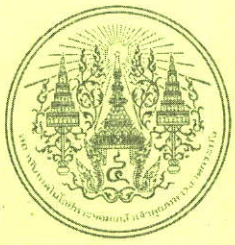


# รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

## เครื่องมือทดสอบความแข็งแรงของถุงบรรจุภัณฑ์อาหาร
## Strength Testing Equipment for Food Packaging

อ.สมัคร รักแม่

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2554
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

## เครื่องมือทดสอบความแข็งแรงของถุงบรรจุภัณฑ์อาหาร
## Strength Testing Equipment for Food Packaging

อ.สมัคร รักแม่

RCH TP374 ส291ค

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2554
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ เครื่องมือทดสอบความแข็งแรงของถุงบรรจุภัณฑ์อาหาร
แหล่งเงิน เงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2554 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
ประจำปีงบประมาณ 2554 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 64,900 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2553 ถึง 30 กันยายน 2554
หัวหน้าโครงการ อ.สมัคร รักแม่ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องทดสอบการตกกระแทก เพื่อทดสอบความแข็งแรงของถุงบรรจุภัณฑ์หลังจากบรรจุสินค้าแล้ว โดยออกแบบให้สามารถสร้างขึ้นได้ง่ายเพื่อให้ผู้ประกอบการที่มีงบประมาณจำกัด สามารถนำไปสร้างและประยุกต์ใช้ตามความเหมาะสมของสินค้าของตน สะดวกต่อการทดสอบและสามารถทำการทดสอบได้เร็วขึ้น เพราะปัจจุบันผู้ประกอบการจำนวนมากทำการทดสอบโดยการยกบรรจุภัณฑ์แล้วปล่อยลงในระดับความสูงต่างๆ แต่ถ้าสินค้ามีน้ำหนักมากและต้องทำการทดสอบหลายตัวอย่าง ผู้ทดสอบก็ไม่สามารถทดสอบได้อย่างสะดวก รวมทั้งการควบคุมทิศทางการตกกระแทกทำได้ยากและไม่ได้มาตรฐาน ไม่เป็นที่ยอมรับทั่วไป ผลการออกแบบและพัฒนาพบว่าสามารถสร้างเครื่องทดสอบการตกกระแทกที่กำหนดระดับความสูงได้ตามต้องการ โดยการใช้ลิมิตท์สวิทช์ที่สามารถปรับย้ายตำแหน่งตามความสูงที่ต้องการทดสอบได้ เครื่องดังกล่าวสามารถทดสอบได้สูงสุดที่ระดับความสูง 1.5 เมตรและสามารถนำไปดัดแปลงให้ทดสอบได้ที่ความสูงมากกว่านี้ได้ สามารถยกตัวอย่างในการทดสอบได้ครั้งละหลายตัวอย่างในยกยกเพียงครั้งเดียว น้ำหนักรวมของตัวอย่างทดสอบสูงสุด 50 กิโลกรัม สามารถทดสอบสินค้าได้สูงสุดขนาด 0.5x0.4 เมตร โดยใช้ถาดวางขนาด 0.5x0.5 เมตร ในการวางตัวอย่างที่รอการทดสอบและถาดทดสอบมีขนาด 0.5x0.4 เมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวตั้งที่เหมาะสมคือ 0.25 เมตร/วินาที ใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนสกรูที่มีถาดทดสอบขึ้น-ลงติดตั้งอยู่ สามารถปรับความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ได้

**คำสำคัญ :** เครื่องทดสอบ, ตกกระแทก, ความแข็งแรง, บรรจุภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก เงินงบประมาณแผ่นดิน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปี 2554 ข้าพเจ้าขอบคุณผู้ที่เกียวข้องทั้งหมดที่ได้ช่วยงานวิจัยให้เสร็จสมบูรณ์ ไม่ว่าจะเป็นเจ้าหน้าที่ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม-เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ บุคลากรประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

สมัคร รักแม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| **บทคัดย่อภาษาไทย** | I |
| **กิตติกรรมประกาศ** | II |
| **สารบัญ** | III |
| **สารบัญตาราง** | IV |
| **สารบัญภาพ** | V |
| **บทที่ 1 บทนำ** | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตงานวิจัย | 2 |
| 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง** | 3 |
| 2.1 แนวคิด ทฤษฎี | 3 |
| 2.2 งานวิจัยและวิธีการทดสอบที่เกี่ยวข้อง | 6 |
| **บทที่ 3 การออกแบบเครื่องทดสอบ** | 20 |
| 3.1 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบ | 20 |
| 3.2 การออกแบบฐานทดสอบ | 22 |
| 3.3 การออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่ | 23 |
| **บทที่ 4 ผลการวิจัย** | 24 |
| 4.1 เครื่องทดสอบการตกกระแทกที่สร้างขึ้น | 22 |
| 4.2 ผลการสอบการทำงานของเครื่องทดสอบ | 28 |
| **บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ** | 29 |
| **เอกสารอ้างอิง** | 30 |
| **ประวัตินักวิจัย** | 31 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 ข้อกำหนดของคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว | 14 |
| 2.2 ระดับความสูงในการทดสอบการตกกระแทกที่แนะนำ | 17 |





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ


| ภาพที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง | 10 |
| 2.2 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุ | 17 |
| 2.3 การทดสอบหาอัตราซึมผ่านของก๊าซ | 12 |
| 2.4 การทดสอบหาอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ | 12 |
| 2.5 การทดสอบความแข็งแรงตามขอบและในแนวราบของกระดาษลูกฟูก | 13 |
| 2.6 ความแข็งแรงของรอยผนึกกับเวลาเก็บรักษา | 15 |
| 2.7 ตัวอย่างช่องทางการขนส่งสินค้า | 16 |
| 2.8 การทดสอบการตกกระแทกบรรจุภัณฑ์ | 18 |
| 2.9 การทดสอบการสั่นสะเทือนโดยบรรจุภัณฑ์วางบนพื้นที่สั่นสะเทือน | 18 |
| 2.10 ความสามารถในการรับแรงกดในแนวดิ่งแปรตามปริมาณความชื้นในกระดาษ | 19 |
| 2.11 ความสามารถในการรับแรงกดในแนวดิ่งแปรตามเวลา | 19 |
| 3.1 แบบและรายละเอียดของเครื่องทดสอบที่ออกแบบ | 20 |
| 3.2 มุมมองด้านข้างของเครื่องทดสอบที่ออกแบบ | 21 |
| 3.3 มุมมองด้านบนของเครื่องทดสอบที่ออกแบบ | 21 |
| 3.4 มุมมองด้านหน้าของเครื่องทดสอบที่ออกแบบ | 22 |
| 3.5 รูปแสดงขนาดของชุดถาดทดสอบ | 22 |
| 3.6 ภาพแสดงขนาดของเครื่องทดสอบ | 23 |
| 4.1 เครื่องทดสอบการตกกระแทกของสินค้าที่ได้สร้างขึ้น | 24 |
| 4.2 ภาพแสดงรายละเอียดของถาดวางสินค้าและถาดทดสอบ | 25 |
| 4.3 ภาพแสดงรายละเอียดของถาดทดสอบ | 25 |
| 4.4 ภาพวาล์วควบคุมด้วยมือเพื่อควบคุมให้เริ่มการทดสอบ | 26 |
| 4.5 ภาพแสดงสวิทต์ไฟฟ้าที่ควบคุมความสูงถาดทดสอบ | 26 |
| 4.6 ภาพแท่งบังคับทิศทางของชุดถาดทดสอบ | 27 |
| 4.7 ภาพตู้สวิทต์ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของถาดทดสอบ | 27 |
| 4.8 ภาพแสดงอุปกรณ์ควบคุมที่อยู่ภายในตู้ควบคุมมอเตอร์ | 28 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บรรจุภัณฑ์อาหารที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารมีอยู่มากมาย แต่สามารถแบ่งเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ บรรจุภัณฑ์ผลิตจากเยื่อและกระดาษ บรรจุภัณฑ์โลหะ บรรจุภัณฑ์แก้ว และบรรจุภัณฑ์พลาสติก บรรจุภัณฑ์กระดาษนับได้ว่าเป็นวัสดุที่ใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากต้นทุนถูก สามารถทำการพิมพ์สอดสีได้ง่ายและยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย บรรจุภัณฑ์โลหะใช้กันมากในกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน นับเป็นบรรจุภัณฑ์เดียวที่มีความเป็นมาตรฐานทั่วทั้งโลก การลงทุนในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารกระป๋องใช้เงินลงทุนไม่สูงนักและยังเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะกับประเทศกำลังพัฒนาเนื่องจากบรรจุภัณฑ์กระป๋องแข็งแรงทน ต่อการขนส่ง บรรจุภัณฑ์แก้วเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวาง นอกจากนี้ยังเป็นบรรจุภัณฑ์ที่นำกลับมาใช้ซ้ำมากที่สุด บรรจุภัณฑ์อาหารที่นิยมใช้ประเภทสุดท้าย คือ บรรจุภัณฑ์พลาสติก ซึ่งมีความหลากหลายของประเภทพลาสติกเนื่องจากมีคุณสมบัติในการใช้งานที่แตกต่างกัน

การควบคุมคุณภาพของวัสดุบรรจุภัณฑ์ให้ได้คุณภาพของบรรจุภัณฑ์ที่ดีต้องเริ่มตั้งแต่วัตถุดิบจนกระทั่งถึงผู้บริโภค การควบคุมคุณภาพนั้นมีค่าใช้จ่ายและบริษัทขนาดเล็กต่างๆ มักจะไม่ยอมเสียค่าใช้จ่ายส่วนนี้ไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการทดสอบต่างๆ เพราะเครื่องมือและเครื่องจักรมีราคาแพง อย่างไรก็ตามการทดสอบเพื่อประเมินคุณภาพเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพราะจะทำให้ลดค่าใช้จ่ายรวมของบรรจุภัณฑ์ลง ผู้ประกอบกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์อาหาร จึงจำเป็นต้องกำหนดระดับคุณภาพที่ต้องการด้วยการส่งวัสดุและบรรจุภัณฑ์ไปทดสอบตามหน่วยราชการหรือสถาบันการศึกษาและเลือกการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพโดยตรง

การทำสอบความแข็งแรงของรอยผนึกและบรรจุภัณฑ์มีการทดสอบหลายชนิด การทดสอบด้วยแรงตกกระแทกหรือเรียกว่า drop test เป็นการทดสอบหนึ่งที่ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต้องทำการทดสอบ เพื่อตรวจสอบคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ว่าสามารถทนทานต่อการตกกระแทกได้มากน้อยเพียงใด เพราะการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์อาจเกิดขึ้นได้ตั้งแต่หลังจากการบรรจุ ระหว่างจัดเก็บในคลังเก็บสินค้า ระหว่างการขนส่ง ระหว่างการวางจำหน่าย หรือเกิดขึ้นหลังจากผู้บริโภคได้ซื้อสินค้าไปแล้ว โอกาสที่บรรจุภัณฑ์หนึ่งๆ จะเกิดการตกกระแทกมีค่อนข้างสูง ดังนั้นการทดสอบความทนทานต่อการตกกระแทกจึงเป็นการทดสอบพื้นฐานที่ผู้ผลิตสินค้าต้องทดสอบเพื่อยืนยันคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ให้แก่ผู้รับซื้อ รวมทั้งผู้รับซื้อเองอาจกำหนดเกณฑ์ของการตกกระแทกขึ้นเอง เช่น หากผู้ซื้อทราบแน่ชัดว่าสินค้าของตนเองต้องถูกนำไปวางบนชั้นวางจำหน่ายที่ระดับความสูงหนึ่งๆ ณ สถานที่จำหน่าย ผู้ซื้ออาจกำหนดให้บรรจุภัณฑ์นั้นต้องสามารถทนทานต่อการตกกระแทกที่ระดับความสูงที่สินค้าของตนเองวางจำหน่ายได้ เป็นต้น

เครื่องทดสอบการตกกระแทกมีจำหน่ายทั่วไปแต่มีราคาสูง สำหรับผู้ประกอบการขนาดเล็กอาจทำการทดสอบโดยการยกบรรจุภัณฑ์แล้วปล่อยลงในระดับความสูงต่างๆ แต่หากสินค้ามีน้ำหนักมากและอาจต้องทำการทดสอบหลายตัวอย่าง ผู้ทดสอบก็ไม่สามารถทดสอบได้อย่างสะดวก การควบคุมทิศทางการตกกระแทกทำได้ลำบาก และไม่ได้มาตรฐานหรือไม่เป็นที่ยอมรับทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้จึงต้องการสร้างเครื่องทดสอบการตกกระแทก เพื่อทดสอบความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุสินค้า โดยออกแบบให้สามารถสร้างขึ้นได้ง่ายเพื่อให้ผู้ประกอบการที่มีงบประมาณจำกัด สามารถนำไปสร้างและประยุกต์ใช้ตามความเหมาะสมของสินค้าตนเอง สะดวกต่อการทดสอบและสามารถทำการทดสอบได้เร็วขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์สินค้า สำหรับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็ก (SMEs)

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

เครื่องทดสอบสามารถทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์สินค้าได้ที่ระดับความสูงมากที่สุด 1.50 เมตร โดยใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนและระบบลมอัดในการควบคุม

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาปัญหาและแนวทางในการดัดแปลงเพื่อออกแบบเครื่องทดสอบ

1.4.2 ออกแบบเครื่องทดสอบเบื้องด้วยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้และข้อจำกัดต่างๆ และปรับปรุงแก้ไข

1.4.3 ทำการสร้างเครื่องทดสอบปรับปรุงแก้ไข

1.4.4 ทำการทดสอบความสามารถของเครื่อง

1.4.5 สรุปและวิจารย์ผล

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้แนวทางการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการตกกระแทก สำหรับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก

1.4.2 เพื่อให้การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน สะดวกและรวดเร็วในการทดสอบการต้านทานการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์สินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่2
# แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 แนวคิด ทฤษฎี

บรรจุภัณฑ์อาหารมีบทบาทสำคัญเพราะเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่จะช่วยรักษาคุณภาพอาหารซึ่งอาจทำให้เปลี่ยนแปลงไปโดยปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ การยืดอายุการเก็บของอาหารให้ยาวนานขึ้น และสามารถรักษาคุณภาพของอาหารให้คงอยู่จนกระทั่งบริโภคหมด ในแง่ของการส่งออกจำเป็นอย่างยิ่งที่บรรจุภัณฑ์ช่วยรักษาคุณภาพของสินค้าถึงมือผู้บริโภค ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีผลผลิตทางด้านเกษตรมาก มีการส่งออกอาหารแปรรูปจากผลผลิตการเกษตรจำนวนมาก แต่ผู้ประกอบการบางส่วนได้ละเลยมาตรฐานของบรรจุภัณฑ์อาหาร ซึ่งมีความสำคัญมากเป็นที่ตระหนักเมื่อมีการส่งสินค้า เมื่อสินค้าวางจำหน่ายสินค้าในห้างสรรพสินค้าที่ต้องอาศัยบรรจุภัณฑ์เพื่อดึงดูดใจให้ผู้บริโภคซื้อสินค้าดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีหน้าที่อีกหลายประการดังจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

### 2.1.1 หน้าที่ของบรรจุภัณฑ์ในการรักษาคุณภาพอาหาร

บทบาทของบรรจุภัณฑ์ที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ ช่วยรักษาคุณค่าของอาหารและทำหน้าที่ในการรักษาคุณภาพอาหาร 2 ทาง คือ การปกป้องเชิงรับและการปกป้องเชิงรุก อย่างไรก็ตามสิ่งที่สำคัญที่สุดก็คือ ตัวบรรจุภัณฑ์จะต้องไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณค่าหรือด้อยคุณภาพลง กล่าวคือ ตัวบรรจุภัณฑ์เองไม่ไปทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์อาหารโดยเฉพาะพลาสติกยังต้องทำหน้าที่ช่วยเก็บกลิ่นของ ผลิตภัณฑ์อาหารไว้ กลิ่นที่เปลี่ยนแปลงอาจจะเกิดจากสิ่งแปลกปลอมจากบรรยากาศซึมผ่านผิวของบรรจุ ภัณฑ์เข้าไปทำปฏิกิริยา หรืออาจจะเกิดจากกลิ่นที่อยู่ในอาหารถูกดูดซึมโดยบรรจุภัณฑ์ หรือกลิ่นซึมผ่านออกสู่บรรยากาศภายนอก (ปุ่น และสมพร, 2541)

#### 2.1.1.1 การปกป้องเชิงรับ

การปกป้องเชิงรับ หมายถึง บรรจุภัณฑ์ที่ทำหน้าที่ใส่อาหารเพียงอย่างเดียว ทำหน้าที่เป็นตัวกั้นผลิตภัณฑ์ไม่ให้สัมผัสกับบรรยากาศภายนอก บรรจุภัณฑ์จะทำหน้าที่เป็นกลไกในการปกป้องผลิตภัณฑ์จากสิ่งเหล่านี้ การปกป้องเชิงรับนี้เป็นการ ป้องกันขั้นพื้นฐานของบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันอันตรายจากสิ่งแวดล้อมภายนอกอัน ได้แก่ กายภาพ พลังงาน และจุลชีวะไม่ให้มีโอกาสเข้าทำปฏิกิริยากับอาหารภายในบรรจุภัณฑ์

1) **การป้องกันทางกายภาพ** ผลิตภัณฑ์อาหารจำต้องได้รับการปกป้องจากภัยอันตรายดังต่อไปนี้

1. **การรั่ว** การหลุดรอดของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษาเป็นสิ่งที่ไม่ควรเกิดขึ้น ปรากฏการณ์เช่นนี้ดูเหมือนว่าจะเกิดจากการปิดผนึกที่ไม่แข็งแรงพอที่จะรอง รับแรงกระแทกหรือแรงดันทะลุระหว่างการส่ง อีกตัวอย่างที่เห็นได้ชัดในแถบประเทศเขตร้อน ก็คือ การทำลายบรรจุภัณฑ์ที่เกิดจากการชอนไชของแมลงทำให้เกิดความเสียหายต่อ ผลิตภัณฑ์ในเวลาต่อมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2. การซึมผ่านวัสดุ** ปรากฏการณ์ซึมผ่านของผลิตภัณฑ์อาจเกิดขึ้นได้ทั้งในสถานะของเหลวหรือในสภาวะ ที่เป็นก๊าซ ในกรณีของเหลวภาวะการรั่วซึมส่วนมากจะพบเห็นที่รอยปิดผนึกของถุงพลาสติก ทั่วๆ ไป เนื่องจากวัสดุบรรจุภัณฑ์เกือบทั้งหมดยกเว้นรอยเชื่อมของกระป๋องหรือฝาขวดแก้วจะมีรูพรุนเพียงพอที่ก๊าซจะผ่านได้ หากมองในแง่การซึมผ่านของก๊าซบรรจุภัณฑ์ทำหน้าที่ใน 2 ลักษณะ คือ

ก. ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซจากภายนอกสู่ภายในบรรจุภัณฑ์ อันได้แก่
- การเกิดการเหม็นหืนของผลิตภัณฑ์จากการซึมผ่านของออกซิเจนที่เข้าไปทำปฏิกิริยา
- กลิ่นจากภายนอกปนเปื้อนกับกลิ่นของอาหาร ในสภาวะแวดล้อมที่เต็มไปด้วยกลิ่นหลากหลาย เช่น กลิ่นควัน กลิ่นน้ำมัน ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับคุณสมบัติของอาหารได้จากการซึมผ่านเข้าไปในบรรจุภัณฑ์

ข. ป้องกันการถ่ายเทจากภายในสู่ภายนอกบรรจุภัณฑ์
- ป้องกันการสูญเสียกลิ่นของผลิตภัณฑ์
- ลดการระเหยของน้ำ
- หลีกเลี่ยงการรั่วซึมของก๊าซที่บรรจุไว้เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

โดยพื้นฐานของบทบาทบรรจุภัณฑ์ที่กล่าว มาแล้ว การปิดผนึกเพื่อป้องการรั่วซึมจำเป็นต้องเลือกใช้วัสดุที่ทำบรรจุภัณฑ์จาก วัตถุดิบหลายชนิด สิ่งที่ควรคำนึงถึง คือ

1. ชนิดของผลิตภัณฑ์
2. วิธีการในการเก็บรักษาและระดับของอุณหภูมิที่เหมาะสม
3. ความเสี่ยงต่อมลภาวะ
4. อายุการเก็บที่ต้องการ

**(2) การส่งผ่านพลังงาน** แสงและความร้อน คือ พลังงาน 2 ประเภทหลัก ที่สามารถถ่ายเทผ่านบรรจุภัณฑ์เข้าไปถึงผลิตภัณฑ์ได้ พลังงานทั้ง 2 ประเภทนี้อาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเร่งการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น

1. **แสง** ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดมีความไวต่อแสงซึ่งก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี และส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์อาหารซีดลง สูญเสียวิตามิน และเกิดการแปรสภาพของกรดอะมิโน

2. **ความร้อน** การส่งผ่านของความร้อนเกิดขึ้นได้ในรูปแบบของการแผ่รังสี การนำพาความร้อน และการเหนี่ยวนำความร้อน การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเสี่ยงต่อความร้อนสูงจำต้องควบคุม อุณหภูมิให้คงที่ระหว่างการเก็บรักษา และการจัดจำหน่าย

**(3) จุลินทรีย์** บรรจุภัณฑ์ทำหน้าที่ปกป้องผลิตภัณฑ์ อาหารในทางกายภาพจากจุลินทรีย์ที่มีจำนวนมหาศาลในบรรยากาศและจากตัว ผลิตภัณฑ์เอง ซึ่งวิธีนี้ก่อให้เกิดบรรจุภัณฑ์แบบปลอดเชื้อ (aseptic packing) ขึ้นมา มีผลิตภัณฑ์ 4 ประเภทที่จำต้องหลีกเลี่ยงจากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ คือ

1. ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ เช่น ขนมปัง เครื่องเทศ ซึ่งอาจปนเปื้อนด้วยเชื้อโรค หรือจุลินทรีย์ต่างๆ ในระหว่างการเก็บเกี่ยวและขนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลิตภัณฑ์ประเภทที่หมักด้วยจุลินทรีย์บางประเภท เช่น โยเกิต และไส้กรอก ผลิตภัณฑ์บางประเภทนี้ต้องระวังไม่ให้ถูกปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่มีอยู่ภายนอก หรือแฝงมากับอุปกรณ์เตรียมอาหาร

3. ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของสด เช่น ปลาและผัก ต้องผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดที่ถูกสุขลักษณะเพื่อป้องกันการเกิดอาหารเป็นพิษ

4. ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ฆ่าเชื้อ ตัวผลิตภัณฑ์อาหารจะต้องทนทานต่อการฆ่าเชื้อได้ กล่าวคือ หลังการฆ่าเชื้อคุณภาพของอาหารยังเป็นที่ยอมรับได้

### 2.1.1.2 การปกป้องเชิงรุก

การป้องกันเชิงรุกเป็นการออกแบบให้บรรจุภัณฑ์มีสมบัติตามความต้องการ หรือนำไปใช้ในกระบวนการผลิตที่ต้องความทนทานของบรรจุภัณฑ์เป็นพิเศษ ทั้งนี้เนื่องจากวิวัฒนาการและเทคโนโลยีการผลิตที่สูงขึ้น จึงสามารถผลิตบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานได้ในปัจจุบัน โดยบรรจุภัณฑ์ที่ต้องผลิตสำหรับการป้องกันเชิงรุกนั้น เป็นบรรจุภัณฑ์ที่นำไปใช้ในกระบวนการหรือวิธีการบรรจุ ดังต่อไปนี้

**การฆ่าเชื้อ** หนึ่งในกรรมวิธีการรักษาอาหารที่ใช้ความร้อนฆ่าเชื้ออาหารที่บรรจุอยู่ในกระป๋องและขวดแก้วหรือบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว บรรจุภัณฑ์จะต้องถูกปิดผนึกเพื่อกันอากาศได้อย่างสมบูรณ์ เพื่อป้องกันความร้อนที่จะทำให้รอยผนึกแยกออกจากกันได้ รวมถึงการโป่ง พองหรือระเบิดและบุบด้วย วิวัฒนาการ

**บรรจุภัณฑ์ปลอดเชื้อ** วัสดุ บรรจุภัณฑ์จะต้องผ่านการฆ่าเชื้อโดยตรง ไม่ว่าจะโดยการฆ่าเชื้อภายใต้สารเคมีหรือการฉายรังสี หรือกรรมวิธีอื่น แล้วจึงบรรจุและปิดผนึกในทันทีภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ ภายใต้สภาวะนี้วัสดุบรรจุภัณฑ์และรอยปิดผนึกจะถูกควบคุมให้ปราศจากเชื้ออย่างสมบูรณ์

**บรรจุภัณฑ์ปรับสภาวะบรรยากาศ** ภายใต้การปรับสภาวะบรรยากาศที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด ระบบของบรรจุภัณฑ์จะเป็นตัวกำหนดอายุของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจมีก๊าซหรือความดันในบรรจุภัณฑ์ต่างจากปกติ

**บรรจุภัณฑ์ชนิดพิเศษ** ผลิตภัณฑ์บางประเภทที่มีมูลค่าสูงๆ เช่น กาแฟ ในการบรรจุจะใช้บรรจุภัณฑ์แบบพิเศษที่สามารถปลดปล่อยความดันภายในที่เกิดขึ้นจากเม็ดกาแฟเพื่อรักษาสภาพของการบรรจุไม่ให้โป่งพอง แต่ราคาของบรรจุภัณฑ์ประเภทนี้ก็จะสูงตามคุณสมบัติในการใช้งานด้วย

### 2.1.2 การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับประเภทอาหาร

การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับประเภทอาหาร เป็นปัจจัยอันดับแรกที่ต้องพิจารณา คือ คุณลักษณะของตัวผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เป็นอาหารสดหรือเป็นอาหารที่ได้รับการแปรรูปแล้ว อันดับต่อมาคือ รูปแบบของบรรจุภัณฑ์ที่จะหาได้ด้วยต้นทุนที่เหมาะสมกับสภาวะตลาด พร้อมทั้งสามารถรักษาคุณภาพของอาหารได้ตามอายุการเก็บรักษา (Shelf Life) ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการ ปัจจัยภายนอกที่จะต้องคำนึงถึง คือ เทคนิคในการบรรจุ สภาวะการขนส่ง และการจัดเก็บ ปัจจัยที่สำคัญประการสุดท้าย คือ ช่องทางการจัดจำหน่ายหรือวิธีการ เช่น ขายตามห้างสรรพสินค้าหรือขายตามตลาดสด เป็นต้น (ปุ่น และสมพร, 2541)

## 2.2 งานวิจัยและวิธีการทดสอบที่เกี่ยวข้อง

การทดสอบวัสดุและบรรจุภัณฑ์ใดๆ จะต้องรู้ถึงจุดมุ่งหมายในการทดสอบ เนื่องจากการทดสอบมีหลายวิธี แต่ละวิธีกำหนดมาตรฐานและวิธีการทดสอบที่แตกต่างกัน แม้ว่าจะใช้เครื่องมือทดสอบอย่างเดียวกัน กล่าวโดยทั่วไปแล้วการทดสอบอาจมีจุดมุ่งหมายดังต่อไปนี้

1. เพื่อเปรียบเทียบวัสดุต่างชนิดกันโดยการทำการทดสอบพร้อมๆ กัน
2. เพื่อควบคุมคุณภาพของวัสดุที่ใช้จริงกับวัสดุที่เคยผ่านการทดสอบมาแล้วโดยการเปรียบเทียบผลที่เกิดจากการทดสอบต่างชนิดและต่างวาระกัน
3. เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติการใช้งานของวัสดุหรือตัวบรรจุภัณฑ์ เช่น การทดสอบความสามารถทนแรงกดในแนวดิ่ง เพื่อจำลองการรับน้ำหนักขณะเรียงซ้อนของสินค้า เป็นต้น

วัตถุประสงค์ในการทดสอบในข้อที่ 3 เป็นการทดสอบที่สำคัญที่สุด เนื่องจากเป็นการทดสอบเพื่อจำลองการใช้งานของวัสดุและบรรจุภัณฑ์ ส่วนการทดสอบตามจุดมุ่งหมายที่ 1 และ 2 อาจรวมสรุปได้ว่าเป็นการทดสอบเพื่อบ่งบอกคุณลักษณะของวัสดุ (Identification Test)

### 2.2.1 มาตรฐานการทดสอบ

จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบและวิธี การทดสอบจะขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ เช่น มาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย หรือที่เรียกย่อว่า สมอ. มาตรฐานในการทดสอบบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ที่ร่างขึ้นมาโดย นอกจากมาตรฐานของสมอ. แล้ว มาตรฐานการทดสอบยังอาจแบ่งได้หลายระดับ ดังต่อไปนี้ (ปุ่น และสมพร, 2541)

1. มาตรฐานของแต่ละองค์กร บริษัทหรือหน่วยงานที่มีการจัดซื้อจัดหาวัสดุบรรจุภัณฑ์และระบบบรรจุภัณฑ์ ต่างๆ จะร่างมาตรฐานการทดสอบของตัวเองออกมาใช้เพื่อให้ได้คุณภาพของบรรจุภัณฑ์ตาม แต่ความเหมาะสมที่จะใช้งาน มาตรฐานของแต่ละองค์กรเหล่านี้จะมีความต้องการหรือรายละเอียดทางการทดสอบ เฉพาะเจาะจงมากที่สุด

2. มาตรฐานของกลุ่มอาชีพเดียวกัน มาตรฐานการทดสอบใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นมักจะเกิดจากองค์กรเหล่านี้ เนื่องจากมีความพร้อมในห้องปฏิบัติการและนักวิจัย กลุ่มอาชีพเหล่านี้จะมีการจัดตั้งในแต่ละประเทศและมีการถ่ายทอดแลกเปลี่ยน ความรู้ทาวิชาการซึ่งกันและกัน กลุ่มที่มีชื่อเสียง ได้แก่

- FEFCO, Federation Europeene des Fabricants de Carton Ondule Test Metohds
- TAPPI หรือ The Technical Association of Pulp and Paper Industry, Atlanta.
- Uniform Freight Classification Committee, Atlanta.
- The American Society of Mechanical Engineers, New York.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- INCPEN, Industry Council for Packaging in the Environment, London.
- USDA, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin.
- BPBMA, British Paper of Board Manufacturers Association.

องค์กรต่างๆ เหล่านี้ส่วนมากจะเป็นองค์กรเอกชนที่ไม่ได้แสวงหากำไร แต่เป็นการเผยแพร่ความรู้ให้กับกลุ่มอาชีพเดียวกัน เพื่อยกระดับมาตรฐานในการประกอบวิชาชีพ

3. มาตรฐานขององค์กรระดับประเทศและระหว่างประเทศ องค์กรสมอ. ของไทยเป็นองค์กรหนึ่งที่จัดอยู่ในประเภทนี้ ซึ่งประสานงานโดยตรงกับ ISO หรือ International Standard Organization สำหรับวงการบรรจุภัณฑ์มีองค์กรที่เรียกว่า ISTA (International Safe Transit Association) ที่มีเครือข่ายทั่วโลก โดยเน้นในเรื่องการทำการทดสอบก่อนทำการขนส่งเพื่อลดความเสียหายที่อาจเกิด ขึ้น ในวงการอาหารมาตรฐานระหว่างประเทศที่ได้รับการอ้างถึงมากที่สุด คือ Codex ซึ่งมีชื่อเต็มว่า Codex Alimentarius Commission ซึ่งเป็นองค์กรร่วมระหว่าง Food and Agriculture of the United Nations และ World Health Organization ส่วนองค์กรแต่ละประเทศที่มีร่างมาตรฐานเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์ ได้แก่

- ASTM, American Society for Tasting and Materials
- BS, British Standard.
- JIS, Japan Institute of Standard.
- Normes Francaise (มาตรฐานฝรั่งเศส)
- Deutsche Industrie Normen (มาตรฐานเยอรมันที่รู้จักกันในนาม DIN)

การเลือกใช้มาตรฐานใดเป็นแนวทางในการ ทดสอบต้องขึ้นอยู่กับการใช้งาน ตัวอย่างเช่น มีกาส่งสินค้าไปประเทศใด ย่อมจะใช้มาตรฐานการทดสอบของประเทศนั้น หรืออาจจะใช้มาตรฐานการทดสอบในจุดมุ่งหมาย 2 และ 3 เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดมาตรฐานการทดสอบของระดับ 1 สำหรับเพื่อใช้ในองค์กรของตัวเอง

### 2.2.2 การควบคุมสภาวะในการทดสอบ

การควบคุมสภาวะก่อนทำการทดสอบและ ระหว่างการทดสอบ นับเป็นสิ่งสำคัญมากในการทดสอบบรรจุภัณฑ์ เพื่อเป็นการแน่ใจว่าวัสดุที่ใช้ในการทดสอบจะได้คุณภาพตามสภาวะหนึ่งๆ ตามที่กำหนดไว้ สาเหตุเพราะวัสดุบรรจุภัณฑ์หลายประเภท โดยเฉพาะกระดาษสามารถดูดซึมหรือคายความชื้นสู่อากาศรอบตัวได้ ในกรณีที่เป็นการทดสอบขั้นวิกฤติ อาจจำเป็นต้องตรวจสอบดูว่าความชื้นจริงๆ ในวัสดุบรรจุภัณฑ์มีปริมาณเท่าไร เพื่อให้มั่นใจว่าวัสดุที่ใช้ทดสอบนั้นอยู่ในสภาวะเดียวกับที่ต้องการหรือ ตามข้อกำหนด

การควบคุมสภาวะการทดสอบในแต่ละประเทศ อาจจะแตกต่างกัน แล้วแต่สถานที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของประเทศนั้น ตัวอย่างเช่น ประเทศอาร์เจนตินา ออสเตรเลีย เบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เยี่ยม ฝรั่งเศส เยอรมัน เนเธอร์แลนด์และอังกฤษ จะใช้สภาวะการทดสอบควบคุมที่อุณหภูมิ 23°c และความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 65 ส่วนในประเทศสหรัฐอเมริกาใช้สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 50 ที่อุณหภูมิเดียวกัน 23 °c ในขณะที่ประเทศไทย ทางสมอ. ได้กำหนดไว้ที่อุณหภูมิ 27°c และความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 75

การกำหนดสภาวะทดสอบ ยังต้องคำนึงถึงสภาพความเป็นจริงที่บรรจุภัณฑ์ต้องประสบ ตัวอย่าง เช่น ถ้าบรรจุภัณฑ์จะส่งออกไปยังประเทศสหรัฐอเมริกา ก็ควรใช้มาตรฐานของสภาวะการทดสอบของประเทศอเมริกาด้วย ห้องที่ใช้ในการทดสอบและเก็บวัสดุบรรจุภัณฑ์จึงต้องควบคุมอุณหภูมิและความ ชื้นด้วยระบบปรับอากาศตามสภาวะควบคุมมาตรฐานที่ต้องการ

เมื่อมีการควบคุมสภาวะเป็นอย่างน้อย 24 ชั่วโมงแล้วจึงเริ่มทำการทดสอบ การทดสอบที่ดีจะต้องมีความแม่นยำ (Precise) และไม่แปรปรวนจากการทดสอบแต่ละครั้ง ความแม่นยำนี้มีความสัมพันธ์กับปัจจัยต่อไปนี้

1. ความสลับซับซ้อนของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ รวมทั้งการปรับเครื่อง (Calibration)
2. บุคลากรที่ใช้ในการทดสอบมีขีดความสามารถแค่ไหน รวมทั้งผู้บังคับบัญชาที่ทำการตัดสินใจและประเมินการทดสอบ
3. จำนวนครั้งในการทดสอบที่ไม่ทำให้เสียค่าใช้จ่ายมากเกินไปและได้ผลที่ใกล้ เคียงความเป็นจริง ในกรณีนี้อาจจะต้องเปรียบเทียบกับมาตรฐานต่างๆ ที่มีอยู่ แล้วเลือกมาตรฐานที่เหมาะสมสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายในการทดสอบ

ขั้นตอนสุดท้ายของการทดสอบ คือ การนำเอาผลจากการทดสอบไปใช้งาน ซึ่งจะแปรตามประเภทและจุดมุ่งหมายของการทดสอบที่ได้ตั้งไว้ (ปุ่น และสมพร, 2541)

### 2.2.3 ประเภทของการทดสอบ

การทดสอบบรรจุภัณฑ์ สามารถแบ่งประเภทของการทดสอบอย่างง่ายๆ ได้ 2 ประเภท คือ การทดสอบเพื่อการบ่งบอก (Identification Test) และการทดสอบเพื่อประเมินการใช้งาน (Performance Test)

#### 2.2.3.1 การทดสอบเพื่อการบ่งบอก

การทดสอบประเภทนี้จะเป็นการทดสอบวัสดุ ที่ใช้ผลิตตัวบรรจุภัณฑ์เพื่อหาคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนั้น เช่น กระดาษมักใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์ในการซื้อขายการทดสอบจึงวัดค่าน้ำหนักมาตรฐาน ในขณะที่พลาสติกจะใช้ความหนาแน่นเป็นเกณฑ์ในการแยกประเภทของพลาสติก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบเพื่อการบ่งบอกคุณลักษณะของ วัสดุบางประเภท ยังสัมพันธ์กับการใช้งานของบรรจุภัณฑ์ เช่น การวัดอัตราการซึมผ่านของน้ำและก๊าซ จะมีความสัมพันธ์กับการคาดคะเนอายุของผลิตภัณฑ์อาหาร หรือการทดสอบความแข็งแรงตามขอบของกระดาษลูกฟูกจะสัมพันธ์กับความสามารถรับ แรงกดในแนวดิ่งของกล่องลูกฟูก เป็นต้น

ในกรณีที่มีการทดสอบเพื่อการบ่งบอกของ วัสดุจากหลายแหล่งพร้อมกัน เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุแต่ละแหล่งนั้น จะมีการทดสอบประเภทนี้ค่อนข้างจะบ่อย วิธีการทดสอบจะทำโดยการแยกวัสดุที่กำลังใช้อยู่เป็นวัสดุหลัก (Control) และวัสดุอื่นที่ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบเป็นวัสดุแปร (Variables) ในการทดสอบแต่ละครั้งควรทดสอบวัสดุหลักสลับกับวัสดุแปร เพื่อลดความแปรปรวนของอุปกรณ์ทดสอบหลังจากที่ทดสอบเป็นเวลานาน เช่น การทดสอบครั้งแรกจะเริ่มด้วยวัสดุหลักแล้วตามด้วยวัสดุแปร การทดสอบครั้งที่สองจะสลับกันโดยเริ่มด้วยวัสดุแปรแล้วค่อยตามด้วยวัสดุหลัก เป็นต้น

### 2.2.3.2 การทดสอบเพื่อประเมินการใช้งาน

บรรจุภัณฑ์ที่ออกแบบมาใช้งานจะต้องทำ หน้าที่ต่างๆ กัน ตัวอย่างเช่น บรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกมักจะใช้ในการป้องกันอันตรายทางกายภาพระหว่างการเก็บ ในคลังสินค้าหรือการขนส่ง การทดสอบเพื่อการใช้งานในการเก็บคงคลังจะเป็นการทดสอบความสามารถรับแรงกดใน แนวดิ่ง (Compression Strength) เนื่องจากในคลังสินค้ากล่องจะถูกเรียงซ้อนเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นจะกดทับลงมายังกล่องที่อยู่ข้างล่าง ดังนั้นการทดสอบความสามารถรับแรงกดในแนวดิ่งจึงเป็นการจำลอง (Simulation) การกดทับในคลังสินค้าของการเรียงซ้อนนั่นเอง

นอกจากการแยกประเภทการทดสอบเป็นการ บ่งบอกและการประเมินใช้งานแล้วยังสามารถแยกตามความคล้ายคลึงของลักษณะทดสอบ จากมาตรฐานขององค์กรต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว โดยจัดแบ่งประเภทของการทดสอบที่คล้ายๆ กันเป็น 3 กลุ่มได้ดังนี้

**กลุ่มที่ 1** การทดสอบคุณสมบัติบรรจุภัณฑ์ด้านการป้องกันรักษาคุณภาพและการบรรจุ เช่น การซึมผ่านของไอน้ำหรือก๊าซ และความเข้ากันได้ (Compatibility) ของบรรจุภัณฑ์กับผลิตภัณฑ์อาหารในแง่ของความแข็งแรง ได้แก่ ความต้านทานต่อการทิ่มทะลุ ความต้านทานต่อแรงดึง เป็นต้น

**กลุ่มที่ 2** การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ ความหนาที่แปรปรวน ความแข็งแรงของรอยปิดผนึก และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานซึ่งมีผลต่อการเดินวัสดุบรรจุภัณฑ์บนเครื่องจักร เป็นต้น

**กลุ่มที่** 3 การทดสอบคุณสมบัติทางด้านความสวยงานของบรรจุภัณฑ์สำเร็จรูป เช่น ความแวววาวเป็นประกาย (Haze and Gloss) ความสามารถต้านทานต่อการเสียดสีและความสามารถในการจับฝุ่นจากอากาศ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.4 การทดสอบวัสดุ

#### 2.2.4.1 การทดสอบกระดาษ

**(1) น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และความหนาแน่น**

วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่เป็นแผ่นๆ มักจะซื้อขายกันด้วยน้ำหนักมาตรฐานหรือ Basis Weight ตัวอย่างเช่น กระดาษที่เรียกว่า 100 กรัม ความจริงเป็นการเรียกจาก น้ำหนักมาตรฐานเป็นกรัมต่อตารางเมตร แต่เรียกสั้นๆ ว่า กรัม บางครั้งอาจจะได้ยินคำว่า gsm ซึ่งย่อมาจาก "gram per square-meter" หรือกรัมต่อตารางเมตรนั่นเอง

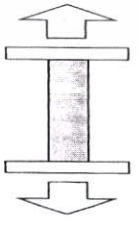
ส่วนความหนานั้นเป็นคุณสมบัติที่สอง ที่มักจะกล่าวถึง เนื่องจากความหนามีผลโดยตรงต่อความเหนียวหรือความสามารถในการงอพับของวัสดุ บรรจุภัณฑ์ และยังสัมพันธ์กับความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำหรือก๊าซของวัสดุบรรจุ ภัณฑ์นั้นๆ ศัพท์คำว่า **ความหนา** ในภาษาอังกฤษ นอกจาก Thickness แล้ว บางครั้งเรียกว่า Caliper

สำหรับกระดาษแข็ง บางทีมีการเรียกความหนาเป็นพอยต์ (Points) ซึ่งหมายถึงเศษหนึ่งส่วนพันของหนึ่งนิ้ว ดังนั้นกระดาษแข็งที่หนา 0.025 นิ้ว ก็คือ 25 พอยต์ ความหนาแน่นจะได้จากการคำนวณของน้ำหนักและความหนา คือ มีค่าเป็นน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรเขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักมาตรฐาน}}{\text{ความหนา} \times \text{พื้นที่ผิว}}$$

**(2) ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)**

การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงเป็นการทดสอบศักยภาพความทนทานต่อแรงดึงของวัสดุ โดยวัสดุบรรจุภัณฑ์จะถูกแรงดึงอย่างช้าๆ จนกระทั่งขาดออกจากกัน แล้ววัดค่าแรงดึงสูงสุดขณะที่ขาดและยืดตัวของวัสดุสุดท้ายขณะที่ขาด การทดสอบนี้นับเป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกลอย่างง่ายของวัสดุที่เป็นแผ่นหรือ ฟิล์ม การทดสอบมักจะทำใน 2 ทิศทาง คือ ในแนวทิศที่วัสดุผลิตจากเครื่องจักรแปรรูป เรียกว่า ทิศในแนวของเครื่องจักร (Machine Direction หรือ MD) และอีกทิศหนึ่ง คือแนวที่ตั้งฉากกับ MD (Cross-Machine Direction หรือ CD)



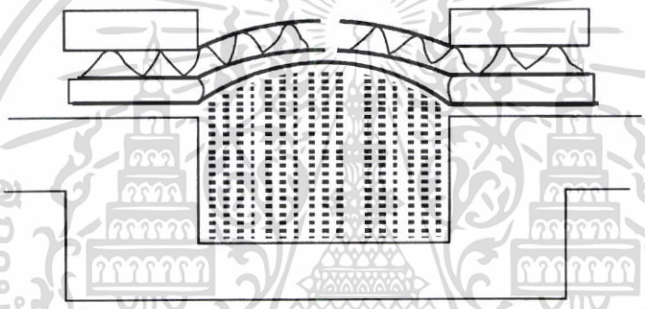
**ภาพที่ 2.1** การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**(3) ความต้านทานต่อแรงดันทะลุ (Bursting Strength)**

การทดสอบแรงดันทะลุเป็นการทดสอบขั้น พื้นฐานของอุตสาหกรรมกระดาษ โดยการเพิ่มแรงดันต่อกระดาษที่ถูกยึดไว้ให้แน่น เพื่อทดสอบว่ากระดาษจะทนแรงดันได้มากน้อยแค่ไหน การทดสอบนี้อาจเรียกตามชื่อของผู้ที่ค้นพบว่า "Mullen Test" (มูลเลนเทสต์)

การทดสอบนี้เป็นวิธีง่ายๆ ที่จะตรวจสอบความแข็งแรงของวัสดุบรรจุภัณฑ์ซึ่งใช้มากกับกระดาษลูกฟูกและอาจ จะใช้กับพลาสติกบางประเภทที่ยืดตัวได้น้อย สิ่งที่ควรตระหนักถึงคือ การทดสอบนี้มิได้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ที่นำ วัสดุที่ทดสอบนี้ไปขึ้นรูป แต่เป็นการศึกษาความแข็งแรงขอวัสดุเท่านั้น กล่าวคือ กระดาษลูกฟูก โครงสร้าง A ที่มีค่า Burst Test สูงกว่าโครงสร้าง B เมื่อขึ้นรูปเป็นกล่อง กล่องที่ทำจากกระดาษลูกฟูกโครงสร้าง A ไม่จำเป็นเสมอไปว่าจะแข็งแรงกว่ากล่องที่ทำจากกระดาษลูกฟูก B อย่างไรก็ตามการทดสอบนี้ยังนิยมใช้เนื่องจากทดสอบได้ง่ายและเร็ว



**ภาพที่ 2.2** การทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุ

**(4) ความต้านทานการฉีกขาด (Tear Strength)**

การทดสอบแบบนี้คล้ายคลึงกับการทดสอบ ความต้านทานต่อแรงดันทะลุ คือ เป็นการทดสอบขั้นพื้นฐานเพื่อศึกษาความแข็งแรงของวัสดุ ส่วนมากใช้ทดสอบกับกระดาษ เนื่องจากเป็นการทดสอบที่ง่ายและอุปกรณ์ไม่แพงมากนัก

การทดสอบความต้านทานการฉีกขาดมีอยู่ หลายวิธี วิธีที่มีการใช้กันมาก คือ การใช้เครื่องมือที่มีชื่อว่า Elmendorf เป็นการวัดพลังงานที่ใช้ในการฉีกกระดาษออกจากกัน ค่าพลังงานที่วัดได้จากสเกลบนเครื่องจะแปลงมาเป็นแรงที่ใช้ในการฉีกกระดาษ

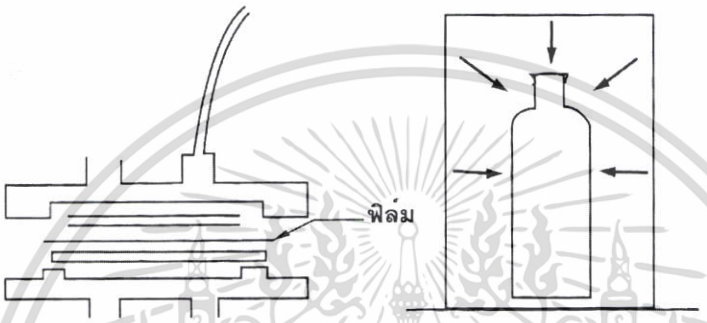
**(5) อัตราการซึมผ่านของก๊าซ (Gas Transmission Rate - GTR)**

อัตราการซึมผ่านของวัสดุบรรจุภัณฑ์ ประเภทแผ่นและฟิล์ม โดยเฉพาะพลาสติกจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัวซึ่งสามารถทดสอบอย่างง่ายๆ โดยนำกระดาษมาปิดที่ปากแล้วเป่าลมผ่านกระดาษไปยังมืออีกข้างที่ปิดไว้อีก ด้านหนึ่งของกระดาษที่มือจะสามารถรับความรู้สึกของลมร้อนที่ผ่านออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกระดาษมาได้ ซึ่งแสดงว่ากระดาษมีความต้านทานความสามารถหรือปล่อยให้อากาศซึมผ่านได้ คุณสมบัติเช่นนี้ก็มีในฟิล์มพลาสติก เพียงแต่ว่าการซึมผ่านของฟิล์มพลาสติกนั้นเกิดขึ้นช้ากว่า

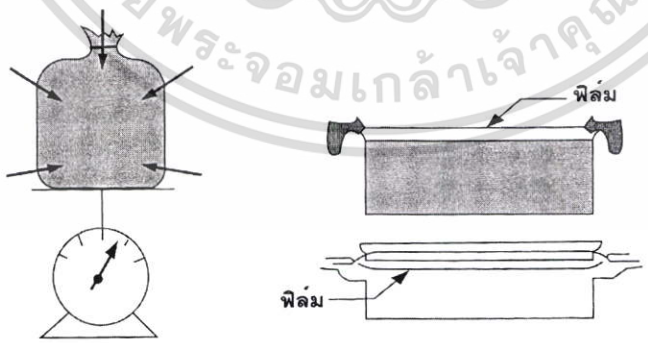
การทดสอบอัตราการซึมผ่านของก๊าซเป็น การวัดปริมาตรของก๊าซชนิดต่างๆ ที่สามารถซึมผ่านวัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทใดประเภทหนึ่ง วิธีการทดสอบทำโดยการตัดวัสดุบรรจุภัณฑ์มาประกบตรงกลางระหว่างเซลล์ 2 ข้าง เซลล์แต่ละข้างจะมีความดันของก๊าซแตกต่างกัน ก๊าซของด้านที่มีความดันสูงจะสามารถดันก๊าซผ่านฟิล์มไปยังอีกด้านหนึ่ง ปริมาตรของก๊าซที่วัดได้จากการซึมผ่านจะเป็นค่าคงที่ของวัสดุบรรจุภัณฑ์ ณ อุณหภูมิหนึ่งและพื้นที่ผิวที่กำหนดไว้มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ ซีซี/ตารางเมตร/วัน




**ภาพที่ 2.3** การทดสอบหาอัตราซึมผ่านของก๊าซ

**(6) อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate - WVTR)**

การทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเป็น การทดสอบที่มีหลักการคล้ายคลึงกับการซึมผ่านของก๊าซแต่แตกต่างกัน คือ แทนที่จะวัดเป็นปริมาตรจะวัดเป็นน้ำหนักแทน นอกจากนี้การวัดการซึมผ่านของไอน้ำจะวัดในสถานะที่สมดุลที่อุณหภูมิ 38°c ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90% โดยมีหน่วยเป็น กรัม/ตารางเมตร/วัน




**ภาพที่ 2.4** การทดสอบหาอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.4.2 การทดสอบกระดาษแข็งและกระดาษลูกฟูก

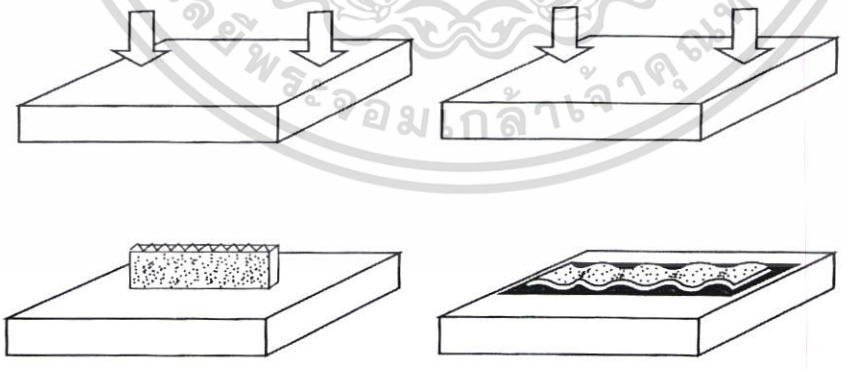
การทดสอบแรกของบรรจุภัณฑ์ กระดาษ คือ การทดสอบหาความชื้นของกระดาษตามด้วยการหาน้ำหนักมาตรฐานและความหนา ของกระดาษ อันดับต่อไปคือ การหาเกรนหรือแนวเยื่อเส้นใยของกระดาษว่าอยู่ในแนวที่ต้องการหรือไม่เมื่อ ขึ้นรูปเป็นกล่อง แล้วจึงค่อยวัดขนาดมิติของกล่อง ซึ่งอาจวัดมิติเมื่อขึ้นรูปเสร็จหรือมีการแกะกล่องออกและแผ่เป็นแผ่นแนวราบ ในแง่ของการผลิตตัวกล่องกระดาษแข็งจะต้องถูกตรวจสอบความลึกและความกว้างของ การทับเส้นเพื่อการขึ้นรูปกล่องได้ง่ายหรือยาก

สำหรับกล่องกระดาษลูกฟูก นอกเหนือจากน้ำหนักมาตรฐานและความหนาของกระดาษที่ใช้ผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก การทดสอบที่นิยมมากคือ การทดสอบแรงดันทะลุซึ่งเป็นการทดสอบความแข็งแรงแบบพื้นฐาน การทดสอบที่ให้ผลแน่นอนกว่า คือ การทดสอบความแข็งแรงตามขอบของกระดาษลูกฟูก (Edge Crush Test หรือ ECT) และความสามารถในการรับแรงกดในแนวราบของลอน (Flat Crush Test) สำหรับ การทดสอบความแข็งแรงตามขอบนี้สามารถใช้ในการประเมินความแข็งแรงของกล่อง ลูกฟูกในแง่ของความสามารถรับแรงกดในแนวดิ่ง (Compression Strength) โดยใช้สูตรที่คิดค้นโดย McKee มีดังนี้

$$P = 1.82ECT \times \sqrt{H} \times \sqrt{Z}$$

โดยที่ P = ค่าประเมินของความต้านทานรับแรงกดในแนวดิ่ง (kp)
ECT = ค่าความแข็งแรงตามขอบของกระดาษลูกฟูก (kp/cm)
H = ความหนาของกระดาษลูกฟูก (มม.)
Z = ความยาวของเส้นรอบรูปของกล่องลูกฟูกด้านที่รับแรงกด

หมายเหตุ ค่า kp = 10 นิวตัน



**ภาพที่ 2.5 การทดสอบความแข็งแรงตามขอบและในแนวราบของกระดาษลูกฟูก**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.4.3 การตรวจสอบคุณสมบัติการใช้งานของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว** (Herbert และคณะ, 1987)

รูปแบบของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดตามลักษณะการผลิตและรูปทรง คือ

1. ชนิดแบน (Flat pouch) หรือเรียกอีกชื่อว่า Pillow pouch เพราะมีลักษณะคล้ายหมอน ผลิตโดยใช้วิธีนำแผ่นฟิล์ม 2 แผ่นมาประกบเข้าด้วยกันแล้วซีลให้สนิท 3 ด้าน เปิดไว้ 1 ด้านเพื่อบรรจุอาหาร จึงเรียกตามลักษณะการผลิตว่า ซองชนิดซีล 3 ด้าน (3-side sealed pouch)

2. ชนิดตั้งได้ (Standing pouch) ผลิตโดยใช้แผ่นฟิล์มแผ่นเล็กๆ ปะบริเวณก้นซอง ทำให้สามารถตั้งได้ โดยมากนิยมใช้ผลิตเพาช์ขนาดเล็ก

3. ชนิดซีลตรงกลาง (Center sealed pouch) เป็นการนำแผ่นฟิล์มแผ่นเดียวมาม้วนตัวแล้วซีลแนวยาว ก่อนจะนำไป ซีลบริเวณก้นซอง 1 ด้าน โดยจัดให้ซีลแนวยาวที่ทำไว้ก่อนนั้นอยู่ตรงกลางพอดี จึงเรียกว่า ชนิดซีลตรงกลาง นิยมใช้สำหรับของแห้ง เช่น บะหมี่สำเร็จรูป กาแฟผง ฯลฯ (จรูญพันธ์, 2546)

โดยทั่วไปสามารถทำการตรวจสอบคุณสมบัติการใช้งานของถุง 4 ประการ

1. การตรวจสอบด้วยตา สังเกตฉลาก ขอบการซีลทุกด้าน วัดความกว้างการซีล $\leq$ 3 mm. ทำทุก 30 นาที และบันทึกผล

2. การทดสอบตรวจค่าความคงทนต่อแรงดันที่ทำให้ถุงแตก (Static Load Burst) วางซองลงระหว่าง Plate แล้วทำการกดทับ โดยไม่ควรใช้กับผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง ไม่ควรนำซองที่ทดสอบมาใช้อีก

3. การทดสอบการทนต่อแรงดันภายใน (Internal Burst Test) ควรทำก่อนกระบวนการฆ่าเชื้อ เพราะจะทำให้ค่าการซีลลดลง ทดสอบทั้ง 4 ด้าน โดยสอดเข็มเข้าไปและให้อากาศ ทดสอบทั้ง 3 ด้าน โดยตัดปลายด้านหนึ่งและปล่อยอากาศเข้าซอง

4. การทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Test) เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 23 $^{0}$C ที่ 50 %RH เป็นเวลา 40 ชั่วโมง ระบุว่าใช้วัสดุอะไรในการทดลอง ความกว้างการซีล อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ตำหนิต่างๆ แรงสูงสุดที่ทำให้ซีลขาด

นอกจากนี้ มยุรี (2534) ได้มีการศึกษาข้อกำหนดรายละเอียดคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว และได้มีการนำออกมาเป็นมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** ข้อกำหนดของคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว (มยุรี, 2534)

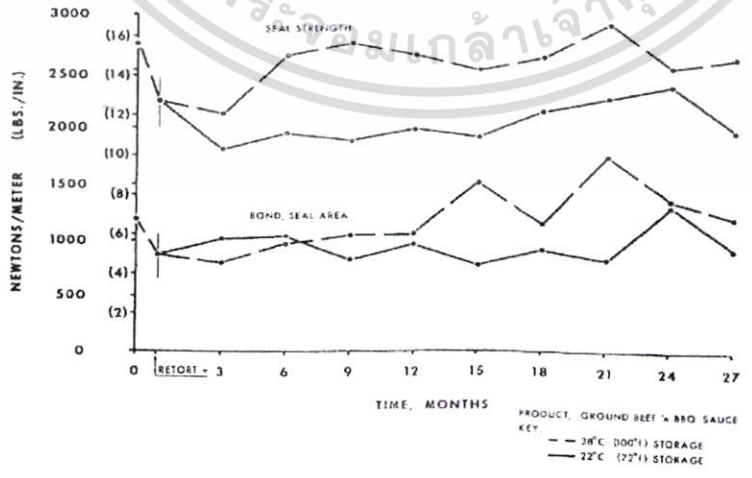
| คุณสมบัติ | เกณฑ์กำหนด | |
|---|---|---|
| | S.I. | British |
| ความคงทนระหว่างชั้นที่เชื่อมยึด (laminate strength) | 400-750 g/15 mm width | 0.8-2.8 psi |
| ความแข็งแรงของรอยผนึก (seal strength) | 4-5 kg/15 mm width | 15-20 psi at 77 $^{0}$F |
| อุณหภูมิที่ใช้ในการเชื่อมผนึก (heat sealing range) | 150-230 $^{0}$C | 320-500 $^{0}$F |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| ความคงทนต่อแรงดันทะลุ (burst strength) | 3.5-7.0 kg/cm$^2$ | 28-35 psi, 30 seconds |
| การต้านแรงฉีกขาด (tear resistance) | 50-90 g/mil | - |
| ความคงทนต่อการยืดตัว (elongation) | 80-110% | - |
| ความคงทนต่อแรงดึง (tensile strength) | 5-11 kg/15 mm width | - |
| thickness tolerance | — + 0.5 g/100 sq in | — + 0.0001/in (10%) |
| อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ($O_2$ transmission rate) | 0-118 cc/sq m/day/atm at 27 $^0$C, 65% RH | 0-0.9 cc/sq in/24 hr/atm, — at + 72 $^0$F |
| อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapour transmission rate) | 0-3 g/sq m/day, at 38 $^0$C 90% RH | 0-0.5/100 sq in/24 hr,at 100 $^0$F 100% RH |
| อุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ | 120-135 $^0$C | 240-300 $^0$F |

นอกจากนี้ผลการทดลองของ Lampi และคณะ, (1976) ได้ทำการทดสอบการทนต่อแรงดันภายใน (Internal Burst Testing) โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้ โดยทำการสอดเข็มลงไปภายในซองบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว แล้วให้อากาศเข้าไปภายในซอง จนกว่าซองจะแตก แล้วทำการอ่านค่าและบันทึกผล

Lampi และคณะ, (1976) ผลของความแข็งแรงของรอยผนึก (Seal Strength) กับระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ดังแสดงดัง รูปที่ 2.6



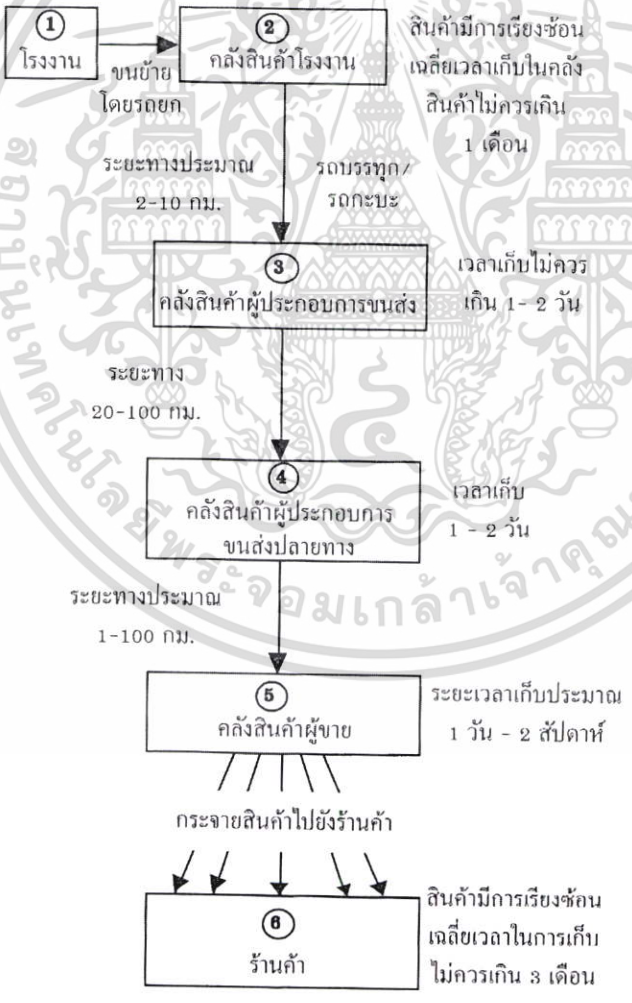

**รูปที่ 2.6** ความแข็งแรงของรอยผนึกกับเวลาเก็บรักษา (Lampi และคณะ, 1976)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงให้เห็นว่า หลังจากถุงได้รับความร้อนในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อค่าความแข็งแรงของรอยผนึก (Seal Strength) ลดลงอย่างมากกล่าวคือ ก่อนการนึ่งฆ่าเชื้อความแข็งแรงของรอยผนึกมีค่าประมาณ 2,750 Newton ต่อความยาวแนวผนึก 1 เมตร หรือประมาณ 16 ปอนด์แรงต่อความยาวของแนวผนึก 1 นิ้ว หลังจากเก็บถุงอาหารไว้นาน 27 เดือน ที่อุณหภูมิต่างกันคือที่ 22 $^{0}$C และ 38 $^{0}$C พบว่าหลังจากเวลาผ่านไป 6 เดือน การเก็บที่อุณหภูมิสูง(38 $^{0}$C) มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกเพิ่มขึ้นจนเกือบเท่าความแข็งแรงของรอยผนึกถุงก่อนนำเข้านึ่งฆ่าเชื้อ ในขณะที่การเก็บที่อุณหภูมิต่ำ (22 $^{0}$C) ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกลดลงต่ำกว่าค่าความแข็งแรงของรอยผนึกที่นำออกจากหม้อนึ่งใหม่ๆ และการลดลงเริ่มคงที่ หลังเวลาผ่านไป 3 เดือน

### 2.2.5 การทดสอบบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง

การทดสอบบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งต้อง ใช้อุปกรณ์ในการทดสอบที่มีราคาสูงกว่าเครื่องมือทดสอบต่างๆ ตามที่กล่าวมาแล้ว การทดสอบที่มีความสำคัญมากได้แก่ การทดสอบการสั่นกระแทกและความต้านทานแรงกดในแนวดิ่ง เพื่อเป็นการจำลองการขนย้ายผลิตภัณฑ์ดังแสดงในรูป




**ภาพที่ 2.7** ตัวอย่างช่องทางการขนส่งสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**(1) การทดสอบการสั่นกระแทก**

การทดสอบจะทำการปล่อยบรรจุภัณฑ์พร้อม สินค้าให้ตกกระแทกลงสู่พื้น (Drop Test) สิ่งสำคัญในการทดสอบคือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบนี้จะต้องสามารถควบคุมบริเวณที่ตกกระแทกของบรรจุ ภัณฑ์ได้ โดยในขณะที่ปล่อยตกลงมาจะไม่มีการหมุนตัวเพื่อสามารถควบคุมบริเวณที่ตกกระแทกได้ ก็จะสามารถศึกษาความแข็งแรงในทุกๆ ด้านของบรรจุภัณฑ์ วิธีการทดสอบการตกกระแทกจะสามารถแยกเป็นการปล่อยให้ตกกระแทก ณ ความสูงคงที่ ด้วยการกำหนดจำนวนครั้งที่ปล่อยให้ตก ณ ความสูงนั้นๆ หรืออาจจะทดสอบโดยการเพิ่มความสูงมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งบรรจุภัณฑ์ไม่สามารถปกป้องสินค้าต่อไปได้ วิธีการนี้เหมาะสำหรับใช้ในการเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์ขนส่งต่างชนิดกันว่า สามารถป้องกันสินค้าได้ดีกว่ากันมากน้อยแค่ไหน การทดสอบประเมินความสามารถของบรรจุภัณฑ์ที่จะป้องกันผลิตภัณฑ์อาหารจากการตกกระแทกใช้เกณฑ์การทดสอบดังตารางที่ 2.2 อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมนิยมใช้ความสูงจากชั้นวางสินค้าชนิดนั้นๆ เป็นเกณฑ์ในการยอมรับบรรจุภัณฑ์ ซึ่งในบางกรณีอาจสูงได้ถึง 2-3 เมตร

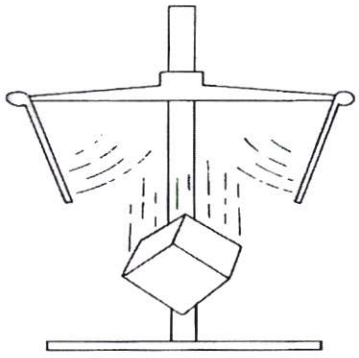
ตารางที่ 2.2 ระดับความสูงที่แนะนำในการทดสอบการตกกระแทก

| น้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ (กก.) | ความสูงที่ปล่อยตก (มม.) |
|---|---|
| น้อยกว่า 10 | 800 |
| 10 ถึง 20 | 600 |
| 20 ถึง 30 | 500 |
| 30 ถึง 40 | 400 |
| 40 ถึง 50 | 300 |
| 50 ถึง 100 | 200 |
| มากกว่า 100 | 100 |

การสั่นสะเทือนที่เกิดระหว่างการขนส่ง ค่อนข้างสลับซับซ้อนและไม่แน่นอน (Random) ด้วยเหตุนี้การออกแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อป้องกันอันตรายจากการสั่นสะเทือนจึงจำ ต้องทราบถึงค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequencies) ของสินค้าและชิ้นส่วนของสินค้าบริเวณที่แตกหักง่ายที่สุดละหาวิธีการป้องกัน หรือหน่วงให้สินค้าพ้นจากความถี่อันตรายดังกล่าว

องค์ประกอบที่จะทำให้สินค้าแตกหักคือ ระยะขจัดของการสั่นสะเทือนหรือค่า Amplitude ของความเร่งซึ่งสูงพอที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อชิ้นส่วนของสินค้า พร้อมทั้งช่วงความถี่ที่ก่อให้เกิดความเร่งนี้ โดยปกติในความถี่นี้จะพิจารณาเฉพาะช่วง 1-200 Hz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ในสภาวะการขนส่งจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 2.8** การทดสอบการตกกระแทกบรรจุภัณฑ์

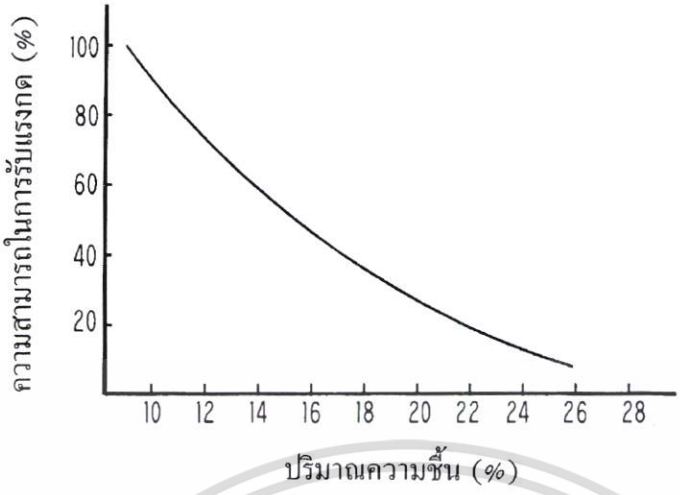
**ภาพที่ 2.9** การทดสอบการสั่นสะเทือนโดยบรรจุภัณฑ์วางบนพื้นที่สั่นสะเทือน

**(2) การทดสอบความต้านทานแรงกดในแนวดิ่ง**

เป็นการทดสอบที่นิยมใช้โดยทั่วไป เนื่องจากทดสอบได้สะดวกและเข้าใจได้ง่าย ส่วนมากจะใช้ทดสอบกับกล่องกระดาษและขวดพลาสติก การทดสอบจะเป็นการเพิ่มแรงกดต่อบรรจุภัณฑ์จนกระทั่งบรรจุภัณฑ์เสียหายหรือ รับแรงต่อไปไม่ได้อีก การทดสอบนี้จะจำลองการกดแรงซ้อนของบรรจุภัณฑ์จริงๆ เนื่องจากแผ่นกระดาษหรือแผ่นโลหะที่กดทับลงมาจะเคลื่อนที่ลงมาตรงๆ ส่วนในสภาวะจริง เมื่อส่วนไหนของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวรับแรงไม่ได้ แรงกดจะกดต่อไปในจุดยุบตัวหรืออ่อนตัวนั้นเรื่อยๆ ดังนั้นความต้านทานในแนวดิ่งที่ได้จากการทดสอบ จะมีค่าน้อยกว่าค่าความเป็นจริงที่บรรจุภัณฑ์จะถูกกระทำในระหว่างการขนส่ง การประเมินค่าความเป็นจริงที่ถูกกระทำนี้อาจจะสูงถึง 5 เท่าของค่าที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

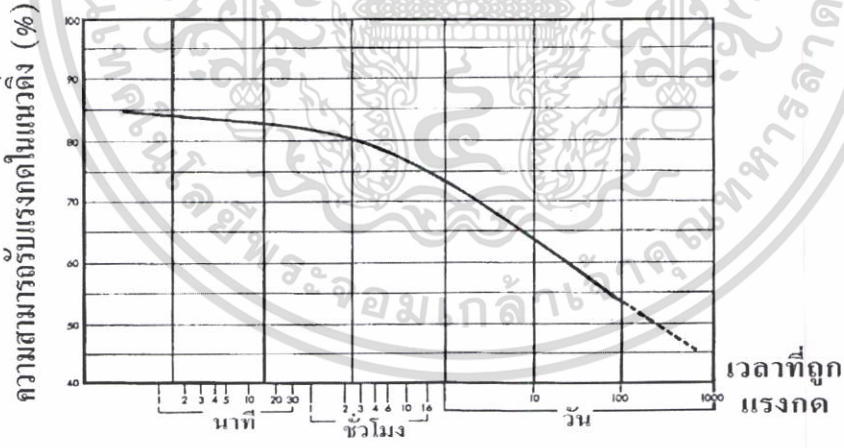
ในการใช้งานของกล่อกระดาษลูกฟูก ความสามารถต้านทานแรงกดในแนวดิ่งจะลดน้อยลงเมื่อความชื้นในกระดาษแปรเปลี่ยนไป ดังแสดงในภาพที่ โดยกำหนดให้ปริมาณความชื้นในกระดาษที่ 5% มีความสามารถในการรับแรงกดในแนวดิ่ง 100% เต็ม เมื่อความชื้นในกระดาษเพิ่มถึง 22% ความสามารถในการรับแรงกดจะลดลงเหลือ 20% เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 2.10 ความสามารถในการรับแรงกดในแนวดิ่งแปรตามปริมาณความชื้นในกระดาษ**

นอกจากความชื้นในตัวกล่องกระดาษลูกฟูก แล้ว ความสามารถในการรับแรงยังแปรผันตามเวลาที่ไดรับแรงกด ถ้ากล่องได้รับการกดซ้อนกันนานๆ จะลดความต้านทานในการรับแรง เนื่องจากมีความล้า (Fatigue) เกิดขึ้นดังแสดงในรูป จะพบว่าช่วง 1 วันแรกนั้น ความต้านทานในการรับแรงกดจะลดลงค่อนข้างมากจาก 85% เหลือ 73% หลังจาก 1 วันแรกความล้าที่เกิดขึ้นจะมีอย่างต่อเนื่องแต่ไม่มากเท่า 24 ชั่วโมงแรก




**ภาพที่ 2.11 ความสามารถในการรับแรงกดในแนวดิ่งแปรตามเวลา**

การทดสอบความสามารถในการรับแรงกดในแนว ดิ่งนั้น แม้จะเป็นที่นิยมเนื่องจากสามารถทำได้ง่าย แต่ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ลดความสามารถในการรับแรงเข้ามาเกี่ยวข้องอีกมาก ตั้งแต่การดูแลกล่องก่อนบรรจุ ระหว่างการบรรจุ การปิดกล่อง และโดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างการขนส่ง ดังนั้น บุคลากรที่รับผิดชอบการพัฒนาบรรจุภัณฑ์จำต้องหมั่นตรวจสอบปัจจัย ต่างๆ เหล่านี้อยู่เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

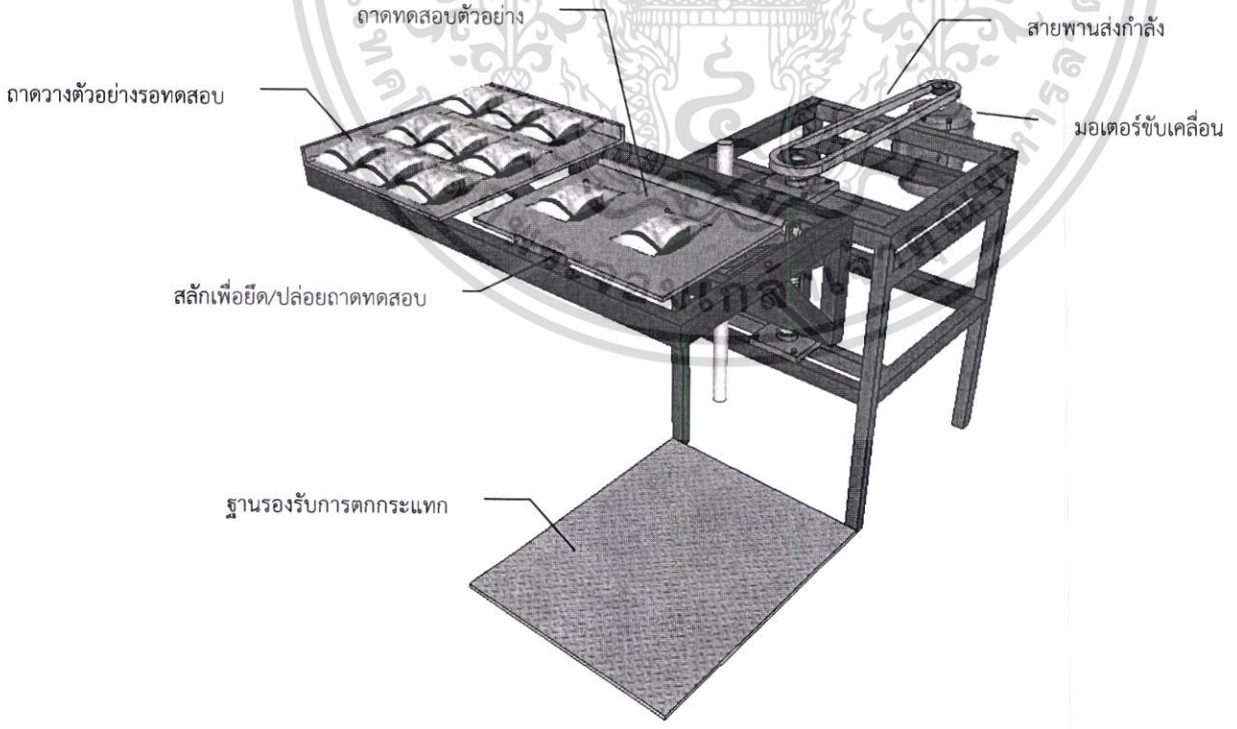
# การออกแบบเครื่องทดสอบ

## 3.1 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบ

เครื่องทดสอบความแข็งแรงที่ได้ออกแบบขึ้นนั้นจะใช้มอเตอร์ในการยกถาดวางตัวอย่างทดสอบ โดยใช้ชุดควบคุมความเร็วของมอเตอร์เพื่อปรับความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้เป็นไปตามความเหมาะสม

ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบ ประกอบด้วย มอเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังในการยกตัวอย่างที่จะทำการทดสอบขึ้น โดยมอเตอร์จะส่งผ่านแรงบิดมายังสกรูด้วยสายพานส่งกำลัง ที่สกรูจะมีชุดถาดทดสอบติดตั้งอยู่บนสกรูดังกล่าว เมื่อสกรูหมุนจะทำให้ชุดถาดทดสอบเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงตามทิศทางของมอเตอร์ ที่สามารถกำหนดได้ด้วยชุดควบคุม และระยะการเคลื่อนที่ควบคุมด้วยสวิทช์ 2 ตัวเพื่อควบคุมระยะเคลื่อนที่ขึ้นและลง

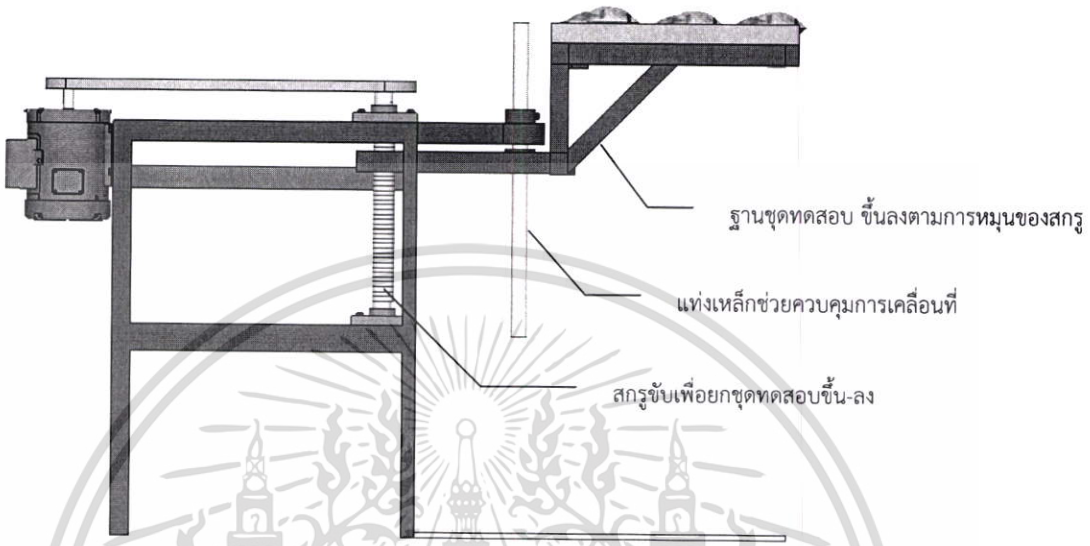
บนแท่นวางตัวอย่างสินค้า ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ถาดวางสินค้าเพื่อรอการทดสอบและถาดทดสอบตัวอย่าง ผู้ทดสอบสามารถวางตัวอย่างบนถาดวางตัวอย่างได้ครั้งละหลายชิ้น เพื่อความสะดวกในการทดสอบ โดยถาดทดสอบตัวอย่างจะมีขอบถาดด้านหนึ่งจะเชื่อมติดกับแท่งเหล็กกลมและสวมเข้าไปในรูที่ทำให้แกนแท่งเหล็กเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระรอบแนวแกน ส่วนขอบถาดอีกด้านจะเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ มีสลักเพื่อควบคุมให้ถาดสามารถนำสินค้ามาวางทดสอบ เมื่อปลดสลักจะทำให้ขอบถาดด้านนี้หล่นตกลง ทำให้สินค้าตกลงมายังพื้นรองรับการตกกระแทกด้านล่าง




**ภาพที่ 3.1** แบบและรายละเอียดของเครื่องทดสอบที่ออกแบบ

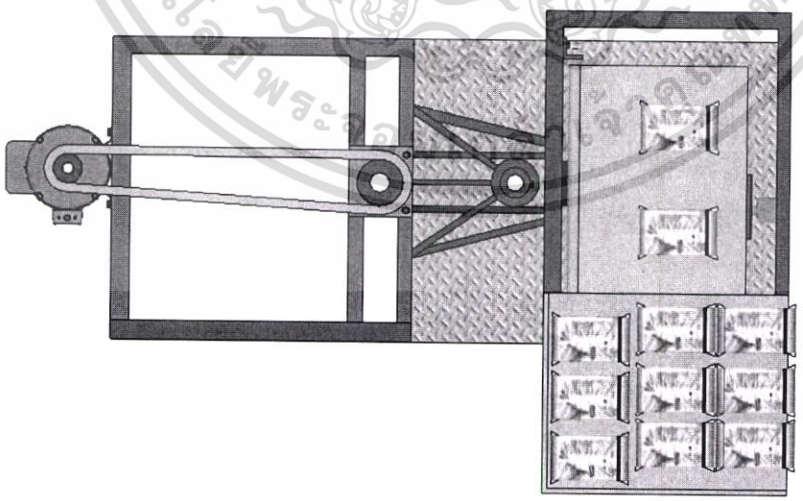
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในมุมมองทางด้านข้างในภาพที่ 3.2 แสดงการติดตั้งชุดทดสอบกับสกรูขับเพื่อยกชุดทดสอบขึ้นหรือลงตามทิศทางการหมุนของสกรู โดยความยาวของสกรูหากผู้ประกอบการมีความสนใจที่จะดัดแปลงความสูงของการทดสอบก็สามารถนำไปประยุกต์ในการสร้างได้ตามความเหมาะสม และหากทดสอบที่ความสูงที่พนักงานทดสอบทำงานได้ไม่สะดวก ก็ควรสร้างบันไดเสริมเพื่อให้พนักงานสามารถยืนทำงานได้อย่างสะดวก



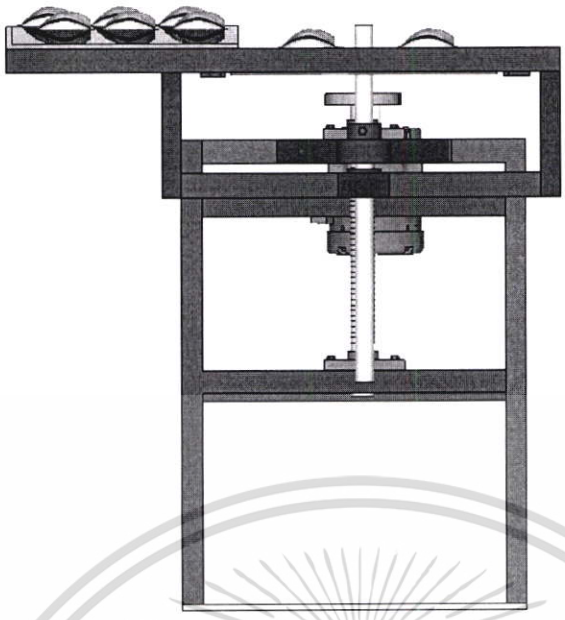

**ภาพที่ 3.2** มุมมองด้านข้างของเครื่องทดสอบที่ออกแบบ

ไม่ต้องนำถาดทดสอบให้เคลื่อนที่ลง แล้ววางตัวอย่างทดสอบก่อนนำขึ้นไปทดสอบที่ระดับความสูงเดิม ทำให้ทำการทดสอบได้รวดเร็วขึ้นกว่าเครื่องทดสอบที่มีจำหน่ายทั่วไป มุมมองต่างๆ ของเครื่องทดสอบแสดงภาพที่ 3.3 ถึง 3.5



**ภาพที่ 3.3** มุมมองด้านบนของเครื่องทดสอบที่ออกแบบ

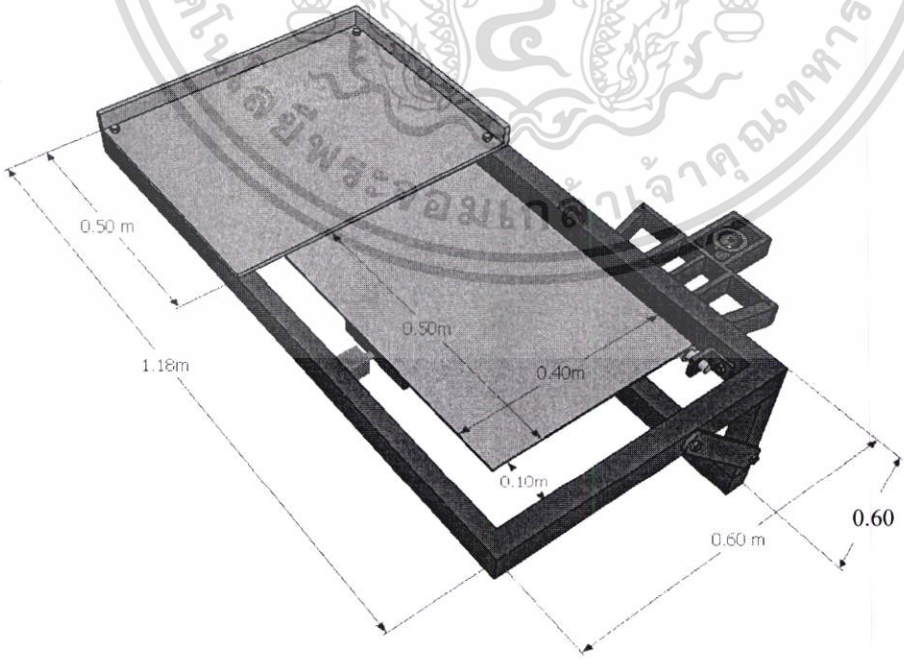
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 3.4** มุมมองด้านหน้าของเครื่องทดสอบที่ออกแบบ

### 3.2 การออกแบบถาดทดสอบ

ชุดถาดทดสอบที่ออกแบบ มีรายละเอียดแสดงในภาพที่ 4.6 ประกอบด้วยถาดสำหรับวางตัวอย่างเพื่อรอการทดสอบและถาดทดสอบ ถาดทดสอบจะมีกระบอกนิวเมติกที่ปลายติดกับฉากรับขอบของถาดทดสอบ เพื่อให้ถาดทดสอบสามารถทรงตัวอยู่ได้ในแนวระดับเพื่อวางตัวอย่าง กระบอกสูบนิวเมติกควบคุมด้วยวาล์วนิวเมติกเพื่อทำให้ของถาดด้านหนึ่งหล่นลงอย่างอิสระ ทำให้ตัวอย่างที่ทดสอบร่วงลงสู่ฐานรับการกระแทกด้านล่าง




**ภาพที่ 3.5** รูปแสดงขนาดของชุดถาดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบการตกกระแทก สามารถทดสอบตัวอย่างได้พร้อมกันหลายชิ้นได้ ขึ้นอยู่กับขนาดของตัวอย่างทดสอบ การออกแบบนี้ช่วยทำให้พนักงานทดสอบทำการทดสอบได้อย่างรวดเร็วและทำการยกตัวอย่างทดสอบขึ้นบนถาดวางเพียงครั้งเดียวก็สามารถทดสอบตัวอย่างได้อย่างต่อเนื่อง

**ภาพที่ 3.6** ภาพแสดงขนาดของเครื่องทดสอบ

### 3.3 การออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่

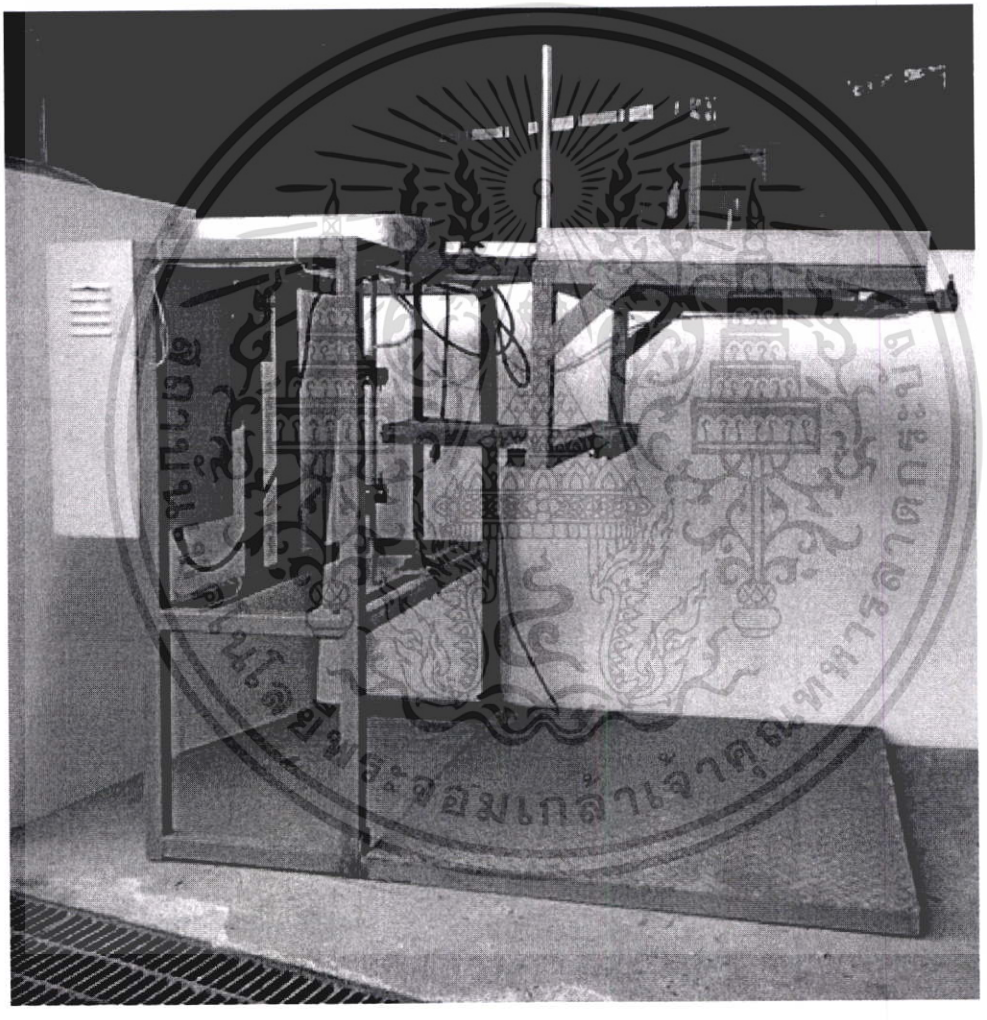
การเคลื่อนที่ของมอเตอร์ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในการปรับทดความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสม ใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ใช้โซ่หรือสายพานในการส่งกำลังไปขับสกรูให้เกิดการหมุน สลักสำหรับควบคุมการตกของถาดทดสอบใช้กระสูบนิวเมติกส์ขนาดเล็กใช้ลมอัดในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# ผลการวิจัย

## 4.1 เครื่องทดสอบการตกกระแทกที่สร้างขึ้น

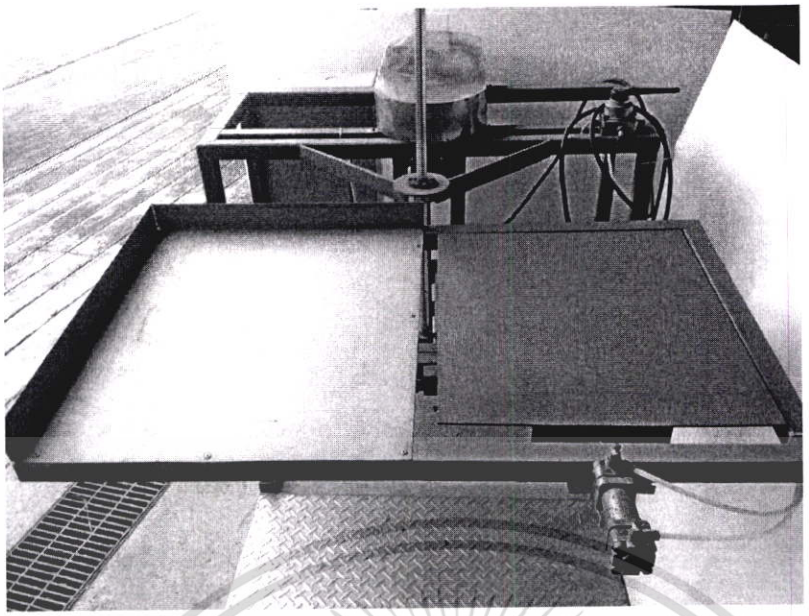
เครื่องทดสอบที่ได้ออกแบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์นำมาสร้างเป็นเครื่องทดสอบต้นแบบแสดงดับภาพที่ 4.1 เครื่องทดสอบติดตั้งชุดควบคุมทางไฟฟ้าเพื่อควบคุมมอเตอร์อยู่ด้านหลังของเครื่อง ฐานรองรับการตกกระแทกอยู่ด้านล่างชุดทดสอบและทำให้เครื่องทดสอบไม่เกิดการล้มของเครื่องทดสอบในกรณีที่ตัวอย่างทดสอบมีน้ำหนักมาก



**ภาพที่ 4.1** เครื่องทดสอบการตกกระแทกของสินค้าที่ได้สร้างขึ้น

ถาดทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.2 มีประกอบด้วยถาดวางสินค้า 2 ส่วน คือ ส่วนด้านซ้ายมือสำหรับวางสินค้าเพื่อรอการทดสอบ มีขนาด 0.5x0.6 เมตร สามารถวางสินค้าซ้อนทับกันได้และหากสินค้ามีความสูงหรืออาจล้มสามารถสร้างขอบกั้นเพื่อป้องกันไม่ให้สินค้าร่วงหล่นขณะยกขึ้นได้ตามความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

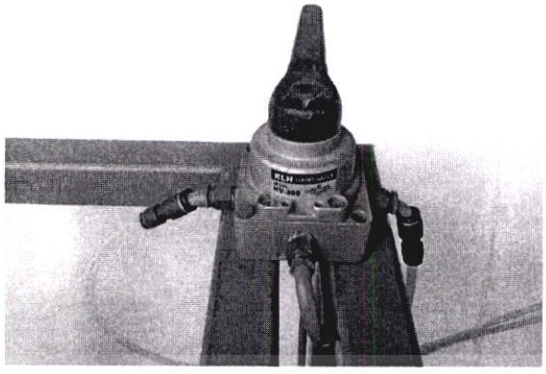


**ภาพที่ 4.2** ภาพแสดงรายละเอียดของถาดวางสินค้าและถาดทดสอบ

ถาดทดสอบที่ออกแบบและสร้างขึ้นแสดงในภาพที่ 4.3 ขอบด้านหนึ่งของถาดทดสอบจะติดตั้งกับบานพับเพื่อเป็นจุดหมุนให้บานพับเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ส่วนขอบปลายอีกด้านหนึ่งขอบถาดทดสอบจะมีสลักหรือแป้นรับที่ติดกับกระบอกสูบนิวเมติกส์ กระบอกสูบควบคุมด้วยลมอัดแรงดัน 6 บาร์ ควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยวาล์วมือบังคับดังภาพที่ 4.4 ที่อยู่ด้านบนของชุดทดสอบ ซึ่งเมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่จะทำให้สลักที่รับน้ำหนักดังกล่าวเคลื่อนที่หลุดออกจากขอบถาดทดสอบ ถาดทดสอบด้านนั้นจะร่วงหล่นลงอย่างอิสระ และทำให้ตัวอย่างที่วางด้านบนร่วงหล่นกระแทกกับฐานรับการกระแทกด้านล่าง

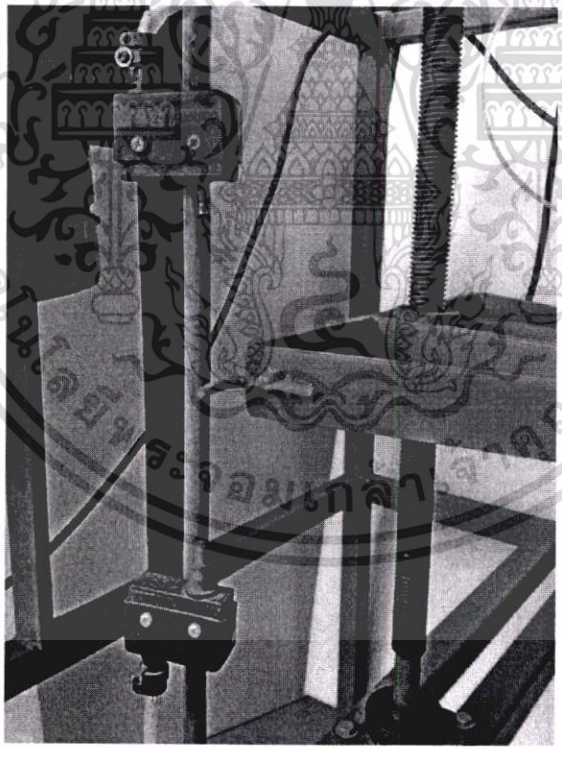
**ภาพที่ 4.3** ภาพแสดงรายละเอียดของถาดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 4.4** ภาพวาล์วควบคุมด้วยมือเพื่อควบคุมให้เริ่มการทดสอบ

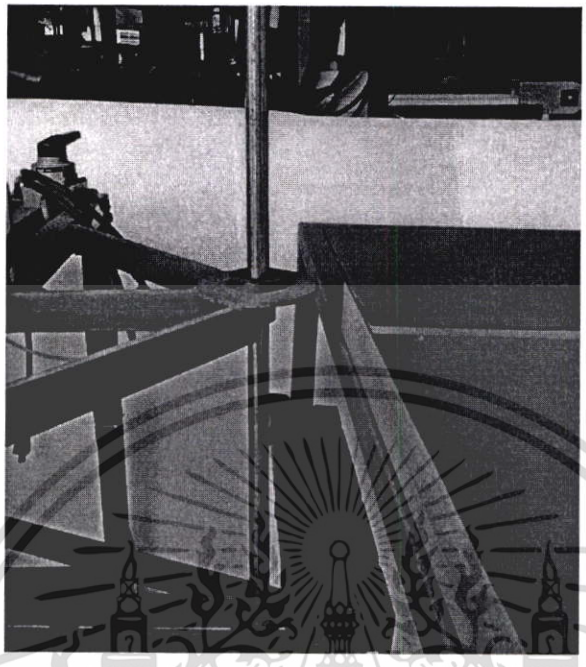
ระยะการเคลื่อนที่ขึ้นลงของถาดทดสอบควบคุมด้วยสวิทช์ไฟฟ้า ที่สามารถเลื่อนปรับขึ้นลงได้เพื่อให้ปรับความสูงของถาดทดสอบให้เป็นไปตามต้องการ โดยใช้แท่งเหล็กที่เชื่อมติดกับชุดทดสอบ สำหรับสกรูที่ใช้หมุนปรับให้ชุดทดสอบเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงใช้สกรูที่มีเส้นผ่านศูนกลางย์ 1 นิ้ว ยาว 50 เซ็นติเมตร ทั้งนี้ความยาวของสกรูสามารถเลือกใช้ความตามสูงของระดับการทดสอบที่ต้องการได้



**ภาพที่ 4.5** ภาพแสดงสวิทต์ไฟฟ้าที่ควบคุมความสูงถาดทดสอบ

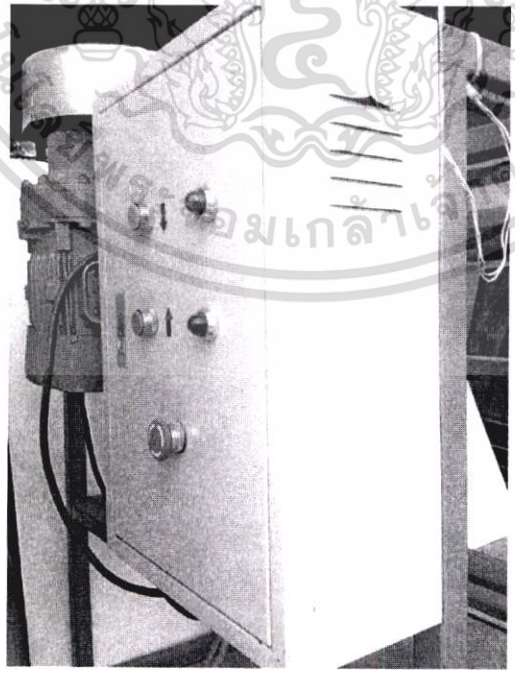
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดถาดทดสอบถูกบังคับให้เคลื่อนที่ด้วยแท่งเหล็กบังคับดังภาพที่ 4.6 เพื่อบังคับให้ชุดถาดทดสอบเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงได้อย่างราบเรียบและเป็นแนวเส้นตรง



**ภาพที่ 4.6** ภาพแท่งบังคับทิศทางของชุดถาดทดสอบ

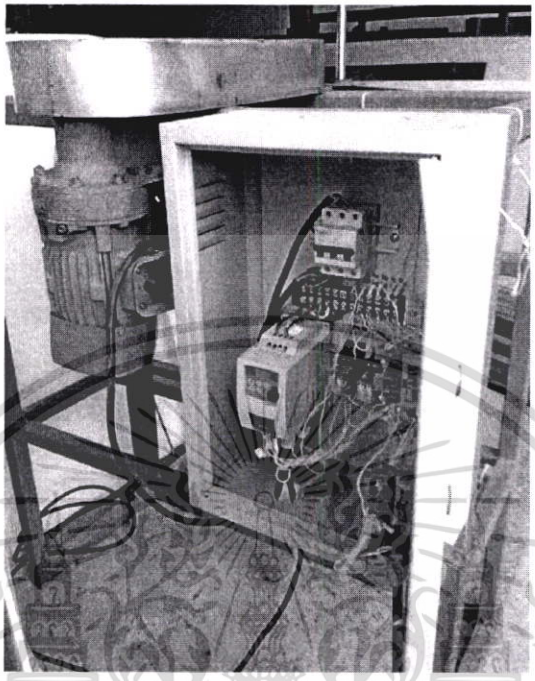
ตู้ควบคุมมีปุ่มกดควบคุมให้ชุดทดสอบเคลื่อนที่ขึ้นและลงตามต้องการดังภาพที่ 4.7 และมีสวิทช์ฉุกเฉินสำหรับกรณีฉุกเฉินให้ระบบหยุดการทำงาน



**ภาพที่ 4.7** ภาพตู้สวิทต์ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของถาดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ ที่ควบคุมความเร็วรอบและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ที่อยู่ภายในตู้ควบคุมแสดงในภาพที่ 4.8 ทำให้ผู้ใช้งานปรับตั้งค่าความเร็วรอบให้เหมาะสมและเป็นไปตามต้องการ



**ภาพที่ 4.8** ภาพแสดงอุปกรณ์ควบคุมที่อยู่ภายในตู้ควบคุมมอเตอร์

**4.2 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องทดสอบ**

การเคลื่อนที่ขึ้นลงของถาดทดสอบ สามารถควบคุมความเร็วที่เหมาะสมของมอเตอร์โดยจากการทดลองพบว่าที่ความเร็วการเคลื่อนที่ 0.25 เมตร/วินาที จะทำให้ชุดถาดบรรจุเคลื่อนที่ได้อย่างราบเรียบและไม่เกิดการกระตุกตัว

ความสูงของถาดทดสอบสูงสุดคือ 1.5 เมตร เคลื่อนที่จากจุดต่ำสุดไปถึงจุดสูงสุดได้ในเวลาประมาณ 4-5 วินาที รับน้ำหนักตัวอย่างในการทดสอบรวมทั้งได้สูงสุดประมาณ 50 กิโลกรัม

ขนาดของตัวอย่างที่ทำการทดสอบได้สูงสุดมีขนาดไม่เกิน 0.5x0.4 เมตร ต่อ 1 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เครื่องทดสอบความแข็งแรงของรอยปิดผนึกหรือความแข็งแรงของถุงบรรจุภัณฑ์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถทำการทดสอบความแข็งแขงของบรรจุภัณฑ์ได้ตามวัตถุประสงค์ โดยสามารถยกตัวอย่างสินค้าที่ทำการทดสอบได้หลายตัวอย่างในการเคลื่อนที่ขึ้นเพียงครั้งเดียว เพราะมีถาดวางสินค้าที่รอการทดสอบที่วางติดอยู่กับถาดทดสอบ ทำให้การทดสอบสามารถทำได้อย่างรวดเร็วกว่าเครื่องทดสอบทั่วไป ที่ทำการทดสอบได้ครั้งละ 1 ตัวอย่างต่อการเคลื่อนที่ของชุดทดสอบ 1 ครั้ง เครื่องทดสอบสามารถยกน้ำหนักตัวอย่างสินค้ารวมได้ครั้งละ 50 กิโลกรัม และระยะการทดสอบความสูงสูงสุด 1.50 เมตร ใช้กระบอกสูบนิวเมติกส์ในการควบคุมให้เกิดการร่วงหรือตกของถาดทดสอบ ทำให้สินค้าทดสอบหล่นกระแทกฐานรับการกระแทกด้านล่าง การเคลื่อนที่ของมอเตอร์ใช้ชุดปรับความเร็วรอบที่อยู่ในตู้ควบคุม และใช้สกรูในการขับให้ชุดถาดทดสอบเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงตามต้องการ โดยความสูงฐานวางสามารถปรับได้โดยการเลื่อนปรับสวิทต์ไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ข้างสกรูเมื่อฐานทดสอบเคลื่อนมากดจะทำให้มอเตอร์หยุดการทำงาน

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่ต้องการสร้างชุดทดสอบที่มีระดับความสูงมากกว่านี้ สามารถทำได้โดยใช้สกรูที่มีความยาวมากขึ้นตามเหมาะสม แต่ถ้าหากสินค้ามีน้ำหนักมากกว่า 50 กิโลกรัมอาจต้องใช้รอกในการยกสินค้าแทนโดยใช้แท่งเหล็กบังคับไม่ให้เกิดการหมุนของถาดสินค้าตามที่ได้ออกแบบไว้ และสำหรับการทดสอบการตกกระทบของสินค้าที่ต้องการทดสอบการตกกระทบที่มุมต่างๆ สามารถทำได้โดยการสร้างถาดทดสอบใหม่ที่เป็นบานพับสองด้าน และมีแท่งประคองสินค้าด้านบน ก็จะสามารถทดสอบการตกกระทบได้ตามต้องการได้ สำหรับผู้ประกอบการที่ไม่ต้องการใช้ลมอัดหรือระบบควบคุมทางไฟฟ้าต้องใช้ชุดทดรอบของมอเตอร์ติดตั้งแทนชุดปรับความเร็วรอบ และอาจใช้กลอนหรือสลักที่ใช้คนงานบังคับด้วยมือแทนการใช้กระบอกสูบนิวเมติกส์ก็ทำได้เช่นเดียวกัน

การออกแบบนี้เป็นการออกแบบเครื่องทดสอบความแข็งแรงของถุงบรรจุภัณฑ์เบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการที่มีงบประมาณไม่มากสามารถนำไปสร้างหรือดัดแปลงได้ตามความเหมาะสม สามารถทำได้ง่ายและมีต้นทุน ค่าใช้จ่ายถูกกว่าการซื้อเครื่องที่มีจำหน่ายทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง

จรูญพันธ์ ลิมทอง และณัฐวรรธน์ ชูติโชติ 2546, เรื่อง Retortable Pouch. เอกสารประกอบการสัมมนา. บริษัทรอแยลแคนอินดัสทรีส์ จำกัด. 12 น.

ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ. 2541. บรรจุภัณฑ์อาหาร. แพคเมทส์, กรุงเทพฯ 358 น.

มยุรี ภาคลำเจียก 2534, Retort Pouch เอกสารประกอบคำบรรยายการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ LACF Workshop "Container Integrity Evaluation" จัดโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ณ โรงแรมรามาการ์เด้น กรุงเทพมหานคร 31 ตุลาคม – 2 พฤศจิกายน 2534.

วราทิพย์ สมบุญญฤทธิ 2542, เรื่องบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวสำหรับอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ. ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. น. 1-12.

Herbert, D.A. and J. Bettison 1978 Packaging for Thermally Sterlised Foods in Development in Food Preservation-4 by Stuart Thorne Department of Food and Nutrition Sciences King's college University of London U.K. Elservier Applied Science London and New York.

Lampi R.A., Gerald L. Schulz, Tedio Ciavarini and Peter T. Burke. 1976. Performance and integrity of retort pouch seals. Food Technology, : 38-48.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

**ประวัติส่วนตัว**

ชื่อ-สกุล สมัคร รักแม่

เพศ ☑ ชาย ☐ หญิง วันเดือนปีเกิด 10 มกราคม 2520 อายุ 35 ปี

สถานภาพ ☐ โสด ☑ สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน

**ประวัติการศึกษา**

| ชื่อย่อปริญญา | สาขา | สถาบันที่จบ | ปีที่จบ |
|---|---|---|---|
| วศ.บ | วิศวกรรมอาหาร | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง | 2543 |
| วศ.ม | วิศวกรรมอาหาร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี | 2546 |

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) Carbonated Soft Drink

**รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ**

| ปี พ.ศ. | ชื่อรางวัล | สถาบันที่ให้ |
|---|---|---|
| - | - | - |
| | | |
| | | |

**ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ**

| ปี พ.ศ. | ทุนการศึกษาและทุนวิจัย | สถาบันที่ให้ |
|---|---|---|
| 2549 | การออกแบบและสร้างเครื่องบรรจุน้ำอัดก๊าซ | สกว. |
| 2550 | การออกแบบหัวบรรจุน้ำอัดก๊าซ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. |
| 2551 | การพัฒนาเครื่องดื่มอัดก๊าซจากน้ำสมุนไพรไทย | IRPUS |
| 2552 | การออกแบบถังผลิตน้ำโซดาแบบต่อเนื่อง | คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. |

**ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์**

**ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)**

-

**การเสนอผลงานวิชาการ**

- การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตน้ำลำไยสดอัดก๊าซ การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8 ประจำปี 2550
- การออกแบบและพัฒนาเครื่องแยกเนื้อสำรอง การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10 ประจำปี 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)**

- เครื่องผลิต บรรจุและปิดฝา เครื่องดื่มอัดก๊าซสำหรับผู้ผลิตขนาดกลางและเล็ก
- เครื่องบรรจุชิ้นเนื้อผลไม้ลงกระป๋องความเร็วสูงสำหรับอุตสาหกรรม

**อื่นๆ**

-




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้