



บทความวิจัย

การศึกษาผลกระทบของระยะโค้งวาล์วนำหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นของท่อวอร์เท็กซ์ โดยวิธีการทดลอง

An experimental study on the effect of the arc distance of a vortex tube cone valve on cooling efficiency

ศรายุทธ นิลเนตร* กฤษฎา นามวงศ์ ภูกิจ คุณเจริญศิริ

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น 40000

Sarayut Nilnate* Krissada Namwong Bhukij Khuncharoenhirun

Department of Industrial Piping Technology, Faculty of Education Technology, Rajamangala University of Technology Isan Khonkean Campus 40000

* Corresponding author.

E-mail: sarayut.ni@rmuti.ac.th; Telephone: 08 4829 5229

วันที่รับบทความ 9 เมษายน 2564; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 8 มิถุนายน 2564; ครั้งที่ 2 2 สิงหาคม 2564 ; ครั้งที่ 3 14 กันยายน 2564

วันที่ตอบรับบทความ 15 ธันวาคม 2564

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นและสมรรถนะการทำความเย็นของท่อวอร์เท็กซ์ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนระยะโค้งวาล์วนำหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยในท่อวอร์เท็กซ์ ในการทดลองได้ดำเนินการโดยใช้ระยะโค้งวาล์วนำหน้าตัดวาล์วทรงกรวยที่ขนาด 0, 1, 2, 3 และ 4 มิลลิเมตร และปรับความดันที่ทางเข้าท่อวอร์เท็กซ์ 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4 Bar โดยในการทดลองนี้ใช้อากาศที่ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิทางเข้า ที่อุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 33 °C จากการทดลองพบว่า เมื่อระยะโค้งวาล์วนำหน้าตัดวาล์วทรงกรวยเพิ่มขึ้นส่งผลต่ออุณหภูมิทางออกทั้งสองด้าน และเมื่อความดันเพิ่มขึ้นอุณหภูมิที่ทางออกด้านอุณหภูมิต่ำจะลดลงซึ่งแปรผันกับประสิทธิภาพการทำความเย็นและสมรรถนะการทำความเย็นจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยที่ระยะโค้งวาล์วนำหน้าตัดวาล์วทรงกรวยขนาด 3 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการทำความเย็นและมีสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นที่ดีที่สุดสำหรับการทดลองนี้ ประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงสุดที่ 25.2 % และมีค่าสมรรถนะการทำความเย็นสูงสุด 0.11 ที่ความดันทางเข้า 2.5 Bar อัตราการไหลอากาศทางเข้า 3.5 m³/h และอุณหภูมิทางออกด้านอุณหภูมิต่ำมีอุณหภูมิของอากาศเย็นต่ำสุดที่ 8.9 °C ลดลงถึง 23.4 °C และด้านทางออกด้านอุณหภูมิสูงมีอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ 60.3 °C เพิ่มขึ้นถึง 24.4 °C ที่ความดันทางเข้า 4 Bar อัตราการไหลอากาศทางเข้า 6.5 m³/h

คำสำคัญ

การศึกษาเชิงทดลอง ท่อวอร์เท็กซ์ ประสิทธิภาพความเย็น สมรรถนะการทำความเย็น การลดอุณหภูมิ วาล์วทรงกรวย

Abstract

This study aimed to investigate the cooling efficiency and coefficient of performance of a vortex tube with change in the arc distance of a vortex tube cone valve. A study was performed using the arc distance of vortex tube cone valves at sizes of 0, 1, 2, 3 and 4 mm. The pressure was adjusted at the inlet vortex of 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 and 4 Bar. The experiment used uncontrolled temperature air, air at an ambient temperature of about 33 °C. From the experiment, results showed that an increase in the arc distance on a vortex tube cone valve affects the outlet temperature on both sides. The increased pressure led to a drop in temperature at the cold exit, which was in proportion to the increase in the cooling

efficiency and coefficient of performance. At 3 mm, it was the best cooling efficiency and coefficient of performance. The maximum cooling efficiency was 25.2 % and the maximum coefficient of performance was 0.11. At the inlet pressure was 2.5 Bar and the flow rate was 3.5 m³/h. The air outlet has a minimum cold air temperature of 8.9 °C, a drop of 23.4 °C, and a high temperature of 60.3 °C, an increase of 24.4 °C at an inlet pressure of 4 Bar. Inlet air flow rate 6.5 m³/h

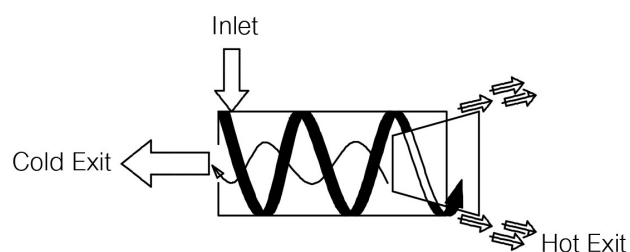
Keywords

experimental study; vortex tube; cooling efficiency; COP; temperature reduction; conical valve

1. คำนำ

ทอว์อ์เทกซ์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทำความเย็นเฉพาะจุดสำหรับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อช่วยระบายความร้อนให้กับเครื่องจักร ซึ่งมีความสำคัญมากถ้าขาดกระบวนการนี้ไปอาจจะทำให้เครื่องจักรต่างๆ ทำงานไม่ได้หรือไม่มีประสิทธิภาพ ทอว์อ์เทกซ์นั้นทำงานโดยให้อากาศที่มีความดันสูงไหลผ่านท่อในแนวเส้นสัมผัสผิวด้านในของท่อเกิดปรากฏการณ์ที่อากาศร้อนซึ่งอยู่ใกล้ผิวด้านในของท่อจะไหลผ่านวาล์วทรงกรวยออกทางปลายท่อด้านหนึ่ง ส่วนอากาศเย็นที่อยู่ใกล้เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อจะไหลไปชนกับวาล์วทรงกรวย และไหลย้อนกลับมาออกปลายท่ออีกด้านหนึ่ง จากปรากฏการณ์อันเป็นลักษณะเฉพาะตัวที่สามารถผลิตกระแสอากาศร้อนและเย็นได้ในเวลาเดียวกัน เมื่อป้อนอากาศอัดผ่านหัวฉีด (nozzles) ที่วางเรียงตัวในแนวรัศมีของท่อ และอยู่ ณ บริเวณใกล้กับช่องทางเข้าของท่อ พบว่ากระแสอากาศที่ผ่านเข้าในแนวเส้นสัมผัสกับท่อนี้ จะมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบหมุนวนอย่างแรง ด้วยความเร็วรอบสูง เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง อีกทั้งของไหลภายในท่อมีการขยายตัวทำให้มีความดันลดลงตรงบริเวณแกนกลางท่อ เกิดความแตกต่างของความเร็วของไหลบริเวณกลางท่อ และขอบนอกใกล้ผนังท่อ ส่งผลให้มีการถ่ายเทพลังงานจลน์จากกระแสของไหลบริเวณกลางท่อไปยังของไหลที่อยู่บริเวณผนังท่อ ทำให้กระแสอากาศในแนวแกนกลางท่อมียุณหภูมิต่ำลง ขณะที่กระแสอากาศบริเวณผนังท่อมียุณหภูมิสูงขึ้น เกิดเป็นปรากฏการณ์แยกชั้นพลังงานความร้อน (Thermal separation) หรือปรากฏการณ์แยกชั้นอุณหภูมิ (Temperature separation) สามารถแสดงภาพการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ภายในทอว์อ์เทกซ์ [1] ดังในรูปที่ 1 ทอว์อ์เทกซ์นั้นมีรูปร่างไม่ซับซ้อนไม่มีชิ้นส่วนใดเคลื่อนที่ง่ายต่อการบำรุงรักษา และไม่ใช้สารทำความเย็น CFC ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้เกิดภาวะโลกร้อน จึงมีการ

นำไปใช้งานในการให้ความเย็นหรือระบายความร้อนเฉพาะจุดสำหรับเครื่องจักร หรือในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม [2]



รูปที่ 1 ลักษณะการทำงานของทอว์อ์เทกซ์

ในปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับทอว์อ์เทกซ์มากมาย เพื่อพัฒนาให้ได้ทอว์อ์เทกซ์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น [3] ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะรูปร่าง ความหนาของผิวท่อ อัตราส่วนมวลเย็น อัตราส่วนของความยาวท่อต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (L/D) โดยวิธีการทดลองและวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ [4,5,6] และมีการวิจัยถึงตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลกับการแยกชั้นอุณหภูมิของอากาศในทอว์อ์เทกซ์ โดย Burak Markal และ คณะ (2010) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของมุมวาล์วทรงกรวยที่มีต่อพลังงานความร้อนในทอว์อ์เทกซ์ ผลของความยาวของตัวสร้างกระแสลมหมุน อัตราส่วน L/D ความดันขาเข้า และมุมของวาล์วรูปกรวยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของทอว์อ์เทกซ์ มีการเปรียบเทียบอัตราส่วนมวลเย็น โดยใช้วาล์วทรงกรวยสี่แบบที่มีมุม 30°, 45°, 60° และ 75° พบว่าผลกระทบของมุมวาล์วต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพตามค่า L/D และมีอิทธิพลไม่มากต่อประสิทธิภาพของระบบ เมื่อ L/D เพิ่มขึ้นผลกระทบจากมุมวาล์วทรงกรวยก็น้อยลงเช่นกัน [7] N. Agrawal และ คณะ (2014) ได้ทำการศึกษาทดลองการทำงานของทอว์อ์เทกซ์ โดยใช้พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการทำงานในทอว์อ์เทกซ์ เช่น อัตราส่วน L / D อัตราส่วนมวลเย็น แรงดันขาเข้า และอื่น ๆ

ได้ทำการทดสอบ โดยใช้สารทำงานที่แตกต่างกัน (อากาศ ไนโตรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) พบว่าตัวแปรได้ทดสอบกับทอเวอร์เทกซ์ ค่าของอัตราส่วนมวลเย็นที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับความดันกำหนด และอัตราส่วน L/D ที่ 17.5 นอกจากนี้ยังพบว่าทอเวอร์เทกซ์ มีประสิทธิภาพดีเมื่อใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารทำงาน ทั้งมีความสามารถในการระบายความร้อนเพิ่มขึ้น และยังแสดงให้เห็นแนวโน้มที่มีมวลเย็นถึง 60% [8] Seyed Ehsan Rafiee และ M.M. Sadeghiazad (2014) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตของทอเวอร์เทกซ์ โดยใช้อากาศเป็นสารทำงาน มีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คือ ความยาวกรวยวาล์ว ความดันขาเข้า จำนวนของหัวฉีด และค่าของความยาวกรวยที่ตัดออกอยู่ในช่วง 0-10 มิลลิเมตร ผลลัพธ์ที่ได้สำหรับประสิทธิภาพสูงสุด ที่ความยาวกรวยตัดออกที่เหมาะสมที่ 6 มิลลิเมตร [9] ต่อมา S.E. Rafiee และ M.M. Sadeghiazad (2017) ได้ทำการศึกษาการแยกอุณหภูมิภายในทอเวอร์เทกซ์ที่ได้รับอิทธิพลจากวาล์วที่รูปร่างต่างกันสี่ประเภทคือ ทรงกลม หน้าเรียบ กรวย และกรวยที่ถูกตัด จากผลการวิจัยพบว่ากรวยที่ถูกตัดนั้นจะมีอุณหภูมิต่ำที่สุด ณ ด้านอุณหภูมิต่ำ [10]

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่า รูปร่างของทอเวอร์เทกซ์ส่งผลประสิทธิภาพการทำความเย็น ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงเกิดความสนใจที่จะศึกษาผลของค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นและสมรรถนะการทำความเย็นของทอเวอร์เทกซ์ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงระยะโค้งเว้าบนวาล์วทรงกรวยขนาด 0, 1, 2, 3 และ 4 มิลลิเมตร ซึ่งที่ผ่านมายังไม่มีงานวิจัยที่ครอบคลุมเรื่องขนาดระยะโค้งเว้าบนวาล์วทรงกรวย

2. ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

ในการทดลองของงานวิจัยนี้ได้นำหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์มาใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของทอเวอร์เทกซ์และเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองของวาล์วทรงกรวยในแต่ละแบบ โดยมีสมการที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ผลดังนี้

2.1 อัตราส่วนมวลเย็น (μ_c)

ตัวแปรที่สำคัญในการแสดงประสิทธิภาพของทอเวอร์เทกซ์ก็คือ สัดส่วนมวลของอากาศเย็นซึ่งก็คือ อัตราส่วนระหว่าง

อัตราการไหลของมวลอากาศเย็นต่ออัตราการไหลของมวลที่ไหลเข้ามา โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (1) ดังนี้

$$\mu_c = \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_{in}} \quad (1)$$

เมื่อ μ_c คือ อัตราส่วนมวลเย็น

$\dot{m}_c$ คือ มวลของอากาศเย็นที่ไหลออกจากทอเวอร์เทกซ์ (kg/s)

$\dot{m}_{in}$ คือ มวลของอากาศที่ไหลเข้าทอเวอร์เทกซ์ (kg/s)

ส่วนอุณหภูมิของอากาศเย็นที่ลดลง แสดงดังสมการที่ (2)

$$(\Delta T_c) = T_{in} - T_c \quad (2)$$

เมื่อ (ΔT_c) คือ อุณหภูมิของอากาศเย็นที่ลดลง ($^{\circ}\text{C}$)

T_{in} คือ อุณหภูมิของอากาศที่เข้ามา ($^{\circ}\text{C}$)

T_c คือ อุณหภูมิของอากาศเย็น ($^{\circ}\text{C}$)

และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แสดงดังสมการที่ (3)

$$(\Delta T_h) = T_h - T_{in} \quad (3)$$

เมื่อ (ΔT_h) คือ อุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้น ($^{\circ}\text{C}$)

T_h คือ อุณหภูมิของอากาศร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

T_{in} คือ อุณหภูมิของอากาศที่เข้ามา ($^{\circ}\text{C}$)

2.2 ประสิทธิภาพในการทำความเย็นทางเทอร์โมไดนามิกส์ของทอเวอร์เทกซ์

ในการคำนวณประสิทธิภาพการทำความเย็นของทอเวอร์เทกซ์ จะพิจารณาว่าอากาศที่ไหลภายในทอเวอร์เทกซ์นั้นมีการขยายตัวตามกระบวนการไอเซนโทรปิก ซึ่งจะทำให้ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นที่แท้จริงมีค่าต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้ โดยสามารถเขียนได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$(\Delta T_c) = \eta_c (\Delta T_{isen}) \quad (4)$$

$$(\Delta T_{isen}) = T_{in} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_{in}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right) \quad (5)$$

ประสิทธิภาพเชิงความเย็นแสดงดังสมการที่ (6)

$$\eta_c = \frac{T_{in} - T_c}{T_{in} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_{in}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right)} \quad (6)$$

เมื่อ (ΔT_c) คือ อุณหภูมิของอากาศที่ลดลง

(ΔT_{isen}) คือ อุณหภูมิที่ลดลงตามกระบวนการไอเซน

โทรปิก

η_c คือ ประสิทธิภาพเชิงความเย็น

T_{in} คือ อุณหภูมิของอากาศที่เข้ามา (K)

T_c คือ อุณหภูมิของอากาศเย็น (K)

P_{atm} คือ ความดันบรรยากาศ (Bar)

P_{in} คือ ความดันที่ทางเข้า (Bar)

γ คือ อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ

(ค่าของอากาศ ≈ 1.4)

2.3 อัตราการทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยของอากาศที่ไหลเข้าทอเวอร์เทกซ์

อัตราการทำความเย็นที่ได้จากทอเวอร์เทกซ์จะหาได้จากสมการที่ (7)

$$Q_T = \dot{m}_c c_p (T_{in} - T_c) \quad (7)$$

ดังนั้นอัตราการทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยของมวลอากาศที่ไหลเข้า จะสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังสมการที่ (8) และ (9)

$$Q_c = \frac{Q_T}{\dot{m}_{in}} = \frac{\dot{m}_c c_p (T_{in} - T_c)}{\dot{m}_{in}} \quad (8)$$

$$Q_c = \mu_c c_p (T_{in} - T_c) \quad (9)$$

เมื่อ Q_T คือ อัตราการทำความเย็นที่ได้จากทอเวอร์เทกซ์ (kW)

Q_c คือ อัตราการทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยของอากาศที่ไหลเข้าในทอเวอร์เทกซ์ (kJ/kg)

μ_c คือ อัตราส่วนมวลเย็น

$\dot{m}_c$ คือ มวลของอากาศเย็นที่ไหลออกจากทอเวอร์เทกซ์ (kg/s)

$\dot{m}_{in}$ คือ มวลของอากาศที่ไหลเข้าทอเวอร์เทกซ์ (kg/s)

T_{in} คือ อุณหภูมิของอากาศที่เข้ามา (K)

T_c คือ อุณหภูมิของอากาศเย็น (K)

c_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (kJ/kg.K)

2.4 สัมประสิทธิ์สมรรถนะ

ในการหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) หรือ อัตราส่วนระหว่างอัตราการทำความเย็นที่ได้ต่อพลังงานกลที่ใช้ในการทำความเย็น จะพิจารณาว่าเป็นแก๊สในอุดมคติ และมีการขยายตัวตามกระบวนการไอเซนโทรปิก ซึ่งเป็นกระบวนการในอุดมคติไม่สามารถเกิดขึ้นจริง ดังนั้นพลังงานเชิงกลที่ใช้จริงจึงมีค่าที่สูงกว่านี้ ซึ่งจะทำให้ค่า COP ที่แท้จริงมีค่าต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้ โดยในกรณีของทอเวอร์เทกซ์ สำหรับกระบวนการทำความเย็นของทอเวอร์เทกซ์ จะเรียกว่าสมรรถนะการทำความเย็น (ref) โดย COP สำหรับการทำความเย็น (COP_{ref}) โดยสมรรถนะการทำความเย็นจะสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังสมการที่ (10)

$$COP_{ref} = \frac{Q_c}{w} \quad (10)$$

เมื่อ

Q_c คือ อัตราการทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยของอากาศที่ไหลเข้าในทอเวอร์เทกซ์ (kJ/kg)

w คือ พลังงานเชิงกลที่ใช้ในการทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยของอากาศที่ไหลเข้าในทอเวอร์เทกซ์ (kJ/kg)

พลังงานเชิงกลที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งกำหนดเป็นพลังงานสูงสุดที่เป็นไปได้จากการขยายตัวของอากาศ จากความดัน P_{in} มายังความดัน P_{atm} โดยขบวนการไอเซนโทรปิก จะหาได้จากสมการที่ (11)

$$W = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \dot{m}_{in} R T_{in} \left[\left(\frac{P_{in}}{P_{atm}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \quad (11)$$

เมื่อ W คือ พลังงานเชิงกลที่ใช้ในการทำความเย็น (kW)

ดังนั้นจะได้พลังงานเชิงกลที่ใช้ในการทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยของมวลอากาศที่ไหลเข้าในทอว์อร์เทกซ์ แสดงดังสมการที่ (12)

$$w = \frac{W}{\dot{m}_{in}} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} R T_{in} \left[\left(\frac{P_{in}}{P_{atm}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \quad (12)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (10) สมรรถนะของทอว์อร์เทกซ์ ซึ่งดำเนินการโดยใช้พลังงานกลจากการขยายตัวของอากาศโดยขบวนการไอเซนโทรปิกต่อหนึ่งหน่วยของมวลอากาศที่ไหลเข้าในทอว์อร์เทกซ์ จะสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังสมการที่ (13)

$$COP_{ref} = \frac{\mu_c c_p (T_{in} - T_c)}{\frac{\gamma}{\gamma - 1} R T_{in} \left[\left(\frac{P_{in}}{P_{atm}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]} \quad (13)$$

เมื่อ COP_{ref} คือ สมรรถนะการทำความเย็น

μ_c คือ อัตราส่วนมวลเย็น

c_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (kJ/kg.K)

T_{in} คือ อุณหภูมิของอากาศที่เข้ามา (K)

T_c คือ อุณหภูมิของอากาศเย็น (K)

P_{atm} คือ ความดันบรรยากาศ (Bar)

P_{in} คือ ความดันที่ทางเข้า (Bar)

R คือ ค่าคงตัวของแก๊ส (0.287 kJ/kg.K)

γ คือ อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ

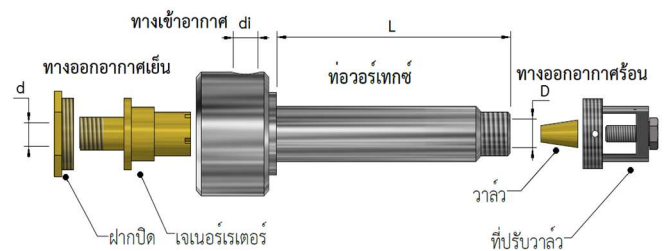
3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองทอว์อร์เทกซ์จะต้องมีแหล่งจ่ายลมอัดเข้าไปในทอว์อร์เทกซ์โดยผ่านตัวควบคุมความดัน และมีอุปกรณ์หลักๆ ประกอบด้วยดังนี้

- 1) ถังอัดลม เพื่อใช้จ่ายลมแรงดันสูง
- 2) ตัวควบคุมความดันและเกจวัดความดัน (Pressure regulator and Wika pressure gauges, accuracy $\pm 2.5\%$)
- 3) เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (Rotameter Lzm-25T 0.2-2 GPM, accuracy $\pm 4\%$)
- 4) เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (รุ่น HT-9815 LCD Digital 4 Channel K Type Thermocouple, accuracy $\pm 0.15\%$ rdg)
- 5) ชุดทดสอบทอว์อร์เทกซ์

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างชุดทดสอบทอว์อร์เทกซ์ ซึ่งจะมีรูปร่างแบบง่ายที่ประกอบด้วย ทางเข้าของอากาศอัดที่จะทำให้เกิดการหมุนของอากาศภายในทอว์อร์เทกซ์ และทางออกของอากาศสองด้าน โดยจะมีด้านที่มีวาล์วทรงกรวย และอีกด้านเป็นทางออกที่มีรูตรงกลางเจเนอเรเตอร์ ซึ่งมีลักษณะส่วนประกอบทอว์อร์เทกซ์ ดังรูปที่ 2 และขนาดรูปร่างของทอว์อร์เทกซ์นั้นได้มีรายละเอียด ดังตารางที่ 1

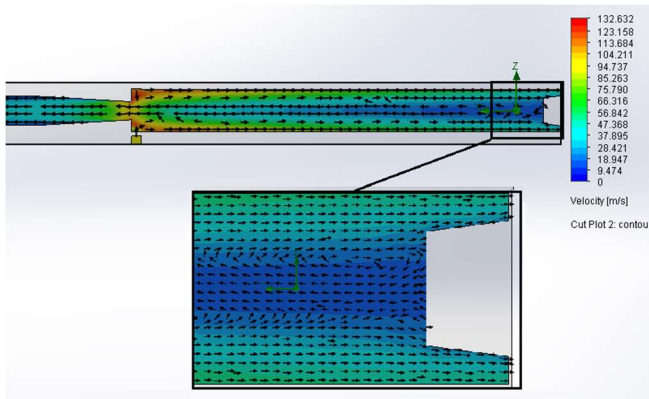


รูปที่ 2 ส่วนประกอบทอว์อร์เทกซ์

ตารางที่ 1 รายละเอียดรูปร่างของทอว์เทกซ์

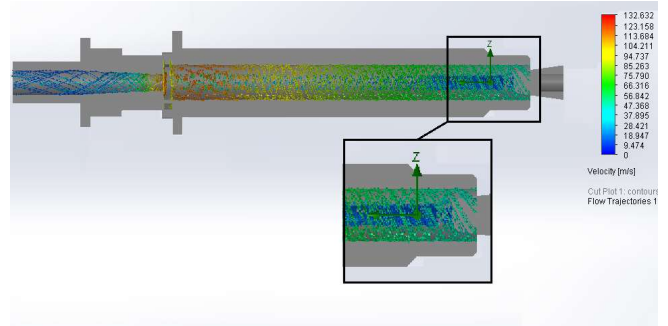
รายละเอียด	ขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ, D	10 mm
ความยาวของทอว์เทกซ์, L	140 mm
เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในทางเข้า, d_i	8 mm
เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของทางออกอากาศเย็น, d	8 mm

หลังการออกแบบรายละเอียดและขนาดทอว์เทกซ์แล้วนั้น ได้มีการจำลองลักษณะการไหลในทอว์เทกซ์ว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ โดยใช้โปรแกรม solid works flow simulation ในการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) โดยในการวิเคราะห์ได้กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นดังนี้ ความดันที่ทางเข้า 3 Bar. ที่อุณหภูมิ 33 °C และความดันที่ทางออกเป็นความดันบรรยากาศ 101,325 Pa โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วน Turbulent energy and dissipation (k-ε) ในการวิเคราะห์ จากการจำลองพบว่าอากาศที่ไหลไปกระทบกับวาล์วทรงกรวยแล้วจะไหลกลับไปยังทางออกด้านอากาศเย็น ดังแสดงในรูปที่ 3



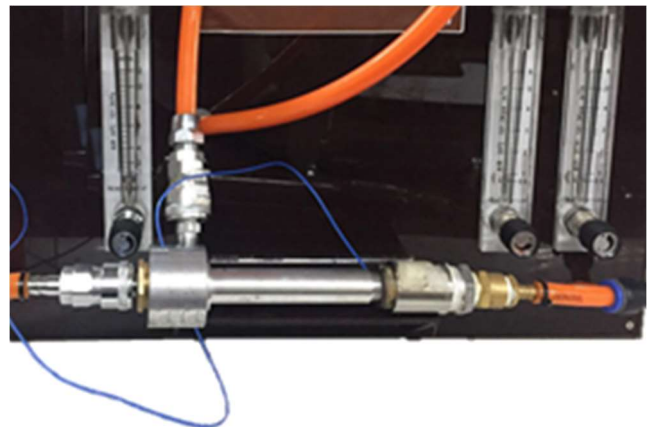
รูปที่ 3 ภาพตัดลักษณะทิศทางการไหลของอากาศในทอว์เทกซ์

การไหลของอากาศในการจำลอง พบว่าอากาศบริเวณแกนกลางท่อด้านวาล์วทรงกรวยจะมีลักษณะการไหลวนกลับไปยังอีกด้าน โดยมีความเร็วต่ำกว่าอากาศบริเวณผิวท่อและอากาศบริเวณผิวขอบท่อนั้นมีความเร็วสูงสุดที่ 132.6 m/s โดยลักษณะการไหลของอากาศบริเวณผิวขอบท่อจะไหลวนออกทางด้านวาล์วทรงกรวย ดังแสดงในรูปที่ 4



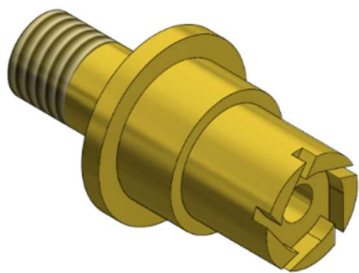
รูปที่ 4 ลักษณะการไหลวนของอากาศบริเวณแกนกลางและผิวท่อ

ทอว์เทกซ์ในการทดลองนี้ได้ทำจากอลูมิเนียมเป็นวัสดุหลัก ดังรูปที่ 5 และในส่วนของวาล์วทรงกรวยได้ออกแบบให้สามารถปรับระยะเข้าออกได้ ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณอากาศที่ออกด้านวาล์วทรงกรวย และอัตราส่วนมวลเย็นที่เปลี่ยนแปลง



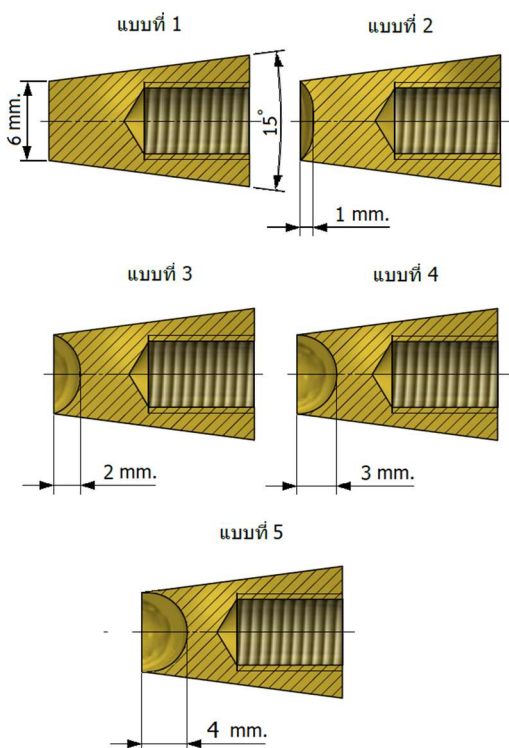
รูปที่ 5 ลักษณะทอว์เทกซ์จริง

เจนเนอเรเตอร์ของทอว์เทกซ์จะทำหน้าที่บังคับทิศทางของลมให้หมุนรอบภายในตัวทอว์เทกซ์ไหลไปกระทบกับวาล์วทรงกรวย และกระแสลมส่วนหนึ่งจะกลับมายังเจนเนอเรเตอร์เข้าไปที่รูตรงกลาง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เจเนอเรเตอร์

ลักษณะการเปลี่ยนระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยในทอว์อร์ทกซ์ โดยที่จะมีลักษณะเป็นกรวยตัดปลายออก และวาล์วทรงกรวยจะมีความเรียว 15° จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวย มีขนาดระยะ 0 มิลลิเมตร (ปลายตัดเรียบ), 1, 2, 3 และ 4 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 7 และวาล์วทรงกรวยนั้นได้ทำมาจากทองเหลือง โดยมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 7 ลักษณะการเปลี่ยนระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยในทอว์อร์ทกซ์



รูปที่ 8 วาล์วทรงกรวยในทอว์อร์ทกซ์ที่ระยะโค้งเว้า 3 มิลลิเมตร

3.2 วิธีการทดลองและเก็บผล

ในการเตรียมการทดลองโดยใช้ชุดปั๊มและถังลมเป็นแหล่งจ่ายลมให้กับชุดทอว์อร์ทกซ์ ควบคุมความดันโดยตัวควบคุมอากาศ (Air regulator) ดังแสดงในแผนผังวงจรอุปกรณ์ในการทดลองชุดทอว์อร์ทกซ์ รูปที่ 9 การทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ ได้กำหนดเงื่อนไขในการทดลอง ดังนี้

1) ความดันที่ทางเข้า (Inlet Pressure) 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4 Bar (gauge pressure) ควบคุมความดันโดยตัวควบคุมความดันอากาศ และเกจวัดความดัน (Pressure regulator and pressure gauges)

2) อุณหภูมิที่ทางเข้า (Inlet Temperature) ในการทดลองนี้เป็นการทดลองแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิโดยอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 33°C (306 K)

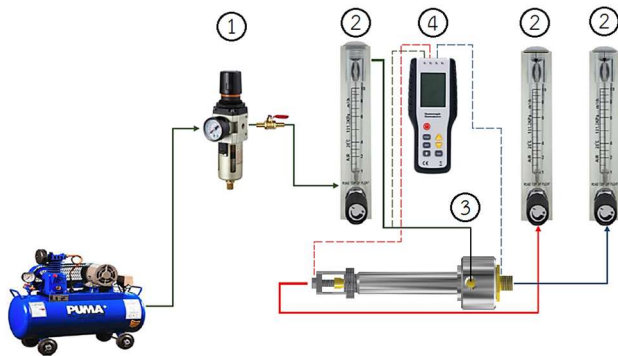
3) ความดันอ้างอิง (Reference pressure) ที่ความดันบรรยากาศ 101,325 Pa (absolute)

ในการทดลองและบันทึกผลจะมีลำดับขั้นตอนดังนี้

- 1) ตรวจสอบความพร้อมของชุดทดลองทอว์อร์ทกซ์
- 2) นำวาล์วทรงกรวย แต่ละขนาดมาติดตั้ง
- 3) นำเครื่องมือวัดอุณหภูมิมาติดตั้งทั้งสองด้านของทอว์อร์ทกซ์ และให้อยู่ในตำแหน่งที่สัมผัสกับลม
- 4) เปิดลมจากถังอัดลมที่วาล์ว

5) เมื่อเปิดอากาศอัดเข้าไป 2 นาที จึงทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความดัน และ อัตราการไหลของอากาศ โดยมีการเก็บข้อมูลซ้ำสามรอบ

6) ทำการสรุปผลการทดลอง



1. Air regulator
2. Inlet Rotameter
3. Inlet Pressure
4. Thermocouple
5. Hot Outlet Rotameter
6. Cold Outlet Rotameter

รูปที่ 9 แผนผังวงจรอุปกรณ์ในการทดสอบชุดทอเวอร์เท็กซ์

จากรูปที่ 9 ในการเริ่มการทดลองนั้น เริ่มจากเปิดการทำงานของชุดปั๊มและถังลมให้มีความดันมากกว่า 4 Bar จากนั้นอากาศอัดจะไหลผ่านตัวควบคุมความดันอากาศ และเกจวัดความดัน (1) เพื่อควบคุมความดันอากาศ เมื่ออากาศไหลออกจากตัวควบคุมความดันอากาศแล้วอากาศอัดจะไหลเข้าอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ (2) จากนั้นอากาศอัดจะไหลเข้าไปยังทางเข้าของทอเวอร์เท็กซ์ (3) แล้วอากาศจะไหลแยกออกไปสองทาง โดยด้านทางออกอุณหภูมิสูง อากาศจะไหลเข้าไปยังอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ (5) และอีกด้านของทอเวอร์เท็กซ์อากาศจะไหลออกด้านทางออกอุณหภูมิต่ำแล้วไหลเข้าไปยังอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ (6) และมีการวัดอุณหภูมิที่ทางออกทั้งสองด้านโดย Thermocouple (4)

4. ผลการศึกษา

การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยต่อค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นและสมรรถนะการทำความเย็นของทอเวอร์เท็กซ์ โดยวิธีทดลองการไหลของอากาศที่ไหลเข้าไปในทอเวอร์เท็กซ์นั้นอากาศเกิดการไหลหมุนรอบในแนวแกน และไหลหมุนออกด้านที่มีวาล์วทรงกรวย อากาศส่วนหนึ่งจะไหลย้อนกลับออกไปอีกด้าน ได้

ส่งผลต่ออัตราส่วนมวลเย็น อุณหภูมิที่ทางออกด้านอุณหภูมิสูง และด้านอุณหภูมิต่ำ ประสิทธิภาพการทำความเย็น และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นในการทดลองมีดังนี้

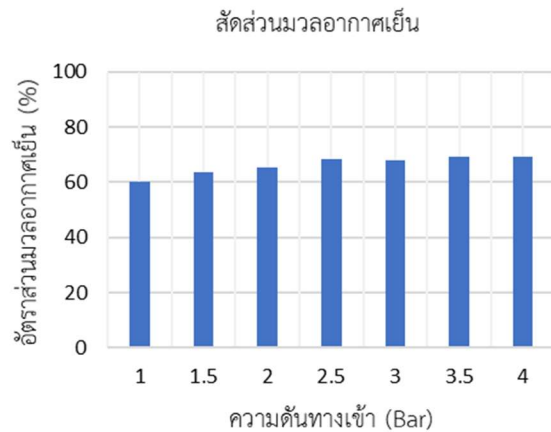
4.1 ผลของอัตราส่วนมวลเย็น

จากการทดลองได้มีการเก็บผลของอัตราส่วนมวลของอากาศเย็น หรืออัตราส่วนของอัตราการไหลของมวลเย็นต่ออัตราการไหลของมวลอากาศเข้าทั้งหมด โดยในการทดลองนี้ ได้ทำการปรับตำแหน่งของวาล์วทรงกรวยให้อยู่ตำแหน่งเดียวกันทั้งหมด ซึ่งไม่ได้ทำการปรับตั้งอัตราการไหลที่ทางออกทั้งสองด้าน และพบว่าลักษณะของวาล์วแต่ละระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยมีผลต่ออัตราส่วนมวลของอากาศเย็นน้อยมาก และความดันที่ทางเข้าจะส่งผลต่ออัตราส่วนมวลเย็นมากกว่าระยะโค้งเว้าของหน้าตัดของวาล์วทรงกรวย เมื่อความดันที่ทางเข้าเพิ่มขึ้นอัตราส่วนมวลเย็นก็เพิ่มขึ้นตามเนื่องจากอากาศจะดันออกไปที่ทางออกที่ใกล้กว่า และอัตราส่วนมวลอากาศเย็นที่ได้นั้น โดยมีรายละเอียดอัตราส่วนมวลอากาศเย็นที่ได้จากอัตราการไหลของอากาศทางเข้าและทางออกด้านอุณหภูมิต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราส่วนมวลเย็น

ความดันทางเข้า (Bar)	อัตราส่วนมวลเย็นแต่ละระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวย				
	0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm
1	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
1.5	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
2	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
2.5	0.69	0.69	0.69	0.67	0.67
3	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
3.5	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
4	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69

จากข้อมูลในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวย และความดันจะมีผลต่ออัตราส่วนมวลอากาศเย็นเล็กน้อย ดังแสดงในแผนภูมิอัตราส่วนมวลอากาศเย็นเฉลี่ยของแต่ละระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวย รูปที่ 10



รูปที่ 10 แผนภูมิอัตราส่วนมวลอากาศเย็น

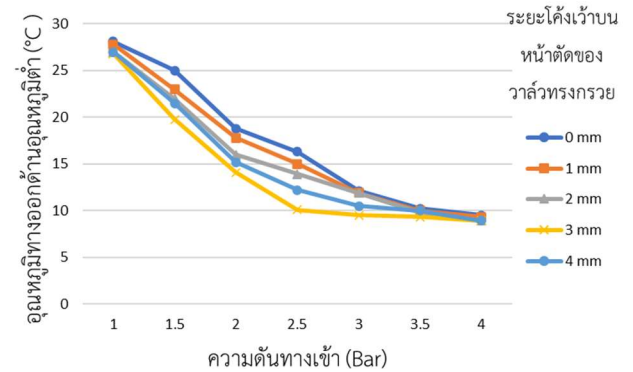
4.2 ผลของอุณหภูมิที่ทางออกด้านอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิอากาศที่ลดลง

ผลของอุณหภูมิที่ทางออกด้านอุณหภูมิต่ำ ซึ่งทำการวัดอุณหภูมิอากาศที่ไหลออกจากบริเวณแกนกลางของท่อวอร์เทกซ์ด้านอุณหภูมิต่ำ ซึ่งเกิดปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิของอากาศบริเวณแกนกลางของท่อวอร์เทกซ์ลดลงที่ทางออก และอุณหภูมิของอากาศจะลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความดันที่ทางเข้าของอากาศ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3

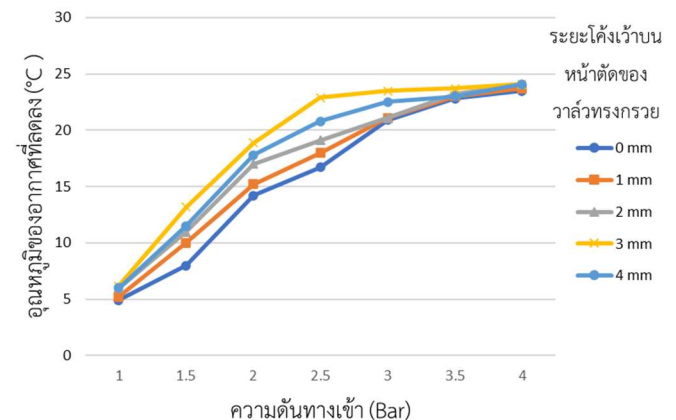
ตารางที่ 3 อุณหภูมิทางออกด้านอุณหภูมิต่ำ (T_c)

ความดันทางเข้า (Bar)	อุณหภูมิทางออกด้านอุณหภูมิต่ำ ในแต่ละระยะ โคง์วาล์วบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวย °C				
	0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm
1	28.1	27.8	27	26.8	27
1.5	25	23	22	19.8	21.5
2	18.8	17.8	16	14.1	15.2
2.5	16.3	15	13.9	10.1	12.2
3	12.1	11.9	11.9	9.5	10.5
3.5	10.2	10	9.8	9.3	10
4	9.5	9.3	8.9	8.9	8.9

จากข้อมูลในตารางที่ 3 อุณหภูมิทางออกด้านอุณหภูมิต่ำนั้นจะเห็นได้ว่า เมื่อความดันของอากาศที่ทางเข้าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิก็จะมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในแผนภูมิของอุณหภูมิทางออกด้านอุณหภูมิต่ำ รูปที่ 11

รูปที่ 11 แผนภูมิของอุณหภูมิทางออกด้านอุณหภูมิต่ำ (T_c)

จากรูปที่ 11 ผลของอุณหภูมิทางออกของอากาศเย็นแสดงให้เห็นว่าค่าความดันของอากาศที่ทางเข้าท่อวอร์เทกซ์ มีผลทำให้อุณหภูมิลดลง เนื่องจากความดันที่เพิ่มทำให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น อากาศในท่อวอร์เทกซ์มีความเร็วสูงขึ้น ทำให้มีการถ่ายพลังงานงานจลน์จากอากาศที่ไหลบริเวณแกนกลางท่อวอร์เทกซ์ไปยังอากาศที่อยู่บริเวณผนังท่อ ทำให้อากาศบริเวณแกนกลางท่อวอร์เทกซ์มีอุณหภูมิต่ำลง ส่วนระยะโค้งวาล์วบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยทำให้อากาศบริเวณแกนกลางไหลย้อนกลับ และไหลออกทางด้านอากาศร้อนน้อยลงทำให้อากาศเย็นที่ไหลย้อนกลับมีการถ่ายพลังงานงานจลน์เพิ่มขึ้น และพบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นช่วง 3 ถึง 4 Bar ในแต่ละขนาดของระยะโค้งวาล์วบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวย จะส่งผลต่ออุณหภูมิทางออกของอากาศเย็นต่างกันน้อยลง โดยมีอุณหภูมิต่ำสุดที่ 8.9 °C ที่ระยะโค้งวาล์วบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยขนาด 2, 3, และ 4 มิลลิเมตร ที่ความดัน 4 Bar

รูปที่ 12 แผนภูมิของอุณหภูมิของอากาศที่ลดลง (ΔT_c)

จากรูปที่ 12 ผลของอุณหภูมิของอากาศที่ลดลง แสดงให้เห็นว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นมากกว่า 1 Bar ในแต่ละขนาดของระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวย จะส่งผลต่ออุณหภูมิของอากาศที่ลดลง ที่มีความแตกต่างกัน โดนช่วงความดัน 2.5 Bar นั้นพบว่าระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยมีความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศที่ลดลงมากที่สุด

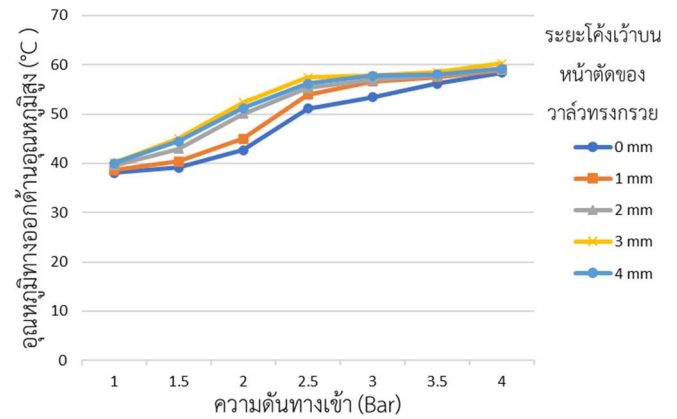
4.3 ผลของอุณหภูมิที่ออกด้านอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้น

ผลของอุณหภูมิที่ออกด้านอุณหภูมิสูง เป็นอากาศที่ไหลวนอยู่ขอบด้านนอกของการไหลบริเวณผิวของท่อวอร์เท็กซ์ด้านใน โดยอากาศจะไหลออกที่ช่องว่างระหว่างท่อวอร์เท็กซ์กับวาล์วทรงกรวย ซึ่งจะเกิดปรากฏการณ์ที่ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่ออกมานั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยอุณหภูมิที่วัดได้จากทางออกด้านอุณหภูมิสูงมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อุณหภูมิที่ทางออกด้านอุณหภูมิสูง T_h

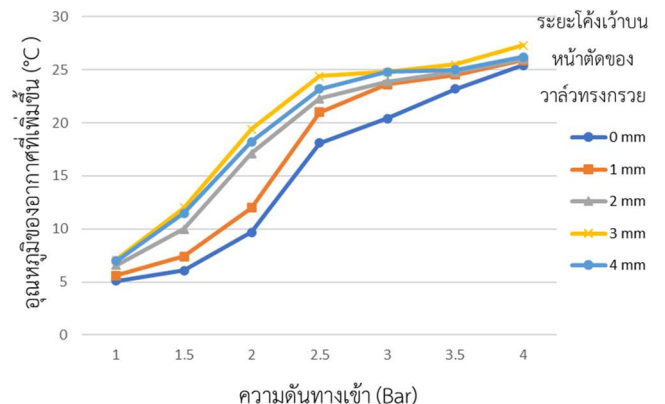
ความดันทางเข้า (Bar)	อุณหภูมิที่ทางออกด้านอุณหภูมิสูง ในแต่ละระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวย °C				
	0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm
1	38.1	38.6	39.6	40.1	40
1.5	39.1	40.4	43	45	44.5
2	42.7	45	50.1	52.4	51.2
2.5	51.1	54	55.3	57.4	56.2
3	53.4	56.6	56.9	57.8	57.8
3.5	56.2	57.5	57.8	58.5	58
4	58.4	58.9	59	60.3	59.2

จากข้อมูลในตารางที่ 4 อุณหภูมิที่ทางออกด้านอุณหภูมิสูงนั้น มีอุณหภูมิที่วัดได้จะอยู่ในช่วง 38.1 ถึง 60.3 °C และจะเห็นว่า เมื่อความดันอากาศที่ทางเข้าท่อวอร์เท็กซ์เพิ่มขึ้น และระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยที่เพิ่มขึ้นถึง 3 มิลลิเมตร จะส่งผลให้อุณหภูมิที่ทางออกจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในแผนภูมิของอุณหภูมิที่ทางออกด้านอุณหภูมิสูง รูปที่ 13



รูปที่ 13 แผนภูมิของอุณหภูมิที่ทางออกด้านอุณหภูมิสูง (T_h)

จากรูปที่ 13 ระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยขนาด 3 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิที่ทางออกทางด้านอุณหภูมิสูงมากกว่าขนาดอื่นในแต่ละช่วงความดัน เนื่องจากระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยจะช่วยให้อากาศเย็นที่แกนกลางไหลกลับไปอีกด้านไม่ไหลออกด้านอุณหภูมิสูง และการเพิ่มขึ้นของความดันทำให้ความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทพลังงานจลน์มายังอากาศบริเวณขอบนอกของการไหลของอากาศ ทำให้อากาศที่ไหลออกมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความดันเพิ่มขึ้นถึง 4 Bar ในแต่ละขนาดของระยะโค้งบนวาล์วทรงกรวย จะส่งผลต่ออุณหภูมิที่แตกต่างกันไม่มากนัก โดยมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 60.3 °C ที่ระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยขนาด 3 มิลลิเมตร ที่ความดัน 4 Bar ผลของอุณหภูมิทางออกของอากาศร้อน แสดงให้เห็นว่าค่าความดันของอากาศที่ทางเข้าท่อวอร์เท็กซ์นั้นมีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น

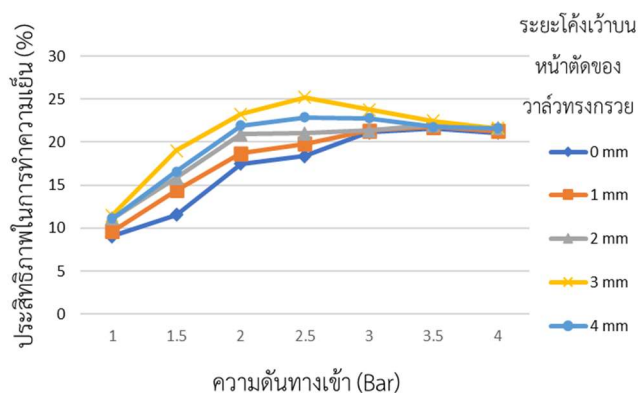


รูปที่ 14 แผนภูมิของอุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้น (ΔT_h)

จากรูปที่ 14 แผนภูมิของอุณหภูมิของอากาศร้อนที่เพิ่มขึ้นนั้น แสดงให้เห็นว่าความดันในช่วง 1.5 ถึง 3 Bar ในแต่ละขนาดของระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยจะส่งผลต่ออุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิมากที่สุดในช่วงความดัน 2 Bar และเมื่อความดันสูงขึ้นความแตกต่างของอุณหภูมิก็น้อยลง

4.4 ประสิทธิภาพการทำความเย็นที่เกิดขึ้นในการเปลี่ยนแปลงระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวย

จากผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของทอเวอร์เทกซ์ ที่ระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวย 3 มิลลิเมตร ความดัน 2.5 Bar มีประสิทธิภาพสูงสุดถึง 25.2 % เนื่องจากระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยขนาด 3 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิของอากาศที่ลดลงมากกว่าขนาดอื่น ดังนั้นจึงส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นมากกว่า แต่เมื่อเพิ่มความดันถึง 4 Bar ประสิทธิภาพการทำความเย็นจะมีแนวโน้มที่ลดลง เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศที่ลดลงนั้น ลดลงไม่มาก แต่ความดันที่ใส่เข้าไปนั้นเพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในแผนภูมิประสิทธิภาพการทำความเย็นของทอเวอร์เทกซ์ รูปที่ 15

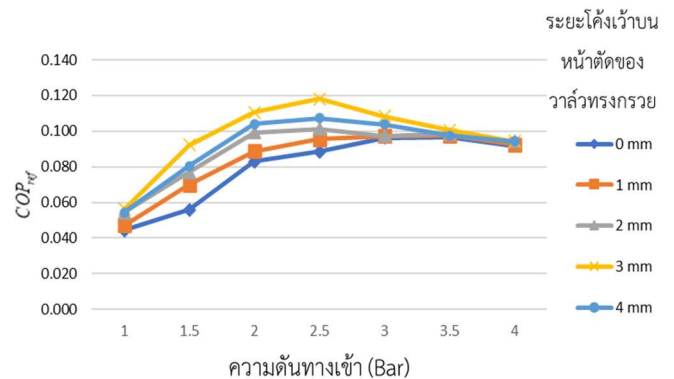


รูปที่ 15 แผนภูมิประสิทธิภาพการทำความเย็นของทอเวอร์เทกซ์

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า เมื่อระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยเพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นที่สูงขึ้น และที่ระยะโค้งเว้าบน

หน้าตัดของวาล์วทรงกรวยขนาด 3 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงกว่าระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยขนาดอื่น

4.5 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นที่เกิดขึ้นในการเปลี่ยนแปลงระยะโค้งของวาล์วทรงกรวย



รูปที่ 16 แผนภูมิสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของทอเวอร์เทกซ์

จากรูปที่ 16 ผลของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของทอเวอร์เทกซ์ที่ระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยต่อความดันที่เพิ่มขึ้น จะพบว่าที่ระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวย 3 มิลลิเมตร ความดัน 2.5 Bar มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นสูงสุดที่ 0.11 เนื่องจากความดันที่เพิ่มขึ้น อัตราส่วนมวลเย็นที่เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิของอากาศที่ลดลงมากกว่าระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยขนาดอื่น ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความดันถึง 4 Bar ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นจะมีแนวโน้มที่ลดลง เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศที่ลดลงนั้นจะเริ่มลดลงไม่มากนัก แต่ความดันที่ใส่เข้าไปนั้นเพิ่มขึ้น จากผลของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของทอเวอร์เทกซ์ ที่ระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยขนาด 0, 1, 2, 3 และ 4 มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าสมรรถนะการทำความเย็นของทอเวอร์เทกซ์ มีค่าสูงขึ้นตามขนาดของระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวย และความดันของอากาศ

5. สรุปผลการศึกษา

สรุปผลการศึกษาผลกระทบของระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นของทอว์เทกซ์ พบว่าในแต่ละระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยจะส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นและสมรรถนะการทำความเย็นของทอว์เทกซ์ เมื่อระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิที่ทางออกด้านอุณหภูมิต่ำนั้นต่ำลง และระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยที่ 3 มิลลิเมตร ที่ความดัน 2.5 Bar จะทำให้ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นและสมรรถนะการทำความเย็นของทอว์เทกซ์มีค่ามากที่สุดในการทดลองนี้

จากการปรับค่าความดันที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิที่ทางออกด้านอุณหภูมิต่ำนั้นต่ำลง โดยผลที่ได้ในงานวิจัยนี้พบว่าที่ความดัน 4 Bar จะได้อุณหภูมิที่ทางออกด้านอุณหภูมิต่ำนั้นต่ำสุดในการทดลองครั้งนี้ แต่จะมีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นและสมรรถนะการทำความเย็นที่ลดลง เนื่องจากการใช้ความดันที่เพิ่ม แต่อุณหภูมิของอากาศที่ลดลงมีแนวโน้มลดลงไม่มาก

6. อภิปรายผล

การศึกษานี้ได้ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นในการเปลี่ยนระยะโค้งเว้าบนวาล์วทรงกรวย ในการทดลองพบว่าเมื่อระยะโค้งเว้าบนวาล์วทรงกรวยที่เพิ่มขึ้น จะทำให้อุณหภูมิที่ทางออกด้านอุณหภูมิต่ำนั้นต่ำลง และระยะโค้งเว้าบนวาล์วทรงกรวยเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้อากาศบริเวณแกนกลางที่มีอุณหภูมิต่ำไหลไปกระทบวาล์วทรงกรวย โดยที่ผิวโค้งเว้าของวาล์วทรงกรวยจะช่วยให้อากาศบริเวณแกนกลางไหลออกทางด้านอากาศร้อนน้อยลง หลังจากอากาศกระทบที่วาล์วทรงกรวยแล้ว อากาศจะไหลกลับไปยังอีกด้านของทอว์เทกซ์ นอกจากนั้นความดันที่เพิ่มเข้าไปในทอว์เทกซ์นั้น ทำให้อากาศในทอว์เทกซ์มีความเร็วสูงขึ้น มีการถ่ายพลังงานงานจลน์จากอากาศที่ไหลบริเวณแกนกลางทอว์เทกซ์ไปยังอากาศที่อยู่บริเวณผนังท่อ ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิที่ทางออกด้านอุณหภูมิต่ำนั้นให้ต่ำลง และผลของการทดลองการไหลของอากาศในทอว์เทกซ์นี้ยังสอดคล้องกับการทดลองที่มีอยู่ในปัจจุบันที่ได้มีการศึกษา

ค่าพารามิเตอร์ทางรูปทรงของทอว์เทกซ์ จำนวนมากที่ส่งผลต่อสมรรถนะของทอว์เทกซ์

จากผลของงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มระยะโค้งเว้าบนหน้าตัดของวาล์วทรงกรวยที่ตัดปลาย และความดันนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นและสมรรถนะการทำความเย็นของทอว์เทกซ์ได้ นอกจากนี้ระหว่างการทดลองยังพบว่า ในส่วนของช่องว่างระหว่างวาล์วทรงกรวยกับตัวทอว์เทกซ์ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ปริมาณอากาศที่ออกด้านวาล์วทรงกรวยเปลี่ยน และทำให้อัตราส่วนมวลเย็นเปลี่ยนแปลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น ที่ได้สนับสนุนให้งบประมาณ และเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hilsch R. The use of the expansion of gases in a centrifugal field as cooling process. *Review of Scientific Instruments*. 1947;18(2):108-13.
- [2] Gutak AD. Experimental investigation and industrial application of Ranque-Hilsch vortex tube. *International Journal of Refrigeration*. 2015;49:93-8.
- [3] Subudhi S, Sen M. Review of Ranque-Hilsch vortex tube experiments using air. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015;52:172-8.
- [4] Kumar RM, Reddy VN, Babu BD. Performance improvement of Ranque-Hilsch vortex tube by using conical hot tube. *International Journal of Engineering Research*. 2014;3(1):48-51.
- [5] R.Madhu Kumar RM, Sudheer N. Performance improvement of Ranque-Hilsch vortex tube by varying inside Surface roughness of hot tube. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. 2014;1(4):297-301.
- [6] Attalla M, Salem M, EL-Wafa AA. An experimental investigation of the optimum geometry for

energy separation of the Ranque-Hilsch vortex tube. *International Journal of Mechtronics and Mechanical Engineering*. 2014;14:31-7.

- [7] Markal B, Aydin O, Avci M. An experimental study on the effect of the valve angle of counter-flow Ranque–Hilsch vortex tubes on thermal energy separation. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2010;34(7):966-71.
- [8] Agrawal N, Naik SS, Gawale YP. Experimental investigation of vortex tube using natural substances. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2014;52:51-5.
- [9] Rafiee SE, Sadeghiazad MM. Three-dimensional and experimental investigation on the effect of cone length of throttle valve on thermal performance of a vortex tube using k- ϵ turbulence model. *Applied Thermal Engineering*. 2014;66:65-74.
- [10] Rafiee SE, Sadeghiazad MM. Experimental and 3D CFD investigation on heat transfer and energy separation inside a counter flow vortex tube using different shapes of hot control valves. *Applied Thermal Engineering*. 2017;110: 648-64.