

## บทที่ 5

### อภิปรายผล และสรุปผล

#### 5.1 อภิปรายผล

ในการคำนวณหาความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบของของไหลสองสถานะที่มีลักษณะการไหลแบบ droplet flow ภายใน thermal entrance region ของท่อกลม ภายใต้สภาวะอุณหภูมิผนังท่อคงที่ ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึง การเปลี่ยนแปลงขนาดของละอองน้ำตลอดตามแนวยาวท่อ การเปลี่ยนแปลงความเร็วของไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่มีผลมาจากการระเหยตัวของละอองน้ำ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยิ่งยวด โดยแสดงผลที่ได้ระหว่างกรณีที่พิจารณาช่วง hydrodynamic region จนถึงช่วง fully developed velocity profile ด้วย Langhaar velocity profile กับกรณีที่พิจารณาทั้งระบบเป็น fully developed velocity profile ด้วย parabolic velocity profile นอกจากนี้ได้เปรียบเทียบผลที่ได้ ที่ได้รับอิทธิพลจาก parameter ที่ได้กำหนดขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งได้แก่ 1. Liquid loading parameter (A) 2. Heat sink parameter (S) และ 3. Wall superheat parameter (C) โดย parameter ทั้งสาม จะมีนัยสำคัญที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งพอที่จะกล่าวโดยสังเขปได้ดังต่อไปนี้

1. Liquid loading parameter (A) เป็น parameter ที่บ่งบอกถึง จำนวนของละอองน้ำในไอน้ำร้อนยิ่งยวด

2. Heat sink parameter (S) k เป็น parameter ที่บ่งบอกถึง ระดับของการกระจายตัวของละอองน้ำในไอน้ำร้อนยิ่งยวด

3. Wall superheat parameter (C) เป็น parameter ที่บ่งบอกถึง ระดับของอุณหภูมิผนังท่อที่สูงเกินกว่าอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว

ตามขั้นตอนของการคำนวณในงานวิจัยนี้ เป็นการคำนวณหาคำตอบโดยประมาณ ซึ่งได้นำรูปแบบของไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์มาช่วยในการจัดรูปของสมการพหุ

งาน (สมการ 2.49 และ สมการ 2.50) และสมการที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สมการอยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการหาคำตอบของสมการ

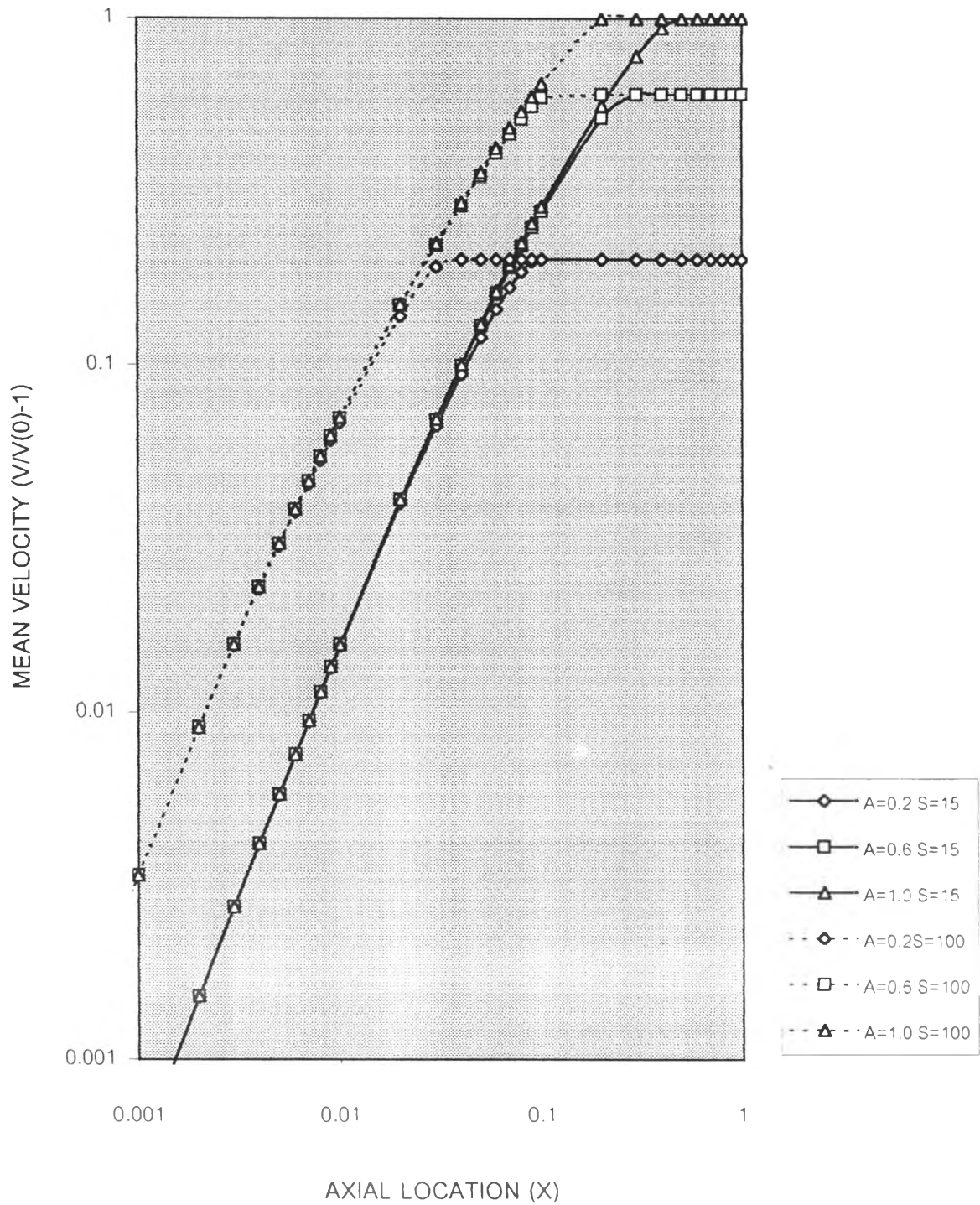
จากสมการ (2.39) และสมการ (2.40) ซึ่งได้แสดงค่า liquid loading parameter และ heat sink parameter ตามลำดับ จะเห็นว่า parameter ทั้งสอง จะมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของ parameter ทั้งสองได้ดังนี้

$$S = 6A \left( \frac{\rho_l}{\rho_v} \right) \left( \frac{h_p d_0}{k} \right) \left( \frac{r_0^2}{d_0^2} \right) \quad (5.1)$$

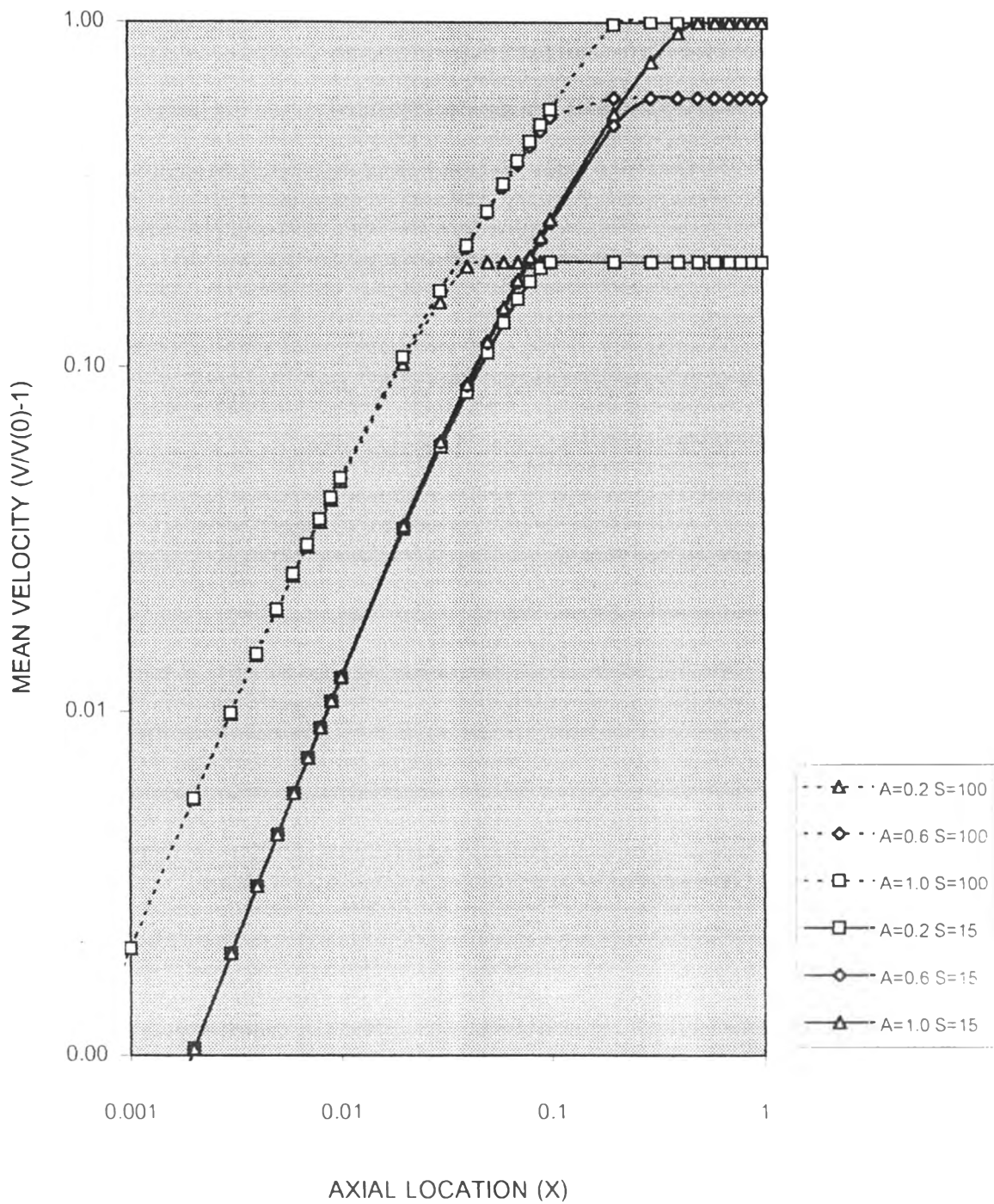
จากสมการ (5.1) ค่า  $\frac{h_p d_0}{k}$  เป็นค่า droplet Nusselt number สำหรับละอองน้ำที่กระจายตัวอยู่ในไอน้ำร้อนยิ่งยวด ซึ่งจะมีค่าเข้าใกล้ 2.0 ดังนั้นจาก สมการ (5.1) ถ้ากำหนดค่า liquid loading parameter ให้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง heat sink parameter จะแปรผกผันกับพื้นที่ผิวของละอองน้ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ค่า heat sink parameter ที่สูงกว่าพื้นที่ผิวของละอองน้ำจะมีค่าน้อยกว่า หรือละอองน้ำมีขนาดเล็กกว่า และถ้ากำหนดค่า heat sink parameter ให้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง liquid loading parameter จะแปรผันตรงกับพื้นที่ผิวของละอองน้ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ค่า liquid loading parameter ที่มีค่าสูงกว่าขนาดของละอองน้ำจะมีขนาดที่ใหญ่กว่า

จากสมการ (2.49) และสมการ (2.50) จะเห็นว่าค่า heat sink parameter จะอยู่ในเทอมสุดท้ายของสมการ ซึ่งค่า heat sink parameter ที่มากกว่าจะหมายถึง ผลที่ได้รับจาก heat sink effect ที่มากกว่า ซึ่งหมายความว่าความร้อนจะถ่ายเทจากไอน้ำร้อนยิ่งยวดไปสู่ละอองน้ำมีปริมาณที่สูงกว่า ทำให้ไอน้ำร้อนยิ่งยวดสามารถรับความร้อนจากผนังท่อได้ในปริมาณที่สูงกว่า และเป็นผลให้อัตราการระเหยตัวของละอองน้ำมีค่าสูงกว่าด้วย

ผลที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ ได้ถูกแสดงผลด้วยกราฟเส้น ทั้งหมด 9 รูปด้วยกัน ดังนี้คือ



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วเฉลี่ยของไอน้ำร้อนยิ่งยวด สำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile



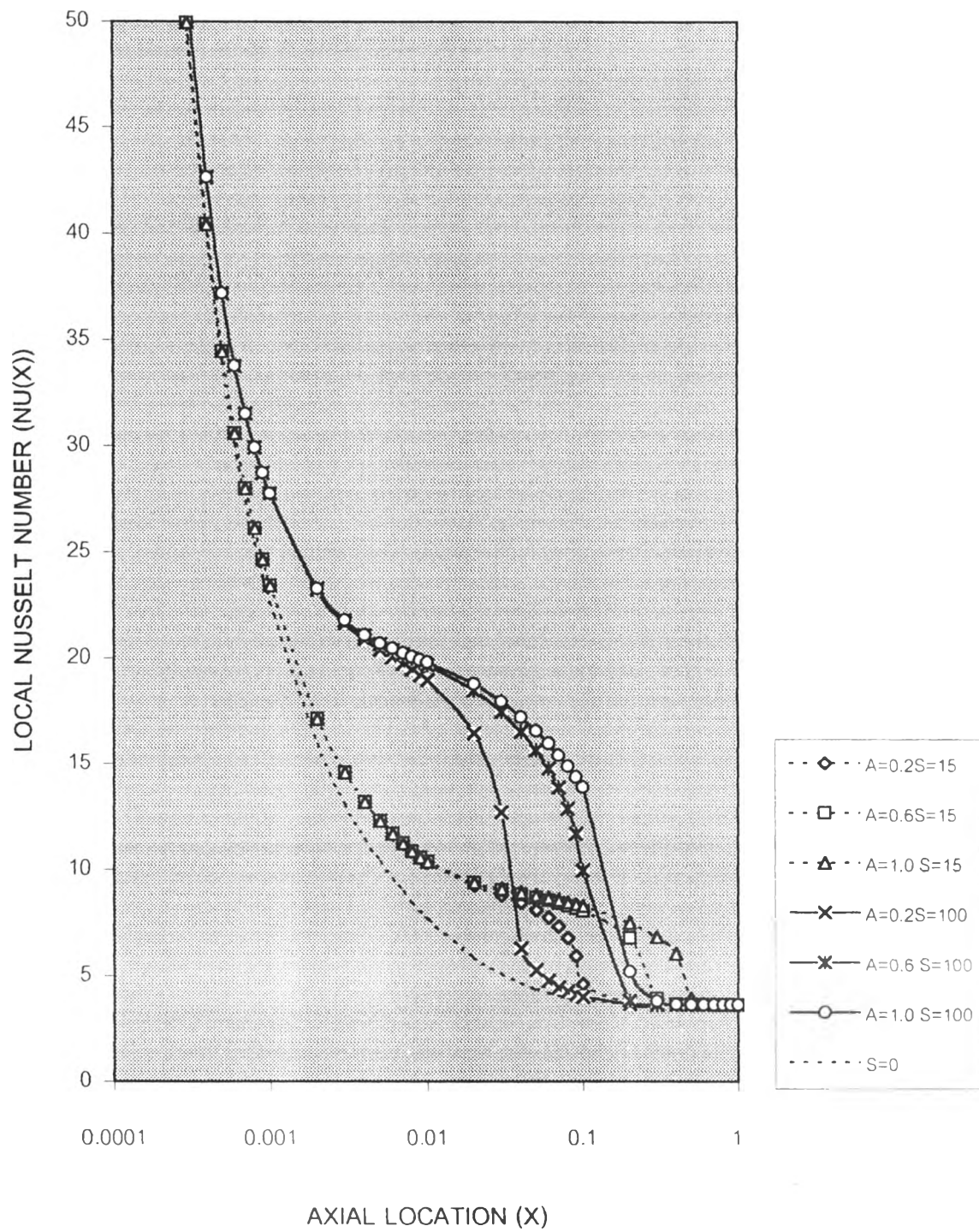
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วเฉลี่ยของไอน้ำร้อนยิ่งยวด สำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ parabolic velocity profile

**รูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2** กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วเฉลี่ยของไอน้ำร้อนยิ่งยวด ในทิศทางแนวยาวท่อ ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile และ parabolic velocity profile ภายใต้สภาวะอุณหภูมิผนังท่อคงที่ ตามลำดับ โดยกำหนดค่า heat sink parameter ที่  $S = 15, 100$  ค่า liquid loading parameter ที่  $A = 0.2, 0.6, 1.0$  และค่า wall superheat parameter ที่  $C = 0.5$

จากรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 เส้นกราฟจะแสดงให้เห็นว่า ความเร็วเฉลี่ยของไอน้ำร้อนยิ่งยวด จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแนวยาวท่อ ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากการระเหยตัวของละอองน้ำ และจากลักษณะของเส้นกราฟ ในกรณีค่า heat sink parameter ที่แตกต่างกัน ค่า heat sink parameter ที่สูงกว่า หรือ มี heat sink effect ที่สูงกว่า จะเห็นว่าความเร็วเฉลี่ยของไอน้ำร้อนยิ่งยวดจะมีค่าสูงกว่า ซึ่งหมายความว่า อัตราการระเหยตัวของละอองน้ำในกรณีดังกล่าวจะสูงกว่า ในขณะที่กรณีค่า liquid loading parameter ที่แตกต่างกัน เส้นกราฟเกือบจะทับกันพอดีในช่วงต้น ซึ่งหมายความว่าค่า liquid loading parameter จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วไอน้ำร้อนยิ่งยวด แต่จะมีผลต่อค่าความเร็วสุดท้าย หรือ ความเร็วเมื่อถึงจุดที่ละอองน้ำระเหยตัวหมด หรือของไหลอยู่ในสถานะของไหลสถานะเดียว โดยสังเกตได้จากจุดหักเหของเส้นกราฟซึ่งจะให้ค่าความเร็วสุดท้ายของไอน้ำร้อนยิ่งยวด ตัวอย่างเช่นในกรณีค่า liquid loading parameter เท่ากับ 1.0 จะเห็นว่าค่าความเร็วสุดท้ายของไอน้ำร้อนยิ่งยวดจะมีค่าเป็นสองเท่าของความเร็วที่ทางเข้า หรือกล่าวได้ว่าค่า Reynolds number ของไอน้ำร้อนยิ่งยวดจะมีค่าเพิ่มขึ้น 2 เท่าเมื่อละอองน้ำระเหยตัวหมด จากผลดังกล่าวทำให้สรุปได้ว่าค่าความเร็วสุดท้ายของไอน้ำร้อนยิ่งยวดจะขึ้นอยู่กับค่า liquid loading parameter เท่านั้น

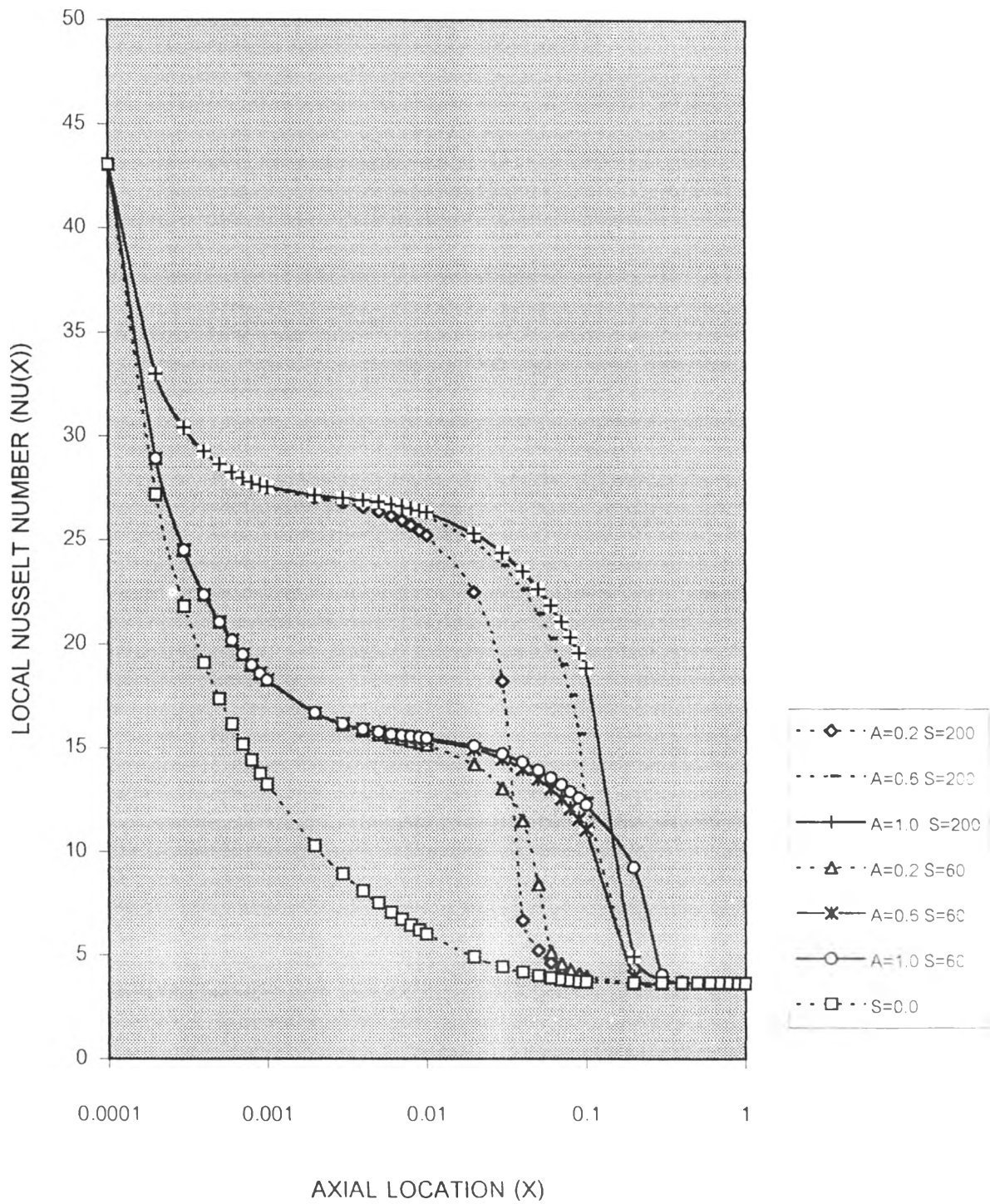
สำหรับ ความแตกต่างของเส้นกราฟของรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 จะเห็นว่ามีความแตกต่างกันน้อยมาก นอกจากตำแหน่งของจุดหักเหของเส้นกราฟในรูปที่ 5.1 จะอยู่ใกล้กว่าจุดหักเหของเส้นกราฟในรูปที่ 5.2 ซึ่งหมายความว่า กรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile ละอองน้ำจะระเหยตัวหมดเร็วกว่า กรณีที่ใช้ parabolic velocity profile ซึ่งจากงานวิจัยของ Langhaar (1955) ได้แสดงผลไว้ว่า velocity profile ของไอน้ำที่ไหลภายในท่อกลมด้วยจะสามารถอธิบายได้ด้วย Langhaar velocity profile ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบที่

ได้จากการทดลอง พบว่าจะให้ผลที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่า การอธิบาย velocity profile ด้วย parabolic velocity profile แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าไม่มากนัก ซึ่งในการที่เลือกนำผลในกรณีใดไปใช้นั้น ก็ขึ้นกับความต้องการ และความจำเป็นของงาน



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า local Nusselt number ตลอดตามแนวยาวท่อ สำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile





รูปที่ 5.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า local Nusselt number ตลอดตามแนวยาวท่อ สำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ parabolic velocity profile



**รูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4** กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า local Nusselt number ในทิศทางแนวยาวท่อ ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile และ parabolic velocity profile ภายใต้สภาวะอุณหภูมิผนังท่อคงที่ ตามลำดับ โดยกำหนดค่า heat sink parameter ที่  $S = 0, 15, 100$  ค่า liquid loading parameter ที่  $A = 0.2, 0.6, 1.0$  และค่า wall superheat parameter ที่  $C = 0.5$

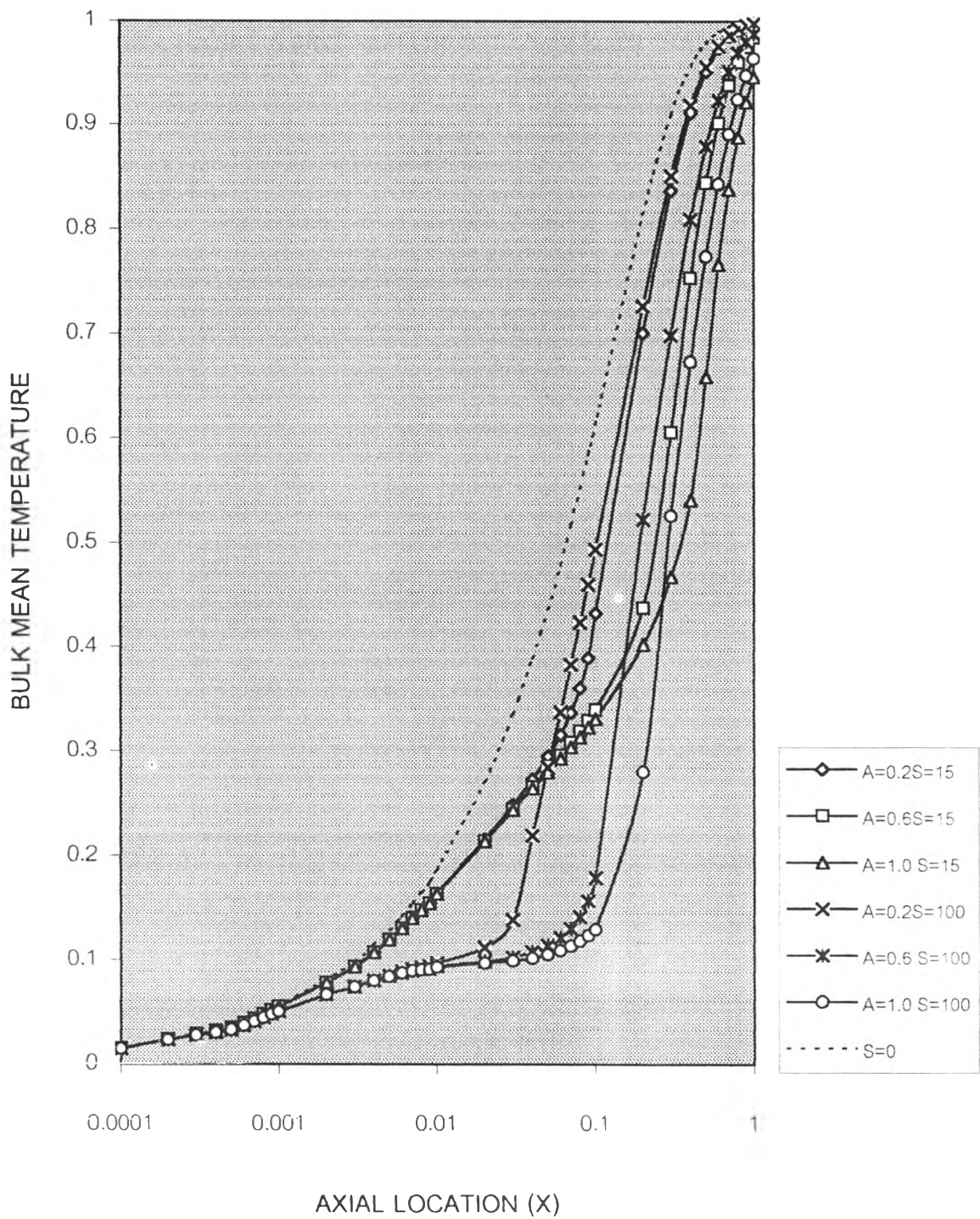
ค่า local Nusselt number ของการไหลของของไหลสองสถานะที่มีลักษณะการไหลแบบ droplet flow ภายใน thermal entrance region ของท่อกลม จะเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากผนังท่อไปสู่ไอน้ำร้อนยิ่งยวด ซึ่งถูกนิยามไว้ด้วยสมการ (2.63) ดังนี้

$$Nu_x = \frac{2q_w r_0}{k(T_w - T_m)} = \frac{2}{\theta_m - 1} * \frac{\partial \theta}{\partial R} \Big|_{R=1} \quad (2.63)$$

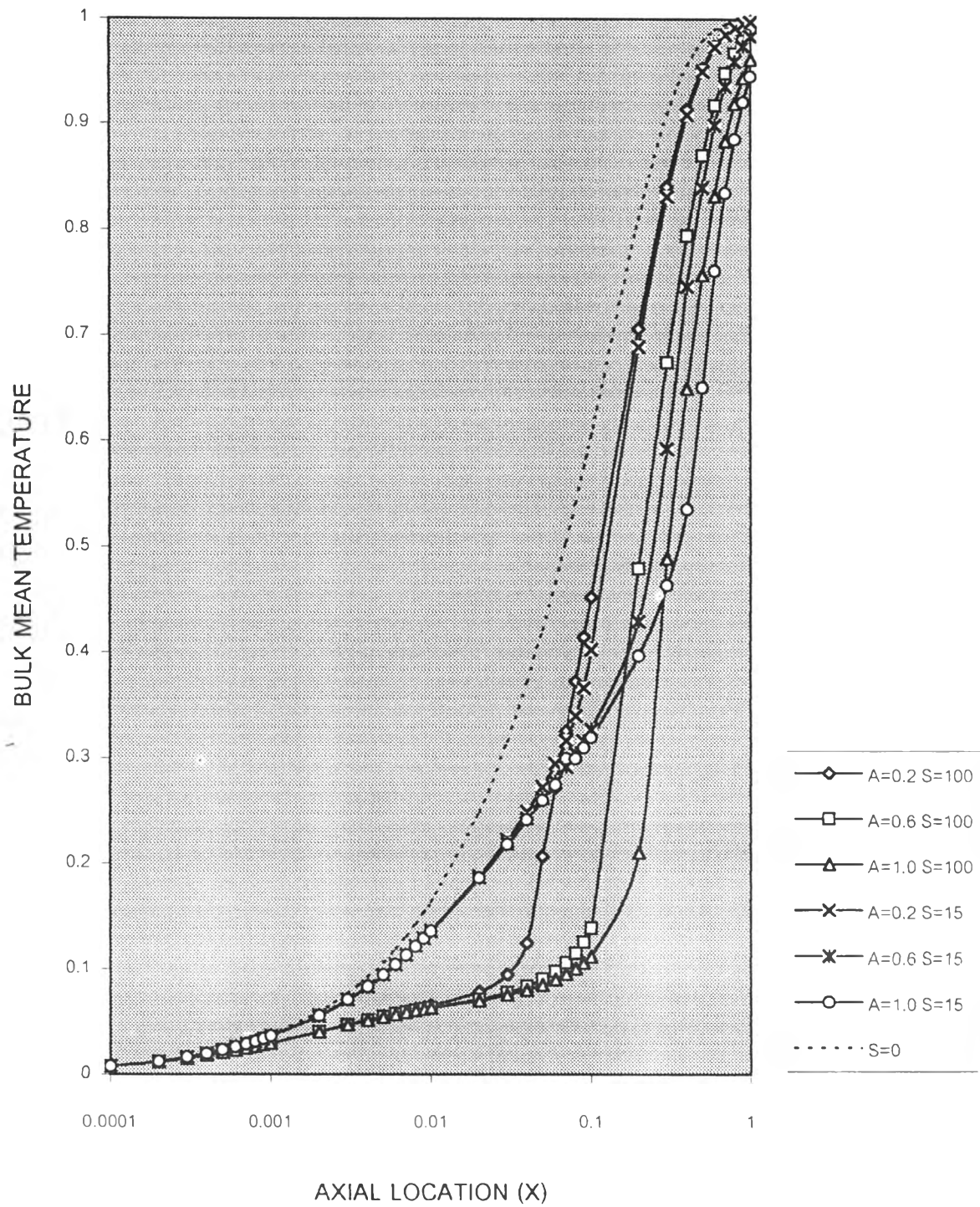
จากรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 เส้นกราฟจะแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า heat sink parameter จะมีอิทธิพลต่อค่า local Nusselt number อย่างมาก สำหรับค่า heat sink parameter ที่มากกว่า จะหมายถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำร้อนยิ่งยวดไปสู่ละอองน้ำมีปริมาณที่มากกว่า หรือกล่าวได้ว่ามี heat sink effect ที่สูงกว่า ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนจากผนังท่อไปสู่ไอน้ำร้อนยิ่งยวดมีปริมาณที่สูงกว่าตามไปด้วย และสำหรับในกรณีที่ค่า heat sink parameter เท่ากับศูนย์ ซึ่งหมายถึงจำนวนของละอองน้ำเป็นศูนย์ ซึ่งของไหลจะอยู่ในสถานะของไหลสถานะเดียว โดยค่า local Nusselt number ที่ได้จะตรงกับผลที่ได้นำเสนอไว้โดย Kay และ Crawford (1993) นอกจากนี้จะเห็นว่า เส้นกราฟทุกเส้นจะหยุดการเปลี่ยนแปลงที่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง คือค่า local Nusselt number เท่ากับ 3.66 ซึ่งเป็นช่วงที่เรียกว่า thermal fully developed โดยจะเกิดขึ้นหลังจากที่ละอองน้ำระเหยตัวหมด หรือกล่าวคือ ของไหลอยู่ในสถานะของไหลสถานะเดียว โดยค่า local Nusselt number เมื่อของไหลเข้าสู่ช่วง thermal fully developed ที่แสดงไว้โดย Kay และ Crawford (1993) จะมีเท่ากับ 3.66 ซึ่งตรงกับผลที่ได้ในงานวิจัยนี้

สำหรับอิทธิพลของค่า liquid loading parameter ที่ค่า heat sink parameter ใดๆ ค่าหนึ่ง ที่มีต่อค่า local Nusselt number เมื่อสังเกตจากเส้นกราฟจะเห็นว่า มีอิทธิพลน้อยมากในช่วงต้น เนื่องจากเส้นกราฟจะทับกันพอดี ซึ่งสามารถให้เหตุผลได้ว่า ในช่วงต้นนั้น ละอองน้ำจะระเหยตัวอย่างช้าๆ ทำให้ไม่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังท่อ ไปสู่อินน้ำร้อนยิ่งยวด แต่อย่างไรก็ตาม การกำหนดค่า heat sink parameter ใดๆค่าหนึ่ง ค่า liquid loading parameter ที่มากกว่า จะหมายถึงขนาดของละอองน้ำที่ใหญ่กว่า ดังนั้น ในขณะที่ละอองน้ำระเหยตัวและมีขนาดลดลงไปเรื่อยๆ ความแตกต่างของอัตราส่วน ระหว่างพื้นที่ผิวของละอองน้ำ กับปริมาตรจะมีค่าสูงมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ค่า local Nusselt number จะมีความแตกต่างกันในที่สุด โดยในกรณีที่ค่า liquid loading parameter ที่น้อยกว่า ซึ่งหมายถึงละอองน้ำจะมีขนาดเล็กกว่า การระเหยตัวของละอองน้ำก็จะเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่า หรือจะระเหยตัวหมดก่อน ซึ่งสังเกตได้จากเส้นกราฟที่จะเข้าหาค่า local Nusselt number เท่ากับ 3.66 เร็วกว่ากรณีของค่า liquid loading parameter ที่สูงกว่า

สำหรับความแตกต่างของ รูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 จะเห็นว่ามีความแตกต่างกันมากพอสมควรในช่วงต้น แต่ในช่วงปลายแทบจะไม่มีมีความแตกต่างกันเลย ซึ่งสามารถให้เหตุผลได้ว่า ในช่วงของการไหลที่เรียกว่า hydrodynamic region ที่ใช้ Langhaar velocity profile จะทำให้ความร้อนสามารถถ่ายเทจากผนังท่อไปยังอินน้ำร้อนยิ่งยวดได้ในปริมาณที่มากกว่า การใช้ parabolic velocity profile แต่อย่างไรก็ตาม ช่วง hydrodynamic region จะมีระยะน้อยมากเมื่อเทียบกับทั้งระบบ ดังนั้นในการนำผลที่ได้ไปใช้ ก็ต้องคำนึงถึงความต้องการที่แท้จริง



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า bulk mean temperature ตลอดตามแนวยาวท่อ สำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile

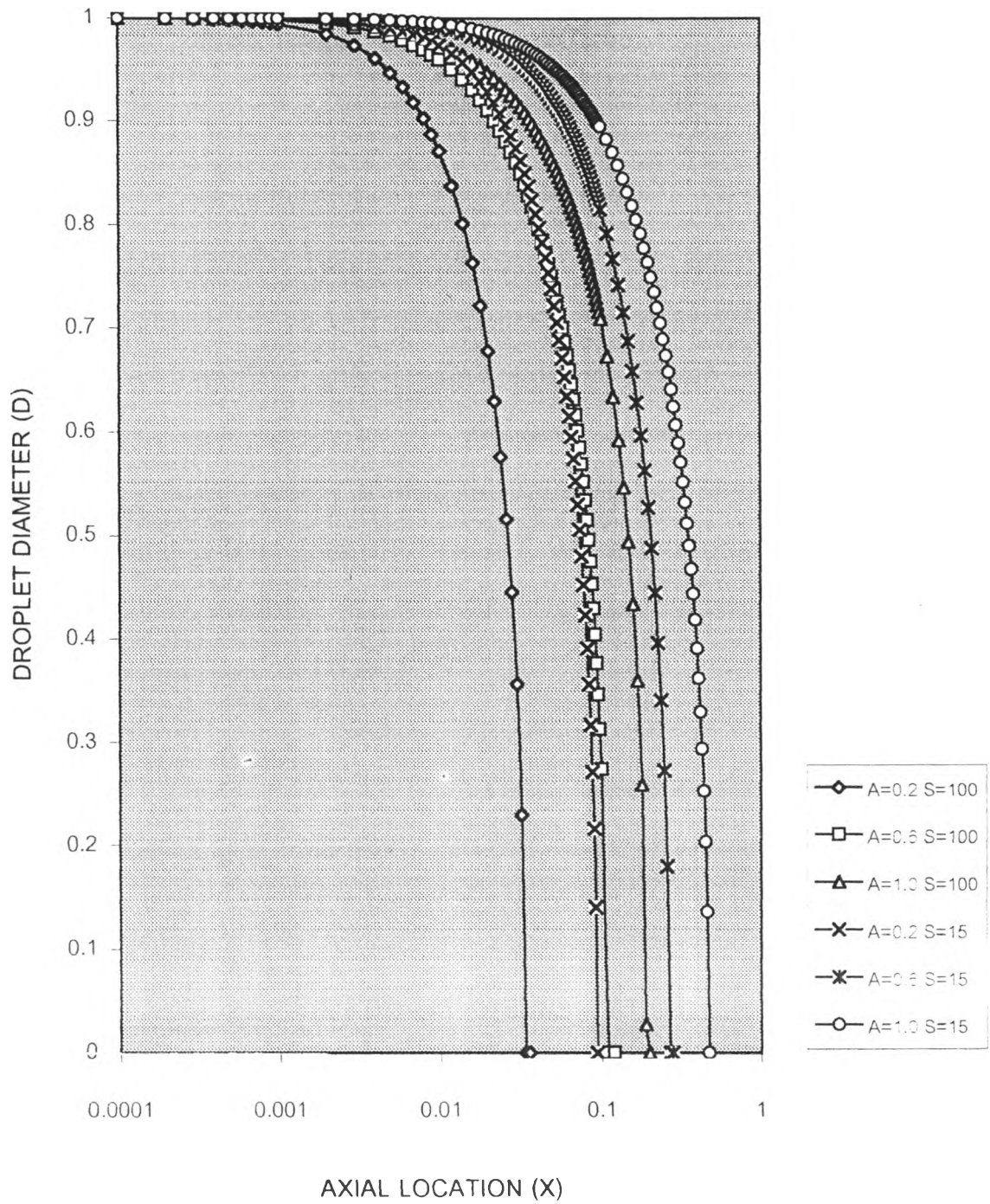


รูปที่ 5.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า bulk mean temperature ตลอดตามแนวยาวท่อ สำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ parabolic velocity profile

**รูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6** กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า bulk mean temperature ในทิศตามแนวยาวท่อ ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile และ parabolic velocity profile ภายใต้สภาวะอุณหภูมิผนังท่อคงที่ ตามลำดับ โดยกำหนดค่า heat sink parameter ที่  $S = 0, 15, 100$  ค่า liquid loading parameter ที่  $A = 0.2, 0.6, 1.0$  และค่า wall superheat parameter ที่  $C = 0.5$

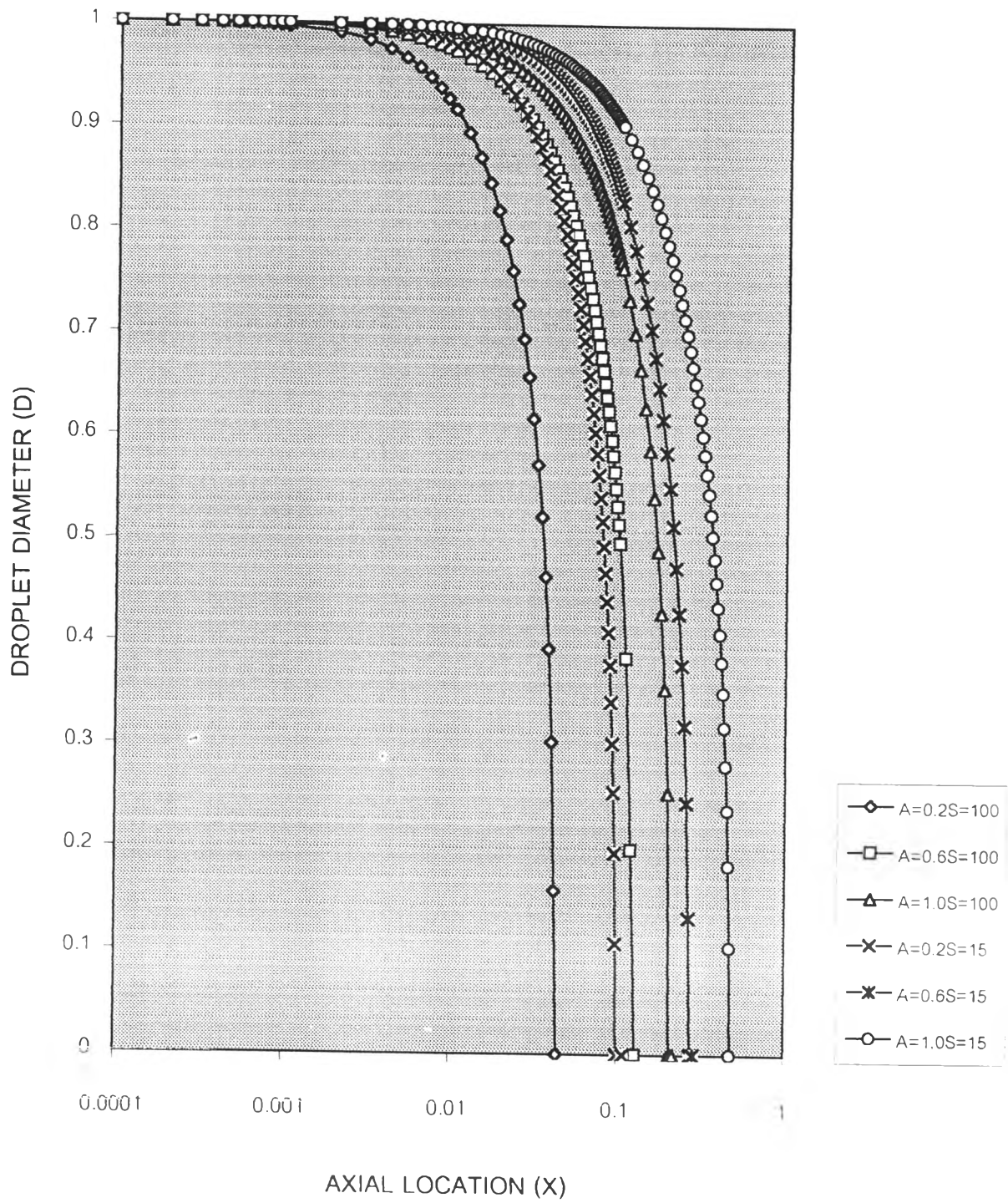
จากรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 เส้นกราฟจะแสดงให้เห็นว่าค่า bulk mean temperature จะมีค่าสูงขึ้นในทิศทางตามแนวแกนของท่อ โดยพบว่าที่ค่า liquid loading parameter ใดๆค่าหนึ่ง ค่า heat sink parameter ที่ต่ำกว่า ซึ่งหมายถึงละอองน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า แต่พื้นที่ผิวโดยรวมของละอองน้ำที่กระจายตัวอยู่ในน้ำร้อนยิ่งยวดจะมีค่าน้อยกว่า ค่า bulk mean temperature จะมีค่าสูงกว่า ซึ่งสามารถให้เหตุผลได้ว่า ความร้อนที่ถ่ายเทจากไอน้ำร้อนยิ่งยวดไปยังละอองน้ำมีปริมาณที่น้อยกว่า หรือ กล่าวได้ว่าละอองน้ำสามารถหล่อเย็นไอน้ำร้อนยิ่งยวดได้น้อยกว่า และในทางกลับกัน ที่ค่า heat sink parameter ใดๆค่าหนึ่ง ค่า liquid loading parameter ที่ต่ำกว่า หมายถึงละอองน้ำที่มีขนาดเล็กกว่า แต่กระจายตัวอยู่ในไอน้ำร้อนยิ่งยวดในปริมาณที่หนาแน่นกว่า จะเห็นว่าในช่วงต้นของเส้นกราฟ ความแตกต่างของค่า liquid loading parameter จะไม่มีผลต่อค่า bulk mean temperature แต่จะเห็นว่า ในช่วงถัดไปของเส้นกราฟ ค่า bulk mean temperature จะสูงขึ้นเร็วกว่า สำหรับค่า liquid loading parameter ที่ต่ำกว่า เนื่องจากละอองน้ำที่มีขนาดเล็กจะระเหยตัวหมดเร็วกว่านั่นเอง และหลังจากที่ละอองน้ำระเหยตัวหมด ค่า bulk mean temperature จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีค่าเข้าใกล้อุณหภูมิของผนังท่อ

สำหรับความแตกต่างของรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 จะเห็นว่ามีลักษณะของเส้นกราฟที่คล้ายกัน แต่ค่า bulk mean temperature ของรูปที่ 5.5 จะมีค่าสูงกว่า รูปที่ 5.6 นั้นแสดงให้เห็นว่า ช่วง hydrodynamic region จะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน โดยไอน้ำร้อนยิ่งยวดจะได้รับความร้อนจากผนังท่อได้ในอัตราที่มากกว่า



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของละอองน้ำ สำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile





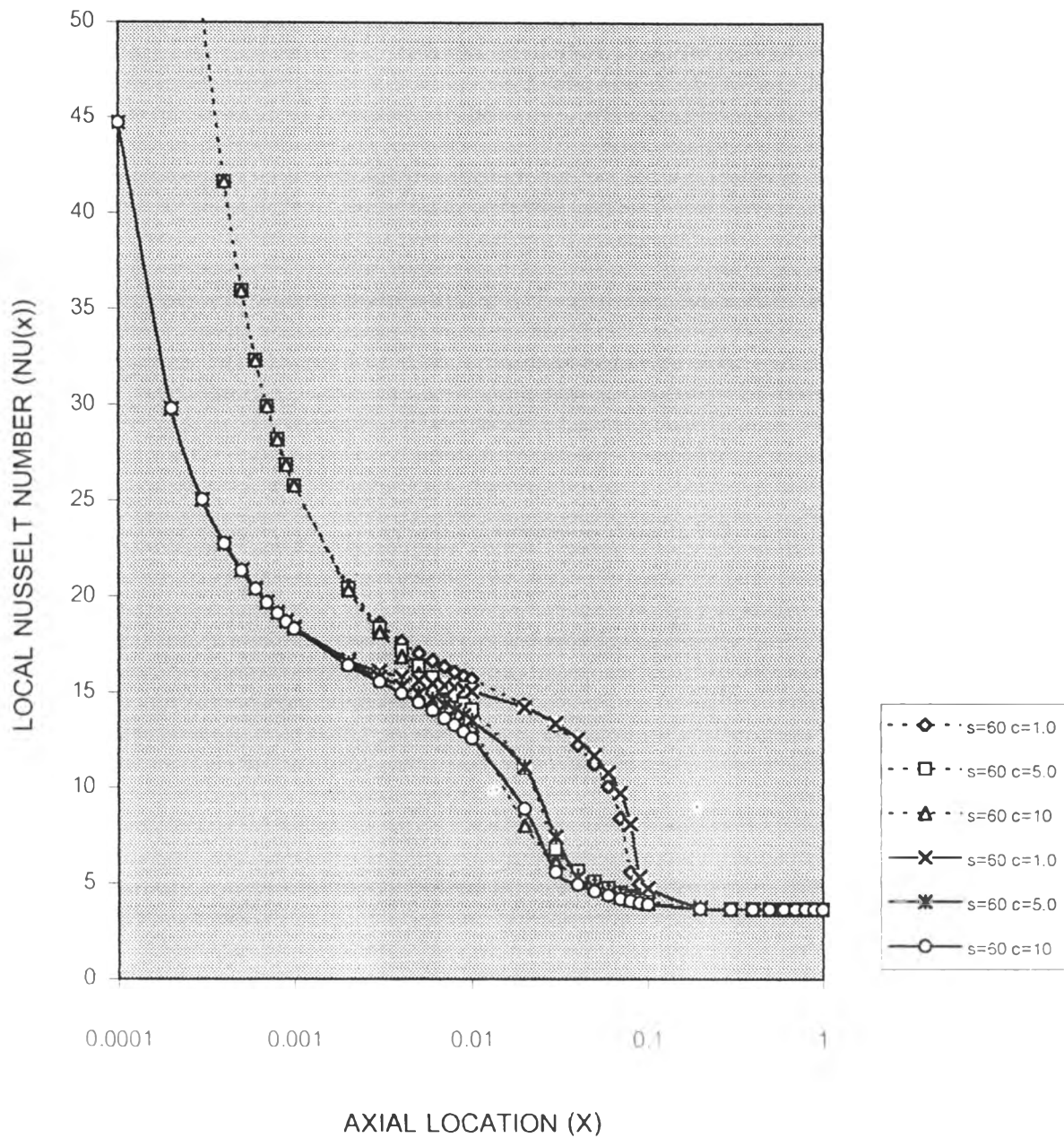
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของละอองน้ำ สำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ parabolic velocity profile



**รูปที่ 5.7 และ รูปที่ 5.8** กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของละอองน้ำ ในทิศทางแนวยาวท่อ ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile และ parabolic velocity profile ภายใต้สภาวะอุณหภูมิผนังท่อคงที่ ตามลำดับ โดยกำหนดค่า heat sink parameter ที่  $S = 15, 100$  ค่า liquid loading parameter ที่  $A = 0.2, 0.6, 1.0$  และค่า wall superheat parameter ที่  $C = 0.5$

จากรูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 เส้นกราฟจะแสดงให้เห็นว่า ที่ค่า liquid loading parameter ใดๆค่าหนึ่ง ค่า heat sink parameter ที่ต่ำกว่า หมายถึงขนาดของละอองน้ำที่ใหญ่กว่า เป็นผลให้อัตราการระเหยตัวของละอองน้ำช้ากว่า สังเกตได้จากเส้นกราฟจะเห็นว่าจุดที่ละอองน้ำระเหยตัวหมด หรือที่จุด  $D=0$  สำหรับค่า heat sink parameter ที่ต่ำกว่าจะอยู่ในตำแหน่งที่ไกลกว่า หรือกล่าวได้ว่าละอองน้ำจะเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่าก่อนที่จะระเหยตัวหมด นอกจากนี้สิ่งที่สังเกตได้จากกราฟในช่วงต้น ก็คือการเปลี่ยนแปลงของค่า droplet diameter จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ต่ำมากจนแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ตามอัตราการลดลงของ droplet diameter จะเร็วขึ้นหลังจากที่ขนาดของละอองน้ำเล็กลงมากขึ้น ซึ่งจากกราฟพอที่จะประมาณได้ว่า หลังจากค่า droplet diameter ลดลงเหลือประมาณ 80 ไมครอน อัตราการลดลงของ droplet diameter จะเพิ่มสูงขึ้นมากจนถึงจุดที่ระเหยตัวหมด หรือค่า droplet diameter เท่ากับศูนย์

สำหรับความแตกต่างของรูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 จะเห็นว่ามี ความแตกต่างกัน น้อยมาก นอกจากตำแหน่งที่ละอองน้ำระเหยตัวหมด ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile จะอยู่ใกล้กว่ากรณีที่ใช้ parabolic velocity profile เพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจจะถือได้ว่าไม่แตกต่างกันเลย



Langhaar velocity profile

parabolic velocity profile

รูปที่ 5.9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า local Nusselt number ตามการเปลี่ยนแปลงของ wall superheat parameter ที่ ค่า liquid loading parameter เท่ากับ 0.6 ในกรณีที่ใช้ parabolic velocity profile และ Langhaar velocity profile

**รูปที่ 5.9** กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า local Nusselt number ตามการเปลี่ยนแปลงของค่า wall superheat parameter โดยกำหนดค่า liquid loading parameter ที่  $A=0.6$  ค่า heat sink parameter ที่  $S=60$  และค่า wall superheat parameter ที่  $C=1,5,10$  ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile และ parabolic velocity profile

จากรูปที่ 5.9 เส้นกราฟจะแสดงให้เห็นว่า ที่ค่า wall superheat parameter ที่สูงกว่า ละอองน้ำจะระเหยตัวได้เร็วกว่า และค่า local Nusselt number จะมีค่าลดลงเร็วกว่า ซึ่งอิทธิพลของค่า wall superheat parameter จะมีลักษณะเช่นเดียวกับ ค่า liquid loading parameter แต่ในทิศทางที่ตรงกันข้าม

สำหรับความแตกต่างระหว่างกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile และ parabolic velocity profile จะเห็นว่า ในช่วงต้นของกราฟค่าการถ่ายเทความร้อนในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile จะมีค่าสูงกว่า แต่หลังจากที่การไหลเข้าสู่ช่วง fully developed velocity profile ค่าการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก สังเกตได้จากเส้นกราฟที่เกือบจะทับกันพอดี ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในช่วงต้นนั้นเป็นผลจากความแตกต่างของรูปแบบการแจกแจงความเร็ว ในช่วง hydrodynamic region แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างที่เกิดขึ้นในช่วงต้นๆเท่านั้น เมื่อเทียบกับส่วนที่มีค่าใกล้เคียงกัน

### 5.1.1 เปรียบผลที่ได้จากงานวิจัย กับผลที่ได้จากงานวิจัยของ Yao (1979)

จากผลที่ได้จากงานวิจัยของ Yao (1979) ที่ศึกษาการถ่ายเทความร้อนของของไหลสองสถานะที่มีลักษณะการไหลแบบ droplet flow ภายใน thermal entrance region ของท่อกลม โดยกำหนด velocity profile ของไอน้ำร้อนยิ่งยวดด้วย parabolic velocity profile ซึ่งมีข้อกำหนดที่แตกต่างจากงานวิจัยนี้ คือการกำหนดให้ละอองน้ำไม่มีการระเหยตัว หรือกล่าวอีกนัยก็คือ กำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของละอองน้ำคงที่ ดังนั้นจากผลที่ได้จากงานวิจัยของ Yao (1979) ได้แสดงสมการพลังงานไว้ดังนี้

$$(1-R^2) \frac{\partial \theta}{\partial X} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left( R \frac{\partial \theta}{\partial R} \right) - B(1-\theta) [1 + (1-\theta_m)C] \quad (5.1)$$

โดย

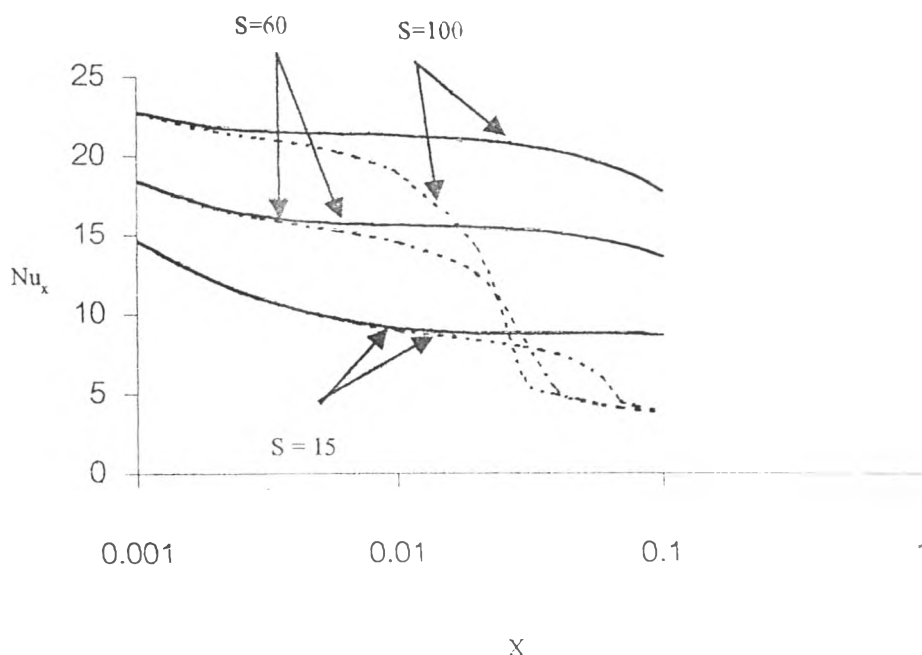
$$B = \text{droplet parameter} = n\pi d^3 h_{p,r_0}^2 / k$$

สมการพลังงาน (5.1) ที่ได้จากงานวิจัยของ Yao (1979) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสมการพลังงานในงานวิจัยนี้ จะพบว่ามีค่าแตกต่างกันในบางส่วน ซึ่งที่เห็นได้ชัดก็คือการกำหนดตัวแปรไร้หน่วยที่ แตกต่างกันนั่นก็คือ droplet parameter (B) ที่กำหนดขึ้นในงานวิจัยของ Yao (1979) ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า heat sink parameter (S) ในงานวิจัยนี้ แต่จะเห็นว่ารูปสมการของ parameter ทั้งสองมีลักษณะที่เหมือนกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่า droplet parameter และ heat sink parameter คือ parameter ตัวเดียวกัน เพราะฉะนั้นในการเปรียบค่า bulk mean temperature และค่า local Nusselt number สำหรับผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ กับผลที่ได้จากงานวิจัยของ Yao (1979) สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบผลที่ค่า droplet parameter และ heat sink parameter ที่เท่ากัน ส่วน ค่า wall superheat parameter ได้ถูกนิยามไว้โดยมีรูปสมการที่เหมือนกัน แต่สำหรับการกำหนด liquid loading parameter (A) ในงานวิจัยนี้ จะแตกต่างกับในงานวิจัยของ Yao (1979) ซึ่งไม่ได้กำหนด parameter นี้เอาไว้ ก็เป็นผลเนื่องมาจากการกำหนดให้ เส้นผ่าน

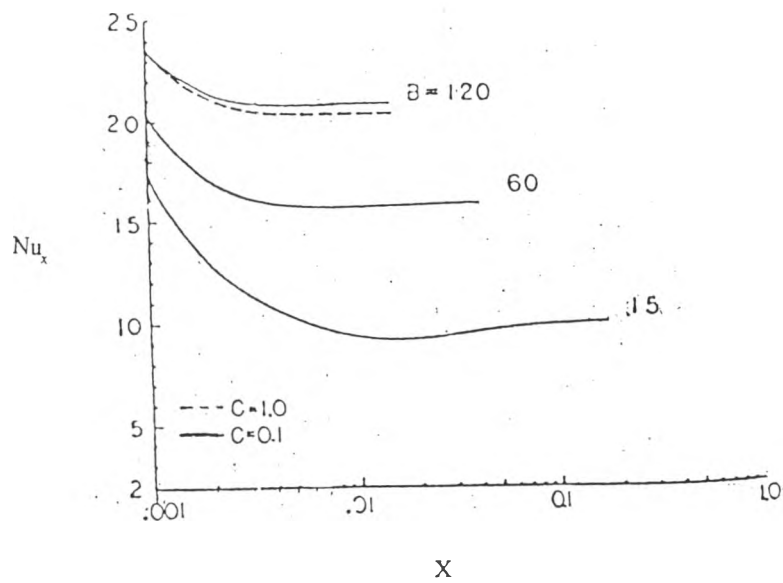
ศูนย์กลางของละอองน้ำคองที่นั่นเอง นอกจากนี้ ในงานวิจัยของ Yao (1979) มีข้อจำกัดที่ได้กำหนดไว้ว่า ระยะที่สามารถยื่นยื่นผลได้นั้นจะต้องไม่เกินตำแหน่ง  $X = 0.1/BC$

จากข้อจำกัดในงานวิจัยของ Yao (1979) ทำให้การเปรียบเทียบผลระหว่างงานวิจัยทั้งสองหมดปัญหาในเรื่องของ ค่า liquid loading parameter ในงานวิจัยนี้ แต่เนื่องจากผลที่แสดงไว้ดังรูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.6 จะเห็นว่าค่า liquid loading parameter จะมีผลน้อยมากในช่วงต้นของการไหล ซึ่งเป็นผลจากอัตราการระเหยตัวของละอองน้ำมีค่าน้อยมากในช่วงดังกล่าว จึงสามารถที่จะเปรียบเทียบผลระหว่างวิจัยทั้งสองได้ ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.10 สำหรับเปรียบเทียบค่า local Nusselt number ที่ได้จากงานวิจัยนี้ กับงานวิจัยของ Yao (1979) และรูปที่ 5.11 สำหรับเปรียบเทียบค่า bulk mean temperature ที่ได้จากงานวิจัยนี้ กับงานวิจัยของ Yao (1979)

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้

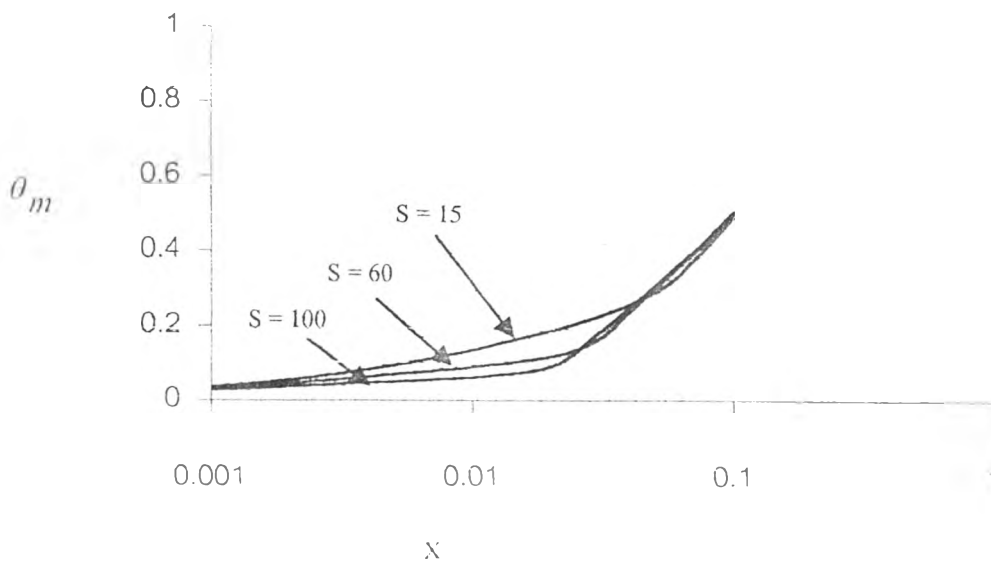


ผลที่ได้จากงานวิจัยของ Yao (1979)

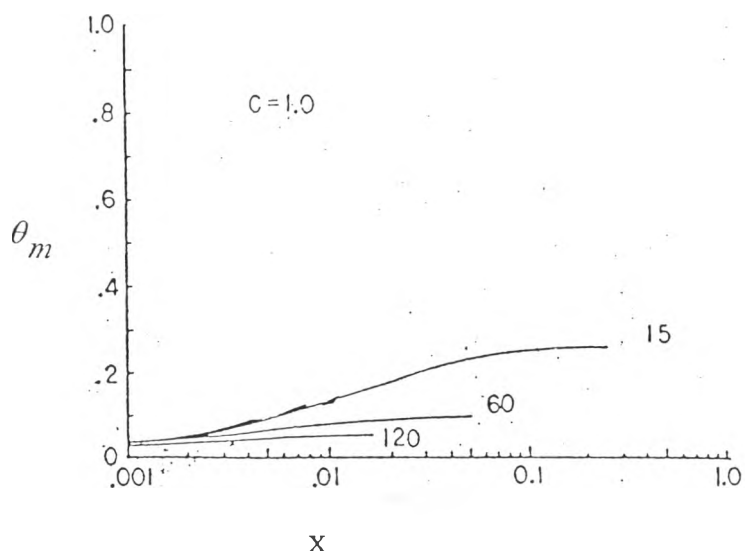


**รูปที่ 5.10** กราฟเปรียบเทียบค่า local Nusselt number ที่ได้จากงานวิจัยนี้ กับงานวิจัยของ Yao (1979) (heat sink parameter ( $C$ ) นิยามเช่นเดียวกับ droplet parameter ( $B$ ) ในงานวิจัยของ Yao (1979))

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้



ผลที่ได้จากงานวิจัยของ Yao (1979)



**รูปที่ 5.11** กราฟเปรียบเทียบค่า bulk mean temperature ที่ได้จากงานวิจัยนี้ กับงานวิจัยของ Yao (1979) (heat sink parameter (S) นิยามเช่นเดียวกับ droplet parameter (B) ในงานวิจัยของ Yao (1979))

จากผลการเปรียบเทียบดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.10 และรูปที่ 5.11 จะเห็นว่าค่า local Nusselt number และค่า bulk mean temperature ระหว่างผลงานวิจัยทั้งสอง จะมีค่าความแตกต่างของผลที่ได้น้อยมาก ในช่วงแรก แต่ตอนปลายจะมีความแตกต่างกันพอสมควร ซึ่งเป็นผลจากการระเหยตัวของละอองน้ำ เพราะในงานวิจัยได้กำหนดให้พิจารณาการระเหยตัวของละอองน้ำ ดังนั้นค่า local Nusselt number และ ค่า bulk mean temperature ที่ได้ในงานวิจัยนี้ จะมีค่าแตกต่างจากผลที่แสดงไว้ในงานวิจัยของ Yao (1979) แต่ในงานวิจัยดังกล่าวได้กำหนดตำแหน่งของผลที่สามารถเชื่อถือได้ที่  $X = 0.1/BC$  ซึ่ง ถ้า  $B=60$   $C=0.1$  จะได้ตำแหน่งของ  $X = 0.0166$  และ ถ้า  $B=120$   $C=0.1$  จะได้ตำแหน่งของ  $X = 0.00833$  ที่ตำแหน่งดังกล่าวค่า local Nusselt number และค่า bulk mean temperature ในงานวิจัยทั้งสองมีความแตกต่างกันน้อยมาก และ สำหรับความแตกต่างที่เกิดขึ้นในช่วงปลายของเส้นกราฟ แสดงให้เห็นว่า การระเหยตัวของละอองน้ำ หรือขนาดที่เปลี่ยนไปของละอองน้ำ มีผลต่ออุณหภูมิไอน้ำร้อนยิ่งยวด คือ ขนาดละออง



น้ำที่เล็กลงจะสามารถรับความร้อนจากไอน้ำร้อนยิ่งยวด ได้น้อยกว่าละอองน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่านั่นเอง

## 5.2 สรุปผล

การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นสำหรับของไหลสองสถานะระหว่างละอองน้ำกับไอน้ำร้อนยิ่งยวด ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ จะได้รับอิทธิพลจากค่า liquid loading parameter , heat sink parameter และ wall superheat parameter (C) ซึ่งหมายความว่า ปริมาตรของละอองน้ำ พื้นที่ผิวของละอองน้ำ และอุณหภูมิผนังท่อ จะมีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนเป็นอย่างมาก โดยในกรณีที่พื้นที่ผิวรวมของละอองน้ำคงที่ ละอองน้ำจะสามารถรับความร้อนจากไอน้ำร้อนยิ่งยวด มาได้ในปริมาณที่เท่ากัน ไม่ว่าจะมียังขนาดต่างกันหรือไม่ แต่ในกรณีที่ละอองน้ำมีขนาดใหญ่กว่า อัตราการระเหยตัวก็จะช้ากว่า และเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่า นั่นก็หมายความว่า อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยิ่งยวด จะถูกชะลอไม่ให้สูงขึ้นไว้ได้นานกว่า จนกระทั่งละอองน้ำระเหยตัวหมด และในกรณีที่พื้นที่ผิวรวมมีค่ามากกว่า พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจากผนังท่อไปสู่ไอน้ำร้อนยิ่งยวดจะมีค่าสูงกว่า นั่นหมายความว่าปริมาณความร้อนจากไอน้ำร้อนยิ่งยวด จะถ่ายเทไปยังละอองน้ำได้ในปริมาณที่มากกว่า ทำให้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด สามารถรับความร้อนจากผนังท่อได้มากขึ้น และในกรณีที่ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างผนังท่อกับไอน้ำร้อนยิ่งยวดมากกว่า การระเหยตัวของละอองน้ำจะเร็วกว่า สำหรับผลจากการเปรียบเทียบค่าต่างๆที่ได้จากการกำหนดให้ใช้ Langhaar velocity profile กับ parabolic velocity profile พบว่า ค่าต่างๆที่ได้จะแตกต่างกันในช่วงสั้นๆ เท่านั้น ซึ่งในการที่จะเลือกนำผลอย่างใดอย่างหนึ่งจากทั้งสองกรณีนี้ไปใช้ ก็ขึ้นอยู่กับความจำเป็น หรือความต้องการของผู้นำไปใช้ในแต่ละกรณีไป แต่อย่างไรก็ตามการพิจารณา velocity profile ด้วย Langhaar velocity profile จะได้ผลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่า การพิจารณาด้วย parabolic velocity profile ดังที่ได้กล่าวไว้ในงานวิจัยของ Langhaar (1942)

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับปัญหาที่มีลักษณะแตกต่างออกไปจากที่ได้นำเสนอ ตัวอย่างเช่น เปลี่ยนสภาวะการไหลให้อยู่ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน หรือ การพิจารณาการไหลลักษณะดังกล่าวภายในท่อที่มีรูปแบบแตกต่างกันออกไป ซึ่งคิดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปพัฒนาในงานด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น