



การพัฒนาชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและแหล่งความร้อนที่นำมาใช้สำหรับการระเหยแก๊สของการอบแห้งลำไยทั้งเปลือก

The development of a heat exchange system and heat source used for gas evaporation in the whole longan drying

อัจฉรา จันทรผิง^{1,2*}, พฤทธิ เนตรสว่าง^{1,2}, นิลวรรณ ไชยหนู^{1,2}, อัจฉรา ไชยยา^{1,2}, อนุวัตร ศรีนวล^{1,2}

Autchara Junphong^{1,2*}, Prud Natsawang^{1,2}, Ninlawan Chaitanoo^{1,2}, Atchara Chaiya^{1,2}, Anuwat Srinoun^{1,2}

¹หน่วยวิจัยและพัฒนาคุณสมบัติวัสดุทางการเกษตรและพลังงานชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, เชียงใหม่ 50300

²หลักสูตรวิศวกรรมเกษตรและชีวภาพ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงใหม่, เชียงใหม่ 50300

¹Research and Development Unit for Agricultural Materials and Bio-Energy Properties, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, 50300

²Agricultural and Biological Engineering, Department of Mechanical Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, 50300

*Corresponding Author: Tel.: +66-8-9759-8846, E-mail: autchara11@rmu.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและแหล่งความร้อนที่นำมาใช้สำหรับการระเหยแก๊สของกระบวนการอบแห้งลำไยทั้งเปลือก ด้วยการถ่ายเทความร้อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบขดทองแดงที่มี LPG ไหลภายในท่อทำให้แก๊สที่มีสถานะเป็นของเหลวเปลี่ยนเป็นไอแก๊สที่รวดเร็วขึ้นและไม่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสภาพแวดล้อม และศึกษาแหล่งพลังงานความร้อน 2 แบบ คือ แหล่งพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าให้กับน้ำ 6,000 W และแหล่งพลังงานความร้อนจากเศษแก๊สที่เหลือกันถึงมาจุดหัวเผาให้ความร้อนกับน้ำ ซึ่งในการออกแบบชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนใช้ข้อมูลเดิมจากการอบแห้งลำไย 24,500 kg ใช้ปริมาณแก๊ส LPG 102 kg เป็นเวลา 440 min ทำให้มีอัตราการไหลของแก๊ส LPG เท่ากับ $0.00386 \text{ kg s}^{-1}$ สามารถนำมาคำนวณหาความยาวท่อทองแดงได้ 0.30 m และจำนวนการขด 26 ขด และมีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อขดทองแดง (D_c) เท่ากับ 0.38 m ซึ่งทำการควบคุมโดยการใช้อุณหภูมิของน้ำในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 50°C พบว่า ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีแหล่งพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าและแหล่งพลังงานความร้อนจากเศษแก๊ส สามารถทำให้แก๊ส LPG ระเหยได้ดีและสามารถทำให้อุณหภูมิในตู้อบแห้งทั้ง 4 ตำแหน่ง มีอุณหภูมิสม่ำเสมอในตู้อบลำไยทั้งเปลือก และสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในถัง (T_{tank}) สามารถควบคุมได้ง่ายและสะดวกต่อผู้ใช้ได้ดี และเปรียบเทียบกับระบบเดิมมีต้นทุนการใช้แก๊ส 3,735 บาท (น้ำหนักแก๊สที่ใช้รวมกับน้ำแก๊สเหลือกันถึง) ระบบใหม่ที่มีชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ฮีตเตอร์และหัวเผา สามารถลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจาก LPG คิดเป็นร้อยละ 15.85 และ 20.34

คำสำคัญ: ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน, ขดทองแดง, อบลำไยทั้งเปลือก

Abstract

The development of heat exchanger equipment and a heat source for gas evaporation in the longan drying process was achieved by a heat transfer with a copper helical heat exchanger that LPG flowed inside a tube. This

Received: 31 October, 2023

Revised: 27 November, 2024

Accepted: 28 November, 2024

Available Online: 28 December, 2024

method rapidly altered the stage of LPG from liquid to gas without heat exchange with the environment. Two types of heat sources from a 6,000 W electrical heater and from a residual gas at the bottom of LPG tank were applied to start a burner for heating water. The heat exchanger equipment was designed based on the capacity of longan drying of 24,500 kg with a LPG consumption of 102 kg and 440 min drying time. This resulted in a LPG flow rate of $0.00386 \text{ kg s}^{-1}$ that was used to determine a length of copper tube with 0.30 m, 26 coils and a diameter of the copper coil (D_c) of 0.38 m. A water temperature of 50°C was applied in the heat exchanger. The study found that the evaporation of LPG was achieved by the heat exchanger equipment with both heat sources. They resulted in uniform internal tank temperature (T_{tank}) at four positions and were user-friendly for operation. Compared to the original system with a gas cost of 3,735 baht (including the weight of the gas used and the residual gas in the tank), the developed heat exchanger with two types of heat sources—a heater and a burner—reduces LPG fuel consumption by 15.85% and 20.34%, respectively.

Keywords: Heat exchanger equipment, Copper coil, Longan drying

1 บทนำ

การอบแห้งลำไยทั้งเปลือกเป็นกระบวนการที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมการแปรรูปผลไม้แห้ง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกลำไยอย่างแพร่หลาย เช่น ภาคเหนือของประเทศไทย ลำไยเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีรสชาติหวานหอม แต่เนื่องจากลำไยสดมีระยะเวลาการเก็บรักษาที่จำกัด การนำมาอบแห้งจึงเป็นวิธีที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาโดยไม่สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ การอบแห้งทั้งเปลือกช่วยรักษาความสดและป้องกันความเสียหายของเนื้อลำไย นอกจากนี้ยังช่วยให้ลำไยสามารถขนส่งและจัดเก็บได้ง่ายขึ้น รวมถึงเพิ่มมูลค่าในตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ การแปรรูปด้วยการอบแห้งจึงเป็นกระบวนการที่สำคัญต่อทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค ซึ่งในการแปรรูปด้วยการอบแห้งจะใช้อากาศร้อนเพื่อต้มน้ำที่ผิวของเปลือก โดยส่วนใหญ่จะใช้แหล่งความร้อนจากน้ำมันดีเซลและแก๊ส LPG เป็นหลัก

ในกระบวนการอบแห้งลำไยทั้งเปลือกที่เน้นการส่งออกจะเป็นตู้อบขนาดใหญ่ มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากแก๊ส LPG ลักษณะของการนำแก๊สมาจุดหัวแก๊สอินฟราเรดสำหรับตู้อบแห้งเปลือกลำไย เกิดความร้อนและนำความร้อนเข้าไปใช้ในตู้อบเพื่อไล่ความชื้นออกจากลำไย และจากการลงสำรวจพบว่า สถานประกอบการใช้แก๊ส 1 วาล์วเป็นหลักปัญหาที่พบ จากการใช้แก๊ส 1 วาล์ว จากการเปลี่ยนสถานะของเหลวให้เป็นไอแก๊สนั้นจะต้องนำความร้อนจากภายนอกมาช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้แก๊สเกิดการระเหยเป็นไอ ซึ่งหากแก๊สระเหยไม่ทันจะต้องนำถังไปตากแดดหรือใช้ถังแก๊สสำรองจำนวนมากเพื่อให้มีปริมาณไอแก๊สพอต่อการใช้อย่างต่อเนื่อง รวมถึงปัญหาจากช่วง

ฤดูหนาวและฤดูฝน ที่มีผลต่อการระเหยของไอแก๊สและการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ตัวถังแก๊ส ทำให้เกิดสนิมขึ้นผิวถังแก๊ส

การศึกษาชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Jinliang et al. (2015) ได้ศึกษาและวิเคราะห์การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อขด (Shell and helical tube heat exchangers) โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ใช้การไหลของไหลในท่อขด และทำการวัดอัตราการไหล อุณหภูมิและค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน พบว่าการใช้ท่อขดจะเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนได้มากกว่าท่อแบบตรง และการไหลแบบปั่นป่วนในท่อขดจะบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อน และ Jamshidi et al. (2013) ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยใช้รูปแบบท่อเกลียวหรือท่อขด ทำการทดลองและการจำลองเชิงตัวเลข เพื่อดูพฤติกรรมของการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนของพารามิเตอร์เช่นค่าอุณหภูมิ แรงดัน และความเร็วของของไหล พบว่าการสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน จากความปั่นป่วนของการไหลภายในท่อขดได้ดีเมื่อเทียบกับท่อแบบตรง

การศึกษาการเปลี่ยนสถานะแก๊ส LPG ในการระเหยแก๊สนั้น Shi et al. (2018) ได้พัฒนาและวิเคราะห์การจำลองเชิงพลศาสตร์ของกระบวนการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอแก๊สด้วยหัวเผา (Burner) โดยพิจารณาปัจจัยต่างๆ เช่นอัตราการไหลของแก๊ส อุณหภูมิ ความดัน และลักษณะการถ่ายเทความร้อน เห็นได้ว่าการระเหยของแก๊ส LPG มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความดันภายในระบบ การควบคุมความร้อนในระบบเป็นปัจจัยสำคัญในการ

ระเหยแก๊ส และ Tuan et al. (2021) ได้ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และทำการทดลองการฉีดแก๊ส LPG ที่มีสถานะเป็นของเหลว เพื่อนำมาวิเคราะห์การทำงานและประสิทธิภาพของหัวฉีดสำหรับลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิง และเพิ่มประสิทธิภาพในระบบเผาไหม้ จากการศึกษาและทำการทดลอง พบว่าขนาดและการออกแบบของหัวฉีดมีต่อประสิทธิภาพการฉีด LPG ในสถานะที่เป็นของเหลว และการปรับขนาดหัวฉีดจะสามารถปรับอัตราการไหลของแก๊สได้ นำไปสู่การลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้

Junphong et al. (2021) ได้ศึกษาการออกแบบและพัฒนาการระเหยแก๊ส LPG แบบอัตโนมัติสำหรับโรงงานเซรามิก โดยทำการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และการนำระบบอัตโนมัติเข้ามาช่วยในการให้ความร้อน พบว่า การนำระบบควบคุมอัตโนมัติเข้ากำหนดค่าอุณหภูมิให้คงที่ ทำให้แก๊สมีการระเหยตัวได้ดี สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และลดต้นทุนเชื้อเพลิงได้ จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาเห็นได้ว่าการพัฒนาชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและแหล่งความร้อนที่นำมาใช้สำหรับการระเหยแก๊สของกระบวนการอบแห้งลำไยทั้งเปลือก เลือกลักษณะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบท่อขด และใช้แหล่งความร้อนจากฮีตเตอร์และหัวเผา (Burner) สำหรับการระเหยแก๊ส LPG เหลว จากการดึงแก๊สเหลวขึ้นมาใช้นั้นจะต้องเป็นถังแบบ 2 วาล์ว ที่มีท่อดูดยาวถึงก้นถัง ดึงแก๊สเหลวขึ้นมาใช้และนำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนกับแก๊ส LPG ในท่อ สำหรับเปลี่ยนสถานะให้แก๊สเหลวกลายเป็นไอแก๊ส การพัฒนานี้จะทำให้สามารถประหยัดการใช้พลังงานและมีการใช้แก๊สได้หมดถึง ส่งผลต่อการลดค่าใช้จ่ายพลังงานเชื้อเพลิงด้านกระบวนการแปรรูปลำไยอบแห้งทั้งเปลือกได้

2 แนวคิดในการออกแบบ

หลักการถ่ายเทความร้อนมาแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สเหลวและน้ำร้อน เพื่อเปลี่ยนสถานะของแก๊สเหลวให้มีสถานะเป็นไอแก๊สแทนการแลกเปลี่ยนในสภาวะอากาศภายนอก การนำชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะสามารถทำให้แก๊สมีการระเหยได้รวดเร็วเพื่อการใช้อีกต่อไปอย่างต่อเนื่อง และลดการเกิดไอน้ำหรือเกล็ดน้ำแข็งเกาะบริเวณถังแก๊ส ซึ่งการนำเอาชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้ามาช่วยในกระบวนการอบแห้งลำไยทั้งเปลือก ต้องมีการปรับเปลี่ยนชนิดถังแก๊สแบบ 1 วาล์วมาเป็น แบบ 2 วาล์ว ลักษณะของถังแก๊สแบบ 2 วาล์วจะมีท่อ

ยาวสามารถดูดแก๊สจากก้นถังที่เป็นของเหลวขึ้นมาแลกเปลี่ยนในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและอีกทางเลือกหนึ่งสามารถนำถังแก๊สแบบ 1 วาล์วที่มีเศษแก๊สเหลืออยู่มาจุดหัวเผา (Burner) ให้ความร้อนกับน้ำได้เช่นกัน ดังนั้นแหล่งความร้อนให้น้ำในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 2 แบบ คือ การใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าและการใช้หัวเผา (Burner) Figure 1 ซึ่งการนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้เข้ามาใช้ในระบบการระเหยแก๊สนั้นจะทำให้สามารถประหยัดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงได้และมีการใช้แก๊สได้หมดถึง ส่งผลต่อการลดค่าใช้จ่ายพลังงานเชื้อเพลิงและการรักษาคุณภาพสีผิวของเปลือกลำไยให้มีสีเท่ากัน ด้านกระบวนการแปรรูปลำไยอบแห้งทั้งเปลือกได้

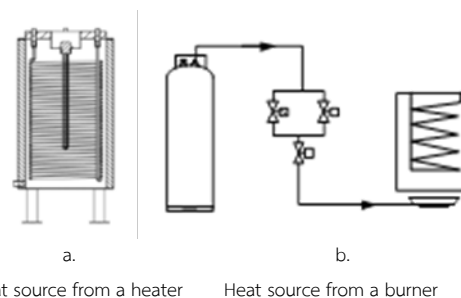


Figure 1 Two types of heat sources for water used in helical coil heat exchanger set.

2.1 การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

จากการศึกษาปริมาณการใช้แก๊สในกระบวนการอบแห้งลำไยทั้งเปลือกแบบเดิมนั้นได้ทำการอบแห้งลำไย 24,500 kg ใช้ปริมาณแก๊ส LPG ในการอบแห้ง 102 kg เป็นเวลา 440 min ทำให้มีอัตราการไหลของแก๊ส LPG เท่ากับ $0.00386 \text{ kg s}^{-1}$ นำข้อมูลปริมาณใช้แก๊สและอัตราการไหลเชิงมวล คำนวณโดยการกำหนดอุณหภูมิทางเข้าของแก๊ส LPG เหลว ที่ 25°C อุณหภูมิทางเข้าของน้ำที่ 70°C และฮีตเตอร์ขนาด 6,000 W เพื่อคำนวณหาอุณหภูมิทางออกของไอแก๊ส LPG และนำไปหาความยาวของท่อทองแดง โดยชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้มีฉนวนกันความร้อนเพื่อลดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสิ่งแวดล้อม

2.2 การออกแบบชุดท่อทองแดงสำหรับใช้ในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การออกแบบชุดท่อทองแดงกำหนดให้ขนาดท่อทองแดงเท่ากับ 0.5 in หรือท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.01092 m และขนาดท่อภายนอก 0.0127 m และใช้หลักการถ่ายเทความร้อนระหว่างแก๊ส LPG เหลว กับ น้ำร้อน ซึ่งในการออกแบบให้

แก๊สเหลวไหลในท่อทองแดง ซึ่งมีการแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้แก๊สเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นของผสมและเปลี่ยนเป็นไอแก๊สก่อนเข้าสู่เรกกูเรเตอร์เพื่อลดความดันและฉีดไอแก๊สเข้าสู่หัวแก๊สสำหรับตู้อบแห้งเปลือกลำไย โดยใช้สมการสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อนภายในและภายนอกจาก Table 1 สามารถหาความยาวท่อทองแดงได้ 0.30 m และจำนวนการขด 26 ขด และมีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อขดทองแดง (D_c) เท่ากับ 0.381 m Figure 2

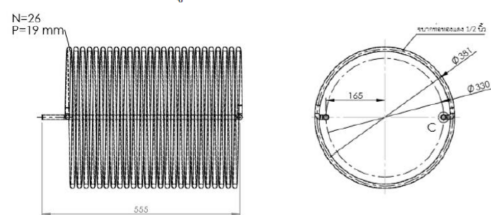
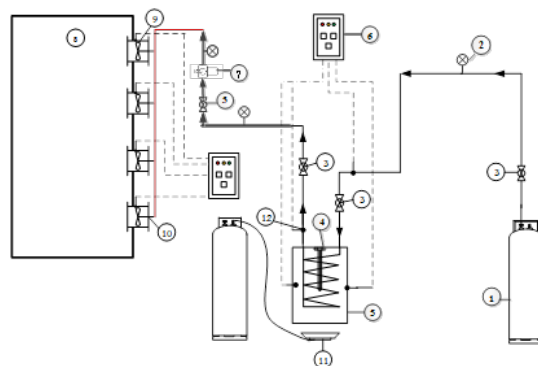


Figure 2 Design of copper helical coils for a heat exchanger system.

2.3 การออกแบบการทำงานของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การออกแบบการทำงานของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้นำระบบควบคุมเข้ามาช่วยในการให้ความร้อนกับน้ำเพื่อนำ

ความร้อนไปแลกเปลี่ยนกับแก๊สเหลวในท่อทองแดง โดยการควบคุมอุณหภูมิน้ำ T_{tank} เพื่อตัดการทำงานของฮีตเตอร์ และหัวเผา (Burner) ดัง Figure 3 และขั้นตอนการทำงานและเงื่อนไขของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนดัง Figure 4



- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|------------------|
| 1 Tank LPG | 2 Pressure gauge | 3 Ball valve |
| 4 Heater | 5 Helical coil heat exchanger set | 6 Control system |
| 7 Regulator | 8 Drying oven | 9 Fan |
| 10 Infrared gas burner head | | 11 Burner |
| 12 Temperature sensor | | |

Figure 3 The process for whole longan drying using water hot from electric heater.

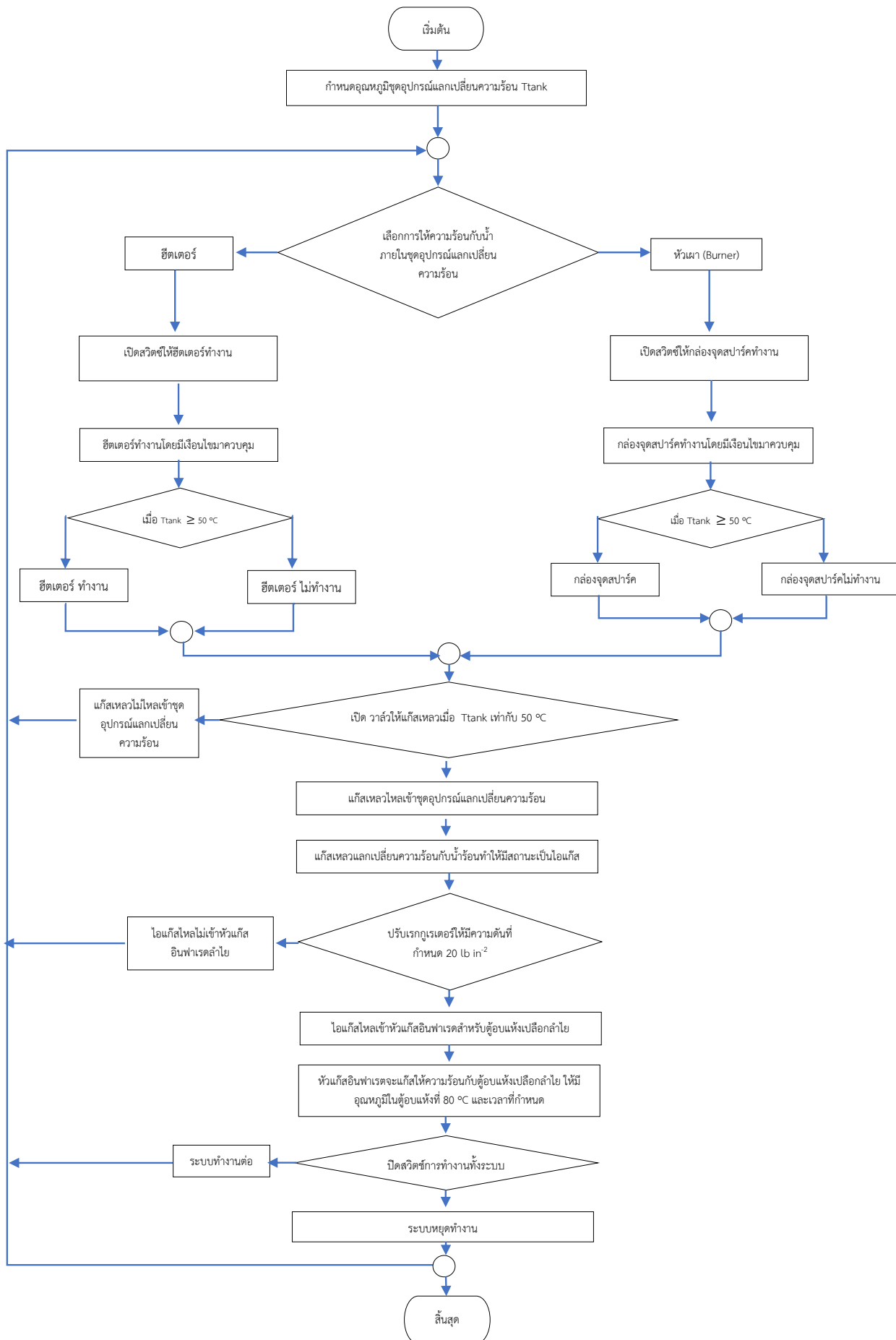


Figure 4 Workflow and conditions for a heat exchanger system.

Table 1 Side of heat transfer coefficients. (ASHRAE, 1997)

description	Equation
Inside heat transfer coefficients; Dittus and Boelter	$Nu = 0.023ReD^{0.8}Pr^n$ where $n = 0.3$ for refrigerant being cooled $n = 0.4$ for refrigerant being heated
Outside heat transfer coefficients; Mcadams	$h_o = 0.79F_1[h_{fo}/(ND_o\Delta T_m)]$ $F_1 = [(K^3P^2g)/\mu]^{1/4}$ $D_c = \frac{L}{\pi(N-1)}$

3 วิธีการและขั้นตอน

3.1 อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิของแก๊สและน้ำ

3.1.1 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแก๊ส

เลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลสกรู M8 Type K มีสายยาว 10 m และสามารถอ่านช่วงอุณหภูมิได้ 0 ถึง 400 °C ทำการติดตั้งอุณหภูมิทางเข้าและออกของแก๊สเมื่อผ่านชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และติดตั้งอ่านค่าอุณหภูมิในตู้อบแห้งเปลือกลำไยจำนวน 4 ชุด



Figure 5 Thermocouple.

3.1.2 เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิ

เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิแสดงค่าอุณหภูมิของแก๊สและน้ำเมื่อมีการควบคุมและการเปลี่ยนสถานะของแก๊สเหลวเป็นไอ และทำการติดตั้งอ่านค่าอุณหภูมิในตู้อบแห้งเปลือกลำไยจำนวน 4 ชุด เพื่อทราบค่าอุณหภูมิในตู้อบแห้งที่ที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 80 °C โดยการใช้เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิรุ่น AP-400-201, O/P SSR 1 Alarm



Figure 6 Temperature control., model AP-400-201.

3.2 ศึกษาข้อมูลปริมาณการใช้แก๊สของอุณหภูมิและความดันระบบเดิม

การอบแห้งลำไยแบบระบบเดิม คือ การใช้ถังแก๊ส LPG แบบ 1 วาล์ว โดยปล่อยให้แก๊สมีการระเหยกับสภาวะอากาศภายนอกการทำแบบนี้จะต้องมีถังแก๊สสำรองจำนวนมาก หากถังแก๊สขณะที่ใช้อยู่ไม่สามารถระเหยได้ทัน ซึ่งในการทดลองนั้นจะใช้อุณหภูมิในตู้อบแห้งเปลือกลำไย (T_1 T_2 T_3 และ T_4) เป็นตัวบ่งบอกว่าการแลกเปลี่ยนความร้อนของถังแก๊สกับสภาวะอากาศภายนอก และการความดันของแก๊ส ที่ระเหยเพียงพอหรือไม่ในกระบวนการอบแห้งลำไย ดัง Figure 7

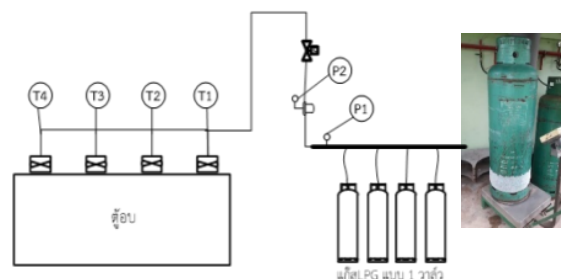


Figure 7 Temperature measurement position in the drying oven of the original system.

3.3 การติดตั้งชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำและความดันระบบใหม่

การติดตั้งชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกับท่อส่งแก๊สชุดใหม่เนื่องจากแก๊สที่ผ่านความร้อนจะต้องมีท่อพักสำหรับสะสมไปแก๊สก่อนดึงไปใช้เพื่อให้มีไอแก๊สเพียงพอต่อกระบวนการอบแห้ง และทำการติดตั้งเกจวัดความดันและเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า-ออก ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยมีแหล่งพลังงานความร้อน 2 แบบ คือ การใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า และการใช้หัวเผา (Burner) ซึ่งทำการควบคุมโดยการใช้อุณหภูมิของน้ำในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งแก๊ส LPG



The diagram illustrates a closed-loop system for a cryogenic storage tank. On the left, a large rectangular storage tank has four outlets labeled T1, T2, T3, and T4. A line from T1 leads to a pressure regulator (Preg) and a pressure sensor (Pg,out). The line then passes through a valve and a pump (indicated by a circle with an arrow) before entering a smaller storage tank (Ttank) through a temperature sensor (Tg,in). Inside Ttank, there is a coiled tube with a temperature sensor (Tg,out) and a pressure sensor (Pg,in). The line exits Ttank, passes through a valve, and returns to the main storage tank through a valve. The flow is controlled by several valves throughout the system.

3.4 การติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิสำหรับท่อแห้ง

4 ผลและวิจารณ์

4.1 ผลการทดลองเก็บการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแบบเดิม

การเก็บผลการทดลองการอบแห้งลำไยทั้งเปลือก 24,500 kg มีการใช้ปริมาณแก๊ส 102 kg ใช้เวลาในการอบแห้ง 440 min ผลที่ได้จากการเก็บค่าความดันและค่าอุณหภูมิในช่วงเวลาต่าง ๆ

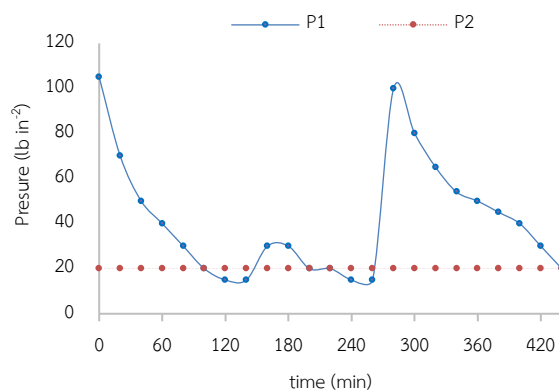


Figure 11 Inlet and outlet gas pressure of the original system.

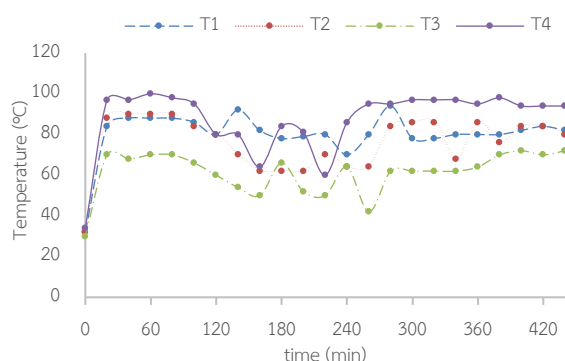


Figure 12 Temperatures in the drying oven of the original system.

48

คุณภาพไอแก๊สที่ผ่านเรกกูเรเตอร์ไม่เหมือนกัน ซึ่งตัวที่ส่งผลต่อคุณภาพไอแก๊สคืออุณหภูมิที่ทำให้แก๊สมีการขยายตัว สังเกตจากทางออกเรกกูเรเตอร์มีไอน้ำมาจับหรือมีเกล็ดน้ำแข็งมาเกาะเนื่องจากการใช้แก๊สในปริมาณที่มาก แต่ระเหยได้น้อย จึงส่งผลต่อค่าอุณหภูมิในตู้อบแห้งทั้ง 4 จุด ให้ค่าที่แตกต่างกันออกไป ส่งผลต่ออุณหภูมิในการอบแห้งลำไยที่มีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิที่ 80°C ทำให้สีเปลือกลำไยไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งจะต้องมีการใช้ถังแก๊สสำรองจำนวนมากเพื่อเปลี่ยนในช่วงที่แก๊สในถังระเหยไม่ทัน อีกปัจจัยหนึ่งเกิดจากการทำงานของพนักงานที่ไม่มีความคอยเฝ้าทำให้มีการเปลี่ยนถังแก๊สช้าส่งผลต่อค่าความดันของแก๊สจากถังและเมื่อความดันต่ำไม่เพียงพอต่อการระเหยจะทำให้มีแก๊สเหลือกันถึงประมาณ 3 ถึง 4 kg คิดเป็น 100 บาทต่อถัง ดังนั้นการใช้ระบบเดิม จะมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจากแก๊ส LPG เท่ากับ 3,735 บาท

4.2 ผลการทดลองชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและระบบควบคุมการระเหยแก๊ส ระบบใหม่

4.2.1 การทดลองการใช้ฮีตเตอร์ให้ความร้อนกับน้ำในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

จากการใช้ฮีตเตอร์ 6,000 W ให้ความร้อนกับน้ำในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน พบว่า การใช้ฮีตเตอร์อบแห้งลำไยจำนวน 24,500 kg ใช้ปริมาณแก๊ส 125 kg ใช้เวลาในการอบแห้ง 440 min

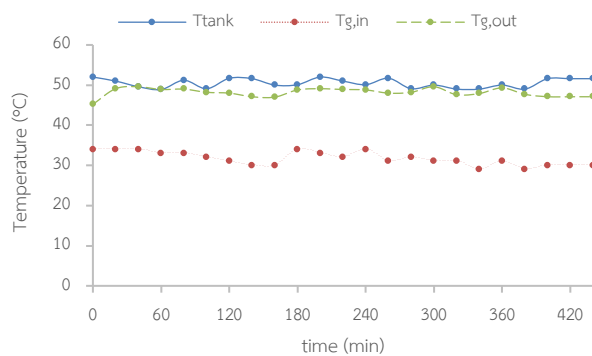


Figure 13 Comparison of gas and water temperatures using a heater.

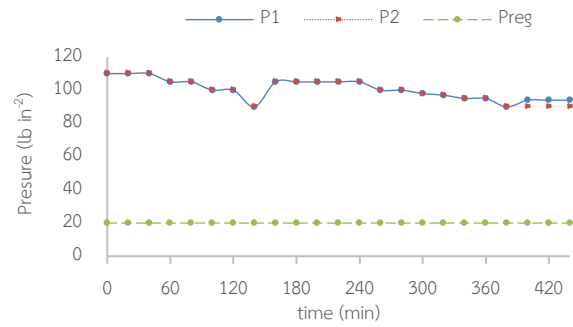


Figure 14 Comparison of inlet and outlet gas pressures using a heater.

จาก Figure 13 เป็นการเปรียบเทียบระหว่าง อุณหภูมิภายในถังชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (T_{tank}) อุณหภูมิของแก๊ส LPG เข้าชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ($T_{\text{g,in}}$) และอุณหภูมิของแก๊ส LPG ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ($T_{\text{g,out}}$) จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิของแก๊สทางเข้าชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ($T_{\text{g,in}}$) มีอุณหภูมิของน้ำแก๊ส เฉลี่ยอยู่ที่ 33°C และมีความดันเฉลี่ยอยู่ที่ 100 lb in^{-2} ดัง Figure 14 แต่เมื่อผ่านชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ความดันทางออกจะยังมีค่าใกล้เคียงกับทางเข้าแต่จะมีค่าอุณหภูมิ ($T_{\text{g,out}}$) ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (T_{tank}) จากการคำนวณจะเห็นว่าการเปลี่ยนสถานะที่เป็นของเหลวเป็นไอแก๊ส ก่อนที่จะไหลผ่านเรกกูเรเตอร์ เพื่อทำการปรับลดความดันเป็น 20 lb in^{-2} ซึ่งจากการทดลองจะสังเกตเห็นว่าทางออกจากรีกูเรเตอร์จะไม่มีไอน้ำมาเกาะนั้นแสดงว่าอุณหภูมิที่กำหนดในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ 50°C เหมาะสมสำหรับการลดความดันและไม่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจากอากาศภายนอก และจาก Figure 15 ทั้ง 4 ตำแหน่งมีอุณหภูมิในตู้อบแห้งไม่ต่ำกว่า 80°C และมีค่าอุณหภูมิใกล้เคียงตลอดกระบวนการอบแห้ง ทำให้สีของเปลือกลำไยมีความสม่ำเสมอ ดังนั้นการใช้ฮีตเตอร์ให้ความร้อนกับชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจากแก๊ส LPG เท่ากับ 3,125 บาท และค่าใช้จ่ายของฮีตเตอร์ไฟฟ้า เท่ากับ 40 บาท รวมเป็นเงินทั้งสิ้นในกระบวนการนี้ 3,165 บาท

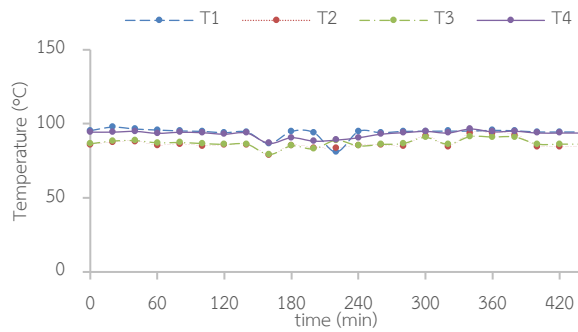


Figure 15 Temperatures in the drying oven when using a heater.

4.2.2 การทดลองการใช้หัวเผา (Burner) ให้ความร้อนกับน้ำในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

จากการใช้หัวเผา (Burner) ให้ความร้อนกับน้ำในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน พบว่า การอบแห้งลำไยจำนวน 24,500 kg ใช้ปริมาณแก๊ส 116 kg ใช้เวลาในการอบแห้ง 440 min

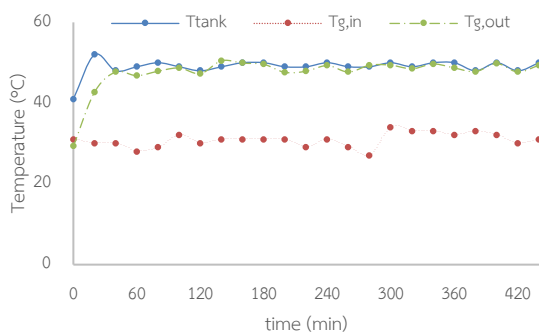


Figure 16 Comparison of gas and water temperatures using a burner.

จาก Figure 16 ในการทดลองการใช้หัวเผา (Burner) ให้ความร้อน โดยการนำเอาเศษแก๊สมาเป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่ทำให้ให้น้ำในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน มีอุณหภูมิตามที่กำหนด โดยเป็นการตัดต่อแก๊สแบบอัตโนมัติ จากการทํางานจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (T_{tank}) และอุณหภูมิทางออกจากชุดอุปกรณ์จะมีค่าใกล้เคียงกัน เป็นเพราะการใช้หัวเผา (Burner) เป็นตัวตัดต่อแก๊ส ทำให้การหมุนเวียนของความร้อนน้อยกว่าการใช้ฮีตเตอร์ และเมื่อเทียบกับความดันทางเข้าและออกของแก๊สจะมีลักษณะกราฟที่คล้ายกับการใช้ฮีตเตอร์ แต่เมื่อเทียบกันแล้วการใช้ เศษแก๊สให้ความร้อนกับน้ำได้ดีกว่าการใช้ฮีตเตอร์ เนื่องจากฮีตเตอร์เป็นรูปแบบการใช้พลังงานทางไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ดังนั้นอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะใช้เวลาที่มากกว่า ส่วน Figure 17 ค่า

อุณหภูมิทั้ง 4 ตำแหน่งในตู้อบแห้งมีค่าใกล้เคียงกันอย่างสม่ำเสมอ และมีอุณหภูมิในห้องอยู่เฉลี่ยที่ 90 °C ดังนั้นการใช้หัวเผา จะทำให้เพิ่มความร้อนทำให้เกิดสระเหยเป็นไอแก๊สได้ดีกว่าการใช้ฮีตเตอร์ และใช้เศษแก๊สเพียง 3 kg เท่านั้นในกระบวนการอบแห้ง และสามารถประเมินค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจากแก๊ส LPG เท่ากับ 2,975 บาท

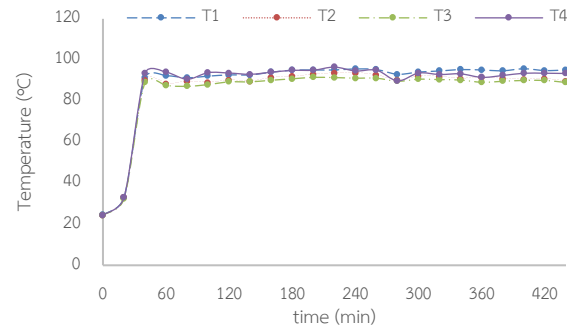


Figure 17 Temperatures in the drying oven when using a burner.

4.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบแห้งของระบบเดิมและระบบใหม่

การเปรียบเทียบระบบเดิมกับระบบใหม่ จะเห็นได้ว่าการสร้างชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและการนำระบบให้ความร้อน 2 แบบ คือ การใช้ฮีตเตอร์และหัวเผา (Burner) เข้ามาเป็นแหล่งพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิภายในห้องมีความสม่ำเสมอมากกว่าการที่ไอแก๊สที่เป็นแบบ 1 วาล์ว ซึ่งการนำชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนใช้ร่วมกับแก๊ส LPG แบบ 2 วาล์ว จะเป็นการนำแก๊สเหลวที่อุณหภูมิต่ำออกมา แล้วนำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำ ทำให้แก๊สที่วิ่งในท่อนั้นมีอุณหภูมิสูงและความดันสูง โดยการควบคุมอุณหภูมิในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งทำให้อุณหภูมิก่อนเข้าตู้อบแห้งให้มีค่าอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดการอบแห้งลำไยทั้งเปลือกดัง Figure 18

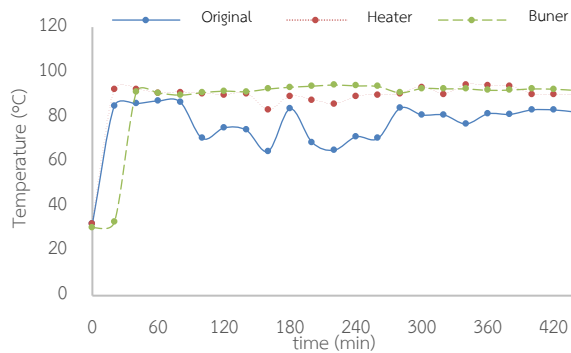


Figure 18 Comparison of the average temperature in the original, heater, and burner systems.

5 สรุป

การพัฒนาชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและแหล่งความร้อนที่นำมาใช้สำหรับการระเหยแก๊สของกระบวนการอบแห้งลำไยทั้งเปลือก ด้วยการนำหลักการของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้ามาช่วยในการทำให้แก๊สที่เป็นของเหลวกลายเป็นไอแก๊สได้รวดเร็วขึ้นและไม่เกิดการเกาะของไอน้ำ หรือการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ตัวถังแก๊ส ซึ่งลักษณะนี้จะต้องใช้ร่วมกับแก๊ส LPG แบบ 2 วาล์ว เนื่องจาก แก๊ส LPG แบบ 2 วาล์วนี้จะมีท่อดูดแก๊สจากสถานะที่เป็นของเหลวยาวไปถึงก้นถัง เป็นการนำเอาแก๊สที่เป็นของเหลวขึ้นมาแลกเปลี่ยนในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ได้ใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนกับแก๊ส LPG ในท่อ สำหรับเปลี่ยนสถานะให้แก๊สกลายเป็นไอน้ำที่ท่อขดทองแดงในชุดอุปกรณ์นั้น ซึ่งใช้แหล่งพลังงานความร้อนเป็นฮีตเตอร์ไฟฟ้าให้กับน้ำ และอีกทางเลือกหนึ่งสามารถนำเศษแก๊สที่เหลือกันถึงมาจุดให้ความร้อนกับน้ำ การใช้ระบบนี้เข้ามาทดแทนระบบเดิมในการแก้ไขปัญหาสามารถใช้แก๊สได้หมดถึง และยังสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งให้มีค่าคงที่ ทำให้มีความร้อนสำหรับการอบแห้งแบบสม่ำเสมอ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเชื้อเพลิงของ LPG จากปริมาณการใช้พิจารณาจากน้ำหนักแก๊สพบว่า ระบบเดิมมีต้นทุนการใช้แก๊ส 3,735 บาท (น้ำหนักแก๊สที่ใช้รวมกับน้ำแก๊สเหลือกันถึง) ระบบใหม่ที่มีชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ฮีตเตอร์และหัวเผา มีต้นทุนการใช้แก๊ส 3,165 บาท และ 2,975 บาท ตามลำดับ (คิดจากน้ำหนักแก๊สที่โลกกรัมละ 25 บาท) และสามารถลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจาก LPG คิดเป็นร้อยละ 15.85 และ 20.34

6 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากได้รับการสนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์ในการวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและชีวภาพ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา เชียงใหม่ ในรูปแบบสหกิจศึกษาในสถานประกอบการ ตลอดจนผู้ทรงคุณวุฒิ บุคลากรทุกท่านที่ให้คำแนะนำ ความร่วมมือ และข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้ขอขอบคุณที่ให้โอกาสนักวิจัยได้ศึกษาและทำวิจัยเรื่องนี้ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

7 เอกสารอ้างอิง

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 1997. ASHRAE Handbook – Fundamentals. (6th ed.). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, G.A., U.S.
- Jamshidi, N., Farhadi, M., Ganji, D., Sedighi, K. 2013. Experimental analysis of heat transfer enhancement in shell and helical tube heat exchangers. *Applied Thermal Engineering* 51, 644–652.
- Jinliang, X., Chuanyong, Y., Wei, Z., Dongliang, S. 2015. Turbulent convective heat transfer of CO₂ in a helical tube at near-critical pressure. *Journal of Heat and Mass Transfer* 80, 748–758.
- Junphong, A., Sukjak, N., Singkaew, P., Prakhomthong, T., Yeunyongkul, P., Nattaporn C., Munsin, R. 2021. Design and development of LPG vaporizer with automatic control system for ceramic factory. *Proceeding of the 13th International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being*, 46– 55. 18 September 2021, Online, Thailand.
- Shi, G.H., Aye, L., Liu, Y.C., Du, X.J. 2018. Dynamic simulation of liquefied petroleum gas vaporisation for burners. *Applied Thermal Engineering* 137, 575–583.
- Tuan, N. T., Donga, N. P. 2021. Theoretical and experimental study of an injector of LPG liquid

phase injection system. Energy for Sustainable Development 63, 103–112.