

การศึกษาสมรรถนะของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศโดยวิธีการทดลอง Experimental Study on Water-air jet pump Performance

ขวัญชัย เกตุทอง^{1*}, มณฑล ใจกุลศล², จำลอง ปรวบแก้ว³

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 E-mail: kwanchai.ketthong@th.nestle.com

^{2,3} อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
10520 E-mail: kpchamlo@kmitl.ac.th

* ติดต่อ: โทรศัพท์: (662) 326-4197, โทรสาร: (662) 326-4198,

E-mail: kwanchai.ketthong@th.nestle.com

บทคัดย่อ

การเติมออกซิเจนในน้ำ สำหรับงานบำบัดน้ำเสีย หรือ งานเลี้ยงสัตว์น้ำต่างๆ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้เครื่องตีน้ำ กังหันน้ำ การทำน้ำฟูในสระน้ำ เป็นต้น การใช้เจ็ทปั๊มที่มีน้ำเป็นของไหลขับเคลื่อนเหนี่ยวนำอากาศ พ่นลงในน้ำ น่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้ได้ เนื่องจากเจ็ทปั๊มมีโครงสร้างที่เรียบง่ายไม่มีชิ้นส่วนใด เคลื่อนที่หรือหมุนโดยมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือ หัวฉีด , ท่อผสม และ ท่อลดความเร็ว ในการออกแบบ เจ็ทปั๊มจะต้องคำนึงถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของเจ็ทปั๊ม เช่น อัตราส่วนพื้นที่ของหัวฉีดกับห้องผสม (d/D), รูปแบบของหัวฉีด และ ค่าความเสียดทานต่างๆ บทความนี้ได้ศึกษาถึงสมรรถนะของเจ็ทปั๊ม เพื่อใช้เหนี่ยวนำอากาศ(ออกซิเจน)จากท่อดูดเติมในน้ำโดยวิธีการทดลอง เพื่อหาค่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดกับห้องผสม (d/D) ที่ทำให้เจ็ทปั๊มมีประสิทธิภาพสูงสุด จากผลการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดกับห้องผสม (d/D) = 0.54 จะได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 28.5 %

คำหลัก: เจ็ทปั๊ม, ประสิทธิภาพ, หัวฉีด, ห้องผสม

Abstract

Jet pump has a simple structure. There are no parts which move or rotate with the core components is critical nozzle, mixing chamber and diffuser. There are many applications in engineering to use. The jet pump design must consider variables that affect. For example, efficiency of jet pump-like nozzle area ratio of nozzle to mix room (d/D), size and format of the nozzle. As well as the value of friction. This paper will study the performance of water-pump nozzle inductance used to suck the air in the pipes that apply with vacuum cleaner. The size of the nozzle find the most suitable for water-pump nozzle. Inductance will cause the air to high performance. The analytical equations for calculating performance and then perform experiments to find the effect of cutting face area ratio of nozzle to mix room (d/D) results show that the intersection of the face area ratio nozzle and mixed room (d/D) = 0.54 to maximum 28.5% performance fee.

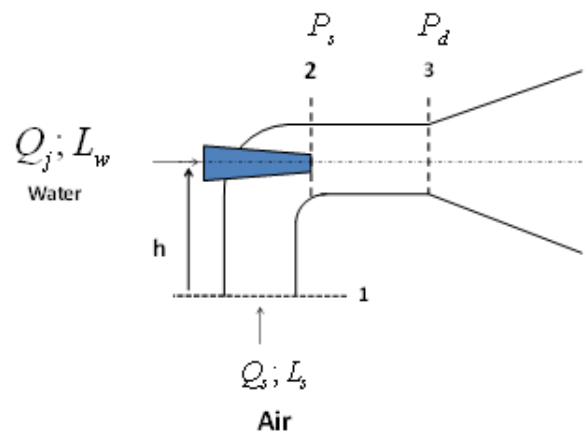
Keywords: Jet pump, Characteristics, Efficiency, Nozzle diameter ratio, Drive nozzle

1. บทนำ

ปั๊มแบบฉีด หรือที่เรียกว่าเจ็ทปั๊ม มีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันได้หลากหลาย เนื่องจากมีโครงสร้างที่เรียบง่าย ไม่มีชิ้นส่วนใดเคลื่อนที่ ในการออกแบบเจ็ทปั๊มจะต้องคำนึงถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพ เช่น อัตราส่วนพื้นที่ของหัวฉีดกับห้องผสม, ขนาดและรูปแบบของหัวฉีด ตลอดจนค่าความเสียดทานตามจุดต่างๆ บทความนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศสำหรับงานเติมออกซิเจนในน้ำโดยวิธีการทดลอง ที่ผ่านมามีผู้ที่ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้หลายท่านเช่น Gao Jifei, Gu Guowei, Zhao Zilong, Zhang Yalei [1] ได้ศึกษาการเติมออกซิเจนในน้ำโดยใช้เจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ จากผลการศึกษาพบว่าที่อัตราการไหลทางด้านดูด 900~1100 ลิตรต่อนาที ส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของฟองอากาศบนผิวน้ำที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3~5 มิลลิเมตร Adi Surjosatyo, Farid Nasir Ani [2] ได้ศึกษาถึงลักษณะการไหลในท่อซึ่งมีการแปรผันตามเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อและการเปลี่ยนแปลงความยาวที่ท่อทางเข้า (ΔL) ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่ท่อทางเข้าจะแปรผันตามความยาว ซึ่งเป็นลักษณะการไหลเฉพาะในการศึกษาครั้งนี้และการพยากรณ์ลักษณะการไหลโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณทางโปรแกรม Fluent version 4.4 ซึ่งสรุปว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าจนถึง 600 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศลดลง A. Baylar, F. Ozkan, M. Ozturk [3] ได้ทำการศึกษาการเติมอากาศด้วยท่อเวนจูรี โดยการเปลี่ยนแปลงมุมของท่อเวนจูรีเทียบกับอัตราการไหล ผลการศึกษาพบว่ามุมของท่อเวนจูรีที่ 20 องศาเป็นค่าของมุมที่เหมาะสมส่งผลให้ได้อัตราการไหลของอากาศที่สูงสุด

2. ประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊ม

ประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊มหาได้จากการพิจารณาสมการพลังงานการไหลของของไหล เมื่อของไหลเคลื่อนที่ก็จะมีพลังงานจลน์ พลังงานศักย์ และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 1 หลักการของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ

ประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\eta = \frac{\text{output}}{\text{input}} = \frac{L_s}{L_w} \quad (1)$$

η = ประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊ม, (Jet pump efficiency)

L_s = พลังงานที่ถูกเหนี่ยวนำ, (Induced work Load)

L_w = พลังงานในส่วนเริ่มต้น, (Primary work Load)

ให้อากาศ (Air) ที่ถูกดูดเข้าเป็นกระบวนการไอเซนโทรปิก (Isentropic) ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์

$$Pv^k = \text{Constant} \quad (2)$$

2.1 การหาพลังงานที่ถูกเหนี่ยวนำ (L_s)

สมมติให้เป็นกรณี Reversible steady flow work จากความสัมพันธ์กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ และกรณีที่เป็นระบบ เปิดซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ [4,5,6]

$$W_{rev} = \int v dp + \Delta ke + \Delta pe \quad (3)$$

กำหนดให้ $L_s = W_{rev}$ และ การเปลี่ยนแปลง KE และ PE น้อยมากดังนั้น

$$L_s = \int v dp \quad (4)$$

จากสมการที่ (2)

$$PV^k = P_s V_s^k = P_d V_d^k$$

$$v = \left(\frac{P_s}{P}\right)^{\frac{1}{k}} \cdot v_s$$

แทนค่า v ในสมการที่ (3)

$$L_s = \int_{P_s}^{P_d} \left(\frac{P_s}{P}\right)^{\frac{1}{k}} \cdot v_s dp$$

$$L_s = \frac{k}{k-1} v_s P_s \left[\left(\frac{P_d}{P_s}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (5)$$

เปลี่ยนหน่วยของ L_s ให้เป็น J/s จะได้ $L_s \times m_s$ จึงทำให้ได้ว่า

$$L_s = \frac{k}{k-1} \cdot Q_s \cdot P_s \left[\left(\frac{P_d}{P_s}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (6)$$

เมื่อ

L_s = พลังงานที่ถูกเหนี่ยวนำ (J/s)

P_s = ความดันด้านดูด (Pa)

P_d = ความดันด้านขยาย (Pa)

k = อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (ของอากาศมี

ค่าประมาณ 1.4)

2.2 การหาพลังงานในส่วนเริ่มต้น (L_w)

ซึ่งกรณีนี้พลังงานในส่วนเริ่มต้นนั้นปรากฏในรูปของพลังงานจลน์ เนื่องจากความสัมพันธ์ของ Bernoulli's Equation สมมติให้ไม่มี friction losses เมื่อพิจารณาตำแหน่งที่ 2

$$\frac{P_{tot}}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g} \quad (7)$$

จะได้ว่า

$$P_w = P_{tot} = \rho \frac{v_2^2}{2g} \quad (8)$$

จะเห็นได้ว่า ความสัมพันธ์ของ P_w จะอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ (KE) ซึ่งแปรผันตรงกับความเร็ว (v) ดังนั้นจากความสัมพันธ์ของพลังงานจลน์

$$KE = L_w = \frac{1}{2} m_w v_w^2 \quad (9)$$

$$KE = L_w = \frac{v_w^2}{2g} \cdot \gamma_w \cdot Q_w \quad (10)$$

จากพลังงานจลน์ในสมการที่ (7) จะได้ว่า

$$\frac{P_w}{\gamma_w} = \frac{v_w^2}{2g}; \text{ เมื่อ } \gamma_w = \rho g$$

$$L_w = \frac{P_w}{\gamma_w} \gamma_w Q_w = P_w Q_w \quad (11)$$

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทำให้พบว่า

$$\eta = \frac{Q_s}{Q_j} \cdot \frac{P_s}{P_w} \cdot \left[\frac{k}{k-1} \left(\left(\frac{P_d}{P_s}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \right] \quad (12)$$

เมื่อ

η = ประสิทธิภาพของเจ็ตปัมป์ (%)

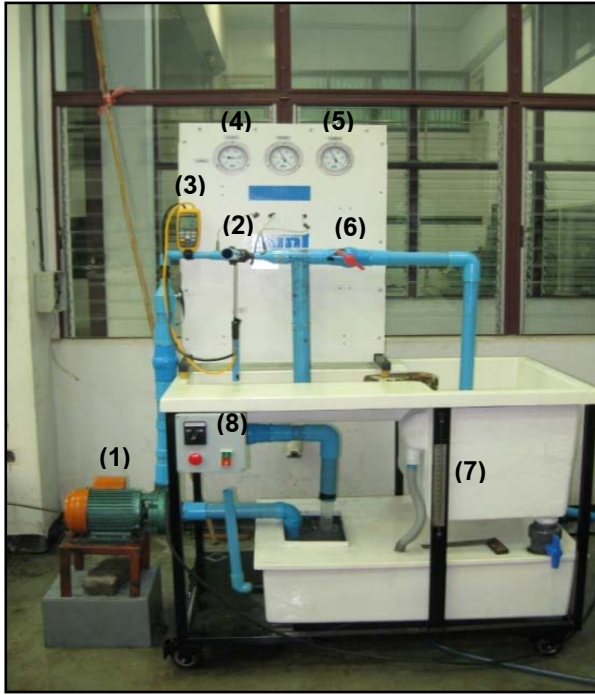
Q_s = อัตราการไหลโดยปริมาตรของด้านดูด (m^3/s)

Q_j = อัตราการไหลโดยปริมาตรของด้านเข้า (m^3/s)

3. อุปกรณ์ทดลอง

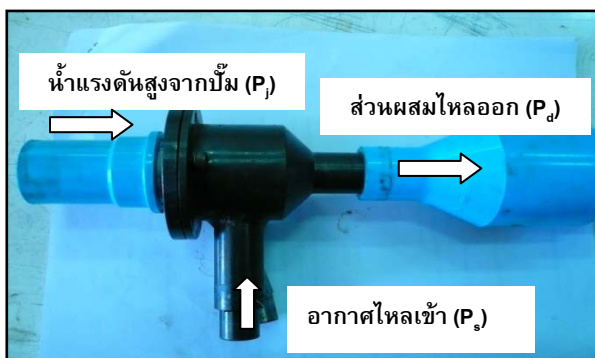
ชุดทดลองประกอบด้วยปั๊มขนาด 2.2 แรงม้า (1) , ท่อด้านดูด (2) วัดความเร็วอากาศที่ไหลเข้าด้วย Pitot Tube รุ่น FLUKE 922 (3) วัดความดันหัวฉีด

ด้วยเกจวัดความดัน (4) วัดความดันด้านดุดด้วย
แวกคัมเกจ (5) และปรับอัตราการไหลด้วยวาล์ว (6)
วัดอัตราการไหลด้วยถัง (7)



รูปที่ 2 แสดงการประกอบชุดการทดลอง

ซึ่ง ส่วนหลักของชุดปั๊มน้ำแบบหัวฉีดตั้งแสดง
ตามรูปที่ 4 ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วน
คือ ส่วนของห้องผสม (9) ส่วนของหัวฉีด (10) ส่วน
ของท่อด้านดุดอากาศ (11) ส่วนของท่อขยาย (12)



รูปที่ 3 ส่วนประกอบของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ

ในการทดลองนี้ได้กำหนดค่า P_i ที่ใช้ในการทดลอง
เท่ากับ 0.15, 0.25, 0.35, 0.45 0.50 MPa ตามลำดับ

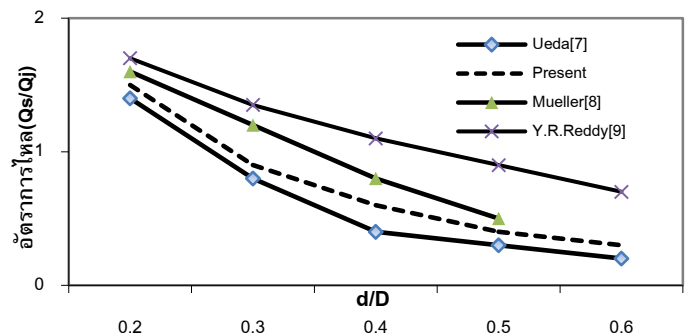


รูปที่ 4 แสดงอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดกับห้องผสม

รูปที่ 4 แสดงค่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดกับห้องผสม (d/D) มีค่า 0.4, 0.54 และ 0.67 ตามลำดับ

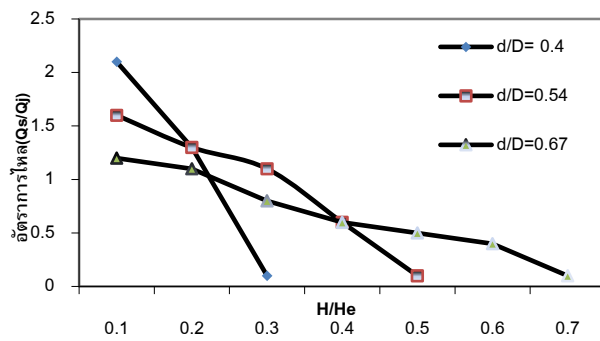
4.ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงในรูปความสัมพันธ์ต่าง ๆ ใน
รูปแบบกราฟได้ดังนี้



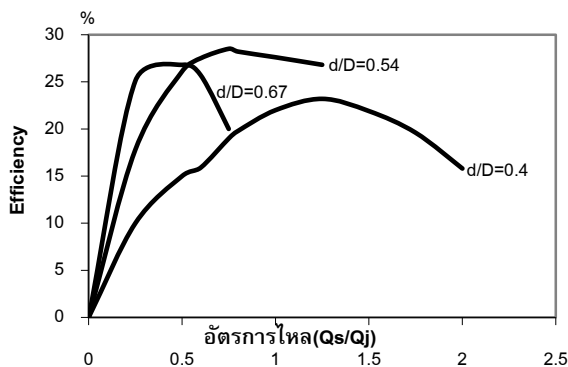
รูปที่ 5 เปรียบเทียบอัตราส่วนขนาดหัวฉีดต่ออัตราส่วนการไหล

จากกราฟรูปที่ 5 เปรียบเทียบผลการทดลองกับผล
การศึกษาที่มีผู้ศึกษาภายใต้เงื่อนไขที่ใกล้เคียงกันมา
ก่อนหน้านั้นพบว่ามีผลสอดคล้องในลักษณะ
เดียวกันคือเมื่อค่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีด
กับห้องผสม (d/D) มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าอัตราการ
ไหล (Q_s/Q_j) ลดลง



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของ Head ratio และ Flow rate ratio เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า d/D

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Head ratio (H/H_e) และค่า Flow rate ratio (Q_s/Q_j) โดยการเปลี่ยนแปลงค่า d/D พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่า Flow rate ratio ส่งผลให้ค่า Head ratio ลดลง



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและค่า อัตราการไหล (Q_s/Q_j) เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า d/D

รูปที่ 7 ทำให้ทราบความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพเมื่อเปลี่ยนแปลงค่า Flow rate ratio (Q_s/Q_j) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่า d/D นั้นส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพด้วยเช่นกันและจากการทดลองพบว่าจุดที่ให้ค่า ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 28.5% ที่ค่า Q_s/Q_j เท่ากับ 0.7 และมีค่า d/D เท่ากับ 0.54

5.สรุป

1. ผลการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนเฮด (Head ratio, H/H_e) มีค่าสูง ทำให้อัตราส่วนการไหล (Flow rate ratio, Q_s/Q_j) มีค่าลดลง และที่อัตราส่วนพื้นที่หัวฉีดกับห้องผสม (d/D) มีค่าสูงจะทำให้ อัตราส่วนการไหล (Flow rate ratio) ลดลง และจะส่งผลให้ อัตราส่วนเฮด (H/H_e) เพิ่มขึ้น
2. ที่อัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_j) เพิ่มขึ้นจะให้ค่า ประสิทธิภาพ (Efficiency) สูงขึ้นจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งแล้วจึงลดลงและที่ อัตราส่วนพื้นที่หัวฉีดกับห้องผสม (d/D) มีค่ามากพบว่าประสิทธิภาพ ลดลงและ จากผลการทดลองที่ อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด ของหัวฉีดกับห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.54 จะให้ค่า ประสิทธิภาพเท่ากับ 28.5% ที่ค่าอัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_j) เท่ากับ 0.7

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Gao Jifei, Gu Guowei, Zhao Zilong, Zhang Yalei, 2005. CFD Numerical Simulation Applied in the Design of the Jet Aerator, International Society for Environmental Information Sciences, Environmental Informatics Archives, Vol 3, pp. 226-231.
- [2] Adi Surjosatyo, Farid Nasir Ani, 2001. A numerical study of air flow in a coaxial pipe, Jurnal Teknologi, Universiti Teknologi Malaysia, 34(A) June, pp. 1-15.
- [3] A. Baylar, F. Ozkan, M. Ozturk, 2005. Influence of venture cone angle on jet aeration systems, Water Management 158, March, Issue WMI, pp. 9-16.
- [4] Anthony Esposito, Fluid Mechanics with Applications, ISBN: 0-13-042680-6
- [5] Bruce R. Munson, Donald F. Young, Okiishi Theodore, Fundamentals of Fluid Mechanics, 5th,

ISBN: 13:978-0-471-72578-7, ISBN: 10:0-471-72578-1.

[6] Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Thermodynamics An Engineer Approach, 6th, ISBN: 20-11-10-09-0

[7] Ueda., Trans. Japan Soc. Mech.Eng.Vol.20, No.89. (1954), 25.

[8] Mueller,N.H.G.,J. of Hydr.Div.ASCE, Vol.90.No.HY3. May, 1964.

[9] Reddy.Y.R.,J. of Hydr.Div.ASCE, Vol.80.No.HY5. Sep, 1968. 1261