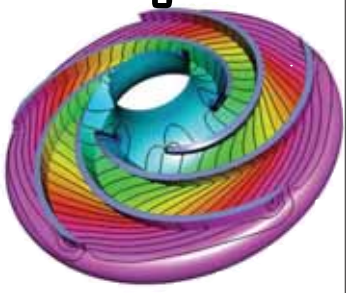
ปฐมบทการเรียนรู้เรื่องเครื่องสูบน้ำ



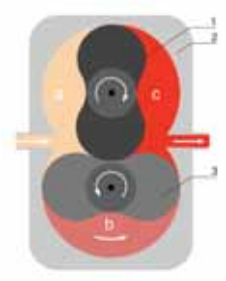
โดย ครรชิต วิเศษสมภาคย์

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

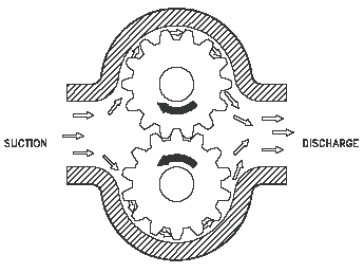
เครื่องสูบ (PUMPS)คือ เครื่องจักรกลที่ทำหน้าที่เคลื่อนของเหลวจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยการเพิ่มพลังงานให้กับของเหลวในรูปของความดันเพื่อที่จะชนะ พลังงานจลล์ แรงเสียดทานของท่อและอุปกรณ์ และความดันที่ต้องการของระบบ

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

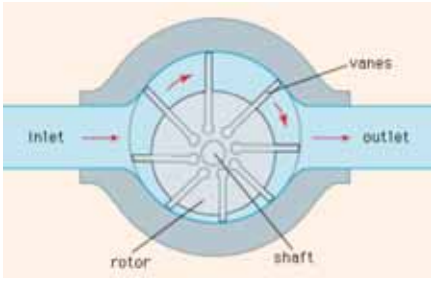
เครื่องสูบประเภท Positive Displacement



Lobe Pump

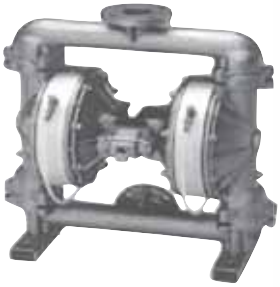


Gear Pump

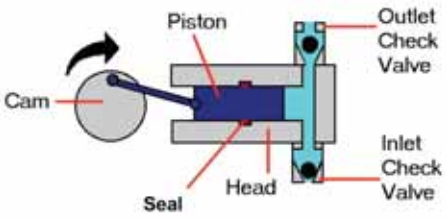


Vane Pump

Hose Pump



Diaphragm Pump



Reciprocating Pump

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

เครื่องสูบประเภท Rotodynamic

Regenerative
Turbine Pump

Centrifugal Pump

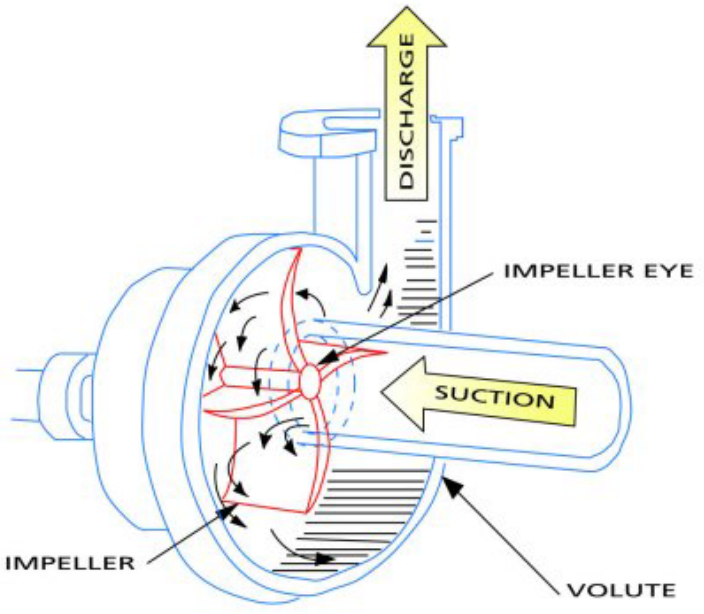
The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

CENTRIFUGAL PUMPS

พื้นฐานของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (CENTRIFUGAL) ประกอบด้วย ตัวเรือน และ ใบสูบบนเพลาที่หมุนได้ ตัวเรือนจะสร้างเส้นเขตของความดัน และนำน้ำจากท่อดูดผ่านไปยังท่อส่ง ใบสูบที่ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า หรือเครื่องยนต์จะเพิ่มพลังงานให้กับน้ำ และเหวี่ยงน้ำออกรอบใบสูบ ตัวเรือนที่ออกแบบให้มีรูปตัดแบบหอยโข่ง (VOLUTE CASING) จะรวบรวมน้ำที่ถูกเหวี่ยงออกจากใบสูบที่มีความเร็วสูง และค่อยๆลดความเร็วของน้ำลง ขณะที่น้ำไหลผ่านช่องทางเดินที่ขยายใหญ่ขึ้น พลังงานในน้ำจะเปลี่ยนจาก VELOCITY ENERGY ให้เป็น PRESSURE ENERGY

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

CENTRIFUGAL PUMPS



$$H = \frac{v^2}{2g}$$

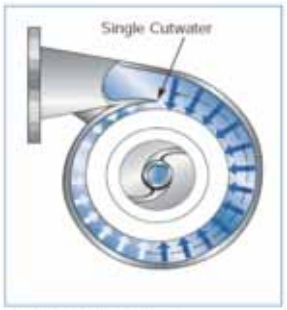
$$v = \frac{RPM \times D}{229}$$

Where
H = Total head developed in feet.
v = Velocity at periphery of impeller in feet per sec.
g = 32.2 Feet/Sec2

D = Impeller diameter in inches

CENTRIFUGAL PUMPS

ตัวเรือนของเครื่องสูบน้ำ ยังแบ่งได้เป็น ๒ ประเภท คือ SINGLE VOLUTE CASING และ DOUBLE VOLUTE CASING DOUBLE VOLUTE CASING จะสามารถลดแรงกระทำที่ไม่สมดุลย์ (UN-BALANCED RADIAL FORCES) บนใบสูบลงได้ ซึ่งหมายถึงการลดแรงกระทำบนเพลาและแบริ่งลง DOUBLE VOLUTE CASING จึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ ลดเสียงและแรงสั่นสะเทือน และยืดอายุการใช้งาน

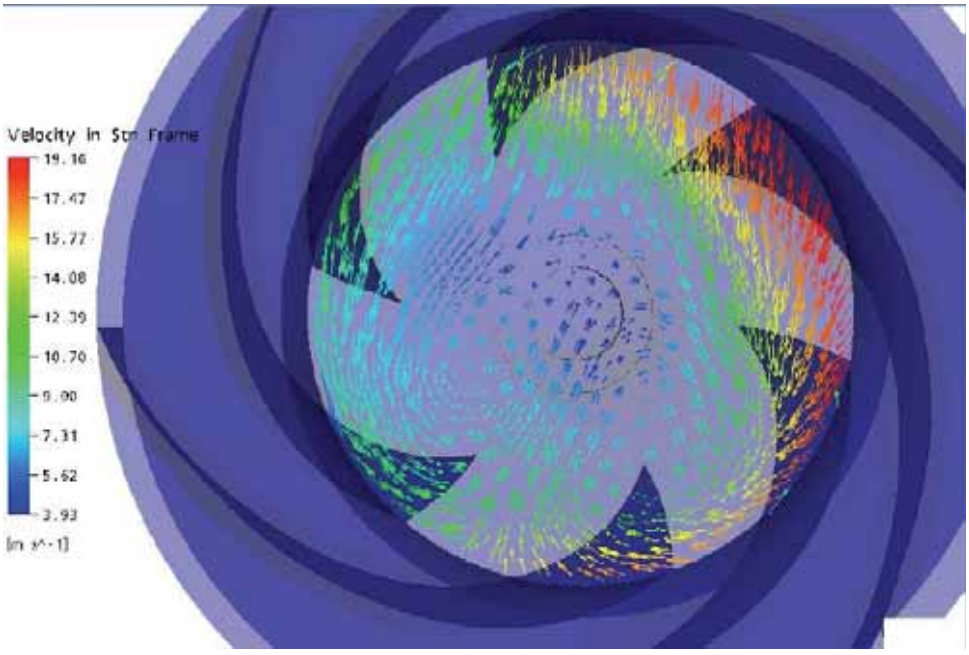


Conventional Single Volute
(unbalanced radial thrust causes
shaft deflection)

Cornell Double Volute
(radial thrust is offset and balanced
by the double volute design)

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

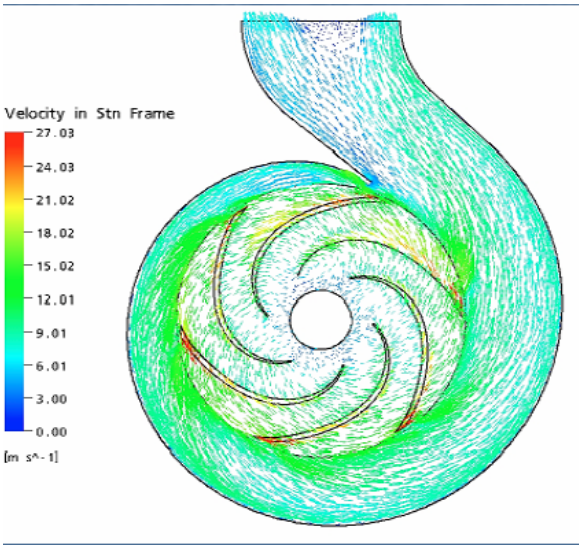
NUMERICAL SIMULATION OF A CENTRIFUGAL PUMP

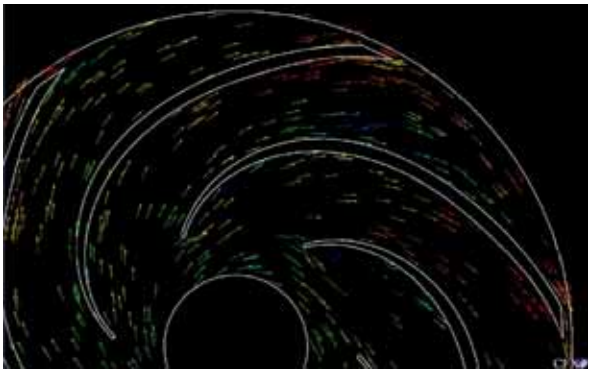


SWIRLING FLOW AT IMPELLER EYE

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

NUMERICAL SIMULATION OF A CENTRIFUGAL PUMP

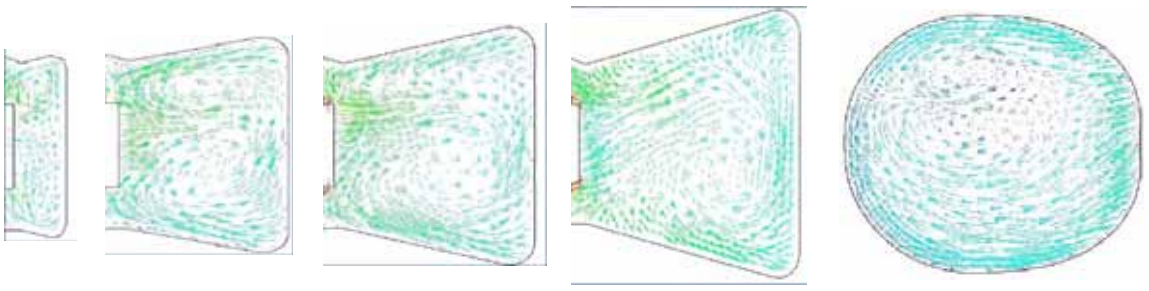




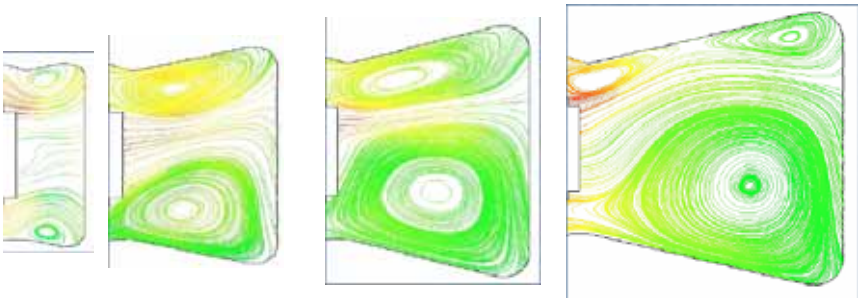
VELOCITY VECTOR INSIDE IMPELLER

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

NUMERICAL SIMULATION OF A CENTRIFUGAL PUMP

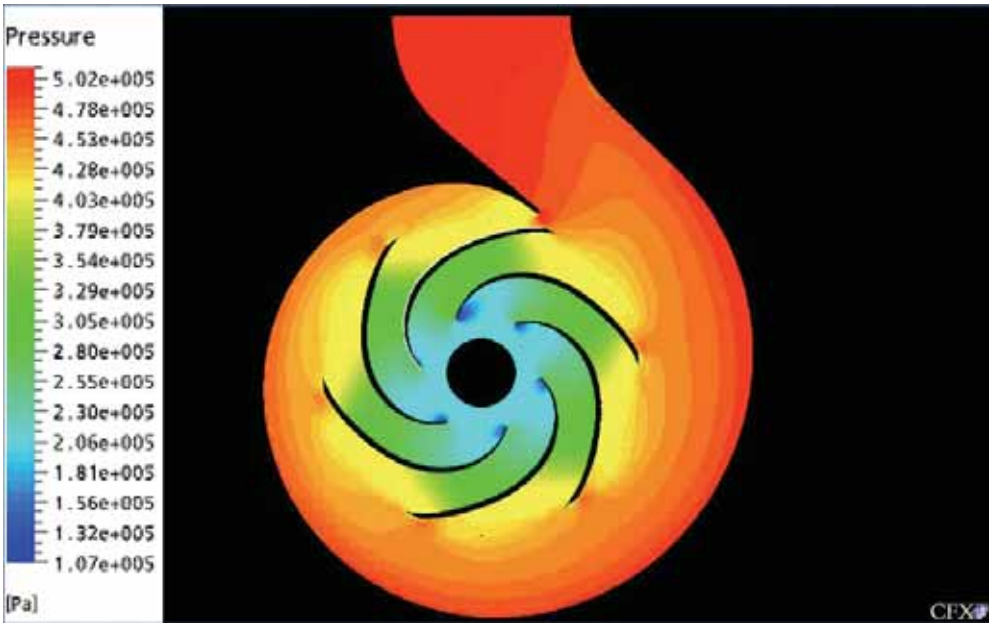


VELOCITY VECTOR INSIDE VOLUTE



STREAM LINE INSIDE VOLUTE

NUMERICAL SIMULATION OF A CENTRIFUGAL PUMP



PRESSURE DISTRIBUTION

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

ลักษณะเฉพาะสำคัญ ๓ อย่าง ของระบบการสูบน้ำ

- ความดัน (PRESSURE)
- แรงเสียดทาน (FRICTION)
- การไหล (FLOW)

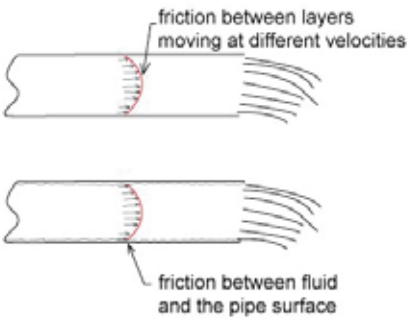
ความดัน (PRESSURE)

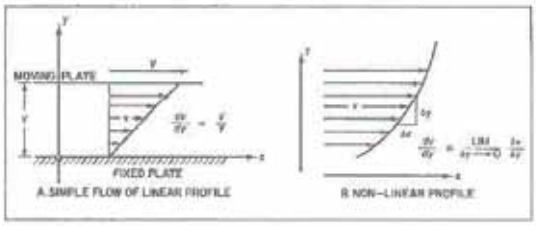
- ความดันคือแรงขับเคลื่อนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในระบบ
- ความดันมีหน่วยเป็น PSI, BAR, kPa และเป็นความดันสัมพัทธ์กับความดันบรรยากาศ>>>PSIG
- PRESSURE LOSS หรือ PRESSURE DROP คือ ความดันที่ลดลงเนื่องจากความเสียดทานของระบบ

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

แรงเสียดทาน (FRICTION)

- แรงเสียดทาน คือ แรงต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ และไม่เว้นแม้แต่น้ำ
- ในน้ำ แรงเสียดทานเกิดขึ้นระหว่างชั้นของน้ำ ดังนั้นความเร็วของน้ำที่เดินทางในเส้นท่อจึงแตกต่างกันเป็นชั้นๆ





แรงเสียดทาน (FRICTION)

- แรงเสียดทาน ที่เกิดขึ้นในระบบท่อส่งน้ำจะแปรเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบ ดังนี้
  - ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในเส้นท่อ
  - ความหนืด (VISCOSITY)
  - ความหยายของผิวท่อ (PIPE SURFACE ROUGHNESS)

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

การไหล (FLOW)

- การไหลจะก่อให้เกิดแรงเสียดทาน
- อัตราการไหลที่สูงขึ้นในเส้นท่อเดียวกัน จะเป็นผลให้ความเร็วสูงขึ้นและมีแรงเสียดทานต่อการไหลเพิ่มขึ้น
- $Q = 449(A \times V)$

Where
A = area of pipe in square feet.
V = velocity of flow in feet per second.
Q = Capacity in gallons per minute

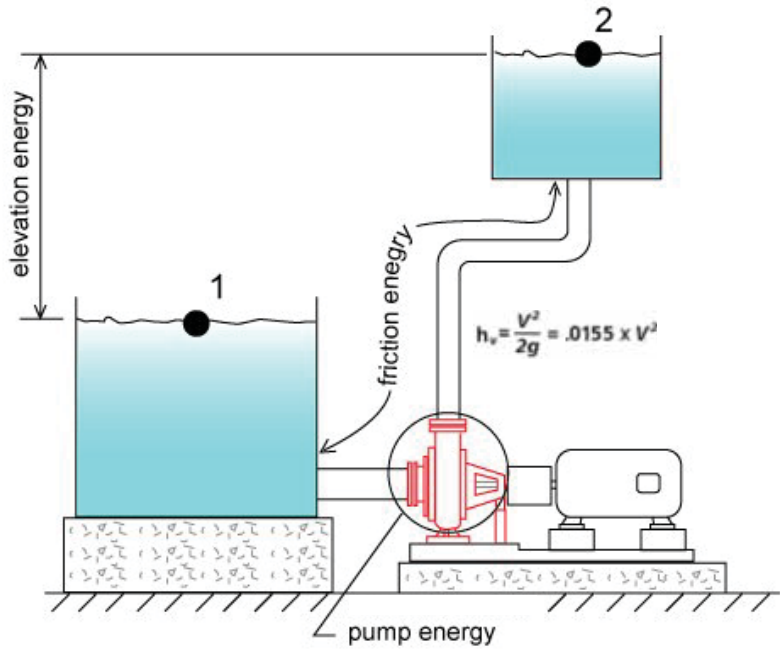
The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

ENERGY & HEAD
IN PUMP SYSTEM

- การเคลื่อนที่ของน้ำในระบบ มักจะอธิบายได้ในรูปแบบของพลังงาน
- พลังงานในระบบสูบน้ำ อยู่ใน 4 รูปแบบ คือ
  - ความดัน (PRESSURE)
  - ระดับความสูง (ELEVATION)
  - แรงเสียดทาน (FRICTION)
  - ความเร็ว (VELOCITY)

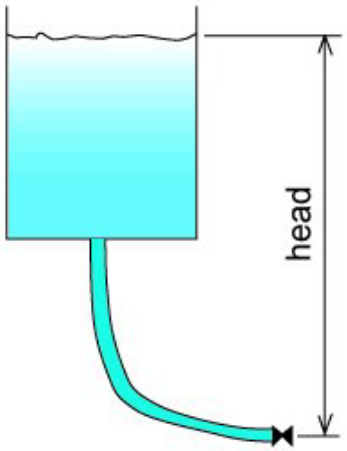
The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

PUMP ENERGY =
ELEVATION ENERGY + FRICTION ENERGY



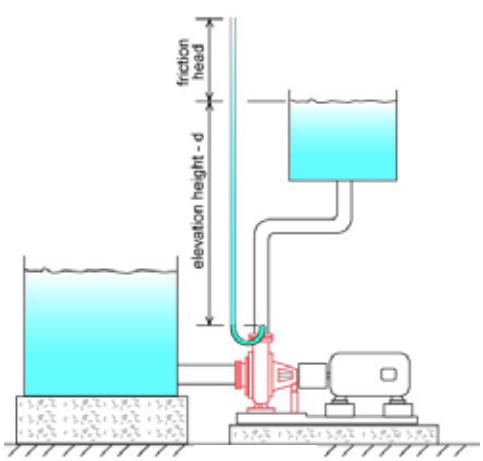
ปั๊มเฮด (PUMP HEAD)

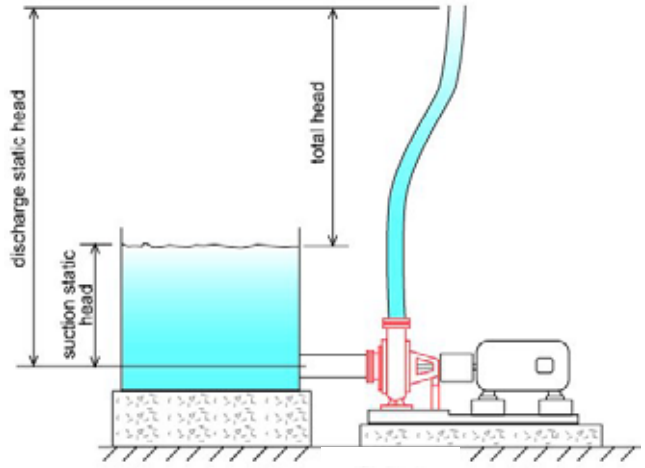
WEBSTER'S DICTIONARY DEFINITION OF HEAD IS: "A BODY OF WATER KEPT IN RESERVE AT A HEIGHT."



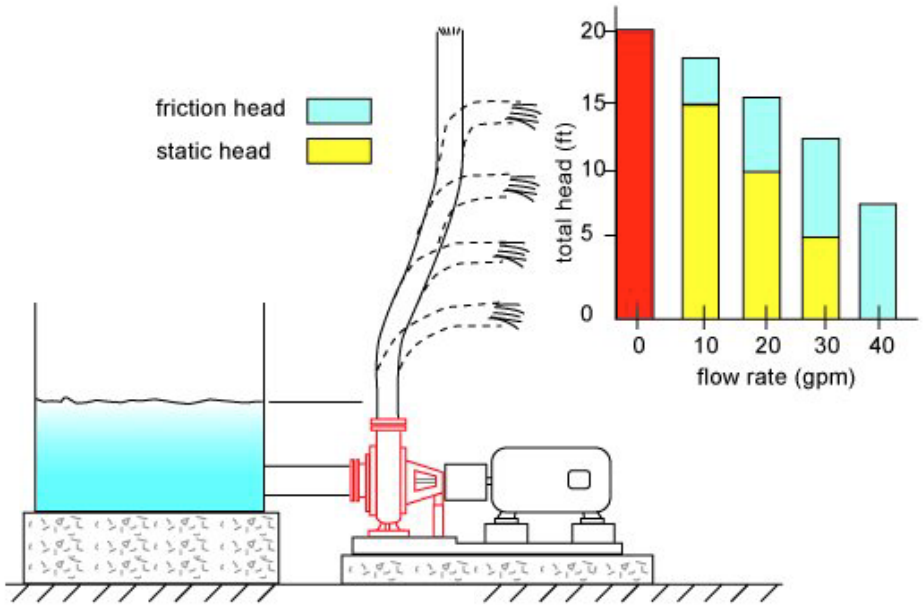
The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

ปั๊มเฮด (PUMP HEAD)

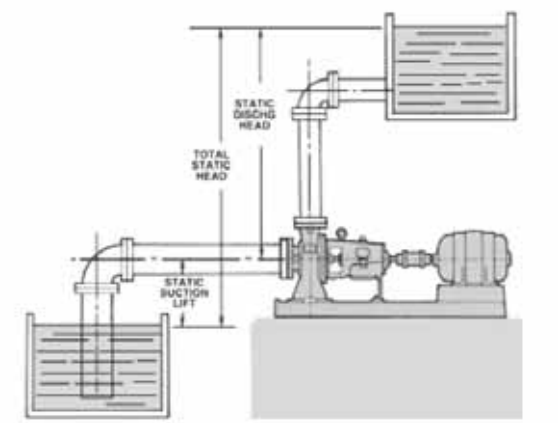


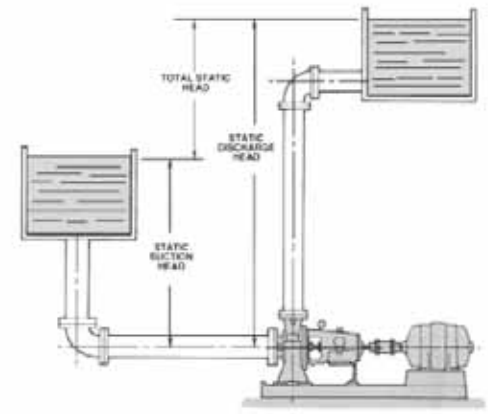


ปั๊มเฮด (PUMP HEAD)



ปั๊มเฮด (PUMP HEAD)



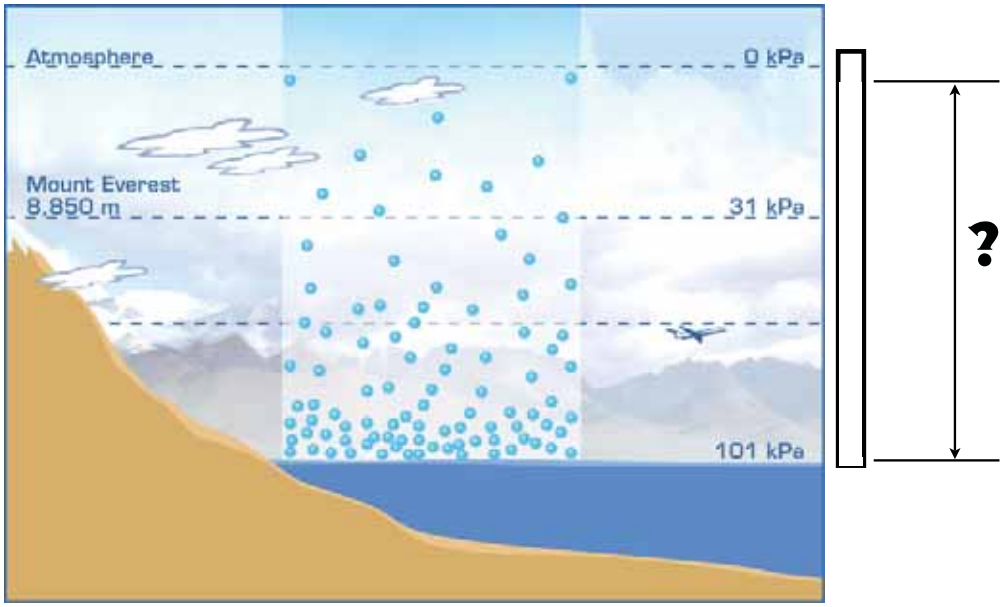


TOTAL DYNAMIC HEAD (TDH) = TOTAL STATIC HEAD + TOTAL LOSS HEAD

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

ความดันบรรยากาศ
(Atmospheric Pressure)

ที่ระดับน้ำทะเล ความดันบรรยากาศ = 14.7 psia (101 kPa)



The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

ความดัน - ปั๊มเฮด

- 1 atm = 14.7 psi = 34 ft.wg
- 1 psi = 2.31 ft.wg
- 1 atm = 29.92 in.hg
- 1 psi = 2.035 in.hg
- $\text{Head (ft)} = \frac{\text{psi x 2.31}}{\text{Sp.Gr.}}$

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

Total Dynamic Head (TDH)

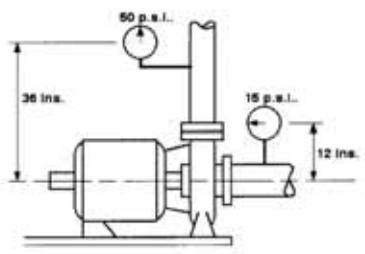
Total Dynamic Head คือพลังงานที่เครื่องสูบน้ำเพิ่มให้กับระบบ และในทางปฏิบัติสามารถตรวจวัดและคำนวณได้ด้วยความแตกต่างของความดันที่ด้านส่งและด้านดูดของเครื่องสูบน้ำ

Total Dynamic Head = Head at Discharge – Head at Suction

$$T.D.H. = \left[\left(\frac{50 \times 2.31}{1.0}\right) + \left(\frac{36}{12}\right)\right] - \left[\left(\frac{15 \times 2.31}{1.0}\right) + \left(\frac{12}{12}\right)\right]$$

$$= 118.5 - 35.65$$

$$= 82.85 \text{ feet}$$



The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

Net Positive Suction Head

- NPSHa คือ ค่าความดันสมบูรณ์ที่สูงกว่าความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิการสูบที่มีอยู่ที่ suction nozzle ของเครื่องสูบน้ำ
- NPSHr คือ ค่าความดันสมบูรณ์ที่ต้องการโดยเครื่องสูบน้ำ หรือ
  คือ ความดันลดที่เกิดขึ้นระหว่าง suction nozzle ถึง suction eye ของใบสูบ
- NPSHa ต้องสูงกว่า NPSHr เพื่อป้องกันการเกิด cavitation

NET POSITIVE SUCTION HEAD

$NPSH_A = (P_a - P_v) \times 2.31 \pm Z - h_f$

P_a = ความดันบรรยากาศ (14.7 PSI)

P_v = ความดันไอ

ที่อุณภูมิของน้ำ 32^0 C ความดันไอ = 0.7 PSI

Z = ระดับสูบน้ำ วัดจากปลายท่อดูด ถึง ศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำ

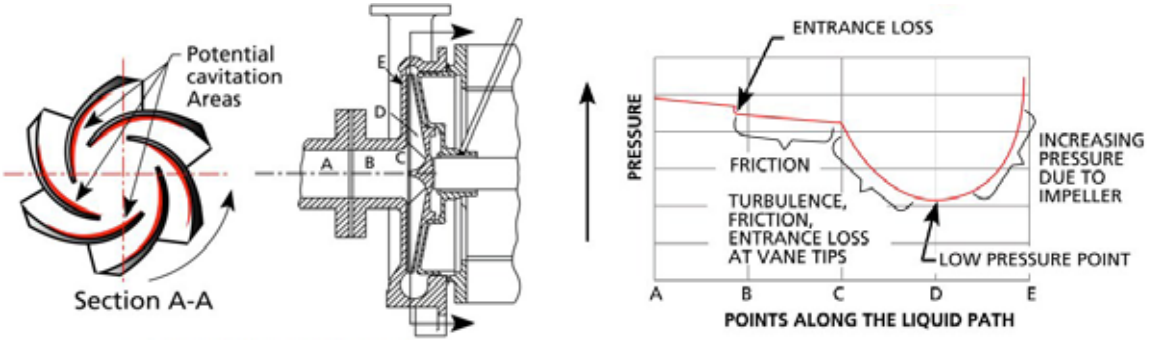
h_f = ความดันสูญเสียของท่อน้ำ อุปกรณ์ และ ฟิตติ้งทางด้านดูด

Table 13.1: Properties of water at various temperatures

Temperature °F	Temperature °C	Specific gravity 60 F reference	Vapor pressure psi absolute
32	0	1.001	0.088
40	4.4	1.001	0.1217
50	10.0	1.001	0.1781
60	15.6	1.000	0.2563
70	21.1	0.999	0.3631
80	26.7	0.998	0.5069
90	32.2	0.996	0.6982
100	37.8	0.994	0.9492

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

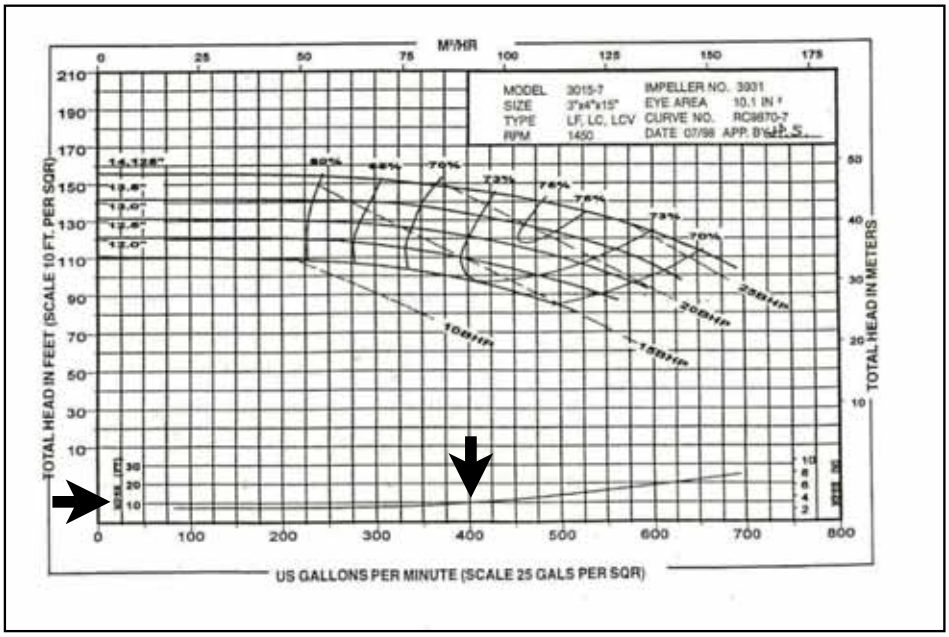
NET POSITIVE SUCTION HEAD



ระหว่างที่น้ำไหลผ่านจาก SUCTION NOZZLE ไปยัง IMPELLER EYE จะเกิดความดันลด อันเกิดจาก FRICTION, ENTRANCE LOSS, TURBULENCE NPSHA จึงต้องสูงกว่าความดันลดเหล่านี้ (NPSHR) เพื่อไม่ให้เกิดการระเหยของน้ำเป็นไอน้ำและเกิดปัญหา CAVITATION

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

NET POSITIVE SUCTION HEAD

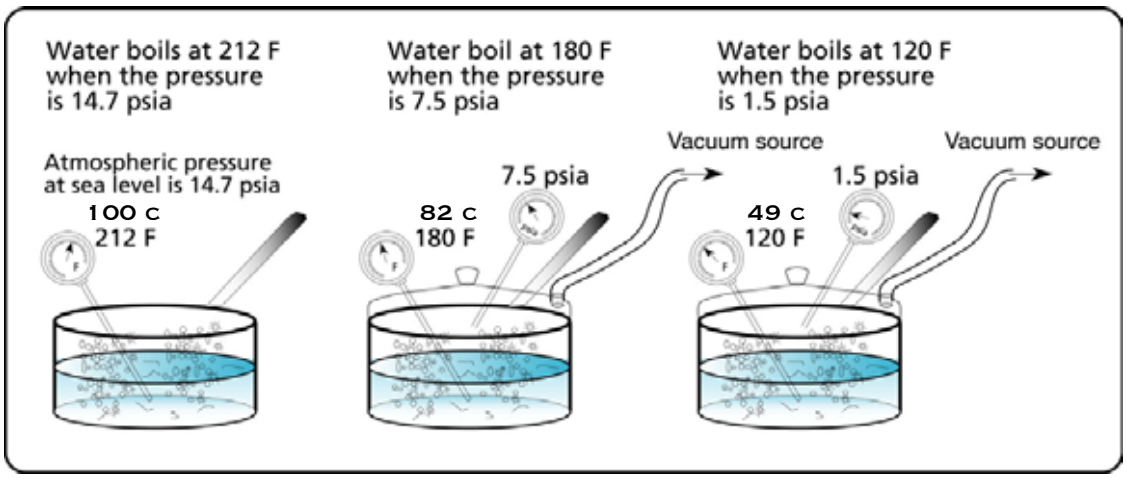


NPSHR อ่านได้จาก PUMP PERFORMANCE CURVE

เช่น ที่ 400 GPM ค่า NPSHR = 10 FT

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

ความดันไอ
(VAPOR PRESSURE)



CAVITATION

- CAVITATION เป็นปรากฏการณ์ที่น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ เมื่อความดันสมบูรณ์ที่ SUCTION EYE ของใบสูบต่ำกว่าความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิการสูบ

- ไอน้ำที่อยู่ในรูปของฟองอากาศ (VAPOUR BUBBLES) เมื่อผ่านไปถึงบริเวณที่มีความดันสมบูรณ์สูงกว่าความดันไอ ฟองอากาศจะยุบตัว เกิดเป็นคลื่นแรงกระแทกอย่างรุนแรงกระทำต่อใบสูบ และ ตัวเรือนของเครื่องสูบน้ำ จนเกิดความเสียหาย

The Engineering Institute of Thailand under H.M. the King's Patronage

CAVITATION

CAVITATION เกิดได้เป็น ๒ ลักษณะ ดังนี้

- **SUCTION CAVITATION**
  - Suction cavitation occurs when the pump suction is under a low-pressure/high-vacuum condition where the liquid turns into a vapor at the eye of the pump impeller.

- **DISCHARGE CAVITATION**
  - Discharge cavitation occurs when the pump discharge pressure is extremely high, normally occurring in a pump that is running at less than 10% of its best efficiency point. The high discharge pressure causes the majority of the fluid to circulate inside the pump instead of being allowed to flow out the discharge. This velocity causes a vacuum to develop at the cutwater (similar to what occurs in a venturi) which turns the liquid into a vapor.

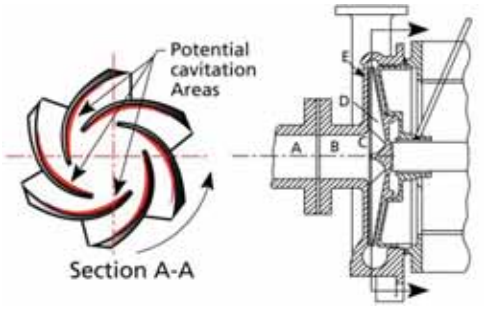
CAVITATION

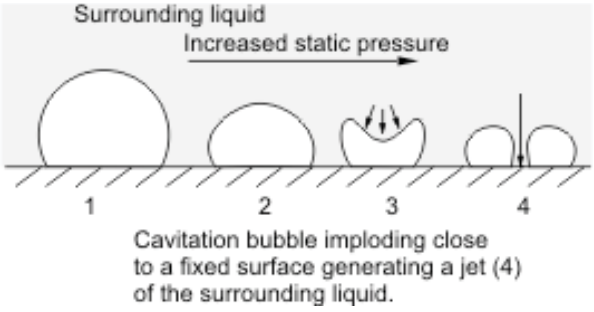
- เครื่องสูบน้ำที่เป็น LOW SUCTION ENERGY เมื่อมีค่า NPSHA สูงกว่า NPSHR จะเพียงพอที่จะไม่เกิดปัญหา CAVITATION

- แต่สำหรับเครื่องสูบน้ำที่เป็น HIGH SUCTION ENERGY แล้ว HYDRAULIC INSTITUTE แนะนำให้มีค่า NPSHA สูงกว่า NPSHR ระหว่าง 1.20 - 2.50 เท่า สำหรับเครื่องสูบน้ำ HIGH SUCTION ENERGY หรือ VERY HIGH SUCTION ENERGY

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

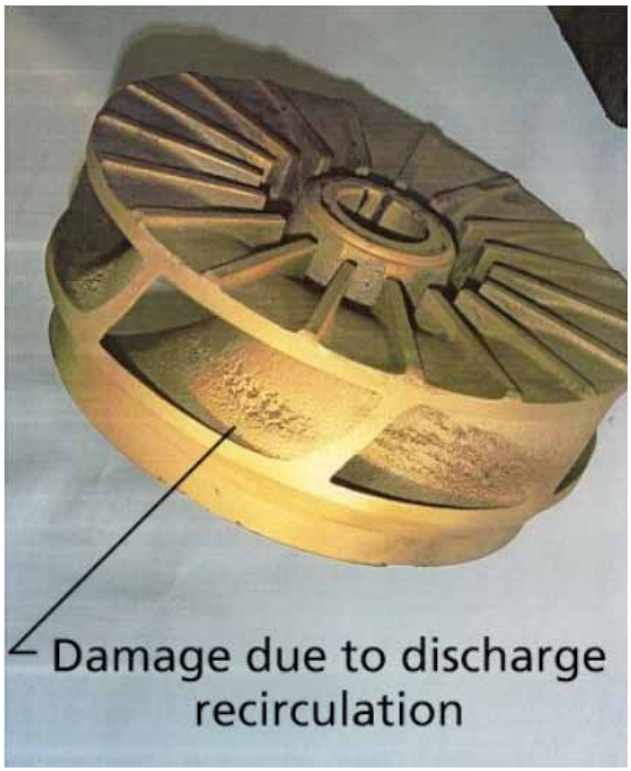
CAVITATION DAMAGE





CAVITATION DAMAGE

DAMAGE FROM RECIRCULATION



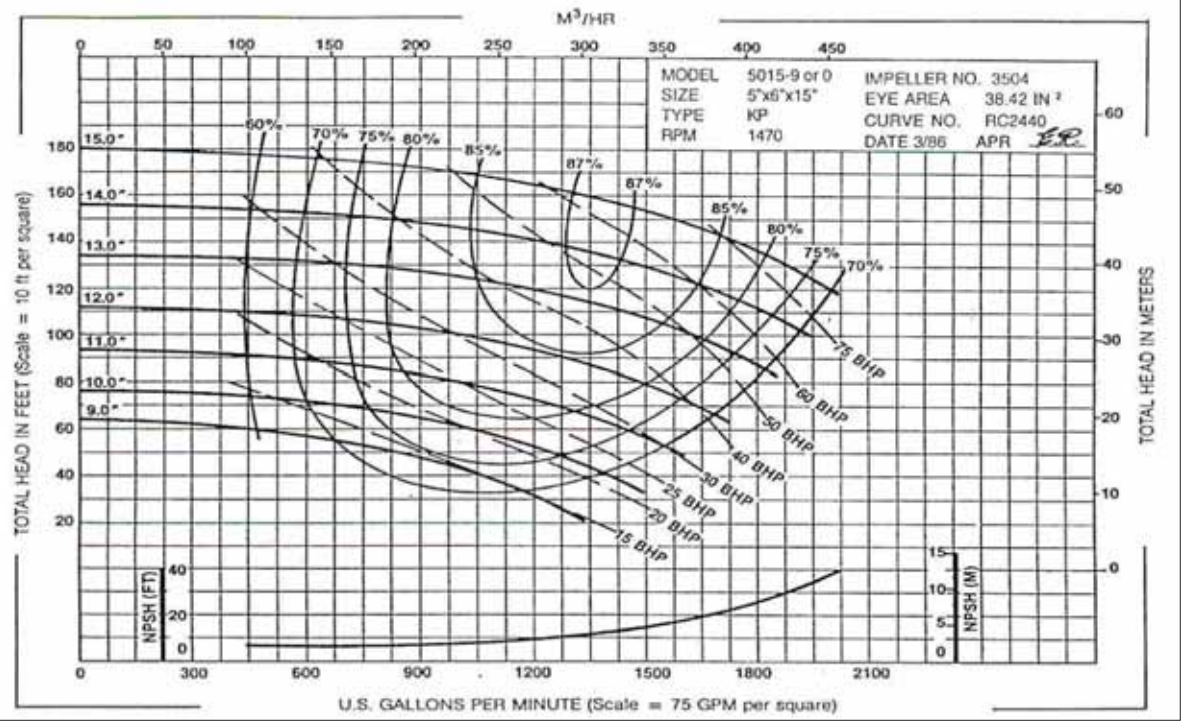
The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

PUMP PERFORMANCE CURVE

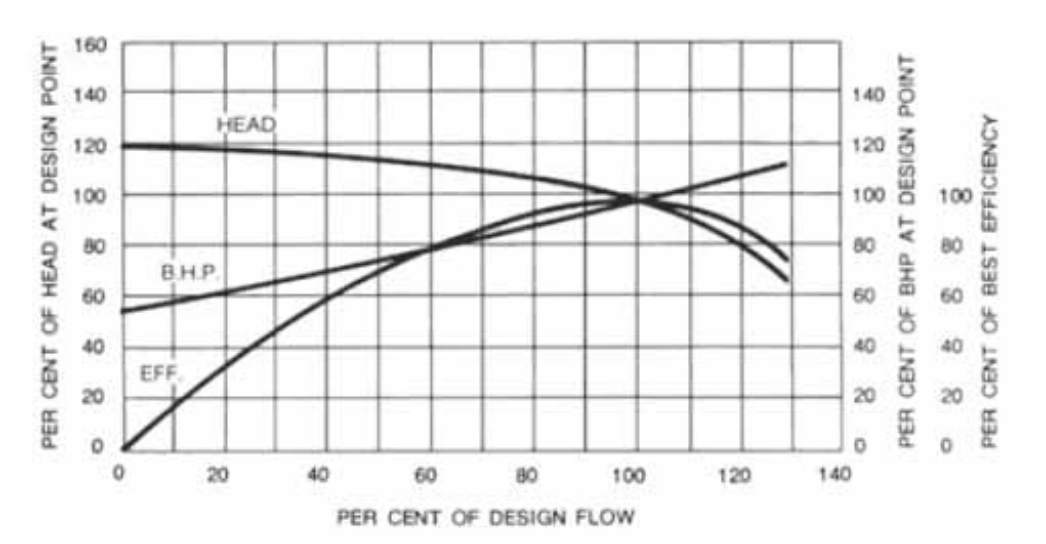
- PUMP PERFORMANCE CURVE เป็นแผนภาพที่แสดง
  - กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เฮด และอัตราการไหล (H-Q CURVE)
  - ประสิทธิภาพ (EFFICIENCY)
  - กำลังม้า (BRAKE HORSE POWER)
  - REQUIRED NET POSITIVE SUCTION HEAD

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

PUMP PERFORMANCE CURVE



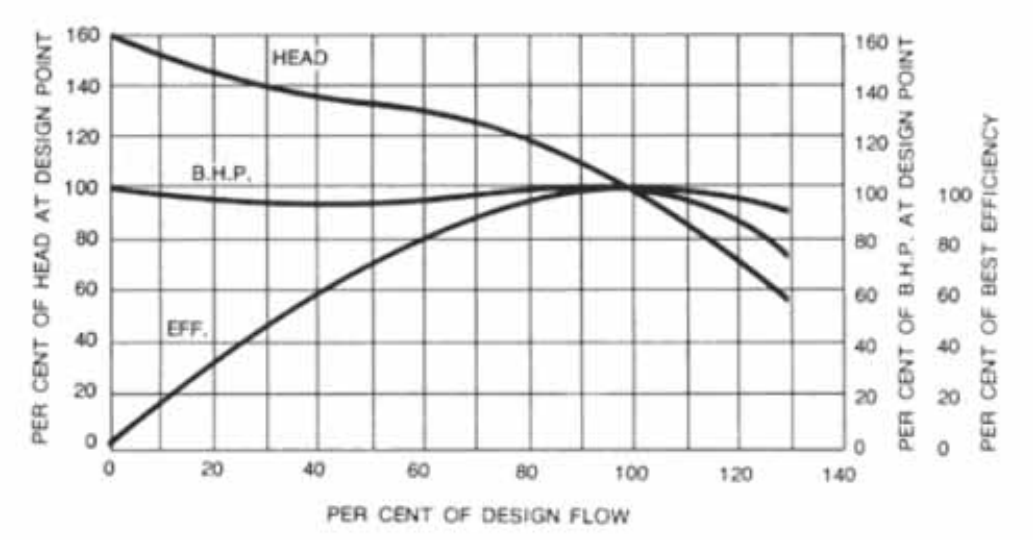
PUMP PERFORMANCE CURVE



RADIAL FLOW PUMP

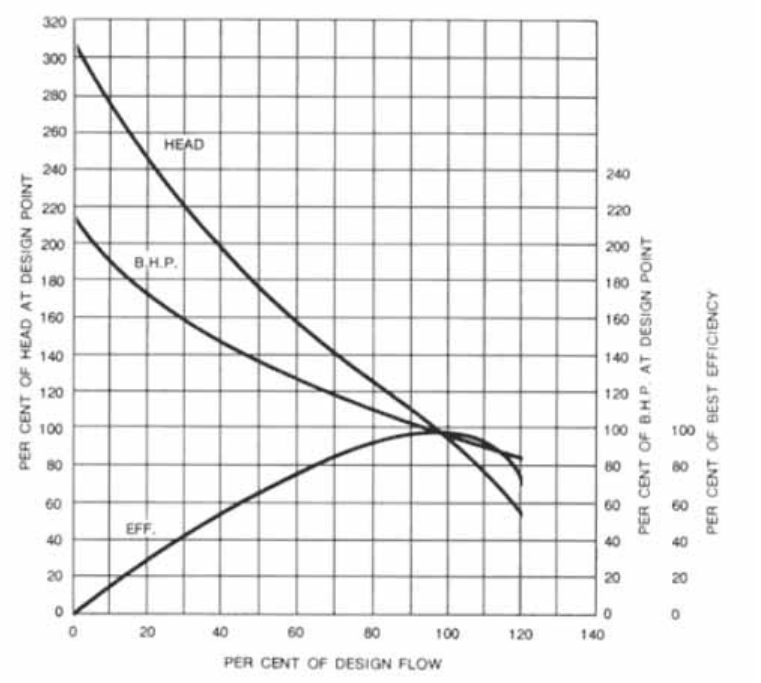
The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

PUMP PERFORMANCE CURVE



MIXED FLOW PUMP

PUMP PERFORMANCE CURVE



AXIAL FLOW PUMP

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

AFFINITY LAWS

Law 1. With impeller diameter (D) held constant:

Law 1a. Flow is proportional to shaft speed: $\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)$

Law 1b. Pressure or Head is proportional to the square of shaft speed: $\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$

Law 1c. Power is proportional to the cube of shaft speed: $\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$

Law 2. With shaft speed (N) held constant:

Law 2a. Flow is proportional to impeller diameter: $\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)$

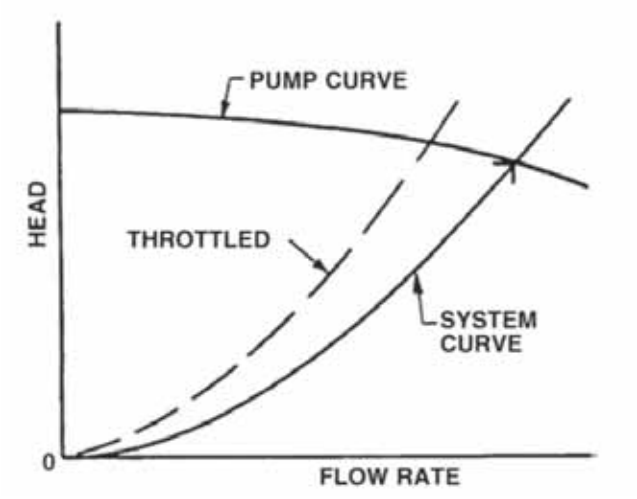
Law 2b. Pressure or Head is proportional to the square of impeller diameter: $\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$

Law 2c. Power is proportional to the cube of impeller diameter : $\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

SYSTEM CURVES

- เป็นแผนภาพที่แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความดันและความดันลด (FRICTION LOSS)ของระบบ



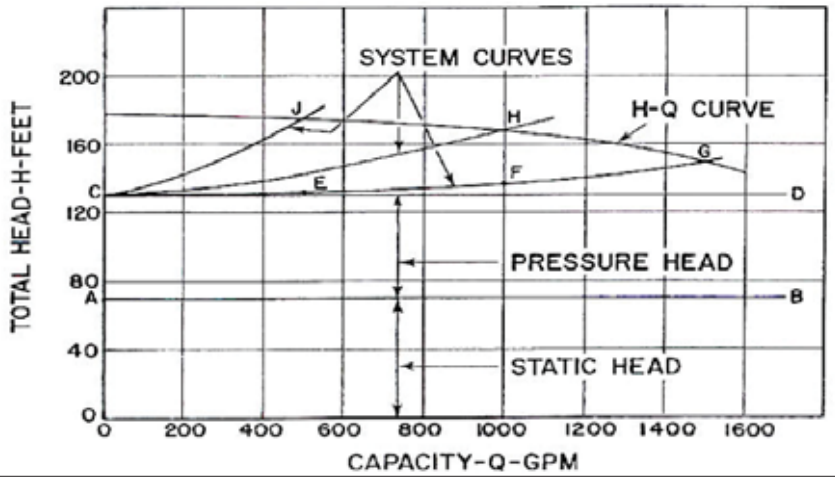
จุดที่เครื่องสูบน้ำทำงาน คือ จุดตัดระหว่าง PUMP CURVE และ SYSTEM CURVEเท่านั้น

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

SYSTEM CURVES

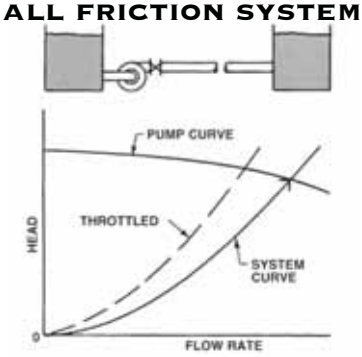
The system head is made up of 3 components:

- **Static head**
- **Pressure head**
- **All losses; Friction, Entrance & Exit Losses**

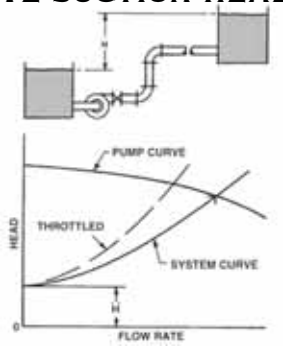


SYSTEM CURVES

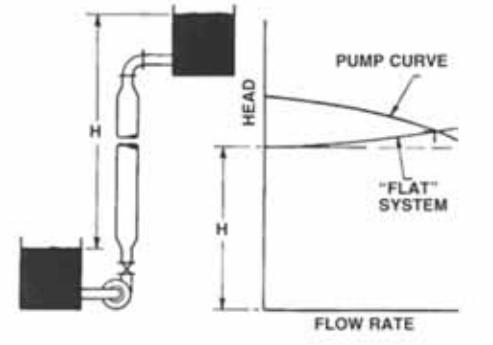
ALL FRICTION SYSTEM



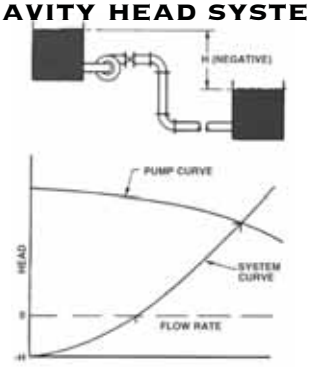
POSITIVE SUCTION HEAD SYSTEM



MOSTLY STATIC HEAD SYSTEM



GRAVITY HEAD SYSTEM



The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

การติดตั้งเครื่องสูบน้ำอย่างถูกต้อง

เพื่อหลีกเลี่ยงการสูบน้ำไม่ขึ้นหรือถูกลดทอนประสิทธิภาพ

- ควรติดตั้งเครื่องสูบน้ำให้ใกล้กับผิวน้ำมากที่สุด เพื่อลด STATIC SUCTION LIFT และควรหลีกเลี่ยง STATIC SUCTION LIFT ที่สูงกว่า 15 FT
- ควรมีท่อด้านดูดให้สั้นที่สุด และมีข้อต่อต่างๆ ให้น้อยที่สุด
- ท่อด้านดูด ต้องมีขนาดใหญ่กว่า SUCTION NOZZLE ของเครื่องสูบน้ำไม่ต่ำกว่าหนึ่งหรือสองขนาด ความเร็วน้ำในเส้นท่อต้องไม่สูงกว่า 8 ฟุตต่อวินาที

การติดตั้งเครื่องสูบน้ำอย่างถูกต้อง

เพื่อหลีกเลี่ยงการสูบน้ำไม่ขึ้นหรือถูกลดทอนประสิทธิภาพ

- ท่อด้านดูดควรติดตั้งให้ลาดลงจากเครื่องสูบน้ำไปหาแหล่งน้ำ โดยมีอัตราส่วนความลาดเอียงไม่ต่ำกว่า 20 มม. ต่อ 1 เมตร เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดช่องอากาศ
- ปลายท่อด้านดูดควรอยู่ต่ำกว่าระดับผิวน้ำไม่ต่ำกว่า 4 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (4D) และควรอยู่สูงกว่าท้องพื้นบ่อไม่ต่ำกว่า 1.5D
- ถ้าปลายท่ออยู่ต่ำกว่าระดับผิวน้ำน้อยกว่า 4D ควรใช้ ANTI-VORTEX PLATE เพื่อป้องกันการดึงอากาศจากผิวน้ำ

The Engineering Institute of Thailand under H.M. the King's Patronage

การติดตั้งเครื่องสูบน้ำอย่างถูกต้อง

เพื่อหลีกเลี่ยงการสูบน้ำไม่ขึ้นหรือถูกลดทอนประสิทธิภาพ

- ต้องใช้ ECCENTRIC REDUCER เพื่อเปลี่ยนขนาดท่อจากท่อด้านดูดไปยัง SUCTION NOZZLE ของเครื่องสูบน้ำ และ ECCENTRIC REDUCER ควรติดกับเครื่องสูบน้ำ
- ควรมีระยะท่อตรงไม่น้อยกว่า 6D ก่อนเข้าเครื่องสูบน้ำ การมีข้องออยู่ติดกับเครื่องสูบน้ำจะทำให้เกิดแรงกระทำที่ไม่สมดุลย์บนใบสูบ
- ไม่ควรมีวาล์วควบคุมใดๆติดตั้งบนท่อด้านดูด

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

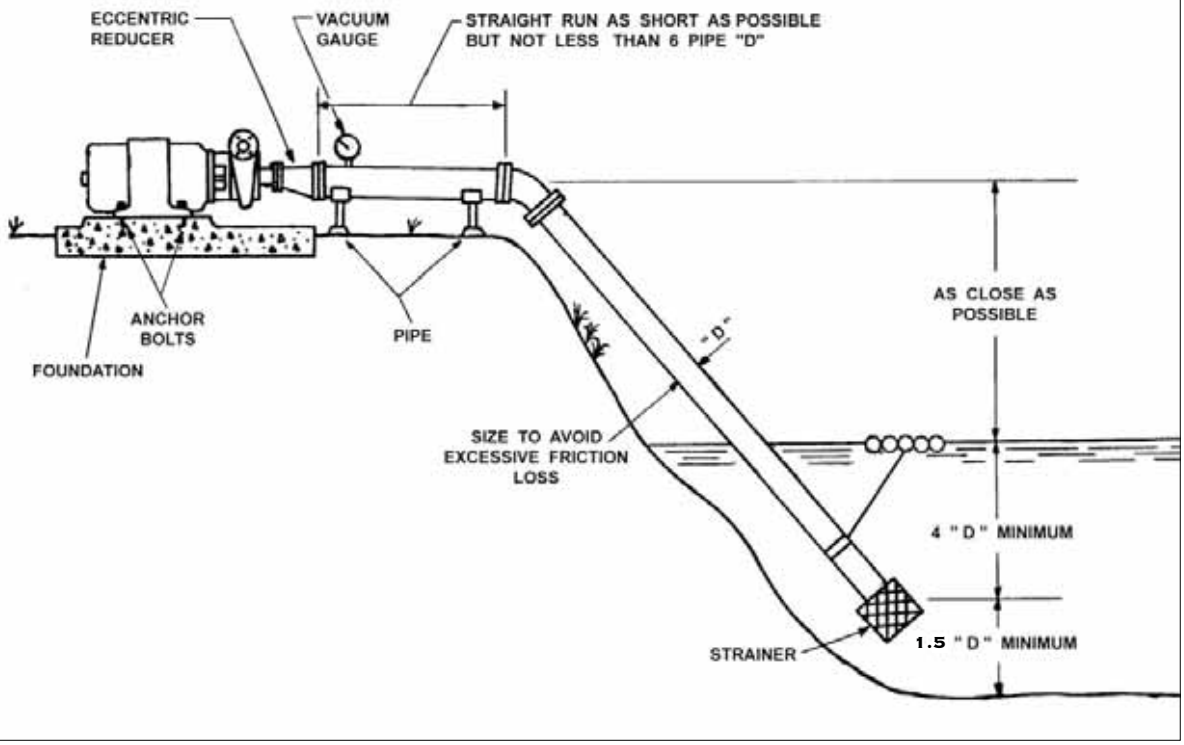
การติดตั้งเครื่องสูบน้ำอย่างถูกต้อง

เพื่อหลีกเลี่ยงการสูบน้ำไม่ขึ้นหรือถูกลดทอนประสิทธิภาพ

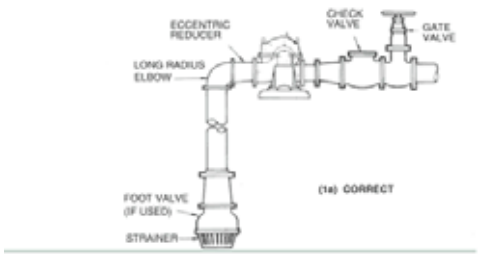
- เมื่อเกิด CAVITATION นอกจากจะเกิดแรงสั่นสะเทือน เสียงดังผิดปกติ และความเสียหายทั้งที่ตัวเรือนและใบสูบของเครื่องสูบน้ำแล้ว ความสามารถในการสูบน้ำยังถูกลดทอนลงอย่างมาก
- การเกิดโพรงอากาศภายในท่อจะทำให้เกิดความดันลด (FRICTION LOSS) เพิ่มขึ้นมาก การเกิดโพรงอากาศอาจเกิดได้ทั้งที่ท่อด้านดูดและท่อด้านส่ง
- ฟองอากาศขนาดเล็กจะค่อยๆสะสมเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่ได้ทั้งในตัวเรือนเครื่องสูบน้ำและภายในระบบท่อ จึงต้องมีความลาดเอียงของท่อที่ถูกต้อง และ มี AIR VENT ในตำแหน่งที่ถูกต้อง

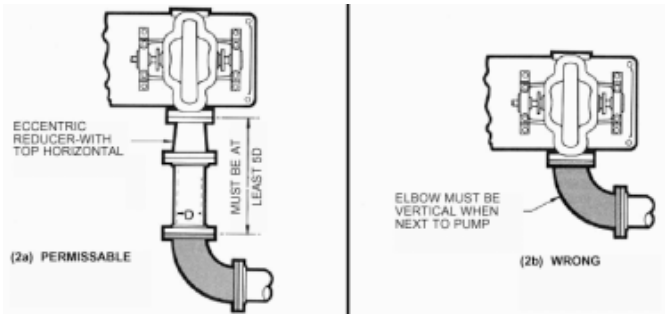
The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

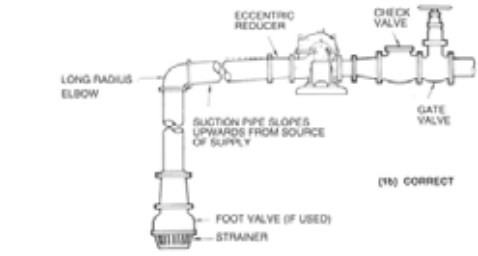
รูปแบบการติดตั้งเครื่องสูบน้ำที่ถูกต้อง

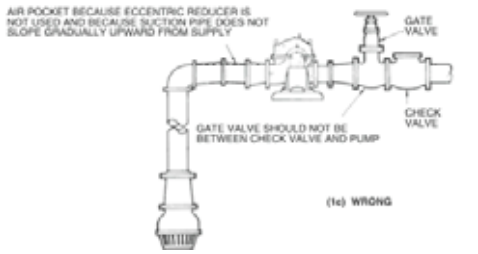


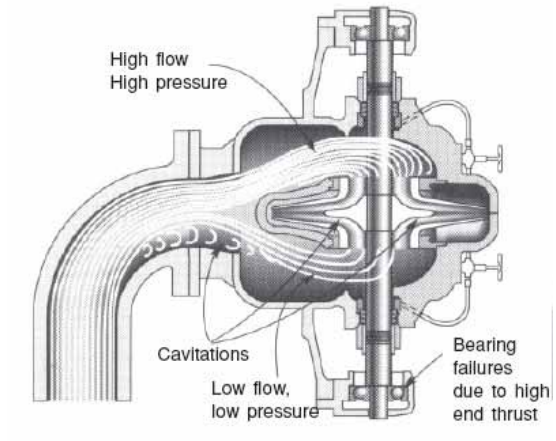
รูปแบบการติดตั้งเครื่องสูบน้ำที่ถูกต้อง





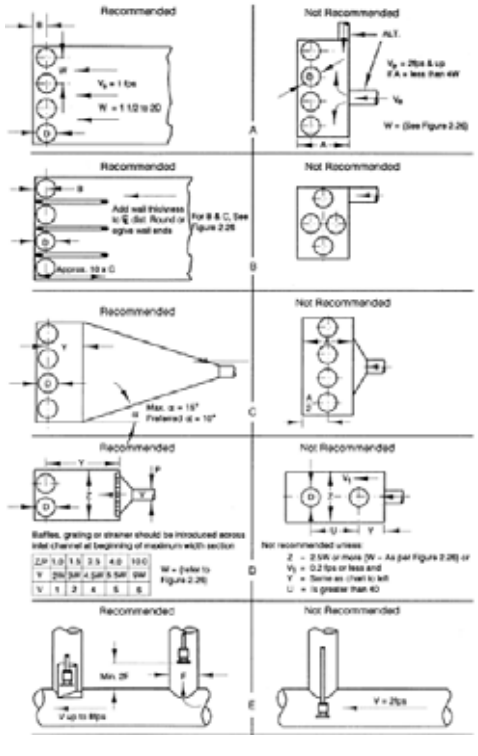


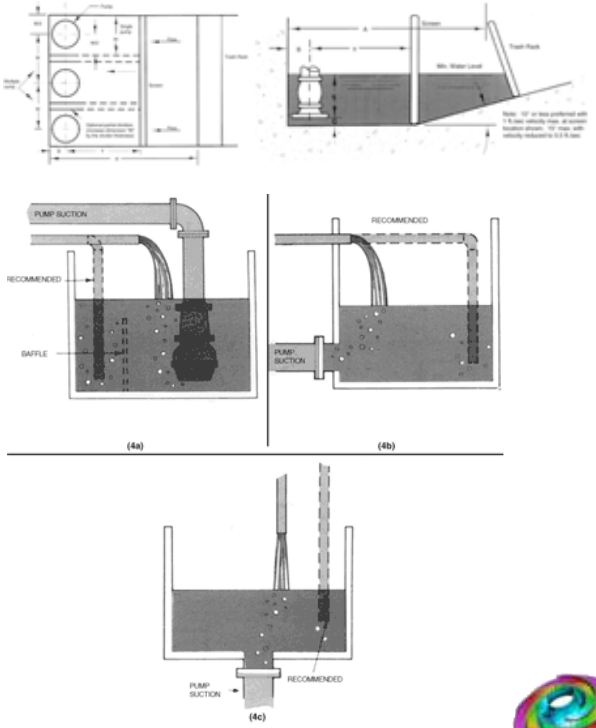




The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

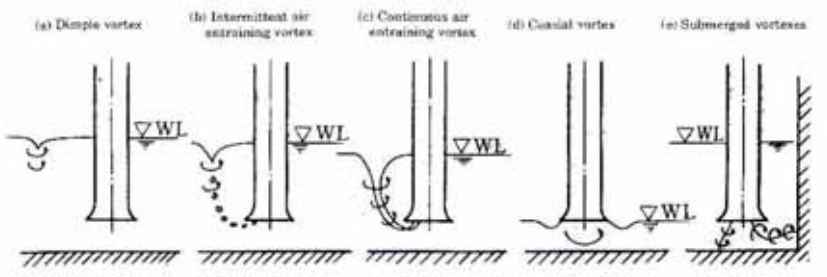
INTAKE SYSTEM DESIGN

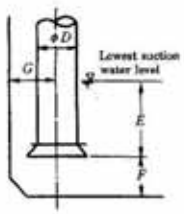




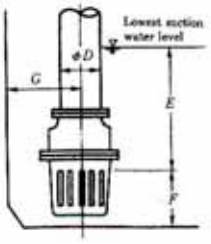
The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

INTAKE SYSTEM DESIGN





Bore (mm)	Principal dimensions E	F	G	Bore (mm)	Principal dimensions E	F	G
65	280	150	200	150	500	380	250
80	310	200	200	200	600	500	400
100	330	250	200	250	720	620	400
125	420	310	250	300	850	740	450

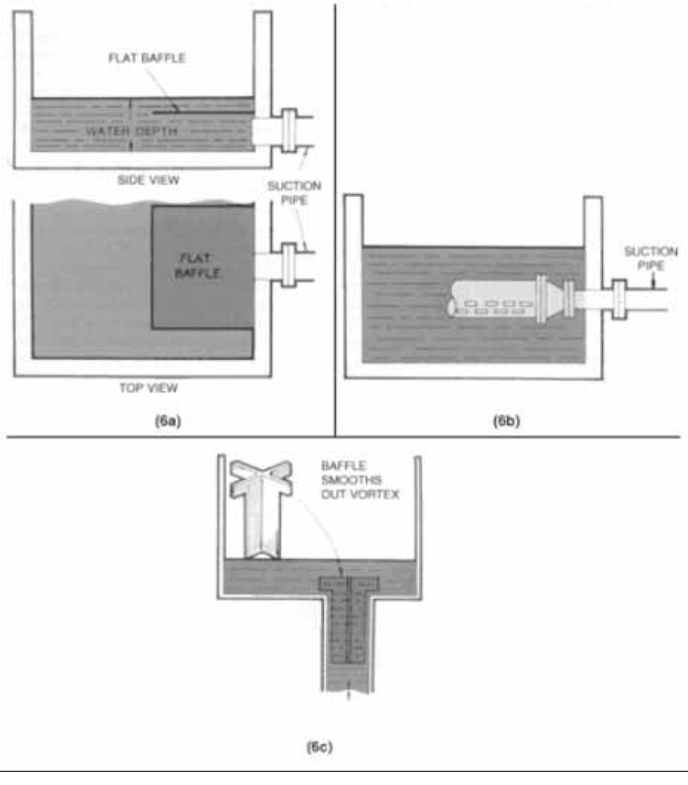


Dimension of standard suction sumps (with suction bellmouth)

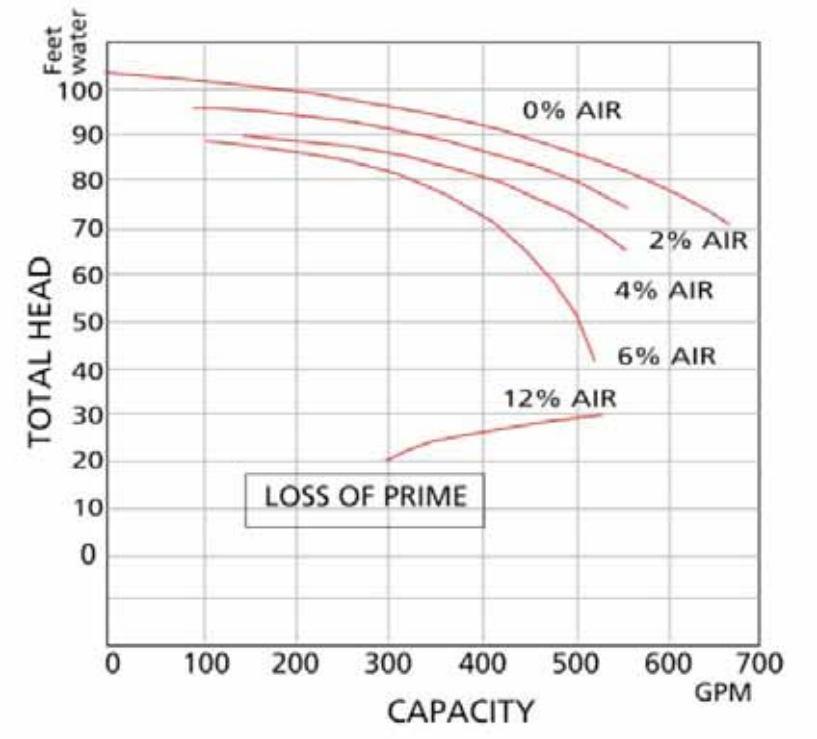
Bore (mm)	Principal dimensions E	F	G	Bore (mm)	Principal dimensions E	F	G
150	500	250	250	350	670	350	450
200	600	250	300	400	760	400	500
250	500	250	350	450	860	450	550
300	570	300	400	500	950	500	600

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage

INTAKE SYSTEM DESIGN



AIR ENTRAINMENT



The Engineering Institute of Thailand
under H.M. the King's Patronage
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

QUESTION PLEASE