

บทที่ 5

ผลการคำนวณจากแบบจำลอง

ผลการคำนวณจากแบบจำลองแยกออกเป็นสองส่วน คือ การแสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในท่อความร้อนแบบสั้นและค่าการส่งถ่ายความร้อน

5.1 ภาพรวมหลักการจำลองสภาพการทำงานของแบบจำลอง

แบบจำลองการทำงานของท่อความร้อนแบบสั้นสร้างขึ้นจากสมการควบคุมและแก้หาคำตอบด้วยวิธีการ Explicit finite difference ยกเว้นสมการโมเมนต์แท่งของเหลวที่ใช้วิธี Implicit finite difference คำตอบของแบบจำลองแสดงผลศาสตร์การเคลื่อนที่ของแท่งของเหลวหรือฟองไอน์ได้เป็นอย่างดี สามารถแสดงการเพิ่มขึ้นของฟองไอน์ในแท่งของเหลวที่ส่วนทำระเหยได้ด้วย แสดงการพัฒนาหรือการล้มเหลวในการขยายขนาดของฟองไอน์ สามารถแสดงการยกตัวดันแท่งของเหลวขึ้นสู่ส่วนควบแน่นได้ มีการรวมปรากฏการณ์การควบแน่นของฟองไอน์แล้วไหลลงสู่ส่วนทำระเหย ในลักษณะฟิล์มของเหลว แสดงปรากฏการณ์การรวมตัวหรือการหลุดจวนหายไปของฟองไอน์หลังควบแน่น เมื่อฟิล์มของเหลวไหลลงสู่ส่วนทำระเหยเกิดการระเหยออกแบบฟิล์ม ฟิล์มของเหลวที่ไหลลงมา มีการสะสมกลายเป็นแท่งของเหลวพร้อมรับความร้อนอีกครั้งในส่วนทำระเหย

ในด้านการส่งถ่ายความร้อน นอกจากใส่ปรากฏการณ์การเดือดของฟิล์มแล้ว ยังรวมการถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออกของความร้อนสัมผัสของแท่งของเหลวและฟองไอน์ และมีการควบแน่นของฟองไอน์ในส่วนควบแน่น ในด้านการตรวจสอบ มีการตรวจสอบเรื่องสัดส่วนการเดินสารทำงานตลอดช่วงการคำนวณ ตลอดจนตรวจสอบความหนาฟิล์มที่ไหลลงมาในส่วนทำระเหยตลอดเวลา เพื่อป้องกันปัญหาการเกิดสภาวะวิกฤติ

อย่างไรก็ตาม การได้มาซึ่งแบบจำลองปรากฏการณ์นี้ บางปัจจัยยังใช้ค่าสมมุติอยู่ ซึ่งจุดนี้เองทำให้ความแม่นยำของแบบจำลองลดลง แต่ค่าที่ได้สมมุติมาทั้งหมดนี้อ้างอิงจากงานวิจัยที่ผ่านมาแบบจำลองนี้ได้ตรวจสอบความถูกต้องด้วยตัวโปรแกรมเองว่าควรจะมีค่าประมาณเท่าไร หรือควรอยู่ในช่วงใดบ้าง อย่างไรก็ตาม หากต้องการแบบจำลองการทำงานของท่อความร้อนแบบสั้นที่แม่นยำยิ่งขึ้นค่าที่สมมุติทั้งหมดนี้ควรได้มาจากการศึกษาเชิงทฤษฎีอย่างละเอียด

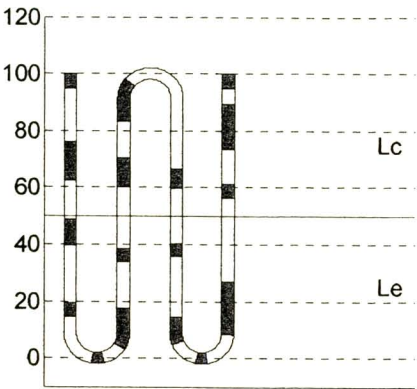
5.2 การแสดงลักษณะสารทำงานภายในท่อความร้อนแบบสัน

เนื่องจากแบบจำลองนี้พิจารณาเพียง 1 มิติ ดังนั้นฟองไอที่กำเนิดขึ้นในแท่งของเหลวจึงแทนด้วยความยาวฟองไอ ณ เวลาที่เกิดฟองไอขึ้น ในแบบจำลองสมมุติให้มีค่าเท่ากับ 0.01 มิลลิเมตร ในความเป็นจริงแล้วขนาดความยาวฟองไอเริ่มต้นนี้ ควรเริ่มจากค่า 0 แต่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้วหากขนาดความยาวเป็น 0 ก็ไม่สามารถคำนวณต่อได้ ดังนั้นความยาวนี้ควรจะถูกรู้เข้า 0 แต่ก็ไม่ควรจะมากเกินไป อย่างไรก็ตามในการตรวจสอบแบบจำลอง ได้ลองป้อนค่าขนาดความยาวฟองไอเริ่มต้นหลายๆ ค่า แล้วเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งขนาดความยาวฟองไอเริ่มต้น 0.01 มิลลิเมตร เป็นค่าสูงสุดที่คำตอบยังคงหาคำตอบได้ โดยขนาดความยาวฟองไอเริ่มต้นต้องน้อยที่สุดแต่ความยาวฟองไอเริ่มต้นนี้ต้องสามารถพัฒนาขยายขนาดออกได้ ดังนั้นผลจากแบบจำลองทั้งหมดนี้จะใช้เงื่อนไข ความยาวฟองไอเริ่มต้นที่ 0.01 มิลลิเมตร

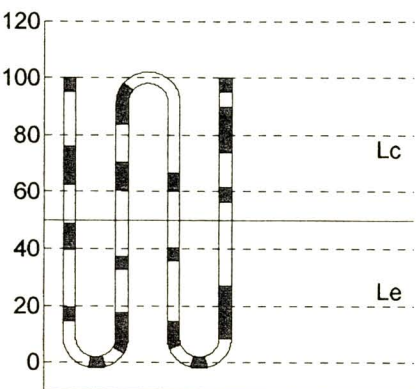
ในหัวข้อนี้นำเสนอผลการคำนวณของท่อความร้อนแบบสัน 2 โค้งเดี่ยว ที่สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50% ของปริมาตรทั้งหมด ความยาวส่วนทำระเหย และ ส่วนควบแน่นเท่ากันที่ 50 มิลลิเมตร ป้อนค่าอุณหภูมิส่วนควบแน่น 20°C อุณหภูมิทำระเหย 80°C ใช้ R123 เป็นสารทำงาน สัดส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.92 รูปที่ 5.1 (ก) แสดงตำแหน่งแท่งของเหลวและฟองไอเริ่มต้นก่อนให้ความร้อน โดยแกน x แทนขนาดของท่อความร้อนมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร แท่งสีเขียวแสดงสารทำงานในสถานะของเหลว ในขณะที่สีขาวโปร่งใสแสดงสารทำงานสถานะก๊าซ ตำแหน่งและจำนวนแท่งของเหลวและฟองไอได้จากการสุ่มแบบอิสระของโปรแกรมตามค่าสัดส่วนการเติมสารทำงาน ขั้นตอนการแก้ชุดสมการควบคุมใช้ขั้นตอนการเพิ่มของเวลาครั้งละ 0.01 วินาที ผลการคำนวณตำแหน่งแท่งของเหลวและฟองไอภายในท่อความร้อนที่เวลา 0.5 วินาที แสดงในรูปที่ 5.1 (ข) ซึ่งพบว่าแท่งของเหลวเริ่มเคลื่อนที่ออกจากส่วนทำระเหยสู่ส่วนควบแน่น เนื่องจากฟองไอในส่วนทำระเหยได้รับความร้อนทำให้ความดันภายในฟองไอสูงขึ้น เกิดเป็นแรงขับให้สารทำงานเคลื่อนที่สู่ส่วนควบแน่นที่ซึ่งพลังงานต่ำกว่า จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 2 วินาทีจะเริ่มเห็นแท่งของเหลวในส่วนทำระเหยเกิดการแยกตัวออกเป็น 2 แท่ง ดังรูปที่ 5.1 (จ) ซึ่งแสดงถึงกายภาพการเดือดภายในแท่งของเหลวตามเงื่อนไขที่ใส่ในแบบจำลอง และปรากฏการณ์นี้จะพบมากขึ้นเมื่อท่อความร้อนแบบสันได้รับความร้อนที่สูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.1 (ซ) - รูปที่ 5.1 (ญ)

แบบจำลองเบื้องต้นนี้นำเสนอตำแหน่งแท่งของเหลวและฟองไอในท่อความร้อนแบบสันได้เป็นอย่างดี โดยแบบจำลองได้รวมพฤติกรรมฟิล์มของเหลวที่ไหลกลับจากส่วนควบแน่นด้วย แต่จากข้อจำกัดของการนำเสนอจึงไม่สามารถแสดงให้เห็นในรูปภาพได้ ผลที่ได้จากแบบจำลองพบว่าของไหลที่บริเวณโค้งเดี่ยวด้านบนของท่อความร้อนแบบสันเป็นแท่งของเหลวยาว ส่วนบริเวณโค้งเดี่ยวด้านล่างนั้นจะปรากฏแท่งของเหลวขนาดเล็กๆ ภายในฟองไอที่ยาวและสั้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองเชิงทัศนของงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ลักษณะภาพรวมมีความ

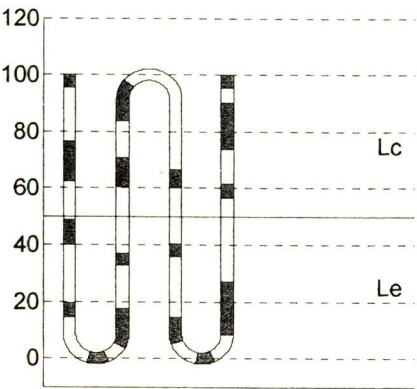
เหมือนกัน แต่ตำแหน่งแท่งของเหลวที่ปรากฏอาจจะแตกต่างกันบ้าง เนื่องจากเงื่อนไขการสมมุติให้
 ความถี่ในการเกิดฟองมีค่าคงที่ตลอดเวลา



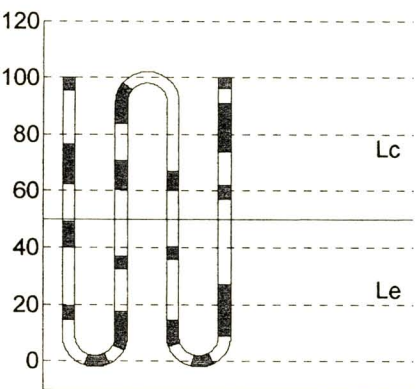
(ก) ที่เวลาเริ่มต้น



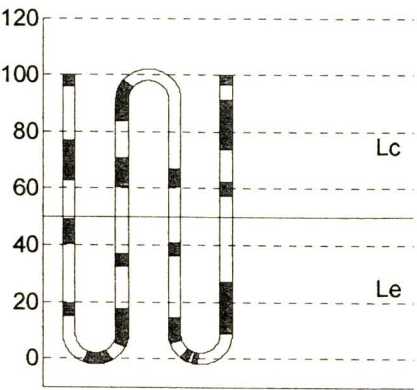
(ข) ที่เวลา 0.5 วินาที



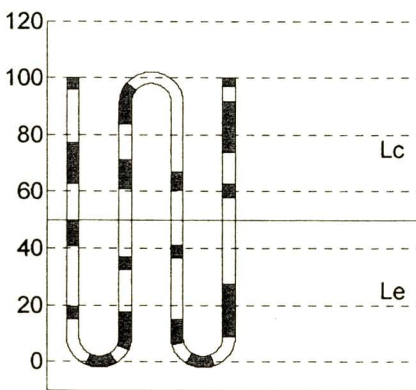
(ค) ที่เวลา 1 วินาที



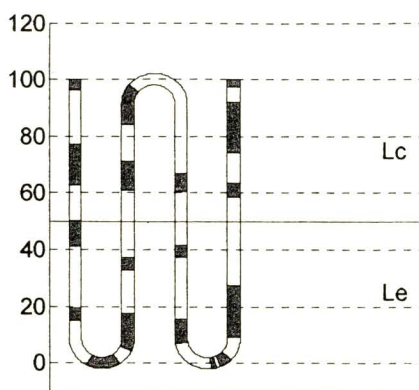
(ง) ที่เวลา 1.5 วินาที



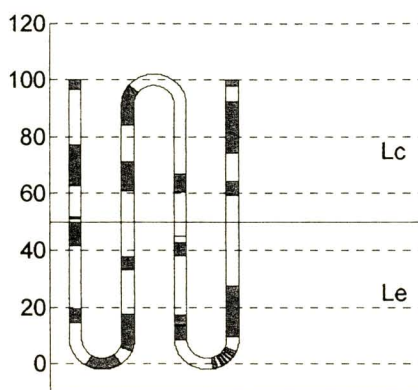
(จ) ที่เวลา 2 วินาที



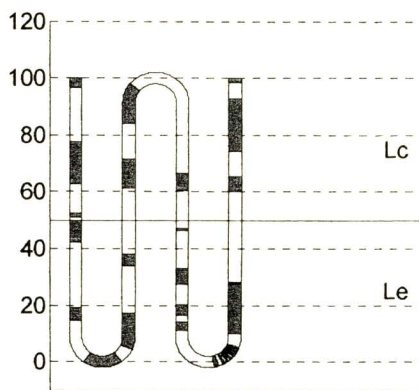
(ฉ) ที่เวลา 2.5 วินาที



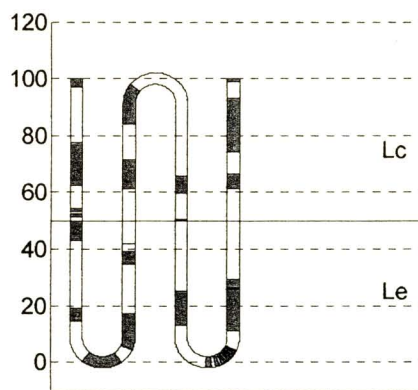
(ข) ที่เวลา 3 วินาที



(ค) ที่เวลา 3.5 วินาที



(ง) ที่เวลา 4 วินาที



(จ) ที่เวลา 4.5 วินาที

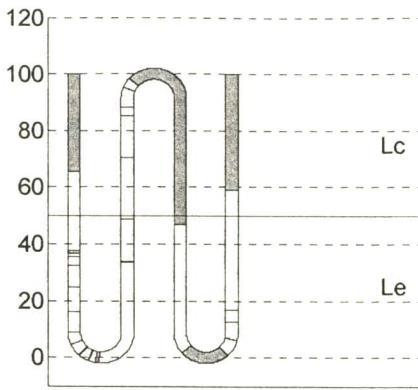
รูปที่ 5.1 ของไหลภายในท่อความร้อนแบบสั้น ช่วงเริ่มต้นให้ความร้อน

จากการตรวจสอบการเริ่มทำงานของท่อความร้อนแบบสัน พบว่าแบบจำลองสามารถแสดงการเริ่มทำงานของท่อความร้อนแบบสันได้เป็นอย่างดี จึงเพิ่มเวลาการคำนวณของแบบจำลองให้นานขึ้นเพื่อแสดงลักษณะของไหลในท่อความร้อนที่สภาวะคงตัว ผลการคำนวณพบว่าของไหลในท่อความร้อนแบบสันเคลื่อนที่กลับไปกลับมาตลอดท่อความยาวท่อตามนิยามการทำงานของท่อความร้อนแบบสัน แต่อย่างไรก็ตามในแบบจำลองนี้ยังไม่เห็นการเคลื่อนที่แบบทิศทางเดียวอย่างชัดเจน เนื่องจากขนาดสัดส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อย ความเร็วที่คำนวณได้จากสมการโมเมนตัมจึงยังไม่สามารถควบคุมทิศทางการไหล การเคลื่อนที่ของของไหลในท่อความร้อนแบบสันแสดงในรูปที่ 5.2 (ก) - รูปที่ 5.2 (ญ)

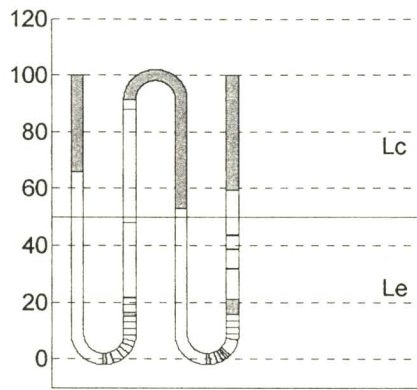
นอกจากนี้ ยังพบแท่งของเหลวเล็กๆ ที่ปรากฏในท่อความร้อนแบบสันปลายปิดมีจำนวนมากมาย ซึ่งในความเป็นจริงแล้วไม่น่าจะเป็นเช่นนั้น โดยแท่งของเหลวนี้นี้มีความยาวระดับมิลลิเมตร ในสภาวะจริงฟองไอน้ำที่ด้านบนและด้านล่างจะอัดแท่งของเหลวนี้นิ่งและไหลลงด้านล่างแบบฟิล์มของเหลวที่ผนังท่อด้านในท่อความร้อน แต่แบบจำลองนี้ตั้งเงื่อนไขให้ละทิ้งแท่งของเหลวที่เล็กกว่าระดับไมโครเมตร ดังนั้นหากพิจารณาในภาพรวมแล้วอาจจะทิ้งแท่งของเหลวเล็กๆ นี้ได้

ฟองไอยาวในส่วนทำระเหยของแบบจำลองเมื่อได้รับพลังงานเข้ามาสูงพอ จะพัฒนาตัวโดยการขยาย พร้อมทั้งผลักแท่งของเหลวเหนือฟองไอน้ำขึ้นสู่ส่วนควบแน่นที่ด้านบน หลายครั้งที่แท่งของเหลวดังกล่าวเคลื่อนที่ไม่ถึงส่วนควบแน่นเนื่องจากความดันของฟองไอน้ำด้านล่างที่สูงแล้วบีบอัดแท่งของเหลวให้ไหลลงแบบฟิล์มตกสู่ส่วนทำระเหย เมื่อฟองไอน้ำเคลื่อนที่ถึงส่วนควบแน่นแล้วฟองไอน้ำจะปลดปล่อยพลังงานออกด้วยกระบวนการควบแน่น ดังนั้นขนาดของมันจะลดลง หากฟองไอน้ำสามารถยกแท่งของเหลวขึ้นมาถึงส่วนควบแน่นได้ ของเหลวจะถูกสะสมที่ส่วนควบแน่นนี้แล้วค่อยๆ ไหลลงเป็นฟิล์มบางๆ ซึ่งเพียงพอต่อการรับความร้อนที่ส่วนทำระเหย และดำเนินการเป็นวัฏจักรเช่นนี้ตลอดไป การเปลี่ยนแปลงขนาดของแท่งของเหลวที่ส่วนควบแน่นนั้น (บริเวณโค้งเลี้ยวในส่วนควบแน่น) เกิดขึ้นเนื่องจากการที่ฟองไอน้ำสามารถยกแท่งของเหลวขึ้นมาจากส่วนทำระเหยหรือการไหลลงแบบฟิล์มตามเงื่อนไขที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองที่ตั้งไว้

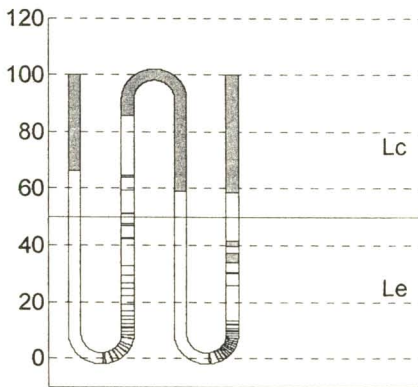
สรุปผลการศึกษา พบว่าโดยภาพรวมแล้วผลที่ได้จากแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือในระดับหนึ่ง ซึ่งสังเกตจากลักษณะการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในท่อความร้อนแบบสันที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับหลักการทำงานตามนิยามของท่อความร้อนแบบสันตามที่นักวิจัยได้นำเสนอไว้ก่อนหน้านี้



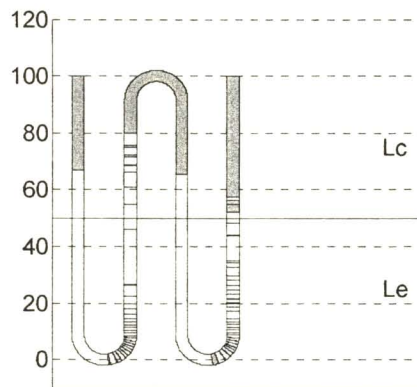
(ก) เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่



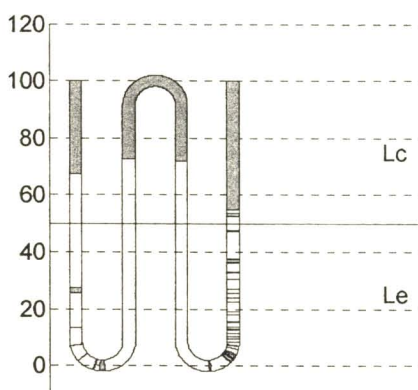
(ข) ที่เวลาถัดไป 2 วินาที



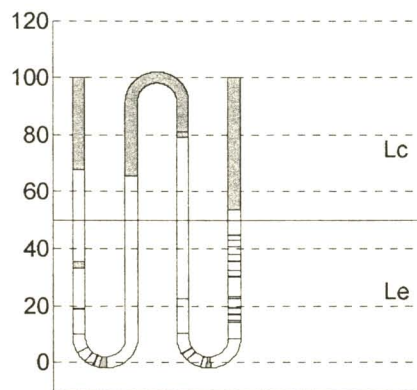
(ค) ที่เวลาถัดไป (4 วินาที)



(ง) ที่เวลาถัดไป (6 วินาที)

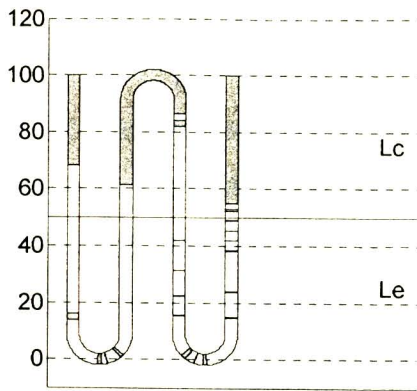


(จ) ที่เวลาถัดไป (8 วินาที)

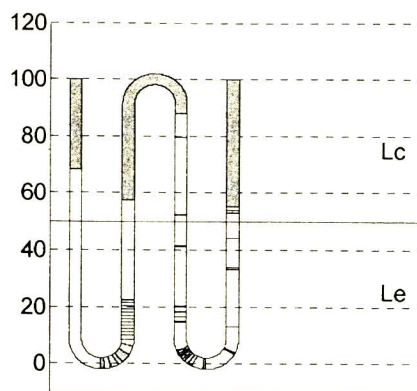


(ฉ) ที่เวลาถัดไป (10 วินาที)

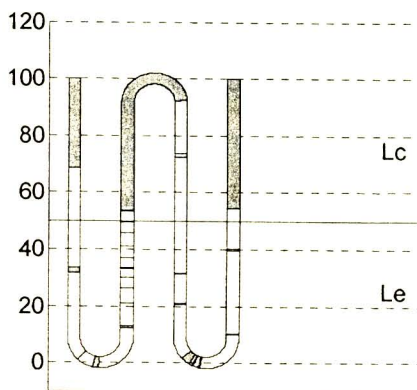




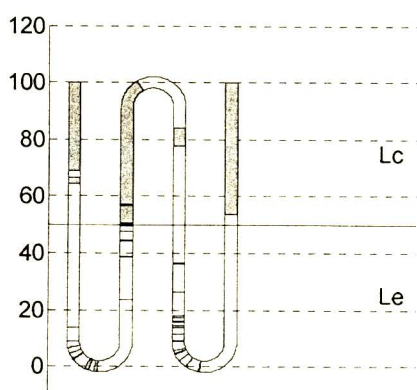
(ข) ที่เวลาถัดไป (12 วินาที)



(ค) ที่เวลาถัดไป (14 วินาที)



(ฅ) ที่เวลาถัดไป (16 วินาที)



(ฉ) ที่เวลาถัดไป (18 วินาที)

รูปที่ 5.2 ของไหลภายในท่อความร้อนแบบสันที่สภาวะคงที่

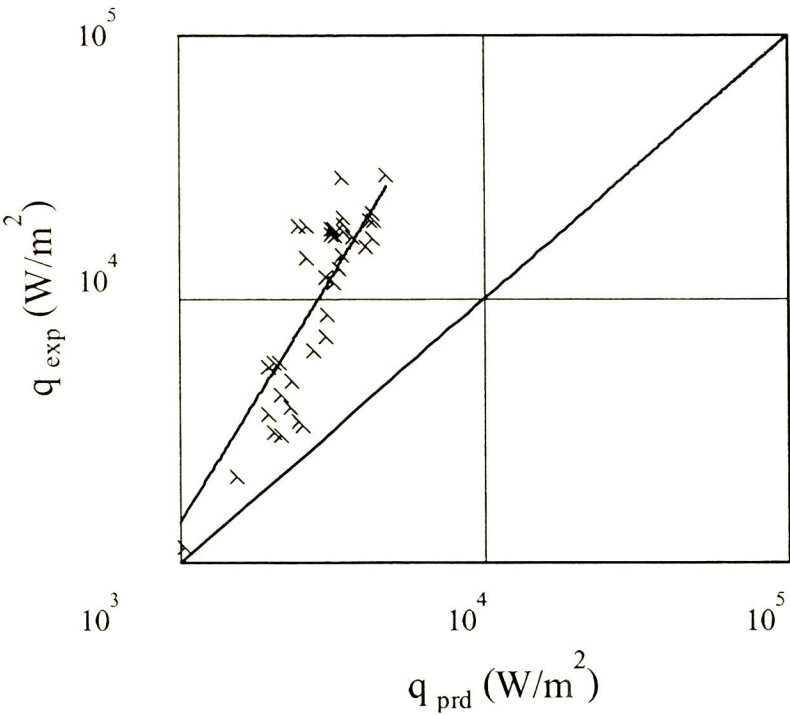
5.3 ค่าการส่งถ่ายความร้อน

จากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในท่อ ความร้อนแบบสั่นวรอบ จึงคำนวณค่าการส่งถ่ายความร้อนจากแบบจำลองที่เงื่อนไขการทำงาน และโครงสร้างท่อความร้อนแบบสั่นขนาดต่างๆ เช่นเดียวกับการทดลอง

รูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ความร้อนที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองและค่าฟลักซ์ความร้อนที่ได้จากการทดลองที่เงื่อนไขการทำงานต่างๆ โดยที่แกน x แสดงค่าฟลักซ์ความร้อนที่ได้จากแบบจำลอง ส่วนแกน y แสดงค่าฟลักซ์ความร้อนที่ได้จากการทดลอง จากกลุ่มข้อมูลที่ได้ พบว่า ค่าฟลักซ์ความร้อนที่ได้จากแบบจำลองมีค่าแตกต่างจากการทดลอง แต่การกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลนี้มีลักษณะที่เกาะกลุ่มกันอยู่ สามารถหาความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลในรูปของฟังก์ชันยกกำลัง คือ

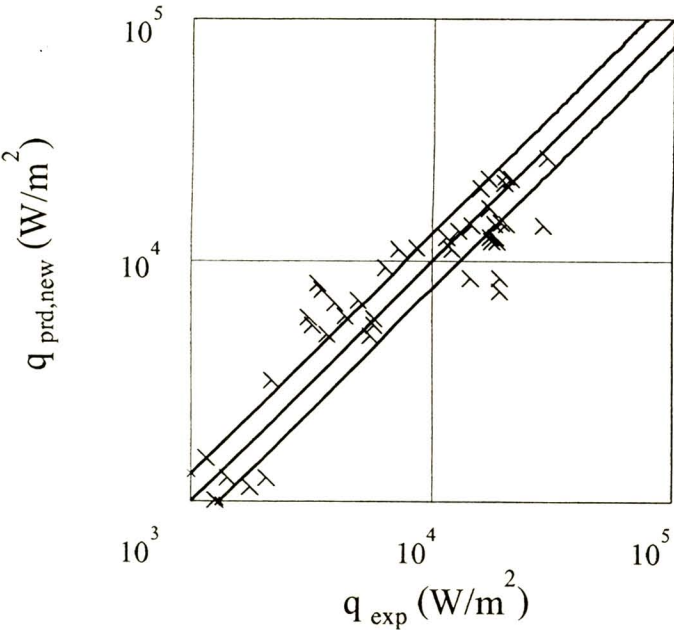
$$q_{exp}=3.579*10^{-3}*q_{prd}^{1.867} \tag{4.34}$$

ซึ่งความสัมพันธ์ที่ได้นี้นำไปใช้แก้ค่าฟลักซ์ความร้อนที่ได้จากแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองทำนายค่าฟลักซ์ความร้อนได้แม่นยำขึ้น



รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบค่าฟลักซ์ความร้อนจากแบบจำลองกับการทดลอง

ดังนั้นสามารถปรับเปลี่ยนค่าฟลักซ์ความร้อนที่ทำนายจากแบบจำลองโดยใช้ค่าแก้ตามสมการ (4.34) และทำการหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าฟลักซ์ความร้อนที่ได้จากการปรับปรุงแก้ค่าแล้วกับค่าฟลักซ์ความร้อนที่ได้จากการทดลอง พบว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่า 32.49 % ดังแสดงในรูปที่ 5.4 โดยที่แกน x แสดงค่าฟลักซ์ความร้อนที่ได้จากการทดลองและแกน y แสดง ค่าฟลักซ์ความร้อนที่ได้ทำการปรับแก้ค่าด้วยสมการ (4.34) แล้ว สำหรับชุดข้อมูลที่กระจายตัวเกินค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานนี้ อาจเกิดขึ้นจากสาเหตุ 2 ประการ คือ ผลต่างของอุณหภูมิสารหล่อเย็นที่ไหลผ่านส่วนควมแน่นที่วัดได้จึงมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับความแม่นยำของเครื่องมือวัด สาเหตุอีกประการหนึ่ง คือ ในการสร้างแบบจำลองจำเป็นต้องมีการตั้งสมมุติฐานเพื่อให้สามารถหาทฤษฎีมารองรับได้ซึ่งบางครั้งอาจไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงมากนัก



รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าฟลักซ์ความร้อนจากแบบจำลองที่ปรับแก้ค่ากับข้อมูลการทดลอง