บทที่ 7

สรุปผลการวิจัย อุปสรรค และแนวทางวิจัยในอนาคต

7.1 สรุปผลการวิจัย

ก. <u>เทคนิคการสร้างฮีทไปป์</u>

1. ได้พัฒนาปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตฮีทไปป์ไร้วิกค์ที่เอื้ออำนวยต่อการผลิตจำนวนมาก (mass production) โดยใช้ออยบาธต้มไอของของไหลใช้งานไปไล่อากาศออกจากฮีทไปป์ (evaporatio technique)

2. ฮีทไปป์ไร้วิกค์ที่สร้างขึ้นทำด้วยแก้วแข็ง เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 10 ม.ม. ภายใน 8 ม.ม. และความยาว 37 $\pm$ 1 ซม. จำนวนที่สร้างขึ้นทั้งหมดประมาณ 500 แท่ง

3. จากการทดลองและปรับปรุง พบว่าอุณหภูมิคงที่ของออยบาธที่เหมาะสมในการสร้างฮีทไปป์ไร้วิกค์คือ 120 - 125 $^{\circ}$C

4. เมื่อจุ่มแท่งฮีทไปป์ไร้วิกค์ที่ใส่น้ำไว้ 3 - 4 cc. ลงในออยบาธลึก 20 ซม. พบว่าเวลาที่ต้องใช้ต้มน้ำในฮีทไปป์ให้เริ่มเดือดคือ 2 นาที และอัตราการระเหยของน้ำจะประมาณ 0.06 กรัม/นาที

5. เวลาที่ควรจุ่มอยู่ในออยบาธที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างฮีทไปป์คือ 5 นาที

6. เมื่อใส่น้ำในแท่งฮีทไปป์ตอนแรก 3.3 cc. (น้ำสูงประมาณ 6.6 ซม.) แล้วใช้เวลาต้มในออยบาธ 5 นาที จะมีน้ำเหลือในแท่งฮีทไปป์ตอนสร้างเสร็จประมาณ 3 cc. หรือประมาณร้อยละ 15 ของปริมาตรภายในแท่งฮีทไปป์

7. คอคอดของปลายบนก่อนปิดผนึกจำต้องทำให้มีรูขนาดเล็ก เพื่อ

ไม่ให้อากาศวิ่งไหลสวนทางกลับเข้าไปในแท่งฮีทไปป์ และต้องมีขนาดของเนื้อแก้วหนาเพียงพอที่จะปิดผนึกและทนแรงดันไอในขณะใช้งานได้ด้วย

8. ควรเก็บฮีทไปป์ไร้วิกค์ซึ่งสร้างขึ้นไว้ในร่ม ไม่ควรปล่อยตากแดดไว้หลาย ๆ วัน เพราะอาจทำให้ฮีทไปป์เสื่อมคุณภาพลงได้

ข. <u>การทดสอบฮีทไปป์ไร้วิกค์ 1 แท่ง</u>

9. จากการทดสอบสมรรถนะฮีทไปป์ไร้วิกค์แก้ว พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยประมาณ 4, 8, 20, 40 วัตต์ เมื่อป้อนกำลังไฟฟ้า 13, 20 และ 40, 80 วัตต์ ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันและเมื่อด้านระเหยอยู่ในน้ำมันอุณหภูมิ 60, 80, 120, 150 °C จะได้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยประมาณ 5, 13, 25, 66 วัตต์ ตามลำดับ

10. จากผลการทดสอบขั้นต้น พบว่าเมื่อจุ่มฮีทไปป์ลงออยบาธที่อุณหภูมิคงที่ 90 °C แล้วจับเวลาตอบสนอง ถ้าเวลาที่ใช้น้อยกว่า 2 นาที ถือเป็นกลุ่มที่มีคุณภาพดี ถ้าใช้เวลา 2-3 นาที ก็เป็นกลุ่มคุณภาพปานกลาง ถ้าใช้เวลา 3-6 นาที ก็เป็นกลุ่มคุณภาพค่อนข้างต่ำ ถ้ามากกว่า 6 นาที เป็นพวกคุณภาพไม่ดีพอสำหรับการใช้งาน

11. จากประสบการณ์ในการสร้างทั้งหมดประมาณ 500 แท่ง พบว่าร้อยละ 70 จะเป็นฮีทไปป์ที่ใช้งานได้ ส่วนร้อยละ 30 จะเสียเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ กัน อนึ่ง ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างตั้งแต่ต้นขบวนการถึงสิ้นสุดขบวนการสร้างคือ 3 คน-ชม. ต่อแท่ง

12. จากการสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในแท่งฮีทไปป์ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในระหว่างใช้งาน พบว่าแท่งที่มีคุณภาพดีจะเห็นหยดน้ำเกาะเป็นหยดเล็ก ๆ ในช่วงการควบแน่นของฮีทไปป์ และมีสายน้ำวิ่งกลับลงไปช่วงการระเหย ส่วนในแท่งที่มีคุณภาพปานกลางจะเห็นหยดน้ำน้อยหรือเป็นแผ่นฟิล์มบางตลอดแท่ง ตั้งแต่ช่วงการควบแน่นลงมาจนถึงช่วงการระเหย (จากการทดลองกับเทอร์โมโซฟอน ของ Andros (14) พบว่า การทำงานที่มีลักษณะเป็นหยดน้ำนี้จะมีคุณภาพการถ่ายเทความร้อนเป็น 2-20 เท่า ของแบบธรรมดา)

13. การกระจายอุณหภูมิบนผิวฮีทไปป์ไร้วิกค์ ที่ป้อนความร้อนโดยใช้ขดลวดไฟฟ้า บริเวณที่มีของเหลวใช้งานบรรจุอยู่จะมีอุณหภูมิสูง ถัดขึ้นมาบริเวณไหนมีสายน้ำไหลผ่านอุณหภูมิจะต่ำ บริเวณไหนแห้งจะมีอุณหภูมิสูง ส่วนช่วงการควบแน่นและช่วงอะไดอะเบติค จะมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่

14. ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนภายในแท่งฮีทไปป์ไร้วิกค์ 1 แท่ง พบว่า บริเวณที่มีของเหลวใช้งานบรรจุอยู่จะเป็นบริเวณที่มีความต้านทานการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด ซึ่งเป็นตัวกำหนดลักษณะการถ่ายเทความร้อนของแท่งฮีทไปป์ไร้วิกค์ และการหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในแท่งฮีทไปป์ไร้วิกค์ ที่ช่วงการระเหยบริเวณที่มีของเหลวบรรจุอยู่อาจใช้สมการการถ่ายเทความร้อนของการเดือดของ Rohsenow ได้ ส่วนบริเวณถัดขึ้นมาจนถึงช่วงควบแน่นอาจใช้ทฤษฎีฟิล์มของนัสเซลท์ (Nusselt Film Theory)

15. การทดสอบสมรรถนะของฮีทไปป์ไร้วิกค์ 1 แท่ง เมื่อเปลี่ยนมุมเอียงต่าง ๆ กัน พบว่า ที่มุมเอียงจากแนวระดับขึ้นมาถ้ามุมโตขึ้น อัตราการถ่ายเทความร้อนจะสูงขึ้นและสูงสุดที่มุม 70° จากนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจะลดต่ำลงที่ 90 องศา

ค. <u>การทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน</u>

16. อัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าสูงขึ้นร้อยละ 40, 60, 90, 100 เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นจาก 4 เป็น 7, 10, 13, 16, ลิตร/นาที ตามลำดับ

17. จากการทดลองสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมต่าง ๆ กัน (5, 25, 40, 70, 90 องศา) พบว่าที่มุม 90 องศา อัตราการถ่ายเทความร้อนจะสูงที่สุด

18. เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำร้อนและเย็นมีค่าสูงสุดประมาณ 16 ลิตร/นาที (เทียบเป็น Reynolds number สูงสุดไม่เกิน 400) ดังนั้นสภาพการไหลจึงเป็นแบบชั้น ๆ (Laminar flow) ผลก็คือ ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มที่อยู่รอบผิวนอกของแท่งฮีทไปป์ทั้งด้านน้ำร้อนและ

น้ำเย็นจึงมีค่าสูงมาก และผลรวมของความต้านทานดังกล่าวจึงเป็นตัวกำหนดอัตราการถ่ายเทความร้อนที่วัดได้จริงโดยปริยาย

19. เมื่อตั้งอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไว้ที่ 50, 60, 70, 80 °C ตามลำดับ พบว่า ส.ป.ส. การถ่ายเทความร้อน (UA) ไม่เปลี่ยนแปลงนัก แต่อัตราการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำร้อนสูงขึ้น

20. การคำนวณออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ใช้ได้ทั้งวิธีรูปจำลองการนำความร้อน (Conductance) และวิธี E-NTU ซึ่งทั้ง 2 วิธีต่างก็ให้ผลเหมือนกัน อนึ่ง ในกรณีคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อน ถ้ากำหนดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนให้ทุกตัว ถ้าใช้วิธี E-NTU จะง่ายกว่าวิธีรูปจำลองการนำความร้อน

21. สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของแท่งฮีทไปป์ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่วัดได้ 3-16 Watt/แท่ง หรือเทียบเป็น $UA_{1.7}$ เท่ากับ 0.12 - 0.43 Watt/ °C /แท่ง

22. การกระจายของอุณหภูมิตามความยาวของแท่งฮีทไปป์ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าโดยทั่วไปอุณหภูมิในช่วงการควบแน่นจะแตกต่างกันน้อยลงเมื่ออัตราการไหลเร็วขึ้น ปรากฏการณ์ทำนองเดียวกันนี้พบเห็นที่ช่วงการระเหยเช่นกัน

7.2 อุปสรรค์และปัญหาในการวิจัย

1. เนื่องจากเทคโนโลยีเกี่ยวกับฮีทไปป์ไร้วิกค์ภายในประเทศยังไม่มีมาก่อน จึงต้องใช้เวลาค่อนข้างมากในการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ในการสร้างฮีทไปป์ขึ้นเอง

2. การผลิตฮีทไปป์เป็นจำนวน 500 แท่ง ต้องใช้เวลาถึง 1,500 คน-ชม. ซึ่งมากกว่าที่เคยคาดคะเนไว้

3. ในการติดตั้งแท่งฮีทไปป์จำนวน 243 แท่งในพื้นที่ 19 x 52 ซม. ซึ่งฮีทไปป์อยู่ชิดกันมาก การทากาวจะต้องใช้ความระมัดระวังและทำได้เพียงคนเดียว โดยทากาวทีละแท่ง ปัญหาที่ประสบมากในขั้นตอนนี้คือ เมื่อทากาวและปล่อยให้แห้งแล้ว ถ้าทดสอบพบการรั่ว จะต้องรื้อออกมาทำใหม่หมด ซึ่งเป็นเรื่องยุ่งยากมากและต้องค่อย ๆ ขูดลอกกาวออก โดยระวังไม่ให้แท่งฮีทไปป์แตก นอกจากนั้นฮีทไปป์บางแท่งก็ติดเทอร์โมคัพเบิลที่ปลายทั้ง 2 แล้วทำให้การทำความสะอาดผิวในตอนรื้อซ่อมแซมยิ่งยุ่งยากมาก

4. อุปกรณ์ส่วนใหญ่ต้องสร้างขึ้นเองเพราะงบประมาณวิจัยมีจำกัดมาก ดังนั้นจึงเสียเวลาค่อนข้างมากและการใช้งานก็ค่อนข้างยุ่งยาก ต้องคอยตรวจสอบซ่อมแซมเปลี่ยนแปลงแก้ไขอยู่เสมอ

7.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยต่อไป

จากการศึกษาและพัฒนางานที่เกี่ยวกับฮีทไปป์ในห้องปฏิบัติการนี้ เทคโนโลยีที่เกี่ยวกับฮีทไปป์ที่ได้สะสมมามีมากพอสมควรที่น่าจะศึกษาและทดลองสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ชนิดต่าง ๆ ในระดับที่ใช้กับงานอุตสาหกรรมขึ้นอย่างเป็นจริงเป็นจังเพื่อประโยชน์ในการพัฒนาการใช้เทคโนโลยีฮีทไปป์ ในการใช้พลังงานอย่างมีคุณค่าขึ้นภายในประเทศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย