

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนวิจัย

กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานผลการวิจัย

การลดซีโอดีและสีของน้ำกากส่าโดยใช้กากตะกอนระบบผลิตน้ำประปา ถ้ำลอยแอสฟัลท์
และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์

นางสาวปภาวดี โชคสุวรรณกิจ

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มีนาคม พ.ศ. 2551

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และหน่วยวิจัยการจัดการของเสียอุตสาหกรรม ห้องปฏิบัติการมูลฝอย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและห้องปฏิบัติการมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ บริษัท ประมวลผล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำกากส่าเพื่อนำมาใช้ตลอดการวิจัย และขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ของการประปานครหลวงและโรงงานผลิตแอสฟัลท์คอนกรีตที่ช่วยเหลือในการเก็บกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปาและแกล้อยแอสฟัลท์เพื่อนำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความสนับสนุน ช่วยเหลือ ตลอดจนหลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในทุกด้านจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการวิจัย การลดซีโอดีและสีของน้ำกากส่าโดยใช้กากตะกอนระบบผลิตน้ำประปา
 ถ้ำลอยแอสฟัลท์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
 ชื่อผู้วิจัย รองศาสตราจารย์ ดร. ชเรศ ศรีสถิตย์
 ชื่อผู้ร่วมวิจัย นางสาวปภาวดี โชคสุวรรณกิจ
 เดือนและปีที่ทำวิจัยเสร็จ มีนาคม พ.ศ. 2551

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ในการลดซีโอดีและสีในน้ำกากส่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มและปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์โดยใช้จาร์เทสต์ และศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากส่าเมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยเปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาว การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมใช้วิธีทดสอบของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05

จากผลการศึกษาความสามารถของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ในการเป็นโคแอกกูแลนต์เพื่อลดซีโอดีและสีในน้ำกากส่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาว พบว่าร้อยละการบำบัดซีโอดีจากการตกตะกอนที่สภาวะเหมาะสมด้วยปูนขาวจะมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา สารส้ม และถ้ำลอยแอสฟัลท์ ซึ่งมีค่าเป็น 40.20, 30.77, 22.88 และ 13.51% ตามลำดับ ส่วนร้อยละการบำบัดความขุ่นสีจากการตกตะกอนด้วยปูนขาวจะมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ สารส้ม กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา และถ้ำลอยแอสฟัลท์ ซึ่งมีค่าเป็น 37.76, 26.32, 23.50 และ -15.71% ตามลำดับ ต่อมาเมื่อทำการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่า ร้อยละการบำบัดซีโอดีจากการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาจะมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ สารส้ม ถ้ำลอยแอสฟัลท์และปูนขาว ซึ่งมีค่าเป็น 51.92, 42.24, 26.87 และ 24.31% ตามลำดับ ส่วนร้อยละการบำบัดความขุ่นสีจากการตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์จะมีค่าสูงสุด รองลงมาคือกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา สารส้มและปูนขาว ซึ่งมีค่าการบำบัดเป็น 54.92, 14.85, 11.92 และ 3.20% ตามลำดับโดยค่าพีเอชในน้ำสุดท้ายมีค่าเป็น 2.86, 2.82, 3.23 และ 7.71 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาทั้งกระบวนการบำบัด พบว่า กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาสามารถบำบัดน้ำกากส่าร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีรวมมากที่สุด คือ 67.26% (240 ก./ล.ของ H_2O_2) และปูนขาวสามารถบำบัดน้ำกากส่าร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสีรวมมากที่สุด 43.83% (150 ก./ล.ของ H_2O_2) และเมื่อทดสอบผลของเหล็ก ($FeSO_4$) เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นออกซิเดชัน พบว่า สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้สูงกว่าการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียวในโคแอกกูแลนต์ทั้ง 4 ชนิด แต่ไม่สามารถบำบัดสีได้ดี ทำให้การใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์เป็นที่น่าสนใจ เนื่องจากให้ผลการทดลองที่ดี ในสภาวะที่ไม่เติมเฟอร์รัสซัลเฟต และเมื่อพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์จะเห็นว่าปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์ที่มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้บำบัดน้ำกากส่าร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากที่สุด

Project Title	COD and color removal of molasses distillery slops using water treatment sludge, asphaltic fly ash and hydrogen peroxide
Name of the researcher	Associate Professor Dr. Thares Srisatit
Name of the researcher assistant	Miss Papavadee Choksuwannakit
Year	March, 2008

Abstract

This research was studied the potential of using water treatment sludge and asphaltic fly ash as coagulants for COD removal and color removal in comparison with alum and lime by using jar test. The efficiency of molasses distillery slops treatment using water treatment sludge and asphaltic fly ash in combination to hydrogen peroxide were studied. The appropriate condition was determined using the Duncan's new multiple range test at the 0.05 level of significance.

The potential of using water treatment sludge and asphaltic fly ash as coagulant, comparing with alum and lime showed that lime at optimum dosage and pH can remove COD at the highest efficiency (40.20%) and water treatment sludge, alum and asphaltic fly ash can remove 30.77, 22.88 and 13.51%, respectively. Lime can reduce color at the highest efficiency (37.76%) and alum, water treatment sludge and asphaltic fly ash can reduce 26.32, 23.50 and -15.71%, respectively. Oxidation with hydrogen peroxide, showed that water treatment sludge as coagulant can reduce COD at the highest efficiency (51.92%) and alum, asphaltic fly ash and lime can reduce 42.24, 26.87 and 24.31%, respectively. Asphaltic fly ash can reduce color at the highest efficiency (54.92%) and water treatment sludge, alum and lime can reduce 14.85, 11.92 and 3.20%, respectively, but pH at the end of reaction were 2.86, 2.82, 3.23 and 7.71, respectively.

Consideration on the combined process of coagulation and oxidation, the result suggested that using water treatment sludge as coagulant combined with hydrogen peroxide gave the highest efficiency of COD removal of molasses distillery slops at 67.26% (H_2O_2 240 g/l) and lime as coagulant combined with hydrogen peroxide gave the highest efficiency of color removal of molasses distillery slops at 43.83% (H_2O_2 150 g/l). Studied effect of ferrous sulfate iron (FeSO_4) on hydrogen peroxide oxidation, showed that all coagulants can reduce COD more than oxidation with hydrogen peroxide only but can reduce color at fairly efficiency. The results are well although an oxidation without FeSO_4 on water treatment sludge and lime as coagulants. On the economic, lime to be extremely possible as coagulant on treatment of molasses distillery slops combined with hydrogen peroxide.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 น้ำกากส่าจากการผลิตสุรา	4
2.2 กระบวนการตกตะกอนทางเคมี	17
2.3 กากตะกอนระบบผลิตน้ำประปา	32
2.4 ถ้ำลอยแอสฟัลท์	45
2.5 กระบวนการออกซิเดชันด้วยสารเคมี.....	50
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	57
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	61
3.1 สถานที่ดำเนินการศึกษาวิจัย.....	61
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการศึกษาวิจัย.....	61
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	62
3.4 ขั้นตอนการวิจัย	65
4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	69
4.1 ลักษณะทั่วไปของกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์.....	69
4.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของ โคแอกกูแลนต์.....	70
4.3 การตรวจสอบประจุของโคแอกกูแลนต์	72
4.4 ศึกษาความสามารถของกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ ในการลดซีโอดีและสีในน้ำกากส่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาว.....	73
4.5 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากส่า เมื่อใช้กากตะกอนระบบผลิตน้ำประปาและ ถ้ำลอยแอสฟัลท์เป็น โคแอกกูแลนต์ มาทำการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาว	90

บทที่	หน้า
4.6 ผลการบำบัดน้ำกากส่าทั้งหมด	112
4.7 ศึกษาผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คั่งค้างต่อซีโอดีและสี	116
4.8 ศึกษาผลของเหล็กในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยวิธี โคแอกกูเลชันร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	120
4.9 การประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่า.....	131
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	135
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	135
5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป.....	138
รายการอ้างอิง	139
ภาคผนวก	146
ภาคผนวก ก.....	147
ภาคผนวก ข.....	155
ภาคผนวก ค.....	158
ภาคผนวก ง.....	160
ภาคผนวก จ.....	191
ภาคผนวก ฉ	212
ภาคผนวก ช	215
ภาคผนวก ซ	224

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของน้ำตาล	5
2.2 ปริมาณและคุณลักษณะของน้ำล้างขวดโดยเฉลี่ยจากโรงงาน	8
2.3 ลักษณะของน้ำกากสำจากโรงงานสุรา องค์การสุรา.....	9
2.4 คุณภาพของน้ำเสียประเภทต่างๆของโรงงานต้มกลั่นสุรา 32 แห่ง ท้าวราชอาณาจักร.....	10
2.5 ปริมาณสารเคมีที่เดิมในกระบวนการผลิตน้ำประปา โรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2542 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2543	37
2.6 ปริมาณตะกอนจากการผลิตน้ำประปาโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน การประปานครหลวงระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2542 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2543	40
2.7 ชนิดของสารสร้างตะกอนและช่วงพีเอชที่เหมาะสม.....	44
2.8 ความสามารถในการปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารเคมีชนิดต่าง ๆ	52
3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	63
4.1 ลักษณะของกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปาและเถ้าลอยแอสฟัลท์	69
4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยวิธี X-ray fluorescence spectroscopy	71
4.3 ค่าประจุของโคแอกกูแลนต์ (mV).....	72
4.4 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำกากสำหลังตกตะกอนด้วย สารส้มที่ปริมาณต่างๆ	74
4.5 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและความขุ่นสี ในน้ำกากสำหลังตกตะกอนด้วย สารส้มที่พีเอชต่างๆ.....	76
4.6 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำกากสำหลังตกตะกอนด้วย กากตะกอนระบบผลิตน้ำประปาที่ปริมาณต่างๆ	78
4.7 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำกากสำหลังตกตะกอนด้วย กากตะกอนระบบผลิตน้ำประปาที่พีเอชต่างๆ.....	80
4.8 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำกากสำหลังตกตะกอนด้วย ปูนขาวที่ปริมาณต่างๆ	81
4.9 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและความขุ่นสี ในน้ำกากสำหลังตกตะกอนด้วย ปูนขาวที่พีเอชต่างๆ.....	83
4.10 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำกากสำหลังตกตะกอนด้วย เถ้าลอยแอสฟัลท์ที่ปริมาณต่างๆ	84

4.25	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากส่าระหว่างกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปากับสารส้มและเถ้าลอยแอสฟัลท์กับปูนขาวในการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	111
4.26	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทั้งหมดในการบำบัดน้ำกากส่า	113
4.27	ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมเฟอร์รัสซัลเฟต ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้มและออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 200 ก./ล.....	122
4.28	ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมเฟอร์รัสซัลเฟต ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 240 ก./ล.	124
4.29	ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมเฟอร์รัสซัลเฟต ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาวและออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 150 ก./ล.....	126
4.30	ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมเฟอร์รัสซัลเฟต ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยเถ้าลอยแอสฟัลท์และออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 150 ก./ล.	128
4.31	ผลของเฟอร์รัสซัลเฟตต่อการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยโคแอกกูแลนต์ต่างๆ	129
4.32	สรุปรวมค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยกระบวนการ โคแอกกูเลชัน และการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	134
5.1	สรุปผลการบำบัดน้ำกากส่าทั้งหมด	136

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	6
2.2	13
2.3	19
2.4	21
2.5	22
2.6	24
2.7	25
2.8	29
2.9	30
2.10	34
2.11	46
2.12	47
2.13	48
3.1	64
4.1	69
4.2	70
4.3	75
4.4	76
4.5	79
4.6	80
4.7	82
4.8	83
4.9	85
4.10	86
4.11	89

รูปที่	หน้า
4.12 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจากโคแอกกูแลนต์ 4 ชนิด	89
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 150 ก./ล. กับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่พีเอชต่างๆ.....	92
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่พีเอชปกติ.....	94
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 250 ก./ล. กับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่พีเอชต่างๆ.....	97
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่พีเอชปกติ.....	99
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 325 ก./ล. กับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่พีเอชต่างๆ.....	102
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่พีเอชปกติ.....	104
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 ก./ล. กับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่พีเอชต่างๆ.....	107
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่พีเอช 3	109
4.21 แผนภูมิเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับ ร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีของโคแอกกูแลนต์ 4 ชนิด.....	112
4.22 แผนภูมิเปรียบเทียบร้อยละการบำบัดสีโอดีในกระบวนการบำบัดแต่ละขั้นตอนของ โคแอกกูแลนต์ 4 ชนิด.....	114
4.23 แผนภูมิเปรียบเทียบร้อยละการบำบัดสีในกระบวนการบำบัดแต่ละขั้นตอนของ โคแอกกูแลนต์ 4 ชนิด.....	115
4.24 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างระหว่าง โคแอกกูแลนต์ 4 ชนิด.....	116
4.25 เปรียบเทียบค่าซีโอดีจากผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระหว่าง โคแอกกูแลนต์ 4 ชนิด.....	118
4.26 เปรียบเทียบค่าทรานสมิตแตนซ์ (%) จากผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระหว่าง โคแอกกูแลนต์ 4 ชนิด.....	119

- 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตกับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้มและออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 200 ก./ล. 122
- 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตกับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 240 ก./ล..... 124
- 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตกับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาวและออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 150 ก./ล. 126
- 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตกับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์และออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ก./ล..... 128

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลทรายในประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้ผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เช่น กากน้ำตาล (molasses) จีตะกอน (filter cake) และขานอ้อย (bagasses) ซึ่งกากน้ำตาลจัดว่าเป็นผลพลอยได้ที่มีประโยชน์และมีราคาถูก จึงมีการนำกากน้ำตาลไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น ปุ๋ยชีวภาพ อาหารสัตว์ กระบวนการผลิตยีสต์ ทำขนมปัง การผลิตกลูตาเมต และการผลิตแอลกอฮอล์ เนื่องจากกากน้ำตาลเป็นส่วนที่มีน้ำตาลเหลือประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และไม่สามารถตกผลึกเป็นน้ำตาลต่อไปได้อีก (บุญเทียม พันธุ์เพ็ง, 2523)

การผลิตสุราในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้กากน้ำตาล (molasses) เป็นวัตถุดิบหลักโดยใช้เชื้อยีสต์ในการหมักกากน้ำตาลทำให้ได้แอลกอฮอล์ โดยส่วนผสมของแอลกอฮอล์หลังการหมักเรียกว่า เบียร์ (beer) หรือ แมช (mash) หรือน้ำสำ ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังหอกลั่น โดยส่วนที่เหลือจากการกลั่นคือ น้ำกากสำ (molasses distillery slops) ซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกในรูปของค่าบีโอดีและซีโอดีสูงมาก โดยมีค่าบีโอดีประมาณ 17,500-45,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าซีโอดีประมาณ 56,970-193,600 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมสรรพสามิต, 2526) มีสีน้ำตาลเข้มเกือบดำซึ่งเป็นสีของสารเมลานอยดิน มีความเป็นกรดและอุณหภูมิสูง (สกุลณี กุณเฑาะ, 2526) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของน้ำกากสำจากโรงงานสุรา องค์การสุราโดยมีค่าซีโอดีเท่ากับ 150,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีโอดีเท่ากับ 60,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 4.1-4.6 และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (สุนันท์ พูลธนกิจ, 2547) จึงต้องได้รับการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

ปัญหาสิ่งแวดล้อมหลักจากโรงงานผลิตสุราคือ น้ำเสีย และกลิ่นจากน้ำกากสำ ซึ่งปัจจุบันโรงงานสุราส่วนใหญ่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพในการบำบัด เช่น ระบบย่อยสลายในบ่อหมัก (anaerobic digestion pond) และทำการบำบัดด้วยระบบบ่อผึ่ง โดยเน้นการกักเก็บไว้ในบ่อทั้งหมด ปล่อยให้ให้น้ำเสียระเหยและซึมลงดินตามธรรมชาติ (ชเรศ ศรีสถิตย์ และสุนันท์ กุญเสถียม, 2548) จึงมีโอกาสที่น้ำกากสำจะสามารถปนเปื้อนไปสู่ดิน แหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดินได้ ทำให้ประชาชนได้รับผลกระทบ ซึ่งหากปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำผิวดินจะส่งผลให้แม่น้ำลำคลองนำเสียมักกลิ่นเหม็นจึงไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ และถ้าหากปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินจะ

ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะสีจากน้ำกากส่าที่ส่วนใหญ่เป็นสารจำพวกเมลานอยดิน ซึ่งเป็นสารที่ยากต่อการย่อยสลายด้วยวิธีทางชีวภาพทั่วไป (Kumar และคณะ, 1998) ทำให้ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการอุปโภคบริโภค

การบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปสามารถทำได้โดยการตกตะกอนด้วยสารเคมี ซึ่งสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ สารส้ม สารประกอบเหล็กบางตัว และปูนขาว จึงมีความสนใจที่จะนำกากตะกอนจากระบวนการผลิตน้ำประปามาใช้เป็นสารสร้างตะกอนในน้ำกากส่า เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำประปานั้นจะมีตะกอนที่เกิดจากสารส้มทำปฏิกิริยากับปริมาณต่างตามธรรมชาติของน้ำดิบ ทำให้เกิดเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ของอะลูมิเนียม ซึ่งตะกอนที่เกิดขึ้นจัดได้ว่าเป็นของเสียจากระบวนการผลิตน้ำประปา (water treatment sludge) ในขณะที่เถ้าลอยแอสฟัลท์ (asphaltic fly ash) จากโรงงานผสมแอสฟัลท์คอนกรีตนั้นมีส่วนประกอบของแคลเซียมออกไซด์อยู่ (ผดุงสิน ธนศรีวนิชชัย, 2549) ทำให้สามารถนำมาใช้เป็นสารสร้างตะกอนได้ และการเกิดออกซิเดชันทางเคมี (chemical oxidation) เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสภาพของมลสารที่อยู่ในน้ำจากมลสารประเภทมีพิษมากไปเป็นมลสารประเภทมีพิษน้อยหรือไม่มีพิษ (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2539) จึงอาจกล่าวได้ว่าเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้บำบัดน้ำเสีย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการนำกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและเถ้าลอยแอสฟัลท์กลับมาใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำกากส่าร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความสามารถของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและเถ้าลอยแอสฟัลท์ในการลดซีโอดีและสีในน้ำกากส่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาว
2. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากส่าเมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและเถ้าลอยแอสฟัลท์ ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เมื่อเปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาว
3. ศึกษาผลของเหล็กในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยวิธีโคแอกกูเลชันร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
4. ศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์ในการนำกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและเถ้าลอยแอสฟัลท์กลับมาใช้ใหม่

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้วิธีจาร์เทสต์ในการทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ จากนั้นนำไปออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งน้ำกากสำที่ใช้ในการวิจัยนี้มาจากโรงงานผลิตสุรา จังหวัดนครปฐม ส่วนกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปานั้นมาจากการประปานครหลวง และถ้ำลอยแอสฟัลท์นี้มาจากโรงงานผลิตแอสฟัลท์คอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างผิวจราจร โดยพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์คือขนาดและรูปร่างของอนุภาค องค์ประกอบทางเคมี และประจุของโคแอกกูแลนต์ และพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์น้ำกากสำ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ซีไอดี และค่าความเข้มข้น ซึ่งการวิจัยมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ในการเป็นโคแอกกูแลนต์ในน้ำกากสำ
2. ศึกษาความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเมื่อเปรียบเทียบกับสารส้ม และถ้ำลอยแอสฟัลท์เปรียบเทียบกับปูนขาวเพื่อลดสีและซีไอดีในน้ำกากสำ โดยแปรค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณของโคแอกกูแลนต์ (coagulant dosage)
3. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากสำ เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์จากสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดขั้นต้นมาทำการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาว
4. ศึกษาผลของเหล็กในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการบำบัดน้ำกากสำด้วยวิธีโคแอกกูแลชันร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
5. ศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์ในการนำกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์กลับมาใช้ใหม่

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการนำของเสียอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่และสร้างคุณค่าให้กากของเสียอุตสาหกรรม
2. สามารถพัฒนาเป็นแนวทางการบำบัดน้ำกากสำด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ให้มีประสิทธิภาพสูงได้และมีความเหมาะสมในการลงทุนบำบัดน้ำกากสำที่มากขึ้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นำกากจากการผลิตสุรา

สุราเป็นเครื่องดื่มที่ได้จากการผสมแอลกอฮอล์ น้ำ และส่วนผสมอื่นๆ เพื่อให้มีรสชาติและสีแตกต่างกันไป สุราสามารถแบ่งตามประเภทของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้ 3 ประเภท คือ (มาลี วิชาจารย์, 2531)

- สุราที่ผลิตจากเมล็ดธัญพืช (grain distilleries) ได้แก่ สุราประเภทสก็อตวิสกี้ ผลิตจากเมล็ดธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า ข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น
- สุราที่ผลิตจากผลไม้ (fruit distilleries) เช่น สับปะรด องุ่น เป็นต้น ได้แก่ สุรา ประเภทไวน์ บรั่นดี แชมเปญ
- สุราที่ผลิตจากกากน้ำตาล (molasses distilleries) เช่น สุราขาว สุราผสม รัม เป็นต้น

2.1.1 กระบวนการผลิตสุรา

ในกระบวนการผลิตสุราโดยมากมักใช้วัตถุดิบเป็นกากน้ำตาลในการหมักแอลกอฮอล์ ซึ่งกากน้ำตาล (molasses) เป็นของเหลวที่เหลือทิ้งจากผลิตน้ำตาล มีลักษณะข้นเหนียวสีน้ำตาลปนดำ และแยกออกจากผลิตน้ำตาลโดยกลวิธี เช่น แยกด้วยหม้อปั่นในขั้นสุดท้าย และไม่นำกลับไปผลิตน้ำตาลอีก โดยกากน้ำตาลแบ่งได้ 3 ประเภทตามกรรมวิธีการผลิต ดังนี้

- 1) blackstrap molasses หมายถึง กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาว (plantation white sugar) จะมีน้ำตาลเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 50 ถึง 60
- 2) refinery molasses หมายถึง กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (refine sugar) โดยปกติจะมีน้ำตาลเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 48
- 3) invert molasses หมายถึง กากน้ำตาลที่ได้จากการทำบางส่วนของน้ำอ้อยแปรสภาพ (invert syrup) ให้ข้นขึ้นโดยการระเหย มีส่วนประกอบเป็นน้ำตาลอินเวอร์ทร้อยละ 77 น้ำร้อยละ 14 และสารอื่นๆร้อยละ 9

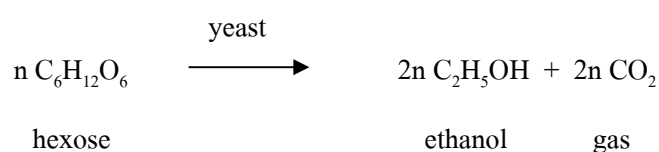
กากน้ำตาลมีองค์ประกอบที่ซับซ้อนประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุคโทส และองค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งองค์ประกอบต่างๆ ของน้ำตาลแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกากน้ำตาล

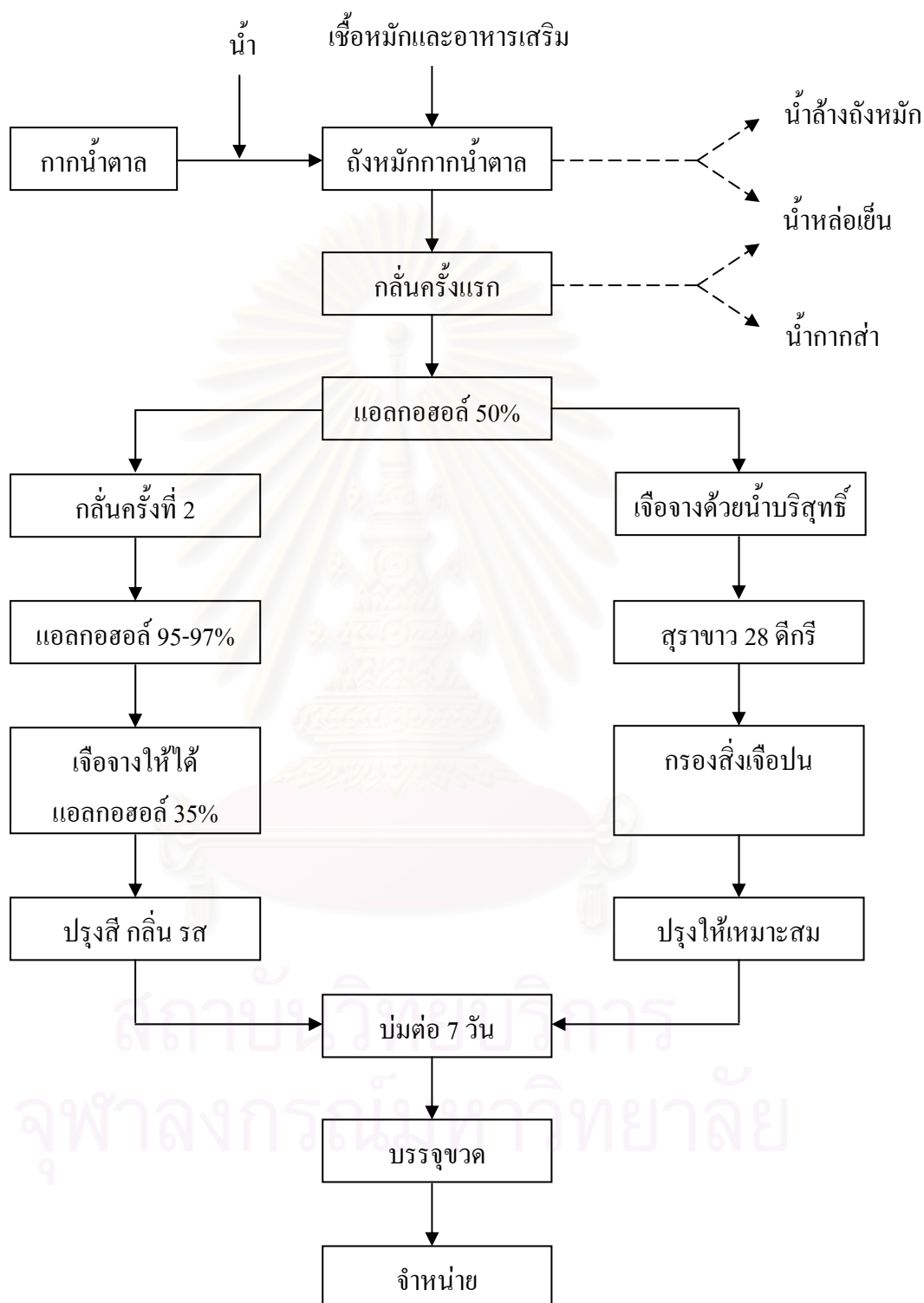
ปริมาณ (%)	ปริมาณเฉลี่ย (%)	องค์ประกอบของกากน้ำตาล
17-25	20	water
30-40	35	sucrose
4-9	7	dextrose (glucose)
5-12	9	levulose (fructose)
1-5	3	other reducing substances
2-5	4	other carbohydrates
7-15	12	ash
2-6	4.5	nitrogenous compounds
2-8	5	non-nitrogenous acids
0.1-1	0.4	wax, sterols and phospholipids: 1-triacontanol,
-	-	phytosterol, stignasterol
-	-	pigment: chlorophyll, tannins, anthocyanins
		vitamins

ที่มา: บุญเทียม พันธุ์เฟื่อง, 2523

การหมักแอลกอฮอล์ที่รู้จักกันโดยทั่วไปเป็นการหมักโดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces* sp. หรือเชื้อหมักสารเคมีที่จำเป็น เช่น แอมโมเนียม ฟอสเฟต เป็นการหมักที่เกิดขึ้นในสภาพที่ไม่ต้องการอากาศ ซึ่งวัตถุประสงค์ในการผลิต คือ กากน้ำตาลที่มีความหวานประมาณ 45-55 บริก (brix) โดยน้ำหนัก และข้าวเหนียว โดยนำมาหมักในถังในอัตราความเข้มข้นที่เหมาะสม ซึ่งในทางทฤษฎีแล้ว เมื่อหมักได้นาน 48 ชั่วโมง เชื้อยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ (เอทิลแอลกอฮอล์) ได้ร้อยละ 51.1 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 48.9 โดยน้ำหนักของน้ำตาล ดังสมการ



กระบวนการผลิตสุราสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กรรมวิธีการผลิตสุรากลั่นจากกากน้ำตาล (สุจินต์ พนาปวุฒิกุล และคณะ, 2525)

1) การหมักกากน้ำตาล (fermentation) กากน้ำตาล (molasses) เป็นผลิตภัณฑ์เหลือจากการผลิตของโรงงานน้ำตาล ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถตกผลึกได้ต่อไปอีก มีสีดำหรือน้ำตาลเข้ม มีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก อัตราความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหมาะสมในการหมักประมาณร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการหมักจึงต้องเจือจางกากน้ำตาลด้วยน้ำ 3 เท่า แล้วจึงใส่เชื้อหมัก (yeast) และอาหารเสริม การหมักใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง จะได้แอลกอฮอล์ร้อยละ 8-10 โดยปริมาตร ส่วนผสมของแอลกอฮอล์ภายหลังการหมักนี้เรียกว่า เบียร์ (beer) หรือ แมช (mash) หรือน้ำสำ ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังหอกลั่น

2) การกลั่นแอลกอฮอล์ (distillation) น้ำสำถูกส่งมายังหอกลั่นแรก เพื่อกลั่นแยกแอลกอฮอล์ออกมาได้แอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 50 ส่วนหนึ่งของที่กลั่นได้นี้ถูกนำไปผลิตได้เป็นสุราขาว และอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปกลั่นในขั้นต่อไป เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95-97 โดยปริมาตร

3) การผลิตสุราขาว (raw alcohol production) ส่วนหนึ่งของแอลกอฮอล์ร้อยละ 50 โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งแรก จะถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์ เพื่อให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 28 โดยปริมาตร หรือ 28° (28 degree) เรียกว่า สุราขาว จากนั้นกรองเศษผงและสิ่งเจือปนออก ปรุงรใหเหมาะสมและนำมาบ่มต่อประมาณ 7 วัน แล้วนำไปบรรจุขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป

4) การผลิตสุราผสม (blended liquor production) นำแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95-97 โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งที่สอง มาเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 35 โดยปริมาตร หรือ 35° (35 degree) แล้วเติมสี สมุนไพร และส่วนประกอบอื่นๆ เพื่อให้ได้กลิ่นหอมและรสชาติตามความต้องการ จากนั้นนำมากรองและบ่มต่อประมาณ 7 วันก่อนบรรจุขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าน้ำกากสำ (distillery slops) คือ ของเหลวเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตสุรา โดยน้ำกากสำสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ กากสำขาว ได้จากการใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบในการผลิต และกากสำแดง ซึ่งได้จากกระบวนการผลิตที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ น้ำกากสำจากโรงงานสุราเกือบทุกแห่งในประเทศไทยเป็นชนิดกากสำแดง มีสีน้ำตาลเข้มหรือดำ มีฤทธิ์เป็นกรด และมีความเข้มข้นของปริมาณสารอินทรีย์สูง โดยปกติที่อัตราการผลิต 4,500 เทต่อวัน (1 เท = 20 ลิตร) จะมีปริมาณน้ำกากสำประมาณ 300 ลบ.ม. ต่อวัน หรือมีปริมาณน้ำกากสำประมาณ 3.5 เท่า ของอัตราการผลิต (มาลี วิศวจารย์, 2531)

2.1.2 ลักษณะและสมบัติบางประการของน้ำเสียจากโรงงานสุรา

น้ำเสียของโรงงานสุราส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิตสุราในแต่ละขั้นตอน ดังรูปที่ 2.1 ลักษณะของน้ำเสียประเภทต่างๆ จากโรงงานสุรา มีลักษณะแตกต่างกันออกไป โดยน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตสุรามีอยู่ 2 ประเภท (โรงงานสุรากรมสรรพสามิต, 2542) คือ

1) น้ำเสียที่มีค่าบีโอดีต่ำ ได้แก่ น้ำล้างขวด ตะกอนยีสต์ และน้ำทิ้งจากอาคารต่างๆ โดยมีค่าบีโอดีประมาณ 80-120 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่กำลังการผลิตสุรา 100 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีปริมาณน้ำเสีย 150 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ลักษณะของน้ำล้างขวดได้แสดงดังตาราง 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณและคุณลักษณะของน้ำล้างขวดโดยเฉลี่ยจากโรงงาน

ลักษณะ	หน่วย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	-	8.3	11.5	9.4
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	มิลลิกรัมต่อลิตร	350	710	483
สารที่แขวนลอย	มิลลิกรัมต่อลิตร	34	130	91
บีโอดี	มิลลิกรัมต่อลิตร	40	115	90
ซีโอดี	มิลลิกรัมต่อลิตร	95	280	200

ที่มา: โรงงานสุรากรมสรรพสามิต, 2542

2) น้ำเสียที่มีค่าบีโอดีสูงหรือน้ำกากส่า ได้แก่ น้ำเสียจากกระบวนการกลั่น โดยพบว่าในกระบวนการกลั่นสุรามีน้ำกากส่าออกมาจากหมักกลั่น โดยเป็นแหล่งที่มีปริมาณน้ำเสียมากที่สุด ซึ่งปริมาณน้ำกากส่าของโรงงานสุราเขตต่างๆอยู่ในระหว่าง 300-450 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ขึ้นอยู่กับเขตการจำหน่ายของแต่ละโรงงาน ลักษณะทางกายภาพของน้ำกากส่า มีสีน้ำตาลเข้ม เช่นเดียวกับสีของกากน้ำตาล ซึ่งมีค่าบีโอดีและซีโอดีสูง โดยมีค่าบีโอดีสูงประมาณ 60,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าซีโอดีสูงประมาณ 150,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถสรุปลักษณะตัวอย่างของน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา องค์การสุรา ได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ลักษณะของน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา องค์การสุรา

ลักษณะ	หน่วย	ค่าเฉลี่ย
ปริมาณการไหล	ลูกบาศก์เมตร/วัน	500
COD	มิลลิกรัม/ลิตร	150,000
BOD	มิลลิกรัม/ลิตร	60,000
TKN	มิลลิกรัม/ลิตร	1,750
ฟอสฟอรัส	มิลลิกรัม/ลิตร	150
ซัลเฟต	มิลลิกรัม/ลิตร	4,500
โพแทสเซียม	มิลลิกรัม/ลิตร	5,500
ของแข็งแขวนลอย	มิลลิกรัม/ลิตร	14,000
แคลเซียม	มิลลิกรัม/ลิตร	1,650
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	60
pH	-	4.1-4.6

ที่มา: ดัดแปลงจาก สุนันท์ พูลธนกิจ, 2547

สำหรับคุณลักษณะของน้ำทิ้งประเภทต่างๆ จากโรงงานสุรา มีลักษณะแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ซึ่งทำการสำรวจคุณภาพของน้ำเสียประเภทต่างๆของโรงงานต้มกลั่นสุรา 32 แห่งทั่วราชอาณาจักร โดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (สวท.) (กรมสรรพสามิต, 2526) พบว่า น้ำกากส่ามีค่าบีโอดีอยู่ระหว่าง 17,500 – 45,000 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าเฉลี่ย 27,475 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 56,970 – 193,600 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าเฉลี่ย 118,100 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าของแข็งทั้งหมด (TS) เฉลี่ย 75,830 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนน้ำล้างขวดและน้ำหล่อเย็นคอนเดนเซอร์มีค่าความสกปรกในรูปบีโอดีและซีโอดีน้อยกว่าน้ำกากส่ามาก

ตารางที่ 2.4 คุณภาพของน้ำเสียประเภทต่างๆของโรงงานต้มกลั่นสุรา 32 แห่ง ที่วราชอาณาจักร

ประเภทน้ำเสีย	ค่าเฉลี่ย															
	ปริมาณน้ำทิ้ง (m ³ /d)	pH	Temp (°C)	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)	COD/BOD	SS (mg/l)	TS (mg/l)	TVS (mg/l)	Settleable solid (mg/l)	Total N (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Alkalinity (mg/l)	Hardness (mg/l)
น้ำกากส่า	90	3.7	88.6	27,475	118,100	4.3	11,319	75,830	58,520	27	940	115	4,760	3,720	-	-
น้ำล้างขวด	90	7.2	29.5	100	220	2.2	107.3	308.5	143.8	-	3.2	0.16	-	-	-	-
น้ำหล่อเย็น	812	6.8	42.8	27	54.2	2.0	72.4	277.8	96.4	-	347	7	-	-	77	57

ที่มา : คัดแปลงจาก กรมสรรพสามิต, 2526

น้ำกาฬสำที่เกดขึ้นนอกลงมค้ค้บปีโอค้สูงแล้วยงมีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งสีน้ำตาลเข้มในน้ำกาฬสำนั้นเป็นผลมาจากปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) โดยไม่อาศัยเอนไซม์หรือปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1912 โดย Louis Maillard เนื่องจกในกาฬน้ำตาลนอกลงจะมีน้ำตาลชนิดต้งๆ เช่น ซูโครส (sucrose) กลูโคส (glucose) ฟรุกโตส (fructose) และราฟฟิโนส (raffinose) ซึ่งเป็นสารประกอบคอปเปอร์รีดิวซ์ (copper reducing substance) ที่ยีสต์สามารถใช้ในการหมักแอลกอฮอล์แล้ว ยังมีสารคอปเปอร์รีดิวซ์อื่น ๆ ที่ยีสต์ไม่สามารถใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ ส่วนใหญ่จะเป็นพวกคาราเมล (caramel) ของน้ำตาลชนิดต้งๆ ที่มีเหลือในกาฬน้ำตาลที่ยีสต์ไม่ใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ เป็นสารที่ไม่มีธาตุไนโตรเจน ที่เกิดจากน้ำตาลได้รับความร้อนมากเกินไปในระหว่างกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย และเกิดจากสารเมลานอยดิน (melanoidin) ซึ่งเป็นสารที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากการรวมตัวระหว่างน้ำตาลชนิดต้งๆ กับกรดอะมิโน (amino acid) ชนิดต้งๆ ภายใต้อุณหภูมิสูง โดยผ่านกระบวนการปฏิกิริยาบราวน์นิง (browning reaction) พัฒนาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลและน้ำตาลแดง (บุญเทียม พันธุ์เพ็ง, 2523; สุจินต์ พนาปุฒิกุล, 2527; Underkofler, 1954) สารนี้เป็นสารที่ถูกย่อยสลายได้ยาก จึงเป็นปัญหาในการกำจัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้ Watanabe และคณะ (1982) กล่าวว่า สีน้ำตาลเข้มในน้ำกาฬสำส่วนมากแล้วเกิดจากสารจำพวกเมลานอยดิน

การเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ สามารถจำแนกได้เป็น 2 แบบ คือ (นริธา รัตนปนนท์, 2545)

1.) การเกิดคาราเมลไลเซชัน (caramelization)

คาราเมลไลเซชันเป็นการใช้ความร้อนสูงสลายโมเลกุลของน้ำตาลให้แยกออก (thermolysis) และเกิดพอลิเมอร์เซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้สารเริ่มต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น โดยสารสีที่เกิดจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันของน้ำตาลเพียงอย่างเดียวจะประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เรียกว่า คาราเมล (caramel) ซึ่งสารสีน้ำตาลแดงที่ใช้เป็นสารสีในเบียร์และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์นั้นเกิดจากการให้ความร้อนกับน้ำตาลเพียงอย่างเดียว และเมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายคอลลอยด์ที่มีประจุลบเล็กน้อยและมีพีเอชประมาณ 3-4

2.) การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซิงกับหมู่เอมีนที่อยู่ในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโน หรือโปรตีน เป็น carbonyl-

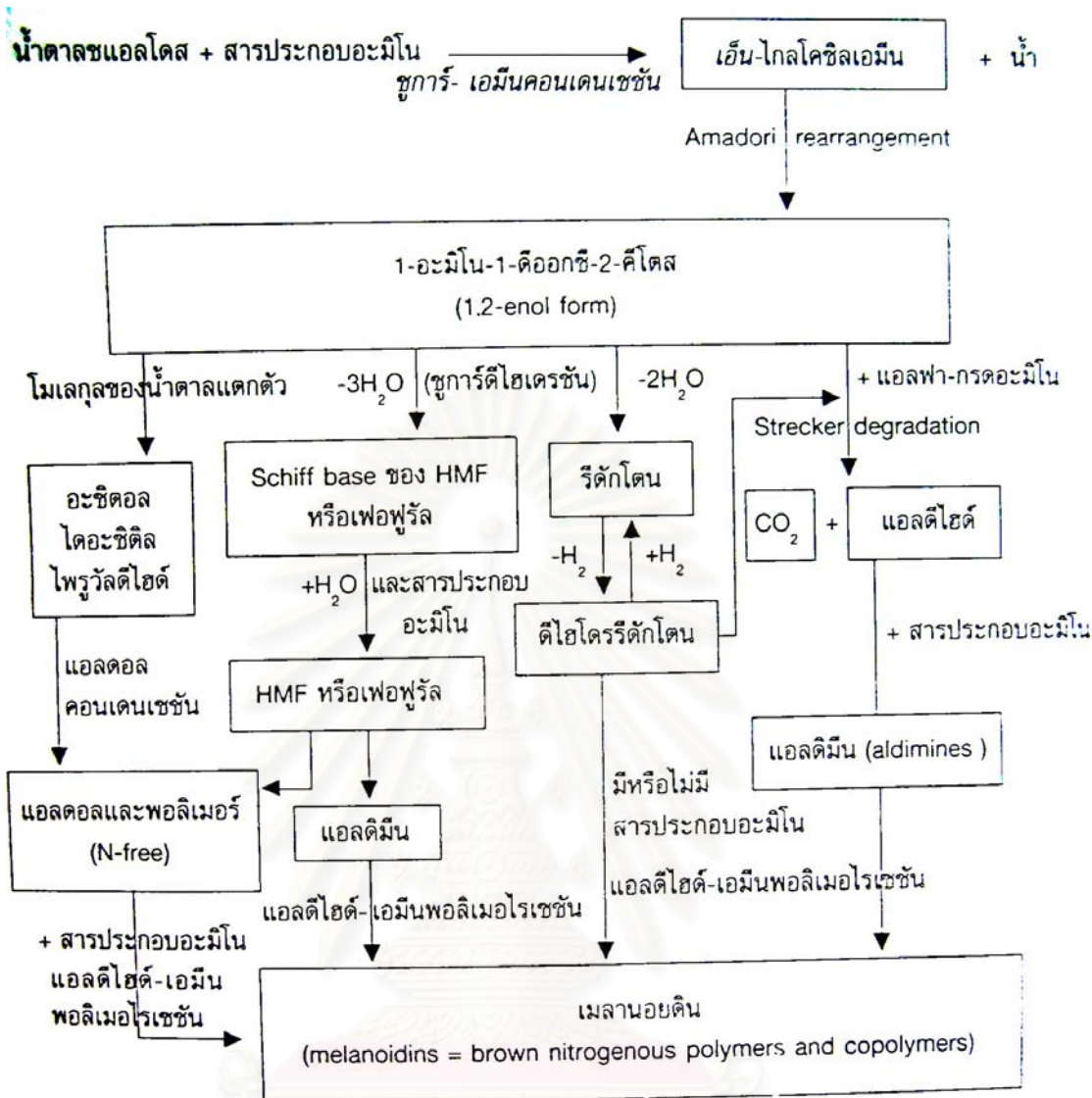
amine reaction และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาล เรียกว่า ปฏิกิริยามเมลลาร์ด หรือ nonenzymatic browning

ขั้นตอนของปฏิกิริยามเมลลาร์ด มีดังนี้

- (1) น้ำตาลรีดิวซิงทั้งคีโตสและแอลโดส จะรวมตัวกับหมู่อะมิโน ได้เป็นไกลโคซิลเอมีน
- (2) เกิดปฏิกิริยาคีไฮเดรชันได้เป็นอิมีน (imines หรือ schiff base) และมีการเรียงตัวใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (aldosamine) หรือคีโตสเอมีน (ketoseamine) เรียกว่า amadori products ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ เมื่อมีพีเอช 5 หรือต่ำกว่า
- (3) เกิดปฏิกิริยา enolization ของ amadori products ได้เป็นไดคิโตสเอมีน หรือ ไดอะมิโนซูการ์
- (4) เกิดปฏิกิริยาคีไฮเดรชันต่อได้เป็นอนุพันธ์ของฟูแรน (furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซส อนุพันธ์ฟูแรน คือ 5- ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์ลดีไฮด์ (5-hydroxymethyl-2-furaldehyde หรือ HMF)
- (5) อนุพันธ์ฟูแรนวงแหวน เช่น HMF จะเกิดพอลิเมอร์หรืออย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำ ซึ่งต่างจากการเกิดคาราเมลไลเซชันซึ่งมีน้ำตาลเพียงอย่างเดียว สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจึงเรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidins) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโมลต่อโมล (mole per mole reaction) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ดังนั้นโปรตีนจากปฏิกิริยามเมลลาร์ดที่ละลาย จึงมีทั้งพอลิเมอร์ที่ละลายและไม่ละลายในน้ำและพบได้ในอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซิง กรดอะมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆอยู่รวมกันและได้รับความร้อน

สำหรับการเกิดปฏิกิริยามเมลลาร์ดของน้ำตาลฟรักโทส จะเกิดปฏิกิริยาไดแอนไฮไดรด์ (dianhydrides) และเกิดสีน้ำตาลในภายหลังเช่นเดียวกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (ดัดแปลงจาก Sapers, 1993)

2.1.3 ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากน้ำกากส่า

น้ำกากส่าประกอบไปด้วยอินทรีย์วัตถุรวมทั้งยีสต์ แอมโมเนีย ฟอสเฟต และกากน้ำตาลที่คงเหลืออยู่ (National Energy Policy Office, 2000) และจากปริมาณสารอินทรีย์ที่สูง หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะส่งผลให้เกิดมลพิษทางน้ำได้ โดยน้ำกากส่ามีค่าบีโอดีอยู่ระหว่าง 17,500 – 45,000 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าเฉลี่ย 27,475 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 56,970 – 193,600 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าเฉลี่ย 118,100 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าของแข็งทั้งหมด (TS) เฉลี่ย 75,830 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนค่าสารอินทรีย์อื่นๆ ไม่พบว่ามีสารวิเคราะห์ไว้ (ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524)

ในปัจจุบัน โรงงานสุราส่วนใหญ่ ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพในการบำบัด เช่น ระบบย่อยสลายในบ่อหมัก (anaerobic digestion pond) ซึ่งมีขนาดความลึกของบ่อตั้งแต่ 4.0 – 9.0 เมตร และทำการบำบัดต่อด้วยระบบบ่อผิ่่งที่มีความลึกของบ่อประมาณ 2 เมตร โดยเน้นการเก็บกักไว้ในบ่อทั้งหมด ไม่มีการระบายทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติอื่นๆ แต่จะปล่อยให้น้ำเสียระเหยและซึมลงดินตามธรรมชาติ ดังนั้นจึงมีโอกาสน้ำที่น้ำกากสำซึ่งมีค่าความสกปรกในรูปบีโอดีสูง จะสามารถปนเปื้อนไปสู่ดิน แหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดินในบริเวณข้างเคียงได้ ดังนั้น หากมีการปนเปื้อนหรือซึมของน้ำกากสำลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินหรือน้ำผิวดิน รวมทั้งในดินบริเวณข้างเคียงบ่อเก็บกักน้ำกากสำก็จะเกิดผลกระทบต่อประชาชนได้ โดยเฉพาะหากในบริเวณนั้นมีการใช้ประโยชน์จากน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดินในบริเวณนั้นๆ (ชเรศ ศรีสถิตย์และสุจินย์ คุ้มเสงี่ยม, 2548) เช่น

- ในกรณีที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน เช่น แม่น้ำ ลำคลอง จะทำให้น้ำมีค่าบีโอดีสูง ส่งผลให้แหล่งน้ำเกิดการเน่าเสีย ส่งกลิ่นเหม็น ประชาชนไม่สามารถใช้ประโยชน์จากน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่มีการปนเปื้อนได้

- ในกรณีที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาล และประชาชนในบริเวณโรงงานมีการใช้น้ำบาดาล หากมีการปนเปื้อนในชั้นน้ำที่ชาวบ้านใช้ประโยชน์แล้ว จะทำให้น้ำไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้อุปโภคและบริโภค เนื่องจากจะมีการปนเปื้อนสีแดงจากน้ำกากสำ

2.1.4 แนวทางการจัดการน้ำกากสำในปัจจุบัน

น้ำกากสำที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์และการกลั่นสุรานั้นมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่สูง หากปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัด สารอินทรีย์ก่อนจะทำให้แหล่งน้ำนั้นเน่าเสียได้ และสีน้ำตาลเข้มของน้ำกากสำที่ยากต่อการกำจัดนั้น หากปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้แหล่งน้ำนั้นเกิดสภาพอันน่ารังเกียจ และประชาชนก็ไม่สามารถนำน้ำจากแหล่งน้ำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงได้มีการนำน้ำกากสำไปใช้ประโยชน์แต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลายนัก เนื่องจากน้ำกากสำมีองค์ประกอบต่างๆ ที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามมีผู้นำน้ำกากสำมาใช้ประโยชน์บ้างดังต่อไปนี้ (ชเรศ ศรีสถิตย์ และสุจินย์ คุ้มเสงี่ยม, 2548; สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2528)

- 1) การนำน้ำกากสำมาใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ย โดยใช้หลักการ incineration ซึ่งกระทำได้โดยการใช้เครื่อง evaporator ที่ใช้ในโรงงานสุรบางยี่ขัน จังหวัดปทุมธานี ทำการเคี้ยวน้ำกากสำจนงวดแห้งโดยให้มีเนื้อของแข็งประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำเนื้อของของแข็งดังกล่าวพ่นเข้าไปในห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้และยังได้ผลพลอยได้ คือ

ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีโปแตสเซียมในสัดส่วนที่สูงอีกด้วย ต่อมามีการนำหลักการดังกล่าวมาใช้กับน้ำกาก
 สำที่ได้จากโรงงานผลิตสุราที่ใช้กากน้ำตาลเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสุรา

2) การนำน้ำกากสำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก โดยอาศัยเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งปัจจุบันได้มีการ
 ค้นพบว่าจุลินทรีย์บางชนิด สามารถนำมาใช้สลายน้ำกากสำได้ ซึ่งใช้เวลาเพียง 1 เดือนเท่านั้น โดย
 นำน้ำกากสำดังกล่าวพ่นลงบนกองกากอ้อยที่ได้จากโรงงานน้ำตาลหลังจากที่ตากกองกากอ้อยให้
 แห้งแล้ว กลับกองกากอ้อยด้วยรถแทรกเตอร์ แล้วพ่นน้ำกากสำลงบนกากอ้อยดังกล่าวอีก ทำดังที่
 กล่าวนี้สลับกันไป ก็จะได้ปุ๋ยหมักตามที่ต้องการ ซึ่งการผลิตปุ๋ยหมักดังกล่าวจะเสียค่าใช้จ่ายในการ
 บำบัดน้ำกากสำประมาณ 24 บาท/การบำบัดน้ำกากสำ 1 ลูกบาศก์เมตร (เกษตรอุตสาหกรรม, 2530)

3) การนำน้ำกากสำมาราดถนนลูกรังเพื่อลดฝุ่น (road spray) ซึ่งพบเห็นทั่วไปใน
 เขตใกล้เคียงที่มีโรงงานผลิตสุราตั้งอยู่ วิธีนี้แม้จะเป็นการลดฝุ่นของถนนลูกรังแต่ก็สามารใช้ได้
 ในฤดูแล้งเท่านั้น เพราะในช่วงฤดูฝนน้ำกากสำเหล่านั้นจะถูกน้ำฝนชะล้างไป (สุเมธ และคณะ,
 2530)

4) การใช้น้ำกากสำในการเลี้ยงปลา (fish farming) จากการทดลองแม้ว่าจะใช้ได้ผล
 แต่ก็ใช้ในปริมาณที่จำกัด เนื่องจากหากใช้ในปริมาณที่มากไปแล้วจะเป็นอันตรายต่อปลาได้ ทั้งนี้
 เพราะจะทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลง

5) การนำน้ำกากสำมาเลี้ยงจุลินทรีย์เพื่อผลิตเป็นโปรตีนเซลล์เดียว เนื่องจากในน้ำ
 กากสำมีน้ำตาลฟรุกโตสเหลืออยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งพบว่ามียีสต์หลายชนิดสามารถใช้เป็นแหล่ง
 คาร์บอนในการเจริญเติบโตได้ดี ฉะนั้นในการนำน้ำกากสำมาเลี้ยงยีสต์ดังกล่าวเพียงแต่เติมแหล่ง
 ไนโตรเจนเพียงเล็กน้อย เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต ยีสต์ก็สามารถเจริญเติบโตได้ดี หลังจากทำการ
 แยกยีสต์ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนออกไปแล้ว พบว่าน้ำกากสำดังกล่าวมีค่าบีโอดีและซีโอดีลดลง จึง
 เป็นการช่วยลดมลภาวะในน้ำกากสำได้อีกทางหนึ่งจากการเลี้ยงเชื้อ *S. cerevisiae* และ *Candida*
valida ในน้ำกากสำสามารถผลิตโปรตีนได้ประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์

6) การนำน้ำกากสำไปใช้ในการหมักก๊าซมีเทน การหมักดังกล่าวเป็นการเปลี่ยน
 แปลงอินทรียสาร โดยจุลินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน ซึ่งผลที่ได้คือ ก๊าซผสมซึ่งมีก๊าซมีเทน
 ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์กับ
 stabilized sludge (ซึ่งนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับก๊าซมีเทนที่ได้นั้นจะถูกนำไปใช้เผาไหม้ทำให้เกิด
 พลังงานความร้อนเพื่อใช้ในกิจกรรมอื่นๆ ของโรงงานต่อไป

7) มีการนำน้ำกากส่าไปใช้ในการเลี้ยงกุ้งเพื่อปรับสภาพน้ำ โดยใช้ประโยชน์จากกลุ่มจุลินทรีย์บาซิลลัสในน้ำกากส่าช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ทำให้ไม่เกิดการเน่าเสียของเศษอาหารอันเป็นสาเหตุให้สภาพแวดล้อมในบ่อเสื่อมโทรม กุ้งอ่อนแอและเป็นที่มาของโรคกุ้ง (เพื่อนเกษตร, 2550) นอกจากนี้ยังเป็นการปรับพีเอชในบ่อให้คงที่ ช่วยทำให้เกิดแพลงตอน ทำให้เลนกำนบ่อน้อย และช่วยสลายสารต่างๆที่ตกค้างในดิน (วุฒิ สุวพานิช, 2548)

เนื่องจากน้ำกากส่าจากกระบวนการผลิตสุรามิปริมาณสูงมาก และปริมาณการนำน้ำกากส่าไปใช้ประโยชน์นั้นมีน้อย หากจะปล่อยให้ส่วนที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ปนเปื้อนสู่ดินหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ อาจก่อให้เกิดผลกระทบอื่นตามมา จึงควรทำการบำบัดน้ำกากส่าก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

2.1.5 การบำบัดน้ำกากส่า

น้ำเสียจากกระบวนการกลั่นสุราหรือน้ำกากส่ามีค่าบีโอดีสูงและมีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งเกิดจากสารที่เรียกว่าเมลานอยดิน ทำให้ยากต่อการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพทั่วไป ต่อมาได้มีการศึกษาทำให้ค้นพบว่ามีความเร็ว และบางชนิดสามารถลดสีของน้ำกากส่าได้ (Paje, Matsumura และ Kataoka, 1991) แต่ยังไม่มีการนำไปประยุกต์ใช้ นอกจากนี้ยังมีวิธีทางเคมีที่สามารถลดสีของน้ำกากส่าได้ เช่น การออกซิเดชัน และการตกตะกอนด้วยสารเคมี ทำให้วิธีทางเคมีเป็นทางหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาใช้เพื่อบำบัดน้ำกากส่า โดย Hayase และคณะ (1984) ได้ศึกษาการกำจัดสีเมลานอยดินด้วยการออกซิเดชันทางเคมี พบว่าเมื่อใช้เอนไซม์กลูโคสออกซิเดสกำจัดสีเมลานอยดิน ในสภาวะที่เหมาะสมจะกำจัดสีเมลานอยดินได้ถึง 65 % ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับสารตั้งต้น ทำให้เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากเหตุผลนี้เขาจึงใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาทำการทดลองแทนเอนไซม์ดังกล่าว โดยการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณความเข้มข้น 6.72% ที่พีเอช 7 และ 10 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 ชั่วโมง เมลานอยดินจะถูกย่อยสลายลง 64 – 97 % ตามลำดับ เมลานอยดินที่ถูกย่อยสลายลงนี้เป็นเมลานอยดินที่มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 3,500 – 5,300

การกำจัดสีของเมลานอยดินด้วยวิธีการทางเคมียังมีอีกหลายรูปแบบ เช่น การตกตะกอนด้วยสารเคมีบางอย่าง เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต เพอร์ริคซัลเฟต สารส้ม ปูนขาว โดย Veronica และคณะ (1993) ได้ทำการศึกษาลดสีของน้ำกากส่าโดยใช้สารรวมตะกอนโพลีเพอร์ริคไฮดรอกซีซัลเฟต ที่มีสูตรทางเคมี $[Fe_2(OH)_n(SO_4)_{3-n/2}]_m$ พบว่า ประสิทธิภาพในการลดสีน้ำกากส่าสดเป็น 32% น้ำกากส่าที่ผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แล้ว 87% และน้ำที่ปล่อยออกสู่

บ่อบำบัดน้ำเสียเป็น 94% ที่ความเข้มข้นของโพลีเฟอร์ริคไฮดรอกไซด์ 4% โดยปริมาตร และค่าที่ไอซีของน้ำกากส่าลดลง 21% ส่วนค่าที่ไอซีของน้ำกากส่าที่ผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ และน้ำที่ปล่อยออกสู่บ่อบำบัดน้ำเสียลดลงประมาณ 73 %

นอกจากนี้ได้มีการศึกษาการกำจัดสีในน้ำกากส่าด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับวิธีการตกตะกอนทางเคมีโดย สิวลี โปร่งทอง (2541) ได้ประยุกต์ใช้วิธีทางเคมีและชีวภาพในการบำบัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา โดยใช้กากส่าสดและกากส่าหมักมาทำการทดลอง พบว่า เมื่อตกตะกอนน้ำกากส่าสดด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์ สารส้ม และปูนขาว สามารถลดความเข้มข้นสีได้ ร้อยละ 90.0 89.0 และ 93.0 ตามลำดับ เมื่อตกตะกอนน้ำกากส่าหมักด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์ สารส้ม และ ปูนขาว สามารถลดความเข้มข้นสีได้ร้อยละ 98.7 97.5 และ 93.6 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าน้ำกากส่าสดใช้ปูนขาวเป็นสารตกตะกอนและน้ำกากส่าหมักใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ จะสามารถลดความเข้มข้นสีได้ดีที่สุด ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกับ Suntud Sirianuntapiboon และ Siwalee Prongtong (2000) ที่ทำการกำจัดสีในน้ำกากส่าด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับวิธีการตกตะกอนทางเคมี โดยจากการตกตะกอนสีน้ำกากส่าด้วยสารส้ม ปูนขาว และเฟอร์ริคคลอไรด์ พบว่าสารตกตะกอนที่เหมาะสมในน้ำกากส่าสด คือ ปูนขาว โดยใช้ปริมาณ 83 กรัมต่อลิตร สามารถกำจัดสีได้ 94.81% ส่วนสารตกตะกอนที่เหมาะสมในน้ำกากส่าที่ผ่านบ่อบำบัดแบบไร้อากาศ คือ เฟอร์ริคคลอไรด์ โดยใช้ปริมาณ 29 กรัมต่อลิตร สามารถกำจัดสีได้ 98.72%

2.2 กระบวนการตกตะกอนทางเคมี (chemical coagulation)

การตกตะกอนทางเคมีจัดเป็นกระบวนการสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยเฉพาะน้ำประปาที่มาจากน้ำผิวดิน นอกจากนี้ยังใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมอีกด้วย โดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียมียู่ด้วยกันหลายกระบวนการ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น กระบวนการใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2539)

1) กระบวนการทางกายภาพ (physical unit process)

เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย โดยมากจะเป็นขั้นตอนแรกของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การตกตะกอน (sedimentation) การกรอง (filtration) เป็นต้น

2) กระบวนการทางเคมี (chemical unit process)

เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยสารเคมีผสมกับน้ำเสียเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อแยกเอามลสารต่างๆจากน้ำเสีย ได้แก่ การตกตะกอนผลึก (precipitation) การฆ่าเชื้อ (disinfection) การทำให้เป็นกลางหรือสะเทิน (neutralization) เป็นต้น

3) กระบวนการทางชีวภาพ (biological unit process)

เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยจุลินทรีย์ที่จะทำการย่อยสลายและเปลี่ยนสารอินทรีย์ต่างๆ ไปเป็นก๊าซลอยขึ้นสู่อากาศและจะได้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนขึ้น ได้แก่ ระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) เป็นต้น

4) กระบวนการทางกายภาพ-เคมี (physicochemical unit process)

เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยทั้งทางกายภาพและทางเคมีมารวมกันจะใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ การดูดซับด้วยถ่านคาร์บอน (carbon adsorption) เป็นต้น

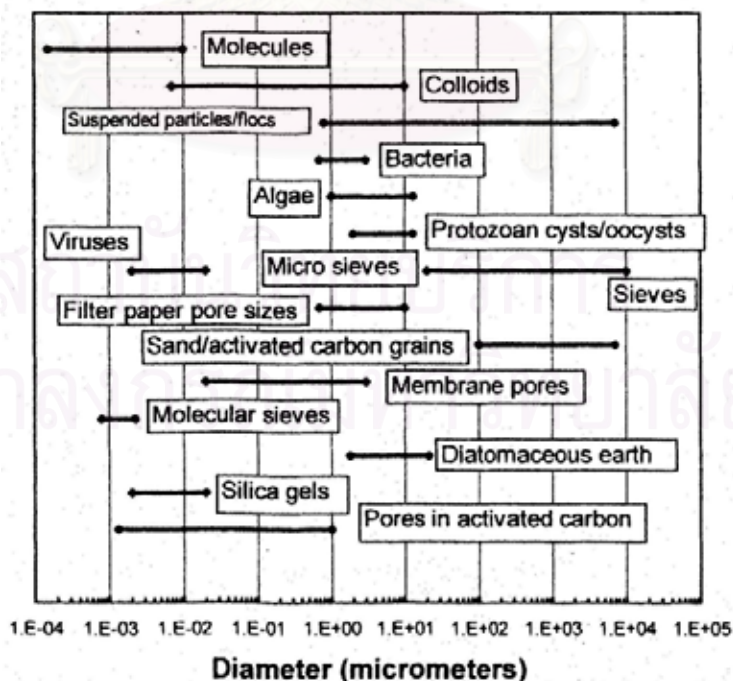
ในอดีตได้มีการใช้สารเคมีในระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อช่วยตกตะกอนของแข็งแขวนลอย (suspended solids) และอนุภาคขนาดเล็กออกจากน้ำเสีย แต่มีปัญหาอยู่ที่ไม่สามารถกำจัดมลสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลาย (soluble organics) ออกได้ ในระยะต่อมาจึงได้เปลี่ยนมาใช้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแทน จนกระทั่งเมื่อประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรได้เริ่มให้ความสนใจในการใช้กระบวนการทางฟิสิกส์-เคมีมากขึ้น เพื่อลดมลสาร อาหารเสริม (nutrient) เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และใช้ในการปรับสภาพของตะกอน (sludge conditioning) ช่วยในการตกตะกอน และกำจัดโลหะหนักต่างๆที่มีมากขึ้นในน้ำเสีย

วัตถุประสงค์ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี แบ่งออกเป็นหัวข้อใหญ่ๆได้ดังนี้

- 1) สร้างตะกอนให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้สามารถตกตะกอนได้ง่าย (coagulation and flocculation)
- 2) ทำให้มลสารที่ละลายอยู่ในน้ำตกตะกอน (precipitation) หรือทำให้ไม่ละลายน้ำ (insolubilization)
- 3) ปรับสภาพของน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการ เช่น ปรับค่าความเป็นกรดค่า (pH) อาหารเสริม (nutrients)
- 4) ฆ่าเชื้อโรค (disinfection)
- 5) ปรับสภาพของตะกอน (sludge conditioning) เพื่อใช้ในกระบวนการย่อยตะกอน และ/หรือแยกเอาน้ำออกจากตะกอน

2.2.1 พฤติกรรมของคอลลอยด์ (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2538)

อนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งเรียกว่าอนุภาคคอลลอยด์ โดยทั่วไปมีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 10^{-6} จนถึง 10^{-3} มม. (รูปที่ 2.3) เนื่องจากมีขนาดเล็กจึงไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของตัวเองในเวลาจำกัด ซึ่งการที่อนุภาคคอลลอยด์สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานานๆ โดยไม่ตกตะกอน เรียกว่าเป็นระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูง ดังนั้นจึงต้องทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์เพื่อทำให้อนุภาคสามารถรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดและน้ำหนักมากขึ้นจนสามารถตกตะกอนได้ และการที่คอลลอยด์มีเสถียรภาพนั้นเกิดจากการที่คอลลอยด์มีประจุไฟฟ้า ซึ่งอาจมีประจุบวกหรือลบก็ได้ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคจึงเป็นสาเหตุให้อนุภาคต่างๆ กระจายอยู่ในน้ำได้โดยไม่เป็นกลุ่มก้อน หรือฟลอค โดยในน้ำอนุภาคคอลลอยด์จะมีแรงกระทำซึ่งกันและกันอยู่สองชนิด คือ แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคและแรงผลัทางไฟฟ้า ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ผิวของอนุภาคมีประจุชนิดเดียวกันจึงเกิดการผลักกัน บทบาทของแรงทั้งสองมีผลต่อเสถียรภาพของคอลลอยด์ แรงผลัจะต้องสูงกว่าแรงดึงดูดจึงจะทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ ถ้าแรงดึงดูดมากกว่าแรงผลัอนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ สามารถจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟลอคได้ ทำให้อ่อนคอลลอยด์ไม่มีเสถียรภาพ ผลลัพธ์ของแรงระหว่างอนุภาคทั้งสองชนิดขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาค แรงดึงดูดมีอำนาจเหนือกว่าแรงผลัก็ต่อเมื่ออนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากๆ แต่ถ้าหากอนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้าสูงหรือมีชั้นกระจาย (diffuse layer) หนาจะทำให้เกิดแรงผลัสูงกว่าแรงดูด



รูปที่ 2.3 การจำแนกขนาดของสารต่างๆ ในน้ำ (Stumm และ Morgan, 1981)

1) คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์

อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดแตกต่างจากตะกอนแขวนลอย อะตอม และโมเลกุลขนาดเล็กและอีกอย่างหนึ่งคือคุณสมบัติทางไฟฟ้า อนุภาคคอลลอยด์อาจมีประจุบวกหรือลบก็ได้ แต่ส่วนใหญ่มักพบเป็นประจุลบและเป็นอนุภาคแบบไฮโดรโฟบิก (อนุภาคที่ไม่ชอบน้ำ) เช่น ความขุ่นในน้ำผิวดิน ซึ่งส่วนมากเป็นอนุภาคของดินเหนียวประเภทต่างๆ อนุภาคประจุบวกมักเป็นอินทรียสารซึ่งเป็นอนุภาคแบบไฮโดรฟิลิก

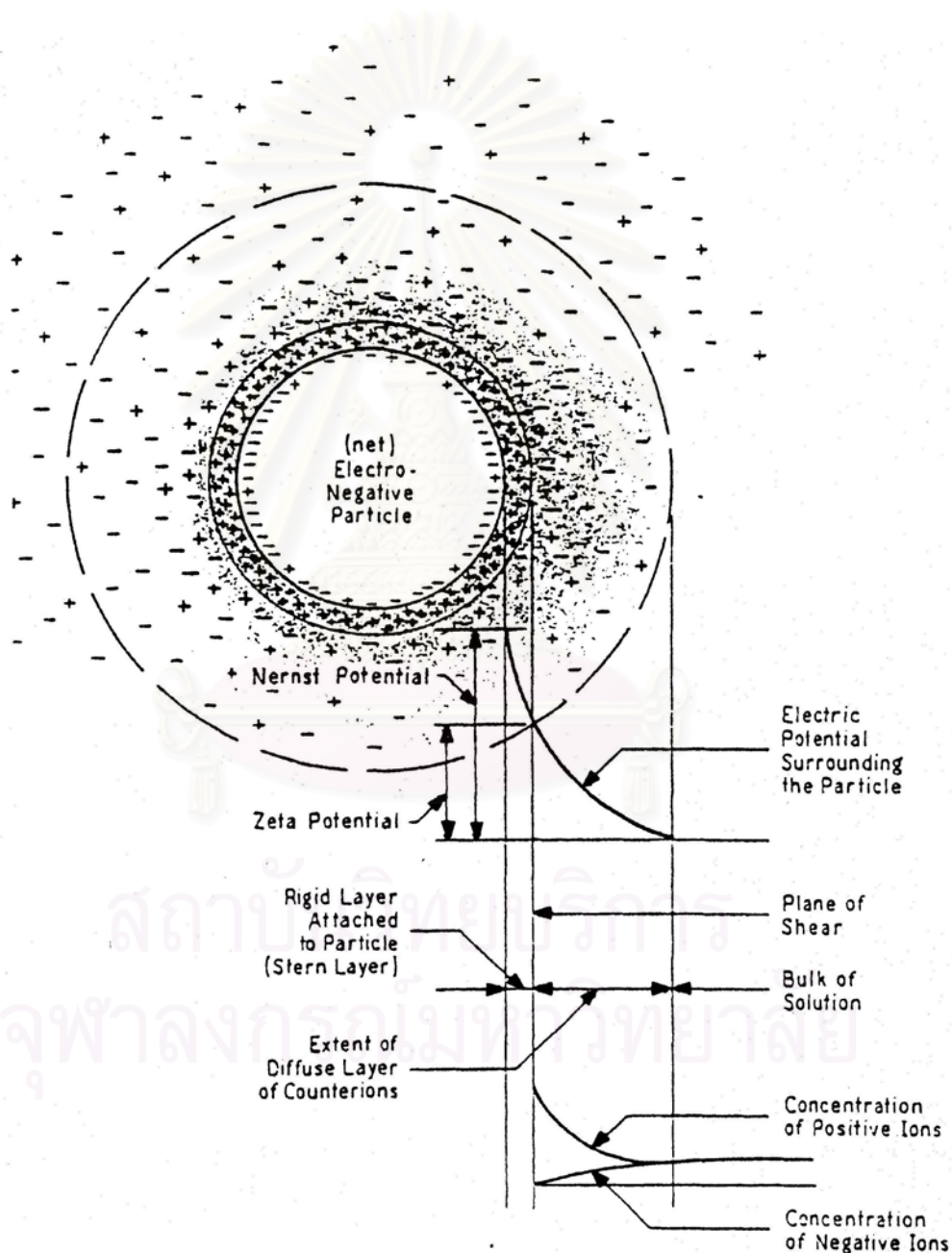
การที่อนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้า ทำให้มีแรงผลักระหว่างอนุภาคจึงเป็นสาเหตุทำให้อนุภาคต่างๆกระจายอยู่ในน้ำโดยไม่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนซึ่งเรียกว่าฟลอค ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าประจุไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ

2) ทฤษฎี electric double layer

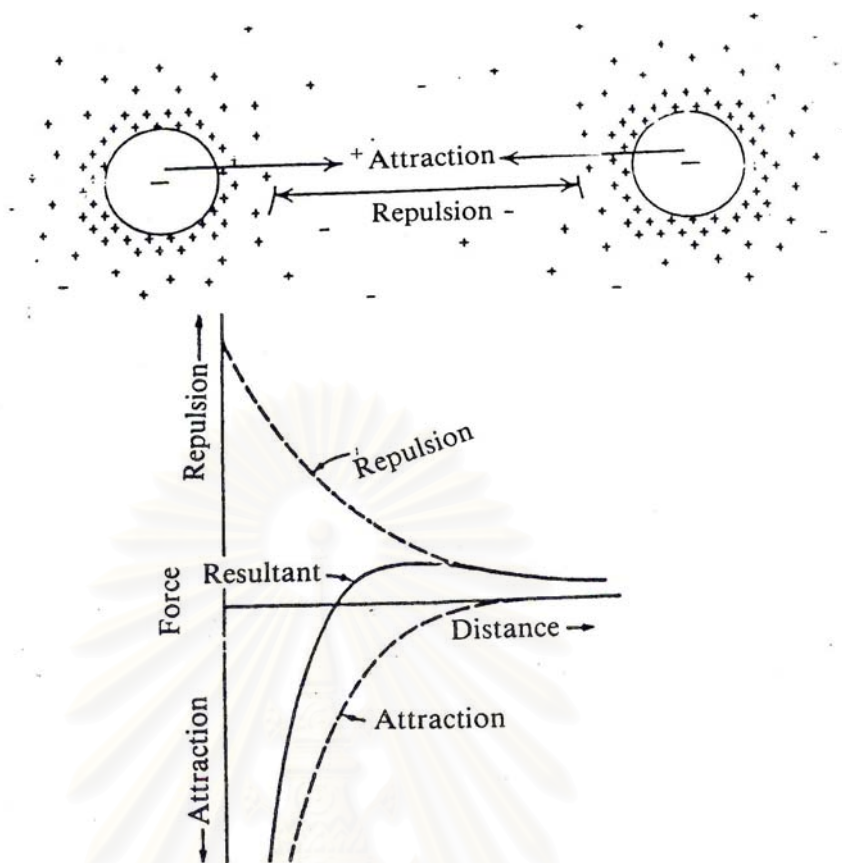
เนื่องจากประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์สามารถสร้างแรงดึงดูดที่ทำให้ไอออนประจุบวกที่มีอยู่ในน้ำวิ่งเข้ามาหาได้ จึงทำให้อิออนประจุบวกมาแออัดกันอยู่ใกล้ผิวอนุภาคคอลลอยด์ ไอออนบวกนี้เรียกว่า counter ion ความหนาแน่นของไอออนบวกจะสูงที่สุดในบริเวณที่อยู่ติดกับอนุภาคคอลลอยด์และลดน้อยลงไปตามระยะห่างจากอนุภาค โดยเป็นไปตามศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ผิว (nernst potential) และน้อยลงเมื่อห่างออกไป ณ ตำแหน่งที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ แสดงว่าไม่อยู่ภายใต้อำนาจไฟฟ้าของคอลลอยด์ ทำให้การกระจายตัวของไอออนบวกและลบเป็นไปตามปกติ ตามทฤษฎี double layer เชื่อว่า ไอออนบวกชั้นในสุดไม่สามารถเข้าถึงผิวของอนุภาคคอลลอยด์ ทั้งนี้เพราะไอออนบวกมักมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ ระยะห่างระหว่างผิวอนุภาคคอลลอยด์และจุดศูนย์กลางของไอออนที่อยู่ใกล้ที่สุด คล้ายมีเปลือกทรงกลมบางซึ่งมีความหนาเท่ากับ Ω กั้นขวางอยู่ เปลือกหรือชั้นบางนี้เรียกว่า stern layer และถือว่าเป็นชั้นในของทฤษฎีนี้ ศักย์ไฟฟ้าที่เปลือกนี้มีค่าเท่ากับ stern potential ส่วนเปลือกชั้นนอกมีชื่อเรียกว่า diffuse layer (ชั้นกระจาย) ครอบคลุมจากเปลือกชั้นในไปถึงตำแหน่งที่อนุภาคคอลลอยด์หมดอำนาจไฟฟ้าพอดี (ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์)

ศักย์ไฟฟ้าบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ หรือ nernst potential ไม่สามารถวัดได้โดยตรงแต่สามารถหาได้โดยวัดอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้า (electrophoretic mobility) และคำนวณศักย์ไฟฟ้าจากค่าที่วัดได้ ศักย์ไฟฟ้าที่คำนวณได้นี้เรียกว่า zeta potential (Z_p) ซีตาโพเทนเชียล (Z_p) หมายถึง ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวนอกสุดของน้ำที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับอนุภาค

คอลลอยด์ ผิวนอกสุดนี้เรียกว่า plane of shear ดังรูปที่ 2.4 ตำแหน่งที่แน่นอนของ plane of shear ไม่เป็นที่ทราบ เชื่อกันว่าอยู่นอก stern layer แต่ยังอยู่ใน diffuse layer อย่างแน่นอน บทบาทของ ซิตาโพเทนเชียลมีมากกว่าศักย์ไฟฟ้าตัวอื่นๆ เนื่องจากซิตาโพเทนเชียลใช้เป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึง ระดับของเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูง (มีแรงผลักระหว่างอนุภาคสูง) จะมีค่าซิตาโพเทนเชียลสูงด้วย ในทางตรงกันข้าม ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพต่ำจะมีซิตาโพเทนเชียลต่ำและทำให้รวมตัวกันเป็นฟลอคได้ง่าย



รูปที่ 2.4 แสดงการอธิบายทฤษฎี electric double layer (Amirtharajah และ O'Melia, 1999)



รูปที่ 2.5 แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ (Samuel และ Osman, 1983)

3. เสถียรภาพของคอลลอยด์

ระบบคอลลอยด์อาจมีเสถียรภาพหรือไม่ก็ได้ โดยคอลลอยด์จะมีเสถียรภาพเมื่อสามารถดำรงสถานะแขวนลอยในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอน เมื่อทำให้อนุภาคคอลลอยด์ตกตะกอนและแยกตัวจากน้ำก็ถือว่า เสถียรภาพของคอลลอยด์ถูกทำลายและไม่มีเสถียรภาพอีกต่อไป ด้วยเหตุนี้เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงขึ้นอยู่กับแรงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค แรงผลักจะต้องสูงกว่าแรงดูดจึงจะทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ ถ้าแรงดูดมากกว่าแรงผลั้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆสามารถจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกได้ ทำให้คอลลอยด์ไม่มีเสถียรภาพ แรงดูดระหว่างอนุภาคเรียกว่า van der waals force เป็นแรงอ่อนที่มีอำนาจเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กัน ส่วนแรงผลักระหว่างอนุภาคเป็นผลมาจากประจุไฟฟ้าของอนุภาคหรือซิติตาโพเทนเชียล ผลลัพธ์ของแรงระหว่างอนุภาคทั้งสองชนิดขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาค ดังรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าแรงดูดมีอำนาจเหนือกว่าแรงผลัก็ต่อเมื่ออนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากๆ โดยปกติแล้วแรงผลักซึ่งเกิดจากซิติตาโพเทนเชียล ไม่เปิดโอกาสให้อนุภาคต่างๆเข้ามาใกล้กันจนเกิดการดูดเข้าหากัน

2.2.2 กระบวนการโคแอกกูเลชันและฟลอคกูเลชัน

เสถียรภาพของคอลลอยด์ขึ้นอยู่กับแรงผลักรวมและแรงดูดระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ แรงผลักรวมเกิดขึ้นจากศักย์ไฟฟ้าซึ่งชักนำโดยประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ ส่วนแรงดูดเป็น van der waals force ซึ่งเป็นแรงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของอนุภาคขนาดเล็กและโมเลกุล แรงผลักรวมมากกว่าแรงดูดทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพและแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ ถ้าแรงดูดสูงกว่าแรงผลักรวมอนุภาคคอลลอยด์จะไม่มีเสถียรภาพและจะไม่สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ ดังนั้นการทำให้อนุภาคต่างๆรวมตัวกันและจับกันเป็นฟลอคนั้น เรียกว่า กระบวนการโคแอกกูเลชัน ซึ่งมี 2 ขั้นตอน คือ

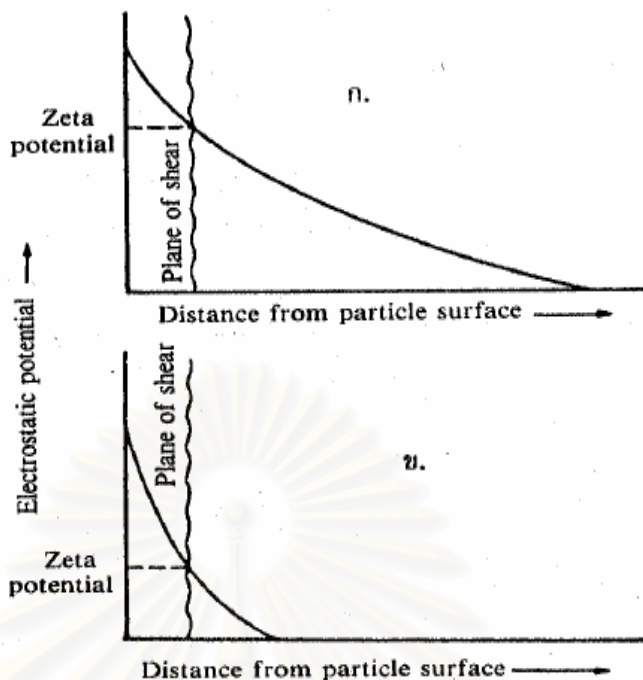
- การทำลายเสถียรภาพ (destabilization) ของคอลลอยด์ เช่น ลดแรงผลักรวมระหว่างอนุภาคโดยทางใดทางหนึ่ง เป็นต้น

- การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เคลื่อนที่มากกระทบสัมผัสกันให้มากที่สุด (transport of colloidal particles) เมื่้อนุภาคถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว การสร้างโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคย่อมเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าเดิม เมื่้อนุภาคต่างๆ สัมผัสกันแล้วควรเกาะติดกันแน่นและหลุดน้อยที่สุด

ความสำคัญของทั้ง 2 ขั้นตอนมีความเท่าเทียมกันและต้องมีทั้ง 2 ขั้นตอนจึงจะเกิดกระบวนการโคแอกกูเลชันที่สมบูรณ์ ปฏิกริยาโคแอกกูเลชันจะเกิดเกือบสมบูรณ์เมื่อสารเคมีละลายน้ำได้หมด โดยในขั้นแรกจะเกิดตะกอนขนาดเล็กและรวมตัวกันใหญ่ขึ้น เนื่องจากเกิดการลดประจุไฟฟ้าของอนุภาคและ brownian movement จากนั้นจึงส่งเข้ากระบวนการฟลอคกูเลชันเพื่อกวานซำๆ ให้อนุภาคมาชนกันและมีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถแยกออกได้ง่าย ซึ่งกลไกของกระบวนการโคแอกกูเลชันมีดังนี้

- 1) การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ (destabilization) โดยอาศัยกลไก 4 แบบ คือ

- 1.1) กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย (diffuse layer) โดยการเพิ่มประจุตรงกัน ขำกับคอลลอยด์ในชั้นกระจายให้มากขึ้น ผลที่เกิดขึ้นคือชั้นกระจายมีความหนาลดลงและทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้า (zeta potential) ที่ผิวนอกสุดของน้ำลดตามไปด้วย (รูปที่ 2.6) การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากมีประจุบวกเข้าไปอยู่ใกล้ผิวของอนุภาคคอลลอยด์เพิ่มขึ้นทำให้อำนาจของประจุลบของอนุภาคไม่สามารถส่งออกไปได้ไกลเท่าเดิม



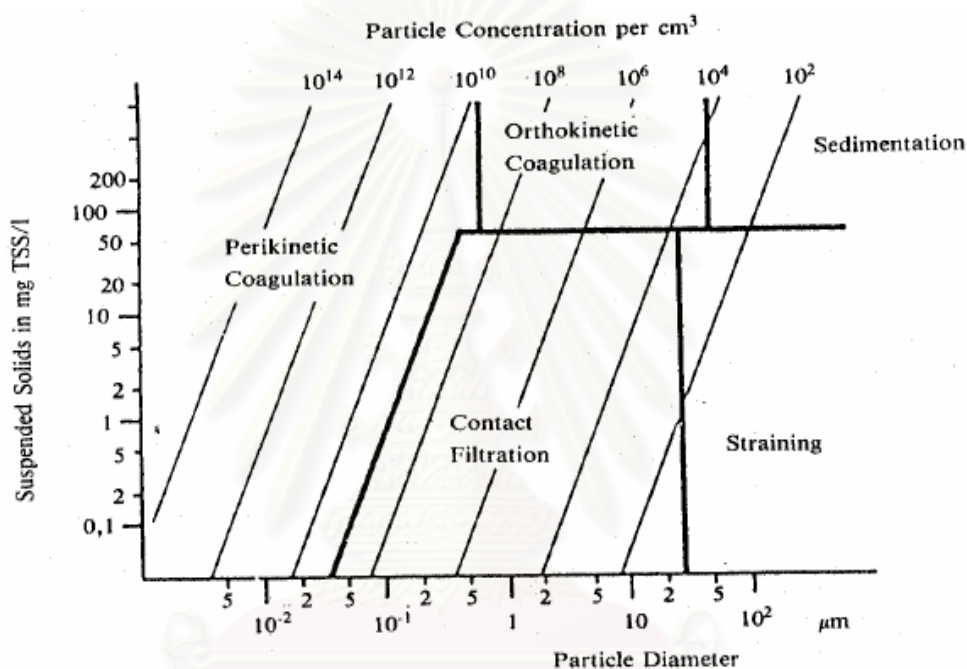
รูปที่ 2.6 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์ (ก) ก่อนเติมไอออน (ข) หลังจากการเติมไอออนแล้ว (มันสิน ตันทุลเวศม์, 2538)

1.2) กลไกการดูดซับและทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (adsorption and charge neutralization) โดยใส่สารเคมีบางหมู่ที่สามารถดูดซับ (adsorbed) บนผิวของอนุภาค และให้ประจุตรงกันข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์ การดูดซับจะมีผลในทางลดอำนาจศักย์ไฟฟ้าและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์

1.3) กลไกการสร้างผลึกขึ้นมาเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับ (sweep coagulation) ถ้าเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำในปริมาณที่พอเพียงจะมีการตกผลึกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าวเพื่อทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่หรืออาจจับตัวรวมกับผลึก ลักษณะที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้ อาจถือว่าการเพิ่มขนาดหรือน้ำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์ เป็นผลให้คอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและสามารถตกตะกอนได้ โครแอกกูแลนต์ดังเช่น สารส้ม ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) เฟอร์ริกคลอไรด์ แมกนีเซียมคาร์บอเนต และปูนขาว สามารถทำให้เกิดโครแอกกูแลนต์ได้โดยการสร้าง $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ และ CaCO_3 ซึ่งล้วนแต่เป็นผลึกสารที่ไม่ละลายน้ำ การกำจัดคอลลอยด์โดยกลไกแบบนี้เรียกว่า sweep flocculation หรือ sweep coagulation หรือ ห่อหุ้มคอลลอยด์

1.4) กลไกสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคคอลลอยด์ (polymer bridging) โดยใช้สารโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เมื่อใส่ลงในน้ำจะให้ก้อนเป็นจำนวนมากเพื่อเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์และยังมีแขนเชื่อมติดกับอนุภาคคอลลอยด์ตัวอื่นๆเพื่อทำให้เกิดฟล็อก

2) ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ทั้งหมดเสถียรภาพ แล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกคูลูชัน (flocculation) วิธีการสร้างสัมผัสให้อนุภาคมีหลายวิธีดังรูปที่ 2.7 ดังนี้



รูปที่ 2.7 เภณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างสัมผัสระหว่างอนุภาคต่างๆ ทั้ง 5 ประเภท (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2538)

2.1) ทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสร้างสัมผัสเกิดขึ้น วิธีปฏิบัตินี้เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ กวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่างๆของน้ำมีอัตราเร็วในการไหลแตกต่างกัน เป็นเหตุให้อนุภาคต่างๆมีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงมีการสัมผัสเกิดขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำต้องไม่รวดเร็วจนเกินไป มิฉะนั้นแล้วฟล็อกที่เกิดขึ้นอาจแตกหรือหลุดออกจากกันได้ ซึ่งอุปสรรคในการสร้างสัมผัสหรือสร้างฟล็อกคูลูชันเรียกว่า ถังกวนช้า และวิธีการสร้างสัมผัสแบบนี้มีชื่อเทคนิคว่า orthokinetic flocculation อนุภาคคอลลอยด์ที่มีฟล็อกคูลูชันแบบนี้ควรมีขนาดใหญ่กว่า 0.1 – 1 ไมครอนและมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มก./ล.

2.2) การสัมผัสของอนุภาคคอลลอยด์ อาจเกิดขึ้นได้เองโดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์กระทบกันเองหรือถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การสัมผัสแบบนี้จึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วยจึงอาจกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนเรียกว่า perikinetic flocculation

2.3) การสัมผัสระหว่าง อนุภาคเกิดขึ้น เนื่องจากการตกตะกอนที่มีอัตราไม่เท่ากันของอนุภาคต่างๆ ฟล็อกคูเลชันด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นพร้อมๆกับการตกตะกอน ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้เลย อนุภาคที่สามารถสร้างฟล็อกคูเลชันแบบนี้ได้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มก./ล. ในทางปฏิบัติอนุภาคที่มีขนาดดังกล่าว อาจเกิดฟล็อกคูเลชันมาก่อนแล้วครั้งหนึ่ง เมื่อมาถึงการตกตะกอนจึงเกิดฟล็อกคูเลชันอีกในขณะที่มีการตกตะกอน

2.4) ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 0.1 –1 ไมครอน แต่เล็กกว่า 5 ไมครอนและมีความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มก./ล. ฟล็อกคูเลชันอาจเกิดขึ้นโดยการสร้างสัมผัสแบบ orthokinetic flocculation แต่อาจเกิดขึ้นช้าเนื่องจากโอกาสสัมผัสน้อย วิธีแก้ไขอาจกระทำดังนี้

2.4.1) ใช้ถังกรองทรายแบบกรองเร็วหรือถังกรองแบบ 2 ชั้น ชั้นกรองช่วยเพิ่มอัตราสัมผัสให้และยังบังคับให้อนุภาคต่างๆเคลื่อนที่เข้ามาชิดกันด้วย การใช้ถังกรองช่วยสร้างฟล็อกคูเลชันเช่นนี้เรียกว่ากรองสัมผัส (contact filtration) แต่เนื่องจากช่องว่างในชั้นกรองมีจำกัดวิธีนี้จึงใช้ได้กับอนุภาคที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 50 มก./ล. การใช้กรวดขนาดเล็กแทนทรายอาจเพิ่มปริมาตรช่องว่างได้แต่เป็นการลดพื้นที่สัมผัส ดังนั้นจึงอาจได้ผลในทางฟล็อกคูเลชันไม่ดีเท่าชั้นทราย

2.4.2) ใช้อนุภาคที่จับตัวกันเป็นฟล็อกแล้วเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคใหม่ ในทางปฏิบัติสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ ทำให้ฟล็อกจับตัวกันเป็นชั้นสลัดจ์ (sludge blanket) และบังคับให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ผ่านชั้นสลัดจ์ อีกวิธีหนึ่งคือนำเอาฟล็อกกลับคืนมาผสมกับอนุภาคคอลลอยด์จากนั้นจึงสร้างสัมผัสตามแบบ orthokinetic flocculation ไปตามปกติ การใช้ถังตกตะกอนแบบ solids contact clarifier ก็ใช้หลักนี้

2.5) ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอนแต่มีความเข้มข้นต่ำ การสร้างสัมผัสอาจใช้วิธีกรองได้เช่นกัน แต่สารกรองที่ใช้ควรมีขนาดใหญ่กว่าทราย

2.2.3 สารสร้างตะกอน (coagulant)

สารเคมีที่ใช้การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอนในปัจจุบันมีหลายประเภท เช่น กลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ เช่น โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl) ซึ่งมีอำนาจในการสร้างและรวมตะกอนสูง ตกตะกอนเร็วกว่าสารส้ม ใช้เวลาในการกวนเร็ว น้อย ละลายน้ำได้ดี แต่ราคาค่อนข้างสูง กลุ่มที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ เช่น เฟอร์ริกซัลเฟต ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) ตะกอนเคมีของเฟอร์ริกมีน้ำหนักมากพอสมควรทำให้ตกตะกอนได้ดี และการใช้ปูนขาว (lime) เพื่อทำให้เกิดผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่ง Luna และคณะ (2007) ได้นำอลูมิเนียมซัลเฟตและโพลีอิเล็กโทรไลต์ (ACTIPOL A - 401) มาใช้เป็นสารสร้างตะกอนในศึกษาการบำบัดซีโอดี $\text{NH}_4\text{-N}$ และของแข็งแขวนลอยจากน้ำชะขยะที่มีสารอินทรีย์สูงและมีองค์ประกอบที่ยากต่อการกำจัด โดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชัน ฟล็อกคูเลชันร่วมกับการดูดซับด้วยซีโอไลต์สังเคราะห์จากถ้ำลอยถ่านหิน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าสามารถลดซีโอดี $\text{NH}_4\text{-N}$ และของแข็งแขวนลอยได้ 43% 53% และ 82% ตามลำดับ

นอกจากนี้ วิธีการตกตะกอนสามารถนำมาใช้เพื่อบำบัดสีในน้ำทิ้งได้โดย Joo และคณะ (2007) ได้ใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมีมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียสี้อมรีแอกทีฟที่มีความเข้มข้นสูง โดยใช้สารช่วยรวมตะกอนที่สังเคราะห์จากไซยาโนควานิดินและฟอร์มัลดีไฮด์ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด นำไปใช้ร่วมกับสารสร้างตะกอน (สารส้มและเกลือเฟอร์ริก) สารรวมตะกอนได้นำไปทดสอบกับน้ำเสียสังเคราะห์ 4 ชนิด (เบล็ค 5, บลู 2, เรด 2 และเยลโล 2) และน้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมย้อมผ้า สำหรับในน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าใช้สารสร้างตะกอน (1 ก./ล.) เพียงอย่างเดียวสามารถลดสีได้ 20% แต่เมื่อเติมโพลีเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ไปเป็นสารรวมตะกอนพบว่าสามารถกำจัดสีได้ถึง 100% ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดสีขึ้นอยู่กับปริมาณโพลีเมอร์ที่มากขึ้น พีเอช และชนิดของสารสร้างตะกอน เมื่อใช้สารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียวในน้ำเสียจริงพบว่า สามารถลดสีได้เพียงเล็กน้อย แต่หากใช้คู่กับโพลีเมอร์ด้วยพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มมากขึ้น โดยสารส้ม/โพลีเมอร์ สามารถกำจัดสีได้ 60% และ เฟอร์ริก/โพลีเมอร์ กำจัดสีได้ 40%

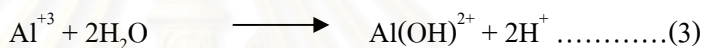
ลักษณะและสมบัติของสารสร้างตะกอน มีดังนี้

1. อลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) หรือสารส้ม (alum)(พรีคักดี สมรไกรสรกิจ, 2550)

สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากสามารถใช้ได้ดีกับน้ำดิบจากแหล่งต่างๆ และหาซื้อได้ง่ายในราคาที่ไม่แพงมากนัก สารส้ม (อลูมิเนียมซัลเฟต) มีสูตรโมเลกุล $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ซึ่งโดยปกติ * มีค่าเท่ากับ 14.3 หรือ 18 เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำจะแตกตัวให้อิออนบวกและลบ ดังปฏิกิริยา



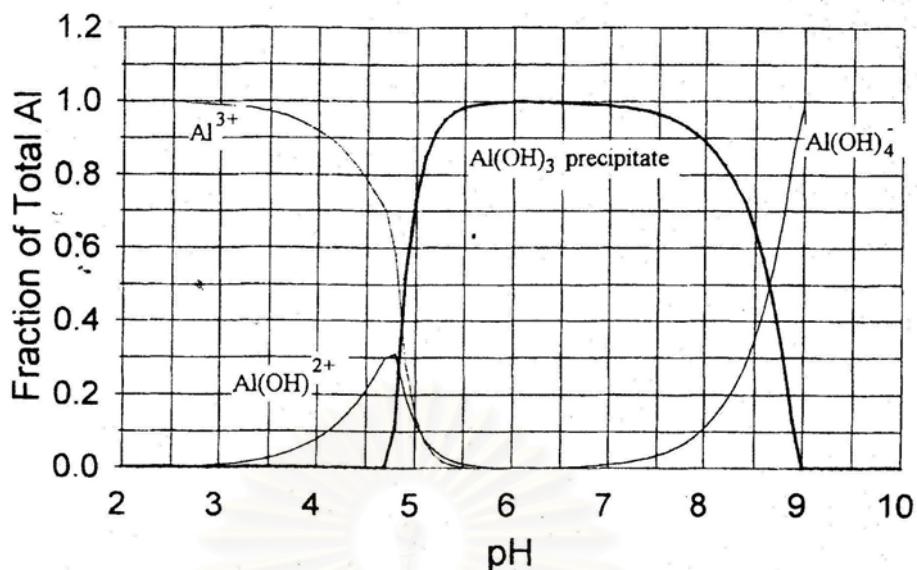
เมื่อเติมสารส้มในน้ำอลูมิเนียมไอออนจาก $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำได้ $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{+3}$ หรือ Al^{+3} ไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของ Al^{+3} จะเกิดขึ้นทันทีโดยไลแกนด์ชนิดต่างๆ ที่อยู่ในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง OH^- จะเข้าแทนที่โมเลกุลของน้ำเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex substance) ระหว่างอลูมิเนียมกับไฮดรอกไซด์ไอออนดังสมการ



ในกรณีที่ความเข้มข้นของสารส้มสูงกว่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว (saturation point) ไฮโดรไลซิสจะดำเนินต่อไปจนได้ผลของปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นผลึก



ผลของปฏิกิริยาที่จะเกิดการดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์คือสารคอมเพล็กซ์ ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างไฮโดรไลซิสจาก Al^{+3} ถึง $\text{Al}(\text{OH})_3$ สารคอมเพล็กซ์อาจมีประจุลบหรือบวกก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ กล่าวคือ ถ้าพีเอชของน้ำสูงกว่าจุดสะเทินทางไฟฟ้า (zero point of charge) ของ $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$ จะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุลบ เช่น $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, $\text{Al}(\text{OH})_5^{2-}$ ถ้าพีเอชของน้ำต่ำกว่า จะสะเทินทางไฟฟ้าของ $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$ ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในกระบวนการโคแอกกูเลชันจะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุบวก เช่น $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{+4}$, $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{+5}$ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มและค่าพีเอช (Amirtharajah และ O'Melia, 1999)

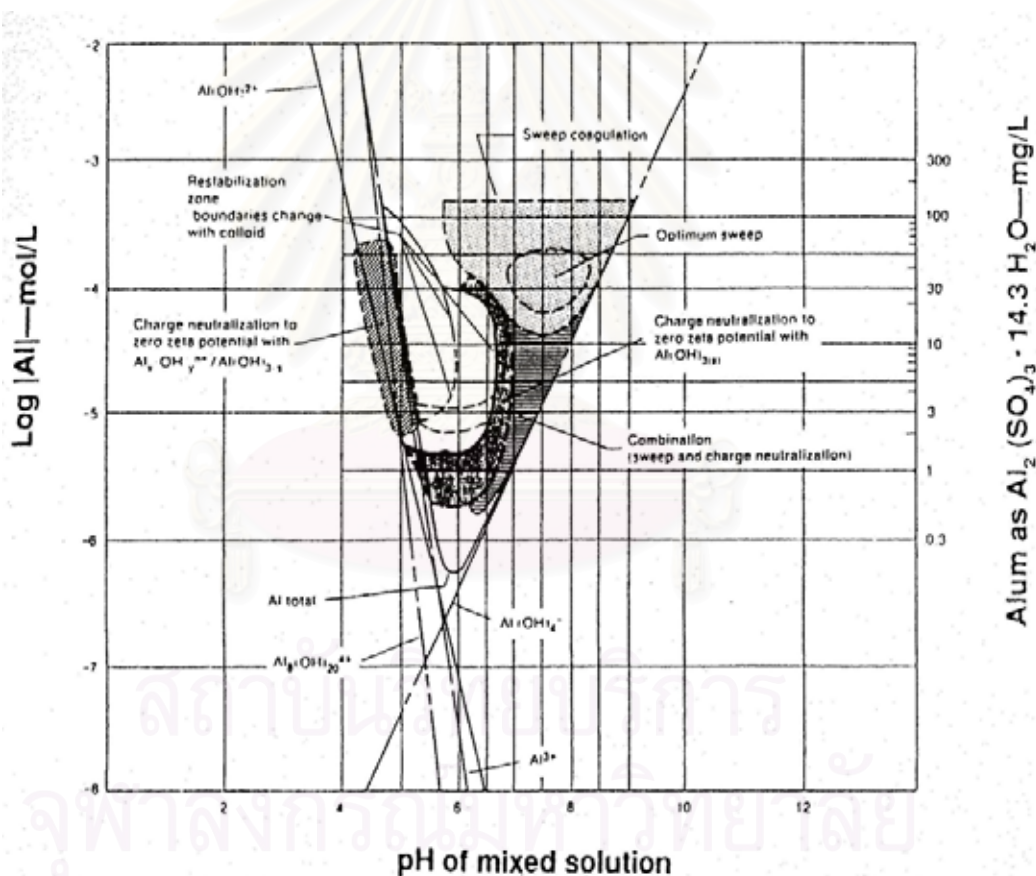
สารส้มที่เติมลงในน้ำจะเกิดการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกลไกหลักดังนี้

1) กลไกแบบดูดซับประจุและทำลายประจุ (adsorption and charge neutralization) เกิดจาก สารประกอบเชิงซ้อนสารส้มที่มีประจุบวก ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ซึ่งมักมีประจุเป็นลบให้เป็นกลาง (neutralization) เป็นการสร้างโอกาสสัมผัสให้อนุภาครวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนด้วยน้ำหนักของอนุภาคเพียงลำพัง กลไกนี้มีช่วงความเหมาะสมที่แคบ ซึ่งจะควบคุมการทำงานให้ดีขึ้นยาก เพราะสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะต้องพอเหมาะเท่านั้น ถ้าหากมีปริมาณต่ำเกินไป โคแอกกูเลชันจะไม่เกิด แต่ถ้าสูงเกินไปสารประกอบเชิงซ้อนจะดูดซับผิวอนุภาคมากทำให้อนุภาคเปลี่ยนเป็นประจุบวกและเกิดเสถียรภาพขึ้นอีกแต่ตะกอนที่เกิดจากกลไกนี้สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่ายทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย

2) กลไกแบบกวาด (sweep coagulation) ในกรณีความเข้มข้นของสารส้มเกินพอจนปฏิกิริยาดำเนินต่อไปจนได้ Al(OH)_3 ดังสมการที่ (4) การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกลไกนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเติมสารส้มเป็นจำนวนมากพอ จนมีความเข้มข้นเกินจุดอิ่มตัว ซึ่งทำให้ผลึกของ Al(OH)_3 ซึ่งมีลักษณะเหนียวสามารถห่อหุ้มอนุภาคและทำให้ผิวของอนุภาคมีความเหนียว ไม่แสดงอิทธิพลทางประจุไฟฟ้า จึงทำหน้าที่สร้างเป่าสัมผัสอนุภาคคอลลอยด์จนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เพียงลำพัง

3) กลไกโคแอกกูเลชันแบบร่วม (combination coagulation) เป็นการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ร่วมกันระหว่างกลไกแบบจุดติดผิวและทำลายประจุและแบบกวาด โดยที่ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของกลไกทั้งสองมีไม่เด่นชัด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณสารส้มเพิ่มสูงขึ้นกว่ากลไกการทำลายเสถียรภาพแบบจุดติดผิวและทำลายประจุ แต่จะใช้ปริมาณสารส้มต่ำกว่ากลไกแบบกวาด

Amirtharajah และ Mill (1982) ได้รวบรวมผลการวิจัยเกี่ยวกับโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม และนำมาวิเคราะห์ จึ่งเสนอหลักการออกแบบและควบคุมโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งจากภาพแสดงให้เห็นว่าโคแอกกูเลชันด้วยกลไกแบบกวาด จะได้ผลดีที่สุดที่พีเอช 6.8 ถึง 8.2



รูปที่ 2.9 โคอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม (Amirtharajah และ Mills, 1982)

2. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide, Ca(OH)₂)

แคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือปูนขาวผงน้ำ เป็นสารเคมีที่ใช้กันมากในการตกตะกอนฟอสเฟต ความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยทำให้เกิดตะกอนฟอสเฟตในรูปหินปูน การป้อนปูนขาวผงน้ำจะต้องให้ในลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว (slurry) ข้อดีในการใช้ปูนขาวผงน้ำคือมีราคาถูก เมื่อเติมลงไปใต้น้ำจะทำปฏิกิริยากับด่างและฟอสเฟตที่มีอยู่กลายเป็นสารตัวใหม่ตกตะกอนและชะพาเอาสารแขวนลอยตกลงมาด้วยตั้งสมการ



2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโคแอกกูเลชัน

กระบวนการโคแอกกูเลชันจะดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ เนื่องจากคอลลอยด์ในน้ำเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์มีสภาพเป็นประจุบวกหรือลบ ดังนั้น หากทราบชนิดของคอลลอยด์จะได้เลือกใช้สารที่ใช้ตกตะกอนได้อย่างเหมาะสม

2) ชนิดของสารสร้างตะกอน สารสร้างตะกอนแต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับคอลลอยด์แต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ตลอดจนคุณสมบัติในการตกตะกอนและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำ จึงต้องมีการเลือกใช้งานให้เหมาะสมระหว่างชนิดของคอลลอยด์และสารที่ใช้ในการสร้างตะกอน

3) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสมในการตกตะกอน สารที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่พีเอชหนึ่งเท่านั้น จึงต้องมีการปรับพีเอชให้ได้เหมาะสม

4) ปริมาณของสารที่ช่วยให้ตกตะกอน มีความสำคัญเกี่ยวกับความสามารถในการตกตะกอน เพราะธรรมชาติสารใดก็ตามถ้าผลคูณไอออนโปรดัก (ion product) ไม่เกินค่า K_{sp} (หรือค่าคงที่ในการละลายของสารนั้นแล้ว สารนั้นจะไม่ตกผลึกตะกอนออกมาในน้ำ แต่ถ้าเกินค่า K_{sp}

มันจะตกผลึกตะกอนทันที ดังนั้น ปริมาณสารที่ช่วยในการตกตะกอนจะต้องเหมาะสมต่อการตกตะกอนในแต่ละครั้ง ถ้ามากเกินไปจะทำให้อนุภาคกลับมีเสถียรใหม่

5) เวลาและความแรงของการผสม การทำให้สารเคมีละลายน้ำอย่างทั่วถึงและเกิดการสร้างตะกอน จำเป็นต้องกวนน้ำอย่างรวดเร็วด้วยเวลาที่สั้น เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวออกไปทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอยได้ดี ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ใช้เวลาน้อยกว่ากระบวนการรวมตะกอน ดังนั้นถ้าการใช้การกวนที่รุนแรงมากเกินไปก็จะช่วยประหยัดเวลามากขึ้นเท่านั้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อต้องการให้เกิดการรวมตัวของตะกอนจำเป็นต้องใช้การกวนอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้ตะกอนแตก แต่จะใช้เวลานานขึ้นเพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสกันได้มากที่สุด

2.3 กากตะกอนระบบผลิตน้ำประปา

การผลิตน้ำประปาเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เนื่องจากน้ำผิวดินที่มีอยู่ในธรรมชาติส่วนใหญ่ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้โดยตรง เพราะอาจมีสารบางอย่างหรือเชื้อโรคปะปนอยู่ ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคและเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของผู้น้ำนั้น ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการอุปโภคบริโภคก่อนนำไปใช้

2.3.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา (การประปานครหลวง, 2543; โคมล สีวะบวร, 2527)

1) การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ

ขณะที่น้ำดิบไหลมาตามคลองประปา น้ำดิบจะสัมผัสกับอากาศและแสงแดดแล้วจะก่อให้เกิดการตกตะกอนตามธรรมชาติและมีการแยกวัสดุที่ปนมากับน้ำ เช่น เศษสวะ เศษไม้ สาหร่ายหรือพีชีน้ำ ถูพลาสติก ด้วยตะแกรงหยาบและตะแกรงละเอียด

2) การเพิ่มออกซิเจนและการเติมสารเคมี

การเพิ่มออกซิเจนและการเติมสารเคมีในอัตราส่วนที่เหมาะสมลงไปในท่อลำเลียงน้ำดิบ โดยอัตราส่วนการเติมสารเคมีจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบในแต่ละฤดูกาล

สารเคมีหลักที่เติม ได้แก่

- ปูนขาว (lime) การเติมปูนขาวโดยเติมก่อนบำบัด (pre-lime) เพื่อปรับสภาพหรือปรับปรุงคุณภาพ ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำดิบและเพื่อช่วยในการตกตะกอนดีขึ้น

- คลอรีน (chlorine) เติมคลอรีนก่อนบำบัด (pre-chlorine) เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำดิบ เช่น ตะไคร่ กลิ่น สี และใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำดิบ

- สารส้ม (aluminum sulfate หรือ alum) ใช้เติมในถังตกตะกอนเพื่อทำหน้าที่แยกตะกอนหรืออนุภาคแขวนลอยออก

3) การตกตะกอน

การตกตะกอน เมื่อน้ำดิบไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน (clarifier) สารเคมีจะถูกกวนให้สัมผัสและทำปฏิกิริยากับตะกอนหรือความขุ่นที่อยู่ในน้ำแล้วจับเป็นก้อนเล็กๆ และค่อยๆ ขนาดโตขึ้น ตะกอนหนักจะตกลงสู่พื้นล่างของถังเหลือแต่น้ำใสไหลไปยังบ่อกรองน้ำ (filter)

หลังการสร้างตะกอนแล้ว จะมีการปล่อยให้ตกตะกอน สำหรับการตกตะกอนในระบบการทำน้ำประปาแบ่งได้เป็น 3 แบบ ดังนี้ คือ

(1) การตกตะกอนของอนุภาคแบบโดด (discrete setting) เป็นการตกตะกอนอนุภาคที่มีปริมาณความเข้มข้นน้อย เกิดเป็นอิสระไม่ขึ้นต่อกัน เช่น การตกตะกอนของกรวดทราย เป็นต้น

(2) การจมตัวของกลุ่มตะกอน (flocculant setting) เป็นลักษณะของการตกตะกอนเบาซึ่งอาจจะเป็นสารแขวนลอยของอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในน้ำ และการตกตะกอนของฟล็อกสารส้ม หรือฟล็อกที่เกิดจากการสร้างตะกอนอื่นในน้ำประปา

(3) การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น เป็นลักษณะการตกตะกอนเมื่อมีตะกอนแขวนลอยมาก ทำให้ตะกอนส่วนบนทับถมตะกอนที่อยู่ส่วนล่างเกิดการอัดตัวของตะกอนขึ้น ลักษณะการเกิดตะกอนแบบนี้จะเกิดขึ้นภายหลังการตกตะกอนทั้งสองข้างต้นเกิดขึ้นแล้ว

4) การกรอง

น้ำดิบที่ผ่านการตกตะกอนแล้วจะไหลไปยังบ่อกรองน้ำซึ่งประกอบด้วย ผงถ่านแอนทราไซต์ (anthracite) และทรายละเอียด ซึ่งเป็นสารกรองและมีหัวกรอง (filter nozzle) เพื่อกรองเอาตะกอนที่ละเอียดออกอีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นน้ำจะถูกกรองอีกครั้งโดยหินหยาบ

5) การฆ่าเชื้อโรค

การฆ่าเชื้อโรค โดยการเติมคลอรีนซึ่งเป็นสารฆ่าเชื้อโรคได้เกือบทุกชนิดและจะทำลายสารอินทรีย์ กลิ้น สี สารประกอบพวกเหล็กได้

6) การปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา

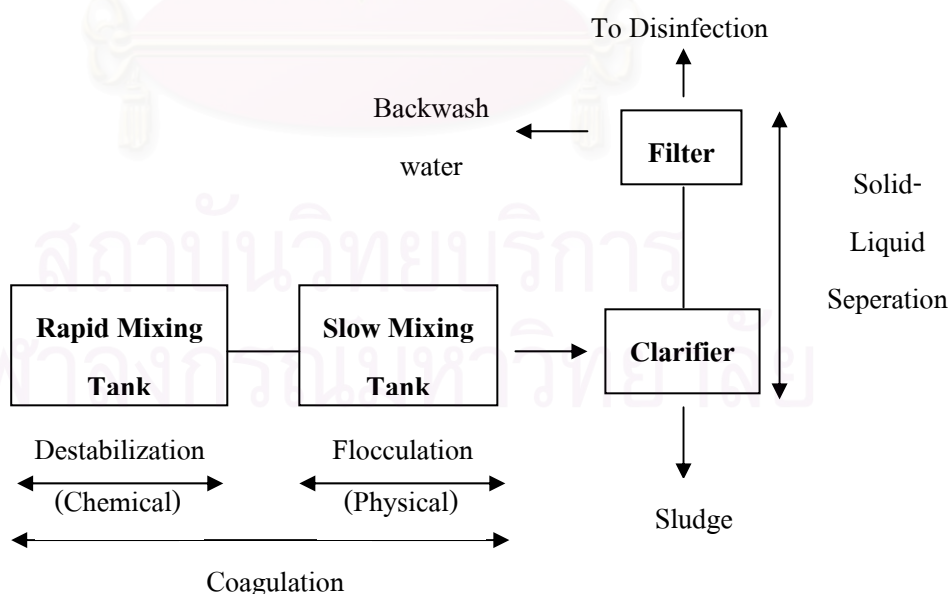
หลังจากการฆ่าเชื้อโรคแล้วจะมีการเติมปูนขาว (post-lime) ลงไปอีกในปริมาณเล็กน้อยเพื่อปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำให้มีฤทธิ์เป็นกลางเล็กน้อย

7) การสูบน้ำประปา

น้ำประปาที่ผลิตได้มาตรฐานแล้วจะถูกสูบน้ำเข้าเส้นท่อ เพื่อทำการจ่ายน้ำให้กับประชาชนซึ่งอยู่ตามชุมชนต่างๆ ต่อไป

2.3.2 การเกิดตะกอนในระบบผลิตน้ำประปา

กระบวนการตกตะกอน เป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคของสารแขวนลอย ซึ่งเป็นสาเหตุของความขุ่น เกิดการรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ตกตะกอนได้ง่ายและถูกกำจัดออกไปโดยการตกตะกอนและการกรอง การสร้างตะกอน (coagulation) มีส่วนประกอบ 2 ขั้นตอน ได้แก่ การกวนเร็ว และการกวนช้า



รูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบต่างๆของการสร้างตะกอน (coagulation) ในระบบผลิตน้ำประปา (โกลมล สีวะบวร, 2527)

1) การกวนเร็ว (rapid mixing) การทำงานของกระบวนการกวนเร็ว เริ่มจากปล่อยน้ำดิบเข้าถังกวนเร็ว แล้วเติมสารสร้างตะกอน เพื่อทำหน้าที่ในการลดหรือทำลายเสถียรภาพของสารแขวนลอย ภายใต้สภาวะที่มีความปั่นป่วนอย่างรุนแรง ทำให้การกระจายของสารสร้างตะกอนเป็นไปได้อย่างดีและเป็นการเพิ่ม โอกาสที่จะให้อนุภาคต่างๆ มาสัมผัสกับอนุภาคของสารแขวนลอย ที่ถูกทำลายเสถียรภาพและผ่านเข้าสู่การกวนช้า เพื่อรวมตะกอนต่อไป

2) การกวนช้า (slow mixing) เป็นการสร้างสภาวะที่เหมาะสมแก่อนุภาคของสารแขวนลอย ที่สูญเสียเสถียรภาพ ให้เคลื่อนที่เข้าใกล้กันเพื่อสร้างโอกาสสัมผัสและใช้เวลานานพอเพื่อที่จะเปลี่ยนอนุภาคจากขนาดเล็กให้เป็นขนาดใหญ่ และพร้อมที่จะตกตะกอนลงมาเพื่อกำจัดออกไป

2.3.3 ชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา

สารเคมีสร้างตะกอน (coagulant) ที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน การประปานครหลวง ดังนี้

1) สารส้ม (aluminium sulfate หรือ alum: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$)

สารส้มเป็นสารที่นิยมใช้ในการผลิตน้ำประปา สำหรับโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนมีการใช้สารส้มในกรรมวิธีการผลิตในอัตรา 20-40 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังตารางที่ 2.5

2) โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (polyaluminium chloride)

โพลีอะลูมิเนียม เป็นสารเคมีสร้างตะกอนจำพวกอะลูมิเนียมเช่นเดียวกับสารส้ม โดยเฉลี่ยโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ในอัตรา 2.82 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังตารางที่ 2.5 ซึ่งจะใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าสารส้มเนื่องจากโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์มีราคาค่อนข้างแพงและยังเป็นสารสร้างตะกอนที่เมื่อเติมลงไปใต้น้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แล้วแตกตัวให้อนุภาคจำพวกโพลีเมอร์ที่มีประจุบวกสูง คือ $[Al_{13}O_4(OH)_{24}]^{+7}$ มีความสามารถในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ได้ดีกว่าสารส้ม

3) ปูนขาว (lime)

ปูนขาว (lime), แคลเซียมออกไซด์ (quick lime, CaO) หรือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (hydrated lime, Ca(OH)₂) การใช้ปูนขาวในการปรับสภาพตะกอน เพื่อเพิ่มค่าความเป็นกรดต่างของน้ำตะกอนหรือเพื่อเพิ่มความเป็นด่างให้แก่ น้ำ และเป็นสารช่วยเร่งให้มีการตกตะกอน (coagulant aid) โดยปูนขาวจะมีการใช้ร่วมกับสารส้มเสมอ

4) โพลีเมอร์ (polymer)

โพลีเมอร์สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มา สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

(1) โพลีเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ (natural polymer) เช่น แป้ง (starch) เซลลูโลส (cellulose) และเจลาติน (gelatin)

(2) โพลีเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ (synthetic polymer) ซึ่งได้จากการนำโมโนเมอร์ (monomer) หนึ่งหรือสองชนิดมารวมกัน อาจเรียกได้ว่า โพลีอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolytes) โดยโพลีอิเล็กโทรไลต์ จะมีองค์ประกอบและรูปแบบทางกายภาพเป็นสายโซ่ยาว (long chain) ซึ่งเป็นสารเคมีชนิดพิเศษที่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้จากโมโนเมอร์ซึ่งจะเป็นตัวแบ่งประเภทของโพลีเมอร์ที่เกิดขึ้น มักใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ โพลีอิเล็กโทรไลต์ เช่น acrylamide ซึ่งเป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ anionic polymer ซึ่งมีประจุลบส่วนบนที่เป็นสารอินทรีย์ ถ้าพิจารณาประจุที่อยู่บนโซ่โพลีเมอร์ (polymer chain) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามประจุที่มีอยู่ ดังนี้

- anionic polymer เป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุลบ

- cationic polymer เป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุบวก

- nonionic polymer เป็นโพลีเมอร์ที่ไม่มีประจุ

สำหรับโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนมีการใช้สารเคมี ดังตารางที่ 2.5 โพลีเมอร์ชนิด anionic ที่ใช้กับน้ำดื่มและเป็นชนิดที่สามารถใช้ร่วมกับสารส้มได้ดี ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่ได้มาจาก acrylamide หรือ acrylic acid ซึ่งเป็นสารรวมตะกอน polyacrylamide ประเภท anionic ที่มีประจุเป็นลบ เมื่อละลายน้ำจะทำให้เกิดเป็นกลุ่ม amide group (NH₂) (การประปานครหลวง, 2543; รัชฎาวรรณ พันธ์อำพน, 2540) มีผลทำให้การรวมตัวของตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้นและไม่ฟุ้งกระจายง่าย

ตารางที่ 2.5 ปริมาณสารเคมีที่เติมในกระบวนการผลิตน้ำประปา โรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2542 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2543

เดือน	ความขุ่น (NTU)	น้ำดิบ (10 ³ m ³)	คลอรีน		ปูนขาว		สารส้ม (mg/l)	anionic (mg/l)	PACl (mg/l)
			pre	post	pre	post			
พ.ย.	74	85,145	0.74	2.84	0	0	38.12	0	0
ธ.ค.	57	86,701	1.11	3.12	0	0	29.57	0	3.4257
ม.ค.	94	87,053	1.02	3.61	0	0	32.20	0	3.8801
ก.พ.	150	82,713	1.24	3.03	0	0	48.96	0.0421	1.7479
มี.ค.	122	92,749	0.89	2.31	0	0	31.38	0.0085	0.0996
เม.ย.	108	89,976	0.87	2.69	0	0	26.64	0.0078	3.2386
พ.ค.	135	92,520	1.18	2.44	0	0	31.68	0.0140	4.1979
มิ.ย.	151	88,596	1.02	2.62	0	0	44.18	0.0481	5.4077
ก.ค.	119	90,405	1.18	2.63	0	0	33.73	0.0105	3.9876
ส.ค.	110	90,010	1.22	2.61	0.7395	0	31.61	0.0120	3.9963

หมายเหตุ: PACl = Polyaluminium Chloride, NTU = Nephelometric Turbidity Unit (หน่วยความขุ่น)

ที่มา: คัดแปลงจากเอกสารการประปานครหลวง, 2543

2.3.4 กระบวนการกำจัดตะกอน

กระบวนการกำจัดตะกอน หมายถึง การกำจัดตะกอนที่ได้จากการแยกของแข็งแขวนลอยในน้ำดิบ โดยการใช้สารเคมีสำหรับการกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นในกรรมวิธีการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน การประปานครหลวง ประกอบด้วยขั้นตอนการกำจัดตะกอนดังนี้ (โกมล สีขาวและคณะ, 2527; กาญจนา พุตระกูล, 2537; ณงู ออนตะเทียน, 2543; การประปานครหลวง, 2543)

1) การกำจัดน้ำตะกอนสด

การกำจัดน้ำตะกอนสด หมายถึง น้ำตะกอนที่ระบายมาจากถังตกตะกอนและน้ำล้างบ่อกรองแล้วไหลผ่านท่อไปยังบ่อกักตะกอน (lagoon) บริเวณบ่อกักตะกอนนี้ตะกอนจะตกลงสู่พื้นล่างของบ่อกักตะกอน ซึ่งน้ำตะกอนสดในส่วนนี้จะมีของแข็งเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 10-15 ซึ่งโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนมีบ่อกักตะกอนทั้งหมด 4 บ่อกักตะกอน มีปริมาตรบรรจุ 460,000

ลูกบาศก์เมตร สามารถรองรับตะกอนที่มีของแข็งเป็นองค์ประกอบร้อยละ 15 ได้ประมาณ 740,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี (ผิงกู ออนตะเคียน, 2543; การประปานครหลวง, 2543)

2) การทำให้ตะกอนขุ่นขึ้น

การทำให้ตะกอนขุ่นขึ้น หมายถึง การแยกน้ำออกจากตะกอนสดเพื่อให้ได้ ร้อยละของของแข็งในตะกอนสูงขึ้น เป็นขั้นตอนที่สองในการกำจัดตะกอนที่ได้จากการแยก ตะกอนออกจากน้ำดิบในกรรมวิธีการผลิตน้ำประปา ซึ่งสามารถกระทำได้ โดยการปล่อยให้ ตะกอนตกตะกอนเองโดยน้ำหนัก (gravity setting) และอัดแน่นเอง หรือโดยวิธีการอัดอากาศเข้าไป ในน้ำที่มีความดันสูง

3) การปรับสภาพตะกอน

การปรับสภาพตะกอนเพื่อช่วยทำให้แยกน้ำออกจากตะกอนได้ง่ายขึ้น โดยการ เติมสารเคมี (chemical conditioning) เช่น การเติมสารอินทรีย์พวกเกลือของอะลูมิเนียม หรือ โพลี อิเล็กโทรไลต์ เป็นต้น

4) การแยกน้ำออกและการทำให้ตะกอนแห้ง

การแยกน้ำออกและการทำให้ตะกอนแห้ง เป็นการช่วยลดปริมาณตะกอนที่ จะต้องนำไปกำจัดในขั้นสุดท้าย โดยวิธีการแยกน้ำออกและทำให้ตะกอนแห้งโดยใช้บ่อตากตะกอน และลานตากตะกอน โดยดินตะกอนในบ่อกักตะกอนจะถูกสูบไปยังบ่อตากตะกอน (polder) แล้ว ตะกอนในบ่อตากตะกอนจะถูกแยกน้ำออกทำให้มีของแข็งที่เป็นองค์ประกอบในตะกอนประมาณ ร้อยละ 20-30 โดยการระบายน้ำออกตลอดเวลาอย่างสม่ำเสมอ หลังจากนั้นตะกอนจากบ่อตาก ตะกอนจะถูกขนย้ายไปยังลานตากตะกอนให้หมดภายใน 365 วัน (1ปี) แล้วตะกอนจะถูกทำให้มี ความชื้นประมาณร้อยละ 50-60 โดยปล่อยให้ตะกอนตากลมและแสงอาทิตย์ หลังจากนั้นตะกอนจะ ถูกกำจัดโดยการขนย้าย โดยใช้รถบรรทุกออกนอกโรงงาน เพื่อนำไปทิ้งยังแหล่งต่างๆ หรือถูก นำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ

2.3.5 ธรรมชาติและปริมาณของตะกอนแยกจากน้ำดิบ

ธรรมชาติของตะกอน หมายถึง ลักษณะของตะกอนที่แยกจากน้ำดิบที่ได้จาก กรรมวิธีการผลิตน้ำประปา เป็นตะกอนที่มาจาก การตกตะกอนของสารแขวนลอยในน้ำท่า หรือน้ำ ฝิวดินเป็นส่วนใหญ่ ตะกอนตามธรรมชาติทั้งหมดที่แยกจากน้ำดิบจะมีลักษณะเป็นตะกอนน้ำพา โดยทั่วไปจะมีขนาดของตะกอนส่วนใหญ่มีขนาดเล็ก อยู่ในอนุภาคขนาดทรายแป้งและอนุภาค

ขนาดคินเหนียว นั่นคือ ตะกอนน้ำส่วนใหญ่จะมีลักษณะเนื้อละเอียดและเกิดจากการเคลื่อนย้าย วัสดุหรือวัตถุต้นกำเนิดคินโดยอิทธิพลของน้ำไหล โดยทั่วไปลักษณะของตะกอนน้ำพามักจะกลมมน และมีการจัดขนาดของอนุภาคค่อนข้างดี (เอิบ เขียวรัตน์, 2542) ตะกอนน้ำพามาโดยส่วนมักมีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูง เนื่องจากน้ำจะมีอิทธิพลในการชะละลายธาตุอาหารพืชมาทับตะกอน สำหรับในกรรมวิธีการผลิตน้ำประปามีการเติมสารเคมีดังกล่าวข้างต้น เพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำดิบ ทำให้ตะกอนที่เกิดในถังตกตะกอนซึ่งเป็นตะกอนที่มีความเข้มข้นสูงอยู่ในช่วงร้อยละ 2 ถึง 7 โดยจะมีความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลขึ้นอยู่กับความถี่ในการระบายน้ำตะกอน อย่างไรก็ตามตะกอนเหล่านี้จากถังกรองน้ำมักไม่เปลี่ยนแปลงในด้านปริมาณและคุณภาพมากนัก เนื่องจากมีการควบคุมความขุ่นของน้ำที่ออกจากถังตกตะกอนก่อนที่จะเข้าสู่ถังกรองน้ำ ดังนั้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำตะกอนจะมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำระหว่างร้อยละ 0.01-0.1 อีกทั้ง ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำประปาจึงจัดว่าเป็นของเหลือ ซึ่งอาจมีสารเคมีบางชนิดที่ใช้ใน กรรมวิธีการผลิตหลงเหลือตกค้างอยู่ในระบบของตะกอนได้ โดยตะกอนที่เกิดจากกระบวนการ ผลิตน้ำประปาแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

1) ตะกอนที่แขวนลอยในน้ำดิบ

ตะกอนที่แขวนลอยในน้ำดิบ มักอยู่ในรูปของคินเหนียว ทราย โคลน หรือ สาหร่ายบางชนิด ซึ่งในกระบวนการตกตะกอนทางเคมี ตะกอนเหล่านี้จะมีส่วนประกอบเป็นพวก ธาตุอาหารพืชอยู่ด้วย

2) ตะกอนที่เกิดจากสารเคมีที่เติมในกรรมวิธีการผลิต

ตะกอนที่เกิดจากสารเคมีที่เติมในกรรมวิธีการผลิต ในกระบวนการผลิต น้ำประปานั้นมีการเติมสารเคมีหลายชนิดเพื่อเป็นการปรับสภาพตะกอนและช่วยให้ น้ำแยกออกจาก ตะกอนได้ง่ายโดยการเติมสารเคมี เช่น สารอนินทรีย์และ โพลีอิเล็กโทรไลต์ เป็นต้น ซึ่งในระหว่าง การปรับสภาพตะกอนนั้นอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่ใช้และมีการเปลี่ยนแปลง รูปร่างเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและแข็งแรงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในสภาพของตะกอนหากเก็บ ไว้นานๆ จะทำให้อนุภาคของตะกอนมีขนาดเล็กลงเนื่องจากระบบการย่อยสลาย และการปรับ สภาพตะกอนจะประกอบด้วยกระบวนการทางชีววิทยา เคมี และทางกายภาพ ซึ่งกระบวนการปรับ สภาพบางประเภทนั้นสามารถใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในของแข็งที่อยู่ในน้ำเสียได้ ดังนั้นตะกอนที่ เกิดขึ้นมักเป็นตะกอนที่มีลักษณะขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีที่ใช้ เช่น alum sludge, iron sludge, organic polymer sludge และ lime sludge เป็นต้น แต่สำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปานั้นจะมี ตะกอนที่เกิดจากสารส้มทำปฏิกิริยากับปริมาณต่างตามธรรมชาติของน้ำดิบ ทำให้เกิดเป็น

ตะกอนไฮดรอกไซด์ของอะลูมิเนียมเป็นส่วนใหญ่ โดยตะกอนชนิดนี้จะมีปริมาณมากกว่าตะกอนที่เกิดจากสารเคมีชนิดอื่นๆ (Hammer, 1996)

สำหรับการแยกตะกอนออกจากน้ำดิบในกรรมวิธีการผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวง เพื่อให้ได้น้ำประปาที่มีคุณภาพจะทำให้ได้ตะกอนเป็นจำนวนมาก โดยเฉลี่ยตะกอนที่ได้ประมาณวันละ 345 ตัน หรือ ประมาณวันละ 126,000 ตัน จากการผลิตน้ำประปาวนละ 3.2 ล้านลูกบาศก์เมตร (ฉงกุ ออนตะเคียน, 2543) ตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริมาณตะกอนจากการผลิตน้ำประปาโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน การประปานครหลวงระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2542 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2543

เดือน	น้ำดิบ (m ³ /month)	ความขุ่น (NTU)	สารแขวนลอย (mg/l)	สารส้ม (mg/l)	ปริมาณตะกอน (ton/month)
พ.ค.	46,097,350	155.81	127.00	41.81	6,231
มิ.ย.	91,987,370	151.17	133.67	48.38	13,199
ก.ค.	93,028,775	118.53	103.16	37.28	10,130
ส.ค.	92,823,225	110.20	93.39	34.94	9,300
ก.ย.	88,666,800	93.47	75.57	39.81	7,397
ต.ค.	92,651,775	69.01	55.19	33.01	5,702

ที่มา: คัดแปลงจากเอกสารการประปานครหลวง, 2543

ตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบผลิตน้ำประปาจะมีสารเคมีบางชนิดที่ใช้ในกรรมวิธีการผลิตหลงเหลือตกค้างอยู่ในระบบของตะกอน จึงมีผู้สนใจนำไปบำบัดน้ำเสีย ดังนี้

ธงชัย พรธนะสวัสดิ์ และคณะ (2533) ได้ศึกษาการนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตภัณฑ์อลูมิเนียม เพื่อนำอลูมิเนียมซัลเฟตกลับคืนมา สำหรับใช้เป็นสารโคแอกกูแลนต์ในระบบประปา ด้วยวิธีการใช้กรดซัลฟูริกทำปฏิกิริยากับตะกอนอลูมิเนียม พบว่า ช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการนำกลับคือ pH ที่น้อยกว่า 1.25 โดยสามารถนำอลูมิเนียมกลับมาได้ประมาณร้อยละ 70-90 ของปริมาณอลูมิเนียมที่อยู่ในของแข็งทั้งหมด เมื่อนำสาร โคแอกกูแลนต์ที่นำกลับมาได้นี้ไปทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นโดยใช้กับน้ำตัวอย่างน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบของการประปานครหลวงริมแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่า สามารถลดความขุ่นจากเดิม 33 NTU เหลือต่ำกว่า 3 NTU และถ้ามีการควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วง 5.5-6.5 จะใช้สารสร้างตะกอนที่นำกลับมาได้น้อยลงใน

การกำจัดความขุ่น ทั้งนี้ค่าโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำทดลอง อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มของการประปานครหลวง

สายนต์ แก้วบุญเรือง (2541) ได้ศึกษาหาอายุตะกอนและพีเอชที่เหมาะสมในการนำสารส้มในรูปอลูมินาออกจากตะกอนที่มาจากระบบผลิตน้ำประปาของโรงกรองน้ำบ้านโกทา การประปาขอนแก่น โดยการสร้างตัวอย่างตะกอนขึ้นในห้องปฏิบัติการและเก็บตัวอย่างตะกอนจริงในถังตกตะกอน ณ วันเดียวกัน เปรียบเทียบกันตามอายุตะกอน 1-30 วัน ใช้กรดซัลฟริกปรับค่าพีเอชของตัวอย่างตะกอนให้เป็น 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 ตามลำดับ แล้วจึงวิเคราะห์สารส้มจากตะกอนในแต่ละวัน ในรูปของอลูมินาร้อยละของน้ำหนัก ตามวิธีการตรวจสอบคุณภาพมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 165-2528) พบว่า อายุตะกอนที่เหมาะสมในการนำสารส้มออกจากตะกอน คือ ประมาณไม่เกิน 14 วัน พีเอชที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการนำสารส้มออกจากตะกอน คือ พีเอช 3.0 ซึ่งสามารถใช้กำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมในการนำสารส้มออกจากตะกอนก่อนที่จะนำตะกอนไปกำจัดทิ้ง

สุชน ธนพิทักษ์ (2545) ได้นำตะกอนสารส้มจากโรงผลิตน้ำประปา มหาวิทยาลัยขอนแก่น มาใช้ในการกำจัดฟอสเฟตด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมี การเติมปริมาณตะกอนสารส้มอยู่ที่ช่วง 1.0-6.0 กรัมต่อน้ำตัวอย่าง 1.0 ลิตร ซึ่งจากการวิจัยในครั้งนี้พบว่า ช่วงพีเอช 5-7 สามารถกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ได้โดยที่พีเอช 6 นั้นมีความเหมาะสมมากที่สุด

Sujana และคณะ(1998) ศึกษาความสามารถของตะกอนสารส้มในการบำบัดฟลูออไรด์จากสารละลาย โดยดูเวลาสัมผัส ความเข้มข้นของตัวดูดซับและสารที่ถูกดูดซับ อุณหภูมิพีเอช และผลของความเข้มข้นต่อไอออนลบอื่นๆ ข้อมูลที่ชี้วัดการบำบัดด้วยตะกอนสารส้มคือพื้นที่ผิวที่แตกต่างตามธรรมชาติและความพอดีของแต่ละพื้นที่ผิวนั้น พีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดฟลูออไรด์ในสารละลายคือพีเอช 6 อัตราการดูดซับอยู่ระหว่างเริ่ม 5 นาทีแรกและเข้าสู่สมดุลภายในเวลา 240 นาที ซึ่งการดูดซับนี้เป็นไปตาม first - order rate kinetics แสดงการดูดซับเป็นแบบ langmuir adsorption isotherm model มลลิกิริมของฟลูออไรด์ที่ถูกดูดซับต่อกรัมของตะกอนสารส้มจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นฟลูออไรด์มากขึ้น โดยประจุลบจะมีแนวโน้มมากขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น อิทธิพลการกำจัดประจุลบของฟลูออไรด์ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของแรงดึงดูดระหว่างประจุลบบนพื้นผิวและความเข้มข้นของประจุลบ

Chu (1999) ได้นำตะกอนสารส้มกลับมาใช้ในกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเพื่อกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย พบว่าที่พีเอช 11.6 เหมาะสมที่สุด และจากการใช้ตะกอนสารส้มแบบเวียน

กลับใช้ใหม่ (recycled alum sludge) ในกระบวนการโคแอกกูเลชันพบว่าอัตราการกำจัดตะกั่วเพิ่มจาก 79% เป็น 96-98% โดยใช้ตะกอนสารส้ม 100-180 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ความต้องการปริมาณสารส้มลดลงจาก 175 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 50-12.5 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่านั้น ซึ่งถ้าหากไม่มีการเติมสารส้มลดลงไปแต่ใช้เพียงตะกอนสารส้มในระบบพบว่าสามารถกำจัดตะกั่วได้มากกว่า 94% โดยใช้ตะกอนสารส้มเพียง 75-100 มิลลิกรัมต่อลิตร

Chu (2001) ได้ศึกษาการใช้ตะกอนสารส้มแบบเวียนกลับใช้ใหม่ (recycled alum sludge, RAS) เพื่อกำจัดสีข้อมฟ้าในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยวิธีวิธีสร้างตะกอน ซึ่งทดลองศึกษาทั้งแบบที่เป็นสีข้อมฟ้าที่ไม่ละลายน้ำและละลายน้ำ โดยทดสอบในน้ำเสียดังเคราะห์พบว่า RAS ใช้ได้ดีในการกำจัดสีข้อมฟ้าแบบไม่ละลายน้ำ ขณะเดียวกันยังสามารถทำให้ลดปริมาณการใช้สารส้มลงได้ถึง 1/3 ของปริมาณปกติ แต่พบว่ายังมีสีข้อมที่ยังตกค้างจากสแลคจ์หมุนเวียน ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยการเติมสารส้มบริสุทธิ์เพียงเล็กน้อยลงในระบบ และในการศึกษานี้เสนอแนะว่าไม่ควรใช้ RAS ในการกำจัดสีข้อมฟ้าแบบละลายน้ำ เนื่องจากมันมีความสามารถในการละลายสูงซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพน้ำระหว่างการบำบัดลดลง

Guan และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปาหรือตะกอนสารส้มมาใช้ในการบำบัดมลสารในน้ำเสีย โดยมีประเด็นหลัก ดังนี้ 1. ปริมาณที่เหมาะสมของตะกอนสารส้ม 2. สภาวะที่เหมาะสม 3. ความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของกลไกเมื่อมีการเติมตะกอนสารส้ม ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำจาร์เทสต์ โดยทำการทดลองในสภาวะต่างๆ โดยทำการเติมตะกอนสารส้มเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของแฉ่งแฉวนลอยและซีโอดี ซึ่งสามารถกำจัดอนุภาคละเอียดที่มีขนาด 48-200 ไมครอนได้ โดยปริมาณตะกอนสารส้มที่เหมาะสมอยู่ที่ 18-20 มิลลิกรัมของอะลูมิเนียมต่อลิตร ขนาดของฟล็อกที่เกิดจากการกวนผสมที่มากขึ้นหรือลดลงนั้นจะเพิ่มการกำจัดของแฉ่งแฉวนลอย ซีโอดี และการกระจายตัวของตะกอนสารส้มนั้นจะช่วยกำจัดอนุภาคมลสารในน้ำที่มีขนาดเล็ก และจาก ToF-SIMS แสดงให้เห็นว่าชนิดของอลูมิเนียมที่อยู่พื้นผิวของตะกอนสารส้มนั้นมีผลต่อการกำจัดของแฉ่งแฉวนลอยและซีโอดี หากใช้กลไกการสร้างตะกอนแบบกวาดหรือการดูดซับทางกายภาพ อาจนำไปสู่การเพิ่มการกำจัดอนุภาคมลสารในน้ำเสียได้

2.3.6 องค์ประกอบที่มีผลต่อการสร้างตะกอนและการตกตะกอน

การสร้างตะกอนและการตกตะกอนในระบบผลิตน้ำประปา มีองค์ประกอบที่มีผลต่อการสร้างตะกอนและการตกตะกอนที่สำคัญ พอสรุปได้ดังนี้

1) พีเอช (pH)

น้ำแต่ละชนิด จะมีช่วงพีเอช ที่จะเกิดการสร้างตะกอนและการรวมตะกอน ตลอดจนการตกตะกอนได้ดีไม่เหมือนกัน การเติมสารสร้างตะกอนลงในน้ำที่ไม่อยู่ในช่วงพีเอชที่เหมาะสม นอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองสารสร้างตะกอนที่ใช่แล้ว ยังทำให้น้ำที่ผลิตได้มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควรด้วย จากการศึกษา พบว่า สารส้มที่ต้องใช้น้อยที่สุด ในการลดค่าความขุ่น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ของตะกอนดินเหนียว เกิดได้ดีในช่วงพีเอช 6.8-7.8 (AWWA, 1971)

2) เกลือของสารที่อยู่ในน้ำดิบ

น้ำตามธรรมชาติ มักจะมีเกลืออนินทรีย์ละลายอยู่ ซึ่งทำให้น้ำดิบเปลี่ยนแปลง ดังนี้

- ช่วงของพีเอชที่เหมาะสมในการสร้างตะกอน
- ระยะเวลาที่จับตัวเป็นตะกอน
- ปริมาณที่พอเหมาะของสารสร้างตะกอนที่ใช่

3) ความขุ่น (turbidity)

ความขุ่นของน้ำส่วนมากเนื่องมาจากดินเหนียว และแร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งมีขนาดที่อาจตกตะกอนได้ง่าย จนถึงขนาดเล็กมาก (0.2-5.0 ไมครอน) ได้มีการพบว่า น้ำที่มีความขุ่น น้อยอาจใช้ปริมาณของสารสร้างตะกอนเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่มีความขุ่นมาก (AWWA, 1971)

4) สารสร้างตะกอน (coagulant)

สารสร้างตะกอนแต่ละชนิดก็มีช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการสร้างตะกอน ไม่เหมือนกัน สำหรับสารส้มช่วงที่ทำให้เกิดการสร้างตะกอนได้ดีอยู่ในช่วงพีเอช 5.0-8.5 และสารสร้างตะกอนอื่น ๆ ที่นิยมใช้กันมากในระบบผลิตน้ำประปา ดังแสดงในตารางที่ 2.7

5) อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่ลดต่ำลงมีผลทำให้ปฏิกิริยาเคมีช้าลง และมีผลต่อพีเอช

6) การกวน (mixing)

การกวน ทำให้สารสร้างตะกอนกระจายได้อย่างทั่วถึง และเกิดการรวมตัวของตะกอนได้ดี ดังได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งการกวนก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญ ต่อการสร้างตะกอนและการรวมตะกอน

ตารางที่ 2.7 ชนิดของสารสร้างตะกอนและช่วงพีเอชที่เหมาะสม

ลำดับที่	ชนิดของสารสร้างตะกอน	ช่วงพีเอช ที่เหมาะสม	ปริมาณที่ใช้ (mg/l)	คุณสมบัติ
1	สารส้ม $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O]$	5.0-8.5	5.13-8.55	เป็นกรดและมี ฤทธิ์กัดกร่อน
2	เฟอริสซัลเฟต $(FeSO_4 \cdot H_2O)$	8.5-11.0	5.13-51.3	เป็นกรดและมี ฤทธิ์กัดกร่อน
3	โซเดียมอลูมิเนต $(Na_2Al_2O_4)$	-	3.42-34.2	เป็นด่าง
4	เฟอริกคลอไรด์ $(FeCl_3)$	5.0-11.0	8.55-51.3	เป็นกรดและมี ฤทธิ์กัดกร่อน
5	เฟอริซัลเฟต	5.0-11.0	8.55-51.3	เป็นกรดและมี ฤทธิ์กัดกร่อน

ที่มา: โกลมล สีวะบวรและคณะ, 2527

สารเคมีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด ในการตกตะกอนทางเคมีในขณะนี้ ไม่ว่าจะ เป็นระบบผลิตน้ำประปาขนาดใหญ่ ขนาดเล็กก็ คือ สารส้ม (alum) ซึ่งเป็นสารประกอบของ อลูมิเนียมซัลเฟต (aluminium sulfate) เนื่องจากสารส้มสามารถใช้ได้ดีกับน้ำดิบจากแหล่งต่าง ๆ เพราะทำให้เกิดการรวมตัวที่ดี มีความสะดวกในการขนส่งและหาซื้อได้ง่ายราคาถูก สารส้มเป็น สารสร้างตะกอนที่มีความสำคัญมาก ในการตกตะกอนของระบบผลิตน้ำประปา ซึ่งการตกตะกอน นี้จะทำหน้าที่แยกตะกอนเบาออกจากน้ำดิบทำให้ได้น้ำใส สำหรับตะกอนเบาที่ตกลงสู่ก้นถัง หรือ ที่เรียกว่า “สลัดจ์” (sludge) ซึ่งตะกอนจากระบบสร้างตะกอนและรวมตะกอน (coagulation and

floculation) จะมาจากการเติมสารส้มซึ่งสารส้มที่เติมลงไปในระบบ 1 กิโลกรัม จะทำให้เกิดตะกอนเคมี $[Al (H_2O)_3 (OH)_3]$ ประมาณ 0.44 กิโลกรัม และยังมีตะกอนแขวนลอย คาร์บอน โพลีเมอร์ ดินเหนียว ที่จะเกิดตะกอนเพิ่มขึ้นอีก 1 กิโลกรัมต่อตะกอนเคมี 1 กิโลกรัม ตะกอนจากระบบนี้มักจะมีปริมาณของแข็ง (solids) ต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยร้อยละ 20-40 ของของแข็งทั้งหมดจะเป็นสารอินทรีย์ ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 60-80 จะเป็นสารอนินทรีย์ โดยตะกอนสารส้มมักจะมีพีเอช (pH) ประมาณ 5.5-7.5 และจะพบจุลินทรีย์มากในตะกอนนี้ แต่ไม่ค่อยพบว่ามีปัญหาเกี่ยวกับกลิ่นเหม็น สำหรับปริมาณตะกอนสารส้ม มักจะมีประมาณ ร้อยละ 0.3-1.0 ของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าระบบ (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2536)

เนื่องจาก ระบบผลิตน้ำประปาในประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็น การประปานครหลวง หรือการประปาส่วนภูมิภาค นิยมใช้สารส้ม (กว่าร้อยละ 90) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนทางเคมี ในระบบผลิตน้ำประปา จึงทำให้มีปริมาณของตะกอนสารส้มเป็นจำนวนมากที่ต้องเป็นภาระในการกำจัดให้ถูกต้องต่อไป ซึ่งตะกอนนี้ถือว่าเป็น ของเสียอันตราย (hazardous waste) เนื่องจากมีโลหะหนัก ที่อาจจะสะสมในสิ่งแวดล้อมได้ โดยเฉพาะอลูมิเนียมจากสารส้มที่ตกค้างในตะกอน ซึ่งในประเทศไทยการกำจัดตะกอนเหล่านี้ ใช้บ่อเก็บตะกอนหรือสระตะกอน (sludge lagoon) หรือนำตะกอนไปทิ้งที่พื้นดินทั่วไป (land spreading) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีโอกาสที่อลูมิเนียมจะแพร่กระจายไปสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณที่มีความเข้มข้นสูง จนเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมได้

ดังนั้น กากตะกอนจากระบบประปา (sludge) จะประกอบด้วยสารสร้างตะกอน (coagulant) สารตกตะกอนร่วม (coagulant aid) และสารเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค (disinfection) ซึ่งอาจนำมาใช้เป็นสารสร้างตะกอนได้

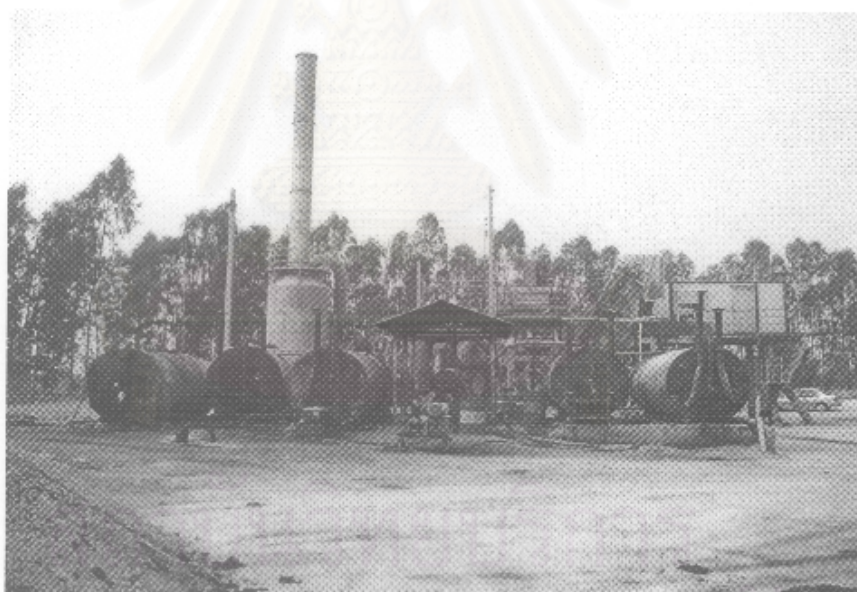
2.4 เถ้าลอยแอสฟัลท์

เถ้าลอยแอสฟัลท์เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแอสฟัลท์คอนกรีต เนื่องจากในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องเผาหินเพื่อไล่ความชื้นก่อนนำไปผสมกับยางร้อนในถังผสม ซึ่งกากของเสียในรูปของเถ้าลอยที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปฝังกลบในพื้นที่ฝังกลบของโรงงาน ทำให้ออกจากสิ่งแวดล้อมเนื้อที่และค่าใช้จ่ายเพื่อใช้ฝังกลบโดยเปล่าประโยชน์แล้ว เถ้าลอยที่เกิดขึ้นยังก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศเนื่องจากการฟุ้งกระจายในขั้นตอนการขนย้ายอีกด้วย ดังนั้นหากมีการนำเถ้าลอยเหล่านี้กลับมาใช้ได้จะทำให้สามารถลดมลพิษทางอากาศ รวมทั้งเป็นการนำเถ้าลอยที่จะถูกนำไปฝังกลบมาใช้ให้เกิดประโยชน์ (ผดุงสิน ธนศรีวนิชชัย, 2549)

2.4.1 กระบวนการผลิตแอสฟัลท์ คอนกรีต (asphalt concrete)

แอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมเสร็จจากโรงงานดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งภายในโรงงานมีเครื่องให้ความร้อนหินและยางจนอุณหภูมิได้ที่แล้วจึงผสมกันในอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ โรงงานผสมอาจจะเล็กหรือใหญ่แล้วแต่จำนวนแอสฟัลท์คอนกรีตที่ต้องการ ส่วนประกอบสำคัญของโรงงานผลิตมีดังนี้

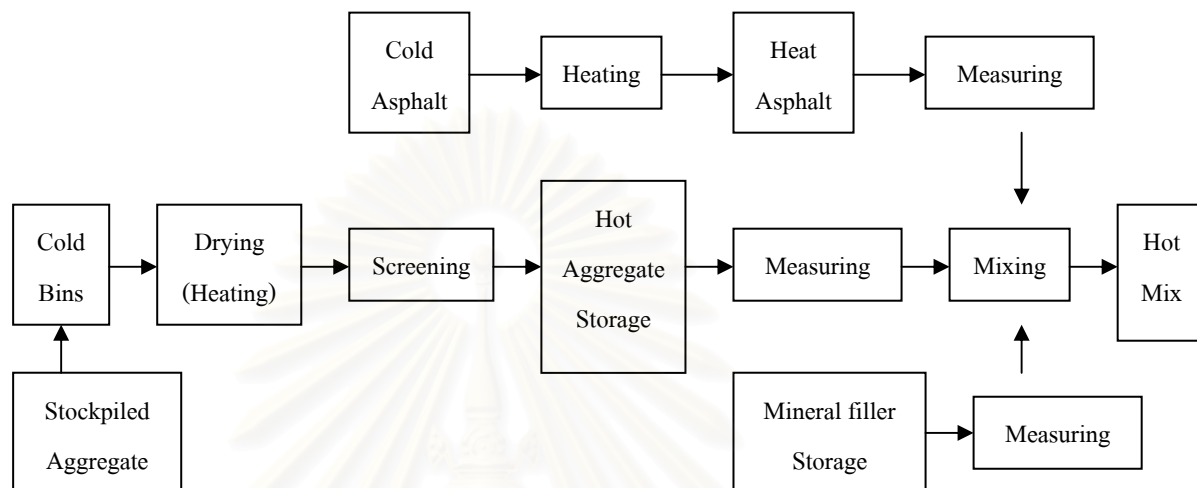
- 1) ที่เก็บหินขณะยังไม่ให้ความร้อน
- 2) เครื่องให้ความร้อนหินและยาง
- 3) เครื่องร่อนหิน
- 4) ที่เก็บหินร่อน
- 5) เครื่องวัดและเครื่องผสม



รูปที่ 2.11 โรงงานผลิตแอสฟัลท์คอนกรีต(ผดุงสิน ธนศรีวิรัชชัย, 2549)

กรรมวิธีการผลิตคือนำหินจากกองในปริมาณที่ต้องการไปเผาให้แห้งแล้วผ่านตะแกรงร่อนเป็นขนาดเม็ดต่างๆกัน แยกกับเก็บไว้ในถังเก็บ เมื่อต้องการผสมจึงนำออกมาตามจำนวนและขนาดเม็ดคละให้เป็นที่ไปตามที่ได้ออกแบบไว้แล้วผสมกับยางร้อนในถังผสม คลุกเคล้าจนได้อุณหภูมิผสมตามต้องการแล้วจึงเทใส่รถบรรทุกนำไปยังสถานที่ก่อสร้างถนนต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.12 โดยโรงงานผลิตแอสฟัลท์คอนกรีตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดอยู่กับที่

(stationary plant) และชนิดเคลื่อนย้ายง่าย (mobile plant) แอสฟัลท์คอนกรีตที่ผลิตได้ทั้งชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 จะผลิตได้ทั้งแบบเป็นคราวหรือเป็นชุด (batch-mix type) หรือผลิตแบบต่อเนื่องกันไป (continuous-mix type) ก็ได้



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการผลิตและส่วนประกอบที่สำคัญของโรงงานผลิตแอสฟัลท์คอนกรีต (ณรงค์ ภูกลาง, 2542)

2.4.2 ขั้นตอนการทำหินให้แห้งและการให้ความร้อน

หินก่อนที่จะผสมกับยางจะต้องทำให้ร้อนก่อน ฉะนั้นเครื่องให้ความร้อนหินจึงเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของโรงงานผลิตคอนกรีตแอสฟัลท์ เครื่องดังกล่าวประกอบด้วยเตาเผาเป็นรูปทรงกระบอก (drum) วางเอียงพื้นราบ โดยมีที่พ่นน้ำมันหรือแก๊สอยู่ทางด้านล่าง หินเย็นจะถูกส่งเข้าทางด้านบนของเตาเผาและถูกบังคับให้เคลื่อนตัวลงสู่ด้านล่างโดยเครื่องภายในหินจะถูกเปลวไฟพ่นจนวนร้อนน้ำระเหยออกไปหมด หินที่แห้งแล้วจะถูกบังคับให้ออกทางด้านล่างของเตาเผา แล้วเข้าสู่สายส่งขึ้นถึงสูง เพื่อไปร้อนผ่านตะแกรงแล้วแยกเก็บไว้ตามขนาดต่างๆกันในถังเก็บหินร้อน

เครื่องให้ความร้อนหินนี้ ถือเป็นส่วนที่สำคัญและมีราคาแพงที่สุดของโรงงานผลิตแอสฟัลท์คอนกรีต และมักเป็นส่วนที่ทำให้เกิดปัญหาในการผลิต หากเกิดข้อขัดข้องหรือผลิตหินร้อนไม่ได้จะกระทบกับผลผลิตที่ต้องการ เครื่องให้ความร้อนที่ดีจะต้องผลิตได้ตามปริมาณที่ต้องการ โดยลงทุนต่ำและค่าดำเนินการต่ำด้วย

ส่วนการวัดอุณหภูมิของหินก่อนผสมจะต้องวัดให้ได้แน่นอนตามกำหนด การวัดอุณหภูมิวัดได้โดยใช้เทอร์โมคัพเพิล (thermocouple) ซึ่งสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว

2.4.3 การกำจัดฝุ่นเถ้าลอยที่เกิดขึ้น

ขณะที่ให้ความร้อนหินจะเกิดฝุ่นซึ่งหากปล่อยออกไปภายนอก จะทำให้เกิดความเดือดร้อนแก่บริเวณข้างเคียง ดังนั้นเครื่องดูดฝุ่นจึงติดตั้งไว้ทางด้านบนของเตาสำหรับให้ความร้อนหิน ฝุ่นที่ลอยขึ้นจะถูกบังคับให้ผ่านท่อดังแสดงรูปที่ 2.13 หลังจากนั้นก็จะไปรวมกับหินร้อนเพื่อใช้ผสมกับยางต่อไป หากฝุ่นดังกล่าวมีมากหรือไม่เหมาะกับการผสมแอสฟัลท์คอนกรีตก็จะบังคับให้ออกจากระบบโดยวิธีที่ไม่เกิดความเดือดร้อนแก่โรงงานหรือบริเวณข้างเคียง



รูปที่ 2.13 เถ้าลอยที่ถูกกำจัดจากโรงงานผลิตแอสฟัลท์คอนกรีต (ผดุงสิน ธนศรีวินิชชัย, 2549)

ตามกฎหมายสิ่งแวดล้อมของได้วันกำหนดให้เถ้าลอย (baghouse fines หรือ BHF) ถูกเก็บในระหว่างกระบวนการผสมแอสฟัลท์ร้อน จึงเกิดความพยายามในการนำผลที่เกิดขึ้นในส่วนนี้มาใช้ ซึ่งก็คือ BHF ที่นำไปรวมกับส่วนผสมของแอสฟัลท์คอนกรีต ซึ่งนำไปใช้ในการทำถนนหรือผิวจราจร (Lin และคณะ, 2006) นอกจากนี้เถ้าลอยซึ่งใช้เป็นวัสดุเติมเพื่อผสมในแอสฟัลท์แล้ว Karasahin และ Terzi (2007) ได้สนใจที่จะนำผงหินอ่อนที่เก็บได้จากกระบวนการตัดแต่งแท่งหินอ่อนมาเป็นวัสดุเติมในการผสมกับแอสฟัลท์ โดยใช้ผงหินอ่อนและหินปูนเป็นตัวเติม ซึ่งเตรียมเป็นตัวประสานและวิเคราะห์ด้วยกระบวนการ marshall test การทดสอบความเครียดและอัตรา

ส่วนตัวเดิม ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงฝุ่นละอองที่เกิดจากการตัดแต่งหินอ่อน สามารถนำมาใช้เป็นตัวเดิมในการผสมแอสฟัลท์ได้ ซึ่งหาได้และมีค่าขนส่งถูกกว่าตัวเดิมโดยทั่วไป

ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุเหลือทิ้งอื่น ได้แก่ การกำจัดสีน้ำากาสระหว่างการใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ ร่วมกับ แกลบเผา หรือชิลิกา อลูมินา หรือเถ้าลอย (อำนาจ จิตศิริวิริยะ, 2546) ได้ศึกษาความสามารถในการกำจัดสีน้ำากาส่า โดยใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งคือ แกลบเผา ชิลิกาอะลูมินา และเถ้าลอย สำหรับใช้เป็นแกนเกาะในกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้จาร์เทสต์ น้ำากาส่าที่ใช้มี 2 ประเภท คือ น้ำากาส่าที่ผ่านการบำบัดโดยบ่อบำบัดทางชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกัก 392 วัน และน้ำากาส่าที่ไม่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพ ซึ่งน้ำากาส่าทั้ง 2 ประเภทนี้ได้นำมาเจือจาง 5 เท่าก่อนทำการทดลอง เมื่อทดลองน้ำากาส่าที่ผ่านระบบบำบัดทางชีวภาพ พบว่า ปริมาณโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 8 ก./ล. สามารถกำจัดสีได้ 94.64% มีชั้นตะกอน 85% และกำจัดค่าซีไอดี 82.78% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งที่เหมาะสม คือ การใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 8 ก./ล. ร่วมกับเถ้าลอยขนาด 200 เมช ปริมาณ 30 ก./ล. สามารถกำจัดสีได้ 92.16% มีชั้นตะกอน 40% กำจัดค่าซีไอดี 81.35% และเสียค่าใช้จ่าย 86.6 บาท/ลบ.ม. น้ำากาส่า ส่วนผลการศึกษาน้ำากาส่าที่ไม่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพ พบว่า ปริมาณโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 10 ก./ล. สามารถกำจัดสีได้ 65.89% มีชั้นตะกอน 42% และกำจัดค่าซีไอดี 29.90% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งที่เหมาะสม คือ การใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 10 ก./ล. ร่วมกับเถ้าลอยขนาด 200 เมช ปริมาณ 10 ก./ล. สามารถกำจัดสีได้ 60.66% มีชั้นตะกอน 22% กำจัดค่าซีไอดี 25.89% และเสียค่าใช้จ่าย 165.2 บาท/ลบ.ม. น้ำากาส่า

พิงอร วิไลวงษ์ (2545) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการเป็นสารสร้างตะกอน (coagulant) และสารช่วยสร้างตะกอน (coagulant aid) ของกากของเสียอุตสาหกรรม ได้แก่ เถ้าลอยจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกายภาพ และกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา โดยทำการทดลองกับน้ำขุ่นสังเคราะห์ ทั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและเคมี การวัดประจุของสารช่วยตกตะกอน และทำการประเมินความสามารถในการเป็นสารตกตะกอนและสารช่วยตกตะกอนเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว

ผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้กากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์ สามารถกำจัดความขุ่นได้ดีในช่วง 100-200 NTU ส่วนที่ความขุ่น 300 NTU ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจะลดลง โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นอยู่ในช่วงร้อยละ 30-85 ที่พีเอช 6-8 และเมื่อนำ

กากของเสียอุตสาหกรรมไปตกตะกอนร่วมกับสารส้มประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 82-99 เมื่อเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว ซึ่งความสามารถในการลดความขุ่นของกากของเสียอุตสาหกรรมแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยถ้ำลอย กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง และกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา มีค่าประสิทธิภาพในการลดความขุ่นลงได้ร้อยละ 98.5, 97.5 และ 96.5 ตามลำดับ สำหรับเศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้นไม่เหมาะในการใช้เป็นสารตกตะกอนเนื่องจากฟล็อกไม่แข็งแรง

Strivastava, Mall และ Mishra (2005) สนใจศึกษาโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) เป็นสารตกตะกอนและใช้ถ้ำลอยขานอ้อยจากโรงงานผลิตน้ำตาลเป็นตัวดูดซับในการลดซีไอดีและสีจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ เมื่อตกตะกอนที่สภาวะพีเอช 3 จะมีปริมาณการใช้ PAC เริ่มต้น 3 ก./ล. สามารถลดซีไอดีได้ 80% และลดสีได้ 90% ส่วนการดูดซับด้วยถ้ำลอยขานอ้อยที่พีเอช 4 จะใช้ปริมาณเริ่มต้นเป็น 2 ก./ล. สามารถลดซีไอดีได้ 50% และลดสีได้ 55% ซึ่งการดูดซับโดยใช้ถ้ำลอยขานอ้อยนี้จะนำไปตาม second-order kinetics เมื่อทดสอบไอโซเทอมพบว่าทั้งฟรุนดริชและแลงเมียร์ต่างก็สอดคล้องกับการดูดซับของถ้ำลอยขานอ้อย และการบำบัดสองขั้นโดยใช้ PAC 3 ก./ล. เป็นสารตกตะกอนในขั้นแรก และถ้ำลอยขานอ้อย 2 ก./ล. เป็นตัวดูดซับในขั้นที่สองซึ่งพบว่าซีไอดีลดลง 87% และสีลดลง 95%

2.5 กระบวนการออกซิเดชันด้วยสารเคมี (chemical oxidation)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการออกซิเดชันด้วยสารเคมีเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สารเคมีเป็นสำคัญในการออกซิไดซ์ สารประกอบต่าง ๆ ในน้ำเสียโดยกระบวนการออกซิเดชันด้วยสารเคมี สามารถใช้งานได้หลายจุดประสงค์ดังนี้

- 1) การกำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ ที่มีความเข้มข้นต่ำในน้ำบาดาล
- 2) การบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง แต่มีปริมาณน้อย เพื่อลดความเป็นพิษ
- 3) การบำบัดน้ำเสียที่ย่อยสลายได้ยาก ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ให้สามารถถูกย่อยสลายได้ง่ายขึ้น เพื่อส่งไปเข้ากระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพต่อไปได้
- 4) เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เพราะหากใช้กระบวนการบำบัดด้วยชีวภาพอย่างเดียว อาจทำให้ใช้เวลานานในการลดสารอินทรีย์ให้ได้ตามข้อกำหนด

การเกิดออกซิเดชันทางเคมี เป็นกระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียอิเล็กตรอน (electron) ของอะตอม ดังนั้น โดยอาศัยหลักการนี้ การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีนี้จึงเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสภาพของมลสารที่อยู่ในน้ำจากมลสารประเภทมีพิษมากไปเป็นมลสาร

ประเภทมีพิษน้อยหรือไม่มีพิษ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539) และผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ ยังสามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพ หรือถูกกำจัดโดยการดูดซับได้ดีขึ้นด้วย

การเกิดออกซิเดชันทางเคมี (USEPA, 1991) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของสารหลายประเภท เช่น inorganic cyanide, dissolved organic compound บางตัว และ sulfide ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็น carbon dioxide, น้ำ, เกลือ, simple organic acid และสารที่มี valence สูงขึ้น แต่ละลายน้ำได้น้อยลง เช่น arsenite ถูกออกซิไดซ์เป็น arsenate

Marco และคณะ (1997) พบว่า กระบวนการออกซิเดชันทางเคมี กลไกของปฏิกิริยาจะเปลี่ยนแปลง โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของสารอินทรีย์ โมเลกุลจะแตกออกเป็น โครงสร้างที่เล็กลง และเปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนใน โมเลกุลจะสูงขึ้น นอกจากนี้การเกิดออกซิเดชันทางเคมี จะขึ้นกับปริมาณสารอินทรีย์ที่สามารถออกซิไดซ์ได้ อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตัวออกซิไดซ์และสารอินทรีย์ และสภาวะทางเคมี ได้แก่ พีเอช

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการออกซิเดชัน โดยปกติการเลือกบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการนี้ จะมีข้อจำกัดอย่างมากในเรื่องของค่าใช้จ่ายของสารเคมี ดังนั้น จึงมีข้อกำหนดสำหรับการเลือกตัวออกซิไดซ์ที่เหมาะสม (Jorgensen, 1979) คือ

- 1) ลักษณะน้ำเสียที่ต้องการกำจัดสารพิษ
- 2) ประสิทธิภาพการบำบัดต้องสูง
- 3) ราคาของสารเคมีต่ำ

2.5.1 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H_2O_2)

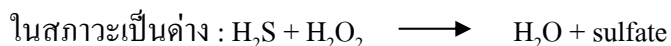
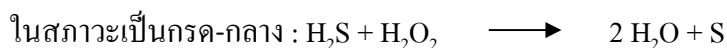
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็น strong oxidant โดยมีความสามารถในการปฏิกิริยาออกซิเดชัน (โวลต์) ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ความสามารถในการปฏิบัติการออกซิเดชันของสารเคมีชนิดต่าง ๆ

สารเคมีในปฏิบัติการออกซิเดชัน	ความสามารถในการทำปฏิบัติการออกซิเดชัน (โวลต์)
ฟลูออรีน	3.03
ไฮดรอกซิลเรดิคัล	2.80
อะตอมมิก ออกซิเจน	2.42
โอโซน	2.07
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	1.77
เปอร์แมงกาเนต	1.67
กรดไฮโครโบรมัส	1.59
คลอรีนไดออกไซด์	1.50
กรดไฮโปคลอรัส	1.49
กรดไฮโปไอโอดัส	1.45
คลอรีน	1.36
โบรมีน	1.09
ไอโอดีน	0.54

ที่มา: Rodriguez, 2003

ซึ่งถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการกำจัดทั้งสารอนินทรีย์ และสารอินทรีย์ที่เป็นพิษมากมายหลายชนิด ได้แก่ การใช้ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในการป้องกันกลิ่นของซัลไฟด์ จากบ่อกักเก็บน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสีย ใช้ในการกำจัดซัลไฟด์ไฮโปคลอไรด์ ในไตรท์ไชยาไนต์ และคลอรีน โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ถูกใช้เป็นตัวออกซิไดซ์สำหรับซัลไฟด์ในน้ำ ความสามารถในการออกซิไดซ์นี้ ถูกใช้เพื่อควบคุมกลิ่นและการกัดกร่อนในน้ำเสียชุมชน และน้ำเสียอุตสาหกรรม (Jorgensen, 1979) ปฏิกริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กับซัลไฟด์เกิดดังนี้



สำหรับกรณี hydrogen peroxide มีตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ด้วย จะเกิด hydroxyl radical ($\bullet\text{OH}$) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ (Eckenfelder, 2000) ดังนี้



ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นออกซิแดนท์ที่ใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างสำหรับระบบเป็นจำนวนมาก สามารถใช้โดยตรงหรือใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยส่วนมากจะใช้ร่วมกับเฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulphate) ที่เรียกกันว่า กระบวนการเฟนตัน หรือเกลือของเหล็กอื่นๆ ก็สามารถใช้ได้ ข้อดีโดยทั่วไปของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คือ

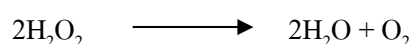
- 1) เป็นตัวออกซิแดนท์ตัวหนึ่งที่ใช้กันทั่วไปในน้ำเสียที่เหลือค้างอยู่
- 2) มีกำลังใจในการออกซิไดซ์สูง
- 3) จัดเก็บได้ง่าย
- 4) มีความสามารถในการละลายน้ำ
- 5) ไม่ผลิตส่วนที่เป็นพิษหรือสี ในผลพลอยได้

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ยังใช้ประโยชน์ในการกำจัดสารพิษที่มีสถานะเป็นก๊าซ ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ โดยการเปลี่ยนรูปไปเป็นกรดประโยชน์อื่น ๆ เช่น ฟอกสีเยื่อกระดาษและกระดาษ ตัวอย่างของการใช้ประโยชน์จากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในภาคอุตสาหกรรม ได้แก่

- 1) ใช้ในการกำจัดพิษในน้ำเสียที่มีไซยาไนด์เข้มข้น โดยการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนต
- 2) ใช้ในการกำจัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำใต้ดิน โดยการเปลี่ยนรูปโลหะหนักเหล่านี้ไปอยู่ในรูปไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำและสามารถกำจัดได้โดยการตกตะกอนในถังพัก
- 3) ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการล้างอัดฟิล์ม ซึ่งมีซัลไฟด์และเงินปนเปื้อนอยู่ โดยการเปลี่ยนรูปไปเป็นซัลเฟตและตกตะกอนสารประกอบของเงินตามลำดับ
- 4) กำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในก๊าซที่ปล่อยออกจากปล่องควัน โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และแอมโมเนีย
- 5) ป้องกันกลิ่นโดยการเปลี่ยนรูปซัลไฟด์ ไทโออีเธอร์ไดซัลไฟด์ ซัลไฟด์และไทโอซัลเฟต ซึ่งเป็นองค์ประกอบของซัลเฟอร์หรือซัลเฟตในสารละลายที่ใช้ทำความสะอาด
- 6) กำจัดก๊าซซัลเฟอร์และไนโตรเจนออกไซด์ที่ถูกปล่อยจากกระบวนการเผาถ่านหิน กระบวนการผลิตกรดซัลฟูริก หรือกระบวนการผลิตทางเคมีอื่น ๆ ให้อยู่ในรูปสารละลายกรด
- 7) กำจัดคลอไรต์และสารไฮโปคลอไรต์ส่วนเกินในน้ำเสีย อากาศ หรือในการฟอกสีผ้าหรือกระดาษ โดยการรีดักชันไปเป็นเกลือคลอไรด์

นอกจากนี้ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ยังสามารถใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับการทำความสะอาด ตกแต่ง กัดกร่อนพื้นผิวโลหะ ตัวอย่างเช่น โดยปกติในการทำความสะอาดผิวของอะลูมิเนียม มักจะใช้กรดซัลโฟโครมิก แต่กรดนี้มีองค์ประกอบที่เป็นพิษของเฮกซะวาเลนต์โครเมียม การใช้สารทำความสะอาดที่มีองค์ประกอบของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งทำให้ไม่เกิดสารพิษในน้ำทิ้ง และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ยังใช้ประโยชน์ในการออกซิไดซ์ทองแดงหรือคอปเปอร์ คอปเปอร์ซัลเฟต สำหรับทำความสะอาดทองแดงหรือทองแดงอัลลอยด์

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นออกซิไดซิงเอเจนท์ที่ดีชนิดหนึ่งเมื่อแตกตัวแล้วจะให้โมเลกุลของออกซิเจนออกมาดังนี้



ปฏิกิริยาของออกซิเจนว่องไวมากแต่ก็มีบางปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ช้า เช่น ปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สารละลายเฟอร์รัสด้วยอากาศ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นออกซิไดซิงเอเจนท์ที่ดีแต่ไม่เสถียรอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาคิสพรอพชันเนชัน (disproportionation) และแม้ว่ามันไม่เสถียรแต่ก็สามารถคงตัวได้ดีที่อุณหภูมิไม่สูงมากนักและในสถานะที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ไอออนบางชนิดหากมีเจือปนอยู่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะทำหน้าที่เป็นเหมือนตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของมันโดยการให้และรับอิเล็กตรอนจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั่นเอง (Shriver และ Atkins, 1999)

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นสารเคมีอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจเพื่อนำมาใช้ ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากสารเคมีชนิดนี้สามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ และให้ออกซิเจนคล้ายกับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตแต่มีพิษและอันตรายน้อยกว่า เคยมีการวิจัย และพบว่าเปอร์ออกไซด์ 48 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่เป็นอันตรายต่อลูกปลาเทราท์ (Trout) ภายใน ระยะเวลา 48 ชั่วโมง (มันลิน ตันกุลเวศม์, 2538)

เน่งน้อย วิจิตรจรรยากุล (2543) ได้ศึกษาการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยวิธีตกตะกอนและออกซิเดชัน การทดลองทำโดยใช้ตัวช่วยตกตะกอน 3 ชนิด ได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และ เฟอร์รัสซัลเฟต และตัวออกซิไดซ์ 4 ชนิด ได้แก่ อากาศ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต โซเดียมไฮโปคลอไรด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การทดสอบหาสถานะที่เหมาะสมจะใช้วิธีทดสอบของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิจัยพบว่า อลูมิเนียมซัลเฟตเป็นตัวช่วยตกตะกอนที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบใน รูปแบบของผลการบำบัดค่าซีโอดีและค่าใช้จ่ายในการบำบัด ใช้อลูมิเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น 200 มก./ล. พีเอช 7 ให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี 30.87% โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นตัวออกซิไดซ์ที่ดีที่สุดที่ความเข้มข้น 600 มก./ล. และให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี 51.37%

ลัดดา แสงสุวรรณถาวร (2545) ทำการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด สิริแอกทีฟคลอไรด์ 17 และสิริแอกทีฟคลอไรด์ 19 ซึ่งมีโครงสร้างโมโนอะโซ และ โครงสร้างแอนทราควิโนน ตามลำดับ ทำการทดลองด้วยกระบวนการโฟโตออกซิเดชันโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจะทำการหาค่าพีเอช ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นสิริเริ่มต้น และความเข้มแสงยูวี จากการทดลอง

พบว่ากระบวนการโฟโตออกซิเดชันโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ทั้ง 2 ชนิดมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาและประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดที่ค่าพีเอช 4 และความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 มิลลิโมลาร์ และความเข้มข้นซีเริ่มต้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าความเข้มแสง 9.10 มิลลิวัตต์/ตารางเซนติเมตรจะให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาและประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด ในส่วนของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (กำหนดให้ไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่า 0.25 กรัม/ลิตร ตลอดการทดลอง) พบว่าค่า พีเอช 10 และความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.5 มิลลิโมลาร์ ซีรีแอกทีฟเฟลโล 17 มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาและประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด และค่าพีเอช 10 และความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.0 มิลลิโมลาร์ ซีรีแอกทีฟบลู 19 มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาและประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด โดยความเข้มข้นซีเริ่มต้นที่เหมาะสม คือ 20 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าความเข้มแสง 9.10 มิลลิวัตต์/ตารางเซนติเมตร จะให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาและประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด

Kuo (1992) ศึกษาการลดสีในน้ำเสียสีข้อม 5 ชนิด คือ สีดิสเพิร์ส สีรีแอกทีฟ สีไดเรคท์ สีเอสดี และสีเบสิก ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์-เพอร์ซัลเฟตหรือที่เรียกว่า เฟนตันรีเอเจนต์ จากผลการทดลองพบว่าพีเอชที่ดีที่สุดในการลดสีคือต่ำกว่า 3.5 ซึ่งเปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ยในการกำจัดซีไอคืออยู่ที่ประมาณ 90% และเปอร์เซ็นต์การลดสีโดยเฉลี่ยสูงกว่า 97% โดยผลการทดลองทั้งหมดของการบำบัดน้ำเสียสีข้อมจริงได้เหมือนกับการทดลองในห้องปฏิบัติการ อุณหภูมิมีส่วนสำคัญของอัตราเร็วในการลดสี เช่น อุณหภูมิต่ำส่งผลให้ใช้เวลาในการลดสีนานมากขึ้น

Ramirez และคณะ (2005) ทำการศึกษาการสลายตัวของสีข้อมเอโซ (ออเรนจ์ 2) โดยใช้เฟนตันรีเอเจนต์ (H_2O_2 และ Fe^{2+}) ที่ความเข้มข้นน้ำเสียสีข้อม 0.3 มิลลิโมลาร์ และพีเอช 3 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ อัตราส่วน $Fe^{2+} : H_2O_2$ ที่ต่างกัน ซึ่งได้ออกแบบการทดลองพัฒนาเป็นแบบ quadratic model เพื่อใช้สำหรับหาการกำจัดสีและคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) หลังการเกิดปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าสามารถกำจัดสีและ TOC ได้ 99.7% และ 70.7% ตามลำดับ

Ginos, Minios และ Mantzavinos (2006) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก โดยใช้การโคแอกกูเลชัน ฟลอคคูเลชัน ด้วยปูนขาว เพอร์รัสแมกนีเซียม อะลูมินัม และโพลีอิเล็กโทรไลต์ พบว่าเมื่อใช้ปูนขาวหรือเพอร์รัสซัลเฟต ร่วมกับโพลีอิเล็กโทรไลต์ไอออนบวก (200-300 มิลลิกรัมต่อลิตร) สามารถทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ลดลง และ ซีไอดี (COD) ฟีนอลิก (TP) ถูกกำจัด 10-40% และ 30-80% ตามลำดับ ซึ่ง

ในน้ำเสียที่ผ่านการโคแอกกูเลชันด้วยเฟอร์รัสจะมีไอออนเหล็กอยู่ในน้ำ เมื่อมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จึงเกิดปฏิกิริยาเลียนแบบเฟนตันขึ้น ส่งผลให้ค่าซีโอดีลดลงมากขึ้นถึง 60%

Badawy และ Ali (2006) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมและน้ำเสียชุมชนที่มีค่าซีโอดี (1,750-3,323 มก./ล.) ของแข็งแขวนลอย (900-3,000 มก./ล.) และน้ำมัน กริซ (13.2-95.5 มก./ล.) ด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีและกระบวนการเฟนตัน จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน 400 mg/l ทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเป็น 63% และสี 44% เมื่อเติมสารช่วยรวมตะกอนและ activated carbon ลงไปพบว่าช่วยการกำจัดสีเพิ่มมากขึ้น โดยสารช่วยรวมตะกอนที่ใช้ คือ โพลีอะคริลาไมด์ เบนโทไนท์ และ PAC สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีเป็น 79% เมื่อใช้โพลีเมอร์ไอออนบวก 73% เมื่อใช้โพลีเมอร์ไอออนลบ 84.5% เมื่อใช้เบนโทไนท์ และใช้ PAC 0.4 ก./ล. ในส่วนของการใช้กระบวนการเฟนตันบำบัดน้ำเสยรวมจากอุตสาหกรรมและชุมชนที่สภาวะพีเอชเท่ากับ 3.0 ปริมาณ Fe^{2+} เท่ากับ 400 มก./ล. ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 550 มก./ล. สามารถกำจัดสีได้เกือบ 100% และกำจัดซีโอดีได้มากกว่า 90% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกันพบว่ากระบวนการเฟนตันสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่า

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มาลี วิศวจารย์ (2531) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากน้ำกากสำโรงงานสุราในการผลิตก๊าซชีวภาพ ทำโดยใช้ถังหมักรูปทรงกระบอกติดตั้งในแนวนอน ถังหมักทำด้วยเหล็กไร้สนิมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.33 เมตร ยาว 0.60 เมตร ลักษณะเป็นแบบกวนสมบูรณ์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อแปรอัตราการรับสารอินทรีย์ในช่วง 2.31 ถึง 7.41 กิโลกรัมซีโอดี/ม.³-วัน และระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งในช่วง 6.67 ถึง 11.11 วัน อัตราการรับสารอินทรีย์ที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุด คือ 5.52 กิโลกรัมซีโอดี/ม.³-วัน ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 11.11 วัน โดยให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 0.31×10^3 ม.³/กิโลกรัมซีโอดี เข้า หรือ 0.58×10^2 ม.³/กิโลกรัมซีโอดี กำจัด ก๊าซชีวภาพที่ได้มีก๊าซมีเทน 65.5 % และมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 54 % พบว่าการผลิตก๊าซชีวภาพ และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งที่เพิ่มขึ้น

อะเคื่อ บุญญศิริ (2536) ทำการศึกษาศภาพการทำงานที่เหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำกากสำในระบบหมักยูเอเอสบีที่อุณหภูมิสูง ถังหมักที่ใช้ทดลองเป็นถังเหล็กปลอดสนิมสองชั้น ชั้นในเป็นถังหมักมีปริมาตรใช้งาน 34.7 ลิตร สูง 172 ซม. และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 ซม. ชั้นนอกเป็นน้ำอุ่นหล่อเพื่อใช้ควบคุมอุณหภูมิของถังหมัก น้ำเสียที่ใช้ทดลองเป็นน้ำกากสำมีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูง (113,280 มิลลิกรัมซีโอดี/ลิตร) และปริมาณสารพิษสูง จากผลการทดลองพบว่า

อัตราป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์และผลิตก๊าซชีวภาพคือ 5.2 และ 7.1 กิโลกรัมชีโอดี/ม.³-วัน ตามลำดับ ระบบนี้สามารถรับอัตราป้อนสารอินทรีย์สูงสุดได้ 10.1 กิโลกรัมชีโอดี/ม.³-วัน โดยมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 0.225 ม.³/กิโลกรัมชีโอดี กำจัด 0.099 ม.³/กิโลกรัมชีโอดี เข้า 1.003 ม.³/วัน – ม.³ ถังหมัก มีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี 44% ซึ่งดีกว่าระบบยูเอเอสบีที่ใช้งานในอุณหภูมิต่ำกว่า

อานนท์ ดุษฎีพรรณ (2537) ได้ศึกษาสภาพการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำกากส่า โดยระบบหมักยูบีเอฟและระบบเคมีไฟฟ้าในการกำจัดสารอินทรีย์และสี ดังปฏิกิริยา ยูบีเอฟเป็นถังเหล็กปลอดสนิมสองชั้น มีปริมาตรการใช้งาน 34.7 ลิตร ชั้นนอกเป็นน้ำอุ่นหล่อเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 28 – 35 องศาเซลเซียส น้ำเสียที่ใช้ทดลองเป็นน้ำกากส่าเจือจางให้มีความเข้มข้นสารอินทรีย์ประมาณ 25,000 มิลลิกรัมชีโอดี/ลิตร ส่วนระบบเคมีไฟฟ้าเป็นถังปฏิกิริยาทำด้วยพลาสติกอะคริลิก มีปริมาตรการใช้งาน 4 ลิตร ขั้วไฟฟ้าทำด้วยเหล็กแผ่นธรรมดา ผลการทดลองส่วนแรกพบว่า อัตราป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ และการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ 5.07 และ 7.53 กิโลกรัมชีโอดี/ม.³-วัน ตามลำดับ ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 7.53 กิโลกรัมชีโอดี/ม.³-วัน ระบบหมักยูบีเอฟมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 0.3309 ม.³/กิโลกรัมชีโอดี กำจัด หรือ 0.2256 ม.³/กิโลกรัมชีโอดี เข้า หรือ 1.6981 ม.³/วัน – ม.³ ถังหมัก ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 39 % ก๊าซมีเทนและก๊าซอื่นๆ 61 % และมีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี 68.18 % ระบบยูบีเอฟไม่สามารถขจัดสีของน้ำเสียได้ น้ำเสียที่ออกจากระบบยูบีเอฟที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 7.53 กิโลกรัมชีโอดี/ม.³-วัน ได้นำไปบำบัดต่อโดยระบบเคมีไฟฟ้า น้ำเสียที่นำมาทดลองมีความเข้มข้นสารอินทรีย์ 10.820 มิลลิกรัมชีโอดี/ลิตร ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า HRT ที่เหมาะสมคือ 0.66 ชั่วโมง โดยสามารถลดสีได้ 89.90%

กัณทมาศ สุทธิเรืองวงศ์ (2538) ศึกษาการกำจัดสีและสารอินทรีย์ของน้ำกากส่าด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี ระบบการทดลองใช้เซลล์อิเล็กโทรด 3 ชนิด คือ ไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำ, เหล็ก และอะลูมิเนียม จัดเรียงอิเล็กโทรดแบบโมนอพาร์ ทำการทดลองเป็นแบบกะและใช้ไฟฟ้ากระแสตรง โดยทำการทดลองที่อัตราเจือจางน้ำกากส่า 5, 10 และ 20 เท่า จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีและสารอินทรีย์ได้แก่ ความต่างศักย์ไฟฟ้า, พื้นที่ผิวอิเล็กโทรด และระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด ระบบที่ใช้ไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำ

ทรงพล ครามโกมุท (2544) ได้ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดสีและชีโอดีของน้ำกากส่าด้วยระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศจำนวน 2 คอลัมน์ ซึ่งภายในคอลัมน์จะบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนที่แตกต่างกัน การทดลองจะใช้คอลัมน์จำนวน 2

ชุดที่ทำด้วยวัสดุพีวีซีใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มม. และสูง 2800 มม. โดยภายในคอลัมน์ที่ 1 จะบรรจุตัวกลางโพลีเอทิลีนรูปร่างวงแหวนที่มีพื้นที่ผิว $187 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ตัวกลาง ในขณะที่ภายในคอลัมน์ที่ 2 จะบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนรูปทรงกลมที่มีพื้นที่ผิว $135 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ตัวกลาง และกำหนดให้ความสูงของชั้นตัวกลางภายในคอลัมน์ทั้งสองสูงเท่ากัน คือ 1.25 เมตร และทำการป้อนน้ำเสียจากลำเป็นแบบไหลขึ้นที่อัตราสูบ 7.5 ลิตรต่อวัน โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของน้ำจากลำเป็น 3,500 และ 4,500 ซึ่งคิดเป็นอัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ม.³-วัน ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของคอลัมน์ที่หนึ่งเท่ากับ 58 % และ 65 % และสำหรับคอลัมน์ที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 55 % และ 65 % ที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ม.³-วัน ตามลำดับ และคอลัมน์ที่ 1 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 41 และ 45 และสำหรับคอลัมน์ที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 45 และ 51 ที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ม.³-วัน ตามลำดับ

ภาคีย์ ใจรัมย์ (2547) การประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา ได้ทำการศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา โดยใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนซึ่งจมตัวอยู่ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ โดยน้ำเสียที่ใช้นำมาจากหอกลั่นแล้วนำมาเจือจางด้วยน้ำประปา 227, 200 และ 133 เท่า สำหรับค่าภาระสารอินทรีย์ที่ 0.22, 0.25 และ 0.375 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน ตามลำดับ

ในการวิจัยแบ่งเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ได้ศึกษารอบการเติมอากาศที่ 60 นาทีและ 90 นาที พบว่าการกำจัดซีโอดี ฟอสฟอรัส และสี มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ดังนั้น รอบการเติมอากาศที่ 60 นาทีเพียงพอต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของสารอินทรีย์ที่มีต่อระบบ ซึ่งใช้ค่าภาระสารอินทรีย์ที่ 0.22, 0.25 และ 0.375 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน สามารถสรุปได้ว่าภาระของสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อ การดำเนินการของระบบ การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอายุสัปดาห์ที่มีต่อระบบ พบว่า อายุสัปดาห์ที่ 50 วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการดำเนินการมากกว่า โดยที่คุณภาพใกล้เคียงกัน ซึ่งจาก 3 การทดลองนี้ คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ระบบที่เหมาะสม คือ รอบการเติมอากาศ 60 นาที และควบคุมอายุสัปดาห์ที่ 50 วัน ซึ่งสามารถกำจัดซีโอดีได้ 96.67% กำจัดไนโตรเจนได้ 87.77% กำจัดฟอสฟอรัสได้ 98.32% และลดสีได้ 32.39% และมีค่าใช้จ่ายโดยไม่รวมค่าเสื่อมราคา 220 บาท/ลบ.ม.

Alfafa และคณะ (2000) ศึกษาการใช้โอโซนเพื่อบำบัดน้ำกากส่า โดยประเมินผลจากประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และสี พบว่า โอโซนสามารถลดความเข้มสีและเพิ่มการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ ซึ่งวิเคราะห์จากค่าซีโอดี โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสี 80% และเพิ่มการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ 40% ภายในเวลา 40 ชั่วโมง และพบว่าน้ำหนักโมเลกุลของสารเมลานอยดินลดลง 10% แสดงให้เห็นว่าเกิดการดีพอลิเมอร์ไลเซชันบ้าง และจากการศึกษาายังพบว่ามี olefinic linkages ในเมลานอยดินลดลง

Pikaev และคณะ (2001) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำกากส่าที่ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์จากการหมักเมล็ดธัญพืช มันฝรั่ง หัวบีท และพืชผักต่างๆ โดยใช้ลำแสงอิเล็กตรอนร่วมกับการโคเอกกูเลชัน ซึ่งน้ำที่นำมาใช้ในการทดลองเบื้องต้นจะนำน้ำกากส่ามาผสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมและน้ำเสียชุมชน พบว่า ในอัตราส่วนน้ำกากส่าต่อน้ำเสียชุมชนที่เท่ากับ 3:4 สามารถให้ผลการบำบัดที่ดีที่สุด โดยใช้ ปริมาณลำแสง 3.5 kGy ซึ่งจากการประเมินผลทางเทคนิคและค่าใช้จ่ายในสเกลใหญ่ (น้ำทิ้ง 7,000 ลบ.ม./วัน) โดยใช้แหล่งพลังงาน 2 แหล่งทำการเร่งอิเล็กตรอน (พลังงานลำแสงอิเล็กตรอนมากที่สุดที่ 400 กิโลวัตต์)ร่วมกับการโคเอกกูเลชันในการบำบัดน้ำเสีย คิดเป็นเงิน 0.25 US\$/ลบ.ม.

Pena และคณะ (2003) ศึกษาการใช้โอโซนเพื่อบำบัดน้ำกากส่าหมัก โดยศึกษาอิทธิพลของปริมาณโอโซน เวลาที่ใช้ในการกำจัดสี น้ำหนักโมเลกุล และการลดลงของสี พบว่า ภายในเวลา 30 นาที โอโซนปริมาณต่างๆ สามารถลดสีได้ 71%-93% และค่าซีโอดีลดลง 15%-25% จากการใช้ gel permeation chromatography พบว่า เป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งเป็นสารสีน้ำตาลในน้ำกากส่า (เมลานอยดิน) โดยการโอโซนชันเป็นการทำให้กลุ่มโครโมฟอร์ลดลง และการลดลงของสีนี้เป็นแบบ pseudo-first order kinetics

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สถานที่ดำเนินการศึกษาวิจัย

การทดลองวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงการทดลอง (experimental research) ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory scale) โดยทำการศึกษา ณ หน่วยวิจัยการจัดการของเสียอุตสาหกรรม ห้องปฏิบัติการมูลฝอย (solid waste laboratory) ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทำการศึกษา ณ ห้องปฏิบัติการทดลองชั้น 17 ตึกมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

1. ตู้อบความร้อน ยี่ห้อ Binder ของ Scientific Promotion
2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น AB204-S ของ Mettler Toledo
3. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง รุ่น Model BJ 1000C ของ Precisa
4. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง รุ่น SevenEasy ของ Mettler Toledo
5. เครื่องทดสอบการตกตะกอน (Jar test) รุ่น FC 6S ของ VELP scientifica
6. เครื่องเซนตริฟิวจ์ รุ่น Sigma Laboratory Centrifuges 4-15 ของ Scientific Promotion
7. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง รุ่น JO 6749 ของ HACH
8. เครื่องกวน โดยอาศัยแม่เหล็ก (Stirrer)
9. ตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 100 เมช
10. ชุดกรองสูญญากาศ
11. โถดูดความชื้น (Dessicator)
12. เครื่องแก้วอื่นๆที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

3.2.2 วัตถุดิบและสารเคมี

1. น้ำกากสำจากโรงผลิตสุราที่ออกจากระบบการผลิต ก่อนนำไปบำบัดที่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน
2. กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปานครหลวงที่รวบรวมได้จากลานตากตะกอนก่อนนำไปกำจัดด้วยการฝังกลบ
3. ถ้ำลอยจากโรงงานแอสฟัลท์คอนกรีต ซึ่งได้ทำการเก็บที่บ่อพักถ้ำลอยระบบคักฝุ่นแบบไซโคลนแห้ง
4. สารส้ม เกรดอุตสาหกรรม
5. แคลเซียมออกไซด์ เกรดอุตสาหกรรม
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์ ของ CARLO ERBA
7. กรดไนตริก 65% (HNO_3) เกรดวิเคราะห์ ของ CARLO ERBA
8. กรดซัลฟูริก 98% (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ ของ Volchem
9. กรดไฮโดรคลอริก 37% (HCl) เกรดวิเคราะห์ ของ Merck
10. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% (H_2O_2) เกรดวิเคราะห์ ของ POCH
11. เฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) เกรดวิเคราะห์ ของ Ajax finechem

3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของโคแอกกูแลนต์

1. Scanning Electron Microscope (SEM) Model JSM-5410LV ของ JEOL
2. X-ray florescence spectroscopy (XRF) WD-XRF Model PW-2400 ของ Philip
3. เครื่องตรวจสอบประจุ (zeta meter) ของ Zeta Meter Model 3.0+

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

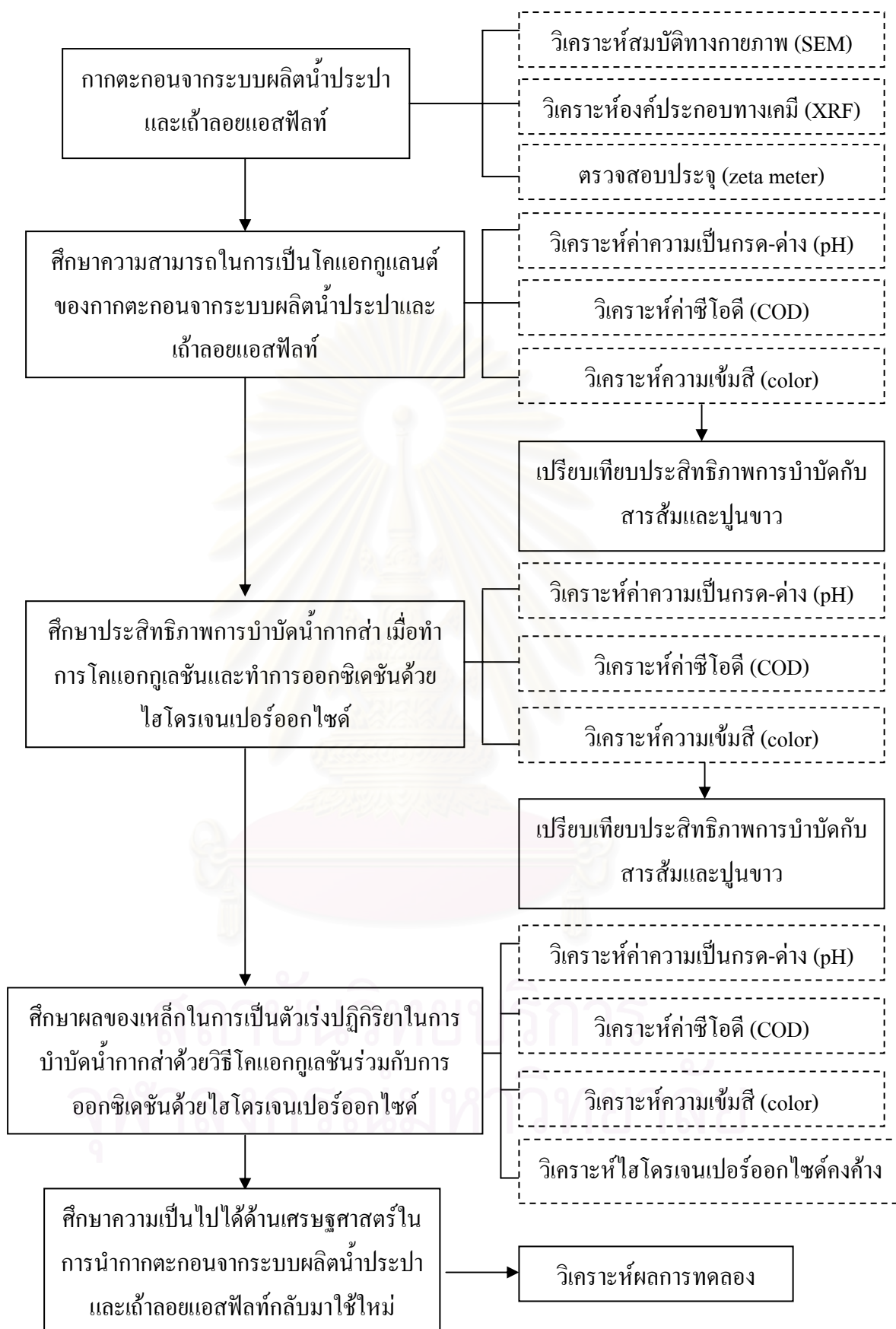
การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนโดยขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมโคแอกกูแลนต์ด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ เพื่อนำไปใช้ในการทดลอง โดยทำการวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานทางกายภาพ เคมี และตรวจสอบประจุของโคแอกกูแลนต์ ขั้นที่สองเป็นการศึกษาความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ เปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาวโดยใช้วิธีจาร์เจสต์ และขั้นที่สามเป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากสำด้วยการโคแอกกูแลนต์ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยเลือกปริมาณโคแอกกูแลนต์และพีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองในขั้นที่สองมาทำการ

ออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ขั้นที่สี่เป็นการศึกษาผลของเหล็กในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยวิธีโคแอกกูเลชันร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และขั้นสุดท้ายทำการศึกษความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์ในการนำกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์กลับมาใช้ใหม่ ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH meter
2. ซีโอดี (COD)	closed reflux, titrimetric method
3. สี (color)	Spectrophotometric method (APHA, AWWA และ WEF, 1995) ภาคผนวก ก
4. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	
4.1 ความเข้มข้น H ₂ O ₂	Permanganate titration (Vogel, 1989) ภาคผนวก ข
4.2 H ₂ O ₂ คงค้าง	Iodometric titration (Kingzett, 1880 ; Kolthoff, 1920) ภาคผนวก ข
5. Scanning Electron Microscope (SEM)	Standardless program, ZAF method
6. X-ray florescence spectroscopy (XRF)	Fundamental parameter in x-ray fluorescence
7. เครื่องตรวจสอบประจุ (zeta meter)	Microelectrophoresis technique

เนื่องจากน้ำกากส่ามีความหนืดขึ้นในการทดลองนี้จึงได้นำน้ำกากส่ามาเจือจาง 2 เท่าก่อนทำการทดลอง โดยน้ำกากส่าที่ใช้ปฏิบัติการทดลองได้นำมาจากโรงงานสุรา จังหวัดนครปฐม ส่วนโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา ได้นำมาจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน และถ้ำลอยแอสฟัลท์ ได้นำมาจากโรงงานผลิตแอสฟัลท์คอนกรีต จังหวัดอุตรธานี ซึ่งแผนภาพขั้นตอนการวิจัยโดยรวมดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง

3.4 ขั้นตอนการวิจัย

3.3.1 การเตรียมโคแอกกูแลนต์และวิเคราะห์สมบัติของโคแอกกูแลนต์

3.3.1.1 การเตรียมโคแอกกูแลนต์

นำกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำไปคัคนาดด้วยตะแกรงขนาด 100 เมชเพื่อคัดอนุภาคให้เท่ากัน

3.3.1.2 วิเคราะห์สมบัติพื้นฐานทางกายภาพและเคมีของโคแอกกูแลนต์

- 1) วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ โดยทำการหาขนาดและรูปร่างของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM)
- 2) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer

3.3.1.3 การตรวจสอบประจุของโคแอกกูแลนต์ โดยใช้เครื่องซีต้ามิเตอร์ (zeta meter) เพื่อหาประจุของคอลลอยด์

3.3.2 ศึกษาความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์เปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาวโดยใช้วิธีจาร์เทสต์ (Jar test)

3.3.2.1 การหาปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมจากกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปา

- 1) เติมน้ำตัวอย่าง 500 มล. ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มล. และเติมโคแอกกูแลนต์ในปริมาณต่างๆ กัน จากนั้นทำการกวนเร็วโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ที่อัตราเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที แล้วเปลี่ยนเป็นกวนช้าที่อัตราเร็ว 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที
- 2) สังเกตจนเห็นปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น นำส่วนใสไปวิเคราะห์ค่าพีเอช ค่าซีโอดี และความขุ่นสี เพื่อนำไปใช้ในการเลือกพีเอชในการทดลองขั้นต่อไป

3.3.2.2 การหาค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสม

- 1) เติมน้ำตัวอย่าง 500 มล. ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มล. และทำการปรับพีเอชน้ำกากส่าให้อยู่ในช่วง 3-12 ด้วย H_2SO_4 หรือ NaOH
- 2) เติมปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ได้จากข้อ 3.3.2.1
- 3) ทำการกวนเร็วที่อัตราเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที แล้วเปลี่ยนเป็นกวนช้าที่อัตราเร็ว 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 4) นำส่วนใส ไปวิเคราะห์ค่าพีเอช ค่าซีไอดี และความเข้มข้น

3.3.2.3 ทำการทดลองตาม 3.3.2.1- 3.3.2.3 โดยเปลี่ยนโคแอกกูแลนต์จากกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็น เถ้าลอยแอสฟัลท์ สารส้ม และปูนขาว ตามลำดับ

3.3.2.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปา กับสารส้มและเถ้าลอยแอสฟัลท์กับปูนขาว

3.3.3 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากส่า เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและเถ้าลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์ มาทำการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาว

3.3.3.1 วิเคราะห์หาความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ก่อนทำการทดลอง ด้วยวิธี permanganate titration (ภาคผนวก ข)

3.3.3.2 การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เบื้องต้น

- 1) นำน้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดด้วยการตกตะกอนแล้ว 50 มล. มาทำการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จำนวนหนึ่ง
- 2) ทำการเดินเครื่องกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง
- 3) นำส่วนใสไปวิเคราะห์ค่าพีเอช ค่าซีไอดีและความเข้มข้น รวมทั้งสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเพื่อใช้เลือกพีเอชในขั้นต่อไป

3.3.3.3 การหาค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสม

1) นำน้ำกากสำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นในสภาวะที่เหมาะสมมา 50 มล. ปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 3-12 ด้วย H_2SO_4 หรือ $NaOH$ จากนั้นเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณความเข้มข้นที่หาได้จากข้อ 3.3.3.2

2) ทำการเดินเครื่องกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง

3) จากนั้นนำส่วนใสไปวิเคราะห์ค่าพีเอช ค่าซีโอดีและความเข้มข้น

3.3.3.4 การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสม

1) นำน้ำกากสำที่ผ่านการบำบัดด้วยการตกตะกอนแล้วมา 50 มล. ทำการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในช่วงความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่หาได้จากข้อ 3.3.3.2

2) ทำการเดินเครื่องกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง

3) นำส่วนใสไปวิเคราะห์ค่าพีเอช ค่าซีโอดีและความเข้มข้น

3.3.3.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและความเข้มข้นระหว่างกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา กับสารส้มและถ้ำลอยแอสฟัลท์กับปูนขาว เมื่อออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

3.3.3.6 ศึกษาผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างต่อซีโอดีและสี

1) นำน้ำกากสำที่ผ่านการตกตะกอนแล้ว (สารส้ม ปูนขาว กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา และถ้ำลอยแอสฟัลท์) มาเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณความเข้มข้นและสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นต้น

2) ทำการเดินเครื่องกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทิ้งให้ตกตะกอน 3-72 ชั่วโมง เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลง

3) จากนั้นนำส่วนใสไปวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างด้วยวิธี iodometric titration (ภาคผนวก ข) ค่าซีโอดี และความเข้มข้น ตามเวลาที่กำหนด

3.3.4 ศึกษาผลของเหล็กในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยวิธีโคแอกกูเลชัน ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1) นำน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนแล้ว (สารส้ม ปูนขาว กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา และถ้ำลอยแอสฟัลท์) มาเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณความเข้มข้นและสถานะที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นต้น

2) เติมเฟอร์รัสซัลเฟตในปริมาณต่างๆ ทำการเดินเครื่องกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลง

3) จากนั้นนำส่วนใสไปวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้าง ด้วยวิธี iodometric titration (ภาคผนวก ข) ค่าพีเอช ค่าซีโอดี และความเข้มข้น

3.3.5 ศึกษาค่าใช้จ่ายในการนำกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์มาใช้ตามหลักเศรษฐศาสตร์เพื่อพัฒนาเป็นราคาต้นทุนเปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาว รวมทั้งความเป็นไปได้ในการพัฒนาเชิงการค้า

3.3.6 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) หากพบว่าพารามิเตอร์ใดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha = 0.05$) จะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างโดย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

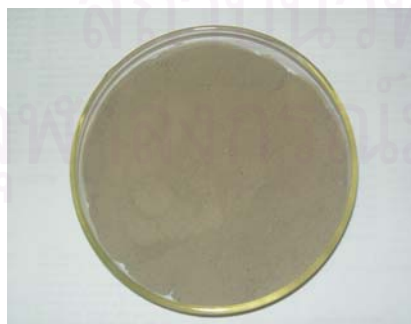
การศึกษาความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์นั้นต้องทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมี และสภาวะที่เหมาะสมในการเป็นโคแอกกูแลนต์โดยทำการศึกษาปริมาณโคแอกกูแลนต์ และความเป็นกรด-ด่าง เพื่อพิจารณาค่าร้อยละการบำบัดซีโอดีและความเข้มสี โดยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาว จากนั้นนำน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนแล้วไปบำบัดด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยทำการศึกษาความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และความเป็นกรด-ด่างเพื่อพิจารณาค่าร้อยละการบำบัดซีโอดีและความเข้มสี เช่นเดียวกัน ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะทั่วไปของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์

ลักษณะทั่วไปของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ แสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์

โคแอกกูแลนต์	ลักษณะ
กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา	ของแข็งสีน้ำตาล
ถ้ำลอยแอสฟัลท์	ผงละเอียดสีเทา



กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา

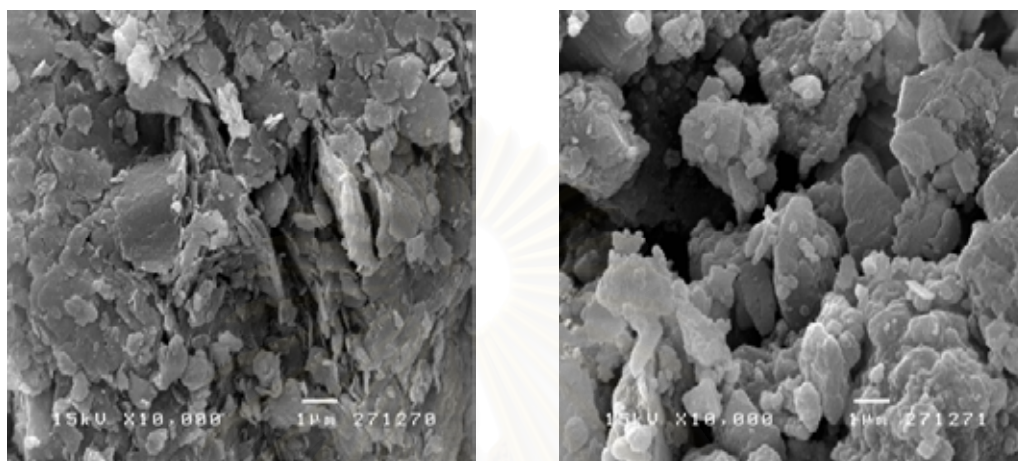


ถ้ำลอยแอสฟัลท์

รูปที่ 4.1 ลักษณะของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ขนาด 100 เมช

4.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของโคแอกกูแลนต์

4.2.1. สมบัติทางกายภาพของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ ดังรูปที่ 4.2



กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา

ถ้ำลอยแอสฟัลท์

รูปที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์

กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์จัดว่าเป็นกากของเสียจากอุตสาหกรรม หากสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ของเสียและลดภาระการกำจัด ซึ่งจากการศึกษาของเสียด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่า กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปามีลักษณะเป็นแผ่น โครงสร้างแน่นเรียบ ไม่มีรูพรุนที่สามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้ ส่วนถ้ำลอยรูปร่างที่พบได้ทั่วไปมี 3 ลักษณะ คือ ลักษณะที่ค่อนข้างกลมหรือเกือบกลม ลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งมีลักษณะเบาและลอยน้ำได้ และลักษณะที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ซึ่งในที่นี้ถ้ำลอยแอสฟัลท์มีลักษณะค่อนข้างกลม บางส่วนมีรูปร่างไม่แน่นอน และไม่มีรูพรุน

4.2.2 สมบัติทางเคมีของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์

การทดลองในครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยวิธี X-ray fluorescence spectroscopy ในกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยวิธี X-ray fluorescence spectroscopy*

ชนิดของธาตุ องค์ประกอบ	องค์ประกอบธาตุ (% by weight)			
	สารส้ม	กากตะกอนจาก ระบบผลิตน้ำประปา	ปูนขาว	เถ้าลอย แอสฟัลท์
MgO	ND	0.2	ND	0.1239
Al ₂ O ₃	9.69	12.89	ND	ND
SiO ₂	ND	60.06	0.53	4.25
P ₂ O ₅	ND	0.45	ND	ND
SO ₃	46.71	0.64	ND	0.58
K ₂ O	43.39	4.69	ND	ND
CaO	ND	1.84	99.11	92.83
TiO ₂	ND	2.78	ND	0.1160
MnO ₂	ND	0.31	0.0193	0.0463
Fe ₂ O ₃	0.1931	7.58	0.29	1.15
Cr ₂ O ₃	ND	0.0354	ND	ND
NiO	ND	0.0422	ND	ND
CuO	ND	0.0275	0.0114	0.0118
ZnO	ND	0.0500	ND	0.0126
GaO	ND	0.0115	ND	ND
As ₂ O ₃	ND	0.0159	ND	0.0034
Rb ₂ O	0.0103	0.0528	ND	ND
SrO	ND	0.0290	0.0437	0.0559
Y ₂ O ₃	ND	0.0230	ND	0.0034
ZrO ₂	ND	0.0760	ND	0.0106
Nb ₂ O ₅	ND	0.0067	ND	ND
BaO	ND	0.1446	ND	ND

หมายเหตุ:

ND หมายถึง เครื่อง XRF ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้

* ผลการวิเคราะห์ในตารางได้ทำการวิเคราะห์เพียงครั้งเดียว เนื่องจากตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นตัวแทนของโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการทดลอง โดยได้ทำการเตรียมโคแอกกูแลนต์ทั้งหมดให้เพียงพอต่อการทดลองทั้งกระบวนการ

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยวิธี X-ray fluorescence spectroscopy จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบหลักของสารส้มคือ Al_2O_3 , SO_3 และ K_2O คิดเป็น 99.79% ของน้ำหนัก ซึ่งเป็นธาตุองค์ประกอบของสารส้มชนิดโพแทสเซียมอะลัมหรือโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) โดยทั่วไปได้นำไปใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาเนื่องจากมีราคาถูกกว่าอะลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) ซึ่งการเติมโพแทสเซียมเข้าไปเพื่อให้เกิดผลึกที่ใสเท่านั้น ขณะที่กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปามีองค์ประกอบหลักคือ Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O และ Fe_2O_3 ซึ่งคิดเป็น 85.22 % ของน้ำหนัก โดยปริมาณ SiO_2 ที่มีมากถึง 60% นั้นเป็นผลมาจากการตกตะกอนของสารแขวนลอยในน้ำดิบ มักอยู่ในรูปของดินเหนียว ทราย โคลน หรือสาหร่ายบางชนิด ส่วนองค์ประกอบอื่น อาจมีผลมาจากสารเคมีที่ใช้เติมในกระบวนการผลิตน้ำประปา เช่น สารส้ม และสารประกอบเหล็ก แต่ในกระบวนการผลิตน้ำประปา ตะกอนโดยส่วนใหญ่จะเกิดจากสารส้มทำปฏิกิริยากับปริมาณต่างตามธรรมชาติของน้ำดิบ ทำให้เกิดเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ของอะลูมิเนียม ($\text{Al}(\text{OH})_3$) สำหรับองค์ประกอบหลักในปูนขาวและเถ้าลอยแอสฟัลท์จากโรงผลิตแอสฟัลท์นั้นคือ CaO ซึ่งมีอยู่ถึง 99.11% และ 92.83% ตามลำดับ ซึ่งการที่เถ้าลอยแอสฟัลท์จากโรงผลิตแอสฟัลท์มีองค์ประกอบของ CaO อยู่มาก เนื่องจากในกระบวนการผลิตแอสฟัลท์ต้องมีการเผาหินปูนให้ร้อนทำให้เกิดแคลเซียมออกไซด์ ส่งผลให้เถ้าลอยแอสฟัลท์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์มากตามไปด้วย

4.3 การตรวจสอบประจุของโคแอกกูแลนต์

เมื่อตรวจสอบประจุของโคแอกกูแลนต์ด้วยเครื่องซีต้ามิเตอร์ (zeta meter) พบว่ามีค่าดังตารางที่ 4.3 และผลการหาค่าประจุตั้งภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.3 ค่าประจุของโคแอกกูแลนต์ (mV)

โคแอกกูแลนต์	ค่าเฉลี่ย zeta potential (mV)
สารส้ม	-12.50
กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา	-55.95
ปูนขาว	-22.02
เถ้าลอยแอสฟัลท์	-59.59
น้ำกากส่า	-9.63

เนื่องจากในน้ำกากสำประกอบไปด้วยสารสีน้ำตาลที่เรียกว่า เมลานอยดิน และจากการหาประจุของน้ำกากสำ พบว่า น้ำกากสำมีประจุลบสอดคล้องกับ Kato และ Tsuchida (1981) ที่พบว่า เมลานอยดินมีประจุลบเช่นเดียวกัน ส่วนประจุของโคแอกกูแลนต์ที่ทำการทดลอง พบว่า มีประจุลบ ดังนั้นการที่โคแอกกูแลนต์จะไปดูดติดผิวคอลลอยด์ในน้ำกากสำจึงค่อนข้างเป็นไปได้ยาก แต่สารส้มและปูนขาวมีค่าซีต้าโพเทนเชียลเป็น -12.50 และ -22.02 มิลลิโวลต์ ซึ่งมีค่าเป็นลบน้อยกว่า กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์จึงน่าจะดูดติดผิวคอลลอยด์ได้ดีกว่ากากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์

4.4 ศึกษาความสามารถของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ในการลดซีโอดีและสีในน้ำกากสำเมื่อเปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาว

ทำการศึกษากากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ในการเป็นโคแอกกูแลนต์เพื่อลดซีโอดีและสีในน้ำกากสำเมื่อเปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาวด้วยวิธีจาร์เทสต์ โดยทำการแปรค่าปริมาณโคแอกกูแลนต์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดซีโอดีและสีโดยพิจารณาจากร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ดังผลการทดลองในภาคผนวก ง ซึ่งขั้นตอนนี้จะสนใจร้อยละการบำบัดซีโอดีเป็นสำคัญ ดังนั้นในการหาสภาวะที่เหมาะสมจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการบำบัดซีโอดี โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) หากพบว่าพารามิเตอร์ใดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 จะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างโดย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ดังภาคผนวก จ

4.4.1 เมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์

4.4.1.1 การหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

จากการทดลองเติมสารส้มปริมาณต่างๆ ในน้ำกากสำ และนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปวิเคราะห์ค่าซีโอดี และความเข้มสีพบว่า เมื่อใช้สารส้ม 14 กรัม สามารถลดค่าซีโอดีจาก 158,666.67 มก./ล. เป็น 134,666.67 มก./ล. คิดเป็น 15.13% และค่าทรานสมิตแดนซ์เพิ่มขึ้นจาก 69.40% เป็น 83.27% ทำให้ความเข้มสีลดลงคิดเป็น 19.98% ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.4

เมื่อพิจารณาทางสถิติร้อยละการบำบัดซีโอดีของสารส้มปริมาณ 14 กรัม พบว่ามีความแตกต่างจากปริมาณอื่นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณ 16 กรัม และ 18 กรัม จึงเลือกสารส้มปริมาณ 14 กรัม เนื่องจากใช้ปริมาณน้อยกว่า แต่ให้ร้อยละการบำบัดที่ไม่ต่างกัน และเมื่อพิจารณาจากการบำบัดสี พบว่า สารส้ม 14 กรัม สามารถลดความเข้มสีได้ดีที่สุด

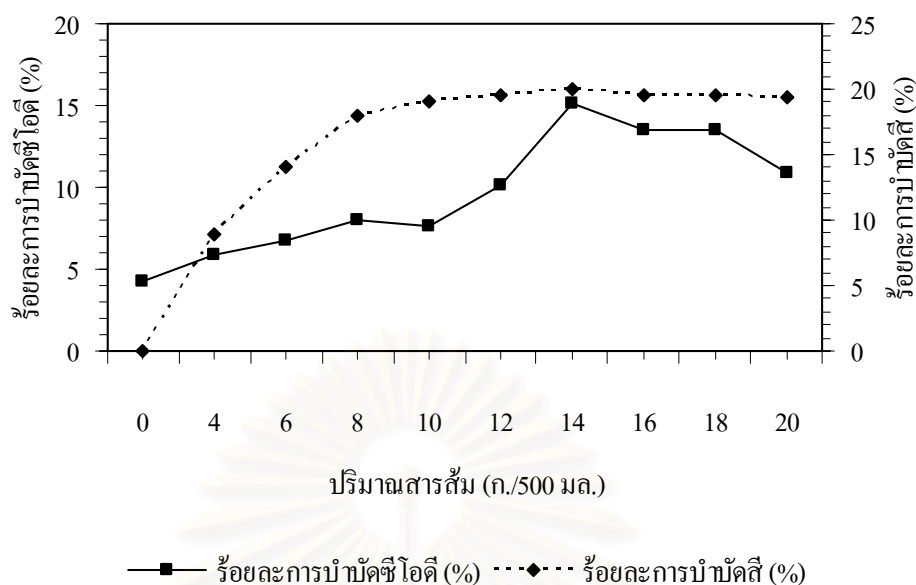
จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมสารส้มในปริมาณที่มากขึ้นจะสามารถลดค่าซีโอดีและความเข้มสีลงได้ซึ่งเมื่อถึงปริมาณระดับหนึ่งร้อยละการบำบัดจะเริ่มคงที่และลดลง ซึ่งปริมาณสารส้ม 14 กรัม สามารถให้ค่าการบำบัดสีและซีโอดีได้ดีที่สุด จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการนำไปใช้เพื่อหาพีเอชที่เหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยสารส้มที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณ (ก./500 มล.)*	ค่าเฉลี่ย ซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ย ทรานสมิตแดนซ์ (%)	ร้อยละ การบำบัดสี (%)	ค่าพีเอชหลัง ตกตะกอน (pH)
0	152,000.00	4.20 ^e	69.40	0.00	4.15
4	149,333.33	5.88 ^{de}	75.60	8.93	4.08
6	148,000.00	6.72 ^{cde}	79.13	14.02	3.87
8	146,000.00	7.98 ^{cde}	81.90	18.01	3.70
10	146,666.67	7.56 ^{cde}	82.63	19.07	3.54
12	142,666.67	10.08 ^{bcd}	82.93	19.50	3.46
14	134,666.67	15.13^a	83.27	19.98	3.39
16	137,333.33	13.45 ^{ab}	83.00	19.60	3.34
18	137,333.33	13.45 ^{ab}	82.97	19.55	3.32
20	141,333.33	10.92 ^{bc}	82.90	19.45	3.28

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 158,666.67 มก./ล. ค่าทรานสมิตแดนซ์เริ่มต้น = 69.40 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 4.15
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT
3. * หมายถึง ปริมาณโคแอกกูแลนต์ในหน่วยกรัมต่อปริมาณน้ำกากส่าเจือจาง 500 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มกับร้อยละการบำบัดซีโอดีและแคโรทีน

4.4.1.2 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสม

เมื่อแปรค่าพีเอช 3-12 ผลการทดลองที่ได้พบว่าพีเอช 8 ให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงที่สุด คือ 23.72% และแตกต่างจากพีเอชอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกับพีเอช 7 ซึ่งมีร้อยละการบำบัดซีโอดีอยู่ที่ 22.88% ส่วนพีเอชที่ให้ค่าการบำบัดความเข้มสีที่มากที่สุดคือพีเอช 10 แต่ที่พีเอช 10 นี้แม้ว่าความเข้มสีจะลดลงแต่ค่าซีโอดีกลับเพิ่มขึ้น จึงพิจารณาที่พีเอช 7 และ 8 ซึ่งที่พีเอช 8 นี้ให้ค่าการบำบัดความเข้มสีที่มากกว่าพีเอช 7 เพียง 0.29% เท่านั้น แต่อาจต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับพีเอชเพิ่มขึ้น จึงเลือกสารส้ม 14 กรัม โดยปรับพีเอชเป็น 7 ไปใช้ในขั้นตอนออกซิเดชันต่อไป ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.5

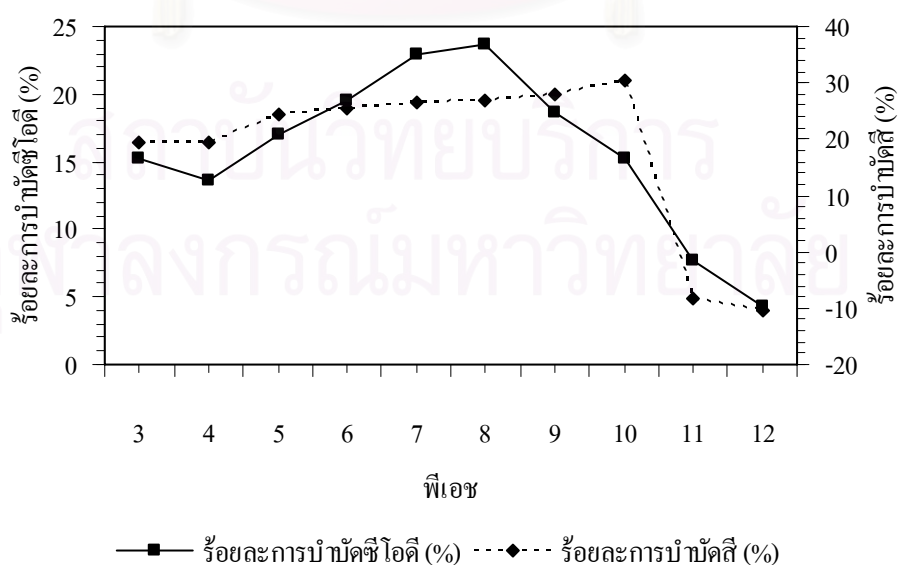
จากรูปที่ 4.4 พีเอชเริ่มที่เหมาะสมในการตกตะกอนด้วยสารส้มอยู่ที่พีเอช 7-8 เนื่องจากให้ค่าการบำบัดซีโอดีได้ดีที่สุด โดยการที่สารส้มสามารถลดค่าซีโอดีได้เนื่องจากสารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ และเกิดกลไกโคแอกกูเลชันขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่มีกลไกแบบกวาด (sweep coagulation) เป็นกลไกหลัก (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2538) กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยกลไกแบบกวาดจะได้ผลดีที่สุดที่พีเอช 6.8 ถึง 8.2 (Amirtharajah และ Mill, 1982) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง ส่วนค่าการบำบัดสีความเข้มสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชไม่เกิน 10 แต่หากพีเอชมากกว่า 10 ค่าการบำบัดสีจะลดลงทันที ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพีเอชมีผลต่อความเข้มสี

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและความเข้มข้น ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม ที่พีเอชต่างๆ

พีเอช	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละ การบำบัดซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ย ทรานสมิตเทนซ์ (%)	ร้อยละ การบำบัดสี (%)	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน (pH)
ปกติ	121,275.00	17.79 ^{cd}	82.40	18.73	3.20
3	125,025.00	15.25 ^{de}	82.80	19.31	2.56
4	127,525.00	13.56 ^c	82.80	19.31	3.26
5	122,525.00	16.95 ^{cde}	86.10	24.06	3.79
6	118,775.00	19.49 ^{bc}	86.87	25.17	4.02
7	113,775.00	22.88^{ab}	87.67	26.32	4.14
8	112,525.00	23.72 ^a	87.87	26.61	4.30
9	120,025.00	18.64 ^{cd}	88.53	27.57	4.53
10	125,025.00	15.25 ^{de}	90.37	30.21	4.95
11	136,275.00	7.63 ^f	63.50	-8.50	5.96
12	141,275.00	4.24 ^f	62.20	-10.37	7.23

หมายเหตุ :

- ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 147,525.00 มก./ล. ค่าทรานสมิตเทนซ์เริ่มต้น = 69.40 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 3.92
- ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสารส้ม 14 กรัมกับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่พีเอชต่างๆ

4.4.2 เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็น โคแอกกูแลนต์

4.4.2.1 การหาปริมาณกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาที่เหมาะสม

การหาปริมาณกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่า พบว่า เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาในปริมาณ 140 กรัม สามารถลดค่าซีไอดี จาก 153,504.00 มก./ล. เป็น 116,768.00 มก./ล. คิดเป็น 23.93% และค่าทรานสมิตแตนซ์ เพิ่มขึ้น จาก 69.43% เป็น 79.33% ทำให้ความขุ่นลดลงคิดเป็น 14.26% ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.6

เมื่อพิจารณาทางสถิติร้อยละการบำบัดซีไอดีของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาปริมาณ 140 กรัม พบว่ามีความแตกต่างจากปริมาณอื่นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณ 160 กรัม ดังนั้น จึงเลือกกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาปริมาณ 140 กรัมไปใช้ในการหาพีเอชที่เหมาะสมต่อไป เนื่องจากปริมาณที่ใช้น้อยกว่าแต่ให้ร้อยละการบำบัดที่ไม่ต่างกับปริมาณ 160 กรัม และเมื่อพิจารณาจากการบำบัดสีนั้น พบว่า ปริมาณกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา 160 กรัม สามารถบำบัดความขุ่นสีได้ดีที่สุด แต่ต้องใช้ปริมาณกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเพิ่มมากขึ้นอีก 20 กรัม จึงไม่เหมาะสมที่จะเลือก เนื่องจากเป็นการเพิ่มภาระในการบำบัดตะกอนที่สูงขึ้น

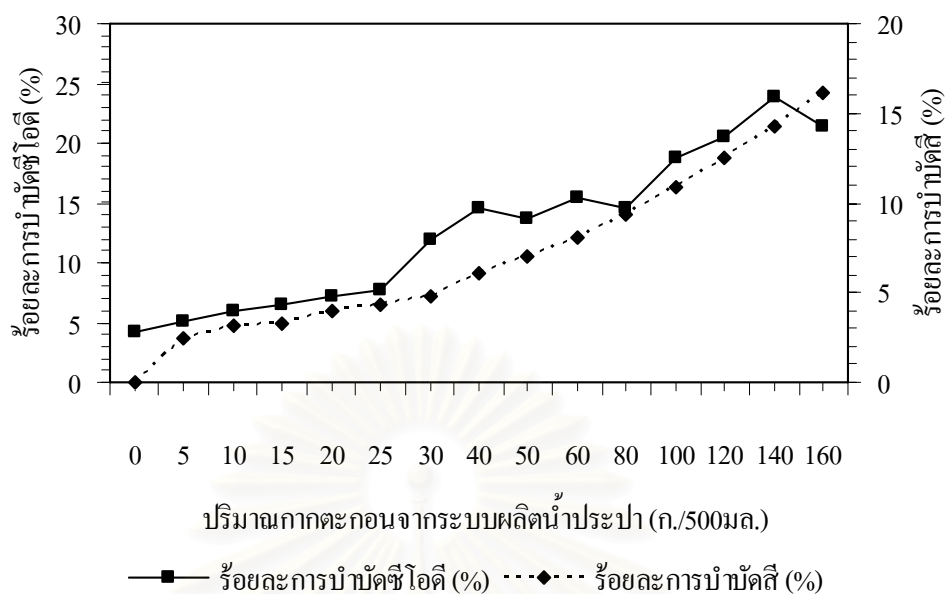
จากรูปที่ 4.5 เมื่อเติมปริมาณกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปามากขึ้นจะส่งผลให้ค่าการบำบัดซีไอดีและสีมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลของ $Al(OH)_3$ ที่อยู่ในกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา โดยอนุภาคจะไปจับสารแขวนลอยและคอลลอยด์ที่มีอยู่ในน้ำให้มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่พอและตกตะกอนออกมา นอกจากนี้สารเคมีที่ตกค้างอยู่ในกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาอาจมีส่วนช่วยในการเกิดโคแอกกูแลชันได้

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณ (ก./500 มล.)*	ค่าเฉลี่ย ซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ย ทรานสมิตแตนซ์ (%)	ร้อยละ การบำบัดสี (%)	ค่าพีเอชหลัง ตกตะกอน (pH)
0	146,944.00	4.27 ^d	69.43	0.00	4.15
5	145,632.00	5.13 ^d	71.10	2.40	4.23
10	144,320.00	5.98 ^d	71.63	3.17	4.24
15	143,664.00	6.41 ^d	71.70	3.26	4.26
20	142,352.00	7.26 ^d	72.23	4.03	4.28
25	141,696.00	7.69 ^d	72.43	4.32	4.30
30	135,136.00	11.97 ^c	72.77	4.80	4.32
40	131,200.00	14.53 ^c	73.63	6.05	4.37
50	132,512.00	13.68 ^c	74.33	7.06	4.41
60	129,888.00	15.38 ^c	75.07	8.11	4.43
80	131,200.00	14.53 ^c	75.93	9.36	4.51
100	124,640.00	18.80 ^b	77.00	10.90	4.59
120	122,016.00	20.51 ^b	78.13	12.53	4.66
140	116,768.00	23.93^a	79.33	14.26	4.67
160	120,704.00	21.37 ^{ab}	80.63	16.13	4.67

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 153,504.00 มก./ล. ค่าทรานสมิตแตนซ์เริ่มต้น = 69.43 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 4.15
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT
3. * หมายถึง ปริมาณโคแอกกูแลนต์ในหน่วยกรัมต่อปริมาณน้ำกากส่าเจือจาง 500 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปากับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดี

4.4.2.2 การหาพีเอชที่เหมาะสม

เมื่อแปรค่าพีเอช 3-12 ผลการทดลองที่ได้พบว่าพีเอช 3 ให้ค่าร้อยละการบำบัดซีโอดีสูงสุด คือ 30.77% ซึ่งแตกต่างจากพีเอชอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและให้ร้อยละการบำบัดสีสูงสุด คือ 23.50% โดยสามารถลดค่าซีโอดีจาก 138,666.67 มก./ล. เป็น 96,000 มก./ล. และเพิ่มค่าทรานสมิตแตนซ์จาก 69.50% เป็น 85.83% ดังนั้นจึงเลือกกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาที่ 140 กรัม โดยปรับพีเอชเป็น 3 ไปใช้ในขั้นตอนออกซิเดชันต่อไป ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.7

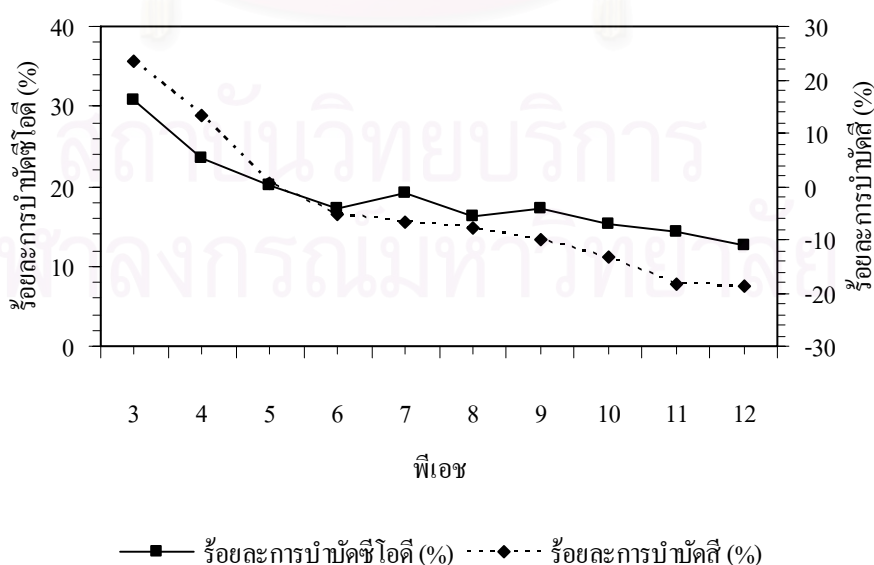
เมื่อทำการปรับพีเอชเป็น 3 แล้วพบว่า ค่าการบำบัดซีโอดีเพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นผลมาจาก $Al(OH)_3$ ที่อยู่ในกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา สามารถกลับมาอยู่ในรูปของ $Al_2(SO_4)_3$ หรือสารส้มได้เมื่อมีการเติมกรดซัลฟิวริกลงไป ดังนั้น การคืนสภาพของสารส้มบางส่วนอาจส่งผลให้ค่าการบำบัดซีโอดีเพิ่มมากขึ้นรวมทั้งค่าการบำบัดสีเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นไปดังรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาที่ฟิเอชต่างๆ

ฟิเอช	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละ การบำบัดซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ย ทรานสมิตแตนซ์ (%)	ร้อยละ การบำบัดสี (%)	ค่าฟิเอช หลังตกตะกอน (pH)
ปกติ	105,333.33	24.04 ^b	80.27	15.49	4.36
3	96,000.00	30.77^a	85.83	23.50	3.69
4	106,000.00	23.56 ^b	78.77	13.33	4.48
5	110,666.67	20.19 ^{bc}	69.80	0.43	5.32
6	114,666.67	17.31 ^{cde}	65.93	-5.13	5.86
7	112,000.00	19.23 ^{bcd}	64.83	-6.71	6.19
8	116,000.00	16.35 ^{cde}	63.97	-7.96	6.59
9	114,666.67	17.31 ^{cde}	62.43	-10.17	7.05
10	117,333.33	15.38 ^{cde}	60.23	-13.33	7.69
11	118,666.67	14.42 ^{de}	56.63	-18.51	8.91
12	121,333.33	12.50 ^e	56.57	-18.61	9.68

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 138,666.67 มก./ล. ค่าทรานสมิตแตนซ์เริ่มต้น = 69.50 % และค่าฟิเอชเริ่มต้น = 3.92
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา 140 กรัม กับร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีที่ฟิเอชต่างๆ

4.4.3 เมื่อใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์

4.4.3.1 การหาปริมาณปูนขาวที่เหมาะสม

เมื่อใช้ปูนขาวในปริมาณ 30 กรัม สามารถลดค่าซีโอดีจาก 153,333.33 มก./ล. เป็น 88,000.00 มก./ล. คิดเป็น 42.61% และ ค่าทรานสมิตแดนซ์เพิ่มขึ้นจาก 69.43% เป็น 94.67% ทำให้ความเข้มสีลดลงคิดเป็น 36.34% ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.8 และเมื่อพิจารณาทางสถิติ ร้อยละการบำบัดซีโอดีของปูนขาวที่ปริมาณ 30 กรัม พบว่ามีความแตกต่างจากปริมาณอื่นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณ 40 และ 50 กรัม ดังนั้น จึงเลือกปูนขาวปริมาณ 30 กรัมไปใช้ในการหาพีเอชที่เหมาะสมต่อไป แม้ว่าเมื่อพิจารณาจากการบำบัดสีนั้น พบว่า ปริมาณปูนขาว 50 กรัม สามารถบำบัดความเข้มสีได้ดีที่สุดก็ตาม เนื่องจากหากใช้ปริมาณปูนขาวที่มากขึ้นจะก่อให้เกิดปริมาณตะกอนที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

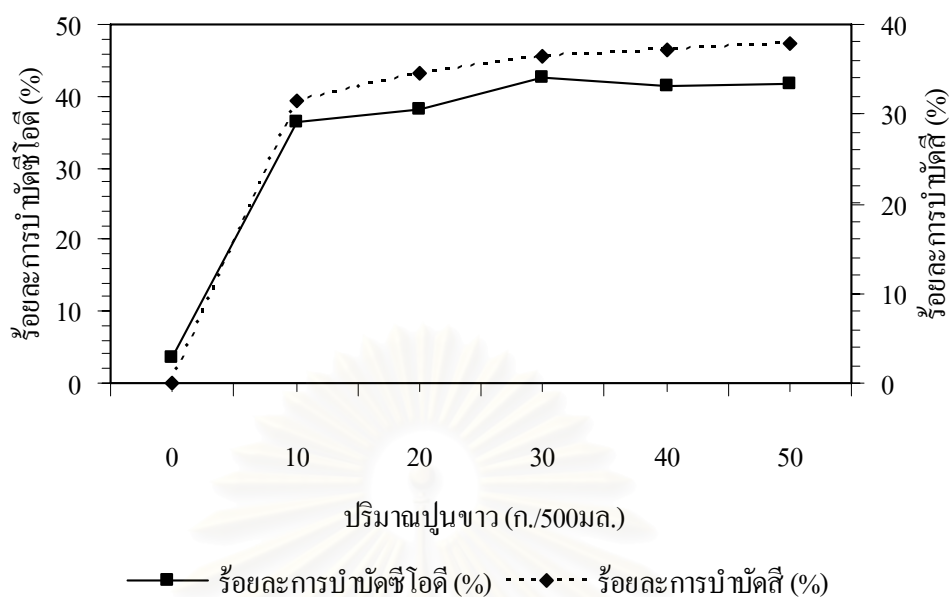
พิจารณาจากรูปที่ 4.7 พบว่า ปริมาณปูนขาวที่เติมมากขึ้นไม่มีผลทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีเปลี่ยนแปลงมาก หรือมีแนวโน้มที่ค่อนข้างคงที่ แต่ค่าการบำบัดความเข้มสีอาจที่แนวโน้มที่มากขึ้นแต่ก็อยู่ในอัตราที่น้อยมาก ซึ่งไม่คุ้มค่าหากเทียบกับปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยปูนขาวที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณ (ก./500 มล.)*	ค่าเฉลี่ย ซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ย ทรานสมิตแดนซ์ (%)	ร้อยละ การบำบัดสี (%)	ค่าพีเอชหลัง ตกตะกอน (pH)
0	148,000.00	3.48 ^d	69.43	0.00	4.15
10	97,333.33	36.52 ^c	91.33	31.54	11.93
20	94,666.67	38.26 ^{bc}	93.50	34.66	11.92
30	88,000.00	42.61^a	94.67	36.34	12.02
40	90,000.00	41.30 ^{ab}	95.27	37.21	12.11
50	89,333.33	41.74 ^{ab}	95.70	37.83	12.13

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 153,333.33 มก./ล. ค่าทรานสมิตแดนซ์เริ่มต้น = 69.43 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 4.15
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT
3. * หมายถึง ปริมาณโคแอกกูแลนต์ในหน่วยกรัมต่อปริมาณน้ำกากส่าเจือจาง 500 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยีสต์กับร้อยละการบำบัดคีสและชีโอดี

4.4.3.2 การหาพีเอชที่เหมาะสม

เมื่อแปรค่าพีเอช 3-12 ผลการทดลองที่ได้พบว่าที่พีเอชปกติ (pH = 3.92) ให้ค่าการบำบัดความเข้มข้นสูงสุด คือ 37.76% และให้ค่าการบำบัดชีโอดี 40.20% ซึ่งไม่แตกต่างจากพีเอชอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นพีเอช 11 และ 12) โดยสามารถลดค่าชีโอดีจาก 136,000.00 มก./ล. เป็น 81,333.33 มก./ล. และเพิ่มค่าทรานสมิตแดนซ์ จาก 69.30% ให้เป็น 95.47% ดังนั้นจึงเลือกปริมาณยีสต์ที่ 30 กรัม โดยไม่ต้องปรับพีเอช ไปใช้ในขั้นตอนออกซิเดชันต่อไป ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.9

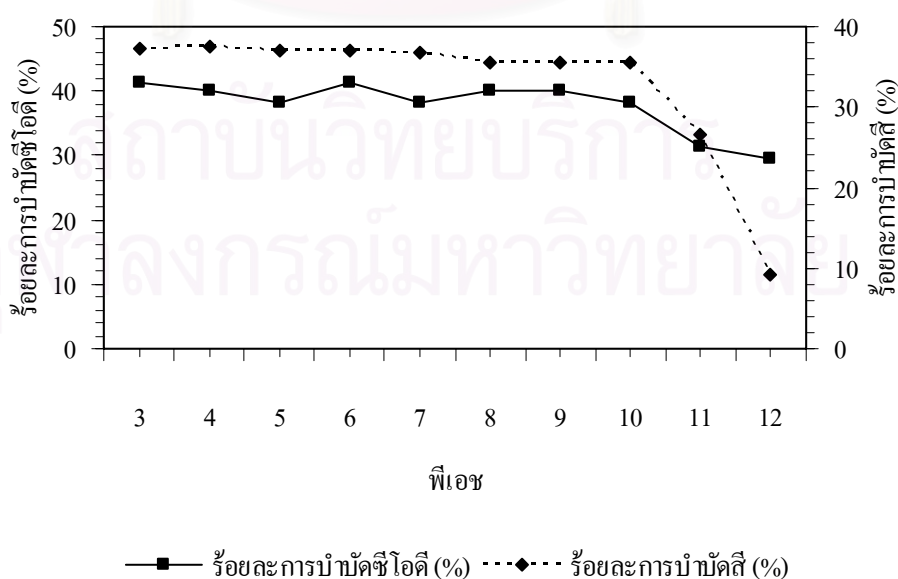
จากรูปที่ 4.8 พีเอชตั้งแต่ 3-10 ให้ค่าการบำบัดชีโอดีและคีสที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพีเอชเป็น 11-12 ค่าการบำบัดชีโอดีและคีสจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมในการตกตะกอนยีสต์นั้นจึงเลือกที่พีเอชเดิมซึ่งก็คือพีเอชปกติ (pH=3.92) เพื่อลดค่าใช้จ่ายสารเคมีที่ใช้ปรับพีเอช

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำากสาหลังตกตะกอนด้วยปูนขาวที่พีเอชต่างๆ

พีเอช	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละ การบำบัดซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ย ทรานสมิตแตนซ์ (%)	ร้อยละ การบำบัดสี (%)	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน (pH)
ปกติ	81,333.33	40.20^a	95.47	37.76	12.02
3	80,000.00	41.18 ^a	95.13	37.28	11.88
4	81,333.33	40.20 ^a	95.33	37.57	11.91
5	84,000.00	38.24 ^a	95.03	37.13	12.12
6	80,000.00	41.18 ^a	95.00	37.09	12.15
7	84,000.00	38.24 ^a	94.77	36.75	12.16
8	81,333.33	40.20 ^a	93.97	35.59	12.27
9	81,333.33	40.20 ^a	93.97	35.59	12.27
10	84,000.00	38.24 ^a	93.90	35.50	12.28
11	93,333.33	31.37 ^b	87.73	26.60	12.33
12	96,000.00	29.41 ^b	75.63	9.14	12.39

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 136,000.00 มก./ล. ค่าทรานสมิตแตนซ์เริ่มต้น = 69.30 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 3.92
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปูนขาว 30 กรัมกับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่พีเอชต่างๆ

4.4.4 เมื่อใช้ถ้ำลอยแอสฟัลท์ที่เป็นโคแอกกูแลนต์

4.4.4.1 การหาปริมาณถ้ำลอยแอสฟัลท์ที่เหมาะสม

เมื่อใช้ถ้ำลอยแอสฟัลท์ 80 กรัม สามารถลดค่าซีไอดีจาก 158,666.67 มก./ล. เป็น 136,956.00 มก./ล. คิดเป็น 13.68% แต่ค่าทรานสมิตแดนซ์ลดลงจาก 69.40% เป็น 58.97% ทำให้ความเข้มข้นหลังบำบัดเพิ่มขึ้นคิดเป็น 15.03% ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.10 และเมื่อพิจารณาทางสถิติร้อยละการบำบัดซีไอดีของถ้ำลอยแอสฟัลท์ที่ปริมาณ 80 กรัม พบว่ามีความแตกต่างจากปริมาณอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น จึงเลือกถ้ำลอยแอสฟัลท์ปริมาณ 80 กรัมไปใช้ในการหาพีเอชที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งเมื่อพิจารณาจากร้อยละการบำบัดซีไอดี พบว่า ไม่ว่าจะเติมปริมาณถ้ำลอยแอสฟัลท์ลงไปเท่าใดต่างก็มีผลทำให้น้ำกากสำมีซีไอดีเพิ่มขึ้น จึงพิจารณาการบำบัดซีไอดีเป็นสำคัญ

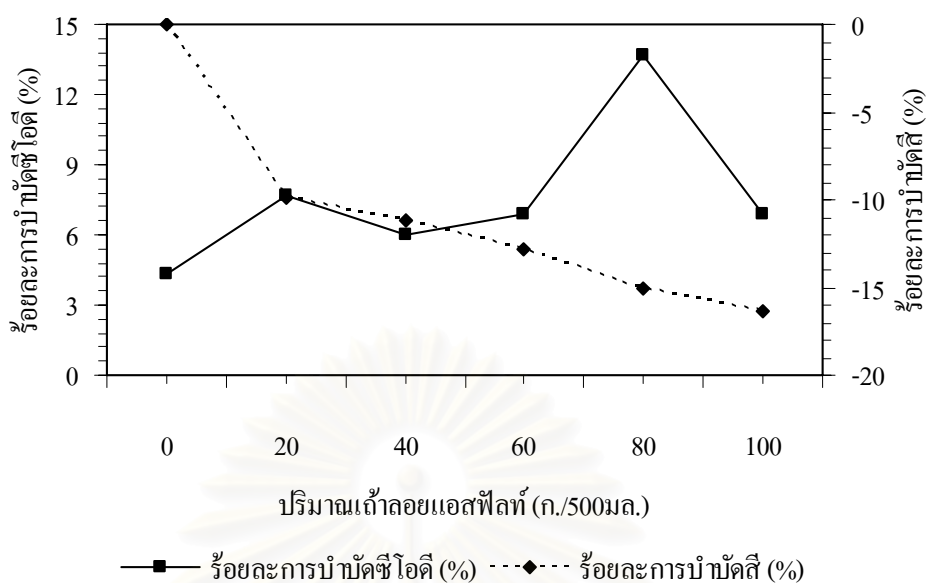
เมื่อพิจารณารูปที่ 4.9 พบว่า ถ้ำลอยแอสฟัลท์สามารถบำบัดค่าซีไอดีได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นและยังเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำกากสำอีกด้วย แต่จากการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยวิธี XRF นั้นกลับพบว่าถ้ำลอยแอสฟัลท์จากโรงผลิตแอสฟัลท์มีส่วนประกอบของ CaO อยู่ถึง 92.83% โดยน้ำหนัก จึงน่าจะให้ผลที่ใกล้เคียงกับปูนขาว ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลมาจากการที่ CaO ที่พบนั้นอยู่ในรูปผลึกแคลเซียมออกไซด์ และไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้อีก นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเติมถ้ำลอยแอสฟัลท์จากโรงผลิตแอสฟัลท์ลงไปใต้น้ำกากสำที่มีสถานะเป็นกรดจะเกิดฟองก๊าซขึ้นจึงคาดว่าผลึกแคลเซียมออกไซด์นั้นมาจาก CaCO_3 ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแอสฟัลท์

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีไอดีและพีเอช ในน้ำกากสำหลังตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์ที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณ (ก./500 มล.)*	ค่าเฉลี่ย ซีไอดี (มก./ล.)	ร้อยละ การบำบัด ซีไอดี (%)	ค่าเฉลี่ย ทรานสมิตแดนซ์ (%)	ร้อยละ การบำบัดซีไอดี (%)	ค่าพีเอชหลัง ตกตะกอน (pH)
0	151,872.00	4.28 ^b	69.40	0.00	4.15
20	146,448.00	7.70 ^b	62.53	-9.89	6.09
40	149,160.00	5.99 ^b	61.63	-11.19	6.14
60	147,804.00	6.85 ^b	60.50	-12.82	6.18
80	136,956.00	13.68^a	58.97	-15.03	6.20
100	147,804.00	6.85 ^b	58.03	-16.38	6.25

หมายเหตุ :

1. ค่าซีไอดีเริ่มต้น = 158,666.67 มก./ล. ค่าทรานสมิตแดนซ์เริ่มต้น = 69.40 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 4.15
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT
3. * หมายถึง ปริมาณโคแอกกูแลนต์ในหน่วยกรัมต่อปริมาณน้ำกากสำเจือจาง 500 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้าลอยแอสฟัลท์กับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดี

จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่า (ตารางที่ 4.7) เมื่อเติมปริมาณเถ้าลอยแอสฟัลท์ 80 กรัม ในน้ำกากส่าทำให้ค่าซีโอดีลดลงไม่มากนัก แต่เมื่อคิดเป็นร้อยละการบำบัดและนำค่าร้อยละการบำบัดซีโอดีมาพล็อตกราฟทำให้ค่าการบำบัดที่ได้สูงกว่าปริมาณอื่นอย่างเห็นได้ชัด

4.4.4.2 การหาพีเอชที่เหมาะสม

เมื่อแปรค่าพีเอช 3-12 ผลการทดลองที่ได้พบว่าที่พีเอช 10 และ 11 ให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงที่สุด คือ 16.22% แต่ไม่สามารถบำบัดสีได้ เมื่อนำร้อยละการบำบัดซีโอดีไปทดสอบทางสถิติ พบว่า ทุกพีเอชไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และทุกพีเอชไม่สามารถบำบัดสีได้ ดังนั้น จึงเลือกปริมาณเถ้าลอยแอสฟัลท์ 80 กรัม ที่สภาวะไม่ปรับพีเอช ไปใช้ในขั้นออกซิเดชันต่อไป ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.11

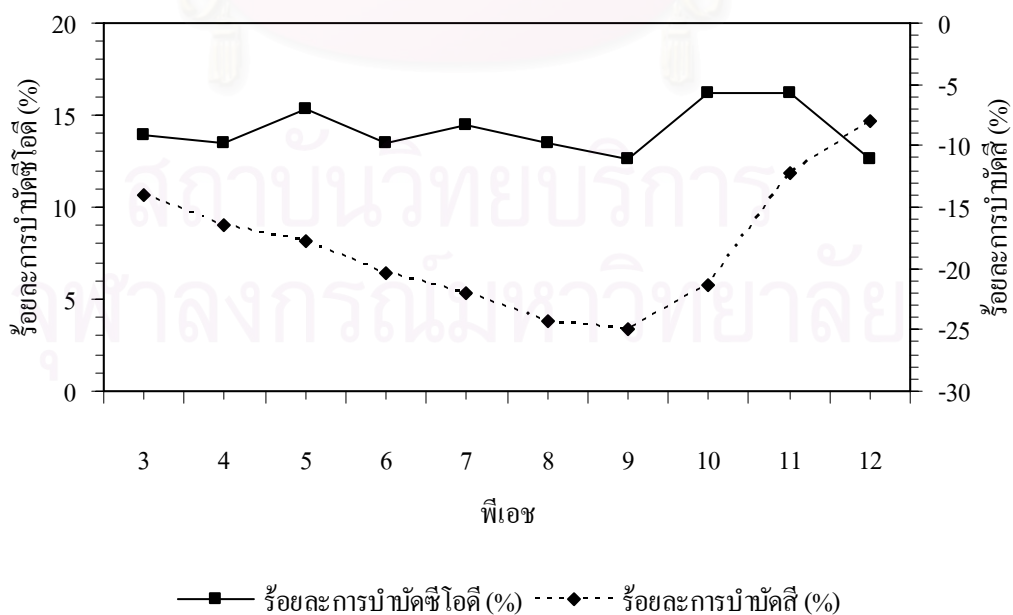
เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.10 พบว่าทุกพีเอชให้ค่าการบำบัดซีโอดีที่ใกล้เคียงกัน แม้ว่าที่พีเอช 10-11 จะให้ค่าการบำบัดซีโอดีที่สูงสุดก็ตามแต่ไม่สามารถลดความเข้มข้นน้ำกากส่าได้ จึงไม่คุ้มที่จะปรับพีเอช ดังนั้น พีเอชปกติจึงเป็นพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมของเถ้าลอยแอสฟัลท์จากโรงผลิตแอสฟัลท์ ซึ่งสามารถลดค่าซีโอดีจาก 145,572.80 มก./ล. เป็น 125,900.80 กิดเป็น 13.51% และค่าทรานสมิตแดนซ์ลดลงจาก 69.40% เป็น 58.50% ทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นคิดเป็น 15.71%

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์ที่พีเอชต่างๆ

พีเอช	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละ การบำบัดซีโอดี (%) ^{NS}	ค่าเฉลี่ย ทรานสมิตแดนซ์ (%)	ร้อยละ การบำบัดสี (%)	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน (pH)
ปกติ	125,900.80	13.51	58.50	-15.71	6.05
3	125,245.07	13.96	59.63	-14.07	6.07
4	125,900.80	13.51	58.00	-16.43	6.09
5	123,277.87	15.32	57.07	-17.77	6.29
6	125,900.80	13.51	55.20	-20.46	6.4
7	124,589.33	14.41	54.13	-22.00	6.51
8	125,900.80	13.51	52.50	-24.35	6.79
9	127,212.27	12.61	52.03	-25.02	7.58
10	121,966.40	16.22	54.53	-21.42	9.22
11	121,966.40	16.22	60.93	-12.20	10.42
12	127,212.27	12.61	63.83	-8.02	11.44

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 145,572.80 มก./ล. ค่าทรานสมิตแดนซ์เริ่มต้น = 69.40 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 3.92
2. NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างถ้ำลอยแอสฟัลท์ 80 กรัมกับร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีที่พีเอชต่างๆ

4.4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและสีระหว่างกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา กับสารส้มและถ้ำลอยแอสฟัลท์กับปูนขาว

จากผลการทดลองขั้นต้นจะเห็นได้ว่า ร้อยละการบำบัดซีโอดีจากการตกตะกอนที่สภาวะเหมาะสมด้วยปูนขาวจะมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา สารส้ม และถ้ำลอยแอสฟัลท์ ซึ่งมีค่าเป็น 40.20, 30.77, 22.88 และ 13.51% ตามลำดับ ส่วนร้อยละการบำบัดความขุ่นสีจากการตกตะกอนด้วยปูนขาวจะมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ สารส้ม กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา และถ้ำลอยแอสฟัลท์ ซึ่งมีค่าการบำบัดเป็น 37.76, 26.32, 23.50 และ -15.71% ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.11 และ ตารางที่ 4.12 แต่อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถสรุปได้ว่าโคแอกกูแลนต์ชนิดใดที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุด เนื่องจากต้องพิจารณาปริมาณตะกอนที่เป็นผลมาจากการบำบัดด้วย ซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.12 และ ตารางที่ 4.12 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์ในการตกตะกอนน้ำกากสำจะทำให้เกิดตะกอนลอยมากที่สุด คือ 350 มล./น้ำกากสำ 500 มล. คิดเป็น 700 มล./ล. และถ้ำลอยแอสฟัลท์ทำให้เกิดตะกอนลอยน้อยที่สุด คือ 100 มล./น้ำกากสำ 500 มล. คิดเป็น 200 มล./ล. ส่วนกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาทำให้เกิดตะกอนจมมากที่สุด คือ 166.03 ก./น้ำกากสำ 500 มล. คิดเป็น 332.07 ก./ล. และ สารส้มทำให้เกิดตะกอนจมน้อยที่สุด คือ 18.14 ก./น้ำกากสำ 500 มล. คิดเป็น 36.28 ก./ล. เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและสีระหว่างกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา กับสารส้ม พบว่า กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงกว่าสารส้มแต่ค่าการบำบัดความขุ่นสีน้อยกว่าสารส้ม ซึ่งทั้งกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและสารส้มนั้นให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและสีต่างกันไม่มาก เมื่อนำมาประกอบการพิจารณาพร้อมกับปริมาณตะกอนแล้วจะเห็นว่า สารส้มให้ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นน้อยกว่ากากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา ดังนั้น สารส้มมีความเหมาะสมในการนำมาบำบัดน้ำกากสำมากกว่ากากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเนื่องจากภาระในการบำบัดตะกอนมีน้อยกว่า แต่มีแนวโน้มความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปามาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ ส่วนถ้ำลอยแอสฟัลท์กับปูนขาว เมื่อเปรียบเทียบทั้งค่าการบำบัดซีโอดีและสี พบว่า ปูนขาวให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากสำดีกว่าถ้ำลอยแอสฟัลท์ รวมถึงปริมาณตะกอนแห้งที่เกิดขึ้นนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่น้อยกว่าถ้ำลอยแอสฟัลท์ ดังนั้น ปูนขาวให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากสำดีกว่าถ้ำลอยแอสฟัลท์ และหากเปรียบเทียบโคแอกกูแลนต์ทั้ง 4 ชนิดนั้น จะเห็นว่า ปูนขาวอาจทำให้เกิดตะกอนลอยมาก แต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีและสีได้ดีที่สุด จึงเป็นโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำกากสำ

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากสำระหว่างกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปา กับสารส้มและเถ้าลอยแอสฟัลท์กับปูนขาว

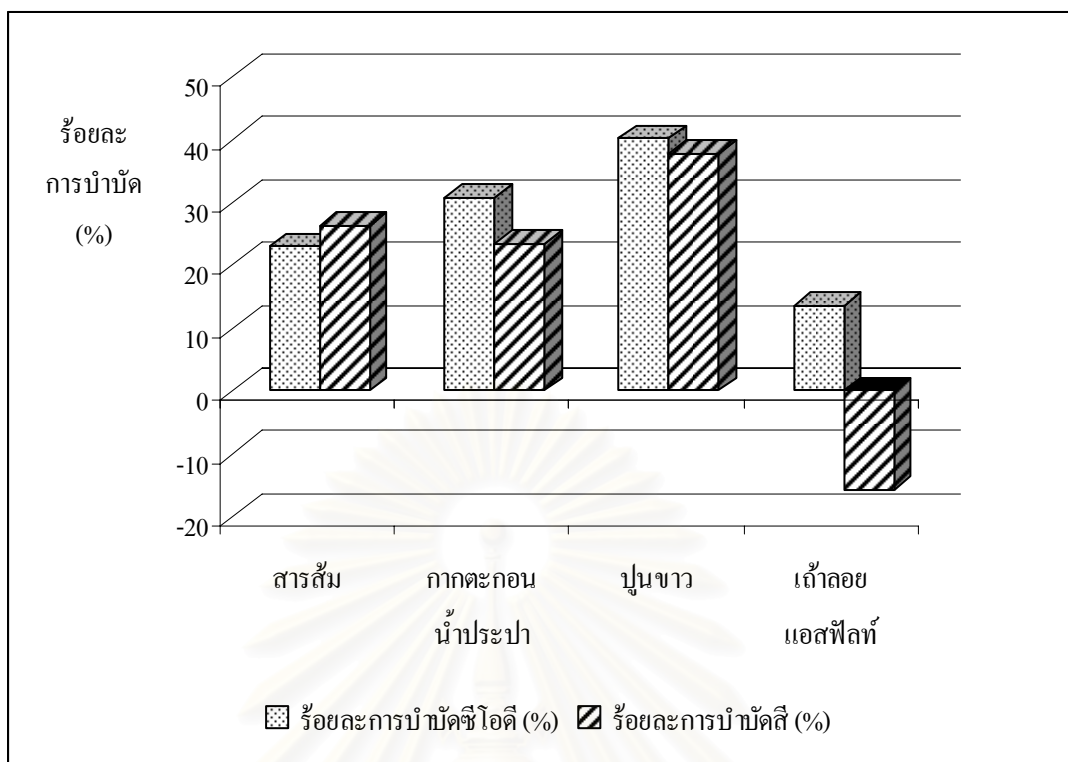
โคแอกกูแลนต์	ปริมาณ (กรัม)	พีเอช		ค่าซีไอดี		ร้อยละการ บำบัดซีไอดี (%)	ค่าทรานสมิตแตนซ์		ร้อยละ การบำบัดสี (%)	น้ำหนัก ตะกอน แห้ง (กรัม)	ปริมาตร ตะกอน (มล.)
		เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น (มก./ล.)	สุดท้าย (มก./ล.)		เริ่มต้น (%)	สุดท้าย (%)			
สารส้ม	14	7 (3.92)	4.14	147,525.00	113,775.00	22.88	69.40	87.67	26.32	18.14	120.00
กากตะกอนระบบผลิต น้ำประปา	140	3 (3.92)	3.69	138,666.67	96,000.00	30.77	69.50	85.83	23.50	166.03	270.00
ปูนขาว	30	ปกติ (3.92)	12.02	136,000.00	81,333.33	40.20	69.30	95.47	37.76	56.50	350.00
เถ้าลอยแอสฟัลท์	80	ปกติ (3.92)	6.05	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	58.50	-15.71	84.63	100.00

หมายเหตุ

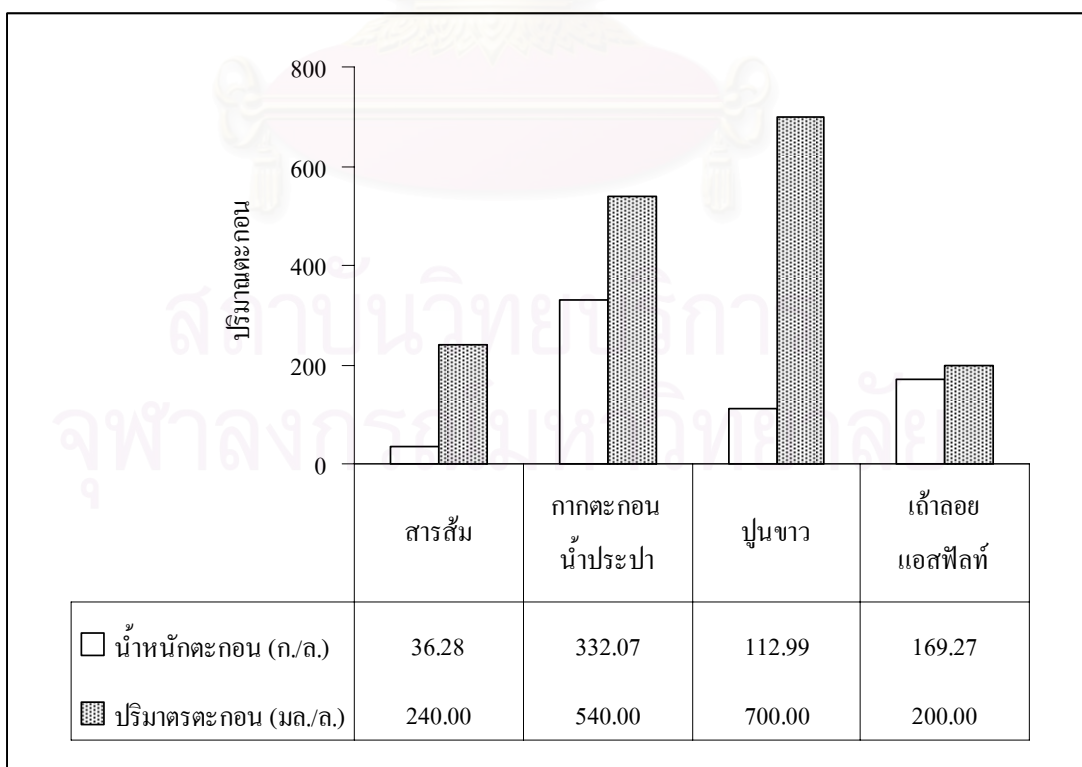
¹ปริมาณ หมายถึง ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เติมในน้ำกากสำเจือจาง 500 มล.

²น้ำหนักตะกอนแห้ง หมายถึง น้ำหนักตะกอนที่เกิดจากการโคแอกกูแลชันด้วยเครื่องจาร์เทศต์ที่ปริมาณน้ำกากสำเจือจาง 500 มล.

³ปริมาตรตะกอน หมายถึง ปริมาตรตะกอนที่เกิดจากการโคแอกกูแลชันด้วยเครื่องจาร์เทศต์ที่ปริมาณน้ำกากสำเจือจาง 500 มล.



รูปที่ 4.11 แผนภูมิเปรียบเทียบร้อยละการบำบัดดีและซีโอดีของโคแอกกูแลนต์ 4 ชนิด



รูปที่ 4.12 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจากโคแอกกูแลนต์ 4 ชนิด

4.5 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากส่า เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์ มาทำการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาว

ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากส่า เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์ มาทำการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาวโดยแปรค่าความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดซีโอดีและสี ซึ่งพิจารณาจากร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ดังผลการทดลองในภาคผนวก ง จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) หากพบว่าพารามิเตอร์ใดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 จะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างโดย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ดังภาคผนวก จ

4.5.1 เมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์

นำสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 4.4 ซึ่งในที่นี้ คือ สารส้ม 14 กรัม สภาวะพีเอช 7 มาทำการบำบัดน้ำกากส่า และนำน้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วมาทำการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

4.5.1.1 การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เบื้องต้น

การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เบื้องต้นในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้ม พบว่า ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 150 ก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 114,957.60 มก./ล. เป็น 67,226.67 มก./ล. คิดเป็น 41.52% และค่าทรานสมิตแดนซ์เพิ่มขึ้นจาก 87.17% เป็น 97.00% ทำให้ความเข้มข้นสีหลังบำบัดลดลงคิดเป็น 11.28% ดังตารางที่ 4.13

เมื่อพิจารณาทางสถิติร้อยละการบำบัดซีโอดีของการบำบัดน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้ม โดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 150 ก./ล. ให้ค่าการบำบัดซีโอดีมากที่สุดและมีความแตกต่างจากความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จึงเลือกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 150 ก./ล. ไปใช้ในการหาพีเอชที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการบำบัดสี พบว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200 ก./ล. ค่าการบำบัดสีมากที่สุดแต่ร้อยละการบำบัดซีโอดีกลับมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้ม

ความเข้มข้น (ก./ล.)	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ยทรานสมิตแดนซ์ (%)	ร้อยละการบำบัดสี (%)	ค่าพีเอช หลังออกซิเดชัน (pH)
10	96,806.40	15.79 ^f	89.07	2.18 ^f	4.06
30	92,772.80	19.30 ^c	89.67	2.87 ^c	3.90
50	88,739.20	22.81 ^d	90.13	3.40 ^d	3.81
100	82,688.80	28.07 ^c	95.17	9.18 ^c	3.49
150	67,226.67	41.52^a	97.00	11.28^b	3.24
200	70,588.00	38.60 ^b	98.10	12.54 ^a	3.12

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 114,957.60 มก./ล. ค่าทรานสมิตแดนซ์เริ่มต้น = 87.17 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 4.09
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT

4.5.1.2 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสม

เมื่อแปรค่าพีเอช 3-12 ผลการทดลองที่ได้พบว่าที่พีเอช 3, 4 และพีเอชปกติ (pH = 4.13) ให้ร้อยละการบำบัดซีโอดีที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่พีเอชปกติให้ร้อยละการบำบัดซีโอดีสูงสุด คือ 37.38% สามารถลดค่าซีโอดีจาก 115,648.40 มก./ล. เป็น 72,420.60 มก./ล. และค่าทรานสมิตแดนซ์เพิ่มขึ้นจาก 87.90% เป็น 97.67% ทำให้ความเข้มสีหลังบำบัดลดลงคิดเป็น 11.11% แม้ว่าจะไม่ใช่ค่าการบำบัดสีที่มากที่สุดแต่ใกล้เคียงกับค่าการบำบัดสีที่มากที่สุด คือ 11.49% ที่พีเอช 8 และที่พีเอชปกติให้ร้อยละการบำบัดซีโอดีสูงสุด ดังนั้น จึงเลือกสภาวะพีเอชปกติไปใช้ในการหาความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมต่อไป ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.14

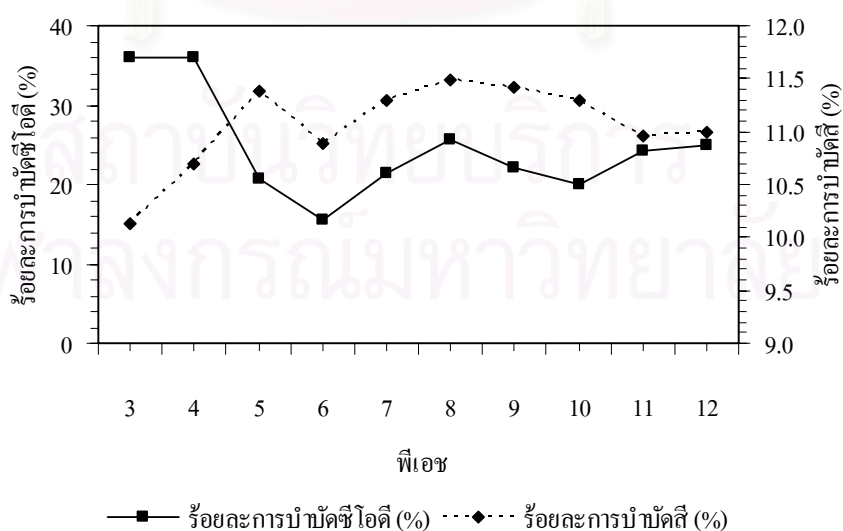
จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าพีเอชมีผลต่อการลดค่าซีโอดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หากพีเอชมีค่าสูงขึ้นมากรกว่า 4 ร้อยละการบำบัดซีโอดีจะมีค่าลดลงทันที ส่วนร้อยละการบำบัดความเข้มสีเพิ่มมากขึ้นในช่วงที่เป็นกลางแต่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ แสดงว่า พีเอชมีผลต่อการบำบัดสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่มากนัก

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้มที่พีเอชต่างๆ

พีเอช	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ยทรานสมิตแตนซ์ (%)	ร้อยละการบำบัดสี (%)	ค่าพีเอชหลังออกซิเดชัน (pH)
ปกติ	72,420.60	37.38 ^a	97.67	11.11 ^c	3.29
3	74,104.80	35.92 ^a	96.80	10.13 ^f	2.68
4	74,104.80	35.92 ^a	97.30	10.69 ^c	3.24
5	91,788.90	20.63 ^{de}	97.90	11.38 ^{ab}	3.71
6	97,683.60	15.53 ^f	97.47	10.88 ^d	4.43
7	90,946.80	21.36 ^{cde}	97.83	11.30 ^b	4.85
8	85,894.20	25.73 ^b	98.00	11.49 ^a	5.42
9	90,104.70	22.09 ^{bcde}	97.93	11.41 ^{ab}	6.08
10	92,631.00	19.90 ^c	97.83	11.30 ^b	6.92
11	87,578.40	24.27 ^{bcd}	97.53	10.96 ^d	7.53
12	86,736.30	25.00 ^{bc}	97.57	11.00 ^{cd}	8.00

หมายเหตุ :

- ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 115,648.40 มก./ล. ค่าทรานสมิตแตนซ์เริ่มต้น = 87.90 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 4.13
- ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 150 ก./ล. กับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่พีเอชต่างๆ

4.5.1.3 การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสม

การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้ม พบว่า ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 200 ก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีได้มากที่สุด โดยลดค่าซีโอดีจาก 117,966.20 มก./ล. เป็น 68,135.65 มก./ล. คิดเป็น 42.24% และค่าทรานสมิตแตนซ์ เพิ่มขึ้นจาก 87.80% เป็น 98.27% ทำให้ความเข้มสีหลังบำบัดลดลงคิดเป็น 11.92% ดังตารางที่ 4.15

เมื่อพิจารณาจากสถิติพบว่าร้อยละการบำบัดซีโอดีของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200 ก./ล. มีความแตกต่างจากความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับร้อยละการบำบัดสี แต่ร้อยละการบำบัดสีของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200 ก./ล. ไม่มีความแตกต่างจากความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 225 ก./ล. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงเลือกความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200 ก./ล. เนื่องจากใช้ความเข้มข้นน้อยกว่า

จากรูปที่ 4.14 เมื่อความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้น จะทำให้อัตราการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนร้อยละการบำบัดซีโอดีนั้นจะมากขึ้นจนถึงความเข้มข้นหนึ่งร้อยละการบำบัดซีโอดีจะลดลง เนื่องมาจากผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่คงค้างอยู่ในน้ำมีผลต่อค่าซีโอดีส่งผลให้ค่าซีโอดีสูงกว่าความเป็นจริง

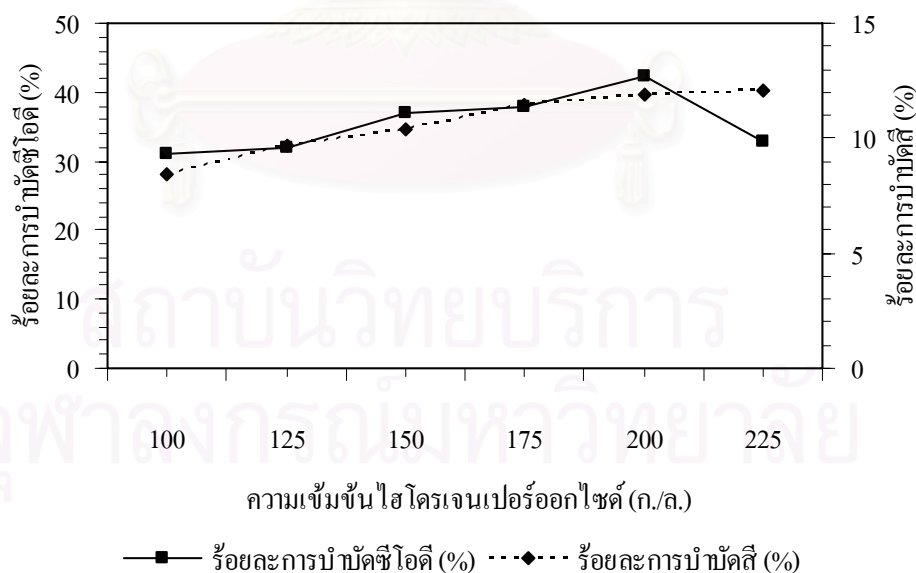
ดังนั้นความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้ม 14 กรัม ที่สภาวะพีเอช 7 คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 200 ก./ล. ที่พีเอชปกติ (pH=4.19)

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ที่พีเอชปกติ ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้ม

ความเข้มข้น (ก./ล.)	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ยทรานสมิตแดนซ์ (%)	ร้อยละการบำบัดสี (%)	ค่าพีเอช หลังออกซิเดชัน (pH)
100	81,356.00	31.03 ^c	95.20	8.43 ^c	3.55
125	80,339.05	31.90 ^c	96.30	9.68 ^d	3.45
150	74,237.35	37.07 ^b	96.90	10.36 ^c	3.37
175	73,220.40	37.93 ^b	97.87	11.47 ^b	3.28
200	68,135.65	42.24^a	98.27	11.92^a	3.23
225	79,322.10	32.76 ^c	98.40	12.07 ^a	3.17

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 117,966.20 มก./ล. ค่าทรานสมิตแดนซ์เริ่มต้น = 87.80 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 4.19
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่พีเอชปกติ

4.5.2 เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็น โคแอกกูแลนต์

นำสถานะที่เหมาะสมจากข้อ 4.4 ซึ่งในที่นี้ คือ กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา 140 กรัม สถานะพีเอช 3 มาทำการบำบัดน้ำกากสำ และนำน้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วมาทำการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

4.5.2.1 การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เบื้องต้น

การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เบื้องต้นในการบำบัดน้ำกากสำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา พบว่า ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 250 ก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 102,859.20 มก./ล. เป็น 50,794.67 มก./ล.คิดเป็น 50.62% และค่าทรานสมิตแตนซ์เพิ่มขึ้นจาก 86.23% เป็น 98.83% ทำให้ความเข้มข้นหลังบำบัดลดลงคิดเป็น 14.61% ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำกากสำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา

ความเข้มข้น (ก./ล.)	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ยทรานสมิตแตนซ์ (%)	ร้อยละการบำบัดสี (%)	ค่าพีเอชหลังออกซิเดชัน (pH)
25	83,811.20	18.52 ^c	89.57	3.87 ^c	3.64
100	72,382.40	29.63 ^d	94.57	9.66 ^d	2.96
175	62,223.47	39.51 ^b	96.70	12.14 ^c	2.79
250	50,794.67	50.62^a	98.83	14.61^b	2.79
300	65,365.87	36.45 ^c	99.13	14.96 ^a	2.77

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 102,859.20 มก./ล. ค่าทรานสมิตแตนซ์เริ่มต้น = 86.23 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 3.77
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT

เมื่อพิจารณาทางสถิติร้อยละการบำบัดซีโอดีของการบำบัดน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา โดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 250 ก./ล. ให้ค่าการบำบัดซีโอดีมากที่สุดและมีความแตกต่างจากความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาจากการบำบัดซีโอดีพบว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 300 ก./ล. ให้ค่าการบำบัดซีโอดีมากที่สุดแต่ร้อยละการบำบัดซีโอดีกลับมีค่าลดลง ดังนั้น จึงเลือกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 250 ก./ล. ไปใช้ในการหาพีเอชที่เหมาะสมต่อไป

4.5.2.2 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสม

ผลการทดลองที่ได้พบว่าที่พีเอชปกติ ($\text{pH} = 3.73$) สามารถบำบัดค่าซีโอดีจาก 105,108.00 มก./ล. เป็น 51,970.07 มก./ล. คิดเป็นร้อยละการบำบัด 50.56% และสามารถบำบัดความเข้มข้นได้ โดยเพิ่มค่าทรานสมิตแตนซ์จาก 86.20% ให้เป็น 98.33% คิดเป็นร้อยละการบำบัด 14.08% ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.17

เมื่อพิจารณาจากสถิติที่พีเอช 3, 4 และพีเอชปกติ ให้ค่าการบำบัดซีโอดีที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่พีเอช 3 ให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงที่สุด คือ 51.67% และค่าการบำบัดอยู่ที่ 14.15% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพีเอชปกติ ($\text{pH} = 3.73$) เช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงเลือกสถานะที่พีเอชปกติ ไปใช้ในการหาความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมต่อไป

จากรูปที่ 4.15 ร้อยละการบำบัดซีโอดีที่พีเอชต่างๆของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 250 ก./ล. มีทิศทางไปในแนวเดียวกัน กล่าวคือ ค่าพีเอชที่สูงขึ้นส่งผลให้ร้อยละการบำบัดซีโอดีมีค่าลดลง โดยเฉพาะช่วงที่พีเอชเป็นกลางถึงด่าง

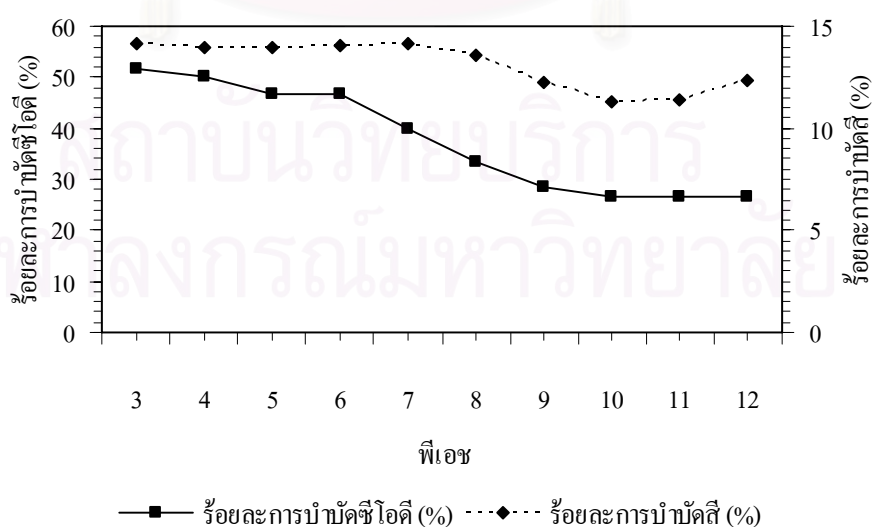
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีไอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาที่ฟิเอชต่างๆ

ฟิเอช	ค่าเฉลี่ยซีไอดี (มก./ล.)	ร้อยละ การบำบัดซีไอดี (%)	ค่าเฉลี่ย ทรานสมิตเทนซ์ (%)	ร้อยละ การบำบัดสี (%)	ค่าฟิเอช หลังออกซิเดชัน (pH)
ปกติ	51,970.07	50.56 ^a	98.33	14.08 ^a	2.78
3	50,802.20	51.67 ^a	98.40	14.15 ^a	2.29
4	52,554.00	50.00 ^{ab}	98.27	14.00 ^{ab}	2.96
5	56,057.60	46.67 ^b	98.20	13.92 ^b	3.39
6	56,057.60	46.67 ^b	98.30	14.04 ^{ab}	3.68
7	63064.80	40.00 ^c	98.40	14.15 ^a	3.92
8	70,072.00	33.33 ^d	97.90	13.57 ^c	4.30
9	75,327.40	28.33 ^c	96.77	12.26 ^d	5.49
10	77,079.20	26.67 ^c	95.97	11.33 ^e	6.97
11	77,079.20	26.67 ^c	96.03	11.41 ^e	7.83
12	77,079.20	26.67 ^c	96.80	12.30 ^d	8.07

หมายเหตุ :

1. ค่าซีไอดีเริ่มต้น = 105,108.00 มก./ล. ค่าทรานสมิตเทนซ์เริ่มต้น = 86.20 % และค่าฟิเอชเริ่มต้น = 3.73
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 250 ก./ล. กับร้อยละการบำบัดสีและซีไอดีที่ฟิเอชต่างๆ

4.5.2.3 การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสม

การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา พบว่า ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 240 ก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีได้มากที่สุดโดยสามารถลดค่าซีโอดีจาก 101,463.44 มก./ล. เป็น 48,780.50 มก./ล. คิดเป็น 51.92% และทำให้ค่าทรานสมิตแดนซ์เพิ่มขึ้นจาก 86.20% เป็น 99.00% ทำให้ความเข้มสีหลังบำบัดลดลงคิดเป็น 14.85% ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.18

เมื่อพิจารณาทางสถิติ พบว่า ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 240 ก./ล. มีค่าร้อยละการบำบัดซีโอดีที่แตกต่างจากความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนร้อยละการบำบัดสีนั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญแต่ไม่ต่างจากความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 270, 300 และ 325 ก./ล. จึงทำการเลือกความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 240 ก./ล.

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.16 จะเห็นว่าความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้นทำให้ร้อยละการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนร้อยละการบำบัดซีโอดีนั้นจะมากขึ้นจนถึงความเข้มข้นหนึ่งร้อยละการบำบัดซีโอดีจะลดลง เนื่องจากผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่คงค้างอยู่ในน้ำมีผลต่อค่าซีโอดี ซึ่งเกิดจากความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มากเกินไปทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำปฏิกิริยาไม่หมดภายในเวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้น ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่คงค้างอยู่จึงส่งผลให้ค่าซีโอดีสูงกว่าปกติ

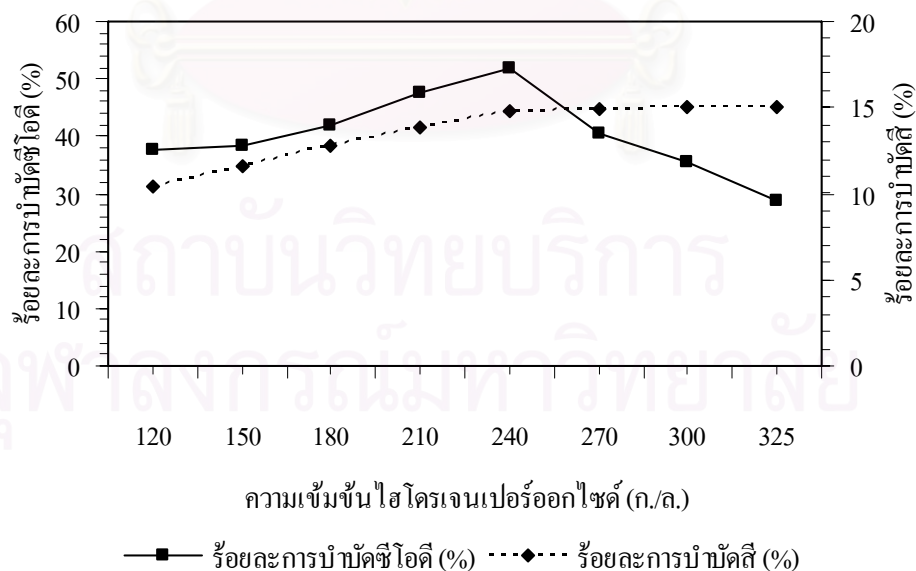
ดังนั้นความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา 140 กรัมที่สภาวะพีเอช 3 คือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 240 ก./ล. ที่พีเอชปกติ (pH=4.19)

ตารางที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ที่พีเอชปกติ ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา

ความเข้มข้น (ก./ล.)	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ยทรานสมิตเทนซ์ (%)	ร้อยละการบำบัดสี (%)	ค่าพีเอช หลังออกซิเดชัน (pH)
120	63,414.65	37.50 ^{ef}	95.17	10.40 ^c	3.04
150	62,439.04	38.46 ^{de}	96.17	11.56 ^d	2.96
180	59,024.41	41.83 ^c	97.23	12.80 ^c	2.90
210	53,170.75	47.60 ^b	98.17	13.88 ^b	2.85
240	48,780.50	51.92^a	99.00	14.85^a	2.82
270	60,487.82	40.38 ^{cd}	99.07	14.93 ^a	2.78
300	65,365.87	35.58 ^f	99.13	15.00 ^a	2.77
325	72,195.14	28.85 ^g	99.17	15.04 ^a	2.76

หมายเหตุ :

- ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 101,463.44 มก./ล. ค่าทรานสมิตเทนซ์เริ่มต้น = 86.20 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 3.72
- ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่พีเอชปกติ

4.5.3 เมื่อใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์

นำสถานะที่เหมาะสมจากข้อ 4.4 ซึ่งในที่นี้ คือ ปูนขาว 30 กรัม สถานะพีเอชปกติ (pH=12.36) มาทำการบำบัดน้ำกากส่า และนำน้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วมาทำการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

4.5.3.1 การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เบื้องต้น

การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เบื้องต้นในการบำบัดน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาว พบว่า ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 325 ก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 89,491.60 มก./ล. เป็น 67,796.67 มก./ล. คิดเป็น 24.24% และค่าทรานสมิตแดนซ์เพิ่มขึ้นจาก 96.30% เป็น 99.90% ทำให้ความเข้มสีหลังบำบัดลดลงคิดเป็น 3.74% ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาว

ความเข้มข้น (ก./ล.)	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ยทรานสมิตแดนซ์ (%)	ร้อยละการบำบัดสี (%)	ค่าพีเอชหลังออกซิเดชัน (pH)
25	74,915.32	16.29 ^{dc}	98.80	2.60 ^d	8.57
50	75,254.30	15.91 ^c	99.37	3.18 ^c	7.90
100	76,949.22	14.02 ^c	99.70	3.53 ^b	7.77
150	71,186.50	20.45 ^{bc}	99.80	3.63 ^{ab}	7.73
200	70,847.52	20.83 ^{bc}	99.80	3.63 ^{ab}	7.61
250	72,203.45	19.32 ^{cd}	99.83	3.67 ^{ab}	7.52
300	68,813.62	23.11 ^{ab}	99.83	3.67 ^{ab}	7.50
325	67,796.67	24.24^a	99.90	3.74^a	7.50

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 89,491.60 มก./ล. ค่าทรานสมิตแดนซ์เริ่มต้น = 96.30 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 12.36
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT

เมื่อพิจารณาทางสถิติร้อยละการบำบัดซีโอดีของการบำบัดน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาว โดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 325 ก./ล. ให้ค่าการบำบัดซีโอดีมากที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ร้อยละการบำบัดจะไม่ต่างจาก 300 ก./ล. แต่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับร้อยละการบำบัดซี ดังนั้น จึงเลือกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 325 ก./ล. ไปใช้ในการหาพีเอชที่เหมาะสมต่อไป

4.5.3.2 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสม

ผลการทดลองที่ได้พบว่าที่พีเอชปกติ (pH = 12.18) สามารถบำบัดค่าซีโอดีจาก 90,796.34 มก./ล. เป็น 72,604.80 มก./ล. คิดเป็นร้อยละการบำบัด 20.04% และสามารถบำบัดความเข้มข้นจากค่าทรานสมิตแดนซ์จาก 96.17% ให้เป็น 99.80% คิดเป็นร้อยละการบำบัด 3.78% ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.20

เมื่อพิจารณาจากสถิติที่พีเอชปกติ ให้ค่าร้อยละการบำบัดซีโอดีและความเข้มข้นแตกต่างจากความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพีเอชปกติให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงสุดคือ 20.04% และค่าการบำบัดความเข้มข้นอยู่ที่ 3.78% ดังนั้น จึงเลือกสภาวะที่พีเอชปกติ ไปใช้ในการหาความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมต่อไป

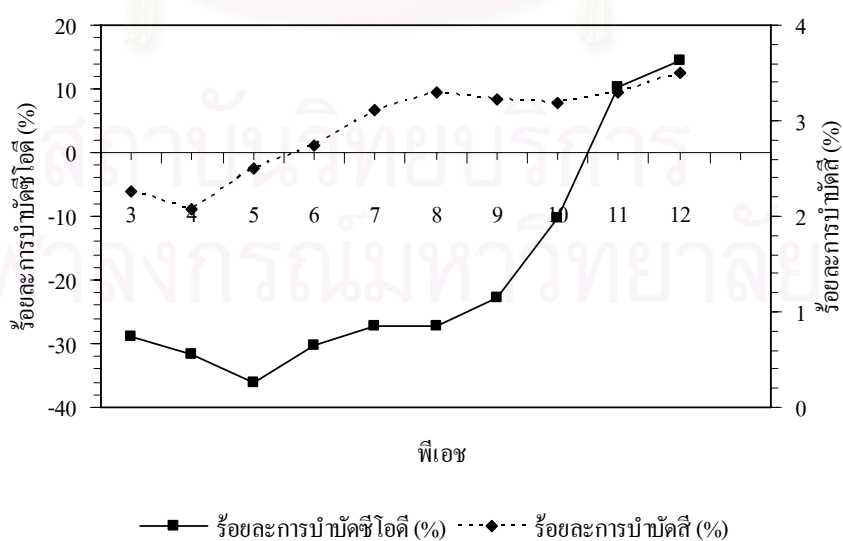
จากรูปที่ 4.17 จะเห็นว่าร้อยละการบำบัดซีโอดีจะเพิ่มขึ้นตามพีเอชที่มากขึ้น แต่ร้อยละการบำบัดซีโอดีจะเริ่มค่อนข้างคงที่ตั้งแต่พีเอช 8 ส่วนร้อยละการบำบัดซีโอดีนั้นกล่าวได้ว่า ช่วงพีเอช 3-10 ไม่สามารถบำบัดซีโอดีได้และค่าซีโอดีกลับเพิ่มขึ้นอีกด้วย ในกรณีนี้มีผลมาจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่คงค้างอยู่ในน้ำมากเกินไปทำให้มีผลต่อการวิเคราะห์ซีโอดี แต่จะเห็นได้ว่าที่พีเอช 11-12 มีร้อยละการบำบัดซีโอดีที่เพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจาก alkaline pH กล่าวคือ ในสภาวะที่พีเอชมากกว่า 9 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะถูกเร่งปฏิกิริยาทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวได้เร็วขึ้น (Eckenfelder, 2000) ในที่นี้พีเอชปกติ (pH=12.18) ให้ค่าร้อยละการบำบัดซีโอดีที่ดีที่สุด จึงเลือกไปเป็นสภาวะเพื่อหาความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอติและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอชต่างๆ ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาว

พีเอช	ค่าเฉลี่ยซีโอติ (มก./ล.)	ร้อยละ การบำบัดซีโอติ (%)	ค่าเฉลี่ย ทรานสมิตแตนซ์ (%)	ร้อยละ การบำบัดสี (%)	ค่าพีเอช หลังออกซิเดชัน (pH)
ปกติ	72,604.80	20.04 ^a	99.80	3.78 ^a	7.44
3	116,974.40	-28.83 ^c	98.33	2.25 ^f	3.24
4	119,663.47	-31.79 ^{cf}	98.17	2.08 ^g	4.03
5	123,697.07	-36.24 ^f	98.57	2.50 ^c	4.66
6	118,318.93	-30.31 ^c	98.80	2.74 ^d	5.12
7	115,629.87	-27.35 ^{de}	99.17	3.12 ^c	5.40
8	115,629.87	-27.35 ^{de}	99.33	3.29 ^c	5.56
9	111,596.27	-22.91 ^d	99.27	3.22 ^c	5.91
10	100,167.73	-10.32 ^c	99.23	3.19 ^c	6.54
11	81,344.27	10.41 ^b	99.33	3.29 ^c	6.98
12	77,646.80	14.48 ^b	99.53	3.50 ^b	7.20

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอติเริ่มต้น = 90,796.34 มก./ล. ค่าทรานสมิตแตนซ์เริ่มต้น = 96.17 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 12.18
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 325 ก./ล. กับร้อยละการบำบัดสีและซีโอติที่พีเอชต่างๆ

4.5.3.3 การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสม

การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาว พบว่า ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 150 ก./ล. เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม เนื่องจากสามารถลดค่าซีโอดีจาก 90,450.00 มก./ล. เป็น 68,457.67 มก./ล. คิดเป็น 24.31% และค่าทรานสมิตแดนซ์ เพิ่มขึ้นจาก 96.73% เป็น 99.83% ทำให้ความเข้มสีหลังบำบัดลดลงคิดเป็น 3.20% ซึ่งในแต่ละความเข้มข้นให้ร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 150 ก./ล. เป็นปริมาณที่ใช้น้อยที่สุดจึงเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.21

เมื่อหาความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากสถิติพบว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทุกความเข้มข้นให้ค่าร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีและความเข้มสีที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าค่าร้อยละการบำบัดสีจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใช้ปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากขึ้น

จากรูปที่ 4.18 ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในช่วง 150-325 ก./ล. สามารถบำบัดสีโอดีและสีใกล้เคียงกัน โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีแต่ละความเข้มข้นต่างกันเพียงเล็กน้อย

ดังนั้นความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาว 30 กรัมที่สภาวะพีเอชปกติ (3.92) คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 150 ก./ล. ที่พีเอชปกติ (pH=12.42)

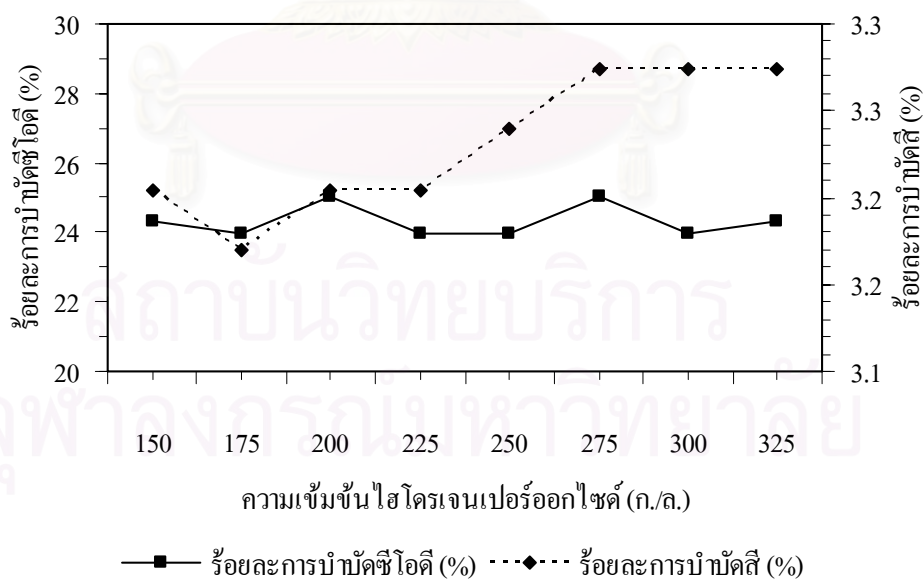
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ที่พีเอชปกติ ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาว

ความเข้มข้น (ก./ล.)	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%) ^{NS}	ค่าเฉลี่ยทรานสมิตแตนซ์ (%)	ร้อยละการบำบัดสี (%) ^{NS}	ค่าพีเอชหลังออกซิเดชัน (pH)
150	68,457.67	24.31	99.83	3.20	7.71
175	68,791.00	23.95	99.80	3.17	7.68
200	67,796.67	25.05	99.83	3.20	7.81
225	68,791.00	23.95	99.83	3.20	7.70
250	68,791.00	23.95	99.87	3.24	7.77
275	67,796.67	25.05	99.90	3.27	7.78
300	68,791.00	23.95	99.90	3.27	7.78
325	68,457.67	24.31	99.90	3.27	7.74

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 90,450.00 มก./ล. ค่าทรานสมิตแตนซ์เริ่มต้น = 96.73 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 12.42
2. NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่พีเอชปกติ

4.5.4 เมื่อใช้เถ้าลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์

นำสถานะที่เหมาะสมจากข้อ 4.4 ซึ่งในที่นี้คือ เถ้าลอยแอสฟัลท์ 80 กรัม สถานะพีเอชปกติ (pH=6.07) มาทำการบำบัดน้ำกากส่า และนำน้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วมาทำการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

4.5.4.1 การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เบื้องต้น

การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เบื้องต้นในการบำบัดน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยเถ้าลอยแอสฟัลท์ พบว่า ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 ก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 130,904.40 มก./ล. เป็น 109,087.00 มก./ล. คิดเป็น 16.67% และค่าทรานสมิตแตนซ์เพิ่มขึ้นจาก 59.47% เป็น 83.87% ทำให้ความเข้มข้นสีหลังบำบัดลดลงคิดเป็น 41.03% ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยเถ้าลอยแอสฟัลท์

ความเข้มข้น (ก./ล.)	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ยทรานสมิตแตนซ์ (%)	ร้อยละการบำบัดสี (%)	ค่าพีเอชหลังออกซิเดชัน (pH)
10	109,087.00	16.67 ^a	68.20	14.69 ^h	5.79
30	115,037.20	12.12 ^b	72.67	22.20 ^g	5.38
50	109,087.00	16.67^a	83.87	41.03^f	5.15
100	122,970.80	6.06 ^c	88.90	49.50 ^e	4.92
150	124,954.20	4.55 ^{cd}	90.43	52.07 ^d	4.68
200	126,937.60	3.03 ^d	91.53	53.92 ^c	4.64
250	138,838.00	-6.06 ^e	92.40	55.38 ^b	4.62
325	142,804.80	-9.09 ^f	93.53	57.29 ^a	4.48

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 130,904.40 มก./ล. ค่าทรานสมิตแตนซ์เริ่มต้น = 59.47 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 6.07
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT

เมื่อพิจารณาทางสถิติร้อยละการบำบัดซีโอดีของการบำบัดน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยเถ้าลอยแอสฟัลท์ โดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 50 ก./ล. ให้ค่าการบำบัดซีโอดีมากที่สุดและมีความแตกต่างจากความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกับที่ความเข้มข้น 10 ก./ล. แต่ที่ความเข้มข้น 50 ก./ล. ให้ค่าการบำบัดสูงมากกว่า และเมื่อพิจารณาจากการบำบัดสี พบว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 325 ก./ล. ให้ค่าการบำบัดสีมากที่สุดแต่ร้อยละการบำบัดซีโอดีกลับมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มากเกินไป ดังนั้น จึงเลือกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 50 ก./ล. ไปใช้ในการหาพีเอชที่เหมาะสมต่อไป

4.5.4.2 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสม

ผลการทดลองที่ได้พบว่าที่พีเอช 3 สามารถบำบัดค่าซีโอดีจาก 134,325.00 มก./ล. เป็น 93,729.00 มก./ล. คิดเป็นร้อยละการบำบัด 30.22% ซึ่งเป็นค่าการบำบัดที่สูงที่สุด และสามารถเพิ่มค่าทรานสมิตแดนซ์จาก 59.03% ให้เป็น 89.00% คิดเป็นร้อยละการบำบัดสี 50.76% ดังตารางที่ 4.23

เมื่อพิจารณาความแตกต่างทางสถิติ พบว่า พีเอช 3 ให้ค่าการบำบัดซีโอดีแตกต่างจากพีเอชอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่พีเอช 3 ให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงที่สุดคือ 30.22% และค่าการบำบัดสีอยู่ที่ 50.76% แม้ว่าร้อยละการบำบัดสีที่พีเอช 3 จะไม่ใช่ค่าที่สูงที่สุดแต่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่สูงที่สุดและต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้น จึงเลือกสภาวะที่พีเอช 3 ไปใช้ในการหาความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมต่อไป

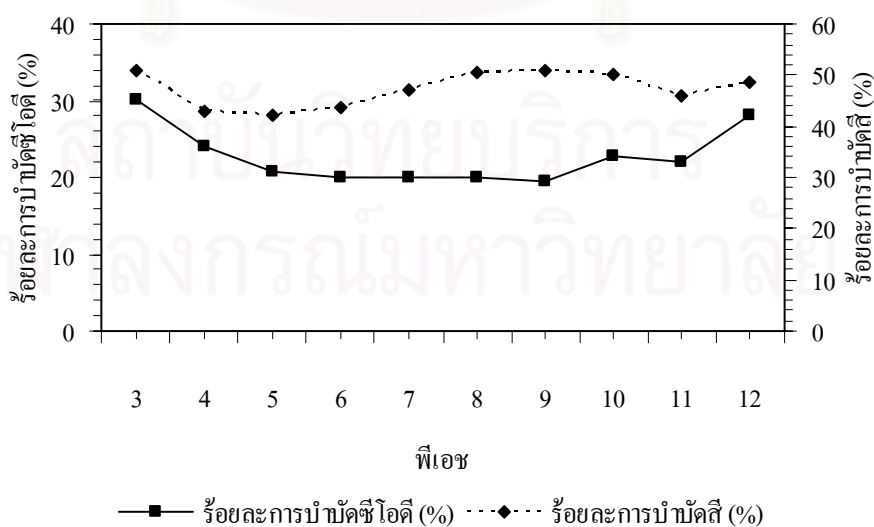
จากรูปที่ 4.19 ร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่พีเอชต่างๆของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 ก./ล. มีทิศทางไปในแนวเดียวกัน กล่าวคือ ค่าพีเอช 3 และ 12 ต่างมีค่าร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่สูงขึ้น

ตารางที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอติและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอชต่างๆ ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์

พีเอช	ค่าเฉลี่ยซีโอติ (มก./ล.)	ร้อยละ การบำบัดซีโอติ (%)	ค่าเฉลี่ย ทรานสมิตแดนซ์ (%)	ร้อยละ การบำบัดสี (%)	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน (pH)
ปกติ	107,758.50	19.78 ^{ef}	85.83	45.40 ^h	5.01
3	93,729.00	30.22^a	89.00	50.76^b	3.02
4	102,087.00	24.00 ^c	84.33	42.86 ^j	3.76
5	106,564.50	20.67 ^{def}	83.97	42.24 ^k	4.35
6	107,460.00	20.00 ^{ef}	84.77	43.59 ⁱ	4.92
7	107,460.00	20.00 ^{ef}	86.90	47.20 ^f	5.18
8	107,460.00	20.00 ^{ef}	88.83	50.48 ^c	5.53
9	108,057.00	19.56 ^f	89.17	51.04 ^a	5.91
10	103,878.00	22.67 ^{cd}	88.67	50.20 ^d	6.56
11	104,773.50	22.00 ^{cde}	86.07	45.79 ^e	7.57
12	95,818.50	28.18 ^b	87.63	48.45 ^c	8.58

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอติเริ่มต้น = 134,325.00 มก./ล. ค่าทรานสมิตแดนซ์เริ่มต้น = 59.03 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 6.18
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 ก./ล. กับร้อยละการบำบัดสีและซีโอติที่พีเอชต่างๆ

4.5.4.3 การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสม

การหาปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์ พบว่า ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 130,731.74 มก./ล. เป็น 95,609.78 มก./ล. คิดเป็น 26.87% และทำให้ค่าทรานสมิตแดนซ์เพิ่มขึ้นจาก 59.30% เป็น 91.87% ทำให้ความเข้มสีหลังบำบัดลดลงคิดเป็น 54.92% ซึ่งความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ก./ล. เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมโดยสามารถลดค่าซีโอดีและสีได้ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.24

เนื่องมาจากความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ก./ล. มีค่าร้อยละการบำบัดซีโอดีที่แตกต่างจากความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างจากความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 150 ก./ล. โดยมีแนวโน้มการบำบัดซีโอดีมากกว่าความเข้มข้น 75 และ 150 ก./ล. ส่วนร้อยละการบำบัดสีนั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 175 และ 200 ก./ล. โดยให้ค่าการบำบัดสีที่มากที่สุด แต่ร้อยละการบำบัดซีโอดีลดลง จึงเลือกความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ก./ล. เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม

หากพิจารณาที่ค่าใช้จ่ายการเลือกใช้ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ก./ล. อาจเป็นการสิ้นเปลืองมากเนื่องจากค่าการบำบัดซีโอดีไม่แตกต่างจากความเข้มข้น 25 ก./ล. และค่าการบำบัดสีค่อนข้างใกล้เคียงกัน ดังนั้น การเลือกใช้ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 25 ก./ล. จึงคุ้มค่าในการนำไปใช้มากกว่า แต่ในที่นี้ได้เลือกใช้ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ก./ล. เนื่องจากพิจารณาที่ร้อยละการบำบัดเป็นสำคัญ จึงได้ทำการเลือกสถานะที่ให้ค่าการบำบัดที่สูงกว่า อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 25 ก./ล. ยังเป็นที่น่าสนใจอยู่เมื่อพิจารณาที่ค่าใช้จ่าย

จากรูปที่ 4.20 เมื่อความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ร้อยละการบำบัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนร้อยละการบำบัดซีโอดีนั้นจะมากขึ้นจนถึงความเข้มข้นหนึ่ง ร้อยละการบำบัดซีโอดีจะลดลง เนื่องมาจากผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่คงค้างอยู่ในน้ำมีผลต่อค่าซีโอดี

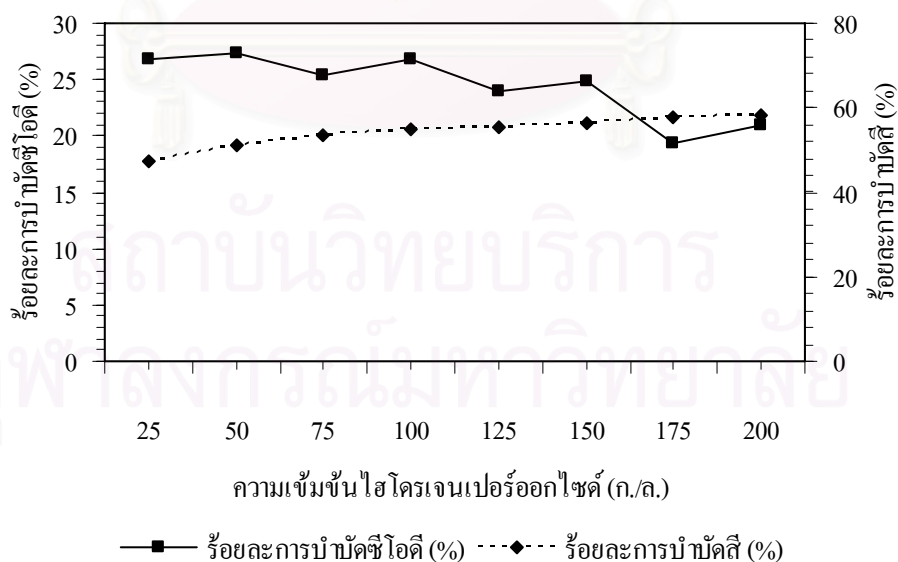
ดังนั้นความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์ 80 กรัม สถานะพีเอชปกติ (pH=3.92) คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ก./ล. ที่สถานะพีเอช 3

ตารางที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ที่พีเอช 3 ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยเถ้าลอยแอสฟัลท์

ความเข้มข้น (ก./ล.)	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ยทรานสมิตแตนซ์ (%)	ร้อยละการบำบัดสี (%)	ค่าพีเอช หลังออกซิเดชัน (pH)
25	95,609.78	26.87 ^a	87.30	47.22 ^g	3.18
50	94,959.37	27.36 ^a	89.53	50.98 ^f	3.02
75	97,561.00	25.37 ^{ab}	90.90	53.29 ^c	2.92
100	95,609.78	26.87^a	91.87	54.92^d	2.86
125	99,512.22	23.88 ^b	92.20	55.48 ^c	2.84
150	98,211.41	24.88 ^{ab}	92.70	56.32 ^b	2.82
175	105,365.88	19.40 ^c	93.67	57.95 ^a	2.80
200	103,414.66	20.90 ^c	93.80	58.18 ^a	2.80

หมายเหตุ :

- ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 130,731.74 มก./ล. ค่าทรานสมิตแตนซ์เริ่มต้น = 59.30 % และค่าพีเอชเริ่มต้น = 3.00
- ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่พีเอช 3

4.5.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา กับสารส้มและถ้ำลอยแอสฟัลท์กับปูนขาว เมื่อออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ในขั้นตอนการออกซิเดชันนี้ จะเห็นได้ว่า ร้อยละการบำบัดซีโอดีจากการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาจะมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ สารส้ม ถ้ำลอยแอสฟัลท์ และปูนขาว ซึ่งมีค่าเป็น 51.92, 42.24, 26.87 และ 24.31% ตามลำดับ ส่วนร้อยละการบำบัดความขุ่นสีจากการตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์มีค่าสูงสุด รองลงมาคือกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา สารส้ม และปูนขาว ซึ่งมีค่าการบำบัดเป็น 54.92, 14.85, 11.92 และ 3.20% ตามลำดับ โดยค่าพีเอชในน้ำสุดท้ายมีค่าเป็น 7.71, 2.82, 3.23 และ 2.86 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีและความขุ่นสีหลังการบำบัด พบว่า การตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและออกซิเดชันต่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ค่าซีโอดีสุดท้ายเป็น 48,780.50 มก./ล. และค่าทรานสมิตแดนซ์เป็น 99.00% ซึ่งค่าซีโอดีและความขุ่นสีน้อยกว่าสารส้มที่ให้ค่าซีโอดีสุดท้ายเป็น 68,135.65 มก./ล. และค่าทรานสมิตแดนซ์เป็น 98.27% ในส่วนของการตกตะกอนด้วยปูนขาวและออกซิเดชันต่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ค่าซีโอดีสุดท้ายอยู่ที่ 68,457.67 มก./ล. ค่าทรานสมิตแดนซ์เป็น 99.83% ซึ่งค่าซีโอดีและความขุ่นสีน้อยกว่าถ้ำลอยแอสฟัลท์ที่ให้ค่าซีโอดีสุดท้ายเป็น 95,609.78 มก./ล. ค่าทรานสมิตแดนซ์เป็น 91.87% ดังตารางที่ 4.25

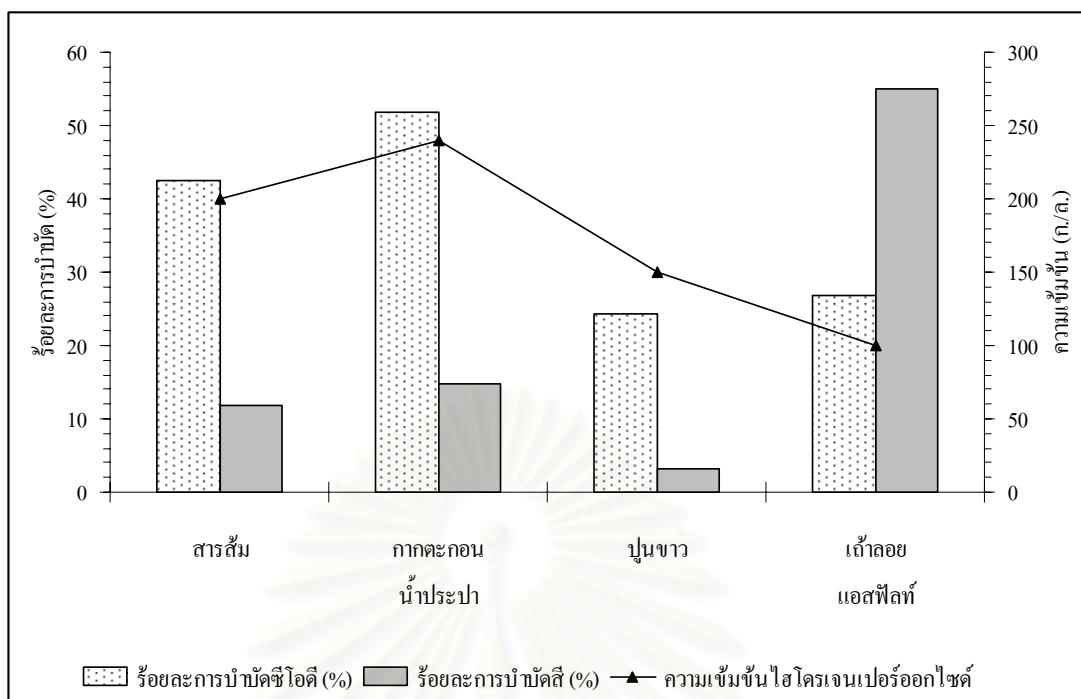
ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.25 พบว่ามีปริมาณน้อยมาก ดังนั้นจึงไม่ใช่ประเด็นสำคัญในการนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบในการบำบัดน้ำกากสาด้วย การออกซิเดชัน แต่ปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวบ่งชี้ได้ดีกว่า เนื่องจาก หากมีการใช้ในปริมาณมากจะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายได้ จากรูปที่ 4.21 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารส้มกับกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา พบว่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้บำบัดในน้ำกากสาที่ผ่านการตกตะกอนจากกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปานั้น แม้ใช้ปริมาณความเข้มข้นมากกว่าสารส้มแต่ผลการบำบัดซีโอดีและสีที่ได้้นั้นมากกว่าสารส้มเช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง ปูนขาวกับถ้ำลอยแอสฟัลท์ พบว่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้บำบัดในน้ำกากสาที่ผ่านการตกตะกอนจากปูนขาวมากกว่าถ้ำลอยแอสฟัลท์ แต่ผลการบำบัดซีโอดีและสีของปูนขาวกลับน้อยกว่าถ้ำลอยแอสฟัลท์ ซึ่งอาจเป็นผลจากการบำบัดขั้นแรกที่เกิดการตกตะกอนด้วยปูนขาวสามารถบำบัดสีได้ดีอยู่แล้วเมื่อมาถึงขั้นออกซิเดชันประสิทธิภาพการบำบัดจึงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยต่างจากถ้ำลอยแอสฟัลท์ที่การโคแอกกูเลชันขั้นแรกไม่สามารถบำบัดสีได้เลยและทำให้สีเข้มข้นเมื่อถึงขั้นออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สามารถลดความขุ่นสีได้จึงส่งผลให้การบำบัดสีเพิ่มขึ้นอย่างมาก

ตารางที่ 4.25 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากสำระหว่างกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปา กับสารส้มและเถ้าลอยแอสฟัลท์กับปูนขาวในการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

โคแอกกูแลนต์	ความเข้มข้น H ₂ O ₂ (ก./ล.)	พีเอช		ค่าซีไอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีไอดี (%)	ค่าทรานสมิตแตนซ์		ร้อยละ การบำบัดสี (%)	น้ำหนัก ตะกอน แห้ง (กรัม)
		เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น (มก./ล.)	สุดท้าย (มก./ล.)		เริ่มต้น (%)	สุดท้าย (%)		
สารส้ม	200	ปกติ (4.19)	3.23	117,966.20	68,135.65	42.24	87.80	98.27	11.92	1.90
กากตะกอนระบบ ผลิตน้ำประปา	240	ปกติ (3.72)	2.82	101,463.44	48,780.50	51.92	86.20	99.00	14.85	1.13
ปูนขาว	150	ปกติ (12.42)	7.71	90,450.00	68,457.67	24.31	96.73	99.83	3.20	1.30
เถ้าลอยแอสฟัลท์	100	3 (6.28)	2.86	130,731.74	95,609.78	26.87	59.30	91.87	54.92	2.20

หมายเหตุ

¹น้ำหนักตะกอนแห้ง หมายถึง น้ำหนักตะกอนที่เกิดจากการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของน้ำกากสำที่ผ่านการตกตะกอนแล้ว 50 มล.



รูปที่ 4.21 แผนภูมิเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับร้อยละการบำบัดซีไอของโคแอกกูแลนต์ 4 ชนิด

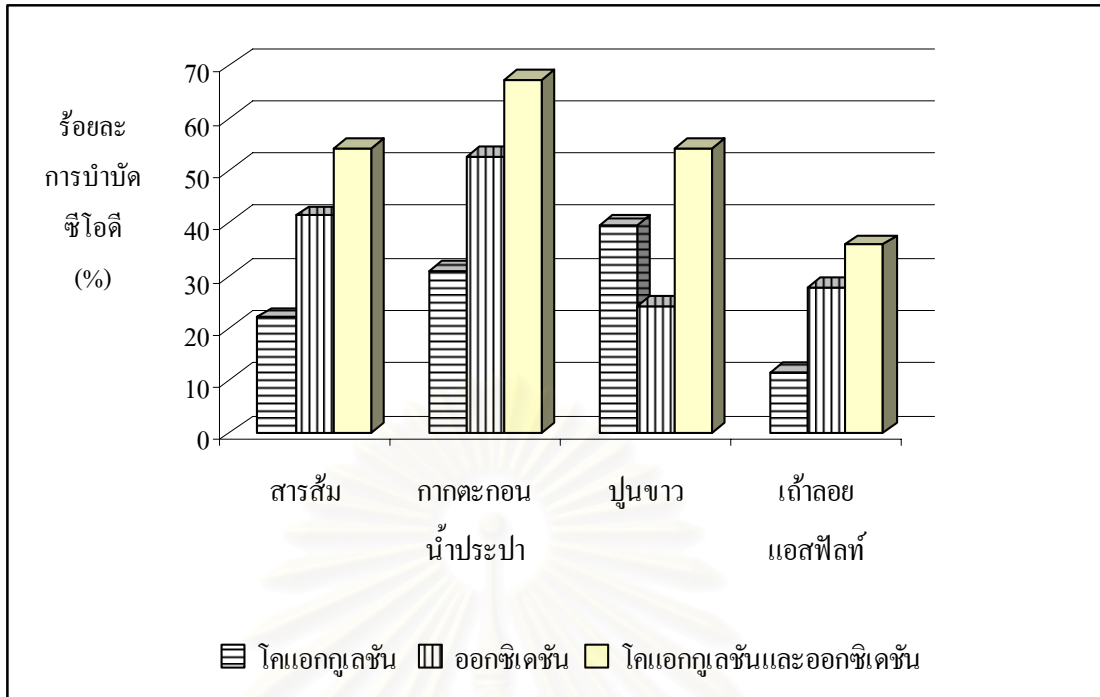
4.6 ผลการบำบัดน้ำกากส่าทั้งหมด

จากผลการทดลองข้างต้นที่กล่าวมา น้ำกากส่าที่ใช้ในการหาปริมาณโคแอกกูแลนต์และพีเอชที่เหมาะสมอาจมีค่าซีไอและความเข้มข้นเริ่มต้นที่ต่างกัน เนื่องจากได้ทำการหาค่าครั้งต่อครั้ง ดังนั้นเมื่อทำการสรุปผลการทดลองกระบวนการบำบัดทั้งหมดจึงได้ทำการเฉลี่ยค่าซีไอและค่าทรานสมิตแตนซ์ในน้ำกากส่าเริ่มต้นและหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วนำไปใช้กับค่าเฉลี่ยซีไอและพีเอชที่ได้จากสถานะที่เหมาะสม เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของโคแอกกูแลนต์ 4 ชนิด ระหว่างชั้นโคแอกกูแลนต์กับชั้นออกซิเดชันและทั้งสองชั้นตอนรวมกัน ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทั้งหมดในการบำบัดน้ำกากส่า

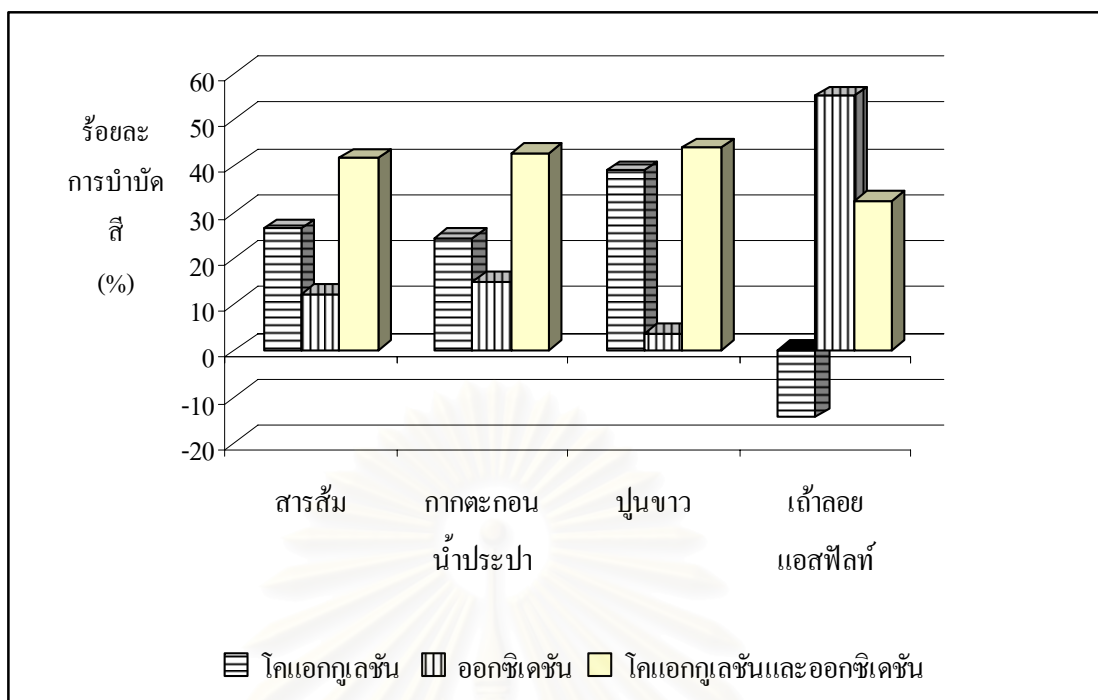
โคแอกกูแลนต์	ค่าซีไอดี (มก./ล.)				ประสิทธิภาพ การบำบัด ซีไอดีรวม (%)	ค่าทรานสมิตแดนซ์ (%)				ประสิทธิภาพ การบำบัด รวม (%)
	หลัง ตกตะกอน (n=3)	ร้อยละ การบำบัด (%)	หลัง ออกซิเดชัน	ร้อยละ การบำบัด (%)		หลัง ตกตะกอน (n=3)	ร้อยละ การบำบัด (%)	หลัง ออกซิเดชัน	ร้อยละ การบำบัด (%)	
สารส้ม	116,190.73 ±1,575.92	22.02	68,135.65	41.36	54.27	87.62 ±0.40	26.24	98.27	12.15	41.58
กากตะกอนระบบ ผลิตน้ำประปา	103,143.55 ±1,838.84	30.77	48,780.50	52.71	67.26	86.21 ±0.02	24.21	99.00	14.83	42.63
ปูนขาว	90,245.98 ±675.87	39.43	68,457.67	24.14	54.05	96.40 ±0.3	38.89	99.83	3.56	43.83
เกลือยแอสฟัลท์	131,987.05 ±2,026.57	11.41	95,609.78	27.56	35.83	59.27 ±0.22	-14.61	91.87	55.01	32.36

หมายเหตุ: ค่าซีไอดีเริ่มต้น = $148,991.89 \pm 8,582.80$ (n=8) และ ค่าทรานสมิตแดนซ์ เริ่มต้น = 69.41 ± 0.06 (n=8)



รูปที่ 4.22 แผนภูมิเปรียบเทียบร้อยละการบำบัดซีโอดีในกระบวนการบำบัดแต่ละขั้นตอนของโคแอกกูเลนต์ 4 ชนิด

ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีจากตารางที่ 4.26 แสดงได้ดังรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีของสารส้ม กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา และถ้ำลอยแอสฟัลท์ในขั้นตอนการโคแอกกูเลชันน้อยกว่าในขั้นตอนการออกซิเดชันยกเว้นป้อนขาวที่ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีในขั้นโคแอกกูเลชันมากกว่า ซึ่งผลโดยรวมทั้งกระบวนการสามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ โดยเมื่อใช้ กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นโคแอกกูเลนต์สามารถให้ประสิทธิภาพการบำบัดรวมมากที่สุด คือ 67.26% รองลงมาคือสารส้ม ป้อนขาว และถ้ำลอยแอสฟัลท์ ซึ่งให้ประสิทธิภาพการบำบัดเป็น 54.27, 54.05 และ 35.83% ตามลำดับ



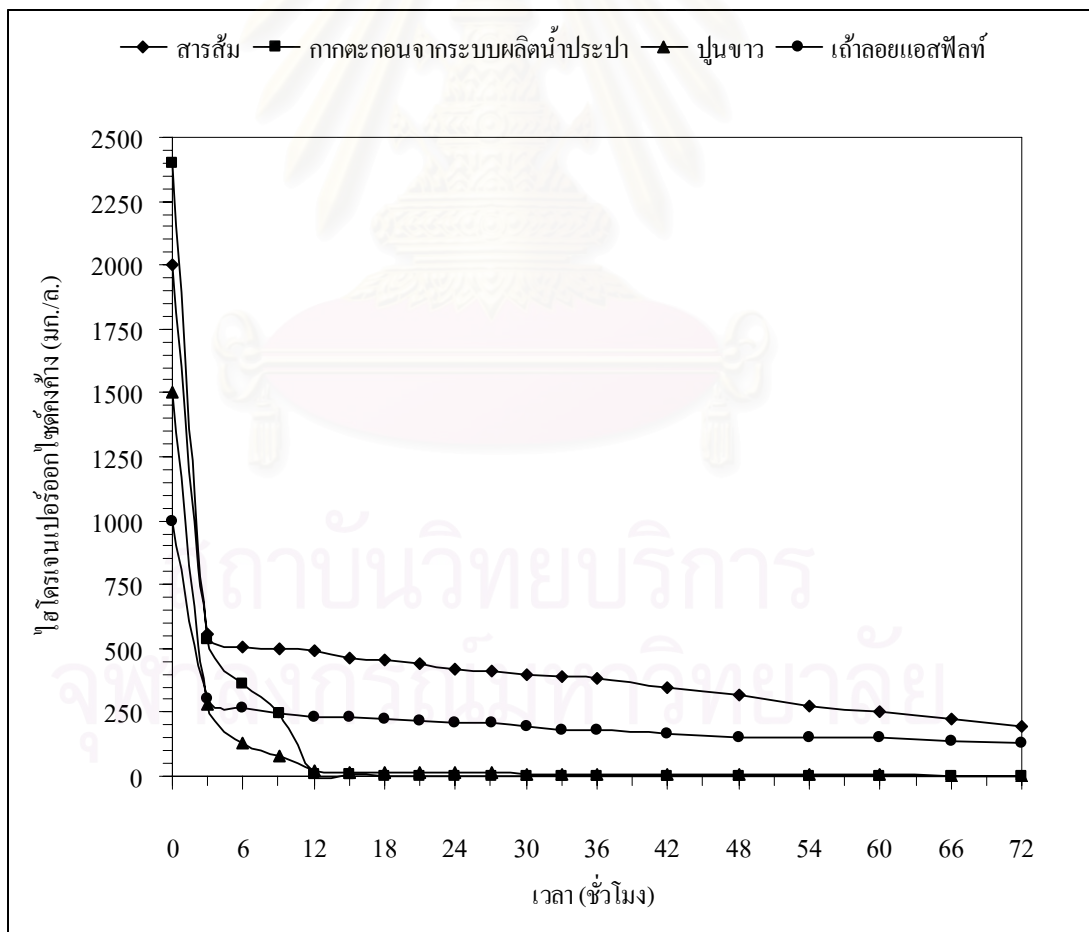
รูปที่ 4.23 แผนภูมิเปรียบเทียบร้อยละการบำบัดสีในกระบวนการบำบัดแต่ละขั้นตอนของโคแอกกูแลนต์ 4 ชนิด

ประสิทธิภาพการบำบัดสีจากตารางที่ 4.26 แสดงได้ดังรูปที่ 4.23 ประสิทธิภาพในการบำบัดสีของสารส้ม กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา ปูนขาว และถ้ำลอยแอสฟัลท์ในขั้นตอนการออกซิเดชันมากกว่าในขั้นตอนการโคแอกกูแลนต์ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดสีของปูนขาวในขั้นออกซิเดชันมากกว่าในขั้นโคแอกกูแลนต์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยรวมแล้วประสิทธิภาพการบำบัดสีของโคแอกกูแลนต์ทั้ง 4 ชนิดมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันยกเว้นถ้ำลอยแอสฟัลท์ที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดรวมต่ำกว่าขั้นออกซิเดชัน ซึ่งเมื่อใช้ปูนขาวสามารถให้ประสิทธิภาพการบำบัดรวมมากที่สุด คือ 43.83% รองลงมาคือ กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา สารส้ม และถ้ำลอยแอสฟัลท์ ซึ่งให้ประสิทธิภาพการบำบัดเป็น 42.63, 41.58 และ 32.36% ตามลำดับ

ดังนั้น เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถบำบัดค่าซีไอดีได้สูงที่สุด คือ 67.26% และเมื่อใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถบำบัดสีได้สูงที่สุดคือ 43.83% ซึ่งค่าการบำบัดสีใกล้เคียงกับกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและสารส้ม

4.7 ศึกษาผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่คงค้างอยู่ในน้ำกากส่า ถ้ามีมากจะมีผลต่อการวิเคราะห์ซีโอดี

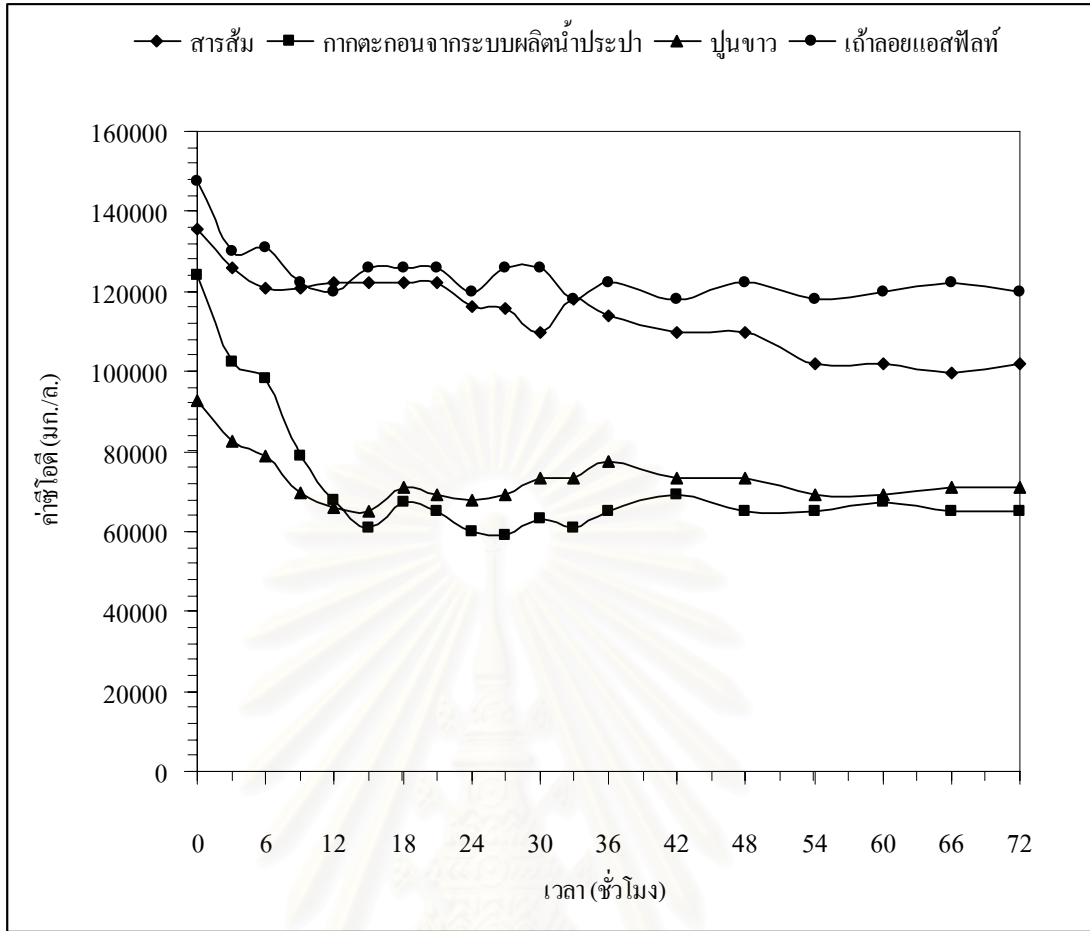
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่คงค้างอยู่ในน้ำกากส่า ถ้ามีมากจะมีผลต่อการวิเคราะห์ซีโอดี เนื่องจากเกิดการรบกวนของโพแทสเซียมไดโครเมต และทำให้ยากต่อการสังเกตจุดยุติ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่คงค้างต่อซีโอดีและสี หลังจากให้น้ำกากส่ากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณความเข้มข้นและสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองขั้นต้น ซึ่งในข้างต้นได้กวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง ส่วนในขั้นตอนนี้ได้กวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงเช่นกัน แต่ทิ้งให้ตกตะกอนในเวลา 3-72 ชั่วโมง เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.24 - 4.26 ในที่นี้ได้ทำการเจือจางน้ำ 100 เท่า ก่อนนำมาวิเคราะห์ซีโอดี เนื่องจากน้ำกากส่ามีค่าซีโอดีสูงมาก ดังนั้น เมื่อทำการหาผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อค่าซีโอดีจึงได้นำน้ำที่ใช้วิเคราะห์ซีโอดี นำไปวิเคราะห์หาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างด้วย ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ข



รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่คงค้างระหว่างโคแอกกูแลนต์ 4 ชนิด

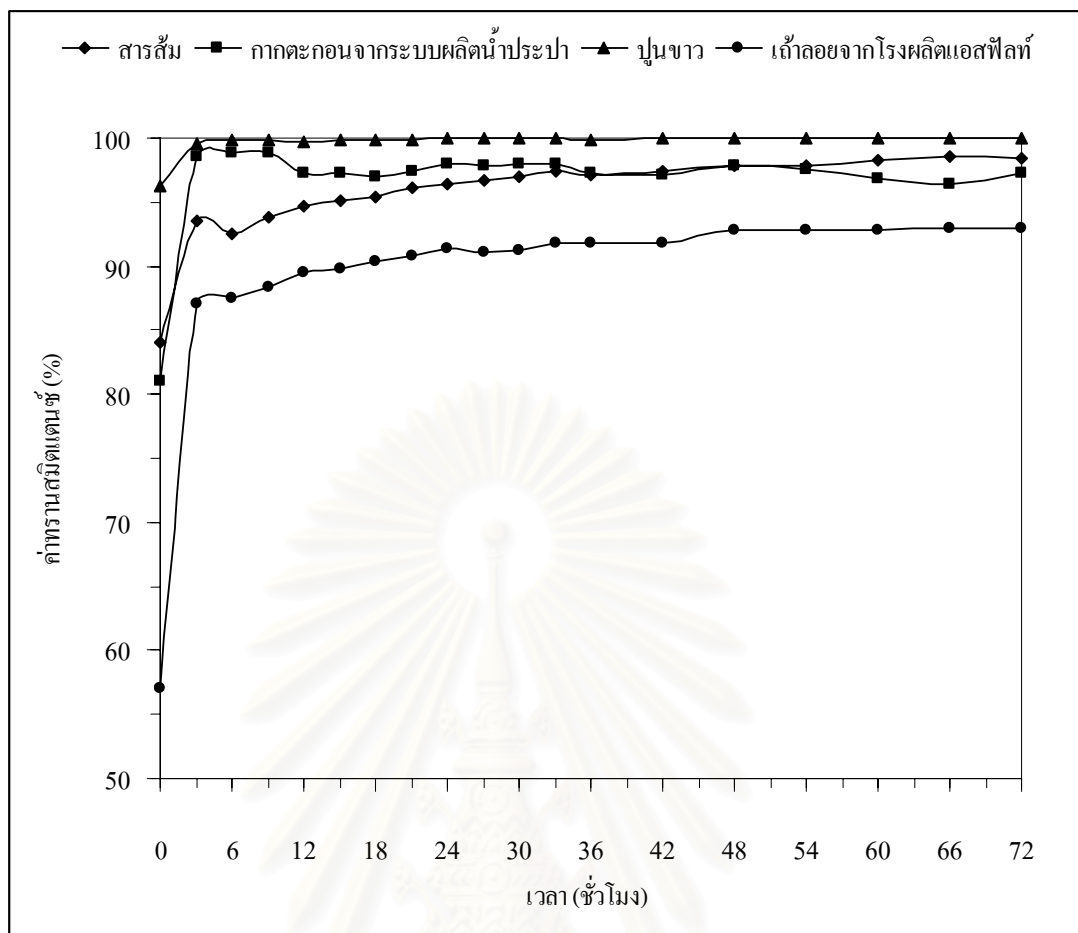
จากรูปที่ 4.24 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะลดลงเมื่อเวลามากขึ้น โดยน้ำกากส่าที่ใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์จะมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้าง 418 มก./ล. น้ำกากส่าที่ใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปามีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้าง 2.07 มก./ล. น้ำกากส่าที่ใช้ปูนขาวมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้าง 16.55 มก./ล. และน้ำกากส่าที่ใช้เถ้าลอยแอสฟัลท์มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้าง 211.07 มก./ล. ที่เวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างที่มีอยู่นี้จะทำให้ค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับค่าซีโอดีของน้ำกากส่า เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 20-1,000 มก./ล. จะส่งผลให้ค่าซีโอดีเพิ่มมากขึ้น 5-250 มก./ล. (Talinli และ Anderson, 1992)

สังเกตได้ว่าปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาอยู่ที่ 2,400 มก./ล. มากกว่าสารส้มซึ่งอยู่ที่ 2,000 มก./ล. เมื่อเวลาผ่านไปเท่ากันไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างของสารส้มกลับเหลืออยู่มากกว่ากากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา ซึ่งเป็นไปได้ว่าอาจมีตัวเร่งปฏิกิริยาในกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา เช่น เหล็ก จึงทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวเร็วยิ่งขึ้น เช่นเดียวกับปูนขาวและเถ้าลอยแอสฟัลท์ที่ปริมาณความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นของปูนขาวอยู่ที่ 1,500 มก./ล. มากกว่าเถ้าลอยแอสฟัลท์ซึ่งอยู่ที่ 1,000 มก./ล. เมื่อเวลาผ่านไปเท่ากันไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างของเถ้าลอยแอสฟัลท์กลับเหลืออยู่มากกว่าปูนขาว ซึ่งอาจเกิดจาก alkaline pH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาวมีผลทำให้พีเอชอยู่ประมาณ 12 จึงทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวได้เร็วขึ้น



รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบค่าซีโอดีจากผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระหว่างโคแอกกูแลนต์ 4 ชนิด

ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12 ค่าซีโอดีจากผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของโคแอกกูแลนต์ทั้ง 4 ชนิดจะค่อนข้างคงที่ แสดงว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างมีผลต่อค่าซีโอดีลดลงจนแทบไม่มีผลเลย ยกเว้นสารส้มที่ยังมีแนวโน้มลดลงมากขึ้นเมื่อเวลามากขึ้น โดยที่เวลา 24 ชั่วโมงค่าซีโอดีของน้ำกากส่าจากการตกตะกอนและออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของสารส้ม กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา ปูนขาว และกล้วยแอสฟัลท์ เท่ากับ 116,000, 60,000, 68,000 และ 120,000 มก./ล. ตามลำดับ จากค่าซีโอดีเริ่มต้นที่ต่างกัน



รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบค่าทรานสมิตแตนซ์ (%) จากผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระหว่างโคแอกกูแลนต์ 4 ชนิด

จากรูปที่ 4.26 ค่าทรานสมิตแตนซ์มีค่ามากขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นแต่เพิ่มขึ้นในอัตราที่ไม่มากนักซึ่งมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันในแต่ละช่วงเวลา โดยที่เวลา 24 ชั่วโมงค่าทรานสมิตแตนซ์ของน้ำกากส่าจากการตกตะกอนและออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของสารส้ม กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา ปูนขาว และถ้ำลอยแอสฟัลท์ เท่ากับ 96.35, 97.95, 100 และ 91.35 % ตามลำดับ จากค่าทรานสมิตแตนซ์ เริ่มต้นที่ต่างกัน

ดังนั้น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างในน้ำกากส่าที่ผ่านการโคแอกกูเลชันและออกซิเดชันทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง (เมื่อความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างเริ่มต้นของสารส้ม กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา ปูนขาว และถ้ำลอยแอสฟัลท์ คือ 2,000, 2,400, 1,500 และ 1,000 มก./ล. ตามลำดับ) ส่งผลต่อค่าซีไอดีและสีน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าซีไอดีและสีของน้ำกากส่าแม้ค่าทรานสมิตแตนซ์จะเพิ่มขึ้นและค่าซีไอดีจะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อถึงชั่วโมงที่ 12 เป็นต้นไป ค่าทรานสมิตแตนซ์และค่าซีไอดี ณ เวลาใดๆ ต่างก็มีค่าใกล้เคียงกัน

4.8 ศึกษาผลของเหล็กในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยวิธีโคแอกกูเลชันร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การออกซิเดชันทางเคมีโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับเหล็กนั้นเป็นวิธีที่เรียกว่า ฟენტัน รีเอเจนต์ (fenton's reagent, mixture of ferrous iron and H_2O_2) ซึ่งเป็นการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์และใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับสร้างไฮดรอกซิลเรดิคัล ($OH\cdot$) (Marechal และคณะ, 1997) ซึ่งมีความสามารถในการออกซิเดชันสารอินทรีย์ได้ 2.8 โวลต์ (Rodriguez, 2003) สูงกว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ดังนั้น จึงได้ทำการศึกษาผลของเหล็กในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยวิธีโคแอกกูเลชันร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อใช้สารส้ม กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา ปูนขาว และถ่านลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์ โดยเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองขั้นต้นมาทำการศึกษาและทำการแปรค่าปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการลดซีโอดีและสี ซึ่งพิจารณาจากร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) หากพบว่าพารามิเตอร์ใดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 จะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างโดย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ซึ่งผลการทดลองและผลการทดสอบทางสถิติแสดงดังภาคผนวก ข

นอกจากนี้ จากการศึกษาผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างต่อซีโอดีและสีในข้างต้นพบว่า หากมีตัวเร่งปฏิกิริยาในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างมีผลต่อค่าซีโอดีลดลง ดังนั้น ในขั้นตอนนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างที่เหลืออยู่ในน้ำที่จะนำไปวิเคราะห์ซีโอดี (ทำการเจือจางน้ำ 100 เท่า ก่อนนำมาวิเคราะห์ซีโอดีเนื่องจากน้ำกากส่ามีค่าซีโอดีสูงมาก) เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตกับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้าง

4.8.1 เมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์

นำสถานะที่เหมาะสมจากข้อ 4.4 – 4.5 ซึ่งในที่นี้ คือ สารส้ม 14 กรัม สถานะพีเอช 7 มาทำการบำบัดน้ำกากสำ นำน้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วมาทำการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 200 ก./ล. ที่สถานะพีเอชปกติ (pH=4.18) และทำการเติมปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตในปริมาณที่ต่างกัน ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.27

เมื่อทำการเติมปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตในปริมาณที่ต่างกัน พบว่า เฟอร์รัสซัลเฟต 0.025 กรัม สามารถเพิ่มค่าการบำบัดซีโอดีและสีได้มากกว่าการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียว โดยบำบัดสีได้สูงที่สุดคือ 0.94% ซึ่งให้ค่าการบำบัดที่แตกต่างจากปริมาณอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และบำบัดค่าซีโอดีได้ 34.48% แต่น้อยกว่าปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต 0.075 กรัม ที่ให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงที่สุดคือ 37.93% โดยมีความแตกต่างจากปริมาณอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างจาก 0.100 และ 0.250 กรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ที่ปริมาณ 0.075 กรัมนี้ไม่สามารถบำบัดสีได้และยังเป็นการเพิ่มความขุ่นสีอีกด้วย

ดังนั้นจึงทำการเลือกปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต 0.025 กรัม เติมในน้ำกากสำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้มและนำไปออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยสามารถบำบัดค่าซีโอดีจาก 117,960.40 มก./ล. ให้ลดลงเหลือ 77,284.40 มก./ล. คิดเป็น 34.48% และทำให้ค่าทรานสมิตแดนซ์เพิ่มขึ้นจาก 96.20% เป็น 97.10% คิดเป็น 0.94% และมีความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างในน้ำที่นำไปวิเคราะห์ค่าซีโอดีลดลงจาก 493.84 มก./ล. เป็น 2.02 มก./ล. โดยความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างที่ลดลงนี้จะส่งผลต่อค่าซีโอดีลดลงด้วย

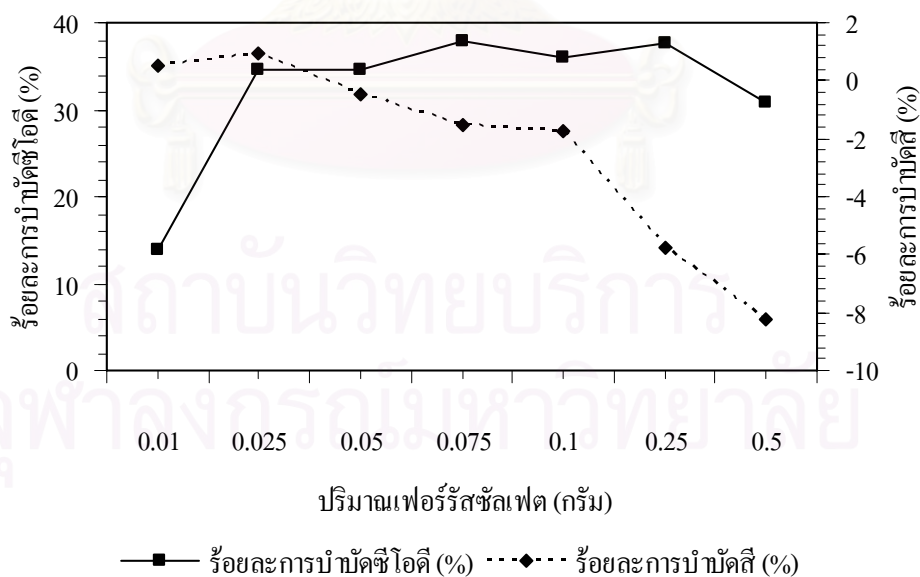
จากรูปที่ 4.27 เฟอร์รัสซัลเฟตที่เติมลงไปเพื่อเร่งปฏิกิริยาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เมื่อมีปริมาณมากขึ้นจะทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงขึ้นจนถึงปริมาณหนึ่งค่าการบำบัดซีโอดีจะค่อนข้างคงที่ และความขุ่นสีจะมากขึ้นเมื่อมีปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการบำบัดสีลดลง ซึ่งอาจเป็นผลจากสีของเฟอร์รัสซัลเฟตที่เติมลงไป

ตารางที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมเฟอร์รัสซัลเฟต ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้มและออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 200 ก./ล.

ปริมาณ FeSO ₄ (กรัม)	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ยทรานสมิตแตนซ์ (%)	ร้อยละการบำบัดสี (%)	H ₂ O ₂ คงค้าง (มก./ล.)	ค่าพีเอชสุดท้าย (pH)
0.010	101,690.00	13.79 ^d	96.70	0.52 ^b	372.90	3.26
0.025	77,284.40	34.48^b	97.10	0.94^a	2.02	3.00
0.050	77,284.40	34.48 ^b	95.73	-0.49 ^c	1.01	3.05
0.075	73,216.80	37.93 ^a	94.70	-1.56 ^d	0.00	3.04
0.100	75,576.20	35.93 ^{ab}	94.50	-1.77 ^c	0.00	3.04
0.250	73,533.60	37.66 ^a	90.67	-5.75 ^f	0.00	3.04
0.500	81,704.00	30.74 ^c	88.27	-8.25 ^e	0.00	3.01

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 117,960.40 มก./ล. ค่าทรานสมิตแตนซ์เริ่มต้น = 96.20 % ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างเริ่มต้น = 493.84 มก./ล. และค่าพีเอชเริ่มต้น = 3.61
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตกับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้มและออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 200 ก./ล.

4.8.2 เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็น โคแอกกูแลนต์

นำสถานะที่เหมาะสมจากข้อ 4.4 – 4.5 ซึ่งในที่นี้ คือ กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา 140 กรัม สถานะพีเอช 3 มาทำการบำบัดน้ำกากสำ นำน้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วมาทำการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 240 ก./ล. ที่สถานะพีเอชปกติ (pH=3.76) และทำการเติมปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตในปริมาณที่ต่างกัน ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.28

เมื่อทำการเติมปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตในปริมาณที่ต่างกัน พบว่า เฟอร์รัสซัลเฟต 0.075 กรัม สามารถให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงที่สุดซึ่งมากกว่าการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียว 11.11% และให้ค่าการบำบัดที่แตกต่างจากปริมาณอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่สามารถบำบัดซีโอดีได้ในทุกปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต ทั้งยังเป็นการเพิ่มความเข้มข้น โดยหากพิจารณาปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตที่เหมาะสมแล้ว จะเห็นว่า ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต 0.075 กรัม ให้ค่าการบำบัดซีโอดีที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณอื่น

ดังนั้นจึงทำการเลือกปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต 0.075 กรัม เติมในน้ำกากสำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและนำไปออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยสามารถบำบัดค่าซีโอดีจาก 64,064.70 มก./ล. ให้ลดลงเหลือ 56,946.40 มก./ล. คิดเป็น 11.11% และทำให้ค่าทรานสมิตแตนซ์ลดลงจาก 98.90% เป็น 97.00% คิดเป็น -1.92% และมีความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างในน้ำที่นำไปวิเคราะห์ค่าซีโอดีลดลงจนไม่เหลือความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้าง แต่ในทางปฏิบัติไม่มีความจำเป็นในการเติมเฟอร์รัสซัลเฟตเนื่องจากการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียวนั้นเพียงพอต่อการบำบัดค่าซีโอดีและสีในน้ำกากสำ ซึ่งการเติมเฟอร์รัสซัลเฟตจะเป็นการทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

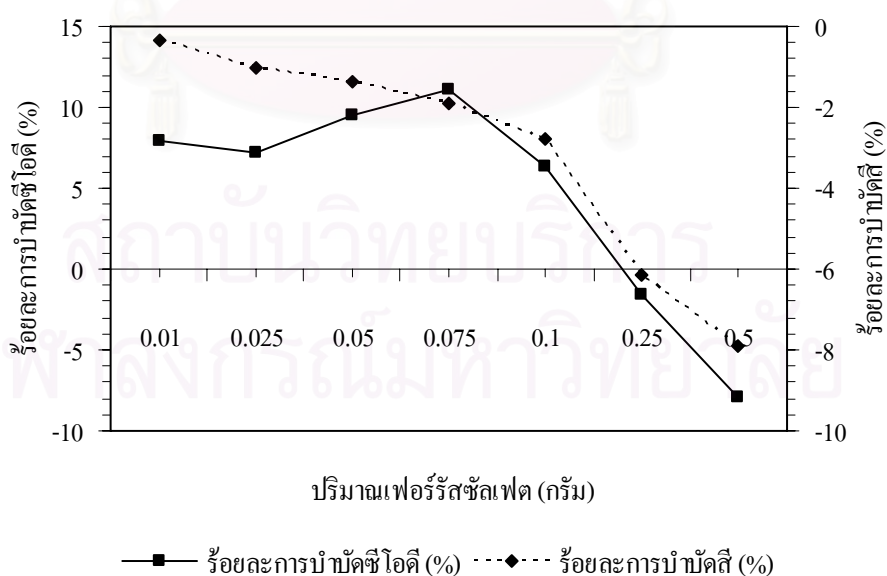
จากรูปที่ 4.28 เมื่อเติมเฟอร์รัสซัลเฟตมากขึ้นทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงขึ้นจนถึงปริมาณหนึ่งค่าการบำบัดซีโอดีจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณเฟอร์รัสไอออนที่มากเกินไปส่งผลให้ไฮดรอกซิลเรดิคอล (OH) ที่เกิดจากปฏิกิริยาไปจับกับไอออนเฟอร์รัสที่มีมากในน้ำ ทำให้ความสามารถในการไปจับกับสารอินทรีย์ลดลง ส่วนความเข้มข้นจะลดลงเมื่อเติมปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.28 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมเฟอร์รัสซัลเฟต ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 240 ก./ล.

ปริมาณ FeSO ₄ (กรัม)	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ยทรานสมิตแตนซ์ (%)	ร้อยละการบำบัดสี (%)	H ₂ O ₂ คงค้าง (มก./ล.)	ค่าพีเอชสุดท้าย (pH)
0.010	58,980.20	7.94 ^{bc}	98.57	-0.34 ^a	2.02	2.73
0.025	59,488.65	7.14 ^{bc}	97.87	-1.04 ^b	1.01	2.74
0.050	57,963.30	9.52 ^{ab}	97.57	-1.35 ^c	1.01	2.74
0.075	56,946.40	11.11^a	97.00	-1.92^d	0.00	2.73
0.100	59,997.10	6.35 ^c	96.13	-2.80 ^e	0.00	2.73
0.250	65,081.60	-1.59 ^d	92.83	-6.13 ^f	0.00	2.66
0.500	69,149.20	-7.94 ^e	91.10	-7.89 ^g	0.00	2.57

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 64,064.70 มก./ล. ค่าทรานสมิตแตนซ์เริ่มต้น = 98.90 % ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างเริ่มต้น = 2.02 มก./ล. และค่าพีเอชเริ่มต้น = 2.71
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตกับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 240 ก./ล.

4.8.3 เมื่อใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์

นำสถานะที่เหมาะสมจากข้อ 4.4 – 4.5 ซึ่งในที่นี้ คือ ปูนขาว 30 กรัม สถานะพีเอชปกติ ($\text{pH} = 4.17$) มาทำการบำบัดน้ำกากสำ นำน้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วมาทำการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 150 ก./ล. ที่สถานะพีเอชปกติ ($\text{pH} = 11.95$)และทำการเติมปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตในปริมาณที่ต่างกัน ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.29

เมื่อทำการเติมปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตในปริมาณที่ต่างกัน พบว่า เฟอร์รัสซัลเฟต 0.050 กรัม สามารถให้ค่าการบำบัดซีโอดีมากกว่าการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียว 5.56% และให้ค่าการบำบัดที่แตกต่างจากปริมาณ 0.010 และ 0.025 กรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างจากปริมาณ 0.075, 0.100, 0.250 และ 0.500 กรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่สามารถบำบัดสีได้

ดังนั้นจึงทำการเลือกปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต 0.050 กรัม เติมในน้ำกากสำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาวและนำไปออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยสามารถบำบัดค่าซีโอดีจาก 68,132.30 มก./ล. ให้ลดลงเหลือ 64,341.90 มก./ล. คิดเป็น 5.56% ส่วนค่าทรานสมิตแดนซ์มีค่าเท่าเดิมคือ 100% และมีความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างในน้ำที่นำไปวิเคราะห์ค่าซีโอดีลดลงจาก 38.30 มก./ล. เป็น 1.01 มก./ล.

จากรูปที่ 4.29 การเติมเฟอร์รัสซัลเฟตในน้ำกากสำที่ใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์นั้นไม่สามารถทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงขึ้นมากนัก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากสถานะที่ไม่เหมาะสมของพีเอช เนื่องจากการใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต้องอาศัยพีเอชในสถานะที่เป็นกรดช่วง 2-4 จึงจะเกิดปฏิกิริยาได้ดี (Eckenfelder, 2000) ส่วนความเข้มข้นจะลดลงเมื่อเติมปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตเพิ่มขึ้น

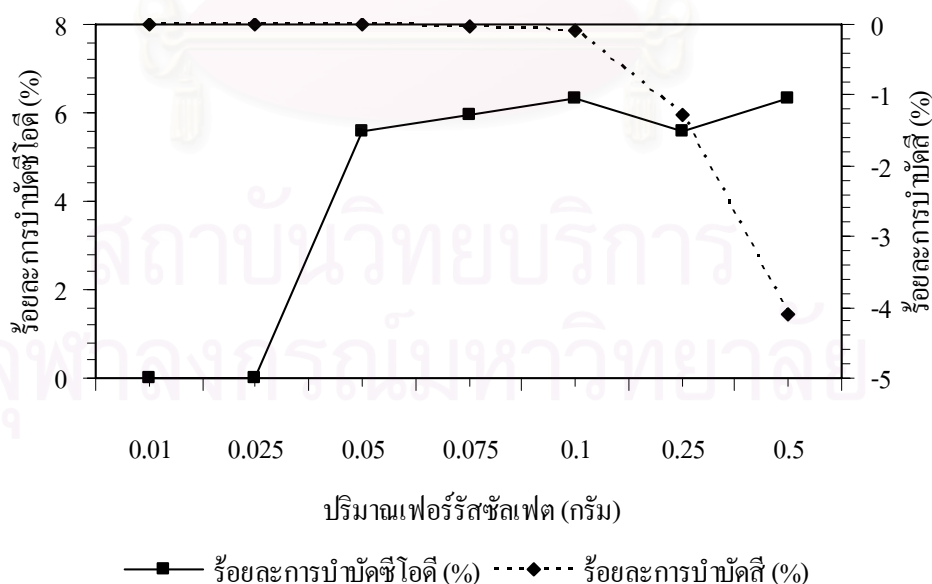
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมเฟอร์รัสซัลเฟต ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาวและออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 150 ก./ล.

ปริมาณ FeSO ₄ (กรัม)	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ยทรานสมิตเทนซ์ (%)	ร้อยละการบำบัดสี (%)	H ₂ O ₂ คงค้าง (มก./ล.)	ค่าพีเอชสุดท้าย (pH)
0.010	72,199.90	0.00 ^b	100.00	0.00 ^a	8.06	7.68
0.025	68,640.75	0.00 ^b	100.00	0.00 ^a	2.02	7.84
0.050	64,341.90	5.56^a	100.00	0.00^a	1.01	7.87
0.075	64,064.70	5.97 ^a	99.97	-0.03 ^{ab}	1.01	7.96
0.100	63,831.25	6.31 ^a	99.90	-0.10 ^b	1.01	7.94
0.250	64,341.90	5.56 ^a	98.73	-1.27 ^c	1.01	7.97
0.500	63,320.60	6.31 ^a	95.90	-4.10 ^d	1.01	6.70

หมายเหตุ :

- ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 68,132.30 มก./ล. ค่าทรานสมิตเทนซ์เริ่มต้น = 100.00 % ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างเริ่มต้น = 38.30 มก./ล. และค่าพีเอชเริ่มต้น = 7.47
- ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตกับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาวและออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 150 ก./ล.

4.8.4 เมื่อใช้ถ้ำลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์

นำสถานะที่เหมาะสมจากข้อ 4.4 – 4.5 ซึ่งในที่นี้ คือ ถ้ำลอยแอสฟัลท์ 80 กรัม สถานะพีเอชปกติ ($\text{pH} = 4.17$) มาทำการบำบัดน้ำกากสำ นำน้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วมาทำการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ก./ล. ที่สถานะพีเอช 3 และทำการเติมปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตในปริมาณที่ต่างกัน ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.30

เมื่อทำการเติมปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตในปริมาณที่ต่างกัน พบว่า เฟอร์รัสซัลเฟต 0.050 กรัม สามารถให้ค่าการบำบัดซีโอดีมากกว่าการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียว 20.00% และให้ค่าการบำบัดที่แตกต่างจากปริมาณ 0.010, 0.025, 0.100 และ 0.250 กรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างจากปริมาณ 0.075 และ 0.050 กรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และบำบัดได้ 0.99% แม้ว่าปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต 0.075 กรัมจะให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงกว่าแต่กลับเพิ่มความเข้มข้นสิ่งเหลือที่ 0.050 กรัม เป็นสถานะที่เหมาะสม

ดังนั้นจึงทำการเลือกปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต 0.050 กรัม เติมในน้ำกากสำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์และนำไปออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยสามารถบำบัดค่า ซีโอดีจาก 116,943.50 มก./ล. ให้ลดลงเหลือ 93,554.80 มก./ล. คิดเป็น 20.00% ส่วนค่าทรานสมิตแดนซ์เพิ่มขึ้นจาก 90.50% เป็น 91.40% คิดเป็น 0.99% และความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างลดลงจาก 227.77 มก./ล. เป็นไม่พบว่ามีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างในน้ำที่นำไปวิเคราะห์ค่าซีโอดี

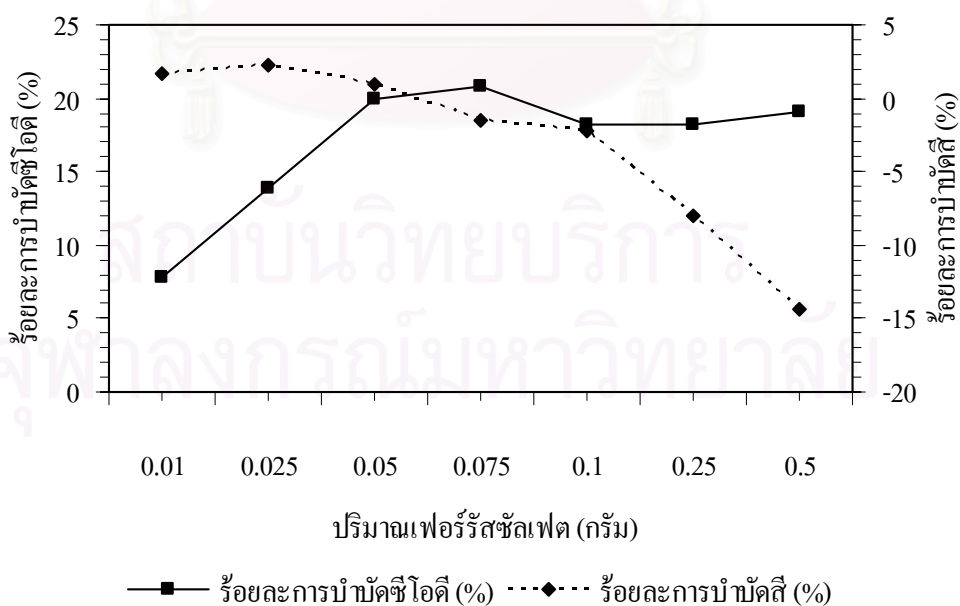
จากรูปที่ 4.30 เมื่อเติมเฟอร์รัสซัลเฟตมากขึ้นจะทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงขึ้นจนถึงปริมาณหนึ่งค่าการบำบัดซีโอดีจะค่อนข้างคงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นปริมาณที่เพียงพอแล้วต่อการเร่งปฏิกิริยา ส่วนความเข้มข้นจะมากขึ้นเมื่อมีปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการบำบัดลดลง ซึ่งอาจเป็นผลจากสีของเฟอร์รัสซัลเฟตที่เติมลงไป

ตารางที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมเฟอร์รัสซัลเฟต ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์และออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ก./ล.

ปริมาณ FeSO ₄ (กรัม)	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มก./ล.)	ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าเฉลี่ยทรานสมิตแตนซ์ (%)	ร้อยละการบำบัดสี (%)	H ₂ O ₂ คงค้าง (มก./ล.)	ค่าพีเอชสุดท้าย (pH)
0.010	107,791.40	7.83 ^d	92.00	1.66 ^b	52.41	2.94
0.025	100,673.10	13.91 ^c	92.53	2.25 ^a	18.14	2.85
0.050	93,554.80	20.00^{ab}	91.40	0.99^c	0.00	2.72
0.075	92,537.90	20.87 ^a	89.10	-1.55 ^d	0.00	2.76
0.100	95,588.60	18.26 ^b	88.50	-2.21 ^c	0.00	2.75
0.250	95,588.60	18.26 ^b	83.30	-7.96 ^f	0.00	2.72
0.500	94,571.70	19.13 ^{ab}	77.47	-14.40 ^g	0.00	2.65

หมายเหตุ :

1. ค่าซีโอดีเริ่มต้น = 116,943.50 มก./ล. ค่าทรานสมิตแตนซ์เริ่มต้น = 90.50 % ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างเริ่มต้น = 227.77 มก./ล. และค่าพีเอชเริ่มต้น = 2.97
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ตามวิธี DMRT



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตกับร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์และออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ก./ล.

ตารางที่ 4.31 ผลของเฟอร์ริสซัลเฟตต่อการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยโคแอกกูแลนต์ต่างๆ

พารามิเตอร์	โคแอกกูแลนต์			
	สารส้ม	กากตะกอนระบบ ผลิตน้ำประปา	ปูนขาว	ถ้ำลอย แอสฟัลท์
เฟอร์ริสซัลเฟต (กรัม)	0.025	0.075	0.050	0.050
*ค่าซีไอดี (มก./ล.)				
- หลังตกตะกอนและออกซิเดชัน (H ₂ O ₂ อย่างเดียว)	117,960.40	64,064.70	68,132.30	116,943.50
- หลังตกตะกอนและออกซิเดชัน (H ₂ O ₂ + FeSO ₄)	77,284.40	56,946.40	64,341.90	93,554.80
ร้อยละการบำบัดซีไอดี (%)	34.48	11.11	5.56	20.00
ค่าทรานสมิตแตนซ์ (%)				
- หลังตกตะกอนและออกซิเดชัน (H ₂ O ₂ อย่างเดียว)	96.20	98.90	100.00	90.50
- หลังตกตะกอนและออกซิเดชัน (H ₂ O ₂ + FeSO ₄)	97.10	97.00	100.00	91.40
ร้อยละการบำบัดดี (%)	0.94	-1.92	0.00	0.99
H ₂ O ₂ คงค้าง (มก./ล.)				
- หลังตกตะกอนและออกซิเดชัน (H ₂ O ₂ อย่างเดียว)	493.84	2.02	38.30	227.77
- หลังตกตะกอนและออกซิเดชัน (H ₂ O ₂ + FeSO ₄)	2.02	0.00	1.01	0.00
ค่าพีเอชสุดท้าย	3.00	2.73	7.87	2.72

หมายเหตุ:

* ค่าซีไอดีน้ำกากส่าสด = 165,450.60 มก./ล.

จากตารางที่ 4.31 จะเห็นว่าเมื่อมีเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงขึ้นในโคแอกกูแลนต์ทั้ง 4 ชนิด โดยสารส้มจะมีค่าการบำบัดซีโอดีที่สูงขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือ เถ้าลอยแอสฟัลท์ กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา และปูนขาว แต่ไม่มีส่วนช่วยในการบำบัดสีมากนักซึ่งหากเติมปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตมากเกินไปจะเป็นการทำให้สีมีความเข้มสีสูงขึ้นได้

การที่น้ำกากส่าที่ใช้สารส้มและเถ้าลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์มีค่าการบำบัดซีโอดีสูงขึ้นมาก สามารถอธิบายได้ว่า เฟอร์รัสซัลเฟตที่เติมลงไปเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นไปทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำปฏิกิริยาได้เร็วขึ้นจึงทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวไปภายในเวลาที่ใช้ทำการทดลองจึงส่งผลต่อการวิเคราะห์ซีโอดีลดลง เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่คงค้างอยู่จะทำให้ค่าซีโอดีที่วิเคราะห์ได้สูงกว่าความเป็นจริง (Talinli และ Anderson, 1992) ส่วนน้ำกากส่าที่ใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์ มีค่าการบำบัดซีโอดีที่เพิ่มขึ้นไม่มากนักเนื่องจากในกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปามีส่วนของสารประกอบเหล็กอยู่มากกว่าโคแอกกูแลนต์ชนิดอื่นซึ่งอาจจะอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ X-ray fluorescence spectrometer) ทำให้เมื่อเติมเฟอร์รัสซัลเฟตลงไปจึงทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยแต่กลับทำให้สีเข้มขึ้น เช่นเดียวกับน้ำกากส่าที่ใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์ โดยเมื่อเติมเฟอร์รัสซัลเฟตลงไปทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยซึ่งผลของเหล็กมีอิทธิพลต่อน้ำกากส่าที่ใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์น้อยมาก อาจเป็นเพราะพีเอชในน้ำไม่เหมาะสมเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเฟนตันจะเกิดได้ดีที่พีเอช 2-4 (Eckenfelder, 2000) จึงทำให้การเติมเฟอร์รัสซัลเฟตลงไปนอกจากจะทำให้การบำบัดค่าซีโอดีสูงขึ้นไม่มากแล้วยังมีผลทำให้ความเข้มสีสูงขึ้นด้วยหากมีการเติมในปริมาณมาก

ดังนั้น ในการศึกษาผลของเหล็กต่อการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยโคแอกกูแลนต์ต่าง ๆ นั้น พบว่า สามารถทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีเพิ่มสูงกว่าการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถบำบัดสีได้ดี ซึ่งหากจะนำไปใช้บำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรม กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและปูนขาวยังเป็นที่น่าสนใจอยู่เนื่องจากไม่ต้องทำการเติมเหล็กก็ให้ผลการทดลองที่ดี นอกจากนี้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาได้ชื่อว่าเป็นกากของเสียอุตสาหกรรม ซึ่งหากมีการนำมาใช้จะเป็นการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกทางหนึ่ง ส่วนสารส้มและเถ้าลอยแอสฟัลท์ให้ผลที่ดีมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีการเติมเหล็กเข้าไป แต่หากนำไปใช้จะเป็นการเพิ่มต้นทุนในการบำบัดและเป็นการเพิ่มของเสียทางเคมีให้กับสิ่งแวดล้อม

4.9 การประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่า

เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและปูนขาวเป็น โคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถบำบัดค่าซีโอดีและสีได้ดี ส่วนการบำบัดน้ำกากส่าโดยใช้สารส้มและเถ้าลอยแอสฟัลท์เป็น โคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้นจะสามารถบำบัดค่าซีโอดีและสีได้ดีมากขึ้นเมื่อมีการเติมเฟอร์รัสซัลเฟต ดังนั้น จึงได้ทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้สารส้ม กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา ปูนขาวและเถ้าลอยแอสฟัลท์เป็น โคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เช่นเดียวกับ ภาศัลย์ ใจรัมย์ (2547) ที่ทำการประเมินราคาการบำบัดน้ำกากส่าโดยใช้ไมโครฟิลเตรชัน เมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ พบว่า มีค่าใช้จ่ายโดยไม่รวมค่าเสื่อมราคา 220 บาท/ลบ.ม.

4.9.1 เมื่อใช้สารส้มเป็น โคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าสารส้ม: ขึ้นการ โคแอกกูแลนต์
สารส้ม (เกรดอุตสาหกรรม) 25 กิโลกรัม 450 บาท ใช้ไป 14 กรัม คิดเป็น 0.25 บาท
- ค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์: ขึ้นการออกซิเดชัน
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (POCH) 1 ลิตร ราคา 840 บาท ใช้ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 200 กรัม/ลิตร (ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 6.2 มิลลิลิตร) คิดเป็น 5.21 บาท
- ค่าเฟอร์รัสซัลเฟต: ขึ้นการออกซิเดชัน
เฟอร์รัสซัลเฟต 500 กรัม ราคา 350 บาท ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต 0.025 กรัม คิดเป็น 0.02 บาท

เนื่องจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้สารส้มเป็น โคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อเติมเฟอร์รัสซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีและสีสูงขึ้น จึงได้คำนวณค่าเฟอร์รัสซัลเฟตร่วมด้วย ดังนั้น ค่าใช้จ่ายทั้งหมดแสดงดังนี้

$$\text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด} = 0.25 + 5.21 + 0.02 = 5.48 \text{ บาท/น้ำกากส่าเจือจาง 500 มล.}$$

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายทั้งหมดเมื่อใช้สารส้มเป็น โคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อเติมเฟอร์รัสซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเท่ากับ 10,960 บาท/น้ำกากส่าเจือจาง 1 ลบ.ม.

4.9.2 เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าแรง: ขั้นตอนเตรียมโคแอกกูแลนต์

อัตราค่าจ้างขั้นต่ำในเขตกรุงเทพมหานคร 194 บาท/วัน ในการทดลองต่อครั้งใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา 140 กรัม โดยการเตรียมกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาต่อวัน (8 ชั่วโมง) สามารถเตรียมได้ 40 กิโลกรัม ดังนั้น ในการเตรียมกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา 140 กรัม เพื่อใช้เป็นโคแอกกูแลนต์จะเสียค่าแรง คิดเป็น 0.03 บาท

- ค่าพลังงานในการอบ: ขั้นตอนเตรียมโคแอกกูแลนต์

เตาอบยี่ห้อ Binder มีกำลังไฟฟ้า 2.2 กิโลวัตต์ อัตราค่าไฟฟ้า 1.3576 บาท/ชั่วโมง (อัตราค่าไฟฟ้าของส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร) อบที่ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งอัตราค่าไฟฟ้าคิดเป็น 2.72 บาทต่อการอบ 5 กิโลกรัม ดังนั้น ในการเตรียมกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา 140 กรัม เพื่อใช้เป็นโคแอกกูแลนต์จะเสียค่าไฟฟ้า คิดเป็น 0.08 บาท

- ค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์: ขั้นตอนออกซิเดชัน

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (POCH) 1 ลิตร ราคา 840 บาท ใช้ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 240 กรัม/ลิตร (ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 7.3 มิลลิลิตร) คิดเป็น 6.13 บาท

เนื่องจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถให้ค่าการบำบัดซีไอดีที่สูงอยู่แล้วจึงไม่จำเป็นต้องเติมเฟอร์รัสซัลเฟตลงไป ซึ่งนอกจากจะทำให้เป็นการเพิ่มต้นทุนแล้ว ยังเป็นการเพิ่มความเข้มข้นในน้ำด้วย ดังนั้น ค่าใช้จ่ายทั้งหมดแสดงดังนี้

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = $0.03 + 0.08 + 6.13 = 6.24$ บาท/น้ำกากส่าเจือจาง 500 มล.

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายทั้งหมดเมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเท่ากับ 12,480 บาท/น้ำกากส่าเจือจาง 1 ลบ.ม.

4.9.3 เมื่อใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ค่าปูนขาว: ขั้นตอนโคแอกกูแลนต์

ปูนขาว (เกรดอุตสาหกรรม) 20 กิโลกรัม 250 บาท ใช้ไป 30 กรัม คิดเป็น 0.38 บาท

- ค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์: ขึ้นการออกซิเดชัน

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (POCH) 1 ลิตร ราคา 840 บาท ใช้ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 150 กรัม/ลิตร (ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 4.55 มิลลิลิตร) คิดเป็น 3.82 บาท

เนื่องจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถให้ค่าการบำบัดซีโอดีที่สูงอยู่แล้วจึงไม่จำเป็นต้องเติมเฟอร์รัสซัลเฟตลงไป ซึ่งนอกจากจะทำให้เป็นการเพิ่มต้นทุนแล้วยังเป็นการเพิ่มความเข้มข้นในน้ำด้วย ดังนั้น ค่าใช้จ่ายทั้งหมดแสดงดังนี้

$$\text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด} = 0.38 + 3.82 = 4.20 \text{ บาท/น้ำกากส่าเจือจาง 500 มล.}$$

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายทั้งหมดเมื่อใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะเท่ากับ 8,400 บาท/น้ำกากส่าเจือจาง 1 ลบ.ม.

4.9.4 เมื่อใช้ถ้ำลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าแรง: ขึ้นการเตรียมโคแอกกูแลนต์

อัตราค่าจ้างขั้นต่ำในเขตกรุงเทพมหานคร 194 บาท/วัน ในการทดลองต่อครั้งใช้ถ้ำลอยแอสฟัลท์ 80 กรัม โดยการเตรียมถ้ำลอยแอสฟัลท์ต่อวัน (8 ชั่วโมง) สามารถเตรียมได้ 40 กิโลกรัม ดังนั้น ในการเตรียมถ้ำลอยแอสฟัลท์ 80 กรัม เพื่อใช้เป็นโคแอกกูแลนต์จะเสียค่าแรง คิดเป็น 0.02 บาท

- ค่าพลังงานในการอบ: ขึ้นการเตรียมโคแอกกูแลนต์

เตาอบยี่ห้อ Binder มีกำลังไฟฟ้า 2.2 กิโลวัตต์ อัตราค่าไฟฟ้า 1.3576 บาท/ชั่วโมง (อัตราค่าไฟฟ้าของส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร) อบที่ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งอัตราค่าไฟฟ้าคิดเป็น 2.72 บาทต่อการอบ 5 กิโลกรัม ดังนั้น ในการเตรียมถ้ำลอยแอสฟัลท์ 80 กรัม เพื่อใช้เป็นโคแอกกูแลนต์จะเสียค่าไฟฟ้า คิดเป็น 0.04 บาท

- ค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์: ขึ้นการออกซิเดชัน

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (POCH) 1 ลิตร ราคา 840 บาท ใช้ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 กรัม/ลิตร (ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3.1 มิลลิลิตร) คิดเป็น 2.60 บาท

- ค่าเฟอร์รัสซัลเฟต: ขึ้นการออกซิเดชัน

เฟอร์รัสซัลเฟต 500 กรัม ราคา 350 บาท ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต 0.050 กรัม คิดเป็น 0.04 บาท

เนื่องจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้ถ้ำลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์ ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อเติมเฟอร์รัสซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถทำให้ค่าการบำบัดซีโอดีและสีสูงขึ้น จึงได้คำนวณค่าเฟอร์รัสซัลเฟตร่วมด้วย ดังนั้น ค่าใช้จ่ายทั้งหมดแสดงดังนี้

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 0.02 + 0.04 + 2.60 + 0.04 = 2.70 บาท/น้ำกาส้ำเจือจาง 500 มล.

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายทั้งหมดเมื่อใช้ถ้ำลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อเติมเฟอร์รัสซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเท่ากับ 5,400 บาท/น้ำกาส้ำเจือจาง 1 ลบ.ม.

ตารางที่ 4.32 สรุปรวมค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกาส้ำด้วยกระบวนการโคแอกกูแลชันและการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

โคแอกกูแลนต์	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท)	
	น้ำกาส้ำเจือจาง 500 มล.	น้ำกาส้ำเจือจาง 1 ลบ.ม.
สารส้ม	5.48	10,960
กากตะกอนระบบผลิตน้ำประปา	6.24	12,480
ปูนขาว	4.20	8,400
ถ้ำลอยแอสฟัลท์	2.70	5,400

เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในระดับห้องปฏิบัติการทดลอง พบว่า เมื่อใช้ปูนขาวและถ้ำลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าเมื่อใช้สารส้มและกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์ เนื่องจากใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์น้อยกว่า อย่างไรก็ตาม การบำบัดน้ำกาส้ำเมื่อใช้สารส้มและถ้ำลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ยังต้องอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาจึงทำให้การบำบัดซีโอดีสูงมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มโอกาสในการสร้างตะกอน $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Eckenfelder, 2000) ให้สิ่งแวดล้อม ดังนั้น การใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์จึงมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในระบบบำบัดมากที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การศึกษาความสามารถของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์ในการลดซีโอดีและสีในน้ำกากสำเมื่อเปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาว โดยวิธีโคแอกกูแลนซ์

เมื่อใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนซ์ในการบำบัดน้ำกากสำ สามารถลดค่าซีโอดีและความเข้มสีได้ดีที่สุด โดยสภาวะที่เหมาะสม สามารถบำบัดซีโอดีได้ 40.20% และบำบัดสีได้ 37.76% ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นหลังใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนซ์มีปริมาณ 112.99 ก./ล. โคแอกกูแลนซ์ที่บำบัดค่าซีโอดีได้รองลงมาคือ กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา โดยสภาวะที่เหมาะสมสามารถบำบัดซีโอดีได้ 30.77% และบำบัดสีได้ 23.50% มีปริมาณตะกอนเกิดขึ้น 332.07 ก./ล. อันดับต่อมาคือการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนซ์ โดยสภาวะที่เหมาะสม สามารถบำบัดซีโอดีได้ 22.88% และบำบัดสีได้ 26.32% ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยที่สุดคือ 36.28 ก./ล. และสุดท้ายคือการใช้ถ้ำลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนซ์สามารถลดค่าซีโอดีได้น้อยที่สุด โดยสภาวะที่เหมาะสมสามารถลดค่าซีโอดีได้เพียง 13.51% และไม่สามารถลดความเข้มสีได้เลยและทำให้ความเข้มสีเพิ่มขึ้น 15.71% มีตะกอนเกิดขึ้น 169.27 ก./ล. ซึ่งนับว่าเกิดปริมาณตะกอนมากเมื่อเทียบกับค่าการบำบัด ทำให้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นโคแอกกูแลนซ์ในการบำบัดน้ำกากสำ

5.1.2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากสำ เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนซ์ มาทำการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เปรียบเทียบกับสารส้มและปูนขาว

การออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถบำบัดน้ำกากสำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้ม กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา ปูนขาว และถ้ำลอยแอสฟัลท์ได้ โดยเมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนซ์ในสภาวะที่เหมาะสมสามารถบำบัดซีโอดีได้ 42.24% และบำบัดสีได้ 11.92% ที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 200 ก./ล. เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนซ์ ในสภาวะที่เหมาะสม สามารถลดค่าซีโอดีได้ดีที่สุด คือ 51.92% และบำบัดสีได้ 14.85% ที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 240 ก./ล. เมื่อใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนซ์

สามารถลดค่าซีโอดีและสีได้น้อยที่สุด โดยบำบัดซีโอดีได้ 24.31% และบำบัดสีได้ 3.20% ที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 150 ก./ล. และเมื่อใช้ถ้ำลอยแอสฟัลท์เป็น โคนอกกูแลนต์ ในสถานะที่เหมาะสมสามารถบำบัดซีโอดีได้ 26.87% และบำบัดสีได้ 54.92% ที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ก./ล.

5.1.3 สรุปผลการบำบัดน้ำกากส่าทั้งหมด เมื่อใช้สารส้ม ปูนขาว กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและถ้ำลอยแอสฟัลท์เป็น โคนอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การใช้วิธี โคนอกกูแลนต์และออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการบำบัดน้ำกากส่าสามารถบำบัดน้ำกากส่าได้ดังตารางที่ 5.1 โดยเมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็น โคนอกกูแลนต์บำบัดค่าซีโอดีและสีได้ 67.26% และ 42.63% ตามลำดับ และมีค่าพีเอชในน้ำทิ้งสุดท้ายเป็น 2.82 เมื่อใช้ปูนขาวเป็น โคนอกกูแลนต์บำบัดค่าซีโอดีและสีได้ 54.05% และ 43.83% ตามลำดับ และมีค่าพีเอชในน้ำทิ้งสุดท้ายเป็น 7.71 ซึ่งกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและปูนขาวมีความเป็นไปได้ในการนำมาเป็น โคนอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เนื่องจากลดค่าซีโอดีและสีได้ดี แต่จะเห็นว่ากากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาสามารถบำบัดค่าซีโอดีได้สูงกว่าปูนขาวมาก แม้ว่าค่าพีเอชในน้ำทิ้งเป็นกรดแต่สามารถปรับให้เป็นกลางได้ ดังนั้น จากประสิทธิภาพการบำบัดจึงกล่าวได้ว่า กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็น โคนอกกูแลนต์ที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำกากส่าร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการบำบัดน้ำกากส่าทั้งหมด

พารามิเตอร์	โคนอกกูแลนต์			
	สารส้ม	กากตะกอนระบบผลิตน้ำประปา	ปูนขาว	ถ้ำลอยแอสฟัลท์
ค่าซีโอดี (มก./ล.)	68,135.65	48,780.50	68,457.67	95,609.78
ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	54.27	67.26	54.05	35.83
ค่าทรานสมิตแดนซ์ (%)	98.27	99.00	99.83	91.87
ร้อยละการบำบัดสี (%)	41.58	42.63	43.83	32.36
ค่าพีเอชสุดท้าย	3.23	2.82	7.71	2.86

หมายเหตุ: ค่าซีโอดีเริ่มต้น = $148,991.89 \pm 8,582.80$ (n=8) และ ค่าทรานสมิตแดนซ์ เริ่มต้น = 69.41 ± 0.06 (n=8)

5.1.4 ศึกษาผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คั่งค้างต่อซีโอดีและสี

ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คั่งค้างจะมีผลต่อการวิเคราะห์ค่าซีโอดี ดังนั้นจึงทำการศึกษาผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คั่งค้างต่อซีโอดีและสี พบว่า เมื่อเวลามากขึ้นความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะลดลงโดยที่ 24 ชั่วโมง น้ำกากสำที่ใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์จะมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คั่งค้าง 418 มก./ล. น้ำกากสำที่ใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปามีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คั่งค้าง 2.07 มก./ล. น้ำกากสำที่ใช้ปูนขาวมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คั่งค้าง 16.55 มก./ล. และน้ำกากสำที่ใช้เถ้าลอยแอสฟัลท์มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คั่งค้าง 211.07 มก./ล. ซึ่งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คั่งค้างที่มีอยู่นี้จะทำให้ค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับค่าซีโอดีของน้ำกากสำ เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 20-1,000 มก./ล. จะส่งผลให้ค่าซีโอดีเพิ่มมากขึ้น 5- 250 มก./ล. (Talinli และ Anderson, 1992) และค่าทรานสมิตแตนซ์มีค่ามากขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นแต่เพิ่มขึ้นในอัตราที่ไม่มากนัก โดยเฉพาะตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12 เป็นต้นไป

5.1.5 ศึกษาผลของเหล็กในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการบำบัดน้ำกากสำด้วยวิธีโคแอกกูแลชันร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การศึกษาผลของเหล็กต่อการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำกากสำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยโคแอกกูแลนต์ต่างๆ พบว่า สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้สูงกว่าการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียวในโคแอกกูแลนต์ทั้ง 4 ชนิด โดยสารส้มจะมีค่าการบำบัดซีโอดีสูงชันมากที่สุดคือ 34.48% รองลงมาคือ เถ้าลอยแอสฟัลท์ กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา และปูนขาว ซึ่งให้ค่าการบำบัดซีโอดีสูงชัน 20.00, 11.11 และ 5.56% ตามลำดับ แต่ไม่มีส่วนช่วยในการบำบัดสีมากนัก และน้ำกากสำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับเฟอร์รัสซัลเฟตจะเหลือค่าซีโอดีน้อยที่สุด รองลงมาคือ ปูนขาว สารส้ม และเถ้าลอยแอสฟัลท์ ดังนั้น หากจะนำไปใช้บำบัดน้ำเสีย การใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์ยังเป็นที่น่าสนใจอยู่เนื่องจากในสภาวะที่ไม่ต้องทำการเติมเฟอร์รัสซัลเฟตก็ให้ผลการทดลองที่ดี

5.1.6 การประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากสำ

เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในระดับห้องปฏิบัติการทดลองโดยใช้น้ำกากสำเจือจาง 500 มล. พบว่า น้ำกากสำที่ผ่านกระบวนการบำบัดทั้งการโคแอกกูแลชันและการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์จะเสียค่าใช้จ่าย

ทั้งหมด 6.24 บาท ซึ่งมากกว่าโคแอกกูแลนต์ชนิดอื่น รองลงมาคือ สารส้ม ปูนขาว และ เถ้าลอย แอสฟัลท์ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 5.48, 4.20 และ 2.70 บาท ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การบำบัดน้ำกากส่า เมื่อใช้สารส้มและเถ้าลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ยังต้องอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาจึงทำให้การบำบัดชีโอดีสูงมากขึ้น แต่ค่าชีโอดีในน้ำสุดท้ายยังคงเหลือมากกว่ากากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและปูนขาว นอกจากนี้การเติมเฟอร์รัสซัลเฟตเพื่อเร่งปฏิกิริยาจะทำให้เป็นเพิ่มโอกาสในการสร้างตะกอน $Fe(OH)_3$ (Eckenfelder, 2000) ให้สิ่งแวดล้อม ดังนั้น ปูนขาวจึงเป็นโคแอกกูแลนต์ที่มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในระบบบำบัดมากที่สุด

สรุปได้ว่า การบำบัดน้ำกากส่าด้วยการโคแอกกูแลชันและออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์ สามารถให้ค่าการบำบัดชีโอดีและสีได้ดี โดยเฉพาะเมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์สามารถบำบัดค่าชีโอดีได้สูงที่สุดในสภาวะที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียวและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับเฟอร์รัสซัลเฟต รองลงมาคือ ปูนขาว โดยปูนขาวสามารถบำบัดสีได้ดีที่สุด และเมื่อพิจารณาที่ค่าใช้จ่าย พบว่า กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปามีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูงกว่าปูนขาวแต่เป็นการนำกากของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เพื่อบำบัดน้ำกากส่าดีกว่าการนำไปฝังกลบในหลุมดังเช่นที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน แต่อาจไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ถึงการลงทุนและผลประโยชน์ที่จะได้รับ แต่ในอนาคตสามารถนำไปพัฒนาการบำบัดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ ดังนั้น ปูนขาวจึงเป็นโคแอกกูแลนต์ที่มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในระบบบำบัดร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากที่สุด เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้อยและสามารถบำบัดค่าชีโอดีและสีได้ดี

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

1. การบำบัดน้ำกากส่าควรใช้วิถีทางชีววิทยาร่วมกับวิถีทางเคมีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด เช่น การใช้ราเพื่อช่วยบำบัดสีในน้ำกากส่า
2. ควรใช้โคแอกกูแลนต์ที่มีค่าประจุบวกมาทำการศึกษาในการบำบัดน้ำกากส่า
3. ควรมีการนำกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น เช่น เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำในนาุ้งหรือบ่อเลี้ยงปลา

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กัณฑ์มาส สุทธิเรืองวงศ์. 2538. การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กาญจนา ฟุตระกูล. 2537. การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำประปาที่ผลิตจากโรงผลิตน้ำสามเสนและโรงผลิตน้ำบางเขนของการประปานครหลวง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขา นโยบายและการวางแผนวิทยาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- การคลัง, กระทรวง. กรมสรรพสามิต. 2526. เอกสารโครงการก่อสร้างโรงสุราใหม่โครงการที่ 1. ขอนแก่น: กรมสรรพสามิต. (อัดสำเนา)
- การประปานครหลวง. 2543. ปริมาณตะกอนโรงผลิตน้ำประปา บางเขน การประปานครหลวง. กรุงเทพฯ: การประปานครหลวง. (อัดสำเนา)
- เกษตรอุตสาหกรรม. 2530. การผลิตปุ๋ยหมักจากกากสำ. กรุงเทพมหานคร: รัชฎูผลการเกษตร.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์. 2536. วิศวกรรมประปา. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มิตรนราการพิมพ์.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มิตรนราการพิมพ์.
- โกมล ศิวะบวร, เขียวอุท พรพิมลเทพ และสุวิทย์ ชุมนุมศิริวัฒน์. 2527. การประปาเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: ชนะการพิมพ์.
- ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2524. การแก้ไขปัญหาหน้า้เสียจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์และสุรา. การสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่องการพัฒนาการผลิตสุราและแอลกอฮอล์. นครปฐม: ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- ฉงภู ออนตะเกียน. 2543. ตะกอน: การผลิตน้ำประปา. กรุงเทพมหานคร: โรงผลิตน้ำประปา บางเขน การประปานครหลวง. (อัดสำเนา)
- ณรงค์ กุหลาบ. 2542. แอสฟัลท์เทคโนโลยี. ขอนแก่น: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ขอนแก่น.
- ทรงพล ครามโกมุท. 2544. การกำจัดสีน้ำเสียจากสำโดยใช้ระบบยูเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ชงชัย พรรณสวัสดิ์, ประพนอม ชำนาญ และรัตนา เสียงประเสริฐกิจ. 2533. การนำกลับอะลูมิเนียมจาก สลัดจ์อุตสาหกรรมอลูมิเนียม. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชเรศ ศรีสถิตย์และสุจินัย คู่ย์เสงี่ยม. 2548. โครงการการสำรวจการปนเปื้อนของกากสำในดิน บริเวณรอบๆที่เก็บกักกากสำของโรงงานสุราในเขตภาคกลาง 3 จังหวัด. กองทุนเพื่อลด ผลกระทบจากนโยบายสุราเสรีของรัฐ.
- นิธิยา รัตนานพนนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- แน่น้อย วิจิตรจรรยากุล. 2543. การบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยวิธีตกตะกอนและออกซิเดชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุญเทียม พันธุ์เพ็ง. 2523. การคัดเลือกสายพันธุ์ยีสต์เพื่อหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลและ น้ำอ้อย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ผดุงสิน ชนศรีวินชชัย. 2549. การใช้เถ้าลอยจากโรงงานผลิตแอสฟัลท์คอนกรีตเพื่อผสมใน คอนกรีต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิต วิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พิงอร วิไลวงษ์. 2545. การเตรียมโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในการบำบัด น้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิต วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. 2550. กระบวนการโคแอกกูแลชันและฟล็อกคูแลชัน. กรุงเทพมหานคร: กองจัดการสิ่งแวดล้อมและคุณภาพน้ำ. (อัดสำเนา)
- เพื่อนเกษตร. สำห้เหล้าเลี้ยงกุ้ง[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://kasat-group.pantown.com/\[10 ธันวาคม 2550\]](http://kasat-group.pantown.com/[10 ธันวาคม 2550])
- ภาศัลย์ ใจรัมย์. 2547. การประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถึงปฏิบัติการชีวภาพสำหรับ บำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2538. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำ อื่นๆ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2538. วิศวกรรมประปา เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- มาลี วิชาจารย์. 2531. การใช้ประโยชน์จากน้ำกากสำโรงงานสุราในการผลิตก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัชฎาวรรณ พันธ์อำพน. 2540. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำคิบจากแหล่งธรรมชาติที่มีความขุ่นสูงและตกตะกอนยากมาผลิตน้ำประปาโดยการตกตะกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- โรงงานสุรากรมสรรพสามิต. 2542. ระบบบำบัดและกำจัดน้ำเสีย โรงงานสุรากรมสรรพสามิต 12 เขต. ฝ่ายเทคนิคและการผลิตกลุ่มบริษัทสุราทิพย์. (อัคราเนนา)
- ลัดดา แสงสุวรรณถาวร. 2545. การกำจัดสีรีแอกทีฟเฟลโล 17 และสีรีแอกทีฟบลู 19 ด้วยกระบวนการโฟโตออกซิเดชัน โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วุฒิ สุวานิช. 2548. สุรากลั่นจากกากน้ำตาล21: บทส่งท้ายสุรากลั่นน้ำตาล. เกษตรแปรรูป 31: (20 มีนาคม – 19 เมษายน 2548): 90-96.
- สกุลณี กุณเฑียร. 2526. การเลี้ยงจุลินทรีย์ในน้ำสำที่ทิ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สายัณต์ แก้วบุญเรือง. 2541. การนำสารส้มออกจากตะกอนในกระบวนการตกตะกอนของระบบผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สิวลี โปร่งทอง. 2541. ประยุกต์ใช้วิธีทางเคมีและชีวภาพในการบำบัดน้ำกากสำจากโรงงานสุรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุจินต์ พนาปวุฒิกุล และคณะ. 2525. รายงานผลการศึกษางานบำบัดน้ำกากสำโดยวิธีเทคโนโลยีเหมาะสม. บริษัททิม คอนซัลแทนส์ จำกัด.
- สุจินต์ พนาปวุฒิกุล. 2527. การใช้กากสำจากโรงงานสุราในการผลิตไบโอแก๊สและทำปุ๋ยอินทรีย์. จุลสารสภาวะแวดล้อม 3: 1-4 .
- สุจินต์ พนาปวุฒิกุล และคณะ. 2528. ผลงานวิจัยการกำจัดน้ำกากสำจากโรงงานสุราโดยใช้วิธีเทคโนโลยีที่เหมาะสม. วิศวกรรมสาร 38: 93-98.
- สุรณ ชนพิทักษ์. 2545. การกำจัดฟอสเฟตโดยใช้ตะกอนสารส้ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- สุนันท์ พูลชนกกิจ. 2547. การบำบัดน้ำกากส่าของโรงงานสุรา องค์การสุรา โดยกระบวนการยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุเมธ ศิริรินทร์ และคณะ. 2530. การใช้น้ำสำและปุ๋ยไบโอเป็นปุ๋ยอินทรีย์. เชียงใหม่: สำนักวิจัยและกรมส่งเสริมวิชาการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้.
- อะเคือ บุญญศิริ. 2536. การบำบัดน้ำกากส่าโดยกระบวนการยูเอเอสบีที่อุณหภูมิสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อานนท์ คุชฎีพรณ์. 2537. การขจัดสารอินทรีย์และสีของน้ำกากส่าโดยกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนและแบบเคมีไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อำนาจ ฐิตศิริวิริยะ. 2546. การกำจัดสีน้ำกากส่าระหว่างการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับแกลบเผา หรือ ซิลิกา อะลูมินา หรือ เถ้าลอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เอิบ เขียวรัตน์. 2542. การสำรวจดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

ภาษาอังกฤษ

- Alfajara, C. G., Migo, V. P., Amarante, J. A., Dallo, R. F. and Matsumura, M. 2000. Ozone treatment of distillery slop waste. Water Science and Technology 42: 193-198.
- Amirtharajah, A. and Mill, K. M. 1982. Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. Journal AWWA 74: 210-216.
- Amirtharajah, A. and O'Melia, C.R. 1999. Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 5thed. New york: McGraw-Hill.
- APHA, AWWA and WEF. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th edition. Washinton DC: APHA Publication office.
- AWWA. 1971. Water quality and treatment. 3rd edition. New York: McGraw-Hill.
- Badawy, M. I. and Ali, M. E. M. 2006. Fenton's peroxidation and coagulation proceses for treatment of combined industrial and domestic wastewater. Journal of Hazardous Materials B136: 961-966.
- Chu, W. 1999. Lead metal removal by recycled alum sludge. Water Research 33: 3019-3025.

- Chu, W. 2001. Dye removal from textile dye wastewater using recycled alum sludge. Water Research 35: 3147-3152.
- Eckenfelder, W. W. 2000. Industrial water pollution control. 3rd edition. New York: McGraw-Hill.
- Elliott, H. A., Dempsey, B. A. and Maille, P. J. 1990. Content and fractionation of heavy metals in water treatment sludge. Journal of Environmental Quality 19: 330-334.
- Ginos, A., Minios, T. and Mantzavinos, D. 2006. Treatment of olive mill effluents by coagulation-flocculation-hydrogenperoxide oxidation and effect on phytotoxicity. Journal of Hazardous Materials B 133: 135-142.
- Guan, X. H., Chen, G. H. and Shang, C. 2005. Re-use of water treatment works sludge to enhance particulate pollutant removal from sewage. Water Research 39: 3433-3440.
- Hammer, M. J. 1996. Water and wastewater technology. 3rd edition. New Jersey: Prentice-Hall International.
- Hayase, S., Kim, S. B. and Kato, H. 1984. Decolorization and degradation of the melanoidins by hydrogenperoxide. Agriculture Biological Chemistry 48: 2711-2777.
- Joo, D. J., Shin, W. S., Choi, J. H., Choi, S. J., Kim, M. C., Han, M. H., Ha, T. W. and Kim, Y. H. 2007. Decolorization of reactive dyes using inorganic coagulants and synthetic polymer. Dyes and Pigment 73: 59-64.
- Jorgensen, S. E. 1979. Industrial wastewater management. New York: Elsevier Scientific Publishing.
- Karasashin, M. and Terzi, S. 2007. Evaluation of marble waste dust in the mixture of asphaltic concrete. Construction and Building Materials 21: 616-620.
- Kato, H. and Tsuchida, H. 1981. Estimation of melanoidin structure by pyrolysis and oxidation. Progress in Food and Nutrition Science 5: 147-156.
- Kingzett, C. T. 1880. Chem. News 41: 76.
- Kolthoff, I. M. 1920. Chem. Weekblad 17: 197.
- Kumar, V., Wati, L., Nigam, P., Banat, I. M., Yadav, B. S., Singh, D. and Marchant, R. 1998. Decolorization and biodegradation of anaerobically digested sugarcane molasses spent wash effluent from biomethanation plants by white-rot fungi. Process Biochemistry 33: 83-88.
- Kuo, W. G. 1992. Decolorizing dye wastewater with fenton'reagent. Water Research 26: 881-886.

- Lin, D. F., Lin, J. D. and Chen, S. H. 2006. The application of baghouse fines in Taiwan. Resources, Conservation and Recycling 46: 281-301.
- Luna, Y., Otal, E., Vilches, L.F., Vale, J., Querol, X. and Pereira, C.F. 2007. Use of zeolitised coal fly ash for landfill leachate treatment: A pilot plant study. Waste Management 27: 1877-1883.
- Marco, A., Esplugas, S. and Saum, G. 1997. How and why combine chemical and biological processes for wastewater treatment. Water Science and Technology 35: 321-327.
- Marechal, A. M., Slokar Y. M. and Taufer T. 1997. Decoloration of chlorotriazine reactive azo dyes with H₂O₂/U.V. Dye and Pigment 33: 281-298.
- National Energy Policy Office. 2000. Thailand Biomass-Based Power Generation and Cogeneration Within Small Rural Industries. Bangkok: NEPF. (Mimeographed)
- Paje, M.L.F., Matsumura, M. and Kataoka, H. 1991. Microbial decolorization of molasses wastewater. Annual Report of IC Biotechnology 13: 323-330.
- Pena, M., Coca, M., Gonzalez, R., Rioja, R. and Garcia, M. T. 2003. Chemical oxidation of wastewater from molasses fermentation with ozone. Chemosphere 51: 893-900.
- Pikaev, A. K., Ponomarev, A.V., Bludenko, A. V., Minin, V. N. and Elizar'eva, L. M. 2001. Combined electron-beam and coagulation purification of molasses distillery slops. Features of the method, technical and economic evaluation of large-scale facility. Radiation Physics and Chemistry 61: 81-87.
- Ramirez, J. H., Costa, C. A. and Madeira, L. M. 2005. Experimental design to optimize the degradation of the synthetic dye orange II using fenton's reagent. Catalysis Today 107-108: 68-76.
- Rodriguez, M. 2003. Fenton and UV-vis based advanced oxidation process in wastewater treatment: degradation, mineralization and biodegradability enhancement. Barcelona: University de Barcelona.
- Samuel, D.F and Osman, M.A. 1983. Chemistry of water treatment. Michigan: An Ann Arbor Science Book.
- Sapers, G. M. 1993. Browning of foods: Control by sulfites, antioxidants and other means. Food Technology 47: 75-84.
- Shriver, D. F. and Atkins, P. W. 1999. Inorganic chemistry. 3rd edition. Belgium: Snoeck-Ducaju & Zoon Nv.Ghent.

- Srivastava, V. C., Mall, I. D. and Mishra, I. M. 2005. Treatment of pulp and paper mill wastewaters with polyaluminium chloride and bagasses fly ash. Colloid and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 260: 17-28.
- Stumm, W. and Morgan, J.J. 1981. Aquatic chemistry. 2nded. New York: John Wiley and Sons.
- Sujana, M. G., Thakur, R. S. and Rao, S. B. 1998. Removal of fluoride from aqueous solution by using alum sludge. Journal of Colloid and Interface Science 206: 94-101.
- Suntud Sirianuntapiboon and Siwalee Prongtong. 2000. Removal of color substances in molasses wastewater by combined biological and chemical process. Thammasat International Journal of Sciences and Technology 5: 14-23.
- Talinli, I. and Anderson, G. K. 1992. Interference of hydrogen peroxide on the standard COD test. Water Research 26: 107-110.
- Underkofler, L.A. and Hickkley, J. 1954. Alcohol fermentation of molasses. Industrial Fermentation. New York: Chemical publishing.
- USEPA. 1991. Treatment technologies. 2nded. Government Institute.
- Veronica, P. M., Matsumura, M., Ernesto, J. D.R. and Kataoka, H. 1993. Decolorization of molasses wastewater using an inorganic flocculant. Journal of Fermentation and Biogineering 75: 438-442.
- Vimal, C. S., Indra, D. M. and Indra, M. M. 2005. Treatment of plup and paper mill wastewaters with polyaluminium chloride and bagasse fly ash. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 260: 17-28.
- Vogel, A. I. 1989. Vogel's textbook of quantitative chemical analysis. 5thed. London: ELBS.
- Watanabe, Y., Sugi, R., Tanaka, Y. and Hayashida, S. 1982. Enzymation of melanoidin by *Coriolus* sp. No. 20. Agriculture Biological Chemistry 46: 1623-1630.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์สี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สี (color)

สีในน้ำอาจเป็นผลมาจากไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก แมงกานีส เป็นต้น ซากพืชซากสัตว์ และของเสียในโรงงานอุตสาหกรรม ในการนำน้ำไปใช้ทั้งในระดับอุตสาหกรรมและการผลิตน้ำประปานั้นต้องเป็นน้ำที่มีสีไม่เป็นที่พึงรังเกียจ ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต้องกำจัดสีให้ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ของระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมด้วย ตามมาตรฐานของการบำบัดน้ำเสีย ความหมายของสีจะเป็นความหมายเดียวกับ color หรือ true color ซึ่งหมายถึงสีของน้ำที่กำจัดความขุ่นออกไปแล้ว ขณะที่ apparent color หมายถึงสีของน้ำที่มีสารแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ ในกรณีของน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีสีพบว่า สีจะกระจายอยู่ทั่วไปในรูปของคอลลอยด์ หรือสารแขวนลอย ซึ่งกรณีนี้จะทำให้ true color ต่างจาก apparent color ชัดเจน ในการวิเคราะห์สีมีหลายวิธีให้เลือกแล้วแต่ความเหมาะสมซึ่งขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำเสีย

visual comparison method วิธีนี้เป็นการวิเคราะห์สีโดยการเปรียบเทียบสีของน้ำตัวอย่างกับสีของสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น สารละลายมาตรฐานที่ใช้คือ โพแทสเซียมคลอโรแพลททินेट วิธีนี้ควรใช้กับน้ำที่มีสีตามธรรมชาติ หรือน้ำดื่ม ไม่ควรใช้กับน้ำที่มีสีเข้ม เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

spectrophotometric method วิธีนี้เป็นการวิเคราะห์สีของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้วเพื่อหา true colour โดยใช้ spectrophotometer ในการวิเคราะห์สีที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับน้ำตัวอย่างนั้นๆ อยู่ในรูปของ %transmittance ซึ่งใช้น้ำกลั่นเป็น blank วิธีนี้สามารถใช้กับน้ำดื่ม น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และน้ำเสียจากชุมชน

tristimulus filter method วิธีนี้เป็นการวิเคราะห์สีของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้วเพื่อหา true colour โดยใช้ filter photometer ในการวิเคราะห์สี ซึ่งใช้น้ำกลั่นเป็น blank วิธีนี้สามารถใช้กับน้ำดื่ม น้ำเสียจากชุมชน และ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

ADMI tristimulus filter method (proposed) วิธีนี้เป็นการวิเคราะห์สีของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้วเพื่อหา true color โดยการวิเคราะห์สีเพื่อเปรียบเทียบสีของน้ำตัวอย่างกับสีของสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นด้วย filter photometer วิธีนี้สามารถใช้กับน้ำที่มีสีไม่แตกต่างจากสารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมคลอโรแพลททินेट และน้ำเสียที่มีสีคล้ายกับสารละลายมาตรฐาน

การวิเคราะห์สี

วิเคราะห์สีตาม standard method of water and wastewater treatment (1995) โดยวิเคราะห์น้ำเสียที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างแล้วด้วยเครื่อง spectrophotometer (Hach) ที่ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร ซึ่งวิธีการหาความยาวคลื่นเพื่อวิเคราะห์สีมีดังนี้

นำน้ำเสียตัวอย่างมาวิเคราะห์หา %transmittance ที่แต่ละความยาวคลื่นตามตารางที่ ก.1 ด้วยเครื่อง spectrophotometer ในกรณีที่ต้องการความแม่นยำมากในการหาความยาวคลื่น ต้องทำการวิเคราะห์ %transmittance ทั้งหมด 30 ลำดับ แต่ถ้าต้องการหาความยาวคลื่นที่พอใช้งานได้ สามารถวิเคราะห์ %transmittance เพียง 10 ลำดับ คือ ลำดับที่ 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26 และ 29 เมื่อวิเคราะห์ %Transmittance ของน้ำเสียตัวอย่างแล้วให้ทำตาราง %transmittance ที่สอดคล้องกับความยาวคลื่นของตารางที่ ก.1 หาผลรวมของ %transmittance ในแต่ละสดมภ์ของ X, Y และ Z จากนั้นนำผลรวมแต่ละสดมภ์คูณด้วยผลคูณที่เหมาะสม (สำหรับ 10 ลำดับ หรือ 30 ลำดับ) ดังแสดงที่ท้ายตาราง ก.1 ผลลัพธ์ที่ได้เรียกว่า tristimulus value X, tristimulus value Y และ tristimulus value Z จากนั้นคำนวณค่า trichromatic coefficient x,y จาก tristimulus value X, Y และ Z โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \qquad y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

เมื่อได้ค่า trichromatic coefficient x,y แล้วนำไปกำหนดจุด (x,y) ใน chromaticity diagrams ดังรูปที่ ก.1 เพื่อหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียตัวอย่าง นอกจากนี้สามารถหาสีจากค่าความยาวคลื่นที่ได้โดยใช้ตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.1 ลำดับของความยาวคลื่นที่ใช้หาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับน้ำตัวอย่างด้วยเครื่อง spectrophotometer

ลำดับที่	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)		
	X	Y	Z
1	424.4	465.9	414.1
2	435.5	489.5	422.2
3	443.9	500.4	426.3
4	452.1	508.7	429.4
5	461.2	515.2	432.0
6	474.0	520.6	434.3
7	531.2	525.4	436.5
8	544.3	529.8	438.6
9	552.4	533.9	440.6
10	558.7	537.7	442.5
11	564.1	541.4	444.4
12	568.9	544.9	446.3
13	573.2	548.4	448.2
14	577.4	551.8	450.1
15	581.3	555.1	452.1
16	585.0	558.5	454.0
17	588.7	561.9	455.9
18	592.4	565.3	457.9
19	596.0	568.9	459.9
20	599.6	572.5	462.0
21	603.3	576.4	464.1
22	607.0	580.4	466.3
23	610.9	584.8	468.7
24	615.0	589.6	471.4
25	619.4	594.8	474.3
26	624.2	600.8	477.7
27	629.8	607.7	481.8
28	636.6	616.1	487.2
29	645.9	627.3	495.2
30	663.0	647.4	511.2

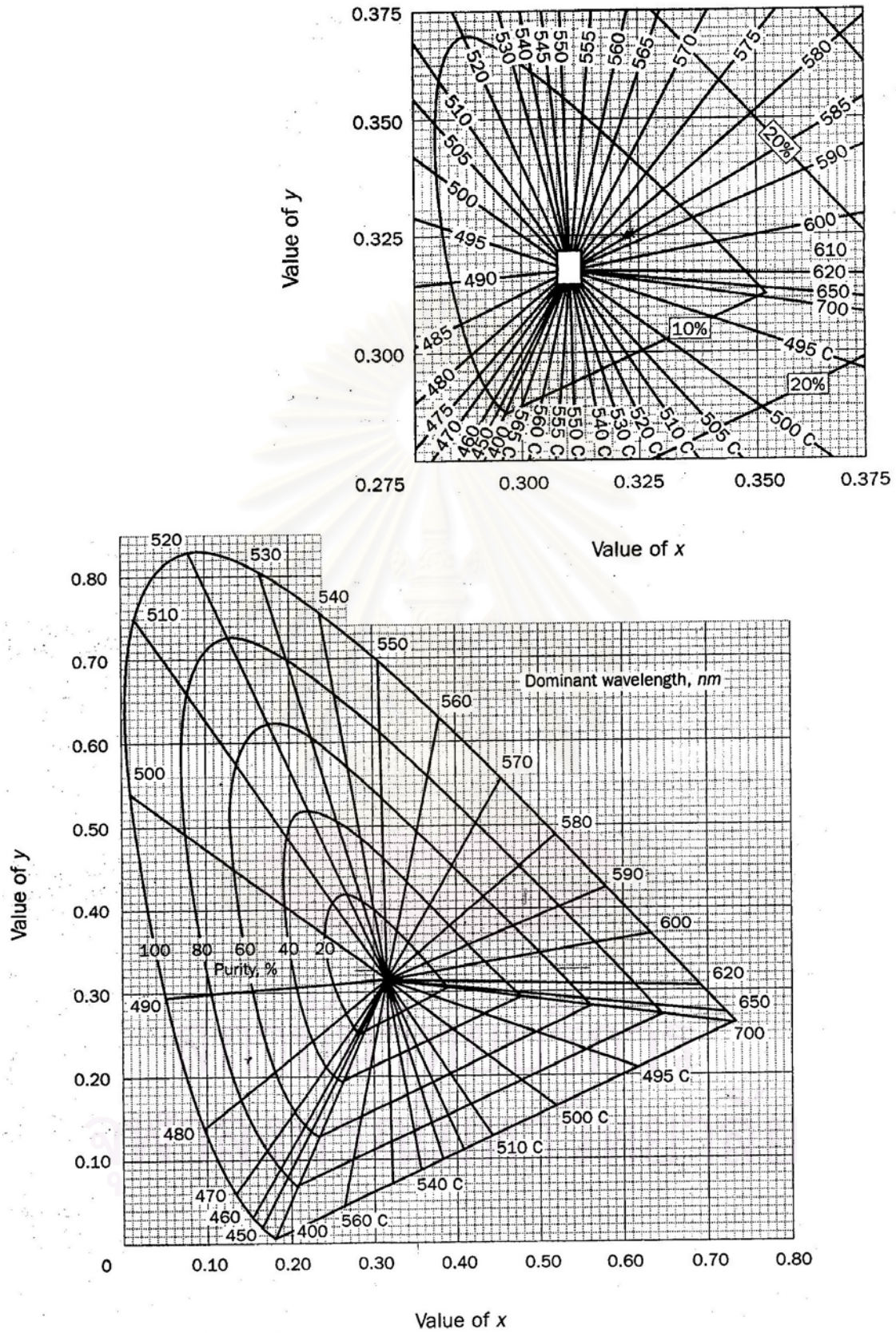
หมายเหตุ:

แฟกเตอร์	X	Y	Z
เมื่อวิเคราะห์ทั้งหมด 30 ลำดับ	0.03269	0.03333	0.03938
เมื่อวิเคราะห์ทั้งหมด 10 ลำดับ	0.09806	0.10000	0.11814

ตารางที่ ก.2 สีที่สอดคล้องกับช่วงความยาวคลื่นต่างๆ

ช่วงความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	สี
400-465	ม่วง
465-482	น้ำเงิน
482-497	น้ำเงินแกมเขียว
497-530	เขียว
530-575	เขียวแกมเหลือง
575-580	เหลือง
580-587	เหลืองแกมส้ม
587-598	ส้ม
598-620	ส้มแกมแดง
620-700	แดง

ตัวอย่างการคำนวณ ใช้น้ำกลาส์เจือจางเป็นน้ำตัวอย่างในการหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สีของน้ำกลาส์ที่ใช้ในการทดลอง โดยนำไปวิเคราะห์หา %transmittance ที่แต่ละความยาวคลื่นตามตารางที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ ก.3



รูปที่ 1.1 chromaticity diagram

ตารางที่ ก.3 %transmittance 30 ลำดับ ของน้ำกากส่าเจือจาง ณ ความยาวคลื่นตามตารางที่ ก.1

ลำดับที่	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)		
	X	Y	Z
1	10.2	26.3	7.2
2	13.8	37.9	9.0
3	17.8	42.6	10.1
4	20.9	47.2	11.2
5	24.4	50.3	11.9
6	30.5	52.5	12.6
7	57.0	54.4	13.4
8	61.9	56.2	14.1
9	64.7	57.7	15.6
10	66.5	59.2	16.7
11	67.8	60.0	17.0
12	69.5	61.5	17.5
13	70.7	62.4	18.3
14	71.3	63.6	18.8
15	72.5	64.7	19.4
16	73.1	65.7	20.5
17	74.6	66.6	21.0
18	75.1	67.2	22.0
19	76.2	68.3	22.6
20	76.5	69.4	23.7
21	77.4	69.8	24.4
22	78.6	71.3	25.0
23	78.9	71.9	26.6
24	80.1	73.3	27.5
25	81.3	74.9	29.6
26	81.5	76.0	31.1
27	82.0	77.6	33.4
28	83.0	78.8	35.8
29	84.5	80.8	38.4
30	85.6	83.5	46.7
รวม	1,907.90	1,891.60	641.10

เมื่อนำมาคำนวณได้ผลดังนี้

%Transmittance	X	Y	Z
ค่า %Transmittance รวม	1,907.90	1,891.60	641.10
แฟกเตอร์ 30 ค่า	0.03269	0.03333	0.03938
ค่า %Transmittance รวม x แฟกเตอร์	62.369251	63.047028	25.246518
X + Y + Z	150.662797		

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} = \frac{62.369251}{150.662797} = 0.41397$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} = \frac{63.047028}{150.662797} = 0.41846$$

ดังนั้น $(x,y) = (0.41397, 0.41846)$ นำไปกำหนดจุดใน chromaticity diagram ดังรูปที่ ก.1 จะได้ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม คือ 580 นาโนเมตร สอดคล้องกับ กัณฑ์มาส สุทธิเรืองวงศ์ (2538) ที่ได้ช่วงความยาวคลื่นของน้ำกาส่าเป็น 580 นาโนเมตร เช่นเดียวกัน ซึ่งตรงกับสีเหลือง ดังตารางที่ ก.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

การหาความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธี **Oxidation with Potassium Permanganate (Vogel, 1989)**

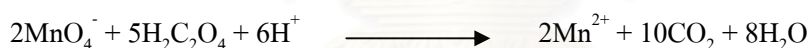
วิธีเตรียม 0.06 M KMnO₄

- ชั่ง KMnO₄ ประมาณ 9.4818 g ใส่ในบีกเกอร์ 1000 ml
- เติมน้ำกลั่น 1 L ปิดกระจกนาฬิกา และต้มประมาณ 15-30 นาที และวางทิ้งไว้ให้เย็นและนำไปกรอง เก็บใส่ขวดสีชา

วิธีหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย Permanganate (with sodium oxalate)

- ชั่ง sodium oxalate (อบแห้งที่ 105-110 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) 0.3 g ในบีกเกอร์ 600 ml
- เติมน้ำกลั่น 240 ml และ conc.sulfuric 12.5 ml (หรือ 1 M sulfuric 250 ml) ทิ้งให้เย็นและคนจน oxalate ละลายหมด
- ไทเทรตกับ 0.06 M KMnO₄ พร้อมทั้ง stirrer และให้ความร้อน 55-60 °C
- ไทเทรตจนกระทั่งเกิดสีชมพูประมาณ 30 วินาที

คำนวณจากสมการ



วิเคราะห์ปริมาณ Hydrogen peroxide

Interference: organic matter

- นำ 3 ml ของ 30% wt. Hydrogen peroxide มาใส่ขวดวัดปริมาตร 250 ml และปรับปริมาตร
- ปิเปตมา 25 ml ใส่ flask และเติมน้ำกลั่น 200 ml ตามด้วย H₂SO₄ (1:5) 20 ml
- ไทเทรตกับ 0.06 M KMnO₄ จนเป็นสีชมพู

คำนวณ

$$1 \text{ ml. N- KMnO}_4 = 0.01701\text{g. H}_2\text{O}_2$$

หรือ

$$\% \text{H}_2\text{O}_2 \text{ (wt.)} = \frac{\text{ml. KMnO}_4 \times \text{N- KMnO}_4 \times 0.01701 \times 1000}{\text{Grams of H}_2\text{O}_2 \text{ sample used}}$$

การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างด้วยวิธี **Standard Iodometric Method (Kingzett, 1880 ; Kolthoff, 1920)**

วิธีหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย **Sodium Thiosulfate**

- ชั่ง KI 2 g ใส่ใน flask ขนาด 250 ml เติมน้ำกลั่นจนถึง 100 ml
- เติม 0.025 N $K_2Cr_2O_7$ 10 ml และ H_2SO_4 (1+9) 10 ml
- ทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที
- เติมน้ำกลั่นให้ถึง 200 ml
- ไทเทรตกับ 0.025 N $Na_2S_2O_3$ จนได้สีเหลืองอ่อน หยคน้ำแป้ง 2 ml จะเป็นสีน้ำเงิน
- ไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินหายไป

คำนวณ

$$N- Na_2S_2O_3 = \frac{10 \times 0.025}{\text{ml of } Na_2S_2O_3 \text{ for standardization}}$$

วิเคราะห์ปริมาณ **Hydrogen peroxide**

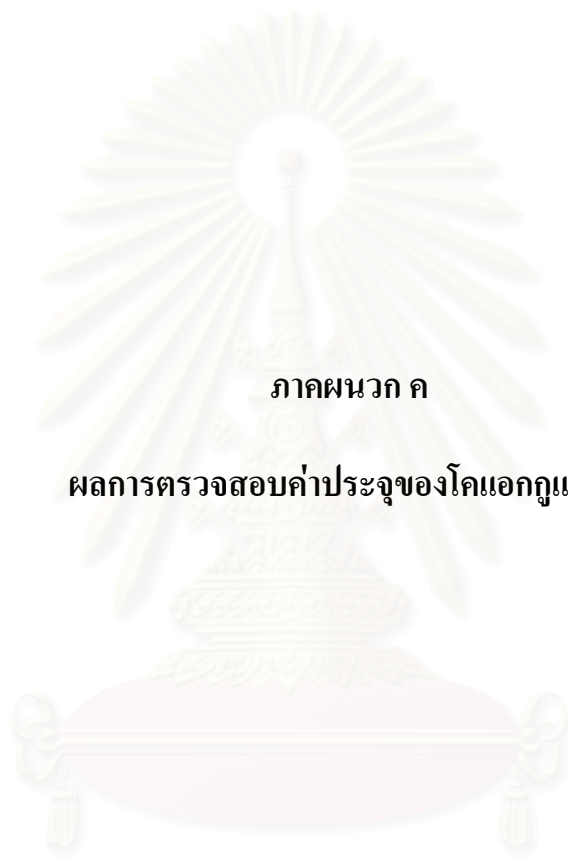
- นำตัวอย่างใส่ flask ขนาด 250 ml
- เติมน้ำกลั่นจนได้ 50 ml จากนั้นเติม H_2SO_4 (1:4) 10 ml และ 1% KI 15 ml ตามด้วยแอมโมเนียมโมลิบเดต 2 หยด
- ไทเทรตกับ 0.025 N Sodium Thiosulfate จนเป็นสีฟางข้าว
- เติมน้ำแป้ง 2 ml และทำต่อจนสีน้ำเงินหายไป
- ทำซ้ำและทำแบลนด์

คำนวณ

$$H_2O_2 \text{ (mg/l)} = \frac{(A-B) \times N- Na_2S_2O_3 \times 17.01 \times 1000}{\text{ml of } H_2O_2 \text{ sample used}}$$

หรือ

$$\% H_2O_2 \text{ (wt.)} = \frac{(A-B) \times N- Na_2S_2O_3 \times 1.7}{\text{Grams of } H_2O_2 \text{ sample used}}$$



ภาคผนวก ค

ผลการตรวจสอบค่าประจุของโคเอกซ์แพลนต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการตรวจสอบค่าประจุของโคเอกกูแลนต์

ตารางที่ ค.1 ค่าประจุของโคเอกกูแลนต์ (mV)

โคเอกกูแลนต์	Zeta potential (mV)
สารส้ม	-12.3, -13.1, -11.9, -12.0, -13.2
กากตะกอนระบบผลิตน้ำประปา	-54.4, -53.2, -52.3, -52.8, -59.7, -55.5, -59.8, -56.4, -58.1, -57.3
ปูนขาว	-21.6, -20.6, -23.3, -22.7, -21.9
ถ้ำลอยแอสฟัลท์	-61.2, -57.8, -58.5, -59.2, -62.3, -57.2, -60.9
น้ำกากส่า	-9.67, -9.63, -10.01, -9.12, -9.71

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง

ผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยสารส้มที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณ (กรัม)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตแตนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อน ตกตะกอน (มก./ล.)	หลัง ตกตะกอน (มก./ล.)		ก่อน ตกตะกอน (%)	หลัง ตกตะกอน (%)	
0	1	156,000.00	148,000.00	6.72	69.40	69.40	0.00
	2	160,000.00	152,000.00	4.20	69.40	69.40	0.00
	3	160,000.00	156,000.00	1.68	69.40	69.40	0.00
4	1	156,000.00	148,000.00	6.72	69.40	75.60	8.93
	2	160,000.00	148,000.00	6.72	69.40	75.60	8.93
	3	160,000.00	152,000.00	4.20	69.40	75.60	8.93
6	1	156,000.00	144,000.00	9.24	69.40	79.10	13.98
	2	160,000.00	152,000.00	4.20	69.40	79.20	14.12
	3	160,000.00	148,000.00	6.72	69.40	79.10	13.98
8	1	156,000.00	144,000.00	9.24	69.40	81.90	18.01
	2	160,000.00	142,000.00	10.50	69.40	82.00	18.16
	3	160,000.00	152,000.00	4.20	69.40	81.80	17.87
10	1	156,000.00	148,000.00	6.72	69.40	82.60	19.02
	2	160,000.00	152,000.00	4.20	69.40	82.60	19.02
	3	160,000.00	140,000.00	11.76	69.40	82.70	19.16
12	1	156,000.00	140,000.00	11.76	69.40	82.90	19.45
	2	160,000.00	144,000.00	9.24	69.40	83.10	19.74
	3	160,000.00	144,000.00	9.24	69.40	82.80	19.31
14	1	156,000.00	132,000.00	16.81	69.40	83.40	20.17
	2	160,000.00	136,000.00	14.29	69.40	83.30	20.03
	3	160,000.00	136,000.00	14.29	69.40	83.10	19.74
16	1	156,000.00	140,000.00	11.76	69.40	83.10	19.74
	2	160,000.00	136,000.00	14.29	69.40	83.00	19.60
	3	160,000.00	136,000.00	14.29	69.40	82.90	19.45

ตารางที่ ง.1 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยสารส้มที่ปริมาณต่างๆ (ต่อ)

ปริมาณ (กรัม)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตแตนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อน ตกตะกอน (มก./ล.)	หลัง ตกตะกอน (มก./ล.)		ก่อน ตกตะกอน (%)	หลัง ตกตะกอน (%)	
18	1	156,000.00	136,000.00	14.29	69.40	83.00	19.60
	2	160,000.00	140,000.00	11.76	69.40	83.00	19.60
	3	160,000.00	136,000.00	14.29	69.40	82.90	19.45
20	1	156,000.00	140,000.00	11.76	69.40	82.90	19.45
	2	160,000.00	144,000.00	9.24	69.40	82.80	19.31
	3	160,000.00	140,000.00	11.76	69.40	83.00	19.60

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.2 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและความเข้มข้น ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม 14 กรัม ที่พีเอชต่างๆ

พีเอช	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละการบำบัดสี (%)
		ก่อนตกตะกอน (มก./ล.)	หลังตกตะกอน (มก./ล.)		ก่อนตกตะกอน (%)	หลังตกตะกอน (%)	
ปกติ	1	147,525.00	121,275.00	17.79	69.40	82.40	18.73
	2	147,525.00	121,275.00	17.79	69.40	82.40	18.73
	3	147,525.00	121,275.00	17.79	69.40	82.40	18.73
3	1	147,525.00	121,275.00	17.79	69.40	82.80	19.31
	2	147,525.00	128,775.00	12.71	69.40	82.80	19.31
	3	147,525.00	125,025.00	15.25	69.40	82.80	19.31
4	1	147,525.00	132,525.00	10.17	69.40	82.80	19.31
	2	147,525.00	125,025.00	15.25	69.40	82.80	19.31
	3	147,525.00	125,025.00	15.25	69.40	82.80	19.31
5	1	147,525.00	121,275.00	17.79	69.40	86.10	24.06
	2	147,525.00	125,025.00	15.25	69.40	86.20	24.21
	3	147,525.00	121,275.00	17.79	69.40	86.00	23.92
6	1	147,525.00	121,275.00	17.79	69.40	86.80	25.07
	2	147,525.00	117,525.00	20.34	69.40	86.90	25.22
	3	147,525.00	117,525.00	20.34	69.40	86.90	25.22
7	1	147,525.00	113,775.00	22.88	69.40	87.60	26.22
	2	147,525.00	113,775.00	22.88	69.40	87.70	26.37
	3	147,525.00	113,775.00	22.88	69.40	87.70	26.37
8	1	147,525.00	110,025.00	25.42	69.40	87.90	26.66
	2	147,525.00	113,775.00	22.88	69.40	87.80	26.51
	3	147,525.00	113,775.00	22.88	69.40	87.90	26.66
9	1	147,525.00	121,275.00	17.79	69.40	88.60	27.67
	2	147,525.00	121,275.00	17.79	69.40	88.50	27.52
	3	147,525.00	117,525.00	20.34	69.40	88.50	27.52

ตารางที่ ง.2 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและความเข้มข้น ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม 14 กรัม ที่พีเอชต่างๆ (ต่อ)

พีเอช	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละการบำบัดสี (%)
		ก่อนตกตะกอน (มก./ล.)	หลังตกตะกอน (มก./ล.)		ก่อนตกตะกอน (%)	หลังตกตะกอน (%)	
10	1	147,525.00	121,275.00	17.79	69.40	90.30	30.12
	2	147,525.00	125,025.00	15.25	69.40	90.40	30.26
	3	147,525.00	128,775.00	12.71	69.40	90.40	30.26
11	1	147,525.00	140,025.00	5.08	69.40	63.50	-8.50
	2	147,525.00	136,275.00	7.63	69.40	63.50	-8.50
	3	147,525.00	132,525.00	10.17	69.40	63.50	-8.50
12	1	147,525.00	143,775.00	2.54	69.40	62.20	-10.37
	2	147,525.00	143,775.00	2.54	69.40	62.20	-10.37
	3	147,525.00	136,275.00	7.63	69.40	62.20	-10.37

ตารางที่ ง.3 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปาที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณ (กรัม)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อน ตกตะกอน (มก./ล.)	หลัง ตกตะกอน (มก./ล.)		ก่อน ตกตะกอน (%)	หลัง ตกตะกอน (%)	
0	1	153,504.00	145,632.00	5.13	69.40	69.40	-0.05
	2	157,440.00	145,632.00	5.13	69.40	69.40	-0.05
	3	149,568.00	149,568.00	2.56	69.50	69.50	0.10
5	1	153,504.00	145,632.00	5.13	69.40	71.10	2.40
	2	157,440.00	145,632.00	5.13	69.40	71.20	2.54
	3	149,568.00	145,632.00	5.13	69.50	71.00	2.26
10	1	153,504.00	149,568.00	2.56	69.40	71.60	3.12
	2	157,440.00	141,696.00	7.69	69.40	71.60	3.12
	3	149,568.00	141,696.00	7.69	69.50	71.70	3.26
15	1	153,504.00	147,600.00	3.85	69.40	71.60	3.12
	2	157,440.00	141,696.00	7.69	69.40	71.80	3.41
	3	149,568.00	141,696.00	7.69	69.50	71.70	3.26
20	1	153,504.00	141,696.00	7.69	69.40	72.30	4.13
	2	157,440.00	145,632.00	5.13	69.40	72.30	4.13
	3	149,568.00	139,728.00	8.97	69.50	72.10	3.84
25	1	153,504.00	141,696.00	7.69	69.40	72.50	4.42
	2	157,440.00	145,632.00	5.13	69.40	72.40	4.27
	3	149,568.00	137,760.00	10.26	69.50	72.40	4.27
30	1	153,504.00	133,824.00	12.82	69.40	72.80	4.85
	2	157,440.00	137,760.00	10.26	69.40	72.80	4.85
	3	149,568.00	133,824.00	12.82	69.50	72.70	4.70
40	1	153,504.00	129,888.00	15.38	69.40	73.70	6.14
	2	157,440.00	129,888.00	15.38	69.40	73.60	6.00
	3	149,568.00	133,824.00	12.82	69.50	73.60	6.00

ตารางที่ ง.3 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปาที่ปริมาณต่างๆ (ต่อ)

ปริมาณ (กรัม)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อน ตกตะกอน (มก./ล.)	หลัง ตกตะกอน (มก./ล.)		ก่อน ตกตะกอน (%)	หลัง ตกตะกอน (%)	
50	1	153,504.00	129,888.00	15.38	69.40	74.30	7.01
	2	157,440.00	129,888.00	15.38	69.40	74.40	7.15
	3	149,568.00	137,760.00	10.26	69.50	74.30	7.01
60	1	153,504.00	129,888.00	15.38	69.40	75.00	8.02
	2	157,440.00	129,888.00	15.38	69.40	75.10	8.16
	3	149,568.00	129,888.00	15.38	69.50	75.10	8.16
80	1	153,504.00	129,888.00	15.38	69.40	75.90	9.31
	2	157,440.00	129,888.00	15.38	69.40	76.00	9.46
	3	149,568.00	133,824.00	12.82	69.50	75.90	9.31
100	1	153,504.00	129,888.00	15.38	69.40	77.00	10.90
	2	157,440.00	122,016.00	20.51	69.40	77.00	10.90
	3	149,568.00	122,016.00	20.51	69.50	77.00	10.90
120	1	153,504.00	122,016.00	20.51	69.40	78.10	12.48
	2	157,440.00	122,016.00	20.51	69.40	78.20	12.63
	3	149,568.00	122,016.00	20.51	69.50	78.10	12.48
140	1	153,504.00	118,080.00	23.08	69.40	79.30	14.21
	2	157,440.00	118,080.00	23.08	69.40	79.30	14.21
	3	149,568.00	114,144.00	25.64	69.50	79.40	14.35
160	1	153,504.00	122,016.00	20.51	69.40	80.70	16.23
	2	157,440.00	122,016.00	20.51	69.40	80.60	16.08
	3	149,568.00	118,080.00	23.08	69.50	80.60	16.08

ตารางที่ ง.4 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและความเข้มข้น ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปา 140 กรัมที่พีเอชต่างๆ

พีเอช	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละการบำบัดสี (%)
		ก่อนตกตะกอน (มก./ล.)	หลังตกตะกอน (มก./ล.)		ก่อนตกตะกอน (%)	หลังตกตะกอน (%)	
ปกติ	1	136,000.00	104,000.00	25.00	69.50	80.20	15.40
	2	136,000.00	108,000.00	22.12	69.50	80.30	15.54
	3	144,000.00	104,000.00	25.00	69.50	80.30	15.54
3	1	136,000.00	96,000.00	30.77	69.50	85.80	23.45
	2	136,000.00	96,000.00	30.77	69.50	85.90	23.60
	3	144,000.00	96,000.00	30.77	69.50	85.80	23.45
4	1	136,000.00	108,000.00	22.12	69.50	78.80	13.38
	2	136,000.00	106,000.00	23.56	69.50	78.80	13.38
	3	144,000.00	104,000.00	25.00	69.50	78.70	13.24
5	1	136,000.00	116,000.00	16.35	69.50	69.80	0.43
	2	136,000.00	108,000.00	22.12	69.50	69.80	0.43
	3	144,000.00	108,000.00	22.12	69.50	69.80	0.43
6	1	136,000.00	112,000.00	19.23	69.50	66.00	-5.04
	2	136,000.00	116,000.00	16.35	69.50	65.90	-5.18
	3	144,000.00	116,000.00	16.35	69.50	65.90	-5.18
7	1	136,000.00	112,000.00	19.23	69.50	64.90	-6.62
	2	136,000.00	116,000.00	16.35	69.50	64.80	-6.76
	3	144,000.00	108,000.00	22.12	69.50	64.80	-6.76
8	1	136,000.00	120,000.00	13.46	69.50	64.00	-7.91
	2	136,000.00	116,000.00	16.35	69.50	63.90	-8.06
	3	144,000.00	112,000.00	19.23	69.50	64.00	-7.91
9	1	136,000.00	116,000.00	16.35	69.50	62.40	-10.22
	2	136,000.00	116,000.00	16.35	69.50	62.40	-10.22
	3	144,000.00	112,000.00	19.23	69.50	62.50	-10.07

ตารางที่ ง.4 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและความเข้มข้น ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยกากตะกอน ระบบผลิตน้ำประปา 140 กรัมที่พีเอชต่างๆ (ต่อ)

พีเอช	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละการบำบัดสี (%)
		ก่อนตกตะกอน (มก./ล.)	หลังตกตะกอน (มก./ล.)		ก่อนตกตะกอน (%)	หลังตกตะกอน (%)	
10	1	136,000.00	116,000.00	16.35	69.50	60.20	-13.38
	2	136,000.00	116,000.00	16.35	69.50	60.30	-13.24
	3	144,000.00	120,000.00	13.46	69.50	60.20	-13.38
11	1	136,000.00	124,000.00	10.58	69.50	56.60	-18.56
	2	136,000.00	120,000.00	13.46	69.50	56.60	-18.56
	3	144,000.00	112,000.00	19.23	69.50	56.70	-18.42
12	1	136,000.00	128,000.00	7.69	69.50	56.50	-18.71
	2	136,000.00	120,000.00	13.46	69.50	56.60	-18.56
	3	144,000.00	116,000.00	16.35	69.50	56.60	-18.56

ตารางที่ ง.5 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยปูนขาวที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณ (กรัม)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตแดนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อน ตกตะกอน (มก./ล.)	หลัง ตกตะกอน (มก./ล.)		ก่อน ตกตะกอน (%)	หลัง ตกตะกอน (%)	
0	1	156,000.00	148,000.00	3.48	69.40	69.40	-0.05
	2	152,000.00	148,000.00	3.48	69.40	69.40	-0.05
	3	152,000.00	148,000.00	3.48	69.50	69.50	0.10
10	1	156,000.00	92,000.00	40.00	69.40	91.50	31.78
	2	152,000.00	104,000.00	32.17	69.40	91.30	31.49
	3	152,000.00	96,000.00	37.39	69.50	91.20	31.35
20	1	156,000.00	92,000.00	40.00	69.40	93.60	34.81
	2	152,000.00	96,000.00	37.39	69.40	93.40	34.52
	3	152,000.00	96,000.00	37.39	69.50	93.50	34.66
30	1	156,000.00	90,000.00	41.30	69.40	94.60	36.25
	2	152,000.00	86,000.00	43.91	69.40	94.70	36.39
	3	152,000.00	88,000.00	42.61	69.50	94.70	36.39
40	1	156,000.00	88,000.00	42.61	69.40	95.30	37.25
	2	152,000.00	88,000.00	42.61	69.40	95.20	37.11
	3	152,000.00	94,000.00	38.70	69.50	95.30	37.25
50	1	156,000.00	88,000.00	42.61	69.40	95.70	37.83
	2	152,000.00	88,000.00	42.61	69.40	95.60	37.69
	3	152,000.00	92,000.00	40.00	69.50	95.80	37.97

ตารางที่ ง.6 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและความเข้มข้น ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยปูนขาว 30 กรัม ที่พีเอชต่างๆ

พีเอช	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละการบำบัดสี (%)
		ก่อนตกตะกอน (มก./ล.)	หลังตกตะกอน (มก./ล.)		ก่อนตกตะกอน (%)	หลังตกตะกอน (%)	
ปกติ	1	136,000.00	84,000.00	38.24	69.30	95.40	37.66
	2	136,000.00	80,000.00	41.18	69.30	95.50	37.81
	3	136,000.00	80,000.00	41.18	69.30	95.50	37.81
3	1	136,000.00	80,000.00	41.18	69.30	95.20	37.37
	2	136,000.00	80,000.00	41.18	69.30	95.10	37.23
	3	136,000.00	80,000.00	41.18	69.30	95.10	37.23
4	1	136,000.00	84,000.00	38.24	69.30	95.30	37.52
	2	136,000.00	80,000.00	41.18	69.30	95.30	37.52
	3	136,000.00	80,000.00	41.18	69.30	95.40	37.66
5	1	136,000.00	84,000.00	38.24	69.30	95.10	37.23
	2	136,000.00	84,000.00	38.24	69.30	95.00	37.09
	3	136,000.00	84,000.00	38.24	69.30	95.00	37.09
6	1	136,000.00	80,000.00	41.18	69.30	95.00	37.09
	2	136,000.00	80,000.00	41.18	69.30	95.00	37.09
	3	136,000.00	80,000.00	41.18	69.30	95.00	37.09
7	1	136,000.00	80,000.00	41.18	69.30	94.70	36.65
	2	136,000.00	84,000.00	38.24	69.30	94.80	36.80
	3	136,000.00	88,000.00	35.29	69.30	94.80	36.80
8	1	136,000.00	84,000.00	38.24	69.30	94.00	35.64
	2	136,000.00	84,000.00	38.24	69.30	93.90	35.50
	3	136,000.00	76,000.00	44.12	69.30	94.00	35.64
9	1	136,000.00	84,000.00	38.24	69.30	94.00	35.64
	2	136,000.00	84,000.00	38.24	69.30	94.00	35.64
	3	136,000.00	76,000.00	44.12	69.30	93.90	35.50

ตารางที่ ง.6 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและความเข้มข้น ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยปูนขาว 30 กรัม
ที่พีเอชต่างๆ (ต่อ)

พีเอช	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อน ตกตะกอน (มก./ล.)	หลัง ตกตะกอน (มก./ล.)		ก่อน ตกตะกอน (%)	หลัง ตกตะกอน (%)	
10	1	136,000.00	84,000.00	38.24	69.30	93.90	35.50
	2	136,000.00	84,000.00	38.24	69.30	93.90	35.50
	3	136,000.00	84,000.00	38.24	69.30	93.90	35.50
11	1	136,000.00	96,000.00	29.41	69.30	87.70	26.55
	2	136,000.00	92,000.00	32.35	69.30	87.80	26.70
	3	136,000.00	92,000.00	32.35	69.30	87.70	26.55
12	1	136,000.00	96,000.00	29.41	69.30	75.60	9.09
	2	136,000.00	96,000.00	29.41	69.30	75.60	9.09
	3	136,000.00	96,000.00	29.41	69.30	75.70	9.24

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.7 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี ในน้ำกากส่าหลังตกตะกอนด้วยเกลือยแอสฟัลท์ที่ ปริมาณต่างๆ

ปริมาณ (กรัม)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อน ตกตะกอน (มก./ล.)	หลัง ตกตะกอน (มก./ล.)		ก่อน ตกตะกอน (%)	หลัง ตกตะกอน (%)	
0	1	156,000.00	150,516.00	5.14	69.40	69.40	0.00
	2	160,000.00	152,550.00	3.86	69.40	69.40	0.00
	3	160,000.00	152,550.00	3.86	69.40	69.40	0.00
20	1	156,000.00	146,448.00	7.70	69.40	62.60	-9.80
	2	160,000.00	146,448.00	7.70	69.40	62.50	-9.94
	3	160,000.00	146,448.00	7.70	69.40	62.50	-9.94
40	1	156,000.00	150,516.00	5.14	69.40	61.50	-11.38
	2	160,000.00	142,380.00	10.26	69.40	61.70	-11.10
	3	160,000.00	154,584.00	2.57	69.40	61.70	-11.10
60	1	156,000.00	150,516.00	5.14	69.40	60.50	-12.82
	2	160,000.00	150,516.00	5.14	69.40	60.50	-12.82
	3	160,000.00	142,380.00	10.26	69.40	60.50	-12.82
80	1	156,000.00	134,244.00	15.39	69.40	59.00	-14.99
	2	160,000.00	134,244.00	15.39	69.40	58.90	-15.13
	3	160,000.00	142,380.00	10.26	69.40	59.00	-14.99
100	1	156,000.00	146,448.00	7.70	69.40	58.10	-16.28
	2	160,000.00	146,448.00	7.70	69.40	58.10	-16.28
	3	160,000.00	150,516.00	5.14	69.40	57.90	-16.57

หมายเหตุ: แสดงค่าการวิเคราะห์ซีโอดี ดังนี้

ปริมาณ (กรัม)	ปริมาณคร FAS ที่ใช้ไทเทรต (มล.)				ค่าซีโอดี (มก./ล.)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	0.85	0.825	0.825	0.83	150,516.00	152,550.00	152,550.00	151,872.00
20	0.90	0.90	0.90	0.90	146,448.00	146,448.00	146,448.00	146,448.00
40	0.85	0.95	0.80	0.85	150,516.00	142,380.00	154,584.00	149,160.00
60	0.85	0.85	0.95	0.88	150,516.00	150,516.00	142,380.00	147,804.00
80	1.05	1.05	0.95	1.02	134,244.00	134,244.00	142,380.00	136,956.00
100	0.90	0.90	0.85	0.88	146,448.00	146,448.00	150,516.00	147,804.00

ตารางที่ ง.8 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและความเข้มข้น ในน้ำากากส่าหลังตกตะกอนด้วยถ้ำลอย
แอสฟัลท์ 80 กรัม ที่พีเอชต่างๆ

พีเอช	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อน ตกตะกอน (มก./ล.)	หลัง ตกตะกอน (มก./ล.)		ก่อน ตกตะกอน (%)	หลัง ตกตะกอน (%)	
ปกติ	1	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	58.50	-15.71
	2	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	58.50	-15.71
	3	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	58.50	-15.71
3	1	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	59.60	-14.12
	2	145,572.80	121,966.40	16.22	69.40	59.60	-14.12
	3	145,572.80	127,868.00	12.16	69.40	59.70	-13.98
4	1	145,572.80	121,966.40	16.22	69.40	58.00	-16.43
	2	145,572.80	129,835.20	10.81	69.40	58.00	-16.43
	3	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	58.00	-16.43
5	1	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	57.00	-17.87
	2	145,572.80	121,966.40	16.22	69.40	57.10	-17.72
	3	145,572.80	121,966.40	16.22	69.40	57.10	-17.72
6	1	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	55.20	-20.46
	2	145,572.80	129,835.20	10.81	69.40	55.20	-20.46
	3	145,572.80	121,966.40	16.22	69.40	55.20	-20.46
7	1	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	54.10	-22.05
	2	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	54.10	-22.05
	3	145,572.80	121,966.40	16.22	69.40	54.20	-21.90
8	1	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	52.50	-24.35
	2	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	52.50	-24.35
	3	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	52.50	-24.35
9	1	145,572.80	129,835.20	10.81	69.40	52.10	-24.93
	2	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	52.00	-25.07
	3	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	52.00	-25.07

ตารางที่ ง.8 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและความเข้มข้น ในน้ำากาส่าหลังตกตะกอนด้วยถ้ำลอย
แอสฟัลท์ 80 กรัม ที่พีเอชต่างๆ (ต่อ)

พีเอช	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อน ตกตะกอน (มก./ล.)	หลัง ตกตะกอน (มก./ล.)		ก่อน ตกตะกอน (%)	หลัง ตกตะกอน (%)	
10	1	145,572.80	121,966.40	16.22	69.40	54.50	-21.47
	2	145,572.80	121,966.40	16.22	69.40	54.50	-21.47
	3	145,572.80	121,966.40	16.22	69.40	54.60	-21.33
11	1	145,572.80	121,966.40	16.22	69.40	61.00	-12.10
	2	145,572.80	121,966.40	16.22	69.40	60.90	-12.25
	3	145,572.80	121,966.40	16.22	69.40	60.90	-12.25
12	1	145,572.80	129,835.20	10.81	69.40	63.70	-8.21
	2	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	63.90	-7.93
	3	145,572.80	125,900.80	13.51	69.40	63.90	-7.93

ตารางที่ 9.9 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ใน น้ำากาล้ำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้ม

ความเข้มข้น H ₂ O ₂ (ก./ล.)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตแตนซ์		ร้อยละ การ บำบัดสี (%)
		ก่อน ออกซิเดชัน (มก./ล.)	หลัง ออกซิเดชัน (มก./ล.)		ก่อน ออกซิเดชัน (%)	หลัง ออกซิเดชัน (%)	
10	1	114,957.60	94,789.60	17.54	87.10	89.10	2.22
	2	114,957.60	98,823.20	14.04	87.20	89.10	2.22
	3	114,957.60	96,806.40	15.79	87.20	89.00	2.10
30	1	114,957.60	90,756.00	21.05	87.10	89.70	2.91
	2	114,957.60	94,789.60	17.54	87.20	89.60	2.79
	3	114,957.60	92,772.80	19.30	87.20	89.70	2.91
50	1	114,957.60	90,756.00	21.05	87.10	90.10	3.37
	2	114,957.60	86,722.40	24.56	87.20	90.10	3.37
	3	114,957.60	88,739.20	22.81	87.20	90.20	3.48
100	1	114,957.60	82,688.80	28.07	87.10	95.20	9.22
	2	114,957.60	82,688.80	28.07	87.20	95.10	9.10
	3	114,957.60	82,688.80	28.07	87.20	95.20	9.22
150	1	114,957.60	68,571.20	40.35	87.10	97.00	11.28
	2	114,957.60	66,554.40	42.11	87.20	97.00	11.28
	3	114,957.60	66,554.40	42.11	87.20	97.00	11.28
200	1	114,957.60	70,588.00	38.60	87.10	98.10	12.54
	2	114,957.60	70,588.00	38.60	87.20	98.10	12.54
	3	114,957.60	70,588.00	38.60	87.20	98.10	12.54

ตารางที่ ง.10 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำากาสำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้มที่พีเอชต่างๆ

พีเอช	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตแดนซ์		ร้อยละการบำบัดสี (%)
		ก่อนออกซิเดชัน (มก./ล.)	หลังออกซิเดชัน (มก./ล.)		ก่อนออกซิเดชัน (%)	หลังออกซิเดชัน (%)	
ปกติ	1	117,894.00	74,104.80	35.92	87.90	97.60	11.04
	2	114,525.60	70,736.40	38.83	87.90	97.70	11.15
	3	114,525.60	72,420.60	37.38	87.90	97.70	11.15
3	1	117,894.00	74,104.80	35.92	87.90	96.80	10.13
	2	114,525.60	74,104.80	35.92	87.90	96.80	10.13
	3	114,525.60	74,104.80	35.92	87.90	96.80	10.13
4	1	117,894.00	77,473.20	33.01	87.90	97.30	10.69
	2	114,525.60	70,736.40	38.83	87.90	97.30	10.69
	3	114,525.60	74,104.80	35.92	87.90	97.30	10.69
5	1	117,894.00	87,578.40	24.27	87.90	98.00	11.49
	2	114,525.60	95,999.40	16.99	87.90	97.90	11.38
	3	114,525.60	91,788.90	20.63	87.90	97.80	11.26
6	1	117,894.00	94,315.20	18.45	87.90	97.50	10.92
	2	114,525.60	101,052.00	12.62	87.90	97.50	10.92
	3	114,525.60	97,683.60	15.53	87.90	97.40	10.81
7	1	117,894.00	90,946.80	21.36	87.90	97.80	11.26
	2	114,525.60	90,946.80	21.36	87.90	97.90	11.38
	3	114,525.60	90,946.80	21.36	87.90	97.80	11.26
8	1	117,894.00	87,578.40	24.27	87.90	97.90	11.38
	2	114,525.60	84,210.00	27.18	87.90	98.00	11.49
	3	114,525.60	85,894.20	25.73	87.90	98.10	11.60
9	1	117,894.00	94,315.20	18.45	87.90	97.90	11.38
	2	114,525.60	85,894.20	25.73	87.90	98.00	11.49
	3	114,525.60	90,104.70	22.09	87.90	97.90	11.38

ตารางที่ ง.10 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำากสาที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้มที่พีเอชต่างๆ (ต่อ)

พีเอช	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตแดนซ์		ร้อยละการบำบัดสี (%)
		ก่อนออกซิเดชัน (มก./ล.)	หลังออกซิเดชัน (มก./ล.)		ก่อนออกซิเดชัน (%)	หลังออกซิเดชัน (%)	
10	1	117,894.00	94,315.20	18.45	87.90	97.90	11.38
	2	114,525.60	90,946.80	21.36	87.90	97.80	11.26
	3	114,525.60	92,631.00	19.90	87.90	97.80	11.26
11	1	117,894.00	87,578.40	24.27	87.90	97.60	11.04
	2	114,525.60	87,578.40	24.27	87.90	97.50	10.92
	3	114,525.60	87,578.40	24.27	87.90	97.50	10.92
12	1	117,894.00	84,210.00	27.18	87.90	97.60	11.04
	2	114,525.60	89,262.60	22.82	87.90	97.60	11.04
	3	114,525.60	86,736.30	25.00	87.90	97.50	10.92

ตารางที่ ง.11 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ใน น้ำากาส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้ม

ความ เข้มข้น H ₂ O ₂ (ก./ล.)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตแดนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อน ออกซิเดชัน (มก./ล.)	หลัง ออกซิเดชัน (มก./ล.)		ก่อน ออกซิเดชัน (%)	หลัง ออกซิเดชัน (%)	
100	1	117,966.20	81,356.00	31.03	87.80	95.30	8.54
	2	117,966.20	81,356.00	31.03	87.80	95.10	8.31
	3	117,966.20	81,356.00	31.03	87.80	95.20	8.43
125	1	117,966.20	77,288.20	34.48	87.80	96.20	9.57
	2	117,966.20	83,389.90	29.31	87.80	96.20	9.57
	3	117,966.20	80,339.05	31.90	87.80	96.50	9.91
150	1	117,966.20	71,186.50	39.66	87.80	96.90	10.36
	2	117,966.20	77,288.20	34.48	87.80	97.00	10.48
	3	117,966.20	74,237.35	37.07	87.80	96.80	10.25
175	1	117,966.20	69,152.60	41.38	87.80	97.90	11.50
	2	117,966.20	77,288.20	34.48	87.80	97.80	11.39
	3	117,966.20	73,220.40	37.93	87.80	97.90	11.50
200	1	117,966.20	69,152.60	41.38	87.80	98.30	11.96
	2	117,966.20	67,118.70	43.10	87.80	98.30	11.96
	3	117,966.20	68,135.65	42.24	87.80	98.20	11.85
225	1	117,966.20	77,288.20	34.48	87.80	98.40	12.07
	2	117,966.20	81,356.00	31.03	87.80	98.40	12.07
	3	117,966.20	79,322.10	32.76	87.80	98.40	12.07

ตารางที่ ง.12 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ใน น้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปา

ความเข้มข้น H ₂ O ₂ (ก./ล.)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตแดนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อน ออกซิเดชัน (มก./ล.)	หลัง ออกซิเดชัน (มก./ล.)		ก่อน ออกซิเดชัน (%)	หลัง ออกซิเดชัน (%)	
25	1	102,859.20	83,811.20	18.52	86.30	89.60	3.90
	2	102,859.20	83,811.20	18.52	86.20	89.60	3.90
	3	102,859.20	83,811.20	18.52	86.20	89.50	3.79
100	1	102,859.20	72,382.40	29.63	86.30	94.60	9.70
	2	102,859.20	72,382.40	29.63	86.20	94.60	9.70
	3	102,859.20	72,382.40	29.63	86.20	94.50	9.59
175	1	102,859.20	60,953.60	40.74	86.30	96.80	12.25
	2	102,859.20	64,763.20	37.04	86.20	96.70	12.14
	3	102,859.20	60,953.60	40.74	86.20	96.60	12.02
250	1	102,859.20	49,524.80	51.85	86.30	98.80	14.57
	2	102,859.20	49,524.80	51.85	86.20	98.80	14.57
	3	102,859.20	53,334.40	48.15	86.20	98.90	14.69
300	1	102,859.20	63,414.65	38.35	86.30	99.10	14.92
	2	102,859.20	67,317.09	34.55	86.20	99.10	14.92
	3	102,859.20	65,365.87	36.45	86.20	99.20	15.04

ตารางที่ ง.13 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปาที่พีเอชต่างๆ

พีเอช	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตแตนซ์		ร้อยละการบำบัดสี (%)
		ก่อนออกซิเดชัน (มก./ล.)	หลังออกซิเดชัน (มก./ล.)		ก่อนออกซิเดชัน (%)	หลังออกซิเดชัน (%)	
ปกติ	1	105,108.00	49,050.40	53.33	86.20	98.40	14.15
	2	105,108.00	50,802.20	51.67	86.20	98.30	14.04
	3	105,108.00	56,057.60	46.67	86.20	98.30	14.04
3	1	105,108.00	49,050.40	53.33	86.20	98.40	14.15
	2	105,108.00	52,554.00	50.00	86.20	98.40	14.15
	3	105,108.00	50,802.20	51.67	86.20	98.40	14.15
4	1	105,108.00	52,554.00	50.00	86.20	98.30	14.04
	2	105,108.00	52,554.00	50.00	86.20	98.30	14.04
	3	105,108.00	52,554.00	50.00	86.20	98.20	13.92
5	1	105,108.00	59,561.20	43.33	86.20	98.20	13.92
	2	105,108.00	52,554.00	50.00	86.20	98.20	13.92
	3	105,108.00	56,057.60	46.67	86.20	98.20	13.92
6	1	105,108.00	56,057.60	46.67	86.20	98.30	14.04
	2	105,108.00	56,057.60	46.67	86.20	98.30	14.04
	3	105,108.00	56,057.60	46.67	86.20	98.30	14.04
7	1	105,108.00	61,313.00	41.67	86.20	98.50	14.27
	2	105,108.00	64,816.60	38.33	86.20	98.40	14.15
	3	105,108.00	63,064.80	40.00	86.20	98.30	14.04
8	1	105,108.00	70,072.00	33.33	86.20	98.00	13.69
	2	105,108.00	70,072.00	33.33	86.20	97.90	13.57
	3	105,108.00	70,072.00	33.33	86.20	97.80	13.46
9	1	105,108.00	77,079.20	26.67	86.20	96.90	12.41
	2	105,108.00	73,575.60	30.00	86.20	96.70	12.18
	3	105,108.00	75,327.40	28.33	86.20	96.70	12.18

ตารางที่ ง.13 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำากาสำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปาที่พีเอชต่างๆ (ต่อ)

พีเอช	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละการบำบัดสี (%)
		ก่อนออกซิเดชัน (มก./ล.)	หลังออกซิเดชัน (มก./ล.)		ก่อนออกซิเดชัน (%)	หลังออกซิเดชัน (%)	
10	1	105,108.00	73,575.60	30.00	86.20	95.90	11.25
	2	105,108.00	80,582.80	23.33	86.20	96.00	11.37
	3	105,108.00	77,079.20	26.67	86.20	96.00	11.37
11	1	105,108.00	77,079.20	26.67	86.20	96.10	11.48
	2	105,108.00	77,079.20	26.67	86.20	96.00	11.37
	3	105,108.00	77,079.20	26.67	86.20	96.00	11.37
12	1	105,108.00	77,079.20	26.67	86.20	96.70	12.18
	2	105,108.00	77,079.20	26.67	86.20	96.80	12.30
	3	105,108.00	77,079.20	26.67	86.20	96.90	12.41

ตารางที่ ง.14 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ใน น้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนระบบผลิตน้ำประปา

ความเข้มข้น H ₂ O ₂ (ก./ล.)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตแดนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อน ออกซิเดชัน (มก./ล.)	หลัง ออกซิเดชัน (มก./ล.)		ก่อน ออกซิเดชัน (%)	หลัง ออกซิเดชัน (%)	
120	1	99,512.22	61,463.43	39.42	86.20	95.40	10.67
	2	103,414.66	65,365.87	35.58	86.20	95.10	10.32
	3	101,463.44	63,414.65	37.50	86.20	95.00	10.21
150	1	99,512.22	63,414.65	37.50	86.20	96.10	11.48
	2	103,414.66	61,463.43	39.42	86.20	96.20	11.60
	3	101,463.44	62,439.04	38.46	86.20	96.20	11.60
180	1	99,512.22	59,512.21	41.35	86.20	97.20	12.76
	2	103,414.66	58,536.60	42.31	86.20	97.20	12.76
	3	101,463.44	59,024.41	41.83	86.20	97.30	12.88
210	1	99,512.22	54,634.16	46.15	86.20	98.20	13.92
	2	103,414.66	51,707.33	49.04	86.20	98.30	14.04
	3	101,463.44	53,170.75	47.60	86.20	98.00	13.69
240	1	99,512.22	49,756.11	50.96	86.20	99.00	14.85
	2	103,414.66	47,804.89	52.88	86.20	99.00	14.85
	3	101,463.44	48,780.50	51.92	86.20	99.00	14.85
270	1	99,512.22	61,463.43	39.42	86.20	99.00	14.85
	2	103,414.66	59,512.21	41.35	86.20	99.10	14.97
	3	101,463.44	60,487.82	40.38	86.20	99.10	14.97
300	1	99,512.22	63,414.65	37.50	86.20	99.10	14.97
	2	103,414.66	67,317.09	33.65	86.20	99.10	14.97
	3	101,463.44	65,365.87	35.58	86.20	99.20	15.08
325	1	99,512.22	71,219.53	29.81	86.20	99.20	15.08
	2	103,414.66	73,170.75	27.88	86.20	99.20	15.08
	3	101,463.44	72,195.14	28.85	86.20	99.10	14.97

ตารางที่ ง.15 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ใน น้ำากาส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาว

ความเข้มข้น H ₂ O ₂ (ก./ล.)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตแดนซ์		ร้อยละการ บำบัดสี (%)
		ก่อน ออกซิเดชัน (มก./ล.)	หลัง ออกซิเดชัน (มก./ล.)		ก่อน ออกซิเดชัน (%)	หลัง ออกซิเดชัน (%)	
25	1	85,423.80	75,254.30	15.91	96.30	98.90	2.70
	2	93,559.40	75,254.30	15.91	96.30	98.90	2.70
	3	89,491.60	74,237.35	17.05	96.30	98.60	2.39
50	1	85,423.80	75,254.30	15.91	96.30	99.40	3.22
	2	93,559.40	77,288.20	13.64	96.30	99.30	3.12
	3	89,491.60	73,220.40	18.18	96.30	99.40	3.22
100	1	85,423.80	75,254.30	15.91	96.30	99.70	3.53
	2	93,559.40	77,288.20	13.64	96.30	99.70	3.53
	3	89,491.60	78,305.15	12.50	96.30	99.70	3.53
150	1	85,423.80	69,152.60	22.73	96.30	99.80	3.63
	2	93,559.40	73,220.40	18.18	96.30	99.80	3.63
	3	89,491.60	71,186.50	20.45	96.30	99.80	3.63
200	1	85,423.80	71,186.50	20.45	96.30	99.80	3.63
	2	93,559.40	69,152.60	22.73	96.30	99.80	3.63
	3	89,491.60	72,203.45	19.32	96.30	99.80	3.63
250	1	85,423.80	72,203.45	19.32	96.30	99.80	3.63
	2	93,559.40	71,186.50	20.45	96.30	99.90	3.74
	3	89,491.60	73,220.40	18.18	96.30	99.80	3.63
300	1	85,423.80	71,186.50	20.45	96.30	99.80	3.63
	2	93,559.40	68,135.65	23.86	96.30	99.90	3.74
	3	89,491.60	67,118.70	25.00	96.30	99.80	3.63
325	1	85,423.80	66,101.75	26.14	96.30	99.90	3.74
	2	93,559.40	68,135.65	23.86	96.30	99.90	3.74
	3	89,491.60	69,152.60	22.73	96.30	99.90	3.74

ตารางที่ ง.16 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำากาสำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาวที่พีเอชต่างๆ

พีเอช	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตแดนซ์		ร้อยละการบำบัดสี (%)
		ก่อนออกซิเดชัน (มก./ล.)	หลังออกซิเดชัน (มก./ล.)		ก่อนออกซิเดชัน (%)	หลังออกซิเดชัน (%)	
ปกติ	1	90,796.34	72,604.80	20.04	96.30	99.80	3.78
	2	90,796.34	72,604.80	20.04	96.10	99.80	3.78
	3	90,796.34	72,604.80	20.04	96.10	99.80	3.78
3	1	90,796.34	110,924.00	-22.17	96.30	98.40	2.32
	2	90,796.34	118,991.20	-31.05	96.10	98.30	2.22
	3	90,796.34	121,008.00	-33.27	96.10	98.30	2.22
4	1	90,796.34	123,024.80	-35.50	96.30	98.10	2.01
	2	90,796.34	114,957.60	-26.61	96.10	98.20	2.11
	3	90,796.34	121,008.00	-33.27	96.10	98.20	2.11
5	1	90,796.34	125,041.60	-37.72	96.30	98.50	2.43
	2	90,796.34	121,008.00	-33.27	96.10	98.70	2.63
	3	90,796.34	125,041.60	-37.72	96.10	98.50	2.43
6	1	90,796.34	116,974.40	-28.83	96.30	98.90	2.84
	2	90,796.34	118,991.20	-31.05	96.10	98.80	2.74
	3	90,796.34	118,991.20	-31.05	96.10	98.70	2.63
7	1	90,796.34	116,974.40	-28.83	96.30	99.10	3.05
	2	90,796.34	112,940.80	-24.39	96.10	99.20	3.15
	3	90,796.34	116,974.40	-28.83	96.10	99.20	3.15
8	1	90,796.34	121,008.00	-33.27	96.30	99.20	3.15
	2	90,796.34	112,940.80	-24.39	96.10	99.40	3.36
	3	90,796.34	112,940.80	-24.39	96.10	99.40	3.36
9	1	90,796.34	112,940.80	-24.39	96.30	99.30	3.26
	2	90,796.34	108,907.20	-19.95	96.10	99.10	3.05
	3	90,796.34	112,940.80	-24.39	96.10	99.40	3.36

ตารางที่ ง.16 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำากาสำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาวที่พีเอชต่างๆ (ต่อ)

พีเอช	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละการบำบัดสี (%)
		ก่อนออกซิเดชัน (มก./ล.)	หลังออกซิเดชัน (มก./ล.)		ก่อนออกซิเดชัน (%)	หลังออกซิเดชัน (%)	
10	1	90,796.34	100,840.00	-11.06	96.30	99.10	3.05
	2	90,796.34	98,823.20	-8.84	96.10	99.20	3.15
	3	90,796.34	100,840.00	-11.06	96.10	99.40	3.36
11	1	90,796.34	80,672.00	11.15	96.30	99.30	3.26
	2	90,796.34	81,680.40	10.04	96.10	99.40	3.36
	3	90,796.34	81,680.40	10.04	96.10	99.30	3.26
12	1	90,796.34	77,646.80	14.48	96.30	99.50	3.47
	2	90,796.34	78,655.20	13.37	96.10	99.50	3.47
	3	90,796.34	76,638.40	15.59	96.10	99.60	3.57

ตารางที่ ง.17 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ใน น้ำากาส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาว

ความ เข้มข้น H ₂ O ₂ (ก./ล.)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อน ออกซิเดชัน (มก./ล.)	หลัง ออกซิเดชัน (มก./ล.)		ก่อน ออกซิเดชัน (%)	หลัง ออกซิเดชัน (%)	
150	1	90,450.00	68,791.00	23.95	96.80	99.80	3.17
	2	90,450.00	66,791.00	26.16	96.80	99.80	3.17
	3	90,450.00	69,791.00	22.84	96.60	99.90	3.27
175	1	90,450.00	68,791.00	23.95	96.80	99.80	3.17
	2	90,450.00	68,791.00	23.95	96.80	99.70	3.07
	3	90,450.00	68,791.00	23.95	96.60	99.90	3.27
200	1	90,450.00	68,130.00	24.68	96.80	99.80	3.17
	2	90,450.00	70,130.00	22.47	96.80	99.80	3.17
	3	90,450.00	65,130.00	27.99	96.60	99.90	3.27
225	1	90,450.00	68,791.00	23.95	96.80	99.80	3.17
	2	90,450.00	68,791.00	23.95	96.80	99.80	3.17
	3	90,450.00	68,791.00	23.95	96.60	99.90	3.27
250	1	90,450.00	69,791.00	22.84	96.80	99.80	3.17
	2	90,450.00	67,791.00	25.05	96.80	99.90	3.27
	3	90,450.00	68,791.00	23.95	96.60	99.90	3.27
275	1	90,450.00	70,130.00	22.47	96.80	99.90	3.27
	2	90,450.00	65,130.00	27.99	96.80	99.90	3.27
	3	90,450.00	68,130.00	24.68	96.60	99.90	3.27
300	1	90,450.00	66,791.00	26.16	96.80	99.90	3.27
	2	90,450.00	68,791.00	23.95	96.80	99.90	3.27
	3	90,450.00	70,791.00	21.73	96.60	99.90	3.27
325	1	90,450.00	66,791.00	26.16	96.80	99.90	3.27
	2	90,450.00	70,791.00	21.73	96.80	99.90	3.27
	3	90,450.00	67,791.00	25.05	96.60	99.90	3.27

ตารางที่ ง.18 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ใน น้ำากาส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์

ความ เข้มข้น H ₂ O ₂ (ก./ล.)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อน ออกซิเดชัน (มก./ล.)	หลัง ออกซิเดชัน (มก./ล.)		ก่อน ออกซิเดชัน (%)	หลัง ออกซิเดชัน (%)	
10	1	130,904.40	111,070.40	15.15	59.40	68.20	14.69
	2	130,904.40	107,103.60	18.18	59.40	68.20	14.69
	3	130,904.40	109,087.00	16.67	59.60	68.20	14.69
30	1	130,904.40	115,037.20	12.12	59.40	72.70	22.25
	2	130,904.40	115,037.20	12.12	59.40	72.70	22.25
	3	130,904.40	115,037.20	12.12	59.60	72.60	22.09
50	1	130,904.40	107,103.60	18.18	59.40	83.90	41.09
	2	130,904.40	111,070.40	15.15	59.40	83.90	41.09
	3	130,904.40	109,087.00	16.67	59.60	83.80	40.92
100	1	130,904.40	122,970.80	6.06	59.40	89.00	49.66
	2	130,904.40	122,970.80	6.06	59.40	88.80	49.33
	3	130,904.40	122,970.80	6.06	59.60	88.90	49.50
150	1	130,904.40	126,937.60	3.03	59.40	90.40	52.02
	2	130,904.40	122,970.80	6.06	59.40	90.40	52.02
	3	130,904.40	124,954.20	4.55	59.60	90.50	52.19
200	1	130,904.40	122,970.80	6.06	59.40	91.60	54.04
	2	130,904.40	130,904.40	0.00	59.40	91.60	54.04
	3	130,904.40	126,937.60	3.03	59.60	91.40	53.70
250	1	130,904.40	138,838.00	-6.06	59.40	92.30	55.21
	2	130,904.40	138,838.00	-6.06	59.40	92.30	55.21
	3	130,904.40	138,838.00	-6.06	59.60	92.60	55.72
325	1	130,904.40	142,804.80	-9.09	59.40	93.60	57.40
	2	130,904.40	142,804.80	-9.09	59.40	93.50	57.23
	3	130,904.40	142,804.80	-9.09	59.60	93.50	57.23

ตารางที่ ง.19 ร้อยละการบำบัดซีไอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำากาสำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์ที่พีเอชต่างๆ

พีเอช	ครั้งที่	ค่าซีไอดี		ร้อยละการบำบัดซีไอดี (%)	ค่าทรานสมิตแดนซ์		ร้อยละการบำบัดสี (%)
		ก่อนออกซิเดชัน (มก./ล.)	หลังออกซิเดชัน (มก./ล.)		ก่อนออกซิเดชัน (%)	หลังออกซิเดชัน (%)	
ปกติ	1	139,698.00	109,251.00	18.67	59.00	85.80	45.34
	2	128,952.00	106,564.50	20.67	59.10	86.00	45.68
	3	134,325.00	107,460.00	20.00	59.00	85.70	45.17
3	1	139,698.00	96,714.00	28.00	59.00	89.00	50.76
	2	128,952.00	92,236.50	31.33	59.10	88.90	50.59
	3	134,325.00	92,236.50	31.33	59.00	89.10	50.93
4	1	139,698.00	102,087.00	24.00	59.00	84.40	42.97
	2	128,952.00	102,087.00	24.00	59.10	84.30	42.80
	3	134,325.00	102,087.00	24.00	59.00	84.30	42.80
5	1	139,698.00	103,878.00	22.67	59.00	84.00	42.29
	2	128,952.00	109,251.00	18.67	59.10	83.90	42.12
	3	134,325.00	106,564.50	20.67	59.00	84.00	42.29
6	1	139,698.00	107,460.00	20.00	59.00	84.90	43.82
	2	128,952.00	107,460.00	20.00	59.10	84.70	43.48
	3	134,325.00	107,460.00	20.00	59.00	84.70	43.48
7	1	139,698.00	109,251.00	18.67	59.00	87.00	47.37
	2	128,952.00	105,669.00	21.33	59.10	86.80	47.04
	3	134,325.00	107,460.00	20.00	59.00	86.90	47.20
8	1	139,698.00	107,460.00	20.00	59.00	88.90	50.59
	2	128,952.00	107,460.00	20.00	59.10	88.80	50.42
	3	134,325.00	107,460.00	20.00	59.00	88.80	50.42
9	1	139,698.00	109,251.00	18.67	59.00	89.10	50.93
	2	128,952.00	105,669.00	21.33	59.10	89.20	51.10
	3	134,325.00	109,251.00	18.67	59.00	89.20	51.10

ตารางที่ ง.19 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำากาสำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์ที่พีเอชต่างๆ (ต่อ)

พีเอช	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละการบำบัดซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตแดนซ์		ร้อยละการบำบัดสี (%)
		ก่อนออกซิเดชัน (มก./ล.)	หลังออกซิเดชัน (มก./ล.)		ก่อนออกซิเดชัน (%)	หลังออกซิเดชัน (%)	
10	1	139,698.00	103,878.00	22.67	59.00	88.60	50.08
	2	128,952.00	103,878.00	22.67	59.10	88.80	50.42
	3	134,325.00	103,878.00	22.67	59.00	88.60	50.08
11	1	139,698.00	105,669.00	21.33	59.00	86.10	45.85
	2	128,952.00	103,878.00	22.67	59.10	86.10	45.85
	3	134,325.00	104,773.50	22.00	59.00	86.00	45.68
12	1	139,698.00	94,923.00	29.33	59.00	87.70	48.56
	2	128,952.00	96,714.00	26.53	59.10	87.60	48.39
	3	134,325.00	95,818.50	28.67	59.00	87.60	48.39

ตารางที่ ง.20 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ใน น้ำากาส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์

ความ เข้มข้น H ₂ O ₂ (ก./ล.)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตแดนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อน ออกซิเดชัน (มก./ล.)	หลัง ออกซิเดชัน (มก./ล.)		ก่อน ออกซิเดชัน (%)	หลัง ออกซิเดชัน (%)	
25	1	126,829.30	91,707.34	29.85	59.40	87.40	47.39
	2	134,634.18	99,512.22	23.88	59.20	87.20	47.05
	3	130,731.74	95,609.78	26.87	59.30	87.30	47.22
50	1	126,829.30	93,658.56	28.36	59.40	89.40	50.76
	2	134,634.18	95,609.78	26.87	59.20	89.60	51.10
	3	130,731.74	95,609.78	26.87	59.30	89.60	51.10
75	1	126,829.30	95,609.78	26.87	59.40	90.90	53.29
	2	134,634.18	99,512.22	23.88	59.20	90.90	53.29
	3	130,731.74	97,561.00	25.37	59.30	90.90	53.29
100	1	126,829.30	95,609.78	26.87	59.40	92.00	55.14
	2	134,634.18	95,609.78	26.87	59.20	91.90	54.97
	3	130,731.74	95,609.78	26.87	59.30	91.70	54.64
125	1	126,829.30	99,512.22	23.88	59.40	92.20	55.48
	2	134,634.18	99,512.22	23.88	59.20	92.20	55.48
	3	130,731.74	99,512.22	23.88	59.30	92.20	55.48
150	1	126,829.30	99,512.22	23.88	59.40	92.80	56.49
	2	134,634.18	97,561.00	25.37	59.20	92.70	56.32
	3	130,731.74	97,561.00	25.37	59.30	92.60	56.16
175	1	126,829.30	103,414.66	20.90	59.40	93.70	58.01
	2	134,634.18	107,317.10	17.91	59.20	93.60	57.84
	3	130,731.74	105,365.88	19.40	59.30	93.70	58.01
200	1	126,829.30	103,414.66	20.90	59.40	93.80	58.18
	2	134,634.18	103,414.66	20.90	59.20	93.80	58.18
	3	130,731.74	103,414.66	20.90	59.30	93.80	58.18



ภาคผนวก จ

การทดสอบความแตกต่างทางสถิติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดี เมื่อใช้สารส้มปริมาณต่างๆ

Oneway

ANOVA

%COD removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	360.557	9	40.062	7.799	.000
Within Groups	102.732	20	5.137		
Total	463.289	29			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan^a

alum dosage (g)	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
0	3	4.2000				
4	3	5.8800	5.8800			
6	3	6.7200	6.7200	6.7200		
10	3	7.5600	7.5600	7.5600		
8	3	7.9800	7.9800	7.9800		
12	3		10.0800	10.0800	10.0800	
20	3			10.9200	10.9200	
16	3				13.4467	13.4467
18	3				13.4467	13.4467
14	3					15.1300
Sig.		.080	.053	.053	.109	.401

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีที่พีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารส้ม 14 กรัม

Oneway

ANOVA

%COD removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1037.488	10	103.749	25.218	.000
Within Groups	90.509	22	4.114		
Total	1127.997	32			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan^a

alum pH	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
12.00	3	4.2367					
11.00	3	7.6267					
4.00	3		13.5567				
3.00	3		15.2500	15.2500			
10.00	3		15.2500	15.2500			
5.00	3		16.9433	16.9433	16.9433		
3.92	3			17.7900	17.7900		
9.00	3			18.6400	18.6400		
6.00	3				19.4900	19.4900	
7.00	3					22.8800	22.8800
8.00	3						23.7267
Sig.		.053	.073	.078	.172	.053	.614

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดี เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา ปริมาณต่างๆ

Oneway

ANOVA

%COD removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1747.344	14	124.810	34.200	.000
Within Groups	109.483	30	3.649		
Total	1856.827	44			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan^a

sludge dosage (g)	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
0	3	4.2733			
5	3	5.1300			
10	3	5.9800			
15	3	6.4100			
20	3	7.2633			
25	3	7.6933			
30	3		11.9667		
50	3		13.6733		
40	3		14.5267		
80	3		14.5267		
60	3		15.3800		
100	3			18.8000	
120	3			20.5100	
160	3			21.3667	21.3667
140	3				23.9333
Sig.		.061	.058	.130	.110

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีที่พีเอชต่างๆ เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา 140 กรัม

Oneway

ANOVA

%COD removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	824.481	10	82.448	11.374	.000
Within Groups	159.476	22	7.249		
Total	983.957	32			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan^a

sludge pH	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
12.00	3	12.5000				
11.00	3	14.4233	14.4233			
10.00	3	15.3867	15.3867	15.3867		
8.00	3	16.3467	16.3467	16.3467		
6.00	3	17.3100	17.3100	17.3100		
9.00	3	17.3100	17.3100	17.3100		
7.00	3		19.2333	19.2333	19.2333	
5.00	3			20.1967	20.1967	
4.00	3				23.5600	
3.92	3				24.0400	
3.00	3					30.7700
Sig.		.064	.064	.064	.056	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดี เมื่อใช้ปูนขาวปริมาณต่างๆ

Oneway

ANOVA

%COD removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3430.011	5	686.002	151.127	.000
Within Groups	54.471	12	4.539		
Total	3484.481	17			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan^a

CaO dosage (g)	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
0	3	3.4800			
10	3		36.5200		
20	3		38.2600	38.2600	
40	3			41.3067	41.3067
50	3			41.7400	41.7400
30	3				42.6067
Sig.		1.000	.337	.080	.491

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีที่พีเอชต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาว 30 กรัม

Oneway

ANOVA

%COD removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	472.385	10	47.239	12.873	.000
Within Groups	80.732	22	3.670		
Total	553.118	32			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan^a

CaO pH	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
12.00	3	29.4100	
11.00	3	31.3700	
7.00	3		38.2367
5.00	3		38.2400
10.00	3		38.2400
3.92	3		40.2000
4.00	3		40.2000
8.00	3		40.2000
9.00	3		40.2000
3.00	3		41.1800
6.00	3		41.1800
Sig.		.223	.117

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดี เมื่อใช้ถ้ำลอยแอสฟัลท์ปริมาณต่างๆ

Oneway

ANOVA

%COD removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	155.014	5	31.003	5.230	.009
Within Groups	71.134	12	5.928		
Total	226.148	17			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan^a

asphalt dosage (g)	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
0	3	4.2867	
40	3	5.9900	
60	3	6.8467	
100	3	6.8467	
20	3	7.7000	
80	3		13.6800
Sig.		.143	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีที่พีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ้ำลอยแอสฟัลท์ 80 กรัม

Oneway

ANOVA

%COD removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	49.208	10	4.921	1.888	.103
Within Groups	57.330	22	2.606		
Total	106.538	32			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan^a

asphalt pH	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
9.00	3	12.6100	
12.00	3	12.6100	
3.92	3	13.5100	13.5100
8.00	3	13.5100	13.5100
4.00	3	13.5133	13.5133
6.00	3	13.5133	13.5133
3.00	3	13.9633	13.9633
7.00	3	14.4133	14.4133
5.00	3	15.3167	15.3167
10.00	3		16.2200
11.00	3		16.2200
Sig.		.089	.089

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เบื้องต้น เมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์

Oneway

ANOVA

%COD removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1639.314	5	327.863	191.824	.000
Within Groups	20.510	12	1.709		
Total	1659.825	17			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan^a

conc.H2O2	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
10	3	15.7900					
30	3		19.2967				
50	3			22.8067			
100	3				28.0700		
200	3					38.6000	
150	3						41.5233
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

ANOVA

%color removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	320.744	5	64.149	20880.24	.000
Within Groups	.037	12	.003		
Total	320.780	17			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%color removal

Duncan^a

conc.H2O2	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
10	3	2.1800					
30	3		2.8700				
50	3			3.4067			
100	3				9.1800		
150	3					11.2800	
200	3						12.5400
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีที่พีเอชต่างๆ โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
150 ก./ล. เมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์

Oneway

ANOVA

%COD removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1626.647	10	162.665	32.790	.000
Within Groups	109.136	22	4.961		
Total	1735.783	32			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan ^a							
conc.H2O2 pH	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
6.00	3	15.5333					
10.00	3		19.9033				
5.00	3		20.6300	20.6300			
7.00	3		21.3600	21.3600	21.3600		
9.00	3		22.0900	22.0900	22.0900	22.0900	
11.00	3			24.2700	24.2700	24.2700	
12.00	3				25.0000	25.0000	
8.00	3					25.7267	
3.00	3						35.9200
4.00	3						35.9200
4.13	3						37.3767
Sig.		1.000	.283	.079	.079	.079	.458

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

ANOVA

%color removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.731	10	.473	91.894	.000
Within Groups	.113	22	.005		
Total	4.844	32			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%color removal

Duncan ^a							
conc.H2O2 pH	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
3.00	3	10.1300					
4.00	3		10.6900				
6.00	3			10.8833			
11.00	3			10.9600			
12.00	3			11.0000	11.0000		
4.13	3				11.1133		
7.00	3					11.3000	
10.00	3					11.3000	
5.00	3					11.3767	11.3767
9.00	3					11.4167	11.4167
8.00	3						11.4900
Sig.		1.000	1.000	.072	.066	.080	.080

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสม เมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์

Oneway

ANOVA

%COD removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	282.862	5	56.572	11.701	.000
Within Groups	58.016	12	4.835		
Total	340.878	17			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan ^a				
conc.H2O2 optimum	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
100	3	31.0300		
125	3	31.8967		
225	3	32.7567		
150	3		37.0700	
175	3		37.9300	
200	3			42.2400
Sig.		.378	.641	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

ANOVA

%color removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	30.777	5	6.155	505.460	.000
Within Groups	.146	12	.012		
Total	30.923	17			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%color removal

Duncan ^a						
conc.H2O2 optimum	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
100	3	8.4267				
125	3		9.6833			
150	3			10.3633		
175	3				11.4633	
200	3					11.9233
225	3					12.0700
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	.130

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เบื้องต้น เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์

Oneway

ANOVA

%COD removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1700.114	4	425.029	166.852	.000
Within Groups	25.473	10	2.547		
Total	1725.588	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan ^a						
conc.H2O2	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
25	3	18.5200				
100	3		29.6300			
300	3			36.4500		
175	3				39.5067	
250	3					50.6167
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

ANOVA

%color removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	248.141	4	62.035	10038.05	.000
Within Groups	.062	10	.006		
Total	248.202	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%color removal

Duncan ^a						
conc.H2O2	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
25	3	3.8633				
100	3		9.6633			
175	3			12.1367		
250	3				14.6100	
300	3					14.9600
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีที่พีเอชต่างๆ โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 250 ก./ล. เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์

Oneway

ANOVA

%COD removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3406.255	10	340.626	87.962	.000
Within Groups	85.193	22	3.872		
Total	3491.448	32			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan ^a						
conc.H2O2 pH	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
10.00	3	26.6667				
11.00	3	26.6700				
12.00	3	26.6700				
9.00	3	28.3333				
8.00	3		33.3300			
7.00	3			40.0000		
5.00	3				46.6667	
6.00	3				46.6700	
4.00	3				50.0000	50.0000
3.73	3					50.5567
3.00	3					51.6667
Sig.		.354	1.000	1.000	.061	.338

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

ANOVA

%color removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	39.006	10	3.901	572.092	.000
Within Groups	.150	22	.007		
Total	39.156	32			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%color removal

Duncan ^a						
conc.H2O2 pH	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
10.00	3	11.3300				
11.00	3	11.4067				
9.00	3		12.2567			
12.00	3		12.2967			
8.00	3			13.5733		
5.00	3				13.9200	
4.00	3				14.0000	14.0000
6.00	3				14.0400	14.0400
3.73	3					14.0767
3.00	3					14.1500
7.00	3					14.1533
Sig.		.268	.559	1.000	.105	.052

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสม เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์

Oneway

ANOVA

%COD removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1065.953	7	152.279	90.804	.000
Within Groups	26.832	16	1.677		
Total	1092.785	23			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan ^a								
conc.H2O2 optimum	N	Subset for alpha = .05						
		1	2	3	4	5	6	7
325	3	28.8467						
300	3		35.5767					
120	3		37.5000	37.5000				
150	3			38.4600	38.4600			
270	3				40.3833	40.3833		
180	3					41.8300		
210	3						47.5967	
240	3							51.9200
Sig.		1.000	.088	.377	.088	.190	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

ANOVA

% color removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	67.506	7	9.644	690.065	.000
Within Groups	.224	16	.014		
Total	67.729	23			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% color removal

Duncan ^a						
conc.H2O2 optimum	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
120	3	10.4000				
150	3		11.5600			
180	3			12.8000		
210	3				13.8833	
240	3					14.8500
270	3					14.9300
300	3					15.0067
325	3					15.0433
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	.083

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เบื้องต้น เมื่อใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์

Oneway

ANOVA

%COD removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	273.127	7	39.018	11.690	.000
Within Groups	53.406	16	3.338		
Total	326.533	23			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan ^a						
conc.H2O2	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
100	3	14.0167				
50	3	15.9100				
25	3	16.2900	16.2900			
250	3		19.3167	19.3167		
150	3			20.4533	20.4533	
200	3			20.8333	20.8333	
300	3				23.1033	23.1033
325	3					24.2433
Sig.		.167	.059	.350	.111	.456

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

ANOVA

%color removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.139	7	.448	82.605	.000
Within Groups	.087	16	.005		
Total	3.226	23			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%color removal

Duncan ^a					
conc.H2O2	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
25	3	2.5967			
50	3		3.1867		
100	3			3.5300	
150	3			3.6300	3.6300
200	3			3.6300	3.6300
250	3			3.6667	3.6667
300	3			3.6667	3.6667
325	3				3.7400
Sig.		1.000	1.000	.056	.117

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีที่พีเอชต่างๆ โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 325 ก./ล. เมื่อใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์

Oneway

ANOVA

%COD removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12864.91	10	1286.491	132.443	.000
Within Groups	213.697	22	9.714		
Total	13078.61	32			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan ^a							
conc.H2O2 pH	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
5.00	3	-36.2367					
4.00	3	-31.7933					
6.00	3		-31.7933				
3.00	3		-30.3100				
8.00	3		-28.8300				
7.00	3		-27.3500	-27.3500			
9.00	3		-27.3500	-27.3500			
10.00	3			-22.9100			
11.00	3				-10.3200		
12.00	3					10.4100	
12.18	3					14.4800	
Sig.		.095	.130	.112	1.000	.124	20.0400
							1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

ANOVA

%color removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8.588	10	.859	89.293	.000
Within Groups	.212	22	.010		
Total	8.800	32			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%color removal

Duncan ^a								
conc.H2O2 pH	N	Subset for alpha = .05						
		1	2	3	4	5	6	7
4.00	3	2.0767						
3.00	3		2.2533					
5.00	3			2.4967				
6.00	3				2.7367			
7.00	3					3.1167		
10.00	3					3.1867		
9.00	3					3.2233		
8.00	3					3.2900		
11.00	3					3.2933		
12.00	3						3.5033	
12.18	3							3.7800
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	.059	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสม เมื่อใช้ปูนขาวเป็นโคแอกกูแลนต์

Oneway

ANOVA

%COD removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.825	7	.689	.185	.985
Within Groups	59.468	16	3.717		
Total	64.293	23			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal		
Duncan ^a		
conc.H2O2 optimum	N	Subset for alpha = .05
		1
250	3	23.9467
300	3	23.9467
175	3	23.9500
225	3	23.9500
325	3	24.3133
150	3	24.3167
275	3	25.0467
200	3	25.0467
Sig.		.543

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

ANOVA

%color removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.032	7	.005	1.551	.220
Within Groups	.047	16	.003		
Total	.078	23			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%color removal		
Duncan ^a		
conc.H2O2 optimum	N	Subset for alpha = .05
		1
175	3	3.1700
150	3	3.2033
200	3	3.2033
225	3	3.2033
250	3	3.2367
275	3	3.2700
300	3	3.2700
325	3	3.2700
Sig.		.063

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เบื้องต้น เมื่อใช้ถ้ำลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์

Oneway

ANOVA

%COD removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1941.114	7	277.302	138.076	.000
Within Groups	32.133	16	2.008		
Total	1973.247	23			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan^a

conc.H2O2	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
325	3	-9.0900					
250	3		-6.0600				
200	3			3.0300			
150	3			4.5467	4.5467		
100	3				6.0600		
30	3					12.1200	
10	3						16.6667
50	3						16.6667
Sig.		1.000	1.000	.208	.209	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

ANOVA

%color removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5516.748	7	788.107	33200.92	.000
Within Groups	.380	16	.024		
Total	5517.128	23			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%color removal

Duncan^a

conc.H2O2	N	Subset for alpha = .05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
10	3	14.6900							
30	3		22.1967						
50	3			41.0333					
100	3				49.4967				
150	3					52.0767			
200	3						53.9267		
250	3							55.3800	
325	3								57.2867
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีที่พีเอชต่างๆ โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 ก./ล. เมื่อใช้ถ้ำลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์

Oneway

ANOVA

%COD removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	397.507	10	39.751	28.277	.000
Within Groups	30.927	22	1.406		
Total	428.433	32			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal

Duncan ^a							
conc.H2O2 pH	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
9.00	3	19.5556					
6.18	3	19.7800	19.7800				
6.00	3	20.0000	20.0000				
7.00	3	20.0000	20.0000				
8.00	3	20.0000	20.0000				
5.00	3	20.6700	20.6700	20.6700			
11.00	3		22.0000	22.0000	22.0000		
10.00	3			22.6700	22.6700		
4.00	3				24.0000		
12.00	3					28.1767	
3.00	3						30.2200
Sig.		.320	.053	.062	.062	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

ANOVA

%color removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	331.005	10	33.101	1408.896	.000
Within Groups	.517	22	.023		
Total	331.522	32			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%color removal

Duncan ^a												
conc.H2O2 pH	N	Subset for alpha = .05										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5.00	3	42.2333										
4.00	3		42.8567									
6.00	3			43.5933								
6.18	3				45.3967							
11.00	3					45.7933						
7.00	3						47.2033					
12.00	3							48.4467				
10.00	3								50.1933			
8.00	3									50.4767		
3.00	3										50.7600	
9.00	3											51.0433
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสม เมื่อใช้เถ้าลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์

Oneway

ANOVA

%COD removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	178.893	7	25.556	13.758	.000
Within Groups	29.721	16	1.858		
Total	208.614	23			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%COD removal				
Duncan ^a				
conc.H2O2 optimum	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
175	3	19.4033		
200	3	20.9000		
125	3		23.8800	
150	3		24.8733	24.8733
75	3		25.3733	25.3733
25	3			26.8667
100	3			26.8700
50	3			27.3667
Sig.		.197	.221	.059

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

ANOVA

%color removal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	289.176	7	41.311	1956.319	.000
Within Groups	.338	16	.021		
Total	289.514	23			

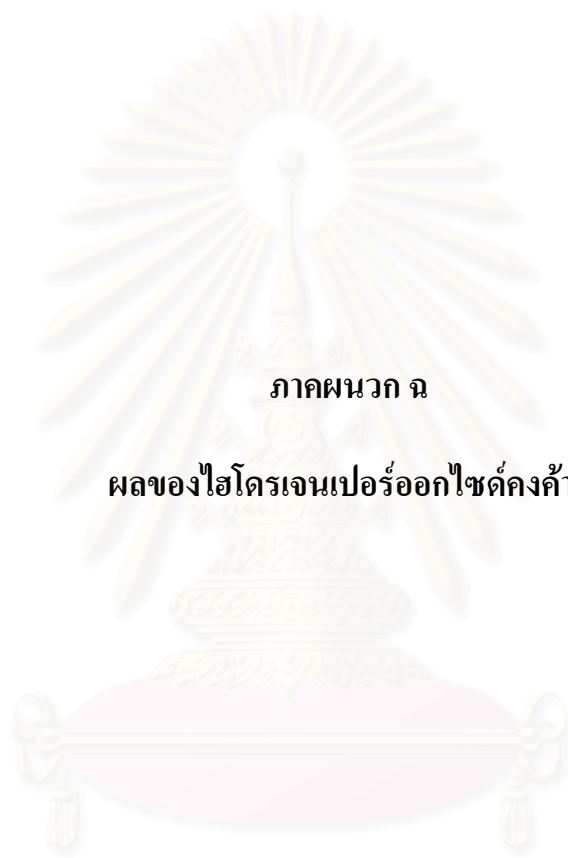
Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%color removal								
Duncan ^a								
conc.H2O2 optimum	N	Subset for alpha = .05						
		1	2	3	4	5	6	7
25	3	47.2200						
50	3		50.9867					
75	3			53.2900				
100	3				54.9167			
125	3					55.4800		
150	3						56.3233	
175	3							57.9533
200	3							58.1800
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.074

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.



ภาคผนวก ฉ

ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.1 ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงค้างต่อซีโอดีและสี เมื่อใช้สารส้มและกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์

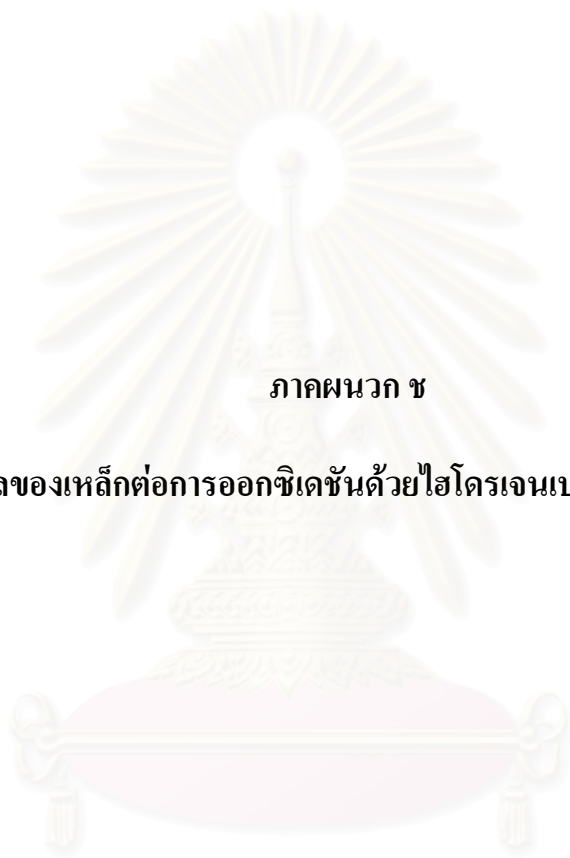
เวลา (ชั่วโมง)	สารส้ม			กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา		
	H ₂ O ₂ คงค้าง (%)	ค่าซีโอดี (มก./ล.)	ค่า ทรานสมิตแตนซ์ (%)	H ₂ O ₂ คงค้าง	ค่าซีโอดี (มก./ล.)	ค่า ทรานสมิตแตนซ์ (%)
0	2,000.00	135,737.70	84.10	2,400.00	123,934.43	81.10
3	558.72	125,901.64	93.55	538.03	102,295.08	98.60
6	503.54	120,983.61	92.60	358.69	98,360.66	98.90
9	496.64	120,983.61	93.80	248.32	78,688.52	98.90
12	490.44	122,000.00	94.70	4.14	68,000.00	97.30
15	459.40	122,033.90	95.15	4.14	61,016.95	97.20
18	455.26	122,033.90	95.45	2.07	67,118.64	96.95
21	438.70	122,033.90	96.10	2.07	65,084.75	97.35
24	418.01	116,000.00	96.35	2.07	60,000.00	97.95
27	413.87	115,880.03	96.70	1.03	58,956.51	97.85
30	395.25	109,781.08	96.95	0.52	63,022.47	97.95
33	389.04	117,913.01	97.40	0	60,989.49	98.00
36	384.90	113,898.30	97.15	0	65,084.75	97.20
42	347.65	109,830.51	97.40	0	69,152.54	97.10
48	318.68	109,830.51	97.80	0	65,084.75	97.90
54	275.22	101,694.92	97.90	0	65,084.75	97.60
60	252.46	101,694.92	98.25	0	67,118.64	96.85
66	223.49	99,661.02	98.55	0	65,084.75	96.40
72	194.52	101,694.92	98.35	0	65,084.75	97.20

หมายเหตุ: ค่าซีโอดีน้ำกากส่าสด = 169,411.20 มก./ล.

ตารางที่ ๓.2 ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คั่งค้างต่อซีโอดีและสี เมื่อใช้ปูนขาวและเถ้าลอยแอสฟัลท์เป็นโคแอกกูแลนต์

เวลา (ชั่วโมง)	ปูนขาว			เถ้าลอยแอสฟัลท์		
	H ₂ O ₂ คั่งค้าง (%)	ค่าซีโอดี (มก./ล.)	ค่า ทรานสมิตแตนซ์ (%)	H ₂ O ₂ คั่งค้าง	ค่าซีโอดี (มก./ล.)	ค่า ทรานสมิตแตนซ์ (%)
0	1,500.00	92,459.02	96.20	1,000.00	147,540.98	57.10
3	279.36	82,622.95	99.60	300.06	129,836.06	87.05
6	131.06	78,688.52	99.85	269.02	130,819.67	87.45
9	75.88	69,836.07	99.90	248.32	121,967.21	88.30
12	24.83	66,000.00	99.65	233.84	120,000.00	89.55
15	16.55	65,084.75	99.85	227.63	126,101.69	89.85
18	16.55	71,186.44	99.90	223.49	126,101.69	90.35
21	16.55	69,152.54	99.80	215.21	126,101.69	90.75
24	16.55	68,000.00	100.00	211.07	120,000.00	91.35
27	16.55	69,121.42	99.95	206.94	126,044.95	91.10
30	6.21	73,187.39	100.00	194.52	126,044.95	91.25
33	4.14	73,187.39	100.00	182.10	117,913.01	91.75
36	4.14	77,288.14	99.90	177.96	122,033.90	91.75
42	4.14	73,220.34	100.00	169.69	117,966.10	91.80
48	4.14	73,220.34	100.00	148.99	122,033.90	92.80
54	4.14	69,152.54	100.00	148.99	117,966.10	92.75
60	4.14	69,152.54	99.95	148.99	120,000.00	92.85
66	2.07	71,186.44	100.00	136.58	122,033.90	92.95
72	2.07	71,186.44	100.00	132.44	120,000.00	93.00

หมายเหตุ: ค่าซีโอดีน้ำกากส่าสด = 169,411.20 มก./ล.



ภาคผนวก ช

ผลของเหล็กต่อการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 200 ก./ล. และเฟอร์รัสซัลเฟตในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้ม

ปริมาณ (กรัม)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อนเติม เฟอร์รัส ซัลเฟต (มก./ล.)	หลังเติม เฟอร์รัส ซัลเฟต (มก./ล.)		ก่อนเติม เฟอร์รัส ซัลเฟต (มก./ล.)	หลังเติม เฟอร์รัส ซัลเฟต (มก./ล.)	
0.010	1	113,892.80	97,622.40	17.24	96.20	96.70	0.52
	2	122,028.00	105,757.60	10.34	96.20	96.80	0.62
	3	117,960.40	101,690.00	13.79	96.20	96.60	0.42
0.025	1	113,892.80	77,284.40	34.48	96.20	97.10	0.94
	2	122,028.00	77,284.40	34.48	96.20	97.10	0.94
	3	117,960.40	77,284.40	34.48	96.20	97.10	0.94
0.050	1	113,892.80	77,284.40	34.48	96.20	95.70	-0.52
	2	122,028.00	77,284.40	34.48	96.20	95.80	-0.42
	3	117,960.40	77,284.40	34.48	96.20	95.70	-0.52
0.075	1	113,892.80	73,216.80	37.93	96.20	94.70	-1.56
	2	122,028.00	73,216.80	37.93	96.20	94.70	-1.56
	3	117,960.40	73,216.80	37.93	96.20	94.70	-1.56
0.100	1	113,892.80	75,576.20	35.93	96.20	94.60	-1.66
	2	122,028.00	75,576.20	35.93	96.20	94.50	-1.77
	3	117,960.40	75,576.20	35.93	96.20	94.40	-1.87
0.250	1	113,892.80	73,533.60	37.66	96.20	90.70	-5.72
	2	122,028.00	73,533.60	37.66	96.20	90.70	-5.72
	3	117,960.40	73,533.60	37.66	96.20	90.60	-5.82
0.500	1	113,892.80	81,704.00	30.74	96.20	88.20	-8.32
	2	122,028.00	81,704.00	30.74	96.20	88.30	-8.21
	3	117,960.40	81,704.00	30.74	96.20	88.30	-8.21

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีหลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 200 ก./ล.และเฟอร์รัสซัลเฟตในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้ม

Oneway

ANOVA

% COD removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1283.977	6	213.996	125.854	.000
Within Groups	23.805	14	1.700		
Total	1307.782	20			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% COD removal

FeSO ₄	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
.010	3	13.7900			
.500	3		30.7400		
.025	3			34.4800	
.050	3			34.4800	
.100	3			35.9300	35.9300
.250	3				37.6600
.075	3				37.9300
Sig.		1.000	1.000	.217	.095

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

ANOVA

% color removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	209.548	6	34.925	7703.979	.000
Within Groups	.063	14	.005		
Total	209.612	20			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% color removal

FeSO ₄	N	Subset for alpha = .05						
		1	2	3	4	5	6	7
.500	3	-8.2467						
.250	3		-5.7533					
.100	3			-1.7667				
.075	3				-1.5600			
.050	3					-.4867		
.010	3						.5200	
.025	3							.9400
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ข.2 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 240 ก./ล. และเฟอร์รัสซัลเฟตในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา

ปริมาณ (กรัม)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อนเติม เฟอร์รัส ซัลเฟต (มก./ล.)	หลังเติม เฟอร์รัส ซัลเฟต (มก./ล.)		ก่อนเติม เฟอร์รัส ซัลเฟต (มก./ล.)	หลังเติม เฟอร์รัส ซัลเฟต (มก./ล.)	
0.010	1	65,081.60	58,980.20	7.94	98.90	98.60	-0.30
	2	63,047.80	58,980.20	7.94	98.90	98.50	-0.40
	3	64,064.70	58,980.20	7.94	98.90	98.60	-0.30
0.025	1	65,081.60	58,980.20	7.94	98.90	97.90	-1.01
	2	63,047.80	59,997.10	6.35	98.90	97.80	-1.11
	3	64,064.70	59,488.65	7.14	98.90	97.90	-1.01
0.050	1	65,081.60	58,980.20	7.94	98.90	97.60	-1.31
	2	63,047.80	56,946.40	11.11	98.90	97.50	-1.42
	3	64,064.70	57,963.30	9.52	98.90	97.60	-1.31
0.075	1	65,081.60	56,946.40	11.11	98.90	96.90	-2.02
	2	63,047.80	56,946.40	11.11	98.90	97.00	-1.92
	3	64,064.70	56,946.40	11.11	98.90	97.10	-1.82
0.100	1	65,081.60	58,980.20	7.94	98.90	96.10	-2.83
	2	63,047.80	61,014.00	4.76	98.90	96.10	-2.83
	3	64,064.70	59,997.10	6.35	98.90	96.20	-2.73
0.250	1	65,081.60	67,115.40	-4.76	98.90	92.80	-6.17
	2	63,047.80	63,047.80	1.59	98.90	92.90	-6.07
	3	64,064.70	65,081.60	-1.59	98.90	92.80	-6.17
0.500	1	65,081.60	69,149.20	-7.94	98.90	91.10	-7.89
	2	63,047.80	69,149.20	-7.94	98.90	91.10	-7.89
	3	64,064.70	69,149.20	-7.94	98.90	91.10	-7.89

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีไอดีและสีหลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 240 ก./ล.และเฟอร์รัสซัลเฟตในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา

Oneway

ANOVA

% COD removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	848.448	6	141.408	62.836	.000
Within Groups	31.506	14	2.250		
Total	879.954	20			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% COD removal

Duncan^a

FeSO4	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
.500	3	-7.9400				
.250	3		-1.5867			
.100	3			6.3500		
.025	3			7.1433	7.1433	
.010	3			7.9400	7.9400	
.050	3				9.5233	9.5233
.075	3					11.1100
Sig.		1.000	1.000	.238	.085	.216

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

ANOVA

% color removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	145.802	6	24.300	6215.665	.000
Within Groups	.055	14	.004		
Total	145.856	20			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% color removal

Duncan^a

FeSO4	N	Subset for alpha = .05						
		1	2	3	4	5	6	7
.500	3	-7.8900						
.250	3		-6.1367					
.100	3			-2.7967				
.075	3				-1.9200			
.050	3					-1.3467		
.025	3						-1.0433	
.010	3							-1.3333
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ข.3 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 150 ก./ล. และเฟอร์รัสซัลเฟตในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาว

ปริมาณ (กรัม)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อนเติม เฟอร์รัส ซัลเฟต (มก./ล.)	หลังเติม เฟอร์รัส ซัลเฟต (มก./ล.)		ก่อนเติม เฟอร์รัส ซัลเฟต (มก./ล.)	หลังเติม เฟอร์รัส ซัลเฟต (มก./ล.)	
0.010	1	67,115.40	69,149.20	-1.49	100.00	100.00	0.00
	2	69,149.20	67,115.40	1.49	100.00	100.00	0.00
	3	68,132.30	68,132.30	0.00	100.00	100.00	0.00
0.025	1	67,115.40	68,132.30	0.00	100.00	100.00	0.00
	2	69,149.20	68,132.30	0.00	100.00	100.00	0.00
	3	68,132.30	68,132.30	0.00	100.00	100.00	0.00
0.050	1	67,115.40	65,363.20	4.06	100.00	100.00	0.00
	2	69,149.20	63,320.60	7.06	100.00	100.00	0.00
	3	68,132.30	64,341.90	5.56	100.00	100.00	0.00
0.075	1	67,115.40	63,047.80	7.46	100.00	100.00	0.00
	2	69,149.20	65,081.60	4.48	100.00	100.00	0.00
	3	68,132.30	64,064.70	5.97	100.00	99.90	-0.10
0.100	1	67,115.40	65,363.20	4.06	100.00	99.90	-0.10
	2	69,149.20	62,299.30	8.56	100.00	99.90	-0.10
	3	68,132.30	63,831.25	6.31	100.00	99.90	-0.10
0.250	1	67,115.40	65,363.20	4.06	100.00	98.70	-1.30
	2	69,149.20	63,320.60	7.06	100.00	98.80	-1.20
	3	68,132.30	64,341.90	5.56	100.00	98.70	-1.30
0.500	1	67,115.40	63,320.60	7.06	100.00	95.90	-4.10
	2	69,149.20	64,341.90	5.56	100.00	95.80	-4.20
	3	68,132.30	63,831.25	6.31	100.00	96.00	-4.00

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีหลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 150 ก./ล.และเฟอร์รัสซัลเฟตในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาว

Oneway

ANOVA

% COD removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	153.008	6	25.501	12.256	.000
Within Groups	29.130	14	2.081		
Total	182.138	20			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% COD removal

Duncan^a

FeSO4	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.010	3	.0000	
.025	3	.0000	
.050	3		5.5600
.250	3		5.5600
.075	3		5.9700
.100	3		6.3100
.500	3		6.3100
Sig.		1.000	.572

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

ANOVA

% color removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	42.312	6	7.052	2961.867	.000
Within Groups	.033	14	.002		
Total	42.346	20			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% color removal

Duncan^a

FeSO4	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
.500	3	-4.1000			
.250	3		-1.2667		
.100	3			-.1000	
.075	3			-.0333	-.0333
.010	3				.0000
.025	3				.0000
.050	3				.0000
Sig.		1.000	1.000	.116	.453

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ข.4 ร้อยละการบำบัดซีโอดีและสี หลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 100 ก./ล. และเฟอร์รัสซัลเฟตในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์

ปริมาณ (กรัม)	ครั้งที่	ค่าซีโอดี		ร้อยละ การบำบัด ซีโอดี (%)	ค่าทรานสมิตเทนซ์		ร้อยละ การบำบัด สี (%)
		ก่อนเติม เฟอร์รัส ซัลเฟต (มก./ล.)	หลังเติม เฟอร์รัส ซัลเฟต (มก./ล.)		ก่อนเติม เฟอร์รัส ซัลเฟต (มก./ล.)	หลังเติม เฟอร์รัส ซัลเฟต (มก./ล.)	
0.010	1	117,960.40	107,791.40	7.83	90.50	92.00	1.66
	2	115,926.60	107,791.40	7.83	90.50	92.00	1.66
	3	116,943.50	107,791.40	7.83	90.50	92.00	1.66
0.025	1	117,960.40	101,690.00	13.04	90.50	92.60	2.32
	2	115,926.60	99,656.20	14.78	90.50	92.50	2.21
	3	116,943.50	100,673.10	13.91	90.50	92.50	2.21
0.050	1	117,960.40	93,554.80	20.00	90.50	91.40	0.99
	2	115,926.60	93,554.80	20.00	90.50	91.50	1.10
	3	116,943.50	93,554.80	20.00	90.50	91.30	0.88
0.075	1	117,960.40	91,521.00	21.74	90.50	89.00	-1.66
	2	115,926.60	93,554.80	20.00	90.50	89.10	-1.55
	3	116,943.50	92,537.90	20.87	90.50	89.20	-1.44
0.100	1	117,960.40	97,622.40	16.52	90.50	88.50	-2.21
	2	115,926.60	93,554.80	20.00	90.50	88.50	-2.21
	3	116,943.50	95,588.60	18.26	90.50	88.50	-2.21
0.250	1	117,960.40	97,622.40	16.52	90.50	83.30	-7.96
	2	115,926.60	93,554.80	20.00	90.50	83.30	-7.96
	3	116,943.50	95,588.60	18.26	90.50	83.30	-7.96
0.500	1	117,960.40	95,588.60	18.26	90.50	77.50	-14.36
	2	115,926.60	93,554.80	20.00	90.50	77.50	-14.36
	3	116,943.50	94,571.70	19.13	90.50	77.40	-14.48

ทดสอบความแตกต่างของร้อยละการบำบัดซีโอดีและสีหลังเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 100 ก./ล. และเฟอร์รัสซัลเฟตในน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยถ้ำลอยแอสฟัลท์

Oneway

ANOVA

% COD removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	375.743	6	62.624	52.651	.000
Within Groups	16.652	14	1.189		
Total	392.395	20			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% COD removal

Duncan^a

FeSO4	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
.010	3	7.8300			
.025	3		13.9100		
.100	3			18.2600	
.250	3			18.2600	
.500	3			19.1300	19.1300
.050	3			20.0000	20.0000
.075	3				20.8700
Sig.		1.000	1.000	.092	.084

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Oneway

ANOVA

% color removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	667.333	6	111.222	23568.77	.000
Within Groups	.066	14	.005		
Total	667.399	20			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% color removal

Duncan^a

FeSO4	N	Subset for alpha = .05						
		1	2	3	4	5	6	7
.500	3	-14.4000						
.250	3		-7.9600					
.100	3			-2.2100				
.075	3				-1.5500			
.050	3					.9900		
.010	3						1.6600	
.025	3							2.2467
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.



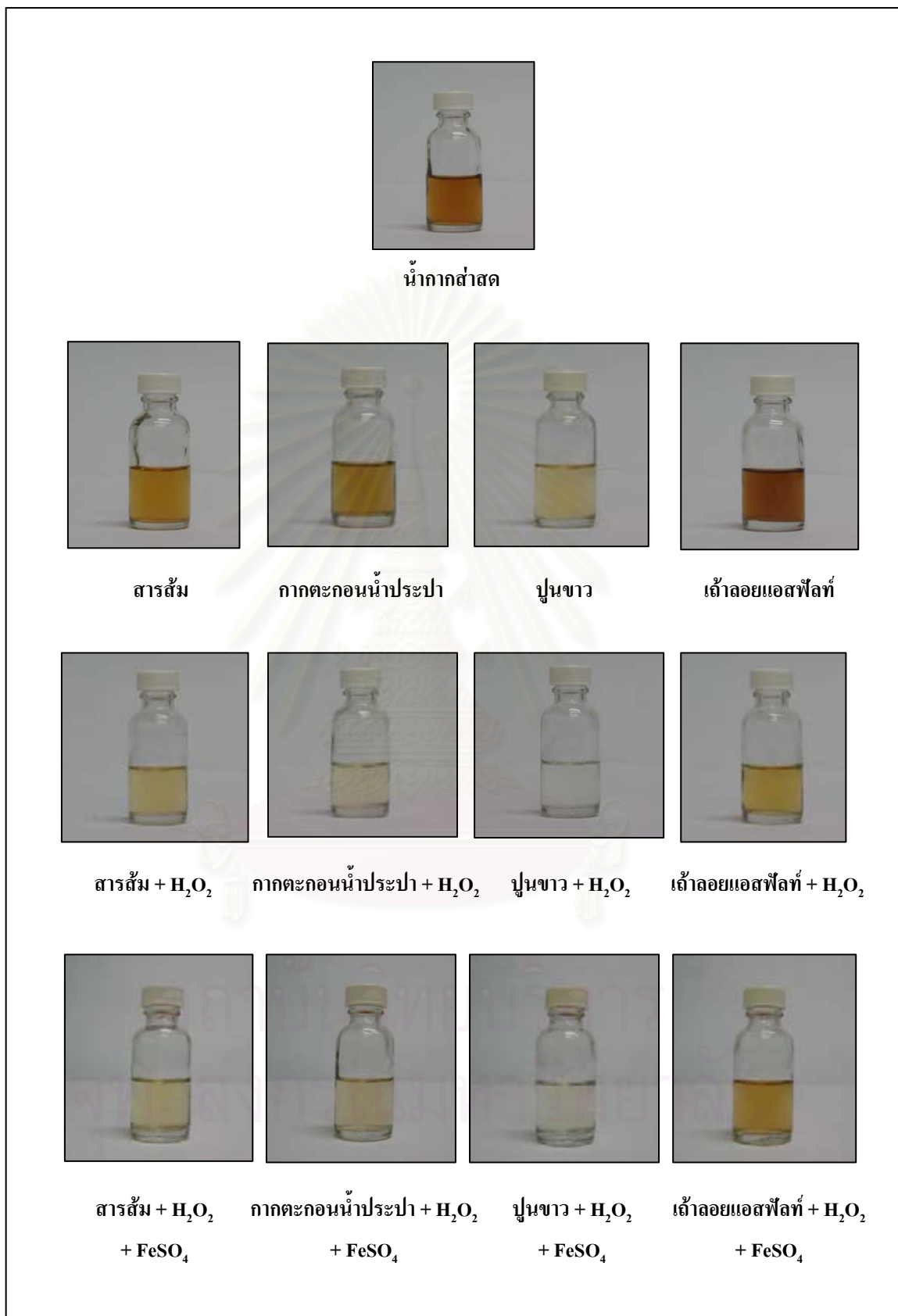
ภาคผนวก ซ

ภาพน้ำกาส้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๑.1 น้ำกากสำที่ผ่านการบำบัด



รูปที่ ๕.2 เปรียบเทียบสีน้ำกากสำสดและน้ำกากสำที่บำบัดแล้ว (ทำการเจือจาง 100 เท่า)