

การศึกษาสมรรถนะของเจ็ทปั๊มสำหรับผสมของเหลวต่างชนิด

Study on Performance characteristics of Jet pumps for Different Liquids Mixing

ปฏิกาน เอกลักษณ์วัฒน์¹ และ จำลอง ปราบแก้ว²^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

e-mail: ektanawat7@hotmail.com, โทร. 0-2329-8350, โทรสาร. 0-2329-8352

บทคัดย่อ

เจ็ทปั๊มมีส่วนประกอบสำคัญคือ หัวฉีด, ท่อดูด, ท่อผสม และ ท่อลดความเร็ว โดยไม่มีชิ้นส่วนใดเคลื่อนที่หรือหมุน หลักการทำงานของเจ็ทปั๊มจะอาศัยหลักกลศาสตร์ของของไหล คือ การให้ของไหลที่มีความดันสูงไหลผ่านหัวฉีดด้วยความเร็วสูง ทำให้ความดันรอบๆ ปลายหัวฉีดตรงทางเข้าห้องผสมต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ส่งผลให้ของไหลที่อยู่ในช่องทางดูดถูกดูดเข้ามาในห้องผสมแล้วเกิดโมเมนตัมเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยระหว่างของไหลจากหัวฉีดกับของไหลจากท่อดูด โดยของไหลทั้งสองจะผสมกันและไหลผ่านท่อลดความเร็วแล้วไหลออกไปทางท่อส่ง มีการนำเอาเจ็ทปั๊มมาประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมหลายชนิด โครงการนี้ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊มเพื่อจะนำไปประยุกต์ใช้ในการผสมของเหลวต่างชนิดกัน โดยการวิเคราะห์หาสมการและเขียนโปรแกรมคำนวณค่าสมรรถนะของเจ็ทปั๊ม โดยการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดหัวฉีดผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดต่อขนาดต่อหัวผ่านศูนย์กลางของท่อผสม (d/D) = 0.4, 0.5 และ 0.6 โดยให้ของไหลจากหัวฉีดเป็นน้ำซึ่งมีค่าน้ำหนักจำเพาะ = 9810 นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร และของเหลวจากท่อดูดเป็นน้ำมันที่มีน้ำหนักจำเพาะ = 7926 นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร จากผลการคำนวณจะได้ค่าประสิทธิภาพสูงที่สุดที่ขนาดหัวฉีดผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดต่อขนาดต่อหัวผ่านศูนย์กลางของท่อดูด (d/D) = 0.6 และเมื่อนำผลการคำนวณไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองจะเห็นว่าสอดคล้องกัน

คำหลัก: เจ็ทปั๊ม, การผสมของเหลวต่างชนิด, สมรรถนะ

Abstract

Jet pump participate assemble important be Nozzle, Suction tube, Mixing tube and Diffuser tube the speed by have no which component moves or turn. The principle works of Jet pump will live science pillar of fluid be fluid give that have high pressure flows through the Nozzle with high speed make the pressure round head end Nozzle straight room entrance mixes to lower atmosphere pressure cause location fluid in the way sucks touch suck come in a room has mixed then is born momentum to move with the speed shares between fluid from the Nozzle with fluid from Suction tube. By bilateral fluid will mix and flow through a Diffuser tube go out tube way sends Jet pump want to every the components has losing energy flowing least. This project has studied to arrive at the efficiency will of Jet pump in order to induce apply in mixing liquid differs a kind. By the analysis seeks

the algebraic equation and write a program calculate to seek capacity value of Jet pump for study of something the size changes the junction in the Nozzle to build the size builds a changes the junction of a Mixing tube at $(d/D) = 0.4, 0.5$, and 0.6 by give fluid from the Nozzle which be valuable the weight particularly $= 9810 \text{ N/m}^3$ be liquid drives from the Nozzle and liquid from a Suction tube it that weigh particularly $= 7926 \text{ N/m}^3$ From the calculation will have efficiency High value most at temple size changes the junction in the Nozzle to build the size builds a temple changes the junction of a Suction tube $(d/D) = 0.6$

Keywords: Jet pump, liquids mixing, Performance

1. บทนำ

เจ็ทปั๊มถูกนำมาใช้งานอย่างหลากหลายเพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่นการนำเจ็ทปั๊มมาใช้งานสูบของเหลวที่มีสารแขวนลอย การใช้เจ็ทปั๊มดูดอากาศเพื่อการบำบัดน้ำเสีย หรือใช้เจ็ทปั๊มในการเพิ่มความดันด้านดูดของปั๊มแบบแรงเหวี่ยง เป็นต้น ได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับเจ็ทปั๊มหลายรายอย่างเช่น Gosline and O'Brien [1] ได้ศึกษาทฤษฎีการออกแบบเจ็ทปั๊มและพัฒนาทฤษฎีการคำนวณหาประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊มน้ำโดยอาศัยหลักการสมการพื้นฐานของกลศาสตร์ของไหล Mueller [2] ได้ศึกษาการหาสัมประสิทธิ์ความเร็วของหัวฉีดทางด้านง่ายและด้านดูดโดยพบว่าสัมประสิทธิ์ความเร็วการไหลออกจากหัวฉีดที่ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 0.95 ระยะห่างของปลายหัวฉีดถึงปากทางเข้าห้องผสมที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดมีขนาด 7.15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสมและมุมมองทางด้านง่ายหลังจากห้องผสมคือ 5 องศา นอกจากนี้ Vyas and Subir Kar [3] ได้ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ของเฮดการจ่าย, อัตราการดูด, อัตราส่วนความเร็ว ลักษณะของท่อจ่ายและอัตราส่วนความเร็วของการไหลในท่อดูดกับอัตราการไหลจากหัวฉีด และยังได้กล่าวถึงขั้นตอนการทดสอบหาประสิทธิภาพ มาตราฐานการวัดและเครื่องมือที่จะใช้หาคุณสมบัติของระบบเจ็ทปั๊มอีกด้วย สำหรับบทความนี้เป็นการนำเสนอขั้นตอนการวิเคราะห์สมการที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊มสำหรับการผสมของเหลวต่างชนิดที่มีคุณสมบัติ

แตกต่างกัน โดยอาศัยหลักการสมการการไหลพื้นฐาน และได้เขียนโปรแกรมแม็ตแลบสำหรับคำนวณหาประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊มสำหรับผสมของเหลวต่างชนิด

2. การวิเคราะห์สมการคำนวณประสิทธิภาพเจ็ทปั๊ม

การวิเคราะห์เพื่อการคำนวณประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊มจะใช้หลักการสมการโมเมนตัม สมการการไหลต่อเนื่อง และสมการพลังงาน และมีเงื่อนไขในการใช้ทฤษฎีต่างๆ คือ ของไหลทั้งสองไม่สามารถอัดตัวได้ ความเร็วเฉลี่ยแต่ละพื้นที่เท่ากันตลอดทั้งหน้าตัด อุณหภูมิทุกที่เท่ากันตลอด ไม่มีการสูญเสียความร้อนออกนอกระบบ ความหนาของหัวฉีดเท่ากับศูนย์ ระยะระหว่างปลายหัวฉีดกับทางเข้าห้องผสมมีค่าเท่ากับศูนย์ การกระจายความดันคงที่ตลอดภายในห้องผสม ไม่มีแรงภายนอกมากระทำ ของไหลเป็นสารบริสุทธิ์ไม่มีตะกอนหรือสิ่งเจือปน ประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊มนั้นจะขึ้นกับปัจจัยในหลายๆ อย่างและหลายๆ ตัวแปร บทความนี้จะทำการศึกษาตัวแปรที่ทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพคือ อัตราการไหล อัตราส่วนความดัน อัตราส่วนพื้นที่ของหัวฉีดและทางเข้าห้องผสม จึงทำให้ได้ประสิทธิภาพอยู่ในรูปของ อัตราการไหล และอัตราส่วนความดัน ความหมายของสัญลักษณ์ (Nomenclature) ที่ใช้มีดังนี้

A : พื้นที่หน้าตัด (m^2)

B : อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดระหว่างหัวฉีดและห้องผสม

C_d: ความเข้มข้นโดยปริมาตร (Concentration by volume)

C_{md} : ความเข้มข้นโดยมวล (Concentration by volume)

F : แรง (N)

H : Total head (m)

H_e : Effective head (m)

H_d : Discharge head (m)

H_p : Drive head (m)

H_s : Suction head (m)

h : Loss of head

K : Loss of factor

$\dot{M}$: อัตราการไหลโดยมวล (kg/s)

P : ความดัน (N/m^2)

Q : อัตราการไหลโดยปริมาตร (m^3/s)

v : ความเร็ว (m/s)

W : อัตราการไหลโดยน้ำหนัก (mg/s)

α : สัมประสิทธิ์ของความเร็ว (Coefficient of velocity)

γ : น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight)

ϵ : ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

μ : ค่าสัมประสิทธิ์การลื่นไถล (Slip factor)

Φ : Flow rate ratio

η : ประสิทธิภาพ (Efficiency)

สัญลักษณ์ตัวห้อย (Subscript)

-d : ด้านจ่าย (Diffuser)

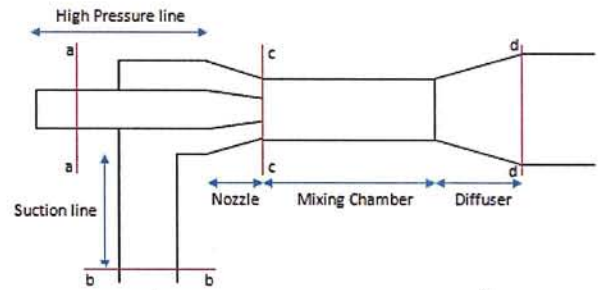
-j : หัวฉีด (Nozzle)

-mc : ห้องผสม (Mixing chamber)

-s : ด้านดูด (Suction side)

สมการประสิทธิภาพของปั๊มแบบหัวฉีด

$$\eta = \frac{\gamma_s Q_s H}{\gamma_j Q_j H_e} = \Phi \frac{H}{H_e} = \Phi \frac{H_d - H_s}{H_p - H_d} \quad (1)$$



รูปที่ 1 แสดงหน้าตัดต่างๆ ของเจ็ทปั๊ม

จากรูปที่ 1. แสดงพื้นที่หน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊ม โดยจะใช้ทฤษฎีโมเมนตัมระหว่างหน้าตัด c-c และ d-d ทฤษฎีสมดุลพลังงานระหว่างหน้าตัด a-a และ c-c ระหว่างหน้าตัด b-b และ c-c, และระหว่างหน้าตัด d-d และ e-e ใช้ทฤษฎีการไหลต่อเนื่องในการเชื่อมโยงสมการและตัวแปรต่างๆ เข้าด้วยกัน และใช้ทฤษฎีเบอร์นูลลี ในการหาเฮดของปั๊ม เฮดของท่อดูด เฮดของท่อส่ง วิธีการหาสมการเริ่มต้นด้วยสมการต่อเนื่อง

วิธีการหาสมการเริ่มต้นด้วยสมการต่อเนื่อง

$$Q_d = Q_j + Q_s \quad (2)$$

$$A_d = A_j + A_s \quad (3)$$

$$Q_s = \mu_s v_s A_s \quad (4)$$

$$W_d = W_j + W_s \quad (5)$$

$$\gamma_d Q_d = \gamma_j Q_j + \gamma_s Q_s \quad (6)$$

$$W_s = \gamma_s \mu_s v_s A_s \quad (7)$$

$$\Phi = \frac{W_s}{W_j} = \frac{Q_s \gamma_s}{Q_j \gamma_j} \quad (8)$$

$$\gamma_d = \frac{W_d}{Q_d} = \frac{W_s + W_j}{Q_s + Q_j} = \frac{Q_s \gamma_s + Q_j \gamma_j}{Q_s + Q_j} = \frac{(\Phi + 1) \gamma_j}{\Phi \gamma_j + \gamma_s} \quad (9)$$

$$C_d = \frac{Q_s}{Q_s + Q_j} = \frac{\Phi \gamma_j}{\Phi \gamma_j + \gamma_s} \quad (10)$$

$$v_s = \frac{Q_s}{\mu_s A_s} = \frac{\Phi Q_j \gamma_j}{\mu_s A_s \gamma_s} = \frac{\Phi v_j A_j \gamma_j}{\mu_s A_s \gamma_s} \quad (11)$$

$$Q_d = v_d A_d (1 - C_d) + \mu_d v_d A_d C_d = v_d A_d [\mu_d C_d + (1 - C_d)] \quad (12)$$

$$v_d = \frac{Q_d}{A_d [\mu_d C_d + (1 - C_d)]} = \frac{B v_j (1 + \Phi \frac{\gamma_j}{\gamma_s})}{[\mu_d C_d + (1 - C_d)]} \quad (13)$$

$$B = \frac{A_j}{A_d} \quad (14)$$

$$(1-B) = \frac{A_s}{A_d} \quad (15)$$

$$\left(\frac{B}{1-B}\right) = \frac{A_j}{A_s} \quad (16)$$

พิจารณาสมการโมเมนต์ระหว่างพื้นที่หน้าตัด c-c และ d-d

$$\begin{aligned} \sum F &= \sum F_{bx} + \sum F_{sx} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \int_{cv} \rho v_x dV + \int_{cs} \rho v_x \bar{v} d\bar{A} \end{aligned}$$

สมการโมเมนต์ที่หน้าตัด c-c

$$F_{mc} = \frac{v_j^2}{2g} \gamma_j A_j \left(2 + \frac{2\Phi^2 \gamma_j A_j}{\mu_s \gamma_s A_s} \right) v_s \quad (17)$$

สมการโมเมนต์ที่หน้าตัด d-d

$$F_{md} = \frac{v_j^2}{2g} \gamma_j A_j \frac{B(1+\Phi \gamma_j / \gamma_s)}{[\mu_d C_d + (1-C_d)]} (2 + 2\mu_d \Phi) \quad (18)$$

สมการโมเมนต์การสูญเสียแรงเสียดทานภายในผิวของห้องผสม ระหว่างหน้าตัด c-c ถึง d-d

$$F_t = \frac{v_j^2}{2g} \frac{B^2(1+\Phi \gamma_j / \gamma_s)^2}{[\mu_d C_d + (1-C_d)]^2} K_{mc} A_d \gamma_d \quad (19)$$

สมการโมเมนต์การหาแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันที่เปลี่ยนแปลง

$$\begin{aligned} F_p &= \int_0^r (P_d - P_c) 2\pi r dr \\ &= \int_0^r P_d 2\pi r dr - \int_0^r P_c 2\pi r dr \end{aligned}$$

จากกฎอนุรักษ์โมเมนต์

$$\begin{aligned} \sum F_c &= \sum F_d \\ F_p &= \frac{v_j^2}{2g} \left[B \left(2 + \frac{2\Phi^2 \gamma_j B}{\mu_s \gamma_s (1-B)} \right) - \frac{B^2(1+\Phi \gamma_j / \gamma_s)}{[\mu_d C_d + (1-C_d)]} \right. \\ &\quad \times (2 + 2\mu_d \Phi) - \left. \frac{B^2(1+\Phi \gamma_j / \gamma_s)^2}{[\mu_d C_d + (1-C_d)]^2} K_{mc} \frac{\gamma_d}{\gamma_j} \right] \quad (20) \end{aligned}$$

พิจารณาจากสมการเบอร์นูลลีในการหาเฮดปั๊ม

$$H_p = \int_0^r \frac{P_c 2\pi r}{A_c \gamma_j} dr + \frac{v_j^2}{2g} (\alpha_j + k_j) \quad (21)$$

พิจารณาจากสมการ เบอร์นูลลีในการหาเฮดท่อดูด

$$H_s = \int_0^r \frac{P_c 2\pi r}{A_c \gamma_j} dr + \frac{v_j^2}{2g} \frac{\Phi^2 B^2}{(1-B)^2} \left(\frac{\gamma_j}{\gamma_s} \right)^2 \frac{\varepsilon_s}{\mu_s^2} (\alpha_s \mu_s^2 + K_s) \quad (22)$$

$$h_s = K_s \frac{v_s^2}{2g}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_j}$$

พิจารณาจากสมการเบอร์นูลลีในการหาเฮดท่อส่ง

$$\begin{aligned} H_d &= \int_0^r \frac{P_d 2\pi r}{A_d \gamma_j} dr - \frac{v_j^2}{2g} \frac{\varepsilon_d B^2 (1+\Phi \gamma_j / \gamma_s)^2}{[\mu_d C_d + (1-C_d)]^2} \\ &\quad \times [K_{dif} - \alpha_d (1 - C_{md} + C_{md} \mu_d^2)] \quad (23) \end{aligned}$$

$$\varepsilon_d = \frac{\gamma_d}{\gamma_j}$$

$$C_{dm} = \frac{\Phi \gamma_j \gamma_s}{\Phi \gamma_j \gamma_d + \gamma_s \gamma_d} \quad (24)$$

สมการประสิทธิภาพเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์คือ

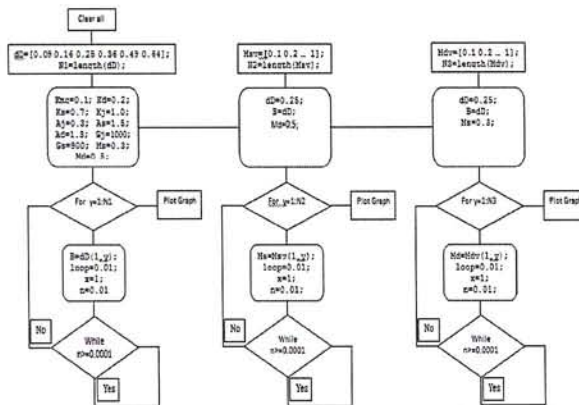
$$\eta = \frac{\gamma_s Q_s H}{\gamma_j Q_j H_p} \times 100\% = \Phi \frac{H}{H_p} \times 100\% = \Phi \frac{H_d - H_s}{H_p - H_d} \times 100\% \quad (25)$$

รูปที่ 2 แสดงเฮดที่ของระบบเจ็ทปั๊ม

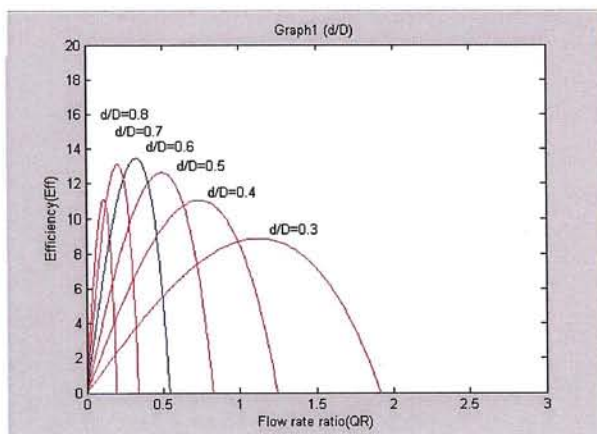
3. การคำนวณและผลการคำนวณ

จากการคำนวณด้วยโปรแกรมแมตแล็บดังรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับอัตราส่วนการไหล โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดหัวฉีดพบว่าที่สัดส่วนของวัดผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (d/D) = 0.6 ทำให้เจ็ทปั๊มมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ประมาณ 15 % เมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเทียบอัตราส่วนของเฮดดังแสดงในรูปที่ 4 ก็พบว่าที่ขนาดสัดส่วนของหัวฉีดกับห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.6 จะให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ประมาณ 14 % ส่วนรูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหลกับอัตราส่วน

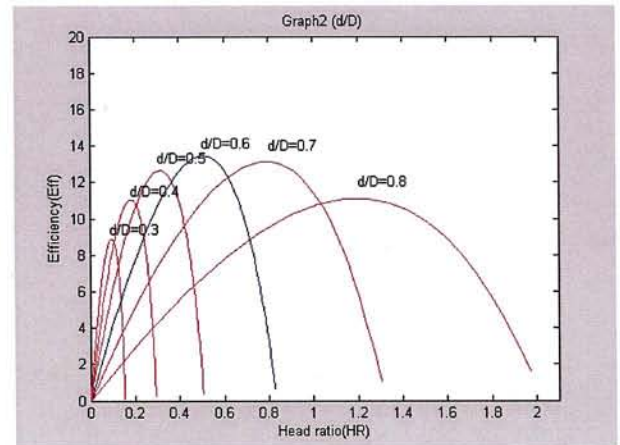
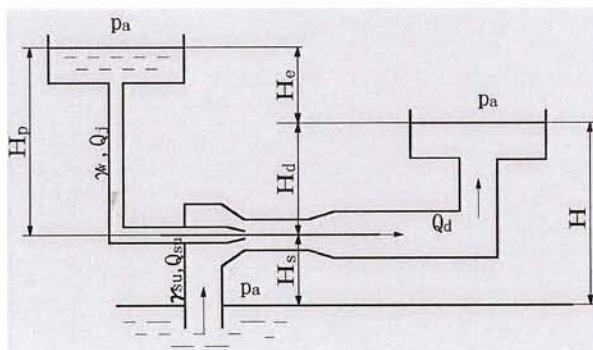
เฮด จะพบว่าที่อัตราส่วนขนาดของหัวฉีดกับห้องผสมมีค่าน้อยจะทำให้อัตราส่วนการไหลมีค่ามากและอัตราส่วนเฮดก็จะน้อยลง และเมื่อค่า (D/d) มีค่ามากขึ้นค่าอัตราส่วนการไหลจะลดลงโดยค่าสัดของเฮดมีค่ามากขึ้น



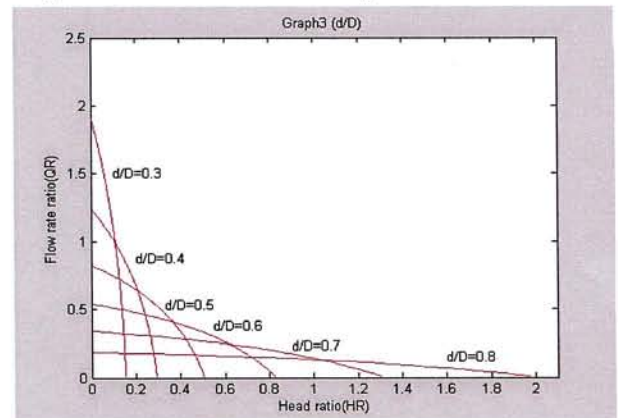
รูปที่ 3 แสดงการขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพกับอัตราส่วน
การไหลโดยเปรียบเทียบอัตราส่วนของวัดผ่านศูนย์กลาง
ของหัวฉีดกับวัดผ่านศูนย์กลางของท่อผสม



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพและอัตราส่วนของเฮดโดยเปรียบเทียบอัตราส่วนของวัดผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดกับวัดผ่านศูนย์กลางของท่อผสม



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการไหลกลับ
อัตราส่วนของเฮดโดยเปรียบเทียบกับอัตราส่วนของวัดผ่าน
ศูนย์กลางของหัวฉีดกับวัดผ่านศูนย์กลางของท่อผสม

4. การทดลองและผลการทดลอง

ประกอบชุดทดลองของและอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 6 แล้วทำการทดลองตามขั้นตอนดังนี้

4.1 เปิดสวิตช์ให้ปั๊มหอยโข่งทำงานและเปิดวาล์ว 1 และ ปิดวาล์ว 2

4.2 เมื่อปั๊มเริ่มทำงานให้การเปิดวาล์ว 2 ให้เต็มที
แล้วปิดวาล์ว 1 เปิดวาล์ว 4 และเปิดวาล์ว 3

4.3 แต่ต้องเปิดให้วาล์ว 4 ได้ความดัน (P_d) ตามที่
ต้องการให้ได้ P_d มา 5 ค่า

4.4 P_d แต่ละค่าจะต้องค้างไว้ 3 วินาทีแล้วปิดวาล์ว 3 เพื่อดูว่าระดับน้ำมันใน 3 วินาทีนั้นของท่อทางลดลงไปขนาดไหน เอาค่าที่ปริมาตรหายไปนั้นหารด้วย

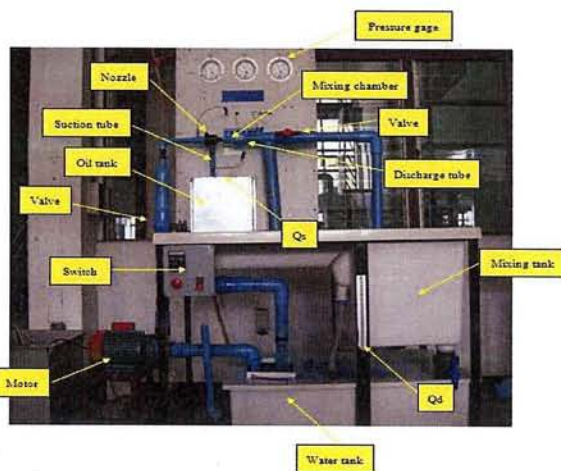
3 วินาที จะได้ค่า อัตราการไหลที่ท่อจุด (Q_s) เปิดวาล์ว 3 ต่อไปเมื่อต้องการ P_d ที่ค่าใหม่

4.5 P_d แต่ละค่าจะต้องค้างไว้ 3 วินาทีแล้วปิดวาล์ว 3 เพื่อดูว่าระดับน้ำมันพื้กับน้ำ (ในถังผสม) ใน 3 วินาทีนั้นของท่อทางจ่ายเพิ่มไปขนาดไหน เอาค่าที่ปริมาตรเพิ่มนั้นหารด้วย 3 วินาทีจะได้ค่าอัตราการไหลที่ท่อจุด (Q_d) เปิดวาล์ว 3 ต่อไปเมื่อต้องการ P_d ที่ค่าใหม่ ในหัวฉีดแต่ละขนาดจะวัด P_d , Q_s และ Q_d ได้ 5 ค่า

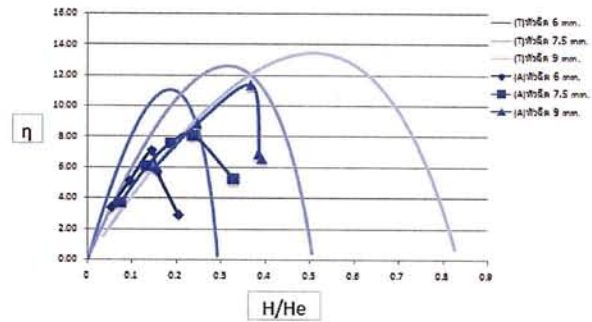
4.6 หลังจากเสร็จจากขั้นตอนที่ 4.5 แล้วให้ทำการเปลี่ยนขนาดของหัวฉีดแล้วทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 4.1-4.5 ใหม่โดยการเปลี่ยนขนาดหัวฉีดจนครบทั้ง 3 ขนาด

เงื่อนไขในการทดลองในการเปลี่ยนขนาดของหัวฉีดแต่ละครั้งต้องให้ทางด้านส่วนปลายของหัวฉีดอยู่ห่างจากส่วนของทางเข้าห้องผสมเป็นระยะที่คงที่ในการทดสอบทุกครั้งต้องสำรวจรอยรั่วของอุปกรณ์ทางด้านดูดของปั๊มคอยังทุกครั้งเพื่อไม่ให้เกิดฟองอากาศไหลเข้ามาในส่วนของหัวฉีด

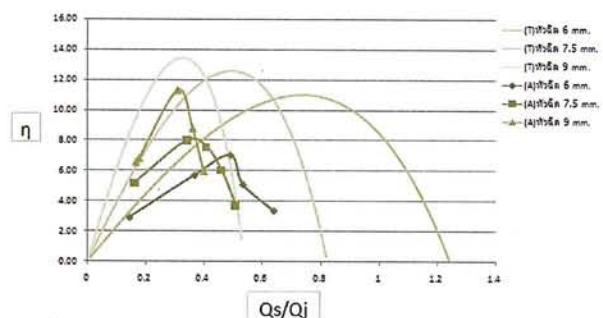
ชุดทดลองและอุปกรณ์การทดลองดังแสดงในรูปที่ 6 การทดลองจะทำการเปลี่ยนขนาดวัดผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดต่อขนาดวัดผ่านศูนย์กลางของห้องผสม (d/D) ซึ่งจะได้ผลการทดลองเปรียบเทียบกับผลการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 7-9



รูปที่ 6 แสดงชุดทดสอบและตำแหน่งต่างๆของอุปกรณ์

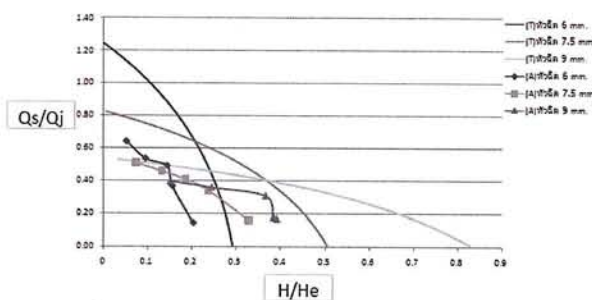


รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพและอัตราส่วนของเฮดโดยเปรียบเทียบอัตราส่วนของวัดผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดกับวัดผ่านศูนย์กลางของท่อผสม รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนของเฮดได้กับเฮดสูญเสีย (H/H_e) โดยเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับผลการคำนวณ จะเห็นว่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 11.3 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนของเฮดได้กับเฮดสูญเสียเท่ากับ 0.37 ในอัตราส่วนของวัดผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดกับวัดผ่านศูนย์กลางของท่อผสมเท่ากับ 0.6 และเมื่อลดขนาดของอัตราส่วนวัดผ่านศูนย์กลางขึ้นเป็น 0.5 และ 0.4 จะได้ประสิทธิภาพลดลงในอัตราส่วนของเฮดได้กับเฮดสูญเสียที่ลดลงโดยอัตราส่วนวัดผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.4 จะมีประสิทธิภาพต่ำสุดเท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนของเฮดได้กับเฮดสูญเสียที่ 0.15 ลักษณะกราฟเป็นเส้นโค้งทั้ง 3 ขนาดสอดคล้องกับทฤษฎี



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลโดยเปรียบเทียบอัตราส่วนของวัดผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดกับวัดผ่านศูนย์กลางของท่อผสม

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนอัตราการไหลของของเหลวในท่อชุดกับของเหลวที่หัวฉีด (Q_s/Q_j) โดยเปรียบเทียบที่ได้จากการทดลองกับผลการคำนวณ แสดงให้เห็นได้ว่าประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 11.3 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนของอัตราการไหลเท่ากับ 0.29 ในอัตราส่วนของวัดผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดกับวัดผ่านศูนย์กลางของท่อผสมเท่ากับ 0.6 และเมื่อลดขนาดของอัตราส่วนวัดผ่านศูนย์กลางขึ้นเป็น 0.5 และ 0.4 จะได้ประสิทธิภาพลดลงในอัตราส่วนของอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนวัดผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.4 จะมีประสิทธิภาพต่ำสุดเท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนของอัตราการไหลอยู่ที่ 0.47 ลักษณะกราฟเป็นเส้นโค้งทั้ง 3 ขนาดสอดคล้องกับทฤษฎี



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับอัตราส่วนของเฮดโดยเปรียบเทียบอัตราส่วนของวัดผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดกับวัดผ่านศูนย์กลางของท่อผสม

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอัตราการไหลของของเหลวที่ท่อชุดกับอัตราการไหลของของเหลวที่หัวฉีด ระหว่างการทดลองกับทฤษฎีด้วยอัตราส่วนของเฮดได้กับเฮดเสียแสดงลักษณะของเส้นกราฟว่าความสัมพันธ์ทั้งสองตัวแปรจะมีรูปแบบที่ต่างกันในแต่ละอัตราส่วนวัดผ่านศูนย์กลางโดยอัตราส่วนวัดผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 จะมีค่าอัตราส่วนของอัตราการไหลเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนของเฮดได้กับเฮดเสียลดลง ลักษณะกราฟเป็นเส้นโค้งทั้ง 3 ขนาดสอดคล้องกับทฤษฎี

5. สรุปผลการทดลอง

5.1 จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Matlab ได้ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 13.8 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_j) เท่ากับ 0.37 และอัตราส่วนของเฮด (H_e/H) เท่ากับ 0.57 โดยอัตราส่วนของวัดผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดกับวัดผ่านศูนย์กลางของท่อผสม (d/D) เท่ากับ 0.6

5.2 ผลการทดลองได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 11.3 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนของอัตราการไหล 0.29 และอัตราส่วนของเฮดเท่ากับ 0.37 ที่อัตราส่วนของวัดผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดกับวัดผ่านศูนย์กลางของท่อผสมเท่ากับ 0.6 โดยความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของอัตราการไหล เมื่อเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้อัตราส่วนของ เฮดลดลง ความสัมพันธ์แปรผกผันกัน

5.3 เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลอง ปรากฏว่ามีแนวโน้มสอดคล้องกัน มีค่าค่าแตกต่างเท่ากับทฤษฎีเท่ากับ 18 เปอร์เซ็นต์จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสูงสุดของการคำนวณกับการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. E. Gosline and M. P. O'Brien, "The Water Jet Pump", University of California Publications in Engineering, Vol. 3, No.3, pp. 167-190, (1934).
- [2] N. H. G. Mueller, "Water Jet Pump", Journal of Hydraulic Division, Vol. 90, No. HY 3, pp. 83-113, (1964).
- [3] B.D Vyas and Subir Kar, "Standardization of Water Jet Pumps", BHRA Fluid Engineering, Symposium on Jet Pumps and Ejectors, London, pp155-170, 1st November (1972).