

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

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

4. บทคัดย่อ

ประเทศไทยนับเป็นแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่มีศักยภาพของภูมิภาคอาเซียน เนื่องจากมีสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยและมีมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อการส่งออกที่มีคุณภาพ แต่ในปัจจุบันกลุ่มเกษตรกรที่ทำการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชยังไม่มีห้องเย็นสำหรับการเก็บรักษา เนื่องจากเทคโนโลยีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และระบบทำความเย็นสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชที่นำเข้ามาจากต่างประเทศมีทุนต้นสูงและยังใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงอีกด้วย สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร จึงได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบทำความเย็นเพื่อลดต้นทุนในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชให้มีคุณภาพที่ดี ซึ่งระบบทำความเย็นที่ออกแบบนี้จะสามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยใช้วิธีทำความเย็นเพื่อควบแน่น (Condensing) แล้วอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นโดยการใช้พลังงานความร้อนจากสารทำความเย็นเพื่อปรับสภาวะอากาศให้เหมาะกับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช ต้นแบบห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชมีชุดระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับระบบทำความเย็น ซึ่งในการทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) จะกำหนดช่วงแรงดันของสารทำความเย็นด้านต่ำให้ค่าคงที่ 50 psi และแรงดันด้านสูงไว้ 3 ช่วงคือ 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

คำสำคัญ : ระบบควบคุม; ระบบทำความเย็น; 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 prototype of cold storage room has automatic controller for refrigeration system. 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 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.

Keywords : Controller system, Refrigeration System, Seed

5. คำนำ

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

ปัจจุบันเทคโนโลยีส่วนใหญ่ที่ใช้สำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชจะนำเข้าจากต่างประเทศมีต้นทุนค่าเครื่องจักรที่ค่อนข้างสูงรวมถึงเครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์ที่ติดตั้งเพิ่มเข้าไปนั้นยังใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงอีก

ด้วย จึงทำให้กลุ่มเกษตรกรมักไม่นิยมเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชไว้ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ แต่นิยมการเก็บไว้ในฉาง ถังเก็บ ไซโลหรือในโรงเรือนที่อาจจะบรรจุกระสอบหรือไม่บรรจุกระสอบก็ขึ้นอยู่กับจัดการของแต่ละแห่ง และหากเป็นการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชของทางหน่วยงานราชการหรือทางโรงงานภาคเอกชนขนาดใหญ่ นั้นนิยมบรรจุเมล็ดพันธุ์ไว้ในกระสอบแล้วเก็บไว้ในห้องเย็นที่สามารถควบคุมอุณหภูมิเพื่อช่วยรักษาคุณภาพของเมล็ด ส่วนการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องเย็นแบบเดิมนั้นจะมีหลายวิธี เช่น การติดตั้งเครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มเข้าไปอีกเครื่อง ซึ่งจะทำงานแยกส่วนกับระบบทำความเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิภายในห้อง คือระบบทำความเย็นก็จะทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิภายในห้อง ส่วนเครื่องลดความชื้นก็จะทำหน้าที่ควบคุมความชื้นตามที่ต้องการซึ่งจะแยกการทำงานเป็นอิสระต่อกัน และจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาตู้แช่เย็นขนาดเล็กมาเป็นเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน เพื่อจะลดต้นทุนของเครื่องจักรที่มีจำหน่ายทั่วไปและที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ (ไกรสิงห์และคณะ, 2548) และการออกแบบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง และเปลี่ยนอุปกรณ์จากท่อแควปี่ลารี่มาเป็นเทอร์โมสแตติกอิเล็กทรอนิกส์แบบเซนเซอร์จะทำให้สมรรถนะของเครื่องลดความชื้นเพิ่มขึ้น (สุทธิพรและสัมพันธ์, 2548) แต่อย่างไรก็ตามเครื่องที่พัฒนาขึ้นนั้นก็เป็นเพียงในส่วนของเครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเท่านั้น ถ้านำไปใช้งานสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชนั้นจะต้องใช้ควบคู่ไปกับเครื่องทำความเย็น

ดังนั้นสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมซึ่งเป็นหน่วยงานของกรมวิชาการเกษตร จึงได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับระบบทำความเย็นที่สามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อจะลดต้นทุนในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชให้มีคุณภาพที่ดี เพื่อปรับสภาวะอากาศให้เหมาะกับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช ส่งผลให้ระบบทำความเย็นมีสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็นเพิ่มขึ้นเนื่องจากการนำพลังงานความร้อนที่ระบายทิ้งกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง อีกทั้งยังทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่จะใช้สำหรับการลดความชื้นสัมพัทธ์ได้อีกด้วย ซึ่งต้นแบบที่ออกแบบสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในพื้นที่ต่างๆได้ตามต้องการ จึงเหมาะสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน สหกรณ์การเกษตรและภาคเอกชนที่ต้องการจะลด ต้นทุนการผลิตด้วยการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้มีคุณภาพที่ดี นอกเหนือจากนี้เทคโนโลยีที่ได้จากโครงการวิจัยนี้จะเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาขับเคลื่อน ด้านการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชรองรับประชาคมอาเซียน หรือ Seed Hub ตามที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (เดลินิวส์, 2557)

6. วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. แบบฟอร์มสำหรับการสำรวจห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช
2. ชุดควบคุมอัตโนมัติประกอบด้วย 1. ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) 2.ชุดควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity Controller) 3.ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter)

3. อุปกรณ์วัดแรงดันสารทำความเย็นและเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Temperature and Humidity Data Logger)
4. มิเตอร์ไฟฟ้า (kW hours)
5. คอมพิวเตอร์สำหรับจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบเครื่องต้นแบบ

วิธีการ

1. ดำเนินการสำรวจห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันจำนวน 8 แห่ง ได้แก่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, ชัยนาท, นครสวรรค์และขอนแก่น ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุโขทัยและสกลนคร และศูนย์ขยายเมล็ดพันธุ์ข้าวเชียงใหม่
2. ออกแบบและสร้างต้นแบบชุดระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับระบบทำความเย็น โดยดำเนินการสร้างต้นแบบภายในอาคารปฏิบัติการของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
3. ทดสอบการทำงานเบื้องต้นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น
4. ทดสอบเครื่องต้นแบบเทียบกับเครื่องของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก
5. ทดสอบประเมินสมรรถนะการลดความชื้นของเครื่องต้นแบบ โดยมีนิยามของค่าสมรรถนะต่างๆ แสดงดังนี้ (Saritporn and Sumpun, 2004)

5.1. อัตราการดึงความชื้น (Moisture Condensation Rate, MCR) คืออัตราการควบแน่นน้ำที่ไอแวกปอเรเตอร์ในระบบทำความเย็นเป็นปัจจัยสำคัญที่แสดงถึงประสิทธิภาพการดึงความชื้น โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$MCR = m_{a,e}(W_{ei}-W_{eo}) \times 3600 \quad (1)$$

5.2. อัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (Specific Moisture Condensation Rate, SMCR) เป็นค่าที่แสดงปริมาณความสิ้นเปลืองพลังงานในการลดความชื้น โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$SCMR = m_{a,e} (W_{ei} - W_{eo}) \times 3600 / W_{net} \quad (2)$$

5.3. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) เป็นพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นต่อปริมาณน้ำที่ควบแน่นจากไอแวกปอเรเตอร์ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$SEC = (W_{net} \times 3.6) / m_{a,e} (W_{ei} - W_{eo}) \quad (3)$$

เมื่อ	MCR	คือ อัตราการดึงความชื้น ($\text{kg}_{\text{water}}/\text{hr}$)
	SCMR	คือ อัตราการดึงความชื้นจำเพาะ ($\text{kg}_{\text{water}}/\text{kW}$)
	SEC	คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ($\text{MJ}/\text{kg}_{\text{water}}$)
	$m_{a,e}$	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ผ่านอีแวปอเรเตอร์ (kg/s)
	W_{ei}	คือ อัตราส่วนความชื้นก่อนเข้าอีแวปอเรเตอร์ ($\text{kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$)
	W_{eo}	คือ อัตราส่วนความชื้นออกจากอีแวปอเรเตอร์ ($\text{kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$)
	W_{net}	คือ งานสุทธิที่ป้อนให้กับระบบ (kWh)

6. ทดสอบการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชและวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์
7. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องทำความเย็นและรายงานผล
8. เผยแพร่ห้องเย็นและระบบทำความเย็นต้นแบบสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช ให้กับกลุ่มเกษตรกร สหกรณ์การเกษตร ภาคเอกชนหรือหน่วยงานที่สนใจ

เวลาและสถานที่

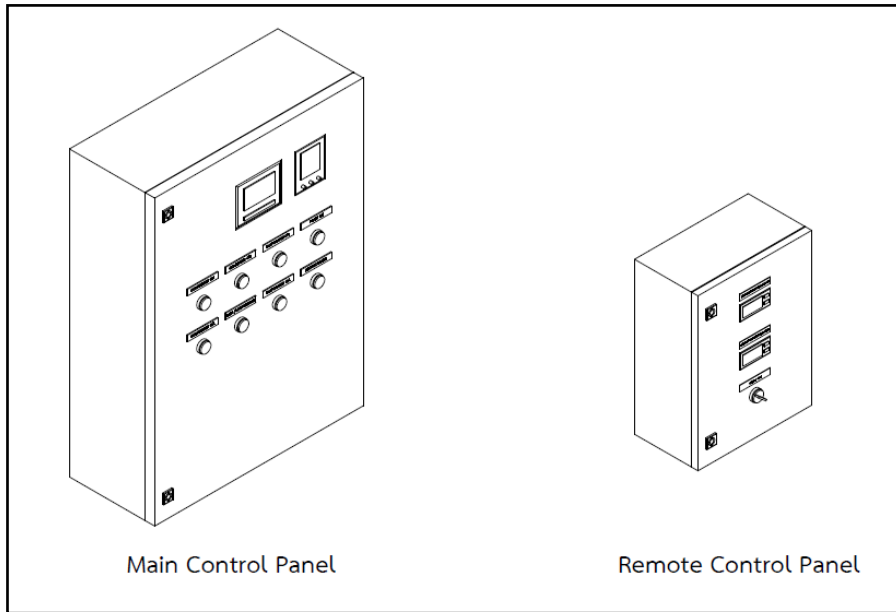
ระยะเวลา	:	มกราคม 2557 – กันยายน 2557
สถานที่	:	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก กรมวิชาการเกษตร

7. ผลการทดลองและวิจารณ์

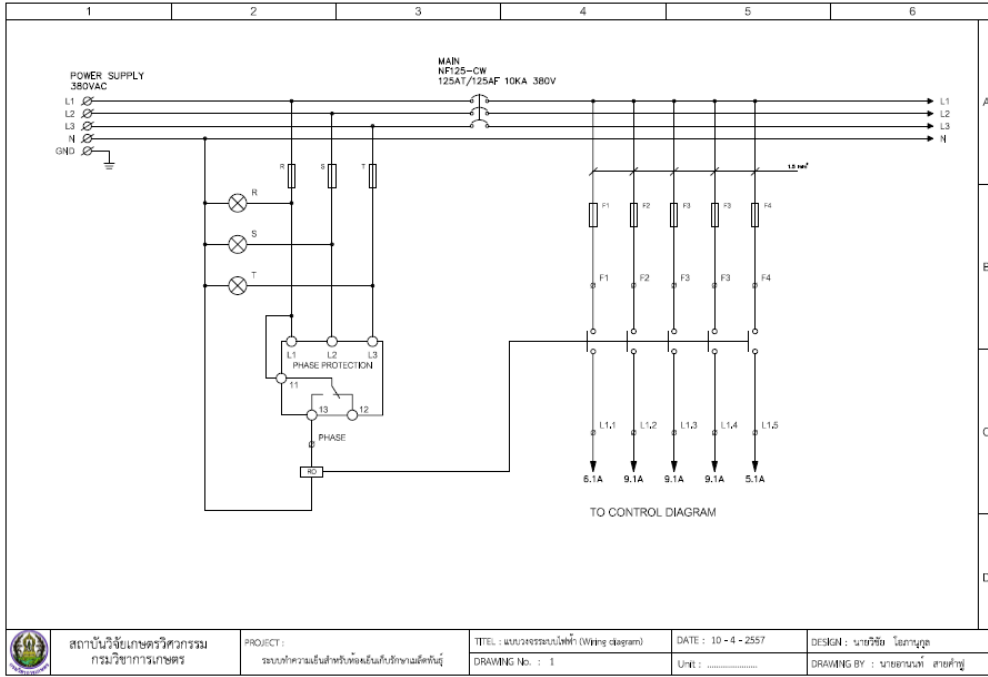
ผลการสำรวจและออกแบบ

จากการสำรวจการใช้งานห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชที่ต้องควบคุมสภาวะของอากาศเพื่อรักษาคุณภาพของเมล็ดพันธุ์พืชจำนวน 8 แห่ง จะแบ่งการควบคุมเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ 1.การควบคุมอุณหภูมิ 2. การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ โดยการควบคุมทั้งสองส่วนนี้จะต้องมีความสัมพันธ์กันเพื่อให้ได้สภาวะอากาศตามที่ต้องการ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงออกแบบการควบคุมอุณหภูมิห้องโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบอัตโนมัติ (Temperature Controller) เพื่อควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในระบบทำความเย็น และออกแบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบอัตโนมัติ (Humidity Controller) ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็น

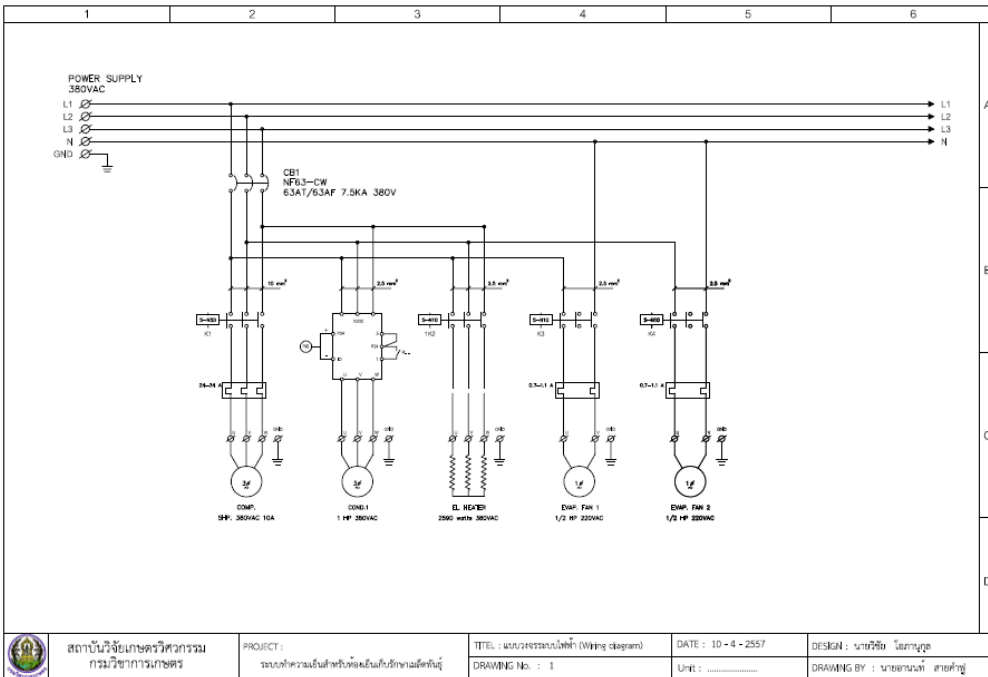
สำหรับการออกแบบระบบควบคุมการทำงานนั้นจะประกอบด้วยตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าจำนวน 2 ตู้ ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย ตู้ควบคุมอุปกรณ์ระบบไฟฟ้า (Main Control Panel) และตู้แสดงผล อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Remote & Display Panel) โดยภายในตู้ทั้งสองจะมีการออกแบบ วงจรไฟฟ้าดังแสดงในภาพที่ 2 และ 3 แล้วสร้างและประกอบชุดตู้ควบคุมการทำงานทั้งสองตู้ดังแสดงในภาพ ที่ 4



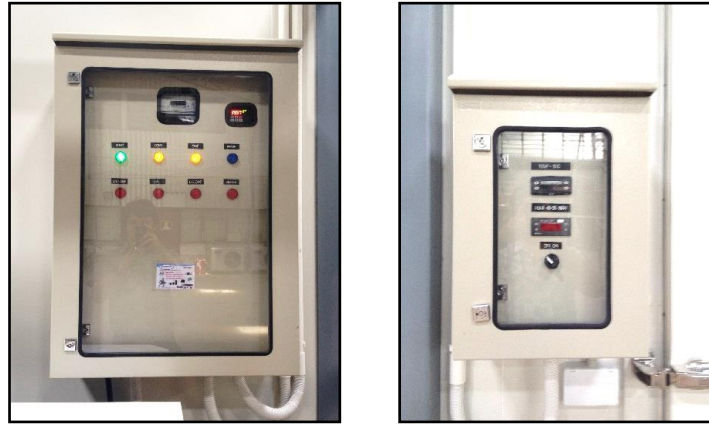
ภาพที่ 1 แบบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น



ภาพที่ 2 วงจรไฟฟ้าสำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติ



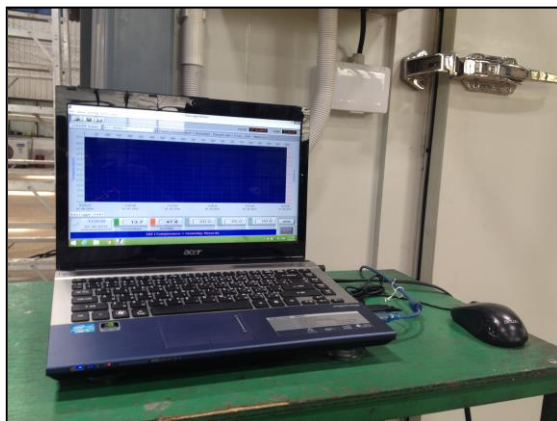
ภาพที่ 3 วงจรไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น



ภาพที่ 4 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า Main control panel และ Remote control panel

ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องทำความเย็น

การออกแบบระบบทำความเย็นในแต่ละระบบนั้น จำเป็นต้องออกแบบให้เครื่องทำความเย็นมีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดในสภาวะอุณหภูมิภายในห้องตามที่ต้องการ ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นส่วนใหญ่จะนิยมบอกในรูปของสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) โดยจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณการทำความเย็นที่ได้จากเครื่องทำความเย็นกับพลังงานที่ใช้สำหรับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ (ชัชวาล, 2544) ดังนั้นในการทดสอบนี้จึงทำการปรับค่าแรงดันของสารทำความเย็นด้านสูงของระบบทำความเย็นให้อยู่ใน 3 ช่วงคือ 190-220 psi, 220-250 psi และ 250-280 psi ส่วนแรงดันด้านต่ำให้มีค่าคงที่เท่ากับ 50 psi เพื่อทำการศึกษาแรงดันสารทำความเย็นในด้านสูงที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง รวมถึงสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น ซึ่งการทดสอบนี้จะใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ดังแสดงในภาพที่ 5 และบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละช่วง ซึ่งผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าแรงดันสารทำความเย็นด้านสูงที่อยู่ในช่วง 190-220 psi นั้น มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นสูงสุดเท่ากับ 4.02 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างของคุณสุทธิพรและคุณสัมพันธ์ (2548) เนื่องจากระบบทำความเย็นมีแรงดันด้านสูงที่ต่ำทำให้คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานในการอัดไอสารทำความเย็นลดลงส่งผลให้ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า ซึ่งสามารถช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 5 การบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็น

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบช่วงแรงดันด้านสูงของระบบทำความเย็น

แรงดันด้านต่ำ (PSIG)	แรงดันด้านสูง (PSIG)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย (%RH)	สัมประสิทธิ์สมรรถนะ ทำความเย็น (COP)	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย (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

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบเทียบกับเครื่องของศูนย์วิจัยฯ (Seed Lab)

เมื่อได้ช่วงแรงดันของระบบทำความเย็นที่เหมาะสมแล้วจึงทำการทดสอบเปรียบเทียบห้องเย็นต้นแบบกับห้องเย็นของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก (Seed Lab) ดังแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งมีการใช้งานอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากัน ขนาดห้องใกล้เคียงกันและมีขนาดมอเตอร์คอมเพรสเซอร์เท่ากันคือ 4 hp ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ห้องเย็นต้นแบบที่สร้างขึ้นมีการใช้กระแสไฟฟ้าต่ำกว่า เนื่องจากมีระบบทำความเย็นเพียงระบบเดียวที่ทำหน้าที่ควบคุมทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง ส่วนเครื่องของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลกมีการใช้กระแสไฟฟ้าสูงกว่าเนื่องจากมีระบบการทำงาน 2 ส่วนคือ เครื่องทำความเย็นและเครื่องลดความชื้นดังแสดงในภาพที่ 7 และอากาศที่ออกจากเครื่องลดความชื้นจะมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50°C และ 20 %RH ตามลำดับ ซึ่งจะเป็นภาระความร้อนให้กับระบบทำความเย็น จากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าห้องเย็นต้นแบบนี้จะประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่านั่นเอง

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างห้องเย็นต้นแบบกับห้องเย็นของศูนย์วิจัยฯ (Seed lab)

รายการ	ขนาดห้อง (กxยxส) เมตร	คอมเพรสเซอร์ (380/3/50) HP	กระแสไฟฟ้าที่ ใช้ของระบบทำ ความเย็น (Amp.)	กระแสไฟฟ้าที่ใช้ ของระบบ Dehumidifying (Amp.)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย (%RH)
เครื่อง ต้นแบบ	2.2x4.0x2.2	4	6.31	-	15.10±0.51	46.23±0.94
Seed Lab	2.9x4.8x2.8	4	6.5	5.3	14.76±0.23	47.34±0.95

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 6 ห้องเย็นของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก (Seed Lab)

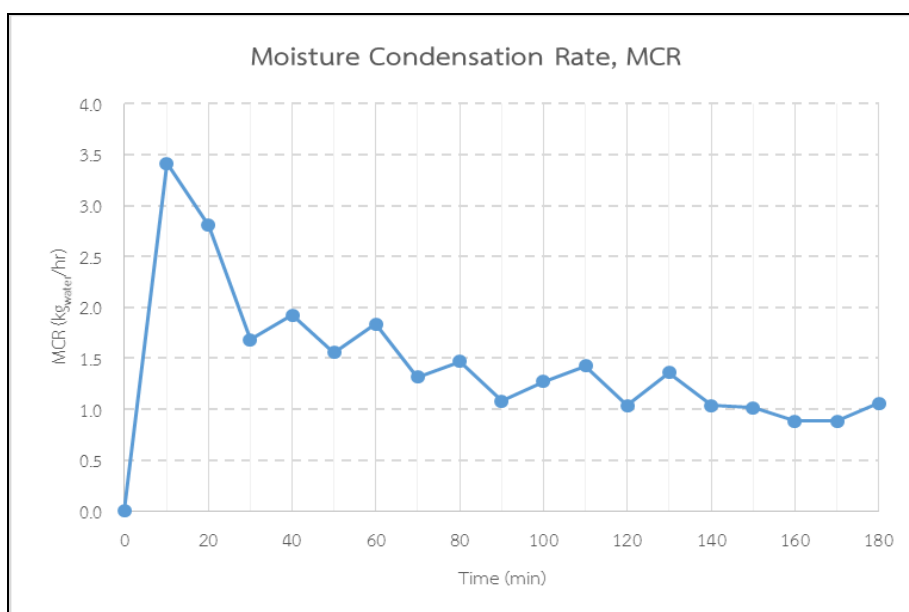


ภาพที่ 7 เครื่องทำความเย็นและเครื่องลดความชื้นของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก

การทดสอบประเมินสมรรถนะการลดความชื้น

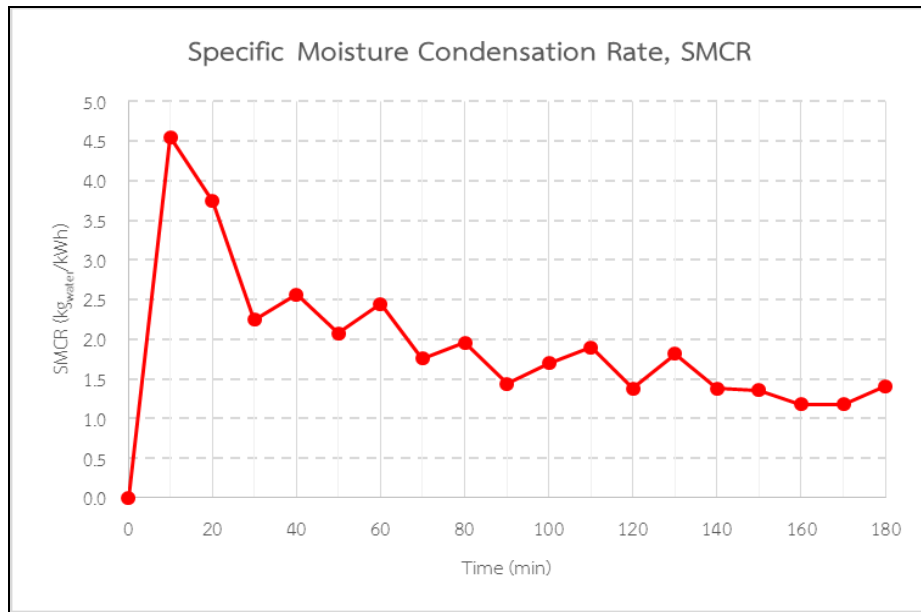
งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบประเมินสมรรถนะการลดความชื้นในอากาศ โดยจะแสดงในรูปของอัตราการดึงความชื้นที่อีแวปอเรเตอร์ (Moisture Condensation Rate : MCR) อัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (Specific Moisture Condensation Rate : SMCR) และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption : SEC) ซึ่งในการทดสอบนี้จะตั้งค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ไว้ที่ 15 °C และ 40-50 %RH ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

อัตราการดึงความชื้น (Moisture Condensation Rate, MCR) คือ อัตราการควบแน่นน้ำที่อีแวปอเรเตอร์ในระบบทำความเย็น โดยมีผลการทดสอบดังภาพที่ 8



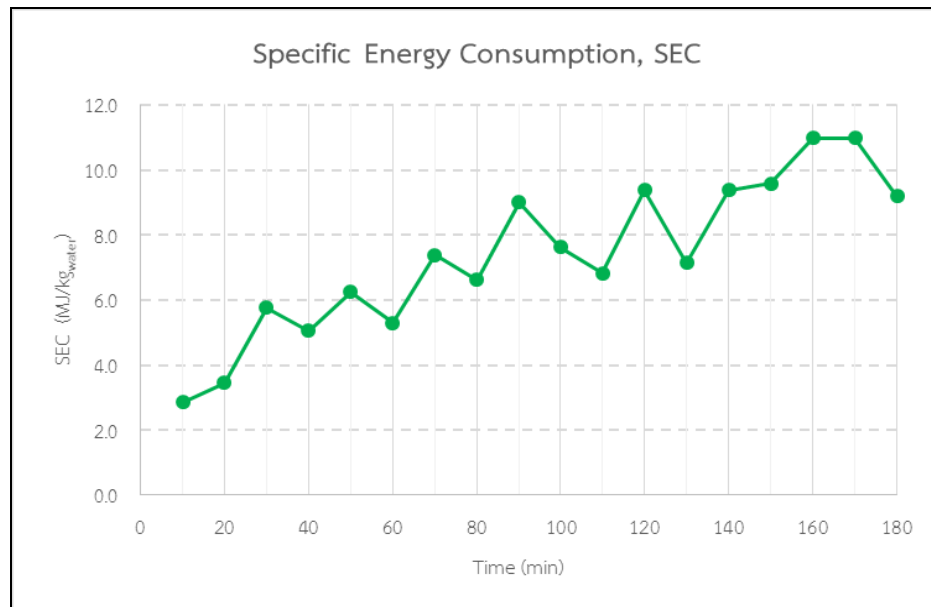
ภาพที่ 8 กราฟแสดงอัตราการดึงความชื้น

อัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (Specific Moisture Condensation Rate, SMCR) เป็นค่าที่แสดงปริมาณความสิ้นเปลืองพลังงานในการลดความชื้น โดยมีผลการทดสอบดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 กราฟแสดงอัตราการดึงความชื้นจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) เป็นพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นต่อปริมาณน้ำที่ควบแน่นจากอีแวปโปเรเตอร์ โดยมีผลการทดสอบดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 กราฟแสดงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

จากการทดสอบประสิทธิภาพของการลดความชื้นพบว่า กราฟแสดงอัตราการดึงความชื้นที่ได้มีความสอดคล้องกับการวิเคราะห์เครื่องลดความชื้นที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างของสฤทธิพรและ

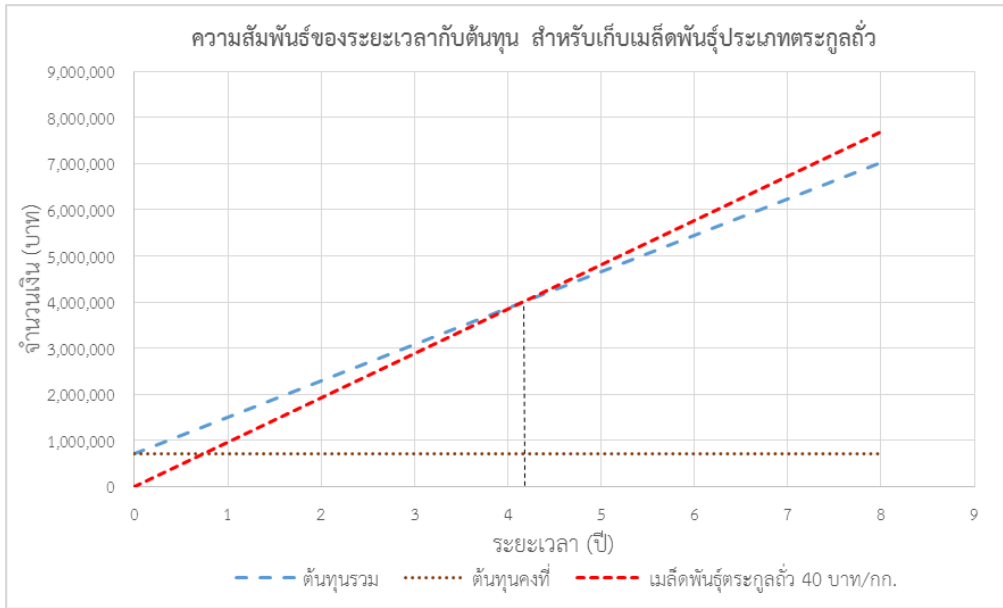
สัมพัทธ์ (สฤทธิพรและสัมพัทธ์, 2548ข) กล่าวคือในช่วงแรกอัตราการดึงความชื้นจะมากและจะค่อยๆลดลง แล้วเข้าสู่ค่าคงที่ เนื่องจากเป็นการลดความชื้นในห้องระบบปิดซึ่งไม่มีอากาศจากภายนอกเข้ามาหมุนเวียนจึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงไปตามระยะเวลาและจะค่อยๆเข้าสู่ค่าคงที่ โดยมีอัตราการดึงความชื้น (MCR) เฉลี่ยเท่ากับ $1.55 \text{ kg}_{\text{water}} \cdot \text{hr}^{-1}$ มีอัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (SMCR) เฉลี่ยเท่ากับ $2.06 \text{ kg}_{\text{water}} \cdot \text{kW}^{-1}$ และมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) เฉลี่ยเท่ากับ $7.28 \text{ MJ} \cdot \text{kg}_{\text{water}}^{-1}$

ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

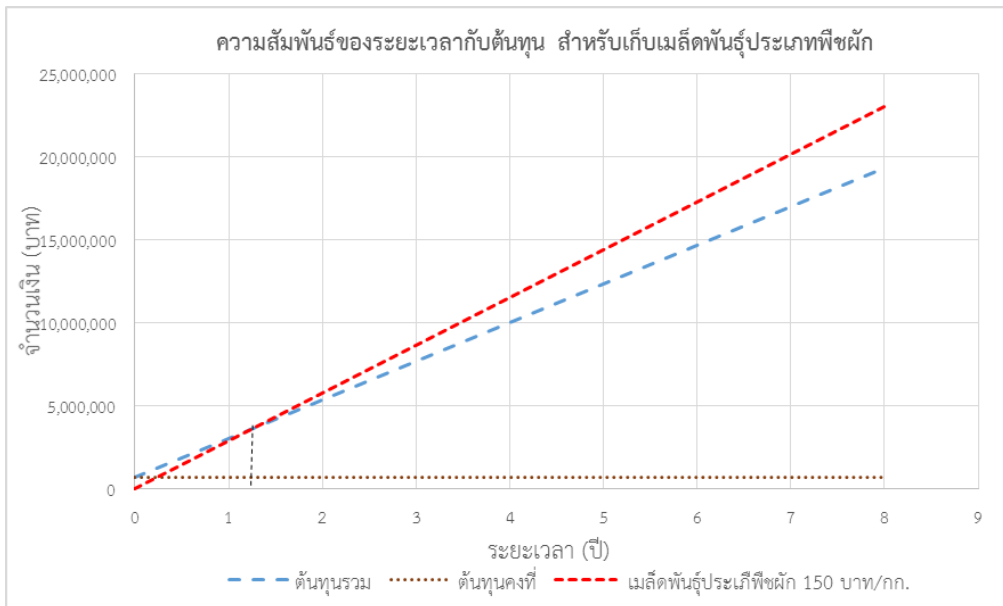
ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชในห้องเย็นต้นแบบ โดยแยกเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันดังนี้

1. ต้นทุนคงที่หมายถึงต้นทุนที่ตายตัวคือ ราคาของเครื่องจักรประกอบด้วย ระบบทำความเย็น ผนังห้องเย็น ชุดควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการประกอบและติดตั้งเครื่องจักร ซึ่งราคาต้นทุนคงที่โดยรวมแล้วประมาณ 750,000 บาท
2. ต้นทุนแปรผันหมายถึงต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการใช้งานคือ ค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าซ่อมบำรุงเพื่อดูแลรักษาเครื่องจักร ซึ่งต้นแบบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.46 หน่วยต่อชั่วโมง คิดค่าไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 3 บาท/หน่วย และค่าซ่อมบำรุงประจำปีเฉลี่ยประมาณ 3,000-5,000 บาท/ปี

เมื่อประเมินการใช้งานสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชแล้วพบว่า สามารถเก็บเมล็ดพันธุ์พืชได้ ความจุเต็มห้องประมาณ 4-5 ตัน และในแต่ละเดือนมีการหมุนเวียนโดยการจำหน่ายเมล็ดพันธุ์พืชประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณความจุเต็มห้อง สามารถประเมินจุดคุ้มทุนได้ดังนี้ 1) เมล็ดพันธุ์ประเภทตระกูลถั่ว ซึ่งราคาประมาณ 40-80 บาท/กก. จะมีระยะเวลาคืนทุนที่ 4.17 ปี 2) เมล็ดพันธุ์ประเภทพืชผักซึ่งมีราคาประมาณ 150-250 บาท/กก. จะมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 1.25 ปี ดังแสดงในภาพที่ 11 และ 12 ตามลำดับ



ภาพที่ 11 การประเมินจุดคุ้มทุนของการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ประเภทตระกูลถั่ว



ภาพที่ 12 การประเมินจุดคุ้มทุนของการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ประเภทพีชผัก

8. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พีชต้นแบบมีขนาด 2.2x4.0x2.2 m (กว้างxยาวxสูง) โดยมีระบบทำความเย็นใช้วิธีการลดความชื้นด้วยการทำความเย็นเพื่อควบแน่น แล้วอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นโดยใช้พลังงานความร้อนจากสารทำความเย็นที่ระบายทิ้ง ซึ่งชุดควบคุมอัตโนมัติที่ออกแบบนี้สามารถควบคุมอุณหภูมิและ

ความชื้นสัมพัทธ์ได้ตามที่ต้องการซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $14.95 \pm 0.55^\circ\text{C}$ และ $45.81 \pm 0.82\% \text{RH}$ ตามลำดับ โดยที่ช่วงแรงดันของสารทำความเย็นด้านสูงอยู่ในช่วง 190-220 psig มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น (COP) สูงที่สุดเท่ากับ 4.02 และการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) เฉลี่ยเท่ากับ 0.46 ส่วนในการประเมินสมรรถนะของการลดความชื้นพบว่า ระบบมีอัตราการดึงความชื้น (MCR) เฉลี่ยเท่ากับ $1.55 \text{ kg}_{\text{water}} \cdot \text{hr}^{-1}$ มีอัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (SMCR) เฉลี่ยเท่ากับ $2.06 \text{ kg}_{\text{water}} \cdot \text{kW}^{-1}$ และมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) เฉลี่ยเท่ากับ $7.28 \text{ MJ} \cdot \text{kg}_{\text{water}}^{-1}$ เมื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แล้วพบว่า การเก็บเมล็ดพันธุ์ประเภทตระกูลถั่วซึ่งราคาประมาณ 40-80 บาท/กก. จะมีระยะเวลาคืนทุนที่ 4.17 ปี และเมล็ดพันธุ์ประเภทพืชผักซึ่งมีราคาประมาณ 150-250 บาท/กก. จะมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 1.25 ปี นอกจากนี้ เครื่องต้นแบบยังสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานตามสถานที่ต่างๆ ได้ตามต้องการ จึงเหมาะสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน สหกรณ์การเกษตรและภาคเอกชนที่ต้องการจะลดต้นทุนการผลิตด้วยการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้มีคุณภาพที่ดี

9. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

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

10. คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกรมวิชาการเกษตรที่สนับสนุนทุนวิจัยในการดำเนินโครงการนี้ ขอขอบคุณผู้อำนวยการสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมที่ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะ รวมถึงอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการ และขอขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลกที่อำนวยความสะดวกสถานที่ใช้ในการสำรวจและศึกษาดูงานห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชภายในศูนย์ รวมถึงการทดสอบเครื่องต้นแบบเทียบกับเครื่องของศูนย์วิจัยฯ

11. เอกสารอ้างอิง

- ไกรสิงห์ อุดมญาติ, อรรถพงษ์ เฉลิมสุข และ สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548. ศักยภาพการพัฒนาตู้แช่เย็นขนาดเล็กมาเป็นเครื่องลดความชื้น, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19*, 19-21 ตุลาคม 2548, ภูเก็ต.
- คมชัดลึก. 2557. *เร่งดันศูนย์เมล็ดพันธุ์พืชรับเออีซี*, [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.komchadluek.net>, เข้าดูเมื่อวันที่ 27 ตุลาคม 2557
- ชัชวาล ตันทกิตติ. 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
- สฤทธิพร วิทย์ผดุง และ สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548ก. การออกแบบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง. *การประชุมวิชาการครั้งที่ 43 แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, หน้า 239-246
- สฤทธิพร วิทย์ผดุง และ สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548ข. *การวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องลดความชื้นที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. เชียงใหม่ : บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Brooker, D. B., F. W. Bakker-Arkema and C. W. Hall. 1992. *Drying and storage of grain and oilseeds*. Westport, Connecticut: AVI
- Saritporn Vittayapadung and Sumpun Chaitep. 2004. Performance Testing of a Dehumidifier Applied from Window-Type Air Conditioner. The 11th Tri-University International Joint Seminar and Symposium, Chiang Mai University, Thailand. October 26-31, 2004. 4 pp.