

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ

ผลจากการทดสอบต่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดนั้น สามารถแยกได้ดังนี้

#### 4.1 ผลของมุมเอียงต่อการถ่ายเทความร้อนและความต้านทานความร้อน

##### 4.1.1 ผลของมุมเอียงต่อการถ่ายเทความร้อน

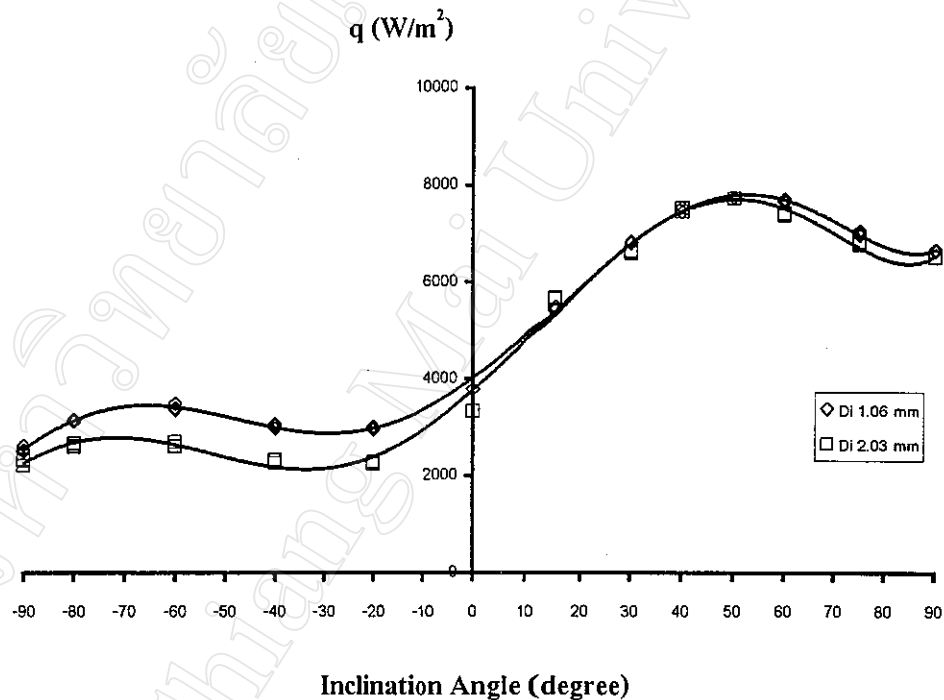
จากรูปที่ 4.1 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง มุมเอียงการทำงาน (Inclination Angle) เทียบกับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ตำแหน่งมุมเอียงต่างๆ ( $q$ ) เส้นกราฟคือเส้นแนวโน้ม ของ  $q$  ในการทดสอบต่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.06 และ 2.03 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมดของท่อความร้อน 15 เมตร กับ สารทำงานเป็น HP62 โดยในแกนนอนคือ มุมเอียงการทำงาน (องศา) และแกนตั้งคือ อัตราการถ่าย เทความร้อน ( $W/m^2$ )

พบว่าแนวโน้มของ  $q$  จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เมื่อมุมเอียงการทำงานลดลงจาก 90 องศา และจะ ให้ค่าสูงสุดที่ตำแหน่งมุมเอียงการทำงานที่ 50 – 60 องศา โดยการทดลองชุดนี้ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด  $7741.19 W/m^2$  ที่มุม 50 องศาของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.06 มิลลิเมตร และ  $7720.59 W/m^2$  ที่มุม 50 องศาของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03 มิลลิเมตร เป็นเช่นนี้เพราะที่มุม 50 – 60 องศาที่ก่อนไอที่ทำหน้าที่พาความร้อนสามารถวิ่งไปสูงส่วนควบแน่นได้ง่าย เนื่องจากก่อนไอจะ อยู่ที่ตำแหน่งบนและฟิล์มของเหลวจะอยู่ด้านล่าง ทำให้ของเหลวที่ควบแน่นสามารถไหลสวนกลับ มายังส่วนทำระเหยได้ จึงมีการต้านการ ไหลของก่อน ใอน้อย และจากนั้นพบว่าค่า  $q$  จะค่อยๆ ลดลง ตามการทดลองของมุมการทำงาน จนกระทั่งค่า  $q$  มีค่าต่ำสุดที่มุมเอียง -90 องศา ซึ่งปรากฏการณ์นี้ จะเกิดกับท่อความร้อนที่ทำการทดสอบทุกๆ ความยาวส่วนทำระเหย และความยาวทั้งหมดของท่อ ความร้อน โดยจะเห็น ได้ว่า มุมเอียงการทำงานที่ต่ำกว่า 0 องศาถือว่าไม่สามารถส่งถ่ายความร้อนได้ เนื่องจากค่าการถ่ายเทความร้อนที่คำนวณได้นั้นมีค่าใกล้เคียงหรือน้อยกว่าค่าความผิดพลาดจาก เครื่องวัดรวมกับค่าการนำความร้อนจากผนังท่อ จากแนวโน้มดังกล่าวถ้ามุมเอียงมีขนาดมากกว่า 90 องศา เช่น ที่มุม 105 องศา ค่า  $q$  ก็จะมีค่าใกล้เคียงกับ  $q$  ที่มุม 75 องศา เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะการวาง ตัวของท่อความร้อนนั้นมีลักษณะที่เหมือนกัน

รูป 4.2 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง มุมเอียงการทำงานเทียบกับอัตราการถ่ายเท ความร้อนที่ตำแหน่งมุมเอียงต่างๆ ( $q$ ) เส้นในกราฟคือเส้นแนวโน้มของ  $q$  ในการทดสอบต่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.06 และ 2.03 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำ

ระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมดของท่อความร้อน 15 เมตร กับสารทำงานเป็น MP39 โดยในแกนนอนคือ มุมเอียงการทำงาน (องศา) และแกนตั้งคือ อัตราการถ่ายเทความร้อน ( $W/m^2$ )

พบว่าแนวโน้มของ  $q$  จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อมุมเอียงการทำงานลดลงจาก 90 องศา และจะได้ค่าสูงสุดที่ตำแหน่งมุมเอียงการทำงานที่ 50 – 60 องศา โดยมีค่า  $9170.34 W/m^2$  ที่มุมเอียงการทำงาน 60 องศาของเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายใน 1.06 มิลลิเมตร และ  $9253.70 W/m^2$  ที่มุม 50 องศาของเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายใน 2.03 มิลลิเมตร โดยมีเหตุผลเหมือนกับรูปที่ 4.1 และจากนั้นพบว่า ค่า  $q$  จะค่อยๆ ลดลงตามการลดลงของมุมเอียงการทำงานจนกระทั่งค่า  $q$  มีค่าต่ำที่สุดที่มุมเอียงการทำงาน  $-90$  องศา จากแนวโน้มดังกล่าวถ้ามุมเอียงมีขนาดมากกว่า 90 องศา เช่น ที่มุม 105 องศา ค่า  $q$  ก็จะมีค่าใกล้เคียงกับ  $q$  ที่มุม 75 องศา เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะการวางตัวของท่อความร้อนนั้นมีลักษณะที่เหมือนกันนั่นเอง

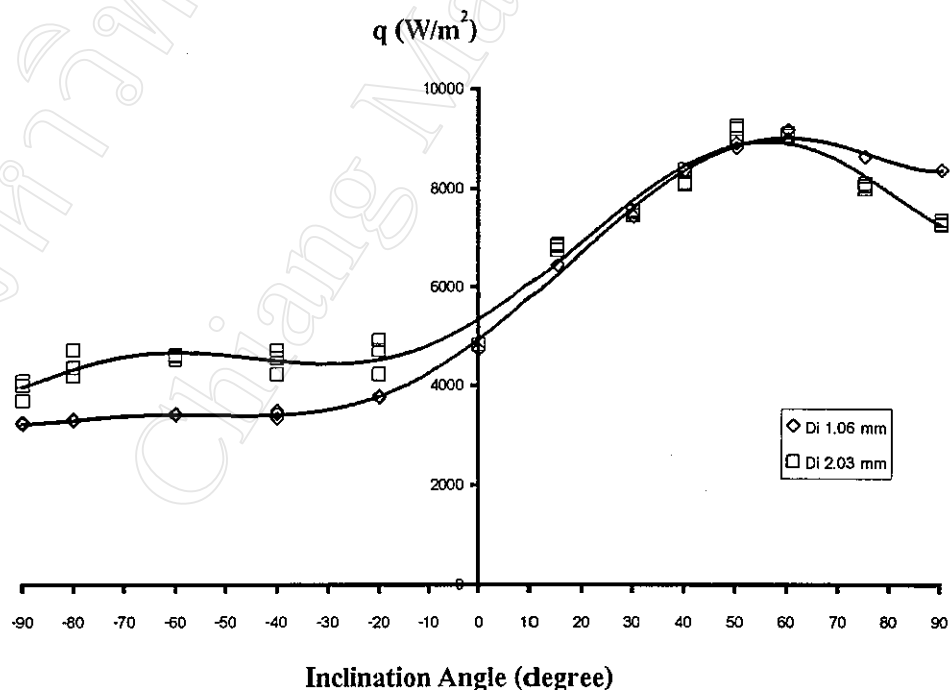


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงมุมเอียงเทียบกับ  $q$  ของการทดสอบท่อ 1.06 และ 2.03 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 15 เมตรและใช้สาร HP62

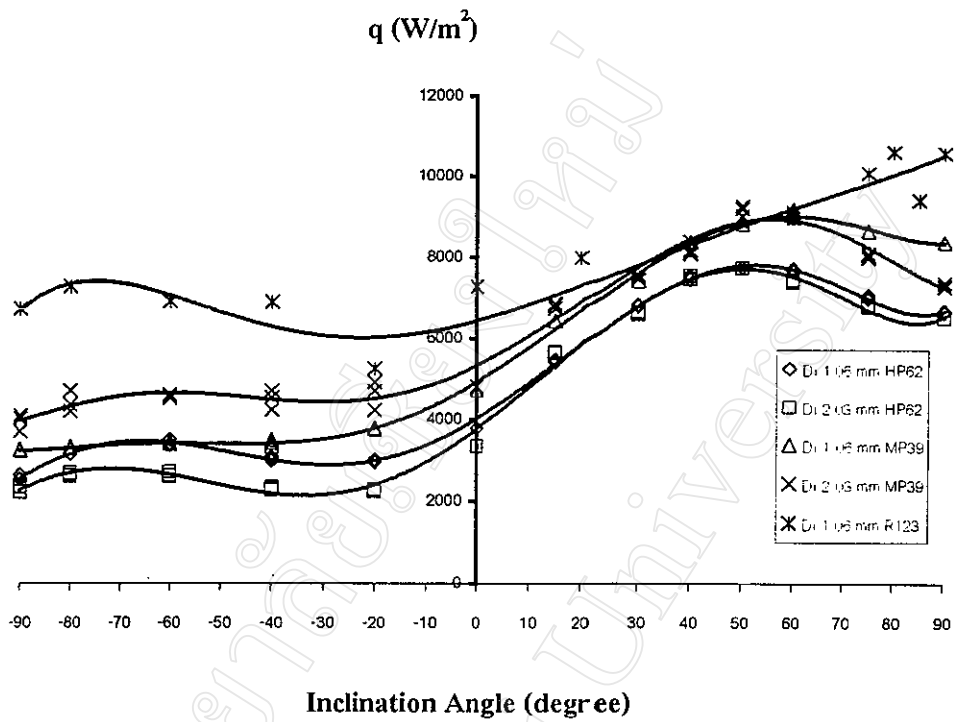
รูป 4.3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง มุมเอียงการทำงานเทียบกับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ตำแหน่งมุมเอียงต่างๆ ( $q$ ) เส้นในกราฟคือเส้นแนวโน้มของ  $q$  ในการทดสอบท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.06 และ 2.03 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมดของท่อความร้อน 15 เมตร กับสารทำงานเป็น HP62, MP39 และ R123 ของ Rittidej et al. (2000) โดยในแกนนอนคือ มุมเอียงการทำงาน (องศา) และแกนตั้งคือ

อัตราการถ่ายเทความร้อน ( $W/m^2$ ) พบว่าแนวโน้มของ  $q$  ลักษณะคล้ายกันคือ จะค่อยๆ ลดลงเมื่อมุมเอียงการทำงานลดลงจาก 90 องศา แต่จะได้ค่าสูงสุดที่ตำแหน่งมุมเอียงต่างกัน คือสาร RI23 จะมีค่า  $q$  สูงสุดที่มุมเอียงการทำงานที่ 80 องศา โดยมีค่า  $10592.62 W/m^2$  และจากนั้นพบว่า ค่า  $q$  จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามการลดลงของมุมเอียงการทำงานจนกระทั่งค่า  $q$  มีค่าต่ำที่สุดที่มุมเอียงการทำงาน  $-90$  องศา ที่เป็นเช่นนี้สามารถตั้งสมมติฐานได้ว่า ลักษณะการก่อตัวของก้อนไอที่อยู่ในท่อความร้อนแบบสันปลายปิด ซึ่งหมายถึงค่าแรงดึงผิวระหว่างสารทำงานกับผนังท่อนั้น มีค่าไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดความแตกต่างของมุมเอียงที่ให้ค่า  $q$  สูงสุดไม่เท่ากัน

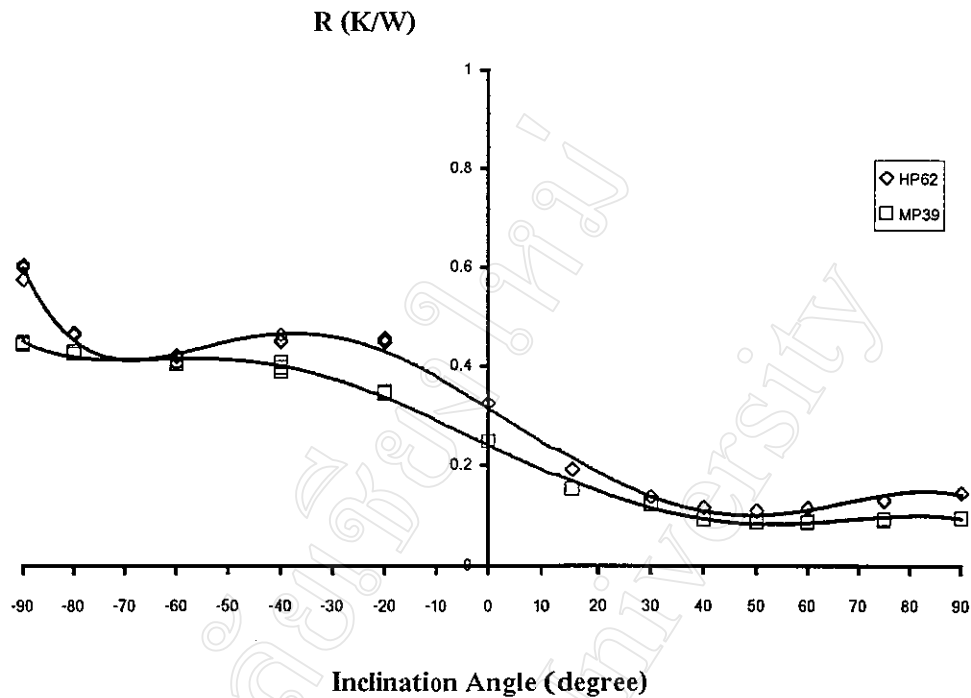
จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า มุมเอียงการทดสอบมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสันปลายปิด โดยมุมเอียงของการทำงานช่วง  $50 - 60$  องศา เป็นช่วงมุมเอียงที่ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด และจะมีผลเหมือนกันทั้งสองสารทำงานคือ HP62 และ MP39 ซึ่งท่อความร้อนดังกล่าวจะทำงานได้ต้องเป็นมุมบวกเท่านั้น กล่าวคือ ส่วนทำระเหยจะต้องอยู่ระดับเดียวกันหรือต่ำกว่าเท่านั้น



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงมุมเอียงเทียบกับ  $q$  ของการทดสอบท่อ 1.06 และ 2.03 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 15 เมตรและใช้สาร MP39



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงมุมเอียงเทียบกับ  $q$  ของการทดสอบท่อ 1.06 และ 2.03 มิลลิเมตร ความยาวส่วนท่าระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 15 เมตร สาร MP39 และ HP62 เทียบกับ Rittidej et al. (2000)



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงมุมเอียงที่เทียบกับ R ของการทดสอบท่อ 1.06 มิลลิเมตร ความยาวส่วน  
ทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 15 เมตร ใช้สาร HP62 และ MP39

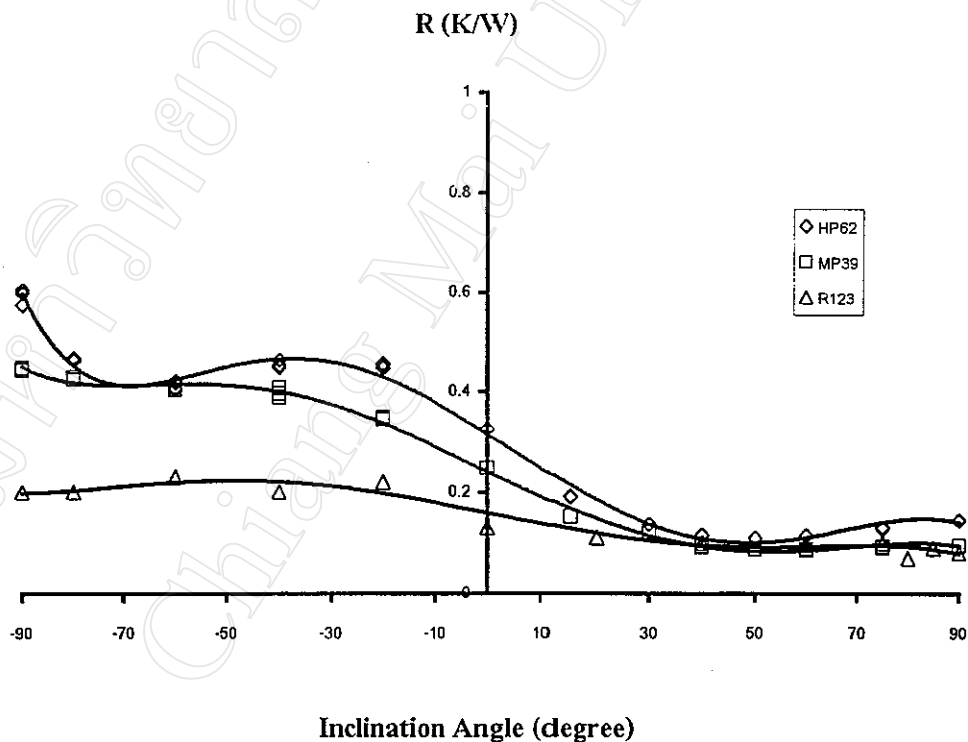
#### 4.1.2 ผลของมุมเอียงต่อความต้านทานความร้อน

จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง มุมเอียงการทำงาน (Inclination Angle) เทียบกับความต้านทานความร้อนที่ตำแหน่งมุมเอียงต่างๆ (R) เส้นกราฟคือเส้นแนวโน้มของ R ในการทดสอบท่อความร้อนแบบสันปลายปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.06 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมดของท่อความร้อน 15 เมตร กับสารทำงานเป็น HP62 และ MP39 โดยในแกนนอนคือ มุมเอียงการทำงาน (องศา) และแกนตั้งคือ ความต้านทานความร้อน (K/W)

พบว่าแนวโน้มของ R จะค่อยๆ ลดลง เมื่อมุมเอียงการทำงานลดลงจาก 90 องศา และจะให้ค่าต่ำสุดที่ตำแหน่งมุมเอียงการทำงานที่ 50 – 60 องศา โดยการทดลองชุดนี้ให้ค่าความต้านทานความร้อนต่ำสุด 0.108 K/W ที่มุม 50 องศาของสารทำงาน HP62 และ 0.085 K/W ที่มุม 60 องศาของสารทำงาน MP39 และจากนั้นพบว่าค่า R จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามการทดลองของมุมการทำงาน จนกระทั่งค่า R มีค่าสูงสุดที่มุมเอียง -90 องศา จากผลที่ได้กล่าวไปแล้วว่าที่มุมเอียงการทำงานที่เป็นลบไม่สามารถส่งถ่ายความร้อนได้ แต่ในผลของความต้านทานยังมีการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนที่มุมเอียงการทำงานที่เป็นลบเนื่องจากว่า ในมุมลบนี้ยังสามารถคำนวณหาค่าการส่ง

ถ่ายได้โดยใช้เครื่องมือวัดแต่ในหลักการแล้ว ค่าการส่งถ่ายที่ได้ยังมีค่าใกล้เคียงหรือน้อยกว่า ความผิดพลาดของเครื่องมือวัดรวมกับค่าการนำความร้อนของท่อ ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดกับท่อ ความร้อนที่ทำการทดสอบทุกๆ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวส่วนทำระเหย และความยาวทั้งหมดของท่อความร้อน

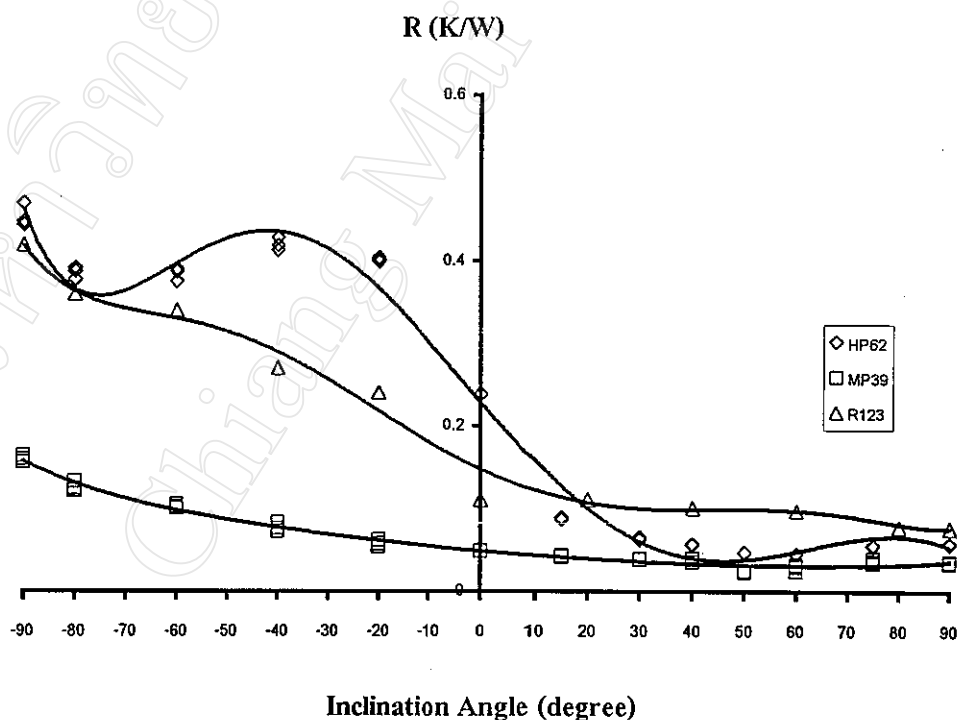
อีกทั้งกราฟความต้านทานของท่อความร้อนนั้น ที่มุมเอียงการทำงานเป็นลบ ดูเหมือนว่า ไม่มีความสอดคล้องกับกราฟอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากค่าการถ่ายเทความร้อนนั้นจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างอุณหภูมิของของเหลวที่มารับความร้อนจากขาเข้าและขาออก แต่ในการคำนวณค่าความต้านทานความร้อน ค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในส่วนควบแน่น ดังนั้นจึงเกิดความแตกต่างระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนและความต้านทานความร้อน จากแนวโน้มดังกล่าวถ้ามุมเอียงมีขนาดมากกว่า 90 องศา เช่น ที่มุม 105 องศา ค่า R ก็จะมีค่าใกล้เคียงกับ R ที่มุม 75 องศา เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะการวางตัวของท่อความร้อนนั้นมีลักษณะที่เหมือนกัน



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงมุมเอียงเทียบกับ R ของการทดสอบท่อ 1.06 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 15 เมตร ใช้สาร HP62 และ MP39 เทียบกับ Rittidej et al. (2000)

รูปที่ 4.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง มุมเอียงการทำงานเทียบกับความต้านทานความร้อนที่ตำแหน่งมุมเอียงต่างๆ (R) เส้นในกราฟคือเส้นแนวโน้มของ R ในการทดสอบท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.06 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมดของท่อความร้อน 15 เมตร กับสารทำงานเป็น HP62, MP39 และ R123 ของ Rittidej et al. (2000) โดยในแกนนอนคือ มุมเอียงการทำงาน (องศา) และแกนตั้งคือ ความต้านทานความร้อน ( $W/m^2$ )

พบว่าแนวโน้มของ R ลักษณะคล้ายกันคือ จะค่อยๆ ลดลงเมื่อมุมเอียงการทำงานลดลง จาก 90 องศา แต่จะได้ค่าต่ำสุดที่ตำแหน่งมุมเอียงต่างกัน คือสาร R123 จะมีค่า R ต่ำสุดที่มุมเอียงการทำงานที่ 80 องศา โดยมีค่า 0.07 K/W และจากนั้นพบว่า ค่า R จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามการลดลงของมุมเอียงการทำงานจนกระทั่งค่า R มีค่าสูงที่สุดที่มุมเอียงการทำงาน -90 องศา ที่เป็นเช่นนี้สามารถตั้งสมมติฐานเหมือนกับการถ่ายเทความร้อนว่า ลักษณะการก่อดวงของก้อนไอที่อยู่ในท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด โดยค่าแรงตึงผิวระหว่างสารทำงานกับผนังท่อนั้น มีค่าไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดความแตกต่างของมุมเอียงที่ให้ค่า  $q$  สูงสุด ไม่เท่ากัน



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงมุมเอียงเทียบกับ R ของการทดสอบท่อ 2.03 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 15 เมตร ใช้สาร HP62 และ MP39 เทียบกับ Rittidej et al. (2000)

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงการทำงานเทียบกับความต้านทานความร้อนที่ตำแหน่งมุมเอียงต่างๆ (R) เส้นในกราฟคือเส้นแนวโน้มของ R ในการทดสอบต่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมดของท่อความร้อน 15 เมตร กับสารทำงานเป็น HP62, MP39 และ R123 ของ Rittidej et al. (2000) แสดงอยู่ในรูปที่ 4.6

จากผลของการทดสอบพบว่า มุมเอียงการทำงานมีผลต่อความต้านทานความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิดโดย ช่วงมุมเอียงการทำงาน 50 – 60 องศาจะให้ค่าความต้านทานความร้อนต่ำที่สุดทั้งสองสารทำงานคือ HP62 และ MP39

#### 4.2 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อนต่ออัตราการส่งถ่ายความร้อน

รูปที่ 4.7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อนกับอัตราการถ่ายเทความร้อน (q) ที่มุมการทำงาน 90 องศา เส้นในกราฟคือเส้นแนวโน้มของ (q) ในการทดสอบท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิดที่มีขนาดความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 15 เมตร ที่มุมเอียง 90 องศา สารทำงาน HP62 และ MP39 โดยแกนนอนคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (มิลลิเมตร) และแกนตั้งคือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงการทำงาน 90 องศา ( $W/m^2$ )

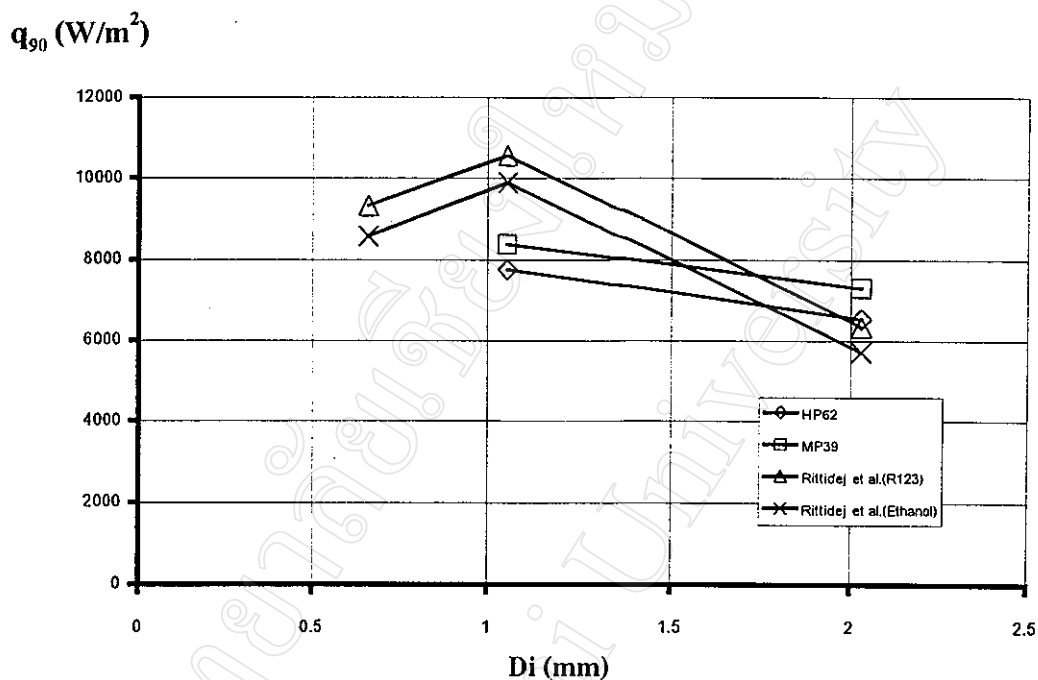
พบว่าแนวโน้มของค่า q จะลดลงเมื่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเพิ่มขึ้น จากแนวโน้มดังกล่าว ถ้าทำการทดสอบที่เส้นผ่านศูนย์กลางที่มากกว่านี้เช่น 3 มิลลิเมตร ก็จะทำให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ลดลง ที่เป็นเช่นนี้สามารถตั้งสมมติฐานได้ว่า เกิดความเสียดทานระหว่างก้อนไอกับผนังท่อความร้อนภายใน ยิ่งเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมีขนาดเล็กก็จะมีค่าความเสียดทานมากขึ้น ทำให้ก้อนไอก้อนที่ไปยังส่วนควบแน่นยากขึ้นทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนน้อยลงและอาจจะเป็นผลมาจากขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อที่ 2.03 มิลลิเมตร มีขนาดใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุดของ Maezawa et al.(1996)

เทียบกับผลการทดสอบกับผลของ Rittidej et al.(2000) พบว่าแนวโน้มของค่า q จะมีลักษณะคล้ายกันคือ ค่า q ลดลงเมื่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเพิ่มขึ้น และถ้าทำการทดสอบที่เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กขนาด 0.66 มิลลิเมตร ได้ค่าการส่งถ่ายความร้อนที่น้อยลง ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะค่าการถ่ายเทความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของท่อความร้อนที่ใช้ซึ่งสามารถสังเกตในรูปที่ 4.7

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิดมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน โดยท่อขนาด 2.03 มิลลิเมตรให้ค่าอัตราการส่งถ่ายความร้อนที่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.06 มิลลิเมตร เช่น เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเพิ่มจาก 1.06 มิลลิเมตร เป็น 2.03 มิลลิเมตร ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะลดลงจาก 8366 วัตต์ต่อตารางเมตร



เป็น 7294 วัตต์ต่อตารางเมตร จากท่อความยาวทั้งหมด 15 เมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตรและสาร MP39 และจะมีแนวโน้มเหมือนกันทั้งสารทำงาน HP62 และ MP39



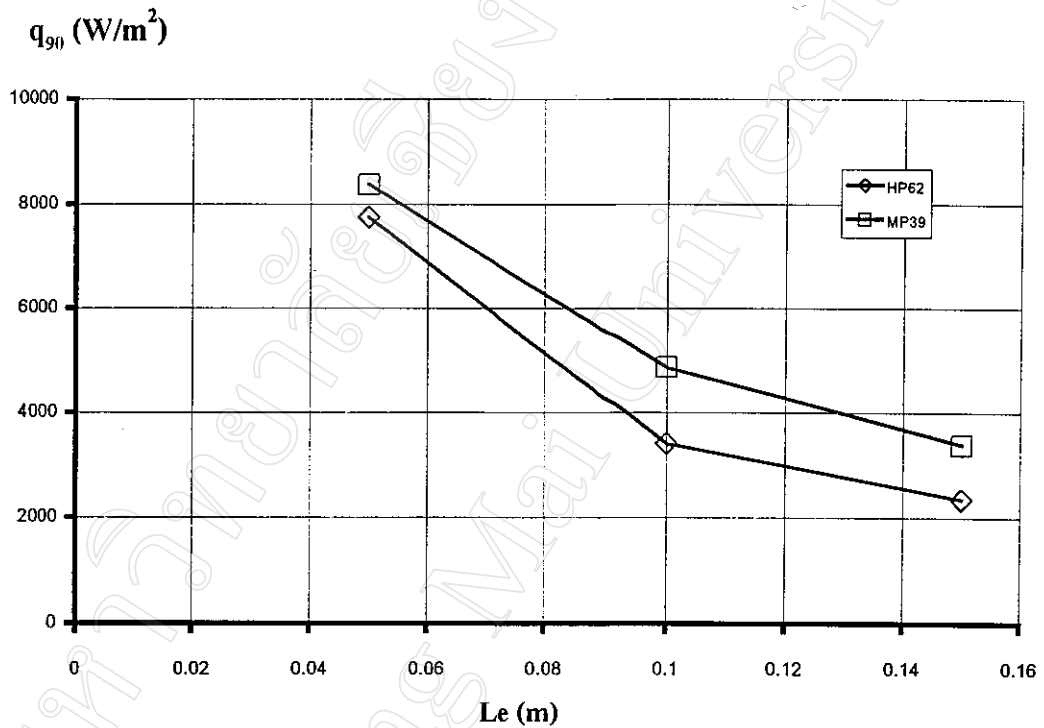
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเทียบกับค่าอัตราการส่งถ่ายความร้อน ที่มุมการทำงาน 90 องศาของท่อทดสอบ ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 15 เมตร

#### 4.3 ผลของความยาวส่วนทำระเหย ส่วนฉนวนและส่วนควบแน่นที่เท่ากันของท่อความร้อนต่ออัตราการส่งถ่ายความร้อน

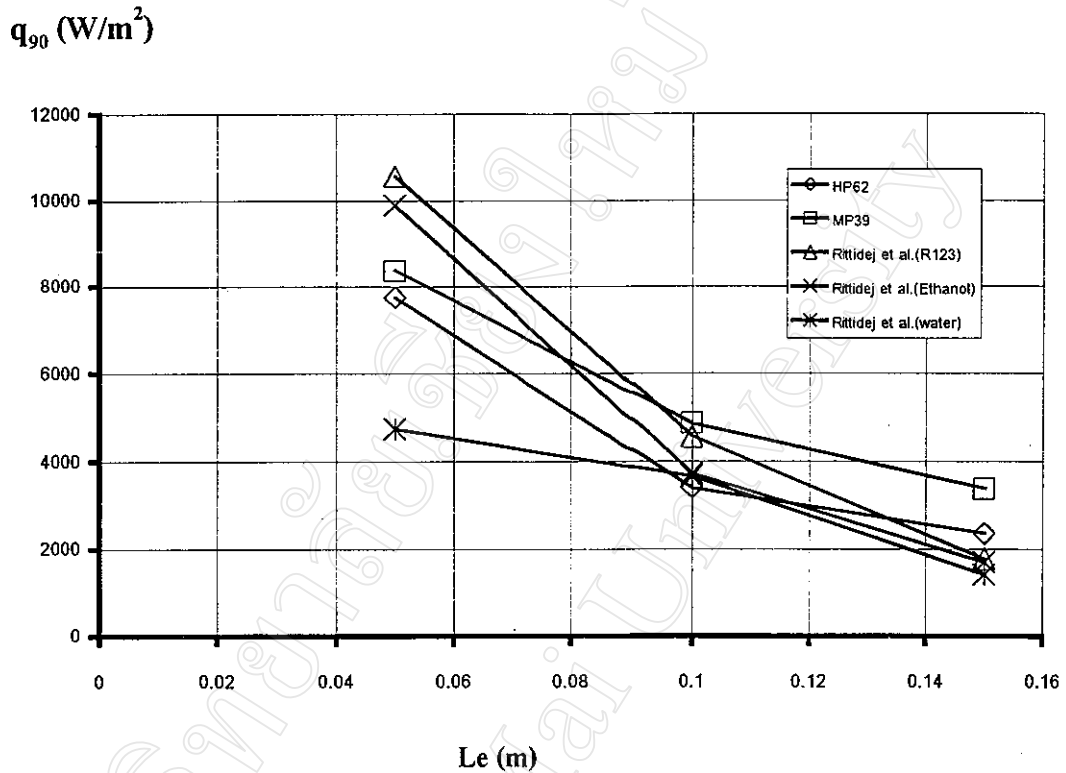
รูปที่ 4.8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความยาวส่วนทำระเหย ส่วนฉนวนและส่วนควบแน่นที่เท่ากันของท่อความร้อนกับอัตราการถ่ายเทความร้อน ( $q$ ) ที่มุมการทำงาน 90 องศา เส้นในกราฟคือเส้นแนวโน้มของ  $q$  ในการทดสอบท่อความร้อนแบบสันปลายปิดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 1.06 มิลลิเมตรและความยาวทั้งหมด 15 เมตร โดยในแกนอนคือ ความยาวส่วนทำระเหย (เมตร) และแกนตั้งคือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงการทำงาน 90 องศา ( $W/m^2$ ) พบว่าแนวโน้มของค่า  $q$  จะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวส่วนทำระเหย ส่วนฉนวนและส่วนควบแน่นที่เท่ากันมีค่าลดลงและมีลักษณะคล้ายกันทั้ง 2 สารทำงาน

จากแนวโน้มดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่ายิ่งทำการทดสอบท่อความร้อนแบบสันปลายปิดที่ยาวขึ้นของความยาวส่วนทำระเหย ส่วนฉนวนและส่วนควบแน่นที่เท่ากัน เช่น 200 มิลลิเมตร ก็จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่น้อยลง ในทำนองเดียวกัน ถ้าความยาวส่วนทำระเหย ส่วนฉนวนและส่วน

ความหนาแน่นที่เท่ากัน มีขนาดลดลงก็จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น เป็นเพราะว่ายิ่งค่าความยาวลดลงเท่าใดจะทำให้ระยะของส่วนทำระเหยและส่วนความหนาแน่นใกล้ขึ้นเท่านั้น ก่อนที่ทำหน้าที่พาความร้อนจะสามารถไหลสู่ส่วนทำระเหยได้โดยง่าย และยังทำให้จำนวนท่อระหว่าง 2 ส่วนมีจำนวนมากขึ้นด้วย และผลการทดสอบดังกล่าวมีผลเช่นเดียวกันในทุกๆ ความยาวทั้งหมดของท่อ



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความยาวในส่วนทำระเหยเทียบกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อทดสอบที่มุมการทำงาน 90 องศา เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.06 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมดของท่อ 15 เมตร



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความยาวในส่วนทำระเหยเทียบกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อทดสอบที่มุมการทำงาน 90 องศา เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.06 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมดของท่อ 15 เมตร เทียบกับ Rittidej et al.(2000)

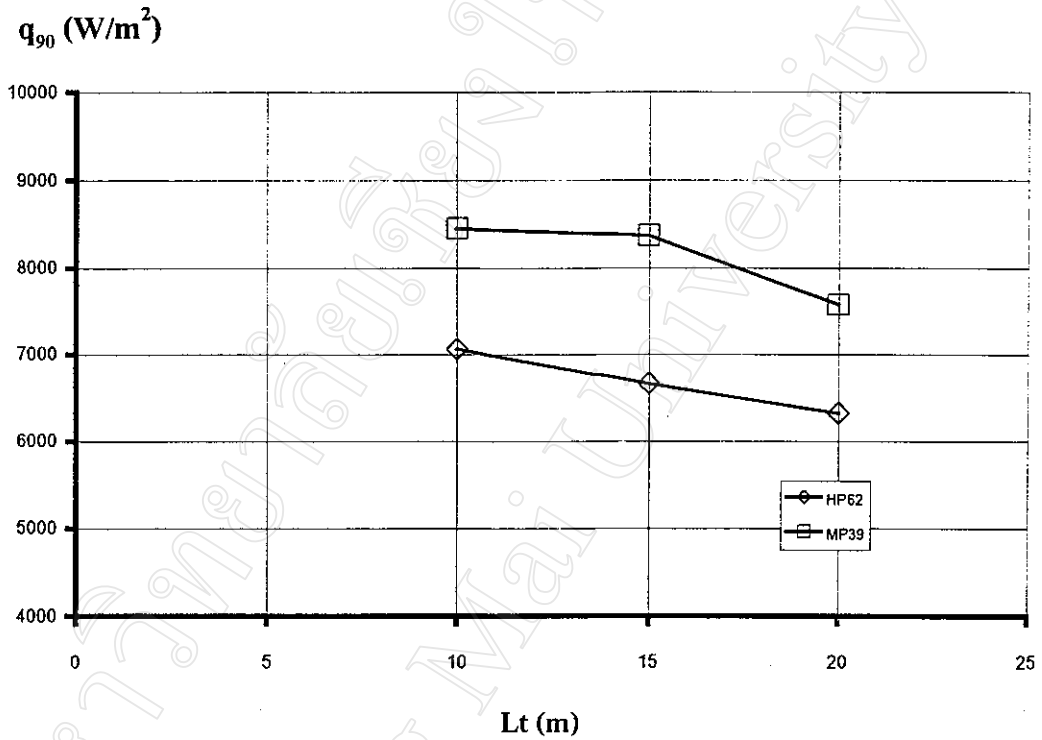
รูปที่ 4.9 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความยาวส่วนทำระเหย ส่วนฉนวนและส่วนควบแน่นที่เท่ากันของท่อความร้อนกับอัตราการถ่ายเทความร้อน ( $q$ ) ที่มุมการทำงาน 90 องศา เส้นในกราฟคือเส้นแนวโน้มของ  $q$  ในการทดสอบท่อความร้อนแบบสลับปลายปิดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 1.06 มิลลิเมตรและความยาวทั้งหมด 15 เมตรเทียบกับผลของ Rittidej et al.(2000) โดยในแกนนอนคือ ความยาวส่วนทำระเหย (เมตร) และแกนตั้งคือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงการทำงาน 90 องศา ( $W/m^2$ ) พบว่ามีแนวโน้มที่เหมือนกันของข้อมูลการทดสอบทั้ง 2 ชุด โดยค่าการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวส่วนทำระเหย ส่วนฉนวนและส่วนควบแน่นที่เท่ากันมีค่าลดลง เป็นเช่นนี้เพราะระยะระหว่างส่วนทำระเหยและควบแน่นที่ลดลงและมีจำนวนแท่งของท่อความร้อนที่มากขึ้นตามเหตุผลจากรูปที่ 4.10

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า ความยาวส่วนทำระเหย ส่วนฉนวนและส่วนควบแน่นที่เท่ากันมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนโดยท่อขนาด 50 มิลลิเมตรค่าอัตราการส่งถ่ายความร้อนสูงสุด รองลงมาคือ 100 มิลลิเมตรและ 150 มิลลิเมตร ตามลำดับ

#### 4.4 ผลของความยาวทั้งหมดของท่อความร้อนต่ออัตราการส่งถ่ายความร้อน

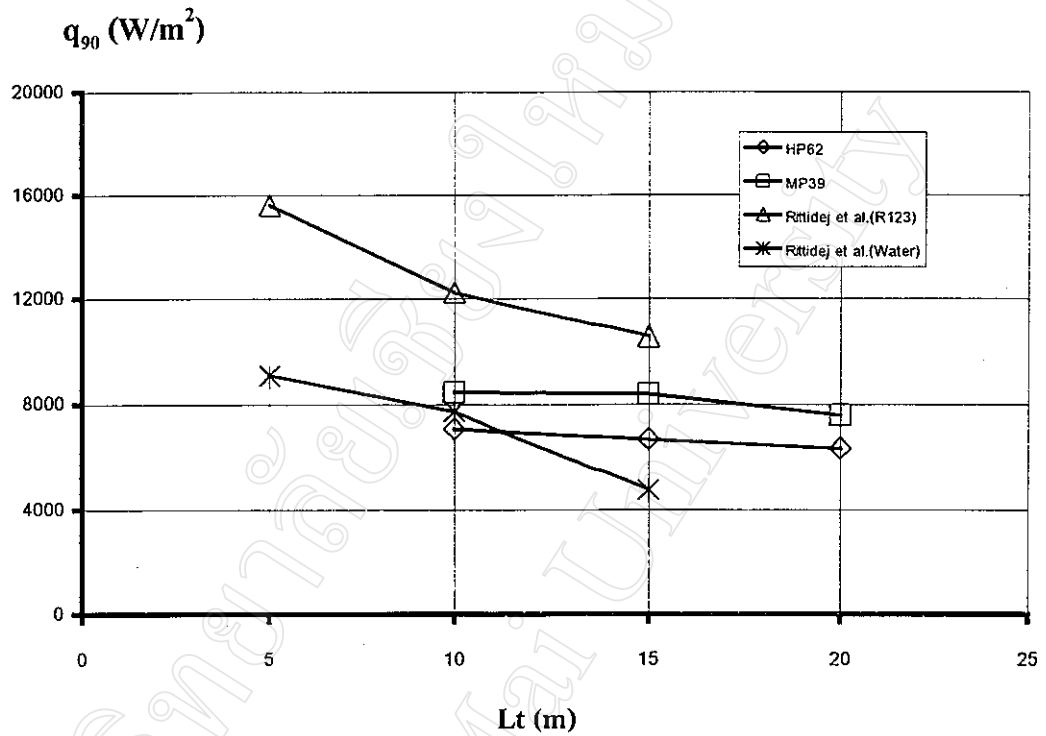
รูปที่ 4.10 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความยาวทั้งหมดของท่อความร้อนกับอัตราการถ่ายเทความร้อน ( $q$ ) ที่มุมการทำงาน 90 องศา เส้นในกราฟคือเส้นแนวโน้มของ  $q$  ในการทดสอบท่อความร้อนแบบสันปลายปิดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 1.06 มิลลิเมตร และความยาวในส่วนทำระเหยเท่ากับ 50 มิลลิเมตร โดยในแกนนอนคือ ความยาวส่วนทั้งหมดของท่อ (เมตร) และแกนตั้งคือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงการทำงาน 90 องศา ( $W/m^2$ ) พบว่าแนวโน้มของค่า  $q$  จะลดลงเมื่อความยาวทั้งหมดของท่อความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น จากแนวโน้มดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ถ้าทำการทดสอบความยาวทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น เช่น 25 เมตร ก็จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าลดลงด้วย ในทำนองเดียวกัน ถ้าทดสอบ ความยาวทั้งหมดที่ต่ำกว่าเดิม เช่น 5 เมตร จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าลดลงด้วย และเป็นเช่นนี้ในทุกๆ ความยาวส่วนทำระเหย เหตุเพราะว่าค่าการถ่ายเทความร้อนนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนแห่งของท่อความร้อนระหว่างส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่น ยิ่งความทั้งหมดของท่อเพิ่มขึ้นเท่าใด จำนวนแห่งของท่อความร้อนจะเพิ่มขึ้นเท่านั้น

รูปที่ 4.11 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความยาวทั้งหมดของท่อความร้อนกับอัตราการถ่ายเทความร้อน ( $q$ ) ที่มุมการทำงาน 90 องศา เส้นในกราฟคือเส้นแนวโน้มของ  $q$  ในการทดสอบท่อความร้อนแบบสันปลายปิดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 1.06 มิลลิเมตร และความยาวในส่วนทำระเหยเท่ากับ 50 มิลลิเมตร โดยในแกนนอนคือ ความยาวส่วนทั้งหมดของท่อ (เมตร) และแกนตั้งคือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงการทำงาน 90 องศา ( $W/m^2$ ) เทียบกับผลของ Rittidej et al.(2000) พบว่าแนวโน้มของค่า  $q$  มีลักษณะที่คล้ายกันคือ จะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวทั้งหมดของท่อความร้อนมีค่าลดลง



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความยาวทั้งหมดเทียบกับค่าอัตราการส่งถ่ายความร้อนของท่อทดสอบที่มุมการทำงาน 90 องศา เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.06 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร

จากผลการทดสอบสังเกตได้ว่า ความยาวทั้งหมดของท่อความร้อนที่ 20 เมตรให้ค่าอัตราการส่งถ่ายความร้อนต่ำสุด ถัดมาคือ 15 เมตร และ 10 เมตรตามลำดับ และผลดังกล่าวมีลักษณะของแนวโน้มคล้ายกันทั้ง 2 สารทำงาน



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความยาวทั้งหมดเทียบกับค่าอัตราการส่งถ่ายความร้อนของท่อทดสอบที่มุมการทำงาน 90 องศา เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.06 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร เทียบกับ Rittidej et al.(2000)

#### 4.5 ผลของตัวแปรไร้มิติที่หาได้ที่มีต่อค่าการส่งถ่ายความร้อนที่อยู่ในรูปของตัวแปรไร้มิติ

ในการศึกษาผลของตัวแปรไร้มิติที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนนั้น เนื่องจากข้อมูลมีความแตกต่างทางด้าน ขนาดท่อ ความยาวส่วนทำระเหย ความยาวทั้งหมดของท่อและสารทำงาน และเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงการทำงานที่ 90 และ 0 องศา จึงได้ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนให้อยู่ในรูปตัวแปรไร้มิติ กับตัวแปรไร้มิติที่หาได้

ในการศึกษาผลของตัวแปรไร้มิติได้นำข้อมูลและผลของตัวแปรไร้มิติของ Rittidej et al. มาใช้ในการประยุกต์หาตัวแปรไร้มิติที่เกี่ยวข้องด้วย ส่วนข้อมูลการทดสอบของผู้วิจัยแสดงไว้ในภาคผนวก ก

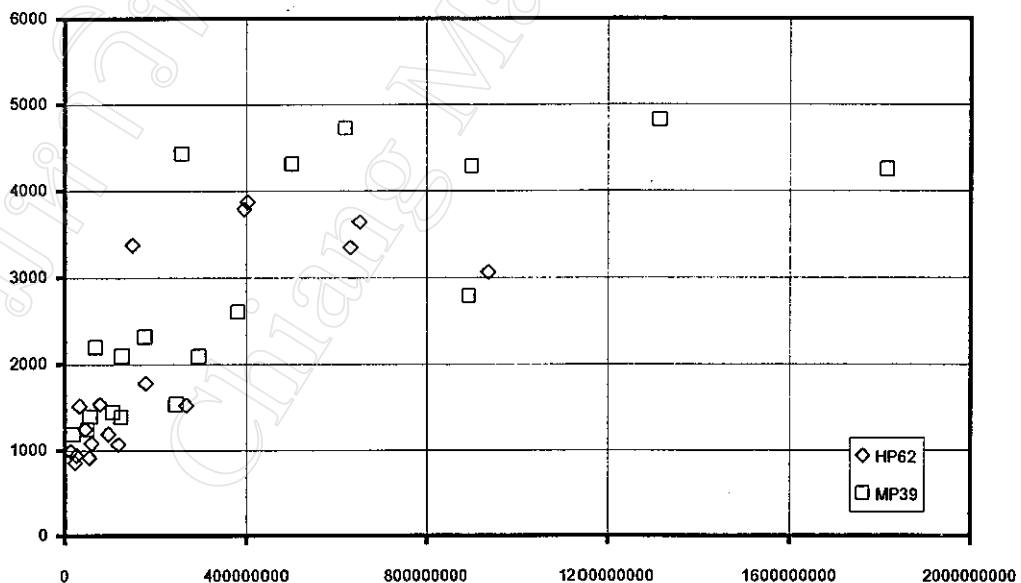
#### 4.5.1 ผลของตัวเลขเวเบอร์ (Weber number)

จากรูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขเวเบอร์กับอัตราการถ่ายเทความร้อนในสภาวะมุมเอียงการทำงาน 0 องศา ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า ไม่มีความสัมพันธ์กันแต่อย่างใด เนื่องจากข้อมูลกระจัดกระจายไม่เรียงกันแต่มีการเกาะกลุ่มกันในแต่ละสารทำงาน เมื่อพิจารณาตัวแปรแต่ละตัว เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายใน ความยาวส่วนทำระเหยและความยาวทั้งหมดข้อมูลการทดสอบจะกระจัดกระจายไม่เรียงลำดับกัน ไม่เป็นระเบียบ

#### 4.5.2 ผลของตัวเลขฟรูด (Froude number)

จากรูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขฟรูดที่หาได้กับอัตราการถ่ายเทความร้อน ในสภาวะมุมเอียงการทำงาน 0 องศา ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าไม่มีความสัมพันธ์กันแต่อย่างใด คล้ายกับผลของตัวเลขเวเบอร์ ข้อมูลกระจัดกระจายไม่เรียงกัน ไม่เป็นระเบียบ แต่มีการเกาะกลุ่มกันในแต่ละสารทำงาน เมื่อพิจารณาตัวแปรแต่ละตัว คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายใน ความยาวส่วนทำระเหยและความยาวทั้งหมดข้อมูลการทดสอบจะกระจัดกระจายไม่เรียงลำดับกัน ไม่เป็นระเบียบ

$q_0$  (W/m<sup>2</sup>)

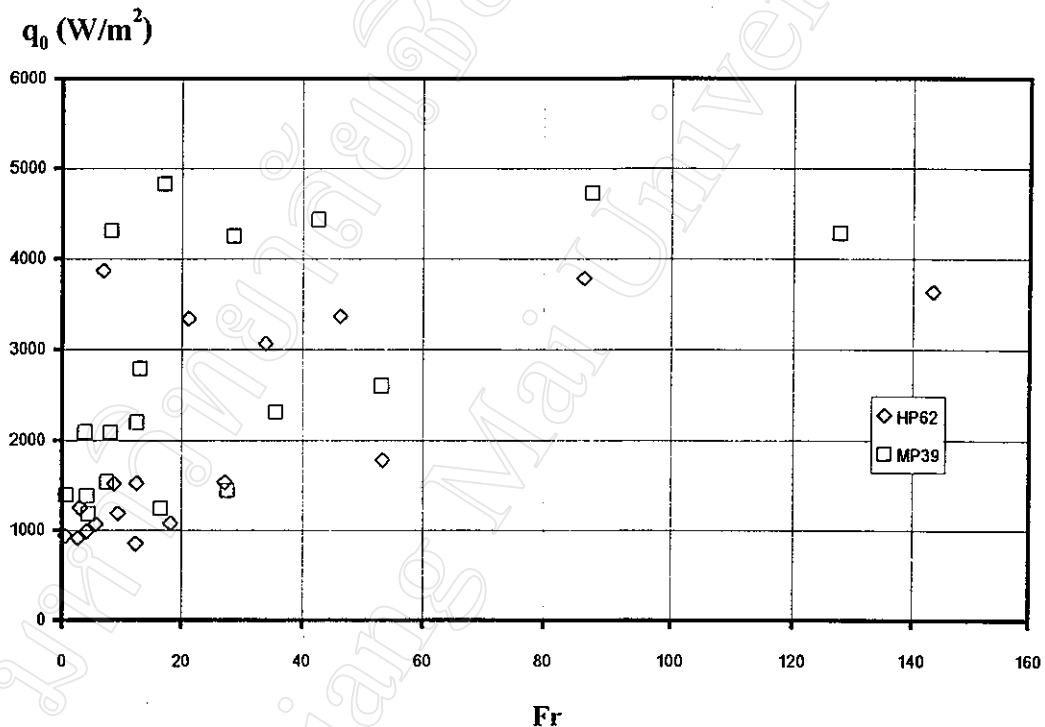


We

รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Weber number (We) ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนในสภาวะมุมเอียงการทำงาน 0 องศา

#### 4.5.3 ผลของตัวเลขบอนด์ (Bond number)

จากรูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขบอนด์ที่หาได้จากอัตราการถ่ายเทความร้อน ในสภาวะมูมเอียงการทำงาน 0 องศา ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าไม่มีความสัมพันธ์กันแต่อย่างใด คล้ายกับผลของตัวเลขเวเบอร์และตัวเลขฟรูด ข้อมูลการจัดกระจายไม่เรียงกัน ไม่เป็นระเบียบ แต่มีการเกาะกลุ่มกันในแต่ละสารทำงาน เมื่อพิจารณาตัวแปรแต่ละตัว คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวส่วนทำระเหยและความยาวทั้งหมดข้อมูลการทดสอบจะกระจายไม่เรียงลำดับกัน ไม่เป็นระเบียบ



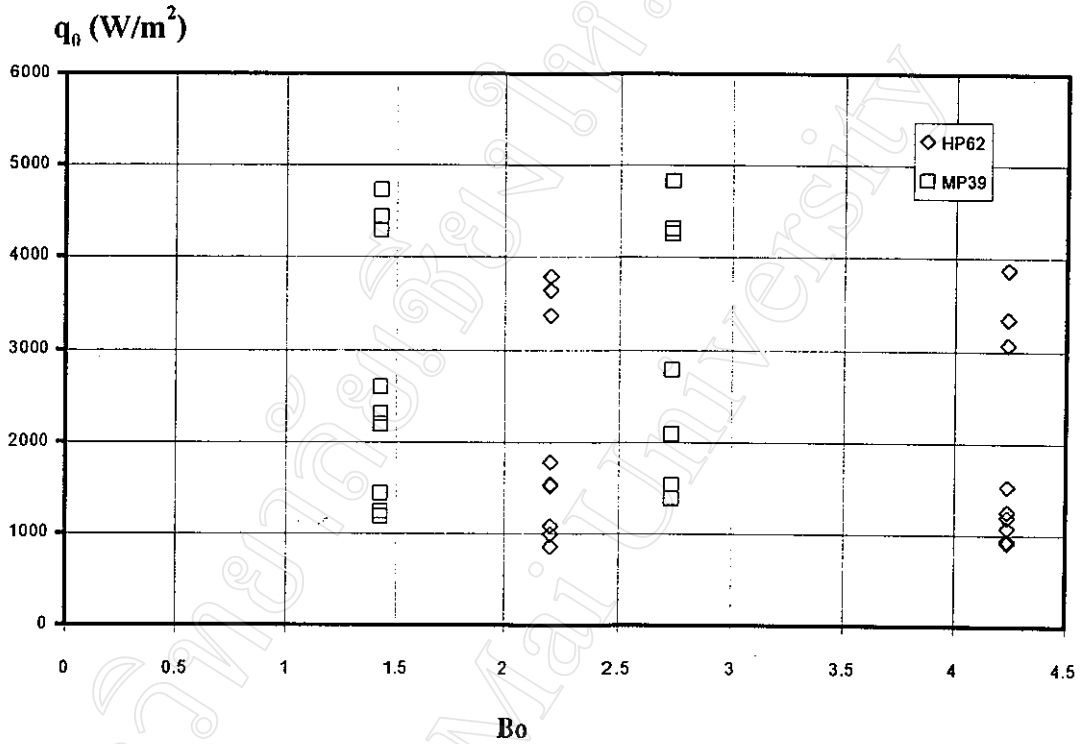
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Froude number (Fr) ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนในสภาวะมูมเอียงการทำงาน 0 องศา

#### 4.5.4 ผลของตัวเลขแพรนดท์ (Prandtl number)

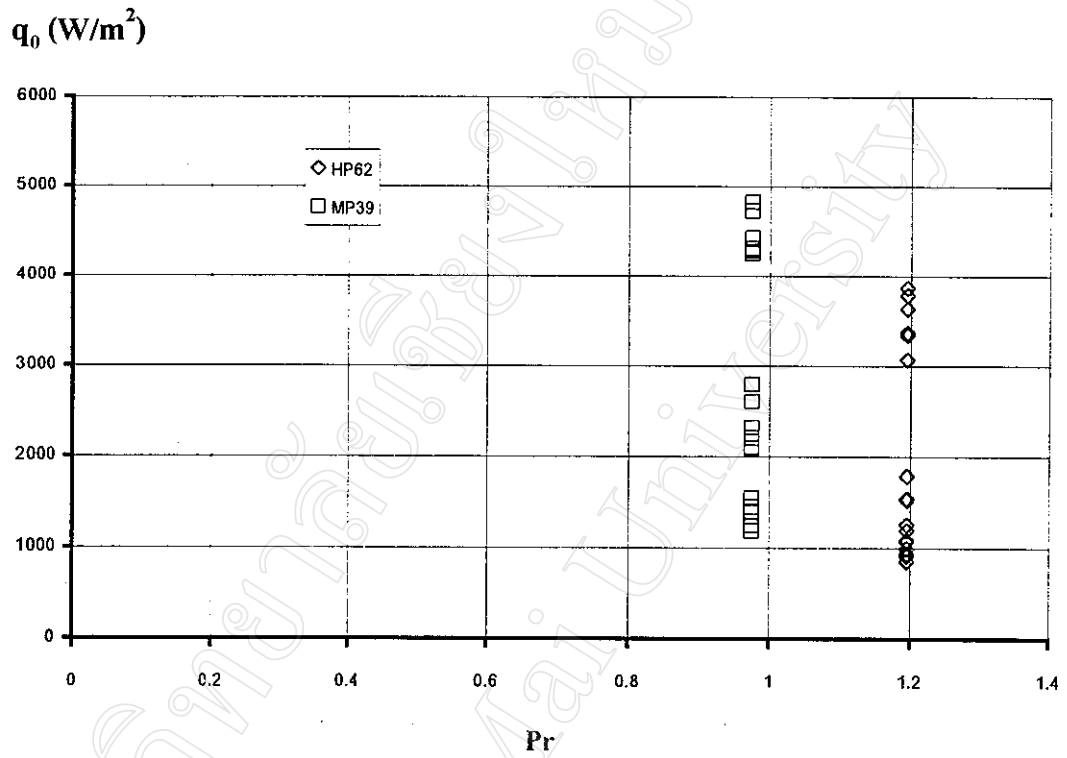
จากรูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขแพรนดท์ที่หาได้จากอัตราการถ่ายเทความร้อน ในสภาวะมูมเอียงการทำงาน 0 องศา แม้ว่าจะสังเกตเห็นได้ว่าไม่มีความสัมพันธ์กันแต่อย่างใด แต่ข้อมูลการทดลองกระจายเรียงกันอย่างเป็นระเบียบ มีการเกาะกลุ่มกันในแต่ละ



สารทำงาน แต่เมื่อพิจารณาตัวแปรแต่ละตัว คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวส่วนทำระเหย และความยาวทั้งหมดข้อมูลการทดสอบจะกระจัดกระจายไม่เรียงลำดับกัน ไม่เป็นระเบียบ

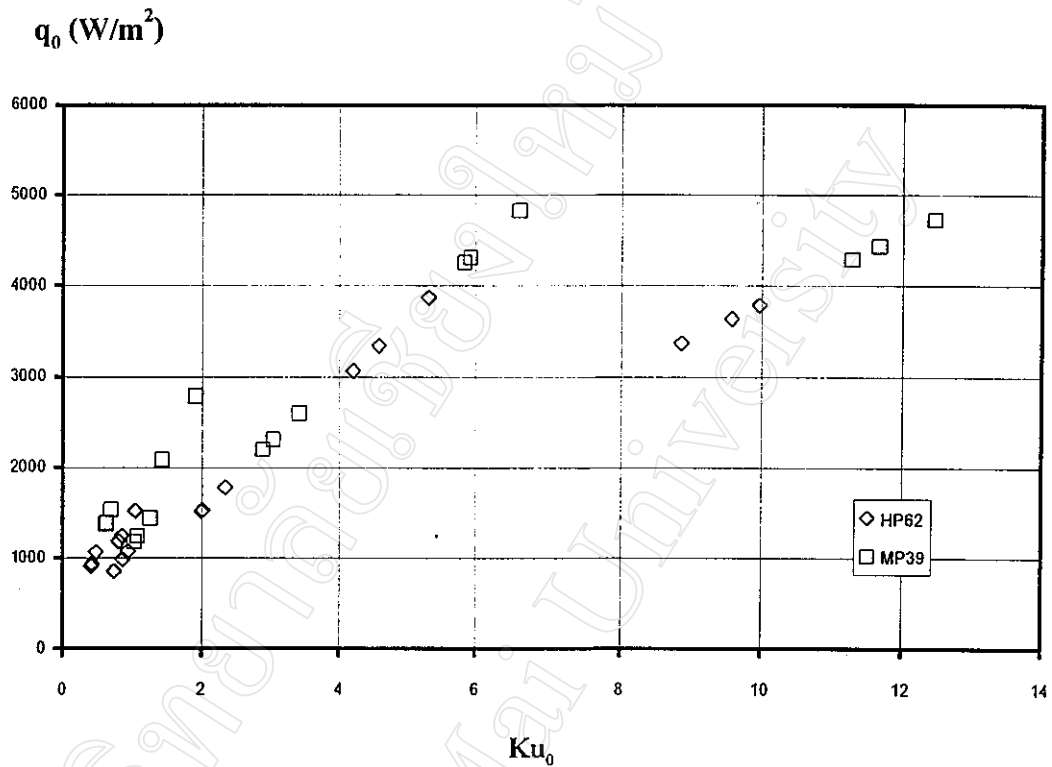


รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Bond number ( $Bo$ ) ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนในสภาวะ มุมเอียงการทำงาน 0 องศา



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Prandtl number (Pr) ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนในสภาวะ  
มุมเอียงการทำงาน 0 องศา

#### 4.5.5 ผลของตัวเลขคูทาเทลาดเซ (Kutateladze number)



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Kutateladze (Ku) ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนในสภาวะ  
มุมเอียงการทำงาน 0 องศา

จากรูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขคูทาเทลาดเซกับอัตราการถ่ายเทความร้อน ในสภาวะมุมเอียงการทำงาน 0 องศา จะสังเกตเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์กันโดยแบ่งแยกอย่างเจนในแต่ละสารทำงาน และข้อมูลการทดลองกระจายเรียงกันอย่างเป็นระเบียบ และเมื่อพิจารณาตัวแปรแต่ละตัว คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวส่วนทำระเหยและความยาวทั้งหมดข้อมูลการทดลองจะกระจายโดยเรียงลำดับกัน เป็นระเบียบ ทางผู้วิจัยจึงเลือกตัวเลขคูทาเทลาดเซมาวิเคราะห์ผลของตัวแปรไร้มิติ ซึ่งจะดึงเอาสมการของ Rittidej et al. มาใช้ด้วย

จากข้อมูลการทดลองของ Rittidej et al. ได้ทราบถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรไร้มิติที่หาได้ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่อยู่ในรูปของตัวแปรไร้มิติ  $Ku_0$  ที่มุมเอียงการทำงาน 0 องศา ดังแสดงในสมการที่ 4.1

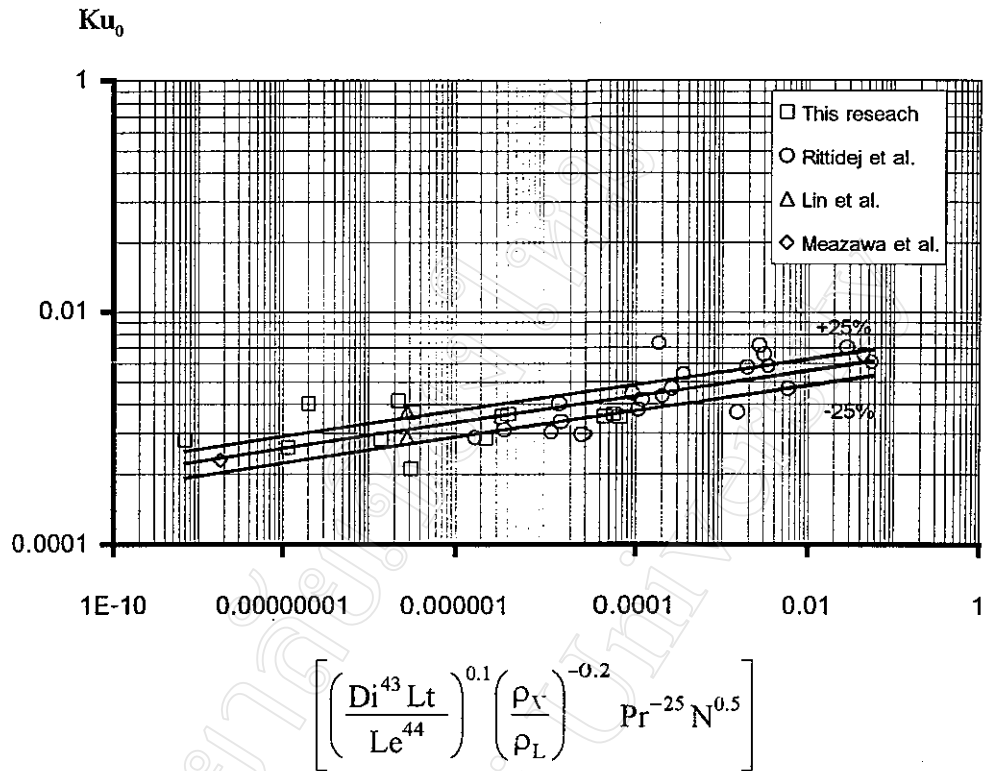
$$Ku_0 = 0.0052 \times \left[ \left( \frac{Di^{43} Lt}{Le^{44}} \right)^{0.1} \left( \frac{\rho_v}{\rho_L} \right)^{-0.2} Pr^{-25} N^{0.5} \right]^{0.111} \quad (4.1)$$

และความสัมพันธ์ของตัวแปรไร้มิติในสภาวะมุมเอียงที่ 90 องศา แสดงในสมการที่ 4.2

$$Ku_{90} = 0.0054 \times \left[ \left( \frac{Di^{31} Lt}{Le^{32}} \right)^{0.1} \left( \frac{\rho_v}{\rho_L} \right)^{-0.1} Pr^{-12} N^{0.9} \right]^{0.1321} \quad (4.2)$$

รูปที่ 4.17 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไร้มิติที่หาได้ต่อค่า Kutateladze number (Ku) เส้นในกราฟคือสมการแนวโน้มของ Rittidej et al. ที่ลากผ่านจุดการทดลองของงานวิจัยนี้ ที่ภาวะมุมเอียง 0 องศา โดยอีก 3 ชุดข้อมูลนั้นได้มาจากบทความทางวิชาการของ Lin et al. (2000) Maesawa et al. (1996) และข้อมูลการทดลองของ Rittidej et al. จุดของข้อมูลแต่ละชุดจะกระจัดกระจายรอบๆ เส้น โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ  $\pm 25$  เปอร์เซ็นต์ พบว่าถึงแม้ดูเหมือนจะไม่มีความสัมพันธ์กันก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาละเอียดถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน จะเรียงจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กไปหาใหญ่ คล้ายกับความยาวทั้งหมดของท่อ โดยเรียงจากสั้นไปหายาว แต่ความยาวส่วนทำระเหยจะเรียงจากยาวไปหาสั้นและพิจารณาจากงานวิจัยของ Rittidej et al. แล้วพบว่าค่า Ku ที่มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงการทำงาน 0 องศา มีความสัมพันธ์กับตัวแปรไร้มิติที่หาได้เมื่อรวมข้อมูลการทดลองของผู้วิจัยด้วย และเมื่อแนวโน้มค่าตัวแปรไร้มิติที่หาได้เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่า Kutateladze number เพิ่มขึ้น โดยเส้นกราฟสามารถเขียนเป็น สมการดังแสดงในสมการที่ 4.3

จากนั้นพิสูจน์ว่าสมการที่ 4.3 นั้นสามารถนำไปใช้ได้จริงดังแสดงในรูปที่ 4.18 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่จากการคำนวณสมการ 4.3 ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่จากข้อมูลการทดลอง เส้นที่ลากผ่านกลุ่มของชุดข้อมูล คือ เส้นที่ได้จากค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ของข้อมูลการทดลองที่ทำกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจากสมการ 4.3 พบว่าจุดข้อมูลทั้งหมดจะเกาะกลุ่มทับกับเส้นตัวแทนของสมการที่ 4.3 รวมทั้งข้อมูลของ Rittidej et al. โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\pm 30$  เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังพบอีกว่ามีจำนวนข้อมูลที่อยู่ในช่วงระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนี้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ สมการ 4.3 นี้จึงยอมรับว่าใช้ได้กับท่อความร้อนแบบสั้นที่ใช้สาร HP62 และ MP39 เป็นสารทำงาน



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ไร้มิติที่หาได้ต่อค่า Kutateladze number (Ku) มุมเอียงการทำงาน 0 องศา

$$Ku_0 = 0.0052 \times \left[ \left( \frac{Di^{43} Lt}{Le^{44}} \right)^{0.1} \left( \frac{\rho_V}{\rho_L} \right)^{-0.2} Pr^{-25} N^{0.5} \right]^{0.111} \quad (4.3)$$

Di คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (เมตร)

Lt คือ ความยาวทั้งหมดของท่อความร้อน

Le คือ ความยาวในส่วนทำระเหย

N คือ จำนวนแท่งของท่อความร้อนในส่วนทำระเหย

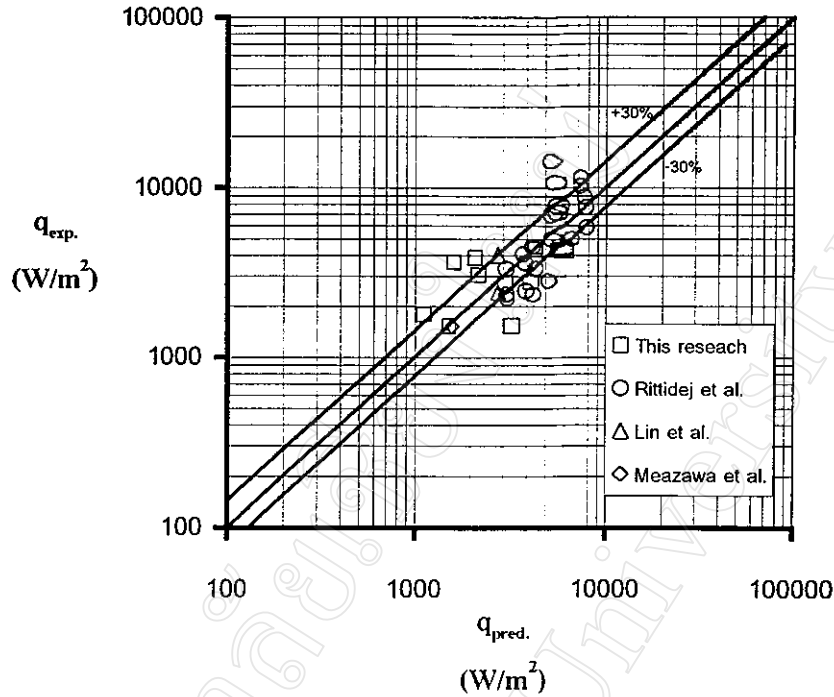
$\rho_V$  คือ ค่าความหนาแน่นในสภาวะก๊าศของสารทำงาน

$\rho_L$  คือ ค่าความหนาแน่นในสภาวะของเหลวของสารทำงาน

Pr คือ ค่า Prandtl number

จะเห็นได้ว่าชุดข้อมูลของงานวิจัยครั้งนี้มีทั้งหมด 13 จุด ที่อุณหภูมิการทำงาน  $50^{\circ}\text{C}$  ทั้งนี้เนื่องจากว่า ในการทดลองเพื่อหาค่าการส่งถ่ายความร้อนนั้น จำเป็นที่จะต้องคำนวณหาค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดและค่าการนำความร้อนเฉพาะต่อคาบิลารีที่ทำมาจากทองแดง จุดข้อมูลทั้ง 13 จุดนั้นเป็นผลการทดสอบหาค่าการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนที่มีค่ามากกว่าค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดรวมกับค่าการนำความร้อนของท่อคาบิลารีทองแดง จึงสามารถเชื่อมั่นข้อมูลทั้ง 13 จุดนี้ได้

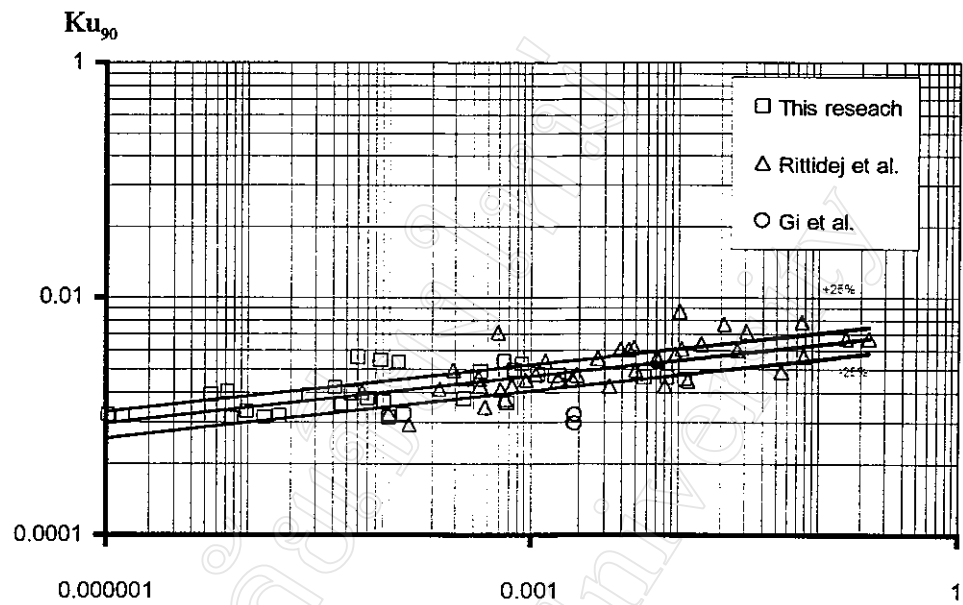
รูปที่ 4.19 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไร้มิติที่หาได้ต่อค่า Kutateladze number (Ku) เส้นในกราฟคือเส้นของสมการแนวโน้มของ Rittidej et al. ที่ลากผ่านจุดการทดลองของงานวิจัยครั้งนี้และมีงานวิจัยทั้งหมด 3 ชุดทดสอบ ที่ภาวะมุมเอียง  $90^{\circ}$  องศา โดยอีก 2 ชุดข้อมูลนั้นได้มาจากบทความทางวิชาการของ Gi et al. (2000) และผลวิจัยของ Rittidej et al. จุดของข้อมูลแต่ละชุดจะกระจัดกระจายรอบๆ เส้นโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ  $\pm 25$  เปอร์เซ็นต์ พบว่าถึงแม้ดูเหมือนจะ ไม่มีความสัมพันธ์กันก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาละเอียดแล้วมีความคล้ายกับผลในสภาวะมุมเอียงการทำงาน  $0^{\circ}$  องศา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน จะเรียงจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กไปหาใหญ่ คล้ายกับความยาวทั้งหมดของท่อจะเรียงจากสั้น ไปหายาว แต่ความยาวส่วนทำระเหยจะเรียงจากยาวไปหาสั้น และพิจารณาจากงานวิจัย Rittidej et al. แล้วพบว่าค่า Ku โดยมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงการทำงาน  $90^{\circ}$  องศา มีความสัมพันธ์กับตัวแปรไร้มิติที่หาได้ใหม่เมื่อรวมข้อมูลการทดลองของผู้วิจัยด้วย โดยค่าตัวแปรไร้มิติที่หาได้เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่า Kutateladze number เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับที่สภาวะมุมเอียง  $0^{\circ}$  องศา เส้นกราฟสามารถเขียนเป็นสมการดังแสดงในสมการที่ 4.4



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่จากการคำนวณในสมการ 4.1 ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่จากการทดลอง

ในรูปที่ 4.20 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่จากการคำนวณในสมการ 4.4 ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่จากข้อมูลการทดลอง เส้นที่ลากผ่านกลุ่มของชุดข้อมูล คือ เส้นที่ได้จากค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ของการทดลองที่มีค่าเท่ากับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจากสมการ 4.4 พบว่าจุดข้อมูลทั้งหมดจะเกาะกลุ่มทับกับเส้นตัวแทนของสมการที่ 4.4 รวมทั้งข้อมูลของ Rittidej et al. โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\pm 30$  เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีจำนวนข้อมูลที่อยู่ในช่วงระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนี้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ สมการ 4.2 นี้จึงยอมรับว่าใช้ได้กับท่อความร้อนแบบสั้นที่ใช้สาร HP62 และ MP39 เป็นสารทำงาน

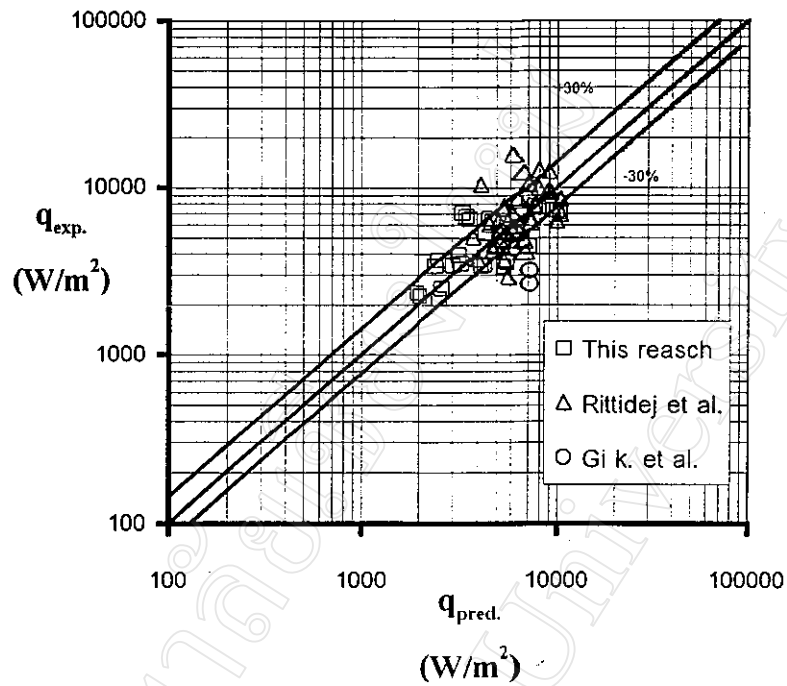
$$Ku_{90} = 0.0054 \times \left[ \left( \frac{Di^{31} Lt}{Le^{32}} \right)^{0.1} \left( \frac{\rho_v}{\rho_L} \right)^{-0.1} Pr^{-12} N^{0.9} \right]^{0.1321} \quad (4.4)$$



$$\left[ \left( \frac{Di^{31} Lt}{Le^{32}} \right)^{0.1} \left( \frac{\rho_V}{\rho_L} \right)^{-0.1} Pr^{-12} N^{0.9} \right]$$

รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไร้มิติที่หาได้ต่อค่า Kutateladze number (Ku) มุมเอียงการทำงาน 90 องศา





รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่จากการคำนวณในสมการ 4.2 ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่จากข้อมูลการทดลอง

เช่นเดียวกับรูปที่ 4.17 ชุดข้อมูลของงานวิจัยครั้งนี้ในรูปที่ 4.19 มีทั้งหมด 31 จุด ที่อุณหภูมิการทำงาน  $50^{\circ}C$  ทั้งนี้เนื่องจากมีสาเหตุเดียวกันคือ จุดข้อมูลทั้ง 31 จุดนั้นเป็นผลการทดสอบหาค่าการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนที่มีค่ามากกว่าค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดรวมกับค่าการนำความร้อนของท่อคาปิลารีทองแดง จึงสามารถเชื่อมั่นข้อมูลทั้ง 31 จุดนี้ได้