

## รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

- 
1. ชุดโครงการวิจัย : -
2. โครงการวิจัย : การออกแบบและพัฒนาระบบทำความเย็นและระบบปรับอากาศสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช  
Design and Development Air-Condition and Refrigeration System for Seed Storage
- กิจกรรม : การออกแบบและพัฒนาระบบทำความเย็นสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช
- ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : การออกแบบและพัฒนาระบบทำความเย็นสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช
- ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Design and Development Refrigeration System for Seed Storage
3. คณะผู้ดำเนินงาน
- |                 |                |                 |                          |
|-----------------|----------------|-----------------|--------------------------|
| หัวหน้าการทดลอง | : นายอานนท์    | สายคำฟู         | สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม |
| ผู้ร่วมงาน      | : นายวิชัย     | โอภาณุกุล       | สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม |
|                 | : นาทฤณสิษฐ์   | ไกรสินบุรศักดิ์ | สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม |
|                 | : นายพิชญพงษ์  | เมืองมูล        | สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม |
|                 | : นายธีรศักดิ์ | โกเมฆ           | สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม |
|                 | : นายบัณฑิต    | จิตรจำนงค์      | สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม |
|                 | : นายสถิตพงศ์  | รัตนคำ          | สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม |
|                 | : นางสาวกณทิมา | ทองศรี          | ศวม.พิษณุโลก             |
|                 | : นางนิภาภรณ์  | พรรณรา          | ศวม.พิษณุโลก             |

#### 4. บทคัดย่อ

ประเทศไทยนับเป็นแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่มีศักยภาพของภูมิภาคอาเซียน เนื่องจากมีสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยและมีมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อการส่งออกที่มีคุณภาพ แต่ในปัจจุบันกลุ่มเกษตรกรที่ทำการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชยังไม่มีห้องเย็นสำหรับการเก็บรักษา เนื่องจากเทคโนโลยีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และระบบทำความเย็นสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชที่นำเข้าจากต่างประเทศมีทุนต้นสูงและยังใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงอีกด้วย สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร จึงได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบทำความเย็นเพื่อลดต้นทุนในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชให้มีคุณภาพที่ดี ซึ่งระบบทำความเย็นที่ออกแบบนี้จะสามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยใช้วิธีทำความเย็นเพื่อควบแน่น (Condensing) แล้วอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นโดยการใช้พลังงานความร้อนจากสารทำความเย็นเพื่อปรับสภาวะอากาศให้เหมาะกับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช ต้นแบบห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชมีขนาด 2.2x4.0x2.2 m (กว้างxยาวxสูง) ใช้โฟมโพลียูรีเทน (Polyurethane) หนา 50 mm เป็นฉนวนห้องเย็น ระบบทำความเย็นประกอบด้วย สารทำความเย็น R-22, มอเตอร์คอมเพรสเซอร์มีขนาด 4 hp (380V/3Ph/50Hz) และมีความสามารถในการทำความเย็น 5.85 kW ส่วนพัดลมคอยล์เย็นมีอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเท่ากับ  $0.6 \text{ kg}\cdot\text{sec}^{-1}$  และติดตั้งคอยล์ร้อนสำหรับลดความชื้นสัมพัทธ์ขนาด 6 kW ต้นแบบห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชนี้สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในพื้นที่ต่างๆได้ตามต้องการ จึงเหมาะสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน สหกรณ์การเกษตรและภาคเอกชนที่ต้องการจะลดต้นทุนการผลิตด้วยการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชให้มีคุณภาพที่ดี

**คำสำคัญ :** ระบบทำความเย็น; ระบบควบคุมความชื้น; เมล็ดพันธุ์พืช

#### 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 2.2 x 4.0 x 2.2 m (width x length x height). Used polyurethane foam (thickness 50 mm) as wall 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<sup>-1</sup>. This prototype was designed for easy to transport to use in other area. Therefore, this machine is suitable for community enterprises, agricultural cooperatives and private sectors which need for cost reduction and high quality of seed storage.

**Keywords :** Refrigeration System, Dehumidifying, Seed

## 5. คำนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่มีศักยภาพของภูมิภาคอาเซียนโดยมีการส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชไปต่างประเทศและสร้างรายได้เข้าประเทศไม่น้อยกว่า 4,000 ล้านบาทต่อปี โดยเฉพาะเมล็ดพันธุ์ฝัก เช่น พืชตระกูลแตง มะเขือเทศ พริก ข้าวโพด ถั่วฝักยาว ผักกาดกวางตุ้ง และผักบุงจีน เป็นต้น (ฟาร์มไทยแลนด์, 2557 ; คมชัดลึก, 2557) ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยมีภูมิประเทศและสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการผลิตเกษตรกรรมชาติที่มีผลกระทบต่อการผลิตนั้นค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับประเทศอื่นที่อยู่ในภูมิภาคอาเซียน ตลอดจนมีมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อการส่งออกที่มีคุณภาพ เกษตรกรมีศักยภาพและความสามารถเพียงพอในการเพาะปลูกพืชเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากเมล็ดพันธุ์พืชเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีราคาค่อนข้างสูง วิธีการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่ดีจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง หากขาดการดูแลหรือมีวิธีการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสมและไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตที่สูงแต่ราคาจำหน่ายเมล็ดพันธุ์ลดลงไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน วิธีการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่ดีนั้นต้องเก็บรักษาได้ตามระยะเวลาที่ต้องการและเมล็ดพันธุ์ต้องอยู่ในสภาพที่ปลอดการสูญเสียจากการทำลายของแมลงหรือหนู ตลอดจนความเสียหายจากปนเปื้อนของเชื้อรา แบคทีเรีย และต้องไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากเกินไป วิธีการหนึ่งที่จะช่วยเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในสภาพที่ดีนั้นคือ การควบคุมอุณหภูมิเพื่อควบคุมการทำงานของเอนไซม์ (Enzymes) และปฏิกิริยาทางเคมีที่ใช้ในกระบวนการหายใจของเมล็ดพันธุ์ แมลง และเชื้อรา ดังนั้นการเก็บในที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยให้เมล็ดพันธุ์พืชคงสภาพเดิมและจะช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาได้นานกว่าปกติ ส่วนการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บเป็นการควบคุมการเจริญของเชื้อราและแบคทีเรีย เนื่องจากราและแบคทีเรียต้องการความชื้นสัมพัทธ์ในการเจริญและเพิ่มจำนวนไม่น้อยกว่า 75% และ 90% ตามลำดับ (Brooker, 1992)

ปัจจุบันเทคโนโลยีส่วนใหญ่ที่ใช้สำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชจะนำเข้าจากต่างประเทศมีต้นทุนค่าเครื่องจักรที่ค่อนข้างสูงรวมถึงเครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์ที่ติดตั้งเพิ่มเข้าไปนั้นยังใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงอีกด้วย จึงทำให้กลุ่มเกษตรกรมักไม่นิยมเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชไว้ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

สัมพัทธ์ของอากาศ แต่นิยมการเก็บไว้ในฉาง ถังเก็บ ไซโลหรือในโรงเรือนที่อาจจะบรรจุกระสอบหรือไม่บรรจุกระสอบก็ขึ้นอยู่กับการจัดการของแต่ละแห่ง และหากเป็นการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชของทางหน่วยงานราชการหรือทางโรงงานภาคเอกชนขนาดใหญ่ก็นิยมบรรจุเมล็ดพันธุ์ไว้ในกระสอบแล้วเก็บไว้ในห้องเย็นที่สามารถควบคุมอุณหภูมิเพื่อช่วยรักษาคุณภาพของเมล็ด ส่วนการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องเย็นแบบเดิมนั้นจะมีหลายวิธี เช่น การติดตั้งเครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มเข้าไปอีกเครื่อง ซึ่งจะทำงานแยกส่วนกับระบบทำความเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิภายในห้อง คือระบบทำความเย็นก็จะทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิภายในห้อง ส่วนเครื่องลดความชื้นก็จะทำหน้าที่ควบคุมความชื้นตามที่ต้องการซึ่งจะแยกการทำงานเป็นอิสระต่อกัน และจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาตู้แช่เย็นขนาดเล็กมาเป็นเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน เพื่อจะลดต้นทุนของเครื่องจักรที่มีจำหน่ายทั่วไปและที่นำเข้าจากต่างประเทศ (ไกรสิงห์และคณะ, 2548) และการออกแบบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง และเปลี่ยนอุปกรณ์จากท่อแคปปีลารีมาเป็นเทอร์โมสแตติกอิเล็กทรอนิกส์แบบชั้นวาล์วจะทำให้สมรรถนะของเครื่องลดความชื้นเพิ่มขึ้น (สฤทธิพรและสัมพันธ์, 2548) แต่อย่างไรก็ตามเครื่องที่พัฒนาขึ้นนั้นก็เพียงเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเท่านั้น ถ้านำไปใช้งานสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชนั้นจะต้องใช้ควบคู่ไปกับเครื่องทำความเย็น

ดังนั้นสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมซึ่งเป็นหน่วยงานของกรมวิชาการเกษตร จึงได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็นสำหรับเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช ซึ่งในส่วนของกิจกรรมโครงการนี้จะออกแบบระบบทำความเย็นที่สามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อจะลดต้นทุนในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชให้มีคุณภาพที่ดี ซึ่งระบบทำความเย็นที่ออกแบบนี้จะใช้วิธีการทำความเย็นเพื่อควบแน่น (Condensing) โดยเริ่มจากทำให้อากาศเย็นถึงจุดอิ่มตัวความชื้นในอากาศแล้วกลั่นตัวเป็นหยดน้ำแยกออกมาจากอากาศจึงทำให้ปริมาณมวลของน้ำในอากาศลดลง หลังจากนั้นจึงอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นจนถึงอุณหภูมิตามที่ต้องการโดยใช้พลังงานความร้อนจากสารทำความเย็น (Hot gas) เพื่อปรับสภาวะอากาศให้เหมาะกับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช ส่งผลให้ระบบทำความเย็นมีสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็นเพิ่มขึ้นเนื่องจากการนำพลังงานความร้อนที่ระบายทิ้งกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง อีกทั้งยังทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่จะใช้สำหรับการลดความชื้นสัมพัทธ์ได้อีกด้วย ซึ่งต้นแบบที่ออกแบบสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในพื้นที่ต่างๆได้ตามต้องการ จึงเหมาะสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน สหกรณ์การเกษตร และภาคเอกชนที่ต้องการจะลด ต้นทุนการผลิตด้วยการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้มีคุณภาพที่ดี นอกเหนือจากนี้เทคโนโลยีที่ได้จากโครงการวิจัยนี้จะเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาขับเคลื่อน ด้านการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชรองรับประชาคมอาเซียน หรือ Seed Hub ตามที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (เดลินิวส์, 2557)

## 6. วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. แบบฟอร์มสำหรับการสำรวจห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช
2. ผนังห้องเย็นแบบโพลียูรีเทน (Polyurethane) หนา 50 mm
3. ชุดระบบทำความเย็นประกอบด้วย 1. คอมเพรสเซอร์แบบเฮอริเมติก (Hermetic Compressor) ขนาดมอเตอร์ 4 hp. 2. อีแวปอเรเตอร์พร้อมแผงคอยล์ร้อน (Evaporator with Heating coil) 3. เทอร์โมสแตติกเอ็กซ์แพนชันวาล์ว (Thermostatic Expansion valve) และ 4. คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Condenser)
4. อุปกรณ์วัดแรงดันสารทำความเย็นและเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Temperature and Humidity Data Logger)
5. คอมพิวเตอร์สำหรับจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบเครื่องต้นแบบ

### วิธีการ

1. ดำเนินการสำรวจห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันจำนวน 8 แห่ง ได้แก่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, ชัยนาท, นครสวรรค์และขอนแก่น ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุโขทัยและสกลนคร และศูนย์ขยายเมล็ดพันธุ์ข้าวเชียงใหม่
2. ออกแบบต้นแบบห้องเย็นสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชให้มีขนาดโครงสร้างภายนอก 2.2x5.0x2.2 m (กว้างxยาวxสูง) และขนาดห้องเย็น 2.2x4.0x2.2 m (กว้างxยาวxสูง)
3. คำนวณภาระการทำความเย็น (Cooling load) ของระบบทำความเย็น โดยใช้สมการคำนวณดังต่อไปนี้

ภาระการทำความเย็นจากผลิตภัณฑ์ (Product Load) , (ASHRAE, 1998)

$$Q_p = mC_p(T_1 - T_2) \quad , \text{ kW} \quad (1)$$

เมื่อ	$Q_p$	คือ ความร้อนจากผลิตภัณฑ์ (kW)
	$m$	คือ มวลของผลิตภัณฑ์ (kg)
	$C_p$	คือ ความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (kJ/kg.°C)
	$T_1$	คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของสิ่งที่ต้องการทดสอบ (°C)
	$T_2$	คือ อุณหภูมิสุดท้ายของสิ่งที่ต้องการทดสอบ (°C)

ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการคายความร้อนของผลิตภัณฑ์ (Respiration Heat), (ROY J. DOSSAT, 1997)

$$Q_R = mH_r \times 24 \text{ hr} \quad , \text{ kW} \quad \dots (2)$$

เมื่อ	$Q_R$	คือ ความร้อนที่เกิดจากการคายความร้อนของผลิตภัณฑ์ (kW)
	$m$	คือ มวลของผลิตภัณฑ์ (kg)
	$H_r$	คือ ปริมาณการคายความร้อนของผลิตภัณฑ์ (kJ/kg.hr)

ภาระการทำความเย็นจากความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังห้องเย็น (Wall gain Load), (ชัชวาล, 2544)

$$Q_W = UA\Delta T \quad , \text{ kW} \quad \dots (3)$$

เมื่อ	$Q_W$	คือ ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังห้องเย็น (kW)
	$U$	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากภายนอก (W/m <sup>2</sup> .°C)
	$A$	คือ พื้นที่ที่มีการถ่ายเทความร้อน (m <sup>2</sup> )
	$\Delta T$	คือ ผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก (°C)

ภาระการทำความเย็นจากอากาศที่เล็ดลอดเข้าห้องขณะเปิดปิดประตู (Air Change Load), (ROY J. DOSSAT, 1997)

$$Q_C = V_{in}m_A 0.075(h_o - h_i) \quad , \text{ kW} \quad \dots (4)$$

เมื่อ	$Q_C$	คือ ความร้อนจากอากาศที่เล็ดลอดเข้าห้องขณะเปิดปิดประตู (kW)
	$V_{in}$	คือ ปริมาตรภายในห้องเย็น (m <sup>3</sup> )
	$m_A$	คือ ปริมาตรอากาศที่เล็ดรอดเข้า (kg/m <sup>3</sup> .24 hr)
	$h_o$	คือ เอนทาลปีของอากาศภายนอกห้อง (kJ/kg)
	$h_i$	คือ เอนทาลปีของอากาศภายในห้อง (kJ/kg)

4. ออกแบบแผงคอยล์ร้อน (Heating Coil) สำหรับลดความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้สมการคำนวณดังนี้

$$Q = m_a \Delta h \quad , \text{ kW} \quad \dots (5)$$

เมื่อ  $Q$  คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องการถ่ายเท (kW)  
 $m_a$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)  
 $\Delta h$  คือ ผลต่างของเอนทาลปี (kJ/kg)

5. ประกอบโครงสร้างหลัก ผนังห้องเย็นและระบบทำความเย็น โดยดำเนินการสร้างต้นแบบภายในอาคารปฏิบัติการของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
6. ทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบเบื้องต้น
7. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบและรายงานผล
8. เผยแพร่ห้องเย็นและระบบทำความเย็นต้นแบบสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช ให้กับกลุ่มเกษตรกร สหกรณ์การเกษตร ภาคเอกชนหรือหน่วยงานที่สนใจ

เวลาและสถานที่

ระยะเวลา : มกราคม 2557 – กันยายน 2557

สถานที่ : สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร

ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก กรมวิชาการเกษตร

## 7. ผลการทดลองและวิจารณ์

### ผลการสำรวจ

จากการศึกษาและสำรวจรวบรวมข้อมูลห้องเย็นและห้องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ ตามศูนย์วิจัยพืชไร่และศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร และศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าว เชียงใหม่ กรมการข้าว ทำให้ได้ข้อมูลในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชชนิดต่างๆ

ลำดับ	สถานที่	รายละเอียด	ชนิดเมล็ดพันธุ์	ระยะเวลาเก็บ (เดือน)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%RH)
1	ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ (ตากฟ้า)	- ห้องเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์คัดและหลัก	ถั่วเหลืองและข้าวโพด	12	15	40-50
		- ห้องเก็บเมล็ดพันธุ์ขยายและจำหน่าย	ถั่วเหลือง	4-6	20-25	60-70
		- ห้องเก็บเมล็ดพันธุ์จำหน่าย	ข้าวโพด	4-6	อุณหภูมิห้อง	-
2	ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท	- ห้องเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์คัดและหลัก	ถั่วเขียว	12	20-25	-
		- ห้องเก็บเมล็ดพันธุ์ขยายและจำหน่าย	ถั่วเขียว	4-6	20	60-70
3	ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ (แม่โจ้)	- ห้องเก็บเมล็ดพันธุ์ขยายและจำหน่าย	ถั่วเหลือง และ ถั่วเหลืองฟักสด	4-6	20	60-70
4	ศูนย์วิจัยเมล็ดพันธุ์ข้าวเชียงใหม่ (กรมการข้าว)	- ห้องเก็บเมล็ดพันธุ์ขยายและจำหน่าย	ข้าวเหนียวและข้าวเจ้า	8-12	20-25	60-70
5	ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก	- ห้องเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์คัดและหลัก	ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และข้าวโพด	8-12	15	40-50
		- ห้องเก็บเมล็ดพันธุ์ขยายและจำหน่าย	ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และข้าวโพด	4-6	20-25	60-70
		- ห้องทดสอบความงอกของเมล็ด	ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และข้าวโพด	-	20-30	ไม่ควบคุม
6	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร	- ห้องเก็บเมล็ดพันธุ์ขยายและจำหน่าย	ถั่วเหลืองและถั่วเขียว	8-12	15	40-50



ลำดับ	สถานที่	รายละเอียด	ชนิดเมล็ดพันธุ์	ระยะเวลาเก็บ (เดือน)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%RH)
7	ศูนย์วิจัยพืชไร่ ขอนแก่น	- ห้องเก็บเมล็ดพันธุ์ ขยาย	ถั่วลิสงและถั่ว เขียว	4-6	25	ไม่ควบคุม
8	ศูนย์วิจัยและ พัฒนาการเกษตร มหาสารคาม	- ห้องเก็บเมล็ดพันธุ์ ขยาย	ถั่วลิสงและถั่ว เขียว	4-6	25	ไม่ควบคุม

จากการสำรวจห้องเย็นใช้สำหรับเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ จะมีระบบทำความเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิ และเครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ สามารถแบ่งออกเป็น 4 ระบบหลักๆ ดังนี้

#### 1. ห้องเย็นที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป (Split type) เพียงอย่างเดียว

ห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ในลักษณะนี้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้เพียงอย่างเดียว (ดังแสดงในภาพที่ 1) การสร้างและติดตั้งก็จะทำได้ง่ายและสะดวกที่สุด รวมถึงมีต้นทุนที่น้อยที่สุดอีกด้วย เพราะระบบนี้จะนำเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป (Split type) มาติดตั้งแล้วสามารถใช้งานได้เลย ส่วนข้อเสียที่เห็นได้ชัดของระบบนี้คือ ไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศได้และคอมเพรสเซอร์ที่ทำงานหนักจะเกิดความเสียหายบ่อย ซึ่งระบบนี้จะสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ต่ำที่สุดเพียง 22-25°C เท่านั้น เนื่องจากคอมเพรสเซอร์ในเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปนั้นเป็นแบบ High temperature และคอยล์เย็นมีระยะห่างระหว่างฟินที่น้อยมาก ถ้าหากอุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้เกิดน้ำแข็งอุดตันขึ้นในบริเวณคอยล์เย็นทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานหนักตามไปด้วยอีกทั้งยังทำให้เครื่องปรับอากาศใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าปกติ



ภาพที่ 1 ห้องเย็นที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบตู้ทั่วไป (Split type)

2. ห้องเย็นที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบตู้ทั่วไป (Split type) ร่วมกับเครื่องลดความชื้น

ห้องเย็นในลักษณะนี้จะนำเครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (Dehumidifier Unit) (ดังแสดงในภาพที่ 2) มาใช้ร่วมกับเครื่องปรับอากาศแบบตู้ทั่วไป (ดังภาพที่ 3) เพื่อให้ห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์นั้นสามารถควบคุมความชื้นในอากาศได้ ส่วนข้อเสียคือ จะสิ้นเปลืองค่าพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเครื่องลดความชื้นจะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่ากับเครื่องปรับอากาศแบบตู้ทั่วไป



ภาพที่ 2 เครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ



ภาพที่ 3 ห้องเย็นที่ใช้เครื่องลดความชื้นร่วมกับเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป

### 3. ห้องเย็นที่ใช้เครื่องทำความเย็น (Refrigeration system) ร่วมกับเครื่องลดความชื้น

ห้องเย็นในแบบนี้จะใช้เครื่องทำความเย็นดังภาพที่ 4 (Refrigeration system) ร่วมกับเครื่องลดความชื้นดังภาพที่ 5 (Dehumidifier Unit) ซึ่งระบบนี้จะสามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและควบชื้นสัมพัทธ์ในอากาศได้ และยังสามารถลดอุณหภูมิได้ต่ำกว่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป เนื่องจากเครื่องทำความเย็นสามารถออกแบบระบบให้มีอุณหภูมิต่ำตามที่ต้องการ โดยจะไม่มีปัญหาเรื่องของการเกิดน้ำแข็งอุดตันที่บริเวณคอยล์เย็น และการออกแบบให้คอมเพรสเซอร์สามารถทำงานในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการก็จะช่วยให้คอมเพรสเซอร์ไม่ทำงานหนักจนเกินไป ส่วนข้อเสียในระบบนี้คือ ยังต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าเพิ่มสำหรับการใช้งานเครื่องลดความชื้น เนื่องจากเครื่องลดความชื้นจะมีระบบทำความเย็นทำงานอยู่ในเครื่องลดความชื้นด้วยดังรูปที่ 6



ภาพที่ 4 เครื่องทำความเย็นแบบ Air Cooled Condensing Unit



ภาพที่ 5 การใช้เครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์ร่วมกับเครื่องทำความเย็น



ภาพที่ 6 ระบบทำความเย็นที่ใช้สำหรับเครื่องลดความชื้น

#### 4. ห้องเย็นที่ให้เครื่องทำความเย็น (Refrigeration system) ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้า

ห้องเย็นในลักษณะนี้จะมีหลักการทำงานคือ มีระบบทำความเย็น (ภาพที่ 7) ทำหน้าที่ควบแน่นมวลของน้ำในอากาศเพื่อจะดึงความชื้นออกจากอากาศ ซึ่งอุณหภูมิของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็นจะเท่ากับอุณหภูมิจุดน้ำค้าง 0-5 °C (Dew point) ของสภาวะอากาศตามที่ต้องการ(15°C, 40-50% RH) แต่อากาศที่ผ่านคอยล์เย็นจะต่ำกว่าอุณหภูมิที่เราต้องการมาก จึงใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้ามาเพิ่มอุณหภูมิที่ผ่านจากคอยล์เย็นให้ร้อนขึ้น (ภาพที่ 8) ระบบนี้จะสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ตามต้องการ แต่ข้อเสียของระบบนี้คือจะต้องจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับฮีตเตอร์ให้การเพิ่มอุณหภูมิ





ภาพที่ 7 เครื่องทำความเย็นที่ใช้ร่วมกับฮีทเตอร์ไฟฟ้า

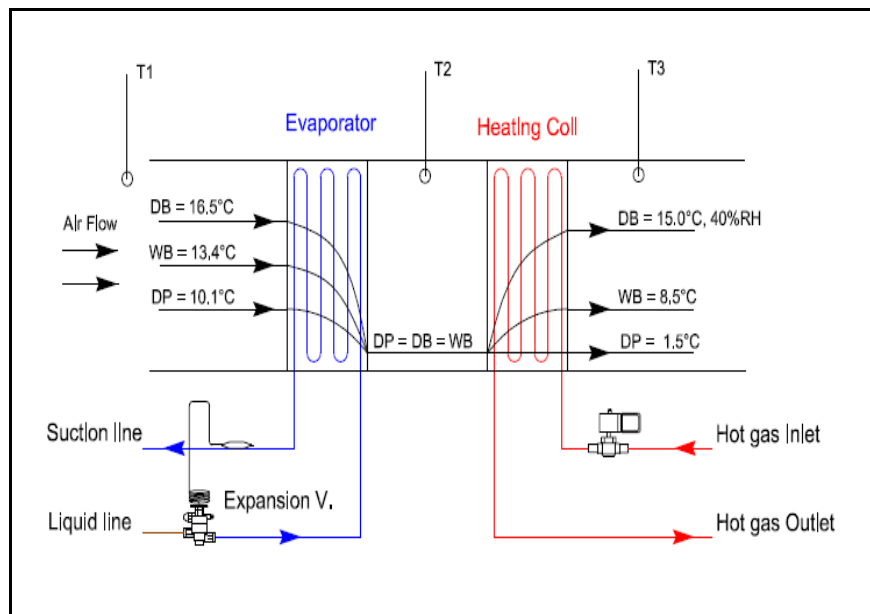


ภาพที่ 8 คอล์เย็นและฮีทเตอร์ไฟฟ้า

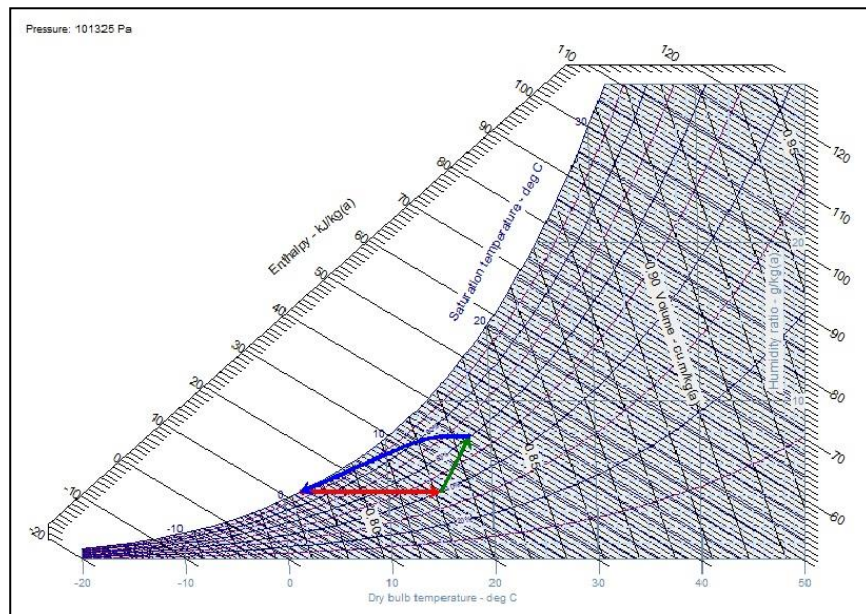
### ผลการออกแบบเครื่องต้นแบบ

จากข้อมูลการใช้งานห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดออกแบบการลดความชื้นโดยใช้วิธีทำความเย็นเพื่อควบแน่น (Condensing) ดังแสดงในภาพที่ 9 โดยเริ่มจากทำให้อากาศเย็นถึงจุดอิ่มตัวความชื้นในอากาศแล้วกลั่นตัวเป็นหยดน้ำแยกออกมาจากอากาศจึงทำให้ปริมาณมวลของน้ำในอากาศลดลง หลังจากนั้นจึงอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นจนถึงอุณหภูมิตามที่ต้องการโดยใช้พลังงานความร้อนจากสารทำความเย็น (Hot gas) ดังแสดงหลักการบนแผนภูมิคุณสมบัติอากาศตามภาพที่ 10 ซึ่งระบบที่ออกแบบ

นี้จะสามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องได้ตามที่ต้องการ นอกจากนี้ยังเป็นการใช้พลังงานความร้อนเหลือใช้จากระบบทำความเย็นกลับมาใช้ในแผงคอยล์ร้อนซึ่งเป็นการใช้พลังงานให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด โดยเครื่องต้นแบบนี้ถูกออกแบบให้มีอุณหภูมิห้องที่  $15^{\circ}\text{C}$  และความชื้นสัมพัทธ์ 40-50 %RH เพื่อป้องกันความเสียหายจากการเข้าทำลายของแมลง เชื้อราและแบคทีเรีย เนื่องจากความต้องการความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่า 75% ในการเจริญเติบโต ในขณะที่แบคทีเรียจะเจริญได้ดีเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่า 90%



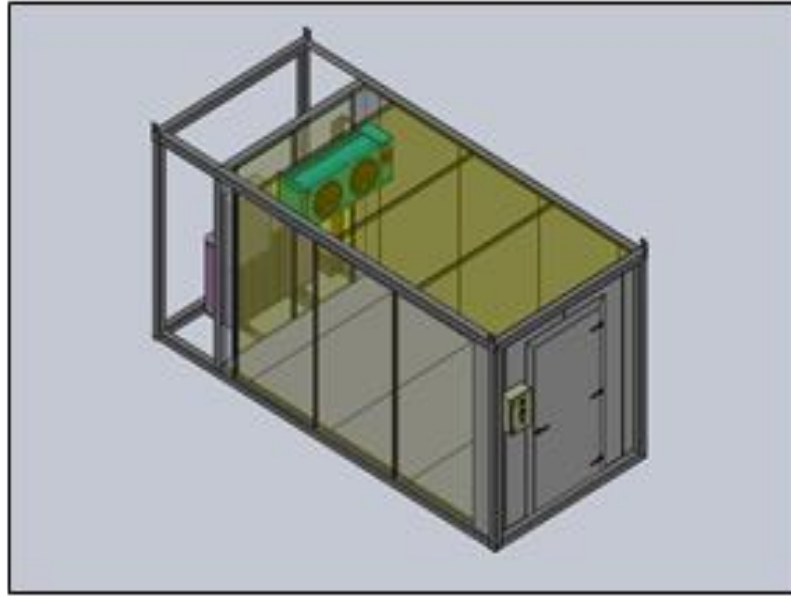
ภาพที่ 9 แนวคิดการออกแบบระบบปรับอากาศ



ภาพที่ 10 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart)

การออกแบบและสร้างห้องเย็นต้นแบบใช้โปรแกรม 3 มิติช่วยในการออกแบบโครงสร้างดังแสดงตามภาพที่ 11 โดยมีขนาดโครงสร้างภายนอก 2.2x5.0x2.6 m (กว้างxยาว xสูง) โครงสร้างภายในเป็นห้องเย็นขนาด 2.2x4.0x2.2 m (กว้างxยาวxสูง) ใช้โฟมโพลียูรีเทนหนา 50 mm เป็นฉนวนห้องเย็น ความจุภายในห้องประมาณ 17 m<sup>3</sup> สามารถเก็บเมล็ดพันธุ์พืชได้ประมาณ 4-5 tons. ผลการออกแบบระบบทำความเย็น ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์เครื่องทำเย็นหลักๆ ดังนี้ 1) คอมเพรสเซอร์ (Compressor) 2) คอล์ยเย็น (Evaporator) และภายในติดตั้งแผงคอล์ยร้อน (Heating Coil) 3.) เทอร์โมสแตติกเอกซ์แพนชันวาล์ว (Thermostatic Expansion Valve) และ 4) คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Condenser)





ภาพที่ 11 การใช้โปรแกรม 3 มิติช่วยในการออกแบบ

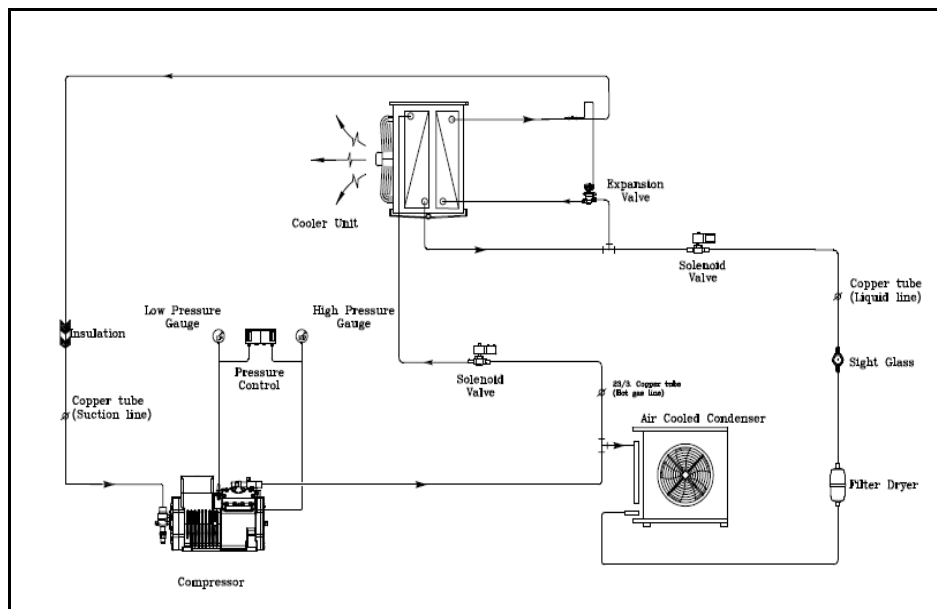
**ผลการคำนวณภาระความร้อนสำหรับระบบทำความเย็นและสร้างเครื่องต้นแบบ**

จากการออกแบบขนาดห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์สามารถคำนวณภาระความร้อนสำหรับระบบทำความเย็นได้ดังแสดงในตารางที่ 2 และเมื่อได้ภาระทำความร้อนของระบบทำความเย็น (Refrigeration Load) เท่ากับ 4.952 kW แล้วจึงนำมาออกแบบวงจรรบบทำความเย็น (Piping Diagram) ดังแสดงในภาพที่ 12 และหลังจากได้ข้อมูลการออกแบบและแบบสำหรับการสร้างเครื่องต้นแบบเรียบร้อยแล้ว จึงดำเนินการสร้างและประกอบในอาคารปฏิบัติการของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม โดยเริ่มจากการประกอบโครงสร้างเหล็ก ผนังห้องเย็น และระบบทำความเย็น ตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 13

**ตารางที่ 2** รายการภาระความร้อนสำหรับระบบทำความเย็น (Refrigeration Load)

No.	List	Detail	Refrigeration Load (Watts)
1	Wall Gain Load	Polyurethane (50 mm)	596.0
2	Product Load	(Seed 6,000 kg, 600 kg/day)	1347.2
3	Air Chang Load	11.6 kJ/kg/24 Hr	746.3
4	Personnel Load	Number of personnel = 2	140.0

5	Lighting Load	15 Watts/m <sup>2</sup>	44.0
6	Fan Motor Load	Motor 0.3 kW x 2	878.0
		<b>Total Load</b>	<b>3,751.5</b>
		Hours run per day (20 Hr)	4,501.8
		Safety Factor 10%	450.2
		<b>Total Cooling Load</b>	<b><u>4,952</u></b>



ภาพที่ 12 วงจรระบบทำความเย็น







ภาพที่ 13 (ก) การประกอบโครงสร้าง (ข) การประกอบผนังห้องเย็น (ค) การติดตั้งคอยล์เย็น  
(ง) การติดตั้งระบบทำความเย็น (จ) ต้นแบบห้องเย็น

## 8. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ผลสำรวจการใช้งานห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชดังกล่าวจำนวน 8 แห่ง สามารถแยกการทำงานออกเป็น 4 ระบบหลักๆ ดังนี้ 1) การใช้เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป (Split type) 2) การใช้เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปร่วมกับเครื่องลดความชื้น 3) ใช้เครื่องทำความเย็นร่วมกับเครื่องลดความชื้น และ 4) ใช้เครื่องทำความเย็นร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งพบว่า การใช้เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปนั้นยังไม่เหมาะสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชเนื่องจากมีข้อจำกัดของอุณหภูมิการใช้งาน ส่วนการใช้เครื่องลดความชื้นนั้นเป็นการเพิ่มต้นทุนค่าเครื่องจักรและสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น ในขณะที่เครื่องทำความเย็นที่ใช้ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้านั้นยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการสิ้นเปลืองพลังงานเช่นกัน คณะผู้วิจัยจึงออกแบบระบบทำความเย็นให้ความคุ้มค่าทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สภาวะอากาศ  $15^{\circ}\text{C}$  และ 40-50 %RH ตามลำดับ โดยใช้วิธีการลดความชื้นด้วยการทำความเย็นเพื่อให้อากาศควบแน่น แล้วอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นโดยใช้พลังงานความร้อนจากสารทำความเย็นที่ระบายทิ้ง ซึ่งยังเป็นการใช้พลังงานความร้อนเหลือใช้จากระบบทำความเย็นกลับมาใช้ในแผงคอยล์ร้อนทำให้เป็นการใช้พลังงานให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด ซึ่งห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชต้นแบบมีขนาด  $2.2 \times 4.0 \times 2.2$  m (กว้างxยาวxสูง) ใช้โพลีโพลียูรีเทน (Polyurethane) หนา 50 mm เป็นฉนวนห้องเย็น ระบบทำความเย็นประกอบด้วย 1) คอมเพรสเซอร์แบบเฮอร์เมติก (Hermetic Compressor) ขนาด 4 hp ใช้สารทำความเย็น R-22 2) คอยล์เย็นพร้อมติดตั้งแผงคอยล์ร้อน (Evaporator with Heating coil) 3) เทอร์โมสแตติกเอ็กซ์แพนชันวาล์ว (Thermostatic Expansion Valve) 4) คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Condenser)

## 9. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ต้นแบบห้องเย็นและระบบทำความเย็นสำหรับเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชนี้สามารถลดต้นทุนค่าเครื่องจักรได้เนื่องจากอุปกรณ์ส่วนใหญ่ผลิตภายในประเทศไทยและช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าได้เนื่องจากใช้ระบบทำความเย็นเพียงระบบเดียวที่สามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และนอกจากนี้เครื่องต้นแบบยังสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้ในสถานที่ต่างๆ ได้ตามต้องการ จึงเหมาะสำหรับหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนที่สนใจ เช่น ศูนย์วิจัยพืชไร่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตเมล็ดพันธุ์ ของกรมวิชาการเกษตร, ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์ข้าว กรมการข้าว, กลุ่มรัฐวิสาหกิจชุมชน, กลุ่มสหกรณ์การเกษตร และโรงงานของภาคเอกชน เป็นต้น

## 10. คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกรมวิชาการเกษตรที่สนับสนุนทุนวิจัยในการดำเนินโครงการนี้ ขอขอบคุณผู้อำนวยการสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมที่ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะ รวมถึงอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการ และขอขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลกที่อำนวยความสะดวกสถานที่ใช้ในการสำรวจและศึกษาดูงานห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชภายในศูนย์

## 11. เอกสารอ้างอิง

- ไกรสิงห์ อุดมญาติ, อรรถพงษ์ เฉลิมสุข และ สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548. ศักยภาพการพัฒนาตู้แช่เย็นขนาดเล็กมาเป็นเครื่องลดความชื้น, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19, 19-21 ตุลาคม 2548, ภูเก็ต.
- คม ชัด ลึก. 2557. เร่งดันศูนย์เมล็ดพันธุ์พืชรับเออีซี, [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.komchadluek.net>, เข้าดูเมื่อวันที่ 27 ตุลาคม 2557
- ชัชวาล ตันชกิตติ. 2544. การออกแบบห้องเย็นและระบบทำความเย็น. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 222 หน้า
- เดลินิวส์. 2557. กรมวิชาการเกษตรจับมือเอกชนพัฒนา Seed Hub รับอาเซียน, [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.dailynews.co.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2557
- ฟาร์มไทยแลนด์. 2557. กรมวิชาการเกษตรจับมือภาคเอกชนสู่การพัฒนา Seed Hub ต้อนรับอาเซียน, [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.farmthailand.com>, เข้าดูเมื่อวันที่ 3 พฤศจิกายน 2557

สุทธิพร วิทยผดุง และ สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548. การออกแบบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่  
ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง. *การประชุมวิชาการครั้งที่ 43 แห่ง*  
*มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, หน้า 239-246

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE).

1998. ASHRAE Fundamentals Handbook (SI unit). Chapter 12 Refrigeration Load.

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

ROY J. DOSSAT. 1997. Principles of Refrigeration. (4<sup>th</sup> ed). Simon & Schuster / A Viacom  
Company, New jersey.