

บทที่ 3

จลนศาสตร์และสมการของของไหล

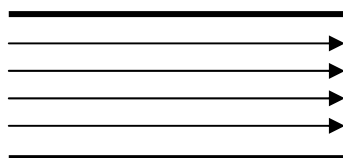
3.1 จลนศาสตร์ของของไหล

จลนศาสตร์ (Kinematics) เป็นแขนงวิชากลศาสตร์ที่กล่าวถึงการเคลื่อนที่ของสสาร โดยไม่พิจารณาสาเหตุของการเคลื่อนที่ที่เกิดจากแรงมากระทำ ณ ที่นี้จะพิจารณาการเคลื่อนที่อันประกอบด้วย การเปลี่ยนตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่ง สำหรับการเคลื่อนที่ในทางชลศาสตร์ เรียกว่า การไหล (Flow) ซึ่งสามารถอธิบายการไหลโดยระบุสภาพของการไหลได้หลายวิธี เช่น การไหลเป็นแบบราบเรียบหรือปั่นป่วน (Laminar or Turbulent Flow) การไหลเป็นแบบคงตัวหรือแบบไม่คงตัว (Steady or Unsteady Flow) การไหลสม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอ (Uniform or Non-uniform Flow) และการไหลแบบหมุนวนหรือแบบไม่หมุนวน (Rotational or Irrotational Flow) เป็นต้น

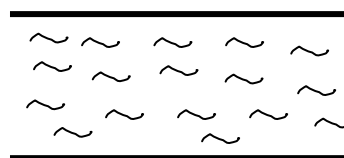
การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน (Laminar and Turbulent Flow)

การไหลแบบราบเรียบ อนุภาคของของไหลจะเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบมีลักษณะเหมือนเป็นชั้นบาง ๆ มีการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างชั้นน้อย

การไหลแบบปั่นป่วน อนุภาคของของไหลจะเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบมีการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างโมเลกุลของของไหลมาก



Laminar Flow



Turbulent Flow

การไหลคงตัวและการไหลสม่ำเสมอ (Steady and uniform flow)

การไหลคงตัว (Steady flow) คือ การไหลที่มีสภาพการไหล ณ จุดใดจุดหนึ่งในของไหลคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา ทั้งนี้ที่ตำแหน่งอื่นอาจจะแตกต่างจากตำแหน่งนี้ได้

การไหลสม่ำเสมอ (Uniform flow) คือ การไหลที่มีความเร็ว ณ ทุก ๆ จุดในของไหลคงที่ทั้งขนาดและทิศทางที่เวลาใดเวลาหนึ่ง กล่าวคือ การไหลสม่ำเสมอมีสภาพการไหลที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะทาง

การไหลคงตัวจะเกิดขึ้นเฉพาะเมื่อการไหลเป็นแบบราบเรียบเท่านั้น

สภาพการไหลโดยทั่ว ๆ ไป จะเกิดจากการผนวกการไหลทั้ง 4 ประเภท เข้าด้วยกัน

- 1) การไหลคงตัวแบบสม่ำเสมอ (Steady uniform flow) เช่น การไหลด้วยอัตราคงที่ผ่านท่อตรงที่ยาวมาก
- 2) การไหลคงตัวแบบไม่สม่ำเสมอ (Steady non-uniform flow) เช่น การไหลด้วยอัตราคงที่ผ่านท่อที่มีขนาดค่อย ๆ ขยายใหญ่ขึ้น
- 3) การไหลไม่คงตัวแบบสม่ำเสมอ (Unsteady uniform flow) เช่น การไหลในท่อตรงที่มีอัตราการไหลไม่คงที่
- 4) การไหลไม่คงตัวแบบไม่สม่ำเสมอ (Unsteady non-uniform flow) เช่น การไหลในอัตราไม่คงที่ผ่านท่อที่ค่อย ๆ ขยายใหญ่ขึ้น

รูปแบบการไหล (Flow pattern)

เส้นการไหล (Streamline) คือ เส้นที่แสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามการไหล (เมื่อพิจารณาเส้นการไหลของอนุภาคทั้งหมดก็จะได้เส้นการไหลจำนวนมาก ซึ่งรูปแบบการไหลที่มีเส้นการไหลประกอบกันจำนวนมากนี้เรียกว่า สนามการไหล)

ลำการไหล (Stream tube) คือ กลุ่มของเส้นการไหล

เส้นทางการไหล (Path line) คือ เส้นที่แสดงให้เห็นถึงทิศทางของความเร็วของอนุภาคใดอนุภาคหนึ่งในช่วงเวลานั้น

ในการไหลคงตัว เส้นการไหลและเส้นทางการไหลจะเป็นเส้นเดียวกัน เพราะอนุภาคเคลื่อนที่ตามเส้นการไหล และเส้นการไหลนี้ก็แสดงถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในเวลาเดียวกันด้วย ในทางตรงกันข้าม การไหลไม่คงตัวนั้นเวกเตอร์ความเร็วที่จุดต่าง ๆ จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เส้นการไหลจึงเปลี่ยนตำแหน่งไปเรื่อย ๆ ทำให้เส้นการไหลกับเส้นทางการไหลแตกต่างกันออกไป

การไหลสองมิติและสามมิติ (Two- and Three-dimensional flow)

One - dimensional flow คือ การไหลตามเส้นการไหลใด ๆ ที่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการไหล เช่น ความดัน ความเร็ว และอื่น ๆ เฉพาะในทิศทางของเส้นการไหลเท่านั้น

Two - dimensional flow คือ การไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติใน 2 ระนาบ เช่น การไหลผ่านฝาย

Three-dimensional flow คือ การไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพทั้ง 3 แกน เป็นการไหลโดยทั่วไปตามธรรมชาติ

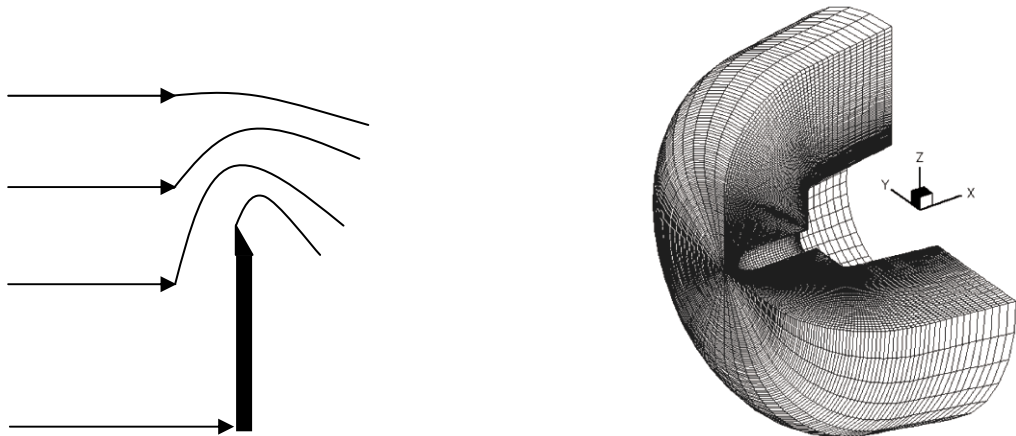


Figure 2. Computational grid, 121x37x81 grid points.

ที่มา <http://www.scielo.br/img/revistas/jbsms/v24n4/a04fig02.gif>

อัตราการไหล (Flow rate or Discharge)

อัตราการไหล คือ ปริมาณของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดใด ๆ ที่กำหนดต่อหนึ่งหน่วยเวลา

อัตราการไหลเชิงปริมาตรจะมีหน่วยเป็น ลบ.ฟุต ต่อวินาที และ ลบ.เมตรต่อวินาที นอกจากนี้อัตราการไหลเชิงปริมาตรมักจะใช้กับของไหลที่กดอัดได้ (Compressible fluid)

ปริมาตรควบคุม (Control Volume)

ปริมาตรควบคุม คือ ขอบเขตปริมาตรจำกัดในสนามการไหลที่กำหนดขึ้น เพื่อพิจารณาคุณสมบัติการไหลเฉพาะในปริมาตรควบคุมเท่านั้น

ปริมาตรควบคุมสามารถนำมาเพื่อวิเคราะห์การไหลได้ คือ สมการสภาพต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน

3.2 สมการของของไหล

สมการต่อเนื่อง (Continuity Equation)

อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume flow rate): Q มีสมการทั่วไป ดังนี้

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดการไหล v คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล

หน่วยของอัตราการไหลในระบบ SI คือ m^3/s และในระบบอังกฤษ คือ ft^3/s

อัตราการไหลเชิงน้ำหนัก (Weight flow rate): W มีสมการทั่วไป ดังนี้

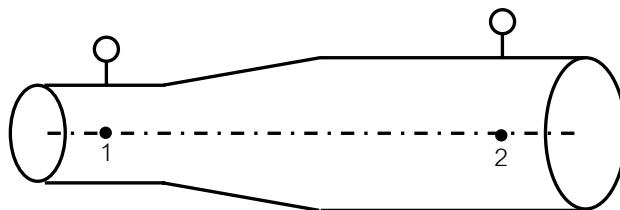
เมื่อ γ คือ น้ำหนักจำเพาะของของไหล

หน่วยของอัตราการไหลในระบบ SI คือ N/s และในระบบอังกฤษ คือ lb/s

อัตราการไหลเชิงมวล (Mass flow rate): M มีสมการทั่วไป ดังนี้

หน่วยของอัตราการไหลในระบบ SI คือ kg/s และในระบบอังกฤษ คือ slug/s

สมการการไหลต่อเนื่องในการไหลคงตัวมิติเดียว เป็นการประยุกต์ใช้หลักอนุรักษ์มวลสาร คือ ภายในขอบเขตจำกัดมวลสารจะไม่มีการสูญหาย

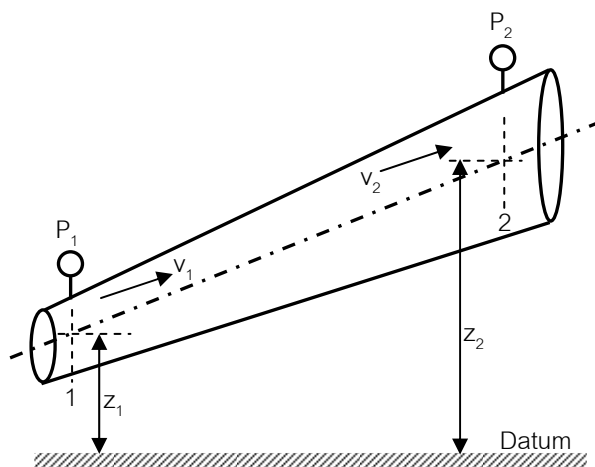


$$M_1 = M_2$$

เนื่องจากของไหลไม่มีการเปลี่ยนคุณสมบัติ ดังนั้น

เพราะฉะนั้น อัตราการไหลเชิงปริมาตร สำหรับของไหลกีดอัดไม่ได้หรือมีความหนาแน่นคงที่ จะได้

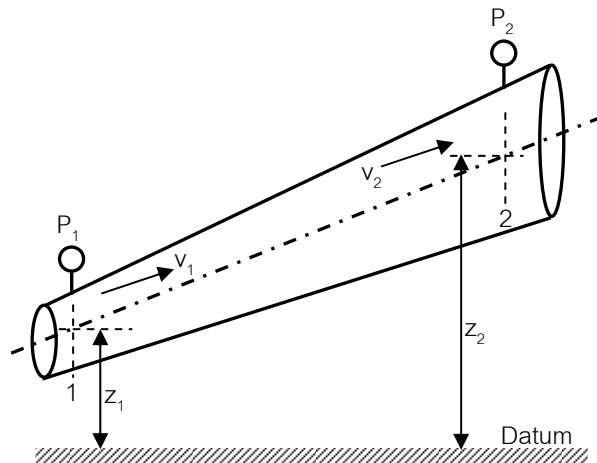
ตัวอย่าง 3.1 จากรูป เส้นผ่าศูนย์กลางที่หน้าตัด 1 และ 2 คือ 50 และ 100 mm ตามลำดับ น้ำที่อุณหภูมิ 70°C ไหลเข้าหน้าตัด 1 ด้วยความเร็ว 8 m/s จงหา (a) ความเร็วที่หน้าตัด 2 (b) อัตราการไหลเชิงปริมาตร (c) อัตราการไหลเชิงน้ำหนัก และ (d) อัตราการไหลเชิงมวล



ตัวอย่าง 3.2 ในระบบท่ออากาศ ณ ความดัน 101.35 kPa อุณหภูมิ 40°C ท่อที่หน้าตัด 1 มีความเร็วเฉลี่ย 6.1 m/s และพื้นที่หน้าตัด 30.5 cm² และท่อหน้าตัดที่ 2 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 457 mm ความเร็วที่วัดได้ 4.57 m/s จงคำนวณหา (a) ความหนาแน่นของอากาศ และ (b) อัตราการไหลเชิงน้ำหนักในหน่วย N/s

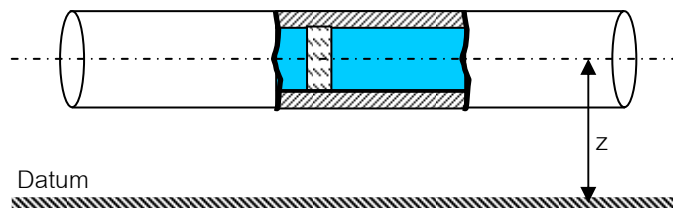
กำหนดให้ ที่ความดัน 101.35 kPa และอุณหภูมิ 40°C อากาศมีความหนาแน่น 1.134 kg/m³ และน้ำหนักจำเพาะ 11.14 N/m³

สมการพลังงานและสมการเบอร์นูลลี (Energy Equation and Bernoulli's Equation)



จากรูปข้างบน เมื่อพิจารณาถึงพลังงานทั้งหมดภายในระบบจะพบว่า พลังงานไม่มีการสูญหาย (Conservation of energy) แต่พลังงานสามารถที่จะเปลี่ยนรูปได้ นั่นคือ

$$\text{พลังงานที่จุดที่ 1} = \text{พลังงานที่จุดที่ 2}$$

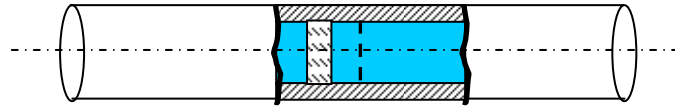


จากรูป สามารถพิจารณาพลังงานได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

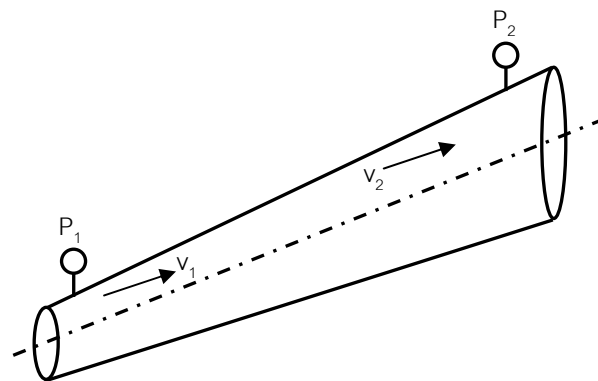
1. Potential Energy

2. Kinematic Energy

3. Flow Energy



พลังงานทั้งหมด: $E = FE + PE + KE$



$$E_1 = E_2$$

สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation)

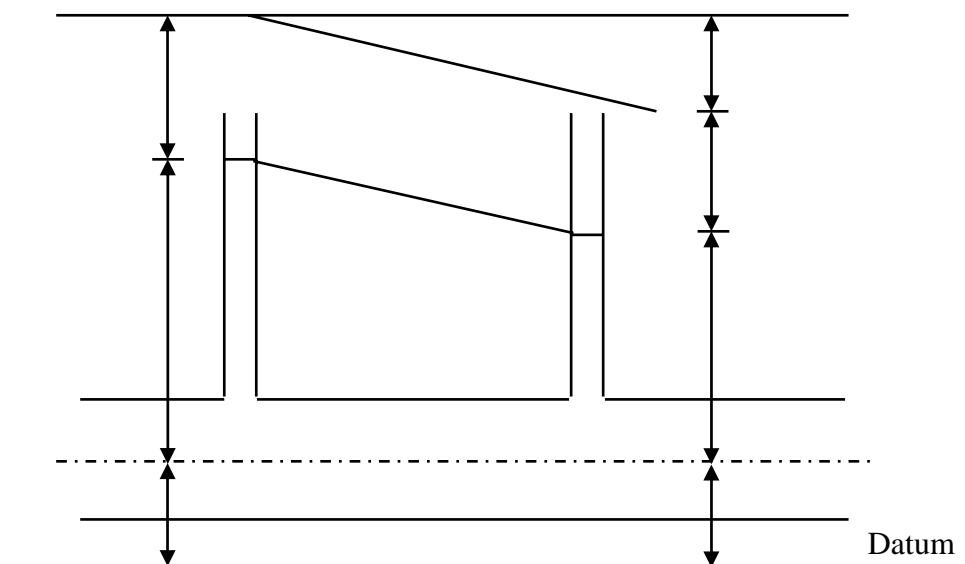
Pressure Head

Elevation Head

Velocity Head

Total Head

สมการเบอร์นูลลี: เมื่อพิจารณาพลังงานที่สูญเสียไป ดังรูป และสมการต่อไปนี้



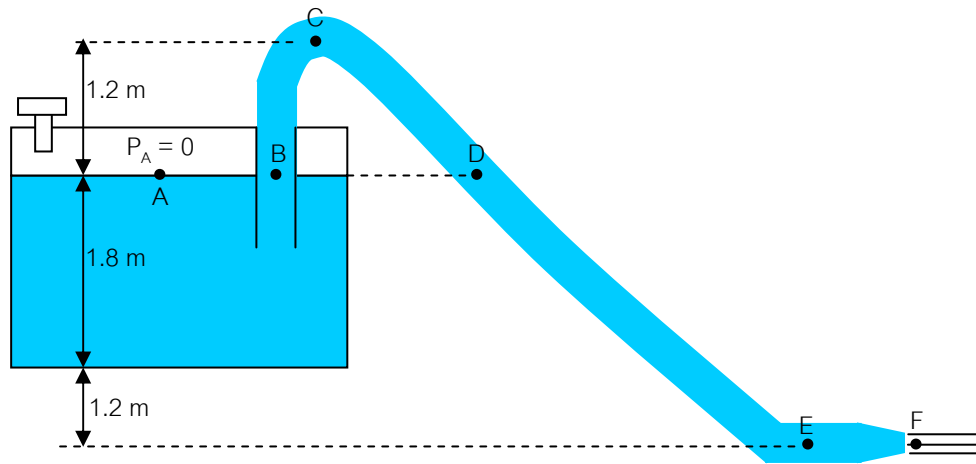
ข้อจำกัดสำหรับสมการเบอร์นูลลี

1. ของเหลวที่พิจารณาเป็นของเหลวที่ก่ดอัดไม่ได้ ดังนั้น น้ำหนักจำเพาะจึงคงที่
2. พลังงานจากหน้าตัดที่ 1 เท่ากับพลังงานที่หน้าตัดที่ 2 หรือพลังงานไม่มีการสูญเสีย
3. ในระบบที่พิจารณาของเหลวจะไม่ได้รับความร้อน ดังนั้น จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของของเหลว
4. ไม่นำการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานมาพิจารณา

ตัวอย่าง 3.3 น้ำไหลจากหน้าตัดที่ 1 ไปหน้าตัดที่ 2 ซึ่งหน้าตัดที่ 1 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 mm ความดันเกจ 345 kPa และความเร็วการไหล 3.0 m/s และหน้าตัดที่ 2 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm อยู่เหนือหน้าตัดที่ 1 ที่ระดับความสูง 2.0 m เมื่อไม่มีการสูญเสียพลังงาน จงคำนวณหาความดันที่หน้าตัดที่ 2

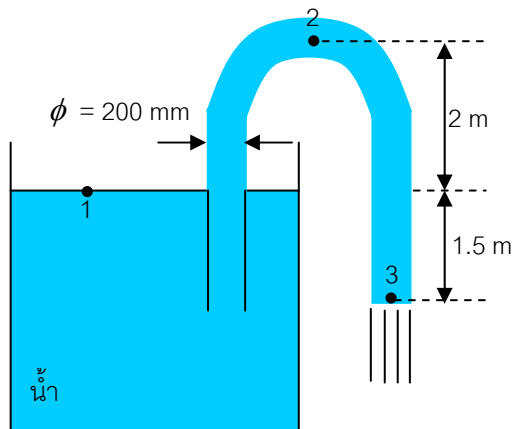
ตัวอย่าง 3.4 ของเหลวชนิดหนึ่งมีความถ่วงจำเพาะ (S) 1.26 ไหลเข้าท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 cm. ความดันตรงทางเข้าเท่ากับ 300 kN/m² อัตราการไหล 700 liter/s จงคำนวณหาความดันที่จุดที่สองซึ่งอยู่ต่ำกว่าทางเข้า 1 m. กำหนดให้ท่อตรงจุดที่สอง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 cm. และไม่มีการสูญเสียใด ๆ

ตัวอย่าง 3.5 ระบบกาลักน้ำ (Siphon) เพื่อดูดน้ำจากสระน้ำโดยมีท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm ดังรูป และที่หัวฉีดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 mm เมื่อไม่มีการสูญเสียพลังงาน จงคำนวณหาอัตราการไหลที่จุด B ถึงจุด E

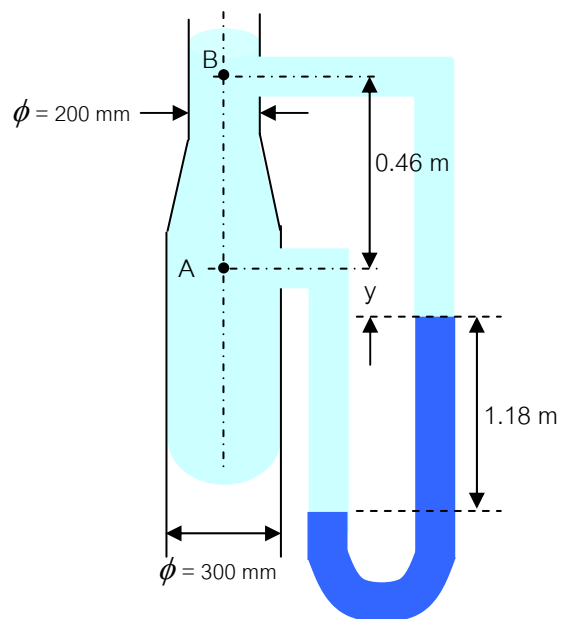


ตัวอย่าง 3.6 ระบบกาลักน้ำ (Siphon) มีน้ำไหลออกในอัตรา 150 ลิตร/วินาที จงคำนวณหา

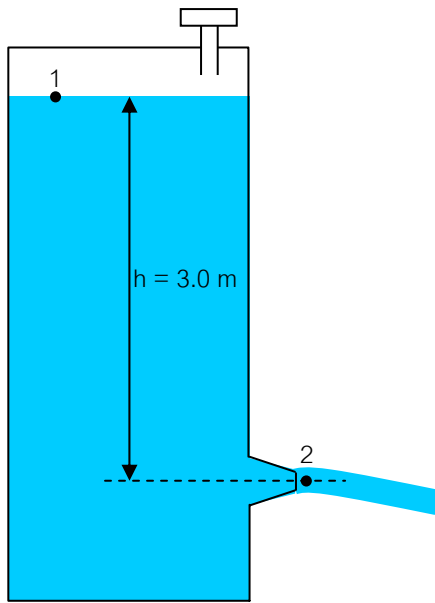
- ความสูญเสีย (Loss) จากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 3 ในรูปของเฮดความเร็ว
- ความดันที่จุดที่ 2 โดยที่สองในสามของความสูญเสียทั้งหมดเกิดขึ้นระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2



ตัวอย่าง 3.7 เวนจูรีมิเตอร์ดังรูป บรรจุน้ำที่อุณหภูมิ 60°C ความถ่วงจำเพาะ 1.25 จงคำนวณหาความเร็วของการไหลที่หน้าตัด A และอัตราการไหล

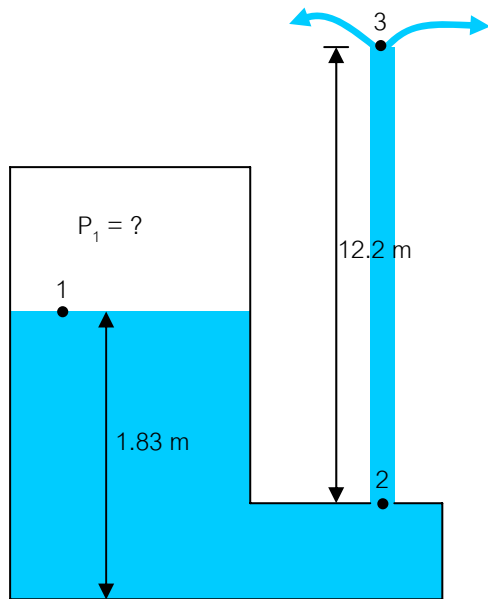


ตัวอย่าง 3.8 จากรูป จงคำนวณหาความเร็วของการไหลที่หัวฉีด หรือจุด 2

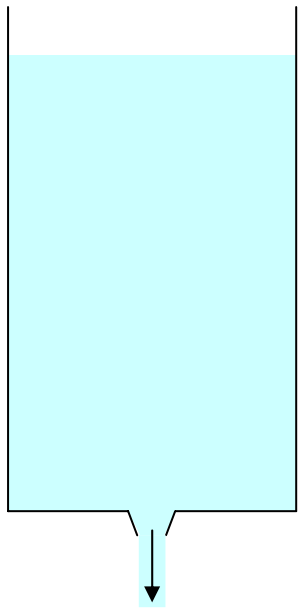


ตัวอย่าง 3.9 จากตัวอย่าง 3.8 จงคำนวณหาความเร็วของการไหลที่หัวฉีดและอัตราการไหล เมื่อความลึก h มีค่าตั้งแต่ 3.0 m ถึง 0.5 m เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดคือ 50 mm

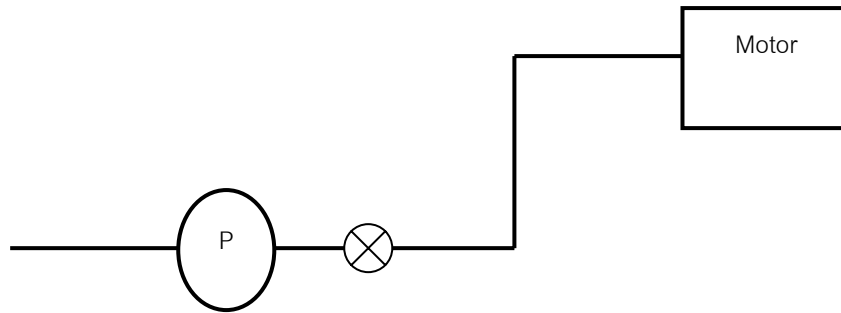
ตัวอย่าง 3.10 จากรูป จงคำนวณหาความดันอากาศที่ต้องการเพื่อให้ น้ำจากหัวฉีดขึ้นสูง 12.2 m



ตัวอย่าง 3.11 จากรูป จงหาเวลาที่จะต้องใช้ในการปล่อยน้ำที่ระดับความสูงตั้งแต่ 3.0 m ถึง 0.50 m เมื่อถังน้ำมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.50 m และหัวฉีดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm



สมการทั่วไปของสมการพลังงาน (General Energy Equation)



เมื่อ h_A คือ พลังงานที่เพิ่มเข้าไป (Energy Added) เช่น พลังงานที่ได้จากปั๊ม

h_R คือ พลังงานที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกล (Energy Removed) เช่น พลังงานจากน้ำไปปั่นมอเตอร์ ซึ่งจะให้พลังงานกลออกมา

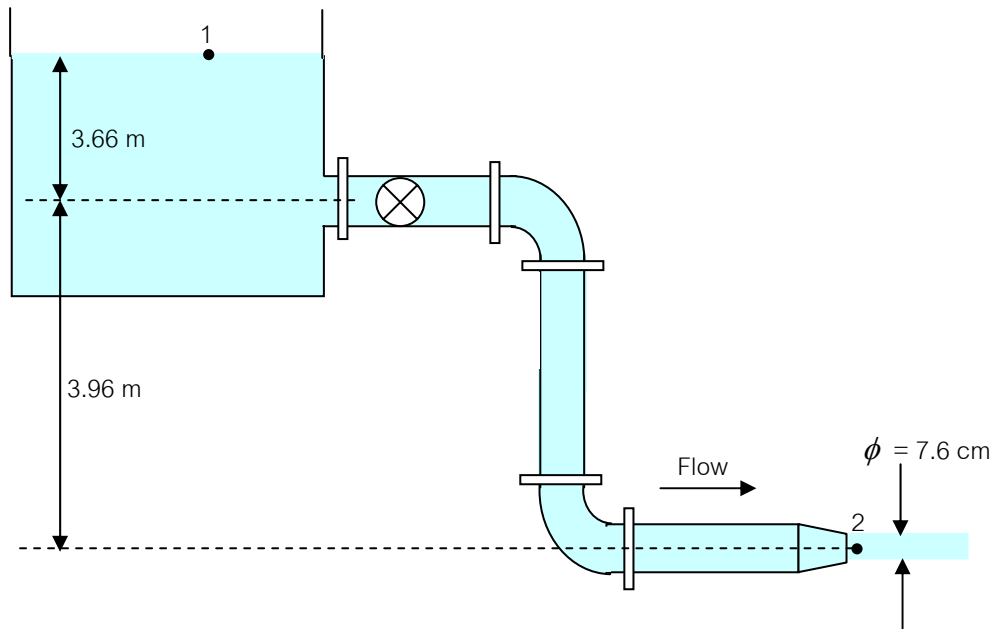
h_L คือ พลังงานที่สูญเสียไปจากระบบ (Energy Losses) เช่น การสูญเสียหลัก คือ การสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทาน และการสูญเสียรอง คือ การสูญเสียพลังงานเนื่องจาก วาล์ว และข้อต่อ เป็นต้น

การสูญเสียรอง สามารถหาค่าได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

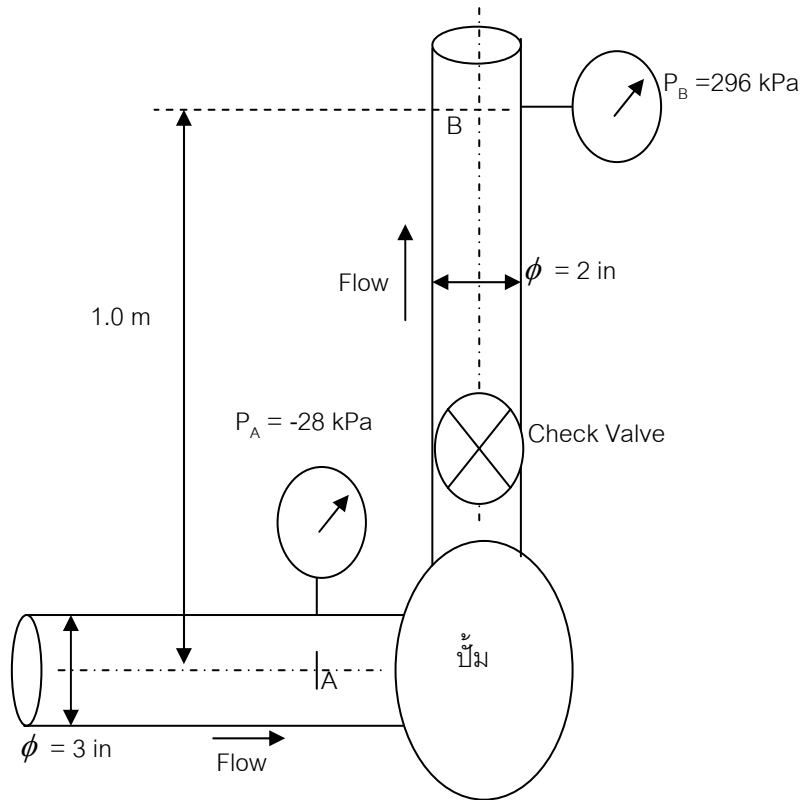
เมื่อ K คือ ค่าสัมประสิทธิ์ต้านความเสียดทาน

ดังนั้น สมการทั่วไปของสมการพลังงาน คือ

ตัวอย่าง 3.12 น้ำไหลออกจากอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ด้วยอัตราการไหล $0.034 \text{ m}^3/\text{s}$ ผ่านระบบท่อ ดังรูป จงคำนวณหาพลังงานที่สูญเสียไปทั้งหมดอันเนื่องมาจากวาล์ว ข้อต่อ ทางเข้าท่อ และความเสียดทาน



ตัวอย่าง 3.13 จากรูป อัตราการไหลออกจากปั๊มเท่ากับ $0.014 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งของเหลวในปั๊มคือ น้ำมันที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.86 จงคำนวณหาพลังงานที่ปั๊มจะต้องส่งถ่ายให้กับน้ำมันต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักสำหรับทั้งระบบ เมื่อพลังงานความสูญเสียเนื่องจากวาล์วและแรงเสียดทานมีค่าเท่ากับ 1.86 N-m/N



กำลังงานที่ได้จากปั๊ม (Power Required by Pump)

$$Power = \frac{Energy}{Time} = \frac{Energy}{Weight} \times \frac{Weight}{Time} = H \cdot G = H \cdot \gamma \cdot Q$$

ระบบ SI; กำลังน้ำ $h_p = \frac{H\gamma Q}{746}$

ระบบอังกฤษ; กำลังน้ำ $h_p = \frac{H\gamma Q}{550}$

เมื่อ γ = น้ำหนักจำเพาะของของไหล (N/m^3 , lb/ft^3)

Q = อัตราการไหล (m^3/s , ft^3/s)

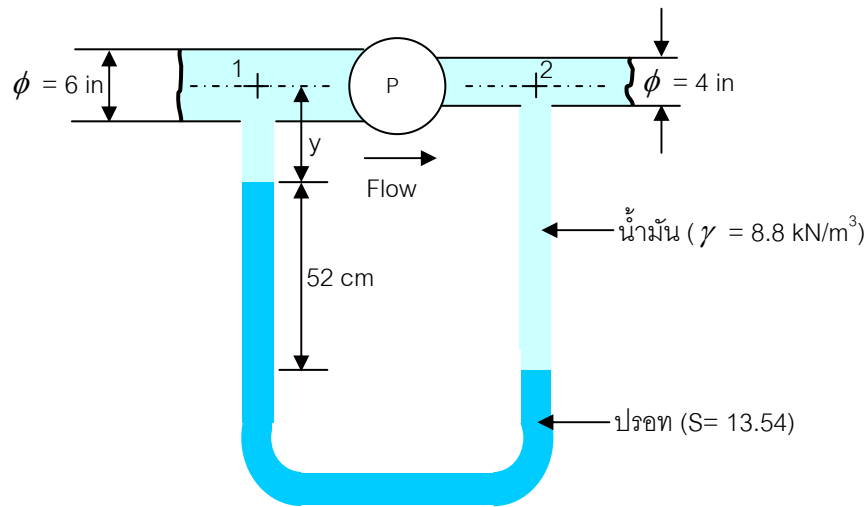
H = เหนดรวม (m, ft)

1 hp = 746 watt (W) = 550 ft lb/s

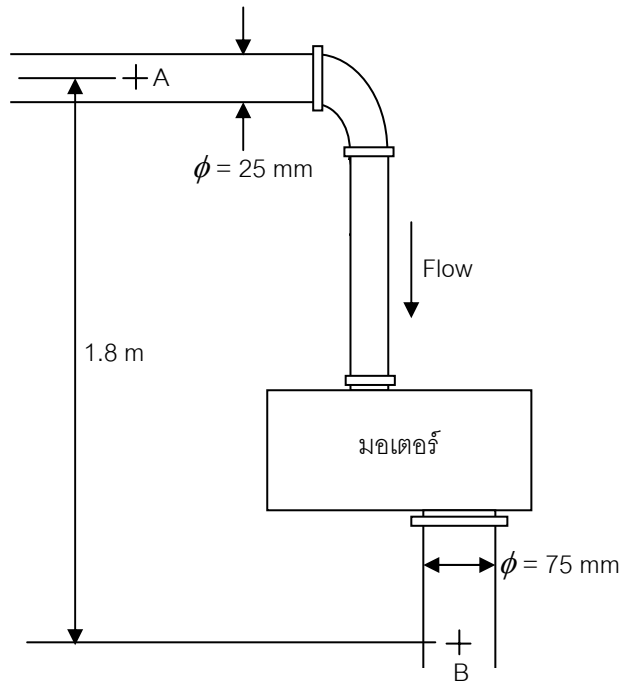
1 lb-ft/s = 1.356 watt

ในที่นี้ H อาจจะเป็นเหนดใด ๆ ที่ต้องการเช่น ถ้าต้องการทราบกำลังที่ได้จากเทอร์ไบน์ H หรือ h_t หรือต้องการกำลังจากลำของไหล ค่าของ H คือ $\frac{V_j^2}{2g}$ โดยที่ V_j คือ ความเร็วของลำของไหล และหากต้องการทราบกำลังที่สูญเสียไปเนื่องจากความฝืด ค่าของ H จะเป็น h_L เป็นต้น

ตัวอย่าง 3.14 จากรูป จงหาประสิทธิภาพของปั๊ม ถ้ากำลังงานที่ให้ไปเท่ากับ 2.87 kW เมื่ออัตราการสูบน้ำมัน ($\gamma = 8.8 \text{ kN/m}^3$) เท่ากับ $125 \text{ m}^3/\text{h}$

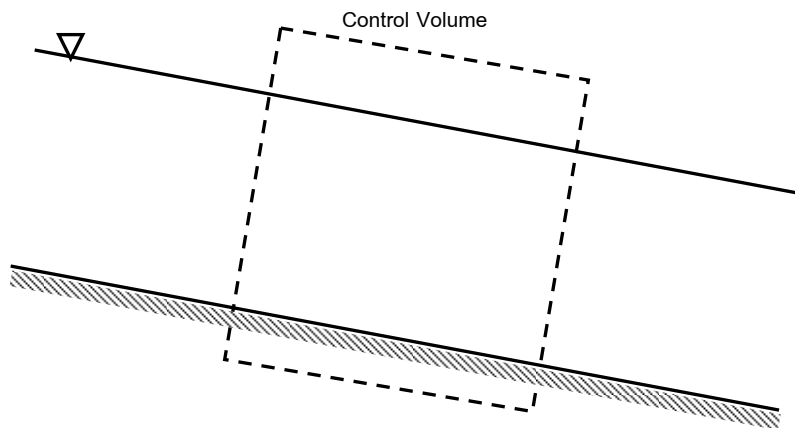


ตัวอย่าง 3.15 น้ำไหลเข้ามอเตอร์ด้วยอัตราการไหล 115 lit/min ดังรูป ความดันที่จุด A เท่ากับ 700 kPa และความดันที่จุด B เท่ากับ 125 kPa เมื่อการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานในท่อเท่ากับ 4.0 N-m/N (a) จงคำนวณหา กำลังงานที่น้ำจะให้กับมอเตอร์ และ (b) ถ้าประสิทธิภาพของมอเตอร์ 85% จงคำนวณหา กำลังที่ออกมา



สมการโมเมนตัมเชิงเส้น (Linear Momentum Equation)

หลักการของโมเมนตัมมีประโยชน์ในการแก้ปัญหากลไหลที่มีแรงกระทำเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งแรงกระทำจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและทิศทางของความเร็วในการไหล การสร้างสมการโมเมนตัมทำได้โดยเริ่มจากกฎข้อที่สองของนิวตัน คือ

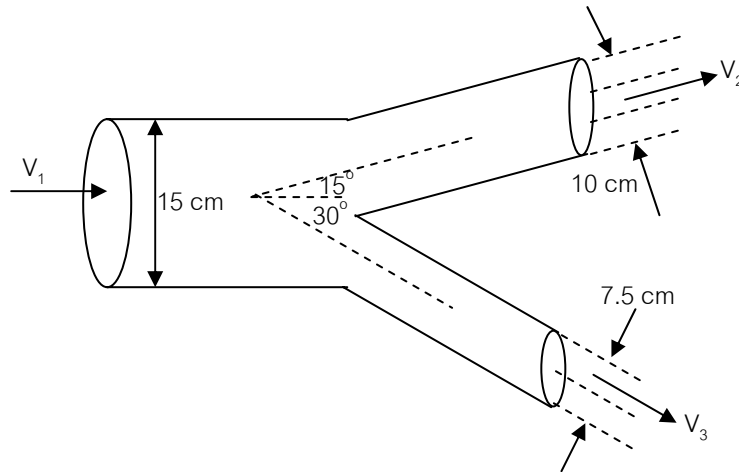


$$\text{จาก } \sum \vec{F} = ma = m \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{m\vec{V}_2 - m\vec{V}_1}{\Delta t}$$

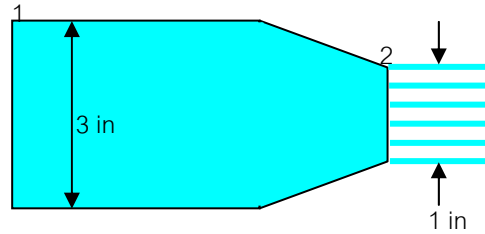
สมการทั่วไปของโมเมนตัม คือ

เมื่อ $\sum \vec{F}$ จะมีทิศทางเดียวกับ \vec{V} และ $\sum \vec{F}$ นี้เป็นแรงลัพธ์เชิงเวกเตอร์ที่กระทำต่อของไหล ครอบคลุมถึงน้ำหนักของของไหล แรงเฉือน และแรงเนื่องจากความดัน ตลอดจนแรงภายนอกทั้งหลายที่กระทำต่อของไหล จากสมการข้างต้น สามารถเขียนในรูปของปริมาณสเกลาร์ ได้ดังนี้

ตัวอย่าง 3.16 จงคำนวณหาขนาดและทิศทางของแรงที่น้ำกระทำต่อหัวฉีดคู่ ซึ่งวางอยู่ในแนวระนาบ ดังแสดงในรูป กำหนดให้ ลำน้ำที่พุ่งออกจากหัวฉีดทั้งคู่มีความเร็ว 12 m/s เท่ากัน และสมมติว่าไม่มีความเสียดทานใด ๆ ในระบบ



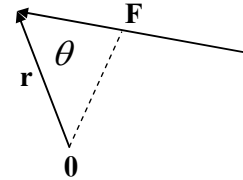
ตัวอย่าง 3.17 จงคำนวณหาแรงที่หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 in กระทำต่อท่อขนาด 3 in ที่ติดตั้งอยู่ในแนวระดับดังแสดงในรูป กำหนดให้ของไหลในท่อคือน้ำมัน ($S=0.85$) และความดันที่จุดที่ 1 มีค่า 6.9×10^5 Pa โดยไม่คิดค่าความสูญเสียใด ๆ



สมการโมเมนต์ของโมเมนตัม (Moment of momentum equation)

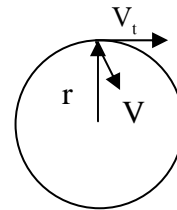
สมการโมเมนต์ของโมเมนตัม คือ สมการโมเมนตัมที่นำมาใช้กับการหมุน ซึ่งมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับการไหลในเครื่องจักรกลของไหลที่ให้ความสำคัญกับแรงบิด (Torque) มากกว่าแรงที่กระทำ (Force)

สมการทั่วไปของโมเมนต์ของโมเมนตัม มีดังนี้

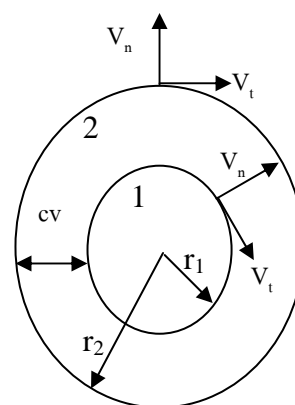


เมื่อ \vec{r} เป็นระยะทางจากจุด O มายังแนวแรงกระทำ

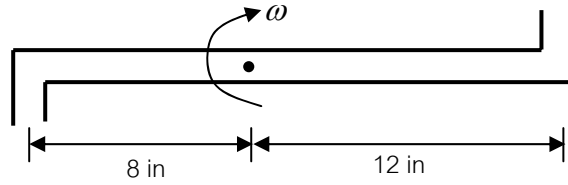
ถ้านำสมการข้างต้นมาใช้กับกรณีการไหลในระนาบ xy ของของไหลในเครื่องสูบน้ำแบบเหวี่ยง (Centrifugal pump) โดยมี r เป็นรัศมีการไหล V_t เป็นความเร็วในแนวสัมผัส และ V_n เป็นความเร็วในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล



ถ้านำสมการข้างต้นมาใช้กับปริมาตรควบคุมรูปวงแหวน ดังรูปข้างล่าง สำหรับกรณีของการไหลคงตัวจะได้

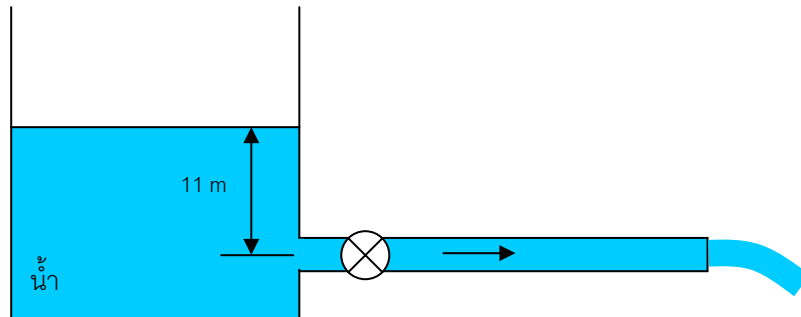


ตัวอย่าง 3.18 เครื่องรดน้ำต้นไม้ (Sprinkler) ดังรูป พ่นน้ำออกมาในอัตรา $300 \text{ cm}^3/\text{s}$ จากหัวฉีดแต่ละหัวซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด 1 cm^2 จงคำนวณหา ความเร็วเชิงมุมของการหมุน เมื่อไม่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืด

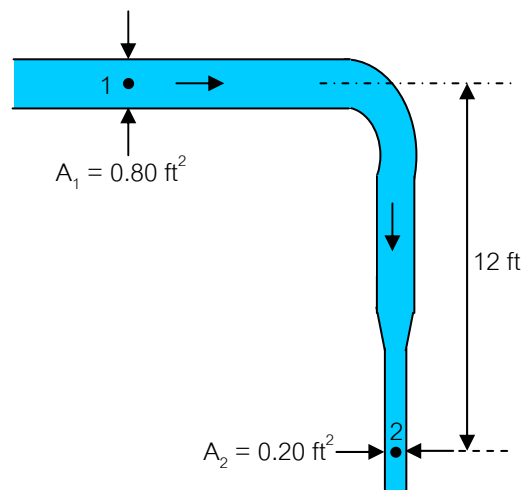


แบบฝึกหัดท้ายบท

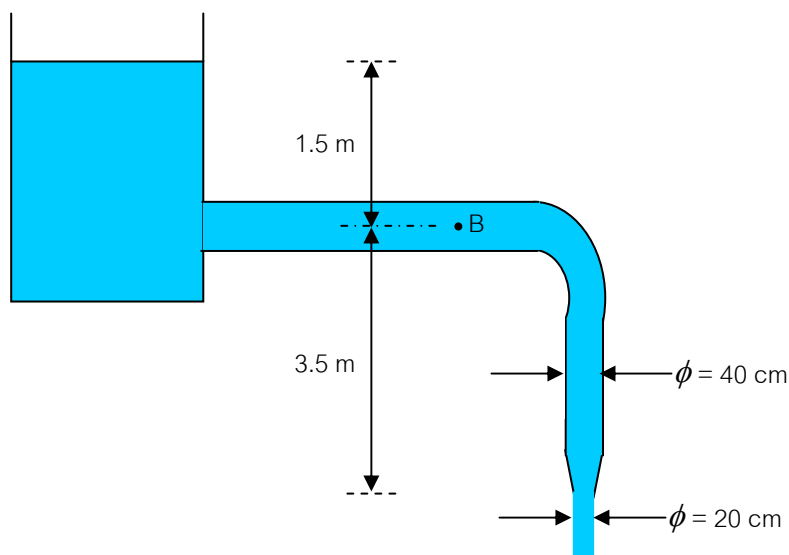
1. จากรูป เมื่อระบบนี้มีการสูญเสียพลังงาน $h_L = \frac{10V^2}{2g}$ เมื่อ V คือ ความเร็วของของไหลในท่อ เมื่อท่อที่มีพื้นที่หน้าตัด 5 cm^2 และระดับน้ำเหนือแนวท่อก็คือ 11 m จงคำนวณหาอัตราการไหลที่ออกจากท่อ



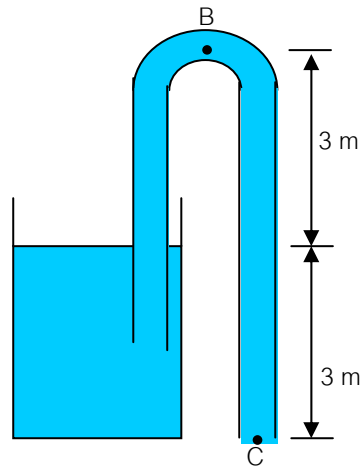
2. แกสโซรีน ($S = 0.8$) ไหลในระบบท่อดังรูป ด้วยอัตราการไหล 5 cfs จงคำนวณหาความดันที่หน้าตัด 2 เมื่อความดันเกจที่หน้าตัด 1 เท่ากับ 10 psi และการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 4 ft



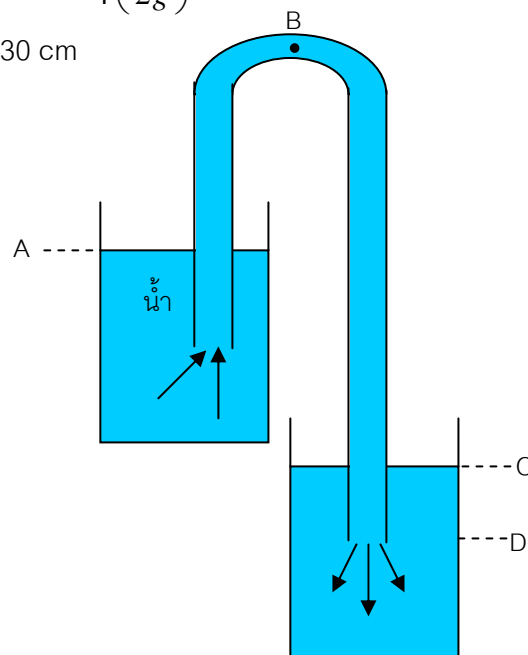
3. จงคำนวณหาอัตราการไหลและความดันที่จุด B เมื่อไม่คิดการสูญเสียพลังงาน



4. ระบบกาลักน้ำ (Siphon) มีอัตราการไหล 2.80 cfs ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 in จงคำนวณหาการสูญเสียพลังงานตั้งแต่ผิวอ่างเก็บน้ำจนถึงจุด C และคำนวณหาความดันที่จุด B ถ้า 2 ใน 3 ของการสูญเสียพลังงานทั้งหมดเกิดขึ้นจากผิวอ่างเก็บน้ำจนถึงจุด B

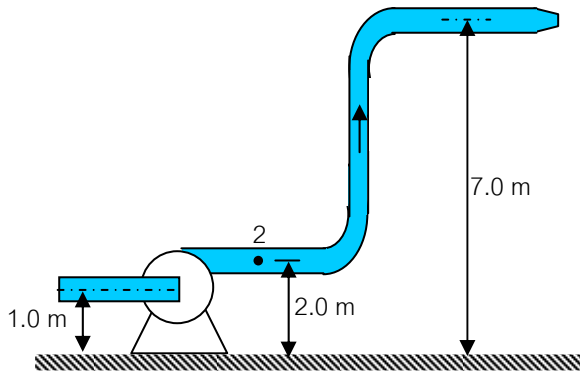


5. ระบบกาลักน้ำ (Siphon) ค่าระดับของ A, B, C และ D คือ 30 m, 32 m, 27 m และ 16 m ตามลำดับ การสูญเสียพลังงานตั้งแต่จุดทางเข้าจนถึงจุด B คือ $\frac{3}{4}\left(\frac{V^2}{2g}\right)$ และการสูญเสียพลังงานตั้งแต่จุด B จนถึงจุดทางออก คือ $\frac{1}{4}\left(\frac{V^2}{2g}\right)$ จงคำนวณหาอัตราการไหลและความดันที่จุด B เมื่อท่อมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 cm

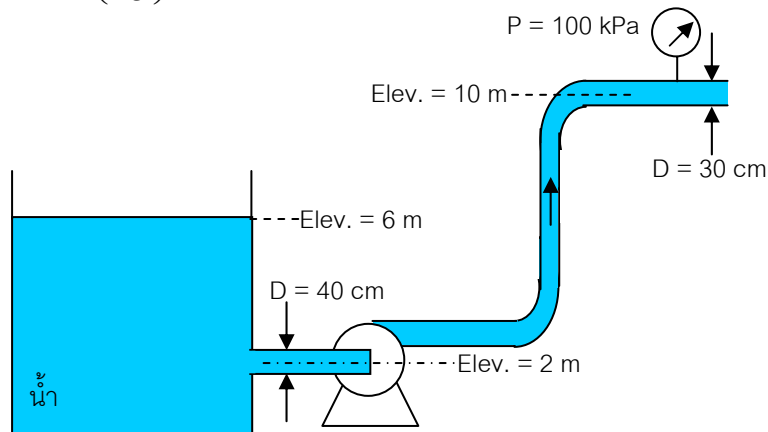


6. จากรูปในข้อ 5 เมื่อจุด B อยู่เหนือพื้นอ่างเก็บน้ำด้านบน 10 m การสูญเสียพลังงานตั้งแต่จุด A ถึงจุด B คือ $2\left(\frac{V^2}{2g}\right)$ และท่อมีพื้นที่หน้าตัด 10^{-4} m^2 เมื่ออัตราการไหลเท่ากับ $7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ความดันที่จุด B เท่ากับ 1.23 kPa และความดันบรรยากาศ เท่ากับ 100 kPa จงคำนวณความลึกของอ่างเก็บน้ำด้านบน

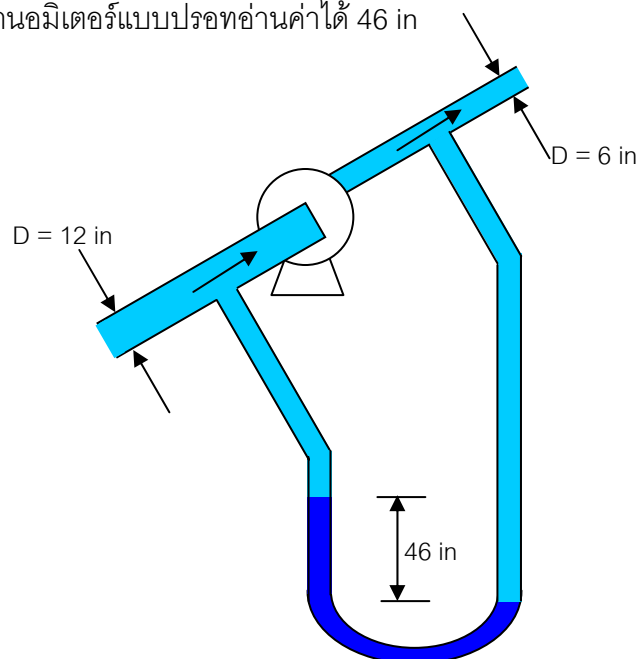
7. จากรูป อัตราการไหลของน้ำ $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$ ท่อมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลาง 30 cm หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 cm เมื่อไม่คิดการสูญเสียพลังงาน จงคำนวณหา Pressure head ที่จุดที่ 2



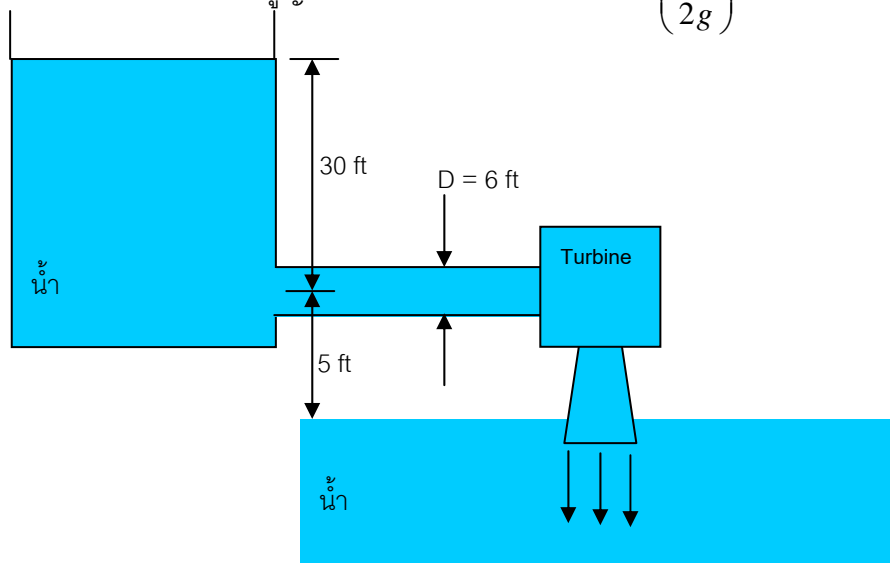
8. น้ำไหลจากอ่างเก็บน้ำเข้าสู่ระบบปั๊มดังรูป ด้วยอัตราการไหล $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ และมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ $2\left(\frac{V^2}{2g}\right)$ จงคำนวณหา กำลังที่เกิดจากปั๊ม



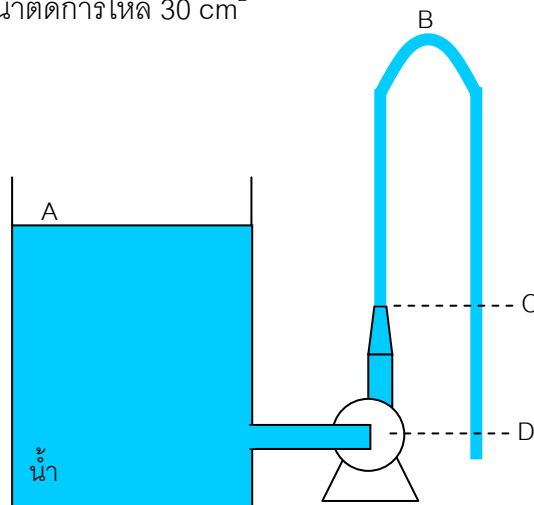
9. จากรูป เมื่ออัตราการสูบน้ำมัน ($S = 0.88$) เท่ากับ 5 cfs จงคำนวณหา กำลังม้าที่ปั๊มจะต้องส่งให้ ถ้าความแตกต่างของมานอมิเตอร์แบบปรอทอ่านค่าได้ 46 in



10. ถ้าอัตราการไหลเท่ากับ 250 cfs จงคำนวณหา กำลังงานที่ได้จากเทอร์ไบน์ เมื่อเทอร์ไบน์มีประสิทธิภาพ 80% และการสูญเสียพลังงานทั้งหมดเท่ากับ $1.5 \left(\frac{V^2}{2g} \right)$

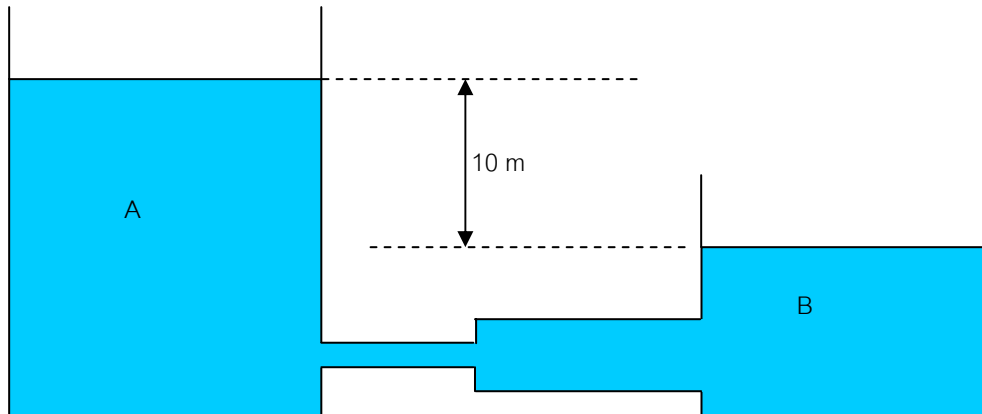


11. เมื่อไม่คิดการสูญเสียพลังงาน จงคำนวณหา กำลังงานที่ปั๊มจะต้องส่งให้น้ำไหลขึ้นดังรูป กำหนดให้จุด A, B, C และ D มีค่าระดับความสูง 40 m, 65 m, 35 m และ 30 m ตามลำดับ และหัวฉีดมีพื้นที่หน้าตัดการไหล 30 cm^2

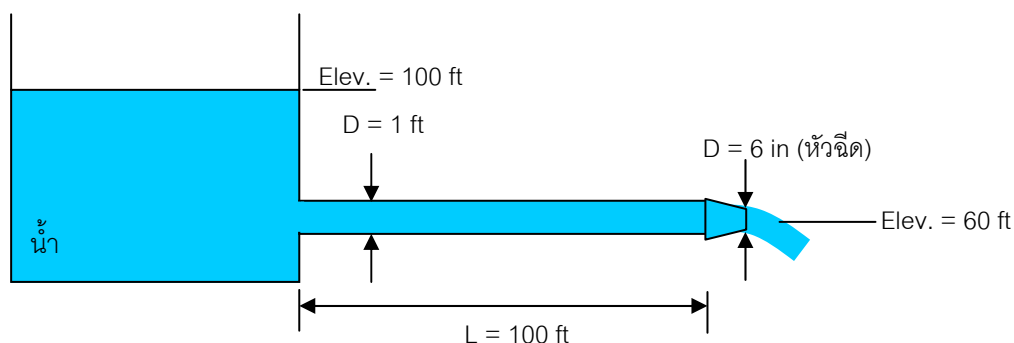


12. จากรูปข้อ 11 เมื่อไม่คิดการสูญเสียพลังงาน จงคำนวณหา กำลังงานที่ปั๊มจะต้องส่งให้น้ำไหลขึ้นดังรูป กำหนดให้จุด A, B, C และ D มีค่าระดับความสูง 110 ft, 200 ft, 110 ft และ 90 ft ตามลำดับ และหัวฉีดมีพื้นที่หน้าตัดการไหล 0.10 ft^2

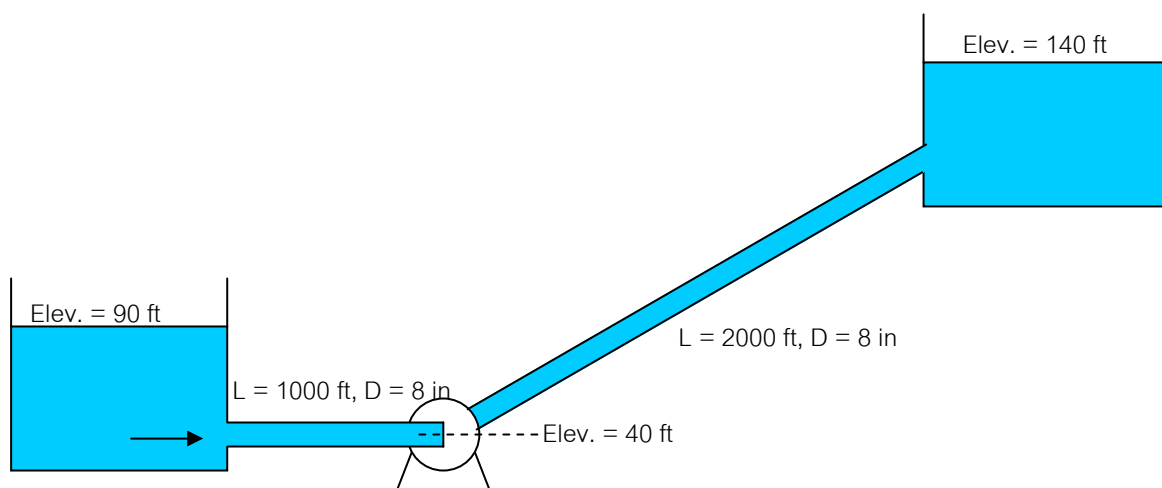
13. จากรูป ถังน้ำ A และ B ถูกเชื่อมติดกันด้วยท่อที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 10 cm^2 และ 20 cm^2 เมื่อระดับน้ำของทั้งสองถังนี้ต่างกัน 10 m จงคำนวณหาอัตราการไหลระหว่างถังทั้งสองถังนี้ กำหนดให้ การสูญเสียพลังงานเกิดจากการขยายขนาดท่ออย่างทันทีและการไหลเข้าถัง B



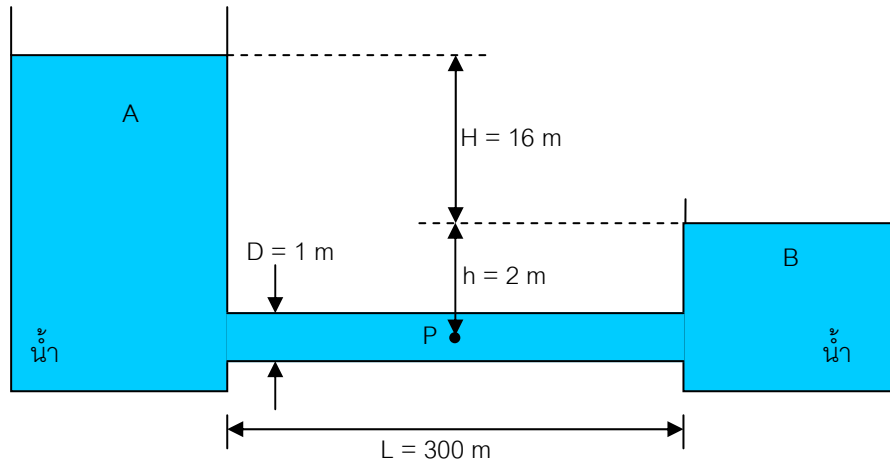
14. น้ำจากอ่างเก็บน้ำไหลผ่านท่อดังรูป จงคำนวณหาอัตราการไหล และวาดเส้น HGL และ EGL ของระบบ กำหนดให้ ระบบมีการสูญเสียพลังงาน $h_L = 0.02(L/D)V^2/2g$ เมื่อ D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ L คือ ความยาวท่อ และ V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล



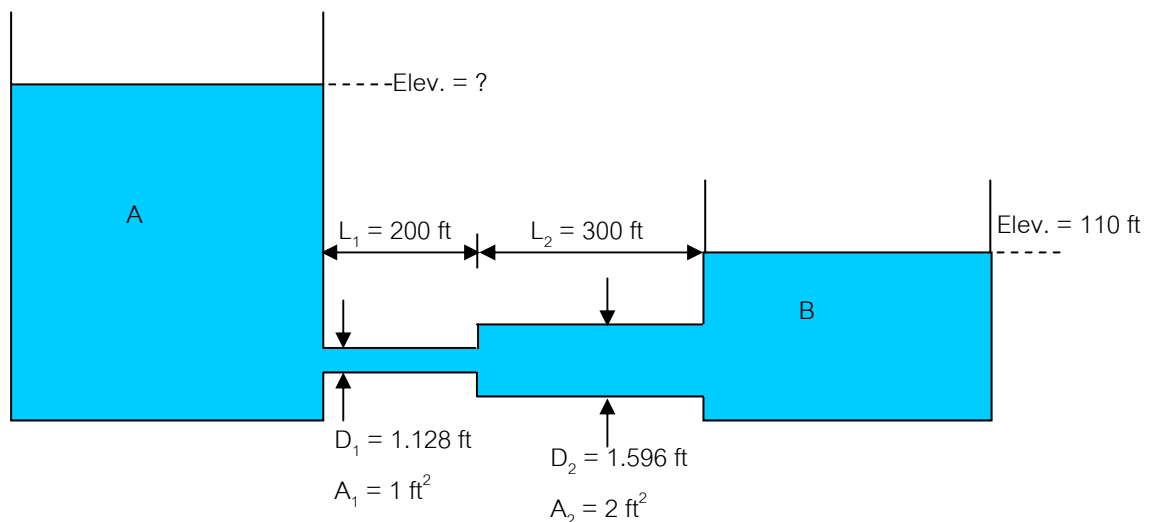
15. จงคำนวณหา กำลังม้าจากปั๊มที่ต้องใช้เพื่อสูบน้ำด้วยอัตรา 2.5 cfs และวาดเส้น HGL และ EGL ของระบบ กำหนดให้ ระบบมีการสูญเสียพลังงาน $h_L = 0.015(L/D)V^2/2g$ เมื่อ D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ L คือ ความยาวท่อ และ V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล



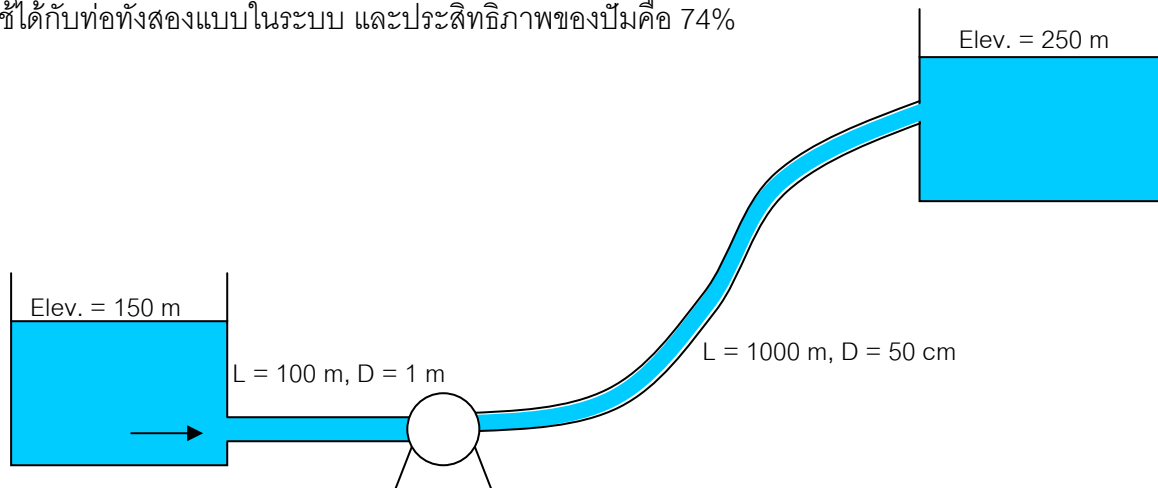
16. น้ำไหลจากถังน้ำ A ไปยังถังน้ำ B จงคำนวณหาอัตราการไหล วาดเส้น HGL และ EGL ของระบบ และความดันที่จุด P ซึ่งอยู่ระหว่างกึ่งกลางทั้งสองถังน้ำ กำหนดให้ ระบบมีการสูญเสียพลังงาน $h_L = 0.01(L/D)V^2/2g$ เมื่อ D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ L คือ ความยาวท่อ และ V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล



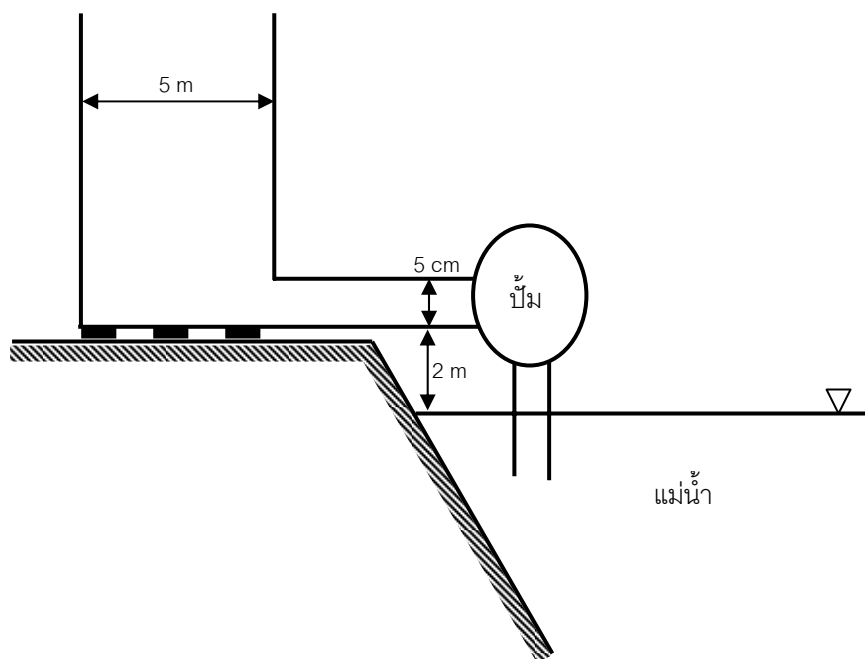
17. น้ำไหลจากถังน้ำ A ไปยังถังน้ำ B ด้วยอัตราการไหล 16 cfs จงคำนวณหาตำแหน่งของผิวน้ำของถัง A และวาดเส้น HGL และ EGL ของระบบ กำหนดให้ ระบบมีการสูญเสียพลังงาน $h_L = 0.02(L/D)V^2/2g$ เมื่อ D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ L คือ ความยาวท่อ และ V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล ซึ่งสมการนี้ใช้ได้กับท่อทั้งสองแบบในระบบ



18. จงคำนวณหา กำลังม้าจากปั๊มที่ต้องใช้เพื่อสูบน้ำด้วยอัตรา $2 \text{ m}^3/\text{s}$ และวาดเส้น HGL และ EGL ของระบบ กำหนดให้ ระบบมีการสูญเสียพลังงาน $h_L = 0.018(L/D)V^2 / 2g$ เมื่อ D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ L คือ ความยาวท่อ และ V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล ซึ่งสมการนี้ใช้ได้กับท่อทั้งสองแบบในระบบ และประสิทธิภาพของปั๊มคือ 74%

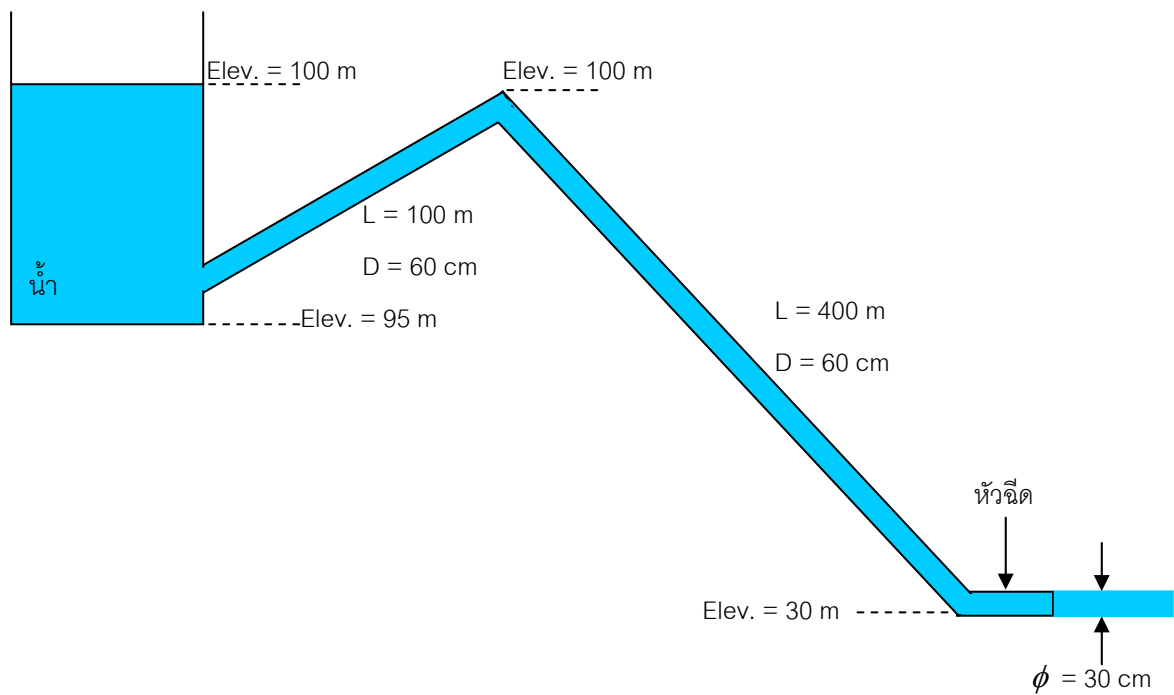


19. ปั๊มน้ำถูกนำมาสูบน้ำเพื่อเติมน้ำในถังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 m จากแม่น้ำดังรูป ผิวหน้าในแม่น้ำอยู่ต่ำลงมาจากตลิ่งที่วางถังน้ำ 2 m เมื่อท่อที่สูบน้ำมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 cm และมีการสูญเสียพลังงาน $h_L = 10V^2 / 2g$ เมื่อ V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล กำหนดให้ พลังงานที่ได้จากปั๊มมีความผันแปรตามอัตราการไหล คือ $h_p = 20 - 5 \times 10^4 Q^2$ เมื่อ Q คือ อัตราการไหลที่มีหน่วย m^3/s และ h_p มีหน่วย m จงหาว่า จะต้องใช้เวลานานเท่าไรในการเติมน้ำในถังให้ได้สูง 10 m



20. กำหนดให้ การสูญเสียพลังงาน $h_L = 0.014(L/D)V^2/2g$ เมื่อ D คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง ท่อ L คือ ความยาวท่อ

- จงหาอัตราการไหล
- จงวาดเส้น HGL และ EGL ของทั้งระบบนี้
- จงหาตำแหน่งที่เกิดความดันสูงสุด
- จงหาตำแหน่งที่เกิดความดันต่ำสุด
- จงคำนวณหาความดันสูงสุดและความดันต่ำสุดที่เกิดขึ้นในระบบนี้



คำตอบ

1. $Q = 2.21 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
2. $P_2 = 9.62 \text{ kPa (gage)}$
3. $Q = 0.311 \text{ m}^3/\text{s}$ และ $P_2 = 11.7 \text{ kPa}$
4. $h_L = 2.00 \text{ ft}$ และ $= -2.31 \text{ psi}$
5. $Q = 0.383 \text{ m}^3/\text{s}$ และ $P_2 = -45.3 \text{ kPa}$
6. $z_A = 7.42$
7. $\frac{P_2}{\gamma} = 11.1 \text{ m}$
8. $P = 39.5 \text{ kW}$
9. $\text{Power} = 32.3 \text{ hp}$
10. $\text{Power} = 753 \text{ hp}$
11. $\text{Power} = 17.85 \text{ kW}$
12. $\text{Power} = 77.7 \text{ hp}$
13. $Q = 0.0198 \text{ m}^3/\text{s}$
14. $Q = 6.64 \text{ ft}^3/\text{s}$
15. $\text{Power} = 29.7 \text{ hp}$
16. $Q = 6.96 \text{ m}^3/\text{s}$ และ $P_p = 78.5 \text{ kPa}$
17. ค่าระดับของผิวน้ำของถัง A = 129.8 ft
18. $\text{Power} = 7.86 \text{ MW}$
19. $t = 24,588 \text{ s} = 6.83 \text{ hr}$
20. $Q = 1.992 \text{ m}^3/\text{s}$, $P_{\min} = -82.6 \text{ kPa (gage)}$, $P_{\max} = 372.5 \text{ kPa}$