

การปรับปรุงเครื่องสูบน้ำที่พักอาศัยสำหรับการผจญเพลิง

Improvement to a Residential Water Pump to Facilitate Fire Fighting Capability

รศ.ดร.สุรัชย์ รดาการ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
50 ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร แขวงลาดยาว กรุงเทพมหานคร 10900
E-mail, surachai.radagan@gmail.com โทร. 02 9428930

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงสมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำที่ใช้ตามบ้านพักอาศัยในยามปกติให้เป็นเครื่องสูบน้ำเพื่อการดับเพลิง หากเกิดอัคคีภัยขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของคนทั่วไปที่ต้องการระบบความปลอดภัยจากเหตุเพลิงไหม้ในที่พักอาศัยตลอด 24 ชั่วโมง ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ใช้มาตรฐาน NFPA 20 (National Fire Protection Association) ในการสอบเทียบสมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำ อัตราการไหล และความดันสุทธิที่เครื่องสูบน้ำทำได้วัดเทียบเป็นร้อยละของค่าที่ออกแบบใช้งาน เครื่องสูบน้ำในงานวิจัยใช้ประเภทเซนตริฟูกอล ขนาดอัตราส่งน้ำ 12-42 ล.บ.เมตรต่อชั่วโมง ที่ความดันสุทธิ 25.5-13 เมตรน้ำใช้กำลัง 2.2-2.8 กิโลวัตต์ แหล่งจ่ายน้ำใช้ถังสแตนเลสขนาดความจุ 3000 ลิตร ใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงมาตรฐานชนิดหัวคว่ำขนาด Orifice $\frac{1}{2}$ นิ้ว มีค่าคงที่ k อยู่ในช่วง 5.3 – 5.8 จำนวน 8 หัว การปรับอัตราไหลโดยเปิดหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ละหัว บันทึกค่าอัตราไหลด้วยมาตรวัดน้ำความละเอียดตติยนิยมตำแหน่งที่สี่ พร้อมมาตรวัดความดันขนาด 0 - 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ท่อทางด้านดูด และท่อทางด้านส่งใช้ท่อ PVC 13.5 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคงที่ 65 มม. การปรับปรุงสมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำโดยการเพิ่มความถี่ไปที่ 50 60 70 80 และ 90 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่า เมื่ออัตราไหลของเครื่องสูบน้ำเพิ่มขึ้นความดันสุทธิจะลดลงอย่างรวดเร็ว และไม่มีศักยภาพเพียงพอในการดับเพลิง เมื่อปรับความถี่ไปที่ 60 เฮิร์ตซ์ สามารถเดินเครื่องสูบน้ำในอัตราส่งน้ำ 0 – 150 % เมื่อปรับความถี่ไปที่ 70 และ 80 เฮิร์ตซ์ สามารถเดินเครื่องสูบน้ำในอัตราส่งน้ำ 0 – 120 % และ 0 – 100 % ตามลำดับ แต่เมื่อปรับความถี่ไปที่ 90 เฮิร์ตซ์ สมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำจะมีรูปแบบเปลี่ยนไปคล้ายรูปแบบสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำประเภท Positive displacement pump จากการวิเคราะห์ผลการวิจัยพอสรุปได้ว่า การเพิ่มความถี่เพียงอย่างเดียวไม่ทำให้สมรรถนะของเครื่องสูบน้ำได้รูปแบบเดียวกับเครื่องสูบน้ำดับเพลิง แต่การเพิ่มความถี่ไปที่ 60 70 และ 80 เฮิร์ตซ์ มีศักยภาพพอใช้ในการดับเพลิงเบื้องต้นได้เป็นอย่างดี

คำหลัก: การปรับปรุงเครื่องสูบน้ำ เครื่องสูบน้ำที่พักอาศัย เครื่องสูบน้ำดับเพลิง การผจญเพลิง

Abstract

This research aims to improve the performance of a residential water pump to act as a fire pump, in case of a fire, to meet the needs of those who would like the security of having a form of fire protection available 24/7. The testing of the water pump performance complies with NFPA20. Flow rate and pressure are measured as percentages of the rated condition. A centrifugal pump is used for this research with the capacity of 12- 42 m³/Hr at net pressure of 25.5 to 13 meters of water and power supply of 2.2 to 2.8 Kw. Three thousand liter stainless tank is used to supply water. Eight-head standard pendent sprinklers with ½ inch orifice and K-factor of 5.3-5.8 are used. The flow rate can be adjusted by opening the sprinkler valves one at a time. The data is accurate to the fourth decimal place with pressure gauge size from 0 to 300 pounds per square inch. Both suction and discharge lines use PVC 13.5 with fixed diameter of 65mm. The pump performance can be improved by increasing the frequency to 50, 60, 70, 80 and 90 Hz, respectively. The results showed that when the pump flow rate increases, the net pressure rapidly decreases which is not an adequate fire fighting capability. Adjusting the frequency to 60Hz the pump can deliver flow rate from 0 to 150%. And when adjusting the frequency to 70 and 80 Hz the pump can deliver flow rate from 0 to 120% and 0 to 100%, respectively. However, when adjusting the frequency to 90 Hz, the pump performance curve becomes similar to that of the positive displacement pump. The results from the analysis can be summarized as: increasing the frequency alone does not produce the same pump performance curve as that of the fire pump. However the frequency ranges of 60, 70, and 80 Hz has the potential to be fire pump capable.

Keywords: Pump improvement, Residential water pump, Fire pump, Fire fighting

1. บทนำ

อัคคีภัยเป็นมหันตภัยไม่ว่าจะเกิดขึ้นที่ใดย่อมสร้างความสูญเสีย ต่อชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อมจำนวนมาก ประเทศไทยให้ความสำคัญและตระหนัก ถึงความร้ายแรงของภัยนี้ จึงได้ออกพระราชบัญญัติป้องกันและระงับอัคคีภัย และข้อกำหนด ต่างๆเพื่อป้องกันการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว เช่นการออกแบบอาคาร การจัดแผนอพยพ ระบบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ กฎหมายส่วนใหญ่จะออกมาบังคับใช้กับอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่ อาคารขนาดใหญ่พิเศษ หรืออาคารที่มีผู้คนเข้าไปใช้จำนวนมากๆ แต่ยังไม่บังคับบ้านพักอาศัยขนาดเล็ก ให้ติดตั้งระบบระงับอัคคีภัย เป็นผลทำให้การเกิดอัคคีภัยจากที่พัก

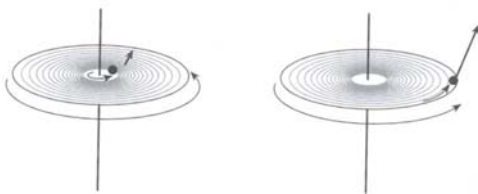
อาศัยมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ งานวิจัยนี้ มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงสมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำที่ใช้ตามบ้านพักอาศัยในยามปกติให้เป็นเครื่องสูบน้ำเพื่อการดับเพลิง หากเกิดอัคคีภัยขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของคนทั่วไปที่ต้องการระบบความปลอดภัยจากเหตุเพลิงไหม้ในที่พักอาศัยตลอด 24 ชั่วโมง

2. ทฤษฎีและหลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำที่ใช้ตามบ้านพักอาศัยทั่วไป จัดเป็นเครื่องสูบน้ำประเภทเซนตริฟูกอล ลักษณะของเครื่องสูบน้ำแบบนี้จะมีใบพัดเป็นแผ่นแบนกลมมีความหนา ครีบบางใบพัดทำเป็นผิวโค้ง ทำให้เกิดเป็นช่องแคบๆ ในแนวรัศมี ขณะที่น้ำไหลเข้ามาจากท่อทางดูดสู่ช่องว่างระหว่างครีบบางใบพัด น้ำจะถูกเหวี่ยง

ออกด้วยแรงหนีศูนย์กลาง อนุภาคของน้ำที่สัมผัสกับแผ่นใบพัดจะมีความเร็วสูงขึ้นขณะที่ถูกเหวี่ยงออกไปจากจุดศูนย์กลาง ถึงขอบของแผ่นใบพัด อนุภาคของน้ำจึงได้รับพลังงานจลน์จากการหมุนแผ่นใบพัดที่ติดอยู่กับเพลลา แต่เนื่องจากผนังของเรือนเครื่องสูบน้ำปิดกัน ดังนั้นอนุภาคของน้ำจึงไม่ได้ถูกเหวี่ยงออกไปเมื่อพ้นปลายขอบ แต่พลังงานจลน์จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานศักย์ที่ทางออกของเครื่องสูบน้ำในรูปของ

ความดัน



รูปที่ 1 หลักการสร้างความดันของเครื่องสูบน้ำ
ประเภทเซนตริฟูเกล

สัญลักษณ์ คำอธิบายและหน่วย

- A = พื้นที่หน้าของท่อ (ft²)
- BHP = แรงม้าเพลลา (HP)
- C = ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ
- D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (ft)
- e = ความหยาบของผิวท่อ (ft)
- f = แฟคเตอร์ความหยาบழுติ
- F = ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า
- g = ความเร่งของแรงโน้มถ่วง (32.2 ft/s²)
- h_f = ความดันเสียดทานที่สูญเสีย (ft)
- H_p = ความดันสุทธิของเครื่องสูบน้ำ (ft)
- k = แฟคเตอร์แปลงหน่วย = 1.318
- L = ความยาวของท่อ (ft)
- N = ความเร็วรอบ (r.p.m.)
- P = ความดัน (lb/ft²)
- Q = อัตราไหลในท่อ (ft³/s)
- V = ความเร็วการไหล (ft/s)
- Z = ระดับความสูง (ft)

เมื่อนำเครื่องสูบน้ำมาติดตั้งระหว่างจุดสองจุดในระบบเส้นท่อ สมการสมการสมดุลพลังงานเขียนได้ดังนี้

$$Z_1 + \frac{P_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} + H_p = Z_2 + \frac{P_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad \dots\dots\dots(1)$$

การคำนวณหาความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในระบบท่อส่งน้ำสามารถทำได้โดยใช้สูตรของ Hazen-Williams ดังนี้

$$h_f = L \left[\frac{V}{kC} \left(\frac{4}{D} \right)^{0.63} \right]^{1/0.54} \quad \dots\dots\dots(2)$$

หรือการคำนวณหาความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน ได้จาก สมการของ Darcy-Weisbach ดังนี้

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$Q = VA \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \dots\dots\dots(6)$$

ถ้าการไหลแบบราบเรียบ $\left[Re < 4000, \text{ any } \frac{e}{D} \right]$,

$$\text{แล้ว } f = \frac{64}{Re} \quad \dots\dots\dots(7)$$

ถ้าการไหลแบบปั่นป่วน

$\left[4000 \leq Re \leq 10^8, 0 \leq \frac{e}{D} < 0.05 \right]$, แล้ว

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad \dots\dots\dots(8)$$

ถ้าการไหลแบบปั่นป่วน

$\left[Re > 10^8, 0 \leq \frac{e}{D} < 0.05 \right]$, แล้ว

$$f = \left[1.14 - 0.869 \ln \left(\frac{e}{D} \right) \right]^2 \quad \dots\dots\dots(9)$$

การหาความสัมพันธ์การทำงานของเครื่องสูบน้ำ แบบเซนตริฟูเกล โดยใช้หลักการพื้นฐานเขียนเป็นสูตรคำนวณเมื่อความเร็วรอบเปลี่ยนไป คือ

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \dots\dots\dots(10)$$

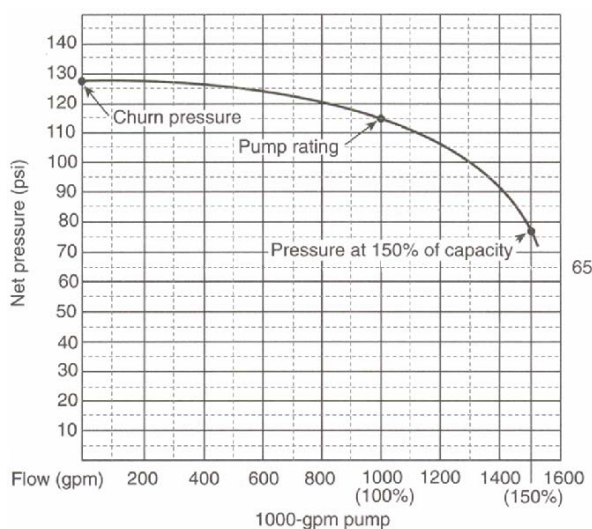
$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$\frac{BHP_1}{BHP_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3 \dots\dots\dots (12)$$

ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้กับมอเตอร์ และ จำนวนขั้วของมอเตอร์ ดังสมการที่ (13)

$$N = \frac{120 \times F}{P} \dots\dots\dots (13)$$

สมรรถนะเครื่องสูบน้ำดับเพลิงตามมาตรฐาน NFPA 20 ต้องมีคุณลักษณะ เป็นไปตามข้อกำหนดสามประการ คือ ประการที่หนึ่ง เครื่องสูบน้ำดับเพลิงต้องทำงานได้ตามที่ออกแบบใช้งาน ซึ่งเรียกสภาวะออกแบบใช้งานนี้ ว่า Rated condition หรือ เครื่องสูบน้ำดับเพลิงทำงานได้ 100 % ประการที่สอง เครื่องสูบน้ำดับเพลิงต้องสร้างความดันสุทธิได้มากแต่ไม่เกินร้อยละ 140 ของความดันสุทธิออกแบบใช้งาน ในสภาวะไร้ภาระ ประการที่สาม เครื่องสูบน้ำดับเพลิงต้องสร้างความดันสุทธิได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 65 ของความดันสุทธิที่ออกแบบใช้งาน ในสภาวะที่จ่ายน้ำด้วยอัตราไหลสูงสุด หรือเท่ากับร้อยละ 150 ของอัตราไหลที่ออกแบบใช้งาน



รูปที่ 1 ตัวอย่างแผนภาพสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำดับเพลิงตามมาตรฐาน NFPA 20

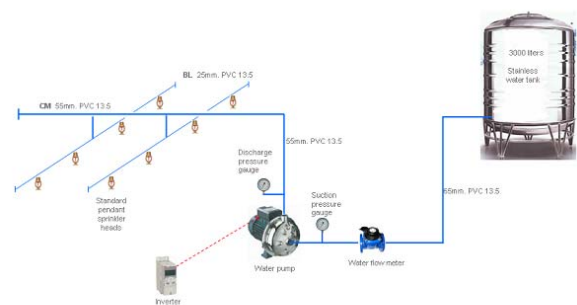
3. อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

3.1 อุปกรณ์ทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำมีดังนี้

1. เครื่องสูบน้ำเซนตริฟูกอล ขนาดอัตราส่งน้ำ 12-42 ล.บ.เมตรต่อชั่วโมง ที่ความดันสุทธิ 25.5-13 เมตรน้ำ
2. ถังสแตนเลสขนาดความจุ 3000 ลิตร
3. มาตรวัดความดันน้ำขนาดหน้าปัด 4 นิ้ว ช่วงวัดความดันอยู่ระหว่าง 0 – 300 ปอนด์/ตารางนิ้ว
4. มาตรวัดอัตราไหลของน้ำ ความละเอียดอ่านได้ ทศนิยมตำแหน่งที่สี่
5. วาล์วประตูน้ำขนาด ½ นิ้ว จำนวน 8 ตัว
6. หัวกระจายน้ำดับเพลิงมาตรฐานชนิดหัวคว่ำขนาด Orifice ½ นิ้ว มีค่าคงที่ k อยู่ในช่วง 5.3 – 5.8 จำนวน 8 หัว
7. ท่อน้ำ PVC 13.5 ขนาด 25 ม.ม.ใช้เป็นท่อBranch lines ท่อน้ำ PVC 13.5 ขนาด 65 ม.ม.ใช้เป็นท่อCross main ท่อทางดูดและท่อทางส่งของเครื่องสูบน้ำ

8. อุปกรณ์ปรับเปลี่ยนค่าความถี่กระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2 แผนภาพอุปกรณ์และระบบท่อน้ำสำหรับทดสอบสมรรถนะเครื่องสูบน้ำ

3.2 วิธีการทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้เน้นการนำเครื่องสูบน้ำที่ใช้ตามบ้านพักอาศัยมาทดสอบและวิเคราะห์หาความเป็นไปได้ที่จะนำเครื่องสูบน้ำนี้ไปประยุกต์ใช้กับหัวกระจายน้ำเพื่อการดับเพลิง โดยใช้มาตรฐาน NFPA 20 เป็นเกณฑ์อ้างอิง โดยมีขั้นตอนต่อไปนี้

1. ปรับค่าความถี่กระแสไฟฟ้าที่ป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ที่ใช้ขับเครื่องสูบน้ำไว้ที่ 50 เฮิร์ตซ์

2. ปรับอัตราไหลโดยเริ่มจากการปิดวาล์วทั้งหมดให้อยู่ในสภาพไม่มีการไหล เรียกสภาวะนี้ว่าสภาวะไร้ภาระ เปิดวาล์วให้น้ำไหลออกจากหัวกระจายน้ำดับเพลิงตัวที่หนึ่ง ทำการบันทึกอัตราไหล

3. บันทึกความดันที่อ่านค่าได้จากมาตรวัดความดันทางดูดและความดันทางส่ง ขณะที่ยังคงความถี่ไว้ที่เดิม ผลต่างของความดันทั้งสองคือค่าของความดันสุทธิที่เครื่องสูบน้ำทำได้ ที่อัตราส่งน้ำขณะนั้น

4. ค่อยๆเปิดวาล์วตัวที่สอง ให้น้ำไหลออกจากหัวกระจายน้ำดับเพลิงสองตัว บันทึกอัตราส่งน้ำ ความดันทางดูดและความดันทางส่ง ทำไปเรื่อยๆ จนเปิดวาล์วทั้งหมดแปดตัว

5. ปรับค่าความถี่เพิ่มขึ้นเป็น 60 เฮิร์ตซ์ แล้วทำซ้ำข้อ 1 ถึง ข้อ 4 หลังจากนั้นให้ปรับเพิ่มค่าความถี่เป็น 70 80 และ 90 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ

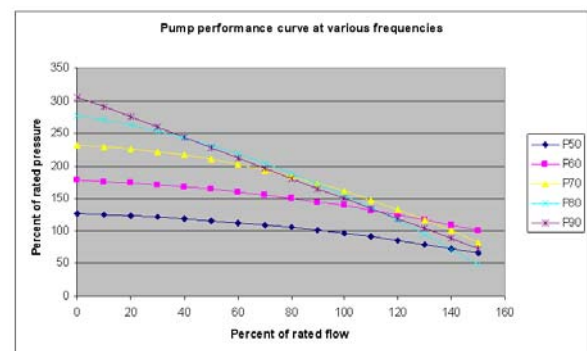
เมื่อทำการทดสอบแล้วจะได้ข้อมูล ความเร็วรอบของใบพัด ความดันทางดูด ความดันทางส่ง ความดันสุทธิ และอัตราการจ่ายน้ำ ที่ความถี่ค่าต่างๆ จากนั้นนำข้อมูลไปคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำ

4. ผลและวิจารณ์

จากผลจากการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลและความดันสุทธิที่เครื่องสูบน้ำทำได้วัดเทียบเป็นร้อยละของค่าที่ออกแบบใช้งาน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 และ รูปที่ 3

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบความดันสุทธิที่ อัตราไหล และความถี่ต่างๆ (หน่วย:ปอนด์/ตร.นิ้ว)

Q (%)	P ₅₀	P ₆₀	P ₇₀	P ₈₀	P ₉₀
0	126.36	178.4	231.36	277	306.44
10	125.06	176.49	229.441	270.155	290.617
20	123.38	174.12	226.382	262.11	274.834
30	121.32	171.29	222.183	252.865	259.091
40	118.88	168	216.844	242.42	243.388
50	116.06	164.25	210.365	230.775	227.725
60	112.86	160.04	202.746	217.93	212.102
70	109.28	155.37	193.987	203.885	196.519
80	105.32	150.24	184.088	188.64	180.976
90	100.98	144.65	173.049	172.195	165.473
100	96.26	138.6	160.87	154.55	150.01
110	91.16	132.09	147.551	135.705	134.587
120	85.68	125.12	133.092	115.66	119.204
130	79.82	117.69	117.493	94.415	103.861
140	73.58	109.8	100.754	71.97	88.558
150	66.96	101.45	82.875	48.325	73.295



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงสมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำที่สภาวะความถี่ 50 60 70 80 และ 90 เฮิร์ตซ์

การวิจัยพบว่า เมื่ออัตราไหลของเครื่องสูบน้ำเพิ่มขึ้นความดันสุทธิจะลดลงอย่างรวดเร็ว และไม่มีศักยภาพเพียงพอในการดับเพลิง เมื่อปรับความถี่ไปที่ 60 เฮิร์ตซ์ สามารถเดินเครื่องสูบน้ำในอัตราส่งน้ำ 0 – 150 % เมื่อปรับความถี่ไปที่ 70 และ 80

เฮิร์ตซ์ สามารถเดินเครื่องสูบน้ำในอัตราส่งน้ำ 0 – 120 % และ 0 – 100 % ตามลำดับ แต่เมื่อปรับความถี่ไปที่ 90 เฮิร์ตซ์ สมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำจะมีรูปแบบเปลี่ยนไปคล้ายรูปแบบสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำประเภท Positive displacement pump จากการวิเคราะห์ผลการวิจัยพอสรุปได้ว่า การเพิ่มความถี่เพียงอย่างเดียวไม่ทำให้สมรรถนะของเครื่องสูบน้ำได้รูปแบบเดียวกับเครื่องสูบน้ำดับเพลิง แต่การเพิ่มความถี่ไปที่ 60 70 และ 80 เฮิร์ตซ์ มีศักยภาพพอใช้ในการดับเพลิงเบื้องต้นได้เป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 หนังสือ

[1] Gagnon, R.M. 1997. *Design of Water-Based Fire Protection Systems*. Delmar Publishers.

[2] Milosh T. Puchovsky and Kenneth E. Isman , 1998. *Fire Pump Handbook*. First Edition, ISBN:0-87765-431-X, National Fire Protection Association, Massachusetts.

7.2 ข้อกำหนด และ มาตรฐาน (Code and Standard)

[1] National Fire Protection Association; NFPA 20 1996 Edition. Standard for the Installation of Centrifugal Fire Pumps. The United States of America.