รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

“การเก็บรักษาข้าวในไซโล”

“RICE STORAGING IN SILO”

โดย

นางสาวเบญจวรรณ อัศวธีระ

B4151883

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 305 497 สหกิจศึกษา

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วันที่ 11 เมษายน พ.ศ.2545

รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

“การเก็บรักษาข้าวในไซโล”

“RICE STORAGING IN SILO”

โดย

นางสาวเบญจวรรณ อัศวธีระ

B4151883

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปฏิบัติงาน ณ

บริษัท เจียเม้ง จำกัด

119 หมู่ 8 ถ.มิตรภาพ-พิมาย ต.หนองงูเหลือม อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.นครราชสีมา 30000

วันที่ 11 เดือนเมษายน พ.ศ.2545

เรื่อง ขอส่งรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร อาจารย์ปิยะวรรณ กาสลัก

ตามที่ข้าพเจ้า นางสาวเบญจวรรณ อัศวธีระ นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้ไปปฏิบัติงานสหกิจศึกษา (305497) ในระหว่างวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ.2544 ถึงวันที่ 12 เมษายน พ.ศ.2545 ในตำแหน่งผู้ช่วยพนักงาน HACCP PLAN แผนกคุณภาพ ณ บริษัทเจียเม้ง จำกัด และได้รับมอบหมายงานจาก job superviser ให้นักศึกษา และได้ทำรายงานใน 3 หัวข้อ ดังนี้

1.) เรื่อง การทดลองหาสาเหตุการเกิดข้าวเหลือง

2.) เรื่อง การเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสารสกัดจากพืชสมุนไพรที่ใช้สำหรับกำจัดสัตว์พาหะภายในโรงงาน และการเก็บรักษาข้าวในไซโล

3.) เรื่อง การทวนสอบประสิทธิภาพเครื่องจักรในกระบวนการผลิตข้าวของบริษัทฯ

บัดนี้ การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาได้สิ้นสุดลงแล้ว ข้าพเจ้าจึงขอส่งรายงานดังกล่าวมาพร้อมนี้จำนวน 3 เล่ม เพื่อขอรับคำปรึกษาต่อไป โดยสำหรับรายงานในหัวข้อที่ 3 จะเป็นการส่งรายงานในรูปของบทคัดย่อแทรกอยู่ในรายงานเรื่องการทดลองหาสาเหตุการเกิดข้าวเหลือง

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

(นางสาวเบญจวรรณ อัศวธีระ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

การที่ข้าพเจ้าได้มาปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท เจียเม้ง จำกัด ตั้งแต่วันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2544 ถึงวันที่ 12 เมษายน พ.ศ. 2545 ส่งผลให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้ และประสบการณ์ต่างๆ อันมีค่ายิ่งอย่างมากมาย ซึ่งข้าพเจ้าไม่สามารถพบได้ในห้องเรียน สำหรับรายงานวิชาสหกิจศึกษาฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีโดยได้รับความร่วมมือ และสนับสนุนจากบุคคลหลายฝ่าย ดังนี้

1. คุณถวัลย์ มานะธัญญา ประธานอำนวนการฝ่ายผลิต บริษัท เจียเม้ง จำกัด ที่เห็นความสำคัญของระบบการศึกษาแบบสหกิจศึกษา และได้ให้โอกาสอันมีคุณค่าอย่างยิ่งต่อข้าพเจ้า

2. คุณประพิศ มานะธัญญา กรรมการผู้จัดการ (MD)

3. คุณดำรงค์ บุญอุทิศ ผู้จัดการทั่วไปฝ่ายผลิต (GMP)

4. คุณสมศักดิ์ กำจรกิจบวร ผู้จัดการคุณภาพ (SAN/QMR)

5. คุณบัญชา บุญนิตย์ ผู้จัดการฝ่ายทรัพยากรบุคคล (SCH)

6. คุณนิตยา แห่ล้อม ผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ (SCB)

7. คุณนัยนา อยู่กำเหนิด ผู้จัดการฝ่ายบัญชี และการเงิน (SCA)

8. คุณขวัญชัย ศิริจันทร์ ผู้จัดการฝ่ายเกษตรกรรม (SCG)

9. คุณฉัตร เชือดกิ่ง ผู้จัดการฝ่ายสนับสนุน (SCS)

10. คุณสุวิชัย แห่ล้อม ผู้จัดการฝ่ายผลิต (SCP)

11. คุณสาหร่าย ศรีศิริ ผู้จัดการแผนกคุณภาพ (R100)

12. คุณพิชาญ พบวันดี หัวหน้าหน่วยคุณภาพ (R110)

13. คุณเริงหทัย สำราญ พนักงาน HACCP PLAN ผู้เป็น Co-op Supervisor และบุคลากรท่านอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้าในการจัดทำรายงานให้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล และเป็นที่ปรึกษาแก่ข้าพเจ้าในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแล และแนะนำสิ่งต่างๆ เพื่อให้ข้าพเจ้าเกิดความเข้าใจในการปฏิบัติงานจริง ข้าพเจ้าขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

นางสาวเบญจวรรณ อัศวธีระ

ผู้จัดทำรายงาน

17 เมษายน 2545

บทคัดย่อ

(Abstract)

จากการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท เจียเม้ง จำกัด ในตำแหน่งผู้ช่วยพนักงาน HACCP PLAN ข้าพเจ้าได้รับมอบหมายให้สืบค้น และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเก็บรักษาข้าวในไซโลในเชิงวิศวกรรมอาหารเพื่อใช้ประกอบการจัดการ และควบคุมดูแลการเก็บรักษาข้าวในไซโลของบริษัทฯ ซึ่งบริษัทฯ มีไซโลสำหรับใช้ในการเก็บรักษาข้าวอยู่มากพอสมควร และยังคงต้องมีการปรับปรุงให้สามารถเก็บรักษาวัตถุดิบข้าวเปลือกไว้ได้เป็นเวลานานโดยไม่มีการสูญเสียวัตถุดิบ หรือสูญเสียให้น้อยที่สุด

ในการสืบค้น และรวบรวมข้อมูลฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการเก็บรักษาข้าวในไซโลของบริษัทฯ ที่ยังคงต้องมีการปรับเปลี่ยน หรือเพิ่มอุปกรณ์บางอย่างเข้าไปเพื่อให้สามารถเก็บรักษาข้าวได้เป็นเวลานานโดยไม่มีปัญหาด้านการสูญเสียวัตถุดิบข้าวเปลือกไปในระหว่างการเก็บรักษาข้าว เช่น ปัญหาข้าวเหลือง และปัญหาแมลงในโรงเก็บอันได้แก่ มอดข้าวเปลือก ผีเสื้อข้าวเปลือก และผีเสื้อข้าวสาร เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูปภาพ	จ
บทที่ 1 : บทนำ	1 - 2
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.3 ขอบข่าย	1
1.4 ระยะเวลาในการดำเนินงาน	1
1.5 รายละเอียดเกี่ยวกับบริษัท เจียแม้ง จำกัด	1
บทที่ 2 : รายละเอียดของงานที่ปฏิบัติ	3 – 21
บทที่ 3 : สรุปผลการปฏิบัติงาน	22
บทที่ 4 : ปัญหา และข้อเสนอแนะ	22
บรรณานุกรม	23

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อายุการเก็บรักษาของ Shelled corn (วัน)	15
2	แสดงแฟคเตอร์ความลึกสำหรับการรวมพัดลมไว้ในถังเก็บเมล็ดธัญพืช	17
3	แฟคเตอร์การปรับความลึกสำหรับเมล็ดธัญพืช	18

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงทิศทางการไหลเวียนของความร้อนในเมล็ดธัญพืชเมื่ออากาศบริเวณรอบๆ ถังเก็บมีความเย็นมากกว่าภายในตัวถังเก็บเมล็ดธัญพืช	4
2	แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศในเมล็ดธัญพืชเย็นที่เก็บในถังเก็บเมื่อเปรียบเทียบกับอากาศรอบๆ	4
3	แสดงการนำความร้อนในธาตุต่างๆ ของเมล็ดธัญพืชในระบบ Cylindrical Coordinate	6
4	แสดงส่วนเพิ่มเติมในการกำจัดความแตกต่างที่มีจุดสิ้นสุด	8
5	แสดงสมดุลพลังงานที่ขอบเขตทิศทาง	10
6	สมดุลพลังงานที่ขอบเขตทิศทางเมื่อมีอุณหภูมิภายนอกขอบเขตที่กำหนดเข้ามาเกี่ยวข้อง	11
7	แสดงรูปแบบในการเก็บรักษาเมล็ดธัญพืชที่มีการอำนวยความสะดวกในการจัดการเก็บรักษาแบบระยะเวลาสั้นๆ	13
8	Schematics ของกระบวนการทำแห้งภายในถังเก็บเมล็ดธัญพืช	14
9	แสดงความลึกของเมล็ดเปียกที่มีผลต่อความลึกของเมล็ดแห้ง และอัตราการไหลในหน่วยของถัง	16
10	Schematic ของอุปกรณ์ในการกวน multiple auger	21

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

อุณหภูมิ และปริมาณความชื้นเป็น 2 ตัวแปรทางกายภาพที่สำคัญ แม้ว่าเมล็ดธัญพืชจะถูกเก็บรักษาที่ปริมาณความชื้นที่ปลอดภัยตามปกติแล้วก็ตาม แต่การเปลี่ยนแปลงในสองตัวแปรนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของอากาศ และเวลา การเปลี่ยนแปลงความชื้นในเมล็ดธัญพืชที่ถูกเก็บรักษาไว้นั้นเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป และการทำนายผลกระทบในระหว่างความผันแปรของอากาศตามปกติจึงมีความจำเป็นในการเตรียมพื้นฐานสำหรับการออกแบบลักษณะการเก็บรักษาเมล็ดธัญพืชที่ปลอดภัยต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และคุณภาพ

1.1 วัตถุประสงค์

1.) เพื่อศึกษา และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเก็บรักษาข้าวในไซโลในเชิงวิศวกรรมอาหารที่เป็นทฤษฎี

2.) เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการเก็บรักษาข้าวในไซโลของบริษัทฯ

1.2 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบข้อมูลทางทฤษฎีเกี่ยวกับการเก็บรักษาข้าวในไซโลเชิงวิศวกรรมอาหารเพื่อนำไปประกอบการเก็บรักษาข้าวในไซโลของบริษัทฯ

1.3 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

2 มกราคม – 10 เมษายน พ.ศ. 2545

1.4 รายละเอียดเกี่ยวกับบริษัท เจียเม้ง จำกัด

ประวัติความเป็นมาของบริษัทเจียเม้ง จำกัด

จุดเริ่มต้นของบริษัท เจียเม้ง จำกัด มาจากการก่อตั้งโรงสีข้าวที่บางซื่อในนามของ ห้างหุ้นส่วนจำกัดโรงสีไฟ เจียเม้ง เมื่อปี พ.ศ. 2498 ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงสีไฟ เจียเม้ง ได้ทำการส่งออกข้าวหอมมะลิโดยใช้ชื่อ "GOLDEN PHOENIX" หรือในชื่อภาษาไทยว่า "ข้าวหงษ์ทอง" และเมื่อผลิตภัณฑ์ข้าวหงษ์ทองออกสู่ตลาดก็เป็นที่รู้จักและเป็นที่นิยมของผู้บริโภคอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ต้องทำการขยายกิจการ เพื่อให้มีกำลังการผลิตเพียงพอต่อความต้องการที่เพิ่มมากขึ้น และได้เปลี่ยนชื่อเป็น บริษัท บางซื่อโรงสีไฟ เจียเม้ง จำกัด ในปี พ.ศ. 2511 ทั้งยังได้จัดตั้งบริษัทในเครือมากถึง 4 แห่ง ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ บริษัท เจียเม้ง จำกัด

บริษัท เจียเม้ง จำกัด เริ่มดำเนินกิจการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 มีสำนักงานตั้งอยู่ที่ 119 หมู่ 8 ถนนมิตรภาพ-พิมาย ตำบลหนองงูเหลือม อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครราชสีมา มีคณะกรรมการบริหารบริษัท คือ คุณถวัลย์ มานะธัญญา เป็นประธานอำนวยการบริหารฝ่ายผลิต และคุณประพิศ มานะธัญญา เป็นกรรมการผู้จัดการ มีพนักงานจำนวน 362 คนประกอบกิจการประเภทคัดและปรับปรุงคุณภาพผลิตผลทางการเกษตรเพื่อการส่งออก โดยเป็นผู้ผลิตข้าวหอมมะลิคุณภาพสูงภายใต้เครื่องหมายการค้าตรา "หงษ์ทอง" เพื่อขายภายในประเทศ และส่งออกต่างประเทศ ประมาณปีละ 150,000 ตัน มูลค่า 2,500-3,000 ล้านบาท /ปี

นโยบายคุณภาพ

สรรหาวัตถุดิบที่มีคุณภาพดี นำมาผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นเลิศ เหนือมาตรฐานสากล มีความปลอดภัยตามสุขอนามัยต่อผู้บริโภค ด้วยราคายุติธรรม และบริการส่งมอบ ด้วยความถูกต้อง แม่นยำ เป็นที่ประทับใจของลูกค้า

สร้างสรรบุคลากร พัฒนากระบวนการผลิต ด้วยเทคโนโลยีอันทันสมัย ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ในต้นทุนที่เหมาะสม พร้อมทั้งความมุ่งมั่นในการรักษาระบบ ให้ยั่งยืน โดยตรวจติดตาม ระบบคุณภาพ อย่างสม่ำเสมอ

ด้วยนโยบายคุณภาพของบริษัทฯ ทางระบบจึงนำระบบบริหารคุณภาพตามมาตรฐาน ISO 9002, HACCP, SQF 2000 มาใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติ เพื่อให้บรรลุจุดมุ่งหมายดังกล่าว ตั้งแต่ปลายปี พ.ศ.2541 เป็นต้นมา

ระบบคุณภาพมาตรฐาน ของบริษัทฯ

วันที่ 26 พฤษภาคม 2542 : ได้รับการรับรองระบบคุณภาพมาตรฐาน ISO 9002 จากบริษัท SGS Yarsley International Certification Services Limited ประเทศอังกฤษ

วันที่ 23 กรกฎาคม 2542 : ได้รับการรับรองระบบ HACCP และยังได้พัฒนามาสู่ระบบคุณภาพสูงสุด SQF 2000 ในเวลาต่อมา ซึ่งเป็นการยืนยันความมั่นใจทั้งด้านคุณภาพและความปลอดภัย ให้ผู้บริโภค อย่างแท้จริง

เป้าหมาย

- ผลิตสินค้าให้มีคุณภาพเป็นเลิศ ด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย
- ให้มีการนำระบบคุณภาพที่จัดทำมาพัฒนา และปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ
- ให้มีการบริการแก่ลูกค้าด้วยความประทับใจสูงสุด

วิสัยทัศน์

- เป็นโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรที่ทันสมัยในศตวรรษที่ 21 มีระบบการจัดการด้านคุณภาพข้าวหอมมะลิที่มีคุณภาพสูงสุด และการบริการที่เป็นเลิศเป็นที่ยอมรับแก่ลูกค้าทั่วโลก
- ตั้งนโยบายชัดเจนในการพัฒนาองค์กรอย่างต่อเนื่อง เพื่อความยั่งยืนตลอดไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
รายละเอียดของงานที่ปฏิบัติ

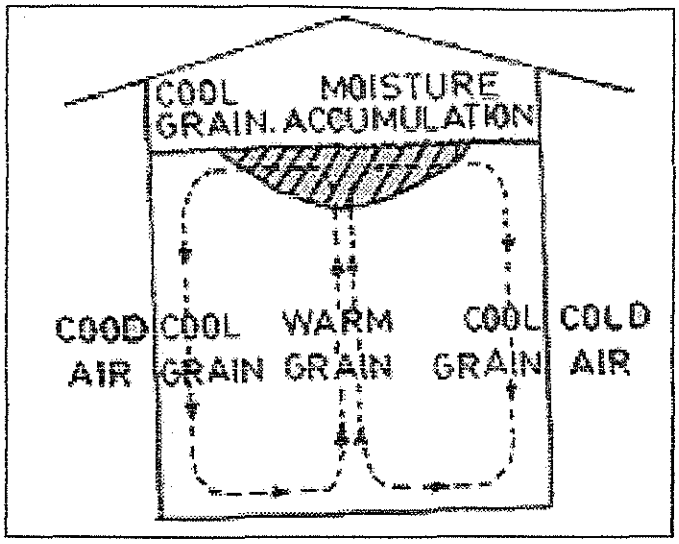
การเก็บรักษาข้าวในไซโล

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และความชื้นในระหว่างการเก็บรักษา

1. **การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปของเมล็ดธัญพืชที่ถูกเก็บรักษาในถังที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก**

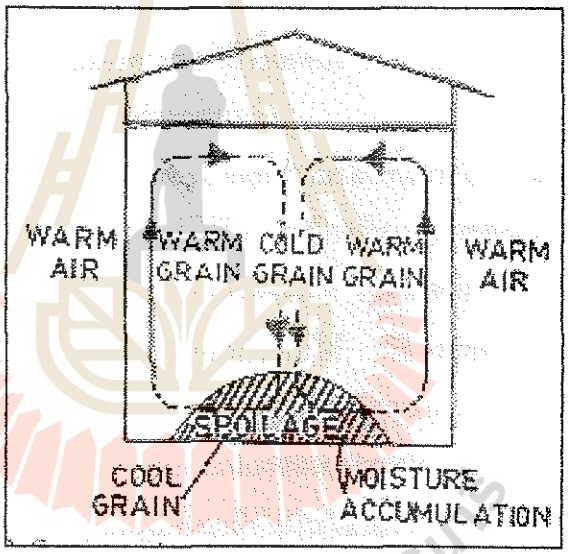
ความชื้นจะเคลื่อนที่ในเมล็ดธัญพืชที่ถูกเก็บรักษาไว้ในรูปของปริมาณความชื้นแบบเดียวกัน เมื่อมีการผันแปรของอุณหภูมิรอบๆ ถังเก็บธัญพืช ถ้าปริมาณความชื้นของเมล็ดถูกเก็บไว้ให้คงที่แล้ว จะทำให้วัตถุดิบของอากาศรอบๆ เมล็ดเพิ่มขึ้นเพื่อจะเข้าสู่สมดุลด้วย ถ้ามีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ความดันย่อยและความเข้มข้นของไอน้ำในอากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นเมื่ออุณหภูมิในเมล็ดธัญพืชที่ถูกเก็บไว้ในรูปปริมาณความชื้น ความดัน และความเข้มข้นของไอน้ำที่มีจะเป็นสาเหตุให้ไอน้ำแพร่กระจายจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปหาบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ไอน้ำนี้จะถูกถ่ายเทอยู่ภายในถัง โดยไอน้ำจะลอยขึ้นมาตามกระแสลม ซึ่งจะแพร่กระจายในเมล็ดที่ถูกเก็บ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิตลอดทั้งถังที่เป็นผลของความผันแปรของอุณหภูมิรอบๆ ถัง เมื่ออากาศอุ่นๆ เคลื่อนจากบริเวณพื้นที่อุ่นๆ ไปสู่พื้นที่ที่เย็นกว่าในเมล็ดธัญพืชที่ถูกเก็บไว้ ซึ่งอากาศนี้จะนำทั้งความชื้น และความร้อนไปด้วย นี่เป็นสาเหตุการสะสมของความชื้นที่เกิดจากการควบแน่นที่ส่วนบน หรือส่วนก้นของถังที่ใดที่หนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางตามธรรมชาติในการนำพาของอากาศภายในเมล็ดธัญพืช

การเคลื่อนที่ของความชื้นเป็นผลขั้นต้นของการเคลื่อนที่ของอากาศตามกระแสลม การเคลื่อนที่ของความชื้นนี้บางครั้งเกิดจากการแพร่กระจายในระหว่างฤดูหนาวนั้น อุณหภูมิโดยเฉลี่ยภายนอกการเก็บรักษาเมล็ดธัญพืชจะต่ำ และอุณหภูมิที่ผนังของโครงสร้างการเก็บรักษาจะสูง ในกรณีที่สภาวะของอากาศในเมล็ดธัญพืชใกล้เคียงกับพื้นผิวของการเก็บรักษาที่เย็น และจะเคลื่อนที่ลงไปข้างล่างจนถึงก้นถัง และเมื่อเคลื่อนเข้าใกล้ หรือถึงจุดศูนย์กลางของถัง ซึ่งเป็นที่ที่อากาศ และเมล็ดมีความอุ่น การเคลื่อนที่ของอากาศผ่านไปที่ศูนย์กลางของถัง ความชื้นจะรวมตัวกันจนกระทั่งอากาศออกจากถัง หรือเคลื่อนที่ไปยังส่วนบนในถัง พื้นผิวของเมล็ดธัญพืชที่เย็นจะอยู่ส่วนบน และความชื้นจะกลั่นตัวลงบนเมล็ด ส่งผลให้ปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น (ดังภาพที่ 1) การเน่าเสียอาจจะเกิดขึ้นได้ถ้าไม่มีการใช้เครื่องตรวจวัดในระหว่างการเก็บรักษานี้ นอกจากนี้ในระหว่างฤดูร้อน อุณหภูมิของเมล็ดในการเก็บรักษาจะต่ำ และอุณหภูมิของอากาศข้างนอกจะสูง อากาศจึงเคลื่อนที่ผ่านลงไปที่บริเวณศูนย์กลางของถังแล้วเคลื่อนไปที่ก้นถัง ความชื้นจะกลั่นตัวลงบนก้นถังที่เย็น อากาศจะเคลื่อนที่ไปที่ผนังภาชนะเก็บ และขึ้นไปสู่ผนังภาชนะ แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับการได้รับความร้อน ซึ่งภายใต้สภาวะนี้การเน่าเสียจะเกิดขึ้นได้ที่บริเวณก้นถัง (ดังภาพที่ 2)



ภาพที่ 1: แสดงทิศทางการไหลเวียนของความร้อนในเมล็ดธัญพืชเมื่ออากาศบริเวณรอบๆ ถังเก็บมีความเย็นมากกว่าภายในตัวถังเก็บเมล็ดธัญพืช

ที่มา : Bala, B.K. (1997)



ภาพที่ 2 : แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศในเมล็ดธัญพืชเย็นที่เก็บในถังเก็บเมื่อเปรียบเทียบกับอากาศรอบๆ

ที่มา : Bala, B.K. (1997)

การแพร่กระจายของความชื้นนั้นอาจเนื่องมาจากกระแสลมโดยธรรมชาติ ซึ่งในกรณีนี้สามารถทำการป้องกันได้โดยการกำจัด หรือการลดความแตกต่างของอุณหภูมิในเมล็ดที่อยู่บริเวณผนังของภาชนะที่ใช้ในการเก็บรักษาให้ลดลงอย่างรวดเร็ว การแพร่กระจายของความชื้นในถังขนาดเล็กจะช้ากว่าในถังขนาดใหญ่เพราะความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังภาชนะเก็บ กับจุดศูนย์กลางของถังเก็บขนาดเล็กจะน้อยกว่าในถังเก็บขนาดใหญ่ การที่ความแตกต่างของอุณหภูมิในถังเก็บขนาดเล็กมีค่าน้อยนั้นเป็นเพราะระยะทางที่ความร้อนจะไหลเวียนจากจุดศูนย์กลางถังไปที่ผนังของถังเก็บขนาดเล็กนี้สั้นกว่าในถังเก็บที่มีความกว้างมากกว่า

3. อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในเมล็ดธัญพืชที่ถูกเก็บรักษาไว้

อุณหภูมิเป็นหนึ่งในปัจจัยทั้งหมดที่มีการจำกัดค่าวิกฤตในการแพร่กระจาย และระบาดของแมลง หนู และเชื้อรา ที่ปนเปื้อนเข้ามา และจะทำลายเมล็ดธัญพืชที่เก็บไว้ เมื่อฤดูกาลเปลี่ยนไปจะส่งผลให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปด้วยจึงทำให้รูปแบบของอุณหภูมิที่ผ่านเข้าไปในถังเก็บเมล็ดธัญพืชเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในระหว่างฤดูหนาวนี้ อากาศจะเคลื่อนที่ขึ้นไปสู่จุดศูนย์กลางของถัง ส่วนในฤดูร้อน อากาศจะเคลื่อนที่ลงไปสู่จุดศูนย์กลางของถัง

สภาพอากาศจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิศาสตร์เป็นสำคัญ ซึ่งมีผลกระทบต่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเมล็ดธัญชาติ ทั้งนี้ก็ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในแต่ละเดือนด้วย การทำนายสภาวะเหล่านี้ล่วงหน้าทำให้สามารถค้นพบได้ว่า พื้นที่ทางภูมิศาสตร์ใดจะมีการแพร่ระบาดของเมล็ดธัญพืชที่ถูกแมลงมากกว่า และเป็นการแนะนำการออกแบบกับการจัดการในการเก็บรักษาที่จะทำต่อไปได้ ประกอบกับนโยบายของรัฐบาลที่สามารถทำให้มั่นใจในการเก็บรักษาเมล็ดได้มากขึ้น

ความร้อนจะเคลื่อนที่จากผนังภาชนะเก็บไปสู่จุดศูนย์กลางของถังใหญ่ การเปลี่ยนแปลงในเรื่องอุณหภูมิ-อากาศ และการแผ่รังสีแสงอาทิตย์นี้มีผลกระทบต่ออุณหภูมิของเมล็ดข้าวที่อยู่ใกล้จุดศูนย์กลางของถังใหญ่น้อยกว่าถังเก็บขนาดเล็ก การเก็บรักษาในถังเก็บใหญ่มีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยในระหว่างฤดูร้อนต่ำกว่าถังเก็บขนาดเล็ก อุณหภูมิของถังเก็บขนาดเล็กจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าถังเก็บขนาดใหญ่ในฤดูร้อน แต่ในฤดูหนาวเมื่ออุณหภูมิเมล็ดต่ำก็จะถูกเพิ่มขึ้นโดยลำดับเพื่อลดจำนวนแมลงต่างๆ ซึ่งถังเก็บขนาดเล็กจะเย็นลงอย่างรวดเร็วกว่าถังเก็บขนาดใหญ่ ซึ่งในถังเก็บขนาดใหญ่อุณหภูมิของเมล็ดจะสูงตลอดช่วงฤดูหนาว เป็นผลทำให้แมลงต่างๆ สามารถเพิ่มจำนวน และมีชีวิตอยู่รอดได้ ในขณะที่ในถังเก็บขนาดเล็กนั้น แมลงส่วนใหญ่อาจจะถูกฆ่าตายไปในระหว่างฤดูหนาว

การป้องกันในถังเก็บจะคล้ายกับกรณีผลต่อการถ่ายเทความร้อนทั้งภายใน และภายนอกถังเมื่อขนาดของถังเก็บเพิ่มขึ้น ในถังขนาดใหญ่ เยื่อชั้นนอกของเมล็ดที่เกิดปฏิกิริยาการป้องกัน และจะถูกแสดงในการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วในอุณหภูมิที่ล้อมรอบ ถ้าการเสื่อมเสียเริ่มต้นจากเยื่อชั้นนอกของเมล็ด (ซึ่งโดยปกติจะไม่เกิดขึ้น) ถังสามารถจะใช้ป้องกันเพื่อลดอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปในเมล็ดให้ใกล้เคียงกับผนังของถังเก็บได้ วิธีนี้จะลดความผันแปรของอุณหภูมิตลอดทั้งกองเมล็ดได้ และอาจจะลดการแพร่กระจายของความชื้นภายในถังเก็บได้ วัสดุสำหรับทำผนัง และหลังคาของไซโลควรจะเป็นแบบที่เมล็ดข้าวเย็นลงอย่างรวดเร็วในระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอกในช่วงกลางคืน-กลางวัน และในฤดูหนาว วัสดุที่ใช้ควรจะทนการไหลเวียนของอุณหภูมิที่จะเข้าไปในไซโลจากอุณหภูมิสูงๆ ภายนอก หรือการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ได้

4. การทำนายอุณหภูมิ

เพื่อออกแบบ และคาดประมาณวิธีต่างๆ สำหรับการลดอุณหภูมิในเมล็ดที่ถูกเก็บรักษา วิศวกรต้องสามารถทำนายอุณหภูมิในถังเก็บเมล็ดข้าวได้ (ทั้งวิธีการวิเคราะห์ และเชิงตัวเลขที่เคยมีมาสำหรับการทำนายอุณหภูมิในถังเก็บเมล็ดข้าว) วิธีการวิเคราะห์จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิภายนอกที่สามารถจะถูกอธิบายได้โดยเชิงวิชาการ หน้าที่ของเวลา แต่วิธีการเชิงตัวเลขสามารถจะประยุกต์ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้

4.1 สมการดิฟเฟอเรนเชียลของการนำความร้อนในระบบ Cylindrical Co-Ordinate

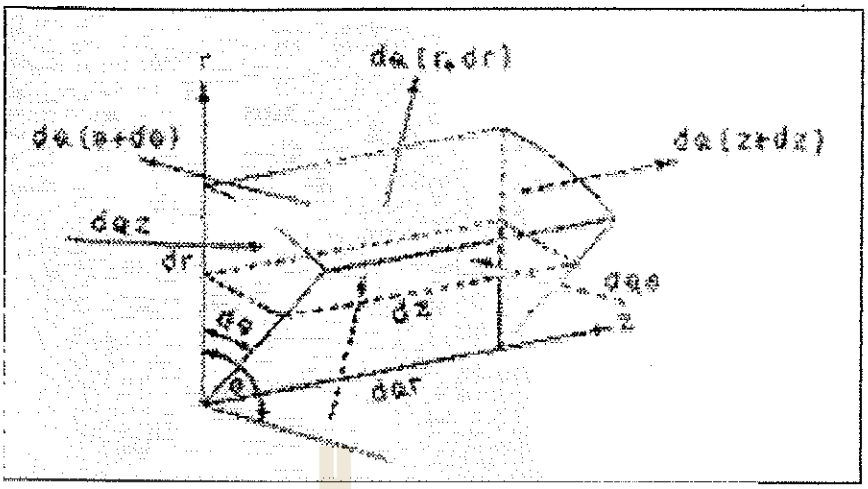
สมมติฐาน:

(i) วัสดุของระบบคือ isotropic

(ii) ลักษณะการนำความร้อนเชิงอุณหภูมิถูกตั้งสมมติฐานว่า จะมีความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมล็ดที่ถูกเก็บไว้ในถังเก็บทรงกระบอก และระบบ Cylindrical Co-Orcinate (ดังภาพที่ 3) จะถูกนำมาพิจารณาในเรื่องการไหลเวียนของความร้อนในแนวรัศมี แนวเส้นรอบวง และทิศทางรอบแกน



ภาพที่ 3: แสดงการนำความร้อนในธาตุต่างๆ ของเมล็ดธัญพืชในระบบ Cylindrical Coordinate

ที่มา : Bala, B.K. (1997)

การไหลเวียนความร้อนเข้าไปในวัสดุ (ที่ใช้ทำถังเก็บ) ในแนวรัศมี เป็นดังสมการ

$$dQ_r = -K\,dz\,r\,d\theta\,\frac{\partial T}{\partial r} \qquad \text{---------- 1}$$

และออกจาวัสดุไปในแนวรัศมี ดังสมการ

$$dQ_{(r+dr)} = -K\,dz\,(r+dr)\,d\theta\,\frac{\partial}{dr}\left(T+\frac{\partial T}{\partial r}dr\right) \qquad \text{---------- 2}$$

จะได้ว่า

$$dQ_r - dQ_{(r+dr)} = K\,dz\,dr\,d\theta\,\frac{\partial T}{\partial r} + K\,dz\,rd\theta\,\frac{\partial^2 T}{\partial r^2}dr \qquad \text{---------- 3}$$

ในวิธีการเดียวกันนี้ การไหลเวียนของความร้อนสุทธิเข้าไปในวัสดุ (ที่ทำถังเก็บ) ในแนวเส้นรอบวง จะพบว่า

$$dQ_\theta - dQ_{(\theta+d\theta)} = K\,dr\,dz\,\frac{\partial^2 T}{r^2\partial\theta^2}rd\theta \qquad \text{---------- 4}$$

และในแนวรอบแกน

$$dQ_z - dQ_{(z+dz)} = K\,dr\,rd\theta\,\frac{\partial T^2}{\partial z^2}dz \qquad \text{---------- 5}$$

อัตราการให้ความร้อนภายในวัสดุที่ใช้ทำถังเก็บเป็นดังสมการ

$$q'rd\theta\,dr\,dZ \qquad \text{---------- 6}$$

และอัตราที่ความร้อนถูกเก็บไว้ภายในวัสดุคือ

$$r d\theta\, dr\, dZ\, \rho_a\, C_{pa} \frac{\partial T}{\partial t} \qquad (7)$$

ดังนั้นสมดุลพลังงานของวัสดุที่เป็นตะกั่วจะมีสมการดิฟเฟอเรนเชียลทั่วไปสำหรับการไหลเวียนของความร้อนใน 3 มิติของระบบ Cylindrical coordinate ตัวอย่างเช่น

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2}\right) + \frac{q'}{\partial t} \qquad (8)$$

เมื่อพิจารณาเฉพาะการไหลเวียนของความร้อนเท่านั้นในแนวรัศมี และไม่มีการทำให้เกิดความร้อนอีก จากสมการที่ 8 จะได้ว่า

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r}\right) \qquad (9)$$

ตั้งแต่สภาพเริ่มต้น และสิ้นสุดที่มีความแตกต่างจากวันต่อวัน จึงยากที่จะพัฒนาวิธีทำเชิงวิเคราะห์เพื่อให้ได้ตามสมการที่ 9 ซึ่งทางเลือกหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้ได้คือ วิธีเชิงตัวเลข

4.2 วิธีเชิงตัวเลข

ปัญหาการถ่ายเทความร้อนของการนำความร้อนด้วยวิธีการวิเคราะห์ตัวเลขเคยมีการพัฒนามานานแล้ว แต่เนื่องจากเรื่องนี้มีความซับซ้อนทำให้ยากต่อการประมาณค่าเป็นตัวเลขได้ และเชื่อว่าไม่น่าเป็นไปได้ในเวลาอันใกล้นี้ที่จะสามารถทำได้

4.3 วิธีการเชิงตัวเลข

สมการที่คลอบคลุมการไหลเวียนความร้อนภายในเมล็ดธัญพืชที่ถูกเก็บรักษาไว้คือ

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r}\right) \qquad (10)$$

เมื่อ T คือ ฟังก์ชันตัวแปรอิสระ r และ t และแสดงส่วนเพิ่มเติมในภาพที่ 4

$$r = i\Delta r \qquad (11)$$

$$t = j\Delta t \qquad (12)$$

แทนค่า T ที่ P โดย $T_p = T_{ij}$ (13)

ดังนั้นอนุพันธ์ย่อยอันดับที่ 1 และ 2 ในพื้นที่คือ

$$\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2}\right)_{ij} = \frac{T_{i+1,j} - 2T_{ij} + T_{i-1,j}}{\Delta r^2} \qquad (14)$$

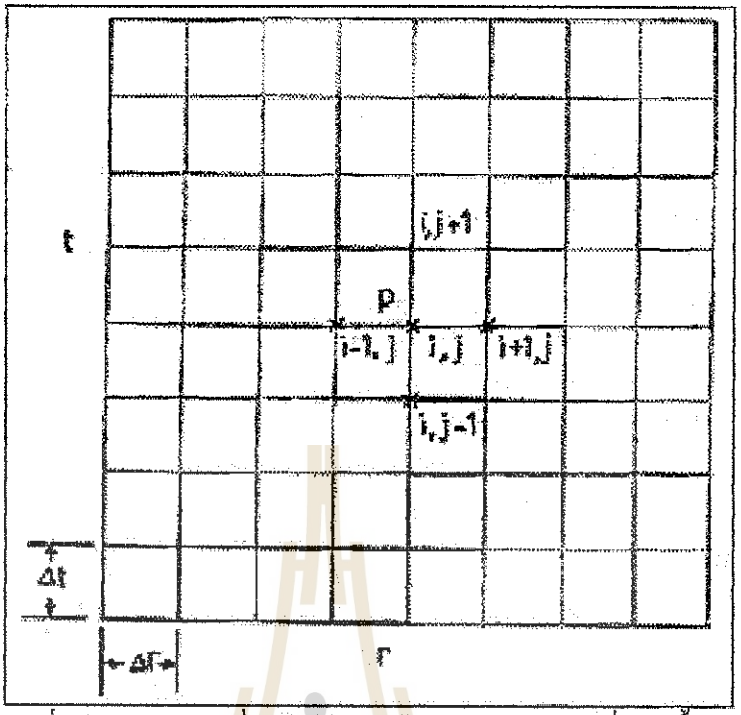
$$\left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)_{ij} = \frac{T_{i+1,j} - T_{i-1,j}}{2\Delta r} \qquad (15)$$

และอนุพันธ์เวลาคือ $\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right) = \frac{T_{i,j+1} - T_{ij}}{\Delta t}$ (16)

การรวมความสัมพันธ์ข้างต้นนี้แสดงได้ดังสมการที่ 17 ซึ่งก็คือ สมการที่ 10

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

$$\frac{T_{i,j+1} - T_{ij}}{\Delta t} = \alpha \left\{ \frac{(T_{i+1,j} - 2T_{ij} + T_{i-1,j})}{\Delta r^2} + \frac{1}{i\Delta r}\frac{(T_{i+1,j} - T_{i-1,j})}{2\Delta r} \right\} \quad \text{17}$$



ภาพที่ 4 : แสดงส่วนเพิ่มเติมในการกำจัดความแตกต่างที่มีจุดสิ้นสุด

ที่มา : Bala, B.K. (1997)

ฉะนั้นถ้าอุณหภูมิของจุดเชื่อมต่างๆ ที่ถังเก็บที่เวลาเฉพาะ อุณหภูมิเมื่อเวลาที่มากขึ้น (Δt) อาจจะคำนวณได้โดยการเขียนสมการคล้ายกับสมการที่ 17 สำหรับแต่ละจุดเชื่อม และจะได้ค่า $T_{i,j+1}$ ด้วย กระบวนการนี้ควรจะถูกทำซ้ำอีกเพื่อให้ได้การกระจายหลังการเพิ่มขึ้นของเวลา สมการสำหรับค่า $T_{i,j+1}$ คือ สมการที่ 18

$$T_{i,j+1} = \frac{\alpha\Delta t}{\Delta r^2}\left(\frac{(2i+1)}{2i} T_{i+1,j} + \frac{(2i-1)}{2i} T_{i-1,j}\right) + \left(1 - \frac{2\alpha\Delta t}{\Delta r^2}\right) T_{i,j} \quad \text{18}$$

สมการที่ 10 ตัดที่จุดศูนย์กลางออกเพราะ $r = 0$ ซึ่งแสดงว่า $(1/r)(\partial T / \partial r)$ เป็นปริมาณที่ไม่แน่นอน อย่างไรก็ตามเพื่อที่จะให้ได้สมการที่ สามารถใช้งานได้ เราอาจจะใส่ limit ในเทอมของ r ให้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์โดยใช้ " 1 " Hospital's rule ซึ่งเขียนได้ดังสมการที่ 19

$$\lim_{r \to 0} \left(\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r}\right) = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \quad \text{19}$$

แทนที่เข้าไปในสมการที่ 10 ซึ่งเป็นสมการพื้นฐานสำหรับจุดศูนย์กลาง

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2}\right) = 2\alpha\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \quad \text{20}$$

$$\left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{(i,j)} = \frac{(T_{j+1,j} - T_{i-1,j})}{2\Delta r} \qquad 21$$

เมื่อ $i = 0$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = \frac{(T_{1,j} - T_{-1,j})}{2\Delta r} \qquad 22$$

เพื่อให้ได้สมการที่สอดคล้อง และมีขอบเขต จะได้ว่า

$$\left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=0} = 0 \qquad 23$$

และจำเป็นต้องให้ $T_{1,j} = T_{-1,j}$ 24

สมการที่ 14, 16 และ 20 จะเข้าไปแทนในสมการที่ 20 จะได้ว่า

$$T_{0,j+1} = \frac{4\alpha\Delta t}{\Delta r^2} T_{1,j} + \left[1 - \frac{4\alpha\Delta t}{\Delta r^2}\right] T_{0,j} \qquad 25$$

สำหรับขอบเขตอุณหภูมิที่คงที่ วิธีทำให้สมการที่ 10 เป็นแบบง่ายๆ และสามารถทำได้โดยการใช้สมการที่ 18 และ 25

แต่อุณหภูมิพื้นผิวที่เปลี่ยนไปเนื่องจากความผันแปรของอุณหภูมิภายนอกนี้ อาจจะทำสมดุลพลังงานที่ทิศทางของขอบเขตได้โดย

$$KA\left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{\text{wall}} = h_c A (T_\alpha - T_w) \qquad 26$$

พิจารณา ซึ่งเป็นอุณหภูมิบนกำแพง (ภาพที่ 5) และสมการที่ 26 สามารถจะเขียนได้ ดังนี้

$$\frac{T_m - T_{m-1}}{\Delta r} = \frac{h_c (T_\alpha - T_m)}{K}$$

$$T_m = \frac{T_{m-1} + \frac{h_c \Delta r}{K} T_\alpha}{1 + \frac{h_c \Delta r}{K}} \qquad 27$$

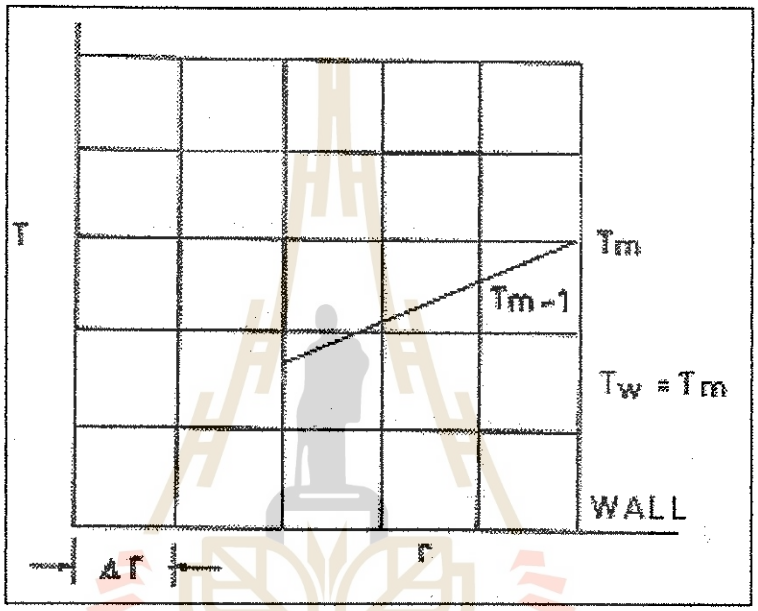
เพื่อการประยุกต์ใช้สมการดังกล่าวนี้ จึงควรจะคำนวณอุณหภูมิพื้นผิว (T_m) ที่แต่ละเวลาที่เพิ่มขึ้น และเมื่อใช้อุณหภูมินี้ในสมการ nodal สำหรับจุดภายในของถังเก็บเมล็ด ซึ่งเป็นการประมาณค่าเท่านั้นเพราะเราไม่สนใจความจุความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำผนังถังเก็บที่ขอบถัง การประมาณนี้จะใช้ได้ดีเมื่อการเพิ่มขึ้นของ r ที่ถูกใช้เป็นจำนวนมากขนาดใหญ่ ทั้งนี้เพราะสัดส่วนของความจุความร้อนที่ไม่ถูกสนใจนี้เป็นเพียงส่วนเล็กๆ เท่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณทั้งหมด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อุณหภูมิพื้นผิวสามารถคำนวณอย่างถูกต้องได้มากขึ้นโดยการนำเอาอุณหภูมิภายนอกพื้นผิวเข้ามาใช้ และการคาดคะเนรัศมีของถังเก็บเมล็ดที่จะถูกเพิ่มขึ้นน้อยมาก การนำอุณหภูมิ ($T_{m+1,\,j}$) ที่จุดตะแกรงภายนอก ($(m+1)\,\Delta r,\, j\Delta t$) ดังภาพที่ 6 เข้ามาใช้ และจากที่กล่าวว่า $T_w = T_m$ จะได้ว่า

$$\frac{T_{m+1,\,j} - T_{m-1,\,j}}{2\Delta r} = \frac{h_C\,(T_{\alpha,\,j} - T_{m,\,j})}{K} \qquad \text{28}$$

$$\frac{T_{m+1,\,j} - T_{m-1,\,j}}{\Delta t} = \alpha\left[\frac{(T_{m+1,\,j} - 2T_{mj} + T_{m-1,\,j})}{\Delta r^2} + \frac{1}{m\Delta r}\,\frac{(T_{m+1,\,j} - T_{m-1,\,j})}{2\Delta r}\right] \qquad \text{29}$$



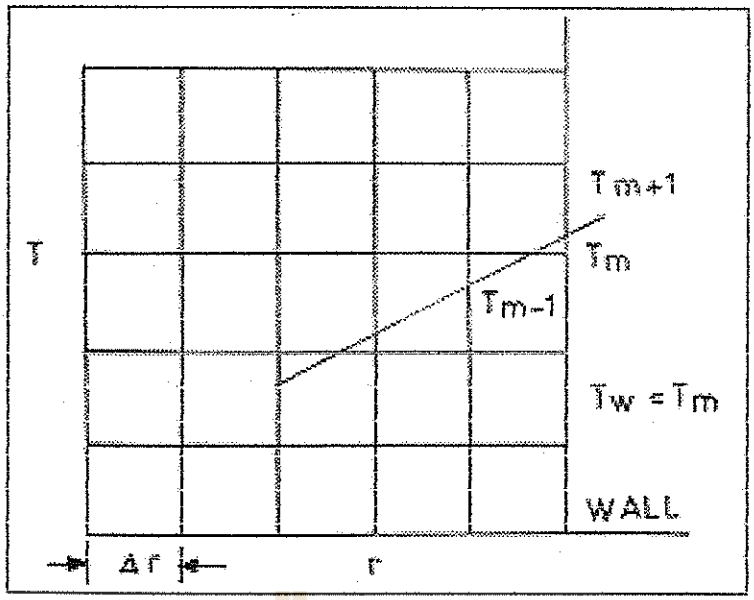
ภาพที่ 5 : แสดงสมดุลพลังงานที่ขอบเขตทิศทาง

ที่มา : Bala, B.K. (1997)

จากสมการที่ 28 และ 29 นั้น สามารถถูกกำจัดได้อย่างชัดเจนด้วยสูตรความแตกต่างที่มีข้องจำกัด (มีสิ้นสุด) และสามารถจะถูกแก้ปัญหานี้ได้โดยการเปลี่ยนสภาวะขอบเขตเชิงตัวเลข

แม้ว่าวิธีข้างต้นที่ชัดเจนนี้จะมีการคำนวณอย่างง่ายๆ แต่มันก็มีปัญหา/อุปสรรคที่สำคัญเช่นกัน Δt และ Δr ต้องดูแลในลำดับที่จะสามารถบอกความถูกต้องได้อย่างมีเหตุผล Crank และ Nicolson (1947) ได้เสนอ และใช้วิธีรวมศูนย์และคงตัว ซึ่งจะลดปริมาตรทั้งหมดของการคำนวณได้ วิธีนี้จะพิจารณาถึงอนุพันธ์ว่างของสิ่งที่เป็นตัวแสดงความแตกต่างที่มีข้อจำกัดต่อแถวเวลา jth และ (j + 1) th ฉะนั้นสมการที่ 18 และ 25 จะถูกแทนที่โดยสมการที่ 30 และ 31 ตามลำดับ

$$\frac{T_{i,\,j+1} - T_{i,\,j}}{\Delta t} = \frac{\alpha}{2}\left[\frac{T_{j+1,\,j} - 2T_{i,\,j} + T_{i-1,\,j}}{\Delta r^2} + \frac{1}{i\Delta r}\,\frac{T_{i+1,\,j} - T_{j-1,\,j}}{2\Delta r}\right] + \frac{\alpha}{2}\left[\frac{T_{i+1,\,j+1} - 2T_{i,\,j+1} + T_{i-1,\,j+1}}{\Delta r^2} + \left(\frac{1}{i\Delta r}\right)\left(\frac{T_{i+1,\,j+1} - T_{i-1,\,j+1}}{2\Delta r}\right)\right] \qquad \text{30}$$



ภาพที่ 6 : สมดุลพลังงานที่ขอบเขตทิศทางเมื่อมีอุณหภูมิภายนอกขอบเขตที่กำหนดเข้ามาเกี่ยวข้อง

ที่มา : Bala, B.K. (1997)

$$\frac{T_{0,j+1} - T_{0,j}}{\Delta t} = \frac{2\alpha}{\Delta r^2}\left[T_{1,j} - T_{0,j} + T_{1,j+1} - T_{0,j+1}\right] \qquad 31$$

สมการที่ 30 สามารถเขียนใหม่สำหรับจุดต่างๆ ที่พื้นผิว และอุณหภูมิอื่นๆ ($T_{m+1,j}$ และ $T_{m+1,j+1}$) ในผลของสมการต่างๆ สามารถจะถูกกำจัดออกได้โดยการใช้สมการที่ 28 และ 32 ซึ่งสมการที่ 32 แสดงได้ ดังนี้

$$\frac{T_{m+1,j+1} - T_{m-1,j+1}}{2\Delta r} = \frac{h_c\left(T_{\alpha,j+1} - T_{m,j+1}\right)}{K} \qquad 32$$

สมการที่ได้คือ สูตรความแตกต่างที่มีข้อจำกัดสำหรับจุดต่างๆ ที่พื้นผิวในสภาพที่ขอบเขตกำลังมีการเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปแล้ว สมการที่ 30 จะประกอบไปด้วยค่าที่ไม่ทราบค่า 3 ค่า และทราบค่าอีก 3 ค่าของ T ถ้ามีจุดต่อ m จุดที่แต่ละแถวเวลา โดย j = 0 และ i = 1, 2, 3, ..., m แล้ว สมการที่ 30 จะให้สมการค่า m สำหรับค่า m ที่ไม่ทราบค่าซึ่งเปลี่ยนไปมาในเทอมของค่าที่ทราบเริ่มต้น และที่ขอบเขตของแถวเวลาแรก ในทำนองเดียวกันนี้สำหรับ j = 1 จะมีค่าของ T ในแถวเวลาที่ 2 ในเทอมของแถวก่อนนี้ที่ถูกคำนวณได้ที่มี m ซึ่งไม่ทราบค่า ในแต่ละแถวเวลา สมการที่พื้นผิวมี 2 unknown และสมการที่แสดงถึงจุดศูนย์กลางของถังเก็บเมล็ด ซึ่งหมุนไปมาได้ก็มี 2 unknown เช่นกัน ดังนั้นจะออกจากสมการทั้งหมด (m - 2) นี้ได้ด้วย 3 unknown รูปแบบของสมการ m ที่กล่าวมานี้เป็น tridiagonal matrix ซึ่งสามารถจะใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก วิธีนี้เป็นวิธีของ Thomas (Sastry 1984)

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> ข้าวสาลีที่ถูกเก็บในไซโลคอนกรีตทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เมตร และสูง 23 เมตร ผนังมีความหนาเท่ากับ 15 เซนติเมตร ให้คำนวณหาค่าต่อไปนี้

ก.) ความร้อนของเมล็ดต่อ m เมื่ออุณหภูมิภายในเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

ข.) การสูญเสียความร้อนต่อ m เมื่ออุณหภูมิภายในเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 12 องศาเซลเซียส โดยคอนกรีตมีความสามารถในการนำความร้อนเท่ากับ 1.106 W/m°C

วิธีคิดคำนวณ

ในที่นี้ไม่สนใจเวลาที่ขึ้นอยู่กับเทอมของสมการที่ 9 ที่ลดอยู่ในรูปสมการ ดังนี้

$$\frac{d^2T}{dr2} + \frac{1}{r}\frac{dT}{dr} = 0 \qquad \text{——————————1}$$

และจะได้ว่า $r\frac{d^2T}{dr^2} + \frac{dT}{dr} = \frac{d}{dT}\left(r\frac{dT}{dr}\right)$

ผลการรวมกันจะได้ว่า $r\frac{dT}{dr} = C_1$ และ $T = C_1 \ln r + C_2$

สภาวะที่ขอบเขตจะเป็น $T = T_1$ ที่ $r = r_1$ และ $T = T_2$ ที่ $r = r_2$

จากสมการที่ 1 $T = ((T_2 - T_1)/\ln(r_2/r_1))\ln(r/r_1) + T_1$

และ $q = -KA\frac{dT}{dr} = \frac{2\pi KL(T_1 - T_2)}{\ln(r_2/r_1)}$ ——————————2

(ในที่นี้ K=1.106 W/m°C, l = 1 m., r_1= 3 m. และ r_2= 3.15 m.)

ก.) สำหรับสภาวะที่ T_1 = 20 °C และ T_2 = 25 °C ความร้อนของเมล็ดต่อ m จะได้ว่า

$$q = \frac{2\pi \times 1.106(20 - 25)}{\ln(3.15/3.00)}$$

$$q = -0.712 \text{ kW/m}$$

ข.) สำหรับสภาวะที่ T_1 = 20 °C และ T_2 = 12 °C การสูญเสียความร้อนต่อ m จะได้ว่า

$$q = \frac{2\pi \times 1.106(20 - 12)}{\ln(3.15/3.00)}$$

$$q = 1.139 \text{ kW/m}$$

ตัวอย่างที่ 2 Rough rice ที่ถูกเก็บไว้ในถังเก็บทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เมตร และความหนาของผนังเท่ากับ 15 เซนติเมตร อุณหภูมิภายใน และภายนอกเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความหนาของฉนวนที่หุ้ม rockwool อย่างหลวมๆ มีความสามารถในการนำความร้อนได้เท่ากับ 0.065 W/m°C ซึ่งควรจะถูกเพิ่มเพื่อให้ลดความร้อนของเมล็ดได้ตลอดทั้งผนัง 80 % ดังนั้นควรมีความหนาของฉนวนหุ้ม rockwool นี้เท่ากับเท่าใด

วิธีคิดคำนวณ

สมการที่เหมาะสมเพื่อใช้คำนวณความร้อนของเมล็ดคือ

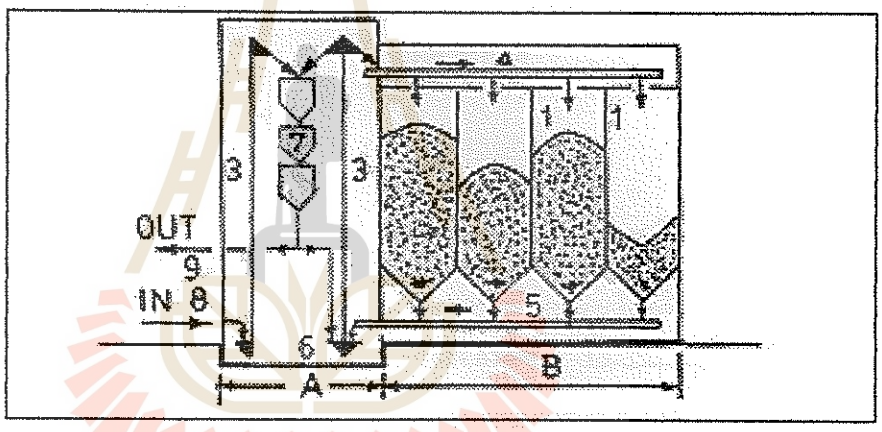
$$q = \frac{2\pi K(T_1 - T_2)}{\ln(r_2/r_1)}$$

ในที่นี้ให้ K = 1.106 W/m°C , r_1 = 2.5 m., r_2 = 2.65 m., T_1 = 20 °C และ T_2 = 40 °C

ระบบการเก็บรักษาข้าวในไซโล (Silo Storage System)

ไซโลเป็นถังเก็บเมล็ดที่สะดวกโดยการเก็บข้าวในไซโลจะใช้ระบบเครื่องจักรควบคุมเมล็ดที่ต้องเก็บรักษา การติดตั้งไซโลเป็นที่รู้กันว่า มีระบบเครื่องจักรสำหรับยกขึ้นลงเพราะตัวยก (Elevator) เป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อนำเมล็ดขึ้น และลงภายในไซโล ตัวยกนี้จะทำด้วยเหล็ก อลูมิเนียม หรือคอนกรีตอย่างใดอย่างหนึ่ง ในถังเก็บแบบคอนกรีตนั้น การเก็บเมล็ดข้าวไว้ในไซโลที่ทำด้วยโลหะ/คอนกรีตอย่างใดอย่างหนึ่งทำให้สามารถเก็บเมล็ดข้าวไว้ได้เป็นเวลานานหลายปี โดยที่ไซโลนี้ต้องมีระบบการระบายอากาศ และควบคุมอุณหภูมิด้วย ซึ่งลักษณะของไซโลสมัยใหม่อาจแสดงการไหลเวียนของเมล็ดข้าวในไซโลต่างๆ ได้ดังภาพที่ 7 โดยการใช้แบตเตอรี่ของถังให้เกิดการไหลเวียนของวัตถุดิบได้

เครื่องมือสำหรับยกชั่งน้ำหนัก และช่วยต่างๆ เป็นส่วนที่อยู่ภายในโครงสร้าง ซึ่งถูกเสนอให้อยู่ในส่วนบนของไซโล หลังจากยกเมล็ดขึ้นจากรถแล้ว เมล็ดจะถูกยกขึ้นไปสู่ส่วนบนของระดับถังเก็บเมล็ดแล้วส่งเข้าไปในไซโล ไซโลก็จะปล่อยเมล็ดเข้าไปใน automatic scale ซึ่งจะให้เมล็ดผ่านจาก turnheads ไปสู่ส่วนที่ต่ำกว่าของไซโล เมล็ดในตัวยกแบบถังตัวที่ 2 จะถูกยกขึ้นเหนือระดับถังอีกครั้งแล้วถูกส่งไปตามสายพานลูกโซ่ และจะถูกว่างลงไปในถังเก็บที่ได้เลือกแล้ว และจำเป็นต้องนำเมล็ดออกไป โดยจะถูกนำจากส่วนบนของถังแล้วย้ายไปสู่ถังตัวยกอื่นๆ ด้วยสายพานที่อยู่ข้างล่างถังเก็บ ซึ่งจะปล่อยเมล็ดเข้าไปในไซโลส่วนที่สูงกว่า scale ตัวกระจายเมล็ดข้าว และตัวพ่นเมล็ดออกไปในถังเก็บ



ภาพที่ 7 : แสดงรูปแบบในการเก็บรักษาเมล็ดธัญพืชที่มีการอำนวยความสะดวกในการจัดการเก็บรักษาแบบระยะเวลาสั้นๆ

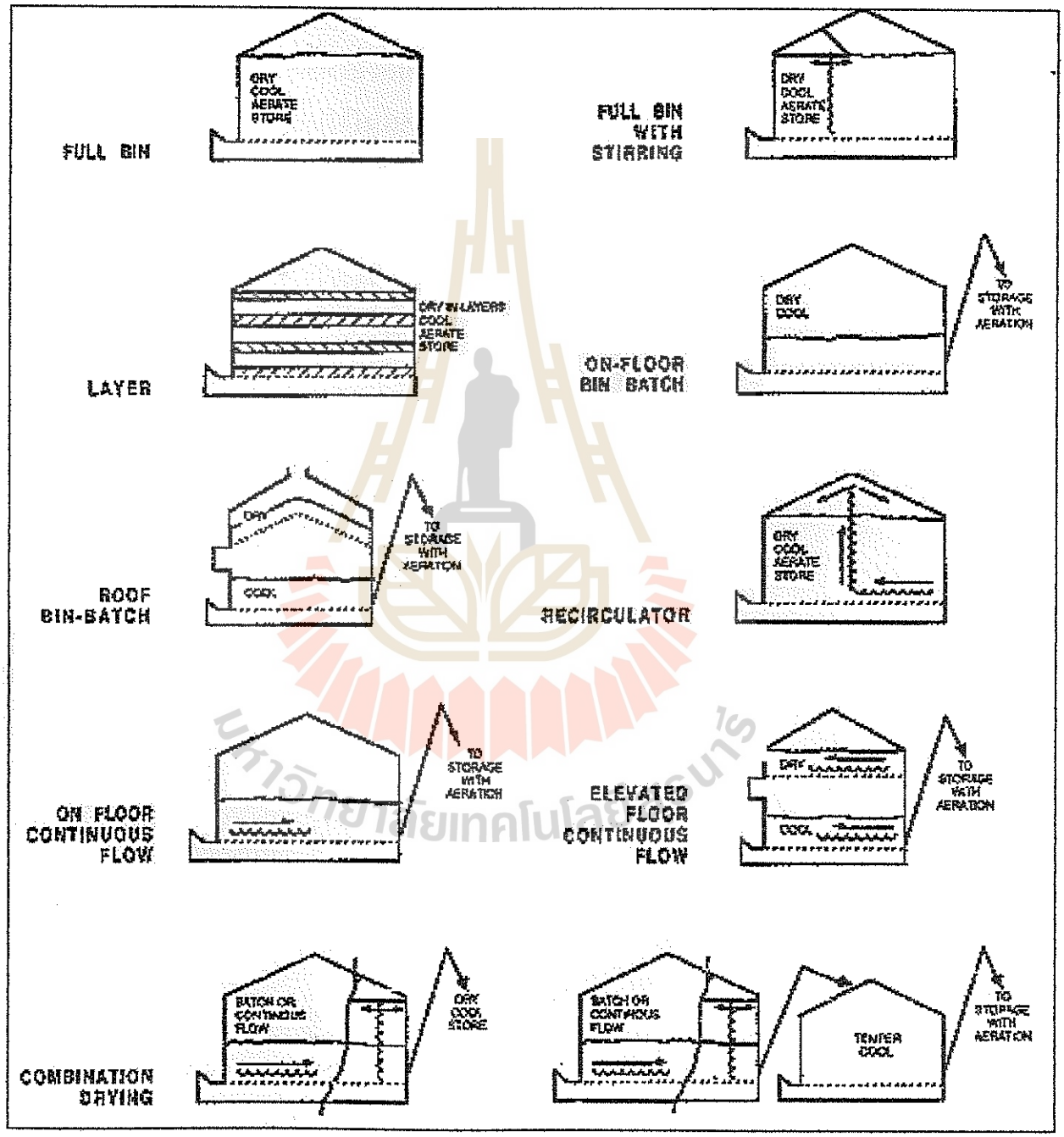
ที่มา : Bala, B.K. (1997)

ในบางไซโลที่ใช้เก็บเมล็ดข้าวจะมีการจัดการ และการนำเข้า/ส่งออกเป็นหน้าที่หลัก ในคาบเวลาการเก็บรักษาระยะสั้นจะมี high throughput facilities ซึ่งเป็นประโยชน์กับโครงสร้างถังเก็บแบบตั้ง โดย facilities นี้จะมีการไหลเวียนแบบถ่วงน้ำหนัก แต่ถ้าเป็นการเก็บรักษาในระยะยาวจำเป็นต้องมีโรงเก็บแบบขวางมากกว่าแบบตั้ง ซึ่งโรงเก็บแบบขวางนี้มีความสูงจำกัด และมี medium-low throughput ส่วนอุปกรณ์สำหรับอำนวยความสะดวกอื่นๆ ในไซโล ได้แก่ ถังตัวยกต่างๆ ภายในโรงเก็บที่มีเพื่อจุดประสงค์ด้านความปลอดภัย และถ้าเป็นสมัยใหม่ต้องมีตัวยกที่อยู่ภายนอกโรงเก็บบริเวณส่วนหัวของถังเก็บ หรือใช้สายพานแบบ belt ที่เอียงเข้าไปแทนที่แทนตัวยกภายนอกโรงเก็บ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การทำแห้งภายในถังเก็บเมล็ด (In-Bin Drying)

กระบวนการที่ถูกใช้เพื่อทำแห้งเมล็ดธัญพืชต่างๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ การทำแห้งด้วยอากาศแบบอุณหภูมิต่ำ และการทำแห้งด้วยอากาศแบบอุณหภูมิสูง เครื่องทำแห้งแบบอุณหภูมิต่ำนี้จะใช้อากาศซึ่งจะไม่ถูกทำให้ร้อน หรือถูกทำให้ร้อนอย่างใดอย่างหนึ่ง ทั้งนี้เพื่อเพิ่ม หรือลดอุณหภูมิให้เท่ากับ 6 องศาเซลเซียส (10 องศาฟาเรนไฮน์) หรือน้อยกว่านี้ การทำแห้งแบบอุณหภูมิสูงเป็นการทำอากาศให้มีอุณหภูมิเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส (120 องศาฟาเรนไฮน์) หรือสูงกว่านี้ โดยในการทำแห้งทั้ง 2 ประเภทนี้จะถูกใช้เพื่อทำแห้งเมล็ดในถังเก็บต่างๆ โดยปกติแล้วจะใช้เพื่อการเก็บรักษาเมล็ด และกระบวนการดังกล่าวนี้จะถูกนำมาใช้ในการทำแห้งในถังเก็บเมล็ด ซึ่งแผนวงจรไฟฟ้าสำหรับวิธีต่างๆ ของการทำแห้งในถังเก็บเมล็ดแสดงได้ดังรูปภาพที่ 8



ภาพที่ 8 : Schematics ของกระบวนการทำแห้งภายในถังเก็บเมล็ดธัญพืช

ที่มา : Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W. and Hall, Carl W. (1992)

การทำแห้งในถังเก็บเมล็ดแบบอุณหภูมิต่ำ (Low-temperature in-bin drying)

อัตราการไหลเวียนของอากาศที่เฉพาะเจาะจง (Specific Air Flow Rate)

งานแรกในการออกแบบระบบการทำแห้งแบบอุณหภูมิต่ำคือ การตัดสินใจเลือกหน่วยของอัตราการไหลเวียนของอากาศที่จำเป็นต้องใช้ระหว่างหน่วย cfm/bu หรือ $m^3/m^3.min$ อัตราการไหลเวียนของ specific air ต่ำสุดคือ 1 ซึ่งจะทำแห้งเมล็ดเพื่อให้ปริมาณความชื้นอยู่ในระดับที่ปลอดภัยก่อนที่เมล็ดจะถูกนำเข้าไปในสภาวะที่ทำการเก็บรักษา อัตราเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับอายุการเก็บรักษาสูงสุดของเมล็ดที่อุณหภูมิ และปริมาณความชื้นต่างๆ

ตารางที่ 1 ประกอบด้วยข้อมูลสำหรับอายุการเก็บรักษาของ Shelled corn เมื่ออุณหภูมิถูกควบคุมโดยการระบายอากาศ ตารางนี้สามารถใช้เป็นคู่มือสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ชาติอื่นๆ ได้ แต่เวลาการเก็บรักษาที่ให้มานี้จะไม่เหมาะสมเมื่อเมล็ดถูกเก็บไว้โดยปราศจากการระบายอากาศ ซึ่งการเก็บรักษาเมล็ดโดยปราศจากการระบายอากาศนี้ ความร้อนและความชื้นของการหายใจ และกิจกรรมของเชื้อรา (fungi) และแบคทีเรีย (bacteria) ที่เป็นสาเหตุให้เมล็ดเริ่มมีการให้ความร้อน และการเสื่อมเสียจะเกิดขึ้นได้ในไม่ช้าในเมล็ดที่ถูกเก็บไว้นี้

ตารางที่ 1: อายุการเก็บรักษาของ Shelled corn (วัน)

Grain Temperature		Moisture content (% w.b.)							
°C	°F	15.5	18	20	22	24	26	28	30
-1.1	30	2,275	648	321	190	127	94	74	61
1.7	35	1,517	432	214	126	85	62	49	40
4.4	40	1,012	288	142	84	56	41	32	27
7.2	45	674	192	95	56	37	27	21	18
10.0	50	450	128	63	37	25	18	14	12
12.8	55	299	85	42	25	16	12	9	8
15.6	60	197	56	28	17	11	8	7	5
18.3	65	148	42	21	13	8	6	5	4
21.1	70	109	31	16	9	6	5	4	3
23.9	75	81	23	12	7	5	4	3	2
26.7	80	60	17	9	5	4	3	2	2

ที่มา : Grain Drying, Handing and Storage Handbook, 2nd ed, 1987

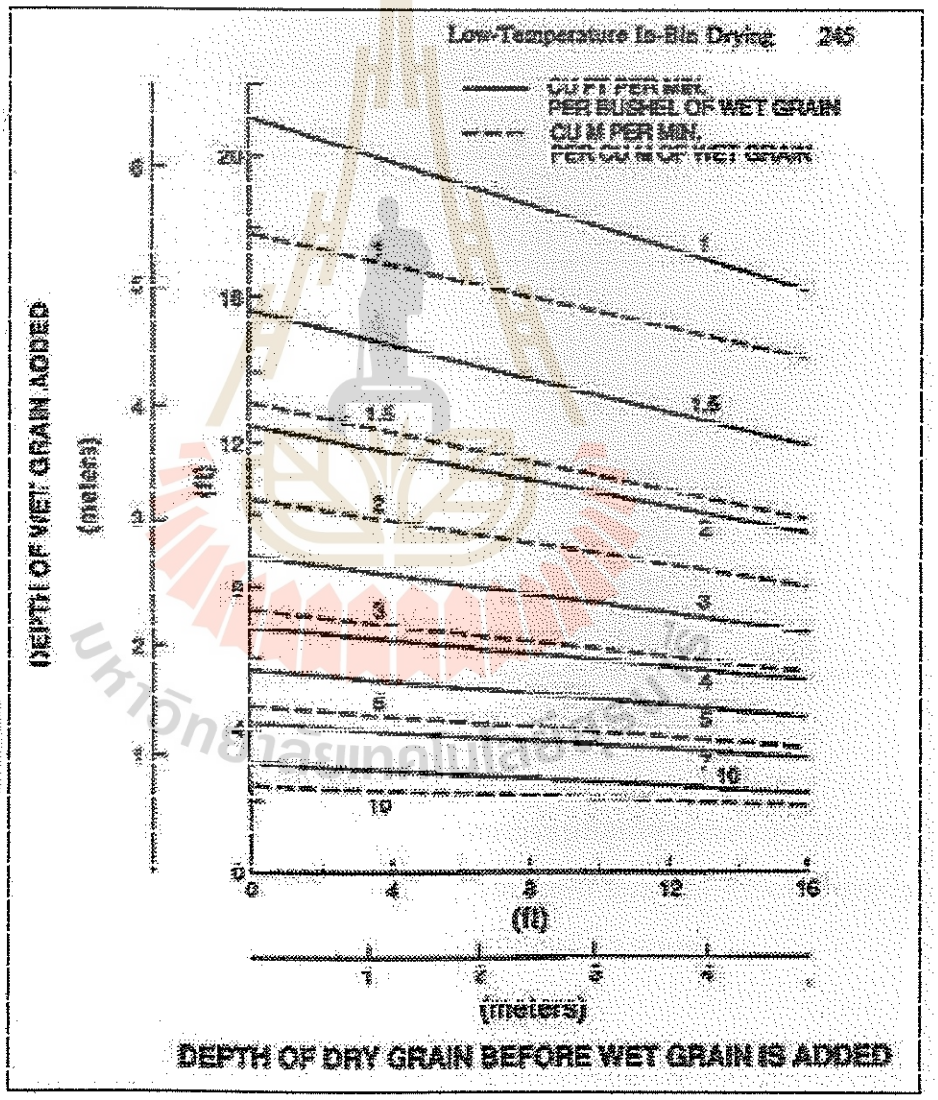
เมื่อเวลาสำหรับการทำแห้งที่ได้เลือกไว้นี้สามารถนำมาแทนค่าในสมดุลความร้อนได้ตามสมการสมดุลความร้อนด้วยพารามิเตอร์อื่นๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับเรื่องเมล็ด และอากาศ และอัตราการไหลเวียนของอากาศโดยประมาณนั้นสามารถคำนวณได้ อัตราที่คำนวณได้หรือตั้งขึ้นมาจากการสมมติ (สมมติฐาน) นั้น อากาศนี้จะไม่ถูกให้ความร้อน โดยอัตรานี้เป็นหนึ่งในอากาศที่ทำแห้งที่ได้ใช้กันมา ซึ่งควรจะถูกให้ความร้อนเพียงเล็กน้อย แม้เวลาการทำแห้งโดยใช้อากาศที่อุ่นมาในเวลาสั้นๆ แต่ก็สามารถลดเวลาที่เมล็ดจะเกิดการเน่าเสียลงได้ในหลายๆ แห่ง อัตราการไหลเวียนอากาศที่เฉพาะเจาะจง

สามารถพบได้จากประสบการณ์ หรือการทดลอง และยังสามารถได้จากการเพิ่มเติมต่างๆ ด้วย ซึ่งอัตราเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับเสภาพภูมิอากาศในแต่ละท้องถิ่น

ความลึกของการบรรจุ (Depth of Fill)

เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่แน่นอนของพัดลม และถังเก็บได้ถูกเลือกแล้วจะพบว่า การไหลเวียนของอากาศในถังเก็บจะเป็นคุณสมบัติด้านความลึกของเมล็ดในถังเก็บ ในแต่ละฟุตของเมล็ดที่ถูกเพิ่มขึ้นจะมีผลให้ระบบกราฟสำหรับเมล็ดถูกเปลี่ยนไป และจุดสมดุลใหม่จะถูกทำให้เข้าใกล้กับพัดลม โดยสรุปแล้วปัจจัยที่เป็นตัวดำเนินการควบคุมการไหลเวียนของอากาศ (และอัตราการไหลเวียนของอากาศที่เฉพาะเจาะจง) คือ จำนวน หรือปริมาณของเมล็ดที่ถูกเพิ่มมากขึ้น

สิ่งสำคัญของการทำแห้งในถังเก็บแบบอุณหภูมิต่ำคือ อัตราการไหลเวียนของอากาศที่เฉพาะเจาะจงเพื่อที่จะทำเมล็ดแห้งในกรณีที่เมล็ดเปียกถูกนำเข้าไปวางกองบนส่วนบนของเมล็ดแห้ง ในการทำแห้งเมล็ดอากาศจะไม่สูญเสียไปเนื่องจากการนำความชื้นออกไปเพราะมันเป็นสิ่งสำคัญในสมดุลของเมล็ดแห้ง ดังนั้นในการแบ่งการไหลเวียนอากาศทั้งหมดโดยใช้ปริมาณ หรือจำนวนของเมล็ดเปียกที่ให้การไหลเวียนอากาศที่เฉพาะเจาะจงต่อ bushel (หรือ cubic meter) ของเมล็ดเปียก



ภาพที่ 9: แสดงความลึกของเมล็ดเปียกที่มีผลต่อความลึกของเมล็ดแห้ง และอัตราการไหลในหน่วยของถัง

ที่มา: Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W. and Hall, Carl W. (1992)

ภาพที่ 9 เป็นกราฟของอัตราการไหลเวียนของอากาศต่อหน่วยปริมาตรของเมล็ดเปียก ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่เหนือความลึกของเมล็ดแห้งในระบบถังเก็บที่มีพัดลม ระบบหน่วยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของถังเท่ากับ 27 ฟุต (8.23 เมตร) โดยมีพัดลมขนาด 7.5 hp (5.6 kW) เมล็ดธัญพืชคือ Shelled corn ความลึกของเมล็ดเปียกอื่นๆ ในระบบถังเก็บแบบพัดลมจะเกี่ยวข้องกับระบบหน่วย ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ซึ่งจะใช้กราฟในภาพที่ 9

การทำแห้งในถังที่มีเมล็ดเต็มถัง (Full-Bin Drying)

เมื่ออัตราการไหลเวียนอากาศที่เฉพาะเจาะจงซึ่งถูกแนะถังการเติมเมล็ดในครั้งแรกว่า ให้เติมมากพอๆ กัน หรือมากกว่าความลึกของถังเก็บ ถังเก็บสามารถจะถูกเติมเมล็ดเข้าไปได้อย่างรวดเร็วพอๆ กับการยอมให้ทำการเก็บเกี่ยวได้ในวันหนึ่งๆ ถ้าเป็นไปได้ กระบวนการนี้ถูกเรียกว่า "Full-bin drying" กระบวนการนี้เคยถูกจำกัดให้เมล็ดเล็กๆ ที่ถูกเก็บเกี่ยวมาในระหว่างเดือนที่มีอากาศอุ่นกว่าซึ่งมีปริมาณความชื้นปานกลาง (18% w.b. หรือน้อยกว่านี้) และเพื่อให้ crops ที่ถูกเก็บเกี่ยวช้าเพียงพอใน the fall เมื่ออุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยประมาณ 50°F (10°C) หรือน้อยกว่านี้ ภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้จึงทำให้อัตราการไหลเวียนของอากาศที่เฉพาะเจาะจงมีค่าต่ำอย่างมีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ 2 : แสดงแฟคเตอร์ความลึกสำหรับการรวมพัดลมไว้ในถังเก็บเมล็ดธัญพืช

	Fans								
Bin Diameter	One	One	Two	One	Two	Three	One	Two	Three
(ft)	3 hp	5 hp	5 hp	7.5 hp	7.5 hp	7.5 hp	10 hp	10 hp	10 hp
18	1.00	1.25							
21	0.80	1.15	1.35	1.25					
24	0.65	1.00	1.30	1.15					
27		0.85	1.20	1.00	1.35	1.20			
30				0.85	1.30	1.40	1.05	1.40	
33					1.15	1.35	0.95	1.35	1.50
36					1.05	1.25	0.80	1.25	1.40

ที่มา : University of Missouri Agricultural Engineering Guide 1310 (1984).

ตัวดำเนินการส่วนใหญ่จะสะดวกมากกว่าถ้าเครื่องทำความร้อนที่ถูกใช้พร้อมกับพัดลม การทำงานของเครื่องทำความร้อนทั้ง 2 วิธีที่ใช้คือ 1.) ความร้อนถูกใช้เพื่อทำให้ความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศต่ำกว่าอากาศใน plenum และ 2.) ความร้อนที่เตรียมอย่างต่อเนื่องเพื่อทำอุณหภูมิของอากาศให้สูงเพิ่มขึ้นอีก 2-3 องศา

การควบคุมความชื้น (Humidity Control)

humidistat ถูกวางไว้ใน plenum เพื่อใช้เป็นกลไกในการรับรู้การเปลี่ยนแปลงสำหรับควบคุมเครื่องทำความร้อน การตั้งค่า humidistat จะใช้เพื่อตรวจปริมาณความชื้นของเมล็ดแห้งว่าได้ตรงตามที่ต้องการแล้วหรือไม่ ในหลายๆ พื้นที่ของสหรัฐอเมริกานั้น ค่า humidistat ถูกตั้งไว้ที่ 55% สำหรับการทำแห้งข้าวโพด และผลของสภาวะ plenum ในข้าวโพดจะถูกทำให้แห้งเหลือ 12/13% ความชื้น (w.b.)

ตารางที่ 3 : แฟคเตอร์การปรับความลึกสำหรับเมล็ดธัญพืช

Grain	Adjustment Factor
Barley	0.88
Oats	0.85
Rapeseed	0.66
Rice, rough	0.83
Shelled corn	1.00
Sorghum	0.80
Soybeans	1.07
Sunflower	
Confectionary	1.07
Oil	0.95
Wheat	0.76

ที่มา : Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W. and Hall, Carl W. (1992)

Humidistat ควรจะถูกตรวจสอบอย่างน้อยทุกๆ ปีเพื่อทำให้มั่นใจว่าการบำรุงรักษาสภาวะ plenum เป็นไปตามที่กำหนดไว้ ความชื้นสัมพัทธ์ของ the plenum air สามารถจะถูกตัดสินใจได้โดยการประมาณทั้งอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง เครื่องมือสำหรับทำไซโครเมทรีที่มีต้นทุนต่ำซึ่งสามารถจัดหามาได้นี้จะประกอบไปด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียก และกระเปาะแห้ง และตาราง หรือสเกลสำหรับหาความชื้นสัมพัทธ์ทราบอุณหภูมิกระเปาะเปียก และกระเปาะแห้ง

อุณหภูมิคงที่ที่เพิ่มขึ้นของอากาศ (Constant Temperature Increase of Air)

เครื่องทำแห้งบางเครื่องจะใช้แหล่งความร้อนคงที่เพื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศในการทำแห้งให้เพิ่มขึ้น 2-3 องศา เครื่องทำความร้อนสามารถเป็นหัวตะเกียงก๊าซได้ ตัวต้านทานไฟฟ้า หรือตัวเก็บ Solar พัดลม และมอเตอร์จะมีแหล่งความร้อนคงที่เล็กๆ ไว้พร้อม ทำให้แน่ใจถึงการดำเนินการนี้ว่า เครื่องทำแห้งจะมีการทำแห้งอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะเป็นสิ่งที่ทำให้แน่ใจได้อีกอย่างหนึ่งได้ ถ้าหากสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม และการทำแห้งจะประสบความสำเร็จได้นั้น ปริมาณความร้อนที่ใช้ต้องไม่ต่ำกว่าอัตราการไหลเวียนของอากาศที่เฉพาะเจาะจง

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศมากกว่า 2-3 องศาจะมีผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำจากถังต่อชั่วโมง และการทำแห้งจะเคลื่อนไปตลอดทั้งเมล็ดอย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตาม กระบวนการดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดผลกระทบ 2 ข้อ ดังนี้

(1.) ปริมาณความชื้นสุดท้ายจะถูกทำให้ต่ำลง และเมล็ดจะแห้งมากกว่าเดิม

(2.) อากาศจะออกจากโซน (พื้นที่) ของการทำแห้งด้วยอุณหภูมิที่สูง และอุณหภูมิของเมล็ดที่ไม่ถูกทำแห้งจะเพิ่มขึ้น

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมล็ดนี้จะมีผลในการลดเวลาที่เชื้อราเจริญเติบโตได้ อัตราการพัฒนาของเชื้อราสามารถทำให้เพิ่มขึ้นได้ในบางตัวอย่าง ซึ่งได้รับสิ่งนี้มากกว่าอัตราการทำแห้งที่เพิ่มขึ้น การให้ความร้อนแบบพิเศษนี้อาจจะเป็นสาเหตุให้เมล็ดเกิดเชื้อราก่อนที่เมล็ดจะถูกทำให้แห้งได้

ข้อดี

1. เมล็ดสามารถถูกเก็บเกี่ยวได้ตามอัตราที่ต้องการ
2. การจัดการเป็นความสัมพันธ์แบบง่ายๆ
3. การจัดการเมล็ดจะยึดถือค่าที่ต่ำที่สุด
4. ความร้อนที่ใช้ในอากาศสำหรับทำแห้งแบบนี้ทำให้การทำแห้งสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5. โดยปกติเมล็ดจะถูกทำให้แห้งเกินไป ถ้าอุณหภูมิของอากาศถูกเพิ่มขึ้น 5°C (10°F) หรือน้อยกว่านี้
6. อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการแตกหัก และความเครียดในข้าวได้น้อยที่สุด (Stress-creaking)

ข้อเสีย

1. การเก็บเกี่ยวจะล่าช้าลงไปถ้ารอจนกระทั่งความชื้นของเมล็ดลดลงต่ำเหลือตามที่ต้องการ
2. กระบวนการทำแห้งต้องทำต่อเนื่องถ้าเวลาถูกขยายออกไปมากเกินไป ซึ่งมีผลทำให้ช่วงเวลาในการจัดการกับเมล็ดยาวนานขึ้น

<u>การจัดการ</u>

เมล็ดควรถูกตรวจสอบอย่างถี่ถ้วนเพื่อใช้ตัดสินใจการจัดการต่างๆ โดยการสังเกตว่าเมล็ดแห้ง และมีเชื้อราเจริญขึ้นหรือไม่ การเจริญของเชื้อราสามารถค้นพบได้เสมอๆ โดยการหาจุดที่อยู่บนเมล็ดจากเมล็ดที่ผ่านการทำให้อุ่นที่ติดมาจากอากาศ ความก้าวหน้าของการทำแห้งทั่วทั้งเมล็ดสามารถทำตามได้โดยการสุ่มตรวจเมล็ดเป็น rod โดยตรวจทุกๆ rod ที่มีการเพิ่มเมล็ดข้าวเข้าไปอีก 3/8 นิ้ว (0.95 ซม.) จะทำให้การตรวจสอบดี

Layer Drying

ถ้าบรรจุครั้งแรกน้อยกว่าความลึกของถังขณะบรรจุเต็ม และถังถูกบรรจุถึง 2 ครั้งหรือมากกว่า 2 ครั้งในการเติมวัตถุดิบ กระบวนการนี้เรียกว่า "layer drying" ความลึกสูงสุดของแต่ละครั้งในการบรรจุจะถูกตัดสินใจโดย outline

Filling Schedule

ในการเติมวัตถุดิบครั้งหนึ่งๆ ต้องรอจนกว่าพื้นผิวเมล็ดของการเติมครั้งก่อนจะถูกทำให้แห้งจนมีค่าความชื้นใกล้กับปริมาณความชื้นสุดท้ายที่สมดุลจากการใช้อากาศทำแห้งแล้ว เมล็ดจะถูกทดสอบปริมาณความชื้นเป็นช่วงๆ หรือทุกๆ วัน สิ่งอื่นๆ ที่ได้คือ เพื่อตรวจสอบความก้าวหน้าของพื้นที่การทำแห้ง ซึ่งความก้าวหน้านี้จะถูกติดตามตรวจได้โดยการสุ่มตรวจเมื่อมีการนำขอบของพื้นที่เข้าใกล้ส่วนบนของเมล็ด และชั้นอื่นๆ ก็สามารถถูกเพิ่มเติมเข้าไปได้ด้วย

วิธีที่ 2 ของการบรรจุสำหรับการทำแห้งแบบชั้นที่ถูกเรียกว่า "Controlled Filling" สำหรับกระบวนการนี้ชั้นต่างๆ ถูกเพิ่มเติมเข้าไปก่อนพื้นที่การทำแห้งจะถูกทำให้เข้าใกล้พื้นผิว วิธีการนี้มีความเหมาะสมดีกว่าที่จะรอเก็บเมล็ดทั้งหมดในถังที่แห้งแล้วทีเดียว กฎในการเติมเมล็ดคือ จะต้องควบคุมความลึกของเมล็ดเปียก ซึ่งทำได้โดยการสุ่มตรวจ ดังนั้นอัตราการไหลเวียนของอากาศที่เฉพาะเจาะจงจึงมีความจำเป็นต้องใช้เพื่อให้เมล็ดที่มีความชื้นสูงที่สุดในถังถูกทำให้แห้งได้

พารามิเตอร์ 3 ตัวที่กำหนดปริมาณของเมล็ดดังกล่าว ซึ่งสามารถเติมเข้าไปได้คือ ความลึกของเมล็ดแห้ง ความลึกของเมล็ดเปียก และปริมาณความชื้นของเมล็ดที่เปียกที่สุดในถัง

ภาพที่ 9 ที่มีความลึกของเมล็ดแห้งเพื่อจะหาความลึกของเมล็ดเปียกสูงสุด (ถูกปรับปัจจัยต่างๆ จากตารางที่ 2 และ 3) ซึ่งสามารถนำมาวางไว้บนเมล็ดแห้ง และยังคงรักษาอัตราการไหลเวียนอากาศที่เฉพาะเจาะจงที่ต้องการให้มีอยู่ได้ ความลึกของเมล็ดเปียกในถังจะถูกนำออกไปในปริมาณเท่าใดจากปริมาณสูงสุดที่ยอมให้นำออกได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความลึกของเมล็ดเปียกที่สามารถใส่เพิ่มเข้าไปได้

ข้อดี

1. การจัดการเมล็ดจะจัดให้อยู่ในจุดต่ำที่สุด
2. ถ้าปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ถูกเก็บเกี่ยวมาเท่ากันแล้ว วิธีนี้จะใช้เวลาในการทำแห้งสั้นกว่าการทำแห้งแบบ full-bin

ข้อเสีย

1. ระมัดระวังการจัดการที่ required
2. ตารางการเก็บเกี่ยวอาจจะถูกจำกัดได้

<u>อุปกรณ์ในการกวน</u> (Stirring Devices)

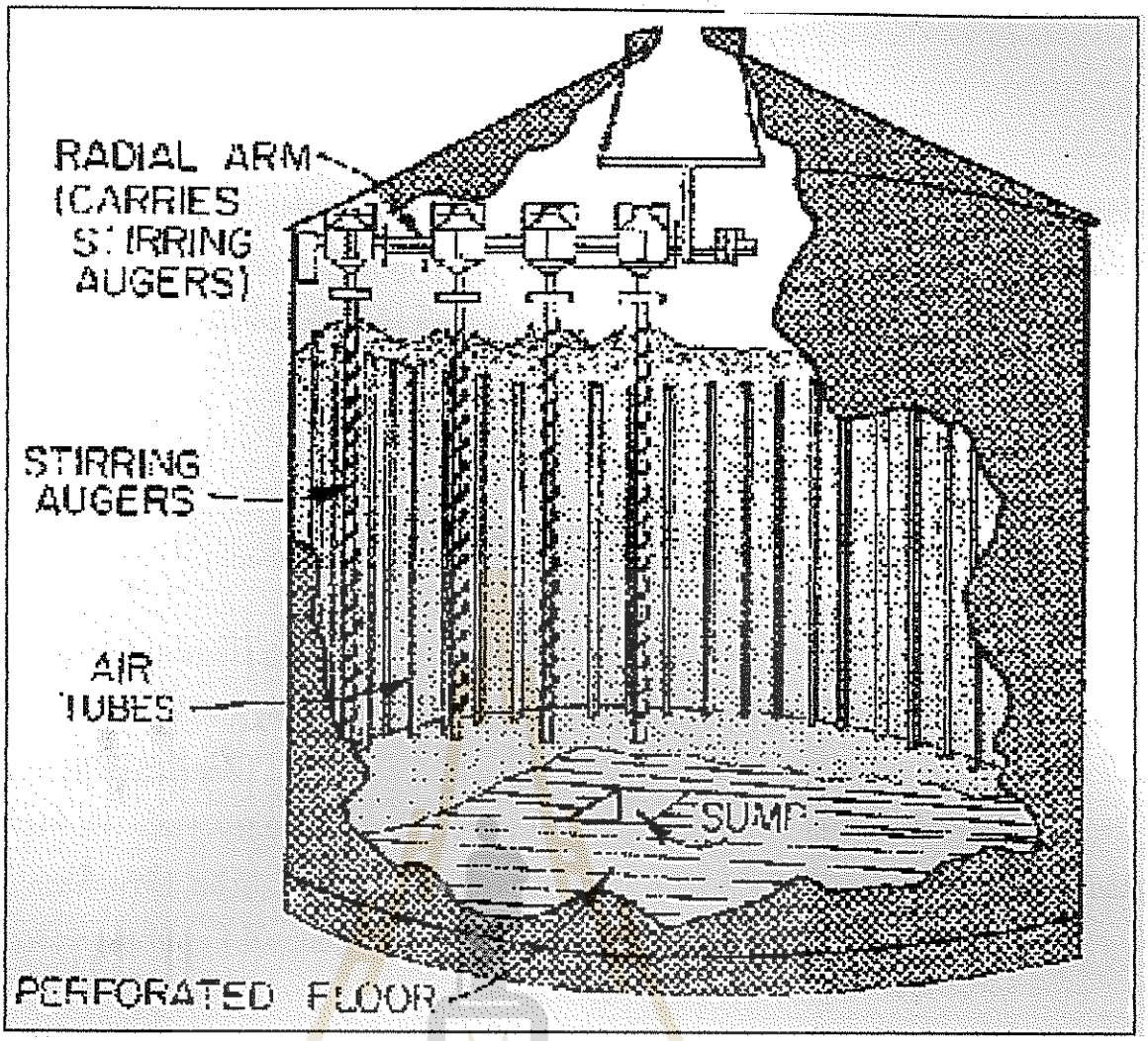
อุปกรณ์ที่นิยมเพิ่มในระบบการทำแห้งแบบถังนี้คือ อุปกรณ์ในการกวน (ดังภาพที่ 10) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการเคลื่อนย้ายเมล็ดจากบริเวณพื้นไปบริเวณส่วนบนของกองเมล็ดในกรณีที่มีเมล็ดใหม่ใส่ลงไปในถัง เป็นผลทำให้เมล็ดชั้นที่อยู่สูงกว่าเคลื่อนที่ลงไปข้างล่าง และมีการผสมกันภายใน 24-48 ชั่วโมง

เหตุผลที่มีการกวนเมล็ด (Reasons for Stirring Grain)

อุปกรณ์ในการกวนช่วยระงับปัญหาในการทำแห้งมากเกินไปเมื่อมีการเพิ่มความร้อนเข้าไปในระบบการทำแห้งแบบอุณหภูมิต่ำ (Low-temperature) การทำแห้งมากเกินไปทำให้มีข้อเสียใน 2 ทางคือ เกิดการหดตัวเกินไป และน้ำหนักที่จะส่งตลาดน้อย ข้อดีของการใช้ stirrer คือ หลีกเลี่ยงการทำแห้งมากเกินไปเมื่อมีการเพิ่มความร้อนเข้าไป เมล็ดมีการระบาย และไหลเวียนของอากาศประมาณ 10% ซึ่งมากกว่าการไม่มีการกวนภายในถังเก็บ

การระมัดระวัง (Precautions)

- เมล็ดควรถูกทำความสะอาดก่อนนำไปทำแห้ง
- เนื่องจากอุณหภูมิระหว่างภายใน และภายนอกถังเก็บมีการเปลี่ยนแปลงมากทำให้มีโอกาสเกิดการควบแน่นได้ สำหรับถังที่ไม่มีตัวกวน (stirrer) โดยเฉพาะจะเกิดกับเมล็ดที่อยู่ริมผนังถังได้มากที่สุด เป็นผลทำให้เกิดการเปียก และเน่าเสียได้ ดังนั้นจึงไม่ควรกวน และทำเมล็ดบริเวณนี้ให้แห้ง ทั้งนี้เพื่อยืดเวลาให้กับเมล็ดส่วนที่เหลือ



ภาพที่ 10: Schematic ของ อุปกรณ์ในการกวน multiple auger

ที่มา : Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W. and Hall, Carl W. (1992)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3

สรุปผลการดำเนินงาน

จากการสืบค้น และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเก็บรักษาข้าวในไซโลในเชิงวิศวกรรมอาหารทำให้ทราบข้อมูลทางด้านนี้เพิ่มมากขึ้นในเชิงทฤษฎี ซึ่งอาจนำข้อมูลดังกล่าวนี้ไปประยุกต์ใช้กับการจัดการไซโลของบริษัทฯ ได้เพื่อให้เกิดประโยชน์กับทางบริษัทฯ มากยิ่งขึ้น แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมด้านอื่นๆ ประกอบด้วย

บทที่ 4

ปัญหา และข้อเสนอแนะ

1.) เนื่องจากการรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้เป็นการเรียบเรียง และแปลมาจากหนังสือต่างประเทศ ซึ่งอาจมีข้อผิดพลาดด้านการใช้ภาษาที่ต้องการจะสื่อให้เข้าใจถึงความหมายที่แท้จริงนั้นๆ ฉะนั้นจึงอาจเรียบเรียง หรือทำความเข้าใจก่อนนำไปใช้ประโยชน์

2.) ในการสืบค้น และรวบรวมข้อมูลนั้นต้องใช้ระยะเวลานาน แต่เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อบริษัทฯ จึงควรมีการรวบรวม และศึกษาข้อมูลต่างๆ อยู่เสมอๆ ทั้งนี้เพื่อใช้ประกอบการพัฒนา หรือปรับปรุงคุณภาพการผลิต และการเก็บรักษาข้าวของบริษัทฯ ให้มีคุณภาพตลอดเวลา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

Otto J., Loewer, Thomas C., Bridges & Ray A., Bucklin. 1994. On-Farm Drying and Storage Systems. ASAE. U.S.A.

Stanislaw, Pabis, Digvir S., Jayas & Stefan, Cenkowski. 1998. Grain Drying. John Wiley & Sons. Inc. New York.

Jayas, Digvir S., White, Noel D.G. ,and Muir, William E. 1995. Stored-Grain Ecosystems. Marcel Dekker. Inc. New York.

Bala, B.K. 1997. Drying & Storage of cereal grains. Science Publishers. Inc. U.S.A.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี