

บทที่ 4

ผลของการวิจัย

วิธีประเมินหาค่าผลประหยัดพลังงานของเครื่องสูบบแบบหอยโข่งด้วยการลดขนาดใบพัด จะใช้สมการกฎความคล้ายของเครื่องสูบ (pump affinity laws) ทั้ง 3 ชุด และจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ร่วมกับสมการกฎความคล้ายของเครื่องสูบทั้ง 3 ชุด เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานกับผลการทดสอบจริง โดยใช้ข้อมูลการทดสอบเครื่องสูบบแบบหอยโข่ง จากศูนย์ฝึกอบรมปฏิบัติการอนุรักษ์พลังงาน (Mini Plant) ตั้งอยู่ที่อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข โดยมีรายการผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องสูบ เส้นผ่าศูนย์กลาง 159 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบ 2945 รอบต่อนาที						
Paddle Flow Q (m ³ /h)	Suction Pressure P _s (kPa)	Discharge Pressure P _d (kPa)	Head Pump H (m)	Electric Power P (kW)	Efficiency η (%)	Number of Revolution n (rpm)
0.00	2.55	370	37.457	2.260	0.000	2988
10.40	2.10	360	36.483	2.970	34.813	2978
20.30	0.41	337	34.311	3.810	49.816	2961
32.20	-2.86	283	29.140	4.770	53.603	2933
39.50	-5.44	229	23.898	5.370	47.902	2911

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องสูบลำเส้นผ่าศูนย์กลาง 153 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบ 2945 รอบต่อนาที						
Paddle Flow Q (m ³ /h)	Suction Pressure P _s (kPa)	Discharge Pressure P _d (kPa)	Head Pump H (m)	Electric Power P (kW)	Efficiency η (%)	Number of Revolution n (rpm)
0.00	3.42	348	35.125	2.050	0.000	3024
10.30	2.40	339	34.312	2.690	35.801	3008
20.60	1.00	319	32.416	3.430	53.052	2987
31.80	-1.63	271	27.791	4.260	56.531	2975
38.90	-4.44	231	24.000	4.710	54.014	2963

สำหรับค่าเฮดของเครื่องสูบลำในแถวตั้งที่ 4 หาได้จากผลต่างของความดันที่ทางออกและทางเข้าในที่นี่คือข้อมูลในแถวตั้งที่ 3 และแถวตั้งที่ 2 ตามลำดับมีหน่วยเป็นเมตร ตัวอย่างเช่น ตารางที่ 4.1 เครื่องสูบลำทำงานที่จุด Q = 0 m³/h เฮดของเครื่องสูบลำได้จาก $(P_d - P_s) / \gamma = (370 - 2.55) / 9.81 = 37.457$ m และสำหรับค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ได้จากการคำนวณค่าตามสมการ (10) เช่น เครื่องสูบลำทำงานที่จุด Q = 10.40 m³/h ค่าประสิทธิภาพ $\eta = QHY/P = (10.40 * 36.483 * 9.81 * 100) / (2.970 * 3600) = 34.813$ เป็นต้น แสดงผลการคำนวณในแถวตั้งที่ 6

การคำนวณหาค่าจากสมการกฎความคล้ายของเครื่องสูบลำ (pump affinity laws) และการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ด้วยการลดขนาดใบพัด ต้องทำให้ความเร็วรอบคงที่ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับค่า ในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 โดยการทำให้ความเร็วรอบตรงกับคุณลักษณะของเครื่องสูบลำที่ 2945 rpm ซึ่งแสดงผลการปรับค่าในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ผลการปรับค่าความเร็วรอบให้คงที่ของเครื่องสูบ ที่เส้นผ่าศูนย์กลาง 159 มิลลิเมตร

Paddle Flow Q (m ³ /h)	Suction Pressure P _s (kPa)	Discharge Pressure P _d (kPa)	Head Pump H (m)	Electric Power P (kW)	Efficiency η (%)
0.000	2.513	364.675	36.918	2.227	0.000
10.285	2.077	356.011	36.079	2.937	34.427
20.190	0.408	335.179	34.126	3.789	49.547
32.332	-2.872	284.158	29.259	4.790	53.822
39.961	-5.504	231.675	24.177	5.433	48.461

ในการปรับค่าความเร็วรอบให้เท่ากับ 2945 rpm มีวิธีการคือ นำค่าความเร็วรอบที่ได้หารด้วยความเร็วรอบ 2945 rpm นำค่าที่คำนวณได้ไปหารค่าทุกตัวในแถวบนแถวนั้นทั้งหมด เช่น ตารางที่ 4.1 แถวที่ 1 ความเร็วรอบเท่ากับ 2988 rpm หารด้วยความเร็วรอบ 2945 rpm เท่ากับ 1.0146 นำค่านี้ไปหารค่าทุกตัวในแถวที่ 1 ทั้งหมด จะได้คำตอบ และแถวบนถัดไปก็ใช้หลักการเดียวกัน

ตารางที่ 4.4 ผลการปรับค่าความเร็วรอบให้คงที่ของเครื่องสูบน้ำที่เส้นผ่าศูนย์กลาง 153 มิลลิเมตร

Paddle Flow Q (m ³ /h)	Suction Pressure P _s (kPa)	Discharge Pressure P _d (kPa)	Head Pump H (m)	Electric Power P (kW)	Efficiency η (%)
0.000	3.331	338.909	34.208	1.996	0.000
10.084	2.350	331.900	33.593	2.634	35.051
20.310	0.986	314.515	31.960	3.382	52.306
31.479	-1.614	268.267	27.511	4.217	55.961
38.664	-4.413	229.597	23.854	4.681	53.686

ถ้า นำเครื่องสูบน้ำที่ทดสอบนี้ไปใช้กับระบบท่อที่มีสมการเสถียรของระบบท่อ (Total System Head) จำนวน 5 สมการ ดังต่อไปนี้

$$H_{sys} = 5 + 0.015 Q^2 \quad (1)$$

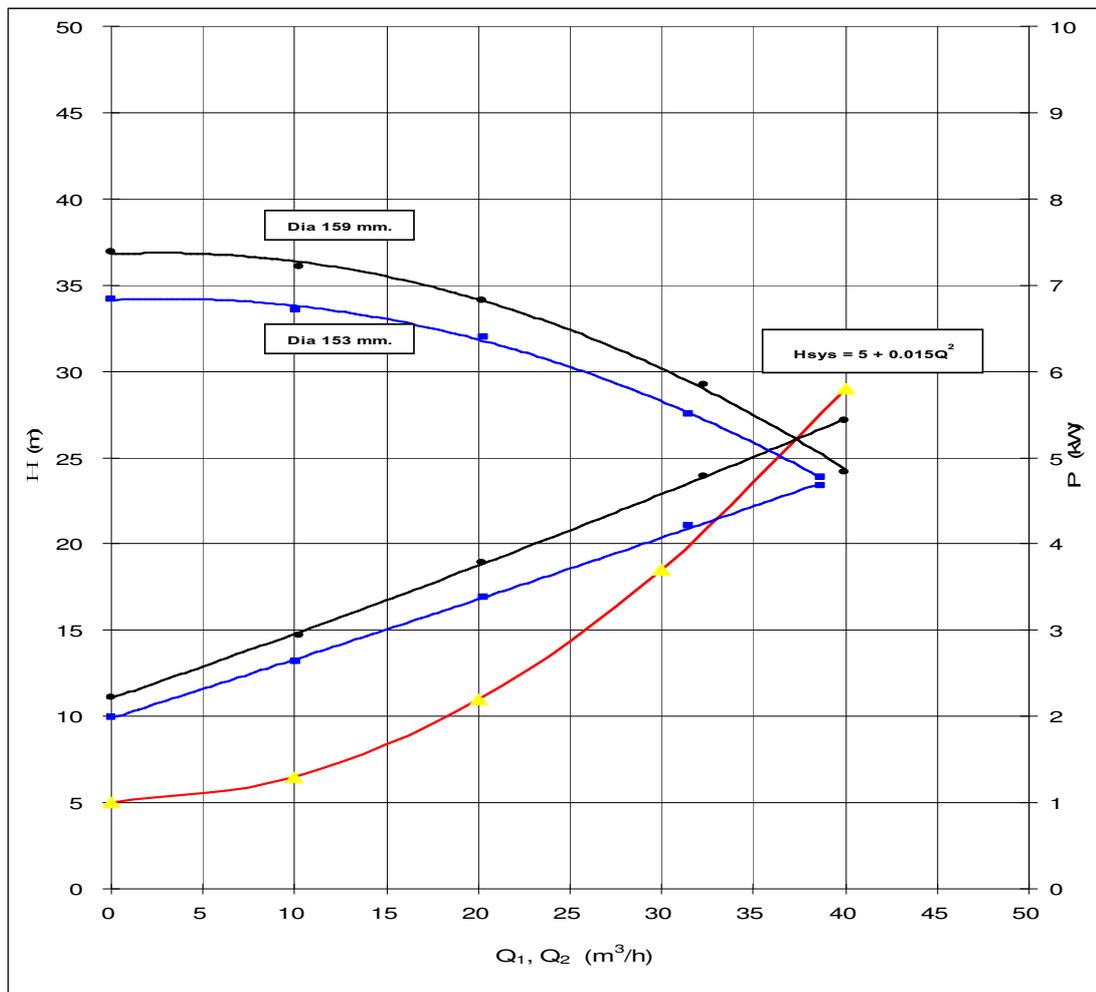
$$H_{sys} = 10 + 0.015 Q^2 \quad (2)$$

$$H_{sys} = 15 + 0.015 Q^2 \quad (3)$$

$$H_{sys} = 20 + 0.015 Q^2 \quad (4)$$

$$H_{sys} = 25 + 0.015 Q^2 \quad (5)$$

ดังนั้นจากข้อมูลในตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4 และสมการเสถียรของระบบท่อ (Total System Head) สามารถหาจุดทำงานที่แท้จริงของเครื่องสูบน้ำได้ด้วยการนำค่า Q H P ของตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4 นำมา plot graph ร่วมกับสมการเสถียรของระบบท่อ ที่แทนค่า Q ตั้งแต่ 0 – 40 m³/h นำมาเขียนเส้นโค้งร่วมกัน จุดตัดกันของเส้นโค้งเสถียรของเครื่องสูบน้ำและเส้นโค้งเสถียรของระบบท่อ คือจุดทำงานของเครื่องสูบน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 – 4.5 และในตารางที่ 4.5 – 4.9

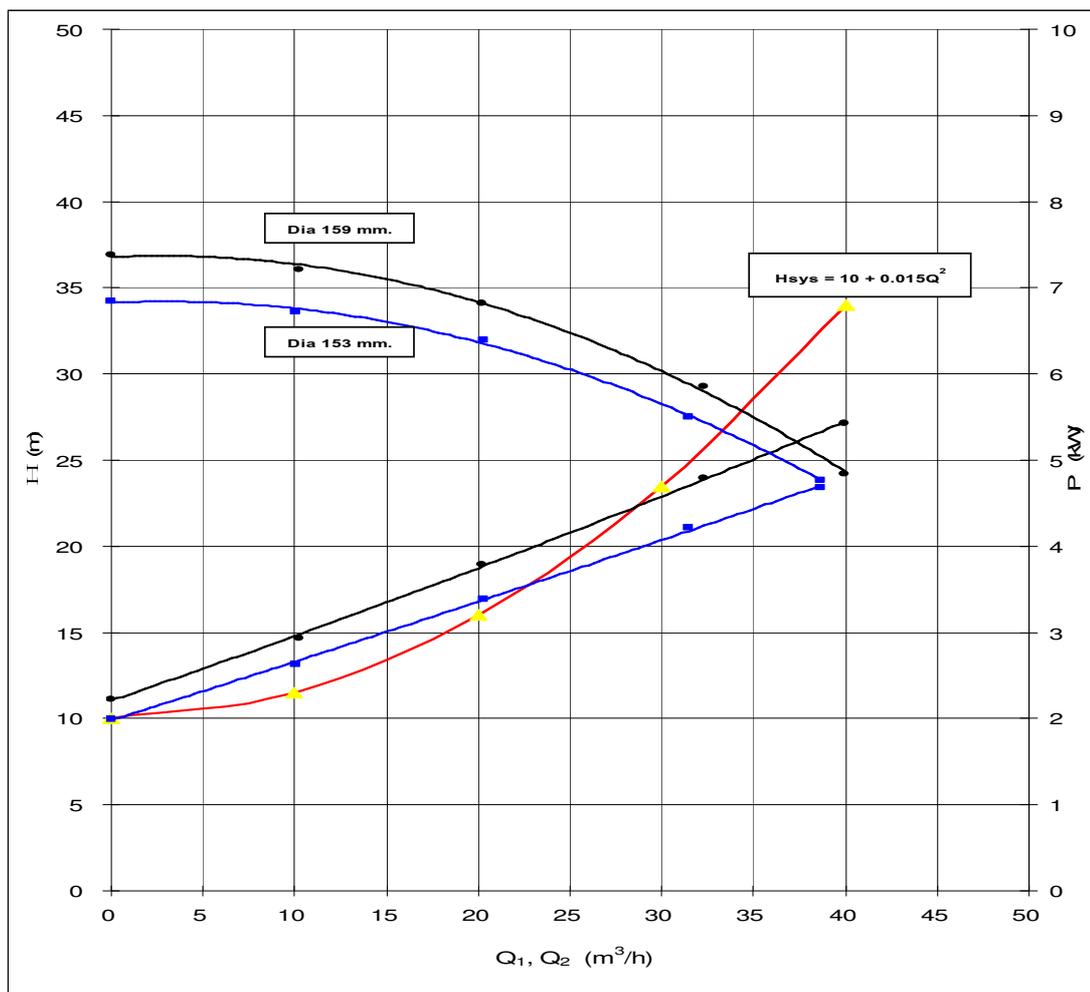


รูปที่ 4.1 การหาจุดทำงานของเครื่องสูบน้ำ ที่ $H_{sys} = 5 + 0.015 Q^2$

ตารางที่ 4.5 จุดทำงานของเครื่องสูบน้ำ ที่ $H_{sys} = 5 + 0.015 Q^2$

Diameter (mm.)	Q (m ³ /h)	H (m)	P (kW)	η (%)
159	37.300	26.150	5.225	50.870
153	35.820	25.640	4.500	55.616

ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ได้จากการคำนวณค่าตามสมการ (10)

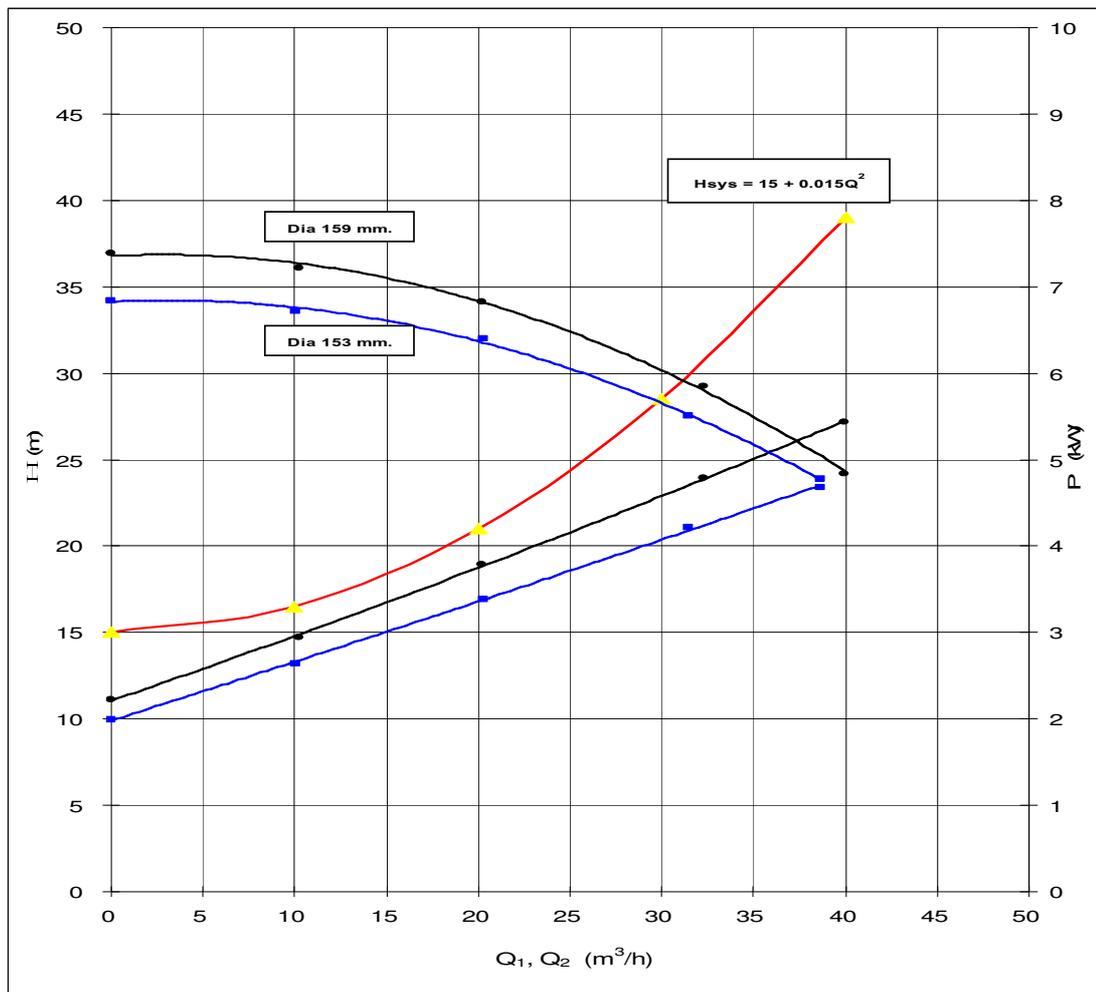


รูปที่ 4.2 การหาจุดทำงานของเครื่องสูบลูกสูบ ที่ $H_{sys} = 10 + 0.015 Q^2$

ตารางที่ 4.6 จุดทำงานของเครื่องสูบลูกสูบ ที่ $H_{sys} = 10 + 0.015 Q^2$

Diameter (mm.)	Q (m ³ /h)	H (m)	P (kW)	η (%)
159	34.365	27.875	4.950	52.734
153	33.275	26.750	4.325	56.082

ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ได้จากการคำนวณค่าตามสมการ (10)

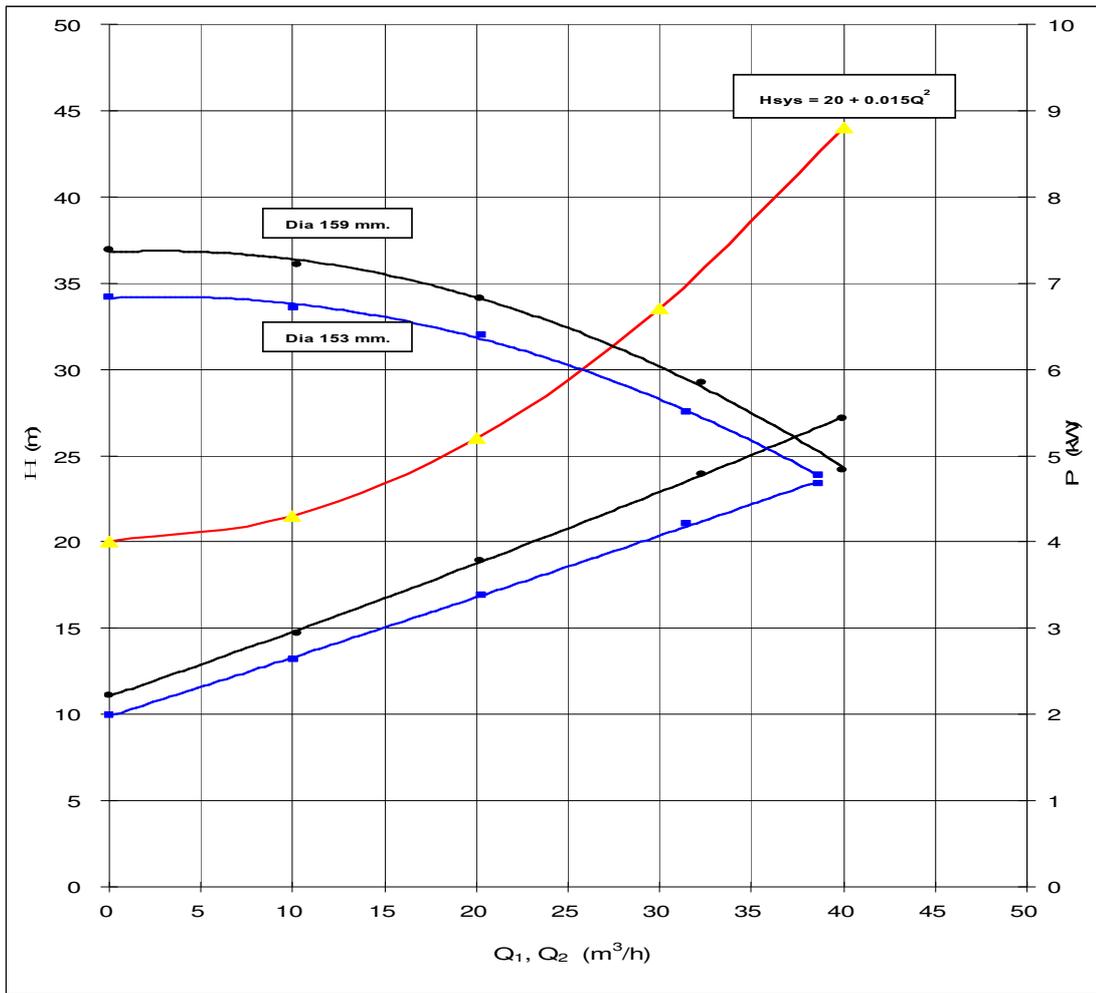


รูปที่ 4.3 การหาจุดทำงานของเครื่องสูบน้ำ ที่ $H_{sys} = 15 + 0.015 Q^2$

ตารางที่ 4.7 จุดทำงานของเครื่องสูบน้ำ ที่ $H_{sys} = 15 + 0.015 Q^2$

Diameter (mm.)	Q (m ³ /h)	H (m)	P (kW)	η (%)
159	31.000	29.625	4.663	53.669
153	29.800	28.313	4.050	56.769

ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ได้จากการคำนวณค่าตามสมการ (10)

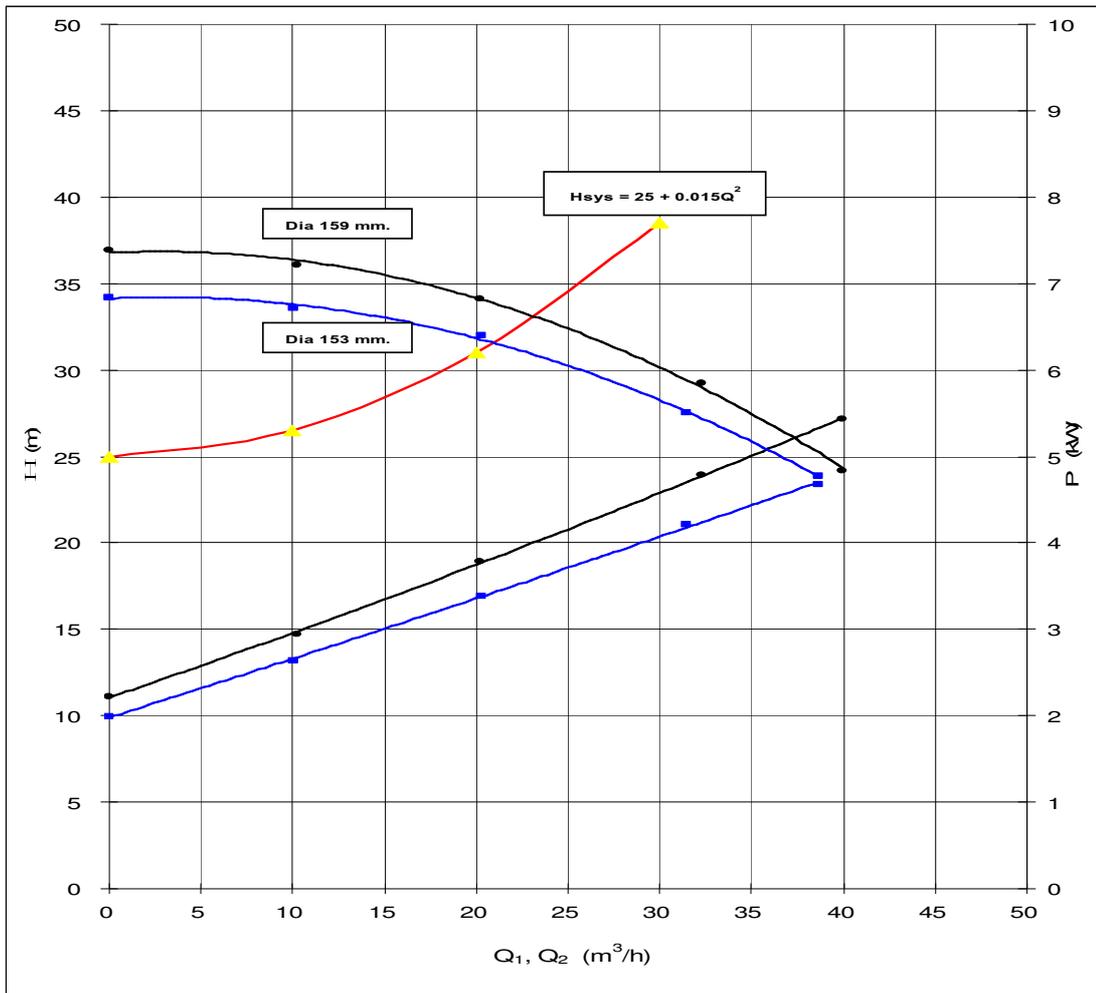


รูปที่ 4.4 การหาจุดทำงานของเครื่องสูบน้ำ ที่ $H_{sys} = 20 + 0.015 Q^2$

ตารางที่ 4.8 จุดทำงานของเครื่องสูบน้ำ ที่ $H_{sys} = 20 + 0.015 Q^2$

Diameter (mm.)	Q (m ³ /h)	H (m)	P (kW)	η (%)
159	27.545	31.375	4.363	53.977
153	25.727	30.000	3.763	55.891

ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ได้จากการคำนวณค่าตามสมการ (10)



รูปที่ 4.5 การหาจุดทำงานของเครื่องสูบน้ำ ที่ $H_{sys} = 25 + 0.015 Q^2$

ตารางที่ 4.9 จุดทำงานของเครื่องสูบน้ำ ที่ $H_{sys} = 25 + 0.015 Q^2$

Diameter (mm.)	Q (m ³ /h)	H (m)	P (kW)	η (%)
159	23.100	33.125	4.000	52.128
153	21.000	31.625	3.425	52.839

ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ได้จากการคำนวณค่าตามสมการ (10)

การเปรียบเทียบผลทดสอบกับกฎความคล้ายของเครื่องสูบ

เมื่อเราทราบค่าจุดทำงานของเครื่องสูบ ครบทั้ง 5 ชุดแล้ว ต่อไปจะเป็นการคำนวณด้วยสมการกฎความคล้ายของเครื่องสูบ (Pump Affinity Laws) ทั้ง 3 ชุด มีสมการ ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สมการกฎความคล้ายของเครื่องสูบ (Pump Affinity Laws)

Set	FLOWRATE	HEAD	POWER
Affinity 1	$\frac{Q'}{Q} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)$	$\frac{H'}{H} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$	$\frac{P'}{P} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3$
Affinity 2	$\frac{Q'}{Q} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3$	$\frac{H'}{H} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$	$\frac{P'}{P} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5$
Affinity 3	$\frac{Q'}{Q} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$	$\frac{H'}{H} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$	$\frac{P'}{P} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4$

ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่ได้จากการทดสอบและค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการกฎความคล้ายของเครื่องสูบทั้ง 3 ชุด แสดงในตารางที่ 4.11 – 4.15 โดยแถวที่ 1 – 2 เป็นค่าจริงที่ได้จากการทดสอบร่วมกับระบบท่อที่มีสมการเฮดรวมของระบบท่อ (Total System Head) จำนวน 5 สมการ และในแถวที่ 3 – 5 เป็นค่าที่คำนวณจากสมการกฎความคล้ายของเครื่องสูบ และค่าประสิทธิภาพในแถวตั้งที่ 4 คำนวณจากสมการที่ (10)

ตารางที่ 4.11 ผลการคำนวณจากสมการกฎความคล้าย ที่ $H_{sys} = 5 + 0.015 Q^2$

Diameter (mm.)	Q (m ³ /h)	H (m)	η (%)	P (kW)	P (Error) (%)
159 (Actual)	37.300	26.150	50.870	5.225	-
153 (Actual)	35.820	25.640	55.616	4.500	0
153 (Affinity 1)	35.820	24.116	50.870	4.627	2.831
153 (Affinity 2)	35.820	25.454	50.870	4.884	8.535
153 (Affinity 3)	35.820	25.112	50.870	4.819	7.080

ตารางที่ 4.12 ผลการคำนวณจากสมการกฎความคล้าย ที่ $H_{sys} = 10 + 0.015 Q^2$

Diameter (mm.)	Q (m ³ /h)	H (m)	η (%)	P (kW)	P (Error) (%)
159 (Actual)	34.365	27.875	52.734	4.950	-
153 (Actual)	33.275	26.750	56.082	4.325	0
153 (Affinity 1)	33.275	26.135	52.734	4.494	3.902
153 (Affinity 2)	33.275	27.282	52.734	4.691	8.465
153 (Affinity 3)	33.275	26.991	52.734	4.641	7.306

ตารางที่ 4.13 ผลการคำนวณจากสมการกฎความคล้าย ที่ $H_{sys} = 15 + 0.015 Q^2$

Diameter (mm.)	Q (m ³ /h)	H (m)	η (%)	P (kW)	P (Error) (%)
159 (Actual)	31.000	29.625	53.669	4.663	-
153 (Actual)	29.800	28.313	56.769	4.050	0
153 (Affinity 1)	29.800	27.376	53.669	4.142	2.276
153 (Affinity 2)	29.800	28.855	53.669	4.366	7.804
153 (Affinity 3)	29.800	28.478	53.669	4.309	6.395

ตารางที่ 4.14 ผลการคำนวณจากสมการกฎความคล้าย ที่ $H_{sys} = 20 + 0.015 Q^2$

Diameter (mm.)	Q (m ³ /h)	H (m)	η (%)	P (kW)	P (Error) (%)
159 (Actual)	27.545	31.375	53.977	4.363	-
153 (Actual)	25.727	30.000	55.891	3.763	0
153 (Affinity 1)	25.727	27.370	53.977	3.555	-5.531
153 (Affinity 2)	25.727	29.979	53.977	3.894	3.473
153 (Affinity 3)	25.727	29.304	53.977	3.806	1.145

ตารางที่ 4.15 ผลการคำนวณจากสมการกฎความคล้ายที่ $H_{sys} = 25 + 0.015 Q^2$

Diameter (mm.)	Q (m ³ /h)	H (m)	η (%)	P (kW)	P (Error) (%)
159 (Actual)	23.100	33.125	52.128	4.000	-
153 (Actual)	21.000	31.625	52.839	3.425	0
153 (Affinity 1)	21.000	27.376	52.128	3.005	-12.255
153 (Affinity 2)	21.000	31.086	52.128	3.412	-0.365
153 (Affinity 3)	21.000	30.114	52.128	3.306	-3.481

จากนั้นคำนวณหาจุดทำงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจากสมการกฎความคล้ายทั้ง 3 ชุด หาสมการแบบจำลองของเครื่องสูบจากข้อมูลผลการทดสอบในตารางที่ 4.3 ร่วมกับสมการ (11) (12) (13) และ (16) ได้สมการดังนี้

$$H_o = 36.918 \text{ m}$$

$$Q_o = 0.00 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_m = 24.177 \text{ m}$$

$$Q_m = 39.961 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\eta_{\max} = 53.822 \%$$

$$Q_p = 32.332 \text{ m}^3/\text{h}$$

จากสมการ (16)

$$a = \frac{H_m - H_o}{Q_m^2}$$

จะได้

$$a = -0.007978$$

จากสมการ (11)

$$H = aQ^2 + bQ + c$$

จากสมการ (12)

$$c = H_o$$

จากสมการ (13)

$$b = 0$$

จะได้ $H = -0.007978Q^2 + 36.918$

สามารถหา Q_{\max} ได้โดยแทน $H = 0$ จะได้

$$Q_{\max} = 68.026 \text{ m}^3/\text{h}$$

หาสมการประสิทธิภาพดังนี้

สมการ (21)
$$h = \frac{\eta_{\max} Q_{\max} (2Q_{\max} - 3Q_p)}{Q_p (Q_{\max} - Q_p)^2}$$

สมการ (22)
$$g = \frac{\eta_{\max} (3Q_p^2 - Q_{\max}^2)}{Q_p^2 (Q_{\max} - Q_p)^2}$$

สมการ (23)
$$f = \frac{\eta_{\max} (Q_{\max} - 2Q_p)}{Q_p^2 (Q_{\max} - Q_p)^2}$$

จะได้ $h = 3.471358$

$$g = -0.060272$$

$$f = 0.0001358$$

นำค่า f, g, h ที่ได้แทนค่าในสมการ (17)

สมการ (17)
$$\eta = fQ^3 + gQ^2 + hQ$$

จะได้สมการประสิทธิภาพคือ

$$\eta = 0.0001358Q^3 - 0.060272Q^2 + 3.471358Q$$

แทนค่าอัตราการไหล $Q = 37.300 \text{ m}^3/\text{h}$ มาจากจุดทำงาน $H_{\text{sys}} = 5 + 0.015 Q^2$

จะได้ $H = 25.818 \text{ m}$ และ $\eta = 52.673 \%$

ต่อไปเป็นการหาสมการเฮดของเครื่องสูบลูกสูบ ที่เส้นผ่าศูนย์กลาง D_2 ด้วยสมการ (24) - (26) ที่อัตราการไหล $Q = 35.820 \text{ m}^3/\text{h}$ มาจากจุดทำงาน $H_{\text{sys}} = 5 + 0.015 Q^2$

$$\text{สมการ (24)} \quad \frac{H'}{(D_2/D_1)^2} = a \left(\frac{Q'}{D_2/D_1} \right)^2 + b \left(\frac{Q'}{D_2/D_1} \right) + c$$

ได้ $H' = 23.948 \text{ m}$

$$\text{สมการ (25)} \quad \frac{H'}{(D_2/D_1)^2} = a \left(\frac{Q'}{(D_2/D_1)^3} \right)^2 + b \left(\frac{Q'}{(D_2/D_1)^3} \right) + c$$

ได้ $H' = 22.245 \text{ m}$

$$\text{สมการ (26)} \quad \frac{H'}{(D_2/D_1)^2} = a \left(\frac{Q'}{(D_2/D_1)^2} \right)^2 + b \left(\frac{Q'}{(D_2/D_1)^2} \right) + c$$

ได้ $H' = 23.129 \text{ m}$

หาสมการประสิทธิภาพของเครื่องสูบลูกสูบ ที่เส้นผ่าศูนย์กลาง D_2 ด้วยสมการ (27) - (29) ที่อัตราการไหล $Q = 35.820 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\text{สมการ (27)} \quad \eta' = f \left(\frac{Q'}{D_2/D_1} \right)^3 + g \left(\frac{Q'}{D_2/D_1} \right)^2 + h \left(\frac{Q'}{D_2/D_1} \right)$$

ได้ $\eta' = 52.707 \%$

$$\text{สมการ (28)} \quad \eta' = f \left(\frac{Q'}{(D_2/D_1)^3} \right)^3 + g \left(\frac{Q'}{(D_2/D_1)^3} \right)^2 + h \left(\frac{Q'}{(D_2/D_1)^3} \right)$$

ได้ $\eta' = 50.968 \%$

$$\text{สมการ (29)} \quad \eta' = f \left(\frac{Q'}{(D_2/D_1)^2} \right)^3 + g \left(\frac{Q'}{(D_2/D_1)^2} \right)^2 + h \left(\frac{Q'}{(D_2/D_1)^2} \right)$$

ได้ $\eta' = 51.953 \%$

หาค่ากำลังงาน (Power) จากสมการ (10) แทนค่าผลที่คำนวณได้ในตารางที่ 4.16 เสร็จแล้วทำขั้นตอนดังกล่าวอีก 4 สมการ แทนค่าผลการคำนวณในตารางที่ 4.17- 4.20

ตารางที่ 4.16 ผลการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ $H_{sys} = 5 + 0.015 Q^2$

Diameter (mm.)	Q (m ³ /h)	H (m)	η (%)	P (kW)	P (Error) (%)
159 (Actual)	37.300	26.150	50.870	5.225	-
153 (Actual)	35.820	25.640	55.616	4.500	0
159 (Model)	37.300	25.818	52.673	4.982	-4.649
153 (Model 1)	35.820	23.948	52.707	4.435	-1.446
153 (Model 2)	35.820	22.245	50.968	4.260	-5.328
153 (Model 3)	35.820	23.129	51.953	4.346	-3.432

ตารางที่ 4.17 ผลการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ $H_{sys} = 10 + 0.015 Q^2$

Diameter (mm.)	Q (m ³ /h)	H (m)	η (%)	P (kW)	P (Error) (%)
159 (Actual)	34.365	27.875	52.734	4.950	-
153 (Actual)	33.275	26.750	56.082	4.325	0
159 (Model)	34.365	27.496	53.626	4.802	-2.999
153 (Model 1)	33.275	25.351	53.583	4.290	-0.811
153 (Model 2)	33.275	23.882	52.652	4.113	-4.908
153 (Model 3)	33.275	24.644	53.214	4.199	-2.906

ตารางที่ 4.18 ผลการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ $H_{sys} = 15 + 0.015 Q^2$

Diameter (mm.)	Q (m ³ /h)	H (m)	η (%)	P (kW)	P (Error) (%)
159 (Actual)	31.000	29.625	53.669	4.663	-
153 (Actual)	29.800	28.313	56.769	4.050	0
159 (Model)	31.000	29.251	53.736	4.598	-1.386
153 (Model 1)	29.800	27.100	53.732	4.096	1.124
153 (Model 2)	29.800	25.921	53.762	3.915	-3.326
153 (Model 3)	29.800	26.533	53.819	4.003	-1.150

ตารางที่ 4.19 ผลการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ $H_{sys} = 20 + 0.015 Q^2$

Diameter (mm.)	Q (m ³ /h)	H (m)	η (%)	P (kW)	P (Error) (%)
159 (Actual)	27.545	31.375	53.977	4.363	-
153 (Actual)	25.727	30.000	55.891	3.763	0
159 (Model)	27.545	30.865	52.727	4.394	0.707
153 (Model 1)	25.727	28.904	52.322	3.873	2.918
153 (Model 2)	25.727	28.026	53.252	3.690	-1.951
153 (Model 3)	25.727	28.482	52.834	3.779	0.432

ตารางที่ 4.20 ผลการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ $H_{sys} = 25 + 0.015 Q^2$

Diameter (mm.)	Q (m ³ /h)	H (m)	η (%)	P (kW)	P (Error) (%)
159 (Actual)	23.100	33.125	52.128	4.000	-
153 (Actual)	21.000	31.625	52.839	3.425	0
159 (Model)	23.100	32.661	49.701	4.137	3.415
153 (Model 1)	21.000	30.666	48.463	3.621	5.723
153 (Model 2)	21.000	30.081	50.113	3.435	0.291
153 (Model 3)	21.000	30.385	49.311	3.526	2.952

Model 1, Model 2, Model 3 คือ สมการกฎความคล้ายของเครื่องสูบ (Pump Affinity Laws) จุดที่ 1 สมการที่ (1) - (3), จุดที่ 2 สมการที่ (4) - (6) และจุดที่ 3 สมการที่ (7) - (9) ตามลำดับ ใช้ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องสูบ