วารสารพัฒนาการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยรังสิต
Journal of Rangsit University: Teaching & Learning
ISSN 1905-7881 (Print)/ ISSN 2651-1584 (Online)
Available online at https://jrtl.rsu.ac.th

ปีที่ 14 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2563
Vol.14 No.2 July – December 2020

แบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง เพื่อการเรียนการสอนวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

Water Supply Model System with surface water and Activated Sludge for Environmental Engineering

นิติวิศว์ แตงไทย* ภัทรยศ เขียวชอุ่ม และ ประวีณ โล่ห์สุวรรณ
Nitiwis Taengthai* Patarayot Kiewcha-aum and Prawin Losuwan

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Suvarnbhumi
**Corresponding author, E-mail: nitiwis.t@rmutsb.ac.th, โทร. 086-2025313*
วันที่ส่งบทความ 8 สิงหาคม 2562 วันที่แก้ไขครั้งสุดท้าย 18 ตุลาคม 2562
วันที่ตอบรับบทความ 21 ตุลาคม 2562 วันที่เผยแพร่ออนไลน์ 1 กรกฎาคม 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง เพื่อใช้งานการเรียนการสอนในหลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมบัณฑิต โดยออกแบบและสร้างแบบจำลองให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบ ซึ่งผลการศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินพบว่า ความขุ่น สีที่ปรากฏ การนำไฟฟ้า ความกระด้าง แบคทีเรียชนิดอีโคไล มีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ที่ 64.05%, 60.19%, -10.16%, 68.63%, 98.56% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งมีค่า ความขุ่น สีที่ปรากฏ การนำไฟฟ้า ทีเคเอ็น ของแข็งละลายในน้ำทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด บีโอดี เท่ากับ 30.26%, 41.95%, 30.3%, 85.38%, 77.1%, 51.13%, 93.39% ตามลำดับ ค่าดัชนีประสิทธิผล จากการทดลองเก็บคะแนนแบบทดสอบก่อนและหลังการเรียนการสอนโดยใช้แบบจำลอง นำมาคำนวณค่าดัชนีประสิทธิผลได้เท่ากับ 0.48 ค่าประสิทธิภาพได้เท่ากับ 70.56/100 แสดงว่านักศึกษามีคะแนนจากการเรียนการสอนด้วยแบบจำลองระบบเพิ่มขึ้น 0.48 หรือคิดเป็นร้อยละ 48.04 โดยผลประเมินความพึงพอใจเฉลี่ยของนักศึกษาที่มีต่อแบบจำลองระบบ โดยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.10 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.63 สรุปว่าระดับความพึงพอใจเฉลี่ยต่อแบบจำลองระบบคือ พอใจมาก สรุปได้ว่าแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งนั้นเหมาะกับการใช้ในการเรียนการสอนวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: *แบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดิน แบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง แบบจำลองเพื่อการเรียนการสอนวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม*

Abstract

The objective of this research is to design and create the “Water Supply Model System” with surface water and Activated sludge, within the design standards, to be used for study in the Bachelor of Environmental Engineering. The finding of this research “Water Supply Model System” with surface water found that the potential of Turbidity, Color appeared, Electrical conductivity, Water Hardness and Escherichia coli have determined the efficiency of wastewater treatment were 64.05%, 60.19%, -10.16%, 68.63% and 98.56% respectively. Then, “Water Supply Model System” with Activated sludge found that the potential of Turbidity, Color appeared, Electrical conductivity, TKN, Total Dissolved Solids, Total Suspended Solid and Biochemical Oxygen Demand (BOD) were 30.26%, 41.95%, 30.30%, 85.38%, 77.10%, 51.13%, 93.39% respectively. The model validation was conducted using to pre-test and post–test which had the effectiveness index about 0.48 and the efficiency index about 70.56/100. The results showed the student who test by this model have score increase about 0.48% or 48.04 as a percentage. The satisfaction results of students by this model have average 4.10 and the standard deviation about 0.63%. The overall of the students’ satisfaction this model at very satisfied level, therefore the results also indicated that “Water Supply Model System” with surface water and Activated Sludge quality meet standard suitable for study in the Environmental Engineering.

Keywords: *Water Supply Model System with surface water, Activated Sludge Model, Model for teaching and learning Environmental Engineering*

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมนั้นมีการเรียนการสอนเกี่ยวกับวิชาออกแบบระบบผลิตน้ำประปาและวิชาออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย โดยระบบที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ ระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินเป็นระบบบำบัดน้ำทางเคมี โดยหลักการของระบบนี้คือการปรับเสถียรภาพทำให้ตะกอนมีการรวมตัวเพื่อให้ตกตะกอน โดยที่ระบบจะประกอบไปด้วย ตะแกรงหยาบและละเอียด ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอน ถังกรอง ถังฆ่าเชื้อโรค และถังเก็บน้ำ ส่วนระบบบำบัดน้ำเสีย ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง หรือเรียกว่าระบบเอเอสเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ โดยหลักการของระบบนี้จะอาศัยจุลินทรีย์แขวนลอยสำหรับย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกใช้เป็นอาหาร โดยระบบตะกอนเร่งจะมีส่วนประกอบของระบบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ ถังเติมอากาศ ถังตกตะกอน ระบบสูบกลับตะกอน และระบบระบายตะกอนทิ้ง

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่าระบบผลิตน้ำประปาและระบบบำบัดน้ำเสียประกอบด้วยหลายกระบวนการและหลายถังปฏิกริยา ทำให้การเรียนรู้ของนักศึกษาอาจจะมีปัญหาในด้านความเข้าใจในการออกแบบระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง เนื่องจากไม่เคยเห็นระบบจริง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนเกี่ยวกับวิชาการออกแบบระบบผลิตน้ำประปาและวิชาออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจส่งผลให้นักศึกษามีผลสัมฤทธิ์ในการเรียนสูงขึ้น และสามารถออกไปปฏิบัติงานได้หลังสำเร็จ

การศึกษาไปแล้ว เนื่องจากเคยทดลองทำการเดินระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. ออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งเพื่อการเรียนการสอนสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

2. หาค่าดัชนีประสิทธิผลและค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งเพื่อการเรียนการสอนวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

3. ประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมต่อแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งที่ใช้ในการเรียนการสอน

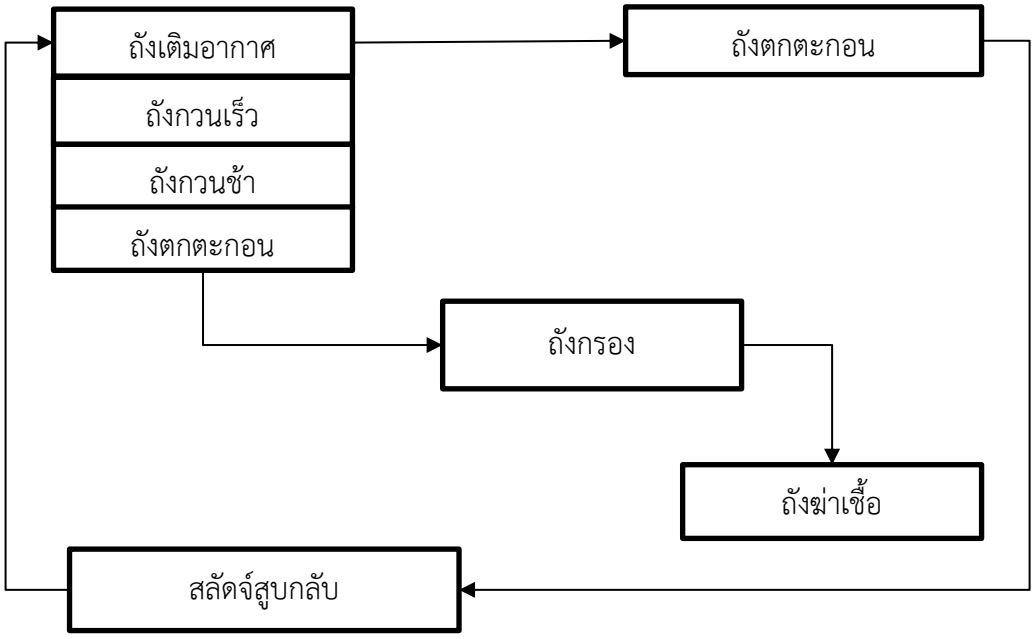
วิธีดำเนินการวิจัย

1 ศึกษาเกณฑ์การออกแบบระบบผลิตน้ำประปาและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

น้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งมาออกแบบ เช่น ระบบกวนเร็ว ระบบกวนช้า ระบบตกตะกอน ระบบกรอง ระบบเติมอากาศ ระบบตกตะก่อน และ ระบบสลัดจ์สูบกลับ โดยให้มีค่าในการออกแบบให้อยู่ในเกณฑ์การออกแบบศึกษาข้อมูลจาก คู่มือ หนังสือการออกแบบ เอกสารต่าง ๆ เพื่อนำเกณฑ์การออกแบบของระบบผลิต

2 นำข้อมูลศึกษามาออกแบบระบบผลิตน้ำประปาและระบบตะกอนเร่ง

ระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

โดยมีขนาดของถัง ได้แก่ ถังเติมอากาศ ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอน ถังกรอง ถังฆ่าเชื้อ และรายละเอียดของอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ ในแต่ละถังของแบบจำลองที่ได้จากการทำรายการคำนวณออกแบบแสดง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดและรายละเอียดของอุปกรณ์ในแต่ละถังของแบบจำลอง

ถัง	ขนาดถัง, ใบพัด และอุปกรณ์ต่างๆ
ถังเติมอากาศ, ถังกวนเร็ว, ถังกวนช้า, ถังตกตะกอน	0.003 m^3, (D) = 16 cm, (h) = 40 cm, น้ำออกที่ระดับความสูง 23.5 cm
ถังกวนเร็ว	ใบพัด (D) = 11 cm เป็นแบบ 4 แฉก, ความเร็วรอบที่ 92 rpm, ระยะเวลากักเก็บที่ 20 s
ถังกวนช้า	ใบพัด (D) = 11 cm เป็นแบบ 4 แฉก, ความเร็วรอบที่ 32 rpm, ระยะเวลากักเก็บที่ 20 min
ถังตกตะกอน	4.37 x $10^{-3}$$m^3$, (D) = 10 cm, (h) = 65 cm, น้ำออกที่ระดับความสูง 60.5 cm
ถังกรอง	(D) = 14.5 cm, (h) = 70 cm, เลือกใช้สารกรอง 2 ชนิด โดยมีความหนา 40 cm
ถังฆ่าเชื้อ	เลือกใช้เครื่องโอโซนที่เลือกมีอัตราการไหลสูงสุด = 200 mg/hr

3 สร้างแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

3.1 นำผลการออกแบบมาสร้างแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะก่อนเร่ง ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 ถังเติมอากาศและถังตกตะกอน

3.2 ทำการสร้างโครงสร้างเพื่อติดตั้งถังแบบจำลองของระบบบำบัดน้ำทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 โครงเหล็กเพื่อติดตั้งถังแบบจำลอง

3.3 ทำการติดตั้งถังต่าง ๆ ของแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

4 ทำการเดินระบบ

4.1 ทำการเดินระบบผลิตน้ำประปาแบบทีละเท (Batch)

4.1.1 ทำการหาปริมาณสารส้มที่พอเหมาะกับน้ำผิวดิน

โดยที่การทดสอบหาปริมาณสารส้มที่พอเหมาะใช้วิธี จาร์เทส ซึ่งปริมาณสารส้มที่เหมาะสมคือ น้ำ 500 มิลลิลิตร ต่อสารส้ม 8 มิลลิกรัม โดยสารส้มมีความเข้มข้น 0.01 กรัม

4.1.2 ทำการเริ่มขั้นตอนการกวนเร็ว

โดยที่มีปริมาณน้ำ 3 ลิตร ต่อสารส้ม 48 มิลลิกรัม โดยที่ความเร็วของใบพัดเท่ากับ 92 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 2 นาที

4.1.3 ทำการเริ่มขั้นตอนการกวนกวนช้า

โดยที่ความเร็วของใบพัดอยู่ที่ 32 รอบต่อนาที ในระยะเวลากักเก็บ 20 นาที

4.1.4 ทำการเริ่มขั้นตอนการตกตะกอน

โดยขั้นตอนการตกตะกอนจะใช้เวลากักเก็บ 2 ชั่วโมง

4.1.5 ทำการเริ่มขั้นตอนการกรอง

โดยการควบคุมอัตราการกรองจากอัตราการไหลของน้ำเข้าถังกรอง โดยมีอัตราการไหล 49 มิลลิลิตรต่อนาที

4.1.6 ทำการฆ่าเชื้อด้วยวิธีโอโซน

โดยมีการเติมด้วยอัตราสูงสุดของเครื่องเติมโอโซน และมีระยะเวลากักเก็บ 10 min หลังจากน้ำผ่านการกรองหมดแล้ว

4.2 ทำการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะก่อนเร่งเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuously)

4.2.1 นำน้ำเสียเข้าถังเติมอากาศ

โดยการเติมอากาศต้องใช้กำลังเครื่องเติมอากาศที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.1635×10^{-3} กิโลวัตต์ และระยะเวลากักเก็บควบคุมจากอัตราการไหลเท่ากับ 15 มิลลิลิตรต่อนาที จะได้ระยะเวลากักเก็บ 6 ชั่วโมง จากปริมาตรถัง

4.2.2 น้ำเสียที่ผ่านการเติมอากาศแล้วเข้าถังตกตะกอน

โดยการตกตะกอนจะควบคุมระยะเวลากักเก็บจากอัตราการไหลเท่ากับ 15 มิลลิลิตรต่อนาที โดยจะมีเวลากักเก็บที่ 5 ชั่วโมง

4.2.3 นำตะกอนบางส่วนจากถังตกตะกอนกลับเข้าถังเติมอากาศ

โดยมีการนำตะกอนกลับด้วยอัตราการไหลเท่ากับ 12 มิลลิลิตรต่อนาที

5. วิเคราะห์คุณภาพน้ำและหาประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ทำการวิเคราะห์ผลน้ำที่ผ่านระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง จากน้ำที่เข้าระบบและออกจากระบบ โดยระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินจะตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความขุ่น สีที่ปรากฏ การนำไฟฟ้า ความกระด้าง และแบคทีเรียชนิดอีโคไล โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งจะตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความขุ่น สีที่ปรากฏ การนำไฟฟ้า โทโทลคะเจดาลไนโตรเจน (ทีเคเอ็น) ของแข็งละลายในน้ำทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และบีโอดี หลังจากหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำที่ผ่านแบบจำลอง หาประสิทธิภาพการบำบัดของแบบจำลอง และเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำตามที่กฎหมายกำหนด

6. การหาค่าประสิทธิผลและประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การหาค่าประสิทธิผลของแบบจำลองอ้างอิงค่าดัชนีวิธีการของ กูดแมน และคณะ (Goodman et al., 1980) ดังสมการที่ 1 และหาประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยใช้เกณฑ์ 90/90 (The 90/90 standard) (เปรื่อง กุมุท, 2519) มีการคำนวณหาค่าร้อยละ โดยสมการที่ 2 และสมการที่ 3

$$\text{ดัชนีประสิทธิผล} = \frac{\text{ผลรวมของคะแนนทดสอบหลังเรียน} - \text{ผลรวมของคะแนนทดสอบก่อนเรียน}}{(\text{จำนวนผู้เรียนทั้งหมด} \times \text{คะแนนเต็ม}) - \text{ผลรวมของคะแนนสอบก่อนเรียน}} \quad (1)$$

$$90 \text{ ตัวแรก} = \frac{\sum x/N}{R} \times 100 \quad (2)$$

$$90 \text{ ตัวหลัง} = \frac{Y}{N} \times 100 \quad (3)$$

โดย

90 ตัวแรก หมายถึง ร้อยละ 90 ของคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียน

$\sum x$ หมายถึง คะแนนรวมของผลการทดสอบหลังเรียน

N	หมายถึง จำนวนผู้เรียนทั้งหมดที่ใช้เป็นกลุ่มตัวอย่าง
R	หมายถึง จำนวนคะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียน
90 ตัวหลัง	หมายถึง ร้อยละ 90 ของนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียน
Y	หมายถึง จำนวนผู้เรียนที่ผ่านเกณฑ์ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียน
N	หมายถึง จำนวนผู้เรียนทั้งหมดที่ใช้เป็นกลุ่มตัวอย่าง

โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา Water Works Design ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 9 คน ดำเนินการหาประสิทธิผลและประสิทธิภาพของแบบจำลองซึ่งมีการขั้นตอนในการเก็บข้อมูล ได้แก่ 1) ให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบก่อนเรียน 2) นำแบบจำลองมาใช้ในการเรียนการสอนในรายวิชาดังกล่าวให้กับกลุ่มตัวอย่าง 3) ให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบหลังเรียน โดยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนเป็นแบบทดสอบชุดเดียวกัน 4) นำผลคะแนนจากการทดสอบไปคำนวณหาค่าประสิทธิผลและประสิทธิภาพของแบบจำลองตามสมการที่ 1-3

7. การประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมต่อแบบจำลอง

การประเมินความพึงพอใจให้กลุ่มตัวอย่างใช้งานแบบจำลอง จากนั้นให้ตอบแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อแบบจำลอง โดยแบบสอบถามจะแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) ลักษณะกายภาพของแบบจำลอง 2) การใช้งานของแบบจำลอง 3) ผลที่เกิดกับนักศึกษา

โดยกำหนดเกณฑ์ที่ใช้ในการแปลความหมายของความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อแบบจำลองออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย	4.50 – 5.00	แปลความหมายว่า พึงพอใจมากที่สุด
คะนนเฉลี่ย	3.50 – 4.49	แปลความหมายว่า พึงพอใจมาก
คะแนนเฉลี่ย	2.50 – 3.49	แปลความหมายว่า พึงพอใจปานกลาง
คะแนนเฉลี่ย	1.50 – 2.49	แปลความหมายว่า พึงพอใจน้อย
คะแนนเฉลี่ย	1.00 – 1.49	แปลความหมายว่า พึงพอใจน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

ผู้วิจัยดำเนินการออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง โดยมีลักษณะตามรูปที่ 4

รูปที่ 4 แบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง
เพื่อการเรียนการสอนวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

2. การหาประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

2.1 ผลประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดิน

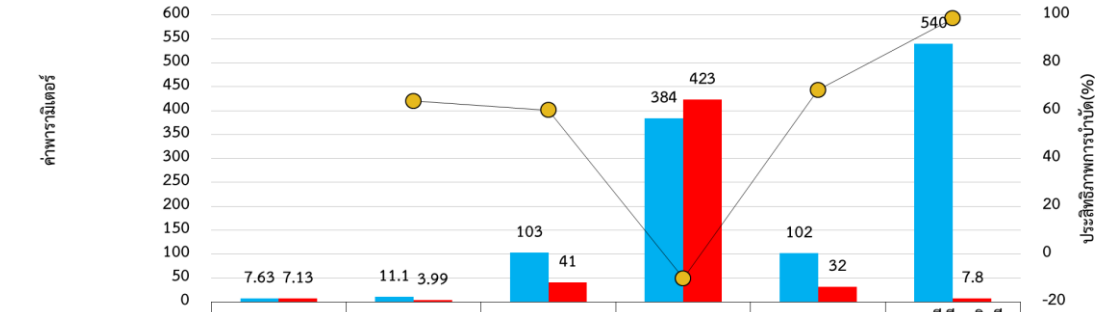
ผลการหาประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดิน ดังรูปที่ 5

ผู้วิจัยได้หาประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินโดยมีค่าพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้

1) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างน้ำเข้าเท่ากับ 7.63 โดยเมื่อผ่านระบบผลิตน้ำประปาแล้วมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงเหลือ 7.13 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาของการประปานครหลวงอยู่ที่ 6.5-8.5

2) น้ำเข้ามีค่าความขุ่นเท่ากับ 11.1 NTU โดยเมื่อผ่านระบบผลิตน้ำประปาแล้วมีค่าความขุ่นลดลงเหลือ 3.99 NTU โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าความขุ่นน้ำเข้ากับน้ำออก เท่ากับ 64.05% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาของการประปานครหลวงอยู่ที่ 4 NTU

3) ค่าสีปรากฏน้ำเข้าเท่ากับ 103 PtCo โดยเมื่อผ่านระบบผลิตน้ำประปาแล้วมีค่าสีที่ปรากฏลดลงเหลือ 41 PtCoโดยมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าสีปรากฏน้ำเข้ากับน้ำออก เท่ากับ 60.19 % ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 15 PtCo เนื่องจากสีอาจติดมาจากสารกรองที่เป็นทรายซึ่งเป็นสารกรองจากธรรมชาติ



	ความเป็นกรดเป็นด่าง	ความขุ่น (NTU)	สีที่ปรากฏ (PtCo)	การนำไฟฟ้า (µs/cm)	ความกระด้าง (mg/L CaCO3)	แบคทีเรียชนิดอีโคไล (MPN/100 mL)
น้ำเข้า	7.63	11.1	103	384	102	540
น้ำออก	7.13	3.99	41	423	32	7.8
ประสิทธิภาพการบำบัด(%)		64.05	60.19	-10.16	68.63	98.56

รูปที่ 5 ผลการหาประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดิน

ผู้วิจัยได้หาประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินโดยมีค่าพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้

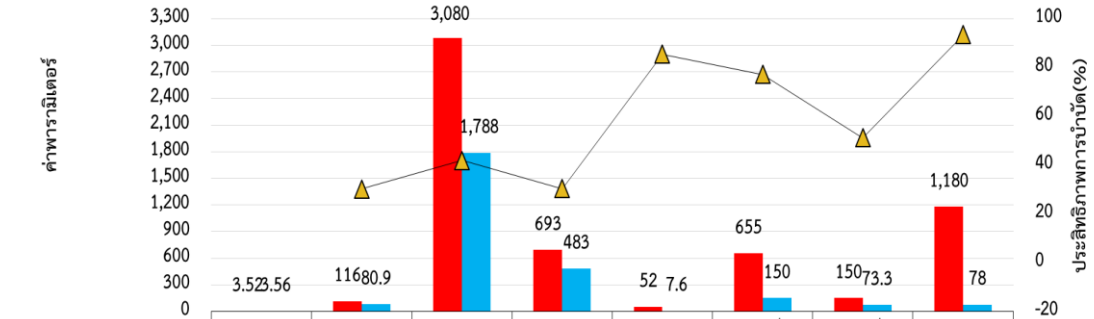
4) ค่าการนำไฟฟ้าน้ำเข้าเท่ากับ 384 µs/cm โดยเมื่อผ่านระบบผลิตน้ำประปาแล้วมีค่าค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 423 µs/cm โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าการนำไฟฟ้าน้ำเข้ากับน้ำออก เท่ากับ -10.16 %

5) ค่าความกระด้างน้ำเข้าเท่ากับ 102 mg/L $CaCO_3$ โดยเมื่อผ่านระบบผลิตน้ำประปาแล้วมีค่าความกระด้างลดลงเหลือ 32 mg/L $CaCO_3$ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าความกระด้างระหว่างน้ำเข้ากับน้ำออก เท่ากับ 68.63% ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 300 mg/L $CaCO_3$

6) ค่าแบคทีเรียชนิดอีโคไลน้ำเข้าเท่ากับ 540 โดยเมื่อผ่านระบบผลิตน้ำประปาแล้วมีค่าแบคทีเรียชนิดอีโคไลลดลงเหลือ 7.8 โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าแบคทีเรียชนิดอีโคไลน้ำเข้ากับน้ำออก เท่ากับ 98.56% ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค ซึ่งมีค่าอยู่ที่ไม่พบ ซึ่งแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินมีค่าเกินมาตรฐานอาจเกิดจากระยะเวลากักเก็บไม่เพียงพอ

2.2 ผลประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

ผลการหาประสิทธิภาพแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง แสดงดังรูปที่ 6



	ความเป็นกรดเป็นด่าง	ความขุ่น (NTU)	สีที่ปรากฏ (PLCo)	การนำไฟฟ้า (µs/cm)	ทีเคเอ็น (mg/L)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (mg/L)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/L)	บีโอดี (mg/L)
น้ำเข้า	3.52	116	3,080	693	52	655	150	1,180
น้ำออก	3.56	80.9	1,788	483	7.6	150	73.3	78
ประสิทธิภาพการบำบัด(%)		30.26	41.95	30.3	85.38	77.1	51.13	93.39

รูปที่ 6 ผลการหาประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

ผู้วิจัยได้หาประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งโดยมีค่าพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้

1) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างน้ำเข้าเท่ากับ 3.52 โดยเมื่อผ่านระบบบำบัดน้ำแบบตะกอนเร่งแล้วมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเป็น 3.56 โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างน้ำเข้ากับน้ำออก เท่ากับ 1.14% ซึ่งมีเกณฑ์มาตรฐานน้ำออกของกรมโรงงานอุตสาหกรรมอยู่ที่ 5.5-9 ซึ่งแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งมีค่าเกินมาตรฐานอาจเกิดจากระยะเวลากักเก็บในถังเติมอากาศน้อยเกินไป

2) น้ำเข้ามีค่าความขุ่นเท่ากับ 116 NTU โดยเมื่อผ่านระบบบำบัดน้ำแบบตะกอนเร่งแล้วมีค่าความขุ่นลดลงเหลือ 80.9 NTU โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าความขุ่นน้ำเข้ากับน้ำออก เท่ากับ 30.26%

3) ค่าสีปรากฏน้ำเข้าเท่ากับ 3,080 PtCo โดยเมื่อผ่านระบบบำบัดน้ำแบบตะกอนเร่งแล้วมีค่าสีที่ปรากฏลดลงเหลือ 1,788 PtCo โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าสีปรากฏน้ำเข้ากับน้ำออก เท่ากับ 41.95%

4) ค่าการนำไฟฟ้าน้ำเข้าเท่ากับ 693 µs/cm โดยเมื่อผ่านระบบบำบัดน้ำแบบตะกอนเร่งแล้วมีค่าค่าการนำไฟฟ้าลดลงเป็น 423 µs/cm โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าการนำไฟฟ้าน้ำเข้ากับน้ำออก เท่ากับ 10.16%

5) ค่าทีเคเอ็นน้ำเข้าเท่ากับ 52 mg/L โดยเมื่อผ่านระบบบำบัดน้ำแบบตะกอนเร่งแล้วมีค่าทีเคเอ็นลดลงเหลือ 7.6 mg/L โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าทีเคเอ็นน้ำเข้ากับน้ำออก เท่ากับ 85.38% ซึ่งมีเกณฑ์มาตรฐานน้ำออกของกรมโรงงานอุตสาหกรรมอยู่ที่ 100 mg/L

6) ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดน้ำเข้าเท่ากับ 655 mg/Lโดยเมื่อผ่านระบบบำบัดน้ำแบบตะกอนเร่งแล้วมีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดลดลงเหลือ 150 mg/L โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดน้ำเข้ากับน้ำออก เท่ากับ 77.10% ซึ่งมีเกณฑ์มาตรฐานน้ำออกของกรมโรงงานอุตสาหกรรมอยู่ที่ 300 mg/L

7) ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดน้ำเข้าเท่ากับ 150 mg/L โดยเมื่อผ่านระบบบำบัดน้ำแบบตะกอนเร่งแล้วมีค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดน้ำเข้าลดลงเหลือ 73.3 mg/L โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดน้ำเข้ากับน้ำออก เท่ากับ 51.13% ซึ่งมีเกณฑ์มาตรฐานน้ำออกของกรมโรงงานอุตสาหกรรมอยู่ที่ 70 mg/L ซึ่งแบบจำลอง

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งมีค่าเกินมาตรฐานอาจเกิดจากระยะเวลากักเก็บในถังเติมอากาศน้อยเกินหรือกำลังในการเติมอากาศน้อยกว่าที่กำหนด

8) ค่าบีโอดีน้ำเข้าเท่ากับ 1,180 mg/Lโดยเมื่อผ่านระบบบำบัดน้ำแบบตะกอนเร่งแล้วมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเป็น 78 mg/L โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีน้ำเข้ากับน้ำออก เท่ากับ 93.39% ซึ่งมีเกณฑ์มาตรฐานน้ำออกของกรมโรงงานอุตสาหกรรมอยู่ที่ 20 mg/L ซึ่งแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งมีค่าเกินมาตรฐานอาจเกิดจากน้ำเสียเข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นเกินกว่าที่ระบบจะรับได้

จากประสิทธิภาพการบำบัดสรุปได้ว่า แบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งนั้นสามารถบำบัดน้ำได้ตามวัตถุประสงค์

3. ดัชนีประสิทธิผลและประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ค่าดัชนีประสิทธิผลและประสิทธิภาพของแบบจำลองแสดงความก้าวหน้าหรือผลสำเร็จของการเรียน เพื่อแสดงถึงปริมาณหรือขนาดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น หลังการทดลองใช้สื่อการเรียนการสอนแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนึกศึกษาสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ลงทะเบียนเรียนวิชา Water Works Design ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 9 คน โดยให้นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียน และทำแบบทดสอบหลังเรียน ซึ่งข้อสอบเป็นแบบตัวเลือกจำนวน 20 ข้อ คะแนนเต็ม 20 คะแนนที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับระบบผลิตน้ำประปา คะแนนจากทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คะแนนทดสอบก่อนและหลังเรียนของนักศึกษา

นักศึกษาคนที่	**คะแนนทดสอบก่อนเรียน (20 คะแนน)**	**คะแนนทดสอบหลังเรียน (20 คะแนน)**
1	10	12
2	9	15
3	7	13
4	10	15
5	7	13
6	15	18
7	11	13
8	4	13
9	5	15
คะแนนรวม	78	127
คะแนนเฉลี่ย	8.67	14.11

จากตารางที่ 2 แสดงคะแนนแบบทดสอบก่อนและหลังการเรียนการสอนโดยใช้แบบจำลอง นำมาคำนวณค่าดัชนีประสิทธิผลได้เท่ากับ 0.48 และคำนวณค่าประสิทธิภาพได้เท่ากับ 70.56/100 แสดงว่านักศึกษามีคะแนนจากการเรียนการสอนด้วยแบบจำลองระบบเพิ่มขึ้น 0.48 หรือคิดเป็นร้อยละ 48.04

4. ผลประเมินความพึงพอใจของของนักศึกษาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมต่อแบบจำลอง

ผลประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่ได้ใช้แบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จำนวน 9 คน ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชา Water Works Design ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2561 โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินความพึงพอใจ ลักษณะของแบบสอบถามเป็นแบบประเมินมาตรส่วนประมาณค่า (Rating Scale) วิเคราะห์โดยใช้ค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความพึงพอใจของนักศึกษาต่อแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

หัวข้อ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความพึงพอใจ
ส่วนที่ 1 ลักษณะกายภาพของแบบจำลอง			
1.1 ความสวยงามของแบบจำลอง	3.67	0.71	พอใจมาก
1.2 ขนาดของแบบจำลองมีเหมาะสมกับการเรียนการสอน	4.33	0.50	พอใจมาก
1.3 ความแข็งแรงของแบบจำลอง	4.22	0.44	พอใจมาก
1.4 วัสดุที่ใช้สร้างแบบจำลองมีความเหมาะสม	4.11	0.60	พอใจมาก
ส่วนที่ 2 การใช้งานแบบจำลอง			
2.1 การเคลื่อนย้ายแบบจำลอง	3.89	0.78	พอใจมาก
2.2 ปุ่มและแผงควบคุมแบบจำลองใช้งานง่าย	4.33	0.50	พอใจมาก
2.3 แบบจำลองมีจุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพ และมีจอแสดงผลค่าต่าง ๆ	4.00	0.87	พอใจมาก
2.4 ความสะดวกในการทดลองเดินระบบของแบบจำลอง	3.89	0.60	พอใจมาก
ส่วนที่ 3 ผลที่เกิดกับนักศึกษา			
3.1 แบบจำลองทำให้นักศึกษาเข้าใจองค์ประกอบของระบบบำบัดน้ำทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	4.56	0.53	พอใจมากที่สุด
3.2 แบบจำลองทำให้นักศึกษาเข้าใจหลักการของระบบบำบัดน้ำทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	3.89	0.78	พอใจมาก
3.3 แบบจำลองทำให้นักศึกษาสามารถหาค่าคุณภาพน้ำได้	3.78	0.67	พอใจมาก
3.4 เมื่อนักศึกษาได้ใช้แบบจำลองแล้ว สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานจริงเพื่อควบคุมระบบบำบัดน้ำทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมได้	4.56	0.53	พอใจมากที่สุด
ค่าเฉลี่ยทุกหัวข้อ	4.10	0.63	พอใจมาก

จากตางรางที่ 3 ผลประเมินความพึงพอใจเฉลี่ยของนักศึกษาที่มีต่อแบบจำลองระบบ โดยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.10 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.63 สรุปว่าระดับความพึงพอใจเฉลี่ยต่อแบบจำลองระบบคือ พอใจมาก

อภิปรายผลการศึกษา

แบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง โดยระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินมีประสิทธิภาพการบำบัดตามค่าพารามิเตอร์ดังนี้ ความขุ่น สีที่ปรากฏ การนำไฟฟ้า ความกระด้าง และแบคทีเรียชนิดอีโคไล ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ที่ 64.05%, 60.19%, -10.16%, 68.63%, 98.56% ตามลำดับ ซึ่งค่าพารามิเตอร์บ้างค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานของน้ำประปาของการประปานครหลวงกับการประปาส่วนภูมิภาค และระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งมีประสิทธิภาพการบำบัดตามค่าพารามิเตอร์ดังนี้ ความขุ่น สีที่ปรากฏ การนำไฟฟ้า ทีเคเอ็น ของแข็งละลายในน้ำทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และบีโอดี ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ที่ 30.26%, 41.95%, 30.3%, 85.38%, 77.1%, 51.13%, 93.39% ตามลำดับ ซึ่งค่าพารามิเตอร์บ้างค่าผ่านเกณฑ์มาตรกรมโรงงานอุสาหกรรม จากประสิทธิภาพการบำบัดสรุปได้ว่า แบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งนั้นสามารถบำบัดน้ำได้ตามวัตถุประสงค์

ค่าดัชนีประสิทธิผลและค่าประสิทธิภาพของแบบจำลอง การทดลองเก็บคะแนนแบบทดสอบก่อนและหลังการเรียนการสอนโดยใช้แบบจำลอง นำมาคำนวณค่าดัชนีประสิทธิผลได้เท่ากับ 0.48 และคำนวณค่าประสิทธิภาพได้เท่ากับ 70.56/100 แสดงว่านักศึกษามีคะแนนจากการเรียนการสอนด้วยแบบจำลองระบบเพิ่มขึ้น 0.48 หรือคิดเป็นร้อยละ 48.04 แสดงว่าแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งเหมาะสมที่จะใช้ในการเรียนการสอนวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.10 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.63 โดยแปลผลระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับพอใจมาก และแบ่งระดับความพึงพอใจตามหัวข้อการประเมิน โดยมีหัวข้อที่ได้คะแนนประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับพอใจมาก ได้แก่ ความสวยงามของแบบจำลอง ขนาดของแบบจำลองมีความเหมาะสมกับการเรียนการสอน ความแข็งแรงของแบบจำลอง วัสดุที่ใช้สร้างแบบจำลองมีความเหมาะสม การเคลื่อนย้ายแบบจำลอง ปุ่มและแผงควบคุมแบบจำลองใช้งานง่าย แบบจำลองมีจุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพ ความสะดวกในการทดลองเดินระบบของแบบจำลอง แบบจำลองทำให้นักศึกษาเข้าใจหลักการของระบบบำบัด และแบบจำลองทำให้นักศึกษาสามารถหาค่าคุณภาพน้ำได้ ส่วนหัวข้อที่ได้คะแนนประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับพอใจมากที่สุดได้แก่ แบบจำลองทำให้นักศึกษาเข้าใจองค์ประกอบของระบบบำบัดน้ำ และหัวข้อเมื่อนักศึกษาได้ใช้แบบจำลองแล้ว สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานจริงได้ จากแบบประเมินความพึงพอใจแสดงให้เห็นว่านักศึกษามีความพึงพอใจต่อการใช้แบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งการเรียนการสอนวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ควรพัฒนาระบบผลิตน้ำประปาเป็นแบบต่อเนื่อง

2. ควรพัฒนาโปรแกรมระบบปฏิบัติการของแบบจำลองระบบผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดินและระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุม

3. นำแบบจำลองไปใช้ในการเรียนการสอนของนักศึกษารุ่นอื่นๆ เพื่อเก็บข้อมูลเปรียบเทียบและพัฒนาแบบจำลอง

บรรณานุกรม

เปรื่อง กุมุท. (2519). *เทคนิคการเขียนบทเรียนโปรแกรม.* กรุงเทพฯ: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. (2538). *วิศวกรรมการประปา เล่ม 1*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

---------. (2538). *วิศวกรรมการประปา เล่ม 2*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, และไพพรรณ พรประภา. (2545). *การปรุงแต่งคุณภาพน้ำ สำหรับระบบหม้อน้ำไอน้ำ ระบบหล่อเย็นและระบบประปาในอาคาร* (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรวัฒน์ ทิพจ้อย. (2551). *การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่2* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ).

เอกลักษณ์ ไชยพันธุ์, และชัยพร ภู่ประเสริฐ. (2551). *การเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสด้วยวัสดุช่วยตกตะกอน* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

American Water Works Association. (1998). *Water Treatment Plant Design* (3rd ed.). New York: Mc Graw Hill.

Goodman, R., & et al.,(1980). The Effectiveness Index as a Comparative Measure in Media Product Evaluation. *Educational Technology, 20*(9), 30-34.

Metcalf & Eddy. (1981). *Wastewater engineering: Collection and pumping of wastewater*. New York : McGrawHill.

----------. (1991). *Wastewater engineering: Treatment, disposal, and reuse* (3rd ed.). New York: McGrawHill.

Qasim, S.R. (1985). *Wastewater treatment plants: planning design and operation*. Florida: CBS publishing Japan.

---------. (2000). *Water works Engineering : Planning Design and Operation.* U.S.A.: Prentice Hall.

Reynnolds, T.D., & Richards, P.A. (1996). *Unit Operation and Processes in Environmental Engineering* (2nd ed.). MA.: PWS Publishing.

Water Environmental Federation and American Society of Civil Engineers. (1998). *Design of municipal wastewater treatment plants* :*V.2 Liquid treatment processes.* Virginia: WEF Press.

Translated Thai References

Chaiyaphan, A. & Phuprasert, C. (2008). *Increasing the sedimentation efficiency of sludge in the AS system with sedimentation materials* (Master's thesis). Bankok: Chulalongkorn University). [in Thai]

Kumuth, P. (1976). Techniques for Writing Program Courseware. Bangkok: Faculty of Education, Srinakharinwirot Prasarnmit University. [in Thai]

Tanthulwas, M. (1995). *Water Supply Engineering Volume 1*. Bangkok: Chulalongkorn University. [in Thai]

---------. (1995). *Water Supply Engineering Volume 2*. Bangkok: Chulalongkorn University. [in Thai]

Tanthulwas, M., & Pornprapa, P. (2002). *Water quality flavoring For steam boiler system Cooling system and plumbing systems in the building* (4th ed.). Bangkok: Chulalongkorn University. [in Thai]

Thipjoi, w. (2008). *The study of the efficiency of the anaerobic wastewater treatment system for the development of operating procedures. For Grade 2 students* (Master's thesis). Bangkok: Chulalongkorn University). [in Thai]