# บทที่ 5
# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลแบบจำลอง

จากการสร้างแบบจำลองเพื่อหาค่าขีดจำกัดสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนปิดสองสถานะแบบเอียงได้ผลดังนี้

5.1.1 แบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้สามารถทำนายอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงใดๆด้วยช่วงความผิดพลาด $\pm 25\%$

5.1.2 จากแบบจำลองสรุปได้ว่าค่าอัตราส่วนสนทรรศน์ไม่มีผลต่อค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดต่อค่าการส่งผ่านความร้อนวิกฤติในแนวดิ่ง ($Q_{cinax}$ /$Q_{c90}$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Terdtoon et al. [20 ]

5.1.3 กรณีสารทำงานเป็น Ethanol ที่อุณหภูมิทำงาน 77.16 °C ค่า $q_{cmax}$ จะลดลง 31.25 % เมื่อค่า Le/d เพิ่มขึ้น 67.07 % และในสารทำงานอื่นๆก็มีแนวโน้มว่า $q_{cmax}$ จะลดลงเมื่อค่า Le/d มีค่าเพิ่มขึ้น

5.1.4 จากการทำนายด้วยแบบจำลอง น้ำ, R113, R123 และ Ethanol มีค่ามุมเอียงที่เหมาะสมซึ่งทำให้เกิดค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุด 70, 58,37 และ 34 องศาตามลำดับ

5.1.5 กรณีสารทำงานเป็น R113 และอุณหภูมิทำงาน 50°C เมื่อความยาวส่วนควบแน่นมากขึ้น 50% ในขณะที่ส่วนทำระเหยมีความยาวคงที่จะทำให้ค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดมีค่าลดลง 38.9% และในสารทำงานอื่นๆก็มีแนวโน้มว่าเมื่อความยาวส่วนควบแน่นมากขึ้นในขณะที่ส่วนทำระเหยมีความยาวคงที่จะทำให้ค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดมีค่าลดลง

5.1.6 ตัวเลขของบอนด์ไม่มีผลกระทบกับค่าอัตราส่วนการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงใดๆต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติในแนวดิ่ง

5.1.7 อัตราส่วนการเติมที่มีผลต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสามารถหาได้โดยใช้ค่าที่สูงสุดจาก

$$F = 1.4 * V^{+} \qquad \text{หรือ}$$

$$F_{film} = 2 * \frac{V_{film}}{\pi r^2 L_e}$$

และอัตราส่วนการเติมที่มากกว่าค่าที่หาได้นี้จะไม่มีผลต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติ

5.1.8 ชนิดสารทำงานไม่มีผลต่อค่าอัตราส่วนการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงใดๆต่อการส่งผ่านความร้อนวิกฤติในแนวดิ่ง

**5.2 ข้อเสนอแนะ**

แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถทำนายและอธิบายขีดจำกัดสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนได้ระดับหนึ่ง ซึ่งยังคงต้องการการพัฒนาแบบจำลองต่อไปเพื่อให้ได้ผลการทำนายที่ดียิ่งขึ้น ซึ่งแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองนี้มีดังนี้

**5.2.1 การพิจารณาผลของความเค้นเฉือนเนื่องจากความเร็วไอ**

ในแบบจำลองนี้คิดผลของของเหลวที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนในเทอร์โมไซฟอนเป็นหลัก โดยพิจารณาผลทางกลศาสตร์ของไอน้อยมาก ดังจะพบในส่วนของการพิจารณาฟิล์มควบแน่น ซึ่งความเป็นจริง ไอที่เกิดขึ้นในเทอร์โมไซฟอนก็มีส่วนอย่างมากในการควบคุมอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติ ดังนั้น จึงน่าจะพัฒนาแบบจำลองต่อไปโดยคำนึงถึงค่าความเค้นเฉือนที่ผิวหน้าของเหลวที่เกิดจากคความเร็วของไอ เพื่อที่จะทำให้การหาความหนาฟิล์มส่วนควบแน่นมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

**5.2.2 การพัฒนาแบบจำลองโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับการไหลสองสถานะ**

พฤติกรรมของของเหลวในส่วนทำระเหยนั้น ในความเป็นจริงมีลักษณะเป็นของเหลวสองสถานะ ซึ่งในแบบจำลองนี้ใช้การย่อปัญหาลงโดยการพิจารณาเป็นของไหลเฟสเดียว ซึ่งทำให้แบบจำลองนี้ต้องทำการปรับค่าความหนาแน่นของของเหลวในแอ่งโดยวิธีการต่างๆ สำหรับสารทำงานแต่ละชนิด ซึ่งเป็นสิ่งไม่น่าพึงประสงค์สำหรับแบบจำลองเชิงวิเคราะห์ การใช้ความรู้เกี่ยวกับการไหลสองสถานะในการปรับปรุงแบบจำลองนี้น่าจะทำให้แบบจำลองมีความรัดกุม และแม่นยำมากขึ้น

**5.2.3 ผลของสารที่เป็นแหล่งอุณหภูมิให้กับเทอร์โมไซฟอน**

ในแบบจำลองนี้การพิจารณาแหล่งอุณหภูมิที่ทั้งปลายส่วนทำระเหยและควบแน่นเป็นแบบแหล่งอุณหภูมิขนาดใหญ่ ซึ่งในการใช้งานจริงอุณหภูมิขาเข้า และออกของสารที่ให้ความร้อนและรับความร้อนจากเทอร์โมไซฟอนนั้นจะมีค่าแตกต่างกัน และการที่สารให้และรับความร้อนมีค่าความจุความร้อนจำเพาะต่างกัน ดังนั้นนอกจากความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น แล้วผลของสมบัติของสารที่เป็นแหล่งอุณหภูมิก็จะมีผลต่อขีดจำกัดของเทอร์โมไซฟอนด้วย ซึ่งในเรื่องนี้

แบบจำลองทุกแบบจำลองที่เกี่ยวกับอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติก็ไม่นำมาคิดเช่นเดียวกับแบบจำลองนี้ ซึ่งทำให้ยังน่าสงสัยอยู่

**5.2.4 ผลของชนิดวัสดุที่ใช้ทำตัวเทอร์โมไซฟอน**

ในแบบจำลองนี้ไม่ได้รวมผลของการนำความร้อนผ่านเปลือกเทอร์โมไซฟอน เนื่องจากแนวคิดที่ว่าแหล่งอุณหภูมิมีขนาดใหญ่มากระบบสู่สมดุลย์ตามกฎข้อที่ศูนย์ทางเทอร์โมไดนามิกส์แล้ว ซึ่งแบบจำลองอื่นก็เช่นกัน แต่ในความเป็นจริงแหล่งอุณหภูมิมีค่าไม่สม่ำเสมอ การพิจารณาผลในข้อนี้จะทำให้การหาค่าสมรรถนะในการทำงานจริงของเทอร์โมไซฟอนดียิ่งขึ้น

**5.2.5 การทำนายความหนาฟิล์มของเหลวในส่วนควบแน่น**

การคำนวณความหนาฟิล์มของเหลวในส่วนควบแน่นในงานวิจัยนี้ไม่ได้มีการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ใช้ทำนายความหนาฟิล์มของเหลว ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีข้อมูลความหนาฟิล์มของเหลวจากการทดลองในการยืนยันความถูกต้อง ดังนั้นหากมีการศึกษาทดลองต่อไปในการวัดความหนาฟิล์มในส่วนควบแน่นก็จะเป็นประโยชน์ในการตรวจสอบการทำนายความหนาฟิล์มของเหลวในส่วนควบแน่นและการทำนายค่าการนำความร้อนผ่านฟิล์มของเหลว.