

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อ

การเหนี่ยวนำการไหลในท่ออากาศที่ดัดแปลง
สำหรับระบบไซฟอน

The Study of Parameters Affecting on
the Induced Flow in Modified Air Duct
for Siphon System

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เสนอการศึกษา เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการเหนี่ยวนำอากาศ ในท่ออากาศที่ได้ทำการเจาะที่ด้านบนของไซฟอน เพื่อนำพลังงานลมที่ได้จากระบบไซฟอนนี้มาใช้ประโยชน์ จากการศึกษาที่ผ่านมาในเรื่องความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำและอากาศ พบว่าในกรณีที่อัตราการไหลของอากาศในไซฟอนมีมากเกินไป จะทำให้ไซฟอนหยุดการทำงาน จากการทดสอบ

ใช้ท่อไซฟอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 30.50 mm. เจาะช่องอากาศที่ด้านบนสุดของท่อไซฟอน ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด 4 mm. แต่เมื่อเจาะช่องอากาศใหญ่ขึ้นและสอดท่ออากาศลงมาตามแนวท่อไซฟอน ไซฟอนก็ยังสามารถทำงานได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทดสอบครั้งนี้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อความถี่ของการสอดท่ออากาศ เพื่อให้ได้อัตราการไหลของอากาศสูงสุด การทดลองทำที่ค่าเสด

3.78 m. พบว่าความเร็วของน้ำสูงสุดมีค่าเป็น 3.73 m/s และค่าสัดส่วนของปริมาตรอากาศต่อปริมาตรทั้งหมด (void fraction) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.50

คำหลัก : ไชฟอน พลังงานน้ำ

Abstract

This research is to study the parameter that affecting the induced air in air duct on the top side of siphon system. From the previous study of the relation between the water and air flow rate in siphon system, we found that in case of higher air flow rate, the siphon will break down. The preliminary study was done with PVC with the internal diameter of 30.50 mm. It was found that the largest diameter for air inlet was 4 mm. However, if the hole of air induced was guided by small duct with different depth the siphon is still worked. So the purpose of this research is to study the parameters that affect the depth of the guided air duct. An experiment is set at 3.78 m. of static elevation head. The velocity of water is found to be 3.73 m/s and maximum void fraction is 0.5.

Key words : siphon, hydropower

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาด้านพลังงาน นับเป็นเรื่องที่สำคัญโดยเฉพาะพลังงานที่เป็นเชื้อเพลิงปิโตรเลียมจากการที่ราคาน้ำมันมีการปรับตัวขึ้นอย่างต่อเนื่องในขณะนี้ทำให้ปัญหานี้ทวีความรุนแรงมากขึ้น ดังนั้นจึงมีความสนใจในการจัดหาแหล่งพลังงาน

ทดแทนอื่น ๆ เช่น พลังน้ำ พลังงานจากลม ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสะอาดที่มีอยู่ในธรรมชาติ

การผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งน้ำที่มีระดับความสูงน้อยกว่า 9 m. โดยมากจะใช้กังหันน้ำ (hydro turbine) ซึ่งมีขนาดใหญ่ซึ่งจะหมุนที่ความเร็วรอบต่ำและจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ช่วยทดสอบ และงานโครงสร้างทำให้ต้นทุนสูง (1) ดังนั้นจึงมีการคิดหาวิธีการเปลี่ยนพลังงานจากน้ำมาเป็นพลังงานลม หรือความดันอากาศมาใช้ประโยชน์แทน ซึ่งใช้ความสูงของระดับน้ำประมาณ 3-5 m. ที่มีอยู่มากในแถบภาคเหนือของไทย ซึ่งน่าจะมีศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกได้ โดยการออกแบบท่อลมดูดอากาศด้านบนของท่อไชฟอนให้อากาศไหลผ่านกังหันขนาดเล็กเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป (2)

ไชฟอนหรือกาลักน้ำ คือ อุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นท่อยาวต่อเนื่องและยอมให้น้ำไหลผ่านจากแหล่งน้ำด้านบนไปสู่ด้านที่ต่ำกว่า เนื่องจากพลังงานศักย์ที่แตกต่างกันโดยขณะที่ไชฟอนทำงาน จะไม่ใช่เครื่องสูบน้ำช่วย จากงานวิจัยทำให้พบว่า การทดลองที่ค่า void fraction สูง ๆ จะทำให้ไชฟอนหยุดทำงานง่าย (2) ค่า void fraction สูงสุดจากการทดลอง จะอยู่ประมาณ 0.20-0.30 ส่วนค่า void fraction สูงสุดจากการคำนวณจะอยู่ประมาณ 0.50 (3)

สำหรับงานการวิจัยในครั้งนี้ผู้ทำการวิจัย จะทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการนำพลังงานน้ำจากฝ่ายที่มีความต่างระดับความสูงของน้ำไม่เกิน 5 m. มาใช้ประโยชน์ โดยการแปลงจากพลังงานศักย์มาเป็นพลังงานลมโดยวิธีการไชฟอน โดยมีวัตถุประสงค์ของการทดสอบเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความลึกในการสอดท่ออากาศ เพื่อให้ได้อัตราการไหลของอากาศสูงสุด

2. กฎที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมการความต่อเนื่อง (Equation of continuity)

สมการความต่อเนื่อง เป็นสมการที่เกี่ยวข้องกับกฎการอนุรักษ์ของมวล (conservation of mass) กำหนดให้ของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัด A_1 ด้วยความเร็ว V_1 จะไหลออกผ่านพื้นที่หน้าตัด A_2 ด้วยความเร็ว V_2 เมื่อเป็นการไหลแบบสภาวะคงตัว มวลของของไหล ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา สำหรับของไหลที่อัดตัวไม่ได้ สมการอัตราการไหลเชิงปริมาตรเขียนได้เป็น

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = Q \quad (1)$$

โดยที่ Q คือ อัตราการไหลของของไหลที่คิดจากปริมาตร, m^3/s

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของกระแสไหล, m/s

A คือ พื้นที่ด้านตัดของท่อทางการไหลในทิศทางตั้งฉาก กับกระแสการไหล, m^2

2.2 สมการพลังงาน (Energy equation)

สมการพลังงาน เป็นสมการที่ได้อธิบายถึงกฎการอนุรักษ์ของพลังงาน (conservation of energy) สำหรับของไหลที่เคลื่อนที่ พลังงานที่เกิดจากของไหลเคลื่อนที่ประกอบไปด้วย พลังงานจากความดัน ความเร็วและระดับความสูง นอกจากนี้แล้วยังอาจมีพลังงานภายนอกที่เพิ่มให้กับของไหลและพลังงานที่สูญเสีย (head loss) เกิดขึ้นอีกด้วย ดังนั้นจึงอาจเขียนสมการแสดงผลรวมของพลังงานทั้งหมดได้เป็น

$$\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_M - h_L = \frac{P_2}{\rho_2 g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (2)$$

โดยที่

P_1, P_2 เป็นความดันที่ตำแหน่ง 1 และ 2, kPa

V_1, V_2 เป็นความเร็วที่ตำแหน่ง 1 และ 2, m/s

Z_1, Z_2 เป็นความสูงที่ตำแหน่ง 1 และ 2, m

ρ_1, ρ_2 เป็นน้ำหนักจำเพาะของของไหลที่ตำแหน่ง 1, 2, kN/m^3

h_M เป็นเฮดของพลังงานกลที่ให้กับของไหล

h_L เป็นเฮดของพลังงานที่สูญเสียไประหว่างตำแหน่ง 1 และ 2, m

g คือค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก m/s^2

ในกรณีที่ไม่นับคิดพลังงานการสูญเสียและพลังงานกลจากภายนอกให้กับระบบสามารถจัดรูปสมการที่ (2) ใหม่ได้เป็นสมการเบอร์นูลลี (Bernoulli equation)

$$\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho_2 g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (3)$$

2.3 การสูญเสียสำหรับการไหลในท่อที่มีความหนืด

เมื่อของไหลไหลในท่อจะเกิดความต้านทานการไหลเกิดขึ้นเสมอ ดังนั้นจะเกิดการสูญเสียพลังงานของการไหลขึ้น ซึ่งการสูญเสียพลังงานนี้สามารถแบ่งออกได้สองแบบด้วยกันคือ การสูญเสียหลัก (major loss) และการสูญเสียรอง (minor loss)

2.3.1 การสูญเสียหลัก (Major loss)

ความสูญเสียเกิดขึ้นภายในท่อที่มีความหนืดของการไหลสามารถเขียนเป็นสมการได้

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

โดยค่า f คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของความขรุขระ (friction factor)

L คือ ค่าความยาวท่อ, m

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ, m

การหาค่า f เราจำเป็นต้องรู้ค่าตัวเลข เรย์โนลด์ (Reynold number, Re) และค่าความขรุขระสัมพัทธ์ (Roughness relative, $\frac{\epsilon}{D}$) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ไม่มีหน่วย การหาค่า f สำหรับสมการที่ (4) สามารถหาได้จาก (4)

2.3.2 การสูญเสียรอง (Minor loss)

เป็นการสูญเสียอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการไหล ไม่ว่าจะเป็ขนาดหรือทิศทางของความเร็วหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการสูญเสียพลังงาน หรือ การสูญเสียเสดที่มีผลมาจากพลังงานจลน์หรือเสดความเร็วเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในการไหลของของไหลในท่อทางเมื่อไหลผ่านข้อต่อท่อ ข้ออ การเพิ่ม-ลดขนาดการไหลผ่านท่อและวาล์วต่าง ๆ

ในกรณีที่ยาวมากการสูญเสียรองอาจมีค่าน้อยมาก แต่ท่อสั้นการสูญเสียรองอาจมีค่ามากกว่าการสูญเสียหลัก การหาค่าการสูญเสียรองเป็นการสูญเสียอันเนื่องมาจากพลังงานจลน์เปลี่ยนแปลง ดังนั้นสมการที่ใช้หาค่าการสูญเสียรองจึงอยู่ในรูปของเสดความเร็ว ($\frac{V^2}{2g}$) คูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย (k) เขียนเป็นสมการได้ คือ

$$\sum h_m = \sum k \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (5)$$

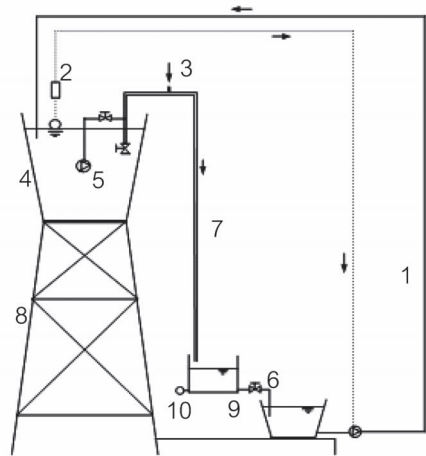
ค่า k เป็นค่าคงที่ของการสูญเสียเกิดจากการรบกวนสภาพการไหล ซึ่งได้แก่การลด-เพิ่มขนาดท่อ ข้อต่อข้ออ ลักษณะทางเข้า และทางออกของท่อ ค่า k สามารถหาได้จาก (4)

3. อุปกรณ์การทดสอบ

อุปกรณ์การทดสอบเรื่องไซฟอนแสดงในรูปที่

1 ประกอบด้วย

1. ท่อส่งน้ำกลับขึ้นถึงจ่ายน้ำ
2. อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำ
3. ท่ออากาศ
4. ถังจ่ายน้ำ
5. เครื่องสูบน้ำ
6. บอลลิ์วาล์ว
7. ท่อไซฟอน
8. โครงสร้างอาคารจ่ายน้ำ
9. ถังรับน้ำ
10. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลน้ำ



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงชุดทดสอบไซฟอน

4. วิธีการทดสอบ

1. ติดตั้งอุปกรณ์ชุดไซฟอนดังรูปที่ 1 เตรียมท่ออากาศขนาดต่างๆ ที่ต้องการทดสอบและให้ได้ค่าเสดน้ำประมาณ 3.78 m.
2. เติมน้ำให้ถึงระดับที่กำหนดและลูกลอยทำงาน

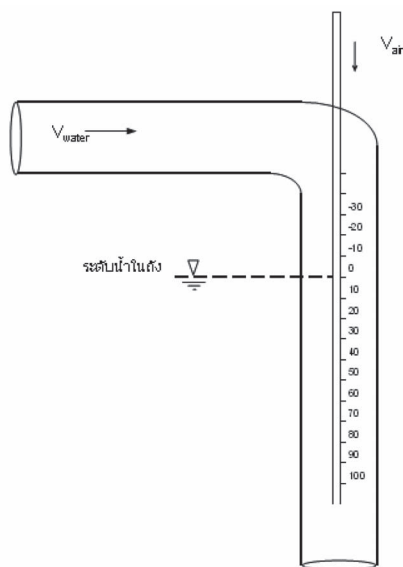
3. เริ่มให้ไซฟอนทำงาน โดยเปิดวาล์วตัวบนและปิดวาล์วตัวล่างให้น้ำไหลผ่านไซฟอน โดยมีเครื่องสูบน้ำช่วย เมื่อน้ำไหลเต็ม ไซฟอนให้ปิดเครื่องสูบน้ำและวาล์วตัวบน

4. จากนั้นวัดอัตราการไหลของน้ำและอากาศ

5. เปลี่ยนขนาดท่ออากาศ แล้วทำการทดลองตามข้อ 3. และข้อ 4. ตามลำดับ

6. กำหนดความลึกในการสอดท่ออากาศลงในท่อไซฟอนจาก 0-100 cm. (ดูรูปที่ 2 ประกอบ) แล้วทดสอบตามข้อ 3. และข้อ 4. ตามลำดับ

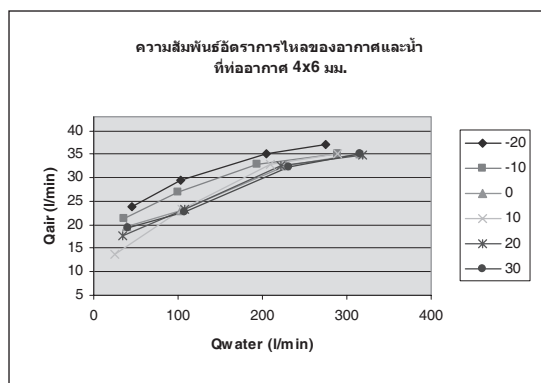
7. เก็บข้อมูลการทดลอง วิเคราะห์และสรุปผล



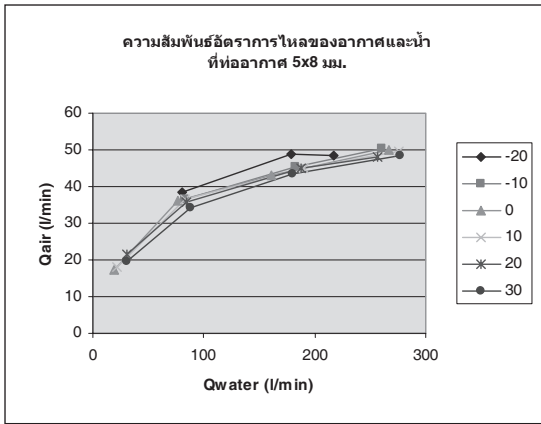
รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งการทดลอง

5. ผลการทดลอง

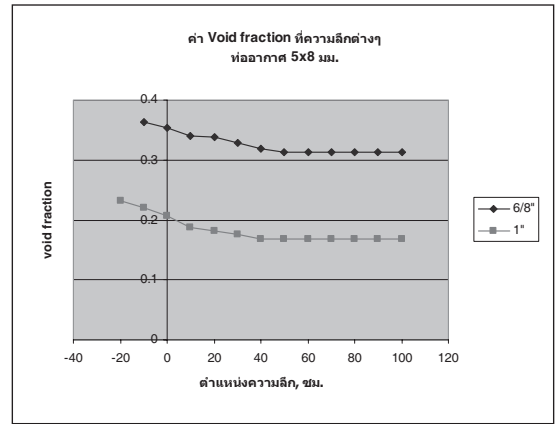
การทดลองวัดอัตราการไหลของน้ำและอากาศที่ความลึกต่างๆ โดยท่ออากาศใช้ขนาด 4 x 6 mm., 5 x 8 mm. และ 6.5 x 10 mm. แสดงในรูปที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ จะเห็นว่าที่อัตราการไหลของน้ำมากขึ้นจะเห็นแนวโน้มให้อากาศไหลเข้ามาในไซฟอนมีแนวโน้มมากขึ้นด้วยแต่มีอัตราการเพิ่มจะลดลงจนถึงจุดหนึ่ง อัตราการไหลของน้ำที่เพิ่มขึ้นไม่ให้อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น เนื่องจากการไหลของน้ำในระบบของไซฟอน ทำงานโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นหลัก การเพิ่มอัตราการไหล จึงไม่สามารถใช้เครื่องสูบน้ำช่วยได้ ดังนั้นการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ สามารถทำได้โดยการเพิ่มขนาดท่อไซฟอน



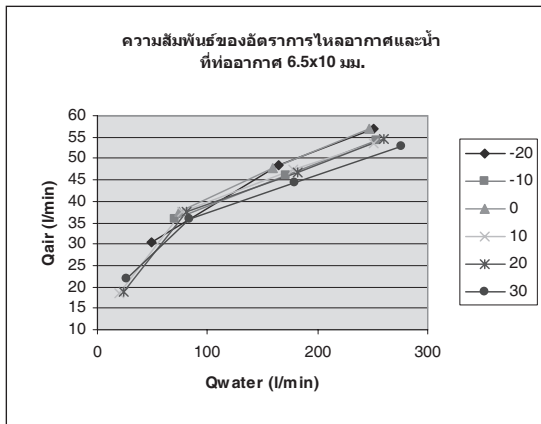
รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์อัตราการไหลของน้ำและอัตราการไหลของอากาศ ที่ท่ออากาศขนาด 4 x 6 mm.



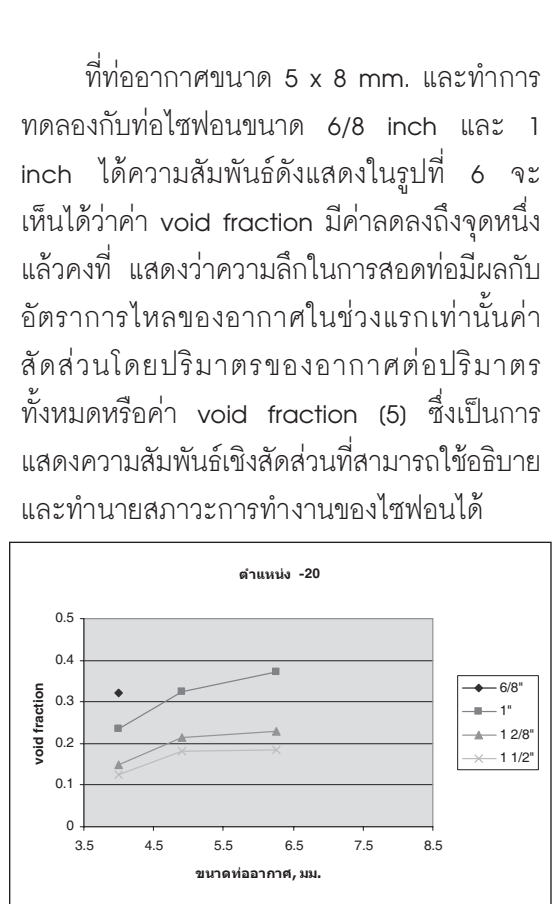
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์อัตราการไหลของน้ำ และอัตราการไหลของอากาศ ที่ท่ออากาศขนาด 5 x 8 mm.



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง void fraction กับความลึกในการสอดท่ออากาศ

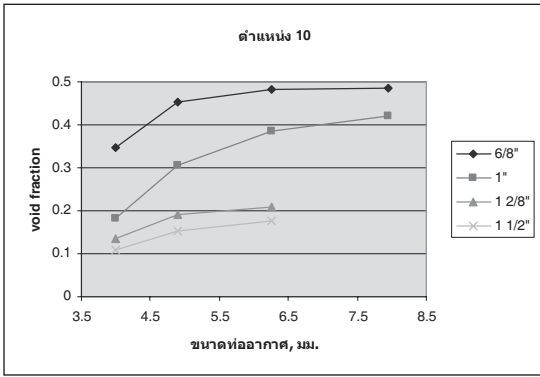


รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์อัตราการไหลของน้ำ และอัตราการไหลของอากาศที่ท่ออากาศขนาด 6.5 x 10 mm.

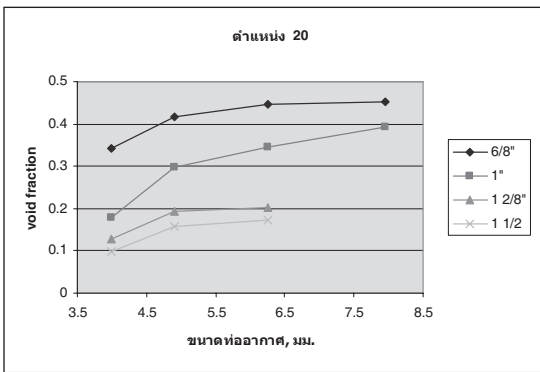


รูปที่ 7 ค่า void fraction ของไซฟอนที่ความลึก -20 cm.

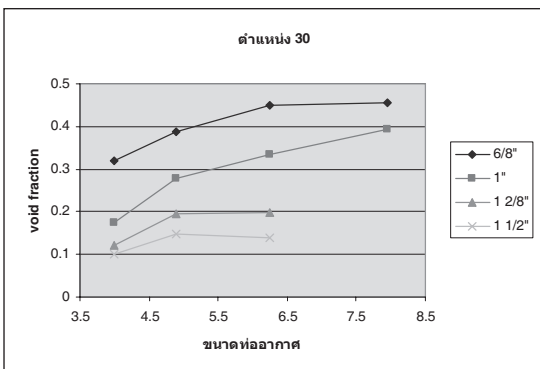
ที่ท่ออากาศขนาด 5 x 8 mm. และทำการทดลองกับท่อไซฟอนขนาด 6/8 inch และ 1 inch ได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 6 จะเห็นว่าค่า void fraction มีค่าลดลงถึงจุดหนึ่งแล้วคงที่ แสดงว่าความลึกในการสอดท่อมีผลกับอัตราการไหลของอากาศในช่วงแรกเท่านั้นค่าสัดส่วนโดยปริมาตรของอากาศต่อปริมาตรทั้งหมดหรือค่า void fraction (5) ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนที่สามารถใช้อธิบายและทำนายสภาวะการทำงานของไซฟอนได้



รูปที่ 8 ค่า void fraction ของไซฟอนที่ความลึก 10 cm.



รูปที่ 9 ค่า void fraction ของไซฟอนที่ความลึก 20 cm.



รูปที่ 10 ค่า void fraction ของไซฟอนที่ความลึก 30 cm.

รูปที่ 7-10 เป็นการแสดงค่า void fraction ในกรณีนี้ที่แปรผันต่ออากาศ ท่อไซฟอนและระดับความลึกของท่ออากาศ พบว่า void fraction เพิ่มขึ้นตามขนาดของท่ออากาศและขนาดของท่อไซฟอน เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับความลึกแตกต่างกันพบว่า ที่ขนาดท่อไซฟอนเล็ก (6/8 inch) พบว่าที่ระดับ -20 cm. ไซฟอนไม่สามารถเกิดได้เนื่องจากท่อมีขนาดเล็กเกินไป ไซฟอนจะเกิดโดยสมบูรณ์ที่ระดับ 10 cm. จากระดับอ้างอิงสำหรับท่อไซฟอนขนาด 6/8 inch และ 1 inch สำหรับท่อไซฟอนที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 inch พบว่าความเร็วของอากาศที่เหนี่ยวนำมีค่าสูงขึ้นเกินความสามารถของเครื่องมือวัดที่มีอยู่

6. การวิเคราะห์และสรุปผล

งานวิจัยนี้ได้เสนอการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการเหนี่ยวนำอากาศ ในท่ออากาศที่ได้ทำการเจาะที่ด้านบนของไซฟอน การทดสอบเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความลึกในการสอดท่ออากาศ เพื่อให้ได้อัตราการไหลของอากาศมากที่สุด พบว่าอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ แต่เนื่องจากการทดสอบเป็นระบบไซฟอนที่ไม่มีการใช้เครื่องสูบน้ำช่วยเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ ดังนั้นท่อไซฟอนแต่ละขนาดให้ค่าอัตราการไหลสูงสุดค่าเดียวเท่านั้น การเพิ่มอัตราการไหลของน้ำหมายถึงการเปลี่ยนท่อไซฟอนให้ใหญ่ขึ้น การไหลของอากาศในท่อไซฟอน คือ การที่อากาศถูกเหนี่ยวนำเข้ามาแทนที่น้ำ เมื่อมีอากาศมากขึ้นในไซฟอนถึงจุดหนึ่ง จะทำให้น้ำในไซฟอนไม่สามารถไหลต่อไปได้ ค่า void fraction จากการทดสอบค่า void fraction สูงสุดมีค่า 0.5 ทั้งนี้การที่

ไซฟอนยังคงทำงานที่ค่า void fraction สูง ๆ นั้นสามารถทำได้โดยการสอดท่ออากาศลงตามแนวทางออกของน้ำในไซฟอน การสอดดักเพิ่มขึ้นทำให้โอกาสที่ไซฟอนหยุดทำงานยากขึ้น แต่ไม่ทำให้อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ พ.ท.ยศ. อินทชัย สุขแสงพนมรุ้ง ที่กรุณาให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ตลอดจนดูแลกดดัน เป็นแรงบันดาลใจให้การทดลองครั้งนี้มีความก้าวหน้า จนแล้วเสร็จ

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร. ไพศาล นาผล ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ ให้การทดลองมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- (1) European Commission. Energy for the Future: "Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan", COM, 599 final, Brussels, 1997.
- (2) French, M.J., and M.B. Widden. "The exploitation of low-head hydropower by pressure interchange with air, using siphons". Proc Instn Mech Engrs, 215 part A, 223-230. 2001.
- (3) Widden, M.B. and, Prosser, M.J. "The hydraulic design of pump sumps and intakes". World Renewable Energy Congress, Elsevier, 2005.
- (4) Frank M White, Fluid Mechanics, Third Edition, 1996, McGraw-Hill, New York.
- (5) Hasan, A R. "Void fraction in bubbly and slug flow in downward two-phase flow in vertical and inclined wellbores". Paper SPE 26522, Society of Petroleum Engineers, Inc., 1993.