

บทที่ 5

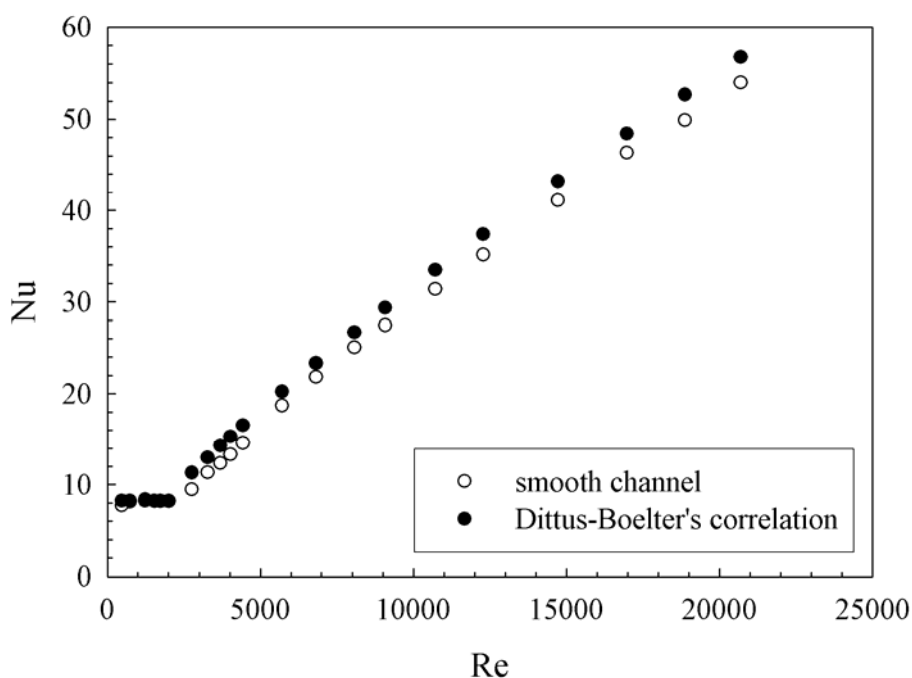
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองในการศึกษาการถ่ายเทความร้อน และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของช่องขนานที่มีการเจาะรูซึ่งในที่นี้จะพิจารณาการเจาะรูรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า, การเจาะรูจัดวางรูปตัววี และการเจาะรูที่มีการเพิ่มครีบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทั้งกรณีจัดวางแนวร่องตรงและแนวร่องเอียง เปรียบเทียบกับช่องขนานเรียบ โดยจะทำการทดลองแผ่นขนานเรียบเปรียบเทียบกับทฤษฎีด้วยซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังนี้

5.1 กรณีช่องขนานเรียบ

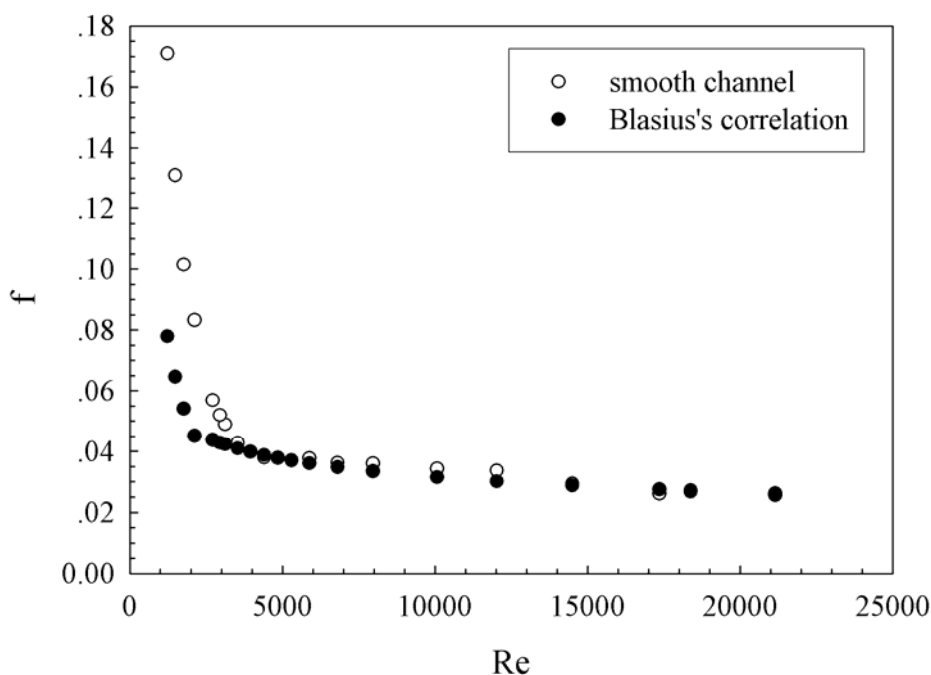
ในการศึกษาจะทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในช่องขนานเรียบ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี เพื่อพิจารณารูปแบบของการทดลองที่ใช้ว่าให้ผลการทดลองออกมาเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังนี้

รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu ของช่องขนานเรียบกับทฤษฎี ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะพบว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ($Re > 4,000$) ค่าที่ทดลองได้มีค่าคลาดเคลื่อนกับทฤษฎีประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ สำหรับช่วง $2,300 < Re < 4,000$ ค่าที่ทดลองได้มีความคลาดเคลื่อนกับทฤษฎีประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในช่วงการไหลแบบราบเรียบ ($Re \leq 2,300$) ค่าที่ทดลองได้มีความคลาดเคลื่อนกับทฤษฎีประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re สำหรับช่องขนานเรียบ

รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f ของช่องขนานเรียบกับทฤษฎี ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะพบว่าในช่วง $Re > 2,300$ ค่าที่ทดลองได้มีค่าคลาดเคลื่อนกับทฤษฎีประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในช่วงการไหลแบบราบเรียบ ($Re \leq 2,300$) ค่าที่ทดลองได้มีความคลาดเคลื่อนกับทฤษฎีประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re สำหรับช่องขนานเรียบ

เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกรณีช่องขนานเรียบกับค่าตามทฤษฎี พบว่ามีแนวโน้มและมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสามารถนำค่าจากการทดลองมาใช้ในการวิเคราะห์ผลได้

5.2 ช่องขนานเจาะร่อง

5.2.1 กรณีการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)

จากการทดลองสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างกรณีช่องขนานเรียบกับช่องขนานที่มีการเจาะรูสี่เหลี่ยมสำหรับการไหลแบบราบเรียบได้ดังนี้

รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu ของช่องขนานที่ไม่มี การเจาะรู กับช่องขนานที่มีการเจาะรูรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานที่มีการเจาะรูรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวเอียงกัน ที่สัดส่วนความลึกของรูกับระยะห่างระหว่างช่องขนาน (e/D) เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะพบว่าค่า Re ที่เพิ่มขึ้นไม่มี

ผลต่อค่า Nu แต่ที่ e/D เพิ่มขึ้น ค่า Nu จะมีค่าเพิ่มขึ้น และช่องขนานที่มีการเซาะร่องแนวเอียงจะมีค่า Nu สูงกว่าแบบเซาะร่องแนวตรง

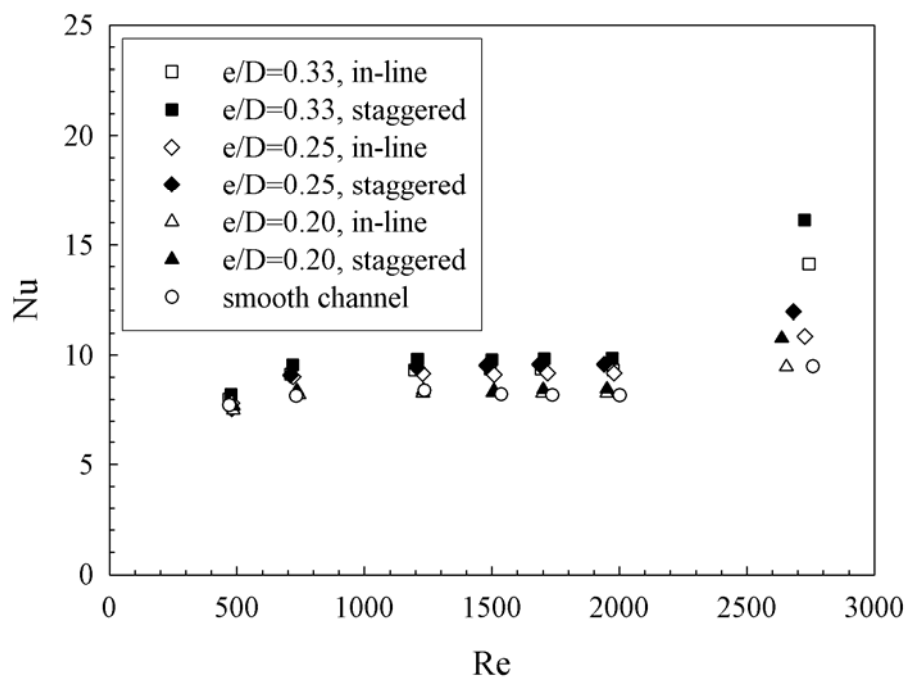
รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับอัตราส่วนของ Nu ระหว่างช่องขนานเซาะร่องกับช่องขนานเรียบ (Nu/Nu_0) ของช่องขนานที่ไม่มีการเซาะร่อง กับช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเซาะร่องแบบวางเอียงจะสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 2%, 2% และ 4.5% ที่ค่า $e/D = 0.20, 0.25$ และ 0.33 ตามลำดับ ส่วนที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า Nu เฉลี่ยจะสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 1.02 และ 1.00 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า Nu เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 1.12 และ 1.10 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า Nu เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 1.17 และ 1.12 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ

รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f ของช่องขนานที่ไม่มีการเซาะร่อง กับช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะเห็นได้ว่า Re ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า f ลดลง แต่ที่ e/D เพิ่มขึ้น f จะมีค่าเพิ่มขึ้น และช่องขนานที่มีการเซาะร่องแนวเอียงจะมีค่า f สูงกว่าแบบเซาะร่องแนวตรง

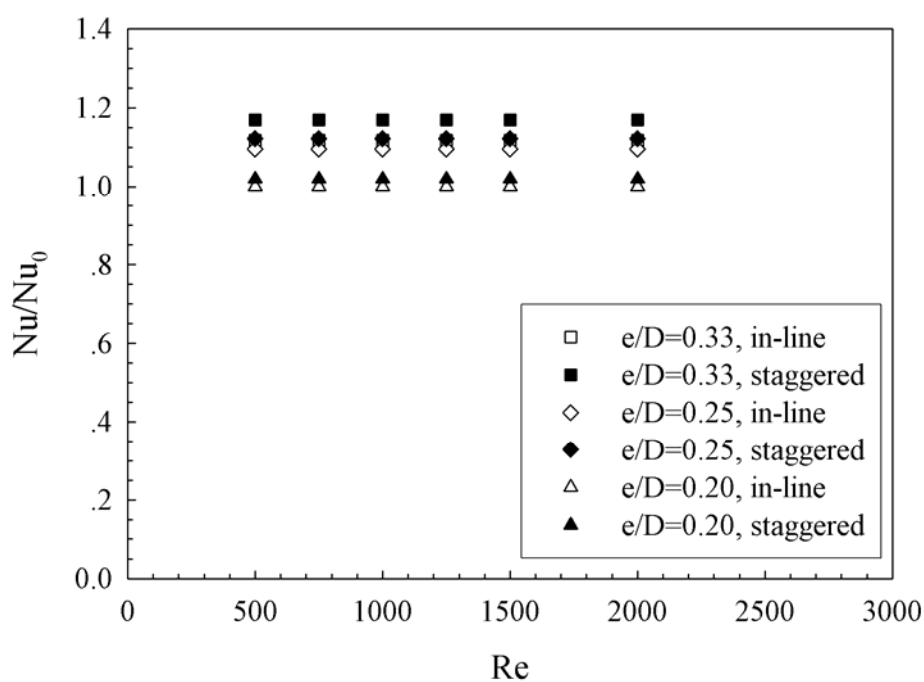
รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับอัตราส่วนค่า f ระหว่างช่องขนานเซาะร่องกับช่องขนานเรียบ (f/f_0) ของช่องขนานที่ไม่มีการเซาะร่อง กับช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเซาะร่องแบบวางเอียงจะสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 49%, 58% และ 63% ที่ค่า $e/D = 0.20, 0.25$ และ 0.33 ตามลำดับ ส่วนที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า f เฉลี่ยจะสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 1.95 และ 1.31 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า f เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 2.20 และ 1.39 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า f เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 2.41 และ 1.48 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ

รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับประสิทธิภาพ (η) ของช่องขนานที่ไม่มีการเซาะร่อง กับช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเซาะร่องแบบวางเอียงจะต่ำกว่าแบบวางตรงประมาณ 10%, 12% และ 11% ที่ค่า $e/D = 0.20, 0.25$ และ 0.33 ตามลำดับ ส่วนที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า η เฉลี่ยจะสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 0.82 และ 0.91 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า η เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 0.86 และ 0.98 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D =$

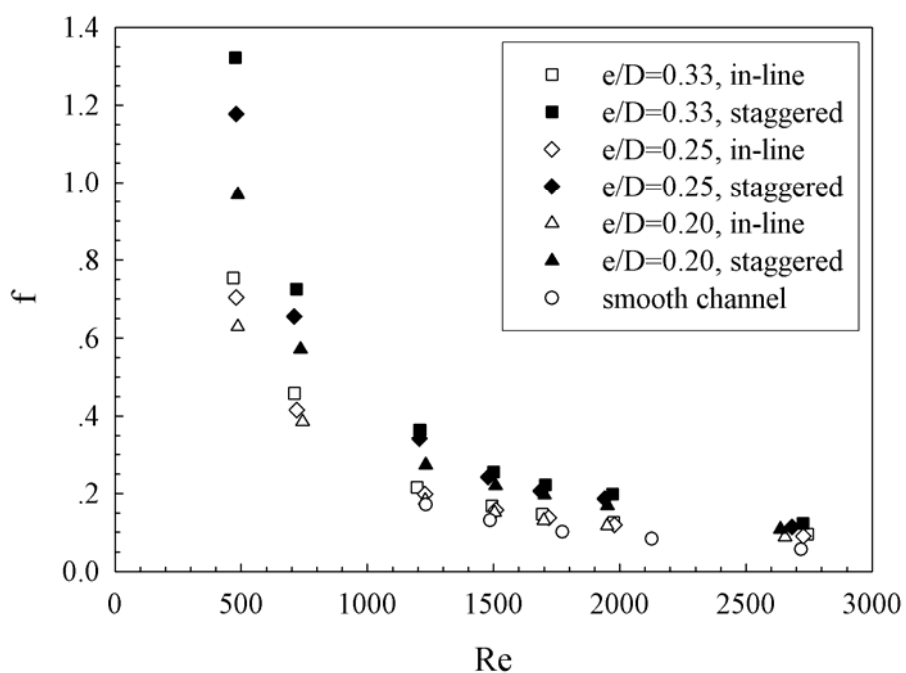
0.33 จะให้ค่า η เกือบสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 0.87 และ 0.98 เท่าสำหรับการวางซี่งและวางตรงตามลำดับ



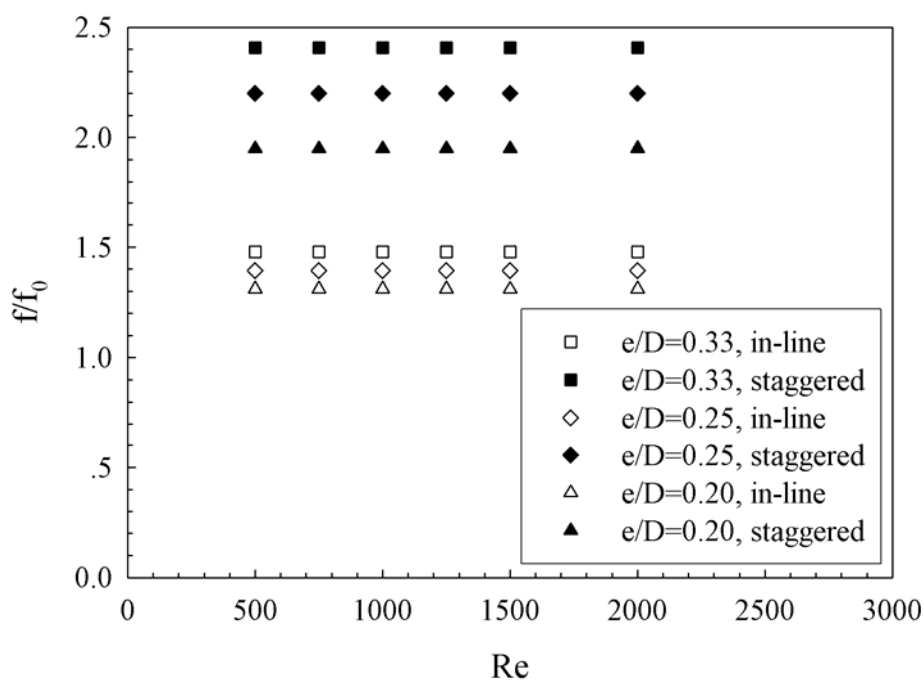
รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re กรณีเซาะร่อง



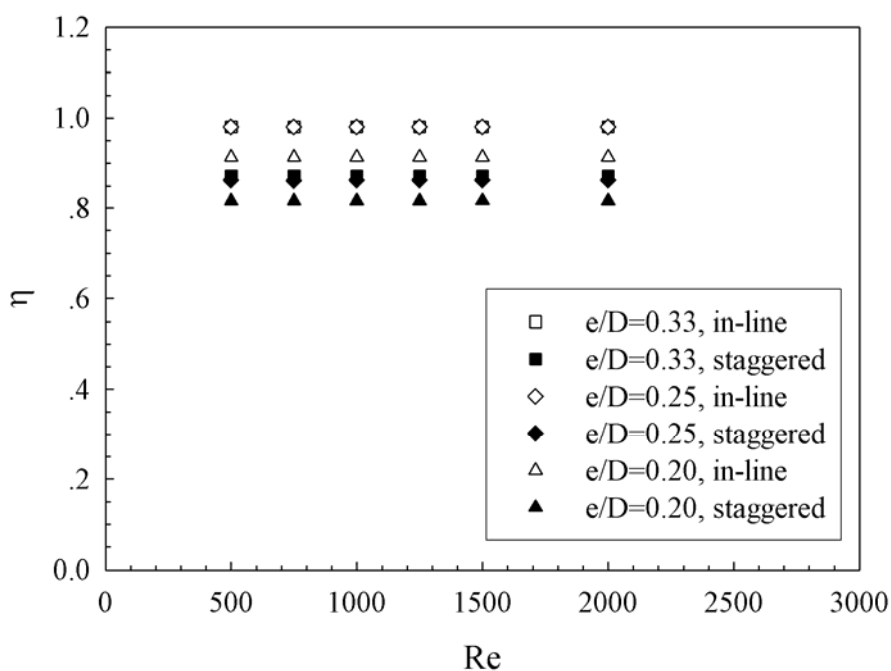
รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีเซาะร่อง



รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re กรณีเชาะร่อง



รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีเชาะร่อง



รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีเชาะร่อง

สรุปได้ว่าในช่วงการไหลแบบราบเรียบ การเชาะร่องจะช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนประมาณ 0% ถึง 17% ในขณะที่เดียวกันก็ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงขึ้นประมาณ 31% ถึง 141% โดยการเชาะร่องแบบวางเอียงจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 2% ถึง 4.5% และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงกว่าแบบแนวตรงประมาณ 49% ถึง 63% และการเชาะร่องจะให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าการไม่เชาะร่องประมาณ 2% ถึง 18%

5.2.2 กรณีการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

จากการทดลองสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างกรณีช่องขนานเรียบกับช่องขนานที่มีการเชาะร่องสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนได้ดังนี้

รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu ของช่องขนานที่ไม่มีการเชาะร่อง กับช่องขนานที่มีการเชาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานที่มีการเชาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะพบว่า Re ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า Nu เพิ่มขึ้นด้วย และที่ค่า e/D เพิ่มขึ้น Nu จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน และช่องขนานที่มีการเชาะร่องแนวเอียงจะมีค่า Nu สูงกว่าแบบเชาะร่องแนวตรง

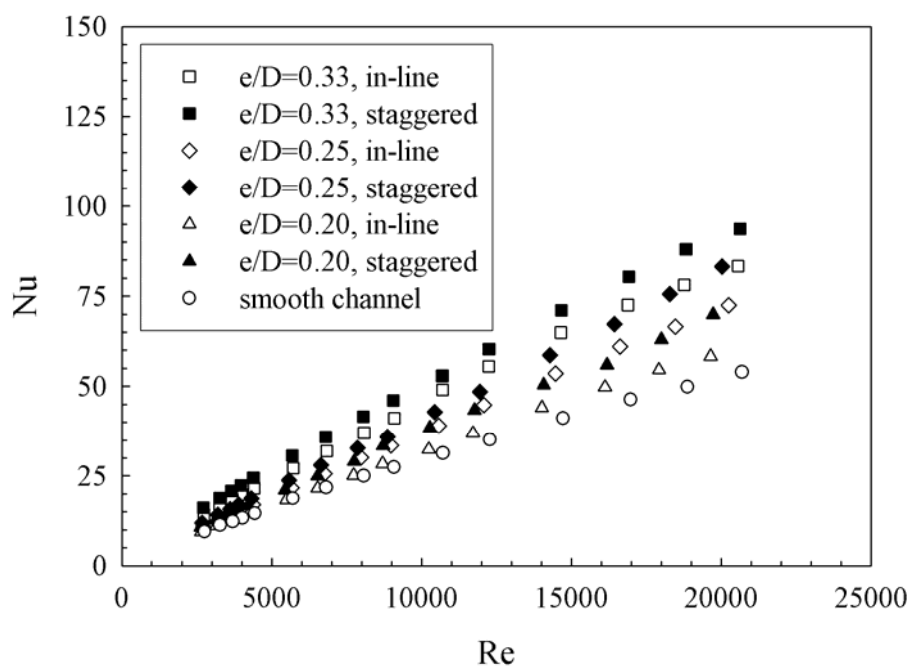
รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 ของช่องขนานที่ไม่มีการเชาะร่อง กับช่องขนานที่มีการเชาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานที่มีการเชาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่า

การเซาะร่องแบบวางเอียงจะสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 16%, 10% และ 12% ที่ค่า $e/D = 0.20$, 0.25 และ 0.33 ตามลำดับ ส่วนที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า Nu เฉลี่ยจะสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 1.25 และ 1.08 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า Nu เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 1.39 และ 1.26 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า Nu เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 1.70 และ 1.52 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ

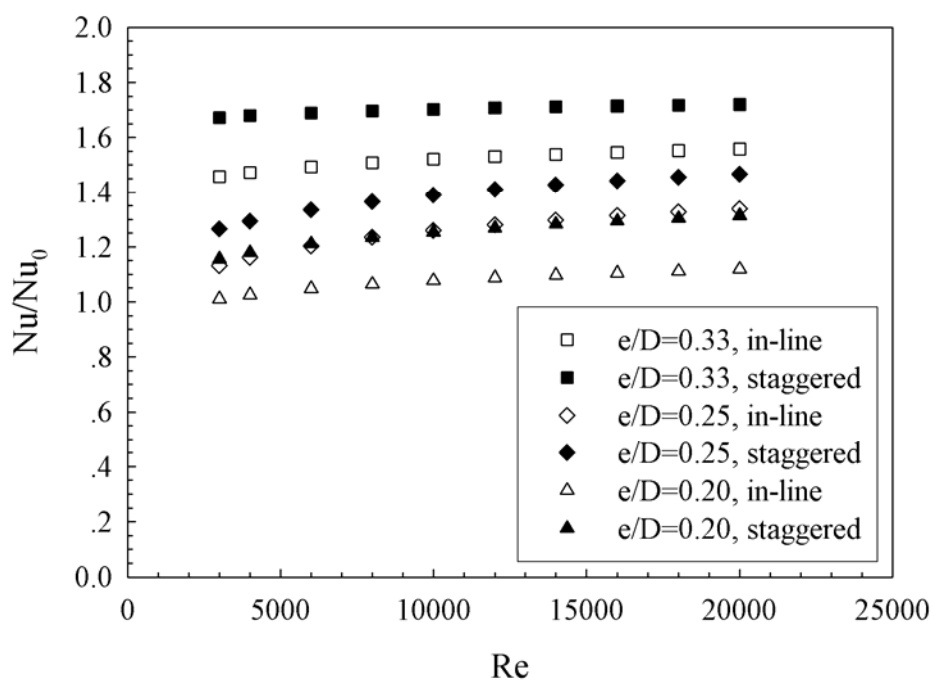
รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f ของช่องขนานที่ไม่มีการเซาะร่อง กับ ช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะเห็นได้ว่า Re ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า f ลดลง แต่ที่ค่า e/D เพิ่มขึ้น f จะมีค่าเพิ่มขึ้น และช่องขนานที่มีการเซาะร่องแนวเอียงจะมีค่า f สูงกว่าแบบเซาะร่องแนวตรง

รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 ของช่องขนานที่ไม่มีการเซาะร่อง กับ ช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเซาะร่องแบบวางเอียงจะสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 14%, 15% และ 18% ที่ค่า $e/D = 0.20$, 0.25 และ 0.33 ตามลำดับ ส่วนที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า f เฉลี่ยจะสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 1.83 และ 1.61 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า f เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 1.90 และ 1.65 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า f เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 2.00 และ 1.69 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ

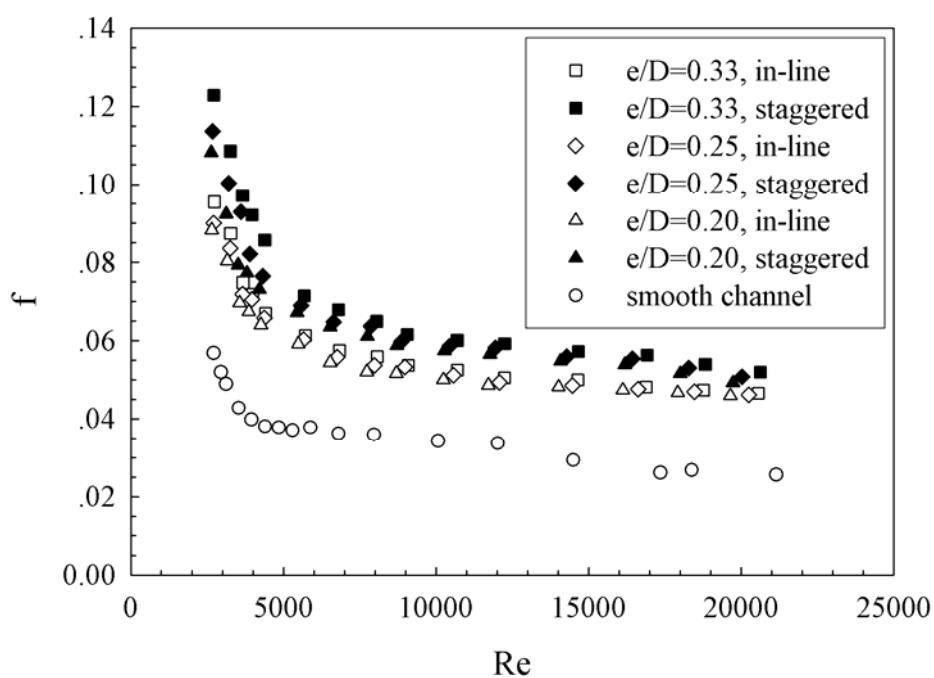
รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η ของช่องขนานที่ไม่มีการเซาะร่อง กับ ช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเซาะร่องแบบวางเอียงจะสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 10%, 10% และ 3% ที่ค่า $e/D = 0.20$, 0.25 และ 0.33 ตามลำดับ ส่วนที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า η เฉลี่ยจะสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 1.02 และ 0.92 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า η เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 1.12 และ 1.06 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า η เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นเรียบประมาณ 1.35 และ 1.27 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ



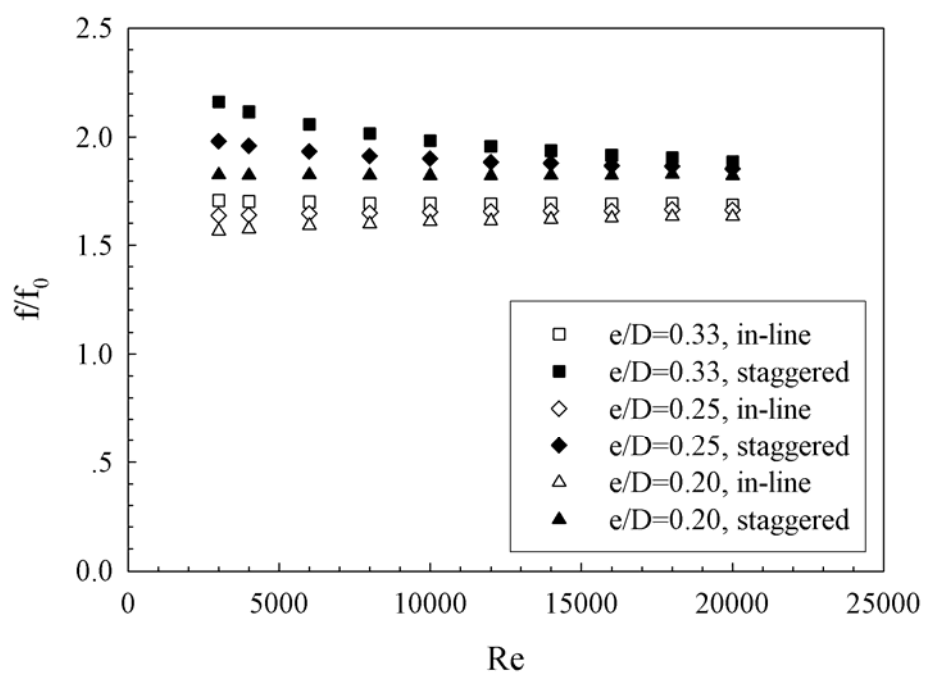
รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re กรณีเซาร่อง



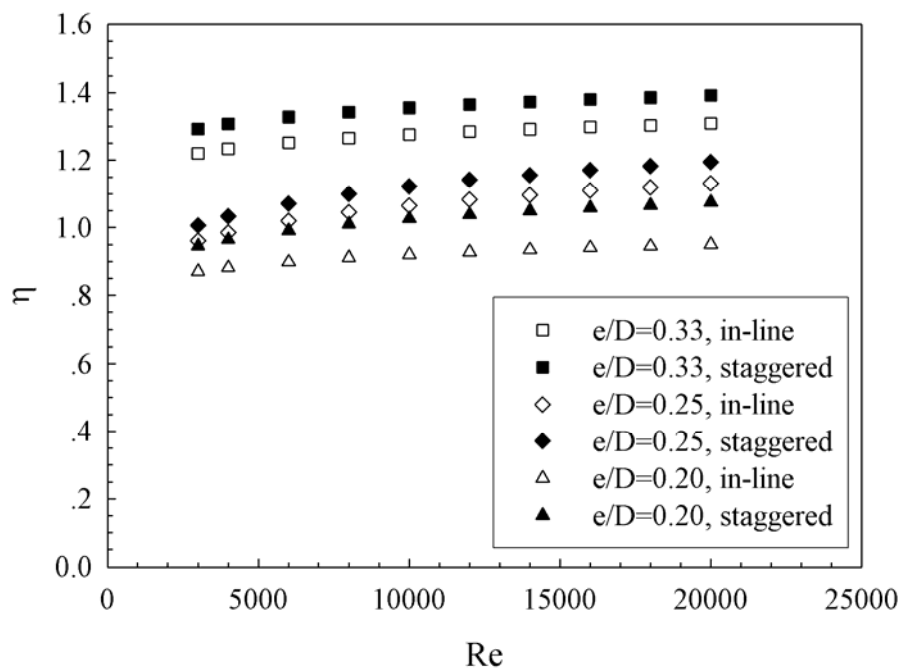
รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีเซาร่อง



รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re กรณีเซาะร่อง



รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีเซาะร่อง



รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีเจาะช่อง

สรุปได้ว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน การเจาะช่องจะช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนประมาณ 8% ถึง 70% ในขณะเดียวกันก็ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงขึ้นประมาณ 61% ถึง 100% โดยการเจาะช่องแบบวางเฉียงจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 10% ถึง 16% และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงกว่าแบบแนวตรงประมาณ 14% ถึง 18% และการเจาะช่องจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการไม่เจาะช่องประมาณ 8% ถึง 35%

5.2.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re และ e/D

- ช่องขนานเจาะช่องตรงแบบแนวตรงกัน

จากข้อมูลการทดลองสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (Re อยู่ในช่วง 5,000 ถึง 20,000) สำหรับช่องขนานที่มีการเจาะช่องแบบแนวตรงกัน เมื่อนำข้อมูลที่ e/D ต่าง ๆ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Nu = A_0 Re^{0.9337}$$

โดยค่า A_0 คือค่าคงที่ จากนั้นมาพิจารณาค่า e/D ที่มีผลต่อค่า Nu โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Nu/Re^{0.9337}$ กับ e/D จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{Nu}{Re^{0.9337}} = 0.0177 \times \left(\frac{e}{D} \right)^{0.6844}$$

ดังนั้น

$$Nu = 0.0177 Re^{0.9337} \left(\frac{e}{D} \right)^{0.6844}$$

- ช่องขนานเซาะร่องตรงแบบแนวเฉียงกัน

จากข้อมูลการทดลองสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (Re อยู่ในช่วง 5,000 ถึง 20,000) สำหรับช่องขนานที่มีการเซาะร่องแบบแนวเฉียงกัน เมื่อนำข้อมูลที่ e/D ต่าง ๆ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Nu = A_0 Re^{0.9357}$$

โดยค่า A_0 คือค่าคงที่ จากนั้นมาพิจารณาค่า e/D ที่มีผลต่อค่า Nu โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Nu/Re^{0.9357}$ กับ e/D จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{Nu}{Re^{0.9357}} = 0.0176 \times \left(\frac{e}{D} \right)^{0.6042}$$

ดังนั้น

$$Nu = 0.0176 Re^{0.9357} \left(\frac{e}{D} \right)^{0.6042}$$

5.2.4 การหาความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re และ e/D

- ช่องขนานเซาะร่องตรงแบบแนวตรงกัน

จากข้อมูลการทดลองสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (Re อยู่ในช่วง 5,000 ถึง 20,000) สำหรับช่องขนานที่มีการเซาะร่องแบบแนวตรงกัน เมื่อนำข้อมูลที่ e/D ต่าง ๆ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$f = A_0 Re^{-0.1870}$$

โดยค่า A_0 คือค่าคงที่ จากนั้นมาพิจารณาค่า e/D ที่มีผลต่อค่า f โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $f/Re^{-0.1870}$ กับ e/D จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{f}{Re^{-0.1870}} = 0.3300 \times \left(\frac{e}{D} \right)^{0.0883}$$

ดังนั้น

$$f = 0.3300 Re^{-0.1870} \left(\frac{e}{D} \right)^{0.0883}$$

- ช่องขนานเจาะร่องตรงแบบแนวเฉียงกัน

จากข้อมูลการทดลองสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (Re อยู่ในช่วง 5,000 ถึง 20,000) สำหรับช่องขนานที่มีการเจาะร่องแบบแนวเฉียงกัน เมื่อนำข้อมูลที่ e/D ต่าง ๆ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

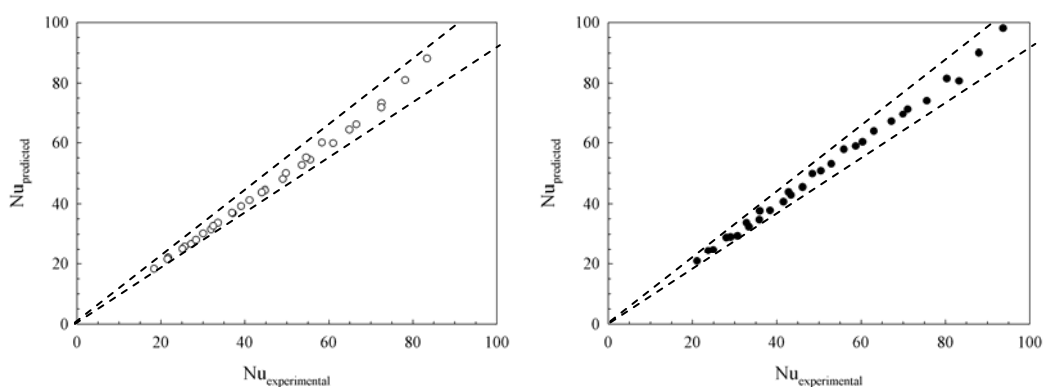
$$f = A_0 Re^{-0.2138}$$

โดยค่า A_0 คือค่าคงที่ จากนั้นมาพิจารณาค่า e/D ที่มีผลต่อค่า f โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $f/Re^{-0.2138}$ กับ e/D จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

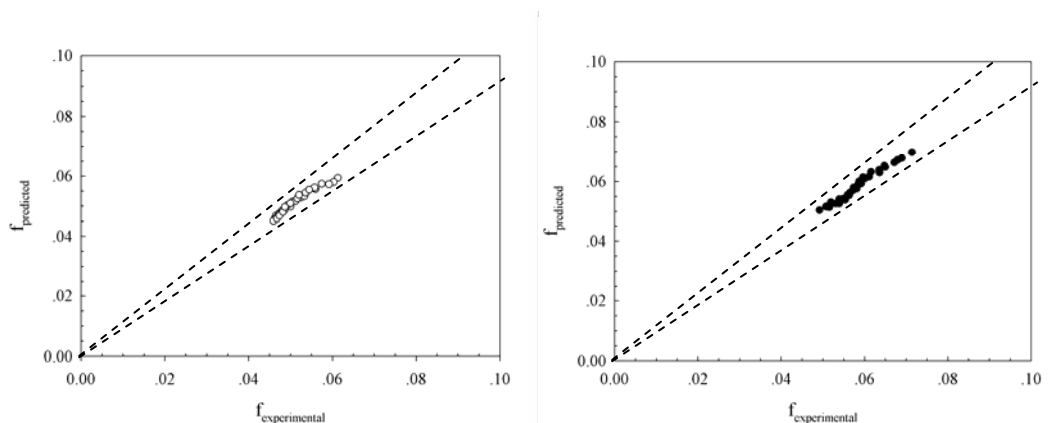
$$\frac{f}{Re^{-0.2138}} = 0.5065 \times \left(\frac{e}{D}\right)^{0.1200}$$

ดังนั้น

$$f = 0.5065 Re^{-0.2138} \left(\frac{e}{D}\right)^{0.1200}$$



รูปที่ 5.13 แสดงความคลาดเคลื่อนจากสมการ Nu กรณีเจาะร่องแนวตรงและแนวเฉียง



รูปที่ 5.14 แสดงความคลาดเคลื่อนจากสมการ f กรณีเจาะร่องแนวตรงและแนวเฉียง

จากรูปที่ 5.13 และ 5.14 พบว่าความคลาดเคลื่อนของ Nu และ f ที่ได้จากการคำนวณมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 10\%$ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.3 ช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววี

5.3.1 กรณีการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)

จากการทดลองสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างกรณีช่องขนานเรียบกับช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีสำหรับการไหลแบบราบเรียบได้ดังนี้

รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu ของช่องขนานที่ไม่มีการเจาะร่อง กับช่องขนานเจาะร่องรูปสี่เหลี่ยมจัดวางรูปตัววีแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเจาะร่องรูปสี่เหลี่ยมจัดวางรูปตัววีแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะเห็นได้ว่า Re ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่า Nu แต่ที่ค่า e/D เพิ่มขึ้น ค่า Nu จะเพิ่มขึ้น และช่องขนานที่มีการเจาะร่องแนวเอียงจะมีค่า Nu สูงกว่าแบบเจาะร่องแนวตรง

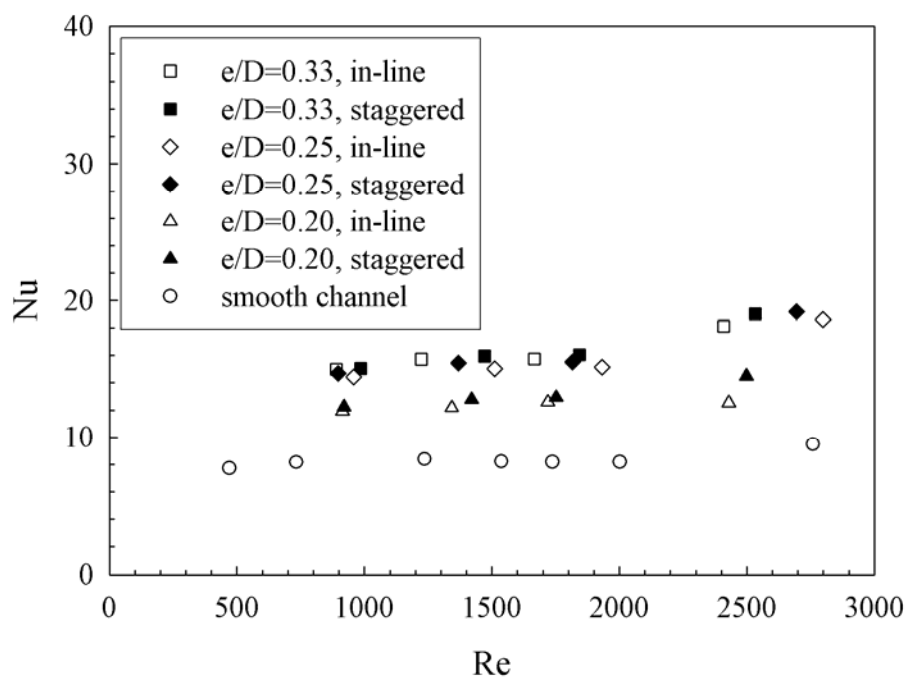
รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 ของช่องขนานที่ไม่มีการเจาะร่อง กับช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเจาะร่องแบบวางเอียงจะสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 4%, 2% และ 2% ที่ค่า $e/D = 0.20, 0.25$ และ 0.33 ตามลำดับ ส่วนที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า Nu เฉลี่ยจะสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 1.56 และ 1.50 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า Nu เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 1.87 และ 1.83 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า Nu เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 1.93 และ 1.90 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ

รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f ของช่องขนานที่ไม่มีการเจาะร่อง กับช่องขนานเจาะร่องรูปสี่เหลี่ยมจัดวางรูปตัววีแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเจาะร่องรูปสี่เหลี่ยมจัดวางรูปตัววีแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะเห็นได้ว่า Re ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า f ลดลง แต่ที่ค่า e/D เพิ่มขึ้น f จะมีค่าเพิ่มขึ้น และช่องขนานที่มีการเจาะร่องแนวเอียงจะมีค่า f สูงกว่าแบบเจาะร่องแนวตรง

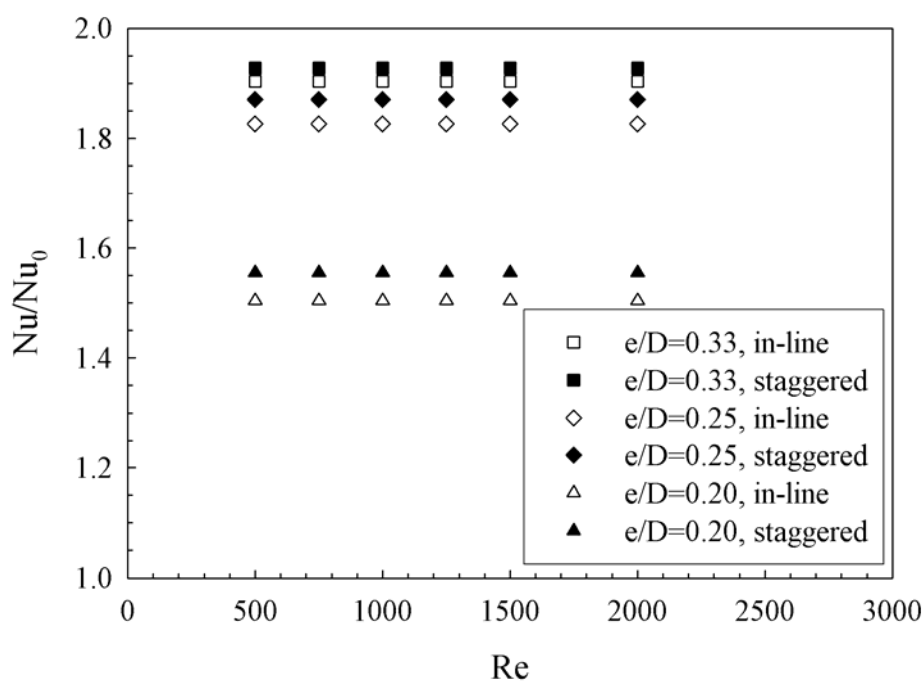
รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 ของช่องขนานที่ไม่มีการเจาะร่อง กับช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเจาะร่องแบบวางเอียงจะมีค่าสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 54%, 51% และ 50% ที่ค่า $e/D = 0.20, 0.25$ และ 0.33 ตามลำดับ โดยที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า f เฉลี่ยจะสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 1.83 และ 1.19 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า f เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนาน

เรียบประมาณ 2.12 และ 1.40 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า f เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 2.43 และ 1.62 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ

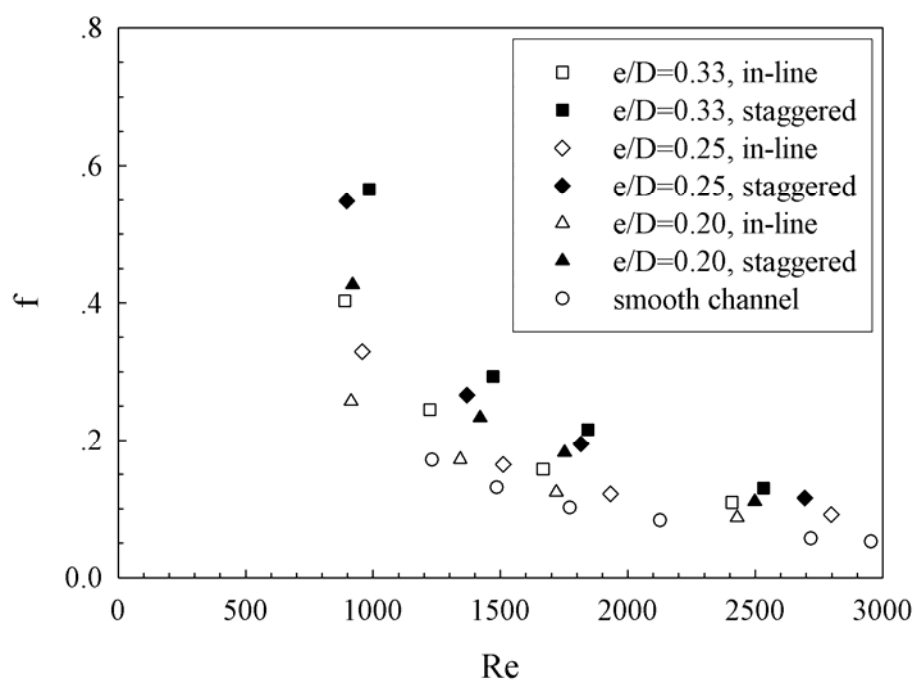
รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η ของช่องขนานที่ไม่มีการเจาะร่อง กับ ช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเจาะร่องจัดวางตัวรูปตัววีแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเจาะร่องแบบวางเอียงจะต่ำกว่าแบบวางตรงประมาณ 11%, 10% และ 12% ที่ค่า $e/D = 0.20, 0.25$ และ 0.33 ตามลำดับ โดยที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า η เฉลี่ยจะสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 1.27 และ 1.42 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า η เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 1.46 และ 1.63 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า η เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 1.43 และ 1.62 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ



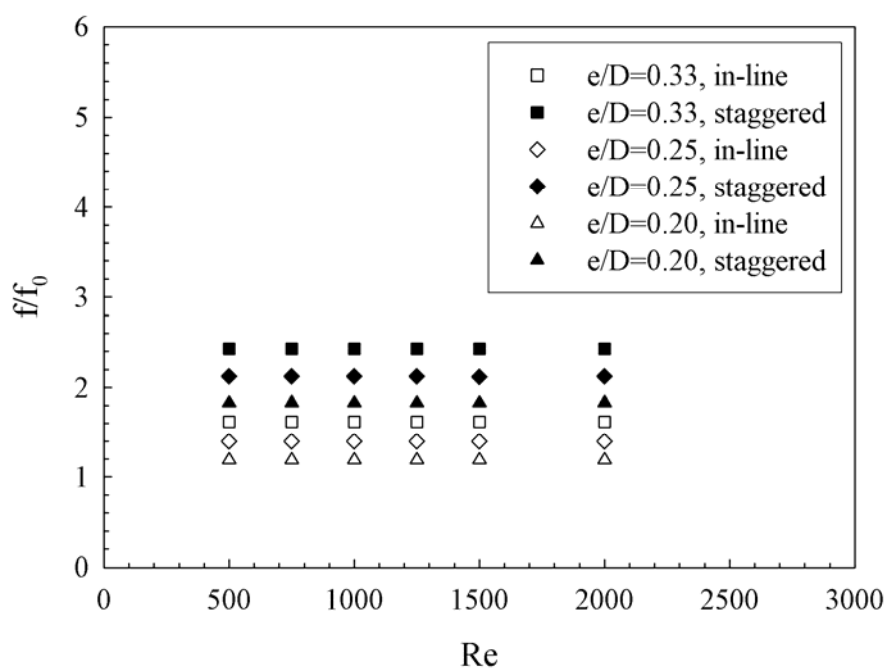
รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re กรณีเจาะร่องจัดวางรูปตัววี



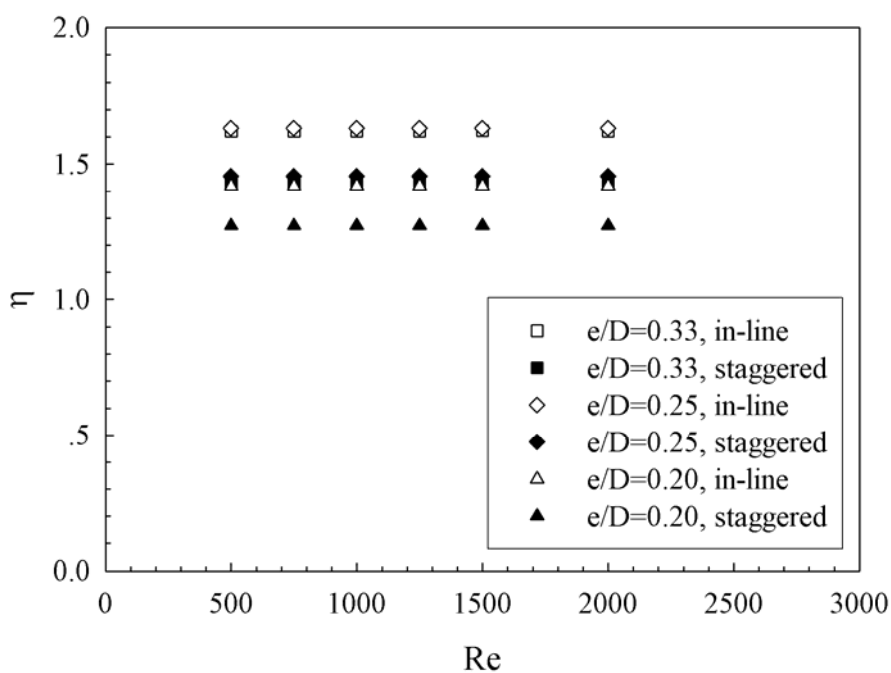
รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีเซาะร่องจัดวางรูปตัววี



รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re กรณีเซาะร่องจัดวางรูปตัววี



รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีเซาร่องจัดวางรูปตัววี



รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีเซาร่องจัดวางรูปตัววี

สรุปได้ว่าในช่วงการไหลแบบราบเรียบ การเซาร่องจัดวางรูปตัววีจะช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนประมาณ 50% ถึง 93% ในขณะเดียวกันก็ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงขึ้นประมาณ 19% ถึง 143% โดยการเซาร่องจัดวางรูปตัววีแบบวางเอียงจะให้

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 2% ถึง 4% และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 50% ถึง 54% และการเจาะร่องจัดวางรูปตัววีจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการไม่เจาะร่องประมาณ 27% ถึง 62%

5.3.2 กรณีการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

จากการทดลองสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างกรณีช่องขนานเรียบกับช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนได้ดังนี้

รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu ของช่องขนานที่ไม่มีการเจาะร่อง กับช่องขนานเจาะร่องรูปสี่เหลี่ยมจัดวางรูปตัววีแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเจาะร่องรูปสี่เหลี่ยมจัดวางรูปตัววีแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะเห็นได้ว่า Re ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า Nu เพิ่มขึ้นด้วย และที่ค่า e/D เพิ่มขึ้น Nu จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน และช่องขนานที่มีการเจาะร่องแนวเอียงจะมีค่า Nu สูงกว่าแบบเจาะร่องแนวตรง

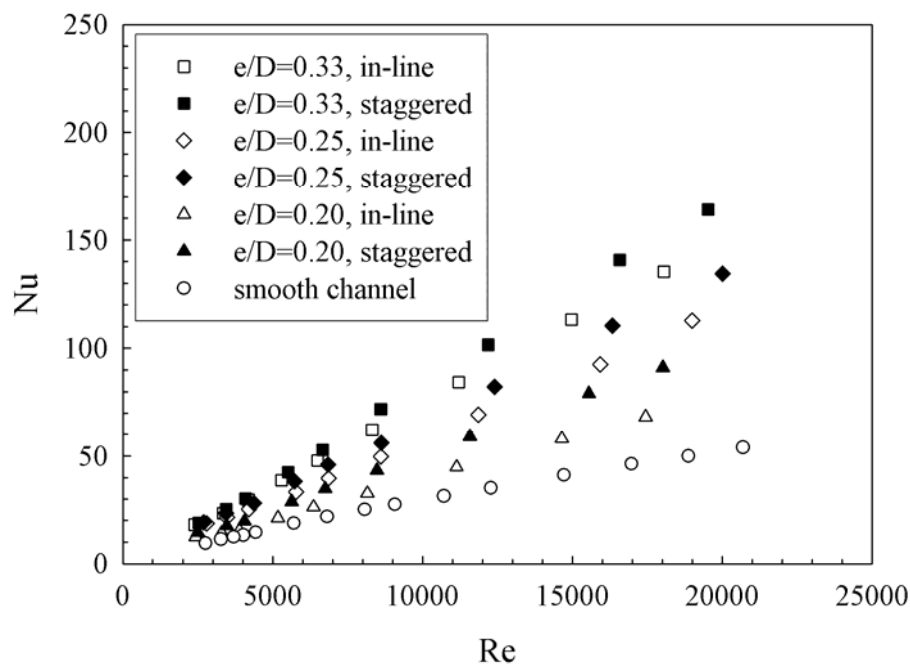
รูปที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 ของช่องขนานที่ไม่มีการเจาะร่อง กับช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเจาะร่องแบบวางเอียงจะสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 27%, 14% และ 10% ที่ค่า $e/D = 0.20, 0.25$ และ 0.33 ตามลำดับ โดยที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า Nu เฉลี่ยจะสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 1.72 และ 1.35 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า Nu เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 2.26 และ 1.99 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า Nu เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 2.76 และ 2.50 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ

รูปที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f ของช่องขนานที่ไม่มีการเจาะร่อง กับช่องขนานเจาะร่องรูปสี่เหลี่ยมจัดวางรูปตัววีแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเจาะร่องรูปสี่เหลี่ยมจัดวางรูปตัววีแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะเห็นได้ว่า Re ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า f ลดลง แต่ที่ค่า e/D เพิ่มขึ้น f จะมีค่าเพิ่มขึ้น และช่องขนานที่มีการเจาะร่องแนวเอียงจะมีค่า f สูงกว่าแบบเจาะร่องแนวตรง

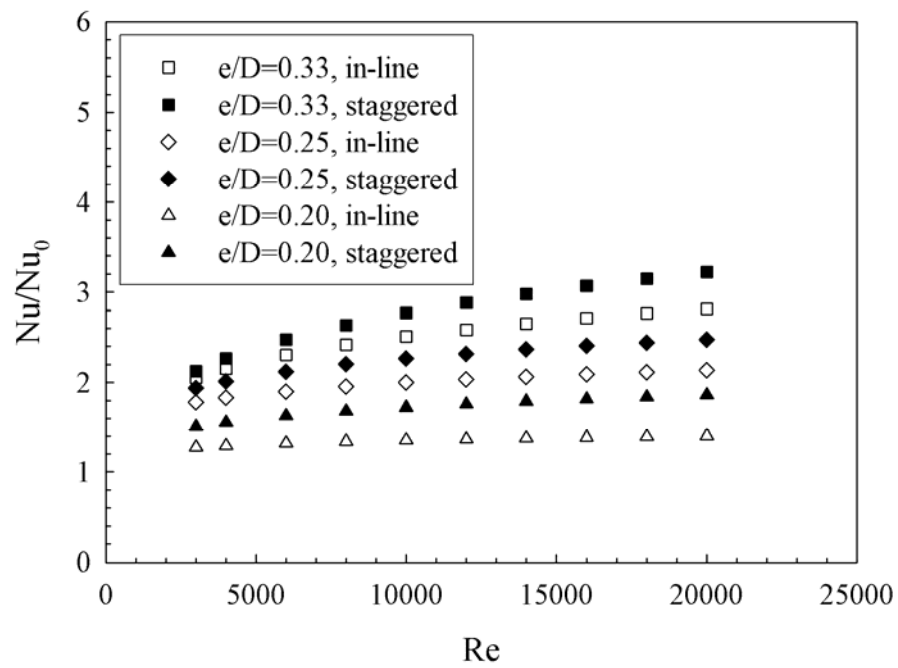
รูปที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 ของช่องขนานที่ไม่มีการเจาะร่อง กับช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเจาะร่องแบบวางเอียงจะสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 17%, 16% และ 16% ที่ค่า $e/D = 0.20, 0.25$ และ 0.33 ตามลำดับ โดยที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า f เฉลี่ยจะสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 1.78 และ 1.52 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า f เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนาน

เรียบประมาณ 1.90 และ 1.64 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า f เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 2.01 และ 1.73 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ

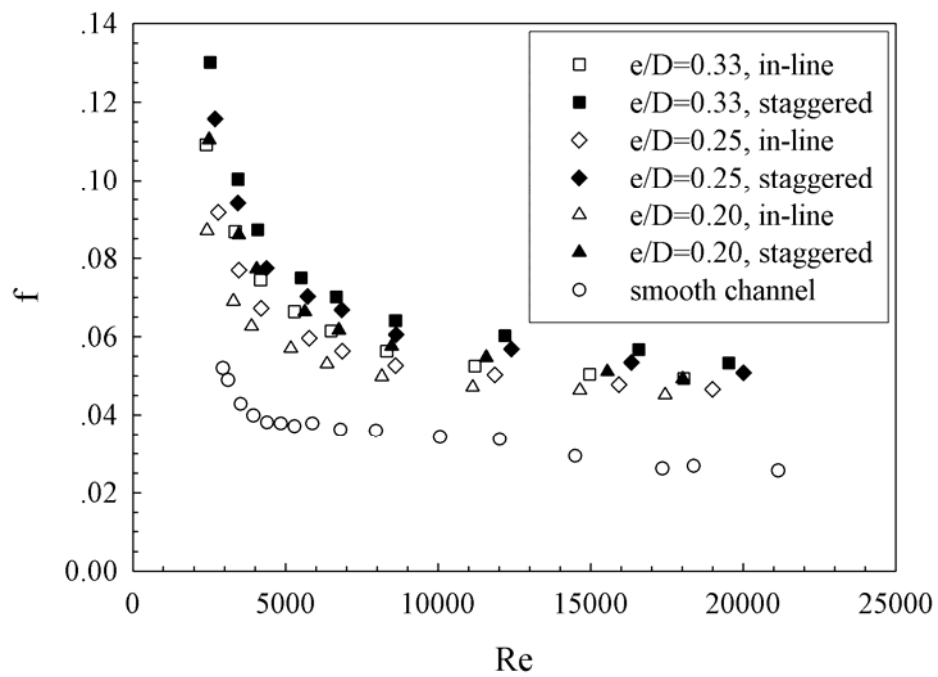
รูปที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η ของช่องขนานที่ไม่มีการเจาะร่อง กับ ช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเจาะร่องแบบวางเอียงจะสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 21%, 8% และ 5% ที่ค่า $e/D = 0.20, 0.25$ และ 0.33 ตามลำดับ โดยที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า η เฉลี่ยจะสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 1.42 และ 1.17 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า η เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 1.82 และ 1.69 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า η เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 2.19 และ 2.08 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ



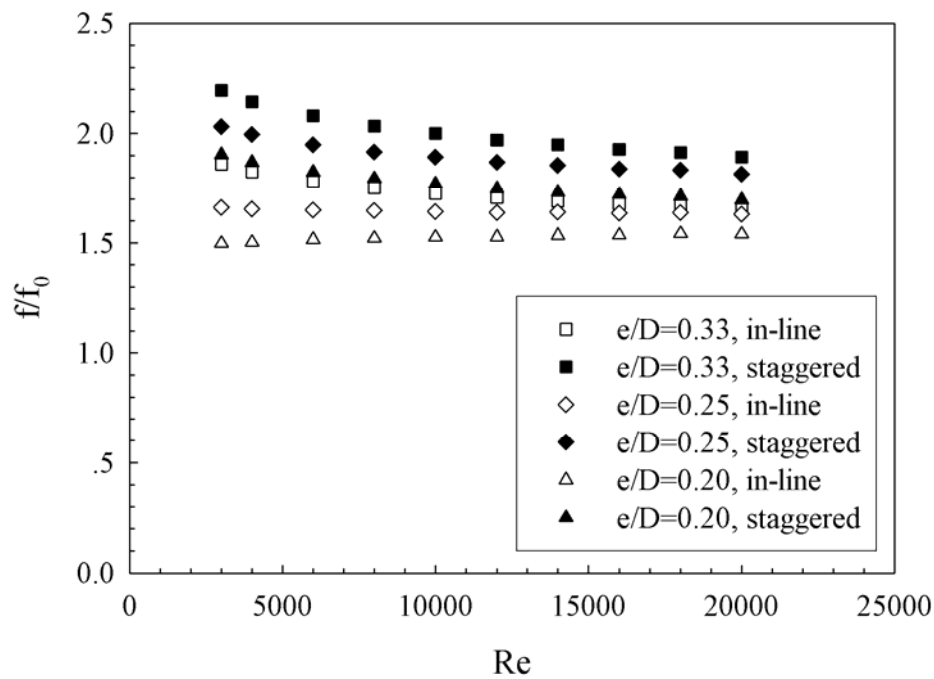
รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re กรณีเจาะร่องจัดวางรูปตัววี



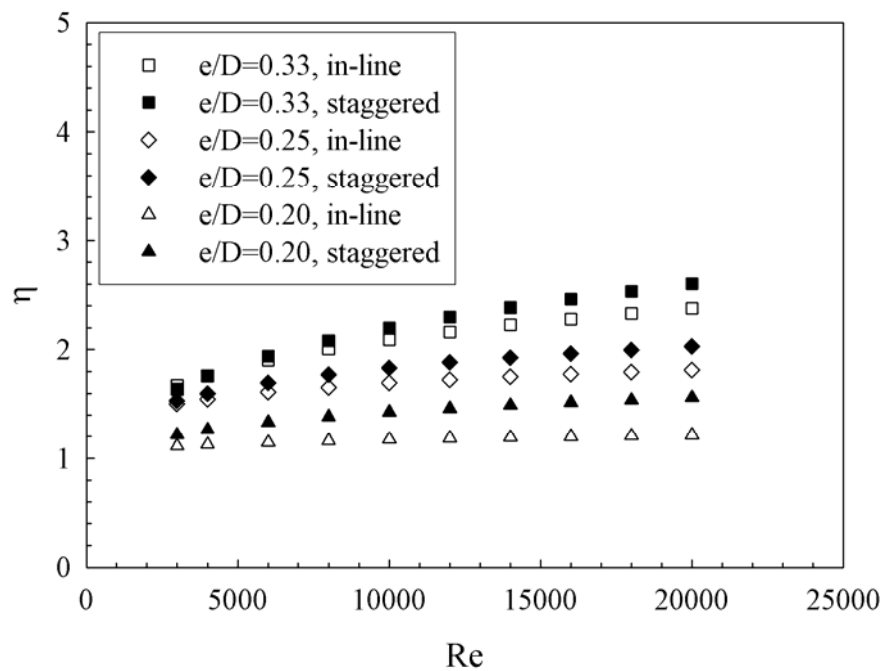
รูปที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีเซาะร่องจัดวางรูปตัววี



รูปที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re กรณีเซาะร่องจัดวางรูปตัววี



รูปที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีเซาร่องจัดวางรูปตัววี



รูปที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีเซาร่องจัดวางรูปตัววี

สรุปได้ว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน การเซาร่องจัดวางรูปตัววีจะช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนประมาณ 35% ถึง 176% ในขณะเดียวกันก็ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงขึ้นประมาณ 52% ถึง 101% โดยการเซาร่องจัดวางรูปตัววีแบบวางเอียงจะให้

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 10% ถึง 27% และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 16% ถึง 17% และการเจาะร่องจัดวางรูปตัววีจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการไม่เจาะร่องประมาณ 17% ถึง 119%

5.3.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re และ e/D

- ช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวตรงกัน

จากข้อมูลการทดลองสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (Re อยู่ในช่วง 5,000 ถึง 20,000) สำหรับช่องขนานที่มีการเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวตรงกัน เมื่อนำข้อมูลที่ e/D ต่าง ๆ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Nu = A_0 Re^{1.0183}$$

โดยค่า A_0 คือค่าคงที่ จากนั้นมาพิจารณาค่า e/D ที่มีผลต่อค่า Nu โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Nu/Re^{1.0183}$ กับ e/D จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{Nu}{Re^{1.0183}} = 0.025 \times \left(\frac{e}{D} \right)^{1.2175}$$

ดังนั้น

$$Nu = 0.025 Re^{1.0183} \left(\frac{e}{D} \right)^{1.2175}$$

- ช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวเอียงกัน

จากข้อมูลการทดลองสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (Re อยู่ในช่วง 5,000 ถึง 20,000) สำหรับช่องขนานที่มีการเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวเอียงกัน เมื่อนำข้อมูลที่ e/D ต่าง ๆ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Nu = A_0 Re^{1.0365}$$

โดยค่า A_0 คือค่าคงที่ จากนั้นมาพิจารณาค่า e/D ที่มีผลต่อค่า Nu โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Nu/Re^{1.0365}$ กับ e/D จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{Nu}{Re^{1.0365}} = 0.0168 \times \left(\frac{e}{D} \right)^{0.9371}$$

ดังนั้น

$$Nu = 0.0168 Re^{1.0365} \left(\frac{e}{D} \right)^{0.9371}$$

5.3.4 การหาความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re และ e/D

- ช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวตรงกัน

จากข้อมูลการทดลองสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (Re อยู่ในช่วง 5,000 ถึง 20,000) สำหรับช่องขนานที่มีการเจาะร่องแบบแนวตรงกัน เมื่อนำข้อมูลที่ e/D ต่าง ๆ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$f = A_0 Re^{-0.2048}$$

โดยค่า A_0 คือค่าคงที่ จากนั้นมาพิจารณาค่า e/D ที่มีผลต่อค่า f โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $f/Re^{-0.2048}$ กับ e/D จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{f}{Re^{-0.2048}} = 0.4786 \times \left(\frac{e}{D}\right)^{0.2399}$$

ดังนั้น

$$f = 0.4786 Re^{-0.2048} \left(\frac{e}{D}\right)^{0.2399}$$

- ช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววีแบบแนวเอียงกัน

จากข้อมูลการทดลองสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (Re อยู่ในช่วง 5,000 ถึง 20,000) สำหรับช่องขนานที่มีการเจาะร่องแบบแนวเอียงกัน เมื่อนำข้อมูลที่ e/D ต่าง ๆ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

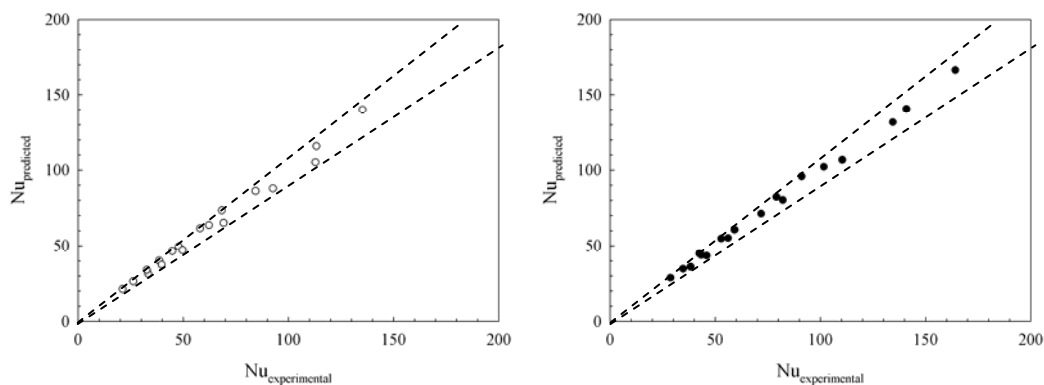
$$f = A_0 Re^{-0.2469}$$

โดยค่า A_0 คือค่าคงที่ จากนั้นมาพิจารณาค่า e/D ที่มีผลต่อค่า f โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $f/Re^{-0.2469}$ กับ e/D จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

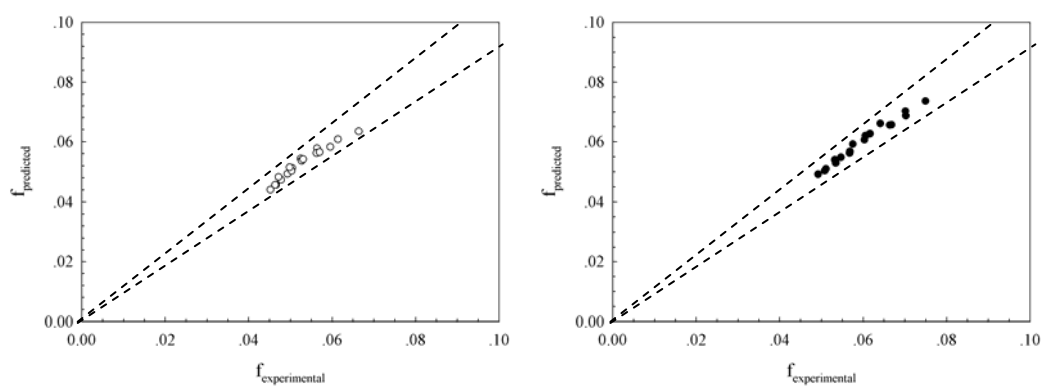
$$\frac{f}{Re^{-0.2469}} = 0.7939 \times \left(\frac{e}{D}\right)^{0.2257}$$

ดังนั้น

$$f = 0.7939 Re^{-0.2469} \left(\frac{e}{D}\right)^{0.2257}$$



รูปที่ 5.25 แสดงความคลาดเคลื่อนจากสมการ Nu กรณีเซาร่องจัดวางตัววีแนวตรงและแนวเอียง



รูปที่ 5.26 แสดงความคลาดเคลื่อนจากสมการ f กรณีเซาร่องจัดวางตัววีแนวตรงและแนวเอียง

จากรูปที่ 5.25 และ 5.26 พบว่าความคลาดเคลื่อนของ Nu และ f ที่ได้จากการคำนวณมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 10\%$ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.4 กรณีช่องขนานเซาร่องที่มีการเพิ่มครีบ

5.4.1 กรณีการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)

จากการทดลองสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างกรณีช่องขนานเรียบกับช่องขนานเซาร่องที่มีการเพิ่มครีบได้ดังนี้

รูปที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu ของช่องขนานที่ไม่มีเซาร่อง กับช่องขนานเซาร่องที่มีการเพิ่มครีบแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเซาร่องที่มีการเพิ่มครีบแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะเห็นว่า Re ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า Nu เพิ่มขึ้น และที่ค่า e/D เพิ่มขึ้น ค่า Nu จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน และช่องขนานที่มีการเซาร่องแนวเอียงจะมีค่า Nu ต่ำกว่าแบบเซาร่องแนวตรง

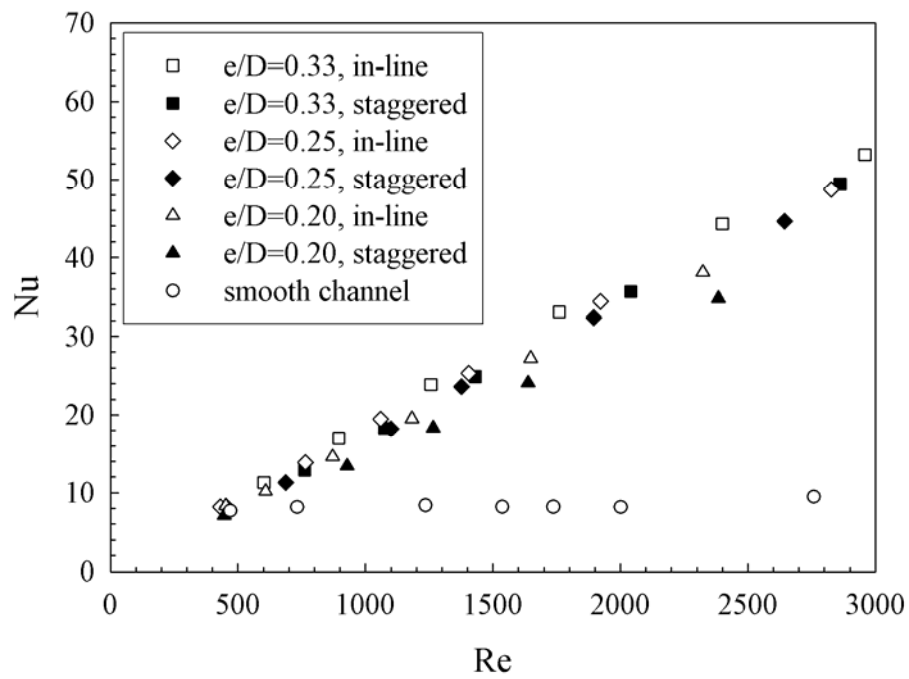
รูปที่ 5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 ของช่องขนานที่ไม่มีเซาร่อง กับช่องขนานเซาร่องที่มีการเพิ่มครีบแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเซาร่องที่มีการเพิ่มครีบ

แบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเซาะร่องแบบวางเอียงจะให้ผลต่ำกว่าแบบวางตรงประมาณ 3%, 6% และ 5% ที่ค่า $e/D = 0.20, 0.25$ และ 0.33 ตามลำดับ โดยที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า Nu เฉลี่ยจะสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 2.65 และ 2.74 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า Nu เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 2.93 และ 3.12 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า Nu เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 3.23 และ 3.39 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ

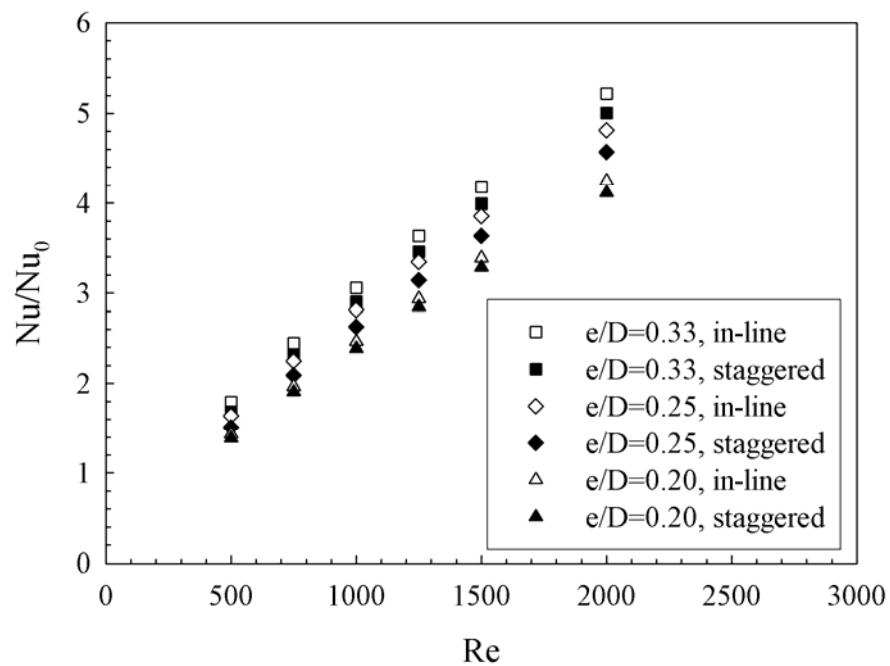
รูปที่ 5.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f ของช่องขนานที่ไม่มีการเซาะร่อง กับ ช่องขนานเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมที่มีการเพิ่มครีบริบรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมที่มีการเพิ่มครีบริบรูปสี่เหลี่ยมแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะเห็นได้ว่า Re ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า f ลดลง แต่ที่ค่า e/D เพิ่มขึ้น f จะมีค่าเพิ่มขึ้น และช่องขนานที่มีการเซาะร่องแนวเอียงจะมีค่า f ต่ำกว่าแบบเซาะร่องแนวตรง

รูปที่ 5.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 ของช่องขนานที่ไม่มีการเซาะร่อง กับ ช่องขนานเซาะร่องที่มีการเพิ่มครีบริบแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเซาะร่องที่มีการเพิ่มครีบริบแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเซาะร่องแบบวางเอียงจะต่ำกว่าแบบวางตรงประมาณ 19%, 17% และ 21% ที่ค่า $e/D = 0.20, 0.25$ และ 0.33 ตามลำดับ โดยที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า f เฉลี่ยจะสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 9.63 และ 11.94 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า f เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 10.27 และ 12.32 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า f เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 10.98 และ 13.94 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ

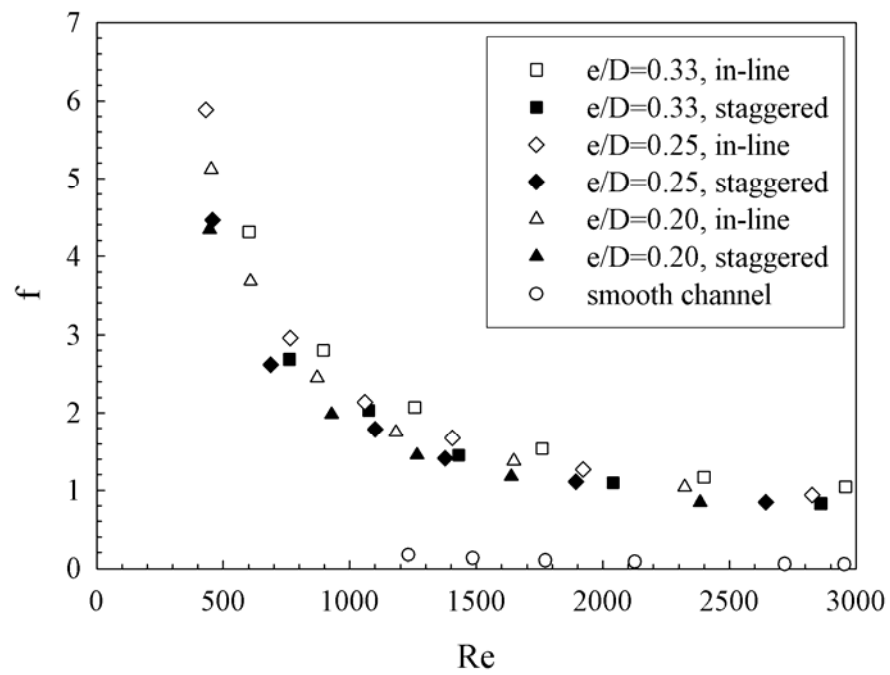
รูปที่ 5.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η ของช่องขนานที่ไม่มีการเซาะร่อง กับ ช่องขนานเซาะร่องที่มีการเพิ่มครีบริบแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเซาะร่องที่มีการเพิ่มครีบริบแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเซาะร่องแบบวางเอียงจะสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 4%, 0% และ 3% ที่ค่า $e/D = 0.20, 0.25$ และ 0.33 ตามลำดับ โดยที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า η เฉลี่ยจะสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 1.23 และ 1.18 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า η เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 1.33 และ 1.33 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า η เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 1.43 และ 1.39 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ



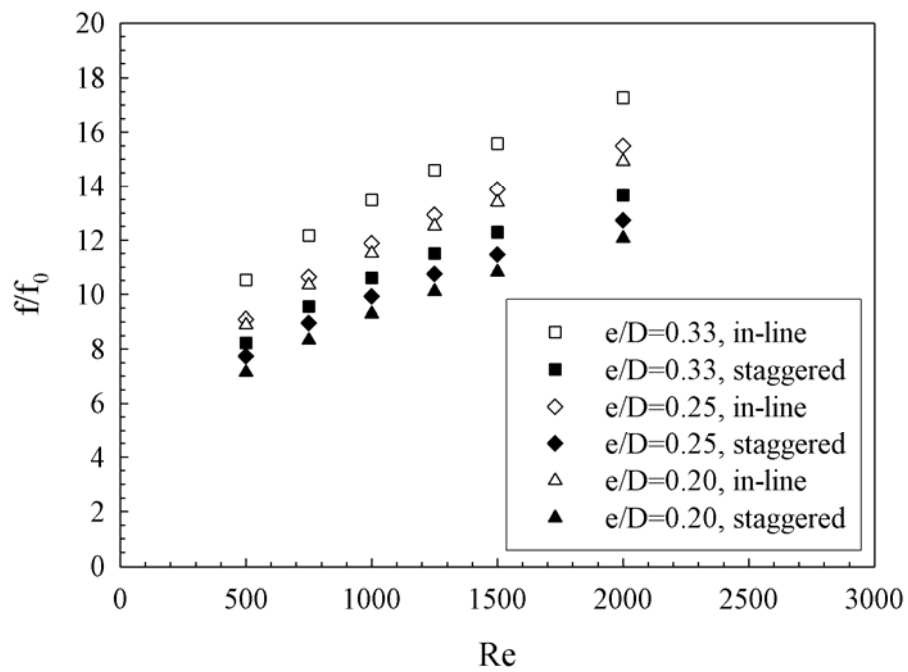
รูปที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re กรณีเจาะร่องและเพิ่มครีป



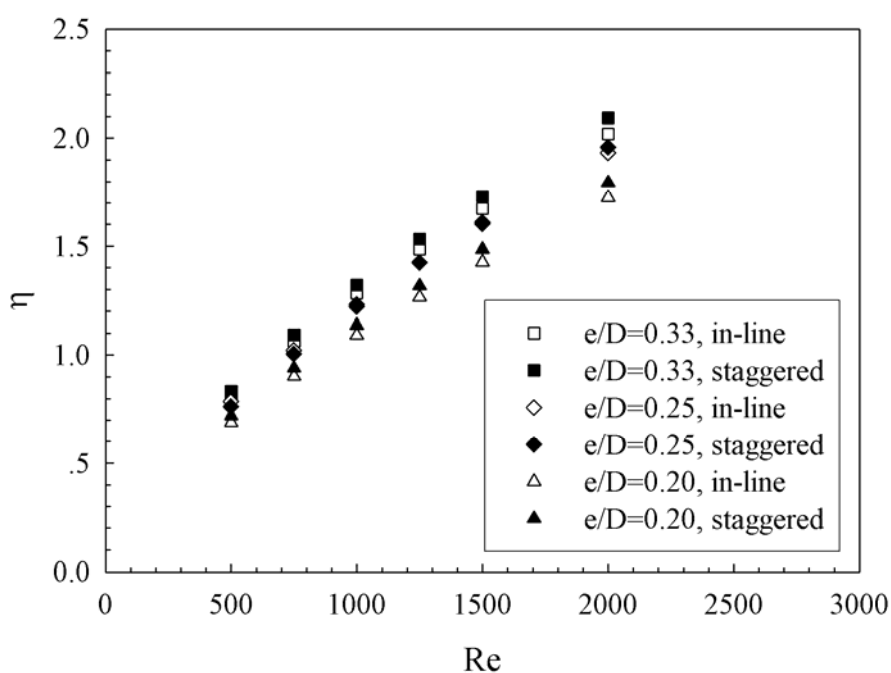
รูปที่ 5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีเจาะร่องและเพิ่มครีป



รูปที่ 5.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re กรณีเซาะร่องและเพิ่มครีบ



รูปที่ 5.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีเซาะร่องและเพิ่มครีบ



รูปที่ 5.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีเจาะช่องและเพิ่มครีป

สรุปได้ว่าในช่วงการไหลแบบราบเรียบ การเจาะช่องที่มีการเพิ่มครีปจะช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนประมาณ 165% ถึง 239% ในขณะเดียวกันก็ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงขึ้นประมาณ 863% ถึง 1,294% โดยการเจาะช่องที่มีการเพิ่มครีปแบบวางเอียงจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำกว่าแบบวางตรงประมาณ 3% ถึง 6% และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าแบบวางตรงประมาณ 17% ถึง 21% และการเจาะช่องที่มีการเพิ่มครีปจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการไม่เจาะช่องประมาณ 18% ถึง 43%

5.4.2 กรณีการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

จากการทดลองสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างกรณีช่องขนานเรียบกับช่องขนานเจาะรูสี่เหลี่ยมที่มีการเพิ่มครีปรูปสี่เหลี่ยมได้ดังนี้

รูปที่ 5.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Re กับ Nu ของช่องขนานที่ไม่มีการเจาะช่องกับช่องขนานเจาะรูที่มีการเพิ่มครีปแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเจาะรูที่มีการเพิ่มครีปแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะเห็นได้ว่าค่า Re ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า Nu เพิ่มขึ้นด้วย และที่ค่า e/D เพิ่มขึ้น Nu จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน และช่องขนานที่มีการเจาะรูแนวเอียงจะมีค่า Nusselt ต่ำกว่าแบบเจาะรูแนวตรง

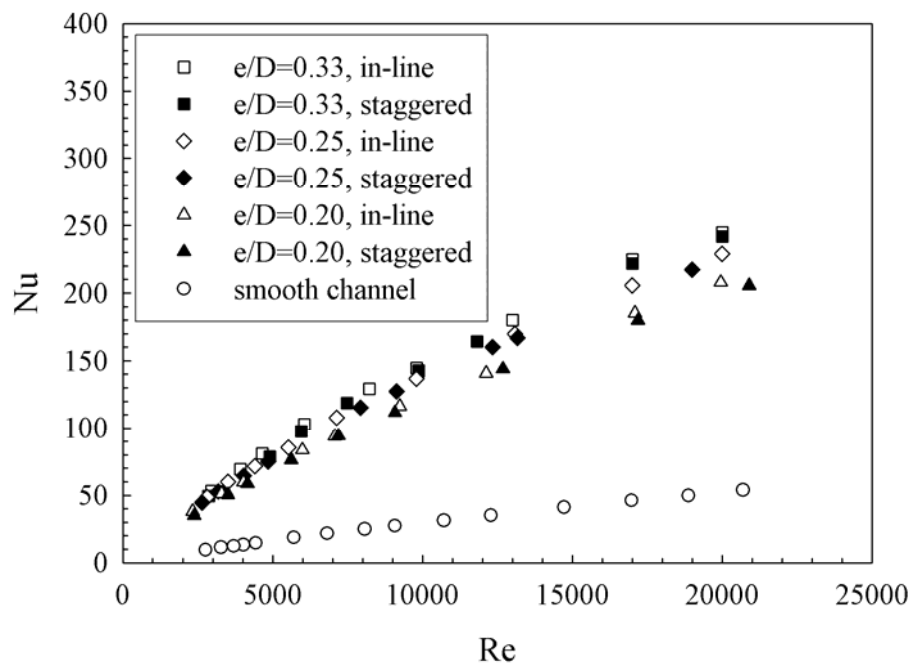
รูปที่ 5.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 ของช่องขนานที่ไม่มีการเจาะช่องกับช่องขนานเจาะรูที่มีการเพิ่มครีปแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเจาะรูที่มีการเพิ่มครีปแบบแนวเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเจาะ

ร่องแบบวางเอียงจะให้ผลต่ำกว่าแบบวางตรงประมาณ 3%, 2% และ 2% ที่ค่า $e/D=0.20, 0.25$ และ 0.33 ตามลำดับ โดยที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า Nu เฉลี่ยจะสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 4.03 และ 4.16 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า Nu เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 4.57 และ 4.66 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า Nu เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 4.91 และ 5.02 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ

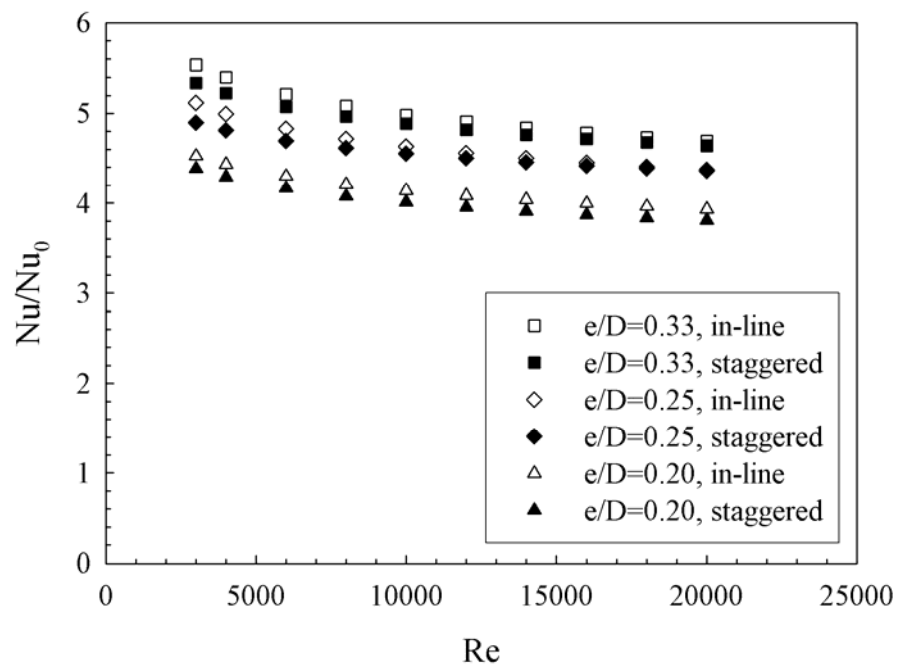
รูปที่ 5.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f ของช่องขนานที่ไม่มีการเจาะร่อง กับ ช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีบบางแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีบบางแบบเอียงกัน ที่ค่า e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะเห็นได้ว่าค่า Re ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า f ลดลง แต่ที่ e/D เพิ่มขึ้น f จะมีค่าเพิ่มขึ้น และช่องขนานที่มีการเจาะร่องแนวเอียงจะมีค่า f ต่ำกว่าแบบเจาะร่องแนวตรง

รูปที่ 5.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 ของช่องขนานที่ไม่มีการเจาะร่อง กับ ช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีบบางแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีบบางแบบเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเจาะร่องแบบวางเอียงจะต่ำกว่าแบบวางตรงประมาณ 19%, 21% และ 20% ที่ค่า $e/D = 0.20, 0.25$ และ 0.33 ตามลำดับ โดยที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า f เฉลี่ยจะสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 13.42 และ 16.52 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า f เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 13.76 และ 17.40 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า f เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 14.91 และ 18.68 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ

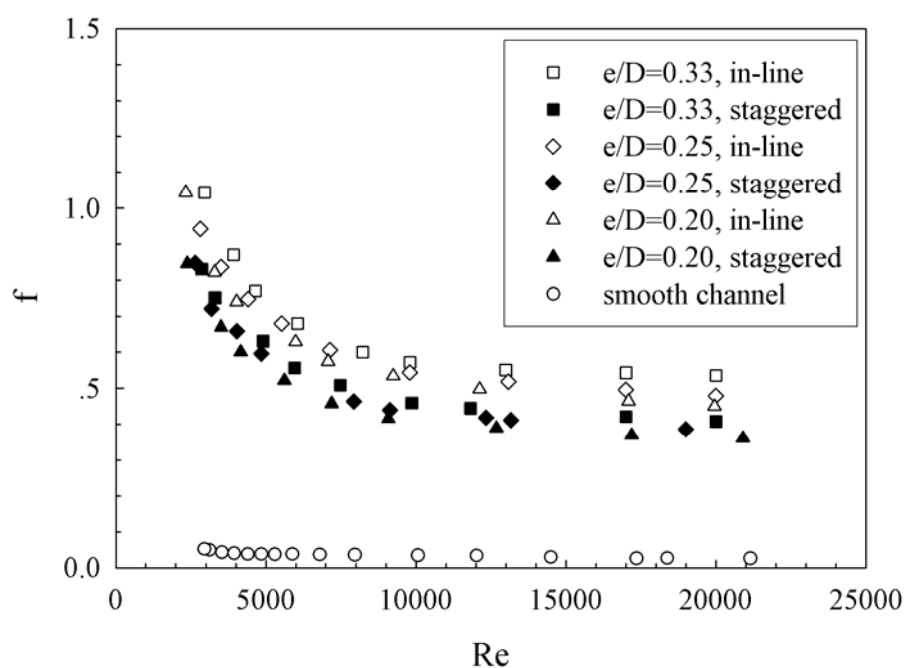
รูปที่ 5.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η ของช่องขนานที่ไม่มีการเจาะร่อง กับ ช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีบบางแบบแนวตรงกัน และ ช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีบบางแบบเอียงกัน ที่ e/D เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าการเจาะร่องแบบวางเอียงจะสูงกว่าแบบวางตรงประมาณ 4%, 6% และ 6% ที่ค่า $e/D = 0.20, 0.25$ และ 0.33 ตามลำดับ โดยที่ค่า $e/D = 0.20$ ค่า η เฉลี่ยจะสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 1.70 และ 1.64 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ ที่ค่า $e/D = 0.25$ จะให้ค่า η เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 1.92 และ 1.81 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ และที่ค่า $e/D = 0.33$ จะให้ค่า η เฉลี่ยสูงกว่าช่องขนานเรียบประมาณ 2.01 และ 1.90 เท่าสำหรับการวางเอียงและวางตรงตามลำดับ



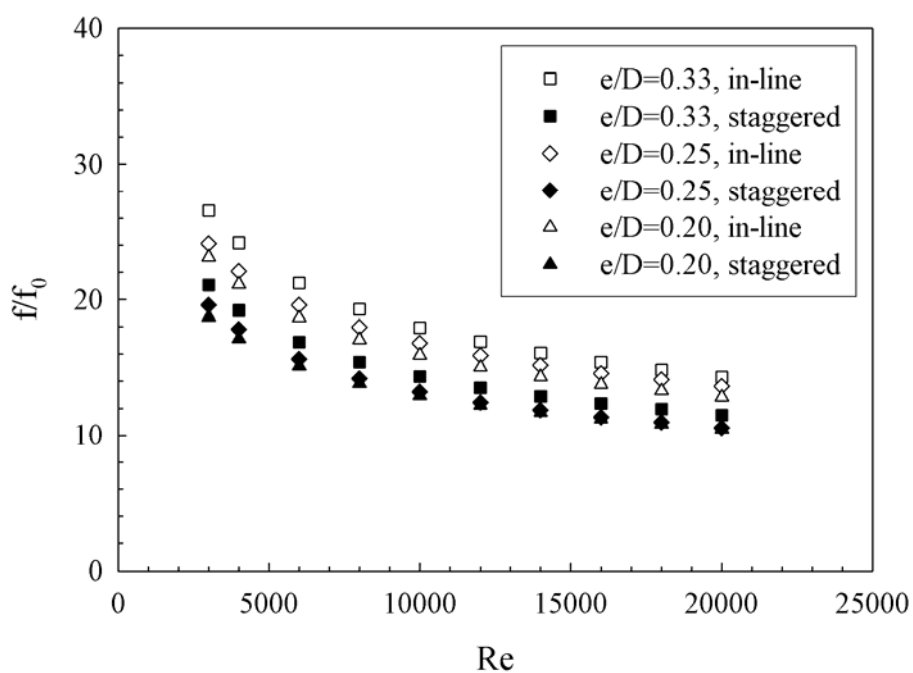
รูปที่ 5.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re กรณีเจาะร่องและเพิ่มครีป



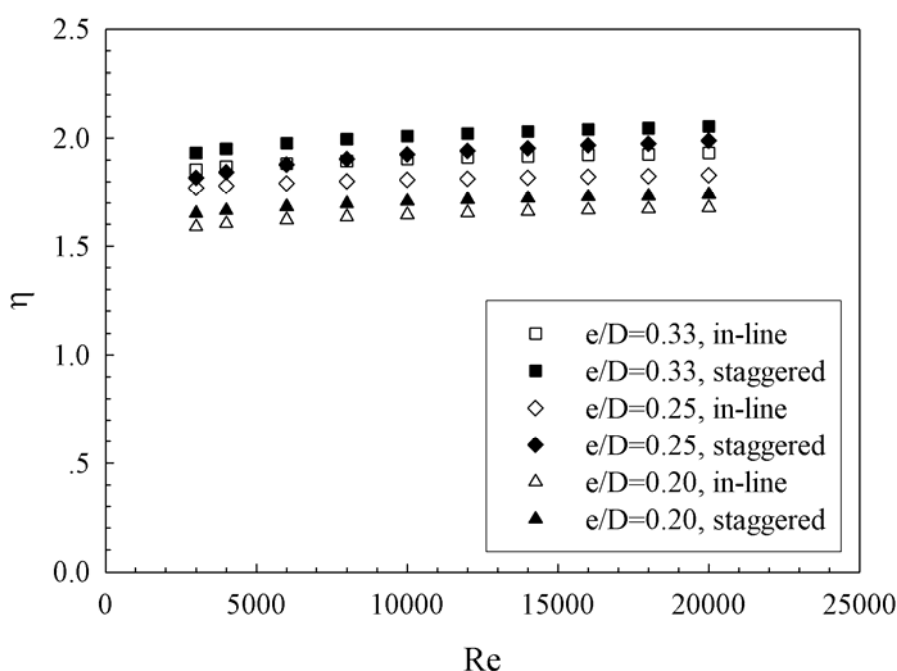
รูปที่ 5.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีเจาะร่องและเพิ่มครีป



รูปที่ 5.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re กรณีเซาะร่องและเพิ่มครีบ



รูปที่ 5.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีเซาะร่องและเพิ่มครีบ



รูปที่ 5.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีเจาะร่องและเพิ่มครีบ

สรุปได้ว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน การเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีบจะช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนประมาณ 303% ถึง 402% ในขณะเดียวกันก็ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงขึ้นประมาณ 1,242% ถึง 1,768% การเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีบแบบวางเอียงจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำกว่าแบบวางตรงประมาณ 2% ถึง 3% และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าแบบวางตรงประมาณ 19% ถึง 21% การเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีบจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการไม่เจาะร่องประมาณ 64% ถึง 101%

5.4.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re และ e/D

- ช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีบแบบแนวตรงกัน

จากข้อมูลการทดลองสำหรับการไหลที่มีค่า Re อยู่ในช่วง 2,500 ถึง 20,000 สำหรับช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีบแบบแนวตรงกัน เมื่อนำข้อมูลที่ e/D ต่าง ๆ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Nu = A_0 Re^{0.7951}$$

โดยค่า A_0 คือค่าคงที่ จากนั้นมาพิจารณาค่า e/D ที่มีผลต่อค่า Nu โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Nu/Re^{0.7951}$ กับ e/D จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{Nu}{Re^{0.7951}} = 0.1444 \times \left(\frac{e}{D} \right)^{0.3527}$$

ดังนั้น

$$Nu = 0.1444 Re^{0.7951} \left(\frac{e}{D} \right)^{0.3527}$$

- ช่องขนานเซาะร่องที่มีการเพิ่มครีบบนแนวเฉียงกัน

จากข้อมูลการทดลองสำหรับการไหลที่มีค่า Re อยู่ในช่วง 2,500 ถึง 20,000 สำหรับช่องขนานเซาะร่องที่มีการเพิ่มครีบบนแนวเฉียงกัน เมื่อนำข้อมูลที่ e/D ต่าง ๆ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Nu = A_0 Re^{0.8192}$$

โดยค่า A_0 คือค่าคงที่ จากนั้นมาพิจารณาค่า e/D ที่มีผลต่อค่า Nu โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Nu/Re^{0.8192}$ กับ e/D จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{Nu}{Re^{0.8192}} = 0.1132 \times \left(\frac{e}{D} \right)^{0.3571}$$

ดังนั้น

$$Nu = 0.1132 Re^{0.8192} \left(\frac{e}{D} \right)^{0.3571}$$

5.4.4 การหาความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re และ e/D

- ช่องขนานเซาะร่องที่มีการเพิ่มครีบบนแนวตรงกัน

จากข้อมูลการทดลองสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (Re อยู่ในช่วง 2,500 ถึง 20,000) สำหรับช่องขนานที่มีการเซาะร่องแบบแนวตรงกัน เมื่อนำข้อมูลที่ e/D ต่าง ๆ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$f = A_0 Re^{-0.3477}$$

โดยค่า A_0 คือค่าคงที่ จากนั้นมาพิจารณาค่า e/D ที่มีผลต่อค่า f โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $f/Re^{-0.3477}$ กับ e/D จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{f}{Re^{-0.3477}} = 19.352 \times \left(\frac{e}{D} \right)^{0.2257}$$

ดังนั้น

$$f = 19.352 Re^{-0.3477} \left(\frac{e}{D} \right)^{0.2257}$$

- ช่องขนานเจาะช่องที่มีการเพิ่มครีบบางแบบแนวเฉียงกัน

จากข้อมูลการทดลองสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (Re อยู่ในช่วง 2,500 ถึง 20,000) สำหรับช่องขนานที่มีการเจาะช่องแบบแนวเฉียงกัน เมื่อนำข้อมูลที่ e/D ต่าง ๆ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

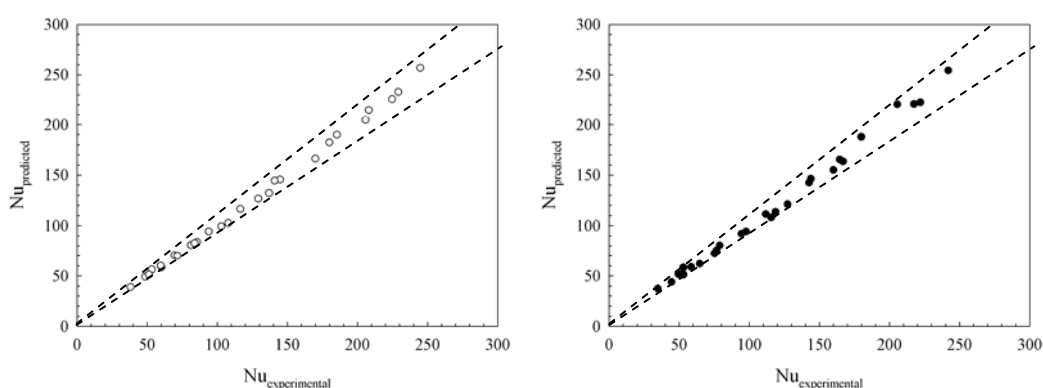
$$f = A_0 Re^{-0.3847}$$

โดยค่า A_0 คือค่าคงที่ จากนั้นมาพิจารณาค่า e/D ที่มีผลต่อค่า f โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $f/Re^{-0.3847}$ กับ e/D จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

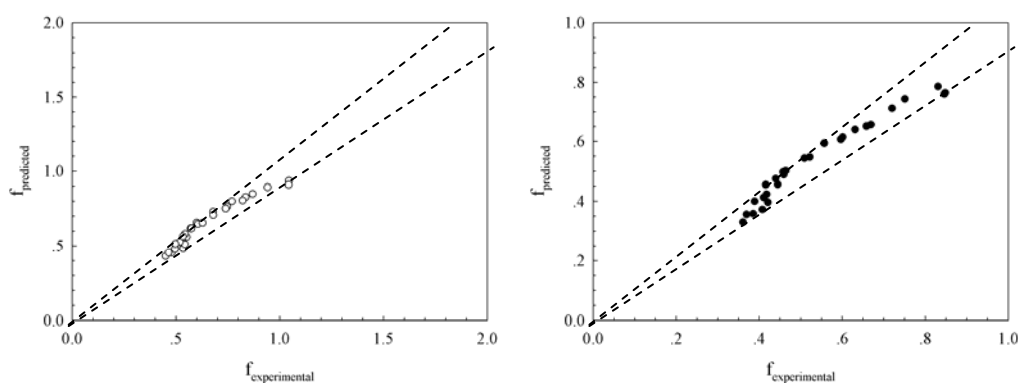
$$\frac{f}{Re^{-0.3847}} = 21.119 \times \left(\frac{e}{D}\right)^{0.2065}$$

ดังนั้น

$$f = 21.119 Re^{-0.3847} \left(\frac{e}{D}\right)^{0.2065}$$



รูปที่ 5.37 แสดงความคลาดเคลื่อนจากสมการ Nu กรณีเจาะช่องเพิ่มครีบบางแนวตรงและแนวเฉียง



รูปที่ 5.38 แสดงความคลาดเคลื่อนจากสมการ f กรณีเจาะช่องเพิ่มครีบบางแนวตรงและแนวเฉียง

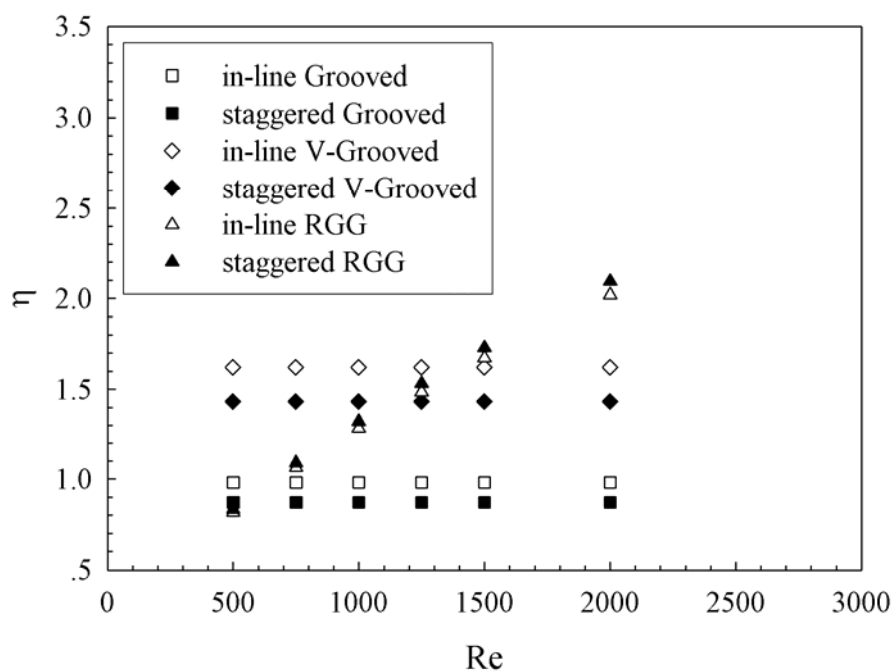
จากรูปที่ 5.37 และ 5.38 พบว่าความคลาดเคลื่อนของ Nu และ f ที่ได้จากการคำนวณมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 10\%$ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.5 ช่องขนานเจาะร่องที่ค่า $e/D = 0.33$

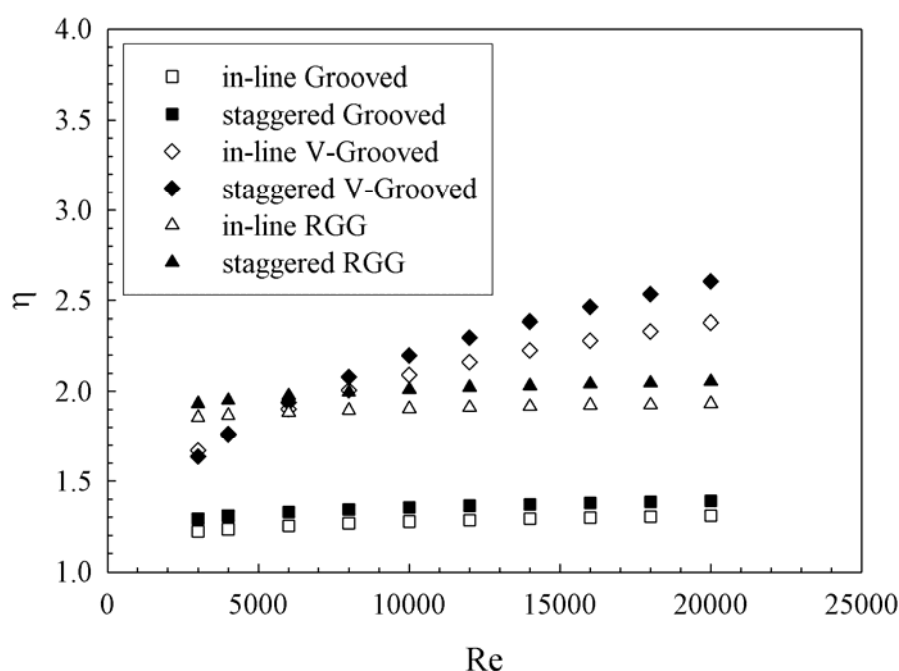
หากนำผลการทดลองกรณีช่องขนานเจาะร่อง, ช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววี และ ช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีป ที่ $e/D = 0.33$ มาเปรียบเทียบกับกันสามารถแสดงผลได้ดังนี้

รูปที่ 5.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η ในช่วงการไหลแบบราบเรียบของช่องขนานที่มีการเจาะร่อง กับช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววี และ ช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีป ทั้งแบบแนวร่องตรงและแนวร่องเอียง ที่ e/D เท่ากับ 0.33 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะเห็นว่ากรณีเจาะร่องจัดวางรูปตัววีจะให้ค่า η สูงสุด โดยสูงกว่าแบบเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีป 0 ถึง 17 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าแบบเจาะร่อง 65 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 5.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนของช่องขนานที่มีการเจาะร่อง กับช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววี และ ช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีป ทั้งแบบแนวร่องตรงและแนวร่องเอียง ที่ e/D เท่ากับ 0.33 ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่ากรณีเจาะร่องสี่เหลี่ยมจัดวางรูปตัววีจะให้ค่า η สูงสุด โดยสูงกว่าแบบเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีป 9 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าแบบเจาะร่อง 62 ถึง 64 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re ช่วงการไหลราบเรียบที่ $e/D=0.33$



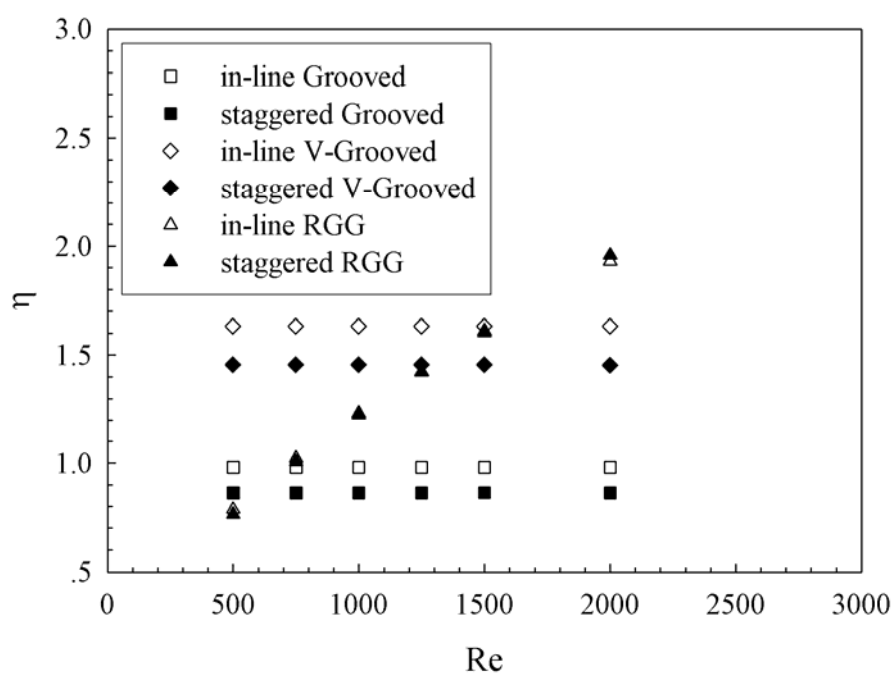
รูปที่ 5.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re ช่วงการไหลปั่นป่วนที่ $e/D=0.33$

5.6 ช่องขนานเจาะร่องที่ค่า $e/D = 0.25$

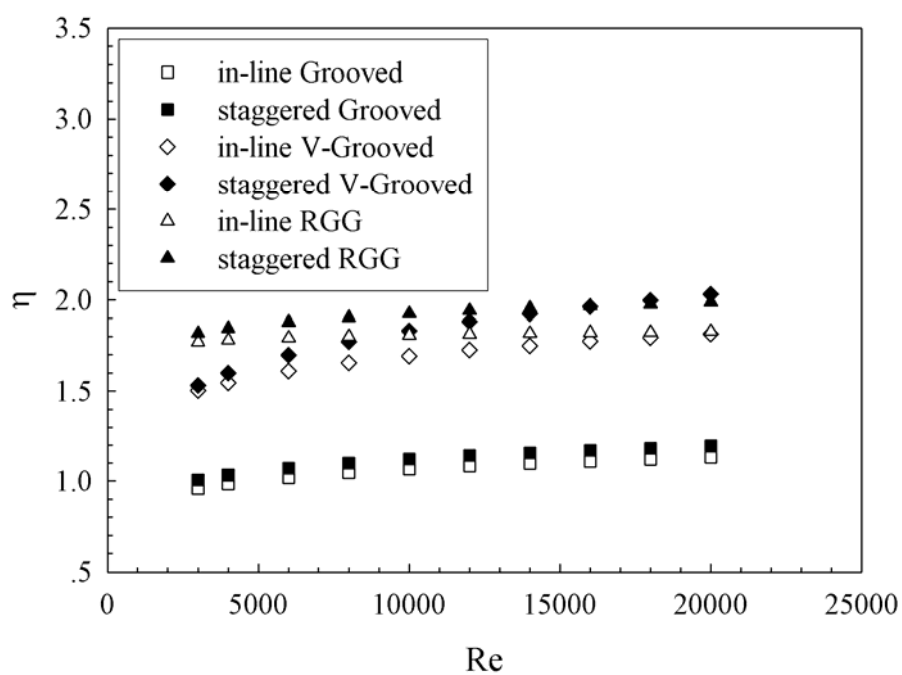
หากนำผลการทดลองกรณีช่องขนานเจาะร่อง, ช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววี และ ช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีป มาเปรียบเทียบกับกันสามารถแสดงผลได้ดังนี้

รูปที่ 5.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f ในช่วงการไหลแบบราบเรียบของช่องขนานที่มีการเจาะร่อง กับช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววี และ ช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีป ทั้งแบบแนวร่องตรงและแนวร่องเอียง ที่ e/D เท่ากับ 0.25 ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่ากรณีเจาะร่องจัดวางรูปตัววีจะให้ค่า f สูงสุด โดยจะสูงกว่าแบบเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีป 10 ถึง 23 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าแบบเจาะร่อง 66 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 5.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนของช่องขนานที่มีการเจาะร่อง กับช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววี และ ช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีป ทั้งแบบแนวร่องตรงและแนวร่องเอียง ที่ e/D เท่ากับ 0.25 ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่ากรณีเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีปที่เหล็ยจะให้ค่า f สูงสุด โดยจะสูงกว่าแบบเจาะร่องจัดวางรูปตัววี 5 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าแบบเจาะร่อง 59 ถึง 63 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re ช่วงการไหลราบเรียบที่ $e/D=0.25$



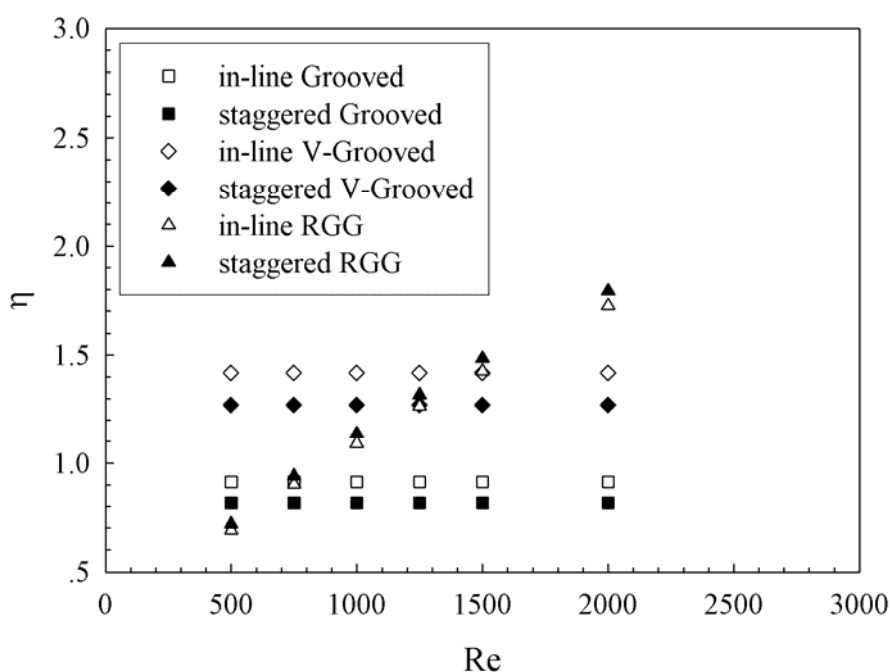
รูปที่ 5.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re ช่วงการไหลปั่นป่วนที่ $e/D=0.25$

5.7 ช่องขนานเจาะร่องที่ค่า $e/D = 0.20$

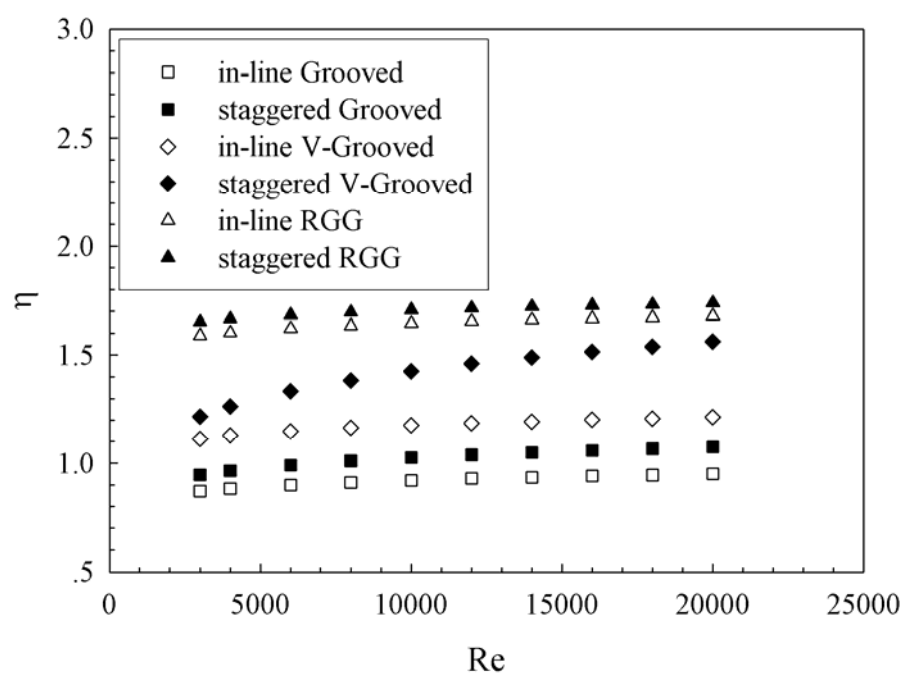
หากนำผลการทดลองกรณีช่องขนานเจาะร่อง, ช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววี และ ช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีป มาเปรียบเทียบกับสามารถแสดงผลได้ดังนี้

รูปที่ 5.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η ในช่วงการไหลแบบราบเรียบของช่องขนานที่มีการเจาะร่อง กับช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววี และ ช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีป ทั้งแบบแนวร่องตรงและแนวร่องเอียง ที่ e/D เท่ากับ 0.20 ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่ากรณีเจาะร่องจัดวางรูปตัววีจะให้ค่า η สูงสุด โดยจะสูงกว่าแบบเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีป 3 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าแบบเจาะร่อง 55 ถึง 56 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 5.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนของช่องขนานที่มีการเจาะร่อง กับช่องขนานเจาะร่องจัดวางรูปตัววี และ ช่องขนานเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีป ทั้งแบบแนวร่องตรงและแนวร่องเอียง ที่ e/D เท่ากับ 0.20 ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่ากรณีเจาะร่องที่มีการเพิ่มครีปจะให้ค่า η สูงสุด โดยจะสูงกว่าแบบเจาะร่องจัดวางรูปตัววี 20 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าแบบเจาะร่อง 27 ถึง 39 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re ช่วงการไหลราบเรียบที่ $e/D=0.20$



รูปที่ 5.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re ช่วงการไหลปั่นป่วนที่ $e/D=0.20$