TPT-07

ออกแบบและพัฒนาระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็น สำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช

*อานนท์ สายคำฟู[1], วิชัย โอภานุกุล[1], ตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์[1], พิชญพงศ์ เมืองมูล[1], ธีรศักดิ์ โกเมฆ[2], สถิตพงศ์ รัตนคำ[2], บัณฑิต จิตรจำนงค์[3], ดนัย ศาลทูลพิทักษ์[1] และ บาลทิตย์ ทองแดง[1]

[1]*สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร 50 แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900*

[2]*ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร 235 ม.3 ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100*

[3]*ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร 27 ม. 1 ตำบลพลับพลา อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี 22000*

ติดต่อผู้เขียน: อานนท์ สายคำฟู E-mail: arnon.scf@gmail.com

บทคัดย่อ

ประเทศไทยนับเป็นแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่มีศักยภาพของภูมิภาคอาเซียน เนื่องจากมีสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยและมีมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อการส่งออกที่มีคุณภาพ แต่ในปัจจุบันกลุ่มเกษตรกรส่วนใหญ่ที่ทำการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชยังไม่มีห้องเย็นสำหรับการเก็บรักษา เนื่องจากเทคโนโลยีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และระบบทำความเย็นสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชที่นำเข้าจากต่างประเทศมีทุนต้นสูงและยังใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงอีกด้วย สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตรจึงได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็นเพื่อลดต้นทุนในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชให้มีคุณรูปที่ดี 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 ส่วนพัดลมคอล์ยเย็นมีอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเท่ากับ 0.6 $kg.sec^{-1}$ และติดตั้งคอล์ยร้อนสำหรับลดความชื้นสัมพัทธ์ขนาด 6 kW 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 ต้นแบบห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชนี้สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในพื้นที่ต่างๆได้ตามต้องการ จึงเหมาะสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน สหกรณ์การเกษตรและภาคเอกชนที่ต้องการจะลดต้นทุนการผลิตด้วยการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้มีคุณรูปที่ดี

คำสำคัญ: ระบบทำความเย็น; การลดความชื้นสัมพัทธ์; เมล็ดพันธุ์พืช

TSAE

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่มีศักยภาพของภูมิภาคอาเซียนโดยมีการส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชไปต่างประเทศและสร้างรายได้เข้าประเทศไม่น้อยกว่า 4,000 ล้านบาทต่อปี โดยเฉพาะเมล็ดพันธุ์ผัก เช่น พืชตระกูลแตง มะเขือเทศ พริก ข้าวโพด ถั่วฝักยาว ผักกาดกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน เป็นต้น [1,2] ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยมีภูมิประเทศและสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการผลิต ภัยธรรมชาติที่มีผลกระทบต่อการผลิตนั้นค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับประเทศอื่นที่อยู่ในภูมิภาคอาเซียน ตลอดจนมีมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อการส่งออกที่มีคุณภาพ เกษตรกรมีศักยภาพและความสามารถเพียงพอในการเพาะปลูกพืชเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากเมล็ดพันธุ์พืชเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีราคาค่อนข้างสูง วิธีการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่ดีจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง หากขาดการดูแลหรือมีวิธีการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสมและไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้มีต้นทุนในการผลิตที่สูงแต่ราคาจำหน่ายเมล็ดพันธุ์ลดลงไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน วิธีการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่ดีนั้นต้องเก็บรักษาได้ตามระยะเวลาที่ต้องการและเมล็ดพันธุ์ต้องอยู่ในสรูปที่ดีลดการสูญเสียจากการทำลายของแมลงหรือหนู ตลอดจนความเสียหายจากปนเปื้อนของเชื้อรา แบคทีเรีย และต้องไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากเกินไป วิธีการหนึ่งที่จะช่วยเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในสรูปที่ดีนั้นคือ การควบคุมอุณหภูมิเพื่อควบคุมการทำงานของเอนไซม์ (Enzymes) และปฏิกิริยาทางเคมีที่ใช้ในกระบวนการหายใจของเมล็ดพันธุ์ แมลง และเชื้อรา ดังนั้นการเก็บในที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยให้เมล็ดพันธุ์พืชคงสภาพเดิมและจะช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาได้นานกว่าปกติ ส่วนการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บเป็นการควบคุมการเจริญของเชื้อราและแบคทีเรีย เนื่องจากราและแบคทีเรียต้องการความชื้นสัมพัทธ์ในการเจริญและเพิ่มจำนวนไม่น้อยกว่า 75% และ 90% ตามลำดับ [3]

ปัจจุบันเทคโนโลยีส่วนใหญ่ที่ใช้สำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชจะนำเข้าจากต่างประเทศมีต้นทุนค่าเครื่องจักรที่ค่อนข้างสูงรวมถึงเครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์ที่ติดตั้งเพิ่มเข้าไปนั้นยังใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงอีกด้วย จึงทำให้กลุ่มเกษตรกรมักไม่นิยมเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชไว้ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ แต่นิยมการเก็บไว้ในฉางถังเก็บ ไซโลหรือในโรงเรือนที่อาจจะบรรจุกระสอบหรือไม่บรรจุกระสอบก็ขึ้นอยู่กับการจัดการของแต่ละแห่ง และหากเป็นการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชของทางหน่วยงานราชการหรือทางโรงงานภาคเอกชนขนาดใหญ่นั้นนิยมบรรจุเมล็ดพันธุ์ไว้ในกระสอบแล้วเก็บไว้ในห้องเย็นที่สามารถควบคุมอุณหภูมิเพื่อช่วยรักษาคุณภาพของเมล็ด ส่วนการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องเย็นแบบเดิมนั้นจะมีหลายวิธี เช่น การติดตั้งเครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มเข้าไปอีกเครื่อง ซึ่งจะทำงานแยกส่วนกับระบบทำความเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิภายในห้อง คือระบบทำความเย็นก็จะทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิภายในห้อง ส่วนเครื่องลดความชื้นก็จะทำหน้าที่ควบคุมความชื้นตามที่ต้องการซึ่งจะแยกการทำงานเป็นอิสระต่อกัน และจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาตู้แช่เย็นขนาดเล็กมาเป็นเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน เพื่อจะลดต้นทุนของเครื่องจักรที่มีจำหน่ายทั่วไปและที่นำเข้าจากต่างประเทศ [4] และการออกแบบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง และเปลี่ยนอุปกรณ์จากท่อแคปปิลารีมาเป็นเทอร์โมสแตติกเอ็กซ์แปนชั่นวาล์วจะทำให้สมรรถนะของเครื่องลดความชื้นเพิ่มขึ้น[5] แต่อย่างไรก็ตามเครื่องที่พัฒนาขึ้นนั้นก็เป็นเพียงในส่วนของเครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเท่านั้น ถ้าจะนำไปใช้งานสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชนั้นจะต้องใช้ควบคู่ไปกับเครื่องทำความเย็น

ดังนั้นสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมซึ่งเป็นหน่วยงานของกรมวิชาการเกษตร จึงได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็นที่สามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อจะลดต้นทุนในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชให้มีคุณรูปที่ดี ซึ่งระบบทำความเย็นที่ออกแบบนี้จะใช้วิธีการทำความเย็นเพื่อควบแน่น (Condensing) โดยเริ่มจากทำให้อากาศเย็นถึงจุดอิ่มตัวความชื้นในอากาศแล้วกลั่นตัวเป็นหยดน้ำแยกออกมาจากอากาศจึงทำให้ปริมาณมวลของน้ำในอากาศลดลง หลังจากนั้นจึงอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นจนถึงอุณหภูมิตามที่ต้องการโดยใช้พลังงานความร้อนจากสารทำความเย็น (Hot gas) เพื่อปรับสภาวะอากาศให้เหมาะกับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช ส่งผลให้ระบบทำความเย็นมีสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็นเพิ่มขึ้นเนื่องจากเป็นการนำพลังงานความร้อนที่ระบายทิ้งกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง อีกทั้งยังทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่จะใช้สำหรับการลดความชื้นสัมพัทธ์ได้อีกด้วย ซึ่งต้นแบบที่ออกแบบสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในพื้นที่ต่างๆ ได้ตามต้องการ จึงเหมาะสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน สหกรณ์การเกษตรและภาคเอกชนที่ต้องการจะลด ต้นทุนการผลิตด้วยการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้มีคุณรูปที่ดี นอกเหนือจากนี้เทคโนโลยีที่ได้จากโครงการวิจัยนี้จะเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาขับเคลื่อน ด้านการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชรองรับประชาคมอาเซียนหรือ Seed Hub ตามที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [6]

TSAE

2. อุปกรณ์และวิธีการ

1. ดำเนินการสำรวจห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันจำนวน 8 แห่ง ได้แก่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, ชัยนาท, นครสวรรค์และขอนแก่น ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุโขทัยและสกลนคร และศูนย์ขยายเมล็ดพันธุ์ข้าวเชียงใหม่

2. ออกแบบและสร้างต้นแบบห้องเย็นสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชขนาด 2.2x4.0x2.2 m (กว้างxยาวxสูง) และดำเนินการสร้างต้นแบบภายในอาคารปฏิบัติการของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม โดยมีรายละเอียดอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

1) ระบบทำความเย็นประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์ขนาด 4 แรงม้า (380V/3Ph/50Hz) ใช้สารทำความเย็นชนิด R-22, คอล์ยเย็นประกอบด้วยอีแวปปอเรเตอร์เย็นความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อน 6 kW และแผงคอล์ยร้อนชนิดฟินคอล์ยขนาด 6 kW และเทอร์โมสแตติกเอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว

2) ระบบควบคุมอัตโนมัติประกอบด้วย ชุดควบคุมอุณหภูมิและชุดควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

3) ผนังห้องเย็นชนิดโฟมโพลียูรีเทน (Polyurethane) หนา 50 mm

3 ทดสอบการทำงานเบื้องต้นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น

4. ประเมินประสิทธิภาพการลดความชื้น โดยมีนิยามของค่าสมรรถนะต่างๆ แสดงดังนี้ [7]

1). อัตราการดึงความชื้น (Moisture Condensation Rate, MCR) คืออัตราการควบแน่นน้ำที่อีแวปปอเรเตอร์ในระบบทำความเย็นเป็นปัจจัยสำคัญที่แสดงถึงประสิทธิภาพการดึงความชื้น โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$MCR = m_{a,e}(W_{ei}-W_{eo})x3600 \quad ...(1)$$

2) อัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (Specific Moisture Condensation Rate, SMCR) เป็นค่าที่แสดงปริมาณความสิ้นเปลืองพลังงานในการลดความชื้น โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$SCMR = m_{a,e}\,(W_{ei} - W_{eo})x3600 / W_{net} \quad ...(2)$$

3) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) เป็นพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นต่อปริมาณน้ำที่ควบแน่นจากอีแวปปอเรเตอร์ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$SEC = (W_{net}x3.6) / m_{a,e}\,(W_{ei} - W_{eo}) \quad ...(3)$$

เมื่อ MCR คือ อัตราการดึงความชื้น (kg_{water} /hr)
SCMR คือ อัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (kg_{water} /kW)
SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg_{water})
$m_{a,e}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ผ่านอีแวปปอเรเอตร์ (kg/s)
W_{ei} คือ อัตราส่วนความชื้นก่อนเข้าอีแวปปอเรเตอร์ ($kg_{water}/kg_{dry\ air}$)
W_{eo} คือ อัตราส่วนความชื้นออกจากอีแวปปอเรเตอร์ ($kg_{water}/kg_{dry\ air}$)
W_{net} คือ งานสุทธิที่ป้อนให้กับระบบ (kWh)

5. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ เช่น สัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องทำความเย็น ประสิทธิภาพการลดความชื้น อัตราการใช้ไฟฟ้า รวมถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และรายงานผล

6. เผยแพร่ห้องเย็นและระบบทำความเย็นต้นแบบสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธ์พืช ให้กับกลุ่มเกษตรกร สหกรณ์การเกษตร ภาคเอกชนหรือหน่วยงานที่สนใจ

3. ผลและวิจารณ์

ผลการสำรวจ

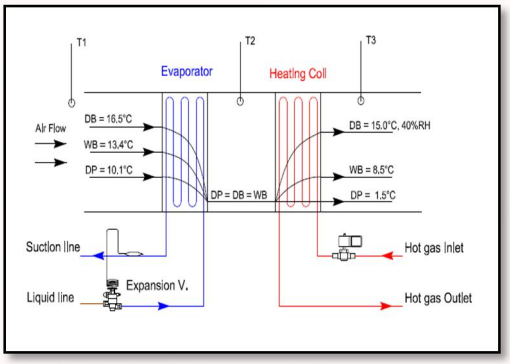
จากการสำรวจการใช้งานห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชดังกล่าวจำนวน 8 แห่ง สามารถแยกการทำงานออกเป็น 4 ระบบหลักๆ ดังนี้ 1)การใช้เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป (Split type) 2)การใช้เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปร่วมเครื่องลดความชื้น 3)ใช้เครื่องทำความเย็นร่วมกับเครื่องลดความชื้น และ 4)ใช้เครื่องทำความเย็นร่วมกับฮีทเตอร์ไฟฟ้า ผลการสำรวจพบว่า การใช้เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปนั้นยังไม่เหมาะสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชเนื่องจากมีข้อจำกัดของอุณหภูมิการใช้งาน ส่วนการใช้เครื่องลดความชื้นนั้นเป็นการเพิ่มต้นทุนค่าเครื่องจักรและสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น ในขณะที่เครื่องทำความเย็นที่ใช้ร่วมกับฮีทเตอร์ไฟฟ้านั้นยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการสิ้นเปลืองพลังงานเช่นกัน

ผลการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

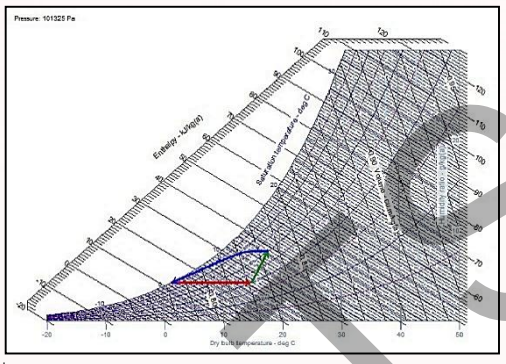
จากข้อมูลการใช้งานห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดออกแบบการลดความชื้นโดยใช้วิธีทำความเย็นเพื่อควบแน่น (Condensing) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยเริ่มจากทำให้อากาศเย็นถึงจุดอิ่มตัวความชื้นในอากาศแล้วกลั่นตัวเป็นหยดน้ำแยกออกมาจากอากาศจึงทำให้ปริมาณมวลของน้ำในอากาศลดลง หลังจากนั้นจึงอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นจนถึงอุณหภูมิตามที่ต้องการโดยใช้พลังงานความร้อนจากสารทำความเย็น (Hot gas) ดังแสดงหลักการบนแผนภูมิคุณสมบัติอากาศตามรูปที่ 2 ซึ่งระบบที่ออกแบบนี้จะสามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องได้ตามที่ต้องการ นอกจากนี้ยังเป็นการใช้พลังงาน

TSAE

ความร้อนเหลือใช้จากระบบทำความเย็นกลับมาใช้ในแผงคอล์ยร้อนซึ่งเป็นการใช้พลังงานให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด โดยเครื่องต้นแบบนี้ถูกออกแบบให้มีอุณหภูมิห้องที่ 15°C และความชื้นสัมพัทธ์ 40-50 %RH เพื่อป้องกันความเสียหายจากการเข้าทำลายของแมลง เชื้อราและแบคทีเรีย เนื่องจากราต้องการความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่า 75% ในการเจริญเติบโต ในขณะที่แบคทีเรียจะเจริญได้ดีเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่า 90%

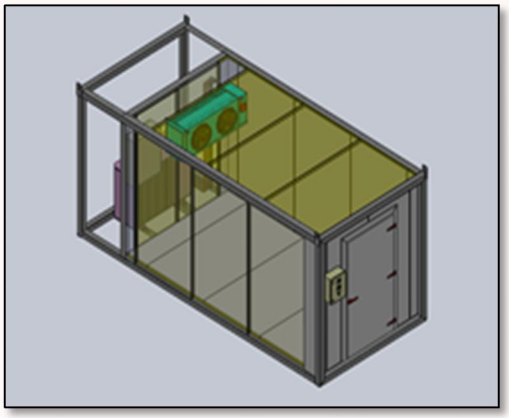


รูปที่ 1 แนวคิดการออกแบบระบบปรับอากาศ

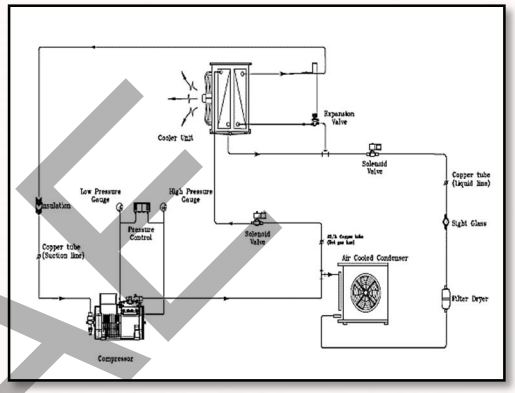


รูปที่ 2 แผนภูมิไซโครเมทริก (Psychrometric Chart)

การออกแบบและสร้างห้องเย็นต้นแบบใช้โปรแกรม 3 มิติช่วยในการออกแบบโครงสร้างดังแสดงตามรูปที่ 3 โดยมีขนาดโครงสร้างภายนอก 2.2x5.0x2.6 m (กว้างxยาว xสูง) โครงสร้างภายในเป็นห้องเย็นขนาด 2.2x4.0x2.2 m (กว้างxยาวxสูง) ใช้โฟมโพลียูรีเทนหนา 50 mm เป็นฉนวนห้องเย็น ความจุภายในห้องประมาณ 17 m3 สามารถเก็บเมล็ดพันธุ์พืชได้ประมาณ 4-5 tons. ผลการออกแบบวงจรระบบทำความเย็นดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์เครื่องทำเย็นหลักๆ ดังนี้ 1) คอมเพรสเซอร์ (Compressor) มอเตอร์ขนาด 4 hp ความสามารถในการทำความเย็น 5.85 kW 2) คอล์ยเย็น (Evaporator) มีอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเท่ากับ 0.6 kg/s และภายในติดตั้งแผงคอล์ยร้อน (Heating Coil) ขนาด 6 kW 3.) เทอร์โมสแตติกเอกซ์แปนชั่นวาล์ว (Thermostatic Expansion Valve) และ 4) คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Condenser)



รูปที่ 3 การใช้โปรแกรม 3 มิติช่วยในการออกแบบ



รูปที่ 4 วงจรระบบทำความเย็น

หลังจากได้ข้อมูลการออกแบบและแบบสำหรับการสร้างเครื่องต้นแบบเรียบร้อยแล้ว จึงดำเนินการสร้างและประกอบในอาคารปฏิบัติการของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม โดยเริ่มจากการประกอบโครงสร้างเหล็ก ผนังห้องเย็น และระบบทำความเย็น ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5

(ก)

TSAE

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ 5 (ก) การประกอบโครงสร้าง (ข) การประกอบผนังห้องเย็น (ค) การติดตั้งระบบทำความเย็น (ง) ต้นแบบห้องเย็น

<u>การทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องทำความเย็น</u>

การออกแบบระบบทำความเย็นในแต่ละระบบนั้นจำเป็นต้องออกแบบให้เครื่องทำความเย็นมีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดในสภาวะอุณหภูมิภายในห้องตามที่ต้องการ ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นส่วนใหญ่จะนิยมบอกในรูปของ สัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบทำความเย็น(Coefficient of Performance, COP) โดยจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณการทำความเย็นที่ได้จากเครื่องทำความเย็นกับพลังงานที่ใช้สำหรับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ [8] ดังนั้นในการทดสอบนี้จึงทำการปรับค่าแรงดันของสารทำความเย็นด้านสูงของระบบทำความเย็นให้อยู่ใน 3 ช่วงคือ 190-220 psi, 220-250 psi และ 250-280 psi ส่วนแรงดันด้านต่ำให้มีค่าคงที่เท่ากับ 50 psi เพื่อทำการศึกษาแรงดันสารทำความเย็นในด้านสูงที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง รวมถึงสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น ซึ่งการทดสอบนี้จะใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละช่วง ซึ่งผลการทดสอบดังแสดงในตางรางที่ 1 พบว่าแรงดันสารทำความเย็นด้านสูงที่อยู่ในช่วง 190-220 psi นั้น มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นสูงที่สุดเท่ากับ 4.02 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างของ สฤทธิ์พร และสัมพันธ์ [9] เนื่องจากระบบทำความเย็นมีแรงดันด้านสูงที่ต่ำทำให้คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานในการอัดไอสารทำความเย็นลดลงส่งผลให้ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า ซึ่งสามารถช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

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

TSAE

รูปที่ 7 เครื่องทำความเย็นและเครื่องลดความชื้น

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบช่วงแรงดันด้านสูงของระบบทำความเย็น

แรงดันด้านต่ำ (PSIG)	แรงดันด้านสูง (PSIG)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%RH)	สัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น (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

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างห้องเย็นต้นแบบกับห้องเย็นของศูนย์วิจัยฯ (Seed lab)

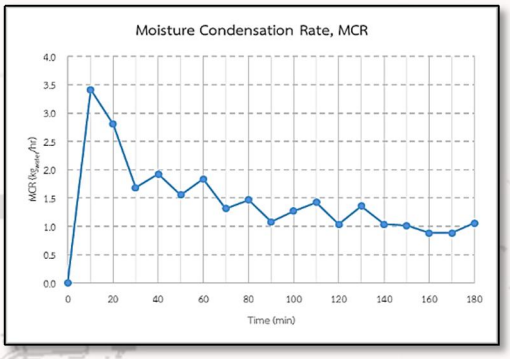
รายการ	ขนาดห้อง (กxยxส) เมตร	คอมเพรสเซอร์ (380/3/50) HP	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%RH)	กระแสไฟฟ้าระบบทำความเย็นเฉลี่ย (Amp.)	กระแสไฟฟ้าระบบ Dehumidifier เฉลี่ย (Amp.)	กระแสไฟฟ้ารวมเฉลี่ย (Amp.)
ห้องเย็นต้นแบบ	2.2x4.0x2.2	4	15.10±0.51	46.23±0.94	6.31	-	6.31
Seed Lab	2.9x4.8x2.8	4	14.76±0.23	47.34±0.95	6.5	5.3	11.8

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

<u>การทดสอบประเมินสมรรถนะการลดความชื้น</u>

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

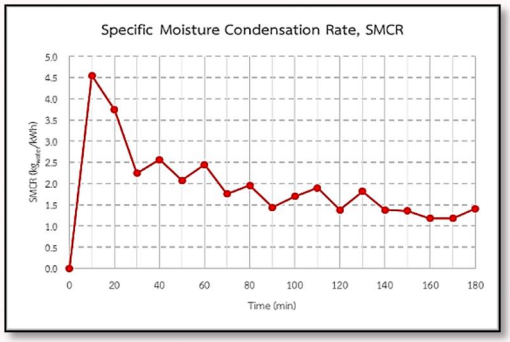
อัตราการดึงความชื้น (Moisture Condensation Rate, MCR) คือ อัตราการควบแน่นน้ำที่อีแวปปอเรเตอร์ในระบบทำความเย็น โดยมีผลการทดสอบดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟแสดงอัตราการดึงความชื้น

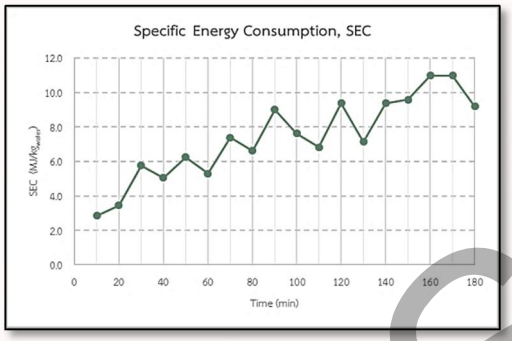
อัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (Specific Moisture Condensation Rate, SMCR) เป็นค่าที่แสดงปริมาณความสิ้นเปลืองพลังงานในการลดความชื้น โดยมีผลการทดสอบดังรูปที่ 9

TSAE



รูปที่ 9 กราฟแสดงอัตราการดึงความชื้นจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) เป็นพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นต่อปริมาณน้ำที่ควบแน่นจากอีแวปปอเรเตอร์ โดยมีผลการทดสอบดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

จากการทดสอบประสิทธิภาพของการลดความชื้นพบว่า กราฟแสดงอัตราการดึงความชื้นที่ได้มีความสอดคล้องกับการวิเคราะห์เครื่องลดความชื้นที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างของคุณสฤทธิ์พรและคุณสัมพันธ์ [9] กล่าวคือ ในช่วงแรกนั้นอัตราการดึงความชื้นจะมากแล้วจะค่อยๆลดลงและเข้าสู่ค่าคงที่ เนื่องจากเป็นการลดความชื้นในห้องระบบปิดซึ่งไม่มีอากาศจากภายนอกเข้ามาหมุนเวียนจึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงไปตามระยะเวลาและจะค่อยๆเข้าสู่ค่าคงที่ โดยมีอัตราการดึงความชื้น (MCR) เฉลี่ยเท่ากับ 1.55 $kg_{water}.hr^{-1}$ มีอัตราการดึงความชื้นจำเพาะ(SMCR) เฉลี่ยเท่ากับ 2.06 $kg_{water}.kW^{-1}$ และมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) เฉลี่ยเท่ากับ 7.28 $MJ.kg_{water}^{-1}$

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 สามารถเก็บเมล็ดพันธุ์พืชได้ความจุเต็มห้องประมาณ 4-5 ตัน และในแต่ละเดือนมีการหมุนเวียนโดยการจำหน่ายเมล็ดพันธุ์พืชประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณความจุเต็มห้อง สามารถประเมินจุดคุ้มทุนได้ดังนี้ 1) เมล็ดพันธุ์ประเภทตระกูลถั่วซึ่งราคาประมาณ 40-80 บาท/กก. จะมีระยะเวลาคืนทุนที่ 4.17 ปี 2) เมล็ดพันธุ์ประเภทพืชผักซึ่งมีราคาประมาณ 150-250 บาท/กก. จะมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 1.25 ปี

4. สรุป

ห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชต้นแบบมีขนาด 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 ใช้วิธีการลดความชื้นด้วยการทำความเย็นเพื่อควบแน่น แล้วอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นโดยใช้พลังงานความร้อนจากสารทำความเย็นที่ระบายทิ้ง สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ตามที่ต้องการซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.95±0.55°C และ 45.81±0.82%RH ตามลำดับ โดยที่ช่วงแรงดันของสารทำความเย็นด้านสูงอยู่ในช่วง 190-220 psig มีค่าสัมประสิทธิสมรรถนะทำความเย็น (COP) สูงที่สุดเท่ากับ 4.02 และการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) เฉลี่ยเท่ากับ 0.46 ส่วนในการประเมินสมรรถนะของการลดความชื้นพบว่า ระบบมีอัตราการดึงความชื้น (MCR) เฉลี่ยเท่ากับ 1.55 $kg_{water}.hr^{-1}$ มีอัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (SMCR) เฉลี่ยเท่ากับ 2.06 $kg_{water}.kW^{-1}$ และมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) เฉลี่ยเท่ากับ 7.28 $MJ.kg_{water}^{-1}$ เมื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แล้วพบว่า การเก็บเมล็ดพันธุ์ประเภทตระกูลถั่วซึ่งราคาประมาณ 40-80 บาท/กก. จะมีระยะเวลาคืนทุนที่ 4.17 ปี และเมล็ดพันธุ์ประเภทพืชผักซึ่งมีราคาประมาณ 150-250 บาท/กก. จะมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 1.25 ปี นอกจากนี้เครื่องต้นแบบยังสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานตาม

TSAE

สถานที่ต่างๆได้ตามต้องการ จึงเหมาะสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน สหกรณ์การเกษตรและภาคเอกชนที่ต้องการจะลดต้นทุนการผลิตด้วยการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้มีคุณรูปที่ดี

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกรมวิชาการเกษตรที่สนับสนุนทุนวิจัยในการดำเนินโครงการนี้ ขอขอบคุณผู้อำนวยการสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมที่ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะ รวมถึงอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการ และขอขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลกที่อำนวยความสะดวกสถานที่ใช้ในการทดสอบเครื่องต้นแบบ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ฟาร์มไทยแลนด์. 2557. กรมวิชาการเกษตรจับมือภาคเอกชนสู่การพัฒนา Seed Hub ต้อนรับอาเซียน, [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.farmthailand.-com, เข้าดูเมื่อวันที่ 3 พฤศจิกายน 2557

[2] คมชัดลึก. 2557. *เร่งดันศูนย์เมล็ดพันธุ์พืชรับเออีซี*, [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.komchadluek.net, เข้าดูเมื่อวันที่ 27 ตุลาคม 2557

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

[4] ไกรสิงห์ อุดมญาติ, อรรถพงษ์ เฉลิมสุข และ สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548. ศักยภาพการพัฒนาตู้แช่เย็นขนาดเล็กมาเป็นเครื่องลดความชื้น, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19*, 19-21 ตุลาคม 2548, ภูเก็ต.

[5] สฤทธิ์พร วิทยผดุง และ สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548. การวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องลดความชื้นที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. เชียงใหม่ : บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[6] เดลินิวส์. 2557. กรมวิชาการเกษตรจับมือเอกชน*พัฒนา Seed Hub รับอาเซียน*, [ระบบออนไลน์]แหล่งที่มา http://www.dailynews.co.th, เข้าดูเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2557

[7] Saritporn Vittayapadung and Sumpun Chaitep. 2004. Performance Testing of a Dehumidifier App-lied from Window-Type Air Conditioner. The 11th TriUniversity International Joint Seminar and Symposium, Chiang Mai University, Thailand. October 26-31, 2004. 4 pp.

[8] ชัชวาล ตัณฑกิตติ. 2544. *การออกแบบห้องเย็นและระบบทำความเย็น*. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 222 หน้า

[9] สฤทธิ์พร วิทยผดุง และ สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548. การออกแบบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง. *การประชุมวิชาการครั้งที่ 43 แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, หน้า 239-246

TSAE