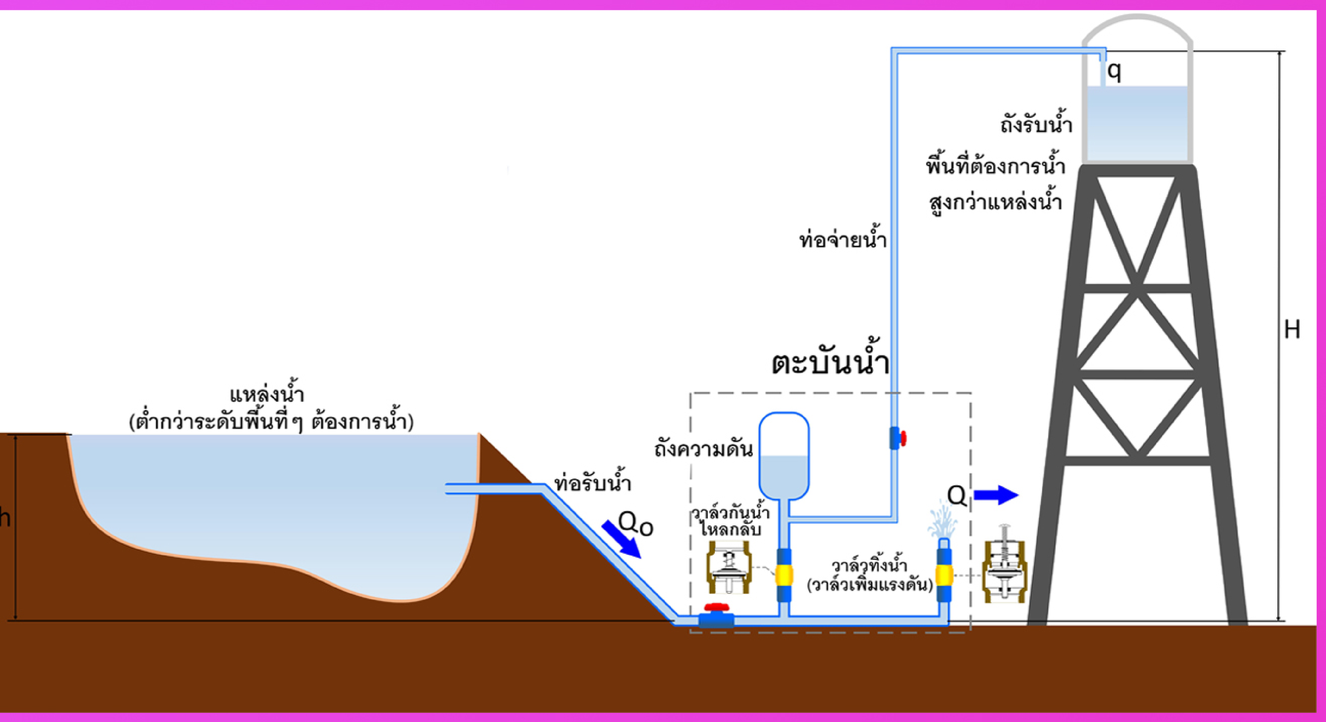
ตะบันน้ำ (Hydraulic Ram)

ตะบันน้ำ

คือเครื่องมือที่ใช้ส่งน้ำจากที่ต่ำไปยังที่สูงกว่าตามหลักการของ Water Hammer โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากไฟฟ้า หรือน้ำมันเหมือนเครื่องสูบน้ำ จอห์น ไวท์เฮริสท์ (John Whitehurst) ชาวอังกฤษเป็นคนแรกที่สร้างตะบันน้ำในปี ค.ศ.1772 ตะบันน้ำเครื่องแรกต้องใช้คนช่วยทำให้เกิด Water Hammer สามารถยกน้ำได้ 4.9 ม. แต่ไวท์เฮริสท์ไม่ได้จดสิทธิบัตร 24 ปีต่อมา โจเซพ มิสเชล มอนต์โกลฟิเออร์ (Joseph Michel Montgolfier) ชาวฝรั่งเศสได้สร้างตะบันน้ำที่สามารถสร้าง Water Hammer ได้ด้วยตัวเองโดยใช้พลังงานจากการไหลของน้ำ และมีการจดสิทธิบัตรในปีถัดไป หลังจากนั้นจึงมีการพัฒนาตะบันน้ำหลากหลายรูปแบบและมีการนำไปใช้ในพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลก

องค์ประกอบที่สำคัญของตะบันน้ำ

คือ (1) ท่อรับน้ำ (drive pipe) (2) ท่อส่งน้ำ (delivery pipe)
(3) วาล์วทิ้งน้ำ (waste valve) (4) วาล์วกันน้ำไหลกลับ (check valve)
(5) ถังความดัน (pressure vessel)



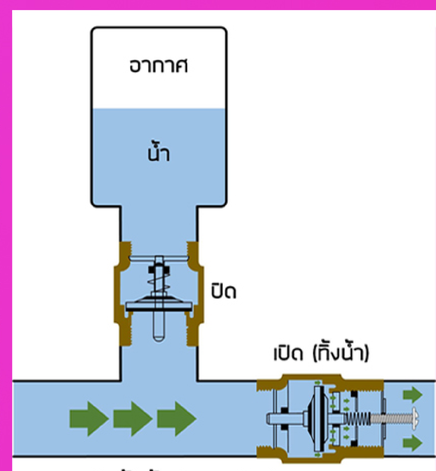
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
โทรศัพท์ : 0-3435-1897, 06-2514-4739 โทรสาร : 0-3435-2053
email : irre@ku.ac.th , website : http://irre.ku.ac.th

ข้อดี–ข้อเสีย ของตะบันน้ำ

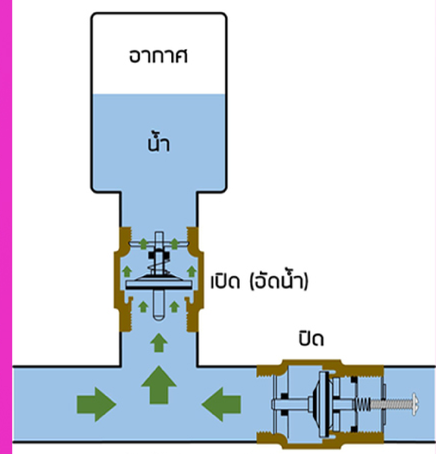
ตะบันน้ำทำงานด้วยตัวเองโดยไม่ต้องใช้ไฟฟ้า หรือน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ขณะทำงาน จะต้องทิ้งน้ำจำนวนมากเพื่อสร้าง Water Hammer เพื่อให้มีความดันสูงพอที่จะส่งน้ำขึ้นที่สูงได้ จึงเป็นข้อจำกัดสำคัญในการนำตะบันน้ำไปใช้งาน ทำให้ตะบันน้ำสามารถใช้งานได้เฉพาะพื้นที่ เช่น บริเวณน้ำตก หรือฝายทดน้ำ

หลักการทำงานของตะบันน้ำ

วาล์วทิ้งน้ำ และวาล์วกันน้ำไหลกลับคือกลไกสำคัญของตะบันน้ำ ซึ่งจะทำงานในจังหวะเปิด – ปิด สลับกันอย่างอัตโนมัติ กล่าวคือถ้าวาล์วทิ้งน้ำเปิด วาล์วกันน้ำไหลกลับจะปิด การทำงานของตะบันน้ำจะเริ่มเมื่อกลไกของวาล์วทิ้งน้ำ เช่นสปริงหรือน้ำหนักที่ถ่วงไว้ ทำให้วาล์วทิ้งน้ำอยู่ในจังหวะเปิด ทำให้น้ำไหลผ่านวาล์วทิ้งน้ำ และกลายเป็นน้ำทิ้งซึ่งขณะที่น้ำไหลผ่านวาล์วทิ้งน้ำ โมเมนตัมที่เกิดจากการไหลของน้ำ จะผลักวาล์วทิ้งน้ำให้ปิดอย่างรวดเร็วทำให้เกิดปรากฏการณ์ Water Hammer ความดันน้ำในท่อจะเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาลอย่างรวดเร็ว และดันน้ำให้น้ำไหลผ่านวาล์วกันน้ำไหลกลับ เข้าสู่ถังความดัน เมื่อวาล์วกันน้ำไหลกลับเปิด ความดันน้ำด้านหน้าวาล์วทิ้งน้ำจะลดลง ทำให้วาล์ทิ้งน้ำเข้าสู่จังหวะเปิดอีกครั้งหนึ่ง วาล์วทิ้งน้ำจะทำงานในจังหวะเปิด – ปิด หมุนเวียนต่อเนื่อง เพื่ออัดน้ำเข้าสู่ถังความดัน เมื่อความดันอากาศในถังสูงพอ ก็จะดันน้ำขึ้นสู่พื้นที่เป้าหมายที่ต้องการได้



วาล์วทิ้งน้ำทำงานในจังหวะเปิด



วาล์วทิ้งน้ำทำงานในจังหวะปิด

<u>นักพัฒนาตะบันน้ำ มีสูตรการคำนวณอย่างคร่าวๆ ดังนี้</u>

$$\frac{H}{h} = 10 \; ; \; \frac{q}{Q} = \frac{1}{10} \text{ หรือ } Hq = hQ = 1$$

หรือพูดง่ายๆ ว่าถ้าต้องการยกน้ำขึ้นที่สูง 10 เท่าของศักย์น้ำในแหล่งน้ำต้องใช้น้ำไหลผ่านวาล์วทิ้งน้ำ 10 เท่าของปริมาณน้ำที่ยกขึ้นที่สูง อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำที่ใช้สร้าง Water Hammer อาจน้อยหรือมากกว่า 10 ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของตะบันน้ำ

ตะบันน้ำที่พัฒนาโดยภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน โดย ผศ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี

ปรากฏการณ์ Water Hammer

Water Hammer คือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในท่อส่งน้ำ จากการปิดวาล์วที่ปลายท่ออย่างกระทันหัน โมเมนตัมของมวลน้ำที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้า จะทำให้เกิดแรงกระแทกที่เรียกว่า Shock Wave หรือ Pressure Surge เป็นผลให้ความดันน้ำด้านหน้าวาล์วเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล ความดันที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตามความเร็วของน้ำที่เคลื่อนตัวในท่อ Pressure Surge จะเคลื่อนตัวด้วยความเร็วเท่าความเร็วของคลื่นเสียงในน้ำกลับไปตามท่อส่งน้ำจนถึงแหล่งน้ำ แล้วเคลื่อนที่กลับมาที่วาล์ว สะท้อนกลับไปกลับมาจนกว่า Pressure Surge จะสลายตัว

ดังนั้น ถ้าเราสร้างวาล์วที่ปิด–เปิดสลับไปมาได้ ก็จะสามารถทำให้เกิด Water Hammer เพื่อยกน้ำขึ้นสู่ที่สูงได้ตามต้องการ

สูตรการคำนวณหาค่าความดันน้ำที่เพิ่มขึ้นจาก Water Hammer

ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มความดันในท่อส่งน้ำคือ

(1) ความเร็วของน้ำก่อนปิดวาล์ว (Vo)

(2) ความเร็วในการปิดวาล์ว (t)

ความดันน้ำในท่อจะแปรผันตามค่า Vo และแปรผันผกผันกับ t สูตรการคำนวณค่าความดันที่เพิ่มขึ้น โดยมีสมมติฐานว่าความเร็วในการปิดวาล์วน้อยกว่าระยะเวลาที่เสียงเคลื่อนที่ไปกลับระหว่างวาล์วกับแหล่งน้ำคือ

$$\Delta p = \rho c \Delta v \qquad (1)$$

เมื่อ

Δp = ความดันน้ำที่เพิ่มขึ้นจาก Water Hammer มีหน่วยเป็นปาสคาล (1 Pa = 1 N/m^2)

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ = 1,000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

c = ความเร็วเสียงในน้ำ = 1,450 เมตร/วินาที

Δv = (ความเร็วน้ำก่อนวาล์วปิด – ความเร็วน้ำหลังวาล์วปิด)ถ้าความเร็วน้ำก่อนวาล์วปิดเท่ากับ Vo และความเร็วน้ำหลังวาล์วปิดเท่ากับ 0 จะได้ว่า Δv = Vo

ดังนั้น ถ้า Vo = 1 เมตร/วินาที และวาล์วทิ้งน้ำปิดอย่างรวดเร็วมาก เวลาในการปิดวาล์วน้อยกว่าระยะเวลาที่เสียงเคลื่อนที่ไปกลับระหว่างวาล์วทิ้งน้ำกับแหล่งน้ำ

$$\Delta p = 1{,}000 \times 1{,}450 \times 1 = 1.45 \times 10^6 \text{ ปาสคาล} = 14.5 \text{ บาร์}$$

หรือเทียบเท่ากับน้ำสูง 145 เมตรซึ่งถือว่าสูงมาก อย่างไรก็ตามถ้าการปิดวาล์วไม่เร็วพอตามสมมติฐานในสูตร ค่าความดันที่เพิ่มขึ้นจะลดลง

สมมติท่อยาว 100 เมตร ระยะเวลาในการปิดวาล์วตามสมมติฐานในสูตรคือ

$$t = \frac{200}{1450} = 0.1379 \text{ วินาที}$$

หมายเหตุ ในการออกแบบตะบันน้ำ ถ้าออกแบบค่าระยะเวลาในการเปิดวาล์วให้เท่ากับค่า t ที่คำนวณได้ จะได้ค่า Vo สูงสุด

สูตรการคำนวณค่าความเร็วน้ำในท่อ

หลังจากเปิดวาล์ว น้ำจะไหลด้วยอัตราเร่งจากความเร็วเท่ากับ 0 จนเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) ความเร็วน้ำในท่อที่สภาวะคงตัวเรียกว่า Established Flow Velocity ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$V_0 = \sqrt{\frac{2gh}{C_1}} \qquad (2)$$

เมื่อ

V_0 = ความเร็วน้ำในท่อที่สภาวะคงตัว (เมตร/วินาที)

h = ความสูงของน้ำในแหล่งน้ำ วัดจากการระดับผิวน้ำ ถึงระดับศูนย์กลางของวาล์ว (เมตร)

C1 = สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานในระบบท่อ ซึ่งประกอบด้วยการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทาน (Friction Loss) และอื่นๆ (Minor Losses) ซึ่งได้แก่การสูญเสียพลังงานที่ทางเข้า (Entrance) วาล์ว ท่อโค้ง (Bend) และทางออก (Exit)

$$C_1 = 1 + K_E + K_V + K_B + f\frac{L}{d} \qquad (3)$$

ถ้าให้ $C_v = \sqrt{\frac{1}{C_1}}$ (4)

Cv = สัมประสิทธิ์ความเร็วของน้ำ (Velocity Coefficient) มีค่าระหว่าง 0.7 (C1 = 2.04) ถึง 0.8 (C1 = 1.56) และกรณีไม่คิด Losses C1 = 1

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก= 9.81 เมตร/วินาที^{2}

การคำนวณหาระยะเวลาที่น้ำเพิ่มความเร็วจาก 0 เป็นไหลแบบคงตัว (Time of Establishment of Flow)

$$t = \frac{L}{C_1 V_0} \ln\left(\frac{V_0 + V}{V_0 - V}\right) \qquad (5)$$

เมื่อ

t = ระยะเวลาลังจากเปิดวาล์วจนน้ำไหลแบบคงตัว เป็นวินาที

L =ความยาวท่อ เป็น เมตร

V_0 = ความเร็วน้ำที่ไหลแบบคงตัว เมตร/วินาที

V = ความเร็วน้ำในท่อที่ไหลแบบไม่คงตัว เมตร/วินาที

ถ้าแทน V = V_0 ลงในสมการที่ (5) จะได้ t = ค่าอนันต์ ดังนั้นในทางปฏิบัติจะคำนวณหา t โดยสมมติ V = 0.99V_0

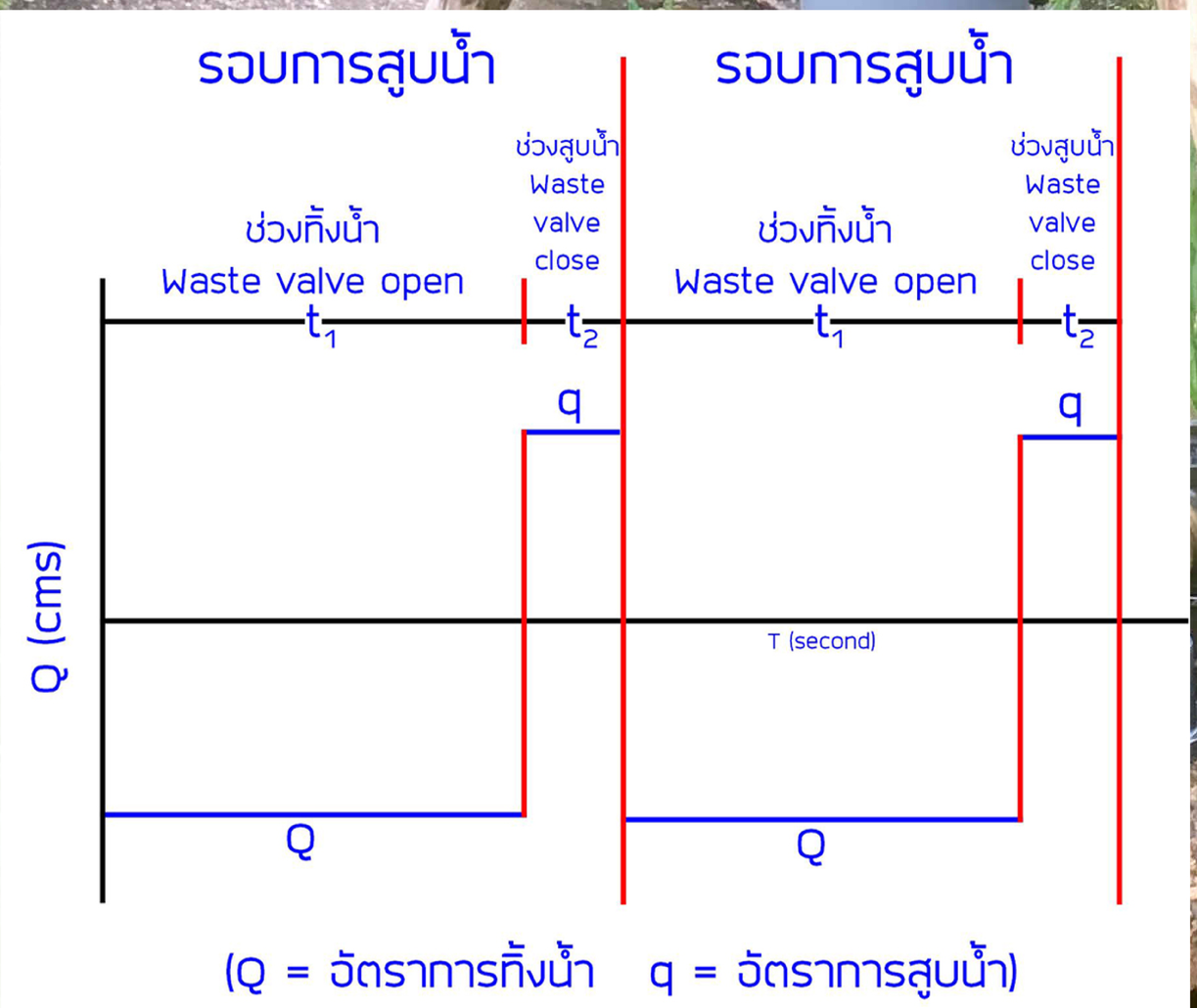
$$t = \frac{L}{C_1 V_0} \ln\left(\frac{1.99V_0}{0.01V_0}\right)$$

$$t = \frac{5.932}{C_1 V_0} \qquad (6)$$

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
โทรศัพท์ : 0-3435-1897, 06-2514-4739 โทรสาร : 0-3435-2053
email : irre@ku.ac.th , website : http://irre.ku.ac.th

การคำนวณหาประสิทธิภาพของไฮดรอลิคแรม

ตะบันน้ำทำงานในจังหวะเปิดและปิดวาล์วทิ้งน้ำสลับไปมา ช่วงวาล์วทิ้งน้ำเปิด แรงดันน้ำในท่อรับน้ำจะลดลงวาล์วกันน้ำไหลกลับจะอยู่ในจังหวะปิด ในช่วงนี้น้ำจะถูกระบายทิ้งผ่านวาล์วทิ้งน้ำด้วยอัตรา Q (ช่วงนี้เรียกว่าช่วงทิ้งน้ำ) ในช่วงที่วาล์วทิ้งน้ำปิด ความดันน้ำในท่อรับน้ำจะสูงมากจนสามารถดันน้ำไหลผ่านวาล์วกันน้ำไหลกลับ เข้าสู่ถังความดันด้วยอัตรา q (ช่วงนี้เรียกว่าช่วงสูบน้ำ) ถ้าระยะเวลาที่วาล์วทิ้งน้ำเปิด (Open) เท่ากับ t1 วินาที และระยะเวลาที่วาล์วทิ้งน้ำปิด (Closing) เท่ากับ t2 วินาที หนึ่งรอบการทำงานของตะบันน้ำจะใช้เวลาเท่ากับ (t1+t2) วินาที ดังรูป



(Q = อัตราการทิ้งน้ำ q = อัตราการสูบน้ำ)

ตามหลักสมดุลน้ำ

$$Q_d\,(t_1+t_2) = Qt_1+qt_2 \qquad (7)$$

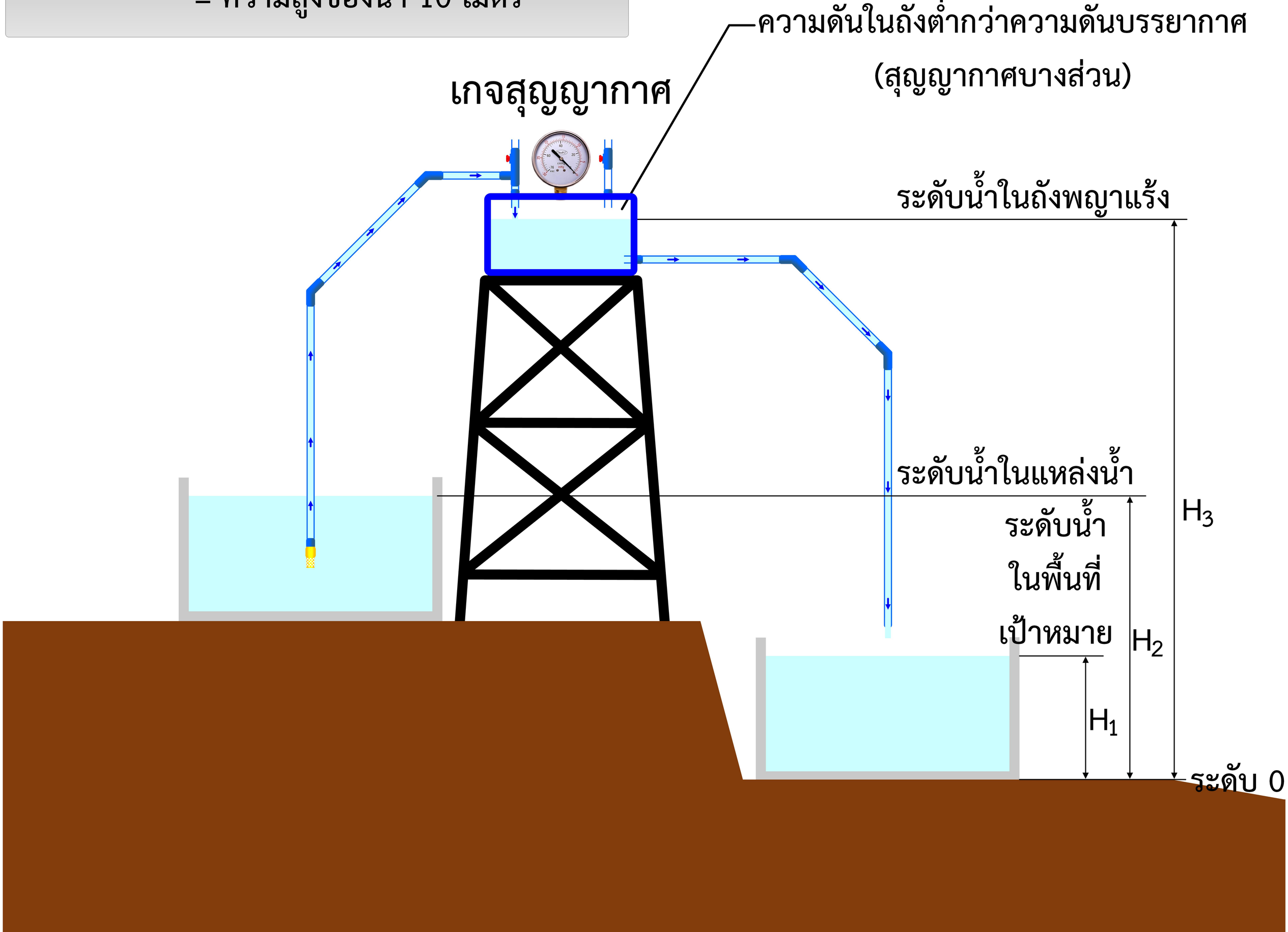
เมื่อ Q_d = อัตราการไหลของน้ำจากแหล่งน้ำเข้าสู่ท่อรับน้ำ หรืออัตราการไหลในท่อรับน้ำ

ถ้าทราบอัตราการสูบน้ำ (q) และอัตราการทิ้งน้ำหรืออัตราการสูญเสียน้ำ (Q) จะสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพการสูบน้ำของตะบันน้ำ ในแต่ละรอบการเปิด–ปิดวาล์วทิ้งน้ำ ได้ดังสมการ

$$E\,(\%) = 100\left(\frac{qt_2}{Qt_1+qt_2}\right) \qquad (8)$$

เมื่อ E (%) = ประสิทธิภาพการสูบน้ำของตะบันน้ำ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
โทรศัพท์ : 0-3435-1897, 06-2514-4739 โทรสาร : 0-3435-2053
email : irre@ku.ac.th , website : http://irre.ku.ac.th

หน่วยความดัน

1 บรรยากาศ = 14.7 ปอนด์/ตารางนิ้ว
= 1.04 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
= ความสูงของน้ำ 10 เมตร