

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาแนวทางการนำไอโซนมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการซักผ้า



T119201

วรินทร์พ

เงินทวีคูณ

วันทนีย์

ธีระสุขะกุล

อัคเดช

ปีตะโหดร์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

119201

- 6 S.H. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

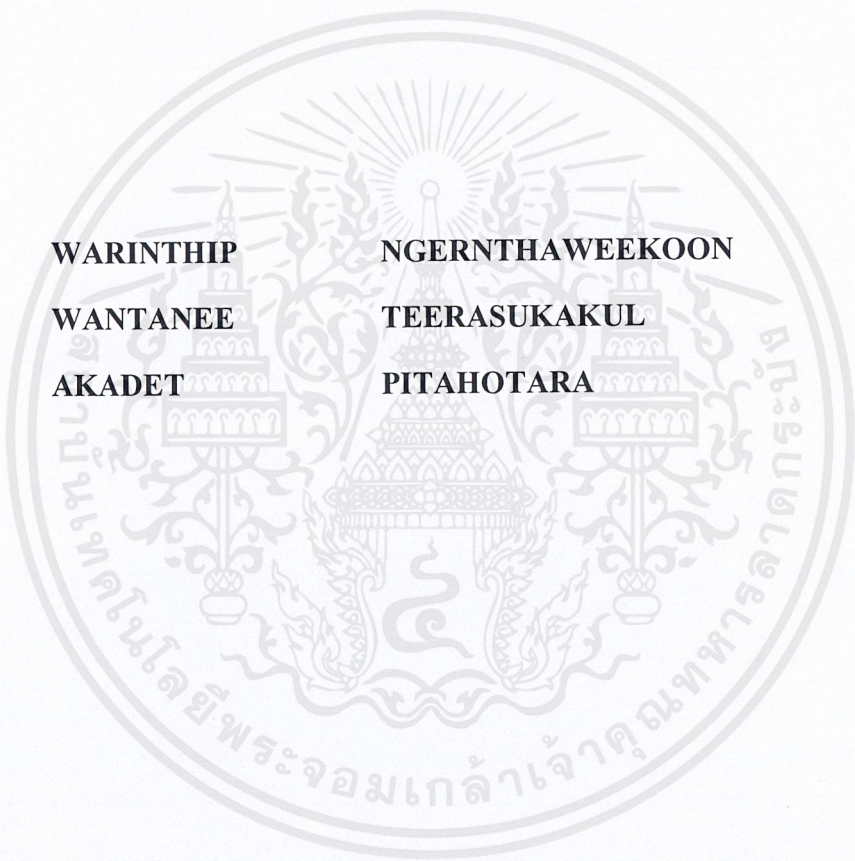
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY USING OZONE IN LAUNDRY INDUSTRY



WARINTHIP NGERNTHAWEEKOON
WANTANEE TEERASUKAKUL
AKADET PITAHOTARA

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KINGMONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2010

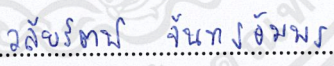
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

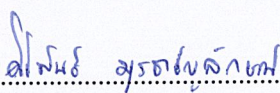
ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาแนวทางการนำไอโซนมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการชักผ้า
โดย น.ส.วรินทิพ เงินทวีคุณ
น.ส.วันทนีย์ ชีระสุขะกุล
นายอัคเดช ปิตะโฮตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.นริศรา ทองบุญชู
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ดร.นริศรา ทองบุญชู)


.....กรรมการ
(ดร.วัลย์รัตน์ จันทรัมย์พร)


.....กรรมการ
(อ.ศิริพันธ์ มุทธาชัยฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การศึกษาแนวทางการนำโอโซนมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการซักผ้า
โดย	น.ส.วรินทิพ เงินทวีคุณ น.ส.วันทนีย์ วีระสุชะกุล นายอัคเดช ปิตะโตร์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. นริศรา ทองบุญชู

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อที่จะหาแนวทางที่เหมาะสมในการใช้โอโซนในอุตสาหกรรมซักผ้า การทดลองได้แบ่งเป็นสองส่วน ในส่วนแรกได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะของโอโซนในการทำความสะอาดจุดที่เป็นอหิมักซิมตีน้ำเงินบนผ้าขนหนู ทำการทดลองโดยใช้เครื่องซักผ้าขนาดเล็ก และทำการเติมโอโซนลงในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งของการซัก(ได้แก่ การล้างก่อนการซัก การซักด้วยสารเคมี ล้างน้ำครั้งที่ 1 ล้างน้ำครั้งที่ 2 และการปรับ pH) แปรเปลี่ยนความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการซักที่ 25,50, 100 % ของการซักปกติ และ แปรเปลี่ยนเวลาในการซักเป็น 50 และ 100% ของการซักปกติ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณสารเคมี และขั้นตอนที่ใส่โอโซนมีผลต่อการทำความสะอาดของอหิมักมากกว่าเวลาในการซัก การใช้โอโซนสามารถลดปริมาณสารเคมี และเวลาในการซักได้ 50% การใช้ที่เหมาะสมคือการใช้โอโซนในขั้นตอนการซักหลัก ในส่วนที่สองทำการทดลองเพื่อประเมินผลของการโอโซน ในการลดค่า chemical oxygen demand (COD) ในน้ำทิ้ง ทำการทดลองโดยเทซีอิ้วด่างบนผ้า ทำการซัก และเติมโอโซนในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งของการซักดังเช่นขั้นตอนแรก และทำการวัดค่า COD ของน้ำทิ้งจากทุกๆขั้นตอน ผลการทดลองพบว่าการใช้โอโซนในขั้นตอนการล้างก่อนการซัก และการซักหลัก จะสามารถลด COD ได้มากกว่าขั้นตอนอื่นๆ เมื่อทำการทดลองเพิ่มเติมพบว่าการใช้โอโซนในขั้นตอนก่อนการซัก และการซักหลัก จะให้ผลในการลด COD ได้เท่ากับการใช้โอโซนในทุกๆขั้นตอน ดังนั้นวิธีการที่เหมาะสมการใช้โอโซนในการลด COD คือใช้เพียงสองขั้นตอนเท่านั้น

Report Title Study using ozone in laundry industry
By Ms. Warinthip Ngernthaweekoon
Ms. Wantanee Teerasukakul
Mr. Akadet Pitahotara
Degree Bachelor of Engineering
Program Chemical Engineering
Year 2010
Advisor Dr. Narisara Thongboonchoo

ABSTRACT

This research is aim to find a good practice of using ozone in the laundry industry. The experiment was carried out into two parts. The first part was carried out to evaluate performance of ozone on cleaning of blue fountain pen ink spot on a towel. The experiment was performed by using small laundry machine by incorporated ozone was utilized in any steps of washing cycles (i.e., prewash, main wash, rinse1, rinse2, or pH adjustment), varied chemicals dosage in main wash as 25,50, 100 % of normal practice, and varied washing time in main wash step as 50, and 100% of normal practice. The results are shown that chemical dosage and step that applied ozone are affected to the cleaning of ink spot than washing time. The using of ozone could reduce chemical usage and washing time by 50% , and the good practice is using ozone in main wash step. The second part was carried out to evaluate of ozone on reduction of chemical oxygen demand (COD) of wastewater. The dark soy source was applied to a towel, washed and applied ozone in any steps as in first part, then The COD of effluent from each washing cycle was taken. The results showed that COD reduction when applied ozone in prewash or main wash step is larger than that applied in other steps. The further investigation also found that when applied ozone on prewash and main wash, the COD reduction is as good as applied ozone in all washing steps. The appropriate practice to use ozone for COD reduction is applied in only two steps.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากการให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาของ ดร. นริศรา ทองบุญชู อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณอดิศร ไตรสินสมบุรณ์ ผู้จัดการบริษัทพีพีพี จำกัด ผู้สนับสนุนปริญญานิพนธ์ ให้คำแนะนำและความรู้เกี่ยวกับการซักผ้าในระดับอุตสาหกรรม และสารเคมีเพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล อาจารย์สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้ให้คำแนะนำ และให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้ระบบไอโซน

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ซึ่งให้กำเนิด ให้การสนับสนุนด้านการศึกษา ดูแล และเป็นกำลังใจให้เสมอมา

ขอขอบพระคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ

สุดท้ายนี้ คุณค่าและคุณประโยชน์ใดๆ จากปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับ ณ ที่นี้

นางสาววรินทิพ เงินทวีคุณ

นางสาววันทนีย์ ชีระสุขะกุล

นายอัคเดช ปิตะโหดร์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 สารซักล้าง.....	3
2.2 กลไกการทำความสะอาดของผงซักฟอก.....	5
2.3 ขั้นตอนการซักผ้าในระดับอุตสาหกรรม.....	6
2.4 การวัดคุณภาพน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมและมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง.....	7
2.5 โอโซนและการนำโอโซนมาใช้ประโยชน์.....	8
2.6 ระบบเติมก๊าซแบบเวนจูรี.....	13
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
บทที่ 3 การทดลอง.....	16
3.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	18
3.3 วิธีการทดลอง.....	19
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	23
4.1 การหาขั้นตอน ปริมาณสารเคมี และเวลาที่ใช้ในการซักผ้าที่เหมาะสมต่อ การใช้สารละลายโอโซนในการซักผ้า.....	23
4.2 ผลของสารละลายโอโซนที่มีต่อค่า COD และ ค่า pH ของน้ำเสียจากการซักผ้า.....	25
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ.....	29
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	29
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	30
เอกสารอ้างอิง.....	31
ภาคผนวก.....	33
ภาคผนวก ก ตารางการออกแบบการทดลอง ข้อมูลดิบจากการทดลอง และตารางวัดความสะอาดที่ใช้ในการทดลอง.....	34
ภาคผนวก ข รูปภาพผ้าจากการทดลอง.....	43
ภาคผนวก ค วิธีการวิเคราะห์หาค่า COD.....	62
ภาคผนวก ง มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม.....	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่า COD ของน้ำเสียที่ได้การซักผ้าเป็นคราบซีอิ๊ว.....	25
4.2 ค่า COD ของน้ำเสียที่ได้การซักผ้าเป็นคราบซีอิ๊วส่วนเพิ่มเติม.....	26
4.3 ค่า pH ของน้ำเสียที่ได้การซักผ้าเป็นคราบซีอิ๊ว	27



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว	5
2.2 เครื่องซักผ้าที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม	6
2.3 โครงสร้างการจัดเรียงตัวของไอโซน	8
2.4 โครงสร้างทั่วไปของเครื่องผลิตไอโซน และลักษณะแผ่นอิเล็กโทรดที่เลือกใช้	10
2.5 ปฏิกริยาออกซิเดชันของฟอร์เมตด้วย ไอโซน	11
2.6 ปฏิกริยาออกซิเดชันของโอเลฟินด้วย ไอโซน	11
2.7 ปฏิกริยาออกซิเดชันของเอมีนทุติยภูมิด้วย ไอโซน	12
2.8 ปฏิกริยาออกซิเดชันของแบคทีเรีย ไวรัส และ จุลินทรีย์ ด้วย ไอโซน	12
2.9 เวนเจอร์ที่ใช้ในการผสมก๊าซกับน้ำ	14
3.1 เครื่องซักผ้าขนาด 2 กิโลกรัม	17
3.2 เครื่องผลิตไอโซนยี่ห้อ Ozzon รุ่น OZ-735	17
3.3 เวนเจอร์ที่ใช้ในการเติม ไอโซนลงไปใต้น้ำ	17
3.4 เครื่องวอร์เท็กซ์ ยี่ห้อ Dragonlab รุ่น MX-F	18
3.5 ถาดวางผ้าและแผ่นพลาสติกเจาะรูเพื่อหยดน้ำหมัก	18
3.6 รูปจำลองชุดอุปกรณ์การทดลอง	19
3.7 แผนผังแสดงขั้นตอนการใช้สารละลายไอโซนในการซักผ้า	19
3.8 ผ้าเป็นนคราบน้ำหมักปากกา	20
3.9 ผ้าเป็นนคราบน้ำอ้วดำ	22
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสะอาดกับตัวแปรต่างๆ	24

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการซักผ้ามีบทบาทมากขึ้นในประเทศไทย เนื่องจากการขยายตัวของธุรกิจประเภทต่างๆ เช่น โรงพยาบาล โรงแรม โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การขยายตัวของธุรกิจโรงแรมเพราะมีนักท่องเที่ยวต่างชาติเข้ามาท่องเที่ยวในประเทศไทยเพิ่มมากขึ้น โดยข้อมูลสถิติจากกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬาพบว่าจำนวนนักท่องเที่ยวขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 6.45 ต่อปี และมีจำนวนสูงสุด 14.58 ล้านคน รวมทั้งนักท่องเที่ยวชาวไทยที่ใช้บริการโรงแรมเป็นสถานที่พัก ทำให้ปริมาณผ้าที่ต้องทำการซัก เช่น ผ้าปูที่นอน ผ้าเช็ดตัว ผ้าเช็ดหน้า ผ้าเช็ดเท้า เป็นต้น มีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของอุตสาหกรรมการซักผ้าในประเทศไทย

ในกระบวนการซักผ้าปัจจัยต่างๆ อาทิ แรงขจัดสี อุณหภูมิ สารเคมี เวลาที่ใช้ น้ำล้าง เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการซักผ้าในระดับอุตสาหกรรมและยังมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการซัก สารเคมีที่ใช้ในการซักระดับอุตสาหกรรม อาทิ สารฟอกขาว สารเสริมค่าเงา น้ำยาซักผ้า สารขจัดคราบเฉพาะจุด เช่น คราบชา คราบกาแฟ คราบไขมัน คราบสนิม เป็นต้น ส่งผลให้หลังจากการซักผ้าจะมีน้ำเสียซึ่งปนเปื้อนด้วยสารเคมีและสารแขวนลอยต่างๆ ปล่อยออกมาในปริมาณมาก จึงจำเป็นต้องทำการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดและดักที่กล่าวไว้ข้างต้นมีการขยายตัวทางธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการซักผ้า ประกอบกับพื้นที่ของโรงงานซักล้างหรือโรงพยาบาลมีอยู่อย่างจำกัด ส่งผลให้บ่อบำบัดน้ำเสียไม่สามารถรองรับน้ำเสียที่มีปริมาณมากได้เพียงพอ

บริษัท พัสภณัท แมนูแฟคเจอริ่ง จำกัด เป็นบริษัทหนึ่งในบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย พร้อมทั้งให้คำปรึกษาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ซักกรดในระดับอุตสาหกรรม มีโครงการที่จะลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการซัก โดยมีแนวคิดในการหาทางเลือกใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการซักผ้าให้ดีขึ้นหรือคงประสิทธิภาพของการซักผ้าเดิมไว้แต่ลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการซักผ้า และเนื่องจากการริเริ่มนำกระบวนการฆ่าเชื้อโรคโดยใช้โอโซนมาทดลองใช้ในอุตสาหกรรมซักผ้าโดยที่ไม่มีองค์ความรู้ว่าโอโซนจะเข้าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการซักล้างได้อย่างไรทำให้น้ำเสียที่ออกมามีคุณภาพดีขึ้นหรือไม่ และโอโซนที่จะใช้จะมีการปลดปล่อยออกมาและส่งผลกระทบต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุขภาพของผู้ปฏิบัติงานหรือไม่ โครงการพิเศษนี้จึงมีแนวคิดในการทำวิจัยเพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ไอโซนในอุตสาหกรรมซักผ้าเพื่อตอบคำถามเหล่านั้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการซักผ้าโดยประยุกต์ใช้ไอโซนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการซักผ้า
2. ศึกษาผลของไอโซนที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำเสียที่ออกมาจากการซักผ้า
3. หาแนวทางการใช้ไอโซนในอุตสาหกรรมซักผ้าอย่างเหมาะสม

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. จะทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ โดยในการทดลองโดยใช้เครื่องซักผ้าขนาดเล็กเท่านั้น
2. จะทำการศึกษาเลือกเฉพาะผ้าชนิดและลักษณะการสกปรกที่ซักยาก หรือเป็นตัวแทนของผ้าที่อุตสาหกรรมซักเป็นส่วนใหญ่
3. จะวิเคราะห์ความสะอาดและคุณภาพของน้ำ โดยวิธีที่ง่ายและเบื้องต้นเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการซักผ้าในระดับอุตสาหกรรม
2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการบำบัดน้ำโดยวิธีไอโซเนชั่น
3. ผลการทดลองและข้อมูลต่างๆของงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณาความเป็นไปได้ในการใช้ไอโซนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการซักผ้า

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาแนวทางการนำโอโซนมาใช้ในอุตสาหกรรมซักผ้ามีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมากมาย ในที่นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการซักล้าง โอโซนและการนำโอโซนมาใช้ประโยชน์ ระบบเติมก๊าซแบบเวนจูรี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 สารซักล้าง[1]

การซักล้างโดยทั่วไปจะทำโดยใช้สารซักฟอกเพื่อทำหน้าที่ดึงสิ่งสกปรกออกจากผ้าและกระบวนการซักเชิงกลโดยใช้มือหรือเครื่องซักผ้าเพื่อช่วยให้การซักผ้ามีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น สารซักฟอกประกอบด้วยสารเคมีหลากหลายชนิด เพื่อทำหน้าที่ในการซักล้างที่แตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วย

2.1.1 องค์ประกอบหลักของสารซักฟอก

องค์ประกอบหลักเป็นสารที่มีหน้าที่สำคัญและจำเป็นต่อการซักล้างประกอบด้วย

1) สารลดแรงตึงผิว (surfactant)

สารลดแรงตึงผิวเป็นองค์ประกอบหลักของผงซักฟอกซึ่งเมื่อละลายน้ำแล้ว จะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำทำให้พื้นผิวสกปรกเปียกน้ำ ตลอดจนสามารถดึงสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิวและกระจายอยู่ในน้ำ สารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสามารถจำแนกประเภทของแรงตึงผิวออกจากกัน สองประเภท คือ สารลดความตึงผิวประเภทแอนไอออน (Anionic surfactant) และสารลดความตึงผิวประเภทนอนไอออน (Nonionic surfactant) สารประกอบประเภทอัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตสายโซ่ตรง (Linear alkylbenzenesulfonate หรือ LAS)

2) สารลดความกระด้างของน้ำ (Water softener)

สารลดความกระด้างมีหน้าที่ช่วยแก้ความกระด้างของน้ำเนื่องจากไอออนของแคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) เนื่องจากความกระด้างของน้ำจะรบกวนการทำงานของสารลดแรงตึงผิวที่จะดึงสิ่งสกปรกออกจากผ้า นอกจากนี้สารลดความกระด้างยังช่วยปรับสภาพค่าความเป็นกรด - เบสของน้ำให้อยู่ในระดับ ที่พอเหมาะ สารลดความกระด้างของน้ำมีหลายชนิด อาทิเช่น

สารโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate: STPP) และ สาร STPP สารทดแทนสารประกอบ STPP มีหลายชนิด แต่มีเพียง 5 ชนิด เท่านั้นที่ใช้อยู่ในปัจจุบันในรูปของ สารลดความกระด้างโดยตรง หรือเป็นสารร่วมในการลดความกระด้าง (Co-builder) ได้แก่ ไนทริล ไตรแอซิติก (Nitrilotriacetic acid: NTA), ซิเทรต, เกลือของกรดพอลิคาร์บอกซีลิก (Polycarboxylic acid: PCA), ฟอสฟอเนต และ ซีโอไลต์

- 3) สารทำน้ำที่กันสนิมหรือรักษาความเป็นด่าง
- 4) สารกันคราบสกปรกกลับคืนหรือสารป้องกันการตกตะกอน (Anti soil redeposition agent)
- 5) สารเพิ่มความสดใส (Optical brightening agent or Optical brightener)

2.1.2 องค์ประกอบรองของสารซักฟอก

ส่วนประกอบรองของสารซักฟอกซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติพิเศษในการช่วยเสริม ประสิทธิภาพในการซักผ้าประกอบด้วย

- 1) โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulphate) เป็นสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของผงซักฟอก
- 2) สารเพิ่มฟอง (Suds booster) และสารลดฟอง (Suds depressor)
- 3) สารฟอก (Oxygen bleach) สารตั้งต้นของสารฟอก (Bleach precursor) และสารคง สภาพของสารตั้งต้นของสารฟอก (Stabilizer for bleach precursor)
- 4) สารช่วยการละลาย (Hydrotrope)
- 5) สารกันหมอง (Anti-taenishing agent)
- 6) เอนไซม์ (Enzyme)
- 7) น้ำหอม
- 8) สี
- 9) สารช่วยจับสิ่งสกปรก (Soil releasing adent)
- 10) สารต้านจุลินทรีย์ (Anti-microbial compound)
- 11) สารช่วยคงสภาพผิวหนัง (Mildness additive)
- 12) สารคงสภาพการเก็บรักษา (Storage stabilizer)
- 13) สารช่วยให้ผ้านุ่ม (Fabric softening agent)
- 14) สารต้านไฟฟ้าสถิต (Anti-static agent)

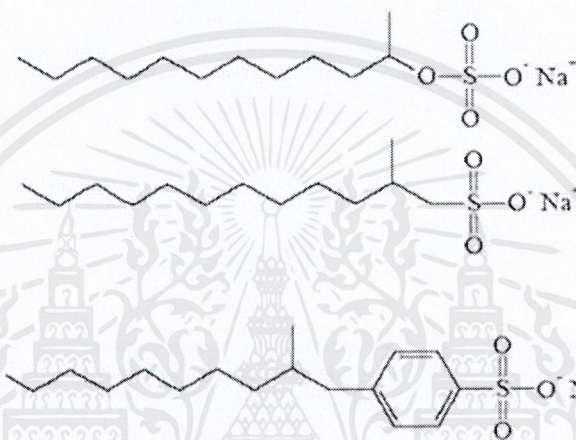
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15) สารต้านการกัดกร่อน (Anti-corrosion)

16) น้ำ

2.2 กลไกการทำความสะอาดของผงซักฟอก (Washing mechanism)

สารลดแรงตึงผิวในกลุ่มของ LAS มีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.1 จะประกอบด้วยสารอินทรีย์สายโซ่ตรงซึ่งละลายน้ำไม่ได้ และ หมู่เบนซีนซัลโฟเนตที่ละลายน้ำได้ โดยผงซักฟอก มีกลไกในการทำความสะอาดดังขั้นตอนต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว [2]

1) การทำให้สิ่งสกปรกและพื้นผิวเปียก สารลดแรงตึงผิวเป็น โมเลกุลที่มีทั้งส่วนที่ละลายน้ำได้ (ส่วนที่มีขั้ว) และส่วนที่ละลายน้ำไม่ได้ (ส่วนที่ไม่มีขั้ว) โดยส่วนที่ไม่มีขั้วจะเข้าจับสิ่งสกปรก และส่วนที่มีขั้วจะถูกผลักออกไปอยู่ในน้ำทำให้สิ่งสกปรกถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวซึ่งจัดเรียงตัวในรูปแบบที่เรียกว่า ไมเซลล์ เป็นผลให้สิ่งสกปรกหลุดออกจากพื้นผิวผ้า ทำให้พื้นผิวผ้าเปียก

2) การสะเทิน (Neutralization) ส่วนใหญ่สิ่งสกปรกจะมีฤทธิ์เป็นกรด (Acidic) แต่เนื่องจากการทำความสะอาดจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาพที่เป็นด่าง จึงต้องทำให้เกิดการสะเทินก่อนที่จะเริ่มกลไกทำความสะอาด

3) การชะล้างสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิว (Detergency) จะอาศัยสมบัติการลดแรงตึงผิวระหว่าง สิ่งสกปรกกับพื้นผิวของสารลดแรงตึงผิว

4) การละลายน้ำ สิ่งสกปรกบางชนิดสามารถจัดออกได้โดยการละลายในน้ำ

5) การเปลี่ยนสภาพเป็นสบู่ (Saponification) ไขมันต่างๆ เมื่อทำปฏิกิริยากับด่างจะแปรสภาพ เป็นสบู่ซึ่งสามารถละลายหรือแขวนลอยในน้ำได้

6) การแขวนลอยในน้ำ (Emulsion) เป็นสารประเภทน้ำมันที่ไม่สามารถละลายในน้ำแต่สามารถขจัดออกได้โดยสารลดแรงตึงผิว สารซักฟอกจะเอาส่วนที่เป็นโมเลกุลที่ละลายได้ในน้ำมัน (Hydrophobic) เข้าไปทำให้น้ำมันแขวนลอยและกระจายในน้ำ

7) การป้องกันการกลับเข้าจับใหม่ (Suspension or prevention of redeposition) สารประเภท ซิลิเกต (Silicate) จะป้องกันไม่ให้อสิ่งสกปรกที่ถูกขจัดออกและไม่ละลายน้ำกลับมา รวมตัวกันแล้วเข้าไปจับเส้นใยของเสื้อผ้าได้อีก ดังนั้นสิ่งสกปรกจะแขวนลอยอยู่ในน้ำและถูกขจัด ออกไป

2.3 ขั้นตอนการซักผ้าในระดับอุตสาหกรรม

การซักผ้าในระดับอุตสาหกรรมมีความแตกต่างจากการซักผ้าโดยทั่วไปด้วยเครื่องซักผ้า ในครัวเรือนทั่วไปซึ่งมีขั้นตอนในการซักที่ไม่ซับซ้อนและใช้สารซักฟอกเพียงครั้งเดียวในการซัก เมื่อเทียบกับการซักผ้าในระดับอุตสาหกรรม การซักผ้าในระดับอุตสาหกรรมมีขั้นตอนที่ซับซ้อน กว่า ใช้ชนิดของสารเคมีและปริมาณที่มากกว่าที่ใช้ในครัวเรือน เครื่องซักผ้าที่ใช้ในอุตสาหกรรม จะมีขนาดใหญ่กว่าและมีลักษณะที่แตกต่างจากเครื่องซักผ้าที่ใช้ในครัวเรือน ตัวอย่างของเครื่อง ซักผ้าในระดับอุตสาหกรรมแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่องซักผ้าที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม [3]

ส่วนขั้นตอนการซักผ้าในระดับอุตสาหกรรมแบ่งเป็นขั้นตอนย่อยๆ ดังนี้

- 1) บรรจุน้ำลงในเครื่องซักผ้า
- 2) ขั้นตอนการล้างน้ำก่อนซัก (Pre-wash) โดยป้อนน้ำที่อุณหภูมิห้องเข้าเครื่องเพื่อทำการซักล้างด้วยน้ำสะอาด ใช้เวลาโดยประมาณ 3-5 นาที
- 3) ขั้นตอนการใส่สารเคมี (Main wash) ป้อนน้ำโดยที่ระดับต่ำประมาณ 1/3 ของถังซัก และป้อนน้ำยาซักผ้า สารเสริมล้าง สารฟอกขาวในปริมาณที่กำหนด ทำการซักโดยใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที จากนั้นระบายน้ำทิ้ง
- 4) ขั้นตอนการล้างน้ำครั้งที่ 1 (Rinse 1) โดยป้อนน้ำที่อุณหภูมิห้อง ซักล้างด้วยน้ำเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นจึงระบายน้ำทิ้ง
- 5) ขั้นตอนการล้างน้ำครั้งที่ 2 (Rinse 2) โดยการป้อนน้ำที่อุณหภูมิห้องใหม่เป็นครั้งที่ 2 ซักล้างด้วยน้ำใช้เวลาประมาณ 3 นาที จากนั้นจึงระบายน้ำทิ้ง
- 6) ขั้นตอนการปรับค่า pH (Neutralization) ป้อนน้ำที่อุณหภูมิห้องใหม่เป็นครั้งที่ 3 และทำการปรับสภาพน้ำให้มีค่า pH ประมาณ 6.5 โดยการเติมกรดในปริมาณที่กำหนด และเติมน้ำยาปรับผ้านุ่มในปริมาณที่กำหนดผสมทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจึงระบายน้ำทิ้ง
- 7) ขั้นตอนทำให้แห้ง (Extraction) นำผ้าเข้าเครื่องปั่นแห้งโดยใช้เวลาประมาณ 7 นาที จึงนำไปตากหรืออบแห้ง

จะเห็นได้ว่ามีขั้นตอนการซักผ้าระดับอุตสาหกรรมมีความซับซ้อนกว่าการซักผ้าทั่วไป และการซักผ้าระดับอุตสาหกรรมใช้สารเคมีจำนวนมากทำให้น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการซักล้างมีสารเคมีที่ปะปนอยู่ในปริมาณมาก

2.4 การวัดคุณภาพน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมและมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง [4]

น้ำหลังจากถูกใช้งานในกิจกรรมต่าง ๆ เช่น ตามบ้านเรือน สำนักงาน สถานประกอบการ และโรงงานอุตสาหกรรมแล้วจะมี สิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ได้แก่ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สิ่งปนเปื้อนในน้ำที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น สารคาร์โบไฮเดรต ไฮโดรคาร์บอน ไขมัน โปรตีน เป็นต้น สารอินทรีย์มีทั้งพวกที่เป็นอาหารและไม่เป็นอาหารของแบคทีเรีย ที่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ ส่วนปนเปื้อนในน้ำที่เป็นสารอนินทรีย์ก็มีหลากหลายประเภททั้งประเภทที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ เช่น ไนไตรต์ (NO_2^-) แอมโมเนียม (NH_4^+) เฟอร์รัส (Fe^{2+}) ซัลไฟด์ (S^{2-}) ซัลไฟท์ (SO_3^{2-}) ซึ่งหากปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้คุณภาพของน้ำเสื่อมโทรมลงได้

เนื่องจากสิ่งปนเปื้อนในน้ำมีหลายชนิดปะปนกัน การวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณและชนิดของสิ่งปนเปื้อนแต่ละอย่างนั้นทำได้ยาก ในทางปฏิบัติเพื่อจะบอกปริมาณสิ่งปนเปื้อนหรือสิ่งสกปรกในน้ำโดยใช้วิธีการหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ทำปฏิกิริยากับสิ่งปนเปื้อนในน้ำ

เรียกว่าความต้องการออกซิเจน (Oxygen Demand) ของน้ำทิ้ง ถ้าค่าความต้องการออกซิเจนสูง แสดงว่าน้ำทิ้งนั้นมีสิ่งปนเปื้อนมาก แต่ถ้าค่าความต้องการออกซิเจนต่ำก็แสดงว่าน้ำทิ้งมีสิ่งปนเปื้อนน้อย วิธีการหาที่นิยมใช้ได้แก่ BOD (Biochemical Oxygen Demand) COD (Chemical Oxygen Demand) TOD (Total Oxygen Demand) ThOD (Theoretical Oxygen Demand) และการหาปริมาณคาร์บอนของสารอินทรีย์ที่เรียกว่า TOC (Total Organic Carbon)

โดยค่า COD คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยหลักการที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดสามารถที่จะถูกออกซิไดซ์ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ค่า COD นิยมใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังใช้ในการสำรวจออกแบบเพื่อพิจารณาและควบคุมเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากผลที่ได้รวดเร็ว ใช้เวลาในการวิเคราะห์เพียง 2-3 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อเทียบกับ BOD ต้องใช้เวลาถึง 5 วัน จึงสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดได้ทันที

มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมซึ่งมาตรฐานดังกล่าว กำหนดให้ค่า Chemical Oxygen Demand (COD) ต้องไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า pH ต้องอยู่ระหว่าง 5.5-9.0 และจากมาตรฐานนี้จึงทำให้โรงงานอุตสาหกรรมชั่งล้างต้องทำการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการชั่งล้างซึ่งมีค่า COD สูงกว่ามาตรฐาน

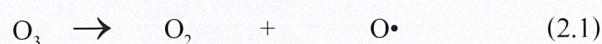
2.5 โอโซนและการนำโอโซนมาใช้ประโยชน์

โอโซน (Ozone หรือ O_3) เป็น โมเลกุลที่ประกอบจากออกซิเจน 3 อะตอม รูปร่าง โมเลกุลของโอโซนมีการจัดเรียงตัวในลักษณะดังรูปที่ 3

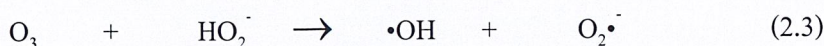


รูปที่ 2.3 โครงสร้างการจัดเรียงตัวของโอโซน [5]

โอโซนเป็นออกซิแดนท์ (Oxidant) ที่รุนแรง โอโซนที่ละลายอยู่ในน้ำมีความเสถียรค่อนข้างต่ำและสลายตัวกลายเป็นออกซิเจนได้อย่างรวดเร็วในช่วงแรกซึ่งมีอันดับปฏิกิริยาเท่ากับ 1 ดังสมการที่ 2.1 ดังนั้น การนำโอโซนมาใช้งานจึงต้องผลิตแล้วนำมาใช้ในทันที



นอกจากนั้น โอโซนยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆกลายเป็นสารออกซิแดนซ์ที่อีกรูปหนึ่ง ได้แก่ อนุมูลของไฮดรอกซิล (Hydroxyl free radical หรือ $\cdot\text{OH}$) ดังสมการที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ



จากความสามารถในการเป็นตัวออกซิแดนซ์แรงจึงมีการนำโอโซนมาใช้ประโยชน์ในการฆ่าเชื้อโรค เชื้อแบคทีเรีย บำบัดน้ำเสีย เป็นต้น คุณสมบัติและคุณสมบัติของโอโซนมีรายละเอียดดังนี้

1) คุณสมบัติทางฟิสิกส์และคุณสมบัติทางเคมีของโอโซน [5]

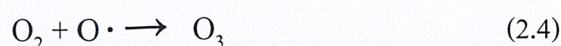
ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ = 1)	:	2.144
น้ำหนักโมเลกุล	:	48 g/mol
จุดเดือด	:	-111.9°C
จุดหลอมเหลว	:	-192.7°C
ความหนาแน่นที่สภาวะไอ (อากาศ = 1)	:	1.7
ร้อยละความสามารถในการละลายน้ำโดยมวล	:	0.49

2) ครึ่งชีวิตของโอโซน [6]

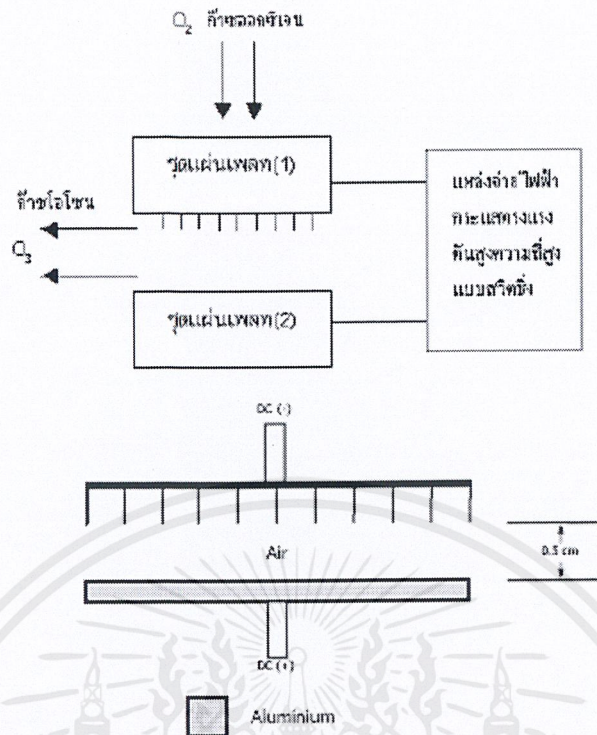
โอโซนมีครึ่งชีวิตที่สั้นมากเพราะ โอโซนถูกย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว สำหรับน้ำและอากาศ ที่มีความบริสุทธิ์ ครึ่งชีวิตของ โอโซนในน้ำมีเวลาประมาณ 30 นาที ซึ่งหมายความว่าทุกครึ่งชั่วโมง ความเข้มข้นของ โอโซนจะหายไปครึ่งหนึ่งจากความเข้มข้นเริ่มต้น แต่ความเป็นจริงแล้วครึ่งชีวิตของ โอโซน จะสั้นกว่าในทางทฤษฎี เนื่องจากมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อครึ่งชีวิตของ โอโซน ดังเช่น อุณหภูมิ ค่า pH ความเข้มข้นและชนิดของตัวทำละลาย

3) การผลิตก๊าซโอโซน (Ozone Gas Generation) [7]

การผลิตก๊าซโอโซนจากก๊าซออกซิเจนสามารถทำได้โดยป้อนก๊าซออกซิเจนผ่านแผ่นเพลท 2 ชุด ที่ต่อเข้ากับเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันสูงเกิดสนามไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 4 ส่งผลให้อะตอมของก๊าซออกซิเจนถูกกระตุ้นเกิดเป็นอะตอมอิสระของออกซิเจน โดยค่าพลังงานที่ใช้ทางเคมีอยู่ระหว่าง 493 kJ/mol ถึง 762.23 kJ/mol หลังจากนั้นอะตอมอิสระเหล่านี้จะรวมตัวกับ โมเลกุลก๊าซออกซิเกิดเป็น โอโซนดังสมการที่ 2.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



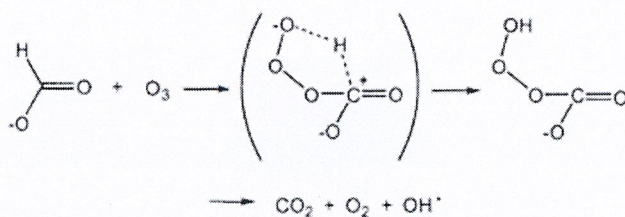
รูปที่ 2.4 โครงสร้างทั่วไปของเครื่องผลิตโอโซน และลักษณะแผ่นอิเล็กโทรดที่เลือกใช้ [7]

4) ปฏิริยาออกซิเดชันของโอโซน [6]

เนื่องจากผ้าที่นำมาซักมักจะมีคราบสิ่งสกปรกต่างๆ ดังเช่น คราบชา กาแฟ น้ำมันเครื่อง ดิน โคลน สนิม เลือด ไขมัน และ โปรตีน นอกจากนั้นน้ำจากการซักผ้าก็ยังมีสารเคมีที่ใช้ซักผ้าปนเปื้อนอยู่ซึ่งคราบ สิ่งสกปรกเหล่านี้จะอยู่ในรูปของสารประกอบดังเช่น แอลกอฮอล์ โอเลฟิน และเอมีน หากนำน้ำที่มีโอโซนละลายอยู่มาใช้ในการซักผ้า โอโซนจะสามารถทำปฏิริยาออกซิเดชันกับสารต่างๆ โดยปฏิริยาที่เกิดขึ้นกับสารประเภทต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1) แอลกอฮอล์

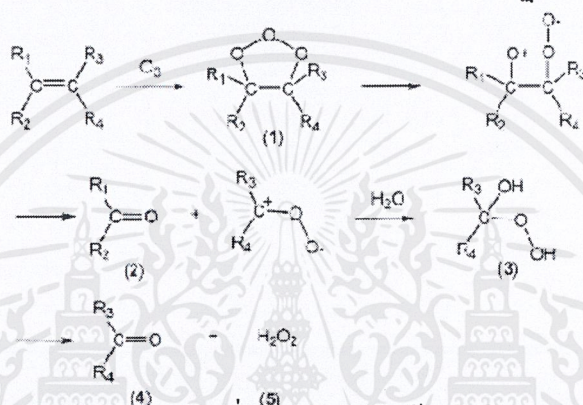
สารในกลุ่มของแอลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ คีโตน และกรดคาร์บอกซิลิก โดยปกติจะเกิดปฏิริยาได้ค่อนข้างยาก แต่เมื่อเกิดปฏิริยาแล้วจะถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยโอโซน [6]

4.2) โอเลฟิน

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของโอเลฟินด้วยโอโซนแสดงตามแผนผังปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของโอเลฟินด้วยโอโซน [6]

โอโซนจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารโอเลฟินดังรูปที่ 2.6 เกิดเป็นสาร โอโซนไนด์ (Ozonide) (1) เป็นสารที่ไม่เสถียรเกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบคาร์บอนิล (Carbonyl compound) (2) และสลายตัวได้ ไฮดรอกซิลไฮดรอปเปอร์ออกไซด์ (Hydroxylhydroperoxide) (3) สารไฮดรอกซิลไฮดรอปเปอร์ออกไซด์จะค่อยๆแตกตัวเป็นสารประกอบคาร์บอนิล(4) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (5)

4.3) เอมีน (Amines)

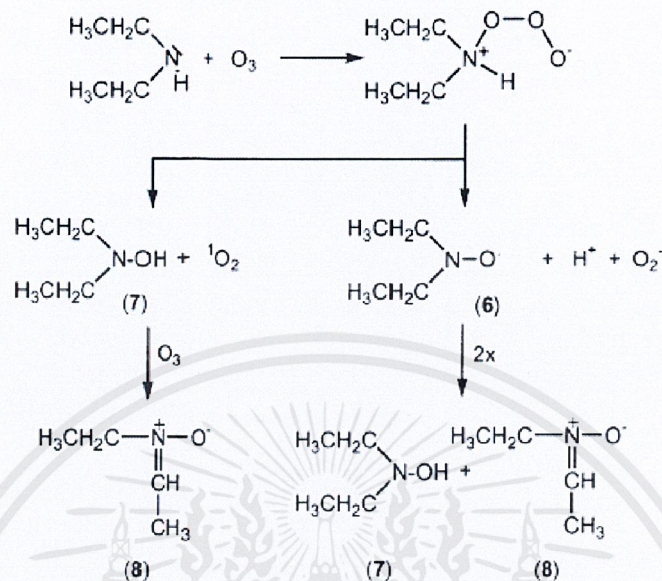
ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอมีนกับโอโซนจะแบ่งได้เป็น ปฏิกิริยากับเอมีนปฐมภูมิ เอมีนทุติยภูมิและเอมีนตติยภูมิ

สำหรับเอมีนปฐมภูมิ (Primary amines)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระของไฮดรอกไซด์และโอโซนกับเอมีนปฐมภูมิจะได้สารผลิตภัณฑ์เป็นไนเตรตไอออน (NO_3^-) ซึ่งมีค่า Stoichiometry ของโอโซนต่อแอมโมเนียเป็นอัตราส่วน 5 ต่อ 1 และปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับกรดอะมิโนที่ไม่มีองค์ประกอบของซัลเฟอร์หรืออะโรมาติกจะเกิดปฏิกิริยาได้ค่อนข้างช้า

สำหรับเอมีนทุติยภูมิและเอมีนตติยภูมิ (Secondary amines and Tertiary amines)

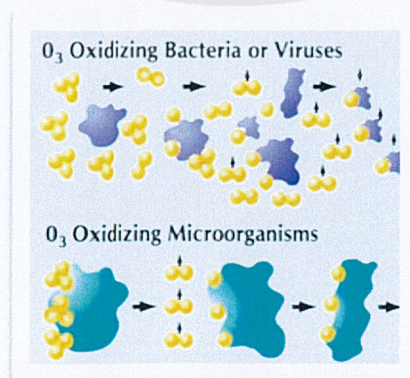
ปฏิกิริยาของโอโซนกับเอมีนทุติยภูมิแสดงแผนผังปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 2.7



โอโซนกับจะทำปฏิกิริยากับเอมีนทุติยภูมิเกิดเป็นสารอนุมูลอิสระเอมีนออกซิล (Amine oxyl radical) (6) ซึ่งจะทำการปฏิกิริยาต่อไปเป็นไฮดรอกซิลเอมีน (Hydroxyl amine) (7) และไนโตรน (Nitron) (8)

4.4) แบคทีเรีย ไวรัส และ จุลินทรีย์

ปฏิกิริยาออกซิเดชันโอโซนกับแบคทีเรีย ไวรัส และจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นโดยโอโซนจะทำปฏิกิริยาบริเวณพื้นระของแบคทีเรียหรือไวรัสแล้วทำการสลายพันธะทำให้แบคทีเรีย ไวรัสและจุลินทรีย์ สลายตัว ดังรูปที่ 2.8



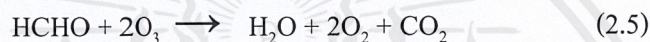
รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของแบคทีเรีย ไวรัส และ จุลินทรีย์ ด้วยโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ประโยชน์ของโอโซน [8-9]

จากความสามารถของโอโซนในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้มีการนำโอโซนไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายดังตัวอย่างประโยชน์ของโอโซนดังต่อไปนี้

- 1) โอโซนเป็นสารที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาเคมีสลายพันธะของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์
- 2) โอโซนช่วยเพิ่มค่า Dissolved Oxygen (DO) ในน้ำ
- 3) โอโซนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีเป็นที่ยอมรับว่าโอโซนสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ดีกว่าคลอรีนถึง 3125 เท่า
- 4) โอโซนสามารถสลายกลิ่นของสารระเหยต่าง ๆ ได้ดีด้วยการทำปฏิกิริยาเคมีและเปลี่ยนโครงสร้างสาร เช่น โอโซนทำปฏิกิริยากับฟอร์มาลินได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำ ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 2.5



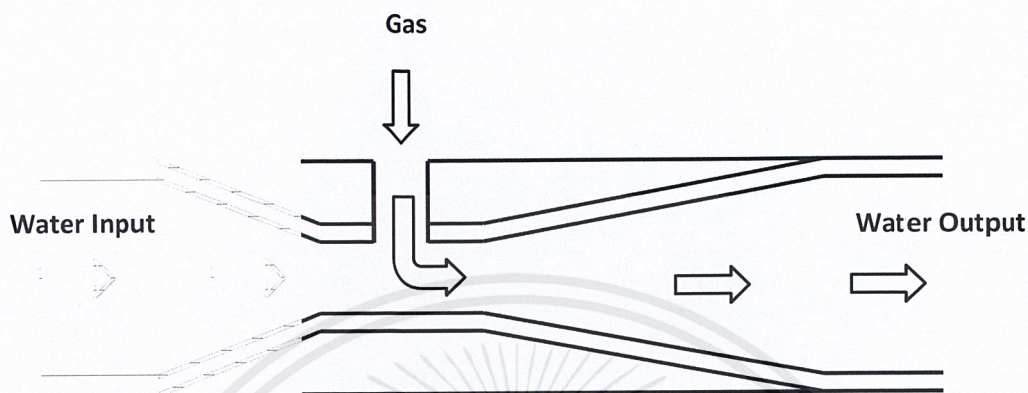
- 5) โอโซนสามารถสลายความเป็นพิษของสารเคมีด้วยการทำปฏิกิริยาเคมีและเปลี่ยนโครงสร้างสาร เช่น โอโซนทำปฏิกิริยากับไซยาไนด์เป็นไซยาเนต
- 6) โอโซนสามารถสลายสีในน้ำทิ้งหรือน้ำเสียได้ดีด้วยการทำปฏิกิริยาเคมีและเปลี่ยนโครงสร้าง
- 7) โอโซนสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายและตะไคร่น้ำในระบบน้ำหล่อเย็น (Cooling Tower) ทำให้การถ่ายเทความร้อนของระบบดีขึ้น และช่วยประหยัดพลังงานได้มากขึ้น

2.6 ระบบเติมก๊าซแบบเวนจูรี [10]

การเติมโอโซนเป็นหัวใจหลักที่จะทำให้น้ำกลายเป็นน้ำโอโซน แต่เนื่องจากค่าการละลายน้ำของโอโซนที่ความดันบรรยากาศมีค่าต่ำ ย่อมส่งผลให้มีแรงขับ (Driving Force) มีค่าต่ำตามไปด้วย ดังนั้นการเพิ่มความสามารถการละลายของโอโซนในน้ำที่ความดันบรรยากาศ ได้แก่ การเพิ่มผิวสัมผัส (Interfacial Area) ระหว่างอากาศกับน้ำให้มีค่ามากที่สุด

ระบบการเติมก๊าซแบบเวนจูรีเป็นระบบการเติมก๊าซประสิทธิภาพสูงที่สามารถใช้ได้กับกระบวนการเติมโอโซน การเติมอากาศ และการบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบการเติมก๊าซแบบเวนจูรีทำงานโดยอาศัยหลักการของแรงดันที่เท่ากันทั้งสองด้าน คือ เมื่อน้ำมีแรงดันสูงจากการสูบของปั้มน้ำไหลผ่านเข้ามาจะทำให้แรงดันที่มีค่าต่ำภายในช่องทางไหลของน้ำ ซึ่งตัว

เวนจูรีที่มีรูปร่างเป็นคอคอดจะทำการชดเชยแรงดัน โดยดูดก๊าซจากทางด้านบนของเวนจูรี นอกจากนั้นยังเพิ่มความเร็วของน้ำและเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำและก๊าซ ทำให้ความสามารถในการกระจายตัวของก๊าซเข้าไปในน้ำได้ดีขึ้น เกิดการผสมกันระหว่างก๊าซและน้ำ



รูปที่ 2.9 เวนจูรีที่ใช้ในการผสมก๊าซกับน้ำ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [11-12]

Urs von Gunten, Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำดื่มโดยใช้ระบบ โอโซนอธิบายถึงความเสถียรของ โอโซนในน้ำ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยโอโซนของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดย โอโซนจะทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของสารต่างๆ ค่าการเลือกเกิด ค่าคงที่ของปฏิกิริยาของปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยโอโซนซึ่งเป็นปฏิกิริยาอันดับสองมีค่าที่แกว่งตั้งแต่ 0.1 ถึง $7 \times 10^9 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิลซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารทั้งสองจะเป็นสารประกอบประเภทโอเลฟิน เอมีน และอะโรมาติก

International Ozone Association Dick Cardis, Cameron Tapp, Marc DeBrum, and Dr. Rip G. Rice, Ozone in the Laundry Industry - Practical Experiences in the United Kingdom ตั้งแต่ปีคริสต์ศักราช 1990 มีการนำโอโซนมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมซักฟอกและมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว โอโซนสามารถซักผ้าโดยใช้น้ำเย็นได้ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานความร้อนและปริมาณน้ำที่ใช้ในการซักได้มาก โอโซนยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการซักผ้า และช่วยลดจำนวนครั้งในการล้างน้ำ โดยกลไกการละลายของโอโซนในน้ำเย็นยังช่วยถนอมและยืดอายุการใช้งานของผ้าลินิน นอกจากนี้ยังช่วยลดค่า COD ส่วนเชื้อจุลินทรีย์ และแบคทีเรียอีโคไลน์จะถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำจัดโดยสารละลายโอโซน นอกจากนี้ยังช่วยลดระยะเวลาของการปั่นแห้งและลดแรงงานที่ใช้ในอุตสาหกรรมการซักผ้า โดยทำการทดลองการซักผ้าด้วยระบบโอโซน น้ำที่ใช้ทดลองมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ใช้เวลาในการซัก 2.5 นาที และระบบการซักผ้าในอุตสาหกรรมปกติ จะใช้น้ำที่อุณหภูมิ 75-80°C ใช้เวลา 15 นาที จากนั้นทำการเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียที่เหลือในผ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

การทดลองนี้เป็นการทดลองที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพของสารละลายโอโซน โดยได้แบ่งการศึกษาเป็น 2 ขั้นตอนคือ การศึกษาประสิทธิภาพของโอโซนในการทำความสะอาดคราบ และศึกษาประสิทธิภาพของโอโซนที่มีผลต่อค่า COD และค่า pH ด้วยการซักคราบซีอิ๊วดำบนผ้า ซึ่งเป็นสารที่มีค่า COD สูง

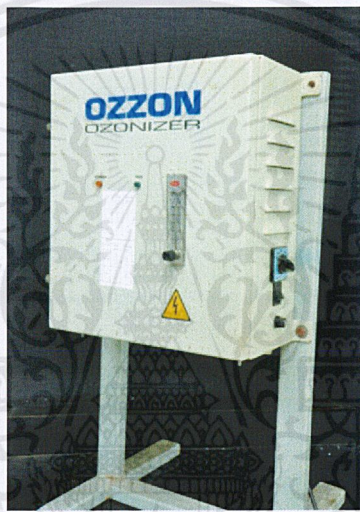
3.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องซักผ้าขนาดเล็ก ยี่ห้อ Imaflex รุ่น WM-200 ที่มีขนาดความจุ 2 กิโลกรัม ดังรูปที่ 3.1
2. ปืนน้ำ ยี่ห้อ Shibata
3. เครื่องผลิตโอโซน ยี่ห้อ Ozzon รุ่น OZ-735 ดังรูปที่ 3.2
4. ระบบเติมแก๊สแบบเวนจูรี ดังรูปที่ 3.3
5. เครื่องวัดค่า pH และ ยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์
6. กระบอกตวง
7. บิวเรตขนาด 10 มิลลิลิตร และขวดตั้ง
8. หลอดหยด
9. หลอดทดลองพร้อมฝาปิด
10. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
11. เครื่องวอร์เทกซ์ ยี่ห้อ Dragonlab รุ่น MX-F ดังรูปที่ 3.4
12. ที่ตั้งหลอดทดลอง
13. ฝู้อบ
14. ผ้าขนหนูสีขาวขนาด 12"x12"
15. ถาดวางผ้า
16. แผ่นพลาสติกเจาะรูเพื่อหยดน้ำหมักลงบนผ้า ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 เครื่องซักผ้าขนาด 2 กิโลกรัม



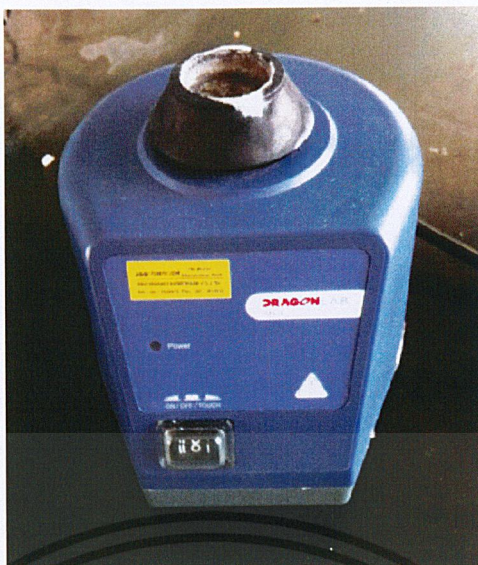
รูปที่ 3.2 เครื่องผลิตโอโซนยี่ห้อ Ozzon รุ่น OZ-735



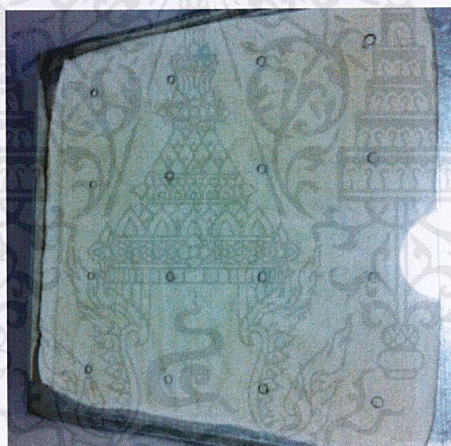
รูปที่ 3.3 เวนจู้ที่ใช้ในการเติมโอโซนลงไปใต้น้ำ

119201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เครื่องวอร์เท็กซ์ ยี่ห้อ Dragonlab รุ่น MX-F



รูปที่ 3.5 ถาดวางผ้าและแผ่นพลาสติกเจาะรูเพื่อหยดน้ำหมึก

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

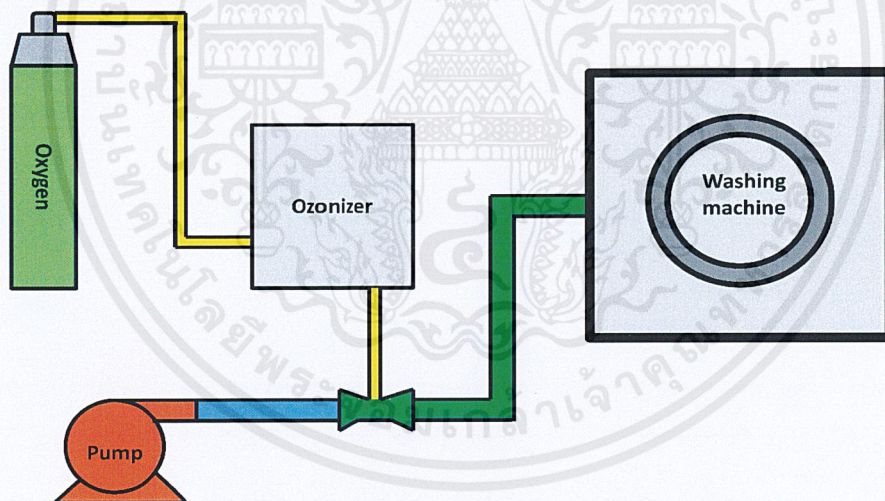
1. น้ำหมึก สีน้ำเงิน ยี่ห้อ Pilot รุ่น W1-N
2. ซีอิ้วดำตราเด็กสมบูรณ์
3. น้ำกลั่น
4. สารฟอกขาว (ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์)
5. สารซักฟอก
6. สารละลายด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สารละลายกรดปรับค่า pH
8. ก๊าซออกซิเจน ก๊าซโอโซน
9. โฟแทสเซียมไดโครเมต จาก Univar
10. กรดซัลฟิวริก 95-97% จาก Merck
11. ซิลเวอร์ซัลเฟต จาก Univar
12. เมอร์คิวริกซัลเฟต จาก Carlo Erba
13. เฟอร์สแอมโมเนียมซัลเฟต
14. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์
15. ฟีนแนนโทรลีน โมโนไฮเดรต จาก Univar

3.3 วิธีการทดลอง

ทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับการทดลองดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 รูปจำลองชุดอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 3.7 แผนผังแสดงขั้นตอนการใช้สารละลายโอโซนในการซักผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพของโอโซนในการซักฟอกคราบน้ำหมึกปากกา

ทำการทดลองโดยศึกษาตัวแปร 3 ตัวแปรคือ 1.ปริมาณสารเคมี โดยจะทำการทดลองโดยใช้ปริมาณสารเคมีเป็น 3 ค่า คือ 25% 50% และ 100% ของปริมาณสารเคมีในการซักปกติ 2.เวลาในการซักผ้าด้วยสารเคมี โดยแบ่งเป็นเวลาในการซักปกติ (15 นาที) และครึ่งหนึ่งของเวลาในการซักปกติ (8 นาที) 3.ขั้นตอนในการใส่สารละลายโอโซนในการซัก โดยแบ่งเป็น ขั้นตอนล้างน้ำก่อนซัก (Pre wash) ขั้นตอนใส่สารเคมี (Main wash) ขั้นตอนล้างน้ำครั้งที่ 1 (Rinse 1) ขั้นตอนล้างน้ำครั้งที่ 2 (Rinse 2) และขั้นตอนปรับค่า pH (Neutralization) โดยจะนำตัวแปรทั้งหมดมาทำการออกแบบการทดลองโดยใช้หลักการ Design of Experiment (DOE) ด้วยโปรแกรม Minitab V.15.1 ทำการทดลองซึ่งรายละเอียดแสดงดังตารางที่ ก.1 ในภาคผนวก กำหนดให้อัตราการป้อนโอโซนลงในน้ำให้คงที่เท่ากับ 1,872 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากโอโซนสลายตัวได้อย่างรวดเร็วจึงใช้อัตราการป้อนโอโซนค่าสูงสุดที่เครื่องผลิตโอโซนสามารถผลิตได้และอัตราการป้อนน้ำเข้าเครื่องซักผ้ามีค่าเท่ากับ 48 ลิตรต่อนาที โดยขั้นตอนการทดลองในตอนที 1 แสดงดังต่อไปนี้

1. วางผ้าขนหนูลงบนถาดและวางแผ่นพลาสติกใสที่เจาะรูลงบนผ้า
2. หยคน้ำหมึกลงผ้าผ่านรูของแผ่นใสเพื่อให้คราบหมึกกระจายในผ้า เป็นจำนวน 16 ตำแหน่งเหมือนทุกคืน ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ผ้าเป็นคราบหมึกปากกา

3. นำผ้าไปตากให้แห้งทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง
4. บรรจุผ้าขนหนูจำนวน 2 ผืนลงในเครื่องซักผ้าและทำการซักตามขั้นตอน ดังนี้
 - 1) ขั้นตอนล้างน้ำก่อนซัก (Pre-wash) ป้อนน้ำที่อุณหภูมิห้องเข้าเครื่องประมาณ 18 ลิตร เพื่อซักล้างด้วยน้ำสะอาดใช้เวลาโดยประมาณ 4 นาที จากนั้นระบายน้ำทิ้ง

2) ขั้นตอนใส่สารเคมี (Main wash) ป้อนน้ำที่อุณหภูมิห้องเข้าเครื่องประมาณ 18 ลิตร และเติมน้ำยาซักฟอก สารเสริมล้าง สารฟอกขาว ตามปริมาณที่ระบุไว้ในตารางที่ ก.1 ในภาคผนวกเพื่อซักล้าง โดยใช้เวลาโดยประมาณ 8 นาที หรือ 15 นาทีขึ้นอยู่กับผลการทดลองแต่ละครั้งตามตารางที่ ก.1 จากนั้นระบายน้ำทิ้ง

3) ขั้นตอนล้างน้ำครั้งที่ 1 (Rinse 1) ป้อนน้ำที่อุณหภูมิห้องเข้าเครื่องประมาณ 18 ลิตรเพื่อล้างสารเคมีออกจากผ้าด้วยน้ำสะอาดใช้เวลาโดยประมาณ 3 นาที จากนั้นระบายน้ำทิ้ง

4) ขั้นตอนล้างน้ำครั้งที่ 2 (Rinse 2) ป้อนน้ำที่อุณหภูมิห้องเข้าเครื่องประมาณ 18 ลิตรเพื่อล้างสารเคมีออกจากผ้าด้วยน้ำสะอาดอีกครั้งใช้เวลาโดยประมาณ 3 นาที จากนั้นระบายน้ำทิ้ง

5) ขั้นตอนปรับค่า pH (Neutralization) ป้อนน้ำที่อุณหภูมิห้องเข้าเครื่องประมาณ 18 ลิตร และเติมสารละลายกรดตามปริมาณที่ระบุไว้ในตารางที่ ก.1 ในภาคผนวก เพื่อซักล้าง โดยใช้เวลาโดยประมาณ 5 นาที จากนั้นระบายน้ำทิ้ง

6) ขั้นตอนทำให้แห้ง (Extraction) นำผ้าเข้าเครื่องปั่นแห้ง ทำการปั่นแห้งเป็นเวลา 7 นาที

5. นำผ้าไปตากให้แห้ง

6. สังเกตสีของผ้าที่ได้เปรียบเทียบกับแถบสีวัดระดับความสะอาด ดังรูปที่ ก.2 ในภาคผนวก

7. ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนปริมาณสารเคมีที่ใช้ เวลาในการซัก และขั้นตอนการซักด้วยสารละลายไฮโซน ดังตารางที่ ก.1 ในภาคผนวก

ตอนที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพของไฮโซนที่มีผลต่อค่า COD และค่า pH ด้วยการซักคราบซีอิ๊วดำ

ทำการซักผ้าโดยเติมสารละลายไฮโซนในแต่ละขั้นตอนการซักต่างๆ และกำหนดตัวแปรคงที่คือ ปริมาณสารเคมีที่ใช้ เวลาในการซักมีค่าเท่ากับการซักปกติ อัตราการป้อนไฮโซนลงในน้ำมีค่าเท่ากับ 1,872 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง อัตราการป้อนน้ำเข้าเครื่องซักผ้ามีค่าเท่ากับ 48 ลิตรต่ออนาที จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งแต่ละขั้นตอนการซักเพื่อนำไปวัดค่า COD และค่า pH โดยขั้นตอนการทำงานทดลองตอนที่ 2 มีดังต่อไปนี้

1. วางผ้าลงบนถาด

2. เทซีอิ๊วดำปริมาณ 10 มิลลิลิตรลงบนผ้าดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ผ้าเปื้อนคราบสีอิฐดำ

3. นำผ้าไปตากทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง
4. บรรจุผ้าจำนวน 2 ผืนลงในเครื่องซักผ้า จากนั้นทำการซักตามข้อ 4 และข้อ 5 ตามการทดลองตอนที่ 1
5. นำตัวอย่างน้ำที่ได้หลังจากการซักวัดค่า COD และค่า pH
6. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนขั้นตอนที่ใช้ในการซักด้วยสารละลายโอโซน

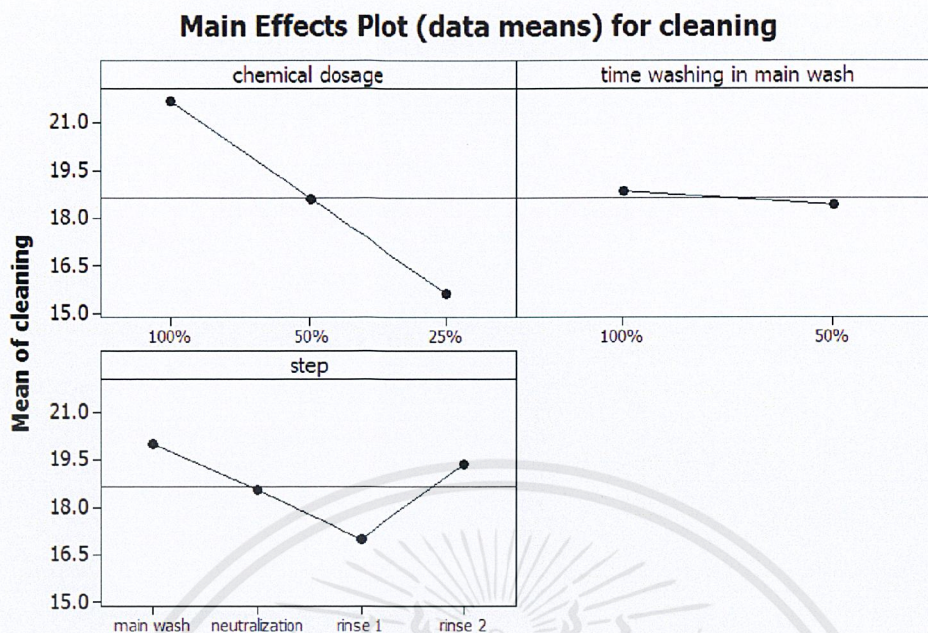
บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาผลของโอโซนที่มีต่อประสิทธิภาพของค่าความสะอาดของผ้า และ ผลของโอโซนที่มีต่อค่า COD และค่า pH ในส่วนของ การวิเคราะห์ผลการทดลองแบ่ง ออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกประกอบด้วยการศึกษาหาขั้นตอน ปริมาณสารเคมี และเวลาที่ใช้ ในการซักผ้าที่เหมาะสมในการใช้สารละลายโอโซนซักผ้า ส่วนที่สองประกอบด้วยการศึกษาผล ของการใช้สารละลายโอโซนที่มีต่อค่า COD และค่า pH ของน้ำเสียจากการซักผ้า

4.1 การหาขั้นตอน ปริมาณสารเคมี และเวลาที่ใช้ในการซักผ้าที่เหมาะสมต่อการ ใช้ สารละลายโอโซนในการซักผ้า

ผลของการศึกษาความสะอาดของผ้าที่เป็นคราบหมึกปากกา หลังจากการซักที่ได้จาก การประเมินค่าความสะอาดด้วยตารางที่ ก.2 ตามสเกลจากค่า 1 - 44 ของผู้ประเมินจำนวน 3 คน มาหาค่าเฉลี่ยดังตาราง ก.3 ในภาคผนวก โดยตัวเลขที่มีค่าสูงบ่งบอกถึงสีของผ้าจางลงมากหรือผ้า มีความสะอาดมากขึ้น จากนั้นนำผลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปร ทั้งสามประกอบด้วยปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการซัก เวลาที่ใช้ในการซักขั้นใส่สารเคมีและขั้นตอน การซักที่ใช้สารละลายโอโซน โดยใช้โปรแกรม Minitab V.15.1 วิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อ ค่าความสะอาดของผ้างดรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสะอาดกับตัวแปรต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสะอาดกับตัวแปรต่างๆ เป็นกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรม Minitab V.15.1 ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ผลจากตารางค่าความสะอาดที่ใช้สารละลายโอโซนเข้าช่วยในการซักจากภาคผนวก ก.3 สามารถแบ่งกราฟแสดงความสัมพันธ์ออกได้เป็น 3 กราฟ กราฟแรกคือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสะอาดกับปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการซัก (รูปซ้ายบน) ซึ่งทำการแบ่งปริมาณสารเคมีออกเป็น 3 ค่า คือ 25% 50% และ 100% ของปริมาณสารเคมีในการซักปกติ พบว่าปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการซักเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความสะอาดของผ้ามากที่สุด และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความสะอาดของผ้าที่ได้จากการซักโดยที่ไม่ใช้สารละลายโอโซน พบว่ามีค่าความสะอาดมีค่าใกล้เคียงกับการซักที่ใช้ปริมาณสารเคมีลดลง 50% จากการซักปกติโดยใช้สารละลายโอโซนช่วยในการซักผ้า ขั้นตอนการใส่สารเคมี กราฟที่สองคือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสะอาดกับเวลาที่ใช้ในการซักขั้นใส่สารเคมี (รูปขวาบน) ซึ่งทำการแบ่งเวลาที่ใช้ในการซักขั้นใส่สารเคมีออกเป็น 2 ค่า คือเวลาที่ใช้ในการซักเท่ากับการซักปกติ และครึ่งหนึ่งของการซักปกติ พบว่าค่าความสะอาดแปรผันตรงกับเวลาที่ใช้ในการซักผ้าขั้นตอนการใส่สารเคมี แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าความสะอาดเมื่อใช้เวลาในการซักผ้าขั้นตอนการใส่สารเคมีปกติกับค่าความสะอาดเมื่อใช้เวลาในการซักผ้าขั้นตอนการใส่สารเคมีลดลงครึ่งหนึ่งจากการซักผ้าปกติ พบว่าเวลาที่ใช้ในการซักผ้าขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใส่สารเคมีมีผลต่อความสะอาดของฝ้าน้อยมาก และกราฟสุดท้าย คือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสะอาดกับขั้นตอนการซักที่ใช้สารละลายโอโซน (รูปซ้ายล่าง) โดยแบ่งเป็น ขั้นตอนล้างน้ำก่อนซัก (Pre wash) ขั้นตอนใส่สารเคมี (Main wash) ขั้นตอนล้างน้ำครั้งที่ 1 (Rinse 1) ขั้นตอนล้างน้ำครั้งที่ 2 (Rinse 2) และขั้นตอนปรับค่า pH (Neutralization) พบว่า ขั้นตอนใส่สารเคมีและขั้นตอนล้างน้ำครั้งที่ 1 มีค่าความสะอาดมากกว่าค่ากลาง

จากตารางค่าความสะอาดในภาคผนวก ก.3 พบว่าค่าความสะอาดเมื่อทำการทดลองด้วยสารเคมี 50% และใช้สารละลายโอโซนในขั้นตอนใส่สารเคมีมีค่าใกล้เคียงกับค่าความสะอาดของการซักปกติซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.750 ดังเช่น ทดลองครั้งที่ 12 และ 36 ซึ่งมีค่าความสะอาดเท่ากับ 21.167 และ 22.333 ตามลำดับ

4.2 ผลของสารละลายโอโซนที่มีต่อค่า COD และ ค่า pH ของน้ำเสียจากการซักผ้า

การศึกษาประสิทธิภาพของโอโซนที่มีผลต่อค่า COD และค่า pH ของน้ำทิ้งจากทุกขั้นตอนการซักโดยการเติมสารละลายโอโซนในการซักขั้นตอนต่างๆ เพื่อศึกษาหาขั้นตอนที่เหมาะสมในการเติมสารละลายโอโซนเพื่อลดค่า COD ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า COD ของน้ำเสียที่ได้รับการซักผ้าเป็นนคราบซีอิ๊ว

ขั้นตอนที่เติมสารละลายโอโซนลงไปในการซัก	ค่า COD ของน้ำทิ้งจากขั้นตอน					
	ล้างน้ำก่อนซัก	ใส่สารเคมี	ล้างน้ำครั้งที่ 1	ล้างน้ำครั้งที่ 2	ปรับค่า pH	รวม
การซักปกติ(ไม่ใช้โอโซน)	1248	504	188	174	220	460
ล้างน้ำก่อนซัก	1124	488	176	128	164	326
ใส่สารเคมี	1268	392	134	120	150	332
ล้างน้ำครั้งที่ 1	1250	422	136	126	178	366
ล้างน้ำครั้งที่ 2	1228	470	174	140	160	370
ปรับค่า pH	1248	352	184	156	176	352

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษาผลของการเติมโอโซนในแต่ละขั้นตอนการซัก พบว่า

1) ขั้นตอนการล้างน้ำก่อนซักมีค่า COD สูงที่สุด และค่า COD มีค่าลดลงเรื่อยๆ เริ่มจากขั้นตอนล้างน้ำก่อนซักจนถึงขั้นตอนล้างน้ำครั้งที่ 2 เนื่องจากคราบซีอิ้วดำซึ่งเป็นสารละลายอินทรีย์ถูกชะล้างออกจากผ้าไปเรื่อยๆในแต่ละขั้นตอนการซัก และค่า COD มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในขั้นตอนการปรับค่า pH เนื่องจากมีการใส่สารเคมีเพื่อทำการปรับค่า pH

2) เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับการซักที่ไม่ใช้สารละลายโอโซนพบว่าการเติมโอโซนในขั้นตอนล้างน้ำก่อนการซักทำให้ค่า COD ลดลงจากค่า 1248 เป็น 1124 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือลดลงร้อยละ 9.9 ทำให้ค่า COD รวมในน้ำทิ้งเหลือประมาณ 326 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการซักปกติ 460 มิลลิกรัมต่อลิตร การเติมโอโซนในขั้นตอนใส่สารเคมีทำให้ค่า COD ลดลงจากค่า 504 เป็น 392 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือลดลงร้อยละ 22.2 ทำให้ค่า COD รวมในน้ำทิ้งเหลือประมาณ 332 มิลลิกรัมต่อลิตร การเติมโอโซนในขั้นตอนล้างน้ำครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และปรับค่า pH ทำให้ค่า COD ลดลงจากการซักปกติเล็กน้อย

การนำสารละลายโอโซนเข้ามาช่วยซักผ้าในขั้นตอนการล้างน้ำก่อนซักและขั้นตอนใส่สารเคมีนั้นมีค่า COD ของน้ำเสียรวมจากการซักผ้าน้อยที่สุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าขั้นตอนที่เหมาะสมที่สุดในการเติมสารละลายโอโซนเพื่อลดค่า COD คือ ขั้นตอนล้างน้ำก่อนซักและขั้นตอนใส่สารเคมีในการซักผ้า

จากนั้นจึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติมโดยการนำผลการทดลองที่ดีที่สุดจากตารางที่ 4.1 มาทำการทดลองร่วมกันคือทำการซักด้วยสารละลายโอโซนในขั้นตอนการล้างน้ำก่อนซักและขั้นตอนใส่สารเคมีเปรียบเทียบกับทำการทดลองโดยการใส่สารละลายโอโซนในการซักทุกขั้นตอนการซักเพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการใช้สารละลายโอโซนในการซักผ้าอย่างเหมาะสม

ตารางที่ 4.2 ค่า COD ของน้ำเสียที่ได้การซักผ้าเป็นนคราบซีอิ้วส่วนเพิ่มเติม

ขั้นตอนที่เติมสารละลายโอโซนลงไปในกระบวนการซัก	ค่า COD ของน้ำทิ้งจากขั้นตอน					
	ล้างน้ำก่อนซัก	ใส่สารเคมี	ล้างน้ำครั้งที่ 1	ล้างน้ำครั้งที่ 2	ปรับค่า pH	รวม
การซักปกติ (ไม่ใช้โอโซน)	1248	504	188	174	220	460
ขั้นล้างน้ำก่อนซักและขั้นใส่สารเคมี	1176	176	132	116	140	276
ทุกขั้นตอนการซัก	1192	196	152	128	168	272

ผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อนำสารละลายไอโซนเข้าช่วยในการซักผ้าทั้ง 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนล้างน้ำก่อนซักและขั้นตอนการใช้สารเคมีพบว่าค่า COD ลดลงค่อนข้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลาย ไอโซนเพียงขั้นตอนเดียว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ การนำสารละลายไอโซนเข้ามาช่วยในทุกขั้นตอนการซักพบว่าค่า COD ใกล้เคียงกับการนำสารละลาย ไอโซนเข้าช่วยในการซักผ้าทั้งขั้นตอนการล้างน้ำก่อนซักและขั้นตอนการใช้สารเคมี

แสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายไอโซนเข้าช่วยในการซักทุกขั้นตอนไม่มีผลต่อการลดค่า COD มากนักดังนั้นควรใช้สารละลายไอโซนช่วยลดค่า COD จากการซักผ้าในขั้นตอนการล้างน้ำ ก่อนซักและขั้นใส่สารเคมี ส่วนผลของไอโซนในแต่ละขั้นตอนที่มีผลต่อค่า pH ของน้ำที่ง ในแต่ละขั้นตอนแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่า pH ของน้ำเสียที่ได้รับการซักผ้าเป็นนคราบชีอิ้ว

ขั้นตอนที่ใส่ไอโซนลงไปใน การซัก		ค่า pH ของน้ำที่งจากขั้นตอน						
		ล้างน้ำ ก่อน ซัก	ใส่ สารเคมี	ล้าง น้ำ ครั้งที่ 1	ล้าง น้ำ ครั้งที่ 2	ปรับ ค่า pH	รวม	
การซักปกติ (ไม่ใช้ไอโซน)	ครั้งที่ 1	8.09	9.99	8.22	7.89	7.35	8.98	
	ครั้งที่ 2	7.87	10.19	8.49	7.84	7.53	9.10	
การซักโดยใช้ สารละลายไอโซนใน แต่ละขั้นตอน	ล้างน้ำก่อนซัก	ครั้งที่ 1	7.89	10.15	8.45	7.84	7.32	9.08
		ครั้งที่ 2	7.78	10.08	8.21	7.94	7.41	9.13
	ใส่สารเคมี	ครั้งที่ 1	7.91	10.09	8.44	8.00	7.46	9.10
		ครั้งที่ 2	7.85	10.11	8.31	8.01	7.51	9.05
	ล้างน้ำครั้งที่ 1	ครั้งที่ 1	8.02	10.04	8.33	7.87	7.38	8.99
		ครั้งที่ 2	8.06	10.16	8.36	7.91	7.40	9.00
	ล้างน้ำครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	7.85	10.21	8.30	7.95	7.37	9.12
		ครั้งที่ 2	7.90	10.17	8.41	7.88	7.39	9.03
	ปรับค่า pH	ครั้งที่ 1	7.95	10.08	8.24	7.85	7.32	9.01
		ครั้งที่ 2	7.87	10.03	8.39	7.86	7.38	9.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 พบว่าค่า pH ของน้ำทิ้งในแต่ละขั้นตอนไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้สารละลายโอโซนในการซักผ้าแสดงให้เห็นว่าการเติมสารละลายโอโซน ไม่มีผลต่อค่า pH ของน้ำเสียจากการซักผ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ผลจากการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารละลายโอโซน โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 ขั้นตอนคือ การศึกษาประสิทธิภาพของโอโซนในการทำความสะอาดคราบหมึกปากกาและศึกษาประสิทธิภาพของโอโซนที่มีผลต่อค่า COD และค่า pH ด้วยการซักคราบซีอีว้ดำบนผ้าซึ่งเป็นสารที่มีค่า COD สูง สรุปได้ว่า

1. ผลจากการศึกษาประสิทธิภาพในการซักฟอกคราบน้ำหมึกปากกา พบว่าโอโซนมีผลต่อประสิทธิภาพในการซัก โดยปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการซักผ้าเป็นตัวแปรที่มีผลต่อความสะอาดของผ้ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยอื่นที่ได้ทำการศึกษา ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้ในการซัก ขั้นตอนการใส่สารเคมีและขั้นตอนการซักที่ใช้สารละลายโอโซน ส่วนระยะเวลาที่ใช้ในการซักผ้า ขั้นตอนการใส่สารเคมีมีผลต่อความสะอาดของผ้าน้อยมากจึงสามารถลดเวลาที่ใช้ในการซักลงได้ และขั้นตอนการใส่สารเคมีเป็นขั้นตอนที่เหมาะสมที่สุดในการป้อนสารละลายโอโซน การใช้สารละลายโอโซนในการซักขั้นตอนการใส่สารเคมีโดยลดปริมาณสารเคมีและเวลาที่ใช้ในการซักลง 50% มีค่าความสะอาดใกล้เคียงกับการซักปกติ แสดงให้เห็นว่าการใช้โอโซนสามารถช่วยลดปริมาณสารเคมีและเวลาที่ใช้ในการซักผ้าลงได้

2. ผลจากการศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายโอโซนที่มีผลต่อค่า COD และค่า pH พบว่าสารละลายโอโซนสามารถลดค่า COD ของน้ำเสียที่ได้จากการซัก ส่วนขั้นตอนที่เหมาะสมที่สุดในการเติมสารละลายโอโซนเพื่อลดค่า COD คือขั้นตอนล้างน้ำก่อนซักและขั้นตอนใส่สารเคมีในการซัก ส่วนการใช้สารละลายโอโซนในการซักผ้าไม่มีผลต่อค่า pH ของน้ำเสียที่ได้จากการซักผ้าแต่อย่างใด

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาแนวทางการนำโอโซนมาใช้ในอุตสาหกรรมการซักผ้า หากนำมาใช้ในอุตสาหกรรม ผู้วิจัยมีความเห็นว่าควรวิจัยเพิ่มเติมดังนี้

1. ศึกษาปัจจัยอื่นๆเช่น ปริมาณการป้อน โอโซนเพื่อหาปริมาณการป้อน โอโซนในการซักผ้าที่เหมาะสม
2. ทำการทดลองในระดับที่ใหญ่ขึ้นเพื่อให้ใกล้เคียงกับปริมาณการซักผ้าจริงในระดับอุตสาหกรรม
3. ออกแบบระบบ โอโซนเพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายโอโซนในน้ำ



เอกสารอ้างอิง

- [1] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผงซักฟอก กรมมาตรฐานอุตสาหกรรม. Available URL : <http://app.tisi.go.th/standard/fulltext/TIS-78-2549m.pdf> (วันที่ค้นข้อมูล : 2 กันยายน 2553)
- [2] สารชีวโมเลกุล. Available URL : http://nakhamwit.ac.th/pingpong_web/BioMolecular.htm (วันที่ค้นข้อมูล : 15 กันยายน 2553)
- [3] JM Engineer. Available URL : http://hartwigschuett.com/machine5_inline.htm (วันที่ค้นข้อมูล : 15 กันยายน 2553)
- [4] มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง. Available URL : http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html#s1 (วันที่ค้นข้อมูล : 24 กันยายน 2553)
- [5] Ozone – Wikipedia. Available URL : <http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone> (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กันยายน 2553)
- [6] Mohammad A.T. Alsheyab, Aurelio H. Muñoz, “Optimisation of ozone production for water and wastewater treatment”, Mohammad A.T. Alsheyaba, Aurelio H. Muñozb, Desalination 217 (2007) 1–7
- [7] ศิษีโรตม์ เกตุแก้ว, “วิธีการผลิตก๊าซโอโซนด้วยสนามไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2549
- [8] โอโซนได้ถูกนำไปใช้งานอะไรบ้าง?. Available URL: <http://www.ozonicinter.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=32869&Ntype=1> (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กันยายน 2553)
- [9] การเกิดโอโซน และ ประโยชน์ของโอโซน. Available URL : <http://www.cybermart9.com/index.php?mo=3&art=428438> (วันที่ค้นข้อมูล : 24 กันยายน 2553)
- [10] คีตวัตร ไชยสุทธิ จิตกร ตะนุรักษ์ และ อรุญา เลากกลาง, “ระบบผลิตน้ำโอโซน”, ปรินญา นิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ปีการศึกษา 2551.

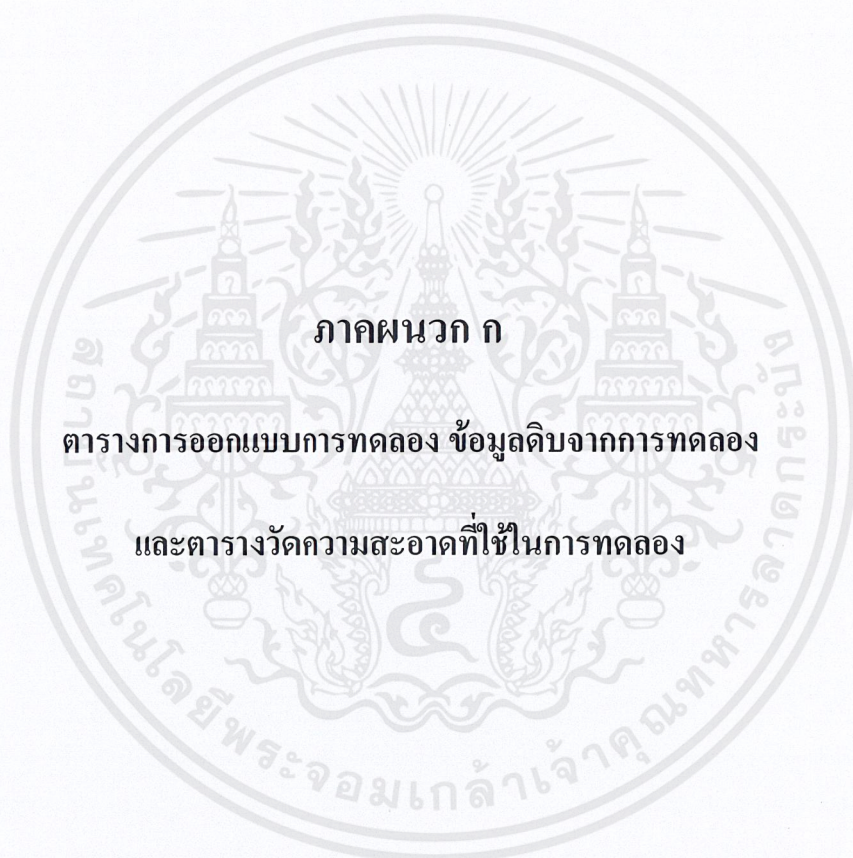
- [11] Ozone in the Laundry Industry - Practical Experiences in the United Kingdom.
Available URL: <http://www.cwtozone.com/index.php?page=ozone-in-the-laundry-industry---practical-experiences-in-the-uk> (วันที่ค้นข้อมูล: 25 กุมภาพันธ์ 2554)
- [12] Urs von Gunten. Ozone of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. Water Research 37 (2003) 1443-1467



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

ตารางการออกแบบการทดลอง ข้อมูลดิบจากการทดลอง

และตารางวัดความสะอาดที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ตารางการออกแบบการทดลองตอนที่ 1

ลำดับการทดลอง	ปริมาณสารเคมีที่ใช้	เวลาที่ใช้ในการชักชั้นใสสารเคมี	ขั้นตอนการชักที่ใช้สารละลายไอโซน
1	50%	50%	ล้างน้ำครั้งที่ 1
2	50%	50%	ล้างน้ำครั้งที่ 1
3	50%	50%	การชักด้วยสารเคมี
4	100%	50%	ปรับค่า pH
5	100%	100%	ปรับค่า pH
6	100%	50%	ล้างน้ำครั้งที่ 2
7	50%	100%	ล้างน้ำครั้งที่ 1
8	25%	100%	การชักด้วยสารเคมี
9	100%	100%	การชักด้วยสารเคมี
10	25%	50%	ล้างน้ำครั้งที่ 1
11	100%	50%	ล้างน้ำครั้งที่ 1
12	50%	100%	การชักด้วยสารเคมี
13	100%	100%	ล้างน้ำครั้งที่ 1
14	50%	100%	ล้างน้ำครั้งที่ 2
15	50%	100%	ล้างน้ำครั้งที่ 1
16	25%	50%	การชักด้วยสารเคมี
17	100%	50%	การชักด้วยสารเคมี
18	50%	50%	ล้างน้ำครั้งที่ 2
19	50%	100%	ปรับค่า pH
20	25%	100%	ล้างน้ำครั้งที่ 1
21	25%	50%	ปรับค่า pH
22	25%	100%	ปรับค่า pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ตารางการออกแบบการทดลองตอนที่ 1(ต่อ)

ลำดับการทดลอง	ปริมาณสารเคมีที่ใช้	เวลาที่ใช้ในการชั่งน้ำหนักสารเคมี	ขั้นตอนการชั่งที่ใช้สารละลายไอโซน
23	100%	50%	ล้างน้ำครั้งที่ 2
24	50%	100%	ปรับค่า pH
25	100%	100%	ล้างน้ำครั้งที่ 2
26	100%	50%	ล้างน้ำครั้งที่ 1
27	100%	100%	ล้างน้ำครั้งที่ 1
28	25%	50%	ล้างน้ำครั้งที่ 1
29	25%	100%	ปรับค่า pH
30	25%	100%	ล้างน้ำครั้งที่ 2
31	25%	50%	ล้างน้ำครั้งที่ 2
32	100%	100%	ปรับค่า pH
33	50%	50%	การชั่งด้วยสารเคมี
34	50%	50%	ปรับค่า pH
35	100%	50%	การชั่งด้วยสารเคมี
36	50%	100%	การชั่งด้วยสารเคมี
37	25%	100%	ล้างน้ำครั้งที่ 2
38	25%	100%	ล้างน้ำครั้งที่ 1
39	25%	50%	ล้างน้ำครั้งที่ 2
40	50%	50%	ล้างน้ำครั้งที่ 2
41	100%	100%	การชั่งด้วยสารเคมี
42	100%	50%	ปรับค่า pH
43	50%	100%	ล้างน้ำครั้งที่ 2
44	25%	50%	ปรับค่า pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ตารางการออกแบบการทดลองตอนที่ 1(ต่อ)

ลำดับการทดลอง	ปริมาณสารเคมีที่ใช้	เวลาที่ใช้ในการชักชั้นใส่สารเคมี	ขั้นตอนการชักที่ใช้สารละลายไอโซน
45	25%	100%	การชักด้วยสารเคมี
46	25%	50%	การชักด้วยสารเคมี
47	50%	50%	ปรับค่า pH
48	100%	100%	ล้างน้ำครั้งที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44

รูปที่ ก.2 ตารางการเปรียบเทียบความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองตอนที่ 1

ลำดับการทดลอง	ค่าความสะอาด						ค่าเฉลี่ย
	ผู้ประเมินคนที่ 1		ผู้ประเมินคนที่ 2		ผู้ประเมินคนที่ 3		
	ผ้าผืนที่ 1	ผ้าผืนที่ 2	ผ้าผืนที่ 1	ผ้าผืนที่ 2	ผ้าผืนที่ 1	ผ้าผืนที่ 2	
1	17	19	19	18	16	17	17.66667
2	18	19	15	15	15	15	16.16667
3	22	22	21	21	20	18	20.66667
4	19	20	22	21	17	17	19.33333
5	22	22	22	23	21	20	21.66667
6	22	20	23	24	16	17	20.33333
7	22	22	21	22	19	18	20.66667
8	18	17	15	16	16	16	16.33333
9	25	27	29	28	28	26	27.16667
10	14	16	12	12	12	13	13.16667
11	19	17	20	20	18	19	18.83333
12	20	19	22	23	21	22	21.16667
13	21	20	24	24	22	23	22.33333
14	20	19	20	21	20	20	20.00000
15	11	11	10	11	15	15	12.16667
16	11	11	9	10	13	14	11.33333
17	20	21	22	22	22	22	21.50000
18	19	19	19	20	19	19	19.16667
19	11	11	8	8	12	13	10.50000
20	10	11	21	23	18	17	16.66667
21	12	12	11	11	12	14	12.00000
22	15	17	21	23	18	18	18.66667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองตอนที่ 1(ต่อ)

ลำดับการทดลอง	ค่าความสะอาด						ค่าเฉลี่ย
	ผู้ประเมินคนที่ 1		ผู้ประเมินคนที่ 2		ผู้ประเมินคนที่ 3		
	ผ้าฝ้ายที่ 1	ผ้าฝ้ายที่ 2	ผ้าฝ้ายที่ 1	ผ้าฝ้ายที่ 2	ผ้าฝ้ายที่ 1	ผ้าฝ้ายที่ 2	
23	20	19	23	24	22	22	21.66667
24	20	21	22	22	21	21	21.16667
25	22	23	23	23	23	23	22.83333
26	20	22	22	22	23	22	21.83333
27	22	22	23	24	23	24	23.00000
28	14	15	11	12	15	16	13.83333
29	17	16	20	20	14	15	17.00000
30	17	18	20	20	18	17	18.33333
31	18	19	21	22	16	17	18.83333
32	22	23	24	25	25	24	23.83333
33	22	23	25	23	24	24	23.50000
34	18	18	22	23	20	19	20.00000
35	23	27	30	31	28	27	27.66667
36	21	22	22	23	23	23	22.33333
37	14	14	15	15	17	16	15.16667
38	16	18	18	19	19	19	18.16667
39	19	18	22	22	20	19	20.00000
40	19	20	23	23	24	23	22.00000
41	20	21	24	23	26	26	23.33333
42	24	24	29	30	29	28	27.33333
43	17	17	21	21	18	18	18.66667
44	15	14	15	15	14	15	14.66667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองตอนที่ 1(ต่อ)

ลำดับการทดลอง	ค่าความสะอาด						ค่าเฉลี่ย
	ผู้ประเมินคนที่ 1		ผู้ประเมินคนที่ 2		ผู้ประเมินคนที่ 3		
	ผ้าฝืนที่ 1	ผ้าฝืนที่ 2	ผ้าฝืนที่ 1	ผ้าฝืนที่ 2	ผ้าฝืนที่ 1	ผ้าฝืนที่ 2	
45	18	19	21	22	20	19	19.83333
46	13	14	14	13	14	13	13.50000
47	22	23	24	25	25	24	23.83333
48	22	20	23	22	22	22	21.83333
การซักปกติ	23	19	23	23	22	22	22.00000
การซักปกติ	23	21	22	21	20	22	21.50000
						ค่าเฉลี่ยซักปกติ	21.75000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ค่าปริมาตรสารเฟอรัสแอม โมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตน้ำทิ้งจากขั้นตอนต่างๆ

วิธีการชักผ้า		ปริมาตรสารเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้(มิลลิลิตร)						
		Blank	ล้างน้ำ ก่อน ซัก	การซัก ด้วย สารเคมี	ล้างน้ำ ครั้งที่ 1	ล้างน้ำ ครั้งที่ 2	ปรับค่า pH	น้ำเสีย รวม
การซักปกติ (ไม่ใช่โอโซน)	ครั้งที่ 1	4.4	1.2	3.13	3.91	3.95	3.43	2.8
	ครั้งที่ 2	4.4	1.36	3.15	3.95	3.98	3.47	2.9
การซักโดยใช้ สารละลาย โอโซนใน ชั้นล้างน้ำ ก่อนซัก	ครั้งที่ 1	4.4	1.58	3.19	4.03	4.05	4	3.6
	ครั้งที่ 2	4.4	1.6	3.17	3.89	4.11	3.98	3.57
การซักโดยใช้ สารละลาย โอโซนใน ชั้นซักผ้า ด้วยสารเคมี	ครั้งที่ 1	4.4	1.24	3.45	4.06	4.08	4.02	3.58
	ครั้งที่ 2	4.4	1.22	3.39	4.07	4.12	4.03	3.56
การซักโดยใช้ สารละลาย โอโซนใน ชั้นล้างน้ำ 1	ครั้งที่ 1	4	0.86	2.94	3.71	3.73	3.55	3.03
	ครั้งที่ 2	4	0.89	2.95	3.61	3.64	3.56	3.14
การซักโดยใช้ สารละลาย โอโซนใน ชั้นล้างน้ำ 2	ครั้งที่ 1	4.4	1.38	3.24	3.98	4.07	4	3.41
	ครั้งที่ 2	4.4	1.28	3.21	3.95	4.03	4	3.54
การซักโดยใช้ สารละลาย โอโซนใน ชั้นปรับ pH	ครั้งที่ 1	4	0.88	3.12	4.22	4.22	4.1	3.12
	ครั้งที่ 2	4	0.88	3.12	3.54	3.61	3.56	3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. รูปภาพผ้าจากการทำการทดลองตอนที่ 1



รูปที่ ข.1 ตัวอย่างผ้าก่อนทำการซัก



รูปที่ ข.2 ผ้าหลังทำการซักด้วยวิธีปกติครั้งที่ 1



รูปที่ ข.3 ผ้าหลังทำการซักด้วยวิธีปกติครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 1



รูปที่ ข.5 ผ้าหลังทำการซักลำดับการทดลองที่ 2



รูปที่ ข.6 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.7 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 4



รูปที่ ข.8 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 5



รูปที่ ข.9 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.10 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 7



รูปที่ ข.11 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 8



รูปที่ ข.12 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.13 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 10



รูปที่ ข.14 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 11



รูปที่ ข.15 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.16 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 13



รูปที่ ข.17 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 14



รูปที่ ข.18 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.19 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 16



รูปที่ ข.20 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 17



รูปที่ ข.21 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.22 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 19

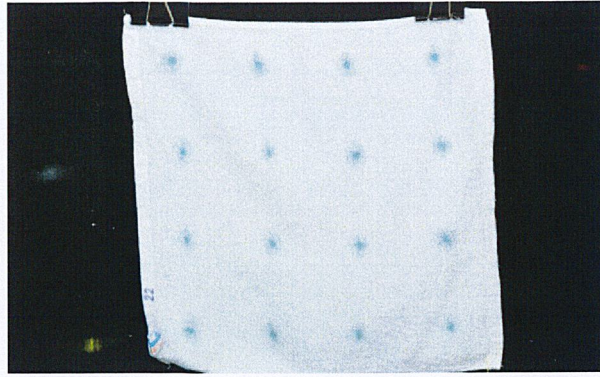


รูปที่ ข.23 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 20



รูปที่ ข.24 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.25 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 22



รูปที่ ข.26 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 23



รูปที่ ข.27 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.28 ผ้าหลังทำการชักด้วยลำดับการทดลองที่ 25

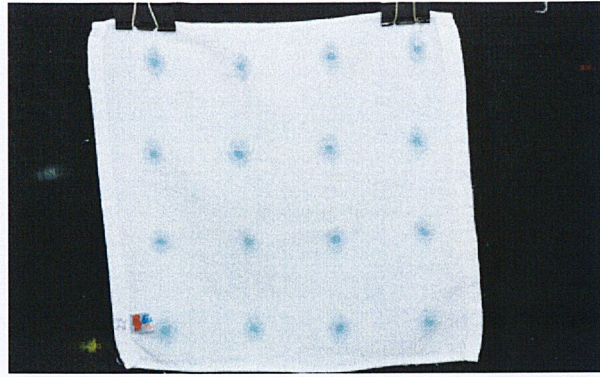


รูปที่ ข.29 ผ้าหลังทำการชักด้วยลำดับการทดลองที่ 26



รูปที่ ข.30 ผ้าหลังทำการชักด้วยลำดับการทดลองที่ 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.31 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 28



รูปที่ ข.31 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 29



รูปที่ ข.33 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.34 ผ้าหลังทำการชักด้วยลำดับการทดลองที่ 31



รูปที่ ข.35 ผ้าหลังทำการชักด้วยลำดับการทดลองที่ 32



รูปที่ ข.36 ผ้าหลังทำการชักด้วยลำดับการทดลองที่ 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.37 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 34



รูปที่ ข.38 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 35



รูปที่ ข.39 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.40 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 37



รูปที่ ข.41 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 38



รูปที่ ข.42 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.43 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 40



รูปที่ ข.44 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 41



รูปที่ ข.45 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.46 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 43



รูปที่ ข.47 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 44



รูปที่ ข.48 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.49 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 46



รูปที่ ข.50 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 47



รูปที่ ข.51 ผ้าหลังทำการซักด้วยลำดับการทดลองที่ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รูปภาพผ้าจากการทำการทดลองตอนที่ 2



รูปที่ ข.52 ผ้าก่อนทำการซักจากการทดลองที่ 2



รูปที่ ข.53 ผ้าหลังทำการซักจากการทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

วิธีการวิเคราะห์หาค่า COD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีเตรียมรีเอเจนต์

1. สารละลาย Digestion reagent

ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 1.228 กรัมซึ่งอบแห้งที่ 150 °C เป็นเวลา 2 ชม. เติมน้ำกลั่น 125 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 42 มิลลิลิตร เติมเมอร์คิวริกซัลเฟตลงไป 8.325 กรัม คนให้ละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่ผสมซิลเวอร์ซัลเฟต (Sulfuric Acid reagent)

ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต 22 กรัมในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ซึ่งมีน้ำหนัก 4.1 กิโลกรัม (2.5 ลิตร) แล้วตั้งทิ้งไว้ 1-2 วันเพื่อให้ละลาย

3. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 N

ละลายสาร $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 3.9 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไป 2 มิลลิลิตร ทำให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นลงไปจนครบปริมาตร 100 มิลลิลิตร

สารละลายนี้ต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลาย digestion reagent ดังนี้ เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร สารละลาย digestion reagent 14 มิลลิลิตรจากนั้นใช้ปิเปตค่อย ๆ เติม กรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่ผสมซิลเวอร์ซัลเฟตลงไป 14 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาไทเทรตกับ สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้เฟอโรอินจำนวน 2-3 หยดเป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ

$$\text{Normality of FAS Solution} = \frac{\text{ปริมาตรของ } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ (มล.)}}{\text{ปริมาตรของ } \text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \text{ (มล.)}} \times 0.10$$

4. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์

ละลาย 1-10 พีแวนโทลินโมโนไฮดรต 1.485 กรัม และ เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮดรต 0.695 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

วิธีการวัดค่าCOD

1. ล้างหลอดทดลองและฝาปิดด้วยกรดซัลฟิวริก 20 % ก่อนเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์

2. ปิเปตตัวอย่างนำมา 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง แล้วเติม digestion reagent ลงไป 4.3 มิลลิลิตร

3. ค่อย ๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่ผสมซิลเวอร์ซัลเฟตลงไป 3.7 มิลลิลิตร ให้ไหลลงก้นหลอดแก้วเพื่อให้ชั้นของกรดยูรีได้น้ำตัวอย่างและ digestion reagent หมายเหตุ ภายหลังการเติมกรดซัลฟิวริก ให้สังเกตสีของตัวอย่างดังต่อไปนี้

- ถ้าได้สีเขียว แสดงว่าปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตเหลืออยู่มาก ใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างน้อยเกินไป ต้องเพิ่มปริมาณน้ำตัวอย่าง

- ถ้าได้สีเขียวอมเหลือง แสดงว่าปริมาณน้ำตัวอย่างเหมาะสม สามารถนำตัวอย่างไปรีฟลักซ์ได้

- ถ้าได้สีเขียวอมฟ้า แสดงว่าปริมาณน้ำตัวอย่างมากเกินไป ต้องทำการเจือจางน้ำตัวอย่างให้มีความเข้มข้นน้อยกว่านี้

โดยไม่จำเป็นต้องกำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำตัวอย่างกับน้ำกลั่น แต่ผลรวมของปริมาตรน้ำตัวอย่างต้องเท่ากับ 2 มิลลิลิตร

4. ปิดฝาหลอดแก้วให้แน่น แล้วนำหลอดทดลองไปเขย่าโดยใช้เครื่องวอร์เทกซ์

5. ทำ Blank โดยใช้ น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่างด้วยวิธีการทดลองเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง ประมาณ 1-2 หลอด

6. นำหลอดแก้วทั้งหมดที่ใส่น้ำตัวอย่างและ Blank วางบนที่ตั้งหลอดทดลอง นำเข้าเตาอบที่ทำให้อุณหภูมิสูงถึง 150 °C ก่อนหน้านี้แล้ว เมื่อครบเวลา 2 ชั่วโมง นำสารที่อบออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งเย็น

7. เทตัวอย่างจากหลอดใส่ลงในขวดรูปชมพู่ หยดเฟอโรอินเพื่อใช้เป็นอินดิเคเตอร์แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตจนกระทั่งถึงจุดยุติจะเห็นการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ อ่านปริมาตรที่ไทเทรตเมื่อเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลแดงทันที

การคำนวณ

$$\text{COD, mg / L} = (a-b) \times 400$$

โดยที่

a = ปริมาตรของ $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ ที่ใช้ไทเทรต Blank (มล.)

b = ปริมาตรของ $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ ที่ใช้ไทเทรตน้ำตัวอย่าง (มล.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง
มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม		
ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0	pH Meter
2. ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเล ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอส	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40°C	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Titrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม		
ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid
8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแต่แต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
9. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	Gas-Chromatography
13. ค่าบีโอดี (5 วันที่ อุณหภูมิ 20 °C) (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างกันแต่แต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม		
ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแต่แต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	Kjeldahl
15. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล.หรืออาจแตกต่างกันแต่แต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion
16. โลหะหนัก (Heavy Metal)		
1. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
2. โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	
3. โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	
4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	
5. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล.	
6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
8. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม(ต่อ)

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจาก โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม		
ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
10. อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือ วิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
11. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	
12. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	Atomic Absorption Cold Vapour Techique

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้