



Thai Environmental Engineering Journal

Vol. 32 No. 2 May – August 2018

ISSN 1686 - 2961

ISSN 2673 - 0359 (Online)



การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน

Removal of Effluent Organic Matter (EfOM)

by Nanofiltration Membrane

Supatpong Mattaraj* and Sujeenun Suntikul**

สุพัฒน์พงษ์ มัตราจ* และ ศุจินันท์ สันติกุล**

*ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

**สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

*E-mail : supatpong.mj@gmail.com, s.sujeenun@gmail.com

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีเยื่อกรองเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีขั้นสูงที่สามารถผลิตน้ำให้มีคุณภาพสูง ได้ปริมาณน้ำมากโดยการดำเนินระบบสั้น และสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนจากน้ำทิ้ง ระบบนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำในกระบวนการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ การวิจัยนี้เป็นศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยเยื่อกรองแบบนาโน (HL4040FN, GE water and process technology) โดยใช้ชุดทดลองแบบไหลตามขวาง โดยได้นำน้ำทิ้งที่รวบรวมจากระบบบำบัดน้ำเสียภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนและกรองผ่านเยื่อกรองต่อเนื่องขนาด 10, 5 และ 1 ไมครอน สารอินทรีย์ในน้ำจากการบำบัดขั้นต้นจะถูกแยกต่อมาด้วยระบบออสโมซิสผกผัน ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งส่งผลต่อการเพิ่มการลดลงของฟลักซ์ของสารละลาย อาจเนื่องมาจากสะสมสารอินทรีย์บนผิวเยื่อกรองทั้งยังส่งผลให้มีการกำจัดสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น การเพิ่มระดับพีเอชมากขึ้นเป็นผลให้ค่าฟลักซ์ของเพอร์เมตมีค่าลดลง ขณะที่เยื่อกรองนาโนสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งค่อนข้างสูงประมาณร้อยละ 94-98

คำสำคัญ : เยื่อกรองแบบนาโน; สารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง; การลดลงของฟลักซ์สารละลาย

Abstract

Membrane process is one of the advanced wastewater technologies, which provides high water quality, water quantities with short operation period, and removes contaminated effluent organic matter. This process is significantly useful to improve water quality for water reuse process. This research studied the removal efficiency of effluent organic matter (Efom) using cross flow nanofiltration membrane (HL4040FN, GE water and process technology). Wastewater effluents, collected from wastewater treatment plants in Ubon Ratchathani University, were pretreated with ion exchange resin and sequentially filtered through 10, 5 and 1 μm cartridge filters. The organic matter from pretreated water was subsequently separated by reverse osmosis. Experimental results revealed that increased Efom concentration caused an increase in solution flux decline, possibly due to organic matter

accumulation on membrane surface, thus increasing organic matter removal. Increase pH solution resulted in decreasing permeate flux, while nanofiltration membrane could remove relatively high effluent organic matter about 94-98%.

Keywords : Nanofiltration; Effluent Organic Matter; Solution Flux Decline

บทนำ

ในระยะเวลาที่ผ่านมาประเทศไทยได้เผชิญปัญหาเกี่ยวกับน้ำอย่างต่อเนื่อง เช่น สถานการณ์ภัยแล้งที่รุนแรง ปัญหาแหล่งน้ำที่เสื่อมโทรม และการปนเปื้อนสารพิษในแหล่งน้ำอันมีสาเหตุมาจากชุมชนเมือง ภาคอุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรม ทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภค วิธีการหนึ่งในการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำ คือ การนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่สามารถประหยัดทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ [1] จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งก่อให้เกิดปัญหาต่อแหล่งน้ำและการผลิตน้ำสะอาด โดยสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ สามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter) ซึ่งพบได้ตามแหล่งน้ำธรรมชาติ เป็นส่วนประกอบสำคัญในน้ำทิ้ง ที่ทำให้เกิดสีในแหล่งน้ำ อีกทั้งในกระบวนการผลิตน้ำประปาสารอินทรีย์ธรรมชาติที่กำจัดไม่หมดจะทำให้ปฏิกิริยากับคลอรีนที่ใส่ฆ่าเชื้อโรคเกิดเป็นสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งได้ [2] ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ สารประกอบอินทรีย์สังเคราะห์ (Synthetic Organic Compounds) และสารชีวภัณฑ์ละลายน้ำ (Soluble Microbial Products) ซึ่งเกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ และสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งเหล่านี้ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก [3] สารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด ตั้งแต่สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำไปจนถึงสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น โปรตีน โพลีแซคคาไรด์ กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก กรดฮิวมิก กรดฟัลวิก กรดอินทรีย์และส่วนประกอบของเซลล์ เป็นต้น [4]

อย่างไรก็ตาม การนำน้ำทิ้งมาใช้ในการกิจกรรมต่างๆ นั้นจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมก่อนที่จะนำกลับมาใช้ใหม่โดยวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นสูง เช่น การแลกเปลี่ยนประจุ การดูดซับด้วยคาร์บอน การเติมโอโซน และการใช้เทคโนโลยีการกรองแบบนาโน

ซึ่งเป็นกระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองที่ใช้ความดันอยู่ระหว่างอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration) และออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis) โดยเทคโนโลยีการกรองแบบนาโนมีข้อได้เปรียบคือการใช้ความดันที่น้อยกว่าในการดำเนินระบบ ปริมาณน้ำที่ผลิตได้มีปริมาณที่มากกว่า [5] ซึ่งเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ได้รับความนิยมและมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ เพราะเป็นกระบวนการที่ลดการใช้สารเคมี และสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเยื่อกรองแบบนาโนในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง

อุปกรณ์และวิธีการ

คุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ใช้ในงานวิจัย

การศึกษาจะนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มาทดสอบคุณภาพน้ำเพื่อต้องการนำกลับมาใช้ใหม่หรือปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ดังแสดงในตารางที่ 1

สารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง

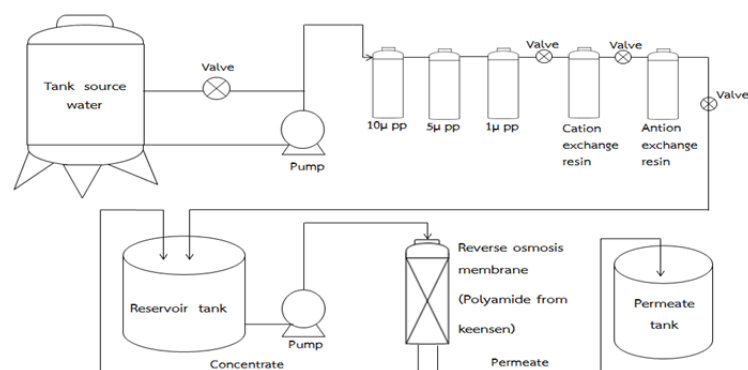
สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ได้มาจากระบบบำบัดน้ำเสียภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ซึ่งเป็นระบบบำบัดแบบสระเติมอากาศ โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียในบริเวณมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จำนวน 200 ลิตรเก็บไว้ภายในถัง ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการแยกความเข้มข้นของสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการแบบออสโมซิสผันกลับ ทำการกรองจนเหลือเฉพาะน้ำที่ไม่ผ่านการกรอง ประมาณ 6 ลิตร ซึ่งคุณลักษณะของน้ำทิ้งหลังผ่านกระบวนการทำให้เพิ่มความเข้มข้นได้แสดงดังตารางที่ 2 จากนั้นนำสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งเข้มข้นใส่ภาชนะที่ปิดสนิทแล้วนำไปแช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการรักษาสารอินทรีย์ให้อยู่ในสภาวะพร้อมใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 คุณลักษณะน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว

พารามิเตอร์	น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย
พีเอช	8.15
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	382.49
ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/L)	9.5
UV ₂₅₄ (1/cm)	0.05
ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (mg/L)	16.19

ตารางที่ 2 คุณลักษณะน้ำทิ้งหลังผ่านกระบวนการแยกความเข้มข้นด้วยกระบวนการแบบออสโมซิสผัน

พารามิเตอร์	น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย
พีเอช	6.37
ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	6431.77
ค่าของแข็งละลายน้ำ (TSS) (mg/L)	8
UV ₂₅₄ (1/cm)	0.061
ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (mg/L)	35.94



รูปที่ 1 แผนภาพการทำงานของระบบเยื่อกรองแบบออสโมซิสผันกลับ

เยื่อกรองแบบนาโน

การวิจัยครั้งนี้ใช้เยื่อกรองแบบนาโนของ GE Water & Process Technologies รุ่น HL4040FM ผลิตจากโพลีเอไมด์ มีคุณสมบัติของเยื่อกรองเป็นดังนี้ มีความสามารถในการกำจัดสารที่มีขนาดโมเลกุล 150-300 ดาลตัน พีเอชที่ใช้ในการดำเนินระบบอยู่ระหว่าง 3-9 และพีเอชของสารที่ใช้ในการทำความสะดวกมีค่าอยู่ระหว่าง 2-10.5 อุณหภูมิที่สามารถทนได้สูงสุดที่ 50 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้ในการดำเนินงานอยู่ที่ 70-300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นำมาตัดให้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 4 x 6 นิ้ว เพื่อให้สามารถนำมาใส่ลงในชุดทดลองเยื่อกรอง สำหรับ

แผ่นเยื่อกรองที่ได้ตัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำเก็บรักษาโดยแช่ไว้ในสารละลาย Sodium metabisulphite ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) ความเข้มข้นร้อยละ 1 เพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน แล้วนำไปแช่ไว้ในตู้เย็นเพื่อลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีผลต่อผิวหน้าเยื่อกรอง

ชุดทดลองแบบไหลตามขวาง

รูปที่ 2 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบเยื่อกรองแบบนาโน ระบบนี้ใช้ในเป็นชุดทดสอบแบบไหลตามขวาง รุ่น SEPA ของ Osmonics มีพื้นที่ใส่แผ่นเยื่อกรองขนาด 0.014 ตารางเมตรโดยคำนวณตามพื้นที่ของ

ชุดทดสอบ ซึ่งควบคุมการทดลองด้วยระบบเยื่อกรองแบบนาโนโดยการปรับความดันให้มีอัตราการไหลเริ่มต้น 45 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ให้ความสามารถในการผลิตน้ำอยู่ที่ร้อยละ 85 อัตราเร็วที่ไหลตามขวางอยู่ที่ 0.1 เมตรต่อวินาที และใช้เวลาในการทดลอง 500 นาที [7]

สมการที่ใช้ในการศึกษา

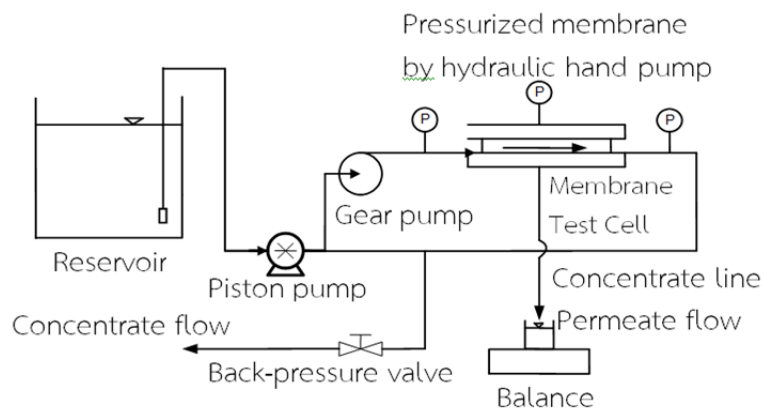
จากการศึกษาของ Mattaraj and Kilduff [9] เกี่ยวข้องกับการอุดตันของเยื่อกรองอันเป็นผลมาจากสารอินทรีย์ในการกรองแบบนาโนซึ่งมีความสอดคล้องกับแผนการวิจัยในครั้งนี้ ค่าอัตราการกรองแสดงได้ในสมการ (1)

$$J_v = \frac{Q_{perm}}{A_m} \quad (1)$$

โดย J_v คือ อัตราการกรองผ่านเยื่อกรอง ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$), Q_{perm} คือ อัตราการไหลของน้ำที่กรองได้ ($L \cdot h^{-1}$), A_m คือ พื้นที่ที่ใช้ในการกรอง (m^2) ส่วนการกำจัดสารละลายออกจากน้ำ (Rejection) โดยการกรองผ่านเยื่อกรองจะแยกสารละลายต่างๆ ออกจากน้ำ ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดสามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

$$R = 1 - \frac{C_{perm}}{C_{reten}} \quad (2)$$

โดย R คือ อัตราการกำจัดสารละลายออกจากน้ำ, C_{perm} คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่ผ่านการกรอง ($mg \cdot L^{-1}$), C_{reten} คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่ไม่ผ่านการกรอง ($mg \cdot L^{-1}$)



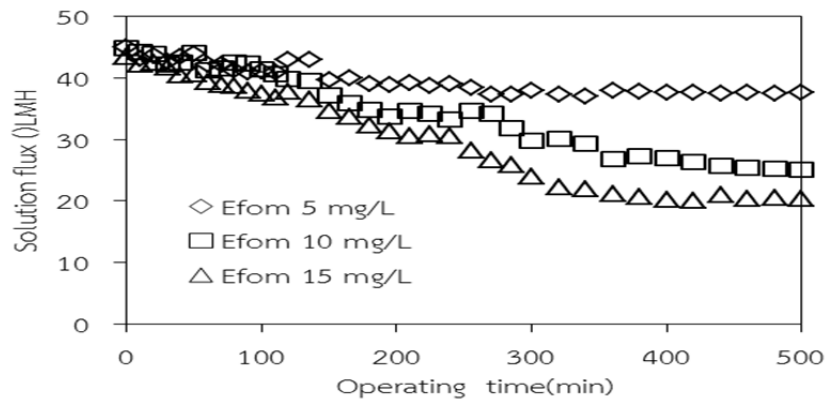
รูปที่ 2 แผนภาพการทำงานของระบบเยื่อกรองแบบนาโน [8]

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่มีผลต่อการลดลงของค่าฟลักซ์

การทดลองผลของค่าความเข้มข้นต่อการลดลงของเพอร์มิเอตฟลักซ์ ใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชที่ใช้เป็น 7 ปรับค่าความแรงประจุเป็น 0.01 โมลต่อลิตรด้วยโซเดียมคลอไรด์ ดังแสดงในรูปที่ 3 จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลของค่าความเข้มข้นของ

สารอินทรีย์ที่มีการเปลี่ยนแปลงมีผลต่อการลดลงของฟลักซ์ จากผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้นจะเป็นผลทำให้เพิ่มค่าการลดลงของฟลักซ์สารละลาย เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์เป็นการเพิ่มมวลของสารที่ถูกกักกันในระบบเยื่อกรอง และเกิดการสะสมตัวของสารอินทรีย์ที่บริเวณผิวหน้าของเยื่อกรอง [10] จะเห็นได้ชัดว่าค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลต่อการลดลงของฟลักซ์มากที่สุด



รูปที่ 3 ผลของค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่มีผลต่อค่าฟลักซ์สารละลาย

ผลการศึกษาค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่มีผลต่อการกำจัด

ความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งของสารละลายที่มีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ 5 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปที่ 4 แสดงผลของค่าการกำจัดสารอินทรีย์ที่ใช้ทดลอง ที่ระดับความแรงประจุ 0.01 โมลต่อลิตร โดยสารโซเดียมคลอไรด์ การทดลองพบว่าเยื่อกรองแบบนาโนมีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งประมาณร้อยละ 94-98 จากผลการทดลองดังกล่าวมีผลการทดลองที่สอดคล้องกับ [11] ที่พบว่าการกำจัดสารอินทรีย์จะใช้กลไกในการคัดขนาด (Size Exclusion) เนื่องจากอนุภาคของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเยื่อกรองนาโน

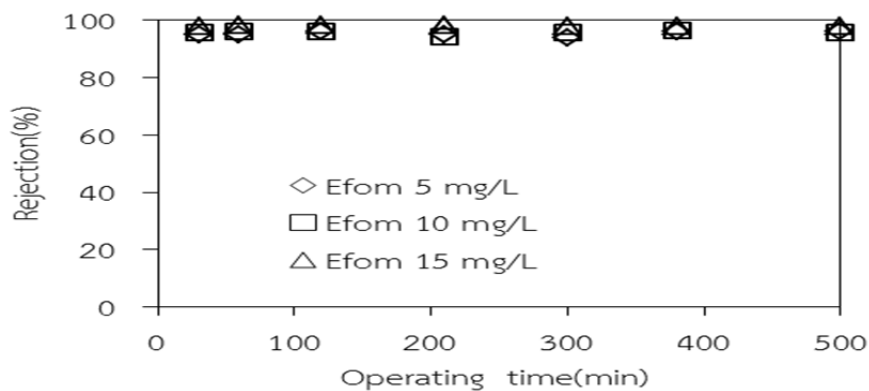
ผลการศึกษาค่าพีเอชที่มีผลต่อการลดลงของค่าฟลักซ์

การทดลองผลของค่าพีเอชต่อการลดลงของเพอร์มิเอตฟลักซ์ โดยใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชที่ใช้ในการทดลองเป็น 5, 7 และ 9 ปรับค่าความแรงประจุเป็น 0.01 โมลต่อลิตร ด้วยโซเดียมคลอไรด์ ดังแสดงในรูปที่ 5 จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าพีเอชที่มีการเปลี่ยนแปลงมีผลต่อการลดลงของฟลักซ์ จากผลการทดลองพบว่า ที่ระดับพีเอชที่เพิ่มมากขึ้นจะเป็นผลทำให้

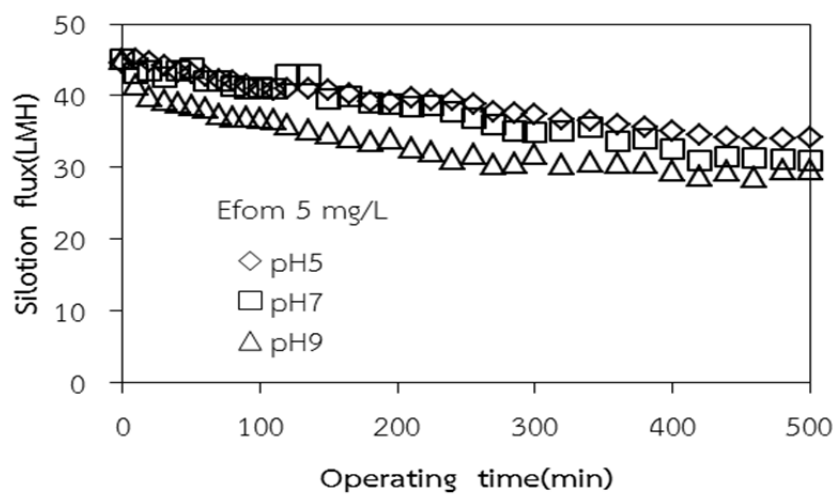
ค่าฟลักซ์ของเพอร์มิเอตที่วัดได้มีค่าที่ลดลง โดยที่เวลา 500 นาที ที่ค่าพีเอช 5, 7 และ 9 มีค่าฟลักซ์ของเพอร์มิเอตเป็น 34.11, 31.02 และ 29.65 ตามลำดับ

ผลการศึกษาค่าพีเอชที่มีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง

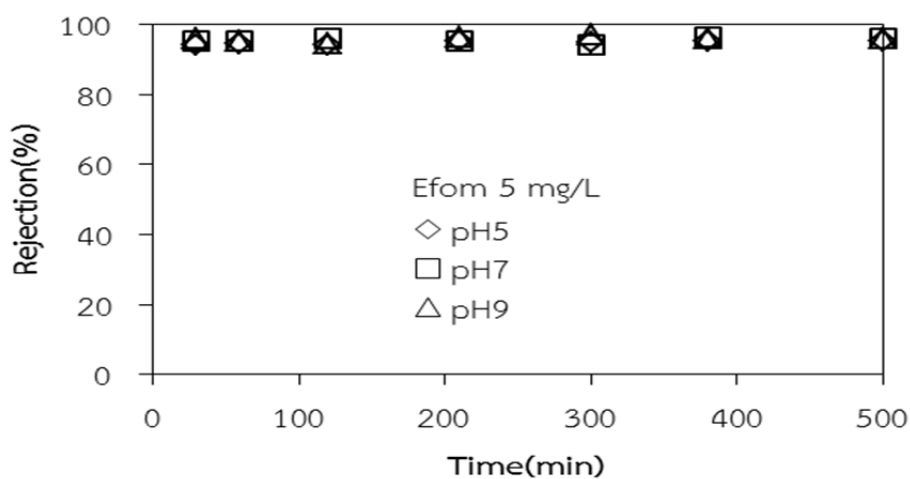
ความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งของสารละลายที่มีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชที่ใช้ในการทดลองเป็น 5, 7 และ 9 ปรับค่าความแรงประจุเป็น 0.01 โมลต่อลิตรด้วยโซเดียมคลอไรด์ ในรูปที่ 6 แสดงผลของค่าการกำจัดสารอินทรีย์ที่ใช้ทดลอง พบว่า เยื่อกรองแบบนาโนมีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งประมาณร้อยละ 94-96 ซึ่งในทุกะดับค่าพีเอชให้ค่าการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเยื่อกรองแบบนาโนมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยหลายกลไก จากการทดลองผลของค่าพีเอชที่แตกต่างกันพบว่าผลของขนาดโมเลกุล (Size Exclusion) น่าจะเป็นกลไกสำคัญในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งมากกว่า กลไกของแรงกระทำของไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic forces) และกลไกแรงกระทำระหว่างประจุบวก และประจุลบของสารละลายกับประจุบริเวณผิวหน้าเยื่อกรอง (Electrostatic repulsion)



รูปที่ 4 ผลของค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่มีผลต่อการกำจัด



รูปที่ 5 ผลของค่าพีเอชต่อค่าฟลักซ์สารละลาย



รูปที่ 6 ผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง

สรุปผล

การกรองด้วยเยื่อกรองนาโนสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งได้โดยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้เทคโนโลยีเยื่อกรองแบบนาโนในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดด้วยการนำทรัพยากรน้ำที่มีอยู่กลับมาใช้ใหม่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี เครื่องมือในการทดลอง สถานที่วิจัย ตลอดจนสนับสนุนการนำเสนอผลงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Van der Bruggen, B. 2010. The global water recycling situation. *Sustainability Science and Engineering*. 2: 41-62.
- [2] Marhaba, T.F., Pu, Y. and Bengraïne, K. 2003. Modified dissolved organic matter fraction technique for natural water. *J. Hazard. Mater.* 101: 43-53.
- [3] Shon, H. K., Vigneswaran, S., Kandasamy, J. and Cho, J. 2007. Characteristics of effluent organic matter in wastewater. *Eolss, Oxford*.
- [4] Barker, D. J., Salvi, S. M., Langenhoff, A. A. and Stuckey, D. C. 2000. Soluble microbial products in ABR treating low-strength wastewater. *J. Environ. Eng.* 126(3): 239-249.
- [5] Bruggen, B.V. and Vandecasteele, C. "Removal of pollutants from surface water and groundwater by nanofiltration: overview of possible applications in the drinking water industry", *Environmental Pollution*. 122(3): 435-445; April, 2003.
- [6] Uyak, V., Koyuncu, I., Oktem, I., Cakmakci, M. and Toroz, I. 2008. Removal of trihalomethanes from drinking water by nanofiltration membranes. *J. Hazard. Mater.* 152(2): 789-794.
- [7] Mattaraj, S., Phimpha, W., Hongthong, P. and Jiratananon, R. 2010. Effect of operating conditions and solution chemistry on model parameters in crossflow reverse osmosis of natural organic matter. *Desalination*. 253(1-3): 38-45.
- [8] Jarusutthirak, C., Mattaraj, S. and Jiratananon, R. 2007. Factors affecting nanofiltration performances in natural organic matter rejection and flux decline. *Sep. Purif. Technol.* 58: 68-75.
- [9] Mattaraj, S. and Kilduff, J. E. Effect of natural organic matter properties on nanofiltration fouling. *RSID 4th. Proceeding of the forth Regional Symposium on Infrastructure Development in Civil Engineering, Bangkok, Thailand, on April 3-5, 2003.*
- [10] Kilduff, J. E., Mattaraj, S. and Belfort, G. 2004. Flux decline during nanofiltration of naturally-occurring dissolved organic matter: effects of osmotic pressure, membrane permeability, and cake formation. *J. Membrane Sci.* 239(1): 39-53.
- [11] Cho, J., Amy, G. and Pellegrino, J. 2000. Membrane filtration of natural organic matter: comparison of flux decline, NOM rejection, and foulants during filtration with three UF membranes. *Desalination*. 127(3): 283-298.



การใช้เทคโนโลยีสำหรับชุมชนในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ บล็อกประสานจากเศษหินบะซอลต์ Community Technology for Development of Interlocking Block Product from Basalt Fragments

Prachoom Khamput* and Sajjachan Pradmali**

ประชุม คำพุ่ม* และ สัจจะชาญ พรัดมะลิ**

*ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

**สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800

E-mail : prachoom.k@en.rmutt.ac.th, choomy_gtc@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เศษหินบะซอลต์ สำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน กำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1: เศษหินบะซอลต์: เท่ากับ 1 : 6, 1 : 6.5, 1 : 7, 1 : 7.5 และ 1 : 8 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปบล็อกประสาน ขนาด 10 x 20 x 10 เซนติเมตร ด้วยเครื่องอัดแบบมือโยก ทดสอบตามมาตรฐาน มผช. 602-2547 เรื่องวิธีบล็อกประสาน ผลการทดสอบพบว่าบล็อกประสานจากเศษหินบะซอลต์ มีความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงเมื่อปริมาณเศษหินบะซอลต์มากขึ้น ส่วนการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์จากงานวิจัย ช่วยให้วิศวกร นักออกแบบและช่างเทคนิคสามารถเลือกใช้อัตราส่วนในการผลิตบล็อกประสานผสมเศษหินบะซอลต์ที่เหมาะสมตามความต้องการได้

คำสำคัญ : เศษหินบะซอลต์; บล็อกประสาน; มผช. 602-2547; ความต้านทานแรงอัด

Abstract

This research aims to study the using basalt rock fragments to develop as interlocking block product. The mixture ratios of Portland cement type1: basalt rock fragments are 1 : 6, 1 : 6.5, 1 : 7, 1 : 7.5 and 1 : 8 by weight and water per cement ratio was 0.6 by weight. The interlocking block samples are cast in 10 x 20 x 10 centimeter of dimension with manual compression molding machine. The interlocking block samples were tested in accordance with TCPS 602-2547 standard which subjected for the interlocking block. The results show that the weight, compressive strength, and thermal conductivity of interlocking blocks with high quantity of basalt rock fragments are lower than interlocking blocks with low quantity of basalt rock fragments while that the water absorption of interlocking blocks with high quantity of basalt rock fragments are higher. From this research the

medium and small enterprises could choose the proper ration for the interlocking block production mixing basalt rock fragments as per requirement.

Keywords : Basalt rock fragments; Interlocking block; TCPS 602-2547; Compressive strength

บทนำ

หินบะซอลต์เป็นหินอัคนีเนื้อละเอียด ส่วนมากมีสีเทาถึงดำ น้ำตาลแกมแดง ม่วงปนดำ เกิดจากหินหนืดขึ้นมาเย็นตัวบนพื้นโลกอาศัยรอยแตกของเปลือกโลกหรือปล่องภูเขาไฟ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของบรรดาเกาะในมหาสมุทรและส่วนประกอบทั่วไปในภาคพื้นทวีปเช่นกัน องค์ประกอบทางเคมีออกไซด์ที่สำคัญ ได้แก่ ซิลิกา อะลูมินา เหล็ก แคลไซต์ แมกนีไซต์ [1] พื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นพื้นที่สำหรับทำเหมืองหินบะซอลต์ (รูปที่ 1) พบหินบะซอลต์แผ่กระจายบริเวณทางใต้ของตัวเมืองบุรีรัมย์ มีจุดศูนย์กลางที่เขากระโดงและเขาใหญ่ ซึ่งเป็นปากปล่องภูเขาไฟที่ดับและยังคงเหลือสภาพสันฐานภูเขาไฟให้เห็น บริเวณที่ปล่องภูเขาไฟจะพบชิ้นส่วนของหินบะซอลต์โพรงข่าย สีเทาดำ รูพรุนมาก

การนำหินบะซอลต์ของจังหวัดบุรีรัมย์ไปใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป จะเป็นการนำหินที่มีขนาดมวลรวมหยาบไปใช้ในการก่อสร้างทำถนน ถนนที่ดิน การทำเซรามิค ตลอดจนเป็นหินประดับสำหรับการจัดสวน ซึ่งจะเหลือเป็นหินมวลรวมละเอียด หรือหินฝุ่น ที่ชาวบ้านเชื่อกันว่าไม่แข็งแรงและไม่สามารถที่จะใช้งานก่อสร้างประเภทอื่นได้ ดังนั้นการ

นำเศษหินบะซอลต์มาพัฒนาเป็นมวลรวมสำหรับผสมในผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกประสานโดยใช้เทคโนโลยีสำหรับชุมชน จึงเป็นแนวทางการเพิ่มมูลค่าทรัพยากรในท้องถิ่น ช่วยสร้างรายได้ให้ชุมชนภายในจังหวัดบุรีรัมย์ ตลอดจนพื้นที่อื่น ๆ ที่มีแหล่งเหมืองหินบะซอลต์อย่างยั่งยืนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์ ประกอบด้วย (1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1, (2) เศษหินบะซอลต์ จังหวัดบุรีรัมย์ (รูปที่ 2) มีค่าโมดูลัสความละเอียด 3.28, (3) น้ำประปา, (4) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล, (5) เครื่องผสมคอนกรีต, (6) เครื่องอัดบล็อกประสานแบบมือโยก, (7) แบบหล่อบล็อกประสาน ขนาด 10 x 20 x 10 เซนติเมตร, (8) ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์ขนาดมวลรวม, (9) ชุดอุปกรณ์ทดสอบการดูดกลืนน้ำ, (10) ชุดทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และ (11) เครื่องทดสอบเอนกประสงค์

อัตราส่วนผสมของอิฐบล็อกประสานผสมเศษหินบะซอลต์ ทำการผสมโดยควบคุมปริมาณความชื้นโดยการใส่ประสาธสัมผัส ในการกำหนดปริมาณน้ำ ดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะกองเศษหินเหลือทิ้งของเหมืองหินบะซอลต์ จังหวัดบุรีรัมย์

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของบล็อกประสานโดยน้ำหนัก

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	เศษหินบะซอลต์	น้ำ
1 : 6	1	6	0.6
1 : 6.5	1	6.5	0.6
1 : 7	1	7	0.6
1 : 7.5	1	7.5	0.6
1 : 8	1	8	0.6



รูปที่ 2 ขนาดมองด้วยตาเปล่าของเศษหินบะซอลต์ ตำบลเจริญสุข อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดบุรีรัมย์

วิธีการดำเนินงานโดยเริ่มจากการทวงส่วนผสมตามที่กำหนด จากนั้นผสมเศษหินบะซอลต์กับปูนซีเมนต์ให้เข้ากันก่อน แล้วค่อย ๆ เติมน้ำลงไป (รูปที่ 3) ซึ่งสามารถสังเกตปริมาณน้ำที่พอเหมาะได้จากการใช้มือกำส่วนผสมว่าสามารถจับตัวกันเป็นก้อนได้ดี นำส่วนผสมดังกล่าวเข้าเครื่องอัดบล็อกประสานทันที ทำการอัดบล็อกประสานโดยใช้เครื่องอัดแบบมือโยก (เทคโนโลยีสำหรับชุมชน)

ถอดแบบออก และบ่มบล็อกประสานตามอายุที่ต้องการ (รูปที่ 4) แล้วนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 602-2547) เรื่องอิฐบล็อกประสาน [2] ประกอบด้วย ลักษณะทั่วไปและมิติ ความต้านทานแรงอัด (รูปที่ 5) ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C177 [3]



รูปที่ 3 การผสมวัตถุดิบบล็อกประสานผสมเศษหินปะชอลต์



รูปที่ 4 บล็อกประสานผสมเศษหินปะชอลต์



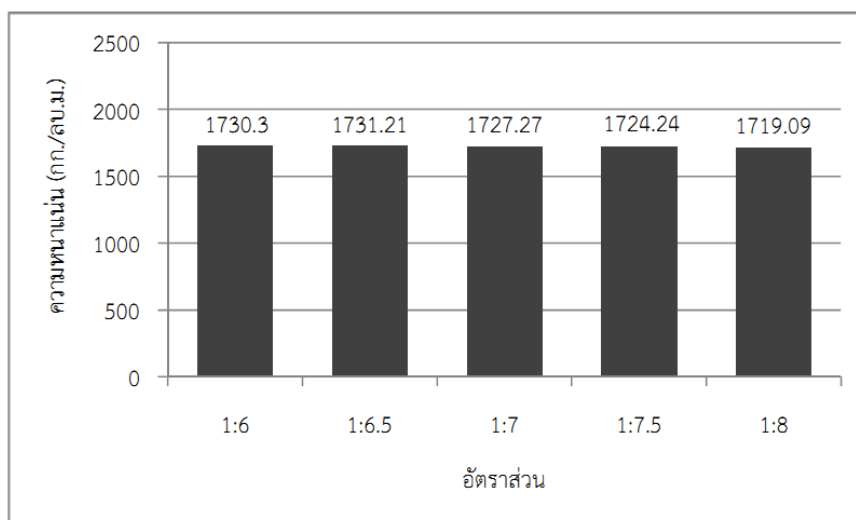
รูปที่ 5 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของบล็อกประสาน

ผลการทดลองและวิจารณ์

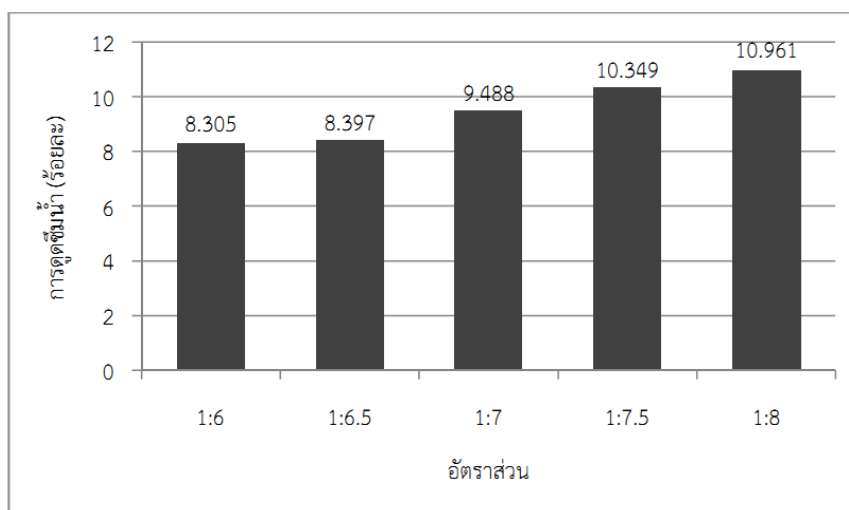
จากการตรวจพินิจลักษณะทั่วไปและมิติ การทดสอบความต้านทานแรงอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสามารถแสดงดังรูปที่ 6-9

ผลการตรวจพินิจลักษณะทั่วไปและมิติของบล็อกประสานผสมเศษหินบะซอลต์ พบว่าบล็อกประสานทุก

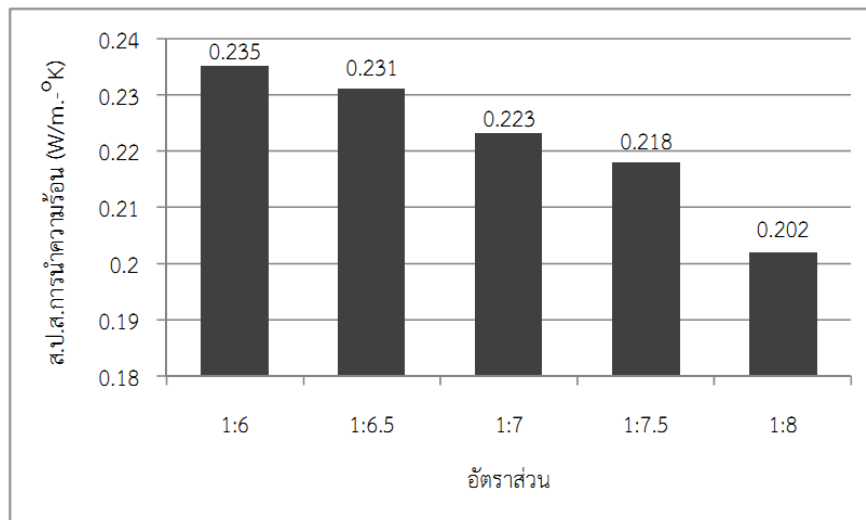
อัตราส่วนมีขนาดหรือมิติเป็นไปตามต้องการโดยไม่มีการขยายหรือหดตัว แต่ในอัตราส่วนที่ผสมเศษหินบะซอลต์ในปริมาณมากขึ้นนั้น จะเกิดการแตกบิ่นหลุดร่อนของเศษหินได้ง่ายกว่า ทำให้ลำบากในการเคลื่อนย้าย ทั้งนี้เนื่องจากซีเมนต์เพสต์ที่ทำหน้าที่ประสานยึดเกาะมวลรวมมีปริมาณไม่เพียงพอ อีกทั้งความต้องการน้ำของมวลรวมมีมากขึ้น และการไหลตัวของส่วนผสมเข้าแบบได้ไม่ค่อยดี [4]



รูปที่ 6 ความหนาแน่นของบล็อกประสาน ที่อายุ 28 วัน



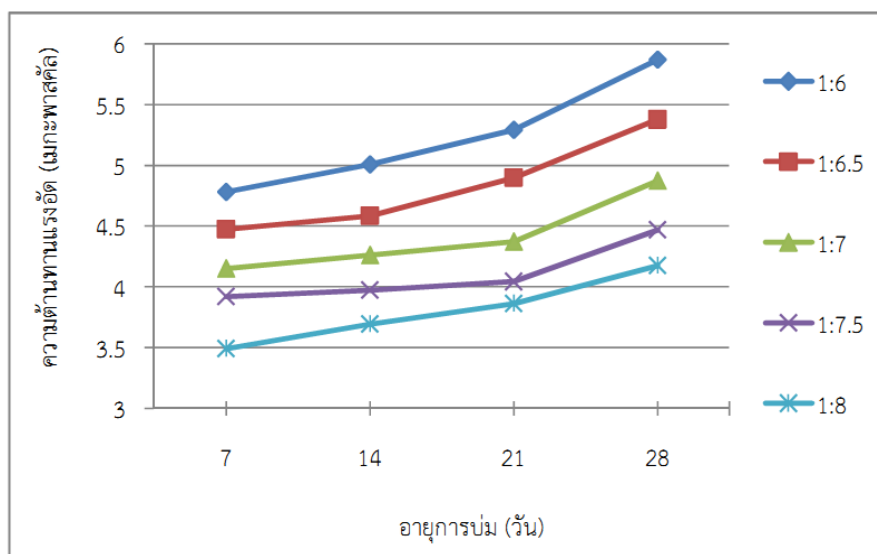
รูปที่ 7 การดูดซึมน้ำของบล็อกประสาน ที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 8 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของบล็อกประสาน ที่อายุ 28 วัน

จากรูปที่ 6-8 พบว่าเมื่อผสมเศษหินบะซอลต์ในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นลดลงเล็กน้อย ซึ่งส่งผลให้สัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดต่ำลงตามไปด้วย ในขณะที่อัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติของเศษหินบะซอลต์ที่นำมาใช้ใน

การผสมเป็นมวลรวมมีโมดูลัสความละเอียดสูงเท่ากับ 3.28 และหินบะซอลต์เป็นหินภูเขาไฟชนิดหนึ่งเนื้อหินจึงมีความพรุน [1] ส่งผลทำให้บล็อกประสานมีอัตราการดูดซึมน้ำสูงขึ้นดังกล่าว



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัดและอายุการบ่มของบล็อกประสานที่อัตราส่วนต่าง ๆ

จากรูปที่ 9 ความต้านทานแรงอัดของบล็อกประสานมีค่าสูงขึ้นที่อายุการบ่มมากขึ้น และเมื่อผสมเศษหินบะซอลต์ในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงอัดต่ำลง เนื่องจากการผสมเศษหินบะซอลต์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์น้อยลงส่งผลให้ซีเมนต์เพสต์ที่ไปเคลือบผิวของเศษหินบะซอลต์มีจำนวนน้อยลงตามไปด้วย การเชื่อมประสานภายในของเนื้ออิฐบล็อกประสานจึงลดลง ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบความต้านทานแรงอัดของบล็อกประสานที่ได้กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพข.602-2547 ซึ่งกำหนดให้ความต้านทานแรงอัดของบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัล ที่อายุการบ่ม 28 วัน นั้นพบว่าทุกอัตราส่วนผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด สามารถนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนได้

สรุป

เศษหินบะซอลต์สามารถใช้เป็นมวลรวมในการผลิตอิฐบล็อกประสานได้โดยใช้เทคโนโลยีการอัดขึ้นรูปแบบใช้เครื่องอัดชนิดมือโยก ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสำหรับชุมชน โดยทุกอัตราส่วนได้ทำการกำหนดอัตราส่วนให้ใกล้เคียงกับท้องตลาด และผลการทดสอบพบว่า มีคุณสมบัติผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มพข.602-2547 ทุกอัตราส่วน โดยการผสมเศษหินบะซอลต์ในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้บล็อกประสานมีความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลง ในขณะที่อัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น โดยบล็อกประสานที่ได้มีสภาพการนำความร้อนเหมือนกับอิฐบล็อกประสานทั่วไป โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเศษหินบะซอลต์ต่อน้ำประปา เท่ากับ 1 : 8 : 0.6 ซึ่งสามารถใช้ปริมาณเศษหินบะซอลต์มากที่สุด และแนวทางในการวิจัยต่อไปอาจพัฒนาออกแบบผลิตภัณฑ์ให้

สามารถมีรูปทรงต่าง ๆ ที่หลากหลายมากขึ้น และควรมีการศึกษาเพื่อนำเศษหินบะซอลต์ไปใช้เป็นมวลรวมในวัสดุก่อสร้างประเภทอื่นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ 2560 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Tonnayopas, D. 2010. Minerals and rocks. 2nd Edition. Faculty of Engineering Prince of Songkla University. (in Thai)
- [2] Thai Industrial Standards Institute. 2004. Community product standards on interlocking bricks (TCPS.602-2547). Ministry of industry. (in Thai)
- [3] American Society for Testing and Materials (ASTM). 2010. Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties (ASTM C177 – 10). Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.
- [4] Chindapasirt, P and Jaturapitakkul, C. 2012. Cement Pozzolan and concrete. 7th edition. Thailand Concrete Association. Bangkok. (in Thai)



การบำบัดจุลินทรีย์บนพื้นผิว ด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชัน Antimicrobial Surface by Photocatalytic Oxidation

Chaiwat Naunchan* Kowit Suwannahong** and Sulak Sumitsawan***

ชัยวัฒน์ นวลจันทร์* โกวิท สุวรรณหงส์** และ สุลักษณ์ สุมิตสวรรค์***

*สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000

**ภาควิชาชีวอนามัยความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น กาญจนบุรี 71170

***ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

E-mail : sulak.sumit@cmu.ac.th

บทคัดย่อ

การสัมผัสเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดที่ปนเปื้อนบนพื้นผิว ก่อให้เกิดการติดเชื้อโรคจากการสัมผัสเชื้อจุลินทรีย์นั้นและนำไปสู่การรักษาด้วยยาฆ่าเชื้อจนทำให้เกิดการดื้อยา ตามข้อมูลของงานวิจัยจากสถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข เชื้อจุลินทรีย์บนพื้นผิวที่ก่อให้เกิดการติดเชื้ออันดับต้นๆ คือ อีโคไล (*E.Coli*) ซึ่งลักษณะเป็นจุลินทรีย์แกรมลบที่ทำให้เกิดการติดเชื้อจุลินทรีย์แกรมลบมักทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหาร ระบบทางเดินปัสสาวะ และถุงน้ำดี ดังนั้นเพื่อลดปัญหาการก่อให้เกิดการติดเชื้อโรคต่อผู้สัมผัสเชื้อจุลินทรีย์บนพื้นผิว ผู้วิจัยจึงคิดวิธีการบำบัดจุลินทรีย์บนพื้นผิวด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชัน

จากการทบทวนวรรณกรรมการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์บนพื้นผิว โดยส่วนใหญ่ใช้กระบวนการโฟโตไลซิส ส่วนในทางวิศวกรรมนิยมใช้กระบวนการโฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชัน ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาฟิล์ม TiO_2/LDPE ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นวัสดุชนิดเดียวกันกับที่สามารถบำบัดก๊าซโอโซนในอากาศ และการบำบัดสีและสารประกอบอินทรีย์ในน้ำได้

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการต่อยอด การนำกระบวนการโฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชัน ด้วยแผ่นฟิล์ม $\text{TiO}_2/\text{LDPE}+\text{Cu}3\%$ (ได้ปด้วยโลหะทองแดง) โดยใช้ด้วยแสง UV เทียบกับแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (visible light) ด้วยหลอด LED เป็นแหล่งพลังงานในการฉายแสงในระยะห่างเท่ากัน โดยฉายลงไปบนหลอดทดลองที่มีเชื้อ *E.Coli* Diluent + แผ่นฟิล์ม $\text{TiO}_2/\text{LDPE}+\text{Cu}3\%$ เทียบกับการฉายแสงกับหลอดทดลองที่มีเชื้อ *E.Coli* Diluent แต่ไม่มีแผ่นฟิล์ม $\text{TiO}_2/\text{LDPE}+\text{Cu}3\%$ ในหลอดทดลอง เพื่อดูความสามารถในการบำบัดเชื้อ *E.Coli* ของกระบวนการโฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชัน เร่งกระบวนการด้วยแสง UV และ LED จากการศึกษาพบผลลัพธ์ที่ได้คือ เชื้อจะเริ่มตายและมีจำนวนลดลงเมื่อเวลาในการฉายแสงที่ 120 นาที และ 220 นาทีขึ้นไป ตามลำดับ โดยเชื้อลดลงคิดเป็นร้อยละ 78 (การเร่งกระบวนการด้วยแสง UV) และร้อยละ 40 (การเร่งกระบวนการด้วยแสง LED) จากผลการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ โดยนำแผ่นฟิล์ม $\text{TiO}_2/\text{LDPE}+\text{Cu}3\%$ ไปติดบนพื้นผิวสัมผัส เช่น โต๊ะตรวจ ราวไม้กั้นเตียง ใน รพ./คลินิก หรือให้เอกชนต่อยอดไปในเชิงพาณิชย์ได้ งานดังกล่าวคาดว่าจะและมุ่งหวังที่สามารถต่อยอดนำไปใช้งานได้จริง แต่ต้องมีการพัฒนาแผ่นฟิล์มให้มีการเติมโลหะหนักเพิ่มเพื่อสามารถตอบสนองกับการเร่งกระบวนการด้วยแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจากหลอด LED แทนการใช้แสงจาก UV ต่อไป

คำสำคัญ : การบำบัดจุลินทรีย์บนพื้นผิว; โฟโตแคตตาไลติคออกซิเดชัน; อีโคไล; แสงจากหลอด LED; ยูวี

Abstract

Contacting of some microorganisms contaminated on the surface could cause illness to human and lead to the use of antibiotic drugs. Misusing of antibiotics can cause of drug resistant bacteria which needs more antibiotic dosage or new drugs and lead to ineffective treatment and extra costs. Health Systems Research Institute indicated that a top-infecting microorganism is *E.Coli*, which is a gram-negative organism. Most infections are Gram-negative bacteria, which often cause gastrointestinal illness. urinary tract and gall bladder. In order to reduce the incidence of infection on exposed microorganisms, this study had devised a method for treating microorganisms on the surface with photocatalytic oxidation using titanium dioxide (TiO_2) doped with copper and embed in low density polyethylene (TiO_2/LDPE)

Generally, surface microbial therapy is photolysis process. In contrast, photocatalytic oxidation is usually applied in pollutants degradation. In previous work, TiO_2/LDPE films were used to treat gaseous toluene, color and organic compounds in water effectively.

In this study, TiO_2 doped with 3% copper oxide were embedded on LDPE film and employed as the photocatalyst. UV light and visible light were used and compared the effectiveness of photocatalytic activity to inhibit the growth of *E.Coli* in test tubes. The results showed that microorganisms were beginning to die and decreased with time of exposure at 120 minutes and 220 minutes, under UV and visible light irradiation, respectively. Photocatalysis reaction under UV light decreased 78% and 40% under LED light. The results indicate the possibility of applying $\text{TiO}_2/\text{LDPE} + \text{Cu}3\%$ film to the contact surface such as bedside panel or working table in the hospital/clinic to reduce the incident of bacterial contamination and drug resistant bacteria.

Keywords : Antimicrobial surface; Photocatalytic Oxidation; *E.Coli*; LED; UV

บทนำ

ปัญหาการติดเชื้อโรคในสถานที่ต่างๆ รวมถึงในโรงพยาบาลส่วนมากเกิดจากการสัมผัสเชื้อโรคบนพื้นผิว เช่น ราวบันได โต๊ะ เตียง และลูกบิดประตู [1] จนนำไปสู่การต้องเข้ารับการรักษาระบาดติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร ผู้ป่วยหลายคนต้องมีการรักษาจนเกิดการดื้อยามีค่ารักษาพยาบาลทั้งประเทศถึงปีละกว่า 2,500-6,000 ล้านบาท [2] ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้วิธีบำบัดเชื้อบนพื้นผิวด้วยวิธี Photolysis และใช้น้ำยาฆ่าเชื้อ [3] ด้วยเหตุดังกล่าวจึงได้ทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดจุลินทรีย์บนพื้นผิวโดยใช้เชื้อ *E.Coli* ในการจำลองหาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาดังแสง Ultraviolet (UV) และแสงที่ตามองเห็นได้ เช่น แสงจากหลอด Light Emitting Diode (LED) บนแผ่นฟิล์ม Light Density Polyethylene (LDPE) ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) 15% และสารประกอบทองแดงผสมในปริมาณ 3% ในการช่วยย่อยสลายจุลินทรีย์บนพื้นผิว

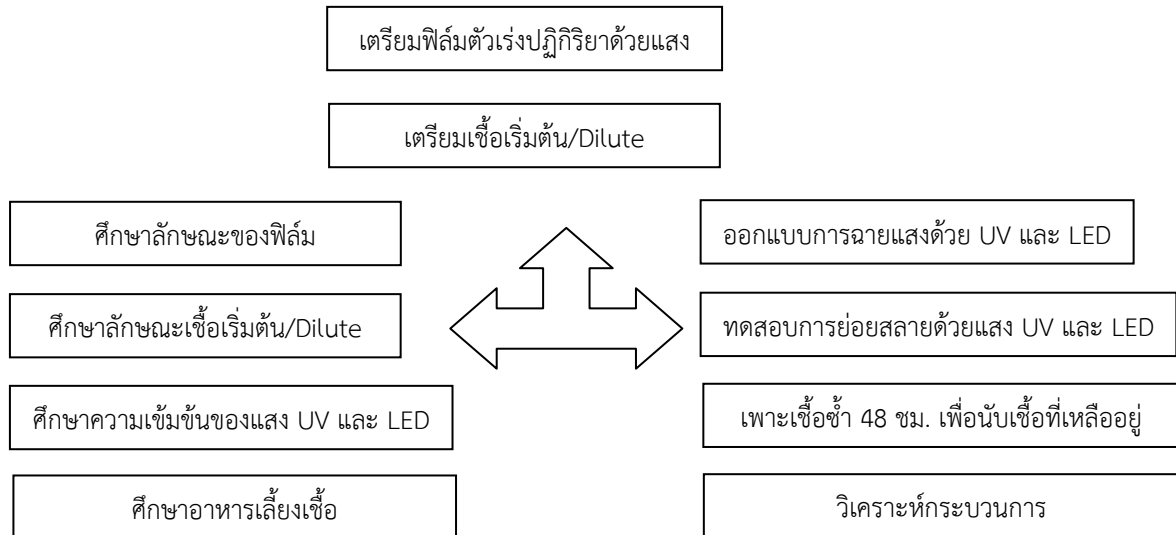
การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของแสง UV และ LED ต่อกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชัน เทียบกัน เพื่อดูประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ในการบำบัดจุลินทรีย์บนพื้นผิว เมื่อใช้งานจริง ด้วยการฉายแสง UV เทียบกับแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจากหลอด LED ในระดับความสูงเท่ากัน ลงไปยังในหลอดที่มีเชื้อ *E.Coli* ที่มีการ Dilute แล้ว + แผ่นฟิล์ม $\text{TiO}_2/\text{LDPE}+\text{Cu}3\%$ เทียบกับการฉายแสงกับหลอดที่มีเชื้อ *E.Coli* ที่มีการ Dilute เหมือนกัน แต่ไม่มีแผ่นฟิล์ม $\text{TiO}_2/\text{LDPE}+\text{Cu}3\%$ ในหลอดทดลอง เพื่อดูความสามารถในการบำบัดเชื้อ *E.Coli* ของแผ่นฟิล์ม $\text{TiO}_2/\text{LDPE}+\text{Cu}3\%$ ด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชัน

โดยจากการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ากระบวนการโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชัน ที่นิยมใช้ในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมด้วยฟิล์ม TiO_2/LDPE เร่งกระบวนการด้วยแสง UV คือ นำไปบำบัดก๊าซไอเสียในอากาศ และการบำบัดสีและสารประกอบอินทรีย์ในน้ำ [3] โดยการเติมโลหะหนักเช่น ทองแดง หรือเหล็ก

ลงใน TiO_2 สามารถทำให้กระบวนการโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชันเกิดขึ้นได้ด้วยแสง Visible จากเดิมที่ต้องใช้แสง UV [4] และยังพบว่าค่าเชื้อ *E.Coli* เริ่มต้นที่ต่ำจะได้ผลการบำบัดที่สูง โดยที่ประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลง

ตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่าค่าความเข้มข้นของเชื้อเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อกระบวนการออกซิเดชัน [5]

แผนการดำเนินงานวิจัย



อุปกรณ์และวิธีการ

1. เตรียมเชื้อจุลินทรีย์ *E.Coli* ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 10^7 CFU/ml ไปบ่มเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชม.
2. เจือจางเชื้อด้วยวิธี Serial Dilution เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่ 10^2 CFU/ml
3. ตัดฟิล์ม $\text{TiO}_2/\text{LDPE}+\text{Cu}3\%$ ขนาด 1 cm^2 เพื่อใส่ลงไปใน Tube ทดลอง
4. พร้อมเท Diluent 10^2 CFU/ml ลง Tube ทดลอง 5 ชุด
 - ชุดควบคุม (Absorption) ไม่ฉายแสง UV/LED และไม่มีแผ่นฟิล์มจำนวน 48 หลอด
 - ชุดฉายแสงที่ 1 ฉายแสง UV แต่ไม่ใส่แผ่นฟิล์ม (Photolysis) จำนวน 24 หลอด
 - ชุดฉายแสงที่ 2 ฉายแสง UV มีแผ่นฟิล์ม (Photocatalytic by UV) จำนวน 24 หลอด
 - ชุดฉายแสงที่ 3 ฉายแสง LED มีแผ่นฟิล์ม (Photocatalytic by LED) จำนวน 24 หลอด

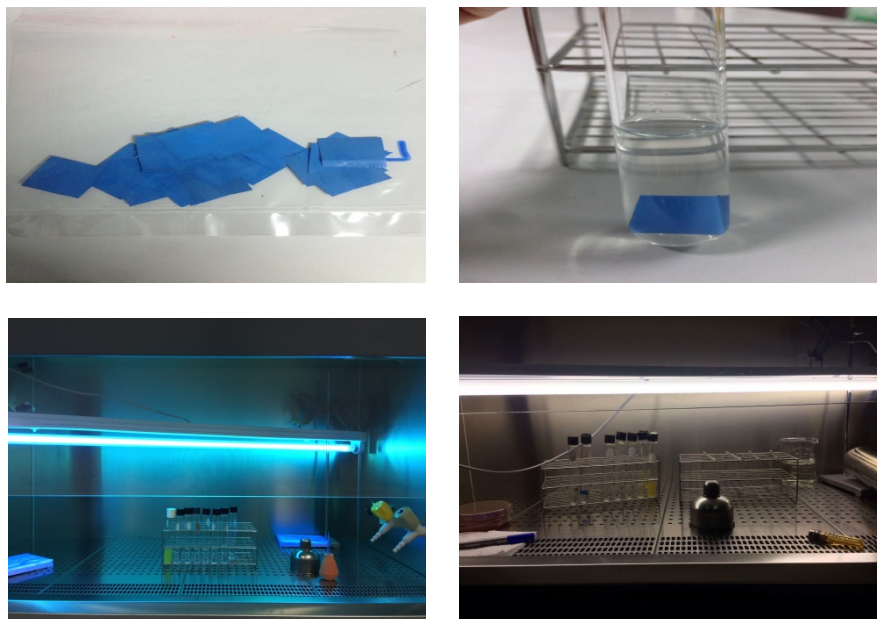
5. นำ Tube ไปฉายแสง UV หรือ LED ในเวลาที่ต่างกันคือ 0 30 60 90 120 150 180 210 และ 240 นาที จำนวน 3 ซ้ำ

6. นำเชื้อในขั้นตอนที่ 5 หลังจากที่ผ่านมาการรับแสงที่ช่วงเวลาต่างๆ ดูออกมา จำนวน 0.1 ml หยดลงบนอาหารแข็ง MacConkey agar โดยใช้เทคนิค Spread plate แล้วนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชม. หลังจากนั้นนับจำนวนเชื้อที่ยังคงเหลือ ใช้วิธีการนับโคโลนีหน่วยเป็น (CFU)/mL แล้วบันทึกค่าไว้

ผลการทดลองและวิจารณ์

เตรียมฟิล์ม $\text{TiO}_2/\text{LDPE}+\text{Cu}3\%$ ขนาด 1 cm^2 ใส่ลงไปใน Tube Diluent 10^2 CFU/ml โดยตรงแล้วนำไปฉายแสงแต่ละช่วงเวลาโดยมีค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังแสดงในตารางที่ 1

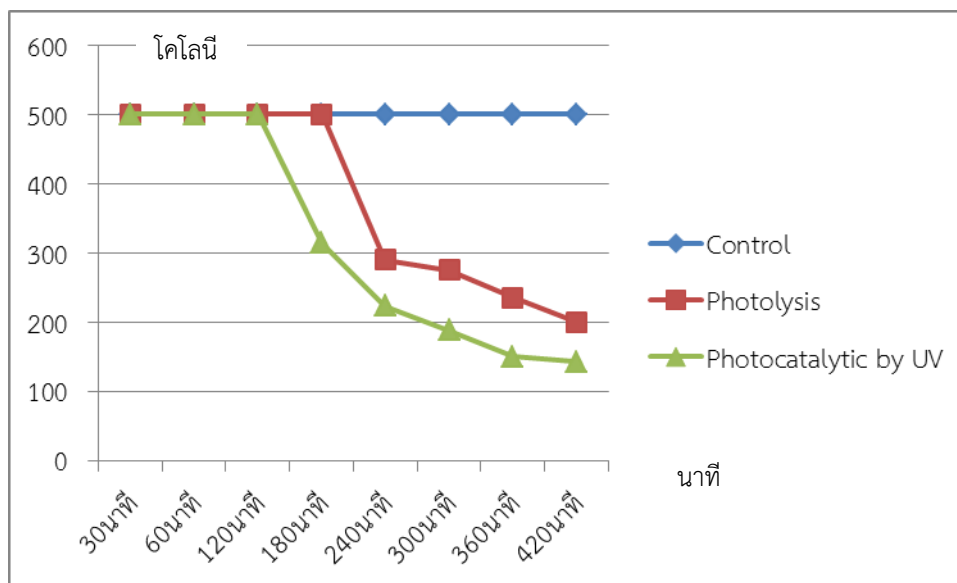
ผลการทดลองออกซิเดชัน ด้วยแสง UV-C และ LED สามารถบำบัดจุลินทรีย์ในของเหลวได้ ต่างกันตรงที่แสง UV-C จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่าดังผลในรูปที่ 2 และ 3



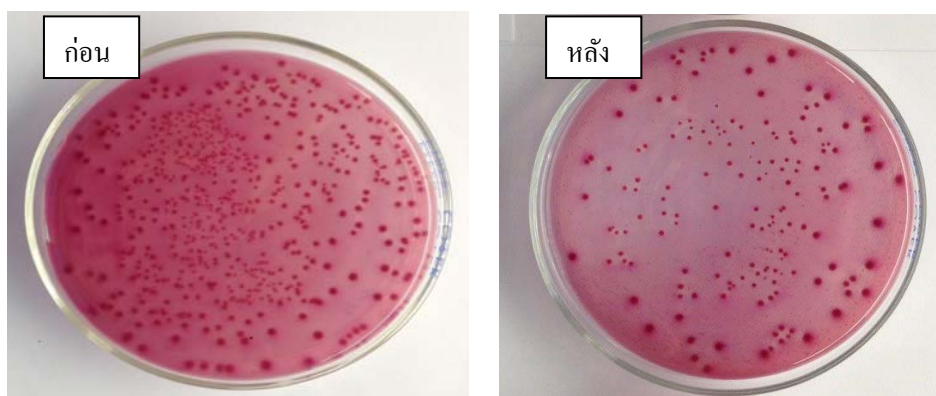
รูปที่ 1 การเตรียมฟิล์มตัวเร่งปฏิกิริยา และเตรียมขั้นตอนการฉายแสง UV และ LED

ตารางที่ 1 แสดงค่าพารามิเตอร์ในการทดลอง

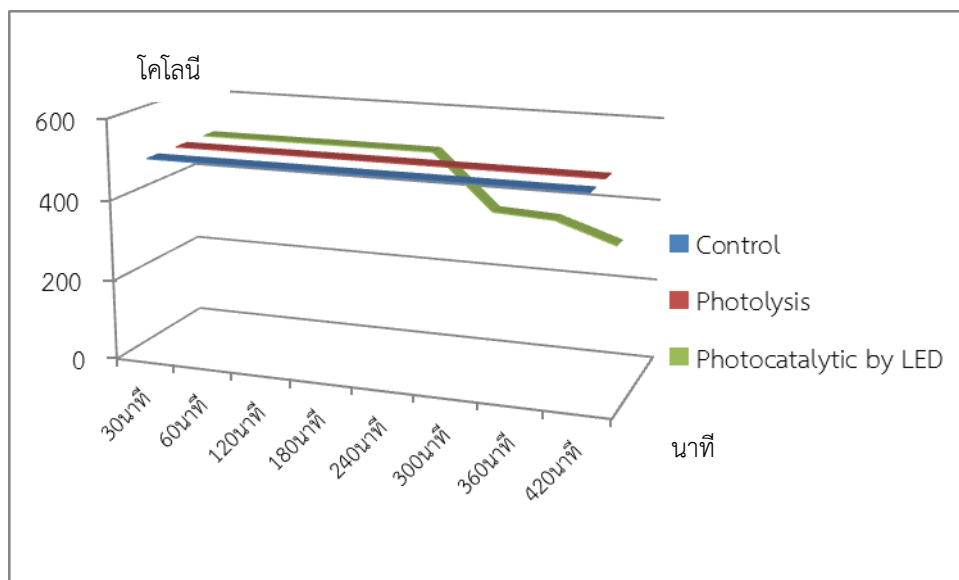
พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
Film LDPE TiO ₂ Cu3%	ตัดแบ่งเป็นชิ้นขนาด 1 cm ² จำนวน 72 แผ่นสำหรับ UV และอีก 72 แผ่น สำหรับ LED
อุณหภูมิ	24 – 26 องศาเซลเซียส
ความเข้มข้นสัมพัทธ์	48 – 62 เปอร์เซ็นต์
ความเข้มข้นของเชื้อเริ่มต้น	10 ⁹
ความเข้มข้นของเชื้อ Dilute	10 ²
พลังงานของแสง UV / LED	UV-C T836 W. / LED18 W.
ความเข้มของ UV / LED	4.2 mW/cm ³ และ 20 mW/cm ³ ตามลำดับ
เวลาในการฉายแสง	30 – 420 นาทีตามลำดับ
ความสูงของการฉายแสง	25 cm.



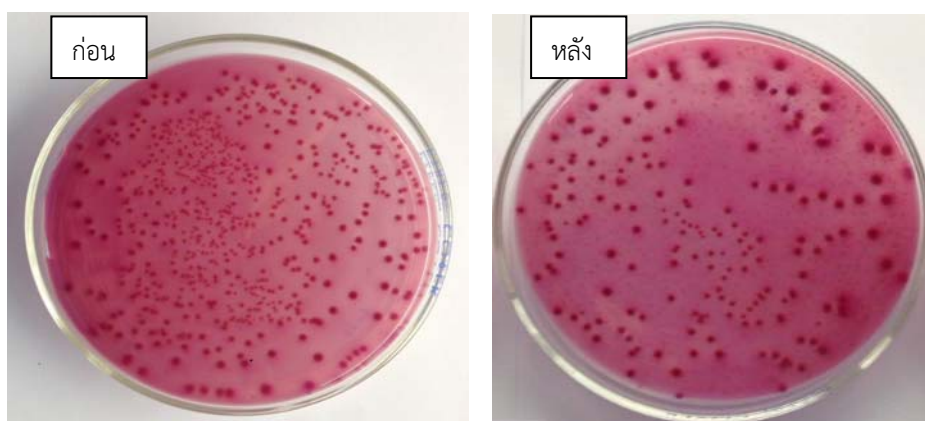
รูปที่ 2 แสดงผลการทดลอง Photolysis เทียบกับ Photocatalytic by UV-C



รูปที่ 3 กระบวนการ Photocatalytic by UV ก่อน และหลัง



รูปที่ 4 แสดงผลการทดลอง Photolysis เทียบกับ Photocatalytic by LED



รูปที่ 5 กระบวนการ Photocatalytic by LED ก่อน และหลัง

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าผลของกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชันที่ฉายด้วยแสง UV และ LED ใน Diluent Tube จำนวน 3 ซ้ำ จะมีการเจริญเติบโตของเชื้อตั้งแต่ระยะเวลา 0 นาที โดยเชื้อจะเริ่มตายและมีจำนวนลดลงเมื่อเวลาในการฉายแสงเพิ่มขึ้น โดยเชื้อลดลงคิดเป็นร้อยละ 78 และ 40 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sikong และคณะ [6] แสดงให้เห็นว่าการใช้แสง UV สามารถฆ่าเชื้อ *E. Coli* ได้ดีกว่าแสงจากหลอด LED เนื่องจากแสง UV (254 นาโนเมตร) มีพลังงานสูงกว่าทำให้เกิดการแยกระหว่างอิเล็กตรอนและโฮลได้มากกว่าการใช้แสง LED แต่อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็น

เห็นว่าการใช้แสง LED กับตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ที่เติมทองแดงหรือโลหะหนัก พบว่าการเติมโลหะหนักส่งผลให้อัตราการรอดของเชื้อลดลง [7] การฉายแสง LED มีความสามารถในการฆ่าเชื้อได้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพได้เช่นเดียวกัน แต่ใช้ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อที่มากกว่าการใช้แสง UV ซึ่งการใช้แสง LED มีความปลอดภัยต่อมนุษย์มากกว่าแสง UV นอกจากนี้ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความสูงของแหล่งจ่ายแสง จำนวนหลอดไฟ จำนวนวัตต์ และตำแหน่งของการวาง Diluent Tube อีกด้วย

สรุป

แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกออกซิเดชันได้เกือบจะทันที ความเข้มข้นของเชื้อจะค่อยๆ ลดลงตามเวลาในการทำปฏิกิริยาหลังจากที่เกิดอัตราการย่อยสลายสูงสุดการเปลี่ยนแปลงจะเริ่มชะลอตัวลง และเข้าสู่ช่วงสุดท้ายของการเปลี่ยนแปลงที่เสถียร ในส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาดูแลกับฟิล์ม $\text{TiO}_2/\text{LDPE}+\text{Cu}3\%$ ที่ใช้นี้สามารถประยุกต์ใช้พลังงานแสงช่วง Visible Light (400 นาโนเมตร) ความเข้มแสง 20 mW/cm^2 เป็นแหล่งพลังงานแสง ได้ค่อนข้างดีเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานที่เป็นแสง UV (254 นาโนเมตร) และยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้ TiO_2/LDPE โดยการปรับปรุงเติมโลหะหนักเพิ่มเข้าไป เพื่อเพิ่มความสามารถในการเกิดปฏิกิริยากับแสงช่วง Visible Light ได้ดีมากกว่านี้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเองฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผศ.ดร.สุทธิพร ธเนศสกุล วัฒนา ผอ.สถาบันพัฒนาเศรษฐกิจ พลังงาน และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย นักวิทยาศาสตร์ในศูนย์บริการและตรวจสอบมาตรฐานคุณภาพอาหาร น้ำ และผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่สนับสนุนเอื้อเพื่อเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณผู้อำนวยการโรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์ นายแพทย์ไชยเวช ธนไพศาล และรองผู้อำนวยการฝ่ายบริหาร นางสาวจรรุวรรณ รัตมิตต์ ที่ให้การสนับสนุนในการทำการศึกษาค้นคว้าวิจัยครั้งนี้ให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Health Systems Research Institute. 2015. Thailand Antimicrobial Resistance Containment and Prevention Program. 1: 11-12. (in Thai)
- [2] Health Systems Research Institute. 2015. Thailand Antimicrobial Resistance Containment and Prevention Program. 1, 9. (in Thai)
- [3] Lumyai Premchit, et al. 1992. Study of UV light application to control contamination in clean medicine production room of Khon Kaen hospital, Khon Kaen Hospital Medical Journal. 1: 41-43. (in Thai)
- [4] Klanarong Intawong. 2015. Study of TiO_2/LDPE film on gaseous toluene degradation by photocatalytic oxidation, Master degree thesis. 1: 61-81. (in Thai)
- [5] Sasicha Chansu, et al. 2014. Synthesis of $\text{CuO}_2\text{-TiO}_2$ photocatalysts and their photocatalytic properties, Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University. 3: 53-67. (in Thai)
- [6] Lek Sikong, et al. 2010. Photocatalytic Activity and Antibacterial Behavior of Fe^{3+} -Doped $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ Nanoparticles. Energy Research Journal. 1: 120-125.
- [8] Angelina Stoyanova, et al., 2013. Photocatalytic and antibacterial activity of Fe-doped TiO_2 nanoparticles prepared by nonhydrolytic sol-gel method. Bulg. Chem. Commun. 45: 497-504.



การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียปนทินเนอร์ ด้วยการหมักไร้อากาศแบบอัตราสูง Biogas Production from Thinner Wastewater by High Rate Anaerobic Digestion

Sarita Saisook Peerakarn Banjerdkiy and Suchat Leungprasert*

สรिता สายสุข พิรภานต์ บรรเจดกิจ และ สุชาติ เหลืองประเสริฐ*

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

*E-mail : fengscl@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ เพื่อศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียปนทินเนอร์ด้วยการหมักไร้อากาศแบบอัตราสูง โดยน้ำเสียปนทินเนอร์มีค่าซีโอดี 48,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และของแข็งระเหย 27,160 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ ขนาด 6 ลิตร กำหนดอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบให้มีค่า 2.4, 4.0 และ 5.6 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ของระบบถูกควบคุมด้วยอัตราการไหลที่ 0.3, 0.5 และ 0.7 ลิตรต่อวัน คิดเป็นระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในถังปฏิกรณ์คือ 20, 12 และ 8.6 วัน ตามลำดับ ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง และปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบมีค่าประมาณ 18,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการวิจัยครั้งนี้พบว่า ระบบให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (88 ลิตรต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด คิดเป็น 162 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด) ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2.4 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน (อัตราการไหลที่ 0.3 ลิตรต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน) ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีและของแข็งระเหยเท่ากับ 54.12 เปอร์เซ็นต์ และ 51.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในถังปฏิกรณ์ 6.88 ในระหว่างทำการทดลอง มีการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ การศึกษาอัตราอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2.4 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จึงเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียปนทินเนอร์

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ; การหมักไร้อากาศ; มีเทน; น้ำเสียปนทินเนอร์

Abstract

This research aims to determine the biogas production from thinner wastewater, containing the chemical oxygen demand (COD) 48,000 mg/L and total volatile solids (TVS) of 27,160 mg/L, by using high rate anaerobic digestion. Completely Stirred Tank Reactor (CSTR) with size 6 L was used to run the experiment for the organic loading rate (OLR) at 2.4, 4.0 and 5.6 kgCOD/m³.day, which were controlled by the hydraulic retention times (HRT) at 20, 12 and 8.6 days, respectively. Under the experimental conditions operated at room temperature, pH balance of wastewater was adjusted before pushing to the system which the numbers of sludge in the system were 18,000 mg/L at the initial state.

According to the research results, the system could produce the maximum methane yield (88 L at STP/kg of COD degraded that is 162 L at STP/kg of TVS degraded) with the organic loading rate (OLR) at 2.4 kgCOD/m³.day (at flow rate 0.3 L/day and hydraulic retention time 20 days). The efficiency of COD removal was 54.12% and 51.29% respectively. In this case, the average pH in the reactor was 6.88. The pH of system must be controlled to be for the proper state of biogas production during the experiment. However, it was found that the organic loading rate 2.4 kgCOD/m³.day was for biogas production made by thinner wastewater.

Keywords : Biogas; Anaerobic digestion; Methane; Thinner wastewater

บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาทางด้านมลพิษสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย จัดว่าเป็นปัญหาที่สำคัญและมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะปัญหาของอุตสาหกรรมรีไซเคิลสารเคมี ซึ่งเกิดจากน้ำเสียที่มาจากกระบวนการกลั่นในการรีไซเคิลทินเนอร์ โดยน้ำเสียจากกระบวนการนี้มีปริมาณค่าซีไอดีที่สูงมาก ปัจจุบันทางโรงงานต้องส่งน้ำเสียส่วนนี้ไปกำจัดที่เตาเผา ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาถึงทางเลือกอื่นในการบำบัดน้ำเสีย โดยวิธีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียปนทินเนอร์ด้วยการหมักไร้อากาศแบบอัตราสูง ซึ่งปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย เพราะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศเขตร้อนของประเทศไทย คือ ในช่วง 25-40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่อยู่ในช่วงเมโซฟิลิก (Mesophilic) [1] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซมีเทน ประกอบด้วย อัตราการระบรทุก

สารอินทรีย์ (Organic loading rate: OLR) และระยะเวลาเก็บกัก (Hydraulic retention time: HRT) ที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซมีเทนเพื่อให้ผลผลิตก๊าซมีเทน (CH₄ yield) สูงสุด

อุปกรณ์และวิธีการ

สร้างถังปฏิกรณ์แบบไร้อากาศ (Anaerobic reactor) ด้วยถังพลาสติกพร้อมระบบเก็บก๊าซ (Gas collection system) จำนวน 9 ถังปฏิกรณ์ แบ่งเป็น 3 ชุด การทดลอง การทดลองละ 3 ชั่วโมง โดยในแต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์ปริมาตร 6 ลิตร ภายในถังติดตั้งชุดกวนผสม 2 ใบพัด ทำงานที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที และถังเก็บก๊าซโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ (Water displacement) มีจุดเก็บก๊าซตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทน (CH₄) แสดงดังรูปที่ 1 เติมน้ำเสียกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous) คือ ทำการเติมน้ำเสียเข้าระบบทุก 5 วัน โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 1 ถังปฏิกรณ์แบบไม่ใช้ออกซิเจนและระบบเก็บก๊าซ

การเริ่มต้นระบบ (Startup) เติมจุลินทรีย์ (Seed) จากถังย่อยสลายแบบไร้อากาศลงในถังปฏิกรณ์ (Reactor) ปริมาตร 1 ลิตร เท่ากันทั้ง 9 ถังปฏิกรณ์ และใช้เวลาประมาณ 20 วัน ในการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์จนน้ำเสียและจุลินทรีย์ มีปริมาตรรวม 6 ลิตร โดยในระยะเวลา 20 วัน จะไม่มีน้ำออกจากระบบจนกว่าจะเข้าสู่การทดลอง

การเดินระบบ (Operation) เติมน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน 40 องศาเซลเซียส ลงในถังปฏิกรณ์ โดยการเติมน้ำเสียด้วยอัตราการเติมดังตารางที่ 1 เป็นผลให้อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่เติมเข้าถังปฏิกรณ์ และระยะเวลาเก็บกักในถังปฏิกรณ์มีค่าดังตารางที่ 1

ในช่วงระหว่างการเดินระบบเมื่อ pH มีแนวโน้มต่ำลง มีการปรับค่า pH ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ให้มีค่าประมาณ 6.5-7.5 เนื่องจากอยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดสร้าง

มีเทน [2] และมีการควบคุมด้วยชุดควบคุม 2 ใบพัด เพื่อให้เกิดการผสมกันระหว่างสารอาหารกับจุลินทรีย์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ [3] บันทึกข้อมูลที่สถานะคงที่ (Steady state) คือ เวลาที่มากกว่าระยะเวลาเก็บกักและปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีความสม่ำเสมอ [4] ใช้ระยะเวลาทดลองการทดลองรวม 100 วัน

เมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงที่ (Steady state) ทำการบันทึกปริมาตรก๊าซ (Total gas) ที่เกิดขึ้นทุกวันเป็นเวลา 100 วัน เก็บตัวอย่างก๊าซที่เกิดขึ้นทุกๆ 3 วัน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนด้วยเครื่อง Gas Chromatograph (GC/TCD) รุ่น GC6890 และเก็บน้ำเสียตัวอย่างที่ออกจากระบบนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลือในรูป COD, TS และ TVS ตามวิธีมาตรฐาน Standard Methods [5] คำนวณหาผลผลิตก๊าซมีเทน (CH_4 yield) ที่ได้จากถังปฏิกรณ์แต่ละชุด โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 100 วัน

ตารางที่ 1 อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ อัตราการเติมน้ำเสีย และระยะเวลาเก็บกักในถังปฏิกรณ์แต่ละชุด

อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ (กิโลกรัมซีไอต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน)	อัตราการเติมน้ำเสีย (มิลลิลิตร/5 วัน)	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)
2.4	300	20
4.0	500	12
5.6	700	8.6

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการหาอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด ในระบบย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ใช้น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการกลั่นในกระบวนการรีไซเคิลทินเนอร์จากโรงงานรีไซเคิลเอ็นจีเนียริง จำกัด โดยมีลักษณะสมบัติน้ำเสียดังตารางที่ 2

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียปนทินเนอร์จากโรงงานรีไซเคิลเอ็นจีเนียริงจำกัด พบว่าค่า pH อยู่ที่ 7.38 ซึ่งอยู่ในช่วง

ค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทนคือ ช่วง 6.5-7.5 [1] ค่า COD:N:P ของน้ำเสียในการเริ่มต้นระบบมีค่าเท่ากับ 100:5.3:1.2 ซึ่งพบว่ามีปริมาณสารอาหารในรูป N และ P สูงกว่าอัตราส่วนของการบำบัดแบบไร้อากาศ คือ 100:1.1:0.2 [6] และค่า BOD:COD ของน้ำเสียเท่ากับ 0.8 ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมในการย่อยสลายทางชีวภาพในสภาวะไร้อากาศ ต้องไม่น้อยกว่า 0.5 [2]

และได้นำตะกอนแบคทีเรียจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จากโรงงานรีไซเคิลเอ็นจีเนียริงจำกัด โดยมีลักษณะสมบัติของตะกอนแบคทีเรียดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา

พารามิเตอร์	หน่วย	ผลการวิเคราะห์
พีเอช (pH)	-	7.38
ความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP)	mV	-15
อุณหภูมิ (Temp)	°C	30.0
ซีโอดี (COD)	mg/L	48,000
บีโอดี (BOD)	mg/L	38,500
ทีเคเอ็น (TKN)	mg/L	2,565
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	mg/L	576
สภาพด่าง (Alkalinity)	mg/L	1,050
กรดไขมันระเหยง่าย (VFA)	mg/L	450
ของแข็งแขวนลอย (SS)	mg/L	2,760
ของแข็งทั้งหมด (TS)	mg/L	35,090
ของแข็งระเหยทั้งหมด (TVS)	mg/L	27,160

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติตะกอนแบคทีเรียที่ใช้ในการศึกษา

พารามิเตอร์	หน่วย	ผลการวิเคราะห์
พีเอช (pH)	-	5.67
ความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP)	mV	-355
อุณหภูมิ (Temp)	°C	30.0
MLSS	mg/L	18,000
MLVSS/MLSS	-	0.96

น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการกลั่นในกระบวนการรีไซเคิลทินเนอร์ จากโรงงานรีไซเคิลเอ็นจีเนียริง จำกัด โดยน้ำเสียมีค่า COD ก่อนเข้าระบบเฉลี่ยประมาณ 48,000 mg/L การดำเนินระบบจะเป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous Flow)

โดยการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่จะศึกษาเรื่องการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) ต่างๆ โดยคำนวณหาอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จากสมการ (1)

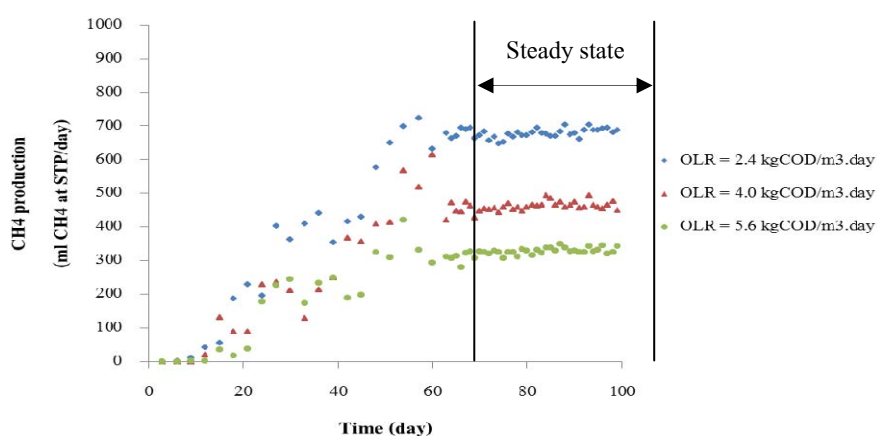
$$\frac{\text{อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน)}}{\text{อัตราการผลิตสารตั้งต้นเข้าระบบต่อวัน}} \times \frac{\text{ชีโอดีเริ่มต้น}}{\text{ปริมาตรใช้งานของถังปฏิกรณ์}} \quad (1)$$

เมื่อเติมน้ำเสียเข้าระบบหมักด้วยอัตรา 300, 500 และ 700 มิลลิลิตรต่อ 5 วัน เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ปริมาตร 6 ลิตร อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่า 2.4, 4.0 และ 5.6 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ส่วนค่าตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นของการเดินระบบมีค่า 18,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ในรูป MLVSS)

ทำการทดลองทั้งสิ้นเป็นระยะเวลา 100 วัน โดยเก็บผลการทดลองที่สภาวะคงที่เป็นระยะเวลา 37 วัน (ตั้งแต่วันที่ 63 ถึง 100) ปริมาตรก๊าซมีเทนที่เก็บทุกๆ 3 วัน ตั้งแต่เริ่มต้นเดินระบบจนถึงระยะสภาวะคงที่ แสดงดังรูปที่ 2 (รายงานที่สภาวะมาตรฐาน) จากรูปที่ 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.4, 4.0 และ 5.6 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาตรก๊าซมีเทนเฉลี่ยที่ผลิตได้เท่ากับ 678, 460 และ 325 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ

ผลการทดลองในรูปปริมาตรก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปชีโอดี และของแข็งระเหย และผลผลิตก๊าซมีเทนในรูปแบบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4

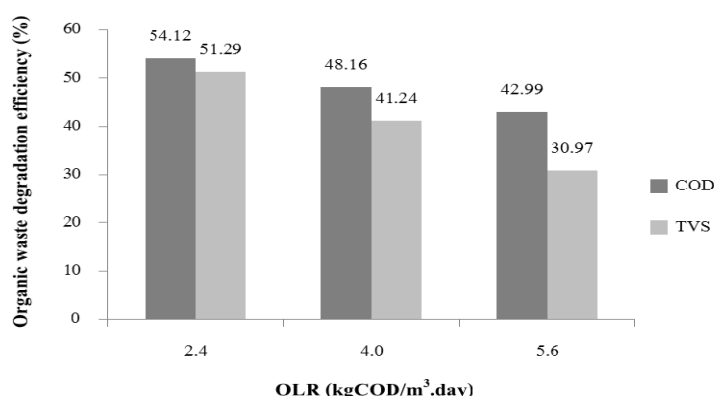
ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.4, 4.0 และ 5.6 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ พบว่าค่าชีโอดีเฉลี่ยที่ออกจากระบบมีค่าเท่ากับ 22023, 24883 และ 27367 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ระบบมีประสิทธิภาพ การกำจัดชีโอดี 54.12, 48.16 และ 42.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อคิดในรูปของค่าของแข็งระเหย พบว่าค่าของแข็งระเหยเฉลี่ยที่ออกจากระบบมีค่าเท่ากับ 13230, 15960 และ 18750 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหย 51.29, 41.24 และ 30.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพของระบบการหมักในการกำจัดสารอินทรีย์มีค่าดังรูปที่ 3 ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดสารอินทรีย์ แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพได้ดี ภายในระบบมีสารอินทรีย์เพียงพอ ไม่เกิดภาวะขาดแคลนสารอินทรีย์



รูปที่ 2 ปริมาตรก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อวัน ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ค่าต่างๆ

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาวิธีการผลิตก๊าซมีเทนจากน้ำเสียปนทินเนอร์

พารามิเตอร์	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน)		
	2.4	4.0	5.6
ปริมาตรถังปฏิกรณ์ (L)	6	6	6
อัตราการเติม (L/day)	0.3	0.5	0.7
ระยะเวลาเก็บกัก (day)	20	12	8.6
ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น (mg/L)	18,000	18,000	18,000
ความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในถังปฏิกรณ์	6.88	6.79	6.86
ปริมาตรก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ (mL at STP/day)	678	460	325
เปอร์เซ็นต์มีเทนเฉลี่ย (%)	50.08	41.94	32.89
ค่าซีโอดีที่เติมเข้าระบบ (mg/L)	48,000	48,000	48,000
ค่าซีโอดีที่ออกจากระบบ (mg/L)	22,023	24,883	27,367
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (%)	54.12	48.16	42.99
ค่าของแข็งระเหยที่เติมเข้าระบบ	27,160	27,160	27,160
ค่าของแข็งระเหยที่ออกจากระบบ	13,230	15,960	18,750
ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหย (%)	51.29	41.24	30.97
ค่าของแข็งทั้งหมดที่เติมเข้าระบบ	35,090	35,090	35,090
ผลผลิตก๊าซมีเทน (L at STP/kgCOD degraded)	88.73	56.02	30.54
ผลผลิตก๊าซมีเทน (L at STP/kgTVS degraded)	162.23	82.16	55.17
ผลผลิตก๊าซมีเทน (L at STP/kgTS added)	64.40	26.22	13.22



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพของระบบหมักในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของ COD และ TVS ที่ OLR ต่างๆ

ผลผลิตก๊าซมีเทน (Methane yield) คือ ปริมาตรก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด หรือต่อของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด หรืออาจแสดงในรูปปริมาตรก๊าซมีเทนที่

ผลิตได้ต่อของแข็งทั้งหมดที่เติมเข้าระบบ โดยการคำนวณผลผลิตมีเทนในหน่วยลิตรต่อกิโลกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัดหาได้ดังสมการ (2)

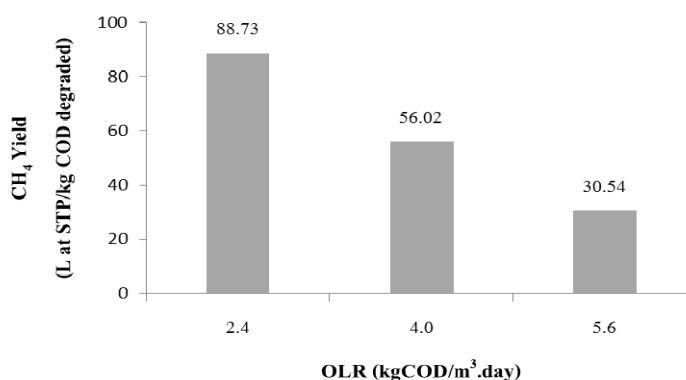
$$\text{ผลผลิตก๊าซมีเทน (ลิตรต่อกิโลกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด)} = \frac{\text{ปริมาตรก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อวัน}}{\text{อัตราการเติมสารตั้งต้นเข้าระบบต่อวัน} \times (\text{ซีโอดีเข้าระบบ} - \text{ซีโอดีออกจากระบบ})} \quad (2)$$

จากตารางที่ 4 การทดลองพบว่าที่อัตราภาระ
บรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2.4 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์
เมตรต่อวัน (อัตราการเติมน้ำเสียเข้าระบบ 300 มิลลิลิตร
ต่อวัน และระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน) ให้ผลผลิตก๊าซมีเทน
สูงสุดมีค่า 88.73 ลิตรต่อกิโลกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด หรือ
162.23 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด ผลผลิต
ก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐานต่อกิโลกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด
แสดงดังรูปที่ 4 และผลผลิตก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน
ต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด แสดงดังรูปที่ 5

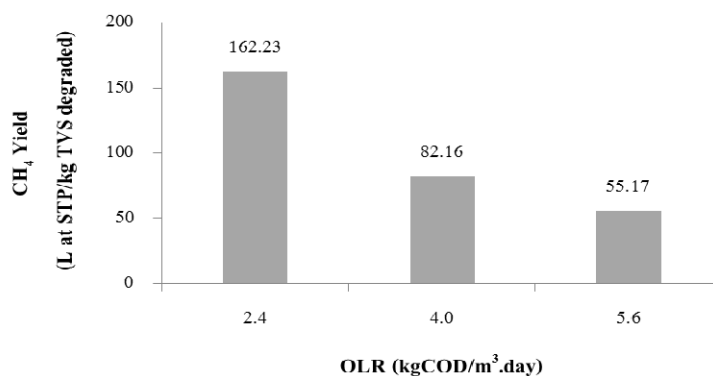
เมื่อเดินระบบด้วยอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์
2.4, 4.0 และ 5.6 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

ระบบหมัก มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ควบคุมค่าความ
เป็นกรด-ด่าง โดยการเติมสารโซเดียมไบคาร์บอเนต
(NaHCO_3) เพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างขณะเดินระบบ
เมื่อระบบเข้าสู่ระยะคงที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของ
น้ำเสียที่ผ่านการหมัก แต่ละอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์
มีค่าดังรูปที่ 6

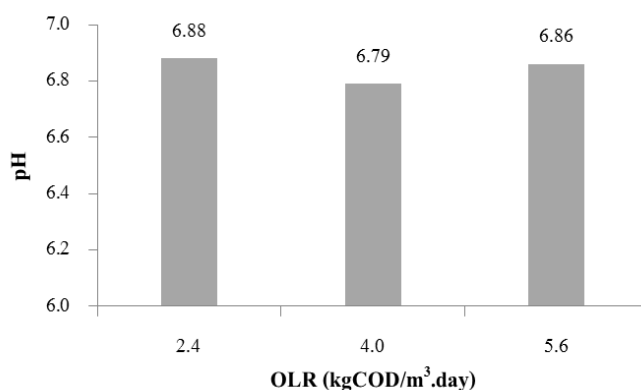
ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.4, 4.0 และ
5.6 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ค่าความเป็นกรด-
ด่างของน้ำเสียที่ผ่านการหมักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.88, 6.79
และ 6.86 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วงที่
เหมาะสมในการดำรงชีพของแบคทีเรียสร้างมีเทน



รูปที่ 4 ผลผลิตก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐานต่อกิโลกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด



รูปที่ 5 ผลผลิตก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐานต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด



รูปที่ 6 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของน้ำเสียที่ผ่านการหมักในถังปฏิกรณ์

สรุป

ในการทดลองศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศของน้ำเสียปศุสัตว์พบว่า ถึงแม้ว่าน้ำเสียจะมีองค์ประกอบของอินทรีย์ ซึ่งอาจมีสารอินทรีย์อันตรายเจือปน แต่ก็สามารถบำบัดในกระบวนการไร้อากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซมีเทนได้ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ที่ให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 2.4 กิโลกรัมชีโอติต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่ระยะเวลาเก็บกักในถังปฏิกรณ์ 20 วัน ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในถังปฏิกรณ์มีค่า 6.88 ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูปชีโอติได้ 54.12 เปอร์เซ็นต์ และกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของแข็งระเหยได้ 51.29 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตก๊าซมีเทนที่ได้มีค่า 89 ลิตรต่อกิโลกรัมชีโอติที่ถูกกำจัด หรือคิดเป็น 162 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Tchobanoglous, G., F. L. Burton and H.D. Stensel. 2004. Wastewater Engineering

Treatment and Reuse. 4th edition Metcalf & Eddy, McGraw-Hill Inc., New York, USA.

- [2] Department of Industrial Work. 2545. Ministry of Industry and Thailand Environmental Engineering Association. Wastewater System Control Book. Thailand Environmental Engineering Association. (in Thai)
- [3] Punika Kummarel. 2553. The Biogas Production from Sa Paper Wastewater by the Codigestion with Cow Dung and Food Waste Using Sequencing Batch Reactor. Environmental Engineering Master Thesis, Chiangmai University.
- [4] Piyanee Sangsee. 2557. The Biogas Production from Napier Grass Using Co-digestion with Cow Dung. The 13th Thai National Environmental Conference.
- [5] APHA, AWWA, and WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20 ed. Washington, D.C., 2005.
- [6] Suthep Vittayapakorn. 2552. Wastewater Technology, 2nd printed. Environmental Engineering Department, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok.



การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโปรยกรอง ด้วยคอนกรีตพรุนในการบำบัดน้ำเสีย Enhancement of Trickling Filter by Porous Concrete in Wastewater Treatment

Thanudkij Chareerat* Sompop Sanongraj Chanathip Nasok and Jarawee Chaikambang

ณัฏกิจ ชารีรัตน์* สมภพ สนองราษฎร์ ชนาธิป นาโสก์ และ จารวี ไชยกำบัง

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

*E-mail : thanudkij.c@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโปรยกรองด้วยคอนกรีตพรุนในการบำบัดน้ำเสีย โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ 1) การผลิตคอนกรีตพรุน ซึ่งได้ผลการศึกษาคอนกรีตพรุนดังนี้ คอนกรีตพรุนมีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างหยาบ สีเทาเข้ม รูปร่างทรงกระบอก คอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 9.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 19.83 ± 0.38 เซนติเมตร ขนาดส่วนสูงเฉลี่ยเท่ากับ 5.16 ± 0.24 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยเท่ากับ 308.89 ± 12.19 ตารางเซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 2.75 ± 0.11 กรัม ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.82 ± 0.04 เซนติเมตรต่อวินาที และอัตราส่วนโพรงเฉลี่ยเท่ากับ $32.38 \pm 1.95\%$ และคอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 19.0 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 19.91 ± 0.35 เซนติเมตร ขนาดส่วนสูงเฉลี่ยเท่ากับ 5.33 ± 0.24 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยเท่ากับ 311.48 ± 11.24 ตารางเซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 2.95 ± 0.09 กรัม ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.91 ± 0.04 เซนติเมตรต่อวินาที และอัตราส่วนโพรงเฉลี่ย เท่ากับ $33.78 \pm 3.05\%$ ตามลำดับ 2) การเก็บตัวอย่างน้ำเสียบริเวณบ่อดักไขมันโรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พบว่ามีค่า pH เท่ากับ 6.24 ± 0 , BOD เท่ากับ 420 ± 0.98 มิลลิกรัมต่อลิตร COD เท่ากับ 800 ± 0.98 มิลลิกรัมต่อลิตร, SS เท่ากับ 84 ± 0.98 มิลลิกรัมต่อลิตร และ TKN เท่ากับ 33 ± 0.98 มิลลิกรัมต่อลิตร 3) ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบโปรยกรองพบว่า ระบบโปรยกรองตัวกลางคอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 9.5 มิลลิเมตร มีค่าอัตราการชะลอลงต่ำกว่าเท่ากับ 0.38 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งอยู่ในประเภทถังโปรยกรองอัตราต่ำ และมีค่าอัตราการสลายอินทรีย์เท่ากับ 0.25 กิโลกรัมบีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งอยู่ในประเภทถังโปรยกรองอัตราต่ำ และผลการวิเคราะห์ค่า pH อยู่ในช่วง 5.30-7.70 ส่วนผลประสิทธิภาพในการกำจัด BOD, COD, SS และ TKN พบว่า มีผลประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวกลางคอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 19.0 มิลลิเมตร โดยระบบโปรยกรองที่ใช้ตัวกลางคอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 9.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD สูงสุด เท่ากับ $96.85 \pm 0.37\%$ และยังสามารถกำจัด COD, SS และ TKN ได้ถึง $91.60 \pm 0.98\%$, $74.40 \pm 0.84\%$ และ $81.25 \pm 2.94\%$ ตามลำดับ ส่วนผลการตรวจวัดค่า pH, BOD, COD, SS และ TKN พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

จากผลการทดลองทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่า ตัวกลางคอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 9.5 มิลลิเมตร ที่อัตราการไหล 2 ลิตรต่อชั่วโมง มีค่าอัตราการระเหยศาสตร์เท่ากับ 0.38 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน และมีค่าอัตราการสารอินทรีย์เท่ากับ 0.25 กิโลกรัมบีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD สูง และผลการตรวจวัดค่า BOD พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวกลางคอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 19.0 มิลลิเมตร ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบโปรยกรอง แต่อย่างไรก็ตามในชุดการทดลองที่ 2-6 พบว่า ถึงแม้จะมีเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD สูง แต่ผลการตรวจวัดค่า BOD กลับพบว่า ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง อาจมีสาเหตุจากตัวอย่างน้ำเสียมีไขมันอยู่ทำให้ระบบโปรยกรองมีประสิทธิภาพในการกำจัดลดน้อยลง

คำสำคัญ : คอนกรีตพรุน; ระบบโปรยกรอง; การบำบัดน้ำเสีย

Abstract

This research studied on the prototype of trickling filter by porous concrete in wastewater treatment. A study was divided into three parts. 1) The synthesis of porous concrete: It was found that porous concrete provided quite rough surface, dark gray in color with cylindrical shape. Porous concrete made from coarse aggregate sizing of 9.5 mm, the average diameter of 19.83 ± 0.38 cm, average height of 5.16 ± 0.24 cm, average cross sectional area of 308.89 ± 12.19 cm² and average weight of 2.75 ± 0.07 g, were obtained. The average coefficient of water permeability of 0.82 ± 0.04 cm/s and average void ratio of 32.38 ± 1.95 % could be measured. While porous concrete sizing of 19.0 mm, the average diameter of 19.91 ± 0.35 cm, average height of 5.33 ± 0.24 cm, average cross sectional area of 311.48 ± 11.24 cm² and average weight of 2.95 ± 0.09 g, were also obtained. The average coefficient of water permeability of 0.91 ± 0.04 cm/s and average void ratio of 33.78 ± 3.05 % could be measured. 2) Sampling of wastewater at grease trap manhole of central canteen, Ubon Ratchathani University was collected and found a pH value of 6.24 ± 0 , BOD of 420 ± 0.98 mg/l, COD of 800 ± 0.98 mg/l, SS of 84 ± 0.98 mg/l, and TKN of 33 ± 0.98 mg/l, respectively. 3) The efficiency testing of wastewater treatment by porous concrete in the trickling filter, it was found that the trickling filter tank of porous concrete made from coarse aggregate sizing of 9.5 mm provided the hydraulic loading rate of 0.38 m³/m²•d which could be categorized as low rate trickling filter type and also organic loading rate of 0.25 kg BOD/m³•d which could be categorized as low rate trickling filter type as well. The pH value in range 5.30-7.70 could be obtained. The efficiency of BOD, COD, SS and TKN treatment have found a better efficiency as compared with porous concrete made from coarse aggregate sizing of 19.0 mm. The trickling filter tank with porous concrete made from coarse aggregate sizing of 9.5 mm showed an efficiency in BOD treatment of 96.85 ± 0.37 %, while COD, SS and TKN provided an efficiency of 91.60 ± 0.98 %, 74.40 ± 0.84 % and 81.25 ± 2.94 %, respectively. The obtained results of pH, BOD, COD, SS and TKN values have passed the wastewater quality standard.

In conclusion, porous concrete made from coarse aggregate sizing of 9.5 mm. with flow rate of 2 litres/hr, the hydraulic loading rate of 0.38 m³/m²•d and organic loading rate of 0.25 kg BOD/m³•d showed the highest effectiveness in BOD treatment and the result of BOD has found passing in wastewater quality standard. On the contrary, porous concrete made from coarse aggregate sizing of 19 mm, even the experimental results in series 2-6 provided the high percentage in BOD treatment but the results of the BOD measurement have found not passing the wastewater quality standard. The cause of this unexpected results may owing to excess grease content in grease trap manhole that reduced the efficiency of trickling filter treatment by porous concrete.

Keywords : Porous Concrete; Trickling filter; Wastewater treatment

บทนำ

เทคโนโลยีด้านคอนกรีตพรุน (Porous concrete) ได้ถูกคิดค้นขึ้นในประเทศอังกฤษและอเมริกาเป็นเวลามากกว่าสามสิบปี เพื่อใช้ในงานด้านวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม อาทิเช่น พื้นลานจอดรถลานหน้าอาคาร ลานรอบที่พักอาศัย พื้นบริเวณรอบสระว่ายน้ำ ถนนในหมู่บ้านที่การจราจรไม่หนาแน่น และถนนภายในสนามกอล์ฟ เป็นต้น คอนกรีตพรุนได้รับความนิยมมากในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งคุณสมบัติคอนกรีตพรุน มีลักษณะการระบายน้ำได้ค่อนข้างดีเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่ในประเทศไทยถือว่ายังไม่มีความนิยมใช้คอนกรีตพรุนมากนัก แต่ในอนาคตคอนกรีตพรุนจะเป็นทางเลือกในการนำไปใช้งานที่แพร่หลายมากขึ้นด้วยน้ำหนักที่เบากว่าคอนกรีตทั่วไปถึง 30% และต้นทุนในการผลิตที่มีราคาต่ำ ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการสร้างต้นแบบระบบโปรยกรองด้วยคอนกรีตพรุนในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียแบบโปรยกรอง (Trickling Filter) เป็นระบบที่มีจุลินทรีย์เจริญเติบโตอยู่บนตัวกลาง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้ว จะปล่อยน้ำเสียให้ไหลผ่านชั้นของตัวกลาง จุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่บนตัวกลางจะใช้ออกซิเจนทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ โดยปกติระบบบำบัดน้ำเสียแบบโปรยกรองมักใช้ตัวกลางที่เป็นหินและพลาสติกมีเดีย ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเหมือนแหล่งพักอาศัยให้กับแบคทีเรียภายในระบบบำบัดน้ำเสียได้เกาะอาศัย อีกทั้งยังช่วยเพิ่มระยะเวลาและปริมาณของแบคทีเรีย ซึ่งจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้มีปริมาณลดลง ยังป้องกันไม่ให้แบคทีเรียเหล่านี้หลุดออกมาพร้อมน้ำเสีย ที่ผ่านการบำบัดแล้วอีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาต้นแบบระบบโปรยกรองด้วยคอนกรีตพรุนในการบำบัดน้ำเสีย ผู้ศึกษาจึงมีแนวความคิดที่จะนำคอนกรีตพรุนมาเป็นตัวกลางสำหรับเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติของคอนกรีตพรุนที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในงานด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และได้ทราบถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบโปรยกรองที่ใช้ตัวกลางเป็นคอนกรีตพรุน

การกรอง (Filtration) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ ซึ่งการกรองแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การกรองแบบผ่านตัวกลาง การกรองแบบติดค้างในชั้นกรองและการกรองแบบติดค้าง

ที่ผิวหน้า การกรองแต่ละประเภทมีอัตราเร็วในการกรองจากสูงไปต่ำ [1]

การออกแบบระบบโปรยกรอง ประสิทธิภาพของระบบโปรยกรองขึ้นอยู่กับภาวะบรรทุกทางชลศาสตร์และภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ การไหลของน้ำเสียสัมผัสกับจุลินทรีย์อย่างทั่วถึง โดยไม่เกิดการลัดวงจร ตัวกลางที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ หินขนาด 2.5-13 เซนติเมตร ซึ่งมีราคาถูกหาได้ง่าย แต่น้ำหนักมาก โครงสร้างของถังกรองจึงต้องแข็งแรง ปัจจุบันมีการผลิตตัวกลางซึ่งมีความพรุนสูงและน้ำหนักเบา เช่น พลาสติก ประสิทธิภาพของตัวกลางเหล่านี้สูงเพราะมีเนื้อที่ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะได้มาก โครงสร้างของถังกะทัดรัดกว่าแบบใช้หิน แต่ตัวกลางมีราคาแพงกว่า

อุปกรณ์และวิธีวิจัย

การผลิตคอนกรีตพรุน

ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM C150-00 ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินบะซอลต์ขนาด 9.5 มิลลิเมตร และ 19 มิลลิเมตร ที่มีในจังหวัดอุบลราชธานีและน้ำประปา ทำการผลิตคอนกรีตพรุนโดยใช้สารซีเมนต์และน้ำลงในถังผสม ผสมจนเข้ากันใช้เวลา 4 นาที จากนั้นเติมมวลรวมและผสมจนซีเมนต์เคลือบผิวของมวลรวมทั่วถึงกันใช้เวลา 1 นาที 30 วินาที ตักคอนกรีตลงแบบหล่อทรงกระบอก โดยแบบหล่อมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร ทำการบดอัดแบบสั่นสะเทือน โดยใช้การเคาะกระแทกเพื่อให้สามารถรับแรงอัดได้สูงขึ้น จากนั้นบ่มคอนกรีตพรุนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การศึกษาลักษณะสมบัติของคอนกรีตพรุน

ศึกษาลักษณะทั่วไปของคอนกรีตพรุน เช่น สี รูปร่าง รวมถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย ความสูงเฉลี่ย พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยและน้ำหนักเฉลี่ยของตัวอย่างคอนกรีตพรุนที่ผลิตได้

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ มีขั้นตอนดังนี้

- 1) วัดขนาดพื้นที่หน้าตัด (A) และความสูง (H) ของคอนกรีตพรุน
- 2) ใส่คอนกรีตในท่อทรงกระบอก

3) เปิดน้ำไหลผ่านตัวอย่างด้วยอัตราเร็วคงที่วัดระดับความแตกต่างของระดับน้ำ (h)

4) วัดปริมาณน้ำ (Q) ที่ไหลผ่านทรงกระบอกที่ช่วงระยะเวลาหนึ่ง ($t_2 - t_1$) ดังรูปที่ 1 ซึ่งแสดงขั้นตอนการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านทำได้โดยใช้สมการดังนี้

$$K \text{ (cm/s)} = H/h * [Q / (A * (t_2 - t_1))] \quad (1)$$

การทดสอบหาอัตราส่วนโพรงรวม มีขั้นตอนการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2

การคำนวณค่าอัตราส่วนโพรงสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$A_t \text{ (\%)} = [1 - (W_2 - W_1) / \rho_w / V] \times 100 \quad (2)$$

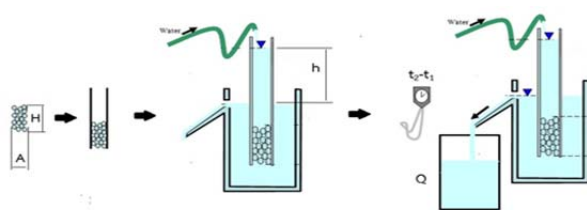
การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

นำน้ำตัวอย่างมาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสีย ดังนี้ วัดค่าพีเอช (pH) ด้วยวิธี Electrometric Titration วัดค่าบีโอดี (BOD) ด้วยวิธี Close Reflux วัดค่าซีโอดี

(COD) ด้วยวิธี Close Reflux และวัดค่าเอสเอส (SS) ด้วยวิธี Gravimetric method และวัดค่าทีเคเอ็น (TKN) ด้วยวิธี Kjeldahl และ Titration

การสร้างระบบโปรยกรองต้นแบบโดยใช้ตัวกลางเป็นคอนกรีตพูน

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จะสร้างระบบโปรยกรองรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร ปริมาตร 9.42 ลิตร จำนวน 1 ถัง (รูปที่ 3) ประกอบด้วย ฐานที่ตั้งระบบโปรยกรองที่สามารถเปลี่ยนตัวกลางได้โดยนำวัสดุตัวกลางใส่ในระบบสูงร้อยละ 80 ของปริมาตรรับน้ำเสียทั้งระบบ และใช้ปั้มน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว 1 แรงม้า ดูดน้ำเสียจากถังเก็บน้ำเสียปริมาณ 151 ลิตร เข้าสู่ด้านบนของระบบโปรยกรอง โดยผ่านทางท่อ PVC ขนาด ¾ นิ้ว ไหลผ่านชั้นตัวกลางโดยมีวาล์วปรับอัตราการไหลของน้ำกำหนดเป็น 2, 4 และ 8 ลิตรต่อชั่วโมง และมีการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบโปรยกรอง พร้อมทั้งติดตั้งจุดเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าสู่ระบบและหลังออกจากระบบ โดยการทำงานของปั้มน้ำจะทำงานทุก 30 นาที ซึ่งแบ่งเป็นชุดการทดลอง 6 ชุดการทดลอง



K = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ

H = ความสูงของคอนกรีตพูน

h = ความแตกต่างของระดับน้ำ

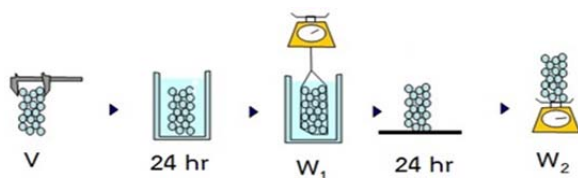
Q = ปริมาณน้ำ

A = พื้นที่หน้าตัด

t_1 = เวลาเริ่มต้น

t_2 = เวลาสิ้นสุด

รูปที่ 1 ขั้นตอนการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ [2]



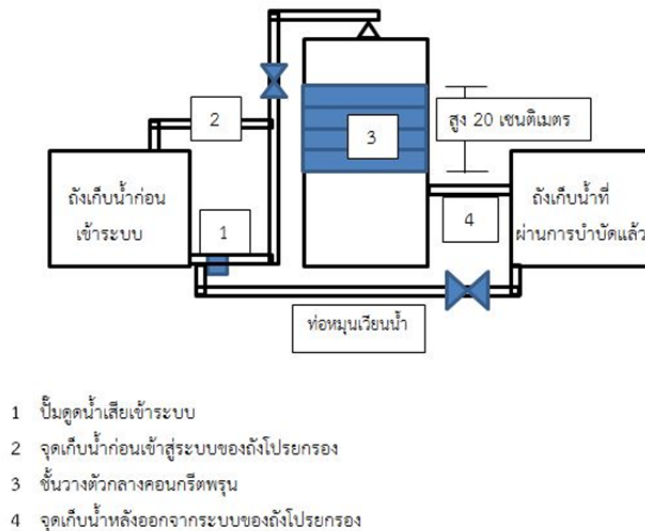
A_t = อัตราส่วนโพรงรวม

W_1 = น้ำหนักชั่งในน้ำภายหลังจากแช่ 24 ชั่วโมง

W_2 = น้ำหนักชั่งในอากาศภายหลังจากตากแห้ง 24 ชั่วโมง

V = ปริมาตรคอนกรีตพูน

รูปที่ 2 ขั้นตอนการทดสอบหาอัตราส่วนโพรงรวม



รูปที่ 3 ผังระบบโปรยกรองต้นแบบโดยใช้ตัวกลางคอนกรีตพูน

การเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์บนตัวกลางคอนกรีตพูน

เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์บนตัวกลางคอนกรีตพูนในถังน้ำ ใช้เวลา 14 วัน โดยใช้น้ำตัวอย่างจากบริเวณบ่อดักไขมันโรงอาหารกลางมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปริมาตร 120 ลิตร เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ จากนั้นทำการเติมอากาศและวางถังน้ำให้โดนแสงแดด โดยเปลี่ยนน้ำในถังเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ทุก 4 วัน นำน้ำตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่า COD และ BOD เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลง อัตราส่วนโพรงของคอนกรีตพูน และผลการชั่งน้ำหนักคอนกรีตพูนก่อนและหลังเลี้ยงเชื้อ

การทดสอบหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบโปรยกรอง

ชุดการทดสอบมีทั้งหมด 6 ชุด ใช้น้ำเสียที่ได้จากบริเวณบ่อดักไขมันโรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เข้าสู่ระบบโปรยกรอง ปริมาตร 50 ลิตร มีตัวกลางเป็นคอนกรีตพูนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 9.5 มิลลิเมตร จำนวน 4 แผ่น และ 19.0 มิลลิเมตร จำนวน 4 แผ่น โดยแต่ละแผ่นมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20±3 เซนติเมตร สูง 4.5-5 เซนติเมตร และมีอัตราส่วนโพรง 30±5% ตามลำดับ

ชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ควบคุมอัตราการไหล 2 ลิตรต่อชั่วโมง

ชุดการทดลองที่ 3 และ 4 ควบคุมอัตราการไหล 4 ลิตรต่อชั่วโมง

ชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ควบคุมอัตราการไหล 8 ลิตรต่อชั่วโมง

เก็บตัวอย่างน้ำหลังจากจากระบบทุก 4 ชั่วโมง ปริมาตร 1 ลิตร เพื่อวิเคราะห์ค่า pH, BOD, COD, SS และ TKN จนผลวิเคราะห์ค่าที่ ทุกชุดการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่าง ก่อนเข้าและหลังจากจากระบบ นำค่า COD และ TSS คำนวณหาประสิทธิภาพในการกำจัด ตามสมการที่ 3

$$\text{ประสิทธิภาพในการกำจัด (\%)} = \frac{[(in - out) / in] \times 100\%}{(3)}$$

เมื่อ in = ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำเข้าสู่ระบบ
Out = ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำออกจากระบบ

ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

ผลการผลิตคอนกรีตพูน

คอนกรีตพูนที่ผลิตได้ มีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างหยาบ สีเทาเข้ม รูปร่างทรงกระบอก คอนกรีตพูนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 9.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 19.83±0.38 เซนติเมตร ขนาดส่วนสูงเฉลี่ยเท่ากับ 5.16±0.24 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยเท่ากับ 308.89±12.19 ตารางเซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ

2.75±0.07 กิโลกรัม และคอนกรีตพูนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 19.0 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 19.91±0.35 เซนติเมตร ขนาดส่วนสูงเฉลี่ยเท่ากับ 5.33±0.24 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยเท่ากับ 311.48±11.24 ตารางเซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 2.95±0.09 กิโลกรัม ดังรูปที่ 4

ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำและอัตราส่วนโพรงรวม

คอนกรีตพูนที่ผลิตจากมวลรวมหยาบขนาด 9.5 มิลลิเมตร เมื่อนำมาทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำและอัตราส่วนโพรงรวม พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.82±0.04 เซนติเมตรต่อวินาที และ 32.38±1.95% ตามลำดับ คอนกรีตพูนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 19.0 มิลลิเมตร เมื่อนำมาทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำและอัตราส่วนโพรงรวม พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.91±0.04 เซนติเมตรต่อวินาที และ 33.78±3.05% ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสีย

จากการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสียได้ผลดังนี้ ค่า pH = 6.42±0.00 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งอยู่ที่

5.5-9, BOD = 420±0.00 mg/l ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งไม่เกิน 20, COD = 800±0.00 mg/l ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งไม่เกิน 120, SS = 84±0.00 mg/l ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งไม่เกิน 30 และ TKN = 33.6±0.00 mg/l ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งไม่เกิน 20 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย พบว่าน้ำเสียบริเวณบ่อดักไขมัน โรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มีความสกปรกค่อนข้างสูงคือมีค่า BOD, COD, SS และ TKN ที่สูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง เนื่องจากน้ำเสียดังกล่าวเกิดมาจากกิจกรรมการทำอาหารหรือล้างถ้วยชาม โรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ซึ่งน้ำเสียจากโรงอาหารจะเป็นน้ำที่มีสารอินทรีย์สูงและมีไขมัน ทำให้น้ำเสียที่วิเคราะห์มีค่า BOD, COD, SS และ TKN สูงตามไปด้วย ส่วนค่า pH พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง [3]

ผลการสร้างระบบโปรยกรองต้นแบบโดยใช้ตัวกลางเป็นคอนกรีตพูน

จากการทดสอบสร้างระบบโปรยกรอง พบว่าสามารถสร้างถึงโปรยกรองได้จำนวน 1 ถัง ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 คอนกรีตพูนที่ผลิตได้

- | | |
|---|---|
| 1 | ปั๊มดูดน้ำเสียเข้าระบบ |
| 2 | จุดเก็บน้ำก่อนเข้าสู่ระบบของถังโปรยกรอง |
| 3 | ชั้นวางตัวกลางคอนกรีตพูน |
| 4 | จุดเก็บน้ำหลังจากออกจากระบบของถังโปรยกรอง |



รูปที่ 5 ระบบโปรยกรองต้นแบบ

ผลการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์บนตัวกลางคอนกรีตพูนในระบบโปรยกรอง

จากผลการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์บนตัวกลางคอนกรีตพูน พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงของคอนกรีตพูนหลังจากการเลี้ยงเชื้อพบว่า คอนกรีตพูนมีลักษณะพื้นผิวลื่นมีเมือกเกาะ สีดำเข้มขึ้น ภาพคอนกรีตพูนก่อน-หลังการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์แสดงในรูปที่ 6 โดยอัตราส่วนโพรงเฉลี่ยของคอนกรีตพูนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 9.5 มิลลิเมตร ลดลงจาก $32.38 \pm 1.95\%$ เหลือ $30.26 \pm 1.74\%$ และคอนกรีตพูนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 19.0 มิลลิเมตร ลดลงจาก $33.78 \pm 3.05\%$ เหลือ $30.52 \pm 1.49\%$ แสดงให้เห็นว่ามี

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในตัวกลางคอนกรีตพูน ซึ่งคาดว่าจะมีการเกิดขึ้นของเชื้อจุลินทรีย์บนผิวของคอนกรีตพูน

ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักคอนกรีตพูนก่อนและหลังการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ คอนกรีตพูนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 9.5 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก $2,758.33 \pm 79.29$ กรัม เป็น $2,779.17 \pm 72.16$ กรัม และคอนกรีตพูนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 19.0 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก $2,954.17 \pm 98.76$ กรัม เป็น $3,000.00 \pm 102.24$ กรัม น้ำหนักที่เพิ่มของคอนกรีตพูนที่ซังในอากาศอาจเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์บนตัวกลางคอนกรีตพูน



(ก) ก่อนการเลี้ยงเชื้อ



(ข) หลังการเลี้ยงเชื้อ

รูปที่ 6 คอนกรีตพูนก่อนและหลังการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบโปรยกรอง

ในการทดสอบหาประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบโปรยกรอง น้ำเสียที่นำมาบำบัดในแต่ละชุดการทดลองควรควบคุมให้มีความสกปรกที่ใกล้เคียงกัน เพื่อไม่ให้ข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบในแต่ละชุดการทดลอง โดยน้ำเสียที่นำมาบำบัดเก็บจากบริเวณบ่อดักไขมันโรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยเติมน้ำเสียที่เก็บได้ลง

ในถังเก็บน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง (ดูรูปที่ 5 ประกอบ) เพื่อให้น้ำเสียเพียงพอต่อการบำบัด เมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละชุดการทดลอง ต้องถ่ายน้ำเสียในถังโปรยกรองออกให้หมด เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการวิเคราะห์ที่อาจเกิดขึ้น ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ การคำนวณอัตราการชลศาสตร์ และการคำนวณอัตราการสารอินทรีย์ในแต่ละชุดการทดลองแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าอัตราการชลศาสตร์ และอัตราการสารอินทรีย์ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบในแต่ละชุดการทดลอง

คอนกรีตพูนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 9.5 มิลลิเมตร								
ชุดการทดลอง	อัตราการไหล (L/hr)	จำนวนคอนกรีตพูน (แผ่น)	ความสูง (m)	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (m)	พื้นที่ผิวของตัวกลาง (m^2)	ปริมาตรของตัวกลาง (m^3)	อัตราการชลศาสตร์ ($m^3/m^2 \cdot d$)	อัตราการสารอินทรีย์ ($kgBOD/m^3 \cdot d$)
1	2	4	0.210	0.19875	0.031021	0.00651441	0.38	0.22
3	4	4	0.200	0.19625	0.030236	0.00604720	0.79	0.24
5	8	4	0.210	0.20000	0.031409	0.00659589	1.52	0.14

ตารางที่ 1 ค่าอัตราการชะลอสสาร และอัตราการสารอินทรีย์ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบในแต่ละชุดการทดลอง (ต่อ)

คอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 19.0 มิลลิเมตร								
ชุดการทดลอง	อัตราการไหล (L/hr)	จำนวนคอนกรีตพรุน (แผ่น)	ความสูง (m)	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (m)	พื้นที่ผิวของตัวกลาง (m ²)	ปริมาตรของตัวกลาง (m ³)	อัตราการชะลอสสาร (m ³ /m ² ·d)	อัตราการสารอินทรีย์ (kgBOD/m ³ ·d)
2	2	4	0.215	0.19750	0.030624	0.00658416	0.39	0.18
4	4	4	0.215	0.19750	0.030624	0.00658416	0.78	0.08
6	8	4	0.210	0.20250	0.032194	0.00676074	1.49	0.37

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าอัตราการสารอินทรีย์ที่มีค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบถึงโปรยกรองมีค่าความสกปรกที่แตกต่างกันในแต่ละชุดการ

ทดลองและมีไขมันอยู่ในน้ำเสีย ผลการวิเคราะห์ค่า pH, BOD, COD, SS และ TKN ก่อน-หลัง ของระบบถึงโปรยกรองในแต่ละชุดการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2 ค่า pH, BOD, COD, SS และ TKN ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบในแต่ละชุดการทดลอง

คอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 9.5 มิลลิเมตร						
ชุดการทดลอง	อัตราการไหล (L/hr)	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)
1	2	5.48±0.021	480±56.56	960±113.13	43±1.41	32.2±0
3	4	5.73±0.014	510±42.42	1,360±113.13	62±2.82	49.7±0.98
5	8	5.65±0.014	330±42.42	880±113.13	87±4.24	93.1±0.98
คอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 19.0 มิลลิเมตร						
ชุดการทดลอง	อัตราการไหล (L/hr)	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)
2	2	5.44±0.007	440±56.56	880±113.13	82±2.82	33.6±0
4	4	5.81±0.021	210±42.42	560±113.13	68±11.31	30.1±0.98
6	8	5.50±0.035	930±42.42	1,240±56.56	37±1.41	38.5±0.98

ตารางที่ 3 ค่า pH, BOD, COD, SS และ TKN ของน้ำเสียออกจากระบบในแต่ละชุดการทดลอง

คอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 9.5 mm						
ชุดการทดลอง	อัตราการไหล (L/hr)	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)
1	2	7.41±0.014	15±0	80±0	11±0	6.3±0.98
3	4	7.70±0.021	30±42.42	80±113	16±0	10.5±0.98
5	8	7.56±0.014	30±42.42	80±113	18±0	49±0
คอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 19.0 mm						
ชุดการทดลอง	อัตราการไหล (L/hr)	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)
2	2	7.42±0.021	40±56.56	80±113	18±2.82	8.4±3.95
4	4	7.61±0.042	30±42.42	80±113	20±0	12.6±0
6	8	7.42±0.014	120±0	160±0	12±2.82	18.9±0.98

จากตารางที่ 2 พบว่า น้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบมีค่าความสกปรกที่สูง จะเห็นได้ว่าค่า BOD, COD, SS และ TKN ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งชุมชน

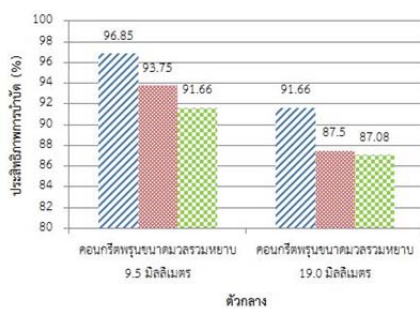
จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่ออกจากระบบไปรยกรองตัวกลางคอนกรีตพรุนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 9.5 มิลลิเมตร พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ที่อัตราการไหล 2 ลิตรต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าค่า pH, BOD, COD, SS และ TKN อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ชุดการทดลองที่ 3 ที่อัตราการไหล 4 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH, COD, SS และ TKN พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ส่วนค่า BOD เห็นได้ว่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง และชุดการทดลองที่ 5 ที่อัตราการไหล 8 ลิตรต่อชั่วโมง ค่า pH, COD และ SS พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ส่วนค่า BOD และ TKN จะเห็นได้ว่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่ออกจากระบบไปรยกรองตัวกลางคอนกรีตพรุนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 19.0 มิลลิเมตร ชุดการทดลองที่ 2 ที่อัตราการไหล 2 ลิตรต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าค่า pH, COD, SS และ TKN พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ส่วนค่า BOD เห็นได้ว่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ชุดการทดลองที่ 4

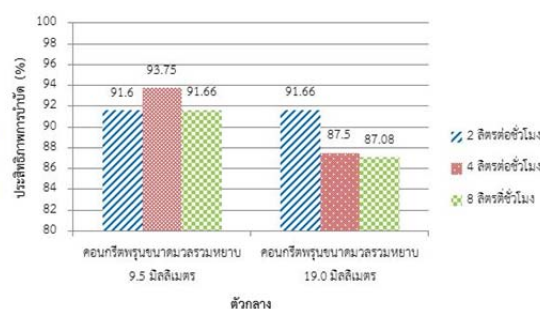
ที่อัตราการไหล 4 ลิตรต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าค่า pH, COD, SS และ TKN พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ส่วนค่า BOD เห็นได้ว่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง และชุดการทดลองที่ 6 ที่อัตราการไหล 8 ลิตรต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าค่า pH, SS และ TKN พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ส่วนค่า BOD และ COD จะเห็นได้ว่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

ผลการวิเคราะห์ค่า pH พบว่า ค่า pH มีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นจากค่าของน้ำเสียที่เข้าระบบ โดยเฉพาะเวลาในการป้อนน้ำเสีย ที่ใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น ค่า pH อยู่ในช่วง 5.40-7.70

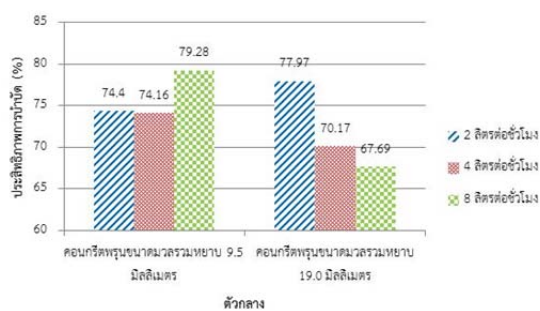
จากรูปที่ 7, 8, 9 และ 10 พบว่า ระบบไปรยกรองที่มีอัตราการไหลต่ำและคอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 9.5 มิลลิเมตร มีผลประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีขึ้น โดยเฉพาะในการกำจัด BOD มีผลประสิทธิภาพในการกำจัดที่สูงกว่าตัวกลางคอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 19.0 มิลลิเมตร ซึ่งระบบไปรยกรองตัวกลางคอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 9.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD, COD, SS และ TKN เท่ากับ $96.85 \pm 0.37\%$, $91.60 \pm 0.98\%$, $74.40 \pm 0.84\%$ และ $81.25 \pm 2.94\%$ ตามลำดับ



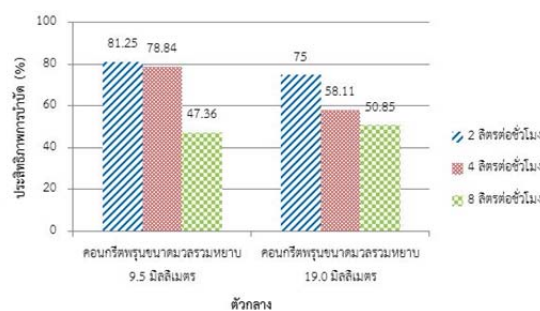
รูปที่ 7 ค่าประสิทธิภาพในการกำจัด BOD



รูปที่ 8 ค่าประสิทธิภาพในการกำจัด COD



รูปที่ 9 ค่าประสิทธิภาพในการกำจัด SS



รูปที่ 10 ค่าประสิทธิภาพในการกำจัด TKN

จากผลการศึกษา เมื่อเปรียบเทียบตัวกลางพลาสติกที่มีขายในท้องตลาดกับคอนกรีตพรุนที่ใช้เป็นตัวกลางในการบำบัดน้ำเสีย พบว่า คอนกรีตพรุนมีการคงตัว ล้างทำความสะอาดได้ง่ายและราคาถูก ซึ่งตัวกลางที่เป็นพลาสติก ก้อนกรวด ก้อนหินหรือยางแบบเดิมมักมีปัญหาในการดูแลรักษา ทำความสะอาดได้ยากและมีราคาแพงกว่าคอนกรีตพรุน

สรุปผล

คอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบขนาด 9.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 19.83 ± 0.38 เซนติเมตร ขนาดส่วนสูงเฉลี่ยเท่ากับ 5.16 ± 0.24 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย 308.89 ± 12.19 ตารางเซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ย 2.75 ± 0.07 กรัม และทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำและอัตราส่วนโพรงรวม พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.82 ± 0.04 เซนติเมตรต่อวินาที และ $32.38 \pm 1.95\%$ ตามลำดับ และคอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบขนาด 19.0 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 19.91 ± 0.35 เซนติเมตร ขนาดส่วนสูงเฉลี่ยเท่ากับ 5.33 ± 0.24 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย 311.48 ± 11.24 ตารางเซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ย 2.95 ± 0.09 กรัม และทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำและอัตราส่วนโพรงรวม พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.91 ± 0.04 เซนติเมตรต่อวินาที และ $33.78 \pm 3.05\%$ ตามลำดับ

จากผลการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย บริเวณบ่อดักไขมัน โรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พบว่ามีผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสียดังนี้คือ pH เท่ากับ 6.24 ± 0 , BOD เท่ากับ 420 ± 0.98 มิลลิกรัมต่อลิตร, COD เท่ากับ 800 ± 0.98 มิลลิกรัมต่อลิตร, SS เท่ากับ 84 ± 0.98 มิลลิกรัมต่อลิตร และ TKN เท่ากับ 33 ± 0.98 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพน้ำทิ้งชุมชน

จากผลการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์บนตัวกลางคอนกรีตพรุนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 9.5 มิลลิเมตร และคอนกรีตพรุนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 19.0 มิลลิเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน พบว่าคอนกรีตพรุนทั้ง 2 ขนาด มีลักษณะเมือกสีเขียวเข้ม พบว่าอัตราส่วนโพรงมีขนาดลดลงเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตในรูพรุน ค่า COD ในถังเลี้ยงเชื้อ ลดลงจาก 800 ± 0.98 มิลลิกรัมต่อลิตร

เหลือ 360 ± 0.98 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำหนักคอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 9.5 มิลลิเมตร ที่ซึ่งในอากาศเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 21.00 กรัม และน้ำหนักคอนกรีตพรุนที่ใช้ขนาดมวลรวมหยาบ 19.0 มิลลิเมตร ที่ซึ่งในอากาศเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 46.00 กรัม

จากผลการทดสอบหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบโปรยกรอง พบว่า ระบบโปรยกรองตัวกลางคอนกรีตพรุนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 9.5 มิลลิเมตร ที่อัตราการไหล 2 ลิตรต่อชั่วโมง มีค่าอัตราการชะลศาสตร์เท่ากับ 0.38 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งอยู่ในประเภทถังโปรยกรองอัตราต่ำ (Low-rate Trickling Filters) และมีค่าภาระอัตราการอินทรีย์เท่ากับ 0.25 กิโลกรัมบีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งอยู่ในประเภทถังโปรยกรองอัตราต่ำ (Low-rate Trickling Filters) พบว่า ผลการวิเคราะห์ค่า pH มีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นจากค่าของน้ำเสียที่เข้าระบบ เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการโปรยน้ำเสียมีเวลาเพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่า pH อยู่ในช่วง 5.30-7.70 ส่วนผลประสิทธิภาพในการกำจัด BOD, COD, SS และ TKN พบว่า มีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวกลางคอนกรีตพรุนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 19.0 มิลลิเมตร โดยระบบโปรยกรองที่ใช้ตัวกลางคอนกรีตพรุนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 9.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD สูงสุดเท่ากับ $96.85 \pm 0.37\%$ และยังสามารถกำจัด COD, SS และ TKN ได้ถึง $91.60 \pm 0.98\%$, $74.40 \pm 0.84\%$ และ $81.25 \pm 2.94\%$ ตามลำดับ ส่วนผลการตรวจวัดค่า pH, BOD, COD, SS และ TKN พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

จากผลการทดลองทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่า ตัวกลางคอนกรีตพรุนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 9.5 มิลลิเมตร ที่อัตราการไหล 2 ลิตรต่อชั่วโมง มีค่าอัตราการชะลศาสตร์เท่ากับ 0.38 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน และมีค่าภาระอัตราการอินทรีย์เท่ากับ 0.25 กิโลกรัมบีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD สูงและผลการตรวจวัดค่า BOD พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งเมื่อเปรียบเทียบกับตัวกลางคอนกรีตพรุนที่ใช้มวลรวมหยาบขนาด 19.0 มิลลิเมตร ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบโปรยกรอง แต่อย่างไรก็ตามในชุดการทดลองที่ 2-6 พบว่า ถึงแม้จะมีเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD สูงแต่ผล

ตรวจวัดค่า BOD กลับ พบว่า ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง อาจมีเหตุเนื่องมาจากมีไขมันในตัวอย่างน้ำเสียปริมาณมากทำให้ระบบโปรยกรองมีประสิทธิภาพในการกำจัดลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thanakorn Ermukdakul, Nattawin Chawaloes-phonsiya, Benjaporn Boonchayaanant, Wiboonluk Pungrasmi and Pisut Painmanakul. Study of different approaches for separation of suspended solids (SS) in aquaculture system. Journal of Water and Environment Technology, 2013.
- [2] Thanudkij Chareerat, Prinya Chindaprasirt and Shigemitsu Hatanaka. Porous concrete: Environmentally Friendly Concrete. The 13th National Convention on Civil Engineering. The Engineering Institute of Thailand under the Royal Patronage, 14-16 May 2008, Jomtien Palm Beach Hotel Pattaya, Chonburi Province, 296. (in Thai)
- [3] Department of Industrial Works, Textbook of Water Pollution Treatment Systems: Environmental Engineering Association of Thailand, Bangkok, 2002. (in Thai)



ประสิทธิภาพการกำจัดเฮกซะวาเลนท์โครเมียมจาก
น้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติ
ด้วยเยื่อกรองนาโน

Performance of Nanofiltration Membrane on
Removal of Hexavalent Chromium from Synthetic
Wastewater and Natural Organic Matter

Jatupon Jaisin* and Supatpong Mattaraj**

จตุพล จัยสิน* และ สุพัฒน์พงษ์ มัตราจ**

*สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

**ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

E-mail : supatpong.mj@gmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเฮกซะวาเลนท์โครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยใช้ชุดทดลองแบบไหลตายตัวเยื่อกรองแบบนาโน (HL4040FN, GE water and process technology) โดยปรับค่าความแรงประจุของสารละลายเป็น 0.01 โมลต่อลิตร ร่วมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับค่าพีเอชของสารละลายเป็น 7 ความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมที่ปรับใช้ประมาณ 10 20 30 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ความดันในการดำเนินระบบคงที่ 30 psi ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ฟลักซ์สารละลายระหว่างการกรองลดลงและค่าการกำจัดโครเมียมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ประสิทธิภาพการกำจัดของสารอินทรีย์ธรรมชาติให้ค่าค่อนข้างสูง ขณะที่สารละลายที่มีผลร่วมระหว่างเฮกซะวาเลนท์โครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติ แสดงค่าการลดลงของฟลักซ์สารละลายและการกำจัดของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมมากกว่าสารละลายเฮกซะวาเลนท์โครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์เพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ : เฮกซะวาเลนท์โครเมียม; เยื่อกรองแบบนาโน; สารอินทรีย์ธรรมชาติ

Abstract

This objective of this research was to study the removal performance of hexavalent chromium from synthetic wastewater and natural organic matter (NOM) using dead-end nanofiltration (HL4040FN, GE water and process technology). Solution conditions were controlled with ionic strength of 0.01 M and 10 mg/L NOM, and solution pH of 7. The concentrations of hexavalent chromium were adjusted about 10, 20 and 30 mg/L with constant operating pressure of 30 psi. Experimental results found that increased concentrations of hexavalent chromium decreased solution flux during filtration and slightly increased chromium rejection. The removal efficiency of NOM was relatively high, while solutions having hexavalent chromium from synthetic wastewater and NOM inhibited greater flux decline and removal efficiency of hexavalent chromium than those having only hexavalent chromium from synthetic wastewater.

Keywords : Hexavalent Chromium; Nanofiltration; Natural Organic Matter

บทนำ

ปัจจุบันการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เกษตรกรรม รวมทั้งการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ทำให้เกิดการขยายตัวทางด้านการผลิต ส่งผลให้เกิดของเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนัก รวมทั้งการปล่อยของเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม โลหะหนักเป็นสารคงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้ง่ายในกระบวนการตามธรรมชาติ จึงเกิดการสะสมอยู่ในดิน ตะกอนดินที่อยู่ในน้ำและในสัตว์น้ำ ทำให้มนุษย์มีความเสี่ยงหากมีการนำโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายทั้งทางตรงและทางอ้อม

โครเมียมและสารประกอบโครเมียมซึ่งเป็นโลหะหนักได้ถูกใช้ในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเคลือบโลหะ การชุบโลหะ สีย้อม สีทาอาคาร สิ่งทอ เครื่องหนัง การพิมพ์ อุตสาหกรรมไม้ และปิโตรเลียม กระบวนการกำจัดโครเมียมมีหลายวิธี เช่น การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์และถ่านลอย [1] การดูดซับด้วยสาหร่ายเซลล์เดียว แต่มีข้อจำกัดคือมีต้นทุนสูงและต้องการพื้นที่มาก [2] การใช้กระบวนการกรองแบบนาโนสามารถที่จะแยกสารอินทรีย์ทางธรรมชาติออกจากน้ำได้ [3] และสามารถที่จะกรองสารอินทรีย์ที่มีไอออนบวกแบบประจุนได้ และสามารถแยกสารอินทรีย์ทางธรรมชาติออกจากน้ำได้ด้วย [4] โดยมีความต้องการพื้นที่น้อยและค่าบำรุงรักษาต่ำ [5] ดังนั้นกระบวนการกรองแบบนาโนจึงสามารถที่จะแยกสารอินทรีย์ทางธรรมชาติออกจากน้ำและเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียได้ การรวมตัว

ระหว่างเฮกซะวาเลนต์โครเมียมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic matter, NOM) ซึ่งพบได้โดยทั่วไปตามแหล่งน้ำผิวดิน จะส่งผลทำให้เกิดการอุดตันของเยื่อกรองได้ง่ายขึ้นซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญของระบบเยื่อกรองที่ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตน้ำลดลง

เยื่อกรองแบบนาโน (Nanofiltration, NF) เป็นกระบวนการที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตน้ำดื่ม การทำน้ำอ่อน และบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้ความดันอยู่ระหว่างอัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration) และออสโมซิสแบบผันกลับ (reverse osmosis) ซึ่งเยื่อกรองแบบนาโนมีข้อได้เปรียบ คือ การใช้ความดันที่น้อยกว่าในการดำเนินระบบแบบออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis) และปริมาณน้ำที่ผลิตได้มีปริมาณมาก และยังสามารถใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ที่ปนมากับน้ำได้เป็นอย่างดี [6, 7] ทั้งนี้ปัญหาของกระบวนการเยื่อกรอง คือ การลดลงของอัตราการไหล โดยมีสาเหตุมาจากการเกิด Concentration Polarization (CP) ทำให้เกิดการอุดตันที่ผิวของเยื่อกรอง โดยการอุดตันที่เกิดขึ้นสามารถเกิดได้ใน 2 ลักษณะ คือ เกิดการอุดตันบริเวณผิวหน้าของเยื่อกรอง (surface fouling) และการอุดตันที่เกิดภายในรูพรุนของเยื่อกรอง (internal pore fouling) [8] เมื่อเยื่อกรองเกิดการอุดตันจะส่งผลให้ค่าฟลักซ์สารละลายมีค่าลดลง ต้องทำความสะอาดบ่อยครั้งขึ้น และทำให้อายุการใช้งานของเยื่อกรองสั้นลง [9] ซึ่งวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพการลดลงของฟลักซ์สารละลายและการกำจัดเฮกซะวาเลนต์โครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้เยื่อกรองแบบนาโน

อุปกรณ์และวิธีการ

สารเคมีที่ใช้และเครื่องมือวิเคราะห์

สารเคมีที่ใช้มีดังนี้ คือ Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$), Hydrochloric acid 36% (HCl), Sodium hydroxide (NaOH), Sodium metabisulphite ($Na_2S_2O_5$), Citric acid ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$), เยื่อกรองแบบนาโน รุ่น HL4040FM การตรวจวิเคราะห์ผลความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAanlyst 200) และเครื่อง UV-visible spectrophotometer ใช้วัดค่า TOC โดยการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร

สารอินทรีย์ธรรมชาติ

สารอินทรีย์ธรรมชาติที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้มาจากแหล่งน้ำผิวดินที่อยู่ภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ซึ่งใช้ผลิตน้ำอุปโภคและบริโภคภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี คุณสมบัติของน้ำผิวดินมีดังนี้ สารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด 4.27 mg/L มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร เท่ากับ 0.178 1/cm ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ที่ $44 \mu S \cdot cm^{-1}$ พีเอชอยู่ที่ 7.1 และค่าความขุ่น 7.4 NTU การเตรียมสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยการนำน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีมาจำนวน 1,000 ลิตร ผ่านระบบเยื่อกรองแบบไมโครฟิลเตรชันขนาด 5 ไมครอน และ 1 ไมครอน ตามลำดับ เพื่อบำบัดเบื้องต้นก่อนเข้าเยื่อกรองแบบออสโมซิสผกผันกลับ เพื่อแยกสารอินทรีย์ธรรมชาติในส่วนคอนเซนเตรทให้เหลือปริมาตรสารอินทรีย์ธรรมชาติเข้มข้นประมาณ 30 ลิตร นำสารอินทรีย์ธรรมชาติเข้มข้นบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิทและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการรักษาสารอินทรีย์ธรรมชาติให้อยู่ในสภาวะพร้อมใช้งานในการทดลอง

เยื่อกรองแบบนาโน

การศึกษานี้ใช้เยื่อกรองแบบนาโนของ GE Water & Process Technologies รุ่น HL4040FM ผลิตจากโพลีเอไมด์ มีความสามารถในการกำจัดสารที่มีขนาดโมเลกุล 150-300 ดาลตัน พีเอชที่ใช้ในการดำเนินระบบอยู่ระหว่าง 3-9 และพีเอชของสารที่ใช้ในการทำ ความสะอาดมีค่าอยู่ระหว่าง 2-10.5 ความดันที่ใช้ในการ

ดำเนินงานอยู่ที่ 70-300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นำมาตัดเป็นแผ่นวงกลมขนาดพอดีกับชุดทดลอง สำหรับแผ่นเยื่อกรองที่ได้ตัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำเก็บรักษาโดยแช่ไว้ในสารละลาย sodium metabisulphite ($Na_2S_2O_5$) ความเข้มข้นร้อยละ 1 เพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจน แล้วนำไปแช่ไว้ในตู้เย็นเพื่อลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีผลต่อผิวหน้าเยื่อกรอง

ชุดทดลองการไหลแบบตายตัว

รูปที่ 1 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบเยื่อกรองแบบนาโน ระบบนี้ใช้เป็นชุดทดสอบการไหลแบบตายตัว พื้นที่ใส่แผ่นเยื่อกรองขนาด 0.0044 ตารางเมตรโดยคำนวณตามพื้นที่ของชุดทดสอบ โดยควบคุมการทดลองด้วยระบบเยื่อกรองนาโน ด้วยความดันให้คงที่ตลอดการทดลองที่ 30 psi และใช้เวลาในการทดลอง 240 นาที วัดอัตราการไหลของเพอร์มิเอทและเก็บตัวอย่างตามช่วงเวลา

สมการที่ใช้ในการศึกษา

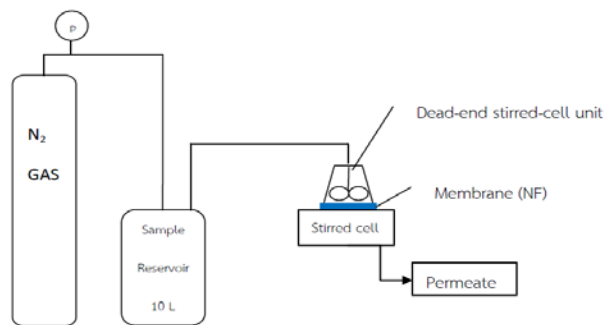
ในการศึกษาเกี่ยวกับการอุดตันของเยื่อกรองซึ่งมีผลมาจากสารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการกรองแบบนาโนซึ่งมีค่าอัตราการกรองแสดงได้ในสมการที่ (1)

$$J_v = \frac{Q_{perm}}{A_m} \quad (1)$$

เมื่อ ค่า J_v คือ อัตราการกรองผ่านเยื่อกรองหรือฟลักซ์สารละลาย ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, LMH), Q_{perm} คือ อัตราการไหลของน้ำที่กรอง ($L \cdot h^{-1}$), A_m คือ พื้นที่ที่ใช้ในการกรอง (m^2), ส่วนการกำจัดสารละลายออกจากน้ำ (Rejection) โดยการกรองผ่านเยื่อกรองจะแยกสารละลายต่างๆ ออกจากน้ำซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$R = 1 - \frac{C_{perm}}{C_{reten}} \quad (2)$$

ค่า R คือ อัตราการกำจัดสารละลายออกจากน้ำ ค่า C_{perm} คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่ผ่านการกรอง ($mg \cdot L^{-1}$) ค่า C_{reten} คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่ไม่ผ่านการกรอง ($mg \cdot L^{-1}$)



รูปที่ 1 แผนภาพการทำงานของระบบเยื่อกรองแบบนาโน

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีต่อค่าฟลักซ์

รูปที่ 2 แสดงผลของความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ต่อฟลักซ์สารละลายทำการทดลองด้วยการปรับค่าความแรงประจุ (ionic strength) 0.01 โมลต่อลิตร ค่าพีเอชประมาณ 7 โดยใช้ความดันคงที่ 30 psi ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อการลดลงของฟลักซ์แตกต่างกัน โดยเมื่อทำการเดินระบบต่อเนื่องจนถึงนาที่ที่ 240 จะเห็นได้ว่าค่าฟลักซ์ของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 mg/L มีค่าการลดลงของฟลักซ์เท่ากับร้อยละ 33.63, 39.41 และ 48.77 ตามลำดับ โดยค่าฟลักซ์สารละลายของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 30 mg/L ลดลงมากที่สุด อาจเนื่องจากผลของความเข้มข้นสะสมที่ผิวของเยื่อกรองส่งผลทำให้ฟลักซ์สารละลายลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มมากขึ้น

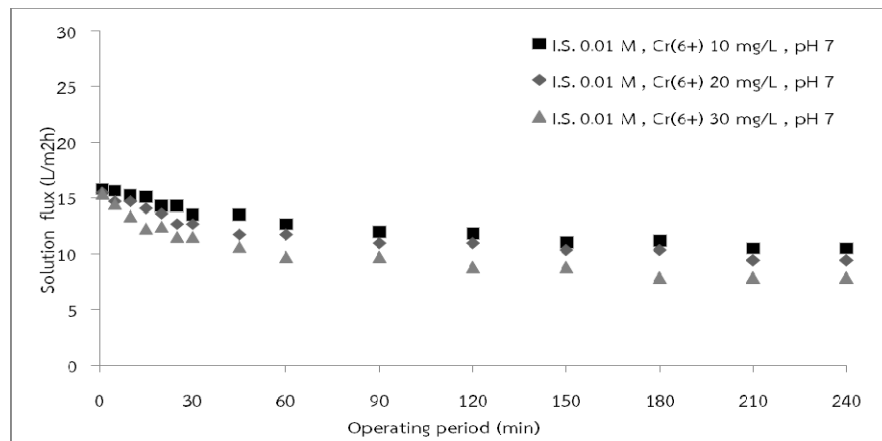
รูปที่ 3 แสดงผลของความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีต่อฟลักซ์สารละลาย ที่ความเข้มข้น Cr^{6+} 10 mg/L + 10 mg/L NOM, Cr^{6+} 20 mg/L + 10 mg/L NOM และ Cr^{6+} 30 mg/L + 10 mg/L NOM ที่ความแรงประจุ 0.01 โมลต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 7 โดยใช้ความดันคงที่ 30 psi มีค่าการลดลงของฟลักซ์สารละลายเท่ากับร้อยละ 44.61, 54.47 และ 53.99 ตามลำดับ ฟลักซ์ของสารละลายที่มีน้ำตัวอย่างด้วยสารอินทรีย์ธรรมชาติมีค่าลดลง

มากกว่าฟลักซ์สารละลายของน้ำตัวอย่างที่ไม่มีสารอินทรีย์ธรรมชาติ อาจเนื่องจากความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมร่วมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติเกิดการสะสมตัวที่ผิวหน้าของเยื่อกรองเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าฟลักซ์สารละลายมีค่าลดลงมากกว่าความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมเพียงอย่างเดียว

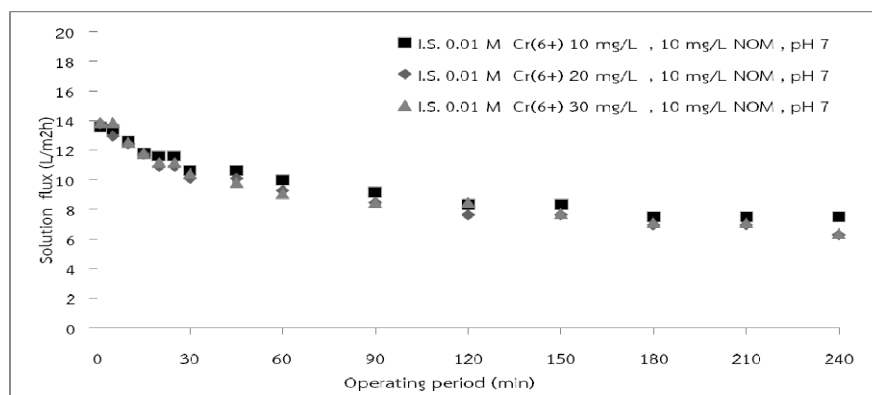
ผลของความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อประสิทธิภาพการกำจัด

รูปที่ 4 แสดงผลของความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดทำการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของเยื่อกรองนาโนต่อการกำจัดเฮกซะวาเลนท์โครเมียม ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 mg/L เท่ากับ 76.01 ± 5.08 , 81.53 ± 3.31 และ 81.69 ± 7.93 ตามลำดับ โดยความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นทำให้ลดแรงผลึกของประจุจากการรวมตัวของประจุบวกและประจุลบของเยื่อกรองนาโน จึงทำให้เกิดการสะสมตัวที่บริเวณผิวหน้าเยื่อกรองเพิ่มมากขึ้น [10]

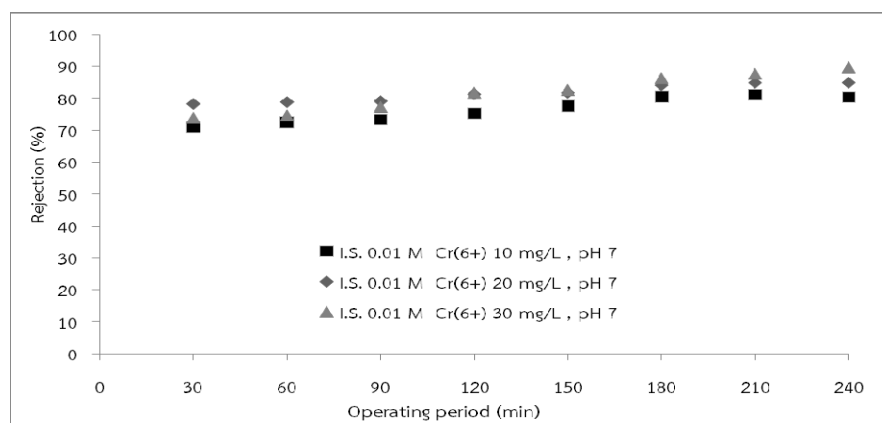
รูปที่ 5 แสดงการกำจัดเฮกซะวาเลนท์โครเมียมจากผลรวมของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์กับสารอินทรีย์ธรรมชาติทำการทดลองพบว่าเยื่อกรองนาโนสามารถกำจัดเฮกซะวาเลนท์โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติ ที่ความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนท์โครเมียม 10, 20 และ 30 mg/L เท่ากับ 90.35 ± 1.95 , 89.56 ± 5.15 และ 92.60 ± 2.59 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ [11] พบว่าเมื่อเติมสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำเสียตัวอย่างสังเคราะห์ ส่งผลให้สารอินทรีย์ธรรมชาติสะสมบนผิวหน้าเยื่อกรองทำให้เกิดการอุดตันจากการกักกันสารได้มากขึ้น จึงทำให้ค่าการกำจัดสูงขึ้น



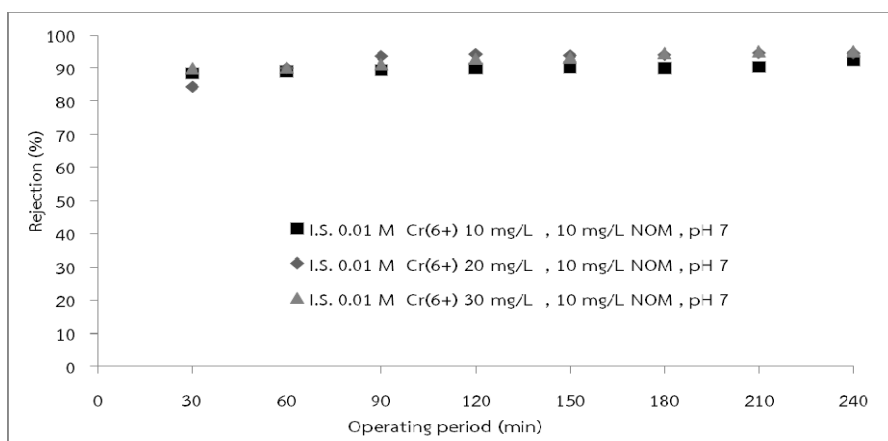
รูปที่ 2 ผลของความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการลดลงของฟลักซ์



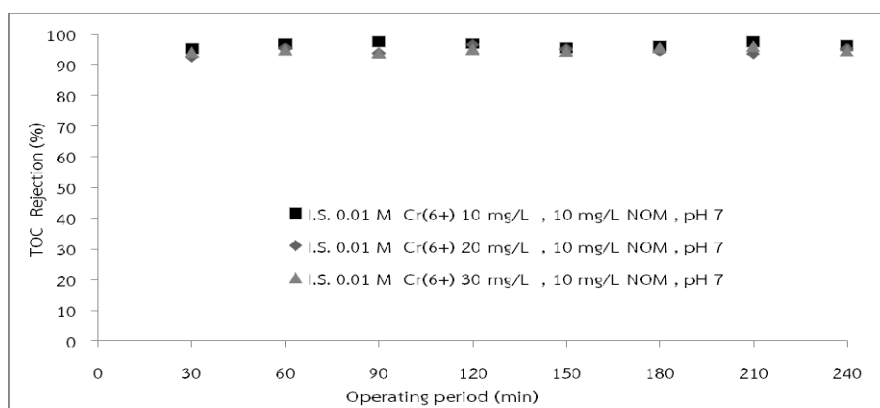
รูปที่ 3 ผลของความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติต่อฟลักซ์



รูปที่ 4 ผลของความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อประสิทธิภาพการกำจัด



รูปที่ 5 การกำจัดเฮกซะวาเลนต์โครเมียมจากผลรวมของเฮกซะวาเลนต์โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์กับสารอินทรีย์ธรรมชาติ



รูปที่ 6 การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติจากผลรวมของเฮกซะวาเลนต์โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์กับสารอินทรีย์ธรรมชาติ

รูปที่ 6 แสดงการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติจากผลรวมของเฮกซะวาเลนต์โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์กับสารอินทรีย์ธรรมชาติ การทดลองพบว่า การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติให้ค่าร้อยละการกำจัดสูงเท่ากับ 92.6-97.5 อาจเนื่องมาจากกลไกการแยกโดยขนาดโมเลกุล (size exclusion) ซึ่งเป็นผลจากขนาดของสารอินทรีย์ธรรมชาติซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเยื่อกรองแบบนาโน

สรุป

ประสิทธิภาพการกำจัดเฮกซะวาเลนต์โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเยื่อกรองนาโนให้ผลตามค่าความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนต์โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

การใช้เฮกซะวาเลนต์โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ร่วมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติส่งผลต่อการลดลงของฟลักซ์สารละลายและการกำจัดของเฮกซะวาเลนต์โครเมียมเพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการกำจัดเฮกซะวาเลนต์โครเมียมในน้ำเสียด้วยเทคโนโลยีเยื่อกรองแบบนาโน สำหรับวิธีการกำจัดเฮกซะวาเลนต์โครเมียมโดยใช้เยื่อกรองแบบนาโน จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sawangyutitum, P., Chaidan, S. and Khongsubjareon, S. 2543. Asorption of

- lead (II) and chromium (VI) on activated carbon and fly ash. Bachelor Thesis of Science. Faculty of Industrial Education King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- [2] Jaiyong, S., Ajsakorn, O. and Rimwattana, A. 2540. Absorption of Hexavalent Chromium by *Chlorella* sp. Bachelor Thesis of Science. Faculty of Industrial Education King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- [3] Kilduff, J.E., Mattaraj, S. and Belfort, G. Flux decline during nanofiltration of naturally occurring dissolved organic matter: effect of osmotic pressure, membrane permeability, and cake formation. *J. Membrane Sci.* 239(1): 39-53.
- [4] Conlon, W., and McClellan, S., 1989. Membrane Softening: A Treatment Process Comes of Age. *Journal AWWA.* 81(11): 47-51.
- [5] Yildiz, E. Nuhoglu, A. Keskinler, B. Akay, G. and Farizoglu, B. 2003. Water softening in a crossflow membrane reactor. *Desalination.* 159(2): 139-152.
- [6] Bruggen, Bart Van der and Carlo Vandecasteele. 2003. Removal of pollutants from surface water and groundwater by nanofiltration: overview of possible applications in the drinking water industry. *Environ. Pollut.* 122: 435-44.
- [7] Conteras, A.E., Albert Kimb and Qilin lia. 2009. Combined fouling of nanofiltration membranes: Mechanisms and effect of organic matter. *J. Membrane Sci.* 327: 87-95.
- [8] Tu, S., Varadarajan, R. and Massoud, P. 2005. A pore diffusion transport model for forecasting the performance of membrane processes. *J. Membrane Sci.* 265: 29-50.
- [9] Vrouwenvelder, J.S., Kappelhof, J.W.N.M., Heijrnan, S.G.J., Schippers, J.C., van der Kooij D. 2003. Tools for fouling diagnosis of NF and RO membranes and assessment of the fouling potential of feed water. *Desalination.* 157: 361-365.
- [10] Kilduff, J. E., Mattaraj, S., Pieracci, J. P. and Belfort, G. 2000. Photochemical modification of polyether sulfone and sulfonated polysulfone nanofiltration membranes for control of fouling by natural organic matter. *Desalination.* 132: 133-142.
- [11] Cho, J., Amy, G. and Pellegrino, J. 2000. Membrane Filtration of Natural Organic Matter: Comparison of flux decline, NOM rejection, and foulants during filtration with three UF membranes. *Desalination.* 127: 283-298.



แผ่นบุผนังป้องกันเสียงผลิตจากยางธรรมชาติผสมเศษผลิตภัณฑ์ พลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท Acoustic Board Produced from Natural Rubber Mixed with Waste of Ethylene Vinyl Acetate Products

Prachoom Khamput

ประชุม คำพุด

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

E-mail : prachoom.k@en.rmutt.ac.th, choomy_gtc@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์แผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมกับเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (อีวีเอ) จากผลการทดสอบคุณสมบัติของพลาสติกอีวีเอ พบว่า พลาสติกอีวีเอที่นำมาใช้มีความหนาแน่น 190 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ด้านความแข็ง เท่ากับ 43 ชอร์เอ และความต้านทานแรงดึง เท่ากับ 4.2 เมกะพาสคัล นำพลาสติกอีวีเอดังกล่าวไปย่อยผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) และผสมเข้ายางธรรมชาติแท้ STR20 ซึ่งคือออกไซด์ กรดสเตียริก กำมะถัน เมอร์แคปโตเบนโซไทอาโซล ไดฟีนิลกวานิดีน และออกซิไบสเบนซีนซัลโฟนิลไฮไดรไซด์ สำหรับขึ้นรูปแผ่นบุผนังป้องกันเสียง ออกแบบอัตราส่วนของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงโดยใช้ปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอ เท่ากับ 0, 5, 10, 20, 40 และ 80 พีเอชอาร์ ด้วยเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง และอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันเสียง คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางกล ทำให้ได้แผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอที่อัตราส่วน 40 พีเอชอาร์ เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด และผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงดังกล่าว มีค่าอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.51 แตกต่างตามความหนา แผ่นบุผนังป้องกันเสียงที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์

คำสำคัญ : แผ่นบุผนังป้องกันเสียง; ยางธรรมชาติ; พลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท; ความต้านทานแรงดึง

Abstract

This research aimed to study the production of acoustic board from natural rubber mixed with waste of ethylene vinyl acetate (EVA) products. According to the property tests, the EVA plastic properties included density 190 kg/m³, hardness 43 shore A, and tensile strength 4.2 MPa. These acoustic boards were produced by grinding the EVA plastic to pass the sieve no.4 (4.75 mm) and mixing the EVA plastic to natural rubber STR 20, zinc oxide, stearic acid, sulfur, mercaptobenzothiazole, diphenyl guanidine, and oxybis (benzene sulfonyl) hydrazide. The 0, 5, 10, 20, 40 and 80 phr of EVA plastic were designed to produce the acoustic boards. The two roll mill and hot compression machines casted the acoustic boards by using 150 degree of Celsius. When tested the sound insulation efficiency, physical properties, and mechanical properties, the ratio 40 phr of acoustic board from natural rubber

mixed with EVA plastic was the proper ratio. The sound absorption coefficient (α) of this acoustic board was 0.4 to 0.51 which depended on the thickness. The developed acoustic board can be applied for the commercial product.

Keywords : Acoustic Board; Natural Rubber; Ethylene Vinyl Acetate; Tensile Strength

บทนำ

จากปัญหาขยะเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทหรืออีวีเอทีเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นวัสดุพูนที่มีความยืดหยุ่นแตกต่างกันตามแต่ละอุตสาหกรรม อาทิเช่น รองเท้าแตะ รองเท้ากีฬา ยางรัดของชนิดหัดได้ อุปกรณ์ทางการแพทย์ชนิดใช้ครั้งเดียว กาวหลอมด้วยความร้อน ของเด็กเล่น ฉนวนหุ้มลวดไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ ภาชนะบรรจุของแช่แข็ง กรวยที่กันถนนพลาสติก เป็นต้น เนื่องจากวัสดุดังกล่าวไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้ทั้งหมดเพราะจะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลงเรื่อยๆ จึงทำให้ต้องกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบ ซึ่งจะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ด้วยเหตุนี้จึงนำเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอมาผสมรวมกับแผ่นบุผนังจากยางธรรมชาติ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยแก้ไขปัญหาราคาต้นทุนของแผ่นบุผนังจากยางธรรมชาติที่ค่อนข้างสูงให้มีต้นทุนต่ำลง เพื่อให้สามารถผลิตแข่งขันกับแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากต่างประเทศได้

ภาคเอกชน มีความต้องการจะพัฒนาฉนวนป้องกันเสียงที่มีราคาถูก เพื่อทดแทนการนำเข้าวัสดุป้องกันเสียงจากต่างประเทศ โดยให้ความสนใจแผ่นบุผนังจากยางธรรมชาติที่สามารถดัดโค้งและยึดติดกับผนังที่มีพื้นผิวลักษณะต่างๆ ได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งเดิมทีก็สามารถดูดซับเสียงได้บ้าง แต่ยังไม่มีประสิทธิภาพมากเท่าใดนัก ทั้งนี้ โครงการแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท เป็นการพัฒนาแผ่นบุผนังจากยางธรรมชาติแบบเดิมให้กลายเป็นแผ่นบุผนังที่มีประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนป้องกันเสียงในแต่ละความถี่ตามลักษณะการใช้งาน เช่น เสียงดนตรี จะมีความถี่ประมาณ 50-10,000 เฮิรตซ์ และเสียงพูดคุย จะมีความถี่ประมาณ 100-4,000 เฮิรตซ์ เป็นต้น โดยการปรับปรุงผิวหน้าด้วยวัสดุที่ดูดซับเสียงได้ดีและราคาถูก [1, 2]

ดังนั้น การพัฒนาแผ่นบุผนังจากยางธรรมชาติด้วยการผสมเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอชนิดต่างๆ ให้สามารถดูดซับเสียงได้ในหลายช่วงความถี่เทียบเท่ากับแผ่นดูดซับเสียงที่นำเข้าจากต่างประเทศในราคาที่ต่ำกว่า จะเป็นการส่งเสริมการแปรรูปยางธรรมชาติให้นำมาใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์อย่างเป็นรูปธรรม ตลอดจนช่วยลดปริมาณขยะเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอทีเหลือทิ้งภายในประเทศได้ดี และคาดว่าจะจะเป็นสินค้านวัตกรรมที่สามารถได้รับความนิยมได้เป็นอย่างดีในอุตสาหกรรมการก่อสร้างและการป้องกันเสียงต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ทดสอบสมบัติด้านความแข็งและความต้านทานแรงดึงเบื้องต้นของเศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมรองเท้า โดยใช้เครื่องวัดความแข็งแบบชอร์เอ (Shore A) ยี่ห้อ PTC รุ่น 473 และเครื่องทดสอบแรงดึง Tensile Strength : ASTM D412 ยี่ห้อ LLOYDIX รุ่น LR 10K
2. ออกแบบส่วนผสมโดยให้ความสำคัญกับสมบัติการดูดซับเสียง รูพรุน และความหนาแน่น ประกอบด้วย ยางธรรมชาติแท่งเกรด STR20 ซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริก กำมะถัน เมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล ไดฟีนิลกวินิดีน ออกซิเบนิลเบนซีนซัลโฟนิลไฮดราไซด์ (Oxybis (benzene sulfonyl) hydrazide, OBSH) และเศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (EVA) ซึ่งสามารถสรุปเป็นอัตราส่วนที่ใช้ในการทดสอบ รวม 6 อัตราส่วน ดังตารางที่ 1
3. บดย่อยเศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทให้มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 หรือ 4.75 มิลลิเมตร และเตรียมยางคอมพาวด์จากสูตรยางที่ออกแบบ โดยนำวัตถุดิบและสารเคมีมาผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ยี่ห้อ Yong Fong Machinery Co., Ltd. และส่วนของแผ่นพลาสติกอีวีเอต้องผ่านการบดด้วยเครื่องบดพลาสติกอีวีเอให้มีความละเอียดมากก่อนนำไปผสม

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอเทียบจาก 100 ส่วนของยางโดยน้ำหนัก (phr)

สูตร	ยางแท่ง STR20	ซิงค์ออกไซด์	กรดสเดयरิก	กำมะถัน	เมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล	ไดฟนิลกัวนิติน	ออกซีบิสเบนซีนซัลโฟนิลไฮดราไซด์	พลาสติกอีวีเอ
0	100	5	2	3	0.5	0.2	6	0
5	100	5	2	3	0.5	0.2	6	5
10	100	5	2	3	0.5	0.2	6	10
20	100	5	2	3	0.5	0.2	6	20
40	100	5	2	3	0.5	0.2	6	40
80	100	5	2	3	0.5	0.2	6	80

4. นำยางคอมพาวด์ไปหาระยะเวลาสกอร์ช (Scorch Time, ts2) และระยะเวลาในการคงรูป (tc90) ของยางคอมพาวด์ที่เหมาะสม โดยใช้เครื่องยี่ห้อ GOTECH รุ่น GT-M 2000

5. ขึ้นรูปยางคอมพาวด์เป็นแผ่นบุผนังป้องกันเสียงโดยใช้ความร้อนด้วยเครื่องอัดร้อนยี่ห้อ Yong Fong Machinery Co., Ltd. รุ่น YFY HM -100T ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

6. นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์และทิ้งไว้ให้เย็นจะได้ต้นแบบแผ่นป้องกันเสียง

7. นำต้นแบบแผ่นป้องกันเสียงไปเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเสียงของแผ่นดูดซับเสียงที่ทราบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) และมีจำหน่ายในท้องตลาดที่ความถี่ เท่ากับ 125, 250, 500, 1,000, 2,000 และ 4,000 Hz โดยใช้ห้องจำลองสำหรับติดตั้งแผ่นวัสดุทดสอบเสียง ขนาด 30x30x30 เซนติเมตร โดยเว้นช่องว่างสำหรับติดตั้งแผ่นวัสดุ 1 ด้าน ส่วนอีก 5 ด้านบุภายในด้วยแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี และติดตั้งแผ่นโฟมหนา 12.5 เซนติเมตร รอบห้องจำลอง

8. ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอ ได้แก่ ความหนาแน่น ความแข็ง และความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ISO 354 [3]

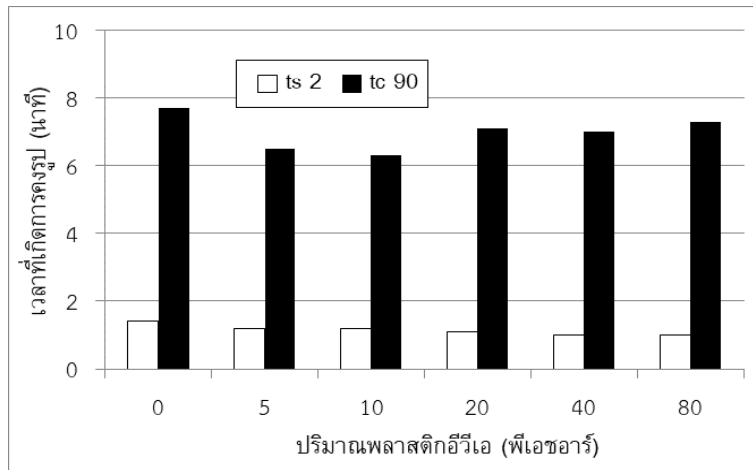
9. ส่งแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเออัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดจากผลการทดสอบข้างต้น ไปทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ด้วยวิธีอิมพีแดนซ์ทิวบ์ (Impedance tube) ตามมาตรฐาน ISO 10534-1 [4] โดยใช้ความหนาของแผ่นบุผนังป้องกันเสียง เท่ากับ 5, 20, 40 และ 50 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาที่นิยมใช้ในท้องตลาดมากที่สุด

10. เปรียบเทียบการนำไปใช้งานจริงในอาคารระหว่างแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอจากงานวิจัยและจากท้องตลาด ได้แก่ แผ่นดูดซับเสียง ยี่ห้อ PROSORB รุ่น PYRAMID SHAPE 1.5”

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการทดสอบสมบัติด้านความแข็งและความต้านทานแรงดึงเบื้องต้นของเศษพลาสติกเอทรีลีนไวนิลอะซิเตทที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมรองเท้า พบว่าแผ่นพลาสติกดังกล่าวมีค่าความหนาแน่น 190 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความแข็ง (Shore A) เท่ากับ 43 และมีค่าความต้านทานแรงดึง 4.2 เมกะพาสคัล

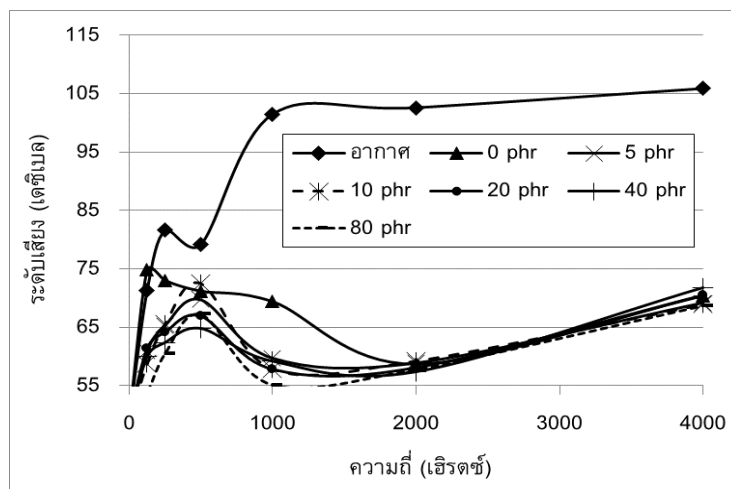
2. ผลการทดสอบหาระยะเวลาสกอร์ช (Scorch Time, ts2) และระยะเวลาในการคงรูป (tc90) ที่เหมาะสมของยางคอมพาวด์ แสดงดังรูปที่ 1



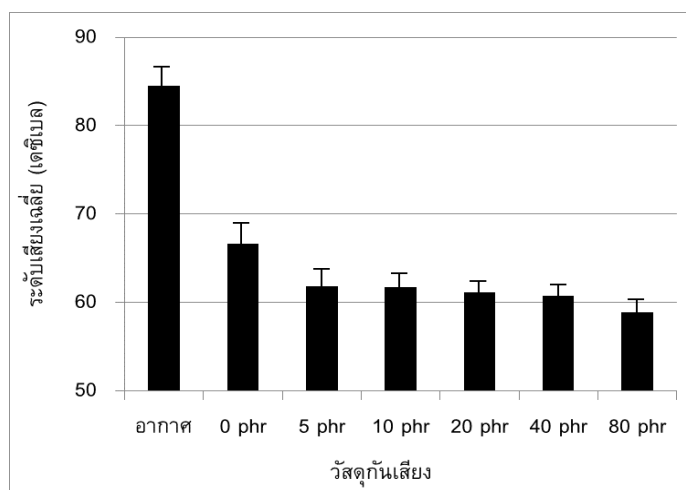
รูปที่ 1 ระยะเวลาสกอรัช (ts2) และระยะเวลาในการคงรูป (tc90) ของยางคอมพาวด์

จากรูปที่ 1 พบว่า การผสมเศษพลาสติกอีวีเอในปริมาณที่มาก จะมีส่วนทำให้ส่วนผสมจะมีความหนืดมากขึ้น เมื่อนำส่วนผสมดังกล่าวไปใส่แบบหล่อและอัดขึ้นรูป จะให้การไหลตัวของส่วนผสมได้ยากขึ้น และมีผลทำให้ระยะเวลาที่เกิดการคงรูปลดลง

3. ผลการทดสอบการป้องกันเสียงของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกเอทิลีนไวไนลอะซีเตตที่ความถี่ เท่ากับ 125, 250, 500, 1,000, 2,000 และ 4,000 เฮิร์ตซ์ (Herz; Hz) แสดงดังรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 ระดับเสียงที่ผ่านแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเออัตราส่วนต่างๆ

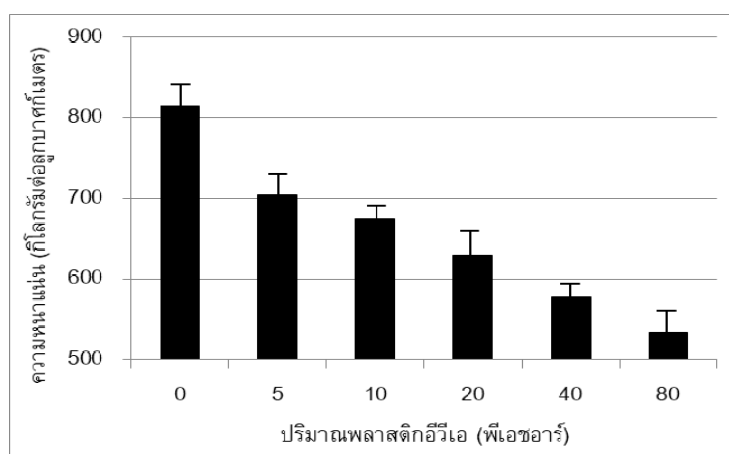


รูปที่ 3 ระดับเสียงเฉลี่ยรวมทุกความถี่ที่ผ่านแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเออัตราส่วนต่างๆ

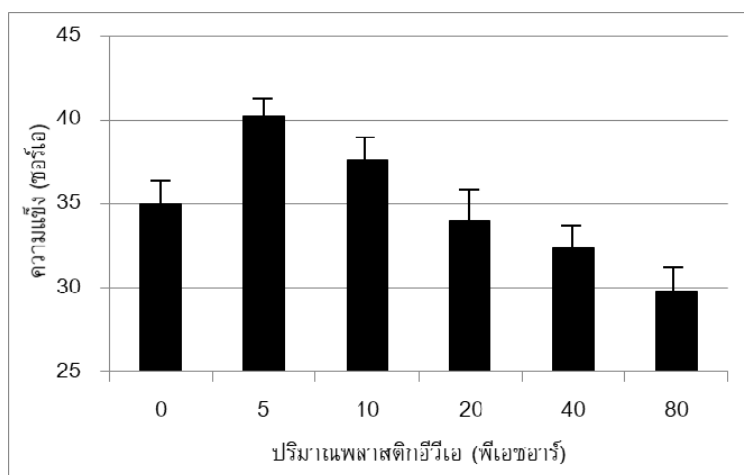
จากระดับเสียงที่ผ่านออกจากห้องจำลองในรูปที่ 2 และ 3 พบว่า แผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติที่มีการผสมพลาสติกอีวีเอในปริมาณต่ำ จะสามารถป้องกันเสียงที่มีความถี่ต่ำได้ดี ในขณะที่แผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติที่มีปริมาณพลาสติกอีวีเอสูง จะสามารถป้องกันเสียงที่มีความถี่สูงได้ดี เป็นผลมาจากการผสมพลาสติกอีวีเอในปริมาณมาก จะทำให้โครงสร้างภายในเกิดช่องว่าง กลายเป็นวัสดุแบบรูพรุน (Porous absorber) ช่วยให้เกิดการสูญเสียพลังงานในรูปของการเสียดทานและความหนืด (Frictional and Viscous Loss) ได้ จึงสามารถดูดซับเสียงในช่วงความถี่สูงได้ดี เมื่อนำระดับเสียงทุกความถี่มาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ย พบว่า แผ่นบุผนังป้องกัน

เสียงจากยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอในปริมาณมาก จะมีแนวโน้มประสิทธิภาพการป้องกันเสียงที่ดีกว่าแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติที่ผสมพลาสติกในปริมาณน้อย โดยแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอในอัตราส่วน 80 พีเอชอาร์ จะมีค่าระดับเสียงเฉลี่ย 58.91 เดซิเบล ในขณะที่แผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติที่ไม่มีพลาสติกอีวีเอ จะมีค่าระดับเสียงเฉลี่ย 66.69 เดซิเบล

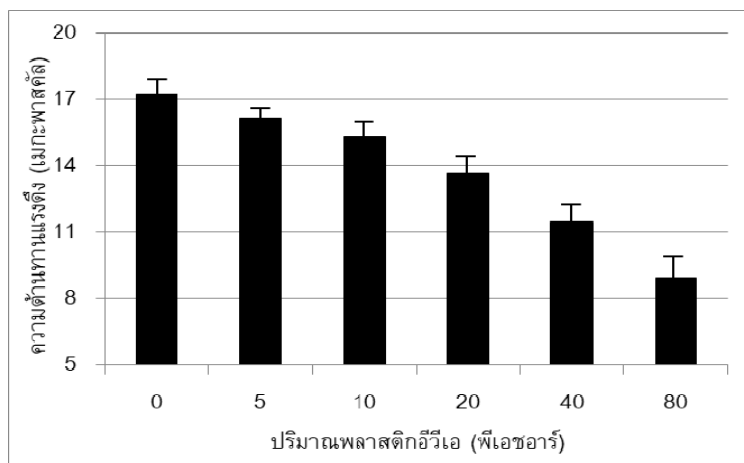
4. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นดูดซับเสียง ได้แก่ ความหนาแน่น ความแข็ง และความต้านทานแรงดึง แสดงดังรูปที่ 4 ถึง 6



รูปที่ 4 ความหนาแน่นของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเออัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 5 ความแข็งแรงของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเออัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 6 ความต้านทานแรงดึงของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเออัตราส่วนต่างๆ

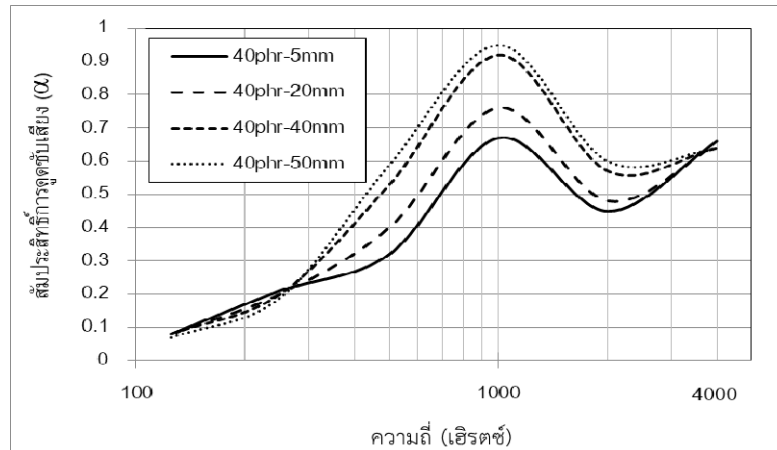
จากรูปที่ 4 พบว่า ความหนาแน่นของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ มีแนวโน้มต่ำกว่าแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติที่ไม่มีการผสมพลาสติกอีวีเอ โดยแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติที่มีการผสมพลาสติกในปริมาณ 80 ฟิเอชอาร์ (phr) เป็นอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด ทั้งนี้ เป็นผลมาจากการผสมพลาสติกอีวีเอที่มีค่าความหนาแน่นต่ำเพียง 190 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ลงในแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติ จะทำให้เกิดช่องว่างขนาดเล็กภายในเนื้อขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอมีแนวโน้มต่ำลง ส่วนผลการทดสอบความแข็งแรง แบบชอร์เอ

(Shore A) ของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอในรูปที่ 5 พบว่า พลาสติกอีวีเอมีผลต่อความแข็งแรงของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นและจะลดต่ำลงเมื่อมีการผสมพลาสติกอีวีเอที่มากขึ้นเรื่อยๆ สำหรับผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอในรูปที่ 6 พบว่า แผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติที่ผสมพลาสติกอีวีเอทุกอัตราส่วน ตั้งแต่ 5 ฟิเอชอาร์ มีส่วนทำให้ความต้านทานแรงดึงของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงดังกล่าวมีค่าลดต่ำลง ทั้งนี้ เป็นผลมาจากพลาสติกอีวีเอจากโรงงานเป็นวัสดุที่มีความต้านทานแรงดึงต่ำกว่าแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติ รวมทั้ง

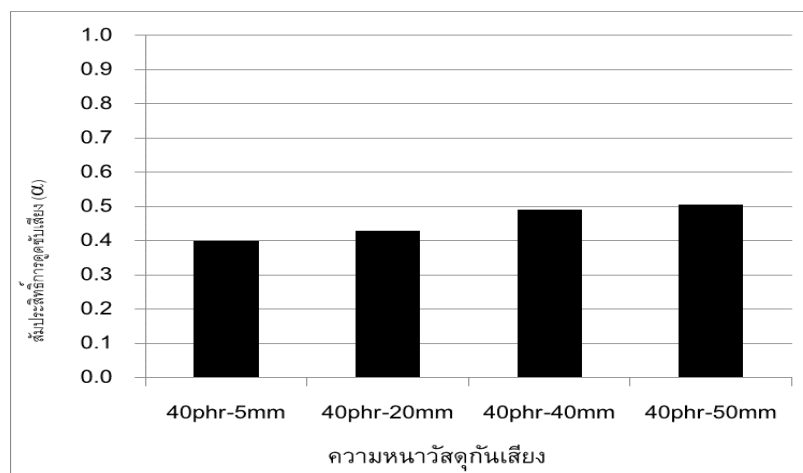
พลาสติกอีวีเอ ยังถูกผ่านการบดย่อยให้มีลักษณะเป็นเม็ดกลมสั้น จึงไม่สามารถช่วยรับแรงดึงให้กับแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติได้ ค่าความต้านทานแรงดึงจึงลดต่ำลงดังกล่าว

5. ผลจากการนำแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเออัตราส่วนที่มีพลาสติกอีวีเอ เท่ากับ 40 phr ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติที่

เหมาะสม เนื่องจากมีความต้านทานแรงดึงที่ไม่ต่ำมาก และสามารถป้องกันเสียงได้ดีตามที่ต้องการ ไปทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) โดยวิธีอิมพีแดนซ์ทิวบ์ (Impedance tube) ตามมาตรฐาน ISO 10534-1 [4] โดยใช้ความหนาของแผ่นบุป้องกันเสียง เท่ากับ 5, 20, 40 และ 50 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ 7 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเออัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 8 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเฉลี่ยของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเออัตราส่วนต่างๆ

จากผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ด้วยวิธีอิมพีแดนซ์ทิวบ์ (Impedance tube) ตามมาตรฐาน ISO 10534-1 ของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอ โดยใช้ความหนาของแผ่นบุผนัง ป้องกันเสียง เท่ากับ 5, 20, 40 และ 50 มิลลิเมตร ในรูปที่ 7 และ 8 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสม เศษพลาสติกอีวีเอในอัตราส่วน 40 phr มีค่าอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.51 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ใกล้เคียงกับแผ่นบุผนังป้องกันเสียงทั่วไปในท้องตลาด

6. ผลการเปรียบเทียบการนำไปใช้งานจริงใน อาคาร ระหว่างแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากงานวิจัยและ จากท้องตลาด พบว่า แผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยาง ธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอในอัตราส่วน 40 phr สามารถนำไปใช้งานเพื่อป้องกันเสียงได้ใกล้เคียงกับแผ่น ป้องกันเสียงในท้องตลาด

สรุป

งานวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นบุผนังป้องกัน เสียงจากยางธรรมชาติผสมกับเศษผลิตภัณฑ์พลาสติก เอทิลีนไวนิลอะซิเตท (อีวีเอ) ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติ ของพลาสติกอีวีเอ พบว่า พลาสติกอีวีเอที่นำมาใช้มีค่า ความหนาแน่น 190 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ด้านความ แข็ง เท่ากับ 43 ชอร์เอ และความต้านทานแรงดึง เท่ากับ 4.2 เมกะพาสคัล นำพลาสติกอีวีเอดังกล่าวไปย่อยผ่าน ตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) และผสมเข้ายาง ธรรมชาติแท่ง STR20 ซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริก กำมะถัน เมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล ไดฟีนิลกาวินดีน และ ออกซิเบนซีนซัลโฟนิลไฮไดรไรด์ สำหรับขึ้นรูปแผ่น บุผนังป้องกันเสียง ออกแบบอัตราส่วนของแผ่นบุผนัง ป้องกันเสียงโดยใช้ปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอ เท่ากับ 0, 5, 10, 20, 40 และ 80 พีเอชอาร์ ด้วยเครื่องผสมยางแบบ สองลูกกลิ้ง และอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดร้อนที่อุณหภูมิ

150 องศาเซลเซียส เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพการ ป้องกันเสียง คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางกล พบว่าแผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมเศษ พลาสติกอีวีเอที่อัตราส่วน 40 พีเอชอาร์ เหมาะสมที่สุด ในการผลิตในเชิงพาณิชย์ โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ เสียงของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงดังกล่าว มีค่าอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.51 แตกต่างตามความหนา ดังนั้นแผ่นบุผนัง ป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมกับเศษผลิตภัณฑ์ พลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท จึงสามารถนำไปใช้ขยาย ผลการผลิตในระดับอุตสาหกรรมเป็นแผ่นบุผนังป้องกัน เสียงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการ อุดมศึกษา (สกอ.) โครงการวิจัยและพัฒนาภาครัฐร่วม เอกชนในเชิงพาณิชย์ งบประมาณประจำปี 2554

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cowan, James, 2000. Architectural Acoustics Design Guide, New York, McGraw-Hill, Inc. 20.
- [2] Cabanaugh, William J. and Wikes, Joseph A, 1998. Architectural Acoustics: Principles and Practice, New York, John Wiley&Sons. 21.
- [3] ISO 354(en), 2003. Acoustics: Measurement of sound absorption in a reverberation room.
- [4] ISO 10534-1(en), 1996. Acoustics: determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes, Part 1: Method using standing wave ratio.



โรงแรมสีเขียว: การริเริ่มของภาครัฐเพื่อโรงแรม ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Green Hotels: Governmental Initiatives for Environmentally Friendly Hotels

Sopa Chinwetkitvanich* Worrawan Prachakaseam** and Apaporn Ruchiraset***

โสภา ชินเวทกิจวานิชย์* วรวรรณ ประชาเกษม** และ อาภาพร รุจิระเศรษฐ***

*ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10400

**กลุ่มส่งเสริมการผลิตและการบริโภคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรุงเทพฯ 10400

***คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปทุมธานี 13180

E-mail : sopa.chi@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้เริ่มดำเนินการโครงการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของโรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green Hotel) เพื่อส่งเสริมศักยภาพโรงแรมในประเทศไทยให้เกิดการใช้ทรัพยากรและพลังงานอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ มีการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดี โดยพัฒนาเกณฑ์การบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อใช้ในการตรวจประเมิน และเป็นแนวทางในการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของโรงแรมในประเทศไทย ซึ่งครอบคลุมรายละเอียดด้านต่างๆ แบ่งเป็น 6 ประเด็น รวม 45 ตัวชี้วัด คະแนนเต็มทั้งหมดเท่ากับ 150 คะแนน แบ่งระดับเกณฑ์มาตรฐานเป็น ระดับดีเยี่ยม (ทอง) ระดับดีมาก (เงิน) ระดับดี (ทองแดง) และใบประกาศนียบัตร มีโรงแรมที่เข้าร่วมโครงการโรงแรมสีเขียวนี้ในระหว่างปี 2559 และ 2560 ทั้งหมด 146 แห่ง เป็นกลุ่มโรงแรมที่ดำเนินการโดยกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมจำนวน 119 แห่ง และดำเนินการร่วมโดยองค์การบริหารการพัฒนาพื้นที่พิเศษเพื่อการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน (องค์การมหาชน) สำนักงานพื้นที่พิเศษเมืองพัทยาและพื้นที่เชื่อมโยง จำนวน 19 แห่ง และสำนักงานพื้นที่พิเศษเมืองเก่าจำนวน 8 แห่ง ผลการประเมินโรงแรมที่เข้าร่วมโครงการทั้ง 146 แห่ง มีโรงแรมที่ผ่านเกณฑ์การประเมินในระดับดีเยี่ยม (ทอง) จำนวน 52 แห่ง ระดับดีมาก (เงิน) จำนวน 39 แห่ง ระดับดี (ทองแดง) จำนวน 42 แห่ง และใบประกาศนียบัตรจำนวน 13 แห่ง ผลคะแนนการตรวจประเมินของโรงแรมที่เข้าร่วมโครงการ (146 แห่ง) มีค่าอยู่ในช่วง 62-136 คะแนน โดยมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 110 คะแนน (ร้อยละ 73) ผลการดำเนินงานทำให้โรงแรมที่เข้าร่วมโครงการได้รับความรู้และมีความเข้าใจในการวิเคราะห์การใช้ทรัพยากรของโรงแรม และการให้บริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้มากขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนเข้าร่วมโครงการ

คำสำคัญ : โรงแรมสีเขียว; โรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม; การท่องเที่ยว; อุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับงานบริการ; การรีไซเคิล

Abstract

Department of Environmental Quality Promotion (DEQP) has implemented the project to promote participation in environmentally friendly hotel (Green Hotel). Enhancement of more efficient consumption of energy and environmental resources and better environmental quality management are expected from participating hotels. Assessment criteria of environmentally friendly service for hospitality industry in Thailand have been developed and used as a guideline for participating hotels in this Green Hotel project. The criteria compose of 6 major aspects or 45 indices with full mark of 150 scores. Rewards for participants are categorized into three classes of gold, silver and bronze. During project years of 2016 and 2017, there were totally 146 participating hotels, 119 of which were supported by DEQP budget, while the others were supported by Designated Areas for Sustainable Tourism Administration (Public Organization) (DASTA). After the assessment of total 146 participating hotels, there were 52 hotels recognized as gold class score, while there were 39 hotels received silver class score and another 42 hotels received bronze class score. The others (13 hotels) got only certificate for participation. The results of assessment were in the range of 62-136 scores, the average of which was 110 scores (or 73% of full mark). In conclusion, this Green Hotel project helps the participants to learn how to practice environmentally friendly service. They have gained more understand about the importance of gathering resources consumption rate and how to analyze and utilize those data.

Keywords : green hotels; environmentally friendly hotels; tourism; hospitality industry; recycling

บทนำ

ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวกล่าวได้ว่าเป็นแหล่งรายได้สำคัญของประเทศไทย รัฐบาลมีนโยบายในการส่งเสริมและสนับสนุนอย่างต่อเนื่อง ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเกี่ยวข้องโดยตรงกับอุตสาหกรรมนี้ โดยเฉพาะการให้บริการโรงแรมซึ่งมีการบริโภคทรัพยากรธรรมชาติและมีการระบายของเสียสู่สิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม กล่าวได้ว่า ขยะเปียกที่ต้องนำไปกำจัดในหลุมฝังกลบในชุมชนใดๆ เป็นส่วนที่มาจากอุตสาหกรรมโรงแรมในพื้นที่มากกว่ากิจการประเภทอื่นๆ จึงมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำระบบจัดการสิ่งแวดล้อมหลายรูปแบบเข้ามาประยุกต์ใช้ โดยส่วนใหญ่ให้ความเห็นตรงกันว่าประเด็นทางด้านสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญกับอุตสาหกรรมนี้ ทั้งในแง่ช่วยเพิ่มความน่าสนใจในกิจกรรมการท่องเที่ยว ลดค่าใช้จ่ายในการใช้ทรัพยากร และความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจเพิ่มขึ้น [1, 2]

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นหน่วยงานภาครัฐที่สนับสนุนและส่งเสริมการดำเนินงานด้านการดูแลรักษา

สิ่งแวดล้อม จึงได้เริ่มดำเนินการโครงการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของโรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green Hotel) เพื่อส่งเสริมศักยภาพโรงแรมในประเทศไทยให้เกิดการใช้ทรัพยากรและพลังงานอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ มีการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดี โดยกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้พัฒนาจัดทำเกณฑ์การบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้ในการตรวจประเมินและเป็นแนวทางในการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของโรงแรมในประเทศไทยได้อย่างเหมาะสม

อุปกรณ์และวิธีการ

เกณฑ์การบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมครอบคลุมรายละเอียดด้านต่างๆ แบ่งเป็น 6 ประเด็น ได้แก่ (1) นโยบายด้านการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (2) การพัฒนาบุคลากร (3) การรณรงค์ประชาสัมพันธ์ (4) การจัดซื้อจัดจ้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (5) การจัดการสิ่งแวดล้อมและพลังงาน (6) การมีส่วนร่วมกับท้องถิ่นและชุมชน ทั้งนี้ ในแต่ละประเด็นมีตัวชี้วัดและเกณฑ์การให้คะแนนตรวจประเมินที่พัฒนาให้เหมาะสมกับ

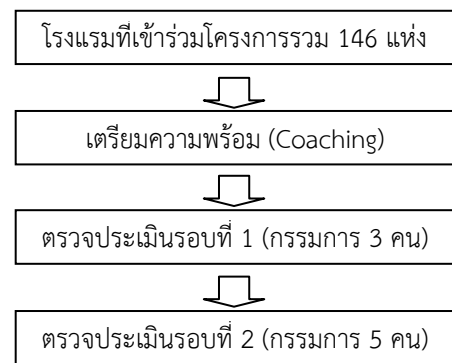
โรงแรมในประเทศไทย โดยมีตัวชี้วัดรวมทั้งหมด 45 ตัวชี้วัด [3, 4] คะแนนเต็มทั้งหมดเท่ากับ 150 คะแนน (ตารางที่ 1) แบ่งระดับเกณฑ์มาตรฐานเป็นระดับดีเยี่ยม (ทอง) ได้คะแนนตั้งแต่ร้อยละ 80 ขึ้นไป ระดับดีมาก (เงิน) ได้คะแนนอยู่ในช่วงร้อยละ 70-79 ระดับดี (ทองแดง) ได้คะแนนอยู่ในช่วงร้อยละ 60-69 และใบประกาศนียบัตรสำหรับโรงแรมที่ได้คะแนนต่ำกว่าร้อยละ 60

ในการดำเนินงานระหว่างปี 2559-2560 มีโรงแรมที่เข้าร่วมในโครงการจำนวน 146 แห่ง โดยจังหวัดที่มีโรงแรมเข้าร่วมโครงการมากที่สุดคือ กรุงเทพมหานคร มีจำนวน 26 แห่ง รองลงมาคือจังหวัดภูเก็ต มีจำนวน

23 แห่ง และ จังหวัดชลบุรี มีจำนวน 19 แห่ง (อยู่ในเขตพื้นที่พิเศษเมืองพัทยา) แนวทางการดำเนินงานของโครงการ คือ มีคณะทำงานดำเนินการเตรียมความพร้อมให้กับโรงแรมที่เข้าร่วมโครงการก่อนเข้ารับการตรวจประเมิน จากนั้น คณะกรรมการตรวจประเมินที่ได้รับการแต่งตั้งจากกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมจำนวน 3 คน ดำเนินการตรวจประเมินให้คะแนน โดยพิจารณาให้คะแนนร่วมกัน ถ้าผลการตรวจประเมินได้รับคะแนนในระดับดีเยี่ยม (ทอง) จะได้รับการตรวจประเมินซ้ำอีกครั้ง โดยคณะกรรมการจำนวน 5 คน แนวทางการดำเนินงานดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ประเด็น	คะแนนเต็ม
1. นโยบายด้านการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	15
2. การพัฒนาบุคลากร	10
3. การรณรงค์ประชาสัมพันธ์	12
4. การจัดซื้อจัดจ้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	15
5. การจัดการสิ่งแวดล้อมและพลังงาน	88
6. การมีส่วนร่วมของท้องถิ่นและชุมชน	10
รวม	150



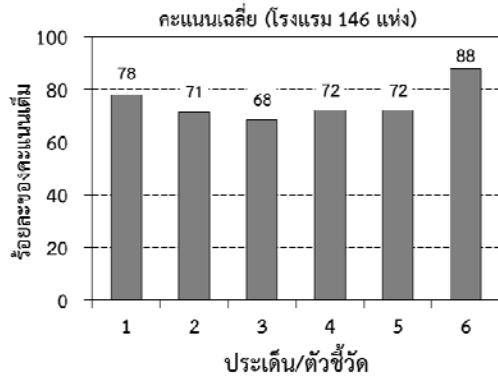
รูปที่ 1 แนวทางการดำเนินงานของโครงการ

ผลการทดลองและวิจารณ์

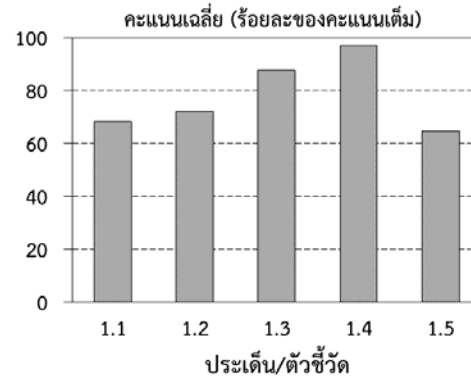
ผลการประเมินโรงแรมที่เข้าร่วมโครงการทั้ง 146 แห่ง มีโรงแรมที่ผ่านเกณฑ์การประเมินในระดับดีเยี่ยม (ทอง) จำนวน 52 แห่ง ระดับดีมาก (เงิน) จำนวน 39 แห่ง ระดับดี (ทองแดง) จำนวน 42 แห่ง และใบประกาศนียบัตรจำนวน 13 แห่ง ค่าเฉลี่ยของผลคะแนนการตรวจประเมินของโรงแรมที่เข้าร่วมโครงการ (146 แห่ง) มีค่าเท่ากับ 110 คะแนน (คิดเป็นร้อยละ 73 ของคะแนนเต็ม 150 คะแนน) โดยคะแนนสูงสุดเท่ากับ 136 คะแนน (คิดเป็นร้อยละ 91 ของคะแนนเต็ม) และคะแนนต่ำสุดเท่ากับ 62 คะแนน (คิดเป็นร้อยละ 41 ของคะแนนเต็ม) มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) เท่ากับ 16.4 คะแนน เมื่อพิจารณาผลรวมคะแนนในแต่ละประเด็น (6 ประเด็น) พบว่าคะแนนรวมแต่ละประเด็นอยู่ในระดับร้อยละ 68-88 ของคะแนนเต็ม (รูปที่ 2) โดยประเด็นที่โรงแรมส่วนใหญ่ทำคะแนนได้

ค่อนข้างสูง (ร้อยละ 88 ของคะแนนเต็ม) คือ ประเด็นที่ 6 เรื่องการมีส่วนร่วมของท้องถิ่นและชุมชน ส่วนประเด็นที่โรงแรมส่วนใหญ่ทำคะแนนได้น้อยที่สุดคือ ประเด็นที่ 3 เรื่องการรณรงค์ประชาสัมพันธ์ (ร้อยละ 68 ของคะแนนเต็ม)

สำหรับในประเด็นที่ 1 นโยบายด้านการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จากรูปที่ 3 จะเห็นว่า คะแนนเฉลี่ยในแต่ละตัวชี้วัดอยู่ในช่วงร้อยละ 65-97 ของคะแนนเต็ม ทั้งนี้ การกำหนดนโยบายและเป้าหมายด้านการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและการอนุรักษ์พลังงาน (ตัวชี้วัดที่ 1.1 และ 1.2) เป็นประเด็นที่โรงแรมสามารถจัดทำข้อมูล/เอกสารได้ แต่การกำหนดเป้าหมายที่เป็นรูปธรรมและแนวทางปฏิบัติให้ได้ตามเป้าหมายยังคงเป็นจุดอ่อน สำหรับประเด็นที่โรงแรมส่วนใหญ่สามารถทำคะแนนได้ดีมาก (คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 97 ของคะแนนเต็ม) คือ ตัวชี้วัดที่ 1.4 การแต่งตั้งคณะทำงานด้านสิ่งแวดล้อม “Green Team” และมีการกำหนดความรับผิดชอบของแต่ละแผนกเพื่อรองรับการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2 ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยในแต่ละประเด็น



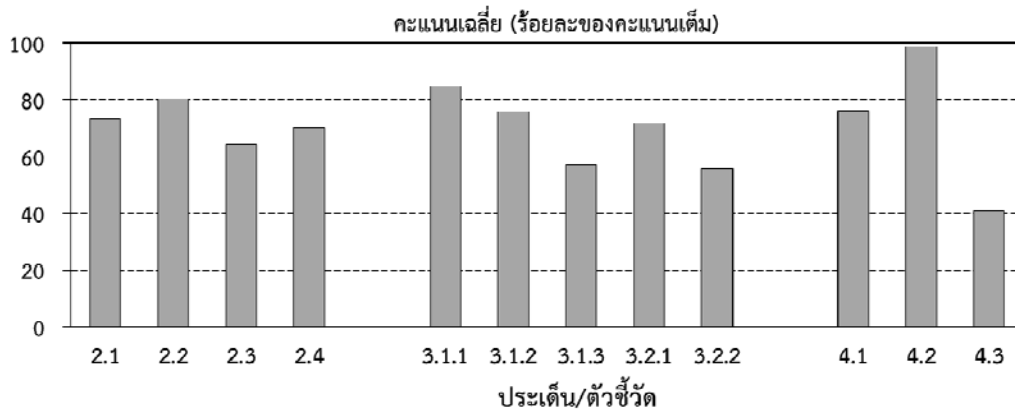
รูปที่ 3 คะแนนเฉลี่ยในประเด็นที่ 1

สำหรับประเด็นที่ 2 เรื่องการพัฒนาบุคลากร พบว่าโรงแรมขนาดใหญ่ที่มีจำนวนพนักงานจำนวนมากจะมีการจัดอบรมให้กับพนักงานอยู่ในแผนการพัฒนาศักยภาพอยู่แล้ว รวมทั้งสนับสนุนให้พนักงานไปอบรม/สัมมนากับหน่วยงานภายนอก หากเป็นโรงแรมที่บริหารด้วยเครือจากต่างประเทศ มักจะมีประเด็นทางด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและพลังงานรวมอยู่ด้วยแล้วในแผนพัฒนาอบรม สำหรับโรงแรมขนาดกลางและเล็กอาจมีแผนพัฒนาบุคลากรที่ด้อยกว่า เนื่องจากจำนวนพนักงานมีจำกัดต่อการให้บริการ ทำให้คะแนนเฉลี่ยของตัวชี้วัดที่ 2.1 อยู่ในระดับร้อยละ 73 ของคะแนนเต็ม (รูปที่ 4) สำหรับตัวชี้วัดที่ 2.3 มีการจัดการศึกษา/ดูงานให้กับคณะทำงานด้านสิ่งแวดล้อมฯ มีคะแนนเฉลี่ยไม่สูงมาก (ร้อยละ 64) เนื่องจากบางโรงแรมไม่เข้าใจว่าการจัดการศึกษาดูงานให้กับคณะทำงานด้านสิ่งแวดล้อมควรมีลักษณะแนวทางอย่างไร

ในประเด็นที่ 3 เรื่องการรณรงค์ประชาสัมพันธ์ (รูปที่ 4) พบว่ามีคะแนนเฉลี่ยค่อนข้างดีในตัวชี้วัดที่ 3.1.1 ในรอบปีที่ผ่านมา มีการประชาสัมพันธ์ความรู้เกี่ยวกับการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของโรงแรม ผ่านสื่อประเภทต่างๆ (ร้อยละ 85) และตัวชี้วัดที่ 3.1.2 ในรอบปีที่ผ่านมา มีการจัดกิจกรรมรณรงค์ เพื่อสร้างความรู้ ความตระหนัก และจิตสำนึกในการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (ร้อยละ 76) เนื่องจากโรงแรมสามารถผนวกประเด็นที่เกี่ยวข้องกับอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเข้าไปในกิจกรรมสร้างสรรค์ของพนักงานที่มีอยู่แล้วได้โดยง่าย ส่วน

ตัวชี้วัดที่ 3.1.3 พนักงานมีความรู้เกี่ยวกับการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของโรงแรม เป็นประเด็นที่มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 57) เนื่องจากการจัดเตรียมข้อมูลหรือเอกสารนำเสนอเชิงประจักษ์ทำได้ค่อนข้างยาก สำหรับการรณรงค์ประชาสัมพันธ์ให้กับผู้ใช้บริการทั่วไป (ตัวชี้วัดที่ 3.2.1) เป็นประเด็นที่โรงแรมส่วนใหญ่ปฏิบัติได้ดีในระดับหนึ่ง (ร้อยละ 72) โดยเฉพาะการรณรงค์ขอความร่วมมือใช้ผ้าเช็ดตัว ซึ่งนิยมนรณรงค์กันแพร่หลายในโรงแรมทั่วโลกและได้รับความร่วมมือจากผู้เข้าพักอย่างมีนัยสำคัญ [5, 6] อย่างไรก็ตาม ต้องยอมรับว่าการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอาจลดความพึงพอใจของผู้ใช้บริการ Kim และคณะ [7] แนะนำว่าควรประชาสัมพันธ์ให้ผู้เข้าพักมีแรงจูงใจที่จะมีส่วนร่วมกับการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของโรงแรมด้วย ดังนั้น หากโรงแรมมีความเข้าใจในการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ก็จะสามารถหาแนวทางในการประชาสัมพันธ์เชิงลึกให้กับผู้ใช้บริการทั่วไปของโรงแรมได้ดียิ่งขึ้น

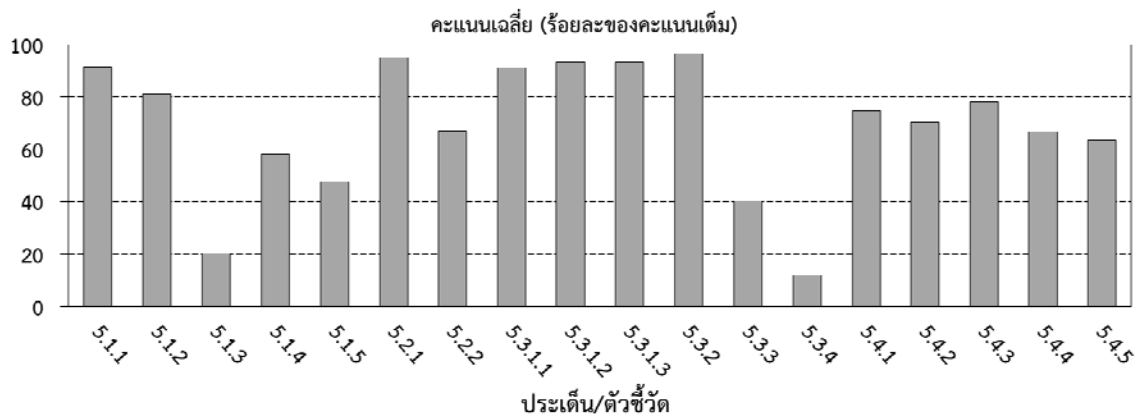
สำหรับประเด็นที่ 4 การจัดซื้อจัดจ้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (รูปที่ 4) พบว่าโรงแรมมีความพร้อมและมีเจตนาเลือกใช้สินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในระดับหนึ่ง แต่ยังคงขาดความรู้ความเข้าใจที่จะพิจารณาสินค้าจากการแสดงฉลากหรือข้อเท็จจริงของผลิตภัณฑ์ และทุกโรงแรมมีแนวทางที่จะจัดซื้อผลิตภัณฑ์หรือวัสดุจากพื้นที่ใกล้เคียงอยู่แล้ว เพื่อความสดใหม่ของสินค้าและลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง



รูปที่ 4 คะแนนเฉลี่ยในประเด็นที่ 2-4

ประเด็นที่ 5 เรื่องการจัดการสิ่งแวดล้อมและพลังงาน ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการใช้ทรัพยากร รวมทั้งการจัดการมลพิษและสภาพแวดล้อม จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่า ในประเด็นที่ 5.1 เรื่องการจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพ โรงแรมส่วนใหญ่สามารถทำคะแนนในตัวชี้วัดที่ 5.1.1 มีกิจกรรมการลดการใช้น้ำสำหรับผู้ใช้บริการและพนักงานในสถานประกอบการ และตัวชี้วัดที่ 5.1.2 มีการใช้อุปกรณ์ประหยัดน้ำ หรือการจัดการน้ำในบริเวณต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับสถานประกอบการ ได้ค่อนข้างดี (คะแนนเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 80 ของคะแนนเต็ม) ซึ่งโรงแรมทุกแห่งมีการดำเนินการทั้งกิจกรรมลดการใช้น้ำและการใช้อุปกรณ์ประหยัดน้ำอยู่บ้างแล้ว โดยเฉพาะในกรณีปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เพื่อทดแทนหรือซ่อมแซม จะเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีเทคโนโลยีในการประหยัดน้ำเกือบทั้งสิ้น สำหรับตัวชี้วัดที่ 5.1.5 ร้อยละของการลดการใช้น้ำ ซึ่งกำหนดให้แสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตรของน้ำใช้ต่อผู้เข้าพัก (guest night) ช่วยทำให้การวิเคราะห์ผลสำเร็จของการดำเนินการของโรงแรมมีความชัดเจนมากขึ้น และสามารถปรับเปลี่ยนแนวทางปฏิบัติให้เหมาะสมได้อย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ตัวชี้วัดที่ 5.1.3 มีการนำน้ำที่ผ่านการใช้แล้วหรือน้ำที่ผ่านการบำบัดฟื้นฟูคุณภาพแล้วมาใช้ประโยชน์ที่เหมาะสมและปลอดภัยเพื่อลดการใช้น้ำ เป็นประเด็นที่ดำเนินการได้ค่อนข้างยาก (คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 20 ของคะแนนเต็ม) สอดคล้องกับตัวชี้วัดที่ประสบความสำเร็จได้น้อยในการศึกษาของ Hsiao และคณะ [8] ปัญหาของการดำเนินการในตัวชี้วัดนี้ มีข้อสังเกตดังต่อไปนี้

- ปัญหาการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง ปัจจัยสำคัญคือบุคลากรขาดความรู้ความเข้าใจในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์
- โรงแรมบางแห่งมีระบบบำบัดน้ำเสียชนิดติดกับที่ (On-site treatment) หรือระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียไม่เอื้อต่อการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างปลอดภัย
- ข้อจำกัดทางกายภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียตั้งแต่แรกเริ่ม ไม่ได้รองรับวัตถุประสงค์การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ ทำให้มีข้อจำกัด เช่น ไม่มีพื้นที่สำรองในการเก็บรวบรวมน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเพื่อรอการนำไปใช้ใหม่ แนวระบบท่อไม่เหมาะสมที่จะดึงน้ำไปใช้ในส่วนที่ต้องการ เป็นต้น
- การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ ควรมีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำอย่างสม่ำเสมอ และมีความถี่พอสมควร แต่การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมีค่าใช้จ่าย และในบางพื้นที่ไม่มีห้องปฏิบัติการที่สามารถรองรับการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อใช้พิจารณาความปลอดภัยในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยเฉพาะพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ เช่น Total coliform และอื่นๆ



รูปที่ 5 คะแนนเฉลี่ยในประเด็นที่ 5.1 – 5.2

สำหรับประเด็นที่ 5.2 เรื่องการจัดการน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากโรงแรมที่เข้าร่วมโครงการฯ อยู่ในพื้นที่ท่องเที่ยวสำคัญเป็นส่วนใหญ่ ต้องมีการจัดการน้ำเสียตามที่กฎหมายควบคุมและมีหน่วยงานท้องถิ่นกำกับดูแล ดังนั้น ทุกโรงแรมจะมีระบบบำบัดน้ำเสียชนิดใดชนิดหนึ่งอยู่ในระบบการจัดการน้ำเสียของโรงแรม เช่น ระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปหรือน้อยระบบเกราะ (septic) ส่วนโรงแรมที่มีขนาดใหญ่ตามประกาศของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่จำเป็นต้องทำรายงานประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการ มักจะมีระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูงใช้งานภายในโรงแรม ทั้งนี้ หากการเดินระบบบำบัดน้ำเสียทำได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ การนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่จะมีความเป็นไปได้ค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตาม ในตัวชี้วัดที่ 5.2.2 มีระบบบำบัดน้ำเสียหรือวิธีการจัดการน้ำเสียที่เหมาะสม มีคะแนนเฉลี่ยไม่สูงมาก (ร้อยละ 67 ของคะแนนเต็ม) (รูปที่ 7) เนื่องจากปัญหาคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมักจะไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งตามกฎหมายในบางพารามิเตอร์ พบว่าปัญหาดังกล่าวเป็นผลสืบเนื่องมาจากการควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสียได้ไม่ดีเพียงพอเป็นสำคัญ โดยเฉพาะระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเตดสลัดจ์ที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูง แต่มีความซับซ้อนต้องการบุคลากรที่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบเป็นอย่างดี จึงจะสามารถควบคุมดูแลและบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับประเด็นที่ 5.3 การจัดการขยะที่มีประสิทธิภาพ พบว่าเกือบทุกโรงแรมมีกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะตามหลัก 3 R ได้คะแนนเฉลี่ยสูงกว่าร้อยละ 90 ของคะแนนเต็ม (รูปที่ 7) คือมีการดำเนินการในตัวชี้วัดที่ 5.3.1.1 มีการดำเนินการลดการเกิดขยะ (Reduce) และตัวชี้วัดที่ 5.3.1.2 มีการดำเนินการใช้ซ้ำ (Reuse) อยู่แล้วภายในโรงแรม แต่โดยส่วนใหญ่ยังเป็นการจัดกิจกรรมตามกระแสนิยม ยกเว้นในตัวชี้วัดที่ 5.3.1.3 มีการคัดแยกแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ที่มีความเข้มข้นมากกว่ากิจกรรมอื่น เนื่องจากสามารถก่อรายได้จากการขายขยะที่คัดแยกแล้วได้ ทั้งนี้ มีข้อสังเกตว่าหากพนักงานได้ประโยชน์ในรายได้ที่ได้จากการขายขยะ เช่น จัดเก็บเป็นกองทุนสวัสดิการให้พนักงานใช้ทำกิจกรรมหรือให้พนักงานกูดอกเบี้ยต่ำ พนักงานจะให้ความร่วมมือในการคัดแยกขยะมากขึ้น และการคัดแยกขยะมีประสิทธิภาพดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ส่วนตัวชี้วัดที่ 5.3.2 มีระบบการรวบรวมและส่งขยะกำจัดอย่างเหมาะสม ทุกโรงแรมให้ความสำคัญกับประเด็นนี้เนื่องจากขยะตกค้างในโรงแรมส่งผลกระทบต่อ การให้บริการและภาพลักษณ์ของโรงแรม อีกทั้ง หน่วยงานท้องถิ่นให้ความสำคัญกับการเก็บรวบรวมขยะให้กับกิจการโรงแรมเนื่องจากกิจการโรงแรมเหล่านี้เป็นผู้เสียภาษีที่มีนัยสำคัญให้กับหน่วยงานปกครองส่วนท้องถิ่น และเป็นภาพลักษณ์ต่อการท่องเที่ยวในพื้นที่ซึ่งเป็นแหล่งรายได้ทางอ้อมด้วย อย่างไรก็ตาม มีคำกล่าวอ้างของพนักงานในโรงแรมว่าผู้ให้บริการเก็บรวบรวมและขนส่งขยะไปกำจัดในหลายพื้นที่ทั้งในส่วนภูมิภาคและในบางพื้นที่ของกรุงเทพมหานคร เคย

ปฏิเสธที่จะให้บริการเก็บรวบรวมกากไขมันหรือคิคาบริการเพิ่มเติมโดยไม่มีหลักเกณฑ์ หรือพบความเป็นไปได้ที่อาจมีการทุจริต คอรัปชั่น เอื้อประโยชน์ให้พวกพ้องของตนเองในการให้บริการเก็บรวบรวม/ขนส่ง/กำจัดขยะของหน่วยงานปกครองส่วนท้องถิ่นในบางพื้นที่ ทำให้กิจการโรงแรมตกอยู่ในภาวะจำยอม และมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมอย่างไม่สมเหตุผล สำหรับตัวชี้วัดที่ 5.3.3 มีการรายงานข้อมูล/สถิติด้านการจัดการขยะต่อผู้บริหาร และ 5.3.4 ความสามารถในการลดปริมาณขยะภายในสถานประกอบการก่อนที่จะส่งกำจัดได้น้อยกว่าร้อยละ 5 ต่อปี นั้น เป็นประเด็นที่ดำเนินการได้ยากที่สุด โรงแรมส่วนใหญ่ยังมีอุปสรรคในการบันทึกข้อมูลสถิติปริมาณขยะ (ทุกประเภท) เนื่องจากการบันทึกข้อมูลน้ำหนักขยะจำเป็นต้องได้รับความร่วมมืออย่างจริงจังจกพนักงาน ทำให้การจัดการขยะภายในโรงแรมขาดข้อมูลชี้วัดเพื่อชี้บอกความสำเร็จอย่างเป็นรูปธรรม จะเห็นได้จากคะแนนเฉลี่ยที่ได้มีเพียงร้อยละ 12 ของคะแนนเต็ม (รูปที่ 7) โดยส่วนใหญ่ โรงแรมจะมีข้อมูลสถิติของขยะรีไซเคิลเนื่องจากมีการขายขยะและมีรายได้ตามน้ำหนักของขยะ แต่ข้อมูลขยะส่วนอื่นๆ เช่น ขยะอินทรีย์ ขยะเศษอาหาร ขยะทั่วไป แม้จะมีการจัดเก็บรวบรวมขยะ แต่การชั่งน้ำหนักและบันทึกข้อมูลมีน้อย ในประเด็นนี้วิธีการจัดการหรือแนวทางปฏิบัติเพื่อให้ได้ข้อมูลน้ำหนักขยะทุกประเภทของโรงแรมจำเป็นต้องเกิดจากการพูดคุยและวิเคราะห์ปัญหาหารือร่วมกันระหว่างผู้บริหารและปฏิบัติ เช่น การชั่งน้ำหนักตั้งแต่จุดกำเนิดขยะ ข้อดี คือ เป็นแนวทางที่ช่วยแบ่งภาระการชั่งน้ำหนักขยะให้พนักงานทุกฝ่ายได้ร่วมมือกันไม่เป็นภาระแก่ฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งมากเกินไป ข้อเสียคือ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เครื่องชั่ง แบบฟอร์มบันทึกหลายชุด การรวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่งให้ได้รวดเร็ว และมีความถูกต้องเป็นเรื่องไม่่ง่าย ส่วนการชั่งน้ำหนักที่จุดรวบรวมขยะ ข้อดี คือ มีการชั่งที่จุดใดจุดหนึ่ง มีผู้รับผิดชอบในการบันทึกข้อมูลชัดเจน การทำความเข้าใจในการบันทึกข้อมูลให้ตรงกันทำได้ง่ายกว่า ข้อเสียคือ กลายเป็นภาระของพนักงานไม่กี่คน ขาดการมีส่วนร่วมจากพนักงานส่วนใหญ่ เป็นต้น

สำหรับประเด็นที่ 5.4 การจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพ (รูปที่ 7) พบว่าในตัวชี้วัดที่ 5.4.1 มีการลดการใช้พลังงานในสถานประกอบการ โรงแรมส่วนใหญ่มีการดำเนินการเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

เนื่องจากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเป็นต้นทุนสำคัญ เช่น การปรับตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส ในห้องประชุมและสำนักงาน โรงแรมบางแห่งมีระบบควบคุมการเปิด-ปิดและควบคุมอุณหภูมิจากส่วนกลาง มีการตรวจสอบและลดการใช้แสงสว่างที่ไม่จำเป็น มีกำหนดช่วงเวลาเปิด-ปิดหลอดไฟให้แสงสว่างทั้งในรูปแบบอัตโนมัติหรือใช้บุคลากรดำเนินการ การใช้เทคโนโลยีช่วยควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้เข้าพัก เช่น มีอุปกรณ์ป้องกันไม่ให้ผู้เข้าพักปรับอุณหภูมิระบบปรับอากาศเอง สามารถช่วยโรงแรมประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าและลดการสูญเสียได้อย่างมีนัย [9] ส่วนโรงแรมที่อยู่ในพื้นที่ท่องเที่ยวชายทะเลหรือโรงแรมประเภทรีสอร์ทส่วนใหญ่จะมีพื้นที่ให้บริการที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ สำหรับตัวชี้วัดที่ 5.4.2 มีการใช้เทคโนโลยีหรืออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานในบริเวณต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับสถานประกอบการ เป็นแนวทางที่เป็นไปได้มากที่สุดสำหรับโรงแรมที่จะดำเนินการ แต่การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์หรือเทคโนโลยีเพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพมากขึ้นมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง โรงแรมที่มีการลงทุนดำเนินการปรับปรุงมักทำด้วยเหตุผลเนื่องจากอุปกรณ์หมดอายุการใช้งานหรือชำรุด หรือเป็นอาคารควบคุมตามกำหนดในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน มีหน้าที่ต้องจัดการพลังงานให้ได้ตามมาตรฐาน หรือกรณีได้รับการสนับสนุนจากกระทรวงพลังงานที่จัดสรรงบประมาณเพื่อจูงใจให้มีการปรับเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ มีการใช้พลังงานทดแทนในกิจการโรงแรมบ้าง โดยส่วนใหญ่จะเป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำน้ำร้อน ส่วนตัวชี้วัดที่ 5.4.3 มีการประหยัดพลังงานของผู้เข้าพัก/พนักงานในการเดินทาง โรงแรมส่วนใหญ่จะมีให้บริการรถรับส่งพนักงานอย่างน้อยตามจุดสำคัญๆ รวมทั้งให้บริการแกลูกค้าเพื่อส่งเสริมให้มีการเดินทางร่วมกันและเป็นบริการเสริมให้กับลูกค้า สำหรับการเดินทางโดยใช้บริการสาธารณะมักพบเฉพาะในโรงแรมที่อยู่ในตัวเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบรถสาธารณะที่เพียงพอและเหมาะสม โรงแรมบางแห่งในกรุงเทพมหานครเสนอบัตรเดินทางด้วยรถไฟฟ้าเป็นของแถมหรือโปรโมชั่นเพื่อจูงใจให้ลูกค้าเลือกใช้บริการที่พกของโรงแรม สำหรับตัวชี้วัดที่ 5.4.4 มีการรายงานข้อมูล/สถิติการใช้พลังงานหรือค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเพื่อประโยชน์ในการติดตามการใช้

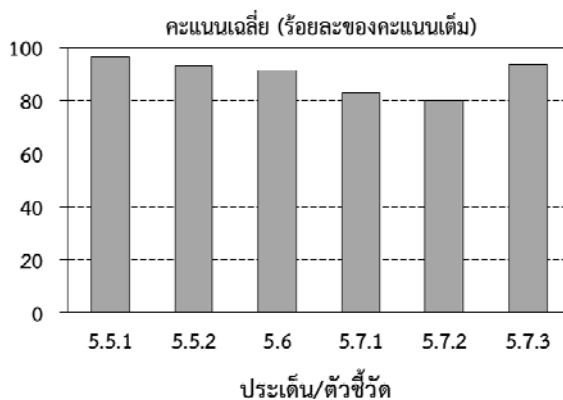
หรือการลดใช้พลังงานต่อผู้บริหาร และตัวชี้วัดที่ 5.4.5 มีความสามารถในการลดการใช้พลังงานได้ เมื่อเปรียบเทียบกับเดือนเดียวกันของแต่ละปี (หน่วยไฟฟ้าต่อผู้เข้าพัก (guest night)) เป็นตัวชี้วัดที่โรงแรมส่วนใหญ่สามารถรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ทางด้านสถิติได้อย่างชัดเจน (คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 67 และ 63 ตามลำดับ) ซึ่งมากกว่าคะแนนในประเด็นเกี่ยวกับการรายงานข้อมูลด้านการใช้น้ำหรือการจัดการขยะ เนื่องจากผู้ให้บริการไฟฟ้าในประเทศไทยมีการจัดเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของลูกค้าอย่างเป็นระบบ สามารถขอบันทึกการใช้ไฟฟ้าย้อนหลังกับหน่วยงานของการไฟฟ้าในพื้นที่ได้ อีกทั้งค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเป็นค่าใช้จ่ายสำคัญที่มีต่อต้นทุนการให้บริการของโรงแรม ทำให้โรงแรมส่วนใหญ่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลในประเด็นนี้เพื่อวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของโรงแรม

สำหรับประเด็นที่ 5.5 การจัดการอากาศและเสียง โรงแรมส่วนใหญ่สามารถทำคะแนนได้ค่อนข้างสูง คือมากกว่าร้อยละ 93 ของคะแนนเต็ม (รูปที่ 6) โดยตัวชี้วัดที่ 5.5.1 มีการจัดการพื้นที่เพื่อป้องกันเสียงรบกวนจากสถานประกอบการสู่ภายนอก โรงแรมส่วนใหญ่สามารถทำได้เกือบทุกข้อ เนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งของการบริการและผลกระทบต่อชุมชนรอบข้างที่ชัดเจน จึงเป็นประเด็นที่โรงแรมดูแลและให้ความสำคัญ สำหรับตัวชี้วัดที่ 5.5.2 การป้องกันกลิ่น คิว้นและฝุ่นละออง ทุกโรงแรมที่เข้าร่วมในโครงการนี้ ให้ความสำคัญกับการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่มี

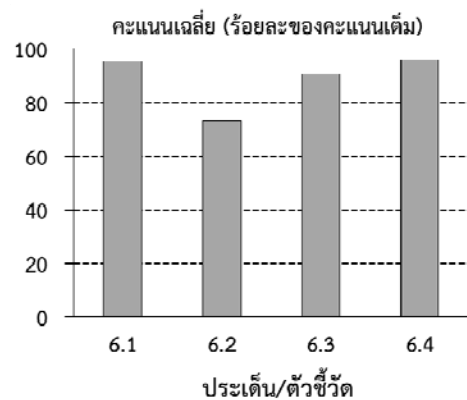
สาร CFC เป็นส่วนประกอบ อีกทั้ง ส่งเสริมการเป็นโรงแรมปลอดบุหรี่ มีการกำหนดพื้นที่สูบบุหรี่เฉพาะ นอกจากนี้ บางโรงแรมยังมีโครงการส่งเสริมและให้รางวัลพนักงานที่สามารถเลิกสูบบุหรี่ได้ แต่ยังมีโรงแรมบางแห่งที่ยังมีการใช้สารปรับกลิ่น หรือสารฆ่าแมลงที่เป็นสารเคมีอันตราย

สำหรับประเด็นที่ 5.6 อาชีวอนามัยและความปลอดภัย เป็นอีกประเด็นที่โรงแรมสามารถทำคะแนนได้ค่อนข้างสูง (รูปที่ 6) เนื่องจากเป็นข้อกำหนดตามกฎหมาย กล่าวคือ เกือบทุกโรงแรมมีการใช้อุปกรณ์ป้องกันอัคคีภัยที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและมีการอบรมซ้อมป้องกันอัคคีภัยตามที่กฎหมายกำหนด มีระบบตรวจสอบป้องกันและรักษาความปลอดภัยตลอด 24 ชั่วโมง มีการติดตามตรวจสอบระบบป้องกันอัคคีภัยและอุปกรณ์รักษาความปลอดภัยเป็นประจำ

สำหรับประเด็นที่ 5.7 การจัดการพื้นที่สีเขียวและภูมิทัศน์ สำหรับโรงแรมที่ไม่ได้อยู่ในตัวเมือง มักจะมีการออกแบบพื้นที่ให้มีพื้นที่ว่างและพื้นที่สีเขียวอย่างเพียงพออยู่แล้ว เพื่อความสวยงามและการให้บริการ แต่สำหรับโรงแรมที่อยู่ในเขตเมือง เช่น ในกรุงเทพมหานครหรือในตัวเมืองเชียงใหม่ พื้นที่ว่างและพื้นที่สีเขียวอาจมีค่อนข้างน้อย ทำให้คะแนนเฉลี่ยในตัวชี้วัดที่ 5.7.1 จัดให้มีพื้นที่ว่างหรือพื้นที่ที่ไม่มีอาคารปกคลุม และ 5.7.2 จัดให้มีพื้นที่ปลูกต้นไม้เพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวอย่างยั่งยืน อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 80-83 ของคะแนนเต็ม (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 คะแนนเฉลี่ยในประเด็นที่ 5.5 – 5.7



รูปที่ 7 คะแนนเฉลี่ยในประเด็นที่ 6

สำหรับประเด็นที่ 6 การมีส่วนร่วมกับท้องถิ่นและชุมชน โรงแรมส่วนใหญ่ทำคะแนนเฉลี่ยได้ค่อนข้างสูงอยู่ในช่วงร้อยละ 73-96 ของคะแนนเต็ม (รูปที่ 7) โดยเฉพาะตัวชี้วัดที่ 6.1 พนักงานที่มีภูมิลำเนาในจังหวัดที่สถานประกอบการตั้งอยู่ๆ เกือบทุกโรงแรมจะมีพนักงานส่วนใหญ่ที่มีภูมิลำเนาในจังหวัดที่โรงแรมตั้งอยู่ในตัวชี้วัดที่ 6.2 การมีส่วนร่วมและสนับสนุนกิจกรรมของท้องถิ่นและชุมชน ด้านการรักษาสิ่งแวดล้อม หรือนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติ โรงแรมส่วนใหญ่ทำคะแนนได้ต่ำกว่าตัวชี้วัดอื่นๆ คือ เฉลี่ยร้อยละ 78 ของคะแนนเต็ม ส่วนตัวชี้วัดที่ 6.3 การมีส่วนร่วมและสนับสนุนกิจกรรมของท้องถิ่นและชุมชน ด้านประวัติศาสตร์ท้องถิ่น ประเพณี หรือศิลปวัฒนธรรม หรือเอกลักษณ์ของท้องถิ่นนั้น โรงแรมที่อยู่ในภูมิภาคต่างๆ มักจะมีส่วนร่วมกับท้องถิ่นและชุมชนเป็นประจำ มีการแต่งกายชุดไทยตามวาระและเทศกาลประเพณีไทยต่างๆ รวมทั้งมีกิจกรรม เช่น สอนทำอาหารไทย ให้บริการแก่ลูกค้า เป็นต้น ตัวชี้วัดที่ 6.4 มีการใช้ผลิตภัณฑ์ภายในโรงแรม/ของที่ระลึกที่เป็นของพื้นเมืองหรือหาได้ในท้องถิ่น แต่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์จากป่าหรือทะเล โรงแรมส่วนใหญ่มีความเข้าใจและส่งเสริมการใช้สินค้าท้องถิ่น หรือร่วมจัดจำหน่ายให้กับลูกค้า ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์จากป่าหรือทะเล ทั้งนี้ Chen และคณะ [10] ได้ให้ความเห็นว่าโรงแรมที่มีการจัดการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมักจะได้รับความเชื่อมั่นจากเครือข่ายหรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในด้านความรับผิดชอบต่อสังคม และมีความสัมพันธ์ที่ดีและมีภาพลักษณ์ที่ดีกับชุมชนในพื้นที่ที่โรงแรมตั้งอยู่

สรุป

การตรวจประเมินโรงแรมตามเกณฑ์การบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นการริเริ่มของหน่วยงานภาครัฐเพื่อส่งเสริมการมีส่วนร่วมของโรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ระหว่างการดำเนินการมีการให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ เพื่อให้บุคลากรและผู้บริหารของโรงแรมมีความเข้าใจในธุรกิจที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การให้คะแนนในแต่ละประเด็น/ตัวชี้วัด สามารถใช้ชี้บอกพฤติกรรมการมีส่วนร่วมของโรงแรมในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและพลังงาน การส่งเสริมให้มีการเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากรต่างๆ ทำให้มีข้อมูลเชิงปริมาณที่ใช้

ชี้วัดผลสำเร็จอย่างเป็นรูปธรรม บุคลากรมีความเข้าใจเหตุผลของการทำกิจกรรมรณรงค์ต่างๆ เพื่อประหยัด/อนุรักษ์ทรัพยากร โรงแรมบางแห่งสามารถลดค่าใช้จ่ายการใช้ทรัพยากรภายในโรงแรมลงได้อย่างเป็นรูปธรรม การบันทึกข้อมูลน้ำหนักขยะทุกประเภทเป็นประเด็นที่ปฏิบัติได้น้อยที่สุด จำเป็นต้องมีการพูดคุยปรึกษาหารือกันภายในโรงแรมเพื่อเลือกแนวทางปฏิบัติที่เหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตาม มีโรงแรมในแหล่งท่องเที่ยวอีกจำนวนมากที่ไม่สามารถเข้าร่วมโครงการส่งเสริมของภาครัฐนี้ได้เนื่องจากไม่มีเอกสารการขออนุญาตดำเนินกิจการโรงแรมอย่างถูกต้อง ซึ่งหน่วยงานที่มีหน้าที่อนุมัติให้เปิดดำเนินกิจการโรงแรมควรพิจารณาปรับปรุงขั้นตอนการขออนุมัติอนุญาตดำเนินกิจการโรงแรมให้มีความสะดวกรวดเร็ว แต่มีความรอบคอบมากขึ้น เพื่อรองรับการขยายตัวของอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวในประเทศไทย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณข้อมูลจากโครงการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของสถานประกอบการในการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ประเภทโรงแรม ปี 2559 และปี 2560 ของสำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ดำเนินการโดย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

เอกสารอ้างอิง

- [1] Aragon-Correa, J.A., Martin-Tapia, I. and Torre-Ruiz, J. 2015. Sustainability issues and hospitality and tourism firms' strategies: Analytical review and future directions. *Int. J. Contemp. Hosp. M.* 27(3): 498-522.
- [2] Chan, E.S.W., Hon, A.H.Y., Chan, W. and Okumus, F. 2014. What drives employees' intentions to implement green practices in hotels? The role of knowledge, awareness, concern and ecological behaviour. *Int. J. Contemp. Hosp. M.* 40: 20-28.

- [3] Department of Environmental Quality Promotion. 2016. Final Report – Green Hotel Project Year 2016 (in Thai).
- [4] Department of Environmental Quality Promotion. 2017. Final Report – Green Hotel Project Year 2017 (in Thai).
- [5] Han, H. and Hyun, S.S. 2018. What influences water conservation and towel reuse practices of hotel guests? *Tourism Management*. 64: 87-97.
- [6] Dimara, E., Manganari, E. and Skuras. D. 2017. Don't change my towels please: Factors influencing participation in towel reuse programs. *Tourism Manage*. 59: 425-437.
- [7] Kim, J.Y., Hlee, S.Y. and Joun, Y.H. 2016. Green practices of the hotel industry: Analysis through the windows of smart tourism system. *Int. J. Contemp. Hosp. M*. 36(6): 1340-1349.
- [8] Hsiao, T.Y., Chuang, C.M., Kuo, N.W. and Yu, S.M.F. 2014. Establishing attributes of an environmental management system for green hotel evaluation. *Int. J. Contemp. Hosp. M*. 36: 197-208.
- [9] Parpairi, K. 2017. Sustainability and Energy Use in Small Scale Greek Hotels: Energy Saving Strategies and Environmental Policies. *Procedia Environ. Sci*. 38: 169-177.
- [10] Chen, S.L., Chen, H.H., Zhang, K.Q. and Xu, X.L. 2018. A comprehensive theoretical framework for examining learning effects in green and conventionally managed hotels. *J. Clean Prod*. 174: 1392-1399.

วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย

วัตถุประสงค์และขอบเขต

วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย ตีพิมพ์ปีละ 3 ฉบับ โดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย จัดพิมพ์เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ความรู้และวิทยาการด้านสิ่งแวดล้อม และเพื่อเป็นแหล่งแลกเปลี่ยนความรู้ระหว่างนักวิชาการสถาบันต่างๆ โดยมีขอบเขตเนื้อหาที่ตีพิมพ์ดังนี้

- กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ กระบวนการบำบัดน้ำเสีย
- มลพิษอากาศและการควบคุม
- การจัดการของเสียและของเสียอันตราย
- เทคโนโลยีการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน
- การจัดการทรัพยากรน้ำ ได้แก่ น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน
- การอนุรักษ์การป้องกันและการจัดการสิ่งแวดล้อม
- การประเมินผลกระทบของมลพิษและมลสาร
- งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ตีพิมพ์เผยแพร่ปีละ 3 ฉบับ ทุกๆ 4 เดือน กำหนดออกฉบับที่ 1 ในเดือนเมษายน ฉบับที่ 2 ในเดือนสิงหาคม และฉบับที่ 3 ในเดือนธันวาคม

คำแนะนำในการส่งผลงานเพื่อตีพิมพ์

บทความที่ส่งมาเพื่อพิจารณาตีพิมพ์จะต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารอื่น หากมีเนื้อหาบางส่วนเคยพิมพ์ในรายงานการประชุมวิชาการจะต้องมีส่วนที่เพิ่มเติมหรือขยายจากส่วนที่เคยตีพิมพ์ และต้องมีคุณค่าทางวิชาการอย่างเด่นชัด โดยได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ และได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ

ค่าธรรมเนียมสำหรับบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เป็นจำนวนเงิน 1,500 บาทต่อบทความ

การส่งต้นฉบับ

ส่งต้นฉบับ (Printout) จำนวน 3 ชุด พร้อมแผ่นบันทึกข้อมูลโดยระบุชื่อผู้ติดต่อกับบรรณาธิการ รวมทั้ง E-mail address โดยพิมพ์ในกระดาษ A4 หน้าเดียว โดยส่งถึง

บรรณาธิการวารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย
สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.)
122/4 ซอยเรวดี ถนนพระราม 6 แขวงสามเสนใน
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

รูปแบบบทความวิจัยและการพิมพ์เนื้อหาของเรื่อง

งานวิจัย

เพื่อความสะดวกในการแก้ไข ควรพิมพ์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ควรใช้โปรแกรม Microsoft Word for window พิมพ์บนกระดาษ A4 โดยมีการตั้งหน้ากระดาษดังนี้ พิมพ์ห่างจากขอบกระดาษด้านบน 3 ซม. ด้านล่าง 3 ซม. และด้านซ้าย 2.5 ซม. ด้านขวา 2.5 ซม. เนื้อหาบทความไม่เกิน 10 หน้ากระดาษ A4

รูปแบบและขนาดอักษร

รูปแบบและขนาดอักษรที่ใช้ในเรื่องกำหนดไว้ดังนี้ ภาษาไทยและภาษาอังกฤษใช้ TH SarabunPSK โดยมีขนาดและรายละเอียดดังตาราง

Text functions	Thai and English Manuscript Font = TH SarabunPSK	
	Pica Size**	Typeface
Title [English]	26 [CT]	Bold
Author & Co-authors	14 [CT]	Bold
Address of correspondence	14 [CT]	Normal
Abstract heading	16 [LRJ]	Bold
Abstract & Main Texts	14 [LJ]	Normal
Section Heading & Number*	16 [LJ]	Bold
Subsection Heading & Number	14 [LJ]	Bold

* Including "Abstract" "Acknowledgement" and "References"

** CT = Centre Text, LJ = Left Justified, LRJ = Left & Right Justified

ชื่อเรื่อง

ชื่อเรื่องให้ระบุทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยให้มีความหมายตรงกัน รวมทั้งชื่อผู้เขียนบทความ โดยบทความให้จัดทำแยกจากเนื้อหา ระบุสถานที่ติดต่อ และ E-mail address

บทคัดย่อ

มีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษแยกคนละหน้า โดยมีความยาวอย่างละไม่เกิน 300 คำ และมีคำสำคัญ (key words) ไม่เกิน 6 คำ ทำยบทคัดย่อ หน่วยต่างๆ ให้ใช้ระบบ SI และเป็นสากล การใช้ศัพท์วิทยาศาสตร์ให้ยึดคำบัญญัติของราชบัณฑิตยสถาน ชื่อสถานที่ต่างๆ ให้ใช้ตามประกาศของสำนักนายกรัฐมนตรี

ตาราง

ตารางและรูปให้ใช้ภาษาอังกฤษ

รูปแบบบทความวิจัย ประกอบด้วย

- 1) ชื่อเรื่อง
- 2) ชื่อผู้เขียน
- 3) บทคัดย่อ และ Abstract
- 4) บทนำ
- 5) แผนการวิจัย
- 6) ผลการวิจัยและวิจารณ์
- 7) สรุปผล
- 8) เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

การอ้างอิงเอกสารให้ใช้ระบบเรียงตามตัวเลข พิมพ์ในวงเล็บเรียงลำดับตามการอ้างอิงในเรื่อง หากเป็นเรื่องที่มีผู้ค้นพบมากกว่า 3 คนขึ้นไป ให้ใส่เฉพาะ 3 ชื่อแรก และตามด้วย “และคณะ” รวบรวมไว้ท้ายบทความ เอกสารอ้างอิงทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงหรือกล่าวถึงในบทความ เอกสารอ้างอิงต้องประกอบด้วย ชื่อผู้เขียน ชื่อบทความ ชื่อเอกสารตีพิมพ์ ผู้พิมพ์ สถานที่ตีพิมพ์ (ถ้าเป็นหนังสือ) ปีที่ตีพิมพ์ และหน้าของบทความดังกล่าวในเอกสารข้างต้น ถ้าเอกสารอ้างอิงมาจากภาษาต่างประเทศ ให้เขียนเอกสารอ้างอิงนั้นด้วยภาษาอังกฤษแทน

ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง

วารสาร

- [1] Inthorn, D., Sidtitoon, N., Silapanuntakul, S. and Incharoensakdi, A. 2002. Sorption of mercury, cadmium and lead in aqueous solution by the use of microalgae. Science Asia. 28 (3): 253-261.

รายงานการประชุมสัมมนาวิชาการ

- [1] Inthorn, D., Singhakarn, C. and Khan, E. Decolorization of reactive dyes by pre-treated Flute reed (phragmites karka (Retz)). At 34th Mid-Atlantic Industrial & Hazardous Conference, Annual Mid Atlantic Industrial and Hazardous Waste Conference at Rutgers University, New Jersey, USA on September 20-21, 2002.

หนังสือ

- [1] Polprasert, C. 1996. Organic Waste Recycles. John Wiley & Sons Inc., New York.

บทในหนังสือ

- [1] Inthorn, D. Heavy metal removal. In: Kojima, H. and Lee, Y.K. Photosynthetic Microorganisms in Environmental Biotechnology, Springer-Verlag, 2001; 111-135.

ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์

ให้ใช้รูปแบบข้างต้นและให้เพิ่มข้อมูล URL ที่สมบูรณ์พร้อมวันที่ที่เข้าไปใช้

Thai Environmental Engineering Journal

Aims and Scope

Thai Environmental Engineering Journal is published 3 times a year by Environmental Engineering Association of Thailand in aims of provide an interdisciplinary platform for the disseminating recent research work in Environmental field. The journal's scope includes:

- Treatment Processes for Water and Wastewater
- Air Pollution and Control
- Solids and Hazardous Wastes Management
- Site Remediation Technology
- Water Resource Management; Surface water and Groundwater
- Environmental Management Protection and Conservation
- Impact Assessment of Pollution and Pollutants
- All areas of Environmental Engineering and Sciences

Frequency; 3 issues per year, every four months at April, August and December

Information for Authors

Manuscript submitted for publication should be of high academic merit and have never before, in whole or in part, been published elsewhere and will not be published elsewhere, except in abstract form. Manuscripts, parts of which have been previously published in conference proceeding, may be accepted if they contain additional material not previously published and not currently under consideration for publication elsewhere.

All manuscripts papers will be reviewed by independent referees. The article accepted for publish will be charged 1,500 Baths.

Submission of Manuscripts

All manuscripts should be submitted in A4 size paper (3 copies, including tables and figures) and also in diskette or CD to Editor-in-Chief at Environmental Engineering Association of Thailand (EEAT), 122/4 Soi Rawadee, Rama VI Road, Samsen Nai, Phayathai, Bangkok 10400, THAILAND. Manuscript should be prepared one side of the paper only.

Manuscript Format and Style

Text format

Manuscript should be prepared using a text processing software such as Microsoft Word for windows. A4 size paper is conventionally accepted. Margins set up (in Page set up Menu) are outlined as follow.

Top Margin 3.0 cm., Bottom Margin 3.0 cm.

Left margin 2.5 cm., Right Margin 2.5 cm.

Title, author co-authors, address of correspondence and abstract are included in the first section while the remainder of paper is to appear in the second section. The total pages including figures, tables and references should not exceed 10 pages.

Font, font size & typeface

Angsana New font type is required for Thai text and English text. Font size [Pica] for various text function are tabulated as follow.

Text functions	Thai and English Manuscript Font = TH SarabunPSK	
	Pica Size**	Typeface
Title [English]	26 [CT]	Bold
Author & Co-authors	14 [CT]	Bold
Address of correspondence	14 [CT]	Normal
Abstract heading	16 [LRJ]	Bold
Abstract & Main Texts	14 [LJ]	Normal
Section Heading & Number*	16 [LJ]	Bold
Subsection Heading & Number	14 [LJ]	Bold

* Including "Abstract" "Acknowledgement" and "References"

** CT = Centre Text, LJ = Left Justified, LRJ = Left & Right Justified

Title

All titles of manuscript should be short and precise; long title should be condensed whenever possible (not more than 42 characters). Title should be printed with every first letter of every word capitalized, excluding prepositions and articles. Directly below the title, author should print their full names (first name then family name), address and institution. E-mail of corresponding author and between 3-5 key words should also be provided.

Abstract

Abstract in both Thai and English, should be provided on separate sheets and be not more than 300 words. International contributor who are unable to provide an abstract in Thai may submit an English abstract alone.

Style Guidelines

Units of measurement should be indicated in SI units throughout.

Tables

Tables and figures should be numbered with Arabic numerals, in order in which they are cited in the text. The table's titular heading should concisely detail the content of the table and include units of measure for all numerical data.

Format of Research Paper

The format of research paper is listed as follows:

- 1) Title
- 2) Author
- 3) Abstract (Thai and English)
- 4) Introduction
- 5) Materials and Methods
- 6) Results and Discussion
- 7) Conclusions
- 8) References

References

The references section at the end of the manuscript should list all and only the references cited in the text in numerical order, with references given in Thai first and those in English following. In this section, the names of all authors should be provided if more than six, or the first three followed by *et. al.*

Reference to a journal article:

List all authors when six or fewer; when seven or more list only the first three (3) and add *et. al.* Titles of articles from academic journals should be listed in full and begin with a capital letter.

- [1] Inthorn, D., Sidtitoon, N., Silapanuntakul, S. and Incharoensakdi, A. 2002. Sorption of mercury, cadmium and lead in aqueous solution by the use of microalgae. *Science Asia*. 28 (3): 253-261.

Reference to article or abstract in a conference proceedings:

- [1] Inthorn, D., Singhakarn, C. and Khan, E. Decolorization of reactive dyes by pre-treated Flute reed (*phragmites karka* (Retz)). At 34th Mid-Atlantic Industrial & Hazardous Conference, Annual Mid Atlantic Industrial and Hazardous Waste Conference at Rutgers University, New Jersey, USA on September 20-21, 2002.

Reference to a book:

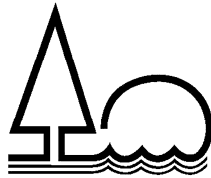
- [1] Polprasert, C. 1996. *Organic Waste Recycles*. John Wiley & Sons Inc., New York.

Reference to article in a conference proceedings:

- [1] Inthorn, D. Heavy metal removal. In: Kojima, H. and Lee, Y.K. *Photosynthetic Microorganisms in Environmental Biotechnology*, Springer-Verlag, 2001; 111-135.

Reference to an electronic data source:

Use the above format and supply the complete URL as well as the access date.



Subscription Form Thai Environmental Engineering Journal

Date_____

Name_____

Address_____

Tel:_____ Fax:_____ E-mail:_____

A subscription to the Thai Environmental Engineering Journal is request for_____year
(1,000 Baht/year for 3 Volume)

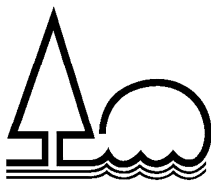
Signature_____

(_____)

Payment by “Environmental Engineering Association of Thailand”

- ☐ Bank Transfer: Savings Account No. 053-1-24040-3, Bank of Ayudhya Plc., Klong Prapa Branch
- ☐ Bank Transfer: Savings Account No. 056-2-322980, Siam Commercial Bank Plc., Aree Sampan Branch
- ☐ Money Order: Please make payable to the Environmental Engineering Association of Thailand, P.O. Ministry of Finance 10411

Environmental Engineering Association of Thailand
122/4 Soi Rawadee, Rama VI Rd., Samsen Nai,
Phayathai, Bangkok 10400
Tel: +66 (0) 2617-1530-1 Fax: +66 (0) 2279-9720
E-mail: teej@eeat.or.th Website: <http://www.eeat.or.th>



สมัครเป็นสมาชิกวารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย

วันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ. _____

ข้าพเจ้า (ตัวบรรจง) _____

หน่วยงาน _____

ที่อยู่ (สำหรับส่งวารสาร) _____

โทรศัพท์ _____ โทรสาร _____ E-mail: _____

มีความประสงค์ขอสมัครเป็นสมาชิกวารสารประเภทสมาชิกรายปี (ปีละ 1,000 บาท วารสารราย 4 เดือน จำนวน 3 เล่ม) เป็นระยะเวลา _____ ปี

ลงชื่อ _____ ผู้สมัคร

(_____)

ส่งจ่ายในนาม “สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย”

เช็คหรือเงินสดโดยนำฝากบัญชีออมทรัพย์

- ☐ ธนาคารกรุงศรีอยุธยา สาขาลongประปา เลขที่ 053-1-24040-3
- ☐ ธนาคารไทยพาณิชย์ สาขาซอยอารีย์สัมพันธ์ เลขที่ 056-2-32298-0
- ☐ ธนาคารดี ปณ.กระทรวงการคลัง 10411

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

122/4 ซอยเรวดี ถนนพระราม 6 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 0-2617-1530-1 โทรสาร 0-2279-9720

E-mail: teej@eeat.or.th Website: <http://www.eeat.or.th>