

เปรียบเทียบการใช้พลังงานสำหรับการเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ร่วมกับเครื่องสูบน้ำ  
ชนิดความเร็วรอบคงที่ ในระบบสูบน้ำดิบ

Comparison energy consumption for combined VSD pump with constant speed pump  
in raw water pumping

วิวัฒน์ อ่อนนาคกล้า\*

โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ การประปานครหลวง

\*Corresponding Author: wp\_js38@hotmail.com

Received 31 August 2025; Received in revised form 26 October 2025; Accepted 28 October 2025

บทคัดย่อ

ระบบสูบน้ำดิบ ทำหน้าที่สูบน้ำจากแหล่งน้ำเข้าสู่ระบบผลิต โดยอาศัยเครื่องสูบน้ำต่อร่วมกันแบบขนาน การควบคุมอัตราการสูบน้ำทำได้โดยการปรับความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำเพิ่มขึ้นหรือลดลง เพื่อเพิ่มหรือลดอัตราการสูบน้ำ แต่การติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบให้กับเครื่องสูบน้ำทุกเครื่องจะต้องใช้เงินลงทุนสูง การติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบกับเครื่องสูบน้ำบางเครื่องจึงเป็นแนวทางลดเงินลงทุนได้ ในการทดลองนี้จะทดลองเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ร่วมกับเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ และหาจุดที่เหมาะสมในการเดินเครื่องสูบน้ำในระบบสูบน้ำดิบให้ประหยัดพลังงานมากที่สุด ในอัตราการสูบน้ำ 8, 8.8, 9.6 และ 10.4  $m^3/sec$  โดยการปรับความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำร่วมกับจำนวนเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จำนวน 1, 2 และ 3 เครื่อง ผลการทดลองพบว่า อัตราการสูบน้ำ 8 และ 8.8  $m^3/sec$  การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ จำนวน 4 เครื่อง จะมีประสิทธิภาพโดยรวมสูงที่สุด คือ 55.1 และ 55.3% ตามลำดับ และอัตราการสูบน้ำ 9.6 และ 10.4  $m^3/sec$  การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ จำนวน 2 เครื่อง ร่วมกับเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จะมีประสิทธิภาพโดยรวมสูงที่สุด คือ 56.4 และ 53.4 % ตามลำดับ สรุปได้ว่าการเดินเครื่องสูบน้ำให้มีจำนวนที่เหมาะสมกับอัตราการสูบน้ำ และเครื่องสูบน้ำต้องมีความเร็วรอบมากกว่า 85 % จะส่งผลให้มีประสิทธิภาพโดยรวมมีค่ามากกว่า 53 % การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ร่วมกับเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จะต้องใช้เครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่จำนวน 1-2 เครื่องเท่านั้น เพื่อให้เครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ที่เหลือ มีความเร็วรอบไม่ต่ำกว่า 85 % เพื่อให้เครื่องสูบน้ำสามารถทำงานอยู่ในช่วง Best Efficiency point(BEP) และสามารถรักษาประสิทธิภาพโดยรวมให้มีค่ามากกว่า 50 % ได้

คำสำคัญ: การจัดการพลังงาน, ระบบสูบน้ำดิบ, เครื่องสูบน้ำ, อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ

Abstract

The raw water pumping system functions to pump raw water from the source into the production system by using pumps connected in parallel. The control of the pumping rate is achieved by adjusting the pump speed to increase or decrease the pumping rate. However, installing variable speed drive on every pump requires a high investment cost. Installing variable speed drive on only some pumps is therefore a cost-saving approach. In this experiment, pumps with adjustable speeds are operated together with pumps of fixed speed, and the

optimal operating point for the raw water pumping system is determined to maximize energy savings at pumping rates of 8, 8.8, 9.6, and 10.4  $m^3/sec$ . This is done by adjusting the speed of the variable-speed pumps in combination with 1, 2, and 3 constant-speed pumps. The results show that at pumping rates of 8 and 8.8  $m^3/sec$ , operating 4 variable-speed pumps yields the highest overall efficiency of 55.1 % and 55.3 %, respectively. At pumping rates of 9.6 and 10.4  $m^3/sec$ , operating 2 variable-speed pumps together with constant-speed pumps yields the highest overall efficiency of 56.4 % and 53.4 %, respectively. In summary, operating an appropriate number of pumps according to the pumping rate, with pump speeds above 85 %, results in an overall efficiency greater than 53 %. When operating variable-speed pumps together with constant-speed pumps, only 1-2 constant-speed pumps should be used so that the remaining variable-speed pumps maintain speeds not lower than 85 %, thereby preserving high overall efficiency more than 50 %.

**Keywords:** Energy management, Raw water pumping, Pump, Variable speed drive

### บทนำ

เครื่องสูบน้ำ เป็นเครื่องจักรที่ทำหน้าที่ในการสูบน้ำเพื่อนำน้ำไปใช้หมุนเวียนในระบบผลิต น้ำในอุตสาหกรรมจะใช้น้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบเข้าสู่ระบบผลิต และนำมาปรับปรุงคุณภาพ เพื่อนำน้ำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม โดยทั่วไป แหล่งน้ำดิบจะอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นดิน เพื่อทำหน้าที่ในการกักเก็บน้ำดิบ สำรองไว้สำหรับกิจกรรมในอุตสาหกรรม ดังนั้นเครื่องสูบน้ำที่นิยมใช้สูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบ จะเป็นเครื่องสูบน้ำชนิด Vertical Mixed Flow จะทำการสูบน้ำจากแหล่งน้ำที่ระดับต่ำกว่าได้

ระบบสูบน้ำดิบสำหรับระบบผลิตน้ำประปา จะสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำผิวดิน เข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา และยกเฮดของน้ำให้สูงกว่าระบบผลิต เพื่อสามารถลำเลียงน้ำดิบไปตามระบบผลิตได้ โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยทั่วไป ระบบสูบน้ำดิบจะใช้เครื่องสูบน้ำดิบ ตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป ต่อร่วมกันแบบขนานเพื่อเพิ่มอัตราการสูบน้ำดิบเข้าระบบผลิต และควบคุมความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำเพื่อปรับอัตราการไหลให้สอดคล้องกับความต้องการ

ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหล, เฮด และ กำลังของเครื่องสูบน้ำกับความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ ดังสมการ (1), (2) และ (3)

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (1)$$

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

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 \quad (3)$$

โดย  $Q_1$  คือ อัตราการไหลก่อน  
 $Q_2$  คือ อัตราการไหลหลัง  
 $N_1$  คือ ความเร็วรอบก่อน  
 $N_2$  คือ ความเร็วรอบหลัง  
 $H_1$  คือ เฮดก่อน  
 $H_2$  คือ เฮดหลัง  
 $P_1$  คือ กำลังก่อน  
 $P_2$  คือ กำลังหลัง

การประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสูบน้ำดิบ จะเปรียบเทียบในอัตราส่วนของกำลังด้าน Output ต่อกำลังด้าน Input Hydraulic Power ของน้ำ กับ กำลังรวมของเครื่องสูบน้ำทุกเครื่อง ดังสมการ (4)

$$\eta = \frac{\rho g Q H}{P} \quad (4)$$

- โดย  $P$  คือ กำลังของเครื่องสูบน้ำ ( $W$ )
- $\rho$  คือ ความหนาแน่น ( $kg/m^3$ )
- $Q$  คือ อัตราการไหล ( $m^3/sec$ )
- $H$  คือ Total Head ( $m$ )
- $\eta$  คือ ประสิทธิภาพ (%)

การเดินเครื่องสูบน้ำดับ โดยทั่วไปจะติดตั้งการอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (Variable Speed Drive, VSD) เข้ามาช่วยปรับความเร็วของเครื่องสูบน้ำ เพื่อปรับอัตราการสูบน้ำดับให้สอดคล้องกับความต้องการและลดการใช้พลังงานได้ [1-3] แต่ชุด VSD เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าและมีความสูญเสียในอุปกรณ์เช่นกัน การติดตั้ง VSD อาจจะไม่ไ้ประหยัดพลังงานในทุกกรณีไป ดังนั้น การเดินเครื่องสูบน้ำควรเดินเครื่องสูบน้ำให้ทำงานในช่วงใช้งานที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด (Best Efficiency Point, BEP) เพื่อให้สามารถเดินเครื่องสูบน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ดีด้านพลังงาน และการปรับรูปแบบการเดินเครื่องสูบน้ำให้สอดคล้องอัตราการสูบน้ำ (Pumping Pattern) โดยพิจารณาการใช้พลังงานให้ต่ำที่สุดจะสามารถลดการใช้พลังงานได้เช่นกัน [4-6]

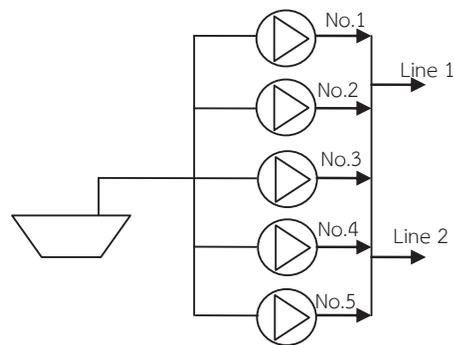
โดยทั่วไป ในระบบสูบน้ำดับ จะติดตั้งเครื่องสูบน้ำในจำนวนเครื่องที่มากกว่าการใช้งานจริง เพื่อการบำรุงรักษาและการรักษาเสถียรภาพในระบบสูบน้ำดับ ถึงแม้ว่า การติดตั้ง VSD ให้กับเครื่องสูบน้ำจะสามารถควบคุมอัตราการสูบน้ำได้ ในช่วงกว้าง และประหยัดพลังงานได้จากการปรับลดความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ การติดตั้ง VSD ให้กับเครื่องสูบน้ำทุกเครื่อง จะสามารถลดการใช้พลังงานได้แต่จะต้องใช้เงินลงทุนที่สูงเช่นกัน [7]

บทความนี้ จะศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยรวม ในการเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ร่วมกับเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ ในระบบสูบน้ำดับ โดยมีวัตถุประสงค์ คือ การหาสภาวะทำงานที่ทำให้การเดินเครื่องสูบน้ำให้ประหยัดพลังงานมากที่สุด (Pumping Pattern Optimization) ในกรณี 1.เปรียบเทียบการเดินเครื่องสูบน้ำจำนวน 4 เครื่องและ 5 เครื่อง ในอัตราการสูบ

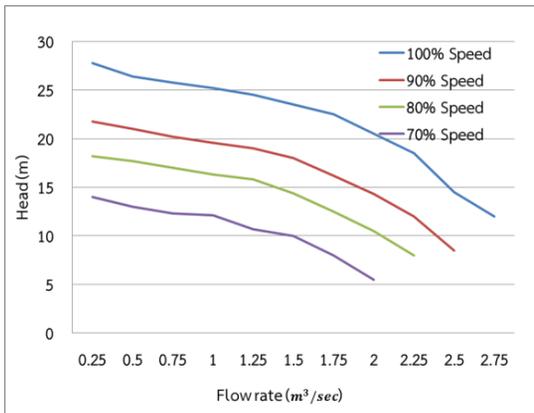
น้ำเดียวกัน 2. เปรียบเทียบการเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ร่วมกับเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วคงที่จำนวน 1, 2 และ 3 เครื่อง

### วิธีดำเนินงาน

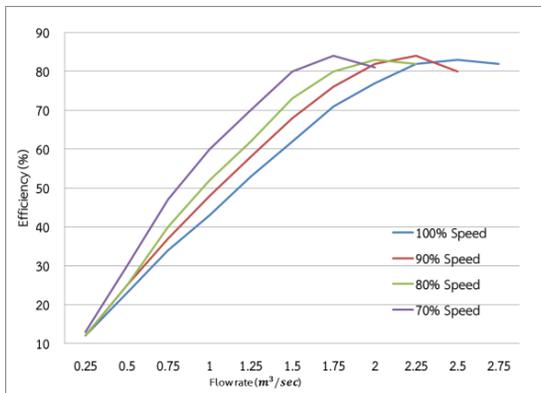
ระบบสูบน้ำดับในระบบผลิตน้ำประปาโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ จะสูบน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและสูบน้ำเข้าระบบผลิต ดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนี้ 1. เครื่องสูบน้ำชนิด Centrifugal Mixed Flow จำนวน 5 เครื่อง ขนาด 530 kW, ความเร็วรอบ 740 รอบต่อนาที, Head 16 เมตร, อัตราการไหล  $2.5 m^3/sec$ , Performance ของเครื่องสูบน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2 เครื่องสูบน้ำต่อรวมกันแบบขนาน และสูบน้ำจากแหล่งน้ำดับเข้าสู่ท่อรวม และจ่ายน้ำออกเข้าสู่ไลน์การผลิต จำนวน 2 ไลน์ โดยมีอัตราการผลิตรวม  $8.0-10.4 m^3/sec$  ควบคุมอัตราการไหลโดยการปรับวาล์วและควบคุมความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ 2. แหล่งน้ำผิวดิน มีระดับน้ำ EL +0.20 เมตร ต่ำกว่าตัวเรือนเครื่องสูบน้ำที่ระดับน้ำ EL +2.50 เมตร น้ำดับจะถูกส่งไปยังระดับท่อทางออกที่ ระดับ EL +10.25 เมตร และมีความสัมพันธ์ของเฮดและอัตราการสูบน้ำ (System curve) เป็นสมการโพลิโนเมียล  $H = 10.05 + 0.0326Q^2$  ดังแสดงในรูปที่ 3



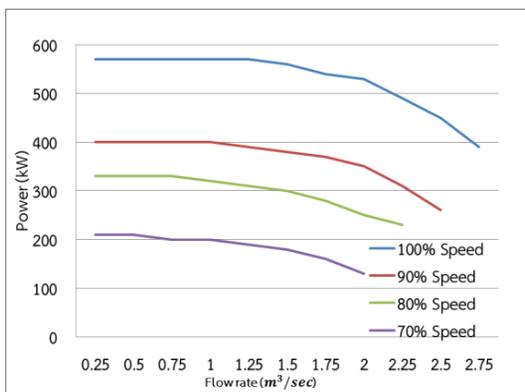
รูปที่ 1 Flow Diagram ระบบสูบน้ำดับ



(ก)



(ข)



(ค)

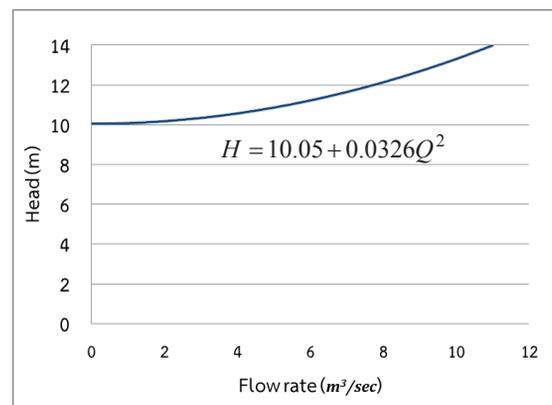
**รูปที่ 2** Performance curve ของเครื่องสูบน้ำ  
(ก) H-Q Curve (ข) Efficiency Curve  
(ค) Power Curve

การทดลองนี้ จะศึกษาและเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพโดยรวมในการเดินเครื่องสูบน้ำ 1. เปรียบเทียบระหว่างการเดินเครื่องสูบน้ำ 4 เครื่อง โดยการใช้ความเร็วรอบสูง และการเดินเครื่องสูบน้ำ

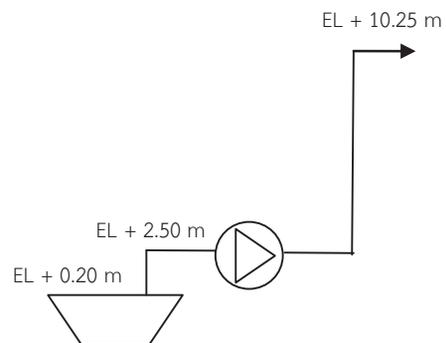
2. เปรียบเทียบจำนวนเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วคงที่ 100 % มาทดแทนเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ โดยที่เครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ เครื่องอื่นจะปรับลดความเร็วรอบเพื่อควบคุมอัตราการสูบน้ำให้ได้ตามต้องการ และหาจำนวนเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ ที่ประสิทธิภาพโดยรวมดีที่สุด 5 เครื่อง โดยการใช้ความเร็วรอบต่ำ

### 1. การเดินเครื่องสูบน้ำ

1.1 เครื่องสูบน้ำ 1 เครื่อง ความเร็วรอบ 100 % , เหนด 13 เมตร, อัตราการสูบน้ำ  $2.5 \text{ m}^3/\text{sec}$  กรณี อัตราการสูบน้ำรวม 8.0, 8.8 และ  $9.6 \text{ m}^3/\text{sec}$  สามารถเดินเครื่องสูบน้ำ 4 เครื่อง โดยใช้เวลาเร็วรอบสูงได้ หรือเดินเครื่องสูบน้ำ 5 เครื่อง โดยใช้เวลาเร็วรอบต่ำ



(ก)



(ข)

**รูปที่ 3** System curve และระดับน้ำของระบบสูบน้ำดิบ (ก) System curve (ข) ระดับน้ำของแหล่งน้ำ, เครื่องสูบน้ำและท่อทางออก

1.2 เดินเครื่องสูบน้ำ 5 เครื่อง และควบคุม อัตราสูบน้ำรวม  $10.4 \text{ m}^3 / \text{sec}$

1.3 ทำการทดลองซ้ำข้อ 1.1 และ 1.2 โดยการ เดินเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ 100 % ทดแทนเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ จำนวน 1, 2 และ 3 เครื่อง ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4

## 2. การจำลองการเดินเครื่องสูบน้ำ

ใช้โปรแกรม Epanet 2.0 ในการจำลองการ เดินเครื่องสูบน้ำ เพื่อหาค่าทางชลศาสตร์ โดยให้การ สูญเสียทางด้านมอเตอร์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน มอก. 866 เล่ม 30(1) กรณี มอเตอร์ตามมาตรฐาน IE3 ขนาด 250 - 1000 kW มีค่าประสิทธิภาพ 95 % หรือ คิดเป็นความสูญเสียในมอเตอร์ไฟฟ้า 5 % [8] และอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมีค่าประสิทธิภาพ 92- 98 % คิดเป็นค่าความสูญเสียในอุปกรณ์ปรับความเร็ว รอบเฉลี่ย 5 % [9]

## 3. การวิเคราะห์

3.1 คำนวณค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ สูบน้ำดิบตามสมการ (4)

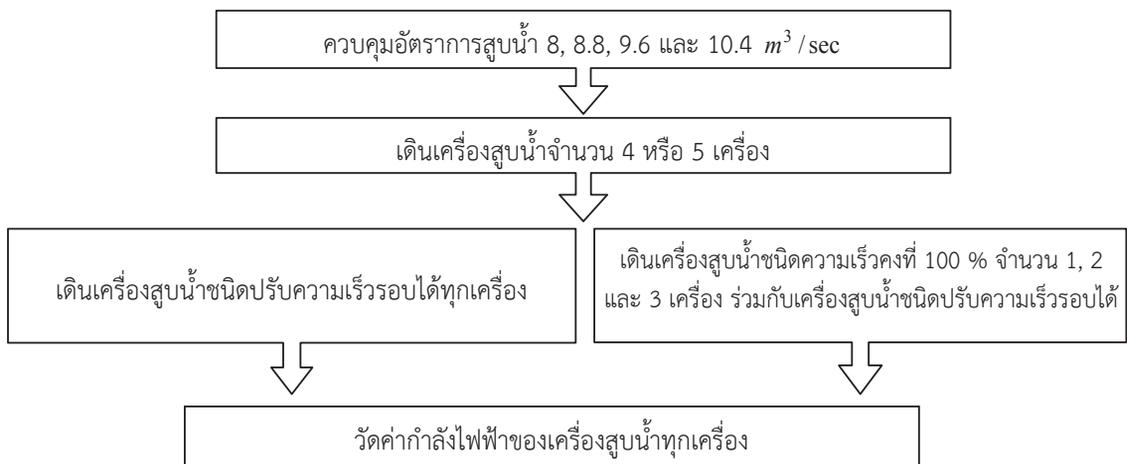
3.2 เปรียบเทียบการทดลองแต่ละการทดลอง ในอัตราการผลิตเดียวกัน เพื่อหาสภาวะทำงานที่ทำให้ ประสิทธิภาพการเดินเครื่องสูบน้ำดีที่สุด

## ผลการทดลองและการอภิปรายผล

จากตารางที่ 1 ผลการทดลองการเดินเครื่องสูบน้ำ ในระบบสูบน้ำดิบ พบว่า อัตราการผลิตรวม  $8 \text{ m}^3 / \text{sec}$  การเดินเครื่องสูบน้ำ จำนวน 4 เครื่อง และมีการเดินเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จำนวน 1, 2 และ 3 เครื่อง (การทดลองที่ 1-3) เดินเครื่องสูบน้ำ ปรับความเร็วรอบได้ 4 เครื่อง (การทดลองที่ 4) พบว่า การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ 4 เครื่อง มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมสูงสุด เท่ากับ 55.1 % และการเดินเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบ คงที่ จำนวน 1 เครื่อง มีค่าประสิทธิภาพโดยรวม รongลงมา เท่ากับ 53.5 %

การเดินเครื่องสูบน้ำจำนวน 5 เครื่อง (การทดลอง ที่ 5-8) พบว่า การเดินเครื่องสูบน้ำปรับความเร็วรอบ ได้ 5 เครื่อง มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมสูงสุด เท่ากับ 49.0% และการเดินเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบ คงที่ จำนวน 1 เครื่อง มีค่าประสิทธิภาพโดยรวม รongลงมา เท่ากับ 47.7 %

อัตราการผลิต  $8.8 \text{ m}^3 / \text{sec}$  การเดินเครื่องสูบน้ำ จำนวน 4 เครื่อง (การทดลองที่ 9-12) พบว่า การ เดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ 4 เครื่อง และการเดินเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จำนวน 1 เครื่อง มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมสูงสุด เท่ากับ 55.3 % และ การเดินเครื่องสูบน้ำชนิด



รูปที่ 4 Flow Diagram วิธีการทดลอง

ความเร็วรอบคงที่ จำนวน 2 เครื่อง มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมรองลงมา เท่ากับ 54.9 %

การเดินเครื่องสูบน้ำจำนวน 5 เครื่อง (การทดลองที่ 13-16) พบว่า การเดินเครื่องสูบน้ำปรับความเร็วรอบได้ 5 เครื่อง มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมสูงสุด เท่ากับ 51.7 % และการเดินเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จำนวน 1 เครื่อง มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมรองลงมา เท่ากับ 50.6 %

อัตราการผลิต  $9.6 \text{ m}^3/\text{sec}$  การเดินเครื่องสูบน้ำจำนวน 4 เครื่อง (การทดลองที่ 17-20) พบว่า การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จำนวน 2 เครื่อง มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมสูงสุด เท่ากับ 56.4 % และการเดินเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จำนวน 1 เครื่อง มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมรองลงมา เท่ากับ 56.1 %

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องสูบน้ำของระบบสูบน้ำดิบ

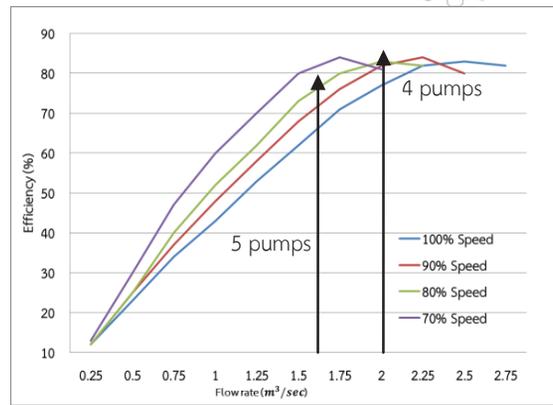
ลำดับ	อัตราการสูบน้ำ ( $\text{m}^3/\text{sec}$ )	เครื่องสูบน้ำ										$\eta$ (%)	หมายเหตุ
		No.1		No.2		No.3		No.4		No.5			
1	8	197	481	453	740			453	740	453	740	50.2	1 pump 65% speed, 3 pumps 100% speed
2	8	299	548	445	740			445	740	299	548	52.5	2 pumps 74% speed, 2 pumps 100% speed
3	8	338	607			338	607	447	740	338	607	53.5	3 pumps 82% speed, 1 pump 100% speed
4	8	354	636	354	636			354	636	354	636	55.1	4 pumps 86% speed
5	8	319	577	319	577	319	577	319	577	319	577	49.0	5 pumps 78% speed
6	8	298	540	445	740	298	540	298	540	298	540	47.7	4 pumps 73% speed, 1 pump 100% speed
7	8	271	503	445	740	271	503	445	740	271	503	45.9	3 pumps 68% speed, 2 pump 100% speed
8	8	238	518	477	740	477	740	477	740	238	518	41.0	2 pumps 70% speed, 3 pump 100% speed Dimmed Valve
9	8.8	277	511	445	740	445	740	445	740			53.3	1 pump 69% speed, 3 pumps 100% speed
10	8.8	337	607	446	740			446	740	337	607	54.9	2 pumps 82% speed, 2 pumps 100% speed
11	8.8	369	651			369	651	447	740	369	651	55.3	3 pumps 88% speed, 1 pump 100% speed
12	8.8	388	673	388	673			388	673	388	673	55.3	4 pumps 91% speed
13	8.8	332	599	332	599	332	599	332	599	332	599	51.7	5 pumps 81% speed
14	8.8	312	570	447	740	312	570	312	570	312	570	50.6	4 pumps 77% speed, 1 pump 100% speed
15	8.8	294	525	446	740	294	525	446	740	294	525	48.4	3 pumps 71% speed, 2 pumps 100% speed
16	8.8	266	481	447	740	447	740	447	740	266	481	45.8	2 pumps 65% speed, 3 pumps 100% speed
17	9.6	342	614	447	740	447	740	447	740			55.6	1 pump 83% speed, 3 pumps 100% speed
18	9.6	385	673	446	740			446	740	385	673	56.4	2 pumps 91% speed, 2 pumps 100% speed
19	9.6	408	696	446	740	408	696			408	696	56.1	3 pumps 94% speed, 1 pump 100% speed
20	9.6	430	710	430	710			430	710	430	710	54.5	4 pumps 96% speed
21	9.6	358	629	358	629	358	629	358	629	358	629	52.4	5 pumps 85% speed
22	9.6	333	599	447	740	333	599	333	599	333	599	52.6	4 pump 81% speed, 1 pump 100% speed
23	9.6	309	562	449	740	309	562	449	740	309	562	51.3	3 pump 76% speed, 2 pumps 100% speed
24	9.6	271	503	446	740	446	740	446	740	271	503	49.8	2 pump 68% speed, 3 pumps 100% speed
25	10.4	383	659	383	659	383	659	383	659	383	659	53.0	5 pumps 89% speed
26	10.4	363	636	452	740	363	636	363	636	363	636	53.3	4 pumps 86% speed, 1 pump 100% speed
27	10.4	334	599	448	740	334	599	448	740	334	599	53.4	3 pumps 81% speed, 2 pumps 100% speed
28	10.4	301	540	447	740	447	740	447	740	301	540	52.2	2 pumps 73% speed, 3 pumps 100% speed

การเดินเครื่องสูบน้ำจำนวน 5 เครื่อง (การทดลองที่ 21-24) พบว่า การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จำนวน 1 เครื่อง มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 52.6 % และการเดินเครื่องสูบน้ำปรับความเร็วรอบได้ 5 เครื่อง มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมรองลงมา เท่ากับ 52.4 % อัตราการผลิต  $10.4 \text{ m}^3/\text{sec}$  การเดินเครื่องสูบน้ำ จำนวน 5 เครื่อง (การทดลองที่ 25-28) พบว่า การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จำนวน 2 เครื่อง มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 53.4 % และการเดินเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จำนวน 1 เครื่อง มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมรองลงมา เท่ากับ 53.3 %

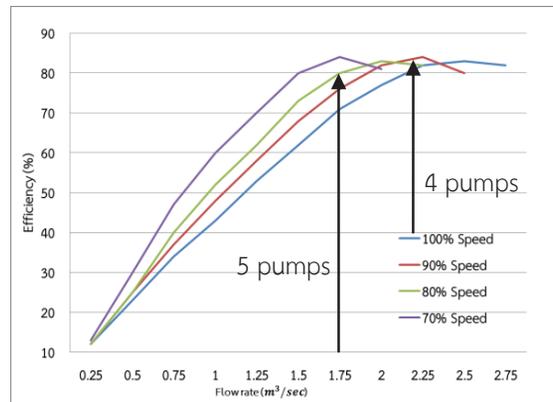
### 1. เปรียบเทียบการเดินเครื่องสูบน้ำจำนวน 4 และ 5 เครื่อง

อัตราการสูบน้ำ  $8, 8.8$  และ  $9.6 \text{ m}^3/\text{sec}$  สามารถเดินเครื่องสูบน้ำจำนวน 4 เครื่องได้ และจะให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมมีค่าสูงกว่า การเดินเครื่องสูบน้ำจำนวน 5 เครื่อง เนื่องจากการเดินเครื่องสูบน้ำ 4 เครื่อง จะทำให้จุดใช้งานของเครื่องสูบน้ำอยู่ในจุดที่มีประสิทธิภาพต่อเครื่องสูงกว่าการเดินเครื่องสูบน้ำ 5 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 5 การเดินเครื่องสูบน้ำจำนวน 5 เครื่อง แม้จะลดความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำลง และส่งผลให้กำลังของเครื่องสูบน้ำลดลงได้ แต่ทำให้ประสิทธิภาพต่อเครื่องลดลงด้วย เนื่องจากเมื่อลดความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำลง จะส่งผลให้เสดของเครื่องสูบน้ำลดลงด้วย และจุดทำงานของเครื่องสูบน้ำไม่อยู่ในช่วง BEP

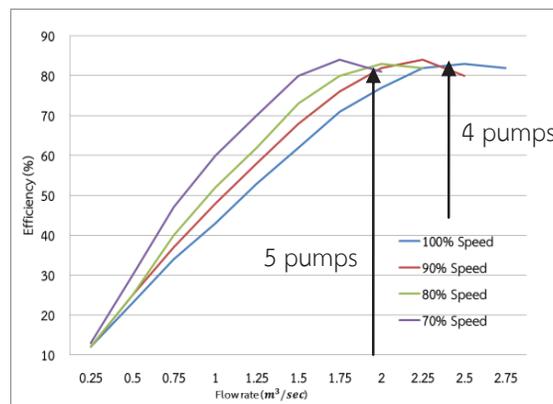
กรณีอัตราการสูบน้ำ  $10.4 \text{ m}^3/\text{sec}$  จะต้องเดินเครื่องสูบน้ำจำนวน 5 เครื่อง เนื่องจากเครื่องสูบน้ำ 1 เครื่อง ที่ เสด 13 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3 จะมีอัตราการสูบน้ำ  $2.5 \text{ m}^3/\text{sec}$  ต่อเครื่อง พบว่า ไม่สามารถเดินเครื่องสูบน้ำเพียง 4 เครื่อง ได้เนื่องจากอัตราการสูบน้ำไม่เพียงพอการสูบน้ำในอัตราดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 2(ก)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5 ประสิทธิภาพต่อเครื่องของเครื่องสูบน้ำ กรณีเดินเครื่องสูบน้ำ จำนวน 4 และ 5 เครื่อง

(ก) อัตราการสูบน้ำ  $8 \text{ m}^3/\text{sec}$

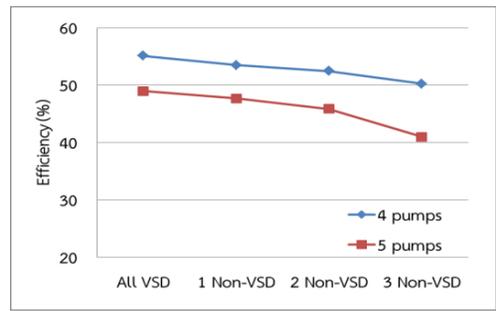
(ข) อัตราการสูบน้ำ  $8.8 \text{ m}^3/\text{sec}$

(ค) อัตราการสูบน้ำ  $9.6 \text{ m}^3/\text{sec}$

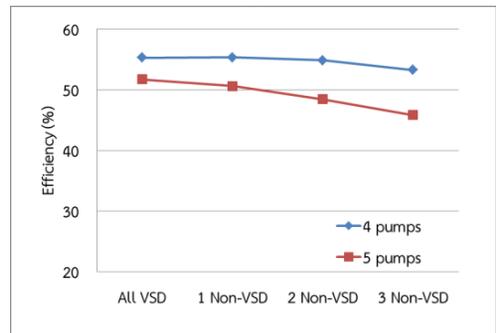
## 2. เปรียบเทียบการเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ร่วมกับเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่

การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ร่วมกับเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จะส่งผลให้เครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้จำเป็นต้องลดความเร็วรอบลงมาก เพื่อลดอัตราการสูบน้ำลงชดเชยกับเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ที่ไม่สามารถปรับความเร็วรอบได้ จึงส่งผลให้จุดใช้งานของเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ ไม่ได้อยู่ในช่วง BEP จึงมีค่าประสิทธิภาพต่ำ

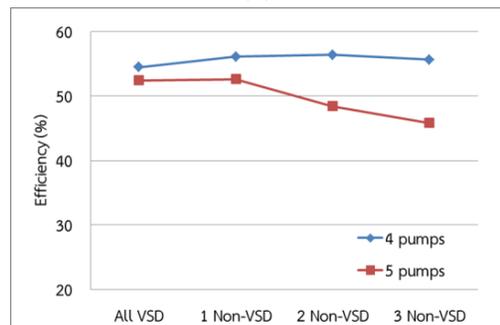
จากรูปที่ 2(ข) จะพบว่า ช่วง BEP ของเครื่องสูบน้ำมีดังนี้ 1.กรณีความเร็วรอบ 70% อัตราการสูบน้ำ 1.5-1.9  $m^3/sec$  2.กรณีความเร็วรอบ 80% อัตราการสูบน้ำ 1.75-2.25  $m^3/sec$  3.กรณีความเร็วรอบ 90% อัตราการสูบน้ำ 2.0-2.5  $m^3/sec$  4.กรณีความเร็วรอบ 100% อัตราการสูบน้ำ 2.25-2.75  $m^3/sec$  จากรูปที่ 3 พิจารณาอัตราการสูบน้ำ 8.8-10.4  $m^3/sec$  จะได้เฮดของระบบสูบน้ำดิบมีค่า 12-13 เมตร และจากรูปที่ 2 พบว่าการเดินเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วคงที่ 1 เครื่อง จะให้อัตราการสูบน้ำ 2.6  $m^3/sec$  ดังนั้น หากอัตราการสูบน้ำต่ำ ( 8  $m^3/sec$ ) การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วคงที่ที่จะทำให้เครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้เครื่องอื่น จะต้องลดความเร็วรอบลงมากเพื่อลดอัตราการสูบน้ำ จึงทำให้เครื่องสูบน้ำไม่ได้ใช้งานในช่วง BEP ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำจึงลดลงและทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดลงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 6 สำหรับกรณีอัตราการสูบน้ำสูง ( 8.8, 9.6 และ 10.4  $m^3/sec$  ) การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จำนวน 1 และ 2 เครื่อง พบว่า ค่าประสิทธิภาพโดยรวม เมื่อเทียบกับการเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ทุกเครื่อง มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากอัตราการสูบน้ำสูงจะทำให้เครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้เครื่องอื่น มีความเร็วรอบมากกว่า 80% และอยู่ในช่วง BEP จึงทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำยังมีค่าสูงและส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบมีค่าสูงเช่นกัน



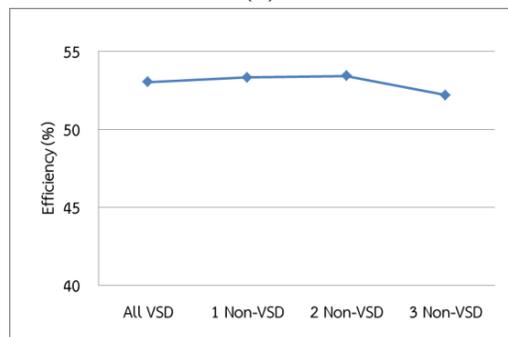
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 6 ประสิทธิภาพโดยรวม กรณีเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ร่วมกับเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วคงที่ (ก) อัตราการสูบน้ำ 8  $m^3/sec$

(ข) อัตราการสูบน้ำ 8.8  $m^3/sec$

(ค) อัตราการสูบน้ำ 9.6  $m^3/sec$

(ง) อัตราการสูบน้ำ 10.4  $m^3/sec$



การเดินเครื่องสูบน้ำในระบบท่อเดียวกัน ความดันในเส้นท่อจะเท่ากันในทุกเครื่องสูบน้ำ แต่เมื่อเครื่องสูบน้ำเดินเครื่องด้วยความเร็วรอบที่ไม่เท่ากัน เครื่องสูบน้ำที่ความเร็วรอบต่างกันจะสร้างเฮดได้ต่าง ดังรูปที่ 2 จึงทำให้เครื่องสูบน้ำที่ความเร็วรอบต่ำกว่า ซึ่งสร้างเฮดได้ต่ำกว่า แต่เมื่อต้องเดินร่วมกับเครื่องสูบน้ำที่ความเร็วรอบสูงกว่า เฮดสูงกว่า จะทำให้จุดทำงานถอยหลัง อัตราการสูบน้ำลดลง และประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำลดลง

การเดินเครื่องสูบน้ำที่ความเร็วรอบใกล้เคียงกัน จะทำให้เครื่องสูบน้ำแต่ละเครื่องสร้างเฮดที่ใกล้เคียงกันจะทำให้เครื่องสูบน้ำแต่ละเครื่องสามารถสมดุลย์ความดันในระบบท่อ และสามารถใช้ความเร็วรอบเครื่องสูบน้ำให้เหมาะสมกับการเดินเครื่องได้

### 3. การหาสภาวะทำงานที่ทำให้การเดินเครื่องสูบน้ำประหยัดพลังงาน

การต่อเครื่องสูบน้ำร่วมกันแบบขนาน เป็นการต่อเครื่องสูบน้ำเพื่อเพิ่มอัตราการสูบน้ำ ในการทดลองนี้เป็นเครื่องสูบน้ำชนิด Centrifugal Mixed Flow

การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ทุกเครื่องจะมีประสิทธิภาพโดยรวมมีค่าสูง ทั้งกรณีเดินเครื่องสูบน้ำ 4 และ 5 เครื่องเนื่องจาก Efficiency Curve ของเครื่องสูบน้ำ เมื่อปรับลดความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำลงมา จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำยังมีค่าสูงและส่งผลให้จุดทำงานของเครื่องสูบน้ำมีความใกล้เคียงกับจุด BEP ของแต่ละช่วงความเร็วรอบมากที่สุด ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำมีค่าสูงและประหยัดพลังงานได้

การพิจารณาจำนวนเครื่องสูบน้ำให้เหมาะสมกับอัตราการผลิต กรณีอัตราการผลิต  $8 \text{ m}^3/\text{sec}$  การเดินเครื่องสูบน้ำจำนวน 4 เครื่อง จะได้อัตราการผลิตที่เพียงพอกับความต้องการและมีค่าประสิทธิภาพโดยรวมดีกว่าการเดินเครื่องสูบน้ำจำนวน 5 เครื่อง เนื่องจากอัตราการผลิต  $8 \text{ m}^3/\text{sec}$  การเดินเครื่องสูบน้ำจำนวน 5 เครื่อง จะส่งผลให้เครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบจะต้องลดความเร็วรอบลงเหลือ 70-75 % และจุดใช้งานไม่ได้อยู่ในช่วง BEP จึงส่งผลให้

เครื่องสูบน้ำมีค่าประสิทธิภาพโดยรวมที่ต่ำกว่าการเดินเครื่องสูบน้ำจำนวน 4 เครื่อง ซึ่งจะใช้ความเร็วรอบ 75-85% และกรณีอัตราการผลิต  $8.8 \text{ m}^3/\text{sec}$  จะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับอัตราการผลิต  $8 \text{ m}^3/\text{sec}$

สำหรับอัตราการสูบน้ำ 8.8, 9.6 และ  $10.4 \text{ m}^3/\text{sec}$  การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ร่วมกับเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จำนวน 1 เครื่อง จะพบว่า มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมสูงที่สุด เนื่องจากอัตราการสูบน้ำดังกล่าว เครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้มีความเร็วรอบมากกว่า 80 % จึงทำให้เครื่องสูบน้ำทั้งชนิดปรับความเร็วรอบได้และชนิดความเร็วรอบคงที่มีอัตราการสูบน้ำไม่แตกต่างกันมากนัก

จากรูปที่ 3(ก) อัตราการสูบน้ำ  $8.8-10.4 \text{ m}^3/\text{sec}$  จะมีเฮดอยู่ในช่วง 12.5-13.5 เมตร ซึ่งเฮดของเครื่องสูบน้ำที่ความเร็วรอบ 70 และ 80 % จะมีอัตราการสูบน้ำ 1 และ  $1.75 \text{ m}^3/\text{sec}$  ตามลำดับ พบว่า จุดทำงานของเครื่องสูบน้ำจะไม่ได้อยู่ในช่วง BEP จึงทำให้ประสิทธิภาพต่อเครื่องมีค่าต่ำ และกรณีเดินเครื่องสูบน้ำที่ความเร็วรอบมากกว่า 85 % จะได้อัตราการสูบน้ำมากกว่า  $2 \text{ m}^3/\text{sec}$  และจุดทำงานของเครื่องสูบน้ำอยู่ในช่วง BEP จึงทำให้ประสิทธิภาพต่อเครื่องมีค่าสูง ดังแสดงในรูปที่ 2

การลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ สำหรับเครื่องสูบน้ำขนาด 530 kW จะใช้เงินลงทุน 8 ล้านบาทต่อเครื่อง พิจารณาอัตราการสูบน้ำ  $9.6 \text{ m}^3/\text{sec}$  ค่าพลังงานไฟฟ้า 4 บาท/kWh จะพบว่า การติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ 1 เครื่อง จะมีระยะคืนทุน 1 ปี และมีผลประหยัด 12.3 % แต่เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ผลประหยัดที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก อีกทั้งยังส่งผลให้ระยะคืนทุนเพิ่มขึ้นตามจำนวนอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบที่ติดตั้งเพิ่มอีกด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2

สำหรับการทดลองนี้เมื่อพิจารณา ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสูบน้ำดิบ ผลประหยัดจากการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบและเงินลงทุนจากการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ พบว่า การติดตั้ง



อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบให้กับเครื่องสูบน้ำจำนวน 2 เครื่อง ใช้เงินลงทุน 16 ล้านบาทและมีระยะคืนทุน 1.8 ปี แต่จะสามารถประหยัดพลังงานในระบบสูบน้ำดิบได้สูงสุด 13.4 % แต่ถ้าพิจารณาถึงอัตราการสูบน้ำตลอดช่วง 8.0-10.4  $m^3/sec$  จะพบว่า การติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบให้กับเครื่องสูบน้ำจำนวน 3 เครื่อง แม้จะต้องใช้เงินลงทุน 24 ล้านบาท ระยะคืนทุน 2.7 ปี สามารถประหยัดพลังงานได้ 13.0 % แต่ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมในอัตราการสูบน้ำ 8.0-10.4  $m^3/sec$  มีค่าประสิทธิภาพที่ดีในทุกอัตราการสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ จะสามารถปรับอัตราการสูบน้ำได้ในช่วงกว้าง โดยอาศัยการปรับความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ[10] เพื่อเพิ่มหรือลดอัตราการสูบน้ำ และ เฮด โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างตาม Affinity Law [11] นอกจากนี้ยังสามารถประหยัดพลังงานได้จากการลดความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ แต่จะมีการสูญเสียพลังงานในอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบเพิ่มขึ้นมา เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษา ส่วนเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จะอาศัยการทรีวาล์วเพื่อลดอัตราการสูบน้ำ ซึ่งสามารถควบคุมอัตราการสูบน้ำได้ส่วนหนึ่งแต่จะไม่สามารถลดการใช้พลังงานลงได้

การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ ร่วมกับเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ ควรเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบไม่ได้จำนวน 1 หรือ 2 เครื่อง โดยที่เครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็ว

รอบได้ จะต้องมีความเร็วรอบไม่น้อยกว่า 85% เพื่อให้เครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ สามารถใช้งานในช่วง BEP ได้ ดังนั้น การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ร่วมกับเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดเงินลงทุนในการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ โดยการติดตั้งเท่าที่จำเป็นและยังสามารถบริหารจัดการให้ระบบสูบน้ำดิบมีประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุดและสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า

### สรุปผลการทดลอง

การเดินเครื่องสูบน้ำในระบบสูบน้ำดิบ จะเดินเครื่องสูบน้ำหลายเครื่องต่อรวมกันแบบขนานเพื่อเพิ่มอัตราการสูบน้ำ ระบบสูบน้ำจากแหล่งน้ำดิบที่ระดับต่ำกว่าเครื่องสูบน้ำเข้าสู่ระบบผลิต

1. การพิจารณาเลือกจำนวนเครื่องสูบน้ำให้เหมาะสมกับอัตราการสูบน้ำ จะทำให้เครื่องสูบน้ำสามารถเดินเครื่องในช่วง BEP ได้
2. การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ทุกเครื่อง เหมาะสมกับอัตราการสูบน้ำในช่วงอัตราการสูบน้ำต่ำ – สูง สามารถใช้งานได้ในช่วงกว้าง
3. การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ร่วมกับเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จำนวน 1 - 2 เครื่อง จะให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสูบน้ำที่ดีที่สุด

ตารางที่ 2 ผลประหยัดจากการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ

สถานะ	Energy Consumption (kWh/ปี)	Energy Saving (kWh/ปี)	% Saving	ระยะคืนทุน (ปี)
4 pumps 100% Dimmed Valve	16,819,200			
3 pumps 100% + 1 VSD-pump	14,743,080	2,076,120	12.3%	1.0
2 pumps 100% + 2 VSD-pumps	14,559,120	2,260,080	13.4%	1.8
1 pump 100% + 3 VSD-pumps	14,629,200	2,190,000	13.0%	2.7
4 VSD-pumps	15,067,200	1,752,000	10.4%	4.6

หมายเหตุ : 1. กรณีอัตราการสูบน้ำ 9.6  $m^3/sec$

2. ค่าพลังงานไฟฟ้า 4 บาท/kWh

การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ จะสามารถควบคุมอัตราการสูบน้ำได้ในช่วงกว้างโดยอาศัยการปรับความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำแต่การติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบจะมีค่าใช้จ่ายในงานติดตั้ง งานบำรุงรักษาและการสูญเสียในอุปกรณ์การเดินเครื่องสูบน้ำชนิดปรับความเร็วรอบได้ร่วมกับเครื่องสูบน้ำชนิดความเร็วรอบคงที่ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการบริหารจัดการ

### เอกสารอ้างอิง

[1] Sookkumnerd, C., Priprem, S., Hnunwong, A., Nadpoa, T. and Pholkor, P. (2008). Energy conservation of raw water pump at nampong power plant by using variable speed drive, paper presented in *The 4<sup>th</sup> Conference on Energy Network of Thailand*, Chonburi, Thailand.

[2] Oshurbekov, S., Kazakbaev, V., Prakht, V., Dmitrievskii, V. and Gevorkov, L. (2020). Energy consumption comparison of a single variable-speed pump and a system of two pumps: variable-speed and fixed speed, *Applied Sciences*, vol. 10(24), pp. 8820.

[3] Jilani, A. and Razali, A. (2018). Variable speed pump performance characteristics for domestic application, paper presented in *MTEC Web of Conferences 225*, Pahang, Malaysia.

[4] Pipathattakul, M. and Thadniam, V. (2011). Effect of rotational speed on pump performance, *Pathumwan Academic Journal*, vol. 1(1), pp. 59-64.

[5] Kalaiselvan, A.S.V., Subramaniam, U., Shanmugam, P. and Hanigovszki, N. (2016). A comprehensive review on energy efficiency enhancement initiatives in centrifugal pumping station, *Applied Energy*, vol. 181, pp. 495-513.

[6] DeBenedictis, A., Haley, B., Woo, C.K. and Cutter, E. (2013). Operational energy-efficiency improvement of municipal water pumping in California, *Energy*, vol. 53, pp. 237-243.

[7] Meetara, T. (2013). *Study on energy management system for water supply generating system: case study of provincial waterworks authority Lopburi* (Master dissertation). King Mongkut University of Technology Thonburi.

[8] Thai Industrial Standards Institute. (2017). Rotating electrical machines – Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code). Thai Industrial Standards Institute.

[9] Pooley, E.I.J. (2022). Variable speed drives, *Energy in building & industry*, pp. 17-20.

[10] Nugroho, D.O.W., Soehartanto, T. and Wibiwo, T.A. (2020). Performance of water pump on distribution and transmission process using variable speed drive, *IPTeK Journal of Engineering*, vol. 6(2), 2013, pp. 22-27.

[11] Bogarrasa, K. (2022). The effect of rotational speed variation on the performance in the centrifugal pump, *Journal of Research and Applications in Mechanical Engineering*, vol. 10(1), pp. 1-7.