



การเปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการนำแป้งดัดแปรประจุบวก มาใช้ในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยและสาหร่าย

Comparing the Possibility of using Cationic Starch for Removal of Suspended Particles and Algae

Apichon Watcharenwong* Yotsapon Bailuang Akira Rittirat

Patchapong Thamavate and Supasan Chumjun

อภิชน วัชรนทร์วงศ์* ยศพล ไบเหลียง อคิราภ ฤทธิรัตน์ พัทธพงษ์ ธรรมเวช และ ศุภสันต์ ชุมจันทร์
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

*E-mail : w.apichon@sut.ac.th

บทคัดย่อ

น้ำที่ใช้ในการอุปโภคบริโภคในปัจจุบันเป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพหรือระบบผลิตน้ำประปา ซึ่งจะมี
การใช้สารเคมีเป็นสารรวมตะกอนและใช้ในการฆ่าเชื้อโรค จึงมีความกังวลว่าอาจเกิดการตกค้างจากการทำปฏิกิริยาของ
สารเคมีและเกิดการรับสัมผัสสะสมทำให้เกิดความเป็นพิษหรือส่งผลต่อสุขภาพได้ จึงได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้
สารอินทรีย์รวมตะกอน เพื่อใช้ในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบที่จะนำมาผลิตน้ำประปา ซึ่งในการศึกษานี้ได้
ทำการศึกษเปรียบเทียบสารอินทรีย์รวมตะกอน คือ แป้งดัดแปรประจุบวก อัลจิเนต และเถ้าขานอ้อย มาเปรียบเทียบกัน
เพื่อใช้เป็นสารรวมตะกอน ผลการศึกษาพบว่า แป้งดัดแปรประจุบวกที่ใช้ทดลองกับน้ำจำลองความขุ่นนั้นมีประสิทธิภาพใน
การกำจัดความขุ่นสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัลจิเนตและเถ้าขานอ้อย จากนั้นได้มีการนำแป้งดัดแปรประจุบวกมา
ทำการศึกษากำจัดอนุภาคแขวนลอยและการกำจัดสาหร่ายโดยเปรียบเทียบกับสารรวมตะกอนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ
PAC:Polymer ซึ่งผลการศึกษาโดยใช้ที่ปริมาณ PAC 0.4 กรัม : Polymer 1.0 กรัม ควบคุมสภาวะที่ pH 10 และ
แป้งดัดแปรประจุบวกที่ใช้ในปริมาณ 0.85 กรัม ควบคุมสภาวะที่ pH 10 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคแขวนลอยใน
น้ำดิบนั้น PAC:Polymer มีประสิทธิภาพดีกว่าแป้งดัดแปรประจุบวก แต่สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย พบว่าแป้ง
ดัดแปรประจุบวก มีประสิทธิภาพสูงกว่า PAC:Polymer อย่างไรก็ตามความหนาแน่นของสาหร่ายในน้ำดิบแต่ละแห่งที่นำมา
ศึกษานั้นอาจมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและการกำจัดสาหร่าย เนื่องจากสาหร่ายเป็นอนุภาคแขวนลอยและ
ถือว่าเป็นความขุ่นด้วย

คำสำคัญ : แป้งดัดแปรประจุบวก; อัลจิเนต; เถ้าขานอ้อย; สาหร่าย; สารแขวนลอย; สารอินทรีย์รวมตะกอน

Abstract

Chemical substances are currently used as coagulants to improve water quality through a water treatment with coagulation and disinfection processes. However, it is concerned that the residue resulted from the reaction of chemicals can cause toxicity for human health when being exposed. Thus, it is important to study the possibility of using organic coagulants in the water supply treatment for removing suspended particles in the raw water. This research was to conduct the feasibility study of comparing organic coagulants such as cationic starch, alginate and bagasse ash to improve the raw water quality. The results showed that the cationic starch was more effective in comparison to other organic coagulants for the synthetic water. The cationic starch was introduced to study the removal of suspended particles and algae by comparing with the coagulation agent, PAC: Polymer. In this studies, 0.4 g : 0.02 g of PAC:Polymer ratio was used and was controlled at pH 10, whereas 0.85 g of cation starch was used and was controlled at pH 10. Higher removal efficiency of suspended particles in the raw water was observed for PAC: Polymer, but the cationic starch exhibited higher algae removal. The density of algae in the raw water may significantly affect the efficiency of turbidity and algae removal because algae can suspend in the water, implying both roles as suspended particles and turbidity.

Keywords : cationic starch; Alginate; Bagasse ash; Algae; Suspensions particle; Organic coagulant

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญและมีความจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิด และมนุษย์ใช้น้ำสะอาดในการอุปโภคบริโภคในชีวิตประจำวันที่ได้จากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำหรือระบบผลิตน้ำประปา ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มีคุณลักษณะไม่เป็นที่น่ารังเกียจพร้อมกับฆ่าเชื้อโรคก่อนแจกจ่ายน้ำให้กับผู้บริโภค ในปัจจุบันกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำนั้นจะมีการใช้สารเคมีในหลายขั้นตอน เช่น ในกระบวนการก่ตะกอนและรวมตะกอน มีการใช้สารส้ม (Alum) โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) พอลิเมอร์ (Polymer) ปูนขาว (Ca(OH)_2) และในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคมีการใช้คลอรีนน้ำ (NaOCl) และก๊าซคลอรีน (Cl_2) จึงทำให้เกิดข้อวิตกกังวลเกี่ยวกับการตกค้างจากการทำปฏิกิริยาของสารเคมีในกระบวนการผลิตน้ำประปาเหล่านี้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพและเกิดเป็นสารประกอบจำพวกสารก่อมะเร็งได้

แหล่งน้ำที่นำมาผลิตน้ำประปานั้นโดยส่วนมากเป็นแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งแหล่งน้ำดังกล่าวจะมีสารอาหารที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของสาหร่าย และเกิดปรากฏการณ์สาหร่ายเบ่งบาน (Algae boom) ส่งผลให้เมื่อมีการสูบน้ำดิบไปผลิตน้ำประปานั้นจะมีสาหร่ายปนไป

ด้วยและเข้าสู่ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ ซึ่งสาหร่ายยังหลุดออกมากับน้ำประปาหลังจากกระบวนการผลิต ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นหรืออนุภาคแขวนลอยลดลง และประเด็นที่สำคัญคือเรื่องของสารก่อมะเร็ง (THMs) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของสาหร่ายกับคลอรีน มีนักวิจัยทำการศึกษาคำอธิบายการเกิด THMs [1] และจากการใช้สารรวมตะกอนที่มีองค์ประกอบของอะลูมิเนียมซึ่งได้แก่ สารส้มและ PAC จะมีการตกค้างของสารประกอบอะลูมิเนียมซึ่งทำให้เกิดโรคอัลไซเมอร์ได้ [2] จึงมีกลุ่มนักวิจัยได้ทำการศึกษานำสารรวมตะกอนที่ได้จากธรรมชาติมาใช้เพื่อลดการใช้สารเคมี มีผู้ศึกษาใช้เมล็ดมะรุมในการใช้กำจัดความขุ่นในน้ำ [3] สร้อยดาวและวรติกร [4-5] ได้ทำการศึกษาโดยใช้ผงเมล็ดลิ้นจี่และเงาะในการใช้เป็นสารรวมตะกอนและสารช่วยในการรวมตะกอน ซึ่งนำมาเตรียมให้อยู่ในรูปผงแห้งแล้วนำมาใช้เป็นสารช่วยรวมตะกอน พบว่าผงของเมล็ดลิ้นจี่และเงาะทำให้เกิดการรวมตัวของฟล็อกที่มีขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ดีและมีผู้ศึกษาใช้สารรวมตะกอนที่ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียโดยยศวิทย์และรุ่งทิพา [6-7] ได้ทำการศึกษาสารรวมตะกอนจากการใช้เมล็ดมะรุมในการกำจัดความขุ่นจากน้ำเสียของโรงงานผักกาดตอง นอกจากวัสดุที่ได้จากธรรมชาติแล้วยัง

มีสารรวมตะกอนที่ได้จากกากของเสียอุตสาหกรรมเพื่อนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ พิงอร์ [8] ได้ใช้เถ้าลอยที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมมาเป็นตัวช่วยรวมตะกอนใช้ร่วมกับสารส้ม ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพสูงและมีราคาถูกกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว เพราะเถ้าลอยเป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตซึ่งปกติต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด ในปี 2009 Dries และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาในการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกเป็นสารรวมตะกอนสำหรับขนาดเล็ก (Microalgae) ซึ่งแป้งจะไปทำหน้าที่ในการลดประจุลบ (Charge neutralization) ที่ผิวของสาหร่าย และในปี ค.ศ. 2012 H. Aylin Devrimci และคณะ [10] ได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้อัลจิเนตเป็นสารรวมตะกอนสำหรับกำจัดความขุ่นออกจากน้ำ พบว่าอัลจิเนตที่มีความหนืดสูงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น จากที่ได้กล่าวมานั้นจึงเป็นที่มาในการศึกษาใช้สารอินทรีย์รวมตะกอนเพื่อลดการใช้สารเคมีในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยและกำจัดสาหร่ายในน้ำดิบเพื่อหาแนวทางลดใช้สารเคมีและลดการตกค้างของสารเคมีที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

ในการศึกษานี้จะทำการศึกษาการใช้แป้งดัดแปรประจุบวก อัลจิเนต และเถ้าขานอ้อย PAC: Polymer เป็นสารรวมตะกอนเพื่อกำจัดความขุ่นและกำจัดสาหร่ายในน้ำดิบด้วยวิธีการ Jar-test เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและการกำจัดสาหร่าย

อุปกรณ์และวิธีการ

การเปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการนำแป้งดัดแปรประจุบวกมาใช้ในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยและสาหร่ายในน้ำดิบ มีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

ทำการศึกษหาปริมาณสารรวมตะกอนที่ทำให้เกิดฟล็อก โดยทำการเติมสารรวมตะกอนลงในน้ำจนสังเกตเห็นปุยฟล็อก จากนั้นจึงหาค่า pH ที่เหมาะสม โดยทำการแปรเปลี่ยนช่วง pH (2 4 6 8 10 และ 12) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับสารรวมตะกอนแต่ละชนิด ซึ่งจะศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นก่อนในขั้นแรก โดยการเตรียมน้ำจำลองความขุ่นนั้นจะให้มีความขุ่นอยู่ระหว่าง 10-20 NTU (ใช้ Kaolinite ที่ความเข้มข้น 25 mg/L เตรียมในน้ำประปา) สำหรับขั้นตอนการกำจัดความขุ่นกับน้ำจำลองความขุ่นนั้นจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการ

กำจัดความขุ่นหลังจากที่ใช้สารอินทรีย์เป็นสารรวมตะกอน โดยนำค่าความขุ่นจากการวัดด้วยเครื่องวัดความขุ่น จากการทำ Jar-test มาทำการเปรียบเทียบกัน แล้วจึงทำการเลือกสารอินทรีย์รวมตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (เลือกจากค่าความขุ่นที่น้อยที่สุดหลังจากทำ Jar-test) แล้วจึงนำไปศึกษาในขั้นตอนที่ 2 คือการหาประสิทธิภาพการกำจัดเปรียบเทียบกับสารรวมตะกอนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยศึกษากับน้ำดิบจริงที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและการกำจัดสาหร่าย

สารรวมตะกอนที่ใช้ในการศึกษา

แป้งดัดแปรประจุบวก

แป้งดัดแปรประจุบวกที่ได้ เป็นแป้งมันสำปะหลัง ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงให้มีคุณสมบัติที่มีประจุเป็นบวก โดยแป้งที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้จากบริษัท เยนเนรัล สตาร์ช จำกัด (Batch No. 393107012)

เถ้าขานอ้อย

เถ้าขานอ้อยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้จากโรงน้ำตาลมิตรผลสุพรรณบุรี อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี โดยเถ้าที่ได้เป็นส่วนของอ้อยที่ผ่านการหีบเอาความหวานและน้ำตาลออก แล้วเหลือเป็นขานอ้อยแล้วผ่านการนำไปใช้เป็นชีวมวลในการเผาเพื่อเป็นเชื้อเพลิง และเหลือเป็นเถ้าขานอ้อย หลังจากนั้นได้นำเถ้าขานอ้อยที่ได้มาล้างและทำการคัดขนาดมีขนาด 0.149 mm (Mesh size No. 100) จากนั้นจึงนำมาใช้เป็นสารรวมตะกอน

อัลจิเนต

อัลจิเนตเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ได้จากการสกัดจากสาหร่ายทะเล ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้อัลจิเนตที่ใช้นั้น ได้จัดซื้อจากบริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด คือ Alginic acid (Sodium salt) Cas: 9005-38-3

โพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์และพอลิเมอร์

โพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์และพอลิเมอร์เป็นสารรวมตะกอนที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในระบบผลิตน้ำประปาขนาดใหญ่ แต่มีข้อจำกัดเรื่องค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าสารรวมตะกอนชนิดอื่นๆ โพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์และพอลิเมอร์ที่ใช้ในการศึกษานี้ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงผลิต

น้ำประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งโพลีเอทิลีนเมทิลคลอไรด์มีความเข้มข้นร้อยละ 10 และพอลิเมอร์ประจุบวกเข้มข้นร้อยละ 2

ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาเกี่ยวกับน้ำจำลองความขุ่น

การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่ใช้กับน้ำจำลองความขุ่น ด้วยวิธี Jar-test เริ่มจากการหาปริมาณสารรวมตะกอนที่ทำให้เกิดการสร้างฟล็อก โดยเติมสารรวมตะกอนที่ทราบความเข้มข้นลงไปในการจำลองความขุ่นเรื่อยๆ จนสังเกตเห็นการจับตัวเป็นฟล็อกของอนุภาคความขุ่น จากนั้นนำปริมาณที่ได้มาแปรเปลี่ยนช่วงการเติมสารรวมตะกอนและแปรเปลี่ยนช่วงสภาวะ pH โดยทำให้ช่วงค่าปริมาณสารรวมตะกอนครอบคลุมค่าที่ได้จากขั้นตอนการสร้างฟล็อก ยกตัวอย่างเช่น แบ่งดัดแปรประจุบวกจะมีการใช้ปริมาณที่เติมตั้งแต่ 0.01-0.06 กรัม เพื่อทำให้น้ำจำลองความขุ่นเกิดฟล็อก ซึ่งในขั้นนี้ปริมาณของแบ่งดัดประจุบวกที่ทำให้เกิดฟล็อกคือ 0.01 กรัม จากนั้นทำการเติมแบ่งดัดแปรประจุบวกปริมาณ 0.01 กรัม ทุกๆ สภาวะ pH ที่แปรเปลี่ยนทั้ง 6 สภาวะตั้งแต่ pH ที่ 2 4 6 8 10 และ 12 จากนั้นจะได้สภาวะ pH ที่แบ่งดัดแปรประจุบวกสามารถกำจัดความขุ่นให้เหลือน้อยที่สุด คือ pH เท่ากับ 10 แล้วนำปริมาณแบ่งดัดแปรประจุบวกที่ทำให้เกิดฟล็อกคือ 0.01 กรัม มาทำการแปรเปลี่ยนปริมาณอีกครั้ง คือ 0.005 0.01 และ 0.015 กรัม แล้วแปรเปลี่ยนสภาวะ pH ที่ 9 10 และ 11 เพื่อเป็นการยืนยันผลการหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของแบ่งดัดแปรประจุบวก และ

สำหรับอัลจินต และถ้าขานอ้อย PAC:Polymer ทำการแปรเปลี่ยนช่วงของปริมาณและสภาวะ pH เช่นเดียวกับแบ่งดัดแปรประจุบวก เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานที่เหมาะสมของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาเกี่ยวกับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำแบบขุด

ทำการศึกษาคูณลักษณะน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำแบบขุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ ได้แก่ pH ความขุ่น BOD COD TKN Nitrite Nitrate เป็นข้อมูลเบื้องต้น ดังแสดงในตารางที่ 1

ทำการศึกษาสารรวมตะกอนที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 กับน้ำดิบที่เก็บจากอ่างเก็บน้ำแบบขุด อ่างสระ 1 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยเก็บน้ำดิบมาเพื่อหาปริมาณสารรวมตะกอน และ pH ที่เหมาะสมด้วยวิธีการ Jar-test แล้วนำน้ำใสส่วนบนไปทำการวัดค่าความขุ่น และวัดปริมาณของสาหร่าย เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและการกำจัดสาหร่าย โดยการวัดค่าความขุ่นจะทำการวัดด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH ratio/XR และการวัดความขุ่นน้ำตัวอย่างนั้น จะทำการวัดค่าความขุ่น 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ส่วนการวัดปริมาณสาหร่ายนั้นจะใช้วิธีการนับเซลล์สาหร่ายด้วยวิธี Hemacytometer ซึ่งจะต้องทำการนับโดยการนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ (วิธีการวัดนี้มีความเหมาะสมกับการวัดปริมาณสาหร่ายที่มีความหนาแน่นไม่มากจนเกินไป) สำหรับการทดลองนี้จะนำน้ำตัวอย่างมาทำการนับสาหร่ายตัวอย่างละ 2 ข้ว และหาค่าเฉลี่ยปริมาณสาหร่ายที่นับได้

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของน้ำดิบจากอ่างแบบขุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (อ่างเก็บน้ำสระ 1)

ที่	รายการทดสอบ	วิธีการ/เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ	ผลการทดสอบ
1	pH	In-housed method	8.6 at 25 °C
2	Turbidity (NTU)	Turbidity meter	4.1
3	Biochemical Oxygen Demand (mg/l)	5 day BOD Test	6
4	Chemical Oxygen Demand (mg/l)	Closed Reflux, colorimetric method	28
5	Dissolved Oxygen (mg/l)	Membrane Electrode Method	7.5
6	Total Kjeldahl Nitrogen (mg/l)	Kjeldahl Method	2
7	Nitrite Nitrogen (mg/l)	Colorimetric method	0.02
8	Nitrate Nitrogen (mg/l)	cadmium Reduction Method	3.2

การคำนวณร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด

$$\text{ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น} = \frac{[(\text{ความขุ่นเริ่มต้น} - \text{ความขุ่นหลังทำ Jar test}) / \text{ความขุ่นเริ่มต้น}] * 100}{(1)}$$

$$\text{ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย} = \frac{[(\text{ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น} - \text{ปริมาณสาหร่ายหลังทำ Jar test}) / \text{ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น}] * 100}{(2)}$$

ผลการทดลองและวิจารณ์**ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาเกี่ยวกับน้ำจำลองความขุ่น**

ในการทดลองในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของสารรวมตะกอน ได้แก่ แป้งดัดแปรประจุบวก อัลจิเนต แอชานอ้อย (โดยแยกเป็นแอชานอ้อยล้างและไม่ล้าง) PAC:Polymer เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 2 ซึ่งจะแสดงปริมาณสารรวมตะกอนและค่า pH ที่เหมาะสมต่อสภาวะการทำงานของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด

เมื่อทราบสภาวะที่เหมาะสมของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดแล้ว จะพบว่าแป้งดัดแปรประจุบวกใช้ปริมาณ 0.005 กรัม ที่สภาวะ pH 10 และ PAC:Polymer ใช้ปริมาณ PAC 0.05 มิลลิลิตร : Polymer 1.0 มิลลิลิตร ควบคุมสภาวะที่ pH 10 เป็นสารรวมตะกอนที่มีค่าความขุ่นที่น้อยที่สุดหลังจากการทำ Jar-test มีค่าเท่ากัน คือ 0.74 NTU และสามารถเลือกสารอินทรีย์รวมตะกอนได้ดีที่สุด คือ แป้งดัดแปรประจุบวก

จากนั้นจึงนำแป้งดัดแปรประจุบวกไปทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและการกำจัดสาหร่ายโดยเปรียบเทียบกับสารรวมตะกอนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (PAC:Polymer) โดยศึกษากับน้ำดิบจริงที่เก็บมาจากอ่างเก็บน้ำแบบชุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาเกี่ยวกับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำแบบชุด

หลังจากที่สามารถเลือกสารอินทรีย์รวมตะกอนได้แล้ว จากนั้นจะต้องทำการหาปริมาณสารรวมตะกอนที่ทำให้เกิดฟล็อก โดยทำตามขั้นตอนการหาปริมาณสารรวมตะกอนและค่า pH ด้วยการทำ Jar-test เหมือนกับขั้นตอนที่ 1 โดยทำการเปรียบเทียบกับ PAC:Polymer

จากการศึกษาสารอินทรีย์รวมตะกอนที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 นำมาใช้ทดลองกับน้ำดิบที่เก็บจากอ่างเก็บน้ำแบบชุด อ่างสระ 1 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยทำการเก็บน้ำดิบมาหาปริมาณสารรวมตะกอนและค่า pH ด้วยวิธีการ Jar-test แล้วนำน้ำใส่ส่วนบนไปทำการวัดค่าความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่นและหาปริมาณของสาหร่ายด้วยวิธีการ Hemacytometer

หลังจากการทำ Jar-test โดยใช้สารรวมตะกอนคือแป้งดัดแปรประจุบวกและ PAC:Polymer ในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำ แล้วนำน้ำไปวัดค่าความขุ่น ซึ่งทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน โดยแป้งดัดแปรประจุบวกได้ทำการแปรเปลี่ยน 2 ครั้ง ในครั้งที่ 1 หาปริมาณสารรวมตะกอนที่ทำให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุดของช่วงแรก (0.2 - 1.0 กรัม) และครั้งที่ 2 แปรเปลี่ยนให้ได้ช่วงที่มีความละเอียดมากขึ้น (0.8, 0.85, 0.9) ดังแสดงรายละเอียดผลการทดลองในตารางที่ 3 ซึ่งปริมาณสารรวมตะกอนที่

ตารางที่ 2 สภาวะการทำงานของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดที่ทำให้น้ำมีค่าความขุ่นน้อยที่สุดในน้ำจำลองความขุ่น

สารรวมตะกอน (ต่อน้ำจำลองความขุ่น 1 ลิตร)	สภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของสารรวมตะกอน		
	ปริมาณของสารรวมตะกอน (g)	pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
แป้งดัดแปรประจุบวก	0.005 g	10	0.74
อัลจิเนต	0.03 g	11	0.84
แอชานอ้อย (ไม่ล้าง)	0.05 g	10	1.75
แอชานอ้อย (ล้าง)	0.05 g	10	1.35
PAC(ml) : Polymer(ml)	0.05 : 1.0	10	0.74

ตารางที่ 3 สภาวะการทำงานของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดและค่าความขุ่นเฉลี่ยในแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปา

ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก (g)		pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)	ปริมาณ PAC (ml)		pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
ครั้งที่ 1	0.2	10	16.80	ครั้งที่ 1	0.1	10	6.12
	0.4	10	8.88		0.2	10	4.46
	0.6	10	8.19		0.3	10	2.25
	0.8	10	7.70		0.4	10	0.81
	1.0	10	8.87		0.5	10	1.24
					0.6	10	4.42
ครั้งที่ 2	0.8	10	7.66				
	0.85	10	3.07				
	0.9	10	40.1				

เหมาะสมที่ทำให้ น้ำดิบ มีความขุ่นน้อยที่สุด คือใช้ปริมาณ PAC 0.4 มิลลิลิตร : Polymer 1.0 มิลลิลิตร ควบคุมสภาวะที่ pH 10 และแป้งดัดแปรประจุบวกใช้ปริมาณ 0.85 กรัม ที่สภาวะ pH 10 และคำนวณร้อยละประสิทธิภาพของการกำจัดความขุ่น ดังสมการการคำนวณสมการที่ 1 ซึ่งพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นนั้น PAC:Polymer มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าแป้งดัดแปรประจุบวก

จากการทดลองในตอนต้นที่ 1 นั้นสามารถเลือก แป้งดัดแปรประจุบวกเป็นสารรวมตะกอน และนำมาศึกษาเปรียบเทียบกับ PAC:Polymer โดยใช้ศึกษาที่ น้ำดิบที่ใช้เพื่อการผลิตน้ำประปา โดยมีจำนวนตัวอย่างในการศึกษาการกำจัดอนุภาคแขวนลอย จำนวน 9 ตัวอย่าง และศึกษาการกำจัดปริมาณสาหร่าย จำนวน 5 ตัวอย่าง ซึ่งผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5

การหาปริมาณสาหร่ายนั้นใช้วิธีการนับเซลล์สาหร่าย ด้วย Hemacytometer โดยจะทำการเก็บน้ำใส ส่วนบนมาแล้วใช้ไมโครปิเปตดูดน้ำตัวอย่างมา 9-10 ไมโครลิตร ลงบน Hemacytometer จากนั้นจึงนำไปนับเซลล์สาหร่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์ แล้วคำนวณร้อยละประสิทธิภาพของการกำจัดสาหร่าย ดังสมการการคำนวณสมการที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งพบว่า แป้งดัดแปรประจุบวกนั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายที่สูงกว่า PAC:Polymer

ในปี 2552 เกศรินทร์ [11] ได้ศึกษาการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายด้วยการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้สารรวมตะกอน 3 ชนิด คือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) อะลูมิเนียมคลอไรไฮดรต (ACH) และสารส้ม โดยใช้ร่วมกับสารช่วยรวมตะกอน พอลิเมอร์ประจุบวก พบว่า ACH มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมากที่สุด รองลงมาคือ PAC และสารส้ม ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นคิดเป็นร้อยละ 85.83 85.81 และ 85.15 ตามลำดับ ส่วนการกำจัดสาหร่ายนั้น ACH สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดีที่สุด รองลงมาคือ สารส้มและ PAC ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นคิดเป็นร้อยละ 82.35 72.73 และ 69.16 ตามลำดับ แต่ถ้าหากคิดค่าใช้จ่ายพบว่า ACH จะมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า สารส้มและ PAC

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ประสิทธิภาพของ PAC:Polymer ในการกำจัดความขุ่น (ข้อมูลจากตารางที่ 4) คิดเป็นร้อยละ 85.08-96.25 และประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย (ข้อมูลจากตารางที่ 5) คิดเป็นร้อยละ 44.59-89.27 และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ เกศรินทร์ ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของ PAC รวมกับพอลิเมอร์ประจุบวกคิดเป็นร้อยละ 85.81 และประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายคิดเป็นร้อยละ 69.16 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาที่ได้กับงานวิจัยดังกล่าว พบว่าผลการศึกษาในครั้งนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยดังกล่าว

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปา ระหว่างแบงด์ดแปรประจุบวกกับ PAC:Polymer

วันที่	ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น (NTU)	การกำจัดอนุภาคแขวนลอยของสารรวมตะกอน			
		แบงด์ดแปรประจุบวก		PAC:Polymer	
		ค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังการใช้สารรวมตะกอน (NTU)	ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%)	ค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังการใช้สารรวมตะกอน (NTU)	ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%)
5-ก.ย.-57	21.87	7.77	64.47	3.23	85.23
12-ก.ย.-57	17.63	3.81	78.39	2.63	85.08
19-ก.ย.-57	17.54	4.49	74.40	1.02	94.18
22-ก.ย.-57	19.32	4.5	76.71	1.2	93.79
24-ก.ย.-57	18.67	4.53	75.74	0.7	96.25
26-ก.ย.-57	18.59	4.66	74.93	1.28	93.11
29-ก.ย.-57	18.2	4.76	73.85	0.82	95.49
1-ต.ค.-57	18.66	4.47	76.05	1.79	90.41
3-ต.ค.-57	18.55	4.36	76.50	1.07	94.23

ตารางที่ 5 ปริมาณสาหร่ายจากการนับด้วยวิธี Hemacytometer และประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายในแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปา

วันที่	ค่าเฉลี่ยสาหร่ายในน้ำดิบ ($\times 10^4$ cell/ml)	การเปรียบเทียบการกำจัดสาหร่าย			
		แบงด์ดแปรประจุบวก		PAC:Polymer	
		ค่าเฉลี่ยสาหร่ายที่นับได้ ($\times 10^4$ cell/ml)	การกำจัดสาหร่าย (%)	ค่าเฉลี่ยสาหร่ายที่นับได้ ($\times 10^4$ cell/ml)	การกำจัดสาหร่าย (%)
2-ก.ย.-57	26.88	6.63	75.33	8.25	69.31
24-ก.ย.-57	23.5	2.88	87.74	3.75	84.04
26-ก.ย.-57	64.13	5.13	92.00	6.88	89.27
29-ก.ย.-57	263.25	44.5	83.10	70	73.41
3-ต.ค.-57	271.38	52.75	80.56	150.38	44.59

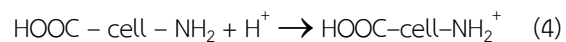
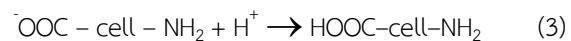
การกำจัดสาหร่ายเมื่อทำการเปรียบเทียบสารรวมตะกอนทั้ง 2 ชนิดแล้วนั้น จากข้อมูลในตารางที่ 5 พบว่า ผลต่างของร้อยละการกำจัดระหว่างแบงด์ดแปรประจุบวกกับ PAC:Polymer อยู่ในช่วง 2.7-36.0 โดยเฉพาะในตัวอย่างของวันที่ 3 ต.ค. 2557 นั้นจะพบว่ามีผลต่างมากที่สุด

ผลของการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายในแหล่งน้ำดิบเพื่อใช้ในการผลิตน้ำประปาโดยใช้สารรวมตะกอนระหว่างแบงด์ดแปรประจุบวกและ PAC:Polymer นั้น ในส่วนของ PAC:Polymer สามารถกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าแบงด์ดแปรประจุบวกดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4 นั้น เนื่องจากความขุ่นในน้ำดิบเกิดจากอนุภาคและสารที่แขวนลอยอยู่ในน้ำดิบซึ่งมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่

และโดยส่วนใหญ่แล้วนั้นเป็นอนุภาคของดิน ซึ่งกลไกการกำจัดอนุภาคความขุ่นเป็นการไปทำลายเสถียรภาพประจุลบให้มีค่าเป็นกลางเพื่อให้เกิดโอกาสการสัมผัสกันของอนุภาค ในการทดลองเมื่อใช้ PAC และ Polymer เป็นสารรวมตะกอนนั้น การทำงานของ PAC จะทำหน้าที่ในการไปทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ โดยจะทำงานร่วมกับ Polymer ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลมากและเมื่ออนุภาคคอลลอยด์ที่หมดเสถียรภาพแล้วจะเคลื่อนมาสัมผัสและเกาะติดที่ Polymer ทำให้มีน้ำหนักและตกตะกอนได้ง่าย ส่วนกลไกการกำจัดความขุ่นของแป้งตัดแปรรประจุบวกนั้น อาศัยกลไกให้ประจุตรงกันข้ามแล้วทำให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับเพียงอย่างเดียว ทำให้แป้งตัดแปรรประจุบวกไม่สามารถลดค่าศักย์ไฟฟ้าหรือไม่สามารถให้ประจุบวกที่เพียงพอ [12] ซึ่ง PAC:Polymer นั้นสามารถลดศักย์ไฟฟ้าและรวมกลุ่มฟล็อกได้เป็นอย่างดี จึงทำให้ PAC:Polymer มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าแป้งตัดแปรรประจุบวก

ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายของแป้งตัดแปรรประจุบวกที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่า PAC:Polymer เนื่องจากกลไกที่สำคัญของการกำจัดสาหร่ายนั้น อาศัยกลไกการทำลายประจุของอนุภาคสาหร่าย เพราะที่ผิวของสาหร่ายจะมีประจุที่เป็นลบ จึงใช้ประจุตรงข้ามไปทำการลดค่าศักย์ไฟฟ้าของประจุซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพของสาหร่าย โดยการให้ประจุบวกแล้วจึงรวมตัวกันและตกตะกอนลง [13] ซึ่งกลไกการกำจัดสาหร่ายนั้น แป้งตัดแปรรประจุบวกจะให้หมู่ฟังก์ชันที่เป็นบวกแล้วไปจับกับเซลล์สาหร่าย เมื่อ pH ในน้ำมีค่ามากกว่า

6 สาหร่ายจะมีประจุเป็นลบจะมีไอออนของคาร์บอกซิเลทและเอไมน์ ซึ่งจะไปจับกับโปรตอนไอออน ดังแสดงในสมการที่ 3 หาก pH ลดลงก็จะเกิดเป็นประจุบวกของกลุ่มฟังก์ชันเอไมน์ ดังแสดงในสมการที่ 4 สำหรับผลการทดลองในครั้งนี้ทำการควบคุมที่ pH 10 ในน้ำจะมีโปรตอนในน้ำค่อนข้างน้อย และเมื่อทำการใช้แป้งตัดแปรรประจุบวกลงไปในน้ำทำให้น้ำมีโปรตอนเพิ่มขึ้นและไปจับกับเซลล์ของสาหร่าย ทำให้สาหร่ายในน้ำจะถูกทำให้เป็นกลางด้วยประจุบวกจากโปรตอนเพียงอย่างเดียว โดยที่ไม่ได้เกิดจากกลไกจากการทำให้ศักย์ไฟฟ้าเป็นกลางด้วยประจุบวกของไอออนของโลหะอื่นๆ [14] จึงทำให้ PAC:Polymer มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายต่ำกว่าแป้งตัดแปรรประจุบวก นอกจากนี้สาหร่ายยังมีขนาดค่อนข้างเล็กและมีปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับอนุภาคความขุ่นอื่นๆ จึงทำให้กลไกการทำงานของ PAC:Polymer เกิดขึ้นได้ยากมากยิ่งขึ้น



สามารถแสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ตามสภาวะและร้อยละการกำจัดตั้งรายละเอียดในตารางที่ 6 ซึ่งจะพบว่าแป้งตัดแปรรประจุบวกมีค่าใช้จ่าย 46.75 บาทต่อน้ำดิบ 1 ลูกบาศก์เมตร และ PAC:Polymer มีค่าใช้จ่าย 4.4 บาทต่อน้ำดิบ 1 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 6 ตารางเปรียบเทียบทางด้านเศรษฐศาสตร์ระหว่างแป้งตัดแปรรประจุบวกและ PAC:Polymer ในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบสำหรับการผลิตน้ำประปา

รายการเปรียบเทียบ	สารรวมตะกอน	
	แป้งตัดแปรรประจุบวก	PAC:Polymer
ปริมาณที่ใช้ต่อน้ำดิบ 1 ลิตร (กรัม)	0.85	0.04: 0.02
ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%)	64.47 - 77.39	85.08 - 96.25
ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย (%)	75.33 - 92.00	44.59 - 89.27
ค่าใช้จ่ายต่อน้ำดิบ 1 ลูกบาศก์เมตร (บาท)	46.75	4.4

*** หมายเหตุ PAC 50 บาท/กิโลกรัม, Polymer 120 บาท/กิโลกรัม และแป้งตัดแปรรประจุบวก ราคา 55 บาท/กิโลกรัม

สรุป

จากผลการศึกษาการเปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการหาสารอินทรีย์รวมตะกอนที่สามารถกำจัดสารแขวนลอยและสาหร่ายในน้ำดิบ ได้ผลการทดลองว่า แป้งดัดแปรประจุบวกเป็นสารอินทรีย์รวมตะกอนที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอัลจิเนตและเถ้าขานอ้อย หลังจากนั้นทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยและกำจัดสาหร่ายในน้ำดิบเทียบกับการใช้ PAC:Polymer โดยผลการศึกษาการใช้ PAC:Polymer กับแป้งดัดแปรประจุบวก นั้นพบว่า PAC:Polymer มีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยได้ดีกว่าแป้งดัดแปรประจุบวก ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 85.08-96.25 และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของแป้งดัดแปรประจุบวกคิดเป็นร้อยละ 64.47-77.39 สำหรับผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายพบว่าแป้งดัดแปรประจุบวกมีประสิทธิภาพที่สูงกว่า PAC:Polymer ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายคิดเป็นร้อยละ 75.33-92.00 และประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายของ PAC:Polymer คิดเป็นร้อยละ 44.59-89.27

ในการศึกษาครั้งนี้ในส่วนของน้ำดิบที่ได้จากอ่างเก็บน้ำแบบเขื่อนนั้นความหนาแน่นของสาหร่ายเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่อาจมีผลต่อการกำจัดความขุ่น เนื่องจากสาหร่ายสารเป็นอนุภาคแขวนลอยในน้ำและถือว่าเป็นความขุ่น ซึ่งถ้าฤดูกาลเปลี่ยนอาจมีผลทำให้มีปริมาณสาหร่ายแตกต่างกัน เพราะฉะนั้นความหนาแน่นของสาหร่ายจึงอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและการกำจัดสาหร่ายด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จากทุนการศึกษา One Research One Grant program (OROG) และได้รับการสนับสนุนเครื่องมือในการทดลองจากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thakorn Saeneemanomai. 2009. Using organoclays to adsorb organic matter in raw water for reducing trihalomethanes formation potential. Bangkok, Chulalongkorn University. Thailand. (in Thai)
- [2] J.R. Walton. 2012. Alumium Disruption of Calcium Homeostasis and Signal Transduction Resembles Change that Occurs in Aging and Alzheimer's Disease. Journal of Alzheimer's Disease. 29: 255-273.
- [3] Pinthita Mungkarndee. 1988. using Moringa seed for removal of turbidity in water. KKU Engineering Journal. 15(2): 39-43. (in Thai)
- [4] Soydoa Vinitnantharat. 2015. The Use of Fruit Seeds as Coagulant and Coagulant Aid. Bangkok, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand. (in Thai)
- [5] Ratikorn Sanghaw. 2003. The Use of plant Seeds as Coagulant and Coagulant Aid. Bangkok, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand. (in Thai)
- [6] Yotsawadee Arunrat. 2013. Utilization of Extracted Moringa Oleifera Leave and Seed Mixtures for Turbidity Removal from Pickled Mustard Greens Factory Wastewater. Environmental Health Journal. 16(1) (October-December): 35-47. (in Thai)
- [7] Rungthiwa Naveesathien. 2013. Pickled Mustard Greens Factory Wastewater Treatment by Utilizing Extracted Moringa Oleifera Seed as Coagulant. Environmetal Health Journal. 16(1) (October-December): 14-22. (in Thai)

- [8] Pingorn Wiliwong. 2002. Preparation of coagulant from industrial solid waste for wastewater treatment. Bangkok, Chulalongkorn University, Thailand. (in Thai)
- [9] Dries Vandamme, Imogen Foubert, Boudewijn Meesschaert, Koenraad Muylaert. 2010. Flocculation of microalgae using cationic starch. *J. Appl. Phycol.* 22: 525-530.
- [10] H. Aylin Devrimci, H., Mete Yuksel, A. and Dilek Sannin, F. 2012. Algal alginate: A potential coagulant for drinking water treatment, *Desalination*. 299: 16-21.
- [11] Katesarin Vorradetwittaya. 2009. Turbidity and algae removal from water by chemical coagulation. Bangkok, Chulalongkorn University, Thailand. (in Thai)
- [12] Jin Li, Shufang Jiao, Lian Zhong, Jinfen Pan and Qimin M. 2013. Optimizing coagulation and flocculation process for kaolinite suspension with chitosan, *Colloid Surfaces A*. 428: 100-110.
- [13] V. Kothandaraman and Ralph L. Evans. 1972. Removal of algae from waste stabilization pond effluents - A state of the art, state of Illinois department of registration and education, Illinois state water survey Urbana, 1-9.
- [14] Jiexia Liu, Yi Zhu, Yujun Tao, Yuanming Zhang, Aifen Li, Tao Li, Ming Sang, Chengwu Zhang. 2013. Freshwater microalgae harvested via flocculation induced by pH decrease, *Biotechnology for Biofuels*, 1-11.