

ออกแบบและพัฒนาระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็น
สำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช

Design and Development Air-Condition and Refrigeration System for Seed Storage

อานนท์ สายคำฟู^{1/} วิชัย โอภาณุกุล^{1/} ตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์^{1/} พิชญพงษ์ เมืองมูล^{1/} อีร์ศักดิ์ โกเมฆ^{2/}
บัณฑิต จิตรจางค์^{3/} กัณทิมา ทองศรี^{4/} นิภาภรณ์ พรรณรา^{4/} ดนัย ศาลทูลพิทักษ์^{1/} บาลทิตย์ ทองแดง^{1/}
Arnon Saicomfu^{1/} Wichai Opanukul^{1/} Tinnasit Kaisinburasak^{1/} Phitchayaphong Mueangmoon^{1/}
Theerasak Komake^{2/} Bundit Jitjumnong^{3/} Kantima Thongsri^{4/} Nipapon Punnara^{4/}
Danai Sarntoonpituk^{1/} Bantit Thongdang^{1/}

ABSTRACT

The purpose of this research was to design and develop air-condition and refrigeration systems of seed storage, which reduce storage cost and maintain high quality of seed. The refrigeration system could control temperature and relative humidity (RH), operated by condensing and heat up by hot gas from refrigerant for suitable environment of seed storage. The size of cold storage room's prototype was 2.2 x 4.0 x 2.2 m (width x length x height). Polyurethane foam panels (50 mm thickness) were used as wall insulation. The cooling system consisted of R-22 refrigerant, 4 hp (380V/3Ph/50Hz) compressor motor with 5.85 kW cooling capacity. Fan of unit cooler had air mass flow rate at 0.6 kg.sec-1. The heating coil capacity 6 kW was installed for dehumidification. The coefficient of performance (COP) was determined by using low pressure of refrigerant to constant at 50 psi and 3 ranges of high pressure i.e. 190-220 psi, 220-250 psi and 250-280 psi. The COP_{Ref} were 4.02, 3.13 and 2.8, respectively and electric power consumption was 0.46, 1.12 and 2.17 kW/h, respectively. The results showed that the high pressure of refrigerant at 190-220 psi was the optimum pressure while the average temperature and

^{1/} สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร

^{1/} Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture.

^{2/} ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร

^{2/} Chiangmai Agricultural Engineering Research Center, Department of Agriculture.

^{3/} ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร

^{3/} Chanthaburi Agricultural Engineering Research Center, Department of Agriculture.

^{4/} ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก กองวิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร

^{4/} Phitsanulok Seed Research and Development Center, Department of Agriculture.

RH were $14.95 \pm 0.55^\circ\text{C}$ and $45.81 \pm 0.82\%$ RH. This prototype of cold room for seed storage could reduce machine cost, save energy for the dehumidifier system, and be easily transported. Therefore, this cold room is suitable for community enterprises, agricultural cooperatives and private sectors, where high quality seed production and cost reduction are required.

Key words: refrigeration system, air-condition system, dehumidifying, seed

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบปรับอากาศ และระบบทำความเย็นเพื่อลดต้นทุนในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชให้มีคุณภาพที่ดี ระบบทำความเย็นที่ออกแบบนี้สามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยใช้วิธีทำความเย็นเพื่อควบแน่น (Condensing) แล้วอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นโดยใช้พลังงานความร้อนจากสารทำความเย็น เพื่อปรับสภาวะอากาศให้เหมาะกับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช ต้นแบบห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชมีขนาด 2.2x4.0x2.2 ม. (กว้างxยาวxสูง) ใช้โฟมโพลียูรีเทน (Polyurethane) หนา 50 มม. เป็นฉนวนห้องเย็น ระบบทำความเย็นประกอบด้วยสารทำความเย็น R-22 มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ขนาด 4 hp (380V/3Ph/50Hz) และมีความสามารถในการทำความเย็น 5.85 kW ขณะที่พัดลมคอยล์เย็นมีอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเท่ากับ 0.6 กก./วินาที และติดตั้งคอยล์ร้อนสำหรับลดความชื้นสัมพัทธ์ขนาด 6 kW ใน

การทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) ได้กำหนดช่วงแรงดันของสารทำความเย็นด้านต่ำให้คงที่ที่ 50 psi และแรงดันด้านสูง 3 ช่วง คือ 190-220 psi, 220-250 psi และ 250-280 psi ผลการทดสอบ พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเท่ากับ 4.02, 3.13 และ 2.87 และการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW/h) เท่ากับ 0.46, 1.12 และ 2.17 ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบว่า แรงดันด้านสูงของสารทำความเย็นในช่วง 190-220 psi เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย $14.95 \pm 0.55^\circ\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย $45.81 \pm 0.82\%$ RH ต้นแบบห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชนี้สามารถลดต้นทุนเครื่องจักร ลดค่าพลังงานไฟฟ้าในส่วนของเครื่องลดความชื้น และสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในพื้นที่ต่าง ๆ ได้ตามต้องการ จึงเหมาะสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน สหกรณ์การเกษตร และภาคเอกชนที่ต้องการจะลดต้นทุนการผลิตในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้มีคุณภาพที่ดี

คำสำคัญ: ระบบทำความเย็น, ระบบปรับอากาศ, การลดความชื้นสัมพัทธ์, เมล็ดพันธุ์พืช

คำนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่มีศักยภาพของภูมิภาคอาเซียน เนื่องจากมีสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวย และมีมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อการส่งออก โดยมีการส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชไปต่างประเทศและสร้างรายได้เข้าประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 ถึง ปี พ.ศ. 2559 มีมูลค่าไม่น้อยกว่า 5,000 ล้านบาท/ปี โดยเฉพาะเมล็ดพันธุ์ผักและพืชไร่ เช่น พืชตระกูลแตง ผักบุงจิ้น มะเขือเทศ พริก ถั่วฝักยาว พริกทอง ผักกาดกวางตุ้ง ถั่วเขียวฝักดำ ข้าวโพดและ

ข้าวโพดหวาน เป็นต้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) เนื่องจากเมล็ดพันธุ์พืชเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีราคาค่อนข้างสูง วิธีการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่ดีจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ต้องเก็บรักษาได้ตามระยะเวลาที่ต้องการและเมล็ดพันธุ์ต้องอยู่ในสภาพที่ดี วิธีการหนึ่งที่จะช่วยเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในสภาพที่ดีคือ การควบคุมอุณหภูมิเพื่อควบคุมการทำงานของเอนไซม์ (Enzymes) และปฏิกิริยาทางเคมีที่ใช้ในกระบวนการหายใจของเมล็ดพันธุ์ ส่วนการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บเป็นการควบคุมการเจริญของเชื้อราและแบคทีเรียเนื่องจากเชื้อราและแบคทีเรียต้องการความชื้นสัมพัทธ์สูง 75% และ 90% ตามลำดับ ในการเจริญและเพิ่มจำนวน (Brooker, 1992)

ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชมีต้นทุนค่าเครื่องจักรที่ค่อนข้างสูงรวมถึงเครื่องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ติดตั้งเพิ่มใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงอีกด้วย จึงทำให้กลุ่มเกษตรกรไม่นิยมเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ไว้ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ แต่นิยมเก็บไว้ในฉาง ถังเก็บ ไซโล หรือในโรงเรือน ขณะที่การเก็บรักษาของทางหน่วยงานราชการหรือทางโรงงานภาคเอกชนขนาดใหญ่ นิยมเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ในห้องเย็นที่สามารถควบคุมอุณหภูมิเพื่อช่วยรักษาคุณภาพของเมล็ด การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในห้องเย็นแบบเดิมมีหลายวิธี เช่น การติดตั้งเครื่องลดความชื้นเพิ่มเข้าไปอีกเครื่อง ซึ่งทำงานแยกส่วนกับเครื่องทำความเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิภายในห้อง คือเครื่องทำความเย็นจะทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิภายในห้อง ส่วนเครื่องลดความชื้นทำหน้าที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งแยกการทำงานเป็นอิสระต่อกัน และจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา ได้มี

การพัฒนาตู้แช่เย็นขนาดเล็กมาเป็นเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน เพื่อลดต้นทุนของเครื่องจักรที่มีจำหน่ายทั่วไป และที่นำเข้าจากต่างประเทศ (ไกรสิงห์และคณะ, 2548) มีการออกแบบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ตัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (สฤทธิพรและสัมพันธ์, 2548ก) โดยเปลี่ยนอุปกรณ์จากท่อแคปปีลารี มาเป็นเทอร์โมสแตติกอิเล็กทรอนิกส์แบบชั้นวาล์ว ทำให้สมรรถนะของเครื่องลดความชื้นเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเครื่องที่พัฒนาขึ้นนั้นก็เพียงเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์เท่านั้น หากนำไปใช้งานสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชจะต้องใช้ควบคู่กับเครื่องทำความเย็น

จากปัญหาดังกล่าวทางคณะผู้วิจัย จึงได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็นที่สามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในเครื่องเดียวกัน ซึ่งระบบทำความเย็นที่ออกแบบใหม่นี้ใช้วิธีการทำความเย็นเพื่อควบแน่น (Condensing) และใช้พลังงานความร้อนที่ระบายทิ้งของสารทำความเย็น (Hot gas) กลับมาใช้เพื่อปรับสภาวะอากาศให้เหมาะกับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช

อุปกรณ์และวิธีการ

1. สำรวจห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช

สำรวจห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน จำนวน 8 แห่ง ได้แก่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ชัยนาท นครสวรรค์ และขอนแก่น ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุโขทัย และสกลนคร และศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวเชียงใหม่ โดยใช้แบบฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูล และศึกษาหลักการการทำงานของระบบเครื่องทำความเย็นที่ใช้

งานอยู่ แล้วนำมาวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียของแต่ละแห่ง เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบระบบเครื่องทำความเย็นใหม่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และตรงตามความต้องการใช้งาน

2. ออกแบบระบบปรับอากาศและเครื่องต้นแบบ

ออกแบบระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็น โดยใช้ข้อมูลหลักการทำงานของระบบเครื่องทำความเย็นที่ได้จากการสำรวจมาวิเคราะห์ และออกแบบให้เหมาะสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช โดยคำนวณภาระความร้อนของเครื่องทำความเย็น และสร้างห้องเย็นต้นแบบสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชขนาด 2.2x4.0 x2.2 ม. (กว้างxยาวxสูง) โดยเริ่มจากการคำนวณภาระการทำความเย็นที่สามารถหาได้ดังนี้ 1) การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและเพดานห้องเย็น 2) ความร้อนที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ 3) ความร้อนจากการเปิดปิดประตูห้องเย็น 4) ความร้อนจากคนที่ทำงานอยู่ในห้องเย็น 5) ความร้อนที่เกิดจากหลอดไฟแสงสว่าง และ 6) ความร้อนจากมอเตอร์พัดลมคอยล์เย็น เมื่อได้ภาระการทำความเย็นแล้ว ดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบภายในอาคารปฏิบัติการของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ซึ่งมีอุปกรณ์เครื่องทำความเย็นที่สำคัญคือ 1) คอมเพรสเซอร์แบบเฮอริเมติก ขนาดมอเตอร์ 4 hp. 2) อีแวนปอเรเตอร์พร้อมแผงคอยล์ร้อน 3) เทอร์โมสแตติกอิเล็กทรอนิกส์ขนาดวาล์ว 4) คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ และใช้ผนังห้องเย็นแบบโพลียูรีเทนหนา 50 มม. ในส่วนของการควบคุมการทำงานของเครื่องทำความเย็น ประกอบด้วย ชุดควบคุมอุณหภูมิ ชุดควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ และชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter)

3. การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ

3.1 ทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องต้นแบบและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) ตามวิธีของซังซวาล (2544) การทดสอบนี้ใช้อุปกรณ์วัดแรงดันสารทำความเย็น เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และมีเตอร์ไฟฟ้าในการทดสอบได้กำหนดให้แรงดันด้านสูงของระบบเครื่องทำความเย็น 3 ระดับ คือ 190-220 psi, 220-250 psi และ 250-280 psi แรงดันด้านต่ำให้มีค่าคงที่เท่ากับ 50 psi เพื่อศึกษาสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น และแรงดันสารทำความเย็นด้านสูง ที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง รวมถึงปริมาณการใช้พลังงานงานไฟฟ้าของระบบเครื่องทำความเย็น

3.2 ทดสอบเครื่องต้นแบบ (Container) เทียบกับเครื่องเก็บเมล็ดพันธุ์ของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก (Seed Lab)

เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นเครื่องต้นแบบ และเครื่องของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก ด้วยวิธีการวัดกระแสไฟฟ้าและใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) เก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละเครื่อง

3.3 ทดสอบการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ที่เก็บรักษาในห้องเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่มีลักษณะแตกต่างกัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จำนวน 5 ซ้ำ/กรรมวิธี ประกอบด้วยห้องเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช 3 แบบ คือ 1) ห้องเย็นเครื่องต้นแบบ (Container; 15±2 °ซ, 40-50 %RH) 2) ห้องเย็นของ ศวม.พิษณุโลก (Seed Lab; 15±2 °ซ, 40-50 %RH) และ 3) ห้องที่ไม่มี

การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช 5 ชนิด ได้แก่ เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวชัชนาถ 72 เมล็ดพันธุ์ข้าว กข.31 เมล็ดงาพันธุ์การค้า และ เมล็ดผักบุงพันธุ์การค้าที่เกษตรกรนิยมใช้ โดยบรรจุเมล็ดพันธุ์พืชแต่ละชนิดในถุงซิปลพลาสติก ชนิดละ 1 กก. จำนวน 35 ถุง/กรรมวิธี เก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ในห้องเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช ทั้ง 3 แบบ เป็นระยะเวลา 7 เดือน สุ่มเก็บตัวอย่างเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิด ทุก 1 เดือน จำนวน 5 ถุง /ชนิดเมล็ดพันธุ์ นำมาตรวจสอบความงอกเมล็ดพันธุ์ (Germination Test) ตามวิธีมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์นานาชาติ (ISTA, 2015) ทำการเพาะเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง โดยวิธี

การเพาะทราย (sand method) เพาะเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว และเมล็ดพันธุ์ผักบุงโดยวิธีการเพาะระหว่างกระดาษ (between paper) เพาะเมล็ดพันธุ์ข้าว และเมล็ดพันธุ์งาโดยวิธีการเพาะบนกระดาษ (top of paper) ใช้เมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดจำนวน 100 เมล็ด/ซ้ำ 4 ซ้ำ และเก็บไว้ในห้องทดสอบเพาะความงอกอุณหภูมิสลับ 20-30 °ซ ประเมินความงอกโดยนับจำนวนต้นกล้าปกติของเมล็ดพันธุ์งาที่อายุ 6 วัน เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่อายุ 7 วัน เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่อายุ 8 วัน เมล็ดพันธุ์ผักบุงที่อายุ 10 วัน และเมล็ดพันธุ์ข้าวที่อายุ 14 วัน คำนวณเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ตามสมการที่ 1 แล้วนำผลมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์} = \frac{\text{ผลบวกของจำนวนต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนซ้ำ}} \quad (1)$$

4. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Cost Benefit Analysis) สำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชในห้องเย็นต้นแบบ โดยมีราคาต้นทุนเครื่องจักรที่ 750,000 บาท และมีอายุการใช้งาน 15 ปี หลังจากนั้น เผยแพร่ห้องเย็นและระบบทำความเย็นต้นแบบสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช ให้กับกลุ่มเกษตรกร สหกรณ์การเกษตร ภาคเอกชนหรือหน่วยงานที่สนใจ

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการสำรวจห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช

สำรวจรวบรวมข้อมูลห้องเย็นและห้องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ในศูนย์วิจัยของกรมวิชาการเกษตร และกรมการข้าว จำนวน 8 แห่ง พบว่า ห้องเย็นที่ใช้สำหรับเก็บ

รักษาเมล็ดพันธุ์มีระบบทำความเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิและเครื่องลดความชื้น สามารถแบ่งออกเป็น 4 แบบ ดังนี้ 1) ห้องเย็นที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป (Split type) 2) ห้องเย็นที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปร่วมกับเครื่องลดความชื้น 3) ห้องเย็นที่ใช้เครื่องทำความเย็นร่วมกับเครื่องลดความชื้น และ 4) ห้องเย็นที่ใช้เครื่องทำความเย็นร่วมกับฮีทเตอร์ไฟฟ้า และพบว่า การใช้เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปยังไม่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากมีข้อจำกัดของช่วงอุณหภูมิการใช้งาน ส่วนการใช้เครื่องลดความชื้นนั้นเป็นการเพิ่มต้นทุนค่าเครื่องจักรและสิ้นเปลืองพลังงาน ขณะที่ใช้ร่วมกับฮีทเตอร์ไฟฟ้า ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการสิ้นเปลืองพลังงานเช่นกัน

2. ผลการออกแบบระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็น

จากข้อมูลการใช้งานห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดออกแบบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยใช้วิธีทำความเย็นเพื่อควบแน่น ดังแสดงใน Figure 1 เริ่มจากทำให้อากาศเย็นถึงจุดอิ่มตัวความชื้นในอากาศ แล้วกลั่นตัวเป็นหยดน้ำแยกออกมาจากอากาศ ทำให้ปริมาณมวลของน้ำในอากาศลดลง หลังจากนั้นจึงอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นจนถึงอุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยใช้พลังงานความร้อนจากสารทำความเย็นที่ระบายทิ้งที่คอนเดนเซอร์ ตามหลักการบนแผนภูมิคุณสมบัติของอากาศ (Figure 2) ซึ่งระบบนี้สามารถออกแบบให้ควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องได้ตามต้องการ นอกจากนี้ยังเป็นการใช้พลังงานความร้อนที่ระบายทิ้งจากระบบทำความเย็นกลับมาใช้สำหรับการลดความชื้นของอากาศได้อีกด้วย เป็นการใช้พลังงานให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด และทำให้ระบบทำความเย็นมีสมรรถนะสูงขึ้น เครื่องต้นแบบนี้ออกแบบให้มีอุณหภูมิ 15 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 40-50 %RH

การออกแบบและการสร้างห้องเย็นต้นแบบใช้โปรแกรม 3 มิติ (Figure 3) มีขนาดโครงสร้างภายนอก 2.2x5.0x2.6 ม. (กว้างxยาว x สูง) โครงสร้างภายในเป็นห้องเย็นขนาด 2.2x4.0x2.2 ม. (กว้างxยาวxสูง) ใช้โพลีโพลียูรีเทนหนา 50 มม.เป็นฉนวนห้องเย็น มีความจุภายในห้องประมาณ 17 ตร.ม. สามารถเก็บเมล็ดพันธุ์พืชได้ 8 ตัน ผลการออกแบบระบบทำความเย็นประกอบด้วยอุปกรณ์เครื่องทำความเย็นที่สำคัญดังนี้ 1) คอมเพรสเซอร์ 2) คอยล์เย็นและภายในติดตั้งแผงคอยล์ร้อน 3) เทอร์โมสแตติกเอกซ์แพนชันวาล์ว

และ 4) คอนเดนเซอร์ โดยมีวงจรของระบบเครื่องทำความเย็น (Piping diagram) ดังแสดงใน Figure 4 ซึ่งการออกแบบวงจรมีความแตกต่างจากระบบเครื่องทำความเย็นที่ใช้ทั่วไปคือ มีการนำสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะไอร้อนยิ่งยวดก่อนจะไประบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ กลับมาใช้ที่คอยล์ร้อนสำหรับลดความชื้นในห้องเย็น จึงทำให้ระบบเครื่องทำความเย็นนี้สามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์โดยไม่ต้องพึ่งพาเครื่องลดความชื้น ระบบเครื่องทำความเย็นที่ออกแบบใหม่นี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน

ผลการคำนวณภาระความร้อนของระบบทำความเย็นและสร้างเครื่องต้นแบบจากการออกแบบขนาดห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์สามารถคำนวณภาระความร้อนสำหรับระบบทำความเย็นได้ดังแสดงใน Table 1 และเมื่อได้ภาระความร้อนของระบบทำความเย็น เท่ากับ 4.952 kW จึงนำมาออกแบบวงจรรบบทำความเย็น ดังแสดงใน Figure 4 หลังจากได้ข้อมูลการออกแบบและแบบสำหรับการสร้างเครื่องต้นแบบเรียบร้อยแล้ว จึงดำเนินการสร้างและประกอบในอาคารปฏิบัติการของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม โดยเริ่มจากการประกอบโครงสร้างเหล็ก ผนังห้องเย็น และระบบทำความเย็น ตามลำดับดังแสดงใน Figure 5

3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ

3.1 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องทำความเย็น พบว่า แรงดันสารทำความเย็นด้านสูงที่อยู่ในช่วง 190-220 psi นั้น มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นสูงที่สุดเท่ากับ 4.02 (Table 2) มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูง ที่ตัดแปลงจากเครื่อง

ปรับอากาศแบบหน้าต่างของ สฤทธิพรและ สัมพันธ์ (2548ข) ที่มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ทำความเย็นสูงเท่ากับ 4.36 เนื่องจากระบบ ทำความเย็นมีแรงดันด้านสูงที่ต่ำ ส่งผลให้ คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานในการอัดไอสาร ทำความเย็นลดลง จึงทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า สามารถช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

3.2 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ เปรียบเทียบกับเครื่องของ ศวม.พิชญ์โลกที่มีการใช้งาน อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากัน และมีขนาด

มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ เท่ากันคือ 4 hp พบว่า ห้องเย็นต้นแบบที่สร้างขึ้นใช้กระแสไฟฟ้าเพียง 6.31 Amp. แต่เครื่องของ ศวม.พิชญ์โลก ใช้ กระแสไฟฟ้ามากถึง 11.8 Amp. (Table 3) เนื่องจากเครื่องต้นแบบมีระบบทำความเย็นเพียง ระบบเดียว ที่สามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง ส่วนเครื่องศวม.พิชญ์โลก มีการใช้กระแสไฟฟ้าสูงกว่า เนื่องจากมี ระบบการทำงาน 2 ส่วน คือ เครื่องทำความเย็น และเครื่องลดความชื้น อีกทั้งอากาศที่ออกจาก เครื่องลดความชื้นมีอุณหภูมิสูงถึง 50 °ซ ซึ่งเป็น

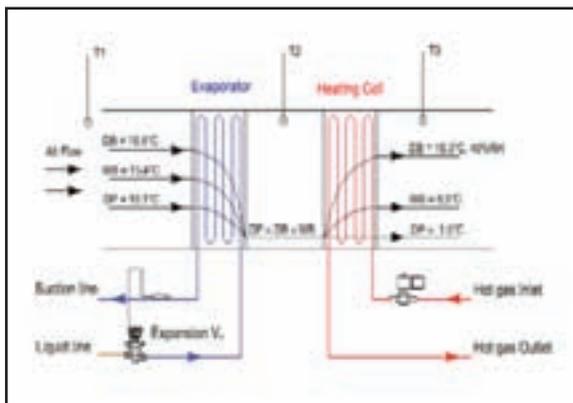


Figure 1 Concept Design for Air-conditioning system

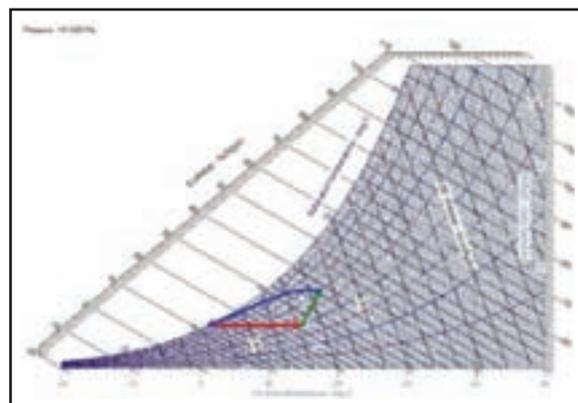


Figure 2 Psychrometric Chart. (ASHREA, 1997)

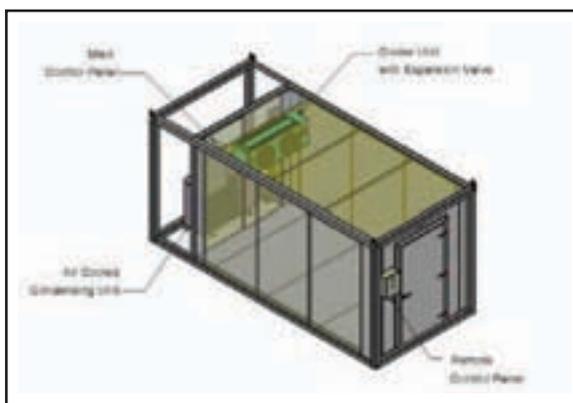


Figure 3 3D drawing design for Container

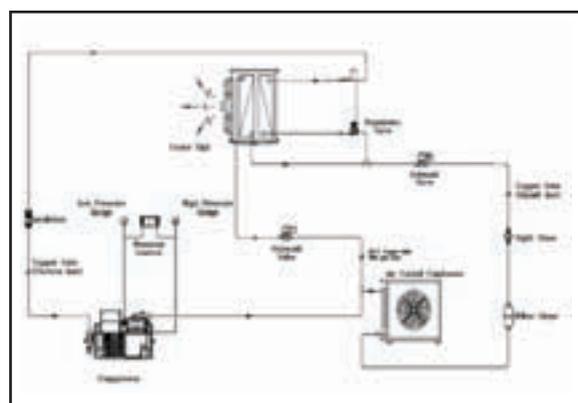


Figure 4 Piping diagram of refrigeration system

Table 1 Calculation load of refrigeration system

No.	List	Detail	Refrigeration Load (Watts)
1	Wall Gain Load	Polyurethane (50 mm)	596
2	Product Load	(Seed 6,000 kg, 600 kg/day)	1,347.2
3	Air Change Load	11.6 kJ/kg/24 hr	746.3
4	Personnel Load	Number of personnel = 2	140
5	Lighting Load	15 Watts/m ²	44
6	Fan Motor Load	Motor 0.3 kW x 2	878
Safety Factor 10%			450.2
Total Cooling Load			4,952

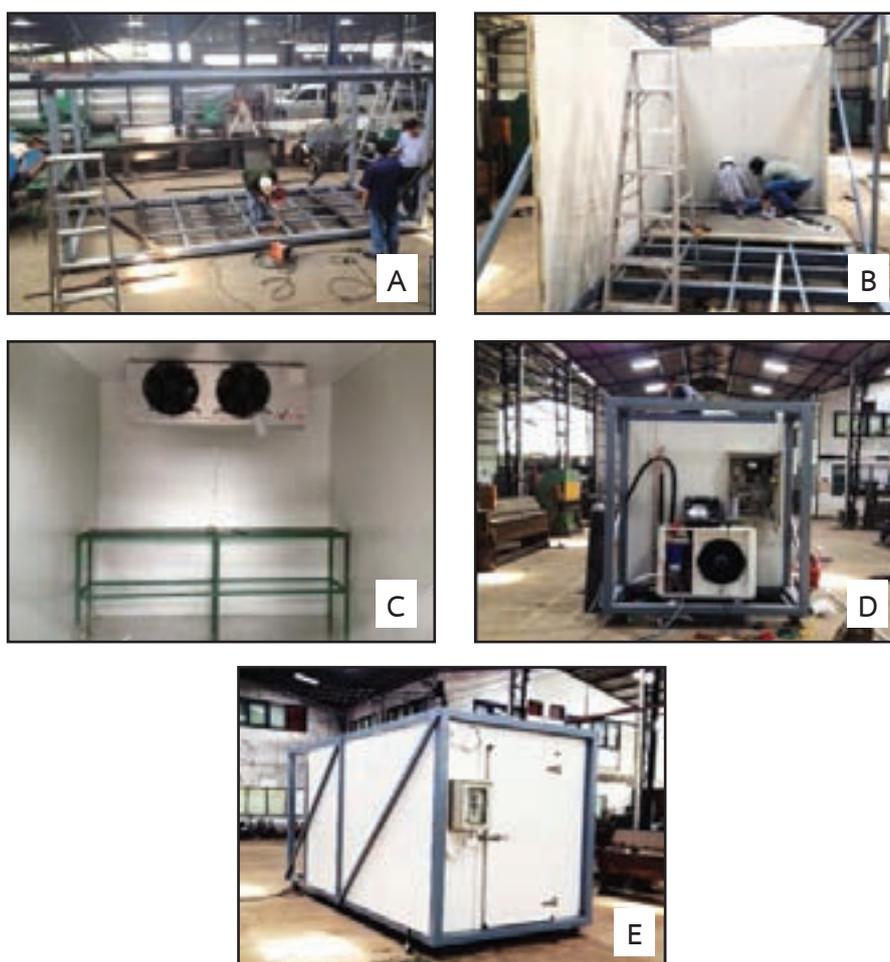


Figure 5 (A) Structure. (B) Insulation. (C) Cooler unit. (D) Refrigeration system.
(E) Prototype's container

Table 2 The result of refrigeration performance testing

Low pressure (PSIG)	High pressure (PSIG)	Temperature (°C)*	Relative Humidity (%RH)*	Coefficient of Performance (COP)	Power Consumption (kWh)
50	190-220	14.95±0.55	45.81±0.82	4.02	0.46
50	220-250	14.38±0.49	48.33±0.79	3.13	1.12
50	250-280	14.37±0.48	49.91±0.43	2.87	2.17

*Mean ± SD

ภาวะความร้อนให้กับระบบทำความเย็น ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าเครื่องของ ศวม. พิษณุโลก โดยใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่าถึงร้อยละ 46

3.3 ผลการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืช 5 ชนิด ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ข้าว งา และ ผักบุ้ง ในห้องเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช 3 แบบ พบว่า เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่เก็บรักษาในห้องเย็น เครื่องต้นแบบ ตลอดระยะเวลา 7 เดือน มีเปอร์เซ็นต์ความงอก 52-66% ไม่แตกต่างกันจากเมล็ดพันธุ์ที่เก็บในห้องเย็นของศวม. พิษณุโลก ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความงอก 53-66% แต่แตกต่างกับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองในสภาพห้องที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ ความงอกในเดือนที่ 1 ลดลงเหลือ 39% และเดือนที่ 7 มีเปอร์เซ็นต์ความงอกเพียง 9% (Table 4) ผลการทดสอบ สอดคล้องกับ สมชาย (2543) ที่พบว่าการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองในสภาพควบคุมอุณหภูมิที่ 15-20 °ซ เปอร์เซ็นต์ความงอกและความแข็งแรงจะสูงกว่าการเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิห้อง และเปอร์เซ็นต์ความงอกลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น เช่นเดียวกับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าว ในห้องเย็นเครื่องต้นแบบ ห้องเย็นของ

ศวม. พิษณุโลก และในสภาพห้องที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ในช่วง 2 เดือนแรก เปอร์เซ็นต์ความงอกไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3-7 เดือน มีเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดข้าว จะแตกต่างกัน (Table 5)

การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวในสภาพห้องแบบต่าง ๆ มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 6) โดยการเก็บที่ห้องไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ มีเปอร์เซ็นต์ความงอก 94% ในเดือนที่ 4 สูงกว่าเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่เก็บในห้องเย็น เครื่องต้นแบบ แต่ในเดือนที่ 7 มีเปอร์เซ็นต์ความงอกลดลงเหลือ 86% และแตกต่างกับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวในห้องเย็นทั้ง 2 แบบ ขณะที่การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งา ตลอดระยะเวลา 7 เดือน ในห้องเย็นเครื่องต้นแบบ ห้องเย็นของศวม. พิษณุโลก และสภาพห้องที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในเดือนที่ 6 การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาในสภาพห้องที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ มีเปอร์เซ็นต์ความงอก 76 % ลดลงเล็กน้อย แต่มีความแตกต่างจากการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาในห้องเย็นทั้ง 2 แบบ และในเดือนที่ 7 เปอร์เซ็นต์ความงอกไม่แตกต่างกัน

Table 3 The result of power consumption testing between Container and Seed lab

Room	Room Sizing (WxLxH) m	Compressor (380/3/50) HP	Temperature (°C)	Relative Humidity (%RH)	EL. power of Refri geration system (Amp.)	EL. power of Dehumi difying system (Amp.)	Total EL. Power (Amp.)
Container	2.2x4.0x2.2	4	15.10±0.51	46.23±0.94	6.31	-	6.31
Seed Lab	2.9x4.8x2.8	4	14.76±0.23	47.34±0.95	6.5	5.3	11.8

*Mean ± SD

Table 4 Effects of cold storage room on soy bean seed germination (%) after 7 months storage

Storage room	Storage Period (month) ^{1/}							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1. Container	66	60a	59a	64a	58a	60a	52a	56a
2. Seed lab	66	62a	60a	61a	61a	60a	53a	53a
3. Room temperature	66	39b	27b	34b	34b	31b	15b	9b
F-test	ns	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	1.49	5.90	5.03	4.58	5.19	4.87	8.74	6.66

^{1/} Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at 5 % level by LSD

Table 5 Effects of cold storage room on rice seed germination (%) after 7 months of storage

Storage room	Storage Period (month) ^{1/}							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1. Container	75	69	79	63 b	43 a	83 a	66 b	69 a
2. Seed lab	75	64	77	74 a	36 ab	81 a	78 a	74 a
3. Room temperature	75	65	81	62 b	27 b	39 b	26 c	16 b
F-test	ns	ns	ns	*	**	**	**	**
C.V. (%)	2.09	13.02	3.51	8.29	17.36	3.78	5.51	10.83

^{1/} Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at 5 % level by LSD

Table 6 Effects of cold storage room on mung bean seed germination (%) after 7 months storage

Storage room	Storage Period (month) ^{1/}							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1. Container	92	91	91	93	91 b	91	90	90 a
2. Seed lab	92	90	90	92	92 ab	88	91	90 a
3. Room temperature	92	89	90	94	94 a	94	88	86 b
F-test	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	**
C.V. (%)	1.76	1.66	2.19	1.54	0.97	7.13	2.56	1.82

^{1/} Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at 5 % level by LSD

Table 7 Effects of cold storage room on sesame seed germination (%) after 7 months storage

Storage room	Storage Period (month) ^{1/}							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1. Container	92	89	89	89	90	91	91 a	90
2. Seed lab	92	89	90	88	92	92	89 a	90
3. Room temperature	92	90	89	89	92	91	76 b	90
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns
C.V. (%)	2.09	1.39	2.09	3.45	1.52	1.37	4.19	2.36

^{1/} Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at 5 % level by LSD

Table 8 Effects of cold storage room on morning glory seed germination (%) after 7 months storage

Storage room	Storage Period (month) ^{1/}							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1. Container	73	66 a	63 b	67	72 b	74	76 a	73
2. Seed lab	73	63 ab	71 a	65	75 ab	75	80 a	72
3. Room temperature	73	58 b	64 b	60	78 a	75	69 b	74
F-test	ns	*	**	ns	*	ns	**	ns
C.V. (%)	3.03	6.24	5.05	8.65	3.84	4.14	4.13	3.89

^{1/} Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at 5 % level by LSD

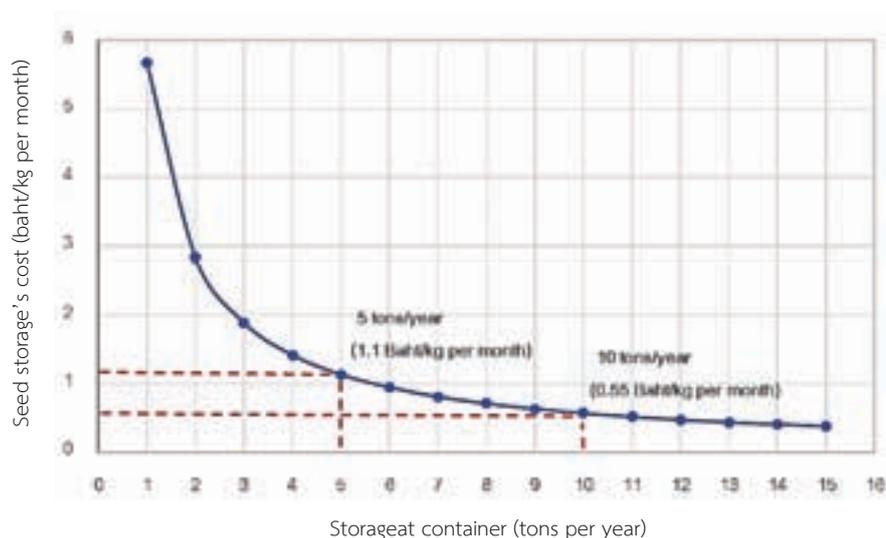


Figure 6 Economic Cost Benefit analysis of seed storage using developed cold container storage

(Table 7) เปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ ถั่วเขียวและงา ที่เก็บรักษาในสภาพห้องเย็น ดังกล่าว บางเมล็ดจะมีการพักตัวและไม่งอกทันที หลังจากเก็บเกี่ยว แต่ถ้าเก็บรักษาเมล็ดเหล่านี้ไว้ในสภาพอุณหภูมิห้องเมล็ดจะค่อย ๆ สูญเสีย การพักตัวไปที่ละน้อย และจะงอกได้เมื่อให้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เรียกว่า “After Ripening” (Holdsworth *et al.*, 2008)

การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ผักบุง เปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดจะมีความแตกต่างทางสถิติในเดือน 1 2 4 และ 6 เท่านั้น ขณะที่เดือนที่ 7 ของการเก็บรักษา เปอร์เซ็นต์ความงอกไม่มีความแตกต่างกัน (Table 8) เนื่องจากผักบุงเป็นเมล็ดพันธุ์พืชในสกุล *Ipomoea* เมล็ดมีลักษณะแข็ง (hard seed) และจะมีการพักตัวของเมล็ด ทำให้เมล็ดมีการงอกไม่พร้อมกัน ลักษณะการพักตัวแบบนี้จึงเป็นปัญหาที่ทำให้เมล็ดมีเปอร์เซ็นต์ความงอกต่ำไม่ว่าจะเก็บรักษาในสภาพใดก็ตาม (Johnson *et al.*, 1977)

ดังนั้น การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ภายใต้ห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเย็นเครื่องต้นแบบ มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับห้องเย็นของศวม.พิษณุโลกที่มีใช้ทั่วไปในกลุ่มธุรกิจเมล็ดพันธุ์ สามารถใช้เป็นห้องเย็นทดแทนห้องเย็นที่ใช้ในปัจจุบันได้

5. ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชในห้องเย็นต้นแบบ โดยเครื่องมีราคาต้นทุนเครื่องจักร 750,000 บาท และมีอายุการใช้งาน 15 ปี ค่าซ่อมบำรุงประจำปีเฉลี่ย 3,000 บาท/ปี ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.46 kW/hr คิดค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.5บาท/หน่วย (1,100 บาท/เดือน) เมื่อ

ประเมินความคุ้มค่าที่เก็บเมล็ดพันธุ์พืช จำนวน 5 ตัน/ปี จะมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 1.1 บาท/กก./เดือน ดังแสดงใน Figure 6

ต้นแบบห้องเย็นและระบบทำความเย็นสำหรับเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชนี้ สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้ในสถานที่ต่าง ๆ ได้ตามต้องการเพราะมีขนาดที่พอเหมาะในการผลิตและเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์สำหรับกลุ่มเกษตรกรรายย่อย ซึ่งได้นำเครื่องต้นแบบไปทดลองเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่สหกรณ์นิคมลานสัก อ.ลานสัก จ.อุทัยธานี เรียบร้อยแล้ว

สรุปผลการทดลอง

ห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชต้นแบบที่พัฒนา มีขนาด 2.2x4.0x2.2 ม. (กว้างxยาวxสูง) ใช้โฟมโพลียูรีเทนหนา 50 มม. เป็นฉนวนห้องเย็น ระบบทำความเย็นประกอบด้วย สารทำความเย็น R-22 มอเตอร์คอมเพรสเซอร์มีขนาด 4 hp และมีความสามารถในการทำความเย็น 5.85 kW ใช้วิธีการลดความชื้นด้วยการทำความเย็นเพื่อควบแน่น และใช้พลังงานความร้อนจากสารทำความเย็นที่ระบายทิ้งกลับมาใช้ลดความชื้น สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.95 ± 0.55 °ซ และ 45.81 ± 0.82 %RH เครื่องทำความเย็นมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นสูงสุด เท่ากับ 4.02 และการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) เฉลี่ยเท่ากับ 0.46 เครื่องต้นแบบใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่าเครื่องของศวม.พิษณุโลก ร้อยละ 46 การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ข้าว งา และถั่วเขียว ภายใต้ห้องเย็นเครื่องต้นแบบ มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับห้องเย็นของศวม.พิษณุโลก ระบบเครื่องทำความเย็นและห้องเย็นต้นแบบ สามารถนำมาใช้ทดแทนระบบเครื่องทำความเย็นแบบเดิม เพราะเครื่องต้น

แบบนี้สามารถลดต้นทุนค่าเครื่องและค่าไฟฟ้าใน ส่วนของเครื่องลดความชื้นได้ นอกจากนี้ยังสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานตามสถานที่ต่าง ๆ ได้ ตามต้องการ จึงเหมาะสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน สหกรณ์การเกษตร และภาคเอกชนที่ต้องการลด ต้นทุนการผลิตด้วยการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้มี คุณภาพที่ดี

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกรมวิชาการเกษตร ที่สนับสนุนทุนวิจัยในการดำเนินโครงการนี้ ขอขอบคุณผู้อำนวยการสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ที่ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะรวมถึงอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการ ขอขอบคุณ ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช พิษณุโลก ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องของสถานที่สำหรับการทดสอบ และขอขอบคุณผู้จัดการ สหกรณ์นิคมลานสักที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบเครื่องต้นแบบ

เอกสารอ้างอิง

- ไกรสิงห์ อุดมญาติ, อรรถพงษ์ เฉลิมสุข และ สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548. *ศักยภาพการพัฒนาตู้แช่เย็นขนาดเล็กมาเป็นเครื่องลดความชื้น*. การประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, 19-21 ตุลาคม 2548, ภูเก็ต.
- ัชชวาล ตัณฑกิตติ. 2544. *การออกแบบห้องเย็น และระบบทำความเย็น*. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่. 222 หน้า.
- สมชาย ณะอบเหล็ก. 2543. *คุณภาพและความสามารถในการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์ ถั่วเหลืองภายหลังการปรับปรุงสภาพ*.

วิทยานิพนธ์ (วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต เกษตรศาสตร์ สาขาวิชาพืชไร่) มหาวิทยาลัย เชียงใหม่. 103 หน้า.

สฤทธิพร วิทย์ผดุง และสัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548ก. *การออกแบบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบ หน้าต่าง*. หน้า 239-246. ใน เอกสารการประชุมวิชาการครั้งที่ 43 แห่งมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.

สฤทธิพร วิทย์ผดุง และสัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548ข. *การวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องลดความชื้นที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบ หน้าต่าง*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต. เชียงใหม่ : บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่ง ชาติ. 2559. *แผนแม่บทยุทธศาสตร์การ เป็นศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558- 2567*. ศูนย์พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยี ชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค), สำนักงาน พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่ง ชาติ ปทุมธานี. 105 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. *ปริมาณและ มูลค่าการส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชควบคุมเพื่อ การค้าปี 2553-2559*. แหล่งข้อมูล: [http:// www.oae.go.th/download/Factor Of Product/Value Export Seed 47- 52.html](http://www.oae.go.th/download/Factor Of Product/Value Export Seed 47- 52.html) เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2560.

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). 1997. *ASHRAE Fundamentals Handbook (SI unit)*. Psychrometrics. 17 page.

- Brooker, D. B., F. W. Bakker-Arkema and C. W. Hall. 1992. *Drying and storage of grain and oilseeds*. Westport, Connecticut: AVI
- Holdsworth MJ, L Bentsink, WJJ. Soppe 2008. *Molecular networks regulating Arabidopsis seed maturation, after-ripening, dormancy and germination*. *New Phytol.* 179: 33–54.
- ISTA. 2015. *International rules for seed testing*. International Seed Testing Association, Bassesdorf, Switzerland.
- S.K. Johnson, R.H. Crowley and D.S. Murray. 1977. A rapid technique for separation of individual weed species from a seed mixture. *Proc. Sou. Weed Sci. Soc.* (30): 362.