

บทที่ 4

ผลการทดสอบแบบจำลองและวิเคราะห์แบบจำลอง

แบบจำลองที่สร้างขึ้นจากการศึกษาในครั้งนี้เป็นแบบจำลองเชิงวิเคราะห์ (Analytical model) ซึ่งไม่ได้ทำนายผลโดยใช้ตัวแปรไร้มิติ แต่เนื่องจากแบบจำลองขีดจำกัดสมรรถนะที่พบในรายงานส่วนใหญ่ เป็นการทำนายโดยใช้ค่าตัวแปรไร้มิติต่างๆ เช่น ค่าอัตราส่วนสนทรรศน์ ค่าตัวเลขของบอนด์ เป็นต้น ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบผลของค่าอัตราส่วนสนทรรศน์ และตัวเลขของบอนด์ต่อค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นและความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นโดยนักวิจัยท่านอื่นๆ จึงจำเป็นต้องปรับผลที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้นในรูปความสัมพันธ์ตัวแปรไร้มิติ

4.1 การทำนายค่าอัตราความร้อนวิกฤติด้วยแบบจำลองที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลอง

รูป 4.1 แสดงผลการทำนายค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติในเทอร์โมไซฟอนแบบเอียงในทุกค่ามุมเอียงโดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลอง จากรูปพบว่าแบบจำลองเข้ากันได้ดีกับข้อมูลการทดลองของ Shiraishi et al. [18], Groll and Spendel [6] และ Pioro and Lee [11] ด้วยช่วงความคลาดเคลื่อน $\pm 25\%$ โดยใช้การหาช่วงความคลาดเคลื่อนวิธีเปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Average Percentage absolute Deviation, APD) โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 121.60% และมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด -34.80% Shiraishi et al. [17] ทำนายค่าอัตราส่วนการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดต่อการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่แนวตั้ง ($Q_{ci\max}/Q_{c90}$) ด้วยความสัมพันธ์

$$\frac{Q_{ci\max}}{Q_{c90}} = 1 + 25Ku^* - 172(Ku^*)^2$$

โดยการหาค่า Q_{c90} ด้วยความสัมพันธ์ของ Katto [9] จะสามารถหาค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดได้ด้วยช่วงความคลาดเคลื่อน $\pm 38\%$ และเมื่อใช้แบบจำลองทางกายภาพของ Shiraishi et al. [16] ในการคำนวณค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุด ค่าที่คำนวณได้มีช่วงความคลาดเคลื่อน $\pm 46\%$

หากพิจารณารูปแบบการทำนายอัตราส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงใดๆ (Q_{ci}) ด้วยการใช้รูปแบบฟังก์ชันของมุมเอียง เช่นเดียวกับ Nguyen - Chi and Groll [10], Bontemps et al. [3] และ Feldman and Srinivisan [6] คือ

$$Q_{ci} = Q_{c90} \times f(\beta)$$

โดย Q_{c90} คือ ค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติในแนวดิ่ง

$f(\beta)$ คือ ตัวคูณประจํามุมเอียงเพื่อปรับค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติ

พบว่าผลของแบบจำลองที่สร้างขึ้นเทียบกับสมการความสัมพันธ์ข้างต้น จะเป็นดังรูป 4.2 แบบจำลองที่สร้างขึ้นเข้ากันได้ดีกับความสัมพันธ์ของ Nguyen-Chi and Groll ในด้านปรากฏการณ์การแห้ง ส่วนในเส้นการทำนายปรากฏการณ์การท่วม (เส้นทางด้านขวา) ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีค่าต่ำกว่าผลของ Nguyen-Chi and Groll ทำให้ความสัมพันธ์ของ Nguyen-Chi and Groll มีความเหมาะสมกว่าในการทำนายสารทำงานที่มีแรงตึงผิวต่ำ เช่น เอทานอล เป็นต้น อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้มีข้อดีเหนือกว่า ของ Nguyen-Chi and Groll คือ แบบจำลองที่สร้างขึ้นสร้างโดยการวิเคราะห์โดยใช้สมการควบคุมพื้นฐาน ซึ่งทำให้สมการผลลัพธ์ที่ได้สามารถใช้ได้กับทุกสารทำงาน และในทุกช่วงอุณหภูมิทำงาน ดังจะพบได้ในกรณีสารทำงานที่มีแรงตึงผิวสูงๆ เช่น น้ำ ดังแสดงในรูป 4.3

ซึ่งหากมีการปรับการทำนายการท่วมให้ดีขึ้นกว่าเดิมก็จะทำให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้ทำนายมุมทำงานและอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติได้ดีในทุกๆสารทำงาน สำหรับแบบจำลองของ Feldmen et.al. นั้น ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่มากในการทำนายด้านเกิด การท่วม (ข้อมูลจากมุม 90 องศา ถึง 60 องศา) ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลการทดลองของ Feldmen ทดสอบที่มุมเอียง 0-20 องศาจากแนวราบเท่านั้น ทำให้การทำนายด้านเกิดการท่วมผิดพลาดไป

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้สามารถทำนายอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงใดๆด้วยช่วงความคลาดเคลื่อน $\pm 25\%$

4.2 ผลของค่าอัตราส่วนสนทรรศน์ (Le/d)

4.2.1 อัตราส่วนการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดต่อการส่งผ่านความร้อนวิกฤติในแนวดิ่ง

(Q_{cimax}/Q_{c90})

รูป 4.4 แสดงผลของค่าอัตราส่วนสนทรรศน์ (Le/d) ต่อค่าอัตราส่วนการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดต่อการส่งผ่านความร้อนวิกฤติในแนวดิ่ง (Q_{cimax}/Q_{c90}) โดยใช้ข้อมูลการทดลองเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่สร้างขึ้น จากรูปพบว่าค่า Q_{cimax}/Q_{c90} มีค่าคงที่เท่ากับ 1.1, 1.2, 1.5 และ 1.6 ในกรณีที่สารทำงานเป็น Ethanol, น้ำ, R113 และ R123 ตามลำดับ จากรูปเส้นที่สร้างจากแบบจำลองเป็นเส้นนอนตลอดทั้งกราฟ ทำให้กล่าวได้ว่าค่าอัตราส่วนสนทรรศน์ไม่มีผลต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดต่อค่าการส่งผ่านความร้อนวิกฤติในแนวดิ่ง (Q_{cimax}/Q_{c90})

ผลการทำนายนี้สอดคล้องกับข้อมูลของ Terdtoon et al. [20] ซึ่งแสดงไว้ว่า ที่ค่า Le/d มากกว่า 10 ค่าอัตราส่วนสนทรรศน์จะไม่ผลต่อ $Q_{c_{max}}/Q_{c_{90}}$ แต่ในช่วง Le/d น้อยกว่า 10 ค่า $Q_{c_{max}}/Q_{c_{90}}$ จะลดลงเมื่อค่า Le/d มีค่ามากขึ้น ซึ่งขัดแย้งกับผลของแบบจำลองที่สร้างขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนั้นก็เนื่องจากที่ค่า Le/d น้อยกว่า 10 นั้น เทอร์โมไซฟอนจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางโตและความยาวส่วนทำระเหยสั้น (ท่ออ้วนสั้น) การส่งผ่านความร้อนของท่อลักษณะนี้จะเป็นการเดือดแบบแอ่ง ซึ่งการเดือดทำให้เกิดการไหลปั่นป่วน และทำให้ของเหลวในแอ่งสัมผัสผิวส่วนทำระเหยได้ทั่วตลอดเนื่องจากท่อสั้น ดังนั้นปรากฏการณ์การแห้งจึงเกิดได้ยาก นอกจากนี้การท่วมก็เกิดขึ้นได้ยากเช่นกันเนื่องจากท่อสั้น ดังนั้นค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติจึงมีค่าสูง และเมื่อ Le/d มากขึ้นของเหลวจะสัมผัสทั่วทั้งผิวส่วนทำระเหยได้ยากขึ้น และการท่วมก็เกิดได้ง่ายขึ้น ทำให้อัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติมีค่าลดลงจน คงที่ที่ Le/d เท่ากับ 10 ผลจากการกระเพื่อมและการไหลปั่นป่วนในแอ่งของเหลวของเหลวในแอ่งสัมผัสผิวส่วนทำระเหยได้ทั้งหมดนั้น ไม่ได้นำมาคิดไว้ในแบบจำลองที่สร้างขึ้นด้วย จึงทำให้แบบจำลองคลาดเคลื่อนไปในส่วนที่ค่า Le/d น้อยกว่า 10

ดังนั้นสรุปได้จากแบบจำลองว่า ค่าอัตราส่วนสนทรรศน์ไม่มีผลต่อค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดต่อค่าการส่งผ่านความร้อนวิกฤติในแนวตั้ง ($Q_{c_{max}}/Q_{c_{90}}$)

4.2.2 ความหนาแน่นการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุด

รูป 4.5 แสดงผลของค่าอัตราส่วนสนทรรศน์ต่อค่าความหนาแน่นความร้อนวิกฤติสูงสุด (Maximum Critical heat flux, $q_{c_{max}}$) ซึ่งจะพบว่าสำหรับกรณีสารทำงานเป็น Ethanol ที่อุณหภูมิทำงาน 77.16°C ค่าความหนาแน่นความร้อนวิกฤติสูงสุดจะมีค่า 32,000 วัตต์/ตารางเมตรที่ค่า Le/d เท่ากับ 10.7 และมีค่าลดลงเป็น 22,000 วัตต์/ตารางเมตรที่ค่า Le/d เท่ากับ 32.5 และมีแนวโน้มว่าเมื่อ Le/d มีค่ามากขึ้นค่า $q_{c_{max}}$ ก็จะมีค่าลดลง ผลการทำนายนี้สอดคล้องกับข้อมูลของ Shirashi et al. [15] และ Piro et al. [11] ซึ่งแสดงผลของ $q_{c_{max}}$ ลดลงเป็นเชิงเส้นเมื่อ Le/d เพิ่มขึ้นและปรากฏการณ์ที่ควบคุมจุดวิกฤติคือปรากฏการณ์การท่วม รายงานของ Terdtoon [20] กล่าวว่า ที่ Le/d มากกว่า 10 สาเหตุการเกิดขีดจำกัด คือ ปรากฏการณ์การท่วม แต่ในแบบจำลองที่สร้างขึ้นกล่าวว่า จุดวิกฤติเกิดจากปรากฏการณ์ควบคุมสองปรากฏการณ์ คือ การแห้งของฟิล์ม และการท่วม ซึ่งสาเหตุของความแตกต่างอธิบายได้ดังนี้ การที่ Terdtoon [20] และ Shirashi [14] พบว่าปรากฏการณ์การท่วมเป็นตัวควบคุมจุดวิกฤติ ก็เนื่องจากการกำหนดปรากฏการณ์ที่ควบคุมจุดวิกฤติของทั้ง Terdtoon และ Shirashi เป็นการสังเกตเชิงทัศน์ (การเฝ้าดูด้วยสายตาและกล้องบันทึกภาพ) ซึ่งการเกิดปรากฏการณ์รวดเร็วมากและการแห้งแบบฟิล์มอย่างเดียวก็ดูได้ยาก เพราะมีการผลักให้

ของเหลวเคลื่อนที่ไปด้านบนอยู่ตลอดเวลาทำให้ดูเหมือนมีการท่วมเกิดขึ้นทุกครั้งที่ตั้งขีดจำกัด ซึ่งในความเป็นจริงขีดจำกัดอาจเกิดการจากปรากฏการณ์การแห้งก่อนจะสังเกตเห็นก็ได้ ดังนั้นปรากฏการณ์ที่ควบคุมขีดจำกัดน่าจะเป็นทั้งการท่วม และการแห้ง ขึ้นอยู่กับค่ามุมเอียงต่างๆ

จากทั้งหมดทำให้สรุปได้ว่ากรณีสารทำงานเป็น Ethanol ที่อุณหภูมิทำงาน 77.16°C ค่า q_{max} จะลดลง 31.25 % เมื่อค่า Le/d เพิ่มขึ้น 67.07 % และในสารทำงานอื่นๆก็มีแนวโน้มว่า q_{max} จะลดลงเมื่อค่า Le/d มีค่าเพิ่มขึ้น

4.3 ผลของชนิดสารทำงานต่อมุมเอียงที่เหมาะสม

รูป 4.6 แสดงผลของชนิดสารทำงานที่มีต่อมุมเอียงที่เหมาะสมซึ่งทำให้เกิดค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดของสารทำงาน 4 ชนิด ได้แก่ น้ำ R113 R123 และ Ethanol เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับผลของ Shiraiishi et al. [16] โดยใช้เทอร์โมไซฟอนเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร ความยาวส่วนควบแน่น 0.44 เมตร ความยาวส่วนทำระเหย 0.15 0.30 และ 0.45 เมตรตามลำดับ ซึ่งแสดงค่ามุมเอียงที่เหมาะสมได้ดังนี้

สารทำงาน	มุมเอียงที่เหมาะสมจากแบบจำลอง (องศาจากแนวราบ)	มุมเอียงที่เหมาะสมจากรายงานของ Shiraiishi et al. [14] (องศาจากแนวราบ)
น้ำ	70	55-75
R113	58	40-60
R123	37	40-60
Ethanol	34	40-60

พบว่าการทำงานด้วยแบบจำลองเข้ากันได้ดีกับผลของ Shirashi ด้วยช่วงความคลาดเคลื่อน $\pm 32\%$ ซึ่งในความเป็นจริงจะพบว่าช่วงมุมเอียงที่เหมาะสมระบุได้ยากจากการทดลอง เนื่องจากในช่วงมุมเอียงใกล้เคียงกัน มุมที่ถูกระบุว่าเป็นมุมเอียงที่เหมาะสมมีค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติใกล้เคียงกันกับค่ามุมเอียงอื่น ดังนั้นค่ามุมที่เหมาะสมจึงน่าจะเรียกว่า ช่วงมุมที่เหมาะสมตามรายงานของ Terdtoon et al. [19] มากกว่า ดังแสดงในภาคผนวก ก.2-ก.12 ข้อมูลจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นยังสอดคล้องกับค่ามุมเอียงที่เหมาะสมตามรายงานของ Nguyen-Chi and Groll [9] และ Hahne and Gross [7]

ในรูป 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางต่อความยาวคลื่นวิกฤติ (d/λ_T) กับค่ามุมเอียงที่เหมาะสม พบว่าที่ค่า $d/\lambda_T > 1.1$ ค่ามุมเอียงที่เหมาะสมมีค่าคงที่ในช่วง 35-60 องศา และที่ค่า $d/\lambda_T < 1.1$ ค่ามุมเอียงที่เหมาะสมมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่า 90 องศาที่ d/λ_T ประมาณ 0.5 ข้อมูลจากแบบจำลองนี้สอดคล้องกับข้อมูลการทดลองของ Shiraishi et al. [16]

สรุปได้ว่าการทำนายด้วยแบบจำลองน้ำ, R113, R123 และ Ethanol มีค่ามุมเอียงที่เหมาะสม 70, 58, 37 และ 34 องศาตามลำดับ

4.4 ผลของความยาวส่วนควบแน่น (Lc) ต่อค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุด

รูป 4.8 แสดงผลของความยาวส่วนควบแน่น (Lc) ต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุด ของเทอร์โมไซฟอนที่มีสารทำงานเป็น R113 และอุณหภูมิทำงาน 50°C จากรูปพบว่าที่ความยาว $L_c = 0.44$ เมตร อัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดมีค่า 360 วัตต์ และที่ความยาว $L_c = 0.88$ เมตร อัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดมีค่า 220 วัตต์ และค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเมื่อความยาวส่วนควบแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่มีการรายงานเกี่ยวกับผลของความยาวส่วนควบแน่นต่อค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดในเทอร์โมไซฟอนแบบเอียง ดังนั้นในการวิเคราะห์จะเปรียบเทียบกับผลของ Saber et al. [13] ซึ่งกล่าวถึงผลของ L_c ต่อ $Q_{critical}$ ในเทอร์โมไซฟอนแนวตั้ง Saber รายงานว่า ค่า L_c ไม่มีผลต่อขีดจำกัดการทำงานในเทอร์โมไซฟอนแนวตั้ง ความแตกต่างนี้น่าจะเกิดจากแบบจำลองของ Saber ไม่คิดความสัมพันธ์ของการผลิตไอของส่วนทำระเหยและการควบแน่นของส่วนควบแน่น Saber ทำนายการวิเคราะห์หาความหนาฟิล์มของเหลวที่เป็นไปได้สูงสุดโดยการวิเคราะห์ที่ส่วนควบแน่น ในขณะที่แบบจำลองที่สร้างขึ้น คำนึงถึงผลของไอที่ผลิตได้สัมพันธ์กับความยาวส่วนควบแน่น (เทอม $(L_c/L_c)^{0.75}$) ความแตกต่างนี้ทำให้ในรายงานของ Saber ค่าความยาวของ L_c ไม่มีผลต่ออัตราส่วนการส่งผ่านความร้อนวิกฤติ ดังแสดงในรูป 4.9

นอกจากนี้โดยการใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นยังพบว่า L_c มีผลต่ออัตราส่วนการเติมที่เคลือบผิวเทอร์โมไซฟอนพอดี้ด้วย โดยสำหรับ R113 ความยาว $L_c=0.44$ และ 0.88 เมตร อัตราส่วนการเติมที่เคลือบผิวพอดี้มีค่า 0.215 และ 0.11 ตามลำดับ เหตุที่เป็นเช่นนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการส่งผ่านความร้อนซึ่งอธิบายได้ดังนี้ เมื่อความยาวส่วนควบแน่นมีค่ามากขึ้น ความหนาฟิล์มของเหลวเฉลี่ยในส่วนควบแน่นจะมีค่ามากขึ้นทำให้อัตราส่วนการส่งผ่านความร้อนออกจากส่วนควบแน่นมีค่าลดลง ดังนั้นการควบแน่นจะน้อยลง ทำให้อัตราการผลิตไอลดลงด้วย ส่งผลให้การส่งผ่านความร้อนลดลงไปด้วย

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในกรณีสารทำงานเป็น R113 และอุณหภูมิทำงาน 50°C เมื่อความยาวส่วนควบแน่นมากขึ้น 50% ในขณะที่ส่วนทำระเหยมีความยาวคงที่จะทำให้ค่าอัตราการส่งผ่าน

ความร้อนวิกฤติสูงสุดมีค่าลดลง 38.9% และในสารทำงานอื่นๆก็มีแนวโน้มว่าเมื่อความยาวส่วนควบแน่นมากขึ้นในขณะที่ส่วนทำระเหยมีความยาวคงที่จะทำให้ค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดมีค่าลดลง

4.5 ผลของตัวเลขของบอนด์ (Bo) ต่อค่า Q_{ci}/Q_{c90}

รูป 4.10 แสดงผลของตัวเลขของบอนด์ (Bo) ต่อค่าอัตราส่วนการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงใดๆ ต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่แนวตั้ง (Q_{ci}/Q_{c90}) โดยเส้นตรงในรูปแสดงผลจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง โดยจุดสูงสุดของกราฟเป็นค่า Q_{cimax}/Q_{c90} ซึ่งจากรูปจะพบว่าค่า Q_{cimax}/Q_{c90} มีค่าคงที่ที่ 1.2 ไม่ว่าค่าตัวเลขของบอนด์จะมีค่าเท่าไรก็ตาม จากการรายงานของ Shiraiishi et al [15] กล่าวว่า Bo ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า อัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงใดๆ ซึ่งสอดคล้องกับแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้

สาเหตุที่ตัวเลขของบอนด์ไม่สามารถใช้ทำนายค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติได้เป็นดังนี้ จากนิยาม

$$Bo = \frac{d}{(2\pi(\sigma/g(\rho_l - \rho_v)))^{1/2}}$$

จะพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสมการ (3.58) และ(3.62) จะพบว่า Bo มีตัวแปรซึ่งสำคัญในการควบคุมปรากฏการณ์การท่วม (มีแรงตึงผิวและความหนาแน่น) ซึ่งทำให้ สามารถใช้ Bo ในการทำนายปรากฏการณ์การท่วมได้ดี และในเทอร์โมไฮฟอนแนวตั้งที่มีการเติมมากพอตามรายงานของ Shiraiishi [14] กล่าวว่าปรากฏการณ์ที่ควบคุมคือการท่วมเท่านั้น แต่ในเทอร์โมไฮฟอนแบบเอียงชนิดจำกัดเกิดจากปรากฏการณ์การแห้งและการท่วมดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2 ซึ่งปรากฏการณ์การแห้งตามแบบจำลองนี้ การแห้งจะขึ้นอยู่กับรูปร่างและอุณหภูมิแหล่งความร้อนในขณะที่ไม่ขึ้นกับแรงตึงผิวเลย ดังนั้น Bo จึงไม่สามารถทำนายปรากฏการณ์การแห้งได้ และเป็นเหตุผลให้ไม่สามารถใช้ Bo ทำนายเทอร์โมไฮฟอนแบบเอียงได้นั่นเอง

ดังนั้นสรุปได้ว่าตัวเลขของบอนด์ไม่มีผลกระทบกับค่าอัตราส่วนการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงใดๆต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติในแนวตั้ง

4.6 อัตราส่วนการเติมที่มีผลต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติ

รูป 4.11 แสดงการหาค่าอัตราส่วนการเติมที่เคลือบผนังเทอร์โมไฮฟอนได้ทั่วพอดี ของเทอร์โมไฮฟอนที่ใช้สารทำงานเป็น R113 Le/d 21 และอุณหภูมิทำงาน 50°C จากรูปพบว่าอัตราส่วนการเติมดังกล่าวมีค่า 0.24 ดังนั้นค่ามวลของเหลวที่ตั้งอยู่ในแอ่งของเหลวซึ่งกล่าวไว้ในหัวข้อ

3.3 จะมีค่า $0.24 \times 1.4 = 0.336$ ดังนั้นไม่ว่าจะเติมสารทำงานเข้าไปมากกว่านี้เท่าไร สารที่เติมเกินมานี้ก็จะเคลื่อนที่ขึ้นไปท่วมที่ปากทางเข้าส่วนทำระเหย ของเหลวที่คงค้างอยู่ในแอ่งของเหลวจำนวนนี้จะส่งผลต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงใดๆ จากรายงานของ Terdtoon et.al. [19] ซึ่งแสดงผลของอัตราส่วนการเติมต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติของสารทำงาน R113 ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 21 มม. และค่า Le/d เท่ากับ 21 ที่อัตราส่วนการเติม 80%, 50% และ 30% พบว่าอัตราส่วนการเติมไม่มีผลต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่แนวตั้ง (Q_{ci}/Q_{c90}) รายงานดังกล่าวสอดคล้องกับแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นเป็นอย่างดี เนื่องจากตามเงื่อนไขของแบบจำลองไม่ว่าอัตราส่วนการเติมจะมีมากเท่าใด ก็จะมีของเหลวส่วนหนึ่งคงค้างอยู่ในแอ่งและของเหลวจำนวนนี้จะส่งผลต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงใดๆ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3 เมื่ออัตราส่วนการเติมมากกว่านี้ ส่วนที่เหลือเกินจะถูกผลักออกไปทำให้ได้ค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงใดๆ ใกล้เคียงกันทุกค่าอัตราส่วนการเติม เป็นที่น่าเสียดายที่ไม่มีข้อมูลของ R113 ที่มุมเอียงและอัตราส่วนการเติมน้อยกว่า 30 % มาเปรียบเทียบ แต่หากพิจารณาจากแบบจำลอง อาจคาดได้ว่าจากข้อมูลรูปร่างข้างต้น ที่อัตราส่วนการเติมน้อยกว่า 30 % สำหรับ R113 ที่มุมเอียงใดๆ มุมที่เกิดการส่งผ่านความร้อนสูงสุดจะเกิดที่ 90 องศา และปรากฏการณ์แห่งเท่านั้นที่ควบคุมอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติ

ดังนั้นสรุปได้ว่าการหาอัตราส่วนการเติมที่มีผลต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสามารถหาได้โดยสมการ (3.31) และอัตราส่วนการเติมที่มากกว่าค่าที่หาได้จากสมการ (3.31) ไม่มีผลต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติ

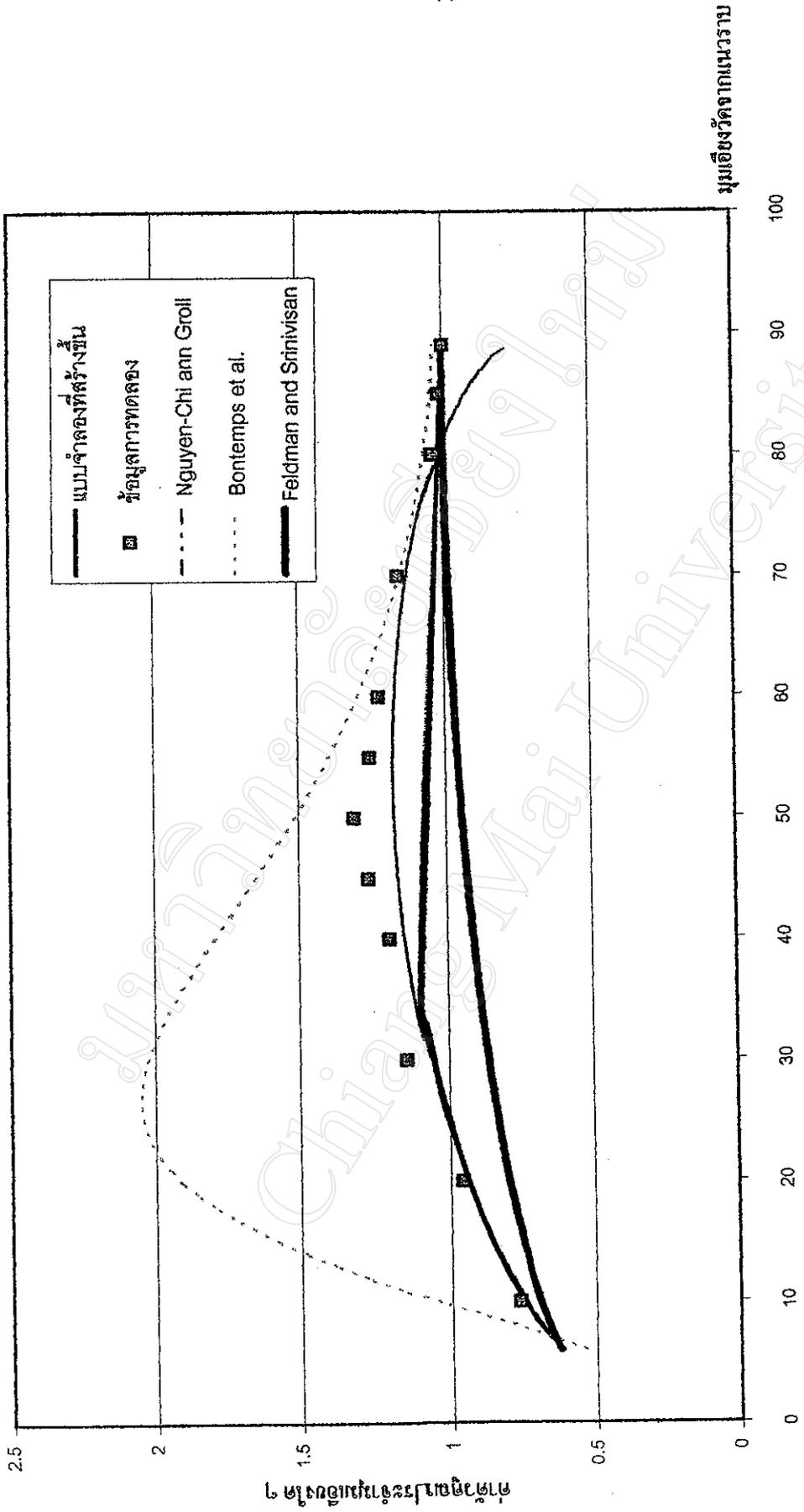
4.7 ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงใดๆต่อการส่งผ่านความร้อนวิกฤติในแนวตั้ง

รูป 4.12 แสดงค่าอัตราส่วนการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงใดๆต่อการส่งผ่านความร้อนวิกฤติในแนวตั้ง (Q_{ci}/Q_{c90}) ของสารทำงานแต่ละชนิด จากรูปพบว่าข้อมูลจากการทดลองของ Terdtoon et al. [19] ในกรณีสารทำงานเป็นน้ำ, Ethanol, R113 และ R123 มีค่า Q_{ci}/Q_{c90} ในช่วง 0.5-1.55 ในขณะที่ข้อมูลจากแบบจำลองของสารทำงานน้ำ, Ethanol, R113 และ R123 มีค่า Q_{ci}/Q_{c90} ในช่วง 0.35-1.2 และจะเห็นว่าค่า Q_{ci}/Q_{c90} ของสารทำงานแต่ละชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เป็นที่น่าสังเกตว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่างจากข้อมูลการทดลองมากทั้งนี้ก็เนื่องจากแกนตั้งของกราฟเป็นค่า Q_{ci}/Q_{c90} ดังนั้นค่า Q_{ci} ที่หาได้จากแบบจำลองจะต้องนำปหารค่า Q_{c90} จากแบบจำลอง ซึ่งค่า Q_{c90} จากแบบจำลองก็มีช่วงความคลาดเคลื่อนอยู่แล้ว เมื่อนำมาหารกันจึงทำให้ค่าช่วงความคลาดเคลื่อนมีค่ามาก แต่ในการพิจารณาค่าความผิดพลาดของแบบ-

จำลองโดยทั่วไปจะคิดที่ค่า Q_{ci} จากแบบจำลองเทียบกับ Q_{ci} จากข้อมูลการทดลองเท่านั้น ดังที่แสดงไว้ในหัวข้อ 4.1

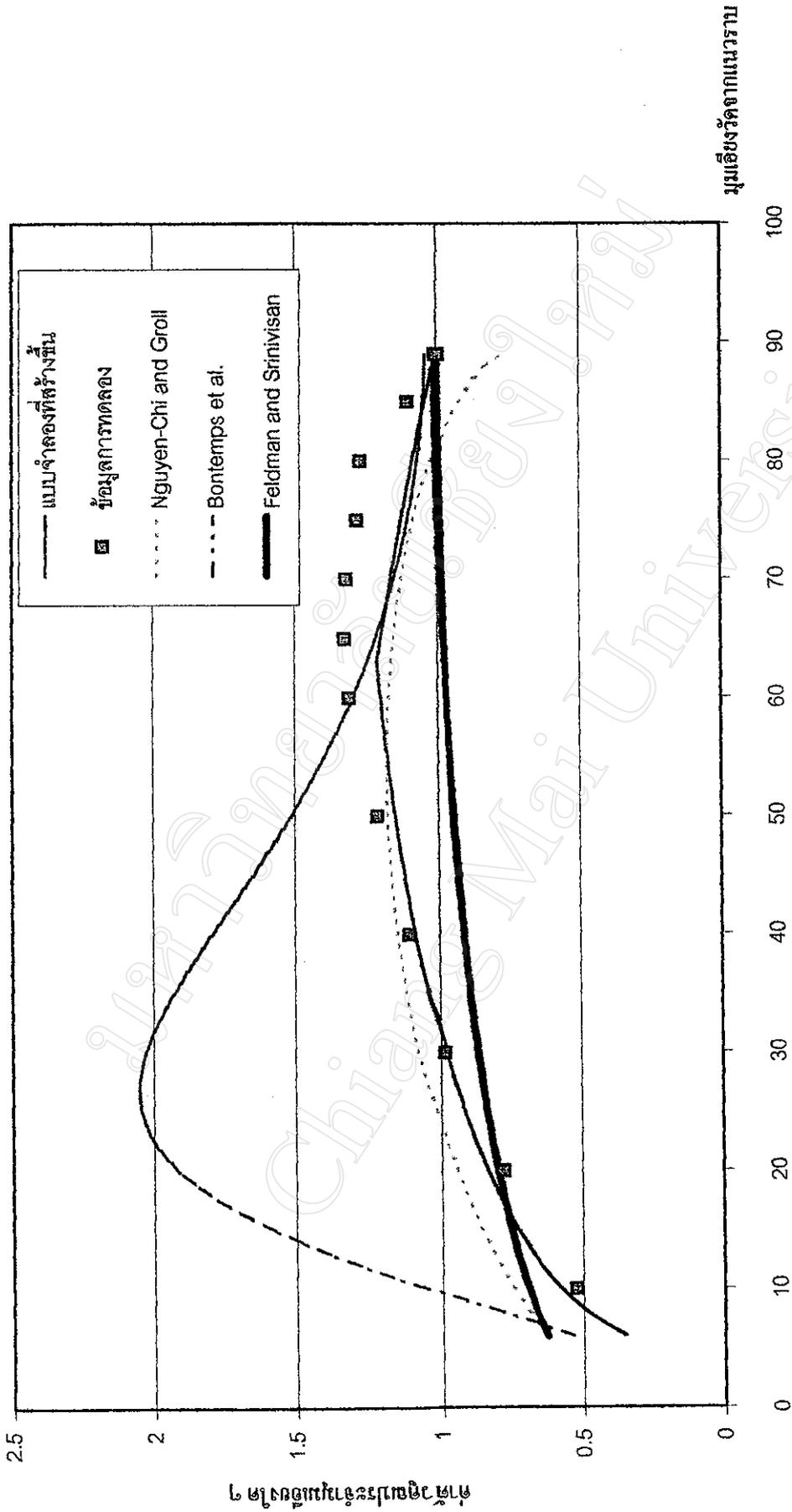
จากรายงานของ Terdtoon et al. [19] กล่าวว่าสารทำงานไม่มีผลต่อ Q_{ci}/Q_{c90} ซึ่งแบบจำลองที่สร้างขึ้นก็มีแนวโน้มสอดคล้องกับรายงานดังกล่าว

ดังนั้นสรุปได้ว่า ชนิดสารทำงานไม่มีผลต่อค่าอัตราส่วนการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงใดๆต่อการส่งผ่านความร้อนวิกฤติในแนวตั้ง



รูป 4.2 ค่าตัวคูณประจําอนุกรมของแบบจำลองที่สร้างขึ้นเทียบกับแบบจำลองของนักวิจัยท่านอื่น

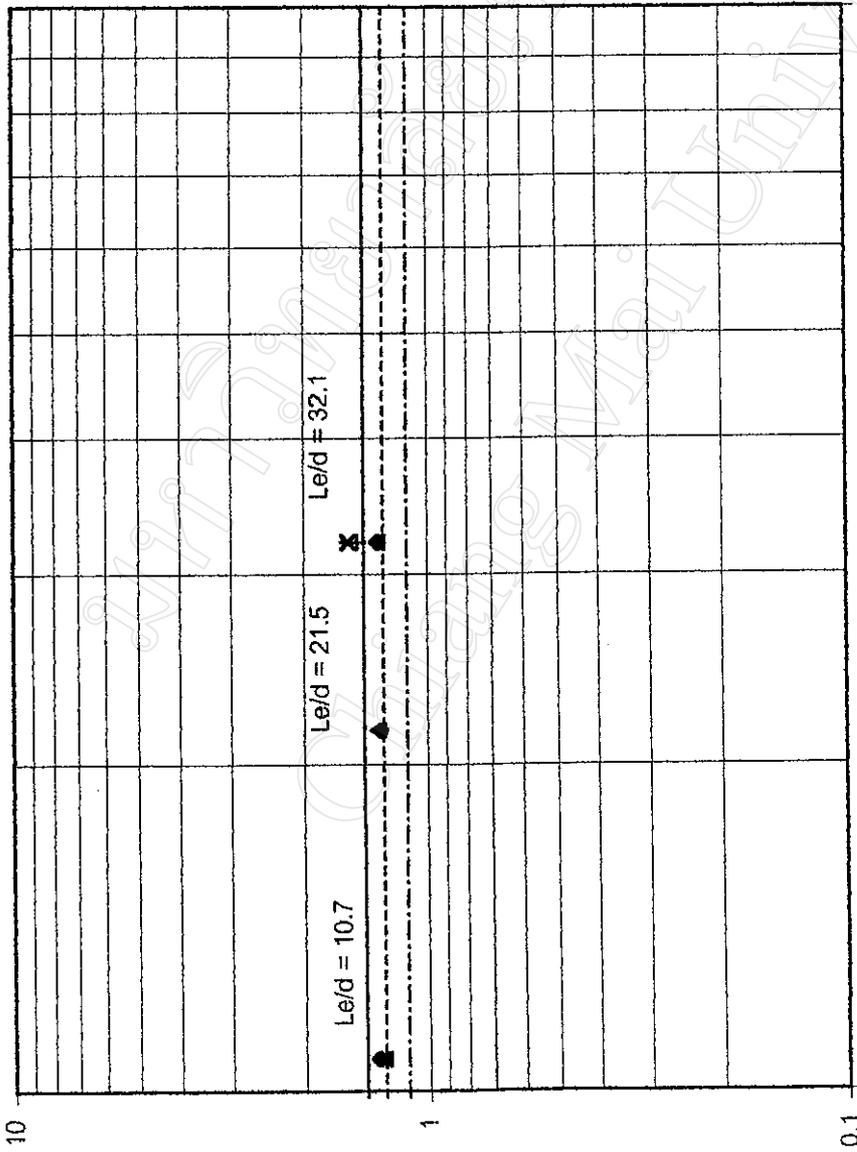
กรณีสารทำงานเป็น Ethanol $Le/d = 21.5$ ความดันทำงาน 1 บรรยากาศ



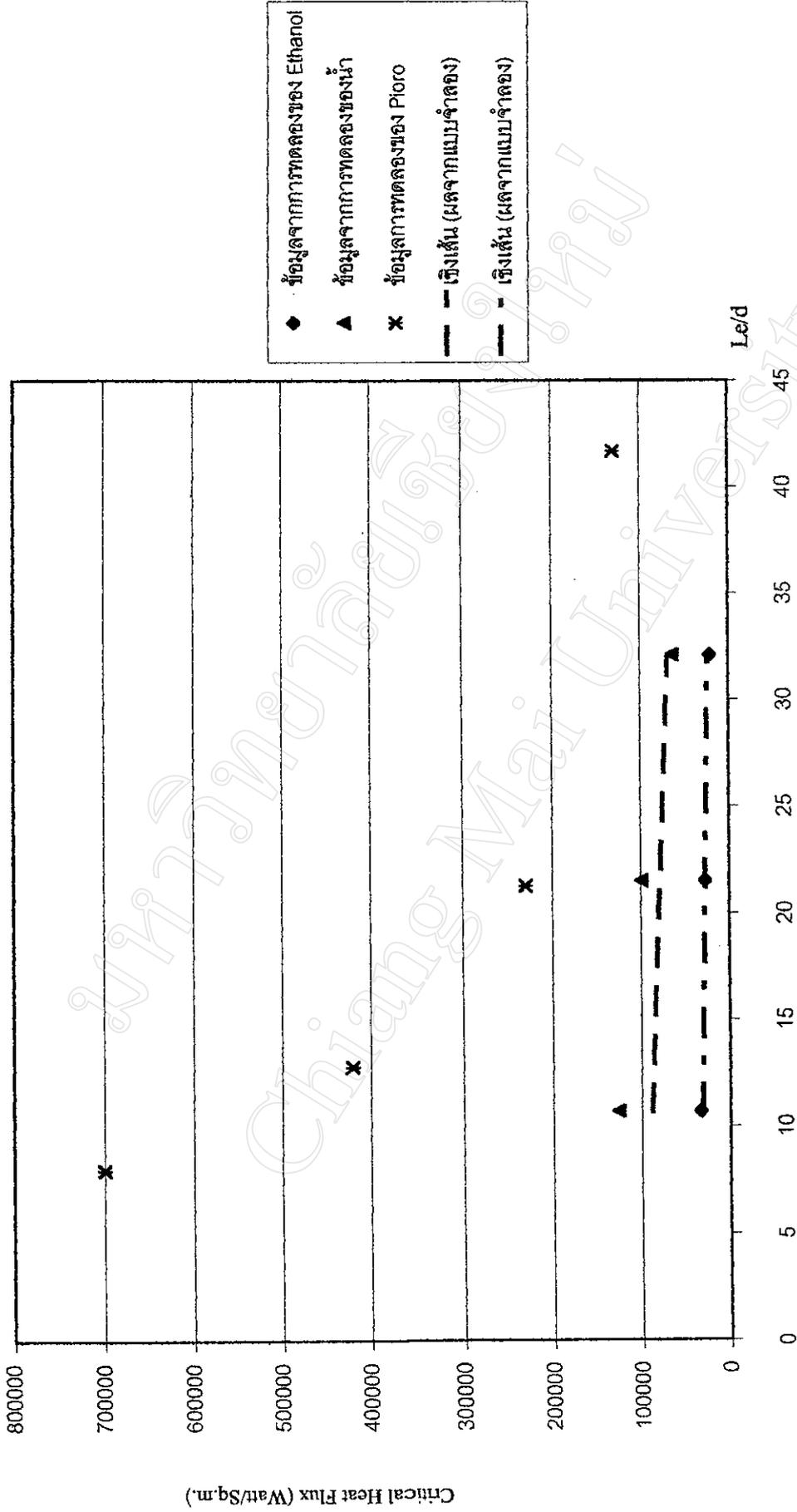
รูป 4.3 ค่าตัวคูณประจําอนุภาครังสีของแบบจำลองที่สร้างขึ้นเทียบกับแบบจำลองของนักวิจัยท่านอื่น

กรณีสารทำงานเป็นน้ำ $Le/d = 21.5$ ความดันทำงาน 1 บรรยากาศ

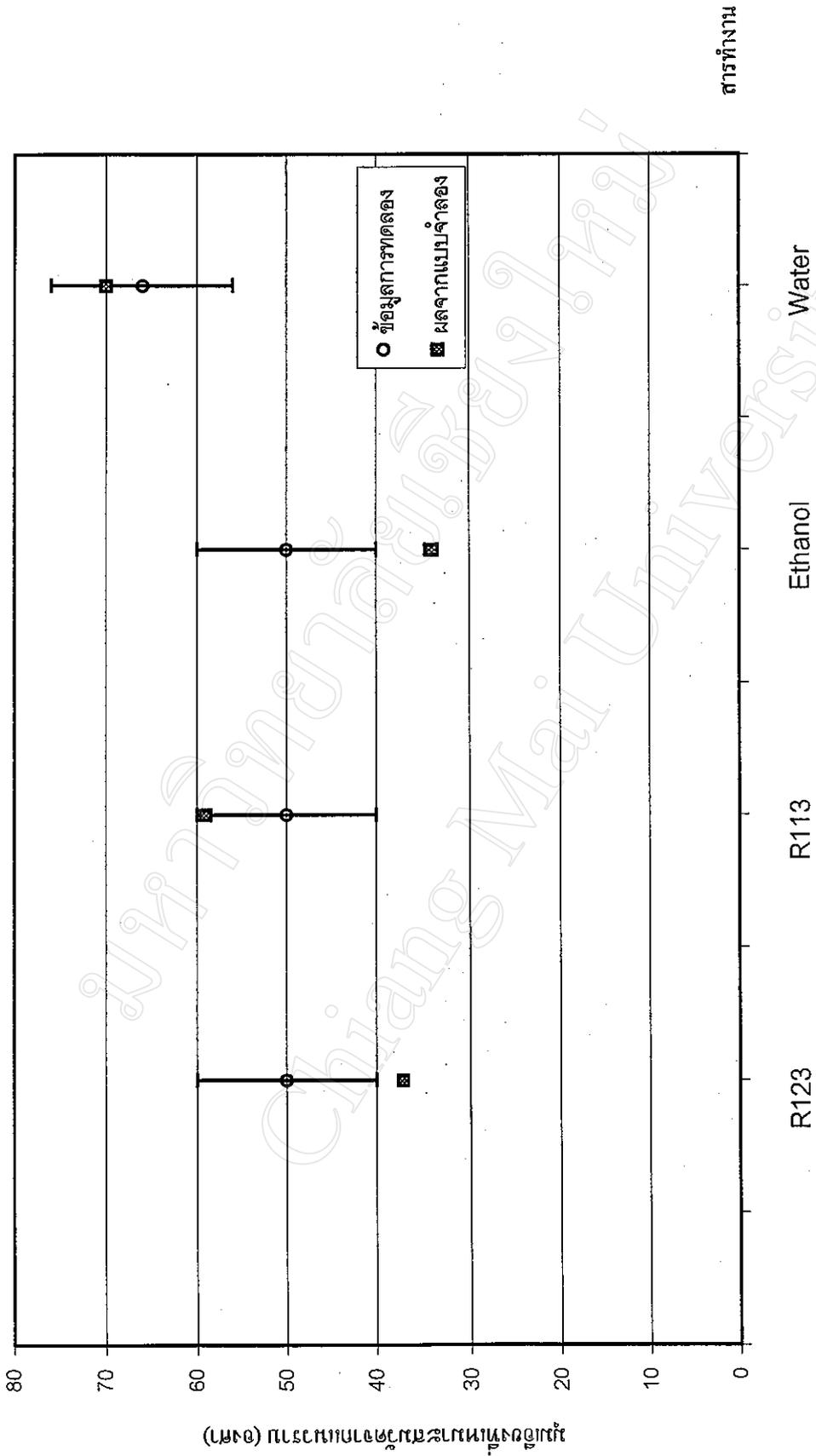
Qcimax/Qe90



รูป 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Qcimax/Qe90 กับ Le/d โดยใช้ข้อมูลการทดลองของ Shiraiishi et al.[16] เปรียบเทียบกับแบบจำลองที่สร้างขึ้น

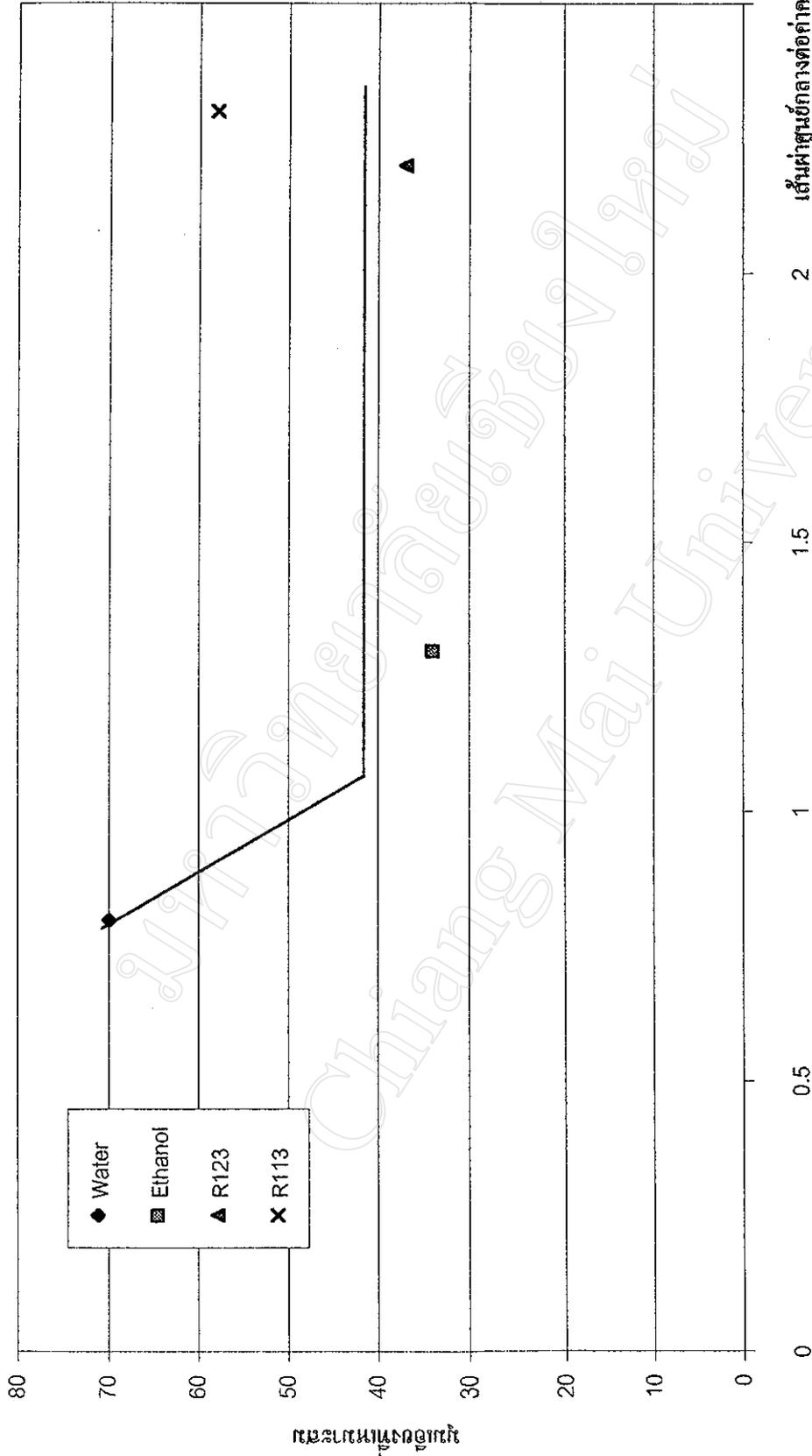


รูป 4.5 กราฟแสดงผลของ Le/d ต่อค่าความหนาแน่นความร้อนวิกฤติ



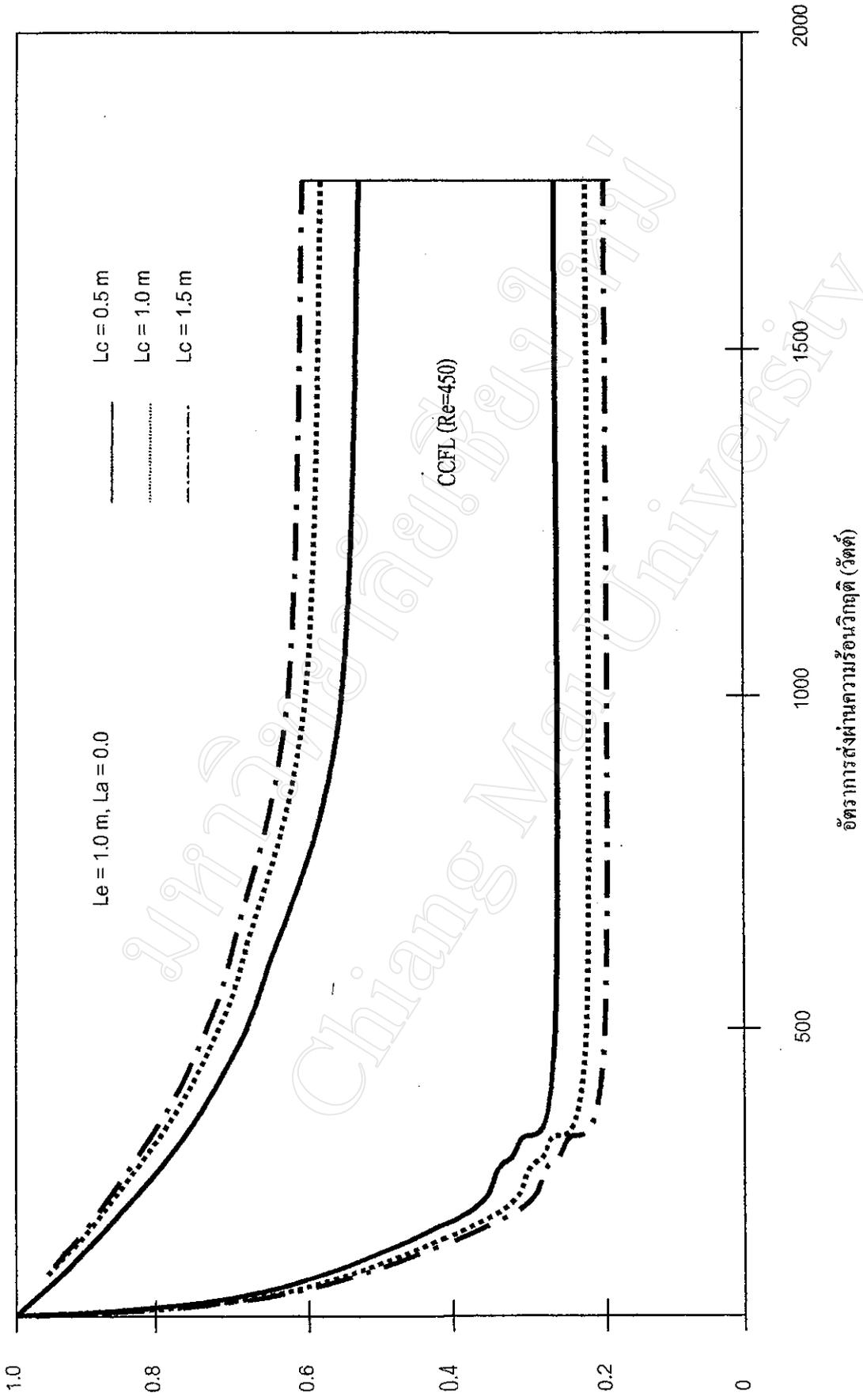
รูป 4.6 กราฟแสดงมุมที่เหมาะสมของสารทำงานชนิดต่างๆ กรณี $Le = 0.15, 0.30$ และ 0.45 เมตร $L_c = 0.44$ เมตร $d = 14$ มิลลิเมตร

สารทำงาน

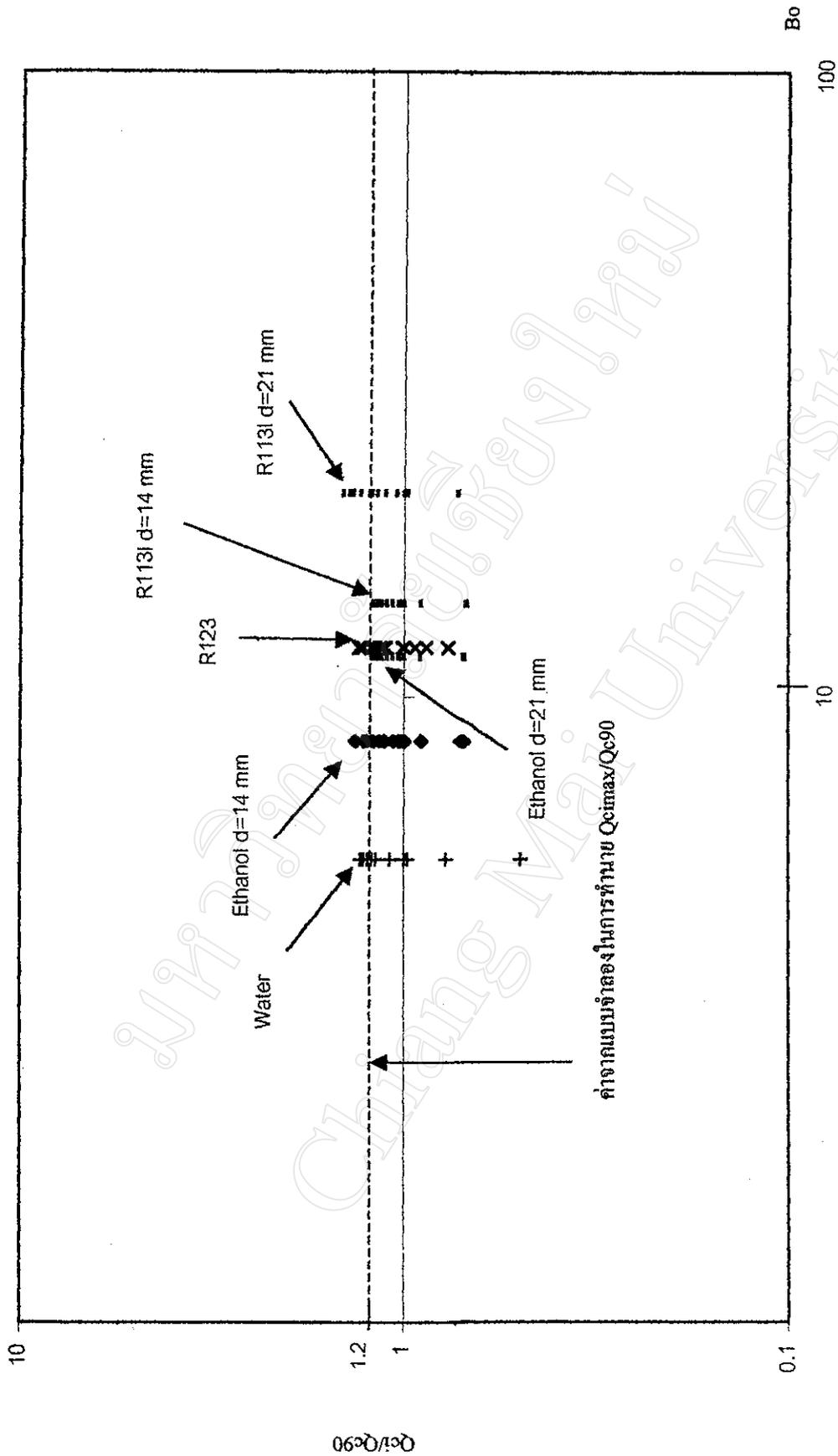


รูป 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงที่เหมาะสมและค่าเส้นค่าศูนย์กลางต่อค่าความยาวคลื่นวิกฤติ

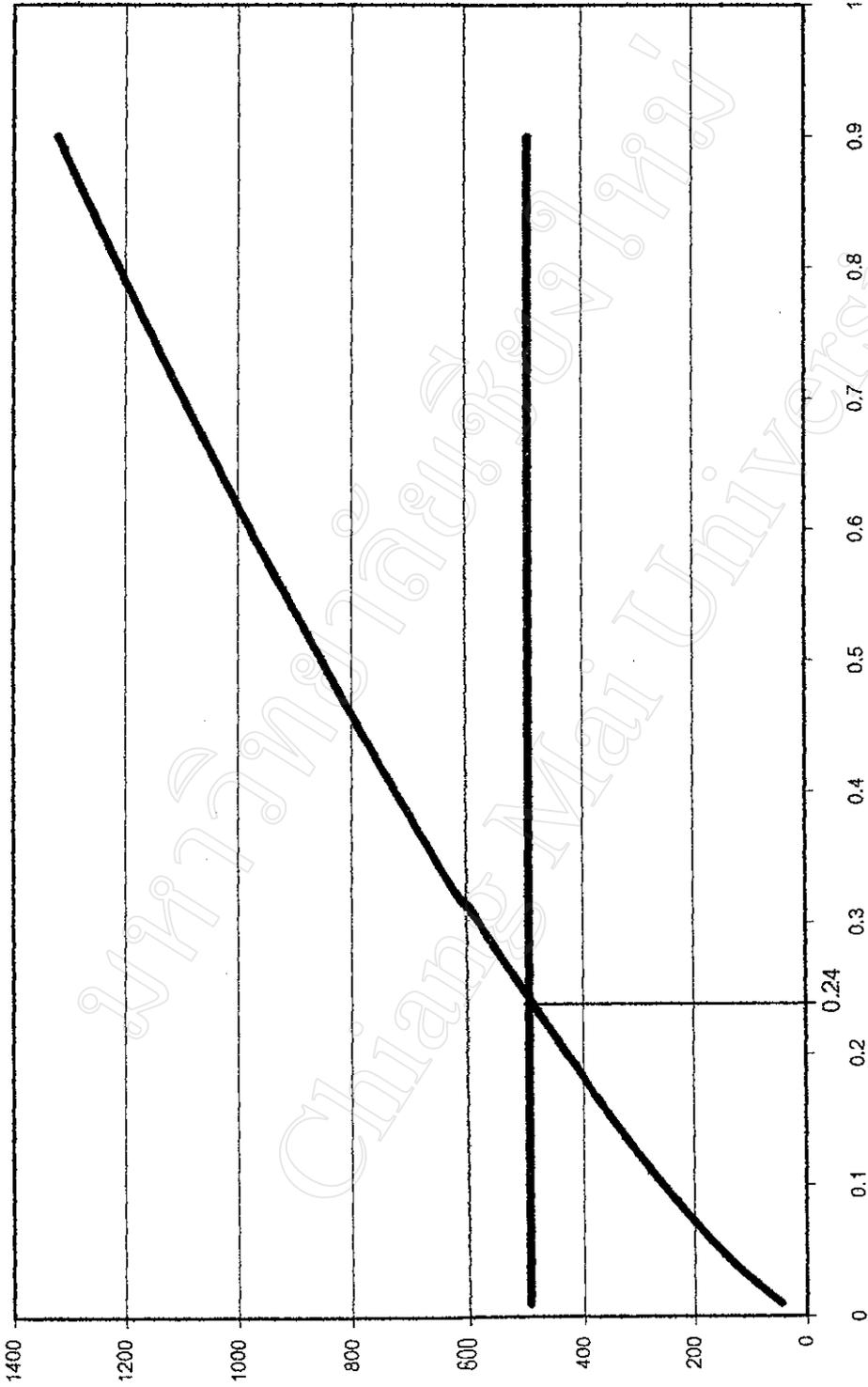
อัตราส่วนการเติมเริ่มต้น



รูปที่ 4.9 แสดงผลการทำนายของ Saber ในการทำนายผลของความยาวส่วนความแน่นอนต่ออัตราการส่งผ่านความร้อน



รูป 4.10 แสดงผลของ B_o ต่อค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียง โดยต่อค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่แนวตั้ง (Q_{c1}/Q_{c90})

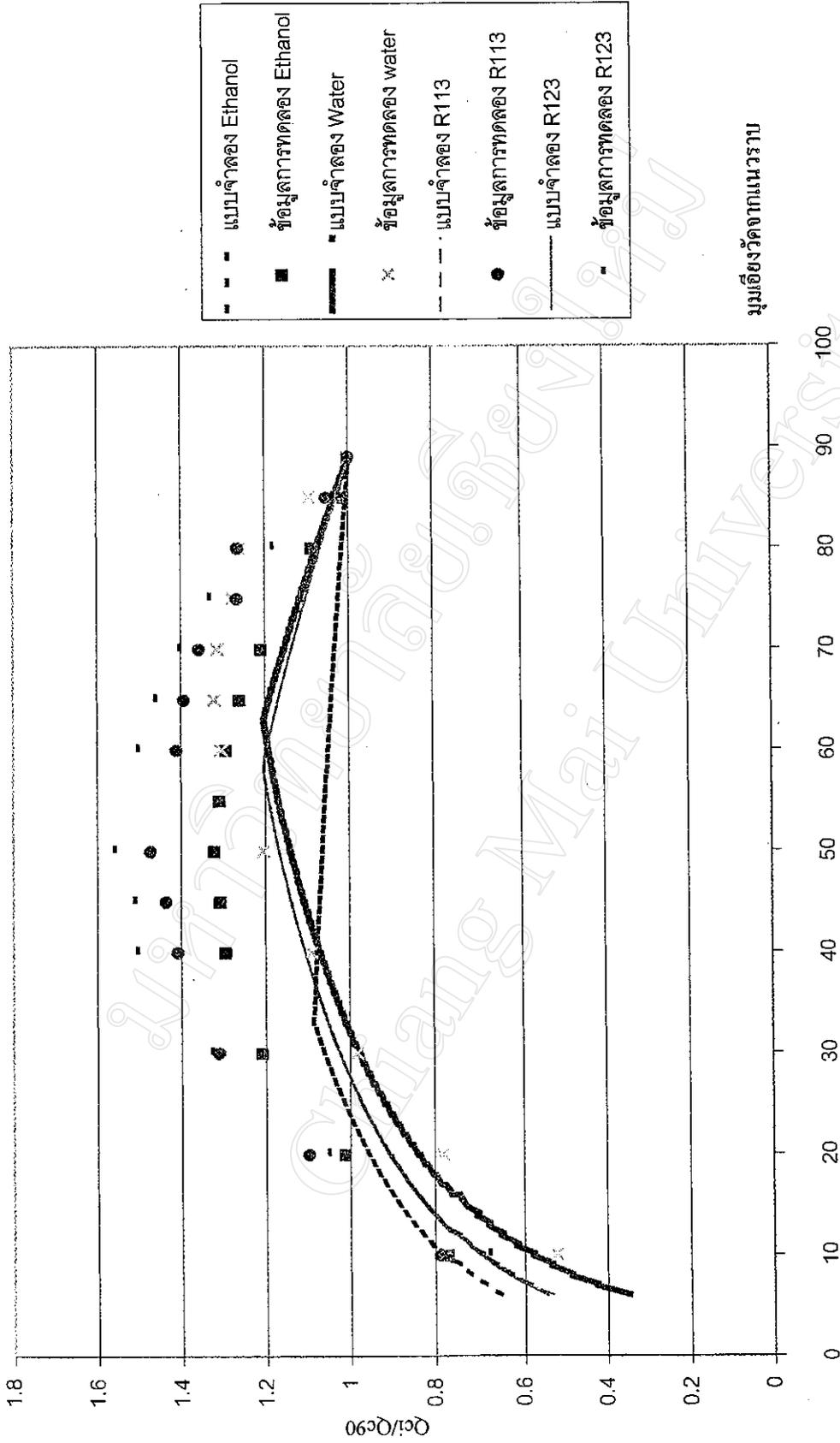


รูปที่ 4.11 แสดงค่าอัตราส่วนการเติมที่ฟิล์มเคลือบผนังท่อโรโมไซฟอนได้ทั่วพอดี

ในกรณีนี้สารทำงานเป็น R113 $Le/d = 21$ $d = 21$ mm. $T_v = 50$ C

อัตราการถ่ายเทความร้อน (Watt)

อัตราส่วนการเติม



มุมมองวัดจากแนวราบ

รูป 4.12 แสดงผลของค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนที่มุมเอียง ใดๆต่อค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติในแนวตั้งของสารทำงานต่างๆ