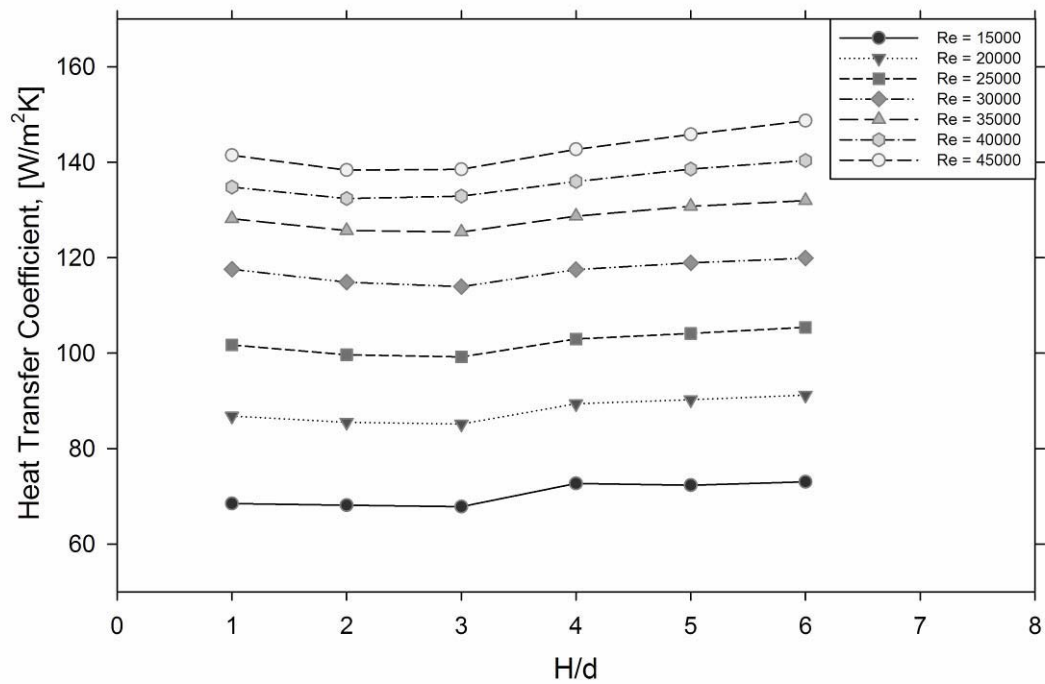
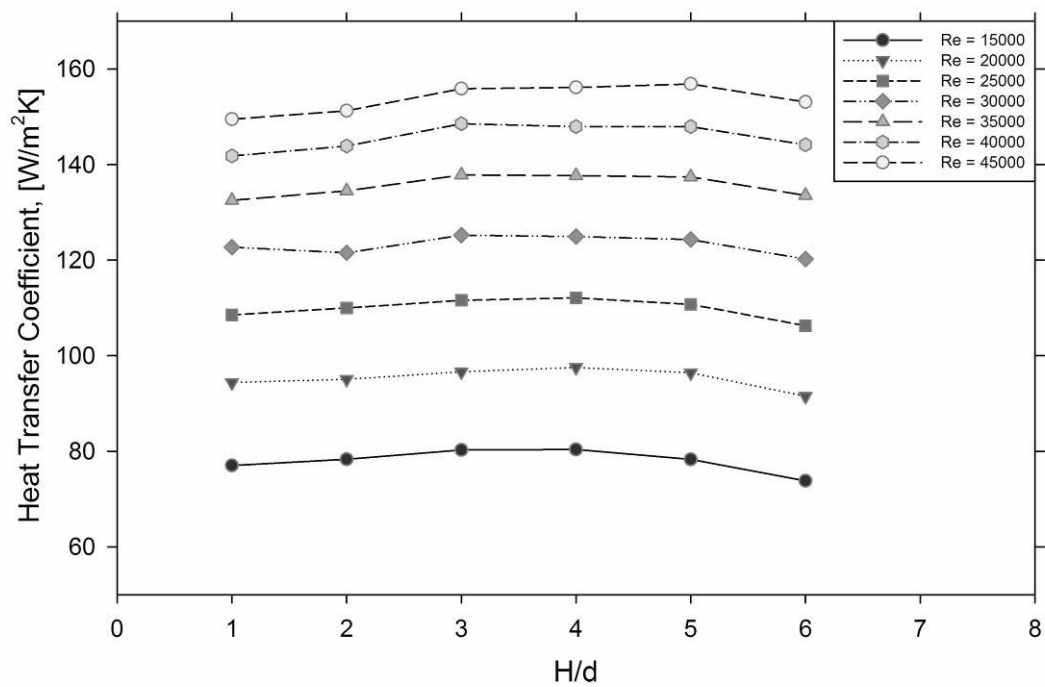
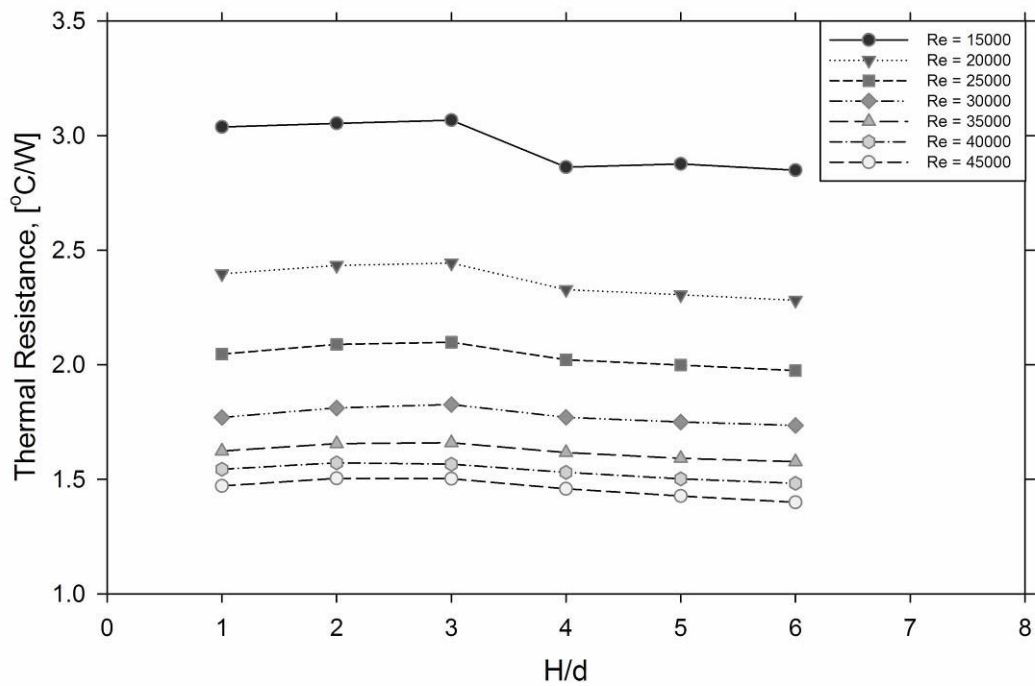




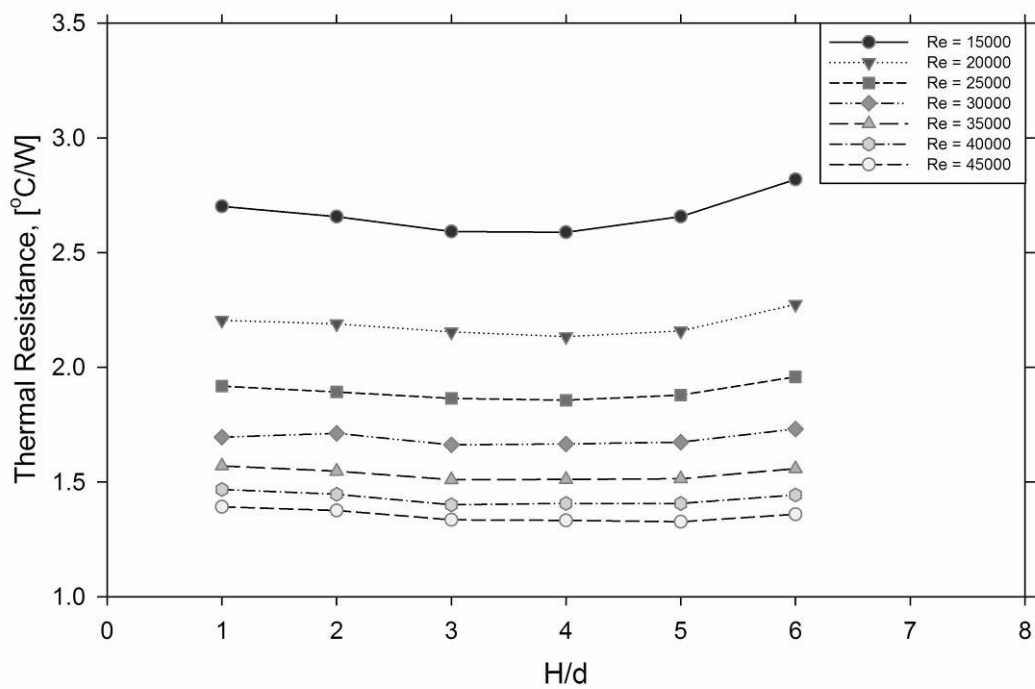
รูปที่ 4.57 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.5 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



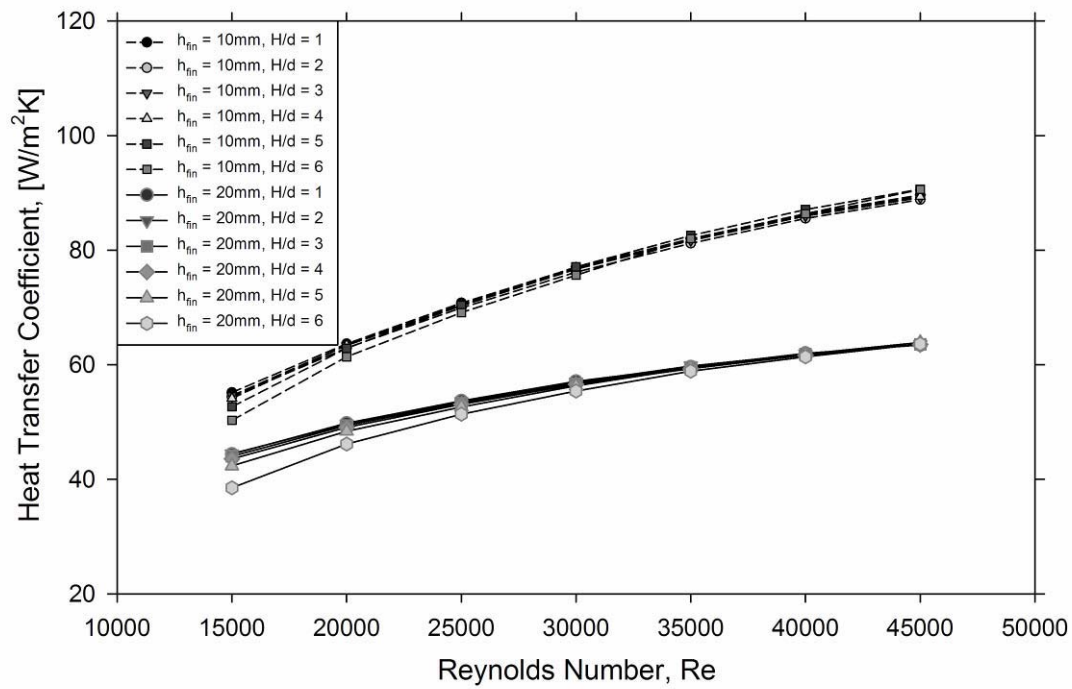
รูปที่ 4.58 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.5 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



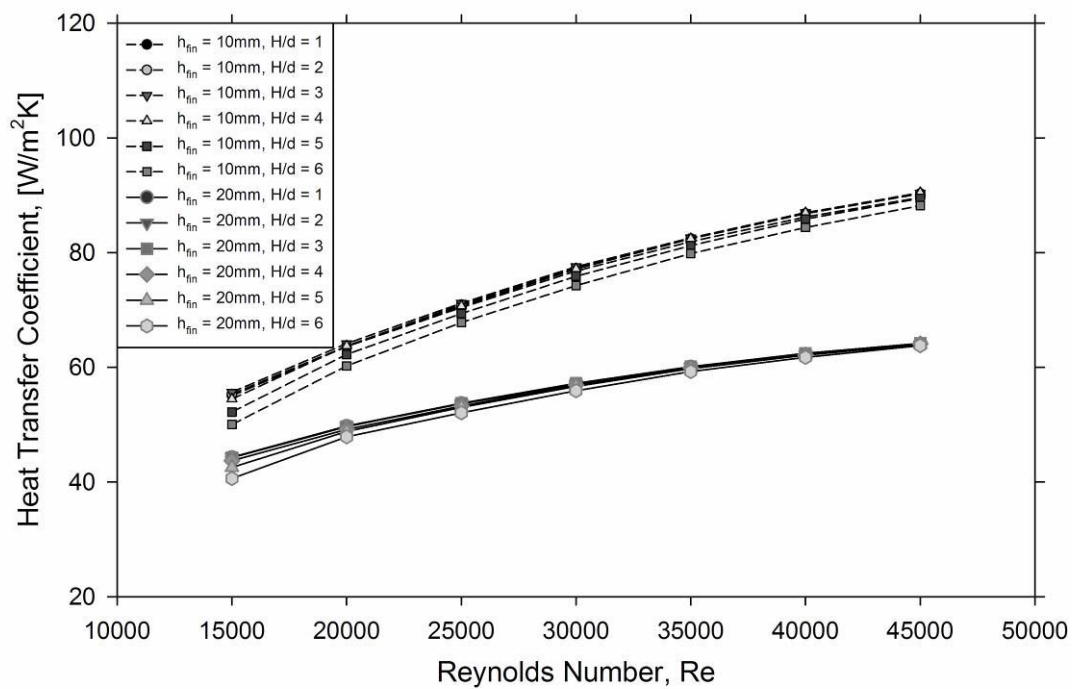
รูปที่ 4.59 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin
Heat Sink No.5 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



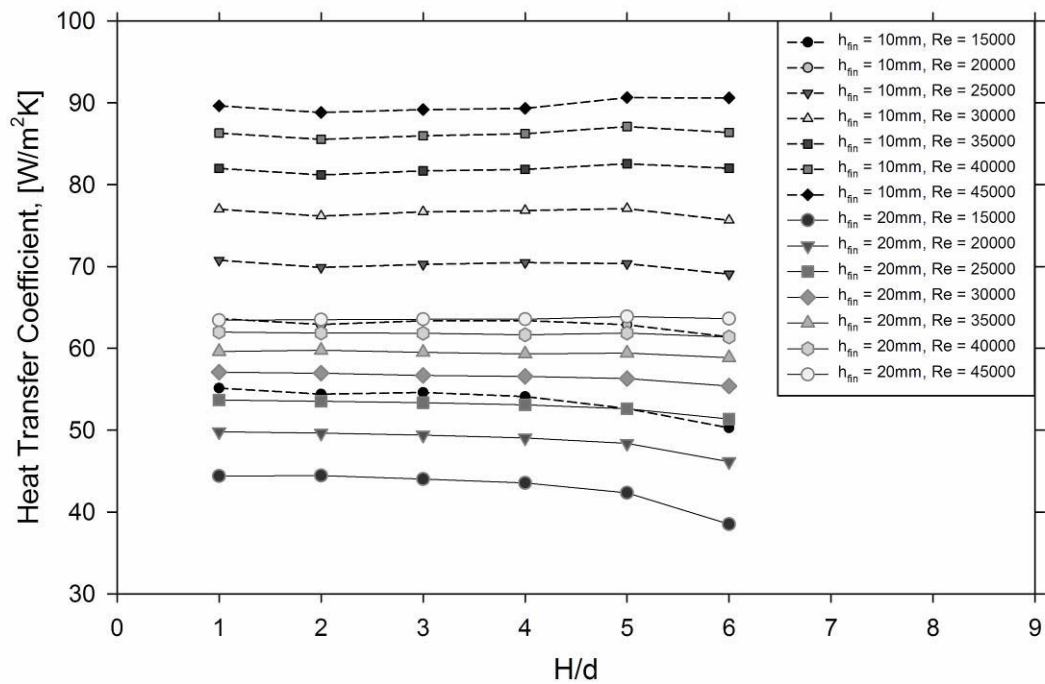
รูปที่ 4.60 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin
Heat Sink No.5 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



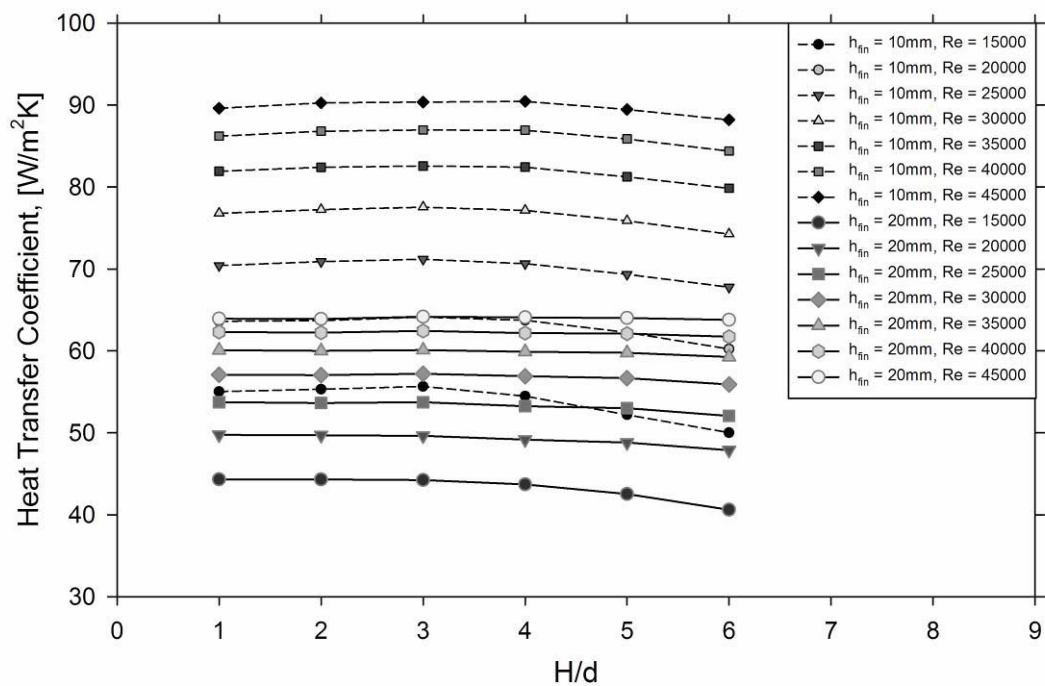
รูปที่ 4.61 อิทธิพลของความสูงของครีปที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ No.2 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



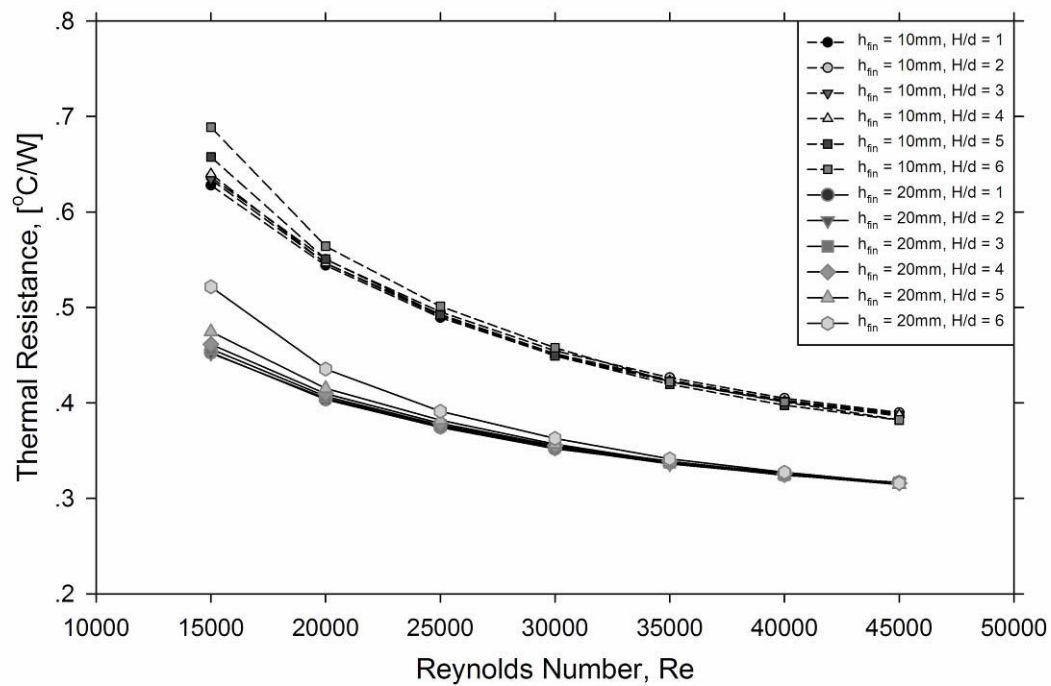
รูปที่ 4.62 อิทธิพลของความสูงของครีปที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ No.2 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



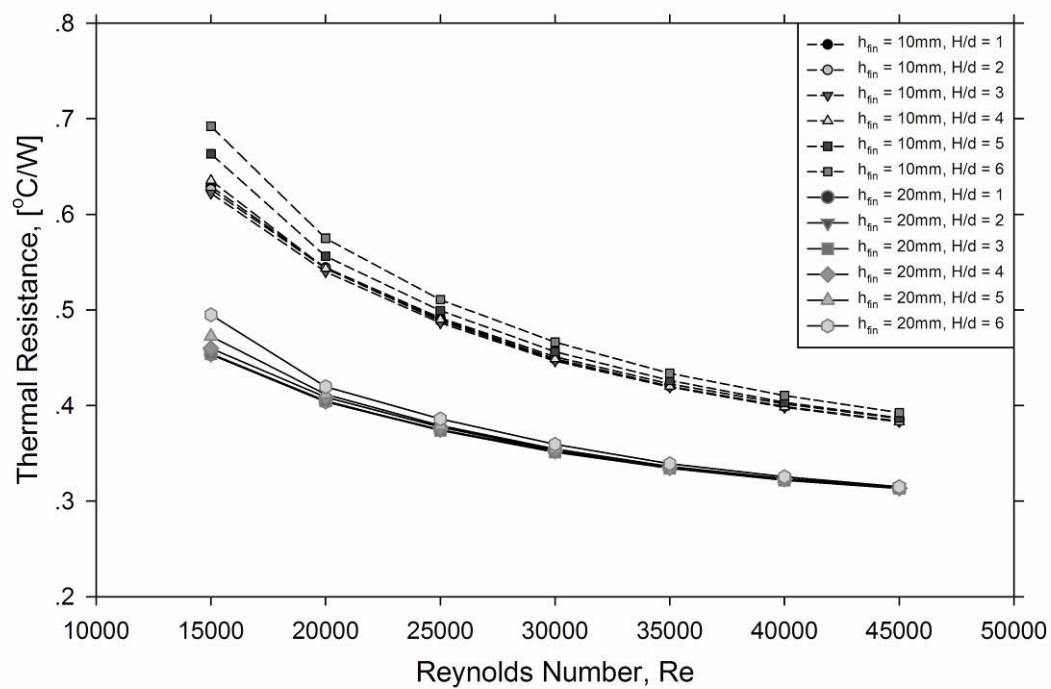
รูปที่ 4.63 อิทธิพลของความสูงของครีปที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ No.2 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



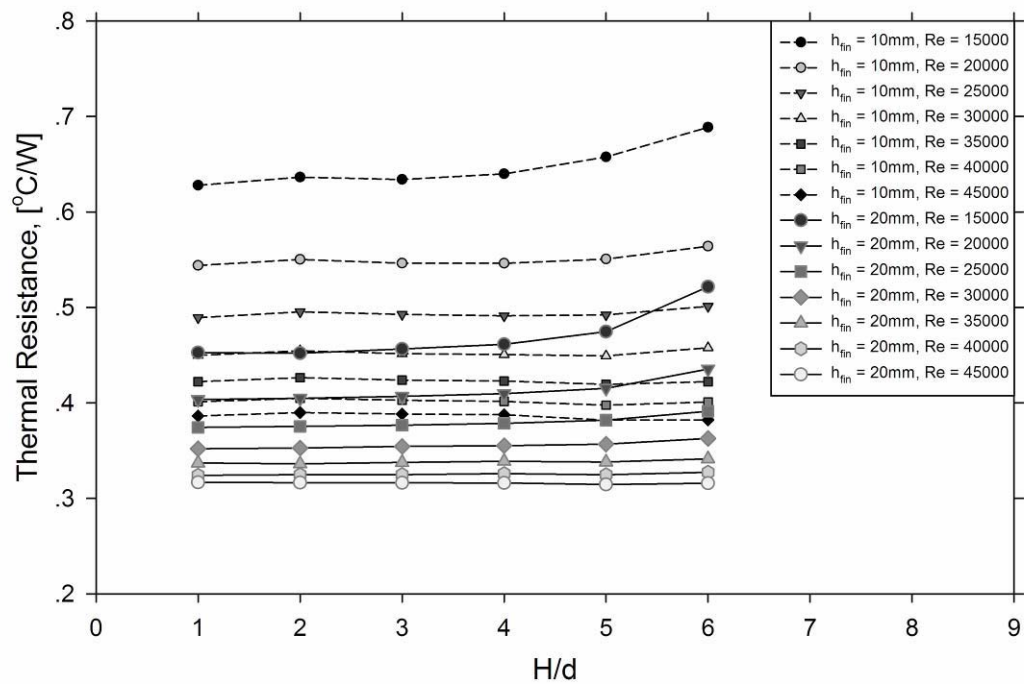
รูปที่ 4.64 อิทธิพลของความสูงของครีปที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ No.2 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



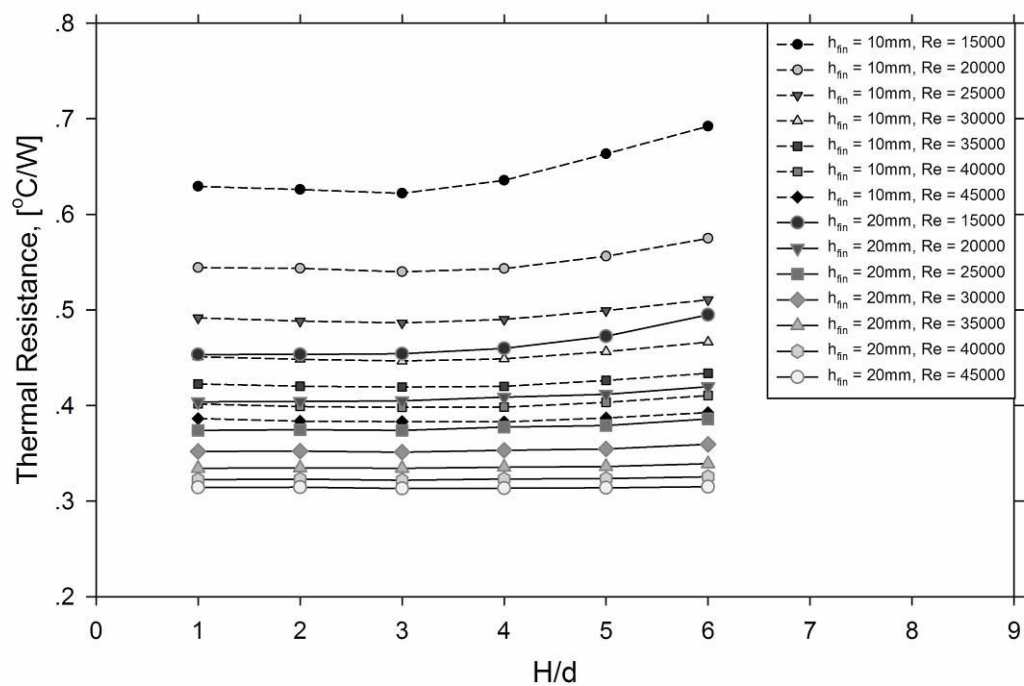
รูปที่ 4.65 อิทธิพลของความสูงของครีปที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ No.2 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



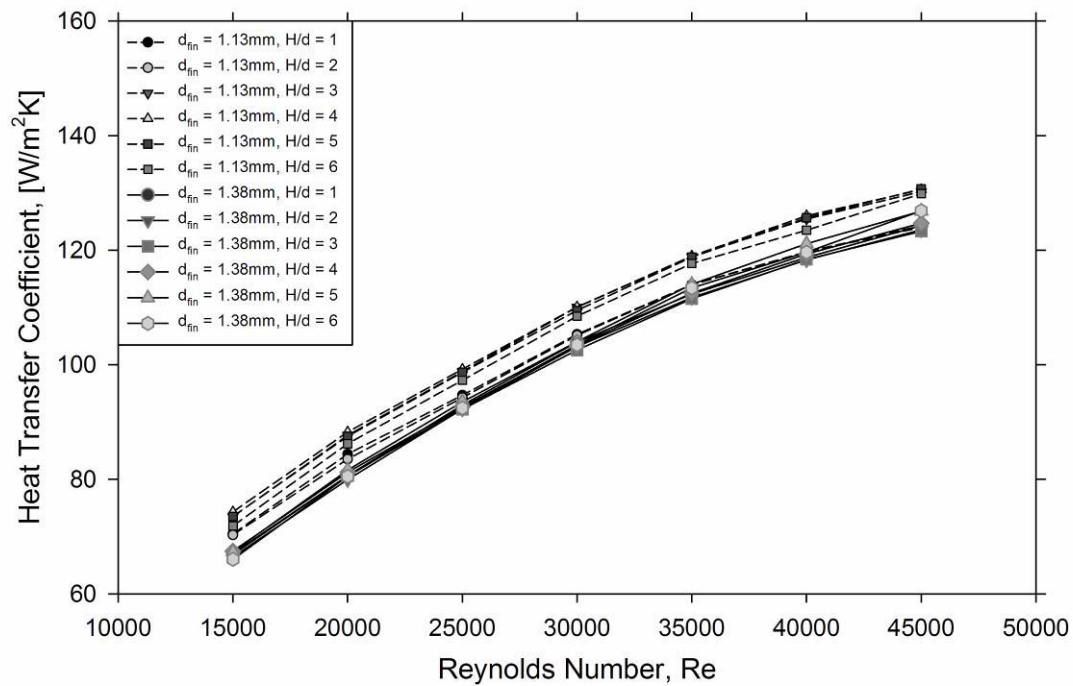
รูปที่ 4.66 อิทธิพลของความสูงของครีปที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ No.2 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



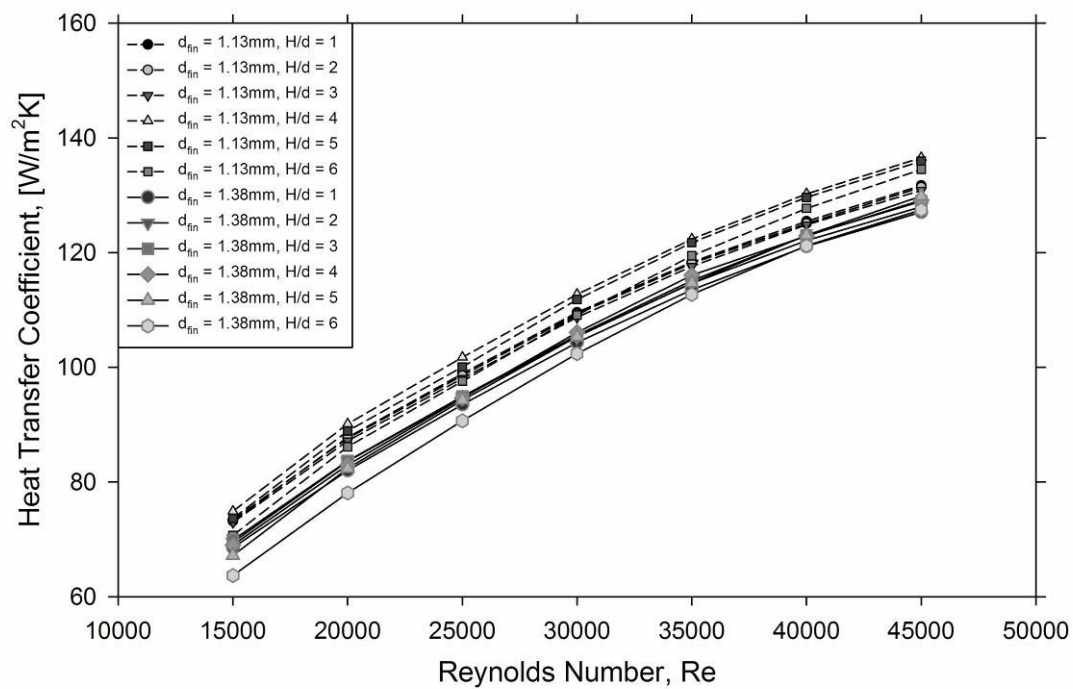
รูปที่ 4.67 อิทธิพลของความสูงของครีปที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ No.2 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



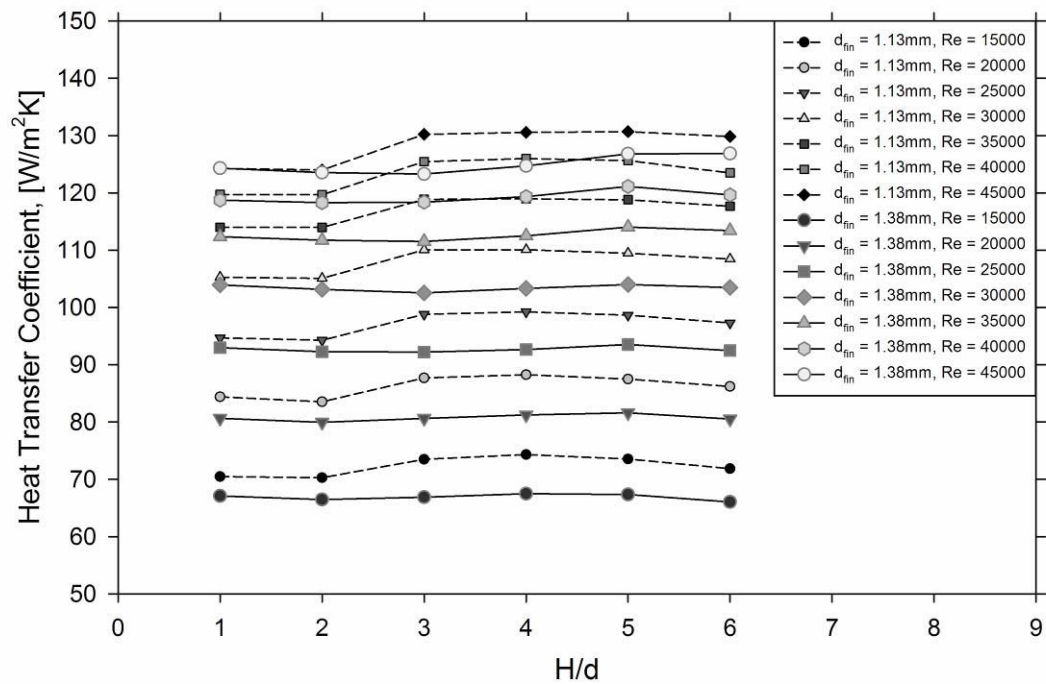
รูปที่ 4.68 อิทธิพลของความสูงของครีปที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ No.2 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



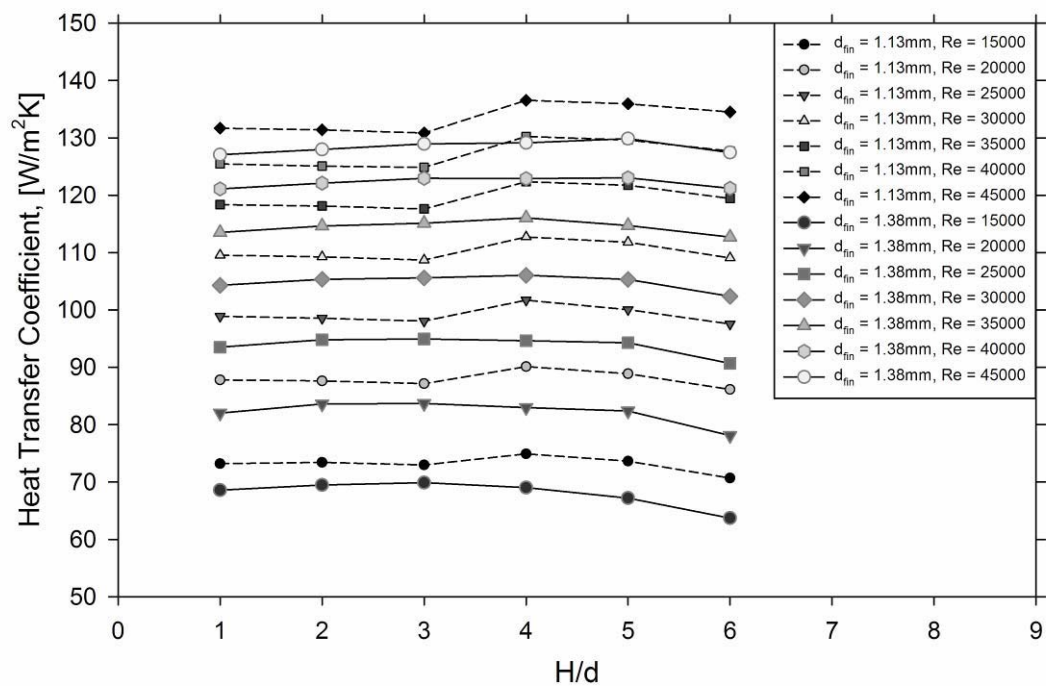
รูปที่ 4.69 อิทธิพลของขนาดของครีปที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 และ No.4 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



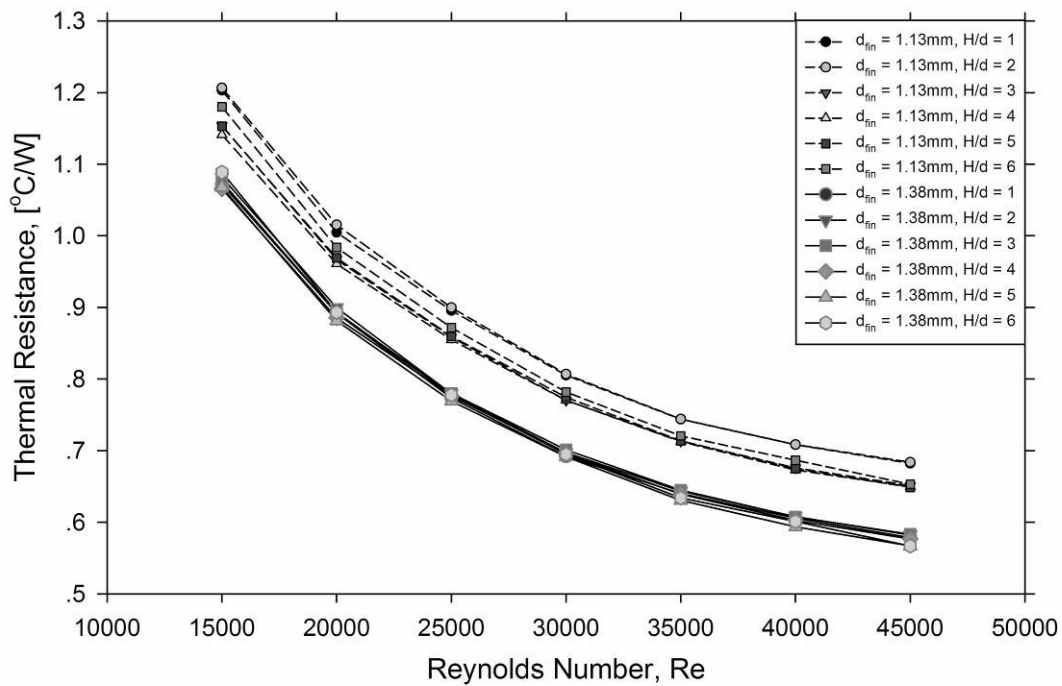
รูปที่ 4.70 อิทธิพลของขนาดของครีปที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 และ No.4 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



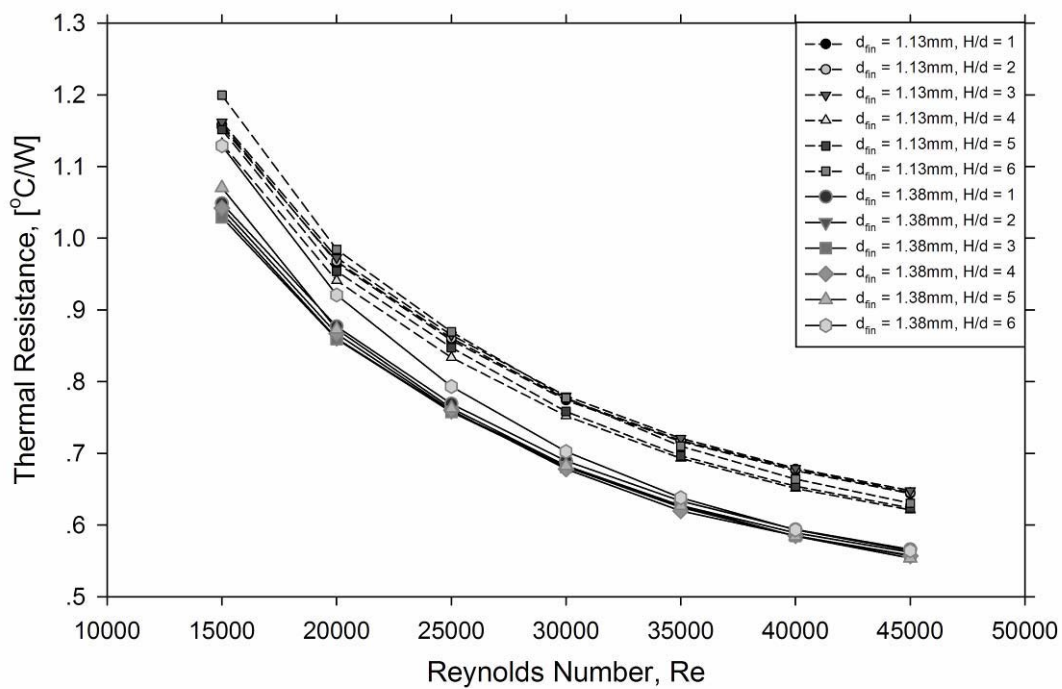
รูปที่ 4.71 อิทธิพลของขนาดของครีปที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 และ No.4 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



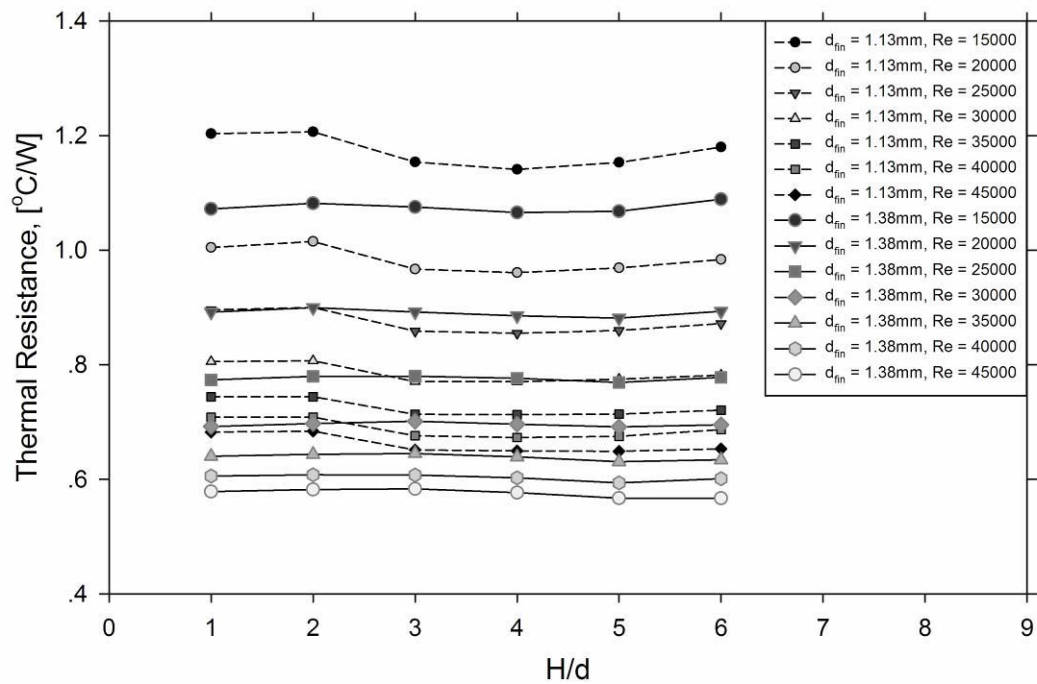
รูปที่ 4.72 อิทธิพลของขนาดของครีปที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 และ No.4 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



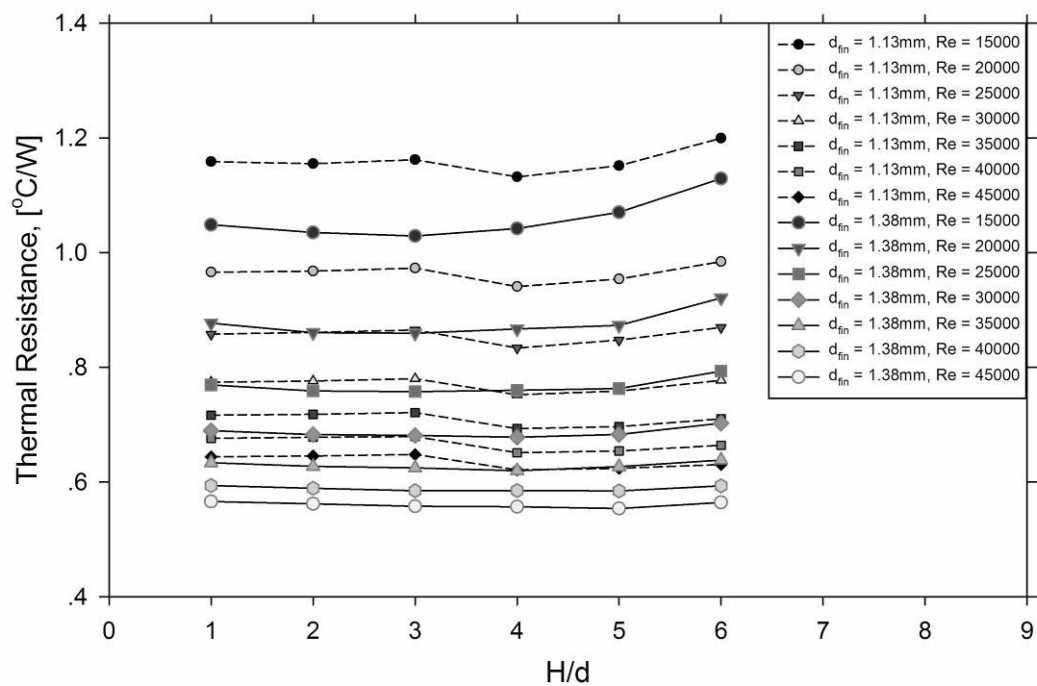
รูปที่ 4.73 อิทธิพลของขนาดของครีปที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 และ No.4 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < \text{Re} < 45,000$



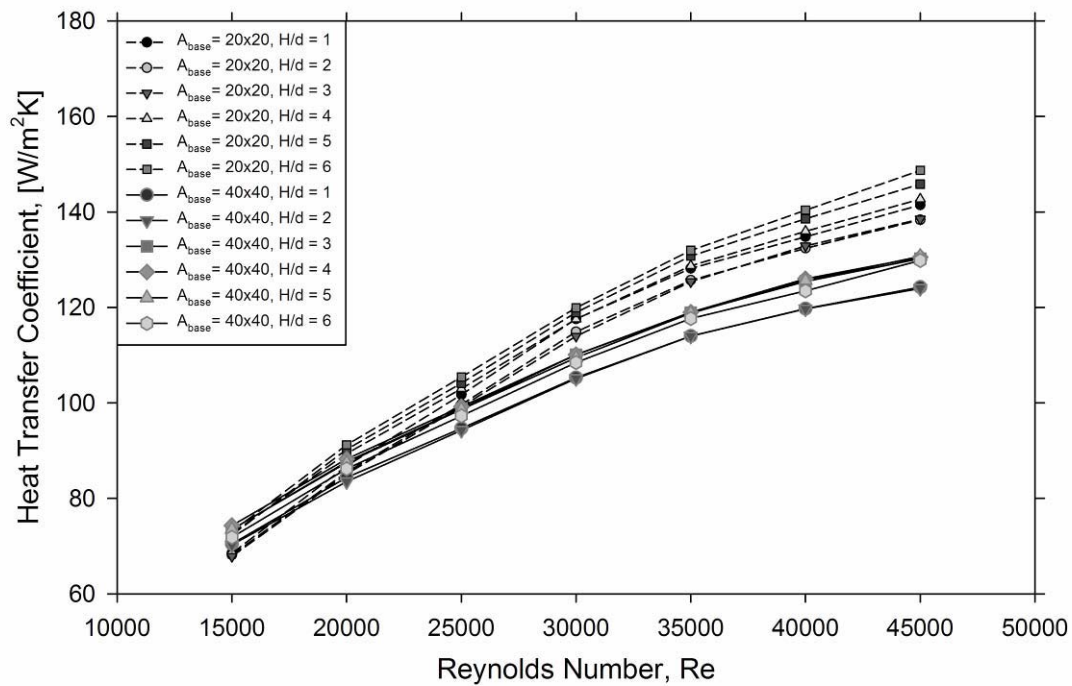
รูปที่ 4.74 อิทธิพลของขนาดของครีปที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 และ No.4 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < \text{Re} < 45,000$



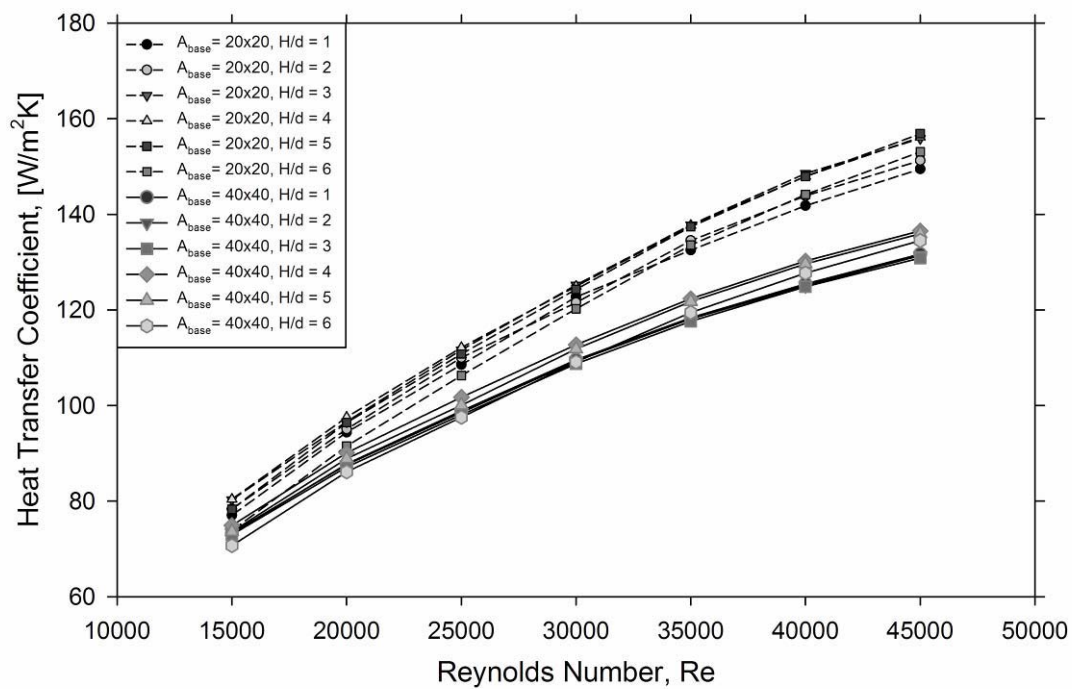
รูปที่ 4.75 อิทธิพลของขนาดของครีปที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 และ No.4 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



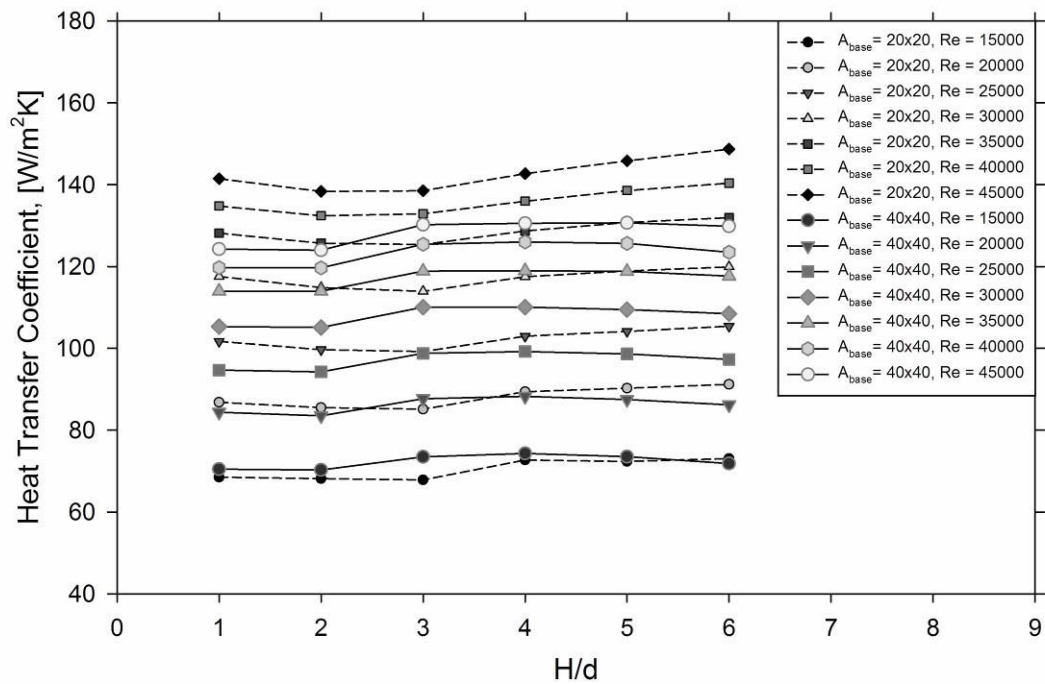
รูปที่ 4.76 อิทธิพลของขนาดของครีปที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 และ No.4 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



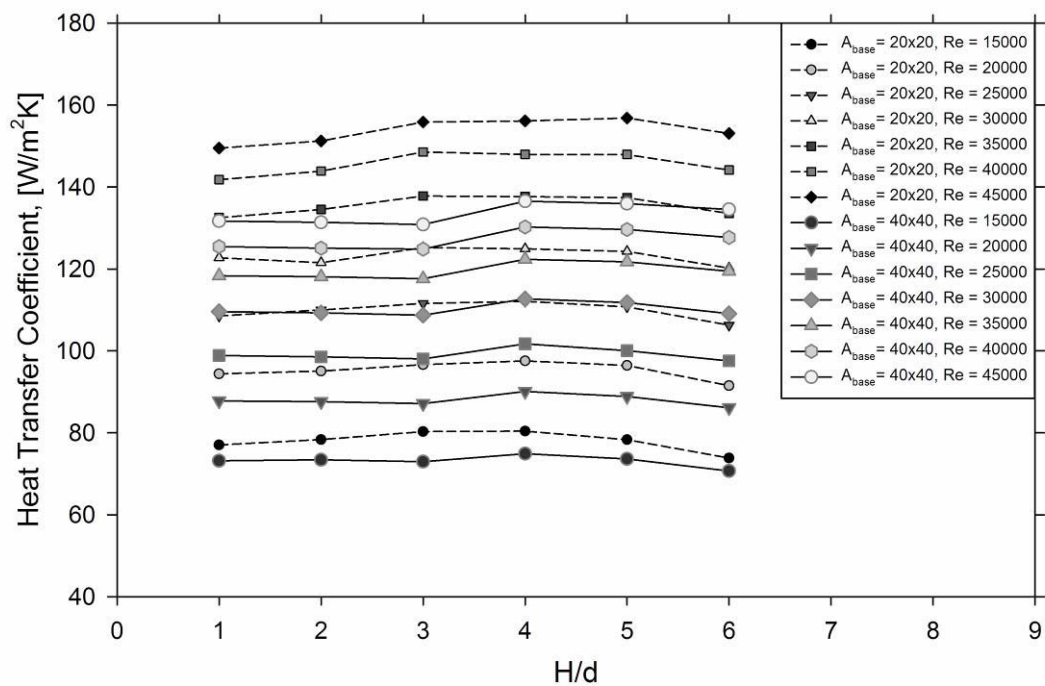
รูปที่ 4.77 อิทธิพลของพื้นที่ฐานของครีปที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.4 และ No.5 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



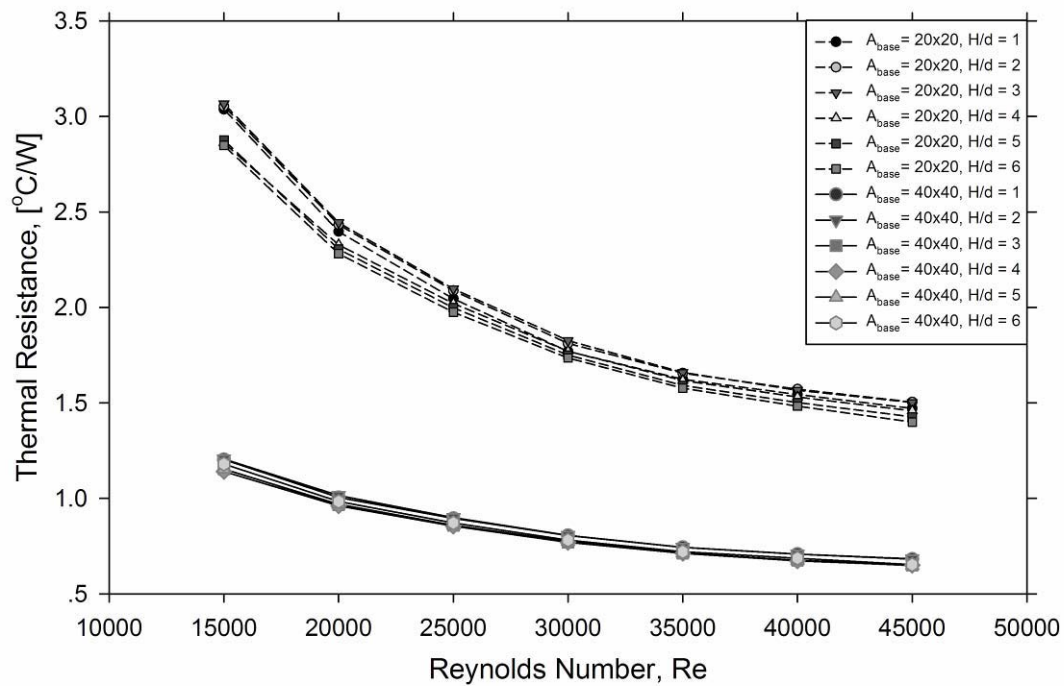
รูปที่ 4.78 อิทธิพลของพื้นที่ฐานของครีปที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.4 และ No.5 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



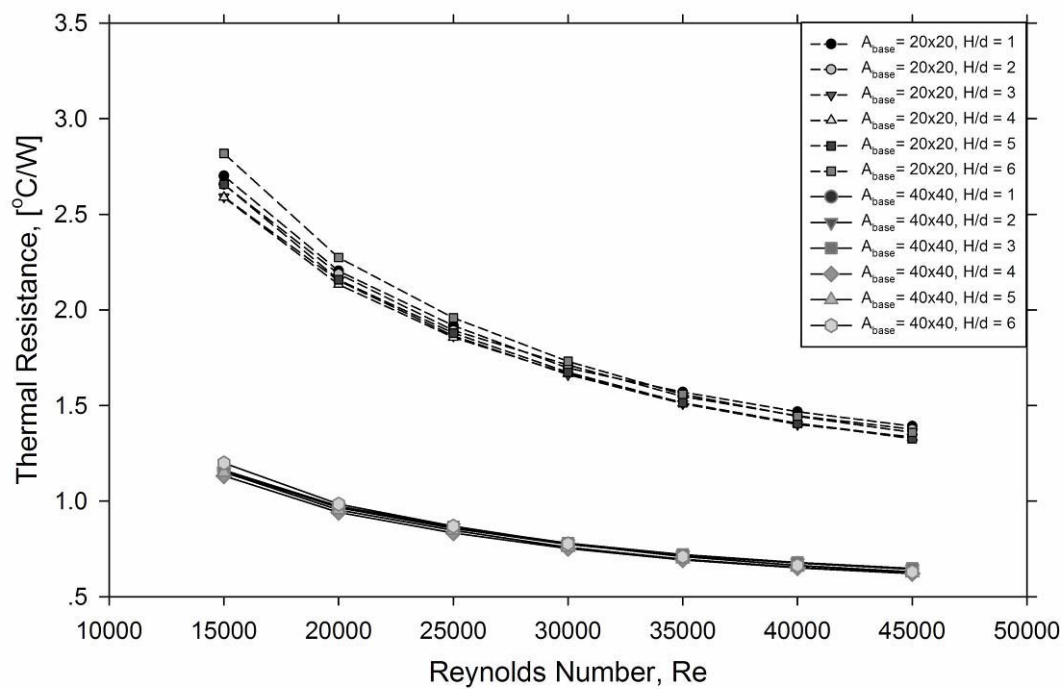
รูปที่ 4.79 อิทธิพลของพื้นที่ฐานของครีปที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.4 และ No.5 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



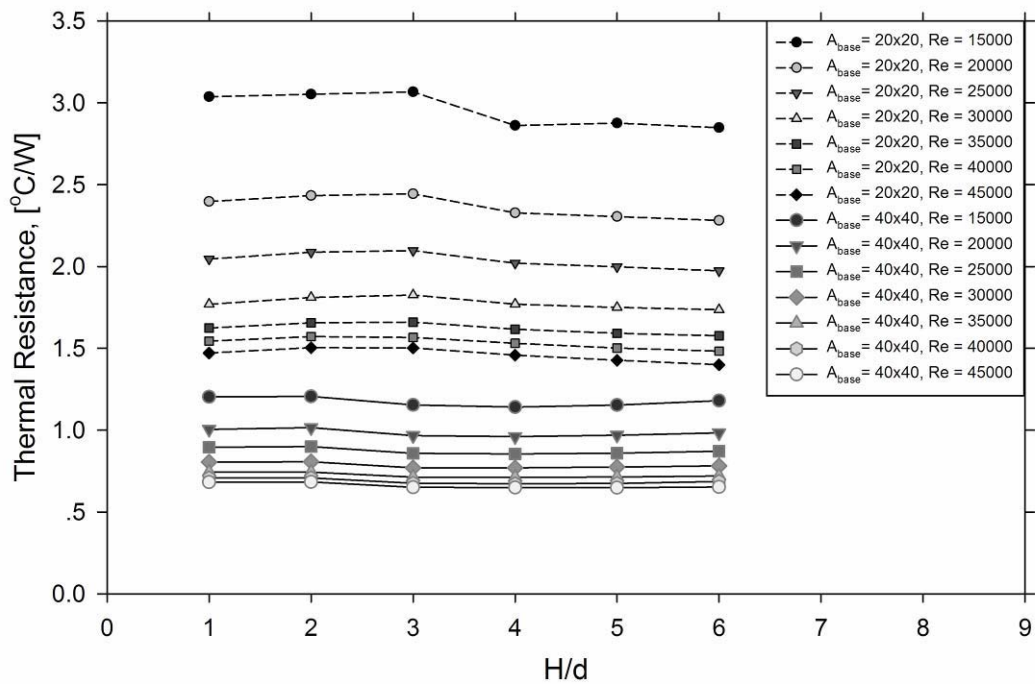
รูปที่ 4.80 อิทธิพลของพื้นที่ฐานของครีปที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.4 และ No.5 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



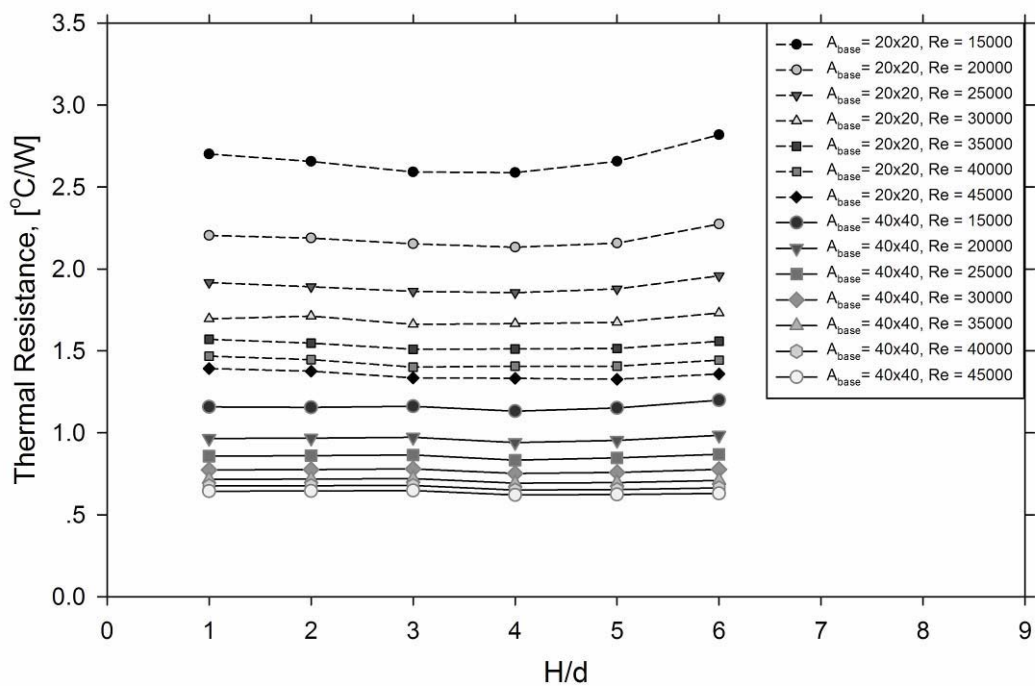
รูปที่ 4.81 อิทธิพลของพื้นที่ฐานของครีปที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.4 และ No.5 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



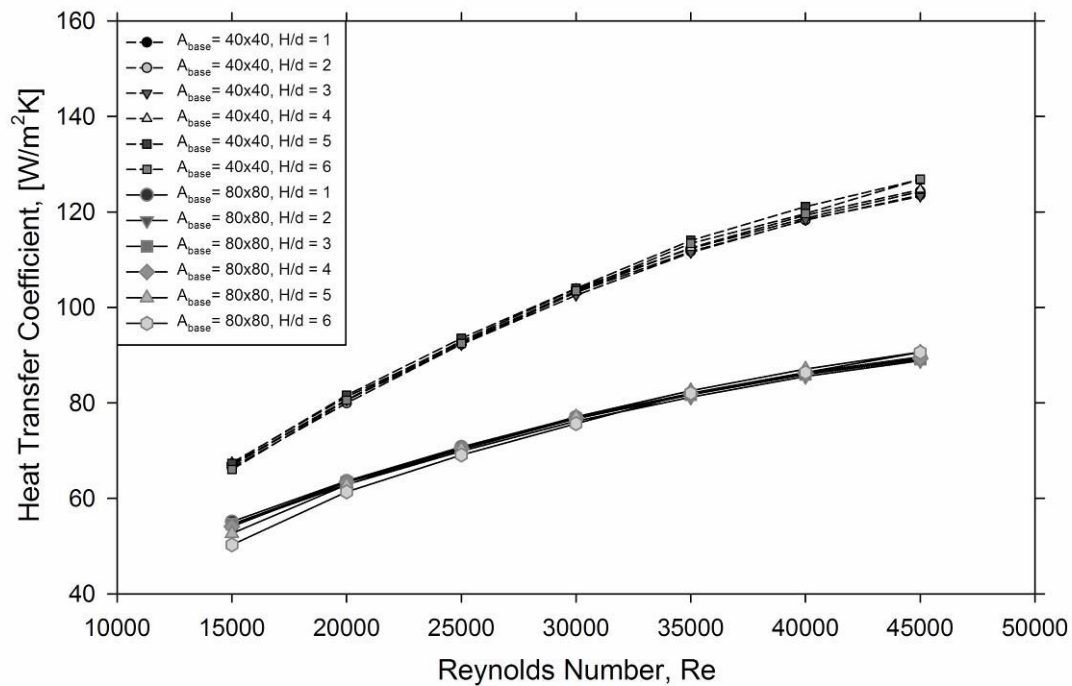
รูปที่ 4.82 อิทธิพลของพื้นที่ฐานของครีปที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.4 และ No.5 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



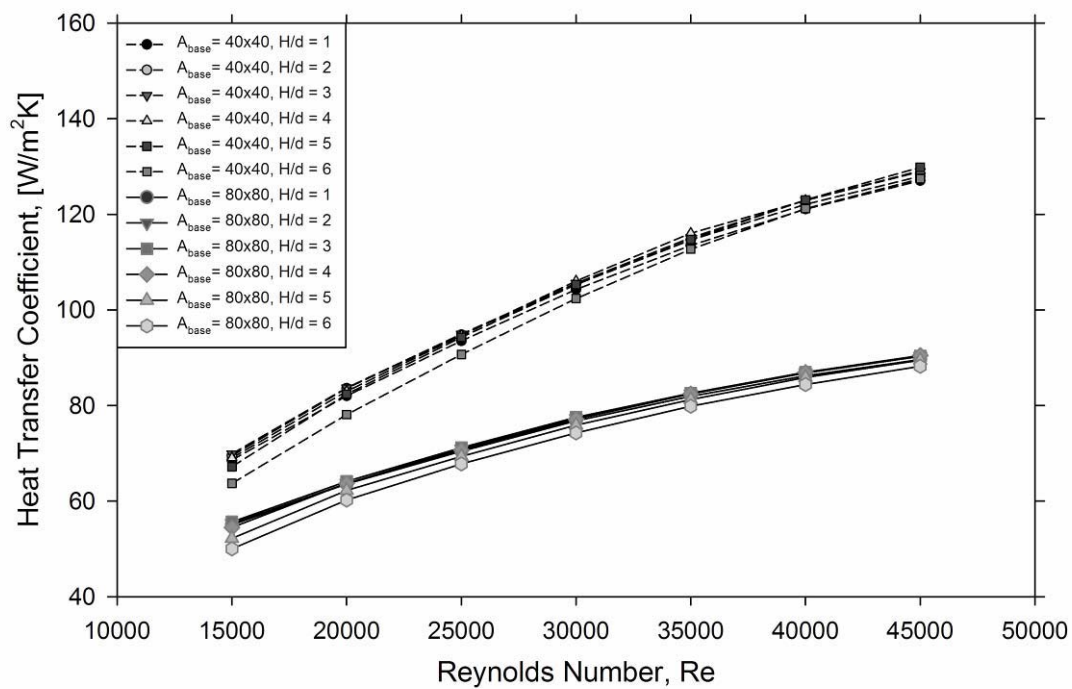
รูปที่ 4.83 อิทธิพลของพื้นที่ฐานของครีปที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.4 และ No.5 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



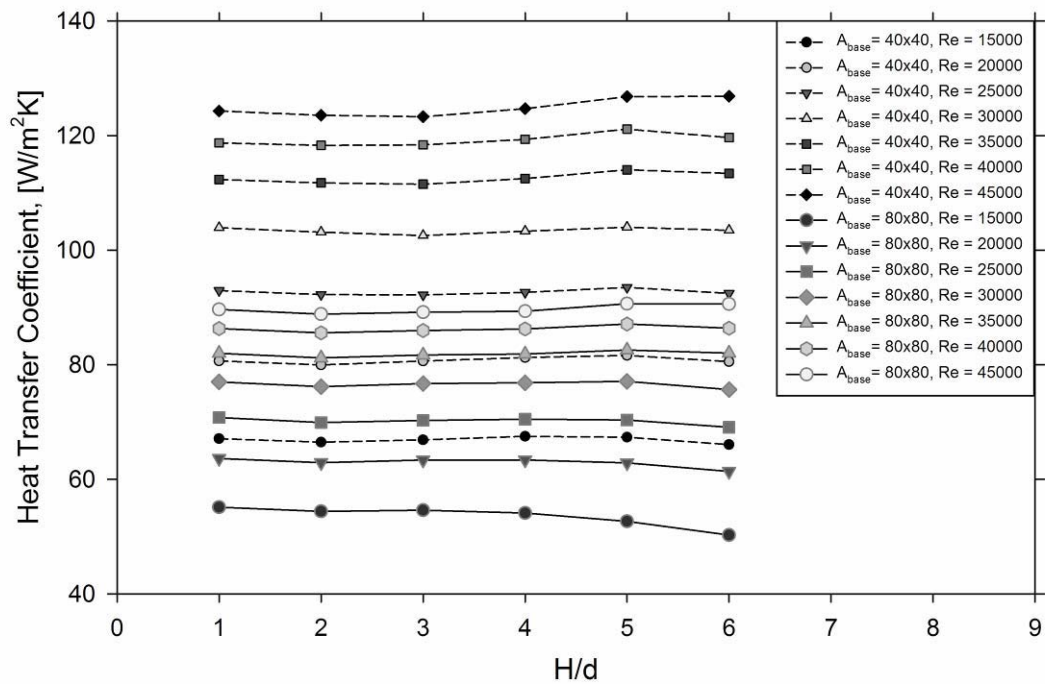
รูปที่ 4.84 อิทธิพลของพื้นที่ฐานของครีปที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.4 และ No.5 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



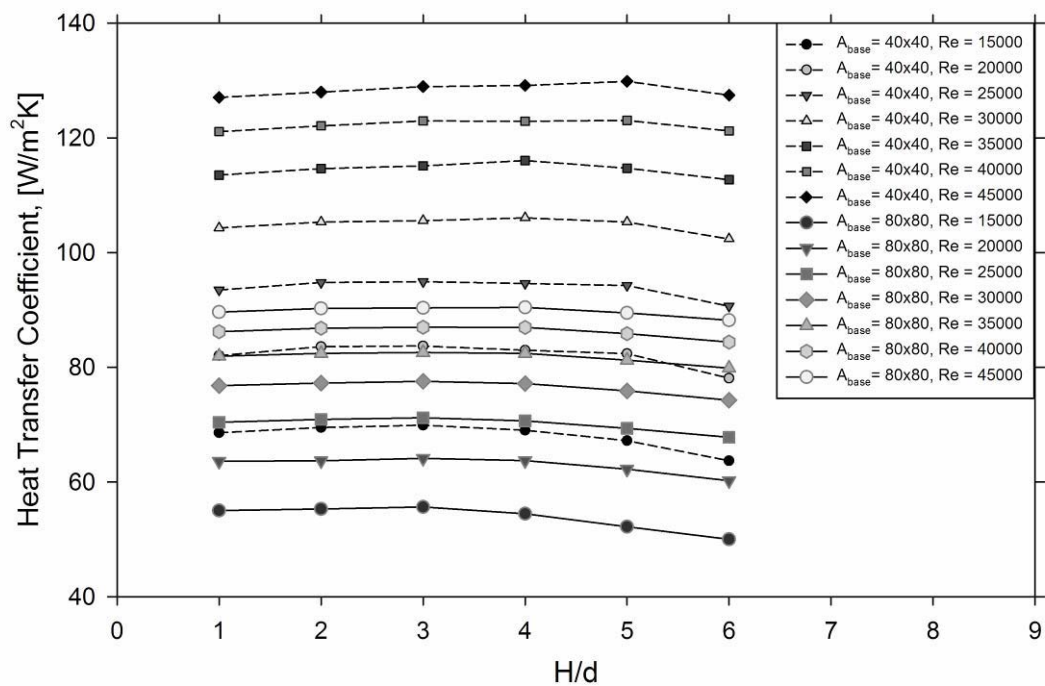
รูปที่ 4.85 อิทธิพลของพื้นที่ฐานของครีปที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ No.3 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



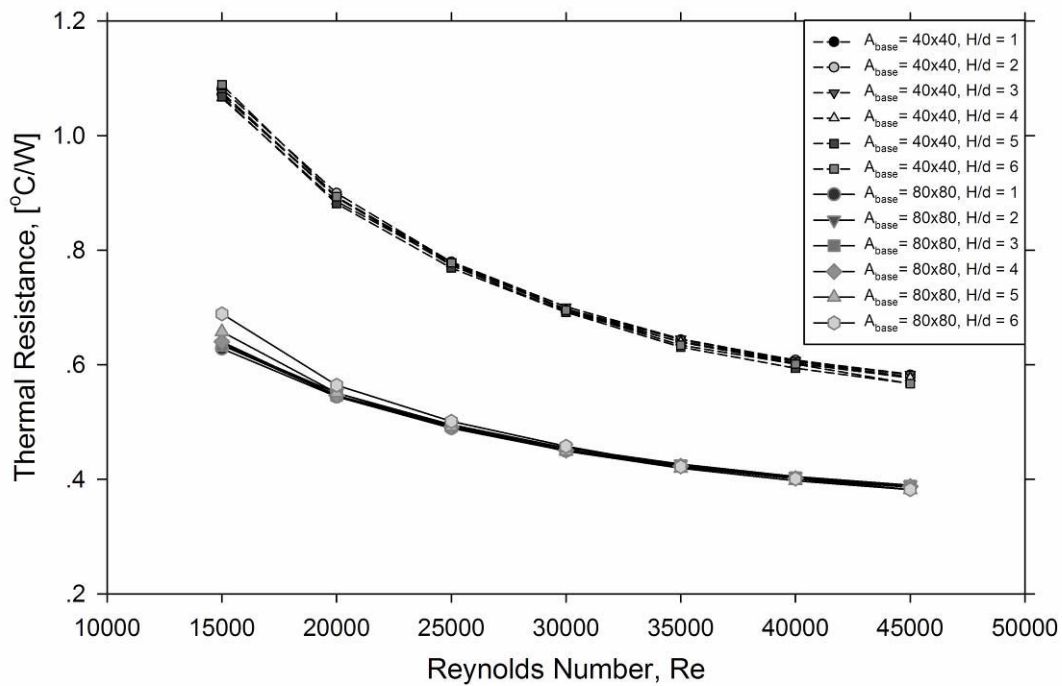
รูปที่ 4.86 อิทธิพลของพื้นที่ฐานของครีปที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ No.3 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



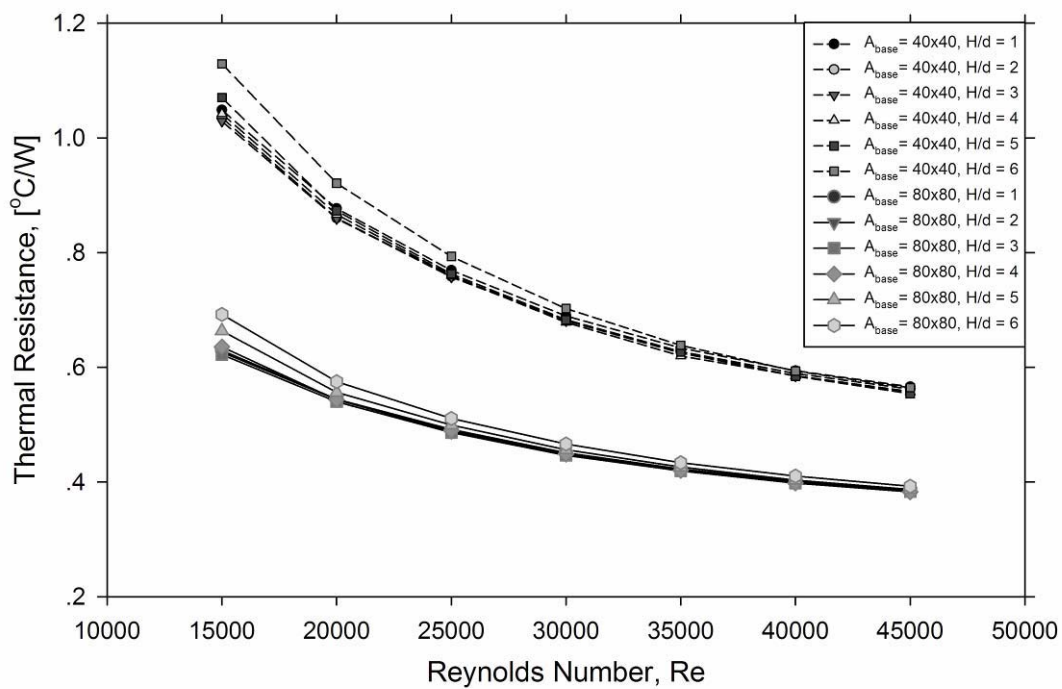
รูปที่ 4.87 อิทธิพลของพื้นที่ฐานของครีปที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ No.3 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



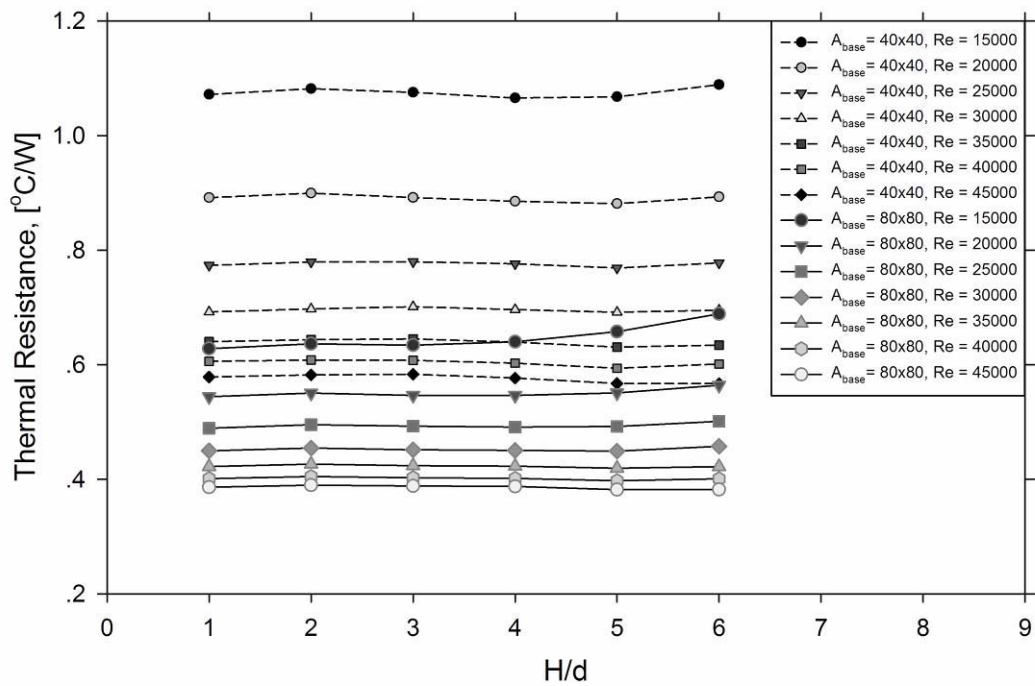
รูปที่ 4.88 อิทธิพลของพื้นที่ฐานของครีปที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ No.3 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



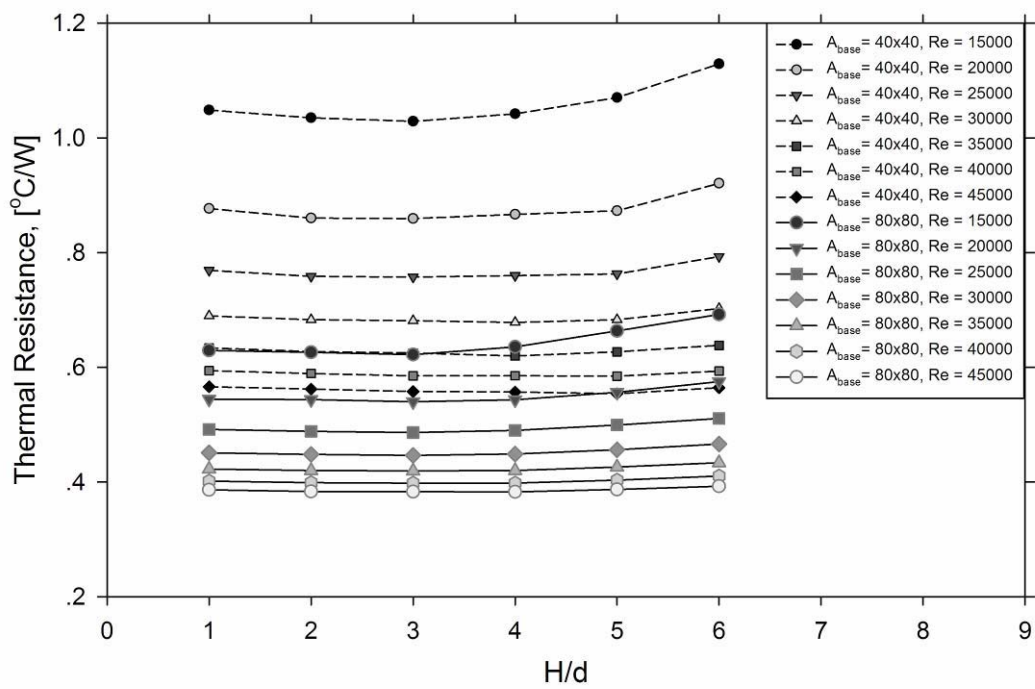
รูปที่ 4.89 อิทธิพลของพื้นที่ฐานของครีปที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ No.3 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



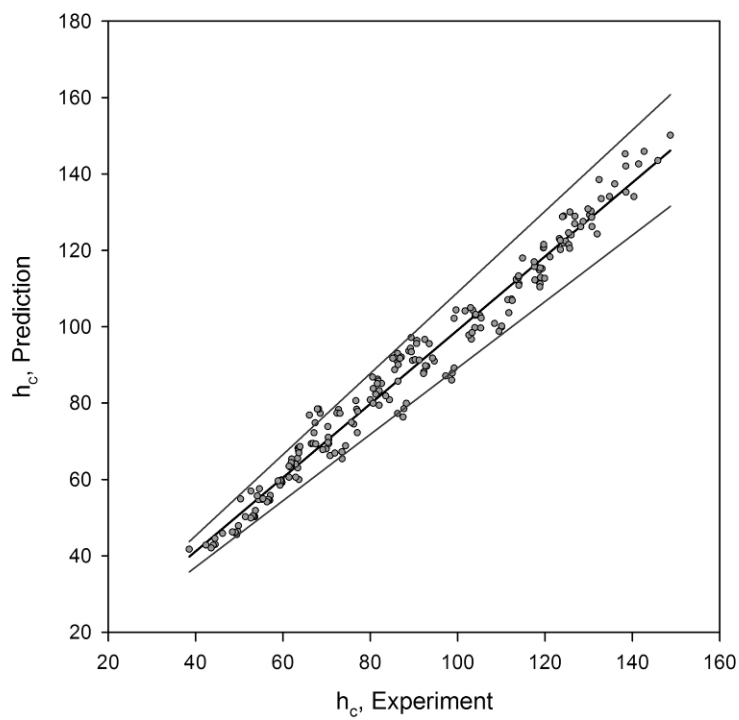
รูปที่ 4.90 อิทธิพลของพื้นที่ฐานของครีปที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ No.3 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



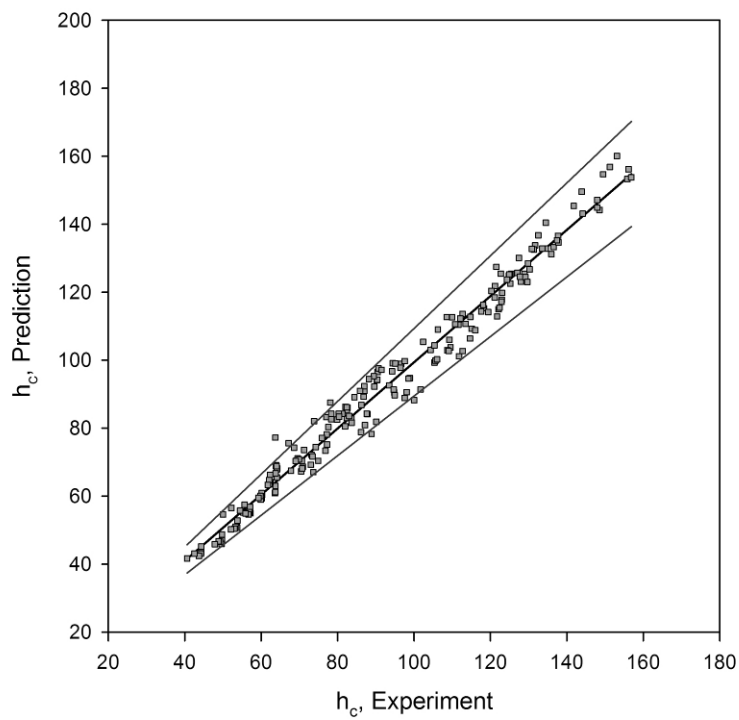
รูปที่ 4.91 อิทธิพลของพื้นที่ฐานของครีปที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ No.3 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



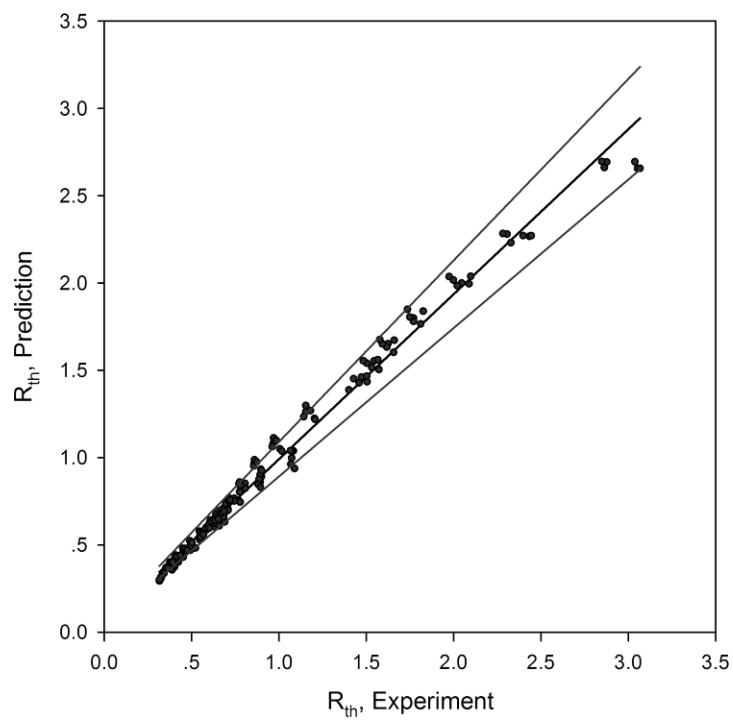
รูปที่ 4.92 อิทธิพลของพื้นที่ฐานของครีปที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ No.3 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



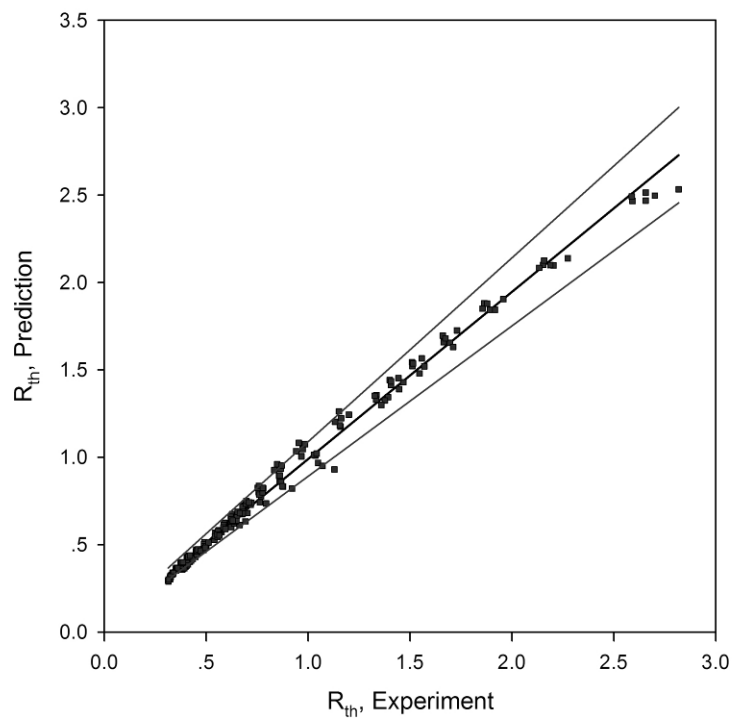
รูปที่ 4.93 สหสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h_c) กรณี Free Jet



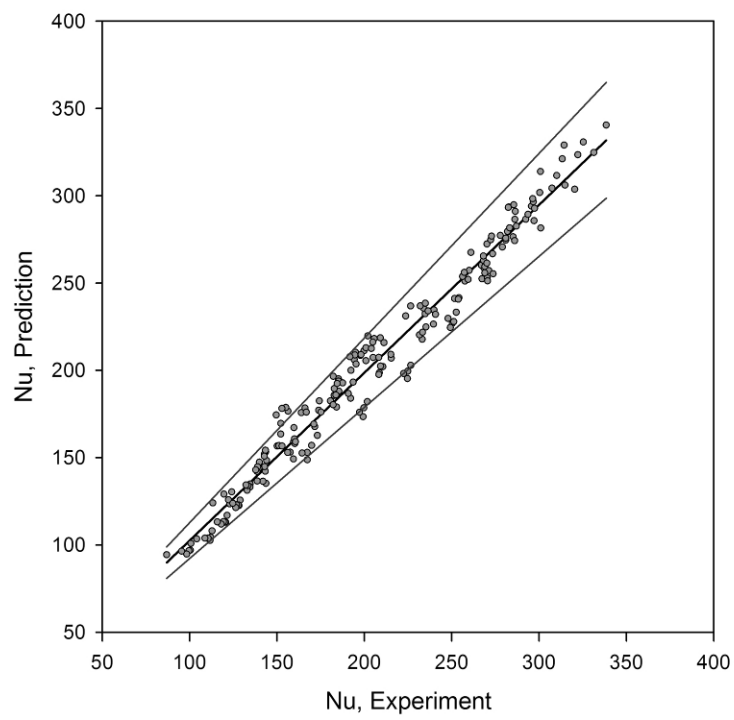
รูปที่ 4.94 สหสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h_c) กรณี Confined Jet



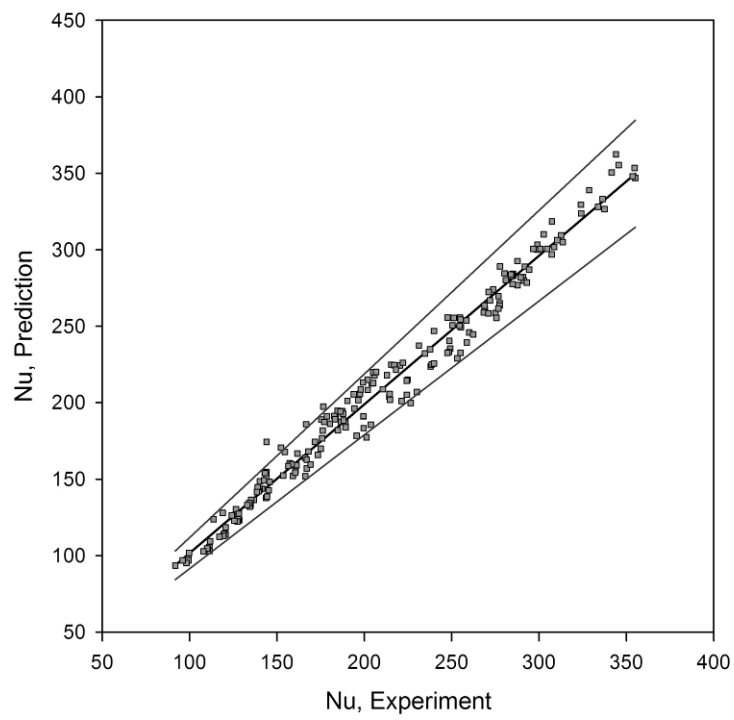
รูปที่ 4.95 สหสัมพันธ์ของความต้านทานความร้อน (R_{th}) กรณี Free Jet



รูปที่ 4.96 สหสัมพันธ์ของความต้านทานความร้อน (R_{th}) กรณี Confined Jet



รูปที่ 4.97 สหสัมพันธ์ของ Nu กรณี Free Jet



รูปที่ 4.98 สหสัมพันธ์ของ Nu กรณี Confined Jet

5. สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การติดตั้งครีประบายความร้อนบนแหล่งความร้อนเดียวมีผลต่อการส่งเสริมการระบายความร้อนโดยการพุ้งชนของอากาศ โดยผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลกระทบของระยะหัวฉีด(H/d) ที่มีผลต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน พบว่าการเพิ่มค่า H/d ภายใน Potential Core Length ($0 < H/d < 4$) นั้นไม่มีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีประบายความร้อน โดยค่า $\bar{h}_c$ มีค่าคงที่ อย่างไรก็ตามเมื่อ $H/d > 4$ จะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่า H/d ให้สูงขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีประบายความร้อนนั้นลดลง เนื่องจากความเข้มข้นของล่ำอากาศที่ไหลไปยังผิวปะทะมีค่าต่ำลง อันส่งผลให้ค่า R_{th} ของครีประบายความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น
2. ผลกระทบของเลขเรย์โนลด์ส์(Re) ที่มีผลต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน พบว่าเมื่อ Re มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า $\bar{h}_c$ มีค่าเพิ่มขึ้นทุกระยะ H/d ที่ทำการทดสอบ เนื่องจากความเร็วของล่ำอากาศที่เพิ่มขึ้นจะกระตุ้นขีดผิวให้มีความหนาลดลงส่งผลให้ค่า R_{th} ของครีประบายความร้อนมีค่าลดลง และยังพบว่าเมื่อ Re มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ Potential Core Length มีค่าเพิ่มขึ้น
3. ผลกระทบของการจำกัดขอบเขตการไหลของล่ำอากาศที่มีผลต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน พบว่า กรณี Confined Jet สามารถระบายความร้อนได้มากกว่ากรณี Free Jet เมื่อ $H/d < 4$ แต่ที่ $H/d > 4$ พบว่ากรณี Confined Jet สามารถระบายความร้อนได้น้อยกว่ากรณี Free Jet
4. ผลกระทบของความสูงของครี(h_{fin}) ที่มีผลต่อสมรรถนะการระบายความร้อนโดยใช้อากาศพุ้งชน พบว่าเมื่อเพิ่มความสูงของ Pin-Fin จาก 10 mm เป็น 20 mm ส่งผลให้ค่า $\bar{h}_c$ ลดลง 20% และค่า R_{th} ลดลง 22% เนื่องจากความสูงของ Pin-Fin ที่เพิ่มขึ้นทำให้ล่ำอากาศครอบคลุมผิวครีเพิ่มขึ้น
5. ผลกระทบของขนาดของครี(d_{fin}) ที่มีผลต่อสมรรถนะการระบายความร้อนโดยใช้อากาศพุ้งชน พบว่าการเพิ่มขนาด d_{fin} จาก 1.13 mm เป็น 1.38 mm ส่งผลให้ค่า $\bar{h}_c$ ลดลง 5% และค่า R_{th} ลดลง 10%
6. ผลกระทบของพื้นที่ฐาน(A_{base}) ที่มีผลต่อสมรรถนะการระบายความร้อนโดยใช้อากาศพุ้งชน พบว่าการเพิ่มขนาด A_{base} จาก $20 \times 20 \text{ mm}^2$ เป็น $40 \times 40 \text{ mm}^2$ ส่งผลให้ค่า $\bar{h}_c$ ลดลง 5%, ค่า R_{th} ลดลง 55% และการเพิ่มขนาด A_{base} จาก $40 \times 40 \text{ mm}^2$ เป็น $80 \times 80 \text{ mm}^2$ ส่งผลให้ค่า $\bar{h}_c$ ลดลง 25%, ค่า R_{th} ลดลง 35%

7. สมการสหสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h_c) แบ่งเป็นกรณี Free Jet และกรณี Confined Jet ดังสมการที่ (5.2) และสมการที่ (5.3) ตามลำดับ

$$h_{c,free} = 1.691 \cdot \text{Re}^{0.204} \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^{-0.012} \cdot \left(\frac{h_{fin}}{t_{base}}\right)^{-0.359} \cdot \left(\frac{A_{surface}}{A_{base}}\right)^{-0.116} \cdot \left(\frac{A_{base}}{A_{nozzle}}\right)^{-0.171} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{amb}}\right)^{4.022} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{cu}}\right)^{0.289} \quad (5.2)$$

$$h_{c,confined} = 1.680 \cdot \text{Re}^{0.206} \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^{-0.022} \cdot \left(\frac{h_{fin}}{t_{base}}\right)^{-0.264} \cdot \left(\frac{A_{surface}}{A_{base}}\right)^{-0.225} \cdot \left(\frac{A_{base}}{A_{nozzle}}\right)^{-0.237} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{amb}}\right)^{3.805} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{cu}}\right)^{0.329} \quad (5.3)$$

8. สมการสหสัมพันธ์ของค่าความต้านทานความร้อน (R_{th}) แบ่งเป็นกรณี Free Jet และกรณี Confined Jet ดังสมการที่ (5.4) และสมการที่ (5.5) ตามลำดับ

$$R_{th,free} = 0.858 \cdot \text{Re}^{-0.204} \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^{0.012} \cdot \left(\frac{h_{fin}}{t_{base}}\right)^{0.359} \cdot \left(\frac{A_{surface}}{A_{base}}\right)^{-0.884} \cdot \left(\frac{A_{base}}{A_{nozzle}}\right)^{-0.829} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{amb}}\right)^{-4.022} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{cu}}\right)^{-0.289} \quad (5.4)$$

$$R_{th,confined} = 0.868 \cdot \text{Re}^{-0.206} \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^{0.022} \cdot \left(\frac{h_{fin}}{t_{base}}\right)^{0.264} \cdot \left(\frac{A_{surface}}{A_{base}}\right)^{-0.775} \cdot \left(\frac{A_{base}}{A_{nozzle}}\right)^{-0.763} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{amb}}\right)^{-3.805} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{cu}}\right)^{-0.329} \quad (5.5)$$

9. สมการสหสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลต์ (Nu) แบ่งเป็นกรณี Free Jet และกรณี Confined Jet ดังสมการที่ (5.6) และสมการที่ (5.7) ตามลำดับ

$$Nu_{free} = 2.065 \cdot \text{Re}^{0.197} \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^{-0.012} \cdot \left(\frac{h_{fin}}{t_{base}}\right)^{-0.346} \cdot \left(\frac{A_{surface}}{A_{base}}\right)^{-0.137} \cdot \left(\frac{A_{base}}{A_{nozzle}}\right)^{-0.179} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{amb}}\right)^{4.182} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{cu}}\right)^{0.270} \quad (5.6)$$

$$Nu_{confined} = 2.086 \cdot \text{Re}^{0.197} \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^{-0.024} \cdot \left(\frac{h_{fin}}{t_{base}}\right)^{-0.245} \cdot \left(\frac{A_{surface}}{A_{base}}\right)^{-0.266} \cdot \left(\frac{A_{base}}{A_{nozzle}}\right)^{-0.252} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{amb}}\right)^{3.875} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{cu}}\right)^{0.337} \quad (5.7)$$

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเลือกใช้ Pin-Fin Heat Sink เพื่อการถ่ายเทความร้อนโดยการพุ้งชนของลำอากาศในพื้นที่จำกัด เพิ่มความสูงของครีปให้การระบายความร้อนที่ดีกว่าการเพิ่มขนาดครีป

จากผลการทดลองของ Pin-Fin Heat Sink No.5 พบว่าค่า R_{th} มีความแปรปรวนสูง อาจมีสาเหตุมาจากการจัดเรียงครีประบายความร้อนที่มีความหนาแน่นมากเกินไป ควรมีการศึกษาอิทธิพลของความหนาแน่นของครีปที่มีผลต่อการระบายความร้อน ในโอกาสต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Livingood, J.N.B. and Hrycak, P., 1973, Impingement heat transfer from turbulent air jets to flat plates a literature survey, **NASA TM X-2778**.
- [2] Incropera, F.P. and Dewitt, D.P., 1996, **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**, 3rd ed., John Wiley & Sons, pp. 361-367.
- [3] Gauntner, J.W., Livingood, J.N.B. and Hrycak, P., 1970, Survey of literature on flow characteristics of a single turbulent jet impinging on a flat plate, **NASA TN D-5652**.
- [4] Perry K.P., 1954, Heat Transfer by Convection from a Hot Gas Jet to a Plane Surface., **Proc. Inst. Mech. Eng.**, Vol. 168, No. 30, pp. 775-780.
- [5] Gardon R. and Cobonpue J., 1963, Heat Transfer Between a Flat Plate and Jets of Air Impinging on it, **International Development in Heat transfer ASME**, pp. 454-460.
- [6] Obot, N.Y., Mujumdar, A.S. and Douglas, W.J., 1982, Effect of semi-confinement on impingement heat transfer, **Porc. 7th International Heat Transfer Conference**, Munchen, Germany, September 6-10, Vol. 3, pp. 395-400.
- [7] Brignoni, L.A. and Garimella, S.V., 1999, Experimental Optimization of Confined Air Jet Impingement on a Pin Fin Heat Sink, **IEEE Transactions on Components and Packaging Technology**, Vol. 22, No. 3, pp. 399-404.
- [8] El-Sheikh H.A. and Garimella S.V., 2000, Enhancement of Air Jet impingement Heat Transfer Using Pin-Fin Heat Sink, **IEEE Transactions on Components and Packaging Technology**, Vol. 23, No. 2, pp. 300-308.
- [9] Li, H.Y., Chao, S.M. and Tsai, G.L., 2005, Thermal Performance Measurement of Heat Sinks with Confined Impinging Jet by Infrared Thermography, **International Journal of Heat and Mass Transfer**, Vol. 48, pp. 5386-5394.

- [10] หนึ่ง กลับทวี, เอกชัย สุธีรศักดิ์ และสุรัชย์ สนิทใจ, 2549, "การระบายความร้อนจากชุดแผ่นครีบบนโดยการพองตัวของอากาศ", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม, โรงแรมแมนดาริน โกลดตัน วิลเลจ กรุงเทพฯ, จ.นครราชสีมา
- [11] Wenzhou YONGTAI Co., Ltd., 2005, Heat Sink (China Manufacturer) - Non-ferrous Metal Products - Metallurgy & Mining Products - DIYTrade China manufacturers suppliers [Online], Available : <http://www.diytrade.com> [2006, August 30]
- [12] Thermaltake Technology Co., Ltd., 2005, Welcome to Thermaltake [Online], Available: <http://www.thermaltakeusa.com/product/liquid/DIY/cl-w0121/cl-w0121.html> [2007, may 30]
- [13] Saint-Gobain Ceramics & Plastics, Inc., 2003, Heat Sink and Heat Transfer Media Products and Materials [Online], Available : <http://www.norpro.saint-gobain.com> [2007, may 30]
- [14] hwmania.org, 2007, Celle di Peltier – HwMania [Online], Available : <http://www.hwmania.org> [2007, may 30]
- [15] eFunda, Inc., 2006, Theory of Thermocouples [Online], Available : http://www.efunda.com/DesignStandards/sensors/thermocouples/thmcple_theory.cfm [2008, October 30]
- [16] Figliola, R.S. and Beasley, D.E., 2006, **Theory and Design for Mechanical Measurements**, 4th ed., Wiley, Singapore, pp. 168-175.

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (ระบุชื่อผู้แต่ง ชื่อเรื่อง ชื่อวารสาร ปี เล่มที่ เลขที่ และหน้า) หรือผลงานตามที่คาดไว้ในสัญญาโครงการ
2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์
 - เชิงพาณิชย์ (มีการนำไปผลิต/ขาย/ก่อให้เกิดรายได้ หรือมีการนำไปประยุกต์ใช้โดยภาคธุรกิจ/บุคคลทั่วไป)
 - เชิงนโยบาย (มีการกำหนดนโยบายอิงงานวิจัย/เกิดมาตรการใหม่/เปลี่ยนแปลงระเบียบข้อบังคับหรือวิธีทำงาน)
 - เชิงสาธารณะ (มีเครือข่ายความร่วมมือ/สร้างกระแสมความสนใจในวงกว้าง)
 - เชิงวิชาการ (มีการพัฒนาการเรียนการสอน/สร้างนักวิจัยใหม่)
3. อื่นๆ (เช่น ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ หนังสือ การจดสิทธิบัตร)

หนึ่ง กลับทวี, เอกชัย สุธีรศักดิ์ และ สุรัชย์ สนิทใจ, 2549, "การระบายความร้อนจากชุดแผ่นครีบบนอาคารพองของอากาศ", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม, โรงแรมแมนดาริน โกลดัน วิลเลจ เขาใหญ่, จ.นครราชสีมา

การระบายความร้อนจากชุดแผ่นครีบบนโดยการพ่นของอากาศ Heat Transfer from a Plate-Fin Heat Sink by Air Jet Impingement

หนึ่ง กลับทวี¹ เอกชัย สุธีระศักดิ์² สุรัชชัย สนิทใจ^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ หนองแขม กรุงเทพฯ 10160

Tel: 02-470-9109, Fax: 02-470-9111,

Email: nueng_aua@yahoo.com¹, ekkachai@sau.ac.th², surachai.san@kmutt.ac.th^{1*}

N. Klubtavee¹, E. Suthreerasak² and S. Sanitjai^{1*}

¹Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi,
Bangmod, Thungkru, Bangkok 10140

²Department of Mechanical Engineering, South-East Asia University, Nongkaem, Bangkok 10160

Tel: 02-470-9109, Fax: 02-470-9111,

Email: nueng_aua@yahoo.com¹, ekkachai@sau.ac.th², surachai.san@kmutt.ac.th^{1*}

บทคัดย่อ

ชุดแผ่นครีบบนระบายความร้อนแบบแนวตั้ง (Plate-Fin Heat Sink) ได้ถูกนำมาใช้งานในการระบายความร้อนออกจากหน่วยประมวลผลกลางของคอมพิวเตอร์ (CPU) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อน โดย Heat Sink แต่ละแบบจะมีจำนวนครีบบนและความสูงของครีบบนที่แตกต่างกัน การที่จำนวนครีบบนและความสูงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ระยะห่างระหว่างแผ่นครีบบนแต่ละแผ่นลดลง และระยะทางของการไหลของอากาศไปถึงโคนครีบบนเพิ่มขึ้น ความต้านทานการไหลจึงเพิ่มขึ้นและมีผลกระทบต่อการสมรรถนะโดยรวมของ Plate-Fin Heat Sink ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาถึงผลกระทบของการเพิ่มความสูงของครีบบนต่อการสมรรถนะโดยรวมของชุดครีบบนระบายความร้อนโดยการพ่นของอากาศลงบน Plate-Fin Heat Sink ที่มีความสูง 17 mm, 22 mm, และ 27 mm. โดยฐานของแผ่นครีบบนมีขนาดเท่ากันคือ 60 mm x 60 mm ทำการทดสอบในช่วงค่า Reynolds Number ระหว่าง 14,000 ถึง 50,000 ผลการทดลองพบว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนรวมของชุดแผ่นครีบบนสูงขึ้นเมื่อ Reynolds Number และความสูงของครีบบน เพิ่มขึ้น และการติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink ช่วยให้การระบายความร้อนดีขึ้นกว่าการใช้การพ่นระบายความร้อนเพียงอย่างเดียวถึง 30 เท่า พร้อมกันนี้ สำหรับ $H/D \geq 2$ การช่วยส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนโดยการติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink ร่วมกับการพ่นระบายความร้อนจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นถึงประมาณ 50 เท่า เมื่อค่า Reynolds number มีค่าต่ำกว่า 25,000 และยังคงพบวาระยะ H/D จะมีผลกระทบต่อการส่งเสริมการถ่ายเท

ความร้อนเมื่อ Plate-Fin Heat Sink มีความสูงตั้งแต่ 27 mm ขึ้นไป โดยที่ H/D สูงขึ้นจะทำให้การระบายความร้อนลดลง ส่วนอิทธิพลของความสูงของ Plate-Fin Heat Sink นั้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นค่า thermal resistance มีค่าลดลง ส่งผลให้มีการระบายความร้อนดีขึ้นสำหรับทุกค่า H/D

คำสำคัญ: ชุดแผ่นครีบบนระบายความร้อน, การส่งเสริมการถ่ายเทความร้อน, การพ่นระบายความร้อน, สัมประสิทธิ์การพาความร้อนรวม, ความต้านทานทางความร้อน

Abstract: Plate-fin heat sinks are normally used for CPU cooling to make extended surface for heat transfer enhancement. Each type of heat sink has different numbers of fin and different fin heights. However, increasing of the number of fin and fin height causes the distance between fins to decrease as well as the flow distance from the exit of a nozzle to the base of heat sink increases. This causes flow resistance to increase and affects the performance of plate-fin heat sink. This research aims to investigate the effect of fin height on the performance of the plate-fin heat sink impinging by air jet. The heights of the fin are 17, 22, and 27 mm with the same base size of 60 mm x 60 mm. The experiments are conducted in the Reynolds number range of 14,000-50,000. The experimental results show that the overall heat transfer coefficient is

augmented by increasing of the Reynolds number and fin height. Use of a plate-fin heat sink reduces the thermal resistance to 30 times as compared with the one without plate-fin heat sink. Moreover, for $H/D \geq 2$ and $Re < 25,000$, a plate-fin heat sink with air jet impingement enhances the heat transfer rate about 50 times. The distance from the exit of the nozzle affects the heat transfer rate only for the case of 27 mm fin height and increasing of H/D reduces heat transfer rate. For every H/D , increase in fin height enhances the heat transfer rate by reducing in the thermal resistance.

Keywords: heat sink, heat transfer enhancement, jet impingement, overall heat transfer coefficient, thermal resistance

1. บทนำ

การพุ่งชนระบายความร้อน (Jet Impingement Heat Transfer) เป็นกลไกของการถ่ายเทความร้อนโดยการใช้ของไหลพุ่งชนบริเวณพื้นที่ที่ต้องการระบายความร้อน บริเวณที่มีการกระทบกันของของไหลกับพื้นผิวนั้นจะมีความหนาของชั้น boundary layer ที่บางมากทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนดี [1] เทคนิคการพุ่งชนระบายความร้อนได้ถูกนำมาใช้ประยุกต์กับงานหลายๆ ด้าน ตัวอย่างเช่น การระบายความร้อนภายในใบพัดกังหันก๊าซ (Gas Turbine Blades), การระบายความร้อนให้กับแผ่นเหล็กร้อน (Hot Steel Plates), การเป่าแห้งกระดาษและสิ่งทอ (Drying of Paper and Textile) และการระบายความร้อนให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวสามารถช่วยเพิ่มอัตราการระบายความร้อนและขยายอายุการใช้งานให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถลดน้ำหนักและขนาดของอุปกรณ์บางชนิดลงได้

ปัจจุบันมีการศึกษาพัฒนาเทคนิคการพุ่งชนระบายความร้อนอย่างต่อเนื่อง และคาดว่าในอนาคตเทคโนโลยีนี้จะต้องถูกนำมาใช้กันมากขึ้น อย่างไรก็ตามยังมีอุปกรณ์เสริมที่สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะการระบายความร้อนจากการเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient) โดยการใช้ครีบริบายความร้อนเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการระบายความร้อน โดยที่ครีบริบายความร้อนมีหลายประเภทเช่น Plate-Fin Heat Sink และ Pin-Fin Heat Sink ซึ่งที่พบเห็นกันทั่วไปจะใช้ในการระบายความร้อนออกจาก CPU ของเครื่องคอมพิวเตอร์

ขณะที่การศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับ Jet Impingement Heat Transfer และการระบายความร้อนโดยใช้ Plate-Fin และ Pin-Fin Heat Sink ที่ผ่านมามีงานวิจัยจำนวนมากไม่น้อยที่ศึกษาวิธีนี้ กล่าวโดยสังเขป คือ Ei-Sheikh และ Garimella [2] ได้ทำการศึกษการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนบนแผ่นความร้อน โดยใช้วิธีการพุ่งชนของอากาศ หรือ Air Jet Impingement ในการทดสอบได้ทำการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนระหว่างการติดตั้งและไม่ติดตั้ง Pin-Fin, ความแตกต่างของ Pin-Fin และ เส้นผ่านศูนย์กลาง

ของ Orifice ในช่วง $12.7 < d < 38.1$ mm โดยใช้ Reynolds Number ในช่วง $8,000 < Re < 45,000$ ผลการทดสอบพบว่า การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการพุ่งชนของอากาศนั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ได้แก่การติดตั้ง Pin-Fin และไม่ติดตั้ง Pin-Fin, ลักษณะโครงสร้างของ Pin-Fin, Reynolds Number และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Orifice ซึ่งการติดตั้ง Pin-Fin ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่าการไม่ติดตั้ง Pin-Fin ขณะที่ใช้ Orifice ขนาดเล็กจะมีการถ่ายเทความร้อนได้รวดเร็วกว่า Orifice ขนาดใหญ่ เนื่องจากความเร็วที่ปากทางออกของ Orifice ขนาดเล็กมีปริมาณมากกว่า Orifice ขนาดใหญ่ ขณะที่ Brignoni และ Garimella [3] ได้ศึกษาการพุ่งชนของอากาศบนแผ่นครีบริบายความร้อน โดยทดสอบเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนจากการใช้หัวฉีด แบบรูเดียวและหลายรู โดยใช้ค่า Reynolds Number ในช่วง $5,000 < Re < 20,000$ ผลการทดสอบพบว่า การใช้หัวฉีดแบบหลายรูให้การถ่ายเทความร้อนรวดเร็วกว่าแบบรูเดียว ขณะที่ Wen และ Jang [4] ได้ทำการศึกษการถ่ายเทความร้อนบนแผ่นความร้อน โดยใช้วิธีการพุ่งชนของอากาศ ในการทดสอบใช้หัวฉีดที่มีลักษณะโครงสร้างที่สามารถทำให้เกิดการไหลวนได้ ทำการเปรียบเทียบ ค่าการถ่ายเทความร้อนแบบมีและไม่มีการไหลวนของอากาศ และศึกษา ลักษณะโครงสร้างของอากาศโดยใช้ Smoke Flow Visualization โดยใช้ Reynolds Number ในช่วง $500 < Re < 27,000$ และระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นความร้อน (H/D) ระหว่าง 3–16 ผลการทดสอบพบว่า การไหลของอากาศแบบมีและไม่มีการไหลวนเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างค่า Nu กับ H/D โดยใช้ค่า Nu เฉลี่ยของการถ่ายเทความร้อนแต่ละจุดที่วัดได้บนแผ่นแหล่งความร้อนทั้งหมด พบว่าที่ความเร็วเดียวกัน H/D และการไหลวนจะส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าแบบไม่มีการไหลวน และเมื่อเพิ่มการไหลวนมากขึ้น ทำให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้น นอกจากนี้มีงานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบของการพุ่งชนระบายความร้อนบนแผ่นความร้อน โดยใช้วิธีการพุ่งชนของอากาศหลายงานวิจัย โดยส่วนใหญ่มุ่งประเด็นไปที่ผลกระทบของช่วง Reynolds Number และระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นความร้อน โดยไม่ได้กล่าวถึงอิทธิพลของความสูงของครีบริ

Baydar [5] ได้ศึกษาการพุ่งชนของอากาศบนแผ่นความร้อน ในช่วง Low Reynolds Number ในการทดลองใช้หัวฉีดแบบ Single และ Double Jet โดยใช้ Reynolds Number ในช่วง $300 < Re < 10,000$ และระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นความร้อน (H/D) ระหว่าง 0.5–4 ผลการทดสอบพบว่า การใช้หัวฉีดแบบ Double Jet จะมีการถ่ายเทความร้อนรวดเร็วกว่าแบบ Single Jet

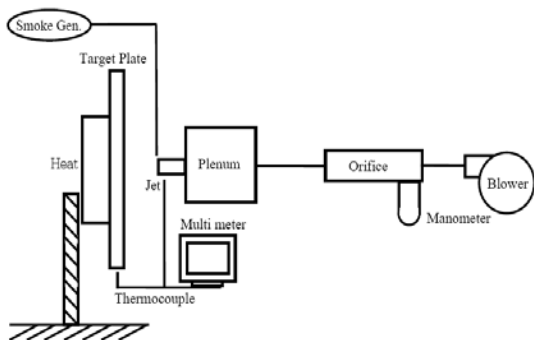
Lee และคณะ [6] ได้ศึกษาการพุ่งชนของอากาศบนแผ่นความร้อนในช่วงการไหลแบบ Turbulent ที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของรูหัวฉีด ในการทดลองใช้หัวฉีดแบบรูเดียว กำหนดความเร็วของอากาศคงที่ที่ Reynolds Number เท่ากับ 23,000 และเปลี่ยนแปลงขนาดของรูหัวฉีดในช่วง 1.36-3.40 mm เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นความร้อน (H/D) ในช่วงระหว่าง 2–14 ผลการทดสอบพบว่า การเพิ่มขึ้นของ Local Nusselt Number ขึ้นกับขนาด

ของรูหัวฉีดที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เชื่อว่าจะเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของ Jet Momentum และ Turbulent Intensity ที่เพิ่มขึ้นตามขนาดของรูหัวฉีด

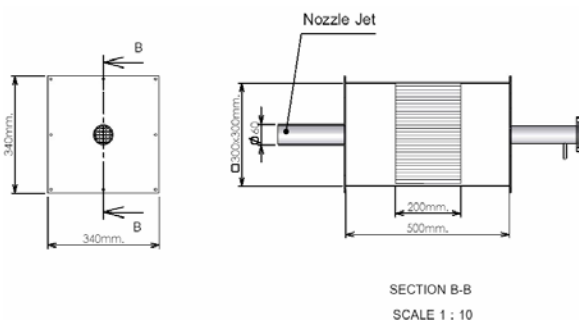
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบายความร้อนออกจากแผ่นความร้อนที่มีการติดตั้งและไม่ติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink ที่มี ความสูงของครี 3 ระดับ โดยใช้วิธีการพุ่งชนของอากาศระบาย ความร้อน และศึกษาถึงอิทธิพลของระยะห่างของปลายหัวฉีดถึงแผ่น ทดสอบ (H/D) ต่อสมรรถนะในการระบายความร้อนที่มีการติดตั้ง และไม่ติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink

2. อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

ในงานวิจัยนี้ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบดัง แสดงในรูปที่ 1 โดยที่อากาศจะถูกจ่ายออกจาก Blower ขนาด 1 HP และมีชุดควบคุมความเร็วแบบ Inverter ควบคุมความเร็วของอากาศ ก่อนเข้าสู่ชุดปรับความราบเรียบของอากาศ (Plenum) ขนาด $300 \times 300 \times 500 \text{ mm}^3$ ซึ่งทำหน้าที่ปรับความเป็นระเบียบของอากาศก่อน เข้าหัวฉีด ขณะที่การทดสอบใช้หัวฉีดความยาว 350 mm ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางหัวฉีด (D) คงที่ 60 mm ดังแสดงในรูปที่ 2 และ บริเวณทางออกของหัวฉีดทำการติดตั้ง Thermocouple Type T ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 mm เพื่อวัดอุณหภูมิของอากาศที่พุ่ง ชนแผ่นความร้อน ในขณะที่การวัดความเร็วของอากาศที่ออกจาก nozzle ใช้เครื่องวัดความเร็วลมยี่ห้อ Testo 435/Vane measurement probe 60mm ($\pm 0.1 \text{ m/s} + 1.5\% \text{ of mv}$) ร่วมกับ orifice plate



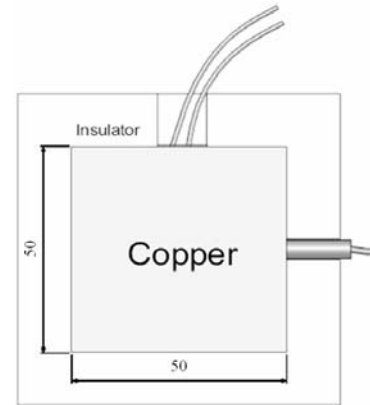
รูปที่ 1 ไดอะแกรมการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ



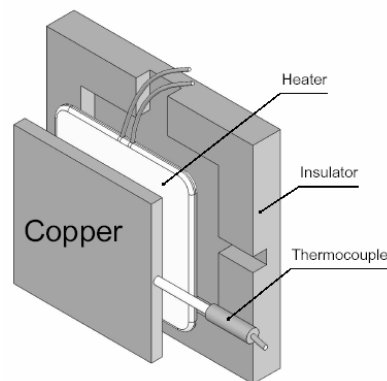
รูปที่ 2 ชุดปรับความราบเรียบ (Plenum)

แผ่นความร้อนที่ใช้ในการทดสอบแสดงในรูปที่ 3 (ก) โดย ส่วนประกอบของแผ่นความร้อน ประกอบด้วยแผ่นทองแดงขนาด $50 \times 50 \text{ mm}^2$ ความหนา 6 mm บริเวณด้านหลังมีแหล่งกำเนิด ความร้อนแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด $50 \times 50 \text{ mm}^2$ และให้ค่า กำลังไฟฟ้าสูงสุด 200 W ขณะที่ด้านหน้าของแผ่นความร้อนติดตั้ง Thermocouple Type T ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 mm เพื่อวัด อุณหภูมิของแผ่นความร้อนดังในรูปที่ 3 (ข)

ครีระบายความร้อนแบบ Plate-Fin Heat Sink ที่ติดตั้ง บนแผ่นความร้อนทำจากวัสดุอะลูมิเนียม มีขนาดพื้นที่ฐาน $60 \times 60 \text{ mm}^2$ ความหนาของครีเท่ากับ 2.1 mm ช่องว่างระหว่างครีเท่ากับ 1.5 mm ความหนาของฐานครีเท่ากับ 5 mm โดยมีความสูง (hf) ต่างกัน 3 ระดับ คือ 17 mm, 22 mm และ 27 mm



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 ไดอะแกรมแสดงการติดตั้งแผ่นความร้อน

ในการทดสอบจะทำการควบคุมอุณหภูมิของแผ่นความ ร้อนให้มีค่าเท่ากับ 60°C โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง รุ่น GW instek/PSH-3620 และควบคุมความเร็วของอากาศให้มีค่า Reynolds Number ในช่วง 15,000 ถึง 50,000 และทำการทดสอบ

เปรียบเทียบที่ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นความร้อน (H/D) ในช่วง $1 < H/D < 3$ โดยจะคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากแผ่นทดสอบที่มีการติดตั้งและไม่ติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink

3. การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน

3.1 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h)

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้การคำนวณค่าการพาความร้อนแบบ Forced Convection จากการใช้อากาศไหลเข้าฟุ้งชนปะทะกับพื้นผิวในแนวตั้งฉากกับผิวที่ต้องการระบายความร้อน เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกี่ยวข้องในการทดลองนี้มีอยู่ 4 รูปแบบคือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากพลังงานไฟฟ้า (q_{in}):

$$q_{in} = VI/A \quad (1)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถูกอากาศถ่ายเทออกโดยการพาความร้อน (q_f):

$$q_f = h(T_s - T_j) \quad (2)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถูกอากาศถ่ายเทออกโดยการนำความร้อน โดยสมมุติให้เป็นการนำความร้อนในหนึ่งมิติผ่านแผ่นเรียบ (q_c):

$$q_c = k(\Delta T/\Delta x) \quad (3)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถูกอากาศถ่ายเทออกโดยการแผ่รังสี (q_r):

$$q_r = \varepsilon\sigma(T_s^4 - T_j^4) \quad (4)$$

ซึ่งสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$q_{in} = q_c + q_f + q_r \quad (5)$$

โดยในการทดลองจะคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (h) ที่มาจาก Forced Convection ดังนั้นจากสมการที่ (5) จะได้ว่า

$$q_f = q_{in} - q_c - q_r \quad (6)$$

$$h(T_s - T_j) = (VI/A) - k(\Delta T/\Delta x) - \varepsilon\sigma(T_s^4 - T_j^4) \quad (7)$$

เมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้ว่า

$$h = \{(VI/A) - k(\Delta T/\Delta x) - \varepsilon\sigma(T_s^4 - T_j^4)\}/(T_s - T_j) \quad (8)$$

ซึ่งค่า h ที่ได้จากการคำนวณนี้จะนำมาใช้หาค่า thermal resistance (R_{th}) ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถคำนวณได้จาก

$$R_{th} = (1/hA) \quad (9)$$

3.2 การคำนวณหาค่า Reynolds Number (Re)

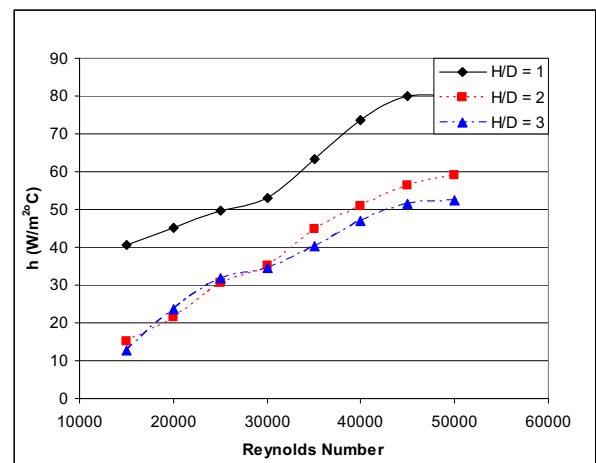
การไหลในท่อจะเป็นแบบ laminar หรือ turbulent นั้นก็ขึ้นอยู่กับค่าของ Reynolds Number โดยที่ค่านี้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \quad (10)$$

4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนบนแผ่นความร้อนที่ไม่ได้ติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) จากการฟุ้งชนของอากาศลงบนแผ่นร้อนที่ไม่มี Plate-Fin Heat Sink ที่ระยะห่างจากปลายหัวฉีดถึงแผ่นทดสอบ (H/D) ต่างๆ แสดงในรูปที่ 4



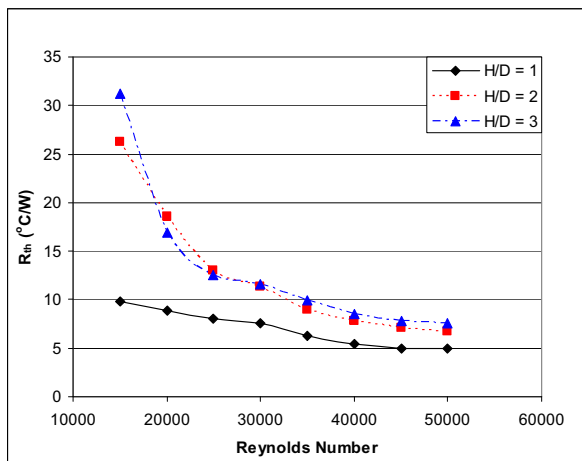
รูปที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากการฟุ้งชนของอากาศลงบนแผ่นร้อนที่ไม่มี Plate-Fin Heat Sink

โดยจะเห็นได้ว่า เมื่อค่า Reynolds number มีค่าเพิ่มขึ้นทุกค่า H/D จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่อากาศที่มีความเร็วเพิ่มขึ้นเมื่อฟุ้งชนแผ่นทดสอบในทิศทางจะทำให้ความหนาของชั้น thermal boundary layer มีค่าลดลง ส่งผลให้ค่าความต้านทานทางความร้อนมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5 ทำให้การระบายความร้อนดีขึ้น

จากรูปที่ 4 จะสังเกตได้ว่าที่ระยะ H/D = 1 จะมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงกว่า ที่ระยะ H/D = 2 และ 3 ตลอด

ช่วงของ Reynolds number ที่ทดสอบ แต่ในช่วง $15,000 < Re < 30,000$ ที่ $H/D = 2$ และ $H/D = 3$ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้คาดว่าน่าจะเป็นเพราะส่วนแกนของลำอากาศ (potential core of jet) ไม่ได้เข้าปะทะกับแผ่นทดสอบโดยตรง เนื่องจากมีระยะห่างจากหัวฉีดมายังแผ่นทดสอบสูงขึ้น แต่ในช่วง $30,000 < Re < 50,000$ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ $H/D = 2$ มีค่าสูงกว่าที่ $H/D = 3$ น่าจะเนื่องมาจากการที่ลำอากาศที่ออกจากหัวฉีดมีความปั่นป่วน (turbulence) มากขึ้นทำให้การพาความร้อนดีขึ้น ความชันของเส้นกราฟในช่วง $30,000 < Re < 50,000$ นี้สำหรับทุกค่าของ H/D จะมีค่าเพิ่มขึ้นอันเป็นผลมาจากคุณลักษณะการไหลที่เปลี่ยนไป จาก laminar flow ไปสู่ turbulent flow

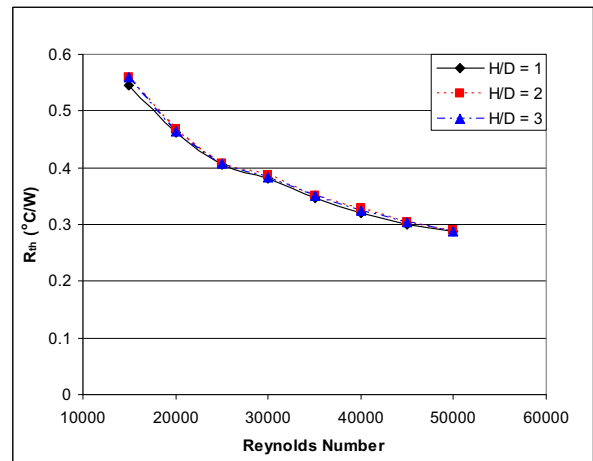
สำหรับค่า thermal resistance, R_{th} ที่แสดงในรูปที่ 5 นั้นจะเห็นได้ว่ามีค่าลดลงเมื่อค่า Reynolds number เพิ่มขึ้น โดยที่ $H/D = 1$ จะมีค่า R_{th} ต่ำที่สุด และค่า R_{th} จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ H/D มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุผลเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนดังได้อธิบายไว้ในตอนต้น



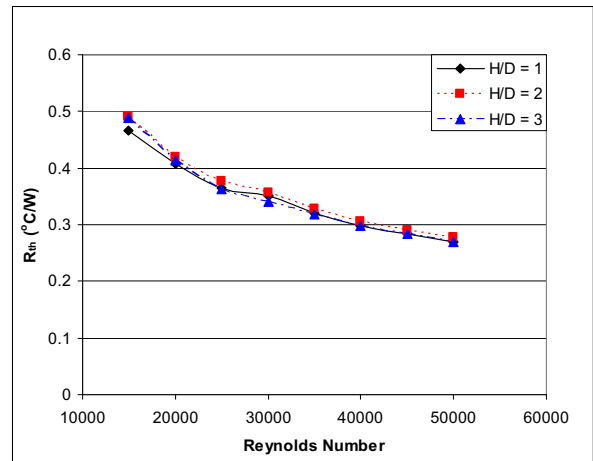
รูปที่ 5 แสดงค่า thermal resistance จากการพุ่งชนของอากาศลงบนแผ่นร้อนที่ไม่มี Plate-Fin Heat Sink

4.2 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนบนแผ่นความร้อนที่มีการติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink

ค่า thermal resistance (R_{th}) จากการพุ่งชนของอากาศลงบนแผ่นทดสอบที่มีการติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink ที่มีความสูงของครีบอกกับ 17 mm และ 22 mm ที่ระยะห่างจากปลายหัวฉีดถึงแผ่นทดสอบ (H/D) ต่างๆ แสดงในรูปที่ 6 และรูปที่ 7 ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่า เมื่อค่า Reynolds number มีค่าเพิ่มขึ้นทุกค่า H/D จะทำให้ R_{th} ลดลงส่งผลให้มีการระบายความร้อนดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามที่ความสูงของครีบอกกับ 17 mm และ 22 mm นั้นการเพิ่มระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นทดสอบ (H/D) ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการระบายความร้อนจากแผ่นทดสอบเลย โดยจะเห็นได้ว่าค่า R_{th} มีค่าใกล้เคียงกันสำหรับทุกค่า H/D

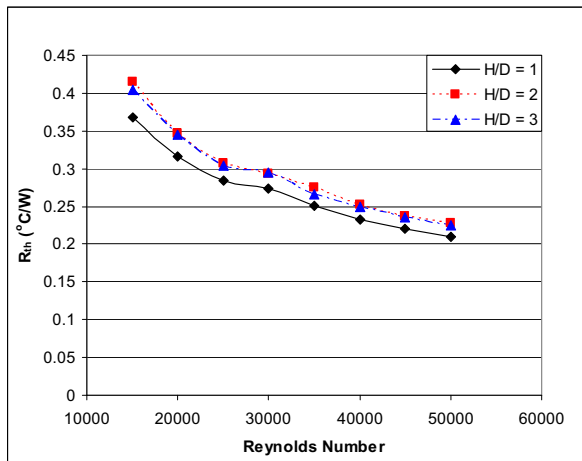


รูปที่ 6 แสดงค่า thermal resistance จากการพุ่งชนของอากาศลงบนแผ่นร้อน Plate-Fin Heat Sink ที่มีความสูง 17 mm

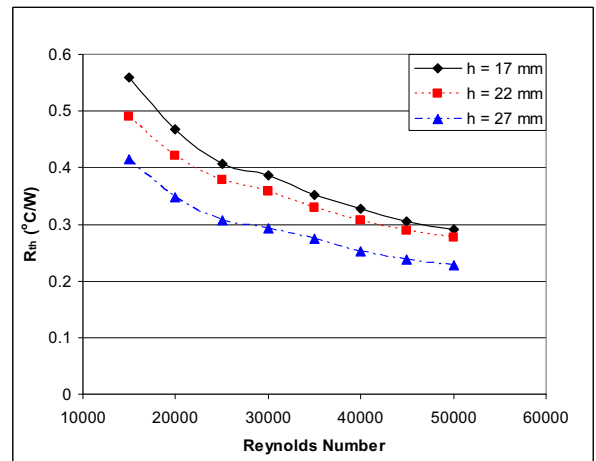


รูปที่ 7 แสดงค่า thermal resistance จากการพุ่งชนของอากาศลงบนแผ่นร้อน Plate-Fin Heat Sink ที่มีความสูง 22 mm

ค่า thermal resistance (R_{th}) จากการพุ่งชนของอากาศลงบนแผ่นทดสอบที่มีการติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink ที่มีความสูง 27 mm ที่ระยะห่างจากปลายหัวฉีดถึงแผ่นทดสอบ (H/D) ต่างๆ แสดงในรูปที่ 8 โดยจะเห็นได้ว่า เมื่อค่า Reynolds number มีค่าเพิ่มขึ้นทุกค่า H/D จะทำให้ R_{th} ลดลงส่งผลให้มีการระบายความร้อนดีขึ้น โดยที่ $H/D = 1$ นั้นจะมีค่า R_{th} ต่ำสุดทำให้การระบายความร้อนดีที่สุด ส่วน R_{th} ที่ $H/D = 2$ และ 3 จะมีค่าใกล้เคียงกันตลอดช่วง $15,000 < Re < 50,000$ ดังนั้นที่ความสูงของครีบอกกับ 27 mm นั้นการเพิ่มระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นทดสอบไม่มีผลกระทบต่ออัตราการระบายความร้อนจากแผ่นทดสอบเมื่อ $H/D \geq 2$



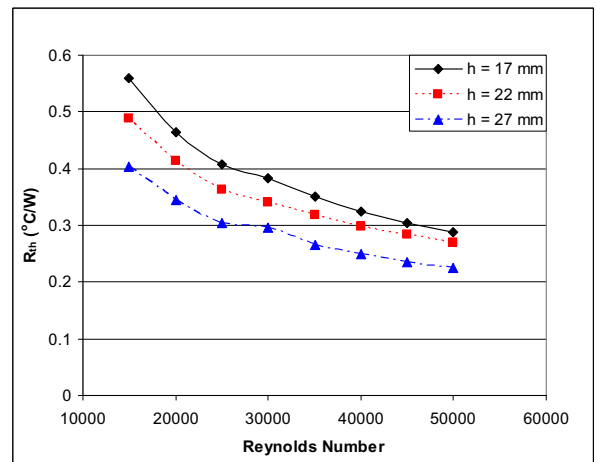
รูปที่ 8 แสดงค่า thermal resistance จากการฟุ้งชนของอากาศลงบนแผ่นร้อน Plate-Fin Heat Sink ที่มีความสูง 27 mm



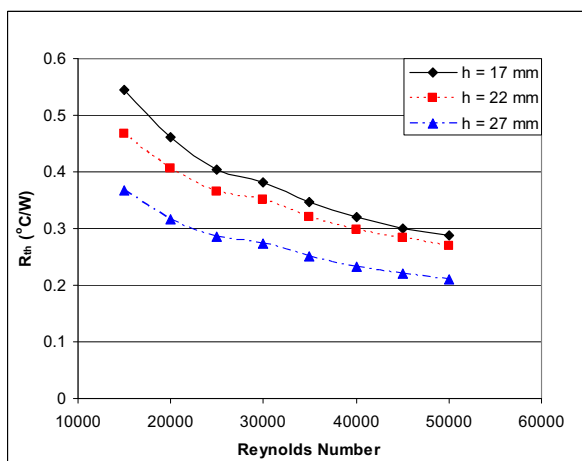
รูปที่ 10 แสดงค่า thermal resistance จากการฟุ้งชนของอากาศลงบนแผ่นร้อน Plate-Fin Heat Sink ที่ H/D = 2

อิทธิพลของความสูงของ Plate-Fin Heat Sink ต่อการระบายความร้อน แสดงในรูปที่ 9-11 สำหรับ H/D = 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยที่ค่า thermal resistance (R_{th}) จากการฟุ้งชนของอากาศลงบนแผ่นทดสอบแสดงให้เห็นว่า เมื่อความสูงของ Plate-Fin Heat Sink เพิ่มขึ้นค่า R_{th} มีค่าลดลง ส่งผลให้มีการระบายความร้อนดีขึ้นสำหรับทุกค่า H/D

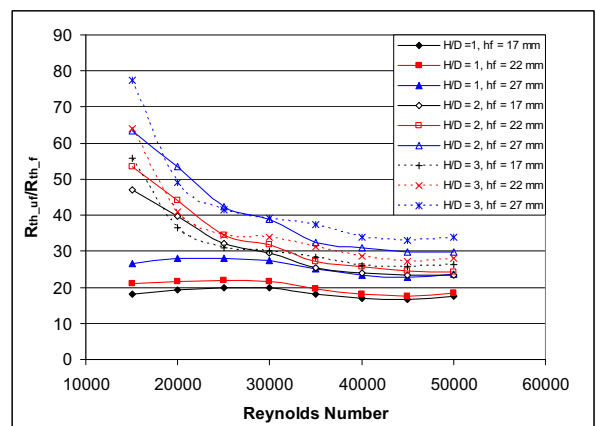
ผลการถ่ายเทความร้อนจากแผ่นทดสอบที่มีการติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการระบายความร้อนโดยการฟุ้งชนของอากาศเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink นั้นแสดงในรูปที่ 12 โดยจะเห็นได้ว่าค่า thermal resistance ที่ไม่ติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink ($R_{th,uf}$) นั้น มีค่าลดลงประมาณ 25 เท่า เมื่อมีการติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink ที่ H/D = 1 สำหรับ ที่ H/D = 2 และ 3 นั้น การติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink จะช่วยส่งเสริมการระบายความร้อนได้ดีที่ค่า Reynolds number มีค่าต่ำ กล่าวคือ $Re < 25,000$ เมื่อ $Re > 25,000$ Plate-Fin Heat Sink ทุกความสูงจะช่วยลด R_{th} ลงประมาณ 30 เท่าของ $R_{th,uf}$



รูปที่ 11 แสดงค่า thermal resistance จากการฟุ้งชนของอากาศลงบนแผ่นร้อน Plate-Fin Heat Sink ที่ H/D = 3



รูปที่ 9 แสดงค่า thermal resistance จากการฟุ้งชนของอากาศลงบนแผ่นร้อน Plate-Fin Heat Sink ที่ H/D = 1



รูปที่ 12 แสดงค่าสัดส่วนของค่า thermal resistance ที่ไม่มีการติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink ต่อค่า thermal resistance ที่มีการติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink

5. สรุป

ผลกระทบของการเพิ่มความสูงของ Plate-Fin Heat Sink และระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นทดสอบร้อน (H/D) ต่อสมรรถนะในการระบายความร้อนโดยการใช้อากาศพุ่งชนนั้น แสดงให้เห็นว่าการติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink จะช่วยให้การระบายความร้อนดีขึ้นกว่าการใช้การพุ่งชนระบายความร้อนเพียงอย่างเดียวกว่า 30 เท่า พร้อมกันนี้ สำหรับ $H/D \geq 2$ การช่วยส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนโดยการติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink ร่วมกับการพุ่งชนระบายความร้อนจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นถึงประมาณ 50 เท่า เมื่อค่า Reynolds number มีค่าต่ำ นอกจากนี้ ยังพบว่าระยะ H/D จะมีผลกระทบต่อการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนเมื่อ Plate-Fin Heat Sink มีความสูงตั้งแต่ 27 mm ขึ้นไป โดยที่ H/D สูงขึ้นจะทำให้การระบายความร้อนลดลง ส่วนอิทธิพลของความสูงของ Plate-Fin Heat Sink นั้น เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นค่า R_{th} มีค่าลดลง ส่งผลให้มีการระบายความร้อนดีขึ้นสำหรับทุกค่า H/D

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

1. Incropera, F.P. and Dewitt, D.P., 1996, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 3rd John Wiley & Sons, pp. 361-367.
2. El-Sheikh, H. A. and Garimella, S. V., 2000, "Enhancement of Air Jet Impingement Heat Transfer Using Pin-Fin Heat Sinks", IEEE Transactions on Components and Packaging Technology, Vol. 23, No. 2, pp. 300-308.
3. Brignoni, L.A. and Garimella, S. V., 1999, "Experimental Optimization of Confined Air Impingement on a Pin-Fin Heat Sink", IEEE Transactions on Components and Packaging Technology, Vol.22, No.3, pp. 399-404
4. Wen, M.Y. and Jang, K.J., 2003, "An Impingement Cooling on a Flat Surface by using Circular Jet with Longitudinal Swirling Strips" Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol. 46, pp. 4657-4667.
5. Baydar, E., 1999, "Confined Impinging Air Jet at Low Reynolds Numbers", Experimental Thermal and Fluid Science, Vol.19, pp. 27-33.
6. Lee, D.H., Song, J. and Chan J. M., 2004, "The Effects of Nozzle Diameter on Impinging Jet Heat Transfer and Fluid Flow", J. of Heat Transfer, Vol.126, pp. 554-557.

8. สัญลักษณ์

A	พื้นที่ของแหล่งกำเนิดความร้อน (m^2)
D	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของหัวฉีด (m)
H	ระยะห่างของปลายหัวฉีดถึงแผ่นทดสอบ (m)
h	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
I	กระแสไฟฟ้าที่ให้แก่อุปกรณ์กำเนิดความร้อน (Amp)
k	ค่าคงที่การนำความร้อน ($W/m \cdot ^\circ C$)
Nu	Nusselt number
q_c	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถูกอากาศถ่ายเทออกโดยการนำความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (W/m^2)
q_r	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถูกอากาศถ่ายเทออกโดยการพาความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (W/m^2)
q_{in}	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากพลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (W/m^2)
q_r	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถูกอากาศถ่ายเทออกโดยการแผ่รังสีต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (W/m^2)
Re	Reynolds number
R_{th}	Thermal resistance ที่มีการติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink ($^\circ C/W$)
$R_{th_{uf}}$	Thermal resistance ที่ไม่มีการติดตั้ง Plate-Fin Heat Sink ($^\circ C/W$)
T	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ($^\circ C$)
T_j	อุณหภูมิของอากาศที่ออกมาจากหัวฉีด ($^\circ C$)
T_s	อุณหภูมิของพื้นผิวของแผ่นความร้อน ($^\circ C$)
ΔT	ผลต่างของอุณหภูมิมบนพื้นผิวของแผ่นทดสอบ ($^\circ C$)
V	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกคร่อมแหล่งกำเนิดความร้อน (Volt)
V	ความเร็วเฉลี่ยของของไหลผ่านหัวฉีด (m/s)
Δx	ความหนาของแผ่นทดสอบ (m)
ε	Emissivity ของแผ่นทดสอบ
σ	Stefan-Boltzman constant
ν	Kinematic viscosity ของอากาศ (m^2/s)