

## การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของตัวกลางรูปร่างต่างๆ The Study of Nitrogen and Phosphorus Removal Efficiency for Different Shape of Media

ณัฐ ภูเกดสิน<sup>1</sup>, มธุรส วังชนะชัย<sup>1</sup>, ศิริพร ลาภเกียรติถาวร<sup>2</sup> และ พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์<sup>1</sup>

Nut Pookerdsin<sup>1</sup>, Mathurot Wangchanachai<sup>1</sup>, Siriporn Larпкиattaworn<sup>2</sup> and Pongsak Noophan<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์ตัวกลางจากวัสดุในประเทศไทยให้เป็นชิ้นงานที่มีรูพรุน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นตัวกลางในการดูดซับฟอสฟอรัส และเป็นแหล่งยึดเกาะของจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรฟายอิงเพื่อการกำจัดไนโตรเจน ตัวกลางถูกสังเคราะห์ขึ้นจากเปลือกหอยแครงและดินตะกอนประปาให้มีรูปร่างเป็นเม็ดยา ทรงกระบอก และทรงกลม จากนั้นทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับ ซึ่งสมการของแลงเมียร์ถูกนำมาใช้อธิบายลักษณะของการดูดซับนี้ ตัวกลางเม็ดยา ทรงกระบอก และทรงกลม มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดเท่ากับ 4.85, 7.63 และ 4.95 มก.ฟอสฟอรัส/ก. และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.931, 0.868 และ 0.973 ตามลำดับ รูพรุนของตัวกลางที่สังเคราะห์ขึ้นถูกนำมาใช้ในการเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรฟายอิง เพื่อให้เกิดกระบวนการไนโตรฟิเคชัน ทำการศึกษาภายในคอลัมน์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 มม. สูง 150 มม. หยดน้ำเสียสังเคราะห์ในอัตราภาวะบรรทุกแอมโมเนียต่อพื้นที่ผิวเท่ากับ 0.23 กก.ไนโตรเจน/ม.<sup>2</sup>-วัน ผ่านชั้นตัวกลางที่บรรจุภายในคอลัมน์ พบว่าหลังจากเดินระบบเป็นเวลา 47 วัน ตัวกลางเม็ดยา ทรงกระบอก และทรงกลม มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียเท่ากับร้อยละ 48.4, 53.1 และ 53.1 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในตัวกลางแต่ละรูปร่างพบว่าประสิทธิภาพไม่ต่างกัน แต่ตัวกลางทรงกระบอกมีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสที่ดีที่สุด

### ABSTRACT

This research is to synthesize the porous media from materials available in local area of Thailand. This porous media was applied to wastewater for removing phosphorus and fixing of nitrifying bacteria. The synthetic media consists of blood cockle shells and alum residuals from water supply plant. The shape of media were formed as tablet, cylinder and sphere. The phosphorus removal efficiency of the synthetic media was determined by using adsorption isotherm. Langmuir equation was used to describe the adsorption characteristics of this media. The result showed P

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900 ประเทศไทย

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

<sup>2</sup> ฝ่ายนวัตกรรมและวัสดุ สถาบันวิจัยและวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ปทุมธานี 12120 ประเทศไทย

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

sorption capacity was 4.85 mg P/g for tablet, 7.63 mg P/g for cylinder and 4.52 mg P/g for sphere with r-squared of each plots were 0.931, 0.868 and 0.826 respectively. Furthermore, the nitrogen removal was investigated by packing media in column with size of 24 mm diameter and 150 mm height. The 0.23 kg N/m<sup>2</sup>-d of synthetic wastewater was dropped to the layers of media that pack in column. After 47 day, the ammonia removal efficiency was 48.3% for tablets, 53.1% for cylinder and 53.1% for sphere. Changing the shape of the media was not demonstrate a difference in nitrification efficiency. However, cylinder shape media provides the highest ability to absorb phosphorus. For this reason, the cylinder media was selected for both phosphorus and nitrogen removal.

Key Words : Nitrogen, Phosphorus, Removal, Nitrification, Media, Shape

E-mail address : armonizca@hotmail.com

## คำนำ

เมื่อปี ค.ศ. 1970 วิวัฒนาการของการบำบัดน้ำเสียได้เริ่มมีการสนใจในการกำจัดธาตุอาหาร ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์เซลล์ใหม่ของจุลินทรีย์ แต่การที่มีสารอาหารเหล่านั้นสะสมในธรรมชาติมากเกินไปเป็นการรบกวนสมดุลของระบบนิเวศวิทยาในแหล่งน้ำ ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ยูโทรฟิเคชัน (Schindler, 1971) ความต้องการออกซิเจนในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในโตรเจน และ แอมโมเนีย มีค่ามากกว่าความต้องการออกซิเจนในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์คาร์บอนทางชีวภาพ ถึง 4.57 เท่า (ธงชัย, 2544) ดังนั้นถ้าน้ำเสียมีไนโตรเจนปนเปื้อนอยู่และถูกระบายทิ้งลงแหล่งน้ำ จะก่อให้เกิดการลดลงของออกซิเจนอย่างรวดเร็ว ไนเตรทที่อยู่ในแหล่งน้ำสามารถแทรกตัวเข้าสู่บ่อบาดาลบริเวณใกล้เคียงได้ ถ้ามีการนำน้ำบาดาลจากแหล่งนั้นมาให้เด็กอ่อนบริโภคจะก่อให้เกิดโรคเด็กตัวเขียว (Methemoglobinemia) (U.S. EPA, 2007) น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของแอมโมเนียและมีค่าพีเอชสูงจนทำให้แอมโมเนียอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระจะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต แอมโมเนียอิสระเพียง 0.2 มก./ล. ก่อให้เกิดพิษรุนแรงต่อปลาหลายชนิด (U.S. EPA, 1999) การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สาม กำจัดไนโตรเจน โดยทั่วไปจะเป็นวิธีทางชีวภาพที่ใช้เชื้อจุลินทรีย์ทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน นอกจากนี้มีการใช้ตัวกลางเพื่อเป็นแหล่งให้เชื้อจุลินทรีย์ยึดเกาะ ลดการสูญเสียเชื้อจุลินทรีย์ที่ปะปนในน้ำที่ออกจากถังบำบัด การกำจัดฟอสฟอรัสสามารถทำได้ทั้งวิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ การกำจัดฟอสฟอรัสทางเคมีสามารถทำได้โดยกระบวนการตกตะกอนผลึก (Precipitation) และกระบวนการดูดซับ (Adsorption) ตัวกลางที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสมือถือประกอบสำคัญคือแคลเซียม (Vohla et al., 2011) ซึ่งทำให้เกิดการตกตะกอนผลึก (Precipitation) ตัวกลางที่มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงมักมีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของตัวกลาง ตัวกลางที่ใช้ถูกสังเคราะห์จากวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในประเทศไทย ให้มีรูปร่างที่ต่างกันและมีรูพรุน การกำจัดฟอสฟอรัสเกิดกระบวนการทางเคมีคือการดูดซับ และการกำจัดไนโตรเจนเกิดจากกระบวนการทางชีวภาพของจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ในรูพรุนของตัวกลาง

## อุปกรณ์และวิธีการ

### ตัวกลาง

นำสูตรส่วนผสมตัวกลางที่มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัส จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย มาสังเคราะห์เป็นรูปร่างต่างๆ ได้แก่ เม็ดยา (figure 1A) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 12 และ 2 มม. ตามลำดับ และมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 0.5 ก. สำหรับทรงกระบอก (figure 1B) มีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวประมาณ 4-5 และ 7-10 มม.หนักประมาณ 0.28-0.34 ก. สำหรับทรงกลม (figure 1C) มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.6-0.8 มม. และมีน้ำหนักประมาณ 0.3-0.4 ก. นำตัวกลางทั้ง 3 ชนิดไปตรวจวัดสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นรวม ความหนาแน่นปรากฏ ความพรุนปรากฏ การดูดซับน้ำ และพื้นที่ผิวจำเพาะ

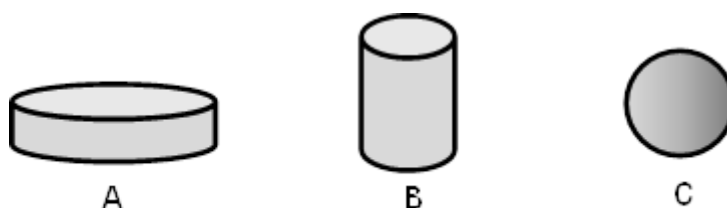


Figure 1 media shape tablet (A), cylinder (B) and sphere (C)

### วิธีการวัดความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสในตัวกลางแต่ละรูปร่าง

ทำการศึกษาโดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับ โดยนำตัวกลางแต่ละรูปร่างปริมาณ 2.5-2.8 ก. ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 50-110 มก.ฟอสฟอรัส/ล. ปริมาตร 200 มล. (เตรียมจาก  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) ใส่เครื่องเขย่า (Shaker) ที่ตั้งความเร็วรอบไว้ 175 รอบ/นาที เขย่าเป็นเวลา 36 ชม. เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าออร์โทฟอสเฟตโดยวิธีมาตรฐาน 4500-P E Ascorbic Acid Method (APHA, AWWA, and WEF., 2005) ค่าที่ได้ถูกนำไปพล็อตในกราฟของแลงเมียร์ (สมการที่ 1 และ 2) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของตัวกลางแต่ละรูปร่าง

สมการแลงเมียร์ (Ho, 2006)

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

โดยที่  $q_e$  = ปริมาณมลสารที่ถูกดูดซับบนหนึ่งหน่วยของตัวกลาง (มก./ก.)

$q_m$  = ความสามารถในการดูดซับมลสารสูงสุด (มก./ก.)

$K_a$  = ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาจากการทดลอง (ล./มก.)

$C_e$  = ความเข้มข้นมลสารในสารละลายที่เหลือจากการดูดซับ (มก./ล.)

สมการแลงเมียร์ในรูปแบบเชิงเส้น

$$\frac{1}{q_e} = \left( \frac{1}{K_a q_m} \right) \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (2)$$

นำผลจากการทดลองไปพล็อตค่าความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{1}{q_e}$  และ  $\frac{1}{C_e}$  เพื่อคำนวณหาค่า  $q_m$  และ  $K_a$

### วิธีการวัดประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของตัวกลางแต่ละรูปร่าง

ทำการศึกษาในถังปฏิกรณ์ที่ทำจากท่ออะคริลิก เส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงเท่ากับ 24 และ 150 มม. ตามลำดับ ใช้ท่ออะคริลิกทั้งหมด 3 เส้น ท่อแต่ละเส้นจะถูกบรรจุด้วยตัวกลางแต่ละรูปร่าง ปลายท่อถูกปิดด้วยมุ้งลวด ท่ออะคริลิกถูกยึดติดกับแท่นวาง (figure 2) ด้านบนของถังปฏิกรณ์ประกอบด้วยสายยางที่ถูกแบ่งเป็น 3 ทาง เพื่อให้ น้ำเสียหยดลงสู่ตัวกลาง น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีส่วนผสมดัง table 1 ด้านล่างของถังปฏิกรณ์ประกอบด้วยกรวยรับน้ำเสียที่หยดออกจากท่ออะคริลิก 3 กรวย ที่ปลายของกรวยจะถูกติดด้วยสายยางเพื่อใช้ในการรวบรวมน้ำเสียที่ออกจากระบบ เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์ทุกๆ 24 ชม. วิเคราะห์แอมโมเนียตามวิธีมาตรฐาน 4500-NH<sub>3</sub> C Titrimetric Method และวิเคราะห์ไนเตรตตามวิธีมาตรฐาน Colorimetric analysis, Hydrazine Method (APHA, AWWA, and WEF., 2005)

เชื้อจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรฟายที่ใช้ นำมาจากตะกอนหมุนเวียน (Return sludge) ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งที่สามารถกำจัดธาตุอาหารได้ จากแผนกบำบัดน้ำทิ้งของโรงควบคุมคุณภาพน้ำดิน เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวถูกป้อนเข้าสู่ระบบโดยการหยดผ่านชั้นตัวกลางในท่ออะคริลิกที่อัตราการไหล 1 มล./นาที่ เป็นเวลา 10 ชม. จากนั้นจึงป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ระบบ

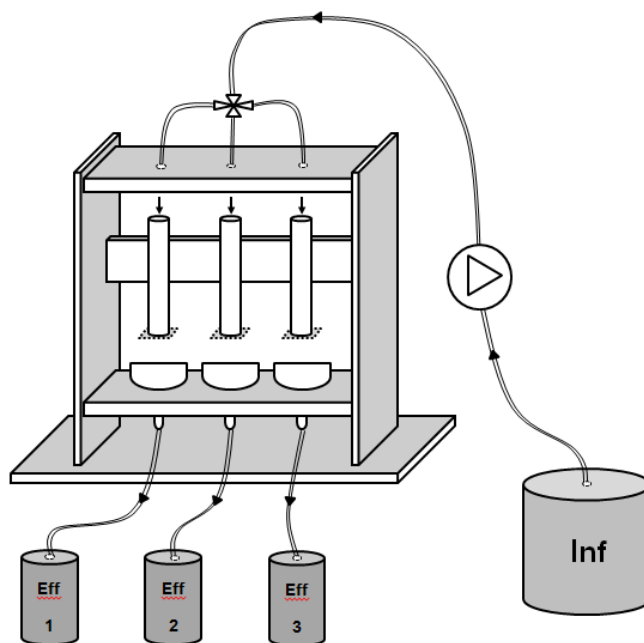


Figure 2 Reactor for nitrogen removal

Table 1 mixture of synthetic wastewater for nitrifying bacteria (kuba et al., 1993)

Major nutrients	Concentration (g/L)	minor nutrients	Concentration (g/L)
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.3-2.1	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.03
NaHCO <sub>3</sub>	0.35-2.90	KI	0.03
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.01	MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0.12
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.005	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.06
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.6	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.12
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.07	CoCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.15
EDTA	0.01	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>	0.15
FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.00625		

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### ความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัส

เมื่อนำความค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ลดลง มาพล็อตในสมการของแลงเมียร์ได้ค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซับของตัวกลางแต่ละรูปร่างเป็นไปดัง Table 2 ค่าที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของตัวกลางคือค่าความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุด (Q<sub>m</sub>) ซึ่งตัวกลางรูปร่าง เม็ดยา ทรงกระบอก และ ทรงกลม มีค่าเท่ากับ 4.85, 7.63 และ 4.52 มก.ฟอสฟอรัส/ก. ตามลำดับ และได้แสดงการเปรียบเทียบไว้ดัง figure 3 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการดูดซับฟอสฟอรัสคือปฏิกิริยาการตกตะกอนผลึก และตัวกลางที่มีองค์ประกอบเป็นแคลเซียมจะทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัส (Vohla et al., 2011) ในการทดลองนี้ ตัวกลางที่ใช้มีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมือนกันคือ เปลือกหอยแครงร้อยละ 50 ดินตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาร้อยละ 40 และสารยี่ดประสานร้อยละ 10 จากงานวิจัยของ Xu et al. (2006) กล่าวว่า ตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากจะมีค่าความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสมากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับในการทดลองนี้คือค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ จาก table 3 ตัวกลางทรงกลมมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุดเท่ากับ  $1.750 \times 10^{-3}$  ม.<sup>2</sup>/ก. แต่เมื่อนำไปวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดซับพบว่าเกิดการละลายเนื่องจากการกลิ้งของตัวกลางเมื่อทำการเขย่า ทำให้ความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสลดลงและไม่สามารถคำนวณหาความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสที่แท้จริงได้

### ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน

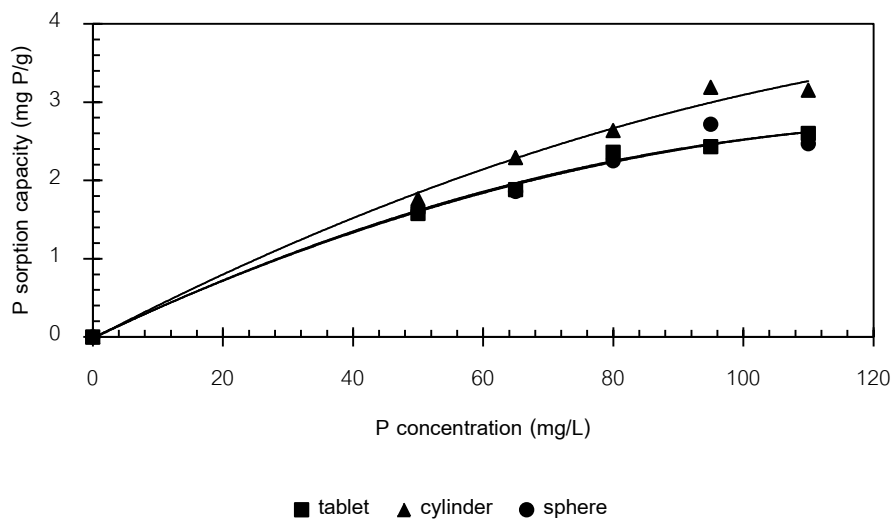
จาก table 3 เมื่อเปรียบเทียบร้อยละความพรุนของตัวกลางแต่ละรูปร่าง พบว่าตัวกลางเม็ดยา ทรงกระบอก และ ทรงกลม มีร้อยละความพรุนเท่ากับ 37.96, 48.76 และ 52.13 ตามลำดับ ตัวกลางทรงกลมมีความพรุนมากที่สุด แต่ค่าไม่ได้แตกต่างจากตัวกลางทรงกระบอกมากนัก

จาก figure 4A พบว่าค่าพีเอชของตัวกลางลดลงประมาณ 1 ในตัวกลางทุกรูปร่าง ค่าพีเอชที่ลดลงเนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรฟายอิง มีการใช้ไบคาร์บอเนตในการสร้างเซลล์ใหม่ (ธงชัย, 2544) จาก figure 4B และ 4C พบว่าเมื่อเดินระบบไป 15 วันประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียและความเข้มข้นของไนเตรทเริ่มเข้าสู่สมดุล ร้อยละประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของตัวกลางเม็ดยา ทรงกระบอก และทรงกลม มีค่าเท่ากับ 48.4, 53.1 และ 53.1 ตามลำดับ ค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ารูปร่างของตัวกลางไม่ได้มีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน Lekang (2000) กล่าวว่า ตัวกลางที่สร้างจากดินเหนียวเมื่อนำมาวางเรียง

กันในอนาคตจะทำให้การมีภาพถ่ายของอากาศได้ยากเมื่อเทียบกับตัวกลางพลาสติกสังเคราะห์ที่มีรูปร่างโปร่ง  
กลวงกว่า ดังนั้นปัญหาด้านการถ่ายภาพของอากาศจึงเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการไนตริฟิเคชันได้น้อยลง

**Table 2** Coefficient of langmuir adsorption isotherm for phosphorus sorption

Shape	$Q_m$ (mg P/g)	$K_a$ (L/mg P)	$R^2$
Tablet	4.85	0.016	0.931
Cylinder	7.63	0.010	0.868
Sphere	4.52	0.018	0.826



**Figure 3** compare phosphorus sorption capacity in each shape of media

**Table 3** physical properties in each shape of media

shape	Bulk density	Apparent density	Apparent porosity	Water absorption	Specific surface area <sup>1</sup> (m <sup>2</sup> /g)
Tablet	1.63	2.62	37.96 %	23.34 %	6.032x10 <sup>-4</sup>
Cylinder	1.36	2.66	48.76 %	35.97 %	1.186x10 <sup>-3</sup>
Sphere	1.35	2.78	52.13 %	39.25 %	1.750x10 <sup>-3</sup>

1 Calculated values.

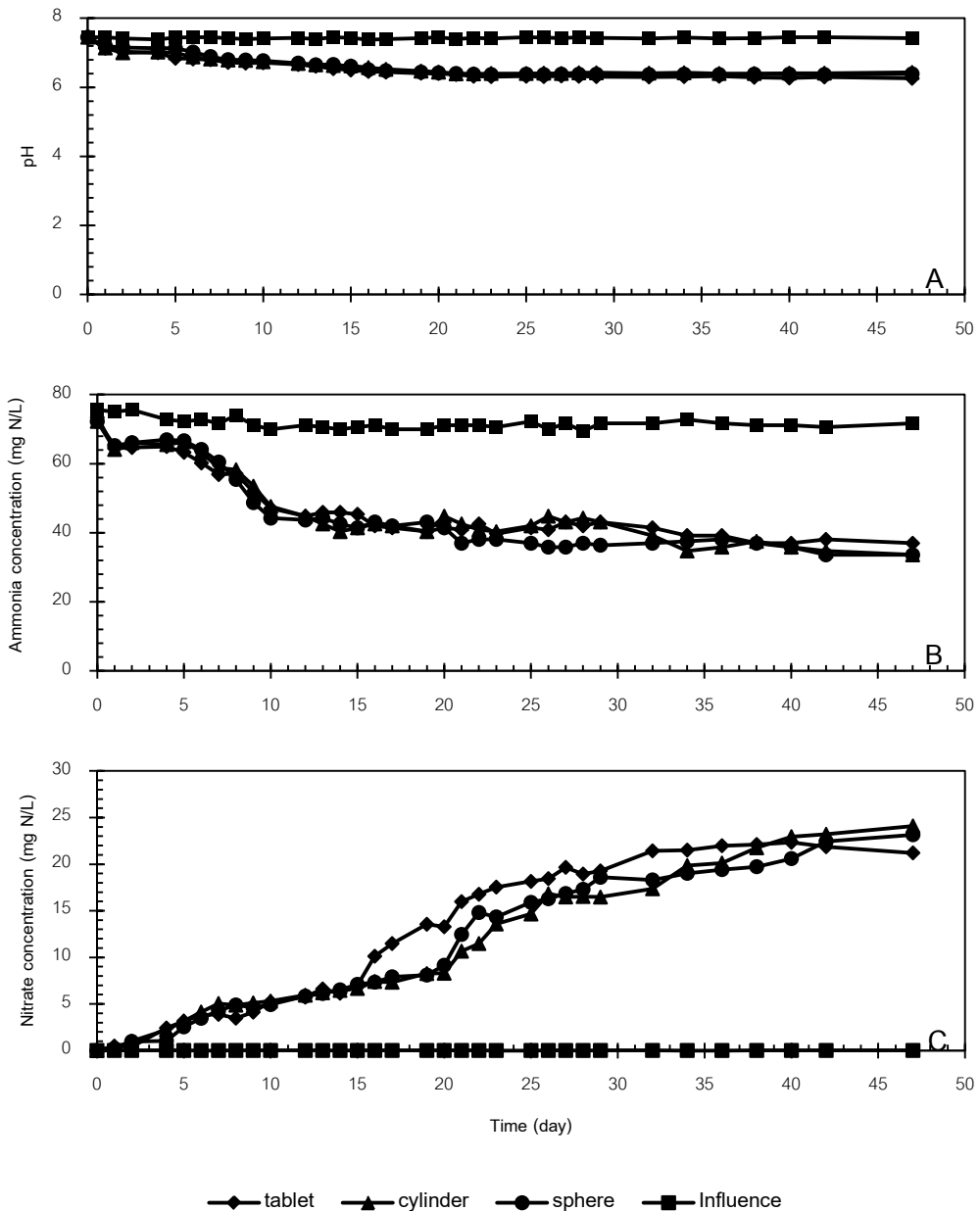


Figure 4 pH (A), ammonia concentration (B), nitrate concentration (C) Changes in reactor

### สรุป

ตัวกลางแต่ละรูปร่างมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไม่แตกต่างกัน ที่เวลา 47 วันหลังเดินระบบ ตัวกลางเม็ดยา ทรงกระบอก และทรงกลม มีร้อยละประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียเท่ากับ 48.4, 53.1 และ 53.1 ตามลำดับ แต่ในกำจัดฟอสฟอรัสพบว่าตัวกลางทรงกระบอกมีค่าความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุด คือ 7.63 มก.ฟอสฟอรัส/ก. ดังนั้นตัวกลางทรงกระบอกจึงถูกคัดเลือกเพื่อนำไปศึกษาในการทดลองต่อไปที่มีการขยายขนาดถึงปฏิกิริยา และศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสควบคู่กัน

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่สนับสนุนทุนในการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. **การกำจัด ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ**. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- APHA, AWWA, and WEF. 2005. **Standard methods for the examination of the water and wastewater (21<sup>th</sup> edition)**. Washington D.C.: American Public Health Association.
- 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
- Kuba, T., G. Smolders, M.C.M. van Loosdrecht and J.J. Heijnen. 1993. Biological Phosphorus Removal from Wastewater by Anaerobic-Anoxic Sequencing Batch Reactor. **Water Science and Technology** 27 (5-6): 241-252.
- Lekang, O.I. and Kleppe, H. 2000. Efficiency of nitrification in trickling filters using different filter media. **Aquacultural Engineering** 21: 181-199.
- Schindler, D.W. 1971. Carbon, nitrogen and phosphorus the eutrophication of freshwater lakes. **Journal of Phycology** 7 (4): 321-329.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1999. **1999 Update of Ambient Water Quality Criteria for Ammonia**. U.S.EPA, Aquatic life criteria-ammonia. Available Source: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/aqlife/ammonia/upload/99update.pdf>, June 20, 2012
- U.S. Environmental Protection Agency. 2007. **Nitrates and Nitrites TEACH Chemical Summary**. U.S. EPA, Toxicity and Exposure Assessment for Children's Health. Available Source: [http://www.epa.gov/teach/chem\\_summ/Nitrates\\_summary.pdf](http://www.epa.gov/teach/chem_summ/Nitrates_summary.pdf), June 12, 2012
- Vohla, C., Kõiv, M., Bavor, H.J., Chazarenc, F. and Mander, Ü. 2011. Filter materials for phosphorus removal from wastewater in treatment wetlands-A review. **Ecological Engineering** 37 (1): 70-89.
- Xu, D., Xu, J., Wu, J., Muhammad, A. 2006. Studies on the phosphorus sorption capacity of substrates used in constructed wetland systems. **Chemosphere** 63: 344-352.