

บทที่ 5

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

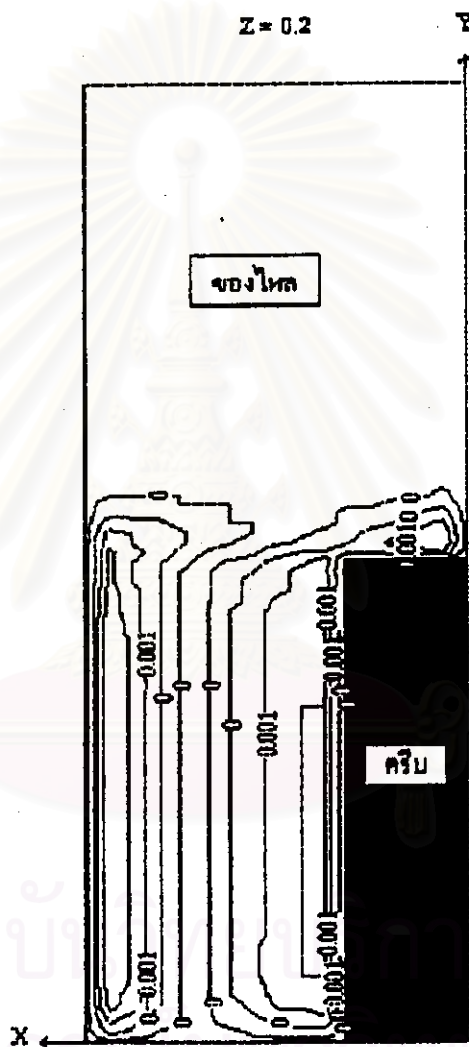
5.1 บทนำ

ในการหาค่าตอบเชิงตัวเลขโดยใช้โปรแกรม VFIN ได้ทำการคำนวณหาความเร็วของของไหลในแนวแกน x , y และ z , อุณหภูมิของของไหลและครีป, อัตราการถ่ายเทความร้อนจากครีป และค่า Nusselt number โดยค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจากครีปและค่า Nusselt number ที่ได้จากการคำนวณจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Leung and Probert (1989b) และผลการทดลองของ Chaddock (1970)

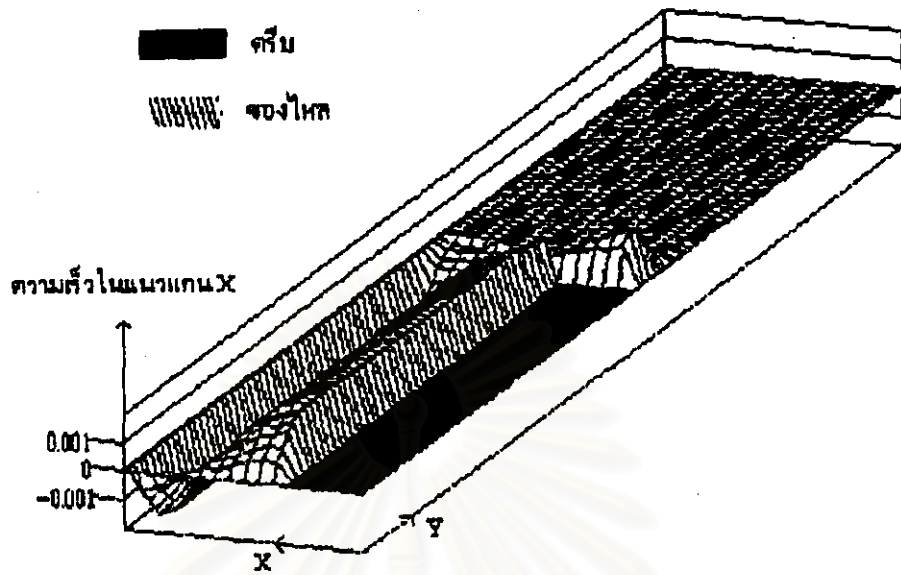
จากสมการเชิงอนุพันธ์ซึ่งควบคุมปัญหา (สมการ 2.16 ถึง 2.20) ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญซึ่งควบคุมการถ่ายเทความร้อนและการไหลของของไหลคือ ค่า $Gr_s Pr$ (Rayleigh Nusselt number) อย่างไรก็ตาม การพาความร้อนแบบอิสระจากครีป มีลักษณะคล้ายกับกรณีของ parallel plates คือ เมื่อระยะห่างระหว่างแนวครีป, s มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความยาวครีป, L จะทำให้ boundary layer ของครีปที่อยู่ติดกันมาชนกันหรือเกิด fully developed ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของครีปลดลง ซึ่งในกรณีของ parallel plates ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญซึ่งควบคุมการถ่ายเทความร้อนและการไหลของของไหล คือค่า $Gr_s Pr.s/L$ (ซึ่งจะเป็นค่าที่กำหนดการเกิด fully developed ด้วย, $Gr_s Pr.s/L < 10$ เป็น fully developed) ดังนั้นในการแสดงผลการคำนวณของกรณีของการพาความร้อนแบบอิสระจากครีปจะแสดงการแจกแจงของค่าความเร็วและอุณหภูมิของของไหลในช่วงค่า $Gr_s Pr.s/L$ ต่างๆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงการเกิด fully developed ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนจากจุดครีป

5.2 ความเร็วไร้หน่วยของของไหล

5.2.1 ความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน X



รูปที่ 5-1 แสดง contour plot ของความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน X ที่ค่า $Gr_r Pr_m/L = 12$

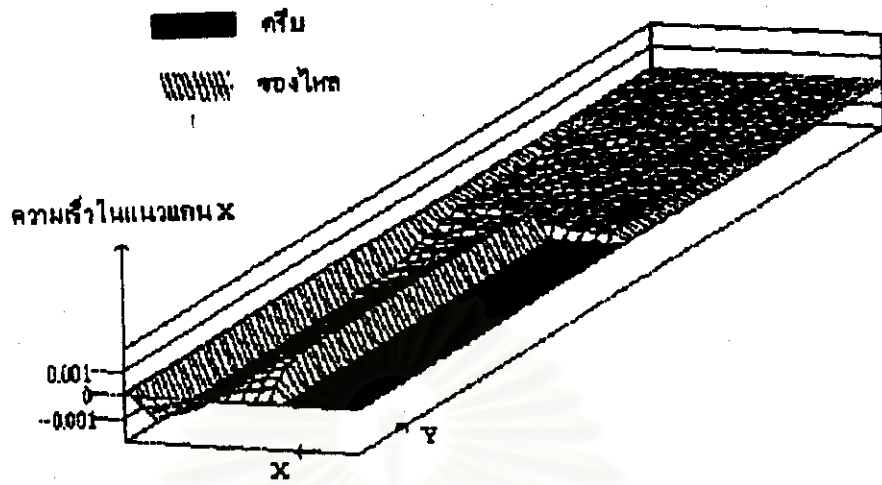


รูปที่ 5-2 แสดง surface plot ของความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน X ที่ค่า $Gr_{Pr,s}/L = 12$

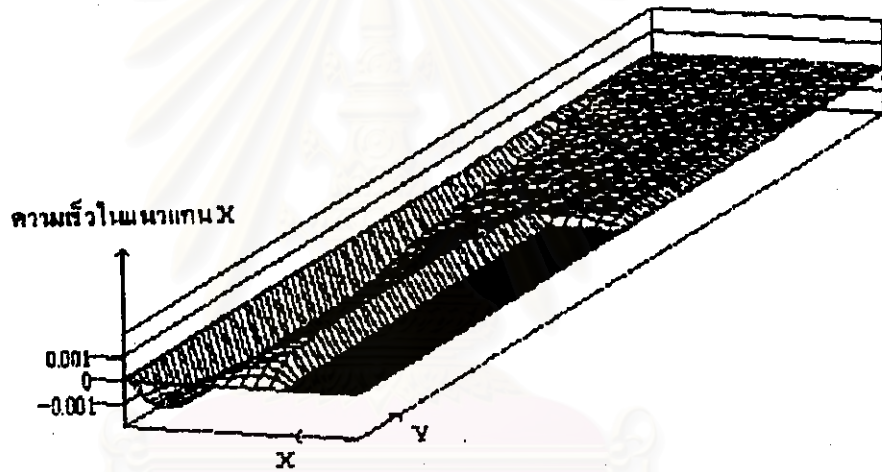
5.2.1.1 ผลการศึกษา

รูปที่ 5-1 และ 5-2 แสดงการแจกแจงความเร็วไร้หน่วยของของไหลในแนวแกน X บนระนาบ X-Y ที่ระยะ Z เท่ากับ 0.2 เมื่อค่า $Gr_{Pr,s}/L = 12$ จากรูป จะเห็นว่าที่บริเวณผิวด้านข้างของครีမ်และบริเวณปลายครีမ်มี boundary layer ของความเร็วในแนวแกน X เกิดขึ้น โดยที่บริเวณผิวด้านข้างของครีမ်ความเร็วของของไหลจะเพิ่มขึ้นจาก 0 ที่ผิวครีမ်จนเท่ากับ 0.001 (ทิศทางการเคลื่อนที่พุ่งออกจากผิวครีမ်ไปสู่ช่องว่างระหว่างแถวครีမ်) แล้วจึงลดลงจนเท่ากับ 0 อีกครั้งที่ระยะห่างจากผิวครีမ်ออกไปในแนวแกน X จากนั้นจึงเริ่มมีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่คือมีค่าความเร็วเท่ากับ -0.001 (ทิศทางการเคลื่อนที่พุ่งเข้าหาผิวครีမ်) แล้วมีขนาดของความเร็วลดลงจนเป็น 0 อีกครั้งที่บริเวณกึ่งกลางของช่องว่างระหว่างแถวครีမ် และที่บริเวณปลายครีမ်มีการไหลของของไหลในทิศทางพุ่งเข้าสู่ช่องว่างระหว่างแถวครีမ် โดยมีความเร็วเพิ่มขึ้นจาก 0 ที่ผิวครีမ်จนถึง 0.001 และลดลงจนเป็น 0 ที่ระยะห่างจากปลายครีမ်ออกไป จากผลการคำนวณพบว่าที่ค่า Z มากขึ้นค่าความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน X จะลดลงจนเข้าใกล้ 0

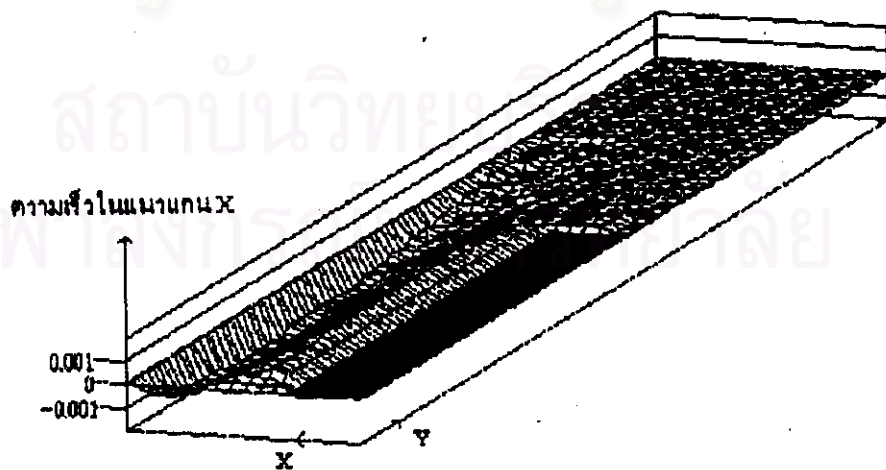
$Z = 0.2$



$Z = 0.6$



$Z = 1.0$

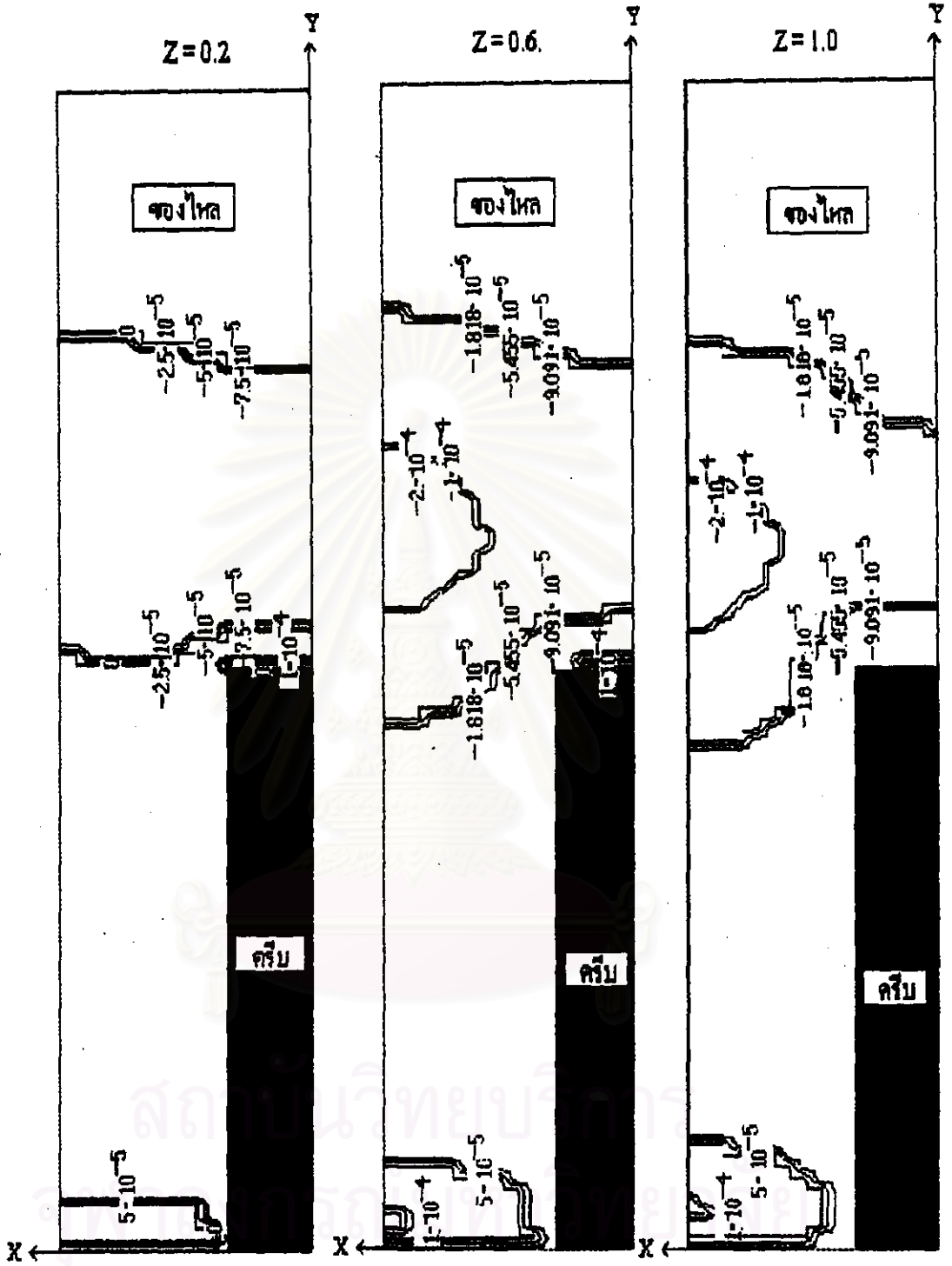


รูปที่ 5-4 แสดง surface plot ของความเร็วใช้หน่วยในแนวแกน X ที่ค่า $Gr_p.Pr.s/L = 3138$

รูปที่ 5-3 และ 5-4 แสดงการแจกแจงความเร็วไร้หน่วยของของไหลในแนวแกน X บนระนาบ X-Y ที่ระยะ Z เท่ากับ 0.2, 0.6 และ 1.0 เมื่อค่า $Gr_s Pr_s/L = 3138$ จากรูปจะเห็นได้ว่าการแจกแจงความเร็วมีลักษณะคล้ายกับกรณีที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 12$ โดยมี boundary layer ของความเร็วเกิดขึ้นที่ผิวด้านข้างของครีบและที่ปลายครีบ การแจกแจงความเร็วมีขนาดและทิศทางคล้ายๆกัน และเมื่อพิจารณาการแจกแจงความเร็วที่ค่า $Z = 0.2, 0.6$ และ 1.0 จะเห็นได้ว่าการแจกแจงความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงในแนวแกน Z โดยมีความเร็วลดลงเมื่อค่าระยะ Z เพิ่มขึ้น

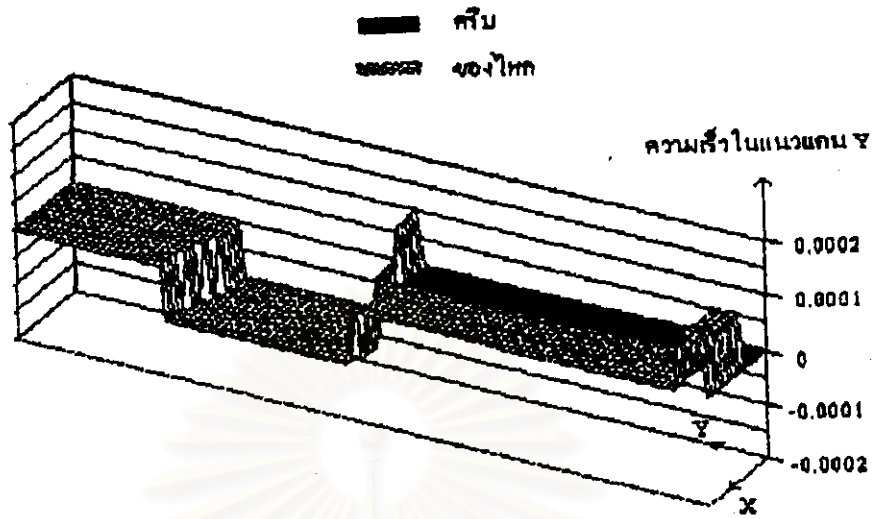
5.2.1.2 วิเคราะห์ผลการศึกษา

ที่ค่า $Z = 0.2$ การแจกแจงความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน X ที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 12$ และ ที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 3138$ มีลักษณะเหมือนกัน โดยพบว่ามีการไหลของของไหลที่บริเวณผิวด้านข้างของครีบในทิศทางพุ่งออกจากผิวครีบ ซึ่งจะทำให้เกิดการพาความร้อนออกจากผิวด้านข้างของครีบไปสู่อากาศที่อยู่ระหว่างแถวครีบ อย่างไรก็ตาม สำหรับกรณีที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 12$ เมื่อค่า Z มากขึ้นค่าความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน X ลดลงจนเข้าใกล้ 0 และกรณีที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 3138$ เมื่อค่า Z มากขึ้นค่าความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน X ลดลงเช่นกันแต่ยังคงมีค่าความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน X มากกว่ากรณีที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 12$ แสดงให้เห็นว่ากรณีที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 3138$ มีการไหลของอากาศในทิศทางแกน X (ซึ่งช่วยให้เกิดพาความร้อนจากผิวด้านข้างของครีบ) มากกว่ากรณีที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 12$

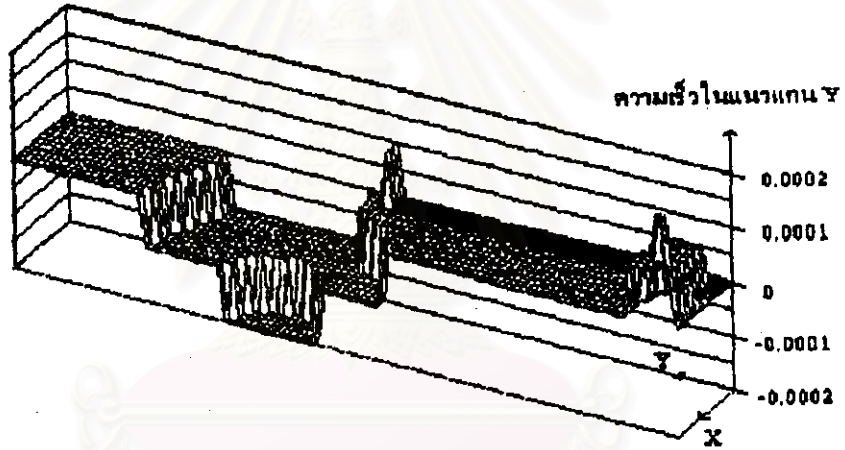


รูปที่ 5-5 แสดง contour plot ของความเร็วไหลหน่วยในแนวแกน Y ที่ค่า $Gr, Pr.s/L = 3138$

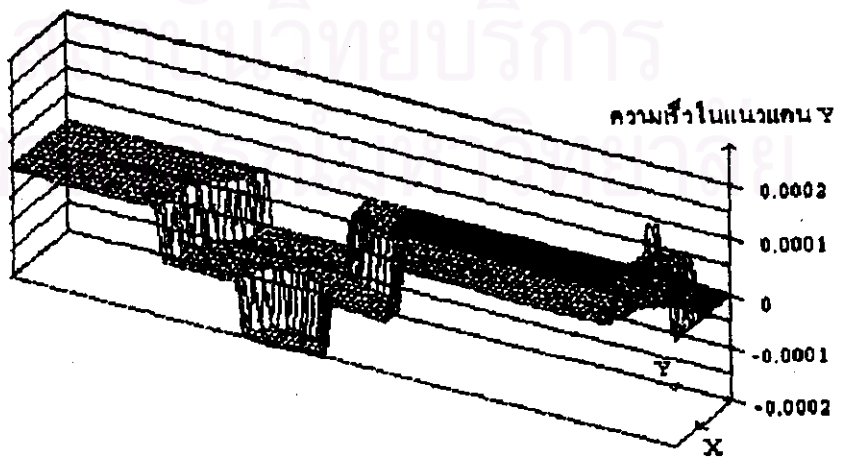
Z = 0.2



Z = 0.6



Z = 1.0



รูปที่ 5-6 แสดง surface plot ของความเร็ว ไร้หน่วยในแนวแกน Y ที่ค่า $Gr, Pr \cdot L = 3138$

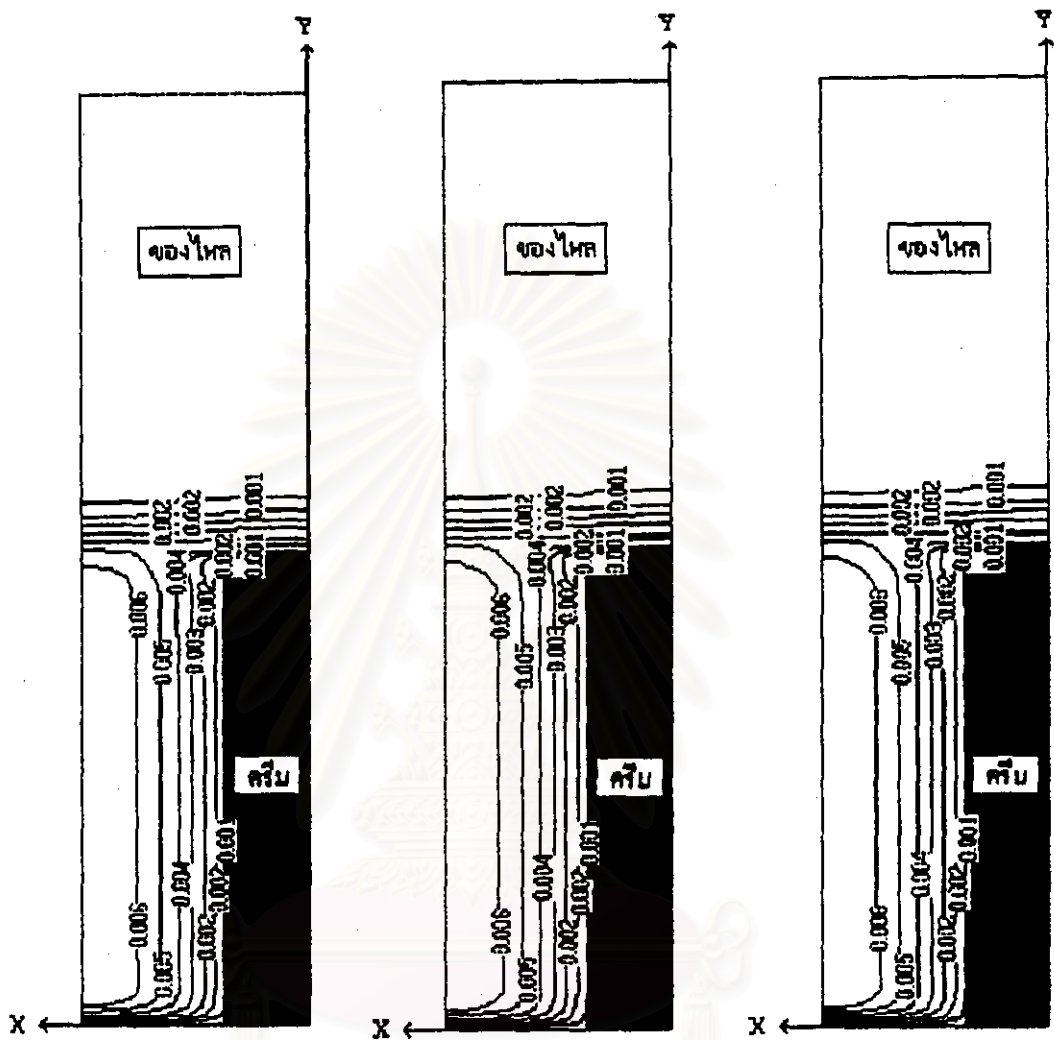
5.2.2 ความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน Y

5.2.2.1 ผลการศึกษา

จากการคำนวณ พบว่าที่ค่า $Gr_{Pr.s/L} = 12$, ความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน Y มีค่าน้อยมากจนเข้าใกล้ 0 ที่ทุกๆจุดบน โดเมนของของไหล สำหรับผลการคำนวณที่ค่า $Gr_{Pr.s/L} = 3138$ พบว่าการแจกแจงความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน Y ที่ $Z = 0.2, 0.6$ และ 1.0 เป็นคัง รูปที่ 5-5 และ 5-6 จากรูปจะเห็นได้ว่ามี boundary layer ของความเร็วเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวในแนวคังและบริเวณปลายครีบ โดมิการเคลื่อนที่ของของไหลในทิศทางพุ่งขึ้นจากพื้นผิว (ทิศทางบวกของแกน Y) ที่บริเวณทั้งสอง และที่บริเวณห่างจากปลายครีบออกไปในทิศทางบวกของแกน Y มีการเคลื่อนที่ของของไหลในทิศทางเข้าสู่ช่องว่างระหว่างแถวครีบ (ทิศทางลบของแกน Y) เมื่อเปรียบเทียบการแจกแจงความเร็วที่ $Z = 0.2, 0.6$ และ 1.0 พบว่าเมื่อค่า Z เพิ่มขึ้นการไหลของของไหลพุ่งขึ้นจากพื้นผิวในแนวคังและการไหลของของไหลเข้าสู่ช่องว่างระหว่างแถวครีบจะมีมากขึ้น ในขณะที่ การไหลที่บริเวณปลายครีบลดลงจนเข้าใกล้ 0 เมื่อ $Z = 1.0$

5.2.2.2 วิเคราะห์ผลการศึกษา

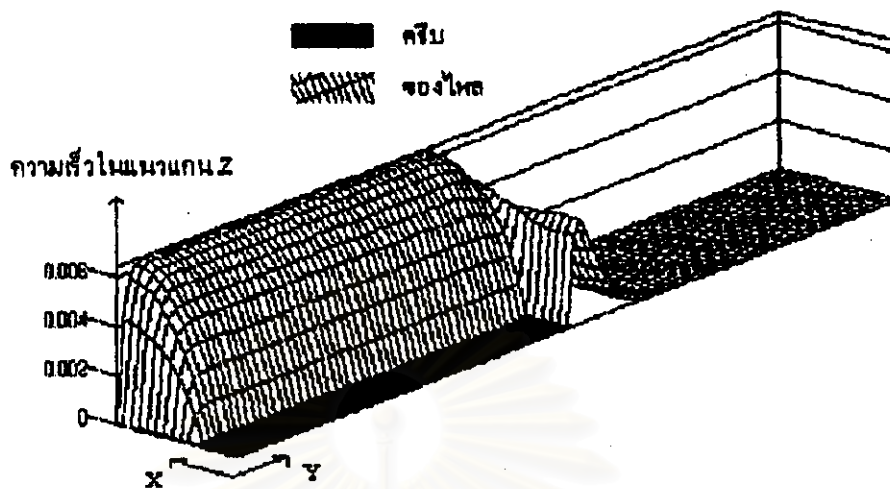
ที่ค่า $Gr_{Pr.s/L} = 3138$ พบว่าในบริเวณพื้นผิวในแนวคัง มีการไหลของของไหลในทิศทางพุ่งขึ้นจากพื้นผิว (ทิศทางบวกของแกน Y) ซึ่งจะช่วยให้เกิดการพาความร้อนจากครีบสู่ของไหล และบริเวณห่างจากปลายครีบออกไปในทิศทางบวกของแกน Y มีการเคลื่อนที่ของของไหลในทิศทางเข้าสู่ช่องว่างระหว่างแถวครีบ (ทิศทางลบของแกน Y) ทำให้มีของไหลเข้ามารับความร้อนจากครีบได้มากขึ้น เมื่อค่า Z เพิ่มขึ้นมีการไหลของของไหลพุ่งขึ้นจากพื้นผิวในแนวคังมากขึ้นเนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของ boundary layer thickness จะทำให้มีการพาความร้อนจากครีบสู่ของไหล มากขึ้น และ การไหลของของไหลเข้าสู่ช่องว่างระหว่างแถวครีบที่มีมากขึ้น เมื่อค่า Z เพิ่มขึ้น จะทำให้มีของไหลเข้ามารับความร้อนจากครีบมากขึ้น , เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ค่า $Gr_{Pr.s/L} = 12$ ซึ่งความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน Y มีค่าน้อยมากจนเข้าใกล้ 0 แสดงให้เห็นว่าที่ค่า $Gr_{Pr.s/L} = 3138$ มีการไหลของของไหลในแนวแกน Y ซึ่งช่วยให้เกิดการพาความร้อนจากครีบสู่ของไหล คิดว่าที่ค่า $Gr_{Pr.s/L} = 12$



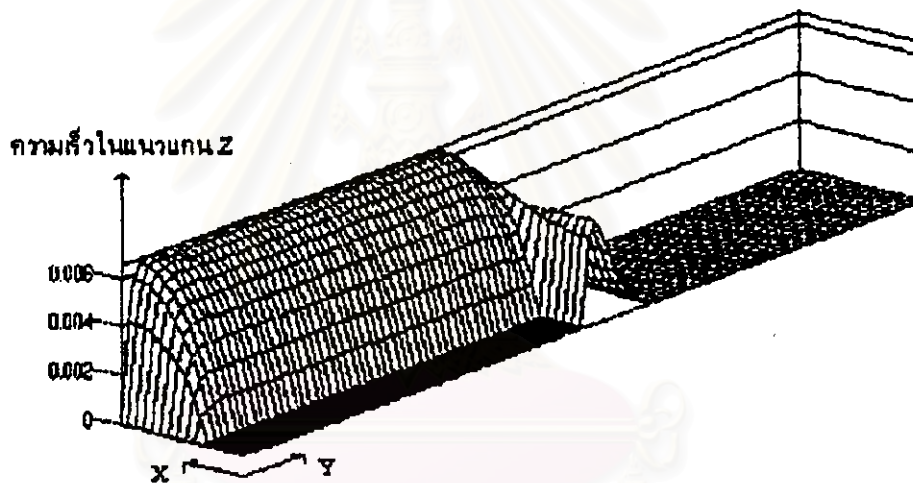
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5-7 แสดง contour plot ของความเร็ว ไร้หน่วยในแนวแกน Z ที่ค่า $Gr, Pr \cdot \mu/L = 12$

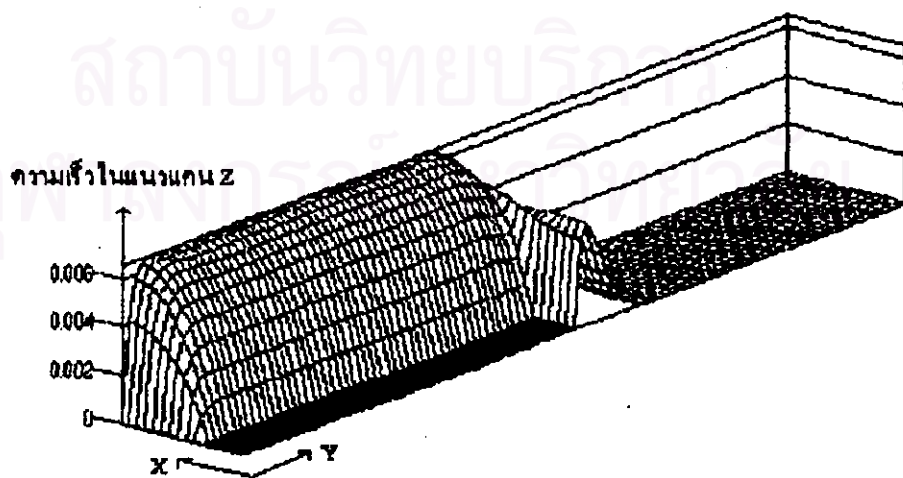
$Z = 0.2$



$Z = 0.6$



$Z = 1.0$

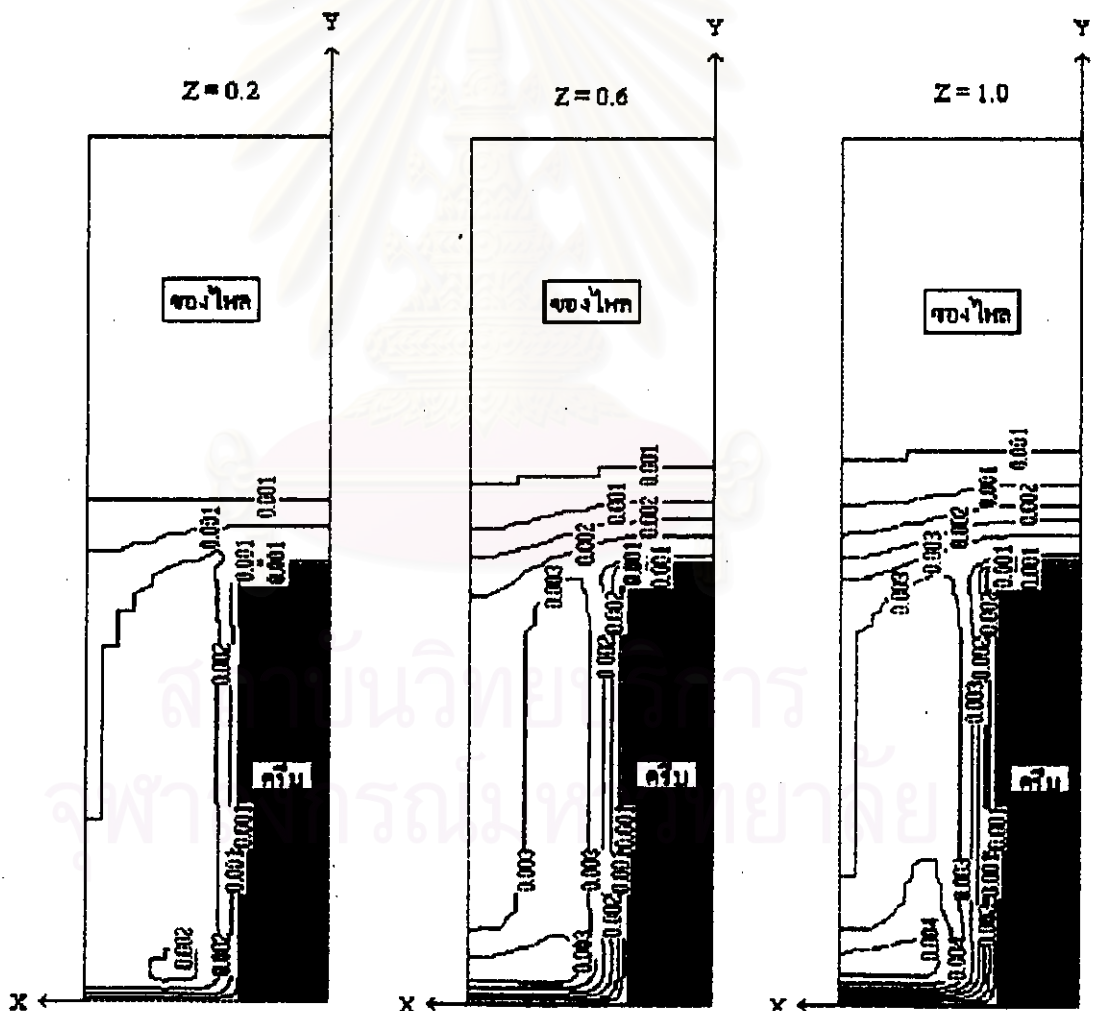


รูปที่ 5-8 แสดง surface plot ของความเร็วไร้หน่วยในแนวนอน Z ที่ค่า $Gr_r Pr_s/L = 12$

5.2.3 ความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน Z

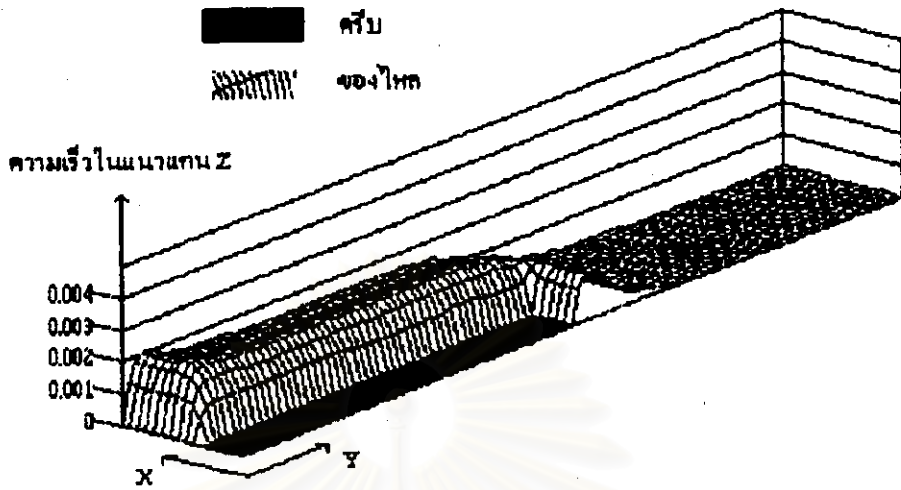
5.2.3.1 ผลการศึกษา

รูปที่ 5-7 และ 5-8 แสดงการแจกแจงความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน Z ที่ค่า $Gr_p Pr_s/L = 12$ จากรูปนี้ boundary layer ของความเร็วเกิดขึ้นที่พื้นผิวในแนวตั้ง, ผิวคานข้างของครีบ และบริเวณปลายครีบ โดยจะเห็นการเกิด fully developed ได้อย่างชัดเจน คือ boundary layer ที่เกิดขึ้นที่ผิวคานข้างของครีบ ได้ขยายขอบเขต ไปจนถึงแนวกึ่งกลางของช่องว่างระหว่างแถวครีบซึ่งจะเป็นบริเวณที่มีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 0.006 และที่ระดับความสูงเหนือจากปลายครีบความเร็วของของไหล ได้ลดลงจนเป็นศูนย์ในที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผลการแจกแจงความเร็วที่ $Z = 0.2, 0.6$ และ 1.0 พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของการแจกแจงของความเร็ว

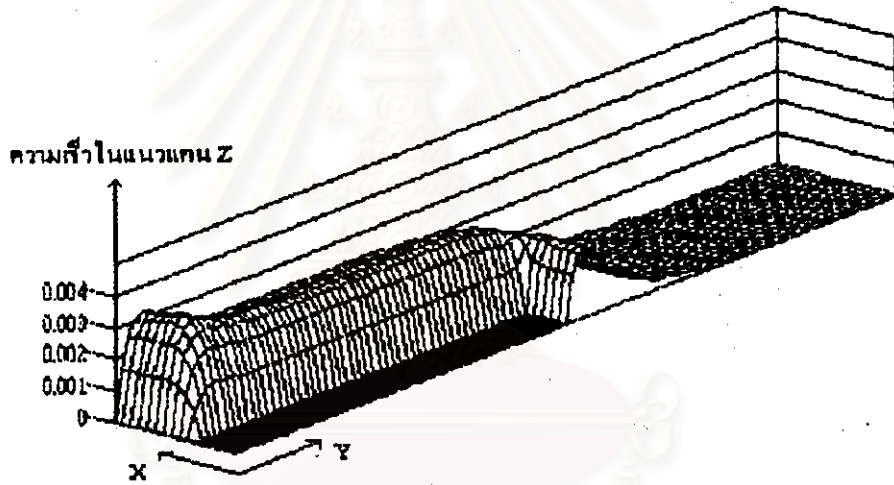


รูปที่ 5-9 แสดง contour plot ของความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน Z ที่ค่า $Gr_p Pr_s/L = 3138$

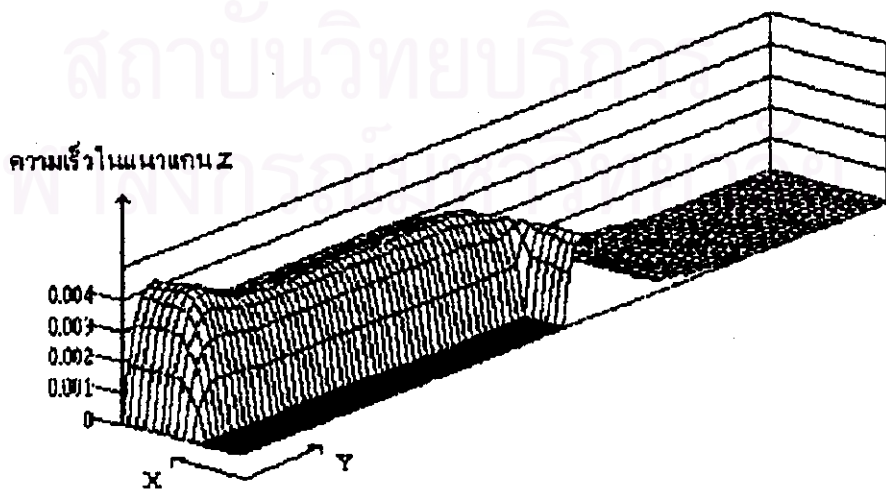
Z = 0.2



Z = 0.6



Z = 1.0



รูปที่ 5-10 แสดง surface plot ของความเร็ว ไร้หน่วยในแนวนอน Z ที่ค่า $Gr, Pr.s/L = 3138$

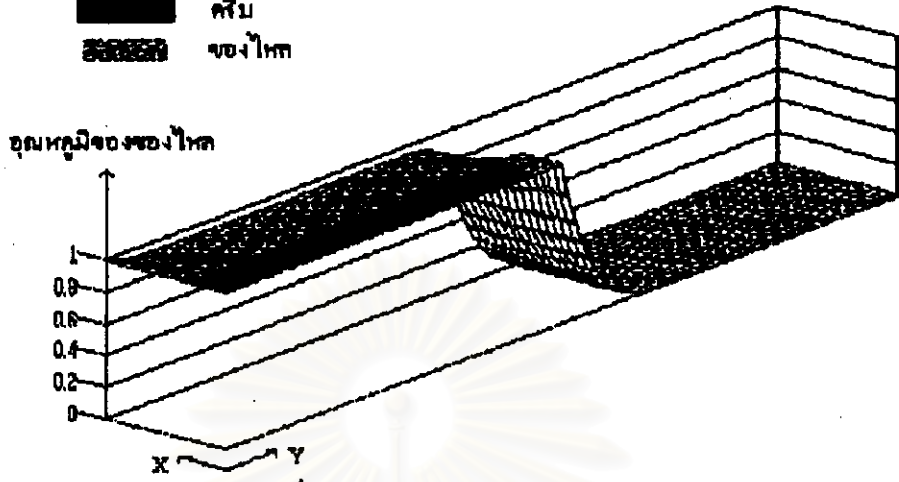
รูปที่ 5-9 และ 5-10 แสดงการแจกแจงความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน Z ที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 3138$ จะเห็นได้ว่ามี boundary layer เกิดขึ้นที่พื้นผิวในแนวตั้ง, ผิวค้ำข้างของครีบ และบริเวณปลายครีบ เหมือนกับกรณีที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 12$ แต่มีความแตกต่างกันที่ความเร็วสูงสุดจะเกิดขึ้นในบริเวณใกล้กับพื้นผิวในแนวตั้ง และที่ระยะห่างจากพื้นผิวในแนวตั้งมากขึ้น ความเร็วจะมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ในที่สุด เมื่อเปรียบเทียบการแจกแจงความเร็วที่ค่า $Z = 0.2, 0.6$ และ 1.0 พบว่าเมื่อ ค่า Z เพิ่มขึ้น ความเร็วสูงสุดของของไหลจะเพิ่มขึ้น คือจาก 0.002 (ที่ค่า $Z = 0.2$) เป็น 0.004 (ที่ค่า $Z = 1.0$)

5.2.3.2 วิเคราะห์ผลการศึกษา

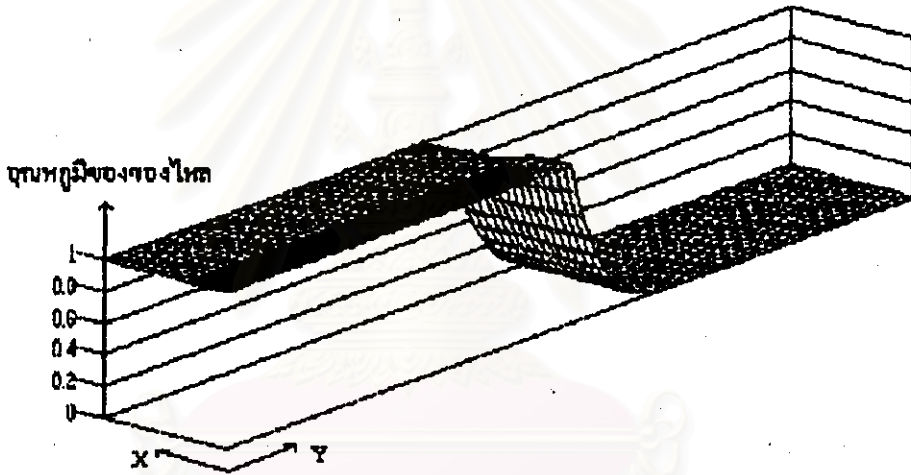
การแจกแจงความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน Z เป็นผลมาจาก boundary layer ที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวในแนวตั้ง, ผิวค้ำข้างของครีบ และบริเวณปลายครีบ โดยผลการคำนวณแสดงให้เห็นถึงการเกิด fully developed ทั้งในกรณีที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 12$ และที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 3138$ อย่างไรก็ตามที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 3138$ การแจกแจงของความเร็ว ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงในแนวแกน Z โดยค่าความเร็วสูงสุดมีค่ามากขึ้นเมื่อค่า Z เพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อ ค่า $Gr_s Pr_s/L = 12$ การแจกแจงของความเร็ว ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในแนวแกน Z ทั้งนี้เนื่องจากที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 12$ มีการเกิด fully developed ที่สมบูรณ์มากกว่าที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 3138$, ค่าความเร็วสูงสุดของกรณีที่ $Gr_s Pr_s/L = 12$ มีค่ามากกว่ากรณีที่ $Gr_s Pr_s/L = 3138$ เนื่องจากอุณหภูมิของของไหลที่อยู่ในช่องว่างระหว่างแถวครีบในกรณีที่ $Gr_s Pr_s/L = 12$ สูงกว่า กรณีที่ $Gr_s Pr_s/L = 3138$ (แสดงในหัวข้อ 5.3.1) ทำให้มีแรงลอยตัวสูงกว่า

Z = 0.2

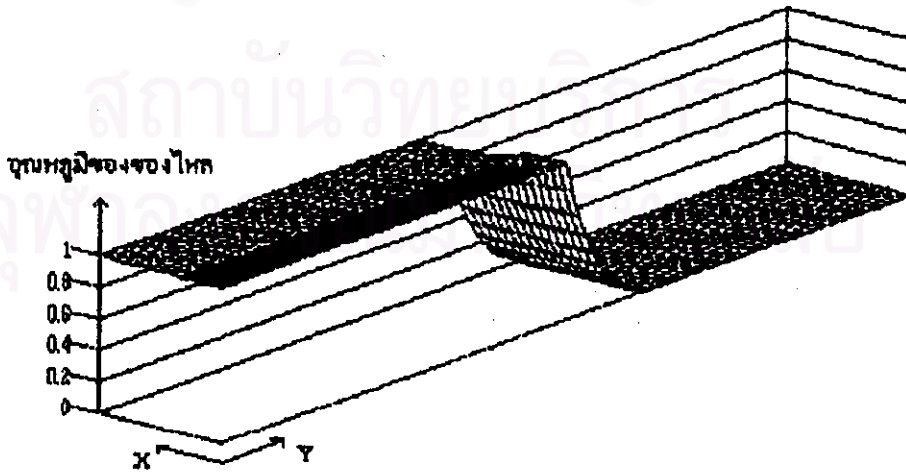
■ คิวบิก
▨ ของไหล



Z = 0.6



Z = 1.0

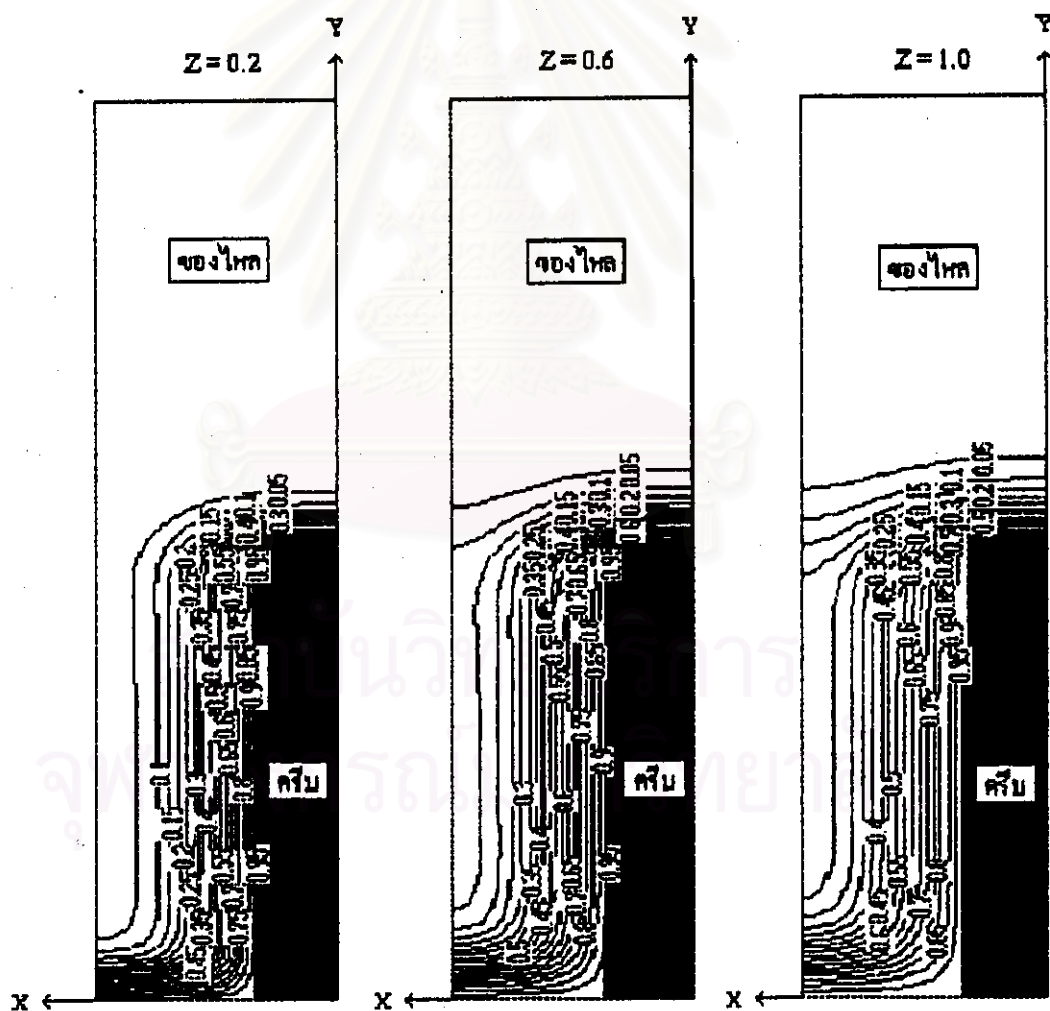


รูปที่ 5-12 แสดง surface plot ของจุดศูนย์กลางให้หน่วยของของไหล ที่ค่า $Gr_p Pr_s/L = 12$

5.3.1 อุณหภูมิไร้หน่วยของของไหล

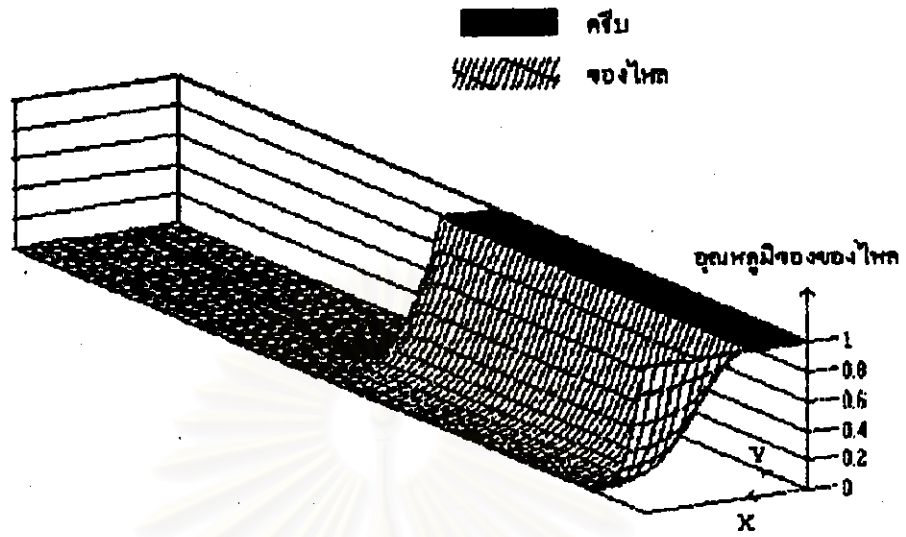
5.3.1.1 ผลการศึกษา

รูปที่ 5-11 และ 5-12 แสดงการแจกแจงอุณหภูมิไร้หน่วยของของไหล ที่ค่า $Gr_{Pr.s/L} = 12$ จากรูปแสดงถึงการเกิด boundary layer ของอุณหภูมิของของไหลซึ่งพบว่าการเกิด fully developed ของ boundary layer ที่บริเวณกึ่งกลางของช่องว่างระหว่างแนวครีบ , อุณหภูมิของของไหลในช่องว่างระหว่างครีบมีค่าสูงมาก คือมากกว่า 0.9 และ อุณหภูมิภายในช่องว่างระหว่างครีบสูงขึ้นเมื่อค่า Z เพิ่มขึ้นจาก 0.2 เป็น 0.6 และไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากค่า Z มากกว่า 0.6

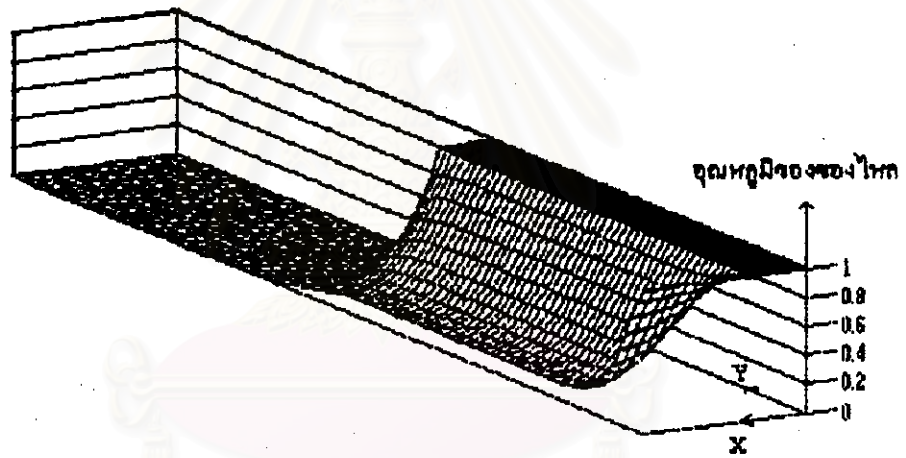


รูปที่ 5-13 แสดง contour plot ของอุณหภูมิไร้หน่วยของของไหล ที่ค่า $Gr_{Pr.s/L} = 3138$

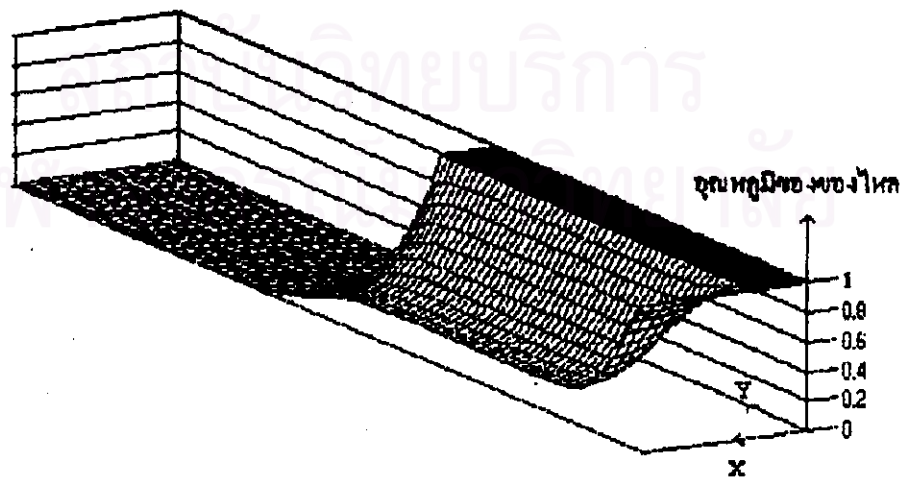
Z = 0.2



Z = 0.6



Z = 1.0



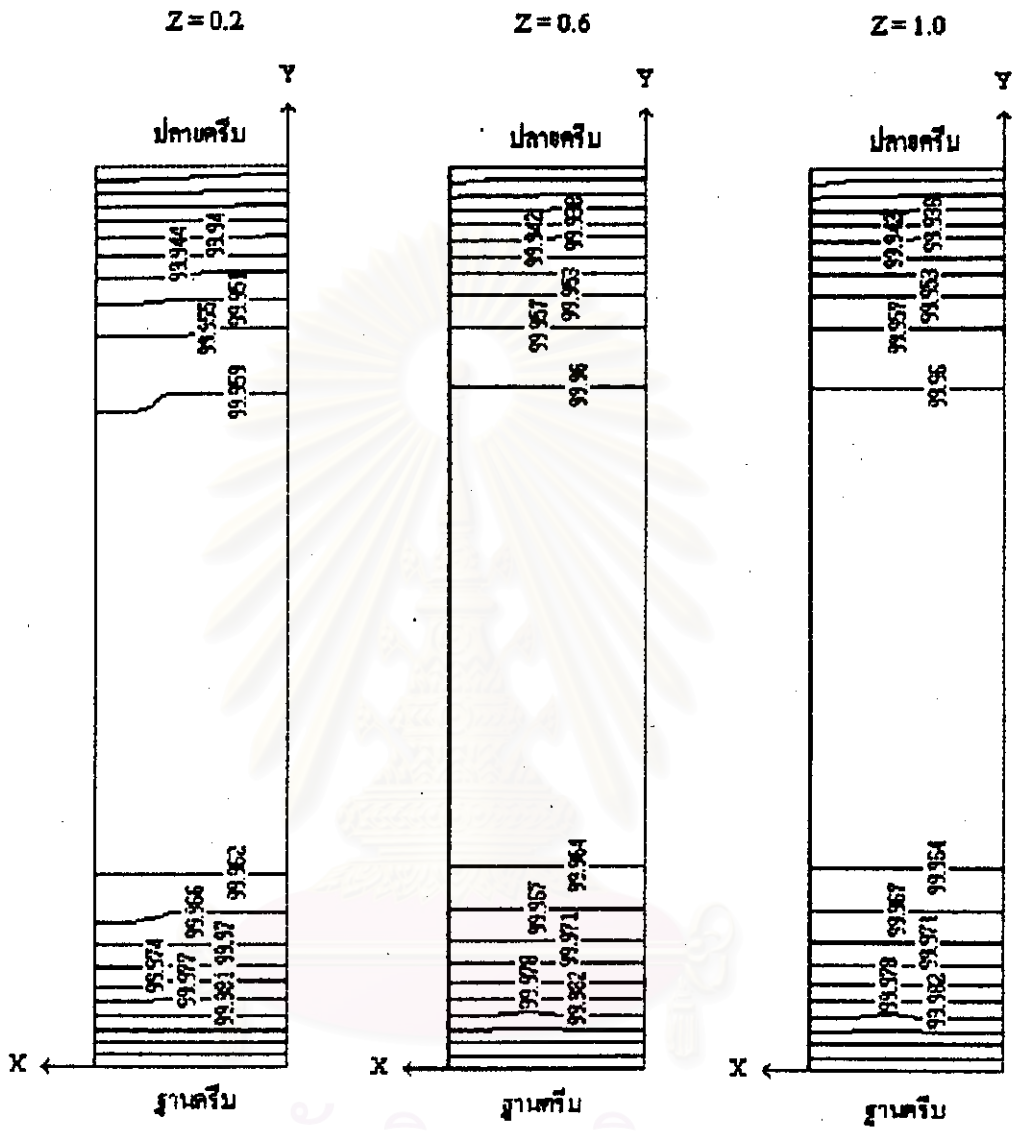
รูปที่ 5-14 แสดง surface plot ของอุณหภูมิไร้หน่วยของของไหล ที่ค่า $Gr, Pr.a/L = 3138$

รูปที่ 5-13 และ 5-14 แสดงการแจกแจงอุณหภูมิไว้หน่วยของของไหลที่ค่า $Gr_{\rho,Pr.s/L} = 3138$, ที่ $Z = 0.2$ boundary layer มีลักษณะเป็น isolated plate คืออุณหภูมิของของไหลลดลงจนเป็นศูนย์ ก่อนที่จะถึงแนวกึ่งกลางของช่องว่างระหว่างครีบ และ เมื่อค่า Z เพิ่มขึ้นเป็น 0.6 boundary layer ได้ขยายขอบเขตไปจนถึงแนวกึ่งกลางช่องว่างระหว่างครีบ , อุณหภูมิของของไหลมีค่าสูงขึ้น และสูงขึ้นไปอีกเมื่อ $Z = 1.0$ อุณหภูมิของของไหลภายในช่องว่างระหว่างครีบต่ำกว่ากรณีที่ค่า $Gr_{\rho,Pr.s/L} = 12$ มาก และมี temperature gradient ที่ผิวครีบมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด

5.3.1.2 วิเคราะห์ผลการศึกษา

กรณีที่ค่า $Gr_{\rho,Pr.s/L} = 12$ มีการเกิด fully developed ตั้งแต่ที่ค่า $Z = 0.2$ ในขณะที่เมื่อค่า $Gr_{\rho,Pr.s/L} = 3138$ การเกิด fully developed จะเกิดที่ค่า Z มากกว่า 0.2 ทั้งนี้เนื่องจากที่ค่า $Gr_{\rho,Pr.s/L}$ มีค่ามากเปรียบเทียบกับได้กับรูปทรงของครีบที่มีค่า s/L (อัตราส่วนระหว่างระยะห่างระหว่างแนวครีบต่อความยาวครีบ) มากทำให้มีการเกิด fully developed ที่ค่า Z มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของของไหล ที่ค่า $Gr_{\rho,Pr.s/L} = 12$ จะมี gradient ของอุณหภูมิของของไหลที่ผิวครีบต่ำกว่ากรณีที่ค่า $Gr_{\rho,Pr.s/L} = 3138$ มาก แสดงให้เห็นว่าที่ค่า $Gr_{\rho,Pr.s/L} = 3138$ มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงกว่า และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามแนวแกน Z พบว่า gradient ของอุณหภูมิของของไหลที่ผิวครีบ มีค่าลดลงเมื่อ Z มีค่ามากขึ้น หรือกล่าวได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าลดลงเมื่อ Z มีค่ามากขึ้นนั่นเอง ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่อุณหภูมิของของไหล มีค่าสูงขึ้นในขณะที่เคลื่อนที่ไปตามแนวแกน Z

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



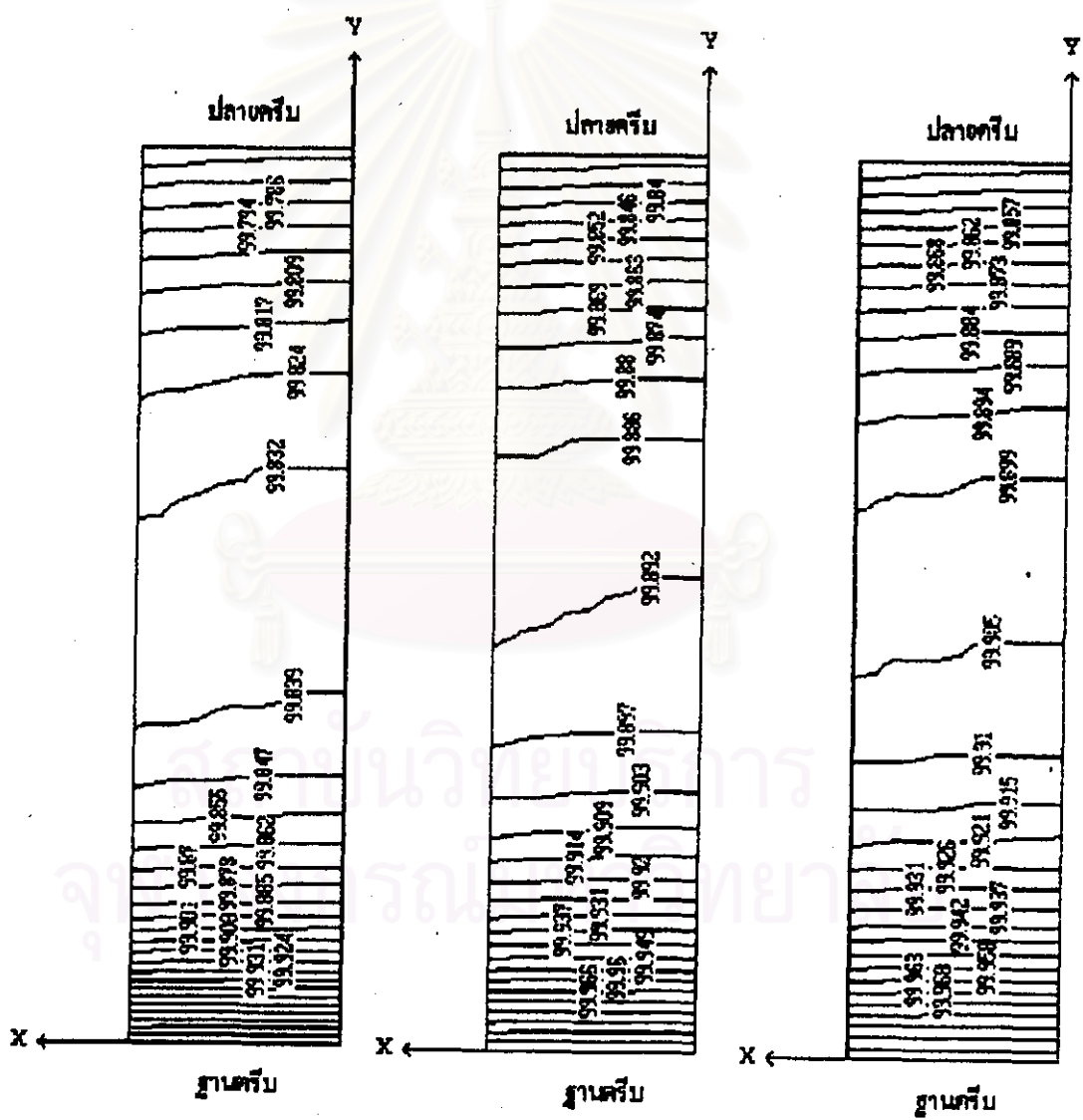
รูปที่ 5-15 แสดง contour plot ของจุดหมักไร้หน่วยของคริม ที่ค่า $Gr, Pr.s/L = 12$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.2 อุณหภูมิใช้หน่วยของคริบ

5.3.2.1 ผลการศึกษา

รูปที่ 5-15 แสดงการแจกแจงอุณหภูมิใช้หน่วยของคริบที่ค่า $Gr_{Pr.s/L} = 12$ (ค่าที่แสดงคือค่าอุณหภูมิใช้หน่วยของคริบคูณ 100) จากรูป อุณหภูมิของคริบจะลดลงตามแนวความสูงคริบ โดยที่ $Z=0.2$ อุณหภูมิที่ปลายคริบเท่ากับ 0.994 (อุณหภูมิที่ฐานคริบเท่ากับ 1) และเมื่อ $Z = 0.6$ และ 1.0 อุณหภูมิของคริบไม่มีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 5-16 แสดง contour plot ของอุณหภูมิใช้หน่วยของคริบ ที่ค่า $Gr_{Pr.s/L} = 3138$

รูปที่ 5-16 แสดงการแจกแจงอุณหภูมิไว้หน่วของครีบริบที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 3138$, ที่ค่า $Z = 0.2$ อุณหภูมิที่ปลาขครีบริบเท่ากับ 0.9978 และเมื่อ Z เพิ่มขึ้นเป็น 0.6 และ 1.0 อุณหภูมิครีบริบมีค่ามากขึ้น โดยที่อุณหภูมิปลาขครีบริบจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.9984 และ 0.9986 ตามลำดับ

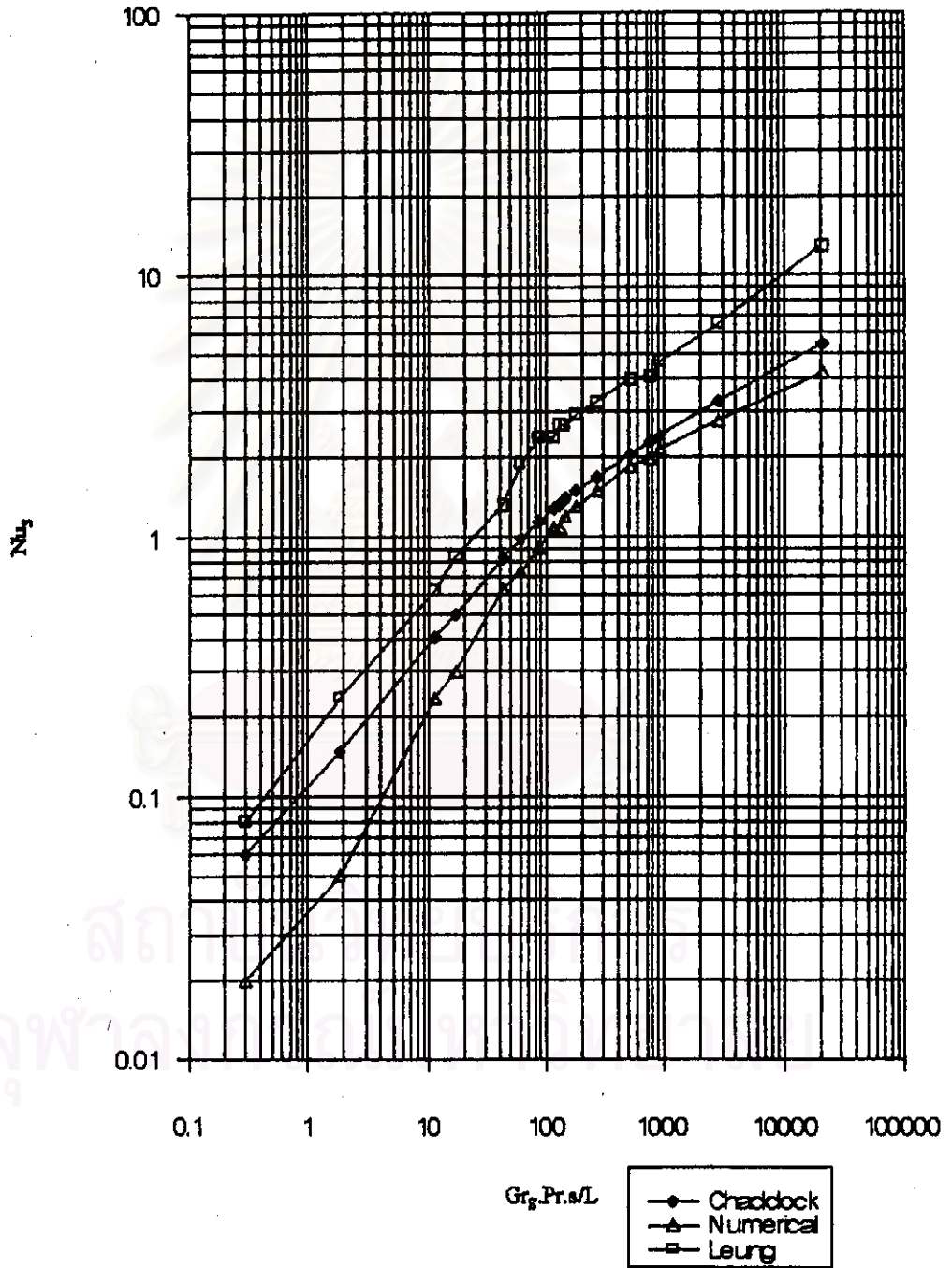
5.3.2.2 วิเคราะห์ผลการศึกษา

จากผลการคำนวณพบว่าอุณหภูมิของครีบริบในกรณีค่า $Gr_s Pr_s/L = 12$ สูงกว่าในกรณีค่า $Gr_s Pr_s/L = 3138$ ทั้งนี้เนื่องจากการเกิด fully developed ของ boundary layer ของความเร็วและอุณหภูมิของของไหลที่ค่า $Gr_s Pr_s/L = 12$ และการที่อุณหภูมิครีบริบมีค่ามากขึ้น เมื่อค่า Z เพิ่มขึ้น ก็มีสาเหตุมาจากการที่ของไหลรับความร้อนมาจากครีบริบในขณะที่ไหลไปในแนวแกน Z ทำให้อุณหภูมิของของไหลสูงขึ้นและส่งผลให้อุณหภูมิครีบริบมีค่ามากขึ้น เมื่อ ค่า Z เพิ่มขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 ค่า Nusselt number

5.4.1 ค่า Nusselt number ที่ได้จากการคำนวณ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากผลการทดลอง



รูปที่ 5-17 แสดงกราฟของค่า Nusselt number ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

5.4.1.1 ผลการศึกษา

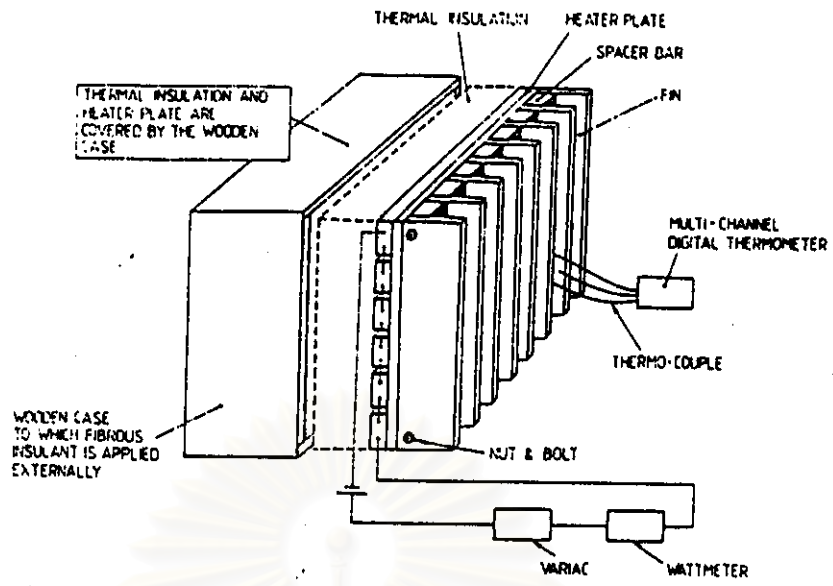
รูปที่ 5-17 แสดงกราฟของค่า Nusselt number ที่ได้จากการคำนวณ เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Leung and Probert (1989b) และ Chaddock (1970) ซึ่งได้ทำการทดลองหาอัตราการถ่ายเทความร้อนจากชุดครีบตามยาวรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวตั้งที่ความสูงครีบและระยะห่างระหว่างแถวครีบต่างๆ จากรูปที่ 5-10 ค่า Nusselt number จากการทดลองของ Leung and Probert มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ค่า Nusselt number จากการทดลองของ Chaddock และค่า Nusselt number จากการคำนวณมีค่าน้อยที่สุด โดยพบว่าที่ค่า $Gr_{Pr.s}/L = 0.3$ ค่า Nusselt number จากการคำนวณต่ำกว่าค่า Nusselt number จากการทดลองของ Leung and Probert ประมาณ 75 % และต่ำกว่า ค่า Nusselt number จากการทดลองของ Chaddock ประมาณ 67 % และที่ค่า $Gr_{Pr.s}/L$ มากขึ้น ค่า Nusselt number จากการคำนวณจะใกล้เคียงกับค่า Nusselt number จากการทดลองมากขึ้นเรื่อยๆ โดยในช่วงค่า $Gr_{Pr.s}/L$ มากกว่า 100 ค่า Nusselt number จากการคำนวณต่ำกว่าค่า Nusselt number จากการทดลองของ Chaddock อยู่ในช่วง 10 ถึง 20 % และต่ำกว่าค่า Nusselt number จากการทดลองของ Leung and Probert อยู่ในช่วง 50 ถึง 65 %

5.4.1.2 วิเคราะห์ผลการศึกษา

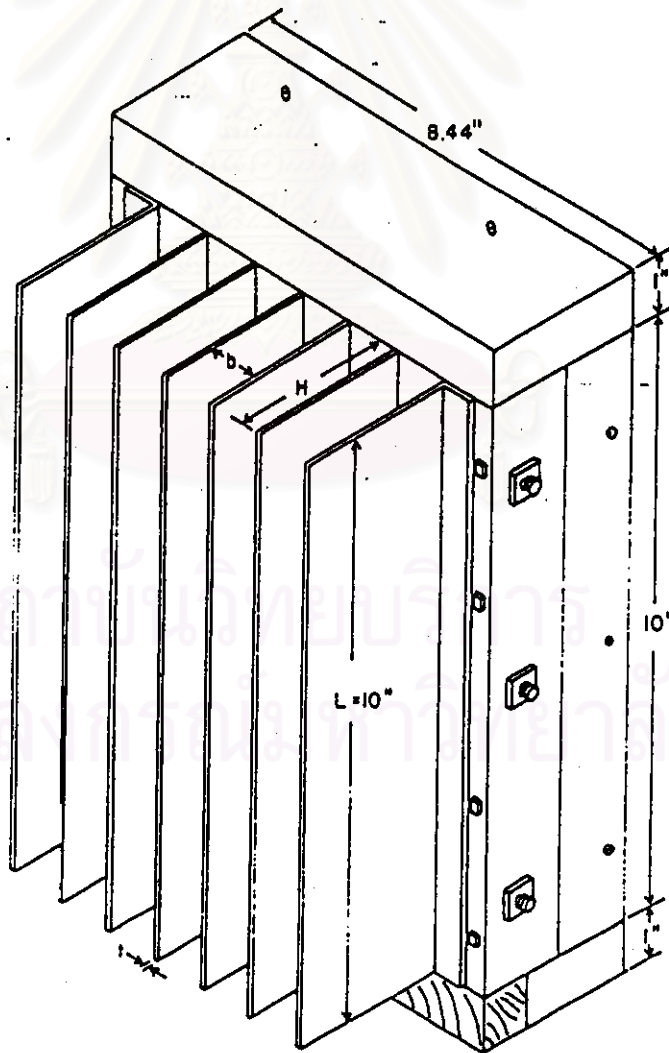
กรณีที่ค่า Nusselt number จากการคำนวณ ต่ำกว่า ค่า Nusselt number จากการทดลอง เนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากการคำนวณมีค่าต่ำกว่าผลการทดลอง ซึ่งเป็นผลมาจาก

- การแผ่รังสีความร้อนจากชุดครีบสู่ของไหลซึ่งเกิดขึ้นในการทดลอง (เนื่องจากค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากการคำนวณ ไม่ได้คิดผลเนื่องจากการแผ่รังสี) ซึ่งในผลการทดลองของ Chaddock ได้ทำการคำนวณอัตราการแผ่รังสีออกจากครีบแล้วนำไปหักออกจากผลการทดลอง ในขณะที่ ผลการทดลองของ Leung and Probert ไม่ได้หักลบผลของการแผ่รังสีออกจากผลการทดลองจึงทำให้ ค่า Nusselt number ที่ได้จากการทดลองของ Leung and Probert มีค่ามากกว่าค่า Nusselt number ที่ได้จากการทดลองของ Chaddock

- การรั่วไหลของความร้อนที่เกิดขึ้นในการทดลอง จากรูปที่ 5-11 และ 5-12 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองของ Chaddock และ Leung and Probert ตามลำดับ จากรูปเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองจะเห็นได้ว่าอาจจะมีความร้อนถ่ายเทออกจากผิวค้ำข้างและค้ำหลังของเครื่องมือทดลองได้ซึ่งจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากการทดลองสูงขึ้น



รูปที่ 5-18 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองของ Leung and Probert



รูปที่ 5-19 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองของ Chaddock

- ข้อสมมุติที่กำหนดขึ้นในการหา Nusselt number numerical Solution เช่น การพิจารณาให้หุค คริบมีลักษณะเป็น infinity fin (จำนวนแฉกคริบเป็นอนันต์) จึงผิดไปจากความเป็นจริงที่มีแฉก คริบจำนวนจำกัด , ข้อสมมุติเกี่ยวกับภาวะที่ขอบเขตของของไหลที่ระยะ $z = L$ ที่ว่าค่า Peclet Nusselt number สูงจนสามารถประมาณได้ว่า gradient ของอุณหภูมิและความเร็วของของ ไหลในแนวแกน z เท่ากับ 0 ซึ่งข้อสมมุติที่กำหนดขึ้นนั้นเพื่อความสะดวกในการหาค่าตอบเชิงตัวเลข ข้อสมมุติดังกล่าวทำให้ลักษณะของการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนที่ได้จาก Nusselt numerical Solution ไม่ตรงตามความเป็นจริง

ที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 0.3$ ค่า Nusselt number ที่ได้จากการคำนวณมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการ ทดลองมาก โดยต่ำกว่าค่า Nusselt number จากการทดลองของ Leung and Probert ประมาณ 75 % และต่ำกว่า ค่า Nusselt number จากการทดลองของ Chaddock ประมาณ 67 % อย่างไรก็ตามที่ ค่า $Gr_s.Pr.s/L$ มากกว่า 100 ค่า Nusselt number ที่ได้จากการคำนวณมีความสอดคล้องกับผลการ ทดลองของ Chaddock โดยมีค่าต่ำกว่าผลการทดลองอยู่ในช่วง 10 ถึง 20 % ซึ่งความแตกต่างของ ค่า Nusselt number ที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการทดลองซึ่งมีมากที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L$ ต่ำกว่า 100 นั้นอาจจะเป็นผลมาจาก ความร้อนสูญเสียและการแผ่รังสีความร้อนที่เกิดขึ้นในการทดลอง และข้อสมมุติที่กำหนดขึ้นในการหาค่าตอบเชิงตัวเลข โดยหากมีการควบคุมให้มีการสูญเสีย ในการทดลองน้อยลง และ ทำการหาค่าตอบเชิงตัวเลขโดยคำนึงถึงผลของการแผ่รังสีความร้อน ด้วยก็อาจจะทำให้ ความแตกต่างของค่า Nusselt number ที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จาก การทดลองน้อยลง

5.4.2 สมการของค่า Nusselt number

ในกรณีของการพาความร้อนแบบอิสระจาก isothermal parallel plates , Elanbaas(1942) ได้ เสนอสมการของค่า Nusselt number ที่ได้จากการทดลอง คือ

$$Nu_s = 1/24.(Gr_s.Pr.s/L).[1 - e^{-35(Gr_s.Pr.s/L)^{1/4}}] \quad (5.1)$$

Chaddock(1970) ได้เสนอผลการทดลองของการพาความร้อนแบบอิสระจากหุคคริบในแนว คิ่ง โดยใช้รูปแบบของสมการเหมือนกับกรณีของการพาความร้อนแบบอิสระจาก isothermal parallel plates (สมการ (5.1))

$$Nu_s = 0.112(Gr_s Pr S/L)^{0.534} [1 - e^{-129(Gr_s Pr S/L)^{-0.284}}] \quad (5.2)$$

จากรูปที่ 5-20 แสดงผลการทดลองของ Chaddock และกราฟของสมการ (5.2)

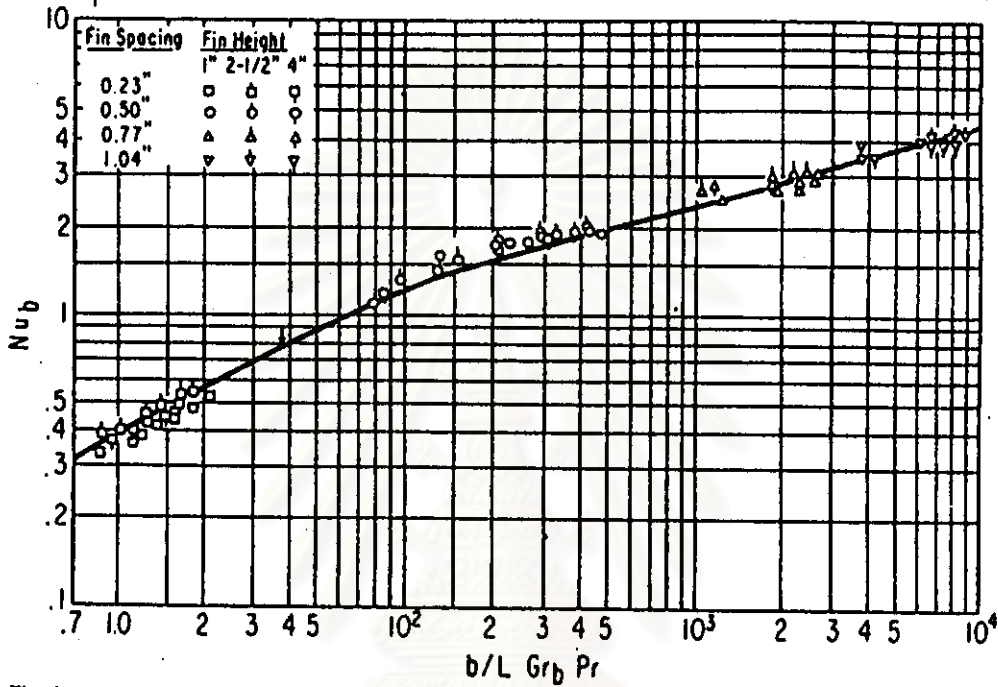


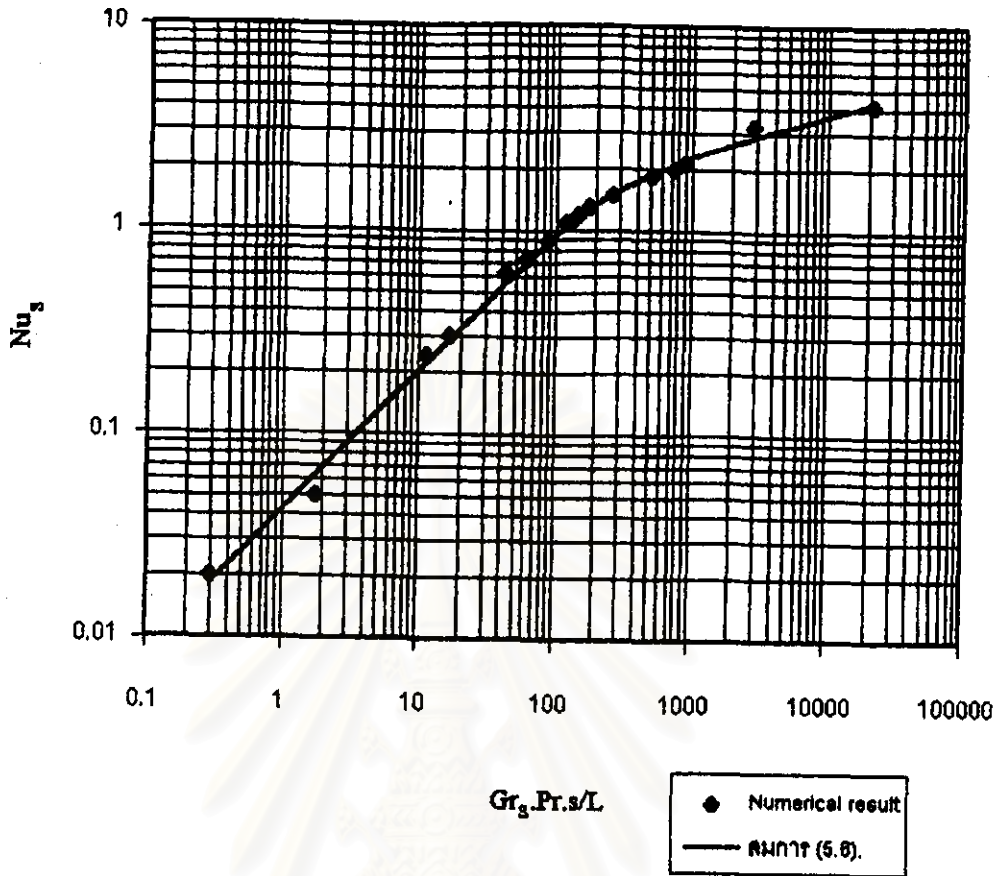
Fig. 4 Experimental results and correlation curve

รูปที่ 5-20 แสดงผลการทดลองของ Chaddock และกราฟของสมการ (5.2)

สำหรับค่า Nusselt number ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม VFIN เมื่อทำการ fit curve โดยใช้รูปสมการแบบเดียวกับกรณีของ parallel plates จะได้สมการของค่า Nusselt number คือ

$$Nu_s = 0.042(Gr_s Pr S/L)^{0.686} [1 - e^{-256(Gr_s Pr S/L)^{-0.496}}] \quad (5.3)$$

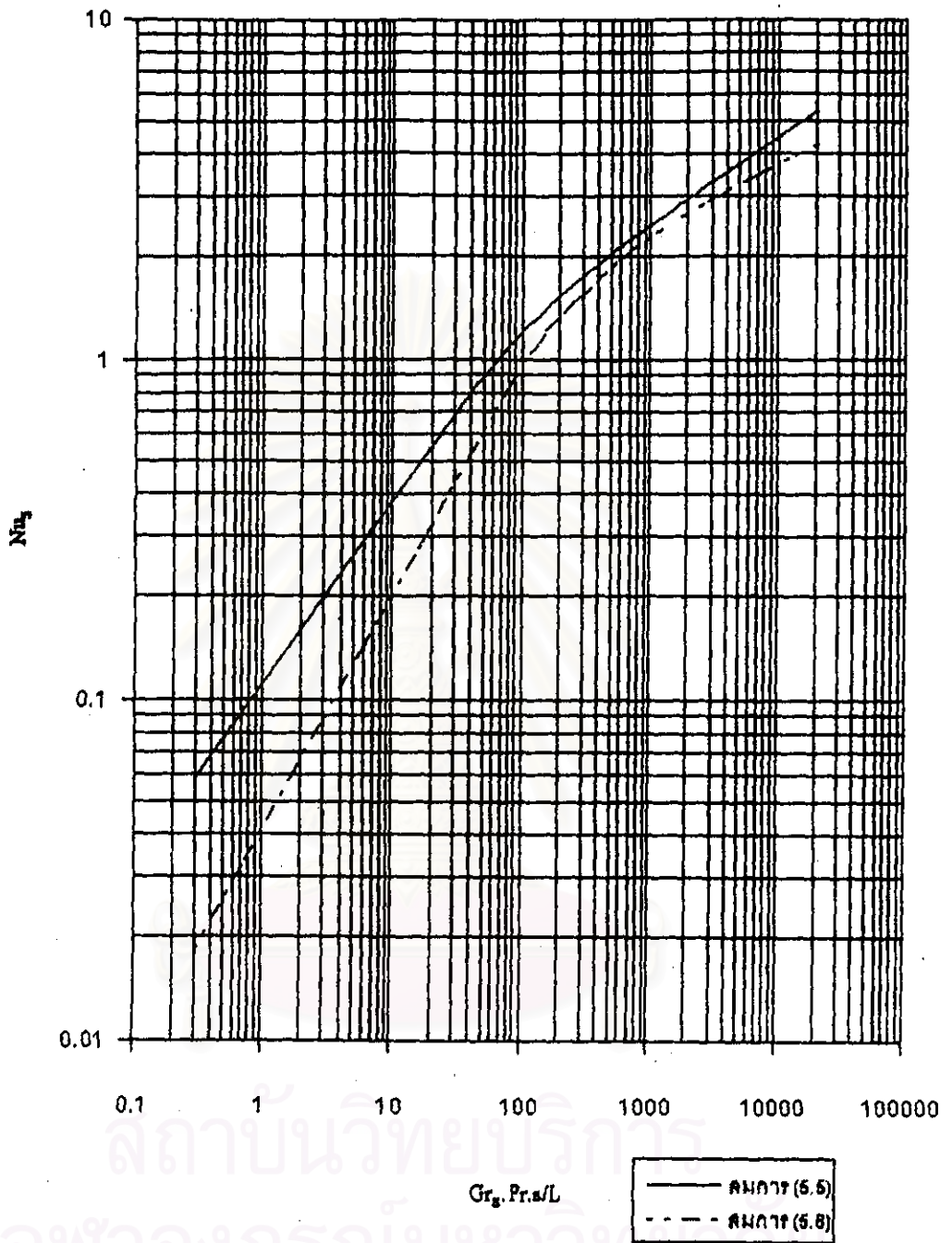
ดังแสดงในรูปที่ 5-21



รูปที่ 5-21 แสดงค่า Nusselt number ที่คำนวณโดยใช้โปรแกรม VFIN และ กราฟของสมการ (5.3)

เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Nusselt number ที่คำนวณจากสมการ (5.2) พบว่าค่า Nusselt number ที่คำนวณจากสมการ (5.3) จะมีค่าต่ำกว่าประมาณ 68 เปอร์เซ็นต์ที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 0.3$ และเมื่อค่า $Gr_s.Pr.s/L$ เพิ่มขึ้นผลต่างของค่า Nusselt number ที่คำนวณจากสมการทั้งสองจะลดลง และถ้าค่า $Gr_s.Pr.s/L > 100$ ค่า Nusselt number ที่คำนวณจากสมการ(5.3)จะมีค่าต่ำกว่าค่าที่คำนวณจากสมการ(5.2) อยู่ในช่วง 10-20% ดังแสดงในรูปที่ 5-22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5-22 แสดงกราฟของค่า Nusselt number ที่คำนวณโดยใช้สมการ (5.2) และสมการ (5.3)

5.5 ระยะห่างระหว่างแถวครีบบนที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด

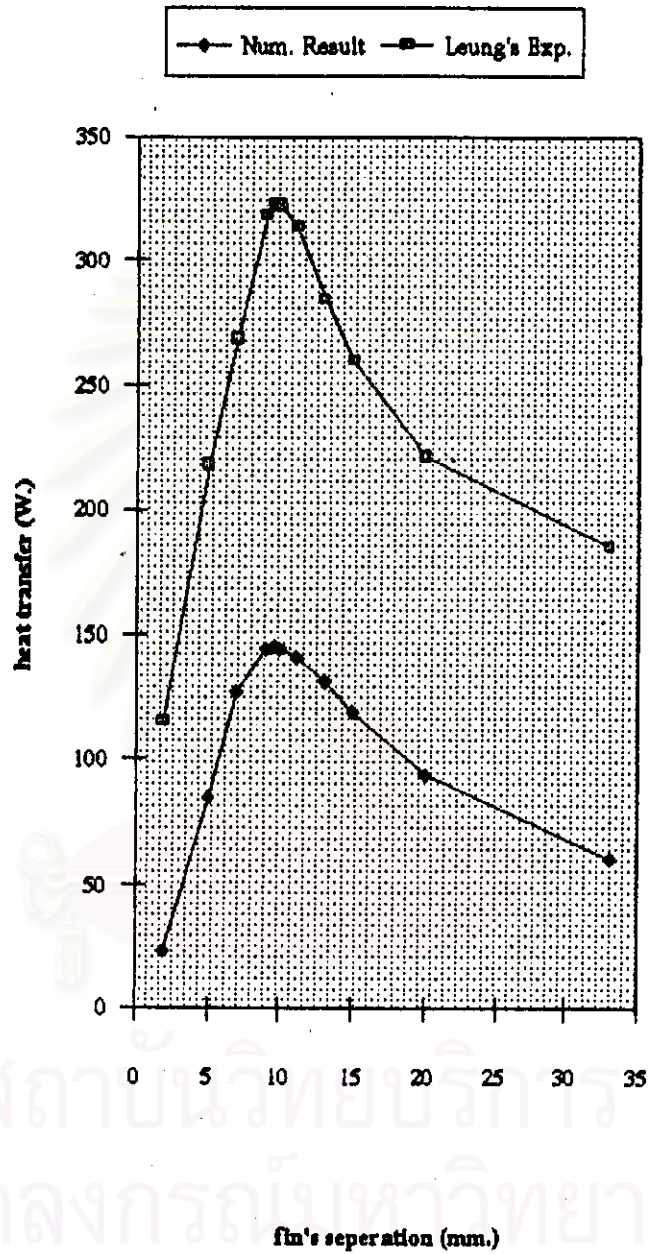
Leung and Probert (1989a) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการพาความร้อนแบบอิสระจากชุดครีบบนที่เชื่อมผืนผ้าในแนวตั้งบนพื้นผิวในแนวราบ โดยทำการแปรเปลี่ยนค่าระยะห่างระหว่างแถวครีบบน, ความยาวครีบบน, ความสูงครีบบน, ความหนาครีบบน, ค่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างฐานครีบบนและของไหล จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ตัวแปรซึ่งมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนจากชุดครีบบนมากที่สุด คือ ระยะห่างระหว่างแถวครีบบน นอกจากนี้ Leung and Probert (1989c) ได้ทำการทดลองเพื่อหาระยะห่างระหว่างแถวครีบบนที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนจากชุดครีบบนในแนวตั้งบนพื้นผิวในแนวตั้งสูงที่สุด โดยกำหนดสภาวะในการทดลองดังต่อไปนี้

- วัสดุที่ใช้ทำครีบบน คือ duralumin
- พื้นผิวในแนวตั้ง (พื้นผิวที่ติดครีบบน) ขนาด 250 มม. x 190 มม.
- อุณหภูมิของพื้นผิวในแนวตั้ง เท่ากับ 35, 55, 75 และ 95 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของอากาศที่ล้อมรอบชุดครีบบน เท่ากับ 15 องศาเซลเซียส
- ความยาวครีบบน 250 มม.
- ความสูงครีบบน 60 มม.
- ความหนาครีบบน 3 มม.
- ระยะห่างระหว่างแถวครีบบน มีขนาดตั้งแต่ 3 ถึง 35 มม.

จากผลการทดลอง พบว่าค่าระยะห่างระหว่างแถวครีบบนที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดคือ 10 ± 1 มม. (ในช่วงค่าอุณหภูมิของพื้นผิวในแนวตั้งที่ทำการทดลอง) และเมื่อทำการคำนวณโดยใช้ โปรแกรม VFIN (ที่ค่าอุณหภูมิของพื้นผิวในแนวตั้งเท่ากับ 95 องศาเซลเซียส) พบว่าค่าระยะห่างระหว่างแถวครีบบนที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดคือ 10 มม. เช่นกันดังแสดงในรูปที่ 5-23

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TOTAL HEAT TRANSFER



รูปที่ 5-23 กราฟแสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนที่คำนวณจากโปรแกรม VFIN
เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Leung and Probert

จากรูปที่ 5-23 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่คำนวณจาก โปรแกรม VFIN จะน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง ซึ่งมีสาเหตุที่เป็นไปได้ตามที่อธิบายในหัวข้อ 5.4.1 (ค่า Nusselt number ที่ได้จากการคำนวณ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากผลการทดลอง) เมื่อพิจารณาเส้นกราฟทั้งสอง จะเห็นว่า มีรูปร่างที่คล้ายกัน โดยที่ค่าระยะห่างมากหรือน้อยกว่า 10 มม. อัตราการถ่ายเทความร้อนจะลดน้อยลง ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ โดยพิจารณาการแจกแจงของความเร็วและอุณหภูมิ ที่ค่า $Gr_{Pr.s/L}$ น้อย ซึ่งสอดคล้องกับกรณีที่ค่าระยะห่างระหว่างแถวครีมนี้น้อย ลักษณะของการไหลจะเป็นแบบ fully developed ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าน้อย จึงทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำ ในทางตรงข้ามกันเมื่อค่าระยะห่างระหว่างแถวครีมนี้น่ามาก ลักษณะของการไหลจะเป็นแบบ Isolated Plate ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่ามาก

อย่างไรก็ตาม เมื่อค่าระยะห่างระหว่างแถวครีมน้อยลงจะทำให้มีจำนวนแถวครีบบottom เพิ่มขึ้น ส่งผลให้พื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนมีมากขึ้น และในทางกลับกันเมื่อค่าระยะห่างระหว่างแถวครีบบottom เพิ่มขึ้นก็จะทำให้พื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนลดลง จากลักษณะที่ตรงข้ามกันของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนที่แปรเปลี่ยนตามค่าระยะห่างระหว่างแถวครีบบottom ทำให้มีค่าระยะห่างระหว่างแถวครีบบottom หนึ่งที่จะทำให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากครีบบottom สูงที่สุด