



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ เป็นการทดลองบำบัดน้ำเสียจากสถานบริการล้างรถ โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินในแนวตั้งที่ปลูกต้นธูปฤาษี ตัวกลางที่ใช้ในการเปรียบเทียบกันได้แก่ อิฐแดง และ อิฐบล็อก ปรับเปลี่ยนอัตราภาระชลศาสตร์ที่ป้อนเข้าระบบ 2 ค่าคือ 0.041 และ 0.083  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{วัน})$  คิดเป็นอัตราการไหลที่ป้อนเข้าระบบเท่ากับ 10 ลิตรต่อวันและ 20 ลิตรต่อวันตามลำดับ โดยการป้อนน้ำเสียอย่างไม่ต่อเนื่องคือ เดิม 2 ชั่วโมง หยุด 2 ชั่วโมง ซึ่งน้ำเสียจะมีระยะเวลาพักเก็บในระบบเท่ากับ 6.16 วัน และ 3.08 วัน ตามลำดับ โดยศึกษาค่าพารามิเตอร์ คือ พีเอช อุณหภูมิ โออาร์พี ซีโอดี บีโอดี ปริมาณสารแขวนลอย ทีเคเอ็น และ ฟอสฟอรัสรวมในน้ำ ในช่วงเริ่มต้นได้ทำการเลี้ยงพืชให้คุ้นเคยกับระบบบึงประดิษฐ์ โดยป้อนด้วยน้ำประปา 15 วัน พืชที่ใช้ปลูกคือต้นธูปฤาษี (*Cattail: Typha*) ที่มีขนาดใกล้เคียงกันอายุประมาณ 1 เดือน หลังจากนั้นทำการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ 2 ชั่วโมง หยุดป้อน 2 ชั่วโมงสลับกัน และการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของตัวกลาง อิฐแดงและอิฐบล็อก

#### 4.1 วิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสีย

น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นตัวแทนน้ำเสียสถานบริการล้างรถที่ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์ ลักษณะและส่วนประกอบน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ทดลองดังตารางที่ 3.1 เพื่อที่ได้ลักษณะน้ำเสียที่ถูกต้องลดความแปรปรวนขององค์ประกอบในน้ำเสียระหว่างการทดลอง ซึ่งสามารถนำไปใช้บำบัดน้ำเสียได้ถูกต้อง น้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบตลอดการทดลองมีการควบคุมให้ทุกพารามิเตอร์มีค่าใกล้เคียงกันในทุกการทดลอง ซึ่งมีค่าพีเอช เฉลี่ยระหว่าง 6-7 ค่าสารแขวนลอยเฉลี่ยระหว่าง 92-108 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าซีโอดีเฉลี่ยระหว่าง 200-252 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยระหว่าง 17-22 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าฟอสเฟตฟอสฟอรัสเฉลี่ยระหว่าง 4.3-5.7 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยระหว่าง 6.1 ถึง 7.8 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.1 และภาคผนวก ข.

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยลักษณะสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าในระบบบึงประดิษฐ์

พารามิเตอร์	น้ำเสียจากสถานบริการล้างรถ						ลักษณะ น้ำเสีย สังเคราะห์
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	
อุณหภูมิ(°ซ)	28.4	27.8	28.2	28.5	29.2	28.42	28.6 ± 2
pH	6.8	6.3	7.1	6.9	6.1	6.64	6.5 ± 1
ORP (mV)	90	68	110	84	58	82	78.7 ± 5
SS (mg/l)	110	85	102	91	117	101	100 ± 8
COD (mg/l)	218	247	196	200	256	223.4	218.4 ± 22
BOD (mg/l)	143	112	128	156	138	135.4	127.5 ± 8
TKN (mg/l)	22	17	28	30	14	22.2	20.8 ± 5
PO <sub>4</sub> P (mg/l)	7	4	6	5	6	5.2	5 ± 1
TP (mg/l)	8	6	7	7	7	7	7 ± 1

หมายเหตุ : จำนวนน้ำเสียสังเคราะห์ = 10 ตัวอย่าง

#### 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพ - เคมีของตัวกลาง

ตัวกลางที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิดได้แก่ อิฐแดงและอิฐบล็อก ผลการวิเคราะห์สภาวะของธาตุองค์ประกอบ (The mineral phase compositions) โดย X-ray diffraction (XRD) มีดังนี้

- อิฐแดงประกอบด้วย Quartz(SiO<sub>2</sub>), Phengite2M1, Fe-rich, heated-K(Al,Fe)2AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>
- อิฐบล็อกประกอบด้วย Calcium Carbonate (CaCO<sub>3</sub>), Quartz (SiO<sub>2</sub>), Silicon Oxide (SiO<sub>2</sub>), Stishovite (SiO<sub>2</sub>)

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของตัวกลางทั้ง 2 ชนิด

ธาตุองค์ประกอบ (% by wt.)	อิฐแดง	อิฐบล็อก
MgO	-	0.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.41	0.41
SiO <sub>2</sub>	74.93	3.23
SO <sub>3</sub>	0.18	0.50
K <sub>2</sub> O	2.68	0.23
CaO	1.47	79.99
TiO <sub>2</sub>	1.15	0.16
MnO <sub>2</sub>	0.26	0.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.46	1.39
SrO	-	0.25
ZrO <sub>2</sub>	0.11	-
BaO	0.22	-
Void Space	0.65	0.60
Specific Surface area (m <sup>2</sup> /g)	14.75	3.24
Effective size: D <sub>10</sub> (mm.)	3.0	2.5
Effective size: D <sub>60</sub> (mm.)	7.0	6.0
Uniformity Coefficient: UC	2.3	2.4
pH	8.60	10.15

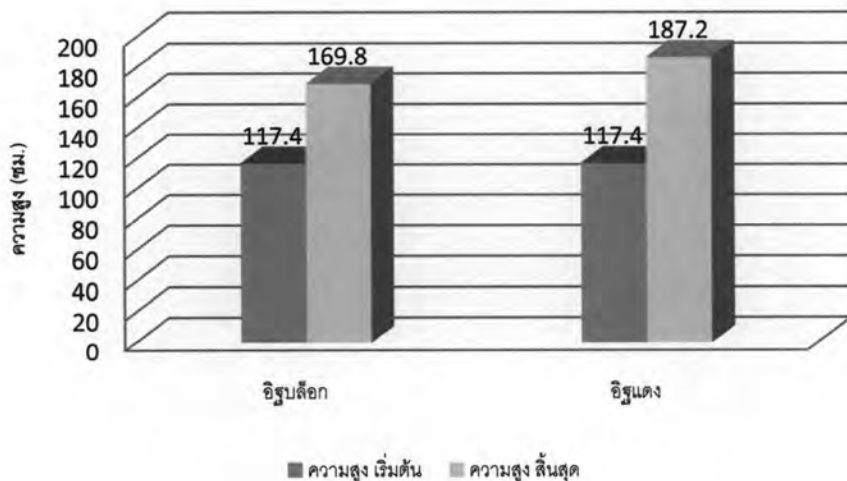
ธาตุองค์ประกอบที่สำคัญที่ใช้ในการดูดซับและตกตะกอนได้แก่แคลเซียม เหล็ก และ อะลูมิเนียม (Zhu และคณะ, 1997) แคลเซียมเป็นธาตุที่มีบทบาทเด่นที่สุดในการดูดซับและ ตกตะกอน (Korkusuz และคณะ, 2007) ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบ (The elemental compositions) ของอิฐแดงและอิฐบล็อก โดย X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) พบว่าอิฐแดง ประกอบด้วย CaO ค่าเท่ากับร้อยละ 1.47 แต่มี Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ร้อยละ 11.41 และ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ร้อยละ 6.46 โดย น้ำหนัก นอกจากนี้อิฐแดงยังมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 14.75 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าตัวกลาง อิฐบล็อก ส่วนอิฐบล็อกนั้นมี CaO ร้อยละ 79.99 และมี Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ร้อยละ 1.39 โดยน้ำหนัก และมีพื้นที่ ผิวจำเพาะเท่ากับ 3.24 ตารางเมตรต่อกรัม โดยตัวกลางอิฐบล็อกมีค่าอัตราส่วนช่องว่าง (Void Space) ต่ำกว่าตัวกลางอิฐแดง (0.6 และ 0.65) ตามลำดับ ที่อาจทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอย ระบบตัวกลางอิฐบล็อกสามารถกรองสารแขวนลอยสูงกว่าระบบตัวกลางอิฐแดง

นอกจากนี้ตารางที่ 4.2 ได้แสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนช่องว่าง (Void Space) ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) ขนาดสัมฤทธิ์ (Effective size)  $D_{10}$ ,  $D_{60}$  ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Uniformity Coefficient: UC) และค่าพีเอช (pH) ของตัวกลางทั้ง 2 ชนิด ซึ่งขนาดของตัวกลางเฉลี่ยเท่ากับ 0.2-1 มิลลิเมตร และค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอมีค่าน้อยกว่า 3 เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับบึงประดิษฐ์ (Zouboulis และ Prochaska, 2006)

#### 4.3 ผลการเจริญเติบโตของพืชในการทดลอง

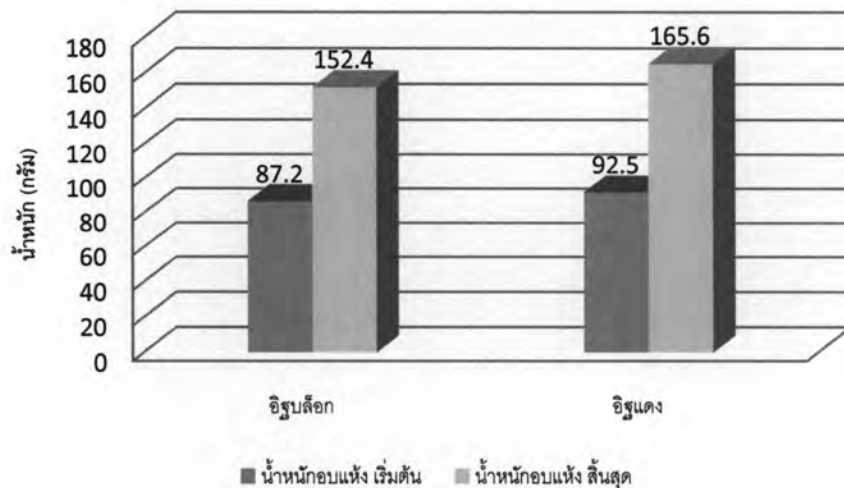
##### 4.3.1 การเจริญเติบโตของพืชที่ระบบอัตราการไหลน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน

การวัดอัตราการเจริญเติบโตของต้นรูปถั่วที่ระบบอัตราการไหลน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน ทำโดยการวัดความสูงและน้ำหนักของต้นรูปถั่วในตอนเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งวันสิ้นสุดการทดลองพิจารณาจากที่ระบบได้ผ่านสภาวะคงตัวของระบบแล้วเป็นเวลาหนึ่งเดือน จากการทดลองความสูงเฉลี่ยเริ่มต้นของต้นรูปถั่วของระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อกและอิฐแดง วัด ณ วันที่ 1 กรกฎาคม 2551 มีค่าเท่ากับ 117 เซนติเมตร ความสูงเฉลี่ยสุดท้ายของต้นรูปถั่วของระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อกและอิฐแดง วัด ณ วันที่ 17 กันยายน 2551 มีค่าเท่ากับ 169.8 และ 187.2 เซนติเมตร สรุปอัตราการเพิ่มความสูงเฉลี่ยของระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อกและอิฐแดง มีค่าเท่ากับ 0.66 และ 0.87 เซนติเมตรต่อวัน แสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐแดงมีอัตราการเพิ่มความสูงเฉลี่ยมากกว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อก



รูปที่ 4.1 ความสูงเฉลี่ยของต้นรูปถั่วที่ระบบอัตราการไหลน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน

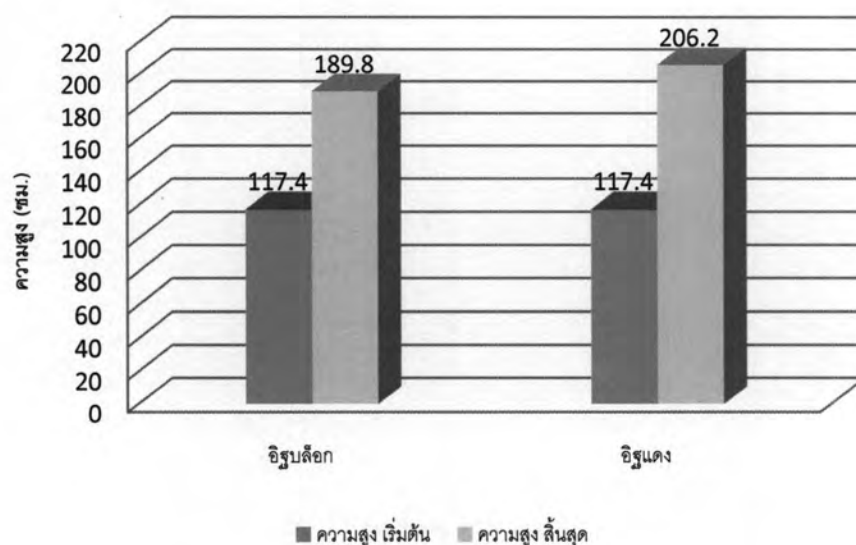
การชั่งน้ำหนักของต้นรูปถาญีในตอนเริ่มต้น และสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองน้ำหนักเริ่มต้นของต้นรูปถาญีที่ปลูกในระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ตัวกลางอิฐบล็อกและอิฐแดงทั้ง 6 ตัวอย่าง ในวันที่ 1 กรกฎาคม 2551 มีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 87.2 และ 92.5 กรัม เมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 17 กันยายน 2551 ได้เก็บตัวอย่างต้นรูปถาญีเพื่อชั่งน้ำหนักรวมหลังอบแห้งพบว่ามีค่าเท่ากับ 152.4 และ 165.6 กรัม น้ำหนักพืชที่เพิ่มขึ้นในระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อกและอิฐแดง มีค่าเท่ากับ 0.815 และ 0.913 กรัมต่อวันตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 น้ำหนักของต้นรูปถาญีที่ระบบอัตราการไหลน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน

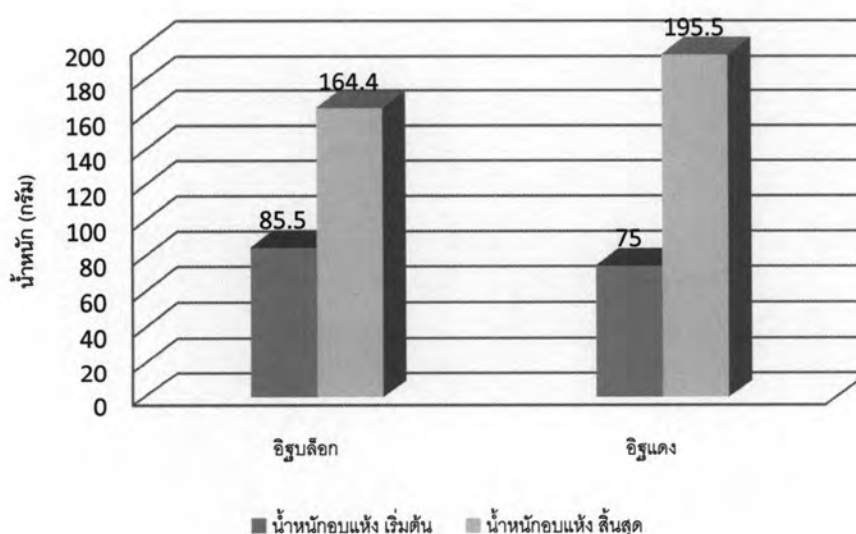
#### 4.3.2 การเจริญเติบโตของพืชที่ระบบอัตราการไหลน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน

การวัดอัตราการเจริญเติบโตของต้นรูปถาญีที่ระบบอัตราการไหลน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน ทำโดยการวัดความสูงและน้ำหนักของต้นรูปถาญีในตอนเริ่มต้น และสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองความสูงเฉลี่ยเริ่มต้นของต้นรูปถาญีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อกและอิฐแดง วัด ณ วันที่ 1 ตุลาคม 2551 มีค่าเท่ากับ 117 เซนติเมตร ความสูงเฉลี่ยสุดท้ายของต้นรูปถาญีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อกและอิฐแดงทั้ง 6 ตัวอย่าง วัด ณ วันที่ 1 ธันวาคม 2551 มีค่าเท่ากับ 189.8 และ 206.2 เซนติเมตร สรุปอัตราการเพิ่มความสูงเฉลี่ยของระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อกและอิฐแดง มีค่าเท่ากับ 1.17 และ 1.43 เซนติเมตรต่อวัน แสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐแดงมีอัตราการเพิ่มความสูงเฉลี่ยมากกว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อก



รูปที่ 4.3 ความสูงเฉลี่ยของต้นรูปถ่ายิที่ระบบอัตราการไหลน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน

การซ้่งน้ำหน้กของต้นรูปถ่ายิในคอนเริ่มต้้น และต้้นสุดการทคลง จากการทคลงน้ำหน้กเริ่มต้้นของต้นรูปถ่ายิที่ปลุกในระบบบ้ิงประคยฐู้ที่ใ้ใช้ต้้วกลางอิฐบล็อกและอิฐแดงท้้ง 6 ต้ัวอย่าง ในว้ันที่ 1 ตุลาคม 2551 มีน้ำหน้กแห้งเท้่ากับ 85.5 และ 164.4 กร้ัม เมื่อต้้นสุดการทคลงในว้ันที่ 1 ธันวาคม 2551 ได้เก็บต้ัวอย่างต้นรูปถ่ายิเพื่อซ้่งน้ำหน้กรวมหล้งอบแห้งพบว้ามีค้่าเท้่ากับ 75 และ 195.5 กร้ัม น้ำหน้กพีซที่เพิ่มซ้ึ้นในระบบบ้ิงประคยฐู้ที่ใ้ใช้อิฐบล็อกและอิฐแดง มีค้่าเท้่ากับ 1.26 และ 1.94 กร้ัมต่อว้ันตามล้าค้ับ ด้ังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 น้ำหน้กของต้นรูปถ่ายิที่ระบบอัตราการไหลน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน

จากการบันทึกการเจริญเติบโตของพืชในการทดลองจะเห็นได้ว่าการเจริญเติบโตของพืชที่อัตราการไหลน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน ต้นรูปถ่ายเจริญเติบโตได้ดีกว่าที่อัตราการไหลน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน อาจเป็นเพราะปริมาณความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าในระบบที่อัตราการไหลน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน มีสูงกว่า โดยมีปริมาณของธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชมากกว่าเช่น ธาตุไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส ทำให้ช่วยในการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น และเมื่อพิจารณาดั๊กกลางที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นรูปถ่าย ทั้งในที่ระบบอัตราการไหลน้ำเสีย 10 และ 20 ลิตรต่อวัน ระบบที่ใช้ดั๊กกลางอิฐแดง จะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าระบบที่ใช้ดั๊กกลางอิฐบล็อก ทั้งความสูงที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นหลังจากเสร็จการทดลอง อาจเป็นผลมาจากความแตกต่างขององค์ประกอบของชั้นดั๊กกลาง ซึ่งจากผลการวิเคราะห์สภาวะของธาตุองค์ประกอบ (The mineral phase compositions) โดย X-ray diffraction (XRD) ของดั๊กกลางอิฐแดงและอิฐบล็อก พบว่า อิฐแดงประกอบด้วย  $\text{SiO}_2$  สูงเท่ากับร้อยละ 74.93 มี  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 11.41 และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 6.46 แต่มี  $\text{CaO}$  ต่ำเท่ากับร้อยละ 1.47 โดยน้ำหนัก ส่วนอิฐบล็อกนั้นมี  $\text{CaO}$  ร้อยละ 79.99 และมี  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 1.39 โดยน้ำหนัก จากสภาวะของธาตุองค์ประกอบเป็นไปได้ว่าต้นรูปถ่ายสามารถเติบโตได้ดีในองค์ประกอบของสภาวะธาตุอิฐแดง และจากการวิเคราะห์ค่า พีเอชของดั๊กกลางพบว่า ดั๊กกลางอิฐแดงและอิฐบล็อกมีค่าพีเอชเท่ากับ 8.60 และ 10.15 ตามลำดับ ซึ่งจากตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของพืชโพลีพืชน้ำชนิดต่างๆในการบำบัดน้ำเสีย จะเห็นได้ว่า พีเอชที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของต้นรูปถ่ายในระบบควรมีพีเอชอยู่ในช่วง 4-10 แต่ในการทดลองดั๊กกลางอิฐบล็อกมีพีเอชที่สูงเกินช่วงที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของต้นรูปถ่าย อาจทำให้เป็นสาเหตุให้ต้นรูปถ่ายเจริญเติบโตได้น้อยกว่าดั๊กกลางอิฐแดงหลังจากการทดลองเสร็จสิ้น

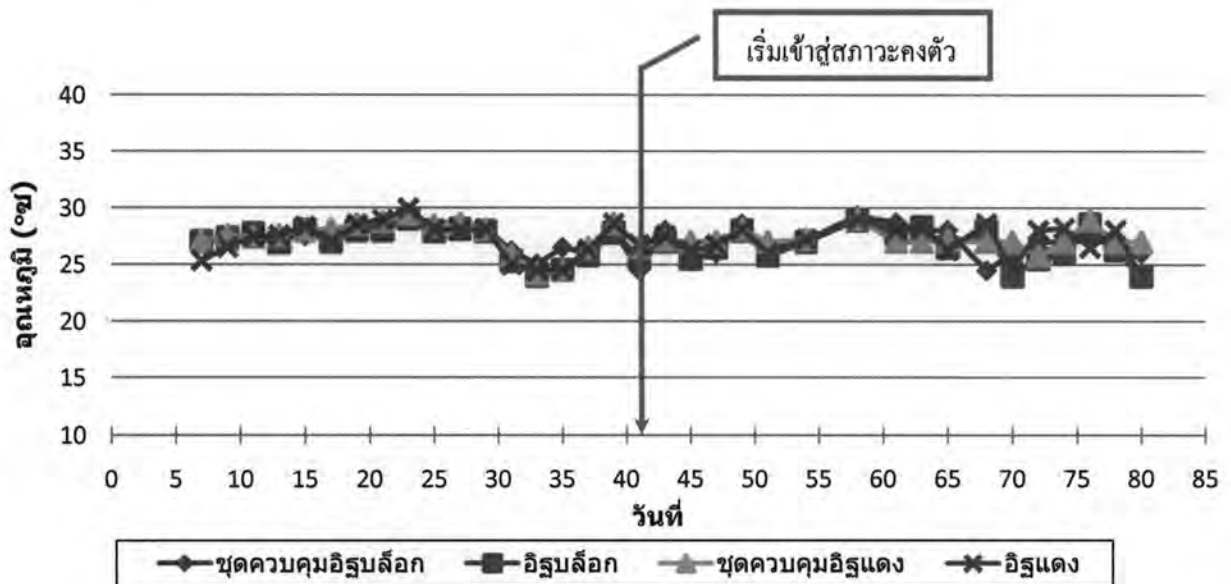
#### 4.4 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์

ศึกษาภาพรวมของการบำบัดน้ำเสียโดยบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลในแนวตั้ง การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือระยะที่ 1 เติบระบบป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2551 ถึง 17 กันยายน 2551 ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว หลังจากเดินระบบได้ประมาณ 41 วัน และในระยะที่ 2 เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2551 ถึง 1 ธันวาคม 2551 ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว หลังจากเดินระบบได้ประมาณ 48 วัน ซึ่งใช้ค่า ซีโอดี เป็นตัวกำหนด (ค่าของข้อมูลแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 5) ดังนั้นผลการทดลองจะนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆเฉลี่ยและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดต่อไป

#### 4.4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน

##### 1) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 28.6 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่พืชและจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี (ศักดิ์ชัย, 2547) ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์จะมีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำออกเล็กน้อย โดยเมื่อน้ำเสียผ่านระบบบึงประดิษฐ์แล้วพบว่า มีอุณหภูมิเฉลี่ย ลดลง ผลการทดลองป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ จากรูปที่ 4.5 เส้นกราฟของทั้ง 4 ระบบมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน แสดงถึงอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกัน โดยเฉลี่ยที่ 27 องศาเซลเซียส



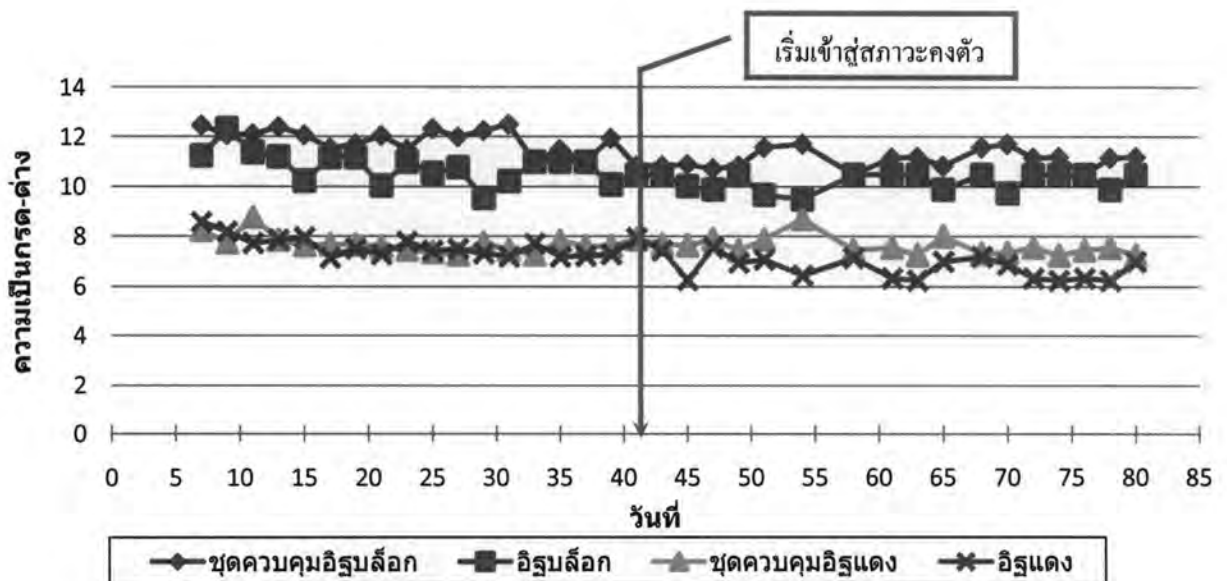
รูปที่ 4.5 อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน

##### 2) ค่าพีเอช

ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าระบบมีค่าพีเอชเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6-7 โดยเมื่อน้ำเสียผ่านระบบบึงประดิษฐ์แล้วพบว่า มีค่าพีเอชสูงขึ้น โดยระบบควบคุมอุณหภูมิเล็กมีค่าพีเอชเฉลี่ย  $11.1 \pm 0.3$  ระบบอุณหภูมิเล็กมีค่าพีเอชเฉลี่ย  $10.2 \pm 0.3$  ระบบควบคุมอุณหภูมิแดงมีค่าพีเอชเฉลี่ย  $7.6 \pm 0.3$  ระบบอุณหภูมิแดงมีค่าพีเอชเฉลี่ย  $6.8 \pm 0.4$  ผลการทดลองประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ ป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน น้ำออกจากระบบที่บรรจุอุณหภูมิเล็กมีค่าพีเอชเริ่มต้นสูง แต่มีแนวโน้มลดลงตามเวลา เนื่องจากอุณหภูมิเล็กมีค่าพีเอชเป็นค่าพื้นฐานจากการการวิเคราะห์สภาวะของ



ธาตุองค์ประกอบ (The mineral phase compositions) โดย X-ray diffraction (XRD) มีองค์ประกอบของ CaO สูงถึง 79.99 % เมื่อป้อนน้ำเสียเข้าระบบอาจทำให้ค่าพีเอชของน้ำออกมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเฉลี่ยในน้ำออกเท่ากับ 10.2 และ 11.1 สำหรับระบบที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช ส่วนระบบที่มีตัวกลางอิฐแดงมีค่าพีเอชน้ำออกค่อนข้างกลางตลอดการทดลองเนื่องจากอิฐแดงมีค่าพีเอชเป็นกลางที่ 7-8 แต่พบว่าชุดที่มีการปลูกพืชมีพีเอชน้ำออกต่ำกว่าชุดควบคุมเล็กน้อยโดยระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวหลังจากเดินระบบได้ประมาณ 41 วัน ซึ่งการลดลงของค่าพีเอชคาดว่าเป็นผลมาจากการลดลงของปริมาณแคลเซียมที่เกิดเป็นผลึกของแคลเซียมฟอสเฟต โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) เป็นตัวควบคุมค่าพีเอช (Adam และคณะ, 2006) ชุดควบคุมอิฐบล็อก (ไม่ปลูกพืช) มีค่าพีเอชต่ำกว่าระบบที่ปลูกพืช ดังรูปที่ 4.6

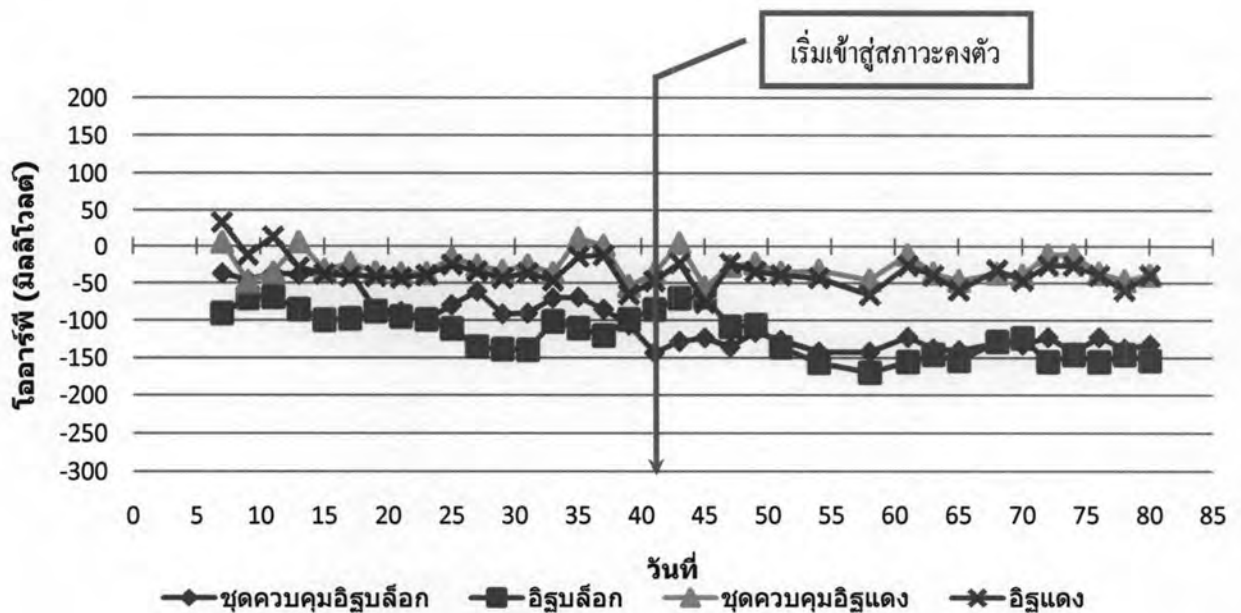


รูปที่ 4.6 พีเอชของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน

### 3) โออาร์พี

ค่าโออาร์พีเฉลี่ยของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าระบบมีค่าระหว่าง 70-80 มิลลิโวลต์ ผลการทดลองประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ ป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวันที่สภาวะคงตัว ค่าโออาร์พีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์เฉลี่ยเท่ากับ -131 ถึง -132 และ -32 ถึง -42 มิลลิโวลต์สำหรับตัวกลางอิฐบล็อกและอิฐแดงตามลำดับ ดังรูปที่ 4.7 การที่น้ำจากระบบที่บรรจุอิฐบล็อกมีค่าโออาร์พีเป็น (-) คาดว่าระบบอยู่ในสภาวะแอนีออกซิกเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพีเอชของน้ำออกมีค่าสูง ค่าโออาร์พีจะมีแนวโน้มติดลบมากขึ้น โดยช่วงเริ่มการเดินระบบ โออาร์พีเป็น (+) แต่เมื่อเดินระบบเวลาผ่านไป โออาร์พีเป็น (-) มากขึ้น เพราะเมื่อป้อนน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีสูง

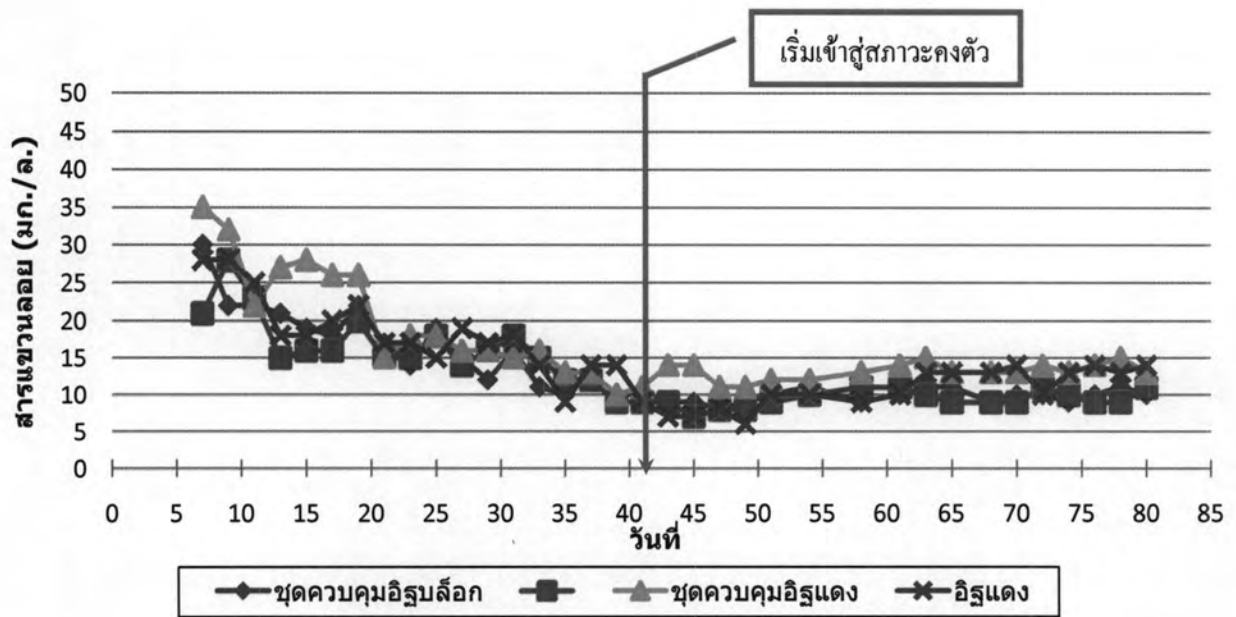
โดยมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ จะมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มากขึ้นในระบบ ลักษณะระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวตั้งจะมีความลึกของถังสูงถ้าระดับความลึกสูงมากอาจทำให้เกิดภาวะขาดอากาศ จุลินทรีย์บางส่วนจะตายลงเกิดการสะสมและเกิดการย่อยสลายแบบไร้อากาศมากขึ้น



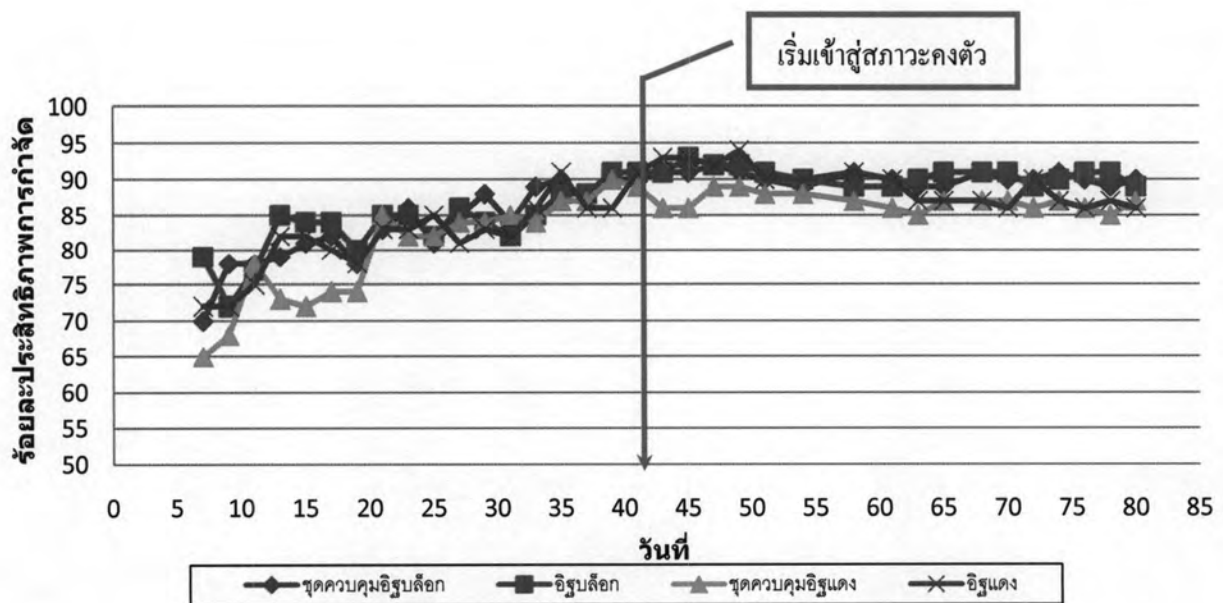
รูปที่ 4.7 ไออาร์พีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน

#### 4) สารแขวนลอย

น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าสารแขวนลอยที่ป้อนเข้าระบบเฉลี่ย 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ ป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวันที่สภาวะคงตัวค่าสารแขวนลอยของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ได้ดังตารางที่ 4.3 ค่าสารแขวนลอยในน้ำทิ้งจากทั้ง 4 ระบบ ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบมีค่าไม่คงที่ อาจเนื่องมาจากการหลุดลอกของตะกอนจุลินทรีย์และตัวกลางภายในระบบ แต่เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวค่าสารแขวนลอยมีค่าลดลงเพราะเมื่อเวลาผ่านไปดินไม้เจริญเติบโต รากในชั้นตัวกลางก็จะเพิ่มขึ้น ใ้พื้นที่มากขึ้น ทำให้ชั้นของตัวกลางอัดแน่น ช่องว่างในระบบลดลง ทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกรองสารแขวนลอยสูงขึ้น ซึ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดพบว่าทุกระบบประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยใกล้เคียงกันดังรูปที่ 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.8 สารแขวนลอยของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน

ตารางที่ 4.3 สารแขวนลอยของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน

ตัวกลางระบบบึงประดิษฐ์	สารแขวนลอย เฉลี่ยออกจาก ระบบ (มก./ล.)	ร้อยละประสิทธิภาพการบำบัด
ชุดควบคุมอิฐบล็อก	9.8±0.8	90.20±4.0
อิฐบล็อก	9.4±1.0	90.60±2.1
ชุดควบคุมอิฐแดง	13.1±1.4	86.90±2.8
อิฐแดง	10.7±2.7	89.30±3.4

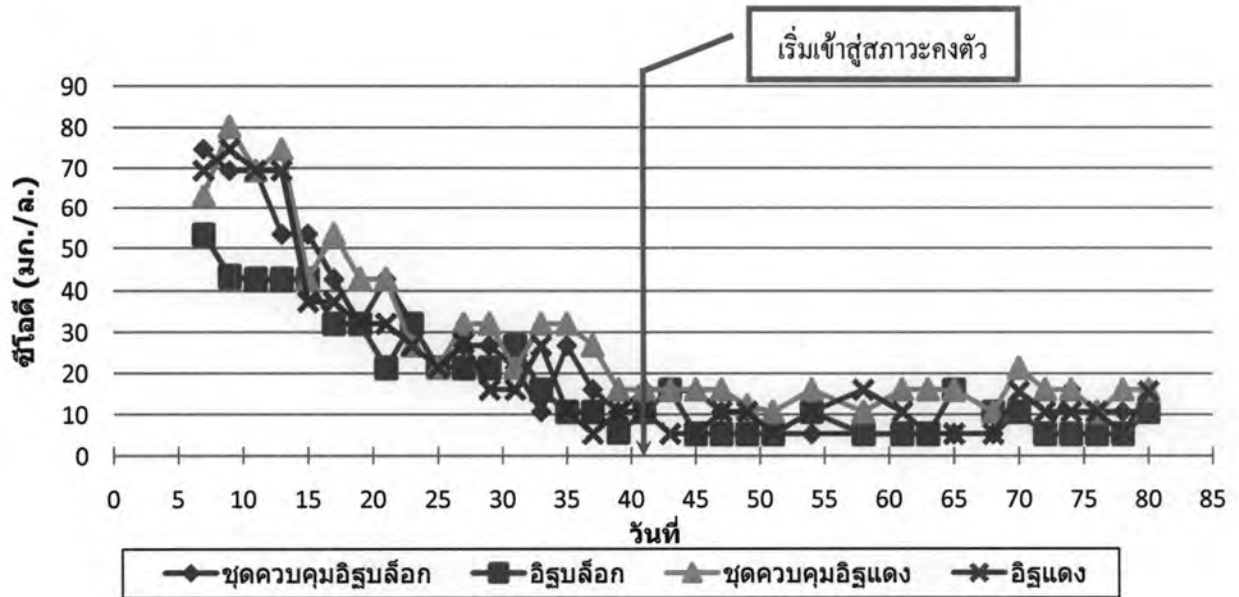
หมายเหตุ จำนวน = 18 ตัวอย่าง

ระบบสามารถกำจัดสารแขวนลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวของระบบมี ประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 90 โดยจะเห็นได้ว่าตัวกลางอิฐบล็อกมีประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยสูงกว่าระบบตัวกลางอิฐแดงอาจเนื่องจากตัวกลางอิฐบล็อกมีค่าอัตราส่วนช่องว่าง (Void Space) ต่ำกว่าตัวกลางอิฐแดง (0.6 และ 0.65) ตามลำดับ ทำให้ระบบตัวกลางอิฐบล็อกสามารถกรองสารแขวนลอยสูงกว่า และระบบที่ปลูกต้นธูปฤๅษีเจริญเติบโตมีแนวโน้มน้ำที่ทำความเร็วของน้ำเสียที่เข้ามาต่ำลง และช่วยกระจายน้ำเข้าไปทั่วทั้งระบบ ซึ่งช่วยเสริมการตกตะกอนให้ดียิ่งขึ้น (Gray, 1989) ทำให้เห็นว่าระบบที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าระบบควบคุมที่ไม่ปลูกพืช และพวกคอลลอยด์และของแข็งที่ไม่ตกตะกอนถูกกำจัดอย่างน้อยส่วนหนึ่งโดยการจับติดกับแบคทีเรีย การชนกัน การไหลไปรวมกัน และการดูดติดกับวัสดุอื่น ๆ เช่น ลำต้นพืชด้านข้างและก้นร่องดิน (Kessomboon, 1990) การกำจัดสารแขวนลอย และการย่อยสลายมวลสาร เป็นผลให้เกิดชั้นของตะกอน (Sludge Layer) สะสมในตัวกลาง (Hammer และ Kadlec, 1983) การเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอย ทำได้โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น ลดความเร็วของน้ำ และเพิ่มการตกตะกอนและการกรองในระบบราก (Korkusuz และคณะ, 2005)

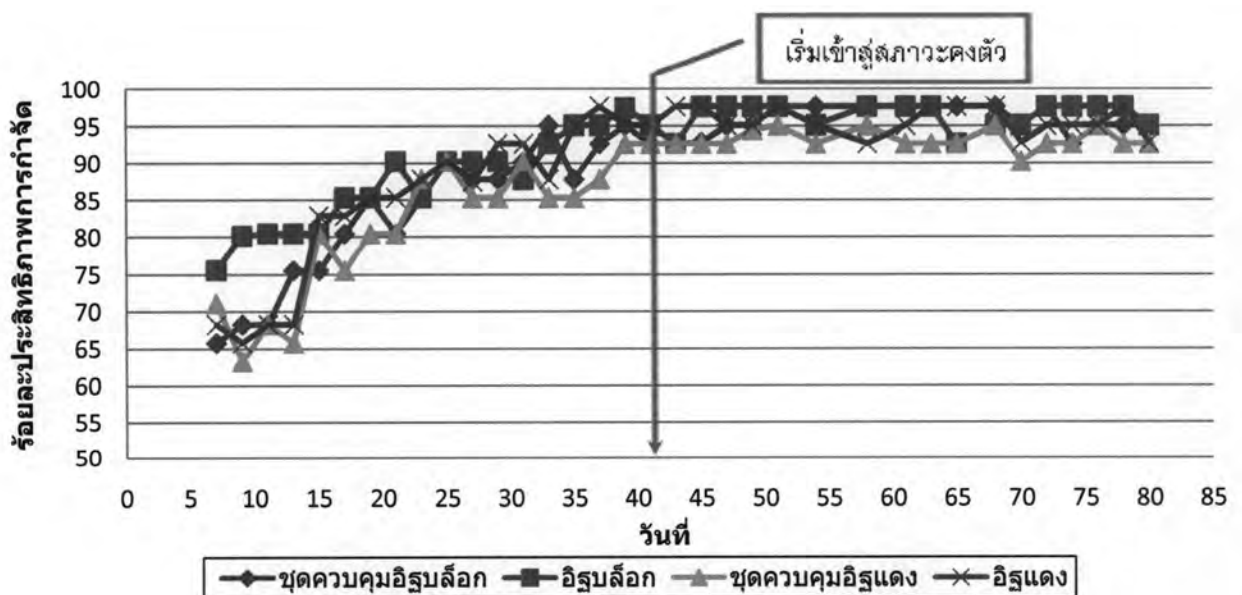
### 5) ซีโอดี

น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าซีโอดีเฉลี่ยระหว่าง 200-250 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลอง ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ บ่อน้ำเสียที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวันในช่วงแรกค่าซีโอดีมีค่าไม่คงที่ คาดว่าเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ปรับตัวเข้ากับสภาพน้ำเสีย แต่เมื่อเดินระบบได้ประมาณ 41 วัน ค่าซีโอดีเริ่มคงที่ แสดงถึงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งที่สภาวะคงตัวค่าซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ได้ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ใช้ตัวกลางอิฐบล็อกมี ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุดร้อยละ 96.3 ส่วนตัวกลางอิฐบล็อกที่ไม่ปลูกพืช ตัวกลางอิฐแดง

ที่ปลูกและไม่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 95.6, 93.7 และ 93.2 ตามลำดับ เนื่องจากสถานะในระบบเหมาะกับการเติบโตของแบคทีเรีย ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11



รูปที่ 4.10 ซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน



รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน

ตารางที่ 4.4 ซีไอซีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน

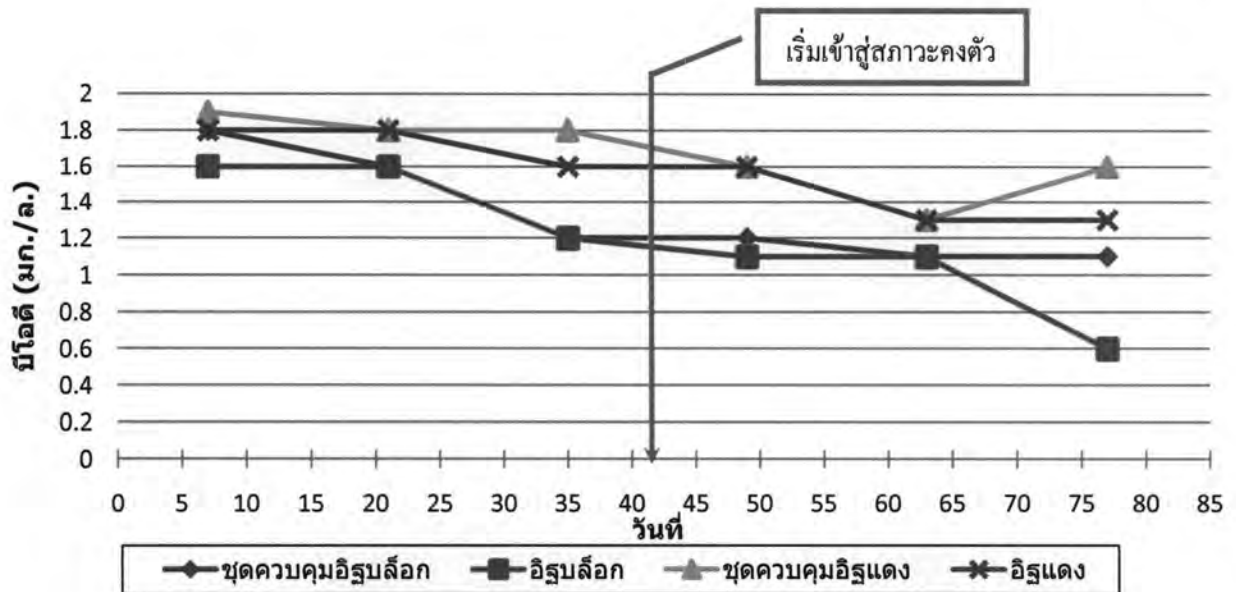
ตัวกลางระบบบึงประดิษฐ์	ซีไอซีเฉลี่ยออกจากระบบ (มก./ล.)	ร้อยละประสิทธิภาพการบำบัด
ชุดควบคุมอิฐบล็อก	9.5±4.2	95.65±3.3
อิฐบล็อก	8.0±3.7	96.34±1.3
ชุดควบคุมอิฐแดง	14.9±2.8	93.18±2.8
อิฐแดง	9.4±3.5	95.70±2.0

หมายเหตุ จำนวน = 18 ตัวอย่าง

พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอซีของน้ำเสียในช่วงแรกๆที่ดำเนินการทดลองมีความแปรปรวนทั้งในระบบตัวกลางอิฐบล็อกและตัวกลางอิฐแดงในชุดควบคุมและปลูกพืช ซึ่งมีแนวโน้มของประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอซีสูงขึ้นเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยจะเห็นได้ว่าระบบตัวกลางอิฐบล็อกที่ปลูกพืชสามารถบำบัดซีไอซีได้มีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวกลางอิฐแดงเล็กน้อย อาจเพราะการตกตะกอนในชั้นตัวกลางที่มีผลมาจากความพรุนของชั้นตัวกลางที่ใกล้เคียงกัน และบางส่วนจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ ส่วนสารอินทรีย์ที่อยู่ในสภาพสลายจะถูกละลายโดยจุลินทรีย์ซึ่งมีทั้งในส่วนที่มีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจน รวมทั้งการถูกดูดซึม โดยพืชที่เห็นว่าระบบที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอซีสูงกว่าระบบควบคุมที่ไม่ปลูกพืช

#### 6) บีไอซี

น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าบีไอซีเฉลี่ยระหว่าง 117.5-135.5 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองนี้ได้นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าระบบบึงประดิษฐ์ มีค่า BOD<sub>5</sub>:COD ratio เท่ากับ 0.59 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.5 แสดงว่าน้ำเสียสังเคราะห์สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ดี (Tchobanoglous และคณะ, 2004 ถูกอ้างในไพสิฐ, 2551) ผลการทดลองประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ บ่อน้ำเสียที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน ที่สภาวะคงตัวค่าบีไอซีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์มีค่าเฉลี่ยของทั้ง 4 ระบบมีค่าค่อนข้างต่ำเท่ากับ 1.0, 1.2, 1.5, และ 1.6 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับตัวกลางอิฐบล็อกที่ปลูกและไม่ปลูกพืช ตัวกลางอิฐแดงที่ปลูกและไม่ปลูกพืชตามลำดับ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 บีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน

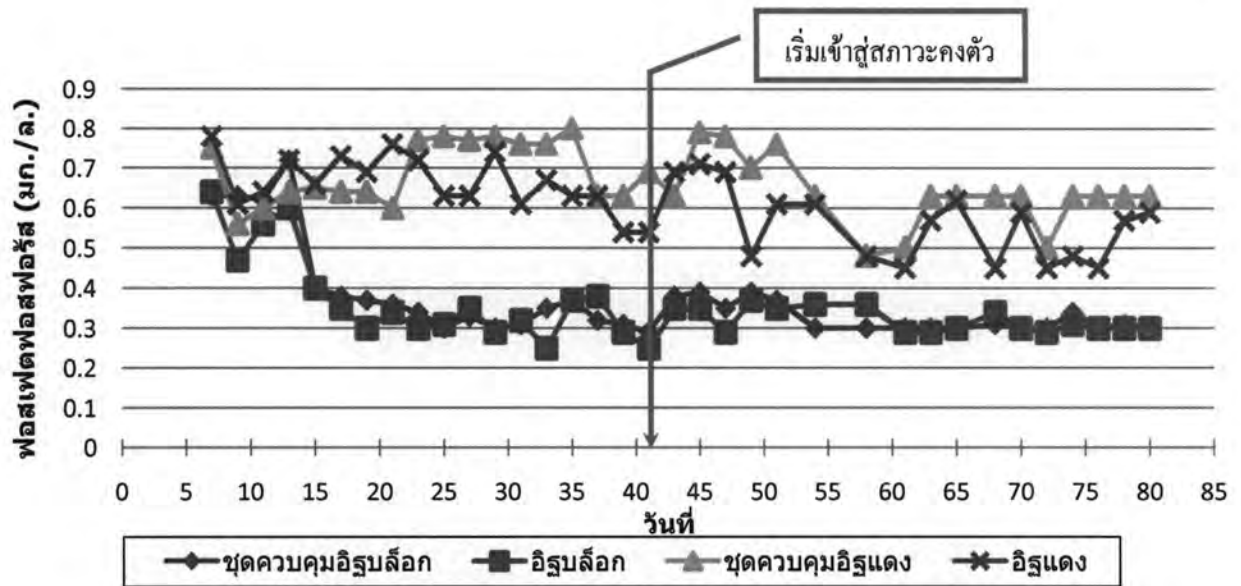
ค่าบีโอดีของน้ำออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกันทั้งระบบตัวกลางอิฐบล็อกและตัวกลางอิฐแดง สารประกอบอินทรีย์จะถูกย่อยสลายทั้งในสภาพที่มีอากาศและสภาพที่ไม่มีอากาศ ออกซิเจนสำหรับการย่อยสลายในสภาพที่มีอากาศ มาจากกระบวนการแพร่ (Diffusion), กลไกการพาก๊าซ (Convection) และการรั่วไหลของออกซิเจนจากระบบรากพืช ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจนในชั้นตัวกลาง สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายทางชีวภาพเป็นหลัก (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

## 7) ทีเคเอ็น

น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยระหว่าง 17-22 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ ป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน ที่สภาวะคงตัวค่าทีเคเอ็นของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ทั้ง 4 ระบบ ที่สภาวะคงตัวค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งในระบบบึงประดิษฐ์ ในโตรเจนในน้ำเสียจะถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ การระเหยของแอมโมเนีย การนำไปใช้โดยพืช รวมทั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งถือเป็นกระบวนการที่สำคัญในการกำจัดไนโตรเจน (ศักดิ์ชัย, 2547) การระเหยของแอมโมเนียเป็นกลไกสำคัญในการกำจัดไนโตรเจนของระบบที่มีตัวกลางอิฐบล็อก เนื่องจากระบบมีค่าพีเอชค่อนข้างสูงซึ่งที่พีเอชสูงกว่า 9 แอมโมเนียในน้ำจะเปลี่ยนเป็นก๊าซแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ซึ่งอาจจะระเหยออกจากระบบได้ ดังรูปที่ 4.13



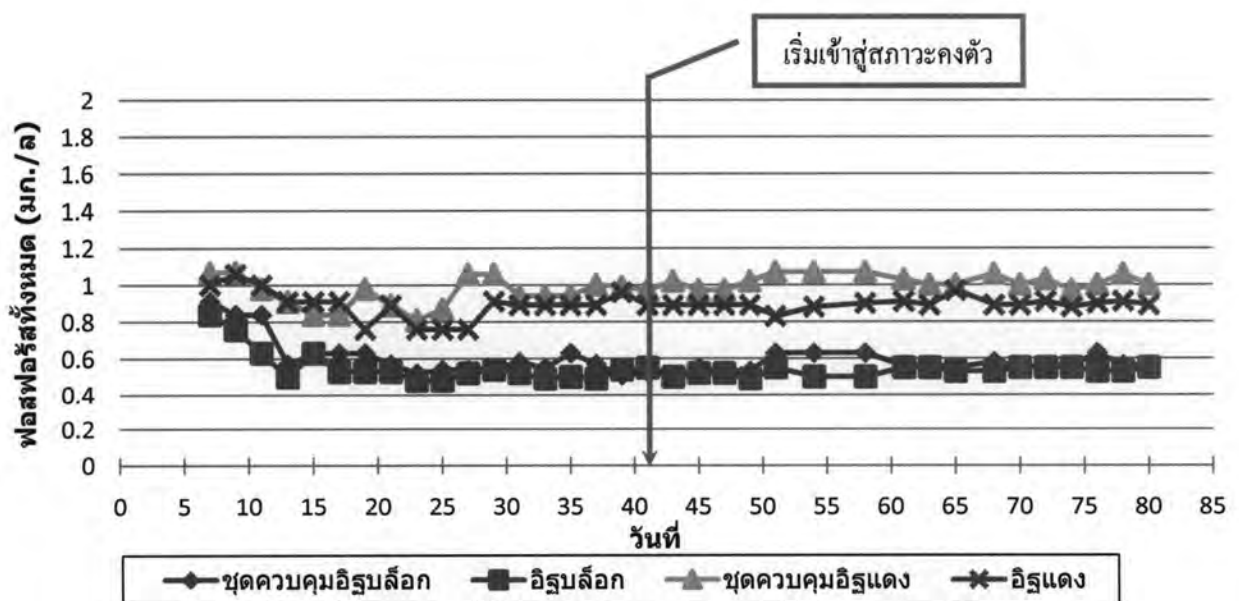




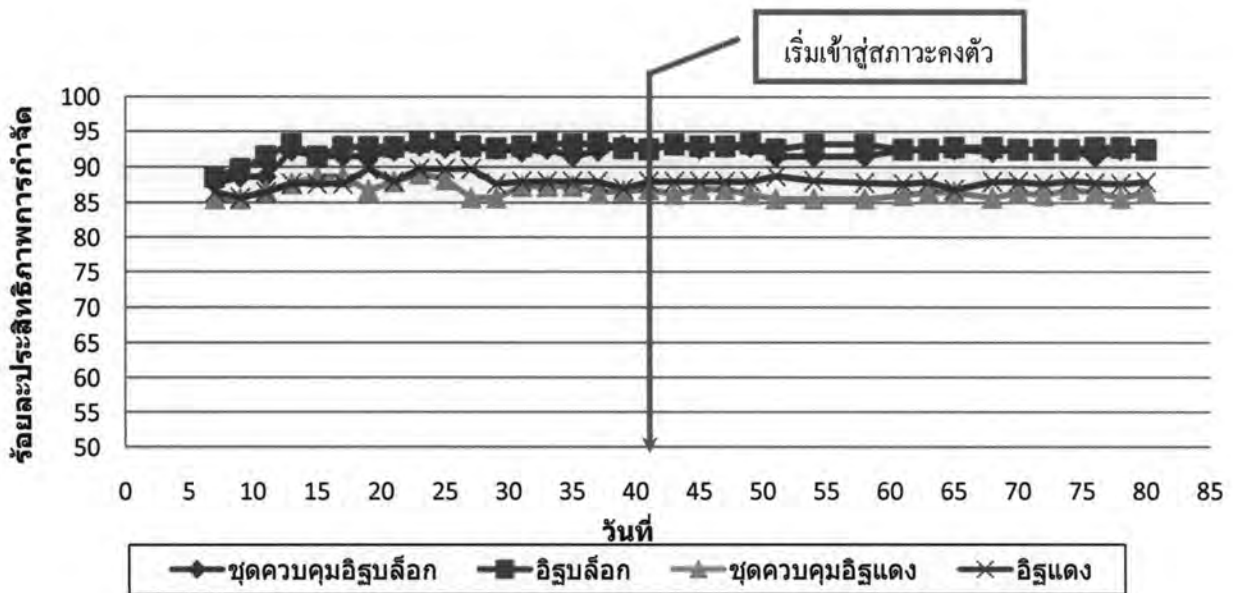
รูปที่ 4.14 ฟอสเฟตฟอสฟอรัสของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน

### 9) ฟอสฟอรัสทั้งหมด

ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ ที่สภาวะคงตัวมีค่าใกล้เคียงกับค่าฟอสเฟตฟอสฟอรัส โดยพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำที่จากระบบบึงประดิษฐ์ได้ค่าเฉลี่ย 0.53, 0.57, 0.89 และ 1.02 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับระบบตัวกลางที่ปลูกและไม่ปลูกพืชและตัวกลางอิฐแดงที่ปลูกและไม่ปลูกพืชตามคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 92.84, 92.3, 87.9 และ 86.2 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าอิฐบล็อกมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าอิฐแดง ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน



รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน

ตารางที่ 4.5 ฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน

ตัวกลางระบบบึงประดิษฐ์	ฟอสฟอรัสทั้งหมด เฉลี่ยออกจากระบบ (มก./ล.)	ร้อยละประสิทธิภาพการบำบัด
ชุดควบคุมอิฐบล็อก	0.57±0.04	92.30±1.5
อิฐบล็อก	0.53±0.02	92.84±1.7
ชุดควบคุมอิฐแดง	1.02±0.04	86.22±1.9
อิฐแดง	0.89±0.03	87.97±0.9

หมายเหตุ จำนวน = 18 ตัวอย่าง

ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพอยู่ในช่วงร้อยละ 84-93 โดยระบบตัวกลางอิฐบล็อกที่ปลูกดินรูปถาดมีมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุด อาจเป็นเพราะกลไกหลักในการกำจัดฟอสฟอรัสคือ การดูดซับ (Adsorption) การตกตะกอน (Sedimentation) และการย่อยสลายทางชีวภาพ (Korkusuz และคณะ, 2005) โดยตัวกลางที่มีปริมาณของแคลเซียม (calcium) อะลูมิเนียม (Aluminum) และเหล็ก (Iron) อยู่สูงจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสสูงขึ้น (Korkusuz และคณะ, 2005) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์สภาวะของธาตุองค์ประกอบ (The mineral phase compositions) โดย X-ray diffraction (XRD) ของตัวกลางอิฐแดงและอิฐบล็อก พบว่าตัวกลางอิฐบล็อกมีแคลเซียม อยู่สูงร้อยละ 79.99 ตัวกลางอิฐแดงมีแคลเซียม อยู่ต่ำเพียงร้อยละ 1.47 ดังนั้นอิฐบล็อกมีปริมาณของแคลเซียมสูงกว่าน่าจะทำให้ดูดซับฟอสฟอรัสได้สูงกว่าอิฐแดง

#### 10) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อก และอิฐแดง อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวันพบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อกมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าสารแขวนลอย ค่าซีโอดี ค่าทีเคเอ็น และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 90.60, 96.34, 93.50 และ 92.84 ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดทุกพารามิเตอร์สูงกว่า ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐแดงมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าสารแขวนลอย ค่าซีโอดี ค่าทีเคเอ็น และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด มีค่าเท่ากับร้อยละ 89.30, 95.70, 93.00 และ 87.97 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.17

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสพบว่า ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อกมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 92.84 ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐแดงมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 87.97 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช พบว่าชุดควบคุมอิฐบล็อกและชุดควบคุมอิฐแดงมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 92.30 และ 86.22 ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพต่ำกว่าระบบที่ปลูกพืชเพียงเล็กน้อย ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆก็มีแนวโน้มต่ำกว่าเช่นกัน

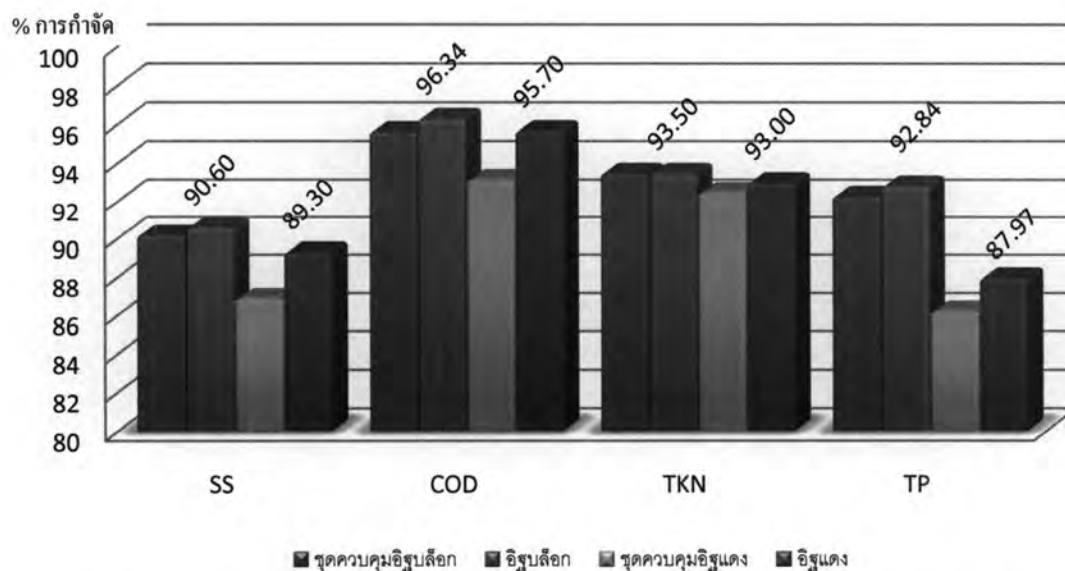
โดยจะเห็นได้ว่าตัวกลางอิฐบล็อกมีประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยสูงกว่าระบบตัวกลางอิฐแดงเนื่องจากตัวกลางอิฐบล็อกมีค่าอัตราส่วนช่องว่าง (Void Space) ต่ำกว่าตัวกลางอิฐแดง (0.6 และ 0.65) ตามลำดับ ทำให้ระบบตัวกลางอิฐบล็อกสามารถกรองสารแขวนลอยสูงกว่าในแง่ของประสิทธิภาพการกำจัด ทีเคเอ็น ระบบที่มีตัวกลางอิฐบล็อกสูงกว่าระบบตัวกลางอิฐแดง อาจเพราะมีค่าพีเอชค่อนข้างสูงซึ่งที่พีเอชสูงกว่า 9 แอมโมเนียในน้ำจะเปลี่ยนเป็นก๊าซแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ซึ่งอาจจะระเหยออกจากระบบได้ ในขณะที่ระบบที่ใช้อิฐแดงมีพีเอชน้อยกว่า 9 ทำให้ก๊าซแอมโมเนียอาจจะระเหยออกจากระบบได้น้อยกว่าทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นน้อยกว่าตัวกลางอิฐบล็อก ในแง่ของประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี พบว่าใกล้เคียงกันทั้งระบบที่มีตัวกลางอิฐบล็อกและระบบตัวกลางอิฐแดง

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน  
(มิลลิกรัมต่อลิตร)

ค่าเฉลี่ย	เข้าระบบ	ระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน								มาตรฐานน้ำทิ้ง
		ชุดควบคุมอิฐบล็อก		อิฐบล็อก		ชุดควบคุมอิฐแดง		อิฐแดง		
		ออกระบบ	%การกำจัด	ออกระบบ	%การกำจัด	ออกระบบ	%การกำจัด	ออกระบบ	%การกำจัด	
อุณหภูมิ	28.6	26.80	-	26.40	-	26.90	-	26.80	-	
pH	6.5	11.20	-	10.33	-	7.61	-	6.93	-	5,-9,(2)
ORP	78.7	-121.70	-	-127.50	-	-29.50	-	-40.30	-	
SS	100	9.80	90.20	9.40	90.60	13.10	86.90	10.70	89.30	30(2)
COD	218.4	9.50	95.65	8.00	96.34	14.90	93.18	9.40	95.70	
BOD	127.5	1.20	-	1.00	-	1.60	-	1.50	-	20(2)
TKN	20	1.30	93.50	1.30	93.50	1.50	92.50	1.40	93.00	8(1)
TP	7.4	0.57	92.30	0.53	92.84	1.02	86.22	0.89	87.97	1(1)

หมายเหตุ (1) มาตรฐานน้ำทิ้งในสหรัฐอเมริกา (ธงชัย, 2545)

(2) มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนมณฑลคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (สันศักดิ์, 2549 ถูกอ้างใน ไพสิฐ, 2551)

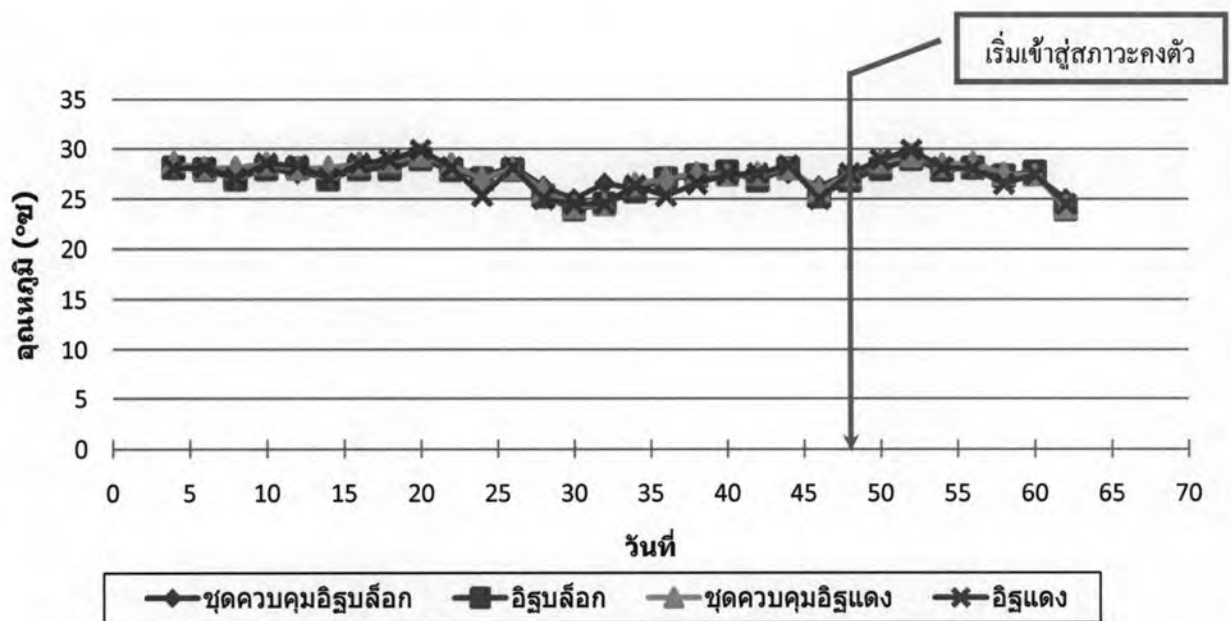


รูปที่ 4.17 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน

#### 4.4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน

##### 1) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 28.6 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่พืชและจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี โดยเมื่อน้ำเสียผ่านระบบบึงประดิษฐ์แล้วพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ย ลดลง มีแนวโน้มของระบบทั้ง 4 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 27 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.18

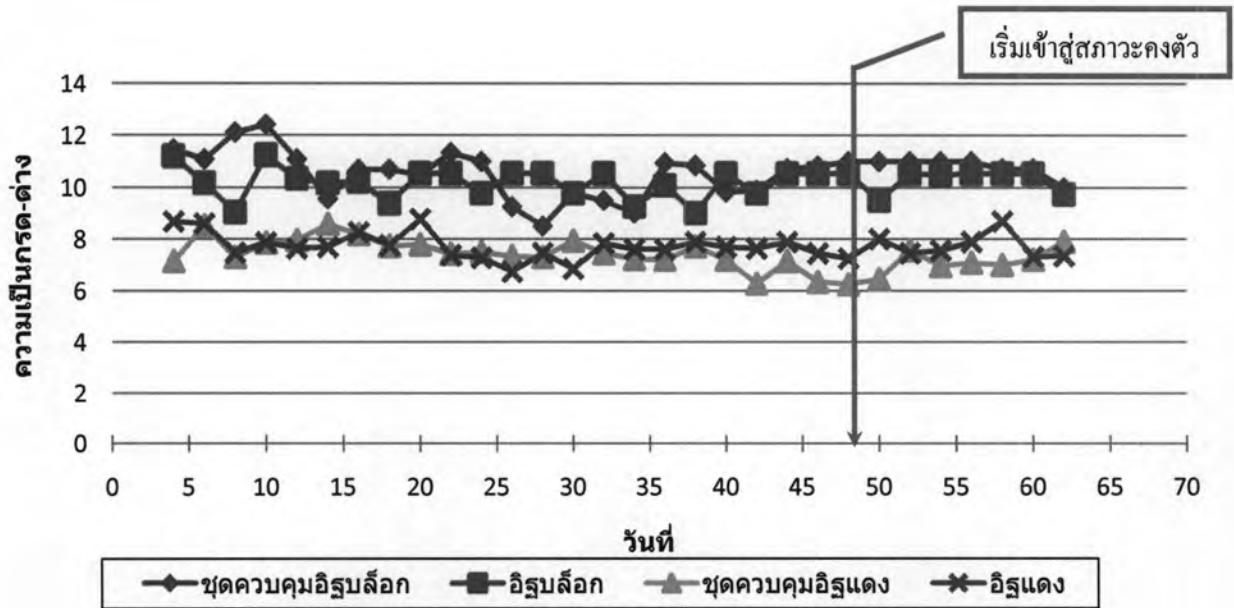


รูปที่ 4.18 อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน

##### 2) ค่าพีเอช

น้ำออกจากระบบที่บรรจุอิฐบล็อกมีค่าพีเอชเริ่มต้นสูง แต่มีแนวโน้มลดลงตามเวลา เนื่องจากอิฐบล็อกมีค่าพีเอชเป็นด่าง เนื่องจากอิฐบล็อกมีองค์ประกอบของ CaO สูงถึง 79.99 % เมื่อป้อนน้ำเสียเข้าระบบอาจทำให้ค่าพีเอชของน้ำออกมีค่าเป็นด่างสูงขึ้น เฉลี่ยในน้ำออกเท่ากับ 10.2 และ 11.1 สำหรับระบบที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช ส่วนระบบที่มีตัวกลางอิฐแดงมีค่าพีเอชน้ำออกค่อนข้างกลางตลอดการทดลองเนื่องจากอิฐแดงมีค่าพีเอชเป็นกลางที่ 7-8 แต่พบว่าชุดที่มีการปลูกพืชมีพีเอชน้ำออกต่ำกว่าชุดควบคุมเล็กน้อยโดยระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวหลังจากเดินระบบได้ประมาณ 48 วัน ซึ่งการลดลงของค่าพีเอชคาดว่าเป็นผลมาจากการลดลงของปริมาณแคลเซียมที่เกิดขึ้น

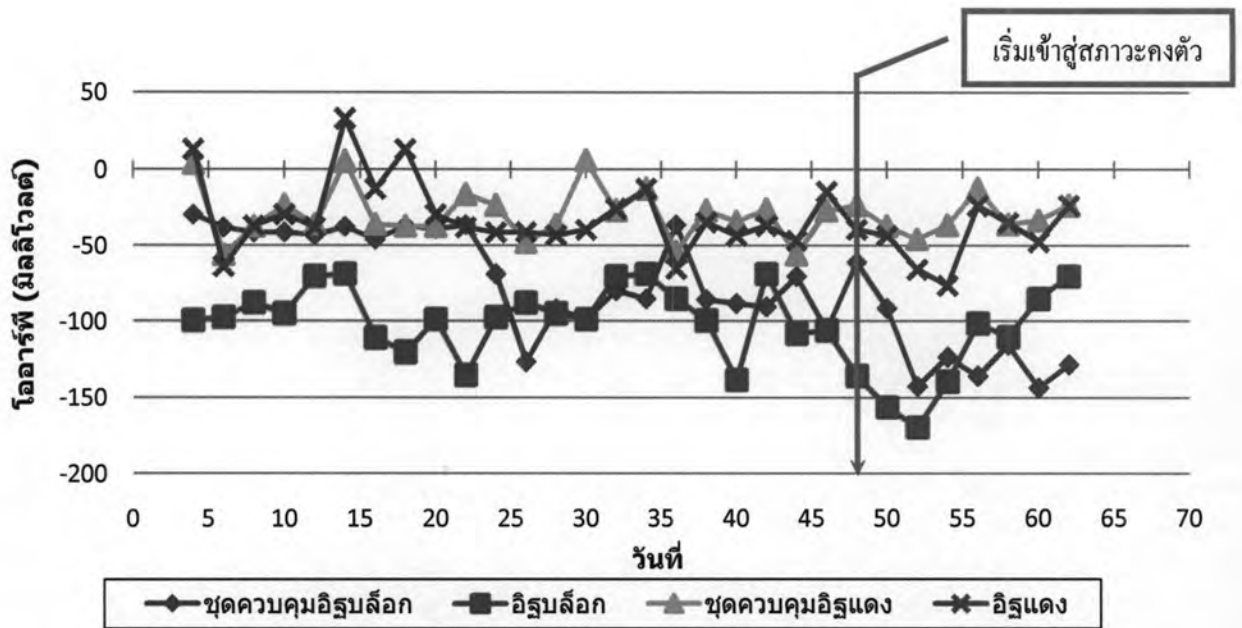
เป็นผลึกของแคลเซียมฟอสเฟต โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) เป็นตัวควบคุมค่าพีเอช (Adam และคณะ, 2006) ชุดควบคุมอิฐบล็อก (ไม่ปลูกพืช) มีค่าพีเอชต่ำกว่าระบบที่ปลูกพืช ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 พีเอชของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน

### 3) โออาร์พี

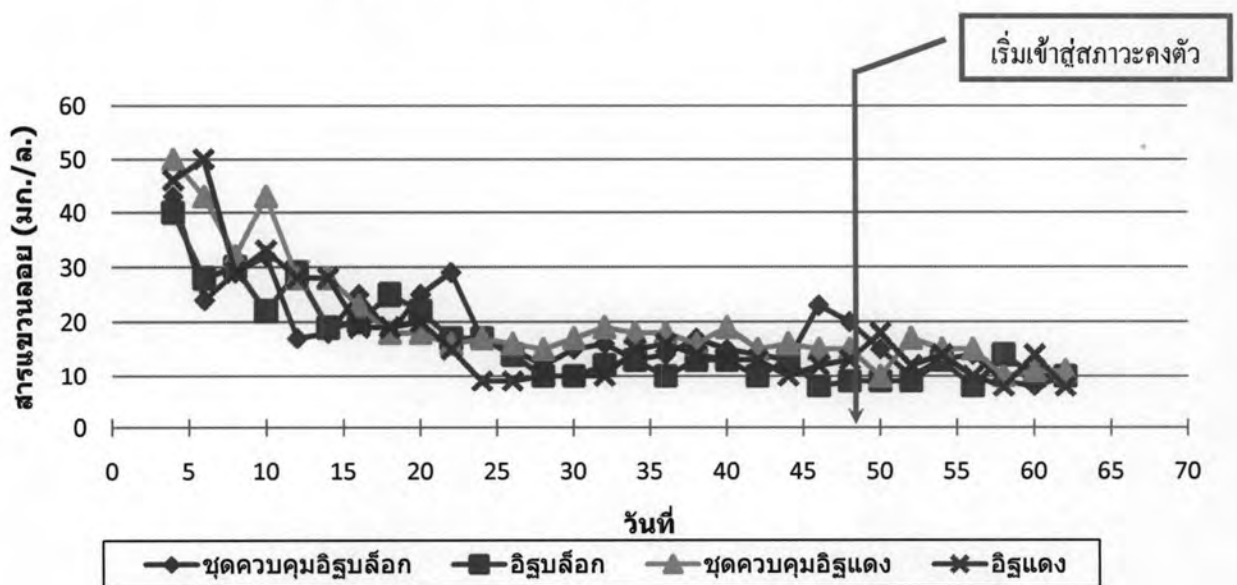
ค่าโออาร์พีเฉลี่ยของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าระบบมีค่าระหว่าง 70-80 มิลลิโวลต์ เมื่อเริ่มเดินระบบเวลาผ่านไปแนวโน้มค่าโออาร์พีมีค่าลดลง เป็นลบมากขึ้นแสดงว่ามีแบคทีเรียเกิดขึ้น เกิดการย่อยสลายแบบไร้อากาศมากขึ้น ผลการทดลองประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ ป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน ที่สภาวะคงตัวหลังจากเดินระบบ 48 วัน ค่าโออาร์พีเฉลี่ยของน้ำออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางอิฐบล็อกที่ปลูกและไม่ปลูกพืชมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -121 และ -117 มิลลิโวลต์ตามลำดับ ส่วนระบบที่มีตัวกลางอิฐแดงที่ปลูกและไม่ปลูกพืชมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -44 และ -31 มิลลิโวลต์ ตามลำดับดังรูปที่ 4.20



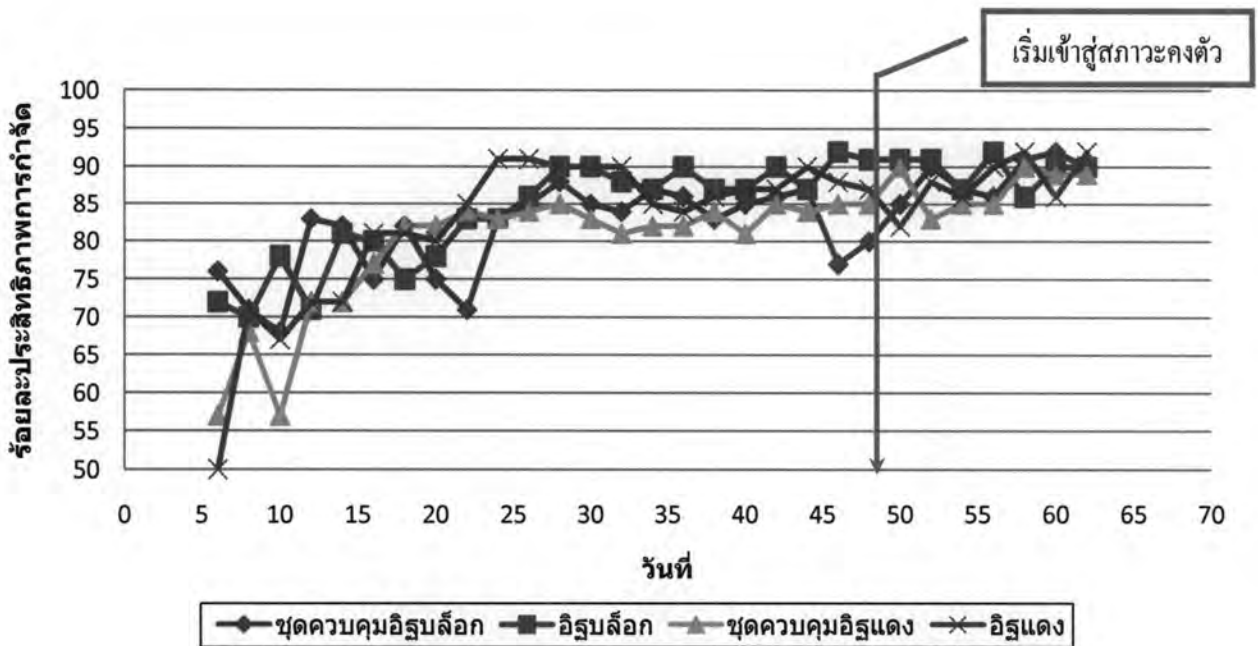
รูปที่ 4.20 ไออาร์พีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน

#### 4) สารแขวนลอย

น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าสารแขวนลอยที่ป้อนเข้าระบบเฉลี่ย 100-120 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ ป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน ที่สภาวะคงตัวค่าสารแขวนลอยของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ได้ดังตารางที่ 4.7 ค่าสารแขวนลอยในน้ำทิ้งจากทั้ง 4 ระบบ ซึ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดพบว่าทุกระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยใกล้เคียงกันดังรูปที่ 4.21 และ 4.22



รูปที่ 4.21 สารแขวนลอยของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน



รูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน

ตารางที่ 4.7 สารแขวนลอยของน้ำออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน

ตัวกลางระบบบึงประดิษฐ์	สารแขวนลอย เฉลี่ยออกจากระบบ (มก./ล.)	ร้อยละประสิทธิภาพการบำบัด
ชุคควบคุมอิฐบล็อก	12.00±3.9	88.0±0.88
อิฐบล็อก	10.00±2.1	90.0±1.07
ชุคควบคุมอิฐแดง	13.00±3.0	87.0±1.45
อิฐแดง	12.00±2.8	88.0±2.70

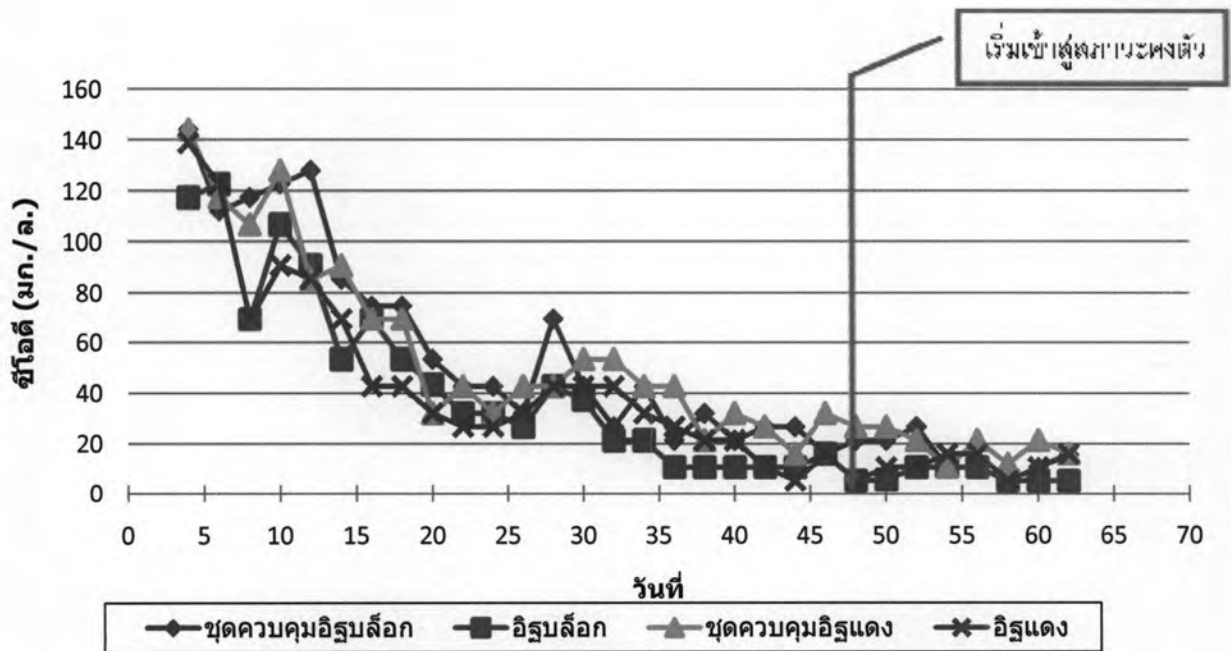
หมายเหตุ จำนวน = 8 ตัวอย่าง

พบว่าระบบสามารถกำจัดสารแขวนลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวของระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าร้อยละ 90 ซึ่งกลไกการกำจัดเกิดจากกระบวนการตกตะกอนในตัวกลาง และการตกตะกอนส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายใน 2 – 3 ม. แรกจากทางน้ำเข้า (Reed และคณะ, 1988) และระบบที่ปลูกต้นรูปฤาษีเจริญเติบโตมีแนวโน้มที่จะทำให้ความเร็วของน้ำเสียที่เข้ามาต่ำลง และช่วยกระจายน้ำเข้าไปทั่วทั้งระบบ ซึ่งช่วยเสริมการตกตะกอนให้ดียิ่งขึ้น (Gray, 1989) ทำให้เห็นว่าระบบที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าระบบควบคุมที่ไม่ปลูกพืช ส่วนของแข็งที่ไม่ตกตะกอนจะถูกกำจัดโดยการย่อยสลายของแบคทีเรีย และการดูดติดกับวัสดุอื่น ๆ เช่น ลำต้นพืชค้ำข้าง (Kessomboon, 1990) การกำจัดสารแขวนลอย และการย่อยสลายมวลสารเป็นผลให้เกิดชั้นของตะกอน (Sludge Layer) สะสมในตัวกลาง (Hammer และ Kadlec, 1983)

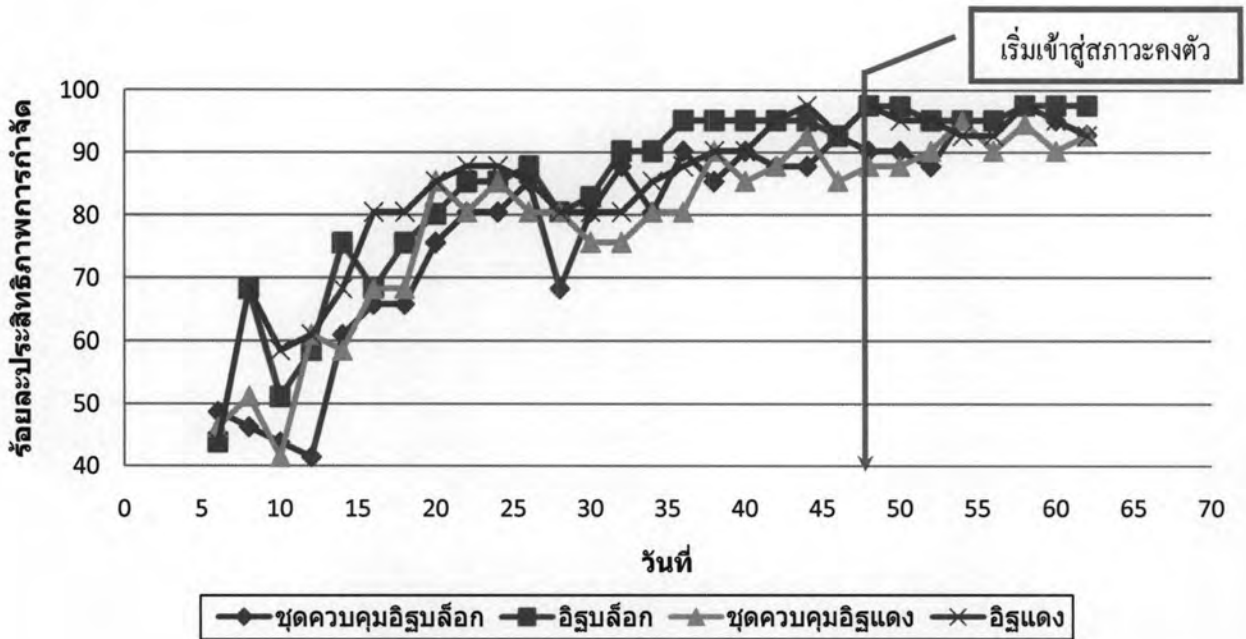


### 5) ซีโอดี

น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 200-250 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ ป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวันในช่วงแรกค่าซีโอดีมีค่าไม่คงที่ คาดว่าเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ปรับตัวเข้ากับสภาพน้ำเสีย แต่เมื่อเดินระบบได้ประมาณ 48 วัน ค่าซีโอดีเริ่มคงที่ แสดงถึงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวโดยจะคงที่ช้ากว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ป้อนน้ำเสียอัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน ซึ่งที่สภาวะคงตัวค่าซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ได้ตั้งตารางที่ 4.8 ซึ่งหลังเข้าสู่สภาวะคงตัวประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีใกล้เคียงกัน โดยระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ที่ใช้ตัวกลางอิฐบล็อกมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด ดังรูปที่ 4.23 และ 4.24



รูปที่ 4.23 ซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน



รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน

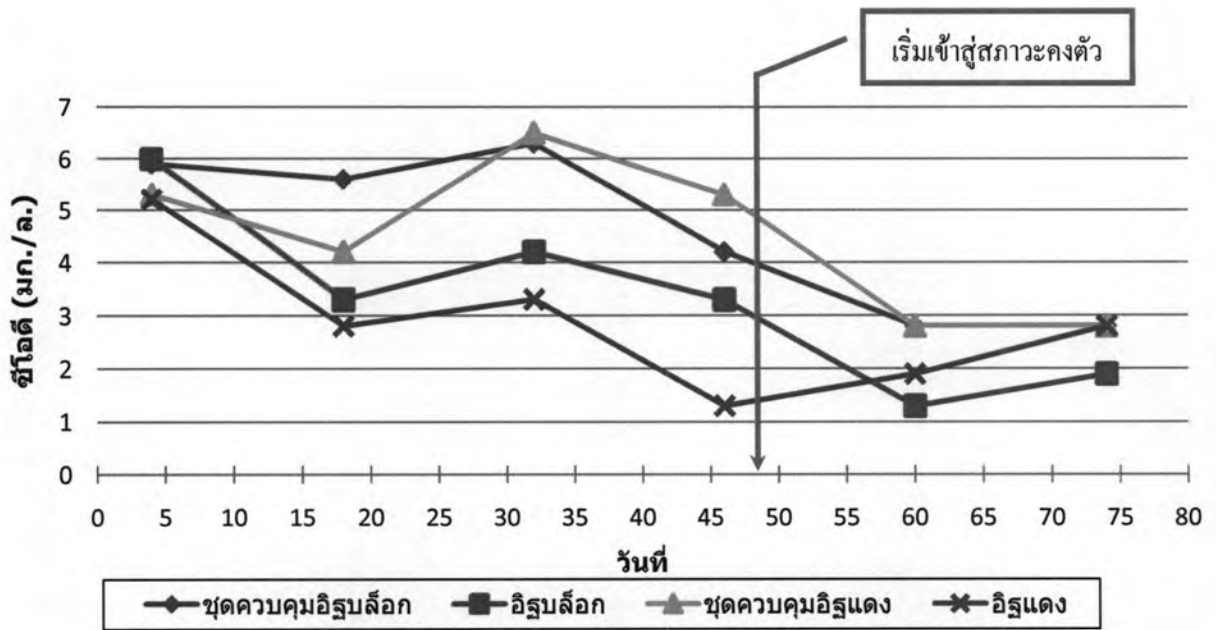
ตารางที่ 4.8 ซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน

ตัวกลางระบบบึงประดิษฐ์	ซีโอดี เฉลี่ยออกจากระบบ (มก./ล.)	ร้อยละประสิทธิภาพการบำบัด
ชุดควบคุมอิฐบล็อก	15.29±9.4	93.0±1.96
อิฐบล็อก	8.38±5.1	96.2±1.72
ชุดควบคุมอิฐแดง	19.50±11.8	91.1±1.29
อิฐแดง	11.33±10.3	94.9±1.62

หมายเหตุ จำนวน = 8 ตัวอย่าง

## 6) บีโอดี

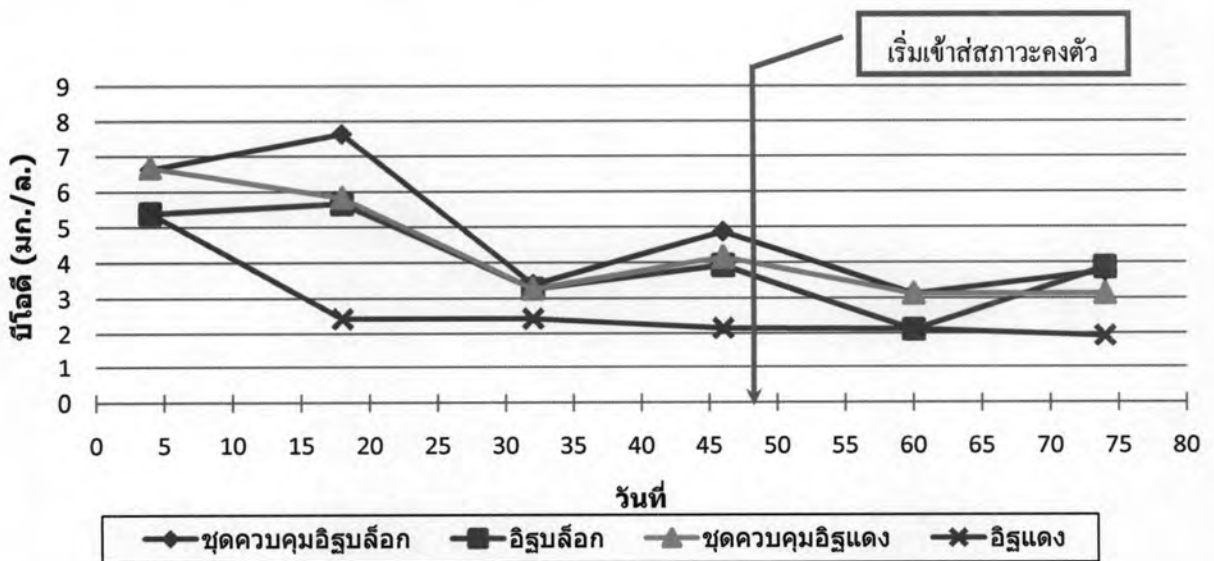
น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าบีโอดีเฉลี่ยระหว่าง 117.5-135.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ ป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน ที่สภาวะคงตัวค่าบีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์มีค่าเฉลี่ยของทั้ง 4 ระบบมีค่าค่อนข้างต่ำเท่ากับ 2.8, 1.6, 2.8, และ 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับตัวกลางอิฐบล็อกที่ปลูกและไม่ปลูกพืช ตัวกลางอิฐแดงที่ปลูกและไม่ปลูกพืชตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ ตัวกลางอิฐบล็อกจะดีที่สุดดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 บีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน

7) ทีเคเอ็น

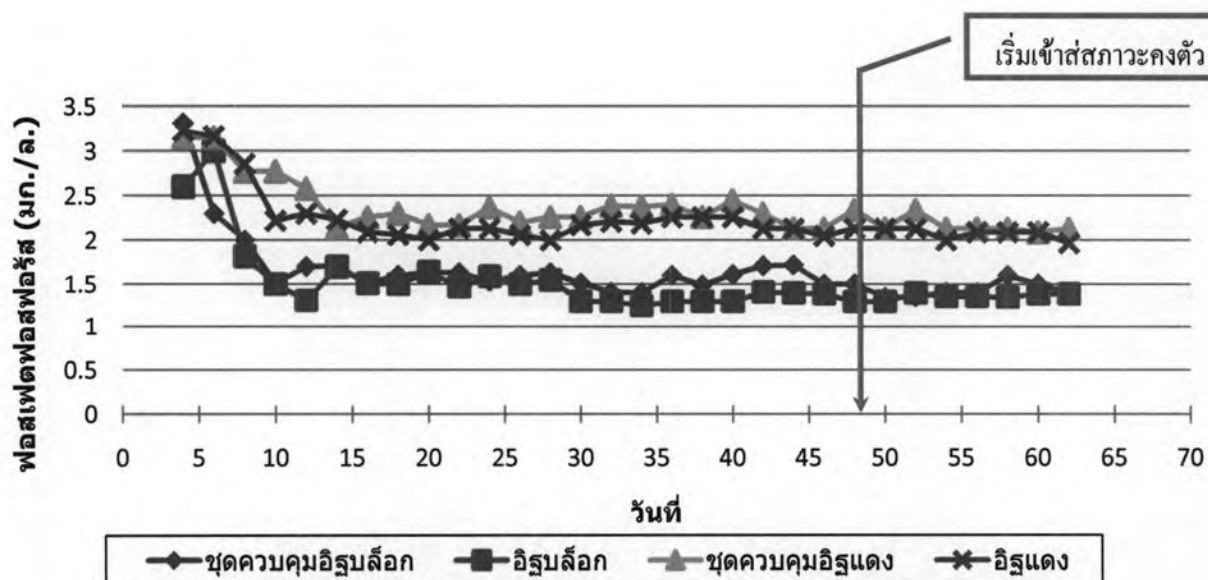
น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยระหว่าง 17-22 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่สภาวะคงตัวค่าทีเคเอ็นของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ได้ค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยของทั้ง 4 ระบบเท่ากับ 3.0, 3.4, 3.0, และ 3.1 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับตัวกลางอิฐบล็อกที่ปลูกและไม่ปลูกพืช ตัวกลางอิฐแดงที่ปลูกและไม่ปลูกพืชตามลำดับ ค่าทีเคเอ็นของทั้ง 4 ระบบค่าทีเคเอ็นมีค่าใกล้เคียงกันดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ทีเคเอ็นของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน

## 8) ฟอสเฟตฟอสฟอรัส

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าระบบมีค่าฟอสเฟตฟอสฟอรัสเฉลี่ย 5-6 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าฟอสเฟตฟอสฟอรัสของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ได้ค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.9 ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ตัวกลางอิฐบล็อกมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตฟอสฟอรัสสูงกว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ตัวกลางอิฐแดง และระบบที่ปลูกต้นไม้มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตฟอสฟอรัสสูงกว่าระบบที่ไม่ได้ปลูกต้นไม้เล็กน้อย ซึ่งมีกลไกการกำจัดเช่น การนำไปสร้างเซลล์ของแบคทีเรีย การนำไปใช้โดยพืช และการดูดซับของชั้นตัวกลาง ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ฟอสเฟตฟอสฟอรัสของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน

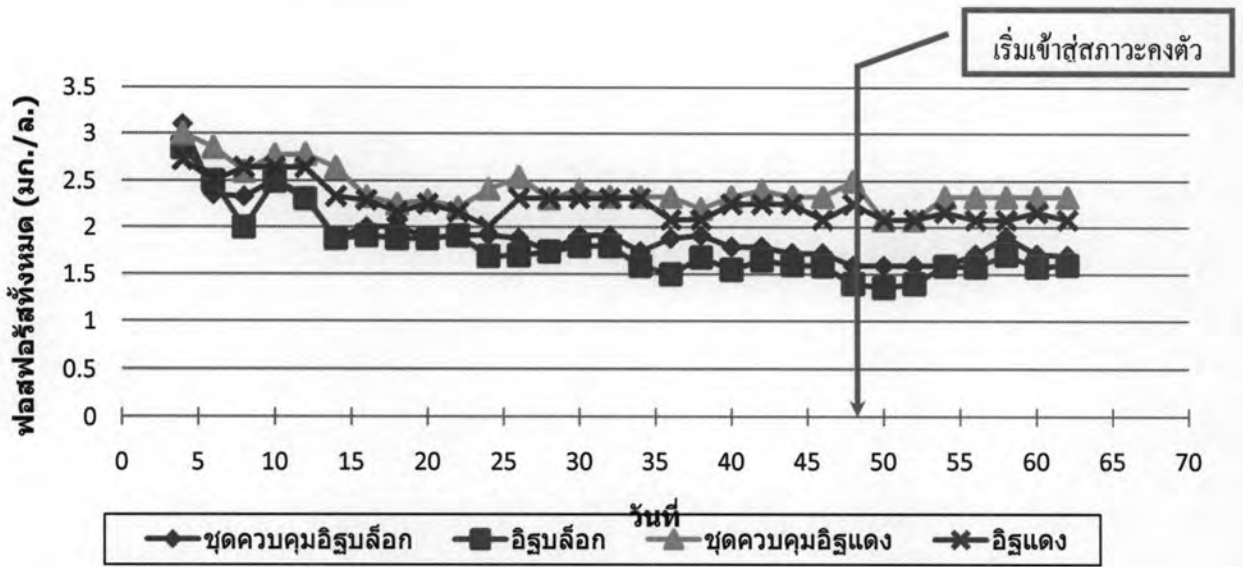
ตารางที่ 4.9 ฟอสเฟตฟอสฟอรัสของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน

ตัวกลางระบบบึงประดิษฐ์	ฟอสเฟตฟอสฟอรัส เฉลี่ยออกจากระบบ (mg./l.)
ชุดควบคุมอิฐบล็อก	1.49±0.1
อิฐบล็อก	1.37±0.1
ชุดควบคุมอิฐแดง	2.18±0.1
อิฐแดง	2.09±0.1

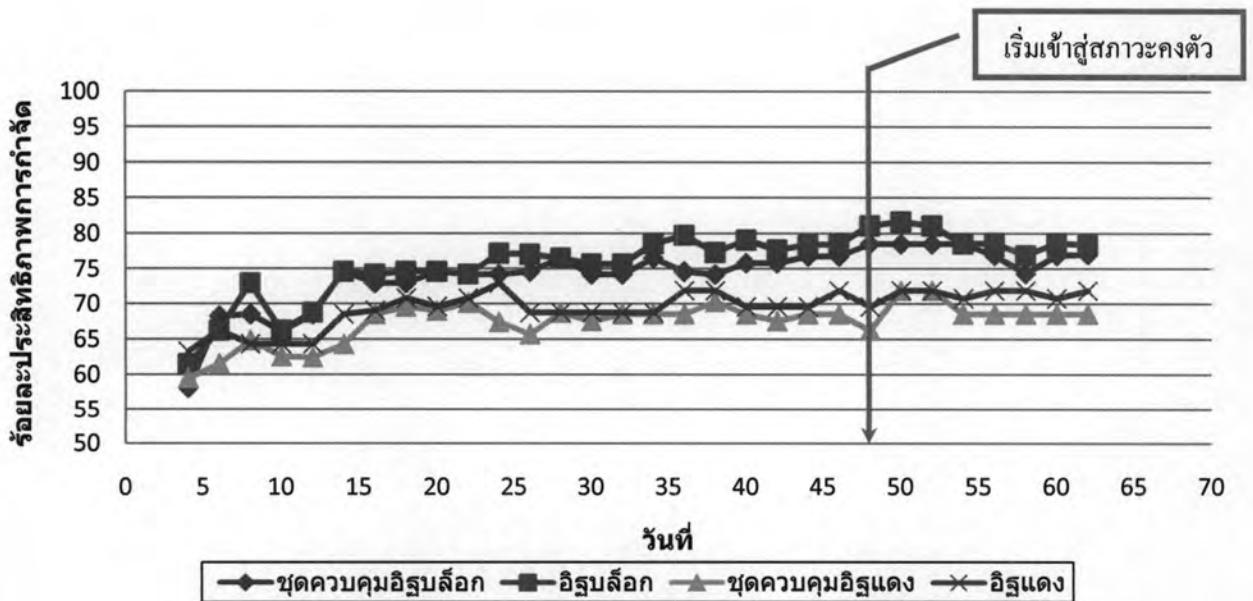
หมายเหตุ จำนวน = 8 ตัวอย่าง

9) ฟอสฟอรัสทั้งหมด

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าระบบมีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยระหว่าง 7-8 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวันผ่านระบบแล้วพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์มีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดใกล้เคียงกับค่าฟอสเฟตฟอสฟอรัส ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำออกจากระบบบึงประดิษฐ์ได้ค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.10 ซึ่งอิฐบล็อกมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าอิฐแดงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.28 และ 4.29



รูปที่ 4.28 ฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน



รูปที่ 4.29 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน

ตารางที่ 4.10 ฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน

ตัวกลางระบบบึงประดิษฐ์	เฉลี่ยออกจากระบบ (มก./ล.)	ร้อยละประสิทธิภาพการบำบัด
ชุดควบคุมอิฐบล็อก	1.67±0.12	77.43±0.51
อิฐบล็อก	1.53±0.12	79.32±0.29
ชุดควบคุมอิฐแดง	2.29±0.11	69.05±0.49
อิฐแดง	2.12±0.09	71.35±0.35

หมายเหตุ จำนวน = 8 ตัวอย่าง

พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ช่วงสภาวะคงตัวมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วงร้อยละ 67-80 โดยมีระบบตัวกลางอิฐบล็อกที่ปลูกต้นธูปฤาษีสามารถมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุด อาจเป็นเพราะกลไกหลักในการกำจัดฟอสฟอรัสคือ การดูดซับ (Adsorption) การตกตะกอน (Sedimentation) และการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยพบว่าแนวโน้มการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบเหมือนกับการทดลองที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน คือระบบที่มีตัวกลางอิฐบล็อก มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูงกว่าระบบที่มีตัวกลางอิฐแดง

#### 10) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อกจะมีค่าสารแขวนลอย ค่าซีไอดี ค่าทีเคเอ็น และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด จะสูงกว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐแดงอยู่เล็กน้อย เท่ากับร้อยละ 90.0, 96.62, 85.00 และ 79.32 ตามลำดับ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐแดงมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าสารแขวนลอย ค่าซีไอดี ค่าทีเคเอ็น และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด มีค่าเท่ากับร้อยละ 88.00, 94.81, 84.85 และ 71.35 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.30

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสพบว่า ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อกมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 79.32 ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐแดงมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 71.35 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช พบว่าชุดควบคุมอิฐบล็อกและชุดควบคุมอิฐแดงมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 77.43 และ 69.05 ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพต่ำกว่าระบบที่ปลูกพืชเพียงเล็กน้อย ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆก็มีแนวโน้มต่ำกว่าเช่นกัน

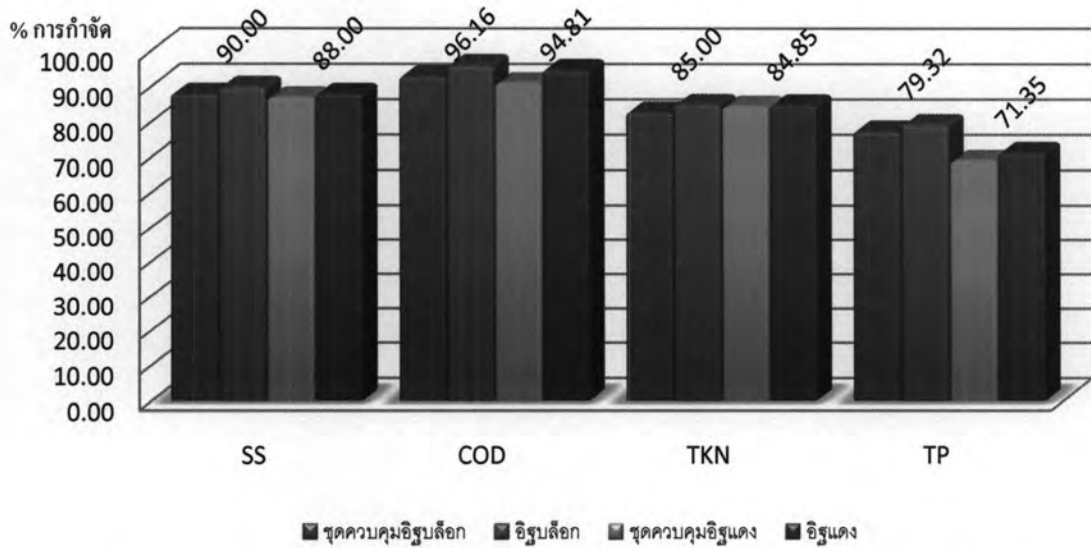
โดยจะเห็นได้ว่าตัวกลางอิฐบล็อกมีประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยสูงกว่าระบบตัวกลางอิฐแดงอาจเนื่องจากตัวกลางอิฐบล็อกมีค่าอัตราส่วนช่องว่าง (Void Space) ต่ำกว่าตัวกลางอิฐแดง (0.6 และ 0.65) ตามลำดับ ทำให้ระบบตัวกลางอิฐบล็อกสามารถกรองสารแขวนลอยสูงกว่าในแง่ของประสิทธิภาพการกำจัด ทีเคเอ็น ระบบที่มีตัวกลางอิฐบล็อกสูงกว่าระบบตัวกลางอิฐแดง อาจเพราะมีค่าพีเอชค่อนข้างสูงซึ่งที่พีเอชสูงกว่า 9 แอมโมเนียในน้ำจะเปลี่ยนเป็นก๊าซแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ซึ่งอาจจะระเหยออกจากระบบได้ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี พบว่าใกล้เคียงกันทั้งระบบที่มีตัวกลางอิฐบล็อกและระบบตัวกลางอิฐแดง โดยที่ระบบปลูกพืชมีผลทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้นเล็กน้อยของระบบตัวกลางทั้งสองชนิดเพราะมีกลไกการดูดซึมไปใช้ของพืช แต่ประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวันจะเห็นได้ว่าค่าที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวันอยู่เล็กน้อย อาจเป็นเพราะอัตราน้ำเข้าระบบสูงกว่าทำให้มีความแปรปรวนของน้ำมากเกิดการกระจายของตะกอนอาจจะหลุดออกป็นมาในน้ำออกจากระบบ และเวลาเก็บกักในระบบน้อยกว่าที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดน้อยกว่า

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ค่าเฉลี่ย	เข้าระบบ	ระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน								มาตรฐานน้ำทิ้ง
		ชุดควบคุมอิฐบล็อก		อิฐบล็อก		ชุดควบคุมอิฐแดง		อิฐแดง		
		ออกระบบ	%การกำจัด	ออกระบบ	%การกำจัด	ออกระบบ	%การกำจัด	ออกระบบ	%การกำจัด	
อุณหภูมิ	28.6	27.30	-	27.00	-	27.20	-	27.00	-	
pH	6.5	10.50	-	10.18	-	7.06	-	7.69	-	5,-9,(2)
ORP	78.7	-99.00	-	-107.20	-	-32.00	-	-39.60	-	
SS	100	12.00	88.00	10.00	90.00	13.00	87.00	12.00	88.00	30(2)
COD	218.4	15.29	93.00	8.38	96.16	19.50	91.07	11.33	94.81	
BOD	127.5	2.80	-	1.60	-	2.80	-	2.40	-	20(2)
TKN	20	3.44	82.80	3.00	85.00	3.12	84.40	3.03	84.85	8(1)
TP	7.4	1.67	77.43	1.53	79.32	2.29	69.05	2.12	71.35	1(1)

หมายเหตุ (1) มาตรฐานน้ำทิ้งในสหรัฐอเมริกา (ธงชัย, 2545)

(2) มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนมตคคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (สันศักดิ์, 2549 ถูกอ้างใน ไพสิฐ, 2551)



รูปที่ 4.30 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน

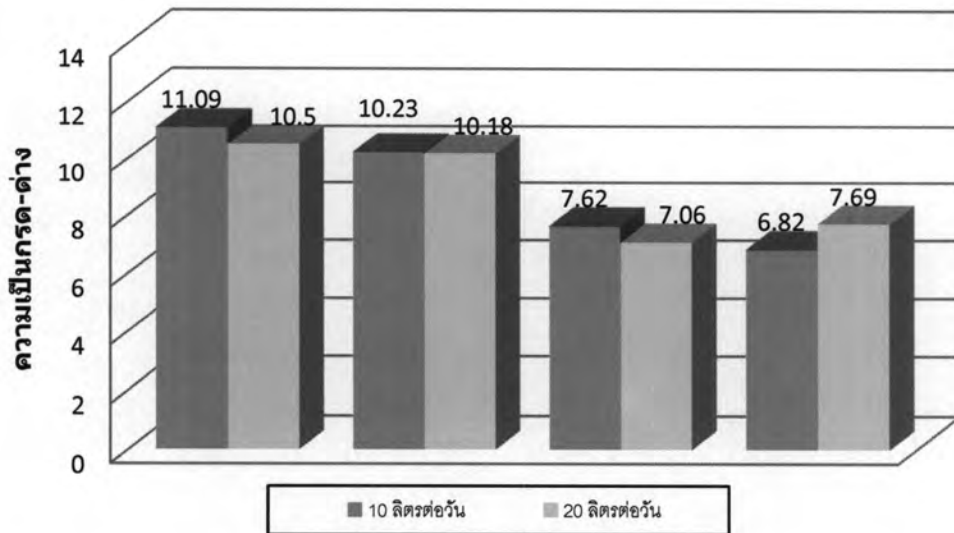
#### 4.4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวันและ 20 ลิตรต่อวัน

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์โดยนำค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวของระบบที่ใส่ตัวกลางต่างกันและอัตราการไหลน้ำเสียสังเคราะห์ต่างกันมาเปรียบเทียบกัน โดยพิจารณาเฉพาะค่า พีเอช โออาร์พี สารแขวนลอย ซีโอดี และฟอสฟอรัสทั้งหมด ดังนี้

##### 1) พีเอช

ค่าพีเอชของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ ที่สภาวะคงตัวของระบบชุดการป้อนน้ำเสีย 10 และ 20 ลิตรต่อวัน ระบบที่บรรจุตัวกลางอิฐบล็อก พีเอช มีค่าสูงกว่าระบบที่บรรจุตัวกลางอิฐแดงทั้งอัตราการไหลน้ำเสียทั้ง 2 ค่า ดังรูปที่ 4.31

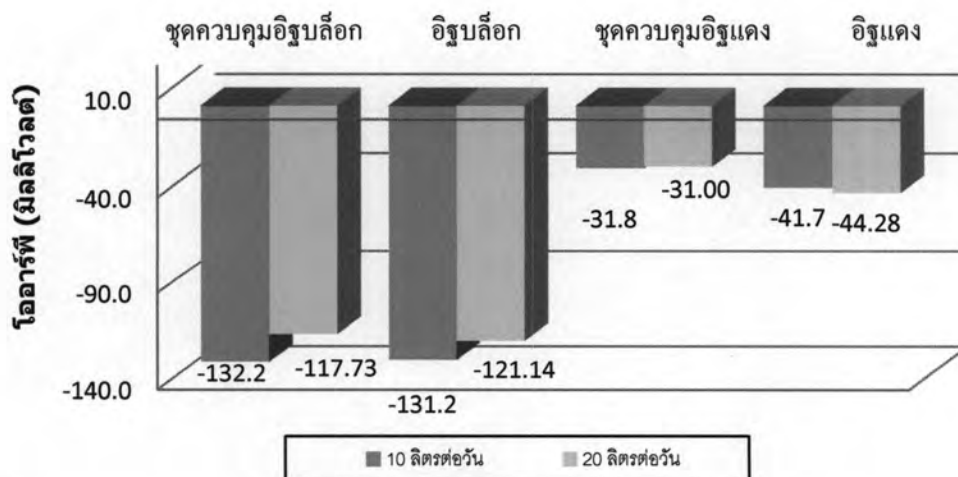




รูปที่ 4.31 พีเอชของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 และ 20 ลิตรต่อวัน

### 3) โออาร์พี

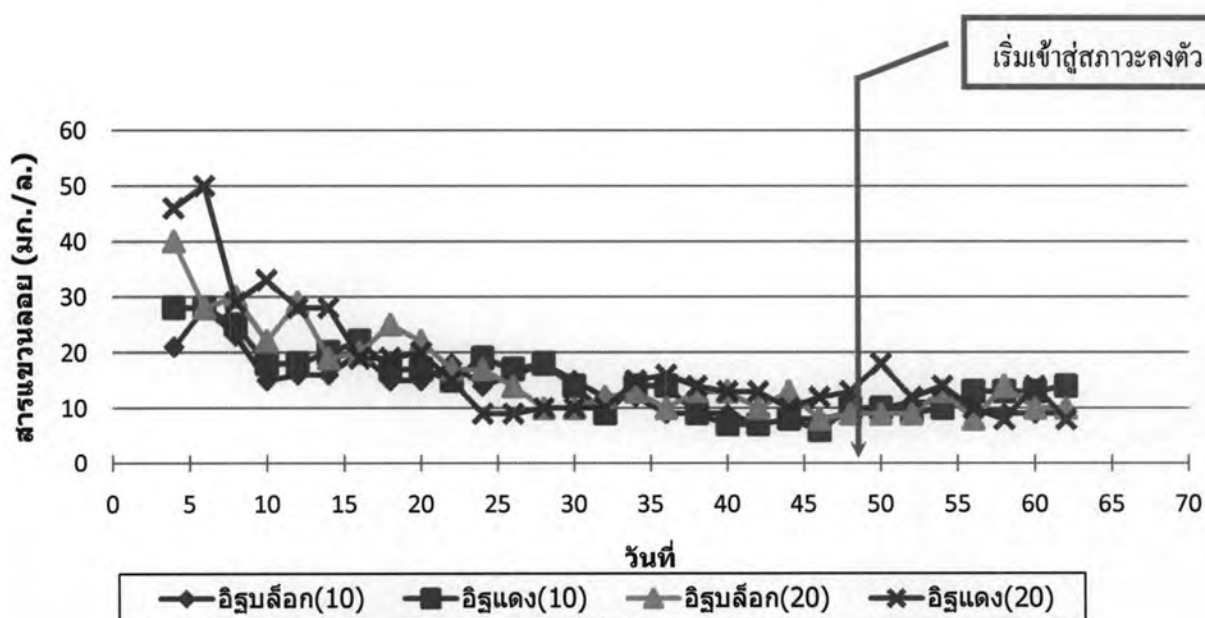
ค่าโออาร์พีเฉลี่ยของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าระบบมีค่าระหว่าง 70.2 ถึง 85.3 มิลลิโวลต์ แต่ค่าโออาร์พีของน้ำที่ออกจากระบบทั้งอัตราการไหลน้ำเสีย 10 และ 20 ลิตรต่อวันระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อก และชุดควบคุมอิฐบล็อกมีค่าเฉลี่ย -131 และ -121 มิลลิโวลต์ คาดว่าระบบอยู่ในสภาวะการย่อยสลายแบบแอนีอ็อกซิก ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐแดงและชุดควบคุมอิฐแดงมีค่าเฉลี่ย -41 และ -44 มิลลิโวลต์ คาดว่าระบบอยู่ในสภาวะการย่อยสลายแบบแอนีอ็อกซิกเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพีเอชของน้ำออกมีค่าสูง ค่าโออาร์พีจะมีแนวโน้มลดลงมากขึ้น โดยมีค่าโออาร์พีเฉลี่ยใกล้เคียงกันทั้งสองอัตราการไหลน้ำเสีย



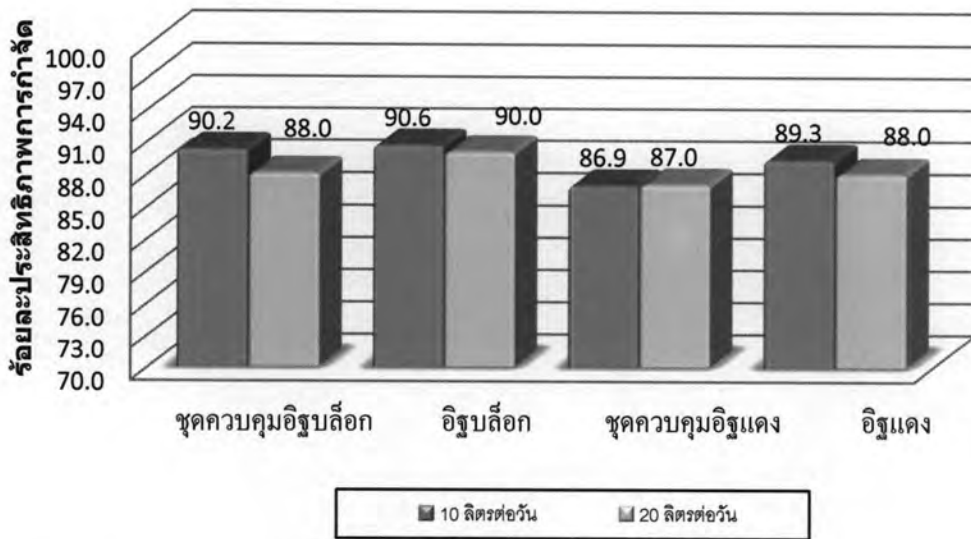
รูปที่ 4.32 โออาร์พีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 และ 20 ลิตรต่อวัน

#### 4) สารแขวนลอย

ในช่วงเริ่มต้นการทดลอง ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากระบบบึงประดิษฐ์ของอัตราการไหลน้ำเสีย 10 และ 20 ลิตรต่อวัน ค่อนข้างสูงและมีค่าลดลงในเวลาต่อมา ทุกระบบมีค่าสารแขวนลอยในน้ำออกใกล้เคียงกัน เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำเสียนั้นก็ยังคงมีประสิทธิภาพการกำจัดใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.33 และ 4.34 ซึ่งปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบนั้นคาดว่ามาจากตะกอนจุลินทรีย์และตัวกลางในระบบ ซึ่งเมื่อเดินระบบต่อไป ระบบรากเพิ่มขึ้น จะทำให้พื้นที่ผิวในการกรองเพิ่มขึ้น ทำให้การกรองและการตกตะกอนในระบบรากเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลง (Korkusuz และคณะ, 2005) เพราะเมื่อเวลาผ่านไปต้นไม้เจริญเติบโต รากในชั้นตัวกลางก็จะเพิ่มขึ้น ใช้พื้นที่มากขึ้น ทำให้ชั้นของตัวกลางอัดแน่น ช่องว่างในระบบลดลง ทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกรองสารแขวนลอยสูงขึ้น



รูปที่ 4.33 สารแขวนลอยของน้ำที่ออกจากระบบ อัตราการไหล 10 และ 20 ลิตรต่อวัน

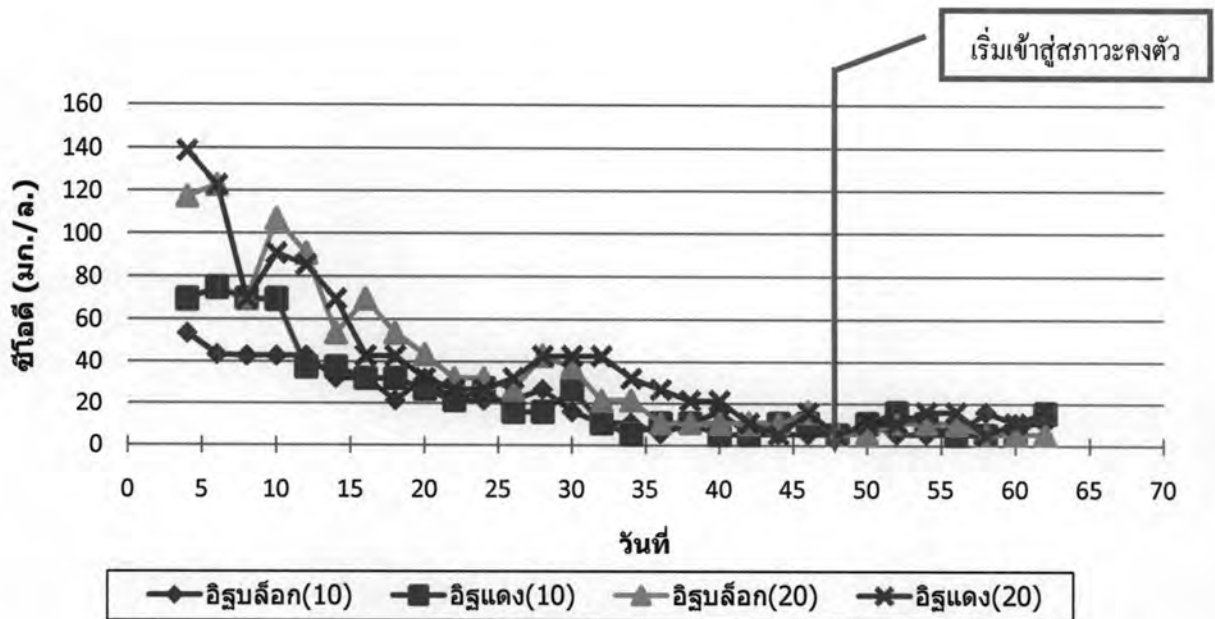


รูปที่ 4.34 ร้อยละการบำบัดค่าสารแขวนลอยจากระบบ อัตราการไหล 10 และ 20 ลิตรต่อวัน

### 5) ค่าซีโอดี

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าระบบมีค่าซีโอดีเฉลี่ยระหว่าง 200-250 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าซีโอดี ของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ ที่สภาวะคงตัวของระบบบึงประดิษฐ์ของทุกระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ใกล้เคียงกัน โดยมากกว่าร้อยละ 91.07 ซึ่งค่าซีโอดีหลังผ่านระบบมีค่าอยู่ในช่วง 8-19 มิลลิกรัมต่อลิตรดังรูปที่ 4.35

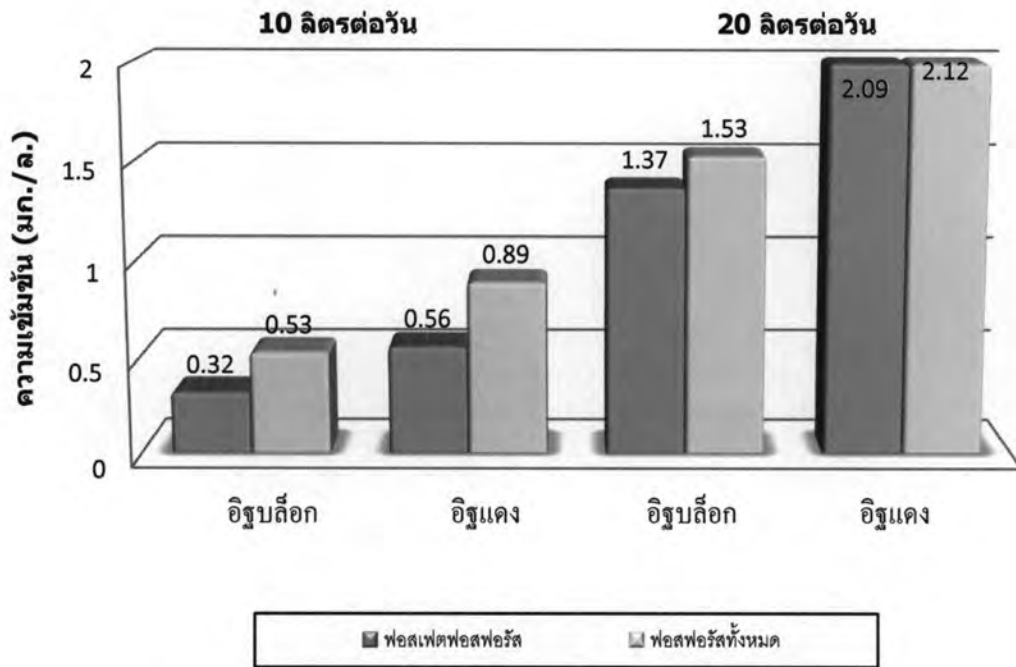
ในช่วงแรกของการเดินระบบน้ำทิ้งมีค่าซีโอดีแปรปรวนไม่คงที่ คาดว่าเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ปรับตัวให้เข้ากับสภาพของน้ำเสีย แต่เมื่อเวลาผ่านไปค่าซีโอดีมีค่าลดลงและคงที่ แสดงถึงระบบที่เข้าสู่สภาวะคงตัว (ค่าของข้อมูลแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 5) ในวันที่ 41 และ 48 ที่อัตราการไหล 10 และ 20 ลิตรต่อวันตามลำดับ เพราะระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลในแนวตั้ง สารอินทรีย์ จะถูกกำจัดโดยกระบวนการตกตะกอนและการกรอง และถูกย่อยสลายทั้งในสภาพที่มีอากาศและสภาพที่ไม่มีอากาศ โดยจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายซึ่งส่วนใหญ่จะเกาะติดอยู่กับผิวของตัวกลาง และรากของพืช (ศุวสา, 2544) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นจากกลไกในการดูดซับในตัวกลางในช่องว่างและรูพรุนของชั้นตัวกลาง รวมถึงเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายซีโอดีและดูดซับตะกอนจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว



รูปที่ 4.35 ซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 และ 20 ลิตรต่อวัน

### 8) ฟอสเฟตฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมด

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าระบบมีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยระหว่าง 6-8 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่สภาวะคงตัวมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าฟอสเฟตฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ใกล้เคียงกัน โดยที่อัตราการไหลน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวันมากกว่าร้อยละ 69.05 และอัตราการไหลน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวันมากกว่าร้อยละ 86.2 ของน้ำออกจากระบบบึงประดิษฐ์ และความเข้มข้นออกจากระบบดังรูปที่ 4.36 จะเห็นได้ว่าระบบตัวกลางอีรูบล็อกที่อัตราการไหลน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน จะมีประสิทธิภาพสูงสุด ถ้าเพิ่มอัตราการไหลน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลงเพราะเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำให้สูงขึ้นจะทำให้เกิดความแปรปรวนของน้ำมากขึ้นและเวลาเก็บกักน้ำเสียในระบบลดลงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลง เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าไออาร์พีพบว่า ไออาร์พีของระบบตัวกลางอีรูบล็อกเป็นลบมากกว่าระบบตัวกลางอีรูแดงเพราะค่าพีเอชของอีรูบล็อกมีค่าเป็นค่าที่เกิดจาก แคลเซียมเป็นหลักซึ่งจะไปจับกับฟอสฟอรัสและตกตะกอนในระบบ ซึ่งกลไกในการกำจัดฟอสฟอรัส ใช้หลักการดูดซับในชั้นตัวกลางโดยแพร่กระจายตามช่องว่างและรูพรุน กลไกการตกตะกอนและการกรองโดยไหลผ่านช่องว่างของชั้นตัวกลางเป็นการกรอง การย่อยโดยจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ในชั้นตัวกลาง รวมถึงการดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตโดยพืช



รูปที่ 4.36 ความเข้มข้นเฉลี่ยฟอสเฟตฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมด  
ที่อัตราการไหล 10 และ 20 ลิตรต่อวัน

#### 10) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบที่อัตราการไหล 10 และ 20 ลิตรต่อวัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของพารามิเตอร์ต่างๆพบว่า ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงกว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน ทั้งตัวกลางอิฐบล็อกและอิฐแดง โดยตัวกลางอิฐบล็อกมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช พบว่าชุดควบคุมอิฐบล็อกและชุดควบคุมอิฐแดงมีประสิทธิภาพการกำจัดต่ำกว่าระบบที่ปลูกพืชอยู่เล็กน้อย ทั้งที่อัตราการไหล 10 และ 20 ลิตรต่อวัน

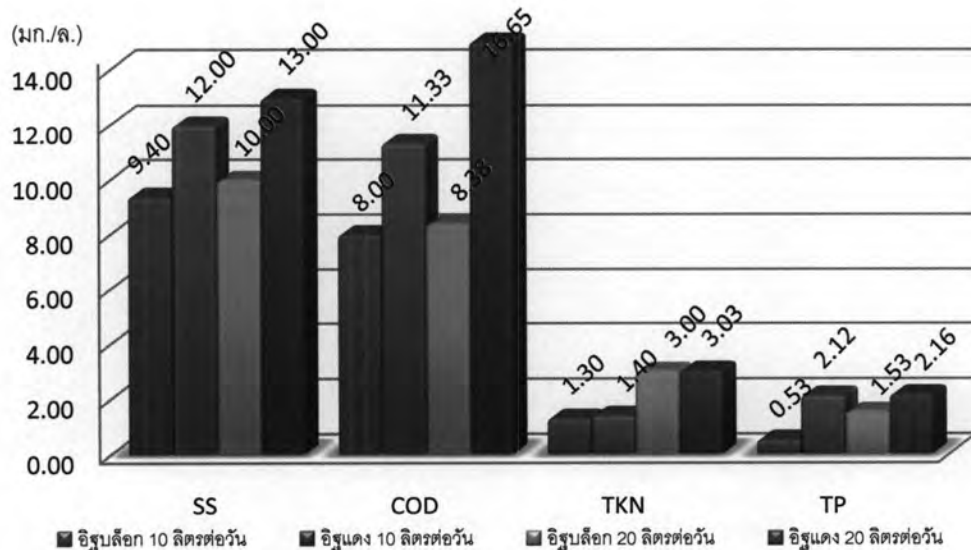
เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด สามารถระบุได้ว่าระบบที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดได้แก่ ระบบที่ใช้ตัวกลางอิฐบล็อกและป้อนน้ำเสียที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน สามารถบำบัดได้ถึงร้อยละ 92.84 โดยที่สถานะนี้ยังสามารถบำบัดค่าสารแวนดอลอย ซีโอดี บีโอดี และค่าทีเคเอ็น ได้สูงอีกด้วย และที่อัตราการไหลน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพการกำจัดยังคงสูงมากมีผลให้น้ำที่ออกจากระบบได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง ประสิทธิภาพของการกำจัดแสดงดังรูปที่ 4.37 และ 4.38

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 และ 20 ลิตรต่อวัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

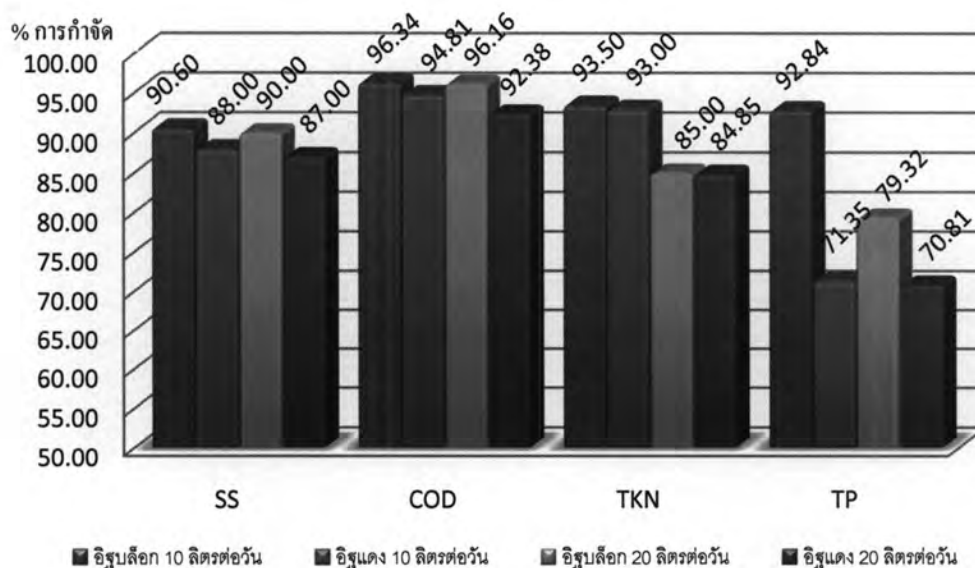
ค่าเฉลี่ย	เข้าระบบ	ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวันและ 20 ลิตรต่อวัน								มาตรฐานน้ำทิ้ง
		อิฐบล็อก 10 ลิตรต่อวัน		อิฐบล็อก 20 ลิตรต่อวัน		อิฐแดง 10 ลิตรต่อวัน		อิฐแดง 20 ลิตรต่อวัน		
		ออกระบบ	%การกำจัด	ออกระบบ	%การกำจัด	ออกระบบ	%การกำจัด	ออกระบบ	%การกำจัด	
อุณหภูมิ	28.6	26.50	-	27.00	-	26.90	-	27.00	-	
pH	6.5	10.32	-	10.18	-	7.06	-	7.69	-	5,-9,(2)
ORP	78.7	-119.90	-	-107.20	-	41.10	-	-39.60	-	
SS	100	9.40	90.60	10.00	90.00	12.00	88.00	13.00	87.00	30(2)
COD	218.4	8.00	96.34	8.38	96.16	11.33	94.81	16.65	92.38	
BOD	127.5	1.00	-	1.60	-	1.50	-	2.40	-	20(2)
TKN	20	1.30	93.50	3.00	85.00	1.40	93.00	3.03	84.85	8(1)
TP	7.4	0.53	92.84	1.53	79.32	2.12	71.35	2.16	70.81	1(1)

หมายเหตุ (1) มาตรฐานน้ำทิ้งในสหรัฐอเมริกา (ชงชัย, 2545)

(2) มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนมติคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (สันศักดิ์, 2549 ถูกอ้างใน ไพสิฐ, 2551)



รูปที่ 4.37 ความเข้มข้นของน้ำออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 และ 20 ลิตรต่อวัน



รูปที่ 4.38 ร้อยละการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 และ 20 ลิตรต่อวัน

#### 4.4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของชุดควบคุมกับชุดปลูกพืช

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของชุดควบคุมกับชุดปลูกพืชในระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 และ 20 ลิตรต่อวันจะเห็นได้ว่าชุดที่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืชทั้งที่อัตราการไหล 10 และ 20 ลิตรต่อวัน โดยระบบที่ปลูกพืชในการทดลองสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียได้ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ร้อยละของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อปลูกพืชในระบบ

ร้อยละการบำบัด	อัตราไหลน้ำเสีย 10 ลิตร/วัน		อัตราไหลน้ำเสีย 20 ลิตร/วัน	
	อิฐบล็อก	อิฐแดง	อิฐบล็อก	อิฐแดง
SS	0.4	2.4	2.00	1.00
COD	0.69	2.52	3.16	3.74
TKN	0	0.5	2.20	0.45
TP	0.54	1.76	1.89	2.30

จะเห็นได้ว่าการปลูกพืชในระบบบึงประดิษฐ์ในการทดลองสามารถช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียให้สูงขึ้น ซึ่งจากการทดลองระบบที่ใช้ตัวกลางอิฐแดงพืชในระบบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียได้สูงกว่าตัวกลางอิฐบล็อกเป็นไปได้ว่าจากการเจริญเติบโตที่สูงกว่าในระบบตัวกลางอิฐแดงทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียได้สูงกว่าดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น โดยการปลูกพืชในระบบช่วยเพิ่มกลไกการบำบัดได้เช่น ช่วยในการการลำเลียงออกซิเจน (ประนัดดา เจริญราช,2548) ระบบรากพืชในบึงประดิษฐ์จะเจริญเติบโตอยู่ในชั้นดินหรือแทรกตัวเข้าไปในชั้นกรองที่ระดับต่ำกว่าพื้นผิว ประมาณ 50-70 ซม. โดยออกซิเจนจากบรรยากาศจะถ่ายเทเข้าสู่พืชทางใบและลำเลียงออกซิเจนซึ่งใช้หลักการแพร่ (Diffusion) และการไหลพาของอากาศ (Convective) ลงไปยังระบบราก ทำให้สามารถลำเลียงออกซิเจนได้ดีกว่าการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เพียงอย่างเดียว (พิจารณา สารเสวก,2548) โดยอาศัยหลักการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำกว่า ซึ่งการซึมของออกซิเจนออกจากปลายรากทำให้เกิดการออกซิไดซ์ซึ่งจะช่วยลดความเป็นพิษของสารพิษต่างๆ ได้นอกจากนี้ระบบรากของพืชบางชนิดยังสามารถปล่อยสารปฏิชีวนะซึ่งสามารถทำลายเชื้อโรคบางอย่างในน้ำเสีย หรือปล่อย สารบางอย่างที่สามารถยับยั้งการเติบโตของพืชชนิดอื่นได้ (ศุภศานตวนิชกูร, 2544) ใช้เป็นที่เกาะสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยส่วนลำต้นและใบของพืชที่อยู่ใต้น้ำจะเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ เนื้อเยื่อของพืชจะมีสาหร่ายที่สังเคราะห์แสงได้เกาะอยู่บนหนาแน่น รวมทั้งจุลินทรีย์และ โปรโตซัว เช่นเดียวกับรากและลำต้นใต้ดิน นอกจากนี้ยังมีไบโอฟิล์มที่เกาะกับซากพืชที่ตายแล้ว ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในระบบบึงประดิษฐ์เช่นเดียวกัน (ศุภศานตวนิชกูร, 2544) พืชในระบบจะช่วยลดความเร็วของกระแส น้ำ เพิ่มเวลาในการสัมผัสระหว่างน้ำเสียและพืชให้มากขึ้น ทำให้เกิดกลไกการตกตะกอนได้ดีขึ้น พืชที่อยู่ในบึงประดิษฐ์ที่มีการควบคุมการไหลของน้ำในแนวตั้ง จะมีการเจริญเติบโตได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการแผ่กระจายของรากและไรโซมไปทั่วชั้นกรองและทำให้เกิดช่องว่างขึ้นซึ่งจะช่วยป้องกันการอุดตันของชั้นกรองได้อีกทางหนึ่ง

#### 4.5 การศึกษากลไกการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบบึงประดิษฐ์

การศึกษากลไกการกำจัดฟอสฟอรัสในระบบ โดยการนำตัวกลางในบึงประดิษฐ์ที่มีผลของประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูงที่สุดมาศึกษา กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ การทำสมดุลสารฟอสฟอรัสที่เข้าและออกจากระบบ หาค่าความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสโดยตัวกลาง วิธีการที่ใช้ในการหาค่าความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของตัวกลาง คือ Adsorption Isotherm test (มันสิน, 2542) หาปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ โดยการหาค่าฟอสฟอรัสจากพืชเริ่มต้นก่อนรับ น้ำเสีย และหาค่าฟอสฟอรัสจากพืชในคอนท้ายการทดลอง การหาค่าฟอสฟอรัสใน



พืชจะใช้วิธี Vanadomolybdo-phosphoric acid colorimetric method หลังจากการย่อยด้วยกรด (Acid digestion) (Yoo และคณะ, 2005) รายงานผลเป็นมวลของฟอสฟอรัสต่อมวลของพืช การหาปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกย่อยและดูดซึมโดยจุลินทรีย์โดยทำชุดการทดลองควบคุม ซึ่งเป็นระบบที่ไม่ปลูกพืช หลังจากนั้นจะทำการหาปริมาณ จุลินทรีย์ที่เกาะติดผิวดักกลาง หาปริมาณฟอสฟอรัสในกลไกอื่นๆ ที่เกิดขึ้น ได้แก่ การตกตะกอน (Yoo และคณะ, 2005; Zoubolis และ Prochaska, 2006) ดังสมการ

$$P_{\text{influent}} = P_{\text{effluent}} + P_{\text{remove}}$$

$$P_{\text{remove}} = P_{\text{adsorb}} + P_{\text{plant}} + P_{\text{microbe}} + P_{\text{other}}$$

โดยที่	$P_{\text{influent}}$	คือ	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เข้าสู่ระบบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	$P_{\text{effluent}}$	คือ	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ออกจากระบบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	$P_{\text{remove}}$	คือ	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	$P_{\text{adsorb}}$	คือ	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับโดยดักกลาง (มิลลิกรัมต่อกรัม)
	$P_{\text{plant}}$	คือ	ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
	$P_{\text{microbe}}$	คือ	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	$P_{\text{other}}$	คือ	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดโดยกลไกอื่นๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

#### 4.5.1 การหาค่าความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของดักกลาง

ในการหาค่าความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสในดักกลาง ใช้สารละลายโปแทสเซียมฟอสเฟต ( $KH_2PO_4$ ) ซึ่งเป็นสารละลายที่แตกตัวในน้ำให้  $HPO_4^{2-}$ ,  $KH_2PO_4^-$  และ  $PO_4^{3-}$  ไอออนที่สามารถทำปฏิกิริยาได้ทันที (Brooks และคณะ, 2000) ซึ่งไอออนเหล่านี้เป็นรูปแบบของฟอสฟอรัสที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ และทำให้เกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำได้

### 1) การหาค่าความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของอิฐบดอัด

จากการทดลองเตรียมตัวกลางอิฐบดอัดที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (ขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร) ใส่ขวดรูปชมพู่ 300 มิลลิลิตร เติมสารละลายฟอสฟอรัสความเข้มข้น 0 4 8 20 40 80 160 และ 320 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วเข้าเครื่อง Shaker 1 ชั่วโมงได้ผลดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองหาความสามารถในการดูดซับของอิฐบดอัด

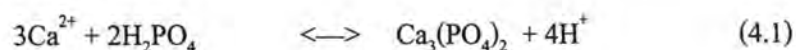
ความเข้มข้นเริ่มต้น ( $C_i$ ) (mg/l)	ความเข้มข้นสุดท้าย ( $C_f$ ) (mg/l)	ความสามารถในการดูดซับ (q) (mg P/Kg)
0	0.01	0
4	1.04	92.5
8	1.53	202.19
20	2.93	533.44
40	4.55	1,107.81
80	5.28	2,335.00
160	5.46	4,829.38
320	5.45	9,829.69

ค่าความสามารถในการดูดซับของอิฐบดอัดอยู่ในช่วง 0 ถึง 9,830 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อ กิโลกรัมอิฐบดอัด ค่าการดูดซับฟอสฟอรัสสูงขึ้นเมื่อเพิ่มค่าความเข้มข้น

ที่อุณหภูมิห้อง 26.6 องศาเซลเซียส ปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นเท่ากับ 8 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ พีเอช 5.05 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสคงเหลือเท่ากับ 1.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 7.53 ดังนั้นปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับโดยตัวกลาง ( $P_{adsorb}$ ) เท่ากับ 6.47 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับต่อหน่วยของตัวกลางเท่ากับ 202.19 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัมอิฐบดอัด เนื่องจากน้ำหนักของอิฐบดอัดทั้งระบบเท่ากับ 23.8 กิโลกรัม ดังนั้นปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับต่อหน่วยของตัวกลางทั้งหมดเท่ากับ 4,812 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส

ดังนั้น ในการประมาณระยะเวลาการอิมตัวต่อการดูดซับฟอสฟอรัสของชั้นอิฐบล็อก ในระบบบึงประดิษฐ์ สามารถหาค่าความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของอิฐบล็อกเท่ากับ 4,830 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม จากการคำนวณหลังจากเดินระบบได้ 4 ปี ชั้นอิฐบล็อกก็จะอิมตัว ซึ่งระยะเวลาที่คำนวณได้นี้ สามารถใช้เป็นแค่การประมาณระยะเวลาการดูดซับโดยตัวกลางของระบบเท่านั้น เนื่องจากไม่ได้มีการพิจารณาถึงกระบวนการอื่นๆ เช่น การเจริญเติบโตของพืชฟิล์มจุลินทรีย์ และการตกตะกอนทับถมในระยะยาว ดังนั้นระยะเวลาการอิมตัวของตัวกลางจริงควรจะนานกว่านี้

หลังจากทำการทดลองได้นำอิฐบล็อกไปวิเคราะห์สถานะของธาตุโดยใช้ XRD ก็ปรากฏมีแคลเซียมอยู่ในรูป  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  ในสภาวะปกติ ( $7 < \text{pH} < 14$ ) องค์ประกอบของตัวกลางที่เป็นแคลเซียมมีความสำคัญมากต่อการกำจัดฟอสฟอรัส ซึ่งการดูดซับและการตกตะกอนออร์โทฟอสเฟตไอออนโดยแคลเซียมคาร์บอเนต จะเกิดได้ดีที่ค่าพีเอชสูงๆ (Zouboulis และ Prochaska, 2006) ในการทดลองระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อกมีค่าพีเอชสูงอยู่ในช่วง 11.14-12.88 (ค่าเฉลี่ย 12.12) การรวมตัวกันของแคลเซียมกับฟอสเฟตเป็นกลไกหลักในการกำจัดฟอสฟอรัส (Korkusuz และคณะ, 2007) ในการดูดซับและการตกตะกอนฟอสฟอรัส จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมกับไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ได้เป็นไตรแคลเซียมฟอสเฟต ดังสมการที่ 4.1

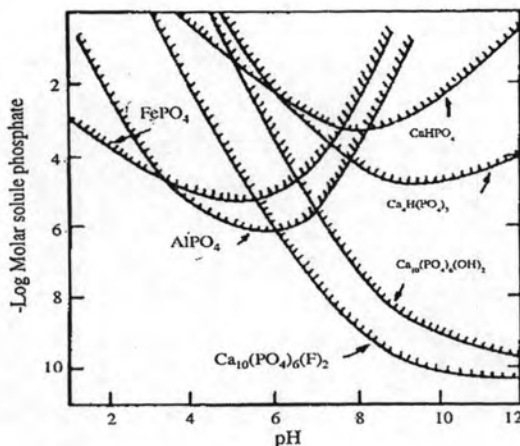


ปฏิกิริยาสามารถดำเนินต่อไปในรูปอื่นได้อีก ดังสมการที่ 4.2 องค์ประกอบที่เป็นโลหะอื่น เช่น อะลูมิเนียม เหล็ก และแมงกานีส ก็สามารถทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตได้เช่นกัน (Korkusuz และคณะ, 2007)



ในการดูดซับฟอสฟอรัสกับเหล็กและอะลูมิเนียมออกไซด์ จะเกิดได้ดีที่ค่าพีเอชเป็นกรด และที่ความเข้มข้นของฟอสเฟตเริ่มต้นต่ำๆ (มิลลิโมล) ที่ความเข้มข้นของฟอสเฟตสูงๆ และค่าพีเอชสูงจะเกิดเกลือของแคลเซียมฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ แสดงดังรูปที่ 4.39

จากผลการทดลองวิเคราะห์องค์ประกอบของอิฐบล็อกพบว่ามี  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  และ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 79.99 1.39 และ 0.41 ตามลำดับ และสถานะของน้ำที่ใช้ทดลองมีพีเอชเป็นด่าง ดังนั้นคาดว่าประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสโดยอิฐบล็อกน่าจะเกิดจากปริมาณ  $\text{CaO}$



รูปที่ 4.39 ความสามารถในการละลายของโลหะฟอสเฟต  
ที่มา: Zouboulis และ Prochaska, 2006

## 2) การหาค่าความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของอิฐแดง

จากการทดลองเตรียมอิฐแดงที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (ขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร) ใส่ขวดรูปชมพู่ 300 มิลลิลิตร เติมสารละลายฟอสฟอรัสความเข้มข้น 0 4 8 20 40 80 160 และ 320 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วเข้าเครื่อง Shaker 1 ชั่วโมง ได้ผลดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองหาความสามารถในการดูดซับของอิฐแดง

ความเข้มข้นเริ่มต้น ( $C_i$ ) (mg/l)	ความเข้มข้นสุดท้าย ( $C_f$ ) (mg/l)	ความสามารถในการดูดซับ (q) (mg P/Kg)
0	0.01	0
4	1.34	83.13
8	1.95	190.63
20	3.74	508.13
40	5.00	1,093.75
80	5.39	2,331.56
160	5.48	4,828.75
320	5.55	9,826.56

ค่าความสามารถในการดูดซับของอิฐแดงอยู่ในช่วง 0 ถึง 9,827 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อ กิโลกรัมอิฐแดง ค่าการดูดซับฟอสฟอรัสสูงขึ้นเมื่อค่าความเข้มข้นเริ่มต้นสูง

ที่อุณหภูมิห้อง 26.6 องศาเซลเซียส ปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นเท่ากับ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 5.05 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสคงเหลือเท่ากับ 1.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 5.84 ดังนั้นปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับโดยตัวกลาง ( $P_{adsorb}$ ) เท่ากับ 5.95 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับต่อหน่วยของตัวกลางเท่ากับ 190.63 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัมอิฐแดง เนื่องจากน้ำหนักของอิฐแดงทั้งระบบเท่ากับ 24 กิโลกรัม ดังนั้นปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับต่อหน่วยของตัวกลางทั้งหมดเท่ากับ 4,575 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส

ดังนั้น ในการประมาณระยะเวลาการอิมิตัวต่อการดูดซับฟอสฟอรัสของชั้นอิฐบล็อก ในระบบบึงประดิษฐ์ สามารถหาค่าความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุดของอิฐบล็อกเท่ากับ 4,829 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม จากการคำนวณหลังจากเดินระบบได้ 4.2 ปี

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของอิฐแดงพบว่าพบว่ามี  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$  และ  $Al_2O_3$  ร้อยละ 1.47 6.46 และ 11.41 ตามลำดับ และสารละลายมีค่าพีเอชค่อนข้างเป็นกรด (5.84) ดังนั้นจึงคาดว่า ฟอสเฟตในน้ำจะถูกกำจัดโดยการดูดซับและตกตะกอนกับ  $Fe_2O_3$  และ  $Al_2O_3$  ในตัวกลางอิฐแดง

ในตอนท้ายการทดลองได้นำอิฐแดงไปวิเคราะห์ XRD ได้ฟอสเฟตอยู่ในรูป  $Fe(PO_3)_3$ ,  $AlPO_4$  และ  $Al_2PO_4(OH)_3/2Al_2O_3 \cdot P_2O_5 \cdot 3H_2O$  ในการดูดซับฟอสฟอรัสกับเหล็กและอะลูมิเนียม ออกไซด์ จะเกิดได้ดีที่ค่าพีเอชเป็นกรด และที่ความเข้มข้นของฟอสเฟตเริ่มต้นต่ำๆ (มิลลิโมล) ที่ความเข้มข้นของฟอสเฟตสูงๆ และค่าพีเอชสูงจะเกิดเกลือของแคลเซียมฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ

ตารางที่ 4.16 ความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของตัวกลาง

ชั้นตัวกลางของระบบบึงประดิษฐ์	ฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับต่อหน่วยของตัวกลาง (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส) ( $P_{adsorb}$ )
อิฐบล็อก	4,812
อิฐแดง	4,575

สมการที่ใช้ในการทำนายกลไกของการดูดซับ ไอโซเทอร์ม (Isotherm) ที่นิยมใช้มีอยู่ 2 แบบคือ ฟรูนดริก และแลงเมียร์ สามารถบอกให้ทราบได้ว่าประสิทธิภาพของกระบวนการดูดซับมี

ค่าเท่าใด ซึ่งไอโซเทอร์มชนิดแลงเมียร์มีสมมุติฐานคือ มีพื้นที่การดูดติดจำกัด โมเลกุลที่ถูกดูดติดที่ผิวของสารดูดติดจะอยู่ในตำแหน่งที่แน่นอน ซึ่งแต่ละตำแหน่งจะถูกดูดติดผิวเพียงหนึ่ง โมเลกุลเท่านั้นนอกจากนี้ยังไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปมาได้โดยอิสระระหว่างผิว พบในการดูดซับทางเคมี ส่วนไอโซเทอร์มชนิดฟรุนดริกมีสมมุติฐานคือ สามารถดูดติดได้หลายชั้นทั้งที่เป็นชนิดเดียวกันและหลายชนิด ความสามารถในการดูดติดสูงขึ้นเมื่อสารละลายมีค่าสูงขึ้นด้วย พบในการดูดซับทางกายภาพ อาจทำให้ทราบเบื้องต้นว่า ไอโซเทอร์มของตัวกลางในระบบอัญรูปบล็อกและอัญแดงมีลักษณะแบบฟรุนดริก แต่เพื่อให้ค่าที่ถูกต้องจำเป็นต้องนำสมการทั้งสองแบบมาใช้เขียนค่าความชันของกราฟเพื่อความถูกต้องต่อไป

#### 4.5.2 การหาค่าฟอสฟอรัสจากการนำไปใช้โดยพืช

การคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ในระบบบึงประดิษฐ์ โดยนำปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งจากระบบบึงประดิษฐ์ที่เป็นชุดควบคุม (ไม่มีพืช) ลบด้วยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืช ซึ่งผลต่างที่ได้ก็คือปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้นั่นเอง

$$P_{\text{plant}} = (P_{\text{ที่ออกจากชุดควบคุม}}) - (P_{\text{ที่ออกจากระบบที่ปลูกพืช}})$$

ปริมาณฟอสฟอรัสถูกนำไปใช้ในพืชโดยระบบรากและหน่อ ฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชเปลี่ยนแปลงไปตามชนิด สิ่งแวดล้อม และฤดูกาล การนำฟอสฟอรัสไปใช้โดยพืชจะสูงในฤดูกาลเจริญเติบโต (Vymazal, 2007) พืชสามารถดูดฟอสฟอรัสได้ในรูปของอนุมูลไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) และโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) ส่วนอนุมูลออร์โทฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) นั้นพืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ และมักจะตกตะกอนเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เช่นแคลเซียมฟอสเฟต แมกนีเซียมฟอสเฟตหรืออะลูมิเนียมฟอสเฟต เมื่อพืชดูดอนุมูลไดไฮโดรเจนฟอสเฟตและโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟตเข้าไปแล้วจะเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด เช่น ฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (Adenosine Triphosphate: ATP) น้ำตาลฟอสเฟต (Sugarphosphate) นิวคลีโอไทด์ (Nucleotide) โคเอนไซม์ (Coenzyme) และกรดไฟติก (Phytic Acid) เป็นต้น (ศรีสม, 2544 ถูกอ้างใน ไพสิฐ, 2551)

ตารางที่ 4.17 ค่าฟอสฟอรัสจากการนำไปใช้โดยพืช

ชั้นตัวกลางของระบบบึง ประดิษฐ์	(P <sub>ที่ออกจากชุดควบคุม</sub> ) (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส)	(P <sub>ที่ออกจากระบบที่ปลูกพืช</sub> ) (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส)	(P <sub>plant</sub> ) (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส)
อิฐบล็อก 10 ลิตรต่อวัน	456	424	32
อิฐแดง 10 ลิตรต่อวัน	816	712	104
อิฐบล็อก 20 ลิตรต่อวัน	2070	1897	173
อิฐแดง 20 ลิตรต่อวัน	2839	2628	211

### 4.5.3 การหาค่าฟอสฟอรัสจากการย่อยสลายและดูดซึมโดยจุลินทรีย์

#### 1) ระบบตัวกลางอิฐบล็อกอัตราการไหลน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน

จากการทดลองนำตัวอย่างอิฐบล็อกที่มีความลึก 0.25, 0.35 และ 0.45 เมตร ชั่งน้ำหนักแห้งได้ 82.7 กรัม มาเข้าเครื่องอุตสาหกรรม ใช้น้ำที่ใช้แยกเท่ากับ 400 มิลลิลิตร ได้น้ำที่แยกออกมามีค่า MLSS เท่ากับ 460 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า MLVSS เท่ากับ 210 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### ฟอสฟอรัสที่สะสมในจุลินทรีย์

ฟอสฟอรัสทั้งหมด(น้ำตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร) = 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร

ฟอสฟอรัสทั้งหมด(น้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร) = 1.25 มิลลิกรัมต่ออิฐบล็อก 82.7 กรัม

อิฐบล็อก 23.8 กิโลกรัม

ฟอสฟอรัส  $23800/82.7 \times 1.25$

ฟอสฟอรัส = 360 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส

#### มวลจุลินทรีย์

MLVSS (น้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร) = 210 มิลลิกรัมต่อลิตร

มวลจุลินทรีย์ (น้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร) = 21 มิลลิกรัมต่ออิฐบล็อก 82.7 กรัม

อิฐบล็อก 23.8 กิโลกรัม

มวลจุลินทรีย์  $23800/82.7 \times 21$

มวลจุลินทรีย์ = 6,044 กรัม

### ฟอสฟอรัสต่อกรัมจุลินทรีย์

ฟอสฟอรัสในจุลินทรีย์	= 360	มิลลิกรัม
จุลินทรีย์	= 6,044	กรัม
ฟอสฟอรัสต่อกรัมจุลินทรีย์	$360/6,044$	= 0.06
ฟอสฟอรัสต่อกรัมจุลินทรีย์	= 0.06 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกรัมจุลินทรีย์	

การหาค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำที่แยกมาได้เท่ากับ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้น้ำตัวอย่าง 20 มิลลิลิตรจากทั้งหมด 100 มิลลิลิตร คิดเป็น 1.25 มิลลิกรัมต่ออิฐบล็อก 82.7 กรัม เนื่องจากน้ำหนักอิฐบล็อกทั้งระบบเท่ากับ 23.8 กิโลกรัม ดังนั้นปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในจุลินทรีย์เท่ากับ 360 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส

การหาค่า MLVSS เท่ากับ 210 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้น้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตรจากทั้งหมด 100 มิลลิลิตร คิดเป็นมวลจุลินทรีย์ 21 มิลลิกรัมต่ออิฐบล็อก 82.7 กรัม เนื่องจากน้ำหนักอิฐบล็อกทั้งระบบเท่ากับ 23.8 กิโลกรัม ดังนั้นมวลจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบเท่ากับ 6,044 กรัม

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในจุลินทรีย์เท่ากับ 360 มิลลิกรัม มาคิดเทียบกับมวลจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบเท่ากับ 6,044 กรัม จะได้เป็นปริมาณฟอสฟอรัสต่อมวลจุลินทรีย์เท่ากับ 0.06 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกรัมจุลินทรีย์

### 2) ระบบตัวกลางอิฐแดงอัตราการไหลน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน

จากการทดลองนำตัวอย่างอิฐแดงที่ความลึก 0.25, 0.35 และ 0.45 เมตร ชั่งน้ำหนักแห้งได้ 84.7 กรัม มาเข้าเครื่องอุตสาหกรรม ปริมาณน้ำที่ใช้แยกเท่ากับ 400 มิลลิลิตร ได้น้ำที่แยกออกมามีค่า MLSS เท่ากับ 630 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า MLVSS เท่ากับ 370 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร (คำนวณดังข้อ 1)

การหาค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำที่แยกมาได้เท่ากับ 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้น้ำตัวอย่าง 20 มิลลิลิตรจากทั้งหมด 100 มิลลิลิตร คิดเป็น 1.5 มิลลิกรัมต่ออิฐแดง 83.5 กรัม เนื่องจากน้ำหนักอิฐแดงทั้งระบบเท่ากับ 24 กิโลกรัม ดังนั้นปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในจุลินทรีย์เท่ากับ 431 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส



การหาค่า MLVSS เท่ากับ 370 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้น้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตรจากทั้งหมด 100 มิลลิลิตร คิดเป็นมวลจุลินทรีย์ 37 มิลลิกรัมต่ออัฐแดง 83.5 กรัม เนื่องจากน้ำหนักอัฐแดงทั้งระบบ เท่ากับ 24 กิโลกรัม ดังนั้นมวลจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบเท่ากับ 10,635 กรัม

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในจุลินทรีย์เท่ากับ 431 มิลลิกรัม มาคิดเทียบกับมวล จุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบเท่ากับ 10,635 กรัม จะได้เป็นปริมาณฟอสฟอรัสต่อมวลจุลินทรีย์เท่ากับ 0.04 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกรัมจุลินทรีย์

### 3) ระบบตัวกลางอัฐบดอัตรการไหลน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน

จากการทดลองนำตัวอย่างอัฐบดที่ความลึก 0.25, 0.35 และ 0.45 เมตร ซึ่งน้ำหนักแห้งได้ 82.7 กรัม มาเข้าเครื่องอูลตราโซนิก ปริมาณน้ำที่ใช้แยกเท่ากับ 400 มิลลิลิตร ได้น้ำที่แยกออกมามีค่า MLSS เท่ากับ 460 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า MLVSS เท่ากับ 210 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าฟอสฟอรัส ทั้งหมดเท่ากับ 0.51 มิลลิกรัมต่อลิตร คำนวณดังข้อ 1)

การหาค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำที่แยกมาได้เท่ากับ 0.51 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้น้ำตัวอย่าง 20 มิลลิลิตรจากทั้งหมด 100 มิลลิลิตร คิดเป็น 2.5 มิลลิกรัมต่ออัฐบด 82.7 กรัม เนื่องจากน้ำหนัก อัฐบดทั้งระบบเท่ากับ 23.8 กิโลกรัม ดังนั้นปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในจุลินทรีย์เท่ากับ 720 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส

การหาค่า MLVSS เท่ากับ 210 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้น้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตรจากทั้งหมด 100 มิลลิลิตร คิดเป็นมวลจุลินทรีย์ 21 มิลลิกรัมต่ออัฐบด 82.7 กรัม เนื่องจากน้ำหนักอัฐบดทั้ง ระบบเท่ากับ 23.8 กิโลกรัม ดังนั้นมวลจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบเท่ากับ 6,044 กรัม

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในจุลินทรีย์เท่ากับ 720 มิลลิกรัม มาคิดเทียบกับมวล จุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบเท่ากับ 6,044 กรัม จะได้เป็นปริมาณฟอสฟอรัสต่อมวลจุลินทรีย์เท่ากับ 0.12 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกรัมจุลินทรีย์

### 4) ระบบตัวกลางอัฐแดงอัตรการไหลน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน

จากการทดลองนำตัวอย่างอัฐแดงที่ความลึก 0.25, 0.35 และ 0.45 เมตร ซึ่งน้ำหนักแห้งได้ 84.7 กรัม มาเข้าเครื่องอูลตราโซนิก ปริมาณน้ำที่ใช้แยกเท่ากับ 400 มิลลิลิตร ได้น้ำที่แยกออกมามีค่า

MLSS เท่ากับ 630 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า MLVSS เท่ากับ 370 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 0.42 มิลลิกรัมต่อลิตร (คำนวณดังข้อ 1)

การหาค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำที่แยกมาได้เท่ากับ 0.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้น้ำตัวอย่าง 20 มิลลิลิตรจากทั้งหมด 100 มิลลิลิตร คิดเป็น 2.1 มิลลิกรัมต่ออิฐแดง 83.5 กรัม เนื่องจากน้ำหนักอิฐแดงทั้งระบบเท่ากับ 24 กิโลกรัม ดังนั้นปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในจุลินทรีย์เท่ากับ 604 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส

การหาค่า MLVSS เท่ากับ 370 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้น้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตรจากทั้งหมด 100 มิลลิลิตร คิดเป็นมวลจุลินทรีย์ 37 มิลลิกรัมต่ออิฐแดง 83.5 กรัม เนื่องจากน้ำหนักอิฐแดงทั้งระบบเท่ากับ 24 กิโลกรัม ดังนั้นมวลจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบเท่ากับ 10,635 กรัม

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในจุลินทรีย์เท่ากับ 604 มิลลิกรัม มาคิดเทียบกับมวลจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบเท่ากับ 10,635 กรัม จะได้เป็นปริมาณฟอสฟอรัสต่อมวลจุลินทรีย์เท่ากับ 0.06 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกรัมจุลินทรีย์

ตารางที่ 4.18 ค่าฟอสฟอรัสจากการย่อยสลายและดูดซึมโดยจุลินทรีย์

ชั้นตัวกลางของระบบบึงประดิษฐ์	ฟอสฟอรัสจากการย่อยสลายและดูดซึมโดยจุลินทรีย์ (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส)
อิฐบล็อก 10 ลิตรต่อวัน	360
อิฐแดง 10 ลิตรต่อวัน	431
อิฐบล็อก 20 ลิตรต่อวัน	720
อิฐแดง 20 ลิตรต่อวัน	604

#### 4.5.4 การทำสมดุลมวลฟอสฟอรัสที่เข้าและออกจากระบบ

จากการทดลองหาปริมาณฟอสฟอรัสจากการหาค่าความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของอิฐบด (P<sub>adsorb</sub>) การหาค่าฟอสฟอรัสจากการนำไปใช้โดยพืช (P<sub>plant</sub>) และการหาค่าฟอสฟอรัสจากการย่อยสลายและดูดซับโดยจุลินทรีย์ (P<sub>microbe</sub>) สามารถทำสมดุลมวลฟอสฟอรัสที่เข้าและออกจากระบบได้ดังตารางที่ 4.19 เมื่อแทนค่าต่างๆลงในสมการที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบสมดุลมวลสารฟอสฟอรัสที่เข้าและออกจากระบบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ตัวกลาง	P influent	P effluent	อิฐบด	จุลินทรีย์	ต้นธูปฤาษี	ปัจจัยอื่นๆ
อิฐบด						
10 ลิตรต่อวัน	5920	424	4812	360	32	292
20 ลิตรต่อวัน	9176	1947	4812	720	173	1524
อิฐแดง						
10 ลิตรต่อวัน	5920	720	4575	431	104	150
20 ลิตรต่อวัน	9176	2679	4575	604	211	1107

##### 1) ระบบตัวกลางอิฐบดอัตราการไหลน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน

$$P_{\text{influent}} = P_{\text{effluent}} + P_{\text{remove}} \quad (4.3)$$

$$P_{\text{remove}} = P_{\text{adsorb}} + P_{\text{plant}} + P_{\text{microbe}} + P_{\text{other}} \quad (4.4)$$

โดยที่ P<sub>influent</sub> คือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เข้าสู่ระบบ (5,920 mg P)

P<sub>effluent</sub> คือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่ออกจากระบบ (424 mg P)

P<sub>remove</sub> คือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัด (mg P)

P<sub>adsorb</sub> คือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับโดยอิฐบด (4,812 mg P)

P<sub>plant</sub> คือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่ต้นธูปฤาษีนำไปใช้ (32 mg P)

P<sub>microbe</sub> คือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ (360 mg P)

P<sub>other</sub> คือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดโดยกลไกอื่นๆ (mg P)

แทนค่า  $P_{\text{adsorb}}$ ,  $P_{\text{plant}}$  และ  $P_{\text{microbe}}$  ลงในสมการที่ 4.3 ได้

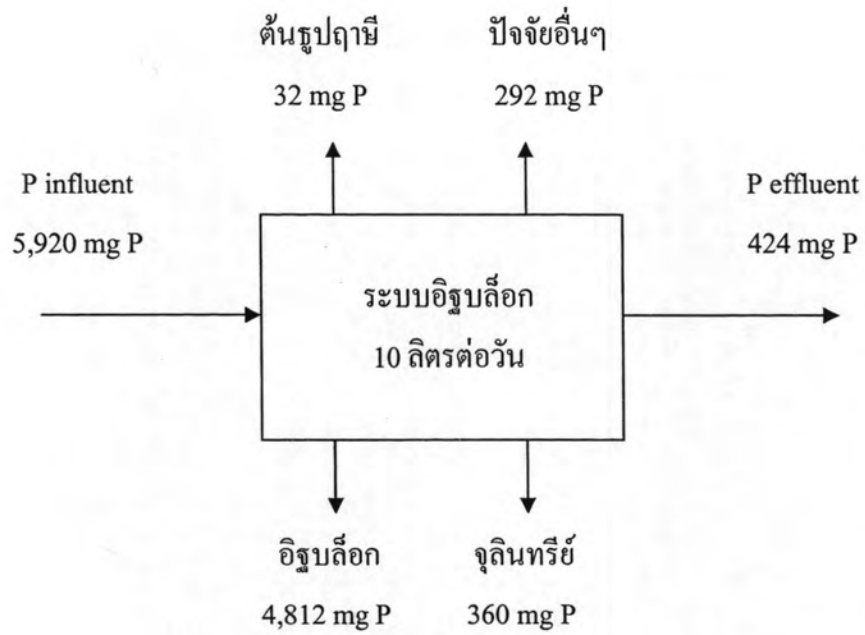
$$P_{\text{remove}} = 4,812 + 32 + 360 + P_{\text{other}}$$

แทนค่า  $P_{\text{remove}}$  ลงในสมการที่ 4.3 ได้

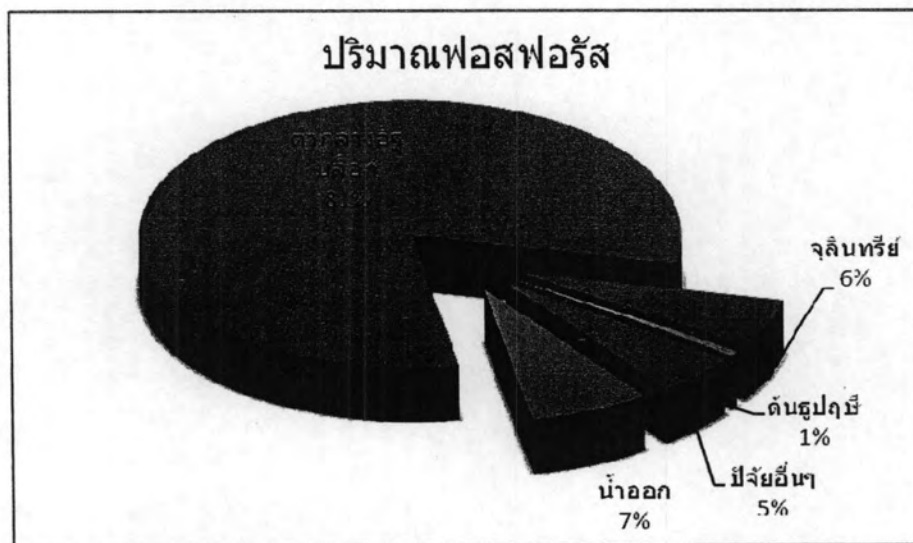
$$5,920 = 424 + P_{\text{remove}} = 424 + 4,812 + 32 + 360 + P_{\text{other}}$$

$$P_{\text{other}} = 292 \text{ mg P}$$

ปริมาณฟอสฟอรัสที่ป้อนเข้าระบบมีค่าเท่ากับ 5,920 มิลลิกรัม ถูกกำจัดโดยกลไกการดูดซับโดยอิฐบล็อกเท่ากับ 4,812 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 81 ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เข้าระบบ การนำไปใช้โดยดินธูปฤาษีเท่ากับ 32 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 1 ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เข้าระบบ การย่อยสลายและการดูดซึมโดยจุลินทรีย์เท่ากับ 360 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 6 ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เข้าระบบ จากปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ การตกตะกอนในระบบบึงประดิษฐ์ การดูดซับบนผิวภาชนะ ฯลฯ เท่ากับ 292 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 5 ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เข้าระบบ และปริมาณฟอสฟอรัสที่ปล่อยออกจากระบบมีค่าเท่ากับ 424 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 7 ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เข้าระบบ ดังรูปที่ 4.40 และรูปที่ 4.41



รูปที่ 4.40 สมดุลมวลฟอสฟอรัสที่เข้าและออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ตัวกลางอิฐบล็อก



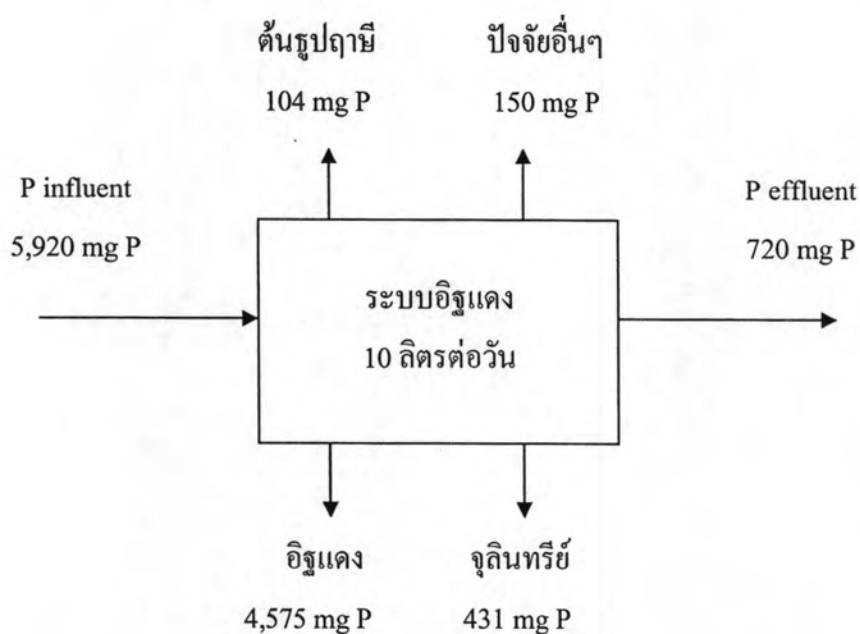
รูปที่ 4.41 กราฟร้อยละของปริมาณฟอสฟอรัสในปัจจัยต่างๆ ของระบบบึงประดิษฐ์

## 2) ระบบตัวกลางอิฐแดงอัตราการไหลน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน

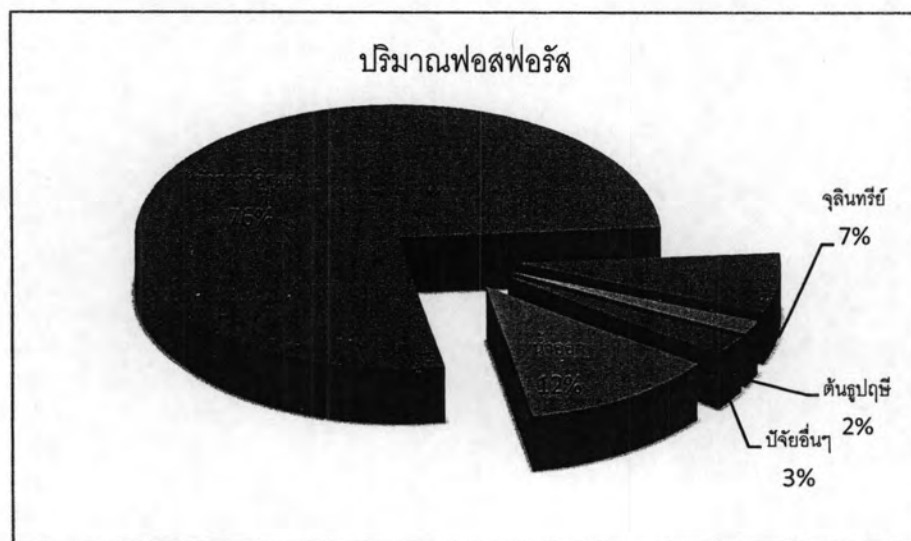
แทนค่า  $P_{\text{adsorb}}$ ,  $P_{\text{plant}}$  และ  $P_{\text{microbe}}$  ลงในสมการที่ 4.3 ได้

$$5,920 = 720 + P_{\text{remove}} = 720 + 4,575 + 104 + 431 + P_{\text{other}}$$

$$P_{\text{other}} = 150 \text{ mg P}$$



รูปที่ 4.42 สมดุลมวลฟอสฟอรัสที่เข้าและออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ตัวกลางอิฐแดง



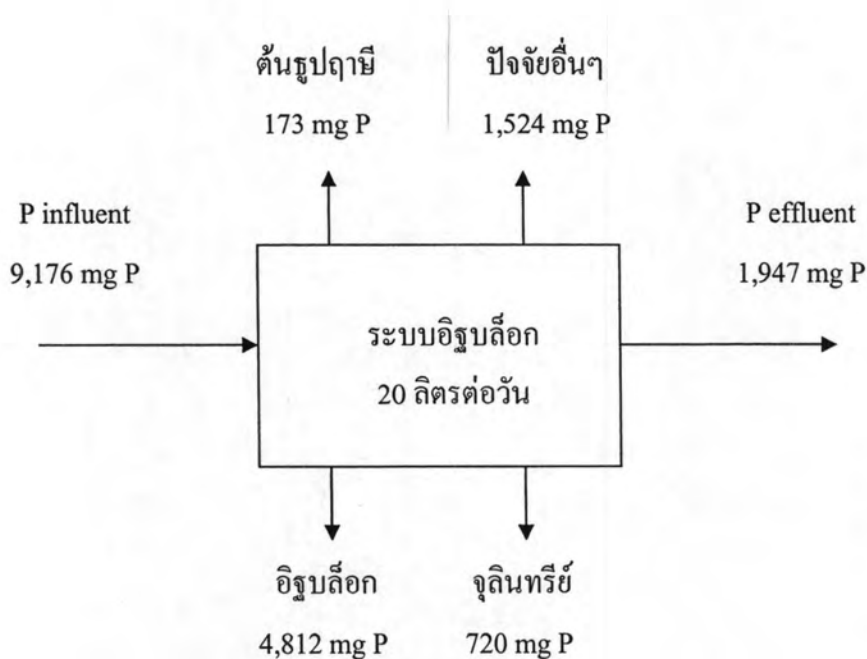
รูปที่ 4.43 กราฟร้อยละของปริมาณฟอสฟอรัสในปัจจัยต่างๆ ของระบบบึงประดิษฐ์

3) ระบบตัวกลางอิฐบดอัดอากาศไหลน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน

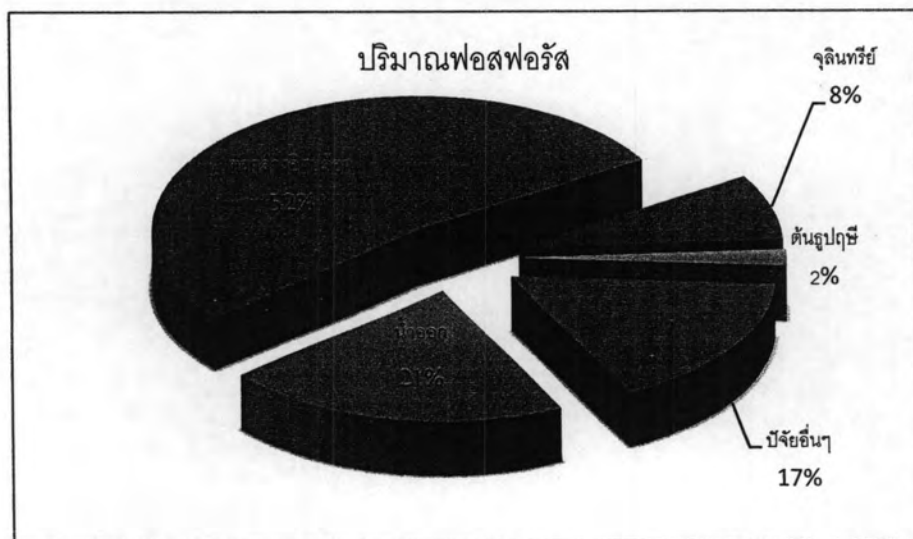
แทนค่า  $P_{adsorb}$ ,  $P_{plant}$  และ  $P_{microbe}$  ลงในสมการที่ 4.3 ได้

$$9,176 = 1,947 + P_{remove} = 1,947 + 4,812 + 173 + 720 + P_{other}$$

$$P_{other} = 1,524 \text{ mg P}$$



รูปที่ 4.44 สมดุลมวลฟอสฟอรัสที่เข้าและออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ตัวกลางอิฐบดอัด



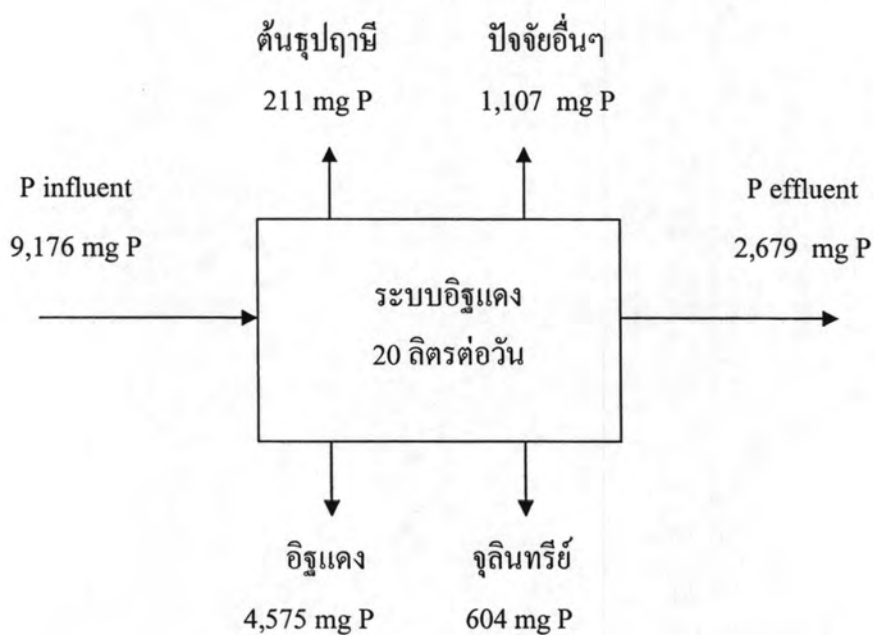
รูปที่ 4.45 กราฟร้อยละของปริมาณฟอสฟอรัสในปัจจัยต่างๆ ของระบบบึงประดิษฐ์

#### 4) ระบบตัวกลางอิฐแดงอัตราการไหลน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน

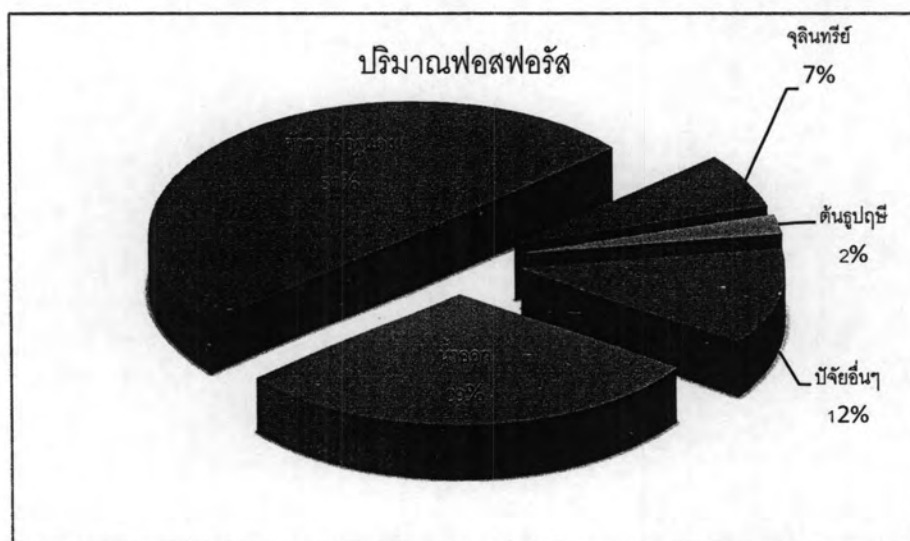
แทนค่า  $P_{\text{adsorb}}$ ,  $P_{\text{plant}}$  และ  $P_{\text{microbe}}$  ลงในสมการที่ 4.3 ได้

$$9,176 = 2,679 + P_{\text{remove}} = 2,679 + 4,575 + 211 + 604 + P_{\text{other}}$$

$$P_{\text{other}} = 1,107 \text{ mg P}$$



รูปที่ 4.46 สมดุลมวลฟอสฟอรัสที่เข้าและออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ตัวกลางอิฐแดง



รูปที่ 4.47 กราฟร้อยละของปริมาณฟอสฟอรัสในปัจจัยต่างๆ ของระบบบึงประดิษฐ์



#### 4.6 เปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยอื่น

จากผลการวิจัยฉบับนี้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆแล้ว สังเกตได้ว่าอยู่ในช่วงที่ผลการทดลองค่อนข้างไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยชิ้นอื่นๆ ในขอบเขตที่ใกล้เคียงกัน โดยงานวิจัยส่วนมากชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์จะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลากักเก็บในระบบ (ศักดิ์ชัย อังคสิงห์,2547) หรือลดอัตราบรรทุกทางชลศาสตร์ลง (พิจารณ์ สารเสวก ,2548) ช่วงที่เหมาะสมคือ 0.014-0.047 ม.<sup>3</sup>/(ม.<sup>2</sup>-วัน) (Tchobanoglous และคณะ,2004) พืชที่ใช้ในระบบ ต้นรูปฤาษีมีประสิทธิภาพสูงกว่าพืชเปรียบเทียบกับอื่นๆในงานวิจัยเดียวกัน(ประนงค์ดา เจริญราช,2548) ชั้นตัวกลางต่างๆกันสามารถมีประสิทธิภาพการบำบัดได้อยู่ในช่วงเฉลี่ย 50-90% ในทุกพารามิเตอร์ (ไพสิฐ กาญจนสุนทร,2551) ระบบจะสามารถทำงานได้ดีมากขึ้นในสภาวะมลพิษในน้ำอยู่ในช่วงที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ น้ำออกจากระบบได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง (จุฑารัตน์ หนูสุข,2546) โดยสรุปดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 เปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยอื่น

ผู้วิจัย	หัวข้อวิจัย	ขอบเขตและวิธีการ	ผลและประสิทธิภาพ	หมายเหตุ
งานวิจัยฉบับนี้ ณัฐพงษ์ ผ่องแก้ว	การบำบัดน้ำ ฟอสฟอรัสใน น้ำเสียจาก สถานบริการ ล้างรถโดยใช้ บึงประดิษฐ์ที่ มีการไหลใน แนวคิ่ง	-อัตราภาระบรรทุกทางชล ศาสตร์ต่างกันซึ่งมีค่า 0.041 และ 0.083 ม. <sup>3</sup> /(ม. <sup>2</sup> -วัน) -ป้อนน้ำเสียอย่างไม่ ต่อเนื่องคือเดิม 2 ชั่วโมง หยุด 2 ชั่วโมง -น้ำเสียสังเคราะห์จากสถาน บริการล้างรถ -ตัวกลาง อิฐแดง และ อิฐ บล็อก -ปลูกต้นรูปฤาษี	สารแขวนลอย 90.6 % ซีโอติ 96.34 % ทีเคเอ็น 93.50 % ฟอสฟอรัส 92.84 %	-ประสิทธิภาพของระบบที่ อัตราภาระชลศาสตร์ที่ 0.041 สูงกว่าระบบที่ 0.083 ม. <sup>3</sup> /(ม. <sup>2</sup> - วัน) -ประสิทธิภาพของระบบลดลง เมื่อเวลาเก็บกักน้อยลง -ฟอสฟอรัสตัวใหญ่ถูกกำจัด โดยกลไกการดูดซับโดย ตัวกลางอิฐบล็อก
กลอย กาญจน์ แก่นนคร สุวรรณ (2544)	การบำบัดน้ำ เสียชุมชนโดย ใช้บึง ประดิษฐ์แบบ น้ำไหลได้ผิว ดิน	-ใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหล ได้ผิวดิน -ตัวกลางดินปนทรายและ ตัวกลางทรายปนหินชนวน -ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ในการ ทดลองที่มีค่าใน โตรเจน และฟอสฟอรัสต่างกัน 2 ค่า -น้ำเสียชุดที่ 1 ค่าซีโอติ,	ซีโอติ 94.23 % ไนโตรเจน 94.59 % ฟอสฟอรัส 74.67 %	-บำบัดน้ำเสียได้ตามมาตรฐาน น้ำทิ้งชุมชน -ระบบที่ปลูกต้นรูปฤาษีและ ระบบควบคุมที่ไม่มีปลูก พืชจะมีประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอติใกล้เคียงกัน -ประสิทธิภาพการกำจัด ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสบึง

		ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เป็น 500,20 และ 5 มิลลิกรัม ต่อลิตร -น้ำเสียชุดที่ 2 มีค่า 500, 40 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร -เวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน อัตราการไหล 25 ลิตร/วัน		ประคิษฐ์ที่ปลูกคั้นรูปฤาษีจะมีค่าสูงกว่า
จุฬารัตน์ หนูสุข (2546)	การใช้บึง ประคิษฐ์แบบ น้ำไหลได้ผิวดินเพื่อการ บำบัดขั้นที่สาม สำหรับ น้ำเสียจาก โรงงานสกัด น้ำมันปาล์ม	-ใช้บึงประคิษฐ์แบบน้ำไหล ได้ผิวดิน -น้ำเสียชั้น ที่สาม จาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม -บรรจุตัวกลางกรวด และ ปลูกคั้นรูปฤาษี -ปรับเปลี่ยนอัตราการไหล ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ ในแต่ละบ่อ 3 ค่า คือ 0.26 0.13 และ 0.086 ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียใน ระบบ เท่ากับ 5 10 และ 15 วัน	สารแขวนลอย 90.49 % บีโอดี 74.11 % ซีโอดี 61.65 % ซีไออดี 59.06 % ทีเคเอ็น 54.4 % ฟอสฟอรัส 39.48 %	-บึงประคิษฐ์ที่มีอัตราการไหล ของน้ำที่ป้อนเข้าระบบเท่ากับ 0.086 ลบ.ม./วัน และมี ระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 15 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดคิ ที่สุด -ระบบมีระยะเวลาเก็บกัก เพิ่มขึ้น จะทำให้ระบบบึง ประคิษฐ์มีประสิทธิภาพในการ กำจัด ปริมาณ ของ แข็ง ขวนลอย ซี ซีโอดี บีโอดี ทีเค เอ็นและฟอสฟอรัสได้สูงขึ้น
ประนัดดา เจริญราช (2548)	การบำบัดน้ำ ที่จากการ ฟอกข้อมใหม่ โดยใช้บึง ประคิษฐ์	-บำบัดน้ำที่จากการฟอก ข้อมใหม่ -เปรียบเทียบปลูกคั้นรูปฤาษี และ กกกลม	ค่าพีเอช 15.3 % ความขุ่น 57.93 % บีโอดี 95.30 % ซีโอดี 71.83 %	-บ่อที่ปลูกคั้นรูปฤาษีและบ่อที่ ปลูกกกกลมมีความสามารถในการ บำบัดได้ไม่แตกต่างกัน -บำบัดคุณภาพน้ำผ่านเกณฑ์ มาตรฐาน
ปิยวรรณ เนื่อง มัจฉา (2549)	ประสิทธิภาพ ของกล้าแสม ทะเลเพื่อการ บำบัดธาตุ อาหารในน้ำ ที่จากฟาร์ม เลี้ยงกุ้ง	-ศึกษาประสิทธิภาพของ กล้าไม้แสมทะเลเพื่อการ บำบัดธาตุอาหาร -น้ำที่จากฟาร์มเลี้ยงกุ้ง -เวลาเก็บกัก 7 วัน	สารแข็งแขวนลอย 76.94 – 91.43 % บีโอดี 46.48 – 72.09% แอมโมเนียไนโตรเจน 69.86 – 87.56 % ไนโตรเจนทั้งหมด 70.32 – 89.80 % ฟอสฟอรัสทั้งหมด 64.04 – 86.76 %	-แสมทะเลสามารถบำบัดธาตุ อาหารในน้ำที่จากการเลี้ยงกุ้ง ได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ไม่ ปลูกพืช

<p>พิจาณ สารเสวก (2548)</p>	<p>ผลของอัตรา การระบรทุก ทางชลศาสตร์ ต่อการบำบัด น้ำเสียชุมชน ด้วยบึง ประดิษฐ์ที่ใช้ กลไกเติม อากาศแบบ พาสตีฟ</p>	<p>-การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วย บึงประดิษฐ์ที่ใช้กลไกเติม อากาศแบบพาสตีฟ -อัตราการระบรทุกทางชล ศาสตร์ต่างกันซึ่งมีค่า 6.6, 13.8, 18.3, 24.5 และ 31.1 ชม./วัน</p>	<p>กำจัดซีโอดี 67.4-82.0% ไนโตรเจน 45.5-77.2% ฟอสฟอรัส 87.3-89.2%</p>	<p>-ประสิทธิภาพในการกำจัด ไนโตรเจนและสารอินทรีย์ คาร์บอนลดลงเมื่ออัตราการระ บรทุกทางชลศาสตร์เพิ่มขึ้น -ที่ 6.6 และ 13.8 ชม./วัน ผ่าน มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารทั้ง 4 ประเภท -ที่ 18.3, 24.5 และ 31.1 ชม./วัน ผ่านเฉพาะมาตรฐานน้ำทิ้งจาก อาคารประเภท ค และ ง</p>
<p>ไพสิฐ กาญจน สุนทร (2551)</p>	<p>ผลของ ตัวกลางที่มี ต่อการกำจัด ฟอสฟอรัสใน น้ำเสียโดยบึง ประดิษฐ์ที่มี การไหลใน แนวตั้ง</p>	<p>-ตัวกลางที่ใช้ในการศึกษา เปรียบเทียบ 4 ชนิด ได้แก่ หินเกล็ด อิฐแดง อิฐบล็อก และเปลือกหอย -ระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการ ไหลในแนวตั้ง -ใช้พืชต้นก้ามกุ้ง -ใช้น้ำเสียชุมชนตั้งเคราะห์ ป้อนน้ำเสียดังเคราะห์ที่ อัตราการระบรทุกทางชล ศาสตร์ที่ 5 ชม./วัน -ป้อนน้ำเสียดังเคราะห์ที่ ต่อเนื่อง เดิม 2 ชั่วโมง หยุด 2 ชั่วโมง</p>	<p>-อิฐบล็อกมีประสิทธิภาพ การบำบัดค่าฟอสฟอรัส ทั้งหมดสูงที่สุด 93 % -อิฐแดงมีประสิทธิภาพ การบำบัดค่าฟอสฟอรัส ทั้งหมด 90 %</p>	<p>-ประสิทธิภาพการบำบัดของ ตัวกลางที่ใช้ในการศึกษา เปรียบเทียบ อิฐบล็อก อิฐแดง เปลือกหอย และหินเกล็ด คี ตามลำดับ</p>
<p>ยุทธนา วรพันธุ์ (2550)</p>	<p>การบำบัดน้ำ เสียจากการ ผลิตปลาต้ม ด้วยระบบบึง ประดิษฐ์ที่มี การไหลได้ผิว แบบ ผสมผสาน</p>	<p>-น้ำเสียจากการผลิตปลาต้ม -ระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการ ไหลได้ผิวแบบผสมผสาน ในแนวตั้งและแนวราบ -ใช้ต้น กก ลัง กา ใน บ่อ แนวตั้ง ต้นพุทธรักษาในบ่อ แนวราบ -บรรจุตัวกลางกรวด -ป้อนน้ำเสีย 8 ชม.หยุด16 ชม. อัตราการระบรทุกชล ศาสตร์ 5.3 ชม./วัน</p>	<p>ซีโอดี 87 % บีโอดี 84 % ของแข็งแขวนลอย 97 % ทีเคเอ็น 75 % แอมโมเนียไนโตรเจน 80 % ฟอสฟอรัสเท่ากับ 91 %</p>	<p>-น้ำห หลัง การ บำ บั ด ผ่าน มาตรฐานน้ำทิ้ง โรงงาน อุตสาหกรรม</p>

<p>โรง พยา บาล สมเด็จพระ ยุพราช ค่านซ้าย (2551)</p>	<p>การลด ไนโตรเจนใน น้ำเสีย โรงพยาบาล สมเด็จพระ ยุพราชค่าน ซ้ายโดย กระบวนการ ของบึง ประดิษฐ์ที่ ปลูกวัชพืช หลายชนิด</p>	<p>-น้ำเสียจากโรงพยาบาล -บำบัดโดยกระบวนการ ของบึงประดิษฐ์ที่ปลูก วัชพืชหลายชนิด</p>	<p>ไนโตรเจน 82.9 % ค่าบีโอดี อยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานน้ำทิ้งจาก โรงพยาบาล</p>	<p>-Total coliform bacteria และ Fecal coliform bacteria มีค่าอยู่ ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจาก โรงพยาบาล</p>
<p>เสนีย์ กาญจน วงศ์ (2551)</p>	<p>การบำบัดน้ำ เสีย อุตสาหกรรม ในครัวเรือน ผลิตกระดาษ สาโดยระบบ บึงประดิษฐ์ แบบน้ำไหล ใต้ผิว</p>	<p>-บึงประดิษฐ์แบบไหลใน แนวคิ่ง -บรรจุตัวกลางเรียงจาก ล่างขึ้นบน ประกอบไปด้วย หินขนาด 0.5-1.0 นิ้วหนา 0.4 ม.ทรายหยาบขนาด 1-2 มม.หนา 0.25 ม. -ปลูกต้นอ้อ -อัตราการระบรทุกชด ศาสตร์ 1.3, 2.5, 5.0, 5.5, 13.4, 25.2, 76.0 ชม./วัน</p>	<p>บีโอดี 26.7-76.3 % ซีโอดี 21.9-50.3 % สี 14.1-50.2 % ของแข็งแขวนลอย 24.6-48.7%</p>	<p>-ประสิทธิภาพในการกำจัดสาร มลพิษลดลงเมื่ออัตราภาระ บรทุกชดศาสตร์สูงขึ้น</p>
<p>Chongrak Polprasert และ Thammar ak Koottatep (2544)</p>	<p>ศึกษาการ กำจัด ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัสใน ระบบบึง ประดิษฐ์แบบ น้ำอิสระเหนือ ผิวดิน</p>	<p>-ปลูกธูปฤาษี -ตัวกลางที่ใช้คือ หิน ก่อสร้างผสมทราย -ระยะเวลาเก็บกัก 4.8 วัน</p>	<p>ทีเคเอ็น 76 % ฟอสฟอรัส 87 %</p>	<p>-ไนโตรเจนในระบบส่วนใหญ่ จะถูกกำจัดโดยการนำไปใช้ ของดินธูปฤาษี -ฟอสฟอรัสในระบบส่วนใหญ่ จะถูกกำจัดโดยการนำไปใช้ ของดินธูปฤาษี</p>

<p>ศักดิ์ชัย อังคสิงห์ (2547)</p>	<p>การบำบัดน้ำ เสียบ้านเรือน โดยใช้บึง ประดิษฐ์ที่มี การไหลได้ผิว ดินร่วมกับ ระบบการ ระเหยโดยพืช</p>	<p>-บำบัดน้ำเสียชุมชนจาก หอพักนิสิตที่ผ่านการบำบัด ขั้นต้น -พืชเปรียบเทียบปลูกต้น ธรรมชาติและต้นเข็ม -ระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการ ไหลได้ผิวดินในแนวตั้งและ ในกระบอกที่มีการไหลใน แนวนอน -ตัวกลางที่ใช้ได้แก่ตัวกลาง ทรายปนหิน -ปรับเปลี่ยนอัตราการระ บรทุกทางชลศาสตร์ ต่างกัน 2 ค่า ได้แก่ 8.23 16.46 ซม.ต่อวัน -รูปแบบการให้น้ำเสียเข้าสู่ ระบบจากการให้น้ำ แบบต่อเนื่อง เทียบกับการ ให้น้ำแบบเป็นระยะ</p>	<p>ซีโอติ 71.27 % บีโอติ 63.45 % สารแขวนลอย 64.92 % ทีเคเอ็น 88.00 % แอมโมเนียไนโตรเจน 83.24 % ฟอสฟอรัส 17.64 %</p>	<p>-ประสิทธิภาพสูงสุดคือการให้ น้ำแบบเป็นระยะที่อัตราการระ บรทุกทางชลศาสตร์ 8.23 ซม. ต่อวัน -ประสิทธิภาพการบำบัดของ ระบบ จะลดลงเมื่ออัตราการระ บรสูงขึ้น -น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วอยู่ใน เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจาก อาคารประเภท ก.</p>
---	--	---	---	--