

**การศึกษาผลของความยาวท่อต่อการแยกอุณหภูมิในท่อยอร์เทกซ์
โดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ**

**A STUDY OF THE EFFECT OF THE LENGTH ON THE TEMPERATURE SEPARATION
IN THE VORTEX TUBE BY COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS**

อภิชาติ แจ่มบำรุง*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
50 ถนนพหลโยธิน กรุงเทพมหานคร 10900

* ติดต่อ: E-mail: fengacc@ku.ac.th โทรศัพท์: 0-2942-8555 ต่อ 1865, โทรสาร: 0-2579-4576

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการแยกอุณหภูมิของอากาศภายในท่อยอร์เทกซ์ โดยใช้หลักการของพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ท่อยอร์เทกซ์ที่ทำการจำลองมีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางเข้าขนาด 2.1 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางออกด้านร้อนขนาด 6.4 มิลลิเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางออกด้านเย็นจะปรับเปลี่ยนโดยพิจารณาจากอัตราส่วนของการไหลเชิงมวลของอากาศทางเข้าต่ออัตราการไหลเชิงมวลของอากาศทางออกด้านเย็น (cold mass fraction, μ_c) โดยที่ค่า μ_c จะถูกเปลี่ยนจาก 0.1 ถึง 1.0 เพื่อศึกษาถึงอุณหภูมิที่ต่างกันสูงสุดระหว่างอุณหภูมิอากาศทางเข้ากับอุณหภูมิอากาศทางออกด้านเย็น ผลการศึกษาพบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง μ_c จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศทางเข้าต่ออุณหภูมิอากาศทางออกด้านเย็นมีลักษณะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดและลดลงอีกครั้งเมื่อค่าของ μ_c เพิ่มขึ้น และค่า μ_c ที่ทำให้ผลแตกต่างของอุณหภูมิมียุคมากที่สุดคือ 0.3

ผลของค่าอัตราส่วนของการไหลเชิงมวลของอากาศทางเข้าต่อการไหลเชิงมวลของอากาศทางออกด้านเย็นที่ให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิมากที่สุด ($\mu_c = 0.3$) จะถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของความยาวท่อยอร์เทกซ์ต่ออุณหภูมิของอากาศทางออกด้านเย็น ซึ่งทำการศึกษาโดยเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวของท่อยอร์เทกซ์จาก 8D เป็น 12D, 16D, 20D, 24D, 28D, 32D และ 36D ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนความยาวของท่อยอร์เทกซ์ในช่วง 8D ถึง 36D ไม่มีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิของอากาศทางออกเย็น

คำหลัก: ท่อยอร์เทกซ์, การแยกอุณหภูมิ, วิถีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Abstract

This research presents the temperature separation due to turbulent flow of air in vortex tube by computational fluid dynamics. The diameter of inlet tube was 2.1 millimeter, the hot outlet tube diameter was 6.4 millimeter and the cold outlet tube diameter was varied by cold mass fraction, μ_c (the ratio of inlet mass flow rate per cold outlet mass flow rate) from 0.1 to 1.0. The result was shown that the best of

differential temperature of inlet temperature with cold outlet temperature (called “temperature reduction”, $T_i - T_c$) was at the cold mass fraction (μ_c) equal to 0.3.

The value of μ_c equal to 0.3 was used to study the effect of the vortex tube's length on temperature reduction. The vortex tube's length was varies for 8D, 12D, 16D, 20D, 24D, 28D, 32D and 36D respectively. The results showed that the vortex tube's length from 8D to 36D did not affect on temperature reduction.

Keywords: vortex tube, temperature separation, CFD

1. บทนำ

ทอเวอร์เทกซ์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างอากาศเย็นและอากาศร้อนซึ่งมีลักษณะทางกายภาพที่ไม่ซับซ้อนและไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ ทอเวอร์เทกซ์ทำงานโดยอากาศจะไหลเข้าในแนวเส้นสัมผัสของท่อด้วยความเร็วสูงประมาณ 150-250 m/s และไหลวนภายในท่อด้วยความเร็วสูง โดยที่บริเวณผนังท่ออากาศจะมีความร้อนสูง ส่วนบริเวณใจกลางท่ออากาศจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งสามารถนำอากาศที่มีอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งสองทาง การออกแบบการแยกอุณหภูมิภายในทอเวอร์เทกซ์ในอดีตยังไม่มี การพิสูจน์อย่างชัดเจน ดังนั้นการนำเอาหลักการของกลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) มาใช้ในการออกแบบและศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ก่อนที่จะทำการสร้างทอเวอร์เทกซ์จริงหรือพัฒนารูปแบบของทอเวอร์เทกซ์ให้มีลักษณะที่ดียิ่งขึ้นและมีประสิทธิภาพในการแยกอุณหภูมิมากขึ้น

เนื่องจากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในทอเวอร์เทกซ์ถูกค้นพบโดยบังเอิญและมีการศึกษากันมาอย่างต่อเนื่องด้วยวิธีการต่างๆ กัน เช่น การทดลองสร้างทอเวอร์เทกซ์ขึ้นทดสอบ ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะมีความสิ้นเปลืองงบประมาณ อีกทั้งการทดลองอาจจะไม่สำเร็จอีกด้วย ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้จึงเน้นการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของการแยกอุณหภูมิของอากาศในทอเวอร์เทกซ์โดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) เริ่มโดยการออกแบบขนาดท่อทางเข้าทอเวอร์เทกซ์และทางออกทางด้านร้อนและด้านเย็นโดยอาศัยค่าสัดส่วนมวลอากาศเย็นต่อการแยกชั้นอุณหภูมิ เพื่อหาสัดส่วนมวลอากาศที่ดีที่สุดที่ทำให้

การแยกชั้นอุณหภูมิมีค่าสูงที่สุดนั่นเอง และงานวิจัยนี้ยังศึกษาผลของความยาวของทอเวอร์เทกซ์ต่อการแยกชั้นอุณหภูมิอีกด้วย โดยผลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาทอเวอร์เทกซ์เพื่อใช้ในงานการระบายความร้อนของเครื่องจักร (cooling system) หรือในระบบการทำความเย็นต่อไปในอนาคต

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทอเวอร์เทกซ์ได้เริ่มต้นจากงานของ Ranque [1] ผู้ซึ่งเป็นผู้บุกเบิกงานวิจัยเกี่ยวกับทอเวอร์เทกซ์ โดยที่ได้ทำการศึกษาปรากฏการณ์การแยกชั้นของอุณหภูมิหรือพลังงานภายในทอเวอร์เทกซ์โดยการให้อากาศอัดตัวไหลผ่านเข้าไปในแนวสัมผัสกับทอเวอร์เทกซ์ ผลการศึกษาของเขาพบว่า อากาศที่บริเวณผนังท่อมียุณหภูมิสูงกว่าอากาศบริเวณกลางท่อ

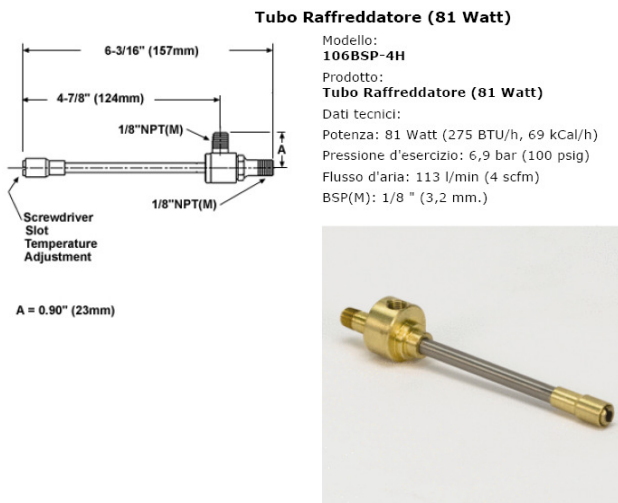
ต่อจากนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทอเวอร์เทกซ์ได้มีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในต่างประเทศ [2,3,4,5,6,7] และในประเทศ งานวิจัยในประเทศที่สำคัญได้แก่ งานของ วราคม เนติน้อย และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาทดลองการแยกชั้นของอุณหภูมิภายในทอเวอร์เทกซ์แบบไหลสวนทางกันโดยการติดตั้งชุดหัวฉีดแบบห้อยไขว้จากเดิมที่มีการไหลเข้าไปในแนวสัมผัสแบบตรง ในการทดลองได้ทำศึกษาผลของค่าสัดส่วนมวลอากาศเย็นต่อการลดลงของอุณหภูมิอากาศเย็นหรือการแยกชั้นของอุณหภูมิภายในทอเวอร์เทกซ์ และได้ทำการหาสหพันธ์ของชุดการทำความเย็นทอเวอร์เทกซ์ จากผลการทดลองพบว่า การปรับค่าสัดส่วนมวลอากาศเย็นจะมีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิหรือการแยกชั้นอุณหภูมิ/พลังงานภายในทอเวอร์เทกซ์อย่างมากและจะมีผลต่อ

การแยกชั้นอุณหภูมิสูงสุดที่ช่วงค่าสัดส่วนมวลอากาศเย็นเท่ากับ 0.3 ถึง 0.4 สำหรับการติดตั้งชุดหัวฉีดแบบหอยโข่งที่ทางเข้าจะช่วยลดอุณหภูมิของอากาศเย็นเทียบกับที่ทางเข้า (ΔT_i) ได้ถึง 33°C ที่ค่าสัดส่วนมวลอากาศเย็นเท่ากับ 0.34 ขณะที่ชุดหัวฉีดแบบดั้งเดิมจะมีค่าการลดอุณหภูมิของอากาศเย็นเทียบกับที่ทางเข้า (ΔT_i) เท่ากับ 16°C ที่ค่าสัดส่วนมวลอากาศเย็นเท่ากับ 0.33

2. ข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

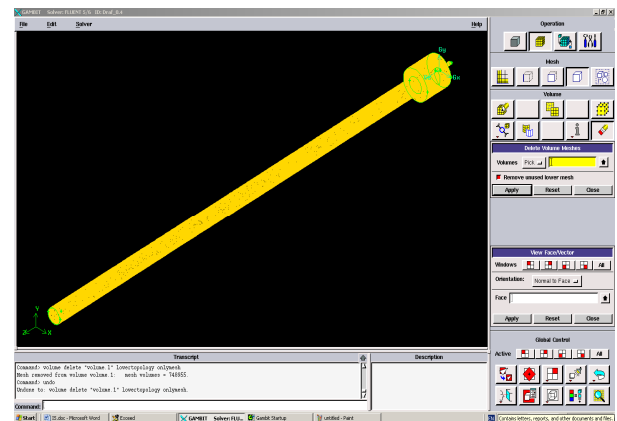
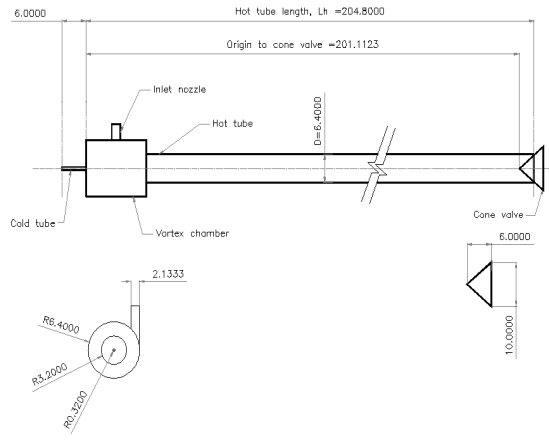
2.1 ข้อมูลทั่วไปของท่อวอร์เทกซ์ที่ใช้ในการศึกษา

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษากการแยกตัวของอุณหภูมิอันเนื่องมาจากการไหลของอากาศผ่านท่อวอร์เทกซ์ที่มีลักษณะทางกายภาพ ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยที่แบบจำลองและขนาดของส่วนต่างๆจะแสดงในภาพที่ 2 และตารางที่ 1 ซึ่งจำนวน mesh ที่ใช้ในการคำนวณมีจำนวนที่ขึ้นอยู่กับขนาดของ mesh ที่ใช้ โดยมีการเปลี่ยนขนาดของ mesh จาก 0.3 mm ไปจนถึง 0.6 mm



Temperature raggiunte con i Vortex Tube

ภาพที่ 1 ลักษณะท่อวอร์เทกซ์ที่ใช้ในการศึกษา



ภาพที่ 2 ขนาด และลักษณะของแบบจำลองในการศึกษา

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้พิจารณาการไหลของอากาศผ่านท่อวอร์เทกซ์ ซึ่งการไหลจะถูกกำหนดให้เป็นการไหลแบบปั่นป่วนที่สภาวะคงตัว (steady) ในระบบพิกัดฉาก 3 มิติ ซึ่งมีสมการที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.2.1 สมการกฎทรงมวล (continuum equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

2.2.2 สมการโมเมนตัม (momentum equation)

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial}{\partial x_i} (u_j) = \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{\partial p_i}{\partial x_i} + \rho g_i \quad (2)$$

2.2.3 สมการพลังงาน (energy equation)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E_T) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho E_T u_j) = \rho q + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k_E \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_j}(p u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij} u_i) + \rho g_i \quad (3)$$

2.3 แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด Standard $k - \varepsilon$

แบบจำลองการปั่นป่วนที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย 2 สมการโดยพิจารณาผลของการพาและการแพร่แบบปั่นป่วนของพลังงาน 2 ตัวแปร คือ Turbulent kinetic energy ซึ่งบ่งบอกถึงพลังงานของความปั่นป่วน และ Dissipation ที่แสดงให้เห็นถึงระดับของความปั่นป่วน

สมการพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (turbulent kinetic energy equation)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (4)$$

โดยที่ค่า k คือ พลังงานจลน์ของความปั่นป่วน, ε คือ อัตราการลดลงของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน, G_k คือ ค่าพจน์การผลิตของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน

โดยค่าพจน์การผลิตของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วนสามารถเขียนได้ดังนี้

$$G_k = -\overline{\rho u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (5)$$

ซึ่ง $\overline{\rho u'_i u'_j}$ คือ ค่าความเค้นเรย์โนลด์ในแบบจำลองเชิงเส้นนี้จะใช้ค่าความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นของ Boussinesq และค่าความหนืดหมุนวน (Eddy viscosity) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\mu_t = c_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

สมการอัตราการแพร่ของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (dissipation rate equation)

standard $k - \varepsilon$ model

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k \varepsilon_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + c_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} G_k - c_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (7)$$

ค่าคงที่ต่างๆ ภายในสมการมีค่าดังนี้

$$c_\mu = 0.09, c_{\varepsilon 1} = 1.44, c_{\varepsilon 2} = 1.92, \sigma_k = 1.0 \text{ และ } \sigma_\varepsilon = 1.3$$

3. วิธีดำเนินการ

1. ศึกษาขนาด mesh ที่เหมาะสม โดยทำการสร้างแบบจำลองของท่อวอร์เทกซ์โดยกำหนดขนาดของท่อตั้งตารางที่ 1 และทำการสร้าง mesh ด้วยขนาดต่างกันคือ 0.3 mm, 0.35 mm, 0.4 mm, 0.45 mm, 0.5 mm, 0.55 mm และขนาด 0.6 mm เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ลดลงและหาขนาดของ mesh ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 1 แสดงขนาดของท่อวอร์เทกซ์

ความยาวของท่อด้านร้อน, L_h (mm)	32D
ความยาวของท่อด้านเย็น, L_c (mm)	1D
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ, D (mm)	6.4
จำนวนท่อทางด้านเข้า	1
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางเข้า, d (mm)	2.133
ลักษณะของวาล์ว	Cone-shape valve

คุณสมบัติของอากาศที่ไหลผ่านท่อวอร์เทกซ์ในการศึกษาครั้งนี้แสดงในตารางที่ 2

มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิบริเวณกลางท่อ ดังแสดงในภาพที่ 3 และ ภาพที่ 4

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติของไหลที่ทางเข้าและทางออก

ของไหล	อากาศ
อุณหภูมิที่ท่อทางเข้า, T_i (K)	302.15
ความดันที่ท่อทางเข้า, P_i (Pa)	150000
อุณหภูมิของอากาศอ้างอิง, T_o (K)	300.15
ความดันของอากาศอ้างอิง, P_o (Pa)	0

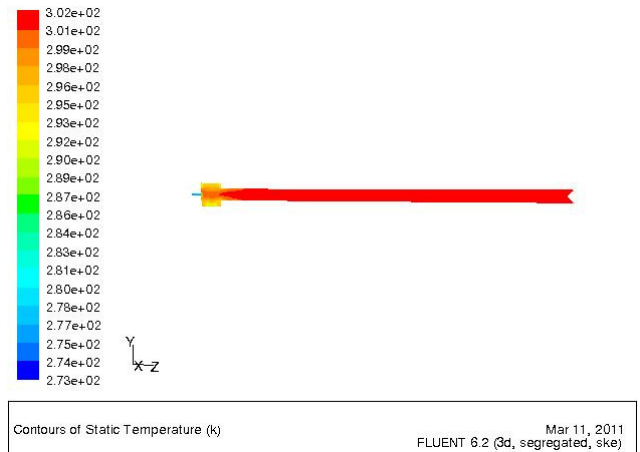
2. ศึกษาผลของ μ_c ต่อการแยกอุณหภูมิ ทำโดยสร้างแบบจำลองโดยการปรับขนาดของท่อทางออกด้านเย็นให้สัมพันธ์กับค่า cold mass fraction (μ_c) โดยกำหนดให้ μ_c มีค่า 0.1 ถึง 1.0 โดยทำตามขั้นตอนตามข้อ 1 โดยใช้ mesh size ที่เหมาะสมจากข้อ 1 และทำการศึกษาผลอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างอุณหภูมิทางเข้ากับอุณหภูมิทางออกด้านเย็น ($T_i - T_c$) และเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลงานวิจัยที่ผ่านมา

3. ศึกษาผลของความยาวท่อวอร์เทกซ์ต่อการแยกอุณหภูมิ ทำโดยสร้างแบบจำลองโดยการปรับเปลี่ยนขนาดของความยาวของท่อวอร์เทกซ์โดยใช้อัตราส่วนความยาวท่อต่อเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 8D ถึง 36D เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงความยาวท่อต่ออุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างอุณหภูมิทางเข้ากับอุณหภูมิทางออกด้านเย็น ($T_i - T_c$) และเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ทางออกด้านเย็นในแต่ละความยาว

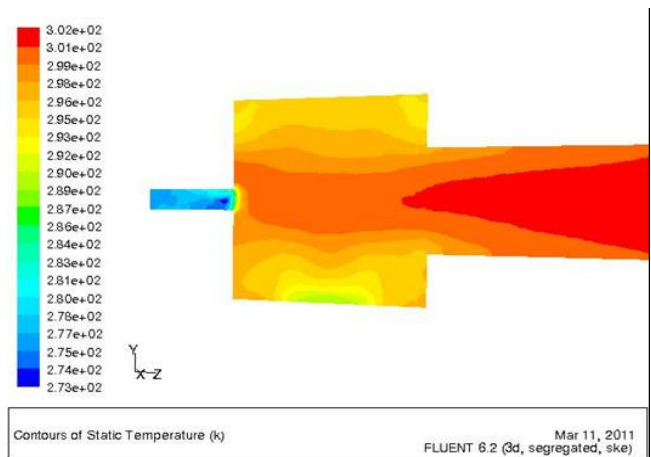
4. ผลการศึกษา

4.1 ผลของการศึกษาขนาด mesh ที่เหมาะสม

การแยกอุณหภูมิภายในท่อวอร์เทกซ์ซึ่งมีการไหลของอากาศแบบปั่นป่วนนั้นจะทำให้เกิดอุณหภูมิที่เย็นออกทางท่อทางออกด้านเย็น และมีอุณหภูมิที่ร้อนออกทางท่อทางออกด้านร้อน โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้ากับอุณหภูมิที่ทางออกด้านเย็นระหว่าง 20.65°C ถึง 29.07 °C และบริเวณผนังท่อจะ

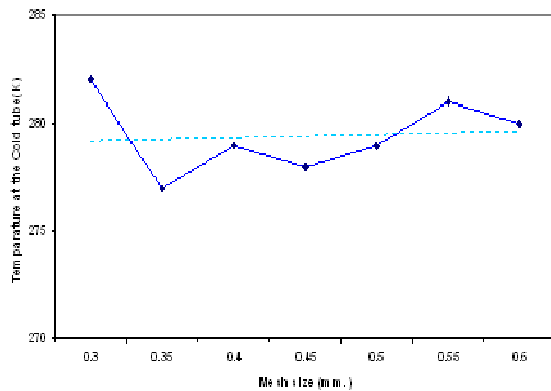


ภาพที่ 3 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในท่อวอร์เทกซ์



ภาพที่ 4 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่บริเวณทางออกด้านเย็น

ผลของอุณหภูมิที่ตำแหน่งกึ่งกลางของท่อวอร์เทกซ์ที่ได้จากการคำนวณโดยเปลี่ยนแปลงค่าขนาดของ mesh จะแสดงในภาพที่ 5 ด้านล่าง

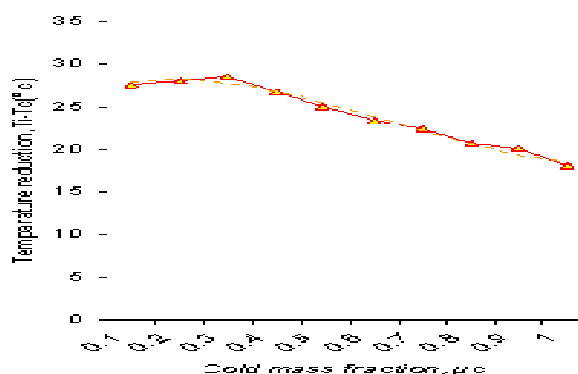


ภาพที่ 5 อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางท่อเมื่อมีการเปลี่ยนขนาด mesh ที่ใช้ในการคำนวณ

จากกราฟจะเห็นว่าผลของ mesh ที่เหมาะสมคือ 0.4 mm เนื่องจากให้ผลที่ใกล้เคียงกับกรณีที่มีขนาด mesh เล็ก แต่ระยะเวลาในการคำนวณต่ำกว่ามาก ซึ่งเป็นขนาดของ mesh เท่ากับ 0.4 จะถูกนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป

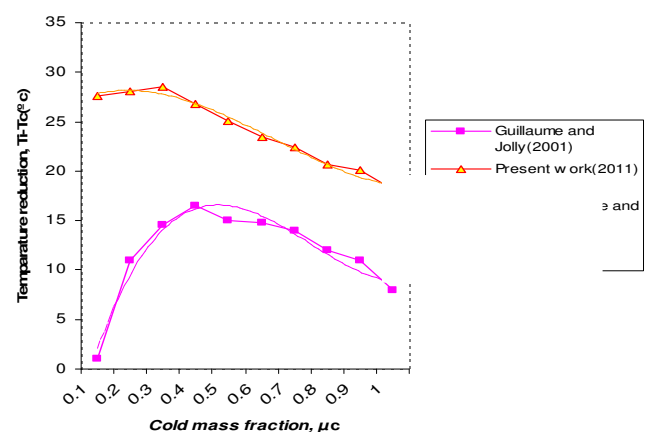
4.2 ผลการศึกษาผลของ μ_c ต่อการแยกอุณหภูมิ

กำหนดให้ μ_c มีค่า 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าค่า μ_c ที่ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้าต่ออุณหภูมิที่ทางออกด้านเย็น ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศทางเข้ากับอุณหภูมิอากาศทางออกด้านเย็นเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าของ μ_c

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ พบว่าในช่วงแรกค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศทางเข้ากับอุณหภูมิอากาศทางออกด้านเย็นจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า μ_c เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดที่ μ_c ประมาณ 0.3 จากนั้นค่าของความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศทางเข้ากับอุณหภูมิอากาศทางออกด้านเย็น จะลดลงเมื่อค่า μ_c เพิ่มขึ้น ดังนั้นค่า μ_c เท่ากับ 0.3 จะให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศทางเข้ากับอุณหภูมิอากาศทางออกด้านเย็นสูงที่สุดนั่นเอง และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Guillaume and Jolly [4] จะได้ผลดังแสดงในภาพที่ 7 ด้านล่าง



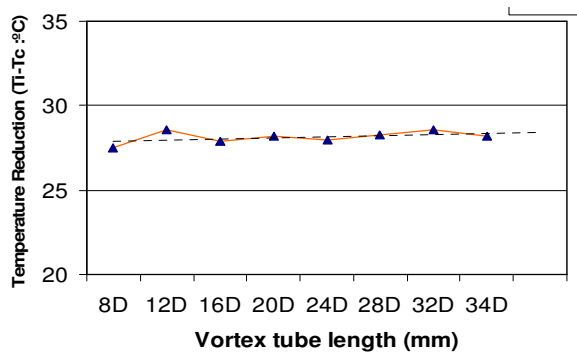
ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบผลของการศึกษากับงานวิจัยของ Guillaume and Jolly [4]

จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการศึกษาและผลจากการวิจัยที่ผ่านมาเห็นว่าค่า μ_c ที่ทำให้เกิดอุณหภูมิลดลงสูงที่สุดนั้นมีค่าใกล้เคียงกันคือ μ_c เท่ากับ 0.3 แต่ เนื่องจากการที่ไม่ทราบเงื่อนไขของอุณหภูมิอ้างอิงและความดันอ้างอิงของงานวิจัยและองค์ประกอบอื่นๆที่สำคัญ เพราะงานวิจัยของ Guillaume and Jolly [4] ไม่ระบุไว้ว่ามีผลกระทบกับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน อาทิเช่น การกำหนดอุณหภูมิที่ทางออกด้านร้อนและเย็น (hot tube and cold tube outlet temperature) การกำหนดขนาดของ cone

valve พื้นที่หน้าตัดที่ทางออกด้านร้อน เป็นต้น ซึ่งทำให้การศึกษาในครั้งนี้ต้องกำหนดค่าเอง ซึ่งส่งผลทำให้การกำหนดเงื่อนไขของค่าอ้างอิงและค่าอื่นๆที่แตกต่างกันทำให้เกิดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิจากการศึกษาในครั้งนี้มีค่าสูงกว่างานวิจัยของ Guillaume and Jolly [4] นั่นเอง

4.4 ผลการศึกษาผลของความยาวท่อวอร์เทกซ์ต่อการแยกอุณหภูมิ

ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวท่อวอร์เทกซ์จาก 8D ไปจนถึงค่า 36D ที่มีค่าเงื่อนไขขอบเขตเหมือนกันแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ลดลงตามขนาดความยาวของท่อวอร์เทกซ์

จากภาพพบว่าผลของการเปลี่ยนความยาวท่อโดยไม่เปลี่ยนตัวแปรอื่นๆ จะไม่ส่งผลต่อค่าการแตกต่างของอุณหภูมิอากาศทางเข้าต่ออุณหภูมิอากาศทางออกด้านเย็น

5.สรุป

1. จากการศึกษพบว่าท่อวอร์เทกซ์มีการแยกอุณหภูมิโดยอากาศที่มีอุณหภูมิเย็นจะไหลออกจากทางออกด้านเย็นและอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะไหลออกจากทางออกด้านร้อน

2. อัตราส่วนของ μ_c เท่ากับ 0.3 จะได้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศทางด้านท่อเข้า (inlet

nozzle) กับอุณหภูมิอากาศทางออกด้านเย็นโดยจะมีค่าประมาณ 275K หรือ 29°C

3. เมื่อพิจารณาจากกราฟ temperature reduction แล้วจะเห็นได้ว่าเมื่อ μ_c มีค่ามากขึ้นจนถึงค่าที่เกิดความอุณหภูมิที่ทางออกด้านเย็นมีความแตกต่างจากอุณหภูมิของท่อทางเข้าสูงสุดแล้วจะค่อยๆลดลงเมื่อ μ_c เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยที่ผ่านมา

4. อัตราส่วนความยาวท่อต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 8D, 12D, 16D, 20D, 24D, 28D, 32D และ 36D ตามลำดับ ไม่มีผลกระทบกับการแยกอุณหภูมิ

5. ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปพัฒนาท่อวอร์เทกซ์ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพัฒนาระบบทำความเย็นซึ่งมีผลดีกว่าระบบทำความเย็นด้วยสารทำความเย็น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ranque G, Experiences sur la détente giratoire productions simultanees d'un echappement d'air chaud et d'un echappement d'air froid, Journal of physics Radium, 1933, Paris 4, 112-114.
- [2] Cockerill T, Ranque-Hilsch vortex tubes, MS Thesis of University of Sunderland, 1995, UK.
- [3] Promvong P, Numerical simulation of turbulent compressible vortex-tubes flow, The 3rd Joint of ASME/JSME Fluid Engineering, 1999, USA.
- [4] Guillaume DW and Jolly JI, Demonstrating the achievement of the lower temperatures with two-stage vortex tubes, Review of Scientific Instruments, 2001, 72, 3446-3448.
- [5] Saidi MH and Valipour MS, Experimental modeling of vortex tube refrigerator, Applied Thermal Engineering, 2003, 23, 1971-1980.

- [6] Promvong P and Eiamsa-ard S,
Experimental investigation of temperature
separation in a vortex tube refrigerator with
snail entrance, Asean Journal on Science &
Technology for Development, 2004, 21, 297-
308.
- [7] Promvong P and Eiamsa-ard S,
Investigation on the vortex thermal
separation in a vortex tube refrigerator,
ScienceAsia Journal, 2005, 31, 215-223.
- [8] สมิทธิ์ เอี่ยมสะอาด, วราคม เน็ดน้อย, สมศักดิ์
เพชรกุล. 2541, การศึกษาเชิงตัวเลขของการ
แยกชั้นพลังงานภายในท่อวอร์เทกซ์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพฯ