การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การออกแบบหาค่าเหมาะสมสุดของอุปกรณ์ระบายความร้อนแบบครีบแผ่น โดยใช้เอ็มพีเอสโอร่วมกับพื้นผิวตอบสนอง

Design Optimization of Plate-Fin Heat Sinks Using Hybridization of MPSO and RSM

สังคม ศรีสมพร[1*] และ สุจินต์ บุรีรัตน์[2]

[1] คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร อ.เมือง จ.สกลนคร 47000
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
*ผู้ติดต่อ: sungkomjustin@gmail.com โทร. 042-725033 โทรสาร 042-725034

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือการนำเสนอวิธีการออกแบบอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยอากาศแบบครีบแผ่นด้วยวิธีหาค่าเหมาะสมสุดแบบหลายเป้าหมายโดยใช้ขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการ ในการศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบผลของการหาค่าเหมาะสมสุดสองวิธีด้วยกัน คือ การหาค่าเหมาะสมสุดด้วยขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการร่วมกับวิธีพื้นผิวตอบสนองและการหาค่าเหมาะสมสุดด้วยขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการโดยไม่ใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง เป้าหมายของการออกแบบคือการหาค่าต่ำสุดของอุณหภูมิจุดต่อระหว่างฐานของอุปกรณ์ระบายความร้อนและการหาค่าต่ำสุดของกำลังพัดลมที่ต้องใช้ในการผลักอากาศเข้าไประบายความร้อนในอุปกรณ์ระบายความร้อน เงื่อนไขของการออกแบบคือข้อจำกัดด้านความสูงของครีบระบายความร้อน สำหรับขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการที่เลือกมาใช้ในการศึกษาคือเอ็มพีเอสโอ ซึ่งจากผลการศึกษาเปรียบเทียบกันระหว่างขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการที่ไม่ใช้และใช้พื้นผิวตอบสนองพบว่าขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการที่ใช้ร่วมกับวิธีพื้นผิวตอบสนองให้ผลการออกแบบที่ดีกว่าขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการที่ไม่ใช่วิธีพื้นผิวตอบสนอง

คำหลัก: เอ็มพีเอสโอ, พื้นผิวตอบสนอง, อุปกรณ์ระบายความร้อนแบบครีบแผ่น

Abstract

The aim of this study is to demonstrating the practical multiobjective optimization of plate-fin heat sinks and the superiority of using a combined response surface method and multiobjective evolutionary optimizer over solely using the evolutionary optimizer. The design problem is posed to find heat sink shapes which minimize the junction temperature and fan pumping power while meeting predefined constraints. Design constraints are given in such a way that the maximum and minimum fin heights are properly limited. The MPSO evolutionary algorithm and two multiobjective evolutionary optimization strategies with and without the use of a response surface technique are implemented to explore the Pareto optimal front. The optimum results can be said that, the multiobjective optimizer in association with the response surface technique totally outperforms the other.

Key words: Multiobjective particle swarm, Response surface method, Plate-fin heat sink

1. บทนำ

อุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยอากาศแบบครีบแผ่นเป็นที่นิยมใช้ในการระบายความร้อนออกจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากราคาที่ต่ำและไม่ต้องกลัวว่าจะเกิดความเสียหายเนื่องจากการรั่วไหลของตัวกลางในการระบายความร้อน ดังนั้นจึงได้มีนักวิจัยพยายามที่จะพัฒนาวิธีการออกแบบอุปกรณ์ระบายความร้อนประเภทนี้ ซึ่งมีทั้งการหาสมการการถ่ายเทความร้อน การทดลองและการใช้โปรแกรมทางวิศวกรรมในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนรวมไปถึงการปรับเปลี่ยน เพิ่มเติมรูปร่างและตัวกลางในการระบายความร้อน[1-3] เป็นต้น วิธีหนึ่งที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบคือกระบวนการหาค่าเหมาะสมสุด (Optimization Process) ซึ่งมีทั้งการศึกษาการหาค่าเหมาะสมสุดแบบฟังก์ชันเป้าหมายเดียวและการศึกษาแบบหลายฟังก์ชันเป้าหมาย นอกจากนี้ยังมีการนำเอาแบบจำลองการประมาณค่ามาใช้ในการออกแบบหาค่าเหมาะสมสุดอีกด้วย ยกตัวอย่างเช่น วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Method) หรือ RSM [4] แบบจำลองของ Kriging [5] และแบบจำลอง gray-fuzzy logic based on orthogonal arrays [6] สำหรับการหาคำตอบของฟังก์ชันเป้าหมายนั้นมีทั้งใช้การทดลองเพื่อหาคำตอบและการใช้ระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการวิเคราะห์หาคำตอบ ซึ่งการศึกษาที่ผ่านมาเป็นการออกแบบขนาดของครีบอุปกรณ์ระบายความร้อน โดยที่มีข้อจำกัดก็คือรูปร่างของครีบระบายความร้อนที่ใช้ในกระบวนการออกแบบหาค่าเหมาะสมสุดไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ในระหว่างกระบวนการ ซึ่งในการออกแบบแต่ละครั้งจะได้โพรไฟล์ (Profile) ของครีบระบายความร้อนแค่โพรไฟล์เดียวเท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ศึกษาถึงการออกแบบอุปกรณ์ระบายความร้อนที่ระบายความร้อนด้วยอากาศแบบครีบแผ่นโดยใช้ขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการแบบหลายเป้าหมายในการหาค่าเหมาะสมสุด โดยในการศึกษาได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองพื้นผิวตอบสนองมาใช้ร่วมกับวิธีวิวัฒนาการแบบหลายเป้าหมาย เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการออกแบบ และในระหว่างกระบวนการหาค่าเหมาะสมสุดรูปร่างหรือโปรไฟล์ของครีบระบายความร้อนสามารถที่จะปรับเปลี่ยนขนาด ทิศทาง และมุมของครีบได้เองตามความเหมาะสมอีกด้วย

2. การทำงานร่วมกันของเอ็มพีเอสโอและแบบจำลองพื้นผิวตอบสนอง

พีเอสโอ (PSO) เป็นขั้นตอนวิธีที่มีแรงดลใจมาจากธรรมชาติ โดยเฉพาะการเคลื่อนที่ของฝูงปลาและฝูงนก การเคลื่อนที่ทั้งสองแบบเป็นการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบย่อย ๆ ที่เคลื่อนที่ด้วยกันอย่างประสานเวลา ปลาหรือนกสามารถเคลื่อนที่เป็นฝูงแล้วรวมตัวกลับเข้ามาฝูงอีกครั้ง ดังนั้นจึงมีการนำเอาลักษณะการเคลื่อนที่ดังกล่าวมาใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการออกแบบหาค่าเหมาะสมสุด โดยแทนการเคลื่อนที่ของฝูงนกและฝูงปลาด้วยกลุ่มของอนุภาคซึ่งสามารถพิจารณาเป็นพฤติกรรมทางสังคมได้ พีเอสโอมีคุณลักษณะหลายอย่างที่เหมือนกับการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ เช่น ขั้นตอนวิธีทางพันธุศาสตร์ โดยพีเอสโอมีการสุ่มสร้างประชากรเริ่มต้นและใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดด้วยการปรับประชากรนั้น ๆ ในทุกรอบการคำนวณ (ทุกรุ่นหรือทุกรอบการคำนวณ) อย่างไรก็ดีพีเอสโอมีความแตกต่างไปจากขั้นตอนวิธีทางพันธุศาสตร์ตรงที่ไม่มีปฏิบัติการทางสายพันธุ์ เช่น การทำครอสโอเวอร์ (Cross Over) หรือมิวเตชัน (Mutation) ในพีเอสโอคำตอบของระบบถูกแทนด้วยตำแหน่งของอนุภาคที่เคลื่อนที่ไปในปริภูมิค้นหา (Search Space) โดยมีทิศทางไปตามตำแหน่งของอนุภาคที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่สุดในขณะนั้น เมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีทางพันธุศาสตร์แล้วข้อได้เปรียบของพีเอสโอคือความง่ายของอัลกอลิทึมและการปรับแต่งอัลกอลิทึมด้วยจำนวนพารามิเตอร์เพียงไม่กี่ตัวเท่านั้น วิธีพื้นผิวตอบสนองเป็นที่ยอมรับในการนำมาใช้ร่วมกับกระบวนการหาค่าเหมาะสมสุด

ซึ่งจะพบได้จากมีการนำไปใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโดยใช้วิธีหาค่าเหมาะสมสุดทั้งแบบเป้าหมายเดียวและวิธีการหาค่าเหมาะสมสุดหลายเป้าหมาย การทำงานของวิธีพื้นผิวตอบสนองก็คือการนำข้อมูลมาสร้างเป็นสมการพื้นผิวเพื่อใช้เป็นแบบจำลองในการประมาณค่าฟังก์ชันเป้าหมายหรือฟังก์ชันเงื่อนไข ในการหาค่าเหมาะสมสุดจะใช้แบบจำลองการประมาณค่าฟังก์ชันเป้าหมายจากวิธีพื้นผิวตอบสนองมากกว่าการหาค่าฟังก์ชันเป้าหมายจากสมการฟังก์ชันเป้าหมายจริง ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับกรณีการออกแบบหาค่าเหมาะสมสุดที่มีฟังก์ชันเป้าหมายซับซ้อน ใช้เวลาในการหาคำตอบนาน ดังนั้นวิธีพื้นผิวตอบสนองที่นำมาใช้งานร่วมกับกระบวนการหาค่าเหมาะสมสุดจะช่วยลดเวลาในการหาผลเฉลยของการออกแบบลง แต่อย่างไรก็ตามวิธีการพื้นผิวตอบสนองก็มีข้อเสียคือหากการประมาณค่าของแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองไม่ดีพออาจจะส่งผลให้กระบวนการหาคำตองของวิธีวิวัฒนาการไม่สามารถลู่เข้าหาคำตอบเหมาะสมสุดได้ สำหรับการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้แบบจำลองพื้นผิวตอบสนองที่ถูกสร้างขึ้นมาจากวิธี Surface Spline Interpolation Technique [7] ขั้นตอนการทำงานร่วมกันของเอ็มพีเอสโอและแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1. เริ่มต้นการทำงาน กำหนดให้ k = 0, สุ่มค่าเวคเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคย่อย $x_i(k)$, สุ่มค่าเวคเตอร์ความเร็วของอนุภาคย่อย $v_i(k)$, หาค่าฟังก์ชันเป้าหมาย $f(x_i(k))$ และหาค่าผลเฉลยภายนอกของพาเรโต A^k โดยพิจารณาจากค่าของ $f(x_i(k))$

2. เลือกสมาชิกบางตัวจากเวคเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคย่อย $x_i(k)$ และค่าฟังก์ชันเป้าหมาย $f(x_i(k))$ เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองพื้นผิวตอบสนอง

3. ค้นหาแนวของพาเรโตโดยใช้แบบจำลองพื้นผิวตอบสนองโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

3.1 เริ่มต้นการทำงาน กำหนดให้ t =0 สุ่มค่าเวคเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคย่อย $y_i(t)$, สุ่มค่าเวคเตอร์ความเร็วของอนุภาคย่อย $u_i(t)$, หาค่าฟังก์ชันเป้าหมายโดยใช้ฟังก์ชันที่ได้จากแบบจำลองพื้นผวตอบสนอง $g(y_i(t))$, หาค่าผลเฉลยภายนอกของพาเรโต B^t

3.2 กำหนดค่า $t = t+1$ หาค่า $y_i(t)$, $u_i(t)$ โดยใช้สมการที่ 1 และสมการที่ 2 ตามลำดับ, หาค่าฟังก์ชันเป้าหมาย $g(y_i(t))$

$$v_i(k) = W_i v_i(k-1) + C_1 r_1 (p_i^{best} - x_i(k)) + C_2 r_2 (g_i^{best} - x_i(k)) \quad (1)$$

$$x_i(k) = x_i(k-1) + v_i(k) \quad (2)$$

เมื่อ $x_i(k)$ คือ ตำแหน่งของอนุภาคย่อยที่ i^{th} ของรอบการคำนวณ k^{th}

$v_i(k)$ คือ เวคเตอร์ความเร็วของตำแหน่งอนุภาคย่อย $x_i(k)$ ที่รอบการคำนวณ k^{th}

W_i คือ ค่าน้ำหนักความเฉื่อยที่ใช้สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

$r_1, r_2 \in [0,1]$ คือ ตัวเลขการสุ่มแบบสม่ำเสมอ

C_1 คือ ปัจจัยการเรียนรู้เชิงปริชาน (Cognitive learning factor)

C_2 คือ ปัจจัยการเรียนรู้ทางสังคม (Social Learning factor)

p_i^{best} คือ ค่าเหมาะสมที่ดีที่สุดของอนุภาคย่อย x_i (Personal best)

g_i^{best} คือ ค่าเหมาะสมที่ดีที่สุดวงกว้าง (Global best)

3.3 หาผลเฉลยภายนอกของพาเรโตค่าใหม่ B^t จากผลเฉลยภายนอกของพาเรโตรอบก่อน B^{t-1} ร่วมกับการพิจาณาจากค่าฟังก์ชันเป้าหมาย $g(y_i(t))$

3.4 หากเมตริกซ์ผลเฉลยภายนอกของพาเรโต B^t มีจำนวนผลเฉลยที่ไม่ถูกครอบงำมากกว่าค่าที่กำหนดให้เก็บไว้ได้ ใช้ เอจีเอ (AGA:

Adaptive Grid Algorithm) ในการกำจัดผลเฉลยในส่วนที่เกินมาทิ้งไป

3.5 หยุดการทำงานและไปที่ขั้นตอนที่ 4 ถ้าคำนวณวนรอบครบตามที่กำหนดไว้ $(t = t_{\max})$

3.6 ถ้าคำนวณวนรอบยังไม่ครบตามที่กำหนด ให้ปรับปรุงเมตริกซ์ค่าเหมาะสมที่ดีที่สุดของอนุภาคย่อย y_i หรือ p_i^{best} แล้วกลับไปขั้นตอนที่ 3.2

4. หาค่าฟังก์ชันเป้าหมายจริงจากผลเฉลยที่ไม่ถูกครอบงำที่ได้จากแบบจำลองพื้นผิวตอบสนอง, $f(B^t)$

5. กำหนดค่า $k = k+1$ หาค่า $x_i(k)$, $v_i(k)$ โดยใช้สมการที่ 1 และสมการที่ 2 ตามลำดับ, หาค่าฟังก์ชันเป้าหมาย $f(x_i(k))$

6. หาผลเฉลยภายนอกของพาเรโตค่าใหม่ A^k จากผลเฉลยภายนอกของพาเรโตรอบก่อน A^{k-1} ร่วมกับการพิจาณาจากค่าฟังก์ชันเป้าหมาย $f(x_i(k))$ และ $f(B^t)$ จากขั้นตอนที่ 4

7. หากเมตริกซ์เก็บผลเฉลยภายนอกของพาเรโต A^k มีจำนวนผลเฉลยที่ไม่ถูกครอบงำมากกว่าค่าที่กำหนดให้เก็บไว้ได้ ใช้เอจีเอในการกำจัดผลเฉลยในส่วนที่เกินมาทิ้งไป

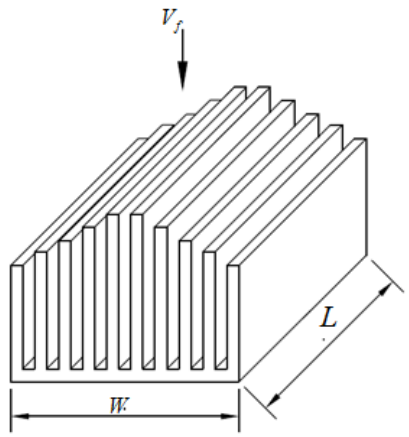
8. หยุดการทำงานถ้าคำนวณวนรอบครบตามที่กำหนดไว้ $(k = k_{\max})$

9. ถ้าคำนวณวนรอบยังไม่ครบตามที่กำหนด ให้ปรับปรุงเมตริกซ์ค่าเหมาะสมที่ดีที่สุดของอนุภาคย่อย x_i หรือ p_i^{best} แล้วกลับไปขั้นตอนที่ 5

สำหรับการศึกษานี้ ค่าของ g_i^{best} ถูกสุ่มเลือกมาจากเมตริกซ์เก็บผลเฉลยภายนอกของพาเรโต ผลเฉลยที่ไม่ถูกครอบงำของกลุ่มประชากรใหม่และผลเฉลยที่ไม่ถูกครอบงำในเมตริกซ์เก็บผลเฉลยของพาเรโตก่อนหน้านั้นจะถูกนำมารวมกันและนำไปเก็บไว้ในเมตริกซ์เก็บผลเฉลยภายนอกของพาเรโตตัวใหม่ ในกรณีที่ผลเฉลยที่ไม่ถูกครอบงำของการดำเนินการมีจำนวนมากเกินกว่าค่าที่กำหนดให้เมตริกซ์เก็บผลเฉลยของพาเรโตเก็บไว้ได้ ในการศึกษานี้ใช้เอจีเอในการกำจัดผลเฉลยที่ไม่ถูกครอบงำบางส่วนออกจากเมตริกซ์เก็บผลเฉลยของพาเรโต ซึ่งหลักการทำงานของเอจีเอคือการสร้างกริดขึ้นมาคลุมผลเฉลยที่ไม่ถูกครอบงำทั้งหมด หนึ่งในสมาชิกในบริเวณที่มีความหนาแน่นของผลเฉลยมากที่สุดจะถูกกำจัดทิ้งไปจากเมตริกซ์เก็บผลเฉลยของพาเรโต หลังจากนั้นจะมีการค้นหาบริเวณที่มีผลเฉลยหนาแน่นใหม่ และทำการกำจัดผลเฉลยบริเวณที่มีความหนาแน่นทิ้งไป โดยวนรอบการกระทำจนกว่าจำนวนผลเฉลยที่ไม่ถูกครอบงำจะมีจำนวนเท่ากับค่าที่กำหนดให้เมตริกซ์เก็บผลเฉลยของพาเรโตรับไว้ได้

3. รูปร่างของปัญหาและตัวแปรออกแบบ

รูปที่ 1 แสดงรูปร่างของอุปกรณ์ระบายความร้อนที่ใช้ในการออกแบบหาค่าเหมาะสมสุด ซึ่งจะพบว่าความสูงของครีบระบายความร้อนมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากต้องการให้มีครีบทุกครีบมีการเปลี่ยนแปลงความสูงในระหว่างกระบวนการออกแบบอย่างเป็นอิสระต่อกันเพื่อให้ได้รูปร่างของอุปกรณ์ระบายความร้อนที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด สำหรับความกว้าง (W) และความยาว (L) ของอุปกรณ์ระบายความร้อนกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 60 มิลลิเมตร และ 80 มิลลิเมตรตามลำดับ



รูปที่ 1 รูปร่างของอุปกรณ์ระบายความร้อน

รูปที่ 2 แสดงพื้นที่หน้าตัดและตัวแปรออกแบบของการออกแบบอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยอากาศแบบครีบแผ่น โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวแปรออกแบบในการศึกษาทั้งสิ้น 7 ตัวแปรด้วยกัน ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

กำหนดให้ $X = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7]$ เป็นตัวแปรออกแบบของการศึกษาครั้งนี้ โดยที่

$x_1 = d$ คือ ความหนาของครีบ มีขอบเขตของการออกแบบ $[0.5,3]$ มิลลิเมตร

$x_2 = n$ คือ จำนวนของครีบ มีขอบเขตของการออกแบบ $[5,30]$ มิลลิเมตร

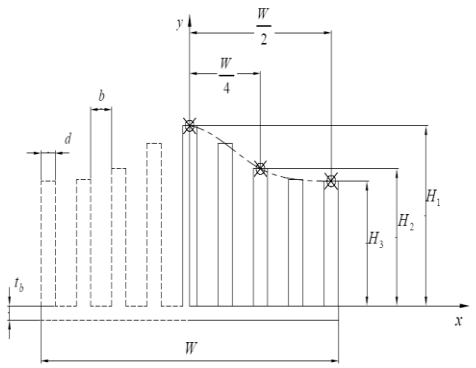
$x_3 = t_b$ คือ ความหนาของฐาน มีขอบเขตของการออกแบบ $[1,5]$ มิลลิเมตร

$x_4 = H_1$ คือ ความสูงของครีบ มีขอบเขตของการออกแบบ $[25,140]$ มิลลิเมตร

$x_5 = H_2$ คือ ความสูงของครีบ มีขอบเขตของการออกแบบ $[25,140]$ มิลลิเมตร

$x_6 = H_3$ คือ ความสูงของครีบ มีขอบเขตของการออกแบบ $[25,140]$ มิลลิเมตร

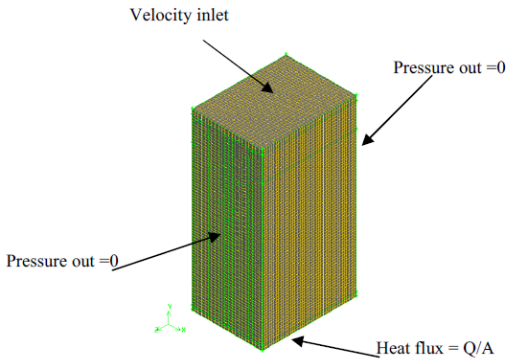
$x_7 = V_f$ คือ ความเร็วของอากาศ มีขอบเขตของการออกแบบ $[0.5,6]$ เมตรต่อวินาที



รูปที่ 2 พื้นที่หน้าตัดและตัวแปรออกแบบของอุปกรณ์ระบายความร้อน

สำหรับตัวแปรออกแบบที่เป็นความสูงของครีบระบายความร้อน H_1, H_2 และ H_3 เป็นตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมการกระจายความสูงของครีบระบายความร้อนให้มีความสูงแตกต่างกันออกไปในระหว่างกระบวนการหาค่าเหมาะสมสุด

การวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบของสมการเป้าหมายของการศึกษาในครั้งนี้ใช้วิธีปริมาตรจำกัดในการหาคำตอบ รูปที่ 3 แสดงแบบจำลองและการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีปริมาตรจำกัด



รูปที่ 3 แสดงกริดและขอบเขตของปัญหา

4. ฟังก์ชันเป้าหมายและเงื่อนไขของการหาค่าเหมาะสมสุด

ฟังก์ชันเป้าหมายที่ใช้ในการออกแบบหาค่าเหมาะสมสุดของอุปกรณ์ระบายความร้อนแบบครีบแผ่นในการศึกษาครั้งนี้มีทั้งหมดสองฟังก์ชันเป้าหมาย คือ ค่าอุณหภูมิจุดต่อระหว่างอุปกรณ์ระบายความร้อนและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่ำสุด และค่ากำลังที่พัดลมต้องใช้ในการผลักอากาศเข้าไประบายความร้อนต่ำสุด ซึ่งทั้งสองเป้าหมายนี้จะมีความขัดแย้งกัน กล่าวคือหากต้องการให้ค่าอุณหภูมิจุดต่อต่ำจะต้องใช้ความเร็วของอากาศในการระบายความร้อนสูงซึ่งจะส่งผลให้ต้องใช้กำลังในการผลักอากาศสูงตามไปด้วย ในทางกลับกันเมื่อใช้ความเร็วของอากาศต่ำเพื่อเป็นการลดกำลังของพัดลมลง ผลที่ตามมาคือการระบายความร้อนออกจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำได้น้อย ส่งผลให้อุณหภูมิจุดต่อมีค่าสูงขึ้น สำหรับสมการการหาค่าเหมาะสมสุดแบบหลายเป้าหมายเป็นไปตามสมการที่ 3

$$\min_x f(x) = \{f_1(x) \quad f_2(x)\} \tag{3}$$

เมื่อฟังก์ชันเป้าหมาย f_1 และ f_2 มีค่าตามสมการที่ 4 และสมการที่ 5 ดังนี้

$$f_1(x) = T_{jc} = T_a + QR_{HS} \tag{4}$$

$$f_2(x) = P_F = \frac{\dot{m}_a \Delta P}{\rho_a} \tag{5}$$

ในการออกแบบหาค่าเหมาะสมสุดได้กำหนดเงื่อนไขของการออกแบบ ซึ่งเป็นเงื่อนไขของรูปร่างอุปกรณ์ระบายความร้อนและเงื่อนไขอุณหภูมิที่จุดต่อไว้ดังต่อไปนี้

$$10 - \frac{H_{\min}}{b} \le 0 \qquad (6)$$

$$\frac{H_{\max}}{b} - 25 \le 0 \qquad (7)$$

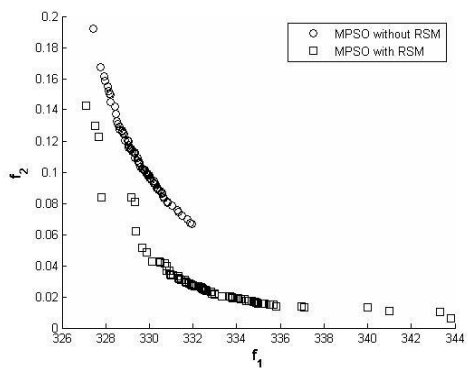
$$f_1 - 355 \le 0 \qquad (8)$$

โดยที่ $H_{\min}$ และ $H_{\max}$ คือ ความสูงต่ำสุดและความสูงสูงสุดของครีบระบายความร้อน ส่วน b คือระยะห่างระหว่างครีบระบายความร้อน

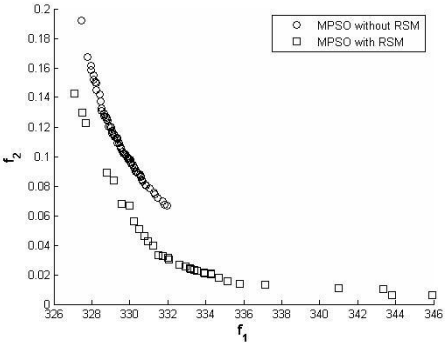
5. ผลการศึกษา

ในการออกแบบหาค่าเหมาะสมสุดแบบหลายเป้าหมายด้วยเอ็มพีเอสโอโดยไม่ใช้แบบจำลองพื้นผิวตอบสนอง (MPSO without RSM) กำหนดให้มีขนาดของประชากรเท่ากับ 25 และใช้จำนวนรอบในการหาแนวผลเฉลยของพาเรโตทั้งหมด 50 รอบ สำหรับการออกแบบหาค่าเหมาะสมสุดแบบหลายเป้าหมายด้วยเอ็มพีเอสโอร่วมกับแบบจำลองพื้นผิวตอบสนอง (MPSO with RSM) กำหนดให้มีขนาดของประชากรเท่ากับ 25 และในแต่ละรอบของการหาผลเฉลยกำหนดให้ 25 ตำแหน่งของอนุภาคย่อยที่ได้จากการหาผลเฉลยโดยใช้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ได้จากการประมาณค่าโดยแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองส่งเข้าไปรวมกับ 25 ตำแหน่งของอนุภาคย่อยของการหาผลเฉลยโดยฟังก์ชันเป้าหมายจริงของเอ็มพีเอสโอ เพื่อนำไปหาผลเฉลยของปัญหาการออกแบบต่อไป ดังนั้นจึงกำหนดค่าการวนรอบของการออกแบบหาค่าเหมาะสมสุดแบบหลายเป้าหมายด้วยเอ็มพีเอสโอร่วมกับแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองไว้ที่ 25 รอบการคำนวณ ขนาดของเมตริกซ์เก็บผลเฉลยภายนอกของพาเรโตกำหนดไว้ที่ 80 ค่าทั้งสองวิธีการออกแบบโดยในการเริ่มต้นทำงานของทั้งสองวิธีเริ่มต้นที่เงื่อนไขเริ่มต้นเดียวกัน กำหนดค่าของปัจจัยการเรียนรู้ C_1 และ C_2 ให้มีค่าเท่ากันคือ 0.5 ตามที่ได้กำหนดจำนวนประชากรและจำนวนรอบของการวนรอบหาคำตอบไว้ที่ 25 และ 50 ตามลำดับ ดังนั้นจำนวนครั้งที่จะต้องวิเคราะห์ด้วยวิธีปริมาตรจำกัดจะมีค่าเป็น 25x50 ครั้งต่อวิธีการออกแบบ ซึ่งจากการศึกษาจะเห็นได้ชัดเจนว่าการออกแบบหาค่าเหมาะสมสุดแบบหลายเป้าหมายด้วยเอ็มพีเอสโอร่วมกับแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าเนื่องจากมีการคำนวณย่อยของแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองด้วย แต่เวลาที่ใช้ในการคำนวณไม่ได้เป็นเนื้อหาสาระสำคัญในการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการออกแบบในการศึกษาครั้งนี้

ประมาณแนวของพาเรโตที่ได้จากการศึกษาของการออกแบบหาค่าเหมาะสมสุดแบบหลายเป้าหมายด้วยเอ็มพีเอสโอโดยใช้ร่วมกับแบบจำลองพื้นผิวตอบสนอง และการออกแบบโดยไม่ใช้แบบจำลองพื้นผิวตอบสนองนำเสนอไว้ในรูปที่ 4 ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลการออกแบบหาค่าเหมาะสมสุดแบบหลายเป้าหมายด้วยเอ็มพีเอสโอโดยใช้ร่วมกับแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองมีสมรรถนะในการออกแบบดีกว่าการออกแบบหาค่าเหมาะสมสุดแบบหลายเป้าหมายด้วยเอ็มพีเอสโออย่างเดียว



รูปที่ 4 เปรียบเทียบแนวของพาเรโตระหว่าง MPSO รอบที่ 50 กับ MPSO with RSM รอบที่ 25

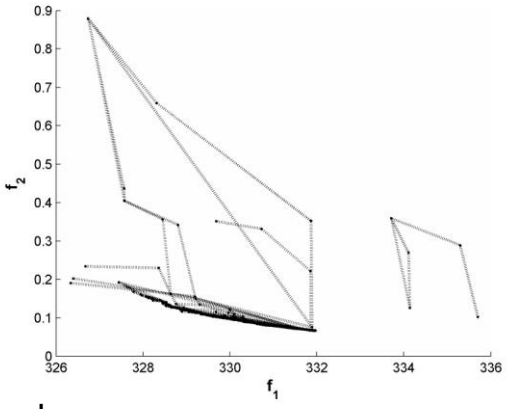


รูปที่ 5 เปรียบเทียบแนวของพาเรโตระหว่าง MPSO รอบที่ 50 กับ MPSO with RSM รอบที่ 5

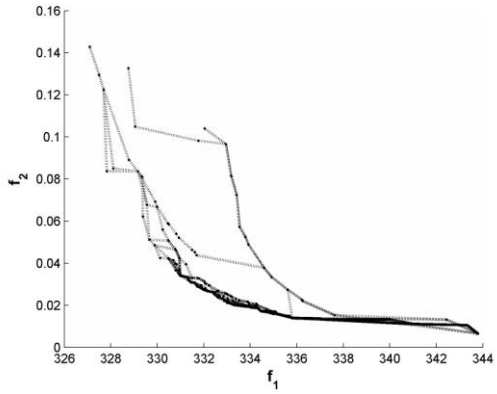
รูปที่ 5 แสดงแนวของพาเรโตเปรียบเทียบกันระหว่างเอ็มพีเอสโอรอบที่ 50 และเอ็มพีเอสโอร่วมกับแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองรอบที่ 5 ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของการออกแบบของเอ็มพีเอสโอร่วมกับแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองดีกว่าการออกแบบด้วยเอ็มพีเอสโออย่างเดียวแม้ในรอบการคำนวณเริ่มต้นเท่านั้น

รูปที่ 6 และรูปที่ 7 แสดงการดำเนินการหาค่าแนวของพาเรโตในการออกแบบของปัญหาการออกแบบเหมาะสมสุดด้วยเอ็มพีเอสโอและเอ็มพีเอสโอร่วมกับพื้นผิวตอบสนองตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าการลู่เข้าหาผลเฉลยของเอ็มพีเอสโอร่วมกับพื้นผิวตอบสนองมีการลู่เข้าอย่างมีแบบแผนและเป็นระเบียบกว่าเอ็มพีเอสโออย่างเดียว ซึ่งทำให้ได้ผลเฉลยที่รวดเร็วและดีกว่าการใช้เอ็มพีเอสโออย่างเดียว

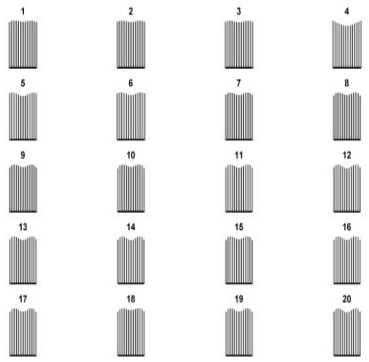
รูปที่ 8-11 แสดงพื้นที่หน้าตัดของอุปกรณ์ระบายความร้อนที่ได้จากแนวของพาเรโตที่ได้จากการออกแบบด้วยเอ็มพีเอสโอร่วมกับพื้นผิวตอบสนอง ซึ่งจะพบว่าทั้งหมดของครีบระบายความร้อนที่ได้มีขนาดความสูงใกล้เคียงกัน มีการกระจายระดับความสูงต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



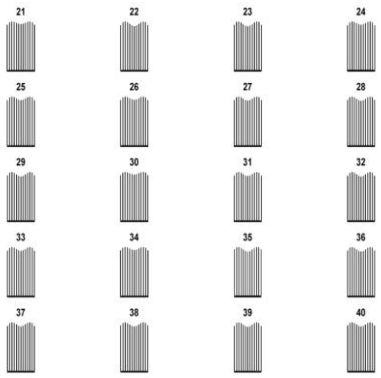
รูปที่ 6 ข้อมูลการค้นหาคำตอบของ MPSO-RSM



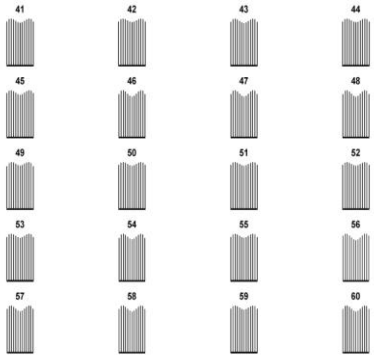
รูปที่ 7 ข้อมูลการค้นหาคำตอบของ MPSO



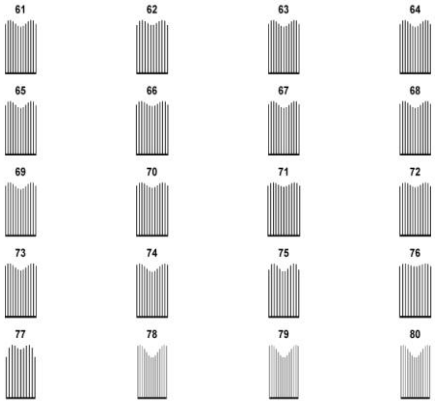
รูปที่ 8 แสดงพื้นที่หน้าตัดของอุปกรณ์ระบายความร้อนของจุดบนแนวพาเรโตที่ 1- 20



รูปที่ 9 แสดงพื้นที่หน้าตัดของอุปกรณ์ระบายความร้อนของจุดบนแนวพาเรโตที่ 21- 40



รูปที่ 10 แสดงพื้นที่หน้าตัดของอุปกรณ์ระบายความร้อนของจุดบนแนวพาเรโตที่ 41- 60



รูปที่ 11 แสดงพื้นที่หน้าตัดของอุปกรณ์ระบายความร้อนของจุดบนแนวพาเรโตที่ 61- 80

6. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาการออกแบบหาค่าเหมาะสมสุดด้วยขั้นตอนวิวัฒนาการแบบหลายเป้าหมายโดยใช้เอ็มพีเอสโอร่วมกับแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองเปรียบเทียบกับการออกแบบโดยใช้เอ็มพีเอสโออย่างเดียวในการออกแบบอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยอากาศแบบครีบแผ่น ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลที่ได้ของทั้งสองวิธีพบว่าแนวคำตอบของพาเรโตที่ได้จากการออกแบบโดยใช้เอ็มพีเอสโอร่วมกับแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองดีกว่าแนวคำตอบที่ได้จากการออกแบบโดยใช้เอ็มพีเอสโออย่างเดียว อัตราการลู่เข้าหาคำตอบของเอ็มพีเอสโอร่วมกับแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองเร็วกว่าของเอ็มพีเอสโออย่างเดียวมาก ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการออกแบบหาค่าเหมาะสมสุดแบบหลายเป้าหมายด้วยเอ็มพีเอสโอร่วมกับแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองเป็นวิธีการหาผลเฉลยของปัญหาที่ดีและมีสมรรถนะในการหาคำตอบสูง สามารถนำไปออกแบบสำหรับปัญหาที่มีฟังก์ชันเป้าหมายซับซ้อนและต้องใช้เวลานานในการวิเคราะห์คำตอบเพื่อลดเวลาในการออกแบบได้จริง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Ed Walsh, Pat Walsh, Ronan Grimes, and Vanessa Egan. Thermal Management of Low Profile Electronic Equipment Using Radial Fans and Heat Sinks. **Journal of Heat Transfer, ASME** 2008 Dec; 130(12): 125001-1 - 125001-8.

[2] Thomas E. Salem, Stephen B. Bayne, and Don Porschet. An Experimental Approach for Thermal Characterization of Water-Cooled Heat Sinks Using Fourier Analysis Techniques. **Journal of Electronic Packaging, ASME** 2007 Dec; 129(4): 512-517.

[3] Jerome Totli, Rohcrt DcHoff, and Kcviii Grubh. Heat Pipes: The Silent Way to Manage Desktop Thermal Prohienis. **Proc. of Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, 1998. ITHERM '98. The Sixth Intersociety Conference.** Seattle, WA, May 27-30; 1998. p. 449-455.

[4] Park, K. and Moon, S. Optimal design of heat exchangers using the progressive quadratic response surface model. **International Journal of Heat and Mass Transfer** 2005; 48: 2126-2139.

[5] Park, K., Oh, P.K., and Lim, H.J. The application of the CFD and Kriging method to an optimization of heat sink. **International Journal of Heat and Mass Transfer** 2006; 49: 3439-3447.

[6] Chiang, K.T., Chang, F.P., and Tsai, T.C. Optimum design parameters of Pin-Fin heat sink using the grey-fuzzy logic based on the

orthogonal arrays.**International Communications in Heat and Mass Transfer** 2006; 33: 744-752.

[7] M. Farina and P. Amato. Linked nterpolation-optimization strategies for multicriteria optimization problems. **Soft Computing** 2005; 9: 54-65.