

การบำบัดน้ำเสียจากผงซักฟอกโดยใช้กระดองปูม้าและกระดองหมีก

อณธิกา เสงี่ยมใจ*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: anthika.sa@gmail.com

วันที่รับบทความ: 10 พฤศจิกายน 2564; วันที่ทบทวนบทความ: 1 กุมภาพันธ์ 2565; วันที่ตอบรับบทความ: 1 กุมภาพันธ์ 2565
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 27 เมษายน 2565

บทคัดย่อ: การป้องกันการเกิดปัญหาต่อแหล่งน้ำโดยเฉพาะการเน่าเสียเนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์และธาตุอาหารที่ปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปล่อยน้ำทิ้งจากการซักผ้าลงสู่แหล่งน้ำ สาธารณะเป็นผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันและปัญหาต่อแหล่งน้ำอย่างมาก การทดลองนี้มีจุดประสงค์ในการลดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอดีที่ปนเปื้อนในสารละลายผงซักฟอกโดยใช้วัสดุดูดซับที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ กระดองปูม้าและกระดองหมีก ในการทดลองครั้งนี้ใช้สารละลายผงซักฟอกและน้ำทิ้งจากการซักผ้า แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ขั้นตอน (1) การเตรียมวัสดุดูดซับ 6 แบบ ได้แก่ กระดองปูม้าอบ กระดองปูม้าเผา ไคโตซานจากกระดองปูม้า กระดองหมีกอบ กระดองหมีกเผา และไคโตซานจากกระดองหมีก (2) การศึกษาชนิดและปริมาณวัสดุดูดซับ (3) การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม (4) การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอดีโดยการไหลผ่านชั้นกรองในคอลัมน์ ผลการทดลองพบว่า ไคโตซานจากกระดองปูม้า ปริมาณ 0.5 กรัม ที่ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและปริมาณซีโอดี ร้อยละ 48.6 และ 85.71 ตามลำดับ และกระดองหมีกอบ ปริมาณ 1 กรัม ที่ระยะเวลาสัมผัส 0 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอดี ร้อยละ 53.31 และ 78.57 ตามลำดับ เมื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานแบบคอลัมน์ พบว่า ชุดการทดลองที่ 3 (สำลี 40 กรัม กระดองหมีกอบ 5 กรัม ทราเยลเยียดและทราเยลหยาบอย่างละ 430 กรัม และกรวด 400 กรัม ระยะเวลาสัมผัส 0 นาที) มีประสิทธิภาพการกำจัดดีที่สุดใน

คำสำคัญ: ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟต; ซีโอดี; กระดองปูม้า; กระดองหมีก

Wastewater Treatment of Laundry Detergent Solution using Blue Swimming Crab Shells and Cuttlebone

Anthika Sa-ngiamjai*

Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

* Corresponding author, E-mail: anthika.sa@gmail.com

Received: 10 November 2021; Revised: 1 February 2022; Accepted: 1 February 2022

Online Published: 27 April 2022

Abstract: Water source problems, especially polluted water caused by organic matters and minerals contaminated by humans' activities as well as releasing detergent wastewater to public water sources, cause eutrophication and serious water problems. Therefore, the objectives of this experiment are to reduce the amount of phosphorus in the form of phosphate (PO_4^{3-} as P) and COD in the detergent solution by using the adsorbent that being the wastes, the blue swimming crab shells and cuttlebone, from the food industry. In this experiment, the detergent solution and the detergent wastewater were used. The experiment was divided into 4 steps. (1) The adsorbent being the wastes were processed into the six types of the adsorbents: the roasted blue swimming crab shells, the burned blue swimming crab shells, chitosan from blue swimming crab shells, the roasted cuttlebone, the burned cuttlebone, and chitosan from the cuttlebone. (2) The appropriate types and amounts of the adsorbent. (3) The appropriate periods. (4) Flowing through the filters in the columns were studied. It was found that the highest percentages of the absorptions of PO_4^{3-} as P by chitosan from 0.5 gram of the blue swimming crab shells for the exposure period of 120 minutes, were 48.60 and 85.71, respectively. The highest percentages of the absorptions of COD one gram of the roasted cuttlebone for the exposure period of zero minute were 63.31 and 78.57, respectively. When flowing through the filters in the columns were studied, the 3rd column (cotton 40g, roasted cuttlebone 5g, fine sand 430g, Coarse sand 430g, gravel 400g, exposure period of zero minute) had highest percentages of the absorptions.

Keywords: amount of phosphorus in phosphate form; Chemical Oxygen Demand (COD); blue swimming crab shell; cuttlebone



1. บทนำ

กิจกรรมซักหรืออุตสาหกรรมซักเป็น การบริการซึ่งไม่ใช่อุตสาหกรรมการผลิต [1] จึงไม่มีการควบคุมมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง โดยทั่วไปน้ำทิ้ง จากการซักเกิดจากการใช้สารซักฟอก ซึ่งประกอบด้วย สารลดแรงตึงผิว (10-15%) NaDBS (Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate) และ STP (Sodium Tripoli Phosphate) [2] สารลดแรงตึงผิวที่มี ประจุลบและสารลดแรงตึงผิวที่ไม่ใช่ไอออนิกมีการใช้ กันอย่างแพร่หลายในครัวเรือนและในอุตสาหกรรม หลายประเภท เมื่อถูกปล่อยออกสู่ระบบนิเวศทางน้ำ เป็นผลให้มีการสะสมของสารลดแรงตึงผิวในแม่น้ำ ทะเลสาบ ดิน และตะกอนดิน [3] อีกทั้งการเพิ่ม ประสิทธิภาพผงซักฟอกในครัวเรือนยังเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของซีโอดีและบีโอดีให้กับน้ำเสียอีกด้วย [4] น้ำที่มีการปนเปื้อนจากสารซักฟอกเป็นผลให้ ระบบนิเวศในแหล่งน้ำถูกทำลายเนื่องจากสารซักฟอก ไปยับยั้งการถ่ายเทออกซิเจนจากอากาศลงสู่ น้ำและยังมีการปนเปื้อนของฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตส่งผล ให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ยิ่งปริมาณ ผงซักฟอกในน้ำมีค่าสูงจะมีผลให้ระดับออกซิเจนใน น้ำยังมีค่าต่ำ ซึ่งจะส่งผลต่อกระบวนการหายใจของ สิ่งมีชีวิตในน้ำ [5]

กระดองปูม้าและกระดองหมีกเป็นของเหลือทิ้ง จากอุตสาหกรรมอาหารและร้านอาหารจำนวนมาก จากผลการสำรวจของเสียในตลาดทะเลไทยพบว่าขยะ ส่วนใหญ่ มาจากร้านอาหารถึงร้อยละ 96.27 ประกอบไปด้วย เปลือกกุ้ง เปลือกหอย กระดองปู กระดองหมีก ก้างปลาและหัวปลา [6] เนื่องจากเป็นส่วนที่ไม่นิยมนำมาบริโภคและเป็นของเหลือทิ้ง

เป็นขยะอินทรีย์ที่ถูกทิ้งลงในถังขยะเพื่อไปกำจัดที่บ่อ ฝังกลบ องค์ประกอบที่สำคัญของกระดองปูม้าและ กระดองหมีก คือ ไคตินและไคโตซานที่จัดเป็น โพลีเมอร์ที่อยู่ร่วมกันในธรรมชาติที่มีมากเป็น อันดับ 2 ของโลก โดยไคตินเป็นพอลิเมอร์สายยาว ส่วนไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ของหน่วยย่อยที่ชื่อว่า Glucosamine มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป [7] นอกจากนี้ยังมีหมู่อะมิโนที่แสดงสมบัติพิเศษ เช่น ละลายได้ในกรดอินทรีย์เจือจาง สามารถจับกับ อีออนของโลหะได้ดีและมีฤทธิ์ทางชีวภาพ [8] แหล่งที่มาหลักของไคโตซาน คือ กุ้ง ปู และแกนหมีก ไคตินในธรรมชาติแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ อัลฟาไคติน และเบต้าไคติน โดยเปลือกปูเป็นชนิดอัลฟาไคตินที่มี การเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในลักษณะสวนทางกัน (Anti-parallel Chain Alignment) ส่วนไคตินจากแกน หมีกเป็นชนิดเบต้าไคตินคือการเรียงตัวของสายโซ่ โมเลกุลในทิศทางเดียวกัน (Parallel Chain Alignment) การผลิตไคโตซานจะใช้ไคตินเป็นสารตั้งต้น โดยเปลือก ปูจะประกอบด้วยไคตินประมาณ 13-15 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง [9-12] กระดองปูม้าและกระดองหมีก จึงเป็นแหล่งของไคตินและไคโตซานที่สกัดได้จาก ธรรมชาติที่มีราคาต้นทุนต่ำ เหมาะสำหรับการพัฒนา เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป [13]

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำวัสดุเหลือทิ้งจาก อุตสาหกรรมอาหารและร้านอาหารมาใช้ให้เกิด ประโยชน์ในด้านการใช้บำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรม การซักผ้า โดยการนำกระดองปูม้าและกระดองหมีก มาแปรรูปและนำไปใช้ในการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้ง โดยมุ่งเน้นที่การกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูป ฟอสเฟตที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย



2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีวิจัย

2.1 วัสดุชุดขับ

1. กระดองปูม้าอบและกระดองหมึกอบ

กระดองปูม้าและกระดองหมึกนำมาล้างทำความสะอาดและนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง [14] นำมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 และ 200 mesh จะได้วัสดุชุดขับที่มีขนาด 0.076 - 0.400 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง และนำเข้าตู้อบความชื้น

2. กระดองปูม้าเผาและกระดองหมึกเผา

กระดองปูม้าเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที [15] และกระดองหมึกเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที [16] จากนั้นนำวัสดุชุดขับมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh และ 200 mesh จะได้วัสดุชุดขับที่มีขนาด 0.076 - 0.400 มิลลิเมตร นำเข้าตู้อบความชื้น

3. ไคโตซานจากกระดองปูม้าและไคโตซานจากกระดองหมึก

กระดองปูม้าที่ผ่านการล้างทำความสะอาดและตากให้แห้ง หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาด 2-3 เซนติเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง ก่อนนำไปผลิตเป็นไคโตซาน ขั้นตอนในการผลิตไคโตซาน [17-18] มีกระบวนการผลิต ดังนี้

(1) กระบวนการกำจัดโปรตีน: นำกระดองปูม้ามาต้มในสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 4% (w/v) ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พร้อมทั้งคนตลอดเวลา เมื่อครบกำหนดเวลานำไปล้างให้สะอาด แล้วจึงนำกลับไปต้มซ้ำในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

ความเข้มข้น 4% (w/v) ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อกำจัดโปรตีน (Deproteinization) จากนั้นนำกระดองปูม้ามาล้างให้สะอาด และนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง

(2) กระบวนการกำจัดเกลือแร่: นำกระดองปูม้าที่ผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนมาแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 4% (v/v) ในอัตราส่วนกระดองปูม้าต่อกรดเท่ากับ 1:10 (W/V) แช่ทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง เพื่อกำจัดแร่ธาตุ (Deminerallization) เติมน้ำและเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกใหม่เพื่อแช่ซ้ำอีก 2-3 ครั้ง จนกว่าจะไม่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเหลืออยู่ (สังเกตได้จากไม่มีฟองแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น) และล้างออกด้วยเอทานอล ความเข้มข้น 95% (v/v) เพื่อกำจัดสี (Decolorization) จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จะได้ไคติน

(3) กระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะซีทิล: นำไคตินมาต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 40% (w/v) เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100-120 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วล้างตัวอย่างจนน้ำล้างมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เป็นกลาง นำตัวอย่างที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จะได้ไคโตซาน นำไคโตซานที่ได้มาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh และขนาด 200 mesh เพื่อให้วัสดุชุดขับ มีขนาด 0.076 - 0.400 มิลลิเมตร นำเข้าตู้อบความชื้น

(4) การเตรียมไคโตซานจากกระดองหมึก: ดำเนินการเช่นเดียวกับกระดองปูม้า



2.1.1 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุดูดซับ

นำวัสดุดูดซับที่เตรียมได้ไปศึกษาลักษณะพื้นผิวและรูพรุนของวัสดุดูดซับ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410LV ผลิตภัณฑ์จากประเทศญี่ปุ่นด้วยกำลังขยาย 2,000 เท่า

2.2 การศึกษาชนิดและปริมาณวัสดุดูดซับ

วัสดุดูดซับที่เตรียมได้จากการอบ การเผา และการผลิตไคโตซาน ปริมาณ 0.2 0.5 และ 1 กรัม ใส่ลงในสารละลายผงซักฟอกที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที และตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 สารละลายผงซักฟอกและสารละลายที่ผ่านการกรองไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอดี เพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดตั้งสมการที่ 1 [19]

2.3 การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม

เมื่อได้ชนิด และ ปริมาณ วัสดุดูดซับ ที่มีประสิทธิภาพการดูดซับปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอดีที่เหมาะสม นำมาใส่ในสารละลายผงซักฟอกที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แซ่ทิ้งไว้ 0 15 30 60 90 และ 120 นาที [19] จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 และวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอดี ก่อน และ หลัง ทำการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้สมการที่ 1

2.4 การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานแบบคอลัมน์

ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอดีในน้ำเสียจากการซักผ้า (น้ำทิ้งแรกจากการซักผ้า) ด้วยชุดกรองแบบแบดจ์จำนวน 3 ซ้ำ โดยใช้คอลัมน์พลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร บรรจุวัสดุดูดซับในชั้นกรองจากชั้นล่างขึ้นบน ปริมาตรทดลอง 500 มิลลิลิตร ชนิดของวัสดุดูดซับ ปริมาณวัสดุดูดซับ และระยะเวลาสัมผัสพิจารณาจากผลการทดลองที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด ทำการทดลองวันละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 3 วันหรือจนกว่าวัสดุจะหมดประสิทธิภาพการดูดซับ

ชุดการทดลองที่ 1 บรรจุ สำลี 40 กรัม ไคโตซานจากกระตองปู้ม้า 2.5 กรัม ทราเยลเยียดและทราเยลยาบอย่างละ 430 กรัม และกรวด 400 กรัม ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที

ชุดการทดลองที่ 2 บรรจุ สำลี 40 กรัม ทราเยลเยียดและทราเยลยาบอย่างละ 430 กรัม และกรวด 400 กรัม ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 3 บรรจุ สำลี 40 กรัม กระตองหมึกอบ 5 กรัม ทราเยลเยียดและทราเยลยาบอย่างละ 430 กรัม และกรวด 400 กรัม ระยะเวลาสัมผัส 0 นาที

ชุดการทดลองที่ 4 บรรจุ สำลี 40 กรัม ทราเยลเยียดและทราเยลยาบอย่างละ 430 กรัม และกรวด 400 กรัม ระยะเวลาสัมผัส 0 นาที (ชุดควบคุม)



ในการทดลองชุดที่ 3 และ 4 ระยะเวลาสัมผัสที่ 0 นาที ดำเนินการทดลองโดยการเทน้ำเสียผ่านคอลัมน์ โดยไม่มีการกักเก็บน้ำ

2.5 การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอดี

การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอดี โดยใช้สารละลายผงซักฟอก 10 กรัมต่อลิตร และน้ำทิ้งจากการซักล้างทั้งก่อนและหลังทำการทดลอง นำมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตโดยวิธีการแอสคอบิกและปริมาณซีโอดีโดยวิธีการย่อยแบบปิด (Titrimetric Method / Close Reflux) [20]

2.6 การคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับ

ในการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอดี นำค่าที่ได้จากการทดลองมาคำนวณร้อยละการกำจัด ตามสมการที่ 1

$$\% \text{Adsorption} = (C_0 - C_e) / C_0 \times 100 \quad (1)$$

โดย C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้น (mg/L)

C_e คือ ความเข้มข้นสุดท้าย (mg/L)

3. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

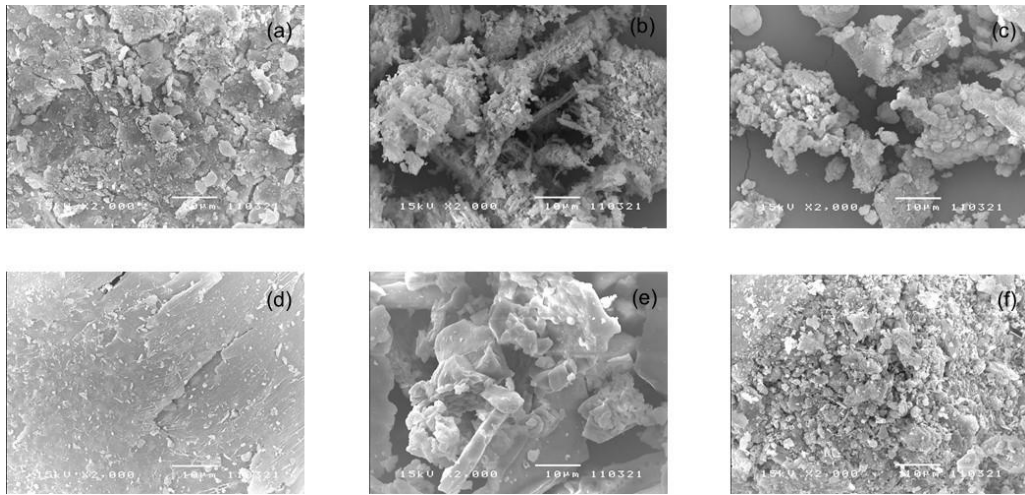
3.1 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุดูดซับ

ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของวัสดุดูดซับที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (รูปที่ 1) ไม่พบรูพรุนของวัสดุดูดซับทั้ง 6 ชนิด ซึ่งเป็นผลให้มีโอกาสในการดูดซับเกิดขึ้น 2 ระยะ คือ (1) ระยะการแพร่ภายนอก (External Diffusion) เป็นระยะที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (Absorbate) ในน้ำจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่

รอบนอกของตัวดูดซับและ (2) ระยะการดูดซับ (Adsorption) เป็นระยะที่เกิดการเกาะติดบนผิวระหว่างตัวถูกดูดซับและพื้นผิวของตัวดูดซับ การเกาะติดในระยะนี้อาจจะเกาะติดบนผิวด้วยแรงทางฟิสิกส์หรือเคมีหรือทั้งสองชนิดพร้อมกัน [21]

3.2 การศึกษาชนิดและปริมาณวัสดุดูดซับ

จากการศึกษาชนิดและปริมาณวัสดุดูดซับโดยการทดลองแบบแบดซ์ โดยใช้วัสดุดูดซับปริมาณ 0.2 0.5 และ 1 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายผงซักฟอกเท่ากับ 10 กรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 10.512 ± 0.168 ผลการทดลองพบว่า วัสดุดูดซับไคโตซานจากกระดองปูม้า ปริมาณ 1 0.5 และ 0.2 กรัม มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตมากที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 90.42 89.79 และ 83.35 ตามลำดับ (รูปที่ 2 (a)) หรือสามารถกำจัดฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตได้ 4.404 4.373 และ 4.059 มิลลิกรัมของฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตต่อลิตร อาจเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณไคโตซานจะทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมีมากขึ้นและไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอนและตัวตกตะกอน (Flocculants and Coagulating agent) ที่ดี เนื่องจากไคโตซานประกอบด้วยหมู่เอมีน ($-NH_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ที่สามารถแตกตัวและทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ [7,10,22] จึงทำให้ไคโตซานสามารถดูดซับได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำ [23-24] และกระดองปูม้าอบ ปริมาณ 1 กรัม และไคโตซานจากกระดองปูม้า 0.5 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมากที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 52.35 เนื่องจากกระดองปูม้าอบยังคงมี



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับ (a) กระจตองปฐมาบ (b) กระจตองปฐมาเผา (c) ไคโตซานกระจตองปฐมา (d) กระจตองหมึกอบ (e) กระจตองหมึกเผา (f) ไคโตซานกระจตองหมึก

องค์ประกอบหลักคือ Calcite Magnesian (Ca, Mg)CO₃ สัดส่วนระหว่าง Ca และ Mg ในกระจตองปฐมาเท่ากับ 3.6: 1 แคลเซียมคาร์บอเนตเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ Ca²⁺ และ CO₃²⁻ ซึ่งสามารถจับกับสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำและก่อให้เกิดตะกอนจึงทำให้ปริมาณ ซีโอดีในน้ำลดลง [25] และไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอนและตัวตกตะกอน (Flocculants and Coagulating Agent) ที่ดี เนื่องจากไคโตซานประกอบด้วยหมู่อะมิโน (-NH₂) และหมู่ไฮดรอกซิล (OH-) ที่สามารถแตกตัวและทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ [7, 10, 22] จึงทำให้ไคโตซานสามารถดูดซับได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำ [23-24]

เมื่อพิจารณาวัสดุดูดซับที่ผลิตจากกระจตองหมึกพบว่า วัสดุที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตมากที่สุด ได้แก่ กระจตองหมึกอบ ปริมาณ 1 กรัม ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัด

ร้อยละ 65.64 และกระจตองหมึกเผา ปริมาณ 1 กรัม มีประสิทธิภาพการดูดซับซีโอดีสูงที่สุด ร้อยละ 43.08 (รูปที่ 2 (b)) กระจตองหมึกมีองค์ประกอบที่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์ (CaCO₃) ร้อยละ 96 [26] กระจตองหมึกที่ผ่านการอบและการเผายังคงมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตหลงเหลืออยู่ เมื่อมีการจับตัวกับสารละลายฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตในน้ำจะเกิดการตกผลึกของแคลเซียมฟอสเฟตเป็นผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตที่ปนเปื้อนในน้ำลดลง [27]

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการกำจัดทั้งปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอดี โดยพิจารณาเลือกประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตเป็นอันดับแรก พบว่าไคโตซานจากกระจตองปฐมา ปริมาณ 0.5 กรัม มีประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟต และซีโอดีที่สูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 89.79 และ 52.35 ส่วนประสิทธิภาพ



การกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอทีที่ดีที่สุดของวัสดุดูดซับจากกระดองหมีกบ ได้แก่ กระดองหมีกบ ปริมาณ 1 กรัมซึ่งมีประสิทธิภาพการดูดซับร้อยละ 65.64 และ 32.82 ตามลำดับ (รูปที่ 2) โดยจะนำชนิดและปริมาณวัสดุ ดูดซับดังกล่าวไปศึกษาเวลาที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป

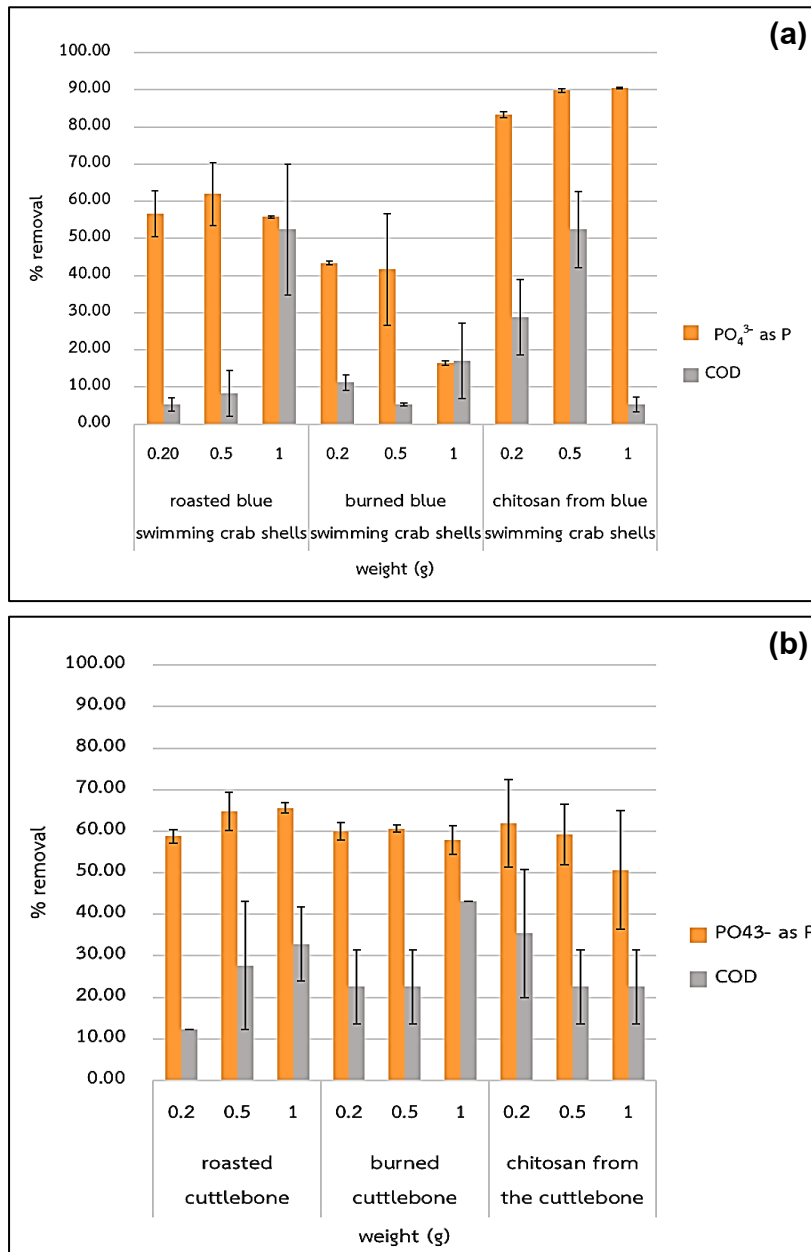
3.3 การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม

เมื่อได้ชนิดและปริมาณวัสดุดูดซับที่เหมาะสม คือ ไคโตซานจากกระดองปูม้า ปริมาณ 0.5 กรัมและกระดองหมีกบ ปริมาณ 1 กรัม จากนั้นนำมาศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่เวลา 0 15 30 60 90 และ 120 นาที ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอที โดยใช้ไคโตซานจากกระดองปูมามีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อระยะเวลาการสัมผัสเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 3 (a)) อาจเนื่องจากการดูดซับของไคโตซานอาศัยกลไกในการแตกตัวเป็นประจุบวกเพื่อจับกับสารที่มีประจุลบ ซึ่งได้แก่ฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ เมื่อระยะเวลาสัมผัสนานขึ้นจึงมีการแตกตัวของประจุมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีระยะเวลาสัมผัสเพิ่มมากขึ้น [9] เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอทีโดยใช้ไคโตซานจากกระดองหมีกบพบว่า ระยะเวลาการสัมผัสไม่มีผลต่อการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟต แต่มีผลต่อการกำจัดซีโอทีเมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มมากขึ้นมีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดน้อยลง (รูปที่ 3b) เนื่องจากอาจเกิดการคายมากกว่าการดูดซับ [28] เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอที พบว่า ไคโตซานจากกระดองปูม้าที่

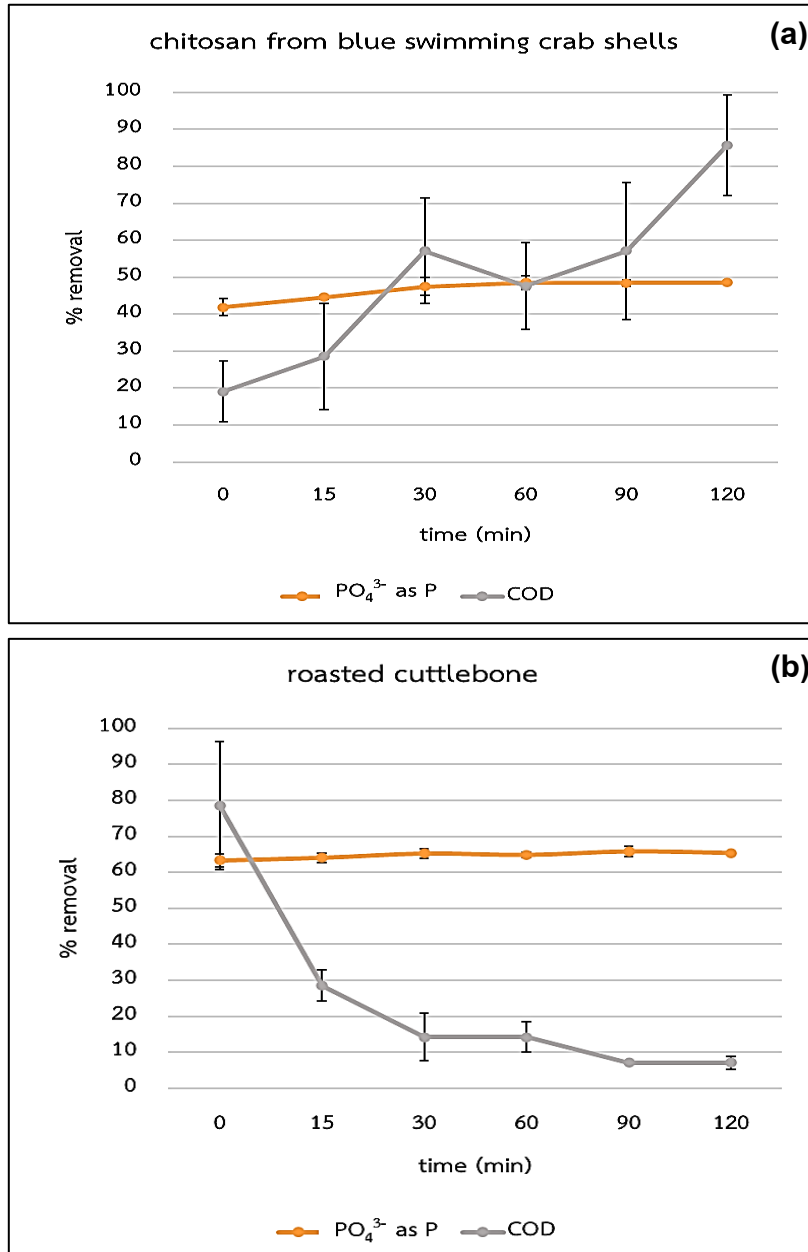
ระยะเวลาการสัมผัส 120 นาที และกระดองหมีกบที่ระยะเวลาสัมผัส 0 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอทีเหมาะสมที่สุดจึงนำระยะเวลาการสัมผัสที่ 0 และ 120 นาทีไปทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.4 การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานแบบคอลัมน์

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอทีในน้ำทิ้งจากการซักผ้าด้วยวิธีกรดแอสคอบิกและ Close Reflux / Titrimetric Method [20] พบว่า น้ำทิ้งจากการซักผ้าที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสในรูป ฟอสเฟต และซีโอที เท่ากับ 1.7446 ± 0.756 มิลลิกรัมของฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตต่อลิตร และ 2.432 ± 768 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งพารามิเตอร์ทั้ง 2 เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่กำหนดให้มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่เกิน 2 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร และซีโอทีไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร [29] และหากมีปริมาณฟอสฟอรัสในรูปสารประกอบฟอสเฟตในน้ำมากกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะก่อให้เกิดปัญหาทุพโภชนาการ [30] จากการบำบัดน้ำตัวอย่างด้วยชั้นกรองแบบคอลัมน์ ในวันที่ 1 พบว่า ชุดการทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอทีได้สูงสุด เท่ากับร้อยละ 82.43 และ 86.67 ตามลำดับ (รูปที่ 4) อาจเนื่องมาจากในชุดการทดลองที่ 3 มีการบรรจุวัสดุดูดซับที่ผลิตจากกระดองหมีกบ ปริมาณ 5 กรัม มีส่วนช่วยในการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอทีเนื่องจากกระดองหมีกบมีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนตจึงจับกับฟอสเฟตที่ละลายน้ำเกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟตจึงทำให้น้ำตัวอย่าง



รูปที่ 2 ผลของชนิดและปริมาณวัสดุดูดซับต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟต (PO₄³⁻ as P) และซีโอดี (a) กระดองปูม้า และ (b) กระดองหมึก



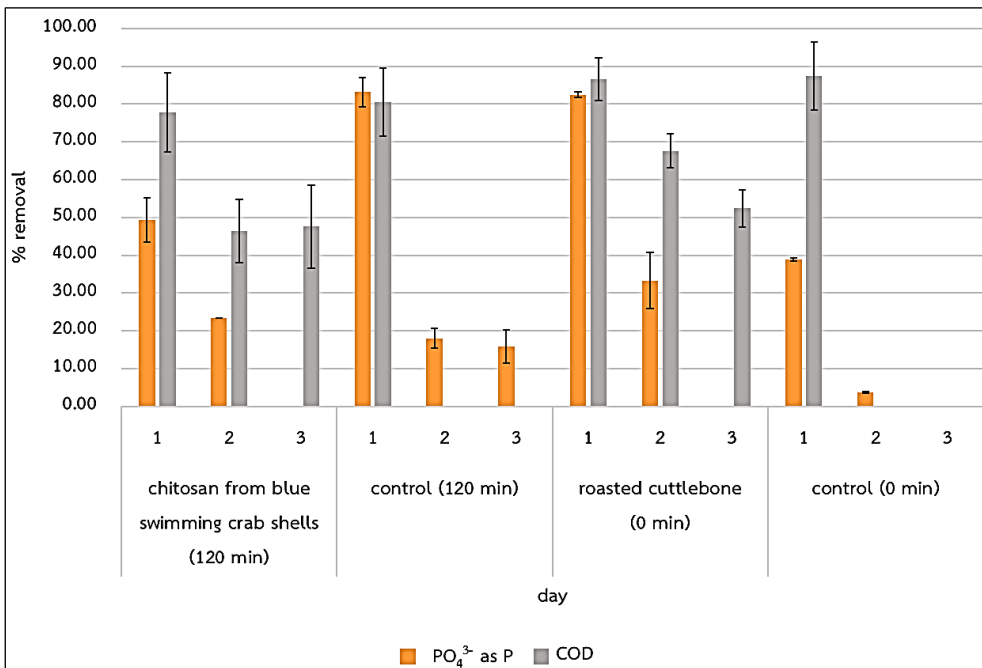
รูปที่ 3 ผลของระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟต (PO₄³⁻ as P) และซีโอดี (a) ไคโตซานจากกระดองปูม้า และ (b) กระดองหมึกกอบ



มีปริมาณฟอสฟอรัส ในรูปฟอสเฟตลดลง [27] ซึ่งจากการทดลองการใช้งานแบบคอลัมน์จะเห็นได้ว่าในชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งบรรจุกระดองหมีกอบให้ประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีที่สุดซึ่งให้ผลที่แตกต่างจากการทดลองในหัวข้อ 3.2 และ 3.3 ที่พบว่าการใช้ไคโตซานจากกระดองปูม้ามีประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีกว่ากระดองหมีกอบ อาจเนื่องมาจากในผลการทดลองในหัวข้อ 3.2 และ 3.3 ไคโตซานที่ใช้ในการทดลองเมื่อสัมผัสกับน้ำจะเกิดการพองตัวซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับ แต่ในการทดลองแบบคอลัมน์เกิดการทับกันของวัสดุดูดซับซึ่งอาจมีผลต่อการพองตัวและการเพิ่มพื้นที่ผิวการดูดซับจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับที่เกิดจากการใช้ไคโตซานมีประสิทธิภาพการดูดซับที่น้อยกว่ากระดองหมีกอบ [31] และจะเห็นได้ว่า

ในแต่ละคอลัมน์มีประสิทธิภาพการใช้งานที่ลดลงเมื่อจำนวนครั้งการในการใช้งานเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองการใช้งานแบบคอลัมน์ให้ประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกับงานวิจัยของพอกมล และคณะ [19] ที่ทำการบำบัดสารละลายผงซักฟอกด้วยคอลัมน์ พบว่า คอลัมน์ที่บรรจุเม็ดเซรามิก แก้วลอย ลิกไนต์และไคโตซาน มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ออร์โธฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโนได้ดีที่สุดและมีอายุการใช้งานนานกว่าคอลัมน์อื่นๆ สามารถกำจัดซีโอดี ออร์โธฟอสเฟตและซิลเวอร์นาโนได้ร้อยละ 90, 87.51 และ 74.29 ตามลำดับ จากนั้นประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลงตามจำนวนครั้งของการใช้งาน



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพของคอลัมน์ในการกำจัดฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟต (PO₄³⁻ as P) และซีโอดี



4. สรุปผลการทดลอง

การนำกระดองปูม้าและกระดองหมีกซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารมาดัดแปลงให้เป็นวัสดุดูดซับเพื่อใช้ในการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอทีในน้ำทิ้งจากการซักผ้าที่มีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งชุมชนถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการช่วยลดมลพิษที่จะเกิดขึ้น ทั้งจากภาคอุตสาหกรรมและจากภาคครัวเรือน โดยการทดลองแบบแบตช์ พบว่า ไคโตซานจากกระดองปูม้า ปริมาณ 0.5 กรัม ที่ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที สามารถกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอทีในสารละลายผงซักฟอกได้ ร้อยละ 48.6 และ 85.71 ตามลำดับ และกระดองหมีกอบ ปริมาณ 1 กรัม ที่ระยะเวลาสัมผัส 0 นาที สามารถกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอทีในสารละลายผงซักฟอกได้ ร้อยละ 63.31 และ 78.57 ตามลำดับ เมื่อนำมาศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานแบบคอลัมน์ พบว่า ชุดการทดลองที่ 3 ที่มีการบรรจุวัสดุดูดซับที่ผลิตจากกระดองหมีกอบปริมาณ 5 กรัม ให้ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตและซีโอทีในน้ำทิ้งจากการซักผ้าได้ ร้อยละ 82.43 และ 86.67 ตามลำดับ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. N. Sheth, M. Patel and M. D. Desai, A study on characterization & treatment of laundry effluent, International Journal for Innovative Research in Science and Technology, 2017, 4(1), 50-55.
- [2] A. Slamet, B.V. Tangahu and A. Yuniarto, The effectiveness of cement lime to reduce detergents content in domestic wastewater, International Journal of Engineering and Technology, 2018, 7(4), 6327-6331.
- [3] K. Jardak, P. Drogui, R. Daghrir, Surfactants in aquatic and terrestrial environment: occurrence, behavior, and treatment process, Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23(4), 3195-3216.
- [4] B.V. Tangahu, D.A. Ningsih, S.B. Kurniawan, and M.F. Imron, Study of BOD and COD removal in batik wastewater using scirpus grossus and iris pseudacorus with Intermittent Exposure System, Journal of Ecological Engineering, 2019, 20(5), 130-134.
- [5] R.L. Yuliani, E. Purwanti, and Y. Pantiwati, Effect of waste laundry detergent industry against mortality and physiology index of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), Biology Education Conference, Proceeding, 2015, 822-828.
- [6] S. Hirunsupachote and K. Tungsudjawong, Study, survey and analysis of waste composition and the application to use the food waste from seafood in Talaythai Market Samut Sakorn, Research Report, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand, 2020.



- [7] <http://www.gpo.or.th/rdi/htmls/chitin.html>. (Accessed on 29 October 2021)
- [8] J. Cadman, S. Zhou, Y. Chen and Q. Li, Cuttlebone: characterization, application and development of biomimetic materials, *Journal of Bionic Engineering*, 2012, 9(3), 367-376.
- [9] M. Rinaudo, Chitin and chitosan: Properties and applications, *Progress in Polymer Science*, 2006, 31(7), 603-632.
- [10] P. Methakanon, Introduction to chitin-chitosan, 1st Ed., National Metal and Materials Technology Center, Bangkok, Thailand, 2001.
- [11] K. Azuma, R. Izumi, T. Osaki, S. Ifuku, M. Morimoto, H. Saimoto, S. Minami and Y. Okamoto, Chitin, chitosan, and its derivatives for wound healing: Old and new materials, *Journal of Functional Biomaterials*, 2015, 6(1), 104–142.
- [12] S. Phayai, Extraction and study of lead chitosan adsorption properties, Thesis, Chiang Mai Rajabhat University, Thailand. 2001.
- [13] P. Ramasamy, N. Subhadrappa, V. Shanmugam and A. Shanmugam, Extraction, characterization and antioxidant property of chitosan from cuttlebone *Sepia kobeensis* (Hoyle 1885), *International Journal of Biological Macromolecules*, 2014, 64(1), 202-212.
- [14] P. Vibhatabandhu and S. Srithongouthai, Removal of Pb (II) from an aqueous solution using modified cuttlebone as a biosorbent, *EnvironmentAsia*, 2017, 10(1), 34-43.
- [15] A. Ritthichai and S. Muncharoen, Dye removal of textile wastewaters using crab shell activated carbon, *Burapha Science Journal*, 2014, 19(1), 131-140. (In Thai)
- [16] S.S.A. Alkurdia, R.A. Al-Juboori, J. Bundschuh and I. Hamawand, Bone char as a green sorbent for removing health threatening fluoride from drinking water, *Environment International*, 2019, 127, 704-719.
- [17] P. Wisespongpan, D. Vareevanich, A. Kanthawong and W. Srichomngam. Yields and characteristics of chitosan from wasted crabs shells collected from bottom gill net, *Proceedings of 51st Kasetsart University Annual Conference: Veterinary Medicine, Fisheries, Proceeding*, 2013, 373-380. (In Thai)
- [18] P. Buanak, S. Sarapak and P. Tao-kom, The chitin and chitosan's extraction from the crab shells on effecting tomato's stabilization, *The 14th Mahasarakham University Research Conference, Proceeding*, 2018, 583-591. (In Thai)



- [19] P. Khotcharin, K. Tungkananuruk and W. Wararam, Treatment of surfactant phosphate and nano – silver in laundry detergent solution by adsorption process of filter layer, Thai Environmental Engineering Journal, 2017, 31(3), 21-33. (In Thai)
- [20] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Ed., American Public Health Association., Washington, D.C, USA, 2017.
- [21] S. Sirianuntapiboon. Wastewater treatment system : selection, design, operation and problem solving, Top Publishing Co., Ltd., Bangkok, Thailand, 2006.
- [22] C. Senkwankaew, P. Khenjan, P. Sooksoi and N.Thongtip, Using of chitosan on growth performance in swine, Prawarun Agricultural Journal, 14(2), 2017, 136-145. (In Thai)
- [23] Y. Chung, Y. Li, and C. Chen. Pollutant removal from aquaculture wastewater using the biopolymer chitosan at different molecular weights, Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, 2005, 40(9), 1775-1790.
- [24] Y. Chung, Improvement of aquaculture wastewater using chitosan of different degrees of deacetylation, Environmental Technology, 2006, 27(11), 1199-1208.
- [25] S. Tanusa, Adsorption of lead by developed adsorbents from crab shell and cockle shell, Thesis, Songkla University, Thailand. 2000.
- [26] A. B. Nasr, K. Walha, C. Charcosset and R. B. Amar, Removal of fluoride ions using cuttlefish bones. Journal of Fluorine Chemistry, 2011, 132(1), 57-62.
- [27] S. Waiyasusri, Phosphate removal in wastewater by adsorption on calcium carbonate and calcium oxide from eggshell, Thesis, Dhurakij Pundit University, Thailand. 2015.
- [28] N. Tungkananuruk and K. Tungkananuruk, Principle of chemical water quality analysis, 2nd Ed., Kasetsart University Press, Bangkok, Thailand, 2007.
- [29] <http://cac.pcd.go.th/index.php/ourservices/knowledgebased-law/2017-08-08-03-37-21/269-2535-44>. (Accessed on 29 October 2021)
- [30] G. Hanrahan, M. Gledhill, P.J. Fletcher and P.J. Worsfold, High temporal resolution field monitoring of phosphate in the river frome using flow injection with diode array detection, Analytica Chimica Acta, 2001, 440(1), 55-62.
- [31] W. Srijew, Dephosphorization in wastewater by chitosan from shrimp shell and commercial chitosan, Thesis, Kasetsart University, Thailand, 2013.