บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยนี้เกี่ยวกับอุณหภูมิและความชื้นของการเก็บรักษาข้าวเปลือกสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. ผลที่ได้จากการทดลองของการเก็บรักษาข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกโดยไม่มีการระบายความร้อนและการเก็บรักษาข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

2. การเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองของการเก็บรักษาข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกโดยไม่มีการระบายความร้อนและการเก็บรักษาข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

3. การแสดงลักษณะของการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ได้จากแบบจำลองของการเก็บรักษาข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกโดยไม่มีการระบายความร้อนและการเก็บรักษาข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

ผลที่ได้จากการทดลอง

จากการทดลองของการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อนและแบบที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ที่น้ำหนักข้าวเปลือก 500 กิโลกรัม และความชื้นข้าวเปลือก 26 และ 14 % มาตรฐานเปียกตามลำดับ ระยะเวลาในการเก็บรักษา 60 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองดังนี้

1. การเก็บรักษาข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกโดยไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก

จากภาพ 30 – 32 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของข้าวเปลือกกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่ตำแหน่งระยะรัศมีเดียวกันในแต่ละระดับความสูงโดยเป็นการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก และมีอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ 28.3 องศาเซลเซียส พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิข้าวเปลือกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกที่เวลาเริ่มต้นจนถึงเวลา 10 ชั่วโมง เป็นช่วงที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น

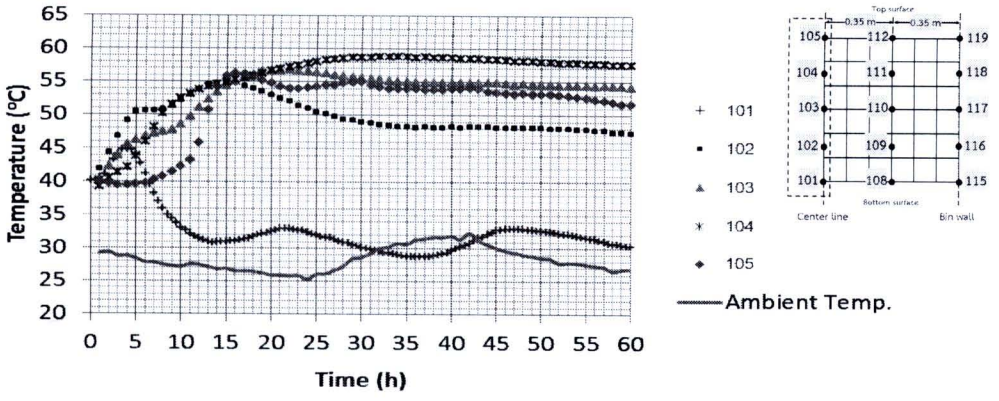
อย่างรวดเร็ว และช่วงที่สองเวลาหลังจาก 10 ชั่วโมงเป็นต้นไป เป็นช่วงที่อุณหภูมิมีอัตราการเพิ่มขึ้นน้อยลง

เมื่อพิจารณาตามระยะความสูงจากภาพ 30 เป็นตำแหน่งกึ่งกลางของถังเก็บโดยมีอุณหภูมิที่ตำแหน่ง 101 – 105 ซึ่งพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 60 ชั่วโมงที่ตำแหน่ง 104 มีอุณหภูมิสูงที่สุดเท่ากับ 60.2 องศาเซลเซียส และเมื่อความสูงลดลงจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิก็จะลดลงตามไปด้วย คือตำแหน่ง 103 และ 102 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิเท่ากับ 58.2 และ 50.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนตำแหน่ง 101 จะเป็นตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดเท่ากับ 30.4 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ล่างสุดและความร้อนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่สู่ด้านบนและมีการพาความร้อนเกิดขึ้นที่ผิวด้านบนจึงส่งผลให้ที่ตำแหน่ง 105 มีค่าอุณหภูมิเท่ากับ 47.3 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิสูงกว่าตำแหน่ง 101

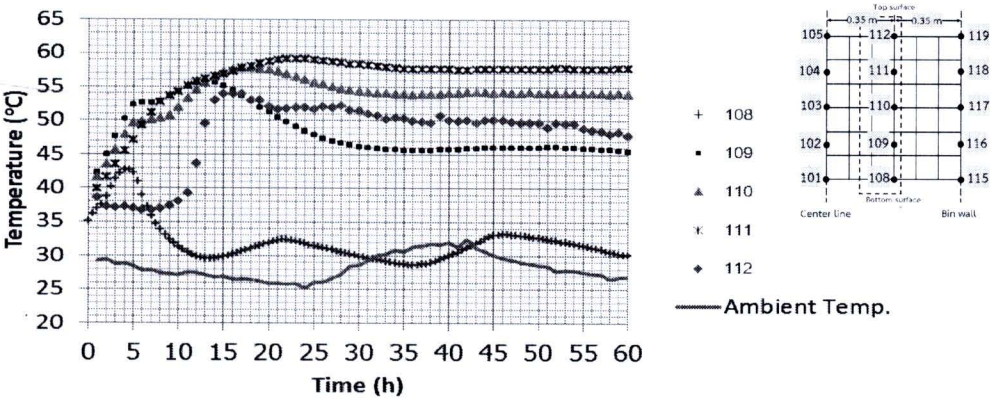
เช่นเดียวกันกับภาพ 31 เมื่อเวลาผ่านไป 60 ชั่วโมง ที่ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางถังเก็บในแนวรัศมีเท่ากับ 0.35 เมตร จะเห็นว่าอุณหภูมิสูงที่สุดจะอยู่ที่ระยะความสูงเดียวกันกับตำแหน่ง 104 คือตำแหน่ง 111 ซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับ 59.6 องศาเซลเซียส และเมื่อความสูงลดลงอุณหภูมิก็จะลดลงคือตำแหน่ง 110 และ 109 ตามลำดับ มีอุณหภูมิเท่ากับ 56.4 และ 47.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

รวมถึงภาพ 32 ก็มีลักษณะเช่นเดียวกันที่ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางถังเก็บในแนวรัศมีเท่ากับ 0.7 เมตรคือตำแหน่งที่ติดกับผนังของถังเก็บ เมื่อเวลาผ่านไป 60 ชั่วโมง โดยที่ตำแหน่ง 118 มีอุณหภูมิสูงที่สุดเท่ากับ 48.2 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิลดลงเมื่อความสูงลดลงคือตำแหน่ง 117 และ 116 ตามลำดับ มีอุณหภูมิเท่ากับ 47.8 และ 40.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนตำแหน่ง 119 มีอุณหภูมิเท่ากับ 28.9 องศาเซลเซียส และที่ตำแหน่ง 115 มีอุณหภูมิต่ำที่สุดเท่ากับ 29.3 องศาเซลเซียส

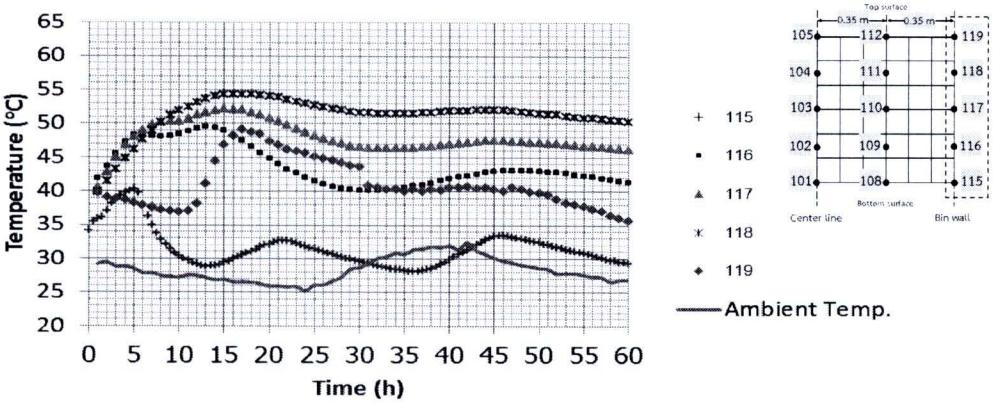
ซึ่งจากผลการทดลองเมื่ออธิบายถึงลักษณะการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังเก็บที่ไม่มีการระบายความร้อนที่เวลา 60 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าจากภาพ 30 ระดับของความสูงข้าวเปลือกที่ต่างกันไปจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิข้าวเปลือกอยู่ 20.2 องศาเซลเซียส และจากภาพ 33 ในส่วนของระยะรัศมีที่ต่างกันไปที่ตำแหน่ง 104, 111 และ 118 จะมีความแตกต่างของอุณหภูมิข้าวเปลือกเพียง 11.4 องศาเซลเซียส เพราะฉะนั้นระดับความสูงของข้าวเปลือกจึงมีผลต่อความร้อนที่เกิดขึ้นมากกว่าระยะรัศมีในการเก็บรักษาข้าวเปลือก



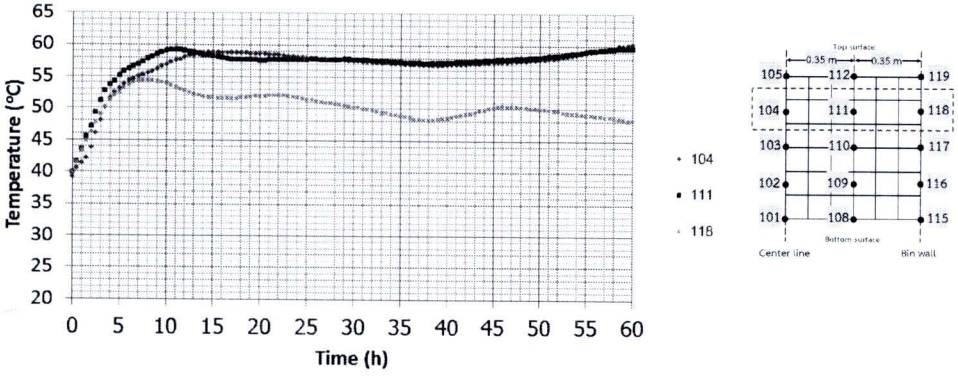
ภาพ 30 อุณหภูมิข้าวเปลือก ณ ตำแหน่ง 101 ถึง 105 และอากาศแวดล้อมที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก



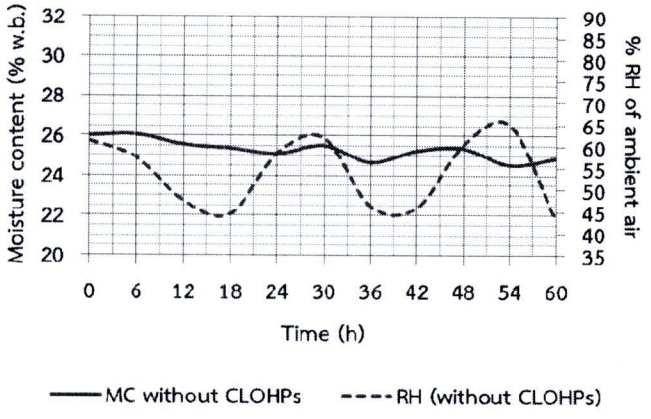
ภาพ 31 อุณหภูมิข้าวเปลือก ณ ตำแหน่ง 108 ถึง 112 และอากาศแวดล้อมที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 32 อุณหภูมิข้าวเปลือก ณ ตำแหน่ง 115 ถึง 119 และอากาศแวดล้อมที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 33 อุณหภูมิข้าวเปลือก ณ ตำแหน่ง 104, 111 และ 118 ที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 34 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นข้าวเปลือกภายในถังเก็บข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก

สำหรับความชื้นของข้าวเปลือกจากภาพ 34 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นข้าวเปลือกและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศกับระยะเวลาที่เก็บรักษา จะเห็นได้ว่าความชื้นข้าวเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา 60 ชั่วโมง ซึ่งความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้นเท่ากับ 26.1 % มาตรฐานเปียก และความชื้นข้าวเปลือกสุดท้ายเท่ากับ 24.9 % มาตรฐานเปียก เนื่องจากในการเก็บรักษาแบบที่ไม่มีการระบายความร้อนไม่มีการไหลของอากาศภายในถังเก็บซึ่งทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไม่มีผลหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมากต่อความชื้นข้าวเปลือกที่อยู่ภายในถังเก็บมากจึงทำให้ความชื้นข้าวเปลือกมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยและความชื้นข้าวเปลือกที่ลดลงส่วนมากจะเป็นบริเวณตำแหน่งที่สัมผัสกับอากาศแวดล้อม

2. การเก็บรักษาข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก

จากภาพ 35 – 37 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของข้าวเปลือกกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่ตำแหน่งระยะรัศมีเดียวกันในแต่ละระดับความสูงโดยเป็นการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก และมีอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ 29.9 องศาเซลเซียส พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิข้าวเปลือกมีลักษณะเป็นเช่นเดียวกันกับการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกที่เวลาเริ่มต้นจนถึงเวลา 10 ชั่วโมง เป็นช่วงที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และช่วงที่สองเวลาหลังจาก 10 ชั่วโมงเป็นต้นไป เป็นช่วงที่อุณหภูมิมีอัตราการเพิ่มขึ้นน้อยลง

เมื่อพิจารณาตามระยะความสูงจากภาพ 35 เป็นตำแหน่งกึ่งกลางของถังเก็บโดยมีอุณหภูมิที่ตำแหน่ง 101 – 105 ซึ่งพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 60 ชั่วโมงที่ตำแหน่ง 104, 103, 102 และ 101 มีอุณหภูมิสูงใกล้เคียงกันเท่ากับ 42.6, 42.7, 42.8 และ 45.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนตำแหน่ง 105 จะเป็นตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดเท่ากับ 35.9 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่มีการพาความร้อนเกิดขึ้นที่ผิวด้านบนจึงส่งผลให้ที่ตำแหน่ง 105 มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าตำแหน่งอื่นๆ

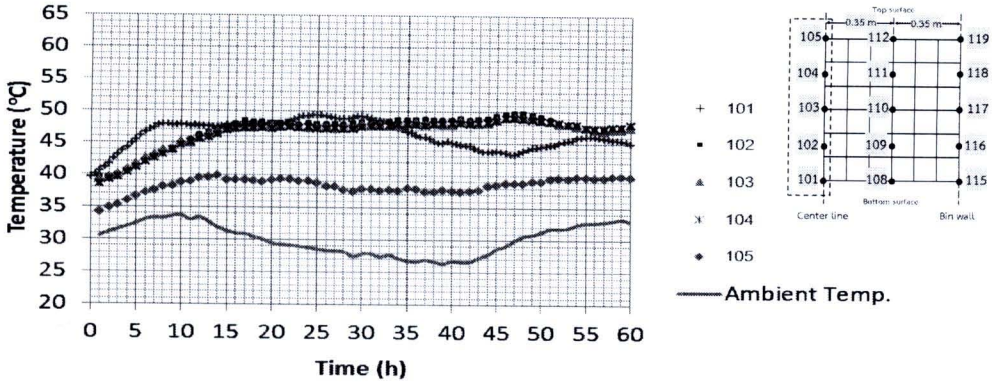
เช่นเดียวกันกับภาพ 36 เมื่อเวลาผ่านไป 60 ชั่วโมง ที่ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางถังเก็บในแนวรัศมีเท่ากับ 0.35 เมตร จะเห็นว่าที่ตำแหน่ง 111, 110, 109 และ 108 มีอุณหภูมิสูงใกล้เคียงกันเท่ากับ 47.1, 45.3, 44.9 และ 46.5 องศาเซลเซียสตามลำดับ ส่วนตำแหน่ง 112 จะเป็นตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดเท่ากับ 39.9 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่มีการพาความร้อนเกิดขึ้นที่ผิวด้านบนจึงส่งผลให้ที่ตำแหน่ง 112 มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าตำแหน่งอื่นๆ

และจากภาพ 37 ก็มีลักษณะเช่นเดียวกันที่ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางถังเก็บในแนวรัศมีเท่ากับ 0.7 เมตร คือ ตำแหน่งที่ติดกับผนังของถังเก็บ แต่จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าตำแหน่งที่ระยะกึ่งกลางและ 0.35 เมตร เมื่อเวลาผ่านไป 60 ชั่วโมง โดยที่ตำแหน่ง 115, 116, 117, 118 และ 119 จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันทั้งหมดเท่ากับ 38.9, 36.3, 37.7, 37.4 และ 35.7 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยเป็นตำแหน่งที่ผนังของถังเก็บซึ่งมีการพาความร้อนเกิดขึ้นรวมถึงมีการระบายความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจึงทำให้อุณหภูมิที่ผนังของถังเก็บมีอุณหภูมิต่ำกว่าที่ตำแหน่งระยะรัศมีอื่นๆ

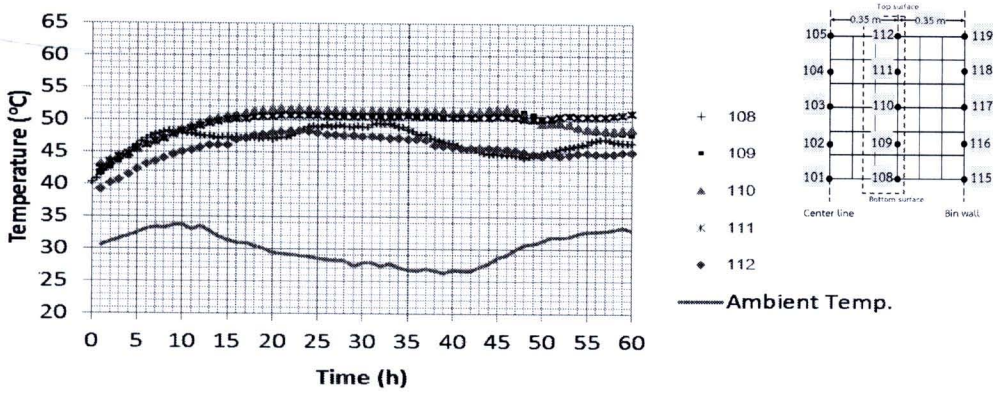
แต่จะเห็นว่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งกึ่งกลางของถังเก็บต่ำกว่าที่ตำแหน่งระยะห่างจากจุดกึ่งกลาง 0.35 เมตร เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการระบายความร้อนต่อปริมาตรข้าวเปลือกของตำแหน่งกึ่งกลางถังเก็บมีค่ามากกว่าเท่ากับ 21.9 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก และที่ระยะห่างจากจุดกึ่งกลาง 0.35 เมตรมีค่าเท่ากับ 19.6 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ส่วนที่ตำแหน่งผนังของถังเก็บมีค่าเท่ากับ 12.5 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก จะเห็นได้ว่ามีพื้นที่สัมผัสน้อยที่สุดแต่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเนื่องจากมีการพาความร้อนแบบธรรมชาติเกิดขึ้นที่ผนังของถังเก็บรวมถึงมีการระบายความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

จากผลการทดลองเมื่ออธิบายถึงลักษณะการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังเก็บที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจะเห็นได้ว่าจากภาพ 35 ระดับของความสูงที่ต่างกันไปข้าวเปลือกจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิข้าวเปลือกอยู่ 7.2 องศาเซลเซียส และจากภาพ 38 ในส่วนของระยะรัศมีที่ต่างกันไปที่ตำแหน่ง 104, 111 และ 118 จะมีความแตกต่างของอุณหภูมิข้าวเปลือก 9.6 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อนจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าความแตกต่างของอุณหภูมิข้าวเปลือกทั้งในส่วนของระยะรัศมีและระดับความสูงที่ตำแหน่งเดียวกันลดลงอย่างมาก ซึ่งทำให้เห็นได้ว่าท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบนั้นสามารถระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหายใจของข้าวเปลือกได้และประสิทธิภาพของระบบการระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเท่ากับ 54 % ซึ่งได้จากการคำนวณในส่วนของภาคผนวก ค แต่ยังมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มจำนวนท่อหรือพัฒนาต่อไปเนื่องจากอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่เก็บรักษานั้นยังมีระยะเวลาที่ปลอดภัยน้อยกว่า 1 สัปดาห์เมื่อเปรียบเทียบตามตาราง 1

และจากภาพ 39 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นข้าวเปลือกและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศกับระยะเวลาที่เก็บรักษา จะเห็นได้ว่าความชื้นข้าวเปลือกจะลดลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา 60 ชั่วโมง โดยความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศนั้นไม่ส่งผลต่อความชื้นข้าวเปลือกมากเช่นเดียวกันเนื่องจากไม่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม โดยความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้นเท่ากับ 26.1 % มาตรฐานเปียก และความชื้นข้าวเปลือกสุดท้ายเท่ากับ 24.3 % มาตรฐานเปียก และเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อนจะเห็นได้ว่าความชื้นข้าวเปลือกที่เก็บโดยมีการระบายความร้อนออกนั้นจะมีแนวโน้มใกล้เคียงกันกับการเก็บที่ไม่มีการระบายความร้อนโดยที่ความชื้นข้าวเปลือกลดลงเพียงเล็กน้อยและผลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศน้อยทั้ง 2 กรณี

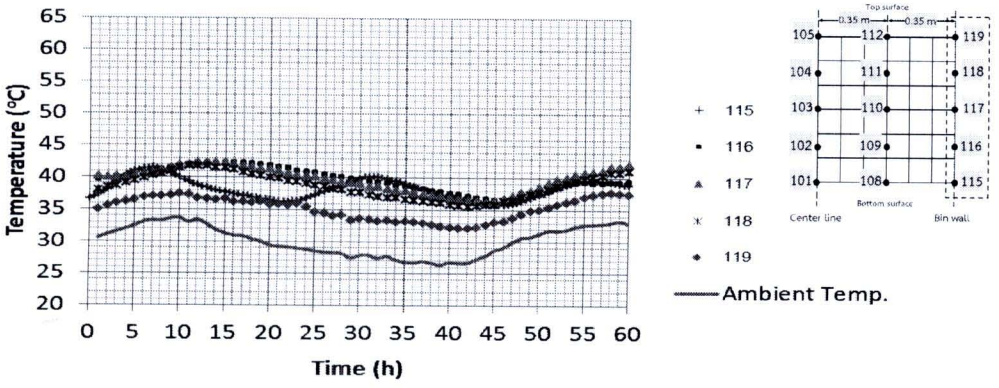


ภาพ 35 อุณหภูมิข้าวเปลือก ณ ตำแหน่ง 101 ถึง 105 และอากาศแวดล้อมที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก

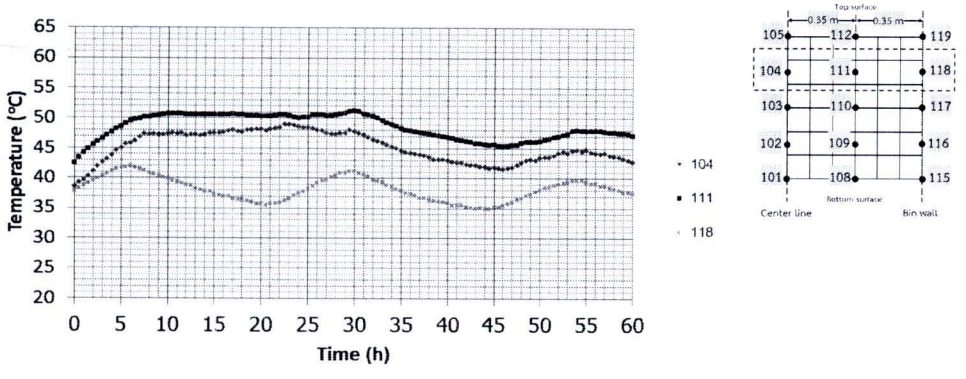


ภาพ 36 อุณหภูมิข้าวเปลือก ณ ตำแหน่ง 108 ถึง 112 และอากาศแวดล้อมที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก

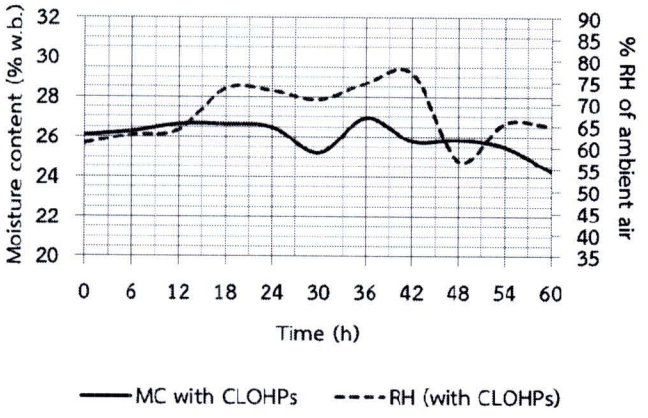
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



ภาพ 37 อุณหภูมิข้าวเปลือก ณ ตำแหน่ง 115 ถึง 119 และอากาศแวดล้อมที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 38 อุณหภูมิข้าวเปลือก ณ ตำแหน่ง 104, 111 และ 118 ที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 39 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นข้าวเปลือกภายในถังเก็บข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก

3. การเก็บรักษาข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกโดยไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก

จากภาพ 40 – 42 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของข้าวเปลือกกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่ตำแหน่งระยะรัศมีเดียวกันในแต่ละระดับความสูงโดยเป็นการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก และมีอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ 30.0 องศาเซลเซียส

จากภาพ 40 จะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่งกึ่งกลางถังเก็บลักษณะของอุณหภูมิของตำแหน่ง 104, 103 และ 102 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างกันโดยมีอุณหภูมิเท่ากับ 30.7, 30.7 และ 30.6 องศาเซลเซียสตามลำดับ ส่วนตำแหน่ง 101 และ 105 มีอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่สัมผัสกับอากาศแวดล้อมคือเป็นตำแหน่งด้านล่างสุดและด้านบนสุดของข้าวเปลือกจึงทำให้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิแวดล้อมตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาเท่ากับ 29.5 และ 28.3 องศาเซลเซียส

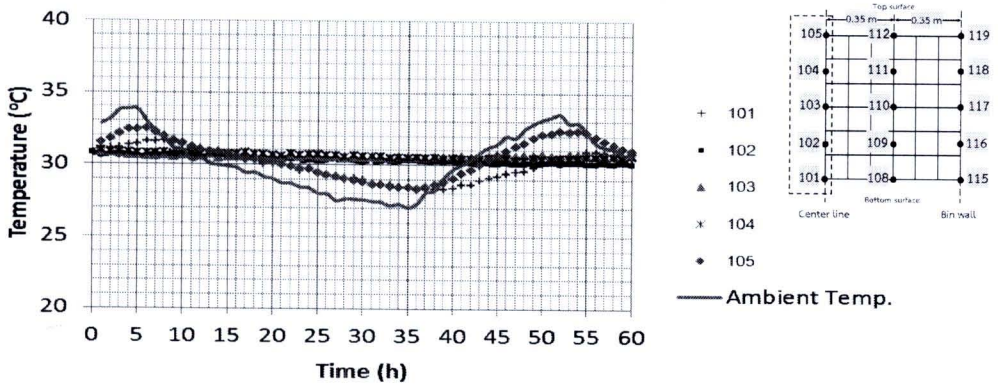
จากภาพ 41 เป็นตำแหน่งของอุณหภูมิที่ระยะห่างจากจุดกึ่งกลาง 0.35 เมตร พบว่าอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิข้าวเปลือกที่ตำแหน่งกึ่งกลางของถังเก็บโดยตำแหน่ง 111, 110 และ 109 มีอุณหภูมิเท่ากับ 30.2, 30.1 และ 30.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และตำแหน่ง 108 และ 112 มีอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่สัมผัสกับอากาศแวดล้อมคือเป็น

ตำแหน่งด้านล่างสุดและด้านบนสุดของข้าวเปลือกจึงทำให้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิแวดล้อมตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาเท่ากับ 29.3 และ 28.8 องศาเซลเซียส

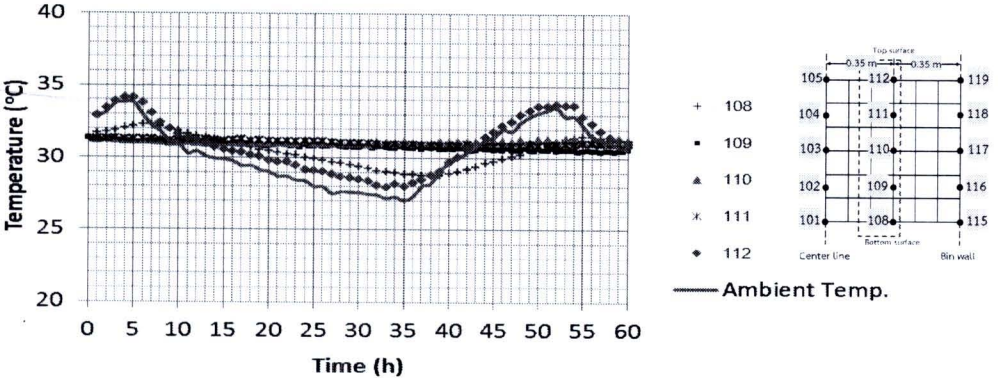
ส่วนภาพ 42 เป็นตำแหน่งของอุณหภูมิที่ผนังของถังเก็บซึ่งมีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางตามแนวรัศมี 0.7 เมตร พบว่าอุณหภูมิของข้าวเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมในทุกระดับความสูงโดยมีอุณหภูมิเท่ากับ 28.8 – 30.2 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่สัมผัสอากาศแวดล้อมจึงทำให้เกิดการพาความร้อนแบบธรรมชาติขึ้นบริเวณนี้

จากผลการทดลองเมื่ออธิบายถึงลักษณะการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังเก็บที่ไม่มีการระบายความร้อนจะเห็นได้ว่าจากภาพ 40 ระดับของความสูงที่ต่างกันไปข้าวเปลือกจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิข้าวเปลือกน้อยมาก และจากภาพ 43 ในส่วนของระยะรัศมีที่ต่างกันไปที่ตำแหน่ง 104, 111 และ 118 จะมีความแตกต่างของอุณหภูมิข้าวเปลือกน้อยมากเช่นเดียวกันเท่ากับ 30.0 – 30.7 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายความว่าการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ความชื้น 14 % มาตรฐานเปียก และน้ำหนัก 500 กิโลกรัม ไม่มีการกระจายอุณหภูมิในทั้งระดับความสูงและรัศมีที่ต่างกันออกไป แต่ส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะเป็นตำแหน่งที่สัมผัสกับอากาศแวดล้อมคือตำแหน่ง 101, 105, 108, 112 และ 115 – 119 จะมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิแวดล้อมจึงมีการถ่ายเทความร้อนที่สะสมอยู่ในข้าวเปลือกออกสู่อากาศแวดล้อมด้วยวิธีการพาความร้อนแบบธรรมชาติ

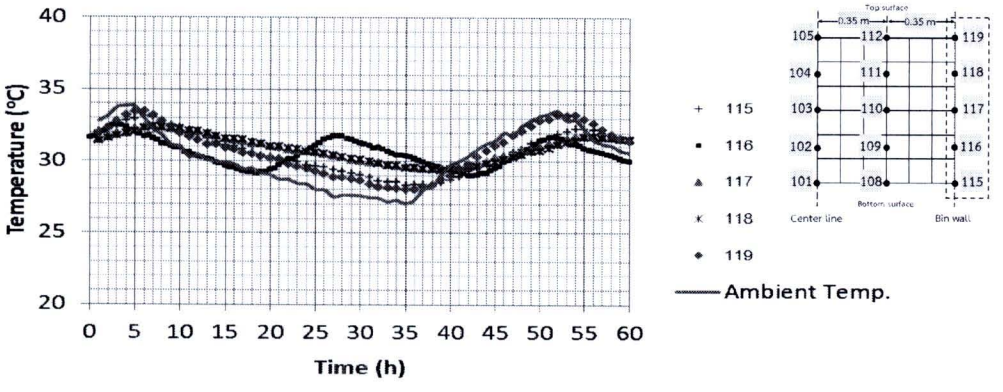
และจากภาพ 44 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นข้าวเปลือกและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศกับระยะเวลาที่เก็บรักษา จะเห็นได้ว่าความชื้นข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา 60 ชั่วโมง โดยความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้นเท่ากับ 13.8 % มาตรฐานเปียก และมีความชื้นข้าวเปลือกสุดท้ายเท่ากับ 14.1 % มาตรฐานเปียก โดยที่ความชื้นข้าวเปลือกนั้นเปลี่ยนแปลงตามความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพียงเล็กน้อยเนื่องจากอากาศไม่ได้เคลื่อนที่ผ่านข้าวเปลือกภายในถังเก็บโดยตรงจึงทำให้ความชื้นข้าวเปลือกส่วนใหญ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก



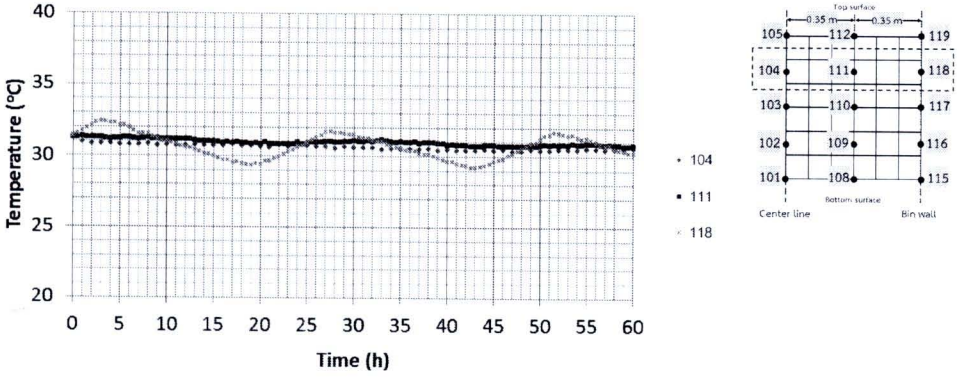
ภาพ 40 อุณหภูมิข้าวเปลือก ณ ตำแหน่ง 101 ถึง 105 และอากาศแวดล้อมที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก



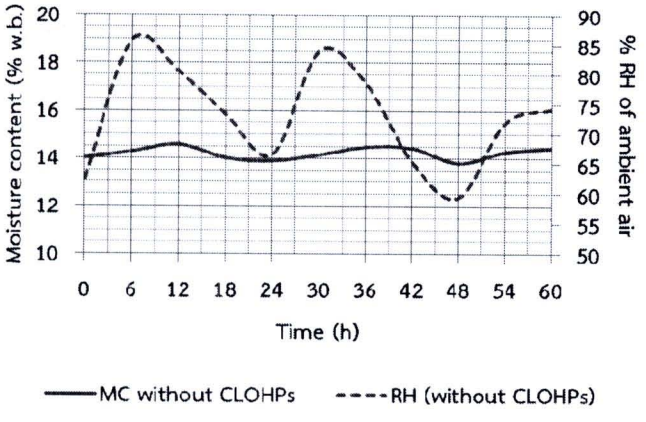
ภาพ 41 อุณหภูมิข้าวเปลือก ณ ตำแหน่ง 108 ถึง 112 และอากาศแวดล้อมที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 42 อุณหภูมิข้าวเปลือก ณ ตำแหน่ง 115 ถึง 119 และอุณหภูมิแวดล้อมที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 43 อุณหภูมิข้าวเปลือก ณ ตำแหน่ง 104, 111 และ 118 ที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 44 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นข้าวเปลือกภายในถังเก็บข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก

4. การเก็บรักษาข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก

จากภาพ 45 – 47 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของข้าวเปลือกกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่ตำแหน่งระยะรัศมีเดียวกันในแต่ละระดับความสูงโดยเป็นการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก และมีอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ 28.0 องศาเซลเซียส ซึ่งลักษณะของอุณหภูมิภายในถังเก็บข้าวเปลือกที่เกิดขึ้นจะเหมือนกับกรณีที่เก็บรักษาโดยไม่มีการระบายความร้อน

โดยภาพ 45 เป็นตำแหน่งกึ่งกลางถังเก็บที่ตำแหน่ง 104, 103, 102 และ 101 มีอุณหภูมิเท่ากับ 28.2, 27.7, 27.4 และ 27.8 องศาเซลเซียส ส่วนที่ตำแหน่ง 105 มีอุณหภูมิเท่ากับ 29.6 องศาเซลเซียส พบว่าที่ระดับความสูงต่างกันแต่อุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่แตกต่างกัน

จากภาพ 46 เป็นตำแหน่งของอุณหภูมิที่ระยะห่างจากจุดกึ่งกลาง 0.35 เมตร พบว่าอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิข้าวเปลือกที่ตำแหน่งกึ่งกลางของถังเก็บเช่นเดียวกันโดยตำแหน่ง 111, 110, 109 และ 108 มีอุณหภูมิเท่ากับ 28.5, 28.0, 27.9 และ 28.5 องศาเซลเซียสตามลำดับ และตำแหน่ง 112 มีอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่สัมผัสกับอากาศแวดล้อมคือเป็นตำแหน่งด้านล่างสุดและด้านบนสุดของข้าวเปลือกจึงทำให้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิแวดล้อมตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาเท่ากับ 30.0 องศาเซลเซียส

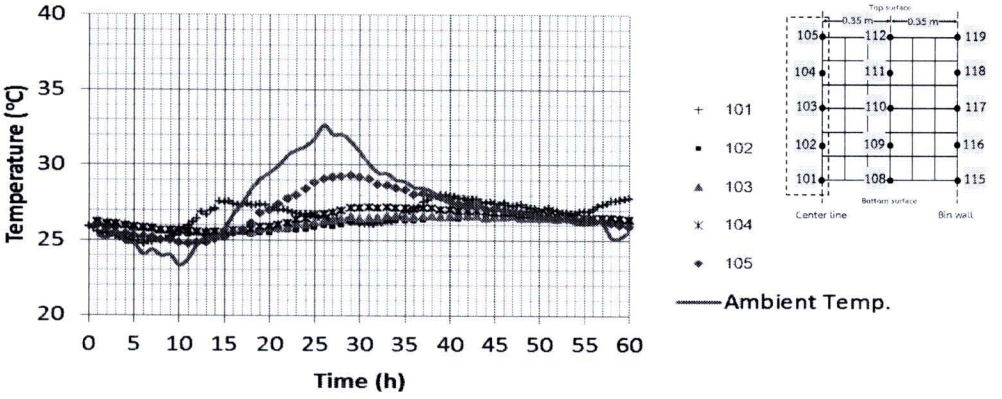
และจากภาพ 47 ซึ่งเป็นตำแหน่งของอุณหภูมิที่ผนังของถังเก็บซึ่งมีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางตามแนวรัศมี 0.7 เมตร พบว่าอุณหภูมิของข้าวเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมในทุกระดับความสูงโดยมีอุณหภูมิเท่ากับ 29.0 – 30.0 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่สัมผัสอากาศแวดล้อมจึงทำให้เกิดการพาความร้อนแบบธรรมชาติขึ้นบริเวณนี้เช่นเดียวกัน

ในส่วนของประสิทธิภาพของระบบการระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเท่ากับ 36.5 % ที่ได้จากการคำนวณในภาคผนวก ค จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของระบบการระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมีน้อยกว่าจึงทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง

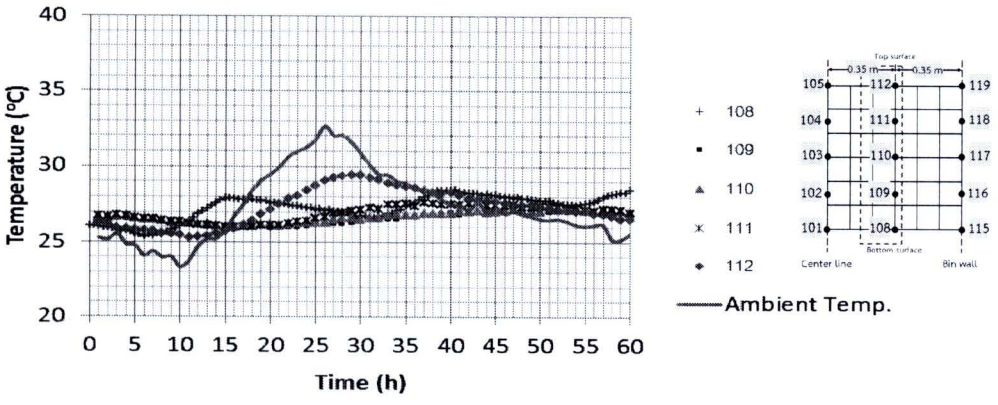
จากผลการทดลองเมื่ออธิบายถึงลักษณะการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังเก็บที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจะเห็นได้ว่าจากภาพ 45 ระดับของความสูงที่ต่างกันไปข้าวเปลือกจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิข้าวเปลือกน้อยมาก และจากภาพ 48 ในส่วนของระยะรัศมีที่ต่างกันไปที่ตำแหน่ง 104, 111, และ 118 จะมีความแตกต่างของอุณหภูมิข้าวเปลือกน้อยมากเช่นเดียวกันเท่ากับ 28.2 – 29.2 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายความว่าการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ความชื้น 14 % มาตรฐานเปียก ไม่มีการกระจายอุณหภูมิในทั้งระดับความสูงและรัศมีที่ต่างกันออกไปและเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ 40 - 42 จะเห็นได้ชัดว่าลักษณะการกระจายอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลา

การเก็บ 60 ชั่วโมงทั้งที่มีการระบายและไม่มีการระบายความร้อนแสดงว่ากระบวนการหายใจของข้าวเปลือกเกิดขึ้นน้อยกว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้น 26 % มาตรฐานเปียก เพราะฉะนั้นจึงไม่มีความจำเป็นในการระบายความร้อนสำหรับความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก น้ำหนัก 500 กิโลกรัม

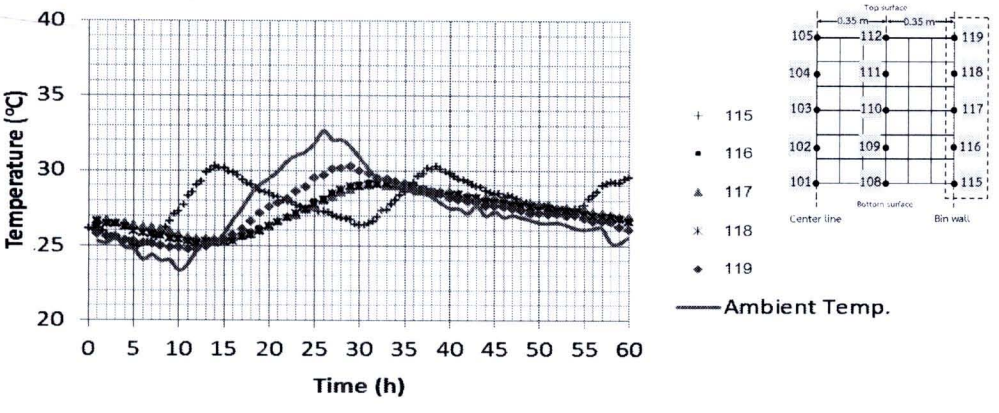
ส่วนภาพ 49 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นข้าวเปลือกและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศกับระยะเวลาที่เก็บรักษา จะเห็นได้ว่าความชื้นข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา 60 ชั่วโมง โดยความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้นเท่ากับ 13.8 % มาตรฐานเปียก ซึ่งจะมีความชื้นข้าวเปลือกสุดท้ายและสูงสุดเท่ากับ 14.3 % มาตรฐานเปียก โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไม่ส่งผลต่อความชื้นของข้าวเปลือกเช่นเดียวกันจึงทำให้ความชื้นข้าวเปลือกเปลี่ยนแปลงน้อย และจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่เกิดขึ้นน้อยมากเป็นผลมาจากการที่ข้าวเปลือกมีกระบวนการหายใจที่น้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเปลือกที่ความชื้นสูงจึงมีความสอดคล้องกับสมการที่ 1 สมการการหายใจของข้าวเปลือก



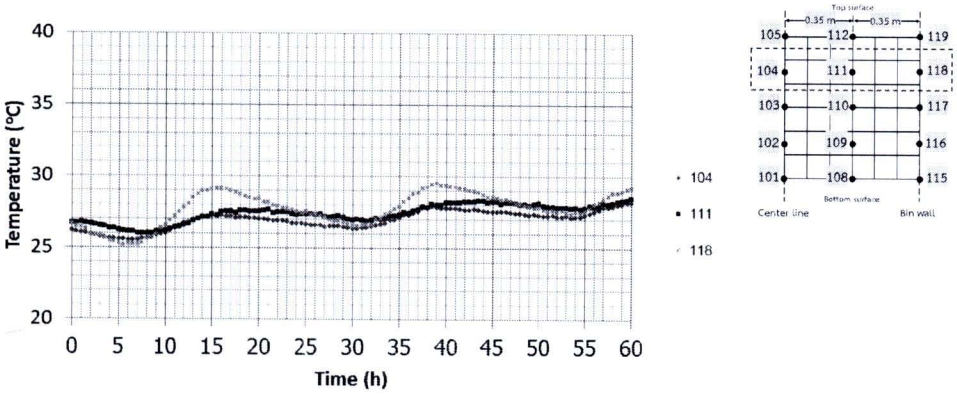
ภาพ 45 อุณหภูมิข้าวเปลือก ณ ตำแหน่ง 101 ถึง 105 และอากาศแวดล้อมที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก



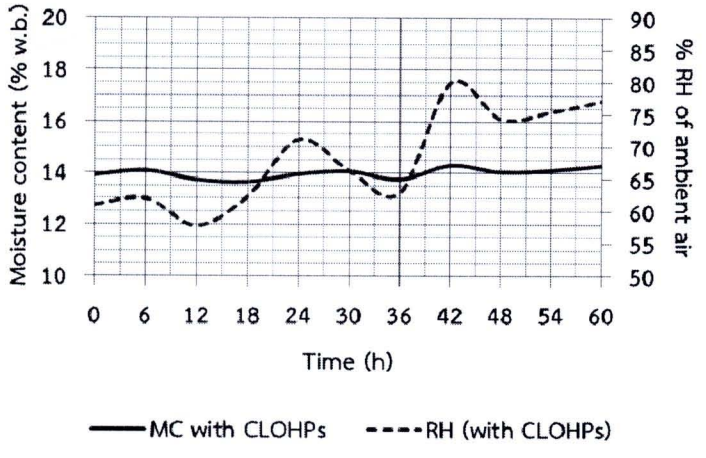
ภาพ 46 อุณหภูมิข้าวเปลือก ณ ตำแหน่ง 108 ถึง 112 และอากาศแวดล้อมที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 47 อุณหภูมิข้าวเปลือก ณ ตำแหน่ง 115 ถึง 119 และอากาศแวดล้อมที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 48 อุณหภูมิข้าวเปลือก ณ ตำแหน่ง 104, 111 และ 118 ที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก



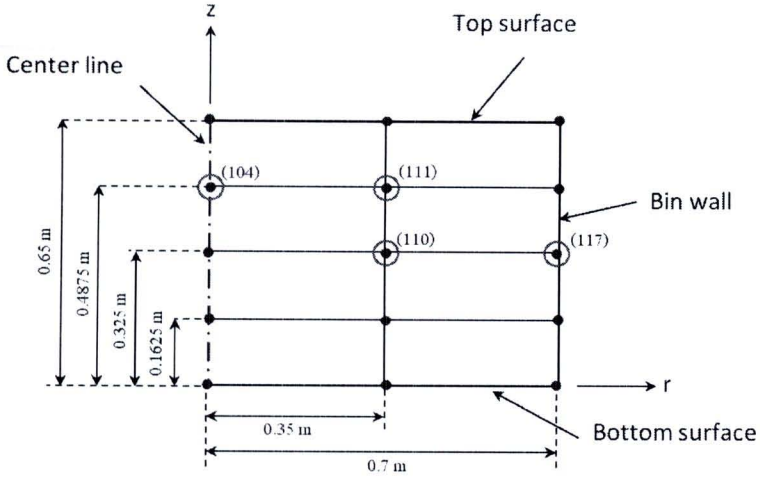
ภาพ 49 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นข้าวเปลือกภายในถังเก็บข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแสดงให้เห็นว่า ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงจะมีความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหายใจมากกว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำจึงส่งผลให้การเก็บรักษาที่ไม่มีการระบายความร้อนมีอุณหภูมิของข้าวเปลือกสูง และเมื่อนำท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมาประยุกต์ใช้ในการระบายความร้อนพบว่าไม่เหมาะสำหรับข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำ เนื่องจากอัตราการเกิดกระบวนการหายใจน้อยและในกรณีที่อากาศแวดล้อมสูงกว่าอุณหภูมิข้าวเปลือกท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบก็มีโอกาสที่จะนำความร้อนจากอากาศแวดล้อมสู่

ข้าวเปลือกทำให้อุณหภูมิของข้าวเปลือกสูงขึ้นได้ ส่วนข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงอุณหภูมิของข้าวเปลือกจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดแต่ก็ยังมีความจำเป็นในการพัฒนาต่อไปเพื่อที่จะทำให้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบสามารถระบายความร้อนได้จนถึงอุณหภูมิที่ปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษาข้าวเปลือก

ผลการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิข้าวเปลือกจากการทดลองและแบบจำลอง

เพื่อเป็นการพัฒนาสำหรับแบบจำลองการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกจึงมีการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับแบบจำลอง ซึ่งในการคำนวณของแบบจำลองการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกจะใช้ค่าตัวแปรต่างๆจากตาราง 2 โดยมีลำดับขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองตามภาพ 18

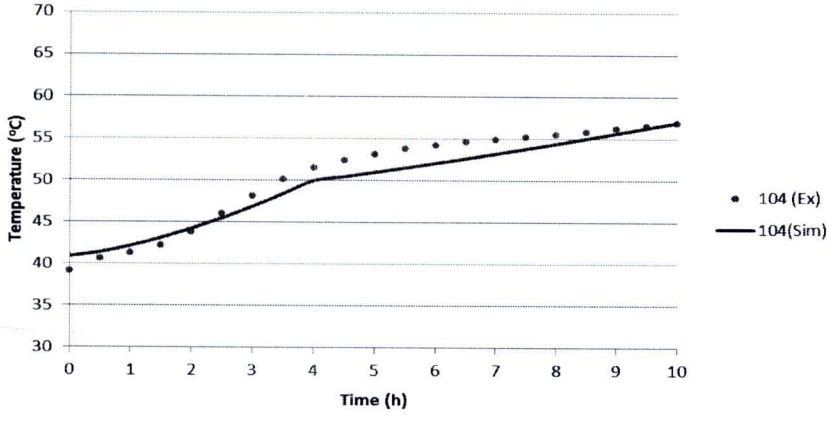


ภาพ 50 ตำแหน่งที่เลือกพิจารณาของอุณหภูมิข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือก

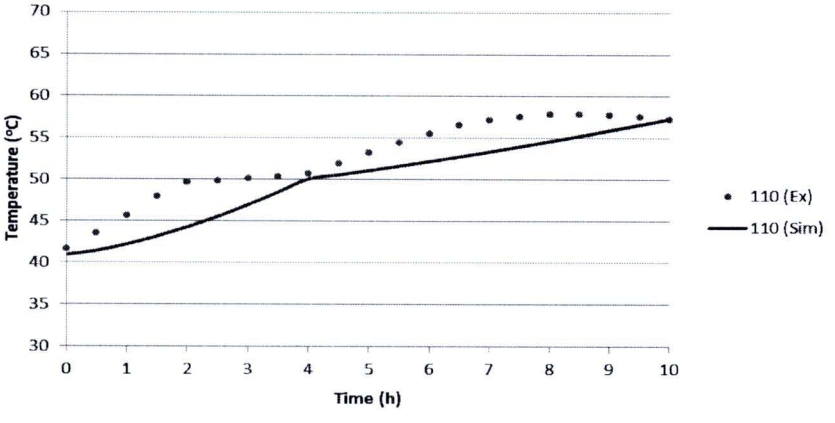
และตำแหน่งที่เลือกใช้พิจารณาของการเปรียบเทียบอุณหภูมิข้าวเปลือกระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองซึ่งเป็นการเลือกตำแหน่งของอุณหภูมิข้าวเปลือกที่คาดว่าจะมีอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิที่ด้านข้างผนังเพื่อทำให้ทราบถึงตำแหน่งที่อุณหภูมิสูงนั้นมีอุณหภูมิเท่าใดและจะต้องระบายความร้อนออกเท่าใดจึงจะอยู่ในระดับที่ปลอดภัย โดยเลือกตำแหน่งตามรูปวงกลมคือตำแหน่ง 104, 110, 111 และ 117 ดังภาพ 50 ซึ่งใช้เวลา 10 ชั่วโมงสำหรับการทำนายอุณหภูมิข้าวเปลือกของแบบจำลอง ทั้งนี้สำหรับการใช้เวลาในการทำงานของแบบจำลองที่ 10 ชั่วโมงเนื่องจากในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ความชื้น 26 % มาตรฐานเปียกจะมีอุณหภูมิของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นจนถึง 10 ชั่วโมงแต่หลังจากเวลา 10 ชั่วโมงพบว่าอุณหภูมิของ

ข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้นช้าลงจนเข้าสู่ค่าคงที่หรือลดลงเพราะฉะนั้นจึงให้แบบจำลองทำงานเพียง 10 ชั่วโมง เพื่อลดระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณของแบบจำลอง

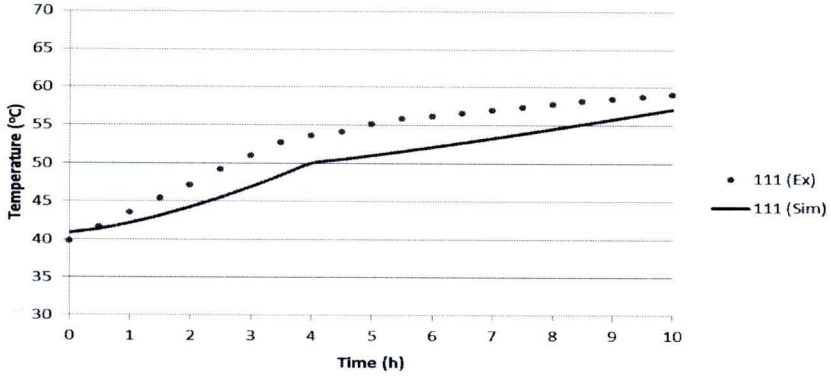
1. การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองของการเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก



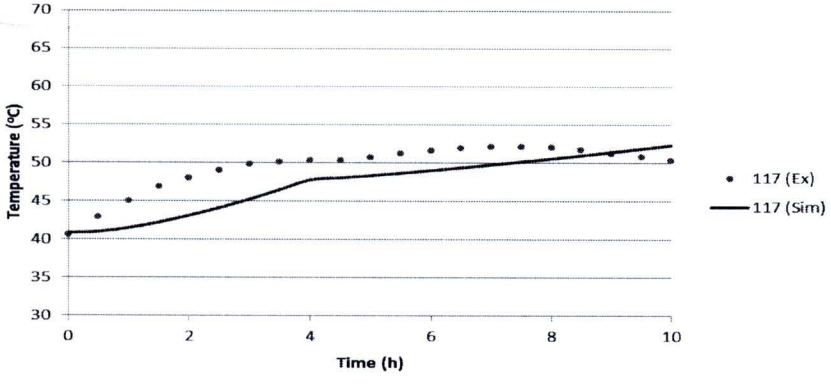
ภาพ 51 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 104 ระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 52 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 110 ระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 53 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 111 ระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก



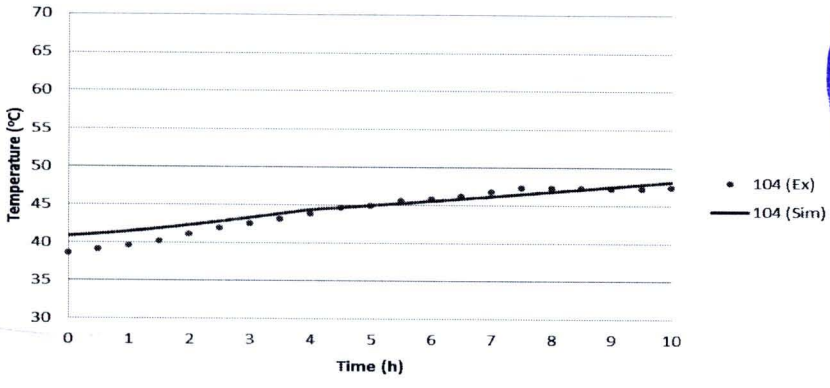
ภาพ 54 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 117 ระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก

จากภาพ 51 - 54 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของข้าวเปลือกและระยะเวลาการเก็บรักษาของการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อนของความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียกที่ตำแหน่ง 104, 110, 111 และ 117 ตามลำดับ จากลักษณะกราฟที่เป็นจุดเป็นอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ได้จากการทดลองและเส้นทึบเป็นอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานอุณหภูมิข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 104, 110, 111, และ 117 มีค่าเท่ากับ 2.80, 5.79, 6.14 และ 5.31 % ตามลำดับ หรือเทียบเป็นอุณหภูมิเท่ากับ 1.42, 3.05, 3.24 และ 2.63 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

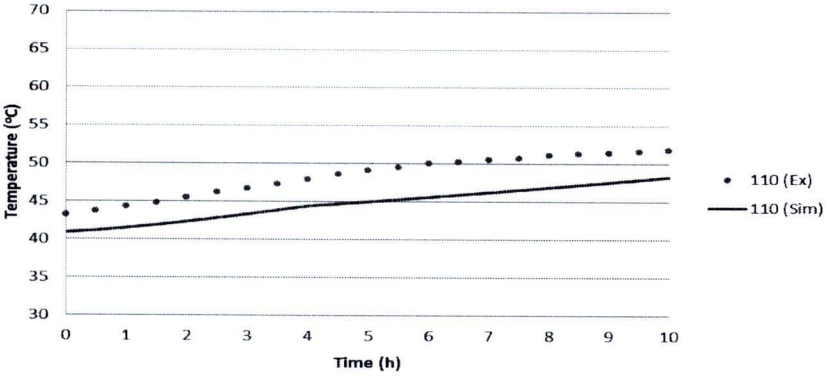
ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองนี้สามารถทำนายอุณหภูมิของข้าวเปลือกสำหรับการเก็บรักษาที่ไม่มีการระบายความร้อนที่สามารถยอมรับได้

2. การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองของการเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก

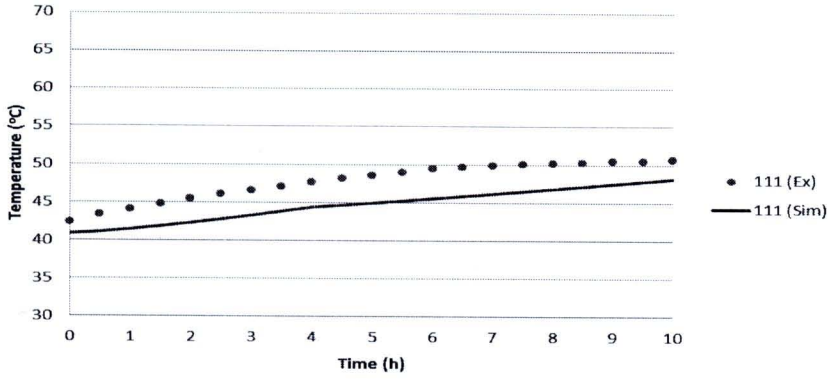
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



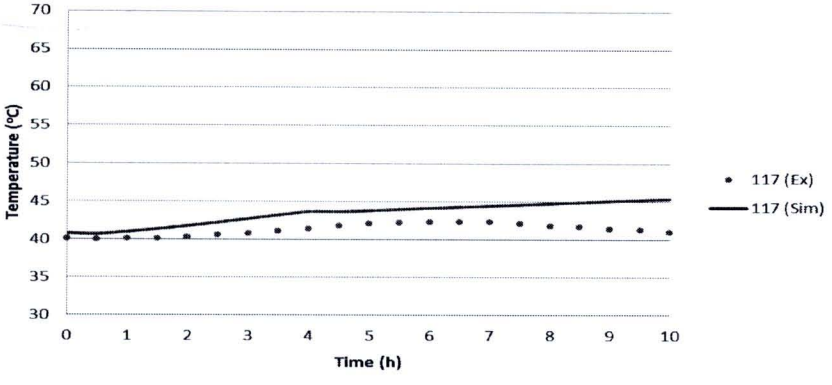
ภาพ 55 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 104 ระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 56 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 110 ระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 57 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 111 ระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก

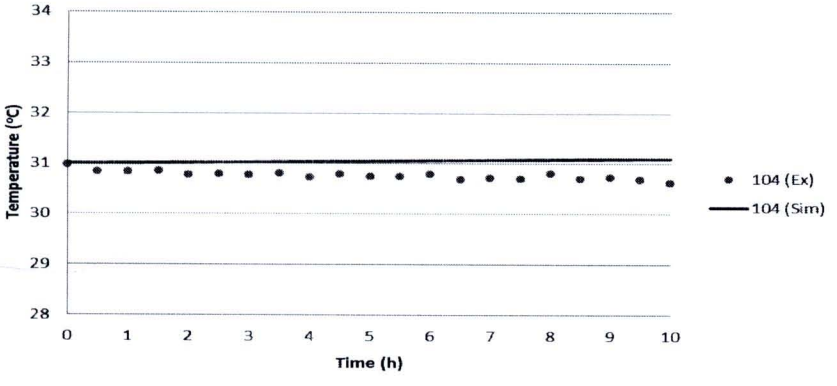


ภาพ 58 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 117 ระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก

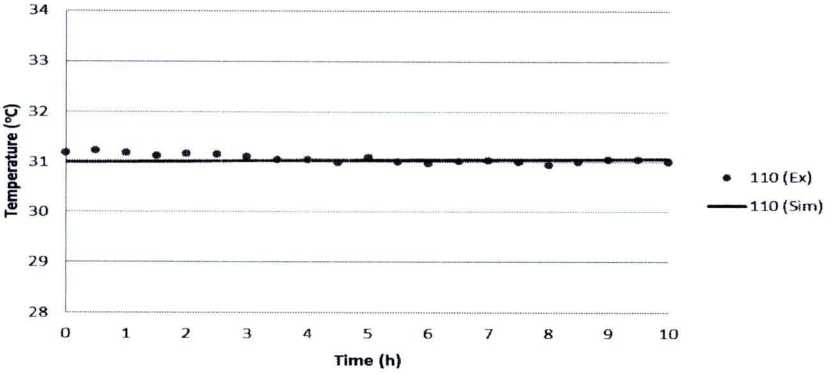
จากภาพ 55 - 58 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของข้าวเปลือกและระยะเวลาการเก็บรักษาของการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบของความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก ที่ตำแหน่ง 104, 110, 111 และ 117 ตามลำดับ จากลักษณะของกราฟที่เป็นจุดเป็นอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ได้จากการทดลองและเส้นทึบเป็นอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานอุณหภูมิข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 104, 110, 111 และ 117 มีค่าเท่ากับ 2.40, 7.77, 6.85 และ 5.89 % ตามลำดับ หรือเทียบเป็นอุณหภูมิเท่ากับ

1.06, 3.76, 3.28 และ 2.43 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองนี้สามารถทำนายอุณหภูมิของข้าวเปลือกสำหรับการเก็บรักษาที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่สามารถยอมรับได้

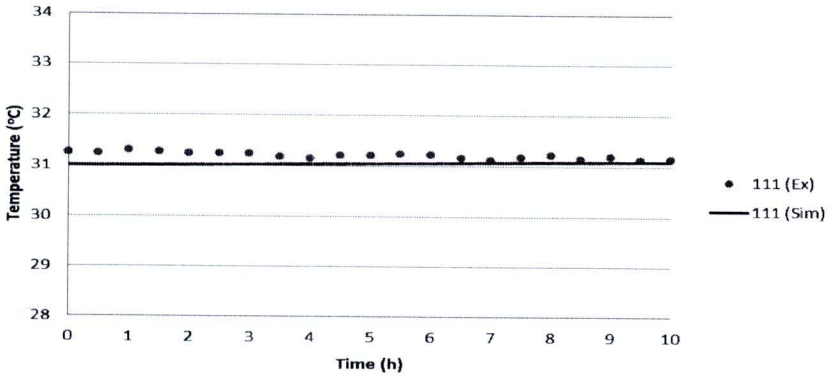
3. การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองของการเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก



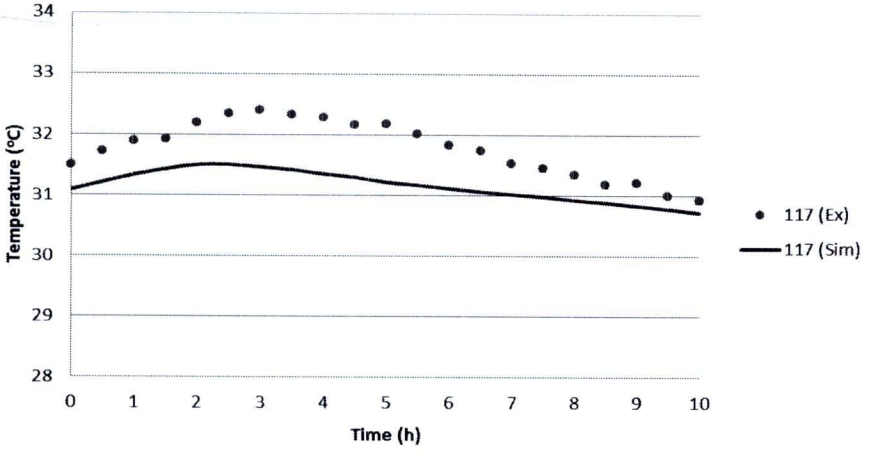
ภาพ 59 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 104 ระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 60 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 110 ระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 61 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 111 ระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก

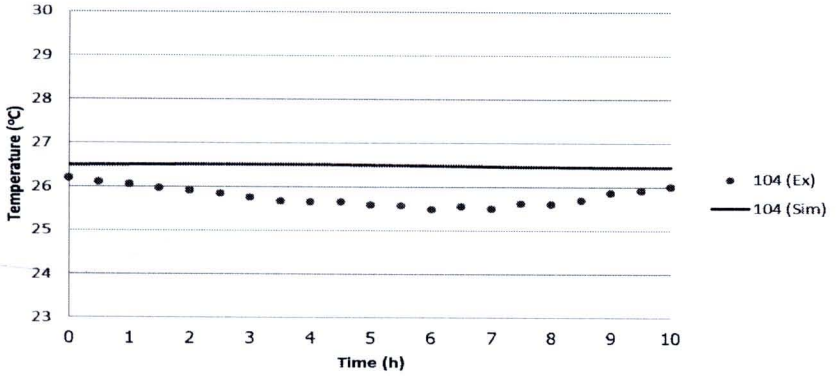


ภาพ 62 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 117 ระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองที่ไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก

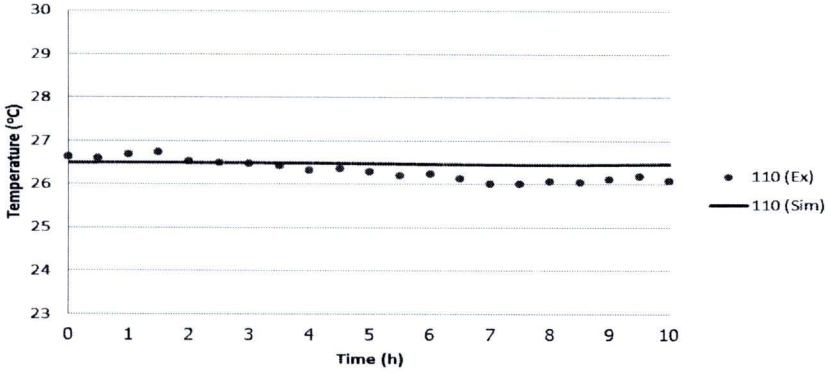
จากภาพ 59 - 62 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของข้าวเปลือกและระยะเวลาการเก็บรักษาของการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อนของความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียกที่ตำแหน่ง 104, 110, 111 และ 117 ตามลำดับ จากลักษณะของกราฟที่เป็นจุดเป็นอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ได้จากการทดลองและเส้นทึบเป็นอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานอุณหภูมิข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 104, 110, 111 และ 117 มีค่าเท่ากับ 1.02, 0.33, 0.57

และ 2.12 % ตามลำดับ หรือเทียบเป็นอุณหภูมิเท่ากับ 0.312, 0.10, 0.18 และ 0.67 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองนี้สามารถทำนายอุณหภูมิของข้าวเปลือกสำหรับการเก็บรักษาที่ไม่มีการระบายความร้อนได้เป็นอย่างดี

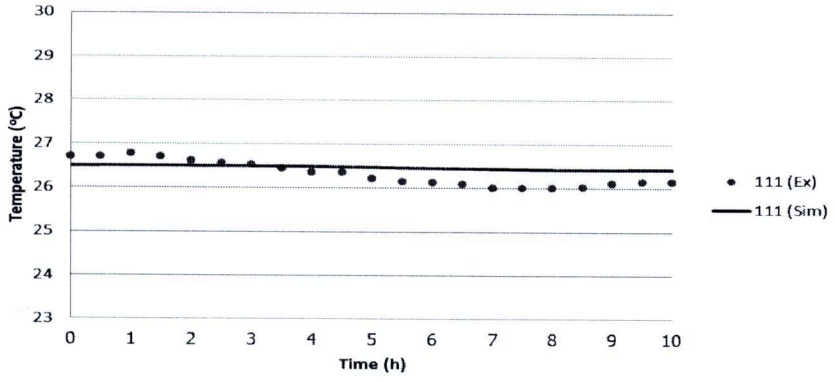
4. การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองของการเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก



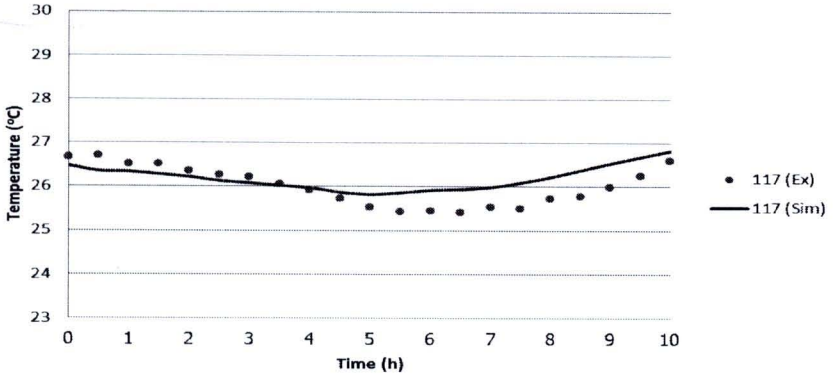
ภาพ 63 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 104 ระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 64 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 110 ระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 65 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 111 ระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก



ภาพ 66 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 117 ระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก

จากภาพ 63 - 66 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของข้าวเปลือกและระยะเวลาการเก็บรักษาของการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบของความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียกที่ตำแหน่ง 104, 110, 111 และ 117 ตามลำดับ จากลักษณะของกราฟที่เป็นจุดเป็นอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ได้จากการทดลองและเส้นทึบเป็นอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานอุณหภูมิข้าวเปลือกที่ตำแหน่ง 104, 110, 111 และ 117 มีค่าเท่ากับ 2.95, 1.04, 1.10 และ 1.42 % ตามลำดับ หรือเทียบเป็นอุณหภูมิเท่ากับ

0.76, 0.27, 0.29 และ 0.37 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองนี้สามารถทำนายอุณหภูมิของข้าวเปลือกสำหรับการเก็บรักษาที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบได้เป็นอย่างดี

ซึ่งจากผลของแบบจำลองสามารถนำมาใช้ในการทำนายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในถังเก็บข้าวเปลือกที่ความชื้น 26 และ 14 % มาตรฐานเปียก ทั้งการเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบที่ไม่มีการระบายความร้อนและแบบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบได้เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของอุณหภูมิข้าวเปลือกใกล้เคียงกันกันงานวิจัยก่อนหน้านี้ [21]

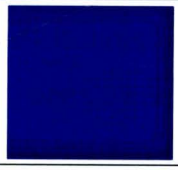
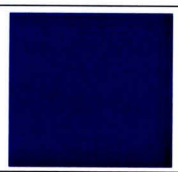
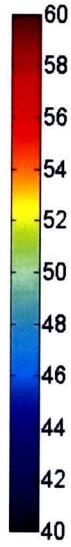
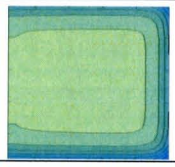
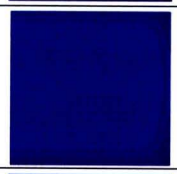
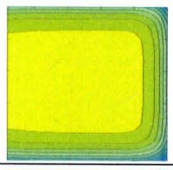
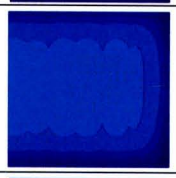
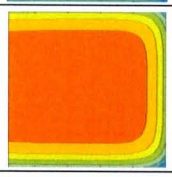
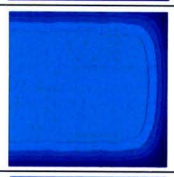
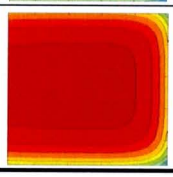
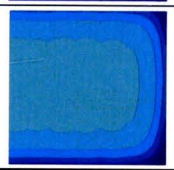
ผลการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังเก็บข้าวเปลือกจากแบบจำลอง

ในการเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ภายในถังเก็บข้าวเปลือกจะต้องศึกษาถึงลักษณะของการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังเก็บข้าวเปลือกเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลง เพื่อที่จะสามารถหาวิธีการระบายความร้อนและตำแหน่งการเกิดความร้อนได้อย่างเหมาะสม แต่จะไม่มีการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังเก็บข้าวเปลือกที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 % มาตรฐานเปียก ที่น้ำหนัก 500 กิโลกรัม ซึ่งจะเห็นว่าอุณหภูมิของข้าวเปลือกจากการทดลองไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากจึงจะกล่าวถึงเฉพาะที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก ซึ่งได้ลักษณะการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังเก็บข้าวเปลือกของการเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบที่ไม่มีการระบายความร้อนและแบบที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบของแบบจำลองดังตาราง 3 โดยทั้งสองแบบจะใช้อุณหภูมิแวดล้อมเดียวกัน

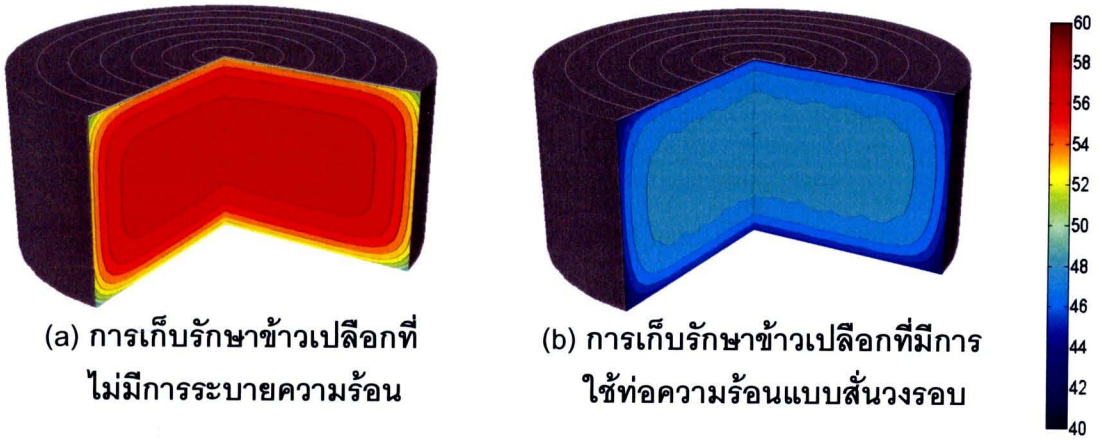
จากตาราง 3 แสดงภาพที่เป็นลักษณะการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังเก็บข้าวเปลือกนั้นจะมีการกระจายอุณหภูมิจากสูงไปต่ำโดยมีทิศทางจากจุดกึ่งกลางไปยังผิวด้านบนและล่างของข้าวเปลือกและผนังของถังเหมือนกันทั้งสองกรณี โดยจะสังเกตว่าที่เวลา 2 ชั่วโมงอุณหภูมิของข้าวเปลือกทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 41 – 44 องศาเซลเซียส แต่หลังจาก 2 ชั่วโมงจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการเก็บรักษาที่ไม่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงกว่าจนเมื่อเวลาที่ 10 ชั่วโมงอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อนและที่มีท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจะมีอุณหภูมิประมาณ 50 – 57 องศาเซลเซียสและ 40 – 48 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยจะเห็นความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ที่ 9 – 10 องศาเซลเซียส เนื่องจากในขณะที่เก็บรักษาข้าวเปลือกโดยไม่ได้มีการระบายความร้อนจะมีการผลิตความร้อนที่เกิดจากการหายใจของ

ข้าวเปลือกออกมาตลอดเวลา ซึ่งเมื่อมีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเข้าไปจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของข้าวเปลือกจะช้าลง เนื่องจากท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเป็นตัวที่ทำหน้าที่รับความร้อนที่เกิดจากการหายใจของข้าวเปลือกที่สะสมอยู่ภายในถังเก็บไปแลกเปลี่ยนกับอุณหภูมิแวดล้อมที่มีค่าต่ำกว่าจึงทำให้อุณหภูมิของข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบต่ำกว่าการเก็บรักษาแบบที่ไม่มีการระบายความร้อน

ตาราง 3 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังเก็บข้าวเปลือกจากแบบจำลองที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียก

เวลา (ชั่วโมง)	การเก็บรักษาที่ไม่มีการระบายความร้อน	การเก็บรักษาที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ	ระดับอุณหภูมิ
2			
4			
6			
8			
10			

เพื่อทำให้เห็นลักษณะการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังเก็บข้าวเปลือกได้ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงแสดงภาพออกมาดังภาพ 67 สำหรับการเก็บรักษาข้าวเปลือก 26 % มาตรฐานเปียกที่ไม่มีการระบายความร้อนพบว่า จากภาพ 67 (a) อุณหภูมิของข้าวเปลือกจะสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไป 10 ชั่วโมง และตำแหน่งที่อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่บริเวณกึ่งกลางของถังเก็บข้าวเปลือกเท่ากับ



(a) การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อน

(b) การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีการใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

ภาพ 67 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังเก็บข้าวเปลือกที่ความชื้น 26% มาตรฐานเปียก ณ เวลา 10 ชั่วโมง

57 องศาเซลเซียส และมีตำแหน่งที่อุณหภูมิต่ำสุดอยู่บริเวณผิวด้านบน ด้านล่าง และผนังของถังเก็บข้าวเปลือกเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส และสำหรับกรณีที่เป็นการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ จากภาพ 67 (b) อุณหภูมิของข้าวเปลือกจะสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไป 10 ชั่วโมงเท่ากับ 48 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 40 องศาเซลเซียสที่บริเวณผิวด้านบน ด้านล่าง และผนังของถังเก็บข้าวเช่นเดียวกัน