



รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา การแก้ไขปัญหาคาการบรรจุสัญญาภาคเข้าวกล้องหอมมะลิ



รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 305497 สหกิจศึกษา

สาขาเทคโนโลยีอาหาร

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วันที่ 5 สิงหาคม 2548

รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

การแก้ไขปัญหาคาการบรรจุสัญญาภาคเข้ากล้องหอมมะลิ



โดย

นางสาวสายสุดา คำสุข

B 4550457

ปฏิบัติงาน ณ บริษัท เจียเม้ง จำกัด

119 หมู่ 8 ต.หนองงูเห่ล้อม อ.เฉลิมพระเกียรติ จ. นครราชสีมา 3000

วันที่ 9 สิงหาคม 2548

เรื่อง ขอส่งรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ตามที่ข้าพเจ้า นางสาวสายสุดา คำสุข นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้ไปปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ระหว่างวันที่ 18 เมษายน 2548 ถึง วันที่ 5 เมษายน 2548 ในตำแหน่งพนักงาน HACCP PLAN ณ บริษัท เจียแม็ง จำกัด และได้รับมอบหมายจาก Job Supervisor ให้ศึกษาและทำรายงาน เรื่อง การแก้ไขปัญหาการรั่วซึมของถังข้าวกล้องบรรจุสุญญากาศ

บัดนี้การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาได้สิ้นสุดลงแล้ว ข้าพเจ้าจึงขอส่งรายงานดังกล่าวมาพร้อมกันนี้จำนวน 1 เล่ม เพื่อขอรับคำปรึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

นางสาวสายสุดา คำสุข

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้า นางสาวสายสุดา คำสุข เป็นนักศึกษาตามโครงการสหกิจศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้เข้ามาปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัทเจียเม้ง จำกัด ตั้งแต่วันที่ 18 เมษายน พ.ศ 2548 ถึงวันที่ 5 สิงหาคม พ.ศ 2548 และได้จัดทำโครงการการแก้ไขปัญหาการรั่วซึมของบรรจุภัณฑ์ข้าวกล้องสุญญากาศ จากปัญหาข้อร้องเรียนของลูกค้า ซึ่งโครงการดังกล่าวต้องขอความร่วมมือกับหลายฝ่าย จึงขอขอบคุณทุกฝ่ายและทุกแผนกรวมถึงบุคลากรทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ข้อมูลซึ่งเป็นประโยชน์ในการทำโครงการให้สำเร็จลุล่วง อีกทั้งขอขอบคุณผู้บริหารทุกท่านที่ได้ให้โอกาสให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาเรียนรู้และหาประสบการณ์อันทรงคุณค่า ซึ่งจะเป็นส่วนผลักดันให้ข้าพเจ้าได้พัฒนาแก้ไขและปรับปรุงทั้งในด้านการเรียนรู้ การทำงานจริง การปรับตัวเข้ากับองค์กร เป็นต้น จึงจะขอกล่าวขอบคุณสำหรับบุคลากรที่ได้มีส่วนร่วมในความสำเร็จของโครงการ ดังนี้

- | | | |
|-------------------|---------------|--|
| 1. คุณอวัธย์ | มานะธัญญา | ประธานบริษัท |
| 2. คุณประพิศ | มานะธัญญา | กรรมการผู้จัดการ (MD) |
| 3. คุณประสาธน์ | พลอยดี | ผู้จัดการฝ่ายผลิต |
| 4. คุณนิกร | คุณแก้ว | ผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ |
| 5. คุณอ่อนดา | สิงห์ขุนทด | ผู้จัดการแผนกจัดหา / จัดซื้อทั่วไป |
| 6. คุณแพรวพรรณ | ดิทะเล | ผู้จัดการแผนกจัดหา / จัดซื้อวัตถุดิบ |
| 7. คุณประชา | โชควงษ์ตระกูล | ผู้จัดการแผนกบรรจุ |
| 8. คุณทรงสุดา | ชาติศรีนทร์ | ผู้จัดการแผนกตรวจสอบ/สอบเทียบ |
| 9. คุณสาหร่าย | ศรีศิริ | ผู้จัดการฝ่ายบริหารงานคุณภาพ |
| 10. คุณเริงหทัย | ถาวรบุญ | ผู้จัดการแผนกคุณภาพ |
| 11. คุณพิชาญ | พบวันดี | หัวหน้าหน่วยวิจัยและพัฒนา |
| 12. คุณสิมาลักษณ์ | กุนนาวิน | พนักงาน HACCP Plans ผู้เป็น Co-op Supervisor |
| 13. คุณเสกสรร | วิเสโต | พนักงาน GMP ผู้เป็น Co-op Supervisor และขอขอบคุณ |

บุคลากรท่านอื่นที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือข้าพเจ้าทุกองค์ในการทำโครงการให้สำเร็จลงได้ด้วยดีโดยเฉพาะแผนกบรรจุที่เห็นความสำคัญในการทำโครงการเอื้อสถานที่และเวลาแม้จะมีอุปสรรคอย่างมาก และขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล และเป็นพี่ปรึกษาแก่ข้าพเจ้าในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

นางสาวสายสุดา คำสุข

ผู้จัดทำรายงาน

28 กรกฎาคม 2548

บทคัดย่อ (ABSTRACT)

โครงการแก้ไขปัญหการรั่วซึมของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสุญญากาศได้ศึกษาและทดลองเพื่อหาสาเหตุของการรั่วซึมและการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการในการบรรจุสุญญากาศที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องบรรจุสุญญากาศ ซึ่งวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุข้าวกล้องสุญญากาศคือพลาสติก Onylon / PE และ Nylon / PE ขนาด 1 ความหนา 100 และ 120 ไมครอน , 2 kg หนา 80 และ 90 ไมครอนและขนาด 2.5 kg หนา 80 ไมครอน ในการทดลองได้วางแผนการทดลองแบบ RCBD จากการทดสอบแรงดึงและความยืดหยุ่นโดยเครื่อง Texture Analyzer เพื่อหาค่า Tensile strength ของถุงพลาสติก โดยการซีลที่อุณหภูมิ 140 , 155 , 170 , 190 และ 210 ° และนำสภาวะอุณหภูมิซีลที่ได้มาทำการบรรจุที่ระดับการสุญญากาศ -0.6 , -0.8 และ -0.9 bar และนำไปรีดขึ้นรูปที่ระยะห่างของลูกกลิ้งที่ 0.5 , 1 , 1.5 และ 2 นิ้ว

การทดลองนี้สามารถสรุปสาเหตุของการรั่วซึมเกิดจากอุณหภูมิที่ใช้ในการซีลยังไม่สัมพันธ์กับแต่ละระดับความหนาของถุงพลาสติก และในการปิดผนึกต้องผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปมีแรงกระแทกและการกดทับหลังการรีดขึ้นรูป ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความเค้นและความเครียดมากขึ้น ประกอบกับระดับความดันสุญญากาศที่ไม่เหมาะสมกับแต่ละขนาดบรรจุ จึงทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมโดย ถุงขนาด 1 กิโลกรัมความหนา 100 ไมครอน ควรใช้อุณหภูมิ 170°C ในการซีลครั้งที่ 1 และใช้อุณหภูมิ 190 °C ในการซีลครั้งที่ 2 ปรับความดันสุญญากาศที่ -(0.8 -0.9) bar ระยะห่างลูกกลิ้ง 1 นิ้ว , ขนาด 2 กิโลกรัมความหนา 80 ไมครอน ควรใช้อุณหภูมิ 170°C ในการซีลครั้งที่ 1 และใช้อุณหภูมิ 210 °C ในการซีลครั้งที่ 2 ปรับความดันสุญญากาศที่ - 0.6 bar ระยะห่างลูกกลิ้ง 2 นิ้ว , ถุงขนาด 2 กิโลกรัมความหนา 90 ไมครอน ควรใช้อุณหภูมิ 210°C ในการซีลครั้งที่ 1 และใช้อุณหภูมิ 210 °C ในการซีลครั้งที่ 2 ปรับความดันสุญญากาศที่ - 0.6 bar ระยะห่างลูกกลิ้ง 2 นิ้ว , ถุงขนาด 2.5 กิโลกรัมความหนา 80 ไมครอน ควรใช้อุณหภูมิ 210°C ในการซีลครั้งที่ 1 และใช้อุณหภูมิ 210 °C ในการซีลครั้งที่ 2 ปรับความดันสุญญากาศที่ - 0.8 bar ระยะห่างลูกกลิ้ง 2 นิ้ว และเวลาอย่างน้อยในการพักถุงข้าวเพื่อตรวจสอบการรั่วซึมก่อนส่งมอบให้ลูกค้า คืออย่างน้อย 16 ชั่วโมง

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ

บทคัดย่อ

สารบัญ

สารบัญกราฟและตาราง

● หลักการและเหตุผลในทัศนคติปฏิบัติงานโครงการแก้ไขปัญหาการรั่วซึมของถุงข้าวกล้องสุญญากาศ	1
● โครงการแก้ไขปัญหาการรั่วซึมของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสุญญากาศ	5
● การบรรจุสุญญากาศ (Vacuum Packing) และถุงพลาสติก (Plastic bag)	7
● การวางแผนการทดลอง	
- วิธีการทดลอง	16
- สมมติฐานและการวางแผนและสูตรพีคเมนต์	18
● การวิเคราะห์และวิจารณ์ข้อมูลจากการทดลอง	20
● สรุปผลการทดลอง	32
● ปัญหาและข้อเสนอแนะ	33
● ภาคผนวก	
- ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยโปรแกรม SPSS	38
- ตารางผลการทดลอง	41
- รูปภาพประกอบ	51
● เอกสารอ้างอิง	
● เอกสารแนบ	
- ตารางการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยโปรแกรม SPSS	

สารบัญกราฟและตาราง

	หน้า
กราฟที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับการรั่วซึมของถุงข้าวกล้องสุญญากาศ	20
กราฟที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสุญญากาศกับจำนวนถุงที่เกิดการรั่วซึม	24
กราฟที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการรีดขึ้นรูปกับจำนวนถุงที่เกิดการรั่วซึม	24
กราฟที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและระดับการสุญญากาศที่ระยะห่างลูกกึ่งต่างๆ	27
กราฟที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและระดับการสุญญากาศที่ระยะห่างลูกกึ่งต่างๆ	28
กราฟที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและระดับการสุญญากาศที่ระยะห่างลูกกึ่งต่างๆ	29
กราฟที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus of elasticity และระดับการสุญญากาศที่ระยะห่างลูกกึ่งต่างๆ	30
ตารางที่ 1 ข้อร้องเรียนของลูกค้าจากปัญหาการบรรจุข้าวสุญญากาศ(vacumm) ปี 2546 – 2548	1
ตารางที่ 2 แสดงรายการบรรจุภัณฑ์ข้าวสุญญากาศของลูกค้าทั้งภายในและภายนอกของบริษัท	3
ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าวกล้องและข้าวสาร	4
ตารางที่ 4 แสดงจำนวนชั่วโมงที่เกิดการรั่วซึมโดยเฉลี่ยในถุงบรรจุแต่ละชนิด	41
ตารางที่ 5 การทดสอบค่า Tensile ของ Blank ที่ไม่เกิดการรั่วซึมด้วยเครื่อง Texture Analyzer	42
ตารางที่ 6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพสภาวะอุณหภูมิการซีล	43
ตารางที่ 7 การทดสอบประสิทธิภาพการซีลที่ระดับการสุญญากาศต่างๆต่อการรั่วซึมของถุงข้าว	47
ตารางที่ 8 การทดสอบประสิทธิภาพของอุณหภูมิการซีลและรีดขึ้นรูปต่อการรั่วซึมของถุงข้าว	48
ตารางที่ 9 การทดสอบหาระยะห่างของลูกกึ่งที่เหมาะสมกับการบรรจุข้าวกล้องสุญญากาศที่สัมพันธ์กับความหนาแน่น ความเค้นและความเครียดของถุง	49
ตารางที่ 10 ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่สามารถผ่านรูรั่วบริเวณรอยปิดผนึกของภาชนะบรรจุภายใต้สุญญากาศและ Gas Flush Packaging	34

หลักการและเหตุผลในการตัดสินใจ

เนื่องมาจากช่วงปีพ.ศ 2546-2548 บริษัทได้รับข้อร้องเรียนจากลูกค้าเรื่องการเกิดปัญหาการบรรจุของผลิตภัณฑ์ข้าวบรรจุสุญญากาศที่มีสภาพไม่เป็นสุญญากาศเมื่อถึงมือลูกค้า ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและนำศึกษาดำเนินโครงการนี้ เป็นการศึกษาโดยมีเป้าหมายในการหาสาเหตุของปัญหา และการทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานหรือสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบรรจุสุญญากาศด้วย เพราะฉะนั้นเราจึงจำเป็นต้องศึกษาถึงรายละเอียดของหลักการและเหตุผลในสิ่งที่ต้องการจะทดลองศึกษาจากข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 1 ข้อร้องเรียนของลูกค้าจากปัญหาการบรรจุข้าวสุญญากาศ(vacumm) ปี 2546 – 2548

ปี	ลูกค้า	ชนิดข้าว	ขนาด	จำนวน	ปัญหา
2546	บริษัท เจียเม้งมาร์เก็ตติ้ง จำกัด	ข้าวหอมมะลิ 100%	2.5 kg	ไม่ทราบข้อมูล	ลักษณะถุงแข็ง และไม่แข็ง
		ข้าวกล้องมะลิ 100%	2.5 Kg	ไม่ทราบข้อมูล	(vacumm บ้าง ไม่ vacummบ้าง)
	บริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด	จมูกข้าว	ไม่ทราบข้อมูล	7 ถัง	สภาพการบรรจุ ไม่เป็น สุญญากาศ
	บริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด	จมูกข้าวกล้อง หอมมะลิ	1 Kg	-	สภาพการบรรจุ ไม่เป็น สุญญากาศ
	บริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด	ข้าวกล้องผสม สำเร็จรูป	-	-	สภาพการบรรจุ ไม่เป็น สุญญากาศ
	บริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด	ข้าวกล้อง	1 Kg	15 ถุง	ถุงข้าวเกิดการรั่ว ซึมและไม่เป็น สุญญากาศ
	บริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด	ข้าวกล้อง	1 Kg	15 ถุง	ถุงข้าวเกิดการรั่ว ซึมและไม่เป็น สุญญากาศ

ปี	ลูกค้า	ชนิดข้าว	ขนาด	จำนวน	ปัญหา
2547	บริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด (15 ม.ค)	ข้าวกล้อง	1 Kg	15 ถุง	ถุงข้าวเกิดการรั่วซึมและ ไม่เป็นสุญญากาศ
	บริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด (9 มี.ค)	ข้าวกล้อง	1 Kg	15 ถุง	ถุงข้าวเกิดการรั่วซึมและ ไม่เป็นสุญญากาศ
	บริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด (28 เม.ย)	ข้าวกล้อง	1 Kg	15 ถุง	ถุงข้าวเกิดการรั่วซึมและ ไม่เป็นสุญญากาศ
	บริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด (19 มิ.ย)	ข้าวกล้อง	1 Kg	15 ถุง	ถุงข้าวเกิดการรั่วซึมและ ไม่เป็นสุญญากาศ
	บริษัท บางซื่อโรงสีไฟเจียเม้ง จำกัด (17 ก.ค)	ข้าวกล้อง	1 Kg	15 ถุง	ถุงข้าวเกิดการรั่วซึมและ ไม่เป็นสุญญากาศ
	บริษัท นารายณ์ อินเตอร์ฟู้ด จำกัด (26 ต.ค)	ข้าวกล้อง หอมมะลิ ใหม่ 100 %	2.5 Kg	6 กล่อง	สภาพการบรรจุไม่เป็น สุญญากาศ
2548	โรงสีนนทบุรี	จมูกข้าว กล้องหอม มะลิ	1 Kg	2 ถึง 8 กล่อง	ถุงจมูกข้าวไม่สุญญากาศ เนื่องจากเกิดการรั่วซึม
	บริษัทเจียเม้งมาร์เกตติ้ง จำกัด	จมูกข้าว กล้อง	1 Kg	-	ถุงจมูกข้าวมีฟองอากาศ อยู่ภายในเนื้อถุง และมี ลักษณะหลุด vacuum จำนวนมาก

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าจำนวนข้อร้องเรียนจากลูกค้าส่วนใหญ่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ข้าวบรรจุสุญญากาศ
เป็นข้าวกล้องและมีจมูกข้าวเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในถุงขนาดบรรจุ 1 Kg ซึ่งเกิดเนื่องมาจากสาเหตุการเกิดการรั่วซึมของถุง
ข้าวทำให้มีลักษณะไม่สุญญากาศเมื่อผลิตภัณฑ์ถึงมือลูกค้า

ตารางที่ 2 แสดงรายการบรรจุภัณฑ์ข้าวสุญญากาศของลูกค้าทั้งภายในและภายนอกของบริษัททั้งหมด

ลำดับ	ลูกค้า	รายการบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุแบบสุญญากาศ (VACUUM)				ชนิดข้าว
		ตรา	ขนาดบรรจุ (kg)	ชนิดภาชนะบรรจุ	ความหนา (Micron)	
1	ทั่วไป	หงษ์ทอง	1	*Ony15/PE85	100	ข้าวกล้อง
2	BEST	หงษ์ทอง	1	Ony15/PE85	100	ข้าวกล้อง
3	ASIAN FOOD	หงษ์ทอง	1	Ony15/PE85	100	ข้าวกล้อง
4	เลอภุช	หงษ์ทอง	1	Ony15/PE85	100	ข้าวกล้อง
5	มาร์เก็ตติ้ง	หงษ์ทอง	1	*Ony15/PE105	120	จมูกข้าว
6	CS/SG	หงษ์ทอง	1	Ony15/PE85	100	ข้าวกล้องแดง
7	CTH/HK	นางรำ	2	Ony15/PE65	80	ข้าวกล้อง
8	CTH/HK	นางรำ	2	Ony15/PE65	80	ข้าวกล้องแดง
9	CTH/HK	นางละคร	2	Ny60/PE30	90	ข้าวกล้อง
10	CTH/HK	นางละคร	2	Ny60/PE30	90	ข้าวกล้องแดง
11	มาร์เก็ตติ้ง	หงษ์ทอง	2	Ony15/PE105	120	ข้าวกล้องแดง
12	มาร์เก็ตติ้ง	หงษ์ทอง	2.5	*Ony15/PE65	80	ข้าวหอมมะลิใหม่
13	มาร์เก็ตติ้ง	หงษ์ทอง	2.5	*Ony15/PE65	80	ข้าวกล้อง

ที่มา : แผนกบรรจุ บริษัท เจียเม้ง จำกัด

หมายเหตุ : * หมายถึง สินค้าที่เคยถูกรองเรียนเรื่องข้าวบรรจุไม่สุญญากาศ

จากข้อมูลรายการผลิตบรรจุภัณฑ์ข้าวสุญญากาศของลูกค้าภายในและภายนอกประเทศทั้งหมดของบริษัทพบว่าส่วนใหญ่เป็นข้าวกล้อง ซึ่งมีทั้งขนาดบรรจุ 1 ,2 และ 2.5 Kg โดยใช้พลาสติกชนิด Only/PE และ Nylon ส่วนผลิตภัณฑ์ข้าวอื่นๆ เช่น ข้าวกล้องแดงนั้น ไม่มีความแตกต่างจากข้าวกล้องมากนักในด้านการเคมีและกายภาพแตกต่างกันเพียงสายพันธุ์เท่านั้น สำหรับจมูกข้าวไม่ค่อยพบปัญหาการร้าวซึมมากนัก เพราะว่าลักษณะทางกายภาพของจมูกข้าวมีความแหลมคมและความขรุขระน้อยกว่าข้าวกล้อง

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าวกล้องและข้าวสาร (กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)

ชนิด	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	แร่ธาตุ	คาร์โบไฮเดรต
ข้าวกล้อง	11.0	2.7	1.2	1.8	83.2
ข้าวสาร	9.8	0.5	0.3	0.6	88.9

ที่มา : Kent, 1983

จากองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวขาวด้านโภชนาการ (Nutrition) พบว่าข้าวกล้องมีปริมาณไขมันที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับข้าวขาว ปริมาณไขมันในข้าวกล้องส่วนใหญ่อยู่ในรำข้าว เนื่องจากรำข้าวมีปริมาณของไขมันอยู่เป็นจำนวนมากและมีเอนไซม์ ลิพโกลิติก(lipolytic) ซึ่งทำให้เกิดการเสื่อมเสียระหว่างการเก็บรักษาอย่างรวดเร็ว และไขมันที่เกิดการสะสมภายในเมล็ดธัญชาติมีหลายชนิด แต่ที่สำคัญนั้นส่วนใหญ่มีกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัว เช่น กรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก เป็นองค์ประกอบของไขมันที่ได้จากเมล็ดธัญชาติมีคุณค่าทางอาหารดีกว่าไขมันที่ได้จากสัตว์ โดยที่ไขมันเหล่านี้จะแทรกเกิดตามส่วนต่างๆของเมล็ดและจะเกิดเพิ่มขึ้นเมื่อเมล็ดเจริญเติบโตขึ้น จนในที่สุดเมื่อเมล็ดแก่เต็มที่ จะมีไขมันมากที่สุดที่เปลือกและจะเป็นพวกไตรกลีเซอไรด์มากที่สุด คือมากกว่า 70% ของไขมันทั้งหมดที่มี ซึ่งหมายความว่า จะมีการเกิดของเปอร์ออกไซด์หรืออนุมูลอิสระเนื่องจากการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์เป็นจำนวนมากที่เป็นสาเหตุการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นการลดปัจจัยการเกิดออกซิเดชันในข้าวกล้องจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมากเช่น ความชื้น ปริมาณออกซิเจน แสง และอุณหภูมิเป็นต้น

ข้าวกล้อง (Cargo rice Loozain rice , Brown rice) คือ ข้าวที่ผ่านการกระเทาะเอาเปลือกออกเท่านั้น จึงหมายถึงข้าวที่ผ่านการขัดสีเพียงครั้งเดียว ข้าวที่ได้จึงเป็นสีขาวขุ่น แต่เป็นข้าวที่ยังคงมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว (รำ) อยู่มาก เป็นส่วนที่มีคุณค่าอาหารเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย

ปัจจุบันมีคนหันมาบริโภคข้าวกล้องมากขึ้น เพราะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยเกลือแร่และวิตามินรวมกว่า 20 ชนิด ช่วยให้ร่างกายทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและเสริมสร้างร่างกายให้สมบูรณ์ ซึ่งข้าวกล้องสามารถบริโภคได้ทุกเพศทุกวัย แม้แต่เด็กทารก คนชรา หรือผู้ป่วยระยะพักฟื้น ปัจจุบันเราสามารถหาซื้อข้าวกล้องได้ง่ายตามท้องตลาด ซึ่งมีทั้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวเหนียว และข้าวเจ้าพันธุ์ต่าง ๆ ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารเท่าเทียมกัน ในข้าวกล้องประกอบไปด้วยวิตามินและเกลือแร่ ซึ่งจะช่วยให้ส่วนต่างๆ ของร่างกายทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ มีผลทำให้สุขภาพดีขึ้นเมื่อรับประทานข้าวกล้องเป็นประจำ

ความเหมือนที่แตกต่างระหว่าง ข้าวกล้อง และข้าวขาว

เมื่อนำข้าวเปลือกมาผ่านกรรมวิธีการสีข้าว เปลือกของเมล็ดข้าวที่เรียกว่า “เกลาบ” จะถูกกระเทาะออกเหลือเป็นเนื้อข้าวที่เรียกว่า “ข้าวกล้อง” เมื่อนำข้าวกล้องมาสีและขัดก็จะได้เป็น ข้าวขาว ซึ่ง นำมาขายให้กับผู้บริโภค และ รำข้าว ซึ่งประกอบด้วยเยื่อหุ้มเมล็ดและจมูกข้าว อันเป็นส่วนที่ทางโรงสีจะนำไปขายเป็นอาหารสัตว์ ดังนั้นสิ่งที่สูญหายไประหว่างการขัดสีข้าวกล้องเป็นข้าวขาวก็คือ เยื่อหุ้มเมล็ด ซึ่งมีเส้นใยอาหารสูงและมีวิตามินเกลือแร่อยู่บ้าง และ จมูกข้าว ซึ่งอุดมสมบูรณ์ไปด้วย โปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ เนื่องจากเป็นส่วนสำคัญของเมล็ดในการสืบพันธุ์ ซึ่งจะงอกออกมาเป็นต้น

เพราะฉะนั้นจึงตัดสินใจเลือกศึกษาข้าวกล้องบรรจุสุญญากาศด้วยหลักการเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

โครงการแก้ไขปัญหการรั่วซึมของถุงข้าวกล้องบรรจุสุญญากาศ

หลักการและเหตุผล

เนื่องปัญหาการบรรจุข้าวสุญญากาศเกิดการรั่วซึมซึ่งบริษัทได้รับข้อร้องเรียนจากลูกค้าและได้ดำเนินการแก้ไขและปรับปรุงเป็นระยะๆ โดยการตั้งสมมติฐาน ทดลองและทดสอบถึงสาเหตุที่ก่อให้เกิดการรั่วซึมของข้าวสุญญากาศแต่ก็ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหการรั่วซึมของข้าวบรรจุสุญญากาศได้ทั้งหมด เพราะยังมีการร้องเรียนจากลูกค้าอยู่อย่างต่อเนื่อง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาและทดสอบหาสาเหตุเพิ่มเติมจากปัจจัยอื่นที่น่าจะมีผลต่อการบรรจุผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องบรรจุสุญญากาศ เช่น อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการดูดสุญญากาศ ประสิทธิภาพของการสุญญากาศ ประสิทธิภาพการซีล (seal) ซึ่งจะช่วยให้สามารถพัฒนาและปรับปรุงการบรรจุสุญญากาศให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและเป็นการรักษามาตรฐานการบรรจุสุญญากาศที่ถูกต้องตามที่ลูกค้าต้องการ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาสาเหตุของการรั่วซึมของการบรรจุแบบสุญญากาศ
2. เพื่อศึกษาผลของสภาวะต่างๆ ที่มีผลต่อการรั่วซึมของบรรจุภัณฑ์
3. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุที่ใช้บรรจุ
4. เพื่อพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพในการบรรจุให้มีมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับของลูกค้า
5. เพื่อลดข้อร้องเรียนจากลูกค้า

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสาเหตุและสภาวะของการรั่วซึมจากการบรรจุสุญญากาศที่ชัดเจน
2. ทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุสุญญากาศที่มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์
3. เพิ่มประสิทธิภาพการซีลและศึกษาวิธีการซีลที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์
4. เพิ่มประสิทธิภาพการรีดขึ้นรูปที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์
5. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการบรรจุข้าวสุญญากาศ
6. มีการพัฒนาและปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์
7. ทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุพลาสติกต่อลักษณะการบรรจุสุญญากาศ
8. สามารถลดข้อร้องเรียนได้

ขอบข่าย

การบรรจุสุญญากาศ แผนกบรรจุ

ระยะเวลาดำเนินงาน

18 เมษายน – 5 สิงหาคม 2548

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ศึกษาปัญหาข้อร้องเรียนของลูกค้าบริษัท เที่ยมิ่ง จำกัด และคัดเลือกปัญหาที่น่าสนใจ



ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการบรรจุสุญญากาศและวัสดุที่ใช้บรรจุ



วางแผนแนวทางการศึกษาเพื่อการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น



วางแผนการทดลอง



ประสานงานกับส่วนที่เกี่ยวข้องและเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทดลอง



ดำเนินการทดลองศึกษาตามที่ได้วางแผน



บันทึกและตรวจติดตามผลการทดลอง



รวบรวมข้อมูลและนำเสนอข้อมูล



สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง



จัดทำรายงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การบรรจุสุญญากาศ (Vacuum packaging)

Vacuum packaging หมายถึง การบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้สุญญากาศ โดยการดึงเอาอากาศภายในภาชนะและหรือภายในผลิตภัณฑ์ออกไป และไม่มีอากาศใดๆ เข้าไปแทนที่ ซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายในและภายนอกภาชนะ ดังเกิดได้จากการหดตัวของภาชนะบรรจุชนิดอ่อนตัว (Flexible Form) หรือการยุบตัวของภาชนะประเภทกึ่งคงรูป (Semi Rigid Form) โดยทั่วไปความดันภายในภาชนะจะมีค่าประมาณ 0.5 – 8 ทอร์ (Kadoya, 1990) ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์และระบบการบรรจุ

วัตถุประสงค์การบรรจุของการใช้ก๊าซ

การใช้ก๊าซบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารจะแตกต่างกันออกไปขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ ก็เพื่อชะลอหรือป้องกันการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นก่อนเวลาอันสมควร สามารถจำแนกวัตถุประสงค์ออกได้เป็น 4 ประการสำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง คือ

1. ชะลอหรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมีในอาหาร

ปฏิกิริยาเคมีในอาหารที่สำคัญคือปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งเมื่อเกิดกับไขมันจะทำให้อาหารเหม็นหืน เมื่อเกิดกับวิตามินจะทำให้คุณค่าทางอาหารลดลงหรือสีของอาหารซีดจางลงเป็นต้น การชะลอหรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะต้องกำจัดก๊าซออกซิเจนภายในบรรยากาศล้อมรอบอาหารออกไป

2. ชะลอหรือป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียคุณภาพอาหาร

สภาพบรรยากาศที่ไร้ก๊าซออกซิเจนและมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากจะช่วยชะลอหรือป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยทั่วไปจะใช้ได้ผลดีกับแบคทีเรียที่ชอบอากาศ (Aerobic Bacteria) และเชื้อรา (Mold) ส่วนยีสต์ (Yeast) นั้นผลไม่ค่อยเด่นชัด

3. ชะลออัตราการหายใจของพืช

พืชจะหายใจช้าลงเมื่อความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศลดลงหรือความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เมื่อพืชหายใจช้าลงการเสื่อมเสียคุณภาพก็จะช้าลงด้วย โดยทั่วไปความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 1-3 (Kader, 1986)

4. ชะลอหรือป้องกันการเจริญเติบโตและการฟักไข่ของหนอน แมลงต่างๆ ที่อาจติดอยู่ในอาหาร

ในสภาพ ที่ไร้ก๊าซออกซิเจน หนอน ไข่หนอน และแมลงต่างๆ ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ก๊าซเพื่อบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร

การใช้ก๊าซเพื่อการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารจะเกิดประโยชน์สูงสุดได้ต้องนำปัจจัยที่จะกล่าวมาพิจารณาเพื่อกำหนดหลักเกณฑ์และแนวทางปฏิบัติที่เหมาะสมต่อไป

1. คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ (Nature of the product)

เช่น องค์ประกอบสำคัญ ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ค่า water activity (A_w) อัตราการหายใจ ลักษณะทางกายภาพ การเติมสารเคมี เช่น สารกันบูด สารกันหืน เชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น คุณสมบัติเหล่านี้จะทำให้ทราบถึงสาเหตุของการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ใช้ในการพิจารณาชนิดของก๊าซที่เหมาะสมในการบรรจุและจะช่วยให้สามารถคาดคะเนอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นั้นได้ด้วย

2. ชนิดและความเข้มข้นของก๊าซ (Gaseous Environment inside the Packaging)

คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ภาชนะบรรจุและสภาวะการเก็บรักษาจะเป็นปัจจัยกำหนดชนิดและความเข้มข้นของก๊าซ

3. คุณสมบัติของวัสดุบรรจุและภาชนะบรรจุ (Nature of the Packaging Material)

เช่น อัตราการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ ความต้านทานไขมัน ความโปร่งใส อุณหภูมิที่ใช้ในการปิดผนึกถุงหรือซอง ความแข็งแรงของรอยปิดผนึก เป็นต้น ในการบรรจุต้องคำนึงถึงอัตราการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ ต้องใช้วัสดุที่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้มากที่สุดและต้องต้านทานการซึมผ่านของไขมันได้ด้วย ดังนั้นการเลือกวัสดุบรรจุจะต้องนำข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์มาพิจารณาด้วย

4. ระบบการบรรจุ (Packaging System) มีใช้กันทั่วไปมี 2 ระบบที่สำคัญคือ

4.1 ระบบสูญญากาศ – ฟันก๊าซ (Vacuum – ReInjection System)

โดยจะใช้เครื่องสูญญากาศกำจัดอากาศภายในภาชนะออกแล้วฟันก๊าซที่ต้องการเข้าไป ปิดผนึกให้เรียบร้อย วิธีนี้พบว่าเมื่อออกซิเจนหลงเหลือประมาณ ร้อยละ 0.5 – 1

4.2 ระบบฟันก๊าซแทนที่อากาศ (Gas purging หรือ Gas Flushing System)

โดยการฟันก๊าซที่ต้องการบรรจุเข้าไปในภาชนะเป็นเวลานานพอสมควรจนก๊าซเข้าไปแทนที่อากาศในภาชนะแล้วจึงปิดผนึกภาชนะ วิธีนี้จะพบก๊าซออกซิเจนหลงเหลือภายในภาชนะค่อนข้างสูงประมาณร้อยละ 2-3 บางกรณีสูงถึงร้อยละ 5

5. ระบบการกระจายผลิตภัณฑ์ (Distribution System)

ที่สำคัญ คือ อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในระหว่างการเก็บรักษา การขนส่งและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในอาหาร การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และอัตราการซึมผ่านของก๊าซจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ขนส่งและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จะมีความสัมพันธ์กับการเลือกใช้ก๊าซวัสดุบรรจุ และกำหนดอุณหภูมิในการเก็บรักษาด้วย

คุณสมบัติพื้นฐานของบรรจุภัณฑ์

1. การซึมผ่านของก๊าซ (Gas Permeability)

การนำค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซเพื่อพิจารณาเลือกชนิดของวัสดุบรรจุที่จะนำมาใช้นั้นขึ้นกับปัจจัยหลายประการคือ ชนิดของผลิตภัณฑ์ อายุการเก็บรักษาและสภาวะการเก็บรักษา เมื่อต้องการใช้วัสดุบรรจุที่ป้องกันก๊าซได้ดีมาก (High gas barrier) ควรเลือกวัสดุที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซดีพอควร จะมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนไม่เกิน $2 \text{ CC/m}^2 \cdot \text{atm} \cdot 24 \text{ hr}$

2. อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate , WVTR)

วัสดุบรรจุที่ป้องกันไอน้ำได้ดี ควรพิจารณาวัสดุบรรจุที่มีค่า WVTR ด้วย จึงต้องระมัดระวังปัญหาหยดน้ำภายในภาชนะบรรจุและปัญหาการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ แต่มักจะเกิดปัญหาหยดน้ำภายในภาชนะหรือในทางกลับกัน สำหรับวัสดุบรรจุที่ยอมให้ไอน้ำผ่านได้มักจะเกิดปัญหาผลิตภัณฑ์แห้งเพราะสูญเสียความชื้น การแก้ไขปัญหานี้อาจจะกระทำได้โดยการเติมสารป้องกันการเกิดหยดน้ำ (Antifogging Agent) ในฟิล์มพลาสติกหรือการเจาะรูเล็กๆ (Perforation) เพื่อช่วยระบายไอน้ำบางส่วนออกไปจากภาชนะ

3. การปิดผนึกด้วยความร้อน (Heat Sealability)

ผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุโดยระบบ Gas Exchange Packaging นิยมใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อนมากที่สุด มีผลิตภัณฑ์เพียงไม่กี่ประเภทที่ใช้การปิดผนึกด้วยสวัดหรือกาวยาสหุที่การปิดผนึกด้วยความร้อนได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจาก

1. การปิดผนึกสนิทแน่นดีมาก ป้องกันการผ่านเข้าออกของกลิ่น ก๊าซ ไอน้ำ และจุลินทรีย์ได้ดีมาก
2. การปิดผนึกทำได้ง่ายและสะดวก เครื่องมือใช้ราคาไม่สูงมาก
3. ระยะเวลาที่ใช้ในการปิดผนึกสั้นมาก

วัสดุที่นิยมใช้กับ Gas Exchange Packaging เป็นฟิล์มหลายชั้น โดยแต่ละชั้นจะทำหน้าที่แตกต่างกันออกไป เช่น ป้องกันการซึมผ่านของกลิ่น ก๊าซ และไอน้ำ ป้องกันแสง หรือเป็นชั้นสำหรับการพิมพ์ เป็นต้น ฟิล์มชั้นในสุด (ชั้นที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์) จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับการปิดผนึกภาชนะด้วยความร้อน ฟิล์มพลาสติกที่นิยมมากเช่น LDPE , MDPE , LLDPE ,lonomer, PP , EVA ,และ PVDC (หรือ Saran) เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจใช้ฟิล์มหลายชั้นที่ขึ้นรูปและประกบติดกันด้วยวิธีโคเอ็กซ์ทรูชัน เช่น LAPE/LLDPE , HDPE/LLDPE/EVA , MDPE/EVA , LAPE/LLDPE และ LLDPE/LLDPE เป็นต้น ฟิล์มเหล่านี้มีข้อดีกว่าฟิล์มพวกแรกคือ

- 1) สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิต โดยทั่วไป LDPE จะมีราคาค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ lonomer , EVA และ LLDPE จะมี ราคาสูงแต่มีคุณสมบัติที่ดีกว่า LDPE เช่น สามารถปิดผนึกผ่านสิ่งสกปรกหรือขณะที่ฟิล์มเปียกชื้นได้ ทนทานไขมันได้ดี และ Hot Tack สูง เป็นต้น การผลิตฟิล์มหลายชั้นจะใช้ LDPE หนา 2 ใน 3 ของความหนารวมส่วนที่เหลือเป็นฟิล์มที่มีคุณสมบัติพิเศษดังกล่าวทำให้ต้นทุนรวมต่ำกว่าการใช้ฟิล์มพิเศษชนิดเดียว
- 2) คุณสมบัติเหมาะสมกับเครื่องบรรจุอัตโนมัติ เช่น ฟิล์มเหล่านี้จะมีจุดหลอมละลาย (Melting point) และจุดอ่อนตัว (Softening Point) ต่ำกว่า LDPE หรือ Hot Tack สูงกว่า ทำให้สามารถเพิ่มความเร็วในการบรรจุได้โดยไม่มีปัญหาอุณหภูมิจุดหลอมละลายหรือรอยปิดผนึกไม่สมบูรณ์
- 3) เพิ่มความแข็งแรงให้รอยปิดผนึก เนื่องจากฟิล์มหลายชั้น
ความแข็งแรงของรอยปิดผนึก (Seal Strength) โดยทั่วไปควรมีค่าประมาณ 1.31 ถึง 1.96 N/mm (หรือ 2 ถึง 3 Kg/ 15 mm)

Hot Tack หมายถึง ความแข็งแรงของรอยปิดผนึกด้วยความร้อนขณะที่พลาสติกยังไม่เย็นตัวซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าค่าที่วัดได้เมื่อปล่อยให้พลาสติกเย็นตัวเต็มที่แล้ว ค่า Hot Tack นี้มีความสำคัญมากต่อการบรรจุโดยเครื่องขึ้นรูป-บรรจุ-ปิดผนึก ในกรณีที่เครื่องทำงานในแนวตั้ง รอยปิดผนึกในแนวขวางจะต้องมีค่า Hot Tack สูงเพียงพอที่จะต้านทานน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงมา และรอยปิดผนึกในแนวตั้งจะต้องสามารถต้านทานแรงดันของก๊าซที่พ่นเข้าไป ทำนองเดียวกับเครื่องบรรจุในแนวนอน แม้จะไม่ต้องรับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์โดยตรง แต่รอยปิดผนึกจะต้องมีค่า Hot Tack สูงพอที่จะต้านทานแรงดันของก๊าซที่พ่นเข้าไป

กรณีที่เครื่องบรรจุมีการผลิตสูง เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปของและปิดผนึกจะสั้นมาก ดังนั้นวัสดุบรรจุที่เลือกใช้จะต้องประกอบด้วยฟิล์มชั้นในสุดซึ่งทำหน้าที่ปิดผนึกด้วยความร้อนเป็นพลาสติกที่มีจุดหลอมละลายต่ำ และค่า Hot Tack สูง เช่น lonomer , LLDPE และ EVA เป็นต้น

4. การป้องกันการซึมผ่านของไขมัน (Grease and Oil Resistance)

คุณสมบัตินี้มีความสำคัญมากกับผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันมาก พลาสติกชั้นในสุดนั้น นอกจากทำหน้าที่ปิดผนึกด้วยความร้อนแล้ว ยังต้องป้องกันไขมันจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ให้ซึมผ่านมาที่ฟิล์มชั้นถัดออกมาจนภายนอกจะบรรจุได้ ซึ่งจะทำให้เกิดผลเสียดังนี้

- 1) ทำให้ฟิล์มหลายชั้นลอกออกจากกันได้ (Delamination)
- 2) ไขมันที่ซึมออกมาภายนอกจะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายทำให้ผลิตภัณฑ์เหม็นหืน
- 3) ลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากเข้าใจว่าเป็นผลิตภัณฑ์เก่า

ฟิล์มพลาสติกชั้นในสุดที่นิยมใช้ในกรณีนี้เช่น CPP, lonomer และ EVA(4%) เป็นต้น ส่วนฟิล์มที่เป็นโครงสร้างหลักของฟิล์มหลายชั้นจะนิยมใช้ Nylon ,PET และ PVC เป็นต้น

5. การป้องกันแสง (Opacity)

คุณสมบัตินี้เป็นคุณสมบัติรอง จะมีความจำเป็นกับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อแสงหรือผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันมากเท่านั้น วัสดุทึบแสงอาจเลือกใช้ฟิล์มโปร่งแสงอาจต้องใช้กล่องกระดาษปิดได้บรรจุอีกชั้นหนึ่ง , Sacharow และ Griffin (1980)กล่าวว่าวัสดุบรรจุทึบแสงที่นำมาใช้แทนวัสดุโปร่งแสงนั้น อาจยอมให้มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซสูงถึง 20-25 เท่าของวัสดุโปร่งแสงได้ โดยไม่ทำให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันเปลี่ยนแปลง

6. เหมาะสมกับเครื่องบรรจุอัตโนมัติ (Machinability)

คุณสมบัตินี้สำคัญมากสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมใหญ่ๆ การบรรจุจะใช้เครื่องจักรอัตโนมัติทั้งสิ้น วัสดุบรรจุที่นำมาใช้จะต้องไม่ก่อปัญหา เช่น เกาะติดกับผิวโลหะ ค้างออกจากม้วนฟิล์มยาก ยึดตัวมากหรือน้อยเกินไป จุดอ่อนตัวหรือหลอมละลายสูงเกินไป เป็นต้น การเลือกวัสดุบรรจุที่เหมาะสมจึงต้องพิจารณาความเหมาะสมกับทั้งผลิตภัณฑ์และเครื่องบรรจุไปพร้อมๆ กัน

7. ลักษณะปรากฏและอำนวยความสะดวกให้ผู้บริโภค

ในปัจจุบันการออกแบบภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร จะคำนึงถึงความเหมาะสมทางเทคนิคเพียงประการเดียวไม่เพียงพอ จะต้องคำนึงถึงผลทางด้านการตลาดด้วย ภาชนะบรรจุจึงต้องช่วยส่งเสริมการขายได้จึงมักเรียก

ว่าเป็น Silent Salesman การออกแบบภาชนะบรรจุจึงต้องคำนึงถึงความสวยงามและสื่อความหมายให้ผู้บริโภคทราบถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ต้องอำนวยความสะดวกในการนำผลิตภัณฑ์มาใช้

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการซึมผ่านฟิล์มพลาสติกของก๊าซ

การบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารโดย Gas Exchange Packaging จะพบว่าค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซของวัสดุบรรจุหรือภาชนะบรรจุที่เลือกใช้เป็นปัจจัยที่สำคัญมากต่อประสิทธิภาพของระบบบรรจุ ในการรักษาคุณภาพและเพิ่มอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ , Pascat (1985) ได้สรุปปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการซึมผ่านของก๊าซของฟิล์มพลาสติก โดยในที่นี้จะกล่าวในรายละเอียดเฉพาะปัจจัย อุณหภูมิ และความชื้น ซึ่งมีความสำคัญมากต่อการเลือกวัสดุบรรจุเพื่อใช้ในสภาวะการเก็บที่มีอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกันไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์

1. ผลของอุณหภูมิต่อค่าอัตราการซึมผ่านฟิล์มพลาสติกของก๊าซ

ในการศึกษาอัตราการซึมผ่านฟิล์มพลาสติกของก๊าซชนิดต่างๆจะต้องมีข้อตกลง (Assumption) สำคัญคือ

- 1) ฟิล์มพลาสติกจะต้องปราศจากตำหนิ เช่น รูรั่ว รอยขีดข่วนหรือรอยคราบสกปรก
- 2) ฟิล์มพลาสติกและก๊าซจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน

2. ผลของความชื้นต่ออัตราการซึมผ่านฟิล์มพลาสติกของก๊าซ

การแบ่งประเภทฟิล์มพลาสติกตามความสามารถในการดูดซับความชื้น เราสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

- 1) **Hydrophobic plastic** หมายถึง พลาสติกที่ไม่ดูดซับความชื้น แม้จะอยู่ในสภาวะที่มีความชื้นสูง เช่น สัมผัสกับอาหารเปียกหรืออยู่ในอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงๆ คุณสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ และความแข็งแรงจะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นจากสภาพแวดล้อมพลาสติกประเภทนี้ เช่น PP, PE, PET และ PVDC เป็นต้น
- 2) **Hydrophilic plastic** หมายถึง พลาสติกที่สามารถดูดซับความชื้นจากสภาพแวดล้อมได้ทำให้การป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ และความแข็งแรงลดลง, De Leiris (1986) กล่าวว่า น้ำที่พลาสติกดูดซับเข้าไปนั้นจะทำหน้าที่คล้ายพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) เป็นผลให้โมเลกุลของพลาสติกมีความยืดหยุ่นมากขึ้น และลดพลังงานก่อกัมมันต์ของการแพร่ของก๊าซผ่านฟิล์มด้วย จึงทำให้ความสามารถในการป้องกันก๊าซและไอน้ำ และความแข็งแรงของพลาสติกลดลง พลาสติกประเภทนี้ที่สำคัญ เช่น Polyamide โดยเฉพาะ Nylon 6 และ Nylon 66, EVOH และ Cellophane

ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุสินค้าแห้ง

ในปัจจุบันพลาสติกมีการนำมาใช้ในลักษณะของถุงบรรจุสินค้าอย่างแพร่หลาย เนื่องจากข้อดีเด่นในด้านความเหนียวและป้องกันน้ำได้ และมีคุณสมบัติในการไหลอย่างอิสระ (free flowing) เช่น ข้าวสาร เมล็ดธัญพืช เกือบ แป้ง สารเคมี ปุ๋ย เป็นต้น ถุงที่ใช้อาจเป็นฟิล์มชั้นเดียว หรือสองชั้น หรือหลายชั้น ที่ได้จากวิธีการประกบหรือการรีดร่วมกันก็ได้ ทั้งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของถุงที่ต้องการ และลักษณะการใช้งานเป็นสำคัญ

ชนิดของฟิล์มพลาสติก

ฟิล์มโพลิเอทิลีนหรือฟิล์ม PE

ได้รับความนิยมสูงสุด เนื่องจากมีราคาถูกและความเหนียวสูง ชนิดของ PE ที่ใช้กันมากคือ LDPE และ LLDPE เป็นที่น่าสังเกตว่าในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา จะมีการใช้ LLDPE ทดแทน LDPE เพิ่มขึ้น เนื่องจาก LLDPE มีคุณสมบัติของการต้านแรงดึงขาด การต้านแรงที่มดกัดและการตกกระแทกสูงกว่า LDPE จึงทำให้สามารถผลิตถุงที่ใช้ฟิล์มบางกว่าและราคาต่ำกว่าได้กล่าวคือถ้าใช้ฟิล์ม LDPE จะใช้ความหนาที่ 102 ไมครอน แต่ถ้าใช้ฟิล์ม LLDPE สามารถใช้ความหนาเพียง 71 ไมครอนเท่านั้น

การปิดถุง

ถุงแบบเปิดด้านบนเมื่อบรรจุสินค้าแล้วจะปิดโดย 2 วิธีคือ เย็บและใช้ความร้อน การเย็บปากถุงเป็นวิธีที่ใช้กันมาตั้งแต่เดิม ในปัจจุบันไม่นิยมเท่าใดนัก เพราะไม่สะดวก อีกทั้งสามารถใช้กับถุงซึ่งทำจากฟิล์มพลาสติกที่มีความแข็งสูงหรือมีความหนามากกว่า 152 ไมครอนเท่านั้น การใช้ความร้อนเป็นวิธีที่ใช้กันแพร่หลาย เนื่องจากให้ความสะดวกและรวดเร็วรวมทั้งให้การผนึกที่แข็งแรงอีกด้วย การปิดผนึกด้วยความร้อนยังอาจแบ่งย่อยได้อีกดังนี้

1. การใช้แถบผนึกร้อน (band heat sealer)

แถบผนึกร้อนทำด้วยแผ่นเหล็กเคลือบด้วย PTFE 1 คู่ จะผ่านเกียร์ AA และ BB โซ่ที่อยู่ด้านล่างทำหน้าที่ยึดปากถุงที่จะเปิดไว้จากนั้นรีดแถบผนึกร้อนนี้ลงบนปากถุงด้วย ซึ่งทำให้ผิวในของปากถุงหลอมติดกัน วิธีนี้ต้องระมัดระวังในการควบคุมอุณหภูมิของบล็อกร้อนที่ให้ความร้อน รวมทั้งช่องว่างระหว่างบล็อกร้อนและบล็อกเย็น นอกจากนี้ยังต้องป้องกันมิให้ฝุ่นเกาะติดบริเวณผิวในของปากถุงด้วย เพราะจะมีผลให้การปิดผนึกไม่สมบูรณ์ เครื่องมือที่ใช้ควรติดตั้งแปรงโลหะต่อกับเครื่องดูดฝุ่นที่อาจมีอยู่เพื่อปัดฝุ่น

คุณสมบัติและการใช้งาน

ถุงที่ทำจากฟิล์ม PE มีคุณสมบัติพิเศษในด้านความทนทานต่อสารเคมี การป้องกันไอน้ำ และความเหนียว อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการใช้ถุงดังกล่าวคือ -20°C ถึง -70°C หากสินค้าเป็นผงหรือเม็ดที่ไม่มีส่วนแหลมคมก็ใช้ถุง LDPE หรือ LLDPE ก็ได้ แต่หากมีส่วนแหลมคมด้วยควรใช้ LLDPE เพราะฟิล์ม LLDPE จะมีคุณสมบัติในการต้านแรงฉีกขาดและการทิ่มทะลุสูงกว่าฟิล์ม LDPE ในกรณีที่จำเป็นต้องเก็บถุงซึ่งบรรจุสินค้าแล้วนอกอาคาร ควรเติมสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต เช่น ผงถ่าน (carbon black) ลงไปในกระบวนการผลิตฟิล์มด้วย

คุณสมบัติที่สำคัญของถุงที่ควรตรวจสอบคือ

- การต้านแรงดึง
- การต้านแรงฉีกขาด
- การต้านแรงดันทะลุ
- ความแข็งแรงของตะเข็บ
- การต้านแรงกระแทก
- การซึมผ่านของไอน้ำ

ในบรรดาฟิล์มพลาสติกที่ใช้สำหรับการหีบห่อ PE เป็นพลาสติกที่มีการใช้กันมากที่สุดในปริมาณมากที่สุดและในขอบเขตที่กว้างขวาง ไม่ว่าสินค้าจะเป็นผลผลิตสด ผลิตภัณฑ์อาหาร และผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่างๆเนื่องจากมีชนิดและชั้นคุณภาพหลายระดับ ชนิดของ PE นิยมแบ่งตามความหนาแน่นดังนี้

HDPE	มีความหนาแน่น	0.941-0.959	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
MDPE	มีความหนาแน่น	0.926-0.940	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
LDPE	มีความหนาแน่น	0.910-0.925	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
LLDPE	มีความหนาแน่น	0.910-0.925	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

คุณสมบัติ

- โปร่งแสง โดยทั่วไป PE มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจะมีความใสลดลง LLDPE ต่างจาก LDPE ที่มีความมันวาวมากกว่า
- นิ่มและยืดหยุ่น
- มีความเหนียวสูง
- มีความทนทานต่อสารเคมีจำพวกกรด ค้างได้ดี แต่ถ้าเป็นตัวทำละลาย ฟิล์ม LDPE และ MDPE จะทนทานได้ปานกลาง ในขณะที่ฟิล์ม HDPE จะทนทานได้ดีกว่า
- ดูดซับน้ำได้ต่ำมาก
- ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี
- ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี (HDPE จะป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีกว่า)

- ป้องกันการซึมผ่านของไขมัน/น้ำมันได้ดี (HDPE จะป้องกันการซึมผ่านของไขมัน/น้ำมันได้ดีกว่า)
- ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ดี (ยกเว้น HDPE) LDPE ปิดผนึกที่อุณหภูมิ 122 – 155 °C
- ใช้ได้เหมาะสมกับอุณหภูมิตั้งแต่ -40 °C ถึง -80 °C (ยกเว้น HDPE สามารถใช้ได้ถึง 120 °C)
- มีความคงรูปต่ำ (HDPE จะคงรูปได้ดีกว่า)
- มีความปลอดภัย สามารถใช้กับอาหารและยาได้

ฟิล์มพลาสติกโพลีเอไมด์หรือไนลอน

PA หรือที่รู้จักกันในชื่อของไนลอน ซึ่งมีหลายชนิด และเรียกกันตามจำนวนคาร์บอนในสารตั้งต้น เช่น ไนลอน 6 ,ไนลอน 11 เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติพิเศษต่างๆกันไปโดยการใช้สารเติมแต่งในระหว่างการทำปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลเรียกว่า oriented polyamide (OPA) ในบรรดาไนลอนทั้งหมด ไนลอน 6 นับว่าได้รับความนิยมใช้ในรูปแบบของฟิล์มเพื่อการหีบห่อมากที่สุด

คุณสมบัติ

- โปร่งใส
- มีความเหนียวสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถต้านทานแรงทิ่มทะลุ และแรงฉีกขาดได้สูง
- มีความคงรูป
- มีความทนทานต่อการขัดสีสูง
- มีความทนทานต่อสารเคมีจำพวกกรดและตัวทำละลายอยู่ในเกณฑ์ดี แต่ไม่ทนทานต่อด่าง
- ดูดซึมน้ำได้สูง จึงทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของขนาดได้ และไม่ทนทานต่อสภาวะแวดล้อม คือ เกิดการขึ้นราและเปลี่ยนสีเมื่อเก็บไว้นาน
- ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี
- ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีมาก เช่น ก๊าซออกซิเจน ไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์
- ป้องกันการซึมผ่านของไขมัน / น้ำมัน ได้สูง
- ปิดผนึกด้วยความร้อนได้
- ทนทานต่ออุณหภูมิทั้งร้อนจัดและเย็นจัด

คุณสมบัติที่สำคัญของพลาสติกที่ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์จำแนกเป็น 2 ประเภทหลักดังนี้

1. คุณสมบัติทางกล (mechanical properties) เป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความเหนียวและความแข็งแรงของพลาสติก คุณสมบัติที่สำคัญได้แก่

1.1 การต้านแรงดึง (tensile strength) และการยืดตัว (elongation)

หมายถึง ความสามารถของฟิล์มพลาสติกที่จะต้านแรงดึง ซึ่งกระทำที่ปลายข้างหนึ่งของแผ่นทดสอบที่มีความกว้างคงที่ จนแผ่นทดสอบนั้นขาด มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (kN/m^2) หรือกิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (kgf/cm^2) ส่วนการยืดตัวจะมีหน่วยเป็นร้อยละของความยาวเดิมของแผ่นทดสอบ เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์คือ เทนซายล์เทสเตอร์ (tensile tester) โดยใช้มาตรฐาน ISO 1184 , ASTM D882 , BS 2782 , 301 E คุณ

สมบัตินี้จะเกี่ยวข้องกับแรงดึงในการพิมพ์ และแรงดึงในการห่อและการยึดตัวของถุงเมื่อใส่สินค้า เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเหนียวของพลาสติกในการรับน้ำหนักและใช้งานอีกด้วย

1.2 การต้านแรงกระแทก (impact resistance)

หมายถึง ความสามารถของฟิล์มหรือแผ่นพลาสติกที่จะต้านน้ำหนักของค้อนโลหะ ซึ่งเมื่อตกลงมากระแทกกับพลาสติกแล้วทำให้ฟิล์มหรือแผ่นนั้นขาด มีหน่วยเป็นกรัม คุณสมบัตินี้จะบ่งบอกถึงความแข็งแรงของพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ทำเป็นถุงบรรจุสินค้าที่หนักและมีการกระแทกในระหว่างการขนส่ง เครื่องมือที่ใช้มีหลายแบบ เช่น เครื่องกระแทกแบบดาร์ต (apparatus for free falling dart impact test) , เครื่องกระแทกแบบลูกตุ้ม (pendulum impact tester) เป็นต้น

1.3 การต้านแรงฉีกขาด (tear resistance)

หมายถึง ความสามารถของฟิล์มหรือแผ่นพลาสติกที่จะต้านแรงซึ่งทำให้ชั้นทดสอบขาดต่อจากรอยเดิม มีหน่วยเป็นมิลลิวัตตันหรือกรัมแรง การกำหนดค่านี้จะมากหรือน้อยขึ้นกับจุดประสงค์ของการใช้งาน เช่น ถ้าฟิล์มนั้นทำเป็นถุงที่ต้องการให้ฉีกขาดง่ายก็ควรมีค่านี้ต่ำ แต่หากไปทำเป็นถุงเพื่อการขนส่งค่านี้ควรสูง เครื่องมือวิเคราะห์ได้แก่ เครื่องวัดการต้านแรงฉีกขาดแบบเอลเมนดอร์ฟ (Elmendorf tear tester)

1.4 การต้านแรงดันทะลุ (bursting strength)

หมายถึง ความสามารถของฟิล์มพลาสติกที่จะต้านแรงดันที่กระทำบนชั้นทดสอบด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนทำให้ชั้นทดสอบนั้นขาด มีหน่วยเป็นกิโลปาสกาล (kPa) หรือกิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (kgf/cm^2) เครื่องมือที่ใช้คือมุลเลนเทสเตอร์ (Mullen tester)

1.5 ความแข็งแรงของตะเข็บ (seam strength)

เป็นการวิเคราะห์ความแข็งแรงของตะเข็บโดยการวิเคราะห์ค่าการต้านแรงดึงของชั้นทดสอบที่มีตะเข็บอยู่กึ่งกลาง เปรียบเทียบชั้นทดสอบที่ไม่มีตะเข็บเลย คิดเป็นร้อยละ โดยทั่วไปตะเข็บที่แข็งแรงของฟิล์มพลาสติกชั้นเดียวควรมีค่าดังกล่าวไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 วิธีการวิเคราะห์นี้อาศัยเครื่องมือเดียวกับการต้านแรงดึง

2. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (physical and chemical properties)

เป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงลักษณะภายนอกที่มองเห็น และความสามารถในการสกัดกั้นไอน้ำ อากาศและไขมัน รวมทั้งความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม คุณสมบัติที่สำคัญได้แก่

2.1 ความหนาแน่น (density)

หมายถึง น้ำหนักของชั้นทดสอบต่อ 1 หน่วยปริมาตร ณ อุณหภูมิที่กำหนดหน่วยที่นิยมใช้คือ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cc) และกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) คุณสมบัตินี้บางครั้งจะใช้สำหรับการบ่งบอกชนิดของฟิล์มหรือแผ่นพลาสติกได้ เพราะพลาสติกชนิดต่างกันจะมีค่าของความหนาแน่นต่างกัน เช่น LDPE = 0.910-0.925 , MDPE = 0.926 – 0.940 , HDPE = 0.941-0.959 เป็นต้นในการวิเคราะห์ความหนาแน่นของฟิล์มหรือแผ่นพลาสติกจะใช้วิธีแทนที่น้ำตามกฎของอาคิมิดีส

2.2 ยีลด์ (yield)

หมายถึง พื้นที่ของฟิล์มหรือแผ่นพลาสติกที่สามารถผลิตได้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของพลาสติกนั้น หน่วยที่นิยมใช้คือ ตารางเมตรต่อกิโลกรัม (m^2/kg) ในการวิเคราะห์หาค่านี้สามารถคำนวณได้จากค่าความหนาแน่นเมื่อทราบความหนาแน่นของฟิล์มหรือแผ่นพลาสติก

2.3 ความหนา (thickness)

หมายถึง ระยะตั้งฉากระหว่างผิวหน้าทั้งสองของฟิล์ม หรือแผ่นพลาสติกมีหน่วยเป็นไมโครเมตร (ไมครอน) หรือมิลลิเมตร ความหนามีส่วนสัมพันธ์กับคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ความคงรูป การต้านแรงดึง การต้านแรงลิกซาด ยีลด์ ความสามารถในการสกัดกั้นไอน้ำและอากาศเป็นต้น การวิเคราะห์ความหนานิยมใช้เครื่องมือไมโครมิเตอร์ (micrometer)

บทบาทและความสำคัญของภาชนะบรรจุ

การบรรจุหีบห่อ คือ การนำสิ่งของหรือสินค้าบรรจุลงในภาชนะ ซึ่งอาจจะเป็นถุง กล่อง หรืออะไรก็ตาม และมากไปกว่านั้น การบรรจุหีบห่อดังกล่าวต้องรวมเอาทั้งความเป็นศิลปะผสมผสานกับหลักการทางวิทยาศาสตร์หรือเรียกว่าเทคโนโลยีเข้าไว้ด้วยกัน

ในช่วงศตวรรษที่ 18 ได้เริ่มมีบริษัททำการผลิตภาชนะบรรจุจำหน่ายให้กับผู้ผลิตและผู้จำหน่ายสินค้าต่างๆ โดยมีการนำเครื่องมือเครื่องจักรเข้ามาใช้ในการผลิต ต่อมาในศตวรรษที่ 19 ภาชนะบรรจุก็เริ่มมีบทบาทสำคัญในตลาดอย่างแท้จริง และทวีความสำคัญยิ่งขึ้นตราบนานวันทั้งนี้ก็เนื่องจากภาชนะบรรจุทำหน้าที่หลายประการคือ

● ป้องกันและรักษาคุณภาพของสินค้าในระหว่างการขนส่ง ขนถ่าย และการเก็บในคลังสินค้า โดยช่วยป้องกันสิ่งสกปรก ไอน้ำ ความชื้น แสง การกระแทก และการกดทับ เป็นต้น ตลอดจนช่วยรักษารส กลิ่น และส่วนผสมต่างๆ ของสินค้าให้อยู่ในสภาพที่ดีอีกด้วย

- ให้ความสะดวกในการจัดส่งสินค้าไปยังตลาดปลายทาง ด้วยความรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่าย
- ให้ความสะดวกในการใช้ เช่น มีฝาปิดเปิดง่าย มีหูหิ้วสำหรับถือ เป็นต้น
- เป็นตัวกลางในการบอกรายละเอียดของสินค้าที่บรรจุอยู่ภายใน เช่น บอกราคา ตรา วิธีการใช้ อายุการใช้งาน หรือส่วนผสมต่างๆ เป็นต้น
- ช่วยกระตุ้นและดึงดูดใจในการซื้อสินค้า ณ จุดขาย ซึ่งถือเป็นกลยุทธ์ในการส่งเสริมการขายได้อย่างดี

วิธีการทดลอง

1. การเตรียม blank

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาระยะเวลาในการพักข้าวที่เหมาะสมสำหรับการตรวจนับจำนวนงูข้าวที่เกิดการรื้อซึม
2. เพื่อหาช่วงเวลาในการเกิดการรื้อและการซึมของงูข้าวบรรจุสุญญากาศ

วิธีการ

1. เตรียมเมล็ดถั่วเขียวเพื่อบรรจุขนาด 1 kg ความหนา 100 และ 120 micron ,ขนาด 2 kg ความหนา 80 และ 90 micron อย่างละ 5 ถุง
2. ทำการบรรจุเมล็ดถั่วเขียวและซีลถุงบรรจุที่อุณหภูมิ 170 °C ทั้งหัวและท้ายถุง
3. บรรจุงูข้าวแบบสุญญากาศที่สุญญากาศ (-0.6) - (-0.7) bar
4. นำถุงเมล็ดถั่วเขียวไปพักไว้ โดยตรวจนับจำนวนงูที่รื้อซึมทุก 15 นาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทุก 30 นาทีเป็นเวลา 3 ชั่วโมงและตรวจทุก 60 นาทีเรื่อยไปจนครบ 24 ชั่วโมง
5. นำข้อมูลที่ได้ไปประเมินช่วงเวลาในการเกิดการรื้อและการซึมของงูข้าว

2. การทดสอบประสิทธิภาพของสภาวะการซีล

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องซีล
2. เพื่อหาสภาวะของอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อความแข็งแรงของรอยซีล

วัสดุอุปกรณ์

1. งูข้าวขนาด 1 kg 2 kg และ 2.5 kg อย่างละ 50 ถุง
2. ข้าวกล้อง
3. เครื่องซีล
4. นาฬิกาจับเวลาสำหรับจับเวลาการพักข้าว

วิธีการทดลอง

1. นำงูข้าวขนาดบรรจุ 1 kg ความหนา 100 และ 120 micron ,ขนาด 2 kg ความหนา 80 และ 90 micron และ 2.5 kg ความหนา 80 micron อย่างละ 50 ถุง
2. ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องซีลก่อนทดลอง 15 -30 นาที
3. นำถุงบรรจุแต่ละชนิดเข้าเครื่องซีลที่อุณหภูมิ 140 , 155 , 170 , 190 และ 210 °C อุณหภูมิละ 10 ถุง
4. บันทึกอุณหภูมิที่แผ่นซีลและเวลาที่ใช้ซีล
5. นำงูข้าวพักไว้เป็นเวลา 1 วันและทำการสุ่มตัวอย่างมาที่อุณหภูมิต่างๆอย่างละ 5 ถุงในแต่ละชนิด
6. ทดสอบค่า Tensile strength ของงูข้าวโดยหาค่า Force และ Distance
7. บันทึกผล วิเคราะห์ผลและ สรุปผล

หมายเหตุ : ขนาดบรรจุ 1 kg ความหนา 120 ไมครอนไม่สามารถทำการทดลองภายใต้สภาวะทดลองเนื่องจากขนาดถุงเล็กเกินไปไม่สามารถเข้าเครื่องซีลได้จึงใช้การซีลแบบทำเหยียบอุณหภูมิประมาณ 170 °C

3. การทดสอบผลของระดับการสุญญากาศต่อการรั่วซึมของถุงข้าวกล้องสุญญากาศ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสภาวะของระดับการสุญญากาศที่เหมาะสมต่อถุงข้าวการบรรจุสุญญากาศ

วัสดุอุปกรณ์

1. ถุงบรรจุขนาด บรรจุ 1 kg ความหนา 100 และ 120 micron ,ขนาด 2 kg ความหนา 80 และ 90 micron และ 2.5 kg ความหนา 80 micron อย่างละ 50 ถุง

2. นาฬิกาจับเวลา

วิธีการทดลอง

1. เตรียมถุงข้าวขนาดบรรจุ 1 kg ความหนา 100 และ 120 micron ,ขนาด 2 kg ความหนา 80 และ 90 micron และ 2.5 kg ความหนา 80 micron อย่างละ 50 ถุง
2. ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องบรรจุสุญญากาศแต่ละชนิดก่อนทดลอง 15 –30 นาที
3. ซักถุงบรรจุข้าวที่อุณหภูมิที่ได้จากการทดลองที่ 2 ในถุงแต่ละชนิด และบรรจุข้าวกล้อง
4. บรรจุสุญญากาศที่ระดับ -0.6 , -0.8 และ -0.9 bar และบันทึกเวลาเวลาที่ใช้ในการดูดอากาศ
5. นำถุงข้าวที่ผ่านการบรรจุสุญญากาศมาพักไว้ที่เวลาที่ได้ประเมินไว้ข้างต้น
6. ตรวจสอบจำนวนถุงที่เกิดการรั่วซึม
7. ต้มถุงที่ไม่เกิดการรั่วซึมอย่างละ 10 ถุงไปรีดขึ้นรูปและพักไว้ 24 ชั่วโมง
8. บันทึกผล
9. สรุปและวิจารณ์ผล

หมายเหตุ : ขนาดบรรจุ 1 kg สามารถบรรจุที่ระดับการสุญญากาศ -0.6 , -0.8 และ -0.9 bar แต่ขนาดบรรจุ 2 และ 2.5 kg สามารถบรรจุที่ระดับการสุญญากาศ -0.6 , -0.8 bar เนื่องจากความจำกัดของเครื่องบรรจุสุญญากาศ

4. การหาระยะห่างลูกกลิ้งที่เหมาะสมกับการรีดขึ้นรูปและผลิตภัณฑ์บรรจุสุญญากาศสุดท้าย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาระยะห่างของลูกกลิ้งที่เหมาะสมกับสภาวะของเครื่องรีดขึ้นรูป
2. เพื่อศึกษาผลของความหนาแน่น ความเค้น ความเครียดและค่า Modulus of elasticity ต่อการรั่วซึมของถุงข้าวบรรจุสุญญากาศ

วัสดุอุปกรณ์

1. ถุงข้าวขนาดบรรจุ 1 kg อย่างละ 10 ถุง
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก
3. ไม้มารรต

วิธีการทดลอง

1. นำถุงข้าวขนาดบรรจุ 1 kg ความหนา 100 และ 120 micron ,ขนาด 2 kg ความหนา 80 และ 90 micron และ 2.5 kg ความหนา 80 micron อย่างละ 10 ถุง
2. ทดสอบประสิทธิภาพลูกกลิ้งและสายพานการไหลก่อนทดลอง 15 –30 นาที

3.หาความหนาแน่นของถุงข้าวบรรจุสุญญากาศจาก

ความหนาแน่น (Density) = มวล (mass) / ปริมาตร (volume)

4.บันทึกปริมาณการดูดอากาศก่อนเข้าถุงก๊อปปี้

5.ปรับระยะห่างของลูกกลิ้งที่ต้องการศึกษา

6.รีดขึ้นรูปถุงข้าวบรรจุสุญญากาศ

7.บันทึกอัตราเร็วการไหลของสายพาน

8.นำถุงข้าวมาคำนวณหาความเค้น และความเครียดของถุงข้าวหลังการรีดจากสูตร

ความเค้น (stress) = แรง (Force) / พื้นที่หน้าตัด (Area) : $F = mgh$ (m = มวลของลูกกลิ้งหนัก 300 g)

ความเครียด (strain) = ความยาวที่เปลี่ยนไป / ความยาวเดิม

Modulus of elasticity = ความเค้น / ความเครียด

9. บันทึก วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง

หลักการการวางแผนการทดลองโครงการปัญหาข้าวสุญญากาศ

สมมติฐานในการทำการทดลอง

1. คุณสมบัติของถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุ เช่น ความหนาและรอยซีกมีผลต่อประสิทธิภาพการบรรจุข้าวกล้องสุญญากาศ
2. ผลของอุณหภูมิของแผ่นซีกมีผลต่อความแข็งแรงของรอยซีกและประสิทธิภาพการบรรจุข้าวกล้องสุญญากาศ
3. ผลของความดันที่ใช้ในการบรรจุสุญญากาศมีผลต่อประสิทธิภาพการบรรจุข้าวกล้องสุญญากาศ
4. ผลของเครื่องรีดขึ้นรูปและระยะห่างลูกกลิ้งมีผลต่อปริมาณอากาศในถุงข้าวกล้องบรรจุสุญญากาศ
5. ผลของความหนาแน่น ความเค้น ความเครียด และค่า Modulus of elasticity มีผลต่อการรั่วซึมของถุงข้าวกล้องบรรจุสุญญากาศ

การตัดสินใจเลือกแผนการทดลอง

เนื่องมาจากการทดลองมีขนาดใหญ่ เพราะต้องใช้หน่วยทดลองคือ ถุงข้าวกล้องจำนวนมากในการทดลอง ซึ่งเป็นการเพิ่มความคลาดเคลื่อนและลดความเที่ยงตรงในการทดลองลงมา ทั้งนี้เพราะความแตกต่างของคุณสมบัติของถุงพลาสติก ดังนั้นการลดความแตกต่างของถุงพลาสติก โดยการแยกหน่วยทดลองออกเป็นกลุ่มๆ พวกที่เหมือนกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน พวกที่ต่างก็ให้อยู่คนละกลุ่ม เมื่อแยกแล้วก็จะมีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มที่ชัดเจน ต่อจากนั้นทำการทดลองทุกทรีตเมนต์ในแต่ละกลุ่ม กลุ่มดังกล่าวเรียกว่า บล็อก ดังนั้นบล็อกก็คือกลุ่มของหน่วยทดลองแบบสุ่มภายในบล็อก และเรียกแผนการทดลองที่จัดบล็อกเช่นนี้ว่า แผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อก หรือ RCBD (Random complete block design) และทำการวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

วัตถุประสงค์ในการจัดกลุ่มหน่วยการทดลอง ก็เพื่อที่จะลดความคลาดเคลื่อนของการทดลองอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของหน่วยทดลองนั่นเอง ในการทดลองนี้ต้องการทราบสถานะต่างๆที่มีผลต่อการบรรจุข้าวกล้องสุญญากาศ ในการปฏิบัติการทดลอง เราต้องให้มีความสม่ำเสมอภายในบล็อกให้มากที่สุด ในการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ RCBD นี้ ในแต่ละบล็อกมีทรีตเมนต์ต่างๆ อยู่ครบ แต่ละทรีตเมนต์ปรากฏหนึ่งครั้ง หรือหนึ่งแปลง การทดลองที่มีทุกทรีตเมนต์ และแต่ละทรีตเมนต์ เกิดขึ้น หนึ่งครั้งนี้เรียกว่า หนึ่ง

ซ้ำ ดังนั้นบล็อกที่มีครบทุกพริตเมนต์เรียกว่าซ้ำได้ การวางพริตเมนต์ลงในหน่วยรองรับที่อยู่ภายในบล็อกกระทำโดยการสุ่ม

การสุ่มวางพริตเมนต์และตัวอย่าง

1. การเตรียม Blank

นำเมล็ดถั่วเขียวบรรจุในถุงพลาสติกผ่านการซีลและบรรจุสุญญากาศดังนี้ ถุงขนาด 1 Kg ความหนา 100 microns (Only 15 / PE 85) , 120 microns (Only 15 / PE 105) ถุงขนาด 2 Kg ความหนา 80 microns (Only 15 / PE 65) , 90 microns (Nyl 60/ PE 30) , ถุงขนาด 2.5 Kg ความหนา 80 microns (Only 15 / PE 65) อย่างละ 5 ถุง จากนั้นทำการพักทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงโดยตรวจวัดการรั่วซึมทุกๆ 15 นาทีเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และทุกๆครึ่งชั่วโมงเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทุกหนึ่งชั่วโมงจนครบ 24 ชั่วโมง

2. ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องซีล

ทำการแบ่งแปลงทดลองออกเป็น 6 บล็อกคือถุงขนาด 1 Kg ความหนา 100 microns (Only 15 / PE 85) , 120 microns (Only 15 / PE 105) , ถุงขนาด 2 Kg ความหนา 80 microns (Only 15 / PE 65) , 90 microns (Nyl 60/ PE 30) , 120 microns (Only 15 / PE 105) , ถุงขนาด 2.5 Kg ความหนา 80 microns (Only 15 / PE 65) โดยแต่ละบล็อกแบ่งเป็น 5 แปลงเพื่อใช้เปรียบเทียบอุณหภูมิของแผ่นซีล 5 ระดับ (140,155,175,190,210 องศาเซลเซียส) ในแต่ละแปลงมี 10 ตัวอย่างจากนั้นทำการสุ่มมา 5 ตัวอย่างไปวัดค่า Tensile strength โดยการใช้ตารางสุ่มให้หมายเลขดังนี้

ตัวอย่างที่ :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เลขสุ่ม :	08	96	72	45	18	42	53	67	24	31
ลำดับที่ :	1	10	9	6	2	5	7	8	3	4

ทำการเลือกตัวอย่างลำดับที่ 1-5 มาทำการทดสอบค่า Tensile strength คือตัวอย่างที่ 1 , 5 , 6 , 9 และ 10

3. การทดสอบผลของระดับการสุญญากาศต่อการรั่วซึมของถุงข้าวกล้องสุญญากาศ

ทำการแบ่งแปลงทดลองออกเป็น 6 บล็อกคือถุงขนาด 1 Kg ความหนา 100 microns (Only 15 / PE 85) , 120 microns (Only 15 / PE 105) , ถุงขนาด 2 Kg ความหนา 80 microns (Only 15 / PE 65) , 90 microns (Nyl 60/ PE 30) , 120 microns (Only 15 / PE 105) , ถุงขนาด 2.5 Kg ความหนา 80 microns (Only 15 / PE 65) โดยแต่ละบล็อกแบ่งเป็น 3 แปลงเพื่อใช้เปรียบเทียบความดันของเครื่องบรรจุสุญญากาศ 3 ระดับ (- 0.6 , - 0.8 และ - 0.9 bar) ในแต่ละแปลงมี 50 ตัวอย่างจากนั้นทำการสุ่มถุงที่ไม่รั่วซึมมา 10 ตัวอย่างไปวัดขึ้นรูปด้วยวิธีการจับผลาก ซึ่งจะได้ผลคล้ายกับการใช้ตารางสุ่มเหมือนกันโดย

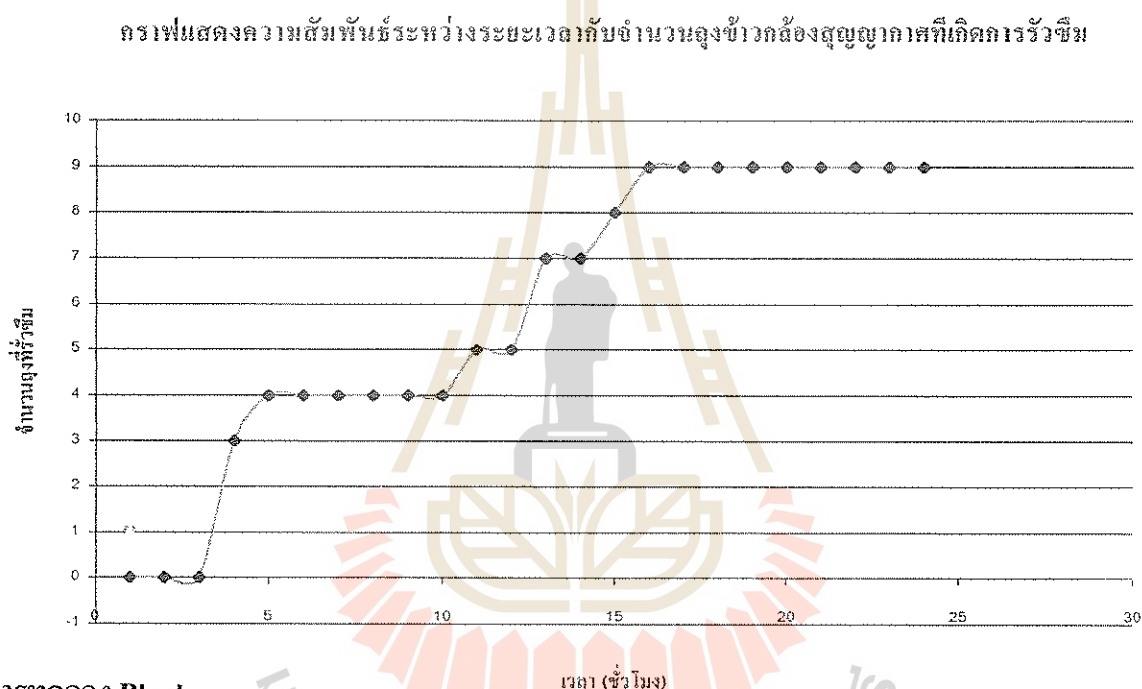
1. เขียนหมายเลขหน่วยทดลองในแต่ละบล็อกให้ครบทั้ง 6 บล็อกโดยให้หมายเลข 2 หลัก เลขค่าแรกเป็นหมายเลขบล็อก เลขอีกหลักเป็นหมายเลขหน่วยทดลอง
2. เขียนชื่อพริตเมนต์ลงในแผ่นกระดาษขนาดเท่าๆกัน แล้วม้วนใส่ภาชนะ เขย่าหรือใช้มือคลุกเคล้าให้ปนกัน
3. ทำการสุ่มทีละบล็อก เช่น สุ่มในบล็อกที่ 1 หยิบผลากอย่างสุ่มออกมาทีละใบ เช่น หยิบใบแรกขึ้นมาเปิดอ่านแล้วใส่เป็นลำดับตัวอย่างของหน่วยทดลองที่เลือกใน 100 ลำดับจนครบ 50 ตัวอย่างแต่ละครั้งในการสุ่มไม่ใส่ผลากคืนในภาชนะ กระทำจนหมดบล็อกที่ 1 แล้วเริ่มบล็อกถัดไปจนครบ

4. การหาระยะห่างที่ถูกดึงที่เหมาะสมกับการรีดขึ้นรูปและผลิตภัณฑ์บรรจุสุญญากาศสุดท้าย

จากการทดลองข้างต้นทำการคัดเลือกพรีดเมนต์ที่ดีที่สุดในแต่ละขนาดบรรจุ มาทำการทดลองโดยจะได้อะลอกทั้งหมด 3 บล็อกเป็นความดันที่ใช้ในการดูดอากาศแต่ละบล็อกแบ่งเป็น 3 แปลงเพื่อใช้เปรียบเทียบกับความเร็วของสายพานเครื่องรีดขึ้นรูป ในแต่ละแปลงมี 10 ตัวอย่าง จากนั้นทำการสุ่มภายในบล็อกมา 5 ตัวอย่างจาก 10 ตัวอย่างโดยวิธีการใช้ตารางสุ่มเช่นเดียวกับการสุ่มถุงข้างต้น และทำเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์อื่นๆด้วย เช่น ระยะห่างที่ถูกดึง ความหนาแน่นของถุงข้าว ความเค้น ความเครียดและค่า Modulus of elasticity ของถุงข้าวเป็นต้น

การวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลการทดลองการเตรียม blank



ผลการทดลอง Blank

จากผลการทดลองตารางที่ 1 พบว่าถุงขนาด 1 kg ความหนา 120 micron ใช้เวลาในการพักข้าวโดยเฉลี่ย นานที่สุดคือน้อย 16 ชั่วโมง และถุงขนาด 1 kg ความหนา 100 micron ใช้เวลาในการพักข้าวโดยเฉลี่ย น้อยที่สุด คือน้อย 5 ชั่วโมง และระยะเวลาในการพักข้าว จากกราฟรูปที่ 1 พบว่าช่วงระยะเวลาการเกิดการรั่วของถุงข้าว อยู่ในช่วงชั่วโมงที่ 3 – 5 และช่วงระยะเวลาการเกิดการซึมของถุงข้าวอยู่ในช่วงชั่วโมงที่ 10 – 16 จากตารางที่ 2 พบว่าถุงขนาด 1 kg ความหนา 120 microns มีค่าต้านทานแรงดึง (Force) มากที่สุดแสดงว่ามีความทนต่อแรงดึงในการ ทียบทดสอบ และถุงขนาด 2 kg ความหนา 90 microns มีค่าความยืดหยุ่น (Distance) สูง แสดงว่ามีความยืดหยุ่นในการ บรรจุผลิตภัณฑ์ได้มาก

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลอง Blank เพื่อหาระยะเวลาในการพักข้าว โดยใช้เมล็ดข้าวเขียวแทนข้าวกล้องเพื่อกำจัดปัจจัย ความคมของข้าวกล้องที่สามารถทิ่มแทงถุงข้าวได้ พบว่าต้องใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมงในการพักผลิตภัณฑ์ บรรจุสุญญากาศที่ไม่มีปัจจัยความคมมาเกี่ยวข้องแต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์เป็นข้าวกล้องที่มีปัจจัยความคมของเมล็ด

และมีโอกาสเกิดการทิ่มแทงงูได้ ดังนั้นในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสุญญากาศต้องใช้ระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 16 ชั่วโมง ในผลการทดลองตารางที่ 1 นั้นการเกิดการรื้อซึมอาจมาจากหลายสาเหตุเช่น การกระแทกเนื่องจากการบรรจุหรือ การขนย้าย เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นกับถุงขนาด 2 kg และเกิดการรื้อซึมที่เมื่อมีการขนย้ายเสร็จ และจากผลค่า ความยืดหยุ่น(Distance) ของถุงขนาด 2 kg ในตารางที่ 2 นั้นทำให้ทราบว่า การรื้อซึมของถุงข้าวเกิดจากการกระแทกในการขนย้าย จากกราฟรูปที่ 1 สังเกตได้ว่าในช่วงแรกของความชันกราฟในช่วงชั่วโมงที่ 3-5 เป็นช่วงระยะเวลาที่เกิดการ รื้อซึมของถุงบรรจุเมล็ดข้าวเนื่องจากเกิดการรื้อซึมจะเกิดในระยะเวลาอันสั้นหรือในช่วงแรกของการพักถุง ส่วนช่วงหลังของความชันกราฟในช่วงชั่วโมงที่ 10-16 เป็นช่วงระยะเวลาที่เกิดการซึมของถุงบรรจุเมล็ดข้าวเนื่องจาก การเกิดการซึมขึ้นนั้นจะเกิดในระยเวลานานกว่าการเกิดการรื้อซึ่งมักเกิดเมื่อพักถุงไว้เป็นเวลานาน แต่เมื่อ พิจารณาในช่วงความชันของการซึมพบว่ากราฟไม่ต่อเนื่องกันเนื่องจากมีช่วงคงที่เล็กน้อยในแต่ละช่วงเวลาดังนั้น จากผลการทดลองจึงได้ประเมินเวลาพักไว้มากกว่า 16 ชั่วโมงขึ้นไป เมื่อพิจารณาปัจจัยของความแหลมคมของข้าว กล้องคั่ว ที่ทำให้เกิดการทิ่มแทงงู และปัจจัยอื่นที่อาจส่งผลต่อการเกิดการรื้อซึม และเพื่อความสะดวกในการ ทดลองจึงประเมินระยะเวลาในการพักข้าวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพสวาระอุณหภูมิการขึ้น

ชนิดพลาสติก	ขนาดบรรจุ(kg)	ความหนา (μ)	อุณหภูมิ (C°)	เวลาที่ใช้ (S)	Tensile	Tensile Head	Tensile tail
Ony 15 /PE85	1	100	140	0.8	Force (N)	3285.6	3059.6
					Distance (mm)	10683.8	8166.6
			155	0.8	Force (N)	3298.6	3431.4
					Distance (mm)	11348	10579.6
			170	0.8	Force (N)	3684.6	3881.6
					Distance (mm)	16656.6	19028.2
			190	0.8	Force (N)	3807.6	3445.4
					Distance (mm)	16836.6	12079.8
			210	0.8	Force (N)	3599.6	3602
					Distance (mm)	15083.8	11474
Ony 15/PE65	2	80	140	0.8	Force (N)	3635	3770.2
					Distance(mm)	13255.8	15162.8
			155	0.8	Force (N)	3794.2	3832.8
					Distance(mm)	13288	14370.8
			170	0.8	Force (N)	3798.6	4059.6
					Distance(mm)	13749.2	16013.6
			190	0.8	Force (N)	4016	3872
					Distance(mm)	16615	14251.8
			210	0.8	Force (N)	3857	3823.4
					Distance(mm)	16668.6	14040.6
Nyl 60/PE30	2	90	140	0.8	Force (N)	1761.8	2008
					Distance(mm)	37078.2	57655.6
			155	0.8	Force (N)	1672	1979.25
					Distance(mm)	45995.75	61245.75
			170	0.8	Force (N)	1929	2030.6
					Distance(mm)	44482	46432.8
			190	0.8	Force (N)	2062.6	2310.6
					Distance(mm)	56271.8	60794.8
			210	0.8	Force (N)	2097.8	2403.6
					Distance(mm)	61171.6	67929.6
Ony15/PE65	2.5	80	140	0.8	Force (N)	4026.2	3114.667
					Distance(mm)	19208	13822.4
			155	0.8	Force (N)	3633.8	3066.5
					Distance(mm)	14336.6	13456.6
			170	0.8	Force (N)	3643.2	3118.333
					Distance(mm)	13737.2	14000.2
			190	0.8	Force (N)	3960.2	3518
					Distance(mm)	15664	18230.8
			210	0.8	Force (N)	4048.4	3483.333
					Distance(mm)	17763.6	18859.8

จากผลการวัดค่า Tensile strength ได้ค่าอุณหภูมิการซีลที่เหมาะสมดังนี้ดังตารางดังนี้

ขนาด (kg)	ความหนา (micron)	อุณหภูมิซีล °C	
		หัว (ซีลครั้งที่ 2)	ท้าย (ซีลครั้งที่ 1)
1	100	190	170
2	80	210	170
2	90	210	210
2.5	80	210	210

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

องค์ประกอบของพลาสติกมีผลต่อการพิจารณาอุณหภูมิในการซีลจากผลการทดลองพบว่าบรรจุภัณฑ์ขนาด 1 kg ซึ่งมีสัดส่วน PE > Onylon จะใช้อุณหภูมิในการซีลต่ำกว่าบรรจุภัณฑ์ขนาด 2 และ 2.5 kg ซึ่งมีสัดส่วน Onylon และ Nylon > PE ทั้งนี้เนื่องมาจากในกระบวนการปิดผนึกด้วยความร้อน (Heat sealing) พลาสติก LDPE และ LLDPE มีช่วงอุณหภูมิในการหลอมละลายประมาณ 121 – 150 °C ส่วน Onylon และ Nylon มีช่วงอุณหภูมิในการหลอมละลายสูงประมาณ 155 – 220 °C (คัดแปลงมาจาก Chomon , 1992) ดังนั้น การใช้พลาสติก Onylon และ Nylon ร่วมกับพลาสติก PE จะต้องใช้อุณหภูมิในการปิดผนึกที่สูงขึ้น

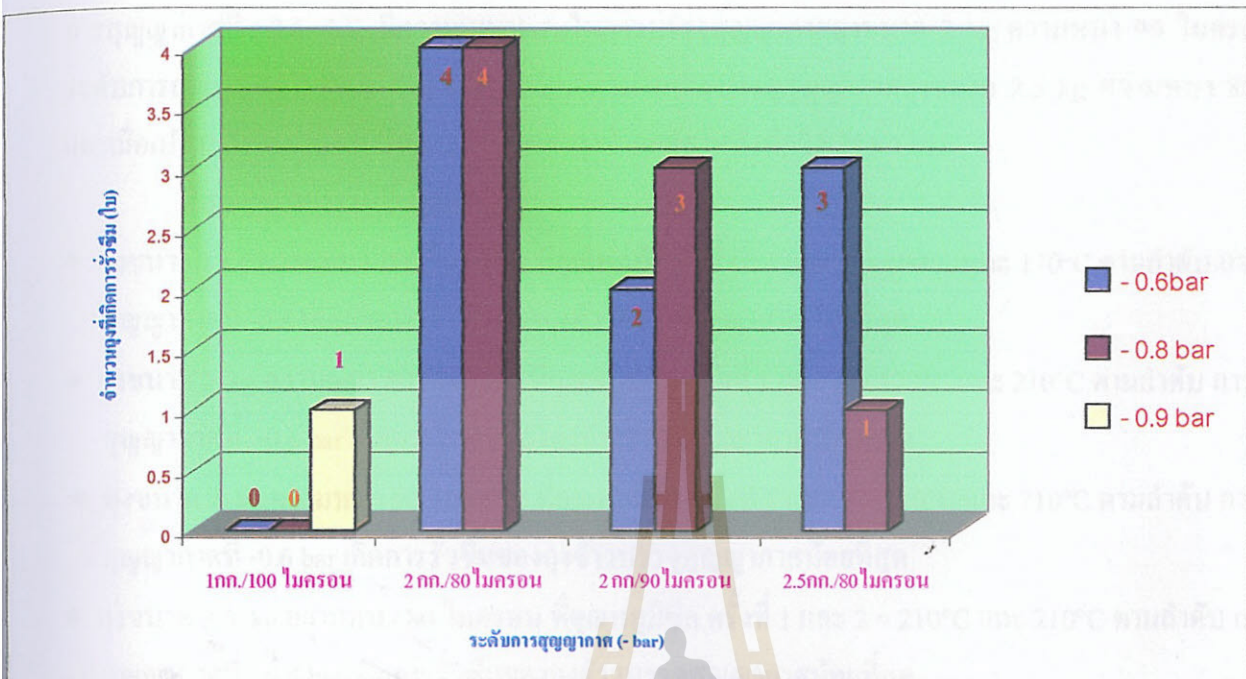
จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ซีลสูงและความหนาของถุงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับค่า Force และ Distance ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % โดยที่ความหนา 80 ไมครอนมีค่าเฉลี่ยของค่า Force และ Distance ที่เหมาะสมแสดงว่ามีความเหมาะสมในสัดส่วนของ Onylon : PE เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความหนา 90 , 100 และ 120 ไมครอน

จากการพิจารณาเปรียบเทียบค่า Force และ Distance ที่ความหนาและอุณหภูมิซีลต่างๆ พบว่า ค่า Force ของถุงที่มีความหนาชั้นพลาสติก Nylon มักจะมีค่า Distance สูงแต่ถุงที่มีความหนาชั้นพลาสติก PE มักจะมีค่า Force สูงแสดงว่าพลาสติก Nylon ให้คุณสมบัติด้านความยืดหยุ่น แรงดันทะลุและการทิ่มแทงได้ดี ส่วนพลาสติก PE ให้คุณสมบัติด้านความเหนียวและการต้านทานแรงดึงได้ดี อีกทั้งคุณสมบัติของ Onylon และ Nylon สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีมาก ไม่ว่าจะเป็นก๊าซออกซิเจน ไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ และป้องกันการซึมผ่านของไขมันและน้ำมันได้สูง ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำไปเป็นบรรจุภัณฑ์สุญญากาศร่วมกับ LDPE และ LLDPE ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำสูง และทนต่อสารเคมีพวกกรด และ ด่างได้ดี ซึ่งนิยมใช้ Nylon ประมาณ 1 ใน 3 ของความหนารวมของพลาสติก

สาเหตุหนึ่งที่ทำให้อุณหภูมิในการซีลถุงด้านหัวท้ายไม่เท่ากันคือผลของแรงจากมวลน้ำหนักของข้าวที่บรรจุลงมาและต้านทานแรงดันก๊าซภายในถุงประกอบกับระยะเวลาในการซีลสั้น ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิที่แผ่นซีลสูงขึ้นในการซีลให้รอยปิดผนึกถุงสนิทแน่นกัน ดังนั้นจึงควรใช้ฟิล์มที่มีค่า Hot lack ที่มากเพียงพอ

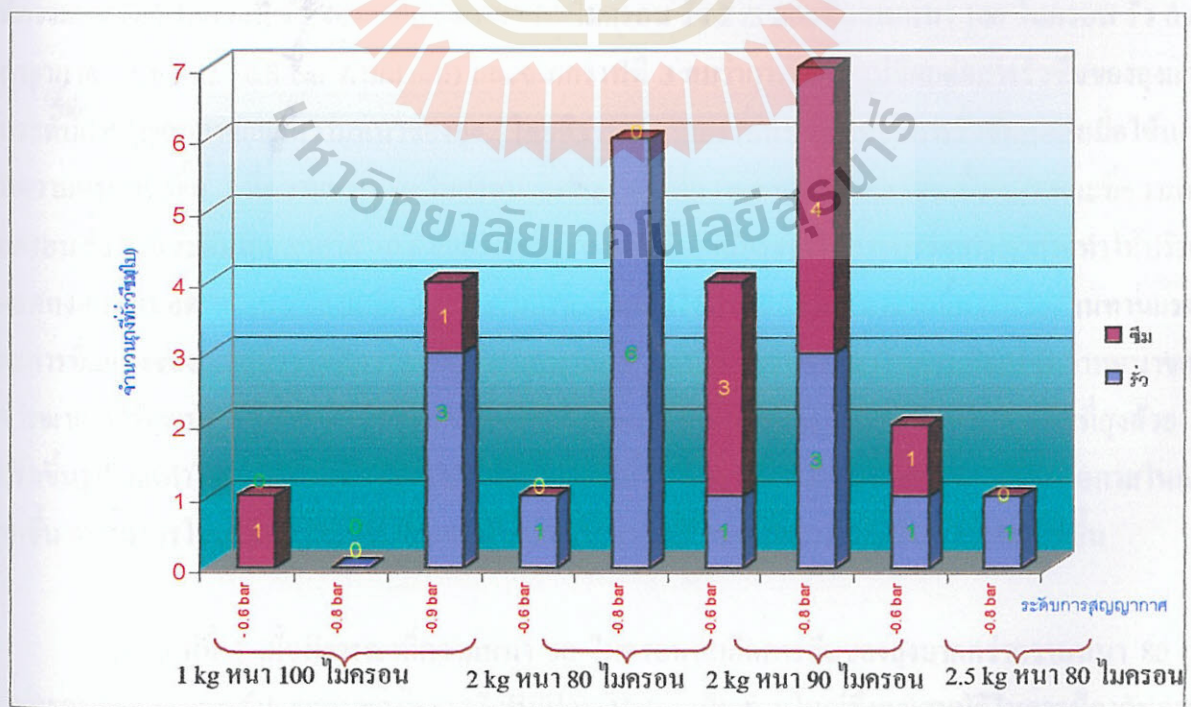
3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพการฉีดที่ระดับการสุญญากาศต่างๆต่อการรั่วซึมของถุงข้าว

กราฟที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสุญญากาศกับจำนวนถุงที่เกิดการรั่วซึม



4. การทดสอบประสิทธิภาพของการรีดขึ้นรูปต่อการรั่วซึมของถุงข้าว

กราฟที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการรีดขึ้นรูปกับจำนวนถุงที่เกิดการรั่วซึม



ผลการทดลอง

จากผลของระดับการบรรจุสุญญากาศพบว่า ที่ระดับการสุญญากาศที่ -0.6 และ -0.8 bar เหมาะสมกับการบรรจุสุญญากาศถุงขนาด 1 kg ความหนา 100 ไมครอนและถุงขนาด 2 kg ความหนา 80 ไมครอนแตกต่างกัน และที่ระดับการสุญญากาศที่ -0.6 bar มีความเหมาะสมในการบรรจุสุญญากาศถุงขนาด 2 kg ความหนา 90 ไมครอน และที่ระดับการสุญญากาศที่ -0.8 bar มีความเหมาะสมในการบรรจุสุญญากาศถุงขนาด 2.5 kg ความหนา 80 ไมครอน และเมื่อเปรียบเทียบจากจำนวนการรั่วซึมของถุงข้าวกล้องหลังพักไว้ 24 ชั่วโมง

จากผลของการรีดขึ้นรูปพบว่า

- ถุงขนาด 1 kg ความหนา 100 ไมครอน ที่อุณหภูมิซีล ครั้งที่ 1 และ 2 = 190°C และ 170°C ตามลำดับ การสุญญากาศที่ -0.8 bar เกิดการรั่วซึมของถุงข้าวบรรจุสุญญากาศน้อยที่สุด
- ถุงขนาด 2 kg ความหนา 80 ไมครอน ที่อุณหภูมิซีล ครั้งที่ 1 และ 2 = 170°C และ 210°C ตามลำดับ การสุญญากาศที่ -0.6 bar เกิดการรั่วซึมของถุงข้าวบรรจุสุญญากาศน้อยที่สุด
- ถุงขนาด 2 kg ความหนา 90 ไมครอน ที่อุณหภูมิซีล ครั้งที่ 1 และ 2 = 210°C และ 210°C ตามลำดับ การสุญญากาศที่ -0.6 bar เกิดการรั่วซึมของถุงข้าวบรรจุสุญญากาศน้อยที่สุด
- ถุงขนาด 2.5 kg ความหนา 80 ไมครอน ที่อุณหภูมิซีล ครั้งที่ 1 และ 2 = 210°C และ 210°C ตามลำดับ การสุญญากาศที่ -0.8 bar เกิดการรั่วซึมของถุงข้าวบรรจุสุญญากาศน้อยที่สุด

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากกราฟที่ 2 พบว่าระดับการสุญญากาศที่แตกต่างกันมีผลต่อการรั่วซึมของถุงและขึ้นอยู่กับความหนาของถุง โดยพิจารณาจากกราฟพบว่า จำนวนของการรั่วซึมลดลงเมื่อใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีความหนามากขึ้น (ที่ความหนา 80 ไมครอน รั่ว 4 / 4 , ที่ความหนา 90 ไมครอน รั่ว 2 / 3 และที่ความหนา 100 ไมครอน รั่ว 0 / 0 ระดับสุญญากาศ -0.6 และ -0.8 bar ตามลำดับ) และจากกราฟที่ 3 พบว่าการรีดขึ้นรูปมีผลต่อการรั่วซึมของถุงและขึ้นอยู่กับระดับการสุญญากาศและความหนาของถุง โดยพิจารณาจากกราฟพบว่าจำนวนการรั่วซึมลดลงเมื่อใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีความหนาเพิ่มขึ้น (ที่ความหนา 80 ไมครอน รั่วซึม 1/6 , ที่ความหนา 90 ไมครอน รั่ว 4 / 7 และที่ความหนา 100 ไมครอน รั่ว 1 / 0 ระดับสุญญากาศ -0.6 และ -0.8 bar ตามลำดับ) เนื่องจากในการบรรจุสุญญากาศทำให้ปริมาตรของถุงลดลงและบีบอัดกันแน่นของเมล็ดข้าวภายในถุงฉะนั้นการใช้ถุงที่มีความหนามากขึ้นจะช่วยต้านทานแรงดันทะลุและการทิ่มแทงของเมล็ดข้าวได้ดีกว่าถุงที่มีความหนาน้อย แต่ทั้งนี้ควรพิจารณาในการเลือกใช้ความหนาของถุงโดยพิจารณาการใช้อุณหภูมิในการซีลด้วยเพราะเมื่อใช้ความหนามากขึ้นย่อมต้องใช้อุณหภูมิในการซีลที่สูงด้วย เมื่อนำไปรีดขึ้นรูปมีผลทำให้ถุงได้รับแรงเค้นและแรงเครียดมากขึ้น มีความหนาแน่นมากขึ้นทำให้เพิ่มโอกาสในการรั่วซึมมากขึ้น ฉะนั้นการใช้ถุงที่มีความหนามากจะช่วยปกป้องบรรจุภัณฑ์จากแรงต่างๆ ที่มากระทำได้ดีขึ้น

จากกราฟที่ 3 เมื่อพิจารณาที่ความหนา 90 ไมครอนจะเกิดการซึมของถุงมากกว่าความหนา 80 และ 100 ไมครอน เนื่องจากองค์ประกอบของพลาสติกที่มีพีดัม Nylon เป็นส่วนใหญ่ซึ่งคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ต่ำ ประกอบกับช่วงเวลาในการทดลองอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงเนื่องจากฝนตก

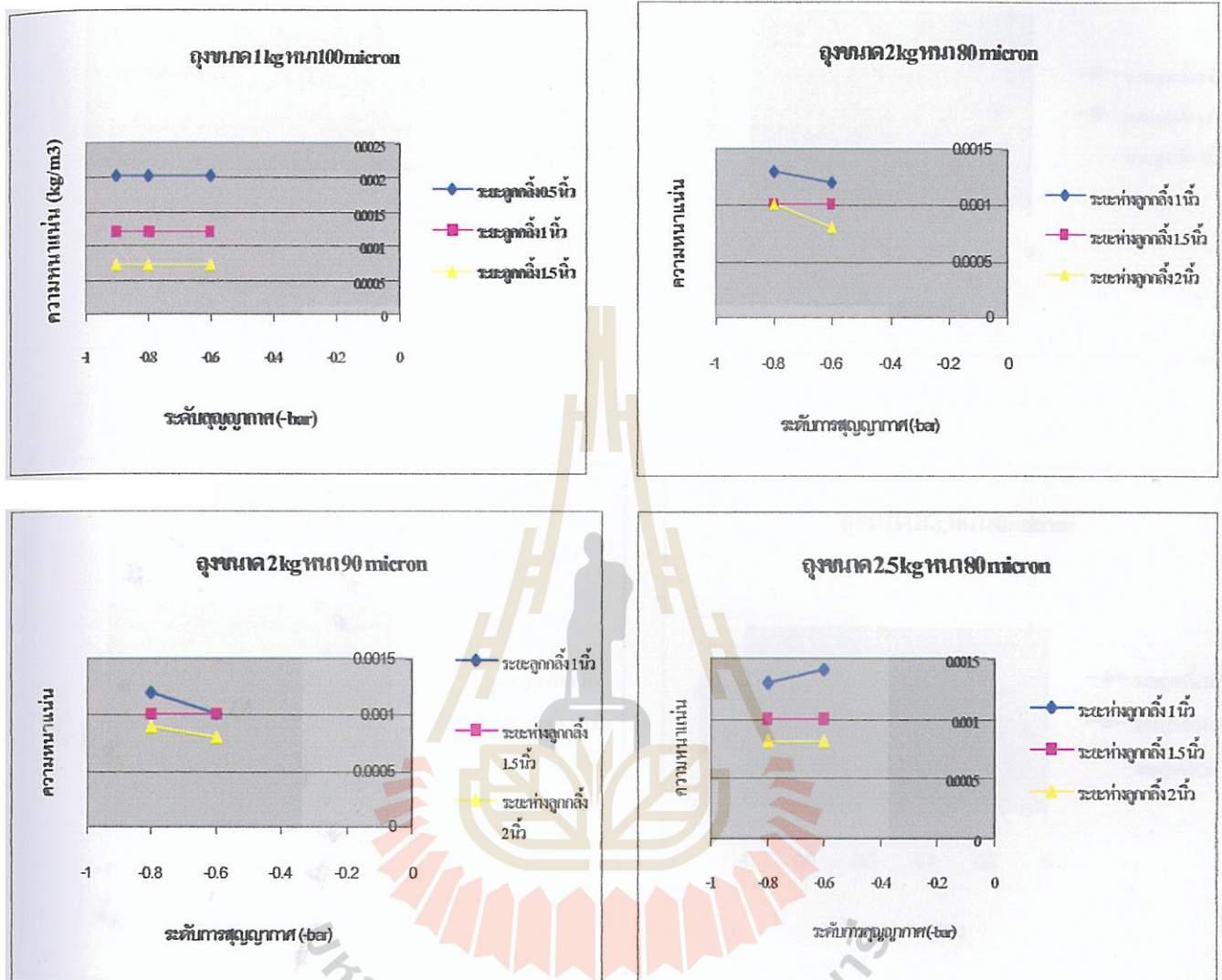
เมื่อพิจารณากราฟที่ 2 พบว่าระดับการสุญญากาศที่ - 0.6 bar ทำให้เกิดการรั่วซึมน้อยกว่าที่ระดับการสุญญากาศ - 0.8 bar เนื่องจากระดับการสุญญากาศที่ - 0.8 bar และเมื่อพิจารณากราฟที่ 3 พบว่าการรั่วซึมรูปที่ระดับการสุญญากาศ - 0.6 bar ทำให้เกิดการรั่วซึมน้อยกว่าที่ระดับการสุญญากาศที่ - 0.8 bar เนื่องจากถุงข้าวมีแรงดันสุญญากาศค่อนข้างสูงเมื่อระดับการสุญญากาศเพิ่มขึ้นทำให้ถุงมีลักษณะที่แข็งมากจึงมีโอกาที่จะเกิดการรั่วซึมเนื่องจากแรงบีบอัด แรงดันทะลุ การทิ่มแทงของเมล็ดข้าว อีกทั้งแรงเค้น แรงเครียดและแรงกระแทกจากการรั่วซึมรูปได้ง่ายกว่าที่ระดับการสุญญากาศที่ - 0.6 bar เมื่อพิจารณาที่ระดับ ความหนา 80 , 90 และ 100 ไมครอนตามลำดับ

ดังนั้นในการบรรจุข้าวเพื่อป้องกันการรั่วซึมควรเลือกใช้ถุงที่มีความหนามากขึ้นแต่ไม่เกิน 100 ไมครอน เนื่องจากต้องใช้อุณหภูมิในการซีลที่สูงขึ้นเมื่อใช้ความหนาของถุงมากขึ้นและควรใช้ระดับสุญญากาศที่ - 0.6 bar จากผลการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยโปรแกรม SPSS พบว่าความหนาและระดับการสุญญากาศมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับจำนวนถุงที่เกิดการรั่วซึม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



5. การทดสอบหาระยะห่างของลูกกอล์ฟที่เหมาะสมกับการบรรจุข้าวกล้องสุญญากาศที่สัมพันธ์กับความหนาแน่น ความชื้นและความเครียดของถุง

5.1 กราฟที่ 4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับระดับการสุญญากาศที่ระยะห่างลูกกอล์ฟต่างๆ



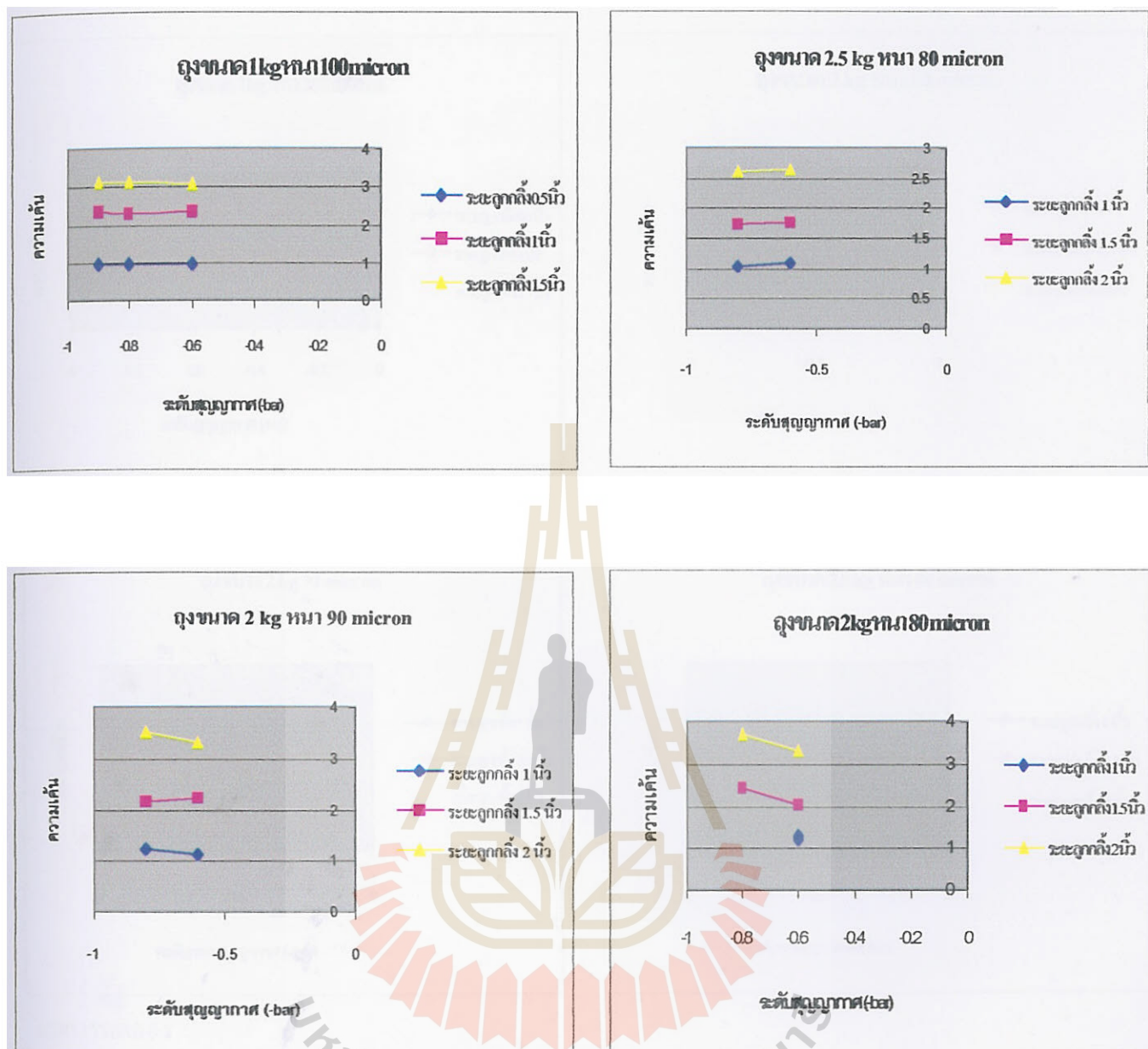
ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อพิจารณาความหนาแน่นในถุงขนาด 1, 2 และ 2.5 kg

- ถุงขนาด 1 kg ความหนา 100 ไมครอน ระดับการสุญญากาศไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่น แต่ระยะห่างลูกกอล์ฟที่ 0.5, 1 และ 1.5 นิ้วมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.002, 0.0012 และ 0.0007 kg/m³

- ถุงขนาด 2 และ 2.5 kg ระดับการสุญญากาศทำให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีความแตกต่างเลย โดยแนวโน้มความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นที่ระยะห่างลูกกอล์ฟลดลง

5.2 กราฟที่ 5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับระดับการสุญญากาศที่ระยะห่างลูกกลิ้งต่างๆ

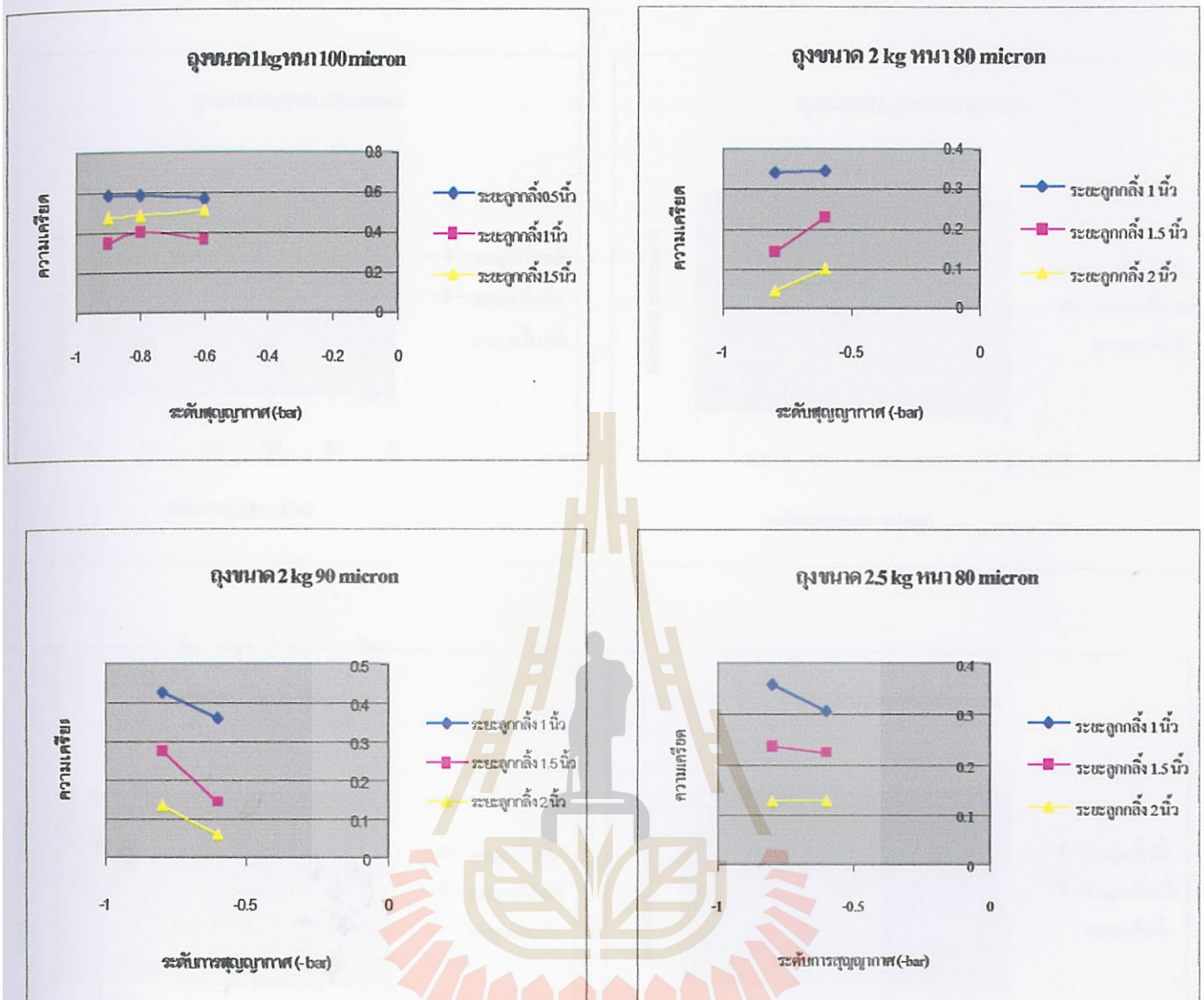


ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อพิจารณาความเค้นในถุงขนาด 1, 2 และ 2.5 kg

- ถุงขนาด 1 kg ความหนา 100 ไมครอน ระดับการสุญญากาศไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของความเค้น แต่ระยะห่างลูกกลิ้งมีผลต่อความเค้นที่แตกต่างกัน
- ถุงขนาด 2 kg และ 2.5 kg ระดับการสุญญากาศทำให้เกิดความแตกต่างของความเค้นเพียงเล็กน้อยหรือไม่มี ความแตกต่างกัน โดยที่ระยะห่างลูกกลิ้งมากความเค้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

5.3 กราฟที่ 6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับระดับการสูญญากาศที่ระยะห่างลูกกลิ้งต่างๆ

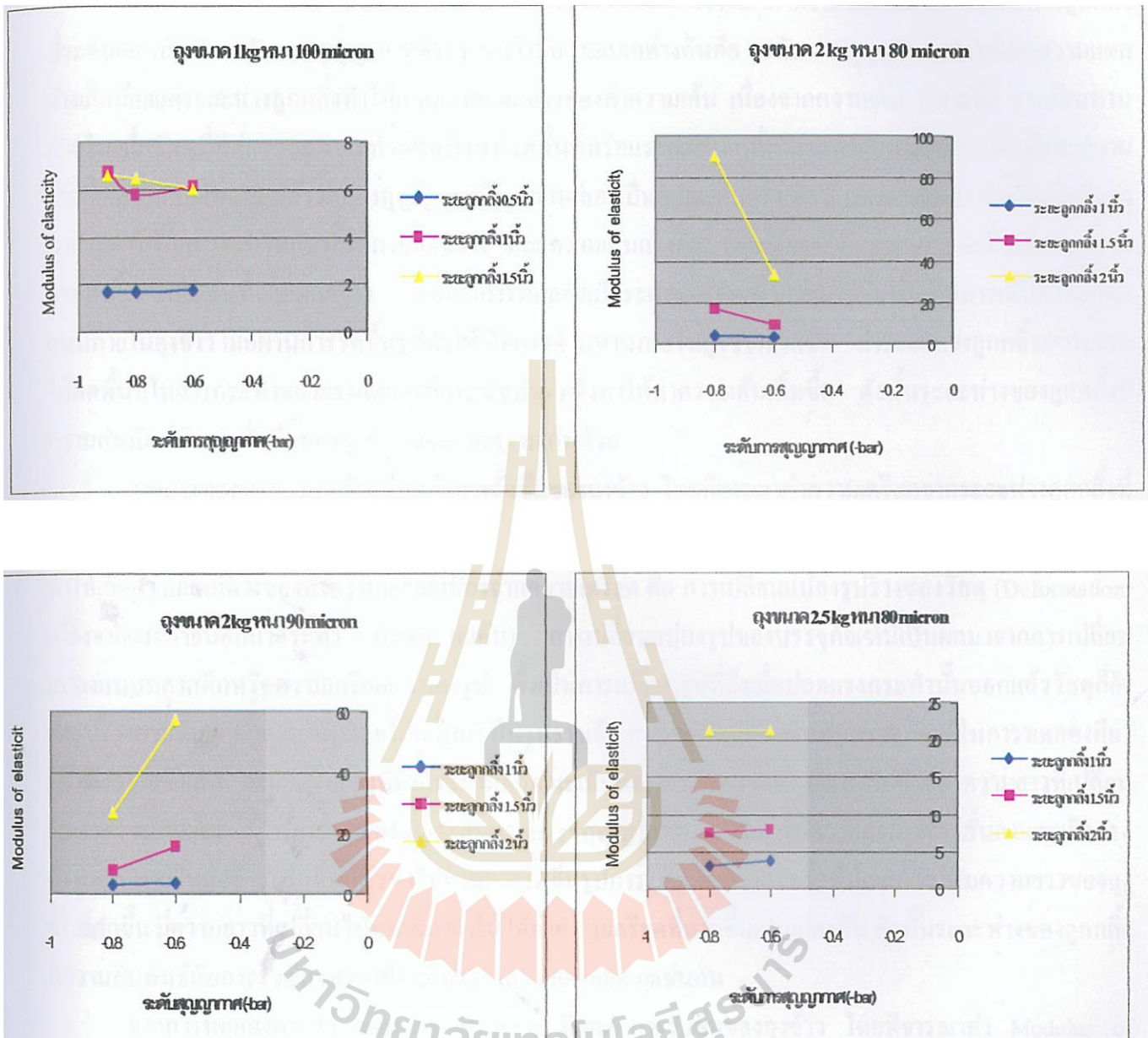


ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อพิจารณาความเครียดในน้ำหนัก 1 , 2 และ 2.5 kg

- น้ำหนัก 1 kg ความหนา 100 ไมครอน ระดับการสูญญากาศทำให้เกิดความแตกต่างของความเครียดเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีความแตกต่างและระยะห่างลูกกลิ้งมีผลต่อความเครียดที่แตกต่างกัน
- น้ำหนัก 2 kg และ 2.5 kg ระดับการสูญญากาศทำให้เกิดความแตกต่างของความเครียดเล็กน้อย โดยที่ระดับการสูญญากาศและระยะห่างลูกกลิ้งลดลงมีผลต่อความเครียดเพิ่มขึ้น

5.4 กราฟที่ 7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus of elasticity กับระดับการสูญญากาศที่ระยะห่างถูกกึ่งต่างๆ



ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อพิจารณาค่า Modulus of elasticity (E) ในน้ำหนัก 1, 2 และ 2.5 kg พบว่า

- น้ำหนัก 1 kg ความหนา 100 ไมครอน ระดับการสูญญากาศทำให้เกิดความแตกต่างของค่า E เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีความแตกต่างและระยะห่างถูกกึ่งมีผลต่อค่า E ที่แตกต่างกัน
- น้ำหนัก 2 kg และ 2.5 kg ระดับการสูญญากาศทำให้เกิดความแตกต่างของค่า E เล็กน้อย โดยที่ระยะห่างถูกกึ่งมากขึ้นมีผลต่อค่า E เพิ่มขึ้น

สรุปและวิจารณ์การทดลอง

จากการทดลองความหนาแน่นไม่มีผลต่อการรั่วซึมของถุงข้าว โดยพิจารณาค่าความหนาแน่นจากระยะห่างถูกกึ่งที่ระดับเดียวกันกับระดับการสูญญากาศต่างๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันคือ ระดับการสูญญากาศไม่ทำให้

เกิดความแตกต่างแต่ละช่วงถูกดึงทำให้เกิดความแตกต่างเพียงเล็กน้อยมากของค่าความหนาแน่น เนื่องจากความหนาแน่น คือ อัตราส่วนระหว่างมวลกับปริมาตร และในการรีดขึ้นรูปสัดส่วนของมวลและปริมาตร ไม่เปลี่ยนแปลง แต่รูปร่างของบรรจุภัณฑ์เปลี่ยนเท่านั้น

จากการทดลองความเค้นมีผลต่อการรั่วซึมของถุงข้าว โดยพิจารณาค่าความหนาแน่นจากระยะห่างถูกดึงที่ระดับเดียวกันกับระดับการสูญญากาศต่างๆ พบว่ามีความแตกต่างกันคือ ระดับการสูญญากาศทำให้เกิดความแตกต่างเล็กน้อยแต่ละระยะห่างถูกดึงทำให้เกิดความแตกต่างของค่าความเค้น เนื่องจากความเค้น หมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หรือแรงภายนอกที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่และความเค้นที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสูญญากาศในการทดลองเป็นความเค้นแรงเฉือน (shear stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง และความเค้นแรงอัด (compressive stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง จากผลการทดลองเมื่อระดับการสูญญากาศมากขึ้นนั้นเป็นการเพิ่มความหนาแน่นภายในถุงข้าว เมื่อผ่านการรีดขึ้นรูปทำให้เกิดแรงต้านทานภายในถุงข้าวมากขึ้น ถ้าระยะห่างถูกดึงมากจะทำให้ลดพื้นที่ในการกระทำของแรงแต่แรงที่กระทำเท่าเดิมจึงทำให้ค่าความเค้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นระยะห่างของถูกดึงมีความสัมพันธ์กับการรั่วซึมของถุงข้าวเนื่องจากความเค้นด้วย

จากการทดลองความเครียดมีผลต่อการรั่วซึมของถุงข้าว โดยพิจารณาค่าความเครียดจากระยะห่างถูกดึงที่ระดับเดียวกันกับระดับการสูญญากาศต่างๆ พบว่ามีความแตกต่างกันคือ ระดับการสูญญากาศและระยะห่างถูกดึงทำให้เกิดความแตกต่างของค่าความเครียดเนื่องจากความเครียด คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เนื่องจากแรงภายนอกกระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนแปลงรูปของบรรจุภัณฑ์นี้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงเมื่อปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยน ไปนั้นโดยไม่กลับมาเป็นรูปร่างเดิม ความเครียดที่เกิดขึ้นกับบรรจุภัณฑ์ในการทดลองคือความเครียดเชิงเส้น จะเกิดเมื่อแรงที่กระทำมีลักษณะเป็นแรงดึงหรือแรงกด ซึ่งเท่ากับค่าของความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม ในการทดลองเมื่อระดับการบรรจุสูญญากาศมากขึ้นทำให้ความยาวถุงข้าวสั้นลงและเกิดแรงต้านทานภายในถุงข้าวมากขึ้นแล้วนำไปผ่านการรีดขึ้นรูปการใช้ระยะห่างถูกดึงที่น้อยลงจะเพิ่มความยาวของถุงข้าวมากขึ้น มีความยาวที่เปลี่ยนไปมากขึ้น ทำให้ได้ค่าความเครียดที่มากขึ้นเช่นเดียวกัน ดังนั้นระยะห่างของถูกดึงมีความสัมพันธ์กับการรั่วซึมของถุงข้าวเนื่องจากความเครียดด้วยเช่นกัน

จากการทดลองค่า Modulus of elasticity มีผลต่อการรั่วซึมของถุงข้าว โดยพิจารณาค่า Modulus of elasticity จากระยะห่างถูกดึงที่ระดับเดียวกันกับระดับการสูญญากาศต่างๆ พบว่ามีความแตกต่างกันคือ ระดับการสูญญากาศและระยะห่างถูกดึงทำให้เกิดความแตกต่างกันความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะแสดงความสามารถในการรับแรงดึงของบรรจุภัณฑ์หรือถุงข้าวบรรจุสูญญากาศในที่นี้แน่นอน รวมทั้งความเปราะ

ความเหนียว และความสามารถในการขึ้นรูปอีกด้วย เนื่องจากพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุข้าวกล้องมีพฤติกรรมเป็นอีลาสติก (Elastic) หรือมีความยืดหยุ่น อัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียดกับค่าคงที่ เราเรียกค่าคงที่นี้ว่า Modulus of elasticity (E) ค่า E เป็นตัวบอกความสามารถในการเปลี่ยนรูปอีลาสติกของวัสดุ คือถ้าค่า E ค่า วัสดุจะเปลี่ยนเป็นอีลาสติกได้น้อยถ้าค่า E มาก มันก็จะเปลี่ยนรูปอย่างอีลาสติกได้มาก ซึ่งเป็นประโยชน์มากสำหรับวัสดุที่ต้องรับแรงต่างๆ เช่น แรงกระแทก แรงกดทับ แรงเฉือน เป็นต้น

จากผลการวิเคราะห์เชิงสถิติโดยโปรแกรม SPSS พบว่าระยะห่างลูกกลิ้งและระดับการสุญญากาศมีความแตกต่างกันมีนัยสำคัญยิ่งกับค่าความหนาแน่น ความเค้น ความเครียด และค่า Modulus of elasticity ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

สถานะที่เหมาะสมกับการบรรจุข้าวกล้องสุญญากาศจากการทดลองเมื่อพิจารณาจากค่า Modulus of elasticity คือ

ขนาดบรรจุ 1 kg ความหนา 100 micron	คือ ระดับสุญญากาศ - 0.8 bar ระยะห่างลูกกลิ้ง 1 นิ้ว
ขนาดบรรจุ 2 kg ความหนา 80 micron	คือ ระดับสุญญากาศ - 0.8 bar ระยะห่างลูกกลิ้ง 2 นิ้ว
ขนาดบรรจุ 2 kg ความหนา 90 micron	คือ ระดับสุญญากาศ - 0.6 bar ระยะห่างลูกกลิ้ง 2 นิ้ว
ขนาดบรรจุ 2.5 kg ความหนา 80 micron	คือ ระดับสุญญากาศ - 0.8 bar ระยะห่างลูกกลิ้ง 2 นิ้ว

ผลการวิเคราะห์โครงการปัญหาการรั่วซึมข้าวกล้องบรรจุสุญญากาศ

จากผลการทดลองได้ศึกษาปัจจัยที่และมีส่วนเกี่ยวข้องกับการรั่วซึมของข้าวกล้องสุญญากาศ เช่น ประสิทธิภาพของอุณหภูมิจัด ระดับความดันการบรรจุสุญญากาศ ระยะห่างลูกกลิ้ง เป็นต้น ซึ่งในการศึกษาทดลองพบว่าปัญหาการเกิดการรั่วซึมนั้นมาจากสาเหตุดังนี้

1. อุณหภูมิที่ใช้ในการซีลถุงไม่เหมาะสมกับความหนาของพลาสติกในการปิดผนึกฟิล์มพลาสติกด้วยความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิต่ำเกินไปสัมพันธ์กับความหนาของพลาสติกที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของรอยปิดผนึกใช้เป็นฟิล์ม Onylon / PE และ Nylon ซึ่ง Onylon และ Nylon มีช่วงอุณหภูมิในการปิดผนึกค่อนข้างสูงคือ 155 – 220 °C และ PE มีช่วงอุณหภูมิในการปิดผนึกคือ 121 – 150 °C (ดัดแปลงจาก Chomon , 1992) แต่ในกระบวนการใช้อุณหภูมิในการปิดผนึกที่ 170 °C ซึ่งอุณหภูมิเพียงพอสำหรับฟิล์ม PE แต่ไม่เหมาะสมสำหรับฟิล์ม Onylon และ Nylon ทำให้เมื่อใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปฟิล์มพลาสติกจะยังไม่หลอมติดกันพอดี ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปก็จะทำให้ฟิล์มหลอมเย็นตัวซ้ำทำให้อากาศสามารถแทรกผ่านเกิดช่องว่างเล็กๆ ทำให้เกิดการรั่วซึมในบรรจุภัณฑ์ได้

2. การปรับระยะห่างของลูกกลิ้งไม่เหมาะสม จากผลการทดลองระยะห่างของลูกกลิ้งมีผลต่อการรั่วซึมของถุงข้าวเนื่องจากความเค้น และความเครียด และอัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียดหรือค่า Modulus of elasticity (E) ในกระบวนการรีดขึ้นรูป ซึ่งมีความสำคัญมากที่บอกถึงความสามารถในการต้านทานความแข็ง และความยืดหยุ่นของบรรจุภัณฑ์ ซึ่งในถุงข้าวแต่ละขนาดบรรจุและแต่ละระดับการสุญญากาศมีค่า Modulus of elasticity (E) ที่แตกต่างกัน จึงต้องใช้ระยะห่างของลูกกลิ้งที่ต่างกัน

สถานะที่เหมาะสมในการบรรจุข้าวกล้องสุญญากาศ

จากผลการทดลองได้สถานะที่เหมาะสมในการบรรจุข้าวกล้องสุญญากาศดังนี้

1. ถุงขนาด 1 kg ความหนา 100 micron
 - อุณหภูมิการซีลครั้งที่ 1 = 170 °C และครั้งที่ 2 = 190 °C
 - ระดับการสุญญากาศ - 0.8 bar
 - ระยะห่างลูกกลิ้ง 1 นิ้ว

2. ขนาดบรรจุ 2 kg ความหนา 80 micron

- อุณหภูมิการซีดครั้งที่ 1 = 170°C และครั้งที่ 2 = 210°C
- ระดับการสุญญากาศ - 0.6 bar
- ระยะห่างลูกกลิ้ง 2 นิ้ว

3. ขนาดบรรจุ 2 kg ความหนา 90 micron

- อุณหภูมิการซีดครั้งที่ 1 = 210°C และครั้งที่ 2 = 210°C
- ระดับการสุญญากาศ - 0.6 bar
- ระยะห่างลูกกลิ้ง 2 นิ้ว

4. ขนาดบรรจุ 2.5 kg ความหนา 80 micron

- อุณหภูมิการซีดครั้งที่ 1 = 210°C และครั้งที่ 2 = 210°C
- ระดับการสุญญากาศ - 0.8 bar
- ระยะห่างลูกกลิ้ง 2 นิ้ว

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ปัญหาในการทดลอง

1. ประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุสุญญากาศ

ในการทดลองได้ประสบปัญหาในการบรรจุข้าวกล้องสุญญากาศในเรื่อง ความดันที่ใช้ในการดูดอากาศเพื่อให้เกิดภาวะสุญญากาศนั้นไม่สม่ำเสมอ และเกิดความดันตก (Bad vacuum pressure) ซึ่งมีผลต่อความแม่นยำในการทดลอง สาเหตุเกิดเนื่องจาก

1. ปริมาณน้ำที่มีอุณหภูมิสูงหรือน้ำร้อนมีปริมาณไม่เพียงพอ ต่ออัตราการไหลของน้ำ เพื่อให้ความร้อนอย่างเพียงพอ
2. ปริมาณการหมุนเวียนน้ำไม่เพียงพอ
3. หัวดูดสุญญากาศเกิดการอุดตันหรือผิดปกติเนื่องจากเมล็ดข้าวกล้อง
4. เกิดการรั่วหรือเกิดสิ่งกีดขวางที่วาล์ว

2. ความชื้นสัมพัทธ์สูง

เนื่องจากในช่วงวันและเวลาที่ทำการทดลองเป็นช่วงฤดูฝนและมีฝนตกเป็นประจำทำให้สภาวะในการทดลองมีความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูง ซึ่งมีผลต่อฟิล์ม Onylon และ Nylon ที่มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ต่ำ ดังนั้นถุงขนาด 2 kg ความหนา 90 micron เป็นพลาสติกชนิด Nylon 60 / PE 30 ทำให้โอกาสเสี่ยงสูงที่จะดูดซับไอน้ำเข้าไปในผลิตภัณฑ์ และเกิดเปลี่ยนแปลงของลักษณะของก๊าซภายในได้

3. ความแตกต่างของความหนาแน่น

เนื่องจากในการทดลองต้องใช้ถุงขนาด 1 kg ความหนา 120 micron ชนิด Onylon 15/ PE 105 ซึ่งเป็นถุงที่ใช้บรรจุเมล็ดข้าวสุญญากาศ เมื่อนำถุงไปทดลองบรรจุเมล็ดถั่วเขียวและข้าวกล้องที่มีความแตกต่างกันโดยลักษณะทางกายภาพเช่น ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ เป็นต้น ทำให้ในการบรรจุไม่สามารถบรรจุเมล็ดถั่วเขียวและข้าวกล้องได้ในปริมาณ 1 kg แต่สามารถบรรจุได้ในปริมาณ 800 กรัม

4.อุปสรรคในการซีลและการบรรจุสุญญากาศ

เกิดขึ้นในการทดลองกับถุงขนาด 1 kg ความหนา 120 micron ซึ่งเดิมใช้บรรจุหมักข้าวสุญญากาศ ซึ่งขนาดของถุงค่อนข้างเล็กและไม่สามารถเข้าเครื่องซีลและสุญญากาศได้ ดังนั้นจึงต้องใช้การซีลแบบทำเหยียบและใช้หัวดูดอากาศมาดูดอากาศที่ละถุงซึ่งยากในการควบคุมอุณหภูมิและความดัน

จากการทดลองในขั้นตอนการบรรจุสุญญากาศนั้น เครื่องบรรจุสุญญากาศมีประสิทธิภาพในการดึงอากาศออกจากถุงไม่สม่ำเสมอเนื่องจากด้วยลักษณะหัวดูดอากาศเป็นแบบหัวเข็ม ทำให้ยากในการดึงอากาศออกซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ขนาดของถุงบรรจุ เวลาที่ใช้ดูดอากาศ แรงดันลม เป็นต้น และปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยและเป็นอุปสรรคในการบรรจุสุญญากาศคือมีกลิ่นข้าวจะเข้าไปอุดบริเวณหัวดูด ซึ่งลดประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องผลิตภัณฑ์ข้าวบรรจุสุญญากาศที่ได้สุดท้ายจึงมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดการรั่วซึม

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและทดลองผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสุญญากาศ สิ่งที่สำคัญที่สุดคือการรักษาและควบคุมปริมาณออกซิเจนภายในถุงข้าวให้น้อยที่สุด ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่สามารถก่อผลเสียต่อคุณภาพอาหารนั้นแตกต่างกันไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่สามารถเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากก๊าซออกซิเจนจำเป็นต้องระมัดระวังความสมบูรณ์ของรอยปิดผนึกเป็นอย่างมาก

ตารางที่ 10 ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่สามารถผ่านรูรั่วบริเวณรอยปิดผนึกของภาชนะบรรจุภายใต้สุญญากาศและ Gas Flush Packaging

A . Total pressure difference (vacuum package)	
ความดันภายในบรรจุภัณฑ์เริ่มต้น = 0 bar	
ปริมาตรของการไหลออกซิเจนใน 1 วินาที = ประมาณ 1 cm^3	
B . Partial pressure difference (gas flush package)	
สัดส่วนความดันของออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์เริ่มต้น = 0 bar	
ปริมาตรของการไหลออกของออกซิเจนใน 1 วินาที = $0.35 \times 10^{-4} \text{ cm}^3$	

ที่มา : Schricker , 1986

ในการปิดผนึกถุงวิธีที่นิยมคือ วิธีปิดผนึกถุงด้วยความร้อน ซึ่งในการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ถุงข้าวกล้องของ บริษัทที่ใช้วิธีนี้เช่นกัน และบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ส่วนใหญ่จะมีการปิดผนึกด้านข้างมาจากร้านจำหน่ายข้างนอกแล้ว โดยเครื่องปิดผนึกทำด้วยใบมีดร้อนที่มีขอบมน เมื่อกดใบมีดร้อนลงมาที่ถูกถึงยางซึ่งอยู่ส่วนล่าง ชั้นของฟิล์มทั้งสองจะหลอมติดกันด้วยความร้อนและความดัน แล้วตัดขาดจากกันในตัว วิธีนี้นิยมที่สุดสำหรับการปิดผนึก แต่ต้องระมัดระวังเรื่องการควบคุมอุณหภูมิและความดันที่ใช้ เพราะจะมีรอยปิดผนึกที่ไม่สมบูรณ์ได้ หากใช้อุณหภูมิหรือความดันสูงเกินไปจะทำให้โครงสร้างทางกายภาพของฟิล์มพลาสติกเปลี่ยนไป ส่วนการปิดผนึกด้านหัวและท้ายถุงนั้นทางบริษัทจะทำการปิดผนึกเอง ซึ่งเมื่อกันถุงถูกปิดผนึกแล้วจะถูกตัดออกด้วยใบมีดซึ่งแยกจากเครื่องปิดผนึก ซึ่งมักทำด้วยถั่วร้อนโดยมีแผ่นยางที่หุ้มด้วยเทปลอนเป็นวัสดุรองรับการกด วิธีนี้จะมีส่วนของฟิล์มพลาสติกระหว่างรอยปิดผนึกกับตำแหน่งที่ตัดซึ่งเรียกว่า “skirt” ของถุง skirt นี้ถือว่าเป็นส่วนที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์และมีผล

ต้นทุนของถุง ข้อดีก็คือสามารถควบคุมความร้อนและเวลาที่ใช้ในการปิดผนึกได้เพื่อให้รอยปิดผนึกสมบูรณ์ โดยทั่วไปนิยมใช้กับการปิดผนึกถุงที่บรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักมากและมี LDPE เป็นถุงชั้นใน

แหล่งในการให้ความร้อนแก่ฟิล์มในการปิดผนึกในการทดลองคือแผ่นโลหะร้อนโดยความร้อนจะถ่ายเทจากฟิล์มชั้นนอกไปจนถึงฟิล์มชั้นใน แต่มีอีกวิธีหนึ่งที่จะเสนอแนะคือการใช้อัลตราโซนิก (Ultrasonic) ซึ่งความร้อนจะเกิดที่ฟิล์มชั้นในสุดซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงของรอยปิดผนึก (Hot tack) ได้ดีกว่าการใช้แผ่นโลหะร้อน สามารถช่วยลดปัญหาการไม่สนิทแน่นและความแข็งแรงของรอยซีกของถุง รวมทั้งลดการเกิดการรั่วซึมได้

ความสะอาดของฟิล์มด้านที่ต้องผนึกเข้าหากันก็มีความสำคัญต่อความสนิทแน่นของรอยปิดผนึกเพราะปัญหาที่พบส่วนใหญ่ถุงพลาสติกมีฝุ่นเกาะค่อนข้างมากเพราะการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์ไม่ได้เก็บในคลังเก็บสินค้าที่เป็นห้องปิดมิดชิดหรือไม่มีการป้องกันบรรจุภัณฑ์จากฝุ่นทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต (static charge) บนฟิล์ม ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง เช่น เมล็ดข้าว เกาะติดกับผิวฟิล์มด้านใน ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้เกิดรูรั่วที่รอยปิดผนึกได้ ปัญหานี้มักเกิดกับฟิล์มหลายชั้น ในผู้ผลิตบางรายจะติดตั้งเครื่องบรรจุที่มีเครื่องกำจัดไฟฟ้าสถิตไว้ด้วย

ผลคล้ายบนผิวด้านในของแผ่นให้ความร้อน (surface profile of Heating Jaw) มีผลต่อความสนิทแน่นของรอยปิดผนึกเช่นกัน พบว่ารอยปิดผนึกแนวตั้งที่มีลายตามขวาง (Transverse Profile) จะพบปัญหารูรั่วมากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณร่องระหว่างลาย ซึ่งอาจมีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 50 ไมครอน ส่วนลายตามยาว (Longitudinal profile) จะให้รอยปิดผนึกสนิทแน่นมากที่สุด ส่วนลาย cross-hatch และผิวเรียบจะพบปัญหามากบริเวณที่รอยปิดผนึกแนวตั้งและแนวนอนบรรจบกันเนื่องจากจำนวนชั้นของฟิล์มเพิ่มเป็น 2 เท่า การกระจายของแรงกดจึงไม่สม่ำเสมอ และการถ่ายเทความร้อนไปสู่ฟิล์มชั้นในสุดช้าลง จึงเกิดรูรั่วเล็กๆ (Micro-leakage) ได้ง่าย การเลือกใช้พลาสติกที่มีดัชนีการไหลสูงๆจะช่วยลดปัญหานี้ได้ เนื่องจากพลาสติกสามารถไหลได้ง่ายจึงช่วยไปอุดรูรั่วได้ดีขึ้น (Chomon, 1992) โดยทั่วไปควรใช้พลาสติกที่มีดัชนีการไหลตั้งแต่ 20 กรัมต่อ 10 นาที รูรั่วที่รอยปิดผนึกนี้จะทำให้ก๊าซผ่านเข้า-ออกได้มากขึ้นซึ่งเป็นผลเสียต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ภายใต้สุญญากาศ ดังนั้นจึงควรตรวจสอบคุณสมบัติเชิงกลและเชิงวัสดุให้ละเอียดกับบริษัทจำหน่ายถุง

จากผลการวิเคราะห์ชนิดของพลาสติกมีผลต่อประสิทธิภาพในการบรรจุและปกป้องผลิตภัณฑ์จากสภาวะแวดล้อมที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพได้ ดังนั้นจึงจะกล่าวถึงคุณสมบัติของพลาสติกที่ได้ศึกษาและผู้ศึกษาเห็นว่ามีความเหมาะสมในการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ข้าวกล้องสุญญากาศซึ่งมี 2 ชนิดดังนี้

1. ฟิล์มพลาสติกโพลีไวนิลิดีนคลอไรด์ (PVDC) หรือที่รู้จักกันในเชิงการค้ามีชื่อเรียกว่า ซาราน (saran) เป็นโคโพลิเมอร์ระหว่างไวนิลิดีนคลอไรด์ (VDC) และไวนิลคลอไรด์ (VC) ในเชิงการค้า PVDC แบ่งเป็นชั้นคุณภาพที่ใช้เคลือบในรูปพลาสติก และฟิล์มด้วยและมีคุณสมบัติดังนี้

1. โปร่งใส มีความเป็นมันวาวสูง
2. มีความเหนียวสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติของค่าการต้านแรงดึง และการต้านแรงกระแทก
3. มีความทนทานต่อสารเคมี ยกเว้นด่างแก่ เอสเทอร์ และคลอรีน
4. ดูดซึมน้ำได้ต่ำ
5. ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีมาก (ดีที่สุดในบรรดาพลาสติกที่ใช้ในการหีบห่อ)
6. ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและกลิ่นต่างๆ ได้ดีมาก
7. ป้องกันการซึมผ่านของไขมัน / น้ำมันได้ดี

8. ปิดผนึกด้วยความร้อนได้โดยใช้อุณหภูมิ 120- 150 °C

9. มีความปลอดภัย สามารถใช้งานกับอาหารและยาได้

จากคุณสมบัติของ PVDC มีคุณสมบัติเด่นมากมาย ที่เหมาะกับการใช้เป็นฟิล์มในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ แต่เนื่องจากราคาค่อนข้างสูง จึงไม่ใช้กันแพร่หลายนัก นิยมใช้ร่วมกับพลาสติกอื่นในลักษณะการเคลือบ เช่น เคลือบบนฟิล์มไนลอนหรือโพลิโพรพิลีน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

2. ฟิล์มโพลิเอทิลีนเทอร์ฟทาเลต (PET) เป็นพลาสติกในกลุ่มโพลิเอสเตอร์ เพราะมีกลุ่มของเอสเตอร์ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป ซึ่งได้มาจากปฏิกิริยาของเอทิลีนไกลคอลและไดเมทิลเทอร์ฟทาเลต ฟิล์ม PET ที่นิยมใช้มักผ่านกระบวนการจัดเรียงโมเลกุลทั้ง 2 ทิศทาง ที่มีความใส สามารถป้องกันไอน้ำและก๊าซ และทนทานต่อสารเคมีได้ดีกว่าฟิล์ม PET ธรรมดา ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

1. โปร่งใส
2. มีความเหนียวสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติของค่าการต้านแรงดึงและการต้านแรงกระแทก
3. มีความทนทานต่อสารเคมีจำพวกกรดและตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดี และไม่ทนทานต่อด่าง
4. ดูดซึมน้ำได้ต่ำ
5. ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี (ใกล้เคียงกับฟิล์ม LDPE)
6. ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีมาก
7. ป้องกันการซึมผ่านของไขมัน / น้ำมันได้ดี
10. ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ แต่ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงถึง 220 – 230 °C
11. มีความปลอดภัย สามารถใช้งานกับอาหารและยาได้

สำหรับโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ต้องสามารถป้องกันอันตรายต่างๆ ในระหว่างการขนส่งได้ จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงสภาวะอันตรายของระบบการขนส่งต่างๆ ทั้งทางกายภาพ สภาพภูมิอากาศ ทางด้านชีวภาพ และอันตรายจากการปนเปื้อน ฉะนั้นบรรจุภัณฑ์ขนส่งมีความจำเป็นสำหรับบรรจุภัณฑ์บริโภคที่จะช่วยป้องกันไม่ให้บรรจุภัณฑ์บริโภคได้รับอันตราย เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ขนส่งของบริษัทนั้นใช้กล่องถูกฟูก ดังนั้นในวิธีการปิดกล่องที่ดีคือการยึดฝาด้านในของกล่องติดกับฝาด้านนอกจะมีผลต่อความสามารถในการรับแรงกดในแนวตั้งของกล่อง กระดาษถูกฟูก และควรพิจารณาวิธีการเก็บกล่องก่อนใช้งานด้วย ชนิดของวัสดุกันกระแทก

วัสดุกันกระแทกที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ แผ่นกระดาษถูกฟูก โฟมพอลิไคโธรีน โฟมพอลิ-ยูรีเทน โฟมพอลิเอทิลีน แผ่นพลาสติกอัดอากาศ ฝอยไม้ และฝอยกระดาษ วัสดุแต่ละชนิดมีคุณลักษณะประจำตัว และความเหมาะสมต่อการใช้งาน แตกต่างกันไปดังนี้

แผ่นกระดาษถูกฟูก ใช้ทำหน้าที่แผ่นรอง ตัวกันหรือแผ่นกัน เพื่อเก็บสินค้าภายใน บรรจุภัณฑ์ หรือทำหน้าที่เป็นตัวห่อหุ้มสินค้า แผ่นกระดาษถูกฟูกมีข้อจำกัดในการดูดซับแรงกระแทกอย่างรุนแรง และไม่คืนรูปกลับเป็นอย่างเดิมหลังถูกแรงกระทำ มีการดูดซึมน้ำความชื้น และอ่อนตัวลงในสภาวะอากาศที่มีความชื้นสูง แต่เนื่องจากการที่สามารถนำกลับเข้ากระบวนการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาจากเศษวัสดุเหลือทิ้งใช้งาน ซึ่งในการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ขนส่งผลิตภัณฑ์สุญญากาศต้องเพิ่มความระมัดระวังในการขนส่งเป็นพิเศษ

ในปัจจุบันวัสดุกันกระแทกประเภทโฟม มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถผลิตให้ได้ความหนาแน่นต่างๆ ที่เหมาะสมกับสินค้ามากมายและเหมาะสำหรับเป็นวัสดุกันกระแทกของผลิตภัณฑ์สุญญากาศได้เป็นอย่างดี แต่เนื่องจากโฟมบางชนิดมีการสลายตัวได้ยาก และบางชนิดไม่สามารถนำกลับ เข้ากระบวนการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ จึงก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการจัดการเศษวัสดุที่เหลืออยู่ การนำมาใช้งานจึงควรพิจารณาถึงจุดดังกล่าวด้วย



ภาคผนวก

ผลการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยโปรแกรม SPSS ด้วยวิธี Paired sample Test

2. การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพสภาวะอุณหภูมิการซึด

ขนาดบรรจุ (kg)	ความหนา (micron)	ตำแหน่งของ ถุง	ความสัมพันธ์	Sig.(2 tailed)	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ ระดับความเชื่อมั่น 95 %
1	100	หัว	ความหนา & Force	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			ความหนา & Distance	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			อุณหภูมิ & Force	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			อุณหภูมิ & Distance	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
		ท้าย	ความหนา & Force	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			ความหนา & Distance	0.003	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			อุณหภูมิ & Force	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			อุณหภูมิ & Distance	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
2	80	หัว	ความหนา & Force	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			ความหนา & Distance	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			อุณหภูมิ & Force	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			อุณหภูมิ & Distance	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
		ท้าย	ความหนา & Force	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			ความหนา & Distance	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			อุณหภูมิ & Force	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			อุณหภูมิ & Distance	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
2	90	หัว	ความหนา & Force	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			ความหนา & Distance	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			อุณหภูมิ & Force	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			อุณหภูมิ & Distance	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
		ท้าย	ความหนา & Force	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			ความหนา & Distance	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			อุณหภูมิ & Force	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			อุณหภูมิ & Distance	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง

ขนาดบรรจุ (kg)	ความหนา (micron)	ตำแหน่งของ ถุง	ความสัมพันธ์	Sig.(2 tailed)	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
2.5	80	หัว	ความหนา & Force	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			ความหนา & Distance	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			อุณหภูมิ & Force	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			อุณหภูมิ & Distance	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
		ท้าย	ความหนา & Force	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			ความหนา & Distance	0.014	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			อุณหภูมิ & Force	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
			อุณหภูมิ & Distance	0.014	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง

3. การทดสอบประสิทธิภาพการซีลที่ระดับการสุญญากาศต่างๆต่อการรั่วซึมของถุงข้าว

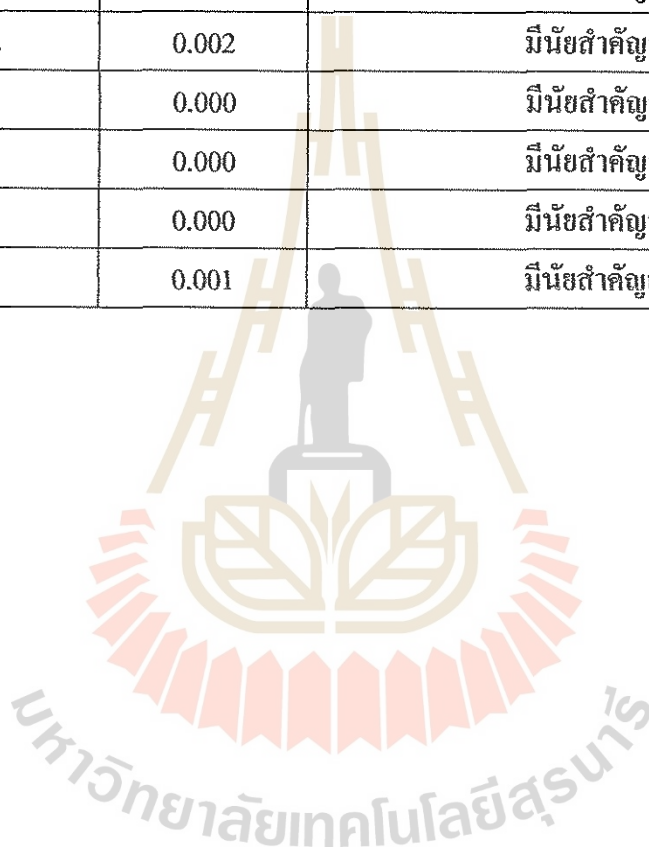
ความสัมพันธ์	Sig.(2 tailed)	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
ขนาดบรรจุ & ถุงรั่วซึม	0.616	ไม่มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
ความหนา & ถุงรั่วซึม	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
Vacumm & ถุงรั่วซึม	0.001	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง

4. การทดสอบประสิทธิภาพของอุณหภูมิการซีลและรีดขึ้นรูปต่อการรั่วซึมของถุงข้าว

ความสัมพันธ์	Sig.(2 tailed)	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
ขนาดบรรจุ & ถุงรั่ว	1.000	ไม่มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
ขนาดบรรจุ & ถุงซึม	0.225	ไม่มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
ขนาดบรรจุ & ถุงรั่วซึม	0.208	ไม่มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
ความหนา & ถุงรั่ว	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
ความหนา & ถุงซึม	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
ความหนา & ถุงรั่วซึม	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
Vacumm & ถุงรั่ว	0.005	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
Vacumm & ถุงซึม	0.005	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
Vacumm & ถุงรั่วซึม	0.003	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง

5. การทดสอบหาระยะห่างของลูกกลิ้งที่เหมาะสมกับการบรรจุข้าวกล้องสุญญากาศที่สัมพันธ์กับความหนาแน่น ความเค้นและความเครียดของถุง

ความสัมพันธ์	Sig.(2 tailed)	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
ขนาดบรรจุ & ความหนาแน่น	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
ขนาดบรรจุ & ความเค้น	0.117	ไม่มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
ขนาดบรรจุ & ความเครียด	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
ขนาดบรรจุ & Modulus	0.003	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
ระยะห่างลูกกลิ้ง & ความหนาแน่น	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
ระยะห่างลูกกลิ้ง & ความเค้น	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
ระยะห่างลูกกลิ้ง & ความเครียด	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
ระยะห่างลูกกลิ้ง & Modulus	0.002	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
Vacumm & ความหนาแน่น	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
Vacumm & ความเค้น	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
Vacumm & ความเครียด	0.000	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง
Vacumm & Modulus	0.001	มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง



ตารางผลการทดลอง

1.ผลการทดลองการเตรียม blank

ตารางที่ 4 แสดงจำนวนชั่วโมงที่เกิดการรั่วซึมโดยเฉลี่ยในถุงบรรจุแต่ละชนิด

ตัวอย่างที่	ขนาดบรรจุ	ความหนา (micron)	ชนิด	ชั่วโมงที่เกิดการรั่ว ซึม	จำนวนชั่วโมงที่ เกิดการรั่วซึม เฉลี่ย	หมายเหตุ
1	1 Kg	100	Only 15/ PE 85	ไม่รั่วซึม	5	อุณหภูมิที่ใช้ ซีล = 170 °C
2	1 Kg	100	Only 15/ PE 85	ไม่รั่วซึม		
3	1 Kg	100	Only 15/ PE 85	ไม่รั่วซึม		
4	1 Kg	100	Only 15/ PE 85	5		
5	1 Kg	100	Only 15/ PE 85	ไม่รั่วซึม		
6	1 Kg	120	Only 15/ PE 105	ไม่รั่วซึม	16	ใช้เครื่องซีลแบบ ก้านหยีบอุณหภูมิ ที่ใช้ซีล = 170 °C
7	1 Kg	120	Only 15/ PE 105	16		
8	1 Kg	120	Only 15/ PE 105	ไม่รั่วซึม		
9	1 Kg	120	Only 15/ PE 105	ไม่รั่วซึม		
10	1 Kg	120	Only 15/ PE 105	ไม่รั่วซึม		
11	2 Kg	80	Only 15/ PE 65	ไม่รั่วซึม	6.75	อุณหภูมิที่ใช้ ซีล = 170 °C * เกิดการรั่ว ทันที 2 ถุง
12	2 Kg	80	Only 15/ PE 65	4 *		
13	2 Kg	80	Only 15/ PE 65	15		
14	2 Kg	80	Only 15/ PE 65	4*		
15	2 Kg	80	Only 15/ PE 65	4*		
16	2 Kg	90	Nyl 60 / PE 30	11	12.33	อุณหภูมิที่ ใช้ซีล = 170 °C
17	2 Kg	90	Nyl 60 / PE 30	ไม่รั่วซึม		
18	2 Kg	90	Nyl 60 / PE 30	ไม่รั่วซึม		
19	2 Kg	90	Nyl 60 / PE 30	13		
20	2 Kg	90	Nyl 60 / PE 30	13		

ตารางที่ 5 การทดสอบค่า Tensile ของ Blank ที่ไม่เกิดการรั่วซึมด้วยเครื่อง Texture Analyzer

ตัวอย่างที่	ขนาด (kg)	ความหนา (micron)	อุณหภูมิ °C	เวลาที่ใช้ ซีล (s)	Tensile strenght		
2	1	100	170	0.8	Force (N)	4417	3881
					Distance(mm)	22470	15423
6	1	120		8	Force (N)	4218	-
					Distance(mm)	19263	-
8	1	120		8	Force (N)	4450	-
					Distance(mm)	26970	-
11	2	80	170	0.8	Force (N)	3946	3591
					Distance(mm)	13053	9318
15	2	80	170	0.8	Force (N)	4004	12663
					Distance(mm)	3868	15455
17	2	90	170	0.8	Force (N)	1981	2480
					Distance(mm)	43600	68243
20	2	90	170	0.8	Force (N)	2102	1629
					Distance(mm)	54583	41585



ตารางที่ ๔ ผลการทดสอบประสิทธิภาพสภาวะอุณหภูมิการฉีก

ชนิดพลาสติก	ขนาดบรรจุ (kg)	ความหนา (mm)	ความหนาที่แผ่นฉีก (C°)	เวลาที่ฉีก (s)	Tensile Strength					เฉลี่ย
					ครั้งที่	1	2	3	4	5
Onylon 15/PESS (ด้านแบ่งฉีกหัว)	1	100	140	0.8	Force (N)	3466	3092	3137	3573	3160
					Distance (mm)	8833	12815	7543	8583	15645
			155	0.8	Force (N)	2743	3569	3715	3186	3298.6
					Distance (mm)	9180	9977	14998	13180	9405
			170	0.8	Force (N)	3972	3549	3608	3736	3558
					Distance (mm)	14455	17192	14338	17330	19468
			190	0.8	Force (N)	3446	3650	3916	4342	3684
					Distance (mm)	13465	15128	20445	16200	18945
			210	0.8	Force (N)	3287	3920	3071	3668	4052
					Distance (mm)	13038	18478	12170	13435	18298
Onylon 15/PESS (ด้านแบ่งฉีกท้าย)	1	120		0.8	Force (N)	3688	3220	3586	3707	2878
					Distance (mm)	6285	3958	10048	13155	2908
			140	0.8	Force (N)	2766	3022	2777	3524	3209
					Distance (mm)	5175	10740	5455	11313	8150
			155	0.8	Force (N)	2782	3649	3347	3307	4072
					Distance (mm)	4815	9165	10450	7005	21463
			170	0.8	Force (N)	4178	3087	4423	4113	3607
					Distance (mm)	23925	7283	29620	21295	13018
			190	0.8	Force (N)	2735	3282	3815	3540	3855
					Distance (mm)	8405	9083	14813	12005	16093
		120	210	0.8	Force (N)	3682	3002	3474	4299	3553
					Distance (mm)	13218	5148	12618	19098	7288
			170	0.8	Force (N)	-	-	-	-	-
					Distance (mm)	-	-	-	-	-

ชนิดพลาสติก	ขนาดบรรจุ (kg)	ความหนา microns	ความพร้อมที่แผ่นซีก (C°)	เวลาที่ใช้ซีก (S)	Tensile Strength					เฉลี่ย
					1	2	3	4	5	
Onylon15/PE65 (ด้านแข็งซีกหัว)	2	80	140	0.8	Force (N)	3386	3509	3650	3550	3635
					Distance(mm)	9403	13375	12668	16500	13255.8
			155	0.8	Force (N)	3639	3932	4058	3566	3794.2
					Distance(mm)	12993	13683	15463	10908	13288
			170	0.8	Force (N)	4441	3586	4206	3764	3798.6
					Distance(mm)	17918	13608	16450	14350	13749.2
			190	0.8	Force (N)	4055	4047	4257	3471	4016
					Distance(mm)	18282	15803	18372	13563	16615
			210	0.8	Force (N)	3870	3648	3589	3966	3857
					Distance(mm)	18545	15305	14165	17650	16668.6
Nylon60/PE30 (ด้านแข็งซีกหัว)	2	90	140	0.8	Force (N)	1895	1658	1722	1742	1761.8
					Distance(mm)	43760	27758	38450	35173	37078.2
			155	0.8	Force (N)	1926	1770	1483	1509	1672
					Distance(mm)	54475	53028	33243	43237	45995.75
			170	0.8	Force (N)	1845	1925	1679	2039	1929
					Distance(mm)	53235	53030	8307	52195	44482
			190	0.8	Force (N)	2230	2202	1867	1819	2062.6
					Distance(mm)	56210	62348	43493	60077	56271.2
			210	0.8	Force (N)	1932	2126	1974	2082	2097.8
					Distance(mm)	60940	59888	60928	61822	61171.6

ชนิดพลาสติก	ขนาดบรรจุ (kg)	ความหนา microns	ความร้อนที่แผ่นซีด (C°)	เวลาที่ซีด (s)	Tensile Strength Tail					เฉลี่ย	
					ครั้งที่	1	2	3	4		5
Onylon15/PE65 (ด้านแข็งสีขาว)	2	80	140	0.8	Force (N)	3531	3818	4160	3498	3844	3770.2
					Distance(mm)	14023	14908	17575	11790	17518	15162.8
			155	0.8	Force (N)	4441	3630	3389	3854	3850	3832.8
					Distance(mm)	21295	12253	8113	16210	13983	14370.8
			170	0.8	Force (N)	3659	4490	3971	3517	4661	4059.6
					Distance(mm)	12150	22372	14328	12100	19118	16013.6
		80	190	0.8	Force (N)	3988	3724	4390	3392	3866	3872
					Distance(mm)	17093	10573	19195	11853	12545	14251.8
			210	0.8	Force (N)	3566	3946	4611	3868	3126	3823.4
					Distance(mm)	10088	17305	23872	12205	6733	14040.6
Nylon60/PE30 (ด้านแข็งสีขาว)	2	90	140	0.8	Force (N)	1815	2053	2052	1927	2193	2008
					Distance(mm)	56213	59425	58162	55825	58653	57655.6
			155	0.8	Force (N)	2097	1862	1989	1969	-	1979.25
					Distance(mm)	62973	59592	58213	64205	-	61245.75
			170	0.8	Force (N)	2388	1272	2041	2488	1964	2030.6
					Distance(mm)	56133	1678	48195	67950	58208	46432.8
		90	190	0.8	Force (N)	2340	2367	2332	2243	2271	2310.6
					Distance(mm)	59173	68060	58438	56438	61865	60794.8
			210	0.8	Force (N)	2592	2417	2218	2270	2521	2403.6
					Distance(mm)	63045	67405	68637	67393	73168	67929.6

ชนิดพลาสติก	ขนาดบรรจุ (kg)	ความหนา microns	ความร้อนขึ้นแผ่นซีก (C°)	เวลาที่ชัก (S)	Tensile Strength Head					เฉลี่ย	
					ครั้งที่	1	2	3	4		5
PE65/Onyl15 (ด้านหนึ่งซีกหัว)	2.5	80	140	0.8	Force (N)	4312	3712	3985	3983	4139	4026.2
					Distance(mm)	20360	14868	19960	19577	21275	19208
			155	0.8	Force (N)	3495	3784	3333	3767	3770	3633.8
					Distance(mm)	13993	15435	12360	14950	14945	14336.6
			170	0.8	Force (N)	3111	3815	3761	3725	3804	3643.2
					Distance(mm)	7015	16848	15768	14535	14520	13737.2
			190	0.8	Force (N)	4100	4068	3708	4266	3659	3960.2
					Distance(mm)	18022	18678	11590	16995	13035	15664
			210	0.8	Force (N)	3982	3951	4246	4100	3963	4048.4
					Distance(mm)	18008	16615	22015	16900	15280	17763.6
PE/Onylon (ด้านหนึ่งซีกท้าย)	2.5	80	140	0.8	Force (N)	3149	3347	4099	3813	4140	3114.667
					Distance(mm)	6828	9208	18313	19913	14850	13822.4
			155	0.8	Force (N)	3687	3505	3463	3794	3795	3066.5
					Distance(mm)	13883	9875	13270	17205	13050	13456.6
			170	0.8	Force (N)	3475	3582	3703	3813	3962	3118.333
					Distance(mm)	11040	11053	14833	16650	16425	14000.2
			190	0.8	Force (N)	4382	3944	4363	4184	4045	3518
					Distance(mm)	17763	17313	20255	16935	18888	18230.8
			210	0.8	Force (N)	4126	3975	4082	4579	3928	3483.333
					Distance(mm)	17848	17563	22885	19143	16860	18859.8

ตารางที่ 7 การทดสอบประสิทธิภาพการซีลที่ระดับการสุญญากาศต่างๆต่อการรั่วซึมของถุงข้าว

ชนิดของสถานะบรรจุ สุญญากาศ	ชนิดพลาสติก	ขนาดบรรจุ (kg)	ความหนา (micron)	อุณหภูมิซีล °C		แรงดันที่ซีลสุญญากาศ (-Bar)	เวลาที่ใช้ (s)	เวลาพัก (ชั่วโมง)	จำนวนถุง ทั้งหมด	จำนวนถุงที่รั่ว ซึม
				ซีลครั้งที่ 1	ซีลครั้งที่ 2					
การบรรจุสุญญากาศ แบบ Water Pump	Onylon/PE	1	100	170	190	-0.6	0.8	24	50	ไม่รั่วซึม
						-0.8	0.8	24	50	ไม่รั่วซึม
						-0.9	0.8	24	50	1
		2	120	170	170	-0.9	8	24	50	2
						-0.6	0.8	24	50	4
						-0.8	0.8	24	50	4
การบรรจุสุญญากาศ แบบ Water Pump	Onylon/PE	2.5	80	210	210	-0.6	0.8	24	50	3
						-0.8	0.8	24	50	1
						-0.6	0.8	24	50	2
	Nylon/PE	2	90	210	210	-0.8	0.8	24	50	3
						-0.6	0.8	24	50	2
						-0.8	0.8	24	50	3

ขนาด (kg)	ความหนา (micron)	อุณหภูมิซีด (°C)		สูญญากาศ (-bar)	เวลาพัก (ชั่วโมง)	จำนวนถุงทั้งหมด ที่สุ่ม	จำนวนถุงที่รั่ว	จำนวนถุงที่ซีม	รวม
		ซีดครั้งที่ 1	รีดครั้งที่ 2						
1	100	190	170	-0.6	21	10	ไม่มี	1	1
				-0.8	21	10	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
				-0.9	21	10	3	1	4
2	120	-	-	-0.9	21	10	1	ไม่มี	1
				-0.6	21	10	1	ไม่มี	1
				-0.8	21	10	6*	ไม่มี	6
	90	210	210	-0.6	21	10	1	3	4
				-0.8	21	10	3	4	7
2.5	80	210	210	-0.6	21	10	1	1	2
				-0.8	21	10	1	ไม่มี	1

หมายเหตุ : * หมายถึงเกิดการรั่วทันทีหลังจากการรีดขึ้นรูป 2 ถุง

- หมายถึงเกิดการชำรุดขึ้นในด้านเทคนิคและเครื่องจักรทำให้ไม่สามารถทำการทดลองได้

ตารางที่ ๑ การทดสอบหาระยะห่างของลูกกลิ้งที่เหมาะสมกับการบรรจุข้าวกล้องสุญญากาศที่สัมพันธ์กับความหนาแน่น ความชื้นและความเครียดของถุง

ขนาดบรรจุ (Kg)	ความหนา (micron)	บรรจุสุญญากาศ (-bar)	ระยะห่างลูกกลิ้ง (นิ้ว)	อัตราเร็วของสายพาน เครื่องรีดชั้นรูป (m/s)	เวลาที่ทำการดูดอากาศ (S)	ความหนาแน่นของถุงข้าว (kg/cm ³)	ความเค้นของถุงข้าวหลังรีด (kg/m ²)	ความเค้นของถุงข้าวหลังรีด	Modulus of elasticity (E) (kg/m ²)
1	100	-0.6	0.5	30	0.8	0.002	0.9601	0.560	1.714
			1	30	0.8	0.0012	2.3410	0.365	6.144
			1.5	30	0.8	0.0007	3.0529	0.509	5.998
		-0.8	0.5	30	0.8	0.002	0.9487	0.579	1.638
			1	30	0.8	0.0012	2.2823	0.396	5.763
	120	-0.9	1.5	30	0.8	0.0007	3.1246	0.484	6.456
			0.5	30	0.8	0.002	0.9375	0.578	1.622
			1	30	0.8	0.0012	2.3350	0.348	6.710
		-0.9	1.5	30	0.8	0.0007	3.0915	0.472	6.550
			1.5	30	0.8	0.0016	6.7804	0.101	67.132
2	80	-0.6	1	30	0.8	0.0012	1.1668	0.344	3.3918
			1.5	30	0.8	0.001	2.0427	0.227	8.998
			2	30	0.8	0.0008	3.2806	0.099	33.137
		-0.8	1	30	0.8	0.0013	1.2888	0.339	3.802
			1.5	30	0.8	0.001	2.4220	0.142	17.056
	90	-0.6	2	30	0.8	0.0010	3.6926	0.041	90.063
			1	30	0.8	0.001	1.1288	0.358	3.153
			1.5	30	0.8	0.001	2.2326	0.143	15.612
		-0.8	2	30	0.8	0.0008	3.3130	0.058	57.120
			1	30	0.8	0.0012	1.2172	0.423	2.877
2	90	-0.8	1.5	30	0.8	0.001	2.1429	0.273	7.849
			2	30	0.8	0.0009	3.4974	0.132	26.495

ขนาดบรรจุ (Kg)	ความหนา (micron)	บรรจุสุญญากาศ (-bar)	ระยะห่างลูกกลิ้ง (นิ้ว)	อัตราเร็วของสายพาน เครื่องรีดขึ้นรูป (m/s)	เวลาที่ในการดูด อากาศ (s)	ความหนาแน่นของ ถุงข้าว (kg/cm ³)	ความต้านของถุง ข้าวหลังรีด (kg/m ²)	ความเค้นของถุง ข้าวหลังรีด	Modulus of elasticity (E) (kg/m ²)
2.5	80	-0.6	1	30	0.8	0.0014	1.0711	0.304	3.523
			1.5	30	0.8	0.0010	1.7510	0.222	7.887
			2	30	0.8	0.0008	2.6326	0.125	21.061
		-0.8	1	30	0.8	0.0013	1.0197	0.356	2.864
			1.5	30	0.8	0.001	1.7305	0.234	7.395
			2	30	0.8	0.0008	2.6121	0.124	21.065

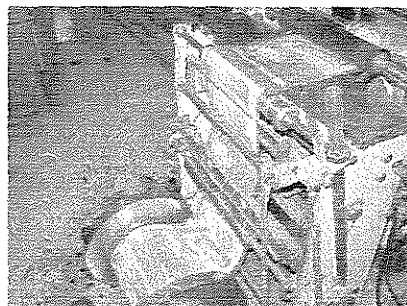


ภาคผนวกรูปภาพ

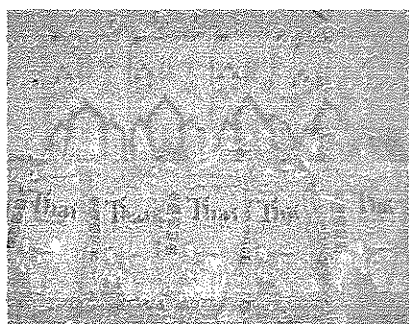
รูปที่ 1 การทดสอบพักถุงบรรจุสุญญากาศเมล็ดถั่วเขียว



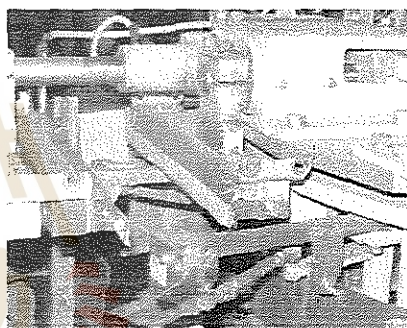
รูปที่ 2 การดึงถุงพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุ



รูปที่ 3 การทดสอบขีดถุงข้าวกล้องหอมมะลิขนาด 2 kg



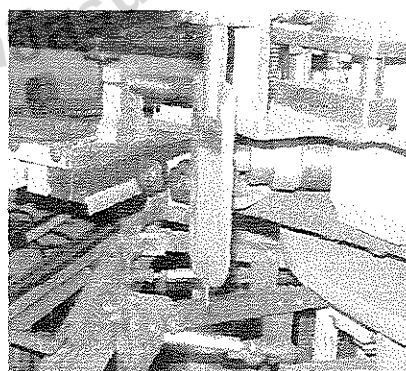
รูปที่ 4 แผ่นโลหะความร้อนที่ใช้ขีดถุง



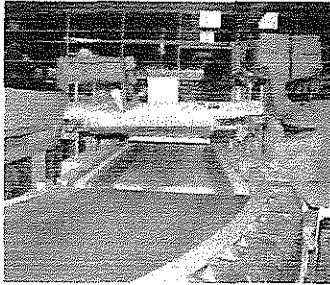
รูปที่ 3 การทดสอบขีดถุงข้าวกล้องหอมมะลิขนาด 1 kg



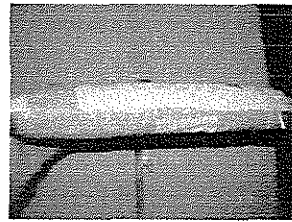
รูปที่ 6 หัวดูดสุญญากาศ



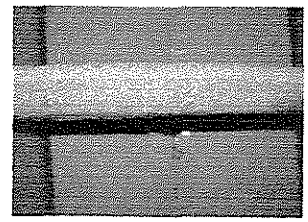
รูปที่ 7 เครื่องรีดขึ้นรูป



รูปที่ 8 ความหนาถุงขนาด 1 kg หลังรีดขึ้นรูป

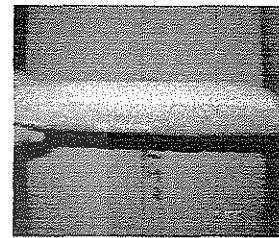
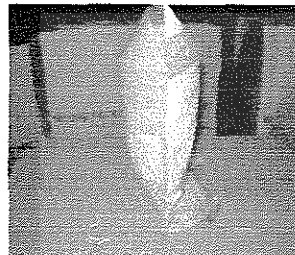
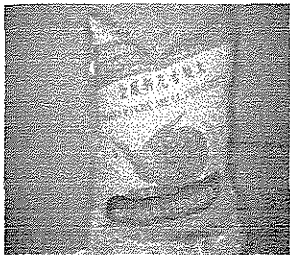


ความหนา 0.5 นิ้ว



ความหนา 1 นิ้ว

รูปที่ 9 ถุงขนาด 1 kg หลังบรรจุสุญญากาศ

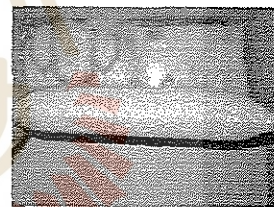


ความหนา 1.5 นิ้ว

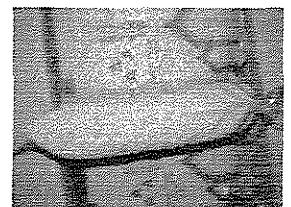
รูปที่ 11 ถุงขนาด 1 kg หลังรีดขึ้นรูป



รูปที่ 10 ความหนาของถุงขนาด 2 kg หลังรีดขึ้นรูป



ความหนา 1 นิ้ว



ความหนา 1.5 นิ้ว

รูปที่ 12 ถุงขนาด 2 kg หลังการรีดขึ้นรูป



ความหนา 2 นิ้ว

เอกสารอ้างอิง

งามทิพย์ ภู่วโรคม. ถิ่นกับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. โรงพิมพ์สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม. กรุงเทพมหานคร. พิมพ์ครั้งที่ 1. 2537.

มยุรี ภาคกล้าเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิ์ทิต. คู่มือการใช้พลาสติกเพื่อการหีบห่อ. ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2533

[www. sut.ac.th](http://www.sut.ac.th). คุณสมบัติของวัสดุ. 2545



-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อุณหภูมิ	173.0000	5	27.7489	12.4097
	FORCE	3484.0000	5	298.4886	133.4882

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	อุณหภูมิ & FORCE	5	.527	.361

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	อุณหภูมิ - FORCE	-3311.0000	284.8350	127.3821	-3664.6693	-2957.3307	-25.993

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	อุณหภูมิ - FORCE	4	.000

-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อุณหภูมิ	173.0000	5	27.7489	12.4097
	DISTANCE	12265.640	5	4063.1979	1817.1173

Paired Samples Correlations

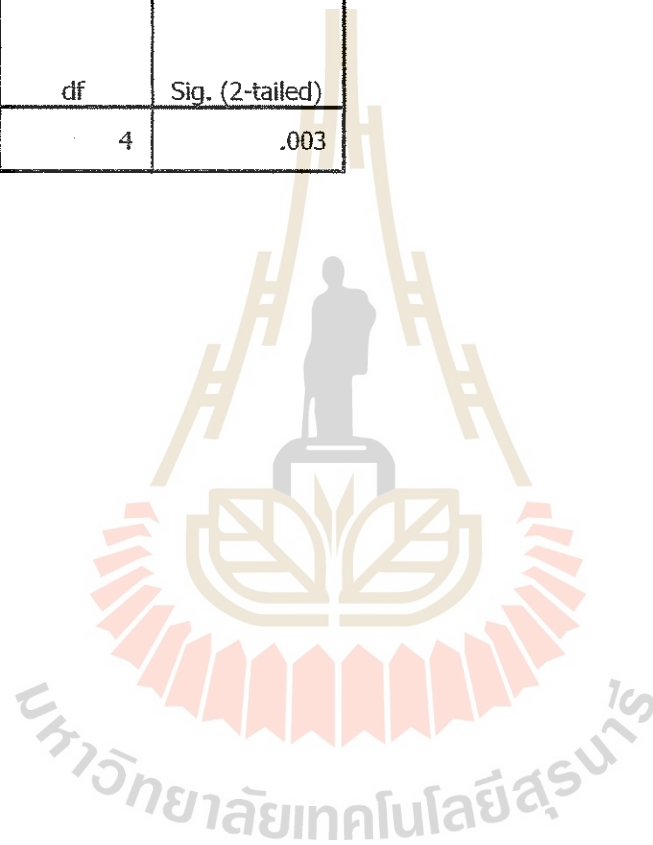
		N	Correlation	Sig.
Pair 1	อุณหภูมิ & DISTANCE	5	.250	.685

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	อุณหภูมิ - DISTANCE	-12092.64	4056.3416	1814.0511	-17129.25	-7056.0267	-6.666

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	อุณหภูมิ - DISTANCE	4	.003



T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	100.0000	5	.00000	.00000
	FORCE	3484.0000	5	298.48863	133.48817

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ความหนา & FORCE	5	.	.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา - FORCE	-3384.0000	298.48863	133.48817	-3754.6226	-3013.3774	-25.351

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ความหนา - FORCE	4	.000

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	100.0000	5	.00000	.00000
	DISTANCE	12265.640	5	4063.19788	1817.1173

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 ความหนา & DISTANCE	5	.	.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา - DISTANCE	-12165.64	4063.19788	1817.1173	-17210.77	-7120.5135	-6.695

Paired Samples Test

	df	Sig. (2-tailed)
Pair 1 ความหนา - DISTANCE	4	.003

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อุณหภูมิ	173.0000	5	27.7489	12.4097
	FORCE	3535.2000	5	233.9600	104.6301

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	อุณหภูมิ & FORCE	5	.734	.158

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	อุณหภูมิ - FORCE	-3362.2000	214.4220	95.8924	-3628.4401	-3095.9599	-35.062

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	อุณหภูมิ - FORCE	4	.000

I-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อุณหภูมิ	173.0000	5	27.7489	12.4097
	DISTANCE	14121.760	5	2925.5172	1308.3311

Paired Samples Correlations

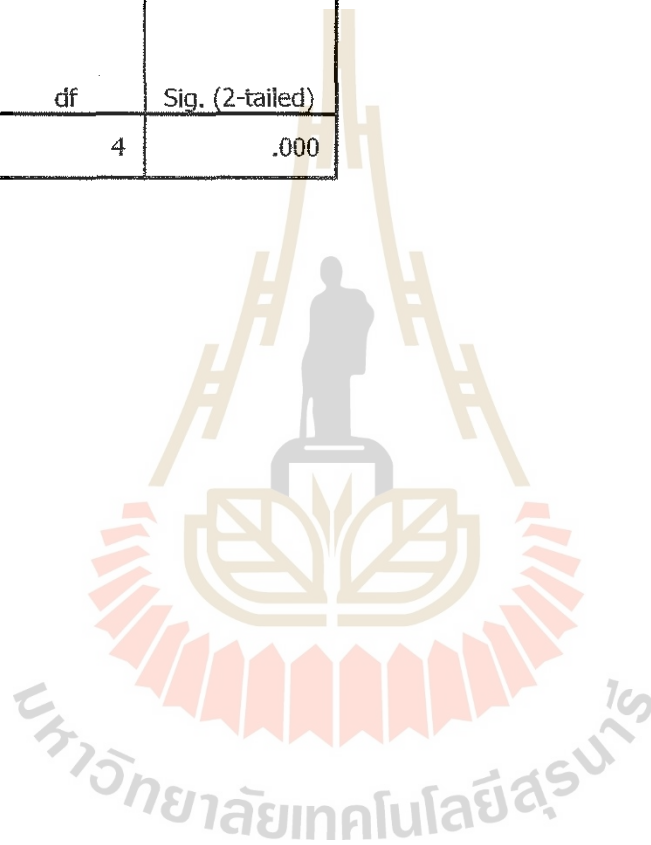
		N	Correlation	Sig.
Pair 1	อุณหภูมิ & DISTANCE	5	.731	.160

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	จุดเหนือ - DISTANCE	-13948.76	2905.2813	1299.2813	-17556.14	-10341.38	-10.736

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	จุดเหนือ - DISTANCE	4	.000



t-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	100.0000	5	.00000	.00000
	FORCE	3535.2000	5	233.96004	104.63011

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 ความหนา & FORCE	5	.	.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา - FORCE	-3435.2000	233.96004	104.63011	-3725.6998	-3144.7002	-32.832

Paired Samples Test

	df	Sig. (2-tailed)
Pair 1 ความหนา - FORCE	4	.000

t-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	100.0000	5	.00000	.00000
	DISTANCE	14121.760	5	2925.51724	1308.3311

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 ความหนา & DISTANCE	5	.	.

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower		Upper
Pair 1	ความหนา - DISTANCE	-14021.76	2925.51724	1308.3311	-17654.27	-10389.25	-10.717

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ความหนา - DISTANCE	4	.000

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

t-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อุณหภูมิ	173.0000	5	27.7489	12.4097
	FORCE	3820.1600	5	137.0524	61.2917

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	อุณหภูมิ & FORCE	5	.745	.148

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	อุณหภูมิ - FORCE	-3647.1600	117.8392	52.6993	-3793.4766	-3500.8434	-69.207

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	อุณหภูมิ - FORCE	4	.000

t-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อุณหภูมิ	173.0000	5	27.7489	12.4097
	DISTANCE	14715.320	5	1769.5279	791.3569

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	อุณหภูมิ & DISTANCE	5	.923	.025

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	อุณหภูมิ - DISTANCE	-14542.32	1743.9435	779.9152	-16707.71	-12376.93	-18.646

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	อุณหภูมิ - DISTANCE	4	.000

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	80.0000	5	.0000	.0000
	FORCE	3820.1600	5	137.0524	61.2917

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ความหนา & FORCE	5	.	.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา - FORCE	-3740.1600	137.0524	61.2917	-3910.3331	-3569.9869	-61.022

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ความหนา - FORCE	4	.000

t-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	80.0000	5	.0000	.0000
	DISTANCE	14715.320	5	1769.5279	791.3569

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ความหนา & DISTANCE	5	.	.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา - DISTANCE	-14635.32	1769.5279	791.3569	-16832.48	-12438.16	-18.494

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ความหนา - DISTANCE	4	.000

t-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	80.0000	5	.0000	.0000
	FORCE	3871.6000	5	111.1922	49.7267

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 ความหนา & FORCE	5	.	.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา - FORCE	-3791.6000	111.1922	49.7267	-3929.6633	-3653.5367	-76.249

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ความหนา - FORCE	4	.000

t-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	80.0000	5	.0000	.0000
	DISTANCE	14767.920	5	815.5868	364.7415

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 ความหนา & DISTANCE	5	.	.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา - DISTANCE	-14687.92	815.5868	364.7415	-15700.60	-13675.24	-40.269

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ความหนา - DISTANCE	4	.000

F-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อุณหภูมิ	173.0000	5	27.7489	12.4097
	FORCE	3871.6000	5	111.1922	49.7267

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	อุณหภูมิ & FORCE	5	.138	.825

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	อุณหภูมิ - FORCE	-3698.6000	110.8228	49.5615	-3836.2047	-3560.9953	-74.627

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	อุณหภูมิต - FORCE	4	.000

-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อุณหภูมิต	173.0000	5	27.7489	12.4097
	DISTANCE	14767.920	5	815.5868	364.7415

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	อุณหภูมิต & DISTANCE	5	-.500	.390

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	
				Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower		Upper
Pair 1	อุณหภูมิ - DISTANCE	-14594.92	829.8218	371.1076	-15625.28	-13564.56	-39.328

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	อุณหภูมิต - DISTANCE	4	.000

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	90.0000	5	.0000	.0000
	DISTANCE	48999.750	5	9651.2351	4316.1635

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 ความหนา & DISTANCE	5	.	.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา - DISTANCE	-48909.75	9651.2351	4316.1635	-60893.34	-36926.16	-11.332

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ความหนา - DISTANCE	4	.000

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	90.0000	5	.0000	.0000
	FORCE	1904.6400	5	185.3242	82.8795

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 ความหนา & FORCE	5	.	.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา - FORCE	-1814.6400	185.3242	82.8795	-2044.7503	-1584.5297	-21.895

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ความหนา - FORCE	4	.000

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อุณหภูมิต	173.0000	5	27.7489	12.4097
	FORCE	1904.6400	5	185.3242	82.8795

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	อุณหภูมิต & FORCE	5	.907	.033

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	อุณหภูมิ - FORCE	-1731.6400	160.5766	71.8120	-1931.0222	-1532.2578	-24.114

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	อุณหภูมิต - FORCE	4	.000

t-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อุณหภูมิต	173.0000	5	27.7489	12.4097
	DISTANCE	48999.750	5	9651.2351	4316.1635

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	อุณหภูมิต & DISTANCE	5	.966	.007

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
				Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Mean	Std. Deviation	
Pair 1	อุณหภูมิ - DISTANCE	-48826.75	9624.4274	4304.1748	-60777.06	-36876.44	-11.344

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	อุณหภูมิต - DISTANCE	4	.000

t-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	90.0000	5	.0000	.0000
	FORCE	2146.4100	5	195.9699	87.6404

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ความหนา & FORCE	5	.	.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา - FORCE	-2056.4100	195.9699	87.6404	-2299.7388	-1813.0812	-23.464

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ความหนา - FORCE	4	.000

I-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	90.0000	5	.0000	.0000
	DISTANCE	58811.710	5	7867.1329	3518.2888

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ความหนา & DISTANCE	5	.	.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา - DISTANCE	-58721.71	7867.1329	3518.2888	-68490.05	-48953.37	-16.690

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ความหนา - DISTANCE	4	.000

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อุณหภูมิ	173.0000	5	27.7489	12.4097
	FORCE	2146.4100	5	195.9699	87.6404

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	อุณหภูมิ & FORCE	5	.930	.022

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	อุณหภูมิ - FORCE	-1973.4100	170.4660	76.2347	-2185.0715	-1761.7485	-25.886

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	อุณหภูมิ - FORCE	4	.000

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อุณหภูมิ	173.0000	5	27.7489	12.4097
	DISTANCE	58811.710	5	7867.1329	3518.2888

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	อุณหภูมิ & DISTANCE	5	.461	.435

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
				Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Mean	Std. Deviation	
Pair 1	อุณหภูมิ - DISTANCE	-58638.71	7854.3793	3512.5852	-68391.21	-48886.21	-16.694

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	อุณหภูมิ - DISTANCE	4	.000

-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	80.0000	5	.0000	.0000
	FORCE	3260.1654	5	220.8362	98.7609

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ความหนา & FORCE	5	.	.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา - FORCE	-3180.1654	220.8362	98.7609	-3454.3697	-2905.9611	-32.201

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ความหนา - FORCE	4	.000

I-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	80.0000	5	.0000	.0000
	DISTANCE	13153.960	5	7018.1941	3138.6318

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ความหนา & DISTANCE	5	.	.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
				Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Mean	Std. Deviation	
Pair 1	ความหนา - DISTANCE	-13073.96	7018.1941	3138.6318	-21788.20	-4359.7211	-4.165

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ความหนา - DISTANCE	4	.014

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อุณหภูมิ	173.0000	5	27.7489	12.4097
	FORCE	3260.1654	5	220.8362	98.7609

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	อุณหภูมิ & FORCE	5	.871	.054

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	อุณหภูมิ - FORCE	-3087.1654	197.1345	88.1612	-3331.9402	-2842.3906	-35.017

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	อุณหภูมิ - FORCE	4	.000

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อุณหภูมิ	173.0000	5	27.7489	12.4097
	DISTANCE	13153.960	5	7018.1941	3138.6318

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	อุณหภูมิ & DISTANCE	5	.392	.514

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	อุณหภูมิ - DISTANCE	-12980.96	7007.3696	3133.7910	-21681.76	-4280.1614	-4.142

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	อุณหภูมิ - DISTANCE	4	.014

t-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ขนาดบรรจุ ถังรี	1.778	9	.6180	.2060
		2.0000	9	1.58114	.52705

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ขนาดบรรจุ & ถังรี	9	.640	.064

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower		Upper
Pair 1	ขนาดบรรจุ - ถังรี	-.2222	1.27748	.42583	-1.2042	.7597	-.522

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ขนาดบรรจุ - ถังรี	8	.616

t-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา ถังรี	88.8889	9	9.27961	3.09320
		2.0000	9	1.58114	.52705

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ความหนา & ถูกรั่ว	9	-.767	.016

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา - ถูกรั่ว	86.8889	10.54093	3.51364	78.7864	94.9914	24.729

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ความหนา - ถูกรั่ว	8	.000

F-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	VACUMM	-.7222	9	.12019	.04006
	ถูกรั่ว	2.0000	9	1.58114	.52705

Paired Samples Correlations

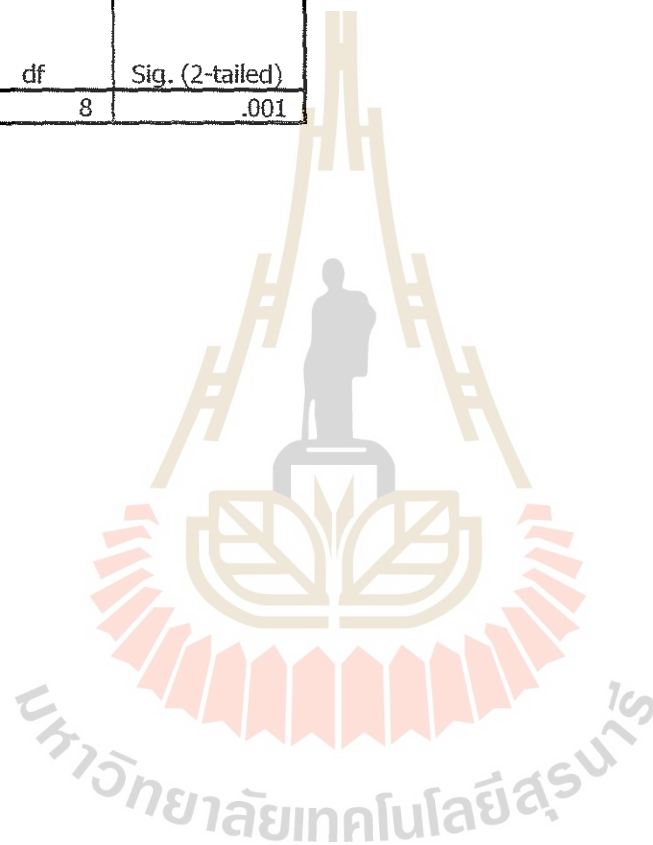
		N	Correlation	Sig.
Pair 1	VACUMM & ถูกรั่ว	9	.197	.611

Paired Samples Test

	Paired Differences					t
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
				Lower	Upper	
Pair 1 VACUMM - ฤๅงรีว	-2.7222	1.56187	.52062	-3.9228	-1.5217	-5.229

Paired Samples Test

	df	Sig. (2-tailed)
Pair 1 VACUMM - ฤๅงรีว	8	.001



Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา - DISTANCE	-16061.88	2307.6481	1032.0116	-18927.20	-13196.56	-15.564

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ความหนา - DISTANCE	4	.000

Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อุณหภูมิ	173.0000	5	27.7489	12.4097
	FORCE	3862.3600	5	206.9407	92.5467

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	อุณหภูมิ & FORCE	5	.344	.570

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	อุณหภูมิ - FORCE	-3689.3600	199.0946	89.0378	-3936.5686	-3442.1514	-41.436

t-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	80.0000	5	.0000	.0000
	FORCE	3862.3600	5	206.9407	92.5467

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 ความหนา & FORCE	5	.	.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา - FORCE	-3782.3600	206.9407	92.5467	-4039.3109	-3525.4091	-40.870

Paired Samples Test

	df	Sig. (2-tailed)
Pair 1 ความหนา - FORCE	4	.000

t-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	80.0000	5	.0000	.0000
	DISTANCE	16141.880	5	2307.6481	1032.0116

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 ความหนา & DISTANCE	5	.	.

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	อุณหภูมิต - FORCE	4	.000

-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อุณหภูมิต	173.0000	5	27.7489	12.4097
	DISTANCE	16141.880	5	2307.6481	1032.0116

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	อุณหภูมิต & DISTANCE	5	-.037	.952

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	อุณหภูมิ - DISTANCE	-15968.88	2308.8539	1032.5508	-18835.70	-13102.06	-15.465

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	อุณหภูมิต - DISTANCE	4	.000

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ขนาดบรรจุ & ถังรี	1.7778	9	.6180	.2060
		1.7778	9	1.9221	.6407

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ขนาดบรรจุ & ถังรี	9	.164	.674

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ขนาดบรรจุ - ถังรี	.0000	1.9203	.6401	-1.4761	1.4761	.000

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ขนาดบรรจุ - ถังรี	8	1.000

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ขนาดบรรจุ & ถังซี	1.7778	9	.6180	.2060
		1.1111	9	1.4530	.4843

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ขนาดบรรจุ & ถังซี	9	.101	.797

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower		Upper
Pair 1	ขนาดบรรจุ - ถังซึม	.6667	1.5207	.5069	-.5022	1.8356	1.315

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ขนาดบรรจุ - ถังซึม	8	.225

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ขนาดบรรจุ	1.7778	9	.6180	.2060
	รวม	2.8889	9	2.4721	.8240

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ขนาดบรรจุ & รวม	9	.186	.631

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ขนาดบรรจุ - รวม	-1.1111	2.4338	.8113	-2.9819	.7597	-1.370

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair	ขนาดบรรจุ - รวม	8	.208

Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair	ความหนา	88.8889	9	9.2796	3.0932
	ถ่วง	1.7778	9	1.9221	.6407

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair	ความหนา & ถ่วง	9	-.296	.439

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower		Upper
air	ความหนา - ถ่วง	87.1111	10.0180	3.3393	79.4106	94.8117	26.086

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
r	ความหนา - ถ่วง	8	.000

est

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	88.8889	9	9.2796	3.0932
	ถ่วงขึ้น	1.1111	9	1.4530	.4843

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ความหนา & ถ่วงขึ้น	9	.196	.614

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา - ถ่วงขึ้น	87.7778	9.1074	3.0358	80.7772	94.7783	28.914

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ความหนา - ถ่วงขึ้น	8	.000

-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความหนา	88.8889	9	9.2796	3.0932
	รวม	2.8889	9	2.4721	.8240

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ความหนา & รวม	9	-.115	.768

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ความหนา รวม	86.0000	9.8742	3.2914	78.4100	93.5900	26.129

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ความหนา - รว	8	.000

-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	VACUMM	-.7222	9	.1202	4.006E-02
	ถงร่ว	1.7778	9	1.9221	.6407

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	VACUMM & ถงร่ว	9	-.511	.160

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	VACUMM - ถงร่ว	-2.5000	1.9862	.6621	-4.0267	-.9733	-3.776

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	VACUMM - สูงเร็ว	8	.005

-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	VACUMM	-.7222	9	.1202	4.006E-02
	สูงเร็ว	1.1111	9	1.4530	.4843

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	VACUMM & สูงเร็ว	9	.087	.823

Paired Samples Test

	Paired Differences					t
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
				Lower	Upper	
Pair 1 VACUMM - nonu	-1.8333	1.4474	.4825	-2.9459	-.7208	-3.800

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	VACUMM - สูงเร็ว	8	.005

-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	VACUMM	-.7222	9	.1202	4.006E-02
	รวม	2.8889	9	2.4721	.8240

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 VACUMM & ว่าง	9	-.346	.362

Paired Samples Test

	Paired Differences					t
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
				Lower	Upper	
Pair 1 VACUMM - ว่าง	-3.6111	2.5162	.8387	-5.5452	-1.6770	-4.305

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	VACUMM - ว่าง	8	.003

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ขนาดบรรจุ & ความหนา	1.7778	27	.5938	.1143
		1.119E-03	27	3.721425E-04	7.162E-05

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ขนาดบรรจุ & ความหนา	27	-.320	.104

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	
				Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Mean		Std. Deviation
Pair 1	ขนาดบรรจุ - ความหนา	1.7766593	.5938903	.1142942	1.5417241	2.0115944	15.545

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ขนาดบรรจุ - ความหนา	26	.000

F-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ขนาดบรรจุ & ความเค้น	1.7778	27	.5938	.1143
		2.1228148	27	.8946793	.1721811

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ขนาดบรรจุ & ความเค้น	27	-.067	.739

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ขนาดบรรจุ - ความเค้น	-.3450370	1.1065333	.2129524	-.7827670	9.269E-02	-1.620

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ขนาดบรรจุ - ความเค้น	26	.117

F-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ขนาดบรรจุ	1.7778	27	.5938	.1143
	ความเค้น	.305000	27	.163142	3.140E-02

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ขนาดบรรจุ & ความเค้น	27	-.706	.000

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ขนาดบรรจุ - ความเค้น	1.472778	.718322	.138241	1.188619	1.756937	10.654

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ขนาดบรรจุ - ความเค้น	26	.000

F-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ขนาดบรรจุ	1.7778	27	.5938	.1143
	MODULUS	13.923844	27	19.543336	3.761117

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ขนาดบรรจุ & MODULUS	27	.241	.225

Paired Samples Test

		Paired Differences				
					95% Confidence Interval of the Difference	
					Mean	Std. Deviation
Pair 1	ขนาดบรรจุ - MODULUS	-12.146067	19.408530	3.735173	-19.823826	-4.468308

Paired Samples Test

		t	df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ขนาดบรรจุ - MODULUS	-3.252	26	.003

-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ระยะห่าง	1.3333	27	.4804	9.245E-02
	ความหนา	1.119E-03	27	3.721425E-04	7.162E-05

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ระยะห่าง & ความหนา	27	-.843	.000

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ระยะห่าง - ความหนา	1.3322148	.4806981	9.251E-02	1.1420570	1.5223726	14.401

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ระยะห่าง - ความหนา	26	.000

t-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ระยะห่าง	1.3333	27	.4804	9.245E-02
	ความเค้น	2.1228148	27	.8946793	.1721811

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ระยะห่าง & ความเค้น	27	.832	.000

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ระยะห่าง - ความเค้น	-.7894815	.5623232	.1082191	-1.0119291	-.5670338	-7.295

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ระยะห่าง - ความเค้น	26	.000

F-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ระยะห่าง	1.3333	27	.4804	9.245E-02
	ความเค้น	.305000	27	.163142	3.140E-02

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ระยะห่าง & ความเค้น	27	-.820	.000

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower		Upper
Pair 1	ระยะทาง - ความเค้น	1.028333	.621258	.119561	.782572	1.274095	8.601

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ระยะห่าง - ความเค้น	26	.000

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ระยะห่าง	1.3333	27	.4804	9.245E-02
	MODULUS	13.923844	27	19.543336	3.761117

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ระยะห่าง & MODULUS	27	.668	.000

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	ระยะห่าง - MODULUS	-12.590511	19.225796	3.700006	-20.195983	-4.985040	-3.403

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	ระยะห่าง MODULUS	26	.002

-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	VACUMM	-.7222	27	.1155	2.222E-02
	ความหนา	1.119E-03	27	3.721425E-04	7.162E-05

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	VACUMM & ความหนา	27	-.142	.479

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	VACUMM - ความหนา	-.7233407	.1155236	2.223E-02	-.7690403	-.6776411	-32.535

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	VACUMM - ความหนา	26	.000

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	VACUMM	-.7222	27	.1155	2.222E-02
	ความเค้น	2.1228148	27	.8946793	.1721811

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	VACUMM & ความเค้น	27	-.037	.854

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Lower	Upper	
Pair 1	VACUMM - ความเด่น	-2.8450370	.9063395	.1744251	-3.2035730	-2.4865011	-16.311

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	VACUMM - ความเด่น	26	.000

F-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	VACUMM	-.7222	27	.1155	2.222E-02
	ความเด่น	.305000	27	.163142	3.140E-02

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	VACUMM & ความเด่น	27	-.240	.228

Paired Samples Test

		Paired Differences					t
				Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		
					Mean	Std. Deviation	
Pair 1	VACUMM - ความเครียด	-1.027222	.221330	4.260E-02	-1.114778	-.939667	-24.116

Paired Samples Test

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	VACUMM - ความเค้น	26	.000

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	VACUMM	-.7222	27	.1155	2.222E-02
	MODULUS	13.923844	27	19.543336	3.761117

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	VACUMM & MODULUS	27	.048	.812

Paired Samples Test

		Paired Differences				
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Pair 1	VACUMM - MODULUS	-14.646067	19.538128	3.760114	-22.375093	-6.917041

Paired Samples Test

		t	df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	VACUMM - MODULUS	-3.895	26	.001