การศึกษาวิธีชะลอการเสื่อมคุณภาพข้าวเปลือกความชื้นสูง โดยการดูดระบายอากาศออกจากกองข้าว

A study on the Delay of Wet Paddy Deterioration by Suction Aeration.

ลือพงษ์ ลือนาม (Luepong luenam) ดร. วินิต ชินสุวรรณ (Dr. Winit Chinsuwan)***
*ดร. ธวัชชัย ทิวาวรรณวงศ์ (Dr. Thavachai Thivavarnvong)** สมนึก ชูศิลป์ (Somnuk Chusilp)****

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาวิธีชะลอการเสื่อมคุณภาพข้าวเปลือกความชื้นสูง โดยการดูดระบายอากาศออกจากกองข้าว ในระหว่างการรอขนย้ายและ/หรือไม่สามารถลดความชื้นได้ ซึ่งแบ่งการศึกษาวิจัยเป็น การศึกษาลักษณะพฤติกรรมของอุณหภูมิและการสะสมความร้อนภายในกองข้าว การศึกษารูปแบบการจัดวางท่อดูดระบายอากาศออกจากกองข้าว และการศึกษาอัตราการดูดระบายอากาศออกจากกองข้าว ผลการศึกษาโดยสรุปคือการดูดระบายอากาศด้วยอัตราการไหล 0.5, 1.0 และ 1.5 ม^3/นาที-ม^{3}ข้าวเปลือก ช่วยลดอุณหภูมิภายในกองข้าวให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อมภายในเวลา 10-20 ชั่วโมง และอัตราการไหล 1.0 และ 1.5 ม^3/นาที-ม^3 ข้าวเปลือก มีส่วนช่วยลดความชื้นข้าวเปลือกให้ต่ำลง ซึ่งการไม่ดูดระบายอากาศเกิดความร้อนสูงภายในกองข้าว จนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วต่อเนื่องถึง 60 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 20 ชั่วโมง และเพิ่มสูงถึง 80 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 40 ชั่วโมง ทำให้ความขาวของข้าวสารลดลงภายในเวลา 2-3 วัน เมื่อทดลองเป็นเวลา 7 วัน ลดลงต่ำกว่าทั้งสามกรณีถึง 20 หน่วย

ABSTRACT

The objective of this study is to develop methodology in order to delay the deterioration of wet paddy by aeration when reduction of moisture content can not be done. The study covers the study on behavior of heat generation in the paddy pile without aeration, determination of piping pattern suitable for aeration and determination of minimum aeration flow rate required for the delay of deterioration. Results of the study reveal that the use of continuous aeration flow rate of 0.5, 1.0, and 1.5 m^3/min per cubic metre of paddy with the vertical single tube pattern can lower the temperature in the pile to the ambient temperature within 10 to 20 hours for the paddy having 29.3%wb initial moisture content. The aeration also decreases moisture content of the paddy eventhough some wet spots and mold are observed near the floor and at the tube ends. Without aeration, the temperature in the pile rises rapidly to 60 °C within 20 hours and to 80 °C within 40 hours. The high temperature decreases the whiteness of polished rice within 2 to 3 days. After 7 days the whiteness decreases to 20 units lower than those with aeration.

คำสำคัญ: ข้าวเปลือกความชื้นสูง การดูดระบายอากาศ
Keywords: Wet paddy, Sunction aeration

---

* นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
*** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

การผลิตข้าวให้ได้คุณภาพดี จำต้องมีการจัดการดูแลในกระบวนการผลิตอย่างถูกต้อง ซึ่งสภาพการปัจจุบันเกษตรกรนำเครื่องเกี่ยวนวดมาใช้ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวกันอย่างแพร่หลาย เพื่อให้ทันกับช่วงเวลาที่เหมาะสม ในช่วงระยะพลับพลึงความชื้น 18-28%wb เพื่อเป็นการลดความสูญเสียและเพิ่มคุณภาพของข้าวเปลือก ซึ่งสามารถเก็บเกี่ยวข้าวได้อย่างรวดเร็วประมาณวันละ 20-30 ไร่/คัน (วินิต และคณะ, 2539) รวมถึงทดแทนการขาดแคลนแรงงานในช่วงฤดูการเก็บเกี่ยว แล้วยังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวมีความชื้นสูง และมีจำนวนมากในระยะเวลาอันสั้น จึงก่อให้เกิดปัญหาการจัดการในระหว่างการรอขนย้ายหรือไม่สามารถลดความชื้นได้ เมื่อข้าวเปลือกความชื้นสูงกองรวมกันไม่ได้รับการจัดการดูแลอย่างถูกวิธี จะเกิดการเสื่อมคุณภาพภายในระยะเวลา 2-3 วัน (สกว., 2542) เนื่องจากความร้อนและไอน้ำจากการหายใจของเมล็ดสะสมเพิ่มขึ้น จนทำให้โมเลกุลแป้งและน้ำตาลเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำตาล เรียกว่า "ข้าวฟันหนู" ซึ่งเป็นข้าวคุณภาพต่ำไม่เป็นที่ต้องการของตลาด (วินิต และคณะ, 2538; สกว., 2542; อรอนงค์, 2536)

ลักษณะดังกล่าวเป็นปัญหายุ่งยากเพิ่มขึ้น ในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวที่สภาวะอากาศชื้นหรือมีฝนตก ดังนั้นเกษตรกรจึงนิยมจำหน่ายข้าวความชื้นสูงทันทีหลังจากการเก็บเกี่ยวเสร็จ ร่วมไปถึงผู้ประกอบการรับซื้อ ที่ใช้วิธีลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยการตากบนลาน หรือใช้เครื่องอบลดความชื้น ซึ่งมีขีดจำกัดของขนาดลานตากหรือความสามารถของเครื่องอบ เป็นผลให้มีข้าวเปลือกจำนวนมากกองรวมกันเพื่อรอการลดความชื้น รอการขนส่งหรือนำไปจำหน่าย อยู่ในสภาวะการณ์ที่วิกฤตต่อการเสื่อมคุณภาพ ส่งผลถึงการลดปริมาณการรับซื้อข้าวจากเกษตรกร แต่บางครั้งผู้ประกอบการรับซื้อจำต้องรับซื้อข้าวเปลือกความชื้นสูง เนื่องจากเหตุผลทางการค้า ได้แก่ เป็นลูกค้าประจำ ระบบเงินทุนการผลิต การซื้อขายต่างตอบแทน เป็นต้น ปัญหาการจัดการข้าวเปลือกความชื้นสูงหลังการเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องเกี่ยวนวด จึงเป็นอุปสรรคสำคัญต่อกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ข้าวคุณภาพดีโดยตรง ซึ่งปัญหามีแนวโน้มจะรุนแรงเพิ่มขึ้นในอนาคตอันใกล้ ดังนั้นจึงควรเร่งศึกษาพัฒนาเทคนิควิธีการชะลอการเสื่อมคุณภาพของข้าวเปลือกความชื้นสูง ในขณะที่รอการจำหน่ายหรือไม่สามารถลดความชื้นได้ เพื่อรักษาคุณภาพข้าวก่อนนำไปลดความชื้น แล้วสีเป็นข้าวคุณภาพดีในลำดับต่อไป

การป้องกันรักษาข้าวเปลือกความชื้นสูงให้คงคุณภาพดีก่อนนำไปลดความชื้น ตลอดจนลดโอกาสการเสื่อมคุณภาพข้าวเปลือก ในขณะที่ไม่สามารถลดความชื้นได้ ที่เป็นปัญหาคอขวดและข้อจำกัดในการผลิตข้าวคุณภาพดี ซึ่งการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมและระดับอุณหภูมิภายในกองข้าวรูปแบบท่อดูดตลอดจนอัตราการดูดระบายอากาศที่เหมาะสม สำหรับการดูดระบายอากาศออกจากกองข้าว เพื่อชะลอการเสื่อมคุณภาพข้าวเปลือกความชื้นสูง โดยให้สอดคล้องกับรูปทรงกองข้าว และการสะสมความร้อนที่เกิดขึ้นภายในกอง

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การศึกษาวิธีชะลอการเสื่อมคุณภาพของข้าวเปลือกความชื้นสูง โดยการดูดระบายอากาศออกจากกองข้าว ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิที่สามารถอ่านและบันทึกค่าอัตโนมัติ สำหรับวัดค่าอุณหภูมิภายในกองข้าว และอุณหภูมิอากาศ ซึ่งดำเนินการศึกษา ดังนี้

- การทดสอบเบื้องต้น (รูปที่ 1) โดยกองข้าวเปลือกความชื้นข้าวเริ่มต้นประมาณ 23%wb บริเวณภายในและภายนอกอาคาร แล้ววัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในกอง (รูปที่ 2)
- การทดสอบรูปแบบการจัดวางท่อดูดระบายอากาศภายในกองข้าว (รูปที่ 3) ใช้ข้าวเปลือกความชื้นเริ่มต้น 20.4%wb โดยการกองข้าวอยู่กับที่ และการวางท่อดูดรูปทรงท่อเดี่ยวและท่อแยก (รูปที่ 4) ในกองข้าว แล้วดูดอากาศอัตราการไหล 2 $ม^3$/นาที-$ม^3$ข้าวเปลือก ซึ่งแต่ละกองวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในกอง (รูปที่ 5)

- การทดสอบอัตราการดูดระบายอากาศออกจากกองข้าว (ภาพที่ 6) ใช้ข้าวเปลือกความชื้นเริ่มต้น 29.3%wb โดยการกองข้าวอยู่กับที่ และการกองข้าวที่จัดวางท่อเดี่ยว แล้วดูดอากาศอัตราการไหล 0.5, 1.0 และ 1.5 $ม^3$/นาที-$ม^3$ข้าวเปลือก โดยมีตำแหน่งการวัดอุณหภูมิดังในหัวข้อ 2.4

ข้าวเปลือกสำหรับศึกษาครั้งนี้เก็บเกี่ยวด้วยเครื่องเกี่ยวนวด โดยแต่ละกองที่ใช้ทดสอบมีน้ำหนักประมาณ 1 ตัน และวัดอุณหภูมิทันทีหลังจากกองข้าวเสร็จแล้ววัดต่อเนื่องทุก ๆ 15 นาที จนสิ้นสุดการสอบเป็นเวลา 7 วัน ซึ่งแต่ละวันจะสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกนำไปหาความชื้น และสีตรวจสอบคุณภาพ มีค่าชี้ผลการศึกษาได้แก่ อุณหภูมิในกองข้าว ความชื้นข้าวเปลือก คุณภาพข้าวเปลือกภายหลังสีตรวจสอบ โดยเปรียบเทียบ วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้แยกในแต่ละการทดสอบ เพื่อเชื่อมโยงผลการทดสอบครั้งแรกไปสู่งวิธีการทดสอบครั้งต่อไป

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การเสนอผลและอภิปรายผลการศึกษา จะแยกพิจารณาในแต่ละการทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมและระดับของอุณหภูมิภายในกองข้าว ความชื้นข้าวเปลือกและคุณภาพข้าว มีรายละเอียดดังนี้

- ผลการทดสอบเบื้องต้น อุณหภูมิภายในกองข้าวตามลักษณะเส้นระดับที่เกิดขึ้น (รูปที่ 7) ชี้ให้เห็นพฤติกรรมและตำแหน่งเริ่มต้นการสะสมความร้อนที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นและคุณภาพข้าวเปลือกตามระยะเวลาการทดลองที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในกองข้าวภายนอกอาคาร การเพิ่มขึ้นของระดับอุณหภูมิจะสูงกว่า กองข้าวภายในอาคาร โดยเฉพาะบริเวณแสงแดดกระทบ แต่หากพิจารณาโดยรวม ทั้งสองการทดลองมีลักษณะและตำแหน่งการเริ่มสะสมความร้อนคล้ายคลึงใกล้เคียงกัน โดยระบุตำแหน่งการเริ่มสะสมความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระดับที่เริ่มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวเปลือก จะเกิดขึ้นบริเวณกลางกอง ณ ตำแหน่งสูงจากฐานประมาณ 30-60 เซนติเมตร ความกว้างตามแนวรัศมีฐาน 40 เซนติเมตร จากนั้นความร้อนจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น แล้วเคลื่อนที่ขึ้นสู่ยอดกรวยกอง ตามธรรมชาติของอากาศร้อน ทำให้อากาศบริเวณขอบรอบ ๆ ฐานกรวยกอง ระยะจากแกนกรวยกองประมาณ 60 เซนติเมตร มีการเคลื่อนที่สู่กลางกรวยกองข้าว เพื่อแทนที่อากาศร้อนชื้นที่ลอยสูงขึ้น ซึ่งได้นำพาความชื้นและไอน้ำตามไปด้วย ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทระบายอากาศให้กับอากาศแวดล้อมลดลง จนทำให้อุณหภูมิภายในกองเพิ่มสูงถึง 60 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่งสูงจากฐานในช่วงประมาณ 60-70 เซนติเมตร หลังจากนี้ความร้อนสูงจะขยายกว้างเพิ่มมากขึ้นตามรูปทรงกรวยกองข้าว โดยลักษณะการสะสมความร้อนภายในกองข้าว ที่บ่งชี้ด้วยเส้นระดับอุณหภูมิ เป็นรูปสมมาตรตามแกนเส้นผ่านศูนย์กลางกรวยกอง หากพิจารณาความชื้นและคุณภาพข้าวเปลือก ทั้งการกองข้าวภายในและภายนอกอาคาร ความชื้นข้าวมีการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างมากนัก (รูปที่ 8) ซึ่งบริเวณยอดกองข้าวความชื้นจะเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าบริเวณอื่น ๆ เล็กน้อย หลังจากผ่านไป 2-3 วัน เนื่องจากความร้อนภายในกองได้เคลื่อนที่พาอากาศร้อนชื้นสู่บริเวณยอดกอง แล้วควบแน่นเป็นน้ำหลังกระทบกับอากาศแวดล้อมภายนอก สำหรับคุณภาพข้าว (ตารางที่ 1) ด้านเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว และเปอร์เซ็นต์ข้าวสารรวม มีการเปลี่ยนแปลงจากเริ่มต้นไม่มากนัก ซึ่งการกองข้าวภายในอาคารใกล้เคียงกับเริ่มต้น ส่วนการกองข้าวภายนอกอาคารเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังสิ้นสุดการทดลอง โดยที่ความขาวของข้าวสาร ทั้งการกองข้าวภายในและภายนอกอาคาร ลดลงตามระยะเวลาการทดลองที่เพิ่มขึ้น

จากลักษณะพฤติกรรมของอุณหภูมิ ซึ่งบ่งชี้ถึงความร้อนที่เกิดขึ้นภายในกองข้าว เป็นผลให้ระดับอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นตามธรรมชาติ จนความร้อนสะสมสูงถึงระดับที่ก่อความเสื่อมเสียหายต่อคุณภาพข้าวเปลือก ดังนั้นการชะลอการเสื่อมคุณภาพของข้าวเปลือกความชื้นสูงโดยการว่างท่อดูดภายในกอง เพื่อดูดระบายอากาศร้อนบริเวณกลางกอง น่าจะช่วยลดอุณหภูมิภายในกองข้าวลงได้

- ผลการทดสอบรูปแบบการจัดวางท่อดูดระบายอากาศ ภายในกองที่วางท่อดูดระบายอากาศรูปทรงท่อเดี่ยวและท่อแยก การลดลงของอุณหภูมิมีความ

ใกล้เคียงกัน (รูปที่ 9) แล้วยังลดลงใกล้เคียงกับอากาศแวดล้อม หลังเริ่มดูดอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และต่ำกว่าหลังจากเวลาผ่านไป 5 ชั่วโมง ซึ่งแตกต่างกับการกองข้าวอยู่กับที่ มีระดับอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยที่ความชื้นข้าวเปลือกภายในกองวางท่อดูดระบายอากาศรูปทรงท่อเดี่ยวและท่อแยกลดลงตามระยะเวลาการทดลองที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 10) และในแต่ละวันค่าความชื้นลดลงอย่างใกล้เคียงกัน ส่วนการกองข้าวอยู่กับที่ ความชื้นข้าวเปลือกมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย แต่หลังจากรื้อกองข้าว กองที่วางท่อดูดระบายอากาศรูปทรงท่อแยก บริเวณผิวส่วนด้านล่างของท่อแยกทั้งสี่ส่วน พบว่ามีน้ำเกาะที่ผนังท่อดูด ข้าวเปลือกงอกเป็นต้นอ่อนและมีราสีขาวเกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะการถ่ายเทความชื้นให้กับอากาศที่ไหลผ่านในบริเวณนี้ไม่ดีนัก ซึ่งปัญหาดังกล่าวไม่ปรากฏพบในกองที่วางท่อดูดระบายอากาศรูปทรงท่อเดี่ยว แต่อย่างไรก็ตามทั้งสองรูปแบบคุณภาพข้าวเปลือก ทั้งเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว เปอร์เซ็นต์ข้าวสารรวม และความขาวของข้าวสาร (ตารางที่ 2) ค่อนข้างคงที่และไม่แตกต่างจากเริ่มต้นมากนัก ส่วนการกองข้าวอยู่กับที่ พบข้าวเปลือกงอกเป็นต้นอ่อนและมีราสีขาวเกิดขึ้น ซึ่งคุณภาพข้าวเปลือก เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวและเปอร์เซ็นต์ข้าวสารรวมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนความขาวของข้าวสารแตกต่างจากเริ่มต้นไม่มากนัก หลังสิ้นสุดการทดลอง ทั้งนี้เพราะความชื้นข้าวเปลือกสำหรับใช้ในการทดสอบไม่สูงมากนัก

การทดลองดังกล่าวระบุได้ว่า การจัดวางท่อดูดระบายอากาศรูปทรงท่อเดี่ยวและท่อแยก แล้วดูดระบายอากาศอัตราการไหล 2 $ม^3$/นาที-$ม^3$ข้าวเปลือก ช่วยระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจของเมล็ดข้าวเปลือก และช่วยรักษาอุณหภูมิภายในกองให้ใกล้เคียงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ได้ตลอดระยะเวลาการทดสอบ ซึ่งยังช่วยลดความชื้นของข้าวเปลือกให้ต่ำลง แต่การจัดวางท่อดูดระบายอากาศรูปทรงท่อแยก พบว่าข้าวเปลือกยังมีความเสียหายเกิด ดังนั้นการจัดวางท่อดูดระบายอากาศรูปทรงท่อเดี่ยว ซึ่งรักษาคุณภาพข้าวเปลือกให้คงสภาพจนสิ้นสุดการทดสอบได้ จึงเป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการดูดระบายอากาศออกจากกองข้าว เพื่อชะลอการเสื่อมคุณภาพของข้าวความชื้นสูง แต่เป็นที่สังเกตว่าการดูดระบายอากาศด้วยอัตราการไหล 2 $ม^3$/นาที-$ม^3$ข้าวเปลือก ช่วยลดอุณหภูมิภายในกองข้าว ให้ใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ภายในเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นจึงศึกษาอัตราการดูดระบายอากาศ ซึ่งจะกล่าวผลในหัวข้อต่อไป

- การทดสอบอัตราการดูดระบายอากาศออกจากกองข้าว การดูดระบายอากาศทั้ง 3 ระดับอัตราการไหล พบว่า การดูดระบายอากาศอัตราการไหล 1.0 และ 1.5 $ม^3$/นาที-$ม^3$ข้าวเปลือก ช่วยระบายความร้อนและลดอุณหภูมิภายในกองข้าวให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (รูปที่ 11) ภายในเวลา 10 ชั่วโมง และช่วยลดความชื้นข้าวเปลือกให้ต่ำลง (รูปที่ 12) เฉลี่ยลดลงวันละประมาณ 1.6%wb ซึ่งการดูดระบายอากาศอัตราการไหล 1.5 $ม^3$/นาที-$ม^3$ข้าวเปลือก บริเวณขอบฐานกรวยกองระดับอุณหภูมิยังสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมเล็กน้อย ส่วนการดูดระบายอากาศอัตราการไหล 0.5 $ม^3$/นาที-$ม^3$ข้าวเปลือก ใช้เวลามากกว่า 10 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 20 ชั่วโมง จึงลดอุณหภูมิภายในกองข้าว ให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อมได้และช่วยลดความชื้นข้าวเปลือกได้ไม่มากนัก เฉลี่ยลดลงวันละประมาณ 0.6%wb เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับการกองข้าวอยู่กับที่ ระดับอุณหภูมิภายในกองเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วต่อเนื่องจนถึง 60 องศาเซลเซียส หลังจากเริ่มทดลองเป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 80 องศาเซลเซียส ภายในเวลาทดลอง 40 ชั่วโมง แล้วความร้อนสูงขยายกว้างออกตามรูปทรงกรวยกอง ในระดับอุณหภูมิสูงค่อนข้างคงที่ จนสิ้นสุดการทดลอง โดยความชื้นข้าวเปลือกมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นอุณหภูมิอย่างรวดเร็วภายในกองข้าว เนื่องจากความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้นในการทดสอบค่อนข้างสูง จึงทำให้อัตราการหายใจของเมล็ดสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสัมพันธ์กับความร้อนที่เกิดจากการหายใจโดยตรง และเมื่อรื้อกองข้าวหลังสิ้นสุดการทดลอง การดูดระบายอากาศทั้งสามอัตราการไหล ไม่ปรากฏว่ามีข้าวเปลือกงอกเป็นต้นอ่อน แต่พบว่าข้าวเปลือกระหว่างปลายท่อและพื้นมีความชื้นค่อนข้างมาก และมีราสีขาวเล็กน้อย แต่ความเสียหายเกิดขึ้นไม่รุนแรง

ดังเช่นการกองข้าวอยู่กับที่ ซึ่งข้าวเปลือกบริเวณกลางกองมีลักษณะคล้ายข้าวนึ่ง มีกลิ่นเหม็นสาบ และบริเวณขอบฐานกรวยกองโดยรอบ ข้าวเปลือกงอกเป็นต้นอ่อน สีของเมล็ดข้าวเปลือกคล้ำถึงดำ เมื่อสีตรวจสอบคุณภาพ การดูดระบายอากาศทั้งสามอัตราการไหล คุณภาพข้าวเปลือกไม่แตกต่างจากเริ่มต้น (ตารางที่ 3) ส่วนการกองข้าวอยู่กับที่ เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเปอร์เซ็นต์ข้าวสารรวมไม่แตกจากเริ่มต้นมากนัก โดยความขาวของข้าวสารลดลงอย่างต่อเนื่องในแต่ละวันของการทดลอง ค่าดัชนีความขาวเฉลี่ยลดลงวันละ 2.8 ดังเช่นความเข้มของสีข้าวเปลือกที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทดลอง

การทดลองดังกล่าวระบุได้ว่า การกองข้าวเปลือกความชื้นสูงอยู่กับที่ ระดับอุณหภูมิเพิ่มอย่างรวดเร็วจนอัตราการเพิ่มความร้อนสูงถึงระดับที่ก่อความเสื่อมเสียหายต่อคุณภาพข้าว ภายในระยะเวลา 2-3 วัน ทั้งนี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนสีของข้าวสารและข้าวเปลือกอย่างเห็นชัด และพฤติกรรมของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในกองข้าว รวมถึงความเสียหายที่พบหลังจากรื้อกองข้าว ซึ่งแตกต่างจากการดูดระบายอากาศด้วยอัตราการไหลในระดับต่างๆ ที่ช่วยระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจของเมล็ดข้าวเปลือก ช่วยป้องกันรักษาคุณภาพข้าวเปลือกให้คงสภาพไม่เกิดการเสื่อมเสียหาย และช่วยลดอุณหภูมิภายในกองให้ใกล้เคียงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมได้ตลอดระยะเวลาการทดลอง ถึงแม้ข้าวเปลือกที่อยู่ระหว่างปลายท่อและพื้นจะมีราสีขาวเกิดขึ้นก็ตาม แต่โดยรวมข้าวเปลือกภายหลังการสียังมีคุณภาพดี สำหรับอัตราการดูดระบายอากาศ 1.0 และ 1.5 ม^3/นาที-ม^{3}ข้าวเปลือก ยังช่วยลดความชื้นข้าวเปลือกให้ต่ำลงอีกด้วย ซึ่งเป็นผลดีต่อการลดความชื้นในขั้นตอนต่อไป

สรุปผลการวิจัย

- การกองข้าวเปลือกความชื้นสูงอยู่กับที่ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ลักษณะพฤติกรรมของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในกองข้าว แสดงตำแหน่งเริ่มต้นการสะสมความร้อนบริเวณกลางกอง ที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยเริ่มจากการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนชื้นจากขอบรอบฐานกรวยกอง เข้าสู่กลางกองตำแหน่งเริ่มสะสมความร้อน แล้วนำพาอากาศร้อนชื้นและไอน้ำจากการหายใจของเมล็ดข้าว ขึ้นสู่บริเวณส่วนยอดกรวยกอง ในลักษณะสมมาตรเชิงเรขาคณิตตามแกนกรวยกอง ทำให้ความชื้นข้าวเปลือกบริเวณยอดกรวยกองเพิ่มสูงขึ้น และอุณหภูมิภายในกองข้าวเพิ่มสูงขึ้นถึง 60 องศาเซลเซียส แล้วขยายความร้อนเป็นวงกว้างตามรูปทรงกรวยกองข้าว ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นข้าวเปลือกและคุณภาพข้าวภายในกอง ถึงแม้การเสื่อมเสียหายของคุณภาพข้าวของทั้งสองกรณี จะมีความรุนแรงแตกต่างกัน โดยเฉพาะบริเวณกลางกรวยกอง แต่โดยรวมแล้วเกิดจากสาเหตุของผลการสะสมความร้อนตามลักษณะพฤติกรรมและเส้นระดับของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในกองข้าว ซึ่งมีลักษณะการเกิดและจุดกำเนิดคล้ายคลึงใกล้เคียงกัน

- การจัดวางท่อดูดระบายอากาศรูปทรงท่อเดี่ยวและท่อแยก โดยการดูดระบายอากาศอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการไหล 2 ม^3/นาที-ม^{3}ข้าวเปลือกช่วยลดอุณหภูมิภายในกองข้าวให้ใกล้เคียงและต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม หลังจากดูดระบายอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และช่วยลดความชื้นข้าวเปลือกภายในกองข้าวให้ต่ำลงอีกด้วย แต่หลังจากรื้อกอง ที่ผิวท่อแยกใกล้กับพื้นกองข้าวเปลือกงอกเป็นต้นอ่อนและมีราสีขาวเล็กน้อย แต่ไม่รุนแรงมากนัก เมื่อเทียบกับการกองข้าวอยู่กับที่ข้าวเปลือกเกิดการงอกเป็นต้นอ่อน และมีราสีขาวจำนวนมาก ถึงแม้อุณหภูมิภายในกองข้าวอยู่กับที่ จะสูงถึง 60 องศาเซลเซียส แต่ก็ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวมากนัก ทั้งนี้เพราะข้าวเปลือกทดสอบมีความชื้นเริ่มต้นไม่สูงนัก จึงทำให้ไม่ปรากฏความแตกต่างให้เห็นเด่นชัดนัก อย่างไรก็ตามพบว่า การจัดวางท่อดูดระบายอากาศรูปทรงท่อเดี่ยว มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับรูปทรงกรวยกองข้าว โดยอากาศเคลื่อนที่ตามแรงดูดเข้าสู่ท่อเดี่ยวในระยะทางตามแนวรัศมีฐานกองเท่ากันโดยตลอด ส่งผลให้การระบายความร้อนและไอน้ำจากการหายใจของเมล็ดข้าวเปลือกเป็นไปได้ด้วยดี ซึ่งไม่ก่อให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดราสีขาว และการงอกเป็นต้นอ่อนของข้าวเปลือก

- การดูดระบายอากาศออกจากกองข้าว ด้วยอัตราการไหล 0.5, 1.0 และ 1.5 $ม^3$/นาที-$ม^3$ข้าวเปลือก ช่วยลดอุณหภูมิภายในกองให้ใกล้เคียงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมได้ ภายในระยะเวลา 10 ถึง 20 ชั่วโมง ซึ่งอัตราการไหล 1.0 และ 1.5 $ม^3$/นาที-$ม^3$ข้าวเปลือก ยังมีส่วนช่วยลดความชื้นข้าวเปลือกภายในกองให้ต่ำลงอีกด้วย ซึ่งทั้งสามกรณีข้าวเปลือกยังคงคุณภาพดี ไม่เกิดความเสียหาย โดยเฉพาะสีของข้าวเปลือกและข้าวสาร เกิดการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ถึงแม้ข้าวเปลือกบริเวณระหว่างปลายท่อกับพื้นจะมีความชื้นค่อนข้างมาก และมีราสีขาวเล็กน้อยก็ตาม แต่หากพิจารณาเปรียบเทียบกับการกองข้าวอยู่กับที่ การสะสมความร้อนภายในกองข้าวเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง จนอุณหภูมิเพิ่มสูงถึง 60 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 20 ชั่วโมง และเพิ่มขึ้นถึง 80 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 40 ชั่วโมง ทั้งนี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนของสีข้าวเปลือกและข้าวสาร ในวันที่ 2 และ 3 ซึ่งจากนี้ความเข้มของสีข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้น พร้อมกับความขาวของข้าวสารจะลดลง ในวันสุดท้ายดรรชนีความขาวเฉลี่ยลดลงแตกต่างจากเริ่มต้น 20.7 หน่วย เมื่อรื้อกองข้าว พบข้าวเปลือกมีผิวสีดำเกิดขึ้นสอดคล้องกับลักษณะพฤติกรรมของอุณหภูมิในระดับความร้อนสูงตามรูปทรงกรวยกองข้าว ข้าวเปลือกบริเวณกลางกองมีลักษณะคล้ายข้าวนึ่ง มีกลิ่นเหม็นสาบ และบริเวณขอบฐานกรวยกองข้าวโดยรอบ ข้าวเปลือกงอกเป็นต้นอ่อน มีราสีขาวเกิดขึ้นจำนวนมาก

ดังนั้น วิธีชะลอการเสื่อมคุณภาพของข้าวเปลือกความชื้นสูง โดยการดูดระบายอากาศออกจากกองข้าวด้วยอัตราการไหล 0.5 $ม^3$/นาที-$ม^3$ข้าวเปลือก สามารถป้องกันรักษาข้าวเปลือก ให้คงคุณภาพข้าวอยู่ได้ เป็นระยะเวลา 7 วัน ในขณะระหว่างกองรอขนย้ายและ/หรือไม่สามารถลดความชื้นได้ อย่างปลอดภัยโดยไม่เกิดการเสื่อมเสียหายต่อคุณภาพข้าวเปลือกความชื้นสูง

เอกสารอ้างอิง

วินิต ชินสุวรรณ, สุเนตร โม่งปราณีต, ณรงค์ ปัญญา. 2539. **ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวข้าวหอมมะลิ โดยใช้เครื่องเกี่ยวนวด.** เอกสารประกอบการบรรยายในการประชุมสัมมนาทางวิชาการ วิศวกรรมเกษตร ประจำปี 2539; 21 พฤศจิกายน 2539; กรุงเทพฯ.

วินิต ชินสุวรรณ, วิเชียร เฮงสวัสดิ์, ทรงเชาว์ อินสมพันธ์. 2538. **การศึกษาเพื่อปรับปรุงการตากแผ่ข้าวหลังการเกี่ยวและการชะลอการเสื่อมคุณภาพข้าวเปลือกความชื้นสูงในระดับเกษตรกร.** รายงานผลการศึกษาเสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว). มหาวิทยาลัยขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) 2542. **ชุดโครงการ "ข้าว พืชไร่สำคัญ และพืชอุตสาหกรรม".** เอกสารประกอบสัมมนาวิชาการครั้งที่ 3; 17-18 สิงหาคม 2542; โรงแรมท็อปแลนด์ พิษณุโลก.

อรอนงค์ ศรีพวงกุล. 2536. **การศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกโดยวิธีฟลูอิดไดซ์เบดอย่างต่อเนื่อง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.