การเพาะข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกด้วยระบบเพาะข้าวกล้องอัตโนมัติร่วมกับระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

A Producing the Germinated Brown Rice (Rice-Berry) by using an Automatic Process and Hot Water from Solar Collector System

ชวโรจน์ ใจสิน[1] และนักรบ กลัดกลีบ[1]

Received: July, 2015; Accepted: August, 2015

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการผลิตข้าวกล้องงอกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ด้วยระบบการเพาะอัตโนมัติร่วมกับการใช้น้ำร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถช่วยลดระยะเวลาในการเพาะข้าวกล้องและภาระค่าไฟฟ้าได้ กระบวนการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การทดสอบการเพาะข้าวกล้องด้วยวิธีแบบดั้งเดิม การทดสอบการเพาะข้าวกล้องด้วยระบบเพาะอัตโนมัติ การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวกล้อง

กระบวนการทำงานของระบบเริ่มต้น รับน้ำร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 50°C เพื่อนำมาผสมกับน้ำอุณหภูมิปกติในถังเพาะข้าวกล้องให้ได้อุณหภูมิประมาณ 40°C จากนั้นนำข้าวกล้องบรรจุลงถาดเพาะข้าวกล้อง แช่น้ำอุ่นในถังเพาะข้าวกล้อง เป็นระยะเวลาตามกำหนด โดยมีวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำ อุณหภูมิ และเวลาให้อยู่ในระดับที่ตั้งไว้ เมื่อครบกำหนดระบบจะระบายน้ำทิ้งและเข้าสู่กระบวนการหมักข้าว จนกระทั่งครบตามเวลาที่กำหนดไว้

ผลการทดลองพบว่า กระบวนการเพาะข้าวกล้องด้วยระบบเพาะอัตโนมัติให้เปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวกล้องที่ 90.51% ซึ่งใกล้เคียงกับกระบวนการเพาะด้วยวิธีดั้งเดิม แต่เวลาแช่ข้าวและหมักข้าวใช้เวลารวมกัน 24 ชั่วโมง ซึ่งสั้นกว่ากระบวนการเพาะแบบดั้งเดิมถึงหนึ่งเท่าตัว ขณะที่เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องที่ไม่งอกประมาณ 4% ในส่วนของการลดการใช้พลังงานจากไฟฟ้า ระบบผลิตน้ำร้อนสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 233 kWh ต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 0.56 ปี

คำสำคัญ : ระบบเพาะข้าวกล้องอัตโนมัติ; ข้าวกล้องงอก; น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

[1] *วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้*
E - mail : njaisin@hotmail.com

Abstract

The purpose of this research is to test a producing the Germinated Brown Rice (GBR) by using an automatic process worked with a hot water from solar collector system. This system not only decreases a process time, but also can decreases an electricity usage. The experiments comprise of experiment of traditional producing the GBR, experiment of automatic producing the GBR and percentage analysis of the GBR.

Hot water above 50°C of solar collector system is fed to a process tank and mixed with cool water to maintain the temperature around 40°C. The Brown Rice (BR) are contained on the container and placed in the process tank. The BR is soaked by programmable time. The mixed water is let out of the process tank when finish time while the BR are left in process tank to ferment by programmable time. On the process tank, a microcontroller controls soaking time, soaking temperature, water level and fermentation time are involved.

The experimental results show that the percentage of GBR which produced by automatic system as 90.51%, closely with the percentage of GBR of traditional method but process time, soaking time and ferment time, is shorter than a half. In part of the BR that can not germinate less than 4%. Finally, energy consumption saves 233 kWh/year and payback period as 0.56 year.

Keywords: Automatic Producing the Germinated Brown Rice; Germinated Brown Rice; Solar Collector

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่อุดมสมบูรณ์ด้านการเกษตรโดยเฉพาะข้าว ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศ และมีการส่งออกข้าวเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก ปัจจุบันไทยมีคู่แข่งที่สำคัญในการค้าข้าวเพิ่มขึ้น เช่น ประเทศเวียดนาม ทำให้มูลค่าทางการตลาดของข้าวไทยเริ่มลดลง เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าสินค้า จึงต้องมีกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ขึ้นมาใหม่ ประกอบกับคนเริ่มสนใจเรื่องของสุขภาพมากขึ้น แต่การบริโภคข้าวของคนไทยส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวขาว ซึ่งข้าวขาวจะผ่านกระบวนการขัดขาวทำให้เยื่อหุ้มเมล็ดและจมูกข้าวหายไป ในเยื่อหุ้มเมล็ดและจมูกข้าวมีสารอาหารที่สำคัญและเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย อาทิเช่น วิตามินบี1 บี2 ไนอาซิน และเกลือแร่ต่าง ๆ (Rice Department of Thailand, 2009) ซึ่งช่วยป้องกันโรคเหน็บชา ปากนกกระจอก โลหิตจาง จึงมีผู้ริเริ่มนำข้าวกล้องมาเพาะให้เป็นข้าวกล้องงอกสำหรับรับประทานเองหรือจำหน่าย เพราะในข้าวกล้องงอกมีสารอาหารที่ช่วยต้านอนุมูลอิสระ เช่น กลุ่มฟิโนลิค (Phenolic Compounds) (Rice Department of Thailand, 2009) และ GABA ซึ่งช่วยในเรื่องของสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) ภายในระบบประสาทส่วนกลาง ป้องกันการเสื่อมของสมอง

(Patcharee, T. et al., 2006) พันธุ์ข้าวกล้องที่นิยมนำมาเพาะได้แก่ ข้าวหอมมะลิ105 ข้าวสีนิล และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งกำลังได้รับความนิยมในกลุ่มของข้าวอินทรีย์และเป็นข้าวที่จะใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ปัจจุบันการเพาะข้าวกล้องงอกนั้น ยังนิยมเพาะโดยใช้วิธีดั้งเดิมคือการแช่น้ำแล้วนำมาหมักให้งอก ทั้งกระบวนการใช้เวลาเฉลี่ย 48 - 72 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาค่อนข้างมาก ไม่ทันต่อความต้องการบริโภคและยังเสี่ยงต่อการบูดของข้าวกล้องระหว่างกระบวนการอีกด้วย จึงมีนักวิจัยได้พยายามหาวิธีการลดเวลาของการเพาะข้าวกล้องงอก โดยใช้วิธีแช่ข้าวกล้องในน้ำอุ่นเพื่อกระตุ้นเอนไซม์ให้ย่อยสารอาหารในจมูกข้าวเพื่อนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอหรือให้เมล็ดเกิดการงอกขึ้นใหม่ (Nongnuch, W., 2012) วิธีนี้ทำให้สามารถลดเวลาในกระบวนการเพาะให้เหลือประมาณ 24 ชั่วโมง (Sakolkarn, D. and Apinya, P., 2009) แต่กระบวนการผลิตน้ำอุ่นที่นำมาใช้แช่ข้าวกล้องยังนิยมใช้ฮีสเตอร์เป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำ ทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างมาก จึงยังคงเป็นปัญหาในเรื่องต้นทุนการผลิตสำหรับชุมชน

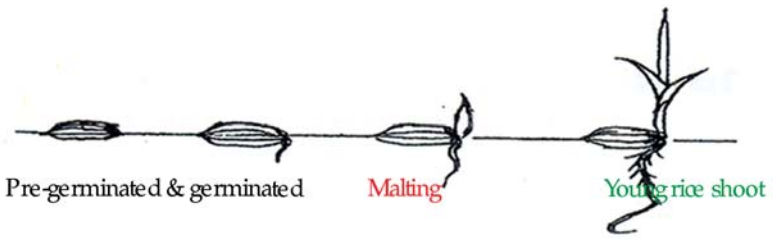
ด้วยหลักการและเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการพัฒนาเครื่องเพาะข้าวกล้องแบบอัตโนมัติโดยใช้น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งในปัจจุบันระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีใช้กันอย่างแพร่หลายและราคาไม่สูงมาก ทั้งนี้เมื่อนำมาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกัน จะทำให้เครื่องเพาะข้าวกล้องมีต้นทุนทางด้านพลังงานลดลง ลดความเสี่ยงของการสูญเสียผลผลิต ลดเวลาในการเพาะข้าวกล้อง และช่วยให้สามารถแข่งขันในทางธุรกิจได้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นเพื่อทดสอบกระบวนการเพาะข้าวกล้อง ด้วยระบบเพาะแบบอัตโนมัติ ที่สามารถทำงานร่วมกับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์องค์ความรู้ที่หลากหลาย เพื่อนำมาพัฒนาและใช้ในกระบวนวิจัย ประกอบด้วย การประยุกต์การเพาะข้าวกล้องงอกด้วยน้ำอุ่น ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ ซึ่งได้มีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่สำคัญดังนี้

กระบวนการงอกของข้าวกล้อง เริ่มต้นด้วยการรับน้ำเข้าไป เพื่อให้เริ่มเกิดขบวนการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ภายในเซลล์ ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยการสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเอมบริโอให้เจริญเติบโต งอกขึ้นเป็นต้นกล้าได้ แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเปลี่ยนทางชีวเคมีและสารอาหารที่สัมพันธ์กับช่วงการเติบโตของข้าว (Rice Department of Thailand, 2009)

โดยสารที่จำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์ ได้แก่ เอนไซม์ ดีเอ็นเอ และอาร์เอ็นเอ (Rice Department of Thailand, 2009) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีน โดยเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องได้มาจาก 2 แหล่งคือ เอนไซม์ที่ถูกสร้างขึ้นขณะเมล็ดกำลังเจริญเติบโต จะถูกกระตุ้นให้ทำงานเนื่องจากการเข้าไปของน้ำ เช่น อะไมเลส (Amylase) และกลูโคซิเดส (Glucocidase) เอนไซม์ 2 ตัวนี้จะปรากฏขึ้นทันทีหลังจากเมล็ดพันธ์ดูดน้ำ ส่วนแหล่งที่สองได้จากการเริ่มสังเคราะห์ขึ้นใหม่ โดยผ่านการควบคุมของกรดนิวคิลอิก (Nucleic Acid) โดยพบในเซลล์อะลิวโรน (Aleulone) ในเมล็ดข้าวเอนไซม์ที่สังเคราะห์ขึ้นได้แก่ อะไมเลส (Amylase) ไรโบนิวคลิเอส (Ribonuclease) โปรทิเอส (Protease) และไลเปส (Lipase) เป็นต้น พลังงานที่ต้องใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนต่าง ๆ ได้มาจากเอทีพี (ATP) ซึ่งผลิตในไมโทคอนเดรียที่ตื่นตัวภายหลังจากเมล็ดได้รับน้ำเข้ามา

จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการของการย่อยสลายสารอาหารที่สะสมในเมล็ดพันธุ์ สารอาหารที่เมล็ดพันธุ์เก็บสะสมไว้ในส่วนเนื้อเยื่อสะสมอาหาร ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ที่สร้างขึ้นมา คาร์โบไฮเดรตจะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ไฮโดรเลส (Hydrolase) เช่น อะไมเลส (Amylase) และฟอสฟอริเลส (Phosphorylase) จากรูปน้ำตาลที่ละลายไม่ได้เป็นรูปน้ำตาลที่ละลายได้ทำให้ข้าวกล้องงอกมีรสหวาน โปรตีนถูกย่อยโดยเอนไซม์โปรทิเอส (Protease) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สร้างขึ้นมาใหม่ในระหว่างการงอกของเมล็ด ได้กรดอะมิโนเกิดขึ้นหลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (Gamma Amino Butyric Acid) หรือกาบา (GABA) (Komatsuzaki, N. et al., 2007) มีบทบาทสำคัญในการเป็นสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) ภายในระบบประสาทส่วนกลาง ป้องกันการเสื่อมของสมอง (Patcharee, T. et al., 2006) ส่วนการย่อยสลายไขมันจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ไลเปส (Lipase) ได้กรดไขมันและกลีเซอรอล

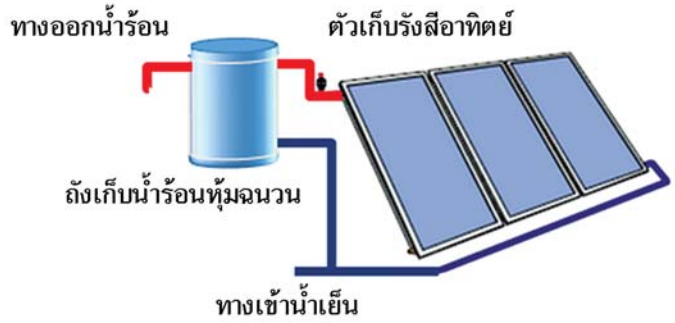
การเพาะข้าวกล้องด้วยวิธีดั้งเดิมใช้เวลาในกระบวนการเพาะค่อนข้างมาก โดยต้องแช่ข้าวกล้องไว้ในน้ำมากกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นต้องนำมาหมักหรือผึ่งอีก 24 ชั่วโมง (Chanwit, S., 2009) เพื่อให้เกิดการงอกของเมล็ดข้าว ซึ่งใช้เวลารวมมากกว่า 48 ชั่วโมงหรือ 2 วัน จึงเป็นการใช้เวลาค่อนข้างนานเกินไป จึงได้มีนักวิจัยพยายามสร้างกระบวนการเพาะข้าวกล้องที่ใช้เวลาให้น้อยลง โดยการแช่ข้าวกล้องในน้ำอุ่นที่ 40°C (Jarurat, S., 2007) ซึ่งใช้เวลาแช่เพียง 8 ชั่วโมง จากนั้นหมักในผ้าที่อุณหภูมิประมาณ 40°C หรือใกล้เคียงต่ออีก 8 ชั่วโมง ก็จะสามารถได้ข้าวกล้องงอกเช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่ากระบวนการดังกล่าวสามารถลดระยะเวลาการเพาะข้าวกล้องลงได้มากกว่าครึ่งจากเดิม

งานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น Sunan, P. et al. (Sunan, P. et al., 2010) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องเพาะข้าวกล้องขนาดเล็กในครัวเรือน โดยออกแบบเป็นแบบถังแสตนเลสขนาดกว้าง ยาว และสูงเป็น 40 60 และ 40 เซนติเมตร ตามลำดับ ตัวเครื่องได้ออกแบบให้มีทางเข้า - ออกของน้ำแบบวาล์วไฟฟ้าพร้อมชุดสเปรย์น้ำ ควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติด้วยการตั้งเวลา การทดลองข้าวกล้องจะถูกแช่ในน้ำอุณหภูมิปกติ 3 - 4 ชั่วโมง แล้วจึงนำเข้าสู่กระบวนการบ่มด้วยเครื่องอีก 20 ชั่วโมง โดยมีการสเปรย์น้ำทุก 4 - 6 ชั่วโมง ซึ่งผลการงอกของข้าวกล้อง ทำให้สาร GABA สามารถเพิ่มถึง 4 เท่า

Varanyanoud, W. et al. (Varanyanoud, W. et al., 2005) ได้ศึกษาสาร GABA ในคัพภะของข้าวหอมไทย โดยแช่คัพภะในน้ำอุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง กับข้าวพันธุ์ไทยจำนวน 6 พันธุ์ ได้แก่ ขาวดอกมะลิ105 ปทุมธานี1 ชัยนาท1 สุพรรณบุรี1 เหลืองประทิว123 และพลายงาม ผลที่ได้คือ

พลายงามมีเปอร์เซ็นต์การงอกดีที่สุด ส่วนปทุมธานี1 เปอร์เซ็นต์การงอกน้อยที่สุด ส่วนสาร GABA จะปรากฏมากใน 3 พันธุ์ คือ ขาวดอกมะลิ105 ปทุมธานี1 และชัยนาท1

จากงานทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการเพาะที่ชัดเจนอย่างหนึ่งคือ การแช่ข้าวกล้องในน้ำอุ่น ซึ่งสามารถกระตุ้นและเร่งปฏิกิริยาทางเคมีในเอมบริโอได้ โดยในปัจจุบันการผลิตน้ำร้อนนิยมใช้ฮีตเตอร์เป็นหลัก ซึ่งฮีตเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สิ้นเปลืองทางพลังงานค่อนข้างสูง การผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นทางเลือกหนึ่ง ที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำร้อนได้ ระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ทั่วไป คือระบบเทอร์โมไซฟอน (Thanarat, S., 2001) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ระบบผลิตน้ำร้อนหลักการเทอร์โมไซฟอน

ระบบนี้จะใช้หลักการพาความร้อนตามธรรมชาติ คือ น้ำที่ร้อนกว่าจะอยู่ด้านบน เมื่อทำการติดตั้งถังกักเก็บน้ำร้อนให้อยู่สูงกว่าตัวกักเก็บความร้อน จะทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำ ระหว่างตัวกักเก็บความร้อนกับถังเก็บน้ำร้อน เพราะเมื่อน้ำในตัวกักเก็บความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้น้ำมีน้ำหนักเบาขึ้นและจะขึ้นไปอยู่ในถังเก็บน้ำร้อนด้านบนตามหลักการพาความร้อนตามธรรมชาติ ขณะเดียวกันน้ำเย็นที่อยู่ด้านล่างของถังเก็บน้ำร้อน จะไหลไปสู่ด้านล่างของตัวกักเก็บความร้อน เพื่อทดแทนน้ำร้อนที่เคลื่อนที่ขึ้นไปบนถังเก็บน้ำร้อน ซึ่งได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดย Rawat, K. et al. (Rawat, K. et al., 2005) ได้พัฒนาเครื่องทำน้ำร้อนอย่างง่ายโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับหลังคาบ้านที่ใช้สังกะสี ได้มีการออกแบบท่อทองแดงวางบนหลังคาสังกะสี ใช้ถังเก็บน้ำร้อนขนาด 90 ลิตร อาศัยแรงลอยตัวที่เกิดจากผลแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำร้อนและน้ำเย็น ได้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิช่วงเดือนกุมภาพันธ์ที่ 53 องศาเซลเซียส

จากรายงานวิจัยที่ได้กล่าวมา การเพาะข้าวกล้องงอกในน้ำอุ่น ที่มีอุณหภูมิประมาณ 40°C มีส่วนในการเร่งปฏิกิริยาการงอกให้เร็วขึ้นได้ แต่งานวิจัยส่วนมากจะเน้นศึกษาเฉพาะปริมาณสาร GABA ขณะที่กระบวนการเพาะก็ยังคงใช้กระบวนการเพาะแบบดั้งเดิม คือระบบการเพาะที่ยังไม่เป็นระบบอัตโนมัติ ดังนั้นในงานวิจัยจึงได้มีแนวคิดในการออกแบบระบบเพาะข้าวกล้องงอกแบบอัตโนมัติ โดยอาศัยน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการเพาะข้าวกล้อง

วิธีดำเนินการวิจัย

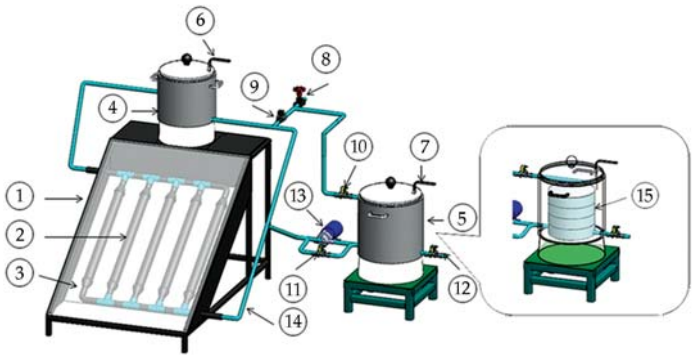
จากหลักการและทฤษฎีที่ได้กล่าวมาตอนต้นในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งขั้นตอนของการศึกษาวิจัยได้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบระบบเพาะข้าวกล้องอัตโนมัติร่วมกับระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

เพื่อออกแบบสภาวะสำหรับกระบวนการเพาะข้าวกล้องที่เหมาะสม ตามทฤษฎีและหลักการตามที่ได้กล่าวมา การออกแบบระบบการเพาะจึงเป็นส่วนที่จำเป็นต้องออกแบบและสร้างขึ้นมาเป็นอันดับแรก โดยระบบการเพาะได้ถูกออกแบบและมีโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 3

รายละเอียดอุปกรณ์ในการทดลองของระบบเพาะข้าวกล้องแบ่งได้ 2 ส่วน ดังนี้

1. ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วย อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (2) ใช้ท่อขนาด 3 นิ้ว กว้างและยาวเป็น 60 และ 80 เซนติเมตร ทำหน้าที่รับรังสีจากแสงอาทิตย์เพื่อให้ความร้อนแก่น้ำ ซึ่งติดตั้งในกรอบโครงสร้าง (1) มีขนาดความกว้างและยาวเป็น 80 และ 100 เซนติเมตร ด้านหน้าใช้กระจกใส (3) ขนาดกว้าง ยาว และหนาเป็น 80 120 และ 0.2 เซนติเมตร ทำหน้าที่กักเก็บความร้อนคล้าย Green House น้ำร้อนจะขึ้นด้านบนตามหลักการของเทอร์โมไซฟอน ผ่านท่อลำเลียง (14) ขนาด ½ นิ้ว ขึ้นไปเก็บยังถังเก็บน้ำร้อน (4) เป็นถังแบบสแตนเลส ขนาด 21 ลิตร มีหุ้มฉนวนกันความร้อนภายนอก ส่วนด้านบนของถังเก็บน้ำร้อน มีการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (DS18B20) และระดับน้ำ (6) ทำหน้าที่ตรวจวัดอุณหภูมิที่ระบบผลิตน้ำร้อนผลิตได้ และเมื่อน้ำร้อนในถังน้ำร้อนถูกดึงไปใช้งานเซนเซอร์ตรวจวัดระดับ จะส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์ควบคุมเพื่อสั่งเปิดวาล์วน้ำ (9) เพื่อเติมน้ำให้ได้ระดับที่ตั้งเอาไว้ผ่านทางวาล์วน้ำธรรมดา (8)



รูปที่ 3 โครงสร้างระบบเพาะข้าวกล้องงอกด้วยน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

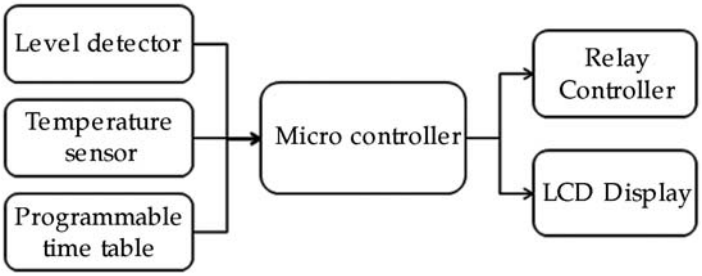
2. ระบบเพาะข้าวกล้อง ประกอบด้วยถังเพาะข้าวกล้อง (5) ซึ่งสามารถบรรจุถาดเพาะข้าวกล้อง (15) ได้ 4 ชั้น ๆ ละ 1 กิโลกรัม ภายในถังเพาะมีการติดตั้งตัวตรวจวัดระดับน้ำและตัวตรวจวัดอุณหภูมิ (7) เพื่อทำหน้าที่วัดระดับน้ำและอุณหภูมิภายในถังเพาะให้เป็นไปตามค่าที่กำหนด การทำงานของระบบเพาะจะเริ่มจากการเติมน้ำ โดยรับมาจากถังเก็บน้ำร้อน ผ่านวาล์วน้ำร้อน (11) ผสมกับน้ำเย็นผ่านทางวาล์วน้ำเย็น (10) เพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่ตั้งเอาไว้ จากนั้นอุปกรณ์ควบคุมจะทำหน้าที่จับเวลา โดยแบ่งออกเป็นเวลา

ในการแช่ข้าวกล้อง และเวลาในการหมักข้าวกล้อง โดยเมื่อครบเวลาแช่อุปกรณ์ควบคุมจะสั่งวาล์ว (12) เปิดเพื่อระบายน้ำออกจากถังเพาะ เพื่อเข้าสู่กระบวนการหมักตามระยะเวลาที่ได้ตั้งเอาไว้ต่อไป แต่ถ้าในขณะอยู่ในกระบวนการแช่แล้ว อุณหภูมิน้ำลดลงต่ำกว่าค่าที่ตั้งเอาไว้ อุปกรณ์ควบคุมจะสั่งวาล์ว (11) เปิดเพื่อดึงน้ำร้อนเข้ามาถังเพาะเพื่อผสมอีกครั้ง ขณะเดียวกันอุปกรณ์ควบคุมจะสั่งปั๊ม (13) ให้สูบน้ำอุ่นในถังเพาะกลับไปยังถังน้ำร้อน เพื่อลดการสูญเสียโดยจะทำงานสลับกันเป็นจังหวะระหว่างวาล์วน้ำ (11) และปั๊ม (13)

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบระบบควบคุมและอัลกอริทึมในการควบคุมกระบวนการ

ภายในขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบการควบคุมกระบวนการทำงานของระบบ สามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์และส่วนทางซอฟท์แวร์ โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์ ถูกออกแบบตามรูปที่ 4 ประกอบด้วย ภาครับ (Input) ส่วนประมวลผล (Micro Controller) และภาคเอาท์พุท (Output)



รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์

ภาครับมีส่วนประกอบคือ ตัววัดระดับน้ำ (Level Detector) มีเซนเซอร์วัดระดับน้ำ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำที่ต้องการเติมน้ำ และระดับสูงที่บ่งบอกว่าปริมาณน้ำเต็ม โดยมีไอซีออฟแอมป์เบอร์ LM324 รับสัญญาณจากหัววัดและเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณอ้างอิง ก่อนส่งเข้าไปประมวลผลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ในลักษณะทางลอจิก ตัววัดระดับน้ำจะถูกติดตั้งอยู่ในถังน้ำร้อนและถังเพาะข้าวกล้อง

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) เลือกใช้เซนเซอร์วัดแบบอิเล็กทรอนิกส์เบอร์ DS18B20 มีความละเอียดของการวัดสูงสุด 16 บิต สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -55°C ถึง +125°C โดยใช้สายสัญญาณเพียงเส้นเดียวหรือเป็นการสื่อสารแบบ Onewire Communication ในการสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์

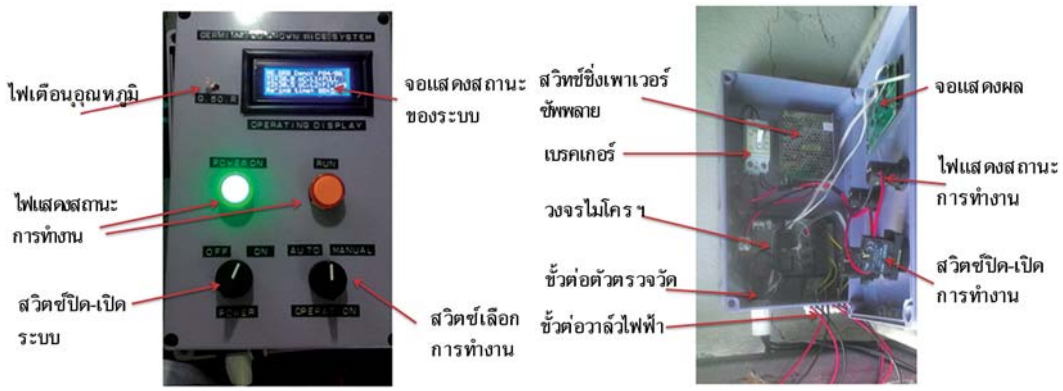
ตารางโปรแกรมเวลา (Programmable Time Table) ใช้ Dip Switch ขนาด 6 ช่องสัญญาณเป็นตัวเลือกเวลาที่ใช้ในกระบวนการแช่และหมัก

ตัวประมวลผล (Micro Controller) เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ AT89S52 เป็นคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต มีหน่วยความจำประเภทรอมขนาด 8 กิโลไบต์ และแรมขนาด 256 ไบต์ ทำงานที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 18.432 เมกกะเฮิร์ต

ตัวควบคุมรีเลย์ (Relay Controller) ทำหน้าที่เป็นเอาท์พุตควบคุม วาล์วไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ ในระบบควบคุม เช่น ควบคุมการเปิด-ปิด วาล์วน้ำร้อน วาล์วน้ำเย็น วาล์ระบายน้ำ เป็นต้น

ภาคแสดงผลแบบแอลซีดี (LCD Display) ทำหน้าที่แสดงผลตัวแปรต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบ เช่น อุณหภูมิ ระดับน้ำ การเปิด-ปิดของวาล์วไฟฟ้า และการแจ้งเตือนสถานะการทำงานของระบบ การแสดงผลได้แสดงผลบนจอประเภท LCD ขนาด 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด โดยใช้การส่งข้อมูลแบบ 2 เส้น (I2C) ผ่านไอซีเบอร์ PCF8574A เพื่อแปลงข้อมูลที่รับมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงผลไปยังจอ LCD

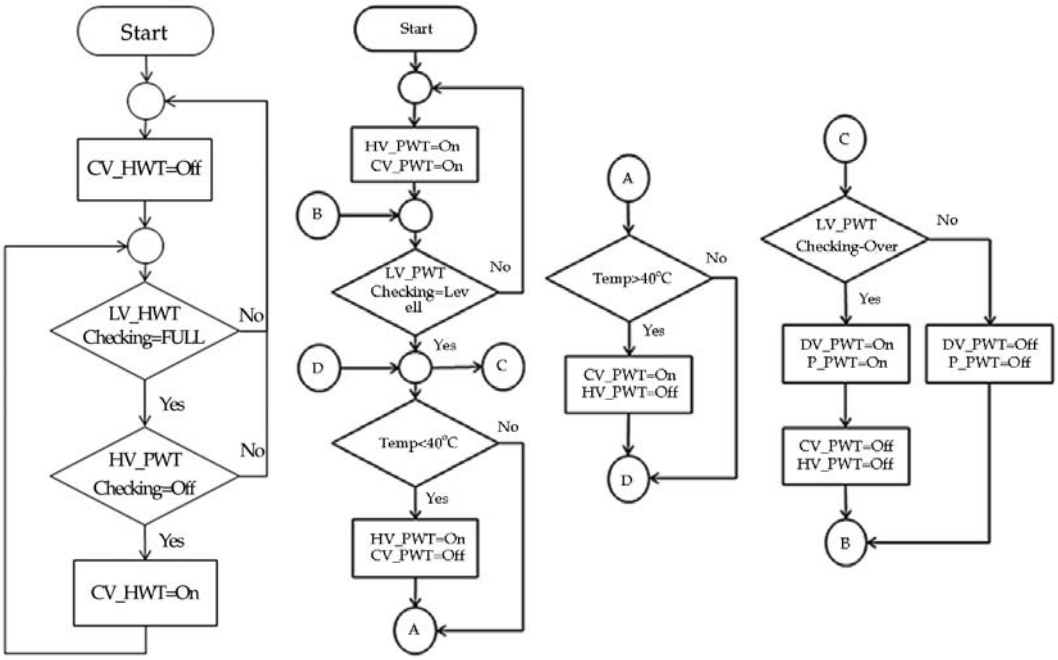
โดยส่วนประกอบของอุปกรณ์ควบคุมแสดงในรูปที่ 5



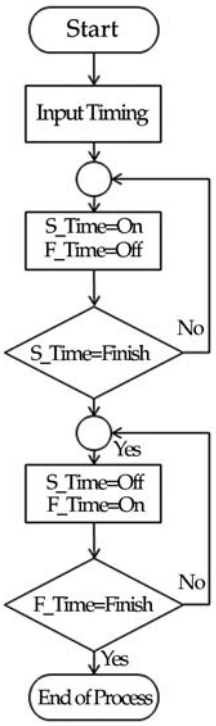
รูปที่ 5 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ควบคุม

2. การออกแบบกระบวนการทางซอฟท์แวร์ สามารถแบ่งการควบคุมหลักออกได้ 3 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยมีรายละเอียดในการออกแบบการเขียนโปรแกรมสำหรับการควบคุมดังนี้

2.1 โปรแกรมควบคุมถังเก็บน้ำร้อน รูปที่ 6 (ก) เริ่มกระบวนการทำงานด้วยการตรวจสอบระดับน้ำในถังเก็บน้ำร้อน (LV_HWT) ถ้ามีระดับที่เต็มโปรแกรมจะสั่งให้วาล์วเติมน้ำปิด (CV_HWT) การตรวจสอบระดับน้ำจะทำทุก 1 วินาที เมื่อมีการตรวจพบว่าระดับต่ำกว่าที่กำหนด โปรแกรมจะสั่งเปิดวาล์วเติมน้ำ และก่อนจะทำการเติมน้ำจะมีการตรวจสอบการทำงานของวาล์วเติมน้ำร้อน (HV_HWT) ก่อนเสมอ เพื่อไม่ให้เกิดการไหลย้อนของน้ำเย็นไปยังถังเพาะ ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของน้ำในถังเพาะแปรปรวน



(ก) (ข)



(ค)

รูปที่ 6 การออกแบบโปรแกรมควบคุม (ก) โปรแกรมควบคุมถังเก็บน้ำร้อน (ข) โปรแกรมควบคุมถังเพาะข้าวกล้อง (ค) โปรแกรมควบคุมกระบวนการแช่และหมักข้าวกล้อง

2.2 โปรแกรมควบคุมถังเพาะข้าวกล้อง รูปที่ 6 (ข) เริ่มกระบวนการ ด้วยตรวจสอบระดับน้ำในถังเพาะก่อน (LV_PWT) หากถังเพาะไม่มีน้ำ โปรแกรมจะสั่งให้วาล์วเติมน้ำเย็นและน้ำร้อน (HV_PWT และ CV_PWT) ให้ทำงานเพื่อเติมน้ำเข้าสู่ถังเพาะจนกระทั่งระดับน้ำถึงจุดแรกที่ตั้งค่าไว้ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบอุณหภูมิในถังเพาะว่าหากพบว่า อุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนด โปรแกรมจะสั่งเติมน้ำร้อน (HV_PWT) แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินค่าที่กำหนด จะสั่งเติมน้ำเย็นแทน (CV_PWT) ขณะเติมน้ำระดับน้ำภายในถังอาจจะมีระดับที่สูงเกินค่าสูงสุด โปรแกรมจะตรวจสอบอุณหภูมิ (Temp) ก่อนว่ามีค่าสูงหรือไม่ ถ้ามีค่าสูงจะสั่งปั๊มน้ำให้สูบกลับ (P_PWT) แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำก็จะระบายทิ้งแทน (DV_PWT)

2.3 โปรแกรมควบคุมกระบวนการแช่และหมักข้าวกล้อง รูปที่ 6 (ค) ทำหน้าที่ควบคุมเวลาในกระบวนการเพาะข้าวกล้อง ให้เป็นไปตามค่าที่กำหนด ซึ่งสามารถตั้งค่าเวลาของกระบวนการแช่ได้ 5 ระดับ กระบวนการหมักได้ 6 ระดับ โดยอินพุตที่รับมาจะถูกโปรแกรมไว้ในฐานเวลา และจะเริ่มนับเวลาของการแช่ข้าวก่อน (S_time) เมื่อครบเวลาที่ตั้งไว้ วาล์วระบายน้ำจะเปิดออกเพื่อระบายน้ำ จากนั้นเวลาหมักข้าวกล้อง (F_time) จะเริ่มนับจนกระทั่งครบตามที่ตั้งไว้ ระบบจะมีการแจ้งเตือน สิ้นสุดกระบวนการเพาะข้าวกล้อง

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบการเพาะข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ด้วยวิธีดั้งเดิม

กำหนดเงื่อนไขในการแช่ข้าวกล้อง 5 ช่วงเวลา ได้แก่ 4 6 8 10 และ 12 ชั่วโมง ขณะที่การหมักได้กำหนดเงื่อนไขเป็น 6 ช่วงเวลา ได้แก่ 4 8 12 16 20 และ 24 ชั่วโมง เพื่อทดสอบสภาวะของการงอกของจมูกข้าว เปรียบเทียบกับกระบวนการเพาะด้วยกระบวนการเพาะอัตโนมัติ โดยแต่ละเงื่อนไขจะใช้ปริมาณข้าวกล้อง 0.5 กิโลกรัม แช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบกำหนดระยะการแช่ข้าวกล้องจะถูกคลุมด้วยผ้าขาว เพื่อหมักตามระยะเวลาที่กำหนด

นอกจากนี้กระบวนการเพาะด้วยวิธีดั้งเดิมจะถูกขยายเวลาของกระบวนการเพาะ โดยเพิ่มเวลาในการแช่เป็น 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง (Kaosa-ard, T. and Songsermpong, S., 2012) และช่วงเวลาการหมักเป็น 4 8 12 16 20 24 36 และ 48 ชั่วโมง เพื่อทดสอบช่วงเวลาในการงอกที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบการเพาะข้าวกล้องไรซ์เบอรี่ด้วยกระบวนการเพาะอัตโนมัติ

การเพาะด้วยเครื่องเพาะแบบอัตโนมัติ ได้กำหนดเงื่อนไขในการแช่ข้าวกล้อง 5 ช่วงเวลา ได้แก่ 4 6 8 10 และ 12 ชั่วโมง ขณะที่การหมักได้กำหนดเงื่อนไขเป็น 6 ช่วงเวลาเช่นกัน ได้แก่ 4 8 12 16 20 และ 24 ชั่วโมง ซึ่งเหมือนการทดสอบช่วงแรกของกระบวนการเพาะแบบดั้งเดิม โดยขั้นตอนการเพาะข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องเพาะอัตโนมัติ ใช้ปริมาณข้าวกล้อง 0.5 กิโลกรัม ห่อด้วยผ้าขาว จัดวางในถาดเพาะและวางในถังเพาะข้าวกล้อง แช่และหมักตามระยะที่กำหนด การวัดผลทำโดยการสุ่มข้าวกล้องที่ถูกเพาะด้วยวิธีและเงื่อนไขต่าง ๆ มา 20 กรัม แล้วทำการนับจำนวนเมล็ดข้าว สถานะของการงอกข้าวงอกแบ่งได้เป็น 4 แบบ คือ ไม่งอก เริ่มงอก (เริ่มมีรอยปริบริเวณจมูกข้าว) งอกสมบูรณ์ (มองด้วยตาเปล่าเห็นเป็นก้อนเล็กบริเวณจมูกข้าว) และงอกเกิน (มีส่วนงอกยาวเป็นเส้นบริเวณจมูกข้าว) โดยการเปรียบเทียบมีเป้าหมายหลัก คือการเปรียบเทียบข้าวกล้องที่งอกสมบูรณ์

ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์และสรุปผล

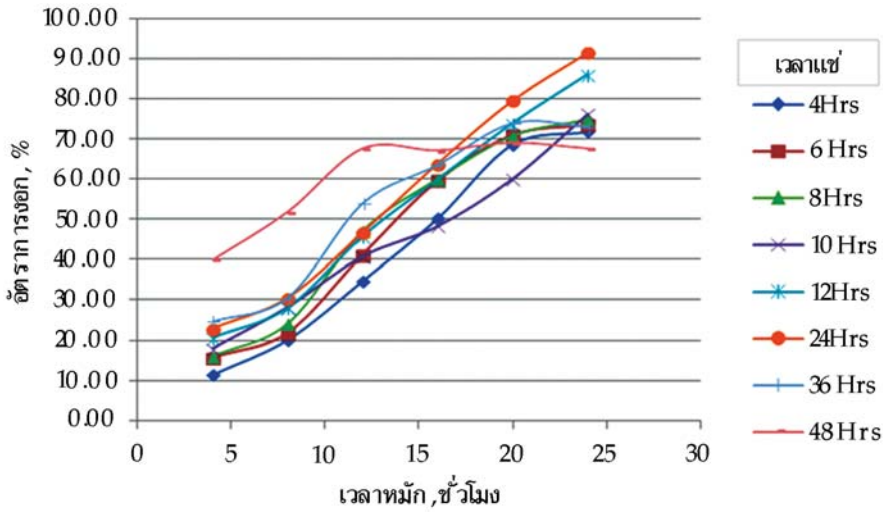
ในขั้นตอนนี้ได้วิเคราะห์ถึงอัตราการงอกของข้าวกล้องเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการเพาะด้วยวิธีการเพาะแบบดั้งเดิมและกระบวนการเพาะอัตโนมัติ การวิเคราะห์หาช่วงเวลาการเพาะข้าวกล้องที่ดีที่สุด รวมถึงการวิเคราะห์การประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พร้อมสรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการวิจัยจะได้มุ่งเน้นนำเสนอ ในส่วนของผลจากการเพาะข้าวกล้องและผลจากการวิเคราะห์ผลการงอกของข้าวกล้องงอกเป็นหลัก โดยผลที่ได้จากการเพาะข้าวกล้องงอก จะได้เปรียบเทียบกรณีของการเพาะข้าวกล้องด้วยวิธีแบบดั้งเดิมกับการเพาะด้วยระบบเพาะแบบอัตโนมัติทำงานร่วมกับระบบการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้ผลดังตารางที่ 1 และในรูปที่ 7

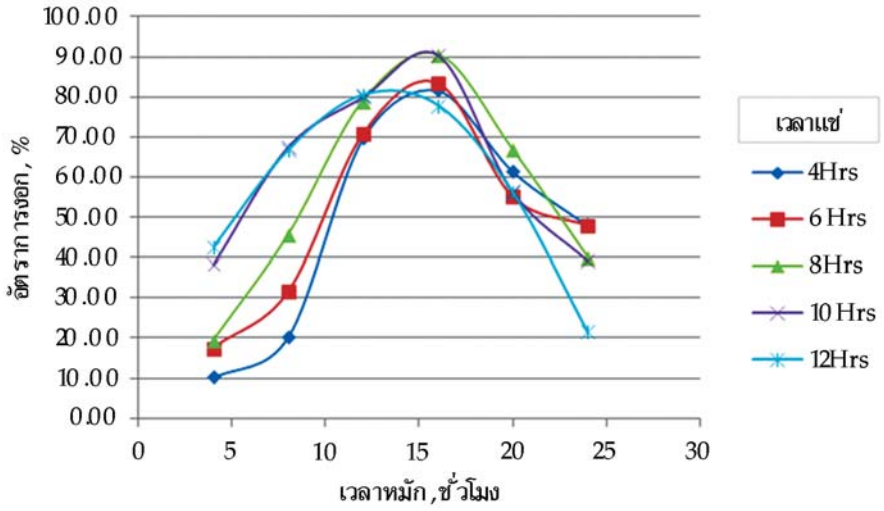
ตารางที่ 1 อัตราการงอกของข้าวกล้องตามเงื่อนไขการเพาะ

ชั่วโมงการแช่ / ชั่วโมงการหมัก	4 ชั่วโมง		6 ชั่วโมง		8 ชั่วโมง		10 ชั่วโมง		12 ชั่วโมง	
	อัตราการงอก, %									
	ดั้งเดิม	ระบบ	ดั้งเดิม	ระบบ	ดั้งเดิม	ระบบ	ดั้งเดิม	ระบบ	ดั้งเดิม	ระบบ
4 ชั่วโมง	11.48	10.17	15.70	17.57	16.00	19.49	17.99	38.28	20.83	42.74
8 ชั่วโมง	20.16	20.35	21.93	31.61	24.14	45.70	28.27	67.46	28.23	66.91
12 ชั่วโมง	34.78	69.70	41.32	70.90	47.19	79.06	40.83	79.83	45.90	80.57
16 ชั่วโมง	50.22	81.61	59.71	83.52	60.00	90.51	48.28	90.31	59.90	77.99
20 ชั่วโมง	68.64	61.51	71.07	55.14	70.71	66.80	60.09	56.28	73.85	56.28
24 ชั่วโมง	71.79	48.00	73.59	47.89	74.77	40.12	76.19	39.19	85.93	21.62



(ก)

รูปที่ 7 ผลการงอกของข้าวกล้อง (ก) การเพาะด้วยวิธีแบบดั้งเดิม (ข) การเพาะด้วยระบบเพาะอัตโนมัติ



(ข)

รูปที่ 7 ผลการงอกของข้าวกล้อง (ก) การเพาะด้วยวิธีแบบดั้งเดิม (ข) การเพาะด้วยระบบเพาะอัตโนมัติ (ต่อ)

กรณีใช้เงื่อนไขการเพาะข้าวกล้องเดียวกัน คือ ช่วงระยะเวลาการแช่ 4 – 12 ชั่วโมง และช่วงเวลาการหมัก 4 – 24 ชั่วโมง การเพาะข้าวกล้องด้วยวิธีแบบดั้งเดิม ได้ผลการงอกของข้าวกล้องที่ดีที่สุดคือ 85.93% ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 และรูปที่ 7 (ก) ที่เงื่อนไขการแช่ข้าวที่ 12 ชั่วโมง และการหมักข้าวที่ 24 ชั่วโมง ขณะที่ผลการงอกของข้าวกล้องที่ถูกเพาะด้วยระบบอัตโนมัติคือ 90.51% ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 และรูปที่ 7 (ข) ที่เงื่อนไขการเพาะคือ แช่ข้าว 8 ชั่วโมงและหมักข้าว 16 ชั่วโมง ผลการเพาะด้วยระบบเพาะอัตโนมัติ ทำได้ดีกว่าทั้งเรื่องอัตราการงอกของข้าวกล้องและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการ ซึ่งมีความสอดคล้องกับรายงานของ Nongnuch, W. (Nongnuch, W., 2012) Jarurat, S. et al. (Jarurat, S. et al., 2007) และ Chanwit, S. el al. (Chanwit, S. el al., 2009) คือน้ำอุ่นสามารถกระตุ้นเอนไซม์ให้ย่อยสารอาหารในจมูกข้าว ซึ่งสามารถช่วยเร่งการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอได้ จึงทำให้ข้าวกล้องที่ผ่านการแช่น้ำอุ่น สามารถงอกได้เร็วกว่าข้าวกล้องที่ถูกแช่ในน้ำธรรมดา จึงทำให้กราฟในรูปที่ 7 (ข) มีลักษณะโค้งลงเมื่อเวลาหมักนานขึ้น เนื่องจากสถานะการงอกของข้าวกล้องจะเปลี่ยนแปลงจากการงอกปกติเป็นการงอกเกิน (Melting; รูปที่ 1) เปอร์เซ็นต์การงอกปกติจะลดลง ขณะที่เปอร์เซ็นต์ของการงอกเกินจะเพิ่มขึ้น

และถ้าพิจารณาผลการงอกของข้าวกล้องที่ถูกเพาะด้วยวิธีแบบดั้งเดิม โดยเพิ่มระยะเวลาการแช่และหมักข้าวให้นานออกไป ผลการงอกของข้าวกล้องที่ดีที่สุดคือ 91.43% (รูปที่ 7 (ก)) แต่มีเงื่อนไขการแช่ข้าวและการหมักข้าวที่ 24 ชั่วโมง รวมระยะเวลากว่า 48 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลานานกว่า 2 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเพาะด้วยระบบเพาะอัตโนมัติ ขณะที่ข้าวที่งอกมีระดับของอัตราการงอกที่ใกล้เคียงกัน อัตราส่วนที่เหลืออีกไม่เกิน 10% สามารถแบ่งได้เป็น ข้าวไม่งอก เริ่มงอก และงอกเกิน โดยส่วนที่ไม่งอกคิดเป็นอัตราส่วนไม่เกิน 4%

ดังนั้นหากพิจารณาการผลิตข้าวกล้องงอกในแง่ของการสร้างธุรกิจแล้ว การเพาะด้วยระบบเพาะจะมีข้อดีในเรื่องของระยะเวลาในการเพาะที่สั้นกว่า และไม่ต้องมีคนงานมาดูแลระบบ เมื่อเปรียบเทียบการเพาะข้าวกล้องด้วยวิธีดั้งเดิม

ในส่วนของการลดการใช้พลังงานนั้น จะได้เปรียบเทียบกับกรณีที่ต้องมีการให้ความร้อนแก่น้ำให้ได้ระดับอุณหภูมิ 40°C ซึ่งปกตินิยมใช้ฮีตเตอร์ให้ความร้อนแก่น้ำ ซึ่งสามารถคำนวณพลังงานที่ต้องใช้ในการทำให้อุณหภูมิน้ำได้ตามสมการที่ (1) ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 2

$$Q = mC_p(T_1 - T_2) \quad (1)$$

เมื่อ Q = ปริมาณพลังงานความร้อน (J)
m = มวลของวัตถุ (kg)
C_p = ความจุความร้อนของน้ำ (4.187 kJ/kg°C)
T_1 = อุณหภูมิน้ำร้อนที่ต้องการ (°C)
T_2 = อุณหภุมิน้ำเย็นเริ่มต้นของระบบ (°C)

ตารางที่ 2 การใช้พลังงานในระบบการเพาะข้าวกล้องงอก

Case	T_1 (°C)	T_2 (°C)	C_p (kJ/kg°C)	m (kg)	Q (kJ)
1	40	24	4.187	30	2009.8
2	40	24	4.187	40	2679.7
3	40	24	4.187	50	3349.6

การประเมินการลดการใช้พลังงานเงื่อนไขของอุปกรณ์ต้นแบบแบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1 เวลาในการแช่ข้าวกล้องไม่เกิน 4 ชั่วโมง กรณีนี้ต้องการปริมาณน้ำสำหรับการเพาะข้าวกล้องประมาณ 30 ลิตรต่อครั้ง แบ่งเป็นใช้ในถังเพาะประมาณ 20 ลิตร และสำหรับเติมทดแทนในระบบโดยรวมอีก 10 ลิตร

กรณีที่ 2 เวลาในการแช่ข้าวกล้อง 6 - 8 ชั่วโมง กรณีนี้ต้องการปริมาณน้ำสำหรับการเพาะข้าวกล้องประมาณ 40 ลิตรต่อครั้ง แบ่งเป็นใช้ในถังเพาะประมาณ 20 ลิตร และสำหรับเติมทดแทนในระบบโดยรวมอีก 20 ลิตร

กรณีที่ 3 เวลาในการแช่ข้าวกล้อง 10 - 12 ชั่วโมง กรณีนี้ต้องการปริมาณน้ำสำหรับการเพาะข้าวกล้องประมาณ 50 ลิตรต่อครั้ง แบ่งเป็นใช้ในถังเพาะประมาณ 20 ลิตร และสำหรับเติมทดแทนในระบบโดยรวมอีก 30 ลิตร

อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าสู่ระบบเฉลี่ยประมาณ 24°C อุณหภูมิน้ำร้อนที่ต้องการใช้งานเป็น 40°C และกำหนดให้ค่าความจุความร้อนของน้ำเป็น 4.187 kJ/kg°C แทนค่าตามสมการที่ (1) จะได้ค่าพลังงานในกรณีที่ 1 - 3 เป็น 2.009MJ 2.679MJ และ 3.249MJ ตามลำดับ หรือมีความหมายในกรณีที่ให้ความร้อน

ระบบด้วยฮีทเตอร์ จะต้องใช้พลังงานในกรณีที่ 1 – 3 เป็น 2.009MJ 2.679MJ และ 3.249MJ ตามลำดับ ในการให้ความร้อนแก่น้ำในทางกลับกัน ระบบนี้ใช้น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แทน ก็จะสามารถประหยัดพลังงานได้ ในกรณีที่ 1 – 3 เป็น 2.009MJ 2.679MJ และ 3.249MJ ตามลำดับ

และหากคิดเฉพาะเงื่อนในการเพาะข้าวกล้องที่ให้เปอร์เซ็นต์การงอกที่สุด คือ ต้องแช่ข้าวกล้องในน้ำที่ 8 ชั่วโมง คือกรณีที่ 2 ระบบจะช่วยลดการใช้พลังงานลงได้ 2.679MJ ต่อครั้งกระบวนการเพาะข้าวกล้อง คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าจะประหยัดได้ประมาณ 0.74 kWh ต่อครั้ง หรือ 223 kWh ต่อปี (กรณีคิดที่ 300 วันต่อปี) ซึ่งคิดเป็นจำนวนเงินค่าไฟฟ้าประมาณ 1,000 บาทต่อปี (ค่าไฟฟ้ารวมค่าผันแปรเฉลี่ยหน่วยละ 3.33 บาท)

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในงานวิจัยนี้จะได้คิดเป็นระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple Payback Period) ซึ่งจะไม่มีการคิดภาษีและนำดอกเบี้ยมาร่วมวิเคราะห์ ทำให้ง่ายแก่การคำนวณ สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ระยะคืนทุน} = \text{เงินลงทุน}/\text{ผลกำไรสุทธิรายปี} \quad (2)$$

เมื่อ

เงินลงทุน	คือ	มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนในการออกแบบสร้างระบบและค่าวัสดุ
ผลกำไรสุทธิรายปี	คือ	ผลต่างของกำไรสุทธิต่อปี ที่ได้จากการขายผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก หลังจากหักจากค่าข้าวกล้องและค่าจ้างสีข้าวแล้ว

ระบบเพาะข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องอัตโนมัตินี้มีมูลค่าการลงทุน 20,000 บาท เนื่องจากเป็นงานเกี่ยวข้องกับด้านอาหาร จึงต้องเลือกวัสดุเป็นวัสดุที่เป็นเกรดอาหาร ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่จะสิ้นเปลืองไปกับค่าถังสแตนเลส ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง โดยระบบนี้มีอัตราการผลิตไม่เกิน 4 กิโลกรัมต่อครั้ง ส่วนราคาข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ ปัจจุบัน (ก.ค. 2558) อยู่ที่กิโลกรัมละ 50 บาท และหากแปรรูปเป็นข้าวกล้องงอกจะมีราคาอยู่ที่ 80 – 120 บาทต่อกิโลกรัม ถ้าหากคิดราคาที่ต่ำที่สุด คือ 80 บาทต่อกิโลกรัม จะทำให้ได้มูลค่าเพิ่มขึ้น 30 บาทต่อกิโลกรัม หรือ 120 บาทต่อหนึ่งครั้งการผลิต หรือประมาณ 36,000 บาทต่อปี (คิดที่ 300 วันต่อปี) ดังนั้นจะมีระยะเวลาคืนทุนที่ 0.56 ปี

บทสรุป

ผลการเพาะข้าวกล้องงอกด้วยระบบเพาะอัตโนมัติ โดยอาศัยน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ในการแช่ข้าว มีปัจจัยที่สำคัญและมีอิทธิพลต่ออัตราการงอกและไม่งอกของข้าวกล้อง คือ อุณหภูมิน้ำ เวลาแช่ข้าวและเวลาหมักข้าว จากการทดลองและวิเคราะห์พบว่า อุณหภูมิน้ำที่ 40°C และอุณหภูมิน้ำปกติ มีผลต่อระยะการงอกของข้าวกล้อง โดยข้าวกล้องที่ถูกแช่ในน้ำที่ 40°C จะงอกได้เร็วกว่าข้าวที่ถูกแช่ในน้ำอุณหภูมิปกติถึง 1 เท่า

เวลาแช่และหมักของข้าวกล้องที่ถูกแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิที่ต่างกัน จะมีอิทธิพลต่ออัตราการงอกของข้าวกล้อง โดยข้าวกล้องที่แช่น้ำที่ 40°C จะมีอัตราการงอกที่ดีที่สุดในการทดลองคือ 90.51% เป็นเวลาแช่ 8 ชั่วโมงและหมัก 16 ชั่วโมง ขณะที่ข้าวกล้องที่แช่ในน้ำปกติ จะมีอัตราการงอกที่ดีที่สุดเป็น 91.43% แต่ต้องแช่และหมักข้าวช่วงเวลาละ 24 ชั่วโมง

ระบบการเพาะข้าวกล้องงอกโดยอาศัยน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 2.679 MJ ต่อการเพาะหนึ่งครั้งหรือคิดเป็น 0.74 kWh/ครั้ง หรือ 233 kWh/ปี และระบบเพาะข้าวกล้องอัตโนมัติจะมีระยะเวลาในการคืนทุนอยู่ที่ 0.56 ปี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2557 และขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำงานวิจัยและเก็บข้อมูล

References

Chanwit, S., Apichart, A. and Tinnakorn, K. (2009). Producing Apparatus of Germinated Paddy Rice. In **The 23rd Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand**. Chaing-mai : Faculty of Engineering Chaing-mai University

Jarurat, S., Voranuch, S. and Ratchada, T. (2007). Effect of Soaking and Germinating Processes on Gamma-Aminobutyric Acid (GABA) Content in Germinated Brown rice (Khom mali 105). **Agricultural science journal**. Vol. 28. No. 5. pp. 164-167

Kaosa-ard, T. and Songsermpong, S. (2012). Influence of germination time on the GABA content and physical properties of germinated brown rice. **Asian Journal of Food and Agro-Industry**. Vol. 5. No. 4. pp. 270-283

Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. and Kimura, T. (2007). Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. **Journal of Food Engineering**. Vol. 78. No. 1. pp. 556-560

Nongnuch, W. (2012). Germinated Brown rice processing. **Rusamelae Journal**. Vol. 33. No. 2. pp. 57-62.

Rawat, K., Umphisak, T. and Pisit, T. (2005). Uncovered glass solar Water Heater. **KKU Engineering Journal**. Vol 33. No. 1. pp. 55-66

Rice Department of Thailand. (2009). **Miracle of Thai rice: Germinated brown rice**. 1st Edition. Bangkok : Agricultural cooperative printing demonstrations of Thai Ltd.

Patcharee, T., Warunee, V., Vipa, S. and Ladda, W. (2006). **Accumulation of gamma-aminobutyric acid (GABA) in non-waxy and waxy rice germ during water soaking**. Food Engineering. Fuaculty of Engineering. Kasetsart University

Sakolkarn, D. and Apinya, P. (2009). **Semi-Automatic a germinated brown rice producer**. Desertation of Agricultural engineering. Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen. Kasetsart University

Sunan, P., Sarawut, S., Benjawan, P. and Sukanda, S. (2010). Study and Design of a Small Germinated Brown Rice Machine for Home. **Journal of Engineering RMUTT**. Vol. 8. No. 1. pp. 61-68

Thanarat, S. (2001). Solar Water Heating. **Energy World Journal Chaing-mai University**. Vol. 10. No. 4. pp. 30-38

Varanyanoud, W., Tungtrakul, P., Surojanamekakul, V., Watanasirithum, L. and Luxiang, W. (2005). Effect of water soaking on gamma aminobutyric acid in germ of different Thai rice varieties. **Kasetsart J. (Nat. Sci.)**. Vol. 39. pp. 411-415