

บทที่ 4

4.1 ผลการทดลองและการอภิปราย

การศึกษาผลจากการทดลองการพาความร้อนโดยบังคับแบบลามินาร์ ในท่อขนานที่มีขนาดลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน (ทอคอคคอค) ที่มีอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านกว้างของทอขนาน 14 : 1 ทอคอคคอคมีอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด (σ) เปลี่ยนไป 4 แบบคือ $\sigma = 1/4$, $1/2$, $2/3$ และ 1 อัตราส่วนความยาวของทอคอคคอคต่อเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิก (L/D_h) เท่ากับ 10 เรียกทอคอคคอคแบบสั้นเท่ากับ 100 เรียกทอคอคคอคแบบยาว การให้อุณหภูมิที่ผิวท่อ เป็นแบบอุณหภูมิเท่ากันตลอดพื้นผิวคือที่อุณหภูมิ 60°C , 50°C และที่อุณหภูมิห้องตามลำดับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์เปลี่ยนโดยการปรับอัตราการไหล ผลการทดลองดังจะได้นำเสนอต่อไปดังนี้

ผลการทดลองและวิเคราะห์ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ ส่วนแรกจะเป็นการไหลที่มีการถ่ายเทความร้อนซึ่งจะได้แจกแจงพฤติกรรมทางคานันส์เซลล์นัมเบอร์เฉลี่ย Nu_m , เกรตนัมเบอร์ Gz ส่วนที่สองเป็นการไหลที่เริ่มจากไม่มีการถ่ายเทความร้อน (อุณหภูมิห้อง) และตามด้วยมีการถ่ายเทความร้อน ซึ่งจะได้แจกแจงความดันลด สัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันและตัวประกอบความเสียดทานแผ่นผนัง

4.1.1 วิเคราะห์พฤติกรรมของค่า Nu_m , Re และ Gz

ก. กรณีทอคอคคอคแบบยาว ($L/D_h = 100$) การศึกษาโดยการทดลองในกรณีนี้ได้ศึกษาเฉพาะส่วนทดสอบที่มี $\sigma = 1/4, 1/2$ และ $2/3$ เท่านั้น ส่วนกรณี $\sigma = 1$ นั้น มีความยาวถึง 3.7 เมตร ไม่ทำการทดลองเพราะต้องใช้ปริมาณความร้อนสูงเกินไป ชุดให้ความร้อนที่มีจึงไม่เพียงพอรวมทั้งปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารไม่เพียงพอ ประกอบกับระหว่างการทดลองส่วนทดสอบสุดท้ายนั้นเกิดความผิดพลาดทำให้ชุดให้ความร้อนชำรุดใช้การไม่ได้ และประการสุดท้ายสถานที่ทำการทดลองไม่อำนวยเนื่องจากพื้นอาคารเป็นพื้นไม้ ซึ่งเมื่อบางครั้งน้ำที่ใช้เป็นของไหลในการทดลองมีปริมาณมากอาจจะเกิดการรั่วซึมลงชั้นล่างและห้องทดลองก็มีความยาวไม่เพียงพอ

อิทธิพลของเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re) จากกราฟ 4.1 เป็นกราฟที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re) กับค่านัสเซลล์นัมเบอร์เฉลี่ย (Nu_m) ซึ่งอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด $\sigma = 2/3, 1/2$ และ $1/4, L/D_h = 100$ จะเห็นว่าเส้นกราฟที่ปรากฏเป็นเส้นที่ลากไกลเคียงกับจุดที่ได้จากการทดลองมากที่สุด จะเห็นกราฟเป็นเส้นเดียวกันเมื่ออัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด σ เปลี่ยนไป เมื่อค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์เพิ่มขึ้นค่านัสเซลล์นัมเบอร์เฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่น้อยมาก แสดงว่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด σ จะมีผลต่อค่านัสเซลล์นัมเบอร์เฉลี่ยน้อยมากสำหรับท่อคอคอดแบบยาว จากกราฟ 4.1 และ 4.2 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิผิวท่อเปลี่ยนไปคือ $T_w = 50^\circ\text{C}$ และ 60°C จะทำให้ค่านัสเซลล์นัมเบอร์เฉลี่ยเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก

อิทธิพลของเกรตนัมเบอร์ (Gz) จากกราฟ 4.3 เป็นกราฟที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าเกรตนัมเบอร์ (Gz) กับค่านัสเซลล์นัมเบอร์เฉลี่ย (Nu_m) ซึ่งมีอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด $\sigma = 2/3, 1/2$ และ $1/4, L/D_h = 100$ เส้นกราฟที่ปรากฏจะเป็นเส้นที่ลากไกลเคียงกับจุดที่ได้จากการทดลองมากที่สุด จะเห็นว่ากราฟจะเป็นเส้นเดียวกันเมื่ออัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด (σ) เปลี่ยนไป และเมื่อ Gz มีค่าเพิ่มขึ้นค่านัสเซลล์นัมเบอร์เฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่น้อยมาก แสดงว่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด (σ) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของนัสเซลล์นัมเบอร์เฉลี่ยน้อยมากในกรณีท่อคอคอดแบบยาว จากกราฟ 4.3 และ 4.4 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิผิวท่อคอคอดเปลี่ยนไปคือ $T_w = 50^\circ\text{C}$ และ 60°C จะทำให้ค่านัสเซลล์นัมเบอร์เฉลี่ยเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก

จากกราฟ 4.5 เป็นกราฟที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง $Gz^{1/3}$ กับค่านัสเซลล์นัมเบอร์เฉลี่ย Nu_m ซึ่งมีอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด $\sigma = 2/3, 1/2$ และ $1/4, L/D_h = 100$ อุณหภูมิผิวท่อคอคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวทั้งสองอุณหภูมิคือ $T_w = 50^\circ\text{C}$ และ 60°C โดยประมาณ เมื่อ $Gz > 70$ และ $Gz < 70$

จากสมการ (2.10) สำหรับท่อคอคอดแบบยาว ($L/D_h = 100$) ซึ่งเป็นสมการที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเชิงเลข (Numerical Analysis) [3] คือ

$$\begin{aligned} Nu_m &= 2.26 Gz^{1/3} && \text{เมื่อ } Gz > 70 \\ &= 9.3 && \text{เมื่อ } Gz < 70 \end{aligned}$$

จากกราฟ 4.5 จะเห็นว่าเส้นกราฟจะเป็นเส้นตรงที่ลากไกลเคียงกับกลุ่มจุดที่หนาแน่นจากการทดลองมากที่สุด และได้จากค่า $L/D_h = 100$ คงที่แสดงว่าเมื่อ L/D_h คงที่ $Gz > 70$ ถ้า $Gz^{1/3}$ เพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อหาค่าความลาดเอียงจากกราฟจะได้สูตรเอมไพริคัล สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนจากข้อมูลการทดลองครั้งนี้คือ

$$Nu_m = 2.06 Gz^{1/3} \quad \text{เมื่อ } Gz > 70 \dots\dots\dots(4.1)$$

เมื่อ $Gz < 70$ จากกราฟเมื่อ $Gz^{1/3}$ เพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามค่าเฉลี่ยจากกราฟจะได้อีกว่า

$$Nu_m = 7.8 \quad \text{เมื่อ } Gz < 70 \dots\dots\dots(4.2)$$

จะเห็นว่าสูตรที่ได้จากกราฟของข้อมูลการทดลองครั้งนี้จะมีความลาดเอียงของกราฟน้อยกว่าสูตรที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเชิงเลข [3] แต่จะมีค่ามากกว่าสูตรที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีของ Knudsen, J.G. Angkatz, D.L., [17] คือ

$$Nu_m = 1.85 Gz^{1/3} \quad \text{เมื่อ } Gz > 71.4$$

$$= 7.6 \quad \text{เมื่อ } Gz < 71.14$$

จึงตารางเปรียบเทียบค่าของ Nu_m สำหรับท่อคอคอดแบบยาว ต่อไปนี้

ผลจาก การวิเคราะห์โดย เชิงเลข [3]	ผลจากการทดลองในครั้ง นี้	ผลการคำนวณทางทฤษฎี [17]
--------------------------------------	-----------------------------	----------------------------

$$Nu_m = 2.26 Gz^{1/3} \quad \text{เมื่อ } Gz > 70$$

$$= 9.3 \quad \text{เมื่อ } Gz < 70$$

$$Nu_m = 2.06 Gz^{1/3} \quad \text{เมื่อ } Gz > 70$$

$$= 7.8 \quad \text{เมื่อ } Gz < 70$$

$$Nu_m = 1.85 Gz^{1/3} \quad \text{เมื่อ } Gz > 71.4$$

$$= 7.6 \quad \text{เมื่อ } Gz < 71.4$$

ข. กรณีท่อคอคอดแบบสั้น ($L/D_h = 10$)

อิทธิพลของเรย์โนลด์ส์เบอร์ (Re) จากกราฟ 4.6 เป็นกราฟที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าเรย์โนลด์ส์เบอร์ (Re) กับค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อน (h) ซึ่งมีอัตราส่วนพื้นที่ $\sigma = 1, 2/3, 1/2$ และ $1/4, L/D_h = 10$ จะเห็นว่ากราฟแต่ละเส้นจะมีค่าเหลื่อมล้ำกันเมื่ออัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด (σ) เปลี่ยนไป คือเมื่ออัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด (σ) เพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย แสดงว่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด (σ) มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อน และเมื่ออุณหภูมิผิวท่อคอคอดซึ่งเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวเปลี่ยนไปคือ $T_w = 50^\circ C$ และ $60^\circ C$ โดยประมาณ ดังกราฟ 4.6 และ 4.7 จะเห็นได้ว่ากราฟมีลักษณะคล้าย และใกล้เคียงกันมากซึ่งอาจเป็นเพราะ T_w มีค่าต่างกันน้อยซึ่งแสดงว่าเมื่ออุณหภูมิผิวท่อคอคอดเปลี่ยนไปจะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนน้อยมากดังกราฟ และมีค่า Re เพิ่มขึ้นจะทำให้ h เพิ่มขึ้นด้วย

อิทธิพลของเกรตน์เบอร์ (Gz) จากกราฟ 4.8 เป็นกราฟที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าเกรตน์เบอร์ (Gz) กับค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อน (h) ซึ่งมีอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด $\sigma = 1, 2/3, 1/2$ และ $1/4, L/D_h = 10$ จะเห็นว่าเส้นกราฟที่ปรากฏเป็นเส้นที่ลากใกล้เคียงกับจุดที่ได้จากการทดลองมากที่สุด กราฟแต่ละเส้นจะมีค่าเหลื่อมล้ำกันเมื่ออัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด (σ) เปลี่ยนไป คือเมื่ออัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด (σ) เพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย แสดงว่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด (σ) มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อน จะเห็นว่าเมื่อเกรตน์เบอร์ (Gz) เพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และอุณหภูมิท่อคอคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ $T_w = 50^\circ C$ และ $60^\circ C$ โดยประมาณตามลำดับดังกราฟ 4.8 และ 4.9 กราฟทั้งสองจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันและใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าอุณหภูมิผิวท่อคอคอดเปลี่ยนไปจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนน้อยมากซึ่งอาจจะเป็นเพราะ T_w มีค่าต่างกันน้อยเกินไป

จากกราฟ 4.10 เป็นกราฟที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า B_H ($B_H = Gz^{1/3} \sigma^{1/4}$) กับค่าตัวเลขเชลล์นัมเบอร์เฉลี่ย (Nu_m) ของท่อคอคอดแบบสั้นซึ่งมี $L/D_h = 10$ และอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด $\sigma = 1, 2/3, 1/2$ และ $1/4$ อุณหภูมิผิวท่อคอคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวทั้งสองอุณหภูมิคือ $T_w = 50^\circ C$ และ $60^\circ C$ โดยประมาณเมื่อ B_H มีค่ามากกว่า 4.4

จากสมการ (2.11) สำหรับท่อคอคอดแบบสั้น ($L/D_h = 10$) จะได้

$$Nu_m = 3.08 B_H \quad \text{เมื่อ } B_H > 4.4$$

ซึ่งเป็นสมการที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเชิงเลข [3] จากกราฟ 4.10 เส้นกราฟที่ปรากฏจะเป็นเส้นที่ลากไกลเกินกับกลุ่มจุดที่หนาแน่นจากการทดลองมากที่สุด จะได้กราฟเส้นตรงแสดงว่าเมื่อ $L/D_h = 10$ คังที่ B_H มีค่าเพิ่มขึ้นค่าตัวเลขเชลล์นัมเบอร์เฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย คังนั้นเมื่อหาความลาดเอียงจากเส้นกราฟจะได้สูตรเอมไพริคัลสำหรับการหาค่าตัวเลขเชลล์นัมเบอร์เฉลี่ยจากข้อมูลการทดลองครั้งนั้นคือ

$$Nu_m = 2.87 B_H \quad \text{เมื่อ } B_H > 4.4 \dots\dots\dots(4.3)$$

จากกราฟ 4.5 จากข้อมูลการทดลองครั้งนั้นเมื่อ $3.5 < B_H < 4.4$

จะเห็นได้ว่าจะเป็นกลุ่มจุดกลุ่มเดียวกันกับของท่อคอคอดแบบยาวเมื่อ $Gz > 70$ คังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อ $4.4 > B_H > 3.5$

$$Nu_m = 2.06 Gz^{1/3} \quad \text{เมื่อ } 4.4 > B_H > 3.5 \dots\dots\dots(4.4)$$

และจะเห็นได้ว่าเมื่อ $B_H < 3.5$ จะเป็นกลุ่มจุดกลุ่มเดียวกันกับของท่อคอคอดแบบยาวเมื่อ $Gz < 70$ คังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อ $B_H < 3.5$

$$Nu_m = 7.8 \quad \text{เมื่อ } B_H < 3.5 \dots\dots\dots(4.5)$$

คังตารางเปรียบเทียบค่าของ Nu_m สำหรับท่อคอคอดแบบสั้นต่อไปนี้

ผลจากการวิเคราะห์โดยเชิงเลข [3]		ผลจากการทดลองในครั้งนั้น	
$Nu_m = 9.3$	เมื่อ $B_H < 3.5$	$Nu_m = 7.8$	เมื่อ $B_H < 3.5$
$Nu_m = 2.26 Gz^{1/3}$	เมื่อ $4.4 > B_H > 3.5$	$Nu_m = 2.06 Gz^{1/3}$	เมื่อ $4.4 > B_H > 3.5$
$Nu_m = 3.08 B_H$	เมื่อ $B_H > 4.4$	$Nu_m = 2.87 B_H$	เมื่อ $B_H > 4.4$

จากสูตรที่ได้ดังกล่าวจะเห็นว่าค่าความลาดเอียงของกราฟจะน้อยกว่าสูตรที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเชิงเลข [3]

จากกราฟ 4.5 จะเห็นว่าช่วงที่ $Gz = 70$ หรือเมื่อ $Gz^{1/3} = 4.12$ จะเป็นช่วงที่เริ่มเปลี่ยนจากทอคอคอดแบบยาวเป็นแบบสั้น

ความเบี่ยงเบนของสูตรที่ได้เมื่อเทียบกับสูตรที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเชิงเลข [3] นี้ อาจเนื่องมาจากความสมบูรณ์ของอุปกรณ์การทดลองไม่ได้มาตรฐานพอ การอ่านค่าอุณหภูมิคลาดเคลื่อน การควบคุมอุณหภูมิที่ให้แก่ผิวทอคอคอดไม่คงที่และสม่ำเสมอตลอดเวลา และอาจเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์เครื่องวัดด้วย

กราฟ 4.5ก แสดงผลเปรียบเทียบที่ได้จากการศึกษาของผู้อื่น คือ [29], [30] และการศึกษาคั้งนี้โดยแสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่าง Nu_m กับ $Gz^{1/3}$ ที่อุณหภูมิผิวทอขนานเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิว ขณะที่ความเร็วและอุณหภูมิเปลี่ยนรูป (simultaneously developing velocity and temperature profiles) พร้อมกัน มีค่า $Pr = 0.72$ จะเห็นว่า กราฟ ของ S.R. Montgomery and P. Wibulsmas [30] จะเป็นของทอขนานสี่เหลี่ยมที่มี aspect ratios เป็น 2 และ กราฟของ Stephan จะเป็นของแผ่นขนานซึ่งจะมี aspect ratios เป็น ∞ กราฟของทั้ง 3 เส้น เมื่อ $Gz^{1/3}$ เพิ่มขึ้นจะทำให้ Nu_m เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งเป็นแนวโน้มตรงกันโดยเฉพาะจากการศึกษาคั้งนี้จะได้อาใกล้เคียงกับเส้นกราฟของ Stephan มากที่สุด

4.1.2 วิเคราะห์พฤติกรรมค่า K_c , K_e และ f จะวิเคราะห์ได้ดังนี้

ก. กรณีท่อคอคอดแบบยาว ($L/D_h = 100$)

ผลการทดลองและวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนๆ แรกจะเป็นการแจกแจงความดันลดของท่อคอคอด ส่วนที่สองจะเป็นกราฟแสดงสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันและตัวประกอบความเสียดทานแผ่นผนัง

- การแจกแจงความดันลดของท่อคอคอด จุดมุ่งหมายในการทดลองเพื่อศึกษาการสูญเสียความดันเนื่องจากการไหลของของไหลในท่อคอคอดแบบยาวซึ่งประกอบด้วย ΔP_c , ΔP_f เป็นการสูญเสียความดันเนื่องจากการลดขนาดหน้าตัดจากกลางอย่างฉับพลัน การเพิ่มขนาดหน้าตัดจากขึ้นอย่างฉับพลันและการสูญเสียความดันภายในท่อคอคอดตามลำดับ ดังแสดงในกราฟ 4.11 ถึง 4.17 จะแสดงการสูญเสียความดันในรูปความดันสถิต P ซึ่งจะอยู่ในแกน x จะเห็นว่าความดันลดในท่อนานก่อนถึงคอคอดและหลังจากผ่านคอคอดแล้ว กราฟจะเป็นเส้นตรงตลอด ความดันสูญเสียเนื่องจากความแตกต่างของท่อนานก่อนถึงคอคอดกับท่อคอคอด ΔP_c และระหว่างท่อคอคอดกับท่อนานหลังคอคอด ΔP_e ความดันสูญเสียตลอดความยาวท่อคอคอด ΔP_c จะมีลักษณะคล้ายคลึงกันในการทดลองทั้งสามอุณหภูมิ การทดลอง ΔP คือความดันลดที่มีความเร็วของของไหลเกี่ยวข้องในรูปของ $\rho v^2/2$ ซึ่งอยู่ในรูปที่มีมิติ ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปไร้มิติ v^2 ซึ่งอยู่ในรูป b^2/v^2 ดังนั้นการแจกแจงความดันสถิตของท่อนานจึงเป็น $P \cdot g_c \cdot b^2 / \rho v^2$ ซึ่งอยู่ในรูปไร้มิติ กราฟที่จะเสนอได้แสดงให้เห็นถึงลักษณะความดันสูญเสียต่าง ๆ ที่ค่า Re ประมาณ 1500 (เนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ต่ำกว่าการวัดค่าต่าง ๆ จะมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าและที่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงกว่า 1500 ก็จะใกล้ถึงยานการเปลี่ยนแปลงการไหลมากเกินไป) เมื่ออัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด (σ) และ L/D_h เปลี่ยนไปโดยที่อุณหภูมิเปลี่ยนไปด้วยคืออุณหภูมิห้อง, $50^\circ C$ และ $60^\circ C$ โดยประมาณ ดังกราฟ 4.11, 4.12 และ 4.13 แสดงลักษณะความดันสูญเสียต่าง ๆ ของส่วนทดสอบที่มี $\sigma=1/4$, $L/D_h=100$ ที่อุณหภูมิห้อง, $50^\circ C$ และ $60^\circ C$ ตามลำดับ จากกราฟดังกล่าวจะเห็นความแตกต่างการสูญเสียความดันที่ปากทางเข้า และปากทางออกของท่อคอคอด เมื่ออุณหภูมิต่าง ๆ กัน ซึ่งจาก

กราฟจะเห็นว่าการสูญเสีย ความดันของทั้งสามอนุกรมการทดลองมีลักษณะคล้ายคลึงกันและมีความแตกต่างกันน้อยมาก จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออนุกรมผิวท่อคอคอดเพิ่มขึ้นจะทำให้ ΔP_c , ΔP_e และ ΔP_f มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยลงหรือเพิ่มขึ้นเท่าใด

- สัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันและตัวประกอบความเสียหายแทนหนึ่ง เมื่อสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันเนื่องจากการลดขนาดหน้าตัดจากลง K_c สัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันเนื่องจากการเพิ่มขนาดหน้าตัดจากขึ้น K_e และตัวประกอบความเสียหายแทนหนึ่ง f ทั้งหมดจะเป็นตัวแสดงการสูญเสียความดันของท่อคอคอดทั้งสามการ (2.15),

(2.23) และ (2.24) ตามลำดับ

$$f = \frac{\Delta P / 4(L/D_h)}{\rho V^2 / 2g_c} \quad \text{----- (4.6)}$$

$$K_c = \frac{2g_c \Delta P_c - 1 + \sigma^2}{\rho V^2} \quad \text{----- (4.7)}$$

$$K_e = \frac{2g_c \Delta P_e + 1 - \sigma^2}{\rho V^2} \quad \text{----- (4.8)}$$

ΔP_c^*	คือ	ความดันสูญเสีย เนื่องจากการลดขนาดหน้าตัดจากลง
ΔP_e^*	คือ	ความดันสูญเสีย เนื่องจากการเพิ่มขนาดหน้าตัดจากขึ้น
ΔP_f^*	คือ	ความดันสูญเสียเนื่องจากการความเสียหายของการไหลในท่อคอคอด
V	คือ	ความเร็วเฉลี่ยของของไหลในท่อคอคอด
ρ	คือ	ความหนาแน่นของของไหล
g_c	คือ	Conversion Factor

ΔP_c , ΔP_e และ ΔP_f สำหรับ แต่ละอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด (σ), L/D_h และแต่ละอนุกรมการทดลองแสดงไว้ในตารางผลการทดลองในภาคผนวก ก. ตาราง ข-1 ถึง ข-19 รวมทั้งสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน K_c , K_e และตัวประกอบความเสียหายแทนหนึ่ง ตารางจะแสดงผลของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด $\sigma = 1/4, 1/2$ และ $2/3$, $L/D_h = 100$, ที่อุณหภูมิห้อง, 50°C และ 60°C โดยประมาณ ค่าเรย์โนลด์ส์มีเบอร์ (Re) ตั้งแต่ 200 - 2000 โดยประมาณผลของสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน K_c และ

K_e ดังแสดงในกราฟ 4.30ข, 4.30ค และ 4.30ง โดยให้ความสัมพันธ์ระหว่าง K_c , K_e กับ σ สำหรับค่า Re เปลี่ยนไปดังนี้คือ $Re = 200, 500, 1000, 1500$ และ 2000 โดยประมาณ ที่อุณหภูมิ ทดลองทั้งสามอุณหภูมิคือ ที่อุณหภูมิห้อง, $50^\circ C$ และ $60^\circ C$ ตามลำดับ ผลการทดลองวิทยานิพนธ์ ของนายพงษ์เจต [21] แสดงในกราฟ 4.30ก และผลการวิเคราะห์ โดยเชิงเลข [1,3] แสดงในกราฟ 4.30 เพื่อเปรียบเทียบกันจะเห็นว่าทั้งหมดมีลักษณะคล้ายคลึงและใกล้เคียงกัน เมื่อตัวประกอบความเสียดทานแผ่นนิ่ง $f=24/Re$

ข. กรณีท่อคอคอดแบบสั้น ($L/D_h = 10$)

ผลการทดลองและวิเคราะห์ที่จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เช่นเดียวกับท่อคอคอดแบบยาวดังนี้

- การแจกแจงความดันลดในท่อคอคอด ได้แสดงผลในทำนองเดียวกับท่อคอคอดแบบยาว ดังแสดงในกราฟ 4.18 ถึง 4.29 จากกราฟจะเห็นว่า การแจกแจงความดันลดจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ เส้นกราฟแสดงการสูญเสียความดันในท่อนานก่อนเข้าและออกจากท่อคอคอดจะเป็นเส้นขนานกันและมีความลาดเอียงน้อยกว่า เส้นกราฟแสดงการสูญเสียความดันในท่อคอคอดซึ่งมีความชันของเส้นกราฟมากกว่า

ความดันสูญเสีย ΔP_c^* และ ΔP_e^* ซึ่งแสดงในรูปความดันสถิตที่ใช้ในการคำนวณหาค่า K_c^* และ K_e^* ตามลำดับสำหรับท่อคอคอดแบบสั้นนั้นจะใช้สมการเดียวกับท่อคอคอดแบบยาว และ f^* ก็เช่นเดียวกัน ผลการแจกแจงความดันช่วงปากทางเข้าท่อคอคอดซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันหลังจากการไหลผ่านคอคอดที่ $x/L = 1-1.2$ ในขณะที่ปากทางออกจะมีผลเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันที่ $x/L = 1.6-2$ ซึ่งผลที่เสนอนี้จะสอดคล้องกับผลการทดลองของนายพงษ์เจต [21] และผลการวิเคราะห์โดยเชิงเลข [2,3] เส้นกราฟแสดงความดันสูญเสียจะลดลงอย่างสม่ำเสมอเมื่อผ่านคอคอดแล้วเป็นระยะ $3 D_h$ ซึ่งคล้ายคลึงกันของการทดลองทั้งสามอุณหภูมิ และการรบกวนเนื่องจากการไหลจะมากขึ้น ถ้าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด (σ) มีค่าน้อยลง



-สัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันและตัวประกอบความเสียหายแทนนิ่งจากผล
การทดลองสำหรับท่อคอคอดแบบสั้นนี้จะยังคง แสดงถึงค่า K_c^* , K_e^* และ f^* เช่นเดียว
กันกับท่อคอคอดแบบยาว ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันและตัว
ประกอบความเสียหายแทนนิ่ง สำหรับท่อคอคอดแบบสั้นนี้จะแสดงในรูปของ Correction
Factor คือ C_c, C_e and f เป็น Correction Factor สำหรับการลดขนาดหน้าตัด
จากกลาง , สำหรับการเพิ่มขนาดหน้าตัดจากขึ้นและสำหรับตัวประกอบความเสียหายแทนนิ่ง
ตามลำดับ ซึ่งจากสูตรจะได้ว่า [2,3]

$$K_c^* = C_c \cdot K_c \text{ -----(4.9)}$$

$$K_e^* = C_e \cdot K_e \text{ -----(4.10)}$$

$$f^* = C_f \cdot f \text{ -----(4.11)}$$

K_c, K_e เป็นสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน และ f เป็นตัวประกอบความ
เสียหายแทนนิ่ง ของท่อคอคอดแบบยาว K_c, K_e หาได้จากกราฟ 4.30ข., 4.30ค
และ 4.30ง ซึ่งอุณหภูมิการทดลองต่างกันคือที่อุณหภูมิห้อง, 50°C และ 60°C ตามลำดับ
ในการไหลของของไหลผ่านท่อขนานที่มีอัตราส่วนความยาวด้าน 14:1 จะได้ $f = 22/Re$
ซึ่ง C_c, C_e และ C_f หาได้โดยการคำนวณและได้นำผลไปกับความสัมพันธ์ B_F ดัง
แสดงในกราฟ 4.33ก, 4.33ค, 4.33 ข เมื่ออุณหภูมิการทดลองเปลี่ยนไปสามอุณหภูมิดัง
กล่าวมาแล้ว

โดย $B_F = (Re \cdot L/D_h)^{1/3} (\sigma)^{1/4}$ จากเอกสารอ้างอิง [21] และจาก
การวิเคราะห์โดยเชิงเลข [3] ดังแสดงในกราฟ 4.31 แสดงว่า $B_F < 2.25$ โดยประมาณ
จะเป็นขอบเขตของท่อคอคอดแบบยาว เมื่อ $B_F > 2.25$ จะเป็นขอบเขตของท่อคอคอดแบบ
สั้น ซึ่งสามารถเขียนในรูปสมการเส้นตรง [3] ดังนี้

$$C = aB_F + b \text{ -----(4.12)}$$

ตารางเปรียบเทียบ C_c , C_e และ C_f เมื่อ $B_F > 2.25$ และ $B_F = 2.25$ ต่อไปนี้

	$B_F > 2.25$			$B_F < 2.25$
	C_c	C_e	C_f	C_c, C_e, C_f
ผลวิเคราะห์โดยเชิงเลข [3]	$-0.304 B_F + 1.684$	$0.792 B_F - 0.782$	$0.122 B_F + 0.725$	1
ผลการทดลอง [21]	$-0.25 B_F + 1.5$	$0.667 B_F - 0.5$	$0.125 B_F + 0.73$	1
ผลการทดลองในครั้งที่อุณหภูมิ 26.2° , 50° และ 60° โดยประมาณตามลำดับ	$-0.291 B_F + 1.654$	$0.582 B_F - 0.309$	$0.054 B_F + 0.88$	1
	$-0.327 B_F + 1.736$	$0.618 B_F - 0.39$	$0.036 B_F + 0.918$	
	$-0.327 B_F + 1.736$	$0.654 B_F - 0.472$	$0.018 B_F + 0.959$	

ซึ่งมีค่า $a = -0.304, 0.792, 0.122$ และ $b = 1.684, -0.782, 0.725$ สำหรับ C_c, C_e และ C_f ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองของนายพงษ์เจต ฯ [21] ดังแสดงในกราฟ 4.32 ซึ่งวัดได้ $a = -0.25, 0.667, 0.125$ และ $b = 1.5, -0.5, 0.73$ สำหรับ C_c, C_e และ C_f ตามลำดับ

จากผลการศึกษาโดยการทดลองครั้งนี้จะเห็นว่าผลการทดลองที่อุณหภูมิห้องจากกราฟ 4.33 พบว่า $a = -0.219, 0.582, 0.054$ และ $b = 1.654, -0.309, 0.88$ สำหรับ C_c, C_e และ C_f ตามลำดับ พบว่าเมื่อ $B_F \leq 2.25$ จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก และ $B_F > 2.25$ จะมีความเบี่ยงเบนจากผลของการวิเคราะห์โดยเชิงเลข [3] ประมาณ 20% - 30% และเบี่ยงเบนจากผลของการทดลองของนายพงษ์เจต ฯ [21] ประมาณ 10% - 20%

ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 50°C โดยประมาณจะได้ $a = -0.327, 0.618, 0.036$ และ $b = 1.736, -0.39, 0.918$ สำหรับ C_c, C_e และ C_f ตามลำดับจากกราฟ 4.33ก พบว่าเมื่อ $B_F \leq 2.25$ จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก และ $B_F > 2.25$ จะมีความเบี่ยงเบนจากผลที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิห้องเมื่อเปรียบเทียบกับน้อยมาก

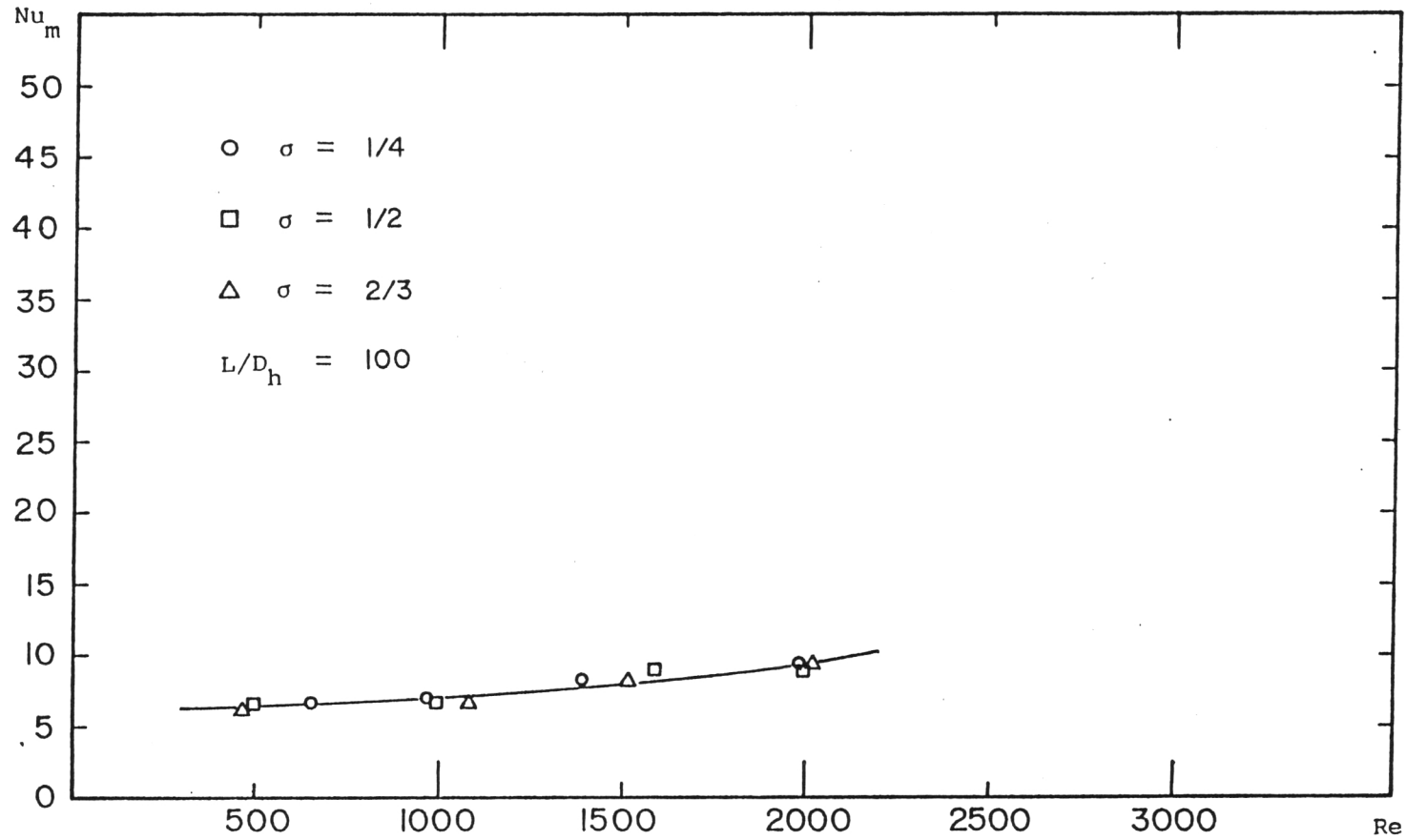
ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60°C โดยประมาณจะได้ $a = -0.327, 0.654, 0.018$ และ $b = 1.736, -0.473, 0.959$ สำหรับ C_c, C_e และ C_f ตามลำดับจากกราฟ 4.33ข พบว่าเมื่อ $B_F \leq 2.25$ จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก และ $B_F > 2.25$ จะมีความเบี่ยงเบนจากผลที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิห้องเมื่อเปรียบเทียบกับน้อยมาก

ความเบี่ยงเบนนี้อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่างกันการปรับค่าอัตราการไหลในการทดลองไม่คงที่ การอ่านค่าความดันคลาดเคลื่อนเนื่องจากการสั่นของน้ำ การสร้างท่อคอคอดที่อัตราส่วนความยาวด้านต่างจากการวิเคราะห์โดยเชิงเลขด้วย ซึ่งอัตราส่วนไม่มีขอบเขต

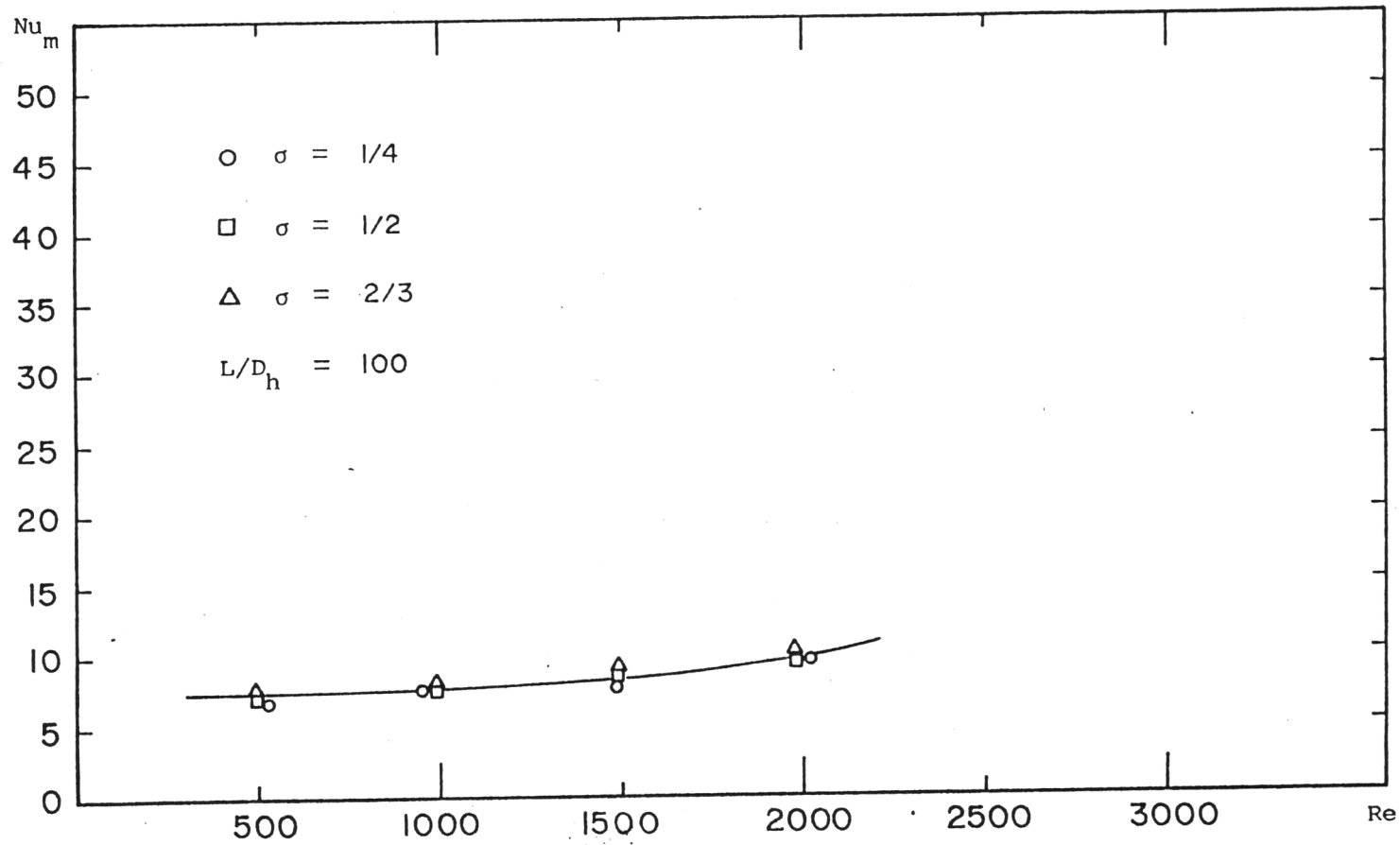
และเนื่องจากมุมของท่อคอคอดสร้างได้ไม่เป็นมุมฉาก ไม่คมพอจึงทำให้ค่าความดันทั้งสามอุณหภูมิจะได้ค่า Correction factor มีลักษณะคล้ายกันและใกล้เคียงกันมากไม่สามารถจะบอกได้ชี้ว่าความแตกต่างของเส้นกราฟที่ได้เป็นเท่าใดในช่วงอุณหภูมิที่ทดลองครั้งนี้

ในการคำนวณคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำซึ่งความหนาแน่น ρ , และความหนืด ν , จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำจะใช้คุณสมบัติเหล่านี้จากหนังสืออ้างอิง [11] โดยตลอด

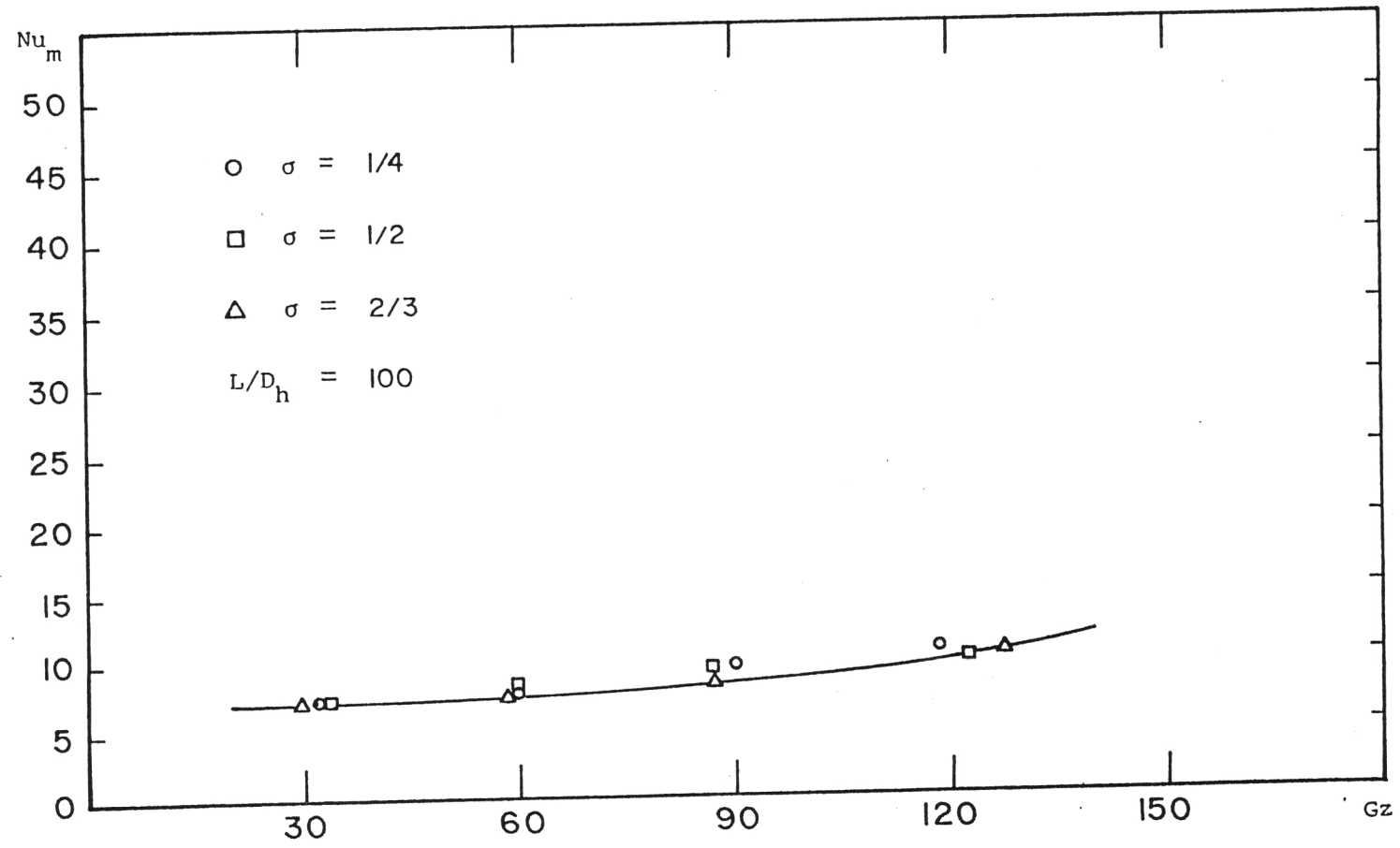
4.2 กรรพ



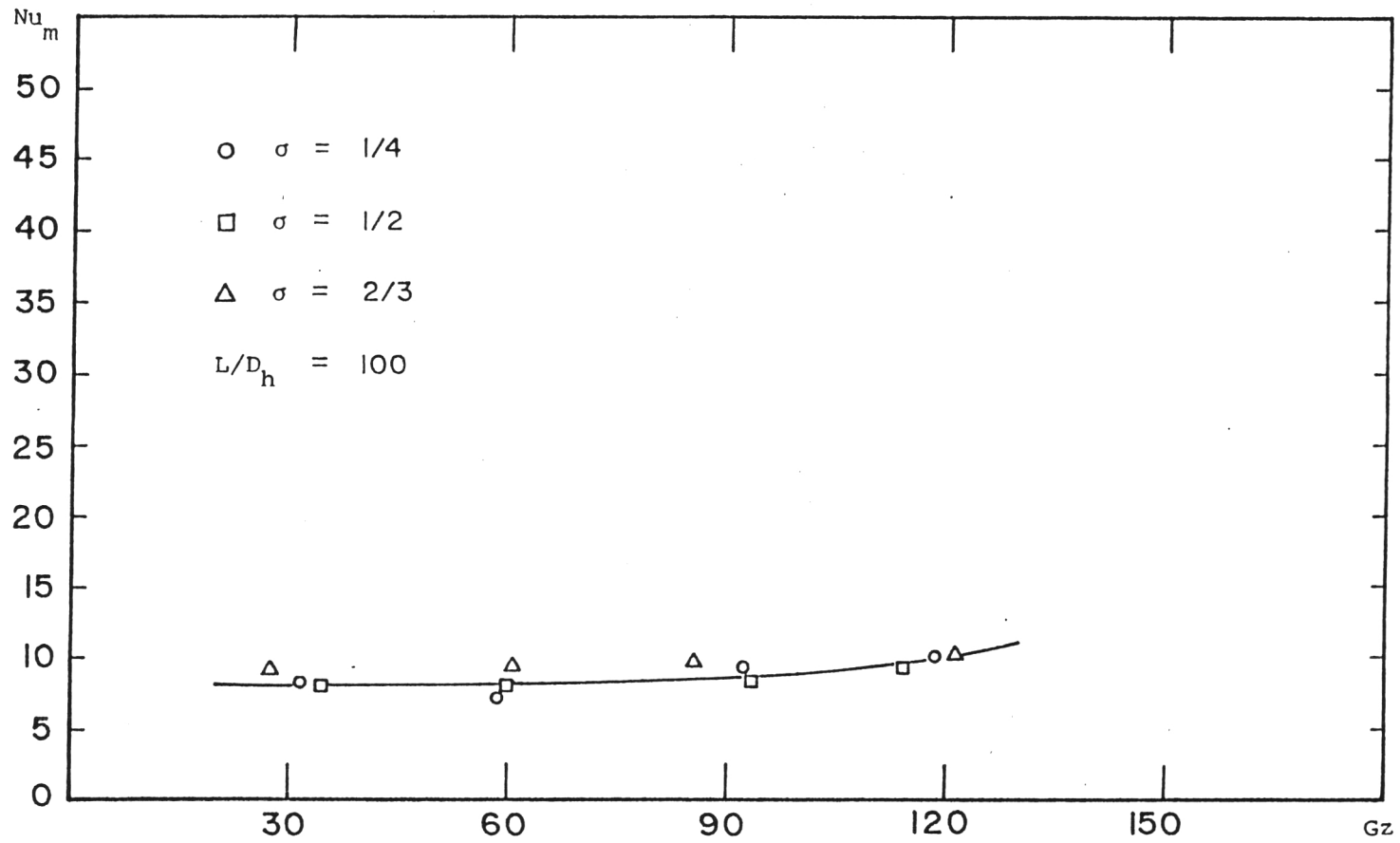
กราฟ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu_m กับ Re เมื่อ $\sigma = 1/4, 1/2$ และ $2/3$
 $L/D_h = 100$ จุดทงุมิที่คอคคอคคเป็นแบบเทากันตลอดพื้นผิว คือ
 $T_w = 50$ °C โดยประมาณ



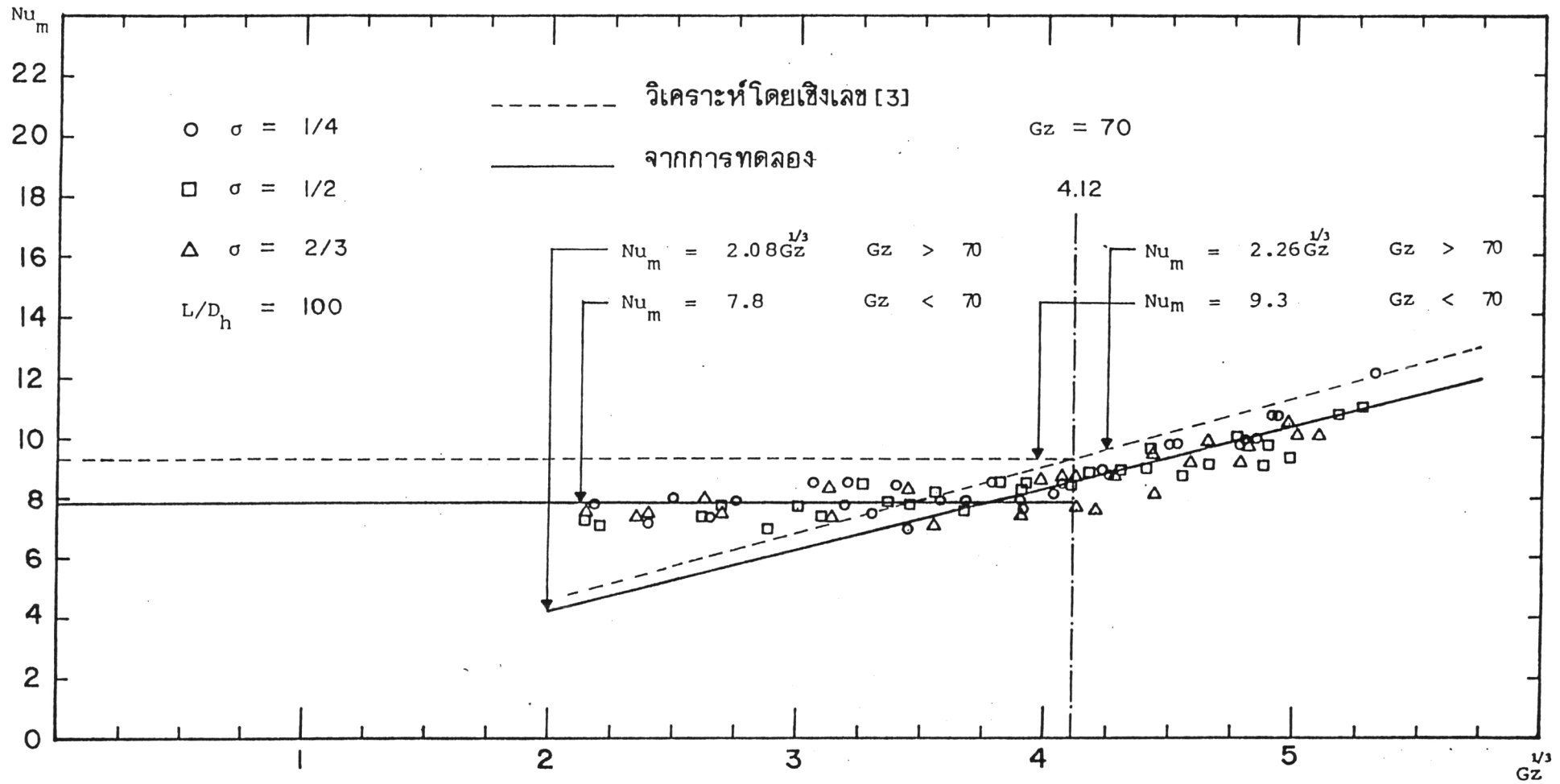
กราฟ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu_m กับ Re เมื่อ $\sigma = 1, 2/3, 1/2$ และ $1/4$
 $L/D_h = 100$ จุดหมุ่มีทอคอคคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิว คือ
 $T_w = 60$ °C โดยประมาณ



กราฟ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu_m กับ Gz เมื่อ $\sigma = 1/4, 1/2$ และ $2/3$
 $L/D_h = 100$ จุดหมุ่มีทอคอคคอกเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิว คือ
 $T_w = 50$ °C โดยประมาณ



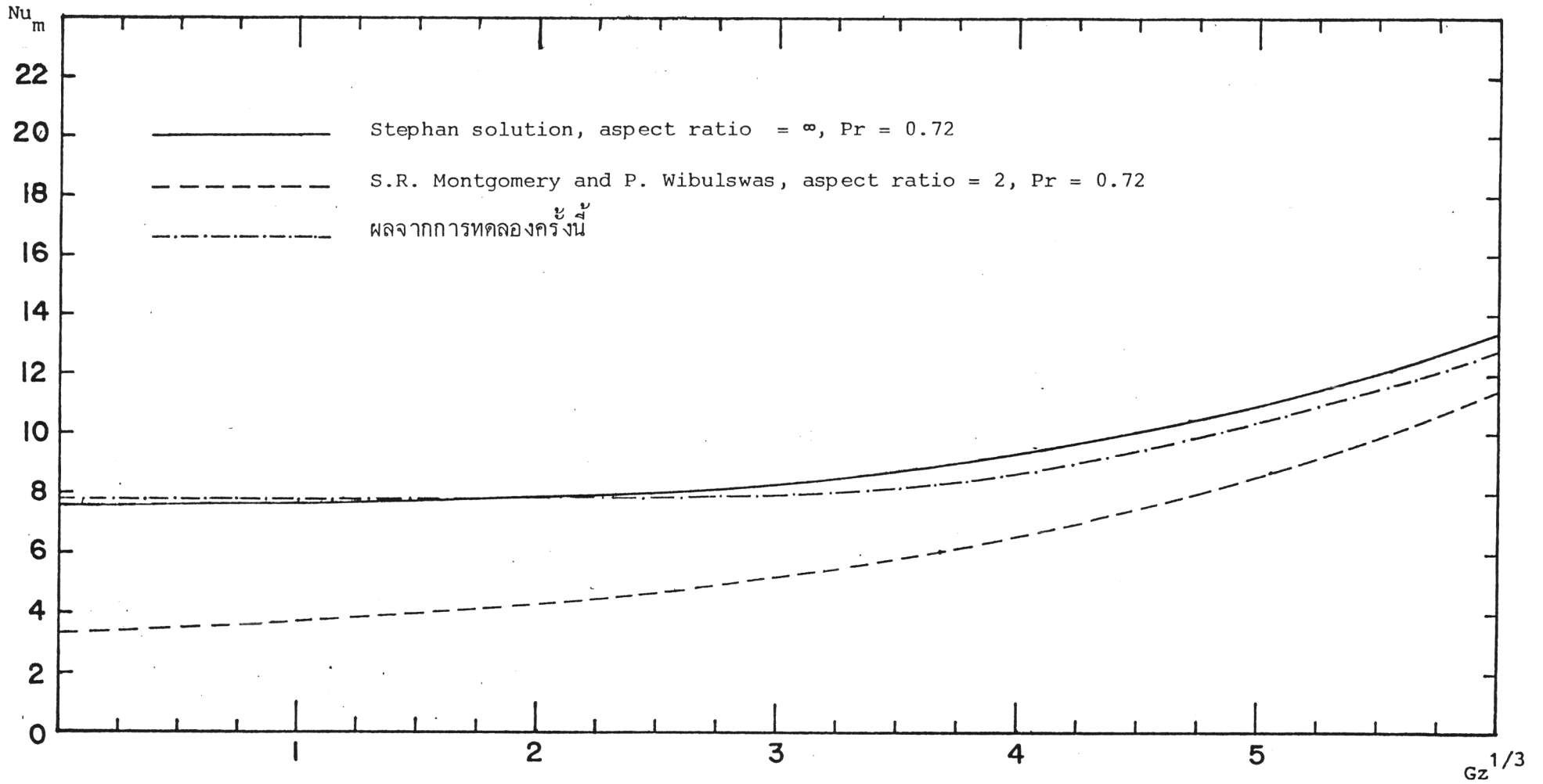
กราฟ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu_m กับ Gz เมื่อ $\sigma = 1/4, 1/2$ และ $2/3$
 $L/D_h = 100$ อุณหภูมิที่ออกคือเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิว คือ
 $T_w = 60$ °C โดยประมาณ



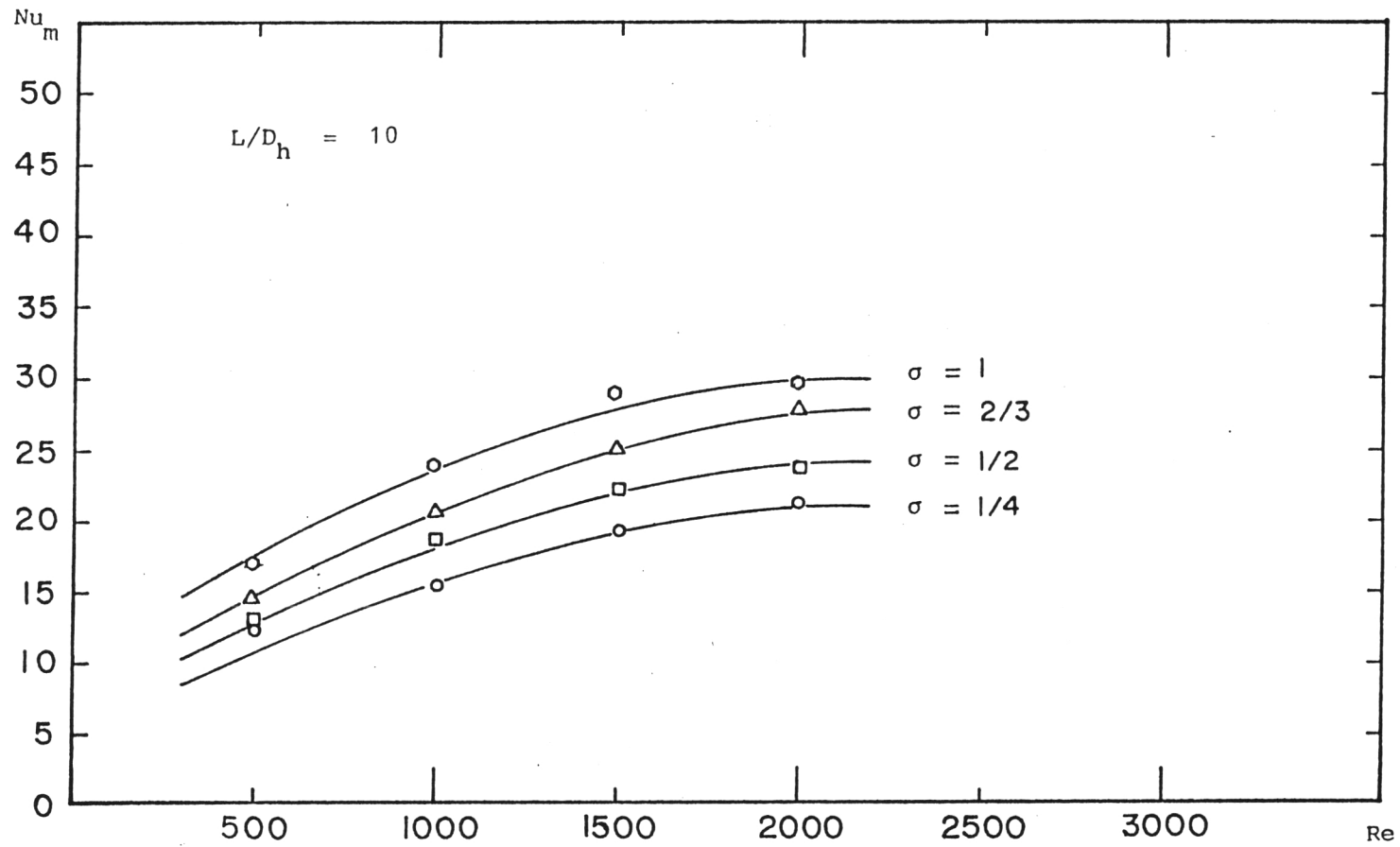
กราฟ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu_m กับ $Gz^{1/3}$ เมื่อ $\sigma = 1/4, 1/2$ และ $2/3$

$L/D_h = 100$ อุณหภูมิที่ออกคือเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิว คือ

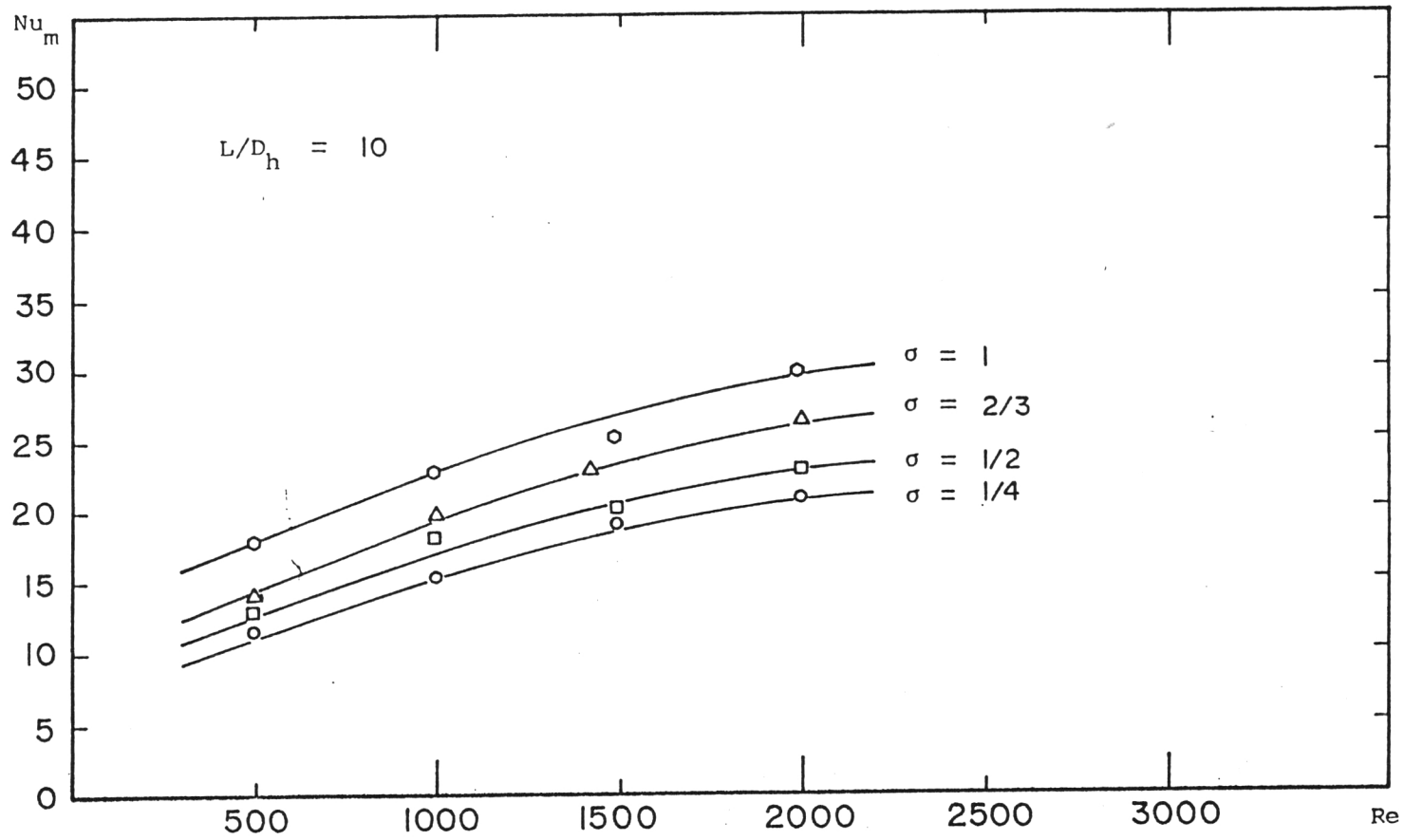
$T_w = 50$ และ 60 °C โดยประมาณ



กราฟ 4.5ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu_m กับ $Gz^{1/3}$ ที่อุณหภูมิผิวส่วนทดสอบเป็นแบบเทากันตลอดพื้นผิว โดยใช้อากาศเป็นของไหล [29] และ [30], ส่วนการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำเป็นของไหล



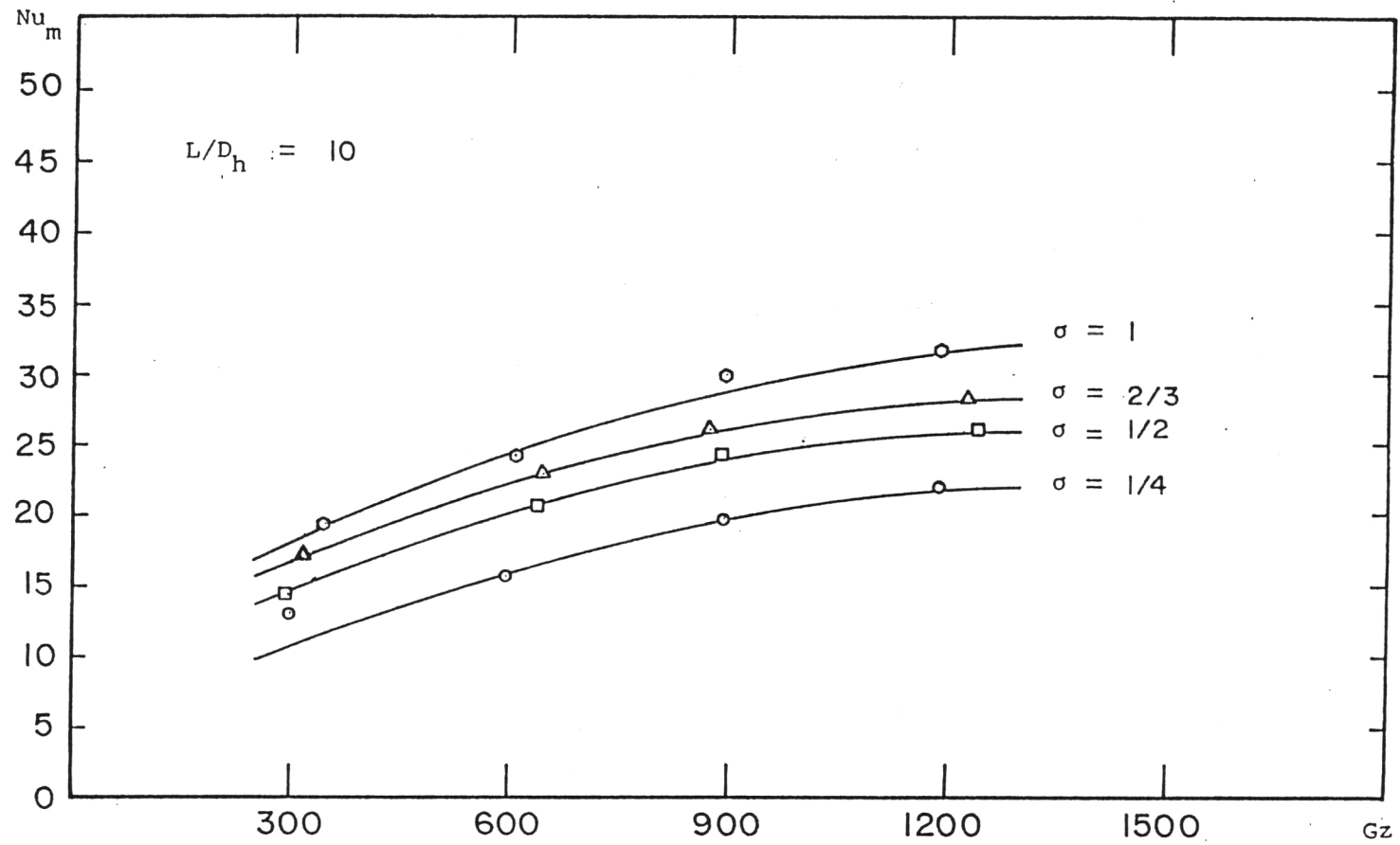
กราฟ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu_m กับ Re เมื่อ $\sigma = 1, 2/3, 1/2$ และ $1/4$
 $L/D_h = 10$ อุดหนุมิหอคอคคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิว คือ
 $T_w = 50^\circ\text{C}$ โดยประมาณ



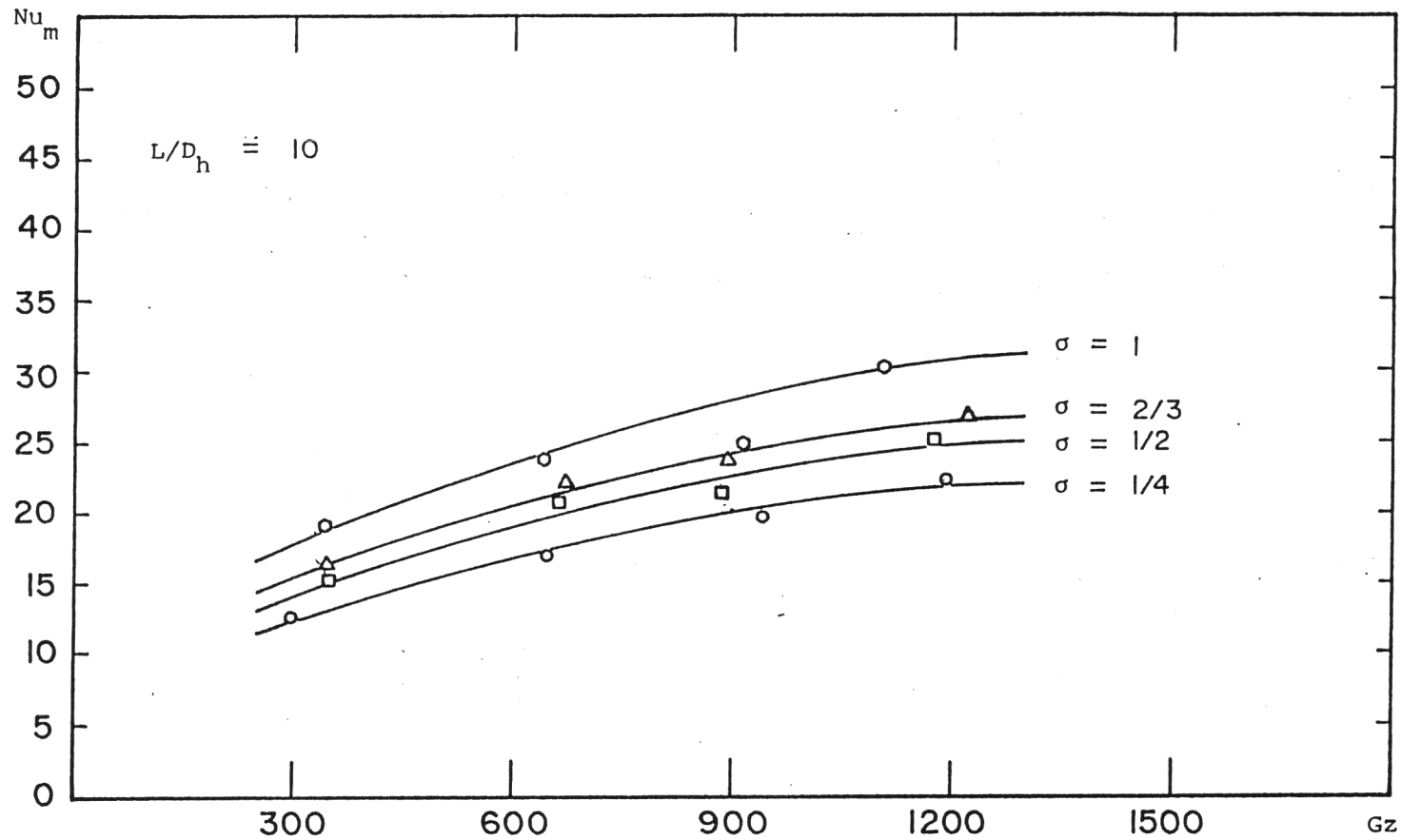
กราฟ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu_m กับ Re เมื่อ $\sigma = 1, 2/3, 1/2$ และ $1/4$

$L/D_h = 10$ อุดหนุมีที่ออกคอคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิว คือ

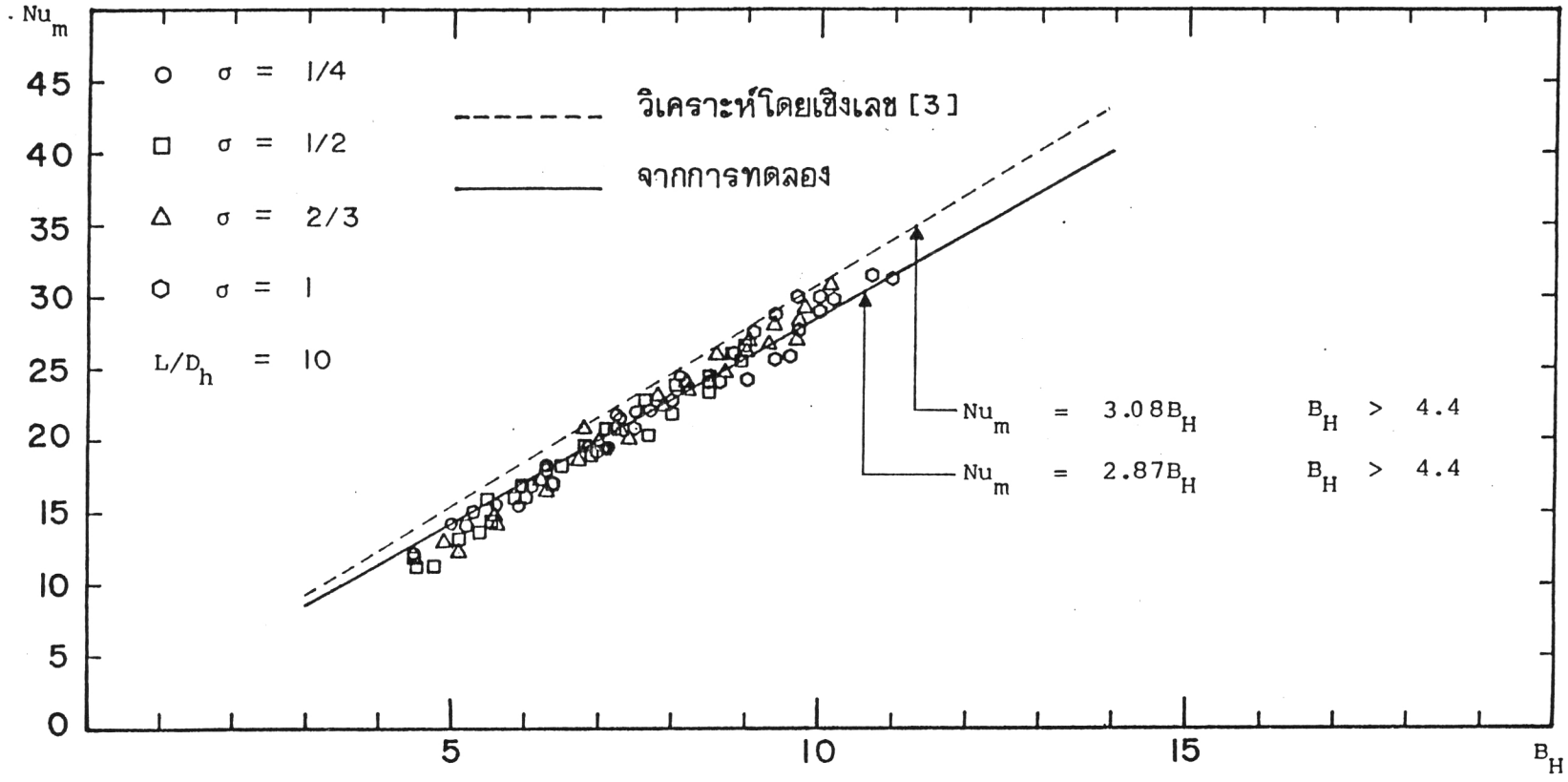
$T_w = 60$ °C โดยประมาณ



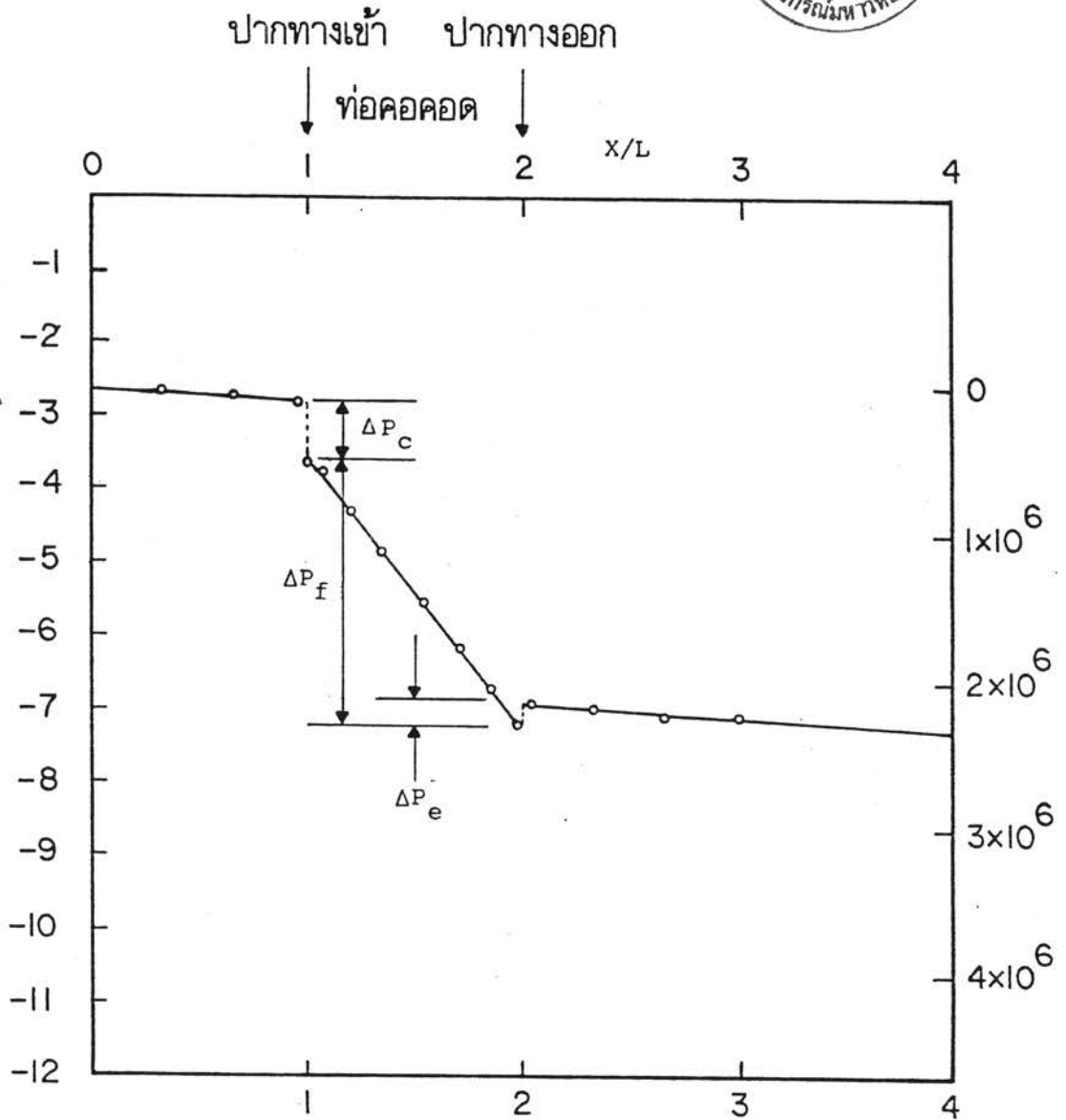
กราฟ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu_m กับ Gz เมื่อ $\sigma = 1, 2/3, 1/2$ และ $1/4$
 $L/D_h = 10$ จุดหมุ่มีหอคอคคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิว คือ
 $T_w = 50$ °C โดยประมาณ



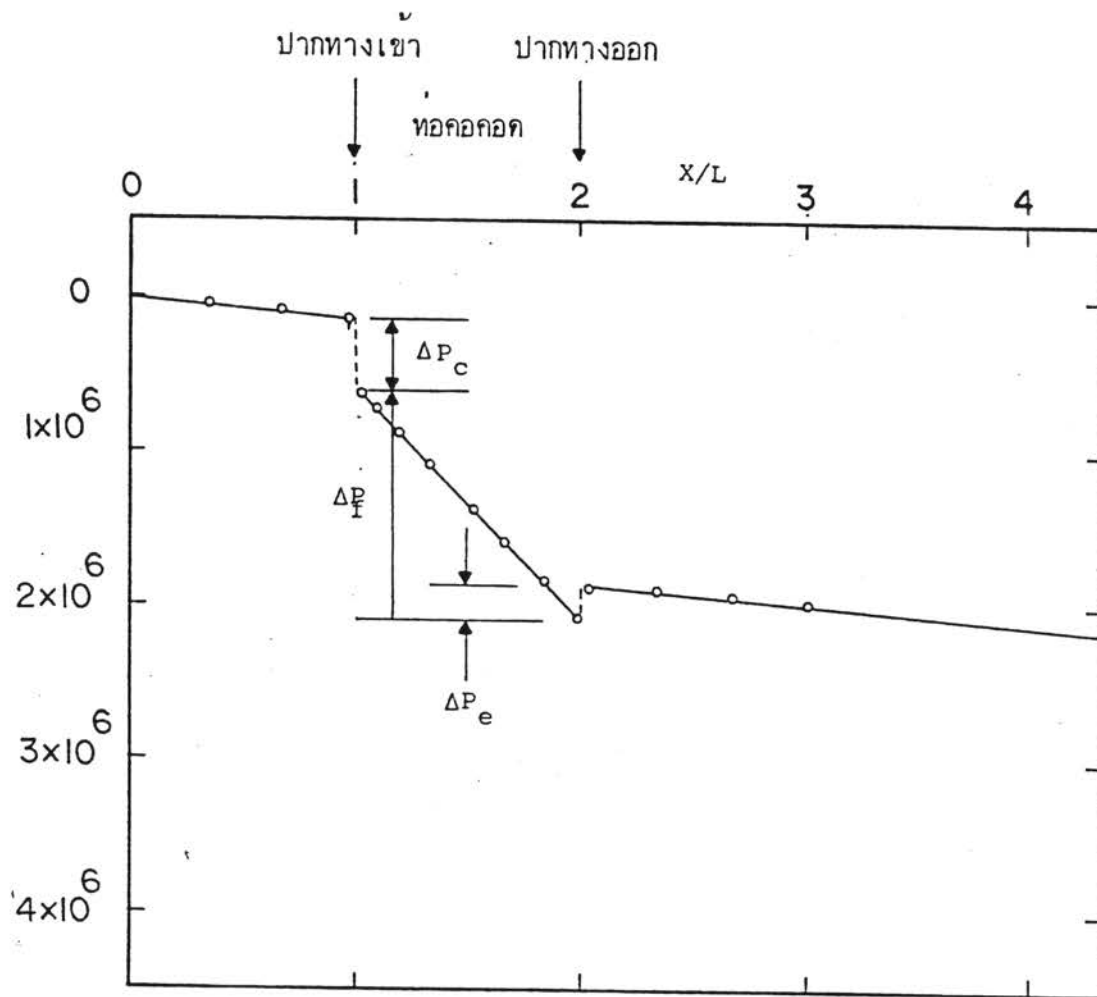
กราฟ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu_m กับ Gz เมื่อ $\sigma = 1, 2/3, 1/2$ และ $1/4$
 $L/D_h = 10$ จุดหมึกที่หอคอยคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิว คือ
 $T_w = 60^\circ\text{C}$ โดยประมาณ



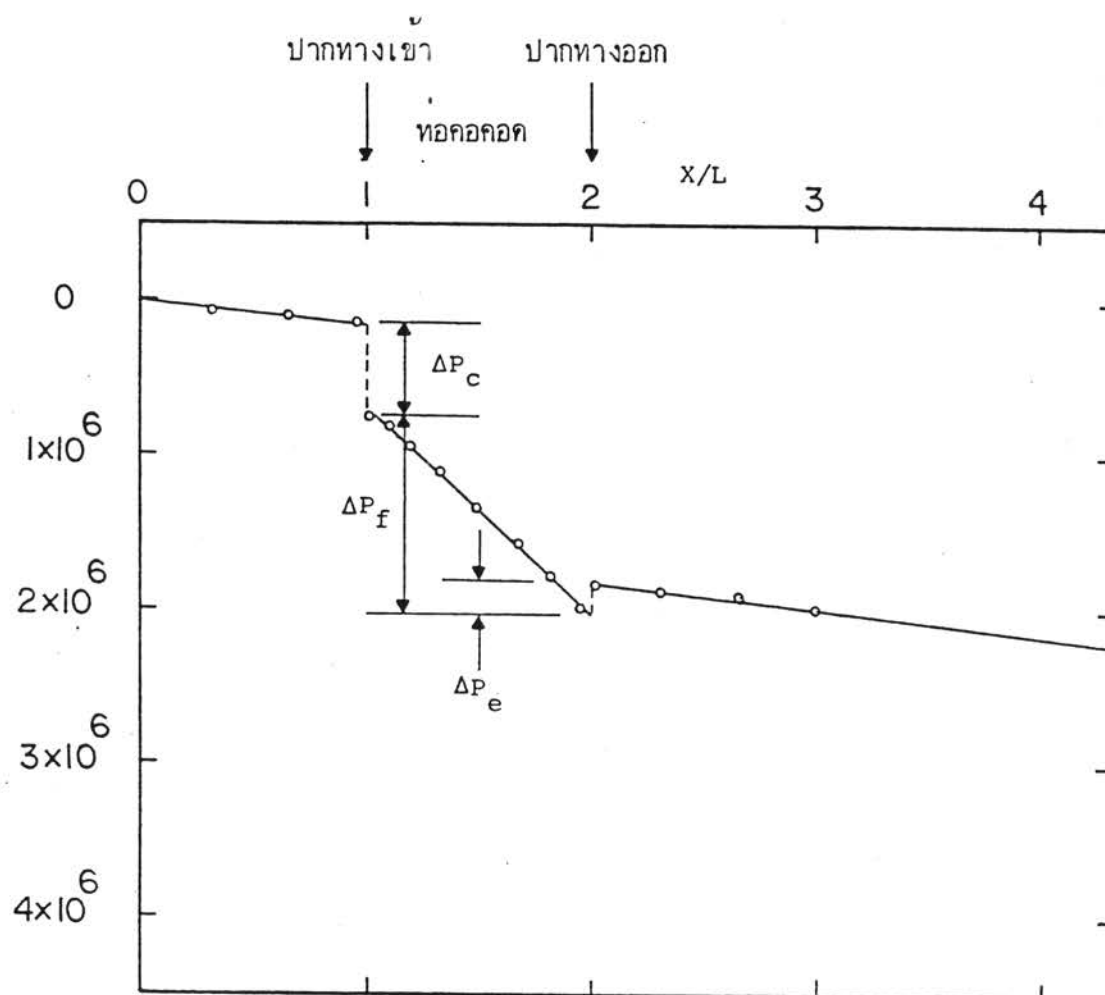
กราฟ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu_m กับ B_H ($B_H = Gz \cdot \sigma^{1/3}$)
 เมื่อ $\sigma = 1/4, 1/2, 2/3$ และ $1, L/D_h = 10$ จากข้อมูลการทดลอง
 เมื่อ $B_H > 4.4$ อุดหนุนที่หาค่าคือเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิว คือ
 $T_w = 50$ และ 60 °C โดยประมาณ



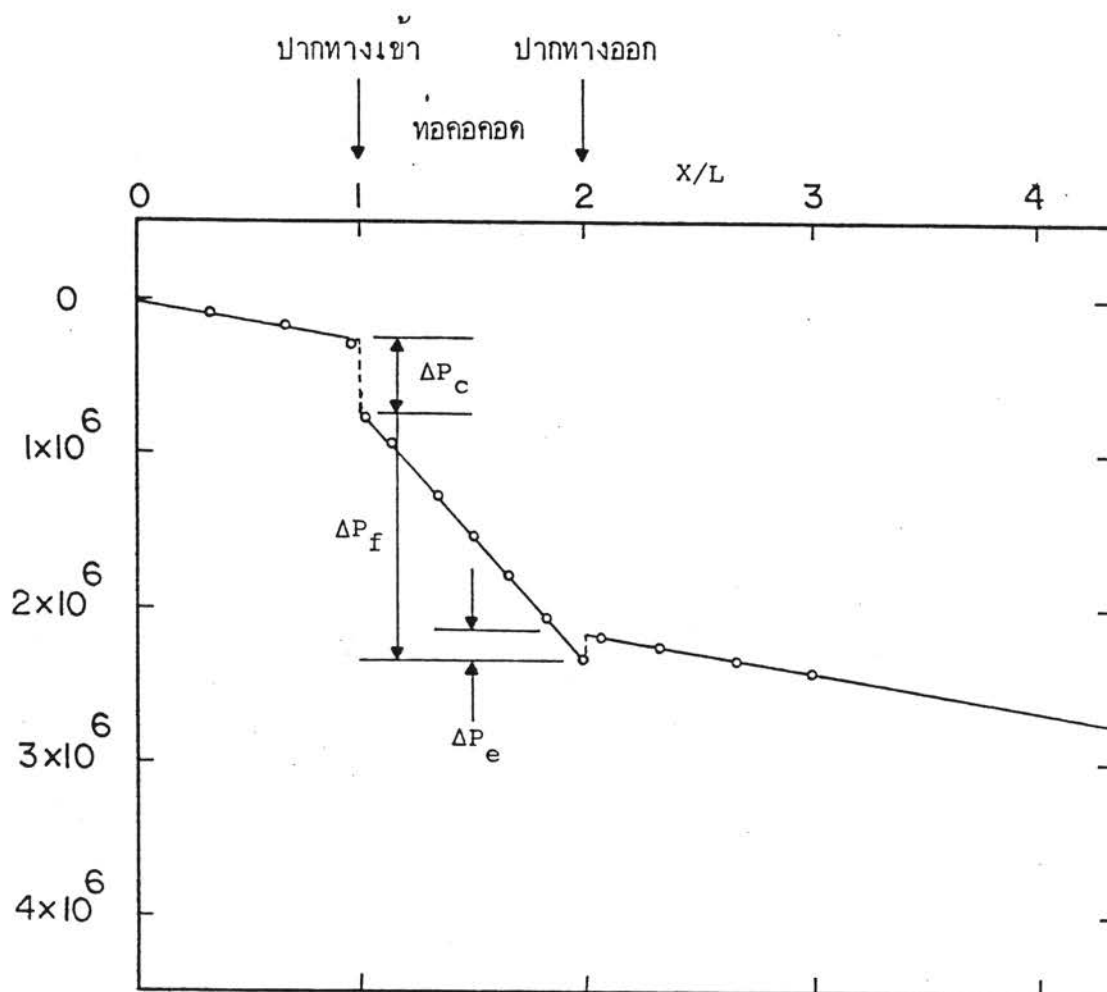
กราฟ 4.11 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ตลอดความยาวท่อคอคคอด เมื่อ $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 100$, $Re = 1486$, อุณหภูมิท่อคอคคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ $T_w = 26.2 \text{ }^\circ\text{C}$ (อุณหภูมิห้อง)



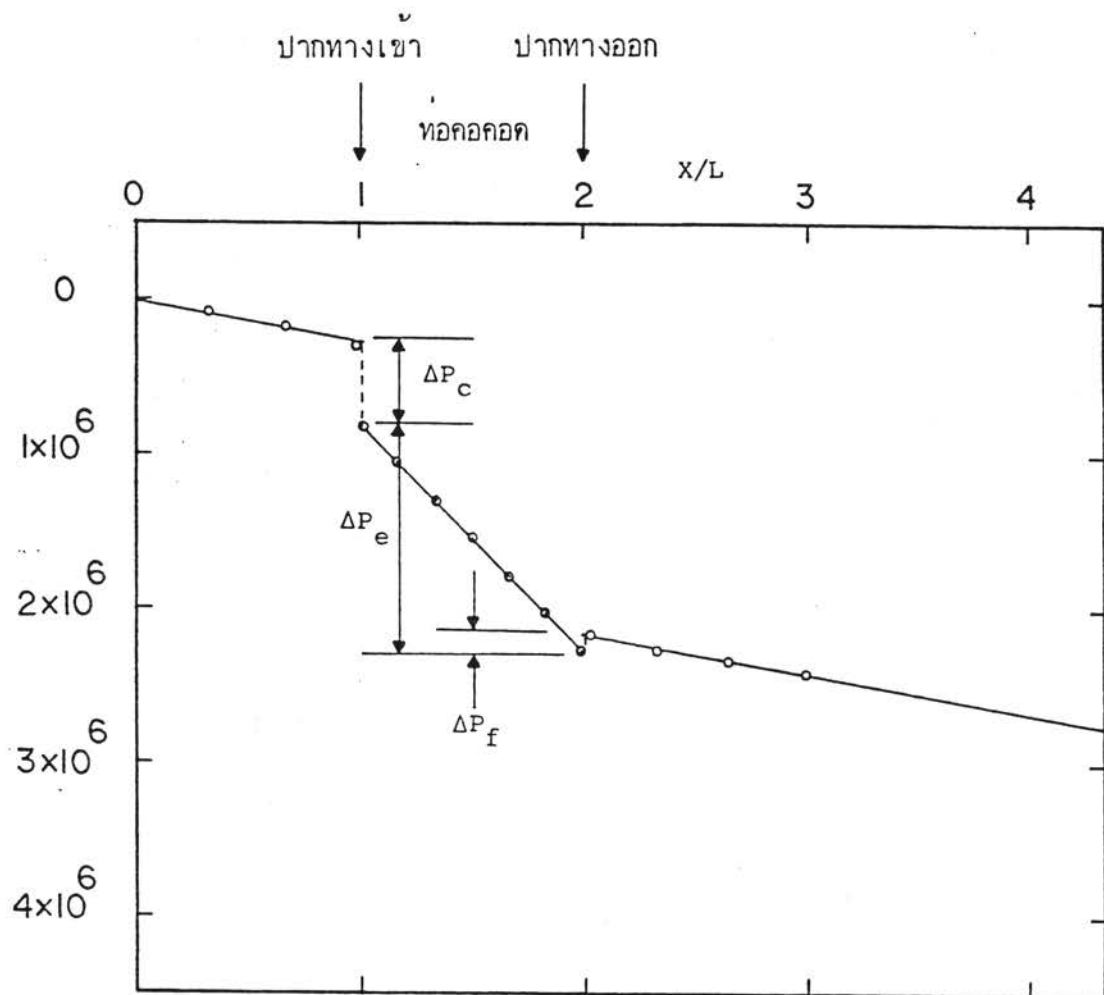
กราฟ 4.12 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ต่อความยาวท่อคอคคอต เมื่อ $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 100$, $Re = 1400$, อุณหภูมิท่อคอคคอตเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ $T_w = 50^\circ\text{C}$ โดยประมาณ



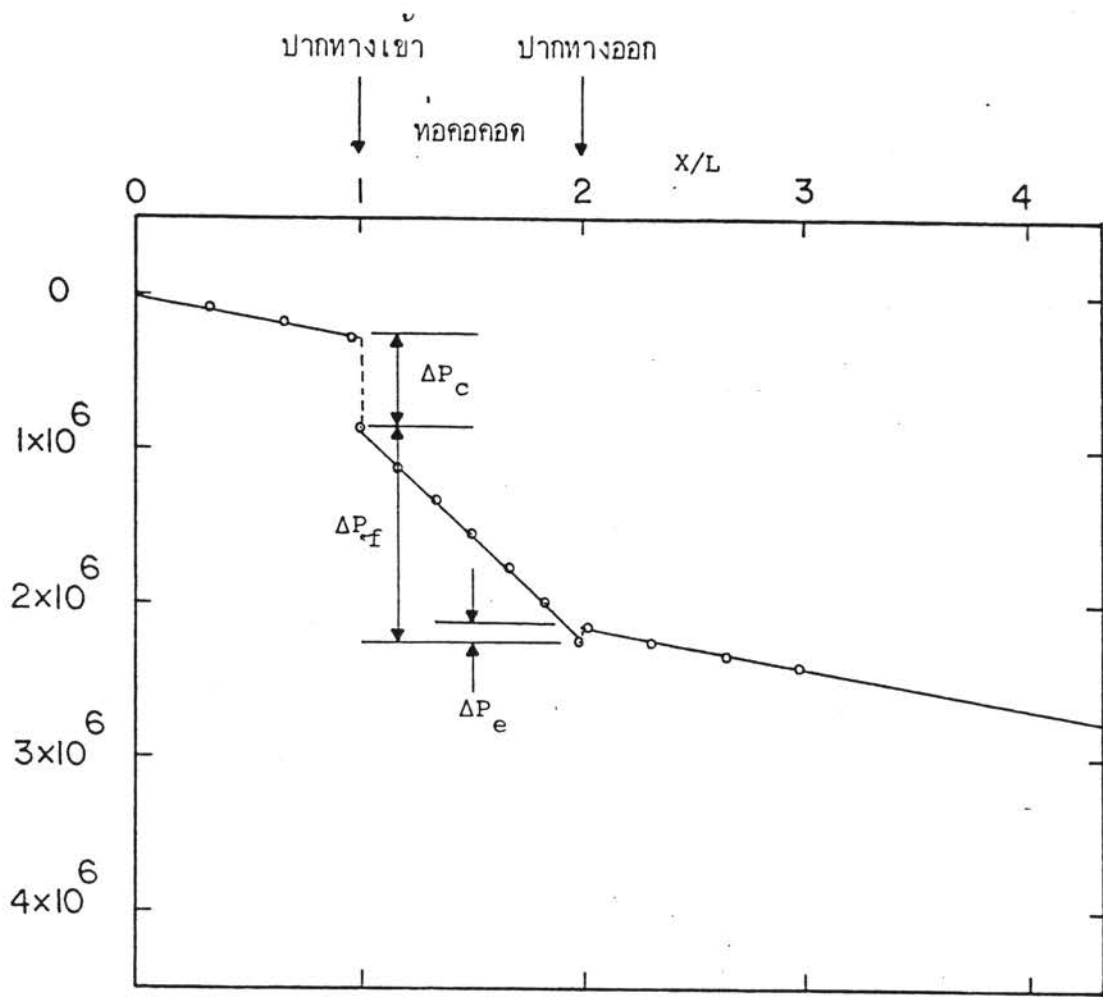
กราฟ 4.13 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ต่อความยาวท่อคอคอด เมื่อ $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 100$, $Re = 1508$, อุณหภูมิท่อคอคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ $T_w = 60^\circ C$ โดยประมาณ



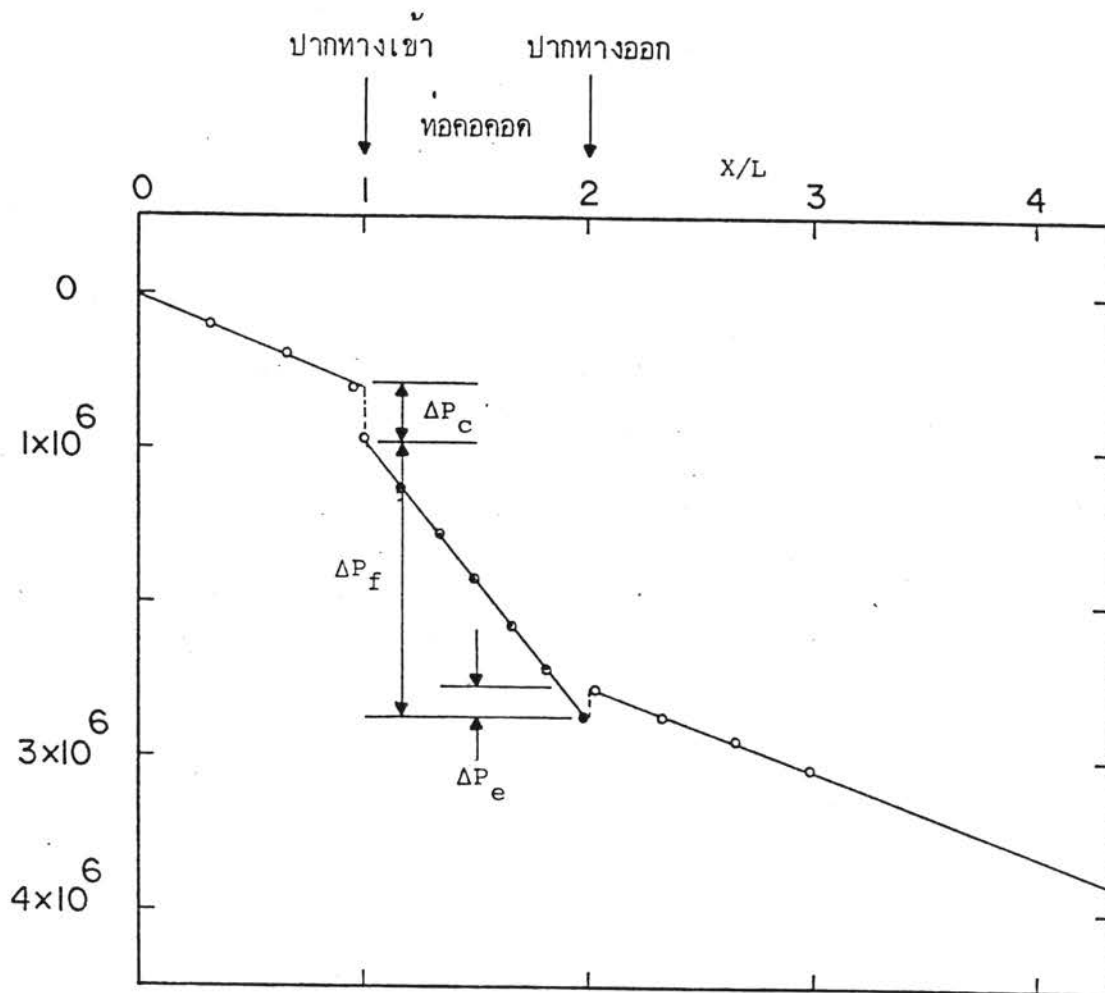
กราฟ 4.14 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ต่อความยาวท่อคอคอด เมื่อ $\sigma = 1/2$, $L/D_h = 100$, $Re = 1484$, อุณหภูมิท่อคอคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ $T_w = 26.2^\circ\text{C}$ (อุณหภูมิห้อง) โดยประมาณ



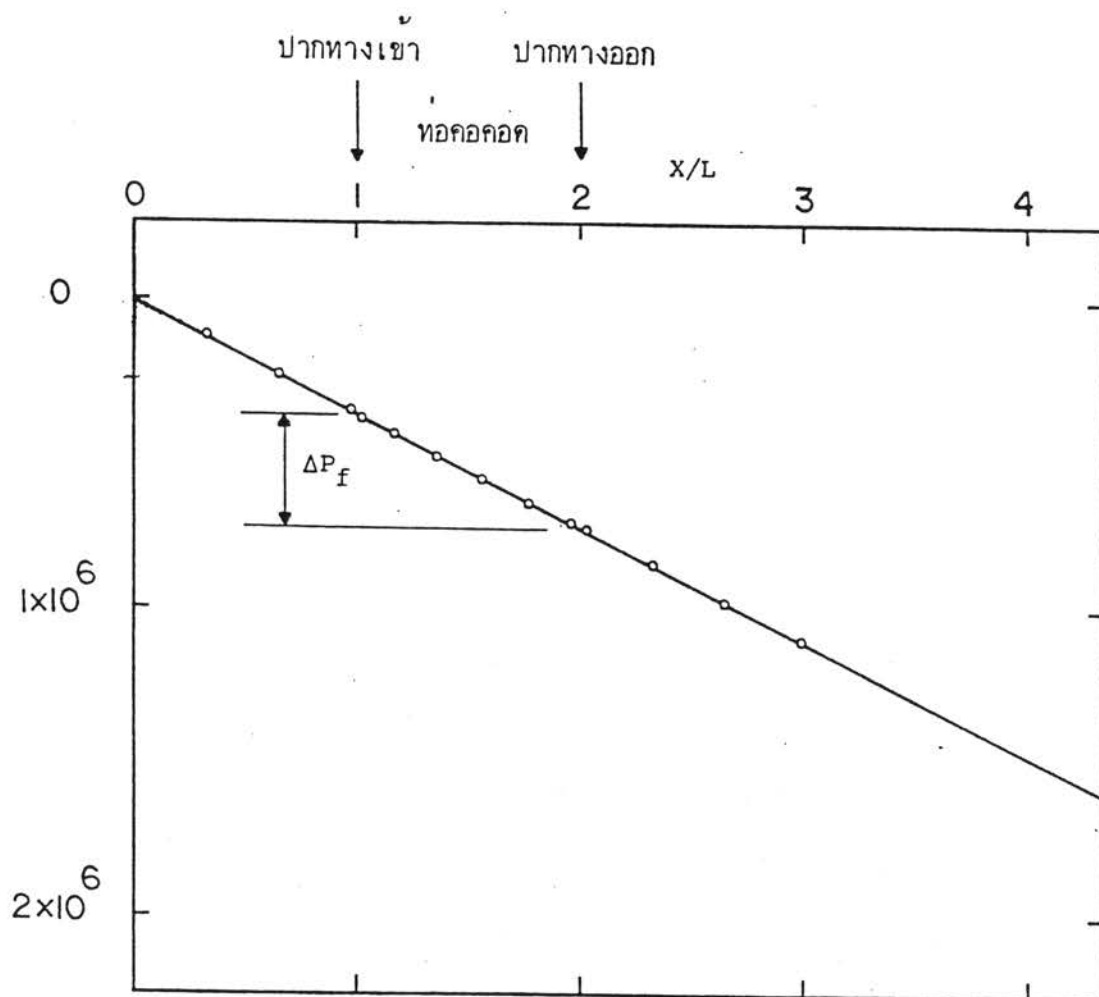
กราฟ 4.15 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ต่อความยาวท่อกกคอด เมื่อ $\sigma = 1/2$, $L/D_h = 100$, $Re = 1539$, อุณหภูมิท่อกกคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดทั้งผิวคือ $T_w = 50^\circ\text{C}$ โดยประมาณ



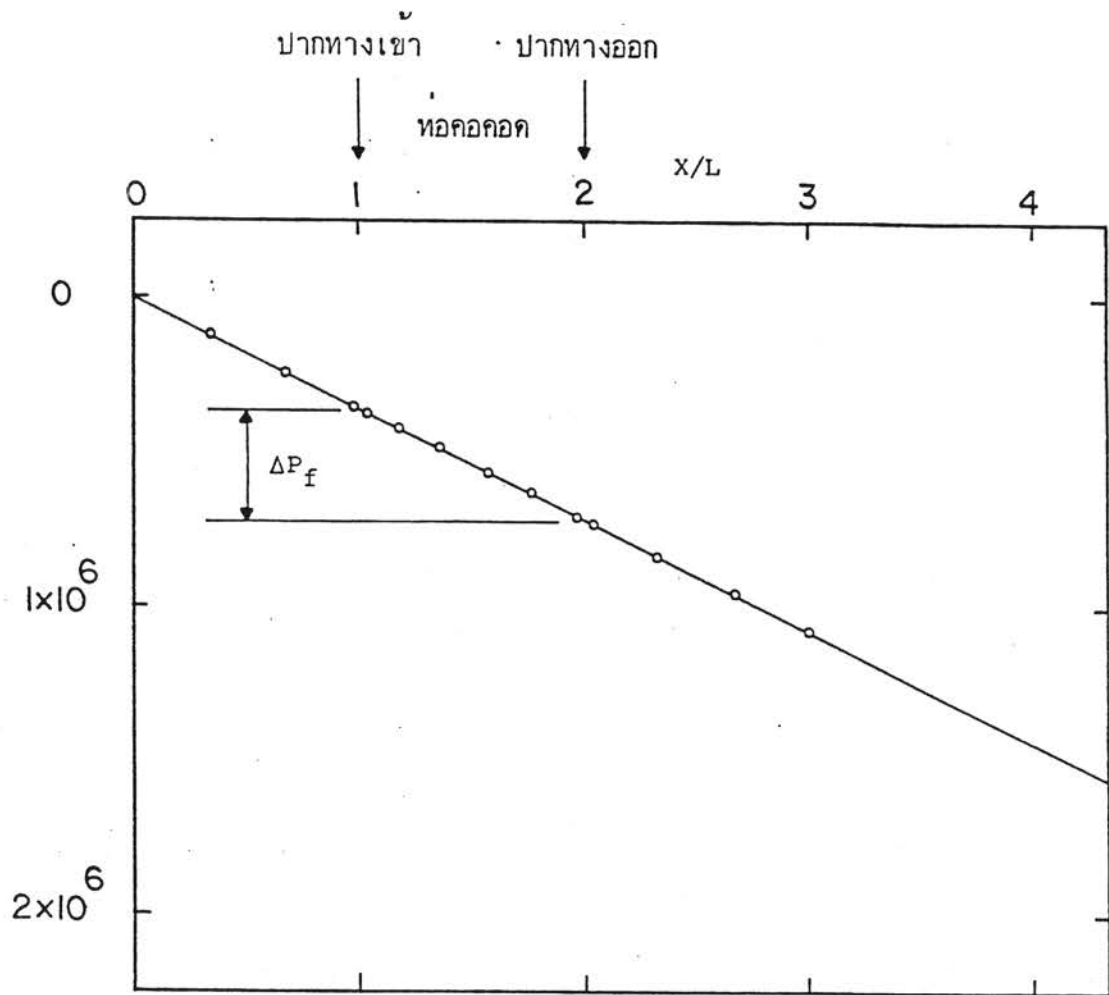
กราฟ 4.16 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ตลอดความยาวทอคอคอด เมื่อ $\sigma = 1/2$, $L/D_h = 100$, $Re = 1524$, อุณหภูมิทอคอคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ $T_w = 60^\circ C$ โดยประมาณ



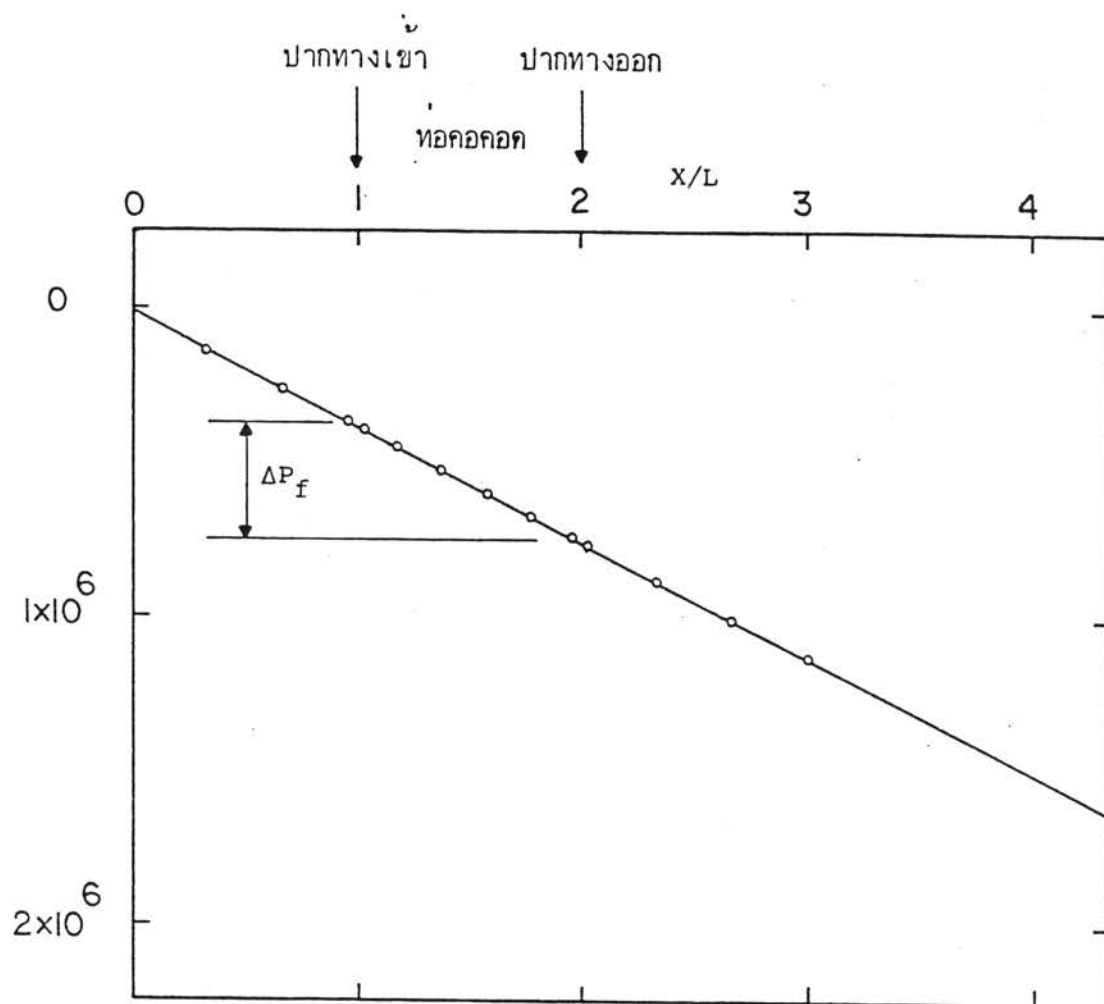
กราฟ 4.17 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ต่อความยาวท่อคอคอ เมื่อ $\sigma = 2/3$, $L/D_h = 100$, $Re = 1489$, อุณหภูมิท่อคอคอเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ $T_w = 26.2^\circ\text{C}$ (อุณหภูมิห้อง) โดยประมาณ



กราฟ 4.18 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ต่อความยาวทอคอขวด เมื่อ $\sigma = 1$
 $L/D_h = 10$, $Re = 1460$, อุณหภูมิทอคอขวดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ
 $T_w = 26.2^\circ\text{C}$ (อุณหภูมิห้อง) โดยประมาณ

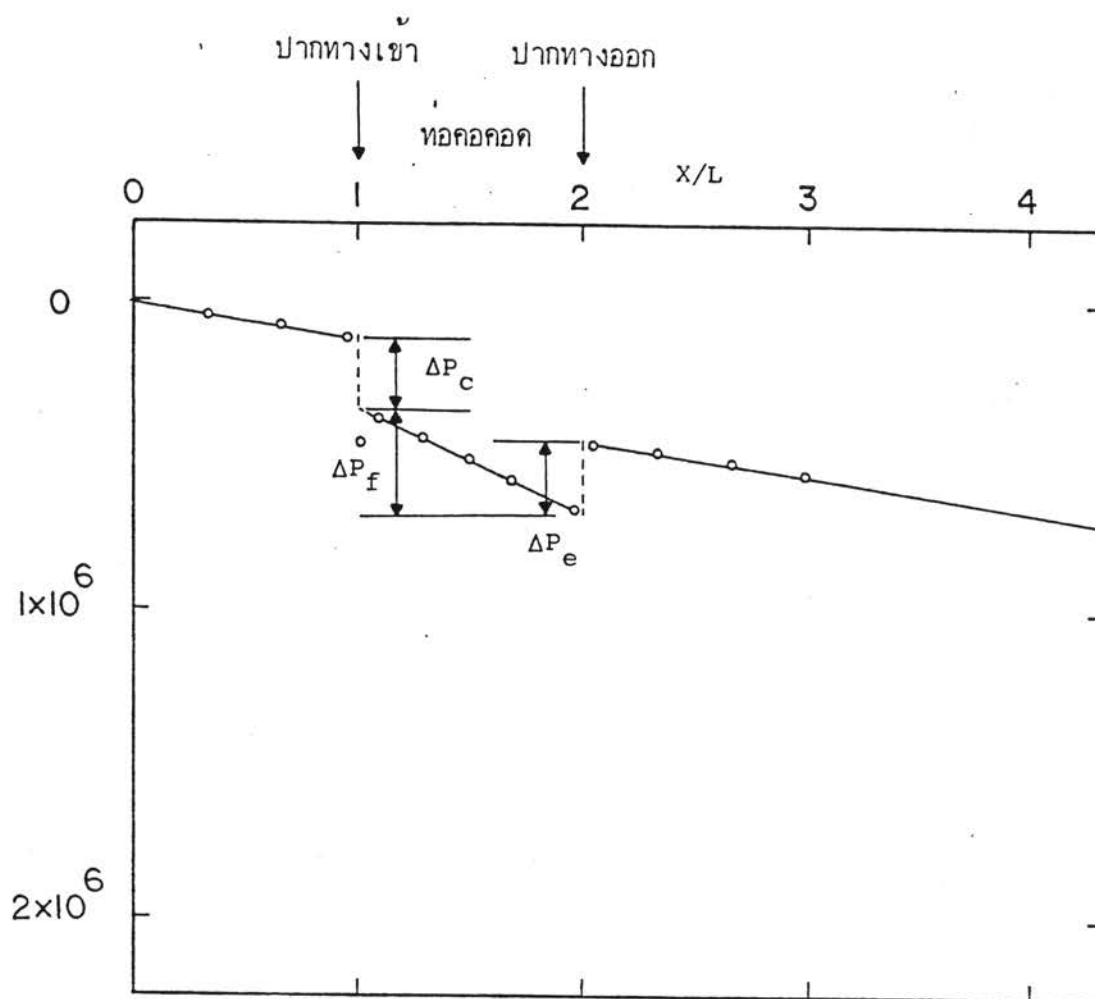


กราฟ 4.19 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ต่อความยาวท่อคอกคอก เมื่อ $\sigma = 1$
 $L/D_h = 10$, $Re = 1532$, อุณหภูมิท่อคอกคอกเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ
 $T_w = 50^\circ\text{C}$ โดยประมาณ

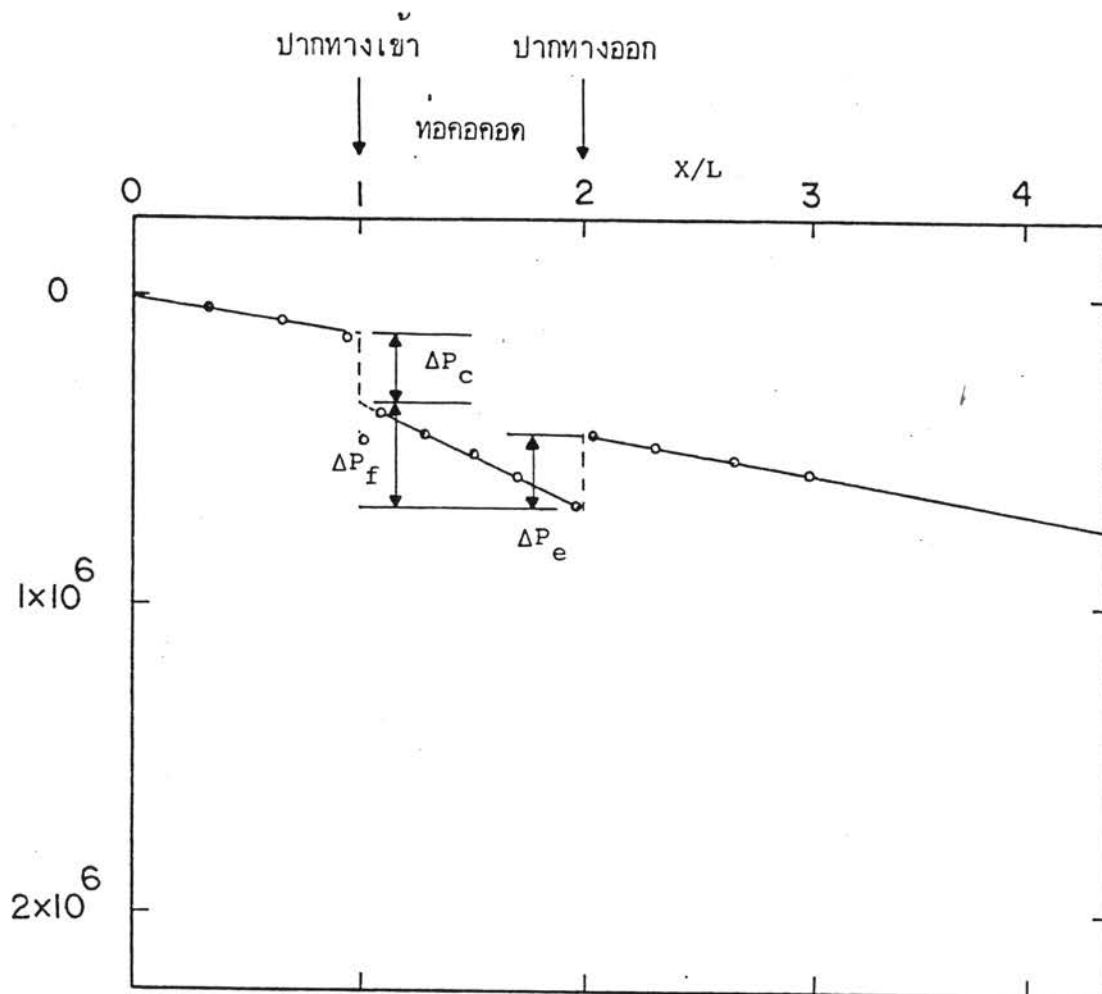


กราฟ 4.20

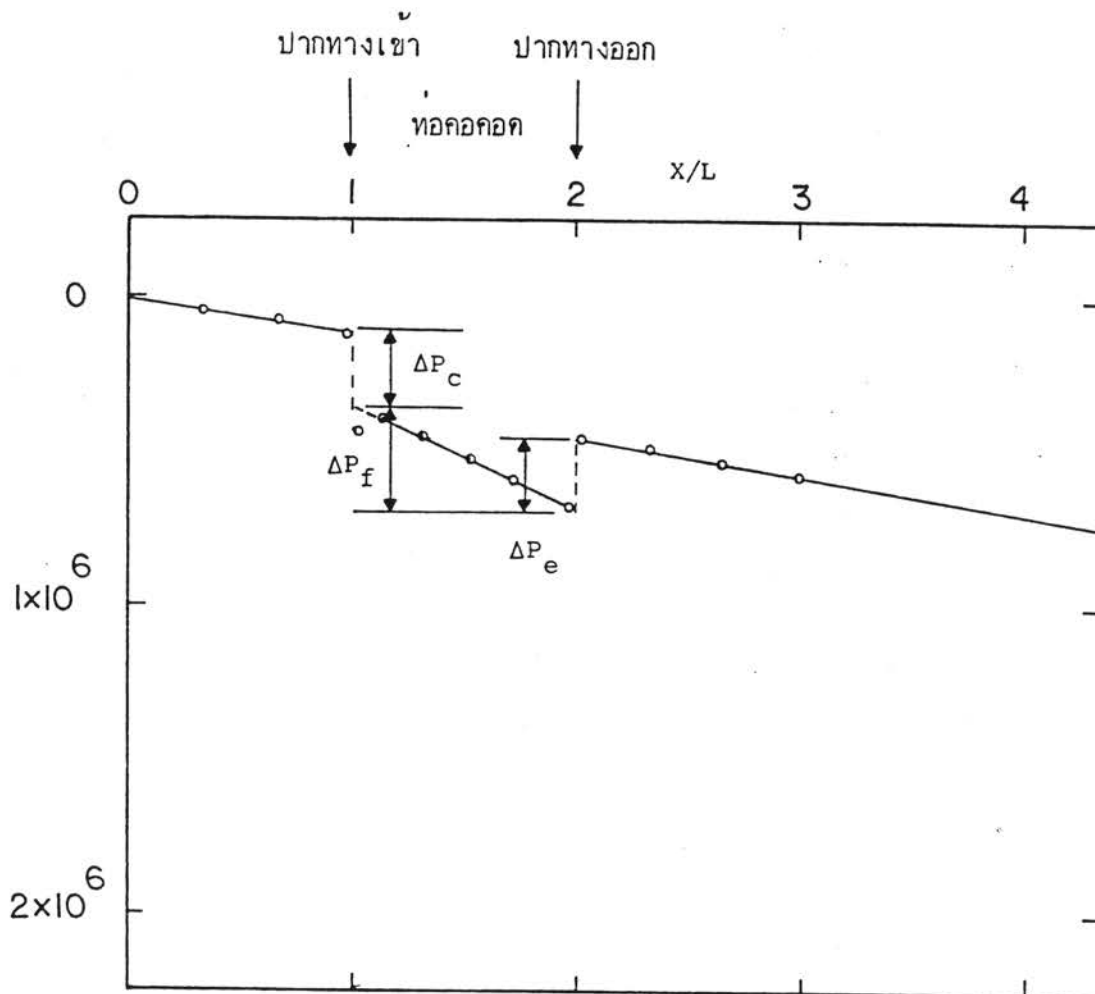
การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ต่อความยาวท่อคอคอค เมื่อ $\sigma = 1$
 $L/D_h = 10$, $Re = 1538$, อุณหภูมิท่อคอคอคเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ
 $T_w = 60^\circ\text{C}$ โดยประมาณ



กราฟ 4.21 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ตลอดความยาวทอคอคอค เมื่อ $\sigma = 2/3$, $L/D_h = 10$, $Re = 1432$, อุณหภูมิทอคอคอคเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ $T_w = 26.2^\circ\text{C}$ (อุณหภูมิห้อง) โดยประมาณ

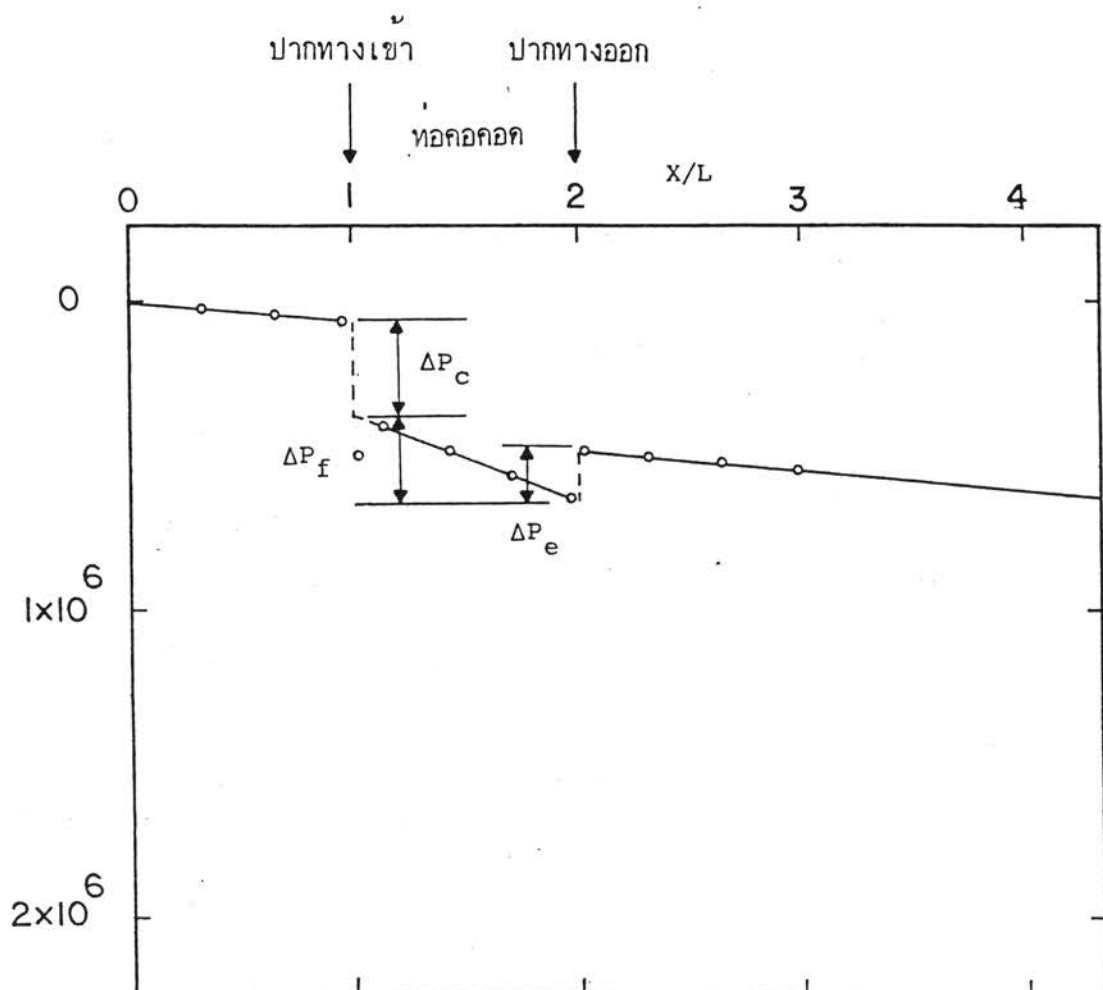


กราฟ 4.22 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ต่อความยาวทอคอขวด เมื่อ $\sigma = 2/3$, $L/D_h = 10$, $Re = 1390$, อุณหภูมิทอคอขวดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ $T_w = 50^\circ\text{C}$ โดยประมาณ

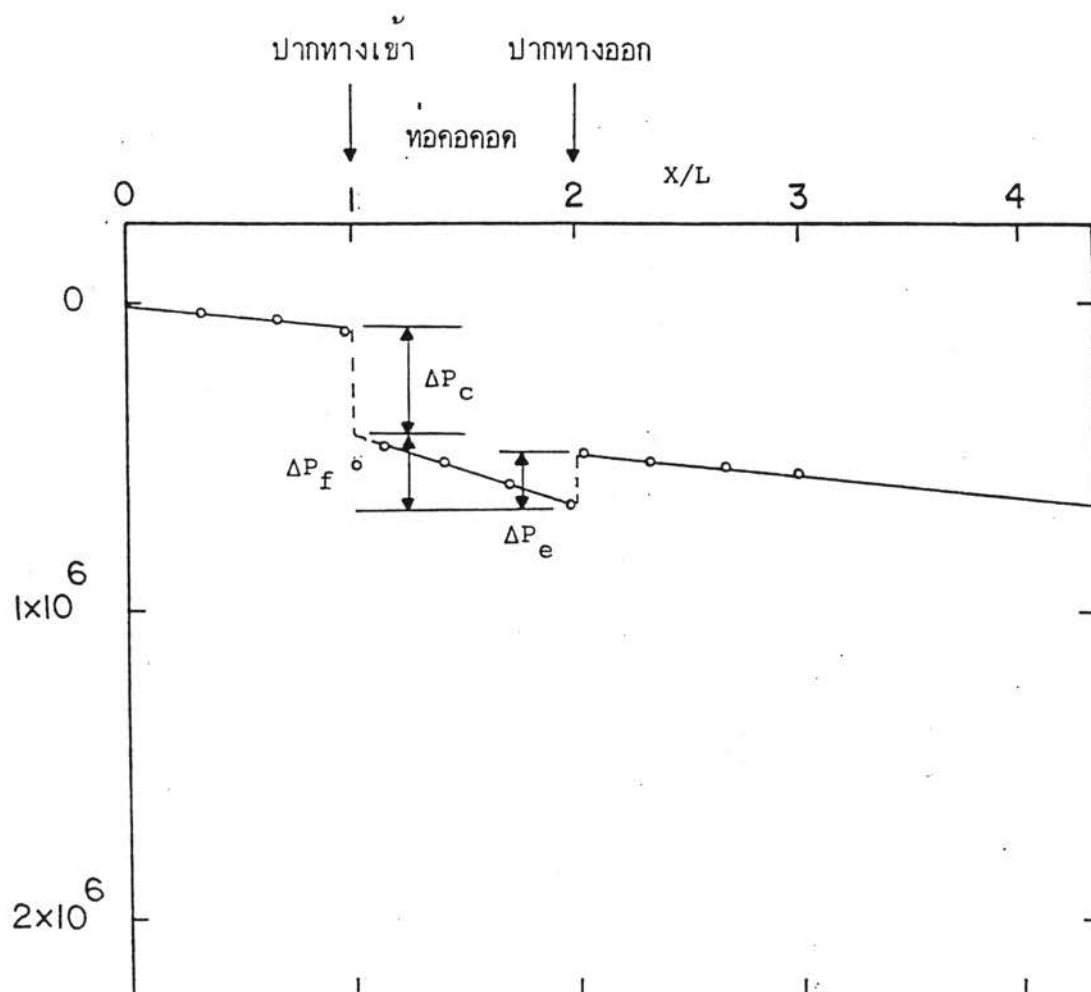


กราฟ 4.23

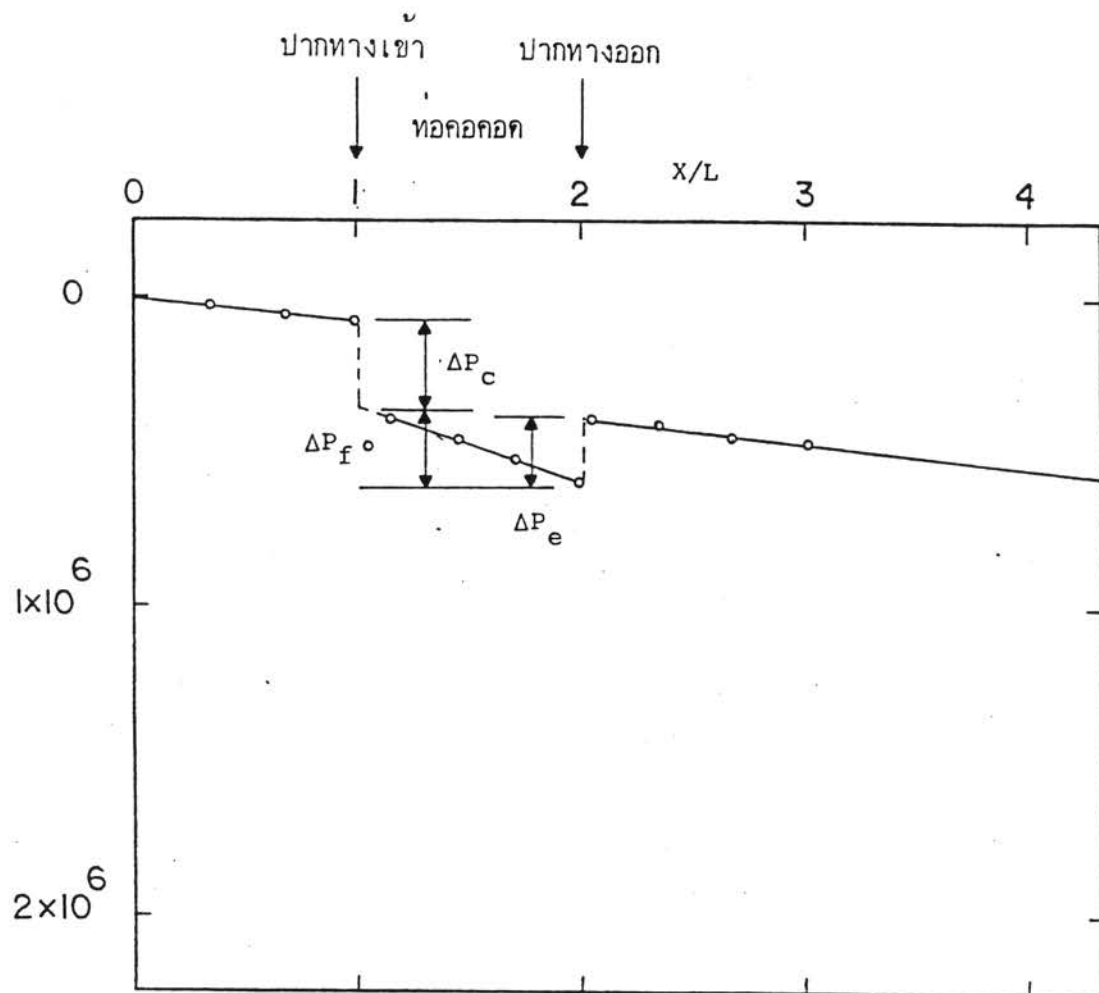
การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ต่อความยาวท่อคอขวด เมื่อ $\sigma = 2/3$,
 $L/D_h = 10$, $Re = 1409$, อุณหภูมิท่อคอขวดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ
 $T_w = 60^\circ\text{C}$ โดยประมาณ



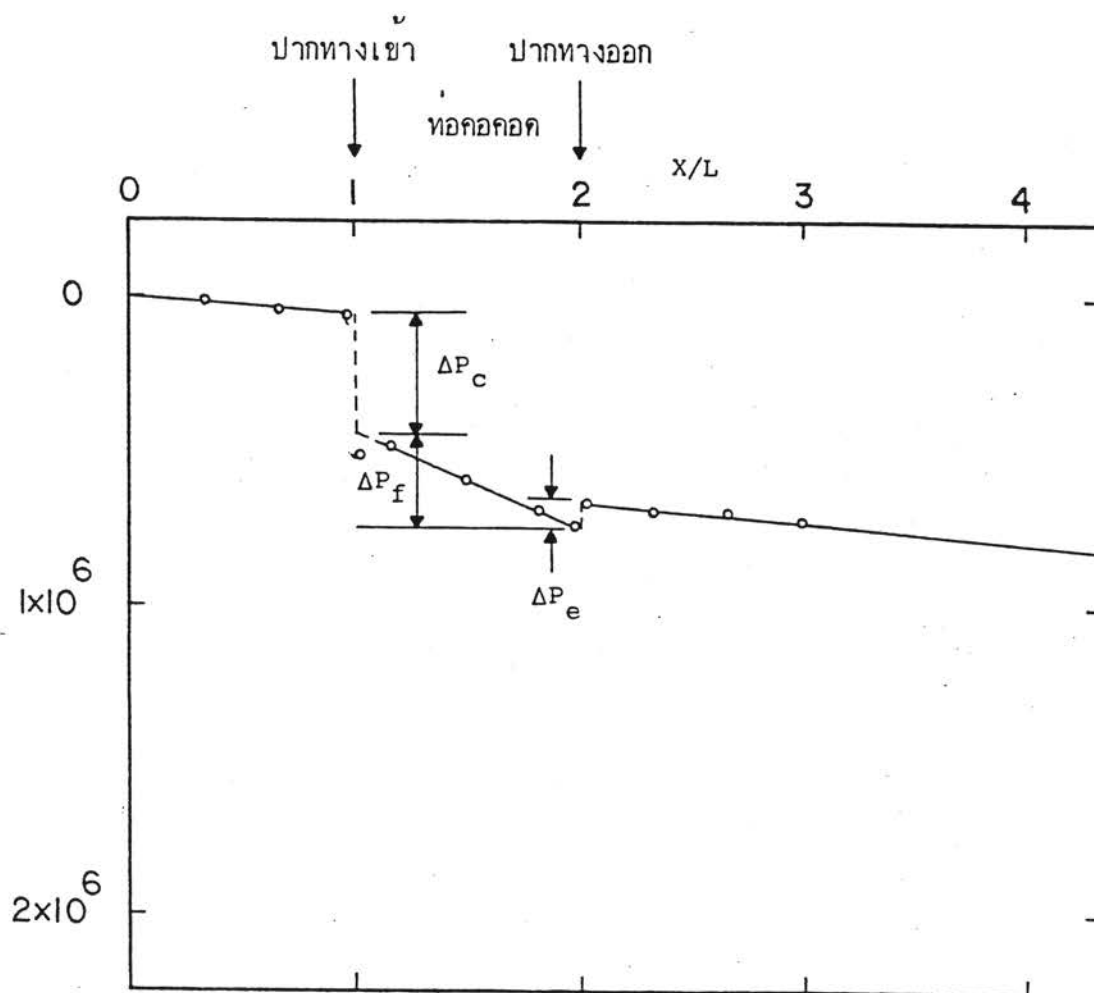
กราฟ 4.24 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ตลอดความยาวท่อคอคอด เมื่อ $\sigma = 1/2$, $L/D_h = 10$, $Re = 1429$, อุณหภูมิท่อคอคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ $T_w = 26.2^\circ C$ (อุณหภูมิห้อง) โดยประมาณ



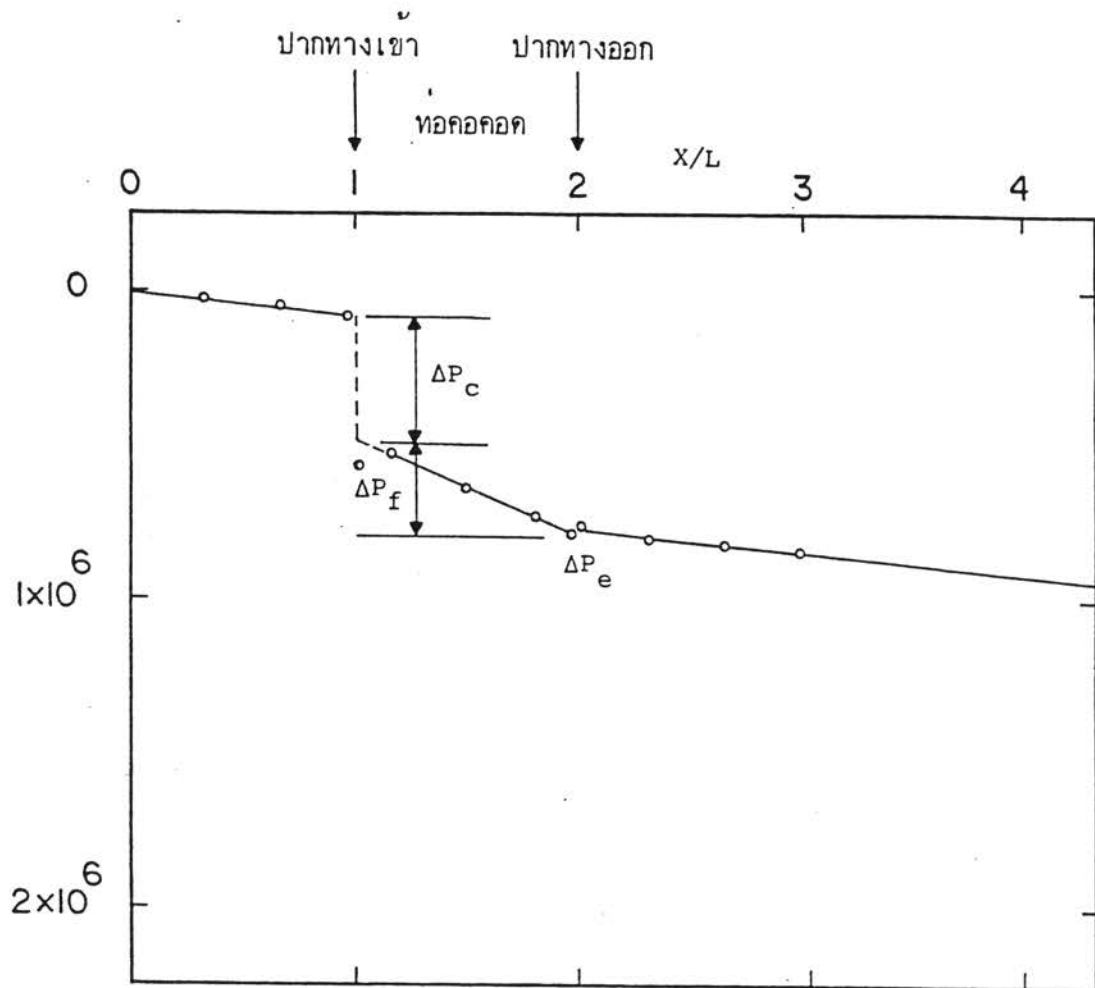
กราฟ 4.25 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ตลอดความยาวทอคอขวด เมื่อ $\sigma = 1/2$, $L/D_h = 10$, $Re = 1487$, อุณหภูมิทอคอขวดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ $T_w = 50^\circ C$ โดยประมาณ



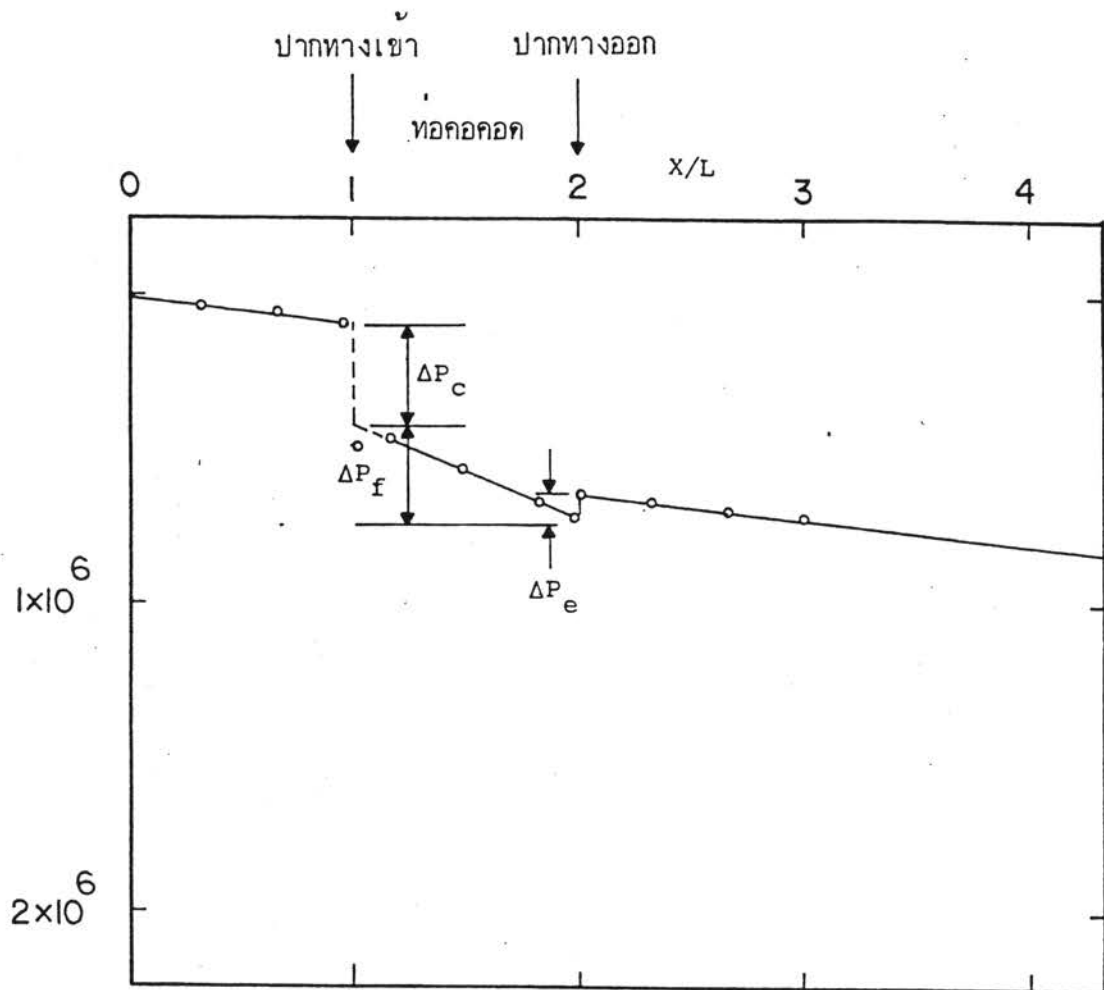
กราฟ 4.26 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ต่อความยาวทอคอคคอด เมื่อ $\sigma = 1/2$, $L/D_h = 10$, $Re = 1502$, อุณหภูมิทอคอคคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดก้นผิวคือ $T_w = 60^\circ\text{C}$ โดยประมาณ



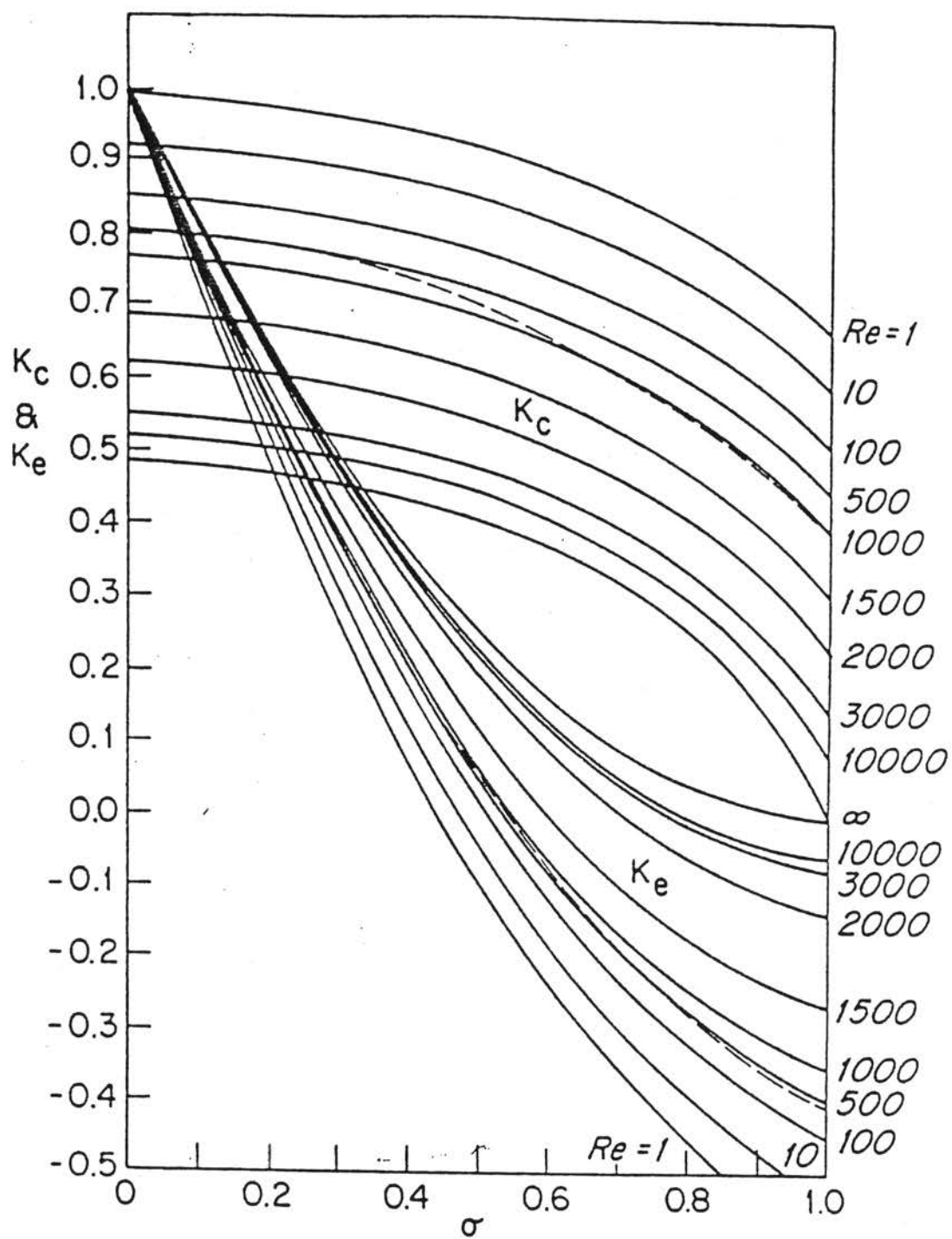
กราฟ 4.27 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ตลอดความยาวทอคอขวด เมื่อ $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 10$, $Re = 1393$, อุณหภูมิทอคอขวดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ $T_w = 26.2^\circ\text{C}$ (อุณหภูมิห้อง) โดยประมาณ



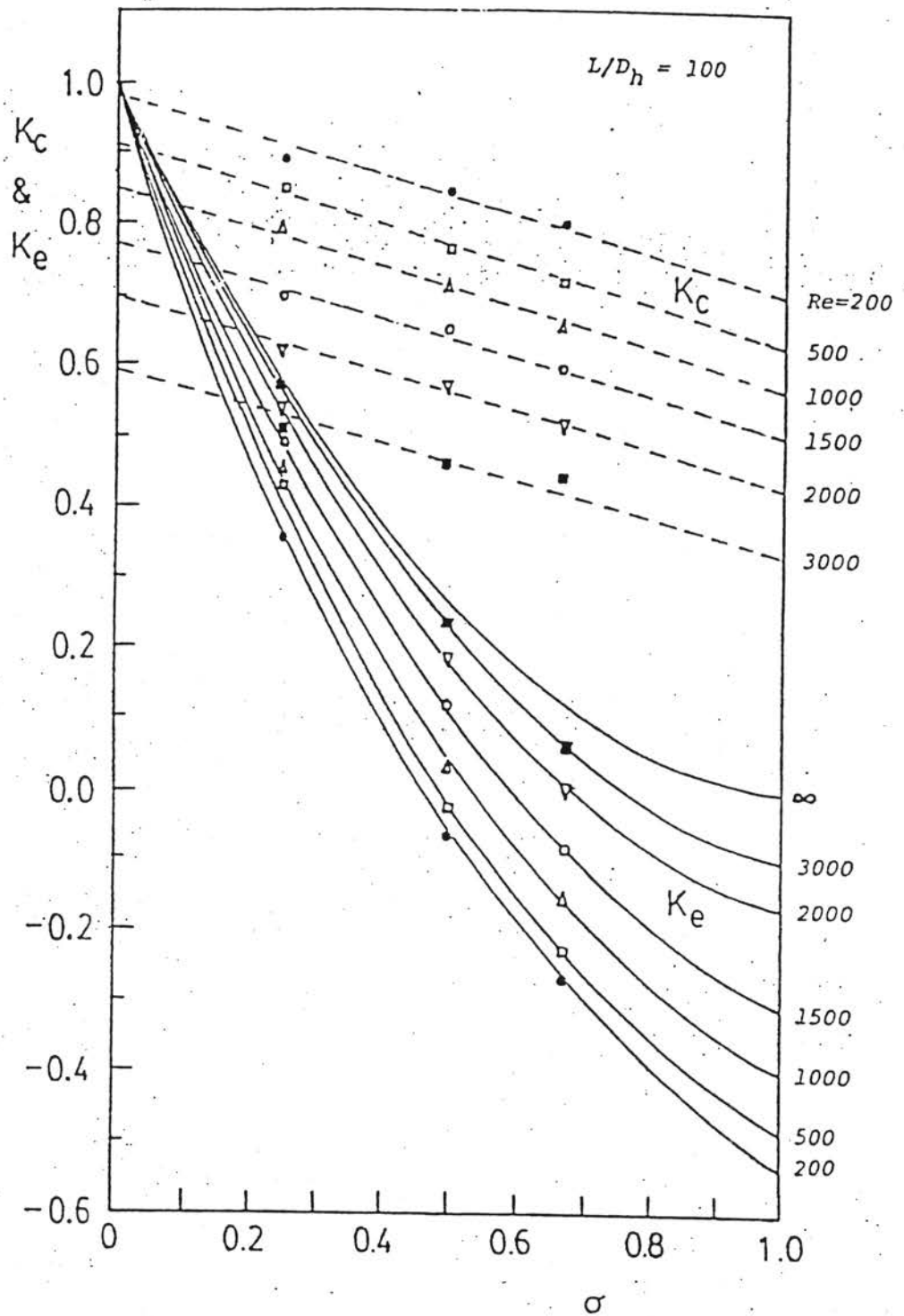
กราฟ 4.28 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ต่อความยาวทอคอคอด เมื่อ $\sigma = 1/2$, $L/D_h = 10$, $Re = 1525$, อุณหภูมิทอคอคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ $T_w = 50^\circ\text{C}$ โดยประมาณ



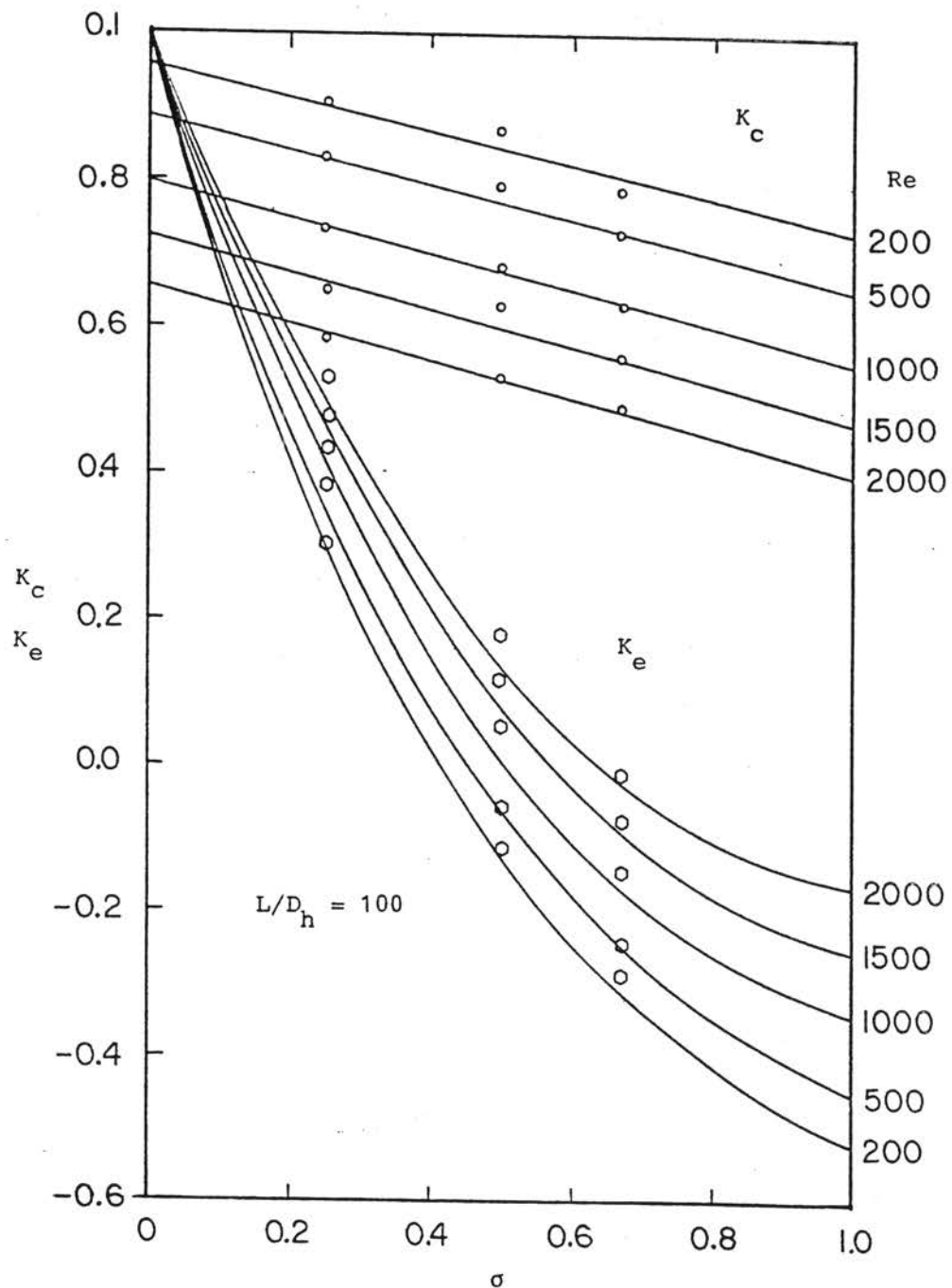
กราฟ 4.29 การแจกแจงความดัน ณ จุดใด ๆ ตลอดความยาวท่อคอกคอด เมื่อ $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 10$, $Re = 1416$, อุณหภูมิท่อคอกคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ $T_w = 60^\circ\text{C}$ โดยประมาณ



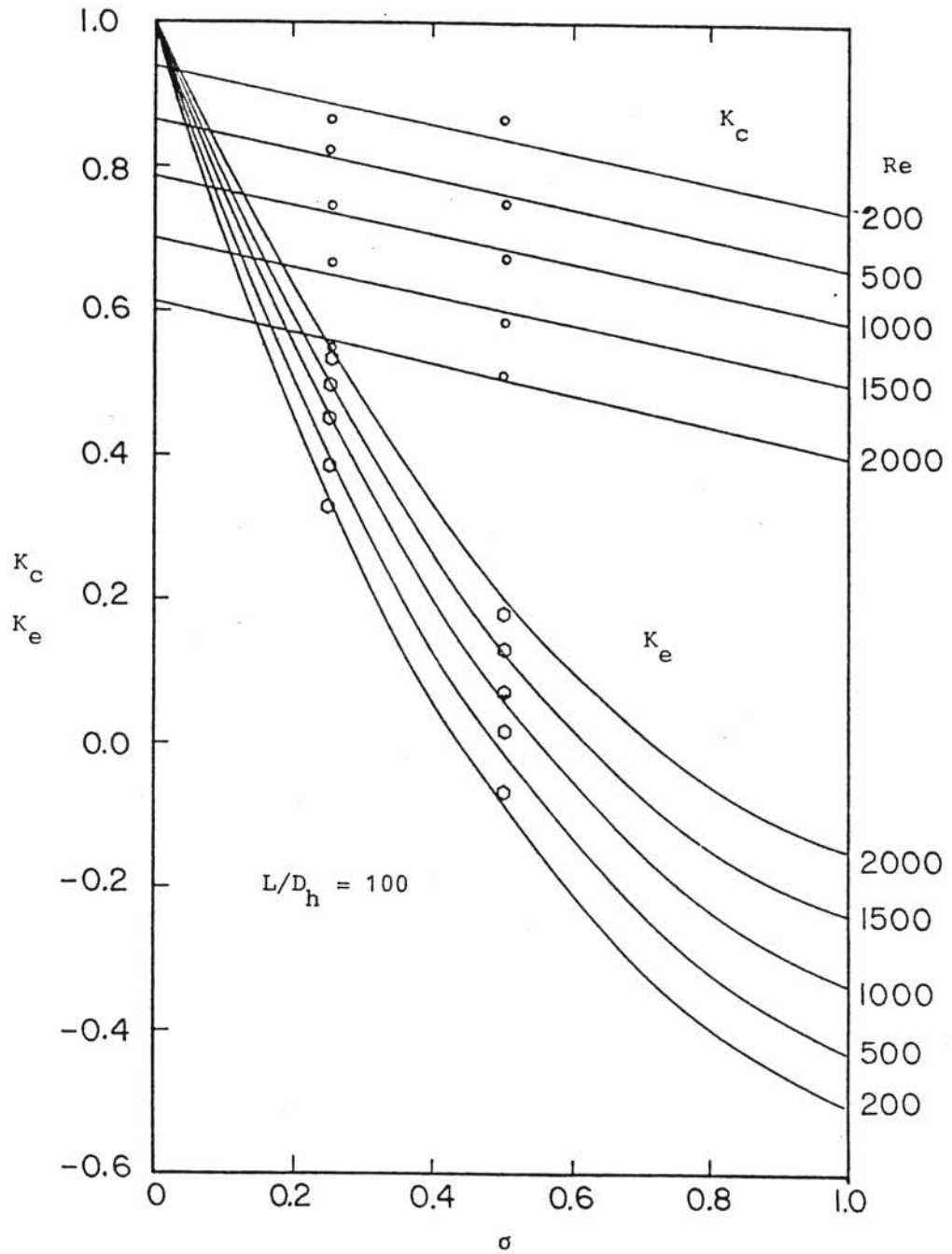
กราฟ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน K_c และ K_e กับ อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด σ [3]



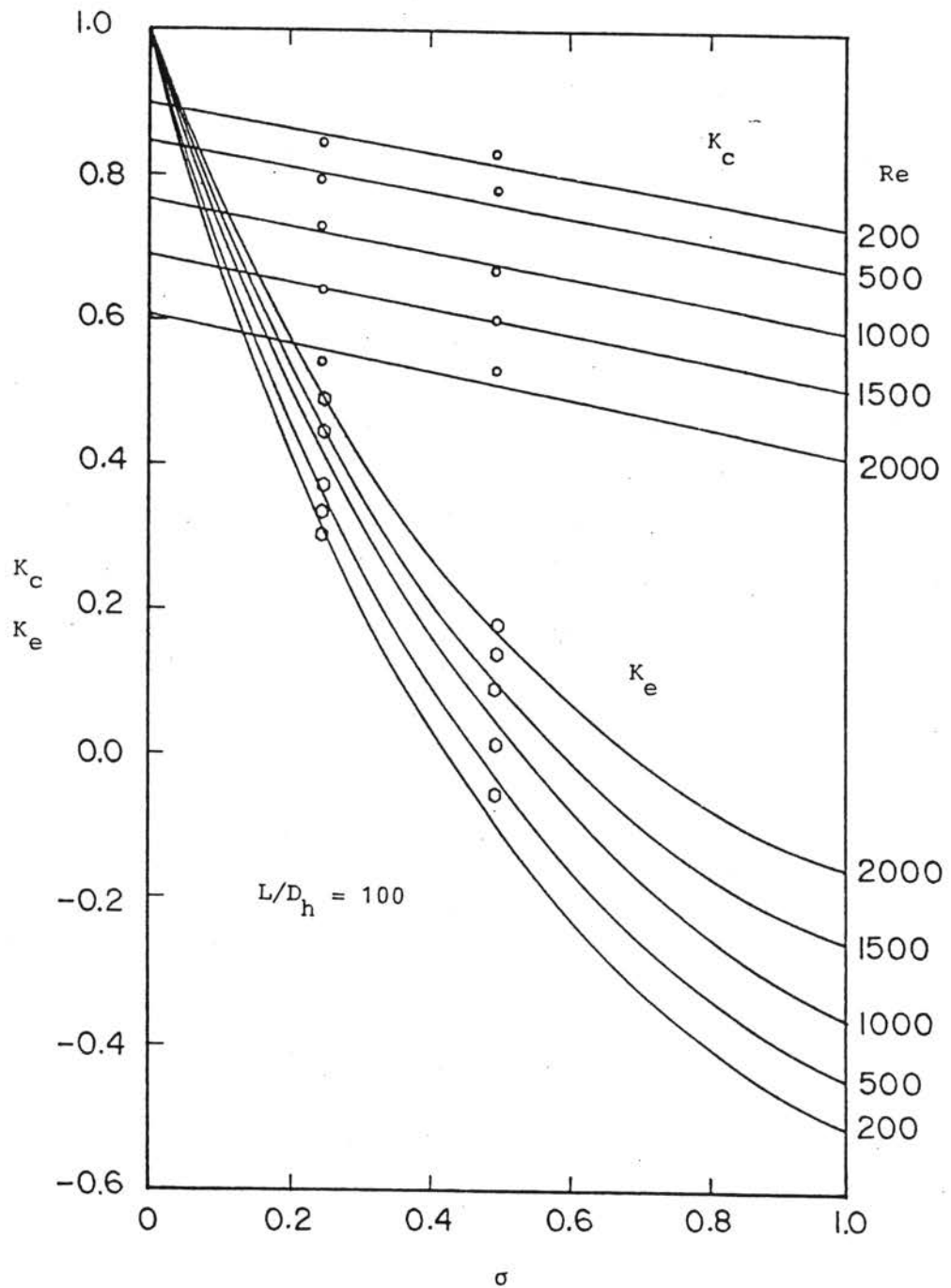
กราฟ 4.30ก ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน K_c และ K_e กับ อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด σ [21]



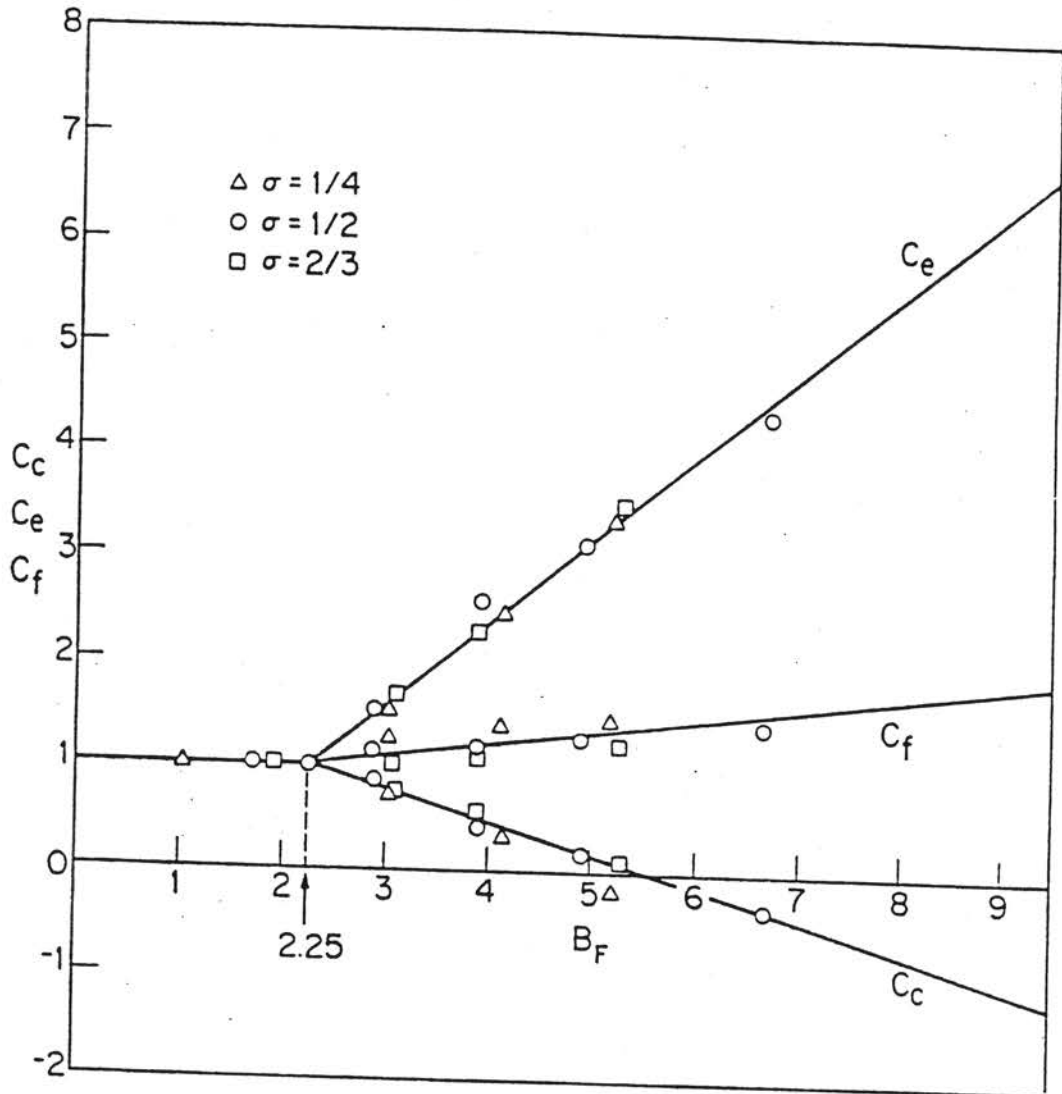
กราฟ 4.30 ข ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน K_c และ K_e กับ อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด σ อุณหภูมิของของไหลเป็นแบบ เทอแก้นคลอกรพินผิวคือ $T_w = 26.2 \text{ }^\circ\text{C}$ (อุณหภูมิห้อง) โดยประมาณ



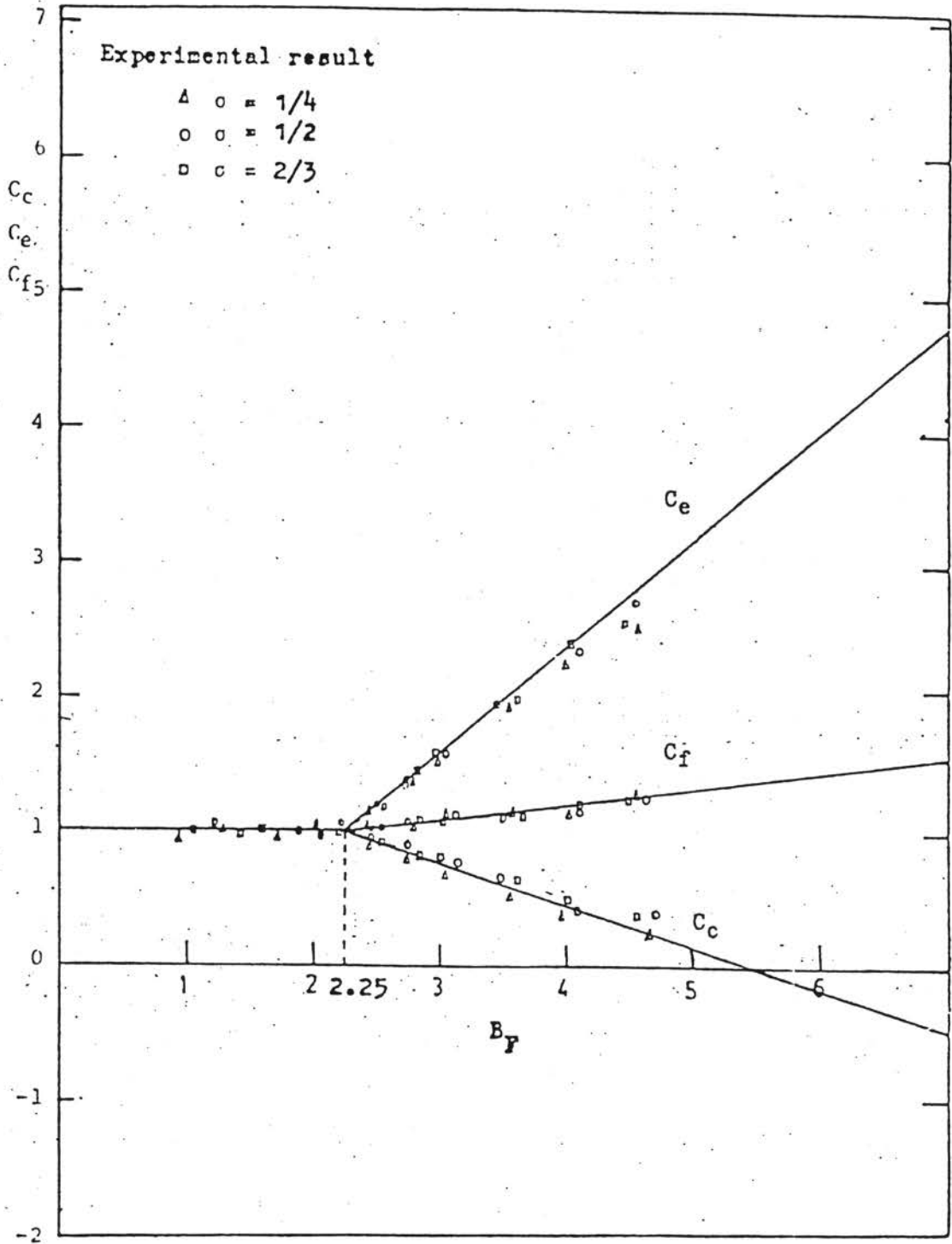
กราฟ 4.30ค ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน K_c และ K_e กับ อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด σ อุณหภูมิที่ออกคือเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ $T_w = 50^\circ\text{C}$ โดยประมาณ



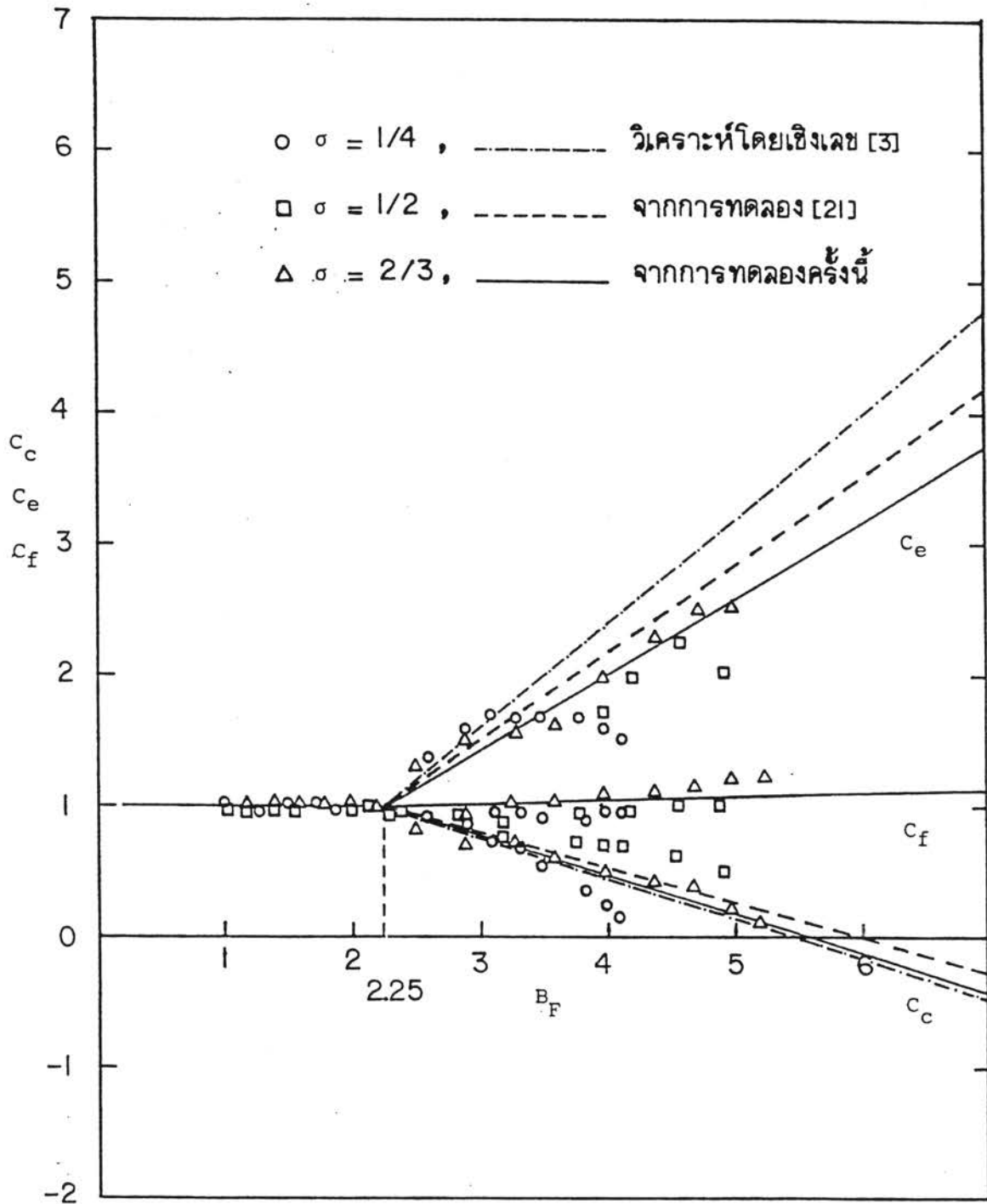
กราฟ 4.30ง ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน K_c และ K_e กับ อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด σ อุณหภูมิไหลออกคือเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวคือ $T_w = 60^\circ\text{C}$ โดยประมาณ



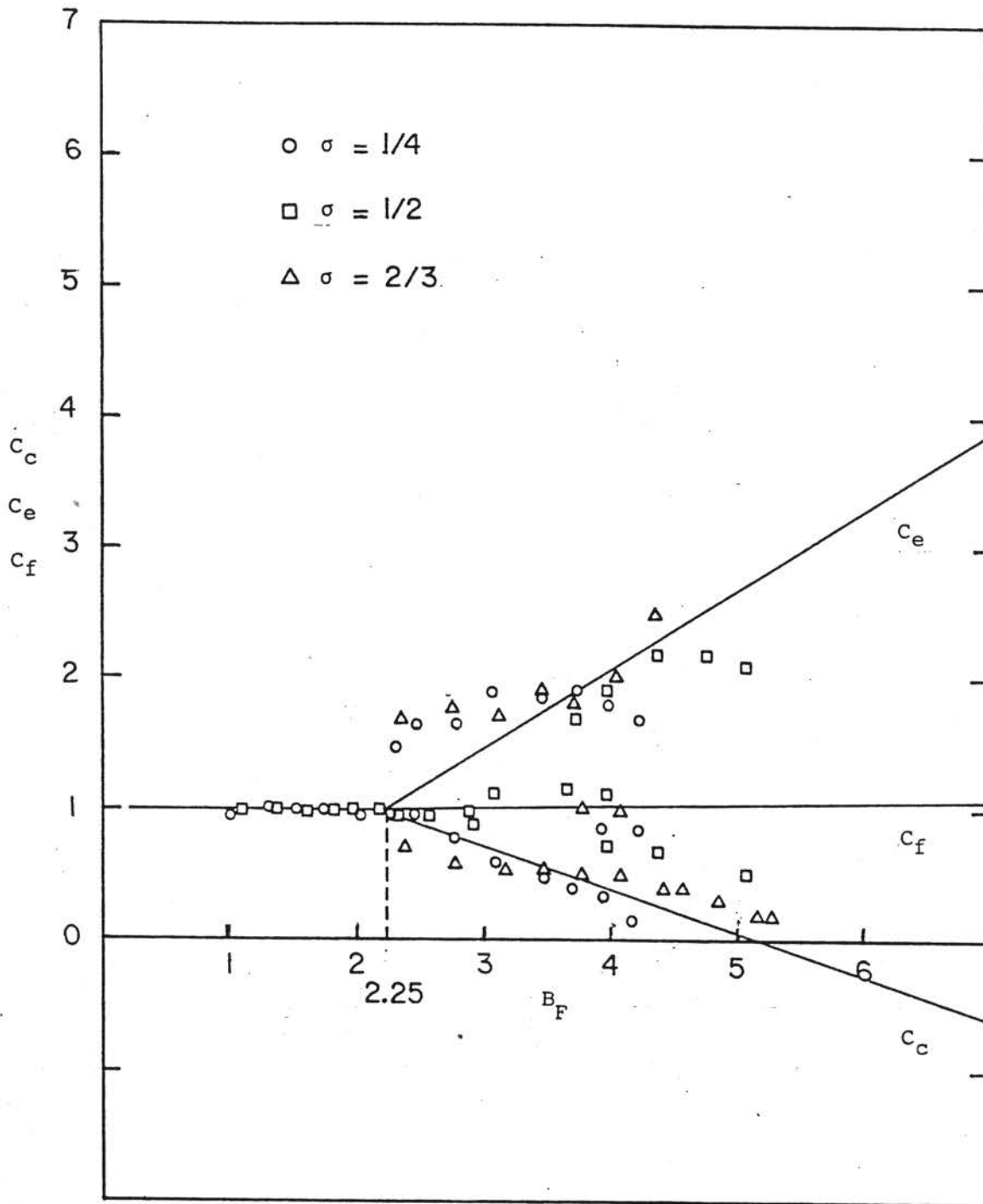
กราฟ 4.31 Correction factors สำหรับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน C_c , C_e และ C_f สำหรับการไหลผ่านท่อคอคอดกับ B_F [3]



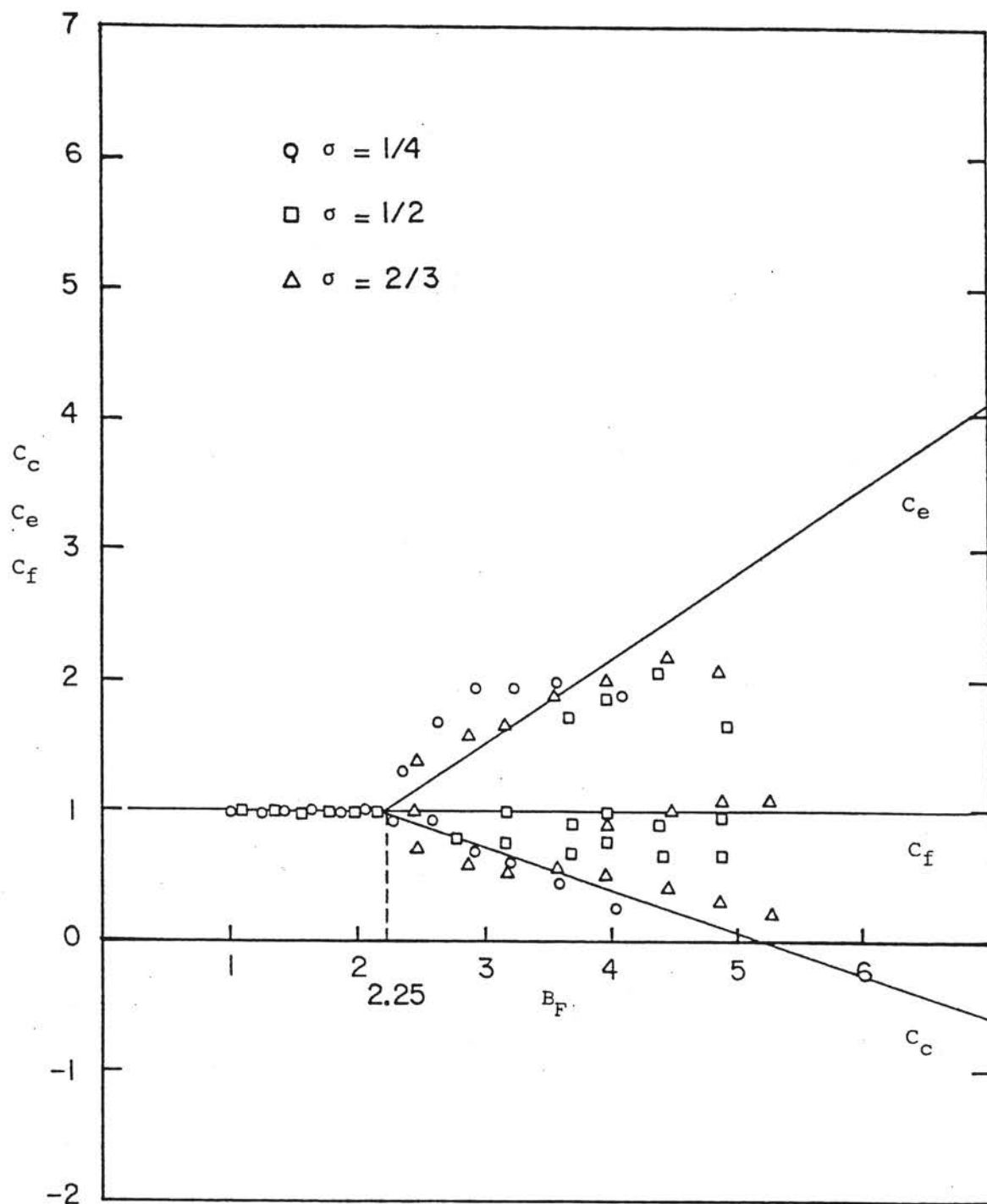
กราฟ 4.32 Correction factors สำหรับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน C_c , C_e และ C_f สำหรับการไหลผ่านท่อคอคอดกับ B_f เมื่อ $Re < 1600$ [21]



กราฟ 4.33 Correction factors สำหรับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน c_c , c_e และ c_f สำหรับการไหลผ่านท่อคอคอดกับ B_F ที่อุณหภูมิผิวท่อคอคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิว $T_w = 26.2 \text{ }^\circ\text{C}$ (อุณหภูมิห้อง)



กราฟ 4.33ก Correction factors สำหรับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน c_c , c_e และ c_f สำหรับการไหลผ่านท่อคอคอดกับ B_F ที่อุณหภูมิผิวท่อคอคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิว $T_w = 50^\circ C$ โดยประมาณ



กราฟ 4.33ข Correction factors สำหรับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน c_c , c_e และ c_f สำหรับการไหลผ่านท่อคอคอดกับ B_F ที่อุณหภูมิผิวท่อคอคอดเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิว $T_w = 60^\circ\text{C}$ โดยประมาณ