

บทที่ 7

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการทดสอบ

ได้ทำการออกแบบและสร้างระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำ ซึ่งใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จากผักใบ เช่น ผักกาดหอม ผักกระหล่ำปลี และผักกาดขาวปลี ใช้หัวฉีดไอน้ำเป็นอุปกรณ์สำหรับดูดอากาศออกจากถังบรรจุผลิตภัณฑ์ ให้สามารถสร้างสูญญากาศที่ความดันไอน้ำ 5 torr เพื่อทำให้น้ำที่มีอยู่ภายในผลิตภัณฑ์ระเหยกลายเป็นไอ เกิดความเย็นขึ้นที่ อุณหภูมิ 2°C สำหรับการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบการลดความดันของหัวฉีดไอน้ำ และการทดสอบการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ สามารถสรุปผลของการทดสอบระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำที่ออกแบบ ได้ดังนี้

7.1.1 การทดสอบการลดความดันของหัวฉีดไอน้ำ ได้ผลสรุปดังนี้

7.1.1.1 หัวฉีดไอน้ำที่ออกแบบและสร้างขึ้นตามแนวทางการออกแบบของ Power R.B. (16) ลักษณะรูปร่างภายในจะยึดตามค่าต่าง ๆ ที่ผู้ผลิตนิยมใช้ออกแบบ ทดสอบโดยใช้อากาศแห้งแทนภาระของไอน้ำ ด้านดูด พบว่าหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 1 และ 2 มีระยะห่างของปลายหัวฉีดกับปากกรวยเวนจูรีเท่ากับ 1.5 mm และสเตจที่ 3 เท่ากับ 3 mm สามารถลดความดันด้านดูดที่จุดออกแบบได้ต่ำกว่าค่าที่ใช้ออกแบบในทางทฤษฎี เท่ากับ 0 %, 80 % และ 14.5 % ตามลำดับ ปริมาณไอน้ำที่ใช้จริงเท่ากับ 106 kg/h ต่ำกว่าทางทฤษฎี 15.73 % จึงได้ผลดีกว่าที่ออกแบบไว้

7.1.1.2 หัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2 สามารถสร้างสูญญากาศได้ต่ำกว่าสเตจที่ 1 ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดไอน้ำจึงใช้เฉพาะหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2 และ 3 ก็เพียงพอที่จะทำให้เกิดความดันไอน้ำ 5 torr สำหรับใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จำนวน 30 kg

7.1.1.3 ประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำที่ได้จากการทดสอบสเตจที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 7.23 %, 15.66 % และ 13.59 % พบว่าถ้าสัมประสิทธิ์การไหลของไอน้ำผ่านหัวฉีดสูงจะทำให้หัวฉีดไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

7.1.2 การทดสอบการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ สรุปผลได้ดังนี้

7.1.2.1 การทดสอบการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์โดยใช้วิธีจำลองสถานการณ์ ครั้งละ 1 kg ในเวลา 30 นาที พบว่ามีไอน้ำระเหยออกจากผิวของผักกาดหอม 51 g ผักกระหล่ำปลี 42.5 g และผักกาดขาวปลี 48 g ดังนั้นถ้าลดอุณหภูมิของผักกาดหอมจำนวน 30 kg จะมีไอน้ำระเหยออกมาเท่ากับ 3.06 kg/h สำหรับในทางทฤษฎีที่สภาวะเดียวกันกับการทดสอบ จะมีไอน้ำระเหยออกมาเท่ากับ 2.498 kg/h ซึ่งสามารถดูดไอน้ำออกจากผิวผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าค่าของการออกแบบในทางทฤษฎี 18.36 % แต่การเปลี่ยนแปลงนี้จะขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ และจำนวนน้ำที่มีอยู่ภายในผลิตภัณฑ์

7.1.2.2 ความเย็นของผลิตภัณฑ์จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณของความชื้นที่ระเหยออก ที่เวลาของการออกแบบ 30 นาที สามารถลดอุณหภูมิที่ใจกลางของผักกาดหอม ผักกระหล่ำปลี และผักกาดขาวปลี ลงได้ 2°C , 6.5°C และ 2.9°C ตามลำดับ ทำให้อุณหภูมิของผักกาดหอม ผักกระหล่ำปลี และผักกาดขาวปลี ลดลง

เท่ากับ 5.09°C , 5.29°C และ 5.44°C ตามลำดับ สำหรับแต่ละ 1 % ของน้ำหนักที่หายไป

7.1.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของการลดอุณหภูมิผลิตผลจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตผล ลักษณะทางกายภาพของผลิตผล จำนวนน้ำที่มีอยู่ภายในผลิตผล อัตราการสร้างสูญญากาศ และพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของผลิตผล ซึ่งอยู่ในรูปสมการดังนี้ ผักกาดหอม, $\text{Temp} = 21.9 \times 0.919^t$ ผักกระหล่ำปลี, $\text{Temp} = 27.4 \times 0.953^t$ และผักกาดขาวปลี, $\text{Temp} = 23.5 \times 0.935^t$

7.1.2.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ของการลดอุณหภูมิโดยระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศที่ออกแบบ กับระบบทำความเย็นโดยใช้ในห้องเย็น โดยกำหนดให้สภาพการลดอุณหภูมิเหมือนกัน จำนวน 1,000 kg พบว่าค่าใช้จ่ายของระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำจะมีค่าใช้จ่ายพลังงานต่อกิโลกรัมผลิตผลเท่ากับ 0.833 บาท/กิโลกรัม การลงทุนจะสูงกว่าระบบทำความเย็นโดยใช้ห้องลดอุณหภูมิ 2.324 เท่า จึงไม่เหมาะที่จะลงทุน ถ้านำผลิตผลที่ผ่านการลดอุณหภูมิขายภายในประเทศ แต่ถ้านำไปขายที่ต่างประเทศจะทำให้มีกำไรเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลต่างของราคาขายในเวลา 1 ปี เท่ากับ 1,653,997 บาท และมีระยะเวลาในการคืนทุน 5.15 เดือน ที่มูลค่าของการขายผลิตผลเพิ่มขึ้น 6 บาท/กิโลกรัม ซึ่งผลประโยชน์ที่ได้รับเนื่องจากผลต่างของราคาขายที่ตลาดต่างประเทศ จะเปลี่ยนแปลงไปตามราคาของผลิตผล

7.2 ข้อเสนอแนะ

7.2.1 เนื่องจากมีข้อจำกัดเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับสร้างหัวฉีดแบบลู่เข้า - บานออก ซึ่งมีผลทำให้ความดันของไอน้ำที่ออกจากหัวฉีดต่ำลงแต่มีความเร็วสูงผิดปกติ ทำให้ประสิทธิภาพของหัวฉีดที่ออกแบบจะลดลงมาก จึงควรมีอุปกรณ์สำหรับสร้างขนาดต่าง ๆ ของหัวฉีดได้อย่างเที่ยงตรงตามที่ออกแบบไว้

7.2.2 เนื่องจากการออกแบบและสร้างชุดหัวฉีดไอน้ำ จะเลือกใช้ค่าประมาณกลาง ๆ ของค่าที่ใช้ในการออกแบบ แต่ไม่อาจทราบได้ว่า ถ้าสภาวะของการออกแบบเปลี่ยนไปจากนี้ จะมีผลอย่างไรต่อการสร้างสูญญากาศ หรือสมรรถนะของหัวฉีดไอน้ำ ดังนั้นควรจะมีการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงค่าของมุม ความยาวของส่วนต่าง ๆ ของหัวฉีดและเวนจูรี และผลของการเปลี่ยนตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีด เป็นต้น

7.2.3 การสร้างชุดหัวฉีดไอน้ำ ซึ่งมีลักษณะรูปร่างภายในของหัวฉีดและเวนจูรีเป็นรูปทรงกรวยแบบลู่เข้า - บานออก ตามค่าของมุมที่ใช้ในการออกแบบ ถ้าค่าของมุมหรือรูปร่างทรงกรวยไม่ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้ จะมีผลอย่างมากต่อการสร้างสูญญากาศของหัวฉีดไอน้ำ ดังนั้นขั้นตอนสำหรับการกลึงขึ้นรูปจึงต้องมีความเที่ยงตรงสูง จึงควรใช้เครื่องกลึงที่ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม และเนื่องจากไอน้ำที่ออกจากหัวฉีด ซึ่งอยู่ภายในหัวฉีดไอน้ำจะมีความเร็วทางออกสูงมาก ทำให้เกิดการกัดกร่อนหรือเป็นสนิมเนื่องจากการปะทะกับผนังของเวนจูรี โดยเห็นได้จากภายในหัวฉีดไอน้ำจะเป็นสนิมและมีร่องรอยการปะทะของไอน้ำ ดังนั้นจึงควรแก้ไขโดยวิธีการชุบแข็ง

7.2.4 เนื่องจากการออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้ จะใช้หัวฉีดไอน้ำทั้งสามสแตจต่อเนื่องกันไม่มีอุปกรณ์ควบแน่นต่ออยู่ระหว่างสแตจ ซึ่งจะทำให้เกิดความสิ้นเปลืองไอน้ำมาก เนื่องจากไอน้ำที่ออกจากสแตจก่อนหน้าไม่มีการควบแน่น จะทำให้ภาระทางด้านดูดของหัวฉีดไอน้ำสแตจต่อไปมีภาระทางด้านดูดสูง จึงต้องใช้ปริมาณไอน้ำที่มากตามไปด้วย เพื่อที่จะสามารถดูดและอัดของไหลที่เป็นภาระทางด้านดูดให้มีความดันตามต้องการ แต่ถ้ามีอุปกรณ์ควบแน่นต่ออยู่ระหว่าง

สแดง จะช่วยลดภาระทางด้านอุณหภูมิ เนื่องจากไอน้ำจะถูกควบแน่นเป็นของเหลว จึงเหลือไอบางส่วนที่ไม่ควบแน่น เช่น อากาศแห้ง ทำให้ภาระทางด้านอุณหภูมิ ลดลง ปริมาณไอน้ำที่ใช้กับสแดงต่อไปก็จะลดลงไปด้วย และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะช่วยลดความดันระหว่างสแดง ซึ่งจะมีผลดีต่อระบบ แต่ก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในส่วนนี้

7.2.5 สำหรับงานวิจัยนี้ไอน้ำที่ออกจากสแดงที่ 3 จะถูกจ่ายทิ้งที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งจะช่วยให้สูญเสียไอน้ำไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นจึงควรมีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่อกับสแดงสุดท้าย เพื่อให้ไอน้ำที่ได้จากการควบแน่นเป็นของเหลวสามารถนำกลับมาใช้เป็นน้ำเลี้ยงของหม้อไอน้ำ ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดต้นทุนในการผลิตไอน้ำลงได้