

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนในฮีทซิงค์แบบหนามที่มีการสั่นสะเทือนชนิดความถี่ต่ำ

Study of Heat Transfer in Pin Fin Heat Sink with Low Frequency Vibration

สืบสกุล สุวรรณ์

จิโรจน์ บุรณะโรจน์

อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

E-mail: suabsakul@eng.src.ku.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบหล่อเย็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นเครื่องมือที่จำเป็นในการควบคุมอุณหภูมิและความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ฮีทซิงค์ได้ถูกนำมาใช้ระบบหล่อเย็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนนั้นเทคนิคการสั่นสะเทือนแบบบังคับได้ถูกนำมาใช้ งานวิจัยนี้ได้ใช้ความถี่ในการสั่นแบบต่ำระหว่าง 1 – 5 Hz สำหรับฮีทซิงค์แบบหนาม ผลการศึกษาพบว่าเมื่อความถี่เพิ่มจาก 1 เป็น 5 Hz ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 40 อย่างไรก็ตามยังพบอีกว่าค่าความดันตกสูงสุดเพิ่มขึ้นตามอย่างมีนัยสำคัญถึงร้อยละ 1,609 จากผลการศึกษาที่ได้มีความจำเป็นต้องใช้วิธีการหาจุดที่ดีที่สุดเพื่อหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและความดันตกที่เหมาะสมที่สุด

คำสำคัญ: ฮีทซิงค์ การสั่นสะเทือน อัตราการถ่ายเทความร้อน ความดันตก

ABSTRACT

The electronic cooling systems are the essential tools in controlling the component temperature and hot spot in electronic devices. Heat sinks are commonly adopted in electronics cooling together with different technologies to enhance the heat transfer process. In order to improve the heat transfer performance, the applying the forced vibration is one of challenging technique. This paper applies the low vibration frequency between 1 to 5 Hz to pin fins heat sinks. The results show that when the frequency increases from 1 to 5 Hz, the average heat transfer rate increases up to 40%. Nevertheless, the maximum pressure drop significantly increases 1,609% as well. Thus, based on the numerical results, the optimization method is needed to find the optimal values such as heat transfer rate and pressure drop.

KEYWORDS: Heat sink, Vibration, Heat transfer rate, Pressure drop

บทนำ

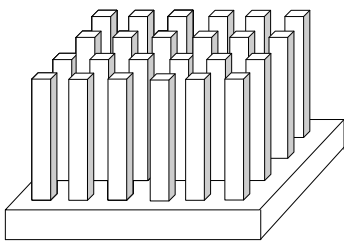
โลกในยุคปัจจุบันนั้นการติดต่อสื่อสารผ่านสมาร์ทโฟน หรือแท็บเล็ต นั้นเป็นส่วนหนึ่งของชีวิต และคนทุกระดับสามารถเป็นเจ้าของได้เนื่องจากมีความหลากหลายของอุปกรณ์ ด้วยเหตุนี้เองตลาดด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้เติบโตและขยายกว้างมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ บริษัทเอกชนหันมาลงทุนด้านการวิจัยและ

พัฒนาประสิทธิภาพของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้มีขนาดที่เล็กลง เบาลง และมีการประมวลผลที่เร็วขึ้นอีกด้วย

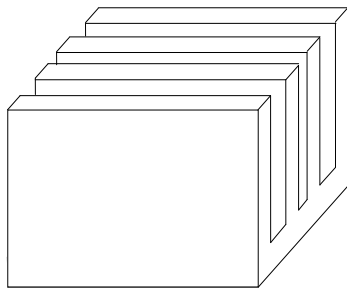
อย่างไรก็ตามเมื่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพประกอบความสูงขึ้นไป ปัญหาที่ตามมาคืออุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังนั้นการหล่อเย็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronics cooling) มีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อลดอุณหภูมิ และป้องกันความเสียหายที่

เกิดขึ้น สำหรับการหล่อเย็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้แผ่นระบายความร้อน หรือ ฮีทซิงค์ (Heat sink) เป็นที่นิยมและถูกใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถระบายความร้อนได้ดี มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน สามารถผลิตได้ง่าย

ฮีทซิงค์ได้ถูกออกแบบมาหลายรูปแบบเช่น ฮีทซิงค์แบบหนาม (Pin fin heat sink) ฮีทซิงค์แบบแผ่นระนาบ (Plate-fin heat sink) ดังรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งฮีทซิงค์แต่ละชนิดถูกใช้ในอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน ส่วนประกอบของฮีทซิงค์นั้นประกอบไปด้วยครีบริบที่ถูกติดตั้งด้านบน เช่น รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือรูปทรงระนาบ เป็นต้น



รูปที่ 1 ฮีทซิงค์แบบหนามพร้อมครีบริบรูปทรงสี่เหลี่ยม



รูปที่ 2 ฮีทซิงค์แบบแผ่นระนาบพร้อมครีบริบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ในการออกแบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันที่มีขนาดเล็กลงนั้น ส่งผลให้พื้นที่ที่ใช้ติดตั้งฮีทซิงค์มีขนาดที่เล็กลงตามไปด้วย ทำให้ฮีทซิงค์ไม่สามารถระบายความร้อนได้เพียงพอส่งผลให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการหล่อเย็นภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของฮีทซิงค์จึงมีความจำเป็น เทคนิคในการเพิ่มประสิทธิภาพการหล่อเย็นมีหลายวิธีเช่น ติดตั้งพัดลมที่มีความเร็วสูง การเปลี่ยนวัสดุของฮีทซิงค์ การใช้การสั่นสะเทือน เป็นต้น

วิธีสั่นสะเทือนได้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดย Forbes et al. (1970) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนของการไหลในช่องทางตัดสี่เหลี่ยมเมื่อมีการให้ความถี่ 0 -

4,000 Hz เข้ามากระทำกับของไหล จากการศึกษาได้พบว่าค่าการพาความร้อนนั้นสูงขึ้นถึง ร้อยละ 50 ต่อมา Fu & Yang (2001) ได้จำลองการไหลเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านวัตถุรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยทำการบังคับให้วัตถุรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีการสั่น โดยพบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด ควรปรับทิศการสั่นให้สวนทางกับการไหลของของไหลถัดไป Pottebaum & Gharib (2006) ได้ทำการทดลองการไหลผ่านท่อทรงกระบอกที่มีการสั่น จากการทดลองพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงสุดเมื่อการสั่นของท่อนั้นเข้าใกล้ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency)

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการหล่อเย็นสำหรับฮีทซิงค์นั้น Gururatana & Li (2013) ได้ทำการจำลองการไหลผ่านฮีทซิงค์แบบหนามรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสใน 2 มิติ โดยให้ฮีทซิงค์แบบมีการสั่นที่มีความถี่ 50 - 1,000 Hz ผลการศึกษาพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดและค่าความดันตกสูงสุดมีค่าสูงขึ้นตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบอีกว่าค่าประสิทธิภาพของการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Enhancement Performance) นั้นมีค่าลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้นอีกด้วย

จากการตรวจเอกสารพบว่าการใช้การสั่นเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสามารถให้ผลเป็นที่น่าพอใจอย่างไรก็ตามสำหรับความถี่ที่ใช้เพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนนั้นส่วนใหญ่อยู่ในย่านความถี่สูง ซึ่งในการใช้งานจริงการใช้ความถี่สูงมีค่าใช้จ่ายที่สูงตามไปด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้สนใจการเพิ่มประสิทธิภาพการหล่อเย็นฮีทซิงค์แบบหนามโดยใช้การสั่นแบบความถี่ต่ำ

สมการควบคุม

สำหรับการไหลผ่านฮีทซิงค์แบบหนามนั้นช่วงของเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number) อยู่ที่ 100,000 ทำให้มีการไหลเป็นแบบปั่นป่วน สมการการเคลื่อนที่ของการไหลแบบปั่นป่วนนั้น ประกอบไปด้วย สมการกฎทรงมวล และสมการโมเมนตัม เช่นเดียวกับการไหลแบบราบเรียบ แต่ด้วยลักษณะที่ต่างกันของการไหลแบบปั่นป่วนและการไหลแบบปั่นป่วน ที่ทำให้สมการการเคลื่อนที่ของการไหลแบบปั่นป่วนต่างจากสมการการเคลื่อนที่ของการไหลแบบราบเรียบ โดยสมการการเคลื่อนที่ของการไหลแบบปั่นป่วนมีความซับซ้อนมากกว่าเนื่องมาจากความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นในการไหล

ในทางวิศวกรรมสิ่งที่วิศวกรสนใจส่วนใหญ่ คือ ค่าเฉลี่ยของการไหล ดังนั้นในงานวิจัยนี้นำวิธีการเฉลี่ยของ เรย์โนลด์ (Reynolds averaging) มาใช้กับสมการการเคลื่อนที่ของการไหลแบบปั่นป่วน เพื่อแปลงสมการการเคลื่อนที่ของการไหลแบบปั่นป่วน ให้อยู่ในรูปของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานของงานวิจัยนี้ได้แก่ เป็นการไหลที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible flows) และเป็นสภาวะไม่คงตัว (Unsteady) สามารถเขียนเป็นสมการในรูปเทนเซอร์ได้ ดังนี้

สมการกฏทรงมวล

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

โดย ρ และ t คือ ความหนาแน่นของของไหลและเวลา ถัดมา u_i และ x_i คือค่าความเร็วเฉลี่ยและค่าแกนพิกัดฉาก

สมการโมเมนตัม

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial(P_i)}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(-\overline{\rho u_i' u_j'} \right) \quad (2)$$

โดยที่ μ คือสัมประสิทธิ์ความหนืด สำหรับสมการโมเมนตัมที่ถูกเฉลี่ยด้วยวิธีการของเรย์โนลด์ ต่างจากสมการโมเมนตัมที่ยังไม่ได้ถูกเฉลี่ย เนื่องจากมีพจน์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้วิธีการเฉลี่ยของเรย์โนลด์ คือ พจน์ความเค้นเรย์โนลด์ (Reynolds Stresses, $\overline{u_i' u_j'}$) ซึ่งพจน์ที่เกิดขึ้นนี้เป็นพจน์ที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากความปั่นป่วนที่เกิดขึ้น โดยพจน์ความเค้นเรย์โนลด์มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียด ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการตามสมมติฐานของ Boussinesq (1877) ดังนี้

$$\overline{\rho u_i' u_j'} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \quad (3)$$

โดยที่ค่า Eddy viscosity (μ_t) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (k) และค่าอัตราการลดลงของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (ε) สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$\mu_t = \rho c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด $k - \varepsilon$

โดยสมการพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (k) เขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon \quad (5)$$

สมการอัตราการลดลงของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (ε) เขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + \left(C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{\varepsilon 3} G_b) \right) \frac{\varepsilon}{k} - \rho C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon}{k} \quad (6)$$

โดยที่

$$G_k = -\overline{\rho u_i u_j} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (7)$$

$$G_b = -g_i \frac{1}{\rho} \frac{\mu_t}{Pr_T} \frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (8)$$

สำหรับค่าคงที่ต่างๆในสมการจะค่าคงที่ของ Launder and Sharma (1974) โดย C_μ , $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$, $C_{\varepsilon 3}$, σ_k , σ_ε และ σ_T มีค่า 0.09, 1.44, 1.92, 1, 1, 1.3 และ 0.9 ตามลำดับ

สำหรับการคำนวณค่าอุณหภูมิ สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการพลังงาน (Energy Equation)

$$\frac{\partial(\rho c_p T)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho c_p T u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial k T}{\partial x_i} \right) + S \quad (9)$$

T และ c_p คือ ค่าอุณหภูมิและค่าความจุความร้อนจำเพาะ ส่วน S คือ พจน์การผลิตความร้อน สำหรับสมการควบคุมการไหลและอุณหภูมิทั้งหมดจะถูกทำให้ไม่ต่อเนื่อง (Discretization) โดยระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method, FVM) และใช้วิธีประมวลผลแบบ Segregated ต่อมาสำหรับการแก้ปัญหาที่มีความเร็วและความดันร่วมกันนั้นได้ใช้ SIMPLE Algorithm เข้ามาแก้ปัญหา (Patankar, 1980)

ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแบบทำซ้ำ (Iterative method) ได้ถูกนำมาแก้ปัญหาระบบสมการพีชคณิต (Algebraic equation) ของปัญหา และค่าการลู่เข้าของระบบสมการนั้นกำหนดให้ค่าความแตกต่าง (Error) ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.00001

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะ รูปแบบ และแนวโน้มของการถ่ายเทความร้อนเมื่อใช้ความถี่ต่ำ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความถี่ และแอมพลิจูด

ประโยชน์ที่ได้รับ

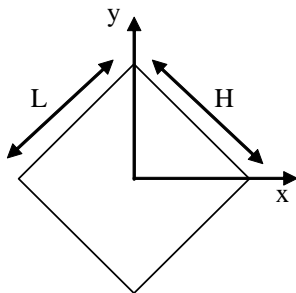
สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายในในฮีทซิงค์แบบหมาม 2 มิติ และเข้าใจผลของการสั่นสะเทือนที่มีต่อค่าความดันตก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. กำหนดแบบจำลองและขอบเขตการคำนวณ

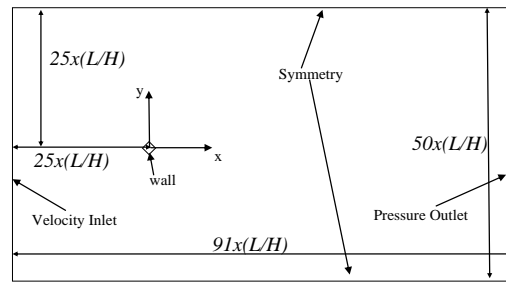
สำหรับงานวิจัยนี้ศึกษาการไหลและการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในฮีทซิงค์แบบหมาม 2 มิติในสภาวะไม่คงตัวมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลานั้น งานวิจัยนี้ต้องการวิเคราะห์ลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนเบื้องต้นก่อนที่จะไปทำการทดลองจริง ดังนั้นการวิเคราะห์แบบ 2 มิติจึงมีความเหมาะสมมากกว่า 3 มิติ เพราะใช้ระยะเวลาการประมวลผลรวมถึงหน่วยความจำในการเก็บข้อมูลน้อยกว่า

ในส่วนของรูปแบบของครีบบทวารนั้นเป็นรูปทรงเพชร (Diamond-Shaped Pin Fin) ดังรูปที่ 3 โดยมีค่าความกว้าง (L) ต่อความยาว (H) ของครีบบทวารเท่ากับ 1 กำหนดให้อากาศไหลเข้ามาในทิศทางตามแนวแกน x (Streamwise direction) อากาศที่ไหลมีค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100,000



รูปที่ 3 แบบจำลองฮีทซิงค์แบบหมาม 2 มิติ
รูปทรงเพชร

ในส่วนของขอบเขตการคำนวณ (Computational domain) และ ค่า ข อ บ ข เต (Boundary conditions) กำหนดให้ด้านซ้ายเป็นความเร็วทางเข้า (Velocity inlet) ด้านขวาเป็นความดันทางออก (Pressure outlet) และด้านบนและล่างเป็นสมมาตร (Symmetry) ส่วนครีบบทวารกำหนดให้เป็นผนัง (Wall) สำหรับค่าอัตราส่วนของด้านต่างๆถูกแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขอบเขตการคำนวณและค่าขอบเขต

ในการเพิ่มประสิทธิภาพของครีบบทวารหมามด้วยการสั่นนั้นกำหนดให้เป็นการเคลื่อนแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (Simple Harmonic Motion) ดังแสดงในสมการที่ 10 (Bergles, 1998)

$$\delta = A \sin(2\pi ft) \quad (10)$$

โดยที่ δ และ A คือระยะที่เปลี่ยนไป (Displacement) และแอมพลิจูดของการสั่น (Amplitude) ถัดมา f และ t คือค่าความถี่ในการสั่น (Frequency) และระยะเวลาในการไหล (Flow time) สำหรับค่าตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปร	
1. รูปทรงของฮีทซิงค์แบบหมาม	เพชร
2. เลขเรย์โนลด์ ($Re = \rho VL / \mu$)	100,000
3. ความกว้างต่อความยาวของครีบบทวาร (L/H)	1
4. อัตราส่วนระหว่างแอมพลิจูดและ ความกว้างต่อความยาวของครีบบทวาร ($A/(L/H)$, Amp)	0.07
5. ทิศทางการสั่น	แกน x
6. ความถี่ (f)	3 Hz
7. ช่วงเวลาย่อย (Time Step, Δt)	0.01 s
8. ระยะเวลาในการไหล (Flow Time, t)	3 s
9. อุณหภูมิบนผิวครีบบทวาร (T_f)	350 K
10. อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้า (T_s)	300 K
11. จำนวนของครีบบทวาร	1 ชั้น
12. ชนิดของของไหล	อากาศ
13. ความหนาแน่น (kg/m^3)	1.23
14. ค่าการนำความร้อน (k, $W/m-K$)	0.024
15. ค่าความหนืด (μ , $N \cdot s/m^2$)	1.79×10^{-5}

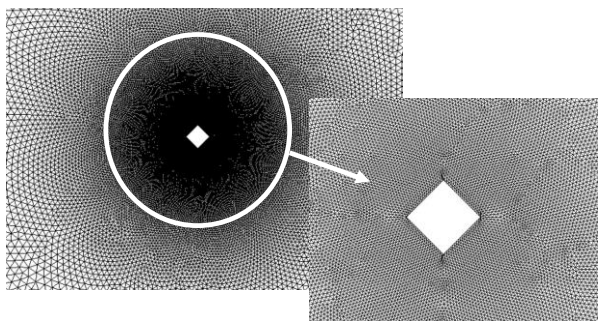
สำหรับการวิจัยนี้ได้ทำการจำลองการไหลผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ANSYS และได้ทำการติดตั้งรูปแบบการสั่นแบบฮาร์มอนิกคืออย่างง่ายโดยใช้ฟังก์ชันที่กำหนดขึ้นเองโดยผู้ใช้งาน (User defined function)

2. การประมวลผล

ในส่วนนี้ได้ทำการประมวลผลในกรณีศึกษาต่างๆ และศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง หลังจากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองความปั่นป่วนที่ใช้ในการจำลองการไหลและการถ่ายเทความร้อน

3. การศึกษาความเป็นอิสระของกริด

ในการศึกษาการสั่นที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนนั้นตัวครีบจะมีการสั่นและขยับอยู่ตลอดเวลาส่งผลให้กริดต้องมีการเปลี่ยนรูปเสมอ ดังนั้นในงานวิจัยนี้เลือกใช้กริดแบบไม่มีโครงสร้าง (Unstructured mesh) ซึ่งมีความเหมาะสมมากกว่า กริดแบบมีโครงสร้าง (Structured mesh) ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงกริดแบบไม่มีโครงสร้าง

สำหรับการจำลองการไหลนั้นจำนวนของ กริด มีผลต่อความถูกต้องมาก ดังนั้นการศึกษาความเป็นอิสระของกริดจึงมีความจำเป็น โดยทำการจำลองการไหลผ่านครีบบูทริงเพอร์ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100,000 ความถี่ 3 Hz และค่า Amp เท่ากับ 0.07 ที่กริด 3 ขนาด โดยแต่ละแบบมีจำนวนกริดที่ใช้คือ 20,356, 54,570 และ 99,828 กริด จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (Average heat transfer rate, Q_{Ave}) ในช่วงการไหล 3 วินาที พบว่าค่าร้อยละความแตกต่างของอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยระหว่างกริด จำนวน 20,356 และ 54,570 กริด มีค่าร้อยละ 10.62 คือว่ามีค่าสูงยังไม่

สามารถยอมรับได้ จากนั้นค่าร้อยละความแตกต่างระหว่างกริด 54,570 กริด และ 99,828 กริด มีค่าร้อยละ 0.25 ถือว่ายอมรับได้ และกริดมีความเป็นอิสระที่ 54,570 กริด แล้วดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยระหว่างกริด 3 แบบ

จำนวนกริด	Q_{Ave}	ร้อยละความแตกต่าง
20,356	3453.86 W	-
54,570	3864.14 W	10.62
99,828	3874.05 W	0.25

สำหรับการจำลองการไหลแบบไม่คงตัวนั้น การประมวลผลจะทำการแบ่งระยะเวลาในการไหลเป็นช่วงเวลาย่อย ความละเอียดของช่วงเวลาย่อยจึงมีผลต่อความถูกต้องด้วย งานวิจัยนี้จึงทำการตรวจสอบความละเอียดของช่วงเวลาย่อยที่ 0.01 s และ 0.005 s พบว่าที่ค่า เพอร์เซ็นต์ความแตกต่างมีค่า 0.23 จึงถือได้ว่าค่า 0.01 s มีความละเอียดเพียงพอที่ใช้ศึกษาดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยระหว่างช่วงเวลาย่อย 2 ช่วง

กริด	Δt	Q_{Ave}	ร้อยละความแตกต่าง
54,570	0.01 s	3,864.14 W	-
54,570	0.005 s	3,872.74 W	0.23

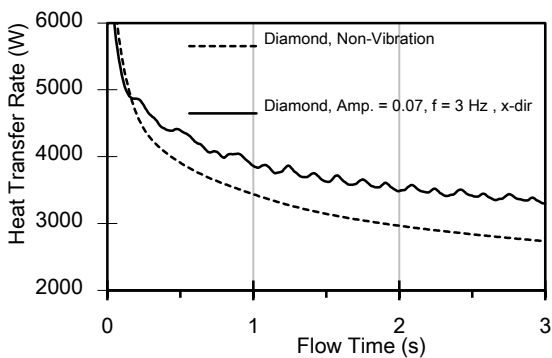
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การศึกษาในกรณีศึกษาพื้นฐาน (Baseline)

สำหรับการศึกษาในกรณีศึกษาพื้นฐานได้ทำการศึกษาในฮีทซิงค์แบบหนาม 2 มิติรูปทรงเพอร์ที่เลขเรย์โนลด์ 100,000 โดยมีค่า Amp และความถี่ของการสั่นเท่ากับ 0.07 และ 3 Hz โดยทำการสั่นในแนวแกน x ผลการศึกษาระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Rate) และระยะเวลาในการไหลถูกแสดงในรูปที่ 6 จากรูปพิจารณาการไหลในช่วง 3 วินาทีแรกของการไหล พบว่าค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของการไหลผ่านฮีทซิงค์แบบหนาม 2 มิติรูปทรงเพอร์แบบไม่มีการสั่น (Non-Vibration) มีค่าสูงในช่วงแรกและลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 1 วินาทีแรกหลังจากนั้นจะลดลงช้าๆ เพื่อที่เข้าสู่สภาวะคงตัว ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน

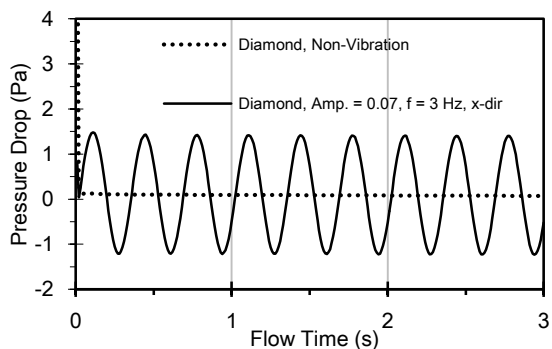
เฉลี่ยในช่วง 3 วินาทีแรกมีค่า 2,843.36 W แต่เมื่อฮีทซิงค์ถูกทำให้สั่นเห็นได้ว่าค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด สำหรับรูปแบบการเป็นฟังก์ชันเป็นคาบ (Periodic function) และค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยในช่วง 3 วินาทีแรกมีค่า 3,431.11 W โดยมีค่าสูงกว่าแบบไม่มีการสั่นร้อยละ 17

จากผลการศึกษานั้นเมื่อฮีทซิงค์ถูกทำให้สั่นนั้นอากาศที่ไหลอยู่โดยรอบฮีทซิงค์ถูกรบกวน (Disturbances) ทำให้อัตราการผสมของอากาศมากขึ้น ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น



รูปที่ 6 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของการไหลผ่านฮีทซิงค์แบบหนาม 2 มิติรูปทรงเพชร

สำหรับการไหลของของไหลต้องคำนึงถึงค่าความดันตก (Pressure drop) ซึ่งเป็นผลมาจากความเสียดทานภายในระบบที่มีการไหล โดยเมื่อพิจารณาผลของความดันตกและระยะเวลาในการไหลดังรูปที่ 7 พบว่าค่าของความดันตกสำหรับฮีทซิงค์แบบหนามที่มีการสั่นนั้นมีแนวโน้มเป็นฟังก์ชันเป็นคาบเช่นเดียวกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยค่าความดันตกสูงสุด (Maximum pressure drop) ในช่วง 3 วินาที มีค่า 1.41 Pa ซึ่งสูงกว่าแบบไม่มีการสั่นร้อยละ 95



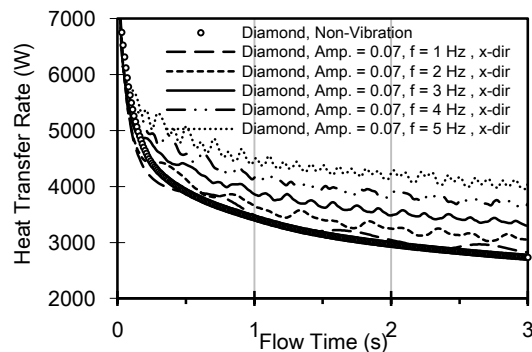
รูปที่ 7 ค่าความดันตกของการไหลผ่านฮีทซิงค์แบบหนาม 2 มิติรูปทรงเพชร

2. ผลการศึกษาอิทธิพลของความถี่ของการสั่น

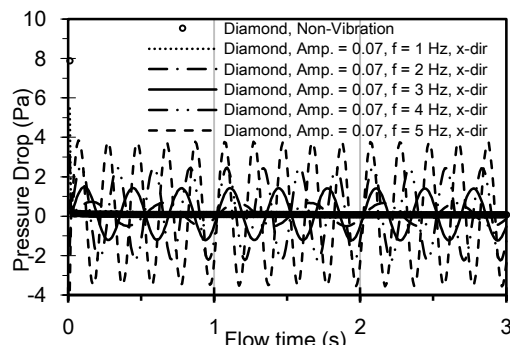
ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาค่าความถี่ในช่วง 1 ถึง 5 Hz โดยค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกของความถี่ต่างๆ ถูกแสดงในรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ พบว่าค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกมีแนวโน้มเป็นฟังก์ชันเป็นคาบเหมือนกันทุกความถี่ และมีค่าสูงขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น

ถัดมาเมื่อความถี่เพิ่มจาก 1 เป็น 5 Hz ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น ร้อยละ 40 เพราะว่าการรบกวนและการผสมของอากาศเนื่องจากการสั่นมีปริมาณสูงขึ้นไปพร้อมกับค่าความถี่

อย่างไรก็ตาม ค่าความความดันตกสูงสุดได้สูงอย่างมีนัยสำคัญถึงร้อยละ 1,609 ซึ่งค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยและค่าความความดันตกสูงสุดถูกแสดงในตารางที่ 4 เนื่องจากพบว่าเมื่อความถี่เริ่มสูงขึ้นนั้นการไหลของอากาศเริ่มมีความไม่เป็นระเบียบของการไหลมีมากขึ้น และอากาศบางส่วนเริ่มไหลย้อนกลับสวนทางกับทิศทางการไหล ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดการกีดขวางการไหลอย่างชัดเจน โดยปรากฏการณ์การไหลย้อนกลับที่เกิดขึ้นนี้สอดคล้องกับการไหลที่เกิดขึ้นเมื่อใช้การสั่นสะเทือนแบบความถี่สูงของ Gururathana & Li (2013)



รูปที่ 8 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของการไหลผ่านฮีทซิงค์แบบหนาม 2 มิติรูปทรงเพชรที่ความถี่ต่างๆ



รูปที่ 9 ค่าความดันตกของการไหลผ่านฮีทซิงค์แบบหนาม 2 มิติรูปทรงเพชรที่ความถี่ต่างๆ

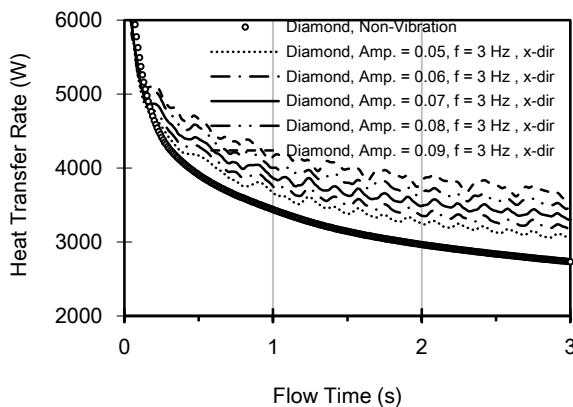
ตารางที่ 4 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยและค่าความดันตกสูงสุดที่ความถี่ต่างๆ

Amp = 0.07	Q_{Ave}	Maximum Pressure Drop
f = 1	2,926.39 W	0.22 Pa
f = 2	3,142.48 W	0.67 Pa
f = 3	3,431.11 W	1.41 Pa
f = 4	3,763.36 W	2.42 Pa
f = 5	4,110.73 W	3.76 Pa

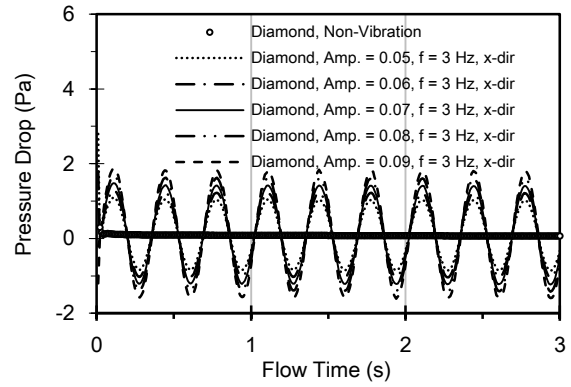
3. ผลการศึกษาอิทธิพลของแอมพลิจูดของการสั่น

ในการศึกษาแอมพลิจูดของการสั่นนั้นได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนระหว่างแอมพลิจูดและความกว้างต่อความยาวของครีบ (Amp) โดยศึกษา Amp ตั้งแต่ 0.05 - 0.09 ซึ่งค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน และค่าความดันตกถูกแสดงในรูปที่ 10 และ 11 ตามลำดับ แนวโน้มของค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน และค่าความดันตกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า Amp สูงขึ้น เมื่อ Amp เปลี่ยนแปลงจาก 0.05 ถึง 0.09 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงขึ้นร้อยละ 19 แต่ค่าความดันตกสูงสุดสูงขึ้นเพียงร้อยละ 77 ดังตารางที่ 5

โดยพฤติกรรมของการเพิ่มขึ้นของแอมพลิจูดนั้นสอดคล้องกับค่าความถี่ โดยเมื่อแอมพลิจูดและความถี่สูงขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยและค่าความดันตกสูงสุดนั้นสูงขึ้นตาม



รูปที่ 10 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของการไหลผ่านฮีทซิงค์แบบหนาม 2 มิติรูปทรงเพชรที่ Amp ต่างๆ



รูปที่ 11 ค่าความดันตกของการไหลผ่านฮีทซิงค์แบบหนาม 2 มิติรูปทรงเพชรที่ Amp ต่างๆ

ตารางที่ 5 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยและค่าความดันตกสูงสุดที่ Amp ต่างๆ

f = 3	Q_{Ave}	Maximum Pressure drop
Amp = 0.05	3,158.98 W	1.02 Pa
Amp = 0.06	3,287.99 W	1.21 Pa
Amp = 0.07	3,431.11 W	1.41 Pa
Amp = 0.08	3,582.30 W	1.63 Pa
Amp = 0.09	3,749.81 W	1.81 Pa

4. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองความปั่นป่วน

ในการศึกษานี้ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองความปั่นป่วน $k-\epsilon$ โดยทำการจำลองการไหลผ่านรูปทรงเพชร 2 มิติ ที่เลขเรย์โนลด์ 1,000,000 โดยทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (Drag Coefficient, C_d) ของ Hoerner (1965) ดังตารางที่ 6 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของแบบจำลองความปั่นป่วนมีค่าแตกต่างจากค่าอ้างอิงร้อยละ 1.3 จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองความปั่นป่วนมีความเหมาะสม แม่นยำ และมีความเหมาะสมในการใช้ศึกษา

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศสำหรับการไหลผ่านรูปทรงเพชร 2 มิติ

เลขเรย์โนลด์	Hoerner (1965)	$k-\epsilon$	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1,000,000	1.55	1.57	1.30

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหล่อเย็นสำหรับฮีทซิงค์แบบหนาโดยการค้นพบว่า การสั่นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนได้อย่างชัดเจน โดยเมื่อความถี่เพิ่มจาก 1 เป็น 5 Hz ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น ร้อยละ 40

อย่างไรก็ตามเมื่อค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ความดันตกสูงสุดเพิ่มขึ้นตามอย่างมีนัยสำคัญถึงร้อยละ 1,609 ส่งผลให้เกิดความสูญเสียในระบบสูงมากขึ้น ดังนั้นควรมีการศึกษาหาจุดที่ดีที่สุดควบคู่ไปด้วย เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนและความดันตกที่เหมาะสมที่สุด

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ได้ใช้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด $k-\epsilon$ เพียงชนิดเดียว เนื่องจากเป็นแบบที่เป็นที่นิยม ให้ผลการคำนวณที่ถูกต้องเป็นที่ยอมรับ นอกจากนี้ยังมีแบบจำลองความปั่นป่วนชนิดอื่นๆ ที่ถูกนำมาใช้ในทางวิศวกรรมอีก ดังนั้นควรมีการศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาแบบจำลองความปั่นป่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการไหลในสถานะไม่คงตัวและมีการสั่นสะเทือน

สำหรับการศึกษาในอนาคตเพื่อให้ผลการศึกษาใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ควรมีการศึกษากการไหลผ่านฮีทซิงค์แบบหนาในรูปแบบ 3 มิติ อย่างไรก็ตามการประมวลผลในส่วนนี้ มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูง และมีหน่วยความจำขนาดใหญ่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Bergles, A.E. 1998. Techniques to enhance heat transfer. In by Warren M. Rohsenow, James P. Hartnett, and Young I. Cho (Eds). **Handbook of Heat Transfer**. 3rd ed. New York: McGraw-Hill.
- Boussinesq, J. 1877. Theory de L'écoulement tourbillant. Memoires presentes par divers savants sciences Mathematique

at Physiques. **Academie de Sciences**. 23: 46-50.

- Fu, W.S. and Yang, S.J. 2001. Heat transfer induced by a body moving in opposition to a flowing fluid. **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 44(1): 89-98.
- Forbes, R.E., Carley, C.T. and Bell, C.T. 1970. Vibration effects on convection heat transfer in enclosures. **Journal of Heat Transfer**. 92(3): 429-438.
- Gururatana, S. and Li, X. 2013. Heat transfer enhancement of small scale heat sinks using vibrating pin fin. **American Journal of Applied Sciences**. 10(8): 801-809.
- Hoerner, S.F. 1965. **Fluid-Dynamic Drag**, Published by the Author. Launder, B.E. and Sharma, B.I. 1974. Application of the energy dissipation model of turbulence to the calculation of flow near spinning Disc. **Letter in Heat and Mass Transfer**. 1(2): 131-137.
- Patankar, S.V. 1980. **Numerical heat transfer and fluid flow**. Hemisphere: Taylor & Francis Group.
- Pottebaum, T.S. and Gharib, M. 2006. Using oscillations to enhance heat transfer for a circular cylinder. **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 49(17): 3190-3210.