การศึกษาการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศ

Experimental Study on Oxygen Transfer in an Aerator

รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการเติมอากาศของเครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำโดยจะทำการเปรียบเทียบรูปร่างใบพัดที่มีผลต่อการเติมอากาศเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการเติมอากาศให้แก่น้ำเสียได้ในปริมาณที่สูงใช้พลังงานต่ำและสามารถนำไปใช้งานในทางปฏิบัติได้จริง โดยทำการศึกษาการเติมอากาศแบบผิวน้ำ และพัฒนาใบพัดแบบมีการไหลในแนวรัศมีเพื่อให้น้ำไหลออกในแนวรัศมี โดยทำการทดลองที่ความเร็วรอบต่าง ๆ แล้ววิเคราะห์ รูปร่าง ที่เหมาะสมของใบพัด ผลที่ได้จากการทดลองนี้จะนำไปพัฒนาและปรับปรุงใบพัด เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการเติมอากาศที่ดีขึ้น

ABSTRACT

This paper deals with the study on the efficiency of an aerator for a water treatment system. The surface aerator with radial flow rotors was used in this project. The experiments were conducted to measure the oxygen concentration of the water for various rotor configurations and speeds. To maximizing the ratio of the increase in oxygen concentration to input power, the optimum aerator can be obtained for a water treatment system.

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ReCCIT คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Email: kmmongko@kmitl.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันนี้ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมากโดยเฉพาะปัญหาน้ำเสีย ทำให้มีความต้องการที่จะแก้ปัญหาน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรม

การส่งเสริมและพัฒนาอย่างจริงจัง เหตุผลที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ อาจเกิดจากการขาดงบประมาณในการจัดการกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีผู้วิจัยคือ Beatriz Cancino, Pedro Roth, Manfred Reub [2,3,4] ได้ทำการวิจัยการเติมอากาศแบบผิวน้ำ (Surface aerators) มาก่อนแล้วแต่เป็นการวิจัยโดยออกแบบใบพัดให้มีการไหลในแนวแกน (Axial flow) ซึ่งประสิทธิภาพการเติมอากาศของใบพัดที่มีการไหลในแนวแกนที่ดีที่สุดนี้มีค่า 1.805 kgO2 / kWh (ที่ 20 °C) ดังนั้นจึงมีความคิดที่จะศึกษาและพัฒนาการเติมอากาศแบบการไหลในแนวรัศมี เพื่อที่จะหาวิธีที่ใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์ให้ได้มากที่สุด นี่จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้เกิดการศึกษาและพัฒนาเครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำที่มีการไหลในแนวรัศมี เพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่น้ำและเป็นแนวทางหนึ่งในการที่จะใช้แก้ปัญหานี้ เพื่อทำให้น้ำมีคุณภาพที่ดีขึ้น

ในการปรับปรุงเครื่องเติมอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงมีวิธีการอยู่หลายวิธีดังนี้

- การปรับปรุงโดยการออกแบบรูปร่างใบพัด
- การหาความเร็วรอบที่เหมาะสมของใบพัด

การนำไปใช้งานของเครื่องเติมอากาศ จำแนกได้ดังต่อไปนี้

- การเติมอากาศเพื่อเติมออกซิเจนให้แก่น้ำในที่ที่น้ำไม่มีการไหลวนและมีความลึกไม่มากนัก เช่น บึง บ่อ สระน้ำ เป็นต้น
- การเติมอากาศในภาคการเกษตร
- การเติมอากาศในภาคอุตสาหกรรม

วัตถุประสงค์ เพื่อหาประสิทธิภาพการเติมอากาศให้แก่น้ำ โดยให้ได้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมากและประหยัดพลังงานที่สุดและทดลองใบพัดแบบการไหลในแนวรัศมีสำหรับเติมอากาศแบบผิวน้ำโดยจะทำการเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเติมอากาศของใบพัดคือ จำนวนใบพัด รอบการหมุน และรูปร่างของใบพัด

ทฤษฎี

ในการออกแบบใบพัดเราจะใช้ทฤษฎีสัมประสิทธิ์แรงฉุด (Drag coefficient) โดยที่สมการเป็นดังนี้

$$F_{D_T} = C_{D_T} \cdot \frac{1}{2}\rho AV^2 \qquad (1)$$

เมื่อ

F_{D_T} = แรงฉุดเนื่องจากความดัน (Pressure drag) เกิดในกรณีที่เกิดแรงต้านทานการไหลในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล

C_{D_T} = สัมประสิทธิ์การฉุดรวม (Total drag coefficient)

V = ค่าความเร็วขึ้นอยู่กับรัศมีของใบพัดและความเร็วเชิงมุม

ρ = ค่าความหนาแน่นของน้ำ

แรงบิดที่เกิดขึ้นกับใบพัดมีสมการดังนี้

$$T = F_{D_T}\,\bar{r} \qquad (2)$$

<u>กำลังขับใบพัด</u>

กำลังที่ใช้ในการขับใบพัดในทางทฤษฎีสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P = \frac{2\pi Tn}{60} \qquad (3)$$

P กำลังงานที่ใช้ในการขับใบพัด (W)

T แรงบิด (N.m)

n ความเร็วรอบใบพัด (rpm)

กำลังงานที่ได้ในกรณีนี้จะไม่ได้นำไปคำนวณหาประสิทธิภาพการเติมออกซิเจนในสมการ(6) แต่จะใช้ในการเลือกหาขนาดมอเตอร์ที่จะนำไปใช้ในการทดลองเท่านั้น ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ Strain gauge ในการวัดโมเมนต์บิดของเพลาขับพร้อมมีชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์

<u>การเติมอากาศ</u>

การหาค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ

$$K_L a = 2.303 \left(\frac{\log C_1 - \log C_2}{t_2 - t_1} \right) \quad (4)$$

ค่าของ $K_L a$ ที่อุณหภูมิ T ใดๆ($^{\circ}C$) จะมีความสัมพันธ์กับค่า $K_L a$ ที่อุณหภูมิ 20 $^{\circ}C$ ดังสมการ

$$(K_L a)_{20} = \frac{k_L a_T}{1.024^{(T-20)}} \quad (5)$$

การคำนวณหาประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน

$$AE_T = \frac{(SOTR)V}{P} \quad (6)$$

เมื่อ

$(K_L a)_{20}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจน h^{-1} ที่ 20 $^{\circ}C$

C1 = ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำ(mg/L)ที่เวลา t1

C2 = ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำ(mg/L)ที่เวลา t2

t_1 = เวลาที่จุดที่ 1

t_2 = เวลาที่จุดที่ 2

$k_L a_{Tr}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจน (h-1) ที่อุณหภูมิมาตรฐาน (10 และ 20 องศาเซลเซียส)

$k_L a_T$ = ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจน (h-1) ที่อุณหภูมิที่ทำการทดลอง

T = อุณหภูมิที่ทำการทดลอง

T_r = อุณหภูมิมาตรฐาน (10 และ 20 องศาเซลเซียส)

SOTR =อัตราการถ่ายเทออกซิเจนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

AE_T =ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน

V = ปริมาตรน้ำที่ใช้ทดลอง ลบ.ม.

P = กำลังงานที่ใช้ขับใบพัด กิโลวัตต์

การทดลอง

1.ติดตั้งชุดจำลองเครื่องเติมอากาศลงในถัง

2.สูบน้ำใส่ถังให้ได้ปริมาตร 4 ลบ.ม. ระดับน้ำสูง 30 เซนติเมตร

3.เดินเครื่องเติมอากาศเป็นเวลานานหลายชั่วโมงเพื่อให้ความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำในถังมีค่าอิ่มตัว เพื่อเป็นค่าอ้างอิง

4.วัดค่าความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำโดยใช้เครื่องวัดความเข้มข้นของอ๊อกซิเจนในถังเทียบกับค่าที่ได้จากค่ามาตรฐานของปริมาณออกซิเจนอิ่มตัว

5.เติมสารประกอบโคบอลท์คลอไรค์ $(CoCl_2)$ ลงในน้ำเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

6.เตรียมน้ำยาโซเดียมซัลไฟท์ (Na_2SO_3) ในถังเล็กอีกใบหนึ่ง ให้ปริมาณโซเดียมซัลไฟต์เท่ากับ 1.25 เท่าของปริมาณที่ต้องใช้ตามทฤษฎีในการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในน้ำเพื่อ ใช้เป็นตัวลดปริมาณออกซิเจนในน้ำให้เท่ากับ 0 mg/l

7.ระบายน้ำยาโซเดียมซัลไฟต์ที่เตรียมไว้ลงในถังทดสอบ โดยระบายลงหลาย ๆ จุดรอบถังทดสอบ

8.เดินเครื่องเติมอากาศนานประมาณ 3 - 5 นาที เพื่อให้น้ำในถังทดสอบผสมกับน้ำยาโซเดียมซัลไฟท์โดยทั่วถึง (ใช้วิธีกวนน้ำเพิ่มอีกเพื่อให้เกิดปฏิกริยาเร็วขึ้นและทั่วถึง)

9.หยุดเครื่องเติมอากาศนานประมาณ 10-15 นาที เพื่อให้ปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมซัลไฟท์กับออกซิเจนเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์

10.เดินเครื่องเติมอากาศที่ความเร็วรอบ 780 รอบต่อนาที แล้ววัดความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำทุกๆ ระยะเวลา 5 นาที ที่จุด 3/4 ของระยะห่างระหว่างเครื่องเติมอากาศกับผนังถังทดสอบ จำนวนหนึ่งจุด

11.วิเคราะห์ความเข้มข้นของอ๊อกซิเจนในน้ำด้วยเครื่องมือวัดการละลายตัวออกซิเจน (DO meter) ของน้ำทันที เพื่อหาความเข้มข้นของออกซิเจนโดยใช้วิธีเคมี และนำค่าความเข้มข้นของอ๊อกซิเจนไปลบออกจากค่าความเข้มข้นอิ่มตัว

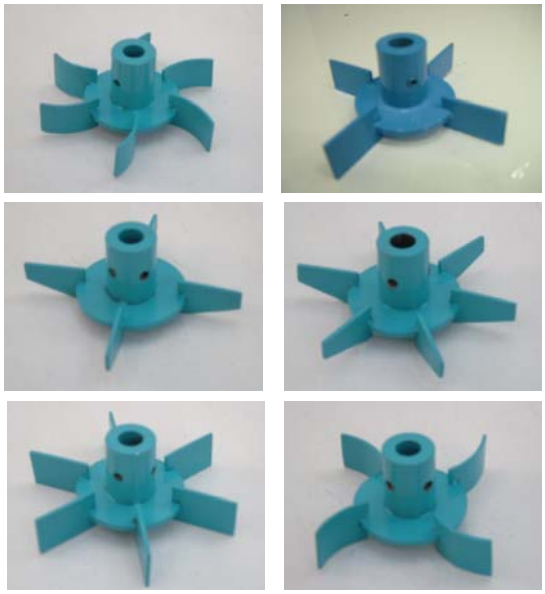
12.วัดปริมาณทอร์กที่ใช้ในการขับใบพัด

13.พล๊อตค่าความขาดแคลนอ๊อกซิเจนกับเวลาแบบ Semi-Log จะได้เส้นตรงค่าความชัน (slope) ของเส้นตรงที่ได้คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (K_La)

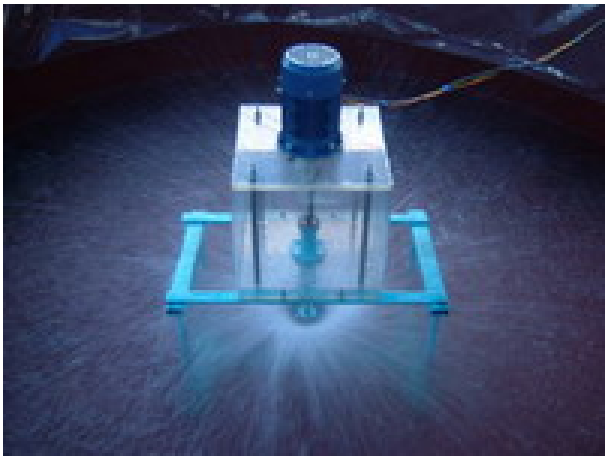
14.คำนวณประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ(AE)

15.ระบายน้ำออกจากถัง

16.ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-14 แต่เปลี่ยนความเร็วรอบที่ใช้ขับใบพัดเป็น 1200 , 1560 และ 1980 รอบต่อนาที และทำการทดลองกับใบพัดทั้งหมด 6 แบบ

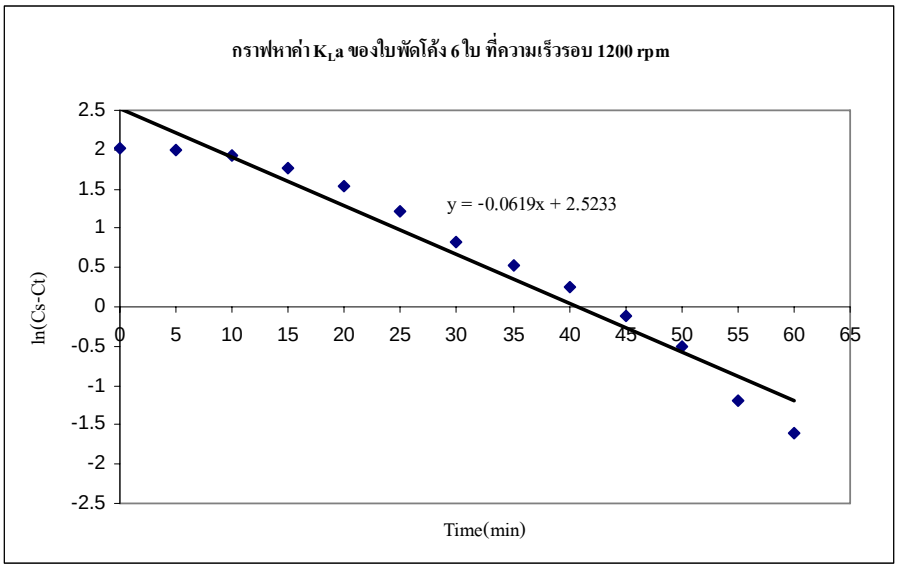


รูปที่ 1 ใบพัดที่ทำการทดลอง

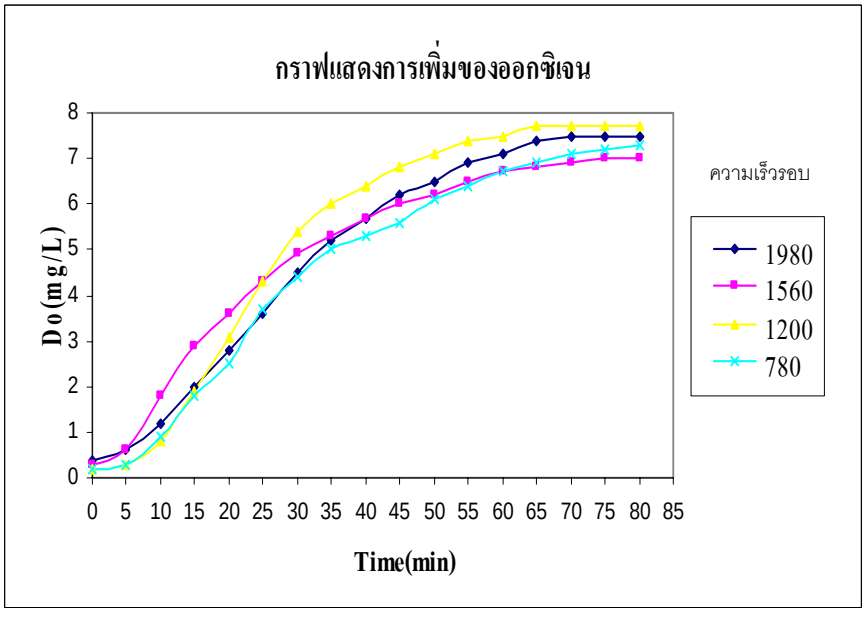


รูปที่ 2 แสดงชุดทดลอง

ผลการทดลอง

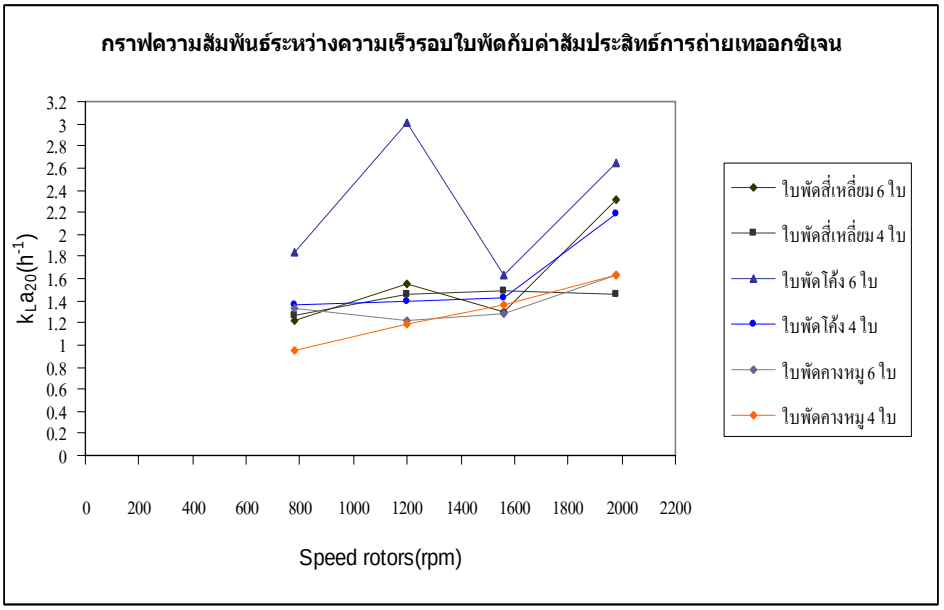


รูปที่ 3. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ ln(Cs-Ct) ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6ใบ ซึ่งเป็นชนิดที่มีประสิทธิภาพการเติมอากาศดีที่สุด



รูปที่ 4. กราฟแสดงการเพิ่มของออกซิเจนของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6ใบซึ่งเป็นชนิด

ที่มีประสิทธิภาพการเติมอากาศดีที่สุด



รูปที่ 5. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนของใบพัดทั้ง 6 แบบ

ตารางแสดงค่าประสิทธิ์ภาพการเติมอากาศของใบพัดที่ดีและเหมาะสมที่สุด 5 อันดับ

ชนิดของใบพัด	ประสิทธิภาพการเติมอากาศ(AE) (kgO2/kWh)
สี่เหลี่ยมโค้ง6ใบ (1200 rpm)	1.921
สี่เหลี่ยมโค้ง4ใบ (1980 rpm)	1.232
สี่เหลี่ยมโค้ง6ใบ (780 rpm)	1.191
สี่เหลี่ยมโค้ง4ใบ (780 rpm)	1.037
สี่เหลี่ยมโค้ง6ใบ (1560 rpm)	1.017

ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทของออกซิเจนและกำลังที่ใช้ขับใบพัดที่จุดที่เหมาะสมที่สุด 5 อันดับ

ชนิดของใบพัด	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทของออกซิเจน (kLa20(h-1))	กำลัง (W)
สี่เหลี่ยมโค้ง6ใบ(1200 rpm)	3	30.15
สี่เหลี่ยมโค้ง6ใบ(1980 rpm)	2.65	58.76
สี่เหลี่ยม6ใบ (1980 rpm)	2.319	110.34
สี่เหลี่ยมโค้ง4ใบ(1980 rpm)	2.184	34.17
สี่เหลี่ยมโค้ง6ใบ (780 rpm)	1.84	29.78

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองทำให้สรุปได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการเติมอากาศ (Aeration efficiency) ของใบพัดทั้งหมดที่ความเร็วรอบต่างๆ และที่ความลึกเท่ากัน จะพบว่าใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ มุมโค้ง 30° ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 28.923°C และปริมาตรน้ำที่ทำการทดลอง 2.12 ลบ.ม. สามารถเหวี่ยงน้ำได้ไกลและเป็นฝอย ทำให้การถ่ายเทมวลสูง มีประสิทธิภาพการเติมอากาศ (Aeration efficiency) ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20°C (SAE , ASCE Standard ,1992 USA) ที่สูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.921 kg O2/kWh โดยมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (Overall oxygen transfer coefficient) ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20°Cสูงสุดเท่ากับ 3.006 h-1 มีค่าอัตราการถ่ายเทออกซิเจน (Oxygen transfer rate) ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20°C เท่ากับ 27.323 g/m3/h และใช้กำลังขับใบพัด 30.15 วัตต์

เอกสารอ้างอิง

[1] เสริมพล รัตสุข, ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และ แหล่งชุมชน, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

[2] Beatriz Cancino, Pedro Roth, Manfred Reub, Design of high efficiency surface aerator, Part 1. Development of new rotors for surface aerators, Journal of Elsevier, Aquacultural Engineering 31 (2004) pp. 83-98.

[3] Beatriz Cancino, Pedro Roth, Manfred Reub, Design of high efficiency surface aerator, Part 2. Rating of surface aerator rotors, Journal of Elsevier, Aquacultural Engineering 31 (2004) pp. 99-115.

[4] Beatriz Cancino, Pedro Roth, Manfred Reub, Design of high efficiency surface aerator, Part 3. Dimensional analysis of rotor performance, Journal of Elsevier, Aquacultural Engineering 31 (2004) pp. 117-121.

[5] กรมควบคุมมลพิษและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ เล่ม 2 รายละเอียดสนับสนุนเกณฑ์แนะนำการออกแบระบบรวบรวมน้ำเสียและโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำของชุมชน, สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2546.

[6] ดร.เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, วิศวกรรมการบำบัดน้ำเสีย เล่ม 3 Wastewater Engineering, พ.ศ. 2537.