

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเกิดฟาวลิง และผลกระทบต่อสมรรถนะทางความร้อนของข่ായงาน เครื่องเปลี่ยนความร้อนจำนวน 19 เครื่องที่การดำเนินงานเป็นเวลาต่อเนื่อง 600 วัน โดยศึกษาจากกระบวนการอุ่นน้ำมันดิบในโรงงานอุตสาหกรรมจริง และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งต้องพิจารณาหาค่าเวลาการเกิดฟาวลิง และค่าซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็นที่เหมาะสมกับกระบวนการดำเนินงานจริง ทั้งนี้เพื่อสามารถนำไปปรับปรุงความถูกต้องของแบบจำลอง และสามารถอธิบายพฤติกรรมของการเกิดฟาวลิงได้ถูกต้องหรือใกล้เคียงกับกระบวนการดำเนินการจริงมากที่สุด อีกทั้งสามารถทำนายอัตราการเกิดฟาวลิงในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของข่ായงานทั้งระบบและยังหาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมสำหรับข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการอุ่นน้ำมันดิบที่นำมาศึกษาได้

การศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผ่านสมการการเกิดฟาวลิง 4 รูปแบบได้แก่ สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง (Linear fouling model) สมการการเกิดฟาวลิงแบบกฏยกกำลัง (Power-law fouling model) สมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model) และสมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model) โดยนำข้อมูลอุณหภูมิขาออกสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบที่ออกมาจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรวมทั้ง 19 เครื่องในข่ายงานแลกเปลี่ยนความร้อนมาเทียบกับผลอุณหภูมิขาออกที่ได้จากการจำลอง ทั้งนี้ในการจำลองต้องผ่านกระบวนการหาค่าเวลาในการเกิดฟาวลิง และหาค่าซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็นที่เหมาะสมกับกระบวนการดำเนินงานจริง ด้วยวิธีการค้นหาตัวแปรแบบสุ่ม (Random Search)

ค่าความต่างคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ใช้ในการบ่งบอกความแม่นยำ ความเที่ยงตรงของการทำนายจากแบบจำลอง ซึ่งเมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ได้แก่ ค่าเวลาในการเกิดฟาวลิง และค่าซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็นลงในแบบจำลอง เพื่อให้รูปแบบอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบมีค่าความคลาดเคลื่อน หรือความต่างคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุด และผลจากการจำลองต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เก็บได้จากโรงงานอุตสาหกรรมจริง

จากการจำลองเลียนแบบกระบวนการดำเนินงานจริง พบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในข่ายงานโดยส่วนใหญ่มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง คิดเป็น 42 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E5 (RMSE เท่ากับ 2.1269) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E9 (RMSE เท่ากับ 2.0875) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E11 (RMSE เท่ากับ 3.6787) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E13 (RMSE เท่ากับ 4.0653) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E14 (RMSE เท่ากับ 2.7362) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E15 (RMSE เท่ากับ 1.7029) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E16 (RMSE เท่ากับ 1.1299) และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E19 (RMSE เท่ากับ 1.7252) ถัดมาคิดเป็น 37 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงแบบกฏยกกำลัง ได้แก่ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E1 (RMSE เท่ากับ 2.4483) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E2 (RMSE เท่ากับ 4.6881) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E6 (RMSE เท่ากับ 1.8765) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E7 (RMSE เท่ากับ 1.7087) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E10 (RMSE เท่ากับ 3.7013) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E12 (RMSE เท่ากับ 2.3593) และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E18 (RMSE เท่ากับ 1.8244) ทั้งนี้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในข่ายงานคิดเป็น 16 เปอร์เซ็นต์ ที่มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง ได้แก่ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E3 (RMSE เท่ากับ 3.1443) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E4 (RMSE เท่ากับ 3.9525) และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E8 (RMSE เท่ากับ 1.9702) และรูปแบบสุดท้ายคือ การเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล ได้แก่ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E17 (RMSE เท่ากับ 1.1130)

หลังจากศึกษารูปแบบการเกิดฟาวลิงที่เหมาะสมกับกระบวนการดำเนินการจริง ได้พัฒนาแบบจำลองการเกิดฟาวลิงที่มีผลต่อสมรรถนะทางความร้อน ซึ่งจากข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการอุ่นน้ำมันดิบที่นำมาศึกษามี 3 กระบวนการหลัก ได้แก่ กระบวนการกำจัดเกลือ (Desalted) กระบวนการแยกลำดับส่วน (Flash) และกระบวนการกลั่น (Distillation) หากอุณหภูมิของน้ำมันดิบก่อนเข้ากระบวนการไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบไม่ได้คุณภาพ และยังทำให้ต้องสูญเสียพลังงานสำหรับการให้ความร้อนกับน้ำมันดิบแบบจำลองจึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการหาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เป็นคอขวด (Critical Heat Exchanger) ที่มีผลต้องให้เพิ่มพลังงานให้กับระบบมากที่สุด ทำการจำลองโดยทดลองเพิ่มค่าการเกิดฟาวลิงจากตัวแปรพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลองก่อนหน้านี้ ได้แก่ ค่าเวลาในการเกิดฟาวลิง และค่าซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิง เพื่อให้สามารถเทียบหาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลทำให้เกิดความสูญเสียพลังงานเพิ่มมากที่สุด จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงให้ค่าเวลาในการเกิดฟาวลิงลดลง 10 เปอร์เซ็นต์

และค่าซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็นเพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าที่ลดและเพิ่มดังกล่าวจะมีผลทำให้ค่าการเกิดฟาวลิงเพิ่มขึ้น และส่งผลต่ออุณหภูมิสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบที่ต้องส่งเข้าทั้ง 3 กระบวนการหลัก จนกระทั่งสามารถแสดงผลการจำลองออกมาในรูปของพลังงานความร้อนที่ต้องสูญเสียในระบบ

ผลจากการพัฒนาแบบจำลอง พบว่าที่ระยะการดำเนินการต่อเนื่อง 600 วัน เมื่อลดค่าเวลาในการเกิดฟาวลิงลง 10 เปอร์เซ็นต์ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลทำให้ขบวนการต้องสูญเสียพลังงานความร้อนมากที่สุด (Critical Heat Exchanger) คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E3 โดยสูญเสียพลังงานความร้อนเท่ากับ 9.30×10^7 กิโลวัตต์ และเมื่อเพิ่มค่าซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็นขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลทำให้ขบวนการต้องสูญเสียพลังงานความร้อนมากที่สุด (Critical Heat Exchanger) คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E2 โดยสูญเสียพลังงานความร้อนเท่ากับ 5.48×10^8 กิโลวัตต์

จากนั้นได้นำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยลดค่าเวลาในการเกิดฟาวลิง และเพิ่มค่าซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลทำให้ต้องสูญเสียพลังงานความร้อนมากที่สุด (Critical Heat Exchanger) ได้แก่ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E3 และ E2 ทุก ๆ 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทั้งสองกับค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียให้กับขบวนการ พบว่า ลักษณะความสัมพันธ์ของกราฟเป็นเชิงเส้น (Linear) อธิบายจากความสัมพันธ์ของสมการที่นำมาเขียนแบบจำลองได้ว่า เมื่อลดค่าเวลาการเกิดฟาวลิงลงหรือเพิ่มค่าที่ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น จะมีผลทำให้ค่าการเกิดฟาวลิงเพิ่มสูงขึ้นโดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมก็จะมีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่าลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาในการเกิดฟาวลิงยังมีค่าลดลง หรือค่าที่ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็นยังมีค่าเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าพลังงานความร้อนที่ต้องสูญเสียให้กับระบบก็มีค่ามากยิ่งขึ้นเท่านั้นตามลำดับ

จากการศึกษาการเกิดฟาวลิง และสมรรถนะทางความร้อนของขบวนการเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการอุ่นน้ำมันดิบ ทำให้สามารถจำลองแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบภายใต้สภาวะที่มีการเกิดฟาวลิง รวมทั้งทำนายปริมาณพลังงานที่สูญเสียของขบวนการเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้มาช่วยในการกำหนดช่วงเวลาการล้างทำความสะอาดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม และหากสามารถทราบแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์ ตามเวลาภายใต้สภาวะที่มีการ

เกิดฟาวลิง จะสามารถนำมาทำนายช่วงเวลาการล้างทำความสะอาดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมได้ เพื่อลดการสูญเสียผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ ลดการสูญเสียพลังงาน ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ค่าใช้จ่ายในการล้างทำความสะอาด

ทั้งนี้สามารถนำรูปแบบสมการจำลองการทำนายอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบ และนำไปสู่การคาดการณ์ล่วงหน้าสำหรับการล้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม สำหรับนำไปใช้เป็นแบบจำลองพื้นฐานในการปรับปรุง ออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และควบคุมกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมจริง

6.1 ข้อเสนอแนะ

1. แบบจำลองที่สร้างขึ้นสำหรับเลียนแบบกระบวนการจริงในอุตสาหกรรมนั้น หากต้องการทราบผลที่แม่นยำ เทียบตรง และมีความถูกต้องมากขึ้น ควรเก็บค่าจริงที่ได้จากโรงงานเพิ่มเติม ได้แก่ ค่าอัตราการไหลของสายร้อนและสายเย็น ค่าความจุความร้อนของสายร้อนและสายเย็นที่เวลาเปลี่ยนแปลงไป เป็นต้น รวมทั้งต้องตรวจสอบข้อมูลสถานะในการดำเนินการจริงของระบบจากโรงงานที่นำมาอ้างอิงทั้งหมด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องให้ผลการจำลองใกล้เคียงกับการดำเนินงานจริง และมีสอดคล้องกับกระบวนการในโรงงานจริงมากที่สุด
2. แบบจำลองที่สร้างขึ้นนั้นให้นำมาศึกษากระบวนการดำเนินงานต่อเนื่องที่ 600 วัน ซึ่งหากเปลี่ยนขอบเขตระยะเวลาในการศึกษา ควรพิจารณารูปแบบการเกิดฟาวลิงที่เหมาะสมอีกครั้งให้กับขบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการ
3. แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้จำลอง ทำนาย หรือคาดการณ์ล่วงหน้า สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้ โดยการเปลี่ยนแปลงค่าที่จำเป็นในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำมาปรับปรุงให้สอดคล้องกับกระบวนการนั้น ๆ