

การวิเคราะห์มิติและการหาสหสัมพันธ์สำหรับเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

Dimensional Analysis and Determination of Empirical Correlation for Centrifugal Pump

มานพ พิพัฒน์หัตถกุล* และ มกร ลักขณา

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

833 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์: 0-2219-3833 E-mail: Nop_mt@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์มิติ ได้ศึกษาโดยใช้วิธีของเรย์เลห์ สำหรับใช้ทำนายสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งวิธีของเรย์เลห์ใช้ในการหากลุ่มตัวแปรไร้มิติ ได้แก่ สัมประสิทธิ์กำลัง, สัมประสิทธิ์การไหล และสัมประสิทธิ์เฮด จากนั้นแสดงการหาสหสัมพันธ์ โดยใช้การถดถอยแบบเชิงเส้น และแสดงวิธีการทดลองกับเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เพื่อนำผลจากการทดลองมาหาสหสัมพันธ์ ซึ่งสหสัมพันธ์ที่ทำได้ อยู่ในรูปของเลขยกกำลังระหว่าง สัมประสิทธิ์กำลัง กับสัมประสิทธิ์การไหล และสัมประสิทธิ์เฮด โดยค่าคงที่ และเลขชี้กำลังในสหสัมพันธ์สามารถหาได้จากผลการทดลอง

คำสำคัญ: การวิเคราะห์มิติ สัมประสิทธิ์กำลัง สัมประสิทธิ์การไหล สัมประสิทธิ์เฮด เครื่องสูบน้ำ

Abstract

The dimensional analysis was studied using Rayleigh's method for predict the performance of centrifugal pump. Rayleigh's method use to find the dimensionless groups such as the power coefficient, flow coefficient and head coefficient. The empirical correlation was determined by linear regression. This linear regression was obtained from the experiment in the centrifugal pump. The present study showed the correlation of the dimensionless groups. The constant and exponent of correlation was also obtained from the result of this experiment.

Keywords: dimensional analysis, power coefficient, flow coefficient, head coefficient, pump

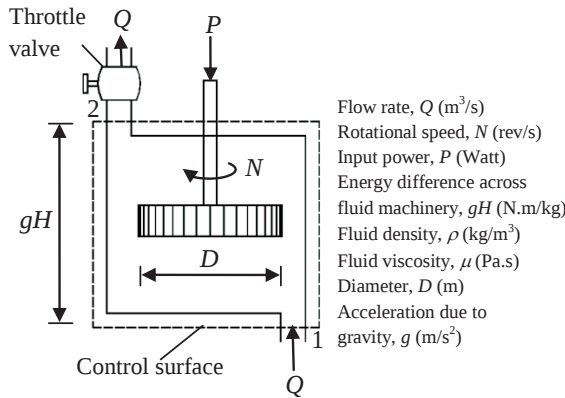
1. คำนำ

กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ เพื่อขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง จะขึ้นอยู่กับ อัตราการไหล, เฮด, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด, ชนิดของของไหล, ความเร็วรอบ เป็นต้น เนื่องจากตัวแปร ที่ส่งผลกระทบต่อ กำลังไฟฟ้า ที่จ่ายให้กับมอเตอร์นั้นมีมาก ในการทำการทดลอง เพื่อดูผลกระทบของตัวแปรต่างๆ เหล่านั้น จะใช้วิธีการวิเคราะห์มิติ เพื่อสร้างกลุ่มตัวแปรไร้มิติขึ้น และใช้ผลที่ได้จากการทดลอง มาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หรือสหสัมพันธ์ ที่อยู่ในรูปของตัวแปรไร้มิติ เพื่อทำนายสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำที่ต้องการ ดังนั้นในการศึกษานี้ จะนำเสนอวิธีการสร้างกลุ่มตัวแปรไร้มิติ โดยวิธีของเรย์เลห์ (Rayleigh's method) และแสดงการหาสหสัมพันธ์ ในรูปของตัวแปรไร้มิติ โดยใช้การถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear regression) เพื่อทำนายกำลังไฟฟ้า ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

2. การวิเคราะห์มิติ

เมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเครื่องต้นกำลังเพื่อขับเคลื่อนเครื่องจักรกลของไหลเป็น P ดังรูปที่ 1 ของไหลที่อัดตัวไม่ได้ ที่มีค่าความหนาแน่นเป็น ρ มีความหนืดเป็น μ ไหลผ่านปริมาตรควบคุมจากตำแหน่งที่ 1 จนถึงตำแหน่งที่ 2 ด้วยอัตราการไหล Q ซึ่งสามารถควบคุมอัตราการไหลได้ โดยการปรับวาล์วปีกผีเสื้อ (Throttle valve) ของไหลซึ่งได้รับพลังงานจากใบพัด ได้ค่าความแตกต่างของเฮดเมื่อไหลผ่าน

ปริมาตรควบคุมเป็น H ถ้าปริมาตรควบคุม ถูกแทนด้วย เครื่องจักรที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดเป็น D และ หมุนด้วยความเร็วรอบเป็น N แล้ว



รูปที่ 1 ปริมาตรควบคุมของแบบจำลองเครื่องจักรกลของไหล

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเครื่องจักรกลของไหล จะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆดังสมการที่ 1 [1,2]

$$P = f(\rho, N, \mu, D, Q, (gH)) \quad (1)$$

เมื่อ gH คืองานต่อหนึ่งหน่วยมวลของของไหลที่ไหลผ่าน เครื่องจักรมีหน่วยเป็น N.m/kg จากสมการที่ (1) โดยการใช้ วิธีการวิเคราะห์มิติ ของเรย์เลห์ เครื่องหมายฟังก์ชัน f จะ เขียนให้อยู่ในรูปของค่าคงที่ ที่ยังไม่รู้ค่า และผลคูณของตัวแปรต่างๆ ยกกำลังค่าคงที่ใดๆ ดังสมการที่ (2)

$$P = \text{const}(\rho^a N^b \mu^c D^d Q^e (gH)^f) \quad (2)$$

มิติพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์มิติ คือ MLT ซึ่งมิติของมวล เป็น M (kg), มิติของความยาวเป็น L (m) และมิติของเวลาเป็น T (sec) เมื่อเขียนมิติของตัวแปรต่างๆในสมการที่ (2) ให้อยู่ในรูปของมิติพื้นฐาน MLT ได้ดังสมการที่ (3)

$$\left[\frac{ML^2}{T^3} \right] = \text{const} \left[\left(\frac{M}{L^3} \right)^a \left(\frac{1}{T} \right)^b \left(\frac{M}{LT} \right)^c (L)^d \left(\frac{L^3}{T} \right)^e \left(\frac{L^2}{T^2} \right)^f \right] \quad (3)$$

เมื่อเทียบสัมประสิทธิ์ชี้กำลังของมิติ MLT ของสมการที่ (3) โดยให้มิติ MLT ของสมการทางด้านซ้ายเท่ากับทางด้านขวา ได้ดังสมการที่ (4)

$$\begin{aligned} M: & 1 = a + c \\ L: & 2 = -3a - c + d + 3e + 2f \\ T: & -3 = -b - c - e - 2f \end{aligned} \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) มี 3 สมการ ในขณะที่มีตัวแปร 6 ตัว ดังนั้น จะสามารถแก้สมการที่ (4) ให้อยู่ในเทอมของตัวแปรที่เหลือ อีก 3 ตัว เมื่อเลือก a, b และ d ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ชี้กำลังของ กลุ่มตัวแปรที่แสดง คุณสมบัติของของไหล, การเคลื่อนที่ และ ขนาด ดังนั้นจะสามารถแก้สมการที่ (4) ให้ a, b และ d อยู่ในเทอมของ c, e และ f ได้ดังสมการที่ (5)

$$\begin{aligned} a &= 1 - c \\ b &= 3 - c - e - 2f \\ d &= 5 - 2c - 3e - 2f \end{aligned} \quad (5)$$

แทนค่า a, b และ d ที่ได้ลงในสมการที่ (2) ได้ดังสมการที่ (6)

$$P = \text{const}(\rho^{(1-c)} N^{(3-c-e-2f)} \mu^c D^{(5-2c-3e-2f)} Q^e (gH)^f) \quad (6)$$

จัดกลุ่มสัมประสิทธิ์ชี้กำลังของสมการที่ (6) ได้ดังสมการที่ (7) และ (8)

$$P = \text{const} \left[(\rho N^3 D^5) \left(\frac{\mu}{\rho N D^2} \right)^c \left(\frac{Q}{N D^3} \right)^e \left(\frac{gH}{N^2 D^2} \right)^f \right] \quad (7)$$

$$\frac{P}{\rho N^3 D^5} = \text{const} \left[\left(\frac{\mu}{\rho N D^2} \right)^c \left(\frac{Q}{N D^3} \right)^e \left(\frac{gH}{N^2 D^2} \right)^f \right] \quad (8)$$

จากสมการที่ (8) ในเทอมแรกทางด้านขวามือของสมการ ผลคูณของ N และ D จะมีมิติเป็น ความยาวต่อเวลา หรือเป็น มิติของความเร็วนั่นเอง ดังนั้นจึงสามารถเขียน ND ให้อยู่ในรูปของความเร็ว V แทนซึ่งทำให้ เทอมแรกทางด้านขวามือของสมการกลายเป็นสัดส่วนผกผันของเลขเรย์โนลด์ส์ (Reynolds number) ในขณะที่สัมประสิทธิ์ c เป็นสัมประสิทธิ์

ที่ยังไม่รู้ค่า ดังนั้นเทอมดังกล่าว จึงขึ้นอยู่กับเลขเรย์โนลด์ส์ ดังสมการที่ (9)

$$\frac{P}{\rho N^3 D^5} = \text{const} \left[\left(\frac{1}{\text{Re}} \right)^c \left(\frac{Q}{ND^3} \right)^e \left(\frac{gH}{N^2 D^2} \right)^f \right] \quad (9)$$

แต่ละเทอมของกลุ่มตัวแปร ที่ปรากฏในสมการที่ (9) จะเป็นกลุ่มตัวแปรไร้มิติ ที่ใช้สำหรับการทดสอบหาสมรรถนะ ของเครื่องจักรกลของไหล ซึ่งมีชื่อเรียกกลุ่มตัวแปรไร้มิตินี้ดังสมการที่ (10), (11), (12) และ (13) ตามลำดับ

$$\frac{P}{\rho N^3 D^5} = \bar{P} \quad \text{สัมประสิทธิ์กำลัง} \quad (10)$$

(The power coefficient)

$$\frac{Q}{ND^3} = \phi \quad \text{สัมประสิทธิ์การไหล} \quad (11)$$

(The flow coefficient)

$$\frac{gH}{N^2 D^2} = \psi \quad \text{สัมประสิทธิ์เฮด} \quad (12)$$

(The head coefficient)

$$\text{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} \quad \text{เลขเรย์โนลด์ส์} \quad (13)$$

(The Reynolds number)

P = กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเครื่องต้นกำลัง มีหน่วยเป็น Watt

ρ = ความหนาแน่นของของไหล มีหน่วยเป็น kg/m^3

N = ความเร็วรอบของเครื่องจักร มีหน่วยเป็น rev/s

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด มีหน่วยเป็น m

Q = อัตราการไหล มีหน่วยเป็น m^3/s

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 9.81 m/s^2

H = เฮดที่เครื่องจักรทำได้ มีหน่วยเป็น m

V = ความเร็วของของไหล มีหน่วยเป็น m/s

μ = ความหนืดสถิตยของของไหล มีหน่วยเป็น Pa.s

จากสมการที่ (1) และ (9) เมื่อพิจารณาให้อยู่ในรูปของฟังก์ชัน สามารถเขียน สัมประสิทธิ์กำลัง ให้เป็นฟังก์ชันของ เลขเรย์โนลด์ส์, สัมประสิทธิ์การไหล และสัมประสิทธิ์เฮด ได้ดังสมการที่ (14)

$$\bar{P} = f(\text{Re}, \phi, \psi) \quad (14)$$

เนื่องจากโดยปกติ เมื่อเครื่องจักรทำงาน เลขเรย์โนลด์ส์จะสูงมาก ดังนั้นสมการที่ (14) จะลดรูปได้ดังสมการที่ (15)

$$\bar{P} = f(\phi, \psi) \quad (15)$$

3. สหสัมพันธ์ของเครื่องสูบบนแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

การหาสหสัมพันธ์ของเครื่องสูบบนแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งอยู่ในรูปของเลขยกกำลังคูณกับค่าคงที่ใดๆ จะใช้วิธีการถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear regression) [3] จากสมการที่ (9) และสมการที่ (15) จะสามารถเขียนสหสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์กำลังกับสัมประสิทธิ์การไหล และสัมประสิทธิ์เฮด ได้ดังสมการที่ (16) ซึ่งค่าคงที่ C , M และ N จะสามารถหาได้จากข้อมูลการทดลอง

$$\bar{P} = C \phi^M \psi^N \quad (16)$$

โดยที่ค่า C , M และ N เป็นค่าคงที่ซึ่งเราต้องการหาค่า โดยการจัดรูปสมการที่ (16) ให้อยู่ในรูปแบบของสมการลอการิทึม และจากคุณสมบัติของลอการิทึมจะได้ดังสมการที่ (17)

$$\text{Log } \bar{P} = \text{Log } C + M \text{Log } \phi + N \text{Log } \psi \quad (17)$$

เมื่อกำหนดให้

$$z = \text{Log } \bar{P} \quad , \quad x = \text{Log } \phi \quad , \quad y = \text{Log } \psi$$

$$a_0 = \text{Log } C \quad , \quad a_1 = M \quad , \quad a_2 = N$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่า z , x , y , a_0 , a_1 และ a_2 ลงในสมการที่ (17) จะได้ดังสมการที่ (18)

$$z = a_0 + a_1 x + a_2 y \quad (18)$$

หากกำหนดให้ $g(x,y)$ เป็นค่าของฟังก์ชันที่ตำแหน่ง i ใดๆ

$$g(x,y) = z = a_0 + a_1 x + a_2 y \quad (19)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (19) ผลรวมของค่าความแตกต่างยกกำลังสอง ระหว่างข้อมูลที่ได้จากการทดลอง กับค่าของฟังก์ชัน $g(x,y)$ ที่ตำแหน่ง i ใดๆ จากข้อมูลทั้งหมดจำนวน n ข้อมูล (E) สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (20)

$$E = \sum_{i=1}^n [z_i - g(x_i, y_i)]^2$$

$$E = \sum_{i=1}^n [z_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i)]^2 \quad (20)$$

ต้องการหาค่าผลรวมของค่าความแตกต่างยกกำลังสอง ให้มีค่าน้อยที่สุดดังนั้นทำได้โดยการหาอนุพันธ์สมการที่ (20) เทียบกับค่าคงที่ a_0 , a_1 และ a_2 แล้วให้หาค่าเท่ากับศูนย์ เพื่อหาค่าต่ำสุด ได้ดังสมการที่ (21a), (21b) และ (21c) ตามลำดับ

$$\frac{\partial E}{\partial a_0} = 0$$

$$2 \sum_{i=1}^n [z_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i)](-1) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n z_i - \sum_{i=1}^n a_0 - \sum_{i=1}^n a_1 x_i - \sum_{i=1}^n a_2 y_i = 0$$

$$n a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) a_1 + \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) a_2 = \sum_{i=1}^n z_i \quad (21a)$$

$$\frac{\partial E}{\partial a_1} = 0$$

$$2 \sum_{i=1}^n [z_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i)](-x_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n x_i z_i - \sum_{i=1}^n a_0 x_i - \sum_{i=1}^n a_1 x_i^2 - \sum_{i=1}^n a_2 x_i y_i = 0$$

$$\left(\sum_{i=1}^n x_i \right) a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i \right) a_2 = \sum_{i=1}^n x_i z_i \quad (21b)$$

$$\frac{\partial E}{\partial a_2} = 0$$

$$2 \sum_{i=1}^n [z_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i)](-y_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n y_i z_i - \sum_{i=1}^n a_0 y_i - \sum_{i=1}^n a_1 x_i y_i - \sum_{i=1}^n a_2 y_i^2 = 0$$

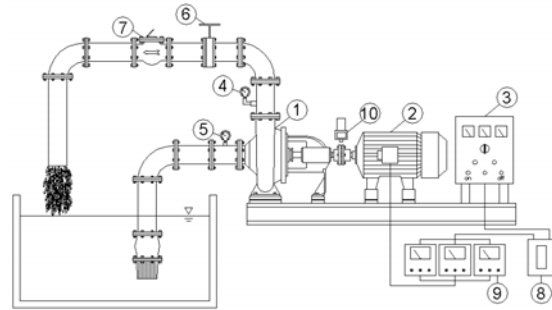
$$\left(\sum_{i=1}^n y_i \right) a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i \right) a_1 + \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right) a_2 = \sum_{i=1}^n y_i z_i \quad (21c)$$

จากสมการที่ (21a), (21b) และ (21c) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ได้ดังสมการที่ (22)

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ \sum_{i=1}^n y_i & \sum_{i=1}^n x_i y_i & \sum_{i=1}^n y_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n z_i \\ \sum_{i=1}^n x_i z_i \\ \sum_{i=1}^n y_i z_i \end{bmatrix} \quad (22)$$

จากสมการที่ (22) ที่อยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ จะสามารถแก้สมการ เพื่อหาค่าคงที่ a_0 , a_1 และ a_2 ได้ ซึ่งจะได้ว่า $C=10\%$, $M=a_1$ และ $N=a_2$ หลังจากนั้นนำค่า C , M และ N แทนค่าลงในสมการ (16) ก็จะได้สหสัมพันธ์ ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับสัมประสิทธิ์การไหล และสัมประสิทธิ์เฮด ตามที่ต้องการ

4. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง



- | | |
|---------------------|----------------|
| 1. Centrifugal pump | 6. Gate valve |
| 2. Electric motor | 7. Flow meter |
| 3. Control unit | 8. Inverter |
| 4. Pressure gauge | 9. Watt meter |
| 5. Vacuum gauge | 10. Tachometer |

รูปที่ 2 Schematic diagram ของอุปกรณ์ทดลอง

ติดตั้งอุปกรณ์ ดังรูปที่ 2 เพื่อทดลองหาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้า ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง [4,5] เมื่อเริ่มต้นจ่ายกำลังไฟฟ้าจากตู้ควบคุม (3) ผ่านอินเวอร์เตอร์ (8) มอเตอร์ไฟฟ้า (2) เริ่มการทำงาน โดยอ่านค่าความเร็วรอบได้จาก Tachometer (10) ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า (2) โดยใช้อินเวอร์เตอร์ (8) จนกระทั่งได้ความเร็วรอบที่

ต้องการ จากนั้นปรับวาล์วประตูน้ำ (6) ให้เปิดสุด สามารถบันทึกค่า ความดันทางด้านดูด (5), ความดันทางด้านจ่าย (4) และบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า ได้จากวัตต์มิเตอร์ทั้ง 3 ตัว (9) จากนั้น ปรับวาล์วประตูน้ำ (6) ให้อัตราการไหลลดลง ตามต้องการ และบันทึกค่าความดันทางด้านดูด (5), ความดันทางด้านจ่าย (4) และบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่วัตต์มิเตอร์ทั้ง 3 ตัว (9) ซ้ำอีกครั้ง จนถึงอัตราการไหลต่ำสุดที่ต้องการ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้า, อัตราการไหล และ เซด ที่ความเร็วรอบคงที่ค่าหนึ่ง จากนั้นทำการเปลี่ยนความเร็วรอบตามที่ต้องการโดยการใช้อินเวอร์เตอร์ (8) และทำการทดลองซ้ำ จนได้ความเร็วรอบครบตามที่ต้องการ

5. สรุป

จากการวิเคราะห์มิติ โดยวิธีการของเรย์เลห์ได้กลุ่มตัวแปรไร้มิติ ที่ใช้ทำนายสมรรถนะของเครื่องสูบบางแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ได้แก่ สัมประสิทธิ์กำลัง, สัมประสิทธิ์การไหล และสัมประสิทธิ์เซด โดยสหสัมพันธ์ของเครื่องสูบบางแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เป็นความสัมพันธ์ในรูปของ เลขยกกำลัง ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับสัมประสิทธิ์การไหล และสัมประสิทธิ์เซด ซึ่งค่าคงที่และเลขชี้กำลัง ในสหสัมพันธ์สามารถหาได้จากผลการทดลองโดยใช้วิธีถดถอยแบบเชิงเส้น

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความชิ้นนี้ ไม่มีทางที่จะสำเร็จลงได้หากขาดความสนับสนุนจากบิดาและมารดาของข้าพเจ้า ผู้เขียนขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวันเป็นอย่างสูง ที่ให้โอกาสในการเขียนบทความครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A.T. Sayers. *Hydraulic and Compressible Flow Turbo machines*. Singapore: McGraw-Hill, 1992, pp. 4-7.
- [2] S.L.Dixon. *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery*. United States: Elsevier Butterworth - Heinemann, 1998, pp. 208-220.
- [3] ปราโมทย์ เคชะอำไพ และ นิพนธ์ วรรณโสภณชัย. *ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม*. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2551, หน้า100-250
- [4] Yunus A. Cengel. and Robert H. Turner. *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*. Singapore: McGraw-Hill, 2005, pp. 605-638.
- [5] มานพ พิพัฒน์หัตถกุล และ วินัส ทัดเนียม. “ผลกระทบของความเร็วรอบที่มีต่อสมรรถนะปั๊ม”, *วารสารวิชาการ ปทุมวัน*,ปีที่ 1, ฉบับที่ 1, 2254 , หน้า59 – 64

ประวัติผู้เขียนบทความ

นายมานพ พิพัฒน์หัตถกุล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ม.เอเชียอาคเนย์ และระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มจร. ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

งานวิจัยที่สนใจ Thermal and Fluid Sciences.

นายมกร ลักขณา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มจร. ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

งานวิจัยที่สนใจ Fluid Sciences and combustion.