

การคัดเลือกวัสดุสำหรับการดูดซับฟอสฟอรัสเพื่อใช้เป็นตัวกลางในระบบบึงประดิษฐ์ Materials Selection for Phosphorus Adsorption to Use as Constructed Wetlands Media

มธุรส วังชนะชัย¹, ณัฐริฎ ภูเกิดสิน¹, ศิริพร ลาภเกียรติถาวร² และ พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์¹

Mathurot Wangchanachai¹, Nut Pookerdsin¹, Siriporn Larpkittaworn² and Pongsak Noophan¹

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการคัดเลือกวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัส ราคาถูกและหาได้ง่ายในประเทศไทย มาเป็นส่วนผสมเพื่อขึ้นรูปเป็นตัวกลางในระบบบึงประดิษฐ์ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแครงเผา เศษคอนกรีต และดินตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นวัสดุที่นำมาใช้ศึกษา โดยนำมาบดเป็นผงให้มีขนาดเล็กกว่า 300 ไมโครเมตร ในเบื้องต้นได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีของผงที่เตรียมจากเปลือกหอยแครง เปลือกหอยแครงเผา เศษคอนกรีต และดินตะกอนประปา พบว่า มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 2.846, 0.924, 2.828 และ 52.540 ม.²/ก. ตามลำดับ และองค์ประกอบของแคลเซียมและอลูมิเนียมมีความสำคัญในการดูดซับฟอสฟอรัส วัสดุที่มีองค์ประกอบของแคลเซียมสูงที่สุดคือ เปลือกหอยแครง (Ca = 27.66 ร้อยละโดยน้ำหนัก) นอกจากนี้ได้วิเคราะห์ค่าไอโซเทอมการดูดซับที่ระยะเวลาเข้าสู่สมดุลเท่ากับ 24 ชม. พบว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับแบบจำลองไอโซเทอมของแลงเมียร์ (Langmuir) เปลือกหอยแครงมีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดคือ 32.26 มก./ก. ($R^2 = 0.997$) ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมหลักในการขึ้นรูปเป็นเม็ดขึ้นงาน โดยได้ทำการปรับส่วนผสมเป็น 6 สูตรที่ต่างกัน และนำเม็ดขึ้นงานที่ขึ้นรูปได้ทั้ง 6 สูตร มาวิเคราะห์ค่าไอโซเทอมการดูดซับที่ระยะเวลาเข้าสู่สมดุลเท่ากับ 36 ชม. พบว่า ส่วนผสมสูตร M-5 (เปลือกหอยแครงร้อยละ 50, ดินตะกอนประปาร้อยละ 40, สารยึดประสานร้อยละ 10) มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงที่สุดคือ 4.85 มก./ก. ($R^2 = 0.931$)

ABSTRACT

The purpose of this research is to screen materials for phosphorus adsorption which is cheap and available in Thailand. Blood cockle shells, burned blood cockle shells, concrete waste and sludge from drinking water treatment plant were used in this study. These materials were ground into powder with size smaller than 300 μm . The physical properties and chemical composition of these materials were investigated. The specific surface area of blood cockle shells, burned blood cockle shells, concrete waste and drinking water treatment sludge are 2.846, 0.924, 2.828 and 52.540 m^2/g , respectively. Ca and Al are significant composition that effect to phosphorus adsorption. The highest Ca content material (27.66% W/W) is blood cockle shells. Afterwards, the P sorption capacity was

¹ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900 ประเทศไทย

¹ Department of Environment Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

² ฝ่ายนวัตกรรมและวัสดุ สถาบันวิจัยและวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ปทุมธานี 12120 ประเทศไทย

² Department of Material Innovation, Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Pathum Thani 12120, Thailand

determined by using adsorption isotherm at 24 hours of equilibrium time. Langmuir isotherm was selected to estimate P sorption capacity in this study. The highest P sorption capacity 32.26 mg P/g ($R^2 = 0.997$) which was obtained from Blood cockle shells. Therefore, Blood cockle shells was selected as main ingredient to prepare the adsorption pellet. The six different formula were used to prepare these adsorption pellets. Then, these pellets were investigated for phosphorus adsorption by using adsorption isotherm at 36 hours of equilibrium time. It was found that M-5 sample (50% of blood cockle shells, 40% of drinking water treatment sludge and 10% of binder) has the maximum P sorption capacity of 4.85 mg P/L ($R^2=0.931$).

Key Words : Phosphorus, Adsorption, Blood cockle shells, Drinking water treatment sludge

E-mail address : mathu_marod@hotmail.com

คำนำ

ฟอสฟอรัสเป็นสารอินทรีย์ที่มักปนเปื้อนในน้ำเสียเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น น้ำที่ใช้ในการซักล้าง ชักฟอกของชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม จากปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตรซึ่งถูกชะมากับฝน ส่งผลให้เกิดปัญหาต่อแหล่งน้ำสาธารณะ กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็วจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศน์ทางน้ำหรือที่เรียกว่า ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ในอดีตระบบบำบัดน้ำเสียจะเน้นการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจึงกลายเป็นปัญหาที่ไม่ได้รับการแก้ไขอย่างเพียงพอ แต่ในปัจจุบันหลายๆ ประเทศประสบปัญหาเกี่ยวกับการขาดแคลนน้ำ ดังนั้นน้ำที่ถูกระบายทิ้งต้องมีสิ่งปนเปื้อนน้อยที่สุดเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ ส่งผลให้กฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมมีความเข้มข้นมากขึ้น ดังนั้นการบำบัดฟอสฟอรัสจึงได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น ประเทศไทยก็เช่นเดียวกันในปี พ.ศ. 2535 ได้มีการเปลี่ยนสารซักฟอกเป็นแบบไร้ฟอสเฟตหรือแบบฟอสเฟตต่ำ (ธงชัย, 2544) เพื่อจำกัดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสีย หากปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียมีค่าไม่เกิน 0.1 มก./ล. ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Brooks et al., 2000)

ฟอสฟอรัสในน้ำเสียแบ่งตามลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลได้เป็นสารประกอบออร์โธฟอสเฟตและโพลีฟอสเฟตรวมกันประมาณร้อยละ 70-90 ที่เหลือจะอยู่ในรูปอินทรีย์ฟอสเฟต (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548) การกำจัดฟอสฟอรัสสามารถทำได้โดยวิธีชีวภาพหรือวิธีเคมี การกำจัดฟอสฟอรัสโดยวิธีชีวภาพปกติจะเกิดขึ้นได้น้อย เช่น การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบแอสสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้เพียงร้อยละ 0.01 ของปีโอติที่กำจัดได้เท่านั้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548) จึงต้องใช้วิธีทางเคมี ได้แก่ ปฏิกริยาตกผลึก ปฏิกริยาโคแอกกูเลชัน และการดูดซับ

ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เป็นระบบที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน ระบบนี้สร้างขึ้นเพื่อเลียนแบบบึงหรือพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติ มีค่าดำเนินการต่ำ สามารถบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนได้ใกล้เคียงกับระบบอื่นๆ และมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสค่อนข้างสูง หากเลือกตัวกลางในการดูดซับที่เหมาะสมก็จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดให้สูงขึ้นได้ วัสดุตัวกลางที่ใช้กันในปัจจุบันแบ่งประเภทเป็น วัสดุธรรมชาติ วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม และผลิตภัณฑ์ที่มนุษย์สร้างขึ้น (Vohla et al., 2009) ถ้ามองในแง่ของการใช้ทรัพยากรวัสดุจากธรรมชาติและวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเป็นแหล่งวัตถุดิบที่น่าสนใจในการนำมาเลือกใช้ผลิตเป็นตัวกลาง เนื่องจากหาได้ง่ายและราคาถูก (เกรียงศักดิ์, 2547; Georgants and Grigoropoulou, 2007) กล่าวไว้ว่า

วัตถุดิบที่มีองค์ประกอบพวกแคลเซียมและอลูมิเนียม มีคุณสมบัติในการช่วยตกตะกอนผลึกทางเคมีของฟอสฟอรัสในน้ำเสียได้ เนื่องจากฟอสฟอรัสทำปฏิกิริยากับแคลเซียมและอลูมิเนียม เกิดเป็นตะกอนขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เปลือกหอยแครงที่เหลือทิ้งจากฟาร์มหอย เศษคอนกรีตจากการก่อสร้าง และดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาที่มักถูกนำไปถมที่มาใช้เป็นตัวกลาง หากสามารถนำวัสดุเหล่านั้นมาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียเพื่อกำจัดฟอสฟอรัสได้ ก็จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบ เป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

วัสดุที่นำมาใช้เป็นตัวกลางในการทดลองมี 4 ชนิด คือ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแครงเผาที่ 750 องศาเซลเซียส เศษคอนกรีต และดินตะกอนประปา ก่อนนำมาทดลองตัวกลางทุกชนิดถูกบดและคัดขนาดให้มีขนาดเล็กกว่า 300 ไมโครเมตร ดัง Figure 1

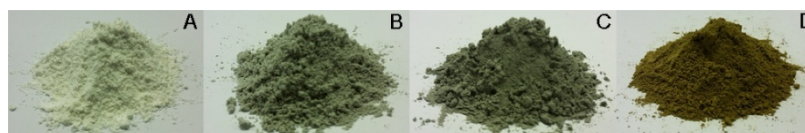


Figure 1 Adsorbent materials Blood cockle shells (A), Burned blood cockle shells (B), Concrete waste (C) and Drinking water treatment sludge (D)

การเตรียมเม็ดขึ้นงาน

เลือกวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผงมาปรับสูตรที่ส่วนผสมต่างๆ กัน จำนวน 6 สูตร ดัง Table 1 และ 2 แล้วขึ้นรูปเป็นเม็ด และเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ได้เม็ดหลังเผาดัง Figure 2

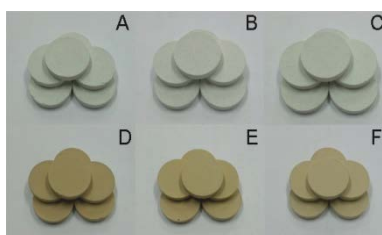


Figure 2 Media M-1(A), M-2 (B), M-3 (C), M-4 (D), M-5 (E) and M-6 (F)

Table 1 Variation of blood cockle shells in each formula

Material	Media		
	M-1	M-2	M-3
Blood cockle shells	10%	50%	80%
Binders	90%	50%	20%

Table 2 Variation of Drinking water treatment sludge in each formula

Material	Media		
	M-4	M-5	M-6
Drinking water treatment sludge	50%	40%	30%
Blood cockle shells	40%	50%	40%
Binders	10%	10%	30%

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นจาก KH_2PO_4 ที่ความเข้มข้น 50-200 มก. P/ล.

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมี

วิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุทั้ง 4 ชนิดแบบผง คือ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแครงเผา เศษคอนกรีต และดินตะกอนประปา โดยทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวด้วยเครื่อง Brunauer Emmett Teller (BET) และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเครื่อง Energy Dispersive Spectrometer (EDS)

วิธีการตรวจวัดระยะเวลาเข้าสู่สมดุลในการดูดซับฟอสฟอรัส

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 100 มก. P/ล. และ 50 มก. P/ล. สำหรับการศึกษาระยะเวลาเข้าสู่สมดุลในการดูดซับฟอสฟอรัสของตัวกลางแบบผงและแบบเม็ดขึ้นงานตามลำดับ โดยตัวกลางแบบผงใช้ปริมาณสาร 1 กรัม และตัวกลางแบบเม็ดใช้ปริมาณ 5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นใส่น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 200 มล. ลงในขวดที่ใส่ตัวกลางไว้แล้ว ปิดฝาขวดด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (Shaker) ที่ความเร็วรอบ 175 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง (29-32 องศาเซลเซียส) จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลา 2, 6, 14, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง วิเคราะห์ค่าออร์โทฟอสเฟต โดยวิธีแอสคอบิก ตามวิธีมาตรฐาน Standard methods for the examination of the water and wastewater (APHA, AWWA, and WEF., 1992) ทำการทดลองตัวกลางละ 3 ซ้ำ

วิธีการตรวจวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัส

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ 100, 125, 150, 175 และ 200 มก. P/ล. สำหรับตัวกลางแบบผง และความเข้มข้น 50, 65, 80, 95 และ 110 มก. P/ล. สำหรับตัวกลางแบบเม็ด โดยตัวกลางแบบผงใช้ปริมาณสาร 1 กรัม และตัวกลางแบบเม็ดใช้ปริมาณ 2.5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นใส่น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 200 มล. ลงในขวดที่ใส่ตัวกลางไว้แล้ว ปิดฝาขวดด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (Shaker) ที่ความเร็วรอบ 175 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง (29-32 องศาเซลเซียส) จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาเข้าสู่สมดุลของตัวกลางแบบผงและแบบเม็ดที่ 24 และ 36 ชั่วโมง ตามลำดับ วิเคราะห์ค่าออร์โทฟอสเฟต โดยวิธีแอสคอบิก ตามวิธีมาตรฐาน Standard methods for the examination of the water and wastewater (APHA, AWWA, and WEF., 1992) ทำการทดลองตัวกลางละ 2 ซ้ำในทุกความเข้มข้น

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์หาความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสและค่าคงที่ต่างๆ ของตัวกลาง โดยใช้สมการแบบแลงเมียร์ (Langmuir) ดังสมการที่ 1 และฟรุนดลิช (Freundlich) ดังสมการที่ 2 (Ho, 2006)

$$q_e = \frac{q_m K_a C_e}{1 + K_a C_e} \quad \dots(1)$$

- โดย q_e คือ ปริมาณสารดูดซับบนผิวของสารดูดซับต่อปริมาณสารดูดซับ (มก./ก.)
 q_m คือ ปริมาณสารดูดซับสูงสุดบนผิวของสารดูดซับ (มก./ก.)
 K_a คือ ค่าคงที่
 C_e คือ ความเข้มข้นของสารดูดซับที่สภาวะสมดุล (มก./ล.)

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad \dots(2)$$

- โดย q_e คือ ปริมาณสารดูดซับบนผิวของสารดูดซับต่อปริมาณสารดูดซับ (มก./ก.)
 K_F คือ ค่าคงที่ของระบบ
 C_e คือ ความเข้มข้นของสารดูดซับที่สภาวะสมดุล (มก./ล.)
 n คือ ค่าความหนาแน่นของการดูดซับ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ระยะเวลาเข้าสู่สมดุลในการดูดซับฟอสฟอรัส

ระยะเวลาในการดูดซับมีผลต่อความสามารถในการดูดซับ ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามเวลา จนกระทั่งถึงเวลาที่ระบบเข้าสู่สมดุล (ศศิธร, 2551) ดังนั้นระยะเวลาในการทดลองจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง ในการทดลองเบื้องต้นจึงได้ทำการศึกษาระยะเวลาเข้าสู่สมดุลพบว่า ตัวกลางแบบผงและแบบเม็ด เข้าสู่สมดุลที่ 24 และ 36 ชม. ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวเป็นระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ตัวกลางสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้ดีที่สุด และมีค่าคงที่แม้ระยะเวลาจะเพิ่มขึ้น

การดูดซับฟอสฟอรัสในตัวกลางแบบผง

จากการทดลองไอโซเทอมการดูดซับพบว่า การดูดซับของตัวกลางมีลักษณะเป็นชั้นเดียว โมเลกุลที่เกิดการดูดซับจะไม่ซ้อนทับกัน และเกิดบนตำแหน่งที่แน่นอน ตามสมมติฐานการดูดซับของแลงเมียร์ (ศศิธร, 2551) เนื่องจากค่า R^2 ของตัวกลางอยู่ในช่วง 0.8-0.9 ซึ่งสูงกว่าสมการของฟรุนดลิช (Table 4) ดังนั้นค่าความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัส (q_m) ที่ได้จากสมการจึงถูกนำมาใช้ในการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสำหรับการทดลองนี้ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเปลือกหอยแครงมีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงที่สุดคือ 32.26 มก./ก. (Table 4, Figure 3) เนื่องจากฟอสฟอรัสสามารถถูกดูดซับและตกตะกอนจากการทำปฏิกิริยากับแคลเซียม เหล็ก และอลูมิเนียม (Vohla et al., 2009) และเปลือกหอยแครงเป็นตัวกลางที่มีองค์ประกอบเป็นแคลเซียมสูงที่สุด (Table 3)

Table 3 Specific surface area and chemical composition of materials

Materials	specific surface area (m ² /g)	chemical composition (% W/W)						
		C	Al	Si	Ca	K	Fe	O
Blood cockle shells	2.846	13.42	6.41	-	27.66	-	-	52.51
Burned blood cockle shells	0.924	18.94	4.66	-	15.57	-	-	60.82
Concrete waste	2.828	11.74	4.58	8.27	21.90	-	-	53.51
Drinking water treatment sludge	52.54	-	17.02	25.57	1.48	1.25	7.43	47.25

Table 4 Coefficients of Freundlich and Langmuir adsorption isotherms

Materials	Freundlich			Langmuir		
	R ²	K _F	1/n	R ²	q _m (mg P/g)	K _a (L/mg P)
Blood cockle shells	0.974	18.15	0.140	0.997	32.26	0.517
Burned blood cockle shells	0.861	1.38	0.540	0.829	31.25	0.012
Concrete waste	0.587	14.32	0.150	0.897	31.25	0.136
Drinking water treatment sludge	0.557	0.83	0.389	0.804	7.19	0.023

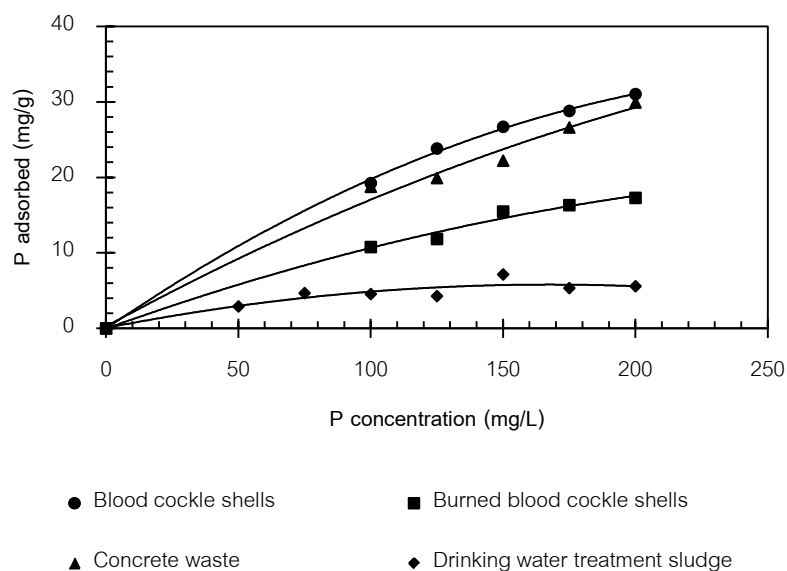


Figure 3 Langmuir isotherm graph comparing P sorption capacity of each material

การดูดซับฟอสฟอรัสในตัวกลางแบบเม็ด

จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับของตัวกลางแบบผงข้างต้นพบว่า เปลือกหอยแครงมีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงที่สุดคือ 32.26 มก. P/g. ดังนั้นในการขึ้นรูปตัวกลางเป็นเม็ดจึงเลือกเปลือกหอยแครงมาใช้เป็นส่วนผสมหลัก โดยได้ทำการแปรผันส่วนผสมออกเป็น 6 สูตร เม็ดขึ้นงานสูตร M-1, M-2 และ M-3 ได้ทำการแปรผันปริมาณเปลือกหอยเป็นร้อยละ 10, 50 และ 80 ตามลำดับ พบว่าเม็ดขึ้นงานทั้ง 3 สูตร ไม่มีความแข็งแรง แตกหัก และละลายน้ำได้ง่าย ดังนั้นในส่วนผสมสูตร M-4, M-5 และ M-6 จึงได้นำดินตะกอนประปามาผสมลงในสูตร โดยดินตะกอนประปาช่วยให้เม็ดขึ้นงานเกาะติดกันดีขึ้นและมีความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากดินมีคุณสมบัติในการช่วยยึดประสาน (หน่วยวิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติ, 2555) และ จากงานวิจัยของ Mortula and Gagnon (2007) พบว่า ดินตะกอนประปาสามารถใช้ดูดซับฟอสฟอรัสได้ (7.11 มก. P/g.) ในการผสมสูตรได้ทำการแปรผันปริมาณดินตะกอนประปาเป็นร้อยละ 50, 40 และ 30 ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดซับพบว่า สูตร M-5 มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงที่สุดคือ 4.85 มก. P/g. (R² = 0.931) ดัง Table 5 และ Figure 4 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองข้างต้น เนื่องจากสูตร M-5 มีเปลือกหอยแครงผสมอยู่มากที่สุดคือ ร้อยละ 50 ซึ่งมากกว่าสูตร M-4 และ M-6 ที่มีอยู่ร้อยละ 40 ดังนั้นปริมาณแคลเซียมจากเปลือกหอยแครงจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้การดูดซับและการตกตะกอนฟอสฟอรัสเกิดได้ดีขึ้น ถึงแม้ว่าเม็ดที่เตรียมจากสูตร M-5 มีค่าพื้นที่ผิวต่ำกว่าสูตรอื่นก็ตาม

Table 5 Specific surface area and coefficients of Langmuir adsorption isotherms

Media	specific surface area (m ² /g)	Langmuir		
		R ²	q _m (mg P/g)	K _s (L/mg P)
M-4	10.450	0.957	1.30	-0.42
M-5	7.276	0.931	4.85	0.02
M-6	21.600	0.959	0.88	-0.08

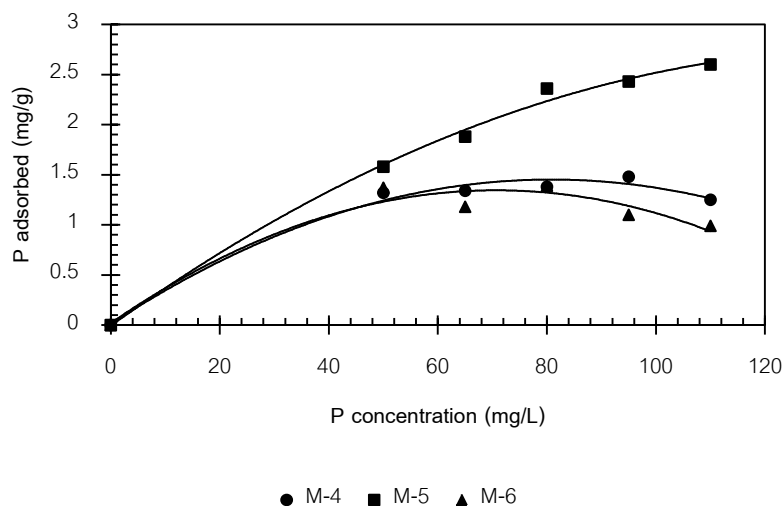


Figure 4 Langmuir isotherm graph comparing P sorption capacity of each media

สรุป

สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการอธิบายการดูดซับฟอสฟอรัสของตัวกลางทั้งแบบผง และแบบเม็ด โดยเปลือกหอยแครงเป็นผงตัวกลางที่มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงที่สุด คือ 32.26 มก.P/ก. เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมหลักในการขึ้นรูปเป็นเม็ดพบว่า สูตร M-5 ที่มีเปลือกหอยแครงในส่วนผสมร้อยละ 50 มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงที่สุดคือ 4.85 มก.P/ก. เมื่อเทียบกับสูตรอื่น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2548. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

โรงงาน, กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2547. วิศวกรรมกรำจัดน้ำเสีย. เล่มที่ 5. พิมพ์ครั้งที่ 1. เอส.อาร์. ฟรินด์ติ้งแมสโปรดักส์ จำกัด, นนทบุรี.

- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. **การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- ศศิธร นามโคตร. 2551. **การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารละลายโลหะหนักด้วยเปลือกถั่วเหลืองดัดแปร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- หน่วยวิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติ. 2555. การเสื่อมสภาพของโบราณสถานที่มีโครงสร้างหลักเป็นอิฐถือปูนโดยกรดซัลฟูริก. แหล่งที่มา: <http://cendru.eng.cmu.ac.th/articles/14>, 1 ตุลาคม 2555.
- APHA, AWWA, and WEF. 1992. **Standard methods for the examination of the water and wastewater (19th edition)**. Washington D.C.: American Public Health Association.
- Brooks, A.S., Rozenwald, M.N., Geohring, L.D., Lion, L.W., Steenhuis, T.S. 2000. Phosphorus removal by wollastonite: A constructed wetland substrate. **Ecological Engineering** 15: 121-132.
- Georgantas, D.A., Grigoropoulou, H.P. 2007. Orthophosphate and metaphosphate ion removal from aqueous solution using alum and aluminium hydroxide. **Journal of colloid and Interface Science** 315: 70-79.
- Ho, Y.S., 2006. Isotherms for the sorption of lead onto peat: comparison of linear and non-linear methods. **Polish Journal of Environmental Studies** 15 (1): 81-86
- Mortula, M.M. and Gagnon, G.A. 2007. Alum residuals as a low technology for phosphorus removal from aquaculture processing water. **Aquacultural Engineering** 36: 233-238.
- Vohla, C., Koiv, M., Bavar, H.J., Chazarenc, F., Mander, U. 2009. Filter material for phosphorus removal from wastewater in treatment wetlands-A review. **Ecological Engineering** 37: 70-80.