ผลกระทบของคาวิเตชั่นต่อเครื่องสูบน้ำหอยโข่งในระบบชิลเลอร์

Effect of cavitation on Centrifugal pump on Chiller systems

วชิรพล แสนโซ้ง

Wachirapol Saensong

สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

[1]Department of Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University

Email: Mon_evolution@hotmail.com

Received: December 09, 2022; Revised: May 19, 2023; Accepted: May 31, 2023

บทคัดย่อ

เครื่องสูบน้ำจะชนะโหลดต่าง ๆเพื่อจ่ายน้ำเข้าสู่ระบบแฟนคอยล์ยูนิตและแอร์แฮนดิ้งยูนิตในระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ณ ด้านดูดของเครื่องสูบน้ำ ปัจจัยที่ทำให้สมรรถนะเครื่องสูบน้ำลดลงจากการชำรุดในตัวเรือนเครื่องสูบน้ำ ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์หาตำแหน่งที่ทำให้เกิดคาวิเตชั่นด้วยวิธีการติดตั้งเครื่องสูบน้ำที่ระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือน 10 เมตร และต่ำกว่า 10 เมตร เป็นปัจจัยศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้ และอ้างถึงความสามารถในการดูดของเครื่องสูบน้ำ เข้ามาช่วยวิเคราะห์ผลของคาวิเตชั่นที่เกิดขึ้นในตัวเรือนเครื่องสูบน้ำ ผลการทดสอบพบว่าการติดตั้งระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือน 10 เมตร ศักยภาพสร้างเฮดสถิตเท่ากับ 3 เมตร อัตราการไหล 1.46 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือน 10 เมตร กว่าระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือน 10 เมตร ที่ 2.5 เปอร์เซ็นต์ การสร้างเฮดสถิตเพิ่มขึ้น 0.09 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหล 0.02 เปอร์เซ็นต์ อธิบายได้ว่าการที่ระดับผิวน้ำอยู่สูงหรือต่ำกว่าตัวเรือนเครื่องสูบน้ำนั้นไม่ได้ทำให้ศักยภาพการสร้างเฮดเปลี่ยนแปลงแต่จะทำให้เกิดคาวิเตชั่นที่แตกต่างกันหรืออธิบายได้อีกว่า ณ ความดันด้านดูดมีส่วนผสมของไอน้ำและก๊าซของของเหลวน้อยทำให้การเกิดรัศมีคาวิเตชั่นกัดกร่อนโลหะมากขึ้น ที่ 28.95 เปอร์เซ็นต์ จากการติดตั้งระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือนเครื่องสูบน้ำ

คำสำคัญ : คาวิเตชั่น, เครื่องสูบน้ำเย็นชนิดหอยโข่ง, เครื่องปรับอากาศแบบศูนย์รวม

Abstract

pumps will beat different loads. to supply water to the fan coil unit system and the air handling unit in the water-cooled air-conditioning system at the suction side of the pump. Factors decreasing pump performance from defects in the pump housing In this research, the location of cavitation was analyzed by installing the pump at the water surface level, 10 m higher than the housing and 10 m lower. as a study factor for this research and referred to net positive suction head to analyze the effect of cavitation that occurs in the pump housing The test results showed that water surface level is 10 meters higher than the housing, the static head generating potential was 3 meters, the flow rate was 1.46 cubic meters per second. water surface level is 10 meters below the housing, than the water surface is 10 meters above the housing at 2.5 percent. static head generation increased by 0.09 percent, flow rate by 0.02 percent. Explain that

being at a surface level higher or lower than the pump housing does not change the head generation potential but causes different cavitation. explain further that at the suction pressure, there is less water vapor and gas mixture of the liquid, causing the metal corrosion cavitation radius to be increased at 28.95 percent. from the water level installation below the pump housing.

Keywords : Cavitation, Water Chiller Pump Type Centrifugal Pump, Chiller System

1. บทนำ

เครื่องจักรกลของไหลที่ถูกออกแบบนำมาใช้ในระบบอุตสาหกรรม จะมีประสิทธิภาพสุดสูงอยู่ที่ 55 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งอายุการใช้งานนานประสิทธิภาพก็จะลดลง พื้นฐานนี้มักจะขึ้นอยู่กับอะไหล่ที่อยู่ภายในเครื่องจักรกลของไหล เป็นปัญหาทำให้เกิดรายจ่ายที่ไม่เท่ากันในแต่ละปี จึงมีการตรวจสอบด้านวิศวกรรมอยู่เป็นประจำเพื่อให้อุตสาหกรรมเกิดความคุ้มทุน ระบบปรับอากาศในกระบวนการของเครื่องสูบน้ำทางด้านดูดที่ทำหน้าที่สูบน้ำเย็นเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบ เอเอชยู (AHU), แฟนคอยล์ (FCU) จากการศึกษาหาผลกระทบของคาวิเตชั่นที่จะเกิดขึ้นมากสุดในเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (Chilled Water Centrifugal Pump) การไหลของของเหลวที่ถูกอัดด้วยความดันมีแนวโน้มลดลงจากรูปร่างของชุดใบพัดในลักษณะโค้งหลังในการหมุนของใบพัดมีทิศทางสวนทางกับของไหลทางด้านดูด นั้นจึงเกิดฟองอากาศสูงกว่าเครื่องสูบน้ำชนิดอื่น ๆ จึงเป็นเหตุทำให้ระบบชิลเลอร์ (Chilled) มีการกินกำลังไฟฟ้ามากขึ้นเนื่องด้วยเกิดการกัดกร่อนบนใบพัด (Impeller) รวมถึงการติดตั้งระบบเครื่องสูบน้ำที่มีพื้นที่จำกัดความดันทางด้านดูดมีค่าต่ำกว่าความดันไอสร้างความดันผ่านใบพัดเกิดไอระเหยและยุบตัวลง (การแตกตัวของฟองอากาศในจำนวนมาก) เกิดการสูญเสียเฮดรวม คิดเป็นเป็นเปอร์เซ็นต์ของทั้งระบบอยู่ที่ 3 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ถ้ามองถึงระบบทั้งหมด

การวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้อ้างถึงทฤษฎีของ Rayleigh – Plesset แสดงให้เห็นผลกระทบของคาวิเตชั่น และหลักการพิจารณา NPSH (Net Positive Suction Head) อธิบายการเกิดปรากฏการณ์คาวิเตชั่น

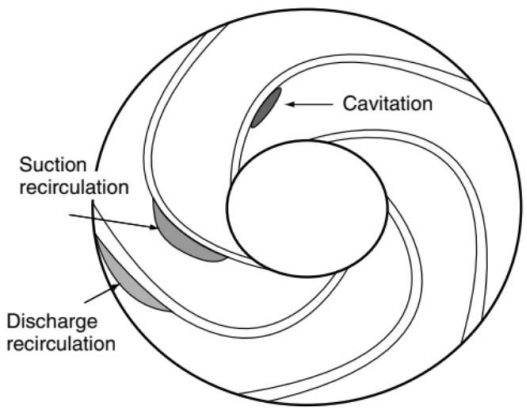
2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์แสดงข้อมูลการเกิดคาวิเตชั่นของเครื่องสูบน้ำหอยโข่ง ณ ความด้านดูดเข้าสู่ระบบชิลเลอร์มีโหลดขนาด 215 กิโลวัตต์ จากการติดตั้งที่จุดรับน้ำจากเครื่องสูบน้ำเย็น 2 จุด จุดที่ 1 ระดับผิวน้ำอยู่เหนือกว่าเครื่องสูบน้ำ และจุดที่สองระดับผิวน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับเครื่องสูบน้ำ วิเคราะห์ความดันด้านดูดผลของคาวิเตชั่นแตกต่างกันเพียงใด พร้อมอธิบายความดันด้านดูด ณ ช่วงใดที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนใบพัดเครื่องสูบน้ำ

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 Rayleigh – Plesser Equation

คาวิเตชั่น มีคุณลักษณะฟองอากาศเล็กในหลักของกลศาสตร์ของไหลคุณลักษณะไอน้ำที่เกิดขึ้นบนขอบเขตการไหลบนผิวขรุขระบนชุดใบพัดจนทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะของไหลภายใต้อุณหภูมิไม่คงที่ เมื่อมีความเร็วรอบป้อนจากมอเตอร์เข้ามาในระบบจะเกิดความดันเพิ่มมากขึ้น การกระแทรกอนุภาคของฟองอากาศจะแทรกตัวเข้ากับพื้นผิวโลหะมากขึ้นการแตกตัวของฟองอากาศจะกัดกร่อนมากขึ้นในชิ้นส่วนเครื่องจักรกลของไหล ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 จุดที่เกิดคาวิเตชั่นบนใบพัด

สมการไร้มิติ (Dimensionless) จะบ่งบอกว่าพารามิเตอร์สำคัญที่ทำให้เกิดคาวิเตชั่น [1]

$$\sigma = \frac{P_d - P_s\left(T_\infty\right)}{\frac{1}{2}\rho U^2} \qquad (1)$$

เมื่อ σ คือ ค่าคาวิเตชั่น

P_d คือ ความดันด้านจ่าย $\left(Pa\right)$

P_s คือ ความดันด้านดูด $\left(Pa\right)$

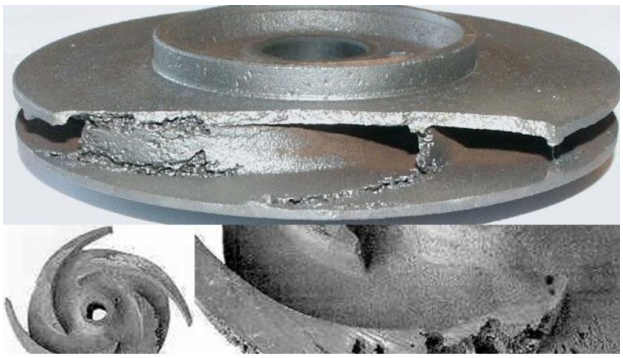
T_∞ คือ อุณหภูมิของเหลว $\left(C°\right)$

ρ คือ ความหนาแน่นของเหลว $\left(kg/m^3\right)$

U คือ เวกเตอร์ของเหลวบนใบพัด

จากสมการที่ (1) แสดงถึงผลของการเกิดความวิเตชั่นผลต่างของความดันด้านจ่าย (Discharge) กับด้านดูด (Suction) มีค่าน้อยจะช่วยลดการเกิดคาวิเตชั่นได้มากแต่ในทางกลับกันเมื่อพื้นที่ติดตั้งระบบท่อมีข้อจำกัดความดันด้านดูด (Suction) จะมีค่าติดลบนั้นจะเป็นสาเหตุให้คาวิเตชั่นเพิ่มมากขึ้นในการที่จะไม่ให้ค่าคาวิเตชั่นมีค่าเป็นลบควรใช้หลักการ NPSH ช่วยในการลดการเกิดคาวิเตชั่น หรือเป็นการคาดการณ์เพื่อให้เครื่องสูบน้ำสร้างศักยภาพเฮดได้ดีที่สุดก่อนการติดตั้งระบบเครื่องสูบน้ำและในกรณีที่ติดตั้งเครื่องสูบน้ำแล้วโดยพิจารณาที่ระดับผิวน้ำต่ำกว่าหรือสูงกว่าตัวเรือนเครื่องสูบน้ำ ฉะนั้นแล้วปัญหาที่ระดับส่งผลต่อการเกิดคาวิเตชั่นสามารถแก้ไขเพียงการลดหรือเพิ่มระดับที่ผิวน้ำเท่านั้น

ไฮดรอฟอยด์ (Hydrofoil) อุปกรณ์ระบบเครื่องจักรกลของไหลจะเกิดแรงต้านของเหลวในอุณหภูมิที่ไม่คงที่ อุปกรณ์ที่พูดคือ ใบพัด เพลา ภายในตัวเรือนเครื่องสูบน้ำต่อผลจากสภาพวะการไหลปั่นป่วนเกิดแรงเฉือนต่ำจากการกวักของเหลวของใบพัดความดันที่ส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องสูบน้ำเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมากปัจจัยแรกจากการติดตั้งระบผิวน้ำที่สูงกว่าตัวเรือนหรือต่ำกว่าตัวเรือนในลักษณะที่ระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือนจะใช้ความดันบรรยากาศเป็นตัวลำเลียงของเหลวเข้าสู่ตัวเรือนโดยอาศัยเฉพาะชุดใบพัดเพื่อสร้างความดันด้านจ่ายให้เพียงพอต่อความต้องการอุปกรณ์ที่พ่วงต่อและการสูญเสียความดันของของไหลเกิดขึ้นน้อยเนื่องด้วยรับภาระจากแรงโน้มถ่วงเท่านั้น จึงทำให้เกิดคาวิเตชั่นน้อย สำหรับการติดตั้งตัวเรือนที่ระดับผิวน้ำต่ำกว่าปัจจัยสูญเสียการไหลมีค่าที่สูงกว่าเช่นการสูญเสียจากการดูดของไหลที่วาล์วหัวกะโหลก ข้องอ ท่อย่น ท่อไล่อากาศ เป็นต้น ในปัจจัยที่สองในสภาวะที่เครื่องสูบน้ำกำลังทำงานอยู่นั้นของไหลจะกระทบกับใบพัดอยู่ตลอดเวลาเป็นผลที่ทำให้เกิดคาวิเตชั่นแน่นอน เราสามารถลดการเกิดคาวิเตชั่นในปัจจัยนี้ด้วยการควบคุมวาล์วที่ความดันด้านจ่ายตามหลักการของเครื่องสูบน้ำหอยโข่งจะมีจุดการสร้างแรงดันและประสิทธิ์ภาพสูงสุดที่ 60 เปอร์เซ็นต์ของการควบคุมวาล์ว จากที่กล่าวคาวิเตชั่นนั้นจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อใบพัดจึงเป็นเหตุที่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานที่สูญเปล่าดังรูปที่ 2

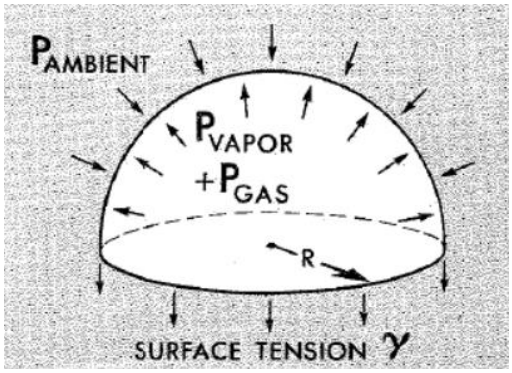


รูปที่ 2 ผลกระทบของคาวิเตชั่นที่ส่งผลต่อชุดใบพัด [2]

3.1.1 The Role of Nuclei

ปรากฏการณ์คาวิเตชั่นแสดงเห็นถึงอนุภาคได้สร้างรัศมีฟองอากาศเกิดการกัดกร่อนต่อผิวชิ้นงานของเครื่องจักรกลของไหล ภายในอนุภาคของฟองอากาศนี้ประกอบด้วยความดันไอน้ำผสมกับความดันก๊าซเป็นลักษณะทรงครึ่งวงกลมอันเนื่องจากความดันทางด้านดูดของเครื่องสูบน้ำสร้างความดันได้ต่ำกว่าความดันไอน้ำประกอบกับแรงบีบจากความดันของเหลวที่มีอนุภาคที่ใหญ่กว่าเพิ่มสำหรับการสร้างความดันโดยการอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนั้นความดันไอน้ำและความดันก๊าซ [3] จะเกิดขึ้นบริเวณที่ครีบใบพัดส่วนใหญ่เพื่อพลักให้แรงด้านของเหลวที่วิ่งผ่านไหลเข้าสู่ระบบท่อ (เฮดที่เครื่องสูบน้ำกำลังสร้างบนใบพัด) ในทิศทางตรงกัน

ข้ามส่งผลเสียต่อพื้นผิวชิ้นงานตามรัศมีของแรงตึงผิวของฟองอากาศ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 รัศมีของคาวิเตชั่น

จากรูปข้างต้นจึงเป็นของสมการการเกิดฟองที่มีพารามิเตอร์สำคัญรัศมี R นิยามได้ว่าพื้นผิวใบพัดจะถูกกัดกร่อนด้วยรัศมีของคาวิเตชั่นดังสมการ

$$\dot{R} \cong \sqrt{\frac{2}{3}\frac{P_d - P_s}{\rho}} \qquad (2)$$

เมื่อ $\dot{R}$ คือ รัศมีของฟองอากาศ $(m.)$

P_d คือ ความดันด้านจ่าย (Pa)

P_s คือ ความดันด้านดูด (Pa)

ρ คือ ความหนาแน่นของเหลว $\left(kg/m^3\right)$

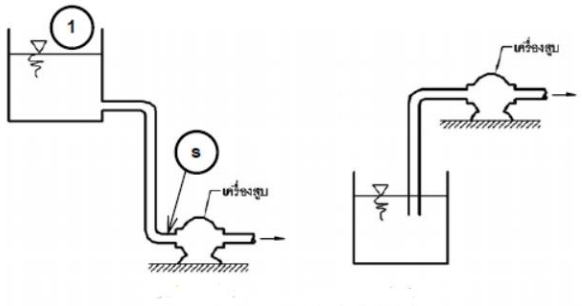
3.2 คาวิเตชั่นและความสามารถในการดูดของเครื่องสูบน้ำ (Cavitation and Net Positive Suction Head)

ในอันดับแรกขออธิบายถึง NPSH ก่อนซึ่งอธิบายได้ 2 ค่าได้แก่ NPSHa (Net Positive Suction Head Available) คือค่าที่แสดงถึงความเอื้อต่อการดูดน้ำของระบบ เป็นค่าที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามการติดตั้งเครื่องสูบน้ำและท่อ เช่น ท่อที่มีขนาดใหญ่เครื่องสูบน้ำจะสามารถดูดน้ำได้ดีกว่าท่อดูดที่มีขนาดเล็ก นั้นหมายความว่าท่อขนาดใหญ่จะส่งผลทำให้ค่า NPSHa สูงขึ้น

NPSHr (Net Positive Suction Head Require) คือค่าสมรรถนะการดูดของเครื่องสูบน้ำ จะแสดงให้เห็นถึงแรงดันที่ต้องการนำเข้ามาโดยเครื่องสูบ ในการไหลที่กำหนด เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดโพรงอากาศในของเหลว โดยปกติค่า NPSHr ผู้ใช้งานปั๊มจะไม่สามารถปรับแก้ค่านี้ได้เหมือนกับ NPSHa เพราะเป็นค่าที่ถูกกำหนดมาจากผู้ผลิตเครื่องสูบน้ำ ซึ่งค่านี้เป็นค่าที่ส่งผลมาจากการออกแบบปั๊ม เช่น รูปแบบของใบพัด ชนิดของวัสดุ รอบหรือกำลังของมอเตอร์ เป็นต้น

ทั้งนี้ หัวใจสำคัญของการคำนวณ NPSH คือ NPSHa จะต้องมีค่ามากกว่า NPSHr เสมอ ถ้าหาก NPSHr มีค่ามากกว่า NPSHa จะส่งผลให้เกิดโพรงอากาศในเครื่องสูบน้ำ หากค่า NPSHa น้อยกว่าค่า NPSHr จะส่งผลอย่างไร (ความดันทางด้านดูดที่มีอยู่ ณ จุดติดตั้ง น้อยกว่าความดันทางด้านดูดที่ปั๊มต้องการ) [4]

ในอันดับต่อมาความดันสัมบูรณ์ภายในตัวเรือนเครื่องสูบน้ำที่ลดลงถึงระดับความดันไออิ่มตัวที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของของเหลว ของเหลวจะเดือดและก่อให้เกิดการกัดกร่อนหรือคาวิเตชั่นขึ้นภายใต้สภาวะที่มีการเกิดและสลายตัวของฟองน้ำอิ่มตัวในของเหลวที่กำลังไหลผ่านใบพัดจะมีเสียงดังเกิดขึ้นและเครื่องสูบน้ำมีอาการสั่นทำให้การทำงานเครื่องสูบน้ำลดลง ดังรูปที่ 4 ระยะจากจุดศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำถึงระดับผิวของของเหลวที่ปลายของท่อดูดอยู่สูงกว่า (ภาพด้านซ้ายมือ) ในส่วนใหญ่แล้ว เฮดสถิตที่ด้านดูดมีค่าเป็นบวก เนื่องจากระดับความดันบรรยากาศอยู่ในตำแหน่งที่สูงกว่าตัวเรือนที่ใช้จ่ายน้ำ (ความดันจ่าย) ความดันไอน้ำและความดันก๊าซเกิดขึ้นได้น้อยมาก ในกรณีระดับผิวน้ำอยู่ต่ำกว่าตัวเรือน (ภาพด้านขวามือ) ความดันด้านดูดจะมีค่าเป็นลบเนื่องจากระยะดูดเพิ่มขึ้นโดยไม่อาศัยความดันบรรยากาศฉะนั้นความดันไอน้ำและความดันก๊าซมีโอกาสเกิดขึ้นสูง



รูปที่ 4 ตัวอย่างการติดตั้งปั๊มที่มีผลต่อการเกิดคาวิเตชั่น

ค่า คาวิเตชั่น ของ thoma, σ, ในสมการที่ (3) สามารถแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะการดูดของเครื่องสูบน้ำ NPSHr ได้เช่นกัน

$$\sigma = \frac{NPSHr}{H} \tag{3}$$

เมื่อ σ คือ ค่าคาวิเตชั่น

$NPSHr$ คือ สมรรถนะการดูด $(m.)$

H คือ ระดับความดันที่เครื่องสูบน้ำสร้างได้ $(m.)$

เนื่องจาก NPSHr ลดลงเหลือประมาณ 63 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ใบพัดของเครื่องสูบน้ำมีลักษณะดูดสองด้าน (Double Suction Impeller) ทั้งนี้ของเหลวมีการไหลเข้าสู่ทั้งสองด้านของใบพัดทำให้อัตราการไหลเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของอัตราการสูบของเครื่องสูบน้ำ

$$NPSHr = \left[\left(\frac{N\sqrt{Q}}{S}\right)\right]^{4/3} \tag{4}$$

เมื่อ N คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm)

Q คือ อัตราการไหล $\left(m^3/s\right)$

S คือ ความเร็วจำเพาะทางด้านดูด

ความเร็วจำเพาะทางด้านดูด (Suction Specific Speed) หาได้จากสมการที่ (5) ดังนี้

$$S = \frac{N \cdot \sqrt{Q}}{\left(NPSHr\right)^{3/4}} \tag{5}$$

4. วิธีการดำเนินงาน

เนื่องด้วยผู้วิจัยไม่สามารถถ่ายภาพจากทางหน่วยงานที่ได้อนุเคราะห์พื้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นแค่การศึกษาผลกระทบคาวิเตชั่นที่เกิดขึ้นจริงแท้ต่อเครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่งสิ่งที่สามรถนำออกมาได้คือข้อมูลคุณลักษณะของระบบชิลเลอร์ที่ได้ทำการบันทึกด้วยลายลักษณ์อักษรเท่านั้น จึงขอแสดงดังตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของระบบ

Data Testing		
Centrifugal pump	Capacity 245 GPM	RPM 1,450 – 1,520
Chiller	Size 215 kW.	2.4 GPM/ton of chiller

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

Parameter	
$P_{discharge}$	On Pressure Gauge
$P_{suction}$	On Pressure Gauge
$Level(1)$	$\geq 10m.$
$Level(2)$	$\leq 10m.$

จากตารางที่ 2 พารามิเตอร์ $P_{discharge}$ และ $P_{suction}$ เกิดความคาดเคลื่อนสูง (เข็มของเกจวัดความดันมีการแกว่งมาก) สามารถอ่านค่าได้ยากทางผู้วัยไม่สามารถขอเกจวัดความดันไปตั้งความเที่ยงตรง (Calibrate) เนื่องจะระบบชิลเลอร์ต้องทำการ Shut down ทั้งระบบ ทางผู้วิจัยจึงใช้กฎความคล้ายคลึงเรขาคณิต (Geometric Similarity) มาเพิ่มการวิเคราะห์ตัวเลขจากความดันที่อ่านได้จริงดังสมการ

$$\frac{P_s}{P_d} = \left(\frac{D_s}{D_d}\right)^4 \times \left(\frac{Q_s}{Q_d}\right)^3 \tag{6}$$

เมื่อ D_d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด ณ ด้านดูด $(m.)$

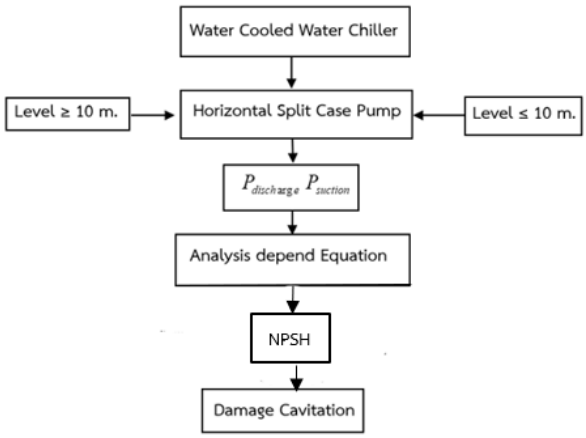
D_s คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด ณ ด้านจ่าย $(m.)$

Q_s คือ อัตราการไหลด้านดูด (gpm)

Q_d คือ อัตราการไหลด้านจ่าย (gpm)

จากสมารที่ (6) ความดันทางด้านดูดและด้านจ่ายแปลผันตรงกับเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดซึ่งมีขนาดเท่ากันจึงเป็นค่าคงที่ในส่วนอัตราการไหลมีการเพิ่มขึ้นที่จุดด้านจ่ายของเครื่องสูบน้ำและค่าความดันด้านจ่ายจึงมีค่าสูงกว่าความดัน

ด้านดูดอยู่เสมอเนื่องด้วยถูกโอนถ่ายพลังงานเชิงกลจากมอเตอร์เป็นพลังงานไฮดรอลิกส์ [5] จากข้อมูลข้างต้นเขียนเป็นไดอแกรมการทดสอบดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ไดอะแกรมวิเคราะห์การเกิดคาวิเตชั่น

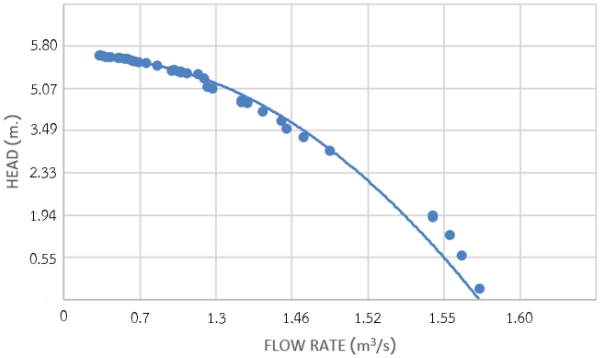
จากรูปที่ 5 ไดอแกรมทดสอบเริ่มจากระบบน้ำหล่อเย็นเริ่มทำงานเครื่องสูบน้ำสร้างความดันจากการติดตั้งซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญของงานวิจัยนี้คือระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือน 10 เมตร และ ระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือน 10 เมตร อ่านค่าความดันขาเข้าและขาออกในช่วงของการควบคุมวาล์ว 0 % ถึง 100 % พร้อมทั้งใช้กฎความคล้ายคลึงช่วยวิเคราะห์หาค่าความดันทั้งสอง และหาอัตราการไหลโดยใช้เครื่องมือ Data logger วัดที่จุดความดันด้านจ่ายต่อจากนั้นทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลหรือที่เรียกว่ากราฟสมรรถนะเครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่งผลกระทบจากระดับผิวน้ำที่ไม่เท่ากันวิเคราะห์ด้วยหลักการ NPSH อธิบายถึงช่วงการเกิดคาวิเตชั่น

5. ผลการวิจัย

ผลของการเก็บข้อมูลทางผู้วิจัยแสดงในรูปแบบตารางในช่วงการควบคุมวาล์ว 10 %, 15 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100% และข้อมูลกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมบูรณ์กับอัตราการควบคุมวาล์ว แสดงข้อมูลตั้งแต่การควบคุมวาล์ว 0 % – 100 %

ตารางที่ 3 ผลจากการทดสอบการติดตั้งระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือน 10 เมตร

Valve	ความดันด้านจ่าย	ความดันด้านดูด	อัตราการไหล
10 %	5.10 m.	0.61 m.	0.61 m^3/s
15 %	4.96 m.	0.54 m.	1.17 m^3/s
25 %	3.22 m.	0.43 m.	1.34 m^3/s
50 %	3.11 m.	0.38 m.	1.48 m^3/s
75 %	2.59 m.	0.23 m.	1.54 m^3/s
100 %	1.24 m.	0.03 m.	1.56 m^3/s



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมบูรณ์กับอัตราการไหลด้วยการติดตั้งระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือน 10 เมตร

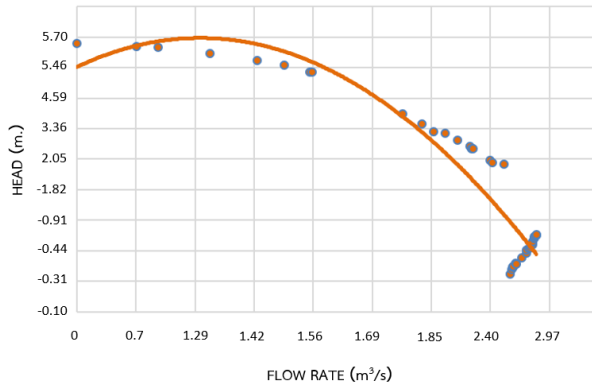
ข้อมูลจากตารางที่ 3 และ รูปที่ 6 ค่าเฮดสถิตมีผลเป็นบวกตลอดแกน y แสดงให้เห็นว่าความดันด้านดูดไม่ติดลบวิเคราะห์ตามหลัก NPSH ค่าของการดูดน้ำของระบบมีมากกว่าแรงดันที่ต้องการนำเข้าหรือมีความดันไอน้ำผสมกับก๊าซไม่มากนักภายในตัวเรือนเครื่องสูบน้ำถึงแม้ว่าอัตราการไหลในแกน x มีเพิ่มมากขึ้น [6-7]

เมื่อวิเคราะห์ผลจากข้อมูลสมรถนะของเครื่องสูบน้ำที่จุดทำงานสร้างเฮดสถิตได้ 3 เมตร อัตราการไหล 1.46 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ในขณะที่เครื่องสูบน้ำมีทำงานสูงสุด 100 เปอร์เซ็นต์ เฮดสถิตเท่ากับ 1.24 เมตร อัตราการไหล

1.56 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เหตุผลที่ความดันด้านดูดไม่ติดลบนั้นจากความเร็วของเหลวที่ไหลเข้าสู่ท่อทางด้านดูด ($\frac{V_i^2}{2g}$) มีผลเป็นบวกเนื่องจากอาศัยความดันบรรยากาศเป็นตัวกลางขับเคลื่อนของเหลวเข้าสู่เครื่องสูบน้ำและมีค่าที่มากกว่าความดันไอน้ำ ($-\frac{P_v}{\rho g}$) [8]

ตารางที่ 4 ผลจากการทดสอบการติดตั้งระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือน 10 เมตร

Valve	ความดันด้านจ่าย	ความดันด้านดูด	อัตราการไหล
10 %	5.45 m.	0.67 m.	0.72 m^3/s
15 %	5.27 m.	0.53 m.	1.29 m^3/s
25 %	3.66 m.	0.35 m.	1.36 m^3/s
50 %	-1.87 m.	-0.27 m.	1.55 m^3/s
75 %	-1.66 m.	-0.15 m.	1.74 m^3/s
100 %	-0.35 m.	-0.015 m.	2.87 m^3/s



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมบูรณ์กับอัตราการไหลด้วยการติดตั้งระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือน 10 เมตร

ข้อมูลจากตารางที่ 4 และ รูปที่ 7 ค่าเฮดสถิตมีผลเป็นบวกและลบบนแกน y แสดงให้เห็นว่าความดันด้านดูดนั้นติดลบ วิเคราะห์ตามหลัก NPSH ค่าของการดูดน้ำของระบบมีน้อยกว่า แรงดันที่ต้องการนำเข้าหรือมีความดันไอน้ำผสมกับก๊าซมากพอควรในช่วงการควบคุมวาล์ว 47 เปอร์เซ็นต์เป็นต้นไปจนถึงการเปิดวาล์ว 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอัตราการไหลนั้นจะไม่มีผลทำให้เกิดคาวิเตชั่น

เมื่อวิเคราะห์ผลจากข้อมูลสมรถนะของเครื่องสูบน้ำที่จุดทำงานสร้างเฮดสถิตได้ 3.12 เมตร อัตราการไหล 1.49 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ในขณะที่เครื่องสูบน้ำมีทำงานสูงสุด 100 เปอร์เซ็นต์ เฮดสถิตมีค่าติดลบเท่ากับ 0.50 เมตร อัตราการไหล 2.87 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เหตุผลที่ความดันด้านดูดติดลบนั้นจากความเร็วของเหลวที่ไหลเข้าสู่ท่อทางด้านดูด ($-\frac{V_i^2}{2g}$) มีผลเป็นลบเนื่องจากอาศัยแรงยกที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงโน้มถ่วงเป็นตัวกลางขับเคลื่อนของเหลวเข้าสู่เครื่องสูบน้ำและรวมเพิ่มด้วยความดันไอน้ำ ($-\frac{P_v}{\rho g}$)

6. สรุปผลการทดลอง

ในระบบปรับอากาศแบบศูนย์รวมลักษณะการติดตั้งควรออกแบบให้ระดับผิวน้ำอยู่สูงกว่าตัวเรือนเพื่อให้ศักยภาพของเครื่องสูบน้ำเย็นสร้างเฮดได้มีประสิทธิภาพสูงสุดและเพื่อให้ความดันด้านดูดไม่ให้เกิดความดันไอน้ำกับก๊าซในทางกลับกันเมื่อการออกแบบติดตั้งมีพื้นที่จำกัดมีระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือนเครื่องสูบน้ำควรเพิ่มวาล์วกันของเหลวย้อนกลับเพื่อลดแรงยกที่มีแรงปฏิกิริยาต่อแรงโน้มถ่วงหรือลดความยาวท่อลำเลียงของเหลว (ถ้าลดได้) ใช้ข้องอให้น้อยที่สุดเนื่องจากเครื่องสูบน้ำหอยโข่งมีค่า NPSH สูง [9] สิ่งที่ผู้วิจัยเสนอแนะการควบคุมวาล์วไม่จำเป็นต้องใช้ 100 เปอร์เซ็นต์เนื่องด้วยระบบน้ำเย็นที่เข้าสู่ระบบ AHU หรือ FCU ใช้เพียงความเย็นของของเหลวในปริมาณเหมาะสมเพื่อลดประมาณการกินไฟการควบคุมควรอยู่ที่ 55 เปอร์เซ็นต์ ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ผลจากการด้วยหลักการ NPSH เครื่องสูบน้ำที่ติดตั้งระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือน 10 เมตร และ การติดตั้งระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือน 10 เมตร ศักยภาพสร้างเฮดสถิตเท่ากับ 3 เมตร อัตราการไหล 1.46

ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยที่ความดันด้านดูดมีส่วนผสมของไอน้ำและก๊าซของของเหลวน้อยทำให้การเกิดรัศมีคาวิเตชั่นกัดกร่อนโลหะของใบพัดน้อยลง ระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือน 10 เมตร กว่าระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือน 10 เมตร ที่ 2.5 เปอร์เซ็นต์ การสร้างเฮดสถิตเพิ่มขึ้น 0.09 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหล 0.02 เปอร์เซ็นต์ อธิบายได้ว่าการที่ระดับผิวน้ำอยู่สูงหรือต่ำกว่าตัวเรือนเครื่องสูบน้ำนั้นไม่ได้ทำให้ศักยภาพการสร้างเฮดเปลี่ยนแปลงแต่จะทำให้เกิดคาวิเตชั่นที่แตกต่างกัน ณ ความดันด้านดูดที่ 28.95 เปอร์เซ็นต์และเมื่อใช้งานในสภาวะที่ติดตั้งระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือนเรื่อยๆเป็นที่แน่นอนเมื่อชิ้นส่วนภายในเครื่องจักรกลของไหลเกิดการเสียหายหรือชำรุดทำให้เกิดการสิ้นเปลืองรายจ่ายต่อระบบชิลเลอร์เช่นกันเนื่องด้วยตัวสร้างกำลังเปลี่ยนแปลงรูปทรงการป้อนโหลดจะมากขึ้นเพื่อให้ได้กำลังเท่ากับปริมาณเชิงกลเดิม

7. เอกสารอ้างอิง

[1] J.P.Franc, “a simple and powerful tool to understand various aspects of cavitation,” Fluid dynamics of cavitation and cavitating turbopumps, vol. 496, pp.1-41, January. 2008.

[2] Debem industial pumps. What is cavitation in centrifugal pump. [online]. September 19, 2019. Available: https://www.debem.com/en/cavitation-in-centrifugal-pumps/

[3] H. Soyama, H. Kato, and R. Oba, “Cavitation Observations of Severely Erosive Vortex Cavitation Arising in a Centrifugal Pump,” I.Mech.E. Int.Conf on cavitation, vol. 1, no. 6, pp.103-110, Nov. 1997.

[4] Calpeda creative technology. Choosing a water pump must know NPSH. [online]. (2010). [Cited March 9, 2021]. Available: https://www.calpeda.co.th/Knowledge/npsh.html

[5] V.H Arakeri and V.Shangumanathan, “On the evidence for the effect of bubble interference on cavitation noise,” *Journal of Fluid Mechanics, Cambridge university*, vol. 159, pp.131-150, October. 1985.

[6] F.J. Heyman, “Toward quantitative prediction of liquid impact erosion,” *Characterization and Determination of Erosion Resistance, American*, 1970.

[7] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE STANDARD 62.1, 2022.

[8] M.N. Shneider, and M. Pekker, “Cavitation in Dielectric Fluid in Inhomogeneous Pulsed Electric Field,” *Journal of Applied Physics*, vol. 114, pp. 214906, 2013.

[9] T.Nagahara, T.Sato and Tomoyoshi, “Effect of the Submerged Vortex Cavitation Occurred in Pump Suction intake on hydraulic Force of Mixed Flow Pump Impeller,” *CAV2001:sessionB8.006*, February, 2002.