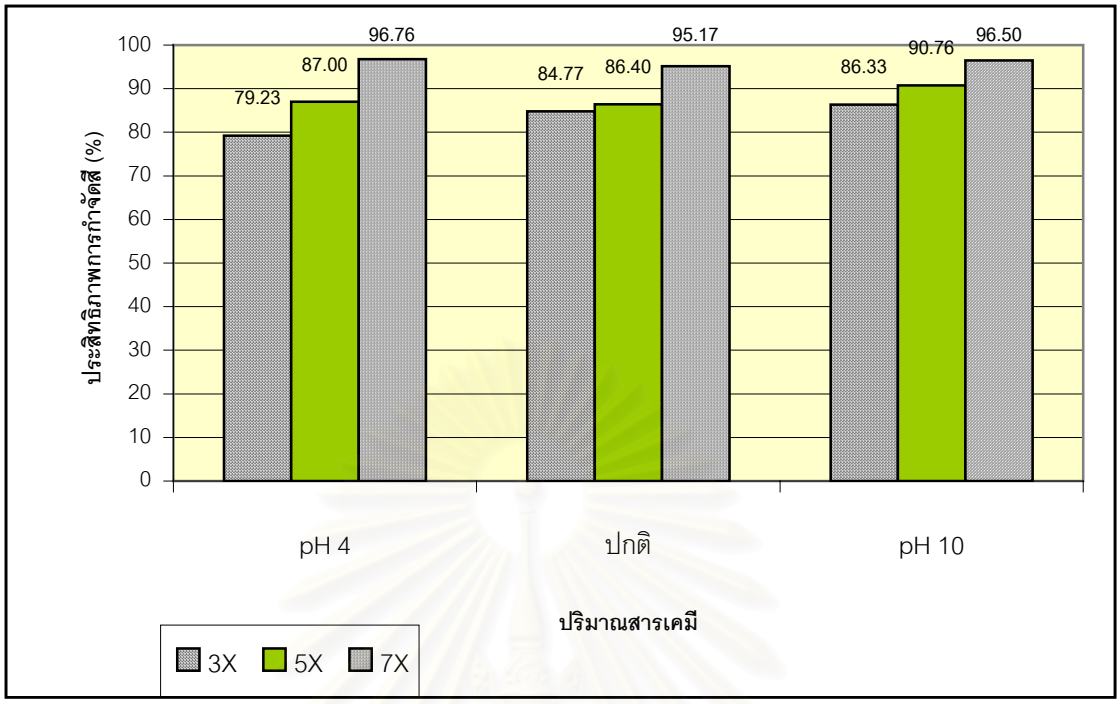


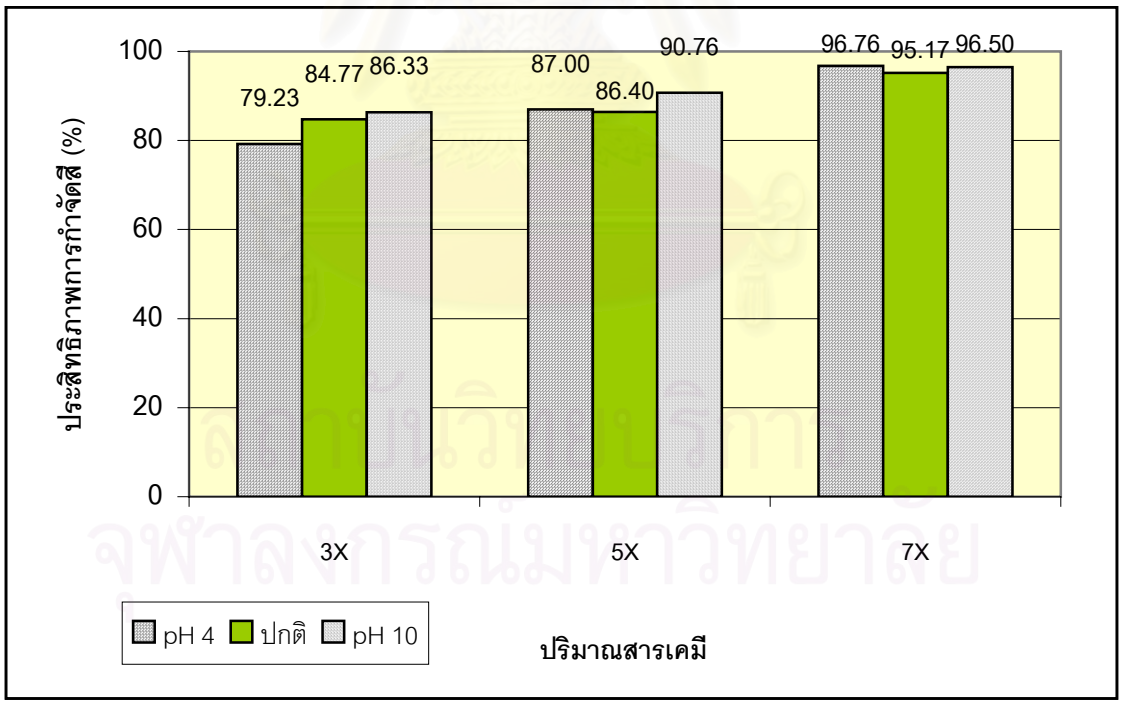


รูปที่ 4.82 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 : 70 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. เปรียบเทียบกับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ข. เปรียบเทียบกับปริมาณ SBH ที่ใช้

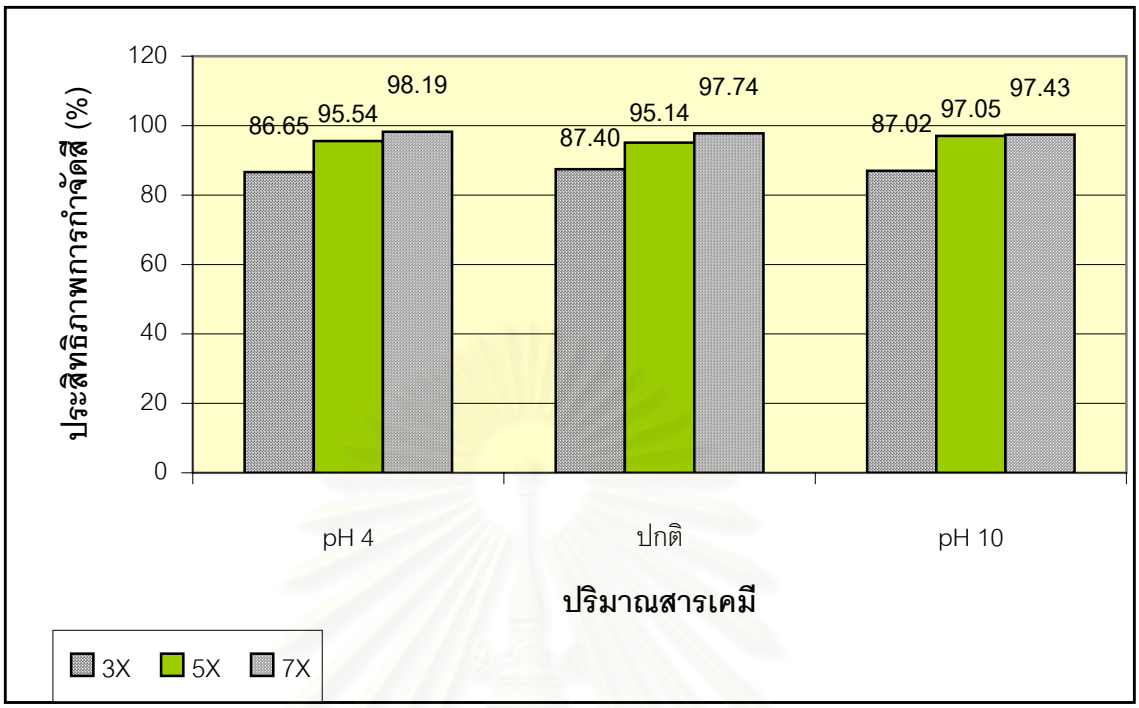


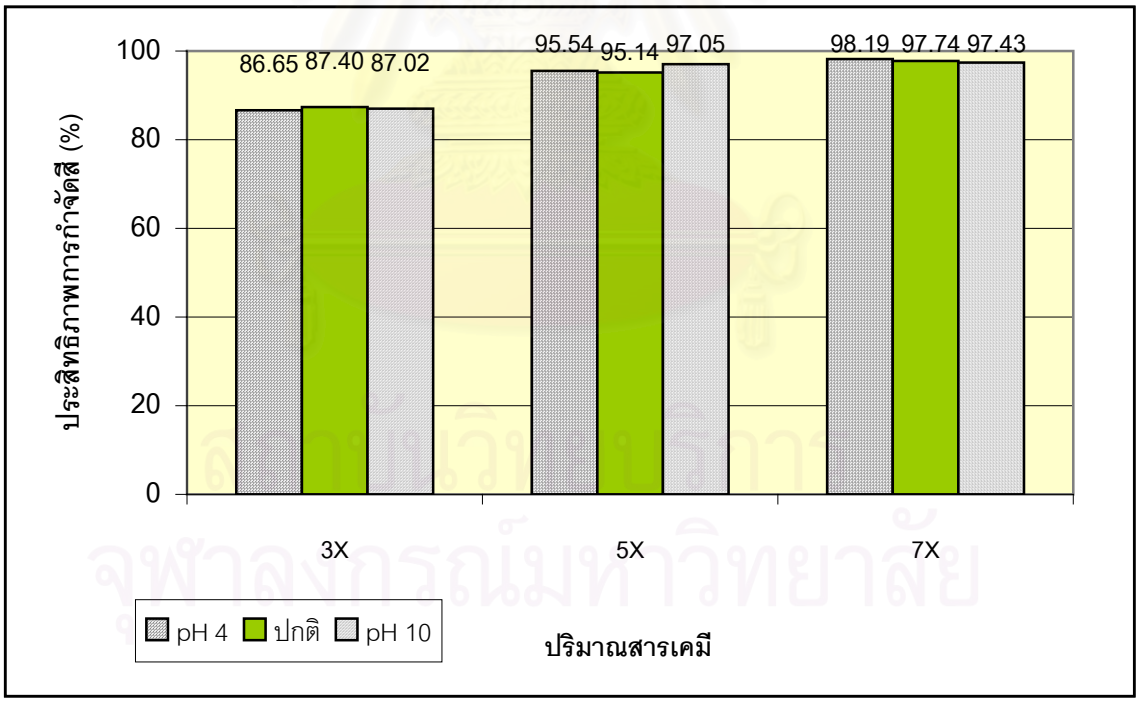


รูปที่ 4.83 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 : 90 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. เปรียบเทียบกับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ข. เปรียบเทียบกับปริมาณ SBH ที่ใช้

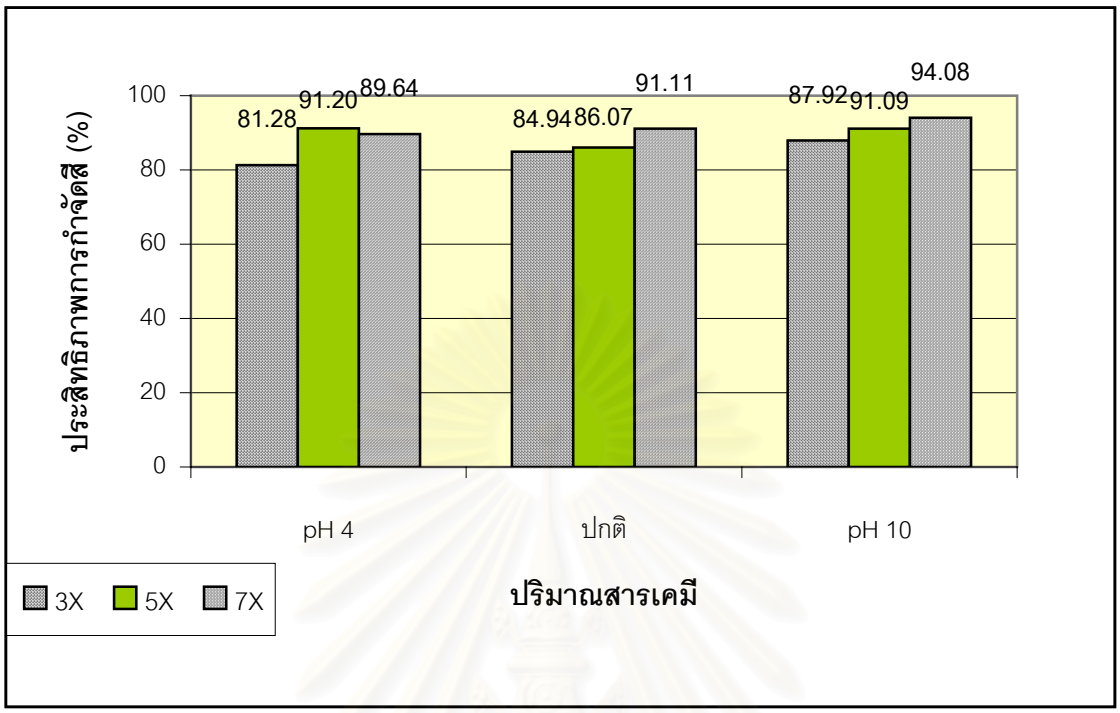


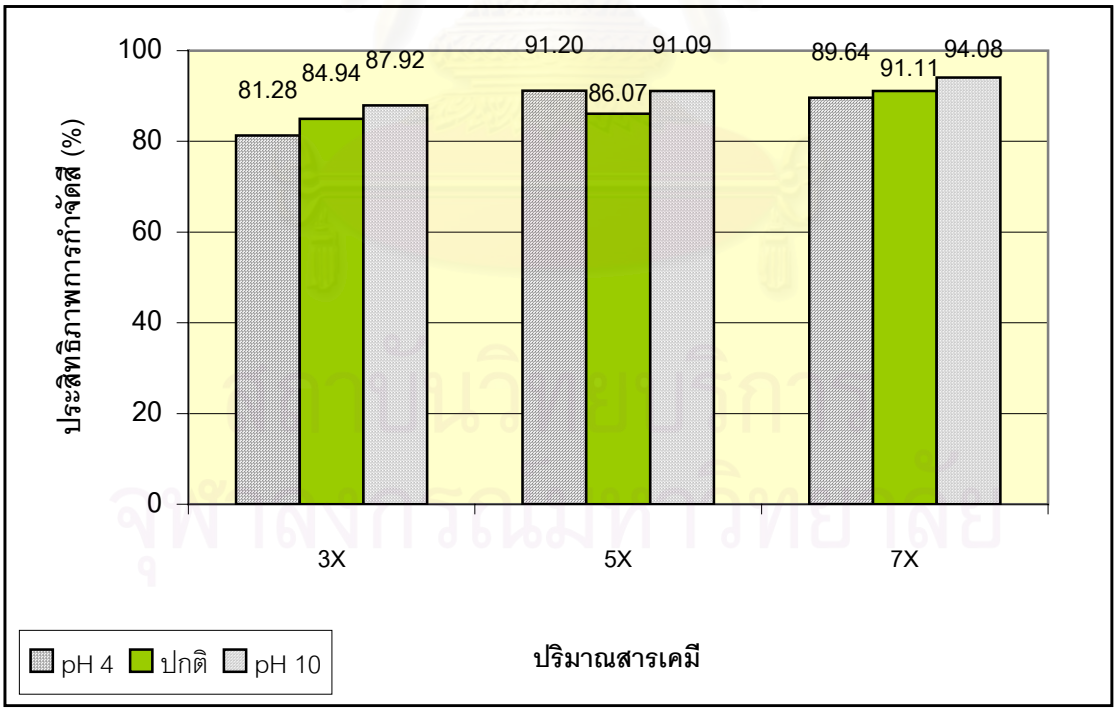


รูปที่ 4.84 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 : 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. เปรียบเทียบกับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ข. เปรียบเทียบกับปริมาณ SBH ที่ใช้

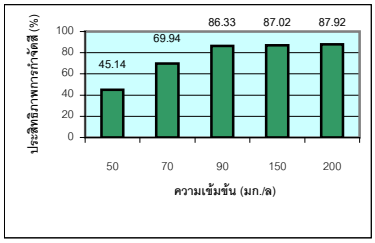


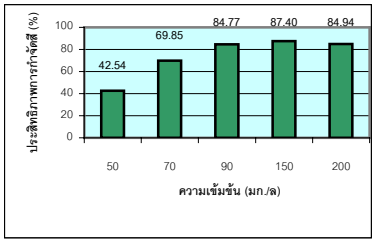


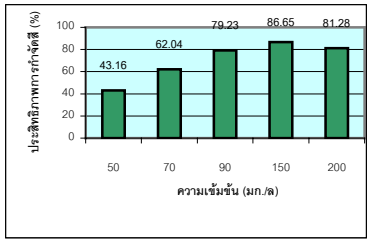
รูปที่ 4.85 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 : 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. เปรียบเทียบกับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ข. เปรียบเทียบกับปริมาณ SBH ที่ใช้

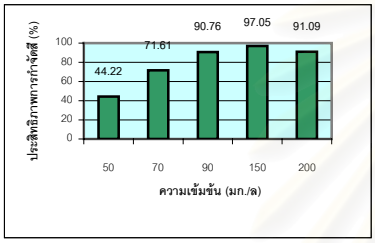


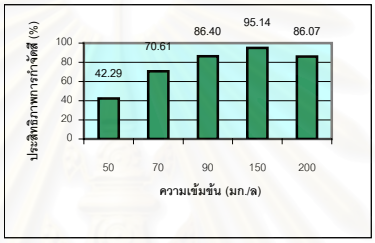


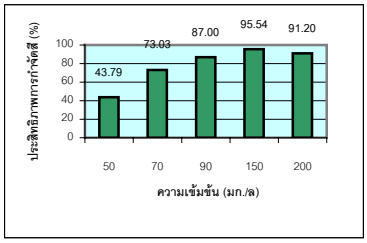


พีเอช 4 **พีเอชปกติ** **พีเอช 10**

รูปที่ 4.86 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 ที่ใช้ปริมาณ SBH 3 เท่า

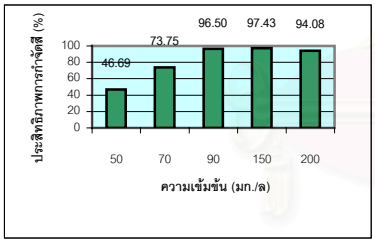


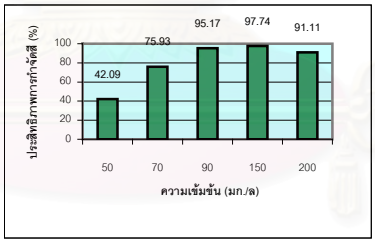


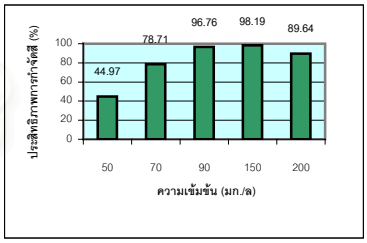


พีเอช 4 **พีเอชปกติ** **พีเอช 10**

รูปที่ 4.87 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 ที่ใช้ปริมาณ SBH 5 เท่า







พีเอช 4 **พีเอชปกติ** **พีเอช 10**

รูปที่ 4.88 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 ที่ใช้ปริมาณ SBH 7 เท่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180

ประสิทธิภาพการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็น พีเอช 4 พีเอชปกติ และพีเอช 10 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีเมื่อใช้ปริมาณ SBH 5 เท่า มีค่าสูงสุดเท่ากับ 60.95 เปอร์เซ็นต์ 62.28 เปอร์เซ็นต์ และ 70.94 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 ปกติ และ 10 สำหรับสี C.I. Reactive Red 180 ที่มีความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองเป็นไปในลักษณะเดียวกัน คือ ที่พีเอชเริ่มต้นเป็น 10 และ SBH 5 เท่าจะให้ประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีที่สุดด้วย โดยมีค่าเท่ากับ 67.81 เปอร์เซ็นต์

โดยเมื่อทดลองที่ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปริมาณ SBH 5 เท่าไม่ว่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เป็นเท่าใดก็ตาม จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงสุดอย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่ามากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

ประสิทธิภาพการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 ที่มีความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณสารเคมี SBH เท่ากับ 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก โดยมีค่าสูงกว่า 93 เปอร์เซ็นต์ โดยพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียไม่มีความสำคัญนัก

เมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีเมื่อใช้ SBH เป็น 3 เท่าและ 5 เท่า มีค่าใกล้เคียงกัน โดยให้ประสิทธิภาพสูงกว่า 88 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อใช้ SBH เพียง 1 เท่า จะทำให้ประสิทธิภาพลดลงเหลือต่ำกว่า 75 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.89 ถึง 4.90 แสดงผลการเทียบสีของน้ำเสียสังเคราะห์ C.I. Reactive Red 180 ที่ผ่านการบำบัดด้วย SBH ในปริมาณแตกต่างกัน โดยรูปที่ 4.89 แสดงตัวอย่างสีที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และรูปที่ 4.90 น้ำเสียมีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทำการเปรียบเทียบสี ณ เวลา 2 ชั่วโมงของการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน และรูปที่ 4.91 ถึง 4.98 จะแสดงกราฟประสิทธิภาพการกำจัดสีของ SBH ณ เวลา 2 ชั่วโมงของปฏิกิริยา

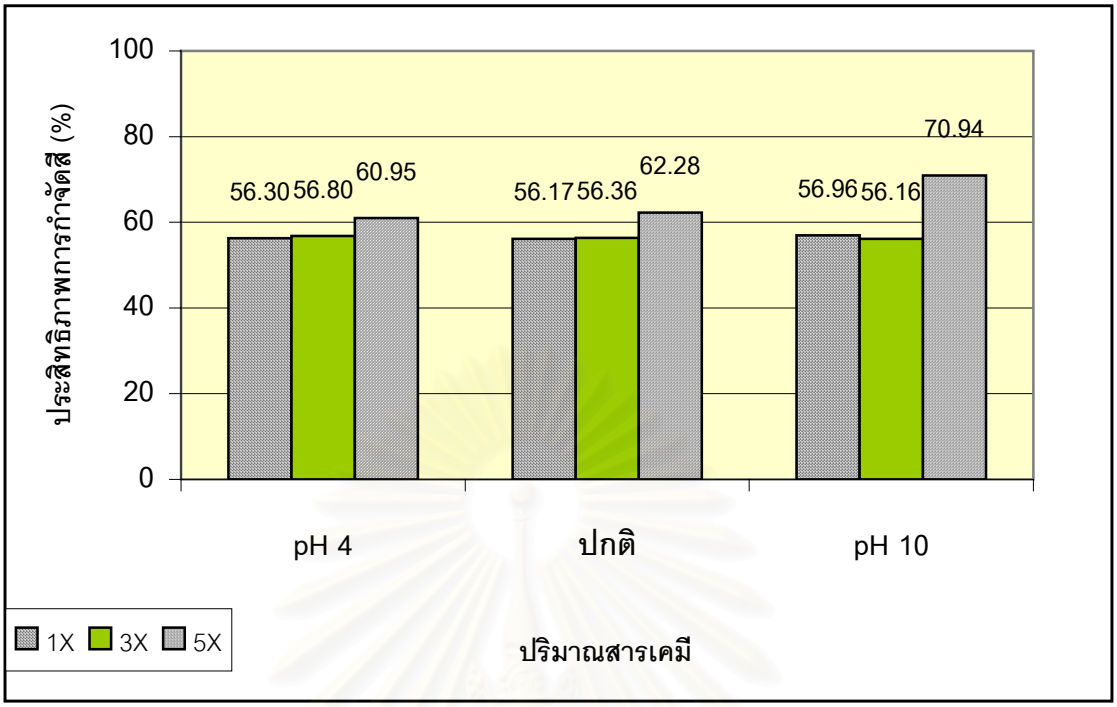
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

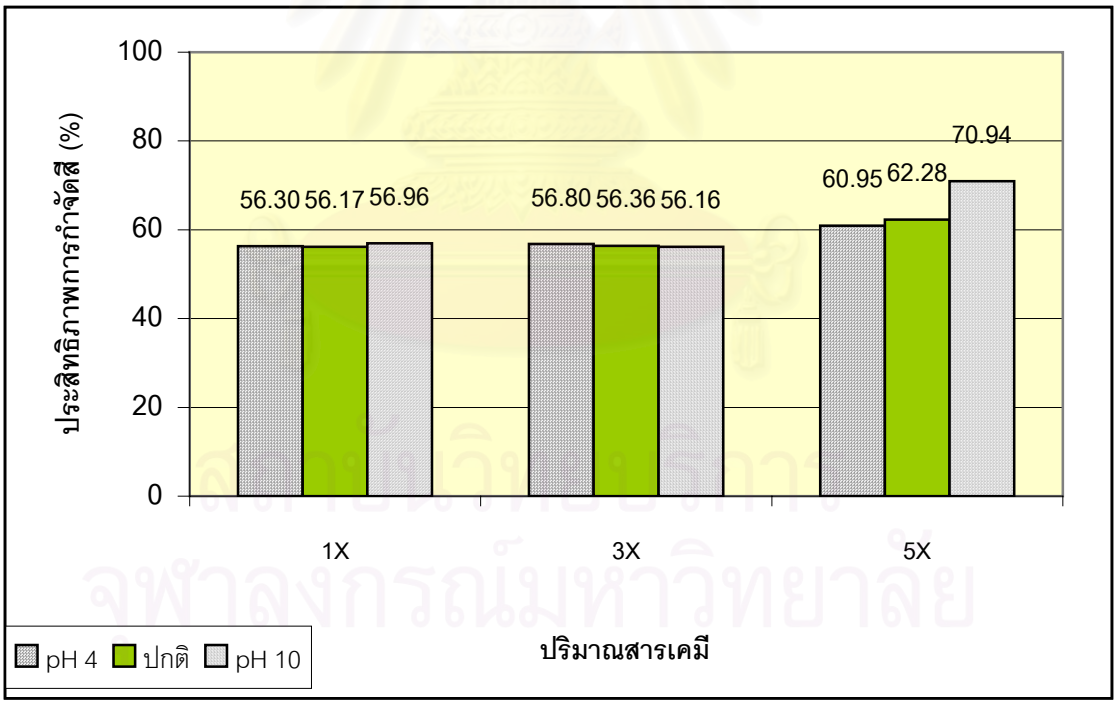
ก : น้ำเสียดิบ ข : 1 เท่า ค : 3 เท่า ง : 5 เท่า

รูปที่ 4.89 ผลการทดลองหาปริมาณ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมี พีเอช เริ่มต้นเท่ากับ 10

ก : น้ำเสียดิบ ข : 1 เท่า ค : 3 เท่า ง : 5 เท่า

รูปที่ 4.90 ผลการทดลองหาปริมาณ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมี พีเอช เริ่มต้นเท่ากับ 10

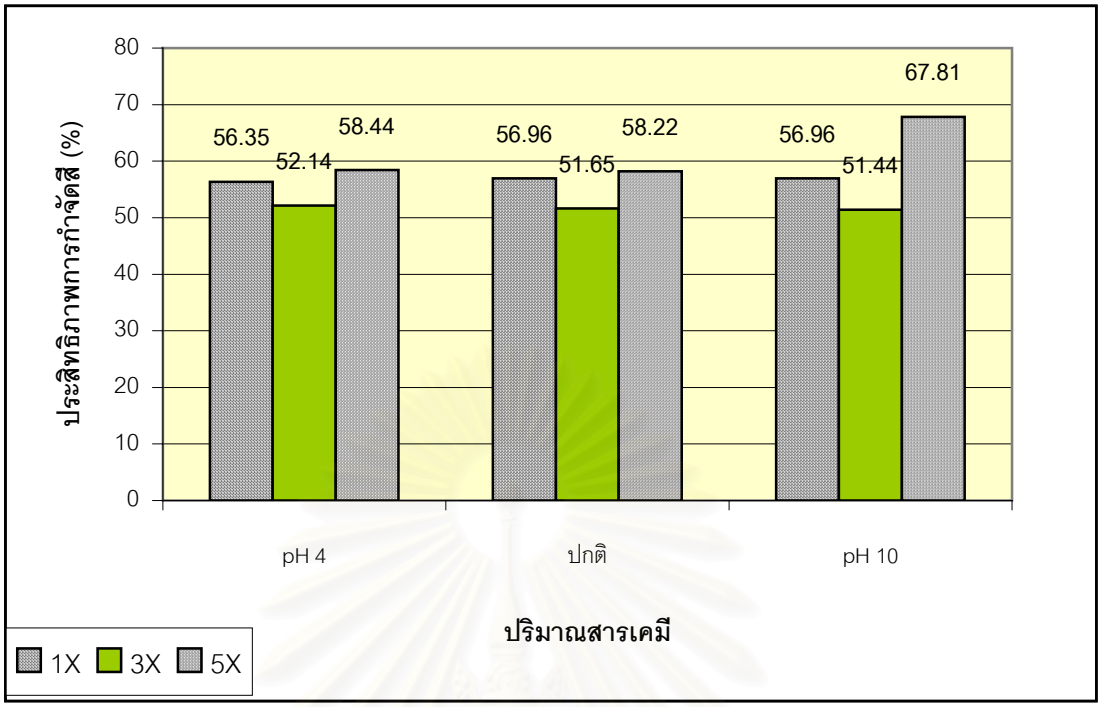


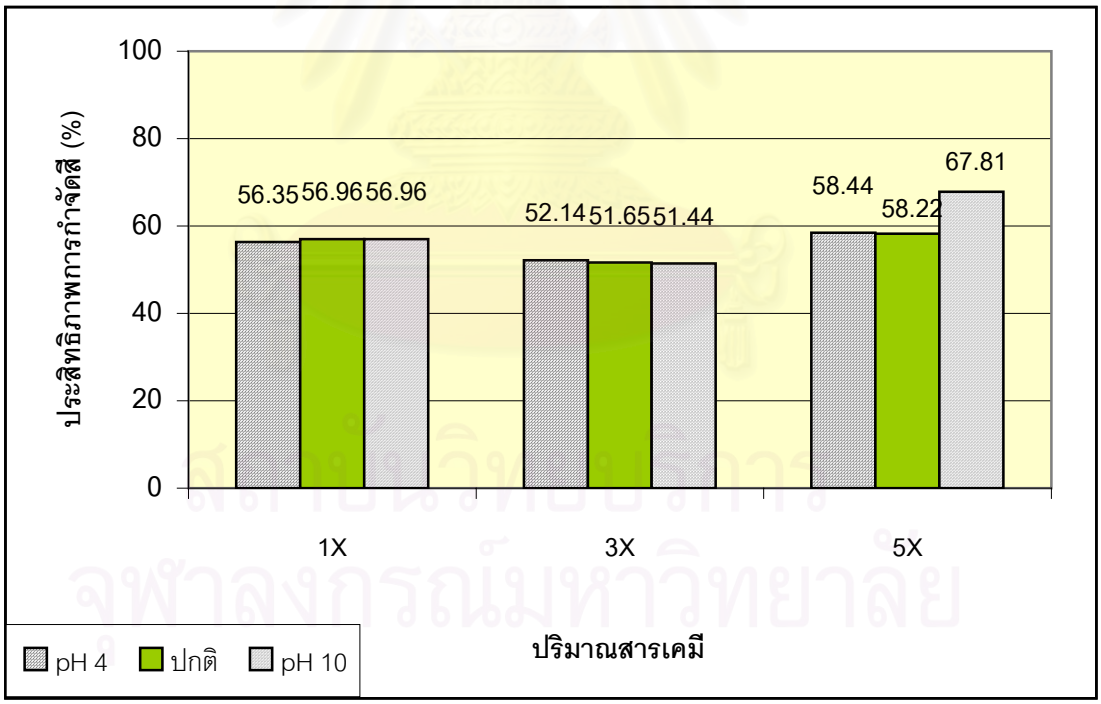


รูปที่ 4.91 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 : 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. เปรียบเทียบกับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ข. เปรียบเทียบกับปริมาณ SBH ที่ใช้

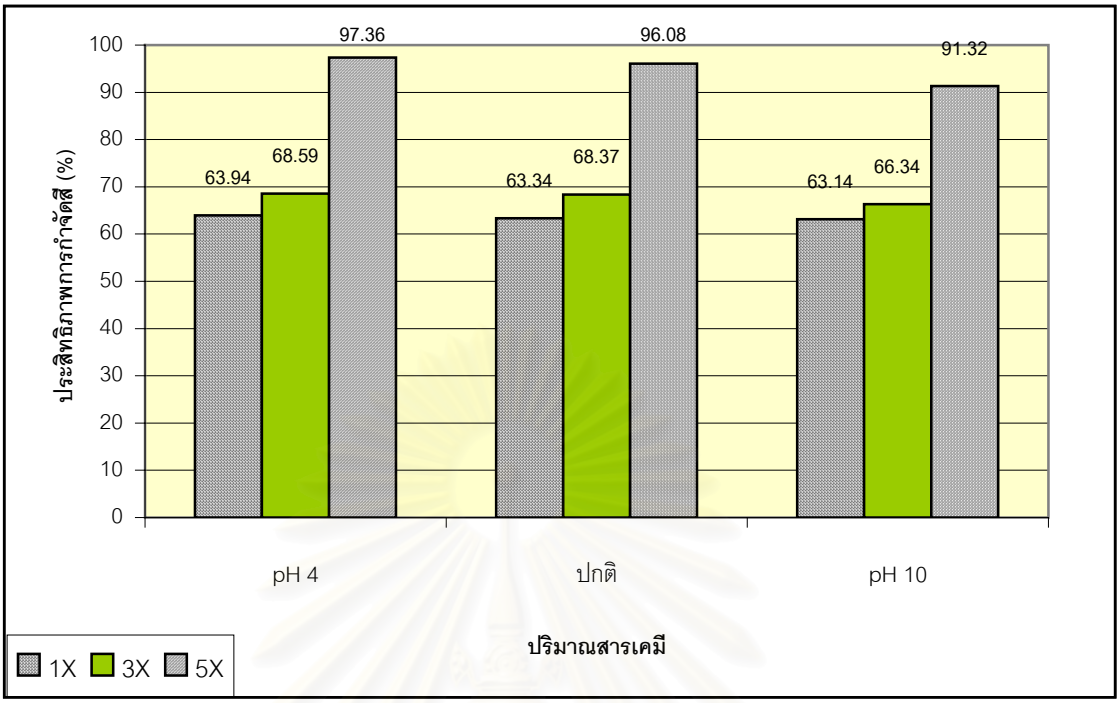


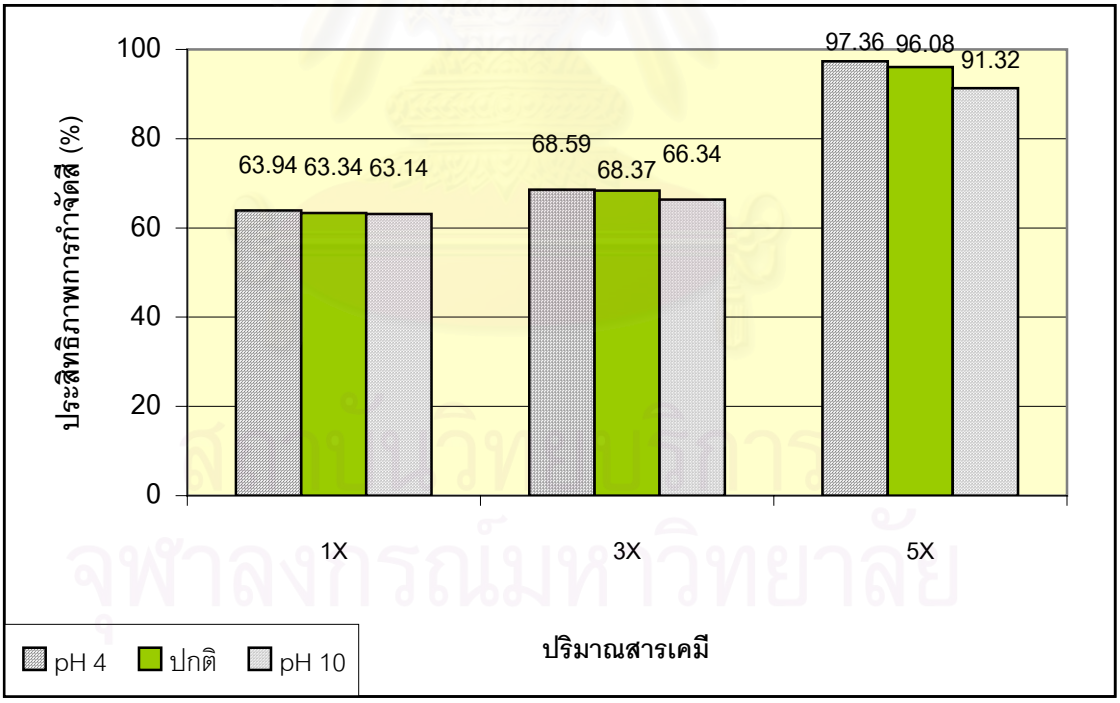


รูปที่ 4.92 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 : 70 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. เปรียบเทียบกับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ข. เปรียบเทียบกับปริมาณ SBH ที่ใช้

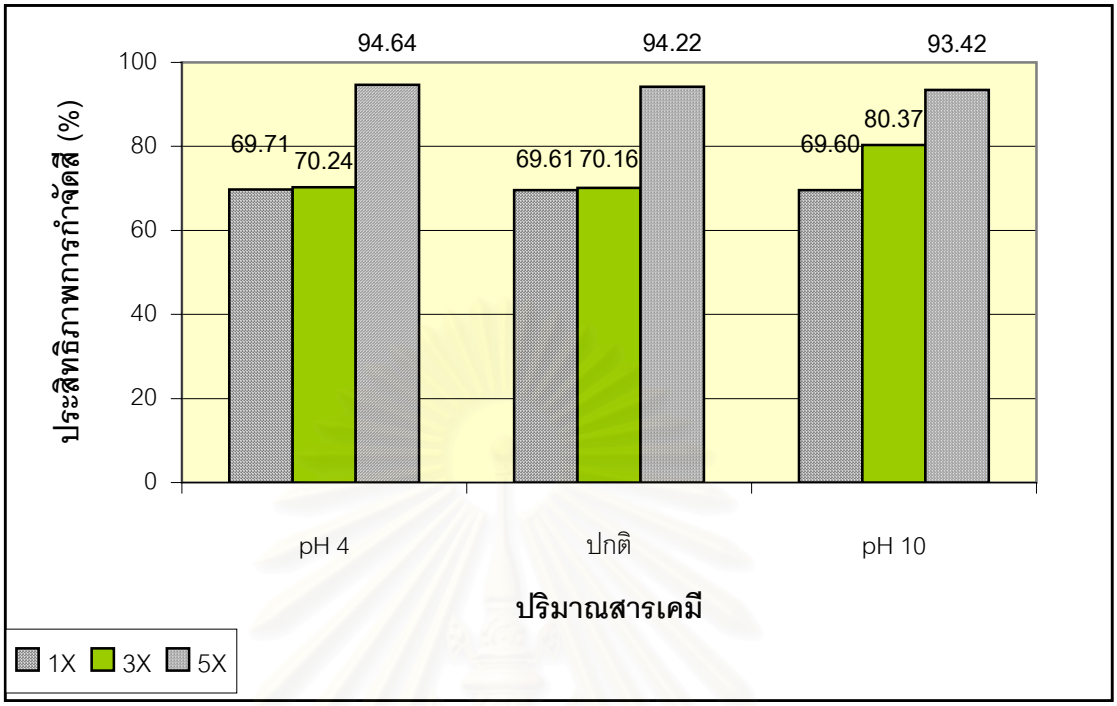


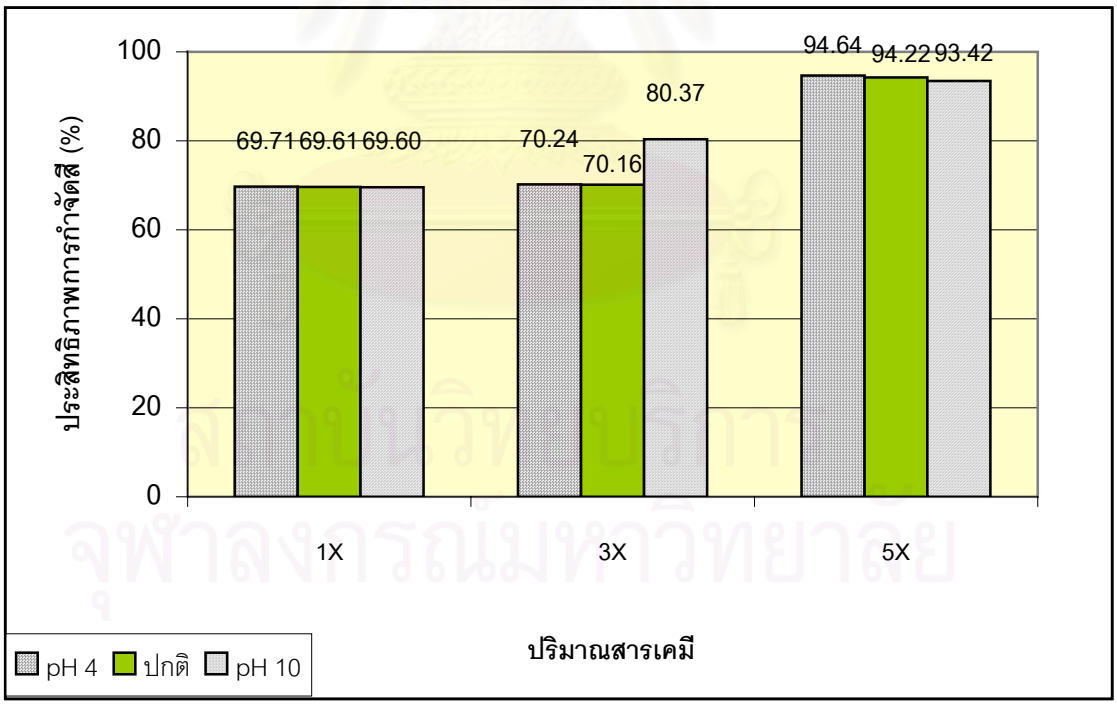


รูปที่ 4.93 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 : 90 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. เปรียบเทียบกับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ข. เปรียบเทียบกับปริมาณ SBH ที่ใช้

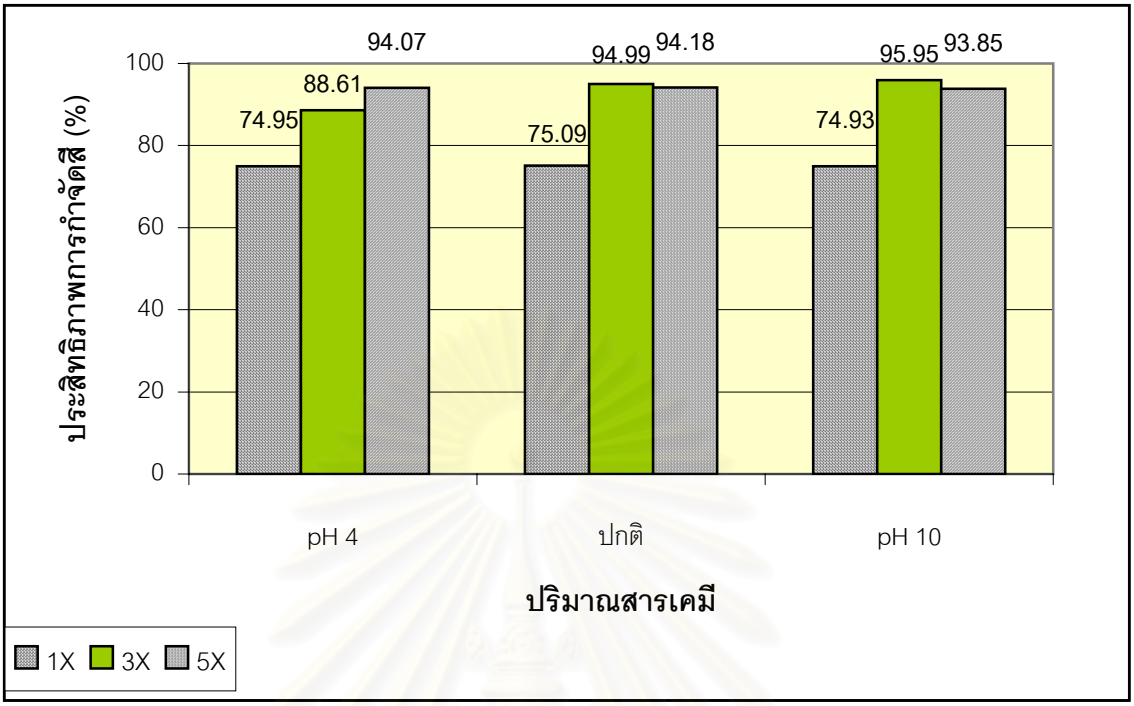


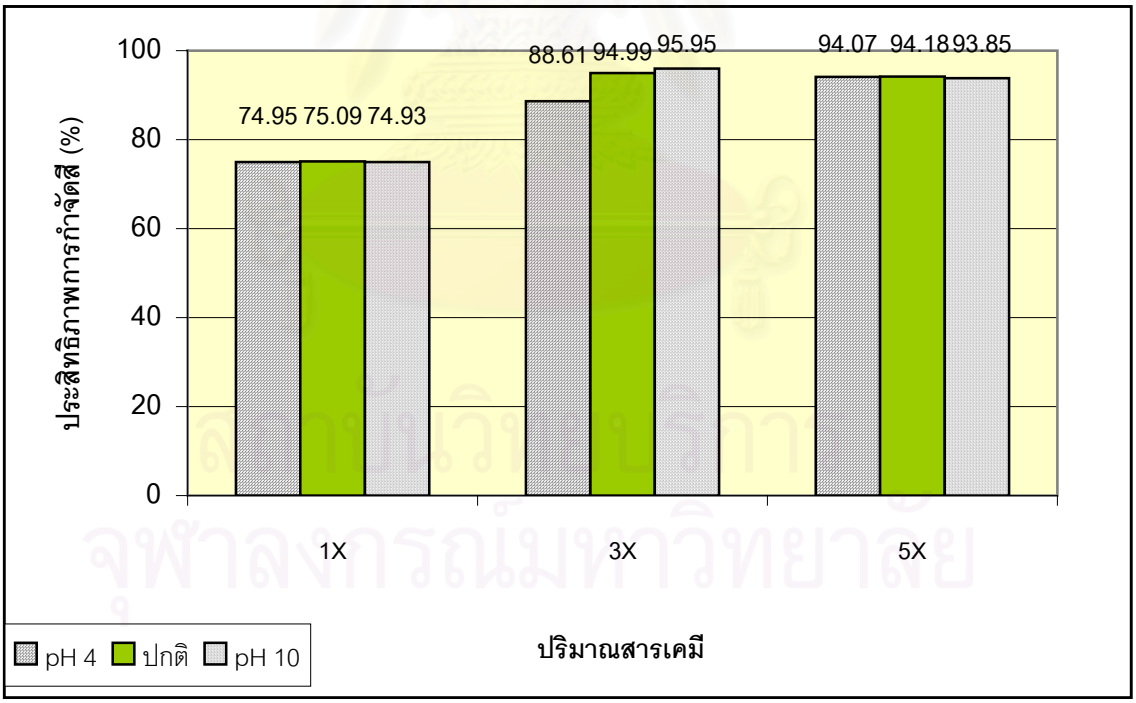


รูปที่ 4.94 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 : 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. เปรียบเทียบกับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ข. เปรียบเทียบกับปริมาณ SBH ที่ใช้

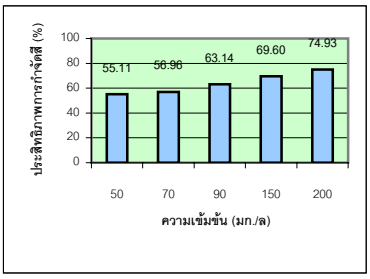


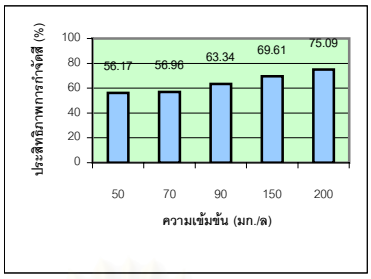


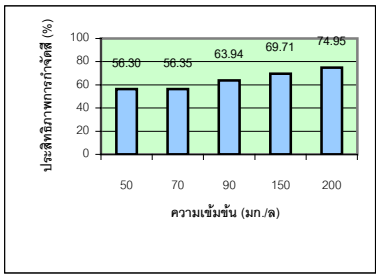
รูปที่ 4.95 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 : 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. เปรียบเทียบกับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ข. เปรียบเทียบกับปริมาณ SBH ที่ใช้

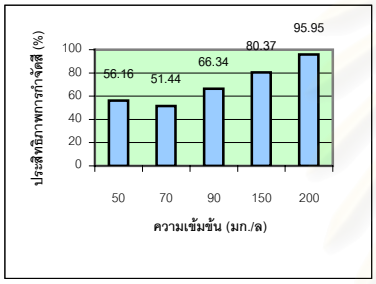


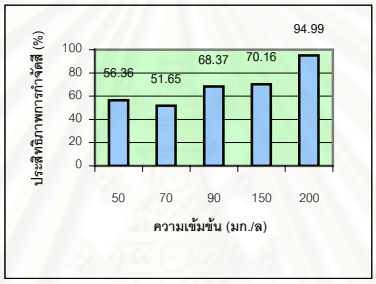


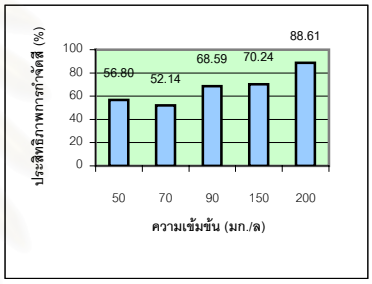


พีเอช 4 **พีเอชปกติ** **พีเอช 10**

รูปที่ 4.96 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 ที่ใช้ปริมาณ SBH 1 เท่า

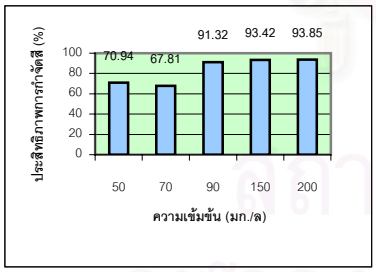


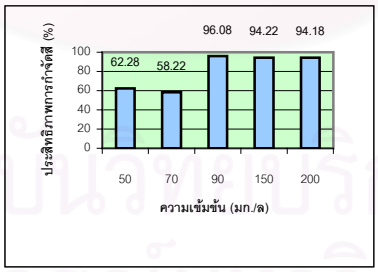


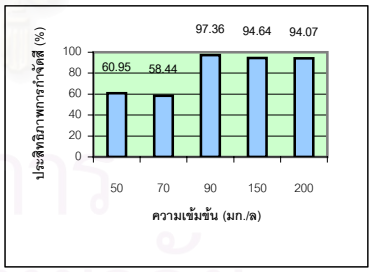


พีเอช 4 **พีเอชปกติ** **พีเอช 10**

รูปที่ 4.97 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 ที่ใช้ปริมาณ SBH 3 เท่า







พีเอช 4 **พีเอชปกติ** **พีเอช 10**

รูปที่ 4.98 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 ที่ใช้ปริมาณ SBH 5 เท่า

4.4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171

ประสิทธิภาพการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าปริมาณสารเคมี SBH ที่ให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดได้แก่ปริมาณ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ไม่ว่าค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์จะเป็น พีเอช 4 พีเอชปกติ หรือพีเอช 10 กล่าวคือมีประสิทธิภาพการกำจัดที่ใกล้เคียงกัน โดยเท่ากับ 91.27 เปอร์เซ็นต์ 87.42 เปอร์เซ็นต์ และ 93.45 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

สำหรับ สี C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่ปริมาณ SBH ที่ 5 เท่าและ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริกให้ประสิทธิภาพที่สูงใกล้เคียงกัน โดยไม่มีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ ในขณะที่ปริมาณ SBH 3 เท่า จะให้ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพียง 70 เปอร์เซ็นต์ โดยประมาณ

เมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเป็น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าผลการทดลองเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับที่ความเข้มข้นเป็น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย

เมื่อความเข้มข้นสีย้อมสูงขึ้นเป็น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171 จะมีค่าใกล้เคียงกันไม่ว่าค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์จะเป็น พีเอช 4 พีเอชปกติ หรือพีเอช 10 และไม่ว่าปริมาณ SBH จะเป็น 3 เท่า 5 เท่าหรือ 7 เท่าก็ตาม

สี C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีจะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณ SBH เท่ากับ 7 เท่า โดยมีค่าเท่ากับ 94.88 เปอร์เซ็นต์ 96.07 เปอร์เซ็นต์ และ 99.03 เปอร์เซ็นต์ สำหรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 4 ปกติ และ 10 ตามลำดับ โดยปริมาณ SBH ที่ 5 เท่าและ 7 เท่าจะให้ผลซึ่งไม่แตกต่างกันมากนัก

รูปที่ 4.99 และ 4.100 แสดงสีคงเหลือหลังการทำปฏิกิริยารีดักชันที่เวลา 2 ชั่วโมงของน้ำเสียสังเคราะห์สี C.I. Reactive Blue เข้มข้น 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยใช้ SBH 3 เท่า 5 เท่า และ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก และรูปที่ 4.101 ถึง 4.108 แสดงกราฟประสิทธิภาพการกำจัดสีของ SBH ณ เวลา 2 ชั่วโมงของปฏิกิริยา

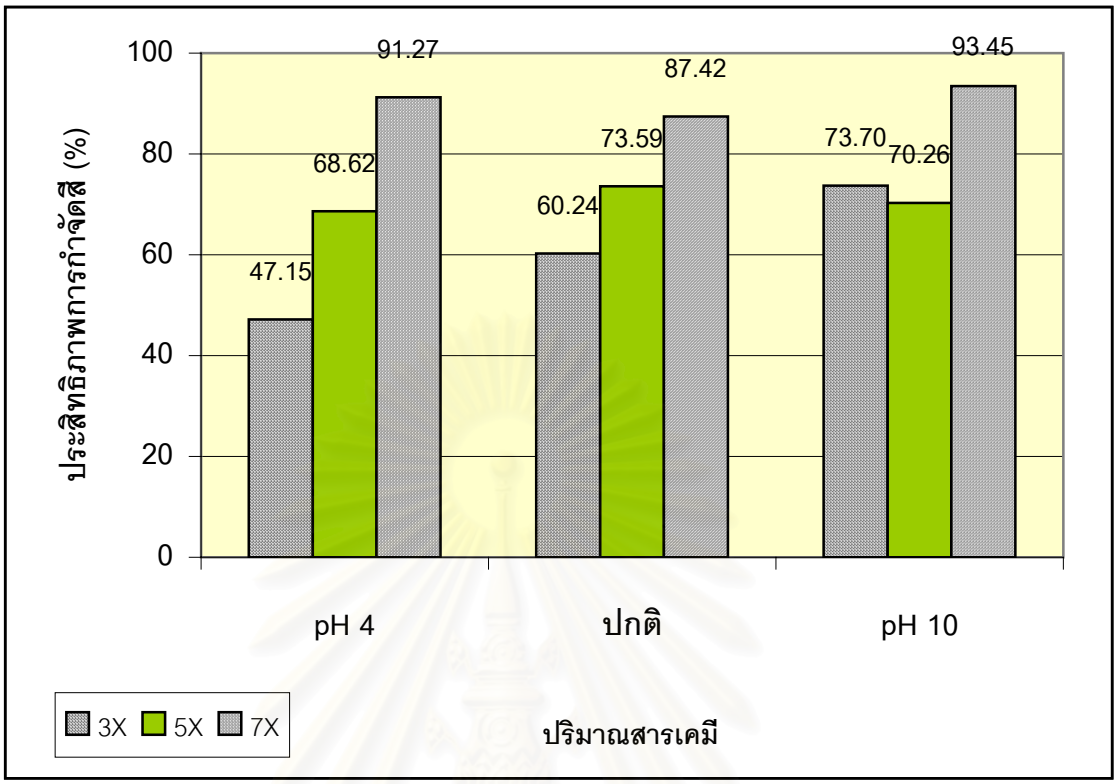
เช่นเดียวกันกับสี C.I. Reactive Black 5 อัตราส่วนของ SBH ที่ใช้ตามสมการเคมีมีอัตราส่วนคือ $Na_2S_2O_5$: SBH : Dyes = 4 : 1 : 2 ซึ่งเป็นสมการของสีย้อมที่โมโนอะโซ แต่สี C.I. Reactive Blue 171 มีโครงสร้างโครโมฟอร์เป็นไบอะโซ ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมในผลการทดลองจึงเป็นค่าที่คิดจากสมการเคมีของสีย้อมชนิดโมโนอะโซ

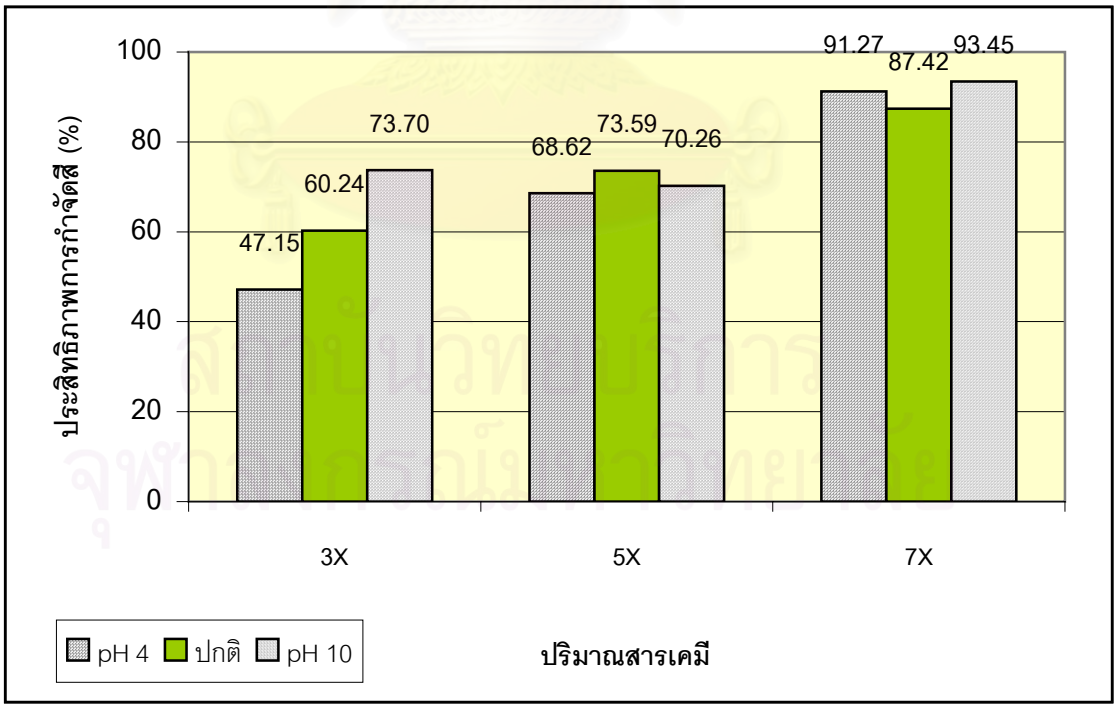
ก : น้ำเสียดิบ ข : 3 เท่า ค : 5 เท่า ง : 7 เท่า

รูปที่ 4.99 ผลการทดลองหาปริมาณ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมี พีเอช เริ่มต้นเท่ากับ 10

ก : น้ำเสียดิบ ข : 3 เท่า ค : 5 เท่า ง : 7 เท่า

รูปที่ 4.100 ผลการทดลองหาปริมาณ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมี พีเอช เริ่มต้นเท่ากับ 10

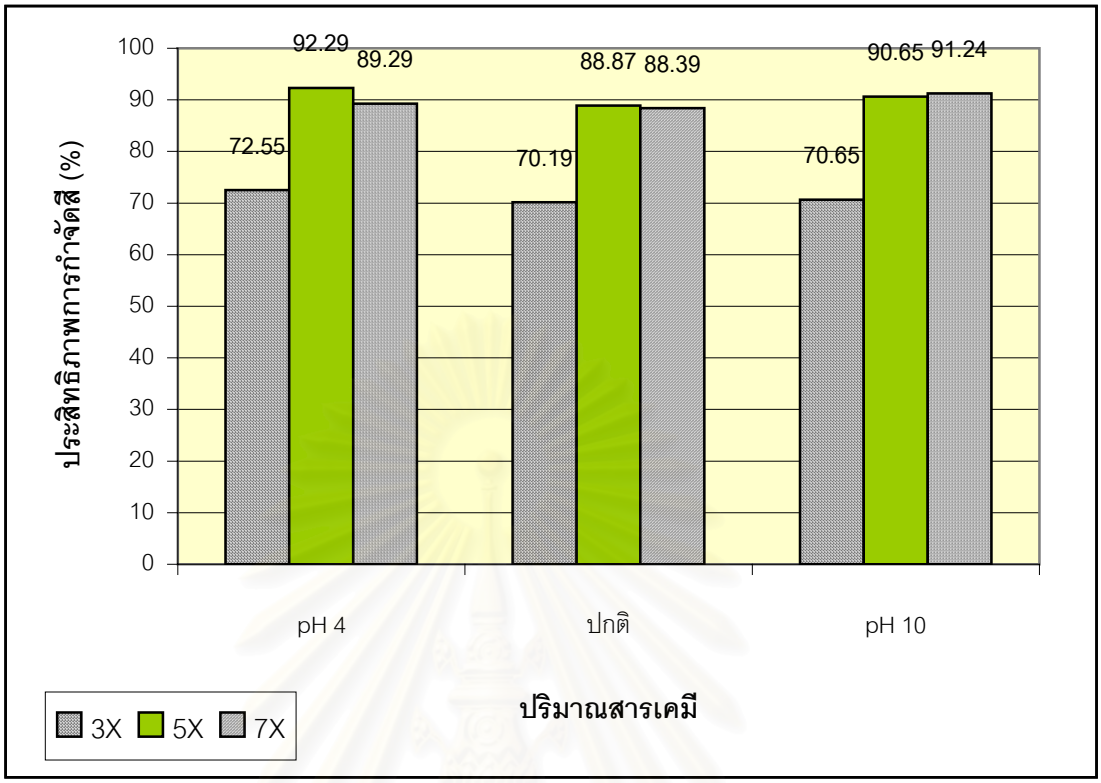


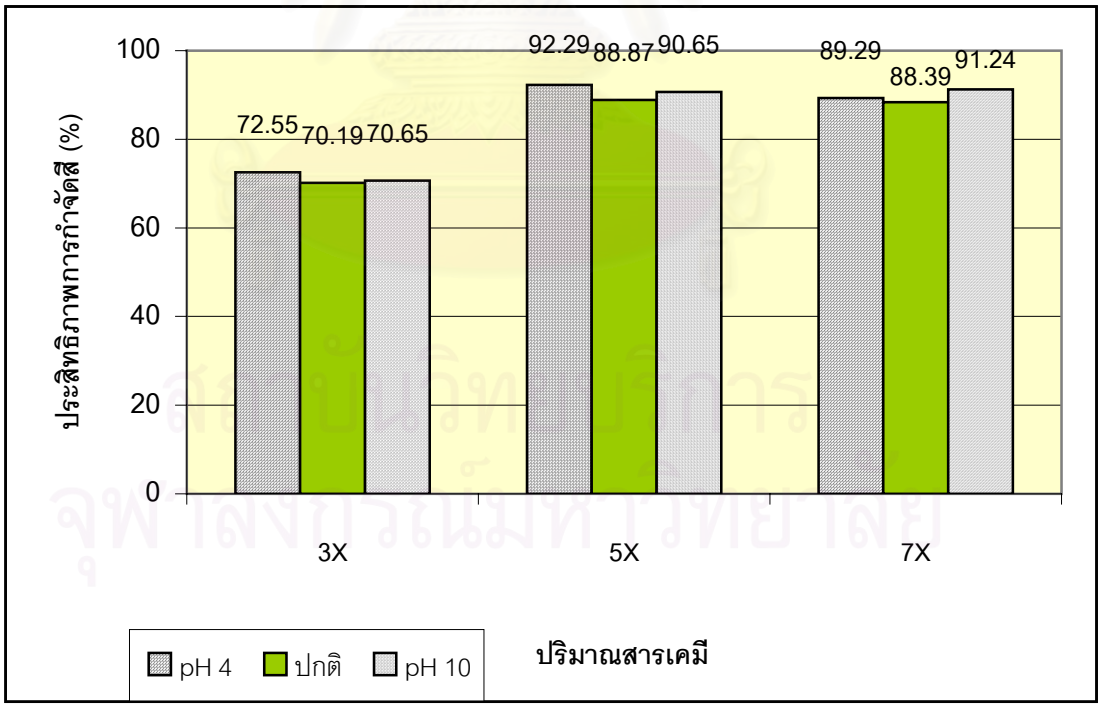


รูปที่ 4.101 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171 : 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. เปรียบเทียบกับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ข. เปรียบเทียบกับปริมาณ SBH ที่ใช้

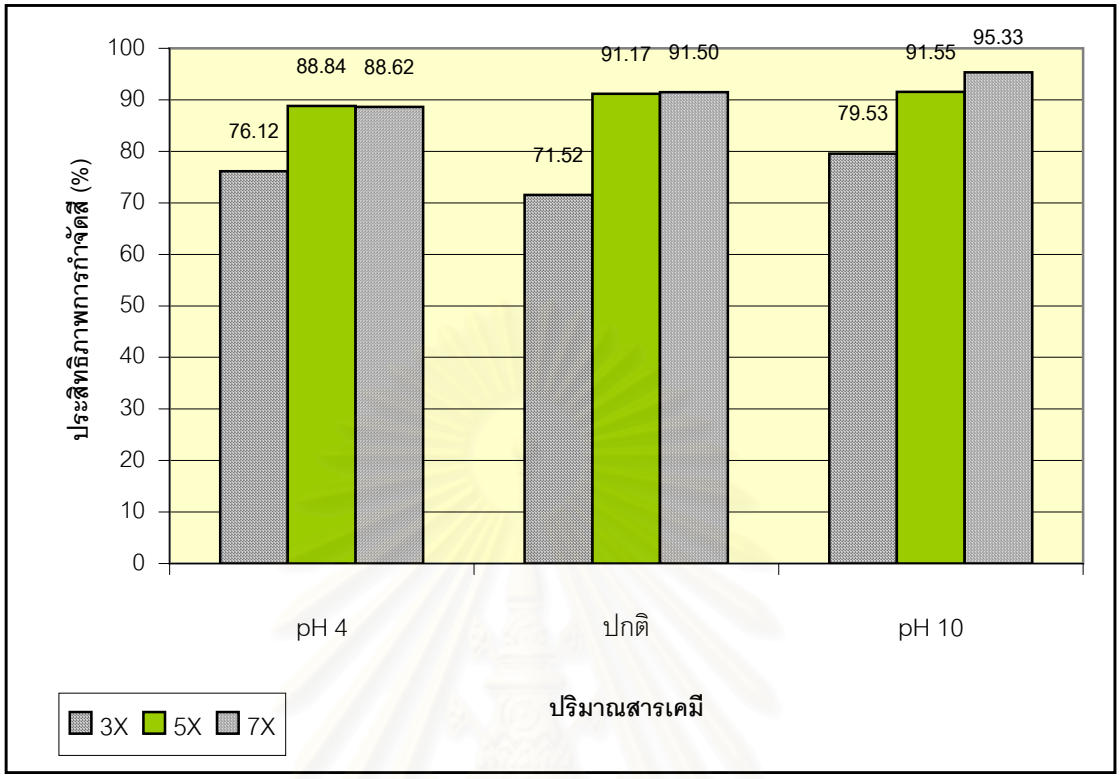


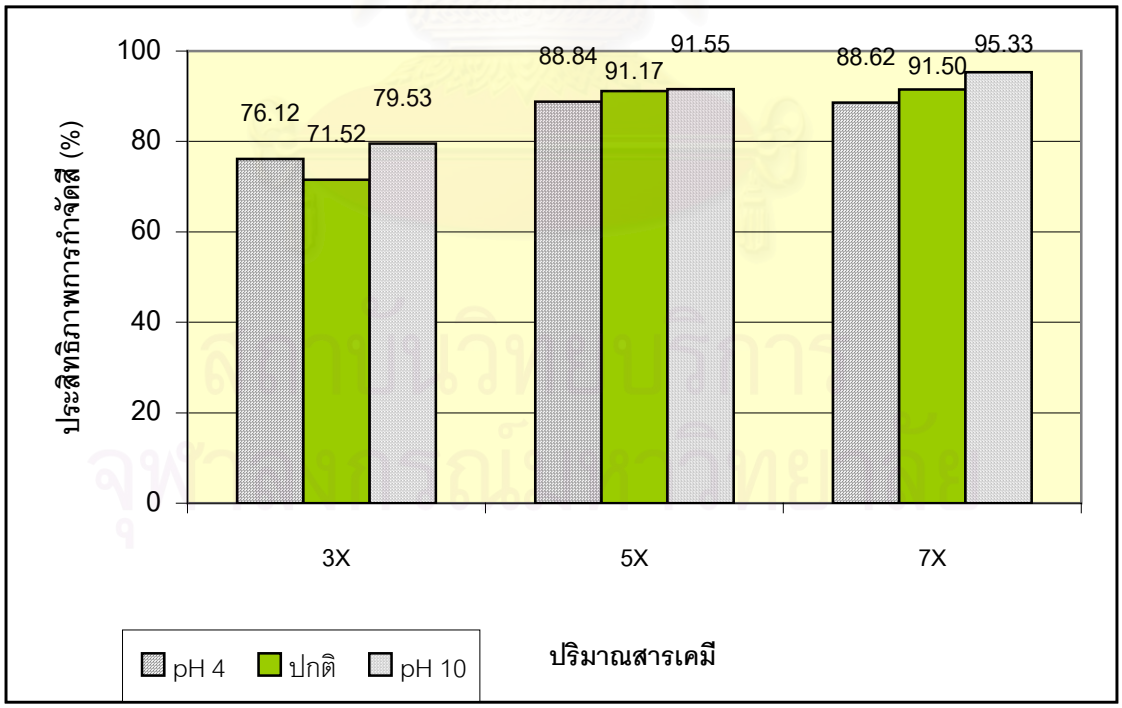


รูปที่ 4.102 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171 : 70 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. เปรียบเทียบกับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ข. เปรียบเทียบกับปริมาณ SBH ที่ใช้

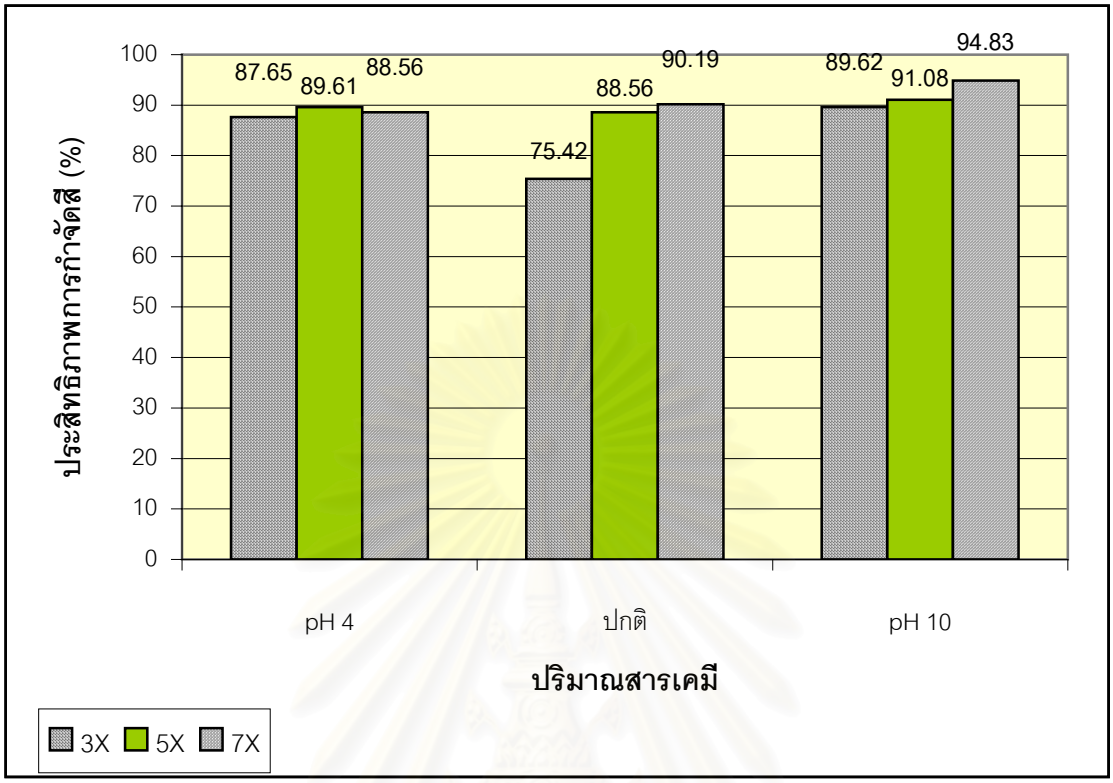


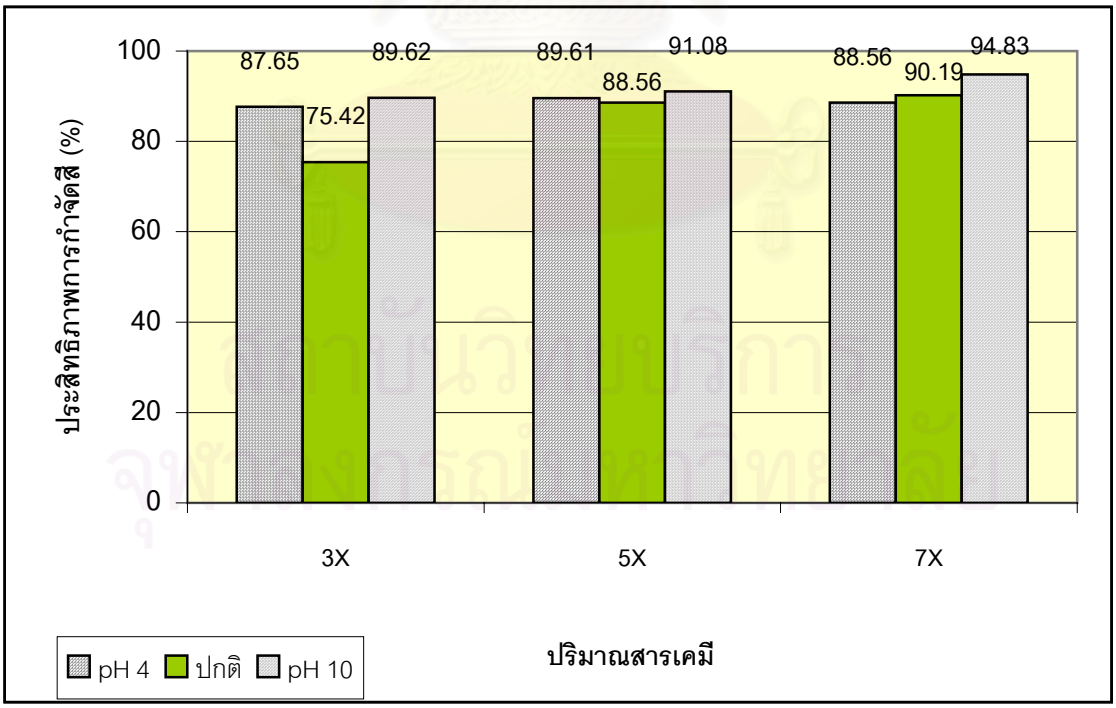


รูปที่ 4.103 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171 : 90 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. เปรียบเทียบกับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ข. เปรียบเทียบกับปริมาณ SBH ที่ใช้

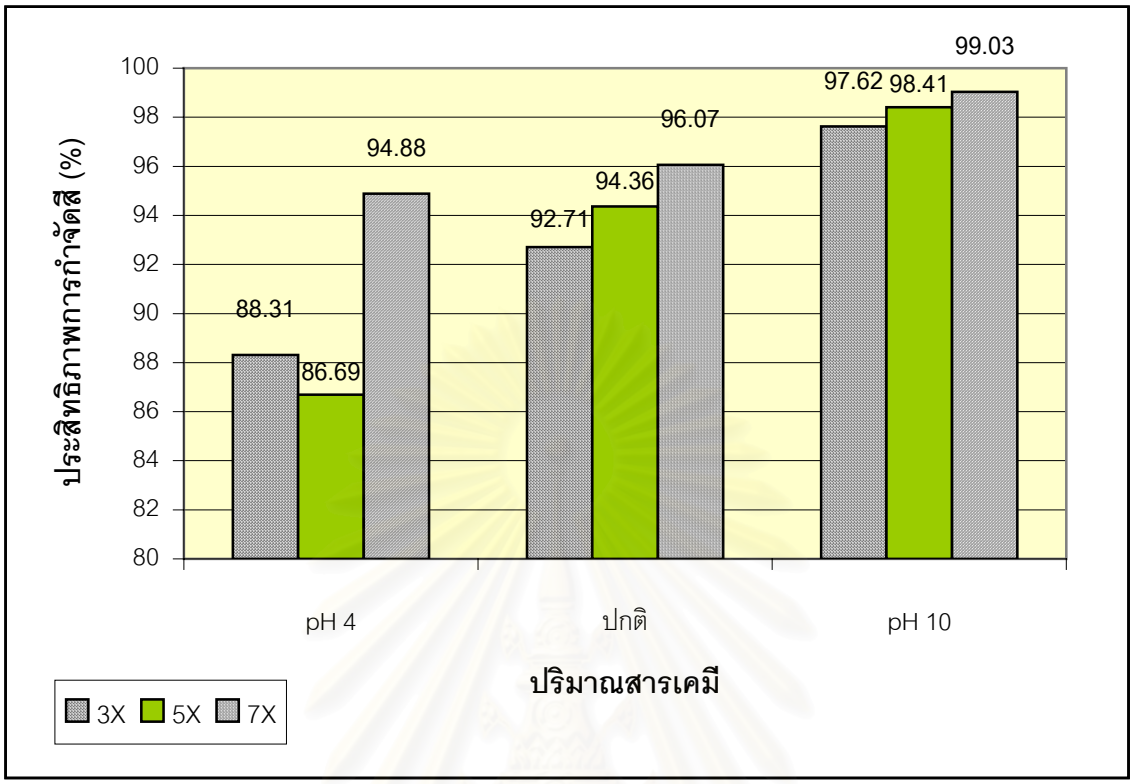


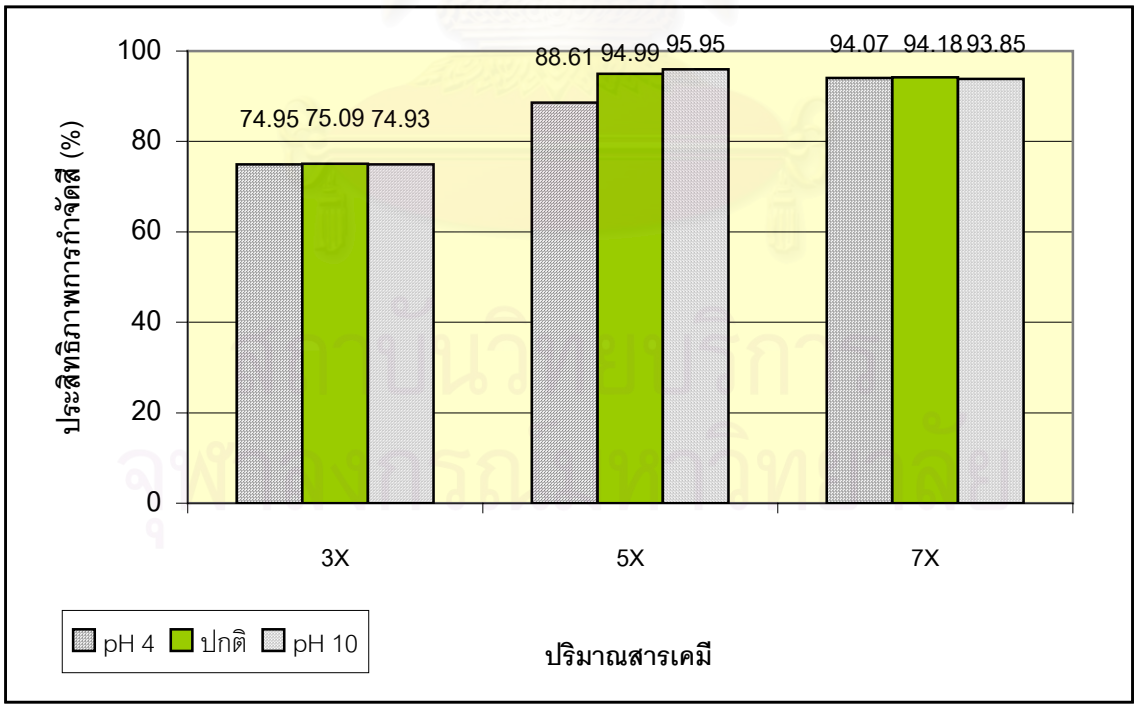


รูปที่ 4.104 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171 : 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. เปรียบเทียบกับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ข. เปรียบเทียบกับปริมาณ SBH ที่ใช้

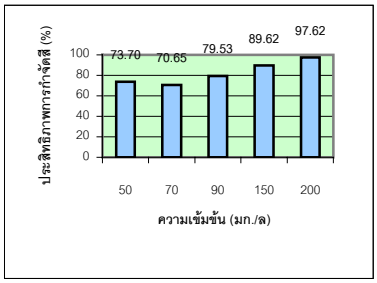


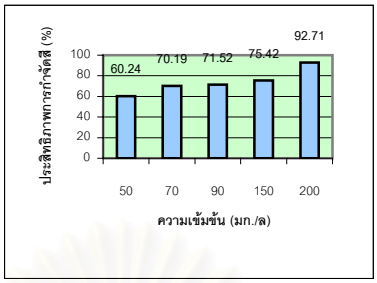


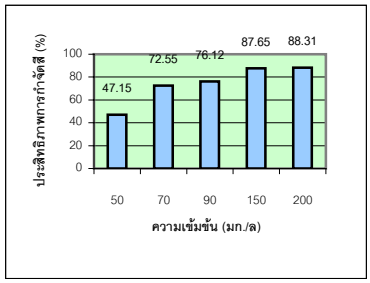
รูปที่ 4.105 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171 : 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. เปรียบเทียบกับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ข. เปรียบเทียบกับปริมาณ SBH ที่ใช้

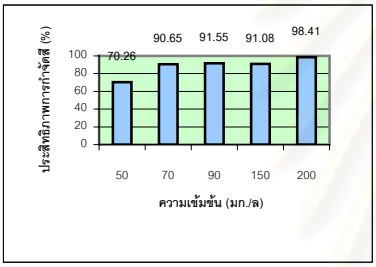


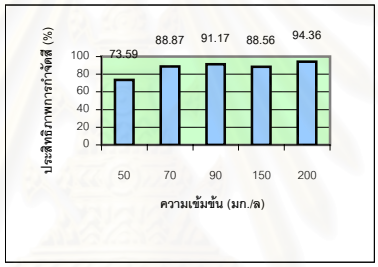


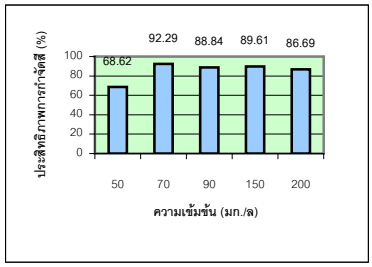


พีเอช 4 **พีเอชปกติ** **พีเอช 10**

รูปที่ 4.106 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171 ที่ใช้ปริมาณ SBH 3 เท่า

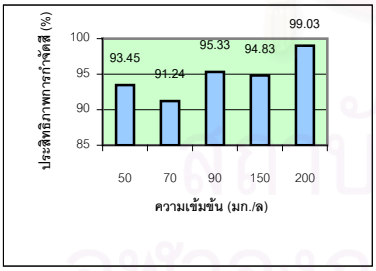


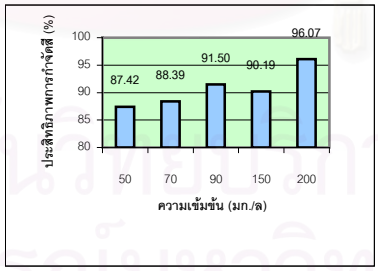


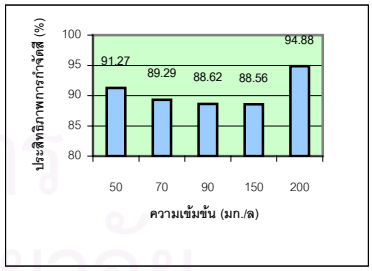


พีเอช 4 **พีเอชปกติ** **พีเอช 10**

รูปที่ 4.107 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171 ที่ใช้ปริมาณ SBH 5 เท่า







พีเอช 4 **พีเอชปกติ** **พีเอช 10**

รูปที่ 4.108 สรุปประสิทธิภาพของการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 171 ที่ใช้ปริมาณ SBH 7 เท่า

4.5 ผลการทดลองแปรค่า SBH : $Na_2S_2O_5$ โดยใช้ $Na_2S_2O_5$ เป็น 2 3 และ 4 เท่าของปริมาณ SBH ที่เหมาะสมจากขั้นที่ 2 และเปรียบเทียบระหว่าง $Na_2S_2O_5$ กับ $Na_2S_2O_4$ ชนิดผง

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีระหว่างการใช้ SBH โดยมีโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยากับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_4$) สามารถสรุปค่าประสิทธิภาพได้ดังตารางที่ 4.11 ถึงตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง SBH/$Na_2S_2O_5$ กับ $Na_2S_2O_4$ ของสี C.I. Reactive Black 5

	C.I. Reactive Black 5									
สารเคมี	$Na_2S_2O_5$: 28X	$Na_2S_2O_4$	$Na_2S_2O_5$: 28X	$Na_2S_2O_4$	$Na_2S_2O_5$: 14X	$Na_2S_2O_4$	$Na_2S_2O_5$: 14X	$Na_2S_2O_4$	$Na_2S_2O_5$: 28X	$Na_2S_2O_4$
ความเข้มข้น	50 mg/l		70 mg/l		90 mg/l		150 mg/l		200 mg/l	
ประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)	86.24	76.99	86.24	87.46	92.00	87.20	96.09	93.44	90.41	88.82

สำหรับสี C.I. Reactive Black 5 ที่ทุกความเข้มข้น ยกเว้นความเข้มข้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ SBH/$Na_2S_2O_5$ ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่าการใช้ $Na_2S_2O_4$ โดยเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการลดสีสูงขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง SBH/$Na_2S_2O_5$ กับ $Na_2S_2O_4$ ของสี C.I. Reactive Red 180

	C.I. Reactive Red 180									
สารเคมี	$Na_2S_2O_5$: 20X	$Na_2S_2O_4$	$Na_2S_2O_5$: 20X	$Na_2S_2O_4$	$Na_2S_2O_5$: 20X	$Na_2S_2O_4$	$Na_2S_2O_5$: 20X	$Na_2S_2O_4$	$Na_2S_2O_5$: 20X	$Na_2S_2O_4$
ความเข้มข้น	50 mg/l		70 mg/l		90 mg/l		150 mg/l		200 mg/l	
ประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)	96.21	99.13	95.16	98.38	95.30	96.54	92.51	93.23	94.11	91.52

สี C.I. Reactive Red 180 ที่ทุกความเข้มข้น ยกเว้นความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการใช้ SBH/$Na_2S_2O_5$ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำกว่า $Na_2S_2O_4$ เล็กน้อย โดยประสิทธิภาพของ SBH/$Na_2S_2O_5$ และ $Na_2S_2O_4$ มีค่าใกล้เคียงกันทุกความเข้มข้น

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง SBH/$Na_2S_2O_5$ กับ $Na_2S_2O_4$ ของสี C.I. Reactive Blue 171

	C.I. Reactive Blue 171									
สารเคมี	50 mg/l		70 mg/l		90 mg/l		150 mg/l		200 mg/l	
ความเข้มข้น	$Na_2S_2O_5$: 28X	$Na_2S_2O_4$	$Na_2S_2O_5$: 28X	$Na_2S_2O_4$	$Na_2S_2O_5$: 14X	$Na_2S_2O_4$	$Na_2S_2O_5$: 14X	$Na_2S_2O_4$	$Na_2S_2O_5$: 14X	$Na_2S_2O_4$
ประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)	86.92	91.03	89.70	95.74	89.91	83.28	97.85	83.93	88.27	87.76

สำหรับสี C.I. Reactive Blue 171 การใช้ $Na_2S_2O_4$ จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อสีย้อมมีความเข้มข้นต่ำๆ กล่าวคือ 50 และ 70 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อความเข้มข้นสูงกว่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพของสารรีดิวซ์ดังกล่าวมีค่าต่ำลง SBH/$Na_2S_2O_5$ โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงกว่าการใช้ ที่ความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 50 และ 70 มิลลิกรัมต่อลิตร

รูปที่ 4.109 ถึง 4.111 เป็นผลการเปรียบเทียบค่าสีคงเหลือจากปฏิกิริยารีดักชันระหว่าง SBH กับโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ โดยน้ำเสียสังเคราะห์มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำการบันทึกภาพเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาดำเนินไปครบ 120 นาที จะเห็นได้ว่าสี C.I. Reactive Red 180 จะมีค่าสีคงเหลือภายหลังปฏิกิริยาต่ำกว่าตัวอย่างอื่น เมื่อใช้รีดิวซิ่งเอเจนต์คือโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ในขณะที่สี C.I. Reactive Black และ C.I. Reactive Blue 171 ถูกรีดิวซ์ด้วย SBH ได้ดีกว่า ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองวัดประสิทธิภาพการกำจัด กล่าวคือ สี C.I. Reactive Black และ C.I. Reactive Blue 171 มีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของการกำจัดสีโดยใช้ SBH สูงกว่าการใช้โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ แต่สี C.I. Reactive Red 180 มีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยการกำจัดโดย SBH ต่ำกว่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก : น้ำเสียดิบ ข : 14 เท่า ค : 21 เท่า ง : 28 เท่า จ : $Na_2S_2O_4$

รูปที่ 4.109 ผลการทดลองแปรค่า SBH : $Na_2S_2O_5$ และเปรียบเทียบกับ $Na_2S_2O_4$ ของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ SBH 7 เท่า โดยมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 10

ก : น้ำเสียดิบ ข : 10 เท่า ค : 15 เท่า ง : 20 เท่า จ : $Na_2S_2O_4$

รูปที่ 4.110 ผลการทดลองแปรค่า SBH : $Na_2S_2O_5$ และเปรียบเทียบกับ $Na_2S_2O_4$ ของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ SBH 5 เท่า โดยมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 10

ก : น้ำเสียดิบ ข : 14 เท่า ค : 21 เท่า ง : 28 เท่า จ : $Na_2S_2O_4$

รูปที่ 4.111 ผลการทดลองแปรค่า SBH : $Na_2S_2O_5$ และเปรียบเทียบกับ $Na_2S_2O_4$ ของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ SBH 7 เท่า โดยมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 10

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 ผลของพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดปฏิกิริยาได้แก่ พีเอช 10 สำหรับทุกค่าความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ หรือกล่าวได้ว่าที่ค่าพีเอชเป็นด่างมีความเหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์มากกว่าค่าพีเอชที่เป็นกรด โดยเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำเสียมีค่าต่ำ (50 – 70 มิลลิกรัมต่อลิตร) ค่าพีเอชเริ่มต้นจะมีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งค่าพีเอชที่เป็นด่างจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่าพีเอชเป็นกรด แต่เมื่อความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์สูงขึ้น อิทธิพลของค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์จะมีผลต่อประสิทธิภาพการลดสีน้อยลง

5.2 ผลของความเข้มข้นสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมมีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร คือมีประสิทธิภาพการกำจัดมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

แต่เมื่อน้ำเสียสังเคราะห์มีความเข้มข้นต่ำ จะทำให้ประสิทธิภาพการลดสีต่ำลงไปด้วย

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นของสีย้อมสูงขึ้นจะทำให้การเกิดปฏิกิริยารีดักชันดีขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงขึ้นตามไปด้วย และที่ความเข้มข้นสีย้อมสูงๆ จะทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์จะมีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาน้อยลง

5.3 ผลของปริมาณสารเคมี SBH ต่อการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

ผลของปริมาณสารเคมีเป็นจำนวนเท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี จากผลการทดลองพบว่าที่ปริมาณสารเคมีสูงสุดที่ใช้ในการทดลองคือ 5 เท่า และ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันดีที่สุดจึงให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดที่สูงกว่าเมื่อใช้ปริมาณสารเคมีน้อยๆ

5.4 ตะกอนสลัดจ์จากการทำปฏิกิริยา

ปฏิกิริยารีดักชันระหว่าง SBH กับสีย้อม ทำให้เกิดกรดบอริก (H_3BO_3) ที่ละลายน้ำได้มาก ดังนั้นจึงไม่เกิดสลัดจ์ขึ้นในกระบวนการบำบัด แต่มีผลทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบลดต่ำลง

5.5 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม

สำหรับน้ำเสียสี C.I. Reactive Black 5 และ C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 70 มิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องใช้ปริมาณที่เหมาะสมของโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์มากกว่า น้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง คือต้องการปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์เท่ากับ 28 เท่าของสตอยชิโอเมตริก จึงจะให้ประสิทธิภาพการลดสีสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับความเข้มข้นของน้ำเสียที่สูงกว่า 70 มิลลิกรัมต่อลิตรจะต้องการปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์เพียง 14 เท่า

สารรีดิวซ์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์มีความเหมาะสมในการบำบัดเฉพาะสีย้อม C.I. Reactive Red 180 และน้ำเสียสีย้อมที่มีความเข้มข้นต่ำๆ แต่ไม่เหมาะสมกับสี C.I. Reactive Black 5 และ C.I. Reactive Blue 171 และน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสีย้อมสูงกว่า 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งการใช้ SBH ร่วมกับเมตะไบซัลไฟต์มีข้อได้เปรียบ SBH ที่เหนือกว่าโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ คือ ไม่มีกลิ่นเหม็นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไม่เกิดตะกอนแขวนลอย รวมทั้งค่าสีคงเหลือในน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นช้ากว่าน้ำเสียที่บำบัดด้วยโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟหมู่อะโซกับน้ำเสียจริง ซึ่งมีสารที่ขัดขวางกระบวนการบำบัดน้ำเสียมากกว่าการใช้น้ำเสียสังเคราะห์
2. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมชนิดอื่นที่มีหมู่อะโซเป็นองค์ประกอบเพื่อเปรียบเทียบกับสีรีแอกทีฟหมู่อะโซ
3. ศึกษากับกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบต่อเนื่องเนื่องจากมีความใกล้เคียงกับระบบบำบัดจริงมากกว่าแบบแบทช์
4. ศึกษาผลของอากาศและอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม
5. ตรวจสอบผลผลิตที่เกิดขึ้นด้วยการหามวลโมเลกุลโดยเครื่อง HPLC-MS เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับมวลโมเลกุลของสารอะโรมาติกอะมีนที่คาดว่าเป็นผลผลิตของปฏิกิริยา
6. ทำการทดลองใช้บัฟเฟอร์เพื่อควบคุมการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชในสารละลาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. การกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า (เล่มที่ 1 –5). กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล และสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.

มณีรัตน์ องค์วรรณดี . การกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ภาษาอังกฤษ

Cook, M. Micheal . SODIUM BOROHYDRIDE DYE REDUCTION IN WASTEWATER in Reife, Abraham and Freeman, S. Harold , ENVIRONMENTAL CHEMISTRY OF DYES AND PIGMENTS. , pp. 33–41. New York : John Willey & Sons , 1996.

Larson, Richard A., Miller Penney L., and Crowley Thomas O. Borohydride Photoreduction of Nitroaromatic Compounds Related to Military Ordnance Constituents. Environmental Science & Technology Vol. 30 No. 4 : pp. 1192–1197 , 1996.

Laszlo, Joseph A. Regeneration of Dye-Saturated Quaternized Cellulose by Bisulfite-Mediated Borohydride Reduction of Dye Azo Groups : An Improved Process for Decolorization of Textile Wastewaters. Environmental Science & Technology Vol. 31 No. 12 : pp. 3647–3653 , 1997.

Needles, Howard L. Handbook of Textile Fibers, Dyes and Finishes . New Jersey : Textile Book Service, 1981.

Rangnekar, D.W. and Singh, P.P. An Introduction to Synthetic Dyes . Bombay : Himalaya publishing House, 1980.

Reife, Abraham and Freeman, S. Harold. ENVIRONMENTAL CHEMISTRY OF DYES AND PIGMENT. New York : John Willey & Sons , 1996.

Shore, J. Colorants and Auxilliaries Organic Chemistry and Application Properties Vol.1. England : England Society of Dyes and Colorists, 1990.

Shore, John. Cellulosics Dyeing. Manchester : Society of Dyes and Colourists , 1995.

University of Bristol. Sodium Borohydride and Lithium Aluminium Hydride. Available from: http://www.cs.bris.ac.uk/~rb0403/borohydride/borohydride1.htm , [2001. M D]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

บุณยฤทธิ์ ปัญญาภิญโญผล. การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลืองและก้านดอกทานตะวัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ปวีณา ธนะสังข์. การกำจัดสีจากน้ำทิ้งฟอกย้อมสิ่งทอ โดยวิธีการออกซิเดชัน – รีดักชัน . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2539.

แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม . Principles and Techniques of Instrumental Analysis. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ชวนพิมพ์, 2535.

วรวิทย์ เหลืองดิลก. ผลของโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมรีแอกทีฟต่อการลดสีโดยกระบวนการเอสบีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

วุฒิ วิพันธ์พงษ์. การใช้สารเคมีเฟนตันกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

สุนันท์ รังษีกาญจน์ส่อง. คู่มือหลักสูตรเข้มข้นการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

โสภา ชินเวชกิจวานิชย์ . การลดสีรีแอกทีฟในน้ำเสียภายใต้สภาวะไร้อากาศด้วยระบบยูเอเอสบี . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ภาษาอังกฤษ

American Dye Manufacturers Institute and Environmental Protection Agency . Textile Dyeing Wastewaters Characterization and Treatment . New York : Environmental Protection Technology Series, 1978.

Carr, C.M. Chemistry of the Textiles Industry . London : Blackie Academic & Professional, 1995.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Rys, P. and Zollinger, H. Fundamentals of The Chemistry and Application of Dyes . London : Wiley – Interscience, 1972.

Shenai, V.A. Technology of Textile Processing (Vol. II) Chemistry of Dyes and Principles of Dyeing . Bombay : Sevak Publications, 1977.

University of Oxford. The Physical and Theoretical Chemistry Laboratory Oxford University, Chemical and Other Safety Information. Available from: http://www.physchem.ox.ac.uk/MSDS/, [2001. M D]

Venkataraman, K. The Analytical Chemistry of Synthetic Dyes . New York : John Wiley & Sons , 1977.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลองหาระยะเวลาควนเร็วที่เหมาะสม (ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยสมบูรณ์)

ตารางที่ ก.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลองของสีย้อม C.I. Reactive Black 5 ปริมาตร 1,500 มิลลิลิตร

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดลอง				
	50 มก./ลิตร	70 มก./ลิตร	90 มก./ลิตร	150 มก./ลิตร	200 มก./ลิตร
ความเข้มข้นในหน่วยมิลลิโมลาร์	0.050	0.071	0.091	0.151	0.202
ปริมาณสีย้อม (กรัม)	0.0750	0.1050	0.1350	0.2250	0.3000
ปริมาณ SBH 5 เท่า (มิลลิลิตร)	0.60	0.83	1.07	1.79	2.38
ปริมาณ $Na_2S_2O_5$ 20 เท่า (กรัม)	0.5750	0.8050	1.0350	1.7250	2.3000

ตารางที่ ก.2 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลองของสีย้อม C.I. Reactive Red 180 ปริมาตร 1,500 มิลลิลิตร

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดลอง				
	50 มก./ลิตร	70 มก./ลิตร	90 มก./ลิตร	150 มก./ลิตร	200 มก./ลิตร
ความเข้มข้นในหน่วยมิลลิโมลาร์	0.054	0.075	0.096	0.161	0.214
ปริมาณสีย้อม (กรัม)	0.0750	0.1050	0.1350	0.2250	0.3000
ปริมาณ SBH 3 เท่า (มิลลิลิตร)	0.38	0.53	0.68	1.14	1.52
ปริมาณ $Na_2S_2O_5$ 10 เท่า (กรัม)	0.3054	0.4275	0.5497	0.9161	1.2215

ตารางที่ ก.3 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลองของสีย้อม C.I. Reactive Blue 171 ปริมาตร 1,500 มิลลิลิตร

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดลอง				
	50 มก./ลิตร	70 มก./ลิตร	90 มก./ลิตร	150 มก./ลิตร	200 มก./ลิตร
ความเข้มข้นในหน่วยมิลลิโมลาร์	0.035	0.049	0.063	0.106	0.141
ปริมาณสีย้อม (กรัม)	0.0750	0.1050	0.1350	0.2250	0.3000
ปริมาณ SBH 5 เท่า (มิลลิลิตร)	0.42	0.58	0.75	1.25	1.67
ปริมาณ $Na_2S_2O_5$ 20 เท่า (กรัม)	0.4019	0.5627	0.7235	1.2058	1.6077

ภาคผนวก ข.

ความปลอดภัยในการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความปลอดภัยในการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์

ชื่อเรียกอื่น Sodium tetrahydroborate / Sodium tetrahydridoborate

มวลโมเลกุล 37.83

สูตรเคมี $NaBH_4$

อันตราย มีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้บริเวณที่สัมผัสเกิดการไหม้เกรียม เป็นพิษต่อทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจ หรือการดูดซึมทางผิวหนัง รวมทั้งเป็นของแข็งที่ติดไฟได้ และอันตรายเมื่อเปียกน้ำ

ผลต่อสุขภาพ มีข้อมูลน้อยมาก

ผลต่อทางเดินหายใจ การหายใจเอาสารเคมีเข้าไปจะทำอันตรายต่อเยื่อเมือกและทางเดินหายใจตอนบน และก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อจมูกและลำคอ ตลอดจนหายใจลำบากและปอดบวมน้ำ

ผลต่อทางเดินอาหาร มีฤทธิ์กัดกร่อนและทำให้ปาก คอ และท้องไหม้ นอกจากนั้นยังสามารถทำให้เกิดอาการเจ็บคอ อาเจียน และท้องร่วง

ผลต่อผิวหนัง ก่อให้เกิดการระคายเคืองหรือผิวหนังไหม้จากการสัมผัสสารเคมีที่เปียกหรือขณะที่ผิวหนังชื้น

ผลต่อดวงตา มีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้การมองเห็นไม่ชัดเจน ตาแดง เจ็บปวด และทำให้เนื้อเยื่อไหม้อย่างรุนแรง

อาการเรื้อรัง ไม่มีข้อมูล

การปฐมพยาบาลเบื้องต้น

- เมื่อผิวหนังสัมผัสกับสารเคมีให้เช็ดออกและล้างทันทีด้วยน้ำสะอาดปริมาณมาก ๆ เป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที รวมทั้งถอดเครื่องนุ่งห่มและรองเท้าที่เปื้อนสารเคมีออกแล้วไปพบแพทย์โดยเร็ว การนำเครื่องนุ่งห่มที่เปื้อนสารเคมีมาใช้อีกต้องซักล้างให้สะอาดก่อน
- เมื่อสารเคมีเข้าตาให้ล้างด้วยน้ำสะอาดปริมาณมาก ๆ นาน 15 นาที พร้อมทั้งยกเปลือกตาบนและล่างเป็นระยะ และส่งแพทย์

อัคคีภัย สามารถลุกไหม้ได้ในอากาศเมื่อสัมผัสกับเปลวไฟ และลุกไหม้อย่างต่อเนื่องถ้าในบรรยากาศมีก๊าซไฮโดรเจน เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำหรือไอน้ำจะเกิดเป็นไฮโดรเจนที่ติดไฟได้

สมบัติทางกายภาพและเคมี

ลักษณะภายนอก	เป็นของผลึกขนาดเล็กในรูปผงหรือก้อน มีสีขาวหรือขาวออกเทา
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
การละลายน้ำ	ทำปฏิกิริยากับน้ำร้อน และละลายได้ในน้ำ
ความถ่วงจำเพาะ	1.074
จุดเดือด	400 องศาเซลเซียส (752 องศาฟาเรนไฮต์) โดยเกิดการสลายตัวอย่างช้าๆ
จุดหลอมเหลว	36 องศาเซลเซียส (97 องศาฟาเรนไฮต์)
ความหนาแน่นของไอ	1 : 3 (อากาศ = 1)
ความเสถียรและการเกิดปฏิกิริยา	ทำปฏิกิริยากับน้ำ แต่มีความเสถียรในอากาศแห้งจนถึงอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และสลายตัวอย่างช้าๆ ในอากาศชื้นหรือสุญญากาศที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส
ผลิตผลอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว	ได้แก่ โซเดียมออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร

ปริมาณสารเคมี		SBH = 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก		$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก			
พีเอชหลังเติม $Na_2S_2O_5$			4.74	โออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ (mV)			+ 285
นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU	นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU
0	5.85	- 139.5	208.633	45	5.70	- 91.6	-
1	5.92	- 146.7	-	50	5.71	- 82.7	15.033
2	5.86	- 156.5	-	55	5.69	- 76.2	-
3	5.86	- 160.8	-	60	5.71	- 64.3	15.230
4	5.89	- 173.8	-	หยุดกวนเร็ว			
5	5.88	- 180.7	23.049	65	5.70	- 59.6	-
6	5.81	- 185.9	-	70	5.74	- 54.8	15.269
7	5.86	- 206.5	-	75	5.74	- 48.1	-
8	5.84	- 212.3	-	80	5.74	- 42.5	15.412
9	5.83	- 205.4	-	85	5.73	- 37.0	-
10	5.82	- 201.7	9.278	90	5.72	- 33.4	15.535
15	5.81	- 194.9	-	95	5.72	- 30.7	-
20	5.81	- 171.2	7.320	100	5.71	- 26.3	15.711
25	5.79	- 167.5	-	105	5.70	- 21.6	-
30	5.77	- 147.3	6.487	110	5.70	- 17.8	15.886
35	5.75	- 128.5	-	115	5.68	- 13.1	-
40	5.69	- 101.6	5.855	120	5.67	- 9.5	16.585

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสม**ของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร**

ปริมาณสารเคมี		SBH = 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก		$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก			
พีเอชหลังเติม $Na_2S_2O_5$			4.52	โออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ (mV)			+ 258
นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU	นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU
0	5.81	- 158.7	290.787	45	5.64	- 176.3	-
1	5.82	- 163.4	-	50	5.61	- 167.1	15.852
2	5.82	- 173.6	-	55	5.58	- 160.8	-
3	5.80	- 174.0	-	60	5.54	- 152.2	16.668
4	5.80	- 183.3	-	หยุดกวนเร็ว			
5	5.80	- 194.5	12.577	65	5.54	- 145.4	-
6	5.84	- 203.8	-	70	5.56	- 139.7	17.884
7	5.84	- 216.0	-	75	5.54	- 134.2	-
8	5.78	- 217.4	-	80	5.55	- 129.6	18.943
9	5.77	- 218.4	-	85	5.56	- 123.9	-
10	5.77	- 223.1	7.459	90	5.56	- 117.4	19.816
15	5.76	- 256.6	-	95	5.55	- 111.3	-
20	5.76	- 245.6	4.542	100	5.54	- 105.8	19.689
25	5.76	- 234.6	-	105	5.54	- 100.7	-
30	5.73	- 220.7	4.956	110	5.55	- 96.1	19.480
35	5.68	- 207.5	-	115	5.55	- 90.8	-
40	5.66	- 188.7	5.570	120	5.54	- 87.2	20.853

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร

ปริมาณสารเคมี		SBH = 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก		$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก			
พีเอชหลังเติม $Na_2S_2O_5$			4.54	โออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ (mV)			+ 251
นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU	นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU
0	5.75	- 159.0	384.613	45	5.61	- 233.7	-
1	5.75	- 170.6	-	50	5.57	- 224.8	10.998
2	5.76	- 175.3	-	55	5.55	- 212.5	-
3	5.72	- 182.8	-	60	5.53	- 203.0	11.510
4	5.74	- 194.5	-	หยุดกวนเร็ว			
5	5.74	- 196.2	11.048	65	5.54	- 192.1	-
6	5.77	- 198.8	-	70	5.52	- 182.6	12.818
7	5.77	- 217.3	-	75	5.52	- 171.9	-
8	5.75	- 219.7	-	80	5.52	- 162.2	14.663
9	5.72	- 222.5	-	85	5.53	- 153.5	-
10	5.72	- 236.5	8.724	90	5.51	- 145.0	17.468
15	5.70	- 263.3	-	95	5.49	- 136.8	-
20	5.69	- 287.4	6.001	100	5.48	- 130.0	20.189
25	5.69	- 274.8	-	105	5.47	- 122.5	-
30	5.68	- 264.9	6.425	110	5.47	- 114.1	23.985
35	5.64	- 254.5	-	115	5.46	- 106.3	-
40	5.63	- 244.1	6.648	120	5.47	- 97.9	27.585

ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสม**ของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร**

ปริมาณสารเคมี		SBH = 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก		$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก			
พีเอชหลังเติม $Na_2S_2O_5$			4.43	โออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ (mV)			+ 246
นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU	นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU
0	5.93	- 174.4	619.502	45	5.78	- 298.8	-
1	5.98	- 181.9	-	50	5.79	- 289.3	11.514
2	5.98	- 190.1	-	55	5.76	- 281.7	-
3	5.96	- 205.4	-	60	5.74	- 272.2	11.667
4	6.00	- 211.7	-	หยุดกวนเร็ว			
5	5.99	- 222.9	9.566	65	5.64	- 263.7	-
6	5.97	- 231.8	-	70	5.67	- 250.8	11.881
7	5.96	- 242.6	-	75	5.69	- 236.9	-
8	5.95	- 250.9	-	80	5.70	- 221.3	12.391
9	5.96	- 273.2	-	85	5.71	- 202.4	-
10	5.95	- 286.7	8.984	90	5.70	- 185.8	14.221
15	5.93	- 293.4	-	95	5.70	- 172.9	-
20	5.91	- 307.3	8.799	100	5.69	- 160.0	20.717
25	5.90	- 320.2	-	105	5.69	- 152.5	-
30	5.89	- 335.8	9.056	110	5.68	- 141.2	27.365
35	5.86	- 318.0	-	115	5.69	- 128.1	-
40	5.82	- 310.4	9.113	120	5.69	- 114.2	36.057

ตารางที่ ค.5 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร

ปริมาณสารเคมี		SBH = 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก		$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก			
พีเอชหลังเติม $Na_2S_2O_5$			4.48	โออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ (mV)			+ 233
นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU	นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU
0	6.01	- 190.4	793.142	45	5.94	- 296.8	-
1	6.09	- 193.2	-	50	5.93	- 289.0	13.491
2	6.09	- 210.0	-	55	5.91	- 281.2	-
3	6.10	- 212.3	-	60	5.87	- 273.1	14.274
4	6.10	- 220.7	-	หยุดกวนเร็ว			
5	6.11	- 231.1	10.483	65	5.79	- 264.9	-
6	6.13	- 236.3	-	70	5.80	- 256.6	15.079
7	6.10	- 239.8	-	75	5.81	- 248.6	-
8	6.10	- 253.6	-	80	5.81	- 240.3	15.861
9	6.09	- 279.2	-	85	5.80	- 232.5	-
10	6.07	- 291.2	10.829	90	5.79	- 223.5	17.428
15	6.06	- 302.6	-	95	5.78	- 212.2	-
20	6.06	- 313.8	11.175	100	5.76	- 200.4	19.664
25	6.04	- 328.7	-	105	5.75	- 187.5	-
30	6.03	- 334.9	11.991	110	5.75	- 173.4	23.072
35	6.01	- 326.1	-	115	5.74	- 157.8	-
40	5.97	- 317.8	12.807	120	5.72	- 139.4	31.634

ตารางที่ ค.6 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร

ปริมาณสารเคมี		SBH = 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก		$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก			
พีเอชหลังเติม $Na_2S_2O_5$			4.49	โออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ (mV)			+ 40
นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU	นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU
0	6.05	- 240	130.250	45	5.23	- 108.1	-
1	5.21	- 335	-	50	5.23	- 103.3	53.997
2	5.52	- 320	-	55	5.24	- 99.7	-
3	5.53	- 295	-	60	5.24	- 95.1	54.115
4	5.53	- 275.8	-	หยุดกวนเร็ว			
5	5.51	- 262.3	60.179	65	5.23	- 83.5	-
6	5.52	- 250	-	70	5.29	- 76.7	54.236
7	5.48	- 248.6	-	75	5.28	- 67.4	-
8	5.43	- 233.2	-	80	5.28	- 60.6	54.358
9	5.39	- 227.4	-	85	5.27	- 50.7	-
10	5.34	- 219.1	52.287	90	5.26	- 41.2	54.136
15	5.30	- 210.5	-	95	5.26	- 33.1	-
20	5.27	- 203.8	53.104	100	5.25	- 23.8	54.365
25	5.25	- 178.1	-	105	5.24	- 12.4	-
30	5.23	- 163.0	53.823	110	5.23	- 4.0	54.393
35	5.26	- 146.2	-	115	5.22	+ 15.7	-
40	5.23	- 124.3	53.895	120	5.21	+ 28.1	54.476

ตารางที่ ค.7 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร

ปริมาณสารเคมี		SBH = 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก		$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก			
พีเอชหลังเติม $Na_2S_2O_5$			4.32	โออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ (mV)			+ 50
นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU	นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU
0	4.86	- 293	144.372	45	5.38	- 107.4	-
1	5.68	- 368.2	-	50	5.38	- 104.1	56.348
2	5.69	- 345.9	-	55	5.39	- 100.8	-
3	5.67	- 325.8	-	60	5.39	- 97.7	56.264
4	5.65	- 319	-	หยุดกวนเร็ว			
5	5.63	- 271.6	63.950	65	5.41	- 91.4	-
6	5.63	- 268.0	-	70	5.39	- 77.5	56.230
7	5.61	- 253.7	-	75	5.41	- 64.2	-
8	5.56	- 240.2	-	80	5.40	- 60.3	56.131
9	5.50	- 234.0	-	85	5.40	- 55.7	-
10	5.45	- 224.8	59.257	90	5.38	- 53.5	56.112
15	5.42	- 216.3	-	95	5.38	- 44.8	-
20	5.39	- 202.4	57.936	100	5.37	- 33.3	56.083
25	5.37	- 166.3	-	105	5.36	- 23.8	-
30	5.35	- 155.0	56.894	110	5.36	- 17.1	56.025
35	5.40	- 141.0	-	115	5.35	- 9.4	-
40	5.38	- 120.2	56.404	120	5.37	- 1.1	56.004

ตารางที่ ค.8 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร

ปริมาณสารเคมี		SBH = 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก		$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก			
พีเอชหลังเติม $Na_2S_2O_5$			4.06	โออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ (mV)			+ 60
นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU	นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU
0	4.28	- 290	192.688	45	5.35	- 108.7	-
1	5.69	- 375.6	-	50	5.35	- 101.4	15.574
2	5.69	- 350.1	-	55	5.34	- 95.2	-
3	5.67	- 330.1	-	60	5.34	- 88.9	15.510
4	5.65	- 342	-	หยุดกวนเร็ว			
5	5.63	- 307.6	28.256	65	5.37	- 80.1	-
6	5.62	- 293.4	-	70	5.35	- 74.4	15.482
7	5.59	- 289.0	-	75	5.36	- 65.7	-
8	5.54	- 274.1	-	80	5.36	- 59.6	15.300
9	5.50	- 261.3	-	85	5.34	- 51.3	-
10	5.45	- 253.7	16.898	90	5.34	- 46.8	15.127
15	5.42	- 244.3	-	95	5.33	- 42.7	-
20	5.38	- 235.7	16.542	100	5.32	- 36.5	14.942
25	5.35	- 197.9	-	105	5.32	- 30.1	-
30	5.36	- 164.1	16.216	110	5.31	- 22.3	14.755
35	5.37	- 141.7	-	115	5.30	- 16.7	-
40	5.37	- 120.0	16.041	120	5.29	- 10.8	14.838

ตารางที่ ค.9 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร

ปริมาณสารเคมี		SBH = 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก		$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก			
พีเอชหลังเติม $Na_2S_2O_5$			3.42	โออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ (mV)			+ 61
นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU	นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU
0	5.1	- 300	259.758	45	5.44	- 111.7	-
1	5.83	- 380	-	50	5.43	- 104.8	18.516
2	5.84	- 376.2	-	55	5.43	- 98.3	-
3	5.83	- 410	-	60	5.42	- 91.1	18.472
4	5.80	- 389.9	-	หยุดกวนเร็ว			
5	5.75	- 364.3	19.095	65	5.41	- 85.2	-
6	5.77	- 357.9	-	70	5.38	- 73.6	18.388
7	5.60	- 342.0	-	75	5.38	- 66.2	-
8	5.58	- 334.8	-	80	5.39	- 60.5	18.246
9	5.56	- 321.9	-	85	5.41	- 54.3	-
10	5.54	- 315.3	18.979	90	5.43	- 46.7	18.282
15	5.53	- 300.4	-	95	5.42	- 39.2	-
20	5.51	- 288.1	18.911	100	5.41	- 34.1	18.104
25	5.49	- 265.4	-	105	5.41	- 29.7	-
30	5.47	- 227.3	18.842	110	5.40	- 24.0	18.064
35	5.46	- 195.7	-	115	5.40	- 20.9	-
40	5.45	- 171.0	18.644	120	5.39	- 18.4	18.081

ตารางที่ ค.10 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร

ปริมาณสารเคมี		SBH = 3 เท่าของสตอยชิโอเมตริก		$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก			
พีเอชหลังเติม $Na_2S_2O_5$			3.31	โออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ (mV)			+ 58
นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU	นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU
0	4.68	- 370	350.545	45	5.56	- 244.8	-
1	5.93	- 392.3	-	50	5.55	- 232.2	23.084
2	5.84	- 376.2	-	55	5.54	- 224.5	-
3	5.92	- 417	-	60	5.51	- 210.7	24.307
4	5.90	- 402	-	หยุดกวนเร็ว			
5	5.88	- 395.0	22.713	65	5.48	- 195.5	-
6	5.87	- 388.8	-	70	5.49	- 180.4	24.105
7	5.85	- 374.2	-	75	5.51	- 170.2	-
8	5.80	- 368.1	-	80	5.51	- 161.8	24.400
9	5.76	- 358.4	-	85	5.48	- 152.5	-
10	5.71	- 351.2	22.288	90	5.47	- 144.3	24.433
15	5.67	- 345.0	-	95	5.47	- 138.6	-
20	5.63	- 339.1	22.265	100	5.48	- 130.7	24.564
25	5.62	- 318.7	-	105	5.47	- 122.1	-
30	5.64	- 303.4	22.204	110	5.46	- 111.0	24.597
35	5.61	- 265.4	-	115	5.45	- 100.8	-
40	5.59	- 255.4	22.768	120	5.44	- 89.4	24.631

ตารางที่ ค.11 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร

ปริมาณสารเคมี		SBH = 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก		$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก			
พีเอชหลังเติม $Na_2S_2O_5$			4.43	โออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ (mV)			+ 291.8
นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU	นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU
0	5.04	- 142.6	128.010	45	4.70	- 70.0	-
1	5.05	- 165.2	-	50	4.66	- 66.5	7.128
2	5.09	-160.0	-	55	4.66	- 62.3	-
3	5.06	- 151.3	-	60	4.65	- 59.8	4.700
4	5.05	- 144.8	-	หยุดกวนเร็ว			
5	4.92	- 139.6	47.199	65	4.63	- 54.8	-
6	4.90	- 132.0	-	70	4.62	- 50.3	4.553
7	4.88	- 130.2	-	75	4.62	- 46.1	-
8	4.86	- 129.7	-	80	4.61	- 42.9	3.979
9	4.86	- 121.8	-	85	4.60	- 39.4	-
10	4.85	- 119.1	24.576	90	4.60	- 36.2	3.406
15	4.83	- 110.5	-	95	4.59	- 31.7	-
20	4.81	- 106.0	19.914	100	4.58	- 27.5	6.713
25	4.80	- 103.9	-	105	4.57	- 22.3	-
30	4.78	- 93.2	15.834	110	4.57	- 17.9	8.385
35	4.76	- 80.5	-	115	4.58	- 13.5	-
40	4.73	- 74.1	11.540	120	4.57	- 9.3	9.467

ตารางที่ ค.12 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร

ปริมาณสารเคมี		SBH = 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก		$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก			
พีเอชหลังเติม $Na_2S_2O_5$			4.34	โออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ (mV)			+ 267.0
นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU	นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU
0	5.54	- 150.3	152.402	45	5.13	- 89.1	-
1	5.54	- 183.4	-	50	5.07	- 80.3	7.014
2	5.61	- 205.0	-	55	5.00	- 79.1	-
3	5.49	- 220.4	-	60	4.93	- 77.2	3.171
4	5.46	- 248.3	-	หยุดกวนเร็ว			
5	5.43	- 262.1	59.993	65	4.93	- 72.6	-
6	5.40	- 239.7	-	70	4.92	- 65.5	3.628
7	5.36	- 211.4	-	75	4.91	- 59.7	-
8	5.31	- 203.5	-	80	4.90	- 53.8	4.045
9	5.29	- 193.1	-	85	4.89	- 50.0	-
10	5.26	- 167.6	32.168	90	4.87	- 42.3	4.732
15	5.24	- 132.4	-	95	4.87	- 35.8	-
20	5.22	- 114.9	18.506	100	4.86	- 30.4	5.318
25	5.21	- 112.0	-	105	4.85	- 25.6	-
30	5.21	- 106.4	13.473	110	4.84	- 18.5	6.635
35	5.18	- 100.4	-	115	4.83	- 13.4	-
40	5.17	- 95.0	9.066	120	4.83	- 7.8	10.603

ตารางที่ ค.13 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร

ปริมาณสารเคมี		SBH = 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก		$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก			
พีเอชหลังเติม $Na_2S_2O_5$			3.61	โออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ (mV)			+ 264.4
นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU	นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU
0	5.59	- 172.0	193.486	45	4.96	- 81.5	-
1	5.58	- 199.2	-	50	4.91	- 78.8	7.126
2	5.66	- 213.9	-	55	4.88	- 77.4	-
3	5.54	- 220.1	-	60	4.82	- 76.0	3.498
4	5.51	- 235.4	-	หยุดกวนเร็ว			
5	5.48	- 216.7	69.309	65	4.80	- 75.9	-
6	5.46	- 214.5	-	70	4.79	- 70.3	3.958
7	5.43	- 195.4	-	75	4.80	- 66.4	-
8	5.40	- 188.7	-	80	4.79	- 61.1	4.135
9	5.36	- 179.3	-	85	4.78	- 56.9	-
10	5.33	- 171.0	40.664	90	4.78	- 53.2	6.007
15	5.25	- 169.4	-	95	4.77	- 46.4	-
20	5.17	- 164.2	21.801	100	4.76	- 41.7	8.441
25	5.15	- 120.6	-	105	4.76	- 37.9	-
30	5.14	- 108.4	16.336	110	4.75	- 33.2	12.958
35	5.10	- 100.7	-	115	4.75	- 28.4	-
40	5.10	- 94.3	8.755	120	4.74	- 22.9	12.595

ตารางที่ ค.14 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร

ปริมาณสารเคมี		SBH = 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก		$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก			
พีเอชหลังเติม $Na_2S_2O_5$			4.51	โออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ (mV)			+ 239.7
นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU	นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU
0	5.76	- 214.4	289.606	45	5.20	- 198.0	-
1	5.78	- 225.8	-	50	5.13	- 193.7	6.429
2	5.81	- 240.4	-	55	5.08	- 188.5	-
3	5.71	- 253.7	-	60	5.01	- 181.2	3.700
4	5.72	- 261..0	-	หยุดกวนเร็ว			
5	5.68	- 273.8	71.955	65	4.99	- 177.9	-
6	5.64	- 280.4	-	70	4.96	- 172.4	4.221
7	5.59	- 292.0	-	75	4.96	- 166.1	-
8	5.54	- 300.5	-	80	4.94	- 159.6	5.046
9	5.47	- 309.9	-	85	4.94	- 153.7	-
10	5.42	- 296.7	44.215	90	4.93	- 147.1	5.881
15	5.38	- 280.6	-	95	4.92	- 140.3	-
20	5.35	- 259.7	18.869	100	4.92	- 134.4	6.470
25	5.33	- 228.6	-	105	4.91	- 128.5	-
30	5.32	- 219.7	13.710	110	4.90	- 122.3	20.878
35	5.2.9	- 208.9	-	115	4.90	- 115.7	-
40	5.27	- 200.4	10.538	120	4.90	- 109.4	20.275

ตารางที่ ค.15 ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม /ลิตร

ปริมาณสารเคมี	SBH = 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก
พีเอชหลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.54	โออาร์พีหลังเติม $Na_2S_2O_5$ (mV) + 239.8

นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU	นาทีที่	pH	ORP (mV)	ค่าสี SU
0	5.86	- 241.4	424.097	45	5.28	- 314.8	-
1	5.93	- 255.1	-	50	5.25	- 313.0	9.347
2	5.93	- 259.2	-	55	5.21	- 310.0	-
3	5.83	- 268.0	-	60	5.17	- 306.9	4.916
4	5.79	- 277.3	-	หยุดกวนเร็ว			
5	5.70	- 285.1	69.310	65	5.13	- 299.1	-
6	5.65	- 291.8	-	70	5.11	- 296.6	5.244
7	5.58	- 308.4	-	75	5.09	- 292.6	-
8	5.52	- 319.2	-	80	5.09	- 286.4	5.718
9	5.47	- 328.5	-	85	5.07	- 280.3	-
10	5.43	- 338.0	43.683	90	5.07	- 273.7	6.042
15	5.39	- 359.0	-	95	5.08	- 267.5	-
20	5.37	- 323.4	18.642	100	5.07	- 261.3	6.598
25	5.36	- 322.0	-	105	5.06	- 255.0	-
30	5.34	- 320.5	14.881	110	5.05	- 248.6	12.024
35	5.33	- 319.7	-	115	5.05	- 242.4	-
40	5.30	- 318.2	12.518	120	5.03	- 236.2	18.462

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.

ผลการทดลองหาค่าพีเอชและปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4

โออาร์พี (mV)	+ 246.4											
นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	3.7	3.7	3.7	267.2	267.2	267.2	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	3.94	4.28	4.30	-62.1	-80.4	-102.7	208.633	208.633	208.633	3748.6502	3748.6502	3748.6502
5	3.87	4.25	4.28	-36.1	-42.5	-44.5	196.152	191.805	181.947	2224.874	2173.999	2145.758
10	3.87	4.24	4.27	-20.9	-23.0	-35.4	-	-	-	-	-	-
15	3.85	4.24	4.26	-14.7	-17.5	-34.0	-	-	-	-	-	-
20	3.85	4.23	4.25	-9.0	-9.9	-28.3	194.908	189.754	180.720	2191.372	2105.906	2124.981
25	3.84	4.23	4.24	-1.1	-1.4	-20.2	-	-	-	-	-	-
30	3.83	4.22	4.24	10.8	11.0	-14.1	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
40	3.83	4.22	4.24	16.4	15.8	-8.7	193.970	189.682	179.897	2149.073	2104.334	2103.196
50	3.83	4.22	4.25	21.7	20.6	1.2	-	-	-	-	-	-
60	3.82	4.21	4.24	28.5	25.3	11.3	193.154	189.545	179.850	2142.843	2104.860	2090.917
80	3.82	4.20	4.23	34.3	29.1	18.9	193.516	189.909	179.528	2134.621	2105.726	2073.037
100	3.82	4.20	4.23	40.4	32.5	25.4	193.534	189.895	179.173	2133.809	2103.983	2057.519
120	3.82	4.20	4.22	47.8	36.0	32.1	193.643	190.515	179.669	2130.619	2107.237	2062.844

ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.63)

โออาร์พี (mV)	+ 227.4											
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก											
นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	5.16	5.16	5.16	196.8	196.8	196.8	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.62	6.70	7.10	-87.6	-151.4	-201.3	208.633	208.633	208.633	3748.6502	3748.6502	3748.6502
5	5.57	6.05	6.69	22.7	-14.4	-224.7	197.522	196.621	188.953	2223.977	2233.070	2197.947
10	5.55	6.04	6.68	25.0	8.3	-231.5	-	-	-	-	-	-
15	5.55	6.03	6.67	34.3	24.6	-214.1	-	-	-	-	-	-
20	5.54	6.04	6.67	39.0	28.6	-199.6	197.649	195.355	189.159	2224.458	2224.796	2195.014
25	5.55	6.04	6.65	43.8	24.2	-184.2	-	-	-	-	-	-
30	5.55	6.04	6.63	31.9	20.6	-167.7	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
40	5.54	6.05	6.63	29.8	15.4	-148.3	198.027	195.861	188.955	2223.700	2224.467	2196.423
50	5.53	6.06	6.62	27.4	10.1	-121.9	-	-	-	-	-	-
60	5.51	6.07	6.62	22.5	6.2	-110.4	197.841	196.674	189.037	2220.415	2224.132	2194.659
80	5.50	6.05	6.61	19.3	5.7	-97.6	196.335	196.704	188.822	2204.738	2167.162	2193.590
100	5.49	6.03	6.60	16.7	7.3	-80.3	196.072	196.984	188.473	2179.641	2165.982	2181.762
120	5.48	6.03	6.58	13.9	8.8	-59.0	195.020	196.686	188.756	2154.045	2163.514	2170.883

ตารางที่ ง.3 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10

โออาร์พี (mV)	+ 206.2
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	8.60	8.60	8.60	194.0	194.0	194.0	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	6.25	6.35	6.41	-150.2	-162.9	-214.5	208.633	208.633	208.633	3748.6502	3748.6502	3748.6502
5	6.30	6.33	6.39	-50.7	-181.4	-236.8	174.518	175.295	172.858	2098.826	2134.098	2088.506
10	6.28	6.31	6.38	-31.4	-157.1	-242.1	-	-	-	-	-	-
15	6.25	6.28	6.36	-20.9	-126.2	-260.7	-	-	-	-	-	-
20	6.23	6.25	6.35	-15.1	-113.7	-238.0	177.420	174.281	171.600	2113.399	2116.295	2065.955
25	6.23	6.25	6.35	-12.3	-107.5	-217.5	-	-	-	-	-	-
30	6.22	6.25	6.34	-10.8	-94.8	-201.0	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
40	6.23	6.26	6.35	-7.6	-76.1	-182.9	176.467	173.323	169.576	2135.073	2101.468	2032.913
50	6.24	6.26	6.35	-4.3	-59.3	-161.4	-	-	-	-	-	-
60	6.23	6.25	6.31	2.8	-44.8	-140.8	176.012	172.773	168.805	2085.293	2096.443	2009.344
80	6.22	6.24	6.33	10.1	-26.7	-126.3	175.575	172.554	168.579	2077.881	2094.242	2004.19
100	6.21	6.22	6.32	18.7	-13.2	-103.7	175.352	172.663	168.619	2066.493	2092.904	2000.053
120	6.20	6.20	6.30	24.6	-1.1	-89.6	175.139	172.598	168.622	2056.666	2090.814	1998.297

ตารางที่ ง.4 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4

โออาร์พี (mV)	+ 318.3
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	3.70	3.70	3.70	214.1	214.1	214.1	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	4.39	4.74	5.21	-132.8	-161.4	-180.5	290.787	290.787	290.787	5040.8333	5040.8333	5040.8333
5	4.38	4.73	5.19	-94.3	-128.0	-197.6	94.329	51.629	26.977	1827.728	251.0619	69.49298
10	4.38	4.72	5.18	-67.6	-100.6	-150.2	-	-	-	-	-	-
15	4.37	4.72	5.18	-34.2	-87.1	-127.4	-	-	-	-	-	-
20	4.36	4.71	5.17	-18.4	-70.3	-96.8	93.438	50.665	24.344	1806.573	642.0497	218.9689
25	4.35	4.70	5.16	6.7	-59.4	-71.2	-	-	-	-	-	-
30	4.35	4.69	5.16	28.0	-32.7	-49.7	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
40	4.34	4.70	5.15	35.5	-14.2	-30.5	95.189	56.245	28.907	1827.078	561.5258	368.6029
50	4.34	4.70	5.14	48.3	6.5	-19.8	-	-	-	-	-	-
60	4.33	4.69	5.13	56.7	20.8	-7.6	99.679	59.438	30.519	1818.120	649.7997	492.1001
80	4.33	4.67	5.13	66.4	28.4	3.1	103.056	54.359	39.900	1830.674	852.6199	655.1632
100	4.33	4.66	5.11	71.1	35.1	10.4	110.005	60.603	44.126	1820.934	1061.1758	897.8814
120	4.32	4.65	5.11	76.0	42.3	16.7	124.624	64.621	59.425	1913.471	1359.3932	1073.1126

ตารางที่ ง.5 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.54)

โออาร์พี (mV)	+ 267.0											
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก											
นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	5.12	5.12	5.12	181.9	181.9	181.9	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.83	7.92	8.16	-262.4	-298.2	-315.6	290.787	290.787	290.787	5040.8333	5040.8333	5040.8333
5	5.72	5.94	6.18	-182.3	-312.7	-323.4	47.514	23.051	12.443	658.1771	294.5338	187.6872
10	5.72	5.92	6.14	-158.4	-206.4	-339.1	-	-	-	-	-	-
15	5.72	5.91	6.12	-143.2	-179.7	-302.7	-	-	-	-	-	-
20	5.72	5.90	6.12	-129.6	-160.0	-266.9	59.006	23.050	12.894	889.5662	355.3099	236.433
25	5.72	5.89	6.11	-119.7	-147.1	-228.5	-	-	-	-	-	-
30	5.72	5.88	6.10	-104.3	-138.1	-212.2	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
40	5.72	5.90	6.11	-82.6	-122.4	-202.1	62.796	23.667	12.564	924.6702	482.1588	335.0172
50	5.71	5.89	6.10	-69.4	-107.6	-196.6	-	-	-	-	-	-
60	5.71	5.88	6.10	-43.1	-88.3	-180.0	67.644	37.841	23.869	1119.8464	646.7413	496.7746
80	5.70	5.87	6.09	-27.5	-71.4	-168.7	69.527	50.553	35.117	1207.5578	882.4681	657.3521
100	5.70	5.85	6.07	1.8	-57.2	-144.5	69.639	57.401	46.411	1414.1723	1166.8999	904.8772
120	5.69	5.84	6.06	19.4	-40.9	-128.6	70.148	68.362	58.759	1519.8426	1481.4263	1213.1764

ตารางที่ ง.6 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10

โออาร์พี (mV)	+ 195.4											
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก											
นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	8.04	8.04	8.04	206.2	206.2	206.2	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	6.40	6.45	6.52	-281.9	-304.6	-333.0	290.787	290.787	290.787	5040.8333	5040.8333	5040.8333
5	6.39	6.45	6.51	-297.3	-318.4	-350.7	30.785	15.064	15.532	673.5464	388.3727	228.0091
10	6.38	6.44	6.50	-263.8	-327.0	-371.4	-	-	-	-	-	-
15	6.37	6.43	6.49	-238.4	-300.8	-393.6	-	-	-	-	-	-
20	6.37	6.42	6.47	-216.1	-281.6	-366.0	48.800	39.815	37.758	894.3181	729.4382	636.8285
25	6.36	6.42	6.45	-188.7	-254.7	-338.1	-	-	-	-	-	-
30	6.35	6.41	6.44	-169.4	-212.1	-294.5	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
40	6.35	6.40	6.45	-144.3	-173.7	-270.2	48.737	48.825	47.908	801.0625	714.166	632.2438
50	6.35	6.40	6.45	-121.9	-160.4	-258.4	-	-	-	-	-	-
60	6.35	6.39	6.44	-103.0	-139.0	-234.6	48.669	48.853	48.125	900.1869	808.6631	728.5574
80	6.34	6.38	6.43	-88.4	-121.8	-217.0	48.942	49.014	48.347	1006.5736	913.4682	816.3867
100	6.35	6.37	6.42	-62.6	-97.7	-198.3	59.089	59.225	58.644	1111.8943	1026.2876	901.8126
120	6.34	6.36	6.42	-44.8	-80.4	-177.1	69.264	64.741	64.925	1515.3743	1431.1436	1323.2694

ตารางที่ ง.7 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4

โออาร์พี (mV)	+ 389.0
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	3.62	3.62	3.62	250.1	250.1	250.1	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	4.51	4.77	4.86	-65.4	-83.3	-119.0	384.613	384.613	384.613	6458.017	6458.017	6458.017
5	4.50	4.76	4.86	-52.8	-69.7	-105.3	107.393	12.528	5.972	1354.557	159.6388	79.88865
10	4.50	4.75	4.85	-33.1	-58.3	-91.4	-	-	-	-	-	-
15	4.49	4.75	4.83	-24.5	-47.1	-83.7	-	-	-	-	-	-
20	4.49	4.74	4.82	-15.2	-35.2	-76.2	107.318	7.310	4.184	1337.28	189.2968	113.0777
25	4.48	4.74	4.82	-3.7	-21.6	-65.0	-	-	-	-	-	-
30	4.47	4.73	4.81	8.9	-12.4	-54.1	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
40	4.47	4.74	4.81	10.4	4.7	-39.8	108.037	10.994	4.989	1342.625	343.3501	159.0131
50	4.46	4.74	4.80	18.3	15.1	-30.2	-	-	-	-	-	-
60	4.46	4.73	4.79	25.6	24.8	-19.6	108.210	23.037	6.326	1341.243	801.6796	217.9525
80	4.45	4.72	4.78	33.7	35.5	-10.7	107.565	24.061	5.726	1328.922	828.413	195.2738
100	4.46	4.71	4.78	48.2	50.4	0.3	108.059	25.372	4.409	1335.69	848.2314	147.9743
120	4.45	4.70	4.77	56.9	61.3	13.0	111.527	24.011	5.998	1341.482	839.7379	209.2222

ตารางที่ ง.8 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.49)

โออาร์พี (mV)	+ 320.5
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	5.13	5.13	5.13	238.1	238.1	238.1	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.97	6.04	6.11	-80.6	-109.7	-120.4	384.613	384.613	384.613	6458.017	6458.017	6458.017
5	5.96	6.04	6.11	-67.3	-118.6	-147.2	86.119	12.589	5.071	1002.424	127.6411	86.85153
10	5.95	6.03	6.11	-42.1	-132.4	-164.0	-	-	-	-	-	-
15	5.95	6.03	6.10	-17.8	-149.2	-188.3	-	-	-	-	-	-
20	5.95	6.03	6.10	8.9	-126.7	-170.1	85.632	7.788	4.835	983.807	211.7076	133.759
25	5.94	6.01	6.10	17.4	-113.6	-158.6	-	-	-	-	-	-
30	5.93	6.01	6.10	25.8	-107.1	-149.4	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
40	5.93	6.02	6.09	32.1	-92.8	-133.7	86.311	19.469	5.648	989.299	656.8522	179.7361
50	5.92	6.01	6.08	34.6	-81.7	-125.4	-	-	-	-	-	-
60	5.91	6.00	6.07	35.2	-70.3	-118.3	86.631	26.577	6.172	993.332	870.6677	204.0627
80	5.90	5.99	6.07	38.8	-28.7	-107.1	86.866	26.606	8.818	994.996	869.3847	308.1783
100	5.89	5.99	6.06	40.0	-44.9	-98.8	86.856	25.533	6.147	994.112	859.6278	203.3719
120	5.89	5.99	6.05	43.7	-36.2	-81.7	86.385	27.246	8.475	983.486	878.4751	311.6933

ตารางที่ ง.9 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10

โออาร์พี (mV)	+189.6
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	7.95	7.95	7.95	207.6	207.6	207.6	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	6.49	6.50	6.52	-88.5	-118.4	-144.6	384.613	384.613	384.613	6458.017	6458.017	6458.017
5	6.48	6.50	6.52	-81.4	-121.6	-197.6	11.885	6.533	4.961	121.3183	100.2873	102.5839
10	6.49	6.49	6.52	-76.6	-130.3	-216.9	-	-	-	-	-	-
15	6.49	6.49	6.53	-62.8	-142.5	-227.4	-	-	-	-	-	-
20	6.48	6.48	6.52	-51.9	-120.2	-241.8	19..098	6.546	4.781	616.7294	219.1506	145.0390
25	6.48	6.48	6.52	-43.2	-104.7	-229.3	-	-	-	-	-	-
30	6.48	6.48	6.52	-34.4	-92.4	-195.6	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
40	6.47	6.49	6.51	-22.7	-83.2	-184.7	20.829	7.186	5.407	688.5615	240.329	178.8767
50	6.46	6.48	6.50	-13.6	-74.6	-168.2	-	-	-	-	-	-
60	6.45	6.48	6.50	-2.8	-66.3	-147.1	24.586	10.752	5.252	831.1044	362.0122	174.2035
80	6.45	6.47	6.49	10.3	-58.1	-132.4	25.613	6.632	4.907	870.4681	226.6493	165.4487
100	6.44	6.46	6.49	28.1	-47.9	-119.8	26.484	8.105	5.438	898.9038	285.4583	186.5753
120	6.44	6.46	6.48	44.0	-32.6	-107.5	25.186	17.090	6.481	882.6996	597.0211	225.7346

ตารางที่ ง.10 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4

โออาร์พี (mV)	+ 421.8
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.32	4.32	4.32	325.4	325.4	325.4	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.14	5.88	6.01	-32.4	-67.3	-111.8	619.502	619.502	619.502	10586.0069	10586.0069	10586.0069
5	5.11	5.80	5.94	-47.6	-88.1	-132.5	83.839	8.238	6.889	907.8286	107.9332	142.40670
10	5.10	5.78	5.92	-56.2	-96.4	-143.7	-	-	-	-	-	-
15	5.08	5.78	5.91	-48.6	-110.2	-161.2	-	-	-	-	-	-
20	5.07	5.77	5.90	-39.9	-102.7	-183.9	39.139	9.581	6.925	1188.597	312.9345	211.1240
25	5.07	5.76	5.90	-31.4	-96.4	-200.6	-	-	-	-	-	-
30	5.06	5.75	5.88	-25.7	-90.8	-218.8	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
40	5.07	5.76	5.89	-20.3	-81.7	-198.3	45.597	7.088	6.171	1397.639	218.6124	183.3018
50	5.06	5.76	5.89	-14.6	-73.9	-191.6	-	-	-	-	-	-
60	5.05	5.75	5.88	-10.8	-68.2	-184.2	45.884	7.890	7.097	1405.587	252.3002	220.8148
80	5.04	5.74	5.87	-4.4	-60.1	-175.0	44.540	8.525	7.759	1376.809	276.0178	244.7097
100	5.03	5.73	5.86	4.8	-51.7	-169.4	46.346	11.351	7.708	1408.667	333.3717	244.0447
120	5.03	5.71	5.85	11.2	-44.2	-158.1	42.267	15.995	6.304	1413.494	471.8299	191.4158

ตารางที่ ง.11 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (6.64)

โออาร์พี (mV)	+ 314.4
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	5.52	5.52	5.52	263.9	263.9	263.9	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.96	6.06	6.20	-51.7	-89.2	-140.6	619.502	619.502	619.502	10586.0069	10586.0069	10586.0069
5	5.91	6.01	6.16	-68.3	-97.5	-192.8	63.255	8.731	8.624	651.5204	167.4264	149.3403
10	5.90	6.01	6.15	-74.8	-110.3	-243.2	-	-	-	-	-	-
15	5.88	6.00	6.14	-80.5	-121.6	-260.7	-	-	-	-	-	-
20	5.87	6.00	6.12	-67.2	-148.4	-281.4	41.318	8.557	8.096	1106.433	240.1265	216.1642
25	5.87	5.99	6.11	-59.7	-126.5	-307.1	-	-	-	-	-	-
30	5.86	5.98	6.11	-51.4	-110.3	-330.8	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
40	5.85	5.97	6.11	-44.6	-94.7	-260.1	47.353	7.972	7.648	1294.534	238.9264	224.3790
50	5.85	5.96	6.10	-38.1	-83.6	-241.5	-	-	-	-	-	-
60	5.84	5.94	6.10	-32.9	-74.1	-223.8	47.921	10.879	10.331	1325.294	362.4977	341.5783
80	5.84	5.94	6.09	-29.7	-68.4	-202.6	47.510	9.833	9.535	1320.155	322.3859	310.2855
100	5.83	5.93	6.08	-24.4	-61.0	-184.9	47.597	12.589	9.351	1332.536	410.7011	303.3121
120	5.82	5.93	6.08	-21.6	-54.3	-167.6	47.579	16.907	7.729	1334.22	514.7031	239.5022

ตารางที่ ง.12 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10

โออาร์พี (mV)	+ 193.9
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	8.89	8.89	8.89	194.3	194.3	194.3	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	6.21	6.28	6.39	-34.3	-61.7	-90.1	619.502	619.502	619.502	10586.0069	10586.0069	10586.0069
5	6.18	6.24	6.37	-144.9	-157.4	-183.5	30.482	10.544	8.705	366.4724	160.2445	137.58450
10	6.17	6.23	6.37	-139.1	-166.8	-222.1	-	-	-	-	-	-
15	6.17	6.22	6.37	-159.2	-173.5	-262.3	-	-	-	-	-	-
20	6.17	6.21	6.35	-146.3	-179.2	-297.5	20.929	8.519	7.189	637.277	234.2499	184.1583
25	6.17	6.20	6.32	-121.7	-188.1	-324.8	-	-	-	-	-	-
30	6.17	6.20	6.30	-110.5	-167.5	-347.6	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
40	6.18	6.21	6.31	-97.8	-158.7	-361.4	26.552	8.224	8.208	859.682	240.6878	215.0667
50	6.18	6.21	6.31	-89.6	-150.2	-350.7	-	-	-	-	-	-
60	6.17	6.20	6.30	-81.7	-143.6	-322.3	39.748	10.545	7.841	1276.294	337.3425	235.8571
80	6.17	6.19	6.29	-73.5	-127.8	-309.5	40.881	9.624	7.942	1304.461	314.7832	259.8172
100	6.16	6.18	6.28	-67.4	-119.4	-297.7	41.762	9.338	8.154	1359.272	302.6691	260.5384
120	6.15	6.18	6.27	-59.1	-111.2	-274.1	42.267	9.563	8.633	1374.134	312.3604	272.4630

ตารางที่ ง.13 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4

โออาร์พี (mV)	+ 376.1
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.22	4.22	4.22	325.4	325.4	325.4	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.10	5.68	5.97	-43.1	-72.4	-100.8	793.142	793.142	793.142	13456.727	13456.727	13456.727
5	5.08	5.65	5.95	-35.1	-63.8	-91.4	218.751	99.430	27.507	2049.078	976.8647	566.4799
10	5.07	5.64	5.93	-29.3	-57.4	-80.7	-	-	-	-	-	-
15	5.06	5.63	5.92	-21.8	-51.2	-74.2	-	-	-	-	-	-
20	5.05	5.61	5.91	-16.4	-45.9	-68.9	220.739	93.213	27.823	2046.292	1136.072	838.3192
25	5.04	5.61	5.90	-11.0	-39.7	-61.4	-	-	-	-	-	-
30	5.04	5.60	5.90	-4.8	-32.6	-55.1	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
40	5.03	5.60	5.88	2.0	-27.3	-49.7	220.618	85.283	12.705	2033.278	1008.56	313.7275
50	5.02	5.59	5.88	11.7	-22.1	-42.0	-	-	-	-	-	-
60	5.02	5.58	5.87	20.8	-18.4	-37.6	220.050	89.836	11.298	2024.672	1107.074	325.3114
80	5.01	5.57	5.87	31.9	-10.7	-31.1	219.404	90.660	11.326	2017.288	1118.734	333.3519
100	5.00	5.56	5.86	41.0	-2.7	-24.6	221.561	93.279	41.391	2026.17	1176.133	1332.875
120	5.00	5.56	5.85	51.2	12.3	-18.6	222.535	95.188	47.707	2026.34	1184.076	1393.944

ตารางที่ ง.14 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.53)

โออาร์พี (mV)	+ 251.2
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.79	4.79	4.79	251.8	251.8	251.8	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	6.02	6.13	6.25	-102.7	-154.1	-186.3	793.142	793.142	793.142	13456.727	13456.727	13456.727
5	6.00	6.10	6.22	-93.4	-194.3	-273.5	285.328	200.938	28.783	2534.056	1890.237	822.9619
10	5.99	6.08	6.19	-85.1	-182.6	-254.2	-	-	-	-	-	-
15	5.97	6.08	6.18	-77.6	-172.9	-230.2	-	-	-	-	-	-
20	5.96	6.07	6.17	-70.5	-161.3	-211.8	291.793	204.796	33.876	2532.749	1888.239	1054.123
25	5.95	6.05	6.15	-63.9	-138.6	-196.4	-	-	-	-	-	-
30	5.94	6.04	6.15	-54.7	-129.0	-187.7	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
40	5.94	6.04	6.14	-49.2	-120.4	-180.0	292.088	205.589	52.405	2528.313	1888.259	1592.641
50	5.93	6.03	6.12	-41.0	-111.6	-171.6	-	-	-	-	-	-
60	5.92	6.01	6.11	-36.2	-94.8	-164.2	292.249	206.031	50.685	2527.430	1888.982	1583.447
80	5.91	6.00	6.10	-31.5	-88.2	-155.8	292.307	206.210	51.011	2520.768	1887.052	1490.296
100	5.90	6.00	6.10	-27.1	-78.6	-148.3	289.089	204.173	50.864	2504.399	1871.554	1277.433
120	5.90	5.99	6.09	-24.3	-70.4	-139.7	292.507	204.738	50.988	2519.518	1874.55	1195.951

ตารางที่ ง.15 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10

โออาร์พี (mV)	+ 124.8
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	pH			ORP (mV)			ค่าสี SU			ค่าสี ADMI		
	ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH		
	3x	5x	7x	3x	5x	7x	3x	5x	7x	3x	5x	7x
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	6.35	6.35	6.35	180.2	180.2	180.2	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	6.11	6.28	6.41	-201.7	-231.3	-261.9	793.142	793.142	793.142	13456.727	13456.727	13456.727
5	6.02	6.14	6.27	-174.2	-203.6	-284.6	171.474	116.341	32.223	1639.8410	1137.406	630.0482
10	6.03	6.13	6.26	-115.5	-135.6	-272.7	-	-	-	-	-	-
15	6.01	6.11	6.27	-89.6	-110.4	-266.2	-	-	-	-	-	-
20	6.00	6.09	6.26	-80.1	-102.4	-251.4	175.573	108.245	57.418	1625.511	1178.47	1533.389
25	5.99	6.08	6.25	-72.5	-96.8	-239.6	-	-	-	-	-	-
30	5.98	6.08	6.24	-66.9	-90.3	-229.5	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
40	5.98	6.07	6.24	-60.2	-83.6	-220.2	175.741	108.569	60.500	1623.438	1189.491	1669.509
50	5.97	6.06	6.23	-52.7	-79.7	-211.8	-	-	-	-	-	-
60	5.95	6.05	6.21	-46.6	-72.4	-202.5	176.044	108.612	61.796	1625.412	1191.452	1686.945
80	5.95	6.05	6.20	-41.1	-66.8	-196.4	175.938	108.457	61.350	1628.744	1193.585	1691.388
100	5.94	6.04	6.20	-35.8	-59.1	-189.7	176.193	108.669	24.131	1626.368	1196.278	738.2331
120	5.94	6.03	6.19	-29.4	-51.9	-180.0	176.167	108.737	26.555	1625.014	1198.952	796.1803

ตารางที่ ง.16 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4

โออาร์พี (mV)	+194.7
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	pH			ORP (mV)			ค่าสี SU			ค่าสี ADMI		
	ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH		
	3x	5x	7x	3x	5x	7x	3x	5x	7x	3x	5x	7x
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	3.02	3.02	3.02	147.9	147.9	147.9	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	4.24	5.43	5.60	215.2	190.7	168.6	130.250	130.250	130.250	5675.7864	5675.7864	5675.7864
5	4.23	5.41	5.57	183.7	175.6	159.5	92.079	89.759	90.042	2462.706	2442.008	2219.162
10	4.22	5.39	5.55	151.0	138.5	120.6	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
15	4.21	5.39	5.54	109.6	91.4	83.1	-	-	-	-	-	-
20	4.21	5.38	5.54	110.4	96.7	85.2	92.166	89.559	90.325	2463.193	2444.748	2217.220
25	4.20	5.38	5.53	108.9	94.8	86.4	-	-	-	-	-	-
30	4.20	5.37	5.53	106.6	93.7	88.1	-	-	-	-	-	-
40	4.19	5.37	5.52	104.1	86.1	81.6	92.212	89.328	90.467	2473.208	2442.055	2215.277
50	4.19	5.37	5.52	90.9	75.2	72.0	-	-	-	-	-	-
60	4.18	5.37	5.51	69.4	58.3	51.2	92.952	89.929	91.032	2475.796	2449.629	2215.615
80	4.17	5.36	5.50	52.1	42.6	37.4	92.374	90.300	90.819	2476.592	2448.046	2217.616
100	4.17	5.36	5.49	33.8	28.4	20.2	92.598	90.051	90.612	2477.674	2450.936	2218.625
120	4.16	5.35	5.49	13.3	10.3	11.6	92.430	91.189	89.344	2480.531	2452.144	2216.418

ตารางที่ ง.17 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.55)

โออาร์พี (mV)	+ 162.0
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	5.15	5.05	5.05	150.9	150.9	150.9	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.88	5.98	6.29	-52.3	-67.1	-87.5	130.250	130.250	130.250	5675.7864	5675.7864	5675.7864
5	5.87	5.96	6.28	-70.4	-98.5	-120.2	91.183	88.354	87.890	2489.781	2474.202	2241.022
10	5.86	5.95	6.27	-59.7	-84.3	-108.3	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
15	5.86	5.95	6.26	-47.7	-77.6	-92.4	-	-	-	-	-	-
20	5.85	5.94	6.25	-33.1	-69.4	-85.2	89.414	88.098	59.410	2489.530	2353.213	2236.804
25	5.84	5.93	6.24	-25.9	-60.2	-77.9	-	-	-	-	-	-
30	5.83	5.93	6.24	-18.2	-55.0	-69.1	-	-	-	-	-	-
40	5.82	5.93	6.23	-10.4	-47.8	-61.7	89.398	88.449	60.333	2483.543	2372.912	2340.898
50	5.82	5.92	6.23	-2.6	-38.3	-52.0	-	-	-	-	-	-
60	5.81	5.92	6.22	8.1	-31.9	-45.8	89.291	88.515	60.575	2487.280	2424.771	2240.214
80	5.80	5.91	6.21	14.3	-23.1	-37.4	89.418	87.996	60.684	2489.289	2482.037	2147.441
100	5.79	5.90	6.21	21.4	-19.4	-30.1	89.592	87.854	59.615	2486.379	2477.553	2246.706
120	5.79	5.90	6.20	28.9	-9.2	-23.6	89.360	88.012	59.865	2487.978	2477.184	2140.963

ตารางที่ ง.18 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10

โออาร์พี (mV)	+ 46.6
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	6.65	6.65	6.65	131.5	131.5	131.5	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	6.30	6.38	6.47	-56.5	-77.4	-90.2	130.250	130.250	130.250	5675.7864	5675.7864	5675.7864
5	6.28	6.36	6.46	-70.3	-93.7	-102.8	87.244	85.740	32.952	2488.116	2505.256	1667.109
10	6.27	6.36	6.44	-61.2	-84.6	-97.9	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
15	6.27	6.35	6.44	-53.1	-77.9	-91.4	-	-	-	-	-	-
20	6.26	6.35	6.43	-46.5	-69.1	-83.2	86.579	85.624	32.158	2494.521	2498.379	1668.275
25	6.25	6.34	6.42	-39.3	-60.3	-74.1	-	-	-	-	-	-
30	6.25	6.33	6.41	-31.1	-52.4	-66.8	-	-	-	-	-	-
40	6.24	6.32	6.41	-24.6	-44.5	-59.0	86.776	85.524	32.161	2491.124	2503.203	1650.359
50	6.23	6.32	6.40	-18.3	-37.8	-51.3	-	-	-	-	-	-
60	6.22	6.31	6.39	-11.0	-29.1	-43.0	85.954	86.003	32.287	2487.060	2494.091	1651.476
80	6.21	6.30	6.38	-2.4	-19.7	-36.1	86.493	86.325	32.317	2494.206	2511.584	1664.586
100	6.21	6.30	6.37	5.3	-10.5	-28.4	85.972	85.755	32.751	2495.734	2498.439	1662.090
120	6.20	6.30	6.37	11.7	-1.1	-19.9	86.201	85.883	33.074	2547.726	2488.416	1649.203

ตารางที่ ง.19 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4

โออาร์พี (mV)	+ 154.6											
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก											
นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.99	4.99	4.99	161.0	161.0	161.0	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.92	6.05	6.21	-65.4	-90.7	-121.7	144.372	144.372	144.372	5123.8984	5123.8984	5123.8984
5	5.91	6.04	6.20	-43.8	-122.6	-148.3	91.183	123.216	93.030	2200.634	2474.202	2241.022
10	5.90	6.03	6.19	-29.6	-74.7	-169.2	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
15	5.89	6.04	6.19	-18.3	-65.9	-151.4	-	-	-	-	-	-
20	5.89	6.03	6.18	-9.2	-55.4	-138.0	89.414	123.027	93.522	2205.272	2353.213	2236.804
25	5.88	6.02	6.17	1.4	-46.7	-127.5	-	-	-	-	-	-
30	5.87	6.02	6.16	11.7	-38.1	-119.3	-	-	-	-	-	-
40	5.86	6.01	6.16	20.9	-27.4	-102.8	89.398	120.888	93.836	2207.977	2472.912	2340.898
50	5.85	6.01	6.15	31.2	-16.3	-90.4	-	-	-	-	-	-
60	5.85	6.00	6.14	39.8	-8.2	-79.3	89.291	120.938	94.527	2205.535	2474.771	2240.214
80	5.84	6.00	6.13	47.4	4.1	-68.2	89.418	121.513	94.391	2206.146	2482.037	2147.441
100	5.83	5.99	6.13	56.5	13.7	-47.1	89.592	121.253	94.432	2207.328	2477.553	2246.706
120	5.83	5.98	6.12	66.2	24.0	-33.8	89.360	120.913	94.008	2205.338	2477.184	2140.963

ตารางที่ ง.20 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.16)

โออาร์พี (mV)	+ 177.3											
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก											
นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.99	4.99	4.99	161.0	161.0	161.0	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.92	6.05	6.21	-65.4	-90.7	-121.7	144.372	144.372	144.372	5123.8984	5123.8984	5123.8984
5	5.91	6.04	6.20	-43.8	-122.6	-148.3	91.183	123.216	93.030	2200.634	2474.202	2241.022
10	5.90	6.03	6.19	-29.6	-74.7	-169.2	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
15	5.89	6.04	6.19	-18.3	-65.9	-151.4	-	-	-	-	-	-
20	5.89	6.03	6.18	-9.2	-55.4	-138.0	89.414	123.027	93.522	2205.272	2353.213	2236.804
25	5.88	6.02	6.17	1.4	-46.7	-127.5	-	-	-	-	-	-
30	5.87	6.02	6.16	11.7	-38.1	-119.3	-	-	-	-	-	-
40	5.86	6.01	6.16	20.9	-27.4	-102.8	89.398	120.888	93.836	2207.977	2472.912	2340.898
50	5.85	6.01	6.15	31.2	-16.3	-90.4	-	-	-	-	-	-
60	5.85	6.00	6.14	39.8	-8.2	-79.3	89.291	120.938	94.527	2205.535	2474.771	2240.214
80	5.84	6.00	6.13	47.4	4.1	-68.2	89.418	121.513	94.391	2206.146	2482.037	2147.441
100	5.83	5.99	6.13	56.5	13.7	-47.1	89.592	121.253	94.432	2207.328	2477.553	2246.706
120	5.83	5.98	6.12	66.2	24.0	-33.8	89.360	120.913	94.008	2205.338	2477.184	2140.963

ตารางที่ ง.21 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10

โออาร์พี (mV)	+ 53.9											
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก											
นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	6.31	6.31	6.31	138.4	138.4	138.4	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	6.34	6.48	6.59	-136.7	-157.4	-199.1	144.372	144.372	144.372	5123.8984	5123.8984	5123.8984
5	6.33	6.46	6.57	-164.6	-181.3	-225.8	87.244	120.197	60.025	2200.237	2505.256	1667.109
10	6.32	6.45	6.56	-142.8	-169.7	-194.2	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
15	6.30	6.45	6.55	-120.7	-158.2	-181.4	-	-	-	-	-	-
20	6.29	6.44	6.53	-109.1	-140.3	-167.0	86.579	119.894	60.111	2209.267	2498.379	1668.275
25	6.30	6.43	6.53	-105.0	-132.5	-148.7	-	-	-	-	-	-
30	6.29	6.42	6.53	-99.8	-120.1	-133.6	-	-	-	-	-	-
40	6.29	6.42	6.52	-90.2	-111.8	-124.8	86.776	120.660	59.554	2206.930	2503.203	1650.359
50	6.28	6.41	6.51	-81.5	-100.7	-114.6	-	-	-	-	-	-
60	6.27	6.40	6.50	-72.3	-87.6	-108.3	85.954	119.920	59.510	2203.731	2494.091	1651.476
80	6.27	6.40	6.50	-61.0	-77.3	-96.5	86.493	119.995	60.122	2208.332	2511.584	1664.586
100	6.26	6.39	6.49	-53.1	-69.2	-88.4	85.972	120.539	60.056	2210.353	2498.439	1662.090
120	6.25	6.38	6.48	-42.7	-58.1	-78.3	86.201	119.474	59.497	2205.076	2488.416	1649.203

ตารางที่ ง.22 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4

โออาร์พี (mV)	+ 171.9											
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก											
นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.05	4.05	4.05	173.3	173.3	173.3	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	4.32	5.53	5.97	150.4	143.2	130.2	192.688	192.688	192.688	7188.9871	7188.9871	7188.9871
5	4.33	5.52	5.94	145.6	138.9	127.3	146.511	97.364	8.861	2611.671	2269.382	154.6463
10	4.32	5.49	5.92	135.2	126.5	120.3	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
15	4.33	5.49	5.94	115.4	104.0	86.6	-	-	-	-	-	-
20	4.34	5.49	5.94	99.4	86.4	72.1	148.891	97.326	6.424	2599.727	2268.805	151.3035
25	4.35	5.50	5.94	85.9	70.3	59.2	-	-	-	-	-	-
30	4.36	5.50	5.93	67.2	57.9	43.8	-	-	-	-	-	-
40	4.37	5.50	5.93	56.1	41.4	30.6	149.312	97.127	5.861	2600.029	2262.647	169.3411
50	4.36	5.47	5.91	50.8	35.2	24.7	-	-	-	-	-	-
60	4.34	5.45	5.89	46.2	29.8	20.8	148.911	97.233	7.375	2598.184	2266.789	203.0524
80	4.32	5.44	5.86	41.9	24.1	16.2	149.573	99.546	7.513	2601.213	2268.495	199.4681
100	4.31	5.43	5.84	37.3	20.5	12.3	150.774	101.722	7.895	2595.548	2274.501	195.3409
120	4.30	5.43	5.81	31.7	15.2	9.9	150.309	98.548	6.841	2592.217	2258.005	189.744

ตารางที่ ง.23 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.49)

โออาร์พี (mV)	+ 157.6
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.55	4.55	4.55	137.7	137.7	137.7	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.33	5.67	5.95	-23.1	-62.7	-90.4	192.688	192.688	192.688	7188.9871	7188.9871	7188.9871
5	5.32	5.65	5.94	-14.8	-31.4	-52.2	154.528	101.544	17.386	2627.702	2281.413	314.017
10	5.31	5.65	5.92	-3.6	-19.8	-35.2	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
15	5.31	5.64	5.92	7.1	-7.3	-21.6	-	-	-	-	-	-
20	5.30	5.63	5.91	16.3	3.5	-11.9	154.537	100.794	11.700	2629.431	2272.565	275.5541
25	5.29	5.63	5.90	24.0	14.7	3.8	-	-	-	-	-	-
30	5.28	5.62	5.90	31.2	23.6	10.4	-	-	-	-	-	-
40	5.28	5.61	5.90	39.9	35.0	18.7	154.164	100.228	11.735	2631.109	2264.969	279.3145
50	5.27	5.61	5.89	47.6	42.1	25.8	-	-	-	-	-	-
60	5.27	5.60	5.88	58.2	53.6	33.2	154.030	101.135	11.927	2633.448	2275.855	275.5875
80	5.26	5.59	5.88	69.6	64.0	44.6	153.941	101.119	12.063	2632.611	2278.771	274.2281
100	5.25	5.58	5.87	81.8	77.8	58.3	154.183	101.014	12.118	2633.817	2274.097	273.1816
120	5.25	5.58	5.86	92.4	86.3	67.5	153.907	100.744	11.625	2635.214	2274.044	282.1378

ตารางที่ ง.24 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10

โออาร์พี (mV)	+ 73.8
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	6.75	6.75	6.75	122.3	122.3	122.3	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	6.07	6.38	6.60	-39.3	-108.4	-167.5	192.688	192.688	192.688	7188.9871	7188.9871	7188.9871
5	5.93	6.37	6.27	-42.2	-120.7	-192.9	159.385	151.473	151.694	2651.191	2628.395	2633.617
10	5.92	6.36	6.26	-23.9	-111.5	-231.7	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
15	5.91	6.35	6.25	-19.8	-99.8	-210.4	-	-	-	-	-	-
20	5.90	6.34	6.25	-13.6	-90.6	-191.5	159.741	149.261	75.542	2653.169	2621.708	1632.506
25	5.90	6.34	6.24	-2.4	-79.1	-174.3	-	-	-	-	-	-
30	5.89	6.33	6.23	11.7	-68.4	-153.9	-	-	-	-	-	-
40	5.88	6.33	6.22	19.2	-56.3	-138.7	158.598	148.189	51.568	2647.882	2521.561	1131.665
50	5.87	6.32	6.22	27.1	-50.7	-114.9	-	-	-	-	-	-
60	5.87	6.31	6.21	36.8	-42.8	-103.4	158.774	148.194	45.653	2650.196	2520.338	930.137
80	5.86	6.30	6.20	44.2	-33.5	-90.8	158.201	146.372	38.427	2647.261	2577.573	827.468
100	5.85	6.29	6.20	52.6	-21.7	-79.7	158.923	142.534	27.508	2652.874	2517.945	726.381
120	5.85	6.28	6.20	63.0	-11.4	-68.2	158.746	139.791	18.382	2650.201	2420.142	624.229

ตารางที่ ง.25 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4

โออาร์พี (mV)	+ 127.8
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.22	4.22	4.22	143.6	143.6	143.6	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	3.88	5.82	5.93	53.4	-10.3	-60.4	259.758	259.758	259.758	9183.8685	9183.8685	9183.8685
5	3.84	5.79	5.88	112.2	8.0	-69.2	230.538	204.524	16.020	2790.929	2747.407	436.5585
10	3.83	5.79	5.89	104.5	6.4	-59.8	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
15	3.83	5.79	5.89	81.7	5.2	-51.4	-	-	-	-	-	-
20	3.83	5.78	5.88	62.4	4.3	-41.8	230.265	204.994	14.227	2790.526	2747.982	465.3578
25	3.83	5.78	5.87	39.2	3.1	-32.5	-	-	-	-	-	-
30	3.83	5.78	5.87	20.7	2.7	-25.8	-	-	-	-	-	-
40	3.82	5.77	5.86	14.6	-4.2	-20.7	229.120	202.548	14.451	2787.501	2742.640	468.4081
50	3.82	5.76	5.86	11.8	-8.5	-16.9	-	-	-	-	-	-
60	3.81	5.75	5.85	9.7	-12.7	-11.3	230.326	204.987	13.983	2791.008	2748.344	466.6991
80	3.80	5.74	5.84	8.5	-15.9	-5.1	230.418	204.661	14.849	2786.371	2739.485	488.3962
100	3.79	5.74	5.84	6.2	-16.7	-1.7	230.395	205.146	15.173	2781.442	2735.116	487.5374
120	3.77	5.73	5.83	3.4	-18.3	4.0	230.581	204.548	15.832	2781.915	2732.758	491.9244

ตารางที่ ง.26 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.17)

โออาร์พี (mV)	+ 143.8
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.91	4.91	4.91	144.4	144.4	144.4	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.69	5.94	6.24	-67.9	-102.5	-138.1	259.758	259.758	259.758	9183.8685	9183.8685	9183.8685
5	5.68	5.92	6.21	-59.2	-94.1	-116.8	228.195	201.320	18.085	2785.142	2739.158	475.6030
10	5.67	5.91	6.21	-50.5	-87.6	-109.2	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
15	5.66	5.90	6.21	-41.4	-78.4	-98.7	-	-	-	-	-	-
20	5.65	5.89	6.20	-32.7	-67.2	-89.3	230.790	198.930	14.856	2789.613	2732.009	492.1129
25	5.65	5.89	6.20	-23.2	-53.3	-77.4	-	-	-	-	-	-
30	5.64	5.88	6.20	-11.9	-42.9	-68.2	-	-	-	-	-	-
40	5.63	5.88	6.19	-2.4	-29.4	-59.1	229.953	201.308	14.596	2791.481	2737.319	481.7138
50	5.62	5.87	6.19	15.1	-18.6	-50.7	-	-	-	-	-	-
60	5.61	5.86	6.19	28.6	-7.3	-41.0	227.126	199.152	15.641	2811.039	2737.230	527.4654
80	5.61	5.85	6.18	37.4	3.8	-32.8	230.762	201.514	16.656	2790.652	2735.262	511.3656
100	5.60	5.85	6.18	45.9	16.1	-22.4	232.150	203.178	18.124	2790.498	2738.204	528.841
120	5.60	5.84	6.17	54.0	24.7	-14.3	235.819	204.981	19.746	2791.384	2740.576	530.4630

ตารางที่ ง.27 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10

โออาร์พี (mV)	+ 50.1
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	pH			ORP (mV)			ค่าสี SU			ค่าสี ADMI		
	ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH		
	3x	5x	7x	3x	5x	7x	3x	5x	7x	3x	5x	7x
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	6.08	6.08	6.08	139.1	139.1	139.1	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	6.03	6.24	6.39	-87.4	-111.2	-190.7	259.758	259.758	259.758	9183.8685	9183.8685	9183.8685
5	6.03	6.24	6.39	-62.1	-123.5	-201.2	234.885	81.177	17.489	2796.260	1781.985	559.9342
10	6.03	6.23	6.38	-47.8	-98.4	-153.2	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
15	6.03	6.23	6.37	-33.6	-87.7	-120.8	-	-	-	-	-	-
20	6.03	6.22	6.36	-24.2	-79.2	-99.4	233.397	79.755	17.523	2792.958	1751.940	555.1655
25	6.03	6.22	6.36	-16.7	-70.6	-87.1	-	-	-	-	-	-
30	6.03	6.22	6.37	-7.3	-61.1	-79.5	-	-	-	-	-	-
40	6.02	6.21	6.36	4.0	-48.3	-68.4	235.069	82.760	17.303	2795.509	1806.284	563.6833
50	6.02	6.21	6.36	13.9	-37.2	-57.1	-	-	-	-	-	-
60	6.01	6.20	6.36	22.1	-28.9	-48.2	233.596	79.674	17.970	2789.806	1747.555	589.0248
80	6.01	6.20	6.35	31.8	-19.0	-38.0	234.609	83.136	18.126	2792.830	1798.426	572.6492
100	6.01	6.19	6.35	41.2	-9.5	-29.6	234.609	83.892	20.188	2791.636	1800.127	601.3758
120	6.01	6.19	6.34	50.7	1.4	-19.1	235.814	84.147	22.690	2791.842	1802.593	604.1814

ตารางที่ ง.28 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4

โออาร์พี (mV)	+ 120.1
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	pH			ORP (mV)			ค่าสี SU			ค่าสี ADMI		
	ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH		
	3x	5x	7x	3x	5x	7x	3x	5x	7x	3x	5x	7x
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.67	4.67	4.67	115.3	115.3	115.3	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.11	5.65	5.98	85.6	58.8	8.5	350.545	350.545	350.545	11517.7655	11517.7655	11517.7655
5	5.00	5.56	5.87	83.6	8.4	-11.7	282.048	59.859	20.514	2884.295	1299.940	648.4100
10	5.00	5.55	5.86	77.2	3.5	-19.5	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
15	5.00	5.56	5.87	69.8	16.2	-28.1	-	-	-	-	-	-
20	4.99	5.55	5.88	58.4	23.7	-59.3	283.224	60.251	19.751	2884.863	1310.796	656.2365
25	4.99	5.54	5.88	48.0	31.4	-82.9	-	-	-	-	-	-
30	4.98	5.54	5.87	40.5	38.1	-90.4	-	-	-	-	-	-
40	4.98	5.54	5.87	48.4	41.3	-81.5	282.406	60.685	20.254	2884.452	1311.912	676.2568
50	4.97	5.53	5.86	55.3	44.0	-76.2	-	-	-	-	-	-
60	4.96	5.52	5.86	65.5	49.7	-73.8	283.302	61.155	19.943	2883.055	1316.434	669.6172
80	4.97	5.52	5.85	74.2	53.5	-66.4	281.343	60.610	20.455	2883.763	1300.226	678.6478
100	4.98	5.51	5.86	81.1	57.8	-60.1	283.461	60.927	22.347	2883.174	1302.417	681.3780
120	4.98	5.52	5.86	89.0	62.0	-56.7	284.395	61.684	23.951	2885.619	1311.895	683.4460

ตารางที่ ง.29 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.7)

โออาร์พี (mV)	+ 185.2
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.85	4.85	4.85	143.3	143.3	143.3	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.61	5.94	6.22	-81.6	-184.6	-371.2	350.545	350.545	350.545	11517.7655	11517.7655	11517.7655
5	5.56	5.92	6.21	-70.4	-168.3	-342.1	273.568	45.068	20.084	2865.730	841.8068	620.8745
10	5.53	5.92	6.20	-39.4	-149.7	-311.0	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
15	5.52	5.91	6.20	-28.9	-136.1	-302.0	-	-	-	-	-	-
20	5.52	5.90	6.20	-11.7	-127.4	-284.9	276.228	34.008	19.281	2866.126	582.0923	639.3146
25	5.52	5.89	6.20	-3.1	-119.8	-271.4	-	-	-	-	-	-
30	5.52	5.89	6.20	4.2	-108.6	-259.7	-	-	-	-	-	-
40	5.52	5.89	6.19	9.4	-99.2	-247.1	277.114	33.697	19.014	2864.513	577.1138	659.1112
50	5.51	5.88	6.19	13.6	-90.1	-238.6	-	-	-	-	-	-
60	5.51	5.88	6.19	18.2	-81.5	-229.0	275.438	34.140	19.873	2867.521	586.4505	626.5490
80	5.51	5.87	6.18	23.1	-73.7	-219.4	273.722	35.922	18.996	2865.301	619.0521	650.733
100	5.51	5.86	6.18	28.9	-62.4	-208.6	274.400	34.966	19.039	2866.140	596.2739	654.1574
120	5.50	5.86	6.18	33.5	-54.8	-197.3	275.331	34.000	19.496	2868.969	577.4856	670.5769

ตารางที่ ง.30 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10

โออาร์พี (mV)	+ 19.4
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 10 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	5.99	5.99	5.99	127.9	127.9	127.9	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.79	6.17	6.48	-199.5	-241.3	-410.5	350.545	350.545	350.545	11517.7655	11517.7655	11517.7655
5	5.78	6.15	6.46	-152.4	-262.8	-433.7	283.496	27.857	20.836	2889.513	479.1272	686.1464
10	5.78	6.15	6.45	-104.3	-239.1	-419.2	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
15	5.80	6.14	6.45	-57.0	-221.4	-398.5	-	-	-	-	-	-
20	5.79	6.13	6.44	-36.8	-208.6	-379.3	282.520	24.552	20.677	2888.235	461.7585	666.9160
25	5.79	6.13	6.44	-28.3	-187.5	-367.2	-	-	-	-	-	-
30	5.79	6.12	6.43	-19.7	-168.2	-355.1	-	-	-	-	-	-
40	5.79	6.11	6.43	-8.6	-151.4	-340.8	282.448	24.755	19.803	2884.540	461.5677	673.0754
50	5.78	6.11	6.42	-1.2	-123.6	-326.3	-	-	-	-	-	-
60	5.78	6.10	6.42	10.3	-112.9	-311.5	281.541	24.648	20.723	2882.461	460.9715	678.2643
80	5.78	6.09	6.41	19.8	-101.7	-298.4	282.354	25.518	21.101	2886.968	462.870	669.7917
100	5.77	6.09	6.41	29.9	-87.4	-280.9	281.375	25.208	19.787	2883.444	465.944	685.5139
120	5.77	6.09	6.41	40.7	-78.6	-267.2	282.706	26.051	21.771	2887.174	466.252	708.8639

ตารางที่ ง.31 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4

โออาร์พี (mV)	+ 148.7
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.29	4.29	4.29	159.6	159.6	159.6	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	4.29	5.43	5.68	156.5	154.6	148.2	128.010	128.010	128.010	2423.0100	2423.0100	2423.0100
5	4.30	5.41	5.71	149.7	147.5	144.6	74.536	38.887	11.062	1170.578	752.413	176.1539
10	4.30	5.40	5.69	140.3	132.4	132.8	-	-	-	-	-	-
15	4.29	5.39	5.67	134.7	124.8	121.3	-	-	-	-	-	-
20	4.32	5.40	5.54	132.5	117.1	118.2	76.073	38.567	8.598	1188.844	752.5811	216.666
25	4.35	5.39	5.48	127.8	118.5	115.7	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
30	4.34	5.38	5.39	142.9	112.7	108.4	-	-	-	-	-	-
40	4.36	5.37	5.39	151.4	106.0	100.3	76.081	38.805	8.687	1194.607	755.2212	219.5886
50	4.37	5.37	5.37	163.7	125.2	97.7	-	-	-	-	-	-
60	4.38	5.36	5.36	175.8	139.7	118.9	74.207	38.936	8.641	1186.118	757.0247	219.6103
80	4.38	5.35	5.35	181.6	148.4	145.9	76.116	39.163	8.230	1197.332	759.0610	218.1889
100	4.39	5.35	5.35	190.3	167.2	151.8	76.176	39.123	8.982	1199.337	758.4659	206.1145
120	4.39	5.34	5.34	203.4	185.0	160.4	78.954	39.461	9.824	1280.486	760.3242	211.5471

ตารางที่ ง.32 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.27)

โออาร์พี (mV)	+ 79.2
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.89	4.89	4.89	98.7	98.7	98.7	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.84	5.46	6.01	-61.5	-105.3	-177.9	128.010	128.010	128.010	2423.0100	2423.0100	2423.0100
5	5.76	5.81	5.88	-37.6	-129.2	-261.4	49.041	41.139	39.540	975.0449	796.6275	723.9028
10	5.48	5.57	5.76	-30.1	-114.5	-210.6	-	-	-	-	-	-
15	5.21	5.32	5.70	-25.3	-98.7	-197.3	-	-	-	-	-	-
20	5.10	5.19	5.43	-22.4	-85.4	-188.9	47.429	35.467	32.374	976.4062	647.0805	514.2306
25	5.09	5.17	5.40	-19.7	-72.6	-171.4	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
30	5.08	5.16	5.38	-15.1	-65.1	-156.3	-	-	-	-	-	-
40	5.07	5.15	5.37	-10.9	-52.8	-141.8	47.218	36.350	26.735	973.8177	647.1061	372.0255
50	5.06	5.14	5.36	-5.1	-45.3	-127.4	-	-	-	-	-	-
60	5.06	5.13	5.36	4.4	-38.7	-118.3	47.179	36.533	24.500	966.7492	648.3894	318.8884
80	5.05	5.13	5.35	10.8	-31.0	-107.5	47.167	36.589	23.957	965.6150	646.2103	305.8282
100	5.04	5.12	5.34	17.5	-24.9	-98.4	47.040	36.409	23.960	965.5879	641.106	306.0069
120	5.04	5.12	5.32	23.0	-18.5	-89.2	46.856	36.341	22.142	963.4641	639.8534	304.7263

ตารางที่ ง.33 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 17 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10

โออาร์พี (mV)	- 20.9
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	6.43	6.43	6.43	63.2	63.2	63.2	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	6.43	6.64	6.89	-97.4	-164.8	-259.2	128.010	128.010	128.010	2423.0100	2423.0100	2423.0100
5	6.41	6.62	6.86	-89.2	-196.4	-302.9	43.409	42.459	31.690	861.3498	813.3528	579.4099
10	6.39	6.60	6.85	-81.7	-224.7	-319.4	-	-	-	-	-	-
15	6.31	6.59	6.84	-72.3	-198.5	-267.1	-	-	-	-	-	-
20	6.24	6.58	6.83	-64.5	-179.2	-228.5	35.383	39.455	24.258	648.2449	734.8784	355.9453
25	6.22	6.57	6.82	-57.8	-161.8	-211.3	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
30	6.23	6.58	6.83	-49.0	-148.3	-208.4	-	-	-	-	-	-
40	6.23	6.58	6.83	-41.2	-137.6	-191.6	35.283	39.382	19.169	644.4521	734.3904	232.7607
50	6.22	6.57	6.83	-35.4	-123.4	-176.3	-	-	-	-	-	-
60	6.22	6.57	6.82	-29.7	-115.8	-168.1	35.304	39.507	15.637	645.3588	732.9496	179.6755
80	6.22	6.56	6.81	-20.6	-106.3	-157.4	35.427	39.452	12.687	643.3508	729.2228	171.5314
100	6.21	6.55	6.79	-13.1	-99.1	-146.8	36.015	37.164	10.960	640.2284	725.1473	162.3554
120	6.21	6.55	6.78	-8.6	-90.4	-137.2	37.496	35.598	7.412	637.1896	720.6964	158.6947

ตารางที่ ง.34 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4

โออาร์พี (mV)	+ 136.6
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.24	4.24	4.24	158.7	158.7	158.7	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.42	6.09	6.20	144.2	109.0	90.1	152.402	152.402	152.402	2869.0473	2869.0473	2869.0473
5	5.36	5.96	6.02	138.1	105.8	83.8	4.959	7.269	10.925	184.0133	199.9344	220.3585
10	5.35	5.90	6.00	136.5	96.6	83.5	-	-	-	-	-	-
15	5.34	5.69	5.99	122.6	81.9	79.2	-	-	-	-	-	-
20	5.33	5.63	5.99	116.2	80.5	77.3	13.561	7.579	6.211	229.0088	216.4215	271.296
25	5.32	5.60	5.97	107.7	73.3	65.2	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
30	5.35	5.49	5.93	82.3	73.5	60.8	-	-	-	-	-	-
40	5.35	5.48	5.88	76.8	74.6	77.2	13.425	7.475	6.886	228.9751	216.9853	280.453
50	5.35	5.48	5.83	82.8	74.2	80.4	-	-	-	-	-	-
60	5.34	5.48	5.80	83.4	72.9	82.6	17.378	7.381	7.954	228.5347	217.3431	289.6647
80	5.34	5.48	5.78	82.7	66.6	90.3	22.297	7.269	8.216	228.2216	218.1569	292.2172
100	5.33	5.48	5.77	80.1	59.9	95.7	28.322	7.204	9.472	227.7972	219.5864	296.1528
120	5.33	5.48	5.75	79.3	63.1	101.6	32.305	7.135	10.106	787.5792	221.1988	307.3898

ตารางที่ ง.35 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.55)

โออาร์พี (mV)	+ 78.3
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	pH			ORP (mV)			ค่าสี SU			ค่าสี ADMI		
	ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH		
	3x	5x	7x	3x	5x	7x	3x	5x	7x	3x	5x	7x
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.95	4.95	4.95	118.4	118.4	118.4	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.69	5.91	6.12	13.2	-10.6	-20.4	152.402	152.402	152.402	2869.0473	2869.0473	2869.0473
5	5.70	5.90	6.11	19.0	-4.4	-35.7	53.332	47.230	42.944	1043.293	878.7557	741.0431
10	5.69	5.89	6.11	21.4	3.1	-8.7	-	-	-	-	-	-
15	5.68	5.89	6.10	27.1	8.2	-7.0	-	-	-	-	-	-
20	5.67	5.88	6.09	31.9	13.7	-5.9	46.530	34.035	28.884	871.2568	534.2889	386.2445
25	5.66	5.88	6.09	36.7	20.4	-5.1	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
30	5.66	5.89	6.10	40.4	25.2	-4.4	-	-	-	-	-	-
40	5.65	5.89	6.10	43.8	31.7	-1.8	46.114	31.212	25.267	874.3695	458.2416	367.4191
50	5.65	5.88	6.09	48.2	37.8	4.6	-	-	-	-	-	-
60	5.64	5.87	6.09	52.6	44.6	8.8	45.826	30.479	21.197	861.2276	411.3084	359.5324
80	5.63	5.87	6.08	56.7	50.1	12.3	46.247	28.642	18.179	856.2583	396.5481	347.4176
100	5.63	5.86	6.08	60.1	56.3	15.1	46.623	26.583	14.928	848.9871	369.5177	341.2751
120	5.63	5.86	6.08	65.3	60.7	18.6	47.707	25.931	11.009	855.2818	319.2065	333.1208

ตารางที่ ง.36 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 17 1 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10

โออาร์พี (mV)	- 39.5
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	pH			ORP (mV)			ค่าสี SU			ค่าสี ADMI		
	ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH			ปริมาณ SBH		
	3x	5x	7x	3x	5x	7x	3x	5x	7x	3x	5x	7x
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	6.38	6.38	6.38	56.7	56.7	56.7	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	6.16	6.38	6.72	-81.7	-94.6	-105.8	152.402	152.402	152.402	2869.0473	2869.0473	2869.0473
5	6.15	6.38	6.70	-89.4	-129.4	-138.6	66.682	60.614	45.878	1211.967	1062.799	794.776
10	6.15	6.36	6.69	-77.6	-137.6	-145.3	-	-	-	-	-	-
15	6.14	6.34	6.68	-68.3	-108.3	-160.8	-	-	-	-	-	-
20	6.13	6.33	6.67	-59.4	-77.1	-147.5	53.794	40.997	27.396	914.4914	602.116	362.2653
25	6.12	6.32	6.66	-49.1	-54.4	-139.2	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
30	6.12	6.33	6.67	-30.3	-47.6	-131.6	-	-	-	-	-	-
40	6.12	6.33	6.67	-22.8	-39.2	-123.2	53.042	30.952	19.411	885.0023	371.7449	230.8555
50	6.11	6.32	6.66	-14.6	-30.8	-116.7	-	-	-	-	-	-
60	6.11	6.31	6.65	-8.3	-22.7	-107.4	54.651	25.875	18.092	903.8119	299.4603	244.7573
80	6.10	6.31	6.64	-2.6	-15.3	-99.6	54.922	22.363	13.342	895.5591	290.9885	300.3338
100	6.10	6.30	6.63	6.1	-9.1	-91.8	55.039	19.746	9.347	878.2773	279.6413	280.2936
120	6.09	6.30	6.63	13.0	-1.4	-84.3	54.872	17.661	7.652	842.1748	268.3574	251.4428

ตารางที่ ง.37 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4

โออาร์พี (mV)	+ 165.7
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.31	4.31	4.31	150.5	150.5	150.5	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.67	5.78	6.06	85.0	112.7	73.0	193.486	193.486	193.486	3608.8810	3608.8810	3608.8810
5	5.59	5.70	6.04	100.9	97.0	88.4	14.982	3.804	1.280	215.541	91.24805	20.63055
10	5.58	5.68	6.02	107.9	91.3	53.4	-	-	-	-	-	-
15	5.56	5.64	5.92	89.4	72.1	48.1	-	-	-	-	-	-
20	5.55	5.60	5.89	83.5	50.5	42.5	13.554	3.725	1.281	204.5334	67.8781	29.70726
25	5.55	5.58	5.86	77.8	45.1	39.4	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
30	5.56	5.58	5.86	65	40.8	32.2	-	-	-	-	-	-
40	5.56	5.57	5.86	67	37.6	29.6	16.969	4.486	4.320	449.8425	341.1055	349.9117
50	5.55	5.57	5.84	61.4	33.8	25.3	-	-	-	-	-	-
60	5.55	5.56	5.83	58.1	30.1	20.8	21.821	7.748	10.701	543.0608	289.9401	413.2762
80	5.54	5.56	5.82	55.9	25.4	15.1	26.012	9.963	11.841	651.1824	350.2782	410.5763
100	5.54	5.55	5.80	50.2	21.7	11.6	30.568	11.193	12.234	739.5820	396.8146	408.9196
120	5.53	5.56	5.80	47.6	18.6	6.9	35.274	18.241	15.975	861.8547	402.8541	410.5527

ตารางที่ ง.38 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.94)

โออาร์พี (mV)	+ 52.4
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.95	4.95	4.95	103.0	103.0	103.0	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.51	5.77	5.94	13.5	-9.4	-31.2	193.486	193.486	193.486	3608.8810	3608.8810	3608.8810
5	5.50	5.76	5.94	15.7	13.8	-24.7	97.450	69.779	63.417	1757.908	1183.996	1095.862
10	5.50	5.76	5.94	18.2	18.4	-15.9	-	-	-	-	-	-
15	5.49	5.75	5.94	21.5	24.6	-4.8	-	-	-	-	-	-
20	5.48	5.75	5.94	24.8	28.3	2.1	96.408	46.238	47.127	1730.028	673.7952	632.3133
25	5.47	5.74	5.94	28.0	31.7	8.5	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
30	5.47	5.74	5.94	31.7	35.9	15.8	-	-	-	-	-	-
40	5.46	5.73	5.93	33.9	40.1	21.2	85.911	42.971	40.388	1693.254	595.501	487.8287
50	5.45	5.73	5.92	36.4	43.5	28.5	-	-	-	-	-	-
60	5.44	5.72	5.92	39.2	47.7	33.7	78.716	42.016	33.823	1428.652	574.4581	380.134
80	5.44	5.72	5.91	44.1	51.2	38.1	63.251	41.014	31.985	1305.476	424.8726	362.9542
100	5.43	5.71	5.91	46.5	54.9	40.3	65.625	39.872	30.741	1280.614	395.2163	318.1525
120	5.43	5.70	5.91	49.8	59.3	43.8	60.784	38.421	28.954	1027.952	318.843	306.7431

ตารางที่ ง.39 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10

โออาร์พี (mV)	- 38.4
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	6.06	6.06	6.06	69.8	69.8	69.8	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	6.19	6.26	6.37	-178.6	-208.4	-226.3	193.486	193.486	193.486	3608.8810	3608.8810	3608.8810
5	6.18	6.25	6.36	-116.6	-213.8	-231.8	71.118	67.655	33.355	1211.937	1283.857	672.9883
10	6.17	6.24	6.35	-104.3	-201.6	-220.9	-	-	-	-	-	-
15	6.16	6.24	6.34	-93.6	-189.7	-211.4	-	-	-	-	-	-
20	6.16	6.23	6.34	-60.4	-176.3	-202.8	50.626	24.422	13.033	750.6129	444.1493	213.5736
25	6.15	6.23	6.33	-38.7	-161.0	-190.6	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
30	6.16	6.23	6.34	-26.5	-143.8	-181.3	-	-	-	-	-	-
40	6.15	6.23	6.33	-13.7	-137.4	-159.2	46.341	21.146	7.975	641.8633	255.7457	93.06862
50	6.15	6.22	6.32	3.1	-128.6	-148.7	-	-	-	-	-	-
60	6.16	6.21	6.32	11.6	-118.1	-137.5	48.264	20.956	8.543	584.1526	286.4854	99.85431
80	6.16	6.21	6.31	18.4	-107.3	-129.0	50.174	22.174	8.936	512.8536	293.7453	122.84245
100	6.17	6.20	6.31	23.5	-98.4	-120.4	51.985	23.664	9.023	682.4529	310.5824	145.85152
120	6.17	6.20	6.31	29.0	-89.6	-111.6	52.172	24.826	9.451	738.7241	304.8513	168.36941

ตารางที่ ง.40 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4

โออาร์พี (mV)	+ 136.0
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.20	4.20	4.20	153.1	153.1	153.1	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.55	5.94	6.13	101.6	56.0	-61.7	289.606	289.606	289.606	5213.2397	5213.2397	5213.2397
5	5.52	5.90	6.10	81.2	44.9	-42.8	26.021	10.045	12.038	486.8161	186.3225	187.5373
10	5.51	5.88	6.08	68.1	35.4	-29.4	-	-	-	-	-	-
15	5.51	5.87	6.07	53.4	28.3	-19.7	-	-	-	-	-	-
20	5.50	5.87	6.07	51.7	25.0	-10.6	32.871	15.517	10.290	659.6449	521.6417	272.7704
25	5.51	5.88	6.08	49.4	23.7	-6.0	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
30	5.53	5.89	6.09	46.8	19.2	-3.4	-	-	-	-	-	-
40	5.54	5.89	6.09	43.1	15.5	-0.6	34.953	16.982	15.742	641.2841	589.2543	433.1796
50	5.53	5.88	6.08	40.4	12.1	1.8	-	-	-	-	-	-
60	5.53	5.88	6.08	36.7	9.8	4.3	36.150	20.404	19.841	662.4344	695.117	670.2916
80	5.53	5.87	6.08	33.9	6.4	7.7	36.014	18.541	20.369	658.1452	614.8541	662.8572
100	5.52	5.87	6.08	29.1	4.6	10.9	35.529	16.733	19.038	645.1575	589.766	651.8517
120	5.52	5.87	6.08	26.3	2.8	12.5	36.852	17.469	19.584	643.8463	541.4122	596.6542

ตารางที่ ง.41 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.54)

โออาร์พี (mV)	+ 113.2
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.79	4.79	4.79	122.5	122.5	122.5	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.75	5.96	6.16	-72.1	-111.7	-155.6	289.606	289.606	289.606	5213.2397	5213.2397	5213.2397
5	5.74	5.95	6.16	-64.3	-123.8	-168.4	108.761	68.199	48.521	1731.857	1223.156	865.6198
10	5.73	5.94	6.16	-58.7	-109.3	-154.4	-	-	-	-	-	-
15	5.73	5.94	6.15	-51.1	-98.4	-141.7	-	-	-	-	-	-
20	5.72	5.93	6.14	-44.6	-90.2	-126.1	90.288	54.939	30.338	1309.293	713.2887	417.0008
25	5.72	5.92	6.13	-38.4	-81.7	-110.4	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
30	5.73	5.93	6.14	-29.1	-72.9	-95.2	-	-	-	-	-	-
40	5.73	5.93	6.14	-20.7	-63.5	-81.7	83.366	31.819	14.737	1164.69	394.0237	214.9927
50	5.72	5.92	6.13	-12.4	-51.7	-72.1	-	-	-	-	-	-
60	5.71	5.91	6.12	-5.1	-42.1	-63.8	83.742	28.464	13.652	1159.871	512.8274	296.5472
80	5.71	5.90	6.12	2.8	-33.0	-52.7	84.530	26.705	12.497	1154.448	600.2898	312.8268
100	5.71	5.90	6.11	10.4	-24.8	-39.8	84.814	25.205	14.968	1140.912	702.5724	430.8443
120	5.71	5.89	6.11	16.7	-17.6	-30.6	85.649	23.986	15.825	1281.546	596.4721	511.2842

ตารางที่ ง.42 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10

โออาร์พี (mV)	+ 78.8
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	5.84	5.84	5.84	104.7	104.7	104.7	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.98	6.24	6.36	-106.8	-157.3	-193.4	289.606	289.606	289.606	5213.2397	5213.2397	5213.2397
5	5.96	6.20	6.30	-124.5	-169.8	-214.7	80.970	62.670	38.695	1367.295	1010.087	610.8959
10	5.96	6.19	6.30	-117.3	-158.2	-197.4	-	-	-	-	-	-
15	5.94	6.19	6.29	-96.6	-149.7	-192.0	-	-	-	-	-	-
20	5.92	6.18	6.27	-71.0	-138.4	-186.6	66.543	50.989	30.107	869.2585	571.7756	336.5126
25	5.91	6.18	6.26	-52.7	-127.6	-169.3	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
30	5.92	6.19	6.27	-38.4	-119.3	-157.8	-	-	-	-	-	-
40	5.92	6.19	6.27	-14.5	-106.5	-146.0	47.630	31.344	15.872	539.9321	479.8038	307.1594
50	5.91	6.18	6.28	-8.3	-93.8	-135.8	-	-	-	-	-	-
60	5.91	6.18	6.27	-2.4	-84.6	-129.4	42.854	29.541	14.014	521.5841	507.1522	312.5475
80	5.90	6.17	6.27	3.1	-73.7	-121.6	38.511	26.842	13.976	571.8452	594.8646	360.8542
100	5.90	6.17	6.26	7.7	-65.1	-114.8	35.058	24.464	13.015	565.7695	684.7501	402.2238
120	5.90	6.17	6.26	12.3	-54.7	-106.5	32.907	16.762	8.393	540.9228	464.8106	269.3628

ตารางที่ ง.43 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4

โออาร์พี (mV)	+ 83.4											
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก											
นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.33	4.33	4.33	71.9	71.9	71.9	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.68	5.96	6.20	34.5	30.9	-0.1	424.097	424.097	424.097	7,290.5138	7,290.5138	7,290.5138
5	5.66	5.92	6.17	18.6	-2.5	-55.4	11.142	33.086	19.774	170.205	807.0952	238.1093
10	5.66	5.93	6.16	11.9	-56.3	-154.7	-	-	-	-	-	-
15	5.65	5.92	6.15	21.2	-21.7	-98.3	-	-	-	-	-	-
20	5.66	5.92	6.14	32.8	-8.9	-52.1	30.412	13.194	11.041	858.4669	340.8547	267.4696
25	5.66	5.93	6.14	49.7	15.4	-21.4	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
30	5.67	5.93	6.15	70.3	17.9	-20.4	-	-	-	-	-	-
40	5.66	5.93	6.15	78.5	21.3	-15.7	32.769	29.634	12.226	897.7082	965.1702	375.8297
50	5.67	5.92	6.15	82.3	24.9	-11.6	-	-	-	-	-	-
60	5.66	5.92	6.14	86.9	29.7	-7.9	30.895	29.005	8.990	848.1568	945.4269	296.7946
80	5.65	5.91	6.13	90.4	33.1	-5.4	31.102	29.186	9.241	850.1587	978.2412	301.8642
100	5.65	5.91	6.13	94.7	35.8	-6.8	31.864	29.417	9.587	854.8410	981.5474	347.1581
120	5.65	5.91	6.12	98.1	38.2	-2.3	32.046	29.312	10.754	852.5778	970.0192	373.0073

ตารางที่ ง.44 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (5.76)

โออาร์พี (mV)	+ 161.7											
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก											
นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	4.81	4.81	4.81	144.7	144.7	144.7	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.64	5.89	6.16	-101.8	-142.3	-194.1	424.097	424.097	424.097	7290.5138	7290.5138	7290.5138
5	5.63	5.87	6.15	-93.6	-135.7	-189.3	80.970	62.670	38.695	1367.295	1010.0870	610.8959
10	5.62	5.87	6.15	-85.1	-128.4	-184.5	-	-	-	-	-	-
15	5.62	5.86	6.14	-78.7	-120.2	-179.9	-	-	-	-	-	-
20	5.61	5.85	6.14	-70.3	-111.3	-167.2	66.543	25.629	19.701	869.2585	298.4778	291.9575
25	5.60	5.85	6.14	-63.9	-103.8	-154.8	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
30	5.61	5.86	6.15	-58.4	-96.9	-147.0	-	-	-	-	-	-
40	5.61	5.86	6.15	-49.6	-89.7	-138.5	50.325	16.856	13.813	656.9944	266.7748	313.9002
50	5.60	5.85	6.14	-40.2	-80.5	-129.4	-	-	-	-	-	-
60	5.60	5.85	6.14	-32.8	-74.3	-118.7	35.058	24.464	13.015	565.7695	684.7501	402.2238
80	5.59	5.84	6.13	-26.4	-69.6	-109.9	33.974	17.865	11.847	542.1241	543.5427	346.1822
100	5.59	5.84	6.13	-19.1	-61.3	-98.4	32.907	16.762	8.393	540.9228	464.8106	269.3628

120	5.59	5.83	6.13	-11.3	-54.0	-90.0	30.674	17.552	7.012	531.8242	410.8439	286.8471

ตารางที่ ง.45 ผลการทดลองหาพีเอชและ SBH ที่เหมาะสมของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร โดยมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10

โออาร์พี (mV)	+ 91.8
ปริมาณสารเคมี	$Na_2S_2O_5$ = 20 เท่าของสตอยชิโอเมตริก

นาทีที่	**pH**			**ORP** (mV)			**ค่าสี SU**			**ค่าสี ADMI**		
	ปริมาณ SBH			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**			**ปริมาณ SBH**		
	3x	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**	**3x**	**5x**	**7x**
หลังเติม $Na_2S_2O_5$	5.28	5.28	5.28	82.6	82.6	82.6	ไม่เปลี่ยนแปลง			ไม่เปลี่ยนแปลง		
0	5.92	6.14	6.29	-138.4	-182.7	-218.2	424.097	424.097	424.097	7290.5138	7290.5138	7290.5138
5	5.91	6.13	6.27	-131.7	-174.6	-211.3	114.416	80.822	52.126	1780.095	1314.519	1620.7080
10	5.89	6.11	6.25	-123.1	-168.3	-202.6	-	-	-	-	-	-
15	5.88	6.10	6.24	-104.2	-160.2	-201.4	-	-	-	-	-	-
20	5.88	6.10	6.24	-80.1	-151.7	-196.3	73.493	33.935	19.813	843.3635	403.0963	225.5341
25	5.87	6.09	6.23	-56.8	-142.6	-192.6	-	-	-	-	-	-
หยุดกวนเร็ว												
30	5.88	6.10	6.24	-47.6	-131.4	-188.1	-	-	-	-	-	-
40	5.88	6.10	6.24	-39.3	-122.8	-180.5	42.826	18.110	14.319	512.4468	288.9749	338.8919
50	5.87	6.09	6.23	-28.7	-117.3	-174.3	-	-	-	-	-	-
60	5.87	6.09	6.22	-20.4	-109.6	-169.8	36.822	13.636	10.500	682.458	326.8582	298.4759
80	5.86	6.08	6.22	-12.8	-100.1	-161.4	35.620	11.904	10.446	327.4425	327.4425	322.2209
100	5.86	6.08	6.22	-6.5	-94.8	-154.7	13.809	6.906	5.586	211.4793	170.9752	152.4227
120	5.85	6.07	6.21	-2.7	-88.6	-148.2	10.841	2.470	1.120	173.524	115.8771	70.6541

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.

ผลการทดลองหาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม

เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.1 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร

สี	C.I. Reactive Black 5	
พีเอชเริ่มต้น	$Na_2S_2O_5$: pH 10	$Na_2S_2O_4$: pH ปกติ (8.85)
โออาร์พี (mV)	+ 84.2	+ 338.1
ปริมาณสารเคมี	SBH = 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก	

นาทีที่-	**pH**				**ORP** (mV)				**ค่าสี SU**				**ค่าสี ADMI**			
	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$
	14x	**21x**	**28x**		**14x**	**21x**	**28x**		**14x**	**21x**	**28x**		**14x**	**21x**	**28x**	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	208.633	208.633	208.633	208.633	3748.6502	3748.6502	3748.6502	3748.6502
5	7.28	7.23	6.79	4.11	+188.0	+183.0	+176.8	+287.2	16.160	15.542	14.349	7.444	468.9022	504.3571	488.7901	209.2411
30	หยุดกวนเร็ว															
60	7.16	6.57	6.28	3.92	+120.6	+130.3	+127.1	+173.4	14.813	14.826	14.699	53.027	505.9048	525.2653	522.9126	925.027
120	6.76	6.49	6.24	3.78	+98.4	+108.2	+111.4	+140.9	14.881	14.669	14.201	51.538	516.6272	528.8395	515.8181	862.4768

ตารางที่ จ.2 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร

สี	C.I. Reactive Black 5	
พีเอชเริ่มต้น	$Na_2S_2O_5$: pH 10	$Na_2S_2O_4$: pH ปกติ (8.88)
โออาร์พี (mV)	+ 65.4	+ 120.4
ปริมาณสารเคมี	SBH = 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก	

นาทีที่-	**pH**				**ORP** (mV)				**ค่าสี SU**				**ค่าสี ADMI**			
	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$
	14x	**21x**	**28x**		**14x**	**21x**	**28x**		**14x**	**21x**	**28x**		**14x**	**21x**	**28x**	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	290.787	290.787	290.787	290.787	5040.8333	5040.8333	5040.8333	5040.8333
5	7.10	6.87	6.60	6.35	+142.3	+132.7	+129.8	+121.8	9.288	6.820	8.301	1.666	150.6485	170.035	248.2438	45.36973
30	หยุดกวนเร็ว															
60	6.70	6.38	6.11	4.59	+68.8	+68.8	+71.8	+79.8	15.868	7.787	6.491	24.275	568.6769	288.0901	230.0986	682.264
120	6.67	6.34	5.97	3.35	+4.5	+9.3	+5.6	+37.2	20.240	20.096	19.433	23.706	707.6324	717.8553	693.7565	632.0298

ตารางที่ จ.3 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร

สี	C.I. Reactive Black 5	
พีเอชเริ่มต้น	$Na_2S_2O_5$: pH 10	$Na_2S_2O_4$: pH ปกติ (9.0)
โออาร์พี (mV)	+ 76.7	+ 75.4
ปริมาณสารเคมี	SBH = 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก	

นาทีที่-	**pH**				**ORP** (mV)				**ค่าสี SU**				**ค่าสี ADMI**			
	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$
	14x	**21x**	**28x**		**14x**	**21x**	**28x**		**14x**	**21x**	**28x**		**14x**	**21x**	**28x**	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	384.613	384.613	384.613	384.613	6458.017	6458.017	6458.017	6458.017
5	7.06	6.77	6.55	6.64	+86.9	+89.1	+91.6	+54.5	8.628	12.267	13.062	2.243	271.3086	357.8387	413.04	58.94833
30	หยุดกวนเร็ว															
60	6.74	6.74	6.45	5.75	+66.4	+59.0	+59.5	+62.0	5.498	6.811	5.957	5.75	182.1703	229.7394	206.9967	845.9564
120	7.0	6.69	6.43	4.73	-20.3	-11.9	-6.1	+26.9	14.893	25.485	24.481	27.774	516.392	876.6088	851.918	826.3805

ตารางที่ จ.4 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร

สี	C.I. Reactive Black 5	
พีเอชเริ่มต้น	$Na_2S_2O_5$: pH 10	$Na_2S_2O_4$: pH ปกติ (8.58)
โออาร์พี (mV)	- 11.1	+ 24.3
ปริมาณสารเคมี	SBH = 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก	

นาทีที่-	**pH**				**ORP** (mV)				**ค่าสี SU**				**ค่าสี ADMI**			
	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$
	14x	**21x**	**28x**		**14x**	**21x**	**28x**		**14x**	**21x**	**28x**		**14x**	**21x**	**28x**	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	619.502	619.502	619.502	619.502	10586.0069	10586.0069	10586.0069	10586.0069
5	7.05	6.77	6.59	6.80	-108.2	-126.6	-314.9	-173.9	13.034	17.891	17.138	3.352	334.3535	544.4261	536.1495	89.42159
30	หยุดกวนเร็ว															
60	7.03	6.73	6.44	5.10	-142.1	-171.8	-210.0	-386.7	11.670	23.800	37.244	9.833	392.5696	838.9217	1210.924	281.0633
120	6.97	6.69	6.40	3.90	-101.5	-119.7	-167.4	-302.6	15.862	25.119	38.057	14.864	413.6751	912.8652	1472.657	694.8541

ตารางที่ จ.5 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Black 5 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร

สี	C.I. Reactive Black 5	
พีเอชเริ่มต้น	$Na_2S_2O_5$: pH 10	$Na_2S_2O_4$: pH ปกติ (8.58)
โออาร์พี (mV)	+ 23.0	+ 67.3
ปริมาณสารเคมี	SBH = 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก	

นาทีที่-	pH				ORP (mV)				ค่าสี SU				ค่าสี ADMI			
	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$
	14x	21x	28x		14x	21x	28x		14x	21x	28x		14x	21x	28x	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	793.142	793.142	793.142	793.142	13456.727	13456.727	13456.727	13456.727
5	6.99	6.68	6.55	6.7	+26.6	+14.8	-28.8	-40.9	15.889	20.601	14.489	4.798	407.9785	615.5232	568.8324	114.4186
30	หยุดกวนเร็ว															
60	6.82	6.54	6.42	5.14	-138.6	-207.5	-310.2	-246.8	31.571	28.695	22.464	39.371	929.9653	863.2214	768.5426	986.2637
120	6.75	6.47	6.34	4.62	-107.5	-174.6	-227.6	-110.5	55.801	55.074	39.874	52.527	1701.66	1678.232	1290.636	1505.047

ตารางที่ จ.6 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร

สี	C.I. Reactive Red 180	
พีเอชเริ่มต้น	$Na_2S_2O_5$: pH 10	$Na_2S_2O_4$: pH ปกติ (6.2)
โออาร์พี (mV)	- 53.4	- 15.4
ปริมาณสารเคมี	SBH = 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก	

นาทีที่-	pH				ORP (mV)				ค่าสี SU				ค่าสี ADMI			
	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$
	10x	15x	20x		10x	15x	20x		10x	15x	20x		10x	15x	20x	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	130.250	130.250	130.250	130.250	5675.7864	5675.7864	5675.7864	5675.7864
5	7.20	7.05	6.86	5.79	-171.8	-181.7	-196.1	-263.5	14.325	5.755	5.186	0.296	285.2837	224.4675	205.0821	24.23535
10	หยุดกวนเร็ว															
60	6.88	6.49	6.24	4.93	-167.2	-180.2	-198.6	-200.2	13.426	7.625	4.803	1.190	253.1707	288.7999	203.1998	45.27299
120	6.78	6.46	6.17	4.88	-134.2	-120.1	-140.2	-112.3	13.283	7.507	5.857	1.996	248.6663	248.088	215.1707	49.33453

ตารางที่ จ.7 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร

สี	C.I. Reactive Red 180	
พีเอชเริ่มต้น	$Na_2S_2O_5$: pH 10	$Na_2S_2O_4$: pH ปกติ (9.3)
โออาร์พี (mV)	- 127.3	- 119.0
ปริมาณสารเคมี	SBH = 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก	

นาทีที่	pH				ORP (mV)				ค่าสี SU				ค่าสี ADMI			
	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$
	10x	15x	20x		10x	15x	20x		10x	15x	20x		10x	15x	20x	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	144.372	144.372	144.372	144.372	5123.8984	5123.8984	5123.8984	5123.8984
5	7.26	6.97	6.72	6.56	-200.6	-215.2	-268.0	-285	8.191	7.789	6.102	0.471	315.5854	296.6961	232.4541	30.28689
10	หยุดกวนเร็ว															
60	7.16	6.8	6.57	5.61	-203.5	-215.9	-277.8	-248.6	7.642	8.039	6.960	1.915	284.8579	294.3366	249.5636	46.11861
120	7.04	6.62	6.30	4.72	-155.3	-183.8	-206.4	-142.3	9.123	7.537	6.773	3.219	343.1066	281.8537	248.0185	83.01153

ตารางที่ จ.8 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร

สี	C.I. Reactive Red 180	
พีเอชเริ่มต้น	$Na_2S_2O_5$: pH 10	$Na_2S_2O_4$: pH ปกติ (8.36)
โออาร์พี (mV)	- 143.3	- 90.9
ปริมาณสารเคมี	SBH = 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก	

นาทีที่	pH				ORP (mV)				ค่าสี SU				ค่าสี ADMI			
	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$
	10x	15x	20x		10x	15x	20x		10x	15x	20x		10x	15x	20x	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	192.688	192.688	192.688	192.688	7188.9871	7188.9871	7188.9871	7188.9871
5	7.18	6.93	6.72	6.55	-261.5	-273.1	-283.7	-343.6	10.896	9.225	8.183	1.784	392.8035	323.6131	287.3264	35.74584
10	หยุดกวนเร็ว															
60	7.18	6.88	6.70	5.54	-257.1	-266.9	-274.0	-324.3	12.168	10.741	9.339	3.752	435.2603	376.0415	324.2948	94.53086
120	6.94	6.70	6.48	4.99	-233.1	-241.8	-255.2	-251.3	11.722	10.580	9.685	12.077	423.3472	378.0243	337.7603	248.9062

ตารางที่ จ.9 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร

สี	C.I. Reactive Red 180	
พีเอชเริ่มต้น	$Na_2S_2O_5$: pH 10	$Na_2S_2O_4$: pH ปกติ (8.6)
โออาร์พี (mV)	+ 37.4	+ 40.1
ปริมาณสารเคมี	SBH = 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก	

นาทีที่	**pH**				**ORP** (mV)				**ค่าสี SU**				**ค่าสี ADMI**			
	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$
	10x	**15x**	**20x**		**10x**	**15x**	**20x**		**10x**	**15x**	**20x**		**10x**	**15x**	**20x**	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	259.758	259.758	259.758	259.758	9183.8685	9183.8685	9183.8685	9183.8685
5	7.04	6.73	6.47	6.40	+58.3	+60.3	+64.5	+48.8	19.834	17.623	13.462	3.931	696.8154	613.7432	458.5091	76.17328
10	หยุดกวนเร็ว															
60	6.98	6.69	6.28	5.60	-316.7	-328.3	-340.4	-409	19.290	16.529	13.150	4.090	651.293	575.006	451.1714	91.75238
120	6.93	6.58	6.28	4.50	-434	-438	-443	-301.8	27.143	22.011	20.103	18.531	921.1739	754.074	687.928	621.3964

ตารางที่ จ.10 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Red 180 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร

สี	C.I. Reactive Red 180	
พีเอชเริ่มต้น	$Na_2S_2O_5$: pH 10	$Na_2S_2O_4$: pH ปกติ (5.00)
โออาร์พี (mV)	- 51.2	+ 9.5
ปริมาณสารเคมี	SBH = 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก	

นาทีที่	**pH**				**ORP** (mV)				**ค่าสี SU**				**ค่าสี ADMI**			
	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$
	10x	**15x**	**20x**		**10x**	**15x**	**20x**		**10x**	**15x**	**20x**		**10x**	**15x**	**20x**	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	350.545	350.545	350.545	350.545	11517.7655	11517.7655	11517.7655	11517.7655
5	7.22	6.86	6.62	6.61	-233.0	-324.3	-328	-278.4	28.546	21.277	20.017	2.539	956.7196	712.3222	641.3834	85.93758
10	หยุดกวนเร็ว															
60	7.17	6.83	6.58	5.61	-423	-432	-440	-475	25.852	21.914	20.077	15.648	866.0407	740.671	674.5134	449.0576
120	6.80	6.63	6.33	5.16	-172.8	-382.8	-430	-332.9	25.503	21.893	19.981	11.476	863.4781	742.6724	678.0685	977.0332

ตารางที่ จ.11 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม / ลิตร

สี	C.I. Reactive Blue 171	
พีเอชเริ่มต้น	$Na_2S_2O_5$: pH 10	$Na_2S_2O_4$: pH ปกติ (8.80)
โออาร์พี (mV)	- 15.6	- 8.4
ปริมาณสารเคมี	SBH = 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก	

นาทีที่-	pH				ORP (mV)				ค่าสี SU				ค่าสี ADMI			
	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$
	14x	21x	28x		14x	21x	28x		14x	21x	28x		14x	21x	28x	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	128.010	128.010	128.010	128.010	2423.0100	2423.0100	2423.0100	2423.0100
5	7.25	6.96	6.69	5.85	-70.5	-141.5	-167.5	-272.7	88.951	32.739	32.471	0.395	1375.43	651.1482	632.7568	12.90477
10	หยุดกวนเร็ว															
60	7.18	6.87	6.63	5.01	-135.6	-150.7	-134.3	-141.6	95.014	32.989	21.840	10.292	1436.332	607.4495	314.8461	246.9104
120	6.73	6.39	6.19	4.25	-143.5	-146.2	-106.1	-90.2	92.353	35.238	22.210	9.126	1385.193	615.7896	316.9762	217.3249

ตารางที่ จ.12 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 70 มิลลิกรัม / ลิตร

สี	C.I. Reactive Blue 171	
พีเอชเริ่มต้น	$Na_2S_2O_5$: pH 10	$Na_2S_2O_4$: pH ปกติ (5.72)
โออาร์พี (mV)	- 78.7	- 21.9
ปริมาณสารเคมี	SBH = 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก	

นาทีที่-	pH				ORP (mV)				ค่าสี SU				ค่าสี ADMI			
	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$
	14x	21x	28x		14x	21x	28x		14x	21x	28x		14x	21x	28x	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	152.402	152.402	152.402	152.402	2869.0473	2869.0473	2869.0473	2869.0473
5	7.22	7.01	6.72	6.10	-151.6	-212.3	-243.6	-296.9	46.785	30.193	32.943	0.925	846.5301	539.5219	607.5101	15.54057
10	หยุดกวนเร็ว															
60	7.14	6.87	6.70	5.74	-105.1	-117.7	-154.2	-247.4	43.208	27.534	22.953	3.465	745.7761	469.4254	273.2179	249.0511
120	7.10	6.76	5.94	5.36	87.5	-94.7	-125.3	-211.8	41.569	27.095	12.520	9.776	692.8356	417.4495	295.4497	122.1827

ตารางที่ จ.13 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 90 มิลลิกรัม / ลิตร

สี	C.I. Reactive Blue 171	
พีเอชเริ่มต้น	$Na_2S_2O_5$: pH 10	$Na_2S_2O_4$: pH ปกติ (6.64)
โออาร์พี (mV)	+ 43.7	+ 57.7
ปริมาณสารเคมี	SBH = 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก	

นาทีที่-	pH				ORP (mV)				ค่าสี SU				ค่าสี ADMI			
	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$
	14x	21x	28x		14x	21x	28x		14x	21x	28x		14x	21x	28x	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	193.486	193.486	193.486	193.486	3608.8810	3608.8810	3608.8810	3608.8810
5	6.99	6.69	6.61	5.71	+96.7	+88.4	+77.5	+74.9	42.986	51.089	55.275	1.615	783.4188	918.205	974.3964	24.66348
10	หยุดกวนเร็ว															
60	6.89	6.65	6.49	5.00	+0.8	-19.7	-30.1	-36.9	32.131	26.636	25.019	24.014	363.3595	362.9748	368.6144	581.4943
120	6.83	6.56	6.43	4.44	-225.7	-241.2	-248.9	-167.3	30.711	22.706	19.485	27.258	364.017	432.139	415.0808	603.3461

ตารางที่ จ.14 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัม / ลิตร

สี	C.I. Reactive Blue 171	
พีเอชเริ่มต้น	$Na_2S_2O_5$: pH 10	$Na_2S_2O_4$: pH ปกติ (8.96)
โออาร์พี (mV)	- 30.7	- 15.3
ปริมาณสารเคมี	SBH = 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก	

นาทีที่-	pH				ORP (mV)				ค่าสี SU				ค่าสี ADMI			
	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			$Na_2S_2O_4$
	14x	21x	28x		14x	21x	28x		14x	21x	28x		14x	21x	28x	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	289.606	289.606	289.606	289.606	5213.2397	5213.2397	5213.2397	5213.2397
5	7.01	6.53	6.38	5.99	-269.3	-298.8	-311	-306.6	45.850	63.328	58.420	2.049	722.9224	1034.244	910.0944	42.77655
10	หยุดกวนเร็ว															
60	6.80	6.43	6.26	4.75	-347.9	-361.5	-368.7	-204.4	25.442	24.665	24.188	28.414	803.3954	770.4521	745.0013	652.7807
120	6.57	6.23	6.11	4.23	+11.75	+12.8	+12.97	+9.58	10.378	10.886	10.389	26.843	112.1362	153.2861	208.2641	837.8112

ตารางที่ จ.15 หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับรีดิวซิ่งเอเจนต์โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ ของสี C.I. Reactive Blue 171 ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม / ลิตร

สี					C.I. Reactive Blue 171											
พีเอชเริ่มต้น					$Na_2S_2O_5$: pH 10								$Na_2S_2O_4$: pH ปกติ (7.4)			
โออาร์พี (mV)					+ 8.61								+ 8.25			
ปริมาณสารเคมี					SBH = 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก											
นาทีที่-	**pH**				**ORP** (mV)				**ค่าสี SU**				**ค่าสี ADMI**			
	ปริมาณ $Na_2S_2O_5$			**$Na_2S_2O_4$**	**ปริมาณ $Na_2S_2O_5$**			**$Na_2S_2O_4$**	**ปริมาณ $Na_2S_2O_5$**			**$Na_2S_2O_4$**	**ปริมาณ $Na_2S_2O_5$**			**$Na_2S_2O_4$**
	14x	**21x**	**28x**		**14x**	**21x**	**28x**		**14x**	**21x**	**28x**		**14x**	**21x**	**28x**	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	424.097	424.097	424.097	424.097	7290.5138	7290.5138	7290.5138	7290.5138
5	7.28	6.79	6.70	6.64	-298.4	-322.4	-344.2	-315.6	21.965	57.186	47.769	3.992	213.653	762.7047	617.9067	89.04169
10	หยุดกวนเร็ว															
60	7.22	6.68	6.63	5.61	-264.7	-304.2	-326.3	-257.7	22.579	20.287	21.205	28.418	588.2518	453.8393	513.6616	786.2518
120	7.15	6.53	6.59	4.73	-217.5	-268.4	-292.7	-184.6	24.992	25.748	29.109	28.538	855.4224	865.8705	974.4015	892.369

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวบุษรา ประชุมญาติ เกิดเมื่อวันที่ 7 กันยายน พ.ศ.2519 ที่อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2540 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย