

การออกแบบและพัฒนาชุดระบบควบคุมการระบายอากาศแบบอัตโนมัติในภาชนะเก็บข้าวเปลือก
Design and Development of Automatic Ventilation Control System in Paddy Container

ทศพร กลิ่นมาลี^{*1}, กิตติรัช ยืนเยื่อน¹, ปุณยวีร์ ปฐมโฆสิตเสถียร¹ และ รังสรรค์ วรรณภพ¹

¹สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี

140 หมู่ 4 ถนนติวานนท์ ตำบลบ้านกลาง อำเภอเมือง ปทุมธานี 12000

*ผู้รับผิดชอบบทความ: Tossaphorn.k@ptu.ac.th

Tossaphorn Klinmalee^{*1}, Kittitat Yinyuan¹, Pomyawee Patomkrositsathian¹
and Rangsan Wannapop¹

¹Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering and Technology, Pathumthani University
140 Moo 4 Thiwanont Road, Ban Klang Subdistrict, Mueang Pathum Thani District, Pathum Thani 12000

*Corresponding author: Tossaphorn.k@ptu.ac.th

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีการปลูกข้าวเป็นอาชีพหลักและทำรายได้จากการขายส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของประเทศ การปลูกข้าวของเกษตรกรจะปลูกสองครั้งต่อปี คือ ข้าวนาปี และข้าวนาปรัง อย่างไรก็ตามในการเก็บรักษาข้าวเปลือก มักจะพบปัญหาคือ ข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวจะมีความชื้นสูง เมล็ดข้าวเกิดเชื้อรา และเมล็ดข้าวเหลือง ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดการสูญเสีย ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและพัฒนาชุดระบบควบคุมการระบายอากาศแบบอัตโนมัติในภาชนะเก็บข้าวเปลือก โดยจะทดลองใช้ลมร้อนจากพัดลมระบายอากาศเป่าผ่านหลอดแก้วทำความร้อน จากการทดลองพบว่า การเปิดพัดลมระบายอากาศ และ เปิดหลอดแก้วทำความร้อนเพียงอย่างเดียว โดยมีกำหนดอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำหนักข้าวก่อนเข้าถังบรรจุมีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม หลังจากการทดลองเสร็จ ลดลงเหลือ 45.98 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าการระบายอากาศด้วยการเปิดหลอดแก้วทำความร้อนจะสามารถลดความชื้นในกองข้าวได้ดีกว่าการเก็บรักษาแบบพื้นฐาน

คำสำคัญ: การระบายอากาศ, ความชื้น, ข้าวเปลือก, การจำลอง, การไหลของอากาศ

Received : 19 November 2023

Revised : 10 January 2024

Accepted : 10 January 2024

Online publication date : 10 January 2024

Abstract

Thailand is the main occupation of rice cultivation and earns the number one income from export sales in the country. Farmers plant rice twice a year, namely in-season rice and off-season rice. However, in the preservation of paddy, the problem is often encountered. Paddy after harvest will have high moisture content. moldy rice grains and yellow rice Paddy with high moisture content is a major cause of loss. Therefore, the research team has an idea to design and develop an automatic ventilation control system in container by experimenting with hot air from a ventilator blowing through a glass heating tube. From the experiment it was found that when the ventilation fan is on and turn on the heating glass tube alone. The temperature was set at 60 degrees Celsius, making the weight of the rice before entering the tank weighing 50 kg. After the experiment was completed, it was reduced to 45.98 kg. It can be seen that the ventilation by opening the heating tube can reduce the moisture in the rice pile better than local preservation.

Keywords: Ventilation, Moisture, Paddy, Simulation, Airflow

บทนำ

ประเทศไทยมีการปลูกข้าวเป็นอาชีพหลักและทำรายได้จากการขายส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของประเทศ การปลูกข้าวของเกษตรกรจะปลูกสองครั้งต่อปี คือ ข้าวนาปี และ ข้าวนาปรัง การเก็บรักษาผลผลิตเพื่อใช้ในการบริโภค และเพื่อการพาณิชย์ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ คุณภาพของข้าวเปลือกหลังการสี ปัญหาที่มักเกิดขึ้นกับเกษตรกรคือ ข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวจะมีความชื้นสูง และถูกทำลายได้โดยง่ายเช่น เมล็ดข้าวเปลือกเสียเนื่องจากเชื้อรา เมล็ดข้าวเหลือง ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดการสูญเสีย (ขุนพล สังข์อารียกุล, 2544 ; ฉัตรชัย นิยมมล และ อนุชา หิรัญวัฒน์, 2555; เทวรัตน์ ตรีอำรรค, 2557)

จากข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้ในช่วงต้นฤดูการเก็บเกี่ยวทำให้ผลผลิตข้าวเปลือกออกสู่ตลาดเป็นจำนวนมากโดยพ่อค้าคนกลาง โรงสี หรือสหกรณ์การเกษตร ซึ่งปริมาณข้าวเปลือกจำนวนมากเหล่านี้ต้องมีการจัดการเก็บรักษาที่ดีเพื่อที่จะนำไปสู่กระบวนการผลิตข้าวสารได้อย่างมีคุณภาพ เพราะคุณภาพข้าวเป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่อมูลค่าทางการค้าและความพึงพอใจของผู้บริโภคเป็นอย่างยิ่ง การเก็บรักษาข้าวเปลือกมีหลายวิธีและมีการเลือกใช้กันตามปริมาณความเหมาะสมกับแต่ละแห่ง ไม่ว่าจะเป็นการบรรจุในกระสอบ การกองในโรงและในไซโล ซึ่งมักจะประสบปัญหาในระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ แมลงศัตรูในโรงเก็บ การความร้อนและความชื้นสะสมในกอง ซ้ำยังเป็นสาเหตุให้เกิดข้าวเหลืองและเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวต่ำ ซึ่งการเก็บรักษาข้าวในไซโลน่าจะช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ ถ้ามีการจัดการที่ถูกต้องตามวิธีการและโดยทั่วไปความชื้นของข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวจะอยู่ในช่วงร้อยละ 18.0-26.0 มาตรฐานเปียก ซึ่งความชื้นระดับนี้จะถูกทำลายได้โดยง่ายจากเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อรา และความร้อนที่เกิดขึ้น จากการหายใจของเมล็ดพืช โดยการเผาผลาญแบ่งกับออกซิเจนทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คุณภาพข้าวลดลง

จากการศึกษาวิจัยของ (James E. Wimberly, 1983) รายงานว่า เมล็ดข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ในสภาพที่ปราศจากการควบคุมของสิ่งแวดล้อมเพื่อให้มีความชื้นที่เหมาะสมของเมล็ดข้าวเปลือกพบว่าถ้าต้องการเก็บข้าวเปลือกไว้ 2-3 เดือน และ ระดับความชื้นของข้าวเปลือกที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาหรือก่อนนำไปสัอยู่ในช่วง ร้อยละ 12.0-14.0 มาตรฐานเปียก ผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับ (พรศักดิ์ ทองมา, 2542; วทัญญู รอดประพัฒน์, สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ และ มนตรี หวังจิ, 2542; ยุทธนา ภูริระวินิชย์กุล, 2546; สิทธิเดช กุลวงษ์, 2547)

เพื่อเป็นการช่วยแก้ไขปัญหาในข้างต้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะออกแบบและพัฒนาชุดระบบควบคุมการระบายอากาศแบบอัตโนมัติในภาชนะเก็บข้าวเปลือก เพื่อลดความชื้นภายในกองข้าวเปลือกและช่วยให้รักษาคุณภาพข้าวเปลือกได้ตลอดระยะเวลาการจัดเก็บ

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาภายในงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ การทดลอง และ การจำลองเชิงตัวเลข ข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง คือ ข้าวเปลือกพันธุ์ กข61 ปริมาณข้าวสารที่ใช้ คือ 50 กิโลกรัม ในส่วนของการทดลองจะใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 30, 40, และ 50 องศาเซลเซียส ชุดทดสอบแสดงดังรูปที่ 1 ความเร็วลมที่ใช้ในการทดสอบจะอยู่ที่ 2.4 – 2.5 เมตรต่อวินาที โดยทำการเป่าลมเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาปกติที่เหมาะสม และ มีการใช้อย่างแพร่หลาย ทำการเก็บค่าอุณหภูมิ และ ความชื้นตลอดการทดลอง

การระบายความร้อนจากกองข้าวเปลือกขึ้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 (ผศ.ดร.ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง, 2547)

$$Q = UA_s \Delta T_m \quad (1)$$

เมื่อ

Q	คือ	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OVERALL COEFFICIENT OF HEAT TRANSFER)
U	คือ	สัมประสิทธิ์ การส่งผ่านความร้อน (THERMAL RESISTANT COEFFICIENT)
A_s	คือ	พื้นที่ที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน (AREA OF HEAT TRANSFER)
T_m	คือ	ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายใน(EQUIVALENT TEMPERATURE DIFFERENT)

ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) คืออัตราส่วนของปริมาณ ความชื้นหรือน้ำ ในวัสดุต่อปริมาณวัสดุรวม โดยคิดวัสดุประกอบไปด้วยสองส่วนหลักคือความชื้น และ มวลแห้ง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$M_w = \frac{W_w}{W} = \frac{W - W_d}{W} \quad (2)$$

เมื่อ	M_w	คือ	ความชื้นมาตรฐานเปียก
	W	คือ	มวลของวัสดุ(g)
	W_w	คือ	มวลของความชื้นหรือปริมาณน้ำในวัสดุ(g)
	W_d	คือ	มวลแห้งของวัสดุ (g)

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis, db) คืออัตราส่วนของปริมาณความชื้นในวัสดุต่อปริมาณแห้งในวัสดุ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$M_d = \frac{W_w}{W_d} = \frac{W - W_d}{W_d} \quad (3)$$

ตารางที่ 1 รายละเอียดชุดระบบควบคุมการระบายอากาศแบบอัตโนมัติในภาชนะเก็บข้าวเปลือก

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด
ท่อลมพอยล์ด้านดูด	มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว
ถังบรรจุข้าว	มีความจุขนาด 200 ลิตร
ท่อลมพอยล์ด้านเป่า	มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ความยาว 2 เมตร
มอเตอร์พัดลมระบายอากาศ	กำลังไฟฟ้า 220 โวลต์ ขนาด 1 แรงม้า
สายพานมอเตอร์พัดลมระบายอากาศ	มีความกว้าง 11 มิลลิเมตร ความหนา 7 มิลลิเมตร
พัดลมระบายอากาศ	ความเร็วรอบ 1652 รอบต่อนาที
ชุดทำความร้อน	มีขนาด 500 วัตต์



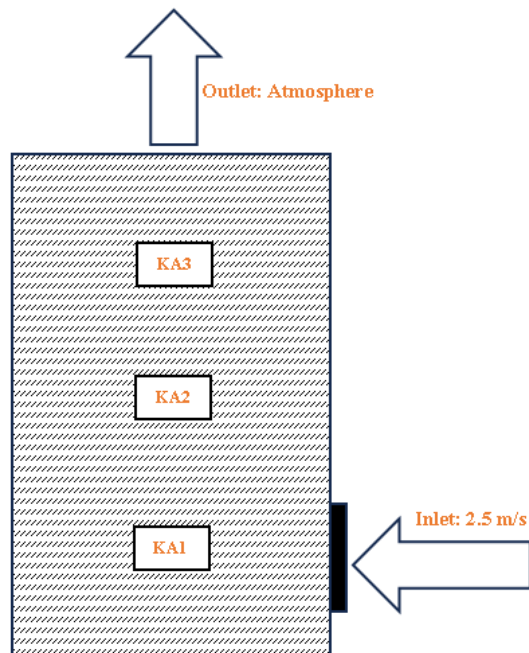
รูปที่ 1 ชุดระบบควบคุมการระบายอากาศแบบอัตโนมัติในภาชนะเก็บข้าวเปลือก

ผลการทดลอง

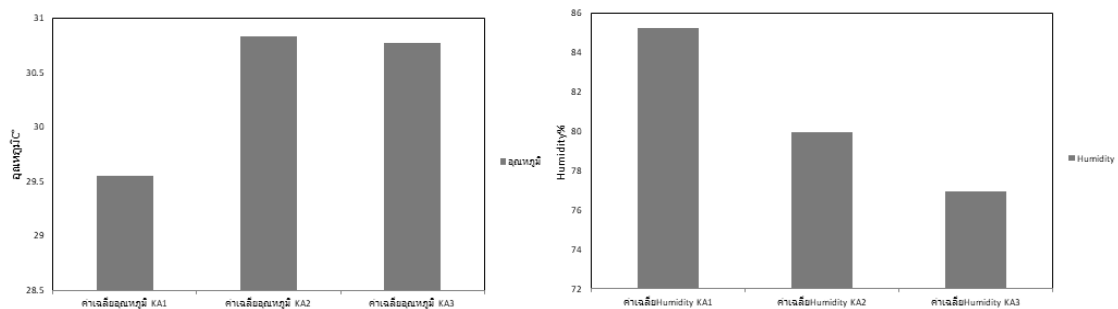
การติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ และ ค่าความชื้นจะติดตั้งทั้งหมด 3 จุด ประกอบไปด้วย KA1, KA2 และ KA3 โดยแสดงดังรูปที่ 2 และ ทำการเก็บค่าทุกวินาทีตลอดระยะเวลาการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า ที่บริเวณทางด้านล่างของของอุปกรณ์เก็บข้าวสารซึ่งใกล้กับบริเวณทางเข้าของลมร้อนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับจุดอื่น ๆ อุณหภูมิที่สูงทำให้อากาศบริเวณด้านล่างพยายามที่จะแทรกตัวและไหลขึ้นไปทางด้านบน อากาศดังกล่าวยังนำความชื้นที่สะสมอยู่ในจากทางด้านล่างขึ้นไปยังด้านบนอีกด้วย

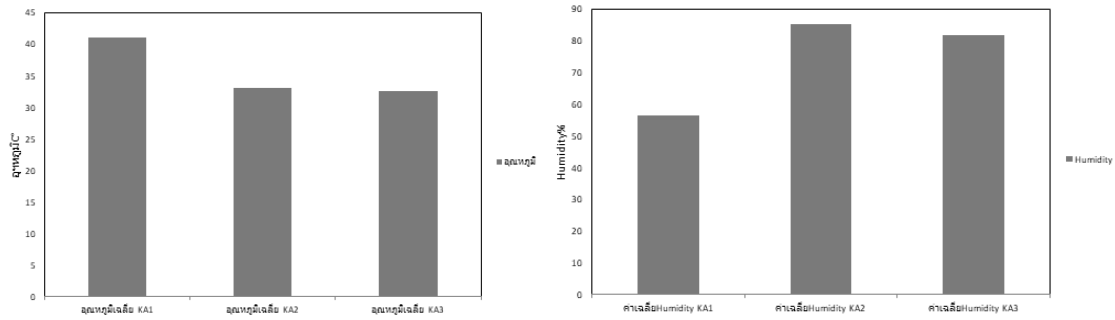
สามารถสังเกตได้จากรูปที่ 4 และ รูปที่ 5 ในส่วนของรูปที่ 3 จะไม่สังเกตเห็นถึงความแตกต่างนี้เนื่องจากไม่เกิดผลต่างของอุณหภูมิภายในถัง ความชื้นจะยังคงถูกสะสมอยู่ทางด้านล่าง



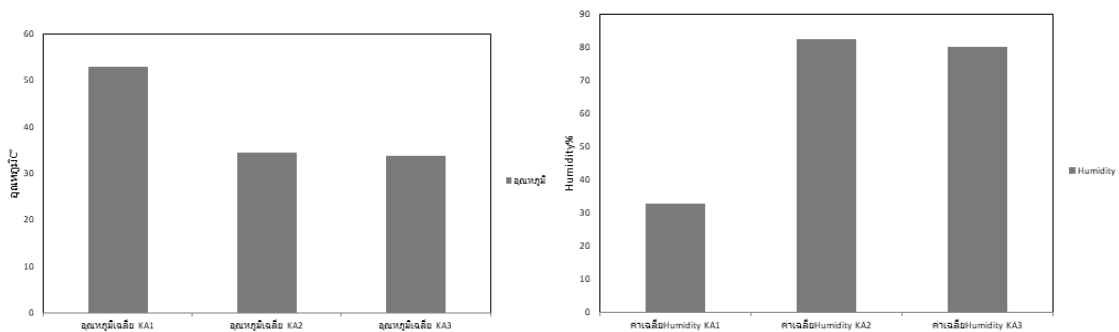
รูปที่ 2 จุดติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ และ ค่าความชื้น



รูปที่ 3 กราฟค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (ซ้าย) และ ความชื้น (ขวา) ในกรณีที่อุณหภูมิทางเข้ามีค่าเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4 กราฟค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (ซ้าย) และ ความชื้น (ขวา) ในกรณีที่อุณหภูมิทางเข้ามีค่าเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5 กราฟค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (ซ้าย) และ ความชื้น (ขวา) ในกรณีที่อุณหภูมิทางเข้ามีค่าเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส

ผลการจำลองเชิงตัวเลข

การไหลของอากาศภายในโดเมนสามารถคำนวณได้จากสมการของความต่อเนื่อง และ สมการนาเวียร์-สโตกส์ ดังสมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับ โดยกำหนดให้อากาศเป็น ของไหลนิวโตเนียนและเป็นของไหลแบบอัดตัวไม่ได้ ความเร็วของอากาศที่ทางเข้าเป็นการไหลแบบสม่ำเสมอโดยกำหนดให้ความเร็วที่ทางเข้ามีค่าเท่ากับ 2.5 m/s และที่ทางออกเป็นความดันที่ไม่มีความหนืด (Pressure, no viscous stress) มีค่าเท่ากับ ความดันบรรยากาศ ($P=101325\text{Pa}$) พ้นกำหนดให้ไม่มีการสั่นไถล (No slip boundary condition) ความเร็วเท่ากับศูนย์ และ คุณสมบัติทางกายภาพของของไหลจะถือว่าเป็นค่าคงที่

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0 \quad (4)$$

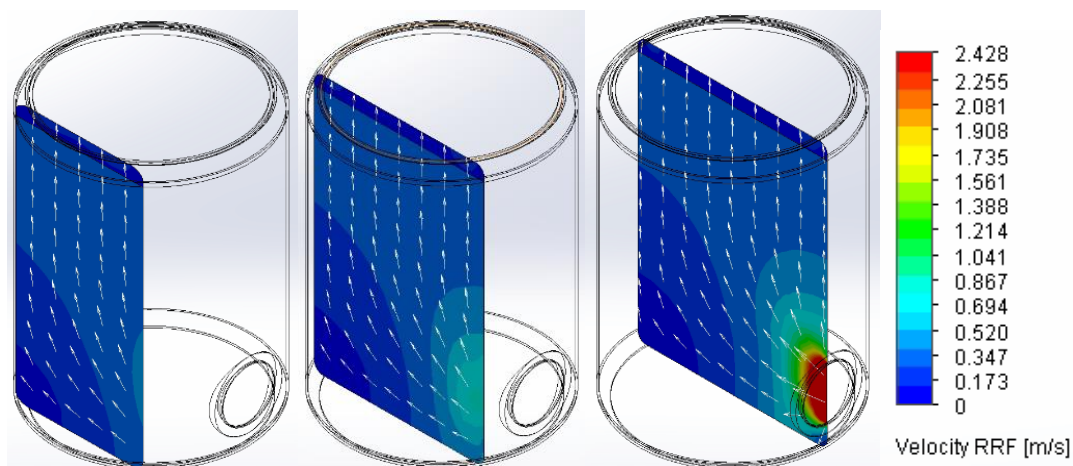
$$\rho \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} \right) = -\nabla \vec{p} + \mu \nabla^2 \vec{u} \quad (5)$$

การคำนวณจะใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการคำนวณ จำนวนเอลิเมนต์ที่ใช้ในการคำนวณประมาณ 45000 เอลิเมนต์ เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของซีพียู และ หน่วยความจำของตัวเครื่อง อย่างไรก็ตามยังเพียงพอสำหรับการคำนวณในครั้งนี้ เงื่อนไขขอบเขตแสดงดังรูปที่ 2

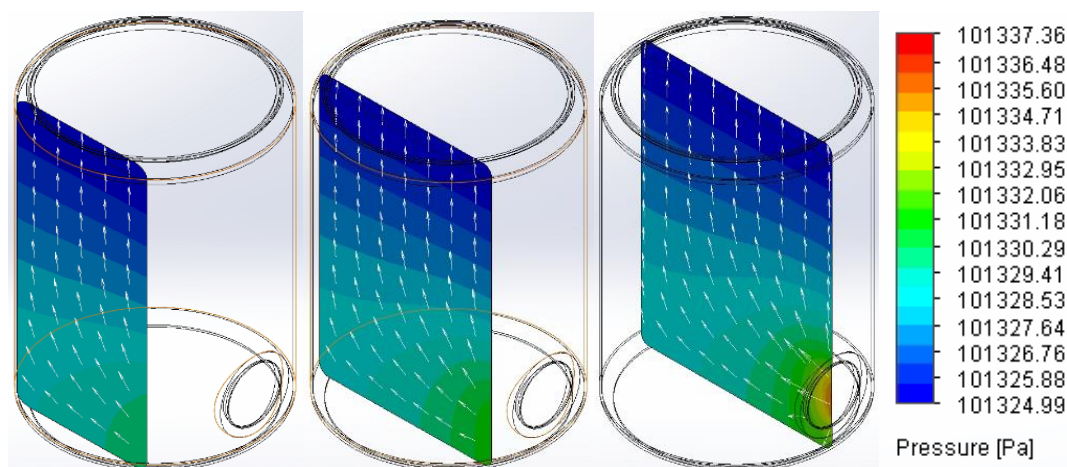
ผลจากการจำลองพบว่าความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านข้าวเปลือกบริเวณทางเข้าจะมีค่าสูง ที่ระยะห่างออกไปจากทางเข้าความเร็วจะลดลงดังรูปที่ 6 ซึ่งผลของการจำลองสอดคล้องกับผลของการทดลองสังเกตได้จากเมื่อตรวจวัดความชื้นข้าวเปลือกที่บริเวณนั้นจะมีค่าความชื้นที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับข้าวเปลือกที่อยู่บริเวณทางเข้า ในส่วนของทิศทางการไหลสามารถสังเกตได้จากหัวของลูกศร

นอกจากนี้ผลการจำลองพบว่า ความดันทางด้านล่างมีค่าสูงกว่าความดันทางด้านบนดังรูปที่ 7 ซึ่งส่งผลทำให้ทางด้านบนมีการสะสมของความชื้นที่มากกว่าด้านล่าง และสอดคล้องกับผลการทดลองสามารถสังเกตได้จาก รูปที่ 4 และ รูปที่ 5

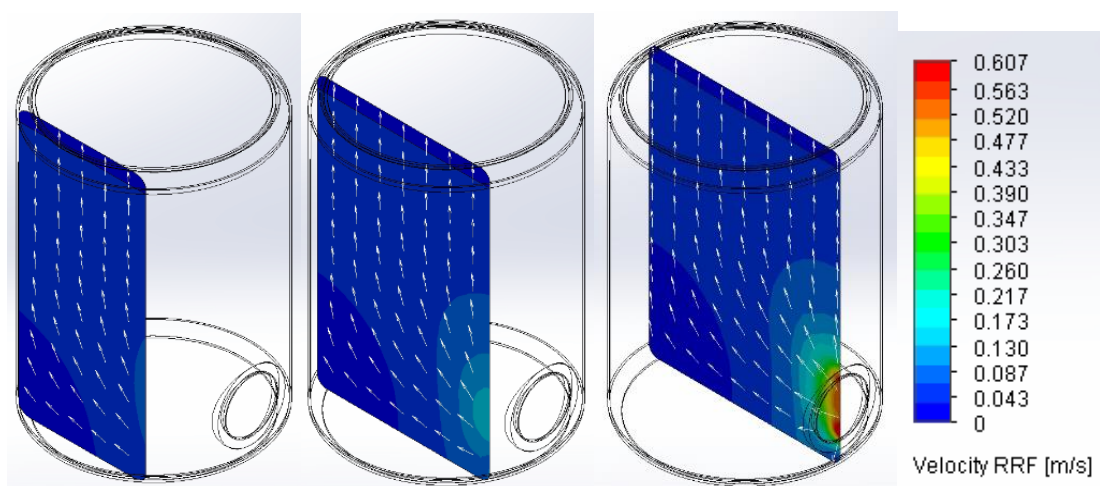
เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความเร็วทางเข้าให้มีค่าลดลง (0.6 m/s) พบว่าแนวโน้มยังคงเป็นไปในทิศทางเดิม แตกต่างเพียงแมกนิจูดที่ลดลง ทั้งสนามความเร็ว และ ความดัน ดังรูปที่ 8 และ 9



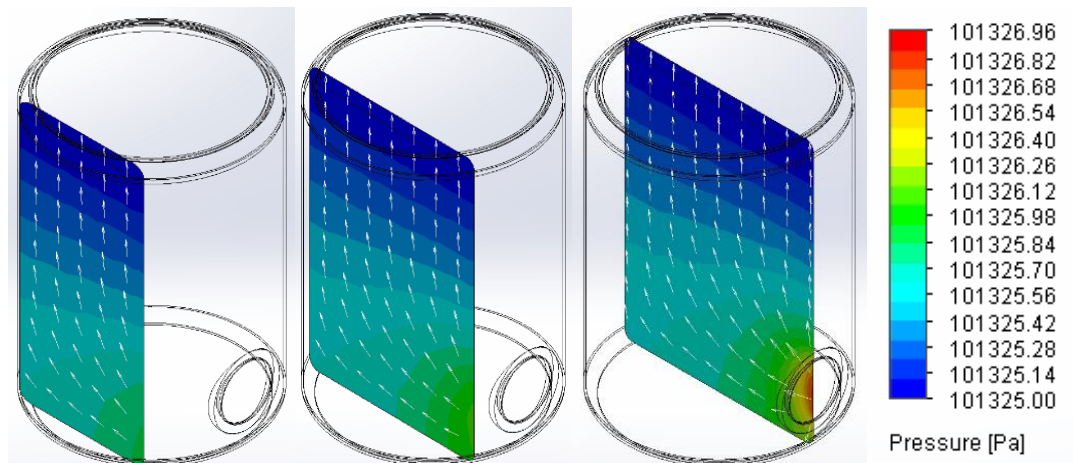
รูปที่ 6 สนามความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านข้าวเปลือก ที่ความเร็วทางเข้า 2.5 m/s



รูปที่ 7 ความดันของอากาศที่ไหลผ่านข้าวเปลือก ที่ความเร็วทางเข้า 2.5 m/s

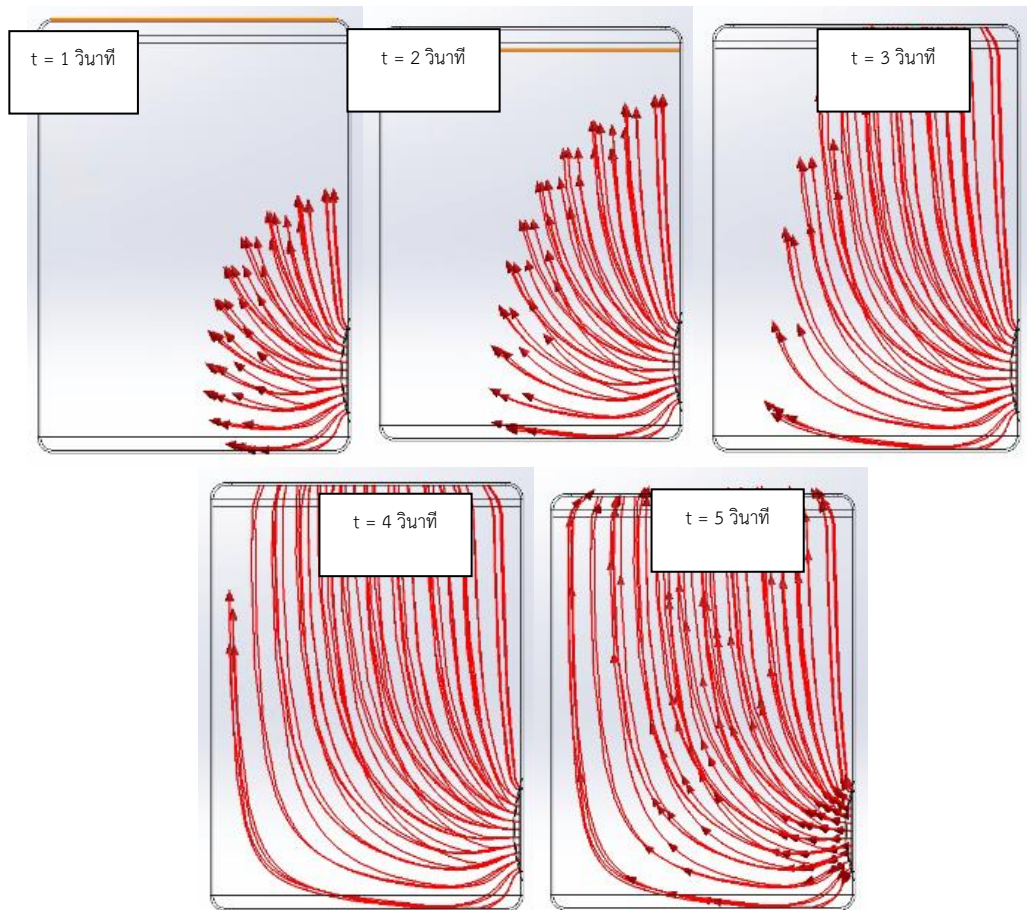


รูปที่ 8 สนามความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านข้าวเปลือก ที่ความเร็วทางเข้า 0.6 m/s



รูปที่ 9 ความดันของอากาศที่ไหลผ่านข้าวเปลือก ที่ความเร็วทางเข้า 0.6 m/s

จากผลการจำลองยังพบว่า การเคลื่อนที่ของอากาศบริเวณที่ใกล้กับทางเข้าลมจะไหลผ่าน และ ขึ้นไปยังด้านบนได้เร็วกว่า เมื่อเทียบกับบริเวณที่ห่างจากทางเข้าซึ่งก็เป็นเหตุผลที่ทำให้ความชื้นบริเวณดังกล่าวยังคงมีค่าสูง ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 เส้นทางการเคลื่อนที่ของอากาศภายในถังเก็บข้าวเปลือก

สรุปผล

งานวิจัยนี้ศึกษาการออกแบบและพัฒนาชุดระบบควบคุมการระบายอากาศแบบอัตโนมัติในภาชนะเก็บข้าวเปลือก ได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้

- ชุดระบบควบคุมการระบายอากาศที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้อย่างเหมาะสม และ ง่ายต่อการควบคุม
- อุณหภูมิของอากาศที่ไหลเข้าถังบรรจุมีผลต่อการผลักดันความชื้นให้ขึ้นไปยังด้านบนถังและออกสู่บรรยากาศ อุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้ามีค่า 50 องศาเซลเซียส สามารถควบคุมความชื้นได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับ 30 และ 40 องศาเซลเซียส การใช้อุณหภูมิที่สูงเกินอาจจะส่งผลทำให้ข้าวเปลือกที่อยู่บริเวณทางเข้าอาจจะเกิดความเสียหายได้
- การจำลองเชิงตัวเลขมีความสอดคล้องกับผลการทดลอง และสามารถนำไปใช้จำลองการไหลของอากาศภายในถังบรรจุข้าวเปลือก ในกรณีอื่น ๆ ได้
- ตำแหน่งทางเข้าของอากาศส่งผลโดยตรงกับการกระจายตัวที่สม่ำเสมอของสนามความเร็วภายในถังบรรจุข้าวเปลือก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี ที่ให้การสนับสนุนในส่วนของการดำเนินงานวิจัย

บรรณานุกรม

- ขุนพล สังข์อารีย์กุล. (2544). การประเมินสถานภาพเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกในประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ). คณะพลังงานและวัสดุ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ฉัตรชัย นิยมล และ อนุชา หิรัญวัฒน์. (2555). การพัฒนาและศึกษาระบบการอบแห้งแบบพาหะลมชนิดท่อเกลียว สำหรับข้าวเปลือก. (รายงานการวิจัย). กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เทวรัตน์ ตรีอำรรรค (2557). การพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคสเปาตัดเบด. (รายงานการวิจัย). นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ผศ.ดร.ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง. (2547). การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ท็อป.
- พรศักดิ์ ทองมา. (2542). การอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคสเปาตัดขนาดอุตสาหกรรม. (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน). คณะพลังงานและวัสดุ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- มนตรี พิรุณเกษตร. (2547). กลศาสตร์ของไหล. (1). กรุงเทพมหานคร : บริษัทจุฬาลักษณ์.
- ยุทธนา ภูริระณชัยกุล. (2546). การจัดการข้าวเปลือกโดยการอบแห้งในที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะอากาศเขตร้อนชื้น. (วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน). ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงาน : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วทัญญู รอดประพัฒน์, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และ มนตรี หวังจิ. (2542). ระบบอบแห้งข้าวเปลือก ในโรงสี. วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย.), 33(1), 126-133.
- สิทธิเดช กุลวงษ์. (2547). การศึกษาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบส่งไปตามท่อโดยใช้ลม. (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล). คณะวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- James E. Wimberly. (1983). Technical Handbook for the paddy Rice Postharvest Industry in Developing Countries. Philippines: International rice research institute.