การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมด้วยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 ในน้ำชะขยะบริเวณหลุมฝังกลบของเทศบาลเมืองสงขลา

Absorption of Lead and Cadmium by Cyanobacteria, *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 in Non-point Sources Wastewater from Landfill of Songkhla Municipality

ปริญญา ทับเที่ยง [1] และ สมรักษ์ รอดเจริญ [2*]
Parinya Thubthaing [1] and Somrak Rodjaroen [2*]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของสาหร่ายที่พบในน้ำชะขยะจากบริเวณหลุมฝังกลบของเทศบาลนครสงขลา และการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมออกจากน้ำชะขยะ โดยใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะจำนวน 3 สถานี แล้วนำมาจำแนกสาหร่ายชนิดเด่น ศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำชะขยะ ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก ได้แก่ ระดับความเป็นกรด-ด่าง ระยะเวลา และปริมาณสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม ผลการศึกษาพบว่าพบสาหร่ายทั้งสิ้น 6 สกุล ได้แก่ *Oscillatoria Spirulina Clamydomonas Chlorella Scenedesmus* และ *Tryblionella* พบโลหะหนักตะกั่วในน้ำชะขยะ ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง ระยะเวลา และปริมาณของสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่ว คือ 5.0, 150 นาที และ 0.1 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และพบโลหะหนักแคดเมียมในน้ำชะขยะ ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง ระยะเวลา และปริมาณของสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่ว คือ 5.0, 90 นาที และ 0.1 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ความสามารถสูงสุดของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 ในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมที่สภาวะเหมาะสม เท่ากับ 31.04 และ 26.43 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้ง ตามลำดับ การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 สอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงค์เมียร์ แสดงให้เห็นว่าเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

คำสำคัญ: ตะกั่ว, แคดเมียม, การดูดซับ, น้ำชะขยะ, สาหร่าย

[1] สาขาสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

[1] Department of Environment, Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Sikao, Trang 92150, Thailand.

[2] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280

[2] Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Muang, Nakhon Si Thammarat 80280, Thailand.

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): somrak_25@hotmail.co.th

ABSTRACT

This research was aimed to identify algal species in leachate at landfill of Songkhla Municipality and to study an absorption of lead and cadmium using cyanobacteria, *Oscillatoria* sp. TISTR 8491. Leachates were random sampled for 3 stations and dominant algae were identified. In addition, physical and chemistry parameters and important factors including pH, adsorption period and algal biomass affecting heavy metal adsorption were examined. Six dominant algal genus; *Oscillatoria*, *Spirulina*, *Clamydomonas*, *Chlorella*, *Scenedesmus* and *Tryblionella* were recorded. Leachate from landfill composed of lead and cadmium. *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 showed highest capacity in lead adsorption at pH 5.0 for 150 min and with 1 g DW and in cadmium adsorption at pH 5.0 for 90 min with 3 g DW, respectively. Under these conditions, the highest absorption efficiency of *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 for lead and cadmium were 31.04 and 26.43 mg/g DW, respectively. Adsorption of lead and cadmium by *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 fitted with Langmuir isotherm, therefore the adsorption was predicted as monolayer adsorption.

Key words: lead, cadmium, absorption, leachate**,** algae

บทนำ

ปัจจุบันเทศบาลเมืองสงขลามีขยะที่ต้องกำจัดรวมทั้งหมด 137.45 ตันต่อวัน ซึ่งประกอบด้วยขยะมูลฝอยจากเทศบาลเมืองสงขลาจำนวน 77.48 ตันต่อวัน และขยะมูลฝอยจากองค์การบริหารส่วนท้องถิ่น หน่วยงานราชการ และภาคเอกชนจำนวน 59.87 ตันต่อวัน ซึ่งทางเทศบาลเมืองสงขลาดำเนินการกำจัดขยะทั้งหมดโดยวิธีการฝังกลบขยะมูลฝอย (Sanitary Landfill) อย่างถูกหลักสุขาภิบาล (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2555) ผลจากการผังกลบขยะ คือ น้ำชะขยะ (Leachate) ซึ่งเป็นน้ำที่เกิดจากการย่อยสลายของขยะประกอบด้วยสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต หากน้ำชะขยะนี้ซึมลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน หรือปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จะส่งผลกระทบสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศ โดยการสะสมของสารพิษจะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับของสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารนั้น

การกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การแยกกรองด้วยไฟฟ้า (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2553) กระบวนการเคมีไฟฟ้าแบบ 2 ขั้ว (กฤติกา และ นภดล, 2549) การตกผลึกด้วยวิธีทางเคมี การแลกเปลี่ยนไอออน การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์การออสโมซิสย้อนกลับ การสร้างตะกอน-การตกตะกอนผลึก และการกรอง (Lawal *et al*., 2010) การกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีการข้างต้นนี้มีต้นทุนสูง และไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้กำจัดโลหะหนักเนื่องจากมีการใช้สารเคมีซึ่งไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (อทิยา และ สุนีรัตน์, 2553) ปัจจุบันการดูดซับทางชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์ เช่น สาหร่ายแบคทีเรียยีสต์ราหรือใบและรากพืชเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจและสามารถนำมาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก เนื่องจากไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Katircioglu *et al*., 2008) *Oscillatoria* sp. เป็นสาหร่ายขนาดเล็กที่สามารถเพิ่มปริมาณได้อย่างรวดเร็วในแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป และ

สามารถโตได้ดีที่สภาวะที่มีอาหารต่ำ เนื่องจากสามารถสังเคราะห์อาหารและตรึงไนโตรเจนเองได้ (ดวงรัตน์, 2548) งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถดูดซับโลหะหนักออกจากน้ำเสียได้ (ชยาภาส, 2549) นอกจากนี้ Katircioglu *et al*. (2008) พบว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่แยกได้จากน้ำจืด สามารถกำจัดแคดเมียมไอออนได้ นอกจากนี้ชีวมวลสาหร่าย *Sargassum glaucescens* สามารถใช้เป็นตัวดูดซับทางชีวภาพในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียม (Naddafi *et al*., 2007) ได้ รวมทั้งสาหร่าย *Oscillatoria* sp. NTMS01 และ *Phormidium* sp. NTMS02 จากทะเล สามารถดูดซับตะกั่วได้เช่นกัน (Kumar *et al*., 2011) จะเห็นได้ว่าสาหร่ายเป็นตัวดูดซับทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพและนิยมนำมาใช้กำจัดโลหะหนักออกจากน้ำทิ้ง การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาถึงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมโดย *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 จากน้ำชะขยะบริเวณหลุมฝังกลบของเทศบาลเมืองสงขลา

วิธีการทดลอง

คุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและชนิดของสาหร่ายในน้ำชะขยะ

สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะจากบ่อหมักของหลุมฝังกลบขยะเทศบาลเมืองสงขลา ตั้งอยู่ ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา จำนวน 3 สถานี ปากบ่อ (สถานีที่ 1) กลางบ่อ (สถานีที่ 2) และท้ายบ่อ (สถานีที่ 3) นำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ความขุ่น อุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้า ความเป็นกรด-ด่าง chemical oxygen demand (COD) และ biological oxygen demand (BOD) ตามวิธีของ APHA (2005) ปริมาณตะกั่วและปริมาณแคดเมียม วิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer; AAS)

เก็บตัวอย่างสาหร่าย โดยใช้ถุงเก็บแพลงก์ตอนขนาดตา 20 ไมโครเมตร นำไปตรวจหาชนิดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดเลนประกอบ (Compound microscope ยี่ห้อ Nikon รุ่น E400) ที่กำลังขยาย 40 ถึง 100 เท่า โดยใช้คู่มือในการจำแนกชนิด (ลัดดา, 2544; ยุวดี, 2549; Desikachary, 1959)

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. TISTR 8491

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 ได้รับการอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) นำมาเลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 Medium ภายใต้แสงสีขาวจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ความเข้มแสง 60 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ให้แสงสว่าง:มืด (12:12 ชั่วโมง) เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิมิ 28±1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 วัน เก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่ายโดยการหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที และล้างเซลล์สาหร่ายด้วยน้ำกลั่น 3-5 ครั้งจากนั้นนำเซลล์สาหร่ายแห้งไปใช้ในการทดลองต่อไป (ดัดแปลงมาจาก สมรักษ์ และ ชุตินุช, 2558)

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. TISTR 8491

ระดับความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

ชั่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 ปริมาณ 0.3 กรัมน้ำหนักแห้งเติมลง

ในสารละลายตะกั่วและแคดเมียมที่มีระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่มีระดับความเป็นกรด-ด่างต่างกัน 5 ระดับ คือ 5.0 6.0 7.0 8.0 และ 9.0 นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 125 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C และนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่เหลือด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (ภาณุมาศ, 2548; ดัดแปลงจาก Miranda *et al*., 2012)

ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

ชั่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 ปริมาณ 0.3 กรัมน้ำหนักแห้ง เติมลงในสารละลายตะกั่วและแคดเมียมที่ปรับความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.0 ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 125 รอบต่อนาที เมื่อเวลาผ่านไป 30 60 90 120 150 และ 180 นาที ตามลำดับ เก็บตัวอย่างและนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่เหลือด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (ภาณุมาศ, 2548; ดัดแปลงจาก Miranda *et al*., 2012)

ปริมาณสาหร่ายต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

เตรียมสารละลายตะกั่วและแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับความเป็นกรด-ด่าง 5.0 ชั่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 ปริมาณ 0.1 0.2 0.3 และ 0.4 กรัมน้ำหนักแห้ง เติมลงในสารละลายที่เตรียมไว้ นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 125 รอบต่อนาที เป็นเวลา 150 และ 90 นาที ตามลำดับ นำสารละลายที่ได้ไปวัดหาปริมาณโลหะหนักที่เหลือด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (ภาณุมาศ, 2548; ดัดแปลงจาก Miranda *et al*., 2012)

ประสิทธิภาพสูงสุดของ *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 ในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

ชั่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 ปริมาณ 0.1 กรัมน้ำหนักแห้ง เติมลงในสารละลายตะกั่วและแคดเมียมปริมาตร 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นในช่วง 10 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.0 นำไปเขย่าที่เวลา 150 นาที และ 90 นาที ในสารละลายตะกั่วและสารละลายแคดเมียมตามลำดับ จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C แล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS คำนวณปริมาณการดูดซับโลหะหนัก (q) ดังสมการ

$$qe = \frac{V(Ci - Cf)}{m} \qquad (1)$$

เมื่อ q_e คือ ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อปริมาณเซลล์ *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 (มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม), V คือ ปริมาตรของสารละลายโลหะหนัก (มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร), C_i คือ ความเข้มข้นตั้งต้นของโลหะหนัก (มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร), C_f คือ ความเข้มข้นสุดท้ายของโลหะหนัก (มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร), m คือ ปริมาณน้ำหนักแห้งของเซลล์ *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 (มีหน่วยเป็นกรัม) และวิเคราะห์ไอโซเทอร์มการดูดซับโดยใช้สมการแลงค์เมียร์ (Langmuir) และฟรุนดิช (Freundlich) สมการแลงค์เมียร์ มีรูปสมการ คือ

$$q = \frac{q_0 C}{K + C} \quad (2)$$

โดย q คือ ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับหนึ่งหน่วยมวล, q_0 คือ ปริมาณตัวถูกละลายมากที่สุดต่อตัวดูดซับหนึ่งหน่วยมวล, ค่า C คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่สมดุล, ค่า K คือ ค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง จากสมการที่ 2 จะได้

$$\frac{1}{q} = \frac{K}{q_0 C} + \frac{1}{q_0} \quad (3)$$

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 1/q กับ 1/C เป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ K/q_0 และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/q_0$ สมการฟรุนดิช คือ

$$q = KC^{1/n} \quad (4)$$

โดย q คือปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อตัวดูดซับหนึ่งหน่วยมวล, C คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่สมดุล, K และ n คือค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง จากสมการที่ 4 จะได้

$$\ln q = \ln K + (1/n) \ln C \quad (5)$$

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง In q กับ In C จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 1/n และตัดแกน In q = In K (พจนีย์, 2549)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของชุดทดลองโดยวิธี One-way ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยวิเคราะห์ข้อมูลโดย Least Significant Difference test (LSD test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

คุณสมบัติทางกายภาพทางเคมีและชนิดของสาหร่ายในน้ำชะขยะ

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำชะขยะบริเวณหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเทศบาลเมืองสงขลา โดยเก็บน้ำตัวอย่างจากบ่อหมัก 3 สถานี สถานีที่ 1 เป็นจุดต้นบ่อที่น้ำปล่อยลงมาจากบ่อฝังกลบขยะมูลฝอย สถานี 2 เป็นน้ำจากบ่อหมักที่อยู่กลางบ่อ และสถานีที่ 3 เป็นน้ำจากบ่อหมักส่วนท้ายบ่อ พบว่าปริมาณความขุ่นของน้ำชะขยะในบ่อหมัก อยู่ในช่วง 21.33±1.04-120.67±2.52 NTU อุณหภูมิของน้ำชะขยะอยู่ในช่วง 28.33±0.58-29.17±0.29 องศาเซลเซียส ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 4.67±0.03-4.97±0.02 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตรและค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 8.39±0.02-8.50±0.01 (ตารางที่ 1)

จากการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำชะขยะ สถานีที่ 1 สถานีที่ 2 และสถานีที่ 3 พบปริมาณตะกั่วในน้ำชะขยะอยู่ในช่วง

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพในน้ำชะขยะ

สมบัติทางกายภาพ	สถานี (Mean±SD)		
	สถานีที่ 1	สถานีที่ 2	สถานีที่ 3
ความขุ่น (NTU)	21.33±1.04^{c}	53.87±0.50^{b}	120.67±2.52^{a}
อุณหภูมิ (°C)	29.17±0.29	28.33±0.58	28.33±0.58
ค่านำไฟฟ้า (mS/cm)	4.97±0.02^{a}	4.80±0.02^{b}	4.67±0.03^{c}
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	8.39±0.02^{b}	8.50±0.01^{a}	8.48±0.02^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

1.60±0.30-2.80±0.40 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาณแคดเมียมในน้ำชะขยะอยู่ในช่วง 3.70±0.20-6.60±0.50 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) ในน้ำชะขยะอยู่ในช่วง 76.00±12.49-88.00±6.24 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD) ในน้ำชะขยะอยู่ในช่วง 168.33±35.10-245.33±36.95 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 2) ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของจิราภรณ์ และ อุไรวรรณ (2554) ซึ่งศึกษาคุณภาพน้ำของชุมชนบริเวณโดยรอบสถานที่ฝังกลบมูลฝอยของเทศบาลนครขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น จากการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำชะมูลฝอย ในบ่อแอนแอโรบิค ซึ่งมีค่า pH เท่ากับ 7.87 TS เท่ากับ 10,442.6 มิลลิกรัมต่อลิตร COD เท่ากับ 10,442.6 มิลลิกรัมต่อลิตร BOD เท่ากับ 2,438.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ Pb, Cd, Cu, Mn และ Cr มีค่าเท่ากับ, 0.280 มิลลิกรัมต่อลิตร 0.045, มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.122 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.130 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.043 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

จากการศึกษาชนิดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในบ่อหมักน้ำชะขยะ พบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Cyanophyta) 2 สกุล คือ *Oscillatoria* และ *Spirulina* สาหร่ายสีเขียว (Chlorophyta) 3 สกุล คือ *Clamydomonas*, *Chlorella* และ *Scenedesmus* และไดอะตอม (Bacillariophyta) 1 สกุลคือ *Tryblionella* (ตารางที่ 3) สอดคล้องกับกรรฐศรน์ (2551) ได้ศึกษาชนิดของสาหร่ายในบ่อบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ พบทั้งหมด 5 ดิวิชั่น ได้แก่ Cyanophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta และ Pyrrhophyta ผลจากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* เป็นชนิดเด่นในบ่อหมักน้ำชะขยะเทศบาลสงขลาและมีรายงานว่าสามารถนำไปใช้ในการกำจัดโลหะหนัก จึงคัดเลือกสาหร่ายสกุลนี้นำไปศึกษาประสิทธิภาพผลต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมต่อไป

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. TISTR 8491

ระดับความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

จากผลการศึกษาพบว่าระดับความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในสารละลายที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีในน้ำชะขยะ

สมบัติทางเคมี	สถานีที่ (Mean±SD)		
	สถานีที่ 1	สถานีที่ 2	สถานีที่ 3
ตะกั่ว (µg/l)	1.80±0.10[b]	2.80±0.40[a]	1.60±0.30[b]
แคดเมียม (µg/l)	6.60±0.50[a]	5.60±0.30[b]	3.70±0.20[c]
ปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) (mg/l)	82.00±13.53[a]	76.00±12.49[a]	85.00±6.24[a]
ปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD) (mg/l)	181.33±18.48[b]	168.33±35.10[b]	245.33±36.95[a]

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 3 ชนิดสาหร่ายที่พบในน้ำชะขยะ

ชนิดของสาหร่าย	สถานี		
	สถานีที่ 1*	สถานีที่ 2*	สถานีที่ 3*
Cyanophyta			
Oscillatoria sp.	X	X	X
Spirulina sp.	X	X	-
Chlorophyta			
Clamydomonas sp.	X	X	X
Chlorella sp.	X	X	X
Scenedesmus sp.	X	X	X
Bacilariophyta			
Tryblionella sp.	X	X	X

* หมายเหตุ X คือ พบ, - คือ ไม่พบ

เท่ากับ 5 ได้ดีที่สุด และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) (ภาพที่ 1) ทั้งนี้พบว่าเมื่อสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่าง สูงขึ้นจะทำให้สารละลายเป็นตะกอนจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ สุนีรัตน์ และคณะ (2556) พบว่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่ว คือ 5 เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ อทิยา และ สุนีรัตน์ (2553) พบว่าระดับความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการดูดซับของสารละลายตะกั่ว คือ 5 ซึ่งระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลายมีผลต่อการแตกตัวของตะกั่วและแคดเมียมให้อยู่ในรูปไอออนอิสระทำให้จับตัวกันได้ดี

ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

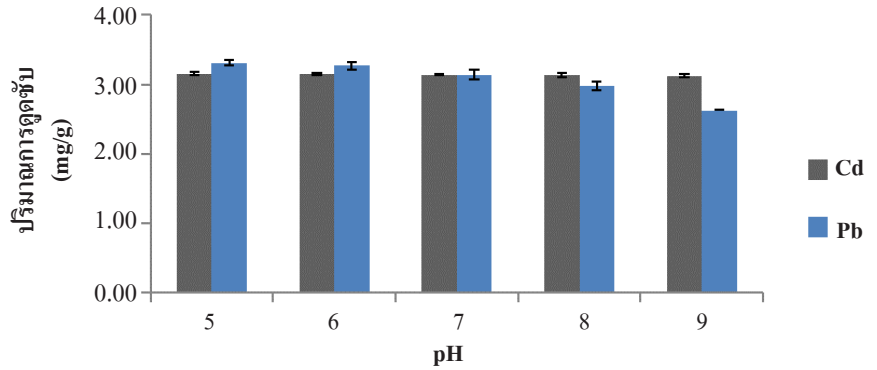
จากการศึกษาพบว่าในช่วง 30 นาทีแรกสาหร่ายสามารถดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากพื้นที่ผิวของวัสดุยังมีที่ว่างจากนั้นปริมาณโลหะตะกั่วและแคดเมียมที่ถูกดูดซับจะเริ่มคงที่ ซึ่งการดูดซับเข้าสู่สมดุลของตะกั่วและแคดเมียมที่เวลา 150 และ 90 นาทีตามลำดับ (ภาพที่ 2)

ปริมาณสาหร่ายต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

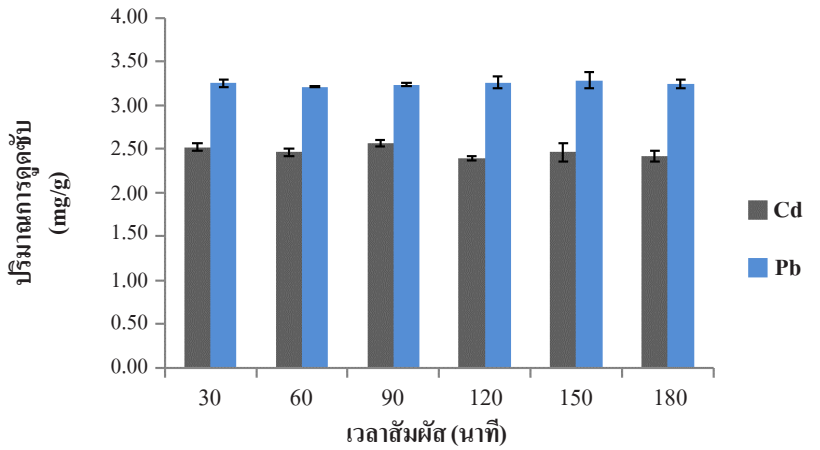
จากการศึกษาพบว่าปริมาณสาหร่ายที่แตกต่างกันมีผลทำให้การดูดซับมีประสิทธิภาพแตกต่างกัน โดยเมื่อเซลล์ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ดูดซับได้ต่อเซลล์สาหร่ายลดลง โดยที่ปริมาณเซลล์ 0.1 กรัม กำจัดตะกั่วและแคดเมียมออกจากสารละลายได้ดีที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) (ภาพที่ 3)

ประสิทธิภาพสูงสุดของ *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 ในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

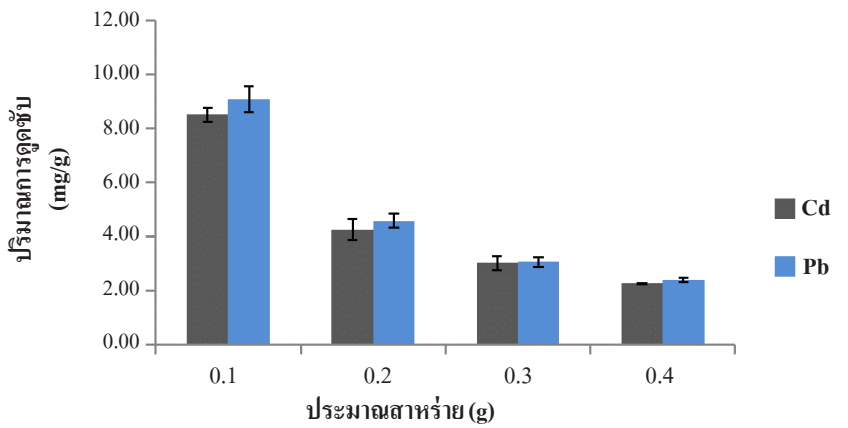
นำสารละลายมาตรฐานตะกั่วและแคดเมียมเข้มข้นเท่ากับ 1 10 20 30 40 50 60 70 80 90 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มาปรับความเป็นกรด-ด่าง 5 ชั่งสาหร่ายมา 0.1 กรัม น้ำหนักแห้ง นำไปเขย่าที่เวลา 150 นาที สำหรับ



ภาพที่ 1 ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ถูกดูดซับโดย *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน



ภาพที่ 2 ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ถูกดูดซับโดย *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 ที่ระยะเวลาสัมผัสแตกต่างกัน



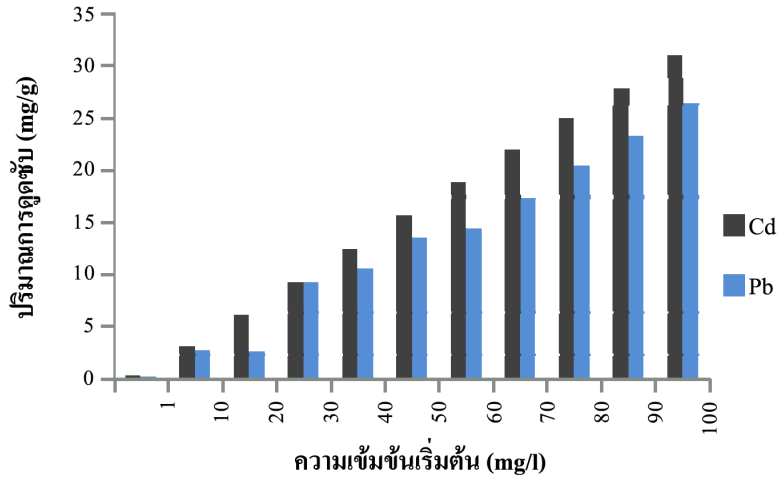
ภาพที่ 3 ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ถูกดูดซับโดย *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 ที่ปริมาณของสาหร่ายแตกต่างกัน

สารละลายตะกั่ว และ 90 นาที สำหรับสารละลายแคดเมียม กรองด้วยกระดาษกรอง GF/C แล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS

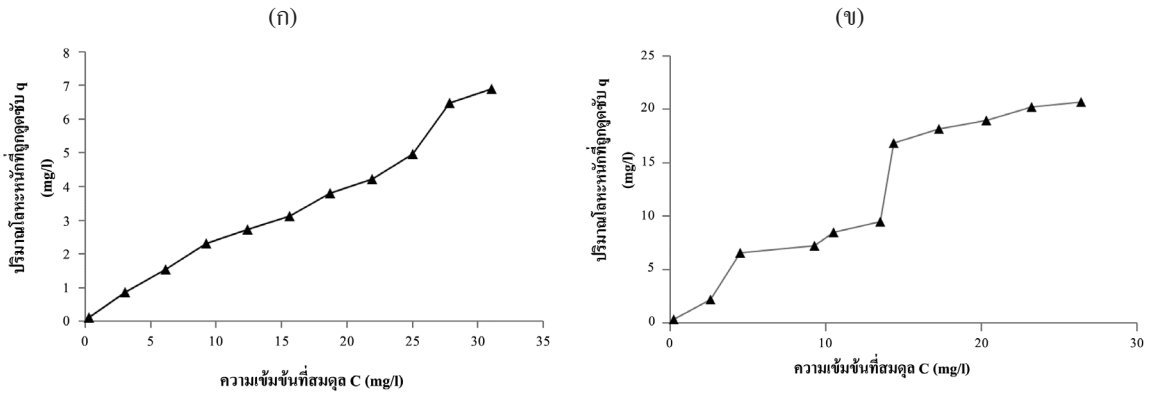
การทดลองการศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม พบว่า ความสามารถในการดูดซับสูงสุดของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 ในสารละลายตะกั่วและแคดเมียมเท่ากับ 31.04 และ 26.43 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 93.10 และ 79.29 ตามลำดับ (ภาพที่ 4)

ไอโซเทอมของการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

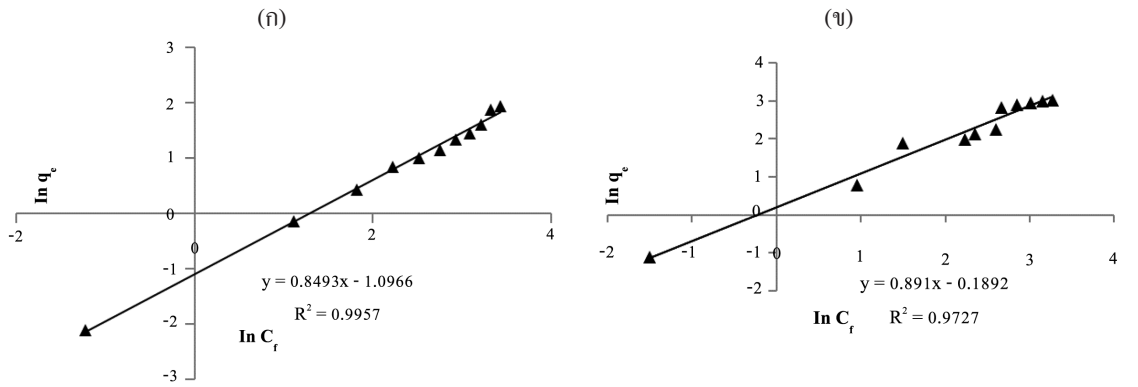
จากการทดลองใช้สาหร่าย *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 ดูดซับโลหะหนัก ตะกั่วและแคดเมียม ที่ความเข้มข้น 1-100 มิลลิกรัมต่อลิตร ความสัมพันธ์ตามการศึกษา Adsorption Isotherm โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C และ q ดังสมการที่ 5 พบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสูงกว่าจะมีจำนวนของโลหะหนักที่ถูกดูดซับมากกว่า (ภาพที่ 5 ก-ข) และเมื่อนำผลการทดลองมาทำการวิเคราะห์ไอโซเทอมโดยใช้สมการของแลงค์เมียร์ (Langmuir equation) ดังสมการที่ 1-2 และสมการของฟรุนดิช (Freundich equation) ดังสมการที่ 3-4 พบว่าลักษณะของกราฟมีความสอดคล้องกับสมการของแลงค์เมียร์ (Langmiur Adsorption Isotherm) ค่อนข้างสูง โดยพิจารณาจากค่า R squared แสดงให้เห็นว่าการในการดูดซับโลหะหนักตะกั่วและแคดเมียม โดยใช้สาหร่าย *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 เป็นตัวดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) มีความเหมาะสมกับ Langmiur Adsorption Isotherm มากที่สุด (R^2 เท่ากับ 0.9988 และ 0.9963 ตามลำดับ) สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุนีรัตน์ และคณะ (2556) ได้ศึกษาการดูดซับตะกั่วโดยไซยาโนแบคทีเรีย *Oscillatoria limnetica* ที่มีชีวิต พบว่าการดูดซับตะกั่วโดย *O. limnetica* มีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของการดูดซับของแลงค์เมียร์ โดยมีค่าการดูดซับตะกั่วสูงสุด (q_{max}) เท่ากับ 434.78 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 5, 6, 7 และตารางที่ 4)



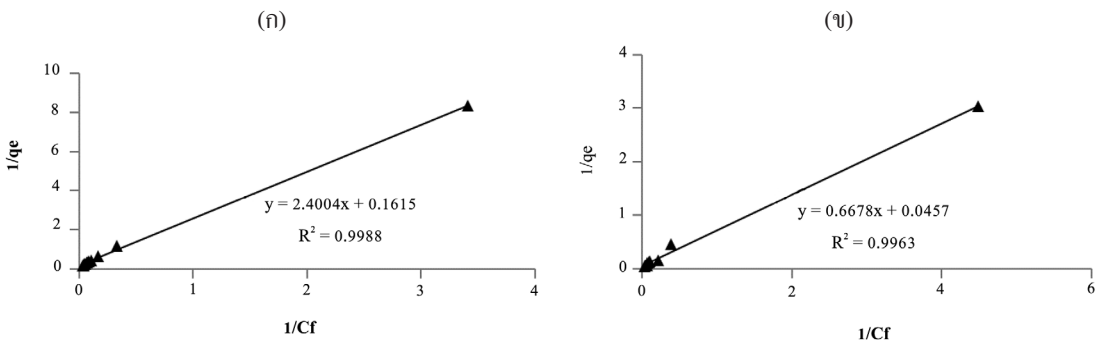
ภาพที่ 4 ปริมาณการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างกัน



ภาพที่ 5 ไอโซเทอมการดูดซับตะกั่ว (ก) และแคดเมียม (ข)



ภาพที่ 6 Freundich Adsorption Isotherm ในการดูดซับตะกั่ว (ก) และแคดเมียม (ข)



ภาพที่ 7 Langmiur Adsorption Isotherm ในการดูดซับตะกั่ว (ก) และแคดเมียม (ข)

ตารางที่ 4 การทดสอบไอโซเทอมการดูดซับของตะกั่วและแคดเมียมของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. TISTR 8491

parameters	Langmuir adsorption isotherm			Freundich adsorption isotherm		
	K	q_o	R^2	K	1/n	R^2
Lead	14.863	6.192	0.999	0.334	1.177	0.996
Cadmium	14.613	21.882	0.996	1.208	1.122	0.973

สรุปผล

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว และแคดเมียม โดยใช้สาหร่าย *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 โดยศึกษาปัจจัยความเป็นกรด-ด่าง ระยะเวลาสัมผัส ปริมาณของตัวดูดซับ และประสิทธิภาพในการดูดซับ จากการทดลองพบว่า ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม คือ 5.0 เมื่อความเป็นกรด-ด่างเพิ่มมากขึ้น จะทำให้สารละลายตะกั่วและแคดเมียมเกิดการตกตะกอน ซึ่งจะอยู่ในรูปที่ตัวดูดซับไม่สามารถดูดซับได้ โดยที่ระดับความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 5.0 สารละลายตะกั่วและแคดเมียมจะเริ่มตกตะกอนอยู่ในรูปของแข็ง ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมอยู่ที่ 150 และ 90 นาที ตามลำดับ ปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.1 กรัม และประสิทธิภาพสูงสุดของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 ในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม คือ 31.04 และ 26.43 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์ แสดงว่าเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า สาหร่าย *Oscillatoria* sp. TISTR 8491 มีประสิทธิภาพดีและมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย เนื่องจากเป็นตัวดูดซับที่สามารถเพิ่มปริมาณได้อย่างง่ายและรวดเร็วทำให้เป็นการลดต้นทุนในการบำบัด

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2553. **การดูดซับโลหะหนักโดยวิธีทางชีวภาพ.** กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ.

กรรฐศรน์ แดงตะโก. 2551. การประเมินประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่โดยใช้ปริมาณจุลินทรีย์บงชี้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

กฤติกา อะนันทา และ นภดล คงศรีเจริญ. 2549. การบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยโดยกระบวนการเคมีไฟฟ้าแบบ 2 ขั้ว. **Thai Environmental Engineering Journal** 20: 59-68.

จิราภรณ์ หลาบคำ และ อุไรวรรณ อินทร์ม่วง. 2554. สถานการณ์คุณภาพน้ำและความคิดเห็นของประชาชนต่อปัญหามลพิษทางน้ำของชุมชนบริเวณโดยรอบสถานที่ฝังกลบมูลฝอยของเทศบาลนครขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น. **วารสารวิจัยสาธารณสุขมหาวิทยาลัยขอนแก่น** 4(3): 51-62.

ชยาภาส ทับทอง. 2549. การกำจัดไอออนตะกั่ว

จากน้ำเสียด้วยตะกอนจุลินทรีย์. **วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม** 28(1): 1-12.

ดวงรัตน์ อินทร. 2548. สาหร่ายกับเทคโนโลยีชีวภาพสิ่งแวดล้อม. **นานาสัตว์น้ำ** 9: 18-24.

พจนีย์ โลมรัตน์. 2549. การกำจัดสีย้อมและโลหะหนักในน้ำเสียจากการย้อมไหมโดยก้อนเห็ดเหลือทิ้ง *Pleurotus ostreatus*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาณุมาศ พรหมเทศ. 2548. การดูดซับโลหะหนักโดยกากของเสียจากขบวนการผลิตน้ำผลไม้. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2549. **สาหร่ายวิทยา.** ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2544. **แพลงก์ตอนพืช.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, ลัดดา วงศ์รัตน์ และ ศักดิ์ชัย ชูโชติ. 2556. การดูดซับตะกั่วโดยไซยาโนแบคทีเรีย *Oscillatoria limnetica* ที่มีชีวิต, น. 127. *ใน* **การประชุมวิชาการ สาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ ครั้งที่ 6.** ศูนย์ประชุมนานาชาติเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส, เชียงใหม่.

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16. 2555. **รายงานผลการติดตามและประเมินสมรรถนะระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนและระบบกำจัดขยะมูลฝอยชุมชนภายใต้แผนปฏิบัติการเพื่อการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมในระดับจังหวัดพื้นที่ภาคใต้ตอนล่างฝั่งตะวันออกประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2537-2552.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, สงขลา.

สมรักษ์ รอดเจริญ และ ชุตินุช สุจริต. 2558. การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตชีวมวลและการสะสมแป้งของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Nostoc commune* TISTR 8870, น. 148-155. *ใน* **การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, นครราชสีมา.

อทิยา สะพานกลาง และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2553. การดูดซับตะกั่วโดยไซยาโนแบคทีเรีย *Stigonema* sp. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า** 28: 20-30.

APHA. 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** Port City Press, Washington DC.

Desikachary T.V. 1959. **Cyanophyta.** Indian Council of Agricultural Research, New Delhi.

Katircioglu, H., Aslim, B., Turker, A.R., Atici, T. and Beyatli, Y. 2008. Removal of cadmium (II) ion from aqueous system by dry biomass, immobilized live and heat-inactivated *Oscillatoria* sp. H1 isolated from freshwater (Mogan Lake). **Bioresource Technology** 99: 4185-4191.

Kumar, M.S., Rajeshwari, K., Johnson, S., Thajuddin, N. and Gunasekaran, M. 2011. Removal of Pb (II) by Immobilized and Free Filaments of Marine *Oscillatoria* sp. NTMS01 and *Phormidium* sp. NTMS02. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology** 87: 254-259.

Lawal, O.S., Sanni, A.R., Ajayi, I.A. and Rabiu, O.O. 2010. Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies for the biosorption of

aqueous lead (II) ions onto the seed husk of *Calophyllum inophyllum*. **Journal of hazardous materials** 177: 829-835.

Miranda, J., Krishnakumar, G. and D'Silva, A. 2012. Removal of Pb^{2+} from aqueous system by live *Oscillatoria laetevirens* (Crouan and Crouan) Gomont isolated from industrial effluents. **World Journal of Microbiology and Biotechnology** 28: 3053-3065.

Naddafi, K., Nabizadeh, R., Saeedi, R., Mahvi, A.H., Vaezi, F., Yaghmaeian, K., Ghasri, A. and Nazmara, S. 2007. Biosorption of lead (II) and cadmium (II) by protonated *Sargassum glaucescens* biomass in a continuous packed bed column. **Journal of Hazardous Meterials** 147: 785-79.