

การศึกษาถึงพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในฮีทซิงค์สำหรับชุดโมดูลการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Study on Heat and Flow Behaviors in Heat Sinks for Thermoelectric Cooling Module by CFD

ชุตติชัย หอมมาลี^{1*}, สงกรานต์ วิริยะศาสตร์¹, ไพศาล นาผล¹

¹ห้องปฏิบัติการเทอร์โม-ของไหลและการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TFHT),
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 63 ถนนรังสิต-นครนายก
อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก, 26120

Chootichai Hommalee^{1*} Songkran Wiriyaart¹ Paisarn Naphon¹

¹Thermo-Fluid and Heat Transfer Enhancement Lab. (TFHT), Department of Mechanical
Engineering, Srinakharinwirot University, 63 Rangsit-Nakhornnayok Rd., Ongkharak, Nakhorn-Nayok
26120, Thailand

*Corresponding author Email: chootichai.champ@swu.ac.th, songkranw@swu.ac.th

(Received: May 19, 2019; Accepted: August 20, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของชุดครีบบระบายความร้อนที่มีลักษณะของช่องการไหลต่างกันที่เชื่อมกับเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) รูปแบบของชุดครีบบระบายความร้อนที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อน สมการหลักที่ใช้ในการแก้ปัญหาประกอบไปด้วย สมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงานซึ่งใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อน จากผลการศึกษาพบว่าลักษณะของช่องการไหลภายในชุดครีบบระบายความร้อนที่มีขนาดเล็กและจำนวนครีบบวกมากกว่าทำให้มีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนที่มากกว่า ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าผลของความเร็วมีค่าลดลงขณะที่ความดันตกคร่อมมีค่าสูงขึ้น จากผลการศึกษาสามารถนำไปเป็นต้นแบบในการวิเคราะห์ชุดครีบบเพื่อใช้ในการผลิตน้ำเย็นเพื่อนำไปใช้ในระบบระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้

คำสำคัญ: ครีบบระบายความร้อน โมดูลการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

ABSTRACT

In this paper, a numerical study on the heat transfer characteristics of various heat sink configurations coupled with thermoelectric cooling module for electronic cooling applications is investigated. Effects of flow channel configurations on the heat transfer and flow behaviors are considered. In the numerical model, the main governing equations of continuity equation, momentum and energy equation are used to analyzed the problem. It can see from the result that the number of

fins and size have significant effects on the heat transfer rate which results in thermal performance enhancement. However, the pressure drops also increased. The result obtained from this study are expected to lead to guidelines that will allow the optimum designing heat sink coupled with thermoelectric for electronic cooling applications.

Keyword: Heat sink, Thermoelectric cooling module, CFD

1. บทนำ

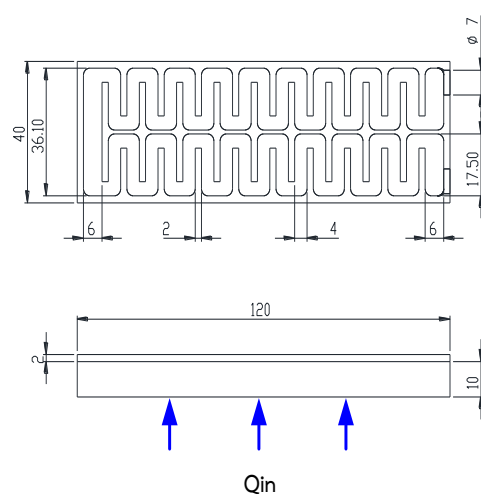
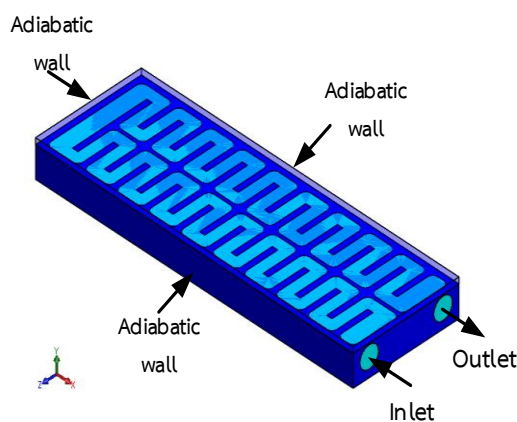
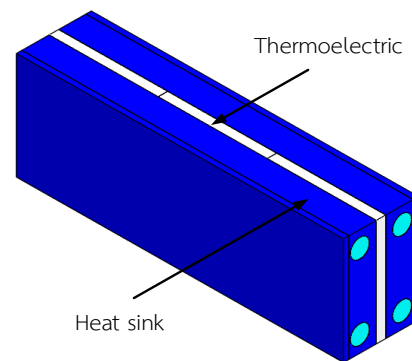
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาให้มีขนาดเล็กลง ในขณะที่ประสิทธิภาพการทำงานนั้นเพิ่มสูงขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งทำให้เกิดความท้าทายเป็นอย่างมากในการออกแบบอุปกรณ์ระบายความร้อนเนื่องจากพื้นที่ถูกจำกัด ความร้อนเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกิดความเสียหายหรือทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ การจัดการกับความร้อนที่ไม่เพียงพออาจจะทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีอุณหภูมิการทำงานที่สูงขึ้น ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้มียอายุการใช้งานที่ลดลง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จึงต้องการ การระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อลดความเสียหายเนื่องจากความร้อนที่อาจเกิดกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์ระบายความร้อนเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการระบายความร้อน สามารถนำมาใช้กับอุปกรณ์ที่ติดตั้งในพื้นที่จำกัด มีน้ำหนักเบาและที่สำคัญคือมีราคาที่ไม่สูงจนเกินไป เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าให้เป็นความเย็นและความร้อนได้ในเวลาเดียวกัน ซึ่งในปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้เพื่อระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากข้อดีของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีเสียงรบกวนขณะทำงาน มีการใช้งานทั้งงานเพียงจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกก็จะเกิดความร้อนและความเย็นสามารถควบคุมอุณหภูมิได้โดยการเพิ่มหรือลดกระแสไฟฟ้า เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงเทอร์โมอิเล็กทริกจึงต้องใช้ชุดครีบบระบายความร้อนเพื่อช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อน ถ้าระบายความร้อนของเทอร์โมอิเล็ก-

เลกทริกด้านร้อนได้สูง เทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็นก็จะมี ความเย็นมาก ชุดครีบบระบายความร้อนที่จะนำมาใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนจึงต้องมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่สูง ที่ผ่านมามีนักวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก ดังนี้ [1] ศึกษาโมดูลระบายความร้อนแบบเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ผลกระทบของภาระความร้อน และกระแสไฟฟ้าที่ป้อน [2] ศึกษาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนและการไหลในฮีทซิงค์ช่องการไหลขนาดเล็กสำหรับระบายความร้อนซีพียู [3] ทำการศึกษาวิจัยประสิทธิภาพทางด้านความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ สำหรับระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ผลกระทบของภาระความร้อนและกระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก [4] ศึกษาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของเทอร์โมอิเล็กทริกในการระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ [5] วิเคราะห์ขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมของเครื่องทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก ผลกระทบของการจัดสรรพื้นที่การถ่ายเทความร้อน [6] ศึกษาการระบายความร้อนเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยท่อเทอร์โมไฮฟอน ผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก [7] ศึกษาเกี่ยวกับการพาความร้อนของของไหลนาโนในฮีทซิงค์ที่มีช่องการไหลขนาดจิ๋ว [8] ทำการวิเคราะห์และทดลองเกี่ยวกับระบบระบายความร้อนแบบเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับท่อความร้อน เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบทำความเย็นโดยใช้ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติ

[9] ศึกษาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเกี่ยวกับประสิทธิภาพของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ฮีตซิงค์ที่แตกต่างกัน
[10] ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเกี่ยวกับลักษณะการถ่ายเทความร้อนและของเหลวแบบไดนามิกของฮีตซิงค์ที่มีช่องการไหลขนาดเล็ก ใช้แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนแบบสามมิติเพื่อวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน

จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามี การศึกษาการถ่ายเทความร้อนโดยเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อใช้ระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตาม การนำเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับชุดครี ระบายความร้อนเพื่อผลิตน้ำเย็นสำหรับนำไปใช้ระบาย ความร้อนให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นมีน้อยมาก เพื่อให้ได้ชุดครีระบายความร้อนที่เหมาะสมโดยใช้ ร่วมกับด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อนำไปผลิตน้ำเย็น สำหรับระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นการออกแบบเพื่อศึกษา

ประสิทธิภาพการทำน้ำเย็นของชุดครีระบายความร้อนที่ ใช้ร่วมกับด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยระเบียบวิธี เชิงตัวเลขโดยใช้ระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) โดยรูปแบบของชุดครีระบายความร้อนที่จำลองมี ทั้งหมด 6 รูปแบบ และเป็นแบบ 3 มิติ ผลที่ได้จาก การศึกษานี้สามารถนำไปใช้เพื่อออกแบบชุดครีระบาย ความร้อนที่เหมาะสมสำหรับการทำความร้อนและความ เย็นร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริกได้



รูปที่ 1 แบบจำลองของครีระบายความร้อนสำหรับทำความเย็นร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริก

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

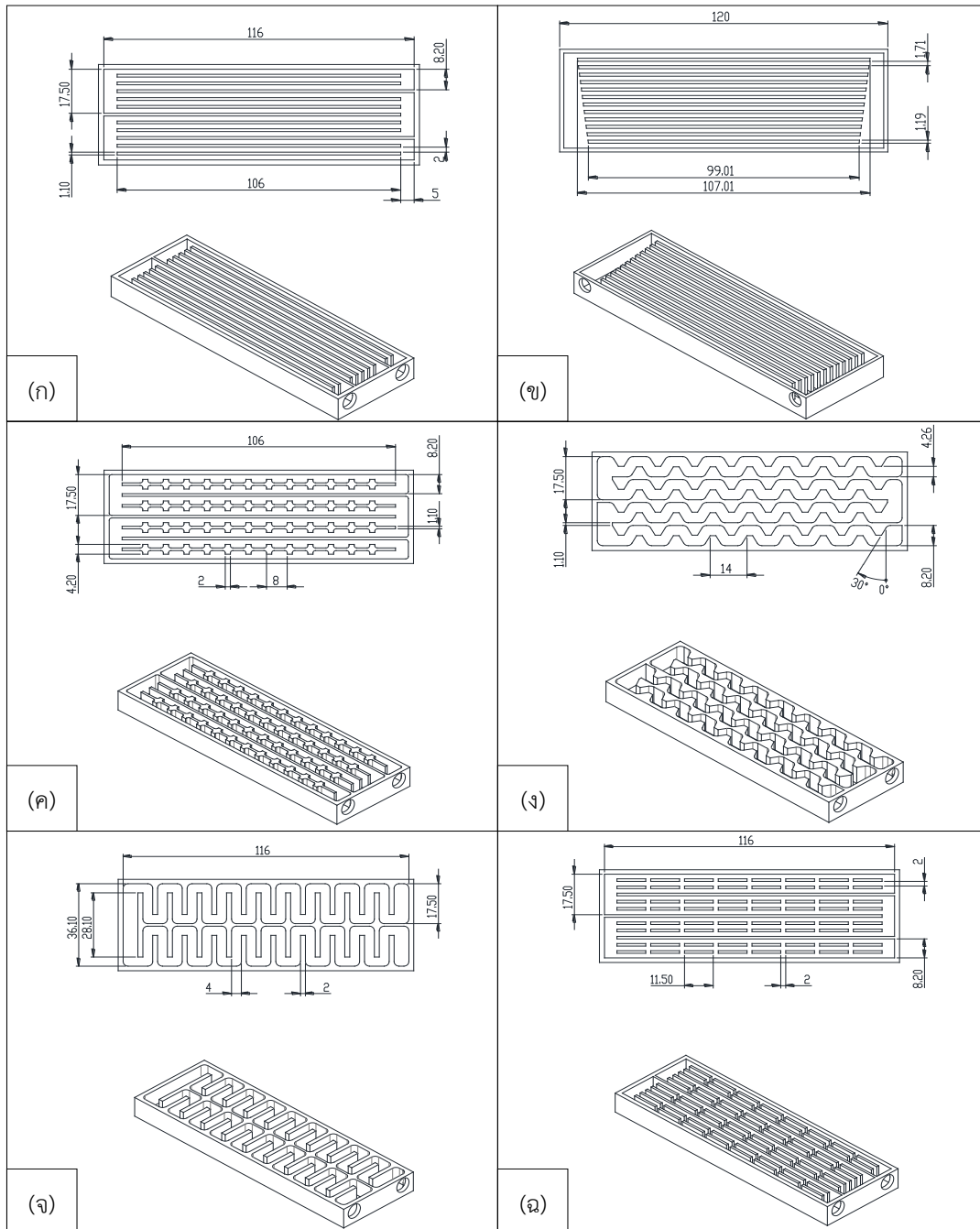
2.1 แบบจำลอง

รูปที่ 1 แสดงแบบจำลองของครีระบายความร้อน สำหรับทำความเย็นร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริก ในการศึกษา นี้จะใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของ ไหลเชิงคำนวณ (CFD) ในการวิเคราะห์แบบจำลองการ

ไหลแบบปั่นป่วนเพื่อวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและ ลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นในชุดครีระบายความร้อนแบบ ต่างๆภายใต้สภาวะชั่วครู่ (Transient) โดยครีระบาย ความร้อนของแบบจำลองทำจากวัสดุอลูมิเนียมที่มีขนาด 120×40 มม. ความหนาแน่นเท่ากับ 12 มม. โดยกำหนด อัตราการไหลของไหลหล่อเย็นไหลที่ทางเข้าชุดครี

ระบายความร้อนเท่ากับ 1.15 ลิตร/นาที่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องการไหลที่ทางเข้าและออกของของไหลมีขนาดเท่ากันเท่ากับ 7 มม. กำหนดให้พื้นผิวผนังโดยรอบของชุดครีระบายความร้อนไม่มีการสูญเสียหรือได้รับความร้อน (Adiabatic) เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศโดยรอบยกเว้นพื้นที่ผิวผนังด้านฐาน

ของชุดครีระบายความร้อนที่กำหนดให้มีการรับความเย็นจากด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกโดยมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 5 °C ในการศึกษาครั้งนี้จะแบ่งแบบจำลองชุดครีระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องการไหลแตกต่างกันจำนวน 6 แบบ โดยรายละเอียดของชุดครีระบายความร้อนแต่ละแบบจะแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะของชุดครีระบายความร้อนทั้ง 6 แบบ

ชุดครีบบระบายความร้อนแบบที่ 1 และ 2 แสดงดังรูปที่ 2 (ก) และ (ข) ตามลำดับ เป็นชุดครีบบระบายความร้อนที่ถูกผลิตขึ้นและใช้สำหรับผลิตน้ำเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกแบบดั้งเดิมที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ขณะที่แบบที่ 3 – 6 แสดงดังรูปที่ 2 (ค), (ง), (จ), และ (ฉ) ตามลำดับ เป็นชุดครีบบระบายความร้อนที่ออกแบบเพื่อจำลองและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนกับชุดครีบบระบายความร้อนแบบดั้งเดิม เนื่องจากมีข้อจำกัดของพื้นที่ของชุดครีบบระบายความร้อน ในการออกแบบจะกำหนดให้ลักษณะโครงสร้างเหมือนกับชุดครีบบระบายความร้อนแบบเดิมแต่ปรับเปลี่ยนลักษณะของช่องการไหล และรูปแบบของครีบบระบายความร้อนภายในแตกต่างกัน โดยรูปแบบที่ 3 – 6 แสดงดังรูปที่ 2 (ค), (ง), (จ), และ (ฉ) จะออกแบบให้ช่องการไหลเหมือนกับแบบที่ 1 โดยแบบที่ 3 แสดงดังรูปที่ 2 (ค) จะเพิ่มครีบบางตามทิศทางการไหลของของไหล แบบที่ 4 และ 5 แสดงดังรูปที่ 2 (ง) และ (จ) ตามลำดับ จะออกแบบให้ช่องการไหลเป็นแบบซิกแซกตามทิศทางการไหลของของไหล แต่ทั้งสองแบบมีมุมการไหลที่ต่างกัน ส่วนแบบที่ 6 แสดงดังรูปที่ 2 (ฉ) จะมีครีบบางแผ่นและตัดเป็นช่องตามความยาวและวางในทิศทางเดียวกับช่องการไหลของของไหล ชุดครีบบระบายความร้อนทั้ง 6 แบบจะมีช่องทางการไหลเข้า-ออกของของไหลหล่อเย็นด้านเดียวกันโดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.2 มม. ในการจำลองจะกำหนดอุณหภูมิและความเร็วคงที่ที่ผิวด้านล่างจะให้พลั๊กความร้อนคงที่

ในการวิเคราะห์แบบจำลองจะกำหนดเงื่อนไขขอบเขต ดังต่อไปนี้

- เป็นการวิเคราะห์ที่แบบชั่วครู่ (Transient)
- การไหลเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)
- ของไหลอัดตัวไม่ได้
- ไม่คิดค่าแรงโน้มถ่วง
- ไม่คิดค่าความต้านทานที่ผิวสัมผัสระหว่างผนังของชุดครีบบระบายความร้อนกับของไหลหล่อเย็น
- ไม่คิดการแผ่รังสีความร้อน

จากรูปที่ 2 แสดงช่องการไหลของชุดครีบบระบายความร้อนแบบต่าง ๆ โดยรูปที่ 2 (ก) เป็นช่องการไหลแบบสลับและมีครีบบางจำนวน 2 แถว ในทุกช่องการไหล รูปที่ 2 (ข) เป็นช่องการไหลแบบทางเดียวและมีครีบบางจำนวน 12 แถว รูปที่ 2 (ค) เป็นช่องการไหลแบบสลับและมีครีบบางจำนวน 1 แถว โดยจะมีครีบบางขวางขนาดเล็กอยู่บนครีบบางหลัก รูปที่ 2 (ง) เป็นช่องการไหลแบบสลับซ้ายขวาเป็นแถวหลัก 4 แถว และมีครีบบางลักษณะสามเหลี่ยมสลับบนล่าง รูปที่ 2 (จ) เป็นช่องการไหลแบบสลับซ้ายขวาเป็นแถวหลัก 2 แถว และมีครีบบางลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าสลับบนล่าง รูปที่ 2 (ฉ) เป็นช่องการไหลแบบสลับและมีครีบบางจำนวน 2 แถว โดยถูกแบ่งออกเป็น 7 ตอน ในทุกช่องทางการไหล

2.2. สมการหลัก (Main governing equations)

สมการหลักประกอบไปด้วยสมการของมวล (mass equation) โมเมนตัม (momentum) สมการพลังงาน (energy equation) และการไหลแบบปั่นป่วน (turbulence) แสดงดังต่อไปนี้

สมการต่อเนื่อง (Continuity equation)

$$\frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

สมการโมเมนตัม (Momentum equation)

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \bar{u}_i \bar{u}_j \right) \quad (2)$$

สมการพลังงานสำหรับของไหล (Energy equation)

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\frac{\mu_t}{\sigma_t} + \frac{\mu}{\sigma_t} \right) \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right) \quad (3)$$

สมการพลังงานสำหรับของแข็ง

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_s \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) = 0 \quad (4)$$

สมการความปั่นป่วน (Turbulence kinetic energy, k)

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon \quad (5)$$

สมการการแพร่ (turbulence kinetic energy dissipation, ε)

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_1 \mu_t \frac{\varepsilon}{k} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (6)$$

โดยที่

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

2.3. เงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions)

ผนังด้านล่างของชุดครีบบระบายความร้อน

$$T = T_{constant} \quad (8)$$

ผนังโดยรอบชุดครีบบระบายความร้อน

$$\frac{\partial T}{\partial n} = 0 \quad (9)$$

ที่ทางเข้า

$$T = T_{in}, V = V_{in} \quad (10)$$

ที่ทางออก

$$p = p_{out} \quad (11)$$

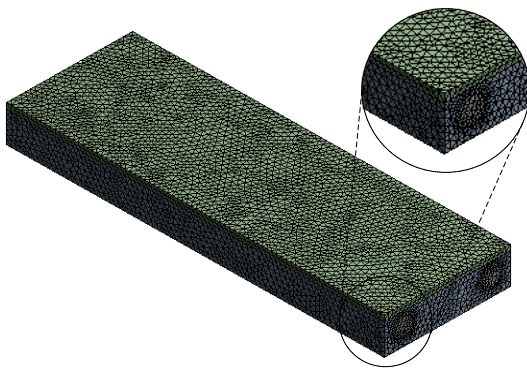
2.4. การหาจำนวนกริดที่เหมาะสม

ตารางที่ 1 การหาจำนวนกริดที่เหมาะสม

จำนวนกริด	อุณหภูมิของน้ำ ที่ทางออก (°C)	ค่าความผิดพลาด (%)
2.3×10^5	14.820	-
3.3×10^5	14.818	0.0134
4.5×10^5	14.817	0.0067

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้โปรแกรม ANSYS / FLUENT ในการจำลองและวิเคราะห์ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดย กำหนดกริดรูปทรงเรขาคณิตแบบสามเหลี่ยม (Triangle) ที่มีความโค้ง (Curvature) ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งเป็นรูปทรงพื้นฐานที่เป็นมาตรฐานสามารถกำหนด ลงบนปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดีและทำให้การลู่เข้าหาคำตอบเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เพื่อประเมินความถูกต้องของการคำนวณผลคำตอบ การหาจำนวนกริดที่เหมาะสมทำได้โดยการสุ่มจำนวนของกริด ซึ่งพบว่าการใช้จำนวนกริดเท่ากับ 2.3×10^5 , 3.3×10^5 , และ 4.5×10^5 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ใกล้เคียงกันจึงนำมาใช้เพื่อทดสอบค่าความแม่นยำที่ได้จากการจำลอง เนื่องจากจำนวนของกริดส่งผลต่อผลลัพธ์ของปัญหาซึ่งแสดงดังตารางที่ 1 การหาจำนวนกริดที่เหมาะสมทั้งสามขนาดทำได้โดยการวัดจากผลต่างของอุณหภูมิของของไหลที่ทางออกของชุดครีบบระบายความร้อน จากตารางที่ 1 แสดงอุณหภูมิของของไหลที่ทางออกของแบบจำลองที่มีขนาดของกริด 2.3×10^5 , 3.3×10^5 , และ 4.5×10^5

ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าความผิดพลาดร้อยละของกริด 2.3×10^5 และ 3.3×10^5 เท่ากับ 0.0134 และ 3.3×10^5 และ 4.5×10^5 เท่ากับ 0.0067 ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ กริดทั้งสามขนาดมีค่าต่ำกว่า 1 ดังนั้นจึงเลือกจำนวนกริดที่ 3.3×10^5 เป็นค่าที่เหมาะสมในการคำนวณหาคำตอบ โดยคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลใช้หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) รุ่น intel xeon x5550 จำนวน 2 ตัว (8cores-16threads), หน่วยความจำ (RAM) ทั้งหมด 24 กิกะไบต์



รูปที่ 3 ลักษณะกริดของแบบจำลอง

ในการจำลองจะกำหนดให้โปรแกรมบันทึกข้อมูลต่างๆที่แปรผันไปตามเวลา (Transient) ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม ANSYS / FLUENT ทำได้หลังจากที่กำหนดเงื่อนไขและขอบเขตของปัญหาเริ่มต้นเรียบร้อยแล้ว เพื่อลดพื้นที่การจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการจำลองบนฮาร์ดดิสไดรฟ์รวมทั้งการลดเวลาในการจำลองจึงประยุกต์ใช้วิธีการลดขนาดของ time step size เมื่อมีการลู่ออกหาคำตอบอย่างต่อเนื่อง แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การลดขนาดของ time step size

ลำดับที่	Time step size	Number of time step	Max iteration per time step
1	0.0001	1,000	40
2	0.001	1,000	40
3	0.01	10,000	40

จากตารางที่ 2 เป็นการการลดขนาดของ time step size สำหรับนำไปใช้สำหรับแบบจำลองทั้ง 6 แบบ โดยเริ่มต้นที่ Time step size เท่ากับ 0.0001 ที่รอบการคำนวณ 1,000 รอบ หากผลลัพธ์ยังลู่ออกหาคำตอบอย่างต่อเนื่องเมื่อครบ 1,000 รอบ แล้วให้ลด Time step size ลงมาเท่ากับ 0.001 และให้คำนวณต่ออีก 1,000 รอบ ทำเช่นนั้นจน Time step size เท่ากับ 0.01 และให้คำนวณต่ออีก 10,000 รอบ หรือผลลัพธ์เข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ในระหว่างการคำนวณจะบันทึกผลลัพธ์ครั้งละ 100 รอบการคำนวณโดยเลือกในหมวด Solution - Calculation Activity-Autosave (Every Time Steps) จากนั้นกำหนดการบันทึกข้อมูลที่ 100 รอบ

3. ผลการทดลองและการวิจารณ์

งานวิจัยนี้เสนอผลการศึกษาระเบียบวิธีเชิงตัวเลขด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) เพื่อวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นในชุดครีบระบายความร้อนภายใต้สภาวะชั่วครู่ (Transient) ในการศึกษาครั้งนี้จะแบ่งแบบจำลองชุดครีบระบายความร้อนที่มีลักษณะของการไหลแตกต่างกันจำนวน 6 แบบ ผลจากการศึกษาโดยการเปรียบเทียบความดันและอุณหภูมิที่ทางออกของของไหลของแบบจำลองทั้ง 6 แบบ แสดงดังตารางที่ 3

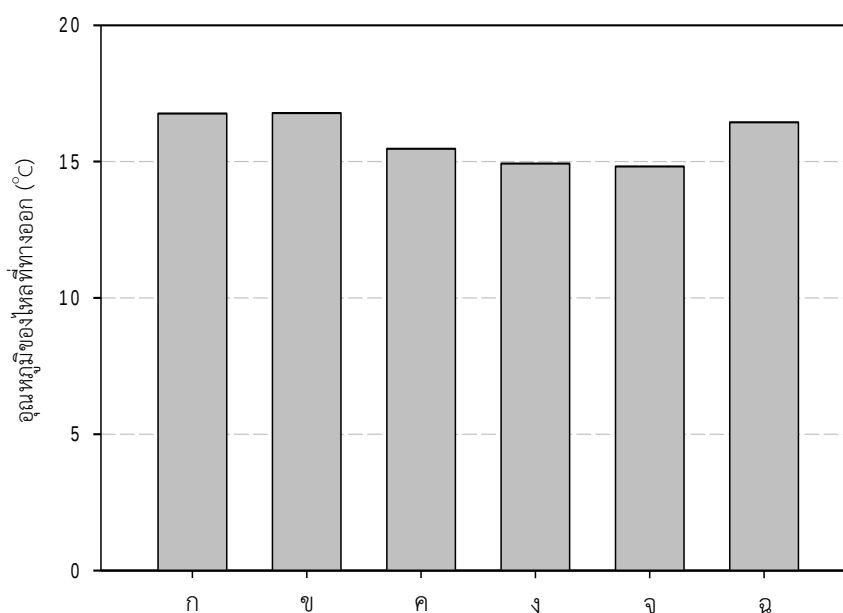
ตารางที่ 3 อุณหภูมิและค่าความดันของชุดครีบระบายความร้อน 6 แบบ

แบบจำลอง	$T_{w,in}$ (°C)	ΔT_w (°C)	ΔP (kPa)
ก	25	8.24	1.3150
ข	25	8.22	0.1120
ค	25	9.53	11.893
ง	25	10.07	3.1660
จ	25	10.18	16.082
ฉ	25	8.56	1.8990

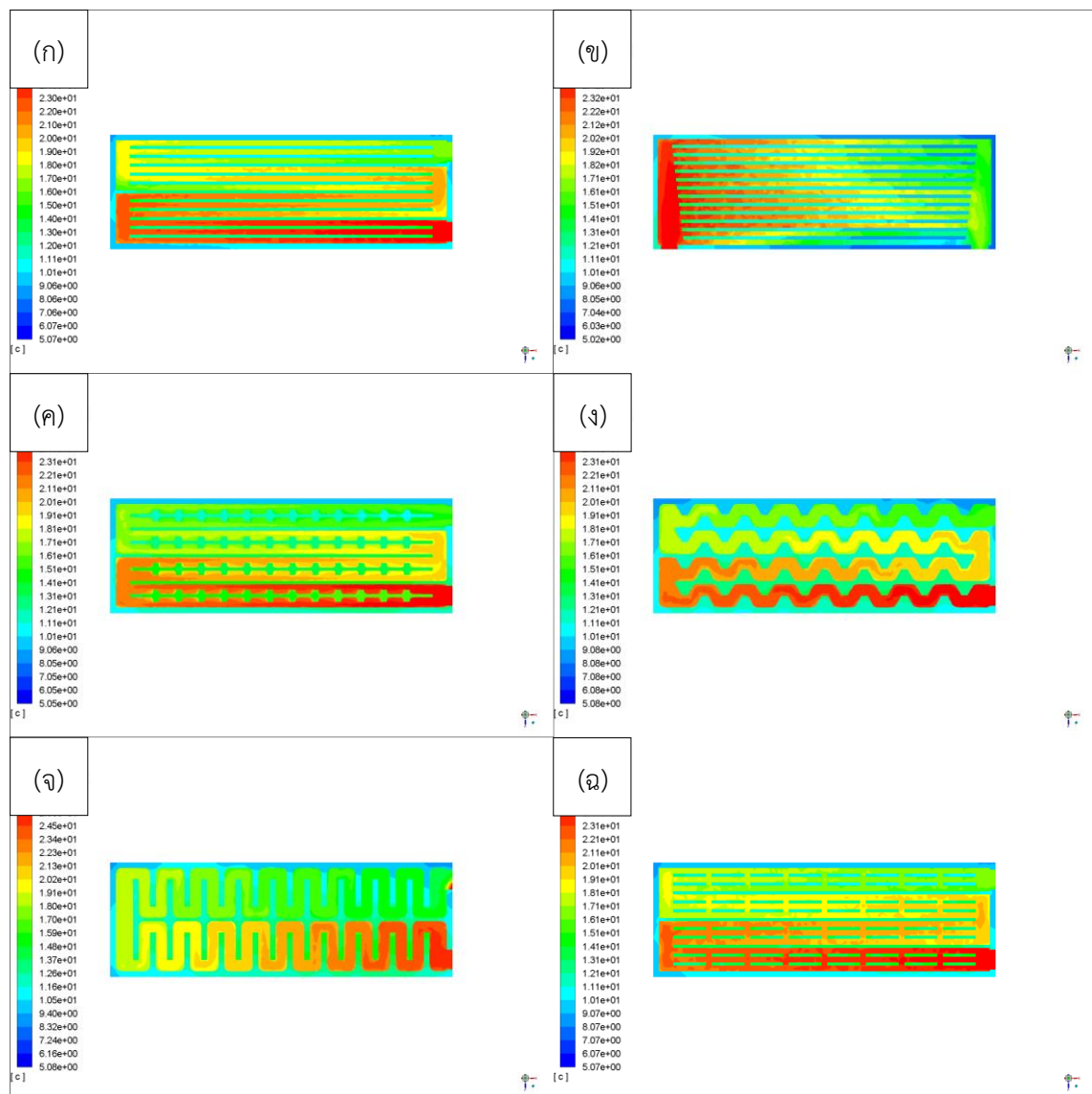
จากตารางที่ 3 แสดงอุณหภูมิและแรงดันตกคร่อมของแบบจำลองชุดcribระบายความร้อนทั้ง 6 แบบ โดยการจำลองจะกำหนดให้อุณหภูมิของไหลที่ทางเข้าเท่ากับ 25°C และอุณหภูมิผนังที่ด้านเย็นเท่ากับ 5°C จากการศึกษาพบว่าผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้า-ออก และแรงดันตกคร่อมของชุดcribระบายความร้อนแต่ละแบบให้ผลที่แตกต่างกัน โดยที่ผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้า-ออกของแบบจำลองทั้ง 6 แบบจะอยู่ระหว่าง $8 - 10^{\circ}\text{C}$ ชุดcribระบายความร้อนแบบ (ก) และ (ข) จะมีผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้า-ออกจะมีค่าต่ำสุดที่ 8.2°C ขณะที่ชุดcribระบายความร้อนแบบ (ง) และ (จ) จะมีผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้า-ออกสูงสุดที่ 10.1°C

จากรูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิน้ำที่ทางออกของชุดcribระบายความร้อนแบบต่างๆจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของไหล

หล่อเย็นที่ทางออกของชุดcribระบายความร้อน (จ) มีอุณหภูมิต่ำสุด และชุดcribระบายความร้อน (ง), (ค), (ฉ), (ก), และ (ข) มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามลำดับ โดยที่ชุดcribระบายความร้อน (จ) สามารถทำอุณหภูมิได้ 14.82°C ชุดcribระบายความร้อน (ง) ทำอุณหภูมิได้ 14.93°C ชุดcribระบายความร้อน (ค) ทำอุณหภูมิได้ 15.48°C ชุดcribระบายความร้อน (ฉ) ทำอุณหภูมิได้ 16.44°C ชุดcribระบายความร้อน (ก) ทำอุณหภูมิได้ 16.76°C และชุดcribระบายความร้อน (ข) ทำอุณหภูมิได้ 16.78°C จากผลการจำลองดังกล่าวนี้สามารถสรุปได้ว่าชุดcribระบายความร้อน (จ) มีประสิทธิภาพการทำความเย็นให้กับของไหลหล่อเย็นได้มากที่สุดขณะที่แรงดันตกคร่อมก็มีค่าสูงที่สุดด้วยเช่นกัน



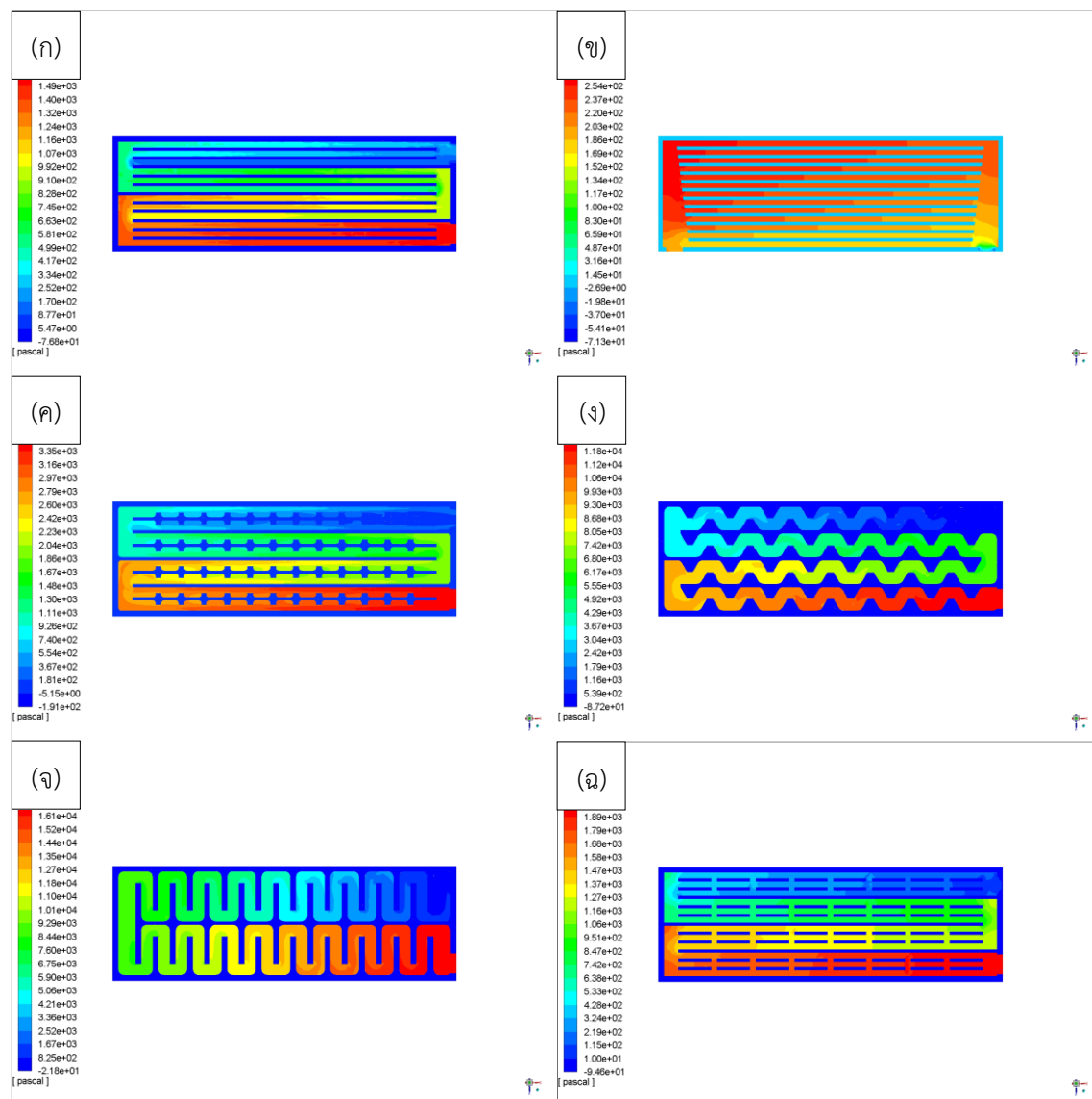
รูปที่ 4 อุณหภูมิน้ำที่ทางออกของชุดcribระบายความร้อนแบบต่าง ๆ



รูปที่ 5 อุณหภูมิภายในชุดครีบบระบายความร้อนทั้ง 6 แบบ

จากรูปที่ 5 แสดงการกระจายตัวอุณหภูมิในชุดครีบบระบายความร้อนแต่ละโมเดล จะเห็นได้ว่าช่องการไหลที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดการบังคับทิศทางการไหลของไหลหล่อเย็นได้แตกต่างกัน จึงทำให้แลกเปลี่ยนความร้อนได้ไม่เท่ากัน โดยจะเห็นได้ว่าชุดครีบบระบายความร้อนที่มีช่องการไหลแบบรูปที่ 5 (จ) และรูปที่ 5 (ง) สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดี จึงทำอุณหภูมิของน้ำที่

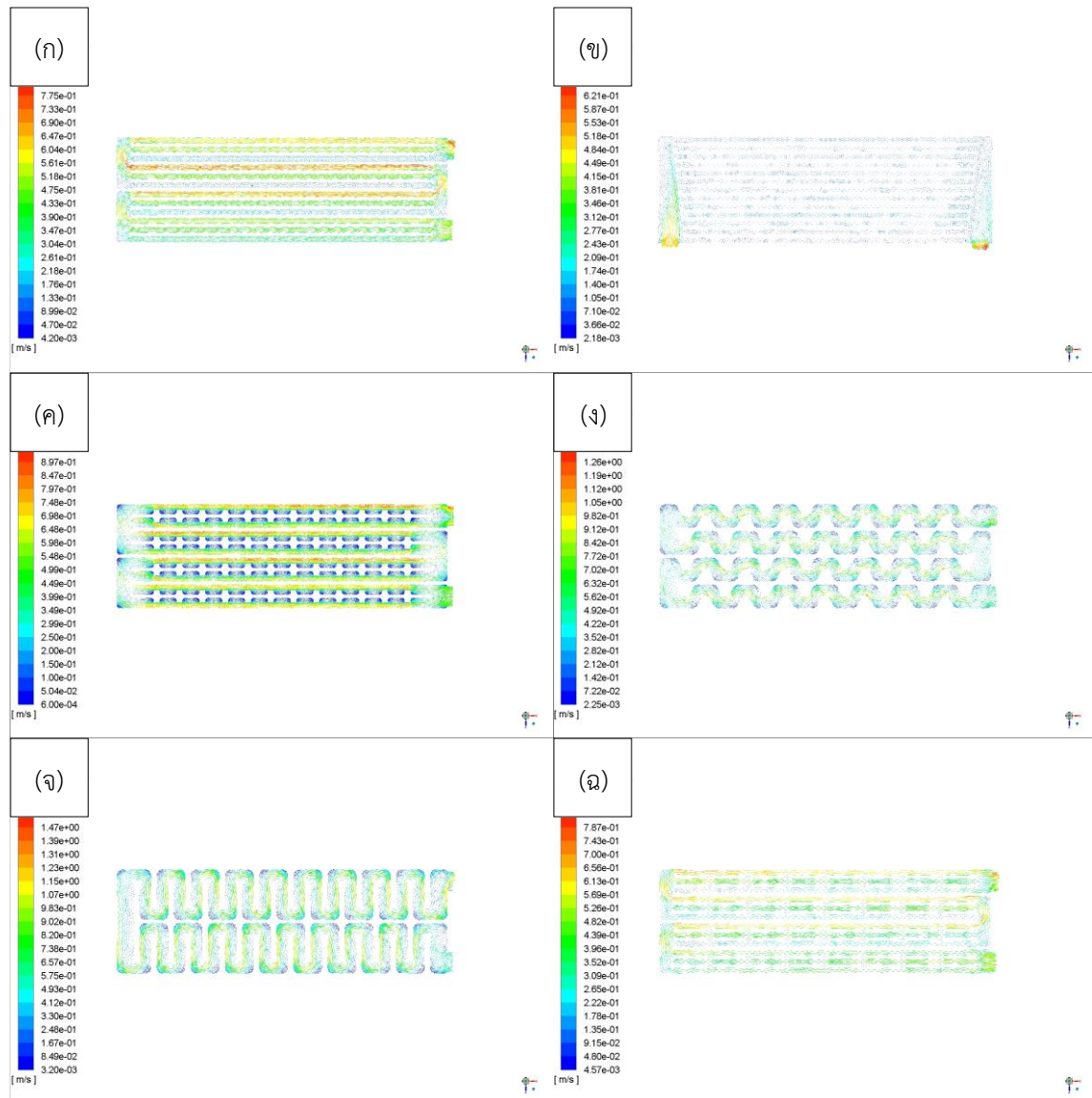
ทางออกของชุดครีบบระบายความร้อนมีค่า 14.82 °C และ 14.93 °C ตามลำดับ ชุดครีบบระบายความร้อนที่มีช่องการไหลแบบรูปที่ 5 (ด) รูปที่ 5 (ก) และรูปที่ 5 (ข) สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้ไม่ดี จึงทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ทางออกของชุดครีบบระบายความร้อนมีค่า 16.44 °C, 16.76 °C, และ 16.78 °C ตามลำดับ



รูปที่ 6 ความดันของของไหลภายในชุด cribระบายความร้อนทั้ง 6 แบบ

จากรูปที่ 6 แสดงความดันของของไหลภายในชุด cribระบายความร้อนทั้ง 6 แบบ จะเห็นได้ว่าลักษณะของช่องการไหลของชุด cribระบายความร้อนที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อความดันที่เกิดขึ้นภายในชุด cribระบายความร้อน โดยชุด cribระบายความร้อนที่มีช่องการไหลซับซ้อนและมีการเปลี่ยนทางการไหลแบบฉับพลัน จะทำให้เกิดความดันตกคร่อมที่สูงกว่าชุด cribระบายความร้อนที่มีช่องการไหลที่ไม่ซับซ้อนเนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของไหลและผิว crib มากขึ้น และจะเห็นได้ว่าชุด cribระบาย

ความร้อนที่มีช่องการไหลแบบ (ก) ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) มีความซับซ้อนไม่มากจึงทำให้เกิดความดันตกคร่อมเท่ากับ 1.315 kPa, ชุด cribระบายความร้อนที่มีช่องการไหลแบบ (ข) ดังแสดงในรูปที่ 6 (ข) เป็นช่องการไหลที่ไม่ซับซ้อนจึงเกิดทำให้เกิดความดันตกคร่อมเท่ากับ 0.112 kPa ชุด cribระบายความร้อนที่มีช่องการไหลแบบ (ค) ดังแสดงในรูปที่ 6 (ค) มี crib ขนาดเล็กในแนวขวาง ทำให้ขัดขวางการไหลของของไหลหล่อเย็น จึงทำให้เกิดความดันตกคร่อมเท่ากับ 11.893 kPa ชุด cribระบายความร้อน



รูปที่ 7 เวกเตอร์ความเร็วของของไหลภายในชุดครีบบระบายความร้อนทั้ง 6 แบบ

ที่มีช่องการไหลแบบ (ง) ดังแสดงในรูปที่ 6 (ง) เป็นชุดครีบบระบายความร้อนที่มีช่องการไหลที่ซับซ้อนมากขึ้น แต่ไม่ขัดขวางช่องทางการไหล จึงทำให้เกิดความดันตกคร่อมเท่ากับ 3.166 kPa ชุดครีบบระบายความร้อนที่มีช่องการไหลแบบ (จ) ดังแสดงในรูปที่ 6 (จ) เป็นช่องการไหลที่มีความซับซ้อนและมีการเปลี่ยนทางการไหลแบบฉับพลันจึง

ทำให้เกิดความดันตกคร่อมที่มีค่าสูงถึง 16.082 kPa และชุดครีบบระบายความร้อนที่มีช่องการไหลแบบ (ฉ) ดังแสดงในรูปที่ 6 (ฉ) เป็นชุดครีบบระบายความร้อนที่มีความซับซ้อนไม่มาก จึงทำให้เกิดความดันตกคร่อมเท่ากับ 1.899 kPa

จากการคำนวณระเบียบวิธีเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดค่าอัตราการไหลหรือค่าความเร็วที่ทางเข้าของชุดครีบบระบายความร้อนที่เท่ากันในแต่ละโมเดล จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ถึงเวกเตอร์ของความเร็วที่เกิดขึ้นภายในชุดครีบบระบายความร้อน โดยชุดครีบบระบายความร้อนแต่ละโมเดลจะมีการกระจายตัวที่แตกต่างกัน ตามลักษณะของช่องการไหล ชุดครีบบระบายความร้อนที่มีช่องการไหลแบบรูปที่ 7 (ก) เกิดการกระจายตัวของความเร็วไม่สม่ำเสมอตั้งแต่ช่วงกลางของชุดครีบบระบายความร้อนเป็นต้นไป ชุดครีบบระบายความร้อนที่มีช่องการไหลแบบรูปที่ 7 (ข) จะเกิดความเร็วสูงที่ทางเข้า ส่วนด้านล่างของชุดครีบบระบายความร้อนจะมีความเร็วที่ช้ามาก การกระจายตัวของความเร็วทำได้ไม่ดี ชุดครีบบระบายความร้อนที่มีช่องการไหลแบบรูปที่ 7 (ค) จะเกิดการไหลที่ช้าในบริเวณใกล้ครีบลำและเกิดการไหลที่เร็วบริเวณผนังของชุดครีบบระบายความร้อน ชุดครีบบระบายความร้อนที่มีช่องการไหลแบบรูปที่ 7 (ง) และรูปที่ 7 (จ) จะทำให้เกิดการไหลที่มีความสม่ำเสมอ ชุดครีบบระบายความร้อนที่มีช่องการไหลแบบรูปที่ 7 (ฉ) จะเกิดการกระจายตัวของความเร็วที่ไม่สม่ำเสมอตั้งแต่ช่วงกลางของชุดครีบบระบายความร้อนเป็นต้นไป

4. สรุป

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงการออกแบบและวิเคราะห์ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเกี่ยวกับลักษณะการถ่ายเทความร้อน ความเร็วและความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นภายในชุดครีบบระบายความร้อนแบบต่าง ๆ ด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้กับแบบจำลองชุดครีบบระบายความร้อนแต่ละแบบจะมีค่าเท่ากัน จากการศึกษาพบว่าช่องการไหลของชุดครีบบระบายความร้อนแบบต่าง ๆ ส่งผลต่อพฤติกรรมการไหลของของไหลหล่อเย็น และส่งผลต่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างชุดครีบบระบายความร้อนกับของไหลหล่อเย็น ชุดครีบบระบายความร้อนแต่ละแบบมีการกระจายตัวของอุณหภูมิ ความดันตกคร่อมและ

ความเร็วที่เกิดขึ้นภายในชุดครีบบระบายความร้อนที่แตกต่างกันเนื่องจากมีลักษณะของช่องการไหลและรูปแบบครีบบที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยชุดครีบบระบายความร้อนแบบ (จ) สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด แต่ขณะเดียวกันก็มีค่าความดันตกคร่อมสูงตามไปด้วย และยังพบว่าชุดครีบบแบบ (ง) ให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนใกล้เคียงกับชุดครีบบ (จ) แต่มีค่าความดันตกคร่อมที่มีค่าต่ำกว่า ดังนั้นในการวิเคราะห์ครั้งนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าชุดครีบบ (ง) จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการออกแบบชุดครีบบสำหรับระบายความร้อนสำหรับทำน้ำเย็นร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับหล่อเย็นให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ เพื่อให้ชุดทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามผล ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการเทอร์โม-ของไหลและการถ่ายเทความร้อน (TFHT) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ รวมทั้งเครื่องมือเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Y.-W. Chang, C.-C. Chang, M.-T. Ke, S.-L. Chen, "Thermoelectric air-cooling module for electronic devices," Applied Thermal Engineering, vol. 29, pp. 2731-2737, 2009.
- [2] P. Naphon and S. Wiriyaart, "Liquid cooling in the mini-rectangular fin heat sink with and without thermoelectric for CPU," International Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 36, pp. 166-171, 2009.
- [3] H.-S. Huang, Y.-C. Weng, Y.-W. Chang, S.-L. Chen, M.-T. Ke, "Thermoelectric water-

- cooling device applied to electronic equipment,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 37, pp. 140-146, 2010.
- [4] Y. Zhou and J. Yu, “Design optimization of thermoelectric cooling systems for applications in electronic devices,” *International Journal of Refrigeration*, vol. 35, pp. 1139-1144, 2012.
- [5] L. Zhu, H. Tan, J. Yu, “Analysis on optimal heat exchanger size of thermoelectric cooler for electronic cooling applications,” *Energy Conversion and Management*, vol. 76, pp. 685-690, 2013.
- [6] D. Liu, F.-Y. Zhao, H.-X. Yang, G.-F. Tang, “Thermoelectric mini cooler coupled with micro thermosiphon for CPU cooling system,” *Energy*, vol. 83, pp. 29-36, 2015.
- [7] R. Nebbati and M. Kadja, “Study of Forced Convection of a Nanofluid Used as a Heat Carrier in a Microchannel Heat Sink,” *Energy Procedia*, vol. 74, pp. 633-642, 2015.
- [8] S. Wiriyaart and P. Naphon, “Study on Liquid Jet Impingement Heat Transfer and Flow Behaviors of the Vapor Chambers with and without Mini-channel,” in *Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand.*, Nakhon Nayok., 2017.
- [9] S. Wiriyaart and P. Naphon, “Thermal Cooling of Electronic Devices with Cold Plate Using Liquid as Coolant,” in *Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand.*, Nakhon Nayok., 2017.
- [10] Y. Wang, Y. Shi, D. Liu, “Performance analysis and experimental study on thermoelectric cooling system coupling with heat pipe,” *Procedia Engineering*, vol. 205, pp. 871-878, 2017.
- [11] Y. M. Seo et al., “A numerical study on the performance of the thermoelectric module with different heat sink shapes,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 128, pp. 1082-1094, 2018.
- [12] S. Wiriyaart and P. Naphon, “Study on thermal performance of cold plate unit with micro-channel for supercomputer cooling,” *JP Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 15, pp. 77-92, 2018.