

การบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากสถานบริการล้างรถ  
โดยบึงประดิษฐ์ที่มีกรไหลในแนวคิ่ง



นายณัฐพงษ์ ผ่องแผ้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2551  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**PHOSPHORUS REDUCTION IN CAR WASH SERVICE WASTEWATER TREATMENT  
BY VERTICAL FLOW CONSTRUCTED WETLAND**

**Mr. Nattapong Phongpaw**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering**

**Department of Environmental Engineering**

**Faculty of Engineering**

**Chulalongkorn University**

**Academic Year 2008**

**Copyright of Chulalongkorn University**

**511066**

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากสถานบริการล้างรถ  
โดยบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลในแนวตั้ง

โดย

นายณัฐพงษ์ ผ่องแผ้ว

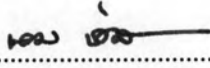
สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

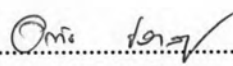
รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

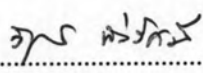
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

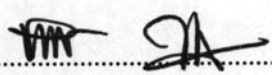
  
.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชเรศ ศรีสถิตย์)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัมย์)

  
.....กรรมการ  
(อ. ดร. ชัยพร ภูประเสริฐ)

ณัฐพงษ์ ผ่องแผ้ว: การบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากสถานบริการล้างรถโดยบึงประดิษฐ์  
 ที่มีกรไหลในแนวดิ่ง (PHOSPHORUS REDUCTION IN CAR WASH SERVICE  
 WASTEWATER TREATMENT BY VERTICAL FLOW CONSTRUCTED  
 WETLAND) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.อรรถ ชวาลภาฤทธิ์, 184 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากสถานบริการล้างรถ โดยระบบบึงประดิษฐ์แบบ  
 น้ำไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่งที่ปลูกต้นชูปลาญี ตัวกลางที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียบกันได้แก่ อิฐแดง และ อิฐ  
 บล็อก ปรับเปลี่ยนอัตราการไหลที่ป้อนเข้าระบบ 2 ค่าคือ 0.041 และ 0.083  $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{-วัน})$  คิดเป็นอัตราการ  
 ไหลน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบเท่ากับ 10 ลิตรต่อวันและ 20 ลิตรต่อวันตามลำดับ โดยป้อนน้ำเสียอย่างไม่ต่อเนื่องคือ  
 เดิม 2 ชั่วโมง หยุด 2 ชั่วโมง ศึกษาค่าพารามิเตอร์ คือ พีเอช อุณหภูมิ โออาร์ที ซีไอดี บีไอดี ปริมาณสารแขวนลอย  
 ทีเคเอ็น ฟอสเฟตฟอสฟอรัส และ ฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำ รวมไปถึงการวิเคราะห์คุณสมบัติทาง กายภาพ-เคมี  
 ของตัวกลาง ผลการทดลองในระยะที่ 1 ระบบบึงประดิษฐ์ป้อนอัตราการไหลน้ำเสียเข้าระบบ 10 ลิตรต่อวัน  
 พบว่าระบบที่ใช้ตัวกลางอิฐบล็อกมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 92.84 สูงกว่า  
 ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ตัวกลางอิฐแดง โดยตัวกลางอิฐแดงมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ  
 ร้อยละ 87.97 ผลการทดลองในระยะที่ 2 ระบบบึงประดิษฐ์ป้อนอัตราการไหลน้ำเสียเข้าระบบ 20 ลิตรต่อวัน  
 พบว่าระบบที่ใช้ตัวกลางอิฐบล็อกมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 79.32 สูงกว่า  
 ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ตัวกลางอิฐแดง โดยตัวกลางอิฐแดงมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ  
 ร้อยละ 71.35 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด ของการทดลอง 2 ระยะพบว่า ระบบที่มี  
 ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุดคือ ระยะที่ 1 (ระบบบึงประดิษฐ์ป้อนอัตราการไหลน้ำเสีย  
 เข้าระบบ 10 ลิตรต่อวัน) ที่ใช้ตัวกลางอิฐบล็อก เท่ากับร้อยละ 92.84 และสามารถบำบัดปริมาณ สารแขวนลอย  
 ซีไอดี และ ทีเคเอ็น เท่ากับร้อยละ 90.6, 96.34, 93.50 ตามลำดับ ในการศึกษากลไกการกำจัดฟอสฟอรัสของ  
 ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ตัวกลางอิฐบล็อก ปริมาณฟอสฟอรัสที่เข้าระบบมีค่าเท่ากับ 5,920 มิลลิกรัม ถูกกำจัดโดย  
 กลไกการดูดซับโดยอิฐบล็อกคิดเป็นร้อยละ 81 การนำไปใช้โดยต้นชูปลาญีคิดเป็นร้อยละ 1 การย่อยสลายและ  
 การดูดซึมโดยจุลินทรีย์คิดเป็นร้อยละ 6 และจากปัจจัยอื่นๆคิดเป็นร้อยละ 5 รวมทั้งสิ้นฟอสฟอรัสถูกกำจัดภายใน  
 ระบบมีค่าเท่ากับ 5,496 มิลลิกรัมคิดเป็นร้อยละ 93 และปริมาณฟอสฟอรัสที่ปล่อยออกจากระบบมีค่าเท่ากับ 424  
 มิลลิกรัม

ภาควิชา...วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต..... ณัฐพงษ์ ผ่องแผ้ว  
 สาขาวิชา..วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... อมร  
 ปีการศึกษา..2551.....

## 4870661121: MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: VERTICAL FLOW CONSTRUCTED WETLAND / PHOSPHORUS REMOVAL / ADSORPTION / CAR WASH WASTEWATER

NATTAPONG PHONGPAW: PHOSPHORUS REDUCTION IN CAR WASH SERVICE WASTEWATER TREATMENT BY VERTICAL FLOW CONSTRUCTED WETLAND. ADVISOR: ASSOC.PROF. ORATHAI CHAVALAPARIT, Ph.D.,184 pp.

This study quantifies the effect of different filter media on phosphorus removal from car wash service wastewater using vertical flow constructed wetland and *Typha spp.* as the cultivated plant. Thus, a baked brick filled wetland and a concrete block filled wetland were operated over two phases: 0.041 and 0.083 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>-day, which calculated as wastewater input rate of 10 L/day and 20 L/day, respectively. Discontinuous feed wastewater to the wetland for 2 hours alternate with pause feeding for 2 hours. This research study parameters which consist of pH, temperature, ORP, COD, BOD, SS, TKN, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-P, and total P in wastewater. Moreover, physical and chemical quality of media; baked brick filled wetland and concrete block filled wetland are included to consider. The result from first experiment which the constructed wetland feed with the rate of 10 L/d. This step found that a block filled have better performance than baked brick filled for removal total phosphorus; 92.84% for a concrete block filled and 87.97% for baked brick fill. Then feed wastewater to wetland for 20L/d in the second experiment. This step found that a concrete block filled have better performance than baked brick filled for removal total phosphorus; 79.32% for a concrete block filled and 71.35% for baked brick fill. From both two experiments, it can be conclude that first experiment has the most performance in total phosphorus removal which treated SS, COD, and TKN of 90.6%, 96.34% and 93.50% respectively. Phosphorus removal's mechanism by a concrete block filled constructed wetland, phosphorus input equal to 5,920 mg which eliminated by adsorption mechanism 81%, by the plant 1%, by decompose and absorption of microorganism 6%, and by other factors 5%, Total phosphorus removal by vertical flow constructed wetland are equal to 93% of 5,496 mg. Consequently, the amount of phosphorus that emitted from the wetland is 424 mg.

Department : Environmental Engineering..... Student's Signature..... *Nattapong Phongpaw*  
 Field of Study : Environmental Engineering..... Advisor's Signature..... *Orathai Chavalaparit*  
 Academic Year 2008.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงของ รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภฤทธิ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ที่ให้โอกาส ให้แนวทาง ทุนงานวิจัย และให้คำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้ทำวิทยานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ชเรศ ศรีสถิตย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณะ พิ้งรัมย์ และ อาจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ ที่ได้ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่กรุณาถ่ายทอดความรู้และอบรมสั่งสอนแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้ความสนับสนุนและเป็นแรงผลักดันกำลังใจอย่างดี ยิ่งแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ช่วยเหลืองานวิจัยและร่วมเรียนและทำงานด้วยกันตลอดมา



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สถานบริการล้างรถ.....	4
2.2 สารซักฟอก.....	8
2.3 ฟอสฟอรัส.....	14
2.4 บึงประดิษฐ์.....	22
2.5 กลไกการบำบัดน้ำเสียโดยบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลในแนวตั้ง.....	35
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	41
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย.....	46
3.1 แผนการทดลอง.....	46
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	49
3.3 ตัวแปรศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของระบบบึงประดิษฐ์.....	55
3.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	56
3.5 การศึกษากลไกการกำจัดฟอสฟอรัสในระบบ.....	59
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	62
4.1 วิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสีย.....	62
4.2 คุณสมบัติทางกายภาพ - เคมีของตัวกลาง.....	63
4.3 ผลการเจริญเติบโตของพืชในการทดลอง.....	65
4.4 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์.....	68
4.5 การศึกษากลไกการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบบึงประดิษฐ์.....	101
4.6 เปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยอื่น.....	118

บทที่	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	123
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	123
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	124
รายการอ้างอิง.....	125
ภาคผนวก.....	130
ภาคผนวก ก.....	131
ภาคผนวก ข.....	162
ภาคผนวก ค.....	165
ภาคผนวก ง.....	172
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	184



## สารบัญญัตินำ

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบความสามารถของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 4 ชนิด.....	13
2.2 คุณสมบัติของพืชโพลีพรีนน้ำชนิดต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสีย.....	26
2.3 หน้าที่ของพืชโพลีพรีนน้ำในการบำบัดน้ำเสียโดยระบบบึงประดิษฐ์.....	28
2.4 ความเข้มข้นและอัตราการดูดซับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปใช้โดยทั่วไปในพืชโพลีพรีนน้ำ.....	29
2.5 ตัวอย่างคุณสมบัติของตัวกลางในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดิน.....	32
2.6 ค่าเสนอแนะในการออกแบบความลึกสำหรับระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดิน.....	33
2.7 ค่าแนะนำที่ใช้ในการออกแบบระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดิน.....	34
3.1 ส่วนประกอบน้ำเสียสังเคราะห์.....	53
3.2 ตัวแปรศึกษาศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของระบบบึงประดิษฐ์.....	55
3.3 แสดงตัวแปรและความถี่ในการวิเคราะห์น้ำที่ออกจากระบบ.....	58
3.4 แสดงวิธีที่ใช้วิเคราะห์น้ำตัวอย่าง.....	59
4.1 ค่าเฉลี่ยลักษณะสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าในระบบบึงประดิษฐ์.....	63
4.2 คุณสมบัติทางกายภาพ - เคมีของตัวกลางทั้ง 2 ชนิด.....	64
4.3 สารแขวนลอยของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน.....	73
4.4 ซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน.....	75
4.5 ฟอสเฟตฟอสฟอรัสของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน.....	79
4.6 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน.....	81
4.7 สารแขวนลอยของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน.....	85
4.8 ซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน.....	87
4.9 ฟอสเฟตฟอสฟอรัสของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน.....	89
4.10 ฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน.....	91
4.11 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อวัน.....	92
4.12 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 และ 20 ลิตรต่อวัน.....	99
4.13 ร้อยละของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อปลูกพืชในระบบ.....	100
4.14 ผลการทดลองหาความสามารถในการดูดซับของอิฐบดอัด.....	103
4.15 ผลการทดลองหาความสามารถในการดูดซับของอิฐแดง.....	105
4.16 ความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของตัวกลาง.....	106
4.17 ค่าฟอสฟอรัสจากการนำไปใช้โดยพืช.....	108
4.18 ค่าฟอสฟอรัสจากการย่อยสลายและดูดซับโดยจุลินทรีย์.....	111
4.19 เปรียบเทียบสมมูลมวลสารฟอสฟอรัสที่เข้าและออกจากระบบ.....	112
4.20 เปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยอื่น.....	118
ก.1 แสดงค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน.....	131
ก.2 แสดงค่าพีเอชของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน.....	133
ก.3 แสดงค่าไออาร์ที (mV) ของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน.....	135

ตารางที่	หน้า
ก.4 แสดงค่าสารแขวนลอย (มก./ล.) ของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน.....	137
ก.5 แสดงค่าซีโอดี (มก./ล.) ของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน.....	139
ก.6 แสดงค่าบีโอดี (มก./ล.) ของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน.....	141
ก.7 แสดงค่าทีเคเอ็น (มก./ล.) ของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน.....	141
ก.8 แสดงค่าฟอสเฟตฟอสฟอรัส (มก./ล.) ของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน.....	142
ก.9 แสดงค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.) ของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน.....	144
ก.10 แสดงค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน.....	147
ก.11 แสดงค่าพีเอชของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน.....	148
ก.12 แสดงค่าโออาร์พี (mV) ของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน.....	150
ก.13 แสดงค่าสารแขวนลอย (มก./ล.) ของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน.....	152
ก.14 แสดงค่าซีโอดี (มก./ล.) ของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน.....	154
ก.15 แสดงค่าบีโอดี (มก./ล.) ของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน.....	156
ก.16 แสดงค่าทีเคเอ็น (มก./ล.) ของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน.....	156
ก.17 แสดงค่าฟอสเฟตฟอสฟอรัส (มก./ล.) ของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน.....	157
ก.18 แสดงค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.) ของระบบในระยะป้อนน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน.....	159
ข.1 ลักษณะน้ำเสียจากสถานบริการล้างรถ.....	162
ค.1 ข้อมูลการทำ Sieve Analysis ของอิฐแดง.....	167
ค.2 ข้อมูลการทำ Sieve Analysis ของอิฐบล็อก.....	169
ง. 1 ผลการทดลองการทำ Tracer ของระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐแดง.....	173
ง. 2 ผลการทดลองการทำ Tracer ของระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อก.....	178

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 วิธีการล้างรถภายในศูนย์บริการล้างรถในปั้มน้ำมัน.....	5
2.2 การรวบรวมน้ำเสียที่เกิดขึ้นในสถานบริการล้างรถ.....	6
2.3 การระบายน้ำเสียของสถานประกอบการล้างรถ.....	7
2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในสถานบริการล้างรถ.....	8
2.5 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว.....	9
2.6 โมเลกุลสารลดแรงตึงผิวบนผิวสัมผัสระหว่างน้ำและอากาศ.....	10
2.7 รูปทรงของไมเซลล์ทรงกลม.....	11
2.8 การขจัดคราบออกจากผิวโดยสารลดแรงตึงผิว.....	11
2.9 กลไกการเกิด Luxury phosphorus uptake.....	19
2.10 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน.....	23
2.11 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่มีการไหลในแนวนอน.....	24
2.12 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่มีการไหลตามแนวคั้ง.....	24
2.13 พีชโคล์พื้นน้ำ.....	26
2.14 ส่วนประกอบหลักของพีชที่โคล์พื้นน้ำ.....	27
2.15 การกระจายของตระกูลอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่สำคัญในน้ำที่อุณหภูมิ 25°C.....	37
3.1 แผนผังการทดลองการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียสถานบริการล้างรถ โดยใช้ระบบบึงประดิษฐ์.....	48
3.2 แสดงขนาดของถังที่ใช้ในระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลในแนวคั้ง.....	49
3.3 แสดงการจัดเรียงตัวกลางที่ใช้ในระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลในแนวคั้ง.....	50
3.4 วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางในระบบบึงประดิษฐ์.....	51
3.5 ระบบท่อน้ำเข้า - ออกของระบบบึงประดิษฐ์.....	51
3.6 ดันรูปถ่าย พีชที่ใช้ในการทดลองระบบบึงประดิษฐ์.....	52
3.7 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ.....	58
4.1 ความสูงเฉลี่ยของดันรูปถ่ายที่ระบบอัตราการไหลน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน.....	65
4.2 น้ำหนักของดันรูปถ่ายที่ระบบอัตราการไหลน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน.....	66
4.3 ความสูงเฉลี่ยของดันรูปถ่ายที่ระบบอัตราการไหลน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน.....	67
4.4 น้ำหนักของดันรูปถ่ายที่ระบบอัตราการไหลน้ำเสีย 20 ลิตรต่อวัน.....	67
4.5 อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน.....	69
4.6 พีเอชของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน.....	70
4.7 โออาร์พีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน.....	71
4.8 สารแขวนลอยของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน.....	72
4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน.....	73
4.10 ซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน.....	74
4.11 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน.....	74
4.12 บีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวัน.....	76



## รูปที่

## หน้า

ค.1 กราฟการกระจายขนาดของอิฐแดง (Particle Size Distribution Curve).....	168
ค.2 กราฟการกระจายขนาดของอิฐบล็อก (Particle Size Distribution Curve).....	170