รายงานโครงการวิจัย

วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน สำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

Research and Development of Heat Pump Dryer System for Soybean Drying

หัวหน้าโครงการวิจัย
นายพินิจ จิรัคคกุล
Mr. Pinit Jirakkakul

กรมวิชาการเกษตร

ปี พ.ศ. 2564

รายงานโครงการวิจัย

วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน สำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

Research and Development of Heat Pump Dryer System for Soybean Seeds Drying

หน้าโครงการวิจัย
นายพินิจ จิรัคคกุล
Mr. Pinit Jirakkakul

กรมวิชาการเกษตร

ปี พ.ศ. 2564

คำปรารภ (Foreword หรือ Preface)

งานวิจัยด้านเครื่องจักรกลการเกษตรมีความสำคัญต่อการพัฒนาและการแข่งขันเพื่อพัฒนาศักยภาพทางด้านการเกษตรของประเทศไทย โดยโครงการ “วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง”เป็นการพัฒนาด้านเครื่องจักรกลเพื่อเพิ่มขีดความสามารถแข่งขันให้กับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชและผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์พืช (Seed Hub) ของอาเซียนและเอเชียในอนาคต ซึ่งสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567 ในแผนการพัฒนาเครื่องมือในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสนับสนุนการผลิตเมล็ดพันธุ์ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2559) ที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายภารกิจจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

คณะผู้วิจัยจึงได้จัดทำผลงานวิจัยเรื่องเต็มของโครงการวิจัยดังกล่าวนี้ เพื่อหวังว่าองค์ความรู้และเทคโนโลยีที่ได้จากผลงานวิจัยจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกร นักวิชาการในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชน รวมถึงผู้ที่สนใจ

กรมวิชาการเกษตร

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	1
ผู้วิจัย	2
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	3
บทนำ.....	4
บทคัดย่อ.....	6
กิจกรรมที่ 1 ออกแบบและพัฒนาระบบปั๊มความร้อน สำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง	8
กิจกรรมที่ 2 การศึกษาและทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง จากการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน	41
บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	55
บรรณานุกรม.....	56
ภาคผนวก	58

กรมวิชาการเกษตร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่กลุ่มวิจัยของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก ที่สนับสนุนการปฏิบัติงานให้เป็นไปด้วยความเรียบร้อยและบรรลุตามเป้าหมาย และขอขอบคุณ คุณณรงค์ ภู่ธนะพิบูลย์ กรรมการผู้จัดการ บริษัท เทอร์โมคูล ซัพพลายแอนด์เซอร์วิส จำกัด ที่ได้สนับสนุนอุปกรณ์ระบบเครื่องทำความเย็นสำหรับวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

กรมวิชาการเกษตร

ผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายพินิจ	จิรัคคกุล	สังกัด	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

นายอานนท์	สายคำฟู	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
นางสาวภภัสสร	วัฒนกุลภาคิน	สังกัด	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิษณุโลก
นางสาวสุนทรีพร	ศรีสมบุญ	สังกัด	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิษณุโลก
นายวิชัย	โอภานุกูล	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
นายสิทธิพงษ์	ศรีสว่างวงศ์	สังกัด	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรขอนแก่น
นายธนพงค์	แสนจุ้ม	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
นายเอกภาพ	ป้านภูมิ	สังกัด	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
นายนิรุติ	บุญญา	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

กรมวิชาการเกษตร

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

COP_{dehu}	คือ	ค่าประสิทธิภาพของเครื่องลดความชื้น
m_a	คือ	มวลของอากาศที่ใช้ในการลดความชื้น (kg_{air}/hr)
$m_{a,e}$	คือ	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ผ่านอีแวปปอเรเอตร์ (kg/s)
MCR	คือ	อัตราการดึงความชื้น (kg_{water} /hr)
M_f	คือ	ความชื้นเมล็ดพันธุ์ที่ต้องการ (%wb.)
M_i	คือ	ความชื้นเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น (%wb.)
m_w	คือ	ปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออก (kg_{water})
$\dot{m}_w$	คือ	อัตราการระเหยของปริมาณน้ำ (kg_{water}/hr)
P_{net}	คือ	กำลังงานสุทธิที่ให้กับระบบ (kW)
Q_a	คือ	ปริมาณลมที่ต้องใช้ในการลดความชื้น (m^3/hr)
Q_c	คือ	ปริมาณหรืออัตราการทำความร้อน (kW)
SCMR	คือ	อัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (kg_{water} /kW)
SEC	คือ	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg_{water})
t	คือ	ระยะเวลาที่ใช้ในการลดความชื้น (hr)
W_{ei}	คือ	อัตราส่วนความชื้นก่อนเข้าอีแวปปอเรเตอร์ (kg_{water}/$kg_{dry\ air}$)
W_{eo}	คือ	อัตราส่วนความชื้นออกจากอีแวปปอเรเตอร์ (kg_{water}/$kg_{dry\ air}$)
W_{net}	คือ	งานสุทธิที่ป้อนให้กับระบบ (kWh)
W_f	คือ	น้ำหนักเมล็ดพันธุ์หลังการลดความชื้น (kg)
W_i	คือ	น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ก่อนการลดความชื้น (kg)
w_f	คือ	อัตตราส่วนความชื้นของอากาศหลังการลดความชื้น (kg_{water}/kg_{dryair})
w_i	คือ	อัตตราส่วนความชื้นของอากาศก่อนการลดความชื้น (kg_{water}/kg_{dryair})
ρ	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

กรมวิทยาศาสตร์

บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่มีศักยภาพของภูมิภาคเอเชีย ทั้งการเป็นผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ที่พัฒนาเองในประเทศและผลิตเมล็ดพันธุ์ที่มีการพัฒนามาจากต่างประเทศ ซึ่งขณะนี้มีการลงทุนต่างชาติเข้ามาลงทุนผลิตเมล็ดพันธุ์พืชในไทยเพื่อการส่งออกมากขึ้น ทำให้ไทยเป็นฐานการผลิตเมล็ดพันธุ์ใหญ่ที่สุดในอาเซียน โดยมีการส่งออกเมล็ดพันธุ์ไปยังประเทศในกลุ่มอาเซียนมากเป็นอันดับ 1 และเป็นอันดับ 3 ในภูมิภาคเอเชีย รองจากจีนและญี่ปุ่น และเป็นอันดับที่ 12 ของโลก เนื่องจากประเทศไทยมีข้อได้เปรียบทางด้านสภาพสิ่งแวดล้อมที่เอื้ออำนวย และภัยธรรมชาติค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ ในภูมิภาคเดียวกัน อีกทั้งเกษตรกรเองยังมีความสามารถในการเพาะปลูกพืชเพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ รวมถึงหน่วยงานภาครัฐได้มีมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อรองรับสำหรับการส่งออกที่มีคุณภาพอีกด้วย ซึ่งการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชของประเทศไทยมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ หน่วยงานภาครัฐจะเป็นผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่เป็นความมั่นคงทางด้านอาหารของประเทศ เช่น ข้าว พืชตระกูลถั่วต่างๆ ส่วนภาคเอกชนจะเป็นผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมเปิดเพื่อการค้า ประกอบด้วย ข้าวโพดทานตะวัน พืชผักต่างๆ ซึ่งในแต่ละปีมีการส่งออกค่อนข้างสูงโดยส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชมากกว่า 30 ชนิด โดยสร้างรายได้เข้าประเทศตั้งแต่ปี 2557 ถึง 2559 มีมูลค่าไม่น้อยกว่า 5,000 ล้านบาทต่อปี โดยเฉพาะเมล็ดพันธุ์ผักและพืชไร่ เช่น พืชตระกูลแตง ผักบุ้งจีน มะเขือเทศ พริก ถั่วฝักยาว ฟักทอง ผักกาดกวางตุ้ง ถั่วเขียวผิวดำ ข้าวโพดและข้าวโพดหวาน เป็นต้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) ซึ่งเมล็ดพันธุ์ถือว่าเป็นปัจจัยการผลิตที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการเพาะปลูก ดังนั้นคุณภาพเมล็ดพันธุ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์จึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชชนิดต่างๆ ซึ่งการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถือว่าเป็นหนึ่งในขั้นตอนการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยภายหลังการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ต้องนำมาลดความชื้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการความชื้นมีผลโดยตรงต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ หากเมล็ดพันธุ์มีความชื้นสูงอาจจะส่งผลให้อัตราการหายใจของเมล็ดพันธุ์สูงขึ้นตาม เกิดความร้อนภายในกองเมล็ดพันธุ์ทำให้เชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์มีการเจริญเติบโต เมล็ดพันธุ์จึงเกิดการเสื่อมสภาพในที่สุด (จวงจันทร์, 2534; วันชัย, 2532) ดังนั้นการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการที่เหมาะสมและรวดเร็วจะช่วยให้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพที่ดีและสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน

การลดความชื้นหรือการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่จะหลีกเหลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชโดยเริ่มจาก การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว จนมาถึงขั้นตอนการลดความชื้นหรือการอบแห้ง แล้วนำไปคัดแยกและทำความสะอาด และสุดท้ายคือการเก็บรักษาเพื่อรอจำหน่ายหรือนำไปเพาะปลูกในฤดูถัดไปได้ ซึ่งวิธีการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี เช่น การลดความชื้นด้วยวิธีตากแดด การใช้เครื่องลดความชื้นด้วยลมร้อนที่ใช้แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนจาก ฮีตเตอร์ไฟฟ้า น้ำมัน แก๊ส น้ำมันเตา เป็นต้น เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวมาจากแปลงเพาะปลูกจะมีความชื้นสูงถึง 20-40 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งค่าความชื้นนี้จะขึ้นอยู่กับเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดและขึ้นอยู่กับช่วงเวลาฤดูกาลที่เก็บเกี่ยว โดยในปัจจุบันการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่ว ใช้วิธีการลดความชื้นด้วยแสงแดด (sun drying) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำ และประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นซึ่งมีแสงแดดเพียงพอต่อการลดความชื้น ซึ่งวิธีการนี้จึงยังเป็นที่นิยมอยู่จนถึงปัจจุบัน และโดยทั่วไปวิธีดังกล่าวจะใช้เวลาในการลดการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ประมาณ 1-2 วัน ขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพันธุ์และปริมาณแสงแดดในช่วงเวลาที่ลดความชื้น เช่น การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่มีความชื้น 16-18% ใช้เวลา 1 วัน สำหรับในการลดความชื้นให้เหลือ 11-12% ถั่วเหลืองความชื้นเริ่มต้น 18-20% ใช้เวลา 2 วัน สำหรับในการลดความชื้นให้เหลือ 11-12% และถั่วลิสงความชื้นเริ่มต้น 18-20% ใช้เวลา 2 วัน สำหรับในการลดความชื้นให้เหลือ 9-11% นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องใช้แรงงานในการนำเมล็ดพันธุ์พืชตากแดด กลับกองและเก็บเมล็ดพันธุ์ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อเสียในช่วงฤดูฝน ซึ่งมี

กรมวิชาการเกษตร

แสงแดดน้อย มีฝนตก ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง จึงทำให้ไม่สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (12-14%) ได้ภายใน 1-2 วัน ส่งผลให้ขบวนการเมทาบอลิซึมของเมล็ดพันธุ์สูง เชื้อราเจริญเติบโต ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพ ความแข็งแรงต่ำ และอายุการเก็บรักษาสั้น (จวงจันทร์, 2534; วันชัย, 2532) ดังนั้น การลดความชื้นด้วยเครื่องอบลดความชื้น อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เพื่อช่วยให้เมล็ดพันธุ์ยังคงมีคุณภาพที่ดีและมีความแข็งแรงสูง ในช่วงฤดูฝนหรือในช่วงที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ อีกทั้งสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (climate changes) ในปัจจุบันที่ค่อนข้างแปรปรวนไม่เป็นไปตามฤดูกาล การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยเครื่องอบลดความชื้นจึงน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วและส่งผลให้การจัดการเมล็ดพันธุ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

โดยเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ใช้ระบบการให้ความร้อนกับอากาศโดยไม่ได้มีการกำจัดความชื้นหรือมวลของน้ำที่มีอยู่ในอากาศออกก่อน แล้วนำอากาศที่มีความร้อนเป่าผ่านเมล็ดพันธุ์เพื่อให้เมล็ดพันธุ์ร้อนขึ้นและทำให้น้ำระเหยออกจากเมล็ดพันธุ์ อากาศร้อนนี้จะทำให้เมล็ดพันธุ์มีอัตราการหายใจสูงในระหว่างกระบวนการลดความชื้น ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เมล็ดพันธุ์บางส่วนสูญเสียคุณภาพในด้านของความงอกและความแข็งแรง ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ระบบปั๊มความร้อน (Heat Pump) หรือแบบลมแห้ง โดยปรับสภาพอากาศให้อุณหภูมิที่เหมาะสมและความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำมากๆ เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งอากาศที่ใช้ในการลดความชื้นจากระบบนี้จะเป็นแบบลมแห้ง โดยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 35-43°C และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบ 20-35%RH ซึ่งจะทำให้ได้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพที่ดี และเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถแข่งขันให้กับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชของไทย และผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางพันธุ์พืช (Seed Hub) เมล็ดของอาเซียนและเอเชียในอนาคต ตามแผนแม่บทยุทธศาสตร์ศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567 ในการพัฒนาเครื่องมือในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสนับสนุนการผลิตเมล็ดพันธุ์ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2559) ที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายภารกิจจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

กรมวิชาการเกษตร

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นเครื่องอบสำหรับลดความชื้นในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง โดยออกแบบให้เครื่องอบมีขนาด 1.8x2.5x2.3 m (กว้าง x ยาว x สูง) และออกแบบระบบปั๊มความร้อน ในการทดสอบระบบปั๊มความร้อนได้กำหนดค่าแรงดันสารทำความเย็นด้านสูง 3 ระดับ คือ 200, 250 และ 300 psi จากผลการทดสอบพบว่า มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 30-34°C; 38-40 %RH, 36-40°C; 35-38 %RH และ 40-46°C; 32-36 %RH ตามลำดับ โดยพบว่าช่วงแรงดันด้านสูงเท่ากับ 250 psi เป็นค่าแรงดันที่เหมาะสมในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน เปรียบเทียบกับตู้อบลมร้อนและแสงอาทิตย์ (ชุดควบคุม) ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองความชื้นเริ่มต้นระหว่าง 16.93-19.58% มาลดความชื้นด้วยกรรมวิธีดังกล่าวข้างต้นให้อยู่ในช่วง 10.90-10.96% (w.b.) ผลการทดลองพบว่าการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน (Heat Pump Dryer : HP) และแสงอาทิตย์ (Sun drying) ใช้ระยะเวลา 5 ชั่วโมง โดยวิธี HP และแสงอาทิตย์ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 37.4-41.9°C และ 40.5-44.3°C ตามลำดับ ในขณะที่การลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven : HA) ต้องใช้ระยะเวลานานถึง 10 ชั่วโมง การลดความชื้นด้วยวิธี HP ให้ค่าความงอกมาตรฐานสูงที่สุดเท่ากับ 56.0% รองลงมาคือวิธีแสงอาทิตย์และ HA เท่ากับ 51.0% และ 50.0% ตามลำดับ ส่วนความแข็งแรงซึ่งวิเคราะห์โดยความงอกภายหลังการเร่งอายุไม่แตกต่างกันทั้งสามกรรมวิธี จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผ่านการอบทั้งสามกรรมวิธีมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 เดือน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพของเมล็ดพันธุ์พบว่า ความชื้นของเมล็ดพันธุ์ค่อนข้างคงที่ทั้งสามกรรมวิธีตลอดระยะเวลาการเก็บรักษามีค่าระหว่าง 9.12-10.79% อย่างไรก็ตามภายหลังการเก็บรักษา 4 เดือน พบว่าความงอกและความงอกภายหลังการเร่งอายุของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ลดความชื้นด้วยวิธี HP มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือการลดความชื้นด้วย HA และแสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 42.8% และ 22.5%, 31.3% และ 16.5%, และ 31.0% และ 10.8% ตามลำดับ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าวิธีการลดความชื้นแบบ HP ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งภายหลังการลดความชื้นและในระหว่างการเก็บรักษาน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ ดังนั้นวิธีการลดความชื้นด้วย HP ที่อุณหภูมิระหว่าง 37.4-41.9°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จึงเป็นวิธีและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองให้อยู่ในระดับปลอดภัย และสามารถแนะนำเพื่อทดแทนการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ได้ และจากการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจลงทุนซื้อเครื่องจักรมาใช้งานพบว่า ที่กำลังการผลิต 20, 30, 40 และ 50 ตัน/ปี มีต้นทุนการใช้งานตู้อบแบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเฉลี่ยเท่ากับ 3.65, 2.73, 2.28 และ 2 บาท/กก.แห้ง ตามลำดับ

กรมวิชาการเกษตร

Abstract

The Research and development of the heat pump drying system aimed to reduce moisture in soybeans. This study was designed to scale the prototype of the drying chamber to 2.8 x 2.5 x 2.3 m (width x length x height). The heat pump system testing for the soybean seeds drying was determined high pressure of refrigerant have 3 levels of 200 psi, 250 psi and 300 psi. The result showed that the temperature and relative humidity in the drying chamber ranged from 30 to 34°C; 38 to 40 %RH, 36 to 40°C; 35 to 38 %RH and 40 to 46°C; 32 to 36 %RH respectively. The high pressure of the 250psi refrigerant was the optimal high pressure for temperature and relative humidity control in the drying chamber for drying soybeans. The suitable conditions of heat pump dryer compared to hot air oven and sun drying (control) on qualities of soybean seed cv. Chiangmai 60 were studied. The drying soybean seeds from initial moisture between 16.93 – 19.58% to final moisture of 10.90 – 10.96% (w.b.) was conducted by three drying methods. The drying time of heat pump dryer (HP) and sun drying were 5 hours, and drying temperature in a range of 37.4-41.9 °C for HP and 40.5-44.3° C for sun drying. However, the longer drying time for 10 h was found in hot air oven (HA) due to the lower drying temperature between 37.0-40.1 °C. The highest standard germination by 56.0% found in HP method, followed by sundry and HA methods that were 51.0% and 50.0% respectively. Dried soybean seeds, thereafter, were stored at room temperature for 4 months in order to investigate the changes of their qualities during storage. All drying methods did not affect to moisture content of dried seeds that mostly unchanged and showed between 9.12–10.79% during storage. After 4 months of storage, the highest standard germination and germination after accelerated aging of dried seeds were revealed in HP followed by HA and sundry methods that was 42.8% and 22.5%, 31.3% and 16.5%, and 31.0% and 10.8%, respectively. The research could be concluded that the HP method slightly affects to seed quality changes both after drying and during storage compared to other methods. Therefore, the HP at temperature between 37.4-41.9°C for 5 hours is suitable method and condition for soybean seed drying to desirable level and could introduce instead of sun drying. Moreover, an economic valuation assessment for investing the heat pump system for the soybean seeds drying showed that the cost of seeds drying production capacity at 20, 30, 40 and 50 tons/year was 3.65, 2.73, 2.28 and 2.0 baht/kg dry respectively.

กรมวิทยาศาสตร์

กิจกรรมที่ 1

ออกแบบและพัฒนาระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง
Design and Development of Heat Pump Dryer System for Soybean Seeds Drying

พินิจ จิรัคคกุล, อานนท์ สายคำฟู, ภภัสสร วัฒนกุลภาคิน, สุนทรีพร ศรีสมบุญ,
วิชัย โอภานุกุล,สิทธิพงษ์ ศรีสว่างวงศ์, ธนพงค์ แสนจุ้ม,
เอกภาพ ป้านภูมิ และนิรุติ บุญญา

Pinit Jirakkakul, Arnon Saicomfu, Paphatsorn Wattanakulpakin, Suntreeporn Srisombun, Wichai Opanukul, Sitthipong Srisawangwong, Tanapong Sanchum, Akkaparp Panpoom and Nirut Bunya

คำสำคัญ (Key words)

เมล็ดพันธุ์, ถั่วเหลือง, การลดความชื้น, ระบบปั๊มความร้อน
Seed, Soybean, Drying, Heat pump system

กรมวิชาการเกษตร

บทคัดย่อ

การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นเครื่องอบสำหรับลดความชื้นในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง โดยออกแบบให้เครื่องอบมีขนาด 1.8x2.5x2.3 m (กว้าง x ยาว x สูง) และออกแบบระบบปั๊มความร้อน โดยใช้คอมเพรสเซอร์ขนาด 7 hp (380V/3/50Hz) ใช้สารทำความเย็น R-22 ซึ่งมีความสามารถในการทำความเย็นและความร้อน 16.5 kW และ 15.5 kW ตามลำดับ ในการทดสอบระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นได้กำหนดค่าแรงดันสารทำความเย็นด้านสูง 3 ระดับ คือ 200, 250 และ 300 psi จากผลการทดสอบพบว่า มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 30-34°C; 38-40 %RH, 36-40°C; 35-38 %RH และ 40-46°C; 32-36 %RH ตามลำดับ โดยพบว่าช่วงแรงดันด้านสูงเท่ากับ 250 psi เป็นค่าแรงดันที่เหมาะสมในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง นอกจากนี้ผลการทดสอบการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง 250 kg จากความชื้นเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น 18 % ให้ลดลงเหลือ 11 % (มาตรฐานเปียก) ใช้ระยะเวลา 5-6 ชั่วโมง โดยมีค่าอัตราการลดความชื้น (MCR) เฉลี่ยเท่ากับ 4.09 kg_{water}/hr มีค่าอัตราการดึงความชื้น (SMCR) จำเพาะเท่ากับ 0.745 kg_{water} /kW มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) เฉลี่ยเท่ากับ 4.83 MJ/kg_{water} และมีค่าประสิทธิภาพของเครื่องลดความชื้น (COP_{dehu}) 2.91 และจากการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจลงทุนซื้อเครื่องจักรมาใช้งานพบว่า ที่กำลังการผลิต 20, 30, 40 และ 50 ตัน/ปี มีต้นทุนการใช้งานตู้อบแบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเฉลี่ยเท่ากับ 3.65, 2.73, 2.28 และ 2 บาท/กก.แห้ง ตามลำดับ

กรมวิชาการเกษตร

Abstract

The design and development of the heat pump drying system aimed to reduce moisture in soybeans. This study was designed to scale the prototype of the drying chamber to 2.8 x 2.5 x 2.3 m (width x length x height). The heat pump system was designed to operate the motor compressor at 7 HP (380 V/3 Ph/50Hz) and using R-22 Refrigerant it has the cooling capacity and heating capacity were 16.5 kW and 15.5 kW respectively. The heat pump system testing for the soybean seeds drying was determined high pressure of refrigerant have 3 levels of 200 psi, 250 psi and 300 psi. The result showed that the temperature and relative humidity in the drying chamber ranged from 30 to 34°C; 38 to 40 %RH, 36 to 40°C; 35 to 38 %RH and 40 to 46°C; 32 to 36 %RH respectively. The high pressure of the 250psi refrigerant was the optimal high pressure for temperature and relative humidity control in the drying chamber for drying soybeans. In addition, the drying of soybean seeds, by testing 250 kg with the initial moisture content of soybeans 18% reduced to 11% (wet basis) The drying time was about 5 to 6 hours. The findings indicated that the moisture condensation rate (MCR) was 4.09 kg_{water} /hr, the specific moisture condensation rate (SMCR) was 0.745 kg_{water} /kW, the specific energy consumption (SEC) was 4.83 MJ/kg_{water} and the dehumidification efficiency (Cop_{dehu}) was 2.91. Moreover, an economic valuation assessment for investing the heat pump system for the soybean seeds drying showed that the cost of seeds drying production capacity at 20, 30, 40 and 50 tons/year was 3.65, 2.73, 2.28 and 2.0 baht/kg dry respectively.

กรมวิชาการเกษตร

บทนำ (Introduction)

การลดความชื้นหรือการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่จะหลีกเหลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชโดยเริ่มจาก การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว จนมาถึงขั้นตอนการลดความชื้นหรือการอบแห้ง แล้วนำไปคัดแยกและทำความสะอาด และสุดท้ายคือการเก็บรักษาเพื่อรอจำหน่ายหรือนำไปเพาะปลูกในฤดูถัดไปได้ ซึ่งวิธีการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี เช่น การลดความชื้นด้วยวิธีตากแดด การใช้เครื่องลดความชื้นด้วยลมร้อนที่ใช้แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนจาก ฮีตเตอร์ไฟฟ้า น้ำมัน แก๊ส น้ำมันเตา เป็นต้น เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวมาจากแปลงเพาะปลูกจะมีความชื้นสูงถึง 20-40 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งค่าความชื้นนี้จะขึ้นอยู่กับเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดและขึ้นอยู่กับช่วงเวลาฤดูกาลที่เก็บเกี่ยว โดยในปัจจุบันการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่ว ใช้วิธีการลดความชื้นด้วยแสงแดด (sun drying) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำ และประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นซึ่งมีแสงแดดเพียงพอต่อการลดความชื้น ซึ่งวิธีการนี้จึงยังเป็นที่นิยมอยู่จนถึงปัจจุบัน และโดยทั่วไปวิธีดังกล่าวจะใช้เวลาในการลดการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ประมาณ 1-2 วัน ขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพันธุ์และปริมาณแสงแดดในช่วงเวลาที่ลดความชื้น เช่น การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่มีความชื้น 16-18% ใช้เวลา 1 วัน สำหรับในการลดความชื้นให้เหลือ 11-12% ถั่วเหลืองความชื้นเริ่มต้น 18-20% ใช้เวลา 2 วัน สำหรับในการลดความชื้นให้เหลือ 11-12% และถั่วลิสงความชื้นเริ่มต้น 18-20% ใช้เวลา 2 วัน สำหรับในการลดความชื้นให้เหลือ 9-11% นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องใช้แรงงานในการนำเมล็ดพันธุ์พืชตากแดด กลับกองและเก็บเมล็ดพันธุ์ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อเสียในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีแสงแดดน้อย มีฝนตก ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง จึงทำให้ไม่สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (12-14%) ได้ภายใน 1-2 วัน ส่งผลให้ขบวนการเมทาบอลิซึมของเมล็ดพันธุ์สูง เชื้อราเจริญเติบโต ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพ ความแข็งแรงต่ำ และอายุการเก็บรักษาสั้น (จวงจันทร์, 2534; วันชัย, 2532) ดังนั้นการลดความชื้นด้วยเครื่องอบลดความชื้น อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เพื่อช่วยให้เมล็ดพันธุ์ยังคงมีคุณภาพที่ดีและมีความแข็งแรงสูง ในช่วงฤดูฝนหรือในช่วงที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ อีกทั้งสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (climate changes) ในปัจจุบันที่ค่อนข้างแปรปรวนไม่เป็นไปตามฤดูกาล การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยเครื่องอบลดความชื้นจึงน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วและส่งผลให้การจัดการเมล็ดพันธุ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

โดยเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ใช้ระบบการให้ความร้อนกับอากาศโดยไม่ได้มีการกำจัดความชื้นหรือมวลของน้ำที่มีอยู่ในอากาศออกก่อน แล้วนำอากาศที่มีความร้อนเป่าผ่านเมล็ดพันธุ์เพื่อให้เมล็ดพันธุ์ร้อนขึ้นและทำให้น้ำระเหยออกจากเมล็ดพันธุ์ อากาศร้อนนี้จะทำให้เมล็ดพันธุ์มีอัตราการหายใจสูงในระหว่างกระบวนการลดความชื้น ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เมล็ดพันธุ์บางส่วนสูญเสียคุณภาพในด้านของความงอกและความแข็งแรง ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ระบบปั๊มความร้อน (Heat Pump) หรือแบบลมแห้ง โดยปรับสภาพอากาศให้อุณหภูมิที่เหมาะสมและความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำมากๆ เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งอากาศที่ใช้ในการลดความชื้นจากระบบนี้จะเป็นแบบลมแห้ง โดยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 35-43°C และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบ 20-35%RH ซึ่งจะทำให้ได้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพที่ดี และเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถแข่งขันให้กับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชของไทย และผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางพันธุ์พืช (Seed Hub) เมล็ดของอาเซียนและเอเชียในอนาคต ตามแผนแม่บทยุทธศาสตร์ศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567 ในการพัฒนาเครื่องมือในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสนับสนุนการผลิตเมล็ดพันธุ์ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2559) ที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายภารกิจจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

การทบทวนวรรณกรรม

1. การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นเมล็ดพันธุ์ที่มีปริมาณน้ำมันค่อนข้างสูง อุณหภูมิที่ใช้ลดความชื้นเมล็ดไม่ควรเกิน 43 °C และความชื้นสัมพัทธ์ต้องต่ำกว่า 40 %RH เนื่องจากถ้าอุณภูมิสูงกว่านี้จะสร้างความเสียหายให้แก่เมล็ดพันธุ์โดยจะทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์โดยตรงและนอกจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมที่ใช้ลดความชื้นแล้ว อัตราการไหลของอากาศก็มีส่วนสำคัญต่อประสิทธิภาพในการลดความชื้นเช่นกัน โดยเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองแนะนำให้ออกแบบอัตราการไหลของอากาศ 0.21 m^3/s ต่อปริมาณถั่วเหลือง 1 m^3 ดังแสดงในตารางที่ 1 (ASHRAE, 1999)

ตารางที่ 1 อัตราการไหลของอากาศสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพืช

Crop	Density, kg/m^3	Recommended Dryeration Air-flow Rate, m^3/s per cubic metre per hour dryer capacity
Barley	768	0.17
Corn	896	0.20
Durum	960	0.21
Edible beans	960	0.21
Flaxseeds	896	0.20
Millet	800	0.18
Oats	512	0.11
Rye	896	0.20
Sorghum	896	0.20
Soybeans	960	0.21
Nonoil sunflower seeds	384	0.09
Oil sunflower seeds	512	0.11
Hard red spring wheat	960	0.21

Note: Basic air volume is 0.80 m^3/kg

ที่มา : ASHRAE (1999)

กรมวิชาการเกษตร

การลดความชื้นเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญเนื่องจากมีผลโดยตรงต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ความชื้นที่ระดับเหมาะสมต่อการเก็บรักษาคือ 8-13% แต่อย่างไรก็ตามอาจมีความแตกต่างและเฉพาะเจาะจงไปตามชนิดพืช ตารางที่ 2 แสดงขบวนการหรือลักษณะที่เกิดขึ้นในเมล็ดพันธุ์ที่ระดับความชื้นต่างๆ

ตารางที่ 2 ขบวนการ/ลักษณะที่เกิดขึ้นในเมล็ดพันธุ์ที่ระดับความชื้นต่างๆ (จวงจันทร์, 2521)

ระดับความชื้น (%)	ขบวนการ/ลักษณะที่เกิดขึ้นในเมล็ดพันธุ์
35-80	ช่วงกำลังสุกแก่และพัฒนา ยังไม่เก็บเกี่ยว
18-40	สุกแก่ทางสรีรวิทยา มีอัตราการหายใจสูง การเสื่อมในไร่นาเกิดขึ้นได้ง่าย หากเก็บเมล็ดสุมกองไว้และมีการระบายอากาศไม่พอเพียงจะทำให้เกิดความร้อนสะสมในกอง เชื้อราและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย อ่อนแอต่อการกระทบกระแทกและเครื่องจักรกล
13-18	ที่ระดับความชื้นสูงกว่า 13% ยังมีอัตราการหายใจสูง ทำให้เกิดความร้อน เชื้อราและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย แต่ทนทานต่อการกระทบกระแทกได้ค่อนข้างดี
8-13	เก็บรักษาไว้ ในโรงเก็บแบบเปิดได้นาน 6-18 เดือน มีแมลงเข้าทำลายบ้าง อ่อนแอต่อการกระทบกระแทกเพราะค่อนข้างแข็ง
4-8	เก็บรักษาในภาชนะปิดสนิทได้อย่างปลอดภัย
0-4	เมล็ดพันธุ์บางชนิดอาจเสียหาย และในเมล็ดพืชบางชนิดอาจพบเมล็ดแข็ง เช่น ในพืชวงศ์ถั่ว
33-60	เมล็ดจะเริ่มมีขบวนการงอกเกิดขึ้น

วิธีการลดความชื้นด้วยแสงแดด (sun drying) ดังแสดงในภาพที่ 1 เป็นวิธีที่นิยมตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน เนื่องจาก เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ต้นทุนต่ำ แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้แรงงานจำนวนมาก และไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิในการลดความชื้น และระยะเวลาได้แน่นอน ซึ่งมักเป็นปัญหาในฤดูฝน โดยทั่วไปการลดความชื้นด้วยวิธีดังกล่าวใช้เวลา 1-2 วัน ขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพันธุ์และปริมาณแสงแดดในช่วงเวลาที่ลดความชื้น เช่น การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่มีความชื้น 16-18% ใช้เวลา 1 วัน ในการลดความชื้นให้เหลือ 11-12% ถั่วเหลืองความชื้นเริ่มต้น 18-20% ใช้เวลา 2 วัน ในการลดความชื้นให้เหลือ 11-12% และถั่วลิสงความชื้นเริ่มต้น 18-20% ใช้เวลา 2 วัน ในการลดความชื้นให้เหลือ 9-11% ซึ่งวิธีการนี้มีข้อเสียในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีแสงแดดน้อย มีฝนตก ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง จึงทำให้ไม่สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (12-14%) ได้ภายใน 1-2 วัน ส่งผลให้ขบวนการเมทาบอลิซึมของเมล็ดพันธุ์สูง เชื้อราเจริญเติบโต ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพ ความแข็งแรงต่ำ และอายุการเก็บรักษาสั้น (จวงจันทร์, 2534; วันชัย, 2532) และ**ปัญหาที่สำคัญการลดความชื้นด้วยวิธีตากแดดคือ** ในช่วงฤดูฝนหรือในช่วงที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ อีกทั้งในปัจจุบันสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (climate changes) ที่ค่อนข้างแปรปรวนไม่เป็นไปตามฤดูกาล ส่งผลโดยตรงต่อการจัดการและทำให้การผลิตเมล็ดพันธุ์พืชมีประสิทธิภาพลงลดส่งผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ทำให้การควบคุมคุณภาพเมล็ดพันธุ์เป็นไปได้ยาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร

ภาพที่ 1 การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยวิธีการตากแดด

ต่อมาจึงได้มีการคิดค้นและพัฒนาเครื่องอบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยในปี 1974 ได้มีการรายงานการลดความชื้นด้วยเครื่องอบที่อุณหภูมิ 54°C ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 40% แต่อย่างไรก็ตาม ส่งผลให้ความงอกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองลดลงและแตกร้าวมากขึ้น (Boyd, 1974) ในปี 2000 Soponronnarit และคณะ ได้ศึกษาการลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน (Heat pump drying) ในเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้อุณหภูมิ 43°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 12% ภายหลังการลดความชื้นนำเมล็ดพันธุ์ข้าวเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าเมล็ดพันธุ์มีความงอกและความแข็งแรงเท่ากับ 96% และ 92% ในขณะที่การลดความชื้นด้วยแสงแดดมีค่า 99% และ 97% ตามลำดับ ซึ่งลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม ในขณะที่การอบลดความชื้นในข้าวเปลือกพันธุ์ กข 6 จากความชื้นเริ่มต้น 23% ให้เหลือ 10% ที่อุณหภูมิ 45 50 และ 55°C ใช้เวลา 200 – 400 นาที พบว่าเมล็ดพันธุ์มีความงอกลดลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นเท่ากับ 92 87 และ 78% ตามลำดับ (กิตติคุณ และคณะ, 2556) สำหรับในเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน การอบแบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 40°C, 53.1% 45°C, 44.8% และ 50°C, 44.5% ใช้เวลา 32 24 และ 20 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 8% (wb.) และพบว่าเมล็ดยังคงมีความงอกมากกว่า 95% เท่ากับ 98.45 96.53 และ 95.33% ตามลำดับ (จุฑาศินี และ ศิวลักษณ์, 2555)

การลดความชื้นด้วยลมแห้งในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่อุณหภูมิเฉลี่ย 28.33°C และความชื้นสัมพัทธ์ 24% สามารถลดความชื้นจาก 22.6% เหลือ 11.9% ในเวลา 16 ชั่วโมง 32 นาที โดยสภาวะดังกล่าวไม่มีผลต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ (Krzyzanowski et al, 2006) สำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 มีการรายงานการใช้เครื่องอบแห้งชนิดลมร้อนเปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วยแสงแดดและผึ่งในที่ร่ม พบว่าการลดความชื้นจาก 27% เป็น 5.6% ด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 35-38°C ใช้เวลา 36 ชั่วโมง ในขณะที่การใช้แสงแดดและผึ่งในที่ร่มใช้เวลา 60 และ 90 ชั่วโมง ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน เมล็ดพันธุ์ที่ลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อน แสงแดด และผึ่งในที่ร่ม มีความงอกเท่ากับ 75 71 และ 69% และพบว่าการผึ่งในที่ร่มมีการปนเปื้อนของเชื้อรามากที่สุด (บุญมี และคณะ, 2546) นอกจากนี้มีการรายงานการลดความชื้นแบบถังอบสามารถลดความชื้นเมล็ดถั่วลิสงจาก 25-27% ให้เหลือประมาณ 6-7% โดยใช้เวลา 24 และ 36 ชั่วโมง เมื่อบรรจุเมล็ดในถังอบหนา 60 และ 80 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่การตากแดดต้องใช้เวลาในการลดความชื้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร

48 ชั่วโมง ส่วนการผึ่งในร่มใช้เวลา 78 ชั่วโมง และพบว่าการใช้เครื่องลดความชื้น การตากแดดและการผึ่งในร่ม ทำให้เมล็ดมีความงอก 73, 70 และ 66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 4 เดือน (เบญจมาภรณ์, 2543)

2. ส่วนประกอบของระบบปั๊มความร้อน

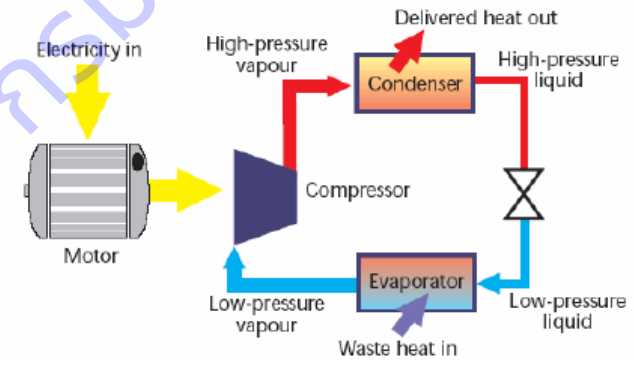
ปั๊มความร้อน คือระบบที่ทำงานในการปั๊มความร้อนจากตำแหน่งหนึ่งไปใช้งานในอีกตำแหน่งหนึ่ง โดยใช้หลักการทำงานตามวัฏจักรการทำงานทางเทอร์โมไดนามิกส์หรือที่เรียกกันว่า Carnot Cycle ทำให้สามารถดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนแล้วนำไปถ่ายเทในบริเวณที่ต้องการความร้อนได้ วัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อนมีลักษณะเช่นเดียวกับระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (Mechanical Vapour Compression System) ที่มีการประยุกต์ใช้งานโดยทั่วไปในเครื่องปรับอากาศ ต่างกันเพียงแต่ปั๊มความร้อนจะเลือกใช้ประโยชน์จากด้านความร้อนเป็นหลักและควบคุมอุณหภูมิด้านความร้อนแทนด้านความเย็น ส่วนประกอบการทำงานหลักของปั๊มความร้อนประกอบด้วยดังนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 2)

• **อีวาพอเรเตอร์หรือคอล์ยเย็น (Evaporator)** ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากภายนอกเข้าสู่วงจรปั๊มความร้อน. โดยสารทำความเย็นที่ความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกจะดึงความร้อนจากภายนอกและเปลี่ยนสถานะเป็นไอ

• **คอมเพรสเซอร์ (Coompressor)** ทำหน้าที่เพิ่มความดันให้สารทำความเย็นในสถานะไอที่อุณหภูมิต่ำให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าภายนอกและส่งต่อไปที่คอนเดนเซอร์

• **คอนเดนเซอร์ (Condenser)** ทำหน้าที่ระบายความร้อนจากสารทำความเย็นที่ความดันและอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก ทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวที่ความดันสูงไหลต่อไปยังเอ็กซ์แพนชั่นวาล์ว

• **เอ็กซ์แพนชั่นวาล์ว (Expansion valve)** ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นเพื่อป้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์



ภาพที่ 2 วัฏจักรการทำงานของระบบปั๊มความร้อน

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2552)

กรมวิชาการเกษตร

3. หลักการทำงานของปั๊มความร้อน

การทำงานของปั๊มความร้อนสามารถใช้ประโยชน์จากความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น ความร้อนในอากาศ หรือแหล่งความร้อนที่สูญเสียซึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนตามปกติมาทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนสามารถนำกลับมาใช้ได้ ในระบบปั๊มความร้อนทั่วไปซึ่งมีค่า COP (Heating) มากกว่าหรือเท่ากับ 3 ซึ่งเห็นได้จากพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปที่คอมเพรสเซอร์เพียง 1 ส่วน สามารถสร้างความร้อนได้ถึง 3 ส่วน โดยพลังงานความร้อนอีก 2 ส่วนจะดึงมาจากอากาศหรือสิ่งแวดล้อมภายนอก ดังนั้นปั๊มความร้อนจึงเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงสำหรับการทำความร้อน และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการกระบวนการทำงานต่างๆ ได้แก่ การผลิตน้ำร้อนสำหรับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในอาคาร รวมทั้งการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น พืชผลทางการเกษตร อาหาร ผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่มีอุณหภูมิการอบไม่สูงนักประมาณไม่เกิน 60 °C ซึ่งเมื่อพิจารณาในแง่ประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การทำงาน (COP) แล้วปั๊มความร้อนโดยทั่วไปซึ่งมีค่า COP มากกว่า 3 จึงมีประสิทธิภาพมากกว่าการผลิตความร้อนโดยใช้ก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมันซึ่งมีค่า COP เพียง 0.75 – 0.95 จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของการใช้ปั๊มความร้อนในการผลิตความร้อนเปรียบเทียบกับการใช้หม้อต้มน้ำด้วยน้ำมันเตา LPG และไฟฟ้า ปั๊มความร้อนมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานได้มากกว่า 60% โดยสามารถประเมินเปรียบเทียบในกรณีการผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 55 °C จากน้ำดิบอุณหภูมิ 27 °C ปริมาณ 16,000 ลิตรต่อวัน (เทียบเท่าปริมาณการใช้น้ำร้อนสำหรับโรงแรมขนาด 100 ห้อง) ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [พพ.], 2552)

ตารางที่ 3 พลังงานความร้อนที่ต้องใช้ในการผลิตน้ำร้อน 448,000 กิโลแคลอรี่

ประเภทหม้อน้ำ	ประสิทธิภาพการให้ความร้อน	ปริมาณการใช้พลังงาน (kcal)	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง
ด้วยน้ำมันเตา	60%	746,666	79 ลิตร/วัน
ด้วยก๊าซธรรมชาติ	70%	640,000	53 กก./วัน
ด้วยขดลวดไฟฟ้า	100%	448,000	520 kWh
ด้วยปั๊มความร้อน	300%	149,333	173 kWh

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [พพ.], 2552

ตารางที่ 4 แสดงศักยภาพการประหยัดพลังงานของระบบปั๊มความร้อน

กรณี	การเพิ่มประสิทธิภาพการให้ความร้อน	ปริมาณพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้
เปลี่ยนจากน้ำมันเตาเป็นปั๊มความร้อน	จาก 60% เป็น 300%	80%
เปลี่ยนจาก LPG เป็นปั๊มความร้อน	จาก 70% เป็น 300%	76%
เปลี่ยนจากขดลวดไฟฟ้าเป็นปั๊มความร้อน	จาก 100% เป็น 300%	66%

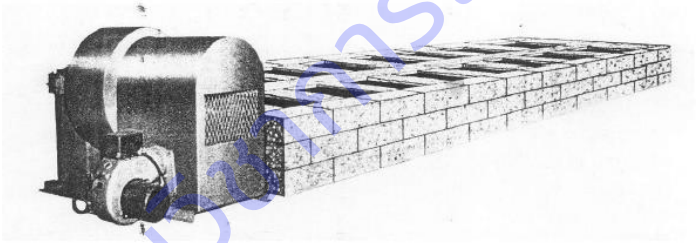
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [พพ.], 2552

กรมอุตสาหกรรม

4. เครื่องลดความชื้นประเภทต่างๆ

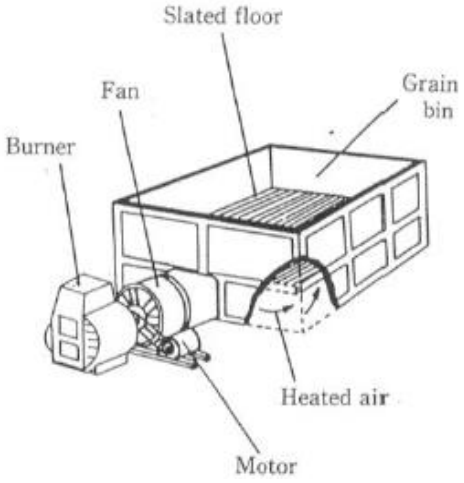
พิรสิทธิและคณะ (2557) ได้ศึกษาการพัฒนาของการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรมตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน โดยจะสามารถแบ่งการลดความชื้นข้าวเปลือกออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ ด้วยกันคือ การลดความชื้นข้าวเปลือกแบบธรรมชาติจะเป็นการลดความชื้นโดยอาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์เท่านั้น จึงทำให้มีอุปสรรคต่อการลดความชื้นมากพอสมควร และการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งจะอาศัยความร้อนจากแหล่งความร้อนที่หลากหลาย เช่น เตาเผาแกลบ เตาเผาสร้างลมร้อน เป็นต้น สามารถอบแห้งได้ทุกสภาวะอากาศแม้ขณะฝนตกหรือมีแสงแดดน้อย ไม่เปลืองพื้นที่ในการตาก การลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งนั้นสามารถควบคุมการลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ เวลาที่ใช้ในการลดความชื้นน้อยจึงทำให้มีข้อดีกว่าวิธีธรรมชาติ เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกที่มีใช้มาจนถึงปัจจุบันสามารถแบ่ง ได้หลายแบบ ดังนี้

4.1 เครื่องลดความชื้นแบบข้าวเปลือกแบบบรรจุในกระสอบ เครื่องอบแบบนี้ส่วนใหญ่ใช้กับการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ ตัวเครื่องประกอบด้วย ห้องกำเนิดอากาศร้อนซึ่งมีช่องว่างทางด้านบนเพื่อใช้วางกระสอบของข้าวเปลือกซึ่งต้องการอบแห้ง ซึ่งโดยปกติมีจำนวนหลายช่อง สามารถวางข้าวเปลือกได้ครั้งละหลายกระสอบตามจำนวนของช่องว่างลมร้อนจะถูกเป่าผ่านช่องว่างของข้าวเปลือกที่บรรจุอยู่ในกระสอบ เครื่องอบแห้งชนิดนี้ใช้อุณหภูมิต่ำอบแห้งไม่เกิน 45 °C และในระหว่างการอบแห้งจะต้องมีการพลิกกลับกระสอบเป็นระยะๆ เพื่อให้การถ่ายเทความร้อนและมวลสารทั่วถึงทั้งด้านบนและด้านล่างของกระสอบ ดังแสดงในภาพที่ 3



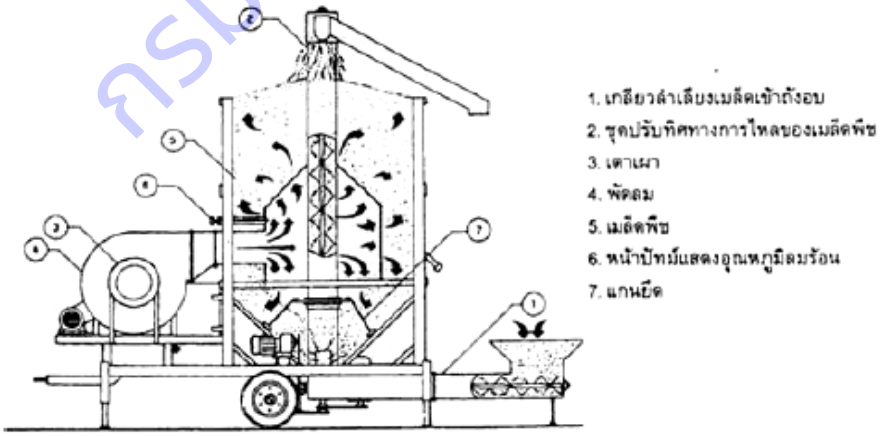
ภาพที่ 3 เครื่องลดความชื้นแบบข้าวเปลือกแบบบรรจุในกระสอบ
ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม (2543)

4.2 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบกระบะ ประกอบด้วยกระบะที่บรรจุข้าวเปลือกอยู่บน ตะแกรง โดยด้านล่างของตะแกรงเป็นห้องอากาศร้อน ที่ต่อเข้ากับพัดลมและชุดกำเนิดอากาศร้อน อากาศ ร้อนจะไหลผ่านชั้นของข้าวเปลือกที่อยู่นิ่งบนแผ่น ตะแกรงจากด้านล่างสู่ด้านบน ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกกับ อากาศร้อน โดยความชื้นของข้าวเปลือกทางด้านล่างจะลดลงเร็วกว่าทางด้านบน เครื่องลดความชื้นแบบนี้ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งไม่เกิน 50°C และที่ใช้อยู่ในประเทศส่วนใหญ่จะใช้กับเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากเมล็ดข้าวอยู่กับที่จึงไม่ส่งผลต่อการแตกร้าวของเมล็ดมากนัก เครื่องลดความชื้นแบบนี้จะสามารถลดความชื้นได้ 0.5 %wb/hr จากความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เครื่องลดความชื้นแบบข้าวเปลือกแบบกระบะ
ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม (2543)

4.3 เครื่องลดความชื้นแบบหมุนเวียน มีถังบรรจุเมล็ดพืชจะทำด้วยตะแกรง เป็นรูปทรงกระบอกแนวตั้ง ส่วนกลางของถังจะมีท่อลมทำด้วยตะแกรง เป็นรูปทรงกระบอกซ้อนอยู่ภายใน ลมร้อนอุณหภูมิ 60-80 °C จะถูกเป่าให้ผ่านเมล็ดพืชหนา 0.5 เมตรตามแนวรัศมี ผ่านรูตะแกรงออกสู่ภายนอก เมล็ดพืชที่อยู่ด้านล่างจะถูกลำเลียงขึ้นไปด้านบนใหม่ หลายเที่ยวจนกว่าจะแห้ง เครื่องลดความชื้นแบบนี้จึงต้องใช้ปริมาณลมร้อนจาเพาะสูง เครื่องอบแบบนี้ได้มีการสร้างจำหน่ายเมื่อประมาณสิบปีมาแล้ว แต่ไม่ได้รับความนิยม เนื่องจากปัญหาเรื่องฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายรบกวนผู้ปฏิบัติงานและผู้ที่อยู่ใกล้เคียง รวมทั้งการสึกหรอของระบบลำเลียงซึ่งใช้เกลียวลำเลียงในแนวตั้ง ดังแสดงในภาพที่ 5



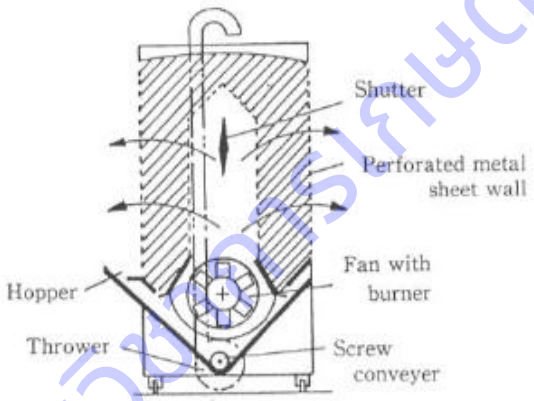
ภาพที่ 5 เครื่องลดความชื้นแบบหมุนเวียน
ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม (2543)

กรมวิชาการเกษตร

4.4 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบคอลัมน์

เครื่องลดความชื้นแบบนี้หากมองภายนอกจะเห็นถังบรรจุเมล็ดพืชเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมแนวตั้งสูงกว่า 3 เมตร ถังบรรจุข้าวเปลือกต่อเข้ากับท่อลมร้อนทางด้านข้างซึ่งมีเตาลมร้อนและพัดลมเป็นส่วนประกอบ ส่วนทางด้านล่างของถังบรรจุเมล็ดจะมีชุดควบคุมการไหลของข้าวเปลือก เครื่องลดความชื้นแบบนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

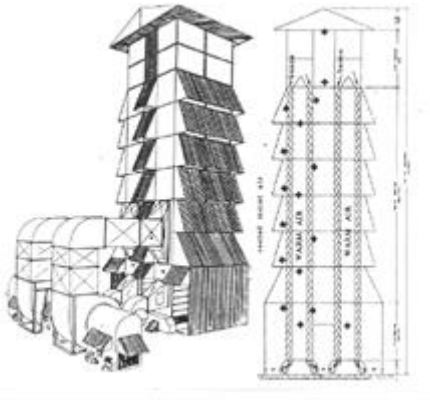
4.4.1. เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบคอลัมน์ชนิดข้าวเปลือกไม่ไหลคลุกเคล้า ภายในถังบรรจุข้าวเปลือกของเครื่องลดความชื้นแบบนี้จะประกอบด้วย ช่องบรรจุข้าวเปลือกที่ด้านข้างทั้ง 2 ด้านเป็นตะแกรงเพื่อให้ลมร้อนผ่านได้อย่างสะดวก โดยออกแบบให้มีช่องว่างอย่างน้อย 2 ช่อง ตรงกลางของเครื่องซึ่งใช้เป็นห้องลมร้อน ที่จะไหลผ่านข้าวเปลือกและไหลออกทางแนวข้างทั้ง 2 ช่อง เครื่องลดความชื้นแบบนี้มีข้อเสีย คือ ข้าวเปลือกที่อยู่ชิดห้องลมร้อนจะแห้งเร็วมากกว่าทางด้านท่อลมออกทำให้เครื่องลดความชื้นแบบนี้ใช้ปริมาณลมร้อนจาเพาะสูง เพื่อให้ความแตกต่างระหว่างความชื้นข้าวเปลือกส่วนที่ติดห้องลมร้อนกับด้านลมออกน้อย อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งประมาณ 54 °C ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 เครื่องลดความชื้นแบบคอลัมน์ชนิดข้าวเปลือกไม่ไหลคลุกเคล้า
ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม (2543)

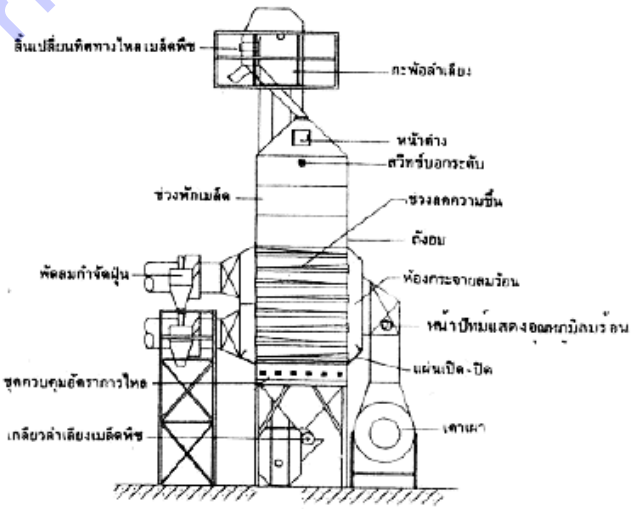
4.4.2 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบคอลัมน์ชนิดข้าวเปลือกมีการไหลคลุกเคล้า เครื่องลดความชื้นแบบนี้จะต่างจากแบบในข้อ 4.1 คือ ภายในห้องอบแห้งระหว่างห้องลมร้อนกับช่องบรรจุข้าวเปลือกจะถูกกั้นด้วยแผ่นทึบที่ทาเป็นแนวกลับทิศการไหลของข้าวเปลือกสลับกันไปมา ซึ่งในระหว่างแผ่นจะมีช่องว่างให้ลมไหลผ่านได้ ข้าวเปลือกที่ไหลจากด้านบนลงสู่ด้านล่างมีโอกาสสัมผัสลมร้อนเท่าๆ กัน เนื่องจากข้าวเปลือกมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา ดังแสดงในภาพที่ 7

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 7 เครื่องลดความชื้นแบบคอลัมน์ชนิดข้าวเปลือกมีการไหลคลุกเคล้า
ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม (2543)

4.5 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า โดยทั่วไปเรียกว่า แบบ LSU (Lousiana State University) เครื่องลดความชื้นแบบนี้ดูจากภายนอกมีลักษณะเช่นเดียวกันกับแบบคอลัมน์ คือ ถังบรรจุข้าวเปลือกจะเป็นแบบถังทรงสี่เหลี่ยมแนวตั้ง ข้าวเปลือกไหลจากด้านบนลงด้านล่างโดยมีอุปกรณ์ควบคุมการไหลของเมล็ด ภายในถังอบประกอบด้วยท่อลมเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นจะมีท่อลมหลายท่อ ท่อลมแต่ละชั้นจะเป็นท่อลมร้อนเข้าและท่อลมออกสลับกัน ท่อลมร้อนเข้านี้จะพัดผ่านข้าวเปลือกในถังอบและไหลออกทางท่อลมออกที่อยู่ชั้นด้านบนและด้านล่างท่อลม แต่ละท่อจะมีลักษณะเป็นรางคว่ำ ด้านบนแหลม ด้านล่างเปิดว่างในแนวขนานกับพื้นยาวตลอดถัง ที่ปลายรางด้านหนึ่งจะเจาะช่องต่อเข้ากับห้องรวบรวมลม ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะปิดท่อลมแต่ละชั้นโดยมีช่องที่เจาะเข้ากับห้องรวบรวมลมสลับกัน โดยชั้นหนึ่งจะต่อเข้าทางด้านห้องลมร้อนเข้า และอีกชั้นหนึ่งจะต่อเข้ากับห้องลมออก เครื่องลดความชื้นแบบนี้ทำให้เกิดการไหลข้าวเปลือกแบบไหลกลับไปกลับมา และทำให้ข้าวเปลือกมีโอกาสสัมผัสกับลมร้อนที่ไหลเข้าและเกิดการถ่ายเทความชื้นกับลมที่ไหลออก ทำให้เกิดการลดความชื้นสม่ำเสมอเท่ากันตลอดทั้งถังบรรจุ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้จะได้สูงกว่าแบบคอลัมน์คือ 66 °C สำหรับการใช้งานก็เช่นเดียวกันกับแบบ คอลัมน์ คือ ใช้อบแบบเป็นครั้งหรือเป็นงวดและใช้อบแบบไหลต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 เครื่องลดความชื้นแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า
ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม (2543)

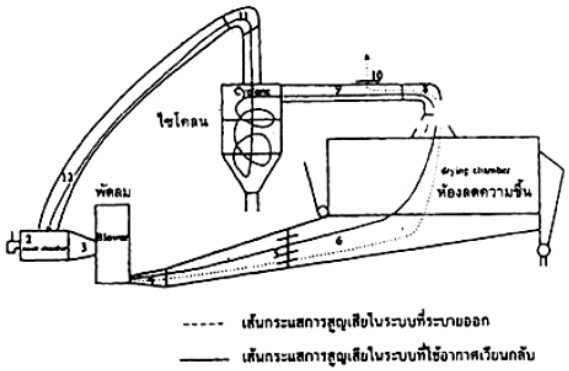
กรมวิชาการเกษตร

4.6 เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบโรตารี่ นิยมใช้สำหรับการลดความชื้นข้าวนึ่งในช่วงแรกหลังจากข้าวเปลือกผ่านการนึ่งมาแล้ว ตัวเครื่องเป็นรูปถังทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 เมตร ความยาว 15-30 เมตร วางเอียง 2-4 องศาจากแนวนอน ถังหมุนด้วยความเร็วรอบ 4-8 รอบต่อนาที โดยทั่วไปข้าวเปลือกจะอยู่ในถังประมาณ 10-20 นาที อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ 121-288 °C ดังแสดงในภาพที่ 9

ภาพที่ 9 เครื่องลดความชื้นแบบโรตารี่
ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม (2543)

4.7 เครื่องลดความชื้นแบบฟลูอิดไดซ์-เบด เครื่องลดความชื้นแบบนี้ได้มีการพัฒนาและสร้างออกจำหน่ายภายในประเทศเพื่อการใช้งานในลักษณะไหลต่อเนื่องและใช้ปริมาณลมสูง ห้องอบเป็นห้องปิดมีตะแกรงอยู่ด้านล่างที่ปลายทั้ง 2 ด้านมีอุปกรณ์สำหรับการป้อนเมล็ดพืชเข้าและออกจากห้องอบ ลมร้อนเป่าผ่านชั้นเมล็ดพืชที่วางอยู่บน ตะแกรงโดยมีความหนาไม่เกิน 10 เซนติเมตร ด้วยความเร็วของอากาศร้อนประมาณ 1.9 เมตรต่อวินาที เพื่อทำให้ข้าวเปลือกลอยตัว อุณหภูมิลมร้อนที่จะใช้มากกว่า 100°C และ ช่วงระยะเวลาที่เมล็ดสัมผัสลมร้อนเป็นเวลาประมาณ 3-5 นาที เหมาะสำหรับใช้ลดความชื้นข้าวเปลือกที่มี ความชื้นสูงมากกว่า 20 %wb เนื่องจากเครื่องลด ความชื้นแบบนี้ใช้ปริมาณลมและความร้อนสูงเป่าผ่านข้าวเปลือกในระยะเวลาอันสั้นเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานจึงมีการนำเอาความร้อนที่ผ่านข้าวเปลือกแล้วหมุนเวียนกลับมาประมาณ 80 % และเป่าทิ้งไป 20 % ข้าวเปลือกเมื่อผ่านเครื่อง ลดความชื้นแบบนี้เพียงเที่ยวเดียวจะมีความชื้นลดลง 5-10 %wb ทำให้มีอัตราการทำงานสูงเหมาะกับตลาดกลางที่มีปริมาณข้าวเปลือกความชื้นสูงเข้ามาในปริมาณมาก ข้าวเปลือกที่ผ่านเครื่องลดความชื้นแบบนี้แล้วสามารถนำไปอบแห้งในยุ้งเก็บที่มีการเป่าอากาศผ่านกองข้าวเปลือกได้ หรืออาจใช้ร่วมกับเครื่องลดความชื้นแบบอื่นๆ ก็ได้ ดังแสดงในภาพที่ 10

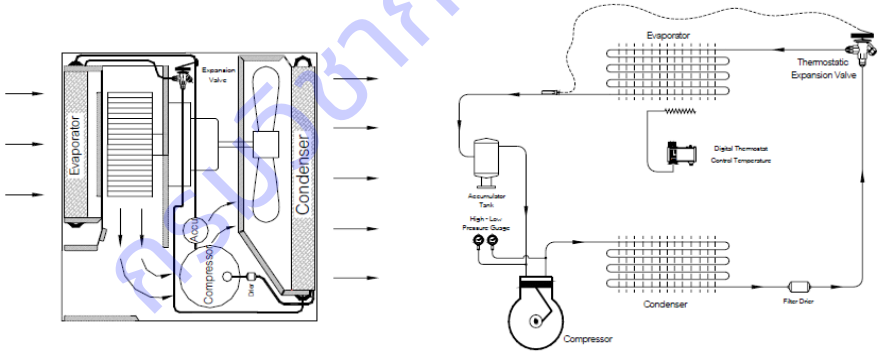
กรมการเกษตร



ภาพที่ 10 เครื่องลดความชื้นแบบฟลูอิดไดซ์-เบด
ที่มา: กองเกษตรวิศวกรรม (2543)

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

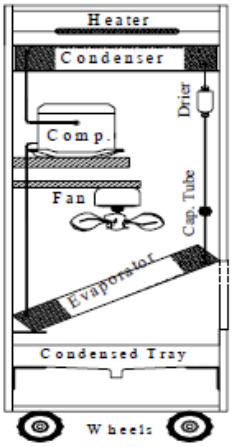
สฤทธิพรและสัมพันธ์ (2548) ได้ออกแบบและทดสอบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง ดังแสดงในภาพที่ 11 โดยอาศัยหลักการของปั๊มความร้อน (Heat Pump) มีอุปกรณ์ในการทำงานประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์ (Compressor) คอนเดนเซอร์ (Condenser) ท่อแคปปิลารี (Capillary Tube) และคอล์ยเย็น (Evaporator) แล้วเปลี่ยนอุปกรณ์ท่อแคปปิลารีเป็น เอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว (Expansion Valve) ทำให้สามารถเพิ่มสมรรถนะของเครื่องลดความชื้นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น



ภาพที่ 11 เครื่องลดความชื้นที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างและระบบวงจร
ที่มา: สฤทธิพรและสัมพันธ์ (2548)

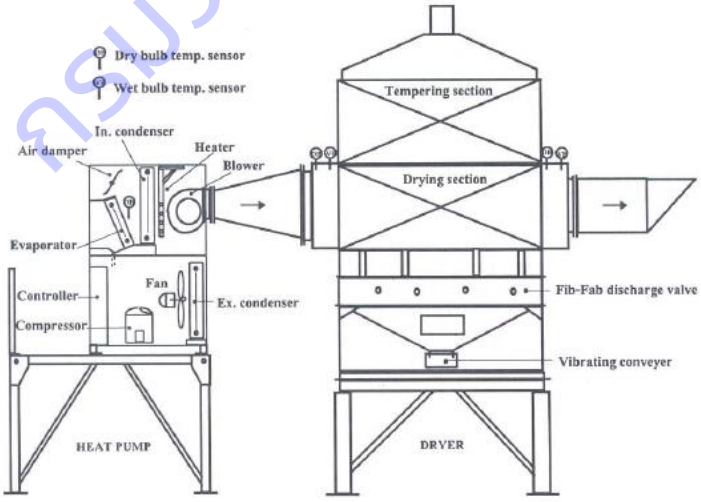
ไกรสิงห์และคณะ (2548) ได้ศึกษาศักยภาพของการพัฒนาตู้แช่เย็นขนาดเล็กมาเป็นเครื่องลดความชื้นโดยใช้หลักการทำงานจากระบบปั๊มความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 12 จากการศึกษาและเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างเครื่องที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องที่จำหน่ายตามท้องตลาดพบว่า ความน่าลงทุนของเครื่องที่พัฒนาขึ้นจะมากกว่าและมีระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่า โดยเครื่องลดความชื้นนี้มีอัตราผลตอบแทนการลงทุนและระยะเวลาการคืนทุนที่ดีกว่า เนื่องจากมีต้นทุนน้อยกว่าเครื่องที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป

ลิขสิทธิ์การศึกษา



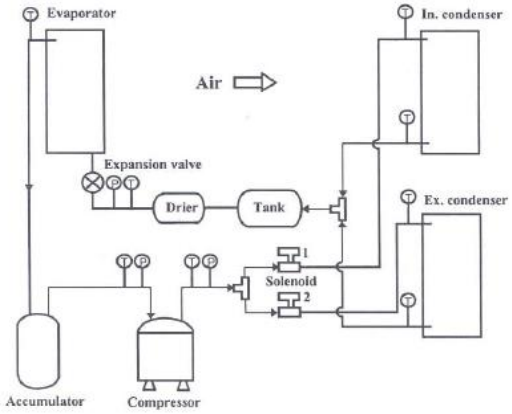
ภาพที่ 12 การพัฒนาเครื่องลดความชื้นจากตู้แช่เย็นขนาดเล็ก
ที่มา: ไกรสิงห์และคณะ (2548)

Somchart, et al, 2000 ได้วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน (Heat pump Dryer) สำหรับอบเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ใช้ร่วมกับตู้อบแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า (Lousiana State University, LSU type) ดังแสดงในภาพที่ 13 โดยส่วนประกอบของระบบปั๊มความร้อน Heat Pump ดังแสดงในภาพที่ 14 ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญดังนี้ 1. คอมเพรสเซอร์ (Compressor) 2. คอล์ยเย็น (Evaporator) 3. คอนเดนเซอร์ภายและภายนอก (Internal and external Condenser) 4. เอ็กแปนชั่นวาวล์ว (Expansion valve) 5. พัดลมดูดอากาศ (Blower) ซึ่งเครื่องอบลดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกนี้ออกแบบให้มีอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งไม่เกิน 43 °C สามารถลดความชื้นเมล็ดจาก 22.22% w.b. ลดลงเหลือ 12% w.b. โดยใช้อัตราการไหลของอากาศ 9 m^3/min-m^3 paddy ซึ่งหลังการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวมีความงอกเฉลี่ย 97% และความแข็งแรงเมล็ด 96%



ภาพที่ 13 ตู้อบแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า (LSU) ร่วมกับระบบปั๊มความร้อน (Heat pump)
ที่มา: Somchart et al (2000)

กรมวิชาการเกษตร

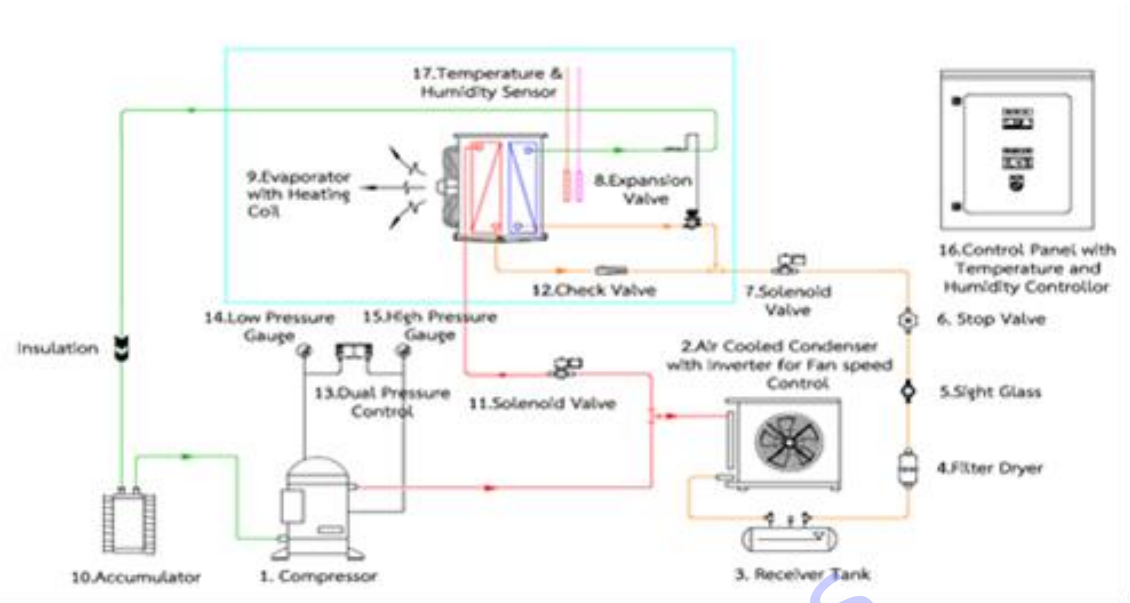


ภาพที่ 14 วงจรระบบปั๊มความร้อน (Piping diagram of Heat pump)
ที่มา: Somchart et al (2000)

อานนท์และคณะ (2560) ได้ออกแบบและพัฒนาระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็นสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้สามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องเก็บรักษาโดยไม่ต้องใช้เครื่องลดความชื้น โดยมีอุณหภูมิ 15 °C และความชื้น 40-50 %RH มีขนาดห้อง 2.2x2.2 x4.0 เมตร (กว้างxยาวxสูง) สามารถจุเมล็ดพันธุ์ได้ 8-10 ตัน อุปกรณ์ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบเครื่องทำความเย็นคือ 1) คอมเพรสเซอร์ 2) คอนเดนเซอร์ 3) เอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว และ 4) ชุดคอล์ยเย็นซึ่งติดตั้งแผงคอล์ยร้อนเสริมเข้าไปเพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์ จุดเด่นของระบบนี้คือใช้หลักการของระบบปั๊มความร้อน (Heat Pump) มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุณภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง โดยได้นำความร้อนที่ระบายความร้อนทิ้งที่ชุดคอนเดนเซอร์ดึงกลับมาใช้กับแฝงคอล์ยร้อยที่ติดตั้งอยู่ในชุดคอล์ยเย็นเพื่อใช้ความชื้นภายในห้อง จากผลการทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) เท่ากับ 4.02 และเมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ใช้ร่วมกับเครื่องลดความชื้นสามารถประหยัดค่าพลังงานได้มากถึง 40 % และสามารถเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชให้มีคุณภาพที่ดีได้ตามต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 15 และ 16

ภาพที่ 15 ห้องเย็นสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช
ที่มา: อานนท์และคณะ (2560)

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 16 ระบบทำความเย็นที่ประยุกต์จากหลักการของระบบปั๊มความร้อน
ที่มา: อานนท์และคณะ (2560)

กรมวิชาการเกษตร

ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

อุปกรณ์

1. คอมเพรสเซอร์ขนาด 5 แรงม้า พร้อมอุปกรณ์ระบบเครื่องทำความเย็น
2. คอล์เย็นและคอล์ยร้อนสำหรับระบบปั๊มความร้อน
3. อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของระบบปั๊มความร้อน
4. ผนังฉนวนกันความร้อนชนิด PU Foam หนา 2 นิ้ว
5. อุปกรณ์วัดระบบไฟฟ้า
6. เครื่องมือบันทึกข้อมูล อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

วิธีการ

1. ออกแบบระบบเครื่องลดความชื้นด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบปั๊มความร้อน

2. ออกแบบระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง โดยมีเงื่อนไขสำหรับการลดความชื้นคือ เมล็ดพันธุ์มีความชื้นเริ่มต้น 18-20 %w.b. แล้วทำการลดความชื้นให้เหลือ 11 %w.b. และสามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ได้ 250 กิโลกรัมต่อ 1 รอบ โดยใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นประมาณ 10 ชั่วโมง อุณหภูมิห้องอบอยู่ในระหว่าง 35-43°C และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบ 25-35 %RH โดยมีอุปกรณ์ในการทำงานหลักๆ คือ คอมเพรสเซอร์ (Compressor) เอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว (Expansion Valve) คอล์ยเย็น (Cooler Unit) คอล์ยร้อน (Condenser) และแผงความร้อนสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ โดยสามารถคำนวณการออกแบบระบบปั๊มความร้อนได้ดังสมการที่ 1 ถึง 5

สมการคำนวณหาน้ำหนักสุดท้ายของเมล็ดพันธุ์ตามความชื้นที่ต้องการ

$$W_f = W_i\left(\frac{100-M_i}{100-M_f}\right) \quad (1)$$

เมื่อ W_f คือ น้ำหนักเมล็ดพันธุ์หลังการลดความชื้น (kg)
W_i คือ น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ก่อนการลดความชื้น (kg)
M_f คือ ความชื้นเมล็ดพันธุ์ที่ต้องการ (%w.b.)
M_i คือ ความชื้นเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น (%w.b.)

สมการคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออกจากเมล็ดพันธุ์

$$m_w = W_f - W_i \quad (2)$$

สมการคำนวณอัตราการระเหยปริมาณน้ำที่ออกจากเมล็ดพันธุ์

$$\dot{m}_w = \frac{(m_w)}{t} \quad (3)$$

เมื่อ m_w คือ ปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออก (kg_{water})
$\dot{m}_w$ คือ อัตราการระเหยของปริมาณน้ำ (kg_{water}/hr)
t คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการลดความชื้น (hr)

กรมวิชาการเกษตร

สมการคำนวณปริมาณลมที่ใช้ในการลดความชื้น

$$m_a = \frac{(\dot{m}_w)}{(w_f - w_i)} \quad (4)$$

$$Q_a = \frac{m_a}{\rho} \quad (5)$$

เมื่อ m_a คือ มวลของอากาศที่ใช้ในการลดความชื้น (kg_{air}/hr)
$\dot{m}_w$ คือ อัตราปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออก (kg_{water}/hr)
w_f คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศหลังการลดความชื้น (kg_{water}/kg_{dryair})
w_i คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศก่อนการลดความชื้น (kg_{water}/kg_{dryair})
ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
Q_a คือ ปริมาณลมที่ต้องใช้ในการลดความชื้น (m^3/hr)

แล้วนำปริมาณลมที่ต้องใช้ในการลดความชื้นที่ได้จากการคำนวณไปใช้หากำลัง Compressor ของระบบปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม Psychometrics Chart

3. ออกแบบตู้อบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ขนาด 1.8x2.4 x2.3 เมตร (กว้างxยาวxสูง) สามารถความชื้นเมล็ดพันธุ์ได้ 250 กิโลกรัมต่อการอบ 1 รอบ ผนังห้องเย็นมีโฟมเป็นฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายในออกไปยังภายในนอกห้อง และออกแบบให้ตู้อบสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในสถานที่ต่างๆ ได้

4. สร้างต้นแบบตู้อบและระบบปั๊มความร้อนในห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

5. ทดสอบการทำงานเบื้องต้นในอาคารปฏิบัติการ (Woke Shop) โดยใช้ Data logger บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบ

6. ทดสอบหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของระบบปั๊มความร้อน โดยในการทดสอบนี้ได้กำหนดตั้งค่าแรงดันด้านสูง (Hight Pressure) ของระบบทำความเย็นไว้ 3 ระดับ คือ 200 psi 250 psi และ 300 psi แล้วบันทึกผลการทดลองดังนี้ 1) ค่าแรงดันด้านต่ำ (Low pressure) 2) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบ และ 3) กระแสไฟฟ้าที่ใช้งาน

7. ประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องลดความชื้น ด้วยการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจำนวน 250 kg จากความชื้นเริ่มต้น 18 %w.b. ให้ลดลงเหลือง 11 %w.b. ภายในระยะเวลา 6-8 ชั่วโมง โดยมีการประเมินค่าสมรรถนะต่างๆ ดังนี้

7.1 อัตราการดึงความชื้น (Moisture Condensation Rate, MCR) คืออัตราการควบแน่นน้ำที่อีแวปปอเรเตอร์ในระบบทำความเย็นเป็นปัจจัยสำคัญที่แสดงถึงประสิทธิภาพการดึงความชื้น โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$MCR = m_{a,e}(W_{ei} - W_{eo})x3600 \quad , kg_{water}/hr \quad .... (6)$$

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

$$SCMR = m_{a,e}\,(W_{ei} - W_{eo})x3600 / W_{net} \quad ,kg_{water}/kW \quad .... (7)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร

7.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) เป็นพลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นต่อปริมาณน้ำที่ควบแน่นจากอีแวปปอเรเตอร์ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$SEC = (W_{net} x 3.6) / m_{a,e} (W_{ei} - W_{eo}) \quad , MJ/kg_{water} \quad .... (8)$$

7.4 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องลดความชื้น (Dehumidification Efficiency) คิดจากอัตราการทำความร้อนต่อกำลังงานสุทธิที่ให้กับระบบ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$COP_{dehu} = Q_c / P_{net} \quad .... (9)$$

เมื่อ MCR คือ อัตราการดึงความชื้น (kg_{water} /hr)
SCMR คือ อัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (kg_{water} /kW)
SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg_{water})
COP_{dehu} คือ ค่าประสิทธิภาพของเครื่องลดความชื้น
$m_{a,e}$ 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)
Q_c คือ ปริมาณหรืออัตราการทำความร้อน (kW)
P_{net} คือ กำลังงานสุทธิที่ให้กับระบบ (kW)

8. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินงาน

ระยะเวลาดำเนินงาน 1 ตุลาคม 2562 ถึง 31 ธันวาคม 2564

สถานที่ดำเนินงาน สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก
ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น

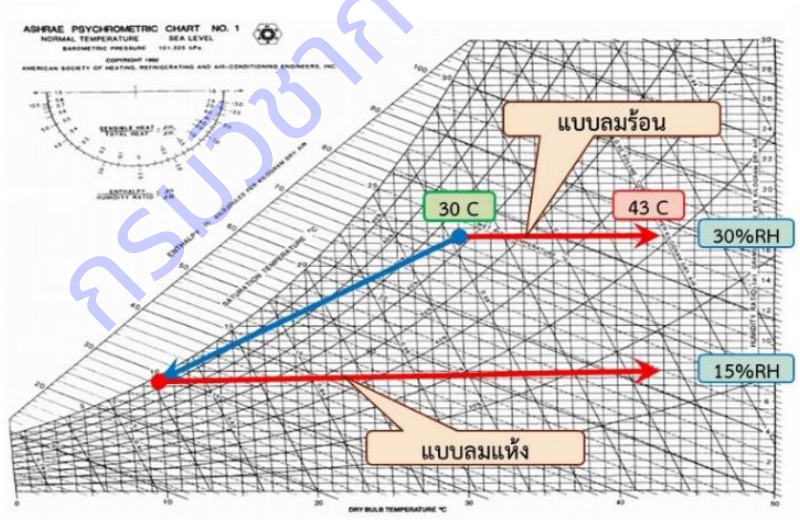
กรมวิชาการเกษตร

ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and Discussion)

1. ผลการออกแบบระบบเครื่องลดความชื้นด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบปั๊มความร้อน

ในการออกแบบปั๊มความร้อนนี้ (Heat Pump) จะออกแบบเพื่อให้ได้อากาศที่แห้งก่อนนำไปอบเมล็ดพันธุ์ มีหลักการทำงานคือ ให้อากาศไหลผ่านคอล์ยเย็น (Evaporator) เพื่อให้มวลของไอน้ำเกิดการควบแน่นแล้วกลั่นตัวออกมาเป็นหยดน้ำแล้วทำให้ความชื้นในอากาศลดลง และหลังจากนั้นให้อากาศไหลผ่านคอล์ยร้อน (Condenser) เพื่อเพิ่มความร้อนให้กับอากาศ ทำให้ได้อากาศที่แห้งไปลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืช หลักการของระบบนี้สามารถควบคุมอากาศที่อุณหภูมิ 35-42 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 10-20%RH ซึ่งเป็นลมที่เหมาะสมกับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองอย่างยิ่ง

การออกแบบของระบบลดความชื้นสัมพัทธ์นี้เพื่อให้ได้สภาวะอากาศตามที่ต้องการนั้นจะต้องอาศัยหลักการจากแผนภูมิคุณสมบัติของอากาศ โดยที่ระบบลดความชื้นนั้นจะอาศัยการควบแน่นของไอน้ำในอากาศโดยมีลักษณะการทำงานคือ เมื่ออากาศสัมผัสกับความเย็นที่มีอุณหภูมิเท่ากับหรือต่ำกว่าอุณหภูมิ ณ จุดน้ำค้าง (Dew point temperature) ของอากาศ ไอน้ำบางส่วนก็จะกลั่นตัวออกมาเป็นของเหลวทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศลดลง ความแตกต่างระหว่างลมแห้งที่ได้จากระบบปั๊มความร้อน (Heat Pump) กับลมร้อนที่ได้จากแหล่งกำเนิดความร้อนจาก แก๊ส น้ำมันเตา ฮีตเตอร์ไฟฟ้า คือ การสร้างความร้อนอุณหภูมิที่เท่ากัน ลมร้อน จะมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงกว่า ลมแห้ง เท่าตัว ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศนี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพของการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์และจะสัมพันธ์กับความชื้นสมดุลของเมล็ด ซึ่งจะสามารถทำให้เวลาการลดความชื้นลดลงได้

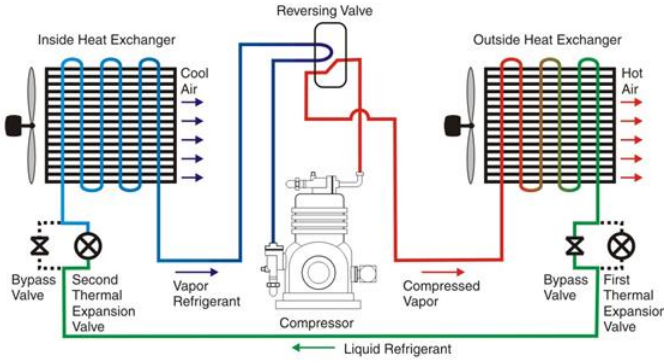


ภาพที่ 17 แผนภูมิไซโครเมตริกซ์ (Psychrometric chart) แสดงความแตกต่างระหว่าง ลมแห้งกับลมร้อน
ที่มา: ASHRAE (1998)

ในส่วนของการออกแบบระบบปั๊มความร้อนมีส่วนประกอบของอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ เอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว และคอล์ยเย็น มีหลักการทำงานดังแสดงในภาพที่ 18 กล่าวคือ ใช้พัดลมดูดให้อากาศไหลผ่านคอล์ยเย็นก่อนและหลังจากให้อากาศจะมาผ่านคอล์ยร้อนซึ่งอากาศจะมีการขยายตัวทำให้ความหนาแน่นของอากาศลดลง จึงส่งผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ลดลง จึงได้สภาวะอากาศเป็นแบบลม

กรมวิชาการเกษตร

แห้ง โดยระบบปั๊มความร้อนนี้จะควบคุมการทำงานแบบระบบอัตโนมัติด้วย PCL เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องลดได้ตามต้องการและมีความแม่นยำที่สูง ซึ่งการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วด้วยเครื่องดังกล่าวจะสามารถช่วยประหยัดเวลาได้เมื่อเปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วยแสงแดด อำนวยความสะดวกในช่วงที่ไม่มีแสงแดดอีกทั้งไม่ส่งผลต่อความงอก ความแข็งแรงและอายุการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่ว



ภาพที่ 18 ระบบปั๊มความร้อน
ที่มา: trueHVAC (2556)

2. ผลการออกแบบระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

จากเงื่อนไขสำหรับการลดความชื้นคือ เมล็ดพันธุ์มีความชื้นเริ่มต้น 18-20 %w.b. แล้วทำการลดความชื้นให้เหลือ 11 %w.b. และสามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ได้ 250 กิโลกรัมต่อ 1 รอบ โดยใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นประมาณ 12 ชั่วโมง อุณหภูมิห้องอบอยู่ในระหว่าง 35-43°C และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบ 25-35 %RH และเงื่อนไขสภาพแวดล้อมอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงรายละเอียดเงื่อนไขสำหรับการออกแบบระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ลำดับที่	รายการเงื่อนไขการออกแบบ		
1	อุณภูมิห้องอบ	38	°C
2	ความชื้นสัมพัทธ์ห้องอบ	35	%RH
3	ปริมาณถั่วเหลือง	250	kg/รอบ
4	เวลาที่ใช้ในการลดความชื้น	6	hr
5	ความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเริ่มต้น	18	%w.b.
6	ความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสุดท้าย	11	%w.b.
7	อุณหภูมิอากาศหลังอบแห้ง	36	°C
8	ความชื้นสัมพัทธ์หลังอบแห้ง	45	%RH
9	อุณหภูมิอากาศแวดล้อมภายนอก	30	°C
10	ความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อมภายนอก	45	%RH

กรมวิชาการเกษตร

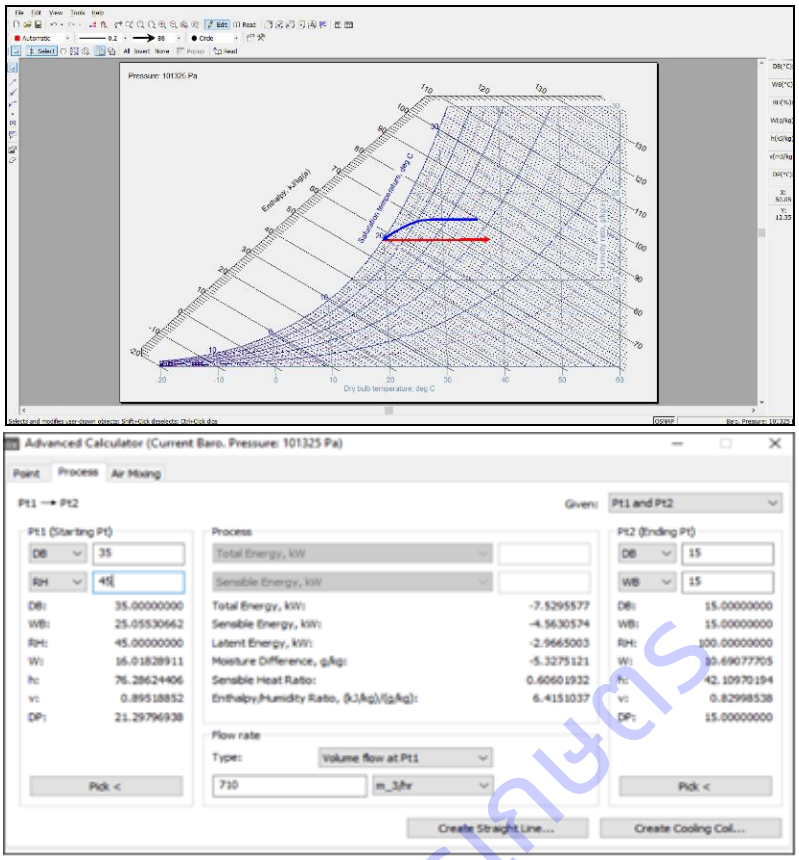
และจากการคำนวณโดยการใช้คุณสมบัติของอากาศตามแผนภูมิ Psychometrics Chart ทำให้ได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งปริมาณลมที่ต้องการใช้สำหรับการลดความชื้นเท่ากับ 707.98 m^3/hr

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณหาปริมาณลมที่ให้สำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

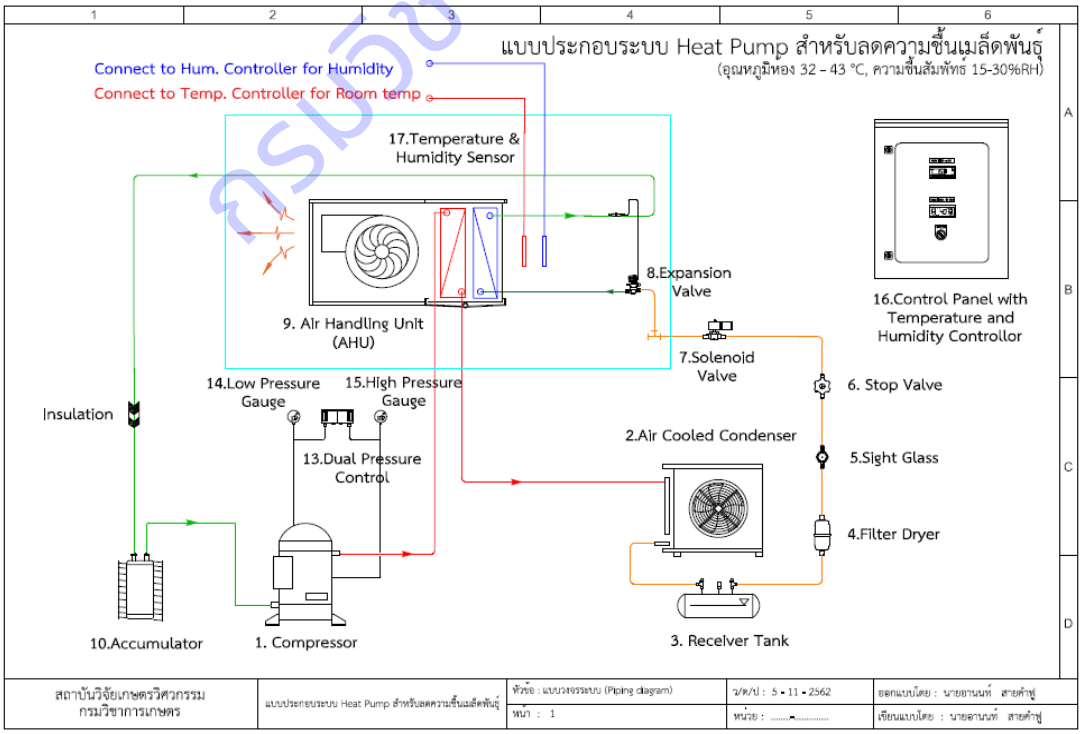
ลำดับที่	รายละเอียด	ผลการคำนวณ	หน่วย
1	น้ำหนักเริ่มต้น	250	kg
2	น้ำหนักสุดท้าย	230.34	kg
3	ความชื้นเริ่มต้นของ	18	%(wb.)
4	ความชื้นสุดท้ายของ	11	%(wb.)
5	อุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง	38	°C
6	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ใช้อบแห้ง	35	%RH
7	ค่าอัตราส่วนความชื้น *(w_i)*	0.0125	kg (water) /kg (dry air)
8	ค่าความหนาแน่นของอากาศ (ρ)	1.129	kg/m^3
9	อุณหภูมิอากาศหลังอบแห้ง	35	°C
10	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังอบแห้ง	45	%RH
11	ค่าอัตราส่วนความชื้น *(w_f)*	0.0166	kg (water) /kg (dry air)
12	อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	30	°C
13	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม	70	%RH
14	เวลาที่ใช้อบแห้ง	12	hr
15	ปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออกจาก Product	19.66	kg (water)
16	อัตราการระเหยน้ำออกจาก Product	3.28	kg (water) / hr
	ปริมาณลมที่ต้องใช้ในการอบแห้ง	**707.98**	**m^3/ hr**

จากผลการคำนวณปริมาณลมที่ต้องใช้สำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองในข้างต้นซึ่งเท่ากับ 707.98 m^3/hr หรือประมาณ 417 cfm จากนั้นจึงได้นำปริมาณลมดังกล่าวมาใช้คำนวณหาภาระการทำความเย็นของคอล์ยเย็นและขนาดคอล์ยร้อนของระบบปั๊มความร้อนโดยใช้โปรแกรม Psychometrics Chart ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 19 ซึ่งผลการคำนวณได้ค่าภาระการทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อนมีค่าเท่ากับ 7.53 kW และขนาดของคอล์ยร้อนเท่ากับ 8.23 kW และได้ออกแบบวงจรระบบปั๊มความร้อนดังแสดงในภาพที่ 20

ศูนย์วิชาการเกษตร



ภาพที่ 19 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม Psychometrics Chart คำนวณหาขนาดของระบบปั๊มความร้อน

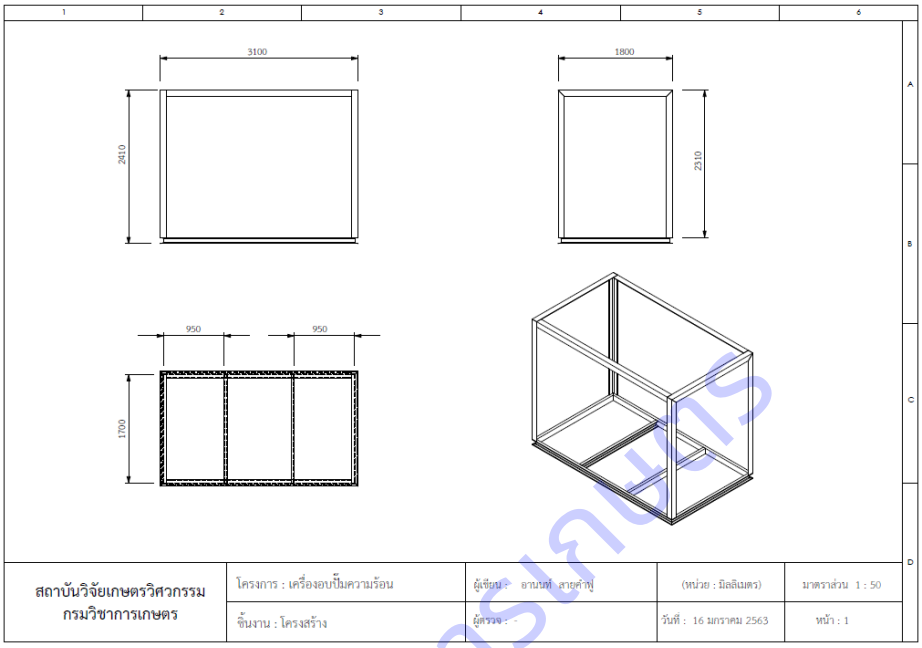


ภาพที่ 20 วงจรระบบปั๊มความร้อน (Piping Diagram)

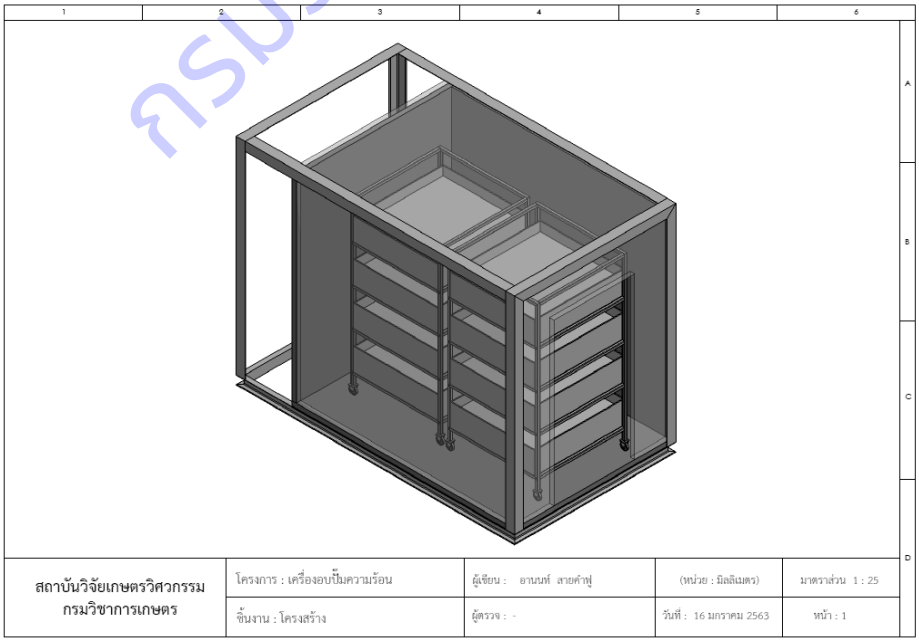
กรมวิชาการเกษตร

3. ผลการออกแบบตู้ลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

จากเงื่อนไขการออกแบบที่กำหนดให้ปริมาณการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสูงสุดเท่ากับ 250 กิโลกรัม/รอบ จึงได้ออกแบบตู้ลดความชื้นให้มีขนาด 1.8 x 2.5 x 2.3 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ดังแสดงในภาพที่ 21 และ 22



ภาพที่ 21 แบบแสดงโครงสร้างของตู้ลดความชื้น



ภาพที่ 22 แบบ 3 มิติ แสดงภายในของตู้ลดความชื้น

กรมวิชาการเกษตร

4. ผลการสร้างต้นแบบตู้อบระบบปั๊มความร้อน

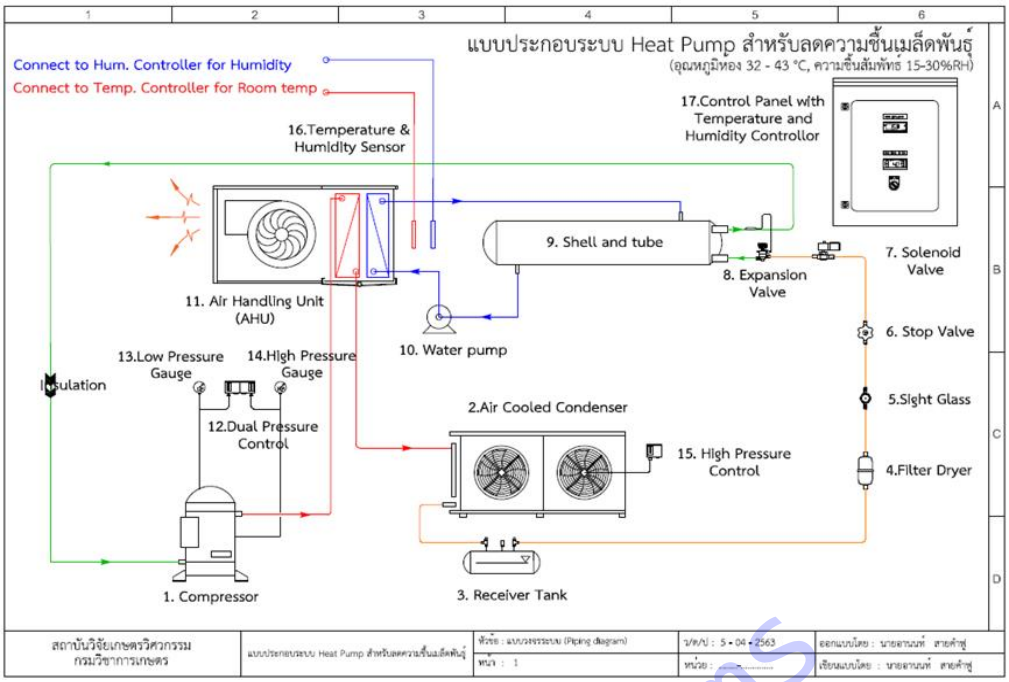
จากผลการออกแบบตู้ลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง จึงได้ดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบในส่วนของตู้ลดความชื้นดังแสดงในภาพที่ 23 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ขนาดภายนอกของตู้อบ 1.8 x 2.5 x 2.3 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง)
2. ฉนวนผนังตู้อบเป็นโฟม PU (Polyurethane Foam) ความหนา 2 นิ้ว

ภาพที่ 23 ผลการสร้างเครื่องต้นแบบตู้ลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ผลการสร้างเครื่องต้นแบบในส่วนของเครื่องทำความเย็นสำหรับระบบปั๊มความร้อน จากการสร้างตู้ลดความชื้นขนาด 1.8 x 2.5 x 2.3 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง) จึงได้ดำเนินการสร้างระบบปั๊มความร้อนซึ่งระบบที่ออกใหม่เป็นระบบแบบ (Hydro Heat pump) คือ การให้คอมเพรสเซอร์ทำน้ำเย็นก่อน โดยใช้ Shell and Tube เป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับน้ำแล้วใช้ปั๊มส่งน้ำไปยังคอล์ยเย็นอีกทีหนึ่ง แทนการฉีดสารทำความเย็นผ่านเอ็กแปนชั่นวาวล์ (Direct Expansion valve) เข้าไปในคอล์ยเย็นโดยตรง ซึ่งเหตุผลที่ออกแบบให้ระบบปั๊มความร้อนใช้น้ำเย็นเพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันด้านต่ำ (Low pressure) ของระบบสูงเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้แรงดันด้านสูง (High pressure) สูงขึ้นตามไปด้วย และอาจทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานหนักจนเกินไป (Over load) ดังแสดงแผนวงจรระบบในภาพที่ 24 และผลการสร้างระบบปั๊มความร้อนแบบ Hydro Heat pump ดังแสดงในภาพที่ 25

ศูนย์วิทยทรัพยากร



ภาพที่ 24 แผนภาพวงจรระบบปั๊มความร้อนแบบ Hydro Heat pump

ภาพที่ 25 ระบบปั๊มความร้อนแบบ Hydro Heat pump

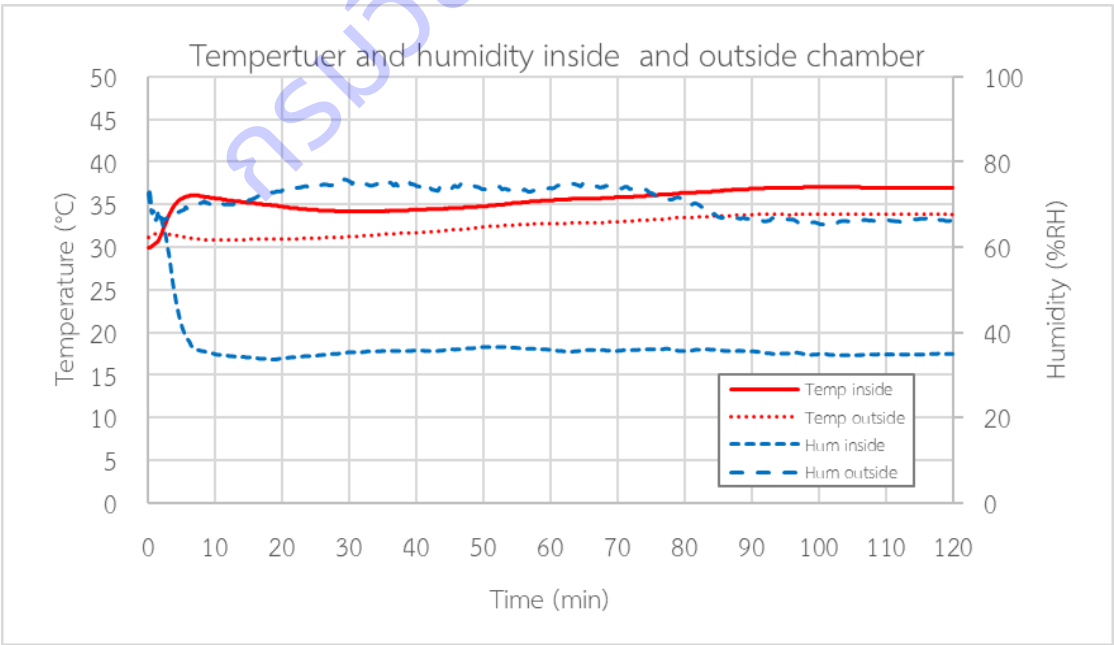
5. ผลการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของระบบลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน

หลังจากที่ได้ทำการสร้างเครื่องต้นแบบเรียบร้อยแล้ว จึงได้ดำเนินการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบเบื้องต้นและทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน (Coefficient of Performance, COP) บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกตู้ลดความชื้น และบันทึกการใช้ไฟฟ้าเพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานงานและประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อน ซึ่งผลการทดสอบการบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ดังแสดงในตารางที่ 7 ซึ่งพบว่าตู้ลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนนี้สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ตามต้องตามคือ 36.7±1.04°C และ 35.20±0.69 %RH ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าภายนอกมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงถึง 70.99±3.6 %RH ดังแสดงในภาพที่ 26 ซึ่งผลการทดสอบนี้บ่งชี้ให้เห็นว่าระบบปั๊มความร้อนสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองได้ตามคำแนะนำการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์

ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของตู้อบลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน

สภาวะอากาศภายในตู้		**สภาวะอากาศภายนอกตู้**	
อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)
36.7±1.04*	35.20±0.69*	32.71±1.09*	70.99±3.6*

*ค่าเฉลี่ย±SD



ภาพที่ 26 แสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกตู้อบลดความชื้น

กรมวิชาการเกษตร

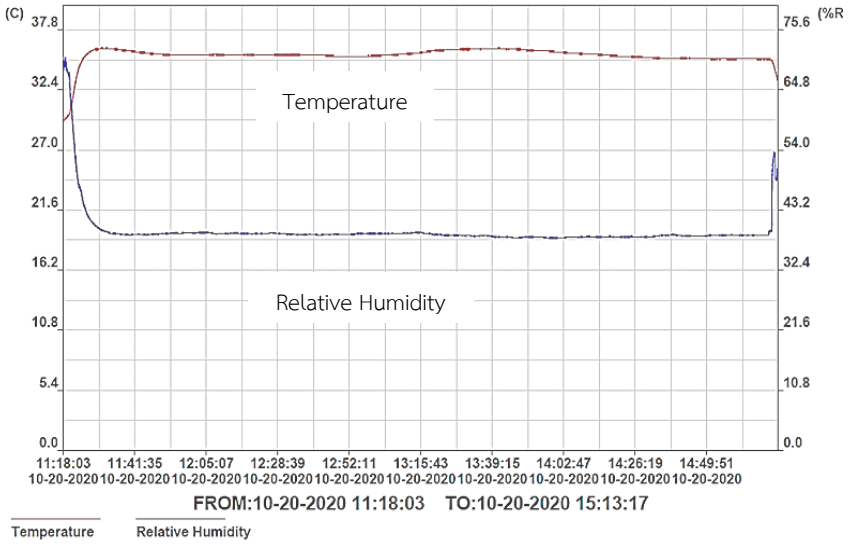
6. ผลการทดสอบหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของระบบปั๊มความร้อน

การทดสอบหาสภาวะการทำงานนี้ได้กำหนดตั้งค่าแรงดันด้านสูง (Hight Pressure) ของระบบทำความเย็นไว้ 3 ระดับ คือ 200 psi 250 psi และ 300 psi ดังแสดงการตั้งค่าในภาพที่ 27 แล้วทำการบันทึกผลการทดลองดังนี้ 1) ค่าแรงดันด้านต่ำ (Low pressure) 2) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบ โดยจากผลการทดสอบพบว่า ที่แรงดันด้านสูง 200 250 และ 300 psi มีแรงดันด้านต่ำเท่ากับ 60 70 และ 80 psi ตามลำดับ มีอุณหภูมิภายในห้องอยู่ในช่วง 30-34°C, 36-40°C และ 42-46°C ตามลำดับ มีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 38-40 %RH, 35-38 %RH และ 32-36 %RH ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 8 ซึ่งจากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ที่แรงดันด้านสูงเท่ากับ 250 psi เป็นแรงดันสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง โดยมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบเท่ากับ 36-40 °C และ 35-38 %RH ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 28

ภาพที่ 27 แสดงการตั้งค่า High and Low pressure ของระบบปั๊มความร้อน

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของระบบปั๊มความร้อนที่แรงดันด้านสูงระดับต่างๆ

แรงดันด้านสูง (pisg)	แรงดันด้านต่ำ (pisg)	อุณหภูมิภานในตู้ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)
200	60	30-34	38-40
250	**70**	**36-40**	**35-38**
300	80	42-46	32-36



ภาพที่ 28 แสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สภาวะแรงดันด้านสูงเท่ากับ 250 psi

7. ผลการประเมินสมรรถนะของเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความชื้น

จากการประเมินสมรรถนะของเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง โดยนำข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำที่ได้จากการดึงความชื้น มาใช้คำนวณตามสมการที่ 6-9 พบว่า มีค่าอัตราการลดความชื้น (MCR) เฉลี่ยเท่ากับ 4.09 kg_{water} /hr มีค่าอัตราการดึงความชื้น (SMCR) จำเพาะเท่ากับ 0.745 kg_{water} /kW มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) เฉลี่ยเท่ากับ 4.83 MJ/kg_{water} และมีค่าประสิทธิภาพของเครื่องลดความชื้น (COP_{dehu}) 2.91 ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพการลดความชื้นของเครื่องต้นแบบ

รายการประเมินประสิทธิภาพเครื่องลดความชื้น	ผลการประเมิน
1. อัตราการดึงความชื้น (Moisture Condensation Rate, MCR)	4.09 kg_{water} /hr
2. อัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (Specific Moisture Condensation Rate, SMCR)	0.745 kgwater /kW
3. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)	4.83 MJ/kg_{water}
4. ค่าประสิทธิภาพของเครื่องลดความชื้น (Dehumidification Efficiency)	2.91

ซึ่งจากผลการทดสอบดังกว่า ค่าอัตราการลดความชื้น (MCR) ของเครื่องต้นแบบอาจจะมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับผลการทดสอบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงซึ่งเป็นงานวิจัยของคุณสฤทธิ์พรและสัมพันธ์ (2548) ที่มีค่า (MCR) เฉลี่ยสูง 3.983 kg_{water}/hr เนื่องจากตู้อบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองนี้เป็นแบบระบบปิดและได้มีการดึงความชื้นออกจากเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองอยู่ตลอดเวลา แต่อย่างไรก็ตามต้องนำค่าความสิ้นเปลืองพลังงานไปวิเคราะห์ความค่าคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในขั้นตอนต่อไป เพื่อวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าในการตัดสินใจใช้งานเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

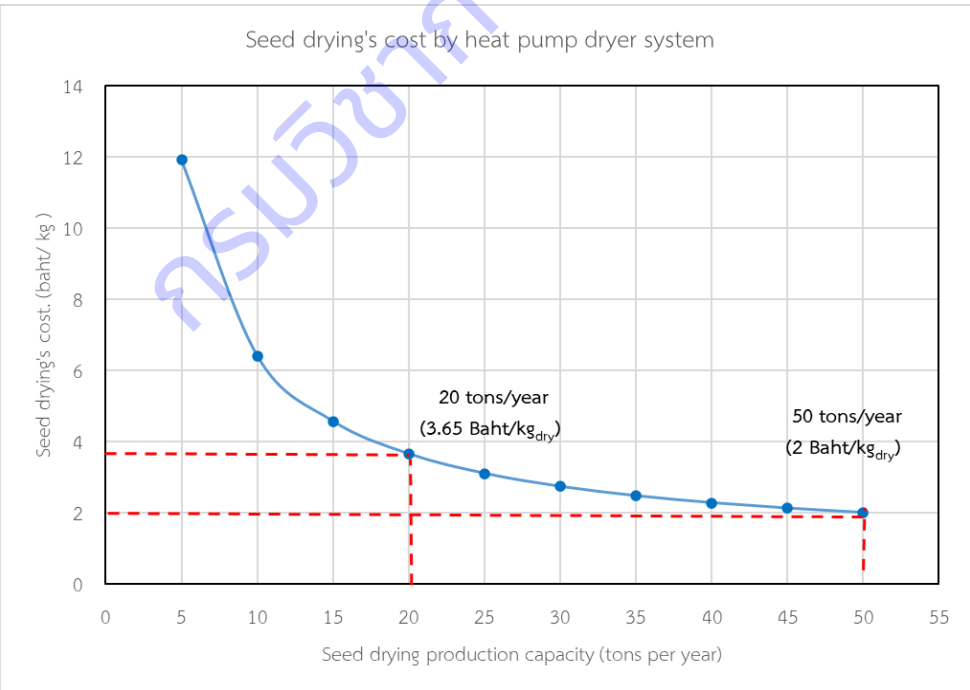
8. ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยตู้อบแบบปั๊มความร้อน เมื่อนำทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยสามารถแยกเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันดังนี้

1. ต้นทุนคงที่หมายถึงต้นทุนที่ตายตัวคือ ราคาของเครื่องจักรจะประกอบด้วย ระบบทำความเย็นสำหรับปั๊มความร้อน ผนังห้องเย็น ชุดควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการประกอบและติดตั้งเครื่องจักร ซึ่งราคาต้นทุนคงที่โดยรวมแล้วประมาณ 500,000 บาท และมีอายุการใช้งาน 10 ปี

2. ต้นทุนแปรผันหมายถึงต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการใช้งานคือ ค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าซ่อมบำรุงเพื่อดูแลรักษาเครื่องจักร ซึ่งต้นแบบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 9.87 หน่วย/ชั่วโมง คิดค่าไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 3.5 บาท/หน่วย ซึ่งสามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองได้ 250 กก./รอบ และใช้เวลารอบละ 6 ชั่วโมง คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.91 บาท/กก.แห้ง และค่าซ่อมบำรุงประจำปีเฉลี่ยประมาณ 5,000 บาท/ปี

เมื่อประเมินความคุ้มค่าและต้นทุนการการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยตู้อบแบบปั๊มความร้อนทั้งต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน เพื่อใช้ในการพิจารณาประกอบการตัดสินใจเลือกใช้งานตู้อบแบบปั๊มความร้อน พบว่า ที่กำลังการผลิต 20, 30, 40 และ 50 ตัน/ปี มีต้นทุนการใช้งานตู้อบแบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเท่ากับ 3.65, 2.73, 2.28 และ 2 บาท/กก.แห้ง ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 แสดงการวิเคราะห์ความคุ้มค่าการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยตู้อบแบบปั๊มความร้อน

กรมวิชาการเกษตร

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองในปริมาณ 250 กก./รอบ มีขนาด 1.8x2.5x2.3 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ใช้คอมเพรสเซอร์ขนาด 7 แรงม้า มีความสามารถในการทำความเย็น 16.5 kW โดยการตั้งค่าแรงดันน้ำยาด้านสูงของระบบปั๊มความร้อนให้อยู่ใยช่วง 250-270 psi สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 36-40 ℃ และ 35-38 %RH ตามลำดับ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง และจากผลการทดสอบประเมินสมรรถนะของเครื่องลดความชื้น โดยทำการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจำนวน 250 กก. จากความชื้นเริ่มต้น 18 %w.b. ให้ลดลงเหลือ 11 %w.b. โดยใช้ระยะเวลา 6-8 ชั่วโมง และจาการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อใช้ประกอบกาตัดสินใจลงทุนซื้อเครื่องจักรมาใช้งานพบว่า ที่กำลังการผลิต 20, 30, 40 และ 50 ตัน/ปี มีต้นทุนการใช้งานตู้อบแบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเฉลี่ยเท่ากับ 3.65, 2.73, 2.28 และ 2 บาท/กก.แห้ง ตามลำดับ จากผลการวิจัยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองนี้สามารถสร้างอุณหภูมิภายในห้องอบได้สูงสุด 46°C หากต้องการนำเครื่องต้นแบบนี้ไปใช้งานอบผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ต้องการอณหภูมิสูงกว่านี้จำเป็นต้องติดฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มเข้าไป เพื่อสร้างอุรหภูมิให้สูงขึ้นแต่ไม่ควรเกิน 60°C เนื่องจากจะทำให้การทำงานของระบบปั๊มความร้อน (คอมเพรสเซอร์) เกิดสภาวะโอเวอร์โหลดและอาจส่งผลให้ระบบการทำงานเกิดความเสียหายได้

กรมวิชาการเกษตร

กิจกรรมที่ 2

การศึกษาและทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจากการลดความชื้น ด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน

To study the effect of heat pump dryer system on soybean seed quality

ภภัสสร วัฒนกุลภาคิน, สุนทรีพร ศรีสมบุญ, พินิจ จิรัคคกุล, อานนท์ สายคำฟู,
วิชัย โอภานุกุล, สิทธิพงษ์ ศรีสว่างวงศ์, ธนพงค์ แสนจุ้ม,
เอกภาพ ป้านภูมิ และนิรุติ บุญญา

Paphatsorn Wattanakulpakin Srisawangwong , Suntreeporn Srisombun, Pinit Jirakkakul, Arnon Saicomfu, Wichai Opanukul, Sitthipong Tanapong, Sanchum, Akkaparp Panpoom and Nirut Bunya

กรมวิชาการเกษตร

คำสำคัญ (Key words)

วิธีการลดความชื้น, การแตกร้าวของเมล็ดพันธุ์, คุณภาพเมล็ดพันธุ์, ถั่วเหลือง
Drying methods, Seed cracking, Seed quality, Soybean

บทคัดย่อ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน เปรียบเทียบกับตู้อบลมร้อนและแสงอาทิตย์ (ชุดควบคุม) ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองความชื้นเริ่มต้นระหว่าง 16.93 – 19.58% มาลดความชื้นด้วยกรรมวิธีดังกล่าวข้างต้นให้อยู่ในช่วง 10.90 – 10.96% (w.b.) ผลการทดลองพบว่าการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน (Heat Pump Dryer : HP) และแสงอาทิตย์ (Sun drying) ใช้ระยะเวลา 5 ชั่วโมง โดยวิธี HP และแสงอาทิตย์ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 37.4-41.9°C และ 40.5-44.3°C ตามลำดับ ในขณะที่การลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven : HA) ต้องใช้ระยะเวลานานถึง 10 ชั่วโมง อาจเนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำกว่าเท่ากับ 37.0-40.1°C สำหรับความแตกร้าวของเมล็ดพันธุ์ภายหลังการลดความชื้นด้วยวิธี HA ให้ค่าต่ำที่สุดคือ 4% ในขณะที่ HP และแสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าและทั้งสองวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอยู่ในช่วง 8-11% การลดความชื้นด้วยวิธี HP ให้ค่าความงอกมาตรฐานสูงที่สุดเท่ากับ 56.0% รองลงมาคือวิธีแสงอาทิตย์และ HA เท่ากับ 51.0% และ 50.0% ตามลำดับ ส่วนความแข็งแรงซึ่งวิเคราะห์โดยความงอกภายหลังการเร่งอายุไม่แตกต่างกันทั้งสามกรรมวิธี จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผ่านการอบทั้งสามกรรมวิธีมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 เดือน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพของเมล็ดพันธุ์พบว่า ความชื้นของเมล็ดพันธุ์ค่อนข้างคงที่ทั้งสามกรรมวิธีตลอดระยะเวลาการเก็บรักษามีค่าระหว่าง 9.12 – 10.79% อย่างไรก็ตามภายหลังการเก็บรักษา 4 เดือนพบว่าความงอกและความงอกภายหลังการเร่งอายุของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ลดความชื้นด้วยวิธี HP มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือการลดความชื้นด้วย HA และแสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 42.8% และ 22.5%, 31.3% และ 16.5%, และ 31.0% และ 10.8% ตามลำดับ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าวิธีการลดความชื้นแบบ HP ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งภายหลังการลดความชื้นและในระหว่างการเก็บรักษาน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ ดังนั้นวิธีการลดความชื้นด้วย HP ที่อุณหภูมิระหว่าง 37.4-41.9°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จึงเป็นวิธีและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองให้อยู่ในระดับปลอดภัย และสามารถแนะนำเพื่อทดแทนการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ได้

กรมวิชาการเกษตร

Abstract

The suitable conditions of heat pump dryer compared to hot air oven and sun drying (control) on qualities of soybean seed cv. Chiangmai 60 were studied. The drying soybean seeds from initial moisture between 16.93 – 19.58% to final moisture of 10.90 –10.96% (w.b.) was conducted by three drying methods. The drying time of heat pump dryer (HP) and sun drying were 5 hours, and drying temperature in a range of 37.4-41.9°C for HP and 40.5-44.3°C for sun drying. However, the longer drying time for 10 h was found in hot air oven (HA) due to the lower drying temperature between 37.0-40.1°C. The lowest percent of seed cracking was 4% observed by HA method. The higher cracked seeds were found by HP and sundry methods. These two methods showed non-significant difference of seed cracking, and their amount in a range of 8 – 11%. The highest standard germination by 56.0% found in HP method, followed by sundry and HA methods that were 51.0% and 50.0% respectively. Moreover, seed vigour determined by accelerated aging test, did not significantly differ among drying methods. Dried soybean seeds, thereafter, were stored at room temperature for 4 months in order to investigate the changes of their qualities during storage. All drying methods did not affect to moisture content of dried seeds that mostly unchanged and showed between 9.12 – 10.79% during storage. After 4 months of storage, the highest standard germination and germination after accelerated aging of dried seeds were revealed in HP followed by HA and sundry methods that was 42.8% and 22.5%, 31.3% and 16.5%, and 31.0% and 10.8%, respectively. The research could be concluded that the HP method slightly affects to seed quality changes both after drying and during storage compared to other methods. Therefore, the HP at temperature between 37.4-41.9°C for 5 hours is suitable method and condition for soybean seed drying to desirable level and could introduce instead of sun drying.

กรมวิชาการเกษตร

บทนำ (Introduction)

เมล็ดพันธุ์ถือว่าเป็นปัจจัยการผลิตที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการเพาะปลูก ดังนั้นคุณภาพเมล็ดพันธุ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรงจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชชนิดต่างๆ การลดความชื้นเป็นหนึ่งในขั้นตอนการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ ภายหลังการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ต้องนำมาลดความชื้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการความชื้นมีผลโดยตรงต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ความชื้นสูงส่งผลให้อัตราการหายใจเมล็ดพันธุ์สูงขึ้นตาม เกิดความร้อนภายในกองเมล็ดพันธุ์ ส่งผลให้เชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์เจริญเติบโต เมล็ดพันธุ์จึงเกิดการเสื่อมสภาพในที่สุด (จวงจันทร์, 2521; วันชัย, 2537) ดังนั้นการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการที่เหมาะสมและรวดเร็วจะช่วยให้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพที่ดีและสามารถเก็บรักษาได้นาน การลดความชื้นหรือการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่จะหลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชโดยเริ่มจาก การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว จนมาถึงขั้นตอนการลดความชื้นหรือการอบแห้ง แล้วนำไปคัดแยกและทำความสะอาด และสุดท้ายคือการเก็บรักษาเพื่อรอจำหน่ายหรือนำไปเพาะปลูกในฤดูถัดไปได้ ซึ่งในขั้นตอนการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี เช่น การลดความชื้นด้วยวิธีตากแดด การใช้เครื่องลดความชื้นด้วยลมร้อนที่ใช้แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้า น้ำมัน แก๊ส น้ำมันเตา เป็นต้น เนื่องจากเมล็ดพันธุ์เมื่อเก็บเกี่ยวจากแปลงเพาะปลูกจะมีความชื้นสูงถึง 20-40 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งค่าความชื้นนี้จะขึ้นอยู่กับเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิด การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วด้วยวิธีการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ (sun drying) เป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำ จึงเป็นที่นิยมอยู่จนถึงปัจจุบันเนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นซึ่งมีแสงแดดเพียงพอต่อการลดความชื้น โดยทั่วไปการลดความชื้นด้วยวิธีดังกล่าวใช้เวลา 1-2 วัน ขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพันธุ์และปริมาณแสงแดดในช่วงเวลาที่ลดความชื้น เช่น การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่มีความชื้น 16-18% ใช้เวลา 1 วัน ในการลดความชื้นให้เหลือ 11-12% ถั่วเหลืองความชื้นเริ่มต้น 18-20% ใช้เวลา 2 วัน ในการลดความชื้นให้เหลือ 11-12% และถั่วลิสงความชื้นเริ่มต้น 18-20% ใช้เวลา 2 วัน ในการลดความชื้นให้เหลือ 9-11% นอกจากนี้จำเป็นต้องใช้แรงงานในการนำเมล็ดพันธุ์พืชตากแดด กลับกองและเก็บเมล็ดพันธุ์ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อเสียในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีแสงแดดน้อย มีฝนตก ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง จึงทำให้ไม่สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (12-14%) ได้ภายใน 1-2 วัน ส่งผลให้ขบวนการเมทาบอลิซึมของเมล็ดพันธุ์สูง เชื้อราเจริญเติบโต ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพ ความแข็งแรงต่ำ และอายุการเก็บรักษาสั้น (จวงจันทร์, 2521; วันชัย, 2537) ดังนั้นการลดความชื้นด้วยเครื่องอบลดความชื้น อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เพื่อช่วยให้เมล็ดพันธุ์ยังคงมีคุณภาพที่ดีและมีความแข็งแรงสูง ในช่วงฤดูฝนหรือในช่วงที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ อีกทั้งสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (climate changes) ในปัจจุบันที่ค่อนข้างแปรปรวนไม่เป็นไปตามฤดูกาล การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยเครื่องอบลดความชื้นจึงน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วและส่งผลให้การจัดการเมล็ดพันธุ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

เครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ที่ใช้กันส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ใช้ระบบการให้ความร้อนกับอากาศโดยไม่ได้มีการกำจัดความชื้นหรือมวลของน้ำที่มีอยู่ในอากาศออกก่อน แล้วนำอากาศที่มีความร้อนเป่าผ่านเมล็ดพันธุ์เพื่อให้เมล็ดพันธุ์ร้อนขึ้นและทำให้น้ำระเหยออกจากเมล็ดพันธุ์ อากาศร้อนนี้จะทำให้เมล็ดพันธุ์มีอัตราการหายใจสูงในระหว่างกระบวนการลดความชื้น ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เมล็ดพันธุ์บางส่วนสูญเสียคุณภาพในด้านของความงอกและความแข็งแรง ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ระบบปั๊มความร้อน (Heat Pump) โดยปรับสภาพอากาศให้อุณหภูมิที่เหมาะสมและความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำมากๆ เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งอากาศที่ใช้ในการลดความชื้นจากระบบนี้จะเป็นแบบลมแห้ง โดยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 35-43°C และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบ 20-35%RH ซึ่งจะทำให้ได้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพที่ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมี

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน เปรียบเทียบกับตู้อบลมร้อนและแสงอาทิตย์ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระหว่างการเก็บรักษา เพื่อเป็นทางเลือกในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองทดแทนการใช้แสงอาทิตย์

กรมวิชาการเกษตร

ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

กิจกรรมที่ 2 การศึกษาและทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจากการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน

การทดลองที่ 2.1 การศึกษาและทดสอบเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนต่อการลดความชื้นพันธุ์ถั่วเหลือง

สิ่งที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน
2. เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 (ความชื้นระหว่าง 15-20%)
3. อุปกรณ์สำหรับทดสอบความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์

แบบและวิธีการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ประกอบด้วย
กรรมวิธีที่ 1 ลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส
กรรมวิธีที่ 2 ลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส
กรรมวิธีที่ 3 ลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ (ชุดควบคุม)

วิธีปฏิบัติการทดลอง

1. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ความชื้น 15-20% วางลงในถาดของเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนและแบบเครื่องอบลมร้อน โดยแต่ละชั้นวางเมล็ดพันธุ์หนาประมาณ 5 เซนติเมตร จากนั้นลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ที่อุณหภูมิ 35-38 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเมล็ดพันธุ์มีความชื้นอยู่ระหว่าง 10-11%

2. บันทึกอุณหภูมิและตรวจสอบความชื้นเมล็ดพันธุ์ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ของแต่ละชั้น ชั้นละ 3 จุด และบันทึกระยะเวลาที่ลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เหลือ 10-11% w.b.

3. ตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ภายหลังการลดความชื้น ดังนี้ ความแตกร้าว ความชื้น ความงอกมาตรฐาน และความงอกภายหลังการเร่งอายุ

4. ทดสอบหาค่าความชื้น (moisture test) โดยนำเมล็ดพันธุ์มาบดหยาบด้วยเครื่องบด ชั่งน้ำหนัก 4.5±0.5 กรัมต่อซ้ำ อบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 17 ชั่วโมง นำไปไว้ในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที คำนวณน้ำหนักที่หายไป รายงานผลเป็นร้อยละ (ISTA, 2018)

5. ทดสอบหาความงอกมาตรฐาน (standard germination) ทำการเพาะเมล็ดในทรายทดสอบ จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 100 เมล็ด เก็บไว้ในห้องเพาะความงอกอุณหภูมิสลับ 20-30 องศาเซลเซียส ประเมินความงอกที่อายุ 8 วัน (ISTA, 2018)

6. การเร่งอายุ (accelerated aging test) โดยนำเมล็ดไปเร่งอายุที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98±2 เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (Hampton and Tekrony, 1995) จำนวน 100 เมล็ดต่อซ้ำ เมื่อครบกำหนด นำเมล็ดไปเพาะความงอกตามวิธีการทดสอบความงอกมาตรฐาน

7. ทดสอบความแตกร้าว ทดสอบด้วยวิธีอินดอกซิล อะซิเตท (Indoxyl acetate test) โดยการสุ่มเมล็ดพันธุ์จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 100 เมล็ด แช่ในสารละลายอินดอกซิล อะซีเตท ความเข้มข้น 0.1% (ชั่งอินดอกซิล อะซิเตท 1 กรัม ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) 10%; เอทิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร

900 มิลลิลิตร) เป็นเวลา 5-10 วินาที เทสารละลายออก ผึ่งให้แห้งด้วยกระดาษเพาะหรือกระดาษซับ 4-5 นาที ที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเมล็ดที่ผึ่งแล้วใส่ขวดแก้ว (ขวดแก้วหรือภาชนะที่เป็นแก้วพร้อมฝาปิด) นำสำลีชุบแอมโมนียให้ชุ่ม ใส่ลงในขวดแก้ว โดยไม่ให้สำลีสัมผัสกับเมล็ดพันธุ์โดยตรง ปิดฝาให้สนิท แอมโมเนียจะทำปฏิกิริยากับอินดอกซิลอะซีเตท ที่เข้าไปสู่รอยแตกร้าวของเมล็ดพันธุ์ รอยแตกร้าวจะปรากฏสีน้ำเงินเขียว หรือน้ำเงินม่วง บันทึกจำนวนเมล็ดที่ติดสี

8. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ analysis of variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncun's Multiple Range Test

การบันทึกข้อมูล

1. ความชื้น (moisture test)
2. ความงอกมาตรฐาน (standard germination)
3. การเร่งอายุ (accelerated aging test)
4. ความแตกร้าว

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาผลของเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนและแบบเครื่องอบลมร้อนต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองในระหว่างการเก็บรักษา

แบบและวิธีการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ประกอบด้วย

กรรมวิธีที่ 1 สภาวะการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน

กรรมวิธีที่ 2 สภาวะการลดความชื้นเครื่องอบแบบลมร้อน

กรรมวิธีที่ 3 ลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ (ชุดควบคุม)

วิธีปฏิบัติการทดลอง

1. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ความชื้น 15-20% นำลดความชื้นตามสภาวะที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 1 จนกระทั่งเมล็ดพันธุ์มีความชื้นอยู่ระหว่าง 10-11%

2. บันทึกอุณหภูมิและตรวจสอบความชื้นเมล็ดพันธุ์ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ของแต่ละชั้น ชั้นละ 3 จุด และบันทึกระยะเวลาที่ลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เหลือ 10-11%

3. จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ภายหลังการลดความชื้นมาบรรจุใส่ถุงโพลีเอทิลีน จำนวน 1 กิโลกรัมต่อถุง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน

4. ตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ก่อนและระหว่างการเก็บรักษาทุกๆ 1 เดือน เป็นเวลา 4-6 เดือน ดังนี้ ความแตกร้าว (ทดสอบภายหลังการลดความชื้น) ความชื้น ความงอกมาตรฐาน และความงอกภายหลังการเร่งอายุ

5. ทดสอบหาความงอกมาตรฐาน (standard germination) ทำการเพาะเมล็ดในทรายทดสอบ จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 100 เมล็ด เก็บไว้ในห้องเพาะความงอกอุณหภูมิสลับ 20-30 องศาเซลเซียส ประเมินความงอกที่อายุ 8 วัน (ISTA, 2018)

6. การเร่งอายุ (accelerated aging test) โดยนำเมล็ดไปเร่งอายุที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98±2 เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (Hampton and Tekrony, 1995) จำนวน 100 เมล็ดต่อซ้ำ เมื่อครบกำหนด นำเมล็ดไปเพาะความงอกตามวิธีการทดสอบความงอกมาตรฐาน

กรมวิชาการเกษตร

7. ทดสอบความแตกร้าว ทดสอบด้วยวิธีอินดอกซิล อะซิเตท (Indoxyl acetate test) โดยการสุ่มเมล็ดพันธุ์จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 100 เมล็ด แช่ในสารละลายอินดอกซิล อะซีเตท ความเข้มข้น 0.1% (ชั่งอินดอกซิล อะซิเตท 1 กรัม ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) 10%; เอทิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 900 มิลลิลิตร) เป็นเวลา 5-10 วินาที เทสารละลายออก ผึ่งให้แห้งด้วยกระดาษเพาะหรือกระดาษซับ 4-5 นาที ที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเมล็ดที่ผึ่งแล้วใส่ขวดแก้ว (ขวดแก้วหรือภาชนะที่เป็นแก้วพร้อมฝาปิด) นำสำลีชุบแอมโมนียให้ชุ่ม ใส่ลงในขวดแก้ว โดยไม่ให้สำลีสัมผัสกับเมล็ดพันธุ์โดยตรง ปิดฝาให้สนิท แอมโมเนียจะทำปฏิกิริยากับอินดอกซิลอะซีเตท ที่เข้าไปสู่รอยแตกร้าวของเมล็ดพันธุ์ รอยแตกร้าวจะปรากฏสีน้ำเงินเขียว หรือน้ำเงินม่วง บันทึกจำนวนเมล็ดที่ติดสี

8. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ analysis of variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncun’s Multiple Range Test

การบันทึกข้อมูล

1. อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของตู้ลดความชื้น
2. การใช้ไฟฟ้าเพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานงานของระบบปั๊มความร้อน
3. อัตราการดึงความชื้น (Moisture Condensation Rate, MCR)
4. อัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (Specific Moisture Condensation Rate, SMCR)
5. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)
6. ค่าประสิทธิภาพของเครื่องลดความชื้น (Dehumidification Efficiency)

ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินงาน

ระยะเวลา เริ่มต้น ปีงบประมาณ 2564 สิ้นสุด ปีงบประมาณ 2564

สถานที่ดำเนินงาน

ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก
ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น
ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

กรมวิชาการเกษตร

ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and Discussion)

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เปรียบเทียบกับเครื่องอบลมร้อนและการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ โดยดำเนินการ ณ สถาบันเกษตรวิศวกรรม และศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก ทำการสุ่มเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ช่วงปลายฤดูฝนปี 2563 เพาะปลูกช่วงกรกฎาคม - สิงหาคม 2563 ณ แปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ตำบลศรีษะเกศ อำเภอนาน้อย จังหวัดน่าน เก็บเกี่ยวระหว่างตุลาคม - พฤศจิกายน 2563 ค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองภายหลังการเก็บเกี่ยวอยู่ระหว่าง 16.93-19.58% จากนั้นดำเนินการแบ่งตัวอย่างเพื่อลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในช่วง 10-11% ด้วยเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน (Heat Pump Dryer; HP) เครื่องอบลมร้อน (Hot Air Oven; HA) และแสงอาทิตย์ (Sun drying) เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองพบว่า การลดความชื้นด้วย HP ใช้ระยะเวลา 5 ชั่วโมง ในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์จาก 16.93% เป็น 10.90% โดยอุณหภูมิขณะลดความชื้นมีค่าระหว่าง 37.4-41.9°C สำหรับการลดความชื้นด้วย HA ใช้ระยะเวลา 10 ชั่วโมง ในการลดความชื้นจาก 17.55% เป็น 10.96% อุณหภูมิการลดความชื้นอยู่ระหว่าง 37.0-40.1°C ในขณะที่การลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ใช้ระยะเวลา 5 ชั่วโมง เท่ากับวิธี HP สำหรับลดความชื้นจาก 19.58% เป็น 10.91% โดยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 40.5-44.3°C (ตารางที่ 1 และตารางภาคผนวก ก) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการลดความชื้นด้วยลมแห้งอุณหภูมิเฉลี่ย 28.33°C และความชื้นสัมพัทธ์ 24% สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจาก 22.6% เหลือ 11.9% ในเวลา 16 ชั่วโมง 32 นาที โดยสภาวะดังกล่าวไม่มีผลต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ (Krzyzanowski *et al*., 2006) อย่างไรก็ตามจากการทดลองนี้พบว่าการลดความชื้นด้วยวิธี HP ทำให้เมล็ดพันธุ์แตกร้าวสูงที่สุดเท่ากับ 11% แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ที่มีความแตกร้าวเท่ากับ 8% อย่างไรก็ตามการลดความชื้นด้วยวิธี HA มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 4% การลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์เป็นการลดความชื้นในระบบเปิดจึงไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ระยะเวลาการลดความชื้นจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ณ ช่วงเวลาที่ปฏิบัติงาน ซึ่งอุณหภูมิในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองไม่ควรเกิน 43°C (Ashrae, 1999) นอกจากนี้มีการรายงานว่าการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองควรอยู่ในช่วง 38-41°C จึงจะไม่ส่งผลกระทบต่อความแตกร้าวและความงอกของเมล็ดพันธุ์ (White *et al*., 1976) และการลดความชื้นที่อุณหภูมิช่วง 30 – 40°C ไม่พบผลกระทบต่อความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (Potts *et al.,* 1978) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมจึงเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อความแตกร้าวของเมล็ดพันธุ์ภายหลังการลดความชื้น แต่อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น อัตราการไหลเวียนของอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายในเครื่องอบ (Boyd, 1974; Brooker et al., 1974) เป็นต้น สำหรับความงอกมาตรฐานของวิธี HP เท่ากับ 56% ไม่แตกต่างทางสถิติจากการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ และพบว่าการลดความชื้นด้วย HA มีความงอกต่ำที่สุด อย่างไรทุกกรรมวิธีไม่มีผลทำให้ค่าความงอกภายหลังการเร่งอายุแตกต่างกัน (ตารางที่ 2) ดังนั้นการลดความชื้นด้วย HP ที่อุณหภูมิระหว่าง 37.4-41.9°C ระยะเวลา 5 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์ได้คือไม่เกิน 11% และไม่ส่งผลกระทบต่อความงอกมาตรฐานภายหลังการลดความชื้น วิธีการดังกล่าวอาจทดแทนวิธีการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ได้ แต่อย่างไรก็ตามควรศึกษาร่วมกับผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองในแต่ละกรรมวิธีระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากความเสียหายของเมล็ดพันธุ์อาจไม่แสดงทันทีภายหลังการลดความชื้น (วันชัย, 2542)

จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ลดความชื้นทั้งสามกรรมวิธีมาเก็บรักษาโดยบรรจุถุงซิป และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20-22°C ความชื้นสัมพัทธ์ 60-65% เป็นเวลา 4 เดือน พบว่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ที่ลดความชื้นด้วยวิธี HP, HA และแสงอาทิตย์ก่อนเก็บรักษา (เดือนที่ 0) มีค่า 9.12%, 9.70% และ 10.31 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ซึ่งพบว่าวิธีการลดความชื้นมีผลต่อความแตกต่างทางสถิติของความชื้น โดยค่าเฉลี่ยความชื้นของวิธี HP มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 9.24% รองลงมาคือ HA และแสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 9.67% และ 10.39% ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อความชื้น ซึ่งพบว่าความชื้นของเมล็ดพันธุ์ในทุกกรรมวิธีค่อนข้างคงที่ (ตารางที่ 3) สำหรับเปอร์เซ็นต์ความงอกมาตรฐานภายหลังการลดความชื้นก่อนการเก็บรักษาพบว่าการลดความชื้นด้วย HP มีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงที่สุดเท่ากับ 56% สำหรับความงอกของ HA และแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 50% และ 51% ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของความงอกแต่ละกรรมวิธีมีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ ในเดือนที่ 4 ของการเก็บรักษา ความงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ลดความชื้นด้วยวิธี HP มีค่าเท่ากับ 42.8% ซึ่งมีค่าสูงกว่าการลดความชื้นด้วย HA และแสงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญมีค่าเท่ากับ 31.3% และ 31.0% ตามลำดับ สอดคล้องกับผลวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าวิธีการลดความชื้นส่งผลต่อความงอกอย่างมีนัยสำคัญโดยพบว่าค่าเฉลี่ยของวิธี HP ให้ค่าความอกสูงที่สุด รองลงมาคือ HA และแสงอาทิตย์ ในทำนองเดียวกันระยะเวลาการเก็บรักษาทำให้ความงอกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากค่าเฉลี่ยเริ่มต้น 52.3% เหลือ 35.0% ในเดือนที่ 4 ของการเก็บรักษา (ตารางที่ 5) นอกจากนี้ ความแข็งแรงเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่วิเคราะห์โดยค่าความงอกภายหลังการเร่งอายุ มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน โดยทั้งปัจจัยวิธีการลดความชื้น และระยะเวลาการเก็บรักษาส่งผลต่อการลดลงของความแข็งแรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยความงอกภายหลังการเร่งอายุเริ่มต้นเท่ากับ 22.9% และลดลงเหลือ 16.6% ในเดือนที่ 4 ส่วนวิธีการลดความชื้นพบว่า วิธี HP ยังคงให้ค่าความแข็งแรงสูงที่สุดคือ 22.4% แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วย HA และแสงอาทิตย์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 17% และ 13% ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ความงอกและความแข็งแรงในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ลดความชื้นด้วยวิธี HP มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาช้ากว่าวิธีการลดความชื้นอื่นๆ แม้ว่าอุณหภูมิในการลดความชื้นสูงสุดเท่ากับ 41.9°C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 39.7°C แต่อาจเนื่องจากอัตราการไหลเวียนของอากาศภายในตู้อบลดความชื้นมีความสม่ำเสมอมากกว่าวิธีการอื่นๆ ซึ่งมีค่าประมาณ 1,800 ลบ.ม./ชั่วโมง หรือ 0.5 ลบ.ม./วินาที ในขณะที่อุณหภูมิสูงสุดของการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงสุดและเฉลี่ยเท่ากับ 44.3°C และ 42.4°C ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าวิธีการลดความชื้นแบบ HP จึงทำให้ความงอกและความแข็งแรงลดลงในระหว่างการเก็บรักษาเร็วกว่า โดยทั่วไปเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสามารถทนต่ออุณหภูมิการลดความชื้นได้สูงสุดที่ 43°C (Ashrae, 1999) อย่างไรก็ตามแม้ว่าอุณหภูมิการลดความชื้นด้วย HA จะไม่เกินอุณหภูมิสูงสุดสำหรับการลดความชื้นในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดและเฉลี่ยเท่ากับ 40.1°C และ 38.6°C ต่ำกว่าวิธี HP และแสงอาทิตย์จึงพบการแตกร้าวน้อยที่สุด แต่พบว่าความงอกมาตรฐานและความแข็งแรงต่ำกว่าวิธี HP อาจเป็นไปได้ว่าการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์มิได้เกิดจากการแตกร้าวของเมล็ดพันธุ์แต่มีผลจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ความหนาแน่นและอัตราการไหลของอากาศในขณะลดความชื้น หากไม่เหมาะสมจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ (วันชัย, 2542) ส่วนสาเหตุการเสื่อมสภาพที่สำคัญของเมล็ดพันธุ์ที่ลดความชื้นด้วย HA อาจเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงในขบวนการทางชีวเคมีระหว่างการลดความชื้นเนื่องจากเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองมีองค์ประกอบของน้ำมันสูง และวิธีการลดความชื้นด้วย HA ใช้ระยะเวลานานถึง 10 ชั่วโมง ปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (Lipid peroxidation) อาจถูกกระตุ้นให้เกิดขึ้นโดยไขมันถูกออกซิไดส์เป็นกรดไขมันอิสระ ทำให้เกิดการสะสมของสารกลุ่มแอลดีไฮน์ คีโตน หรือแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นพิษต่อเซลล์ ส่งผลให้เซลล์เมมเบรนเสียหาย ความงอกและความแข็งแรงจึงลดลง (Sung and Chiu, 1995; Azadi and Younesi, 2013) สำหรับการลดลงของความงอกและความแข็งแรงในเมล็ดพันธุ์ที่ลดความชื้นด้วย

แสงอาทิตย์เกิดจากความแตกร้าวเป็นหลักเนื่องจากอุณหภูมิสูงสุดในการลดความชื้นเกินจุดที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองคือ 43°C (Ashrae, 1999) จึงทำให้เกิดการแตกร้าวและเสียหายภายในเมล็ดพันธุ์

ตารางที่ 1 อุณหภูมิและระยะเวลาในการลดความชื้น และความชื้นก่อนและหลังลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน ตู้อบลมร้อน และแสงอาทิตย์

Drying Method	Drying Temperature (°C)	Drying Time (hours)	MC before Drying (%)	MC after Drying (%)
Heat Pump Dryer	37.4-41.9	5	16.93	10.90
Hot Air Oven	37.0-40.1	10	17.55	10.96
Sundry	40.5-44.3	5	19.58	10.91

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์การแตกร้าว ความชื้น ความงอกมาตรฐาน และความงอกภายหลังการเร่งอายุของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ภายหลังการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน ตู้อบลมร้อน และแสงอาทิตย์

Drying Method	Cracked seed (%)	Moisture Content (%)	Standard Germination (%)	Germination after accelerated aging (%)
Heat Pump Dryer	11a	9.12c	56.0a	24.5
Hot Air Oven	4b	9.69b	50.0b	22.5
Sundry	8ab	10.31a	51.0ab	21.8
CV (%)	35.9	1.49	13.35	22.92
F-test	*	**	*	ns

หมายเหตุ; ในแนวเดียวกันค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ภายหลังการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน ตู้อบลมร้อน และแสงอาทิตย์ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 เดือน

Drying	% Moisture during storage (months) (M)					
Methods (D)	0	1	2	3	4	Mean D
Heat Pump	9.12cC	9.30cAB	9.26cB	9.37cA	9.16cC	9.24c
Hot Air Oven	9.69bAB	9.63bBC	9.71bAB	9.76bA	9.58bC	9.67b
Sundry	10.31aB	10.34aB	10.79aA	10.29aBC	10.21aC	10.39a
Mean M	9.71	9.76	9.92	9.80	9.65	**9.77**
CV (%)	Months (M)	5.43				
	Drying (D)	1.49				
F-test	Months (M)	ns				
	Drying (D)	**				
	D x M	**				

หมายเหตุ; ในแนวเดียวกันค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์ความงอกมาตรฐานของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ภายหลังการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน ตู้อบลมร้อน และแสงอาทิตย์ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 เดือน

Drying	% Standard Germination during storage (months) (M)					
Methods (D)	0	1	2	3	4	Mean D
Heat Pump	56.0aA	41.8B	41.0B	42.3B	42.8aB	44.8a
Hot Air Oven	50.0bA	40.5B	42.5B	36.3BC	31.3bC	40.1b
Sundry	51.0abA	42.3B	41.5B	32.8C	31.0bC	39.7b
Mean M	52.3A	41.5B	41.7B	37.1C	35.0C	**41.5**
CV (%)	Months (M)	9.59				
	Drying (D)	13.35				
F-test	Months (M)	**				
	Drying (D)	*				
	D x M	ns				

หมายเหตุ; ในแนวเดียวกันค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ศรีปทุมการเกษตร

ตารางที่ 5 เปอร์เซ็นต์ความงอกภายหลังการเร่งอายุของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ภายหลังการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน ตู้อบลมร้อน และแสงอาทิตย์ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 เดือน

Drying	% Germination after Accelerated aging during storage (months) (M)					
						Mean
Methods (D)	0	1	2	3	4	D
Heat Pump	24.5	19.5a	25.8a	19.5a	22.5a	22.4a
Hot Air Oven	22.5	15.5ab	15.8b	14.8b	16.5b	17.0b
Sundry	21.8A	11.8bB	11.8bB	9.0cB	10.8cB	13.0c
Mean M	22.9A	15.6BC	17.8B	14.4C	16.6BC	**17.5**
CV (%)	Months (M)	18.44				
	Drying (D)	22.61				
F-test	Months (M)	**				
	Drying (D)	**				
	D x M	ns				

หมายเหตุ; ในแนวเดียวกันค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

กรมวิชาการเกษตร

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

วิธีการลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายหลังการลดความชื้นและในระหว่างการเก็บรักษาน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนและแสงอาทิตย์ ดังนั้นวิธีการลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 37.4-41.9°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จึงเป็นวิธีและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองให้อยู่ในระดับปลอดภัย และสามารถแนะนำเพื่อทดแทนการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ได้

กรมวิชาการเกษตร

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองในปริมาณ 250 กก./รอบ มีขนาด 1.8x2.5x2.3 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง) สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 36-42 °C และ 35-38 %RH ตามลำดับ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง จากผลการทดสอบประเมินสมรรถนะของเครื่องลดความชื้น โดยวิธีการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจากความชื้นเริ่มต้น 18 % ให้ลดลงเหลือ 11 % ด้วยเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายหลังการลดความชื้นและในระหว่างการเก็บรักษาน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนและแสงอาทิตย์ ดังนั้นวิธีการลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 37.4-41.9°C เป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง จึงเป็นวิธีและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองให้อยู่ในระดับปลอดภัย และสามารถแนะนำเพื่อทดแทนการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ได้ และจากการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อใช้ประกอบกาตัดสินใจลงทุนซื้อเครื่องจักรมาใช้งานพบว่า ที่กำลังการผลิต 20, 30, 40 และ 50 ตัน/ปี มีต้นทุนการใช้งานตู้อบแบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเฉลี่ยเท่ากับ 3.65, 2.73, 2.28 และ 2 บาท/กก.แห้ง ตามลำดับ

จากผลการวิจัยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองนี้ สามารถสร้างอุณหภูมิภายในห้องอบได้สูงสุด 46°C หากต้องการนำเครื่องต้นแบบนี้ไปใช้งานอบแห้งหรือลดความชื้ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ต้องการอณหภูมิสูงกว่านี้จำเป็นต้องติดฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มเข้าไป เพื่อสร้างอุรหภูมิให้สูงขึ้นแต่ไม่ควรเกิน 60°C เนื่องจากจะทำให้การทำงานของระบบปั๊มความร้อน (คอมเพรสเซอร์) เกิดสภาวะเกินกำลัง (Over load) ซึ่งอาจส่งผลให้ระบบการทำงานเกิดความเสียหายได้

กรมวิชาการเกษตร

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2552. เทคโนลียีการใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน.

กรมวิชาการเกษตร. 2547. เอกสารวิชาการ “การปลูกพืชไร่”. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและหกรณ์. กรุงเทพ. 332 หน้า

กองเกษตรวิศวกรรม. 2543. หลักการและส่วนประกอบที่สาคัญของการลดความชื้นของเมล็ดพืช. *กรมวิชาการเกษตร.* ปีที่ 12. (ฉบับที่ 2): เมษายน-มิถุนายน 2543.

กิตติคุณ ปิตุพรหมพันธุ์, ณัฐพล ภูมิสะอาด และ บละมุล วิเศษ. 2013. การอบแป้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกโดยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน. J Sci Technol MSU. 32(5): 622-625.

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

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2521. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุฑาศินี พรพุทธศรี และ ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์**.** 2555**.** การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งเมล็ดพันธุ์ผักโดยใช้ปั๊มความร้อน. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, 4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่, น. 566 - 570.

บุญมี ศิริ, เบญจมาภรณ์ สุทธิ และ โสภณ วงศ์แก้ว. 2546. การลดความชื้นและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง, ว. วิทยาศาสตรเกษตร, ปีที่ 34 ฉบับที่ 4-6 (พิ เศษ) : 187-189.

เบญจมาภรณ์ สุทธิ. 2543. อิทธิพลของวิธีการลดความชื้นและการเก็บรักษาต่อคุณภาพและอายุเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2543. 62 หน้า.*พ.ศ. 2558-2567*. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค), สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี. 105 หน้า

พิรสิทธิ์ ทวยนาค มณฑล ชูโชนาค มุสตาฟา ยะภา และประชา บุณยวานิชกุล. 2557. การทบทวนพัฒนาการของการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรม. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.* ปีที่ 9 ฉบับที่ 1, หน้า 68-74.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2537. สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2542. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์พืชไร่. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2559. *แผนแม่บทยุทธศาสตร์การเป็นศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์*

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. *ปริมาณและมูลค่าการส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชควบคุมเพื่อการค้าปี 2553-2559*. แหล่งข้อมูล:http://www.oae.go.th/download/FactorOfProduct/ValueExportSeed47-52.html เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2560.

กรมวิชาการเกษตร

บรรณานุกรม (ต่อ)

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). 1998. ASHRAE Fundamentals Handbook (SI unit). Chapter 6 Psychrometric chart.

Ashrae (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). 1999. HVAC Applications Handbook. American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers.

Azadi M.S. and Younesi E. 2013. The effects of storage on germination characteristics and enzyme activity of sorghum seeds. J. Stress. Physiol. Biochem 9(4): 289-298.

Boyd, A.H. 1974. Heated air drying of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seed. Dissertation (Doctor of Philosophy) Faculty of Mississippi State University, Mississippi State.

Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema and C.W. Hall. 1974. Drying cereal grains. Westport: AVI. 265p.

Hampton, J.G. and D.M. TeKrony. 1995. Handbook of vigour test methods, 3rd Edition, The International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland.

ISTA. 2018. International rules for seed testing. International Seed Testing Association. Bassesdorf, Switzerland.

Krzyzanowski, F.C., S.H. West and J.B. Franaca Neto. 2006. Drying soybean seed using air ambient temperature at low relative humidity. Revista Brasileira de Sementes, 28(2): 77-83.

Potts, H.C., J. Duangpatra, W.G. Hairston and J.C. Delouche. 1978. Some influences of hard seededness on soybean seed quality. Crop Science, Madison. 18(2): 221-224.

Soponronnarit, S., Wetchacama, S. and Kanphukdee, T. 2000. Seed drying using heat pump. International Energy Journal. 1(2): 97-102.

Sung J.M. and C.C. Chiu. 1995. Lipid peroxidation and peroxide-scavenging enzymes of naturally aged soybean seed. Plant. Sci, 110(1), 45-52.

trueHVAC.com. (2013). The complete simple version of how heat pumps work, (online), Available: http://www.truehvac.com/php/how-heat-pumps-work.php. Accessed on 2 July 2013

White, G.M. O.J. Loewer, I.J. Ross, D.B Egli. 1976. Storage characteristics of soybean dried with heated air. Transaction of the ASAE, [S.l.]. 19: 306-310.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางบันทึกผลการทดลอง

กรมวิชาการเกษตร

ตารางภาคผนวก 1 ระยะเวลาและอุณหภูมิในการลดความชื้น และความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ขณะลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน ตู้อบลมร้อน และแสงอาทิตย์

Drying time	Heat Pump Dryer		Hot Air Oven		Sun drying	
(hours)	Temp. (°C)	%MC	Temp. (°C)	%MC	Temp. (°C)	%MC
0	37.4	16.93	37.0	17.55	40.5	19.58
1	40.8	14.0	37.3	17.39	42.3	18.17
2	41.9	13.0	39.8	17.14	43.5	16.76
3	40.5	11.9	40.4	15.78	44.3	14.76
4	41.2	11.5	40.1	14.42	42.1	12.45
5	40.7	10.9	39.9	13.90	40.8	10.91
6	41.6	10.5	40.0	13.37		
7			40.1	12.69		
8			39.8	12.02		
9			39.9	11.49		
10			39.6	10.96		

หมายเหตุ; ความหนาของเมล็ดพันธุ์ในขณะลดความชื้นไม่เกิน 2.5 ซม.
อัตราการไหลของอากาศด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนประมาณ 1,800 ลบ.ม./ชั่วโมง หรือ 0.5 ลบ.ม./วินาที

กรมวิชาการเกษตร

ภาคผนวก ข

ภาพการทดลอง

กรมวิชาการเกษตร

ภาพผนวกที่ 1 การเตรียมเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองก่อนการลดความชื้น ณ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ

ภาพผนวกที่ 2 ตำแหน่งตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสำหรับการตรวจสอบความชื้น ในเครื่องอบลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน ณ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ

เครื่องบันทึกอุณหภูมิในตู้อบขณะลดความชื้น

ภาพผนวกที่ 3 การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยตู้อบลมร้อน ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก

ภาพผนวกที่ 4 การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยแสงอาทิตย์ ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก

กองบริการการศึกษา

ภาคผนวก ค

ภาพต้นแบบเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน

กรมวิชาการเกษตร

ภาพผนวกที่ 5 ต้นแบบเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน (ด้านหน้า)

ภาพผนวกที่ 6 ต้นแบบเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน (ด้านหลัง)

กรมวิชาการเกษตร