

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การศึกษาถึงผลของอุณหภูมิแวดล้อมภายนอกต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิข้าวเปลือกในถึงเก็บสภาพต่างๆ และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวระหว่างการเก็บรักษาระยะเวลา 6 เดือน ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนกรกฎาคม 2548 โดยทำการเก็บรักษาข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในถึงเก็บพร้อมติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง ดำเนินการเก็บข้อมูล ณ แปลงปฏิบัติการภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ณ ห้องปฏิบัติการสถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.1 วัสดุอุปกรณ์

- เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Data logger) ยี่ห้อ Today รุ่น 8829
- เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Data logger-) DL2E
- ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ติดตั้งเทอร์โมสแตท
- เครื่องเป่าฝุ่นละอองข้าว (Air screen cleaner)
- เครื่องกะเทาะเปลือกแบบลูกยางชนิด SATAKE THU 35 A
- เครื่องขัดขาว McGill No.2
- เครื่องคัดแยกข้าวเต็มเมล็ดแบบตะแกรงชนิด SATAKE TRG 05 A เบอร์ 5.2
- เครื่องบดแป้ง (sample mill)
- ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
- เครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA)
- เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง (Digital Balance, Mettler-Toled; AB204-S Switzerland)
- เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Quest XE
- เครื่อง water activity meter (Novasina: Model MS 1; Switzerland)
- เครื่องวัดความเร็วลม (anemometer) รุ่น testo 450

3.2 ขอบเขตและการวางแผนการทดลอง

เป็นงานทดลองที่จำลองระบบไซโลขึ้นเพื่อการศึกษาผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่ออุณหภูมิข้าวเปลือกและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวระหว่างเก็บรักษา วางแผนการทดลอง แบบ Factorial in RCB จำนวนซ้ำ 3 ครั้ง มีรายละเอียดของกรรมวิธีดังนี้

ปัจจัย A ได้แก่ ระบบการระบายอากาศ เพื่อการระบายความร้อนภายในถังเก็บ คือ

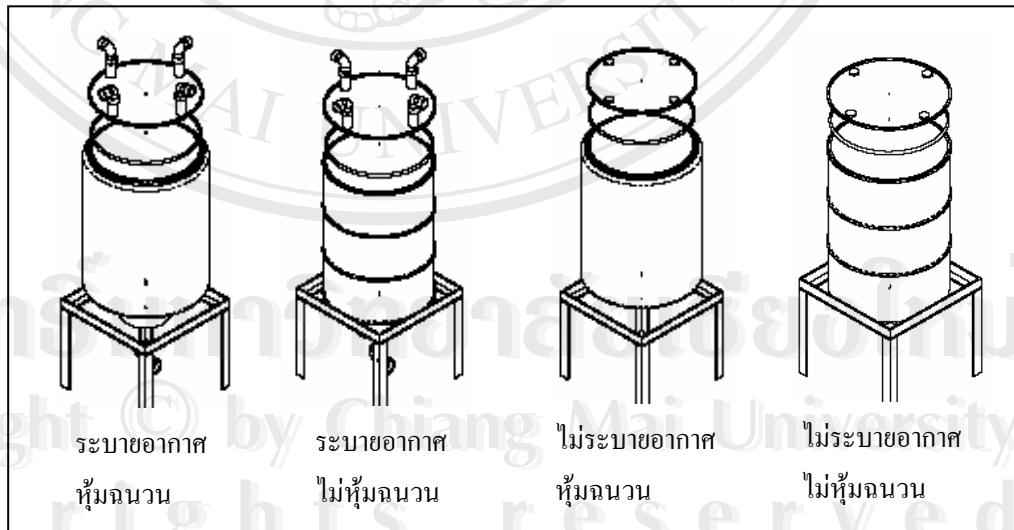
- มีการระบายอากาศภายในถังเก็บ
- ไม่มีการระบายอากาศในถังที่ปิดสนิท

ปัจจัย B ได้แก่ การใช้ฉนวนหรือตัวป้องกันก่นำความร้อนจากอุณหภูมิแวดล้อม

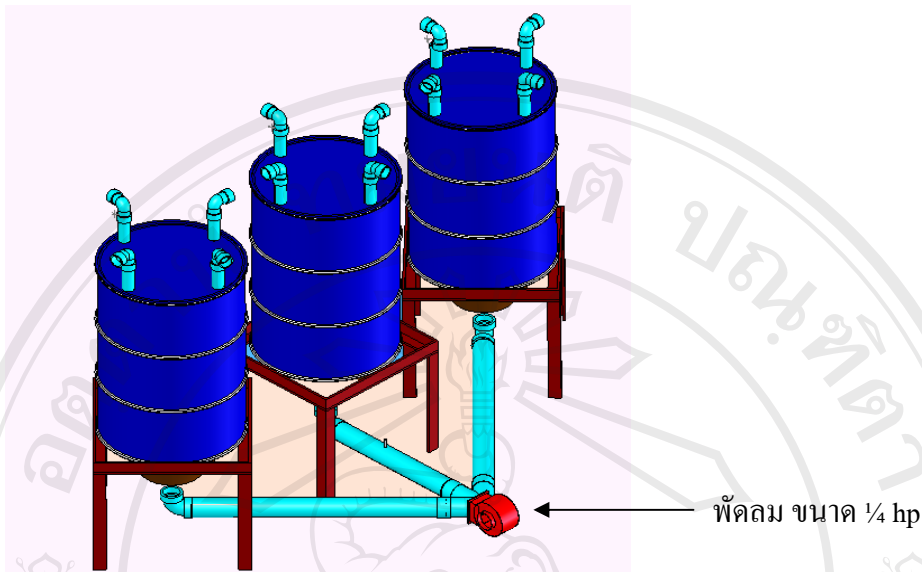
- มีฉนวนใยแก้วหุ้มรอบถัง
- ไม่มีฉนวนใยแก้วหุ้มรอบถัง

3.3 ระบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ไซโลจำลองที่ใช้ในการเก็บรักษาข้าวเปลือก เป็นถังโลหะที่ดัดแปลงมาจากถังบรรจุน้ำมัน ขนาด 200 ลิตร จำนวน 12 ถัง แต่ละถังบรรจุข้าวเปลือกได้ประมาณ 110 กิโลกรัม และสร้างระบบที่มีการระบายอากาศโดยต่อเข้ากับพัดลม และมีฉนวนใยแก้วหุ้มกันความร้อนตามกรรมวิธี แผนผังการทดลองแสดงดังรูป 3.1



รูป 3.1 แสดงถังเก็บตามกรรมวิธีการทดลองในการเก็บรักษาข้าวเปลือกสภาพต่างๆ



รูป 3.2 การจัดการระบบระบายอากาศในถังข้าวเปลือก

ส่วนประกอบของระบบอุปกรณ์ประกอบด้วย

1. ถังบรรจุวัตถุดิบ เป็นถังเหล็ก รูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.6 เมตร สูง 0.85 เมตร สำหรับในกรรมวิธีที่มีการระบายอากาศจะมีแผ่นตะแกรงเหล็กกรองรับผลผลิตอยู่ด้านล่าง โดยตะแกรงดังกล่าวมีพื้นที่ระบายอากาศ 42% เปอร์เซนต์ และต่อเข้ากับท่ออากาศจากพัดลม ด้านบนจะมีช่องเปิดที่ทำท่อระบายอากาศไว้ 4 จุด เพื่อให้มีไหลเวียนของอากาศภายในถังเมื่อระบบระบายอากาศทำงาน ส่วนกรรมวิธีที่ไม่ระบายอากาศจะเป็นระบบปิดไม่มีตะแกรงรับช่องลมด้านล่างและไม่มีช่องเปิดด้านบนถึงให้อากาศผ่าน

2. การมีฉนวนเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแวดล้อมจากภายนอกและการนำความร้อน โดยใช้ฉนวนใยแก้วหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ ความหนา 3 นิ้ว สามารถต้านทานความร้อนได้ 5 เท่า โดยมีค่าความต้านทานความร้อน (R) เท่ากับ $1.88 \text{ m}^2\text{K/W}$

3. พัดลมที่ใช้ในระบบระบายอากาศเป็นชนิดหอยโข่ง (Centrifugal fan) ความเร็วรอบ 1,440 รอบต่อนาที 1/4 แรง ค่าความดันสถิตของพัดลม 200 มิลลิเมตรน้ำ ต่อเข้ากับท่อลมและนำเข้าสู่ถังที่มีกรรมวิธีระบายอากาศ โดยมีอัตราการไหลของอากาศ $0.45 \text{ m}^3/\text{min-ton}$ ในการระบายอากาศในถังเก็บข้าว

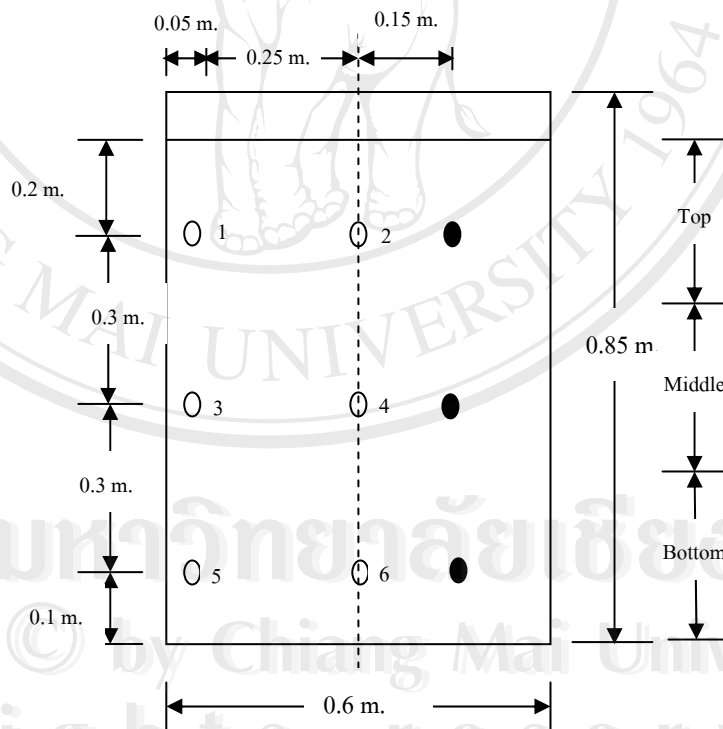
4. ตู้ควบคุมอุณหภูมิเทอร์โมสแตท สร้างชุดควบคุมอุณหภูมิเพื่อควบคุมการระบายอากาศตามอุณหภูมิที่กำหนด โดยพัดลมจะเริ่มระบายอากาศเมื่ออุณหภูมิในกองข้าวที่ตำแหน่งส่วน

ผิวกองข้าวเปลือกระดับความลึกประมาณ 5 เซนติเมตร มีค่าสูงถึง 32 ± 1 องศาเซลเซียส และหยุดระบายอากาศเมื่ออุณหภูมิภายในกองข้าวลดลงต่ำกว่า 32 องศาเซลเซียส

3.4 การบันทึกข้อมูล

1. การสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกในถังเก็บ

วิธีการสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกในถังเพื่อนำไปใช้ในการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ เก็บโดยใช้หลาว ณ ตำแหน่งส่วนล่าง ส่วนกลาง และ ส่วนบน หรือที่ระดับความลึก 10, 40 และ 70 เซนติเมตร จากพื้นล่างของถัง จุดละ 150 กรัม เริ่มสุ่มจากเดือนที่ 0 ถึงเดือนที่ 6 นำข้าวเปลือกมาผ่านชั้นตอนต่างๆ เริ่มจากทำความสะอาดคัดแยกสิ่งสกปรกโดยใช้เครื่อง Air screen cleaner จากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ โดยจะทำเดือนละ 1 ครั้ง ส่วนการสุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปวัดหาความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก จะเก็บตัวอย่างทุกๆ สัปดาห์



O, Position of temperature – Relative humidity recorders ; ●, Position of paddy sampling

รูป 3.3 ภาพตัดขวางแสดงตำแหน่งการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ – ความชื้นสัมพัทธ์ และตำแหน่งการสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเปลือก

2. การบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

บันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บข้าวเปลือก บริเวณริมผนังและตรงกลางของถัง ซึ่งห่างจากผนังถัง 0.05 และ 0.30 เมตร (รูป 3.3) ที่ระดับสูงจากพื้นถึง 0.1, 0.4 และ 0.7 เมตร (ชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน) จำนวน 6 จุดต่อถัง ณ ตำแหน่งทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ และสภาพอากาศแวดล้อม ทุกๆ 1 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ บันทึกเองอัตโนมัติ

3. ความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก

เก็บข้อมูลความชื้นเมล็ด ทุกๆ สัปดาห์ ตามวิธีมาตรฐาน ISTA (2005) บดเมล็ดข้าวเปลือกซึ่งน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือกที่บด 5 กรัม นำมาอบด้วยเตาอบไฟฟ้า (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 103 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 17 ± 1 ชั่วโมง จากนั้นเอาตัวอย่างข้าวเปลือกใส่ในโถดูดความชื้นจนกระทั่งข้าวเปลือกมีอุณหภูมิต่ำลง นำข้าวเปลือกมาชั่งน้ำหนักหลังอบ คำนวณหาความชื้นของข้าวเปลือก

4. ค่า Water Activity (a_w)

การวัดค่า Water Activity ของเมล็ดข้าวเปลือก โดยการนำข้าวเปลือกมาบดและนำเข้าเครื่อง Water Activity Meter ซึ่งค่าที่ได้คล้ายกับค่า Equilibrium Relative Humidity (ERH) แต่ใช้สเกล 0 ถึง 1 แทน 0% ถึง 100%

5. คุณภาพการสีของข้าว

บันทึกน้ำหนักข้าวเปลือกแล้วนำเมล็ดข้าวเปลือกมากะเทาะเปลือกออกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกแบบลูกยางชนิด SATAKE THU 35 A จะได้ส่วนที่เป็นข้าวกล้องและแกลบ ซึ่งนำหนักข้าวกล้องที่ได้ จากนั้นนำข้าวกล้องที่ได้เข้าสู่กระบวนการขัดสีโดยเครื่องขัดขาวแบบ McGill NO.2 จะได้ข้าวสารที่มีความยาวต่างๆ กัน เนื่องจากเกิดการแตกหักระหว่างการขัดสี จากนั้นทำการคัดแยกข้าวสารเต็มเมล็ด (ข้าวสารที่มีความยาวมากกว่า 8/10 ของความยาวข้าวทั้งหมด) และข้าวหัก โดยเครื่องคัดแยกข้าวเต็มเมล็ดแบบตะแกรงกลม ชนิด SATAKE TRG 05 A เบอร์ 5.2 ตั้งเวลา 1 นาที จะได้ข้าวสารเต็มเมล็ด และข้าวหัก นำมาวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว และเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก

6. ความขาวของข้าว

วัดสีของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร โดยใช้เครื่องมือวัดสี Color Quest โดยใช้ข้าวประมาณ 50 กรัม ใส่ในภาชนะแก้วใส ซึ่งหลักการของเครื่อง Color Quest ใช้หลักการตกกระเจิงของแสง ค่าที่ได้จากเครื่องมือเป็นค่า L^* , a^* , b^* , hue angle และ chroma

ค่า L^* ที่มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายถึง วัตถุเข้าใกล้สีดำ หาก L^* มีค่าเท่ากับ 100 วัตถุมีสีขาว

ค่า a^* เมื่อค่าเป็นบวกหมายถึง วัตถุมีสีแดง หากมีค่าเป็นลบ หมายถึงวัตถุมีสีเขียว

ค่า b^* เมื่อค่าเป็นบวกหมายถึง วัตถุมีสีเหลือง หากมีค่าเป็นลบ หมายถึงวัตถุมีสีน้ำเงิน

ทั้งค่า a^* และ b^* หากมีค่าเข้าใกล้ศูนย์แสดงว่าวัตถุมีสีเทา (gray)

ค่าการเปลี่ยนแปลงโดยรวมของสี (ΔE) คำนวณได้จากสูตร (Hunter Scot field equation)

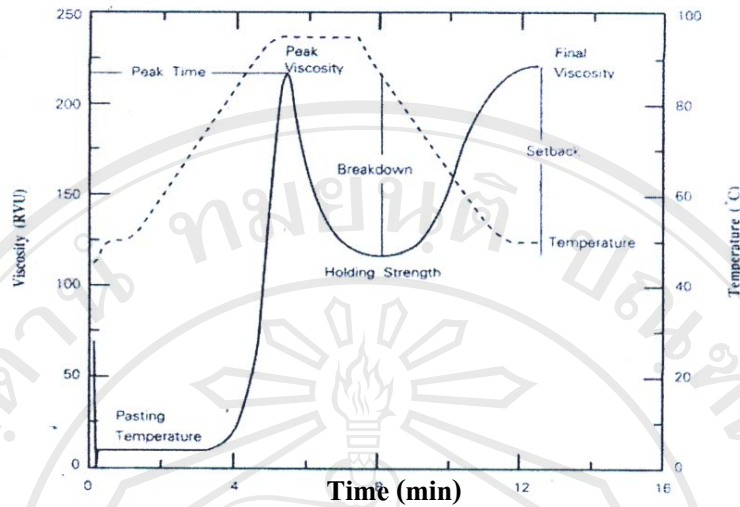
(John, 1999)

$$(\Delta E) = ((L(t)^* - L_0^*)^2 + (a(t)^* - a_0^*)^2 + (b(t)^* - b_0^*)^2)^{1/2}$$

เมื่อ L_0^* คือ ค่า L^* ก่อนการเก็บรักษา, $L(t)^*$ คือ ค่า L^* เมื่อเวลา t , a_0^* คือ ค่า a^* ก่อนการเก็บรักษา, $a(t)^*$ คือ ค่า a^* เมื่อเวลา t , b_0^* คือ ค่า b^* ก่อนการเก็บรักษา, $b(t)^*$ คือ ค่า b^* เมื่อเวลา t , t คือระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน)

7. คุณสมบัติทางด้านความหนืดของแป้ง

คุณสมบัติทางด้านความหนืด ตรวจวัดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) รุ่น RVA-4 จากบริษัท Newport Scientific โดยชั่งตัวอย่างแป้งข้าวสารตัวอย่างที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช (mesh) จำนวน 3.0 กรัม ใส่ในกระป๋องจำเพาะสำหรับเครื่อง RVA จากนั้นชั่งน้ำกลั่น 25 กรัม เทลงในกระป๋องแล้วใช้ใบกวนพร้อมฝาปิดที่เข้าชุดกับกระป๋องกวนให้แป้งกับน้ำเข้ากันประมาณ 10 วินาที จึงใส่กระป๋องตัวอย่างในเครื่อง RVA อย่างระมัดระวัง เครื่องจะทำงานอัตโนมัติ ความเร็วรอบของใบกวนในช่วง 10 วินาทีแรกเท่ากับ 960 rpm หลังจากนั้นความเร็วรอบเท่ากับ 160 rpm จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง อุณหภูมิของเครื่อง RVA มีการเปลี่ยนแปลงตามขั้นตอนดังนี้ คือ อุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเป็น 95 องศาเซลเซียส ในนาทีที่ 4.7 และคงที่ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที อุณหภูมิจะลดลงเป็น 50 องศาเซลเซียส ในนาทีที่ 11 และคงที่ตลอดจนเวลาครบ 12.5 นาที ได้กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่อเวลาแสดงดังรูป 3.4 (Newport Scientific Pty, Ltd., 1995) ซึ่งค่าจากการวิเคราะห์โดยเครื่อง RVA ที่นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งข้าวสำหรับการศึกษาค้นคว้านี้ได้แก่ Peak viscosity, Final viscosity และ Setback



รูป 3.4 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA

โดย Peak viscosity คือความสามารถในการพองตัวของแป้งเมื่อสุก (ความหนืดทำให้เกิดค่า peak) มีหน่วยเป็น cP (Centripoise)

Final viscosity คือความหนืดสุดท้ายของการทดลอง มีหน่วยเป็น cP

Setback from trough คือผลต่างของความหนืดสุดท้าย (final viscosity) กับความหนืดต่ำสุด (Holding strength) มีหน่วยเป็น cP

8. การตรวจหาปริมาณเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดข้าวเปลือก

นำเมล็ดข้าวเปลือกที่เก็บตัวอย่างมาจากแต่ละสภาพการเก็บรักษา โดยแต่ละตำแหน่งสุ่มมาจำนวน 100 เมล็ด เพื่อเพาะในหิ้งอกโดยวิธีการเพาะบนกระดาษชื้น (Blotter method) เพื่อศึกษาว่ามีเชื้อราใดเกี่ยวข้องกับกรเก็บรักษาเมล็ดข้าว บันทึกปริมาณและชนิดของเชื้อราที่ได้ ซึ่งจะทำการทดสอบเดือนละ 1 ครั้ง ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา

3.5 การใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังเก็บข้าวเปลือก

กำหนดสมมติฐานดังนี้

1. สมบัติทางความร้อน ได้แก่ ความร้อนจำเพาะ ค่าการนำความร้อน และความหนาแน่นของข้าวเปลือกในถังเก็บมีค่าคงที่
2. การถ่ายเทความร้อนภายในถังคิด 2 ทิศทาง (two-dimension) คือในรัศมี และแนวตั้ง
3. การถ่ายเทความร้อนภายในถังเก็บคิดเฉพาะการนำความร้อนของข้าวเปลือก
4. อุณหภูมิที่ริมผนังเท่ากันทุกจุด ไม่ว่าจะเป็นส่วนบนหรือส่วนล่าง

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลาของวัตถุรูปทรงกระบอก มีรูปสมการเป็น (Holdsworth,1997)

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (3.1)$$

เมื่อ

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

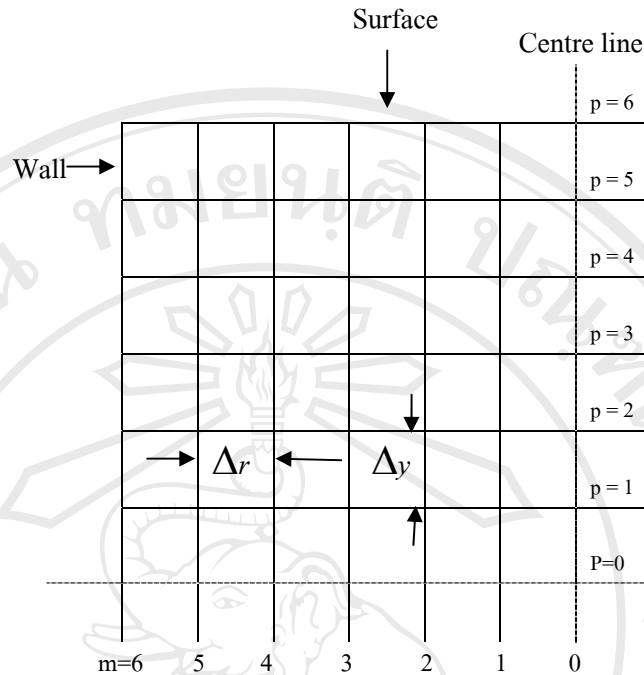
k	คือ ค่าการนำความร้อน (W/m ² K)
ρ	คือ ความหนาแน่น (kg/m ³)
C_p	คือ ค่าความร้อนจำเพาะ (J/kg.°K)
T	คือ อุณหภูมิของข้าวเปลือก (°C)
r	คือ ระยะทางจากจุดกึ่งกลางในแนวรัศมี (m)
y	คือ ระยะทางจากจุดกึ่งกลางในแนวตั้ง (m)
t	คือ ระยะเวลา (s)

สภาวะเริ่มต้น (initial condition) ของสมการ (3.1) คือ

$$T(r,y) = T_i(r_0,y_0) \text{ ที่ } t = 0$$

เมื่อ T_i คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของข้าวเปลือก (°C)

เมื่อทราบสภาวะเริ่มต้นและสภาวะที่ผิวแล้วสามารถใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อแก้ปัญห
สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ในที่นี้จะใช้ระเบียบวิธี finite difference กับสมการถ่ายเทความร้อนข้างต้น
จากจุดกึ่งกลางถึงของข้าวเปลือก สูง 0.30 m. และจากจุดกึ่งกลางถึงถึงผนัง กว้าง 0.30 m.
จากระเบียบวิธี finite difference ทำการแบ่งรัศมีและความสูงเป็นส่วนๆ ดังรูป 3.5 ในที่นี้ถือว่า
อุณหภูมิตามจุดต่างๆ จะสมมาตรกันเมื่อห่างจากแนวกึ่งกลางเท่ากัน



รูป 3.5 แผนภาพของถังเก็บข้าวเปลือกที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยวิธี finite difference

m = ตำแหน่ง plane ในแนวรัศมี เริ่มต้น 0 ถึง 6 ระยะห่างระหว่าง plane = Δr , p = ตำแหน่ง plane ในแนวตั้ง เริ่มจาก 0 ถึง 6 ระยะห่างระหว่าง plane = Δy , n = ระยะเวลาที่ผ่านไป ให้ $\Delta r = \Delta y = 0.05$ m

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางในแนวรัศมี = $m\Delta r$

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางในแนวตั้ง = $p\Delta y$

จากค่า Δr และ Δy ที่กำหนด สามารถแบ่งข้าวเปลือกได้เป็น 6 ส่วน

ที่เวลาเริ่มต้นกำหนดให้ $n = 0$

นั่นคือเมื่อเวลาผ่านไป $1\Delta t$ จะเป็นช่วงเวลาที่ $n+1$ อุณหภูมิที่ตำแหน่งและเวลาใดๆ แทนด้วยสัญลักษณ์ $T_{m,p,n}$

จะได้ผลเฉลยของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (3.1) ที่ตำแหน่งใดๆ ดังนี้

$$T_{m,p,n+1} - T_{m,p,n} = \frac{k\Delta t}{\rho C_p \Delta r^2} [T_{m+1,p,n} + T_{m-1,p,n} - 2T_{m,p,n}] + \frac{k\Delta t}{\rho C_p r^2} \cdot \frac{1}{m} [T_{m+1,p,n} - T_{m,p,n}] + \frac{k\Delta t}{\rho C_p \Delta y^2} [T_{m,p+1,n} + T_{m,p-1,n} - 2T_{m,p,n}] \quad (3.2)$$

ให้
$$M = \frac{\rho C_p \Delta r^2}{k \Delta t} = 4$$

จะได้
$$P = \frac{\rho C_p \Delta y^2}{k \Delta t} = 4$$

จะได้

$$\begin{aligned} T_{m,p,n+1} - T_{m,p,n} &= \frac{1}{4} [T_{m+1,p,n} + T_{m-1,p,n} - 2T_{m,p,n}] + \frac{1}{4m} [T_{m+1,p,n} - T_{m,p,n}] \\ &\quad + \frac{1}{4} [T_{m,p+1,n} + T_{m,p-1,n} - T_{m,p,n}] \end{aligned} \quad (3.3)$$

เมื่อ $T_{m,p,n}$ คือ อุณหภูมิที่ตำแหน่ง m,p เมื่อเวลาผ่านไป $n\Delta t$

$T_{m,p,n+1}$ คือ อุณหภูมิที่ตำแหน่ง m,p เมื่อเวลาผ่านไป $(n+1)\Delta t$

จากสมการ 3.1 ไม่สามารถใช้หาอุณหภูมิที่จุดศูนย์กลางได้ เนื่องจาก $r=0$ ใช้ L' Hospital's rule จะได้ว่า

$$\lim_{r \rightarrow 0} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \quad (3.4)$$

ดังนั้นสมการ (3.1) จะเปลี่ยนไปเป็น

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(2 \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (3.5)$$

จะได้สมการ finite difference สำหรับหาอุณหภูมิที่ $r=0$ ($m=0, p=0$) เมื่อเวลาผ่านไป $(n+1)\Delta t$

ดังนี้

$$T_{m,p,n+1} - T_{m,p,n} = \frac{1}{2} [T_{m+1,p,n} + T_{m-1,p,n} - 2T_{m,p,n}] + \frac{1}{4} [T_{m,p+1,n} + T_{m,p-1,n} - 2T_{m,p,n}] \quad (3.6)$$

3.7 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองอุณหภูมิ

ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยทำการวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังเก็บข้าวเปลือกระหว่างการเก็บรักษาตามสภาพอากาศแวดล้อม โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. วัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังเก็บข้าวเปลือก จำนวน 4 ถังๆ 4 จุด คือบริเวณชั้นบนห่างจากผนังถึง 0.05 m ($m = 5, p = 6$) ชั้นบนกึ่งกลางถึง ($m = 0, p = 6$) ชั้นกลางห่างจากผนังถึง 0.05 m ($m = 5, p = 0$) ชั้นกลางกึ่งกลางถึง ($m = 0, p = 0$) อุณหภูมิที่ผนัง ($m=6, p=6$) และอุณหภูมิของตัวกลาง T_a โดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิและเวลา ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 6 เดือน
2. ใช้ค่า Root Mean Square Error (*RMSE*) ในการพิจารณาความถูกต้องแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Lawson and Hanson, 1974) คำนวณจาก

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p [T_{mea}(i) - T_{sim}(i)]^2} \quad (3.7)$$

เมื่อ p คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

$T_{mea}(i)$ คือ อุณหภูมิที่ได้จากการวัด ที่เวลา i ใดๆ

$T_{sim}(i)$ คือ อุณหภูมิที่ได้จากการทำนาย ที่เวลา i ใดๆ

3.8 วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล

ข้อมูลทางคุณภาพของข้าวที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยวิธี Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของสิ่งทดลอง โดยใช้วิธี LSD (Least significant difference test) โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติใช้โปรแกรม Statistix for Window version 8.0

All rights reserved