



การศึกษาผลกระทบของขนาดถังอัดอากาศต่อประสิทธิภาพของตะบันน้ำ

A Study of Effect of Air Chamber Size to Efficiency of Hydraulic Ram

จิระกานต์ ศิริวิชัยไมตรี^{1*}

Chirakarn Sirivitmaetrie^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม, 73140

¹Irrigation Department Faculty of Engineering Keamphangsean, Nakhonprathom, 73140

*Corresponding author: Tel: +66-8-9665-9984, Fax: +66-34-351-897, E-mail: fengcrk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ตะบันน้ำมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีแหล่งน้ำและระดับความสูง สามารถพัฒนานำตะบันน้ำมาใช้งาน เนื่องจากตะบันน้ำเป็นปั๊มน้ำที่ไม่ต้องการพลังงานไฟฟ้าหรือน้ำมันในการปั๊มน้ำ ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ ซึ่งการออกแบบและสร้าง ตะบันน้ำสามารถทำได้ง่าย โดยการนำชิ้นส่วนวัสดุประเภทที่มีขายตามท้องตลาดมาประกอบเป็นตะบันน้ำได้ ส่วนประกอบหนึ่งที่สำคัญ ของตะบันน้ำที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของตะบันน้ำคือถังอัดอากาศ (Air chamber) มีหน้าที่เก็บสะสมความดันที่เกิดจากวอเตอร์แฮมเมอร์ (Water hammer) ซึ่งเกิดจากการปิดวาล์วที่น้ำอย่างรวดเร็ว งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของถังอัดอากาศต่อ ประสิทธิภาพของตะบันน้ำ โดยทำการทดสอบตะบันน้ำที่ติดตั้งถังอัดอากาศขนาดต่างๆ 4 8 12 และ 16 ลิตร และแบบไม่มีถังอัด อากาศ จากผลการทดสอบตะบันน้ำแสดงให้เห็นว่าตะบันน้ำที่มีถังอัดอากาศมีประสิทธิภาพสูงกว่าตะบันน้ำที่ไม่มีถังอัดอากาศติด ตั้งอยู่ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ แต่ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานของตะบันน้ำที่มีถังอัดอากาศขนาดต่างๆ กลับไม่มีความ แตกต่างอย่างชัดเจน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าในถังอัดอากาศมีส่วนช่วยให้ตะบันน้ำสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มากกว่าตะบัน น้ำแบบไม่มีถังอัดอากาศ

คำสำคัญ: ตะบันน้ำ, ถังอัดอากาศอัดความดัน, พลังงานน้ำ

Abstract

Hydraulic rams are widely used specially in area with source of water. The ram pump has ability to pump water without electricity or fuel, thus the cost energy reduced. Furthermore, hydraulic ram pumps can be easily constructed by using readily available plumbing components. The components of a hydraulic ram pump significantly affect its efficiency. The air chamber is a crucial component of a hydraulic ram, responsible for storing the pressure generated by water hammer, which occurs when the drain valve is rapidly closed. This research studied the effect of the air chamber sizes on the efficiency of a hydraulic ram. In the experiment, the hydraulic ram was tested with different air chamber sizes: 4, 8, 12, 16 liters, and without an air chamber. The results show that the ram pump with air chambers are approximately 5 percent more energy efficient than one without. However, a comparison of the energy efficiency of hydraulic ram with different air chamber sizes did not show a significant difference. This can be concluded that the air chambers help the hydraulic ram operate more efficiently than the one without.

Keywords: Hydraulic ram, Air chamber, Hydropower

1 บทนำ

ตะบันน้ำสามารถนำมาใช้เพื่อปั๊มน้ำขึ้นที่สูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้รับการออกแบบอย่างถูกต้องและมีสภาพภูมิประเทศที่เหมาะสม โดยที่ตะบันน้ำสามารถสร้างได้จากวัสดุหลากหลายชนิด ท่อ PVC หรือ ท่อเหล็ก เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับ

ความนิยมมากเพราะสามารถนำมาประกอบเป็นตะบันน้ำได้ง่ายหาซื้อได้ทั่วไป มีความทนทาน

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ตะบันน้ำที่สร้างขึ้นเองจากเหล็ก รูปพรรณที่มีขายตามท้องตลาด เพื่อลดข้อจำกัดที่เกิดจากการใช้ท่อ PVC สำเร็จรูปซึ่งมีข้อจำกัดที่การนำข้อต่อมาต่อกันทำให้เกิดระยะทางที่มากขึ้นโดยไม่จำเป็น การสร้างตะบันด้วยเหล็กที่มีขายตามท้องตลาด ทำให้สามารถออกแบบได้อย่างอิสระ ส่งผลให้

เครื่องตะบันน้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น (วีระพงษ์ และคณะ, 2552)

ถังอัดอากาศเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของตะบันน้ำ ซึ่งมีหน้าที่เก็บความดันที่เพิ่มขึ้นจากปรากฏการณ์วอเตอร์แฮมเมอร์ และทำให้การไหลของน้ำที่ผ่านวาล์วส่งน้ำคั่งที่มากขึ้น จะมีผลต่อประสิทธิภาพของตะบันน้ำโดยตรง (Ngolle and Enongene, 2019)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดถังอัดอากาศต่อประสิทธิภาพของตะบันน้ำ โดยทำการทดสอบตะบันน้ำที่มีถังอัดอากาศขนาด 16, 12, 8, 4 ลิตร และตะบันน้ำแบบที่ไม่มีถังอัดอากาศ แล้วทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการส่งน้ำ และประสิทธิภาพพลังงานของตะบันน้ำ

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ถังอัดอากาศของตะบันน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ มีหน้าที่รับน้ำที่ส่งผ่านมาจากวาล์วส่งน้ำและเก็บสะสมความดัน เพื่อที่ตะบันน้ำจะสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ตะบันน้ำทำงานภายในถังอัดอากาศจะมีทั้งอากาศและน้ำอยู่ภายใน โดยที่ปริมาณน้ำและอากาศที่อยู่ภายในขึ้นอยู่กับความดันของน้ำที่ส่งขึ้นที่สูง และอัตราการเติมอากาศของวาล์วเติมอากาศ (Air valve)

ในช่วงเริ่มต้นการทำงานของตะบันน้ำ ภายในถังอัดอากาศจะยังไม่มีความดัน ตะบันน้ำจะยังไม่สามารถทำงานได้เองอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นภายในถังอัดอากาศจะมีความดันเท่ากับอากาศภายนอก แรงดันของน้ำที่เกิดขึ้นจากวอเตอร์แฮมเมอร์ จะเคลื่อนที่จากวาล์วขึ้นน้ำไปสูงแหล่งจ่ายน้ำ ส่วนหนึ่งจะเข้าไปในถังอัดอากาศผ่านทางวาล์วส่งน้ำ ซึ่งทำให้แรงดันลดลงไปอย่างมากเมื่อเดินทางผ่านวาล์วส่งน้ำที่ไม่มีความดันอยู่ภายในถังอัดอากาศ เมื่อความดันภายในตะบันน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว น้ำที่ไหลจากแหล่งจ่ายน้ำจะไหลเข้าตะบันน้ำอย่างต่อเนื่อง และทำให้วาล์วส่งน้ำที่ปิดอยู่ไม่สามารถเปิดได้ ตะบันน้ำจึงหยุดทำงาน

ในอีกทางหนึ่งหากในถังอัดอากาศถูกเติมเต็มด้วยน้ำ ไม่มีอากาศเหลืออยู่ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อทำงานตะบันน้ำไประยะเวลาหนึ่ง และไม่มีการเติมอากาศ อากาศในถังอัดอากาศจะถูกดูดซับโดยน้ำภายใต้ความดันอย่างช้าๆ ทำให้ในถังอัดอากาศเต็มไปด้วยน้ำ ตะบันน้ำจะทำงานผิดปกติโดยวาล์วส่งน้ำจะกระแทกอย่างรุนแรง (Watt S.B., 1974) และการทำงานของตะบันน้ำจะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างเห็นได้ชัด

ขนาดและรูปทรงของถังอัดอากาศนำมาคำนวณปริมาตรอากาศที่บรรจุอยู่ภายใน โดยอากาศที่อยู่ภายในถังอัดอากาศ มีหน้าที่ดูดซับความดันที่เพิ่มขึ้นจากการปิดวาล์วส่งน้ำอย่างรวดเร็วและเกิดวอเตอร์แฮมเมอร์ อากาศภายในถังอัดอากาศที่เป็นปริมาตรคงที่ สามารถบีบอัดตัวหรือขยายตัวได้ตามความดันที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ทำให้อากาศสามารถดูดซับความดันที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วไว้ได้อย่างดี และช่วยให้ตะบันน้ำสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Marcos and Raimundo, 2021)

เมื่อตะบันน้ำเริ่มต้นทำงาน อากาศที่อยู่ภายในถังอัดอากาศจะมีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของถังอัดอากาศ หลังจากนั้นเมื่อตะบันน้ำทำงานไปเรื่อยๆ ความดันภายในถังอัดอากาศจะเพิ่มขึ้นจากการที่น้ำไหลเข้าถังอัดอากาศ ปริมาตรของอากาศที่อยู่ในถังอัดอากาศจะลดลง ปริมาตรอากาศที่อยู่ในถังอัดอากาศที่ความดันต่างๆสามารถคำนวณได้จากสมการ ที่ 1 ตามทฤษฎีของ Boyle's Law (Finnemore and Franzini, 2016)

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (1)$$

P = ความดัน atm

V = ปริมาตร m³

จากสมการที่ 1 สามารถคำนวณปริมาตรของอากาศภายในถังอัดอากาศที่ความดันต่างๆได้ ดังแสดงในตารางที่ 1 ปริมาตรของอากาศจะลดลงอย่างมากเมื่อภายในถังอัดอากาศมีความดันสูง โดยที่อากาศจะถูกแทนที่ด้วยน้ำ ปริมาตรของอากาศจะลดลงเหลือเพียง หนึ่งในสี่ของปริมาตรเริ่มต้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น 4 atm ถึงแม้ว่าอากาศในถังอัดอากาศจะเหลือน้อยมาก แต่ตะบันน้ำยังคงสามารถทำงานได้อย่างปกติ

นอกจากความดันที่เพิ่มขึ้นในถังอัดอากาศจะทำให้ปริมาตรอากาศภายในถังลดลงแล้ว เมื่อความดันภายในถังอัดอากาศสูงขึ้น น้ำจะดูดซับอากาศได้มากขึ้นด้วย ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อากาศภายในถังอัดอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว

Table 1 Volume of air in the air chamber

Pressure Atm	Air volume in air chamber (Liter)			
	4L	8L	12L	16L
1*	4	8	12	16
2	2	4	6	8
3	1.3	2.7	4	5.3
4	1	2	3	4
5	0.8	1.6	2.4	3.2

*Atmosphere pressure

สมการที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพพลังงานของตะบันน้ำสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2 (ปริวิธส์ และคณะ 2555)

$$\eta_p = \frac{Qh}{(Q+Q_w)H} \quad (2)$$

η_p = ประสิทธิภาพพลังงาน (Power) %

Q = อัตราการไหลของน้ำส่งขึ้น l s⁻¹

Q_w = อัตราไหลของน้ำทิ้ง l s⁻¹

h = ความดันน้ำที่ส่งขึ้นที่สูง m

H = ความดันน้ำที่จ่ายเข้าเครื่อง m

สมการที่ใช้คำนวณประสิทธิภาพการส่งน้ำของตะบันน้ำ
แสดงในสมการที่ (Ngolle and Enongene, 2019)

$$\eta_w = \frac{Q}{Q_w} \times 100 \quad (3)$$

η_w = ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (Delivery) %

Q = อัตราการไหลของน้ำส่งขึ้น L s^{-1}

Q_w = อัตราไหลของน้ำทั้ง L s^{-1}

3 อุปกรณ์และวิธีการ

ตะบันน้ำจะประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้ 1. ถังอัดอากาศ (Air chamber) 2. วาล์วส่งน้ำ (Delivery valve) 3. ท่อส่งน้ำ (Delivery pipe) 4. วาล์วทิ้งน้ำ (Waste valve) 5. ทางน้ำเข้า (Inlet) 6. วาล์วอากาศ (Air valve) ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยที่อุปกรณ์ต่างๆของตะบันน้ำ เช่น วาล์วส่งน้ำ วาล์วทิ้งน้ำ ถังอัดอากาศ ข้องอและข้อต่อต่างๆ สามารถนำอุปกรณ์ท่อประปาที่มีขายตามท้องตลาด มาประยุกต์ใช้งานได้

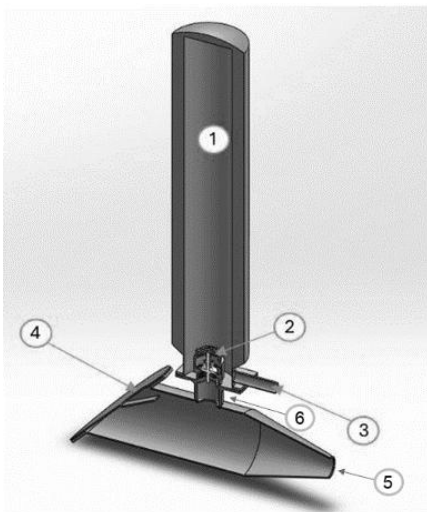


Figure 1. Hydraulic ram components

ตะบันน้ำที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ เลือกใช้ตะบันน้ำที่มีโครงสร้างหลักเป็นท่อเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว มีความหนา 3 มิลลิเมตร มีความยาวทั้งหมด 70 เซนติเมตร ท่อน้ำเข้าขนาด 2 นิ้ว วาล์วส่งน้ำขนาด 2 นิ้วทำมาจากวาล์วทางเดียวสำเร็จรูปทองเหลืองที่มีขายตามท้องตลาด และมีวาล์วทิ้งน้ำขนาด 2 นิ้วสร้างจากแผ่นเหล็กหนา 6 มิลลิเมตรติดบานพับสำหรับพับเปิด-ปิดได้ ดังแสดงในภาพที่ 2

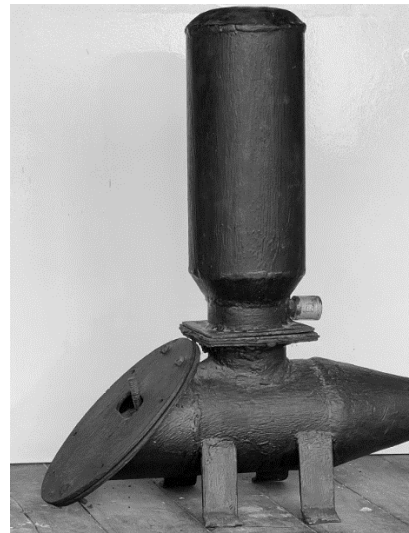


Figure 2. Hydraulic ram with 8 liters air chamber

อุปกรณ์ที่ติดตั้งเพื่อทดสอบตะบันน้ำในงานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้ระบบจ่ายน้ำที่รักษาความดันคงที่แบบท่อน้ำล้น โดยที่มีถังจ่ายน้ำขนาด 200 ลิตรจ่ายน้ำโดยมีระดับน้ำอยู่สูงกว่าระดับวาล์วทิ้งน้ำของตะบันน้ำ 1.9 เมตร มีท่อน้ำล้นขนาด 2 นิ้วติดตั้งภายในถังจ่ายน้ำเพื่อรับน้ำที่ล้นเกินและระบายทิ้งลงถังรับน้ำใต้เครื่องตะบันน้ำ ทำให้สามารถควบคุมระดับน้ำที่จ่ายเข้าตะบันน้ำได้อย่างคงที่ ใช้ท่อส่งน้ำ PVC ขนาด 2 นิ้วยาว 16 เมตร ต่อเป็นเส้นตรงจากแหล่งจ่ายน้ำมาที่ตะบันน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 3

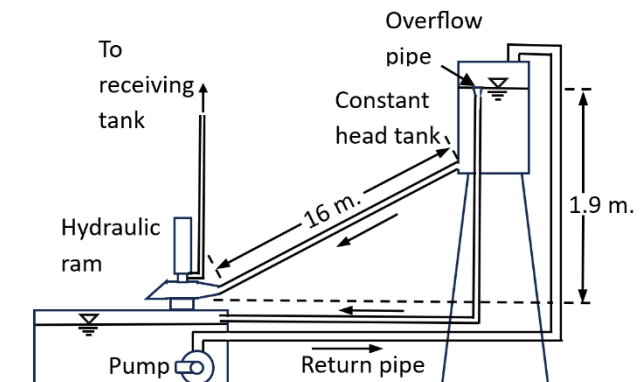


Figure 3. Experiment setup

เมื่อคำนวณอัตราส่วนความยาวท่อต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อจ่ายน้ำ (L/D) อยู่ที่ 300 ซึ่งอยู่ภายในช่วงอัตราส่วนที่แนะนำสำหรับการติดตั้งตะบันน้ำ (Watt S.B., 1974) ได้ตะบันน้ำมีถังรับน้ำขนาดใหญ่เพื่อรับน้ำที่ทิ้งจากตะบันน้ำและได้ติดตั้งเครื่องสูบน้ำเพื่อสูบน้ำกลับไปยังถังจ่ายน้ำ เพื่อใช้น้ำวนหมุนเวียนไปเรื่อยๆ

การทดสอบตะบันน้ำจะมีการปรับเปลี่ยนถังอัดอากาศขนาดต่างๆ เพื่อดูประสิทธิภาพของตะบันน้ำ ได้มีการปรับเปลี่ยนถังอัดอากาศขนาด 4, 8, 12 และ 16 ลิตร โดยถังอัดอากาศทั้ง 4 ขนาดถูกสร้างมาจากท่อเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 8 นิ้ว มีความหนา 3 มิลลิเมตร ถังอัดอากาศทั้ง 4 ขนาดจะมีท่อส่งน้ำขนาด 3/4 นิ้ว ที่ด้านล่างของถังอัดอากาศเหมือนกันทุกใบ ดัง

แสดงในภาพที่ 4 ได้มีการทดสอบระบบน้ำแบบไม่มีถังอัดอากาศ โดยจะทำการถอดถังอัดอากาศออกแล้วต่อท่อส่งน้ำเข้ากับวาล์วส่งน้ำแทนที่ถังอัดอากาศ ดังแสดงใน Figure 5.

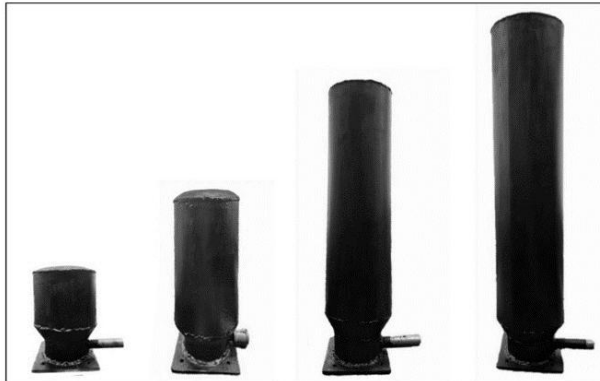


Figure 4. Air Chambers (4, 8, 12 and 16 Liters)

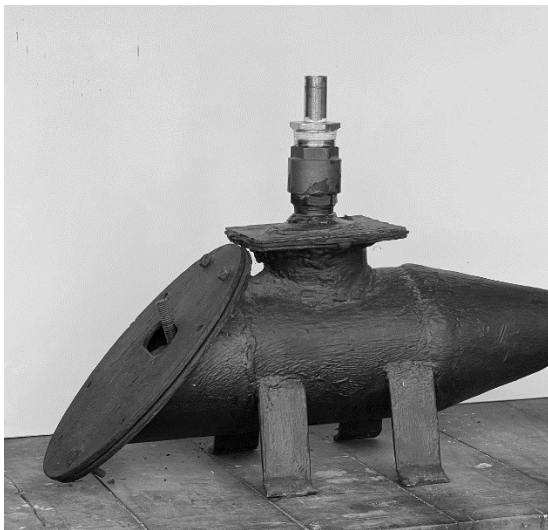


Figure 5 Hydraulic ram with no air chamber

ความดันส่งน้ำที่ใช้ในการทดสอบระบบน้ำ ได้เลือกทดสอบที่ความดัน 0.7, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 bar โดยเมื่อเปรียบเทียบกับความดันส่งน้ำต่อระดับน้ำที่จ่ายเข้าระบบน้ำจะได้อัตราส่วนที่ประมาณ 3.7-15.7

4 ผลและวิจารณ์

จากการทดสอบระบบน้ำที่ติดตั้งถังอัดอากาศขนาด 4, 8, 12 และ 16 ลิตรและระบบน้ำแบบไม่มีถังอัดอากาศพบว่า เมื่อติดตั้งระบบน้ำเสร็จเรียบร้อยแล้วและเริ่มทำการปล่อยน้ำเข้าระบบน้ำแล้ว แรงดันของน้ำจะดันให้วาล์วทั้งน้ำปิดตัวและไม่เปิดออก เนื่องจากภายในถังอัดอากาศยังไม่มีอากาศ ความดันของน้ำที่ถูกสร้างขึ้นจากการปิดของวาล์วทั้งน้ำอย่างรวดเร็ว (วอเตอร์แฮมเมอร์) ไหลเข้าสู่ถังอัดอากาศที่ไม่มีอากาศและลดลงอย่างรวดเร็ว ไม่สามารถหยุดการไหลของน้ำที่ไหลมาจากแหล่งจ่ายน้ำได้ ทำให้เกิดแรงดันของน้ำกระทำต่อวาล์วทั้งน้ำอย่างต่อเนื่อง วาล์วทั้งน้ำจึงไม่สามารถเปิดได้ ทั้งนี้ในช่วงเริ่มต้นจะต้องช่วยเปิดวาล์วทั้งน้ำของระบบน้ำ เพื่อที่แรงดันน้ำจะดันให้วาล์วทั้งน้ำปิดอีกครั้งและเกิดวอเตอร์แฮมเมอร์ ทำซ้ำๆไปเรื่อยๆ จนเมื่อภายในถังอัด

อากาศมีความดันสะสมที่เพียงพอ แรงดันของน้ำไหลเข้าวาล์วส่งน้ำจะลดลง ส่วนที่เหลือจะเคลื่อนไปสู่แหล่งจ่ายน้ำ และมีแรงมากพอที่จะสามารถหยุดการไหลของน้ำจากแหล่งจ่ายน้ำได้ เมื่อน้ำที่ไหลมาจากแหล่งจ่ายน้ำหยุดไหล แรงดันที่กระทำต่อวาล์วทั้งน้ำจะลดลง ทำให้วาล์วทั้งน้ำสามารถเปิดได้เอง เมื่อแรงดันน้ำที่ไหลไปสู่แหล่งจ่ายน้ำลดลง น้ำจากแหล่งจ่ายน้ำจะไหลเข้าสู่ระบบน้ำอีกครั้งหนึ่ง ทำให้วาล์วทั้งน้ำได้เองจากแรงดันน้ำ กระบวนการจะทำงานวนไปแบบนี้เรื่อยๆ โดยที่ระบบน้ำจะเริ่มต้นทำงานได้เองอย่างต่อเนื่องจะต้องมีความดันในถังอัดอากาศที่ประมาณ 0.4 bar เมื่อมีความดันเก็บอยู่ในถังอัดอากาศแล้ว การเริ่มต้นครั้งถัดไประบบน้ำจะสามารถทำงานได้เองทันทีเมื่อมีการปล่อยน้ำเข้าระบบน้ำอีกครั้งหนึ่ง

ระบบน้ำที่มีถังอัดอากาศขนาดใหญ่ที่สุด 16 ลิตร ใช้เวลาและจำนวนครั้งในการช่วยเปิดวาล์วทั้งน้ำในช่วงเริ่มต้นทำงานมากกว่าระบบน้ำที่มีถังอัดอากาศขนาดเล็กกว่า ทั้งนี้เนื่องจากถังอัดอากาศที่มีขนาดใหญ่มีปริมาตรมาก ทำให้ต้องใช้ปริมาณมากกว่าเติมเข้าไปในถังอัดอากาศเพื่อสร้างความดันภายในถังอัดอากาศ ซึ่งระบบน้ำที่มีถังอัดอากาศขนาดเล็กสามารถสะสมความดันได้เร็วกว่า โดยที่ระบบน้ำแบบที่ไม่มีถังอัดอากาศสามารถเริ่มต้นการทำงานด้วยตนเองได้เร็วกว่าระบบน้ำแบบที่มีถังอัดอากาศ เนื่องจากการที่ไม่มีถังอัดอากาศ ไม่มีปริมาตรในส่วนถังอัดอากาศ จะมีแค่ปริมาตรของท่อส่งน้ำขึ้นที่สูง ซึ่งเป็นปริมาตรที่เล็กมาก ดังนั้นระบบน้ำที่ไม่มีถังอัดอากาศจะสามารถสะสมความดันได้อย่างรวดเร็วและเริ่มต้นทำงานได้เองเร็วกว่าระบบน้ำแบบที่มีถังอัดอากาศ

ปริมาณน้ำที่ระบบน้ำสามารถส่งขึ้นที่สูงที่ความดัน 0.7, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 bar ที่ทดสอบด้วยระบบน้ำติดตั้งถังอัดอากาศขนาด 4, 8, 12 และ 16 ลิตรและแบบที่ไม่มีถังอัดอากาศ ได้แสดงในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าที่ความดันต่ำ 0.7 bar ระบบน้ำที่มีถังอัดอากาศทั้ง 4 ขนาดสามารถส่งน้ำได้มากกว่าระบบน้ำที่ไม่มีถังอัดอากาศ แต่เมื่อความดันเพิ่มมากขึ้น ความแตกต่างของอัตราการไหลระหว่างระบบน้ำที่มีถังอัดอากาศและระบบน้ำแบบไม่มีถังอัดอากาศค่อยๆลดลง จนที่ความดันสูงสุด 3 Bar ระบบน้ำทั้งแบบที่มีและไม่มีถังอัดอากาศมีอัตราการไหลที่ใกล้เคียงกัน ในทุกๆความดัน ระบบน้ำแบบที่มีถังอัดอากาศทั้ง 4 ขนาด มีอัตราการไหลที่ใกล้เคียงกันทั้งหมด

Table 2 Pressure vs flowrate for various air chamber sizes

	Delivery Discharge L.s ⁻¹					
Tank Size	0.7Bars	1 Bar	1.5 Bars	2 Bars	2.5 Bars	3 Bars
4 Liters	0.1205	0.0840	0.0563	0.0395	0.0249	0.0067
8 Liters	0.1268	0.0951	0.0568	0.0319	0.0257	0.0065
12 Liters	0.1164	0.0916	0.0590	0.0344	0.0243	0.0064
16 Liters	0.1185	0.0912	0.0567	0.0393	0.0243	0.0064
No Tank	0.0894	0.0704	0.0401	0.0292	0.0144	0.0064

การทดสอบระบบน้ำที่มีถังอัดอากาศทั้ง 4 ขนาด และแบบไม่มีถังอัดอากาศเพื่อหาประสิทธิภาพการส่งน้ำขึ้นที่สูง ผลการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าระบบน้ำที่ติดตั้งถังอัดอากาศทั้ง 4 ขนาด มีประสิทธิภาพพลังงานใกล้เคียงกันทั้งหมดในทุกๆความดัน และการทดสอบระบบน้ำแบบไม่มีถังอัดอากาศ ได้ประสิทธิภาพการส่งน้ำต่ำกว่าการทดสอบแบบมีถังอัดอากาศในทุกๆความดัน เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ความดันส่งน้ำ 3 bar ขนาดของถังอัดอากาศไม่ได้สร้างความแตกต่างต่อประสิทธิภาพการส่งน้ำและปริมาณของระบบน้ำ และผลการทดสอบระบบน้ำที่ไม่มีถังอัดอากาศมีประสิทธิภาพลดลง อย่างมาก โดยเฉพาะที่ความดันส่งน้ำต่ำ 0.7-1.5 bar แต่ที่ความดันสูงสุด 3 bar ประสิทธิภาพของระบบน้ำที่ไม่มีถังอัดอากาศใกล้เคียงกับระบบน้ำที่มีถังอัดอากาศ โดยระบบน้ำที่ใช้ในการทดลองนี้มีประสิทธิภาพพลังงานอยู่ในช่วง 16% – 29% ได้แสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบน้ำที่ใช้ถังอัดอากาศขนาด 4, 8, 12, 16 ลิตร และ แบบไม่มีถังอัดอากาศแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการส่งน้ำ และพลังงานของระบบน้ำที่มีถังอัดอากาศทั้ง 4 ขนาด มีค่าใกล้เคียงกัน แตกต่างกับระบบน้ำที่ไม่มีถังอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่า

ประสิทธิภาพการส่งน้ำของระบบน้ำที่ติดตั้งถังอัดอากาศจะอยู่ในช่วง 0.59% - 7.6% ส่วนระบบน้ำที่ไม่มีถังอัดอากาศจะมีประสิทธิภาพพลังงานอยู่ในช่วง 0.59% - 4.8% กราฟประสิทธิภาพการส่งน้ำของระบบน้ำแสดงอยู่ในภาพที่ 6

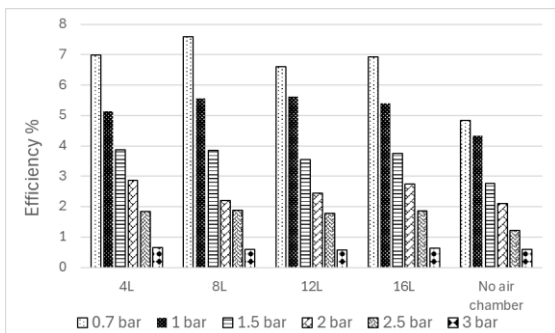


Figure 6 Efficiency for various delivery pressure and air chamber size

ระบบน้ำที่ทดสอบมีประสิทธิภาพพลังงานคำนวณจากสมการที่ 4 โดยแสดงในภาพที่ 7 โดยที่ระบบน้ำที่ติดตั้งถังอัดอากาศทั้ง 4 ขนาด มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันในทุกความดันที่ทดสอบ จะมีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ความดัน 1-1.5 Bar แตกต่างกับระบบน้ำที่ไม่ได้ติดตั้งถังอัดอากาศ จะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างชัดเจนในทุกๆความดัน โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดในช่วง 1-2 Bar ยกเว้นที่ความดัน 3 Bar ระบบน้ำทั้งแบบที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งถังอัดอากาศมีประสิทธิภาพพลังงานที่ใกล้เคียงกันทั้งหมด

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพพลังงานและประสิทธิภาพการส่งน้ำแสดงใน ตารางที่ 3 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานและประสิทธิภาพการส่งน้ำ ระบบน้ำที่

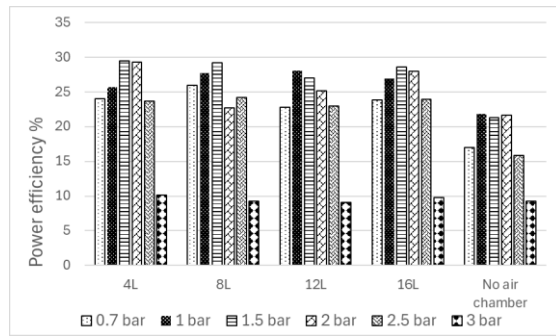


Figure 7. Power efficiency for various delivery pressure and air chamber size

ติดตั้งถังอัดอากาศมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันทั้งหมด อยู่ที่ประมาณ 23% สำหรับประสิทธิภาพพลังงานและ 3.5% สำหรับประสิทธิภาพการส่งน้ำ ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบน้ำที่ไม่มีถังอัดอากาศอย่างชัดเจน

Table 3 The efficiencies of hydraulic ram

Air chamber volume	Average efficiency (%)	
	Power (η_p)	Delivery (η_w)
4L	23.74	3.56
8L	23.19	3.61
12L	22.53	3.43
16L	23.59	3.55
No air chamber	17.81	2.64

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพพลังงานของระบบน้ำเพื่อทดสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) โดยการคำนวณค่า Correlation Coefficient (r_0) ของชุดข้อมูลประสิทธิภาพพลังงาน ได้ผลออกมาได้ r_0 เท่ากับ 0.868 เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานที่จุดวิกฤต (Critical Points) สำหรับชุดข้อมูล (Sample Size) ที่มีจำนวนทั้งหมด 120 ข้อมูลและที่ระดับนัยสำคัญ (Significance Level) เท่ากับ 0.05 หรือที่ความเชื่อมั่น 95% จะได้ค่าจุดวิกฤตอยู่ที่ ประมาณ 0.9889 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.868 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานว่าชุดข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติ

การวิเคราะห์ทางสถิติแบบหลายตัวแปร เลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ชุดข้อมูลด้วยวิธี Friedman Test (O'Gorman, 2001) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบหลายตัวแปร ได้ตั้งสมมติฐานว่า ระบบน้ำที่มีถังอัดอากาศทั้ง 4 ขนาด 4, 8, 12 และ 16 ลิตร มีความแตกต่างของประสิทธิภาพ จากชุดข้อมูลประสิทธิภาพของระบบน้ำ สามารถคำนวณ Chi-Square โดยมีค่า Degree of Freedom เท่ากับ 3 จะได้ χ^2 เท่ากับ 3.8 และเมื่อคำนวณค่า p-value จะได้ $P(\chi^2_3 > 3.8)$ จะมีค่าประมาณ $p = 0.284$ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสามารถ

สรุปผลการวิเคราะห์ได้ว่า ปฏิเสธสมมุติฐานที่ว่าตะบันน้ำที่มีถึงอากาศขนาดต่าง ๆ กันมีประสิทธิภาพแตกต่างกัน

สรุป

จากผลการทดลองตะบันน้ำทั้งแบบที่มีถึงอัดอากาศขนาด 4, 8, 12, 16 ลิตรและไม่มีถึงอัดอากาศ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้ ตะบันน้ำที่มีถึงอัดอากาศทั้ง 4 ขนาดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าตะบันน้ำที่ไม่มีถึงอัดอากาศ แสดงให้เห็นว่าอากาศที่อยู่ในถึงอัดอากาศ เป็นส่วนประกอบสำคัญและส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการทำงานของตะบันน้ำ

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของตะบันน้ำที่มีถึงอัดอากาศขนาดแตกต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของตะบันน้ำไม่ได้แปรผันตามปริมาตรของถึงอัดอากาศ แต่ประสิทธิภาพของตะบันน้ำกลับมีการแปรผกผันกับความดันที่เกิดขึ้นภายในถึงอัดอากาศ โดยที่ความดันในถึงอัดอากาศต่ำ ตะบันน้ำจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าที่ความดันในถึงอัดอากาศสูง

ปริมาตรอากาศในถึงอัดอากาศจะลดลงได้จากความดันที่เพิ่มขึ้นขณะที่ตะบันน้ำทำงาน และสามารถลดลงได้ด้วยการดูดซับของน้ำภายใต้แรงดัน ตามทฤษฎี Henry's Law การใช้งานตะบันน้ำในระยะยาวจะต้องมีวาล์วอากาศเพื่อที่จะเติมอากาศให้มีปริมาตรเพียงพอต่อการทำงานของตะบันน้ำ ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ทดสอบตะบันน้ำต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน จึงไม่สามารถตรวจวัดปริมาตรอากาศที่ลดลงจากการดูดซับอากาศของน้ำได้

สามารถสรุปได้ว่าตะบันน้ำติดตั้งถึงอัดอากาศมีผลดีต่อประสิทธิภาพการทำงานของตะบันน้ำอย่างเห็นได้ชัด โดยที่ถึงอัดอากาศที่ขนาดต่างแตกต่างกันไม่ได้มีผลต่อประสิทธิภาพของตะบันน้ำอย่างชัดเจน แต่ตะบันน้ำที่ติดตั้งถึงอัดอากาศจะสูญเสียอากาศภายในถึงจากการที่อากาศไหลออกไปในท่อส่งน้ำ หรือถูกดูดซับโดยน้ำได้ ฉะนั้นภายในถึงอัดอากาศต้องมีปริมาตรอากาศภายในถึงอัดอากาศที่เพียงพอ มีการเติมอากาศอย่างต่อเนื่องเมื่อตะบันน้ำทำงาน เพื่อที่ตะบันน้ำจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าไม่มีอากาศภายในถึงอัดอากาศหรือไม่ถึงอัดอากาศติดตั้งอยู่จะทำให้ตะบันน้ำมีประสิทธิภาพลดลงอย่างชัดเจน

อีกหนึ่งปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของตะบันน้ำคือความแตกต่างระหว่างความดันที่อยู่ในถึงอัดอากาศและความดันที่เกิดขึ้นจากวอเตอร์แฮมเมอร์ โดยความดันในถึงอัดอากาศจะเพิ่มขึ้นตามความสูงของน้ำที่ส่งขึ้น ความดันที่เกิดขึ้นจากวอเตอร์แฮมเมอร์ที่แปรผันตามอัตราการไหลและความเร็วการปิดวาล์วซึ่งเป็นความดันที่เกิดขึ้นเพียงชั่วขณะหนึ่ง ผลต่างของความดันทั้งสองจะทำให้วาล์วส่งน้ำเปิดออกและน้ำไหลเข้าไปในถึงอัดอากาศ ยิ่งผลต่างของความดันมาก น้ำจะไหลเข้าสูงถึงอัดอากาศได้มาก ดังนั้นที่ความดันในถึงอัดอากาศ 0.7 Bar ซึ่งเป็นความดันที่น้อยที่สุดจึงมีประสิทธิภาพทั้งพลังงานและการส่งน้ำมากกว่าที่ 3 Bar

ในบทความของ Ngolle and Enongene (2019) ได้ทำการทดลองตะบันน้ำที่มีถึงอัดอากาศหลายขนาด ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าขนาดของถึงอัดอากาศไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของตะบันน้ำเหมือนกับการทดลองนี้

การศึกษาปริมาตรของอากาศน้อยที่สุดที่จำเป็นที่จะทำให้ตะบันน้ำยังคงสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องค้นหาจากการศึกษาทดลองในอนาคตต่อไป

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ บุคลากรและอุปกรณ์เครื่องมือในการทำการวิจัยนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- วีระพงษ์ เฟื่องแจ่ม, ชญาณี น้อมนพและจิระกานต์ ศิริวิชัยไมตรี, 2552. การศึกษาและพัฒนาเครื่องตะบันน้ำจากวัสดุที่มีจำหน่ายทั่วไป, ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- ปรีวิรส เอื้อนสะอาด, อิสรา โพพิลาม, วราวุธภูมิวิชัยและจิระกานต์ ศิริวิชัยไมตรี. 2555. การวิจัยและพัฒนาเครื่องตะบันน้ำแบบประหยัด. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- Finnemore E. J., Franzini J. B., 2016. Fluid mechanics with engineering applications. (10th ed.) Boston: McGraw-Hill. Chicago. 112-120.
- Marcos V., Reis d. O., L d. S., Raimundo T. L., Cledson S., Wendel K. O., João L. R., 2021. Performance of Hydraulic Ram Built with Different Volume of Air Chamber, Revista Engenharia na Agricultura. Amazonas, 17-27.
- Mohammed, S.N., 2007. Design and Construction of a Hydraulic Ram Pump. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies. Department of Mechanical Engineering, Federal University of Technology, Minna, Nigeria.
- Ngolle, E. E. G., and S. Hong, 2019. The effect of air chamber size on the efficiency of a hydraulic ram pump. Master's thesis, Hankyong National University, 55-61.
- O'Gorman, T.W., 2001, A comparison of the F-test, Friedman's test, and several aligned rank tests for

the analysis of randomized complete blocks. J. Agric.
Biol. Environ. Stat.

Rajaonison A. and Rakotondramiarana H.T. 2019.

Theoretical Study of the Behavior of a Hydraulic
Ram Pump with Springs System. American Journal of
Fluid Dynamics 9 (1): 1-12.

Watt S. B. 1974. "A manual of information on the
automatic hydraulic ram for pumping water.
Intermediate Technology Development Group Water
Development Unit, National College of Agricultural
Engineering, 8-9.