



การบำบัดสารลดแรงตึงผิว ฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโน ในสารละลายผงซักฟอกโดยกระบวนการดูดซับของชั้นกรอง Treatment of Surfactant Phosphate and Nano – Silver in Laundry Detergent Solution by Adsorption Process of Filter Layer

Porkamon Khotcharin Kanita Tungkananuruk* and Watcharapong Wararam

พอกมล คชรินทร์ คณิตา ตังคณานุรักษ์* และ วัชรพงษ์ วาระรัมย์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ 10900

*E-mail : kkanita.kt@gmail.com

บทคัดย่อ

การป้องกันและการลดมลภาวะทางน้ำและความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศจากการเกิดยูโทรฟิเคชันอย่างมีประสิทธิภาพ ทำได้โดยการลดสารอินทรีย์ และธาตุอาหารจำพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปล่อยน้ำเสียจากการซักผ้าลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะทำให้เกิดผลกระทบอย่างมากต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ โดยจุดประสงค์ของการทำวิจัยคือการลดสารลดแรงตึงผิว ฟอสเฟต และซิลเวอร์นาโนโดยใช้ตัวดูดซับ เช่น ถ่านกัมมันต์ ตะกอนดินน้ำประปา และไคโตซานจากเปลือกกุ้ง การทดลองแบบแบตช์ โดยใช้สารละลายผงซักฟอก (35 กรัม ต่อน้ำ 60 ลิ.) เพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ฟอสเฟต และซิลเวอร์นาโน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดซีโอดี ฟอสเฟต ซิลเวอร์นาโน ได้ร้อยละ 91.30, 70.25 และ 82.61 ตามลำดับ ตะกอนดินน้ำประปา สามารถกำจัดได้ร้อยละ 56.52, 66.67 และ 82.61 ตามลำดับ และไคโตซานสามารถกำจัดได้ร้อยละ 65.22, 68.82 และ 91.30 ตามลำดับ สำหรับการบำบัดแบบคอลัมน์ทำการออกแบบ 5 ชุดการทดลอง คอลัมน์ที่ 1 ประกอบด้วยชั้นกรอง 5 ชั้นคือ หิน กรวด ถ่านกัมมันต์ผสมทรายหยาบอัตราส่วน 1 ต่อ 40 ตะกอนดินผสมทรายหยาบอัตราส่วน 1 ต่อ 40 และไคโตซาน 1 กรัม คอลัมน์ที่ 2 ประกอบด้วยชั้นกรอง 4 ชั้น คือ หิน ตะกอนดินผสมทรายหยาบอัตราส่วน 1 ต่อ 40 กรวด และไคโตซาน 1 กรัม คอลัมน์ที่ 3 ประกอบด้วยชั้นกรอง 4 ชั้นคือ หิน ถ่านกัมมันต์ผสมทรายหยาบอัตราส่วน 1 ต่อ 40 กรวด และไคโตซาน 1 กรัม คอลัมน์ที่ 4 ประกอบด้วยชั้นกรอง 3 ชั้นคือ หิน เม็ดเซรามิก ถ่านกัมมันต์ และไคโตซาน 1 กรัม และคอลัมน์ที่ 5 ประกอบด้วยชั้นกรอง 3 ชั้นคือ หิน เม็ดเซรามิกตะกอนดิน และไคโตซาน 1 กรัม ในแต่ละชุดการทดลองใช้สารละลายผงซักฟอก 250 มล. ผลการทดลองพบว่าคอลัมน์ที่ 4 มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดซีโอดี (> 67%) ฟอสเฟต (> 76%) และซิลเวอร์นาโน (> 50%) โดยคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยิ่งไปกว่านั้นคอลัมน์ที่ 4 มีอายุการใช้งานนานกว่าคอลัมน์อื่นๆ นอกจากนี้คอลัมน์ที่ 5 มีประสิทธิภาพการกำจัดได้ดีเป็นอันดับที่ 2 แต่มีอายุการใช้งานสั้นกว่าคอลัมน์ที่ 4 ดังนั้น งานวิจัยนี้สามารถประยุกต์ไปทำถังกรองขนาดใหญ่ เพื่อรองรับปริมาณน้ำเสียจากการซักผ้าที่มีปริมาณมากได้

คำสำคัญ : สารลดแรงตึงผิว; ฟอสเฟต; ซิลเวอร์นาโน; ถ่านกัมมันต์; ตะกอนดินน้ำประปา; ไคโตซาน

Abstract

The effective prevention and mitigation of water pollution and ecological degradation from eutrophication was the minimization of organic substance and N and P nutrients to the standard set out before discharging into bodies of water. Particularly, discharging the laundry wastewater directly into public water resource had widely effects on aquatic environment. The objectives of this research was to treat surfactant, phosphate and nano-silver in laundry wastewater by using adsorbents such as lignite fly ash (LFA), waterworks sludge (WWS) and chitosan (CS) from shrimp shell. The batch experiments were performed in laundry detergent solution (LDS) (35 g/60 L of water) to determine the removal efficiency of COD, phosphate and nano-silver. The results revealed that COD, phosphate and nano-silver were removed by LFA (91.30, 70.25 and 82.61% respectively), WWS (56.52, 66.67 and 82.61% respectively) and CS (65.22, 68.82 and 91.30% respectively). For column treatment, which was designed in 5 treatments: 1st column consist of 5 filter layers (stone, gravel, mixed LFA with coarse sand 1:40, mixed WWS with coarse sand 1:40 and chitosan 1g) 2nd column consist of 4 filter layers (stone, mixed WWS with coarse sand 1:40, gravel and chitosan 1g) 3rd column consist of 4 filter layers (stone, mixed LFA with coarse sand 1:40, gravel and chitosan 1g) 4th column consist of 3 filter layers (stone, spherical ceramic fly ash and chitosan 1g) and 5th column consist of 3 filter layers (stone, spherical ceramic WWS and chitosan 1g). In each treatment time of 5 columns with using 250 mL of LDS, the experimental results showed that the highest removal efficiency of COD (>67%), phosphate (>76%) and nano-silver (>50%) could be achieved from the 4th column by effluent was agree with the water quality of the standard. Moreover, the 4th column had a long duration time than the other column. Furthermore, the 5th column was the 2nd of a good removal efficiency but had a short time to use than the 4th column. Therefore, this research could be applied to set a expanded scale filter tank for available support a large amount of laundry wastewater.

Keywords : Surfactant; Phosphate; Nano-Silver; Lignite Fly Ash; Waterworks Sludge; Chitosan

บทนำ

การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการขยายตัวของชุมชน ส่งผลให้เกิดน้ำเสียจากการซักล้างทำความสะอาดเสื้อผ้า อุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น ในทุกวันนี้ผ้าซักล้างเสื้อผ้าจะถูกเททิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำหรือแหล่งน้ำสาธารณะโดยไม่มีการบำบัดสารที่ก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำ เช่น สารลดแรงตึงผิว ซิลเวอร์นาโนและฟอสเฟต เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตในน้ำและทำให้พืชน้ำสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืช (phytoplankton) ซึ่งเป็นผู้ผลิตในห่วงโซ่อาหาร (food chains) เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ได้ [1] ซึ่งจัดเป็นมลภาวะทางน้ำที่เป็นปัญหาอย่างมากใน

ประเทศเขตร้อนและทำให้แหล่งน้ำเกิดการเน่าเสีย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาหาวิธีโดยเป็นการบำบัดขั้นต้นและเป็นวิธีที่ง่ายและต้นทุนต่ำ สามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ประโยชน์ในการรดต้นไม้ได้ ผู้วิจัยจึงคิดประดิษฐ์ชั้นกรองจากวัสดุเหลือทิ้งในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อกำจัดมลสารที่เป็นองค์ประกอบในผงซักฟอก โดยเฉพาะสารลดแรงตึงผิว ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากทางชีวภาพ และซิลเวอร์นาโน ซึ่งเป็นธาตุเงินที่มีอะตอมขนาดเล็กมากในระดับนาโน ทำให้แพร่กระจายได้ง่าย ยากต่อการกำจัดและเข้าสู่ห่วงโซ่สิ่งมีชีวิตได้และฟอสเฟต ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่ทำให้พืช สาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชเจริญมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ได้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมสารละลายผงซักฟอก

ชั่งผงซักฟอกที่มีสารลดแรงตึงผิว ฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโนเป็นองค์ประกอบ 35 กรัม (1 ช้อน) ต่อน้ำ 60 ล. ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ตลอดการทดลอง

2. การเตรียมเถ้าลอยลิกไนต์

เถ้าลอยที่ใช้ในการศึกษา คือ เถ้าลอยลิกไนต์ที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ร้อยละ 100 โดยนำเถ้าลอยมาล้างด้วยน้ำสะอาด เพื่อปรับความเป็นกรด-ด่างให้เป็นกลางเนื่องจากเถ้าลอยมีสภาพเป็นเบส จากนั้นนำไปตากให้แห้ง อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยลักษณะเถ้าลอยลิกไนต์ มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีน้ำตาลอ่อน

3. การเตรียมตะกอนดินน้ำประปา

ตะกอนดินน้ำประปาได้รับความอนุเคราะห์จากโรงผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์ เตรียมโดยการนำมาตากให้แห้งสนิท จากนั้นนำไปบดให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 30 (0.594 mm.) อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยลักษณะทางกายภาพของตะกอนดินน้ำประปาเป็นผงละเอียดสีน้ำตาลเข้ม

4. การสังเคราะห์โคโคซาน

นำเปลือกกุ้งมาล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดมันกุ้งและสิ่งสกปรก จากนั้นตากแดดให้แห้ง นำไปบด แล้วนำเปลือกกุ้งที่ผ่านการบดเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ (สัดส่วน 1:6 น้ำหนักต่อปริมาตร) ต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองและล้างด้วยน้ำกลั่น นำไปตากแดดให้แห้ง จากนั้นเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ (สัดส่วน 1:10 น้ำหนักต่อปริมาตร) ตั้งทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง กรองและล้างน้ำกลั่นนำไปตากแดดให้แห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือสารโคโคซานนำสารโคโคซานที่ได้เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (สัดส่วน 1:10 น้ำหนักต่อปริมาตร) ต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองและล้างด้วยน้ำกลั่น ตากแดดให้แห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ โคโคซาน ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่น [2]

5. การเตรียมเปลือกหอยนางรมขาว

นำเปลือกหอยนางรมไปล้างด้วยน้ำประปาให้สะอาด นำไปตากแดดจนแห้งสนิท แล้วนำมาตำให้ละเอียดจนมีลักษณะเป็นผงแป้งสีขาว จากนั้นนำไปที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

6. การเตรียมถ่านกะลามะพร้าว

นำถ่านกะลามะพร้าวขนาด 2-3 มิลลิเมตร ที่มีลักษณะเป็นเกล็ดสีดำขนาดเล็ก ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

7. การขึ้นรูปตะกอนดินน้ำประปา (Spherical Pottery Waterworks Sludge)

นำตะกอนดินน้ำประปาที่ผ่านการร่อนจนเป็นผงละเอียด อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ผสมกับน้ำกลั่นให้มีความชื้นร้อยละ 35 จากนั้นปั้นเป็นเม็ดกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 มม. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นและเก็บในตู้ดูดความชื้น

8. การขึ้นรูปเถ้าลอยลิกไนต์ (Spherical Pottery Lignite Fly Ash)

นำเถ้าลอยที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ผสมกับดินปลูกบัว ในอัตราส่วน 3:1 ผสมน้ำกลั่นให้มีความชื้นร้อยละ 35 ปั้นเป็นเม็ดกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 มม. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นและเก็บในตู้ดูดความชื้น

9. การวิเคราะห์สารลดแรงตึงผิว ฟอสเฟต และซิลเวอร์นาโนในผงซักฟอก

ทำการศึกษาปริมาณซีโอดี ออร์โธฟอสเฟต และซิลเวอร์นาโนในผงซักฟอก โดยใช้สารละลายผงซักฟอกที่เตรียมขึ้นมีความเข้มข้นใกล้เคียงกับน้ำผงซักฟอกที่ใช้จริงในการซักผ้าด้วยเครื่องซักผ้าฝาบนขนาด 9 กก. คือ ละลายผงซักฟอก 35 กรัม (1 ช้อน) ต่อน้ำ 60 ล. จากนั้นนำสารละลายผงซักฟอกมาวิเคราะห์ปริมาณซีโอดี ด้วยวิธี Closed reflux, ปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ด้วยวิธี Colorimetric และปริมาณซิลเวอร์นาโน ด้วยวิธี Volhard's Method [3]

10. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโดยวิธีการทดลองแบบแบตช์

10.1 ศึกษาหาชนิดตัวดูดซับและปริมาณตัวดูดซับ

ตัวดูดซับที่นำมาใช้ในการทดลอง ได้แก่ ถ่านกัมมะพูรา (Activated carbon) ตะกอนดินจากโรงผลิตน้ำประปา เปลือกหอยนางรมตะกอนทราย และไคโตซานจากจากอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ และไคโตซานจากเปลือกกุ้ง นำตัวดูดซับชนิดต่างๆ มาทำการทดลองแบบแบตช์ โดยนำตัวดูดซับเขย่ากับสารละลายผงซักฟอก ปริมาตร 50 มล. โดยปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ศึกษา คือ ถ่านกัมมะพูรา ตะกอนดินน้ำประปา เปลือกหอยนางรม ตะกอนทราย ปริมาณ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม ถ่านกัมมะพูรา ปริมาณ 0.5, 1, 1.5 และ 2 กรัม และไคโตซาน ปริมาณ 0.2, 0.5 และ 1 กรัม เขย่า 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรอง จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส และซิลเวอร์นาโน เช่นเดียวกับข้อ 7

10.2 การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม

เมื่อได้ปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม จากข้อ 8.1 นำมาใส่ขวดรูปชมพู่ เติมสารละลายผงซักฟอกผสมลงไป ปริมาตร 50 มล. แช่ทิ้งไว้ 0 นาที, 30 นาที, 60 นาที, 90 นาที และ 120 นาที ตามลำดับ และทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำเสียทั้งก่อนและหลังผ่านคอลัมน์ ทำการทดลองต่อเช่นเดียวกับข้อ 8.1

11. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารลดแรงตึงผิว ฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโนในสารละลายผงซักฟอก โดยการไหลผ่านชั้นกรองในคอลัมน์

11.1 การบรรจุชั้นกรองการไหลผ่านชั้นกรองในคอลัมน์

การทดลองในชั้นคอลัมน์เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการได้จำลองแบบชั้นกรองมาจากระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้คอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ซม. สูง 40 ซม. บรรจุชั้นกรองจากบนลงล่าง แบ่งเป็น 5 คอลัมน์ ดังรูปที่ 1

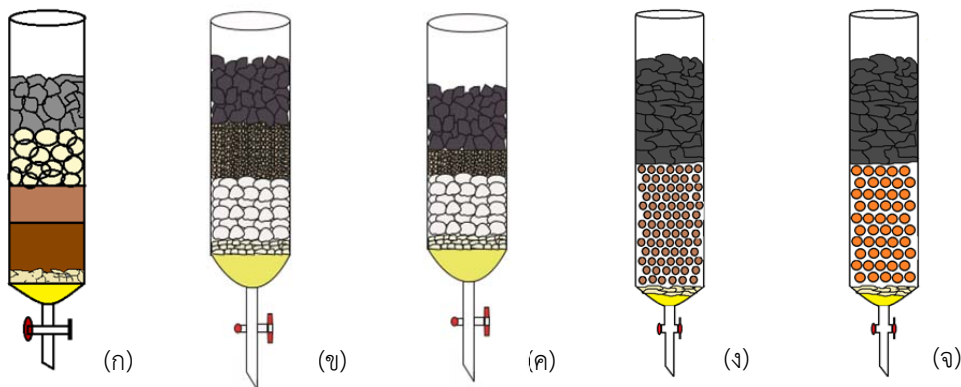
11.1.1 คอลัมน์ที่ 1 เป็นคอลัมน์ที่ใส่ตัวดูดซับแบบผง คือ หินหยาบ 10 ซม. ถ่านกัมมะพูรา 2 กรัม ผสมทรายหยาบ 80 กรัม หินกรวด 7 ซม. ตะกอนดินน้ำประปา 5 กรัม ผสมทรายหยาบ 200 กรัม ไคโตซาน 1 กรัม และฟองน้ำ

11.1.2 คอลัมน์ที่ 2 ใส่ตัวดูดซับแบบผง คือ หินหยาบ 10 ซม. ตะกอนดินน้ำประปา 5 กรัม ผสมทรายหยาบ 200 กรัม ไคโตซาน 1 กรัม หินกรวด 7 ซม. และฟองน้ำ

11.1.3 คอลัมน์ที่ 3 ใส่ตัวดูดซับแบบผง คือ หินหยาบ 10 ซม. ถ่านกัมมะพูรา 2 กรัม ผสมทรายหยาบ 80 กรัม หินกรวด 7 ซม. ไคโตซาน 1 กรัม และฟองน้ำ

11.1.4 คอลัมน์ที่ 4 ใส่ตัวดูดซับ คือ หินหยาบ 10 ซม. เม็ดเซรามิกถ่านกัมมะพูรา 10 ซม. ไคโตซาน 1 กรัม และฟองน้ำ

11.1.5 คอลัมน์ที่ 5 ใส่ตัวดูดซับ คือ หินหยาบ 10 ซม. เม็ดเซรามิกตะกอนดิน 10 ซม. ไคโตซาน 1 กรัม และฟองน้ำ



รูปที่ 1 การบรรจุชั้นกรองและชั้นดูดซับในคอลัมน์ที่ 1 (ก), คอลัมน์ที่ 2 (ข), คอลัมน์ที่ 3 (ค), คอลัมน์ที่ 4 (ง), คอลัมน์ที่ 5 (จ)

11.2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ผสมด้วยชั้นกรองแบบคอลัมน์

เติมสารละลายผงซักฟอก ลงในคอลัมน์ทั้ง 5 แบบ ครั้งละ 250 มล. แห้สารละลายผงซักฟอกในคอลัมน์ทั้ง 5 แบบ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยน้ำผ่านชั้นกรองให้หมด วิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัดสารลดแรงตึงผิว ฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโน โดยวัดค่าการกำจัดซีโอดี ปริมาณออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส และซิลเวอร์นาโน ทำการทดลองซ้ำวันละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 10 วัน หรือจนกว่าวัสดุจะหมดประสิทธิภาพการดูดซับในการบำบัดลดลงหรือคงที่ พร้อมทั้งวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้นก่อนและหลังการบำบัด

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงตึงผิว ฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโนในผงซักฟอก

การศึกษาปริมาณซีโอดี ฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโนในผงซักฟอก โดยใช้สารละลายผงซักฟอกที่เตรียมขึ้นมีความเข้มข้นใกล้เคียงกับน้ำผงซักฟอกที่ใช้จริงในการซักผ้าด้วยเครื่องซักผ้า คือ ผงซักฟอก 35 กรัม (1 ซ้อน) ต่อน้ำ 60 ล. ผลวิเคราะห์ซีโอดี พบว่าในสารละลายผงซักฟอกมีค่าซีโอดี 368 มก./ล. เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทั้งตามกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดให้ค่าซีโอดี ไม่เกิน 120 มก./ล. ปริมาณออร์โธฟอสเฟตเท่ากับ 8.31 มก./ล. เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำเสียชุมชนที่กำหนดให้ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด ไม่เกิน 2 มก./ล. และมีปริมาณซิลเวอร์นาโนเท่ากับ 1.51 มก./ล. เกินค่ามาตรฐานโลหะเงินที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.5 มก./ล. [4] ซึ่งรุ่งทิพย์ (2544) [5] อธิบายว่า ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ฟอสเฟตและซีโอดีในน้ำซักล้างที่เหลือจากการซักผ้า จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้สารซักฟอกที่เพิ่มมากขึ้น และไม่ตรี (2526) [6] กล่าวว่า การที่สารซักฟอกถูกปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ นอกจากจะมีพิษโดยตรงแล้วยังอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสภาพแวดล้อมทางน้ำและมีผลโดยทางอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ซึ่งนรุตม์ และจิราวรรณ (2555) [7] อธิบายว่า ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันเกิดจากการที่แหล่งน้ำมีปริมาณธาตุอาหารคือสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากเกินไป เป็นธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของสาหร่ายเซลล์เดียวและพืชน้ำ ทำให้มี

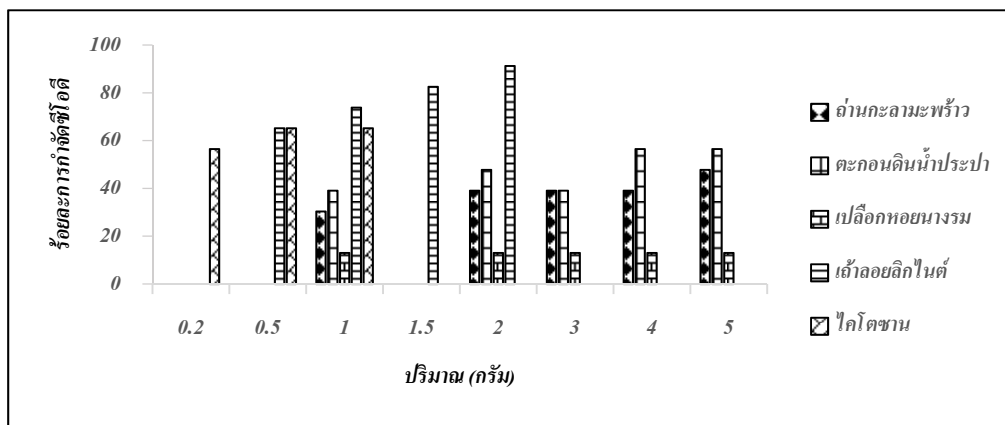
การแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วในแหล่งน้ำ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและสิ่งมีชีวิตในน้ำ และมีรายงานค่าวิกฤตของการปนเปื้อนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำเท่ากับ 0.05-0.2 มก./ล. และ 0.007-0.03 มก./ล. ตามลำดับ การปนเปื้อนของธาตุอาหารดังกล่าวก็มีสาเหตุมาจากการใช้ผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดเครื่องใช้ในครัวเรือนซึ่งมีส่วนผสมของฟอสเฟต น้ำจากการซักล้างก็จะไหลลงสู่แหล่งน้ำเกิดการปนเปื้อนของธาตุอาหารฟอสฟอรัส

2. ผลการศึกษาชนิดและปริมาณตัวดูดซับที่มีความสามารถในการกำจัดมลสารในสารละลายผงซักฟอกด้วยการทดลองแบบแบตช์

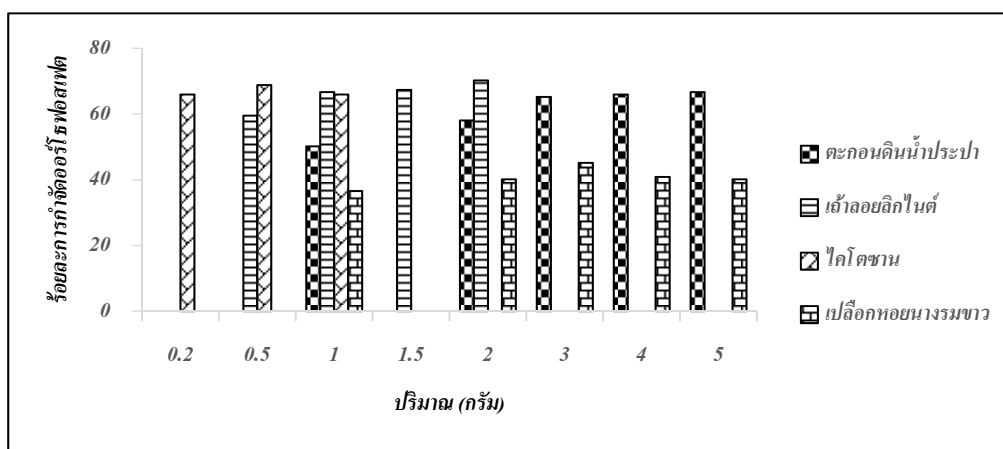
ชนิดและปริมาณตัวดูดซับที่ศึกษา ได้แก่ ถ่านกัมมะพูราว ตะกอนดิน เปลือกหอยนางรมตะกอนกราม ปริมาณ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม ถั่วลอยลิกไนต์ ปริมาณ 0.5, 1, 1.5 และ 2 กรัม และไคโตซาน ปริมาณ 0.2, 0.5 และ 1 กรัม การศึกษาแต่ละครั้งใช้สารละลายผงซักฟอก (35 กรัม/60 ล.) ผลการศึกษาพบว่า ถั่วลอยลิกไนต์ ตะกอนดิน และไคโตซาน มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ฟอสเฟต และซิลเวอร์นาโนได้ทั้ง 3 พารามิเตอร์ต่างกัน ดังรูปที่ 2

เนื่องจากถั่วลอยมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ SiO_2 40.89%, CaO 14.54%, Al_2O_3 13.33% และออกไซด์ของโลหะอื่นๆ [8] และมีปริมาณคาร์บอนสูง ทำให้สภาพผิวที่พื้นผิวมีประจุเป็นลบ จึงสามารถดูดซับไอออนบวกได้ และคาร์บอนสามารถเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับสารอินทรีย์ได้ ประกอบกับถั่วลอยมีความเป็นรูพรุนสูง และในรูพรุนมีสภาพผิวเป็นบวก เนื่องจากอะลูมิเนียม จึงทำให้สามารถดูดซับซีโอดีและฟอสเฟตได้ ซึ่งถั่วลอยสามารถกำจัดซีโอดี ฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโน ได้ร้อยละ 91.30, 70.25 และ 82.61 ตามลำดับ โดยใช้ถั่วลอยปริมาณ 2, 2 และ 1 กรัม ตามลำดับ

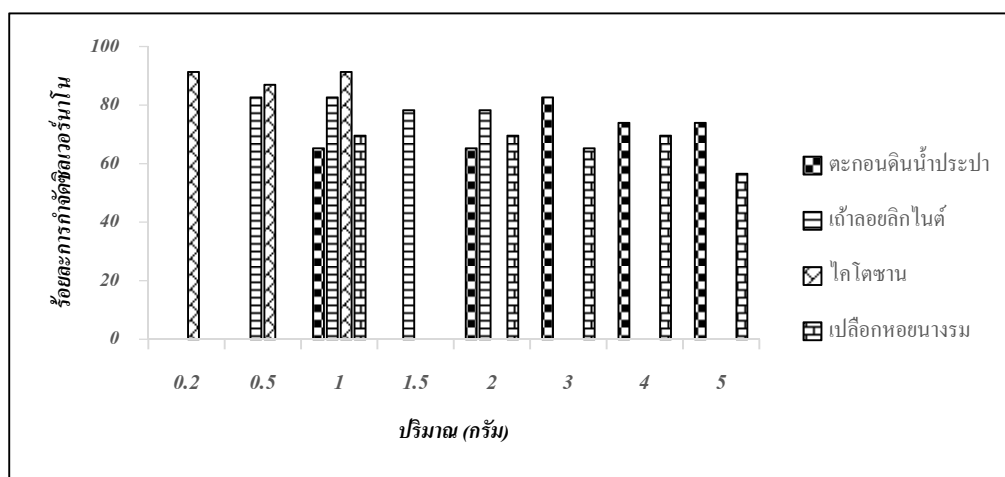
ตะกอนดิน มีความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง เนื่องจากพื้นผิวมีสภาพผิวเป็นลบและมีองค์ประกอบของ SiO_2 41.78%, Al_2O_3 37.45% และ Fe_2O_3 7.38% และโครงสร้างมีรูพรุนมากจึงสามารถดูดซับได้ดี [9] ตะกอนดินสามารถกำจัดซีโอดี ฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโน ได้ร้อยละ 56.52, 66.67 และ 82.61 ตามลำดับ โดยใช้ตะกอนดิน 5, 5 และ 3 กรัม ตามลำดับ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2 ประสิทธิภาพของตัวดูดซับในการกำจัดซีไอดี (ก), ออร์โธฟอสเฟต (ข) และซิลเวอร์ไนโตรเจน (ค) ในสารละลายผงซักฟอกด้วยวิธีแบบแบตช์

ไคโตซาน สามารถกำจัดซีไอดี ฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโน ได้ร้อยละ 65.22, 68.82 และ 91.30 ตามลำดับ เนื่องจากไคโตซาน เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันคือ หมู่อะมิโน ($-NH_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล [10] จึงทำให้ไคโตซานสามารถดูดซับได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chiou and Li (2003) [11] ใช้ไคโตซานเป็นตัวจับไอออนโลหะ เช่น พรอท ทองแดงในน้ำเสียอุตสาหกรรมโรงงาน และงานวิจัยของ Feng et al. (2000) [12] ศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักและสีย้อมโดยไคโตซานแบบเกล็ดและแบบเม็ดที่เตรียมจากเปลือกกุ้งเปลือกกุ้งมังกร และเปลือกปู พบว่าการทดลองในชั้นคอลัมน์เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการได้จำลองแบบชั้นกรองมาจากระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้คอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ซม. สูง 40 ซม. บรรจุชั้นกรองจากบนลงล่าง แบ่งเป็น 5 คอลัมน์ ดังรูปที่ 1

3. ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดมลสารในสารละลายผงซักฟอกด้วยการทดลองแบบแบตช์

จากการศึกษาพบว่าระยะเวลาการสัมผัสตั้งแต่เริ่มสัมผัส, 30 นาที, 60 นาที, 90 นาที และ 120 นาที โดยใช้ตัวดูดซับ คือ ถ้ำลอย 2 กรัม ตะกอนดิน 5 กรัม และไคโตซาน 1 กรัม พบว่า ระยะเวลาการสัมผัสเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการกำจัดที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการดูดซับสามารถเกิดได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ทุกพารามิเตอร์มีแนวโน้มเดียวกันคือ อัตราการดูดซับเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้ม

คงที่เมื่อระยะเวลาการบำบัดมากกว่า 60 นาที เนื่องจากระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นทำให้พื้นผิวของตัวดูดซับสัมผัสกับตัวที่ถูกดูดซับมากขึ้นจนเข้าสู่สภาวะสมดุล การดูดซับค่อนข้างคงที่และอาจมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากอาจเกิดการคายซับมากกว่าการดูดซับ [13] ดังนั้น ระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดคือ 60 นาที สามารถกำจัดซีไอดี ฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโน ได้ร้อยละ 91.30, 70.25 และ 91.30 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

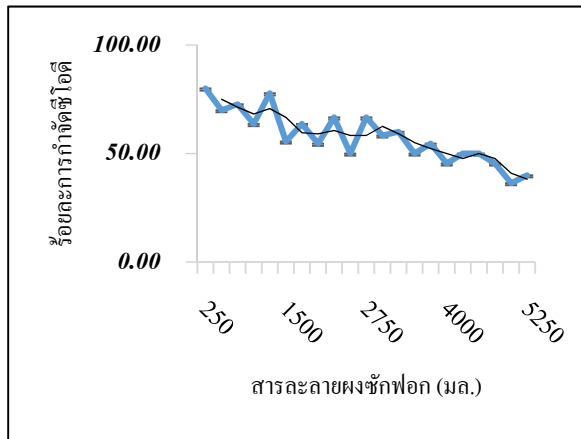
4. ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดซีไอดี ฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโนในสารละลายผงซักฟอกแบบคอลัมน์

4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีในสารละลายผงซักฟอกด้วยชั้นดูดซับและชั้นกรองในคอลัมน์

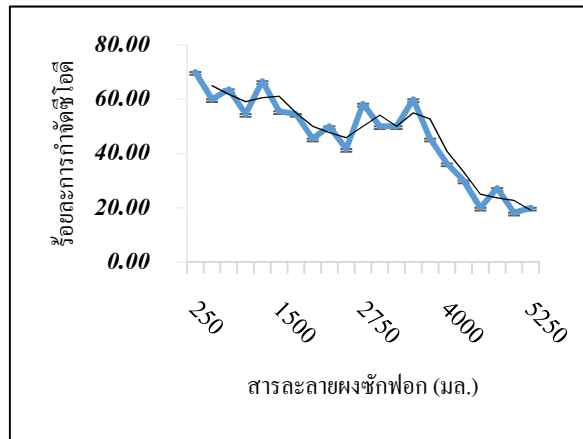
จากการวิเคราะห์ซีไอดีในสารละลายผงซักฟอกด้วยวิธี Closed reflux พบว่า มีค่าซีไอดี เท่ากับ 288-384 มก./ล. ซึ่งเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่กำหนดให้มีค่าซีไอดีไม่เกิน 120 มก./ล. เมื่อบำบัดสารละลายผงซักฟอกด้วยชั้นดูดซับและชั้นกรองในคอลัมน์ที่ออกแบบไว้ 5 แบบ พบว่า คอลัมน์ทั้ง 5 แบบ มีแนวโน้มการกำจัดไปในทิศทางเดียวกัน คือ คอลัมน์ที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 สามารถกำจัดซีไอดีได้ดีที่สุดในการบำบัดครั้งแรกที่ร้อยละ 80, 70, 70, 90 และ 80 จากนั้นประสิทธิภาพการบำบัดลดลงและเพิ่มขึ้นเมื่อมีการแช่น้ำในคอลัมน์ ทั้งไว้ 1 คืน ซึ่งในการบำบัดน้ำที่ปริมาตร 5,250 มล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของคอลัมน์ที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ลดลงเหลือร้อยละ 40, 20, 10, 50 และ 40 ตามลำดับ ดังรูปที่ 3

ตารางที่ 1 ระยะเวลาการสัมผัสกับประสิทธิภาพการกำจัดด้วยถ้ำลอยลิ้นไนต์และไคโตซาน

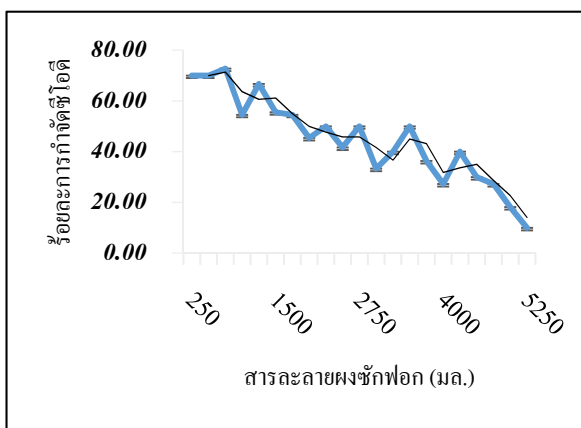
พารามิเตอร์/ตัวดูดซับ		ระยะเวลาการสัมผัส (นาที)				
		ตั้งแต่เริ่มสัมผัส	30	60	90	120
COD	ถ้ำลอยลิ้นไนต์	55.00	82.61	91.30	91.30	91.30
Orthophosphate	ถ้ำลอยลิ้นไนต์	59.91	66.67	70.25	67.38	67.38
Nano-silver	ไคโตซาน	65.22	91.30	91.30	91.30	91.30



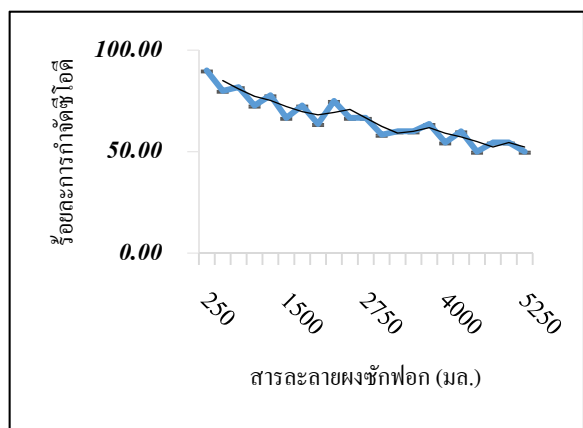
(ก)



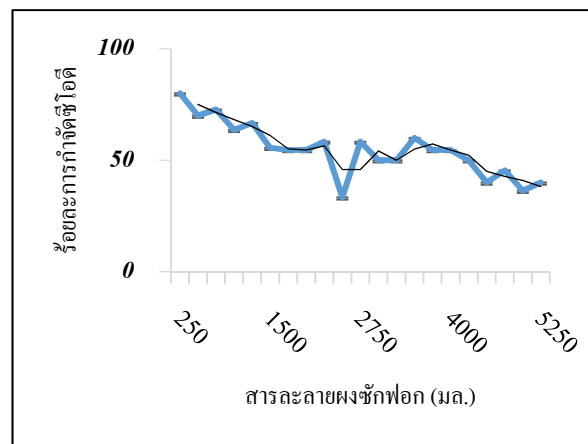
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในสารละลายผงซักฟอกด้วยคอลัมน์ที่ 1 (ก), คอลัมน์ที่ 2 (ข), คอลัมน์ที่ 3 (ค), คอลัมน์ที่ 4 (ง) และคอลัมน์ที่ 5 (จ)

4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดออร์โธฟอสเฟตในสารละลายผงซักฟอกด้วยชั้นดูดซับและชั้นกรองในคอลัมน์

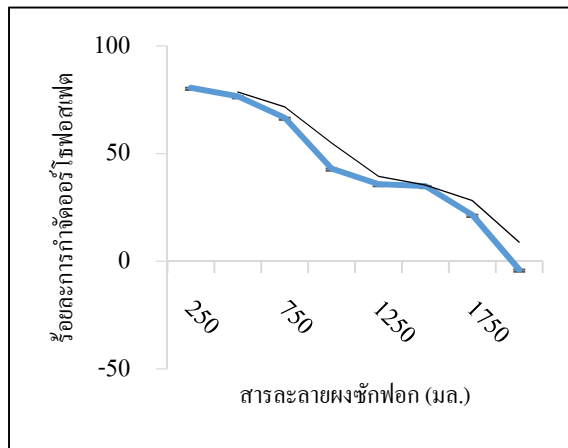
วิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในสารละลายผงซักฟอกด้วยวิธี Colorimetric พบว่า มีปริมาณออร์โธฟอสเฟตเท่ากับ 5.57 มก./ล. ซึ่งเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่กำหนดให้มีค่าปริมาณออร์โธฟอสเฟตไม่เกิน 2 มก./ล. [14] จากการบำบัดน้ำด้วยชั้นดูดซับและชั้นกรองแบบคอลัมน์ 5 แบบ พบว่า คอลัมน์ที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 มีประสิทธิภาพการกำจัดออร์โธฟอสเฟตที่ดีที่สุดในการบำบัดครั้งแรก ร้อยละ 80.57, 46.70, 26.38, 87.51 และ 78.08 ตามลำดับ จากนั้นประสิทธิภาพการบำบัดลดลงและจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการแช่น้ำในคอลัมน์เช่นเดียวกับการกำจัดซีโอดี แต่คอลัมน์ที่ 1, 2 และ 3 มีประสิทธิภาพการบำบัดลดลงอย่างต่อเนื่องและหมดประสิทธิภาพ ส่วนคอลัมน์ที่ 4 และ 5 สามารถกำจัดออร์โธฟอสเฟตได้ถึงการทดลองครั้งสุดท้ายที่ปริมาตรน้ำ 5,250 มล. สามารถกำจัดออร์โธฟอสเฟตได้ร้อยละ 50.35 และ 31.70 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4

4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซิลเวอร์นาโนในสารละลายผงซักฟอกด้วยชั้นดูดซับและชั้นกรองในคอลัมน์

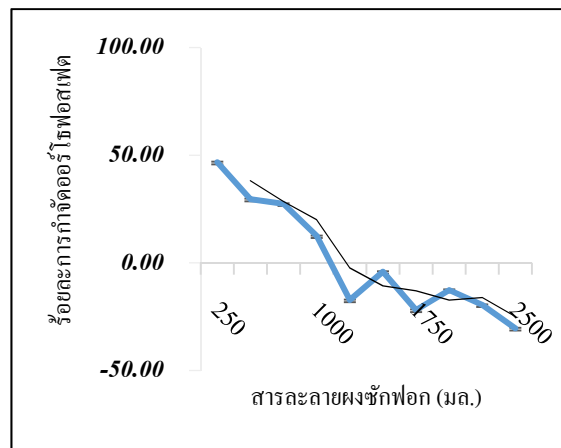
วิเคราะห์ปริมาณซิลเวอร์นาโนในสารละลายผงซักฟอก พบว่า มีซิลเวอร์นาโนเท่ากับ 1.51 มก./ล. ซึ่งเกินค่ามาตรฐานโลหะเงินของ U.S. EPA ที่กำหนดไว้

ไม่ให้เกิน 0.5 มก./ล. [3] จากการบำบัดด้วยคอลัมน์ 5 แบบ พบว่า คอลัมน์ที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 มีประสิทธิภาพการกำจัดซิลเวอร์นาโนดีที่สุดในการบำบัดครั้งแรกสามารถกำจัดซิลเวอร์นาโนได้ร้อยละ 71.43, 68.57, 68.57, 74.29 และ 68.57 ตามลำดับ ซึ่งการทดลองในแต่ละวันพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดจะสูงสุดในน้ำที่ไหลผ่านชั้นกรองในคอลัมน์ครั้งแรกของแต่ละวันและจะลดลง และเพิ่มขึ้นในวันถัดไป แต่ประสิทธิภาพการบำบัดจะไม่ดีเท่าการบำบัดครั้งแรก ดังรูปที่ 5

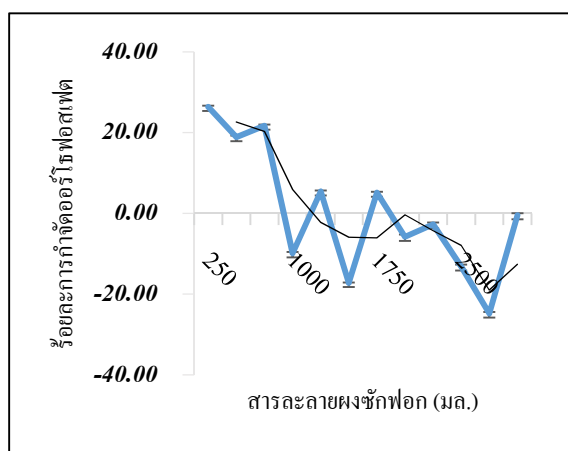
ซึ่งจากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ออร์โธฟอสเฟต และซิลเวอร์นาโน ด้วยคอลัมน์ทั้ง 5 แบบ พบว่า คอลัมน์ที่ 4 ที่บรรจุด้วยเม็ดเซรามิกเถ้าลอยและไคโตซาน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ออร์โธฟอสเฟต และซิลเวอร์นาโนในสารละลายผงซักฟอกดีกว่าคอลัมน์อื่นๆ เนื่องจากคอลัมน์ที่ 4 มีความสามารถในการกำจัดมลสารในสารละลายผงซักฟอกครั้งแรกและในครั้งสุดท้ายดีที่สุด เป็นผลมาจากเถ้าลอยลิกไนต์ในคอลัมน์ที่ 4 นั้น มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ SiO_2 40.89%, CaO 14.54%, Al_2O_3 13.33% และออกไซด์ของโลหะอื่นๆ และมีปริมาณคาร์บอนสูง ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้ และเถ้าลอยลิกไนต์มีรูพรุนมาก ซึ่งเกิดจากการเผาที่อุณหภูมิสูงที่ 500 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการดูดซับด้วยกลไกแบบกายภาพได้อีกด้วย



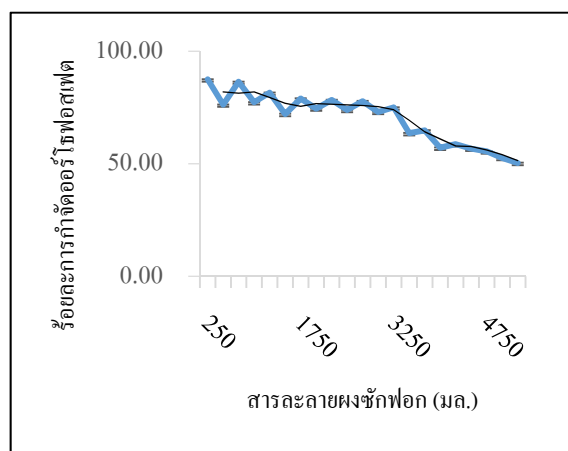
(ก)



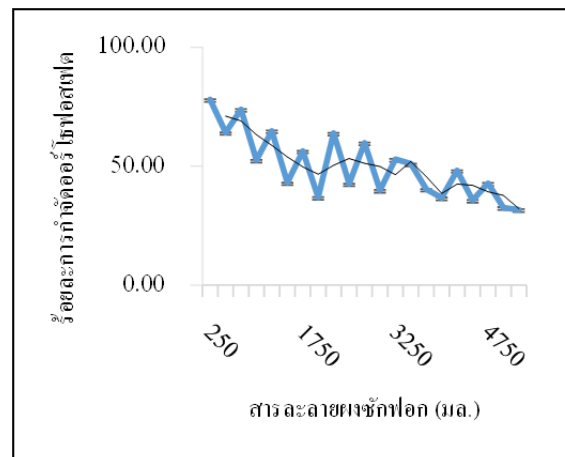
(ข)



(ค)

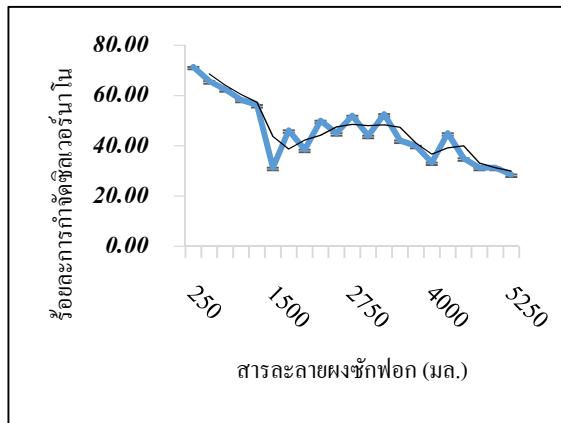


(ง)

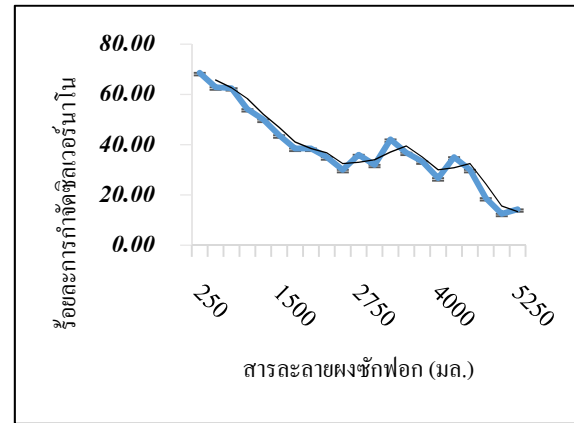


(จ)

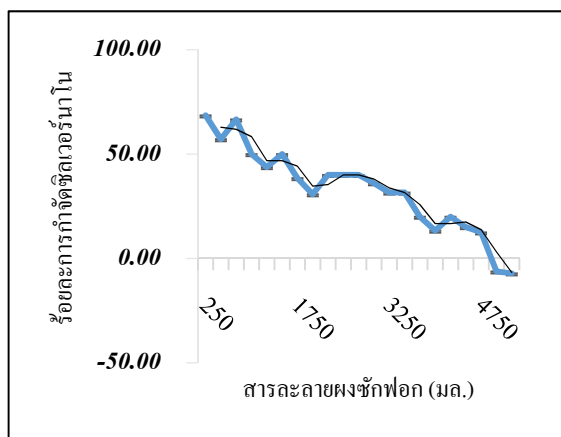
รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดออร์โธฟอสเฟตในสารละลายผงซักฟอกด้วยคอลัมน์ที่ 1 (ก), คอลัมน์ที่ 2 (ข), คอลัมน์ที่ 3 (ค), คอลัมน์ที่ 4 (ง) และคอลัมน์ที่ 5 (จ)



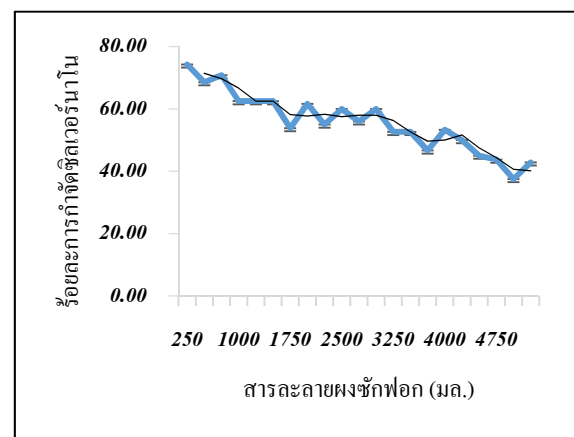
(ก)



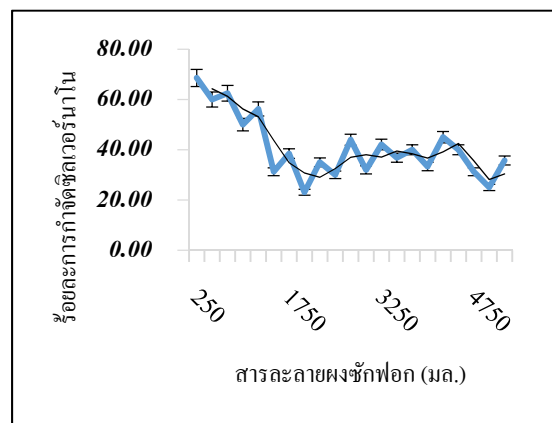
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดซิลเวอร์นาโนในสารละลายผงซักฟอกด้วยคอลัมน์ที่ 1 (ก), คอลัมน์ที่ 2 (ข), คอลัมน์ที่ 3 (ค), คอลัมน์ที่ 4 (ง) และคอลัมน์ที่ 5 (จ)

สรุป

การบำบัดซีโอที ออร์โธฟอสเฟต และซิลเวอร์นาโน ในสารละลายผงซักฟอกที่มีปริมาณสูงเกินค่ามาตรฐาน คุณภาพน้ำทิ้งชุมชนโดยกระบวนการดูดซับด้วยชั้นดูดซับ และชั้นกรองจากของเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรมด้วยวิธีการทดลองแบบแบตช์ พบว่า แก้วลอยลิกไนต์ ไคโตซาน และตะกอนดิน สามารถกำจัดซีโอที ออร์โธฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโนในสารละลายผงซักฟอกได้ดีที่ระยะเวลาการสัมผัส 60 นาที ซึ่งแก้วลอยลิกไนต์ สามารถกำจัดซีโอที ออร์โธฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโน ได้ร้อยละ 91.30, 70.25 และ 82.61 ตามลำดับ ตะกอนดิน สามารถกำจัดซีโอที ออร์โธฟอสเฟต และซิลเวอร์นาโน ได้ร้อยละ 56.52, 66.67 และ 82.61 ตามลำดับ และไคโตซาน สามารถกำจัดซีโอที ออร์โธฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโน ได้ร้อยละ 65.22, 68.82 และ 91.30 ตามลำดับ สามารถนำมาเป็นวัสดุดูดซับในชั้นกรองที่มีต้นทุนต่ำได้

การบำบัดสารละลายผงซักฟอกด้วยคอลัมน์ทั้ง 5 แบบ พบว่า คอลัมน์ที่บรรจุเม็ดเซรามิกแก้วลอยลิกไนต์และไคโตซาน มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอที ออร์โธฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโนได้ดีที่สุดและมีอายุการใช้งานนานกว่าคอลัมน์อื่นๆ สามารถกำจัดซีโอที ออร์โธฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโน ได้ร้อยละ 90, 87.51 และ 74.29 ตามลำดับ จากนั้นประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลงและจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการแช่น้ำในคอลัมน์ทิ้งไว้ 1 คืน เนื่องจากการบำบัดในครั้งแรกพื้นที่ผิวสัมผัสของตัวดูดซับมีรูพรุนที่ใช้ในการดูดซับมาก จึงสามารถดูดซับมลสารได้สูงที่สุด แต่เมื่อผ่านการบำบัดหลายๆ ครั้ง พื้นที่ผิวรูพรุนสัมผัสของตัวดูดซับจะลดน้อยลง จึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้คอลัมน์ที่บรรจุเม็ดเซรามิกตะกอนดินและไคโตซาน มีประสิทธิภาพการกำจัดได้ดีเป็นอันดับที่ 2 แต่มีอายุการใช้งานสั้นกว่า ดังนั้นสามารถประยุกต์ไปทำถังกรองขนาดใหญ่ เพื่อรองรับปริมาณน้ำเสียจากการซักผ้าที่มีปริมาณมากได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Boney, A.D. 1975. Phytoplankton. London : Edward Arnold Ltd.
- [2] Jutarat Kuandee. 2013. The Utilization of Chitosan from Shrimp Shell and Commercial Chitosan to Remove Dyes in Textile Wastewater from Doi Tung Development Project. (in Thai)
- [3] APHA, AWWA. and WEF. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st edition. American Public Health Association, Washington, DC.
- [4] United States Environmental Protection Agency. 2017. Drinking Water Contaminants – Standards and Regulations. Available Source: <https://www.epa.gov/dwstandardsregulations#List>, July 20, 2017.
- [5] Roongtip Ruilao. 2001. Analysis of Surfactant and Phosphate Content in Home Laundering Wastewater. Master of Home Economics. Major Field Home Economics. Department of Home Economics. (in Thai)
- [6] Maitree Doungsawas. 1983. Effect of detergents on Fisheries. E-THAI FISHERIES GAZETTE. 'receive from' https://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/view_activities/1282/38961# (in Thai)
- [7] Narut Sahanavin and Jirawan Torit. 2012. Eutrophication. Journal of Faculty of Physical Education. Vol.15 (Supplement). Srinakharinwirot University. (in Thai)
- [8] Worawut Matthayan, Sopa Visitsak and Khedari, Joseph. 2011. Improvement of compressive strength for adobe block by

- using lime and palm oil ash. Proceedings of 49th Kasetsart University Annual Conference: Architecture and Engineering. (in Thai)
- [9] Duangkamol Suriyachat, Phasan Wichit Amornphan and Wanthana Ruangsueng. 2004. Application of sediment Soil from tap water. 1st edition. Bureau of Basic Industries Department of Industry and Mining, Bangkok. (in Thai)
- [10] Phawadee Methakanon, Asira Fuengfuchat and Kongkiat Kongsuwan. 2000. Introduction to Chitin-Chitosan. MTEC. Journal of Materials Technology. 19: 69-75. (in Thai)
- [11] Chiou, M.S. and H.Y. Li. 2003. Adsorption behavior of reactive dye in aqueous solution on chemical cross-linked chitosan beads. Chemosphere. 1095-1105.
- [12] Feng, C.W., L.T. Ru and S.J. Ruey. 2000. Comparative Adsorption of Metal and Dye on Flake and Bead Types of Chitosan Prepared from Fishery Wastes. Hazardous Materials. 73: 63-75.
- [13] Tungkananuruk N, Tungkananuruk K. Principle of Chemical Water Quality Analysis, Kasetsart University Press, Bangkok. 2007.
- [14] Pollution Control Department. Waste Water Manual. 2017 'receive from' http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_water.cfm?task=WasteWaterManual (in Thai)