การปรับปรุงกระบวนการอบข้าวเปลือกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสีข้าว

สุรชัย ปรีทอง

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
กรกฎาคม 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่างานนิพนธ์ ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ สุรชัย ปรีทอง ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร. ฤฎูวัลย์ จันทรสา)

คณะกรรมการสอบปากเปล่างานนิพนธ์

.....ประธาน
(ดร. ฤฎูวัลย์ จันทรสา)

.....กรรมการ
(ดร. จักรวาล คุณะดิลก)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรหาญ ลิลา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)
วันที่ 27 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2559

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการปรับปรุงกระบวนการอบข้าวเปลือกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสีข้าว ฉบับบนี้สำเร็จได้ด้วยดี อันเนื่องจากคำปรึกษาแนะนำที่ดีจากบุคคลต่าง ๆ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร. ฤฎูวัลย์ จันทรสา อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร. บรรหาญ ลิลา และ ดร. จักรวาล คุณดิลก คณะกรรมการสอบปากเปล่างานนิพนธ์ รวมถึง คุณสิชฌย์ คุณจินตนา โนรีวงศ์ และพนักงานฝ่ายผลิต บริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด ทุกท่านที่กรุณาให้ข้อมูลและคำแนะนำด้านวิชาการ

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาที่ให้ทุนการศึกษา

ขอขอบพระคุณคุณพ่อสะอาด คุณแม่สายสมร ปรีทอง และครอบครัวที่เป็นกำลังใจและให้คำแนะนำให้การศึกษาในระดับมหาบัณฑิตในครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ประโยชน์ของงานวิจัยฉบับนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ คณาจารย์และผู้มีอุปการะคุณทุกท่าน

สุรชัย ปรีทอง

53921323: สาขาวิชา: วิศวกรรมอุตสาหการ; วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)
คำสำคัญ: การสีข้าว/ กระบวนการอบข้าวเปลือก/ การสีข้าว/ การออกแบบการทดลอง/ ผลได้ของข้าวสาร

สุรชัย ปรีทอง: การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอบข้าวเปลือกด้วยการออกแบบการทดลอง (THE STUDY OF FACTORS AFFECTING PADDY DRYING PROCESS USING THE DESIGN OF EXPERIMENT.) คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์: ฤภูวัลย์ จันทรสา, Ph.D., 72 หน้า. ปี พ.ศ. 2559.

โดยทั่วไปโรงสีข้าวขนาดใหญ่ จะลดความชื้นข้าวเปลือกโดยการใช้แสงอาทิตย์ เป็นแหล่งความร้อน เพื่อนำพาความชื้นออกจากเมล็ดข้าว ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากและประหยัด อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อเสียคือ ต้องใช้แรงงานและพื้นที่ในการตากมาก และไม่สามารถควบคุมคุณภาพข้าวได้ ทำให้เกิดการสูญเสีย ทั้งน้ำหนัก และคุณภาพ ดังนั้นโรงสีข้าวจึงนิยมใช้เครื่องอบลดความชื้นของเมล็ดข้าวมาใช้ในการอบลดความชื้นของข้าวเปลือกแทน การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการอบข้าวเปลือกโดยการออกแบบการทดลอง และเพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการอบข้าวเปลือก เพื่อให้ผลได้ของข้าวสารต่อข้าวเปลือกสูงสุด จากการศึกษาพบว่าในกระบวนการอบข้าวเปลือกก่อนการสีนั้นมีปัจจัย 2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราผลตอบแทนของข้าวสารต่อข้าวเปลือก คือ ระดับอุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้ทำการอบและความเร็วของข้าวขาเข้าเครื่องอบ ผลจากการทดลองพบว่า ระดับอุณหภูมิของลมร้อนที่เหมาะสมคือ 47 องศาเซลเซียส และความเร็วของข้าวขาเข้าเครื่องอบเท่ากับ 19 รอบ/นาที ซึ่งจะให้ค่าผลได้ของข้าวสารต่อข้าวเปลือกสูงสุด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการอบข้าวเปลือกเพื่อลดความชื้นก่อนการสีเป็นข้าวสาร สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวสารได้เป็นอย่างดี

53921323: INDUSTRIAL ENGINEERING; M.Eng. (INDUSTRIAL ENGINEERING)
KEYWORD: RICE MILLING/ PADDY DRYING PROCESS/ DESIGN OF EXPERIMENT/ RICE YIELD

SURACHAI PREETONG: THE STUDY OF FACTORS AFFECTING PADDY DRYING PROCESS USING THE DESIGN OF EXPERIMENT. ADVISORY COMMITLEE: RUEPHUWAN CHANTRASA, Ph.D., 72 P. 2016.

In general, the large rice milling plant dehumidifies paddy using solar to repel moisture from the rice grain which is the simple and cost saving method. However, this method has disadvantages because it requires large number of labors and spaces. Moreover, it is not able to control rice quality. Hence, the rice milling plant uses paddy drying machine instead. The objective of this research is to study factors affecting paddy drying process using the design of experiment (DOE), and identify the optimal values of the parameters in order to create maximum yield of rice to paddy. The study indicated 2 factors affecting the rice yield, which were level of the hot air temperature used in drying process, and flow rate of the paddy to the drying process. Experimental results indicated 47 °C of the hot air temperature and 19 cycle/minute of flow speed of the paddy were the optimum value of the factors. These value increased yield of rice to paddy which could apply to the real situation for the paddy drying process before milling to rice, increasing productivity of the rice production.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

สมมติฐานงานวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

ขอบเขตของการวิจัย 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 3

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

กระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือก 5

การลดความชื้นโดยเครื่องลดความชื้น 8

การสีข้าว 27

การออกแบบการทดลอง 28

ลำดับขั้นการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง 30

ระดับขั้นความอิสระ 31

การทดลองเต็มรูปแบบ 32

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลด้วยโปรแกรม Minitab 35

การวิเคราะห์ความแปรปรวน 39

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 43

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	47
	ขั้นตอนการทำวิจัย	47
	ศึกษากระบวนการทำงานของโรงสีข้าวตัวอย่าง	47
	กระบวนการอบข้าวเปลือก	48
	ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง	50
	การจำแนกปัจจัยหลัก (ตัวแปรต้น)	51
	กระบวนการสีข้าว	53
	การเลือกรูปแบบการทดลอง	55
	การทดลอง Factorial design เพื่อหาจำนวนการทดลองที่เหมาะสม	55
	ขั้นการทดลอง	55
	การคำนวณ Yield ของกระบวนการ	57
4	ผลของการวิจัย	60
	การวิเคราะห์ผลการทดลอง	60
	การทดสอบ Normality test	62
	การหาค่าความเชื่อมั่น	64
	การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม	64
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	66
	บทสรุป	66
	ข้อเสนอแนะการวิจัย	67
บรรณานุกรม		68
ภาคผนวก		70
ประวัติย่อของผู้วิจัย		72

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 4

2-1 พัฒนาการของการออกแบบการทดลอง 28

2-2 รูปแบบข้อมูลจากการทดลอง 42

2-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน 42

3-1 ระดับปัจจัยสำหรับการทดลอง 53

3-2 แบบฟอร์มสรุปผลการทดลอง Yield (%) 57

3-3 ข้อมูลที่ทำการป้อนหลังจากออกแบบการทดลอง 59

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	การตากข้าวในนา	6
2-2	การตากข้าวบนลานตาก	7
2-3	เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชแบบต่าง ๆ	9
2-4	การเคลื่อนที่ของโซนการอบแห้ง	10
2-5	เครื่องอบแห้งแบบไหลขวาง	15
2-6	เครื่องอบแห้งแบบไหลขวางโดยนำเอาอากาศที่ใช้ระบายความร้อนจากเมล็ดพืชกลับมาใช้ใหม่	16
2-7	เครื่องอบแห้งแบบไหลตาม	17
2-8	เครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทาง	18
2-9	ภาพตัดของเครื่องอบแห้งแบบที่มีการผสมกันของเมล็ดพืช	19
2-10	เครื่องลดความชื้นแบบกระบะ	20
2-11	เครื่องลดความชื้นแบบถังเก็บ	21
2-12	เครื่องลดความชื้นแบบหมุนเวียนขนาดเล็ก	23
2-13	เครื่องลดความชื้นแบบหมุนเวียนขนาดใหญ่	24
2-14	เครื่องลดความชื้นแบบถังหมุนเวียนถังกลม	25
2-15	เครื่องลดความชื้นแบบไหลต่อเนื่อง	26
2-16	การไหลของลมร้อน	27
2-17	การเปรียบเทียบในการพิจารณาระดับขั้นความอิสระ	31
2-18	ตัวแบบของการทดลองแบบ 2 และ 3 ปัจจัย	34
2-19	รายละเอียดไดอะล็อกบ็อกซ์	38
2-20	การแจกแจงความน่าจะเป็นของ F	41
3-1	กระบวนการสีข้าวของโรงงานกรณีศึกษา (เริ่มจากซ้ายไปขวา)	48
3-2	เครื่องอบข้าวของโรงงานกรณีศึกษา ความจุ 500 ตันแบบคอลัมน์	49
3-3	กองข้าวเปลือกชื้นเตรียมอบ	50
3-4	การวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก	51
3-5	อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	52
3-6	อุปกรณ์ควบคุมความเร็วข้าวเปลือกเข้าเครื่องอบ	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-7	ขั้นตอนการสีข้าว	54
3-8	การชั่งน้ำหนักข้าวด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล	54
3-9	Multilevel factorial design	55
3-10	แบบฟอร์มการเก็บค่าผลการทดลอง	56
3-11	หน้าต่างเลือกชนิดการทดลองและการกำหนดระดับของแต่ละตัวแปร	58
4-1	ผลลัพธ์การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม MINITAB	60
4-2	Residual plots for yield	61
4-3	การทดสอบ Normality test	62
4-4	Probability plot of RESI1	62
4-5	ผลกระทบจากตัวแปรต้นอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อตัวแปรตาม (Yield)	63
4-6	ผลกระทบจากตัวแปรต้นความเร็วข้าวขาเข้าต่อตัวแปรตาม (Yield)	63
4-7	Response optimizer menu	64
4-8	การกำหนดค่า Response optimizer setup	65
4-9	ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการอบข้าวเพื่อให้ได้ค่า Yield สูงสุด	65

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญของชาวไทย ชาวนาเป็นเกษตรกรส่วนใหญ่ของประเทศ ดังคำกล่าวที่ว่า “ชาวนาเป็นกระดูกสันหลังของชาติ” แต่ชาวนาก็ยังเป็นอาชีพมีรายได้น้อยเนื่องจากปัญหาในการเพาะปลูกถึงแม้ในบางปีจะได้ผลผลิตดี ราคาข้าวสารสูง แต่ชาวนาก็ยังขายข้าวเปลือกให้กับโรงสีข้าวในราคาที่ต่ำ เนื่องจากข้าวที่เก็บเกี่ยวมามีค่าความชื้นสูง เมล็ดมีความชื้นประมาณ 20-30% เมื่อนำข้าวเปลือกมากองรวมกัน เมล็ดข้าวมีการหายใจ ทำให้กองข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้น เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่าง ๆ มีผลทำให้ข้าวเสื่อมคุณภาพ เช่น เกิดข้าวเน่า ข้าวบูด ข้าวเหลือง ข้าวมีคุณภาพการสีต่ำ เมล็ดพันธุ์เสื่อมความงอกเร็วและไม่สามารถทำการขัดสีได้จึงต้องทำการลดความชื้นของเมล็ดข้าวให้เหลือต่ำกว่า 15% สำหรับการเก็บข้าวไว้นาน 2-3 เดือน แต่ถ้าเก็บนานเกินกว่า 3 เดือน ควรลดความชื้นเมล็ดให้เหลือต่ำกว่า 15% สำหรับโรงสีและเครื่องอบในโรงงานตัวอย่างรับข้าวเปลือกที่มีความชื้น 25% มาทำการอบลดความชื้นจนต่ำกว่า 15% จึงส่งเข้าเก็บในไซโล และทำการเป่าด้วยลมเย็นแล้วเก็บไว้ก่อนนำไปขัดสี

การลดความชื้น ทำได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้แสงอาทิตย์ และการใช้เครื่องอบ โดยทั่วไปโรงสีข้าวขนาดใหญ่ จึงมักลดความชื้นข้าวเปลือกโดยการใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อน โดยมีการเคลื่อนที่ของอากาศเป็นตัวช่วยพาความชื้นออกจากเมล็ด ทำให้ความชื้นของเมล็ดลดลงเป็นวิธีการที่ประหยัด ไม่ยุ่งยาก แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้แรงงานและพื้นที่ในการตาก และไม่สามารถควบคุมคุณภาพข้าวได้ ทำให้เกิดการสูญเสียทั้งน้ำหนักและคุณภาพข้าว เนื่องจากเกิดการร่วงหล่นขณะตาก ขนย้ายและถูกนก หนู เข้าทำลาย ส่วนการสูญเสียคุณภาพ ในตอนกลางวันข้าวได้รับอุณหภูมิจากแสงแดด ความชื้นของเมล็ดลดลง ในช่วงกลางคืน อุณหภูมิต่ำลง ความชื้นสัมพันธ์ของอากาศสูงขึ้น ข้าวจึงดูดความชื้นกลับเข้าไปอีกครั้ง การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในเมล็ดข้าว แห้งและชื้นสลับกัน ทำให้เกิดการร้าวในเมล็ด นอกจากนี้ยังได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อม เช่น ข้าวเปียกน้ำค้างในเวลากลางคืน หรือเปียกฝนในระหว่างการตาก ทำให้ข้าวเกิดรอยร้าวในเมล็ดเช่นเดียวกัน เมื่อนำเข้าไปนวดหรือสีจึงเกิดการแตกหัก คุณภาพการสีลดลง การลดความชื้นข้าวเปลือกโดยการใช้เครื่องอบจึงมีความจำเป็นเพราะวิธีนี้มีข้อดี คือ สามารถปฏิบัติได้ในทุกสภาวะอากาศแม้ว่าฝนจะตกหรือมีแสงแดดน้อย ใช้พื้นที่น้อย สามารถควบคุมการลดความชื้น

ให้อยู่ในระดับตามต้องการ สามารถควบคุมป้องกันความเสียหายต่อคุณภาพข้าวได้แต่มีข้อที่ต้องคำนึงถึง คือ ต้นทุนในการก่อสร้างสูง ค่าใช้จ่ายสูงและต้องใช้พลังงานมากในการอบข้าว ดังนั้นหากทำการควบคุมเครื่องอบไม่เหมาะสม ทำให้การลดความชื้นข้าวมีประสิทธิภาพต่ำก็จะเกิดปัญหาทำให้อัตราผลตอบแทนของข้าวสารต่อข้าวเปลือก (Yield) ต่ำเพราะฉะนั้นควรมีการทดลองตามรูปแบบที่ถูกต้องซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการอบข้าวเพื่อเพิ่มอัตราผลตอบแทนของข้าวสารต่อข้าวเปลือก (Yield) ได้ดียิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการอบข้าวเปลือกโดยการออกแบบการทดลอง
2. เพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการอบข้าวเปลือกเพื่อให้ได้อัตราผลตอบแทนของข้าวสารต่อข้าวเปลือก (Yield) สูงสุด

สมมติฐานงานวิจัย

กระบวนการอบข้าวเป็นขั้นตอนแรกของโรงสีข้าว ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักในการลดความชื้นของข้าวเปลือกก่อนนำไปทำการกะเทาะและขัดสี โดยมีตัวแปรสำคัญที่ต้องควบคุม คือ อุณหภูมิข้าวขาออกจากเครื่องอบ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการอบข้าว และความเร็วของข้าวเปลือกขาเข้า จนข้าวเปลือกมีความชื้นต่ำกว่า 15% ซึ่งหากมีการศึกษาและควบคุมตัวแปรในกระบวนการอบข้าวให้อยู่ในจุดที่เหมาะสมจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสีข้าว (Yield) สูงขึ้นจากเดิมและได้ข้าวคุณภาพดีไม่เปราะหักง่าย โดยมีค่าเปรียบเทียบ คือ Yield เดิมที่กระบวนการสีข้าวของบริษัททำได้ คือ 48%

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการอบข้าวและอิทธิพลร่วมของตัวแปรต่าง ๆ เพื่อนำมาทำการทดลองทางสถิติได้
2. ทำขั้นตอนการทดลองปรับเปลี่ยนตัวแปรโดยใช้เครื่องมือของ DOE เพื่อประสิทธิภาพในการนำข้าวเปลือกไปทำการสีเพื่อให้ได้ค่า Yield สูงสุดและให้เป็นแบบอย่างสำหรับผู้ใช้งานในการปรับปรุงและพัฒนาด้วยตนเองต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

1. ระบบบอบข้าวเปลือกและสีข้าวของบริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด เลขที่ 182/1 หมู่ 6 ถนนนนทบุรี 1 ต.บางกระสอ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000
2. ทดลองการอบข้าวที่ความชื้น 18-20% เท่านั้น

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. เลือกปัญหาที่สนใจและนำเสนอหัวข้อโครงการ
2. ศึกษากระบวนการในปัจจุบันและแนวทางการปรับปรุง
3. ศึกษาตัวแปรและตัวแปรตาม และหาตัวแปรหลักที่ใช้ในการควบคุม
4. ศึกษาข้อจำกัดและขอบเขตการเปลี่ยนระดับของตัวแปร
5. ทำการทดลองปรับเปลี่ยนตัวแปร
6. สรุปและประเมินผลการดำเนินงาน
7. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และนำเสนอ

ในขั้นตอนการดำเนินการนั้น สามารถแบ่งรายละเอียดออกเป็นส่วนย่อย ๆ ได้เป็น 7 ขั้นตอน โดยในแต่ละขั้นตอนสามารถกำหนดระยะเวลาในการดำเนินการแยกย่อยเป็นรายเดือน และสามารถดำเนินการให้เสร็จสิ้นได้ภายในระยะเวลา 9 เดือน ดังตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ลำดับ	ขั้นตอนการศึกษาวิจัย	2558					2559			
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1	ศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบันของกระบวนการอบข้าว	⟷	⟷							
2	ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวแปรในกระบวนการอบข้าว		⟷	⟷						
3	ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง			⟷	⟷					
4	ทำการวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรที่รวบรวมและหาแนวทางแก้ปัญหา				⟷	⟷				
5	ดำเนินการปฏิบัติตามแผนการแก้ไขปัญหาที่ได้กำหนดไว้					⟷	⟷			
6	ทำการทดลองตามหลักสถิติและวิเคราะห์ผลการทดลอง						⟷	⟷		
7	สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ								⟷	⟷

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากที่ได้กล่าวไว้บทที่ 1 แล้วว่า การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการอบข้าวเปลือก พร้อมทั้งหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการอบข้าว เพื่อนำไปสีให้ได้ค่า Yield ของกระบวนการสีข้าวสูงสุดโดยที่ค่า Yield ของกระบวนการสีเดิมคือ 48% โดยผู้วิจัยได้มีแนวคิดที่จะประยุกต์ใช้ หลักของการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design of experiment) ดังนั้น ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยวิธีต่าง ๆ และหลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองนอกจากนี้ผู้วิจัยได้นำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องไว้ด้วยซึ่งรายละเอียดมี ดังต่อไปนี้

ปัญหาของข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงส่วนใหญ่จะเกิดกับข้าวนาปรังเนื่องจากการเก็บเกี่ยวจะตรงกับฤดูฝนเมื่อเก็บข้าวที่มีความชื้นสูงมารวมกันอยู่เป็นปริมาณมากไว้ระยะเวลาหนึ่ง จุลินทรีย์ต่าง ๆ เช่น เชื้อราจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เชื้อราบางอย่างอาจสร้างสารพิษซึ่งให้โทษต่อผู้บริโภค เมล็ดพืชและจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในเมล็ดพืชมีการหายใจ โดยการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตกับอ๊อกซิเจนทำให้เกิดคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ น้ำและความร้อน เป็นผลให้คาร์โบไฮเดรตในเมล็ดพืชลดลงหรือที่เรียกว่าการสูญเสียมวลแห้ง ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหายใจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คุณภาพของเมล็ดพืชลดลง เช่น ทำให้ข้าวเป็นฟันหนู (เมล็ดข้าวสารมีสีเหลือง) ข้าวเปลือกที่มีความชื้นตั้งแต่ 24% ขึ้นไปควรจะต้องเริ่มอบให้แห้งภายใน 1 วัน ข้าวเปลือกที่มีความชื้นระหว่าง 21-23.9% ควรจะต้องเริ่มอบให้แห้งภายใน 2 วัน และข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำกว่า 20.9% ควรจะต้องเริ่มอบให้แห้งภายใน 3 วัน ไม่เช่นนั้นจะทำให้ข้าวเปลือกมีคุณภาพต่ำ

กระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือก

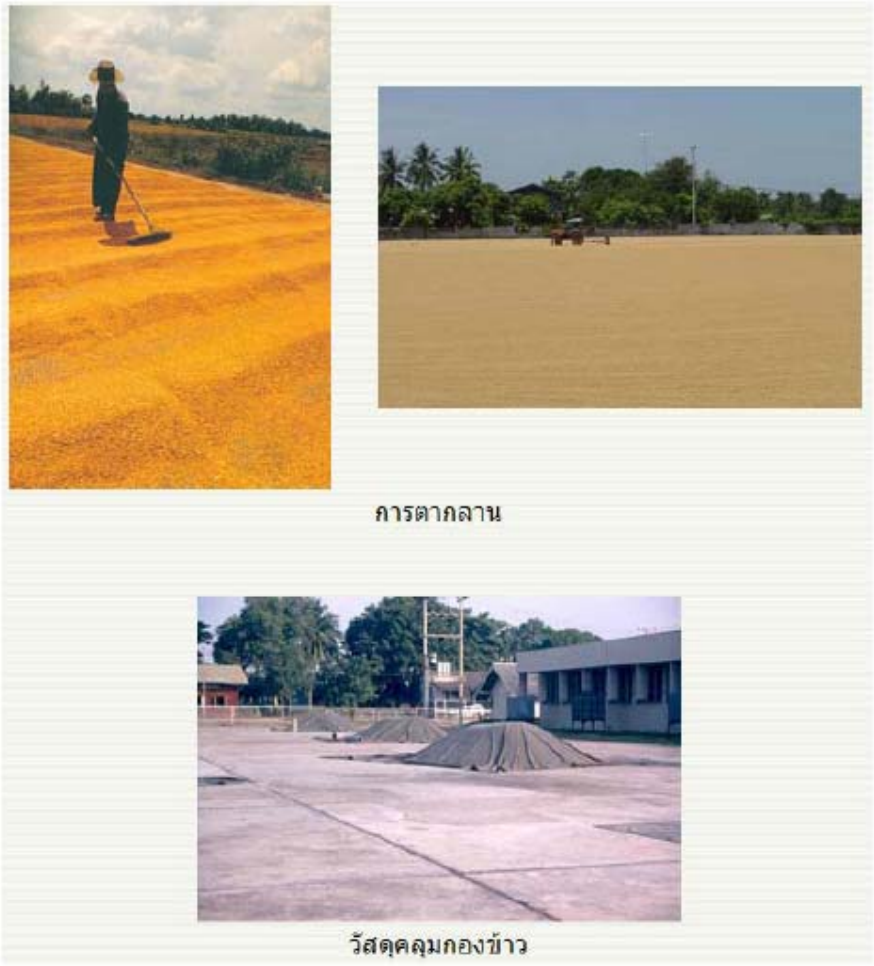
กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ระบุว่าความชื้นของเมล็ดนับเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการกำหนดคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของเมล็ดข้าวเปลือกและเมล็ดพันธุ์พืช โดยทั่วไปต้องมีความชื้นต่ำจึงจะปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษาเพราะเมล็ดที่มีความชื้นสูง มีการสะสมความร้อนในกองสูง เมล็ดมีการหายใจสูง เชื้อราและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย แต่เมล็ดมีความทนทานต่อความเสียหายอันเนื่องจากเครื่องจักรกลได้ดีกว่าเมล็ดที่มีความชื้นต่ำ โดยทั่วไปในการเก็บเกี่ยวข้าวความชื้นมักสูงกว่า 20% จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องลดความชื้นของเมล็ดลงหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อรักษาคุณภาพของเมล็ดข้าวเปลือกไว้วิธีการลดความชื้นโดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ วิธีตากแดดและอบลดความชื้น

1. การใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อนโดยมีการเคลื่อนที่ของอากาศเป็นตัวพาความชื้นออกจากเมล็ด ทำให้ความชื้นของเมล็ดลดลง เป็นวิธีการที่ประหยัด ไม่ยุ่งยากแต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้แรงงานและพื้นที่ในการตากและไม่สามารถควบคุมคุณภาพข้าวได้

2. การตากข้าวในนาทำให้เกิดการสูญเสียทั้งน้ำหนักและคุณภาพข้าวเนื่องจากเกิดการร่วงหล่นขณะตาก ขนย้าย และถูกนก หนู เข้าทำลาย ส่วนการสูญเสียคุณภาพในตอนกลางวันข้าวได้รับอุณหภูมิสูงจากแสงแดด ความชื้นของเมล็ดลดลงในช่วงกลางคืนอุณหภูมิลดต่ำลง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงขึ้น ข้าวจึงดูดความชื้นกลับไปอีกครั้ง การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในเมล็ดข้าวแห้งและชื้นสลับกัน ทำให้เกิดการร้าวในเมล็ด นอกจากนี้ยังได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อม เช่น ข้าวเปียกน้ำค้างในเวลากลางคืน หรือเปียกฝนในระหว่างการตาก ดังภาพที่ 2-1 เมื่อนำข้าวไปนวดหรือสี จึงเกิดการแตกหัก คุณภาพการสีลดลง

ภาพที่ 2-1 การตากข้าวในนา

3. การตากลาน ปัจจุบันการใช้รถเกี่ยวนวด ทำให้เกษตรกรขายข้าวสด (ชื้น) ให้พ่อค้าทันที ดังนั้น ภาระในการลดความชื้นจึงอยู่ที่พ่อค้าหรือโรงสี แต่เกษตรกรบางกลุ่มยังคงตากข้าวเพื่อลดความชื้นเองหรือเพื่อเก็บไว้ทำเมล็ดพันธุ์ ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 การตากข้าวบนลานตาก

ซึ่งการตากข้าวบนลาน มีข้อควรปฏิบัติ ดังนี้

3.1 ทำความสะอาดลานตาก ควรมีวัสดุสะอาดและแห้งรองรับเมล็ด เช่น ผ้าใบหรือเสื่อที่สานด้วยไม้ไผ่ ฯลฯ ไม่ควรตากกับพื้นซีเมนต์หรือถนนโดยตรงเพราะเมล็ดอาจได้รับความร้อนสูงเกินไป

3.2 ความหนาของกองข้าวที่ตากควรหนาประมาณ 5-10 ซม. การตากหนาเกินไปจะทำให้การระบายอากาศไม่ดี ข้าวแห้งช้า การตากบางเกินไปทำให้อุณหภูมิข้าวสูงมีผลต่อความงอกของข้าวได้ระหว่างการตากควรหมั่นกลับกองข้าวทุก ๆ 2 ชั่วโมงหรือวันละ 4 ครั้ง เพื่อให้ลดความชื้นได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ

3.3 ควรมีวัสดุคลุมกองข้าวเพื่อป้องกันน้ำค้างหรือฝน

3.4 ไม่ควรตากข้าวนานเกินไป ระยะเวลาในการตากข้าวขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้น ความหนาบางของข้าวขณะตากและความบ่อยครั้งในการกลับตลอดจนระดับความชื้นที่ต้องการ โดยทั่วไปหากความชื้นลดลงเหลือประมาณ 12-14% จึงหยุดตาก

3.5 การใช้เครื่องอบ วิธีนี้มีข้อดี คือ สามารถปฏิบัติได้ในทุกสภาวะอากาศแม้ว่าฝนจะตกหรือมีแสงแดดน้อย ใช้พื้นที่น้อยสามารถควบคุมการลดความชื้นให้อยู่ในระดับตามต้องการสามารถควบคุมป้องกันความเสียหายต่อสภาพข้าวได้ แต่มีข้อเสีย คือ ค่าใช้จ่ายสูงและการปฏิบัติยุ่งยาก

การลดความชื้นโดยเครื่องลดความชื้น

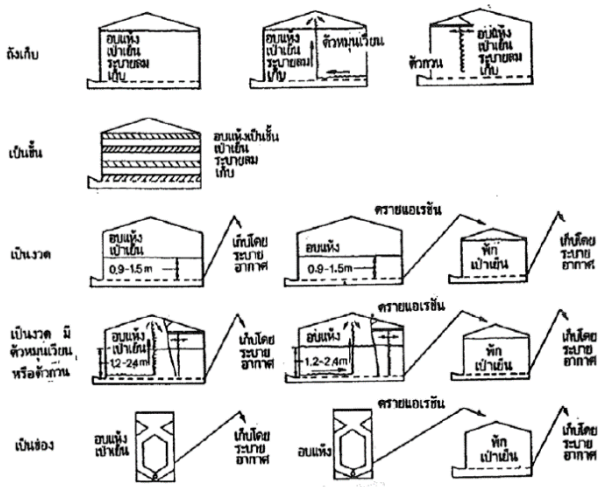
เมล็ดพืชมีคุณสมบัติในการถ่ายเทและรับความชื้นจากอากาศ เมื่อความดันไอน้ำในเมล็ดพืชต่ำกว่าความดันไอน้ำในอากาศ เมล็ดพืชจะดูดความชื้นจากอากาศ ทำให้เมล็ดพืชมีความชื้นเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันถ้าความดันไอน้ำในเมล็ดพืชสูงกว่าความดันไอน้ำในอากาศ เมล็ดพืชจะคายความชื้นสู่บรรยากาศในขบวนการลดความชื้นเป็นขบวนการของการถ่ายเทความชื้นและความร้อน โดยน้ำในเมล็ดพืชจะกลายเป็นไอระเหยสู่บรรยากาศ การลดความชื้นเมล็ดพืชโดยส่วนใหญ่จะใช้ความร้อนโดยอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นมีผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำลง เมื่อผ่านอากาศนี้สู่ชั้นเมล็ดพืชจะทำให้ความชื้นในเมล็ดพืชลดลง

โดยทั่วไปมักใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ทั้งนี้ เพราะสามารถอบแห้งได้เร็วและได้ความชื้นของเมล็ดพืชต่ำตามที่ต้องการอุณหภูมิของอากาศจะสูงเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการนำเมล็ดพืชไปใช้งาน วิธีและเทคนิคที่ใช้ในการอบแห้งโดยมากมักจะเลือกเอาอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมให้ได้โดยคุณภาพของเมล็ดพืชไม่เสียหาย เพราะจะทำให้อบแห้งได้เร็ว มีผลให้เครื่องอบแห้งที่ต้องใช้มีขนาดเล็กลง ทำให้การลงทุนต่ำ ในการอบแห้งบางวิธีอาจใช้อากาศแวดล้อมในการอบแห้ง เช่น วิธีการอบแห้งในถังเก็บ คือ อบแห้งเมล็ดพืชภายในตัวถังที่ใช้เก็บรักษา การใช้อากาศแห้งอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เมล็ดพืชทางด้านล่างของถังสัมผัสกับลมร้อนก่อนแห้งเกินกว่าที่ต้องการส่วนเมล็ดพืชทางด้านบนของถังซึ่งสัมผัสกับลมร้อนทีหลังจะยังชื้นอยู่

ในขณะที่อากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นเมล็ดพืชจะเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลขึ้นพร้อม ๆ กันความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังเมล็ดพืชและทำให้น้ำที่บริเวณผิวเมล็ดระเหยเข้าไปอยู่ในอากาศเป็นผลให้อากาศมีอุณหภูมิลดลงและความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูงขึ้น ส่วนเมล็ดพืชจะมีความชื้นลดต่ำลงและหากความชื้นลดลงมากพอแล้ว อุณหภูมิของเมล็ดพืชก็จะเริ่มสูงขึ้นด้วยจนในที่สุดเมล็ดพืชจะมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง หากความชื้น

ลดลงจนถึงความชื้นสมดุล เมื่อเมล็ดพืชแห้งดีแล้วโดยมักจะให้อากาศแวดล้อมผ่านเข้าชั้นเมล็ดพืช เพื่อให้อุณหภูมิลดลง หากเก็บเมล็ดพืชทั้งที่ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่อาจเกิดปัญหาการไหลเวียนของอากาศโดยธรรมชาติอันเนื่องจากความแตกต่างอุณหภูมิ ซึ่งมีผลให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศทำให้เมล็ดพืชในบริเวณที่มีการควบแน่นมีความชื้นสูงขึ้น โดยมากมักจะเป็นที่ชั้นบน ๆ และจะเป็นจุดเริ่มต้นของการแพร่เชื้อราและแมลงต่อไป

เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชอาจแบ่งออกได้เป็นสองชนิด คือ เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่ (Fixed-bed dryer) และเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหล (Moving-bed dryer) แต่ละชนิดยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก ข้อดีข้อเสียก็แตกต่างกันไปในแต่ละแบบดังจะได้กล่าวต่อไป ภาพรวมของเครื่องอบแห้งเมล็ดพืชแบบต่าง ๆ รูปแบบหลักการทำงานโดยสังเขป พร้อมทั้งกระบวนการหลังการอบแห้งต่าง ๆ ที่นิยมใช้กัน ดังแสดงในภาพที่ 2-3



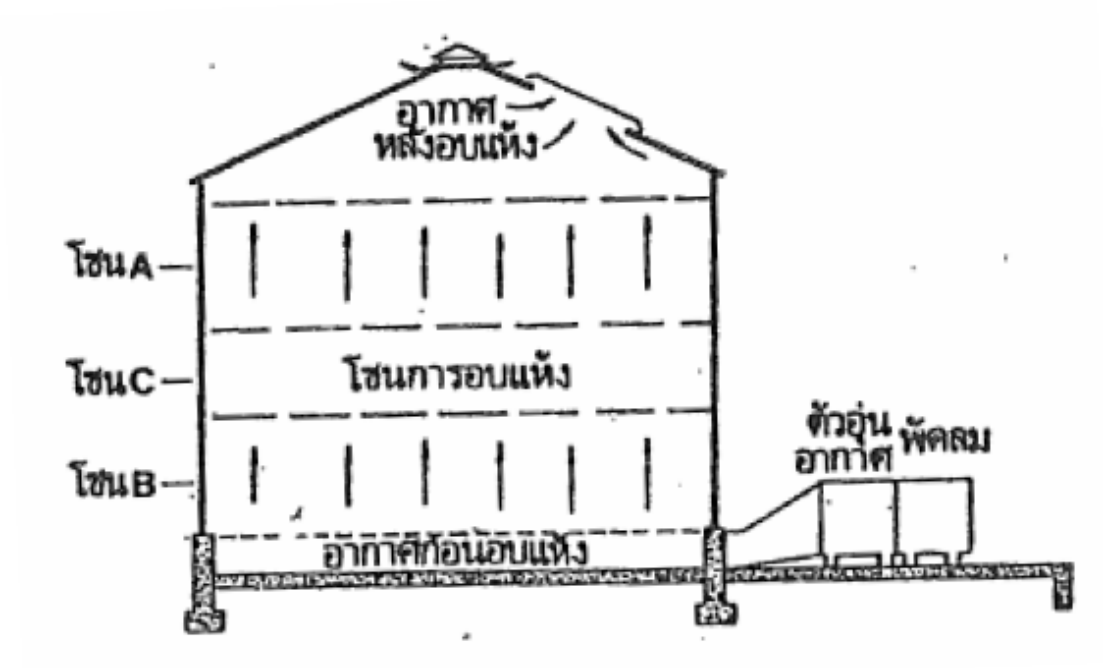
ภาพที่ 2-3 เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชแบบต่าง ๆ

1. เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่

เครื่องอบแห้งแบบนี้อาจแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ แบบถังเก็บ (Full bin drying or in-store drying) แบบเป็นชั้น (Layer drying) และแบบเป็นงวด (Batch-in-guin drying)

ในเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่ใช้อัตราการไหลของอากาศค่อนข้างต่ำ อย่างเช่นในกรณีของการอบแห้งแบบถังเก็บจะสามารถแบ่งชั้นเมล็ดพืชออกเป็น 3 โซน (zone) ดังภาพที่ 2-4 คือ โซน A อยู่ชั้นบนสุด โซน B อยู่ชั้นล่างสุด และโซน C อยู่ระหว่างโซน A และโซน B จากภาพจะเห็นว่ากระแสอากาศไหลผ่านโซน B, C และ A ตามลำดับที่โซน A เมล็ดพืชและอากาศอยู่ใน

สภาวะสมดุลความร้อนและความชื้น เมล็ดพืชมีความชื้นเท่ากับความชื้นเริ่มต้น และอากาศอบแห้งมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่โซน B เมล็ดพืชมีความชื้นเท่ากับความชื้นสมดุลที่สภาวะอากาศตรงทางเข้าเครื่องอบแห้งที่โซน C เมล็ดพืชและอากาศไม่ได้อยู่ในสภาวะสมดุล มีการถ่ายเทความร้อนและความชื้นซึ่งกันและกันเมื่อเวลาอบแห้งเพิ่มขึ้นความหนาของโซน B จะมากขึ้น และความหนาของโซน A จะลดลง เมื่อสิ้นสุดการอบแห้งโซน C จะหายไปและจะเหลือเพียงโซน B เท่านั้น



ภาพที่ 2-4 การเคลื่อนที่ของโซนการอบแห้ง

2. อบแห้งแบบถังเก็บ

เมล็ดพืชหลังเก็บเกี่ยวจะถูกขนย้ายมาไว้ในถังเก็บซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องอบแห้งด้วย ความสูงของชั้นเมล็ดพืชในเครื่องอบแห้งแบบนี้จะมากกว่าในเครื่องอบแห้งชนิดอื่นโดยอาจสูงถึง 6 เมตร อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศที่ใช้อาจเป็นอากาศแวดล้อม อัตราการไหลของอากาศที่ใช้กันระหว่าง 0.5-50 m^3/ min- m^3 เมล็ดพืช การอบแห้งจะดำเนินไปอย่างช้า ๆ โดยอาจกินเวลาสัปดาห์ เนื่องจากระยะเวลาในการอบแห้งยาวนานการเจริญเติบโตของเชื้อราและการสูญเสียมวลแห้งของเมล็ดพืชอาจมีมากเกินไป เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ ความชื้นเริ่มต้นไม่ควรสูงเกินไปในประเทศเขตร้อนชื้นแนะนำว่าความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกที่อบแบบถังเก็บภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นไม่ควรสูงกว่า 20% อากาศที่ใช้อบแห้งอาจถูกทำให้ร้อนขึ้นถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงเกินไป โดยทั่วไปมักจะใช้ตัวควบคุมความชื้น (Humidistat) เป็นตัวควบคุม

การทำงานของตัวอุ่นอากาศ คือ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงตัวควบคุมจะสั่งให้ตัวอุ่นอากาศร้อนทำงาน สำหรับการอบแห้งข้าวโพดอาจตั้งตัวควบคุมที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 55% เพื่อระบบอบแห้งมีความง่ายหรืออาจไม่ใช้ตัวอบควบคุมความชื้นก็ได้ แต่ใช้ตัวทำอากาศร้อนที่สามารถเพิ่มอุณหภูมิของอากาศได้ประมาณ 3-6 องศาเซลเซียส วิธีนี้มีข้อเสีย คือ อากาศอาจแห้งเกินไปและเป็นผลให้เมล็ดพืชแห้งเกินกว่าที่ต้องการ ในกรณีที่ใช้อากาศร้อนในการอบแห้ง จะต้องทำให้เมล็ดพืชเย็นลงหลังจากที่เมล็ดพืชแห้งแล้วโดยการเป่าอากาศแวดล้อม มิฉะนั้นอาจเกิดปัญหาการถ่ายเทความชื้นในถังเก็บอันเนื่องมาจากการไหลเวียนของอากาศ ซึ่งเกิดขึ้นจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกองเมล็ดพืช เป็นผลให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศในบริเวณที่เมล็ดพืชมีอุณหภูมิต่ำเมล็ดพืชในบริเวณนี้จะมีความชื้นสูงขึ้น จนเกิดการลุกลามของเชื้อราและการระบาดของแมลงในที่สุด

เกรเดียนท์ความชื้นในชั้นเมล็ดพืชจะลดลงได้ถ้าใช้ตัวกวนหรือตัวหมุนเวียนเมล็ดพืช ตัวกวนทำงานโดยอาศัยเกลียวลำเลียงในแนวดิ่ง โดยที่เกลียวลำเลียงนี้จะพาเอาเมล็ดพืชที่อยู่ด้านล่างขึ้นด้านบนและเมล็ดพืชจากชั้นบนจะเคลื่อนลงล่าง เมล็ดพืชจะเกิดการผสมกันเป็นบางส่วนในขณะที่เคลื่อนที่ ส่วนตัวหมุนเวียนเมล็ดพืชนั้นทำงานโดยอาศัยเกลียวลำเลียงซึ่งวางอยู่ในแนวราบโดยอยู่เหนือพื้นเครื่องอบแห้งเล็กน้อย เกลียวลำเลียงในแนวราบนี้จะกวาดเมล็ดพืชจากรอบนอกเข้าสู่จุดศูนย์กลางของถังอบแห้ง แล้วเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนโดยเกลียวลำเลียงในแนวดิ่งอีกตัวหนึ่ง

ปัญหาการใช้เครื่องอบแห้งนี้และเครื่องอบแห้งแบบอื่น ๆ ด้วยก็ คือ การตรวจสอบความชื้นเมล็ดพืชว่าเมล็ดพืชได้ลดลงถึงจุดที่ต้องการแล้วหรือยัง สำหรับเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่มักจะตรวจสอบโดยใช้วิธีสุ่มตัวอย่างและนำมาตรวจสอบด้วยเครื่องวัดความชื้นซึ่งสะดวกและรวดเร็ว เครื่องมือและตัวควบคุมชื้นสัมพัทธ์อากาศควรได้รับการตรวจสอบเป็นครั้งคราว

เครื่องอบแบบถังเก็บมีข้อดีหลายข้อ ซึ่งพอสรุปได้ ดังนี้

1. จะเก็บเกี่ยวเมล็ดพืชด้วยอัตราใดก็ได้
2. การจัดการง่าย
3. ขั้นตอนการขนย้ายเมล็ดพืชมีน้อย ทำให้ประหยัดและลดการแตกร้าวของเมล็ดพืช
4. ใช้ความร้อนสัมผัสในอากาศที่ใช้อบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5. เมล็ดพืชหลังอบไม่แห้งเกินไป
6. การใช้อุณหภูมิต่ำทำให้เกิดการร้าวของเมล็ดพืชน้อย
7. ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย

แม้ว่าเครื่องอบแบบแห้งถังเก็บจะมีข้อดีมาก แต่ก็มีข้อเสียอยู่บ้างกล่าว คือ

1. ไม่สามารถเก็บเกี่ยวเมื่อเมล็ดพืชมีความชื้นสูงมาก

2. ระยะเวลาการอบแห้งยาวนานทำให้ต้องเสียเวลาในการจัดการมาก

โดยสรุปแล้ววิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันในระดับเกษตรกรและ/ หรือระดับสหกรณ์ในประเทศเขตอบอุ่นเพราะการเก็บเกี่ยวข้าวโพด ข้าวฟ่างหรือข้าวเปลือกจะตรงกับฤดูใบไม้ร่วงซึ่งมีอากาศเย็นทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อราเป็นไปอย่างช้าสำหรับประเทศในเขตร้อนอย่างประเทศไทยอากาศจะร้อนอยู่เกือบตลอดปี ดังนั้น จึงต้องร่นระยะเวลาในการอบแห้งให้สั้นลงโดยการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ

3. อบแห้งแบบเป็นชั้น

การอบแห้งแบบเป็นชั้นคล้ายกับการอบแห้งแบบถังเก็บต่างกันตรงที่ว่าปริมาณการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งจะไม่มากนัก เมล็ดพืชที่เก็บเกี่ยวในแต่ละวันจะถูกนำไปไว้ในถังเก็บซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องอบแห้งด้วย การอบแห้งจะเริ่มทันทีเมื่อเมล็ดพืชชื้นงวดแรกมาถึงในวันต่อ ๆ มาเมล็ดพืชจะถูกขนย้ายมาไว้ในถังเก็บอีก ในขณะที่เมล็ดพืชงวดก่อนหน้านั้นแห้งดีแล้วจะเห็นได้ว่า การอบแห้งจะดำเนินไปเป็นชั้น ๆ

เมล็ดพืชที่เก็บเกี่ยวก่อนจะมีความชื้นสูงในขณะที่ความหนารวมของชั้นเมล็ดพืชจะยังน้อยอยู่ ดังนั้น อัตราการไหลของอากาศจะสูงเมล็ดพืชที่เก็บเกี่ยวครั้งหลังโดยปกติจะมีความชื้นต่ำลงกว่าเมื่อเก็บเกี่ยวครั้งแรก ในขณะเดียวกันความหนารวมของชั้นเมล็ดพืชจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลให้อัตราการไหลของอากาศลดลง

การอบแห้งด้วยวิธีนี้ทำให้สามารถเก็บเกี่ยวเมล็ดพืชที่มีความชื้นสูงได้ แต่จะต้องมีการจัดการที่ดีพอโดยเฉพาะการเก็บเกี่ยว ถ้าเก็บเกี่ยวในแต่ละครั้งมากเกินไปจะทำให้การอบแห้งสำหรับชั้นนั้นใช้เวลานานและเมล็ดพืชอาจเสียหายได้ วิธีการอบแห้งแบบเป็นชั้นนี้น่าจะนำมาใช้กับประเทศในเขตร้อนชื้นได้

4. อบแห้งแบบเป็นงวด

เมล็ดพืชจะถูกอบในเครื่องอบแห้งแล้วทำให้เย็นลงก่อนนำไปเก็บไว้ในถังเก็บอากาศที่ใช้อบแห้งมีอุณหภูมิสูงกว่าเครื่องอบแห้งสองชนิดแรกที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ ประมาณ 49-71°C อัตราการไหลของอากาศก็สูงกว่ามาก คือ ประมาณ 6-11 m^3/ min- m^3 เมล็ดพืชและความหนาของชั้นเมล็ดพืชน้อยกว่า คือ ประมาณ 1 เมตร หรืออาจน้อยกว่าการอบแห้งจะเป็นไปอย่างรวดเร็วโดยอาจแล้วเสร็จภายใน 12-24 ชั่วโมง

การควบคุมอุณหภูมิของอากาศร้อนโดยมากมักนิยมใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Thermostat) เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง การเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์อากาศมีน้อย ทำให้ใช้ตัวควบคุมความชื้นไม่ได้ผล ตัวควบคุมอุณหภูมิควรได้รับการตรวจสอบเป็นครั้งคราว

ปัญหาของระบบนี้ คือ การเกิดเกรเดียนท์ความชื้น (Moisture gradient) ในชั้นเมล็ดพืช อันเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง โดยที่เมล็ดพืชที่บริเวณทางเข้าของอากาศจะแห้งเกินไปและเมล็ดพืชที่ตรงทางออกอาจมีความชื้นเท่ากับความชื้นเท่ากับความชื้นเริ่มต้น ในขณะที่ความชื้นเฉลี่ยได้ตามที่ต้องการแล้ว ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้เป็นบางส่วนโดยขณะที่เมล็ดพืชไหลออกจากเครื่องอบแห้งเพื่อนำไปเก็บรักษาจะเกิดการผสมกันระหว่างเมล็ดพืชแห้งและชื้นซึ่งต้องใช้เวลาหลายวันสำหรับการแพร่ความชื้นระหว่างเมล็ดนอกจากนี้การเป่าอากาศเพื่อทำให้เมล็ดพืชเย็นลงหลังการอบแห้งแล้วเสร็จสามารถช่วยลดเกรเดียนท์ความชื้นเล็กน้อยและทำให้ความชื้นเฉลี่ยลดลงเล็กน้อยด้วย การเป่าลมเย็นอาจใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง การทำให้เกรเดียนท์ความชื้นในชั้นเมล็ดพืชลดลงอาจทำได้โดยการใช้ตัวกวนหรือตัวหมุนเวียนเมล็ดพืชหรือโดยการควบคุมความหนาของชั้นเมล็ดพืชที่อบแห้งความหนานี้อาจอยู่ระหว่าง 0.30-0.45 เมตร

ปัญหาที่สำคัญอีกข้อหนึ่งสำหรับระบบอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่ก็ คือ การกระจายของกระแสอากาศ ระดับของเมล็ดพืชควรที่จะเท่ากันตลอดเพื่อให้การไหลของอากาศเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การใช้เกลียวลำเลียงในแนวราบ ซึ่งอยู่เหนือพื้นเครื่องอบแห้งเล็กน้อยเพื่อใช้กวาดเมล็ดพืชเข้าสู่จุดศูนย์กลางของเครื่องอบแห้ง อาจทำให้เศษผงและสิ่งสกปรกมารวมกันอยู่ที่จุดศูนย์กลางของเครื่องอบแห้งทำให้บริเวณนี้ได้รับกระแสอากาศน้อยกว่าบริเวณที่อยู่รอบนอกเศษผงและสิ่งสกปรกเหล่านี้ควรได้รับการกำจัดเป็นครั้งคราว

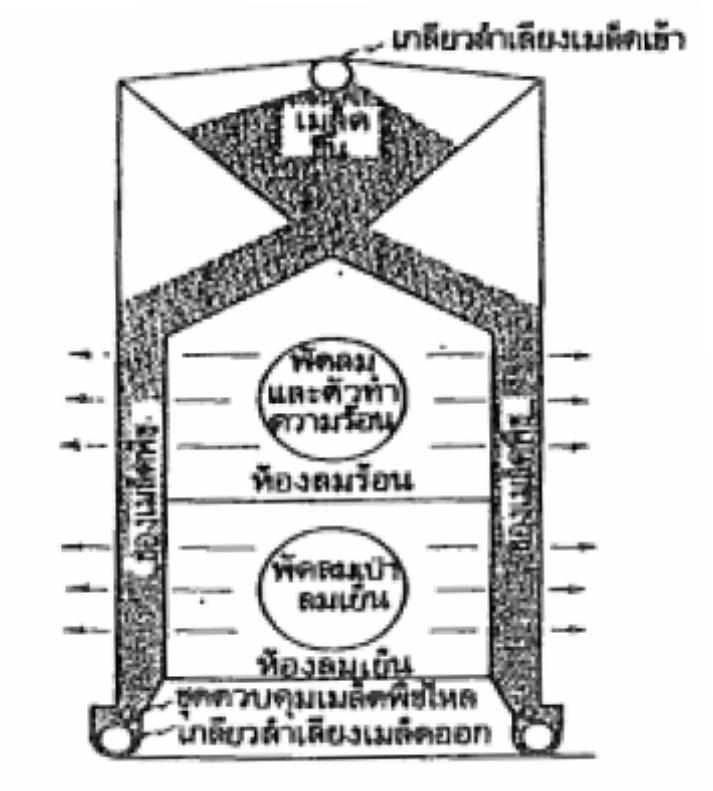
5. เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหล

เครื่องอบแห้งแบบนี้ต่างกับเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กันที่ตรงที่เมล็ดพืชมีการไหลในขณะทำการอบแห้งโดยทั่วไปเมล็ดพืชจะไหลลงสู่ที่ต่ำโดยแรงโน้มถ่วง อัตราการไหลของเมล็ดพืชขึ้นอยู่กับตัวควบคุมการไหลซึ่งอาจใช้คนปรับโดยดูจากความชื้นของเมล็ดพืชเป็นช่วง ๆ หรืออาจควบคุมโดยอัตโนมัติโดยใช้เทอร์โมสแตทเป็นตัวควบคุมการทำงานของตัวควบคุมการไหลเมล็ดพืชที่แห้งแล้วจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำมีน้อยหรืออาจใช้เครื่องวัดความชื้นซึ่งอาจวัดได้ถูกต้องดี แต่ราคาจะแพงกว่ามากเครื่องอบแห้งชนิดนี้สามารถแบ่งย่อยได้อีก 3 แบบ คือ แบบไหลขวาง (Conurrent flow dryer) และแบบไหลสวนทาง (Counter flow dryer) เครื่องอบแห้งทั้งสามแบบนี้เหมาะกับงานในระดับกลางและใหญ่ เพราะใช้อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศสูงทำให้การอบแห้งเป็นไปอย่างรวดเร็ว

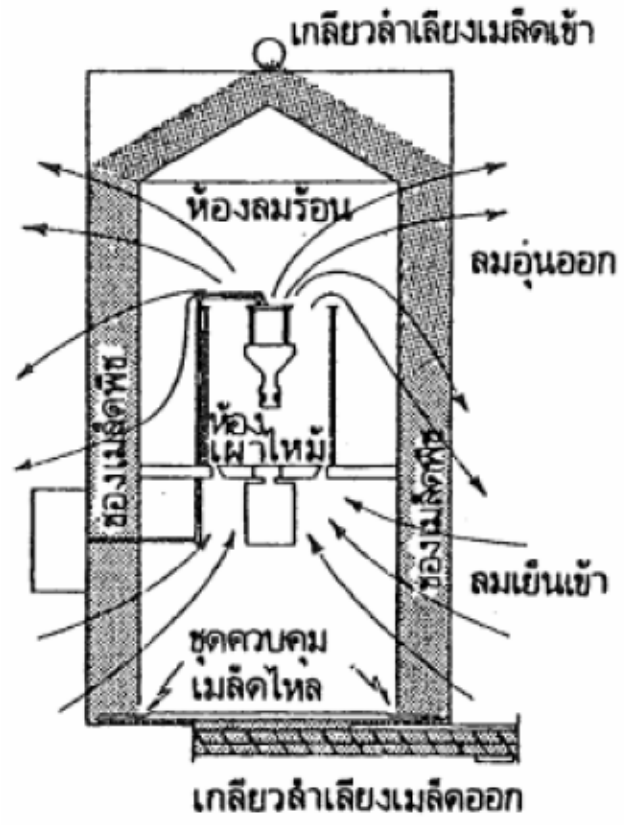
5.1 เครื่องอบแห้งแบบไหลขวาง

ในเครื่องอบแห้งแบบไหลขวาง อากาศที่ใช้อบแห้งจะไหลตัดผ่านทิศทางการไหลของเมล็ดพืชดังภาพที่ 2-5 และภาพที่ 2-6 ที่ทางด้านบนของเครื่องอบแห้งจะมีที่เก็บเมล็ดพืช เมล็ดพืชจะไหลลงด้านล่างผ่านช่องแคบซึ่งกว้างประมาณ 0.30-0.45 เมตร และไหลออกทางด้านล่างของเครื่องอบแห้งด้วยตัวควบคุมการไหล ช่องแคบที่เมล็ดพืชไหลลงนี้แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนบนเป็นส่วนอบแห้งและส่วนล่างเป็นส่วนที่ทำให้เมล็ดพืชเย็นลงหลังอบแห้งเสร็จ การไหลของเมล็ดพืชและอากาศจะมีทิศทางตั้งฉากกัน อัตราการไหลของอากาศแปรรูประหว่าง 38-76 m^3/ min- m^3 เมล็ดพืชอัตราการไหลของเมล็ดพืชขึ้นอยู่กับตัวควบคุมการไหล ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ส่วนล่างของเครื่องอบแห้งปัญหาของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ก็เช่นเดียวกับเครื่องอบแห้งแบบเป็นงวด คือ การเกิดเกรเดียนท์ความชื้นในชั้นเมล็ดพืช เมล็ดพืชชื้นและแห้งจะผสมกันเป็นบางส่วนตรงทางออกของเครื่องอบแห้งทำให้ลดปัญหาลงได้เป็นบางส่วน ปัญหาที่มักจะเกิดขึ้นเสมอ คือ การอุดตันที่ช่องทางออกของเครื่องอบแห้ง ดังนั้น จึงต้องตรวจสอบตัวควบคุมการไหลอย่างสม่ำเสมอ

ความแตกต่างของเครื่องอบแห้งแบบไหลขวาง 2 ชนิด ตามภาพที่ 2-5 และภาพที่ 2-6 อยู่ที่ช่วงทำให้เมล็ดพืชเย็นลงหลังอบแห้ง ทิศทางการไหลของอากาศจะตรงกันข้ามเครื่องอบแห้งที่มีทิศทางการไหลของอากาศเย็นจากด้านนอกเครื่องอบแห้งผ่านเมล็ดพืชและเข้าไปด้านในของเครื่องอบแห้งจะมีข้อดีตรงที่ว่าอากาศที่ใช้ทำให้เมล็ดพืชเย็นลงจะร้อนขึ้น และจะร้อนขึ้นอีกโดยตัวอุ่นอากาศก่อนที่จะนำไปใช้ในการอบแห้งต่อไป ซึ่งจะสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ส่วนหนึ่ง ข้อดีอีกอย่างหนึ่ง คือ อากาศส่วนที่เย็นที่สุดจะสัมผัสกับเมล็ดพืชส่วนที่เย็นที่สุด และอากาศส่วนที่ร้อนที่สุดจะสัมผัสกับเมล็ดพืชที่ร้อนที่สุดเช่นกัน การแตกร้าวของเมล็ดพืชอันเนื่องมาจากความแค้นภายในเมล็ดพืชน่าจะลดลงและทำให้ความเสียหายในรูปของเมล็ดแตกหักอันเนื่องมาจากการขนถ่ายเมล็ดพืชมีน้อยลงด้วย อย่างไรก็ตามระบบนี้มีข้อเสียตรงที่ว่าเศษผงและสิ่งสกปรกมีโอกาสสะสมในห้องเผาไหม้ได้มากกว่า ดังนั้น จึงต้องทำความสะอาดบ่อยขึ้น



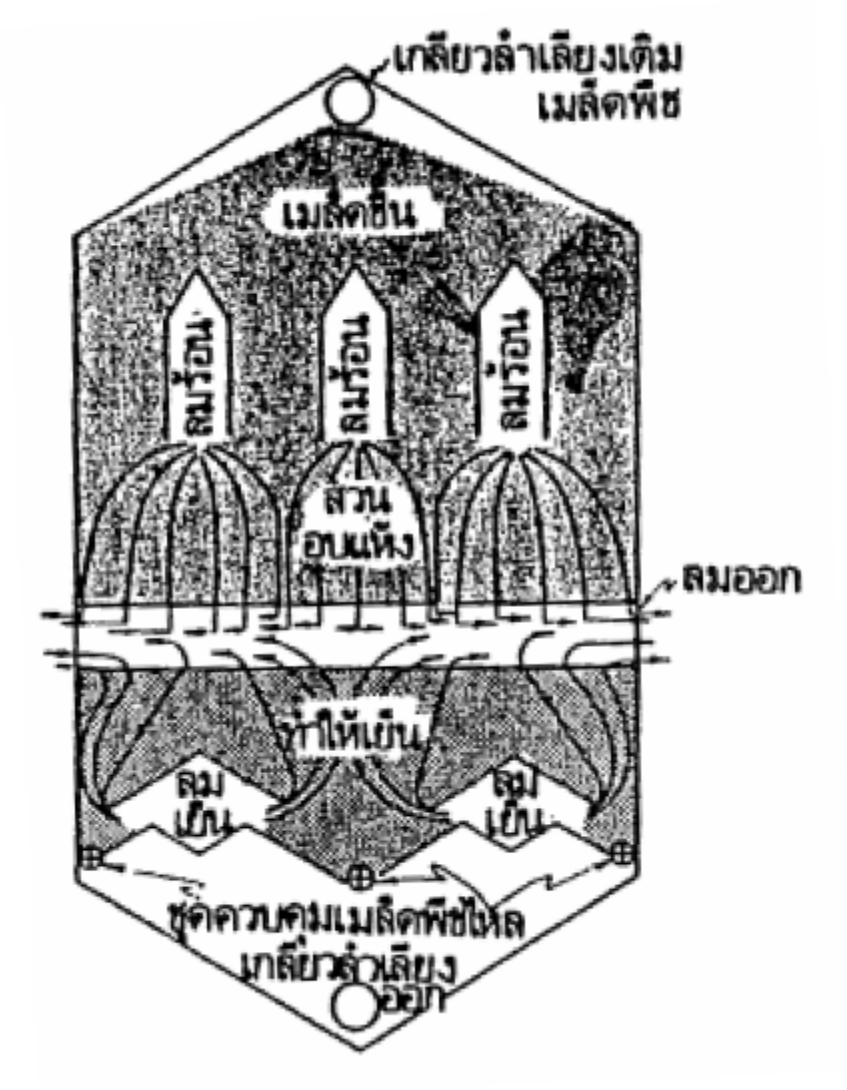
ภาพที่ 2-5 เครื่องอบแห้งแบบไหลขวาง



ภาพที่ 2-6 เครื่องอบแห้งแบบไหลขวางโดยนำเอาอากาศที่ใช้ระบายความร้อนจากเมล็ดพืช
กลับมาใช้ใหม่

5.2 เครื่องอบแห้งแบบไหลตาม

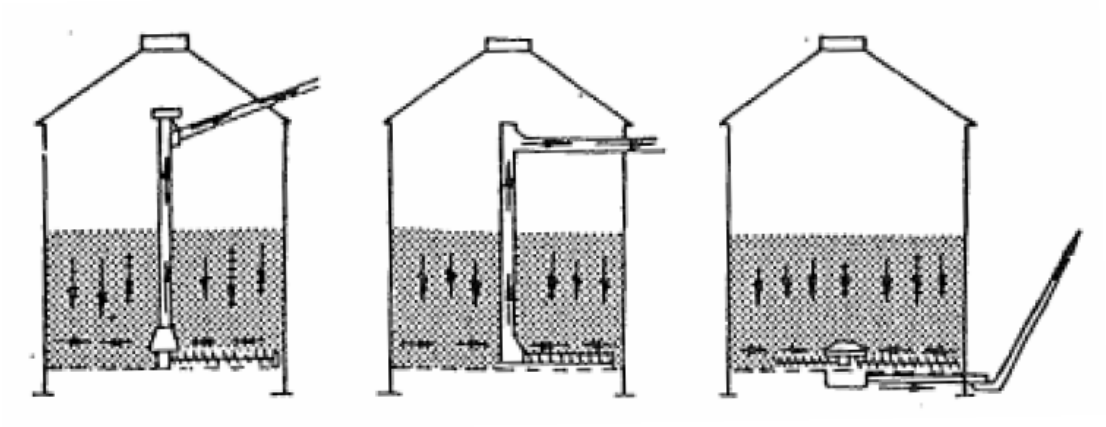
ในเครื่องอบแห้งแบบไหลตามการไหลของเมล็ดพืชและของอากาศอบแห้งจะขนานกันและมีทิศทางเดียวกัน เมล็ดพืชส่วนที่ชื้นที่สุดจะสัมผัสกับอากาศส่วนที่ร้อนที่สุด เมื่อเมล็ดพืชไหลต่ำลงมา อากาศอบแห้งจะเริ่มเย็นลงและเมล็ดพืชจะมีความชื้นลดลงเมล็ดพืชที่แห้งแล้วจะไม่สัมผัสกับอากาศที่ร้อนจัดเลย ดังนั้น จึงสามารถใช้อากาศอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมากได้ (อาจสูงถึง 150-250°C) ทำให้สามารถอบแห้งได้เร็ว ข้อดีอีกอย่างหนึ่ง คือ การแตกร้าวของเมล็ดพืชจะมีน้อย เพราะเมล็ดพืชส่วนที่แห้งที่สุดจะสัมผัสกับอากาศอบแห้งที่เย็นที่สุด เมล็ดพืชที่แห้งแล้วจะไหลออกสู่ด้านล่างด้วยตัวควบคุมการไหลซึ่งถูกควบคุมโดยตัวควบคุมอุณหภูมิหรือความชื้นของเมล็ดพืช เมล็ดพืชจะถูกทำให้เย็นลงก่อนที่จะไหลออกจากเครื่องอบแห้ง ความหนาของชั้นอบแห้งของเครื่องอบแบบนี้ควรหนากว่า 1 เมตร ทั้งนี้เพื่อให้การอบแห้งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังภาพที่ 2-7 เครื่องอบแห้งแบบไหลตามแบบหนึ่ง



ภาพที่ 2-7 เครื่องอบแห้งแบบไหลตาม

5.3 เครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทาง

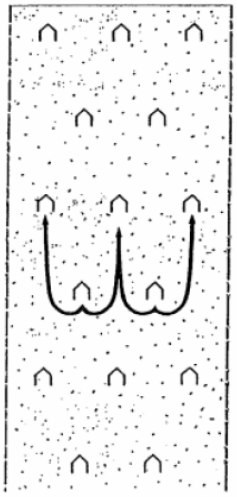
ในเครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทาง การไหลของเมล็ดพืชและของอากาศอบแห้งขนานกันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม เมล็ดพืชจะไหลลงด้านล่างและอากาศอบแห้งจะไหลขึ้นด้านบน เมล็ดพืชส่วนที่อยู่ล่างสุดจะแห้งที่สุด แต่จะไม่แห้งเกินไปเพราะจะถูกขนย้ายออกจากเครื่องอบแห้งก่อนที่จะแห้งเกินกว่าที่ต้องการอัตราการขนย้ายเมล็ดพืชถูกควบคุมโดยตัวควบคุมอุณหภูมิหรือความชื้นเมล็ดพืช ซึ่งติดตั้งอยู่เหนือพื้นเครื่องอบแห้ง เมล็ดพืชที่ขนย้ายออกไปแล้วจะถูกทำให้เย็นลงในภายหลัง ดังภาพที่ 2-8 เครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทาง



ภาพที่ 2-8 เครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทาง

เครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทางมีข้อดี คือ การใช้ความร้อนสัมผัสในอากาศอบแห้งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเมล็ดพืชที่อยู่ชั้นล่างไม่แห้งเกินไปและอากาศอบแห้งตรงทางออกจะสัมผัสกับเมล็ดพืชส่วนที่ชื้นที่สุด ทำให้อุณหภูมิของอากาศอบแห้งตรงทางออกต่ำ ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น คือ การควบแน่นของน้ำที่ใกล้ทางออกของเครื่องอบแห้ง ซึ่งเป็นผลมาจากการที่อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำสัมผัสกับเมล็ดพืชที่อยู่ด้านบน ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าปัญหานี้อาจหลีกเลี่ยงได้โดยการเลือกอัตราการไหลของอากาศอบแห้งให้เหมาะสมกับความหนาของชั้นเมล็ดพืช แม้ว่าเครื่องอบแห้งแบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูงแต่ก็ต้องการอุปกรณ์ขนย้ายเมล็ดพืชออกจากเครื่องอบแห้งซึ่งค่อนข้างยุ่งยากและมีราคาแพง

นอกจากการแบ่งเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหลตามลักษณะการไหลของเมล็ดพืชและกระแสอากาศแล้วอาจแบ่งตามลักษณะการผสมกันของเมล็ดพืชชื้นและเมล็ดพืชแห้งในขณะที่ไหล ดังภาพที่ 2-9 ภาพตัดของเครื่องอบแห้งที่มีการผสมกันของเมล็ดพืชโดยทั่วไปมักเรียกกันว่าเครื่องอบแห้งแบบ LSU ซึ่งเป็นชื่อย่อของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งซึ่งเป็นผู้คิดค้นการผสมกันของเมล็ดพืชจะเกิดขึ้นในขณะที่ไหลผ่านท่ออากาศร้อนหรือเย็นทำให้ปัญหาเรื่องเกรเดียนท์ความชื้นในชั้นเมล็ดพืชลดลงอย่างมาก



ภาพที่ 2-9 ภาพตัดของเครื่องอบแห้งแบบที่มีการผสมกันของเมล็ดพืช

เนื่องจากความยุ่งยากที่เพิ่มขึ้นของเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหล ดังนั้น จึงควรมีหลักการจัดการซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. ควรมีการตรวจสอบความชื้นเมล็ดพืชหลังอบแห้งอย่างสม่ำเสมอว่าได้ตามที่ต้องการหรือไม่เพื่อที่จะได้ทราบว่าตัวควบคุมอุณหภูมิหรือความชื้นเมล็ดพืชทำงานตามปกติหรือไม่

2. อุณหภูมิอากาศตรงทางออกของเครื่องอบแห้งควรได้รับการตรวจสอบเป็นครั้งคราวเพื่อที่จะได้ทราบว่าการไหลของอากาศอบแห้งเป็นอย่างทั่วถึงหรือไม่

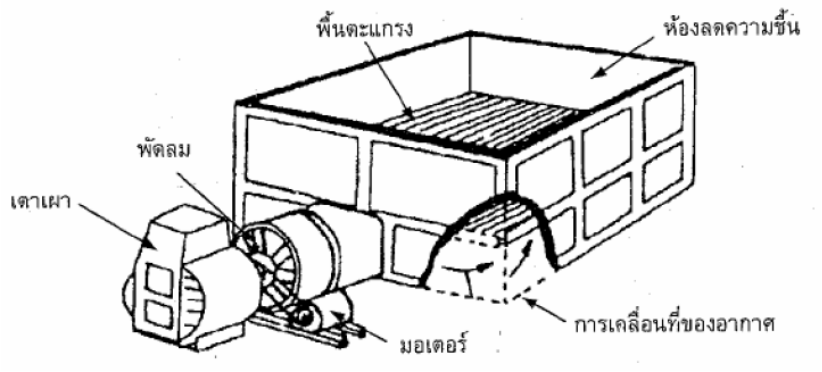
3. ควรทำความสะอาดห้องอุ่นอากาศร้อนอย่างสม่ำเสมอ

4. ควรตรวจสอบตัวควบคุมการไหลของเมล็ดพืชอย่างสม่ำเสมอ เพื่อดูว่ามีการอุดตันของสิ่งสกปรกหรือไม่

เครื่องลดความชื้นได้มีการพัฒนาขึ้นหลายรูปแบบ จนในปัจจุบันไม่เพียงพอแต่จะต้องมีสมรรถนะสูง แต่ยังต้องปรับปรุงคุณภาพคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งานลดค่าจ่ายและมลภาวะให้ต่ำลงโดยแบ่งชนิดตามรูปแบบของเครื่องได้เป็น

6. เครื่องลดความชื้นแบบกระบะ (Flat bed type)

เครื่องลดความชื้นแบบกระบะเป็นเครื่องลดความชื้นแบบดั้งเดิม มีโครงสร้างง่าย ๆ ประกอบด้วยห้องลดความชื้น (Drying chamber) ซึ่งบริเวณพื้นทำด้วยตะแกรงหรือแผ่นเหล็กเจาะรู (Perforated floor) เตาเผา (Burner) พัดลม (Blower) และเครื่องต้นกำลัง ดังภาพที่ 2-10

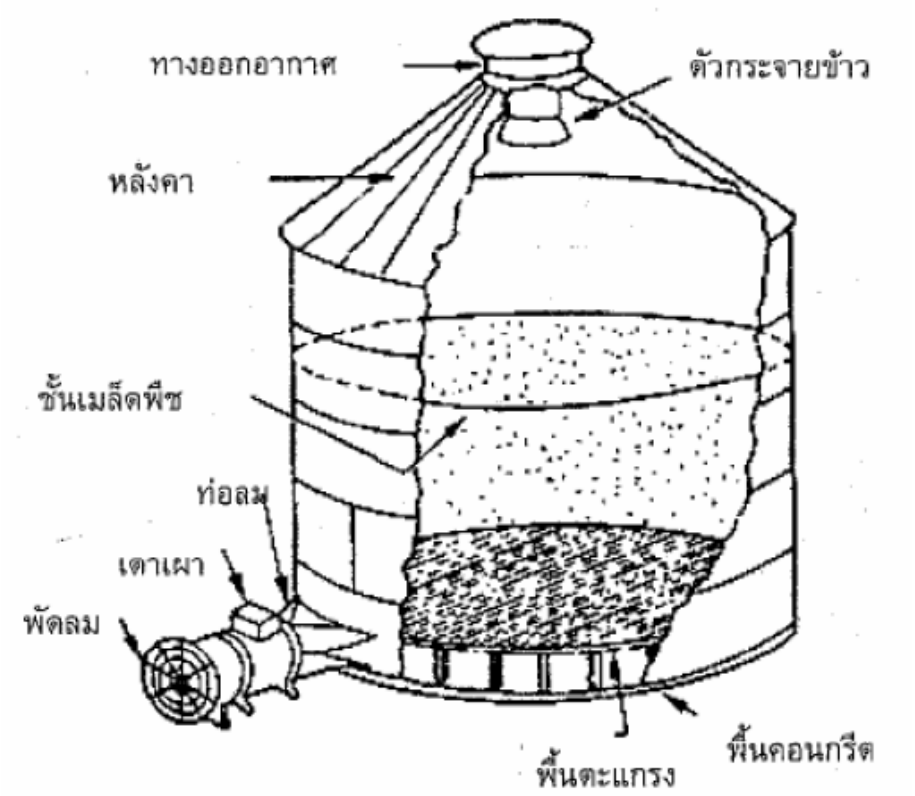


ภาพที่ 2-10 เครื่องลดความชื้นแบบกระบะ

ขณะลดความชื้นจะวางเมล็ดลงบนพื้นขนาดประมาณ 1-10 ตารางเมตร จำกัดความสูงของเมล็ดพืชได้ประมาณ 20-60 เซนติเมตร ปกติจะกองเมล็ดสูง 40 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับความชื้นในเมล็ดและอากาศที่เป่าขึ้นไปโดยมากใช้อากาศโดยรอบเป่าเข้าไป แต่ถ้าหากมีความชื้นในอากาศสูงจะทำให้อากาศร้อนขึ้นโดยเตาเผาอัตราการไหลของอากาศเป็น 0.05-0.1 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ข้อดีของเครื่องลดความชื้นแบบกระบะ คือ มีต้นทุนต่ำเนื่องจากมีโครงสร้างง่าย ๆ สามารถใช้ได้กับผลผลิตหลายชนิด เช่น ถั่วเหลือง กระเทียม อาหารสัตว์ เห็ด ฯลฯ ส่วนข้อเสีย ก็คือ ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศตายตัวและเมล็ดพืชไม่มีการเคลื่อนไหวทำให้ความชื้นของเมล็ดไม่สม่ำเสมอกัน และเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความชื้นไม่สม่ำเสมอ ความสูงของชั้นเมล็ดพืชจึงถูกจำกัด ดังนั้นในการอบจึงต้องการพื้นที่วางเมล็ดขนาดใหญ่ อีกทั้งการนำเมล็ดเข้า-ออกจากเครื่องจะต้องทำโดยใช้แรงงานคน และระหว่างการลดความชื้นต้องคอยคนเมล็ดเพื่อให้ความชื้นสม่ำเสมอ

7. เครื่องลดความชื้นแบบถังเก็บ (Storage dryer)

เครื่องลดความชื้นแบบถังเก็บนี้มีลักษณะเป็นถังกลม (Round bin) พื้นตะแกรงหรือเจาะรูให้อากาศผ่าน ลมจะถูกพัดลมเป่าผ่านเมล็ดพืชขึ้นมาและระบายออกที่ส่วนบนของถังเก็บความสูงของชั้นเมล็ดพืชประมาณ 4-5 เมตร อาจติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) อยู่หน้าพัดลมเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศก่อนผ่านเข้าไปยังเมล็ดพืช การเป่าลมที่อุณหภูมิปกติจะลดความชื้นได้ช้ากว่าการใช้ลมร้อน และเหมาะสมเฉพาะกับการลดความชื้นเมล็ดปริมาณน้อยที่มีความชื้นต่ำกว่า 25% เมล็ดจะไม่มีการเคลื่อนที่หรือหมุนวนระหว่างที่มีการลดความชื้น เครื่องลดความชื้นแบบนี้มีอัตราการลดความชื้นต่ำ ทำให้คุณภาพเมล็ดไม่เสียหายระหว่างการลดความชื้น ควรลดความชื้นอย่างต่อเนื่องจนเมล็ดแห้ง ใช้เก็บรักษาเมล็ดพืชที่ยังไม่แห้งดีเป็นการชั่วคราว หรือใช้เก็บรักษาเมล็ดที่แห้งแล้วก็ได้ ดังภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-11 เครื่องลดความชื้นแบบถังเก็บ

8. เครื่องลดความชื้นแบบถังหมุนเวียน (Circulating type dryer) การลดความชื้นผลผลิตอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องเป็นสาเหตุให้เกิดรอยร้าวในเมล็ด จึงมีกระบวนการลดความชื้นแล้วพักไว้สลับกันไป วิธีการนี้จะป้องกันรอยแตกในเมล็ดและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการให้ความร้อน นอกจากนี้ยังทำให้การลดความชื้นทำได้สม่ำเสมอเพราะเมล็ดพืชมีการหมุนเวียนให้ห้องลดความชื้นในขณะที่ตัวแปรอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิเมล็ดพืช อัตราการลดความชื้น และอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะถูกควบคุมระหว่างการลดความชื้น

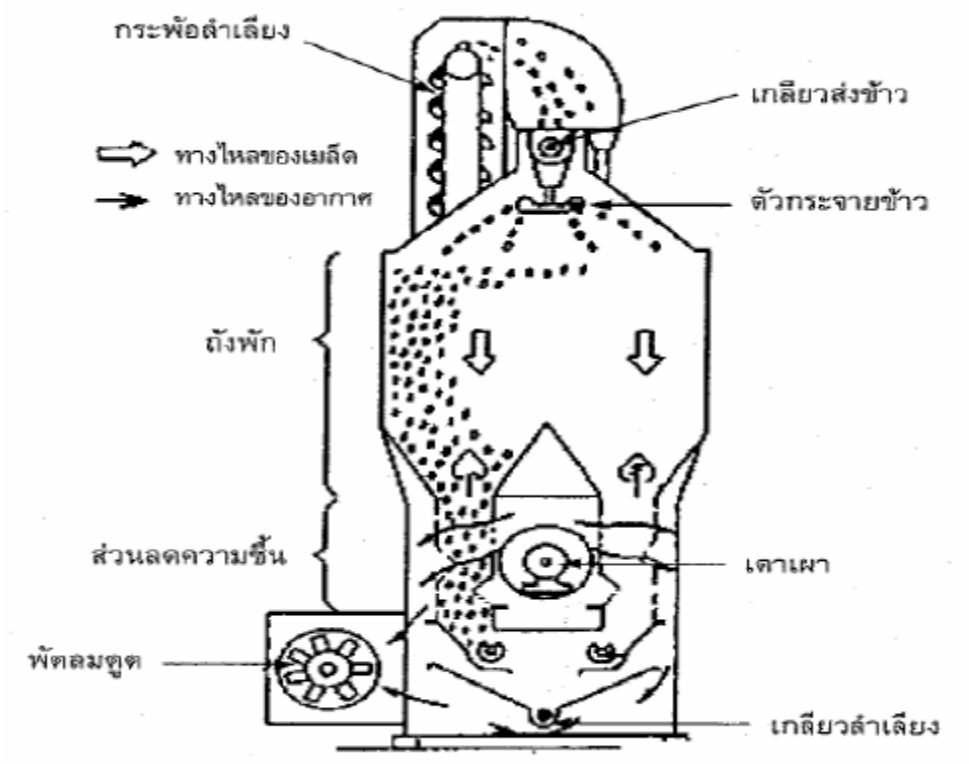
เครื่องลดความชื้นแบบหมุนเวียนจึงเป็นระบบการทำงานที่กำหนดให้เมล็ดพืชเกิดการไหลหมุนเวียนในห้องลดความชื้นซึ่งลักษณะดังกล่าวจะทำให้ความชื้นเมล็ดสม่ำเสมอดีกว่าเครื่องลดความชื้นแบบหมุนเวียน อาจจัดแบ่งตามขนาดของระบบทำงานได้ ดังนี้

8.1 เครื่องลดความชื้นแบบถังหมุนเวียนขนาดเล็ก (Small-size circulating dryer) ความจุของเครื่องประมาณ 200-7,000 กิโลกรัมเมล็ด ห้องลดความชื้นจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนลดความชื้นที่มีอากาศร้อนผ่าน (Drying section) และถังพักปรับอุณหภูมิ (Tempering tank)

ซึ่งไม่มีการผ่านอากาศเข้าไป ดังภาพที่ 2-12 การลดความชื้นโดยวิธีนี้จึงเป็นการลดความชื้นด้วยการให้ความร้อนสลับกับการหยุดพักปรับอุณหภูมิ (Tempering drying)

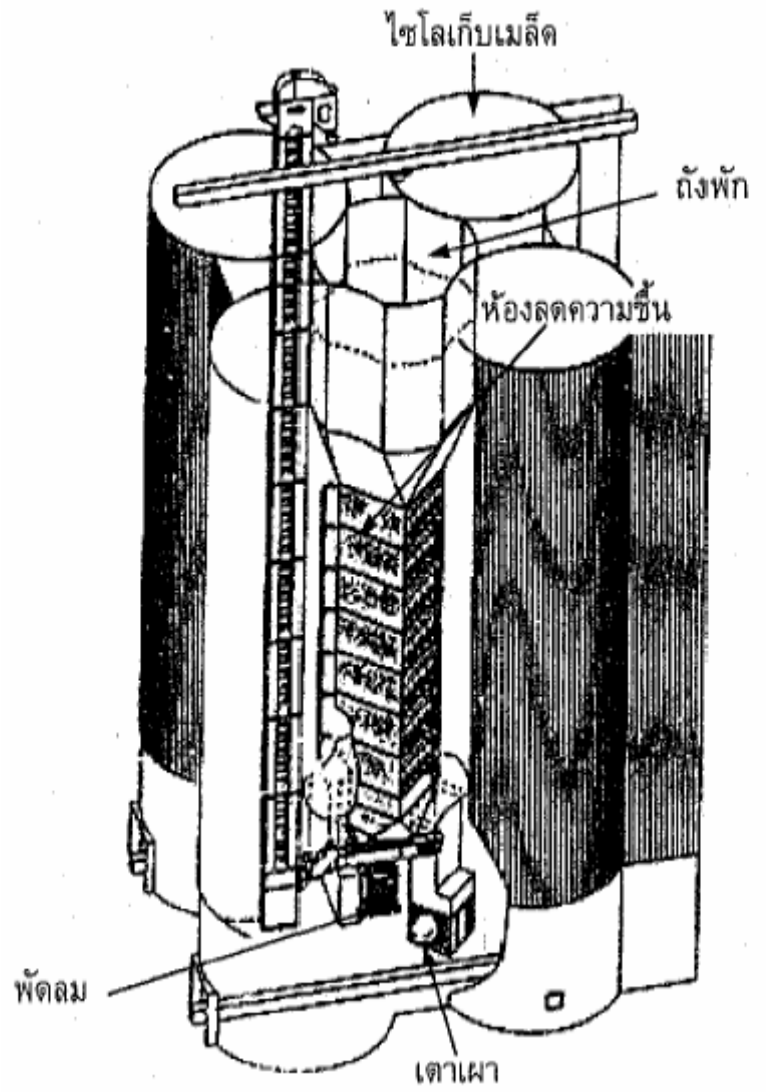
ดังนั้น เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนของเมล็ดพืชในการให้ความร้อนสลับหยุดพัก หลังจากเมล็ดพืชเคลื่อนผ่านส่วนลดความชื้น (Drying section) แล้ว เกลียวลำเลียงที่ติดตั้งอยู่บริเวณด้านล่างของส่วนลดความชื้นจะรวบรวมเมล็ดพืชที่ผ่านออกมาส่งไปยังกระพ้อลำเลียงเมล็ดขึ้นไปกระจายที่ส่วนบนของถังพักปรับอุณหภูมิ (Tempering tank) เมล็ดจึงหมุนวนอยู่ภายในเครื่องลดความชื้นจนกระทั่งความชื้นลดลงได้ระดับที่ต้องการ ช่วงระยะเวลาการลดความชื้นสลับกับช่วงพักจะขึ้นอยู่กับขนาดหน้าตัดและปริมาณเมล็ดพืช อัตราการไหลของอากาศปกติมีค่าเป็น 0.02-0.05 m^3/ sec ซึ่งข้าวเปลือก 100 กิโลกรัม จะได้อัตราการลดความชื้นเป็น 0.7-1.2% ต่อชั่วโมง เพื่อความปลอดภัยในการลดความชื้นอาจติดตั้งอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ เช่น เครื่องตรวจสอบกระแสไฟฟ้าเกิน เครื่องตรวจจับเปลวไฟ เครื่องตรวจจับความร้อน

ในการรักษาคุณภาพและความสามารถในการงอกของเมล็ดจะพบว่า ความชื้นยิ่งสูงยิ่งต้องใช้อุณหภูมิในการลดความชื้นต่ำ ในบางกรณีความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเมล็ดและอุณหภูมิการลดความชื้นที่เหมาะสมจะบันทึกในเครื่องคอมพิวเตอร์ในระหว่างการลดความชื้น อุณหภูมิการลดความชื้นจะตั้งไว้อัตโนมัติที่ค่าที่เหมาะสมโดยวัดความชื้นด้วยมาตรวัดอัตโนมัติ เครื่องลดความชื้นชนิดนี้สามารถลดความชื้นข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงได้เมื่อความชื้นเมล็ดต่ำ เวลาที่ใช้ลดความชื้นก็จะลดลงโดยไม่ทำให้เสื่อมคุณภาพ การกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมควรคำนึงถึงอัตราการงอกของเมล็ดด้วยในกรณีของข้าวมักพิจารณาทั้งอัตราการงอกควบคู่ไปกับรสชาติ



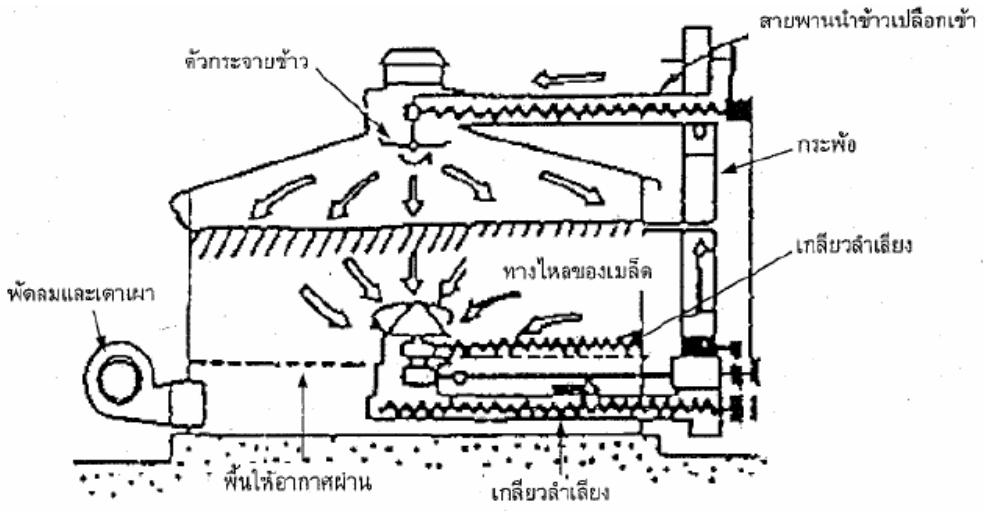
ภาพที่ 2-12 เครื่องลดความชื้นแบบหมุนเวียนขนาดเล็ก

8.2 เครื่องลดความชื้นแบบถังหมุนเวียนขนาดใหญ่ (Large-size circulating dryer) เครื่องขนาดใหญ่มักมีความจุมากกว่า 20 ตัน เครื่องลดความชื้นโดยทั่วไปที่มีความจุต่ำกว่า 20 ตัน จะติดตั้งภายในอาคาร แต่ขนาดใหญ่ถึง 40 ตัน มักติดตั้งกลางแจ้ง โครงสร้างของชนิดที่ติดตั้งภายในโดยพื้นฐานคล้ายคลึงกับแบบหมุนเวียนธรรมดาส่วนชนิดที่ติดตั้งกลางแจ้งต้องมีการตรวจวัดการแผ่ความร้อน การเกิดหยดน้ำ การกัดกร่อน ความดันลมและความต้องการดูแลด้านล่าง ๆ เพื่อพิจารณาด้วย ดังนั้น เครื่องลดความชื้นชนิดนี้จึงมีค่าใช้จ่ายสูง อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการประหยัดเนื้อที่มักติดตั้งอยู่ในช่องระหว่างไซโล ดังภาพที่ 2-13 วิธีการนี้มีประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายเมล็ดพืชด้วยโครงสร้างและการหมุนเวียนจะเหมือนกับแบบหมุนเวียนธรรมดาอัตราการไหลของอากาศเป็น 0.03 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อเมล็ดพืช 100 กิโลกรัม อุณหภูมิอากาศประมาณ 34-45 ºC อัตราการลดความชื้นเป็น 0.6% ต่อชั่วโมง ที่ความชื้นแรกเริ่มของข้าวเปลือกประมาณ 17% (การเปาะเปียก)



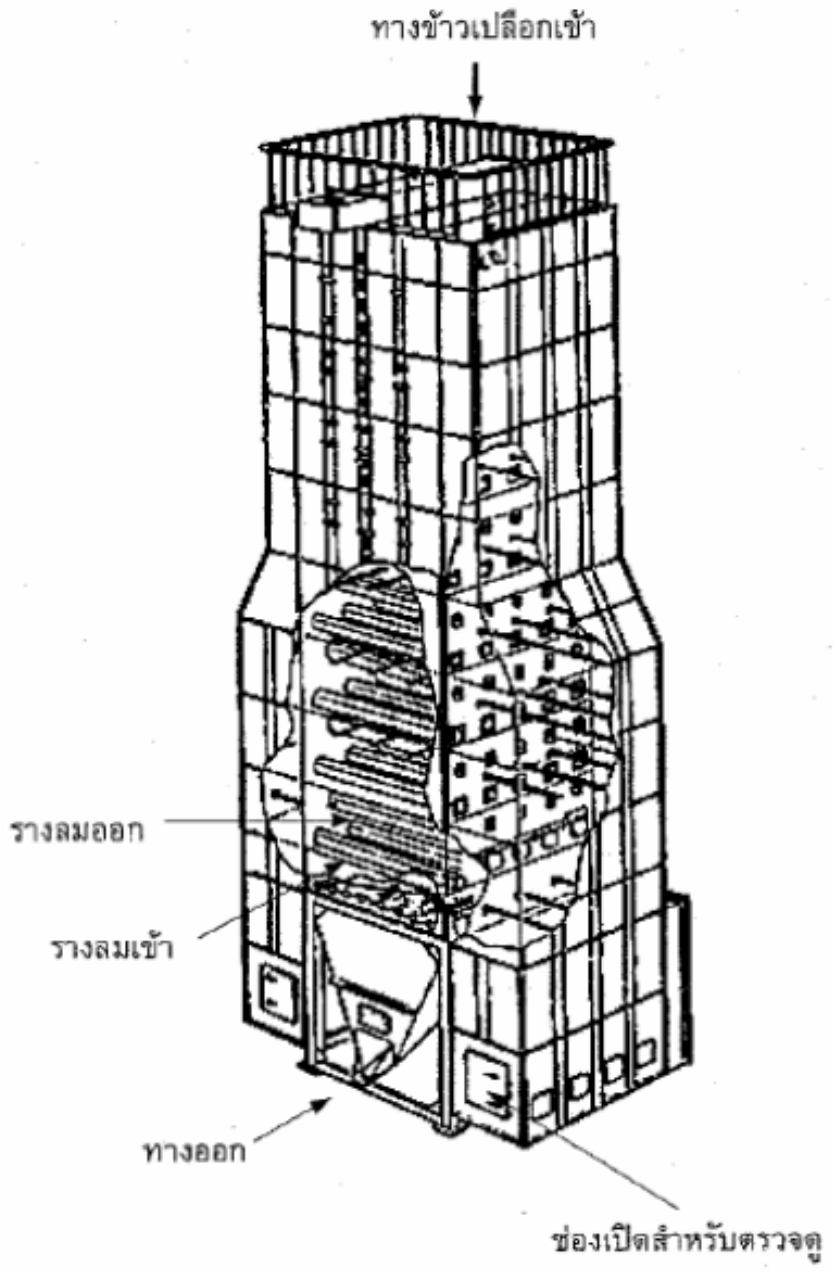
ภาพที่ 2-13 เครื่องลดความชื้นแบบหมุนเวียนขนาดใหญ่

ตัวอย่างเครื่องลดความชื้นแบบหมุนเวียนขนาดใหญ่อีกชนิดหนึ่ง คือ (Round bin type) ซึ่งโครงสร้างของเครื่อง ดังภาพที่ 2-14 เมล็ดพืชจะถูกส่งโดยเกลียวลำเลียง (Screw auger) และกลับไปยังส่วนบนของถังโดยสายพานส่ง (Screw conveyor) และกระพ้อ (Bucket elevator) อัตราไหลของอากาศประมาณ 0.02 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อข้าวเปลือก 100 กิโลกรัม และอัตราการลดความชื้นประมาณ 0.4-0.6% ต่อชั่วโมง



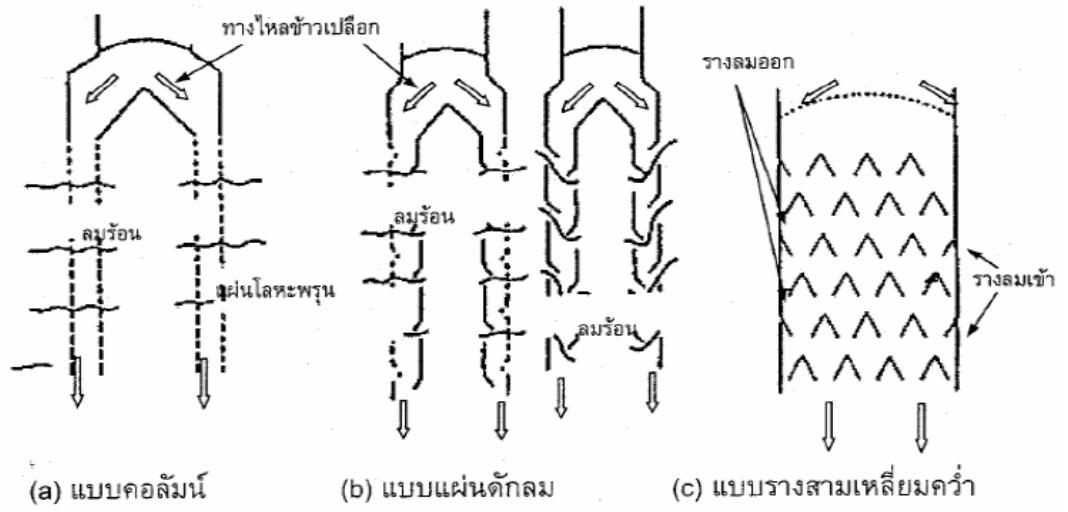
ภาพที่ 2-14 เครื่องลดความชื้นแบบถังหมุนเวียนถังกลม

9. เครื่องลดความชื้นแบบไหลต่อเนื่อง (Continuous flow dryer) เครื่องลดความชื้นแบบนี้มีถังพักอยู่แยกต่างหาก ลดความชื้นข้าวเปลือกได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้น จึงสามารถทำได้คราวละมาก ๆ ข้าวเปลือกจะไหลลงอย่างต่อเนื่องขณะที่เป่าลมร้อนเข้าไปโครงสร้าง ดังภาพที่ 2-15 ความจุของเครื่องประมาณ 2-20 ตันข้าวเปลือกมีวิธีการเป่าลมร้อน 3 วิธี คือ แบบคอลัมน์ (Columnar type) แบบแผ่นดักลม (Baffle type) และแบบรางสามเหลี่ยมคว่ำ (LSU หรือ Inverted trough type) ความหนาของชั้นเมล็ดในเครื่องลดความชื้นชนิดนี้ถูกจำกัดที่ 25-30 เซนติเมตร กันการเกิดความชื้นไม่สม่ำเสมอ อัตราการไหลของอากาศ 0.25-0.3 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อข้าวเปลือก 100 กิโลกรัม และอุณหภูมิเมล็ดจะรักษาให้ต่ำกว่า 40 ℃ โดยการให้อากาศร้อนมีอุณหภูมิระหว่าง 40-60 ℃ สามารถลดความชื้นได้ 3-5% ต่อการผ่านครั้งหนึ่ง ๆ อัตราการไหลของเมล็ดจะตั้งตามความจุและเวลาที่ผ่านเครื่อง มักใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันก๊าด บางครั้งก็ใช้เตาเผาแกลบ



ภาพที่ 2-15 เครื่องลดความชื้นแบบไหลต่อเนื่อง

ทิศทางการเป่าลมร้อนของทั้งสามแบบ ดังภาพที่ 2-16



ภาพที่ 2-16 การไหลของลมร้อน

การสีข้าว

ข้าวเปลือกจะถูกกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะ ซึ่งใช้ลักษณะของเปลือกที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวเป็นหลักในการออกแบบ เครื่องกะเทาะที่นิยมใช้ คือ แบบโม่หิน (Under runner disc) และแบบลูกยาง (Rubber rolls)

เครื่องกะเทาะแบบโม่หินจะกะเทาะเปลือกโดยใช้ลักษณะที่ปลายเมล็ดข้าวทั้งสองด้านมีช่องว่างระหว่างเมล็ดและเปลือก และลักษณะการขบกันของเปลือก ในระหว่างการกะเทาะเมล็ดข้าวเปลือกจะถูกกดที่ปลายทั้งสองด้านทำให้เปลือกที่ขบกันอยู่แตกออกจากกันและทำให้เมล็ดข้าวกล้องหลุดจากเปลือกการกะเทาะลักษณะนี้จะมีต้นอ่อนและจมูกข้าว (ส่วนปลายของเมล็ดที่ติดกับต้นอ่อน) ที่แตกหักระหว่างการกะเทาะหลุดติดมากับเปลือกด้วย ส่วนการกะเทาะด้วยลูกยางกะเทาะจะใช้ลักษณะการขบตัวของเปลือกเป็นหลักโดยมีลูกยาง 2 ลูกหมุนด้วยความเร็วไม่เท่ากัน ทำหน้าที่ฉีกเปลือกของเมล็ดออก การกะเทาะในลักษณะนี้จึงไม่มีจมูกข้าวและต้นอ่อนมากับเปลือก

ข้าวกล้องเมื่อผ่านการกะเทาะและแยกเปลือกออกแล้วจะถูกนำมาขัดขาวซึ่งเป็นการขัดเอาชั้นรำที่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 5 ชั้น ออกให้เหลือแต่ชั้นแป้ง เพื่อใช้สำหรับบริโภค ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารไป

1. ประสิทธิภาพการสีข้าว

อัตราการสีข้าวหรืออัตราการแปรสภาพข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร เป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ในการวัดหาประสิทธิภาพของโรงสีได้ ทั้งนี้ เนื่องจากอัตราการสีข้าวนอกจากจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้าวเปลือก สภาพบรรยากาศแวดล้อมและความชื้นของเมล็ดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับสภาพเครื่องสีข้าวด้วย ผลิตผลที่ได้จากการสีข้าวเปลือก ปกติจะจัดแบ่งเป็นต้นข้าว ปลายข้าวท่อน (เอวัน) ปลายข้าวเล็ก (ซี) รำละเอียดและรำหยาบ การสีข้าวในประเทศไทยอัตราการสีข้าวเปลือกคุณภาพดีจากโรงสีข้าวส่วนใหญ่ จำนวน 1,000 กก. เป็นข้าวสารชนิด 5% จะได้ต้นข้าวและปลายข้าวรวมกันประมาณ 660 กิโลกรัม โรงสีระบบทันสมัยนิยมใช้กันมากในประเทศญี่ปุ่น ยุโรป และอเมริกาที่สีข้าวเปลือกทั้งเมล็ดสั้นและเมล็ดยาว ประเทศไทยเริ่มมีโรงสีข้าวแบบทันสมัยมาประมาณ 10-15 ปีมาแล้ว ระบบการทำงานก็คล้ายกับระบบเก่า แตกต่างกันที่ต้นกำลังและรายละเอียดของเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่ทำงานไม่เหมือนกัน

การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง คือ การกำหนดเงื่อนไขสำหรับการทดลองที่จะทำให้สามารถตีความหมายถึงสาเหตุและผลที่ต้องตัดสินใจได้ โดยพิจารณาความแตกต่างของข้อมูลจากสาเหตุที่สามารถควบคุมได้ ซึ่งจุดประสงค์สำคัญของการทดลอง คือ การยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) การค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) การทดลองกระทำได้ 2 วิธี คือ

1. การทดลองปฏิบัติงานจริง (Physical experiment)
2. การทดลองด้วยการจำลองผล (Simulation)

การออกแบบการทดลองมีประวัติมาอย่างยาวนานและได้มีการพัฒนาการขึ้นมาเรื่อย ๆ ซึ่งพอจะแบ่งให้เห็นความแตกต่างของการออกแบบการทดลองแบบเก่าและแบบใหม่ให้เห็นได้ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 พัฒนาการของการออกแบบการทดลอง

แบบเก่า	แบบใหม่
1. ปรับทีละตัวแปรต่อครั้ง	1. ปรับทุกตัวแปรทั้งหมด (Full factorials)
2. ทำทุกตัวแปรที่เป็นไปได้ในการปรับ	2. ทำเพียงบางส่วน (Factional factorials)
3. เลือกเอาเฉพาะการทดลองโดยการเดา	3. เลือกการทดลองโดยมีหลักการ (Screening design)

จุดประสงค์สำคัญของการทดลองมี 2 ประการ คือ เป็นการยืนยันข้อเท็จจริง เป็นการพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริงหรือความเชื่อจากประสบการณ์หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและเป็นการค้นหาข้อเท็จจริง เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีต่อระบบการผลิต

หลักการสำคัญ 3 ประการของการออกแบบการทดลอง

1. หลักการสุ่ม (Randomization) เป็นหลักการที่ให้ข้อมูลแต่ละตัวมีโอกาสถูกเก็บเท่า ๆ กัน เพื่อกระจายผลกระทบที่เกิดจากอิทธิพลแทรกซ้อน ให้กับทุกระดับที่ศึกษาให้เท่า ๆ กัน

2. หลักการซ้ำ (Replication) เป็นการทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูล เพื่อวัตถุประสงค์ในการกำจัดออกซึ่งอิทธิพลแทรกซ้อนต่าง ๆ ที่มีในข้อมูล

3. หลักการบล็อค (Blocking) เป็นการจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วง เพื่อวัตถุประสงค์ในการลดอิทธิพลแทรกซ้อนออกไปเพื่อสร้างความแม่ยำในข้อมูลยิ่งขึ้น

หลักสำคัญสำหรับพิจารณาการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง สามารถแยกเป็นหัวข้อได้ ดังนี้

1. การกำหนดปัญหา
   - 1.1 การรับรู้ถึงปัญหา
   - 1.2 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง
   - 1.3 การกำหนดปัจจัยที่จะให้แปรเปลี่ยนค่า
   - 1.4 การกำหนดระดับของปัจจัย (ทรีทเมนต์)
     - 1.4.1 ระดับเชิงคุณภาพ/ ระดับเชิงปริมาณ
     - 1.4.2 กำหนดแบบสุ่ม/ กำหนดแบบคงที่/ กำหนดแบบผสม
   - 1.5 สรุปผลเกี่ยวกับระดับปัจจัยต่าง ๆ ที่นำมารวมกัน
2. การออกแบบการทดลอง
   - 2.1 ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ
   - 2.2 การเรียงลำดับของการทดลอง
   - 2.3 วิธีการสุ่มตัวอย่างที่ใช้
   - 2.4 รูปแบบและสมมติฐานที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ
3. การวิเคราะห์ผลการทดลอง
   - 3.1 วิธีการประมวลผลจากข้อมูล
   - 3.2 การคำนวณค่าทางสถิติที่ใช้สำหรับการทดสอบ
   - 3.3 การตีความหมายผลที่ได้จากการทดลองเพื่ออธิบายลักษณะกระบวนการผลิต

3.4 การสรุปผลและกำหนดข้อเสนอแนะ

ลำดับขั้นการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

1. ขั้นตอนที่ 1 การรับรู้และนิยามถึงปัญหาที่สนใจ เป็นการกำหนดถึงสิ่งที่ผู้ทดลองอยากทราบและกำหนดว่าจะต้องการอะไร โดยผู้ทดลองจะต้องศึกษาสิ่งที่เกี่ยวข้องอย่างรอบคอบ

2. ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดตัวแปรอิสระหรือระดับของปัจจัย (ทรีทเมนต์) แบ่งได้ ดังนี้

2.1 การกำหนดปัจจัย

2.1.1 มีเพียงปัจจัยเดียว

2.1.2 มี 2 ปัจจัย

2.1.3 มี 3 ปัจจัย ฯลฯ

2.2 การกำหนดทรีทเมนต์

2.2.1 แบบสุ่ม

2.2.2 แบบคงที่

2.2.3 แบบผสม

3. ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดตัวแปรตอบสนองโดยต้องพิจารณาถึงความสามารถในการวัดได้ และความถูกต้องกับความแม่นยำ

4. ขั้นตอนที่ 4 เลือกแบบการทดลองที่เหมาะสมต้องให้ความสนใจถึงความมีประสิทธิภาพทางสถิติ (ความเสี่ยงในการตัดสินใจ) และความมีประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์ (ค่าใช้จ่ายในการทดลอง)

5. ขั้นตอนที่ 5 ดำเนินการทำการทดลอง ต้องให้ความสนใจถึงความสุ่มความถูกต้องในการวัดและความสม่ำเสมอในการทดลอง (กระบวนการอยู่ในการควบคุม)

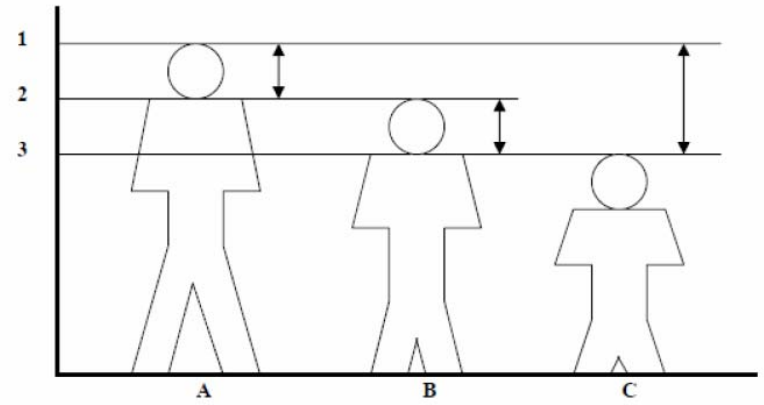
6. ขั้นตอนที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยทฤษฎีการอนุมานทางสถิติ

7. ขั้นตอนที่ 7 การสรุปผลและให้ข้อเสนอแนะ

การออกแบบการทดลองในอุตสาหกรรมปัจจุบันจำเป็นต้องใช้การออกแบบทดลองที่มีการทดลองน้อยเพื่อประหยัดต้นทุนและเวลารวมไปถึงข้อจำกัดอื่น ๆ เช่น ผลต่อสิ่งแวดล้อม การทดลองแบบต้องทำลายไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือมีต้นทุนต่อการทดลองสูง

ระดับขั้นความอิสระ (Degree of freedom)

ระดับขั้นความอิสระ คือ ตัวเลขที่ใช้เปรียบเทียบระหว่างระดับปัจจัยหลักหรือปัจจัยร่วม ซึ่งจำเป็นที่ใช้ในการกำหนดระดับให้ได้ค่าเฉพาะที่ถูกต้องที่สุด ระดับขั้นความอิสระอธิบายได้ดังภาพที่ 2-17 แสดงคน 3 คน โดยที่ A สูงเท่ากับ 1, B สูงเท่ากับ 2, C สูงเท่ากับ 3 สามารถบอกในลักษณะเปรียบเทียบได้ว่า C ต่ำกว่า A และ B ต่ำกว่า A จะเห็นได้ว่า A หมดโอกาสในการเปรียบเทียบถึงเพราะเป็นผู้ถูกอ้างอิง ดังนั้น ความอิสระในการอ้างอิงมี 2 ค่า คือ C เทียบกับ A และ B เทียบกับ A จึงสามารถบอกได้ว่าระดับขั้นความอิสระมีค่าเท่ากับ 2



ภาพที่ 2-17 การเปรียบเทียบในการพิจารณาระดับขั้นความอิสระ

พิจารณาค่าระดับขั้นความอิสระในการทดลองจะขึ้นอยู่กับระดับปัจจัย โดยจำแนกประเภทของปัจจัยได้ ดังนี้

1. ปัจจัยหลัก: ค่าระดับความอิสระ = จำนวนระดับของปัจจัย -1 (2-1)

   ตัวอย่างเช่น ระดับปัจจัยเท่ากับ 2 จะมีค่าความอิสระเท่ากับ 1 (2-2)

2. ปัจจัยร่วม: ค่าองศาอิสระ = ผลคูณของระดับขั้นความอิสระของปัจจัยหลัก

   ตัวอย่างเช่น ปัจจัย A มีระดับปัจจัยเท่ากับ 2 และปัจจัย B มีระดับปัจจัยเท่ากับ 2

   ระดับความอิสระของปัจจัย A×B

   = (ระดับขั้นความอิสระปัจจัย A)×(ระดับขั้นความอิสระปัจจัย B) (2-3)

   = (2-1)×(2-1) = 1

3. ปัจจัยสัญญาณรบกวน (Noise factor)

ปัจจัยสัญญาณรบกวน คือ ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือยากแก่การควบคุมจึงไม่

ทำการควบคุมในกระบวนการผลิต จึงกำหนดสิ่งนั้นเป็นสัญญาณรบกวน ซึ่งถือว่าเป็นค่าคลาดเคลื่อนในกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดความแปรปรวนแต่ในการคำนวณจะถือว่าไม่แสดงระดับปัจจัยโดยจะถือว่าเป็นจำนวนครั้งในการทดลอง

4. การลดค่าอคติในการทดลอง

5. การลดค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ

5.1 ความคลาดเคลื่อนหลัก เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดลองซึ่งความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นขณะที่มีการเปลี่ยนรูปแบบการทดลองหนึ่ง โดยทั่วไปเกิดจากการเปลี่ยนกรรมวิธีการทดลอง ค่าความคลาดเคลื่อนนี้สามารถลดได้โดยการลดจำนวนครั้งในการเปลี่ยนรูปแบบการทดลองให้น้อยที่สุด (การกำหนดปัจจัยลงตารางการทดลอง ออทอกอนอลอะเรย์ Orthogonal array ควรให้ปัจจัยที่มีความยุ่งยากในการเปลี่ยนรูปแบบการทดลองอยู่ในลำดับต้น ๆ)

5.2 ความคลาดเคลื่อนรองหรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความคลาดเคลื่อนภายในการทดลอง ซึ่งเกิดจากการทำการทดลองหลายครั้งในรูปแบบการทดลองเดิม ซึ่งค่าของการคลาดเคลื่อนรองนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยของความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดและความคลาดเคลื่อนตามธรรมชาติของการวัดโดยที่ธรรมชาติของการวัดแก้ไขโดยการหาค่าเฉลี่ยจากการทำการวัดหลาย ๆ ครั้ง ส่วนความคลาดเคลื่อนของระบบ แก้ไขการฝึกฝนการทำการทดลองและใช้เครื่องมือทำการทดลองที่มีความเที่ยงตรงสูง

5.3 การสุ่มการทดลอง ความคลาดเคลื่อนในการทดลองเกิดจากลำดับการทดลองที่มีค่าเสื่อมสภาพในตัวเองในการทำการทดลองหลายครั้งหรือการรวมตัวเมื่อมีการทำการทดลองหลายครั้งซึ่งไม่สามารถแก้ไขทางกายภาพได้ สามารถทำการลดปัญหาความคลาดเคลื่อนนี้ โดยการสุ่มการทดลองเพื่อการกระจายความคลาดเคลื่อนออกไปอย่างทั่วถึง แต่ก็อาจจะเพิ่มความคลาดเคลื่อนในรูปแบบความคลาดเคลื่อนหลักหรืออาจใช้การทดลองแบบเป็นกลุ่มข้อมูลแทนการสุ่มการทดลองของแต่ละลำดับการทดลอง

การทดลองเต็มรูปแบบ (Factorial design)

บริษัท โซลูชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด ระบุว่า การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลจะสามารถทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อกระบวนการและเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันได้ เมื่อมีการทำการทดลอง ควรทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยไปพร้อม ๆ กันมากกว่าทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยตัวใดตัวหนึ่ง เพราะจะทำให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งในเรื่องการประหยัดเวลาและต้นทุน และยังสามารถวิเคราะห์เรื่องอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยได้ด้วยโดยอิทธิพล

ร่วม (Interaction) คือ ผลของการที่ปัจจัยร่วมกันที่มีอยู่ในหลาย ๆ กระบวนการ ถ้าไม่ได้ทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลอาจจะไม่เห็นผลของอิทธิพลร่วม (Interaction) ได้ชัดเจนนัก

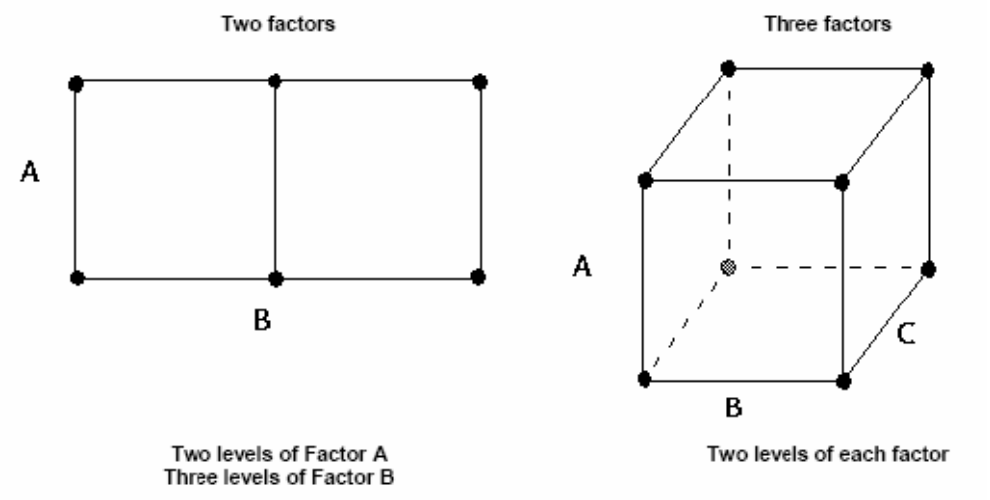
1. การออกแบบเพื่อการคัดเลือก (Screening design)

ในงานพัฒนากระบวนการและงานการผลิตส่วนมาก มีตัวแปรจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนในการปรับปรุงการคัดเลือกเป็นการลดจำนวนตัวแปรเหล่านี้ให้มีจำนวนน้อยลง โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดจำนวนตัวแปรนี้ทำให้คุณสามารถจะพิจารณาเฉพาะที่ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้นได้ หรือพิจารณาตามหลักการความสำคัญจำนวนน้อย “Vital few” การคัดเลือกอาจจะสามารถทำได้ถึงการหาค่าที่เหมาะสม (Optimal) ของตัวแปรนั้น ๆ รวมทั้งทำการทดลองเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) เพื่อบอกว่าค่าตอบสนอง (Response) มีสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง

2. การออกแบบการทดลองแบบ Full factorial

ในการทดลองแบบ Full factorial ค่าตอบสนอง (Response) จะถูกวัดค่าที่ทุก ๆ เงื่อนไขของทุกค่าระดับปัจจัยที่มีในการทดลองโดยเงื่อนไขการทดลอง (Combination of factor levels) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้ทำการทดลองเพื่อวัดค่าตอบสนองโดยที่เงื่อนไขการทดลองแต่ละอันจะเรียกว่า รัน (Run) และมีการทำการทดลองเพื่อวัดค่าตอบสนองและชุดข้อมูลทั้งหมดในทุกรันจะเรียกว่า แบบการทดลอง (Design)

ในภาพที่ 2-18 นี้แสดงตัวแบบของการทดลองแบบ 2 และ 3 ปัจจัย โดยจุดจะเป็นแสดงถึงเงื่อนไขการทดลอง (Combination) แต่ละอันของการทดลอง ตัวอย่างเช่น ในตัวแบบ 2 ปัจจัย (Two-factor design) จุดที่มุมล่างด้านซ้ายและรันของการทดลองที่มีค่าระดับปัจจัย A เป็นค่าต่ำ (Low) และค่าระดับปัจจัย B เป็นค่าต่ำ เช่นกัน



ภาพที่ 2-18 ตัวแบบของการทดลองแบบ 2 และ 3 ปัจจัย

3. การออกแบบการทดลองแบบ Two-level full factorial

ในตัวแบบของ Two-level full factorial ในทุก ๆ การทดลองทุก ๆ ปัจจัยจะมีค่าระดับเพียงแค่ 2 ระดับเท่านั้น การทดลองแต่ละรันจะมีทุก ๆ ค่าระดับของทุก ๆ ปัจจัย ถึงแม้ว่าตัวแบบ Two-level full factorial จะไม่สามารถทำการทดลองที่ค่าปัจจัยย่าน (Range) กว้าง ๆ มากได้ แต่ก็สามารถให้สาระข้อมูลที่มีประโยชน์ได้โดยที่จำนวนรันไม่มากนักต่อหนึ่งปัจจัย เพราะว่า Two-level full factorial สามารถที่จะแสดงค่าแนวโน้มได้ จึงสามารถนำมาใช้เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการสร้างการทดลองต่อไป ตัวอย่างเช่น เมื่อต้องการที่จะทำการทดลองในย่านที่กว้างขึ้นซึ่งมีสมมติฐานเบื้องต้นว่าจะมีค่าที่ดีที่สุดอยู่ อาจใช้ตัวแบบแฟคทอเรียล (Factorial) เพิ่มเติมจากจุดนี้ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ Central composite

4. การออกแบบการทดลองแบบ General full factorial

ในตัวแบบของ General full factorial การทดลองแต่ละครั้งในแต่ละปัจจัยจะมีค่าระดับหลาย ๆ ค่า ตัวอย่าง เช่น ปัจจัย A มี 2 ระดับ ปัจจัย B มี 3 ระดับ และ ปัจจัย C มี 5 ระดับ การทดลองในทุกรันจะทำครบทุกค่าระดับของทุกปัจจัย ตัวแบบ General full factorial อาจจะนำไปใช้ในการทดลองขนาดเล็กเพื่อทำการคัดเลือกปัจจัย (Screening) หรือเพื่อทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization)

5. การออกแบบการทดลองแบบ Fractional factorial

ในการทดลองแบบ Full factorial ค่าตอบสนองจะถูกวัดค่าในทุก ๆ เงื่อนไขการทดลอง ซึ่งจะเป็นทุก ๆ ค่าระดับของทุกปัจจัย ซึ่งอาจจะต้องมีการทำการทดลองจำนวนมากครั้ง ตัวอย่าง

เช่น การทดลองของ Two-level full factorial ของ 6 ปัจจัย อย่างน้อยต้องมีการทดลองจำนวน 64 รัน หรือกรณีที่มี 9 ปัจจัยจะมีการทดลองอย่างน้อย 512 รัน เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและต้นทุนอาจทำการออกแบบการทดลองให้มีการทำการทดลองเฉพาะบางเงื่อนไข ตัวแบบ Factorial ที่มีการทดลองไม่ครบทุกเงื่อนไขนี้เรียกว่า Fractional factorial designs โปรแกรม Minitab สามารถสร้างตัวแบบ Fractional factorial ได้จนถึงจำนวนปัจจัย 15 ตัวต่อหนึ่งการทดลอง Fraction factorial มีความสำคัญอย่างมากในการทดลองเพื่อการคัดเลือกปัจจัย (Screening) เพราะว่ามีการลดจำนวนรันลงจนเหลือขนาดการทดลองที่สามารถทำได้จริง รันที่ถูกเลือกมาทำการทดลองเป็นรันที่อยู่ในชุดการทดลองของตัวแบบ Full factorial ซึ่งในกรณีที่ไม่ได้ทำการทดลองครบทุกเงื่อนไขของทุกปัจจัยจะทำให้เกิดผลอย่างหนึ่งที่เรียกว่าคอนฟาวด์ (Confounded) ซึ่งคอนฟาวด์นี้หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยที่ไม่สามารถทำการประเมินค่าแยกออกมาได้เดี่ยว ๆ และอาจเรียกว่าเป็น Aliased โดย Minitab จะแสดงตารางของ Alias ที่อยู่ในรูปแบบของการคอนฟาวด์ เพราะว่าเรื่องของคอนฟาวด์ทำให้อิทธิพล (Effects) บางตัวไม่สามารถหาค่าได้ทำให้การเลือกการทำ Fractional factorial ต้องเลือกส่วนที่จะมาทำให้ถูกต้องเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใช้งานได้ การเลือกส่วนการทดลองที่ดีที่สุด (Best fraction) บางครั้งอาจจะต้องใช้ความรู้เฉพาะเกี่ยวกับกระบวนการและผลิตภัณฑ์เพื่อมาตัดสินใจด้วย

6. การออกแบบการทดลองแบบ Plackett-burman

การทดลองแบบ Plackett-burman เป็นการทดลองที่มีค่า Resolution เท่ากับ 3 (III) ซึ่งถือเป็นการทดลองแบบ Fractional factorial ที่มี Resolutions III ซึ่งมีรูปแบบของ Alias ระหว่างปัจจัยหลัก (Main effect) กับ Interaction ของ 2 ปัจจัย (Two-way interactions)

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลด้วยโปรแกรม Minitab

บริษัท โซลูชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด ทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลจะมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ก่อนที่จะทำการใช้ Minitab ในการออกแบบการทดลองจะต้องมีการทำการทดลองเบื้องต้นมาก่อนเพื่อการวางแผนตัวอย่าง เช่น จะต้องทำการหาปัจจัยที่คาดว่ามีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง

2. ใน Minitab สามารถใช้เพื่อสร้างตัวแบบการทดลองใหม่ หรือใช้กับเวิร์คชีทที่มีข้อมูลอยู่แล้ว

2.1 ใช้คำสั่ง Create factorial design เพื่อสร้างตัวแบบ Full หรือ Fraction factorial และ Plackett-burman

2.2 ใช้คำสั่ง Define custom factorial design เพื่อใช้ในการสร้างตัวแบบกรณีที่มีเวิร์คชีทที่มีข้อมูลอยู่แล้ว ซึ่งสามารถที่จะปรับเปลี่ยนและกำหนดคอลัมน์ของปัจจัยและค่าต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะกับตัวแบบและการวิเคราะห์ต่อไป

2.3 ใช้คำสั่ง Modify design เพื่อทำการแก้ไขชื่อปัจจัย เปลี่ยนค่าระดับปัจจัย การสร้างค่าซ้ำ (Replicate) การทำการสุ่มลำดับการทดลอง (Randomization) สำหรับ Two-level design สามารถใช้สร้าง Fold dsign เพิ่มรันที่จุด Axial points และเพิ่มรันที่ Center point

2.4 ใช้คำสั่ง Display design เพื่อทำการเปลี่ยนลำดับการทดลองของแต่ละรัน และหน่วย ทั้งแบบที่เป็นค่าจริง (Uncoded) หรือค่ารหัส (Code) ซึ่ง Minitab ได้แสดงค่าไว้ของแต่ละปัจจัยในเวิร์คชีท

2.5 ทำการทดลองและเก็บค่าข้อมูล จากนั้นใส่ค่าข้อมูลในเวิร์คชีทของ Minitab

2.6 ใช้คำสั่ง Analyze factorial design เพื่อวิเคราะห์ค่าตอบสนอง (Response) ใช้คำสั่ง Analyze variability เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) สำหรับกรณีที่มีการทำซ้ำ

2.7 ในกรณีที่จะทำการพล็อตกราฟเพื่อดูอิทธิพล (Effects) ใช้คำสั่ง Factorial plots เพื่อทำการสร้างกราฟที่แสดงได้ทั้งอิทธิพลหลัก (Main effects) และอิทธิพลร่วม (Interaction effects) และ Cube plot สำหรับตัวแบบ Two-level สามารถใช้คำสั่ง Contour/ Surface plots เพื่อแสดงกราฟ Contour และ Surface

2.8 ถ้าต้องการทำการหาค่าที่ดีที่สุดของค่าตอบสนอง ใช้คำสั่ง Response optimizer หรือคำสั่ง Overlaid contour plot เพื่อช่วยในการหาค่าที่ดีที่สุดโดยทำทั้งแบบตัวเลขและพิจารณาจากกราฟ

หมายเหตุ: ในแต่ละการทดลองอาจจะมีลำดับของขั้นตอนต่างกันหรืออาจจะมีการทำซ้ำที่ขั้นตอนใดเพิ่มหรือบางขั้นตอนอาจจะไม่ต้องทำ

3. การเลือกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Choosing a factorial design)

การออกแบบการทดลองเป็นการกำหนดรูปแบบการทำการทดลองในแต่ละรัน รวมทั้งโครงสร้างของการทำบล็อค (Blocks) การทำซ้ำ (Replication) การสุ่ม (Randomization) และเงื่อนไขปัจจัย (Combination) ของแต่ละรัน เมื่อไปทำการทดลองจะต้องมีการวัดค่าตอบสนองของแต่ละรันที่เกิดขึ้น Minitab สามารถออกแบบตัวแบบของ 2-Level full และ Fractional, Plackett-burman และ General full factorial ในการเลือกตัวแบบต้องมีข้อมูลเบื้องต้น ดังนี้

3.1 จำนวนปัจจัยที่จะทำการศึกษา

3.2 จำนวนรันที่สามารถทำการทดลองได้

3.3 ผลกระทบด้านต่าง ๆ เช่น ต้นทุน เวลา และเรื่องความพร้อมของทรัพยากรที่เกี่ยวข้องในแต่ละปัญหาอาจจะต้องมีการพิจารณาเรื่องอื่น ๆ ร่วมด้วยเพื่อให้ตัวแบบเป็นไปตามที่ต้องการซึ่งตัวแบบนั้นอาจจะต้องสามารถทำได้ดังข้อต่อไปนี้

3.4 สามารถเพิ่มจำนวนการทดลองได้อย่างต่อเนื่องหรือทำเพิ่มจากของเดิมได้

3.5 สามารถทำการทดลองได้ในแบบ Orthogonal blocks ซึ่งตัวแบบที่มีเรื่อง Orthogonal block คือ ตัวแบบที่สามารถประมาณค่าอิทธิพลของปัจจัยและบล็อค (Block) แยกจากกันได้และยังสามารถทำให้ค่าความผันแปรของสัมประสิทธิ์ที่ถูกประมาณค่า (Estimated coefficients) นั้นมีค่าน้อยสุด

3.6 สามารถตรวจจับความไม่สมรูปของตัวแบบ (Lack of fit)

3.7 สามารถประมาณค่าอิทธิพลของปัจจัยที่คิดว่าน่าจะมีความสำคัญได้ โดยเลือกทำตัวแบบที่ Resolution ที่เหมาะสมเลข Resolution เป็นตัวอธิบายถึงการ Alias ของปัจจัยในตัวแบบ ซึ่งสามารถอธิบายถึงเลข Resolution ได้ ดังนี้

3.7.1 Resolution III ไม่มีอิทธิพลหลัก (Main effects) ใดที่ Alias กันและกันแต่ว่าอิทธิพลหลัก (Main effect) จะ Alias กับอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Two-way interactions) และอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Two-way interactions) มีการ Alias กันเอง

3.7.2 Resolution IV ไม่มีอิทธิพลหลัก (Main effect) จะ Alias กับอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Two-way interactions) แต่อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Two-way interactions) มีการ Alias กันเอง

3.7.3 Resolution V ไม่มีอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Two-way interactions) ใดที่ Alias กันเองแต่อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Two-way interactions) Alias กับอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย (Three way interaction)

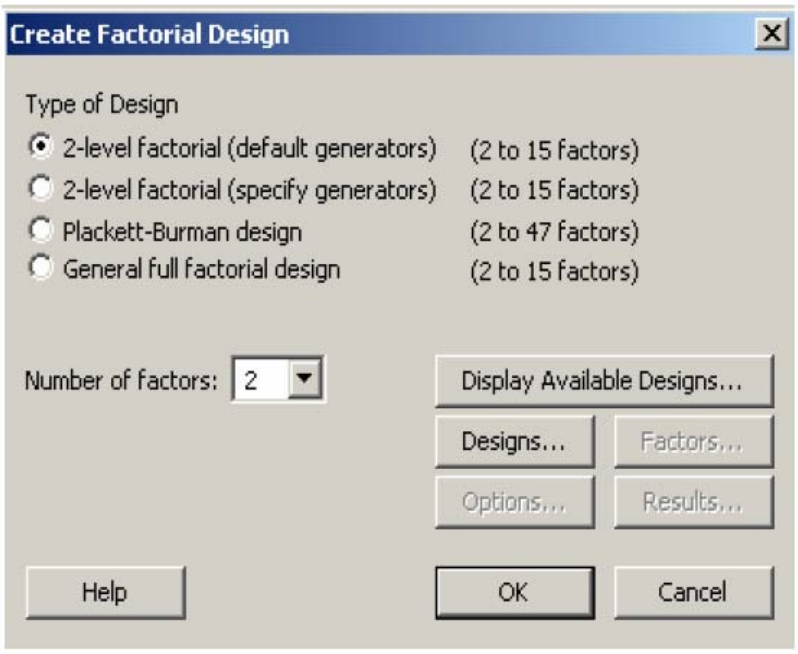
4. การสร้างตัวแบบการทดลองแบบ 2-Level factorial การสร้างตัวแบบ 2-Level factorial (Creating 2-Level factorial designs) Minitab มีตัวเลือกให้เพื่อไว้ใช้กับ 2-Level

4.1 Full factorial design ซึ่งสร้างได้ถึง 7 ปัจจัยในหนึ่งตัวแบบ

4.2 Fractional factorial design ซึ่งสามารถสร้างได้ 15 ปัจจัยในหนึ่งตัวแบบ คุณสามารถเลือกใช้ตัวแบบที่ Minitab สร้างไว้แล้ว (ซึ่งตัวแบบเหล่านี้สามารถดูรายละเอียดที่ตัวเลือก Display available design) หรือสามารถสร้างตัวแบบเองด้วยการกำหนดตัว Generator ในการสร้างตัวแบบ

4.2.1 การเรียกคำสั่ง

Stat > DOE > Factorial > Create factorial design ใช้กับการออกแบบการทดลองแบบ 2-Level ทั้งแบบ Full และ Fractional และ Plackett-burman ซึ่งจะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์เพื่อให้กำหนดค่าตัวแปรต่างดังในภาพที่ 2-19



ภาพที่ 2-19 รายละเอียดไดอะล็อกบ็อกซ์

5. Type of design

5.1 Level factorial (Default generators): Minitab จะตั้งเป็นค่าอัตโนมัติ

5.2 Level factorial (Specify generators): เลือกเมื่อต้องการกำหนดตัว Generator ด้วยตัวเอง

5.3 Plackett-burman design: เลือกเมื่อต้องการสร้างตัวแบบ Plackett-burman

5.4 General full factorial design: เลือกเมื่ออย่างน้อยมีปัจจัยตัว 1 มีค่าระดับมากกว่า 2 ระดับ

5.5 Number of factors: เพื่อทำการกำหนดจำนวนปัจจัยที่จะมีในตัวแบบ

6. การสร้าง 2-Level gactorial fesign

6.1 เลือก Stat > DOE > Factorial > Create factorial design

6.2 ถ้าต้องการดูรายละเอียดเลือกที่ Display available design ใช้ตารางนี้เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ เลือก OK

6.3 ในส่วน Type of design เลือก 2-Level factorial เป็นค่าที่ตั้งไว้เริ่มต้นของMinitab

6.4 ส่วน Number of factors เลือกได้ตั้งแต่ 2 ถึง 15

6.5 เลือก Designs

6.6 ในช่องบนสุดมีเครื่องหมายแถบสีเลือกตัวแบบที่ต้องการสร้างตามที่คุณต้องการแล้วให้ไปที่ไดอะล็อกบ็อกซ์ส่วนอื่นต่อ

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA)

ในกระบวนการผลิตทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตมีความเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอสิ่งที่ผู้เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตต้องการผลิต คือ ทำอย่างไรตัวแปรในกระบวนการผลิตจึงจะมีสภาพที่เหมาะสมและสามารถทำให้ผลผลิตออกมาตามความต้องการมากที่สุด ในการกำหนดค่าปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต สามารถทำได้ด้วยหลักการง่าย ๆ คือ ทำการเปลี่ยนค่าของปัจจัยแล้วสรุปผลการทดลองที่ได้ ซึ่งในกรณีที่กระบวนการผลิตมีปัจจัยในการผลิตมากกว่า 1 ปัจจัยขึ้นไปแล้ว การเกิดปัจจัยร่วมและความคลาดเคลื่อนในการปฏิบัติจะเป็นผลมาเกี่ยวข้องด้วย ในวัตถุประสงค์ของการทดลอง สิ่งที่ต้องสนใจลำดับแรก คือ ความแปรปรวนซึ่งต้องลดค่าความแปรปรวนและต้องสามารถควบคุมได้ การใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งเป็นวิธีทางสถิติค่าคิดค้นจาก Sir ronald fisher ในปี ค.ศ. 1930 ความจริงแล้วการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นเป็นเพียงเครื่องมือที่ใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์และหลักการทางสถิติในการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มโดยใช้ความแปรปรวนเป็นตัวแปรในการคำนวณซึ่งการวิเคราะห์ความแปรปรวนไม่ใช่เครื่องตัดสินใจ การตัดสินใจขึ้นอยู่กับการตีความหมายจากผลลัพธ์หลักการคำนวณด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนมี ดังนี้

1. การหาผลรวมกำลังสอง (Sum of square)

การคำนวณค่าผลรวมกำลังสองของแต่ละปัจจัย คือ การนำข้อมูลที่อยู่ในระดับเดียวกันมารวมกันโดยใช้การยกกำลังเพื่อหักล้างผลกระทบเรื่องเครื่องหมายโดยที่ความแตกต่างของผลรวมกำลังสองของปัจจัยทั้งหมดและผลรวมกำลังสองของแต่ละปัจจัย คือ ผลรวมกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน

$$SS_{tr} = \sum_{i=1}^{a} \frac{Y_1^2}{n} - \frac{Y_{..}^2}{an}$$

$$SST = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}\left(Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{an}\right)$$

$$SSe = SST - (SS_{tr} + SS_{tr} + \cdots + SS_{tr})$$

2. การหาระดับขั้นความอิสระ (Degree of freedom)

ค่าระดับขั้นความอิสระของแต่ละปัจจัย

ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยหลัก (v_i) = จำนวนระดับของปัจจัย -1

= n-1

ระดับขั้นความอิสระรวม (v_T) = (จำนวนการทดลองทั้งหมด-1)×(จำนวนกลุ่ม-1)

ระดับขั้นความอิสระของความคลาดเคลื่อน $(v_e) = v_t - (v_{tr} + v_{tr} + \cdots v_n)$

3. การหาค่ากำลังสองโดยเฉลี่ย (Mean sum square)

ค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยเป็นการสมมติฐานตามหลักการทฤษฎีการกระจายเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central limit theorem) ซึ่งถือว่าค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยเทียบได้กับค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง โดยที่ค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับผลรวมกำลังสองหารด้วยระดับขั้นความอิสระ ใช้สัญลักษณ์ V หรือ MS

การหากำลังสองโดยเฉลี่ย

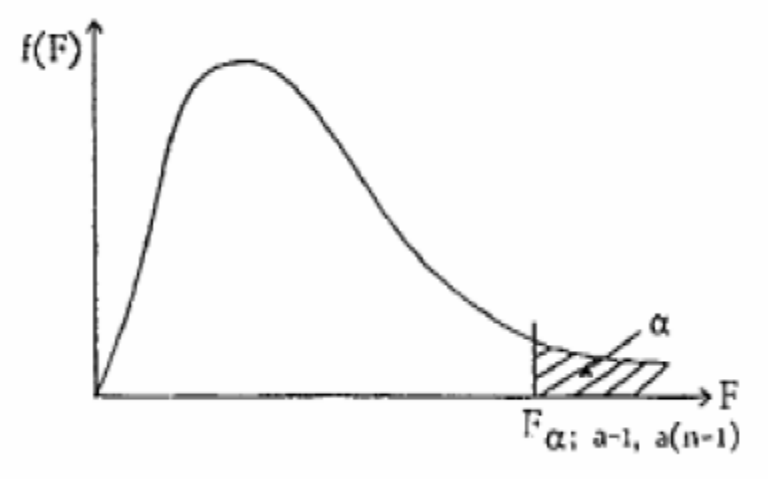
$$MS_i = \frac{SS_{tr}}{(n-1)}$$

4. การหาค่าตัวทดสอบ F และการใช้ตารางแจกแจง F ในการเปรียบเทียบความแปรปรวน

การหาค่าตัวทดสอบ F = ค่ากำลังสองเฉลี่ยของปัจจัย/ ค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อน

$$F_{tr} = \frac{MS_i}{MS_e}$$

การพิจารณาผลการคำนวณค่าทดสอบ F ของปัจจัยใด ๆ ที่ระดับการยอมรับ (1-α) จะสามารถพิจารณาค่า F ของปัจจัยเหล่านั้นจากการเปิดตารางการแจกแจง F เทียบกรณีค่าที่ได้จากการเปิดตารางแจกแจง F($F\alpha$,a-1,a(n-1) มีค่าน้อยกว่าค่าคำนวณ (Ftr) แสดงว่าปัจจัยการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญดังในภาพที่ 2-20



ภาพที่ 2-20 การแจกแจงความน่าจะเป็นของ F

5. การปรับค่าความคลาดเคลื่อน (Pulling)

ในการทดลองบางครั้งผลการคำนวณหาค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยของแต่ละปัจจัย ในบางปัจจัยนั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่นที่มีค่ามาก จึงสามารถรวมปัจจัยที่น้อยนั้นรวมเข้ากับปัจจัยของความคลาดเคลื่อน จะใช้หลักการพลูลิ่งอัฟ (Pulling up) คือ การใช้ตัวทดสอบ F ทดสอบกับปัจจัยที่มีค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยของปัจจัยที่มีค่าน้อยที่สุด ถ้าผลการทดสอบอยู่ในขอบเขตของตารางการแจกแจง F ก็จะทำการรวมค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยของปัจจัยนั้นเข้ากับค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนและจะทำการทดสอบกับปัจจัยที่ค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยมีค่าน้อยลำดับต่อไปจนกว่าจะไม่ผ่านการทดสอบเทียบกับตัวทดสอบ F อ้างอิง

6. การพิจารณาอิทธิพลของปัจจัย (Percent contribution)

อิทธิพลของปัจจัยเป็นการบอกถึงผลลัพธ์ของอัตราส่วนของปัจจัยที่พิจารณาเทียบกับอิทธิพลของปัจจัยทั้งหมด ซึ่งจากการทดสอบด้วยการใช้ตาราง F สามารถบอกได้เฉพาะตัวปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง ส่วนอิทธิพลของปัจจัยจะบอกได้ว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการทดลองด้วยอัตราส่วนเท่าใดเมื่อเทียบกับอิทธิพลของปัจจัยทั้งหมด

$$\%P_{tr} = \left(\frac{SS_{tr}}{SST}\right) \times 100$$

มีจำนวนประชากรบางส่วนมีค่าเฉลี่ย (μ) ที่สนใจ ขนาดตัวอย่างที่ชักมาจากประชากรอาจมีขนาดต่าง ๆ ที่ไม่เท่ากัน ประชากรสามารถพิจารณาเป็นเซตของสิ่งทดลอง ซึ่งมีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง สิ่งทดลอง (ทรีทเมนต์) เป็นปัจจัย 1 ปัจจัยที่สนใจในระดับต่าง ๆ ค่าเฉลี่ยแต่ละค่าเป็นค่าเฉลี่ยตอบสนองจากสิ่งทดลองหลังจากที่เริ่มทำการทดลอง จะนำค่าสังเกตในแต่ละสิ่งทดลอง และแต่ละครั้งมาลงบันทึกเพื่อเตรียมในการคำนวณดังในตารางที่ 2-2 จากนั้นนำค่าใน

ตารางที่ 2-2 ไปคำนวณตามสูตรข้างต้นก็จะได้ค่าผลลัพธ์ต่าง ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-2 รูปแบบข้อมูลจากการทดลอง

สิ่งทดลอง	ค่าสังเกต	ผลรวมของสิ่งทดลอง	ค่าเฉลี่ยสิ่งทดลอง
1	Y_{11} Y_{12} … Y_{1n}	Y_{1}	$\bar{Y}_{1}$
2	Y_{21} Y_{22} … Y_{2n}	Y_{2}	$\bar{Y}_{2}$
.	. . … .	.	.
.	. . … .	.	.
a	Y_{a1} Y_{a2} … Y_{an}	Y_{a}	$\bar{Y}_{a}$
		$Y_{..}$	$\bar{Y}_{..}$

ตารางที่ 2-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง (SS)	องศาความอิสระ (df)	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (MS)	ตัวทดสอบ (Fc)
ระหว่างสิ่งทดลอง	SS_{tr}	a-1	MS_{tr}	MS_{tr}/MS_{E}
ภายในสิ่งทดลอง	$SS_{E} = SS_{T}-SS_{tr}$	a(n-1)	MS_{E}	
ทั้งหมด	SS_{T}	an-1		

หมายเหตุ: เมื่อ n = จำนวนค่าสังเกตในแต่ละสิ่งทดลอง

a = จำนวนสิ่งทดลอง

7. การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยข้อมูลที่อ่านค่าได้ไม่ต่อเนื่อง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนในลักษณะข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องมีหลักการคำนวณ ดังนี้

7.1 คำนวณสัดส่วนของเสียในทุกประเภท

7.2 คำนวณหาน้ำหนักทุกประเภท

7.3 คำนวณหาผลรวมกำลังสองโดยเฉลี่ยทั้งหมด (Sm)

7.4 คำนวณหาผลรวมกำลังสองทั้งหมด (SST)

7.5 คำนวณหาผลรวมกำลังสองของแต่ละปัจจัย (Str)

7.6 คำนวณหาผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Se)

7.7 การหาระดับค่าความอิสระ

7.8 การหาความแปรปรวนของแต่ละปัจจัย (V)

7.9 การหาค่าตัวทดสอบ F และการใช้ตารางแจกแจง F ในการเปรียบเทียบความแปรปรวน

7.10 การปรับค่าความคลาดเคลื่อน

7.11 การหาอิทธิพลของปัจจัยในการดูอัตราส่วนแปรปรวนการทดลอง

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการควบคุมอุณหภูมิการอบข้าวเพื่อลดความชื้นข้าวเปลือก เป็นการศึกษาทางด้านการเพิ่มประสิทธิภาพของการสีข้าวเปลือกหอมมะลิเพื่อการส่งออกโดยใช้วิชาการที่เกี่ยวข้องกับการปรังปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิต เทคนิคทางด้านสถิติ หลักการวิเคราะห์ การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเต็มรูปแบบ (Factorial design) เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกระบวนการสีข้าวที่ผ่านกระบวนการอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบข้าวเปลือก ซึ่งผลงานวิจัยอื่น ๆ ที่ใช้พื้นฐานวิชาการเดียวกับการวิจัยนี้มี ดังต่อไปนี้

ไมตรี แนวพนิช จารุวัฒน์ มงคลธนทรรศ และพินัย ทองสวัสดิ์วงศ์ (2539) กล่าวว่า ได้ทำการสร้างเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกต้นแบบโดยให้สามารถใช้เชื้อเพลิงได้ทั้ง 2 ชนิด แล้วทำการทดสอบการลดความชื้นข้าวเปลือก เพื่อหาข้อมูลอัตราการลดความชื้น อัตราการใช้เชื้อเพลิงการใช้พลังงานไฟฟ้าและคุณภาพการสีของข้าวเปลือก ผลการทดสอบการลดความชื้นข้าวเปลือกที่ความชื้นเริ่มต้น 22% (มาตรฐานเปียก) ให้เหลือ 15% โดยให้เครื่องทำงานแบบเมล็ดไหลหมุนเวียนผ่านลมร้อนจนกว่าจะเหลือความชื้นที่ต้องการ ลมร้อนที่ใช้ลดความชื้นควบคุมไว้ที่ 80^{o}C±5 ^{o}C ปรากฏว่าเครื่องลดความชื้นที่ออกแบบไว้นี้สามารถลดความชื้นเฉลี่ยได้ 2% ต่อชั่วโมง คุณภาพการสีเปรียบเทียบกับตัวอย่างข้าวเปลือกเดียวกัน แต่ลดความชื้นโดยเป่าลมธรรมชาติให้เหลือความชื้นเดียวกันแล้วมีเปอร์เซ็นต์ข้าวสารเต็มเมล็ดแตกต่างกันไม่เกิน 3% ซึ่งดีกว่าตากแดดในลานตาก (3-5%) ค่าใช้จ่ายในการลดความชื้นซึ่งรวมราคาของเครื่อง ค่าบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายแปรผันแล้วประมาณ 154.5 บาท/ ตัน กรณีใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงและประมาณ 106 บาท/ ตัน กรณีใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง

อดิเทพ ทวีรัตนพาณิชย์ (2540) กล่าวว่า ความเป็นไปได้ของการใช้เทคนิค ฟลูอิไดเซชั่นในการอบแห้งข้าวเปลือกเพื่อการเพิ่มคุณภาพข้าวโดยพิจารณาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณต้นข้าว การทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้น เริ่มต้นระหว่าง 23-31%

มาตรฐานเปียกจนเหลือความชื้นสุดท้ายในช่วง 13-28% มาตรฐานเปียกที่อุณหภูมิอากาศสูง 140 และ 150°C พบว่าการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชั่นสามารถเพิ่มปริมาณต้นข้าวได้สูงสุดเมื่อลดความชื้นให้เหลือความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 20-22% มาตรฐานเปียกและกระบวนการเก็บข้าวเปลือกหลังผ่านเครื่องอบแห้งในที่อับอากาศ (Tempering) เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงขึ้นไป จะช่วยเพิ่มปริมาณต้นข้าวของตัวอย่างข้าวเปลือกเมื่อลดความชื้นจนเหลือความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 18% มาตรฐานเปียก การเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้งจาก 140 เป็น 150 °C สามารถเพิ่มปริมาณต้นข้าวได้ใกล้เคียงกัน ความขาวของข้าวสารที่ได้หลังการอบแห้งส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่ความขาวของข้าวสารจะลดลงตามอุณหภูมิที่ใช้ในการ Tempering ซึ่งอาจเป็นปัญหาในการซื้อขาย ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในการ Tempering สูงกว่า 60 °C ขณะที่คุณภาพด้านความยอมรับในการบริโภคข้าว ข้าวที่ไม่ผ่านการ Tempering ไม่แตกต่างจากข้าวอ้างอิง แต่ข้าวที่ผ่านการ Tempering มีกลิ่นเหม็นของข้าวสุกที่สูงขึ้น และความขาวของข้าวสุกลดลง

เยาวเรศ ไชยกันทา (2541) ได้ทำการวิจัยเพื่อปรับปรุงระบบกระจายอากาศร้อนในตู้อบโดยวัดประสิทธิภาพจากอัตราการลดความชื้นต่อเวลาที่ใช้ในการอบ จากการทดลองอบพริกใหญ่ครั้งละจำนวน 15.2 กิโลกรัม บรรจุถาดละ 1.7 กิโลกรัม จำนวน 9 ถาด พบว่าอัตราการลดความชื้น ความชื้นหลังอบของพริก และความสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ย 21.5% ความชื้น/ ชั่วโมง 19.72% ความชื้น และ 80.75 kWHr ตามลำดับ การทดลองอบเนื้อลำไยครั้งละจำนวน 27 กิโลกรัม โดยพลังงานไฟฟ้าบรรจุลำไยถาดละ 3 กิโลกรัม พบว่าอัตราการลดความชื้น ความชื้นหลังอบของลำไย และความสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ย 24.26% ความชื้น/ ชั่วโมง 20.36% ความชื้น และ 70.12 kWHr ตามลำดับ สำหรับการทดลองอบแห้งลำไยโดยใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง พบว่าอัตราการลดความชื้น ความชื้นหลังอบของลำไย ความสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าในการขับมอเตอร์พัดลม และความสิ้นเปลืองก๊าซหุงต้มมีค่าเฉลี่ย 32.84% ความชื้น/ ชั่วโมง 16.59% ความชื้น 6.56 kWHr และ 6.17 กิโลกรัม ตามลำดับ (เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ใช้เป็นหน่วยของ Moisture content ฐานแห้ง (Dry basis) ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง (Dehydration) เพราะช่วยให้การคำนวณสะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งของวัสดุคงที่อาจจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ หรือจำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง (g H2O/ g solid))

วิไล ปาละวิสุทธิ์ ดวงอร อริยพฤกษ์ และพรสุรี กาญจนา (2545) ได้ทำการศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมของเครื่องอบลดความชื้นแบบกระสอบ (Sack drier) โดยใช้อุณหภูมิคงที่ตลอด คือ 40, 45 และ 50 °C และอุณหภูมิที่ค่อย ๆ สูงขึ้นในตอนท้าย คือ 40 ตามด้วย 45 °C, 40 ตามด้วย 50 °C และ 40 ตามด้วย 45 °C และ 50 °C และศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องลดความชื้นแบบถัง (Bin drier) ชนิดคอลัมน์ถังกลมเมล็ดอยู่กับที่ในการอบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีความชื้นเริ่มต้น

แตกต่างกัน เพื่อหาอัตราในการลดความชื้น ความงอก และอายุการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังลดความชื้นการศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมของเครื่องอบลดความชื้นแบบกระสอบ ดำเนินการทดลองที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2542-2543 ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ต่างกัน 6 วิธี ดังกล่าว สามารถลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.96, 1.19, 1.55, 1.15, 1.29 และ 1.43% ความชื้นต่อชั่วโมงตามลำดับ โดยลดความชื้นจาก 20% ลงเหลือ 12% ความชื้นในเวลาประมาณ 8, 7, 5, 7, 6 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ ความงอกและอายุการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่อบลดความชื้นด้วยอุณหภูมิดังกล่าวไม่แตกต่างกันมาก และใกล้เคียงกับเมล็ดที่ตากแดดจนแห้ง โดยมีอายุการเก็บรักษานานประมาณ 10 เดือน สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องลดความชื้นแบบถัง ดำเนินการทดลองที่สหกรณ์การเกษตรพรหมพิรามจำกัด ศูนย์ขยายพันธุ์พืชที่ 1 จังหวัดพิษณุโลก ฤดูนาปี พ.ศ. 2544-2545 พบว่า ถังลดความชื้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.00 เมตร สามารถลดความชื้นเมล็ดได้เร็วกว่าถังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.70 เมตร โดยความเร็วในการลดความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.79 และ 0.47% ความชื้น/ ชั่วโมงตามลำดับ ความชื้นของเมล็ดในแต่ละตำแหน่งของถังลดลงด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน เมล็ดบริเวณใกล้ท่อลมความชื้นลดลงเร็วกว่าบริเวณห่างท่อลม โดยเฉพาะตำแหน่งใกล้ปากถังด้านห่างท่อลมความชื้นของเมล็ดจะสูงกว่าตำแหน่งอื่น ๆ ประมาณ 3-7.5% ความชื้นขนาดของถังอบ 2.00 และ 2.70 เมตร และความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพันธุ์ข้าว 18.2-23.4% ความชื้นที่นำมาอบลดความชื้นไม่มีผลกระทบต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ อายุการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่อบและตากแดดใกล้เคียงกัน คือ 13-15 เดือน แต่ความแข็งแรงของเมล็ดที่อบลดความชื้นลดลงช้ากว่าเมล็ดที่ตากแดด

สุรพงศ์ บางพาน (2547) ได้ศึกษาระบบการสีข้าวกล้องที่มีขนาดเล็กซึ่งเป็นเครื่องมือในการแปรรูปข้าวที่มีราคาถูก กระบวนการในการผลิตไม่ซับซ้อนมากนัก โดยได้เลือกวิธีการทดลองโดยวิธีการออกแบบหาพื้นที่ผิวผลตอบสนอง (Response surface methodology; RSM) เพื่อความสอดคล้องกับพื้นผิวที่ต้องการผลตอบแทนและประเมินความเหมาะสมในสภาวะของการทดลองด้วยการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central composite design; CCD) โดยทดลองกับข้าวทั้งหมด 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ข้าว กข 15 และพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 เพื่อศึกษาผลกระทบของ 2 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ และช่องว่างระหว่างลูกยางต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวดีหลังจากการกะเทาะเปลือกโดยเครื่องสีข้าวกล้องนี้จะใช้ระบบ Inverter เป็นตัวควบคุมการทำงาน โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน คือ การทดลองเพื่อหาช่วงระดับของปัจจัย การทดลองเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยจากแบบจำลอง และการทดลองเพื่อยืนยันผลของค่าปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องสีข้าวกล้อง ผลจากการทดลองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าของปัจจัยที่เหมาะสมต่อการกะเทาะข้าวเปลือก สำหรับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 คือ ความเร็วรอบเท่ากับ 1,480 รอบต่อนาที ช่องว่าง

ลูกยางเท่ากับ 0.66 มิลลิเมตร ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวดี 72.99% ส่วนพันธุ์ข้าว กข 15 คือ ความเร็วรอบเท่ากับ 1,480 รอบต่อนาที ช่องว่างลูกยางเท่ากับ 0.39 มิลลิเมตร ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวดี 81.58 % ส่วนพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 ต้องปรับความเร็วรอบเท่ากับ 1,471 รอบต่อนาที ช่องว่างลูกยางเท่ากับ 0.66 มิลลิเมตร ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวดี 74.69% ตามลำดับ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

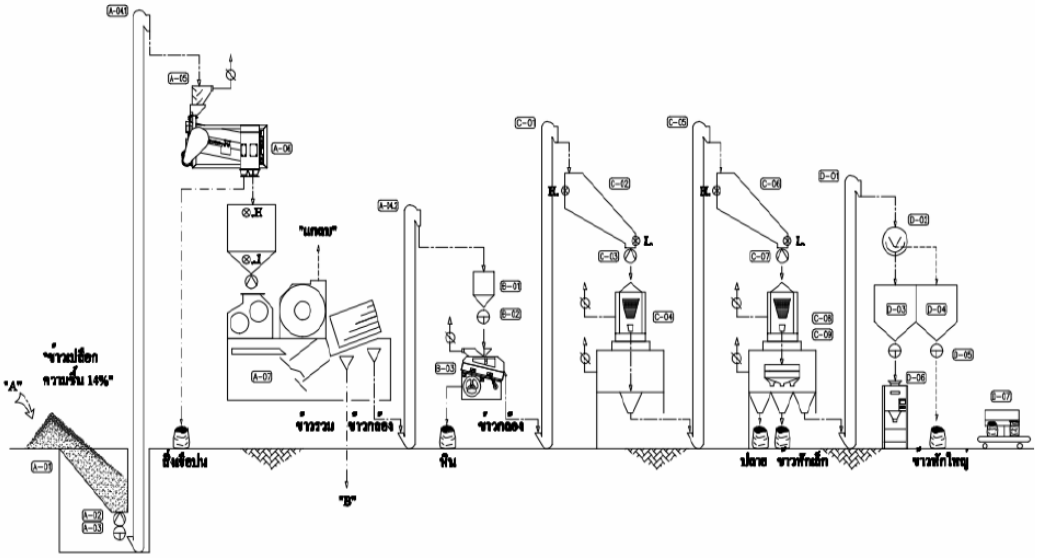
ขั้นตอนการทำวิจัย

ได้แบ่งเป็นหัวข้อหลัก ดังนี้

1. ศึกษากระบวนการทำงานของโรงสีข้าวตัวอย่างเพื่อเข้าใจการทำงานของแต่ละระบบและทราบถึงขอบเขตของการทดลอง
2. กระบวนการอบข้าวเปลือก
3. ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง
4. การทดลอง Factorial design เพื่อหาจำนวนการทดลองที่เหมาะสม
5. ขั้นตอนการอบข้าว และการบันทึกค่าลงแบบฟอร์ม
6. ขั้นตอนการทดลอง
7. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ศึกษากระบวนการทำงานของโรงสีข้าวตัวอย่าง

บริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด (BSM) เลขที่ 182/1 หมู่ 6 ถนน นนทบุรี 1 ตำบล บางกระสอ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000 เป็นโรงสีข้าวเพื่อการส่งออกขนาดใหญ่ในนามข้าวหงส์ทอง กำลังการผลิต 1,000 ตัน (ข้าวเปลือก) ต่อวัน ซึ่งเป็นระบบที่ครบวงจร คือ มีตั้งแต่กระบวนการอบข้าวเปลือก การกะเทาะเปลือกและสีข้าว ซึ่งมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้ กระบวนการสีข้าวจะเริ่มตั้งแต่การนำข้าวเปลือกที่มีความชื้นไม่เกิน 15% มาเทลงในหลุมรับข้าวและถูกส่งผ่านไปยังเครื่องทำความสะอาดข้าวเปลือกด้วยกระพ้อลำเลียงข้าวเปลือก จากนั้นจึงเข้าเครื่องกะเทาะแล้วจึงเข้าเครื่องตระแกรงโยกเพื่อคัดขนาดข้าวกล้อง จากนั้นจะนำข้าวกล้องที่ผ่านการสีแล้วมาคัดแยกสิ่งเจือปน ขัดสี ปรับปรุงคุณภาพ ดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 กระบวนการสีข้าวของโรงงานกรณีศึกษา (เริ่มจากซ้ายไปขวา)

กระบวนการอบข้าวเปลือก

กระบวนการอบข้าวเปลือกจะเริ่มตั้งแต่รถเทข้าวเปลือกใส่ลงในหลุมรับข้าวแล้วส่งไปผ่านเครื่องทำความสะอาดข้าวเปลือกโดยผ่านกระพ้อ จากนั้นจึงลำเลียงเข้าเตาอบ (ขนาด 500 ตัน) จนได้ระดับที่ต้องการโดยมีสวิทช์จำกัดความสูงของข้าวเปลือก จากนั้นจะเริ่มทำการอบโดยปรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า โดยมีพัดลมดูดมาจากท่อลมร้อนจากเตาเผาแกลบโดยการดูดลมร้อนจากการเผาแกลบเข้าคอยล์ร้อนเพื่อไม่ให้ลมร้อนที่ส่งเข้าไปยังเครื่องอบข้าวมีกลิ่นควันอันจะส่งผลให้ข้าวสารมีกลิ่นควัน โดยมีตัวควบคุมอุณหภูมิปรับลมร้อนผสมกับอากาศเพื่อให้ได้อุณหภูมิอบที่ต้องการและความเร็วลมที่ต้องการและความเร็วรอบของข้าวเปลือกขาออกเพื่อให้ข้าวได้ไหลเวียนในเตาอบ ภายในจะเป็นช่องที่ให้ข้าวเปลือกไหลคลุกเคล้ากัน ซึ่งจะช่วยในการถ่ายความชื้น และความร้อนให้กับข้าวเปลือกได้สม่ำเสมอกัน โดยที่พนักงานจะคอยมาเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกเพื่อนำไปวัดความชื้น และอุณหภูมิข้าวเปลือกตามระยะเวลา จากนั้นเมื่อความชื้นของข้าวเปลือกลดลงที่ต่ำกว่า 15% จึงหยุดกระบวนการอบข้าว เพื่อให้ข้าวเปลือกไหลไปเข้าในไซโลเก็บข้าวซึ่งมีการเป่าลมเย็นเพื่อลดอุณหภูมิของข้าวเปลือกลดลง เมื่อได้ระยะเวลาที่กำหนดก็จะส่งไปยังกระบวนการสีข้าวต่อไป ดังภาพที่ 3-2

ภาพที่ 3-2 เครื่องอบข้าวของโรงงานกรณีศึกษาความจุ 500 ตันแบบคอลัมน์

ข้าวเปลือกที่บริษัทรับซื้อมาจากเกษตรกรในพื้นที่ภาคอีสานโดยทั่วไปจะมีความชื้นในช่วง 20%-30% ในการอบข้าวเปลือกหอมมะลิเพื่อลดความชื้นนั้นต้องทำซ้ำหลายครั้งเพื่อลดการหักและเหลืองของเมล็ด อีกทั้งยังคงความหอมและนุ่มซึ่งเป็นคุณสมบัติเด่นของข้าวหอมมะลิ ในการทดลองครั้งนี้จะนำข้าวที่ผ่านกระบวนการอบแห้งมาแล้วจนมีความชื้นไม่เกิน 20% ซึ่งในการรับซื้อข้าวนั้นเกษตรกรจะนำข้าวมาขายให้โรงสีพร้อม ๆ กันเป็นจำนวนมาก ดังนั้น การลำเลียงเข้าเครื่องอบจึงต้องทำอย่างต่อเนื่องในกระบวนการทดลองนี้จะใช้เครื่องอบข้าวแบบคอลัมน์ชนิดเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้า หรือแบบ แอล.เอส.ยู. ในการเก็บข้อมูล โดยจะนำเข้าเครื่องอบครั้งละ 1,000 กิโลกรัม แล้วนำมากองเพื่อลดอุณหภูมิของข้าวโดยการกองไว้ในอาคารตามภาพที่ 3-3

ภาพที่ 3-3 กองข้าวเปลือกชื้นเตรียมอบ

เนื่องจากจุดประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้ คือ การศึกษาพารามิเตอร์ของการอบข้าวที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้สามารถนำข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการอบไปทำการสีให้ได้อัตราผลตอบแทน (Yield) สูงสุด โดยใช้ระยะเวลาในการอบสั้น ในการทดลองจะใช้ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบเตรียมความชื้นตามกระบวนการของทางบริษัทมาเรียบร้อยแล้ว ป้อนเข้าสู่ระบบอบข้าว และทำการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องตามแบบการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ แล้วจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง ปฏิบัติตามลำดับดังนี้ คือ

1. การกำหนดปัจจัยที่จะนำมาพิจารณา จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการลดความชื้นของกระบวนการอบข้าว ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้าวสารที่ผ่านกระบวนการสี เช่น ข้าวสารเมล็ดหัก มีสีเหลือง ขุ่น ทำให้ขายไม่ได้ราคาโดยการระดมสมองร่วมกับผู้ที่รับผิดชอบในกระบวนการอบข้าวของโรงงานกรณีศึกษาพบว่าการควบคุมระดับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเครื่องอบและการควบคุมระดับอุณหภูมิเป็นจุดที่สำคัญซึ่งมีอิทธิพลทำให้เกิดปัญหาต่อประสิทธิภาพของเครื่องอบ คือ ใช้ระยะเวลานานและคุณภาพของข้าวต่ำ (ข้าวสารเหลือง แตกร้าว) โดยพารามิเตอร์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดความแปรปรวนของกระบวนการอบซึ่งเป็นตัวแปรต้นมี 2 ปัจจัย ซึ่งจะกำหนดให้เป็นปัจจัยในการทดลอง คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) และความเร็วของข้าวขาเข้าเครื่องอบ (รอบ/ นาที)

ตัวแปรควบคุมอุณหภูมิข้าวเปลือกขาออก (องศาเซลเซียส) เป็นปัจจัยที่ควบคุมให้คงที่ เพื่อป้องกันไม่ให้ข้าวเปลือกเกิดความเสียหายจากความเปราะหากข้าวเปลือกขาออกที่เก็บตัวอย่างออกมาพร้อมกับการวัดความชื้นมีอุณหภูมิสูงเกินที่กำหนด ประมาณ 43°C จะต้องทำการปรับลดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าลงชั่วขณะ จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงแล้วค่อยปรับเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ากลับไปยังค่าที่ตั้งไว้

ตัวแปรตาม อัตราผลตอบแทนของการสีข้าว (Yield) ซึ่งจะจำกัดขอบเขตของความชื้นข้าวขาเข้าสำหรับการทดลองที่ 18-20% ในการรับซื้อข้าวเปลือก (ยิ่งความชื้นสูงราคารับซื้อข้าวก็จะต่ำ ส่วนต่างประมาณ 1% ความชื้นต่อ 120 บาทต่อตัน) ส่วนปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้จะไม่นำมาพิจารณา เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ฯลฯ การวัดความชื้นข้าวเปลือกจะนำข้าวเปลือกที่เก็บตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา มาอ่านค่าความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้น ซึ่งจะทำการวัดสามครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย ดังภาพที่ 3-4

ภาพที่ 3-4 การวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก

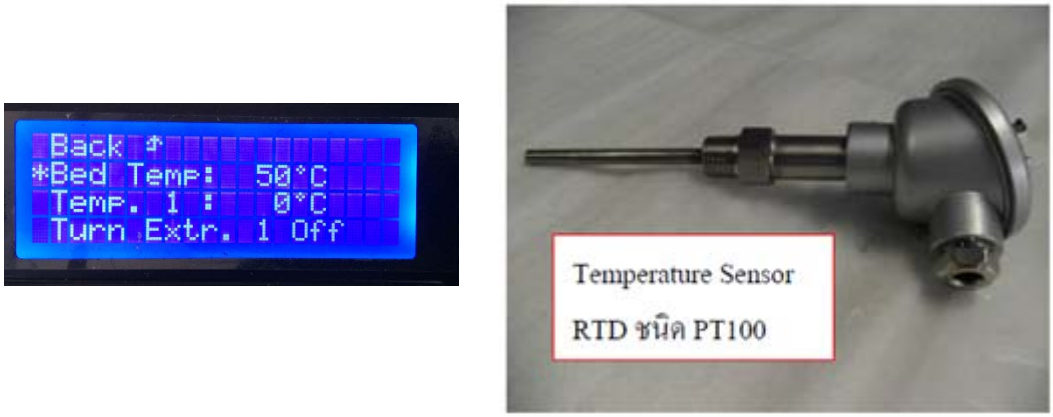
การจำแนกปัจจัยหลัก (ตัวแปรต้น)

การจำแนกปัจจัยหลักจะพิจารณาจากความสามารถในการควบคุมได้ในกระบวนการผลิตปัจจัยที่นำมาพิจารณาในการทดลองที่สามารถควบคุมได้ทุกปัจจัย จะจัดว่าเป็นปัจจัยหลักทั้งหมด

1. การกำหนดระดับของปัจจัย

ตามข้อจำกัดของปัจจัยที่ควบคุมและความสามารถของเครื่องจากการศึกษากระบวนการลดความชื้นข้าวนี้มีการกำหนดปัจจัยเพียงสองตัว คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และความเร็วของข้าวขาเข้าเครื่องอบ ซึ่งอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าจะมี 3 ระดับ คือ ปัจจัยในลักษณะค่าสูง (Max) ค่ากลาง (Medium) และค่าต่ำ (Min) แต่ปัจจัยอีกตัวหนึ่ง คือ ความเร็วของข้าวขาเข้าเครื่องอบจะมีเพียง 2 ระดับ คือ ปัจจัยในลักษณะค่าสูง (Max) และค่าต่ำ (Min) โดยพิจารณาจากมาตรฐานการทำงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ดังนี้

1.1 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 47, 48.5 และ 50°C (ในกระบวนการผลิตปัจจุบันกำหนดไว้ประมาณ 47-50 °C) จากประสบการของผู้ผลิตข้าวหอมมะลิอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการอบข้าวไม่ควรเกิน 50 °C เพราะจะทำให้เมล็ดข้าวหักและขุ่น ความหอมลดลง และคำแนะนำของผู้ออกแบบเครื่องไม่ควรใช้อุณหภูมิเกิน 75 °C เพราะจะทำให้อุณหภูมิข้าวขาออกสูงเกิน 43 °C จะทำให้ข้าวเสียหายซึ่งใช้อุปกรณ์ในการวัดอุณหภูมิแบบ Resistance temperature detector (RTD) ชนิด PT100 (ทำจาก Platinum มีค่าความต้านทาน 100 Ohm ที่อุณหภูมิ 0 °C) ดังภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-5 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

1.2 ความเร็วของข้าวขาเข้าแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ 19 รอบ/ นาที และ 20 รอบ/ นาที เนื่องจากเป็นค่าที่เหมาะกับขนาดการลำเลียง (กระพ้อมีอัตราการไหล 50 ตันต่อชั่วโมง)

1.2.1 หากปรับที่ 20 รอบต่อนาที จะได้อัตราการไหล = 50 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งถ้าปรับมากกว่านี้ข้าวเปลือกจะล้นกระพ้อ

1.2.2 หากปรับที่ 19 รอบต่อนาที จะได้อัตราการไหล = 47.5 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งถ้าปรับต่ำกว่านี้ข้าวเปลือกจะขาดช่วง ทำให้ระบบการอบข้าวไม่ต่อเนื่อง ซึ่งการควบคุมอัตราการไหลของข้าวเข้าเครื่องอบ ดังภาพที่ 3-6

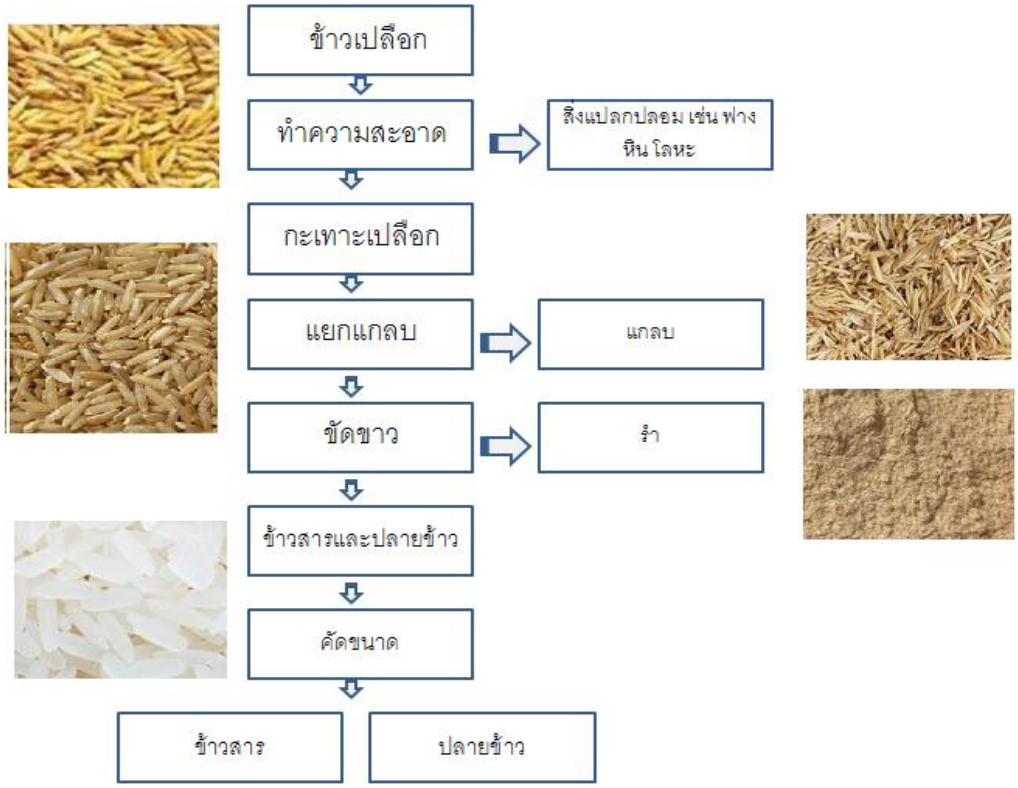
ภาพที่ 3-6 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วข้าวเปลือกเข้าเครื่องอบ

ตารางที่ 3-1 ระดับปัจจัยสำหรับการทดลอง

ปัจจัย	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	หน่วย
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (A)	47	48.5	50	องศาเซลเซียส
ความเร็วของข้าวขาเข้า (B)	19	20	-	รอบ/ นาที

กระบวนการสีข้าว

ในการทดลองใช้เครื่องจักรในการสีข้าวตามกระบวนการและขั้นตอนการสีมาตรฐานของบริษัทซึ่งดำเนินการอยู่เป็นประจำและในการวิจัย ผู้วิจัยมุ่งเน้นที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการอบข้าวเพื่อเพิ่มค่า Yield ของระบบ ฉะนั้นหลังจากอบข้าวเปลือกจนความชื้นลดลงต่ำกว่า 15% แล้วจะทำการสีตามกระบวนการจนได้เมล็ดข้าวสารที่สมบูรณ์ รำข้าว ปลายข้าวและแกลบ ดังภาพที่ 3-7



ภาพที่ 3-7 ขั้นตอนการสีข้าว

จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักข้าว ปลายข้าว รำข้าว และแกลบที่ได้ ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลและบันทึกข้อมูล ในตารางที่ 3-2

ภาพที่ 3-8 การชั่งน้ำหนักข้าวด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล

การเลือกรูปแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองที่มีผลการทดลองเที่ยงตรงที่สุด คือ การใช้ General full factorial design การทดลองในการศึกษานี้ มีปัจจัย 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 และ 2 ระดับ

การทดลอง Factorial design เพื่อหาจำนวนการทดลองที่เหมาะสม

คำนวณหาจำนวนการทดลองซ้ำ (Replicate) เพื่อให้ได้ความเชื่อมั่นที่ 95% (Alpha = 0.05) ดังในภาพที่ 3-9 ใช้โปรแกรม Minitab 17 โดยกำหนดการทดลองซ้ำ (Replicates) เท่ากับ 3 จึงได้การทดลองทั้งหมด 18 Runs ทำการทดลองและบันทึกค่าผลลัพธ์ที่ได้ลงในตารางการทดลอง เพื่อนำค่าไปวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

Multilevel Factorial Design

Factors:	2	Replicates:	3
Base runs:	6	Total runs:	18
Base blocks:	1	Total blocks:	1

Number of levels: 3, 2

ภาพที่ 3-9 Multilevel factorial design

ขั้นการทดลอง

ในการทดลองอบข้าวเปลือกแต่ละรอบต้องทำการจดบันทึกข้อมูลลงแบบฟอร์ม ดังภาพที่ 3-10 เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ผล

	T1	47	°C	S1	19	rpm.					
	T2	48.50	°C	S2	20	rpm.					
	T3	50	°C								

No.	Temp	Speed	น้ำหนัก		ความชื้น		น้ำหนัก	สีข้าว			yield
			ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ข้าวปลือก	ข้าวสาร	ำข้าว+ปลายข้า	แกลบ	
			kg	kg	%	%	ทดลองสี	kg.	kg.	kg.	%
1	T1	S1	1,000.00	703.00	19.9	14.00	703.00	328.68	198.57	175.75	46.75
2	T1	S2	1,000.00	724.00	18.9	15.10	724.00	276.11	266.89	181.00	38.14
3	T2	S1	1,000.00	705.00	20.0	14.10	705.00	318.10	210.65	176.25	45.12
4	T2	S2	1,000.00	712.00	19.9	14.20	712.00	289.99	244.01	178.00	40.73
5	T3	S1	1,000.00	712.00	20.2	13.50	712.00	328.24	205.76	178.00	46.10
6	T3	S2	1,000.00	740.00	20.0	14.80	740.00	240.35	314.65	185.00	32.48
7	T1	S1	1,000.00	715.00	19.1	14.00	715.00	368.25	168.00	178.75	51.50
8	T1	S2	1,000.00	726.00	18.0	15.20	726.00	263.47	281.03	181.50	36.29
9	T2	S1	1,000.00	721.00	19.9	14.50	721.00	353.20	187.55	180.25	48.99
10	T2	S2	1,000.00	722.00	19.3	14.60	722.00	342.15	199.35	180.50	47.39
11	T3	S1	1,000.00	715.00	20.1	12.90	715.00	317.30	219.95	178.75	44.38
12	T3	S2	1,000.00	709.00	20.1	15.00	709.00	266.27	265.48	177.25	37.56
13	T1	S1	1,000.00	721.00	19.9	14.80	721.00	402.20	138.55	180.25	55.78
14	T1	S2	1,000.00	724.00	19.8	14.90	724.00	264.89	278.11	181.00	36.59
15	T2	S1	1,000.00	718.00	19.9	14.30	718.00	301.23	237.27	179.50	41.95
16	T2	S2	1,000.00	719.00	20.0	14.20	719.00	311.26	227.99	179.75	43.29
17	T3	S1	1,000.00	722.00	20.1	13.00	722.00	283.54	257.96	180.50	39.27
18	T3	S2	1,000.00	721.00	18.4	14.60	721.00	241.06	299.69	180.25	33.43
			18,000.00	12,929.00			12,929.00	5,496.29	4,200.45	3,232.25	42.51

ภาพที่ 3-10 แบบฟอร์มการเก็บค่าผลการทดลอง

ตารางที่ 3-2 แบบฟอร์มสรุปผลการทดลอง Yield (%)

	Speed 19 rpm.			Speed 20 rpm.		
Temp 47 °C	46.7539	51.5035	55.7836	38.1367	36.2906	36.5870
Temp 48.5 °C	45.1206	48.9875	41.9540	40.7289	47.3892	43.2907
Temp 50 °C	46.1011	44.3776	39.2715	32.4797	37.5557	33.4341

ขั้นตอนการอบข้าวและวิธีการบันทึกค่าลงแบบฟอร์ม

1. เก็บตัวอย่างข้าวเปลือกเพื่อวัดและบันทึกความชื้นข้าวก่อนเข้าอบดังภาพที่ 3-10
2. ชั่งน้ำหนักข้าวให้ได้ 1 ตัน จากนั้นลำเลียงข้าวเปลือกเข้าเครื่องอบ
3. เลือกระดับปัจจัยที่ใช้กับการทดลองป้อนเข้าระบบควบคุม แล้วบันทึกค่ารูปแบบการทดลอง (6 รูปแบบ ๆ ละ 3 ซ้ำ รวมทั้งหมด 18 ครั้ง)
4. บันทึกค่าเวลา (ระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง) เพื่อเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกไปวัดค่า
5. นำข้าวเปลือกตัวอย่างไปวัดค่าความชื้น
6. เมื่อได้ความชื้นข้าวเปลือกต่ำกว่า 15% จึงหยุดการอบ พร้อมทั้งบันทึกเวลาเลิกอบและน้ำหนักข้าวหลังอบได้ค่าความชื้นที่ต้องการ (<15%) จากนั้นนำข้าวไปกองพักไว้เพื่อให้อุณหภูมิลดลงและเป่าด้วยลมเย็นแล้วเข้ากระบวนการสีข้าวเพื่อแยกแกลบ รำข้าว ปลายข้าว และเมล็ดข้าวที่สมบูรณ์ ทำการชั่งน้ำหนักเปรียบเทียบกับน้ำหนักข้าวเปลือกหลังการอบ ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ซึ่งก็ คือ ค่าอัตราผลตอบแทนจากการสีข้าว (Yield) ต่อข้าวเปลือกหลังการอบ ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative) เพื่อนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละหน่วยการทดลอง (Run) ทำการคัดแยกผลการทดลองที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนด คือ ความชื้นข้าวขาเข้าอยู่ในช่วง 18-20% ตัวแปรต้น คือ 1) อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่มี 3 ระดับ 2) ความเร็วของข้าวขาออกที่มี 2 ระดับ และคำนวณหาค่าประสิทธิภาพโดยดูจากอัตราผลตอบแทนจากการสีข้าว (Yield) ต่อข้าวเปลือกหลังการอบ

การคำนวณ Yield ของกระบวนการ

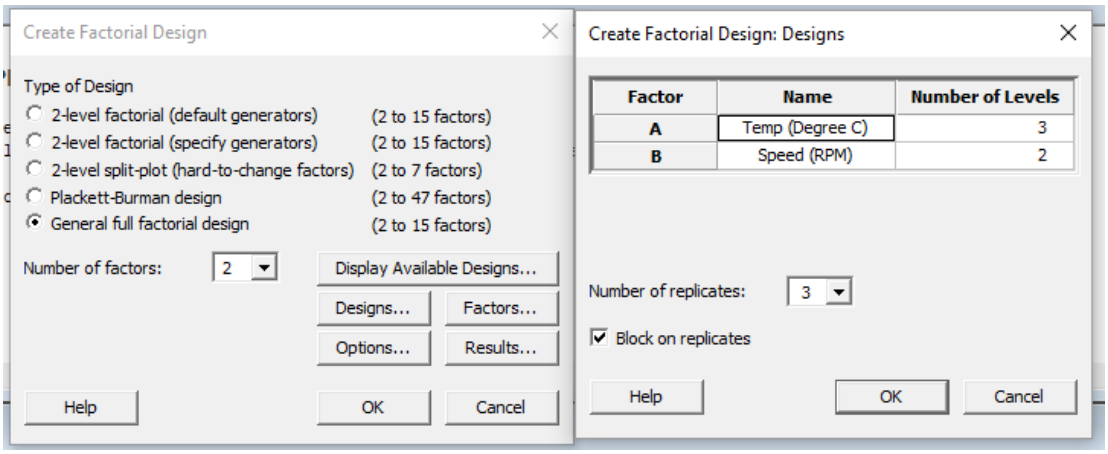
ในการทดลองครั้งที่ 1 น้ำหนักข้าวเปลือกที่ผ่านการอบ 703 กิโลกรัม น้ำหนักข้าวสารที่ได้หลังการสี 328.68 กิโลกรัม สามารถคำนวณ Yield ของการสีข้าวครั้งนี้ได้ ดังนี้

$$\text{Yield} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวสาร}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} \times 100$$

$$\text{Yield} = \frac{328.68}{703} \times 100$$

$$\text{Yield} = 46.754\%$$

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาป้อนลงในโปรแกรม MINITAB Version 17 ซึ่งเป็น Software ที่ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ทำการแสดงผลออกมาในรูปแบบต่าง ๆ ด้วยเมนู Stat > DOE > Factorial > “Create factorial design…” จะได้หน้าต่างเพื่อให้เลือกชนิดการทดลองตามภาพที่ 3-11 ซึ่งเมื่อป้อนตัวเลือกของตัวแปรที่ต้องการแล้วโปรแกรมจะสร้างตาราง ดังตารางที่ 3-3 เพื่อใส่ข้อมูลจากการทดลองในแต่ละครั้ง



ภาพที่ 3-11 หน้าต่างเลือกชนิดการทดลองและการกำหนดระดับของแต่ละตัวแปร

ตารางที่ 3-3 ข้อมูลที่ทำการป้อนหลังจากออกแบบการทดลอง

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	Std order	Run order	Pt type	Blocks	Temp (Degree C)	Speed (rpm)	Yield
1	1	1	1	1	47.0	19	46.7539
2	2	2	1	1	47.0	20	38.1367
3	3	3	1	1	48.5	19	45.1206
4	4	4	1	1	48.5	20	40.7289
5	5	5	1	1	50.0	19	46.1011
6	6	6	1	1	50.0	20	32.4797
7	7	7	1	2	47.0	19	51.5035
8	8	8	1	2	47.0	20	36.2906
9	9	9	1	2	48.5	19	48.9875
10	10	10	1	2	48.5	20	47.3892
11	11	11	1	2	50.0	19	44.3776
12	12	12	1	2	50.0	20	37.5557
13	13	13	1	3	47.0	19	55.7836
14	14	14	1	3	47.0	20	36.5870
15	15	15	1	3	48.5	19	41.9540
16	16	16	1	3	48.5	20	43.2907
17	17	17	1	3	50.0	19	39.2715
18	18	18	1	3	50.0	20	33.4341

บทที่ 4
ผลของการวิจัย

หลังจากดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ การกำหนดระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการอบข้าวเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุด มีการวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังนี้

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ใช้เมนู Stat > DOE > Factorial > “Analyze factorial design…” โดยกำหนด α เท่ากับ 0.05 และเลือก Option ที่ต้องการวิเคราะห์จากนั้นจึง Run โปรแกรมจะได้ผลลัพธ์ ดังภาพที่ 4-1

General Factorial Regression: yield versus temp, speed

Factor Information

Factor	Levels	Values
temp	3	47.0, 48.5, 50.0
speed	2	19, 20

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	549.1	109.81	10.14	0.001
Linear	3	425.7	141.90	13.10	0.000
temp	2	121.8	60.90	5.62	0.019
speed	1	303.9	303.90	28.06	0.000
2-Way Interactions	2	123.4	61.69	5.70	0.018
temp*speed	2	123.4	61.69	5.70	0.018
Error	12	129.9	10.83		
Total	17	679.0			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.29070	80.86%	72.89%	56.94%

ภาพที่ 4-1 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม MINITAB

จากผลการทดลองพบว่าค่า P-value ของตัวแปรต้นทั้งสองตัว คือ

1. อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (Temp) ที่มี 3 ระดับ (47, 48.5, 50) = 0.019
2. ความเร็วของข้าวขาเข้า (Speed) ที่มี 2 ระดับ (19, 20) = 0.000

3. อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและความเร็วข้าวขาเข้า = 0.018

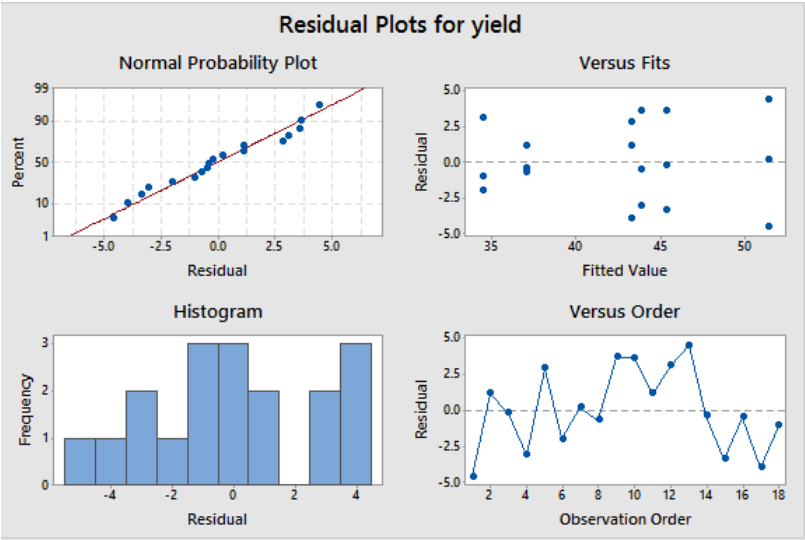
ทั้งสามหัวข้อซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและความเร็วของข้าวขาเข้ามีผลต่อประสิทธิภาพในการอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งค่า R-square มีค่า 80.86% แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต้นมีผลสอดคล้องกับผลลัพธ์ของตัวแปรตามเป็นอย่างมากจาก Residual plots for yield ซึ่งจะประกอบด้วยกราฟ 4 แบบ คือ

3.1 Normal probability plot มีลักษณะการกระจายตัวของเศษเหลือ Residual มีลักษณะกระจายตัวอยู่บนเส้นกราฟแสดงว่าเศษเหลือ (Residuals) มีการกระจายปกติ (Normality)

3.2 Histogram ลักษณะกระจายฮิสโตแกรมที่มีรูปทรงไม่สมมาตร ดังนั้น จึงต้องทำการทดสอบ Normality test (ดังภาพที่ 4-4) ซึ่งผลที่ได้ คือ ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ (Normality)

3.3 กราฟ Fitted value VS มีการกระจายตัวของความแปรปรวนในแต่ละย่านของข้อมูลซึ่งมีความกว้างโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่เท่ากัน สรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

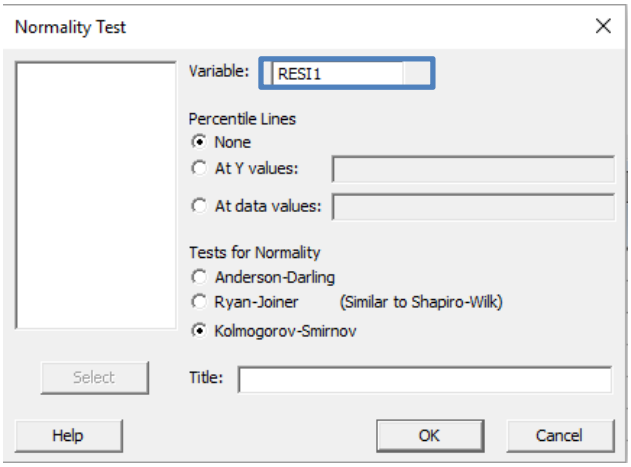
3.4 กราฟ Observation order VS มีลักษณะการกระจายตัวของค่า Residuals มีลักษณะไม่สมดุลอันเนื่องมาจากการทดลองแต่ละชุดการทดลองมีการควบคุมความแปรปรวนไม่ดีเท่าที่ควรและหากทำการทดลองแบบสุ่มการกระจายตัวของค่าเศษเหลือจะสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น ดังนั้น ในการนำข้อมูลไปใช้จริงควรใช้ความละเอียดรอบครอบในการควบคุมกระบวนการทำงาน



ภาพที่ 4-2 Residual plots for yield

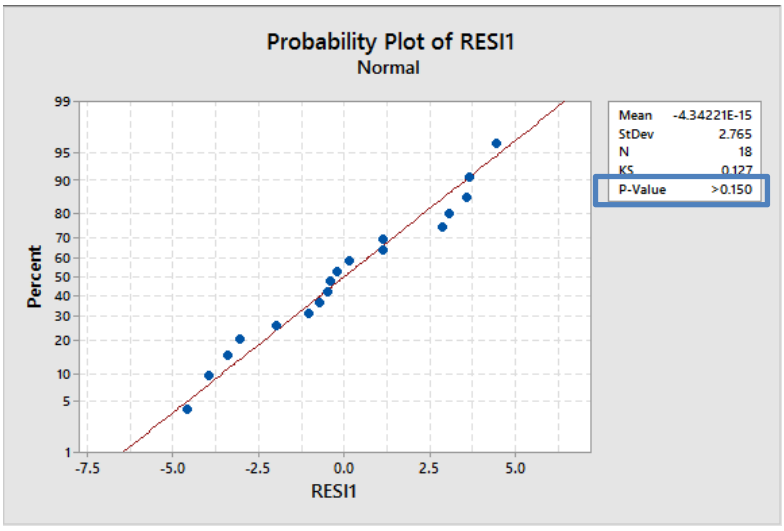
การทดสอบ Normality test

ใช้เมนู Stat > Besic Statistics> Normality test > เลือก RESI1 เป็นค่าที่สนใจ โดยเลือกใช้ Kolmogorov-smirnov ในการทดสอบจะได้ ดังภาพที่ 4-3



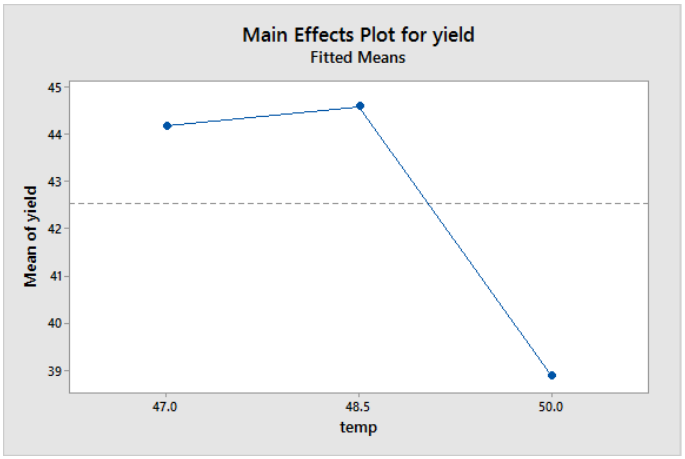
ภาพที่ 4-3 การทดสอบ Normality test

ผลจากการทดสอบค่า P-value > 0.150 แสดงว่ามีการแจกแจงแบบ Normal



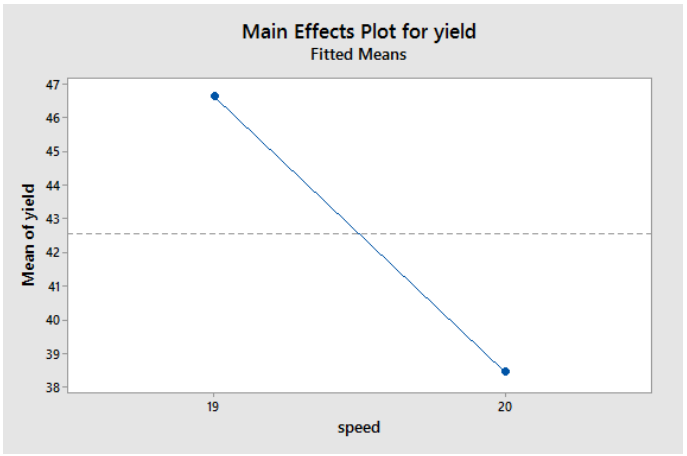
ภาพที่ 4-4 Probability plot of RESI1

ผลกระทบจากการปรับระดับของตัวแปรต้น อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าจะส่งผลต่อตัวแปรตาม (ค่า Yield) เส้นกราฟที่ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อเปลี่ยนระดับของตัวแปรต้นในระดับอุณหภูมิ 48.5°C ค่า Yield มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปรับระดับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเป็น 50 °C ค่า Yield จะตกลง สาเหตุเนื่องมาจากความร้อนทำให้ข้าวที่สีได้มีการแตกร้าว ดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 ผลกระทบจากตัวแปรต้นอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อตัวแปรตาม (Yield)

ผลกระทบจากการปรับความเร็วของกระพ้อลำเลียงข้าวเปลือกเข้าอบจะส่งผลต่อตัวแปรตาม (ค่า Yield) เส้นกราฟที่ได้มีลักษณะชันแสดงว่าการปรับความเร็วในการลำเลียงข้าวส่งผลต่อตัวแปรตามอย่างมาก ดังภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-6 ผลกระทบจากตัวแปรต้นความเร็วข้าวขาเข้าต่อตัวแปรตาม (Yield)

การหาค่าความเชื่อมั่น

ในการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองเนื่องจากผู้วิจัยไม่ได้นำผลการทดลองไปทดลองซ้ำกับกระบวนการอบข้าวเปลือกเนื่องจากเวลามีไม่เพียงพอ ฉะนั้นจึงได้ทำการทดสอบด้วยการประมาณค่าแบบช่วง 1 ประชากร เพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของ μ ในระดับความเชื่อมั่น 95% โดยที่

$$n = 3 \qquad S = 3.2907 \qquad \bar{x} = 51.347$$

$$\bar{x} - \left[t_{\frac{\alpha}{2}}, n-1\right]\left[\frac{s}{\sqrt{n}}\right] \leq \mu \leq \bar{x} + \left[t_{\frac{\alpha}{2}}, n-1\right]\left[\frac{s}{\sqrt{n}}\right]$$

$$51.347 - \left[t_{0.025,2}\right]\left[\frac{3.29.7}{\sqrt{3}}\right] \leq \mu \leq 51.347 + \left[t_{0.025,2}\right]\left[\frac{3.29.7}{\sqrt{3}}\right]$$

$$51.347 - [4.3026][1.899] \leq \mu \leq 51.347 + [4.3026][1.899]$$

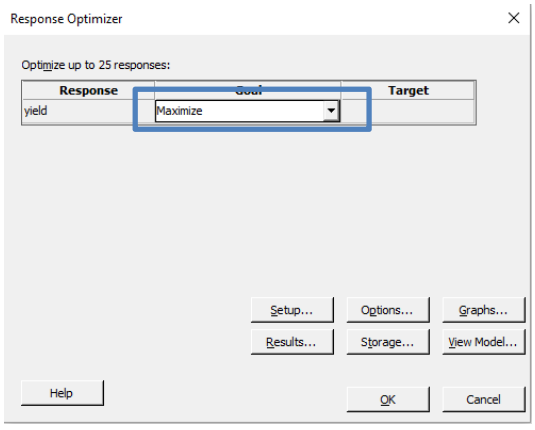
$$51.347 - 8.174 \leq \mu \leq 51.347 + 8.174$$

$$43.1724 \leq \mu \leq 59.5215$$

สรุปได้ว่าช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ของค่าเฉลี่ยของค่า Yield มีค่าอยู่ระหว่าง 43.1724 ถึง 59.5215

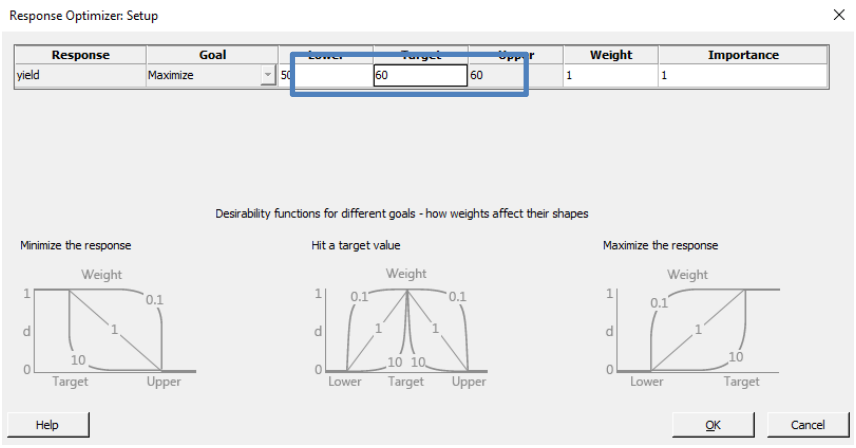
การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ใช้เมนู Stat > DOE > Factorial > Response optimizer จากนั้นกำหนดค่า Goal เป็น Maximize เพราะในการทดลองต้องการค่า Yield สูงสุดจะได้ ดังภาพที่ 4-7



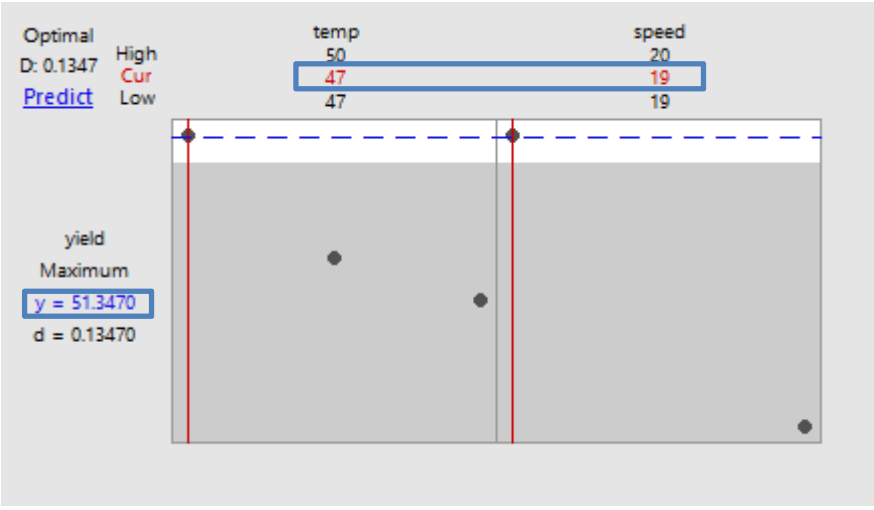
ภาพที่ 4-7 Response optimizer menu

จากนั้นทำการ Setup กำหนดค่า Lower ที่ 50 เนื่องจากค่า Yield ที่ต้องการควรจะสูงกว่า 50% เพราะก่อนการทดลองค่า Yield ของการสีข้าวต่ำกว่า 50% จากนั้นกำหนดค่า Target ที่ 60 เพราะหากค่า Yield ที่ได้มีค่าเกิดกว่า 60% ถือว่ายอดเยี่ยม



ภาพที่ 4-8 การกำหนดค่า Response optimizer setup

การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการอบข้าวเพื่อให้ได้ค่า Yield สูงสุด จากกราฟที่ได้ในภาพที่ 4-9 ซึ่งค่าอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 47°C และความเร็วที่เหมาะสม คือ 19 rpm จะทำให้ได้ค่า Yield เท่ากับ 51.347%



ภาพที่ 4-9 ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการอบข้าวเพื่อให้ได้ค่า Yield สูงสุด

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทสรุป

การอบแห้งข้าวเปลือกเพื่อให้ได้อัตราผลตอบแทนต่อข้าวเปลือกสูง (Yield) นั้น เป็นสิ่งที่ผู้ประกอบการโรงสีต้องการเป็นอย่างยิ่งเพราะจะทำให้ข้าวสารที่ผลิตได้ มีคุณภาพได้มาตรฐาน ขายได้ราคา ในปัจจุบัน บริษัท บางซื่อ โรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด สามารถผลิตข้าวสารคุณภาพดีส่งออกขายไปทั่วโลก ปีละประมาณ 200,000 ตัน ราคาโดยเฉลี่ยตันละ 35,000 บาท มีมูลค่าโดยรวม 7,000,000,000 บาท โดยที่ Yield ของการผลิตข้าวแต่เดิมอยู่ที่ระหว่าง 45-48% กระบวนการอบแห้งถือเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ Yield เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลผลิตข้าวสารคุณภาพดีเพิ่มขึ้นด้วย

จากผลการทดลองในกระบวนการอบข้าวเปลือก และการวิเคราะห์ผลการทดลองแบบ General full factorial ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Yield ของการสีข้าวอันเป็นผลมาจากกระบวนการอบข้าวเปลือก คือ ปัจจัยความเร็วรอบของข้าวขาเข้าและปัจจัยของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ซึ่งสามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยสำหรับกระบวนการอบข้าวของ บริษัท บางซื่อ โรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด ได้ ดังนี้

1. อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ระดับ 47 ^{o}C
2. ความเร็วของข้าวขาออกที่ระดับ 19 รอบต่อนาที

ซึ่งให้ค่า Yield ในการสีข้าวสูงที่สุดอยู่ที่ 51.347% โดยที่ค่า Yield เดิมไม่เกิน 48% ซึ่งสูงขึ้นจากเดิมมากเพราะในกระบวนการสีปกติ ข้าวที่ผ่านการอบแล้วจะถูกนำไปเก็บไว้ประมาณ 0-8 เดือน โดยประมาณในสถานที่ที่มีการควบคุมอุณหภูมิความชื้นในการเก็บก่อนนำไปสี แต่ในการทดลองนี้ผู้วิจัยนำข้าวที่ผ่านการอบมาทำการสีทันทีทำให้ค่า Yield ที่ได้มีระดับสูงขึ้น 3.347% ซึ่ง หมายถึง มีปริมาณข้าวสารเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยที่ใช้ปริมาณข้าวเปลือกเท่าเดิม

ก่อนการปรับปรุง Yield = 48%

$$\text{น้ำหนักข้าวเปลือกที่ใช้} = \left(\frac{\text{น้ำหนักข้าวสาร}}{\text{Yield}} \right) \text{x } 100$$

$$= \left(\frac{200{,}000}{48} \right) \text{x } 100$$

$$= 416{,}666.66 \text{ กิโลกรัม}$$

หลังการปรับปรุง Yield = 51.347%

$$\text{น้ำหนักข้าวสารที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกที่ใช้ x Yield}}{100}$$

$$= \frac{416{,}666.66 \text{ x } 51.347}{100}$$

$$= 231{,}945.83 \text{ กิโลกรัม}$$

เห็นได้ว่าหลังการปรับปรุงจะมีปริมาณข้าวสารเพิ่มขึ้นจากเดิม 31,945.83 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่าทั้งสิ้น 488,104,050 บาทต่อปี

ข้อเสนอแนะการวิจัย

ข้อจำกัดของการทดลองกับโรงสีข้าว บริษัท บางซื่อ โรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด คือ หลังจากที่ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยสำหรับกระบวนการอบข้าวแล้วควรมีการทดลองจริงด้วยค่าพารามิเตอร์ที่ได้อีกครั้งเพื่อความเที่ยงตรงของวิจัย อีกทั้งยังมีตัวแปรอื่น ๆ เช่น คุณภาพของข้าวเปลือกจากแหล่งการผลิตต่าง ๆ ที่ไม่เท่ากันมีความแกร่งของเมล็ดไม่เท่ากัน ระดับความชื้นก่อนการรับซื้อหากรับซื้อข้าวที่มีความชื้นสูงก็จำเป็นต้องอบหลายครั้ง การปรับตั้งระดับพารามิเตอร์ของเครื่องอบ การเก็บรักษาข้าวเปลือกหลังจากการอบเพื่อรอการสีหากไม่มีการควบคุมที่ดีข้าวก็จะเสียหายมีสัตว์และแมลงกัดกิน การปรับตั้งเครื่องสีข้าวหากช่างไม่มีความชำนาญก็จะทำให้ Yield ต่ำ อีกทั้งการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของ Yield นั้น เกิดจากปริมาณของข้าวสารและปริมาณของปลายข้าวและข้าวหักกล่าว คือ หากมีปริมาณปลายข้าวและข้าวหักมาก ปริมาณของข้าวสารก็จะลดลงส่งผลถึง Yield ก็จะลดลงด้วย แต่หากมีปริมาณข้าวสารมาก และปริมาณปลายข้าวและข้าวหักน้อย Yield ก็จะสูงขึ้น

ดังนั้น ควรมีการวิจัยและพัฒนาในกระบวนการสีข้าวในประเด็นอื่น ๆ เช่น การพัฒนาการปลูกข้าวให้ได้คุณภาพ การเก็บรักษาข้าวเปลือกให้มีคุณภาพร่วมด้วย และหากต้องการ Yield ของการสีข้าวสูงสุดโรงสีควรจะทำการสีข้าวที่ผ่านการอบในทันที จึงจะเป็นการเพิ่มอัตราผลตอบแทนในการสีข้าวสูงสุด

บรรณานุกรม

กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2559). *องค์ความรู้เรื่องข้าว*. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว. วารสารออนไลน์ 2544. เข้าถึงได้จาก http://www.brrd.in.th/rkb/data_007/rice_xx2-07_gatherNew_003.html

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. (2523). *การเก็บเกี่ยวและการปรับปรุงสภาพของเมล็ดพันธุ์*. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์กลุ่มหนังสือเกษตร.

จารุวรรณ บางแวก. (2547). *คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย*. กรุงเทพฯ กรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

บริษัท โซลูชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด. (2554). *คู่มือการใช้ Minitab หัวข้อ Design of experiment*. กรุงเทพฯ: โซลูชั่น เซ็นเตอร์.

ปารเมศ ชุติมา. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พันทิพา อินทรวิชัย. (2551). *เครื่องจักรกลเพื่อการเก็บเกี่ยวและหลังเก็บเกี่ยว*. พิมพ์ครั้งที่ 1 ปทุมธานี ฝ่ายวิชาการ ศูนย์ฝึกอบรมวิศวกรรมเกษตร.

ไมตรี แนวพนิช จารุวัฒน์ มงคลธนทรรศ และพินัย ทองสวัสดิ์วงศ์. (2539). *ศึกษาการวิจัยวิธีการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องลดความชื้นแบบไหลต่อเนื่อง*. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เยาวเรศ ไชยกันทา. (2541). *การปรับปรุงระบบกระจายอากาศร้อนสำหรับเครื่องอบแห้งแบบถาด*. เชียงใหม่ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์. (2559). *เครื่องจักรกลการเกษตร 2 มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี*. เข้าถึงได้จาก http://www.arda.or.th/kasetinfo/rice/rice_product/rice-product4_1.html

วิไล ปาละวิสุทธิ์ ดวงอร อริยพฤกษ์ และพรสุรี กาญจนา. (2545). *ผลของการใช้เครื่องอบลดความชื้นต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าว*. พิษณุโลก ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก กลุ่มวิทยาการเมล็ดพันธุ์ สถาบันวิจัยข้าว.

ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว. (2559). *กขช. สั่งล้มประมูลข้าวรัฐ 5 แสนตัน*. เข้าถึงได้จาก http://ptt.brrd.in.th/web/index.php?option=com_content&view=article&id=78:--5-&catid=2:2009-10-02-04-04-16&Itemid=42

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2559). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. เข้าถึงได้จาก http://m.doa.go.th/aeri/index.php/2009-10-21-13-06-04/102-2009-10-28-21-43-54.html

สุรพงศ์ บางพาน. (2547). *การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องสีข้าวกล้องโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อดิเทพ ทวีรัตนพาณิชย์. (2540). *เงื่อนไขการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดเพื่อการเพิ่มคุณภาพข้าว*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ภาคผนวก

ตารางบันทึกผลการทดลอง

T1	47	°C	S1	19	rpm.
T2	48.50	°C	S2	20	rpm.
T3	50	°C			

No.	Temp	Speed	น้ำหนัก		ความชื้น		น้ำหนักข้าวเปลือกทดลองสี	สีข้าว			yield
			ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ		ข้าวสาร	รำข้าว+ปลายข้าว	แกลบ	
			kg	kg	%	%		kg.	kg.	kg.	%
1	T1	S1	1,000.00	703.00	19.9	14.00	703.00	328.68	198.57	175.75	46.754
2	T1	S2	1,000.00	724.00	18.9	15.10	724.00	276.11	266.89	181.00	38.137
3	T2	S1	1,000.00	705.00	20.0	14.10	705.00	318.10	210.65	176.25	45.121
4	T2	S2	1,000.00	712.00	19.9	14.20	712.00	289.99	244.01	178.00	40.729
5	T3	S1	1,000.00	712.00	20.2	13.50	712.00	328.24	205.76	178.00	46.101
6	T3	S2	1,000.00	740.00	20.0	14.80	740.00	240.35	314.65	185.00	32.450
7	T1	S1	1,000.00	715.00	19.1	14.00	715.00	368.25	168.00	178.75	51.503
8	T1	S2	1,000.00	726.00	18.0	15.20	726.00	263.47	281.03	181.50	36.291
9	T2	S1	1,000.00	721.00	19.9	14.50	721.00	353.20	187.55	180.25	48.955
10	T2	S2	1,000.00	722.00	19.3	14.60	722.00	342.15	199.35	180.50	47.359
11	T3	S1	1,000.00	715.00	20.1	12.90	715.00	317.30	218.95	178.75	44.378
12	T3	S2	1,000.00	709.00	20.1	15.00	709.00	266.27	265.48	177.25	37.556
13	T1	S1	1,000.00	721.00	19.9	14.80	721.00	402.20	138.55	180.25	55.784
14	T1	S2	1,000.00	724.00	19.8	14.90	724.00	264.89	278.11	181.00	36.587
15	T2	S1	1,000.00	718.00	19.9	14.30	718.00	301.23	237.27	179.50	41.954
16	T2	S2	1,000.00	719.00	20.0	14.20	719.00	311.26	227.99	179.75	43.291
17	T3	S1	1,000.00	722.00	20.1	13.00	722.00	283.54	257.96	180.50	39.271
18	T3	S2	1,000.00	721.00	18.4	14.60	721.00	241.06	299.69	180.25	33.434
			18,000.00	12,929.00			12,929.00	5,496.29	4,200.46	3,232.25	42.51

ภาพภาคผนวก ก-1 บันทึกผลการทดลอง