

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด และหาสมการการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับทำนายพฤติกรรมการอบแห้ง พร้อมทั้งวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้ง โดยทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์สมุนไพร 3 ชนิด ได้แก่ ขิง หนุ่ยป่ากั้ง และบอระเพ็ด ภายใต้เงื่อนไขความดันสัมบูรณ์ 5, 10 และ 15 กิโลปาสกาล และอุณหภูมิอบแห้ง 40, 50 และ 60°C ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษา และทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้ง ได้แก่ อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ จากผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 อิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้ง

จากการศึกษาอิทธิพลอุณหภูมิที่ส่งผลต่อจลนศาสตร์การอบแห้ง ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด (ขิง หนุ่ยป่ากั้ง และบอระเพ็ด) พบว่า เมื่อเปรียบเทียบที่ความดันสัมบูรณ์เดียวกัน การอบแห้งที่อุณหภูมิสูง จะให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การใช้อุณหภูมิอบแห้งสูง พลังงานที่ผลิตภัณฑ์ได้รับจะสูงตามไปด้วย ทำให้อัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงได้เร็วกว่า โดยช่วงแรกของการอบแห้ง ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์ได้รับพลังงานจากหลอดอินฟราเรดอีกทั้งยังมีความชื้นสูง ดังนั้นจึงเกิดการถ่ายเทความชื้นจากเนื้อผลิตภัณฑ์สู่ห้องอบแห้งอย่างรวดเร็ว และถูกดูดออกจากห้องอบแห้งโดยปั๊มสุญญากาศ หลังจากนั้นความชื้นจะค่อยๆ ลดลงจนคงที่ในที่สุด จากผลการทดลองสรุปได้ว่า อุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อจลนศาสตร์การอบแห้ง โดยที่ภาวะความดันเดียวกัน อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง

5.2 อิทธิพลของความดันสุญญากาศ

จากการศึกษาพบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อลดความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้ง โดยภาวะความดันสุญญากาศ มีอิทธิพลต่อจุดเดือดของน้ำ ส่งผลให้ความแตกต่างของความดันไอน้ำในห้องอบแห้งและผลิตภัณฑ์ในแต่ละความดันต่างกัน ทำให้สามารถในการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่างกัน โดยที่ความดันสัมบูรณ์ 5, 10 และ 15 กิโลปาสกาล น้ำจะมีจุดเดือดที่ 32.88, 45.81 และ 53.97°C ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปได้ว่า ความดัน

สุญญากาศมีอิทธิพลต่อจลนศาสตร์การอบแห้ง โดยที่อุณหภูมิเดียวกัน อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น และระยะเวลาการอบแห้งจะน้อยลง เมื่อลดความดันสมบูรณ์

5.3 อิทธิพลของรังสีอินฟราเรด

จากผลการศึกษาอิทธิพลของรังสีอินฟราเรดที่ส่งผลต่อการอบแห้ง สำหรับการอบแห้งด้วยสุญญากาศ ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ ผลการศึกษาพบว่า ที่ภาวะความดันเดียวกัน อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบที่เวลาและเงื่อนไขการทดลองเดียวกันพบว่า การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด มีอัตราการอบแห้งมากกว่า การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ หรือกล่าวได้ว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด สามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ ทั้งนี้เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากหลอดรังสีอินฟราเรด ไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งแตกต่างจากฮีตเตอร์ที่ต้องถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลาง ดังนั้น จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนต่ำกว่ากรณีใช้หลอดรังสีอินฟราเรด

5.4 การวิเคราะห์สมการอบแห้งชั้นบาง

จากการวิเคราะห์ผลการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด เพื่อหาสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมที่สุด ของการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด สำหรับอธิบายพฤติกรรมการอบแห้ง โดยใช้รูปแบบสมการอบแห้ง 12 สมการ ได้แก่ สมการ Modified Henderson and Pabis, Midilli, Two term, Page, Logarithmic, Verma, Approximation of diffusion, Henderson and Pabis, Wang and Singh, Modified Page I, Two term exponential และ Newton จากผลการวิเคราะห์พบว่า สมการ Modified Henderson and Pabis สามารถทำนายผลการอบแห้ง จิง หน้่าปักกิ่ง และบอระเพ็ด ด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดได้ดีที่สุด โดยให้ค่า R^2 มากที่สุด คือ 0.99783, 0.99377 และ 0.99827 ตามลำดับ และให้ค่า $RMSE$ น้อยที่สุด คือ 0.0139, 0.02422 และ 0.0120 ตามลำดับ

5.5 การวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

จากการศึกษาพบว่า ที่เงื่อนไขความดันเดียวกัน ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง โดยการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งช่วยเพิ่มความสามารถในการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง ทำให้ใช้พลังงานในส่วน

บีมสุญญากาศน้อยลง และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันยังพบอีกว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งที่ความดัน 15 กิโลปาสกาล มีค่ามากที่สุด และที่ความดัน 5 กิโลปาสกาล มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากที่ภาวะความดันต่ำ น้ำในผลิตภัณฑ์สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ทำให้ใช้เวลาอบแห้งน้อยลง ซึ่งสรุปได้ว่า การเปลี่ยนภาวะความดันสุญญากาศและอุณหภูมิอบแห้ง ส่งผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ โดยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดลง เมื่อลดภาวะความดันสัมบูรณ์ และเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง

ในส่วนของการศึกษาเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะระหว่างการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ ผลการศึกษาทั้ง 2 ส่วน พบว่า ที่เงื่อนไขอุณหภูมิเดียวกัน ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดลงเมื่อลดความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะระหว่างการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ พบว่า ที่เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดมีค่าน้อยกว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์

5.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

สำหรับการศึกษาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้ง พบว่า ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดมีความแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับรอบการผลิตในแต่ละเงื่อนไขการอบแห้ง ซึ่งส่งผลต่อมูลค่าการใช้พลังงาน และเมื่อพิจารณาด้านทุนการระเหยน้ำต่อหน่วย พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง และลดความดันสัมบูรณ์ จะทำให้ต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วยลดลง โดยที่ภาวะความดันสัมบูรณ์ 5 กิโลปาสกาล และอุณหภูมิอบแห้ง 60°C มีต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วยน้อยที่สุด

5.7 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด ในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาระบบขนาดห้องปฏิบัติการ หากต้องการนำเอาระบบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งาน หรือทำการศึกษาเพิ่มเติม ควรคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้

5.6.1 ควรพิจารณาถึงขนาดบีมสุญญากาศและปริมาตรห้องอบแห้ง ให้เกิดความเหมาะสมกับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ กรณีผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นมาก ในขณะที่น้ำระเหยออกจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว บีมสุญญากาศอาจไม่สามารถรักษาภาวะความดันให้ เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดได้

5.6.2 ควรมีการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบเครื่องอบแห้งด้วย
สุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด โดยพิจารณาถึง ขนาดป้อนสุญญากาศ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นและ
สัมประสิทธิ์การแพร่ของผลิตภัณฑ์ ปริมาตรห้องอบแห้ง เงื่อนไขความดัน และอุณหภูมิอบแห้ง

5.6.3 ควรทดลองวิเคราะห์ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ
ทางเคมี หรือคุณสมบัติทางเภสัชวิทยา หรือข้อมูลด้านอื่นๆ