

นิพนธ์ต้นฉบับ

ปัจจัยและประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากกิจกรรมซักล้าง โดยการตกตะกอนด้วยสารส้ม

รณกร เศรษฐบุบุญ⁽¹⁾, พฤกษ์ ตัญญูรัตน์^{(2)*}, ฤทธิรงค์ จังโกฏี⁽²⁾

วันที่ได้รับต้นฉบับ: 6 มีนาคม 2563

วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 5 มิถุนายน 2563

บทคัดย่อ

* ผู้รับผิดชอบบทความ

(1) นักศึกษาหลักสูตรสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

(2) สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม อาชีวอนามัยและ
ความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากกิจกรรมซักล้างด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยสารส้มโดยใช้วิธีจาร์เทสต์ ในการทดลองกำหนดตัวแปรต้น 5 พารามิเตอร์ได้แก่ 1) ปริมาณสารส้ม 4 ระดับ ได้แก่ 100 150 200 และ 250 มก./ล. 2) อัตราการวนเร็ว 4 ระดับ ได้แก่ 100 150 200 และ 250 รอบ/นาที 3) ระยะเวลาการวนเร็ว 4 ระดับ ได้แก่ 1 2 3 และ 4 นาที 4) อัตราการวนช้า 4 ระดับ ได้แก่ 20 30 40 และ 50 รอบ/นาที 5) ระยะเวลาการวนช้าระดับ ได้แก่ 10 15 20 และ 25 นาที ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการบำบัด ผลการทดลองพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนฟอสฟอรัสได้แก่ ปริมาณสารส้ม 200 มก./ล. อัตราการวนเร็ว 250 รอบต่อนาที ระยะเวลาการวนเร็ว 1 นาที อัตราการวนช้า 30 รอบต่อนาที และระยะเวลาการวนช้า 10 นาที โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 100 และสามารถลดค่าความสกปรกในรูปซีไอดีได้ร้อยละ 63.96 เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยสถิติทดสอบ One-Way ANOVA พบว่า ที่ระดับปริมาณสารส้มต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนที่ระดับอัตราการวนเร็ว ระยะเวลาการวนเร็ว อัตราการวนช้า ระยะเวลาการวนช้าที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: ฟอสฟอรัสในน้ำเสีย, การตกตะกอน, สารส้ม

Original Article

Factors and Efficiency of Removal Phosphorus from Washing Wastewater
by Coagulation Using Alum*Ronnakorn Satetaboon⁽¹⁾, Puek Tantriratna^{(2)*}, Rittirong Junggoth⁽²⁾*

Received Date: March 6, 2020

Accepted Date: June 5, 2020

Abstract

The study of the efficiency of removal phosphorus from washing wastewater by chemical coagulation using alum with Jar Test method. In the experiment, 5 parameters of the independent variable were determined: 1) alum dosage (100 150 200 and 250 mg/l) 2) high rotating speed (100 150 200 and 250 rpm) 3) time of high rotating speed (1 2 3 and 4 minutes) 4) low rotating speed (20 30 40 and 50 rpm) 5) time of low rotating speed (10 15 20 and 25 minutes). The experiment was done in 3 replicates and analyzed to find the mean of efficiency of removal phosphorus. The results showed that the suitable parameters for chemical coagulation with alum were at alum dosage of 200 mg/l, high rotating speed 250 rpm, time of high rotating speed 1 minute, low rotating speed 30 rpm and time of low rotating speed 10 minutes, which can remove 100% phosphorus from washing wastewater and reduce COD 63.96%. In the analyzing of the experimental results with statistical One-Way ANOVA test found that the alum dosage significantly improved the treatment efficacy of phosphorus removal. Conversely, the level of high rotating speed, time of high rotating speed, low rotating speed and time of low rotating speed had no significant effect on the efficiency of phosphorus removal.

Keywords: Removal Phosphorus, Wastewater, Coagulation, Alum

*** Corresponding author**

(1) Master of Public Health Student in
Environmental Health, Faculty of Public
Health, Khon Kaen University

(2) Department of Environmental Health,
Occupational Health and Safety,
Faculty of Public Health,
Khon Kaen University

บทนำ

ในปัจจุบัน น้ำเสียจากกิจกรรมการชักล้างทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของแร่ธาตุอาหารในน้ำเนื่องจากสารชักล้างต่างๆ เช่น ผงซักฟอก น้ำยาล้างจาน มีส่วนประกอบของฟอสฟอรัส จากการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ซักผ้าทั่วไปพบว่ามีส่วนประกอบฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบของผงซักฟอกประมาณร้อยละ 20-30 เช่น Sodium Tripoly Phosphate (STPP) และ Sodium Polyphosphate ซึ่งสารดังกล่าวทำหน้าที่เป็นสารลดความกระด้างของน้ำและยังช่วยให้สารลดแรงตึงผิวทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (รุจิรา ชัยศิริถาวรกุล, 2547) จากการวิเคราะห์หองค์ประกอบน้ำเสียสถานบริการซักรีดพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเข้มข้นเฉลี่ย 0.56 มก./ล. และมีไนโตรเจนทั้งหมดเข้มข้นเฉลี่ย 14.5 มก./ล. (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป.) และจากการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างที่เก็บจากครัวเรือนพบว่าตัวอย่างน้ำที่เหลือจากการซักผ้าทั้งจากซักผ้าด้วยมือและเครื่องซักผ้า พบความเข้มข้นของฟอสเฟตอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง (0.359–1.663 มก./ล.) (รุ่งทิพย์ ลุยเลา & จีร์รัส ภิรมย์ธรรมศิริ, 2545) โดยปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติที่สูงเกินกว่า 0.1 มก./ล. (เท่ากับปริมาณฟอสเฟต 0.306 มก./ล.) ทำให้มีอาหารธรรมชาติมากเกินไป และในแหล่งน้ำที่มีปัญหามลภาวะจะมีฟอสฟอรัสสูงถึง 0.6 มก./ล. (เท่ากับปริมาณฟอสเฟต 1.836 มก./ล.) โดยในการควบคุมป้องกันปัญหาแหล่งน้ำเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ กำหนดไม่ควรมีปริมาณฟอสฟอรัสเกินกว่า 0.03 มก./ล. (เท่ากับปริมาณฟอสเฟต 0.092 มก./ล.) (ประเทือง เชาวน์กลาง, 2542) นอกจากนี้ เคยมีรายงานว่าค่าวิกฤตของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ เท่ากับ 0.007-0.03 มก./ล. หากเกินค่านี้สามารถเกิดปรากฏการณ์น้ำขึ้นลงสีแดง (Red Tide) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของยูโทรฟิเคชัน (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2551) ผลกระทบที่เกิดขึ้นจะทำให้มีปริมาณออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำลดลงจนกระทั่งสัตว์น้ำไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ เกิดการเน่าเปื่อยของพืชน้ำและสัตว์น้ำนำไปสู่การเน่าเสียของแหล่งน้ำจนกระทั่งไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้

การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียเป็นการกำจัดในขั้นสูง โดยทั่วไประบบบำบัดน้ำเสียสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ 2 วิธีคือ การกำจัดฟอสฟอรัสด้วย

กระบวนการทางชีวภาพ และการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยวิธีทางกายภาพเคมี (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548) โดยวิธีการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยกระบวนการทางชีวภาพเพียงอย่างเดียวนั้นสามารถกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียได้เพียงร้อยละ 20-40 (Ruzhitskaya & Gogina, 2017) ส่งผลให้ในน้ำที่ยังคงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่จะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำได้ สำหรับวิธีการทางเคมีเป็นการกำจัดฟอสฟอรัสรวมกับการกำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียทำให้เกิดการก่อตัวของตะกอนแล้วเกิดการแยกตัวออกจากน้ำ โดยการใช้การตกตะกอนฟอสฟอรัสด้วยเกลืออะลูมิเนียมและเกลือของเหล็ก การใช้สารเคมีในการตกตะกอนเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สารส้ม ที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก (ชัยศรี สุขสาโรจน์, 2558) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า สารส้มสามารถกำจัดค่าฟอสฟอรัสได้ดีในช่วงค่า pH 5.7-6 ซึ่งในช่วงค่า pH นี้การใช้สารส้ม 80 มก./ล. สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 83 (Mohammed & Shanshool, 2009) นอกจากนี้สารส้มยังมีประสิทธิภาพลดค่าบีโอดี (BOD) ร้อยละ 100 ค่าซีโอดี (COD) ร้อยละ 100 และปริมาณคลอไรด์ร้อยละ 100 (Mc, Ve, & Nm, 2017) โดยนอกจากปริมาณสารส้มแล้วการกวนเร็วและช้ายังมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสอีกด้วย (Szabo et al., 2008) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากกิจกรรมชักล้างด้วยวิธีการทางเคมีโดยการใช้สารส้มเป็นสารช่วยในการตกตะกอนฟอสฟอรัสและหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus; TP) ในน้ำเสีย

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้สารส้มในการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียจากกิจกรรมชักล้างด้วยวิธีการตกตะกอน
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากกิจกรรมการชักล้างโดยการตกตะกอนด้วยสารส้ม

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ในห้องปฏิบัติการ โดยทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม 4 รูปแบบ ได้แก่ ปริมาณสารส้ม อัตราการกวนเร็ว ระยะเวลาการกวนเร็ว อัตราการกวนช้า และระยะเวลาการกวนช้า โดยวิธีจาร์เทสต์ (Jar Test) เพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมด และค่าความสกปรกในรูปของ COD จากน้ำเสียซักล้าง โดยมีวิธีการวิจัยดังนี้

● ประชากรและตัวอย่าง

1) ประชากรที่ทำการศึกษา คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นสารซักฟอก 45 มิลลิกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร โดยอัตราส่วนของความเข้มข้นนำมาจากค่าการแนะนำใช้สารซักฟอกต่อการซัก 1 รอบ ข้างของผลิตภัณฑ์

2) กลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาเป็นจำนวนครั้งของการวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมด 60 ตัวอย่าง

3) การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อการตรวจวิเคราะห์ โดยการเก็บแบบจ้วง (Grab Sampling) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผสมในถัง 100 ลิตร ปริมาตรที่เก็บแต่ละครั้งประมาณ 10 ลิตร

● วิธีการทดลอง

1) ทดลองหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม 4 ระดับ ได้แก่ 100 150 200 และ 250 มก./ล. ด้วยวิธีการ Jar Test กำหนดอัตราการกวนเร็ว 100 รอบ/นาที ระยะเวลาการกวนเร็ว 1 นาที อัตราการกวนช้า 30 รอบ/นาที และระยะเวลาการกวนช้า 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง นำน้ำส่วนใสไปหาค่า pH, ความขุ่น, TP และ COD

2) ทดลองหาอัตราการกวนเร็วเหมาะสม 4 ระดับ ได้แก่ 100 150 200 และ 250 รอบ/นาที นาน 1 นาที โดยใช้ปริมาณสารส้มที่ได้จากข้อ 1) อัตราการกวนช้า 30 รอบ/นาที และระยะเวลาการกวนช้า 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง นำน้ำส่วนใสไปหาค่า TP และ COD

3) ทดลองหาระยะเวลาการกวนเร็วเหมาะสม 4 ระดับ ได้แก่ 1 2 3 และ 4 นาที โดยใช้ปริมาณสารส้มที่ได้จากข้อ 1) อัตราการกวนเร็วที่ได้จากข้อ 2) อัตราการกวนช้า 30 รอบ/นาที และระยะเวลาการกวนช้า 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง นำน้ำส่วนใสไปหาค่า TP และ COD

4) ทดลองหาอัตราการกวนช้าเหมาะสม 4 ระดับ ได้แก่ 20 30 40 และ 50 รอบ/นาที โดยใช้ปริมาณสารส้มที่ได้จากข้อ 1) อัตราการกวนเร็วที่ได้จากข้อ 2)

ระยะเวลาการกวนเร็วที่ได้จากข้อ 3) และระยะเวลาการกวนช้า 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง นำน้ำส่วนใสไปหาค่า TP และ COD

5) ทดลองการหาระยะเวลาการกวนช้าเหมาะสม 4 ระดับ ได้แก่ 10 15 20 และ 25 นาที โดยใช้ปริมาณสารส้ม ที่ได้จากข้อ 1) อัตราการกวนเร็วที่ได้จากข้อ 2) ระยะเวลาการกวนเร็วที่ได้จากข้อ 3) และอัตราการกวนช้าที่ได้จากข้อ 4) ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง นำน้ำส่วนใสไปหาค่า TP และ COD

● วิธีการตรวจวิเคราะห์

1) Phosphate ในรูปของ TP ใช้วิธี Sulfuric Acid-Nitric Acid Digestion and Ascorbic Acid Method

2) COD ใช้วิธี Open Reflux

3) pH ใช้เครื่อง pH Meter

4) ความขุ่น ใช้เครื่อง Turbidity Meter

● การวิเคราะห์ข้อมูล

1) สถิติพรรณนา เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ในการพรรณนาข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เช่น คุณลักษณะของค่าพารามิเตอร์น้ำก่อนและหลังการทดลอง และนำเสนอข้อมูลในรูปแบบตาราง

2) One-Way ANOVA สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส

ผลการวิจัย

1. ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัส ผลการทดลองพบว่า ปริมาณสารส้ม 250 มก./ล. สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้มากที่สุด มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 96.53 มีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ย 0.002 ± 0.004 มก./ล. รองลงมาคือ ปริมาณสารส้ม 200 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 89.60 มีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ย 0.007 ± 0.007 มก./ล. ส่วนปริมาณสารส้ม 100 และ 150 มก./ล. ไม่ทำให้เกิดการรวมตะกอนหลังทำ Jar Test แต่การเลือกใช้ปริมาณสารส้ม 250 มก./ล. จะทำให้ค่า pH ในน้ำที่เกินค่ามาตรฐานที่ pH 5-9 จึงเลือกใช้สารส้ม 200 มก./ล. ที่สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้มากที่สุดตามลำดับถัดมา เมื่อพิจารณาการกำจัดค่า COD พบว่า ปริมาณสารส้ม 250 มก./ล. มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดร้อยละ 76.47

2. อัตราการกวนเร็วที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัส ผลการทดลองพบว่า อัตราการกวนเร็ว 250 รอบต่อนาที สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้มากที่สุด มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 89.18 มีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ย 0.009 ± 0.004 มก./ล. เมื่อพิจารณาการกำจัดค่า COD พบว่า อัตราการกวนเร็ว 250 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดร้อยละ 73.02

3. ระยะเวลาการกวนเร็วที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัส ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาการกวนเร็ว 1 และ 2 นาที สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้มากที่สุด มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 100 มีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ย 0.000 มก./ล. เมื่อพิจารณาการกำจัดค่า COD พบว่า ระยะเวลาการกวนเร็ว 4 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดร้อยละ 68.18

4. อัตราการกวนช้าที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัส ผลการทดลองพบว่า อัตราการกวนช้า 30 รอบต่อนาที สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้มากที่สุด มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 100 มีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ย 0.000 มก./ล. เมื่อพิจารณาการกำจัดค่า COD พบว่า อัตราการกวนช้า 40 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดร้อยละ 70.83

5. ระยะเวลาการกวนช้าที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัส ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาการกวนช้า 10 และ 15 นาที สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้มากที่สุด มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 100 มีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ย 0.000 มก./ล. เมื่อพิจารณาการกำจัดค่า COD พบว่า ระยะเวลาการกวนช้า 15 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดร้อยละ 64.86

6. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่ระดับปริมาณสารส้ม, อัตราการกวนเร็ว, ระยะเวลาการกวนเร็ว, อัตราการกวนช้า และระยะเวลาการกวนช้าที่แตกต่างกัน พบว่า

6.1 ที่ระดับการใช้ปริมาณสารส้มต่างกัน การกำจัดฟอสฟอรัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value}=0.002$) หรือมีปริมาณสารส้มอย่างน้อย 2 ระดับ ที่มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสแตกต่างกัน เมื่อทดสอบเปรียบเทียบรายคู่ ตามวิธีการของ Scheffe พบว่า มีการใช้ปริมาณสารส้มที่แตกต่างกัน 4 คู่ ที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส คือ 100 มก./ล. ต่างกับ 200 มก./ล., 100 มก./ล. ต่างกับ 250 มก./ล.

, 150 มก./ล. ต่างกับ 200 มก./ล. และ 150 มก./ล. ต่างกับ 250 มก./ล.

6.2 ที่ระดับการใช้อัตราการกวนเร็วต่างกัน พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value}=0.077$) หรือ ที่ระดับการใช้อัตราการกวนเร็วต่างกัน มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน

6.3 ที่ระดับการใช้ระยะเวลาการกวนเร็วต่างกัน พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value}=0.596$) หรือ ที่ระดับการใช้ระยะเวลาการกวนเร็วต่างกัน มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน

6.4 ระดับการใช้อัตราการกวนช้าต่างกัน พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value}=0.513$) หรือ ที่ระดับการใช้อัตราการกวนช้าต่างกัน มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน

6.5 ที่ระดับการใช้ระยะเวลาการกวนช้าต่างกัน พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value}=0.330$) หรือที่ระดับการใช้ระยะเวลาการกวนช้าต่างกัน มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน

บทสรุปและอภิปรายผล

จากผลการทดลองหาประสิทธิภาพการใช้สารส้มในการลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียจากกิจกรรมซักล้าง สามารถสรุปตามพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ดังนี้

1. ปริมาณสารส้ม 200 มก./ล. สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้มากที่สุดโดยที่ค่า pH ของน้ำทิ้งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้การเติมสารส้มที่ระดับ 100 และ 150 มก./ล. ส่งผลทำให้ความขุ่นของน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณสารส้มไม่เพียงพอที่จะรวมอนุภาคตะกอนในน้ำได้ จะเห็นได้ว่าการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำจะเพิ่มขึ้น หากใช้ปริมาณสารส้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมสารส้มในปริมาณที่สูงขึ้นจะทำให้เกลืออะลูมิเนียมจับกับฟอสเฟตในน้ำส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำลดลง

2. อัตราการกวนเร็ว 250 รอบต่อนาที สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้มากที่สุด ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 89.18 และมีประสิทธิภาพการบำบัด COD ร้อยละ 73.02 จะเห็นได้ว่าการใช้อัตราการกวนเร็ว 250 รอบต่อนาที สามารถกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และบำบัดค่า COD ในน้ำได้มากที่สุด เนื่องจาก

การใช้อัตราความเร็วที่สูง ทำให้สารส้มมีการกระจายตัว และเพิ่มโอกาสในการชนกันของสารส้มและอนุภาค ฟอสเฟตในน้ำ

3. ระยะเวลาการกวนเร็ว 1 และ 2 นาที สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้มากที่สุด ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 100 จะเห็นได้ว่าการใช้ระยะเวลาการกวนเร็ว 1 นาที เพียงพอที่จะสามารถกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากกิจกรรมซักล้างได้ทั้งหมด และมีประสิทธิภาพการบำบัด COD ร้อยละ 65.91

4. อัตราการกวนช้า 30 รอบต่อนาที สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้มากที่สุด ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 100 และมีที่ที่สุดประสิทธิภาพการบำบัด COD ร้อยละ 70.18 จะเห็นได้ว่าการใช้อัตราการกวนช้า 30 รอบต่อนาที เหมาะสมที่ให้ตะกอนขนาดเล็กจับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ สามารถกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสได้ทั้งหมด หากใช้อัตราการกวนเร็วที่สูงเกินไปจะทำให้ตะกอนแตกออกจากกันมีโอกาสทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสลดลง

5. ระยะเวลาการกวนช้า 10 และ 15 นาที สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้มากที่สุด ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 100 จะเห็นได้ว่าการใช้ระยะเวลาการกวนช้า 10 นาทีเพียงพอที่จะทำให้ตะกอนมีเวลารวมกลุ่มเป็นก้อนขนาดใหญ่จับตัวได้ง่ายสำหรับตกตะกอนนอกจากนี้ยังสามารถบำบัด COD ได้ร้อยละ 63.96

จากการสรุปผลการใช้สารส้มในการลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียจากกิจกรรมซักล้าง จะเป็นการกำจัดร่วมกับการกำจัดของแข็งแขวนลอย โดยเมื่อเติมสารส้มลงไปจะเกิดไอออนประจุบวก เพื่อไปลดค่าศักย์ซีต้าที่เป็นลบ ทำให้อนุภาคเกิดการจับตัวกันเป็น

ตะกอนซึ่งจะอาศัยการกวนอย่างแรงและเร็วเพื่อให้สารเคมีกระจายอย่างทั่วถึง และอนุภาคมีโอกาสชนกันมากขึ้น โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการจับตัวและรวมตัวของตะกอน จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยการเติมสารเคมีเพื่อให้เกิดการตกตะกอน จำเป็นต้องคำนึงถึงช่วง pH ที่เหมาะสม ซึ่งสารส้มมีช่วง pH ที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนอยู่ที่ 6.0–7.8 (วรารคณา สังสิทธิสวัสดิ์, 2543) การที่ค่า pH ของน้ำเสียจากกิจกรรมซักล้างอยู่ในช่วงที่เหมาะสมทำให้การกำจัดฟอสฟอรัสมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาของ Mohammed & Shanshool (2009) พบว่า ที่ pH 5.7-6 ในช่วงค่า pH นี้ การใช้สารส้ม 80 มก./ล. สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ถึงร้อยละ 83 นอกจากค่า pH แล้วการกวนยังเป็นปัจจัยสำคัญในการช่วยให้สารเคมีกระจายตัวและเพิ่มโอกาสในการชนกันของสารเคมีและฟอสฟอรัสในน้ำ สอดคล้องกับการทดลองของ Szabo et al. (2008) พบว่า นอกจากปริมาณสารส้มแล้วการกวนเร็วและช้ายังมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสอีกด้วย แต่ถ้าหากใส่สารเคมีมากเกินไป ไอออนประจุบวกของสารเคมีจะไปเกาะบนผิวของอนุภาค ทำให้อนุภาคมีศักย์ซีต้าเป็นบวก เกิดแรงผลักรวมออกจากกันทำให้น้ำเกิดความขุ่น และจะไม่สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียได้

ข้อเสนอแนะหรือการนำไปใช้ประโยชน์

1. ศึกษาสารช่วยตกตะกอนในการกำจัดฟอสฟอรัสชนิดอื่นเปรียบเทียบ เช่น เฟอร์รัสซัลเฟต, แคลเซียมออกไซด์ (ปูนขาว), เฟอร์ริคคลอไรด์ เป็นต้น
2. ศึกษาการนำตะกอนสารส้มที่ได้จากการตกตะกอน ไปใช้ประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2548). **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน.
- ชัยศรี สุขสาโรจน์. (2558). **การปรับปรุงคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ-เคมี**. สงขลา: สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. (2551). **การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ร่วมกับ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- ประเทือง เขาว์วันกลาง. (2542). **คุณภาพน้ำทางการประมง**. กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

- รุ่งทิพย์ ลุยเลา, & ขจีจรัส ภิรมย์ธรรมศิริ. (2545). ลักษณะคุณภาพน้ำที่เหลือจากการซักผ้าในครัวเรือน. ใน การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 40 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาศึกษาศาสตร์ สาขาสังคมศาสตร์ สาขาเศรษฐศาสตร์ สาขาบริหารธุรกิจ สาขา คหกรรม. (หน้า 247-254). กรุงเทพฯ: ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รุจิรา ชัยศิริถาวรกุล. (2547). การบำบัดน้ำเสียจากการซักรีดด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินผ่านทรายเทียบกับทรายร่วน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วรางคณา สังสิทธิ์สวัสดิ์. (2543). การประปา. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. [ม.ป.ป.]. คำแนะนำในการจัดการน้ำเสียสำหรับสถานบริการซักอบรีด. ค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2562, จาก <http://www.pkru.ac.th/chemlab/download.html?download=7:ซักอบรีด>
- Mc, M., Ve, A., & Nm, O. (2017). Comparative assessment of performance of aluminium sulphate (Alum) and ferrous sulphate as coagulants in water treatment. *Modern Chemistry & Applications*, 05(4), e1000233.
- Mohammed, S. A. M., & Shanshool, H. A. (2009). Phosphorus Removal from Water and Waste Water by Chemical Precipitation Using Alum and Calcium Chloride. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 10(2), 35-42.
- Ruzhetskaya, O., & Gogina, E. (2017). Methods for removing of phosphates from wastewater. *MATEC Web of Conferences*, 106, e07006.
- Szabo, A., Takacs, I., Murthy, S., Daigger, G. T., Licsko, I., & Smith, S. (2008). Significance of design and operational variables in chemical phosphorus removal. *Water Environment Research*, 80(5), 407-416.

ตารางที่ 1 แสดงค่า pH และความขุ่น ก่อนและหลัง ที่ปริมาณสารส้มแตกต่างกัน (มก./ล.)

ปริมาณสารส้ม (มก./ล.)	pH		ความขุ่น (NTU)	
	ก่อนบำบัด	หลังบำบัด (\bar{X})±S.D.	ก่อนบำบัด (\bar{X})±S.D.	หลังบำบัด (\bar{X})±S.D.
100	7.0	6.7±0.04	1.79±0.06	15.10±1.44
150	7.0	6.3±0.01	1.79±0.06	35.67±2.29
200	7.0	5.0±0.02	2.01±0.01	1.76±0.11
250	7.0	4.4±0.02	2.01±0.01	1.42±0.06

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) และซีโอดี (COD)

พารามิเตอร์	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus); mg/l		ประสิทธิภาพการ กำจัดฟอสฟอรัส (ร้อยละ)	ซีโอดี (COD) ; mg/l		ประสิทธิภาพ การบำบัดซีโอดี (ร้อยละ)
	ก่อนบำบัด (\bar{X})±S.D.	หลังบำบัด (\bar{X})±S.D.		ก่อนบำบัด	หลังบำบัด	
	(\bar{X})±S.D.	(\bar{X})±S.D.		(\bar{X})±S.D.	(\bar{X})±S.D.	
ปริมาณสารส้ม (มก./ล.)						
100	0.093±0.013	0.067±0.020	28.46	330	337±5.77	0.00
150	0.093±0.013	0.067±0.024	28.46	330	330±10.00	0.00
200	0.064±0.010	0.007±0.007	89.60	340	93±5.77	72.55
250	0.064±0.010	0.002±0.004	96.53	340	80±10.00	76.47
อัตราความเร็ว (รอบ/นาที)						
100	0.064±0.010	0.018±0.004	72.28	380	127±5.77	66.67
150	0.064±0.010	0.022±0.004	65.35	380	147±5.77	61.40
200	0.082±0.004	0.020±0.013	75.66	420	137±11.55	67.46
250	0.082±0.004	0.009±0.004	89.18	420	113±5.77	73.02
ระยะเวลาความเร็ว (นาที)						
1	0.062±0.014	0.000	100.00	440	150±10.00	65.91
2	0.062±0.014	0.000	100.00	440	160±0.00	63.64
3	0.047±0.035	0.002±0.004	95.28	440	143±11.55	67.42
4	0.047±0.035	0.002±0.004	95.28	440	140±10.00	68.18

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) และซีโอดี (COD) (ต่อ)

พารามิเตอร์	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus); mg/l		ประสิทธิภาพการ กำจัดฟอสฟอรัส (ร้อยละ)	ซีโอดี (COD) ; mg/l		ประสิทธิภาพ การบำบัดซีโอดี (ร้อยละ)
	ก่อนบำบัด	หลังบำบัด		ก่อนบำบัด	หลังบำบัด	
	(\bar{X})±S.D.	(\bar{X})±S.D.		(\bar{X})±S.D.	(\bar{X})±S.D.	
อัตราทวนซ้ำ (รอบ/นาที)						
20	0.027±0.007	0.002±0.004	91.79	380	117±5.66	69.30
30	0.027±0.007	0.000	100.00	380	113±11.55	70.18
40	0.071±0.010	0.002±0.004	96.88	400	117±5.77	70.83
50	0.071±0.010	0.009±0.010	87.51	400	143±11.55	64.17
ระยะเวลาทวนซ้ำ (นาที)						
10	0.047±0.018	0.000	100.00	370	133±5.77	63.96
15	0.047±0.018	0.000	100.00	370	130±10.00	64.86
20	0.047±0.012	0.009±0.010	81.13	370	140±0.00	62.16
25	0.047±0.012	0.004±0.008	90.56	370	137±11.55	63.06