การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17
15-17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี

เครื่องอบพืชผลทางการเกษตร โดยพลังงานความร้อนใต้พิภพ

Agricultural Product Dryer by Geothermal Energy

ทวีศักดิ์ ทวีวิทยาการ[1] นำพร ปัญโญใหญ่[1] และ ถนัด เกษประดิษฐ[2]
[(1)]คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ เชียงใหม่
128 ถนน ห้วยแก้ว ต. ช้างเผือก อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50300

[(2)]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
โทร 053-226014 โทรสาร 053-226014 E-mail: K_thanad@hotmail.com[2]

Thaweesak Thaweewittayakran[1] Numporn Panyoyai[1] Thanad Katpradit[2*]

[(1)] Faculty of Engineering, RIT
128 Chang-Puak, Meung, 50300

[(2)] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
Suthep , Meung, 50200
Tel: 053-226014 Fax: 053-226014 E-mail: K_thanad@hotmail.com[*]

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการสร้างเครื่องอบขนาดเล็กโดยใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพ เพื่อใช้ในการอบขิงหรือพริกและศึกษาการอบแห้งพืชผลทางการเกษตร นอกจากนี้เครื่องอบแห้งยังสามารถอบพืชผลอื่น ๆ ได้ อีกหลายชนิดเครื่องอบนี้ประกอบด้วย ท่อเทอร์โมไซฟอนทำจากท่อทองแดงผิวเรียบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 12.7 มิลลิเมตร หนา 0.5 มิลลิเมตร ยาว 450 มิลลิเมตร จำนวน 65 ท่อ น้ำร้อนผ่านส่วนระเหยขนาดพื้นที่หน้าตัด 240×280 มิลลิเมตร สูง 210 มิลลิเมตร และอากาศไหลผ่านส่วนควบแน่นขนาดพื้นที่หน้าตัด 240×280 มิลลิเมตร สูง 210 มิลลิเมตร ทดสอบสมรรถนะโดยปรับอัตราการไหลของน้ำร้อนเป็น 0.025, 0.043 และ 0.063 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ และทำการปรับอัตราความเร็วของอากาศที่ 1.0, 1.1 และ 1.2 เมตรต่อวินาที จากผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบพบว่าอิทธิพลของอัตราการไหลด้านเย็นมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนควบแน่นจะเพิ่มขึ้นตามความสัมพันธ์ดังสมการเชิงเส้น $Q_{air}=13.71(m_c)+0.7336$ และถ้าอัตราส่วนของตัวเลขเรย์โนลด์ด้านร้อนต่อด้านเย็นเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิผลจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันตามความสัมพันธ์ $\varepsilon=0.0597(Re_h/Re_c)+0.0339$ อัตราการอบแห้งพบว่าปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์จะลดลงตามระยะเวลาในการอบ ระยะเวลาในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อบคือ ขิง ได้ความสัมพันธ์ตามสมการ $m = 55.909 (t)^2 – 994.15 (t) + 4995.3$

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ได้ค่าประหยัดคิดเป็นพลังงานไฟฟ้า 7,244.64 กิโลวัตต์ต่อปี คิดเป็นจำนวนเงินค่าไฟฟ้า 16,114.08 บาทต่อปี มีช่วงเวลาของเงินทุนกลับคืน 6 เดือน 8 วัน

Abstract

This project is to construct a small dryer by using geothermal energy for ginger and chilli as well as to study how to dry agricultural products. The dryer can be also used to dry another agricultural products. The dryer consists of 65 thermosyphon smooth copper tubes with an outside diameter of 12.7 millimeter a wall thickness of 0.5 millimeter and 450 millimeter length. The hot water pass through the evaporator which has the cross section area of 240×280 millimeter and 210 millimeter height. The air pass through the condenser which has

the cross section area of 240×280 millimeter and 210 millimeter height. During the tests, the hot water flow rate is set at 0.025, 0.043 and 0.063 kilogram per second respectively and the flow speed of the air supply is set at 1.0, 1.1 and 1.2 meter per second.

The test results show that the increase of air flow rate with respect to the increase of air heat transfer rate can be represented by the linear equation in the form of Q=13.710 (m_C)+0.7336. It is also found that increase of Reynolds number ratio with the increase of the effectiveness can be represented by the linear equation in the form of ε=0.0597(Re_h/Re_c)+0.0339. The drying rate decrease the water content in agricultural products as the drying time increase. For ginger, the relation between its mass and drying time can be represented by the equation ;

$$m = 55.909(t)^2 - 994.15(t) + 4995.3$$

By using this geothermal energy dryer instead of an electric dryer, the economic analysis shows that electrical energy will be saved approximately 7,244.64 kilowatt per year or equivalent to 16,114.08 baht per year and a pay back period will be 6 months and 8 days.

1.บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยที่จำเป็นอย่างยิ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการพัฒนาประเทศ จากสถิติซึ่งรวบรวมโดยองค์การสหประชาชาติในด้านการใช้พลังงานของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกนั้น มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างมากทุกปี แนวโน้มความต้องการทางด้านพลังงานของประเทศต่าง ๆ ก่อให้เกิดวิกฤตการณ์ในด้านการใช้พลังงาน ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าวิกฤตการณ์นี้เป็นปัญหาอย่างมาก และแต่ละประเทศพยายามหาแนวทางในการแก้ไขปัญหานี้อย่างเร่งด่วน โดยการเสาะแสวงหาพลังงานอื่นเพื่อนำมาทดแทน ใช้เทคโนโลยีที่ก้าวหน้ามาใช้ในการสำรวจการผลิต ตลอดจนการนำเอาประโยชน์ของพลังงาน
งานมาใช้อย่างประหยัด และมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันนี้ต่างประเทศเช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา ก็ได้นำเอาพลังงานความร้อนใต้พิภพ (Geothermal energy) มาใช้ประโยชน์แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นแหล่งพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม และใช้ประโยชน์ในด้านเกษตรกรรมอีกด้วย

เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม โดยเฉพาะในเขตภาคเหนือมีการเพาะปลูกมาก ในแต่ละปีจะมีการใช้พลังงานต่าง ๆ ในการอบพืชทางการเกษตรเช่น ไม้ฟืน ก๊าซหุงต้ม น้ำมันเชื้อเพลิง แต่ไม้ฟืนซึ่งเป็นแหล่งพลังงานดั้งเดิมกลับมีราคาแพงขึ้น และป่าไม้ได้ถูกทำลายลงมาก ทำให้ขาดแคลนไม้ฟืนในการใช้อบพืชทางการเกษตร และการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีอย่างมาก เสียค่าใช้จ่ายสูง จึงไม่อาจนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้แทนเชื้อเพลิงได้อย่างแพร่หลาย

ประเทศไทยมีการค้นพบแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพมากถึง 64 แห่ง [10] และอยู่ในเขตภาคเหนือประมาณ 40 แห่งซึ่งนับว่ามีจำนวนมาก ดังนั้นจึงคิดว่าควรมีการนำเอาพลังงานความร้อนใต้พิภพมาใช้ในการอบพืชทางการเกษตร ซึ่งคาดว่าจะสามารถลดค่าใช้จ่ายเรื่องของพลังงาน และลดความยุ่งยากด้านเทคนิคในการนำมาใช้ได้บ้าง

2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่งโดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีหลายแบบ โดยอาศัยทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นหลัก

2.2 เทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon)

ในการทำงานของท่อเทอร์โมไซฟอนนั้นจะแตกต่างจากท่อความร้อนทั่ว ๆ ไป คือ ท่อเทอร์โมไซฟอนนั้น อาศัยแรงดึงดูดของโลกในการดึงสารทำงานให้ตกลงมายังส่วนทำระเหยแต่ท่อความร้อนจะอาศัยวัสดุพรุนที่มีแรงตึงผิวช่วยในการดึงสารทำงาน ดังนั้นในการใช้งานท่อเทอร์โมไซฟอนจึงจำเป็นต้องให้ส่วนทำระเหยอยู่ต่ำกว่าส่วนควบแน่น การวางท่อเทอร์โมไซฟอนโดยทั่วไปจะอยู่ในลักษณะตั้งตรงหรือเอียง โดยให้ส่วนทำระเหยรับความร้อนจากแหล่งความร้อน เช่น จากเตาในแหล่งอุตสาหกรรมการผลิต หรือส่วนระบายความร้อนของเครื่องผลิตไอน้ำ

2.3 การอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้นซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุ ที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย ซึ่งความร้อนที่ได้รับจะเป็นความร้อนแฝงของการระเหย โดยที่อากาศร้อนจะทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนให้กับวัสดุ และรับความชื้นจากวัสดุ [5] ประโยชน์ของการอบแห้งที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

2.3.1 เพื่อการถนอมรักษาอาหาร ซึ่งอาหารที่แห้งแล้วสามารถเก็บรักษาได้นาน โดยไม่เสียเนื่องจากความร้อนลดการเติบโตของจุลินทรีย์

2.3.2 เพื่อลดน้ำหนัก ซึ่งจะทำให้สะดวกในการขนส่ง และการเก็บรักษา

2.3.3 เป็นการแปรรูปผลิตภัณฑ์ ทำให้มีทางเลือกในการบริโภคมากขึ้น และทำให้มูลค่าสินค้าเพิ่มขึ้น

2.4 ระบบพลังงานความร้อนใต้พิภพ

พลังงานความร้อนใต้พิภพ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบใหญ่ตามลักษณะธรณีวิทยา ดังนี้คือ

2.4.1 ระบบไอน้ำและระบบน้ำร้อน (Hydrothermal-Convection Systems) คือลักษณะการเกิดเนื่องจากน้ำฝนไหลซึมผ่านชั้นดิน และหินลงไปสู่ใต้โลก เมื่อได้รับการถ่ายเทความร้อนจากหินร้อนด้านล่างทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น มีความดันสูงขึ้น ดันแทรกผ่านรอยแตกของหินขึ้นมาสู่ผิวโลก ซึ่งสามารถทำการขุดเจาะฝังท่อให้ไอน้ำพุ่งขึ้นมาหมุนกังหันไฟฟ้าหรือใช้ประโยชน์อื่น ๆ

2.4.2 ระบบหินร้อนแห้ง (Hot dry rock systems) เป็นระบบที่มีแหล่งกักเก็บความร้อนเป็นหินร้อนมีเนื้อแน่น ไม่เป็นรูพรุน ด้วยเทคโนโลยีปัจจุบัน มนุษย์สามารถสร้างรอยแตกในเนื้อหินที่อยู่ลึกลงไปใต้ผิวดิน 2 – 3 กิโลเมตร โดยใช้แรงอัดสูงทำให้เกิดโพรงในเนื้อหินนั้น ๆ ทำให้เป็นแหล่งกักเก็บความร้อน จากนั้นก็ทำการอัดน้ำเย็นลงไปทางหลุมเจาะ น้ำเย็นจะได้รับการถ่ายเทความร้อนจากหินร้อนด้านล่างทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ไหลหมุนเวียนอยู่ในแหล่งกักเก็บที่สร้าง และจะพุ่งขึ้นมาตามท่อของหลุมเจาะที่จะนำไอน้ำขึ้นมาใช้ประโยชน์

2.4.3 ระบบความดันธรณี (Geopressured Systems) เป็นระบบที่เกิดเนื่องจากแหล่งพลังงานความร้อนอยู่ใต้ชั้นหินหนาที่มีแรงกดสูงมาก ทำให้น้ำในแหล่งกักเก็บใต้ชั้นหินหนามีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากการเพิ่มความร้อนจำเพาะของโมเลกุลของน้ำ พลังงานความร้อนระบบนี้พบที่บริเวณ Gulf Coast ของประเทศสหรัฐอเมริกา จากการสำรวจพบว่าน้ำในแหล่งกักเก็บมีอุณหภูมิสูงถึง 273 $^{\circ}$C และมีความดันสูงถึง 11,000 Psi ที่ความลึก 5,859 m แต่เนื่องจากแหล่งพลังงานความร้อนระบบความดันธรณี ส่วนใหญ่เกิดอยู่ในที่ลึกมากจึงยังไม่มีการพัฒนานำพลังงานนี้ขึ้นมาใช้งาน

3.อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)

ได้ออกแบบสร้างสำหรับแหล่งความร้อนคือ น้ำพุร้อน มีช่วงอุณหภูมิ 80–90 $^{\circ}$C โดยชุดแลกเปลี่ยนความร้อนประกอบด้วยท่อเทอร์โมฟอนจำนวน 65 ท่อ จัดเรียงท่อแบบเยื้องกัน การจัดเรียงท่อเป็นจำนวน 10 แถว แถวแรกมี 6 ท่อ แถวต่อไปจะเป็น 7 ท่อ และสลับกันไปแบบนี้จนครบ 10 แถว ดังนั้นได้ท่อเทอร์โมไซฟอน 6 ท่อ จำนวน 5 แถว ท่อเทอร์โมไซฟอน 7 ท่อ จำนวน 5 แถว

รูปที่ 1 ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเทอร์โมไซฟอนและตู้อบ

3.2 ตู้อบ

ออกแบบ และสร้างให้อบพืชผลทางการเกษตรได้ ครั้งละ 5 กิโลกรัม ซึ่งภายในตู้อบได้จัดทำชั้นวางจำนวน 5 ชั้น ๆ ละ 1 กิโลกรัม ตู้อบมีขนาดหน้าตัด 620×620 มิลลิเมตร สูง 520 มิลลิเมตร ด้านข้างของตู้อบมีประตูสำหรับนำพืชผลทางการเกษตรเข้าและออก มีช่องสำหรับดูพืชผลทางการเกษตรที่กำลังอบโดยใช้พลาสติกแข็งใสปิด

เริ่มต้นการทดลองจะเดินเครื่องโดยปรับตั้งอัตราการไหลของน้ำและอากาศ เพื่อให้ได้อุณหภูมิไว้ค่าหนึ่ง โดยปล่อยให้เครื่องเดินจนอุณหภูมิทั้งทางด้านร้อน และเย็นอยู่ในสภาวะสม่ำเสมอ (Steady state) ซึ่งใช้เวลาเดินเครื่องประมาณ 30 นาที จากนั้นนำพืชผลทางการเกษตรใส่เข้าในตู้อบ 5 กิโลกรัม โดยจะเก็บข้อมูลของอุณหภูมิของน้ำร้อน และอากาศ ทั้งขาเข้า และขาออก โดยให้แต่ละค่านั้นอยู่ที่สภาวะคงที่ แต่ละค่าจะเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนได้เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และทำการทดสอบต่อโดยปรับอัตราการไหลของน้ำ และอากาศในค่าต่อไป อัตราการไหลของน้ำคือ 0.025, 0.043 และ 0.063 กิโลกรัมต่อวินาที และอัตราการไหลของอากาศคือ 0.0504, 0.0554 และ 0.0605 เมตรต่อวินาที ในการทดสอบที่อัตราการไหลต่าง ๆ เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ที่ให้ค่าความร้อนสูงสุดที่จะนำไปอบพืชผลทางการเกษตร

การคำนวณ และวิเคราะห์หาค่าสมรรถนะต่าง ๆ ของเครื่องอบพืชผลทางการเกษตร คำนวณวิเคราะห์ผล อัตราการไหลของน้ำมีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอบพืชผลทางการเกษตร และอัตราการไหลที่มีผลต่อค่าประสิทธิผลของเครื่องอบพืชผลทางการเกษตรใน แต่ละอัตราการไหลของน้ำร้อนกับอากาศ คำนวณ และวิเคราะห์การประหยัดพลังงานที่จะนำเครื่องอบพืชผลทางการเกษตรโดยทำการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์

4.ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการทดลองในครั้งนี้ได้ศึกษาถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะของเครื่องอบพืชผลทางการเกษตร โดยสามารถจำแนกผลการทดลอง และวิจารณ์ผลดังนี้

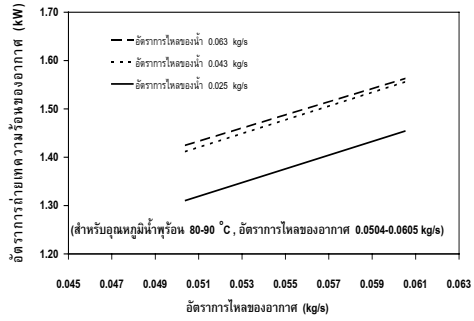
- อัตราการถ่ายเทความร้อน
- ประสิทธิผล
- อัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์

4.1 อัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอบพืชผลทางการเกษตร

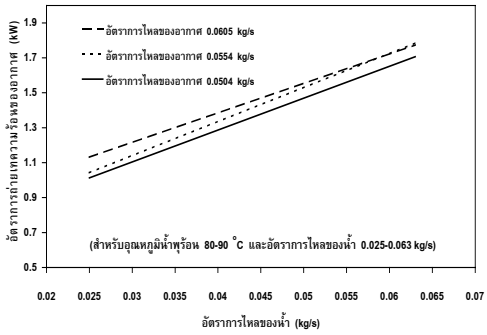
การประเมินสมรรถนะของเครื่องอบประเมินได้จากค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของชุดแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะคือ อัตราการไหล

อิทธิพลของอัตราการไหล จากรูปที่ 2 และ 3 แสดงอิทธิพลของอัตราการไหลที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนให้เห็นเด่นชัดขึ้น โดยการเปลี่ยนอัตราความเร็วของอากาศ และเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งพิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนควบแน่น โดยทดสอบอัตราการไหลของน้ำคือ 0.025, 0.043 และ 0.063 กิโลกรัมต่อวินาที อัตราการไหลของอากาศที่ 0.0504, 0.0554 และ 0.0605 กิโลกรัมต่อวินาที พบว่าเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น การถ่ายเทความร้อนที่ส่วนควบแน่นจะเพิ่มขึ้น ตามความสัมพันธ์เชิงเส้น $Q_{air}=13.71m_h+0.7336$ กิโลวัตต์ ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.063 กิโลกรัมต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 2 และความสัมพันธ์เชิงเส้น

Q_{air}=16.919m_c+0.7079 กิโลวัตต์ ที่อัตราการของอากาศ 0.06050 กิโลกรัมต่อวินาทีแสดงในรูปที่ 3



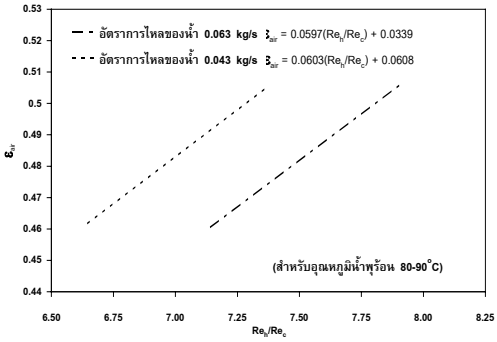
รูปที่ 2 ความสัมพันธ์อัตราการไหลของอากาศกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศ



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์อัตราการไหลของน้ำกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศ

4.2 ประสิทธิผล (ε) ของเครื่องอบพืชผลทางการเกษตร

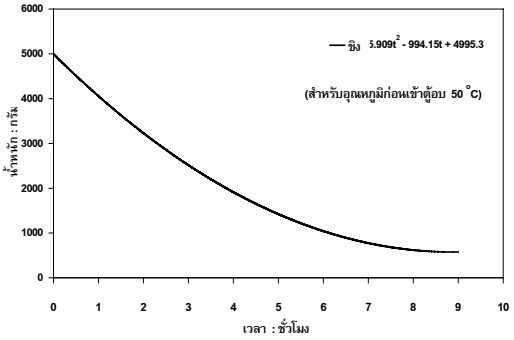
การแสดง และทำนายสมรรถนะของเครื่องอบพืชผลทางการเกษตรจะอาศัยอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยแสดงในรูปของค่าประสิทธิผล ดังรูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของอัตราการไหล ซึ่งอยู่ในเทอมของอัตราส่วนตัวเลขเรย์โนลด์ ระหว่างด้านร้อนกับด้านเย็น (Re_h/Re_c) ได้ทำการทดลองอัตราส่วนตัวเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 6.50 ถึง 8.2 อยู่ในแนวแกนนอนและค่าประสิทธิผลอยู่ในแนวแกนตั้ง เพื่อให้เห็นความแตกต่าง และเกิดการเปรียบเทียบเด่นชัดขึ้น พบว่าเมื่ออัตราส่วน Re_h/Re_c มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 7.14 ถึง 7.90 ค่าประสิทธิผลก็จะเพิ่มขึ้นซึ่งสามารถทำนายหาประสิทธิผลของเครื่องอบได้ตามสมการ $\varepsilon = 0.0597 (Re_h/Re_c) + 0.033$



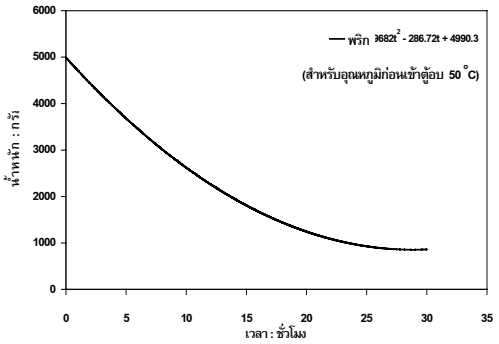
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเรย์โนลด์กับค่าประสิทธิผล

4.3 อัตราการอบแห้ง

จากการทดลอง และทำนายสมรรถนะของเครื่องอบแห้งข้างต้นแล้วนำผลที่ดี และคงที่ที่สุดมาใช้ในการอบพริก และขิงฝานเป็นแผ่นที่ m_h = 0.063 kg / s และ m_c = 0.0605 kg / s ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 5 และ 6 กำหนดให้แกนนอนเป็นเวลาที่ใช้ในการอบ แกนตั้งเป็นน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่หายไป ผลที่ได้พบว่าปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์จะลดลงตามระยะเวลาการอบ น้ำที่ออกจากผลิตภัณฑ์จะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับ ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้อบ ดังแสดงในรูปที่ 5 ผลิตภัณฑ์ที่อบคือ ขิง ได้ความสัมพันธ์ $m = 55.909(t)^2 - 994.15(t) + 4995.3$ ซึ่งขิงจะมีอัตราการระเหยสูง ได้ความชื้นมาตรฐานเปียกร้อยละ 84 เมื่อผ่านชั่วโมงที่ 6 ไปแล้วความชื้นจะเริ่มคงที่และไม่ระเหยอีก ในรูปที่ 6 ผลิตภัณฑ์ที่อบคือ พริก ได้ความสัมพันธ์ตามสมการ $m = 4.9682(t)^2 - 286.72(t) + 4990.3$ ซึ่งพริกจะมีอัตราการระเหยต่ำ เพราะผิวของพริกมีความมัน และหนา ทำให้การระเหยของน้ำในแกนพริกผ่านผิวของพริกออกมายากจึงใช้ระยะเวลาในการอบนานกว่าขิง โดยอัตราการระเหยจะเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 22 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับปริญญานิพนธ์เรื่องการศึกษาหาค่าความชื้นตามมาตรฐานของผลผลิตทางการเกษตร โดย นายวีระชัย ตันสุวรรณโรจน์ และนายสมชาย โท๊ะนาบุตร [6]



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับน้ำหนักขิงที่อบ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับน้ำหนักพริกที่อบ

5.สรุป

จากการทดลองเครื่องอบพืชผลทางการเกษตรโดยใช้กับพลังงานความร้อนใต้พิภพ แหล่งน้ำพุร้อนที่อุณหภูมิ 80 – 90 °C อุณหภูมิภายในตู้อบประมาณ 50 °C ชุดแลกเปลี่ยนแบบทเทอร์โมไซฟอนมีขนาด 1,700 วัตต์ ใช้อบผลิตภัณฑ์น้ำหนัก 5 กิโลกรัม สามารถอธิบายผลการทดสอบเครื่องอบพืชผลทางการเกษตรได้ดังนี้

5.1 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหล (m_c)

พบว่าเมื่ออัตราการไหลมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน (Q_{air}) ที่ได้จากส่วนควบแน่นจะเพิ่มขึ้นตามความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$Q_{air} = 13.71m_c + 0.7336$$

จากการทดสอบได้อัตราการถ่ายเทความร้อนของชุดแลกเปลี่ยนความร้อน ในส่วนควบแน่นเฉลี่ย 1,580 วัตต์ ซึ่งต่ำกว่าที่ได้ออกแบบ และคำนวณคือ 1,700 วัตต์ ทั้งนี้เพราะอิทธิพลของความชื้นในอากาศบริเวณสถานที่ทดสอบมีมาก โดยเฉพาะฤดูฝน

5.2 อิทธิพลของความเร็ว (ตัวเลขเรย์โนลด์)

พบว่าเมื่อ อัตราส่วนเรย์โนลด์ด้านร้อนต่อด้านเย็น (Re_h/Re_c) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิผล (ε) จะเพิ่มขึ้น ตามสมการ

$$\varepsilon_{air} = 0.0597 (Re_h/Re_c) + 0.0339$$

จากการทดสอบได้ประสิทธิผลของชุดแลกเปลี่ยนความร้อน ในส่วนควบแน่นร้อยละ 47.5 และส่วนระเหยร้อยละ 53.0 ค่าประสิทธิผลที่ได้จากชุดแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้ออกแบบ และสร้างสามารถดึงความร้อนจากแหล่งไปใช้ได้คือ จากแหล่งน้ำพุร้อนมีอุณหภูมิ 80-90 °C นำไปใช้ในตู้อบได้ถึง 50 °C จึงทำให้ค่าประสิทธิผลหรือสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ออกแบบ และสร้างขึ้นนั้นทำงานได้ผลดี

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักพืชผลทางการเกษตร (m) กับเวลาในการอบ (t)

พบว่าเมื่อระยะเวลาในการอบมากขึ้น น้ำหนักของพืชผลทางการเกษตรจะลดลงตามความสัมพันธ์ ของสมการ

$$m = 55.909\ t^2 – 994.15\ t + 4995.3$$

พืชผลทางการเกษตรที่ใช้อบคือ ขิง และพริก โดยขิงใช้เวลาในการอบแห้ง 6 ชั่วโมง แต่พริกใช้เวลาในการอบแห้ง 22 ชั่วโมง ซึ่งพริกจะใช้เวลาในการอบแห้งยาวนานกว่าขิง เพราะคุณสมบัติทางกายภาพของพริกจะมีผิวมันซึ่งจะทำให้ดึงน้ำออกได้ยากกว่าขิง

5.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ผลจากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์พบว่าตู้อบแบบใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพโดยมีเครื่องแลกเปลี่ยนแบบเทอร์โมไซฟอนจะสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้า 7,244.64 กิโลวัตต์ต่อปี คิดเป็นจำนวนเงินค่าไฟฟ้า 16,114.08 บาทต่อปี มีช่วงเวลาของเงินทุนกลับคืน 6 เดือน 8

เอกสารอ้างอิง

[1] ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. การทำความเย็น และปรับอากาศ. นนทบุรี : โรงพิมพ์ ก. วิวรรธน์, 2543.

[2] ทวีศักดิ์ ทวีวิทยาการ. “เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเทอร์โมไซฟอน” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[3] นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย. การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer). พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ : พิมพ์ดี, 2539.

[4] ประดิษฐ์ เทอดทูล. กาลักความร้อน (Thermosyphon). ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2536.

[5] วิวัฒน์ ตัณฑพาณิชกุล. อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม. แปลจาก เรียวโซ โทเอ โดย โครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมอุตสาหกรรมไทย – ญี่ปุ่น.

[6] วีระชัย ตันสุวรรณโรจน์ และสมชาย โท๊ะนาบุตร. “การศึกษาหาค่าความชื้นมาตรฐานของผลผลิตทางการเกษตร”. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[7] มนตรี พิรุณเกษตร. การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer). พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : พิมพ์ดี, 2542.

[8] มนตรี พิรุณเกษตร. อุณหพลศาสตร์ 1. พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2533.

[9] สุนันท์ ศรัณยนิตย์, การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2535.

[10] อำนวยชัย เทียนประเสริฐ. เทคโนโลยีที่แก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำมัน. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2522

[11] Andros, F.E., and Fiorchuclz, L.W. Heat Transfer Characteristics of The Two – Phase Closed Thermosyphon (Wickless Heat Pipe). 7th edition Heat Transfer Cond, pr 187-192, 1982.

[12] Cengel, Yunus A. Heat Transfer a Parctical Appoach. Singapore : McGraw-Hill Company, 1998.

[13] Dunn, P., and Reay, D.A. Heat Pipe. 3rd edition Pergamon : international library. 1982.