ออกแบบและพัฒนาระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็น สำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช

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

อานนท์ สายคำฟู [1/] วิชัย โอภานุกุล [1/] ตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์ [1/] พิชญพงศ์ เมืองมูล [1/] ธีรศักดิ์ โกเมฆ [2/]
บัณฑิต จิตรจำนง [3/] กัณทิมา ทองศรี [4/] นิภาภรณ์ พรรณรา [4/] ดนัย ศารทูลพิทักษ์ [1/] บาลทิตย์ ทองแดง [1/]

Arnon Saicomfu [1/] Wichai Opanukul [1/] Tinnasit Kaisinburasak [1/] Phitchayaphong Mueangmoon [1/]
Theerasak Komake [2/] BunditJitjumnong [3/] Kantima Thongsri [4/] Nipapon Punnara [4/]
Danai Sarntoonpituk [1/] Bantit Thongdang [1/]

ABSTRACT

Thailand has strong potential of seed production in Asian due to the supportive environment and quality standard of detection for export. At present, Seed Production Agriculturist group does not have cold room for the storage because the import humidity control and refrigeration technology is expensive and also use high power consumption. Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture has created and developed air-condition and refrigeration system of seed storage, it was aimed to reduce cost and maintain high quality. The refrigeration system could control temperature and relative humidity, 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 is 2.2x4.0x2.2 m (width x length x height). Used polyurethane foam (thickness 50 mm) as wall gain insulation, R-22 for Refrigerant. Compressor has motor 4 hp (380V/3Ph/50Hz) and cooling capacity 5.85 kW. Fan of unit cooler has air mass flow rate at 0.6 $kg.sec^{-1}$. The heating coil capacity 6 kW was installed for dehumidification. The coefficient of performance testing was determine low pressure of refrigerant to constant at 50 psi and high pressure have 3 level i.e. at 190-220 psi, 220-250 psi and 250-280 psi. Based on the testing has COP_{Ref} was 4.02, 3.13 and 2.87

รหัสโครงการวิจัย 00-00-57-01

[1/] สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร

[1/] Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture.

[2/] ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร

[2/] ChiangmaiAgricultural Engineering Research Center, Department of Agriculture.

[3/] ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร

[3/] ChanthaburiAgricultural Engineering Research Center, Department of Agriculture.

[4/] ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก กรมวิชาการเกษตร

[4/] Phitsanulok Seed Research and Development Center, Department of Agriculture.

respectively and electric power consumption was 0.46, 1.12 and 2.17 kW/hours respectively. The results showed that the high pressure of refrigerant at 190-220 psi was the optimum pressure while the average temperature and average relative humidity was 14.95±0.55 °C and 45.81±0.82 %RH respectively. This prototype of cold room for seed storage can reduce machine cost and save energy consumption of the dehumidifier. In addition, the cool room prototype is designed to be easily transported from one location to another. Therefore, this machine is suitable for community enterprises, agricultural cooperatives and private sectors, where high quality seed production and cost reduction are required.

Key words : Refrigeration System, Dehumidifying, Seed

บทคัดย่อ

ประเทศไทยนับเป็นแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่มีศักยภาพของภูมิภาคอาเซียน เนื่องจากมีสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยและมีมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อการส่งออกที่มีคุณภาพ แต่ในปัจจุบันกลุ่มเกษตรกรที่ทำการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชยังไม่มีห้องเย็นสำหรับการเก็บรักษา เนื่องจากเทคโนโลยีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และระบบทำความเย็นสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชมีต้นทุนสูงและยังใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงอีกด้วย สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตรจึงได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็นเพื่อลดต้นทุนในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชให้มีคุณภาพที่ดี ซึ่งระบบทำความเย็นที่ออกแบบนี้สามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยใช้วิธีทำความเย็นเพื่อควบแน่น (Condensing) แล้วอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นโดยการใช้พลังงานความร้อนจากสารทำความเย็นเพื่อปรับสภาวะอากาศให้เหมาะกับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช ต้นแบบห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชมีขนาด 2.2x4.0x2.2 m (กว้างxยาวxสูง) ใช้โฟมโพลียูรีเทน (Polyurethane) หนา 50 mm เป็นฉนวนห้องเย็น ระบบทำความเย็นประกอบด้วย สารทำความเย็น R-22 มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ขนาด 4 hp (380V/3Ph/50Hz) และมีความสามารถในการทำความเย็น 5.85 kW ส่วนพัดลมคอล์ยเย็นมีอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเท่ากับ 0.6 kg.sec^{-1} และติดตั้งคอล์ยร้อนสำหรับลดความชื้นสัมพัทธ์ขนาด 6 kW ซึ่งในการทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) ได้กำหนดช่วงแรงดันของสารทำความเย็นด้านต่ำให้คงที่ที่ 50 psi และแรงดันด้านสูงไว้ 3ช่วงคือ 190-220 psi, 220-250 psi และ 250-280 psi ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นเท่ากับ 4.02, 3.13 และ 2.87 ตามลำดับ และการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW/hours) เท่ากับ 0.46, 1.12 และ 2.17 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าแรงดันด้านสูงของสารทำความเย็นในช่วง 190-220 psi เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 14.95±0.55 °C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 45.81±0.82 %RH ต้นแบบห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชนี้สามารถลดต้นทุนเครื่องจักรและลดค่าพลังงานไฟฟ้าในส่วนของเครื่องลดความชื้น และ

สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในพื้นที่ต่างๆ ได้ตามต้องการ จึงเหมาะสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน สหกรณ์การเกษตรและภาคเอกชนที่ต้องการจะลดต้นทุนการผลิตด้วยการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้มีคุณภาพที่ดี

คำหลัก : ระบบทำความเย็น การลดความชื้นสัมพัทธ์ เมล็ดพันธุ์พืช

คำนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่มีศักยภาพของภูมิภาคอาเซียนโดยมีการส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชไปต่างประเทศและสร้างรายได้เข้าประเทศไม่น้อยกว่า 4,000 ล้านบาทต่อปี โดยเฉพาะเมล็ดพันธุ์ผัก เช่น พืชตระกูลแตง มะเขือเทศ พริก ข้าวโพด ถั่วฝักยาว ผักกาดกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน เป็นต้น (ฟาร์มไทยแลนด์, 2557; คม ชัด ลึก, 2557) ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยมีภูมิประเทศและสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการผลิต ภัยจากธรรมชาติที่มีผลกระทบต่อการผลิตนั้นค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับประเทศอื่นที่อยู่ในภูมิภาคอาเซียน ตลอดจนมีมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อการการส่งออกที่มีคุณภาพ เกษตรกรมีศักยภาพและความสามารถเพียงพอในการเพาะปลูกพืชเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากเมล็ดพันธุ์พืชเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีราคาค่อนข้างสูง วิธีการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่ดีจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง หากวิธีการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสมและไม่มีประสิทธิภาพ อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อเมล็ดพันธุ์ทั้งคุณภาพและปริมาณ วิธีการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่ดีนั้นต้องเก็บรักษาได้ตามระยะเวลาที่ต้องการและเมล็ดพันธุ์ต้องอยู่ในสภาพที่ดีวิธีการหนึ่งที่จะช่วยเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในสภาพที่ดีนั้นคือ การควบคุมอุณหภูมิเพื่อควบคุมการทำงานของเอนไซม์ (Enzymes) และปฏิกิริยาทางเคมีที่ใช้ในกระบวนการหายใจของเมล็ดพันธุ์ รวมถึงป้องกันการทำลายจากหนูและแมลง ส่วนการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บเป็นการควบคุมการเจริญของเชื้อราและแบคทีเรีย เนื่องจากเชื้อราและแบคทีเรียต้องการความชื้นสัมพัทธ์สูงในการเจริญและเพิ่มจำนวนไม่น้อยกว่า 75% และ90 % ตามลำดับ (Brooker, 1992)

ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชมีต้นทุนค่าเครื่องจักรที่ค่อนข้างสูง รวมถึงเครื่องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ติดตั้งเพิ่มเข้าไปนั้นยังใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงอีกด้วย จึงทำให้กลุ่มเกษตรกรมักไม่นิยมเก็บรักษาไว้ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ แต่นิยมการเก็บไว้ในฉาง ถังเก็บ ไซโลหรือในโรงเรือน และหากเป็นการเก็บรักษาของทางหน่วยงานราชการหรือทางโรงงานภาคเอกชนขนาดใหญ่นิยมเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ในห้องเย็นที่สามารถควบคุมอุณหภูมิเพื่อช่วยรักษาคุณภาพของเมล็ด ส่วนการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในห้องเย็นแบบเดิมนั้นมีหลายวิธี เช่น การติดตั้งเครื่องลดความชื้นเพิ่มเข้าไปอีกเครื่อง ซึ่งทำงานแยกส่วนกับเครื่องความเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิภายในห้องคือ เครื่องทำความเย็นทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิภายในห้อง ส่วนเครื่องลดความชื้นทำหน้าที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศซึ่งแยกการทำงานเป็นอิสระต่อกัน และจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการพัฒนาตู้แช่เย็นขนาดเล็กมาเป็นเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความ

ร้อน (Heat Pump) เพื่อลดต้นทุนของเครื่องจักรที่มีจำหน่ายทั่วไปและที่นำเข้าจากต่างประเทศ (ไกรสิงห์และคณะ, 2548) และยังมีการออกแบบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (สฤทธิ์พรและสัมพันธ์, 2548ก) โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์จากท่อแคปปิลารีมาเป็นเทอร์โมสแตติกเอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว ทำให้สมรรถนะของเครื่องลดความชื้นเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเครื่องที่พัฒนาขึ้นนั้นก็เป็นเพียงในส่วนของเครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์เท่านั้น หากนำไปใช้งานสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชนั้นจะต้องใช้ควบคู่กับเครื่องทำความเย็น

ดังนั้นสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมซึ่งเป็นหน่วยงานของกรมวิชาการเกษตร จึงได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็นที่สามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในเครื่องเดียวกัน ซึ่งระบบทำความเย็นที่ออกแบบใหม่นี้ใช้วิธีการทำความเย็นเพื่อควบแน่น (Condensing) และใช้พลังงานความร้อนที่ระบายทิ้งของสารทำความเย็น (Hot gas) กลับมาใช้เพื่อปรับสภาวะอากาศให้เหมาะกับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช ส่งผลให้สัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็นเพิ่มขึ้นและใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง อีกทั้งยังทำให้ลดต้นทุนและพลังงานไฟฟ้าในส่วนของเครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์ได้อีกด้วย ซึ่งเครื่องต้นแบบนี้สามารถเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชที่ความชื้นเมล็ด 14 %w.b. ได้ระยะเวลา 8 เดือน โดยควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ 15±2°C, 40-50 %RH ตามลำดับ (ASHREA, 1999) และยังเคลื่อนย้ายไปใช้งานในพื้นที่ต่างๆ ได้ตามต้องการ จึงเหมาะสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน สหกรณ์การเกษตรและภาคเอกชนที่ต้องการลดต้นทุนการผลิตด้วยการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้มีคุณภาพที่ดี นอกเหนือจากนี้เทคโนโลยีที่ได้จากโครงการวิจัยนี้ยังเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาขับเคลื่อนด้านการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชรองรับประชาคมอาเซียน หรือ Seed Hub ตามที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (เดลินิวส์,2557)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. แบบฟอร์มสำหรับการสำรวจห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช
2. ผนังห้องเย็นแบบโฟลียูรีเทน (Polyurethane) หนา 50 mm.
3. ชุดระบบทำความเย็นประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์แบบเฮอร์เมติก (Hermetic Compressor) ขนาดมอเตอร์ 4 hp. อีแวปปอเรเตอร์พร้อมแผงคอล์ยร้อน (Evaporator with Heating coil) เทอร์โมสแตติกเอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว (Thermostatic Expansion valve) และคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Condenser)
4. ชุดควบคุมอัตโนมัติประกอบด้วย ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) ชุดควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity Controller) และชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter)
5. อุปกรณ์วัดแรงดันสารทำความเย็นและเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

6. มิเตอร์ไฟฟ้า (kW hours)

7. คอมพิวเตอร์สำหรับจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบเครื่องต้นแบบ

8. ห้องเพาะเมล็ดพันธุ์พืชสำหรับทดสอบเปอร์เซ็นต์ความงอก

วิธีการดำเนินงาน

1. สำรวจห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันจำนวน 8 แห่ง ได้แก่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ชัยนาท นครสวรรค์และขอนแก่น ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุโขทัยและสกลนคร และศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวเชียงใหม่

2. ออกแบบและสร้างห้องเย็นสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชขนาด 2.2x4.0x2.2 m (กว้างxยาวxสูง) และดำเนินการสร้างต้นแบบภายในอาคารปฏิบัติการของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

3. ทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบเบื้องต้นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP)

4. ทดสอบเครื่องต้นแบบ (Container) เทียบกับเครื่องของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก (Seed Lab)

5. ทดสอบเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช โดยวางแผนการทดลองแบบ 3x8 Factorial experiment ในการทดลองพื้นฐานแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จำนวน 5 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย โดยปัจจัยที่ 1 คือลักษณะห้องเก็บเมล็ดพันธุ์พืช มี 3 ระดับ คือ 1) ห้องเย็นเครื่องต้นแบบ (Container; 15$\pm$2°C, 40-50 %RH) 2) ห้องเย็นของ ศวม.พิษณุโลก (Seed Lab;15$\pm$2°C, 40-50 %RH) และ 3) ห้องที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ส่วนปัจจัยที่ 2 คือช่วงเวลาที่เก็บเมล็ดพันธุ์พืชมี 8 ระดับประกอบด้วยเดือนที่ 0 เริ่มการเก็บรักษาและเดือนที่ 1 ถึง 7 (กันยายน 2557 ถึง มีนาคม 2558) โดยทำการเก็บเมล็ดพันธุ์พืช 5 ชนิด ได้แก่ ถั่วเหลือง (เชียงใหม่ 60) ถั่วเขียว (ชัยนาท 72) ข้าว (กข.31) งาและผักบุ้ง ไว้ในห้องเก็บเมล็ดพันธุ์ทั้ง 3 แบบ นำเมล็ดพันธุ์พืชทั้ง 5 ชนิดมาทดสอบเปอร์เซ็นต์ความงอกทุกๆ เดือน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ

6. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการทดสอบและรายงานผลการทดสอบ

7. เผยแพร่ห้องเย็นและระบบทำความเย็นต้นแบบสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธ์พืช ให้กับกลุ่มเกษตรกร สหกรณ์การเกษตร ภาคเอกชนหรือหน่วยงานที่สนใจ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการสำรวจห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช

จากการศึกษาและสำรวจรวบรวมข้อมูลห้องเย็นและห้องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ในศูนย์วิจัยของกรมวิชาการเกษตรและของกรมการข้าว จำนวน 8 แห่ง ทำให้ได้ข้อมูลการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชพบว่า ห้องเย็นที่ใช้สำหรับเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์มีระบบทำความเย็นเพื่อ

ควบคุมอุณหภูมิและเครื่องลดความชื้น สามารถแบ่งออกเป็น 4 แบบ ดังนี้ 1) ห้องเย็นที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป (Split type) 2) ห้องเย็นที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปร่วมกับเครื่องลดความชื้น 3) ห้องเย็นที่ใช้เครื่องทำความเย็นร่วมกับเครื่องลดความชื้น และ 4) ห้องเย็นที่ใช้เครื่องทำความเย็นร่วมกับฮีทเตอร์ไฟฟ้า และจากผลการสำรวจพบว่า การใช้เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปนั้นยังไม่เหมาะสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์เนื่องจากมีข้อจำกัดของช่วงอุณหภูมิการใช้งาน ส่วนการใช้เครื่องลดความชื้นนั้นเป็นการเพิ่มต้นทุนค่าเครื่องจักรและสิ้นเปลืองค่าพลังงานเพิ่มขึ้น ในขณะที่ใช้ร่วมกับฮีทเตอร์ไฟฟ้านั้นยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการสิ้นเปลืองพลังงานเช่นกัน

ผลการออกแบบระบบปรับอากาศและเครื่องต้นแบบ

จากข้อมูลการใช้งานห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดออกแบบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ โดยใช้วิธีทำความเย็นเพื่อควบแน่น (Condensing) ดังแสดงใน Figure 1 เริ่มจากทำให้อากาศเย็นถึงจุดอิ่มตัวความชื้นในอากาศแล้วกลั่นตัวเป็นหยดน้ำแยกออกมาจากอากาศจึงทำให้ปริมาณมวลของน้ำในอากาศลดลง หลังจากนั้นจึงอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นจนถึงอุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยใช้พลังงานความร้อนจากสารทำความเย็นที่ระบายทิ้งที่คอนเดนเซอร์ ดังแสดงหลักการบนแผนภูมิคุณสมบัติของอากาศดังแสดงใน Figure 2 ซึ่งระบบนี้สามารถออกแบบให้ควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องได้ตามต้องการ นอกจากนี้ยังเป็นการใช้พลังงานความร้อนที่ระบายทิ้งจากระบบทำความเย็นกลับมาใช้สำหรับการลดความชื้นของอากาศได้อีกด้วย ซึ่งเป็นการใช้พลังงานให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุดและยังทำให้ระบบทำความเย็นมีสมรรถนะสูงขึ้น โดยเครื่องต้นแบบนี้ออกแบบให้มีอุณหภูมิ 15 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 40-50 %RH

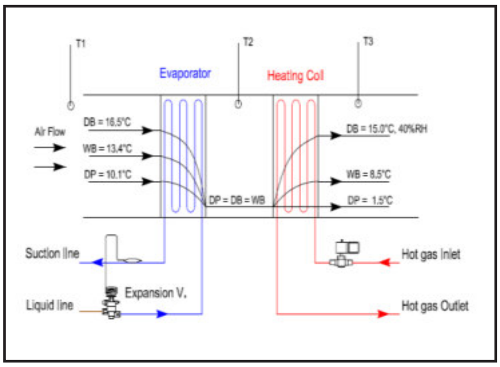

Figure 1 Concept Design for Air-conditioning system

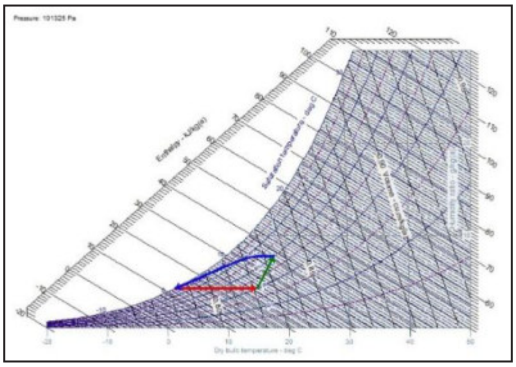

Figure 2 Psychrometric Chart

การออกแบบและสร้างห้องเย็นต้นแบบใช้โปรแกรม 3 มิติช่วยในการออกแบบโครงสร้างดังแสดงใน Figure 3 โดยมีขนาดโครงสร้างภายนอก 2.2x5.0x2.6 m (กว้างxยาว xสูง) โครงสร้างภายในเป็นห้องเย็นขนาด 2.2x4.0x2.2 m (กว้างxยาวxสูง) ใช้โฟมโพลียูรีเทนหนา 50 mm เป็นฉนวนห้องเย็น มีความจุภายในห้องประมาณ 17 m^3 สามารถเก็บเมล็ดพันธุ์พืชได้ 5 tons ผลการออกแบบ

ระบบทำความเย็น ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์เครื่องทำเย็นที่สำคัญดังนี้ 1) คอมเพรสเซอร์ 2) คอล์ยเย็นและภายในติดตั้งแผงคอล์ยร้อน 3) เทอร์โมสแตติกเอกซ์แปนชั่นวาล์ว และ 4) คอนเดนเซอร์

ผลการคำนวณภาระความร้อนของระบบทำความเย็นและสร้างเครื่องต้นแบบ

จากการออกแบบขนาดห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์สามารถคำนวณภาระความร้อนสำหรับระบบทำความเย็นได้ดังแสดงใน Table 1 และเมื่อได้ภาระความร้อนของระบบทำความเย็น เท่ากับ 4.952 kW แล้วจึงนำมาออกแบบวงจรระบบทำความเย็น (Piping Diagram) ดังแสดงใน Figure 4 และหลังจากได้ข้อมูลการออกแบบและแบบสำหรับการสร้างเครื่องต้นแบบเรียบร้อยแล้ว จึงดำเนินการสร้างและประกอบในอาคารปฏิบัติการของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม โดยเริ่มจากการประกอบโครงสร้างเหล็ก ผนังห้องเย็น และระบบทำความเย็น ตามลำดับดังแสดงใน Figure 5

Table1 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)	1347.2
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***

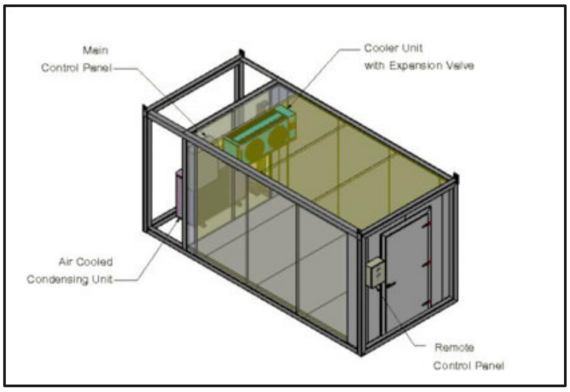

Figure 3 3D drawing design for Container

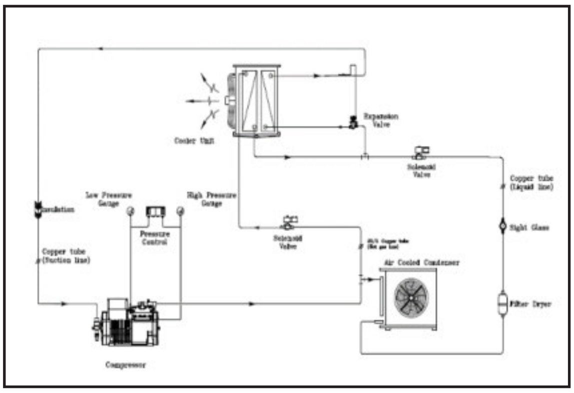

Figure 4 Piping diagram of refrigeration system

Figure 5 (A) Structure (B) Insulation (C) Cooler unit

(D) Refrigeration system (E) Prototype’s container

ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องทำความเย็น

การออกแบบระบบทำความเย็นจำเป็นต้องให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดในสภาวะอุณหภูมิภายในห้องตามที่ต้องการ ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นส่วนใหญ่นิยมบอกในรูปของสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) (ชัชวาล, 2544) ดังนั้นการทดสอบนี้จึงทำการปรับตั้งค่าแรงดันของสารทำความเย็นด้านสูงของระบบทำความเย็นให้อยู่ใน 3 ระดับ คือ 190-220 psi, 220-250 psi และ 250-280 psi ส่วนแรงดันด้านต่ำให้มีค่าคงที่เท่ากับ 50 psi เพื่อศึกษาสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นและแรงดันสารทำความเย็นด้านสูงที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง ซึ่งผลการทดสอบดังแสดงใน Table 2 พบว่าแรงดันสารทำความเย็นด้านสูงที่อยู่ในช่วง 190-220 psi นั้น มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นสูงที่สุดเท่ากับ 4.02 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างของสฤทธิ์พรและสัมพันธ์ (2548ข) ที่มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นสูงเท่ากับ 4.36 เนื่องจากระบบทำความเย็นมีแรงดันด้านสูงที่ต่ำทำให้คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานในการอัดไอสารทำความเย็นลดลงส่งผลให้ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่านั้นเอง ซึ่งสามารถช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

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

ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ (Container) เปรียบเทียบกับเครื่องของ ศวม.พิษณุโลก (Seed Lab)

เมื่อทดสอบเครื่องต้นแบบได้สมรรถนะของระบบทำความเย็นที่เหมาะสมแล้วจึงทดสอบเครื่องต้นแบบ (Container) เปรียบเทียบกับห้องเย็นของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก (Seed Lab) ดังแสดงใน Figure 6 and 7 ซึ่งมีการใช้งานอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากัน และมีขนาดมอเตอร์คอมเพรสเซอร์เท่ากันคือ 4 hp ผลการทดสอบดังแสดงใน Table 3 พบว่า ห้องเย็นต้นแบบที่สร้างขึ้นใช้กระแสไฟฟ้าเพียง 6.31 Amp. แต่เครื่องของ Seed lab ใช้กระแสไฟฟ้ามากถึง 11.8 Amp. เนื่องจากเครื่องต้นแบบมีระบบทำความเย็นเพียงระบบเดียวที่สามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง ส่วนเครื่องของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลกมีการใช้กระแสไฟฟ้าสูงกว่าเนื่องจากมีระบบการทำงาน 2 ส่วน คือ เครื่องทำความเย็นและเครื่องลดความชื้นดังแสดงใน Figure 8 อีกทั้งอากาศที่ออกจากเครื่องลดความชื้นมีอุณหภูมิมากถึง 50 °C ซึ่งจะเป็นภาระความร้อนให้กับระบบทำความเย็น จากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบนี้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าเครื่องของ Seed lab โดยใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่าถึงร้อยละ 46

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 Refrigeration system (Amp.)	El. power of Dehumidifying 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

Figure 6 Cold storage room (Container)

Figure 7 Cold storage room (Seed lab)

Figure 8 Refrigeration and Dehumidify system of Seed lab

ผลการทดสอบการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช

จากการทดสอบเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช 5 ชนิด ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ข้าว ผักบุ้ง และงา ซึ่งเก็บไว้ในห้องทั้ง 3 แบบ ได้แก่1) ห้องเย็นเครื่องต้นแบบ 2)ห้องเย็นเครื่องของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก และ3)ห้องที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ดังแสดงใน Figure 9 โดยเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 เดือน คือตั้งแต่เดือนกันยายน 2557 จนถึงเดือนมีนาคม 2558 เมื่อนำเมล็ดพันธุ์ทั้ง 5 ชนิด มาทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ความงอกพบว่า ในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ข้าว ผักบุ้งและงาห้องที่ใช้เก็บรักษามีอิทธิพลต่อการงอกของเมล็ด (A) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์พืช (B) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) และมีอิทธิพลร่วมระหว่างห้องที่ใช้เก็บเมล็ดพันธุ์พืช (A) กับระยะเวลาที่ใช้ในเก็บ (B) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ดังแสดงใน Table 4 5 6 and 7 ตามลำดับ ส่วนเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว ห้องที่ใช้เก็บรักษาไม่มีอิทธิพลต่อการงอกของเมล็ด (A) ซึ่งไม่

แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อการงอกของเมล็ด (B) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) และไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างห้องที่ใช้เก็บ (A) กับระยะเวลาที่ใช้ (B) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงใน Table 8

Figure 9 (A) Storage at Container (B) Storage at Seed lab

Table 4 The germination percentage of ***soybean seed*** were analysis of variance with 3x8 factorial experiment in CRD.

Source of Variation	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Storage room (A)	19998.397	2	9999.198	1450.090	.000
Time to storage (B)	7342.170	7	1048.881	152.109	.000
A * B	4182.328	14	298.738	43.323	.000
Error	661.975	96	6.896		
Total	32184.870	119			

Table 5 The germination percentage of ***rice seed*** were analysis of variance with 3x8 factorial experiment in CRD.

Source of Variation	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Storage room (A)	10951.679	2	5475.840	217.860	.000
Time to storage (B)	20017.574	7	2859.653	113.773	.000
A * B	14334.071	14	1023.862	40.735	.000
Error	2412.925	96	25.135		
Total	47716.249	119			

Table 6 The germination percentage of ***morning glory seed*** were analysis of variance with 3x8 factorial experiment in CRD.

Source of Variation	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Storage room (A)	2936.649	7	419.521	34.368	.000
Time to storage (B)	148.632	2	74.316	6.088	.003
A * B	728.718	14	52.051	4.264	.000
Error	1171.850	96	12.207		
Total	4985.849	119			

Table 7 The germination percentage of ***sesame seed*** were analysis of variance with 3x8 factorial experiment in CRD.

Source of Variation	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Storage room (A)	87.632	2	43.816	6.593	.002
Time to storage (B)	593.216	7	84.745	12.751	.000
A * B	830.876	14	59.348	8.930	.000
Error	638.025	96	6.646		
Total	2149.749	119			

Table 8 The germination percentage of ***mung bean seed*** were analysis of variance with 3x8 factorial experiment in CRD.

Source of Variation	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Storage room (A)	4.288	2	2.144	.278	.758
Time to storage (B)	244.398	7	34.914	4.534	.000
A * B	188.746	14	13.482	1.751	.058
Error	739.175	96	7.700		
Total	1176.606	119			

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความงอกพืชทั้ง 5 ชนิด กับห้องเก็บทั้ง 3 แบบ ที่ระยะเวลาในการเก็บ 7 เดือน พบว่า เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่เก็บไว้ในห้องเย็นเครื่องต้นแบบและของ ศวม.พิษณุโลก มีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) กับการเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำตั้งแต่เดือนกันยายน 2557 จนถึงเดือนมีนาคม 2558 ตามลำดับ ดังแสดใน Figure 10

สำหรับเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว หลังจากเก็บไว้ในห้องเก็บเมล็ดพันธุ์พืชทั้ง 3 แบบ พบว่าเปอร์เซ็นต์ความงอกในช่วงเดือนกันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน มกราคม และกุมภาพันธ์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่ในเดือนธันวาคมเมล็ดพันธุ์ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องมีเปอร์เซ็นต์การงอกดีที่สุด คือ 93.60±0.84 รองลงมาได้แก่ ห้องเย็นเครื่องของ ศวม.พิษณุโลกคือ 92.40±0.84 และห้องเย็นเครื่องต้นแบบ คือ 91.35±0.99 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ตามลำดับ เดือนมีนาคมห้องเย็นเครื่องของ ศวม.พิษณุโลกและห้องเย็นเครื่องต้นแบบมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) คือ 89.95±1.44 และ 89.75±1.94 ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับเมล็ดพันธุ์ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องคือ 85.60±1.39 ดังแสดงใน Figure 11

สำหรับเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังจากเก็บไว้ในห้องเก็บเมล็ดพันธุ์พืชทั้ง 3 แบบ พบว่าเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ในช่วงเดือน กันยายน ตุลาคม ธันวาคม มกราคม และ มีนาคม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่ในเดือนพฤศจิกายนและกุมภาพันธ์ห้องเย็นเครื่องของ ศวม.พิษณุโลก มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับคือ73.75±5.26 และ 65.55±4.15 ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 12

สำหรับเมล็ดพันธุ์ผักบุ้ง ในเดือนแรกห้องเย็นเครื่องต้นแบบมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด คือ 66.15±3.08 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) รองลงมาได้แก่ ห้องเย็นเครื่องของ ศวม.พิษณุโลก(Seed lab) คือ 63.30±4.40 และอุณหภูมิห้องคือ 58.05±4.11 ตามลำดับ และเมื่อเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ในเวลาที่นานขึ้น พบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงใน Figure 13

สำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งา ระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน มกราคมและมีนาคมในห้องเก็บเมล็ดพันธุ์พืชทั้ง 3 แบบ พบว่าเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ส่วนในเดือนกุมภาพันธุ์เปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่เก็บไว้ในห้องเย็นเครื่องต้นแบบและของ ศวม.พิษณุโลกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)คือ 76.15±2.98 และ 80.15±2.73 ตามลำดับสูงกว่าเมื่อเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ในอุณหภูมิห้องซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ดังแสดงใน Figure 14

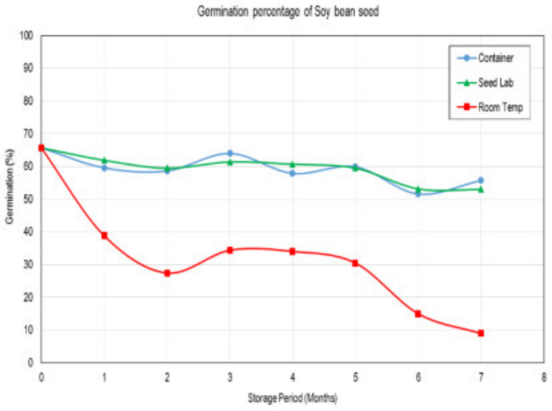

Figure 10 Germination (%) of soy bean seed and storage period.

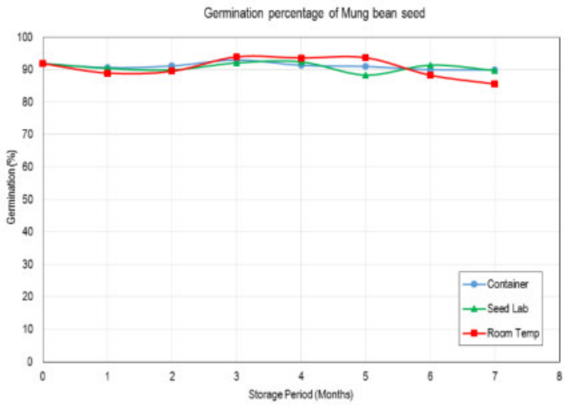

Figure 11 Germination (%) of mung bean and storage period.

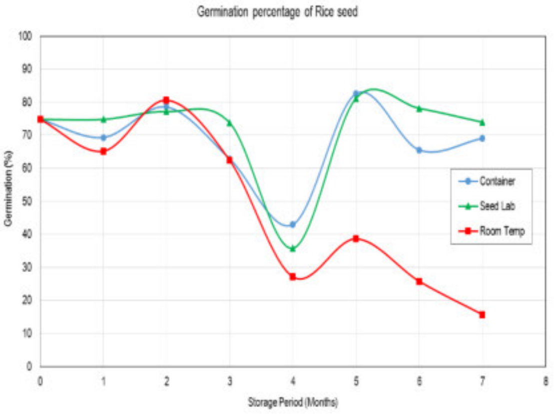

Figure 12 Germination (%) of rice seed and storage period.

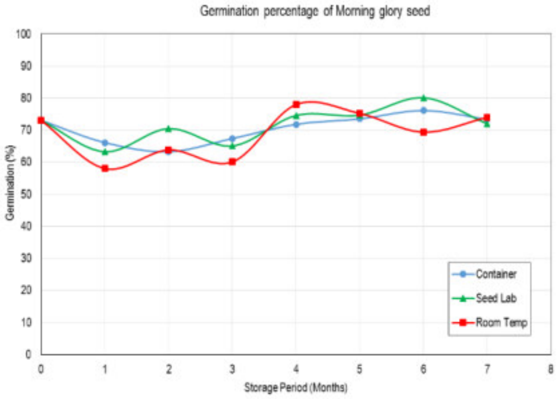

Figure 13 Germination (%) of morning glory and storage period.

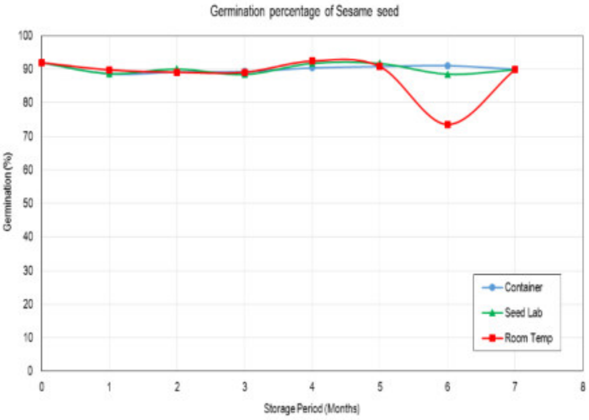

Figure 14 Germination (%) of sesame seed and storage period.

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชในห้องเย็นต้นแบบนี้ โดยมีราคาต้นทุนเครื่องจักร 750,000 บาท และมีอายุการใช้งาน 15 ปี ค่าซ่อมบำรุงประจำปีเฉลี่ย 3,000 บาท/ปี ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.46 kW/hr คิดค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.5บาท/หน่วย (1,100 บาท/เดือน) เมื่อประเมินความคุ้มค่าที่เก็บเมล็ดพันธุ์พืชจำนวน 5 ตัน/ปี จะมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 1.1 บาท/กิโลกรัม/เดือน ดังแสดงใน Figure 15

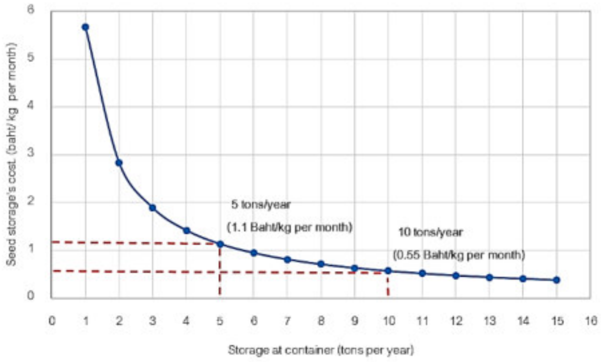

Figure 15 Seed storage's cost at Container

สรุปผลการทดลอง

ห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชต้นแบบมีขนาด 2.2x4.0x2.2 m (กว้างxยาวxสูง) ใช้โฟมโพลียูรีเทนหนา 50 mm เป็นฉนวนห้องเย็น ระบบทำความเย็นประกอบด้วย สารทำความเย็น R-22 มอเตอร์คอมเพรสเซอร์มีขนาด 4 hp และมีความสามารถในการทำความเย็น 5.85kW ใช้วิธีการลดความชื้นด้วยการทำความเย็นเพื่อควบแน่นและใช้พลังงานความร้อนจากสารทำความเย็นที่ระบายทิ้งกลับมาใช้ลดความชื้น สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.95±0.55 ˚C และ 45.81±0.82 %RH ตามลำดับ โดยที่ช่วงแรงดันของสารทำความเย็นด้านสูงช่วง 190-220 psig มีค่าสัมประสิทธิสมรรถนะทำความเย็น (COP) สูงที่สุดเท่ากับ 4.02 และการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) เฉลี่ยเท่ากับ 0.46 เมื่อทดสอบเครื่องต้นแบบเทียบกับเครื่องของ ศวม.พิษณุโลก (Seed lab) พบว่าเครื่องต้นแบบใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่าเครื่องของ Seed lab ถึงร้อยละ 46 จากผลการทดสอบการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชทั้ง 5 ชนิด โดยเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 7 เดือนในห้องทดสอบทั้ง 3 ห้อง พบว่าการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์พืชทั้ง 5 ชนิด เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองและข้าวมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อให้ได้คุณภาพของเมล็ดที่ดี เครื่องต้นแบบนี้สามารถลดต้นทุนเครื่องและค่าไฟฟ้าในส่วนของเครื่องลดความชื้นได้ นอกจากนี้ยังสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานตามสถานที่ต่างๆ ได้ตามต้องการ จึงเหมาะสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน สหกรณ์การเกษตรและภาคเอกชนที่ต้องการลดต้นทุนการผลิตด้วยการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้มีคุณภาพที่ดี

การนำไปใช้ประโยชน์

ต้นแบบห้องเย็นและระบบทำความเย็นสำหรับเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชนี้ สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้ในสถานที่ต่างๆ ได้ตามต้องการและยังมีขนาดที่พอเหมาะในการผลิตเมล็ดพันธุ์สำหรับกลุ่มเกษตรกรรายย่อย จึงเหมาะสำหรับกลุ่มสหกรณ์การเกษตร กลุ่มวิสาหกิจชุมชน หน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนที่สนใจ เช่น ศูนย์วิจัยพืชไร่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตเมล็ดพันธุ์ ของกรมวิชาการเกษตร ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์ข้าว กรมการข้าว และโรงงานของภาคเอกชน ซึ่งในขณะนี้ได้นำเครื่องต้นแบบไปทดลองเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่สหกรณ์นิคมลานสัก อ.ลานสัก จ.อุทัยธานี ดังแสดงใน Figure 16

Figure 16 Container testing at Ni KhomLansak Cooperatives

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกรมวิชาการเกษตรที่สนับสนุนทุนวิจัยในการดำเนินโครงการนี้ ขอขอบคุณผู้อำนวยการสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมที่ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะรวมถึงอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการ ขอขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลกที่อำนวยความสะดวกในเรื่องของสถานที่สำหรับการทดสอบ และขอขอบคุณผู้จัดการสหกรณ์นิคมลานสักที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบเครื่องต้นแบบ

เอกสารอ้างอิง

ไกรสิงห์ อุดมญาติ, อรรถพงษ์ เฉลิมสุข และสัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548. ศักยภาพการพัฒนาตู้แช่เย็นขนาดเล็กมาเป็นเครื่องลดความชื้น. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, 19-21 ตุลาคม2548, ภูเก็ต.

คมชัดลึก. 2557. เร่งดันศูนย์เมล็ดพันธุ์พืชรับเออีซี. แหล่งข้อมูล:http://www.komchadluek.net เข้าถึงเมื่อวันที่ 27 ตุลาคม 2557.

ชัชวาล ตัณฑกิตติ. 2544. การออกแบบห้องเย็นและระบบทำความเย็น. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.222หน้า

เดลินิวส์. 2557. กรมวิชาการเกษตรจับมือเอกชนพัฒนา Seed Hub รับอาเซียน. แหล่งข้อมูล: http://www.dailynews.co.th/Content/agriculture เข้าถึงเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2557.

ฟาร์มไทยแลนด์. 2557. กรมวิชาการเกษตรจับมือภาคเอกชนสู่การพัฒนา Seed Hub ต้อนรับอาเซียน. แหล่งข้อมูล: http://www.farmthailand.com/907 เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 พฤศจิกายน 2557.

สฤทธิ์พร วิทยผดุง และสัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548ก. การออกแบบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง. การประชุมวิชาการครั้งที่ 43 แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 239-246.

สฤทธิ์พร วิทยผดุง และสัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548ข. การวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องลดความชื้นที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. เชียงใหม่ : บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). 1999. ASHRAE Fundamentals Handbook (SI unit). Drying and Storing Selected Farm Crop.

Brooker, D. B., F. W. Bakker-Arkema and C. W. Hall. 1992. Drying and storage of grain and oilseeds. Westport, Connecticut: AVI