

## การประเมินผลเครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำแบบเวนจูรีสำหรับบำบัดน้ำเสีย

เสมอขวัญ ตันติกุล\* วิชาริณี มະโนราชฎร์ และปณทริกา ไหวหวัง

<sup>1</sup>คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

ผู้เขียนติดต่อ: เสมอขวัญ ตันติกุล E-mail: samerkhwan.ttk@gmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบและประเมินผลเครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ สำหรับบำบัดน้ำเสีย และปรับปรุงสมรรถนะการทำงานของเครื่องเติมอากาศให้ดียิ่งขึ้น เครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำแบบเวนจูรีนี้ ใช้มอเตอร์รอบสูงขนาด 2 แรงม้าเป็นต้นกำลัง และติดตั้งอยู่บนทุ่นลอยเหนือผิวน้ำ เพื่อส่งกำลังไปขับเพลลา ใบพัดเกลียวและใบพัดปัด โดยอากาศจะถูกผลักดันลงสู่ใต้ผิวน้ำด้วยใบพัดเกลียวและอากาศจะถูกดูดลงไปผสมกับน้ำในท่อเวนจูรี จากนั้นจะถูกผลักออกด้วยแรงดันที่เกิดจากใบพัดพญานาค (ใบพัดปัด) ส่งผลให้อากาศเป็นฝอยละอองขนาดเล็กและกระจายตัวไปทั่วบริเวณรอบ ๆ เครื่องเติมอากาศ เงื่อนไขในการทดสอบคือ ใช้สารโซเดียมซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) ในการละลายออกซิเจนในน้ำ ให้มีค่า DO ลดลงเข้าใกล้ศูนย์ ศึกษาอิทธิพลของการเปิดจำนวนท่อเวนจูรีที่ 2, 4 และ 8 ท่อ ที่ความเร็วรอบ 1,200, 2,000 และ 2,800 รอบต่อนาทีต่อสมรรถนะการทำงาน พบว่า การเปิดจำนวนท่อเวนจูรี 8 ท่อ ความเร็วรอบใบพัด 2,800 รอบต่อนาที ทำให้เครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำมีสมรรถนะในการถ่ายเทออกซิเจนสูงสุด

คำสำคัญ: เครื่องเติมอากาศ, ใต้ผิวน้ำ, การถ่ายเทออกซิเจน

## Evaluation of Submersible Venturi Aerator for waste water treatment

Samerkhwan Tantikul\*, Wicharinee Manorart, Puntririka Jaiwong

<sup>1</sup>Faculty of Engineering and Agro-Industry Maejo University, Sansai, Chiang Mai, 50290. Thailand.

Corresponding author: Samerkhwan Tantikul. E-mail: samerkhwan.ttk@gmail.com

### Abstract

This research were to design and evaluate of a submersible aerator for waste water treatment and develop a better performance of aforementioned aerator. The submersible aerator was driven by 2-hp electric motor installed on a floating buoy above the water surface. A drive transmission shaft was connected through blowers namely the spiral fan. Once the power transferred the air was being pushed down by the spiral fan, in the meantime a set of the vane will force the compressed air will be distributed circularly around the aerator, resulting in the amount of small air droplets spread to the surroundings of the aerator. In the tests, sodium sulfite ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) was used for dissolving some oxygen into water calibrated the approximately zero DO. The effects of damper opening percentages at 2, 4 and 8 tube and rotational speeds of blowers at 2,000 and 2,800 rpm. Results opening percentages at 8 tube and the 2,800 rpm blower speed resulted in the highest oxygen transfer performance.

Keywords: aerator, submersible, oxygen transfer.

### 1. บทนำ

ปัจจุบันทรัพยากรธรรมชาติเกิดความเสื่อมโทรม จากการกระทำของมนุษย์ เช่น การนำทรัพยากรน้ำมาใช้แต่ไม่ดูแลรักษา ก่อปัญหาทำให้ทรัพยากรน้ำเกิดความเสื่อมโทรม ส่งผลเสียให้แก่มนุษย์และสัตว์ ซึ่งปัญหาเกี่ยวกับน้ำเสียนี้ สามารถใช้เทคโนโลยีมาปรับปรุงสภาพน้ำให้มีคุณภาพดีขึ้นได้ ปัจจุบันการบำบัดน้ำเสียมียุคหลายวิธีที่สามารถนำไปใช้ได้จริง ซึ่งวิธีหนึ่งที่ได้รับนิยมนิยม คือ การบำบัดน้ำเสียโดยใช้เครื่องเติมอากาศ ซึ่งมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยต้นแบบถูกพัฒนามาจากกังหันน้ำชัยพัฒนา เป็นการ

เติมออกซิเจนให้กับน้ำเสียที่ต้องการบำบัด การใช้เครื่องเติมอากาศย่อมมีข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นการออกแบบเครื่องเติมอากาศต้องเข้าใจกระบวนการทำงาน มีการคำนวณออกแบบ รวมถึงการทดสอบสมรรถนะการถ่ายเทออกซิเจนลงสู่ใต้ผิวน้ำ การพัฒนาเครื่องเติมอากาศเหล่านี้ ย่อมส่งผลดีต่อความต้องการบำบัดน้ำเสียจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนั้นราคาของเครื่องเติมอากาศจึงมีมูลค่าสูงมาก ในปี พ.ศ. 2530 ยอดขายของบริษัทผู้ผลิตทั่วโลกประมาณ 150 บริษัท มีมูลค่าสูงถึงประมาณ 5,000 ล้านบาทต่อปี เฉพาะในทวีปอเมริกาเหนือ พบว่าได้มีการติดตั้งเครื่องเติมอากาศไป

แล้วกว่า 2.75 ล้านแรมมา สำหรับในประเทศไทย ส่วนใหญ่มีการใช้ ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับภาคเกษตรกรรม โดยการนำ มาใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ต้องการเครื่องเติม อากาศ ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องเติมอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง และ เหมาะสมกับสภาพการทำงานจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง (สำนักงาน เลขาธิการมูลนิธิชัยพัฒนา, 2540 : 6) น้ำเสียจะมีทั้งจุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน เครื่องเติมอากาศแบบได้ผิวน้ำจะเติม อากาศลงสู่น้ำ เพื่อบำบัดน้ำเสียด้วยหลักทางชีวภาพ จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อ คุณภาพน้ำ แต่จะเป็นการบำบัดน้ำเสีย ทำให้มี คุณภาพดีขึ้น ส่วน จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะส่งผลเสียให้น้ำเกิดเน่าเสีย สัตว์น้ำไม่ สามารถอาศัยอยู่ได้ ตลอดจนส่งกลิ่นเหม็นรบกวน เครื่อง ต้นแบบจะ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง ขับเคลื่อนใบพัดผลักดันน้ำให้ไหลผ่านเวน จูรี่ ซึ่งจะทำให้ที่เวนจูรี่เกิดความเร็วสูงแต่ความดันต่ำ จึงเกิดการดึง อากาศเข้ามาผสมกับน้ำที่วิ่งผ่านด้วยความเร็วสูง จากนั้นจึงพ่นน้ำ และฟองอากาศเข้าไปในน้ำเสีย โดยฟองอากาศที่ละเอียดจะทำให้มี ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงมีวัตถุประสงค์ คือ

- เพื่อปรับปรุงและพัฒนาสมรรถนะ ของเครื่องเติมอากาศได้ผิวน้ำให้มีสมรรถนะสูงขึ้น
- เพื่อประเมินสมรรถนะการทำงาน ของเครื่องเติมอากาศได้ผิวน้ำต้นแบบ

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ประกอบด้วย เครื่องกลเติมอากาศได้ผิวน้ำแบบเวนจูรี่ ต้นแบบ ซึ่งใช้มอเตอร์ 1 เฟส 2 แรมมา เป็นต้นกำลัง ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ และวัดรอบมอเตอร์ด้วยอินเวอร์เตอร์ และเครื่องวัด ความเร็วรอบ (Digital tachometer) ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DT-240P วัดอัตราการไหลกระแสไฟด้วยแคลมป์มิเตอร์ (Digital clamp tester) ยี่ห้อ KEWTECH รุ่น KT200 การวัดปริมาณออกซิเจนใช้ เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen meter) ยี่ห้อ AZ รุ่น 8403 บ่อทดสอบมีลักษณะเป็นทกเหลี่ยมมีปริมาตรความจุ 4 m<sup>3</sup> การเปลี่ยนถ่ายน้ำใช้เครื่องสูบน้ำแบบไดโว้ (Submersible pump) และสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบคือ โซเดียมซัลไฟด์

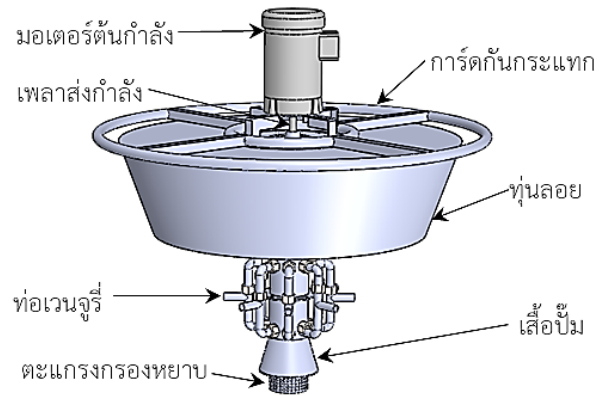


Figure 1 Prototype of submersible venturi aerator.

### 2.2 วิธีการ

การดำเนินงานโดยการออกแบบเครื่องต้นแบบ และการทดสอบ สมรรถนะเครื่องต้นแบบ ซึ่งการออกแบบเครื่องเติมอากาศได้ผิวน้ำ แบบเวนจูรี่ต้นแบบสำหรับบำบัดน้ำเสีย ประกอบด้วยการออกแบบ โครงสร้างส่วนฐาน (ตัวเรือน) การ์ดกันกระแทก เพลาส่งกำลัง ฟลุตลอย ใบพัดเกลียว ลิว์ปั้ม กรองหยาด และท่อเวนจูรี่ ดังภาพที่ 1 โดยโครงสร้างส่วนฐาน (ตัวเรือน) เป็นรูปทรงกระบอกทำจากสแตน เลส มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 100 mm. ด้านบนออกแบบให้ยึดติด กับฟลุตลอย ส่วนการ์ดกันกระแทกออกแบบให้สมมาตรกับขนาดฟลุต ลอย สามารถป้องกันการกระแทกกับขอบบ่อ และยังทำหน้าที่เป็นที่ จับยึดสำหรับการยกเคลื่อนย้าย ทำจากท่อสแตนเลสกลวง มีเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 1,024 mm. ดังรูปที่ 2

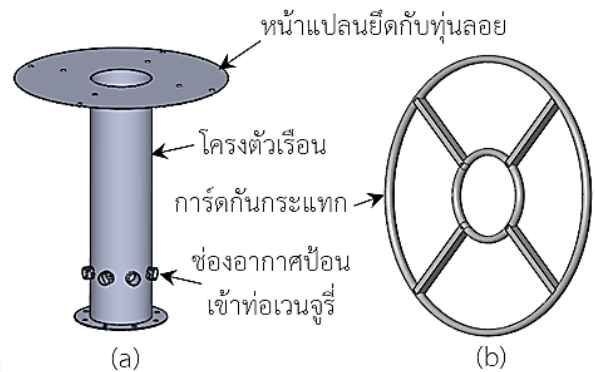


Figure 2 Body frame (a) and Shockproof card (b).

เพลาส่งกำลังออกแบบให้มีความแข็งแรงทนทานต่อแรงบิด โดยใช้พลาสติกสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลางของเพล่า 16 mm. ยาว 630 mm. ฟลุตลอยออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักของส่วน ประกอบต่าง ๆ ออกแบบโดยใช้สแตนเลสแผ่นหนา 1.75 mm. เส้นผ่านศูนย์กลาง ด้านบน 868 mm. ด้านล่าง 695 mm. รูกกลางมีขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 220 mm. มีความสูงเท่ากับ 260 mm. ดังรูปที่ 3



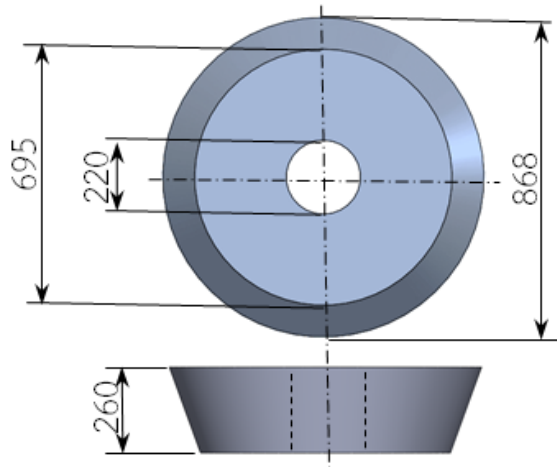


Figure 3 Float.

ใบพัดเกลียว มีหน้าที่ล่าเลียงอากาศที่เกิดจากการหมุนของใบพัด เพื่อเพิ่มความเร็ว และแรงอัดของอากาศจากด้านบนลงสู่ใต้ผิวน้ำ ใบเกลียวออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 mm. ระยะห่างแต่ละใบเกลียวเท่ากับ 10 mm. สำหรับท่อเวนจูร์ออกแบบให้มีคอคอด เพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำจนกระทั่งเกิดแรงดูดอากาศลงมาผสมกับน้ำ ทำให้เกิดการถ่ายเทออกซิเจนลงสู่ น้ำ ใช้ท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 20 mm.

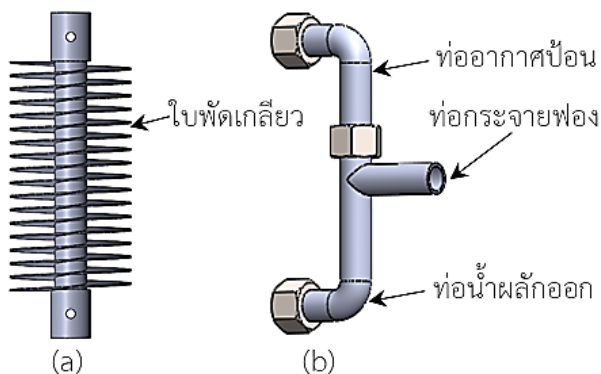


Figure 4 Compressed air spiral (a) and venturi pipe (b).

เสื้อปั๊มออกแบบเพื่อป้องกันอันตราย จากการหมุนของใบพัดปั๊ม ทำจากสแตนเลสแผ่นหนา 2 mm. โดยให้มีพื้นที่หน้าตัดจากมากไปน้อย 150 mm. เป็น 100 mm. มีความสูง 90 mm. ส่วนใบพัดปั๊มเป็นใบพัดปั๊มพญานาคมีขายทั่วไป ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน ใบพัดปั๊มทำหน้าที่ผลักต้นน้ำ การเลือกใช้ใบพัดปั๊มของเครื่องต้นแบบ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการผลักน้ำ จึงเลือกใช้ใบพัดที่มี 3 ใบพัด เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 in. ส่วนสุดท้ายคือตะแกรงกรองหยาบ หรือบางครั้งอาจเรียกว่าหัวกะโหลก ออกแบบเป็นทรงกระบอก เจาะรูโดยรอบ เพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ใบพัดปั๊มและท่อเวนจูร์ ใช้ สแตนเลสหนา 2 mm. เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm. สูง 50 mm.

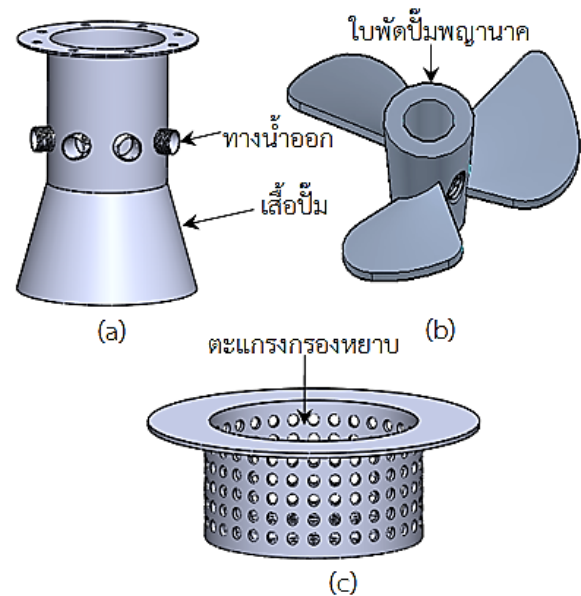


Figure 5 Pump case (a) pump impeller (b) and coarse strainer (c).

เครื่องต้นแบบมีหลักการทำงาน คือ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง ซึ่งติดตั้งอยู่บนทุ่นลอย ส่งกำลังไปขับเพลลาหมุนใบพัดเกลียวเพื่ออัดอากาศ และใบพัดปั๊มเพื่อผลักต้นน้ำ ซึ่งอากาศจากด้านบนจะถูกผลักลงสู่ใต้ผิวน้ำ โดยการกวาดต้อนด้วยเกลียวใบพัด ขณะเดียวกันใบพัดปั๊มแบบพญานาค จะดูดและผลักน้ำขึ้นผ่านท่อเวนจูร์ ซึ่งที่ท่อเวนจูร์จะมีความเร็วน้ำที่มีการไหลของน้ำสูง ส่งผลทำให้ที่บริเวณท่อเวนจูร์เกิดเป็นความดันต่ำ ขณะเดียวกันอากาศที่ถูกผลักด้วยใบพัดเกลียวลงสู่ผิวน้ำ จะถูกดูดลงไปยังท่อเวนจูร์ ซึ่งที่ท่อเวนจูร์จะเกิดการผสมระหว่างอากาศกับน้ำ และถูกผลักออกที่ท่อกระจายฟอง ทำให้อากาศเป็นฟอยละอองขนาดเล็ก และกระจายตัวไปทั่วบริเวณรอบๆ เครื่องเติมอากาศดังกล่าว การศึกษาครั้งนี้มุ่งศึกษาอิทธิพลจากลักษณะเวนจูร์ ความเร็วรอบขับใบพัดปั๊ม และจำนวนการเปิดท่อกระจายฟองส่วนผสมที่ 1,200, 2,000 และ 2,800 rpm และ 2, 4 และ 8 ท่อ ตามลำดับ โดยลักษณะเวนจูร์จะกำหนดเงื่อนไข คือ ให้น้ำผ่านเวนจูร์ หรือให้น้ำผ่านหัวฉีด

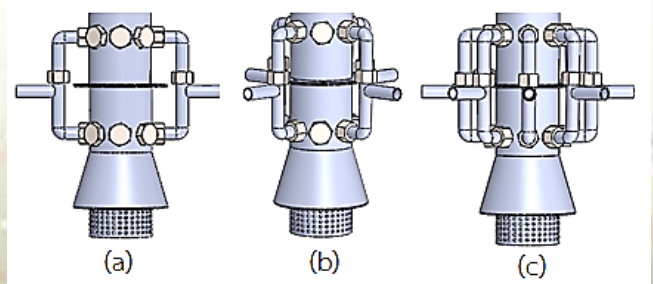


Figure 6 Number of opening bubble diffuse tubes at 2 (a) 4 (b) and 8 tube.

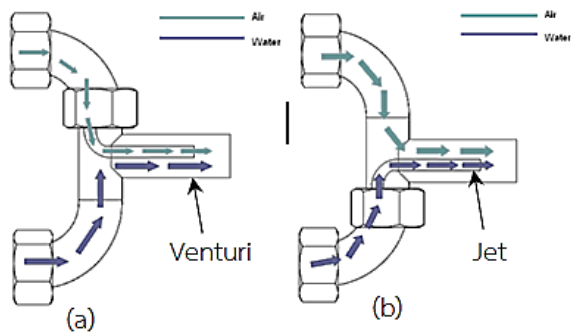


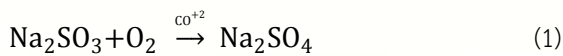
Figure 7 Water flows through the venturi pipe (a) and Water flows through the jet pipe.

จากปัจจัยการทดสอบเบื้องต้น ตัวชี้วัดสมรรถนะคือ ลักษณะของ ฟองอากาศที่ท่อกระจายฟอง อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน ความสามารถในการถ่ายเท ออกซิเจนสู่น้ำ และสมรรถนะการถ่ายเทออกซิเจน ซึ่งลักษณะของ ฟองอากาศที่ท่อกระจายฟอง จะใช้วิธีการสังเกตด้วยตาเปล่า ดัง แสดงในรูปที่ 8



Figure 8 Observation air bubble at less air bubbles (a) and Very air bubbles (b).

ในการวิจัยนี้ ใช้สมการสำหรับหาค่าปริมาณสารโซเดียมซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) เพื่อละลายออกซิเจนในน้ำให้มีค่าเท่ากับศูนย์ หรือเข้าใกล้ ศูนย์มากที่สุด คือ



$$\text{Na}_2\text{SO}_3 = \frac{9.84 \times V \times X}{1,000} \text{ (kg)} \quad (2)$$

สมการค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจน คือ

$$K_L a = \frac{2.303 [\log(C_{sw} C_{t1}) - \log(C_{sw} C_{t2})] \times 60}{t_1 - t_2} \quad (3)$$

- เมื่อ  $K_L a$  = ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจน ( $\text{hr}^{-1}$ )
- $C_{sw}$  = ค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัว (ppm)
- $C_{t1}$  = ค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำที่เวลาเริ่มต้น  $t = t_1$  (ppm)
- $C_{t2}$  = ค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำที่เวลาสุดท้าย  $t = t_2$  (ppm)
- $t_1$  = เวลาเริ่มต้น (min)

$t_2$  = เวลาสุดท้าย (min)  
การเปลี่ยนค่า  $K_L a$  ที่อุณหภูมิทำการทดลอง ไปเป็นค่าที่สภาวะ อุณหภูมิมาตรฐานที่  $20^\circ\text{C}$  ดังสมการ

$$(K_L a)_{20} = (K_L a)_T \times 1.024^{(T-20)} \quad (4)$$

เมื่อ  $(K_L a)_{20}$  = ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะ อุณหภูมิมาตรฐาน ( $\text{hr}^{-1}$ )

$(K_L a)_T$  = ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะที่ ทำการทดลอง ( $\text{hr}^{-1}$ )

$T$  = อุณหภูมิทำการทดลอง ( $^\circ\text{C}$ )

สมการการคำนวณหาค่าความสามารถในการเติมออกซิเจน (Oxygen capacity, O.C.) ที่สภาวะอุณหภูมิมาตรฐาน

$$\text{O.C.} = \frac{(K_L a)_{20} \times C_{sw} \times V}{1100} \quad (5)$$

เมื่อ O.C. = ความสามารถในการถ่ายเทออกซิเจน ( $\text{kg-O}_2/\text{hr}$ )

$C_{sw}$  = ค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัว (ppm)

$V$  = ปริมาตรน้ำในบ่อที่ใช้ทดลอง ( $\text{m}^3$ )

เมื่อการทดสอบการเติมอากาศ ด้วยระบบเป่าอากาศหรือใช้ เครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ ค่า  $C_{sw}$  ต้องเปลี่ยนเป็นค่า  $C_{sc}$  เพื่อแก้ไข เกี่ยวกับความดันน้ำสถิต (Hydrostatic pressure)

$$C_{sc} = \frac{C_{sw} \times (P_b + 0.5)}{29.42} \quad (6)$$

เมื่อ  $P_b$  = ความดันสัมบูรณ์ที่จุดความลึกซึ่งเป่าอากาศออก ( $\text{lb}/\text{in}^2$ )

สมการสมรรถนะในการถ่ายเทออกซิเจน ( $\text{kg-O}_2/\text{kW-hr}$ ) คือ

$$\text{สมรรถนะในการถ่ายเทออกซิเจน} = \frac{\text{O.C.}}{\text{PC}} \quad (7)$$

เมื่อ O.C. = ความสามารถในการถ่ายเทออกซิเจน ( $\text{kg-O}_2/\text{hr}$ )

PC = กำลังงานไฟฟ้าที่เครื่องเติมอากาศใช้ไป (kW)

$$\text{โดย PC} = \frac{\sqrt{3} \times I \times E \times F}{1,000} \quad (8)$$

เมื่อ  $I$  = กระแสไฟฟ้าที่เครื่องใช้ขณะทำงาน (A)

$E$  = แรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะเครื่องทำงาน (V)

$F$  = ตัวประกอบกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้า (องค์ประกอบของ มอเตอร์)

### 3. ผลและวิจารณ์

ผลการทดสอบลักษณะปริมาณและขนาดของฟองอากาศ ที่ท่อ กระจายฟอง โดยมีปัจจัยการศึกษา คือ น้ำผ่านเวนจูร์และน้ำผ่าน หัวฉีด จำนวนการเปิดท่อกระจายฟอง และความเร็วรอบขับใบพัดบีม โดยมีผลการทดสอบดังตารางที่ 1

Table 1 Volume of air bubbles from bubble diffuse tubes at various factors.



Characteristics of air bubbles	none	Very little	little	much	most
Opening bubble diffuse tubes 8 tube at water flows through the venturi pipe					
1,200 rpm	*				
2,000 rpm				*	
2,800 rpm					*
Opening bubble diffuse tubes 8 tube at water flows through the jet pipe					
1,200 rpm	*				
2,000 rpm	*				
2,800 rpm				*	
Opening bubble diffuse tubes 4 tube at water flows through the venturi pipe					
1,200 rpm	*				
2,000 rpm		*			
2,800 rpm					*
Opening bubble diffuse tubes 4 tube at water flows through the jet pipe					
1,200 rpm	*				
2,000 rpm		*			
2,800 rpm					*

ผลการทดสอบพบว่าที่ความเร็วรอบใบพัดปัมป์ที่ 2,800 rpm โดยให้น้ำผ่านหัวฉีดจะมีปริมาณฟองอากาศมากที่สุด

Table 2 Size of air bubbles from bubble diffuse tubes at various factors.

Size of air bubbles	not shown	very small	small	large
Opening bubble diffuse tubes 8 tube at water flows through the venturi pipe				
1,200 rpm	*			
2,000 rpm			*	
2,800 rpm			*	
Opening bubble diffuse tubes 8 tube at water flows through the jet pipe				
1,200 rpm	*			
2,000 rpm	*			
2,800 rpm				*
Opening bubble diffuse tubes 4 tube at water flows through the venturi pipe				
1,200 rpm	*			
2,000 rpm	*			
2,800 rpm		*		
Opening bubble diffuse tubes 4 tube at water flows through the jet pipe				
1,200 rpm	*			
2,000 rpm		*		
2,800 rpm			*	

ผลการทดสอบพบว่าที่ความเร็วรอบใบพัดปัมป์ที่ 2,800 rpm โดยให้น้ำผ่านหัวฉีดจะมีฟองอากาศขนาดใหญ่ แต่ที่ความเร็วรอบ 2,000

rpm ที่เปิดท่อกระจายฟอง 4 ท่อ จะมีฟองอากาศขนาดเล็กกว่า และจากการทดสอบเบื้องต้นโดยการสังเกตพบว่าที่ความเร็วรอบใบพัดปัมป์ที่ 1,200 rpm เครื่องเติมอากาศไม่สามารถเติมอากาศลงสู่ได้ผิวน้ำได้ ดังนั้นปัจจัยความเร็วรอบที่ต้องการศึกษาจึงแปรออก เป็นสองความเร็ว ได้แก่ 2,000 rpm และ 2,800 rpm

ผลการศึกษาหาจำนวนท่อกระจายฟอง และศึกษาความเร็วที่เหมาะสมที่ทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนสูงสุด วัดค่า DO ของน้ำที่ความลึกสามระดับ คือ 0.0, 0.3 และ 0.6 m. ดังตารางที่ 3

Table 3 Oxygen transfer coefficient.

Number bubble diffuse tubes	Study factors					Average	K <sub>La(ave)</sub> (hr <sup>-1</sup> )
	rpm	Pre	0.60	0.30	0.00		
2	2,000	6.56	5.19	5.19	5.21	5.20	0.43
	2,800	6.63	6.70	6.70	6.68	6.69	0.89
4	2,000	6.59	5.65	5.65	5.63	5.64	0.53
	2,800	6.55	7.12	7.10	7.10	7.11	1.12
8	2,000	6.41	6.33	6.36	6.34	6.34	0.75
	2,800	6.50	7.52	7.55	7.52	7.53	1.42

ผลการทดสอบหาสมรรถนะการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศได้ผิวน้ำต้นแบบ ที่ความเร็วรอบการทำงาน 2,000 และ 2,800 รอบต่อนาที และกำหนดให้เปิดท่อกระจายฟองอากาศ 2, 4 และ 8 ท่อ ตามลำดับ สามารถแสดงค่าสมรรถนะต่างๆ ดังตาราง 4

Table 4 Experimental result.

Number bubble diffuse tubes	Study factors				Performance (kg-O <sub>2</sub> / kW.hr)
	rpm	K <sub>La(20)</sub> (hr <sup>-1</sup> )	O.C. (kg-O <sub>2</sub> / hr)	PC. (kw)	
2	2,000	0.358	0.004967	1.6891	0.0029
	2,800	0.725	0.010000	2.6258	0.0038
4	2,000	0.439	0.006067	1.6264	0.0037
	2,800	0.924	0.012767	2.7246	0.0047
8	2,000	0.610	0.008433	1.6036	0.0052
	2,800	1.163	0.016367	2.6581	0.0061

จากตารางสรุปที่ 4 สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการเติมอากาศต่อความเร็วรอบใบพัดปัมป์ ดังรูปที่ 9

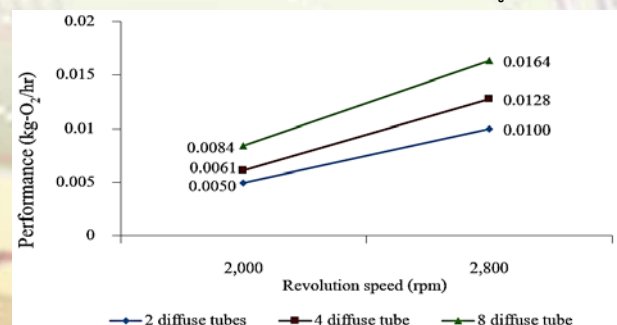


Figure 9 Performance at various speeds.

#### 4. สรุป

การประเมินสมรรถนะเครื่องเติมอากาศใต้อากาศใต้น้ำสำหรับบำบัดน้ำเสียแบบวนจืดแบบ ซึ่งใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1.5 กิโลวัตต์ (2 แรงม้า) เป็นต้นกำลัง พบว่า

ที่ความเร็วรอบใบพัดปี่ม 2,000 และ 2,800 rpm เมื่อเปิดท่อกระจายฟอง 2, 4 และ 8 ท่อ พบว่ามีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ (1.6891, 2.6258), (1.6264, 2.7246) และ (1.6036, 2.6581) kw ตามลำดับ

ค่าความสามารถในการถ่ายเทออกซิเจนสู่น้ำที่ความเร็วรอบใบพัดปี่ม 2,000 และ 2,800 rpm เมื่อเปิดท่อกระจายฟอง 2, 4 และ 8 ท่อ พบว่ามีค่าเท่ากับ (0.004967, 0.010000), (0.006067, 0.012767) และ (0.008433, 0.016367) kg-O<sub>2</sub>/hr ตามลำดับ

ค่าสมรรถนะการถ่ายเทออกซิเจนที่ความเร็วรอบใบพัดปี่ม 2,000 และ 2,800 rpm เมื่อเปิดท่อกระจายฟอง 2, 4 และ 8 ท่อพบว่ามีค่าเท่ากับ (0.0029, 0.0038), (0.0037, 0.0047) และ (0.0052, 0.0061) kg-O<sub>2</sub>/kW-hr ตามลำดับ

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนที่ความเร็วรอบใบพัดปี่ม 2,000 และ 2,800 rpm เมื่อเปิดท่อกระจายฟอง 2, 4 และ 8 ท่อ พบว่ามีค่าเท่ากับ (0.358, 0.725), (0.439, 0.924) และ (0.610, 1.163) ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่าสมรรถนะโดยรวมของเครื่องต้นแบบยังไม่ค่อยสูงมากนัก อีกทั้งการใช้มอเตอร์รอบสูง จะมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานและอัตราการสึกหรอของชิ้นส่วนค่อนข้างสูง ดังนั้นแม้จะมีความเป็นไปได้เพื่อสู่การขยายผลไปใช้งานจริง แต่ด้วยข้อจำกัดบางประการจึงควรศึกษาเพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบ ให้มีความทนทานและสมรรถนะที่สูงยิ่งขึ้นมากกว่านี้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (สำนักงาน กปร.) ที่สนับสนุนงบประมาณ

#### 6. เอกสารอ้างอิง

มูลนิธิชัยพัฒนา. กังหันน้ำชัยพัฒนา RX-2. แหล่งที่มา: <http://www.chaipat.or.th/chaipat/index.php/th/2013-05-29-17-30-34>.

