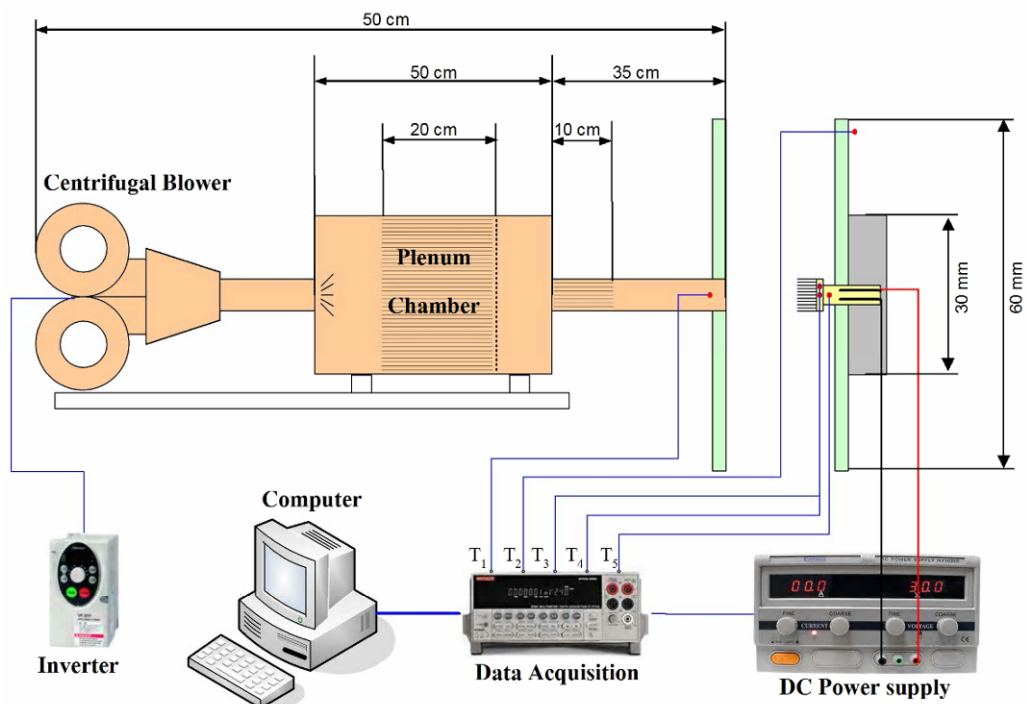
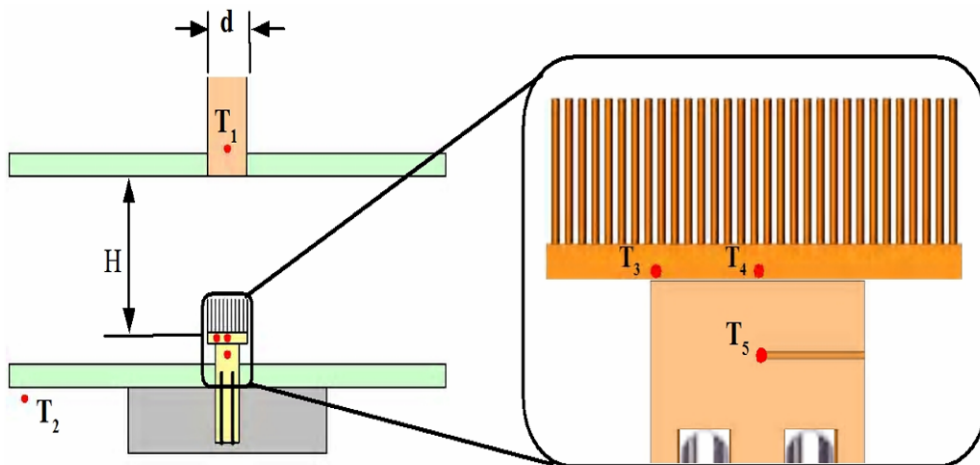




รูปที่ 3.28 ผังอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ กรณี Confined Jet



รูปที่ 3.29 การติดตั้งครีบบระบายความร้อนบนแหล่งกำเนิดความร้อนเดียว

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 คุณลักษณะการไหลของลำอากาศ (Jet Flow Characteristics)

คุณลักษณะการไหลของลำอากาศที่ออกจากหัวฉีดในการทดลองวัดด้วยเครื่องวัดความเร็วลมชนิดลวดร้อน หรือ (Hotwire Anemometer) โดยพบว่า ลำอากาศที่ออกจากหัวฉีดมีลักษณะการไหลแบบพัฒนาเต็มที่ หรือ Fully Developed Flow การกระจายความเร็วของลำอากาศที่พุ่งออกจากหัวฉีด นั้นแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นการกระจายความเร็วของลำอากาศที่ค่า Re ต่างๆ เมื่อทำการจัดเทอมความเร็วของลำอากาศให้อยู่ในแบบไร้มิติได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยพบว่าความเร็วของลำอากาศมีค่าลดลงน้อยกว่า 10% เมื่อ r/d น้อยกว่า 0.37 และจากข้อมูลการกระจายความเร็วของลำอากาศแบบไร้มิติภายในช่วงของเลขเรย์โนลด์ส์ระหว่าง 15,000 ถึง 45,000 ที่ระยะห่างจากหัวฉีดต่างกันตั้งแต่ 0 ถึง 7 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดได้ผลดังรูปที่ 4.3 โดยพบว่า เกิดขอบเขตการไหล 2 บริเวณ คือ บริเวณที่เป็น Potential Core Region และบริเวณที่เป็น Shear Layer Region เมื่อระยะ H/d เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าความกว้างของ Potential Core มีค่าน้อยลง แต่ความกว้างของส่วน Shear Layer จะมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากลำอากาศเหนียวนำอากาศด้านนอกมาผสม การลดลงความเร็วของลำอากาศเกิดจากการถ่ายเทโมเมนตัมให้กับอากาศโดยรอบหัวฉีด สำหรับความเข้มของความปั่นป่วน (Turbulence Intensity) นั้นได้แสดงในรูปที่ 4.4 โดยพบว่าลักษณะการไหลในบริเวณ Potential Core Region นั้นมีความเข้มของความปั่นป่วน (Turbulence Intensity) ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณ Shear Layer Region ซึ่งมีความเข้มของความปั่นป่วน (Turbulence Intensity) สูง โดยพบว่า ที่ $H/d = 0$ นั้นความเข้มของความปั่นป่วนสูงสุดจะเกิดที่ $r/d = 0.5$ ซึ่งเป็นตำแหน่งใกล้กับของจุดกำเนิดของชั้น Shear Layer เมื่อ H/d เพิ่มขึ้นความเข้มของความปั่นป่วนในชั้น Shear Layer จะมีค่าสูงขึ้นและแถบความกว้างของความปั่นป่วนจะมีแถบกว้างขึ้นอันเป็นผลมาจากการขยายตัวของชั้น Shear Layer

จากลักษณะการกระจายความเร็วของลำอากาศที่กว้างขึ้นเมื่อระยะห่างจากหัวฉีดมากขึ้นแสดงให้เห็นว่าบริเวณ Shear Layer Region นั้นขยายตัวกว้างขึ้นจนคลุมบริเวณ Potential Core Region ทำให้ทราบว่าบริเวณที่เป็น Potential Core Region ของลำอากาศนั้นมีขอบเขตที่จำกัดโดยเรียกระยะระหว่างปลายหัวฉีดไปยังตำแหน่งสิ้นสุดของบริเวณ Potential Core Region ในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดว่า Potential Core Length ซึ่งในงานวิจัยเกี่ยวกับการไหลของลำอากาศโดยส่วนใหญ่นิยามตำแหน่งดังกล่าวว่าเป็นตำแหน่งที่ลำอากาศมีความเร็วเท่ากับ 0.99 เท่าของความเร็วลำอากาศขณะพุ่งออกจากหัวฉีด จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของความเร็วแบบไร้มิติในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดที่แสดงดังรูปที่ 4.5 พบว่าความเร็วของลำอากาศจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยก่อนจะลดลงและน้อยกว่า 0.99 เท่าของความเร็วลำอากาศขณะพุ่งออกจากหัวฉีด เมื่อ $H/d > 5$ และพบว่าความเร็วในแนวแกนของลำอากาศกับความเข้มของความปั่นป่วน (Turbulence Intensity) มีความสัมพันธ์กันดังรูปที่ 4.6 โดยในช่วง $0 < H/d < 4$ ความเข้มของความปั่นป่วนจะมีค่าเปลี่ยนแปลงลดลงเพียงเล็กน้อยหลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อ $H/d > 5$ เนื่องจากการไหลได้พ้น Potential Core Region

และจากการพิจารณาการกระจายความเร็วแนวรัศมีแบบไร้มิติของลำอากาศที่ Re ต่างๆกันดังแสดงในรูปที่ 4.7 - รูปที่ 4.13 พบว่าที่ $H/d = 0$ บริเวณที่ลำอากาศมีการกระจายความเร็วสม่ำเสมอ หรือ Potential Core Region มีระยะ $r/d = 0.4$ และเมื่อ H/d มีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ระยะ Potential Core Region ลดลงเนื่องจากลำอากาศเหนียวนำอากาศหนึ่งเข้ามาใน Potential Core Region และ Potential Core Region จะหมดไปเมื่อ $H/d > 4$ หรือพ้นจาก Potential Core Region นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มของความปั่นป่วนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะ H/d และ r/d มีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.14 – 4.20

4.2 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของลำอากาศพุ่งชน

(Jet Impingement Heat Transfer Characteristics)

4.2.1 อิทธิพลของระยะหัวฉีด (H/d)

ผลการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 พบว่าการเพิ่มค่า H/d ภายใน Potential Core Length ($0 < H/d < 4$) นั้นไม่มีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีบริบายความร้อน โดยค่า $\bar{h}_c$ มีค่าคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.21 และ 4.22 อย่างไรก็ตามเมื่อ $H/d > 4$ ที่ $15000 < Re < 25000$ สำหรับกรณี Free Jet และ ที่ $15000 < Re < 45000$ สำหรับกรณี Confined Jet จะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่า H/d ให้สูงขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีบริบายความร้อนนั้นลดลง และเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส มีค่าเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะเพิ่มขึ้นทุกค่า H/d เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนไปคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน (R_{th}) จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานความร้อนแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน กล่าวคือ เมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส มีค่าเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานความร้อนจะลดลงทุกค่า H/d ดังแสดงในรูปที่ 4.23 และ 4.24

สำหรับ Pin-Fin Heat Sink No.2 นั้นคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะคล้ายคลึงกับของ Pin-Fin Heat Sink No.1 ดังแสดงในรูป 4.25 - 4.28

สำหรับ Pin-Fin Heat Sink No.3 นั้นคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะคล้ายคลึงกับของ Pin-Fin Heat Sink No.1 ดังแสดงในรูป 4.29 – 4.32 อย่างไรก็ตาม สำหรับกรณี Confined Jet จะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่า H/d ให้สูงขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีบริบายความร้อนนั้นลดลงอย่างชัดเจนกว่ากรณี Free Jet

สำหรับ Pin-Fin Heat Sink No.4 นั้นคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะแตกต่างจากของ Pin-Fin Heat Sink No.1 ดังแสดงในรูป 4.33 - 4.36 กล่าวคือ สำหรับกรณี Free Jet และกรณี Confined Jet จะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่า H/d ให้สูงขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีบริบายความร้อนนั้นเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ค่า $H/d = 4$ เมื่อค่า $H/d > 4$ การเพิ่มค่า H/d ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีบริบายความร้อนนั้นลดลง นั่นก็หมายความว่าค่า H/d ที่เหมาะสมสำหรับ Pin-Fin Heat Sink No.4 นั้นอยู่ที่ $H/d = 4$

สำหรับ Pin-Fin Heat Sink No.5 นั้นคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะแตกต่างจากของ Pin-Fin Heat Sink No.1 ดังแสดงในรูป 4.37 – 4.40 กล่าวคือ สำหรับกรณี Free Jet นั้น จะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่า H/d ให้สูงขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีประบายความร้อนนั้นเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ค่า $H/d = 6$ แต่กรณี Confined Jet การเพิ่มค่า H/d ให้สูงขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีประบายความร้อนนั้นเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ค่า $H/d = 4$ และเมื่อค่า $H/d > 4$ การเพิ่มค่า H/d ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีประบายความร้อนนั้นลดลง

4.2.2 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส (Re)

สำหรับอิทธิพลของเลขเรย์โนลด์สต่อการถ่ายเทความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 แสดงในรูปที่ 4.41 - 4.44 โดยพบว่าเมื่อค่า Re มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า $\bar{h}_c$ มีค่าเพิ่มขึ้นทุกระยะ H/d ที่ทำการทดสอบ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อ $H/d > 4$ นั้นค่า $\bar{h}_c$ ในกรณี Confined Jet มีค่าลดลงมากกว่ากรณี Free Jet สำหรับค่าความต้านทานความร้อนมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.4-0.6 °C/W

สำหรับ Pin-Fin Heat Sink No.2 นั้นอิทธิพลของเลขเรย์โนลด์สต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะคล้ายคลึงกับของ Pin-Fin Heat Sink No.1 ดังแสดงในรูป 4.45 - 4.48 สำหรับค่าความต้านทานความร้อนมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.3-0.5 °C/W

สำหรับ Pin-Fin Heat Sink No.3 นั้นอิทธิพลของเลขเรย์โนลด์สต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะคล้ายคลึงกับของ Pin-Fin Heat Sink No.1 ดังแสดงในรูป 4.49 – 4.52 สำหรับค่าความต้านทานความร้อนมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.5-1.1 °C/W

สำหรับ Pin-Fin Heat Sink No.4 นั้นอิทธิพลของเลขเรย์โนลด์สต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะคล้ายคลึงกับของ Pin-Fin Heat Sink No.1 ดังแสดงในรูป 4.53 - 4.56 สำหรับค่าความต้านทานความร้อนมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.6-1.2 °C/W

สำหรับ Pin-Fin Heat Sink No.5 นั้นอิทธิพลของเลขเรย์โนลด์สต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะคล้ายคลึงกับของ Pin-Fin Heat Sink No.1 ดังแสดงในรูป 4.57 – 4.60 แต่อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในกรณี Free Jet นั้นเมื่อค่า H/d เพิ่มขึ้นค่า $\bar{h}_c$ มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนกรณี Confined Jet ค่า $\bar{h}_c$ มีค่าสูงสุดที่ $H/d = 4$ สำหรับค่าความต้านทานความร้อนมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1.5-3.0 °C/W

4.2.3 อิทธิพลของการจำกัดขอบเขตการไหลของลำอากาศ (Confined Jet)

สำหรับอิทธิพลของการจำกัดขอบเขตการไหลของลำอากาศนั้นสามารถสังเกตได้จากผลการทดลองของ Pin-Fin Heat Sink No.1 และ Pin-Fin Heat Sink No.5

สำหรับ Pin-Fin Heat Sink No.1 ดังแสดงในรูปที่ 4.21 และ 4.22 เมื่อ $H/d > 4$ ที่ $15000 < Re < 25000$ สำหรับกรณี Free Jet และ ที่ $15000 < Re < 45000$ สำหรับกรณี Confined Jet จะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่า H/d ให้สูงขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีบบระบายความร้อนนั้นลดลง และเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส มีค่าเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะเพิ่มขึ้นทุกค่า H/d

สำหรับ Pin-Fin Heat Sink No.5 ดังแสดงในรูป 4.37 – 4.40 สำหรับกรณี Free Jet นั้น จะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่า H/d ให้สูงขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีบบระบายความร้อนนั้นเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ค่า $H/d = 6$ แต่กรณี Confined Jet การเพิ่มค่า H/d ให้สูงขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีบบระบายความร้อนนั้นเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ค่า $H/d = 4$ และเมื่อค่า $H/d > 4$ การเพิ่มค่า H/d ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีบบระบายความร้อนนั้นลดลง

ผลการศึกษาค้นลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 พบว่ากรณี Confined Jet สามารถระบายความร้อนได้ดีกว่ากรณี Free Jet เมื่อ $H/d < 4$ แต่ที่ $H/d > 4$ พบว่ากรณี Confined Jet สามารถระบายความร้อนได้น้อยกว่ากรณี Free Jet เนื่องมาจากระดับความปั่นป่วนของลำอากาศบริเวณใกล้ๆผิวที่อากาศพุ่งชน

4.2.4 อิทธิพลของความสูงของครีบ (h_{fin})

สำหรับอิทธิพลของความสูงของครีบ นั้นสามารถแสดงได้จากการเปรียบเทียบคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 ($h_{fin}=10$ mm) กับ Pin-Fin Heat Sink No.2 ($h_{fin}=20$ mm) พบว่าเมื่อเพิ่มความสูงของครีบจาก 10 mm เป็น 20 mm พบว่าค่า $\bar{h}_c$ ลดลงประมาณ 20% ดังแสดงในรูปที่ 4.61 และ 4.63 สำหรับกรณี Free Jet และรูปที่ 4.62 และ 4.64 สำหรับกรณี Confined Jet

สำหรับ ค่า R_{th} นั้นจะลดลงประมาณ 22% ดังแสดงในรูปที่ 4.65-4.68 โดยจะสังเกตได้ว่าที่ เลขเรย์โนลด์สมีค่าต่ำอิทธิพลของความสูงของครีบจะยิ่งชัดเจนขึ้นทั้งนี้เนื่องจาก การที่ความสูงของครีบมากเกินไปทำให้ลำอากาศที่ไหลเข้าพุ่งชน Pin-Fin Heat Sink นั้นไม่สามารถซึมลึกไปยังฐานของครีบได้ทำให้ความต้านทานความร้อนสูงขึ้นเมื่อความสูงของครีบเพิ่มขึ้น

4.2.5 อิทธิพลของขนาดครีบ (d_{fin})

สำหรับอิทธิพลของขนาดของครีบ นั้นสามารถแสดงได้จากการเปรียบเทียบคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 ($d_{fin}=1.38$ mm) กับ Pin-Fin Heat Sink No.4 ($d_{fin}=1.13$ mm) พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดของครีบจาก 1.13 mm เป็น 1.38 mm พบว่าค่า $\bar{h}_c$ ลดลงประมาณ

5% ดังแสดงในรูปที่ 4.69 และ 4.71 สำหรับกรณี Free Jet และรูปที่ 4.70 และ 4.72 สำหรับกรณี Confine Jet

สำหรับค่า R_{th} นั้นจะลดลงประมาณ 10% ดังแสดงในรูปที่ 4.73-4.76 ทั้งนี้เนื่องจาก การที่ขนาดของครีบบ่อยมากเกินไปทำให้ล้าอากาศที่ไหลเข้าฟุ้งชน Pin-Fin Heat Sink นั้นไม่สามารถซึมลึกไปยังฐานของครีปได้ทำให้ความต้านทานความร้อนสูงขึ้นเมื่อขนาดของครีบบ่อยขึ้น

4.2.5 อิทธิพลของขนาดพื้นที่ฐาน (A_{base})

สำหรับอิทธิพลของขนาดพื้นที่ฐาน นั้นสามารถแสดงได้จากการเปรียบเทียบคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.4 ($A_{base}=40 \times 40 \text{ mm}^2$) กับ Pin-Fin Heat Sink No.5 ($A_{base}=20 \times 20 \text{ mm}^2$) พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดพื้นที่ฐานจาก $20 \times 20 \text{ mm}^2$ เป็น $40 \times 40 \text{ mm}^2$ พบว่าค่า $\bar{h}_c$ ลดลงประมาณ 5% ดังแสดงในรูปที่ 4.77 และ 4.79 สำหรับกรณี Free Jet และรูปที่ 4.78 และ 4.80 สำหรับกรณี Confine Jet สำหรับค่า R_{th} นั้นจะลดลงประมาณ 55% ดังแสดงในรูปที่ 4.81-4.84 ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มขนาดพื้นที่ฐานทำให้ของครีประบายความร้อนได้ดีขึ้น

จากการเปรียบเทียบคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 ($A_{base}=80 \times 80 \text{ mm}^2$) กับ Pin-Fin Heat Sink No.3 ($A_{base}=40 \times 40 \text{ mm}^2$) พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดพื้นที่ฐานจาก $40 \times 40 \text{ mm}^2$ เป็น $80 \times 80 \text{ mm}^2$ พบว่าค่า $\bar{h}_c$ ลดลงประมาณ 25% ดังแสดงในรูปที่ 4.85 และ 4.87 สำหรับกรณี Free Jet และรูปที่ 4.86 และ 4.88 สำหรับกรณี Confine Jet สำหรับค่า R_{th} นั้นจะลดลงประมาณ 35% ดังแสดงในรูปที่ 4.89-4.92

4.3 สมการสหสัมพันธ์

จากผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนโดยการฟุ้งชนของอากาศบนแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีครีประบายความร้อนแบบแท่งทั้งหมด สามารถนำผลการทดลองดังกล่าวมาวิเคราะห์เพื่อหาสมการสหสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h_c) ค่าความต้านทานความร้อน (R_{th}) และ เลขนัสเซลต์ (Nu) ซึ่งสามารถเขียนในรูปทั่วไป ดังสมการที่ (4.1)

$$Correlation = C \cdot Re^m \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^n \cdot \left(\frac{h_{fin}}{t_{base}}\right)^o \cdot \left(\frac{A_{surface}}{A_{base}}\right)^p \cdot \left(\frac{A_{base}}{A_{nozzle}}\right)^q \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{amb}}\right)^r \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{cu}}\right)^s \quad (4.1)$$

โดยที่

C = ค่าคงที่ของสมการสหสัมพันธ์

Re = อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์

$\frac{H}{d}$ = อิทธิพลของระยะหัวฉีด

$\frac{h_{fin}}{t_{base}}$ = อิทธิพลของความสูงครีป

$$\frac{A_{surface}}{A_{base}} = \text{อิทธิพลของความหนาแน่นของครีป}$$

$$\frac{A_{base}}{A_{nozzle}} = \text{อิทธิพลของขนาดพื้นที่ฐาน}$$

$$\frac{T_{jet}}{T_{amb}} = \text{อิทธิพลของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม}$$

$$\frac{T_{jet}}{T_{cu}} = \text{อิทธิพลของอุณหภูมิที่ฐานครีป}$$

สมการสหสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(h_c) สามารถแสดงดังสมการที่ (4.2) และสมการที่ (4.3) ตามลำดับ โดยแสดงค่าเบี่ยงเบน $\pm 10 \%$ ดังแสดงในรูปที่ 4.93 สำหรับกรณี Free Jet และ รูปที่ 4.94 สำหรับกรณี Confined Jet

สมการที่ (4.2) สมการสหสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(h_c) กรณี Free Jet

$$h_{c,free} = 1.691 \cdot \text{Re}^{0.204} \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^{-0.012} \cdot \left(\frac{h_{fin}}{t_{base}}\right)^{-0.359} \cdot \left(\frac{A_{surface}}{A_{base}}\right)^{-0.116} \cdot \left(\frac{A_{base}}{A_{nozzle}}\right)^{-0.171} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{amb}}\right)^{4.022} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{cu}}\right)^{0.289} \quad (4.2)$$

สมการที่ (4.3) สมการสหสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(h_c) กรณี Confined Jet

$$h_{c,confined} = 1.680 \cdot \text{Re}^{0.206} \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^{-0.022} \cdot \left(\frac{h_{fin}}{t_{base}}\right)^{-0.264} \cdot \left(\frac{A_{surface}}{A_{base}}\right)^{-0.225} \cdot \left(\frac{A_{base}}{A_{nozzle}}\right)^{-0.237} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{amb}}\right)^{3.805} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{cu}}\right)^{0.329} \quad (4.3)$$

สมการสหสัมพันธ์ของค่าความต้านทานความร้อน(R_{th}) สามารถแสดงดังสมการที่ (4.4) และสมการที่ (4.5) ตามลำดับ โดยแสดงค่าเบี่ยงเบน $\pm 10 \%$ ดังแสดงในรูปที่ 4.95 สำหรับกรณี Free Jet และ รูปที่ 4.96 สำหรับกรณี Confined Jet

สมการที่ (4.4) สมการสหสัมพันธ์ของค่าความต้านทานความร้อน(R_{th}) กรณี Free Jet

$$R_{th,free} = 0.858 \cdot \text{Re}^{-0.204} \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^{0.012} \cdot \left(\frac{h_{fin}}{t_{base}}\right)^{0.359} \cdot \left(\frac{A_{surface}}{A_{base}}\right)^{-0.884} \cdot \left(\frac{A_{base}}{A_{nozzle}}\right)^{-0.829} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{amb}}\right)^{-4.022} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{cu}}\right)^{-0.289} \quad (4.4)$$

สมการที่ (4.5) สมการสหสัมพันธ์ของค่าความต้านทานความร้อน(R_{th}) กรณี Confined Jet

$$R_{th,confined} = 0.868 \cdot \text{Re}^{-0.206} \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^{0.022} \cdot \left(\frac{h_{fin}}{t_{base}}\right)^{0.264} \cdot \left(\frac{A_{surface}}{A_{base}}\right)^{-0.775} \cdot \left(\frac{A_{base}}{A_{nozzle}}\right)^{-0.763} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{amb}}\right)^{-3.805} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{cu}}\right)^{-0.329} \quad (4.5)$$

สมการสหสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลด์(Nu) สามารถแสดงดังสมการที่ (4.6) และสมการที่ (4.7) ตามลำดับ โดยแสดงค่าเบี่ยงเบน $\pm 10 \%$ ดังแสดงในรูปที่ 4.97 สำหรับกรณี Free Jet และ รูปที่ 4.98 สำหรับกรณี Confined Jet โดยเลขนัสเซิลด์(Nu) นิยามตามสมการที่ (4.8)

สมการที่ (4.6) สมการสหสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลด์(Nu) กรณี Free Jet

$$Nu_{free} = 2.065 \cdot Re^{0.197} \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^{-0.012} \cdot \left(\frac{h_{fin}}{t_{base}}\right)^{-0.346} \cdot \left(\frac{A_{surface}}{A_{base}}\right)^{-0.137} \cdot \left(\frac{A_{base}}{A_{nozzle}}\right)^{-0.179} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{amb}}\right)^{4.182} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{cu}}\right)^{0.270} \quad (4.6)$$

สมการที่ (4.7) สมการสหสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลด์(Nu) กรณี Confined Jet

$$Nu_{confined} = 2.086 \cdot Re^{0.197} \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^{-0.024} \cdot \left(\frac{h_{fin}}{t_{base}}\right)^{-0.245} \cdot \left(\frac{A_{surface}}{A_{base}}\right)^{-0.266} \cdot \left(\frac{A_{base}}{A_{nozzle}}\right)^{-0.252} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{amb}}\right)^{3.875} \cdot \left(\frac{T_{jet}}{T_{cu}}\right)^{0.337} \quad (4.7)$$

สมการที่ (4.8) นิยามเลขนัสเซิลด์(Nu)

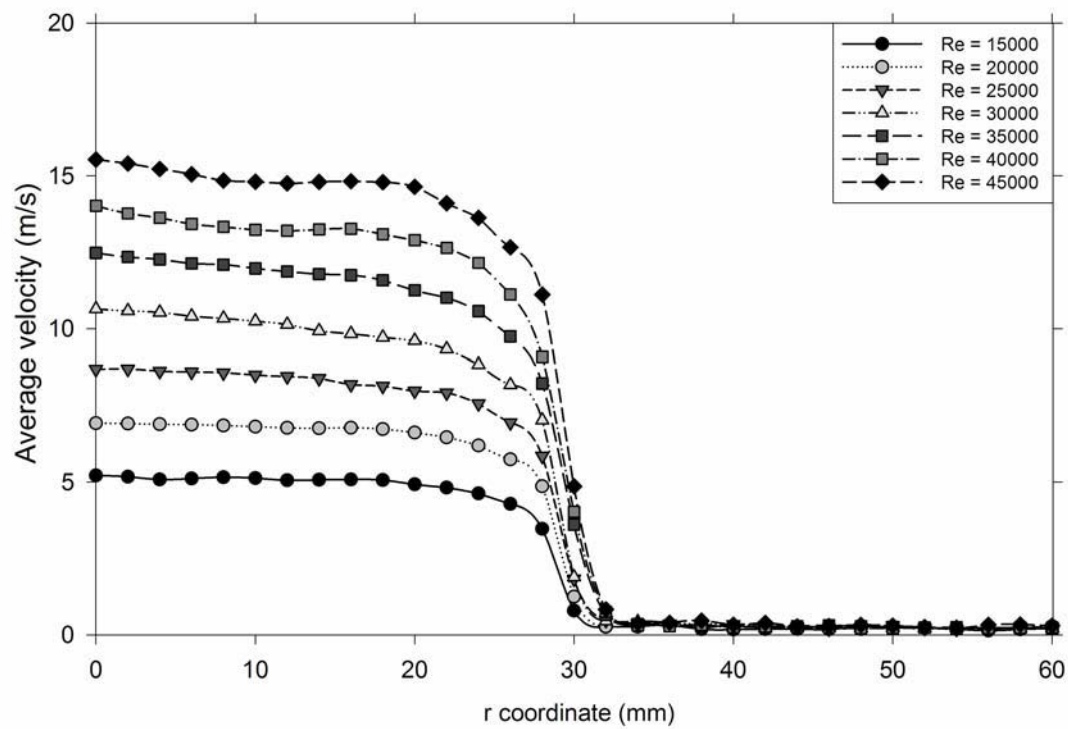
$$Nu = \frac{h_c \cdot d}{k} \quad (4.8)$$

โดยที่

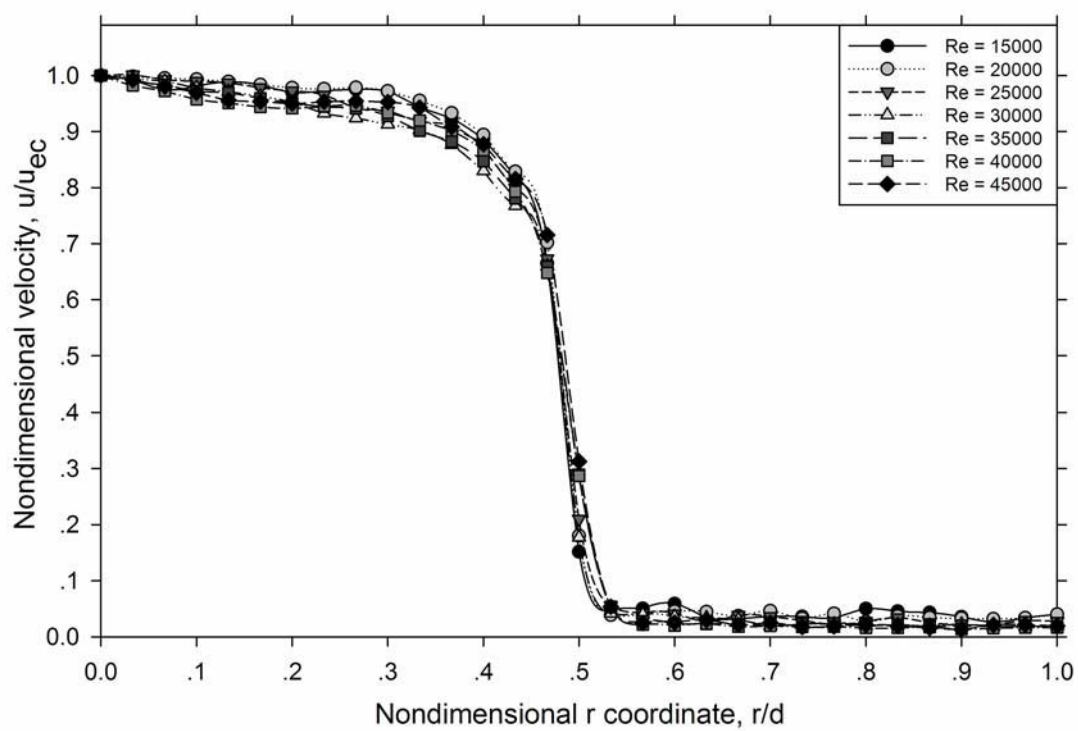
h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของล่ำอากาศ [$W/m^2 K$]

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด [m]

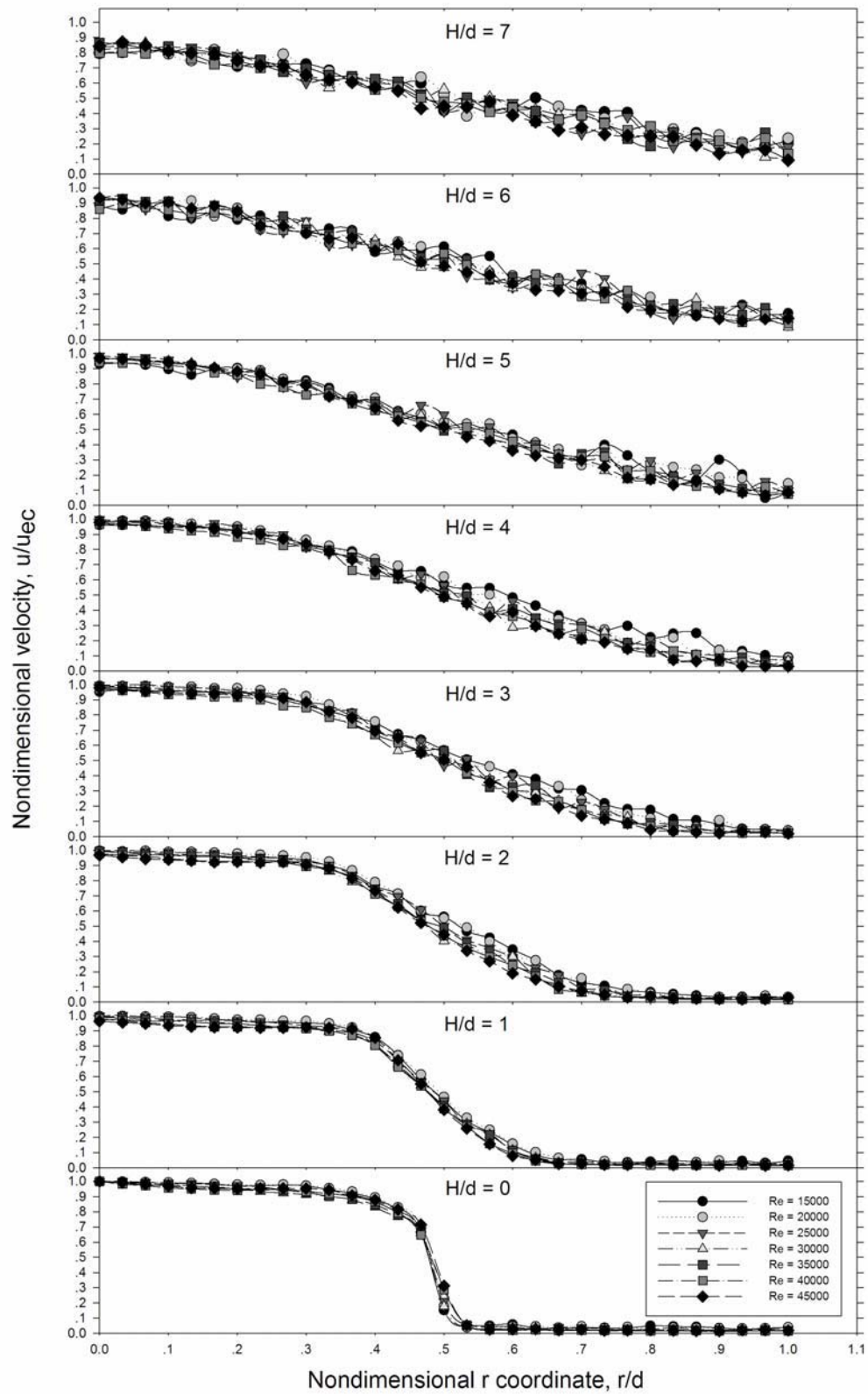
k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ [$W/m K$]



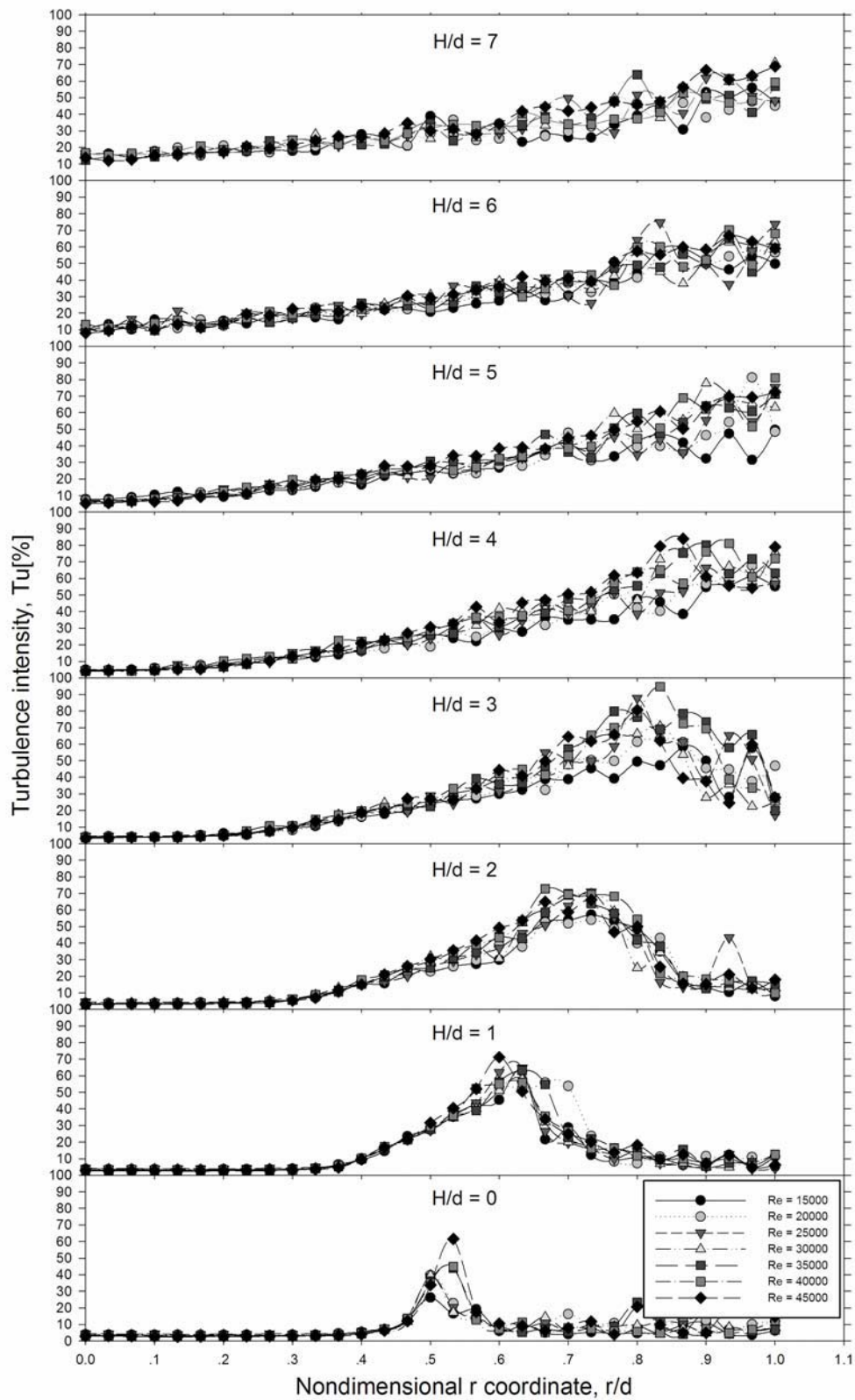
รูปที่ 4.1 กระจายความเร็วของลํ้าอากาศที่ออกจากหัวฉีด



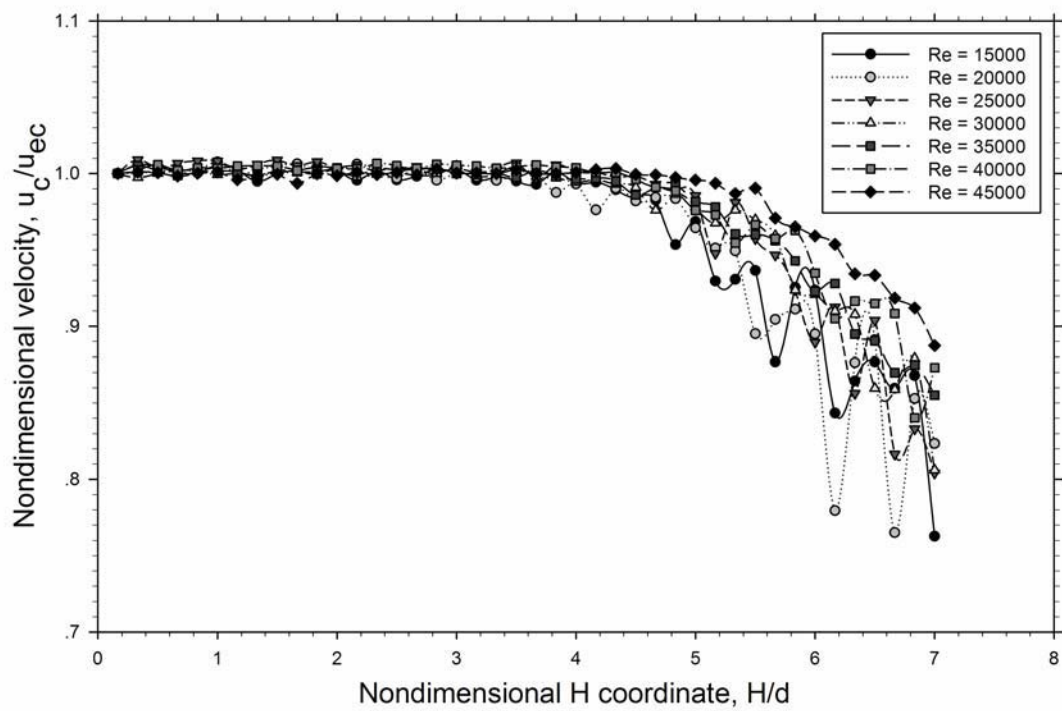
รูปที่ 4.2 กระจายความเร็วแบบไร้มิติของลํ้าอากาศที่ออกจากหัวฉีด



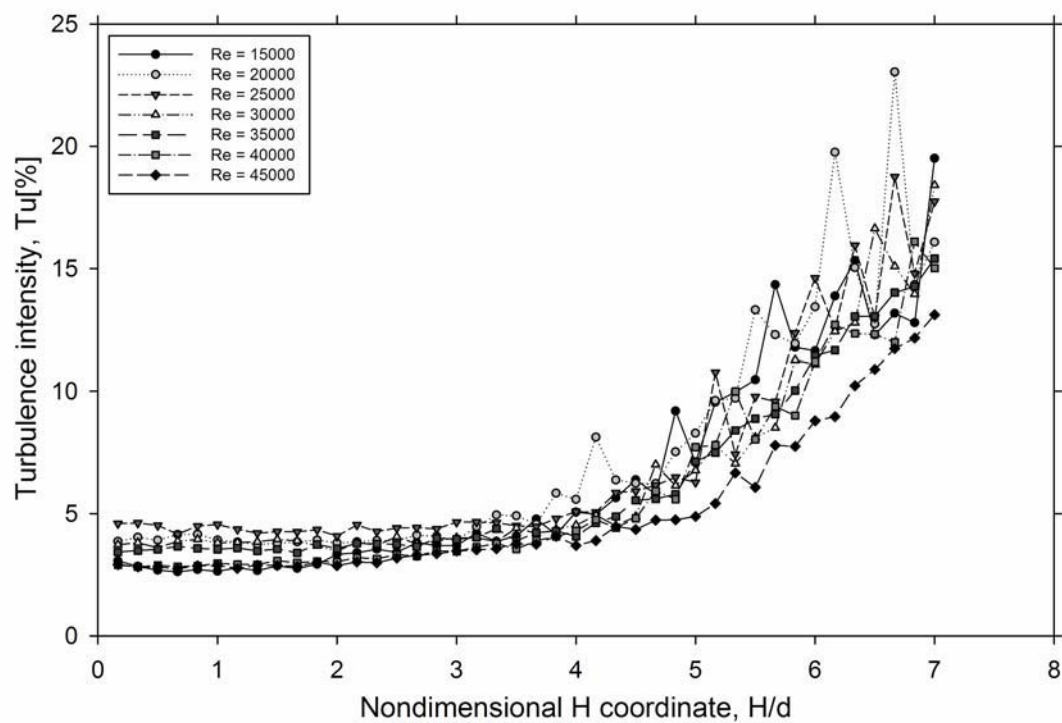
รูปที่ 4.3 กระจายความเร็วแบบไร้มิติของลำอากาศที่ระยะ H/d ต่างๆ



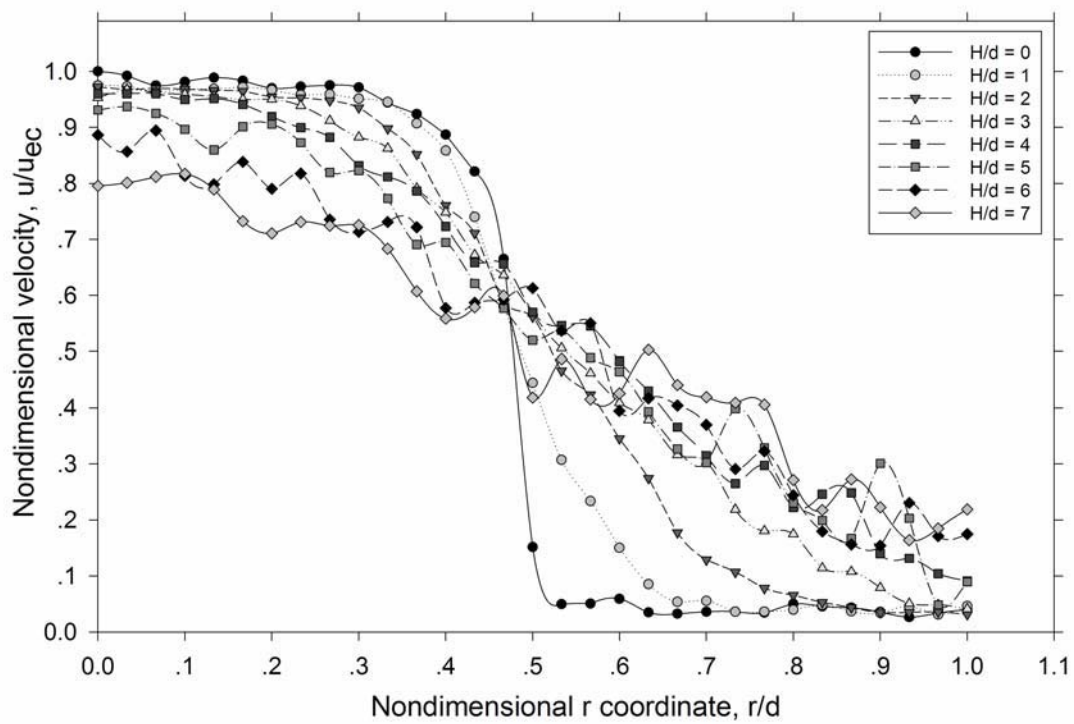
รูปที่ 4.4 ความเข้มของความปั่นป่วน (Turbulence Intensity) ของลำอากาศที่ระยะ H/d ต่างๆ



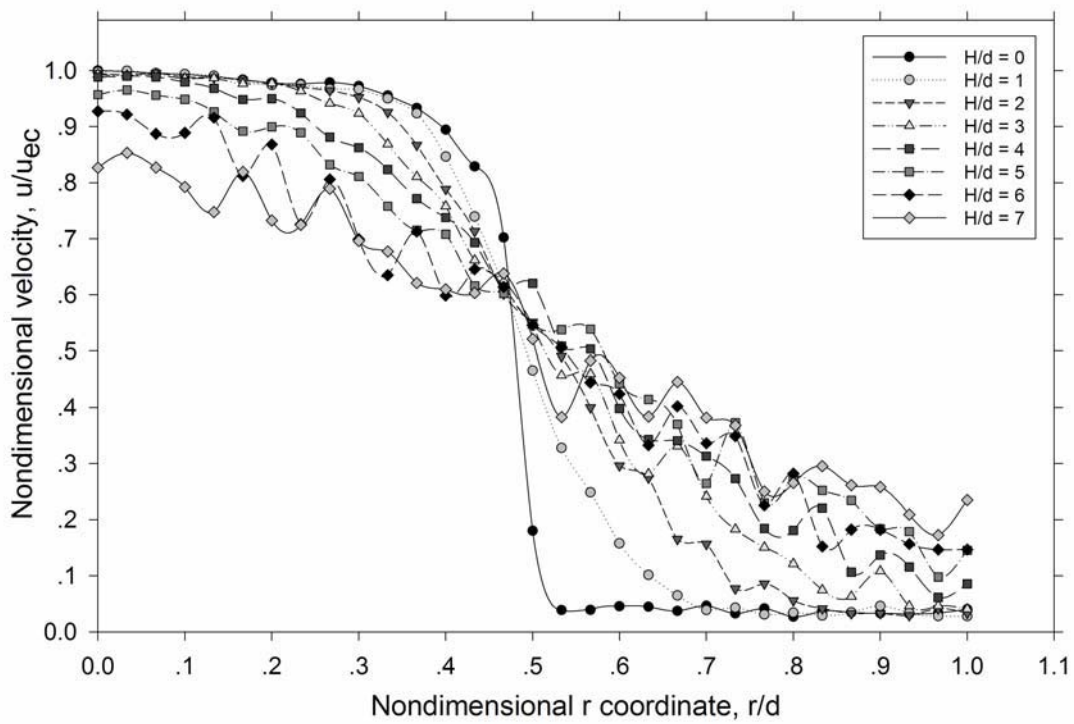
รูปที่ 4.5 ความเร็วแบบไร้มิติในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด



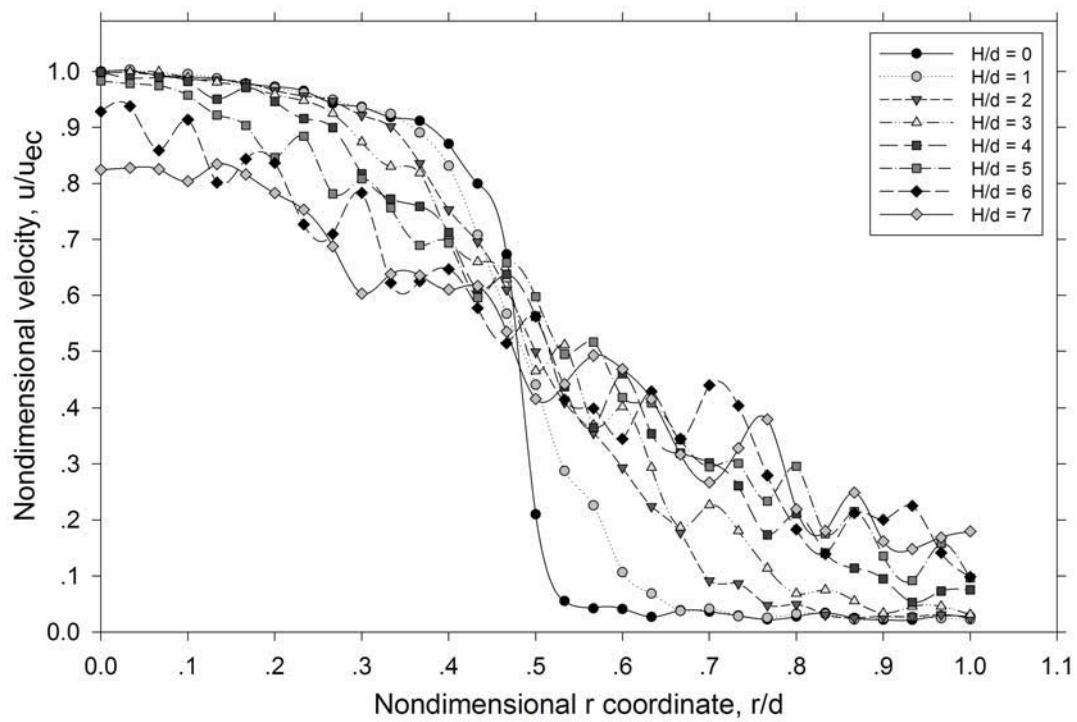
รูปที่ 4.6 ความเข้มของความปั่นป่วน (Turbulence Intensity)
ในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด



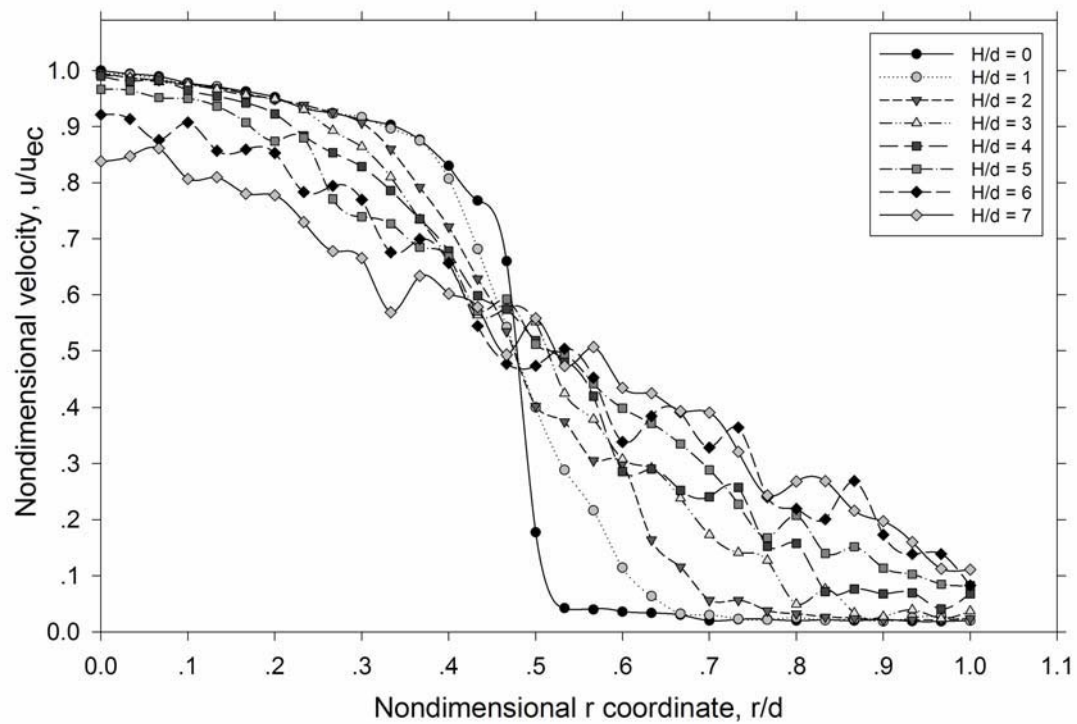
รูปที่ 4.7 กระจายความเร็วแบบไร้มิติของลำอากาศที่ $Re = 15,000$



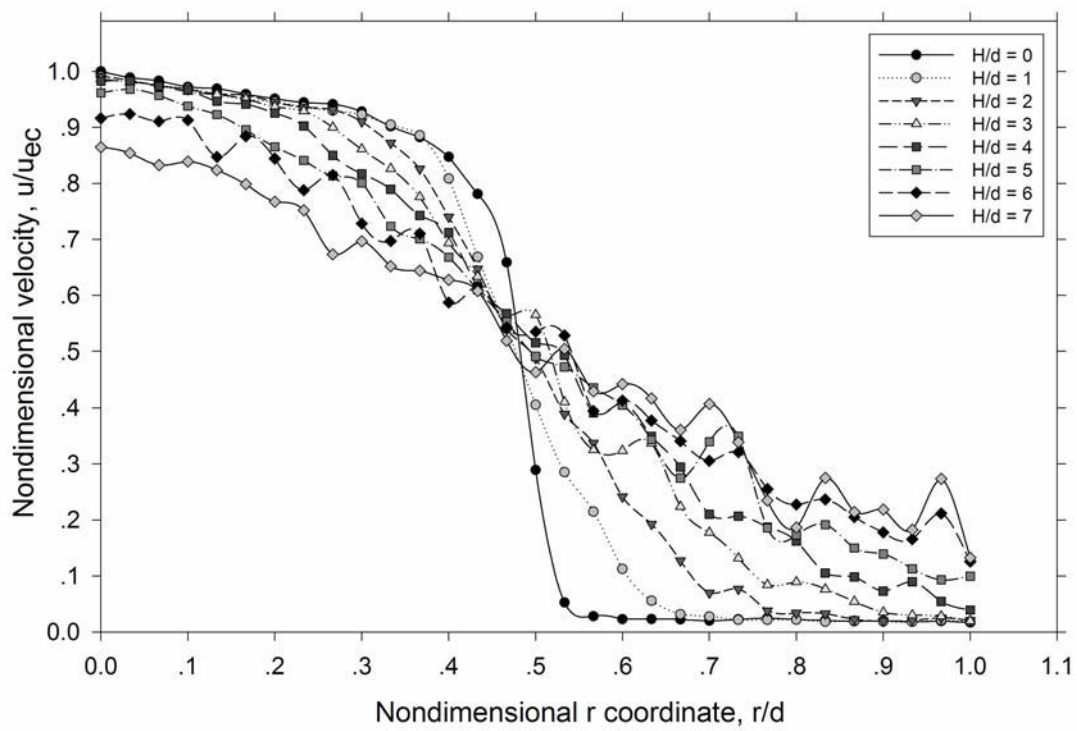
รูปที่ 4.8 กระจายความเร็วแบบไร้มิติของลำอากาศที่ $Re = 20,000$



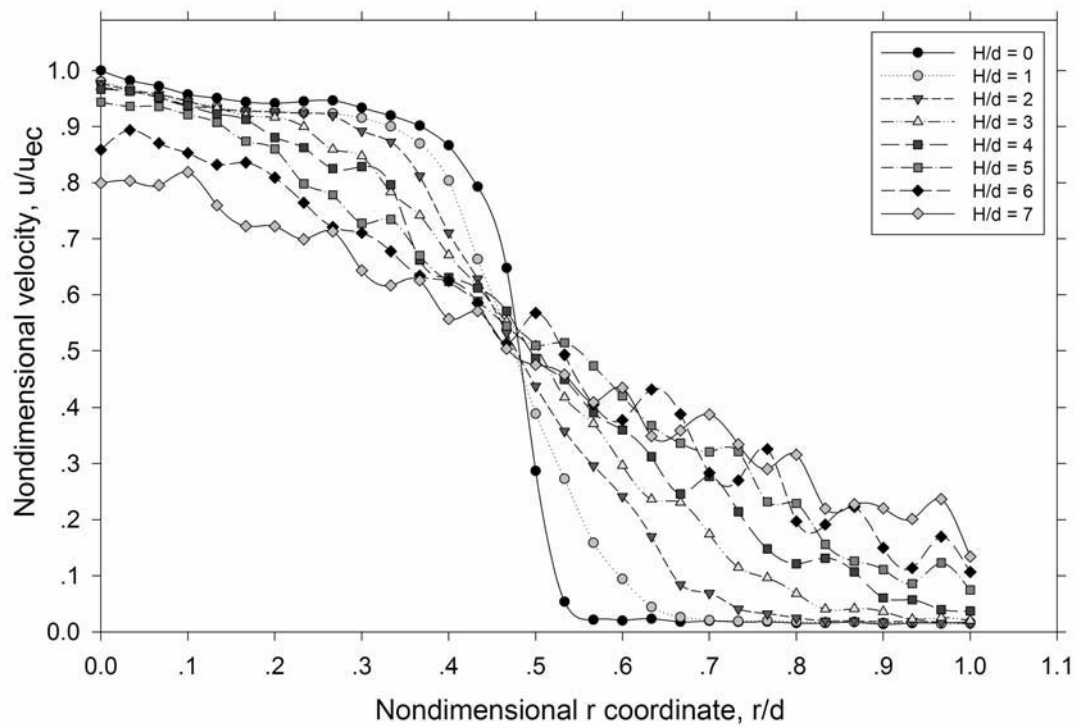
รูปที่ 4.9 กระจายความเร็วแบบไร้มิติของลำอากาศที่ $Re = 25,000$



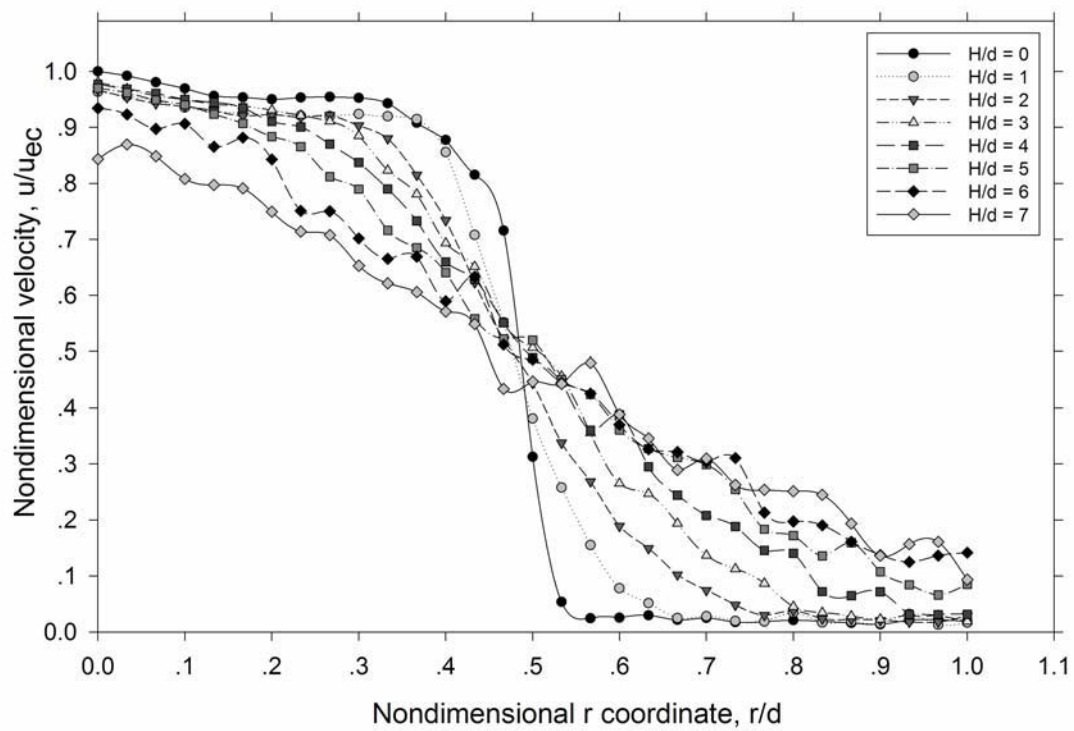
รูปที่ 4.10 กระจายความเร็วแบบไร้มิติของลำอากาศที่ $Re = 30,000$



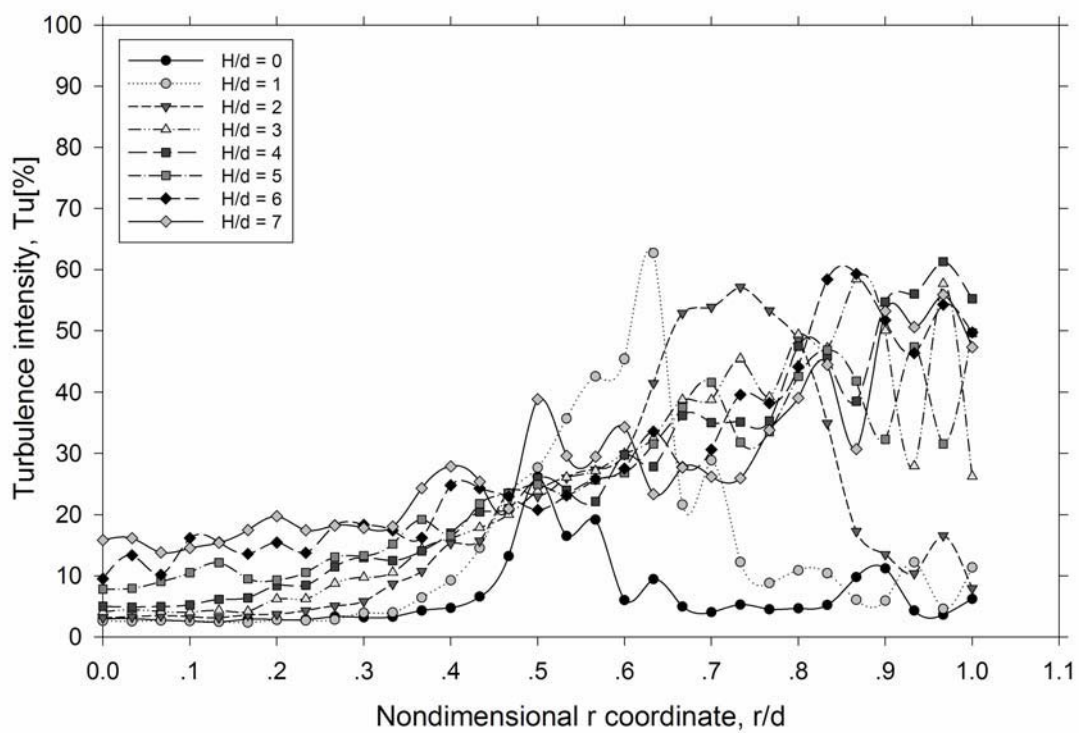
รูปที่ 4.11 กระจายความเร็วแบบไร้มิติของลำอากาศที่ $Re = 35,000$



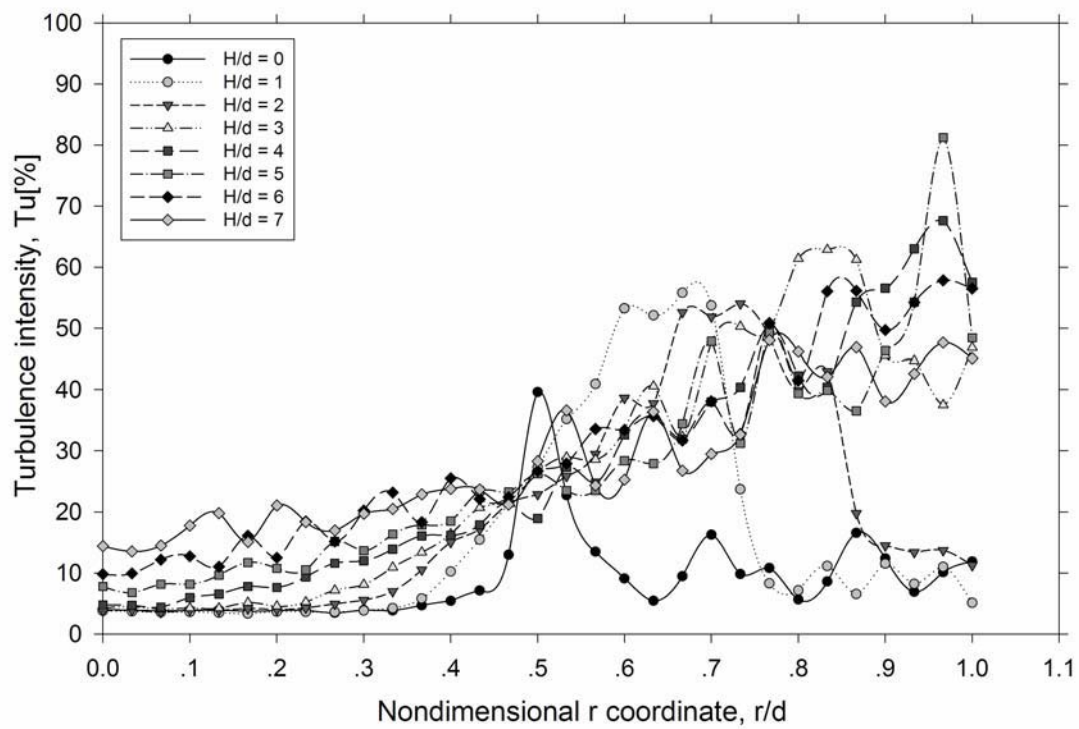
รูปที่ 4.12 กระจายความเร็วแบบไร้มิติของลำอากาศที่ $Re = 40,000$



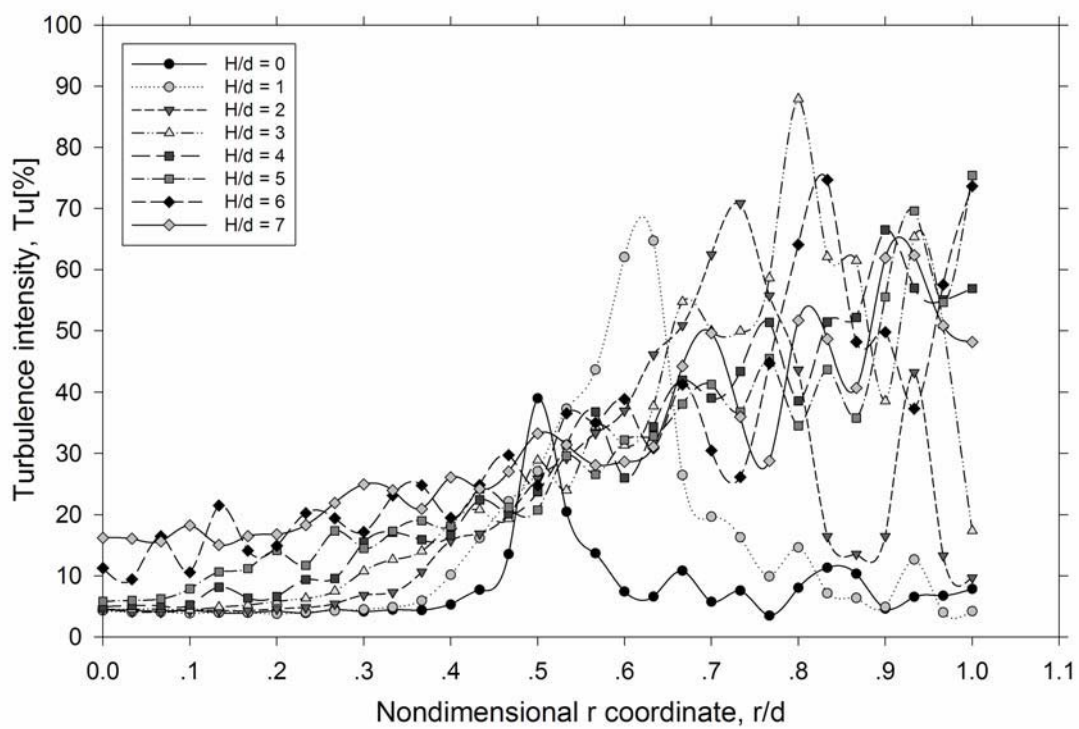
รูปที่ 4.13 กระจายความเร็วแบบไร้มิติของลำอากาศที่ $Re = 45,000$



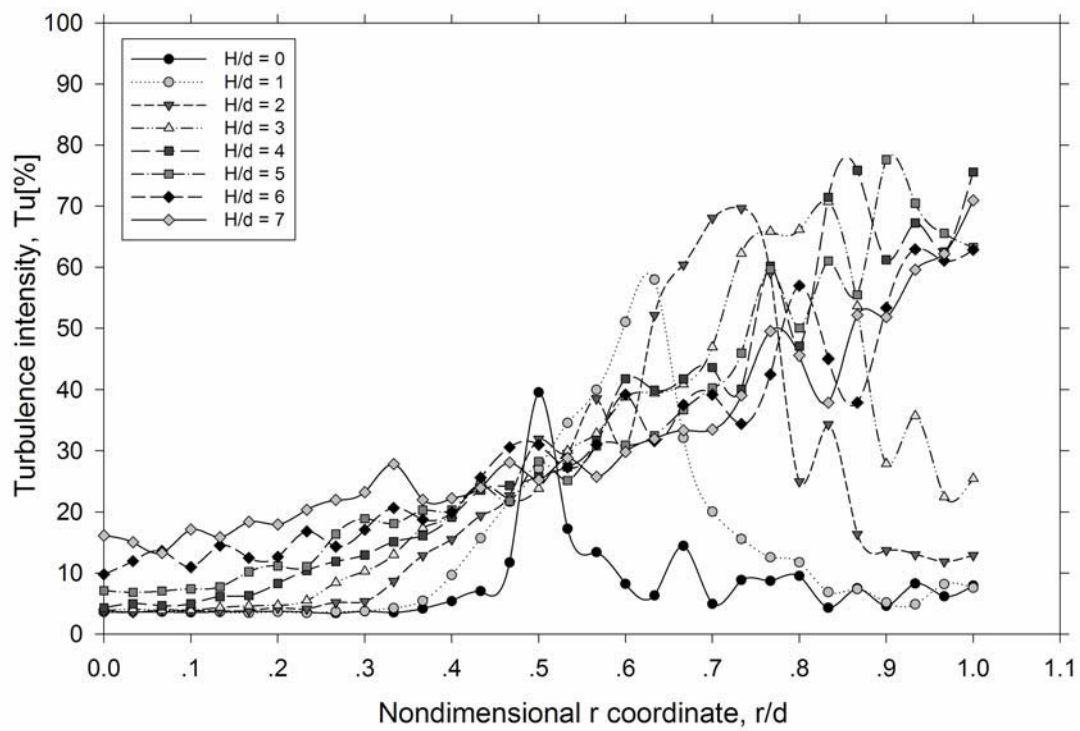
รูปที่ 4.14 ความเข้มของความปั่นป่วน (Turbulence Intensity) ของลำอากาศที่ $Re = 15,000$



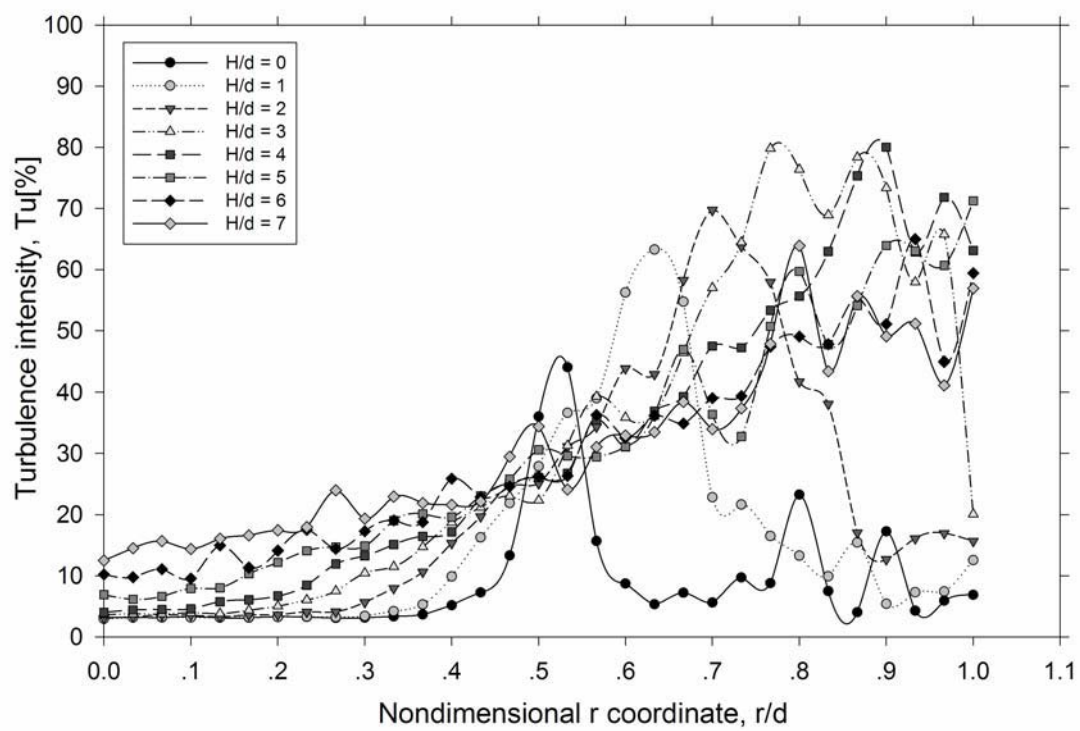
รูปที่ 4.15 ความเข้มของความปั่นป่วน (Turbulence Intensity) ของลำอากาศที่ $Re = 20,000$



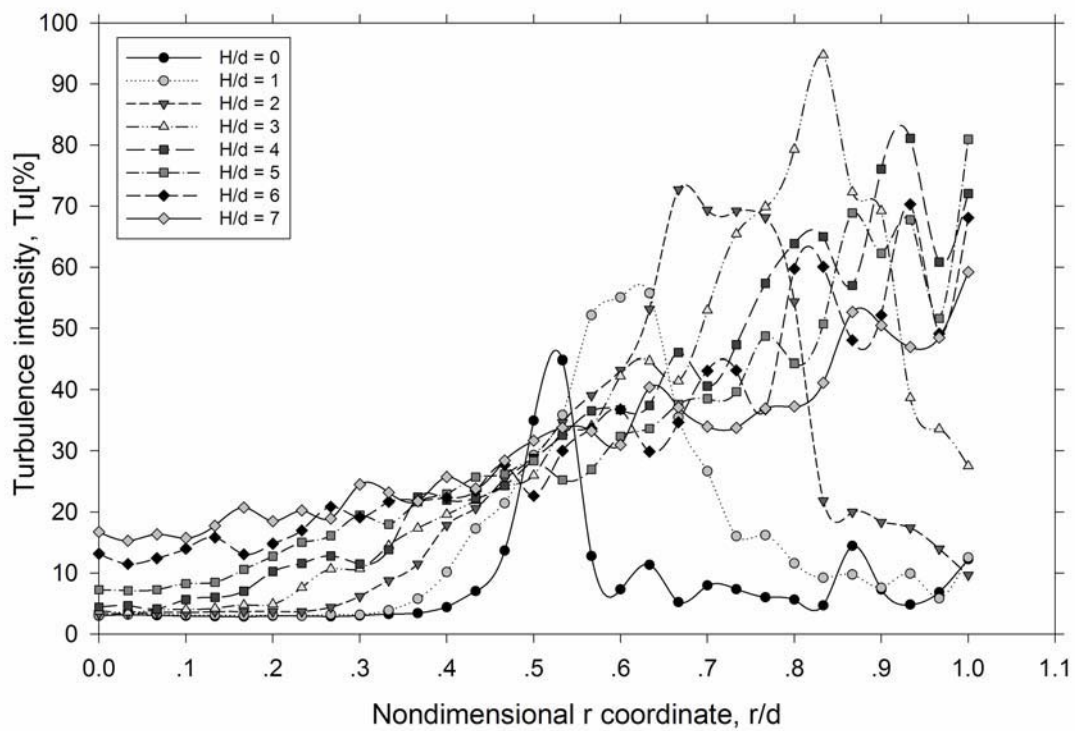
รูปที่ 4.16 ความเข้มของความปั่นป่วน (Turbulence Intensity) ของลำอากาศที่ $Re = 25,000$



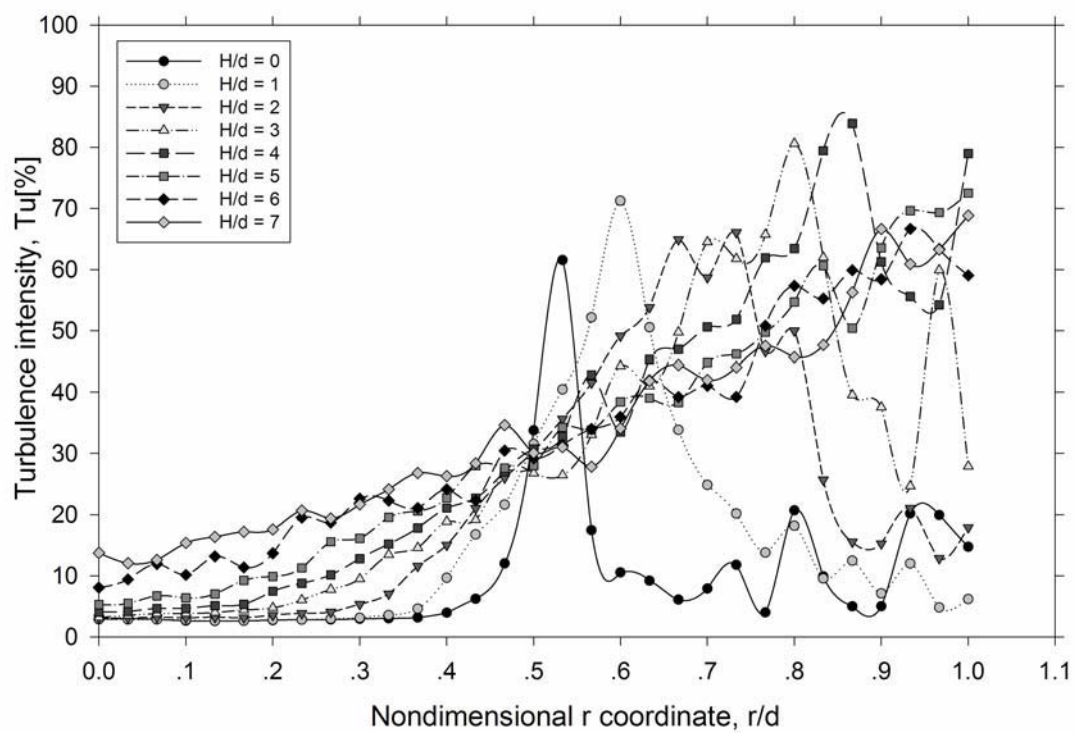
รูปที่ 4.17 ความเข้มของความปั่นป่วน (Turbulence Intensity) ของลำอากาศที่ $Re = 30,000$



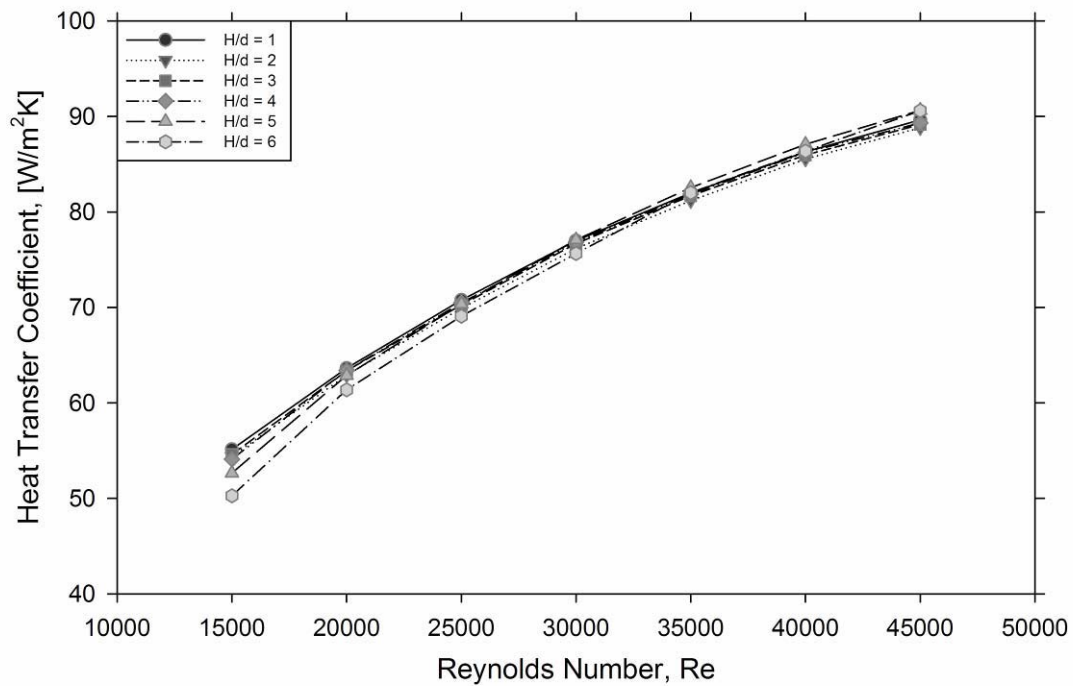
รูปที่ 4.18 ความเข้มของความปั่นป่วน (Turbulence Intensity) ของลำอากาศที่ $Re = 35,000$



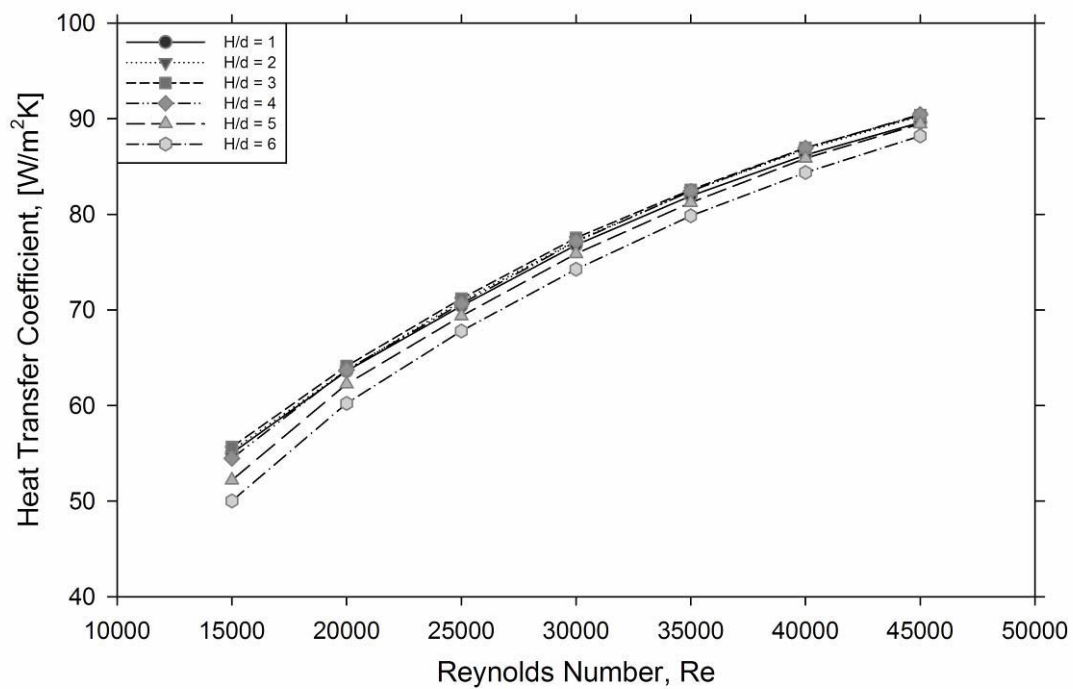
รูปที่ 4.19 ความเข้มของความปั่นป่วน (Turbulence Intensity) ของลำอากาศที่ $Re = 40,000$



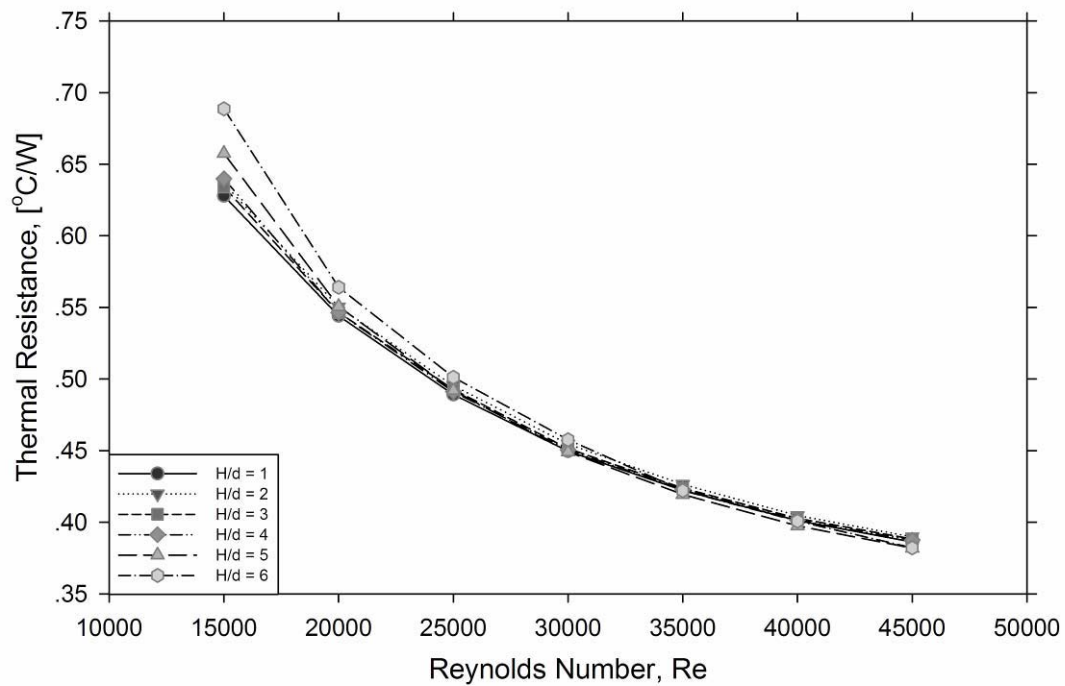
รูปที่ 4.20 ความเข้มของความปั่นป่วน (Turbulence Intensity) ของลำอากาศที่ $Re = 45,000$



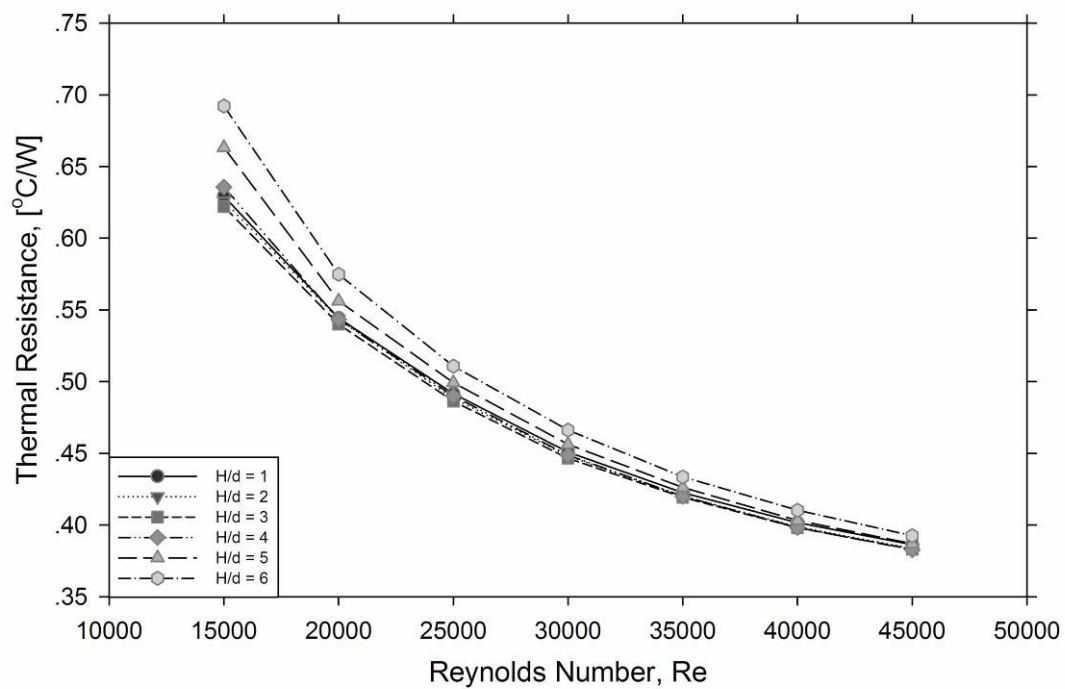
รูปที่ 4.21 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin
Heat Sink No.1 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



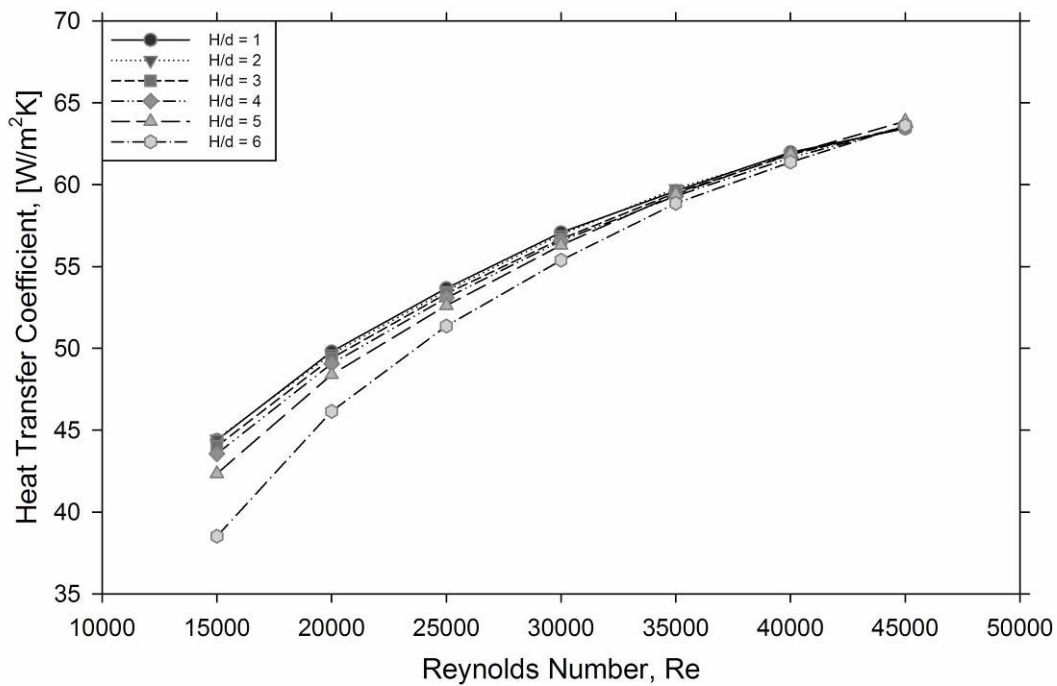
รูปที่ 4.22 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin
Heat Sink No.1 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



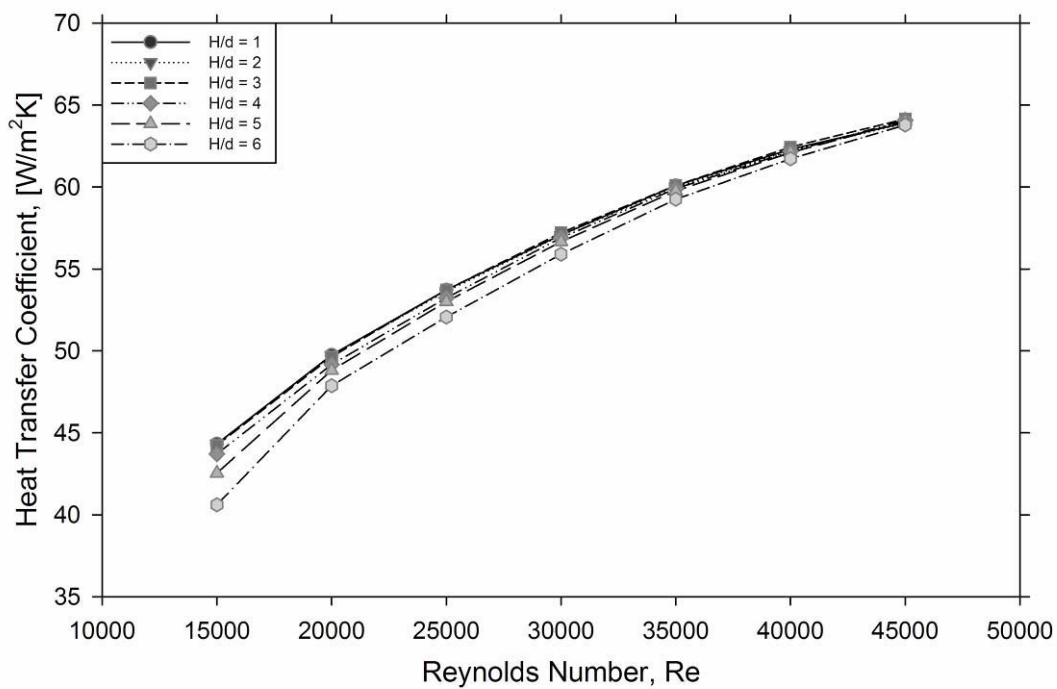
รูปที่ 4.23 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



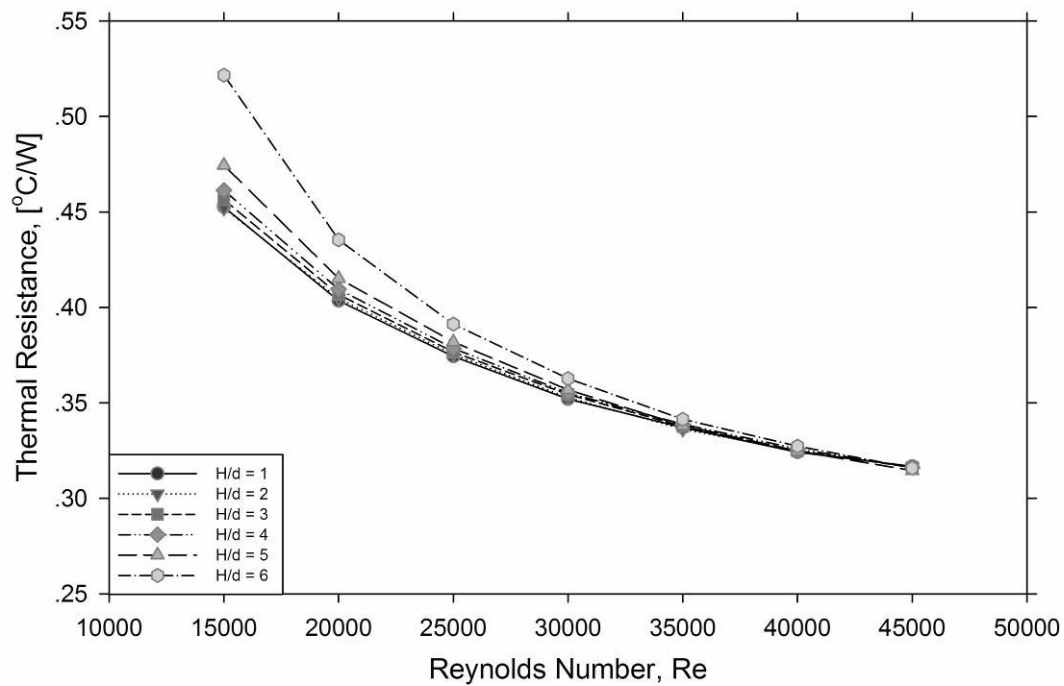
รูปที่ 4.24 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



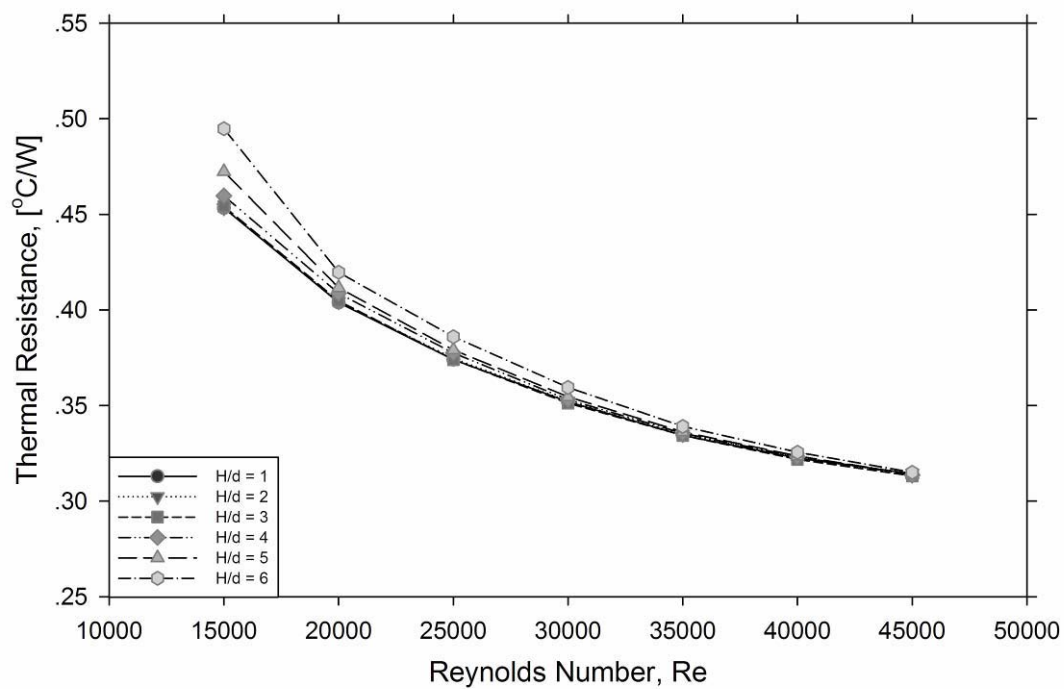
รูปที่ 4.25 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin
Heat Sink No.2 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



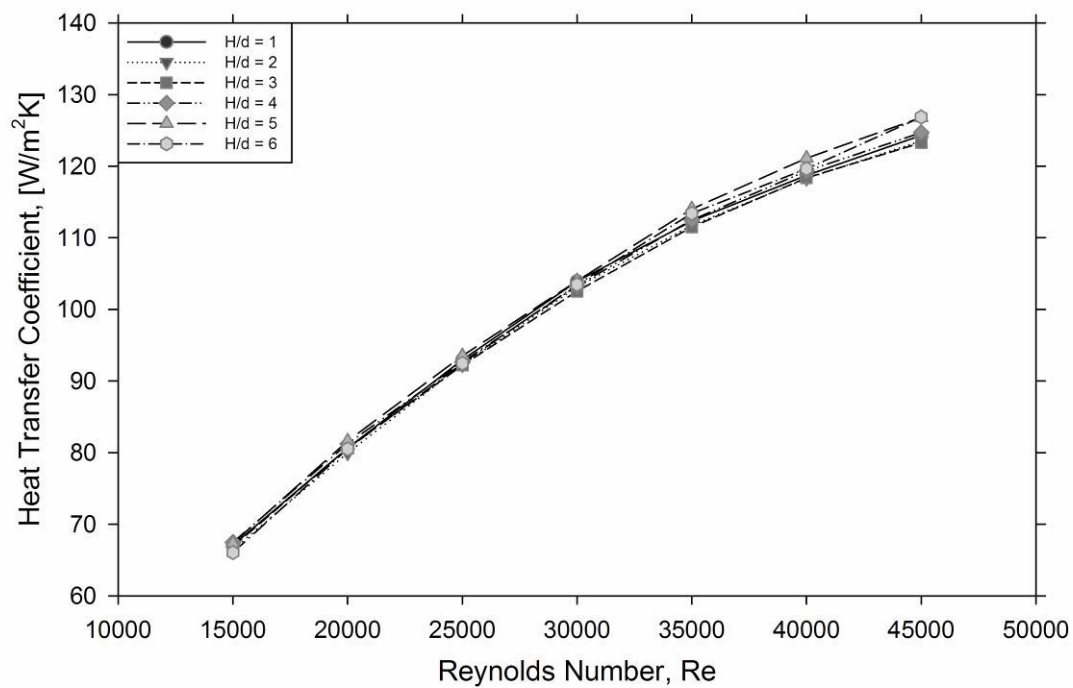
รูปที่ 4.26 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin
Heat Sink No.2 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



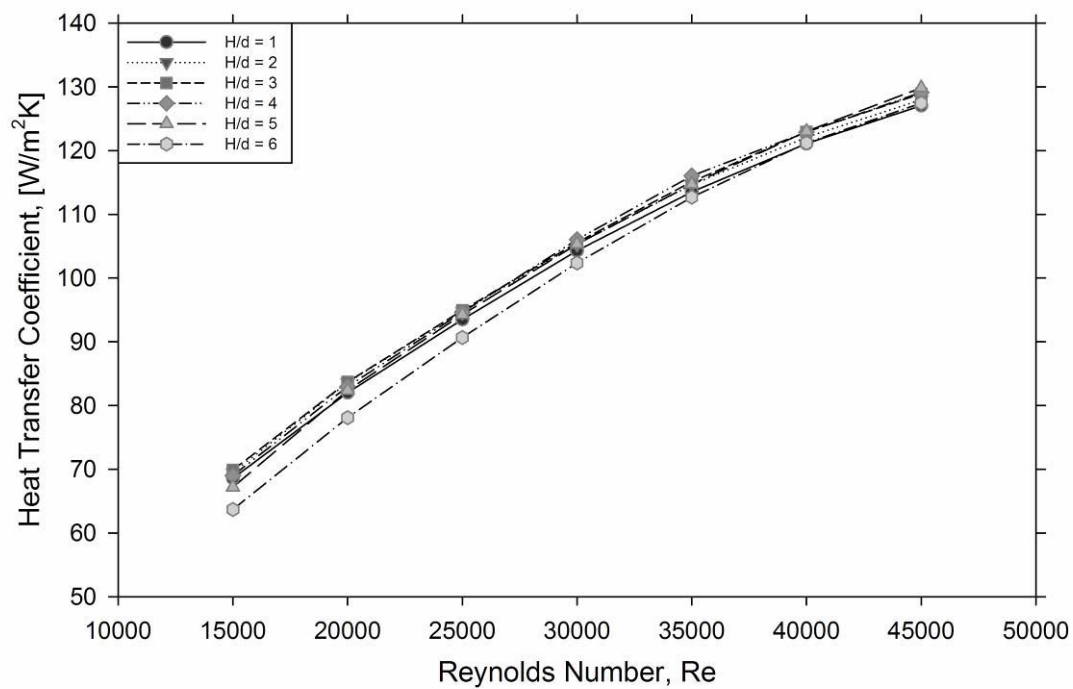
รูปที่ 4.27 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.2 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < \text{Re} < 45,000$



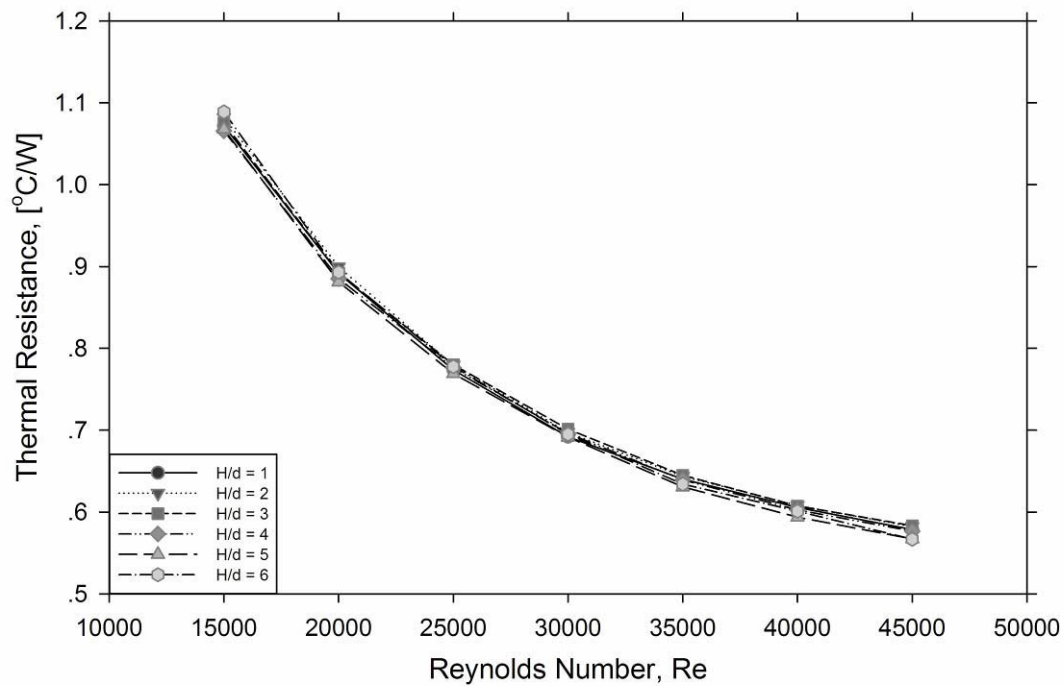
รูปที่ 4.28 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.2 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < \text{Re} < 45,000$



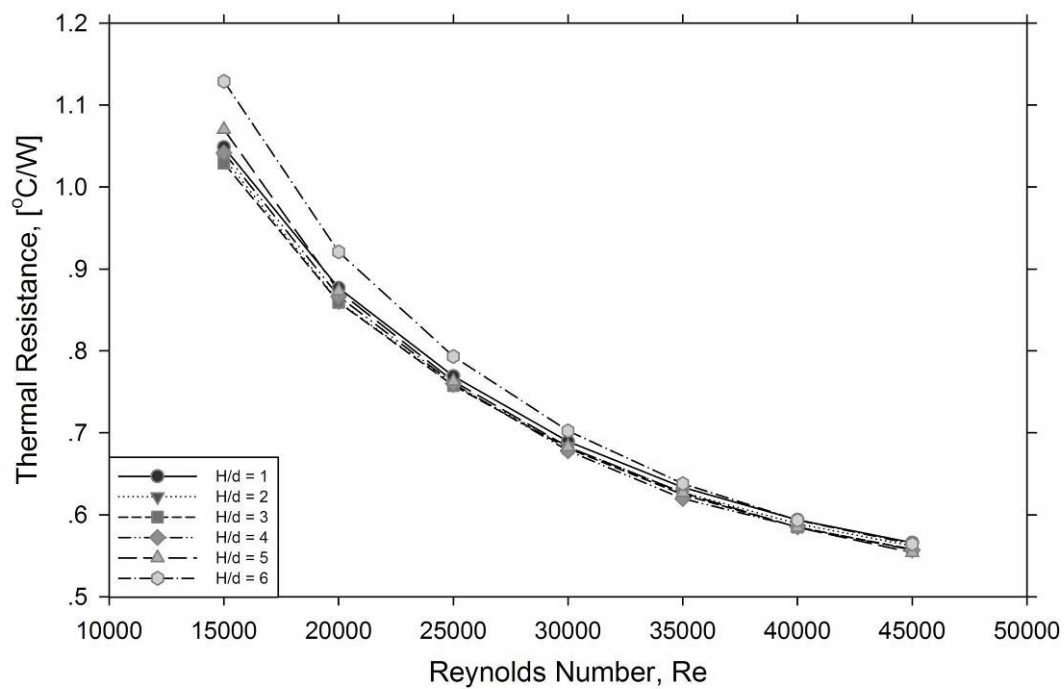
รูปที่ 4.29 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



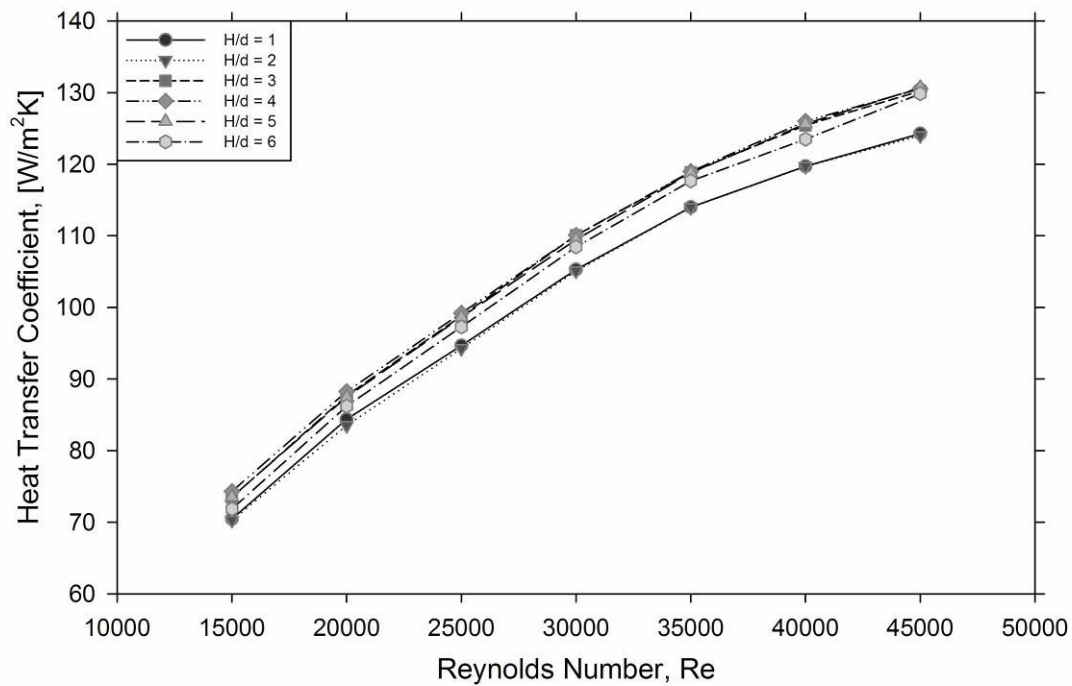
รูปที่ 4.30 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



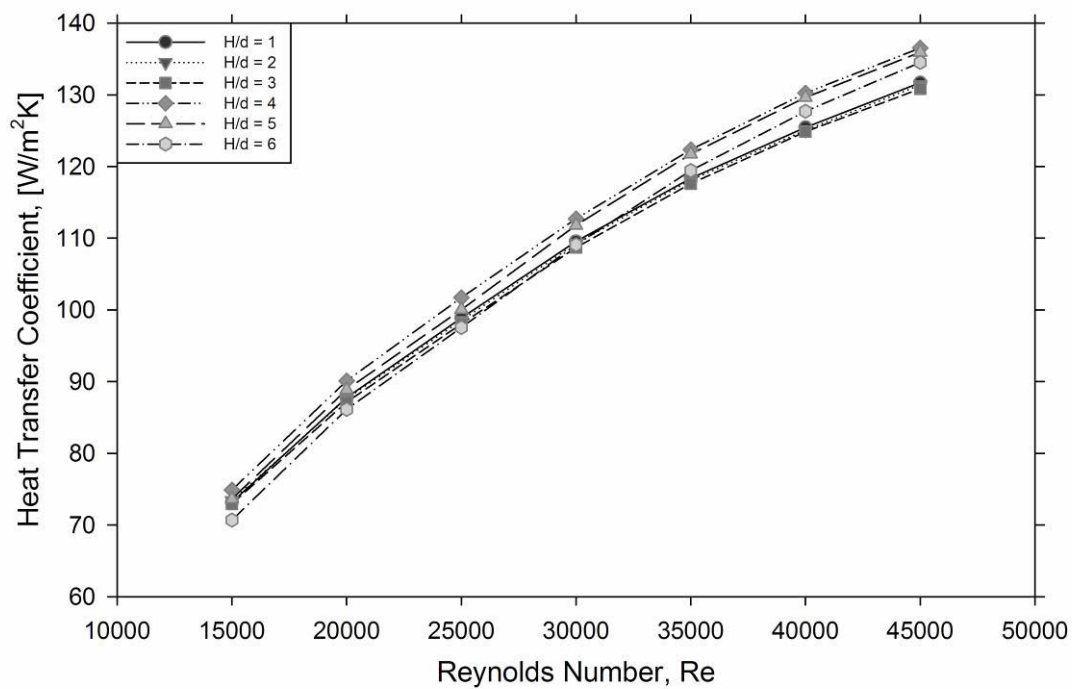
รูปที่ 4.31 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < \text{Re} < 45,000$



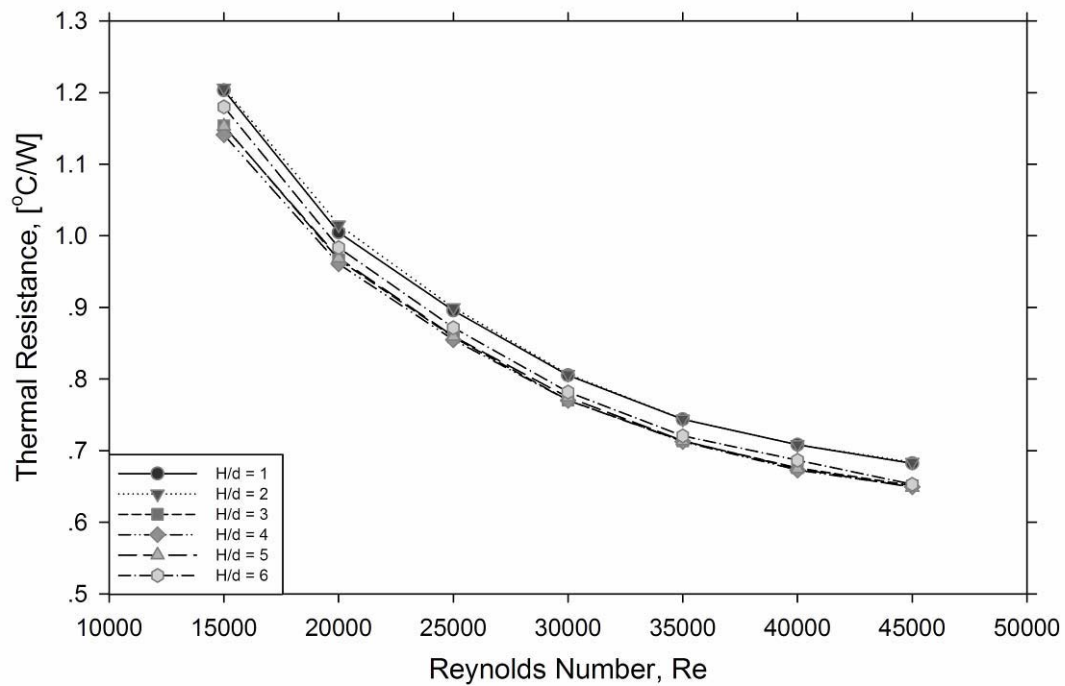
รูปที่ 4.32 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < \text{Re} < 45,000$



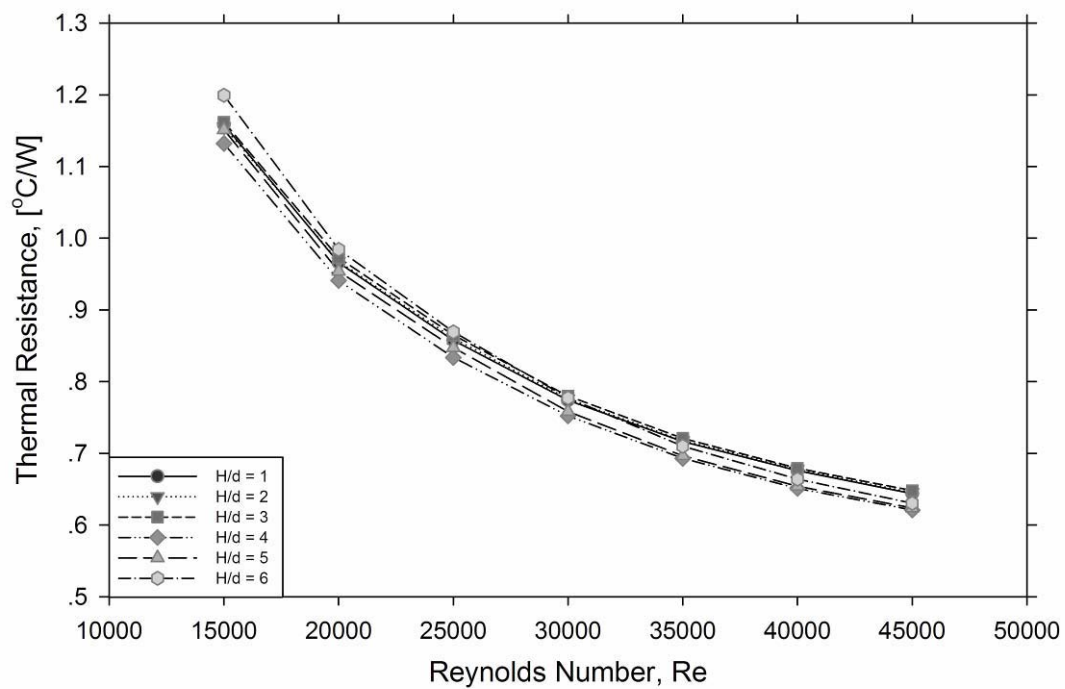
รูปที่ 4.33 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin
Heat Sink No.4 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



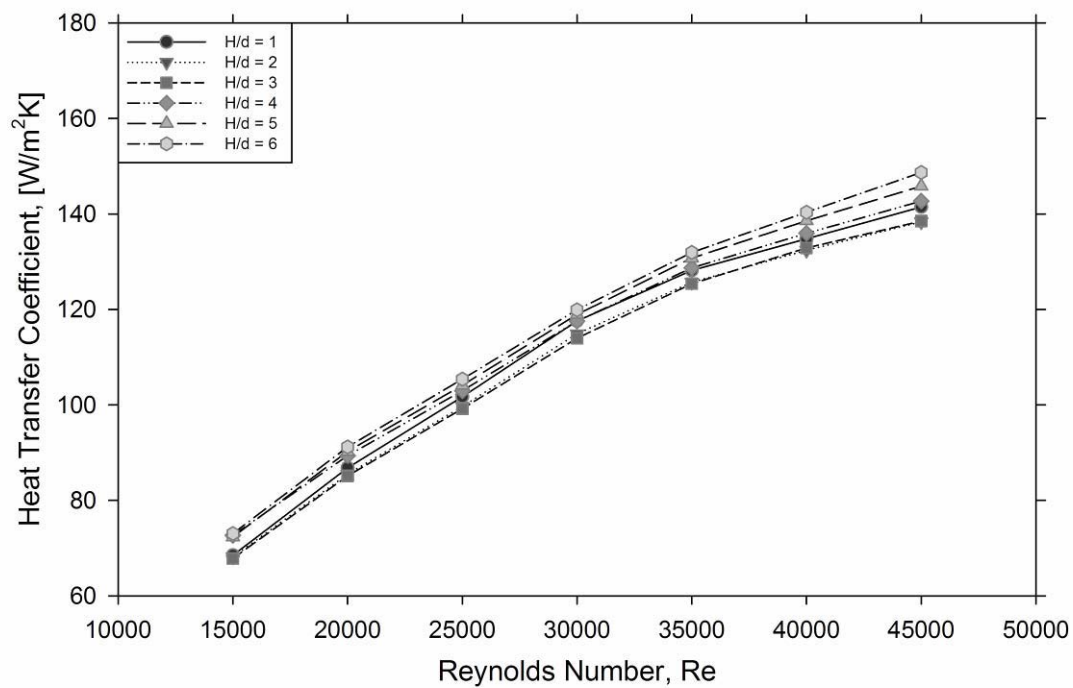
รูปที่ 4.34 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin
Heat Sink No.4 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



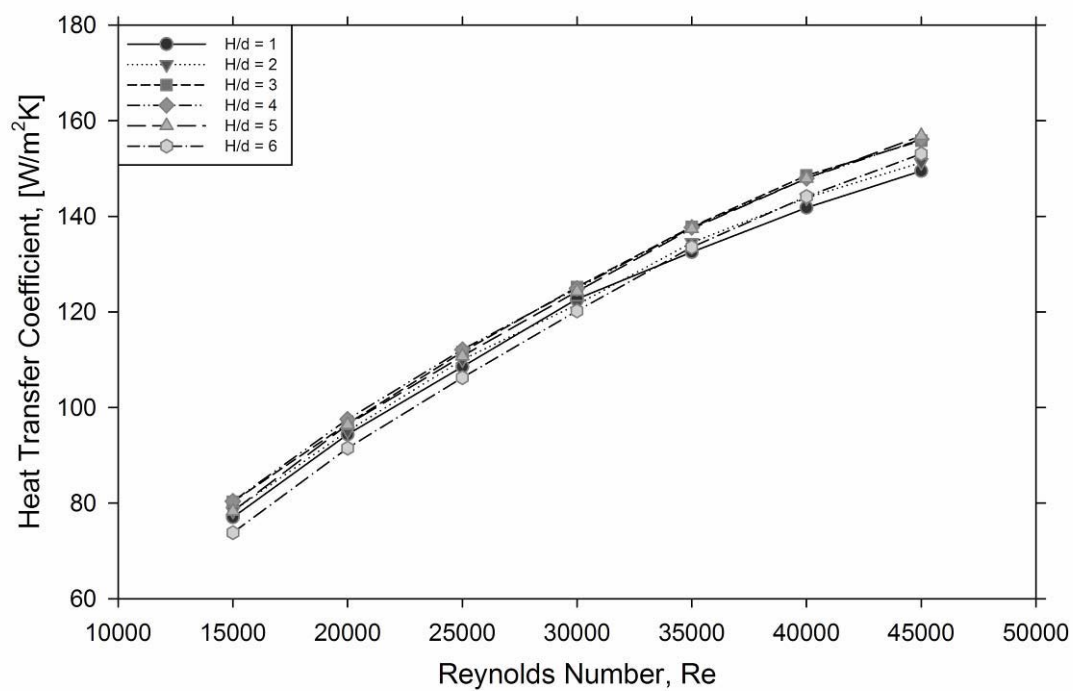
รูปที่ 4.35 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.4 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < \text{Re} < 45,000$



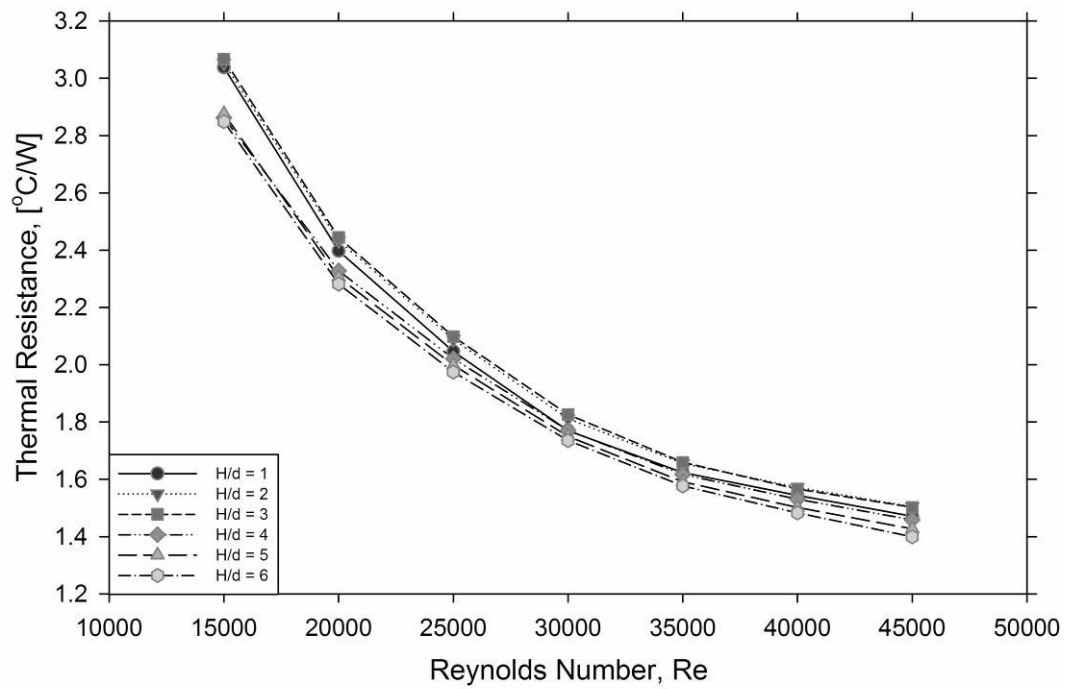
รูปที่ 4.36 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.4 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < \text{Re} < 45,000$



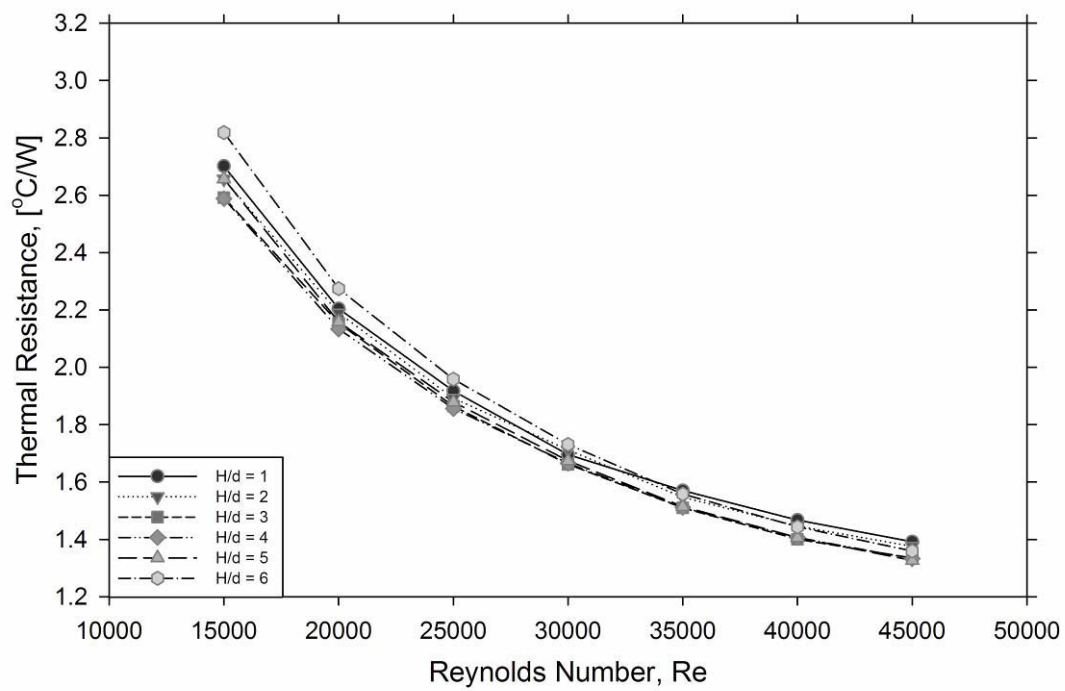
รูปที่ 4.37 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.5 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



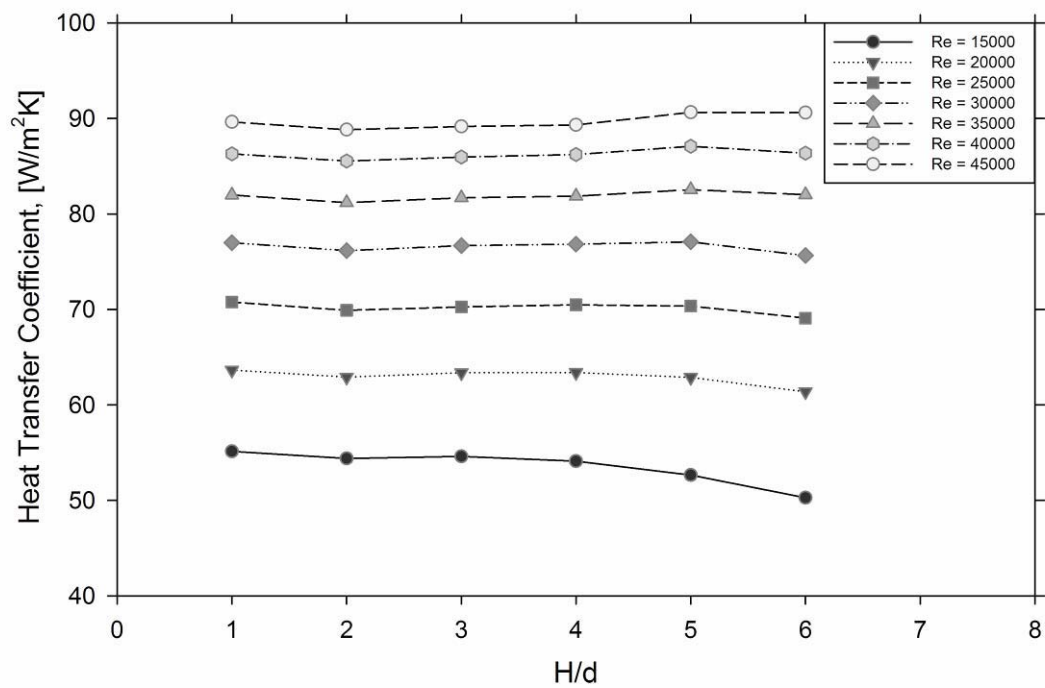
รูปที่ 4.38 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.5 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < Re < 45,000$



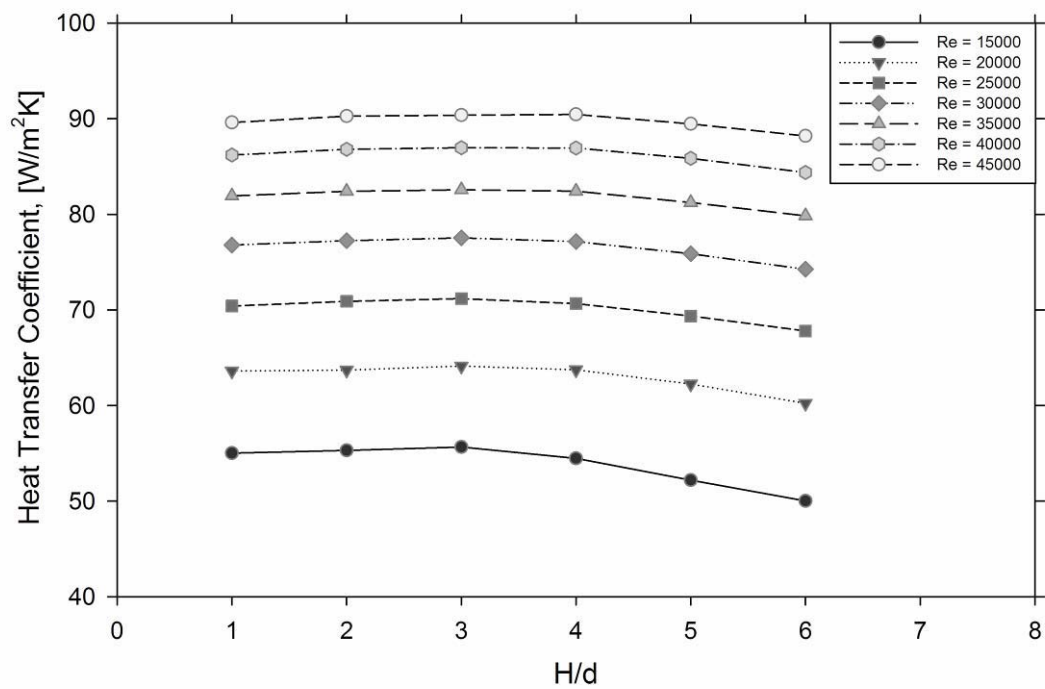
รูปที่ 4.39 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.5 กรณี Free Jet ในช่วง $15,000 < \text{Re} < 45,000$



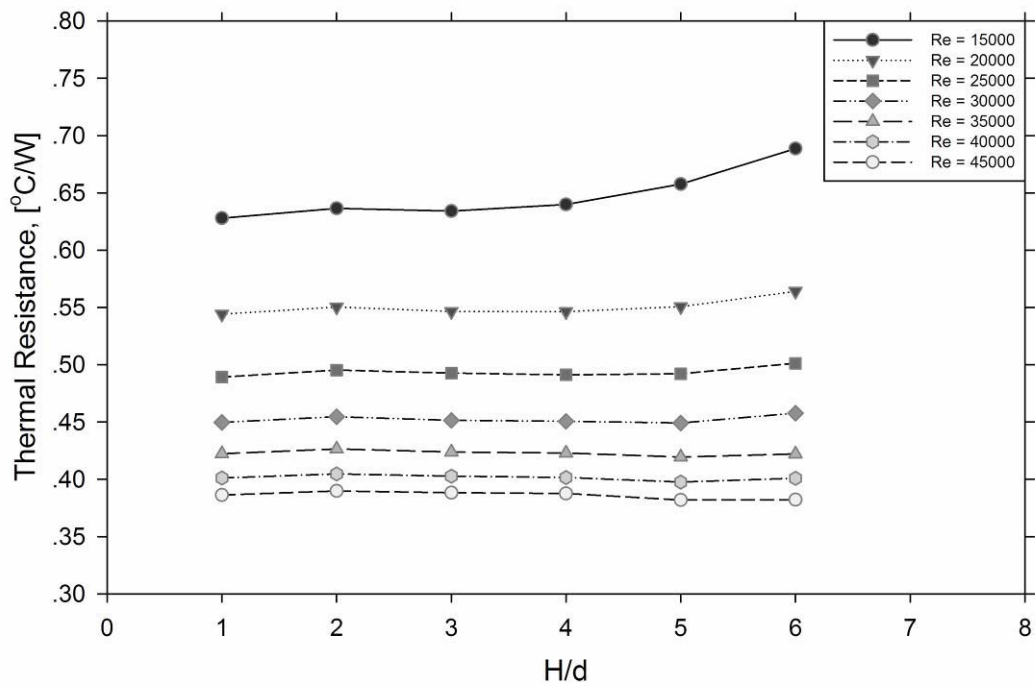
รูปที่ 4.40 อิทธิพลของระยะหัวฉีดที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.5 กรณี Confined Jet ในช่วง $15,000 < \text{Re} < 45,000$



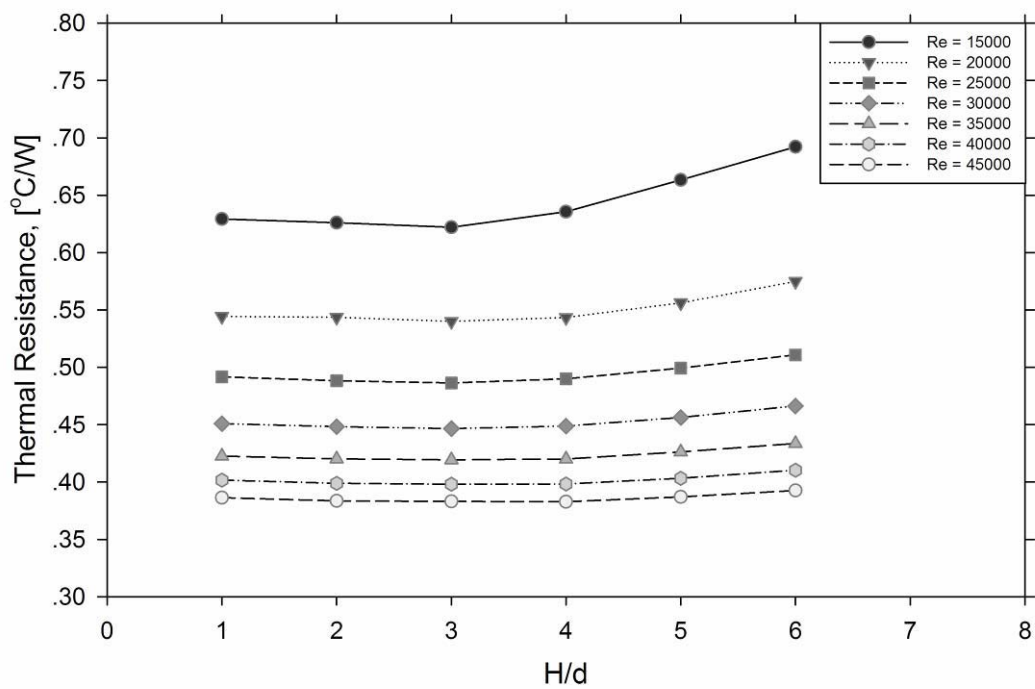
รูปที่ 4.41 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



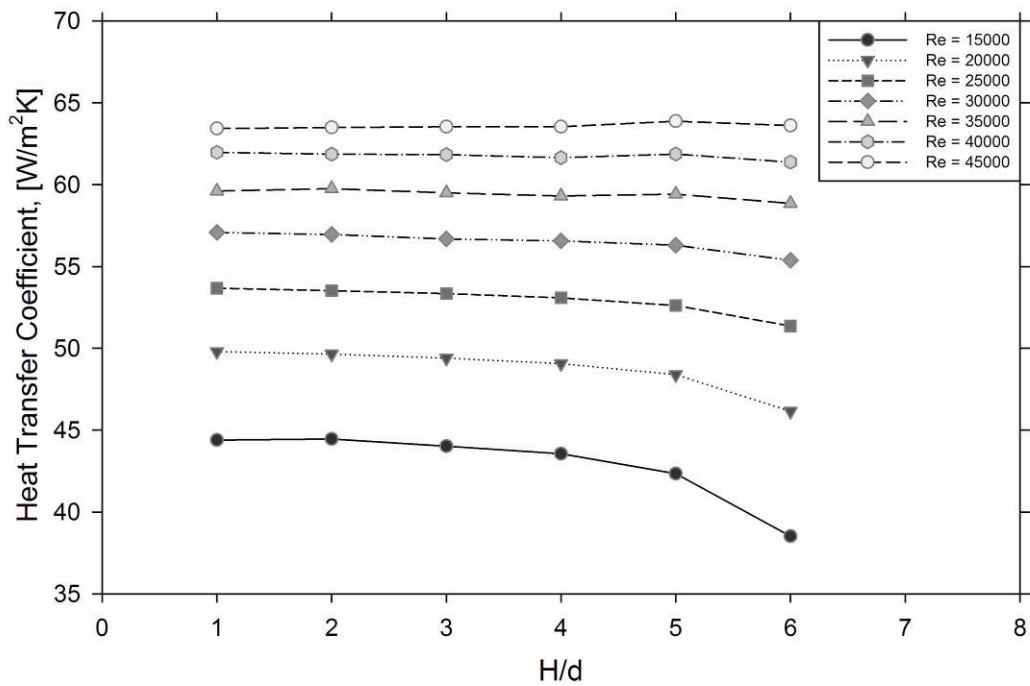
รูปที่ 4.42 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.1 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



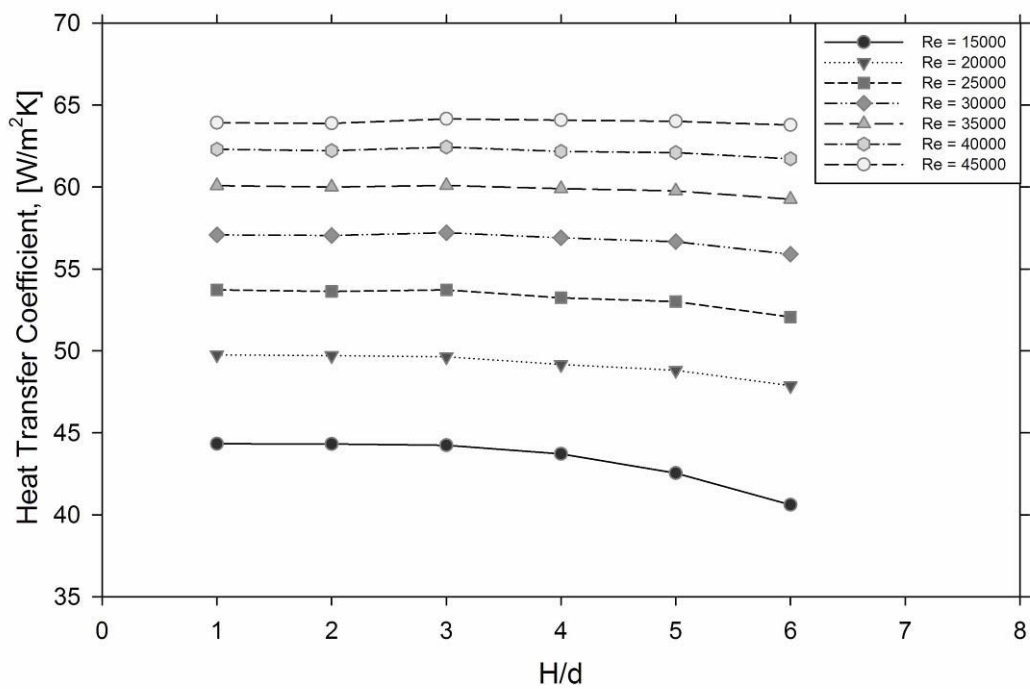
รูปที่ 4.43 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin
Heat Sink No.1 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



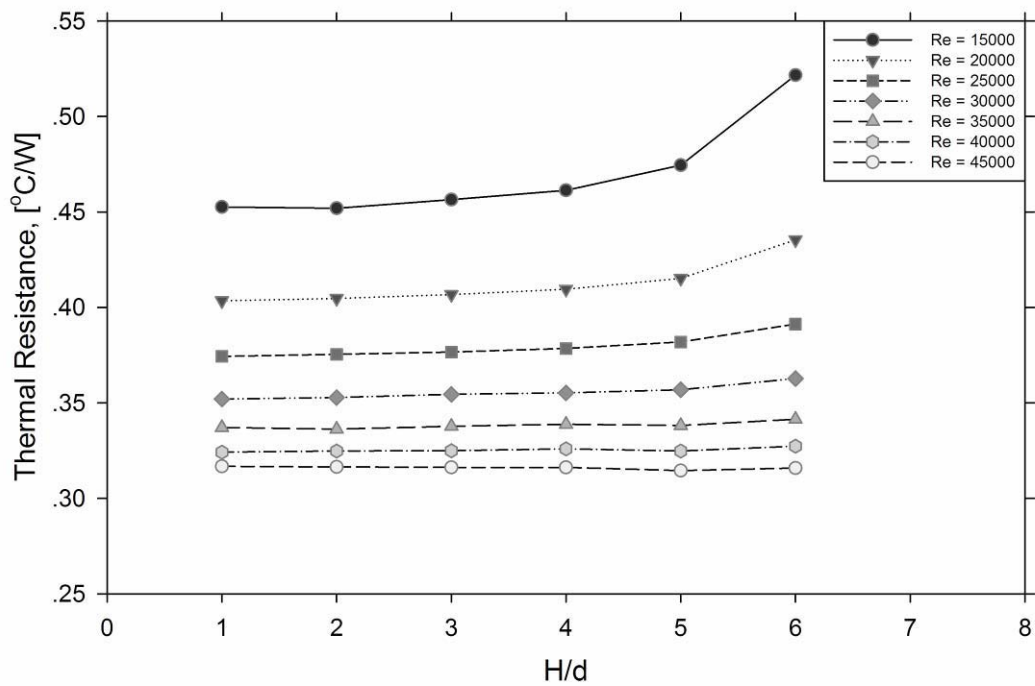
รูปที่ 4.44 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin
Heat Sink No.1 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



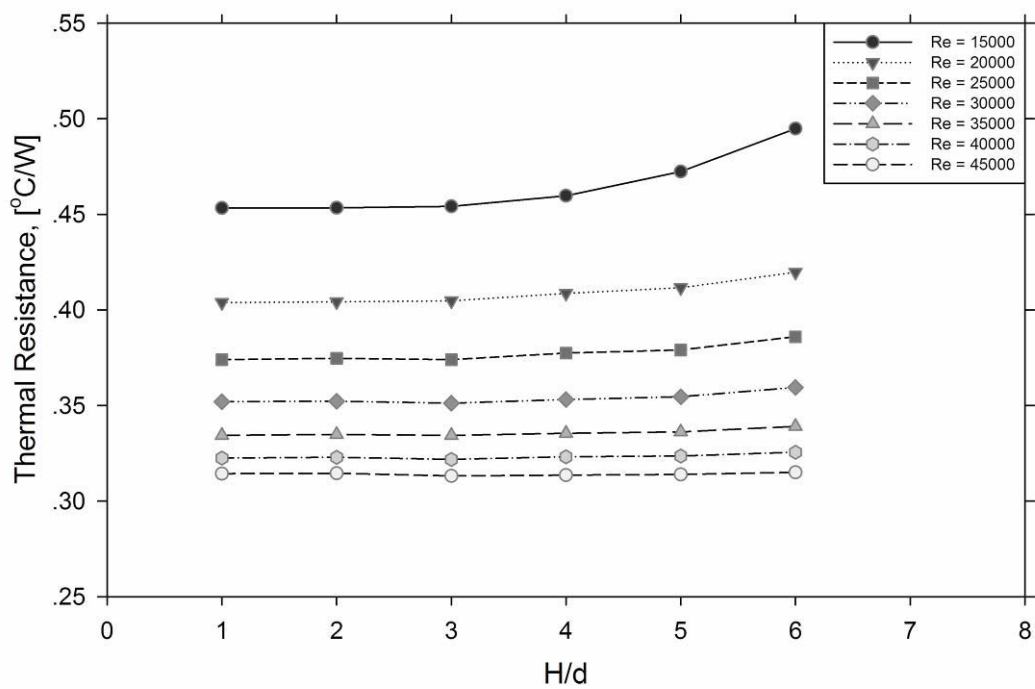
รูปที่ 4.45 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.2 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



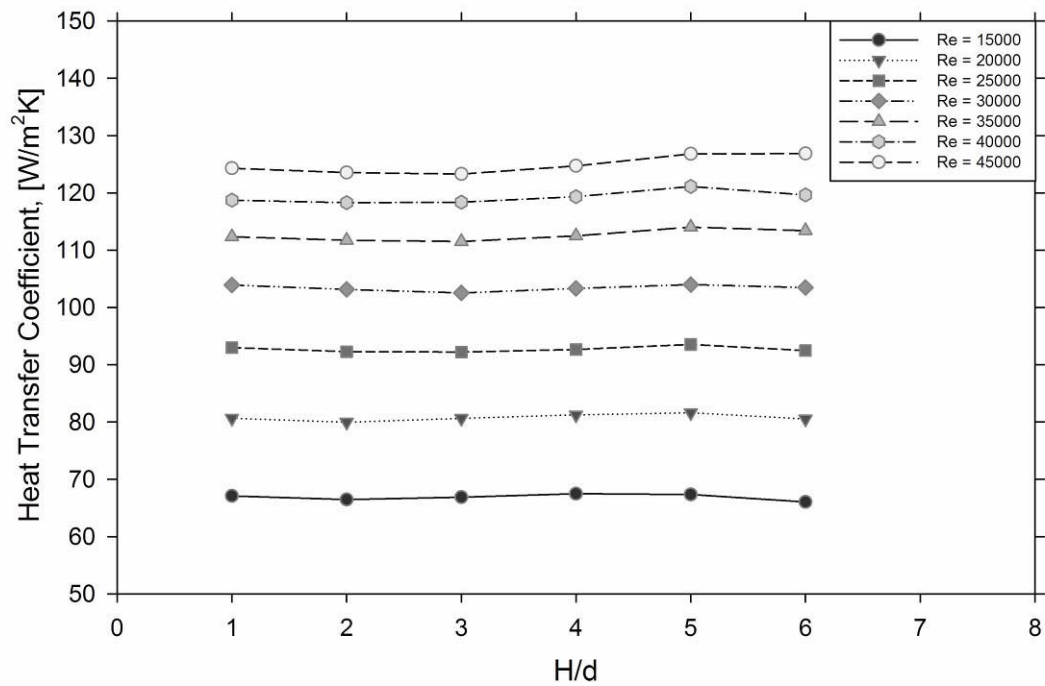
รูปที่ 4.46 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.2 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



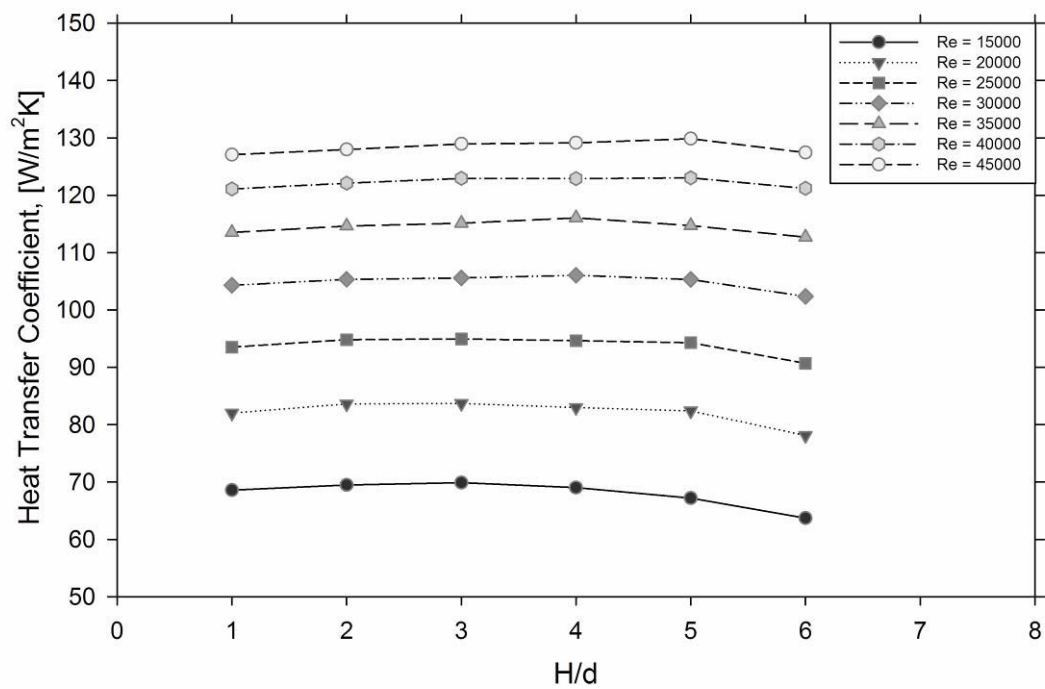
รูปที่ 4.47 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin
Heat Sink No.2 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



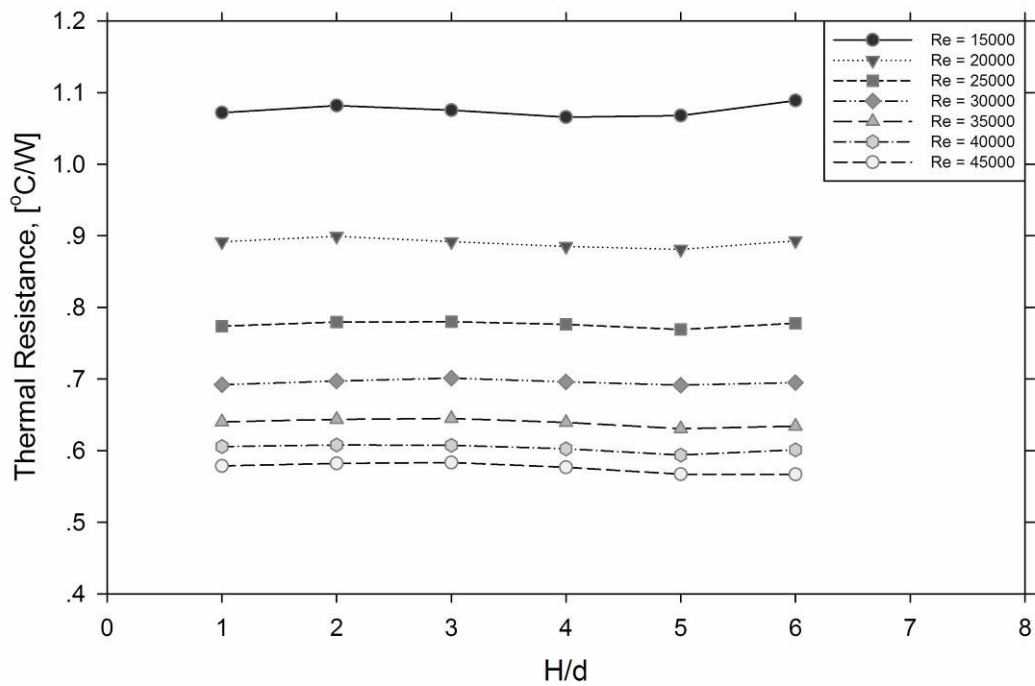
รูปที่ 4.48 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin
Heat Sink No.2 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



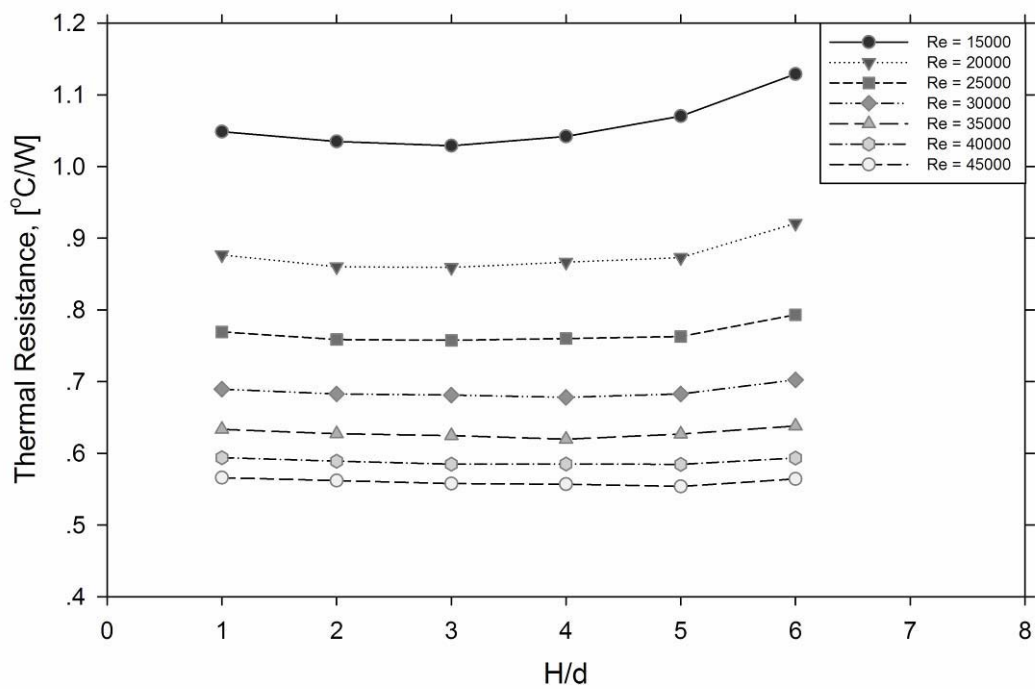
รูปที่ 4.49 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



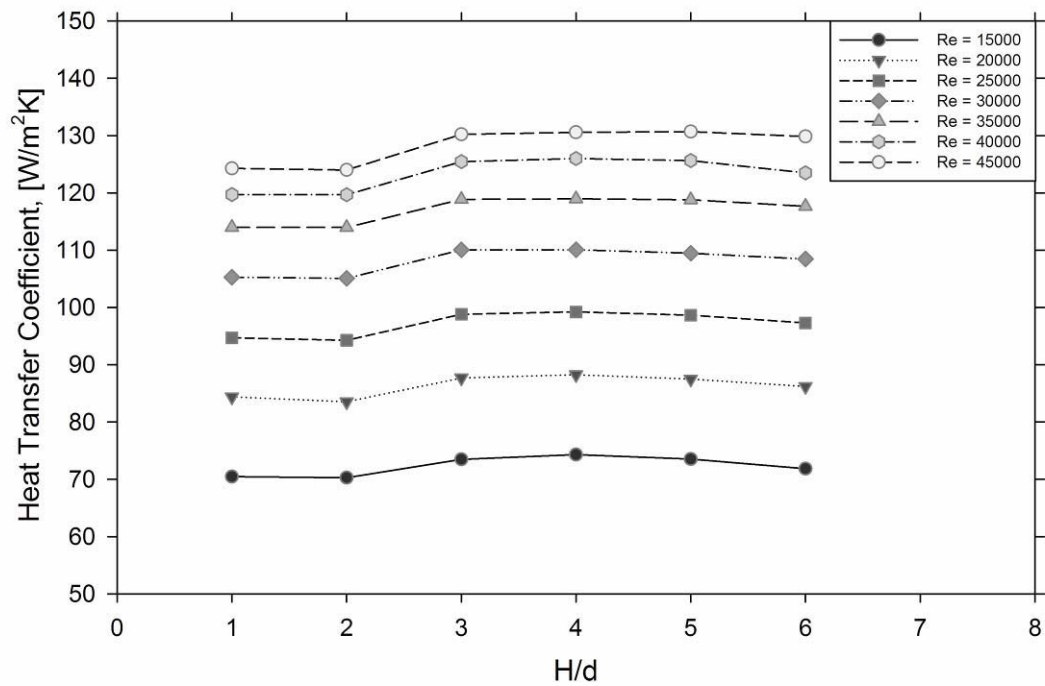
รูปที่ 4.50 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



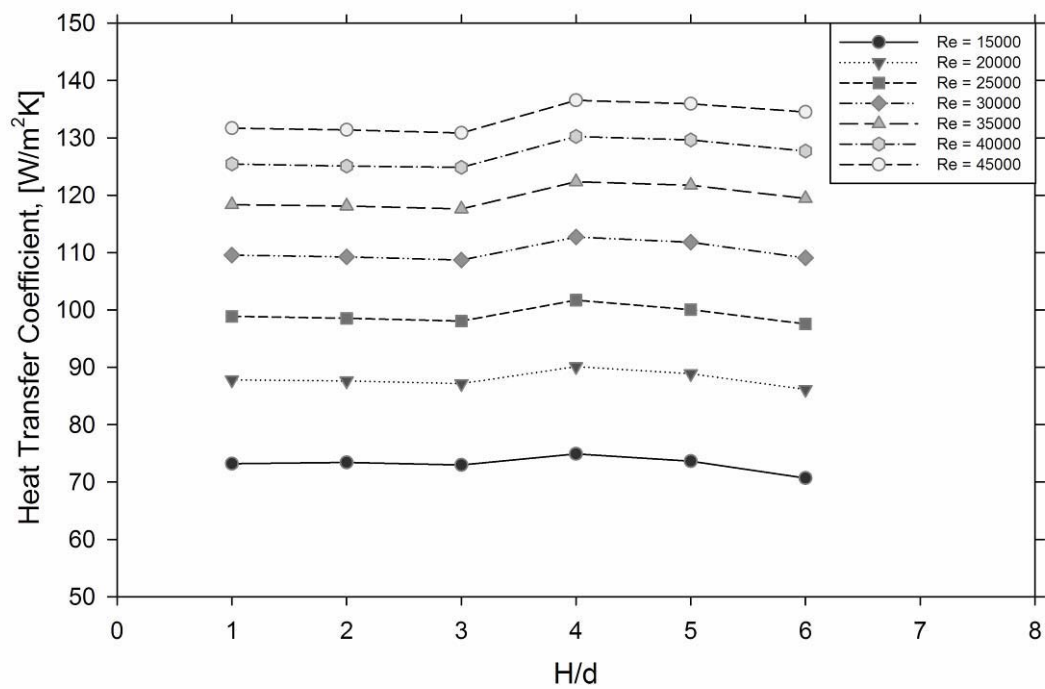
รูปที่ 4.51 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



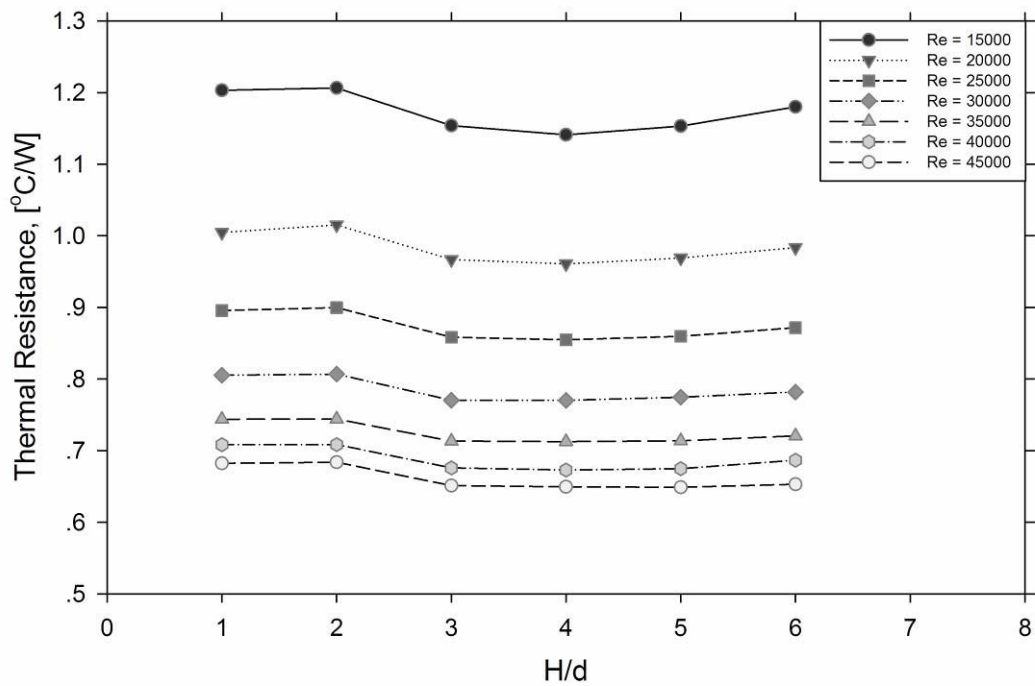
รูปที่ 4.52 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.3 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



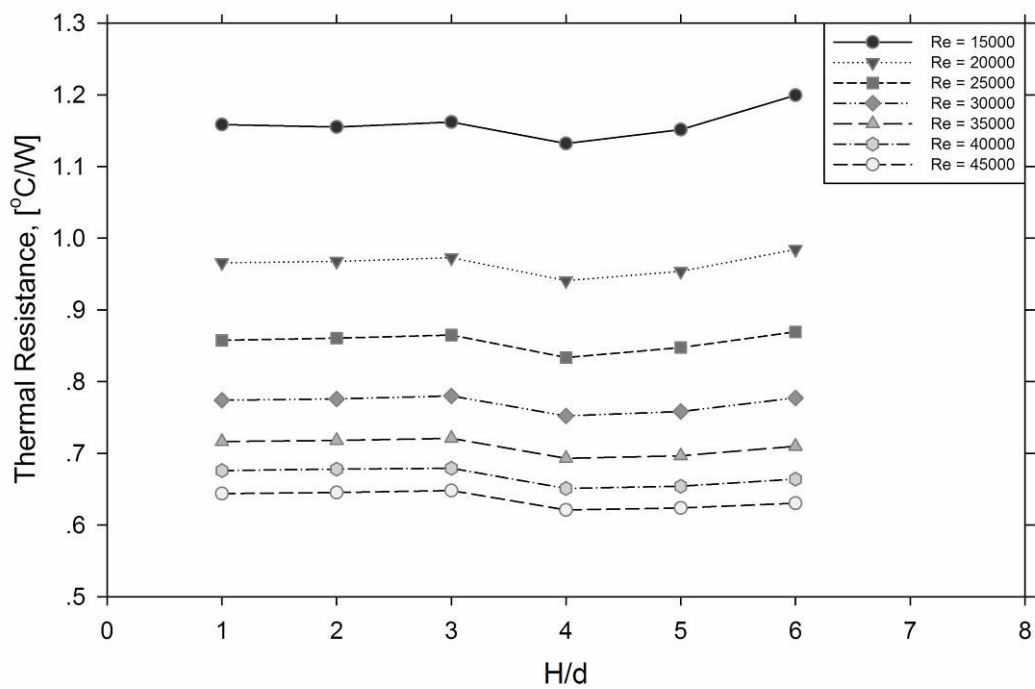
รูปที่ 4.53 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.4 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



รูปที่ 4.54 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Pin-Fin Heat Sink No.4 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



รูปที่ 4.55 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin
Heat Sink No.4 กรณี Free Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$



รูปที่ 4.56 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส์ที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของ Pin-Fin
Heat Sink No.4 กรณี Confined Jet ในช่วง $1 < H/d < 6$