**รายงานการวิจัย**

# การพัฒนาแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

# The development of composite boards from U.H.T. milk packages.

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

**นางสาวชนัญดา เสมอภพ**

**นางสาวธนัญญา มะดีเยาะ**

**รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต**

**โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**

**มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา**

**2556**

**ใบรับรองการวิจัยสิ่งแวดล้อม**

โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์)

**เรื่อง** การพัฒนาแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

The development of composite boards from U.H.T. milk packages.


**ผู้วิจัย** นางสาวชนัญดา เสมอภพ รหัส 524273060

นางสาวธนัญญา มะดีเยาะ รหัส 524273098


**ได้พิจารณาเห็นชอบโดย**

**คณะกรรมการที่ปรึกษา**

.....ประธานกรรมการ

(ดร.พลพัฒน์ รวมเจริญ)

**คณะกรรมการสอบ**

.....ประธานกรรมการ

(นางสาวนัดดา โปดำ)

.....กรรมการ

(นางสาวหิรัญวดี สุวิบูรณ์)

.....กรรมการ

(นายกมลนาวิน อินทนูจิตร)

.....กรรมการ

(ดร.พลพัฒน์ รวมเจริญ)

.....กรรมการ

(ดร.สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา รับรองแล้ว

.....

(ดร.พิพัฒน์ ลิมปนะพิทยาธร)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี


เลขทะเบียน 616#1130662

วันที่ 1

เลขเรียกหนังสือ

**ชื่อการวิจัย** การพัฒนาแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที
**ชื่อผู้วิจัย** นางสาวชนัญดา เสมอภพ
นางสาวธนัญญา มะดีเยาะ
**ชื่อปริญญา** วิทยาศาสตร์บัณฑิต
**โปรแกรมวิชา** วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
**คณะ** วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
**ปีการศึกษา** 2556
**อาจารย์ที่ปรึกษา** ดร.พลพัฒน์ รวมเจริญ

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่ใช้แล้ว เพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาผลของจำนวนชั้นในช่วง 6, 10, 15 และ 30 ชั้น อุณหภูมิที่ใช้ 150 170 200 องศาเซลเซียส ขึ้นรูปในการอัดร้อน 10 นาที อัดเย็น 3 นาที จากการศึกษาสมบัติของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นและเพิ่มอุณหภูมิ ไม่มีผลต่อค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นมากขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อแช่น้ำและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และสมบัติการดัดโค้งมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีกับเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดราบ: ความหนาแน่นปานกลาง มอก. 876-2532 สมบัติที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคือ สมบัติความแข็งและการดูดซึมน้ำ ส่วนสมบัติการพองตัวเมื่อแช่น้ำไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

**Title** The development of composite boards from U.H.T. milk packages.

**Author** Chanunda Samerphop

Tananya Madeeyoh

**Program** Bachelor of Science

**Major** Environmental Science

**Academic** Year 2013

**Advisor** Dr.Polphat Ruamcharoen

## Abstract

This research involves the study of development of composite boards from U.H.T. milk packages. This is the recycling of waste U.H.T. packages to be composite boards in order to replace wood. This research aim to study the properties of composite boards by compressing 6 10 15 and 30 layers with the compressing temperature of 150 170 and 200 °C for 10 min and chilled press at 3 min. It was found that the layer numbers and temperature had no effect to hardness significantly. The swelling and water absorption increased with the layer. The flexural properties were proportional to the number of layers. The flexural force increased the number of layers. Comparing with the TIS 876-2532 standards, the satisfied properties were hardness and water absorption.

# กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตซึ่งลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ดร.พลพัฒน์ รวมเจริญ ที่ได้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาในการดำเนินการทดลองอีกทั้งคอยให้คำแนะนำเพิ่มเติม การเขียนและตรวจแก้รายงานวิจัยเพื่อปรับปรุงให้รายงานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นตลอดจนเป็นกำลังใจให้ตลอดมาผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญกมล ขุนพิทักษ์ ดร.สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ อาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์ อาจารย์นัดดา โปดำ และอาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตรที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่าง ๆ ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ โปรแกรมวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ทุกท่านที่ช่วยให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการ โปรแกรมวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณทุก ๆ ท่านที่ให้กำลังใจ ทำให้ผู้วิจัยมีแรงใจในการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นางสาวชนัญดา เสมอภพ

นางสาวธนัญญา มะดีเยาะ

17 มิถุนายน 2556

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | ก |
| Abstract | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญภาพ | ฌ |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ความสำคัญและที่มา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 2 |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| 1.4 สมมติฐานของการวิจัย | 2 |
| 1.5 ตัวแปร | 2 |
| 1.6 นิยามศัพท์ | 3 |
| 1.7 ระยะเวลาทำการวิจัย | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎี | |
| 2.1 บทนำ | 4 |
| 2.2 ขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที | 4 |
| 2.2.1 ขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที | 4 |
| 2.2.2 มลพิษที่เกิดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที | 5 |
| 2.3 กล่องเครื่องดื่มยูเอชที | 6 |
| 2.3.1 กล่องเครื่องดื่มยูเอชที | 6 |


มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


2.4 กระดาษ 7

2.4.1 ความหมายของกระดาษ 7

2.4.2 องค์ประกอบของกระดาษ 7

2.4.3 กระบวนการผลิตของกระดาษ 9

2.5 พอลิเอทิลีน (Polyethylene : PE) 9

2.5.1 ลักษณะของพอลิเอทิลีน 9

2.5.2 สมบัติของพอลิเอทิลีน 10

2.6 แผ่นไม้อัด (Particle Board) 10

2.6.1 ความหมายของแผ่นไม้อัด 10

2.6.2 ประเภทของแผ่นไม้อัด 11

2.6.3 องค์ประกอบของแผ่นไม้อัด 11

2.6.4 กระบวนการผลิตแผ่นไม้อัด 13

2.6.5 สมบัติและมาตรฐานการทดสอบของแผ่นไม้อัด 15

2.6.6 การทดสอบสมบัติของแผ่นไม้อัด 16

2.7 แผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที 16

2.7.1 แผ่นอัด 16

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16

2.8.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้กล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเป็นแผ่นอัด 16

2.8.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นอัด 17

# สารบัญ (ต่อ)


หน้า

บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ 21

3.3.1 กล่องเครื่องดื่มยูเอชที 21

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 21

3.2.1 เครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงานไฮโดรลิค 21

3.2.2 เครื่องทดสอบการหักงอ 22

3.2.3 เครื่องทดสอบความแข็ง 22

3.2.4 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง 22

3.3 วิธีการทดลอง 22

3.2.1 การเตรียมกล่องเครื่องดื่มยูเอชเพื่อขึ้นรูป 22

3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและการทดสอบสมบัติเชิงกล ของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที 23

3.4.1 การทดสอบการดูดซึมของน้ำและการพองตัวเมื่อแช่น้ำ 23

3.4.2 การทดสอบการดัดโค้ง 24

3.4.3 การทดสอบความแข็ง 25

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะภายนอกของแผ่นอัดจากกล่องเครื่งดื่มยูเอชที 26

4.2 ผลการทดสอบสมบัติ 28

4.2.1 การทดสอบความแข็ง (Shore D) 29

4.2.2 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ 30

4.2.3 ทดสอบการดูดซึมน้ำ 32

4.2.4 การดัดโค้ง 34

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที 35

4.4 การวิเคราะห์ทางต้นทุนการผลิต 36

4.4.1 ต้นทุนด้านวัสดุ 36

4.4.2 ต้นทุนด้านพลังงาน 37

4.4.3 ต้นทุนรวม 37

4.4.4ราคากลางแผ่นไม้อัด 38

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5.1สรุปผลการวิจัย 40

5.2 ข้อเสนอแนะ 41

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

ภาคผนวก กการคำนวณการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลอง

ภาคผนวก ค ภาพประกอบการวิจัย

ภาคผนวกงแบบเสนอโครงการวิจัย

# สารบัญตาราง


| ตาราง | หน้า |
|---|---|
| 2.1 องค์ประกอบและสมบัติของกล่องเครื่องดื่มยูเอชที | 6 |
| 2.2 สมบัติของแผ่นชิ้นไม้อัดตามมาตรฐาน มอก.876-2532 | 15 |
| 4.1 ต้นทุนด้านวัสดุของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที | 36 |
| 4.2 ต้นทุนด้านพลังงาน | 37 |
| 4.3 ต้นทุนรวมของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่ใช้แล้ว | 37 |
| 4.4 ราคากลางแผ่นไม้อัด (สืบค้นวันที่ 24 พฤษภาคม 2556) | 38 |


มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# สารบัญภาพ


| รูปภาพ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 ชั้นของกล่องเครื่องดื่มยูเอชที | 6 |
| 2.2 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส | 8 |
| ก.โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส | 8 |
| ข. ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส | 8 |
| ค. โครงสร้างของเส้นใยกระดาษที่ถูกน้ำแทรกซึม | 8 |
| 2.3 สูตรโครงสร้างของพอลิเอทิลีน | 10 |
| 2.4 กระบวนการผลิตแผ่นไม้อัด | 14 |
| 3.1 เครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงานไฮโดรลิค | 22 |
| 3.2 ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปกล่องเครื่องดื่ม (ก) ลักษณะกล่องเครื่องดื่ม | 23 |
| (ข) ขั้นตอนการอัดขึ้นรูป (ค) ลักษณะชิ้นงานที่เตรียมได้ | |
| 3.3 ชิ้นตัวอย่างทดสอบการหักงอ (ก) แผนภาพจำลองเครื่องทดสอบการหักงอ | 24 |
| (ข) ลักษณะเครื่องมือและการวางชิ้นทดสอบ | |
| 3.4 การทดสอบความแข็ง | 25 |
| 4.1 ลักษณะภายนอกของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที | 28 |
| (ก) ลักษณะของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่ไหลออกจากเบ้าอัด | 26 |
| (ข) ลักษณะแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส | 27 |
| (ค) ลักษณะของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที | 27 |
| ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส | |
| (ง) ลักษณะของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที | 28 |
| ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส | |


SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# สารบัญภาพ (ต่อ)


| รูปภาพ | หน้า |
|---|---|
| 4.2 ความแข็ง (Shore D) ของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที | 29 |
| 4.3 เปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง | 30 |
| 4.4 เปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง | 31 |
| 4.5 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง | 32 |
| 4.6 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที | 33 |
| 4.7 แสดงแรงดัดโค้งของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที | 34 |
| 4.8 ผลิตภัณฑ์ชั้นวางของที่ได้จากแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที | 35 |


มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันโลกกำลังประสบปัญหาภาวะโลกร้อน ซึ่งกำลังส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตของสิ่งมีชีวิตบนโลก สาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน นั่นคือขยะที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นทุกปีโดยในปี พ.ศ. 2550 มีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นในประเทศไทยสูงถึงประมาณ 14.72 ล้านตันหรือประมาณ 40,332 ตันต่อวัน และมีการคัดแยกและนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยการนำไปใช้ซ้ำและขายให้ร้านรับซื้อของเก่า เพื่อส่งไปแปรรูปยังโรงงานต่าง ๆ ประมาณ 3.25 ล้านตัน หรือประมาณร้อยละ 22 เท่านั้น ซึ่งนับว่าเป็นปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น(http://www.ampolfood.com) โดยขยะเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาขยะล้นเมือง จึงทำให้เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษต่าง ๆ เช่น มลพิษทางอากาศ มลพิษทางกลิ่น มลพิษทางดิน เป็นต้น ขยะที่พบนั้นส่วนใหญ่จะเป็นขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ เช่น โฟม พลาสติก กล่องเครื่องดื่ม และขยะอันตรายต่าง ๆ เป็นต้น

กล่องเครื่องดื่มเป็นกล่องที่ใช้บรรจุเครื่องดื่มหรืออาหารเหลวประเภทนม น้ำผลไม้ ชา กาแฟ ฯลฯ กล่องเครื่องดื่มแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1.กล่องยูเอชที 2.กล่องพาสเจอไรซ์ ซึ่งกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมีส่วนประกอบเป็นกระดาษ (68%) อะลูมิเนียมฟอยล์ (5%) และพลาสติกประเภทพอลิเอทีลีน (27%) ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุสามารถเก็บไว้ได้นาน (http:// www.greenboardthailand.com) กล่องเครื่องดื่มยูเอชทีจึงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เมื่อเป็นที่นิยมของผู้บริโภคกันมากขึ้น ทำให้มีปริมาณการผลิตเครื่องดื่มประเภทกล่องเพิ่มขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานของมนุษย์

ดังนั้นผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่าการนำกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมาแปรรูปเป็นแผ่นอัดเพื่อใช้ประโยชน์ จึงเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการลดขยะและมลพิษ อีกทั้งแผ่นอัดที่ได้จากการรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ยังมีความคงทนแข็งแรง และสามารถกันน้ำได้ ซึ่งแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่ผลิตขึ้นจะมีวิธีการในการทดสอบสมบัติของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที คือ การทดสอบการดัดโค้ง การทดสอบความแข็ง การทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ และการทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นอัดที่มีความหนาแตกต่างกัน จึงมีแนวคิด

ในการทดสอบสมบัติของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการเลือกใช้แผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีให้เกิดประโยชน์ต่อผู้นำไปมากที่สุด

**1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

1. เพื่อพัฒนาแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

2. เพื่อศึกษาสมบัติของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

**1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. การนำวัสดุเหลือใช้จากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมาพัฒนาเป็นแผ่นอัด

2. ทราบถึงแบบและความหนาที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ตามต้องการ

**1.4 สมมติฐานของการวิจัย**

1. สามารถเตรียมแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีได้โดยกระบวนการอัดขึ้นรูป

2. แผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดราบ: ความหนาแน่นปานกลาง (มอก. 876-2547)

**1.5 ตัวแปร**

ตัวแปรอิสระ: จำนวนชั้นของกล่องเครื่องดื่มยูเอชที, อุณหภูมิ

ตัวแปรตาม : ความแข็ง, การดัดโค้ง, การพองตัวเมื่อแช่น้ำ, การดูดซึมน้ำ

ตัวแปรควบคุม : ระยะเวลาในการขึ้นรูป, ความดันของการอัดขึ้นรูป, ชนิดของกล่องเครื่องดื่ม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

**1.6 นิยามศัพท์**

1. แผ่นอัด หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกล่องเครื่องยูเอชทีหลายแผ่นมาประกอบอัดให้เป็นแผ่น

2. กล่องเครื่องดื่มยูเอชที หมายถึง กล่องที่ใช้บรรจุเครื่องดื่มหรืออาหารเหลวประเภท นม น้ำผลไม้ ชา กาแฟ เป็นต้น ซึ่งในกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีจะมีกระดาษอลูมิเนียมฟอยล์ และพลาสติกประเภทโพลีเอทีลีนเป็นส่วนประกอบ

3. ความแข็ง หมายถึง ความต้านทานต่อแรงกด การขัดสีและการกลึงของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

4. การดัดโค้ง หมายถึง การใช้แรงในการดัดแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเพื่อให้เกิดการดัดโค้ง

5. การพองตัวเมื่อแช่น้ำ หมายถึง การนำแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมาวัดความหนาก่อนการแช่น้ำ แล้วนำมาวัดการพองตัวหลังการแช่น้ำ

6. การดูดซึมน้ำ หมายถึง การนำแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมาชั่งน้ำหนักก่อนการแช่น้ำ และนำมาชั่งน้ำหนักการดูดซึมน้ำหลังการแช่น้ำ

**1.7 ระยะเวลาทำการวิจัย**

การพัฒนาแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ได้เริ่มต้นทำการศึกษามาตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 จนถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ 2556

# บทที่ 2

# ทฤษฎี

## 2.1 บทนำ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะใช้ประโยชน์จากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่ใช้แล้ว ผลิตหรือแปรรูปเป็นแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้โดยเนื้อหาของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ได้แก่ ความหมายและสมบัติของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่ม ประโยชน์การใช้งานของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที กระบวนการผลิตแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีตลอดจนปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากปริมาณกล่องเครื่องยูเอชทีที่เพิ่มมากขึ้นรวมทั้งรายละเอียดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

## 2.2 ขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

### 2.2.1 ขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

ปัจจุบันขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างหนึ่ง เนื่องจากขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้หรือใช้ระยะเวลานานถึง 450 ปี เพราะในกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมีพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนเป็นองค์ประกอบหลัก จึงไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติโดยจุลินทรีย์ (นิทัศน์, 2543) จึงนำกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีกลับมารีไซเคิลใหม่ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2555 ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นประมาณ 15.9 ล้านตัน หรือ 43,000 ตันต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2556) ในจำนวนนี้มีขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีประมาณ 30,000 ถึง 40,000 ตันต่อปี ซึ่งมีสัดส่วนการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารเหลวในปี 2549 ประเภทผลิตภัณฑ์นม จะแบ่งเป็นการบริโภคนมที่เก็บไว้ในอุณหภูมิปกติ (นมยูเอชที) 13.2 ลิตรต่อคนต่อปี นมที่ต้องแช่เย็น (นมพลาสเจอร์ไรซ์) 5.4 ลิตรต่อคนต่อปี นมเปรี้ยวยูเอชที 2.02 ลิตรต่อคนต่อปี นมเปรี้ยวพลาสเจอร์ไรซ์ 3.2 ลิตรต่อคนต่อปี น้ำผลไม้ 6.4 ลิตรต่อคนต่อปี นมถั่วเหลืองและธัญพืช 6 ลิตรต่อคนต่อปี ชาพร้อมดื่ม 2.7 ลิตรต่อคนต่อปี (www.measwatch.org) ซึ่งในประเทศไทยมีอัตราการรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีกว่า 13,200 ตัน หรือประมาณ 1,320 ล้านกล่อง คิดเป็นร้อยละ 25.4 (www.measwatch.org) การนำกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเหล่านี้มาผลิตเป็นแผ่นอัด เพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ ทำให้เพิ่มมูลค่าขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ทั้งนี้ยังช่วยลดปัญหามลพิษที่เกิดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีอีกด้วย (www.greenboardthailand.com)

**2.2.2 มลพิษที่เกิดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที**

กล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเมื่อถูกทิ้งไว้เป็นขยะ จะไม่สามารถย่อยสลายได้ เนื่องจากภายในกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ พอลิเอทิลีน กระดาษ อลูมิเนียมฟอยล์ (foil) ซึ่งยากแก่การย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ จึงทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมในทุก ๆ ด้าน ได้แก่ มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ และมลพิษทางดิน ซึ่งขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที หากไม่ได้รับการกำจัดอย่างถูกวิธีหรือถูกทิ้งไว้ ณ แหล่งกำเนิดเป็นเวลานานเกินไป จะก่อให้เกิดมลพิษดังกล่าวมาข้างต้น สรุปได้ดังต่อไปนี้

**ก. มลพิษทางน้ำ**

- ทำให้แม่น้ำลำคลองต่าง ๆ เป็นแหล่งสะสมของกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น

- ทำให้สภาพภูมิทัศน์ของแหล่งน้ำขาดความสวยงามและสร้างความเสียหายต่อการท่องเที่ยว

**ข. มลพิษทางอากาศ**

- เมื่อนำมาทำลายโดยวิธีการเผา ทำให้เกิดควันเสีย ซึ่งจะเป็นการเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่บรรยากาศ

- ทำให้เกิดปัญหาก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases, GHGs) ซึ่งเกิดจากขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่มีการกองทับถมกันเป็นเวลานาน และเกิดการย่อยสลายตามขบวนการไร้ออกซิเจน (Anaerobic condition) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ก๊าซเรือนกระจกดังกล่าว ได้แก่ $CO_2$ , $CH_4$และ$H_2S$ เป็นต้น

**ค. มลพิษทางดิน**

- ทำให้พื้นดินที่เป็นสถานที่ฝังกลบขยะไม่สามรถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ได้

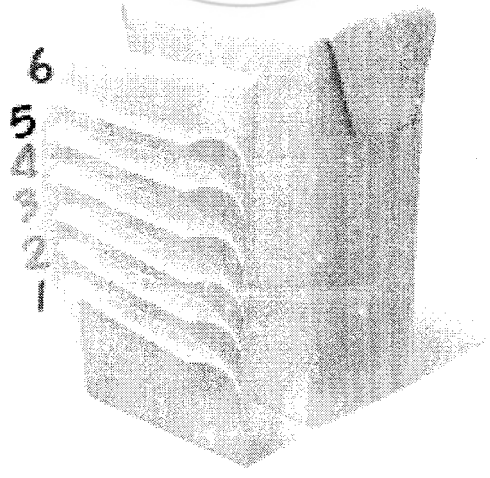
- ทำให้เกิดการการปนเปื้อนของน้ำชะล้างขยะลงสู่พื้นดิน (อาณัติ, 2553)

**2.3 กล่องเครื่องดื่มยูเอชที**

**2.3.1 กล่องเครื่องดื่มยูเอชที** หมายถึง กล่องที่ใช้บรรจุเครื่องหรืออาหารเหลว ประเภทนม น้ำผลไม้ ชา กาแฟ มีองค์ประกอบคือกระดาษ อะลูมิเนียมฟอยล์ และพลาสติกพอลิเอทิลีน ซึ่งช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ สามารถเก็บไว้นาน โดยไม่ต้องแช่เย็น แสดงดังตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.1 ซึ่งกล่าวถึงองค์ประกอบ สมบัติและหน้าที่ของกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

**ตารางที่ 2.1** องค์ประกอบและสมบัติของกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

| ชั้นที่ | องค์ประกอบ | สมบัติและหน้าที่ |
|---|---|---|
| 1 | พอลิเอทิลีน | ป้องกันความชื้นจากภายนอก |
| 2 | กระดาษ | เพื่อความคงทนแข็งแรงของกล่อง |
| 3 | พอลิเอทิลีน | ช่วยผนึกกล่องให้แน่นสนิท |
| 4 | อะลูมิเนียมฟอยด์ | ป้องกันภาวะภายนอก |
| 5 | พอลิเอทิลีน | ช่วยผนึกกล่องให้แน่นสนิท |
| 6 | พอลิเอทิลีน | ช่วยป้องกันและยึดติดการรั่วซึมของของเหลว |




**รูปที่ 2.1** ชั้นของกล่องเครื่องดื่มยูเอชที (www.greenboardthailand.com)

## 2.4 กระดาษ

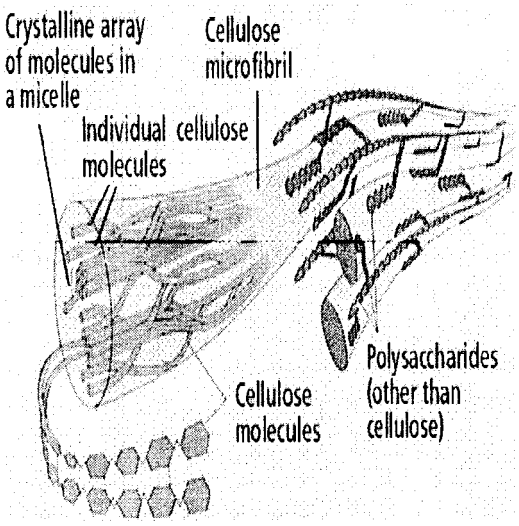
### 2.4.1 ความหมายของกระดาษ

กระดาษ หมายถึง วัตถุแผ่นบาง ๆ ซึ่งทำมาจากเส้นใยของวัตถุดิบประเภทหลัก ๆ คือ วัตถุดิบประเภทไม้ (Wood) และวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้ (Nom-Wood) สำหรับวัตถุดิบที่นิยมใช้ในประเทศไทยที่เป็นไม้ คือ ยูคาลิปตัส ส่วนวัตถุที่ไม่ใช้ไม้ คือ ชานอ้อย ปอแก้ว ฟางข้าว และไม้ไผ่ เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตกระดาษ (สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542)

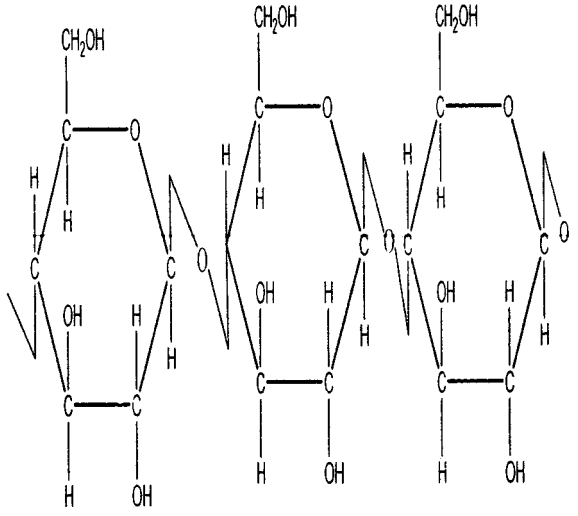
### 2.4.2 องค์ประกอบของกระดาษ

**1. เซลลูโลส (Cellulose)**

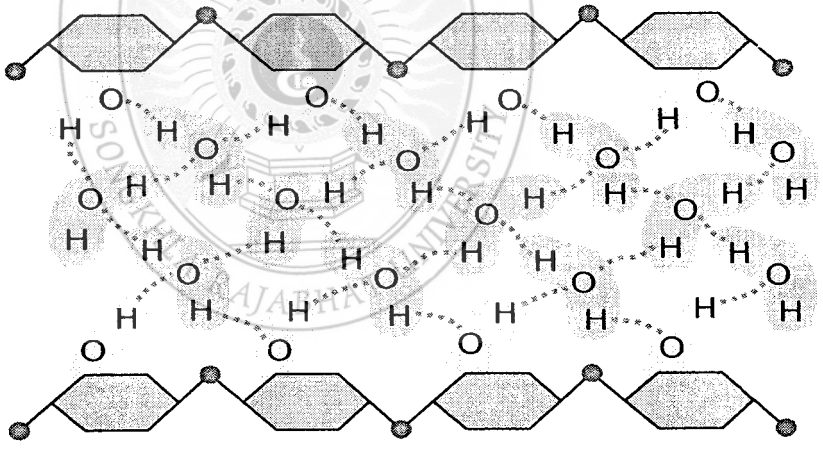
เซลลูโลส เป็นสารประกอบที่มีมากที่สุดในโครงสร้างเนื้อเยื่อของพืช ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่อยู่ในผนังเซลล์พืชทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงทนทาน และความเหนียวแก่พืช ดังนั้นโครงสร้างทางเคมีของเซลล์พืชทั่วไป จึงมีลักษณะเป็นเส้นตรงขนาดเล็กที่มีโมเลกุลจัดเรียงกันเป็นมัดหรือที่เรียกว่า “ไฟบริล” (fibril) โครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีหน่วยย่อยคือกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,4(-1,4) ไกลซิดิค (glycosidic linkage) เกิดเป็นโซ่ยาว แต่ละโซ่จะอยู่ในลักษณะที่ขนานกัน จัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบซ้อนทับกัน ยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างผิวของโซ่โมเลกุลของเส้นใย ซึ่งกลุ่มของไฮดรอกซิลจะมีขั้วเป็นลบและเมื่อพันธะไฮโดรเจนหรือน้ำ ซึ่งมีขั้วเป็นบวก ทำให้มีแรงดึงดูดระหว่างหมู่ ไฮดรอกซิลและพันธะไฮโดรเจน ส่งผลทำให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลง (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2545) เมื่อโมเลกุลของน้ำเข้าไปแทรกระหว่างพันธะไฮโดรเจนและออกซิเจนของเซลลูโลสหรือเฮมิเซลลูโลส จะทำให้เส้นใยอ่อนและมีพื้นที่สัมผัสมากขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 (มณฑา, 2541)




ก. โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส



ข. ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส



ค. โครงสร้างของเส้นใยกระดาษที่ถูกน้ำแทรกซึม

**รูปที่ 2.2** โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

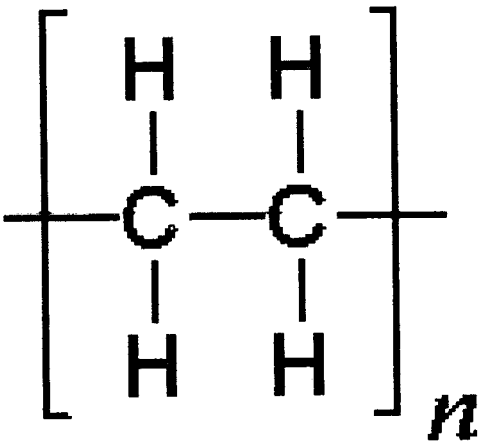
### 2.4.3 กระบวนการผลิตของกระดาษ

การทำกระดาษเริ่มตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ ต้องปอกเปลือกไม้ออกก่อน หลังจากนั้นไม้จะถูกสับให้มีขนาดความยาวและกว้างประมาณ 20-30 มิลลิเมตร หนาประมาณ 6-10 มิลลิเมตร (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542) ภายหลังที่จัดเตรียมวัตถุดิบเรียบร้อยแล้ว จะนำวัตถุดิบเหล่านั้นมาผ่านขั้นตอนการย่อยแยกเส้นใย มีทั้งหมด 3 วิธี คือ การผลิตเยื่อเชิงกลหรือเยื่อบด (Mechanical pulp) การผลิตเยื่อเคมี (Chemical pulp) และการผลิตเยื่อกึ่งเคมี (Semi-chemical pulp) แต่วิธีที่นิยมกันมากเป็นการผลิตเยื่อเชิงกล โดยนำชิ้นไม้ไปบดด้วยหินบดหรือจานบด เยื่อที่ได้มีลักษณะสั้นและขาดเป็นท่อน อีกทั้งยังมีลิกนินตกค้างอยู่มากจึงต้องทำการฟอกเยื่อ (Bleaching) เพื่อขจัดลิกนินออก ซึ่งสารที่ใช้ในการฟอกเยื่อ เช่น คลอรีน (Cholorine) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) เป็นต้น แล้วนำเยื่อที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการกระจายเส้นใย เพื่อทำให้เส้นใยออกจากกัน โดยใช้เครื่องไฮดราพับเพอร์ (Hydrapulper) ต่อมาทำการบดเยื่อและผสมน้ำเยื่อแล้วคัดแยกวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยออก เช่น หิน ทราย เป็นต้น หลังจากผสมน้ำเยื่อเรียบร้อยแล้ว น้ำเยื่อจะถูกส่องเข้าสู่เครื่องจักรผลิตกระดาษแบบโฟร์ดริเนียร์ (Four drinier) โดยทำหน้าที่แยกน้ำออก กดน้ำออก และอบกระดาษให้แห้ง และทำเป็นแผ่นให้เรียบจึงได้แผ่นกระดาษออกมา (www.paperlandonline.com) ซึ่งมีสมบัติความแข็งแรง สลายตัวได้ง่าย เนื่องจากป้องกันก๊าซไม่ได้และจะเสียความแข็งแรงเมื่อเปียกน้ำ (สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542)

## 2.5 พอลิเอทิลีน (Polyethylene : PE)

### 2.5.1 ลักษณะของพอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีนเป็นเทอร์มอพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง ทั้งมีจุดหลอมเหลวต่ำเมื่อเทียบกับพลาสติกชนิดอื่น ๆ ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำ พอลิเอทิลีนผลิตจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชั่น (Polymerisation) ของก๊าซเอทิลีน พอลิเอทิลีนจะมีลักษณะสีขาวขุ่นโปร่งแสง มีความเหนียว ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี และเป็นฉนวนไฟฟ้า นิยมนำมาผลิตเป็นถุงร้อน ขวดใส่น้ำ เครื่องเล่นของเด็ก ถุงใส่แผ่นฟิล์ม และเก้าอี้ เป็นต้น ซึ่งมีสูตรโครงสร้างของพอลิเอทิลีนดังนี้ (ปุ่น, 2541)



**รูปที่ 2.3** สูตรโครงสร้างของพอลิเอทิลีน

### 2.5.2 สมบัติของพอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีนมีสมบัติที่ดีคือ มีความทนทานต่อสารเคมี หยุ่นตัวได้ ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ติดแม่พิมพ์ มีความเหนียว ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้า ใส่สีผสมได้ง่าย มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้ เมื่อความหนาแน่นสูงขึ้นจะทำให้มีความแข็งและความเหนียวเพิ่มขึ้น

## 2.6 แผ่นไม้อัด (Particle Board)

### 2.6.1 ความหมายของแผ่นไม้อัด

แผ่นไม้อัดเป็นผลิตภัณฑ์จากไม้ที่ย่อยเป็นชิ้น ไสเป็นฝอย หรือแยกเป็นเส้นใยโดยมีวัสดุประสานเป็นตัวประสาน (เช่น ยูเรียฟอร์มัลดิไฮด์ พีวีซี และพอลิยูริเทน ฯลฯ) แล้วนำมาอัดรวมกันเข้าเป็นแผ่น จนเป็นแผ่นไม้อัดที่สามารถใช้งานได้ จัดเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ไม้ขนาดเล็ก ตลอดจนเศษไม้ปลายไม้ที่ทำให้เกิดประโยชน์ (ธีระ และทรงกลด, 2535)

**2.6.2 ประเภทของแผ่นไม้อัด**

สามารถแบ่งแผ่นไม้อัดออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

**1. แผ่นชิ้นไม้อัด (Particleboard)**

แผ่นชิ้นไม้อัดใช้เศษไม้ปลายไม้ มีลักษณะแผ่นชิ้นไม้อัดขนาดลดหลั่น (Graduated) ชนิดแผ่นชิ้นไม้อัด 3 ชั้น (3 Layer) และ 1 ชั้น (Single - layer) ซึ่งยังไม่มีการผลิตในประเทศ แผ่นชิ้นไม้อัดเริ่มมีบทบาทเด่นชัดขึ้นเพราะสามารถใช้ทดแทนไม้ได้ และราคาถูกกว่าอีกด้วย

**2. แผ่นใยไม้อัด (Fiberboard)**

แผ่นใยไม้อัดสามารถผลิตแผ่นไม้ให้ทดแทนแผ่นไม้อัดไม้ประกอบอื่น ๆ ได้ดี โดยเฉพาะแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (MDF) ซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงไม้ธรรมชาติ นอกจากนี้แผ่นใยไม้อัดยังสามารถที่จะนำพืชเส้นใยทางการเกษตร เช่น ปอ ฝ้าย เป็นต้น นับว่าเป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องจากการเกษตร

**3.แผ่นใยไม้อัดแข็ง (Hard board)**

แผ่นใยไม้อัดแข็งทำมาจากเส้นใยของเนื้อไม้นำมาอัดเป็นแผ่นโดยใช้สารลิกนินในเส้นใยเป็นสารเชื่อม ไม่ใช้กาว และยังสามารถใช้ไม้ยูคาลิปตัส เศษไม้ปลายไม้ชนิดต่างๆ และพืชเส้นใยพวกชานอ้อย มาเป็นวัตถุดิบได้เช่นเดียวกัน (http://www.greenwood1993.com)

**2.6.3 องค์ประกอบของแผ่นไม้อัด**

**1. เส้นใย (Fibers)** คือ มีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียว องค์ประกอบของเซลล์ส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส เกิดจากการรวมตัวของพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) ของกลูโคส (glucose) ซึ่งโมเลกุลของเซลลูโลสเรียงตัวกันในผนังเซลล์ของพืชเป็นหน่วยเส้นใยขนาดเล็กมาก เกิดการเกาะจับตัวกันเป็นเส้นใยขึ้น ซึ่งเส้นใยมี 3 ประเภท ดังนี้

ก. เส้นใยจากธรรมชาติ ส่วนใหญ่เป็นเส้นใยที่ประกอบด้วยเซลลูโลส ซึ่งได้จากส่วนต่างๆของพืช เช่น ป่าน ปอ ลินิน ใยสับปะรด ใยมะพร้าว ฝ้าย นุ่น เป็นต้น

ข. เส้นใยสังเคราะห์ เป็นเส้นใยที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นจากสารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์ใช้ทดแทนเส้นใยจากธรรมชาติ เช่น เส้นใยพอลิเอไมด์ (ไนลอน)

ค. เส้นใยกึ่งสังเคราะห์ เป็นเส้นใยที่ได้จากการนำสารจากธรรมชาติ มาปรับปรุงโครงสร้างให้เหมาะกับการใช้งาน เช่น การนำเซลลูโลสจากพืชมาทำปฏิกิริยากับสารเคมีบางชนิด เส้นใยกึ่งสังเคราะห์นำมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่าเส้นใยธรรมชาติ ตัวอย่างเส้นใยกึ่งสังเคราะห์ เช่น วิสคอสเรยอง แบมเบอร์กเรยอง เป็นต้น (http.//www.baanjomyut.com)

**2. วัสดุประสาน** คือ วัสดุที่ใช้ผสมลงไปในวัสดุที่จะนำมาอัดเป็นแผ่น เพื่อทำให้วัสดุดังกล่าวยึดติดกันได้ดียิ่งขึ้น (สุนทร, 2547) ซึ่งใช้พวกพอลิเมอร์เป็นวัสดุประสานเป็นส่วนใหญ่ สามารถแบ่งชนิดของพอลิเมอร์ออกได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

**ก. เทอร์โมพลาสติก (Therinoplastic)** คือ เทอร์โมพลาสติกเป็นวัสดุพอลิเมอร์แบบเส้นตรงหรือแบบมีกิ่งสาขา ที่อ่อนตัวลงเมื่อถูกความร้อนและแข็งตัวใหม่เมื่อถูกทำให้เย็น และสามารถนำกลับมาหลอมใหม่ได้หลังจากผ่านกระบวนการแปรรูป เทอร์โมพลาสติกประเภทนี้ ได้แก่ (สมศักดิ์, 2543)

1.1 พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) พอลิเอทิลีนเป็นพลาสติกที่มีการใช้มากที่สุดและมีราคาถูก พอลิเอทิลีนเป็นเทอร์มอพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นโปร่งแสง ซึ่งสามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ ถุงเย็น เก้าอี้ ถุงบรรจุขนมปัง และกล่องเครื่องดื่ม เป็นต้น

1.2 พอลิพรอไพลีน (Polypropylene: PP) ทำมาจากก๊าซโพรเทน ใช้ทำถุงพลาสติกร้อน มีลักษณะขาวขุ่น ทึบแสงกว่าพอลิเอทิลีน สามารถลอยน้ำได้เช่นเดียวกันกับพอลิเอทิลีน

1.3 พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC) ทำจากอะเซทิลีนกับกรดเกลือ โดยขบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน มีสมบัติพิเศษคือ ทนต่อกรด และแอลกอฮอล์ มีลักษณะทั้งเป็นแข็งคงรูปและอ่อนเหนียว ใช้ทำเป็นฉนวนไฟฟ้าอย่างดี

1.4 พอลิสไตรีน (Polysthyrene) เป็นพลาสติกมีความใสเหมือนแก้ว ไม่มีสี และสามารถย้อมสีได้ เปราะ มีคุณสมบัติทนกรด ด่าง และเกลือ ละลายได้ดีในเบนซิน และตัวทำละลายพวกอินทรีย์ ใช้ทำโฟม ไม้บรรทัด แปรงสีฟัน เป็นต้น

**ข. เทอร์โมเซต (Thermosetting plastic)** คือ พอลิเมอร์ที่หลังจากการแปรรูปแล้ว จะแข็งตัวอย่างถาวร และหลังการแปรรูปแล้วไม่สามารถหลอมใหม่ได้ แต่ถ้าให้ความร้อนสูงจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ พอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมเซตนี้ได้แก่

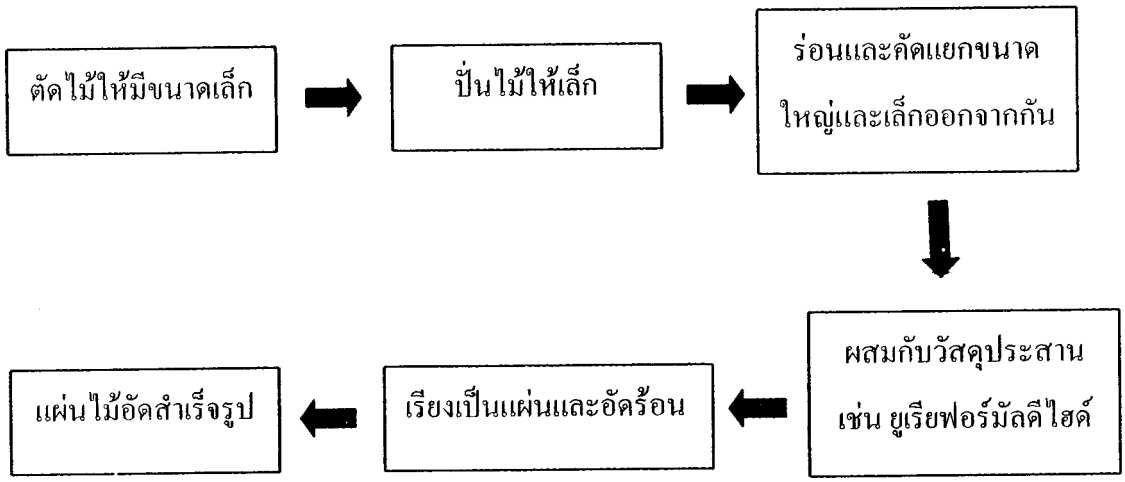
2.1 ฟีนอล ฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (Phenolformaldehyde resin) ทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนคุณสมบัติ คือ แข็งทนต่อความร้อนใช้ทำฉนวนไฟฟ้า ตู้ วิทยุ อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ

2.2 เมลามีน ฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน (Malaminformaldyhile resin) มีสมบัติที่ดีคือ ทนต่อความร้อนได้ถึง 250 องศาเซลเซียส ทนต่อสารละลาย และแรงกระแทก แต่ไม่ทำปฏิกิริยากับอากาศ กรด เบส ส่วนใหญ่ใช้ทำพลาสติกอย่างดี ราคาแพง ฉนวนไฟฟ้า เป็นต้น

3.3 ยูเรีย ฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (Urea formaldyhile resin) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากฟอร์มัลดีไฮด์กับยูเรีย เป็นพลาสติกที่แตกง่ายมีสีขาวใส สามารถย้อมเป็นสีต่าง ๆ ได้ ไม่ทนต่อกรด ด่าง และแรงกระแทก ใช้ทำกาวแผ่นไม้อัด ทำปุ่มจับด้ามเครื่องมือ เป็นต้น (เจริญ, 2544)

**2.6.4 กระบวนการผลิตแผ่นไม้อัด**

กระบวนการผลิตแผ่นไม้อัดประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ในการผลิตที่แตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตของแหล่งผลิต โดยเฉพาะวิธีการผลิตดังต่อไปนี้ ซึ่งจะนิยมใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมไม้เป็นส่วนใหญ่ ดังรูปที่ 2.3




**รูปที่ 2.4** กระบวนการผลิตแผ่นไม้อัด (ทวีศักดิ์, 2543)

จากกระบวนการผลิตแผ่นไม้อัดในรูปที่ 2.3 ทำโดยการเตรียมวัสดุไม้ที่เหลือจากอุตสาหกรรมการแปรรูปไม้ต่าง ๆ เข้าเครื่องย่อยเป็นชิ้นเล็ก ๆ ตามความต้องการ นำไม้ที่ได้จากการย่อยเป็นชิ้นเข้าตู้อบซึ่งเป็นแบบหมุนกระจายความร้อน (rotary drum drier) เพื่อให้ชิ้นไม้แห้งมีความชื้นตามกำหนด ไม้ที่อบนี้จะมีความชื้นอยู่ประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ หลังจากอบ และนำเข้าเครื่องร่อนเป็นตัวแยกชนิดของไม้ ซึ่งจะแยกไม้อย่างละเอียดและอย่างหยาบ ส่วนชิ้นไม้ที่ขนาดใหญ่ที่เหลือจากการร่อนจะถูกนำไปบดด้วยเครื่องบด (hammer mill) และจะถูกส่งเข้าเครื่องร่อนและแยกอีกครั้ง นำไม้ที่ได้ฟอร์มแผ่น โดยนำผงไม้ที่ได้ผสมกับวัสดุประสาน ซึ่งในการผสมวัสดุประสานกับไม้นับเป็นขั้นตอนสำคัญอย่างหนึ่งของการทำแผ่นไม้อัด เมื่อเรียงเสร็จจึงนำไปผ่านแม่เหล็กเพื่อดูดแม่เหล็กที่หลงเหลืออยู่ จากนั้นจะผ่านแท่งอัดร้อนใช้แรงอัดประมาณ 720 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนความร้อนขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นไม้อัดและชนิดของวัสดุประสาน เช่น หากใช้ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ และต้องการความหนา 3 มิลลิเมตร จะใช้ความร้อนประมาณ 165-170 องศาเซลเซียส ถ้าความหนา 16-19 มิลลิเมตร จะต้องใช้ความร้อนมากขึ้น เมื่อเรียงและอัดร้อนเสร็จ ต้องผ่านเครื่องชั่งน้ำหนักเป็นการตรวจสอบว่าอยู่ในค่าน้ำหนักที่กำหนดเสร็จแล้วจะผ่านเข้าเลื่อยตัดแผ่นไม้อัด ซึ่งมีขนาด 2.50 × 10 เมตร จะตัดได้ขนาด 4 × 8 ฟุต ได้ประมาณ 8 แผ่น พอดีตัดตามยาวก่อนแล้วจึงตัดตามขวาง เมื่อตัดเป็นแผ่นแล้วจึงเก็บไว้ 3-5 วัน เพื่อให้ความร้อนคลายตัว จากนั้นจึงผ่านเข้าเครื่องขัดกระดาษทรายเพื่อปรับความหนาและผิวหน้าเรียบสม่ำเสมอ (ทวีศักดิ์, 2543)

### 2.6.5 สมบัติและมาตรฐานการทดสอบของแผ่นไม้อัด

โดยทั่วไปสมบัติของแผ่นไม้อัดจะมีความแข็งแรงทนทานสูง มีความคงตัวไม่ยืดหด สามารถตัด เลื่อย ฉลุได้ง่าย ไม่แตกหัก โค้งงอได้โดยไม่ฉีกหัก และรับน้ำหนักได้ในอัตราที่สูงกว่าไม้ธรรมดา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติและลักษณะทั่วไปของไม้อัด เช่น น้ำหนัก ความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความแข็ง และความทนทาน แผ่นไม้อัดแต่ละชนิดมีมาตรฐานในการควบคุมที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้คือ การนำกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมาผลิตเป็นแผ่นอัด ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้มาตรฐาน มอก.876-2532 โดยมีการกำหนดลักษณะทั่วไปของแผ่นอัด เช่น จำนวนชั้น และสมบัติสำคัญต่าง ๆ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.2** สมบัติของแผ่นชิ้นไม้อัดตามมาตรฐาน มอก.876-2532

| สมบัติ | เกณฑ์ที่กำหนด | | | |
|---|---|---|---|---|
| | จำนวนชั้น | | | |
| | 6 ชั้น | 10 ชั้น | 15 ชั้น | 30 ชั้น |
| การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) ไม่เกิน | | | | |
| -2 ชั่วโมง | 40 | 40 | 40 | 40 |
| -24 ชั่งโมง | 80 | 80 | 80 | 80 |
| การพองตัวเมื่อแช่น้ำ (ร้อยละ) ไม่เกิน | 12 | 12 | 12 | 12 |
| ความแข็ง (มากกว่า 40 ) | 40 | 40 | 40 | 40 |

**ที่มา:** (มอก. 876-2532 )

**2.6.6 การทดสอบสมบัติของแผ่นไม้อัด**

1. ความแข็ง (Durometer Shore D) คือ การวัดความแข็งโดยใช้เครื่องมือ Durometer Shore D กดลงบนผิวของชิ้นทดสอบ โดยอาศัยหัวกดที่เป็นเข็ม และใช้แรงในการกดลงไปบนชิ้นทดสอบ 4-5 จุด ทั้งหน้าและหลังชิ้นทดสอบ

2. การพองตัวเมื่อแช่น้ำ คือ การวัดความหนาของชิ้นทดสอบก่อนและหลังการแช่น้ำ

3. การดูดซึมน้ำ คือ การชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนและหลังการแช่น้ำ

4. การดัดโค้ง (Universal Testing) คือ เป็นการทดสอบแบบ 3 จุด (3-Point Loading) กำหนดจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบและวางบนจุดรองรับตัวอย่าง ใช้อัตราเร็วในการทดสอบ 50 มิลลิเมตรต่อนาที วัดค่าแรงกดสูงสุดที่วัดได้ (N)

**2.7 แผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที**

**2.7.1 แผ่นอัด** หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีหลายแผ่นมาประกอบอัดให้เป็นแผ่น ซึ่งโดยทั่วไปแผ่นอัดจะได้มาจากแผ่นอัดจากชานอ้อย แผ่นอัดจากไม้ประกอบ เป็นต้น และแผ่นจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีนั้นจะมีส่วนประกอบที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ กล่องเครื่องดื่มยูเอชที ซึ่งมีสมบัติของแผ่นอัดและมาตรฐานการทดสอบแผ่นอัด ได้แก่ การหักงอ ความแข็ง การพองตัวเมื่อแช่น้ำ และดูดซึมน้ำ และเมื่อได้แผ่นอัดแล้วสามารถนำแผ่นอัดไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ทำเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นโต๊ะ ตู้ เก้าอี้ เป็นต้น

**2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

**2.8.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้กล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเป็นแผ่นอัด**

ทรงกลด และวรธรรม (2541) ได้ศึกษาวิจัยการนำกล่องนม U.H.T. กลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบของแผ่นไม้อัดโดยใช้ชิ้นกล่องนม U.H.T. กับชิ้นเกล็ดไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซีส อายุ 15 ปี โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นไม้อัด ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ค่าความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ และการดูดซึมน้ำ แปรผันตามอัตราส่วนของชิ้นเกล็ดไม้ที่เพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าแปรผกผันตามอัตราส่วนของชิ้นเกล็ดไม้ที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความต้านแรงดัดและ

มอดุลัสยืดหยุ่นจะแปรผกผันตามอัตราส่วนของชิ้นเกล็ดไม้ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นไม้อัดกับสมบัติของแผ่นไม้อัดจากไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส อายุ 15 ปี และกับเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบ : ความหนาแน่นปานกลาง มอก. 876-2532 พบว่า แผ่นไม้อัดอัตราส่วน 80:20 มีสมบัติดีที่สุด

Nadir และคณะ (2008) ได้ศึกษาวิธีประเมินคุณสมบัติที่เหมาะสมของแผ่นกระดาษแข็งซึ่งจะนำมาซ้อนทับกันกับไม้บีช (Beech) แผ่นกระดาษแข็งซึ่งนำมาใช้ในการทดลองนี้ได้มาจากกล่องบรรจุภัณฑ์ทั้งอาหารและเครื่องดื่มซึ่งผ่านการรีไซเคลแล้ว ประกอบด้วย กระดาษแข็ง 75%, พอลิเอทิลีนที่ความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene หรือ LDPE) 20%, และอลูมิเนียมฟอยล์ 5% นำส่วนประกอบเหล่านี้มาซ้อนทับกันโดยอาศัยการยึดติดกับวัสดุ 4 ชนิดต่อไปนี้ พอลียูรีเทน (Polyurethane) ฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ (Phenol-formaldehyde) ยูเรียฟอร์มาดีไฮด์(Urea-formaldehyde) และเมลามีน-ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (Melamine-urea formaldehyde) ผลการศึกษาพบว่า พอลียูรีเทนยึดติดได้ดีกว่า และการดูดซึมน้ำต่ำกว่าตัวอย่างซึ่งใช้สารประเภทอื่นยึดติด ผลจากการค้นพบครั้งนี้ องค์ประกอบของกล่องกระดาษซึ่งซ้อนทับกันถูกนำมาพิจารณาเรื่องการเลือกใช้วัตถุดิบให้เหมาะสมกับการผลิต เช่น เลือกใช้เพื่อนำมาทำเป็นเฟอร์นิเจอร์ อ่างล้างหน้า พื้น และตู้กับข้าว เป็นต้น

**2.8.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นอัด**

ฉันท์ทิพ และมนทิพย์ (2552) ได้ศึกษากระบวนการผลิตของแผ่นอัดจากใยมะพร้าว ชานอ้อย ฟางข้าว และแกลบ โดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูป ( Compression Molding ) และตัวแปรที่จะใช้ศึกษาได้แก่ ชนิดและปริมาณของวัสดุประสานที่เหมาะสม ซึ่งใช้วัสดุประสานของพอลิเมอร์ ได้แก่ ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และศึกษาสมบัติของแผ่นอัดแผ่นอัดจากใยมะพร้าว ชานอ้อย ฟางข้าว และแกลบ อันได้แก่ สมบัติเชิงกล และการดูดซึมน้ำ จากผลการทดลองพบว่า การผลิตแผ่นอัดจากเส้นใยธรรมชาติต่างชนิดกัน จะใช้ปริมาณสารเชื่อมประสานที่ต่างกัน และในการผลิตแผ่นอัดโดยใช้ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นวัสดุประสานในปริมาณต่ำกว่าการใช้พอลิเอทิลีนเป็นวัสดุประสาน จากการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำพบว่า ถ้าใช้ปริมาณวัสดุประสานมากขึ้นจะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นอัดลดลง นอกจากนี้เส้นใยที่ต่างกันจะให้สมบัติการดูดซึมน้ำที่ต่างกัน การใช้พอลิเอทิลีนเป็นวัสดุประสานจะทำให้ได้แผ่นอัดที่มีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำ จากการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าถ้าใช้ปริมาณวัสดุประสานมากขึ้นจะทำให้สมบัติเชิงกลของแผ่นอัดดีขึ้น นอกจากนี้เส้นใยที่ต่างกันจะให้สมบัติเชิงกลที่ต่างกัน การ

ใช้ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เป็นวัสดุประสานจะทำให้ได้แผ่นอัดสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการใช้พอลิเอทิลีนเป็นวัสดุประสาน

กิตติเดช และคณะ (2546) ได้ศึกษาการเตรียมพอลิเอสเทอร์เรซิน (Polyester resin) จากขวด Poly (ethylene terepthalate: PET) ที่ใช้แล้ว ด้วยวิธีการย่อยสลายขวด PET โดยกระบวนการไกลไลซิส (Glycolysis) โดยใช้ไกลคอล (glycol) เป็นตัวทำละลาย จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ ปฏิกิริยาพอลิเอสเทอร์ฟีเคชัน (Polyesterification) โดยใช้กรดอินทรีย์เป็นมอนอเมอร์เป็นตัวแปร และอัตราส่วนของกรดอินทรีย์ต่อ Glycolyzed Products โดยกรดอินทรีย์ที่สภาวะเหมาะสม คือ อัตราส่วน Maleic acid 1: 3 อุณหภูมิ 180 ºC เวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งได้ลักษณะของพอลิเอสเทอร์เรซิน ที่มีความหนืด มีกลิ่นฉุนคล้ายกาว มีความเหนียว จากนั้นผสมไฮโดรควีไนน ( Hydroquinone) เพื่อชะลอการแข็งตัวของพอลิเอสเทอร์เรซินที่ได้ไปทากับแผ่นไม้บาง อัดร้อนที่อุณหภูมิ 110 ºC เพื่อผลิตไม้อัด ซึ่งหลังจากการอัดร้อนแล้วพบว่า พอลิเอสเทอร์เรซินได้ซึมเข้าเนื้อไม้ทำให้ไม่ปรากฏชั้นของ พอลิเอสเทอร์เรซินระหว่างไม้

ณัฐวุฒิ และคณะ(2547) ได้ศึกษาการผลิตแผ่นชิ้นอัดจากใบสัก ไม้อัดที่ได้มีความหนาแน่น 750 กก./ลบ.ม ความหนาของแผ่นเท่ากับ 10 มม. ใช้ปริมาณยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ 13% ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ 7% ไอโซไซยาเนต 5% และยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ผสมกับไอโซไซยาเนตในอัตราส่วนไอโซไซยาเนต 5% , 10% และ 15% ในสัดส่วนกาวทั้งหมด 13% เทียบกับน้ำหนักใบสักแห้ง โดยมีรายละเอียดการผลิตดังนี้ คือ ทำการอัดด้วยเครื่องอัดร้อน ความดันในการอัด 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อุณหภูมิในการอัด 120 - 130 องศาเซลเซียส เวลาในการอัด 5 นาที ความชื้นใบสักก่อนการผสมกาวมีความชื้นไม่เกิน 5 - 6% สำหรับยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ และยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ผสมกับไอโซไซยาเนต มีความชื้นไม่เกิน 12% สำหรับไอโซไซยาเนตได้แผ่นชิ้นอัดจากใบสักที่มีความหนาแน่นเฉลี่ย 790 – 840 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของ ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ และไอโซไซยาเนต พบว่าไอโซไซยาเนตให้ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่ดีกว่ายูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ และฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ ส่วนไอโซไซยาเนตผสมในยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ 5% 10% และ 15% ในอัตราส่วนไอโซไซยาเนต 15% ให้ผลสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าอัตราส่วน 5% และ 10% เมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน JIS A 5908 - 1994 พบว่าแผ่นทดสอบทุกชนิดของวัสดุประสาน มีความหนาแน่นและความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดของมาตรฐาน แต่สมบัติการพองตัวและสมบัติ

เชิงกลไม่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกชนิดของวัสดุประสาน ยกเว้นแผ่นชิ้นอัดจากใบสักที่ใช้ไอโซไซยาเนตและไอโซไซยาเนตผสมกับยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ 5% 10% และ 15% มีความต้านทานแรงดึงที่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด เนื่องจากสมบัติของชิ้นอัด ปริมาณกาวและชนิดกาวนั้น ๆ ควรทำการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นดีขึ้นต่อ ๆ ไป

วรธรรม และคณะ (2546) ได้ศึกษาขนาดของขี้เลื่อยและขนาดของเศษไม้สักควบคู่กับการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ได้แก่ปัจจัยการใช้ชนิดของวัสดุที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ และไอโซไซยาเนต ชนิด polymeric diphenylmethane diisocyanate (P-MDI) ผลการศึกษาพบว่า จากการทดสอบสมบัติ ความต้านแรงดัด มอดุลัสยืดหยุ่น และความต้านแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าของแผ่นชิ้นไม้อัด พบว่าเมื่อใช้วัสดุประสานแผ่นชิ้นไม้อัดจากขี้เลื่อยจะมีค่าที่สูงกว่าแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษไม้สัก ยกเว้น ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ 7 % จะให้ค่าความต้านแรงดัด มอดุลัสยืดหยุ่นต่ำกว่า ส่วนสมบัติการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ปรากฏแผ่นชิ้นไม้อัดจากขี้เลื่อยจะมีการพองตัวเมื่อแช่น้ำได้ดีกว่าแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษไม้สัก ไม่ว่าจะผลิตด้วยวัสดุประสานชนิดใดก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นชิ้นไม้อัดกับเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน JIS A 5908 (1994) พบว่าแผ่นชิ้นไม้อัดจากขี้เลื่อยจะมีสมบัติดีกว่าแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษไม้สัก

เศกสิทธิ์ และคณะ (2547) ได้ศึกษาการเตรียมแผ่นอัดจากวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์มะขาม โดยใช้เปลือกและรกหุ้มเนื้อของฝักมะขามอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้อัด มี 6 ประเภท ตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกต่อรกหุ้มเนื้อของฝักมะขามเท่ากับ 10 : 0 , 8 : 2 , 6 : 4 , 4 : 6 , 2 : 8 , 0 :10 ใช้กรรมวิธีการอัดขึ้นรูปร้อนด้วยไฮโดรลิค ขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้อัดชั้นเดียวแบบอัดราบ ผลการพัฒนาพบว่าแผ่นไม้อัดมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของแผ่นไม้อัด 0.72 - 0.78 กรัม./ลบ.ซม. ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยของแผ่นไม้อัด 5.15 - 8.17 เปอร์เซ็นต์ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของแผ่นไม้อัด 48.23 - 62.19 เปอร์เซ็นต์ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำเฉลี่ยของแผ่นไม้อัด 13.28 - 32.00 เปอร์เซ็นต์ค่าความต้านแรงดัดเฉลี่ยของแผ่นไม้อัด 2.00 - 21.91 นิวตัน/ตร.มม ค่าแรงยึดเหนี่ยวภายในเฉลี่ยของแผ่นไม้อัด 0.59 - 2.28 นิวตัน/ตร.มม ค่าความยืดเหนี่ยวของตะปูเกลียวเฉลี่ยของแผ่นไม้อัด 206.43 - 1,223.79 นิวตัน ผลการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นไม้อัด (JIS A 5908 - 1994) พบว่าการใช้ปริมาณอัตราส่วนของเปลือกต่อรกหุ้มเนื้อของฝักมะขามที่แตกต่างกันจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นไม้อัด (JIS A 5908 - 1994) ดังนี้ สมบัติทางกายภาพของแผ่นไม้อัดด้านความหนาแน่น

ปริมาณความชื้น และความยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวเฉลี่ยของแผ่นไม้อัด มีสมบัติทางกายภาพผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นไม้อัด (JIS A 5908 - 1994) ทุกอัตราส่วน และผลการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของแผ่นไม้อัดจากวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์มะขามทั้ง 6 อัตราส่วน พบว่า สมบัติทางกายภาพด้านความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนสมบัติทางกายภาพด้านความต้านแรงดัด และความยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว พบว่า มีความแตกต่างกันทุกอัตราส่วน นอกนั้นสมบัติทางกายภาพด้านปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ การพองตัวเมื่อแช่น้ำ และแรงยึดเหนี่ยวภายในของแผ่นไม้อัด ผลการเปรียบเทียบพบว่ามีความแตกต่างกันบางอัตราส่วน สรุปได้ว่าการใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกต่อรกหุ้มเนื้อของฝักมะขามที่แตกต่างกันจะมีสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันโดยแนวโน้มปริมาณของรกหุ้มเนื้อของฝักมะขาม ในอัตราส่วนที่สูงขึ้นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นไม้อัด (JIS A 5908 - 1994) ที่สูงขึ้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# บทที่ 3

# วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมและสมบัติของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที งานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการขึ้นรูปกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเป็นแผ่น ตอนที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพหรือคุณสมบัติของแผ่นอัดจากเครื่องดื่มยูเอชที

## 3.1 วัสดุ

### 3.1.1 กล่องเครื่องดื่มยูเอชที ได้แก่

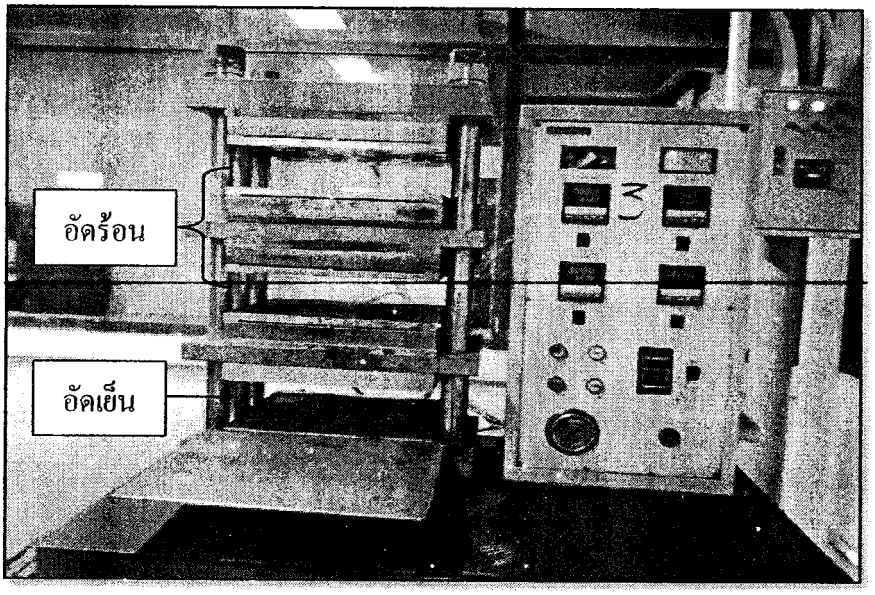
3.1.1.1 กล่องน้ำผลไม้ อิชิตันกรีนที ปริมาตรสุทธิ 250 มิลลิลิตร และโออิชิ ปริมาตรสุทธิ 250 มิลลิลิตร

3.1.1.2 กล่องนม ไมโลไวตามิ้ลค์ แลคตาซอย ปริมาตรสุทธิ 250 มิลลิลิตร โอวัลติน ดัชมิลล์ ดีน่า ปริมาตรสุทธิ 180 มิลลิลิตร แลคตาซอย ปริมาตรสุทธิ 300 มิลลิลิตร โฟร์โมสต์ ปริมาตรสุทธิ 225 มิลลิลิตรนมโรงเรียน ปริมาตรสุทธิ 200 มิลลิลิตร

รายละเอียดองค์ประกอบของกล่องเครื่องดื่มยูเอชที แสดงไว้ในบทที่ 2 ทฤษฎี

## 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 เครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงานไฮโดรลิค (hydraulic compression machine) Gotech รุ่น GT-7014-A10C ผลิตโดยบริษัท Gotech Testing Machine Inc. แท่นอัดขนาด แท่นอัดบน 2 แท่นเป็นแท่นอัดร้อนสามารถตั้งและควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยสามารถตั้งอุณหภูมิสูงสุดได้ 250องศาเซลเซียส แท่นล่างสุดเป็นแท่นอัดเย็น




**รูปที่ 3.1** เครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงานไฮโดรลิค

3.2.2 เครื่องทดสอบการดัดโค้ง (Universal Testing ) Narin รุ่น NRI-TS-500-5 ผลิตโดยบริษัท Narin Instrument Co.Ltd.สามารถใช้ทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง รวมถึงทดสอบความต้านทานต่อการดัดโค้งได้ด้วย

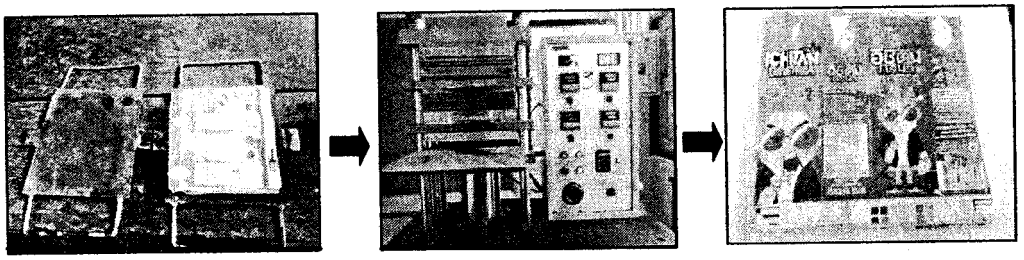
3.2.3 เครื่องทดสอบความแข็ง (Durometer Shore D) Teclock รุ่น GS-702N

3.2.4 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง Mettler Toldeo รุ่น AB204-S ชั่งได้ละเอียด 0.0001 กรัม และสามารถรับน้ำหนักสูงสุดได้ถึง 220 กรัม

**3.3 วิธีการทดลอง**

**3.3.1 การเตรียมกล่องเครื่องดื่มยูเอชเพื่อขึ้นรูป**

ล้างทำความสะอาดกล่องเครื่องดื่มที่เก็บได้จากมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ผึ่งตากแดดให้แห้ง จากนั้นตัดกล่องเครื่องดื่มยูเอชที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งในการขึ้นรูปนำกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมาจัดวางสลับกันในแต่ละชิ้นตามความหนา 6 ชั้น 10 ชั้น 15 ชั้น และ 30 ชั้น แล้ววางลงในแม่พิมพ์อัดเพื่อทำการขึ้นรูป โดยตั้งอุณหภูมิของเครื่องอัดไฮโดรลิค อุณหภูมิที่ 150 170 และ 200 องศาเซลเซียส ความดัน 25 psi และเวลาในการอัดร้อน 10 นาที เพื่อหลอมเหลวพลาสติกที่เคลือบที่กล่อง จากนั้นอัดเย็น เพื่อทำให้พลาสติก กระดาษ และอะลูมิเนียมฟอยล์ เกิดการแข็งตัว ใช้เวลาในการอัดเย็น 3 นาที จึงได้แผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที แสดงขั้นตอนดังรูปที่ 3.2



(ก) (ข) (ค)

**รูปที่ 3.2** ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปกล่องเครื่องดื่ม (ก) ลักษณะกล่องเครื่องดื่ม (ข) ขั้นตอนการอัดขึ้นรูป (ค) ลักษณะชิ้นงานที่เตรียมได้

**3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที**

**3.4.1 การทดสอบการดูดซึมของน้ำและการพองตัวเมื่อแช่น้ำ**

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.876-2532) โดยการนำแผ่นอัดจากเครื่องดื่มยูเอชทีที่ได้มาตัดเป็นชิ้นงานทดสอบขนาด 2.5×2.5 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักชิ้นงานทดสอบ (ด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และนำไปแช่น้ำกลั่นในขวดที่มีฝาปิดแน่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและ 48 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักหลังการแช่น้ำ คำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของแผ่นอัดจากเครื่องดื่มยูเอชที โดยมีสูตรการคำนวณสมการ (3.1) ดังนี้

$$\text{การดูดซึมน้ำ}(\%) = \frac{W-W_0}{W_0} \times 100 \quad \text{..... (3.1)}$$

โดยที่ $W$ คือน้ำหนักของชิ้นงานทดสอบหลังการแช่น้ำ (g)

$W_0$ คือน้ำหนักของชิ้นงานทดสอบก่อนการแช่น้ำ (g)

การทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ จะใช้วิธีการวัดความหนาของชิ้นงานทดสอบก่อนการทดสอบและหลังการแช่น้ำ โดยจะทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และคำนวณการพองตัว มีสูตรการคำนวณดังสมการที่ (3.2) ดังต่อไปนี้

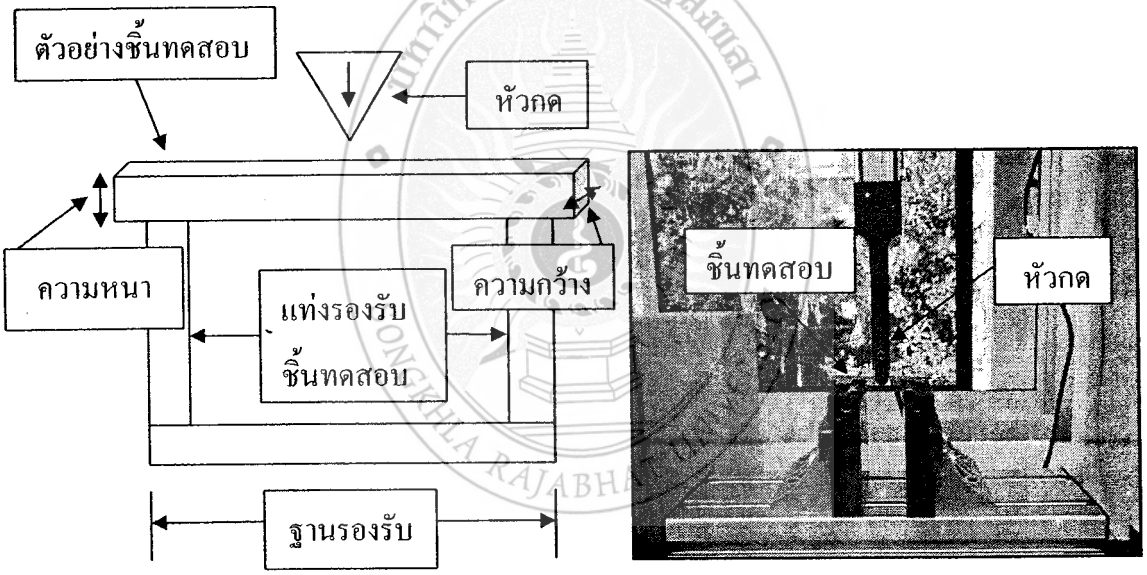
การพองตัวเมื่อแช่น้ำ (%) = $\frac{T-T_0}{T_0} \times 100$ ..... (3.2)

โดยที่ $T$ คือ ความหนาหลังการแช่น้ำ (mm)

$T_0$ คือ ความหนาก่อนการแช่น้ำ (mm)

### 3.4.2 การทดสอบการดัดโค้ง

การทดสอบการหักงอตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) 876-2532 เป็นการทดสอบแบบ 3 จุด (3-Point Loading) โดยมีการเตรียมตัวอย่างการทดสอบให้มีลักษณะเป็นแผ่น ขนาดความยาว 150 มิลลิเมตร กว้าง 25 มิลลิเมตร กำหนดจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบและวางบนจุดรองรับตัวอย่าง (Support Span) แสดงดังรูปที่ 3.3 ใช้อัตราเร็วในการทดสอบ 50 มิลลิเมตรต่อนาที วัดค่าแรงกดสูงสุดที่วัดได้ (N)



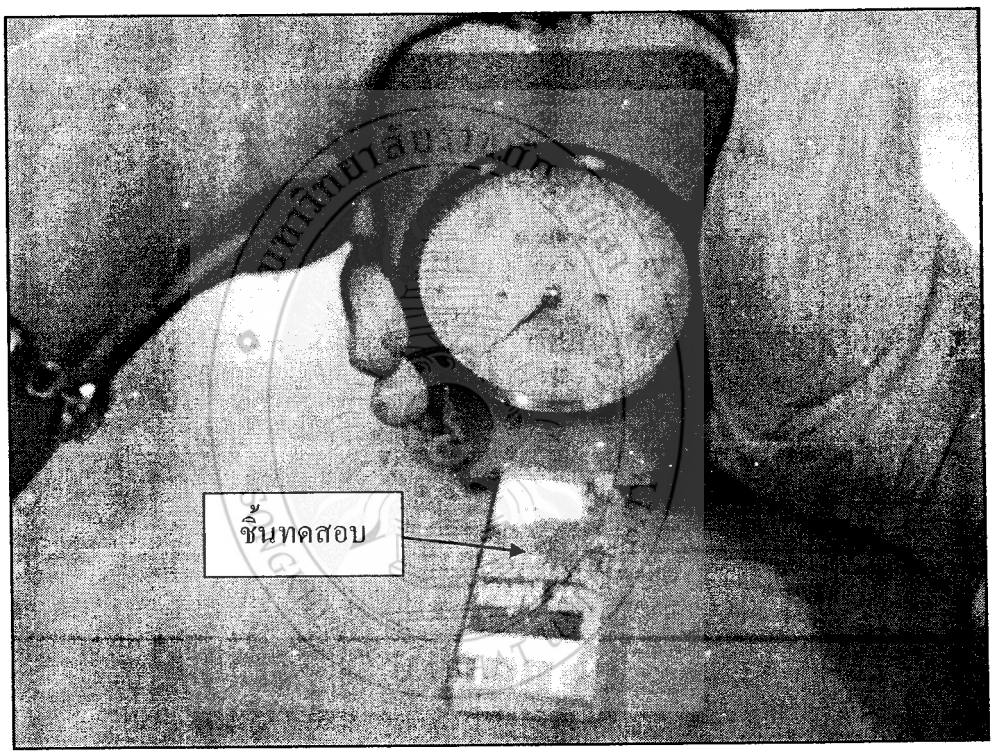

(ก) (ข)

**รูปที่ 3.3** ชิ้นตัวอย่างทดสอบการหักงอ (ก) แผนภาพจำลองเครื่องทดสอบการหักงอ (ข) ลักษณะเครื่องมือและการวางชิ้นทดสอบ

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

### 3.4.3 การทดสอบความแข็ง

เตรียมชิ้นทดสอบที่มีจำนวนชั้นที่แตกต่างกัน มาทดสอบความแข็งของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง ( Durometer Shore D ) โดยวัดความแข็งที่จุดต่างๆ 3-5 จุดของชิ้นทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที




**รูปที่ 3.4** การทดสอบความแข็ง

17 มิ.ย. 2557

# บทที่ 4

# ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

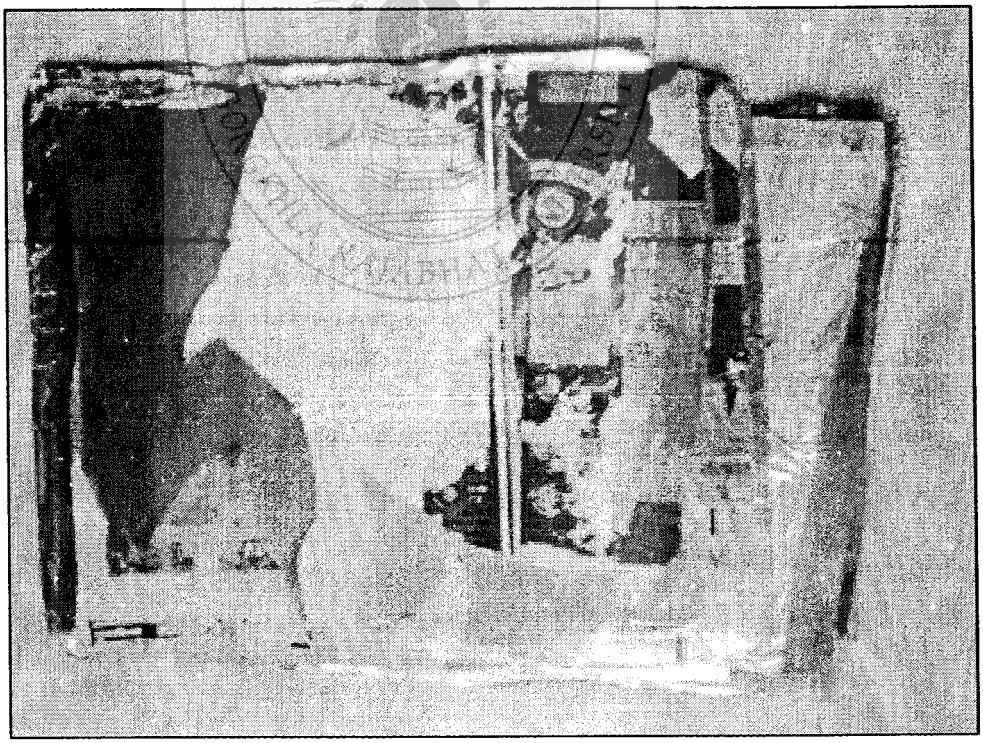
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมและสมบัติของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที รวมถึงวิธีการดำเนินการวิจัยที่ได้ให้รายละเอียดไว้ในบทที่ 3 สามารถรายงานผลของจำนวนชั้นและอุณหภูมิที่ใช้อัด ลักษณะภายนอกของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที สมบัติเชิงกลของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที และการวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อม

## 4.1 ลักษณะภายนอกของแผ่นอัดจากกล่องเครื่งดื่มยูเอชที

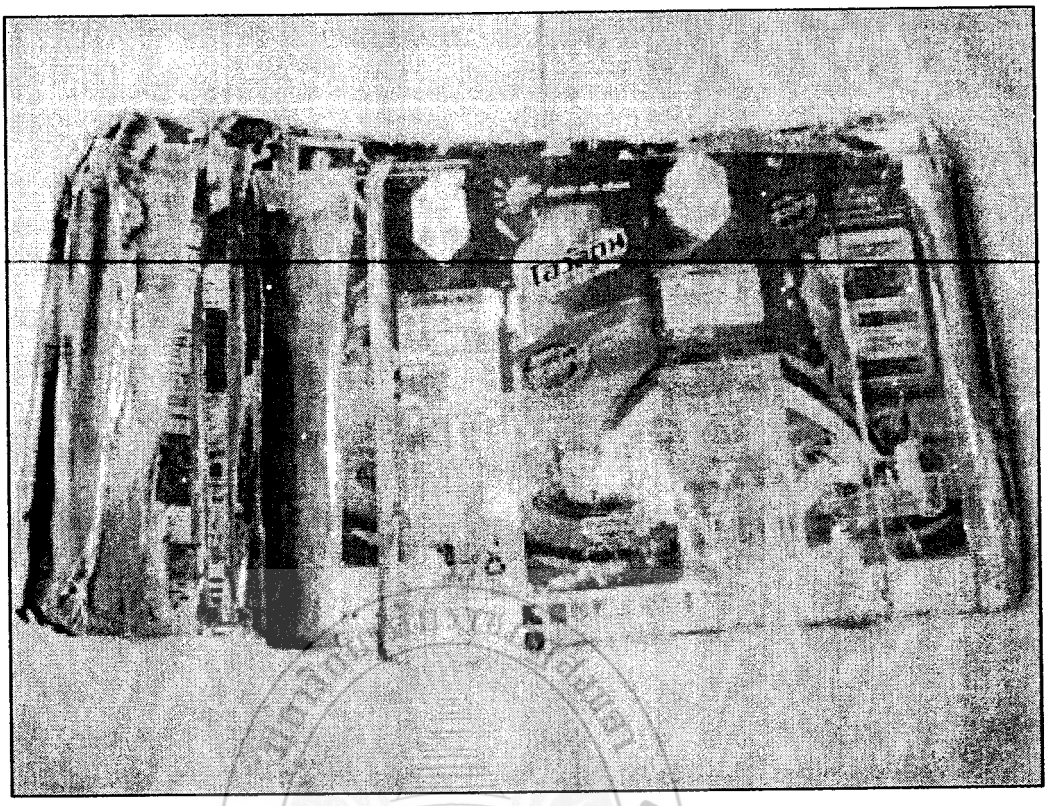
จากการอัดขึ้นรูปของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที พบว่าที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีลักษณะของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเป็นแผ่นเรียบสวย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 170 องศาเซลเซียส แผ่นอัดที่ได้มีลักษณะย่น เนื่องจากแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเกิดการไหลออกจากเบ้าอัด และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 200 องศาเซลเซียส แผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีไหลออกจากเบ้าอัดเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 4.1

(ก) ลักษณะของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่ไหลออกจากเบ้าอัด

(ข) ลักษณะแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส



(ค) ลักษณะของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส



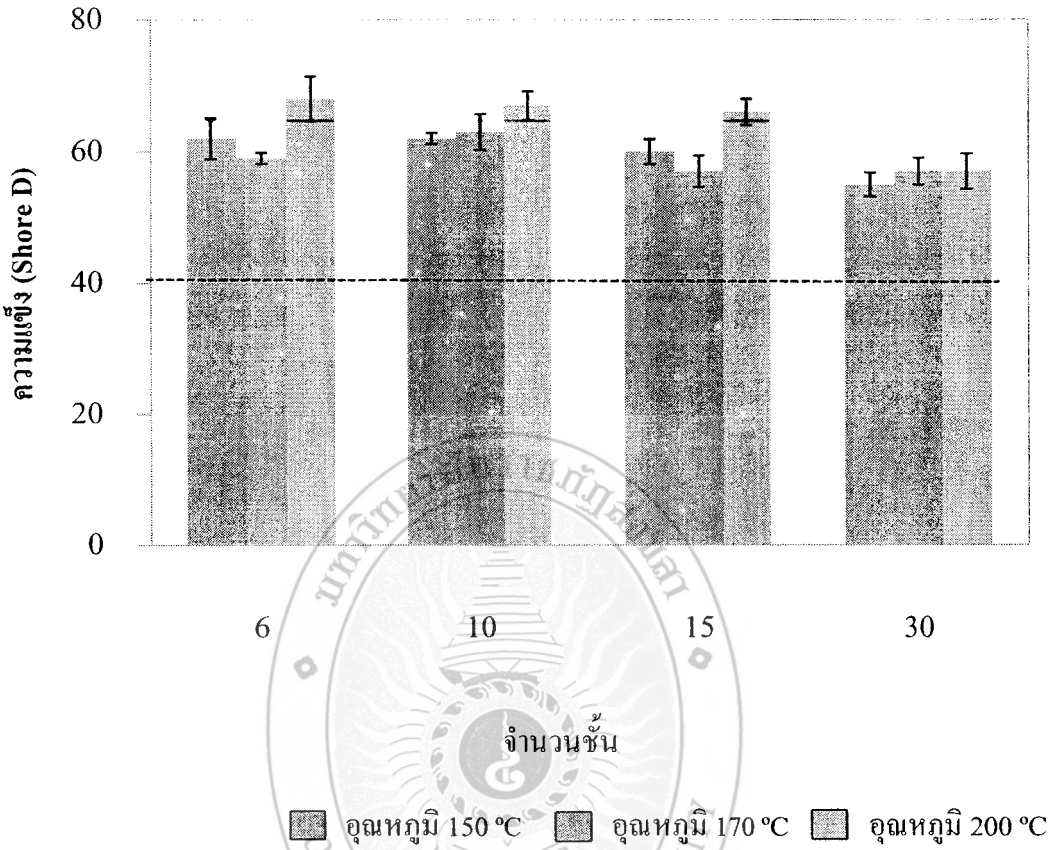
(ง) ลักษณะของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

**รูปที่ 4.1** ลักษณะภายนอกของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

**4.2 ผลการทดสอบสมบัติ**

จากการวิเคราะห์ทางกายภาพของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที มีการศึกษาสมบัติดังนี้ คือ การทดสอบสมบัติความแข็ง การทดสอบสมบัติการพองตัวเมื่อแช่น้ำ การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ และการทดสอบสมบัติการดัดโค้ง

**4.2.1 การทดสอบความแข็ง (Shore D)**

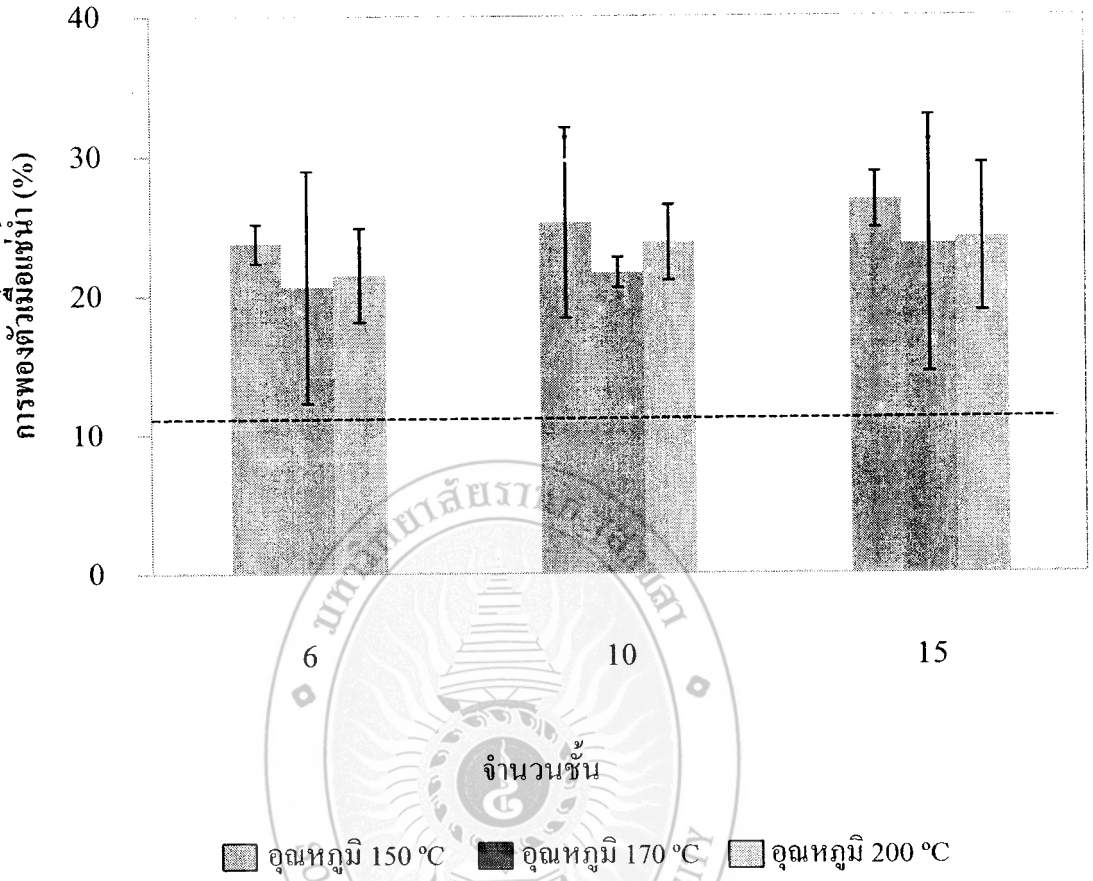



**รูปที่ 4.2** ความแข็ง (Shore D) ของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

สมบัติความแข็ง (Shore D) ของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีแสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ไม่มีผลต่อความแข็งอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อนำค่าความแข็งที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 876-2532) ผลปรากฏว่าแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีทุกชั้นผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

อธิบายได้ว่า การวัดความแข็งเป็นการวัดที่ระดับผิวของชิ้นงาน ซึ่งเป็นระดับของการกดบนผิวชิ้นงาน หัวกดที่เป็นเข็ม และใช้แรงในการกดลงไปบนชิ้นงาน ซึ่งเมื่อกดลงไปถึงชั้นของกระดาษแต่ยังไม่ถึงชั้นของพอลิเอทิลีน ทำให้ได้ค่าความแข็งสูง

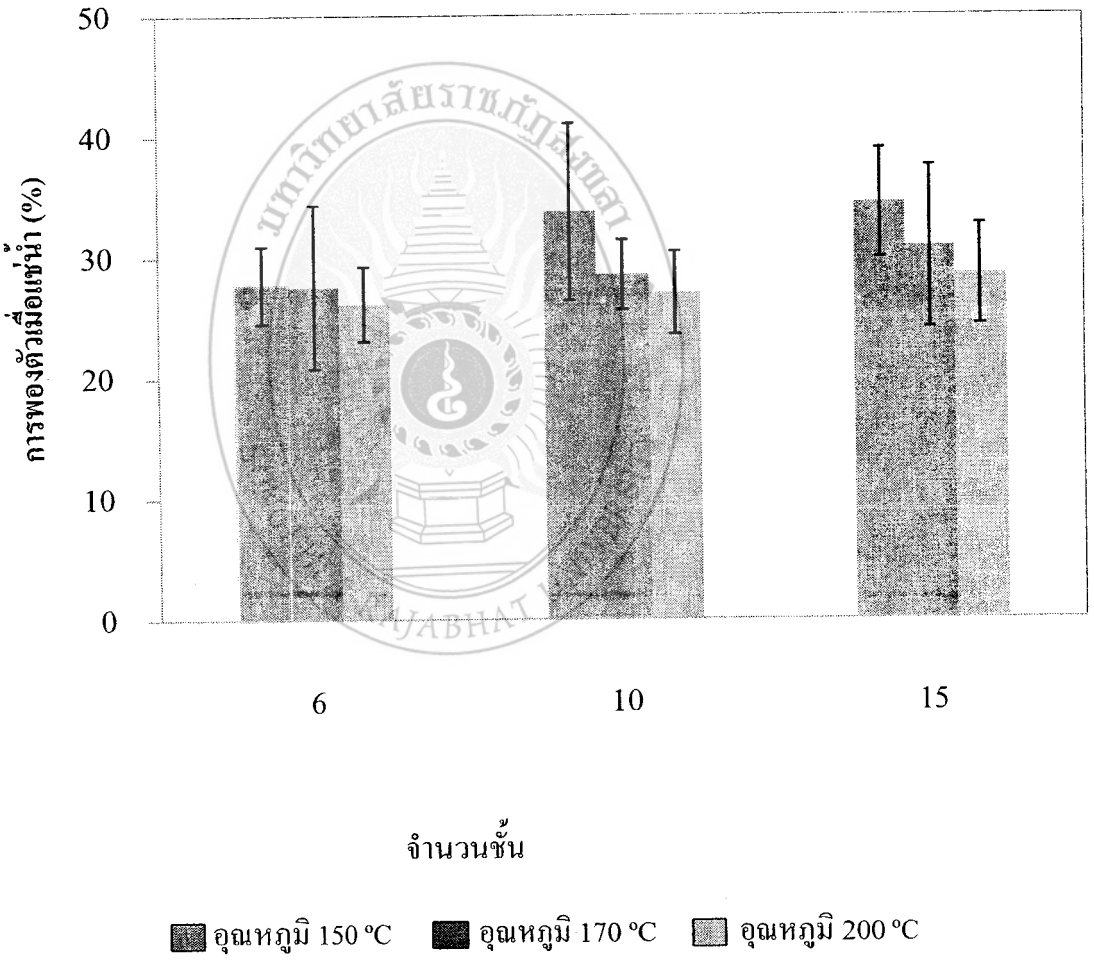
**4.2.2 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ**




**รูปที่ 4.3** เปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเป็นเวลา 24ชั่วโมง

จากการทดสอบสมบัติการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยุเอชที ได้ข้อมูลดังรูปที่ 4.3 ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นมากขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อแช่น้ำของชิ้นทดสอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จะเห็นได้จากเปอร์เซ็นต์การพองตัวที่จำนวน 15 ชั้น มีค่าการพองตัวสูงสุด และมีค่าการพองตัวต่ำสุดที่จำนวน 6 ชั้น ซึ่งอธิบายได้ว่า เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นให้มากขึ้น เป็นการเพิ่มปริมาณกระดาษซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของกล่องเครื่องดื่มยูเอชที และเนื่องจากกระดาษมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่จำนวนมากซึ่งทำหน้าที่ดูดน้ำ (ซึ่งได้ให้รายละเอียดไว้ในบทที่ 2 ) จึงทำให้น้ำเข้าไปแทรกซึมภายในช่องว่างของชิ้นทดสอบที่เป็นกระดาษส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อแช่น้ำเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน

กรณีเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อแช่น้ำกับอุณหภูมิที่ใช้ พบว่าที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีค่าการพองตัวสูงที่สุดในทุกอุณหภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับการดูดซึมน้ำ ดังรูปที่ 4.4 และสามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกัน อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังพบอีกด้วยว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปไม่มีผลต่อการพองตัวเมื่อแช่น้ำ 24 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 876-2532) ผลปรากฏว่าจำนวนชั้นทุกชั้น และทุกอุณหภูมิที่ใช้ของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

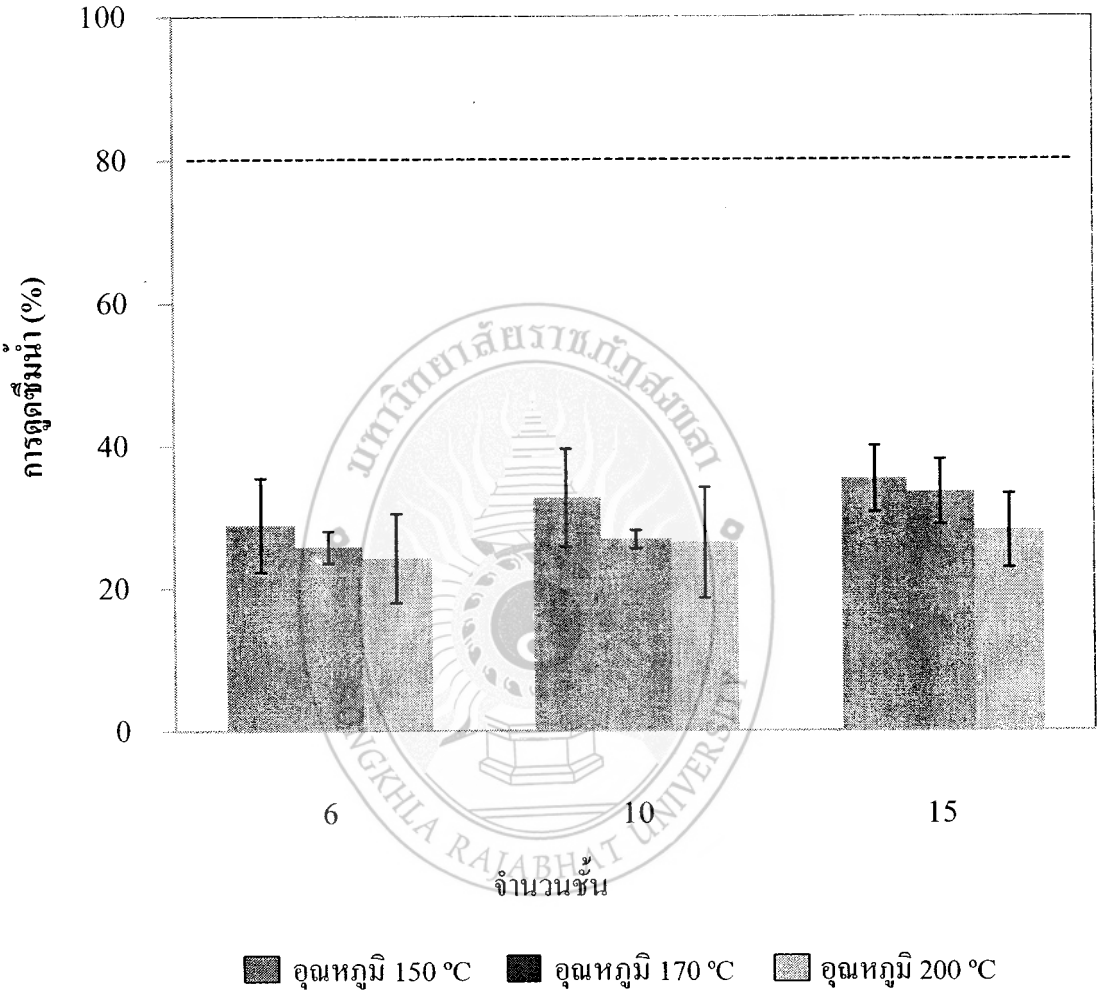



**รูปที่ 4.4** เปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

จากการทดสอบสมบัติการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ซึ่งใช้ระยะเวลาในการแช่น้ำ 48 ชั่วโมง ได้ข้อมูลดังรูปที่ 4.4 พบว่ามีลักษณะเดียวกันกับการพองตัวเมื่อแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.3 แต่ค่าการพองตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากใช้

ระยะเวลาในการแช่น้ำเพิ่มขึ้นทำให้น้ำเข้าไปแทรกซึมในแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน

### 4.2.3 ทดสอบการดูดซึมน้ำ

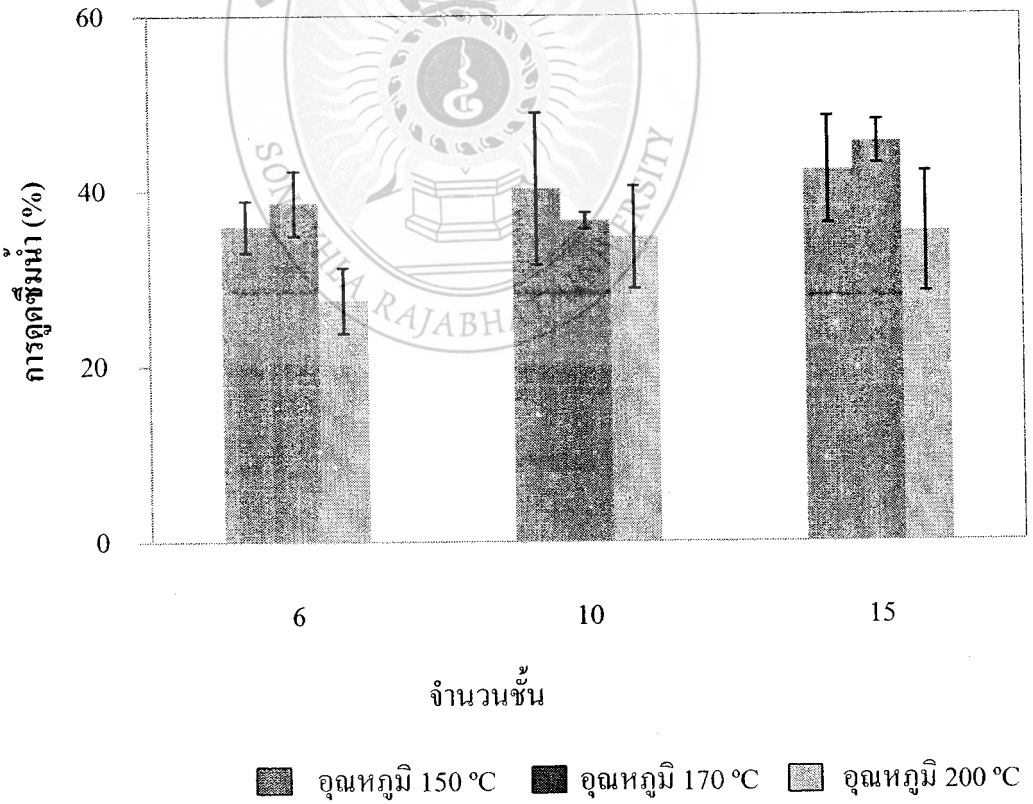



**รูปที่ 4.5** เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ได้ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 876-2532) ซึ่งจะบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน ข้อมูลที่ได้จะมีผลต่อการนำไปใช้งานในกรณีที่ชิ้นงานจะต้องสัมผัสกับน้ำ หากชิ้นงานดูดซึมน้ำมากอาจส่งผลให้การใช้งานไม่ดี เช่น อาจส่งผลทำให้กระดาษเปื่อยยุ่ยได้ง่าย เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราได้

จากการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ได้ข้อมูลดังรูปที่ 4.5 ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ปรากฏว่า เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมากขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับ เนื่องจากในชิ้นงานจะมีกระดาษเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีสมบัติชอบน้ำส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่ได้นั้น เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.876-2532) ผลการทดลองปรากฏว่าจำนวนชั้นทุกชั้นของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 80

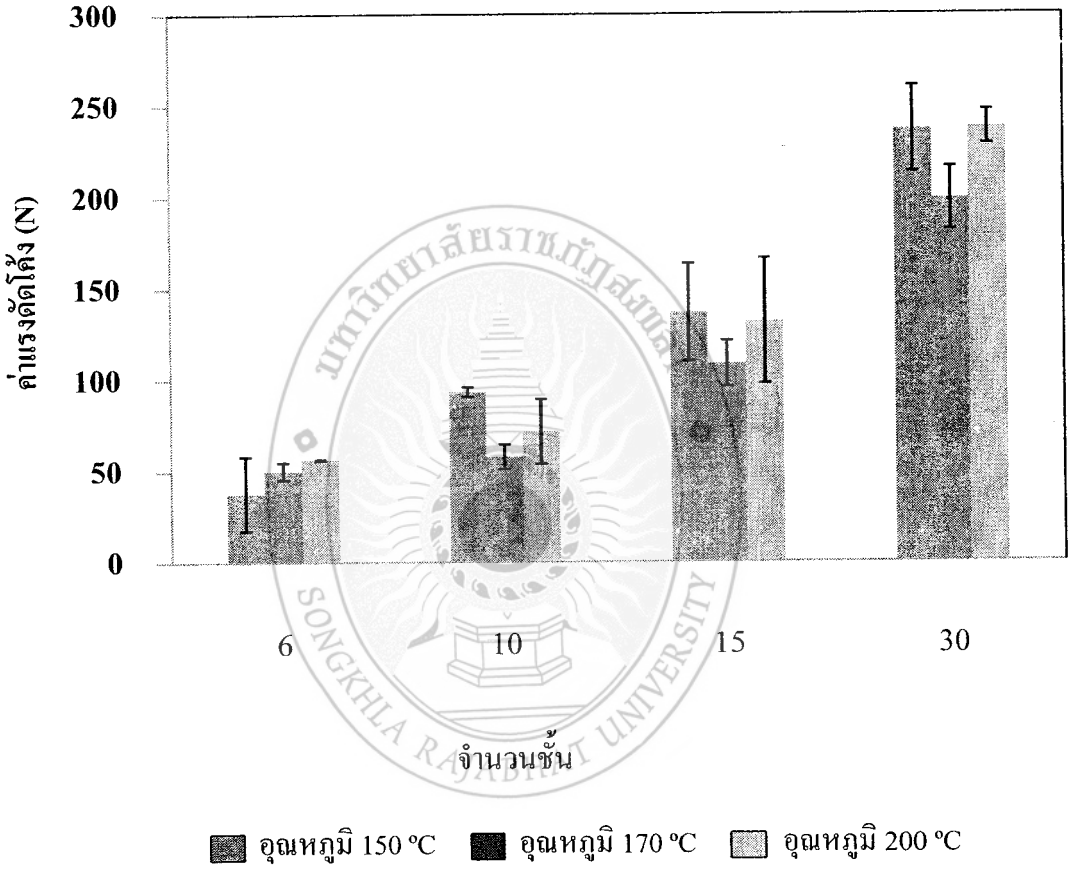
กรณีเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอุณหภูมิที่ใช้ทั้ง 3 อุณหภูมิ ได้แก่ 150 องศาเซลเซียส 170 องศาเซลเซียส และ 200 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่ใช้นั้นไม่ได้ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากเปอร์เซ็นต์การดูซึมน้ำที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกันในทุกอุณหภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อแช่น้ำในเวลา 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.3




**รูปที่ 4.6** เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

จากการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ซึ่งใช้ระยะเวลาในการแช่น้ำ 48 ชั่วโมง ได้ข้อมูลดังรูปที่ 4.6 พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการดูดซึมน้ำ 24 ชั่วโมงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากที่ 24 ชั่วโมง นั้นมีน้ำเข้าไปแทรกซึมอยู่บ้างแล้ว จึงทำให้เมื่อใช้ระยะเวลาที่ 48 ชั่วโมง น้ำที่เข้าไปแทรกซึมนั้นได้เข้าไปเพียงเล็กน้อย

**4.2.4 การดัดโค้ง**



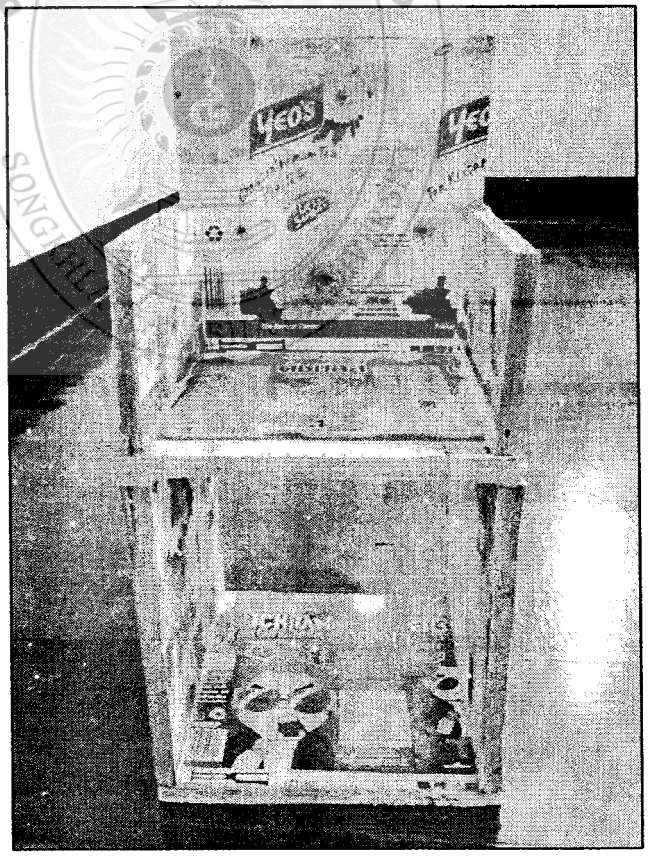

**รูปที่ 4.7** แสดงแรงดัดโค้งของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการดัดโค้ง (flexural strength ) มีความสำคัญต่อการผลิตแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที เนื่องจากเป็นสมบัติที่สามารถบ่งชี้คุณภาพแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ในการนำไปใช้งานประเภทพื้น เก้าอี้ หรือโต๊ะ และชั้นวางของ

จากการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการดัดโค้งของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ดังรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ค่าแรงดัดโค้งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าแรงดัดโค้งสูงสุดอยู่ที่จำนวน 30 ชั้น ซึ่งใช้อุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส อธิบายได้ว่า ในแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีนั้นมีกระดาษเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีคุณสมบัติให้ความคงทนแข็งแรง (ซึ่งได้กล่าวรายละเอียดไว้ในบทที่ 2) และมีพอลิเอทิลีนเป็นวัสดุประสาน ทำให้เมื่อแรงมากระทำต่อชิ้นงานทดสอบที่จำนวนชั้นเพิ่มขึ้น จะต้องใช้แรงดัดโค้งเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน

### 4.3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ทั้งสมบัติความแข็ง สมบัติการพองตัวเมื่อแช่น้ำ สมบัติการดูดซึมน้ำ และสมบัติการดัดโค้ง พบว่าแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่จำนวน 30 ชั้น และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นจำนวนชั้นที่เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชั้นวางของ



**รูปที่ 4.8** ผลิตภัณฑ์ชั้นวางของที่ได้จากแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

### 4.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

วัตถุประสงค์ในการหาต้นทุนการผลิตเพื่อต้องการทราบต้นทุนที่แน่นอน ถ้าหากนำไปลงทุนโดยงานวิจัยนี้มีการหาต้นทุนการผลิต เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยเป็นวัสดุที่ผ่านการใช้แล้ว ทำให้ช่วยลดปริมาณทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งมีการแบ่งต้นทุนการผลิตออกเป็น ต้นทุนด้านวัสดุ ต้นทุนด้านพลังงาน และต้นทุนรวม (ซึ่งเกิดจากต้นทุนด้านวัสดุรวมกับต้นทุนด้านพลังงาน)

#### 4.4.1 ต้นทุนด้านวัสดุ

ต้นทุนด้านวัสดุก่อนการขึ้นรูปเป็นต้นทุนจากการเตรียมชิ้นงานขนาด 15 cm ×15 cm ซึ่งเป็นขนาดที่เตรียมตัวอย่างในงานวิจัยนี้ วัสดุหลักที่ใช้สำหรับเตรียมแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ได้แก่กล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่ใช้แล้ว ซึ่งได้จาการสืบค้นจากประกาศของสถาบันการจัดการบรรจุภัณฑ์และการรีไซเคิลเพื่อสิ่งแวดล้อม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (2556) ซึ่งราคาเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553-2556 เท่ากับ 2.10 บาทต่อกิโลกรัม จากนั้นคำนวณโดยคิดเทียบจากปริมาณที่ใช้ในการเตรียมแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีต่อแผ่น ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้ที่ 30 ชั้น อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นสภาวะที่ดีที่สุดในการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นสมบัติความแข็ง สมบัติการพองตัวเมื่อแช่น้ำ สมบัติการดูดซึมน้ำ และสมบัติการดัดโค้ง ข้อมูลที่คำนวณได้แสดงดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 (รายละเอียดการคำนวณอยู่ในภาคผนวก)

**ตารางที่ 4.1** ต้นทุนด้านวัสดุของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

| ส่วนประกอบ | จำนวนชั้น | อุณหภูมิ (°C) | ราคา/กิโลกรัม | ปริมาณ (กิโลกรัม) | ราคา/แผ่น (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|
| กล่องเครื่องดื่มยูเอชที ที่ใช้แล้ว | 30 ชั้น | 150 | 2.10 | 0.22 | 0.47 |

**4.4.2 ต้นทุนด้านพลังงาน**

ค่าไฟฟ้าในการอัดขึ้นรูป สามารถขึ้นรูปได้ครั้งละ 1 แผ่น โดยเครื่องอัดไฮโดรลิค มีกำลังไฟฟ้า 5.6 กิโลวัตต์ ในการอัดขึ้นรูปโดยใช้กล่องเครื่องดื่มยูเอชทีใช้เวลาทั้งหมด 13 นาที หรือคิดเป็น 0.22 ชั่วโมง และคิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 1.86 บาท ข้อมูลต้นทุนด้านพลังงานแสดงดังตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.2** ต้นทุนด้านพลังงาน

| ส่วนประกอบ | เวลาขึ้นรูป (ชั่วโมง) | หน่วยไฟฟ้าในการอัดขึ้นรูป (หน่วย) | ค่าไฟฟ้าหน่วยละ (บาท) | ค่าไฟฟ้าในการอัดขึ้นรูป (บาท) |
|---|---|---|---|---|
| กล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่ใช้แล้ว | 0.22 | 1.23 | 1.86 | 2.29 |

***หมายเหตุ** เป็นค่าไฟฟ้าในการอัดขึ้นรูป

**4.4.3 ต้นทุนรวม**

ค่าต้นทุนรวมเป็นการรวมค่าระหว่างต้นทุนด้านวัสดุจากข้อมูลในตารางที่ 4.1 และต้นทุนด้านพลังงาน จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 โดยคิดเทียบการผลิตแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีขนาด 15 cm ×15 cm จากผลการคำนวณดังกล่าวต้นทุนรวมของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่ใช้แล้ว แสดงได้ดังตารางที่ 4.3 (รายละเอียดการคำนวณอยู่ในภาคผนวก)

**ตารางที่ 4.3** ต้นทุนรวมของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่ใช้แล้ว

| ส่วนประกอบ | ต้นทุนด้านวัสดุ (บาท) | ต้นทุนด้านพลังงาน (บาท) | ต้นทุนรวม (บาท/แผ่น) |
|---|---|---|---|
| กล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่ใช้แล้ว | 0.47 | 2.29 | 2.76 |

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าต้นทุนด้านด้านวัสดุและต้นทุนด้านพลังงาน มีค่าต้นทุนรวมคือ 2 บาท 76 สตางค์ต่อแผ่น

**4.4.4 ราคากลางแผ่นไม้อัด**

จากผลการคำนวณราคาต้นทุนรวมในการผลิตแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีสามารถนำมาเปรียบเทียบกับราคาของแผ่นไม้อัดจากราคากลางดังตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4** ราคากลางแผ่นไม้อัด (สืบค้นวันที่ 24 พฤษภาคม 2556)

| **ไม้อัด** | **ความหนา** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **เกรด /คุณภาพ** | **9 มม.** | **12 มม.** | **15 มม.** | **19 มม.** | **25 มม.** | |
| **ปาร์ติเคิลบอร์ด** | | | | | | |
| เปลือย | 215 | 250 | 270 | 350 | 480 | |
| เคลือบสีพื้น | 570 | 590 | 650 | 690 | 820 | |
| เคลือบสีขาว | 480 | 500 | 520 | 590 | 590 | |
| เคลือบลาย | 650 | 680 | - | - | - | |
| | | | | | | |
| **เอ็มดีเอฟบอร์ด** | **ความหนา** | | | | | |
| เปลือย | 100 | 145 | 180 | 265 | 340 | 430 |
| เคลือบสีพื้น | | | | 690 | 735 | 850 |
| เคลือบสีขาว | 225 | | 380 | 520 | 675 | |
| เคลือบลาย | 235 | | | 750 | 840 | |
| ปะวีเนียร์ ยาง/ยาง | 175 | 235 | 260 | 380 | | |
| | | | | | | |
| **ไม้ฟิงเกอร์จอยส์** | **ความหนา** | | | | | |
| **เกรด /คุณภาพ** | **ยางพารา** | **เบญจพรรณ** | **สักสวนป่า** | | | |
| 17x42x2500 มม. | 260 | 245 | 450 | | | |
| 15x42x2500 มม. | 200 | 185 | - | | | |
| 21x42x2500 มม. | 300 | 275 | - | | | |

ที่มา: http://www.108wood.com

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

เมื่อนำราคาต้นทุนรวมของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่ใช้แล้ว เปรียบเทียบกับราคาแผ่นไม้อัดจริง (ปาร์ติเคิลบอร์ด) จากราคากลางในตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าราคาแผ่นอัดเกรดเปลือยความหนา 9 มิลลิเมตร กว้าง 122 เซนติเมตร ยาว 244 เซนติเมตร มีราคา 215 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดเดียวกับแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร จะมีราคา 1 บาท 62 สตางค์ ซึ่งราคาต้นทุนรวมต่อแผ่นของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที มีราคา 2 บาท 76 สตางค์ พบว่ามีราคาแพงกว่าแผ่นไม้อัดจริงอยู่ 1 บาท 14 สตางค์ ซึ่งไม่คุ้มทุนจะผลิตจำหน่าย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# บทที่ 5

# สรุปผลการทดลอง

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการพัฒนาแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ซึ่งมีความหนา 6 ชั้น 10 ชั้น 15 ชั้น และ 30 ชั้น อุณหภูมิที่ใช้ 150 170 200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สามารถสรุปสรผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการศึกษาการพัฒนาแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ซึ่งในการขึ้นรูปจะนำกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมาจัดวางสลับกันในแต่ละชั้นตามความหนา 6 ชั้น 10 ชั้น 15 ชั้น และ 30 ชั้น แล้ววางลงในแม่พิมพ์ โดยตั้งอุณหภูมิของเครื่องอัดไฮโดรลิคอุณหภูมิที่ 150 170 และ 200 องศาเซลเซียส ความดัน 25 psi และเวลาในการอัดร้อน 10 นาที เพื่อหลอเหลวพลาสติกที่เคลือบที่กล่อง จากนั้นอัดเย็น เพื่อทำให้พลาสติก กระดาษ และอะลูมิเนียมฟอยล์ เกิดการแข็งตัว ใช้เวลาในการอัดเย็น 3 นาที

2. จากการศึกษาสมบัติของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ซึ่งมีจำนวนชั้น 6 ชั้น 10 ชั้น 15 ชั้น และ 30 ชั้น ตามลำดับ และอุณหภูมิที่ใช้ 150 170 200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า สมบัติความแข็งของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นและเพิ่มอุณหภูมิไม่มีผลต่อความแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนสมบัติการพองตัวเมื่อแช่น้ำและสมบัติการดูดซึมน้ำ เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นมากขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อแช่น้ำและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และสมบัติการดัดโค้งมีค่าสูงสุดที่จำนวน 30 ชั้น ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะแก่การนำไปผลิตเป็นชั้นวางของ โต๊ะ เก้าอี้ และที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เหมาะสมที่จะนำไปผลิตเป็นโต๊ะอาหารหรือที่รองแก้วน้ำได้ เนื่องจากมีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่าอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติที่ศึกษากับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(มอก.876-2532 ) สมบัติที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคือ สมบัติความแข็งและสมบัติการดูดซึมน้ำ ส่วนสมบัติการพองตัวเมื่อแช่น้ำไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

3. เมื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่ใช้แล้ว พบว่ามีต้นทุนการผลิตรวมทั้งหมด 18 บาท 91 สตางค์ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับราคาแผ่นไม้อัดจริง พบว่าแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมีราคาถูกกว่าแผ่นไม้อัดจริงประเภทปาร์ติเคิลบอร์ด เกรดเปลือยอยู่ 196 บาท 9 สตางค์ และเมื่อนำราคาแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมาเปรียบเทียบกับราคาของกระดาษอัด ซึ่งถูกกว่า 141 บาท 9 สตางค์

**5.2 ข้อเสนอแนะ**

จากผลการทดลองที่ได้ศึกษาการพัฒนาแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีครั้งนี้ มีข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต คือ

1. ควรมีการศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่เป็นชิ้นและการตัดย่อย

2. ในการทำวิจัยต่อเนื่อง ควรปรับปรุงการทดสอบสมบัติเพิ่มเติม เช่น ความชื้นและความทนทานต่อเชื้อราของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# บรรณานุกรม


กิตติเดช แก้วฉา ชัยคาน ก้องสุวรรณดีรี ภูวนาท ด้วงเสน วิชาญ ช่วยพันธ์ และวรธรรม อุ่นจิตติชัย. 2546. **การเตรียม Polyester Resin จากขวด Poly (ethylene terepthalate) ที่ใช้แล้วเพื่อการผลิต แผ่นไม้อัด.**

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2545. **วารสารอุตสาหกรรมสาร**. ปีที่ 45 : 52-56

ข้อดีหยะ เส็นหมาน และไพซอล บือราเฮง. 2553. **สมบัติของแผ่นไม้ประกอบจากเยื่อกระดาษขาวกระดาษคราฟท์และเส้นใยปาล์ม โดยใช้ไดฟีนิล มีเทน ไดไอโซไซยาเนต (p-MDI) เป็นวัสดุประสาน**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

ณัฐวุฒิ เอมเปรมศิลป์ จิตพล สายสุวรรณ วรธรรม อุ่นจิตติชัย และฐิติกุล ภาคคีรี. 2547. **การศึกษาการผลิตแผ่นชิ้นอัดจากใบสักตัดสาง.**

ทรงกลด จารุสมบัติ และวรธรรม อุ่นจิตติชัย. 2541. **การนำกล่องนม U.H.T. กลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบของแผ่นประกอบ**, น. 266. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36. มหาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิทัศน์ จิระอรุณ. 2543. ขยะพลาสติก. **วารสารวิทยาศาสตร์**. ปีที่ 54 (6) : 379-381

บรรเลง ศรนิล. 2539. **เทคโนโลยีพลาสติก**. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ.

ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ. 2541. **บรรจุภัณฑ์อาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ.

ยูคาลิปตัส กระดาษอุตสาหกรรมนำรายได้. 2550. **วารสารเคหะการเกษตร**. ปีที่ 31 (12) : 234-237.

วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2542. **วิทยาศาสตร์เส้นใย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

# บรรณานุกรม (ต่อ)


วรธรรม อุ่นจิตติชัย วริญญา โลมรัตน์ และภัทราภรณ์ นภาชัยเทพ. 2546. **การผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากขี้เลื่อยและเศษไม้สัก.**

ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทยวารสารพลาสติก. 2541. การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ยอดฮิตให้เหมาะกับสินค้า. **วารสารอุตสาหกรรมสาร.** ปีที่ 40 : 46-49

เศกสิทธิ์ บุญเสริม เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม อุดมศักดิ์สาริบุตร และวรธรรม อุ่นจิตติชัย. 2547. **การศึกษาและพัฒนาแผ่นประกอบจากวัสดุเหลือทิ้งจาก อุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์มะขาม.**

สมบัติ วรมงคลชัย. 2548. **เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 1**. พิมพ์ครั้งที่ 2. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สมศักดิ์ วรมงคลชัย. 2543. **เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 1**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ.

สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงานกรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2542. **คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ**. กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2532. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นอัดชิ้นไม้อัดชนิดราบ: ความหนาแน่นปานกลาง มอก. 876-2532.** กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

อาณัติ ตั๊ะบินตา. 2553. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาลัย.

กรมควบคุมมลพิษ. 2556. **กรมควบคุมมลพิษสรุปสถานการณ์ "อากาศ-น้ำ-ขยะ"ปี 55 พื้นที่ไหนอาการอย่างไร**.http://thaipublica.org/2013/01/the-pollution-situation-2012 (สืบค้นวันที่ 20 มกราคม 2556 ).

# บรรณานุกรม (ต่อ)


จินตมัย สุวรรณประทีป. 2547. **การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก.** สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ส.ส.ท.). http://www.mtec.or.th/laboratory/mech/index.php/knowlegde/20--bending-test. ( สืบค้นวันที่ 15 ตุลาคม 2555 ).

ฉันท์ทิพย์ คำนวณทิพย์ และมนทิพย์ ล้อสุริยนต์. 2551. **การใช้ของเสียให้เป็นประโยชน์แผ่นอัดจากใยมะพร้าว ชานอ้อย ฟางข้าว และแกลบ.** http://www.research.rmutt.ac.th/archives/4385. ( สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2555 ).

ฉันท์ทิพ คำนวณทิพย์ และมนทิพย์ ล้อสุริยนต์. 2552. **แผ่นอัดจากใยมะพร้าว ชานอ้อย ฟางข้าว และแกลบ.** http://www.research.rmutt.ac.th. ( สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2555 ).

บริษัท กรีน บอร์ด (ประเทศไทย) จำกัด. มปป. **"กรีนบอร์ด" วัสดุทดแทนไม้จากกล่องเครื่องดื่มรีไซเคิล.** www.greenboardthailand.com. ( สืบค้นเมื่อ 18 พฤศจิกายน 2555 ).

วงษ์พาณิชย์. 2556. **ใบแจ้งราคารับซื้อสินค้า.** http://www.wongpanit.com/wpnnew/images/1349333418. pdf. ( สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2555 ).

Nadir Ayrilmis Zeki Candan and Salim Hiziroglu .2008. **Physical and mechanical properties of cardboard panels made from used beverage carton with veneer overlay.**

# ภาคผนวก ก
# การคำนวณการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

# การคำนวณ

## การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

**1. คำนวณระยะเวลาในการผลิตของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที**

ถ้าใช้เวลาในการอัดขึ้นรูป 60 นาที = 1 ชั่วโมง

ดังนั้นเวลาในการอัดขึ้นรูปทั้งหมด 13 นาที = 13 นาที × 1 ชั่วโมง/60 นาที

= 0.22 ชั่วโมง

**2. คำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตต่อหน่วย**

หน่วยไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) × เวลาในการอัดขึ้นรูปทั้งหมด (ชั่วโมง)

= 5.6 (กิโลวัตต์) × 0.22 (ชั่วโมง)

= 1.23 หน่วย

**3. คำนวณค่าไฟฟ้าของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที**

ค่าไฟฟ้า 1 หน่วย = 1.86 บาท

ถ้าค่าไฟฟ้ามี 1.23 หน่วย = 1.23 หน่วย × 1.86 บาท/1 หน่วย

= 2.29 บาท

**4. ต้นทุนรวม**

ต้นทุนรวม = ต้นทุนวัสดุ + ต้นทุนไฟฟ้า

= 0.47 บาท + 2.29 บาท

= 2.76 บาท/ แผ่น

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

**5. คำนวณราคาแผ่นไม้อัดจริง (ปาร์ติเคิลบอร์ด)**

แผ่นไม้อัดปาร์ติเคิลบอร์ด = กว้าง × ยาว

= 122 cm × 244 cm

= 29,768 $cm^2$

แผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที = 15 cm × 15 cm

= 225 $cm^2$

ถ้าแผ่นไม้อัดปาร์ติเคิลบอร์ดมีขนาด 29,768 มีราคา = 215 บาท

ดังนั้นแผ่นไม้อัดปาร์ติเคิลบอร์ดขนาด 225 $cm^2$ มีราคา = 225 $cm^2$ × 215 บาท/29,768 $cm^2$

= 1.62 บาท

**6. การคำนวณการเปรียบแผ่นไม้อัดจริง (ปาร์ติเคิลบอร์ด) กับแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที**

แผ่นไม้อัดจริงปาร์ติเคิลบอร์ด = 1.62 บาท

แผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที = 2.76 บาท

ดังนั้นราคาแตกต่างกัน = 2.76 บาท – 1.62 บาท

= 1.14 บาท

# ภาคผนวก ข

# ข้อมูลการทดลอง

# ข้อมูลการทดลอง

จากการเตรียมแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที นำมาศึกษาสมบัติ การพองตัวเมื่อแช่น้ำ การดูดซึมน้ำ ความแข็ง และความต้านทานต่อการดัดโค้ง สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังตารางต่อไปนี้

**ตารางที่ ผข-1** การทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

| จำนวนชั้นของกล่อง | ชิ้นทดสอบ | ความหนาก่อนแช่ cm | ความหนาหลังแช่/hr | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 24 hr | % การพองตัว | เฉลี่ย | 48 hr | %การพองตัว | เฉลี่ย |
| 6 | 1 | 2.10 | 2.53 | 20.47 | 21.04 | 2.63 | 25.24 | 28.58 |
| | 2 | 2.10 | 2.55 | 21.42 | | 2.70 | 28.57 | |
| | 3 | 2.16 | 2.60 | 20.37 | | 2.85 | 31.94 | |
| | 4 | 2.10 | 2.56 | 21.90 | | 2.70 | 28.57 | |
| | | | | | | | | |
| SD | | | | | 0.74 | | | 2.73 |
| 10 | 1 | 2.71 | 3.32 | 22.51 | 23.75 | 3.79 | 39.85 | 32.75 |
| | 2 | 2.77 | 3.42 | 23.46 | | 3.71 | 33.93 | |
| | 3 | 2.92 | 3.60 | 23.28 | | 3.80 | 30.14 | |
| | 4 | 2.99 | 3.76 | 25.75 | | 3.80 | 27.09 | |
| | | | | | | | | |
| SD | | | | | 1.39 | | | 5.49 |
| 15 | 1 | 4.90 | 5.97 | 21.84 | 25.23 | 6.41 | 30.82 | 34.46 |
| | 2 | 4.71 | 5.81 | 23.35 | | 6.41 | 36.09 | |
| | 3 | 4.90 | 5.90 | 20.41 | | 6.41 | 30.82 | |
| | 4 | 4.81 | 6.51 | 35.34 | | 6.74 | 40.12 | |
| | | | | | | | | |
| SD | | | | | 6.84 | | | 4.51 |

**หมายเหตุ** *จำนวน 30 ชั้น ชิ้นทดสอบใช้ไม่ได้

**ตารางที่ ผข-2** แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

| จำนวนชั้นของกล่อง | ชิ้นทดสอบ | น้ำหนักก่อนแช่ (g) | น้ำหนักหลังแช่ (g) 24 hr | %การดูดซับน้ำ | น้ำหนักหลังแช่ (g) 48 hr | %การดูดซับน้ำ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 1 | 1.2065 | 1.4999 | 24.32 | 1.5908 | 31.85 |
| | 2 | 1.2136 | 1.6611 | 36.87 | 1.6691 | 37.53 |
| | 3 | 1.2214 | 1.5000 | 22.80 | 1.6591 | 35.83 |
| | 4 | 1.2829 | 1.6902 | 31.74 | 1.7771 | 38.52 |
| เฉลี่ย | | | | 28.93 | | 35.93 |
| 10 | 1 | 1.8273 | 2.6085 | 42.75 | 2.7574 | 50.90 |
| | 2 | 1.7633 | 2.3147 | 31.27 | 2.5159 | 42.68 |
| | 3 | 1.8379 | 2.3829 | 29.65 | 2.5138 | 36.77 |
| | 4 | 1.7966 | 2.2873 | 27.31 | 2.3451 | 30.53 |
| เฉลี่ย | | | | 32.75 | | 40.22 |
| 15 | 1 | 2.9798 | 3.9999 | 34.23 | 4.0779 | 36.85 |
| | 2 | 2.7264 | 3.5312 | 29.51 | 3.7841 | 38.79 |
| | 3 | 2.9025 | 3.9933 | 37.58 | 4.1490 | 42.95 |
| | 4 | 2.9818 | 4.1830 | 40.28 | 4.4929 | 50.65 |
| เฉลี่ย | | | | 35.40 | | 42.32 |

**หมายเหตุ** *จำนวน 30 ชั้น ชิ้นทดสอบใช้ไม่ได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

**ตารางที่ ผข-3** การทดสอบความแข็งทีที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

| จำนวนชั้นของกล่อง | ชิ้นทดสอบ | ความแข็ง (Shore D) | เฉลี่ย |
|---|---|---|---|
| 6 | 1 | 63 | 62 |
| | 2 | 62 | |
| | 3 | 67 | |
| | 4 | 60 | |
| | 5 | 59 | |
| SD | | | 3 |
| 10 | 1 | 61 | 62 |
| | 2 | 61 | |
| | 3 | 62 | |
| | 4 | 63 | |
| | 5 | 62 | |
| SD | | | 1 |
| 15 | 1 | 61 | 60 |
| | 2 | 62 | |
| | 3 | 60 | |
| | 4 | 60 | |
| | 5 | 57 | |
| SD | | | 2 |
| 30 | 1 | 55 | 55 |
| | 2 | 56 | |
| | 3 | 53 | |
| | 4 | 57 | |
| | 5 | 53 | |
| SD | | | 1 |

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

**ตารางที่ ผข-4** การทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

| จำนวนชั้นของกล่อง | ชิ้นทดสอบ | ความหนาก่อนแช่ (cm) | ความหนาหลังแช่/hr | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 24 hr | %การพองตัว | เฉลี่ย | 48 hr | %การพองตัว | เฉลี่ย |
| 6 | 1 | 2.26 | 2.82 | 24.78 | 20.61 | 2.76 | 22.12 | 27.57 |
| | 2 | 2.19 | 2.76 | 26.03 | | 2.96 | 35.16 | |
| | 3 | 2.36 | 2.62 | 11.02 | | 2.96 | 25.42 | |
| | | | | | | | | |
| SD | | | | | 8.33 | | | 6.78 |
| 10 | 1 | 3.14 | 3.80 | 21.01 | 21.65 | 3.94 | 25.47 | 28.55 |
| | 2 | 3.14 | 3.80 | 21.01 | | 4.12 | 31.21 | |
| | 3 | 3.14 | 3.86 | 22.92 | | 4.05 | 28.98 | |
| | | | | | | | | |
| SD | | | | | 1.10 | | | 2.89 |
| 15 | 1 | 3.44 | 4.52 | 31.39 | 23.69 | 4.72 | 37.21 | 30.86 |
| | 2 | 3.74 | 4.72 | 26.20 | | 4.92 | 31.55 | |
| | 3 | 3.86 | 4.38 | 13.47 | | 4.78 | 23.83 | |
| | | | | | | | | |
| SD | | | | | 9.22 | | | 6.72 |

**หมายเหตุ** *จำนวน 30 ชั้น ชิ้นทดสอบใช้ไม่ได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

**ตารางที่ ผข-5** การทดสอบการดูดซึมน้ำที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

| จำนวนชั้นของกล่อง | ชิ้นทดสอบ | น้ำหนักก่อนแช่ (g) | น้ำหนักหลังแช่ (g) 24 hr | %การดูดซับน้ำ | น้ำหนักหลังแช่ (g) 48 hr | %การดูดซับน้ำ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 1 | 1.2989 | 1.5874 | 22.21 | 1.6676 | 28.39 |
| | 2 | 1.3000 | 1.6111 | 23.93 | 1.7626 | 35.58 |
| | 3 | 1.2670 | 1.5374 | 21.34 | 1.6144 | 27.42 |
| เฉลี่ย | | | | 22.49 | | 30.46 |
| 10 | 1 | 1.9191 | 2.3931 | 24.69 | 2.5261 | 31.63 |
| | 2 | 1.8166 | 2.2608 | 24.45 | 2.4010 | 32.17 |
| | 3 | 1.8885 | 2.4259 | 28.45 | 2.4998 | 32.37 |
| เฉลี่ย | | | | 25.86 | | 32.06 |
| 15 | 1 | 2.4660 | 3.1540 | 27.89 | 3.3414 | 35.49 |
| | 2 | 2.4869 | 3.1201 | 25.46 | 3.4064 | 36.97 |
| | 3 | 2.5491 | 3.2479 | 27.41 | 3.4982 | 37.23 |
| เฉลี่ย | | | | 26.92 | | 36.56 |

**หมายเหตุ** *จำนวน 30 ชั้น ชิ้นทดสอบใช้ไม่ได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

**ตารางที่ ผข-6** การทดสอบความแข็งที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

| จำนวนชั้นของกล่อง | ชิ้นทดสอบ | ความแข็ง (Shore D) | เฉลี่ย |
|---|---|---|---|
| 6 | 1 | 59 | 59 |
| | 2 | 59 | |
| | 3 | 58 | |
| | 4 | 57 | |
| | 5 | 58 | |
| SD | | | 1 |
| 10 | 1 | 63 | 63 |
| | 2 | 61 | |
| | 3 | 60 | |
| | 4 | 67 | |
| | 5 | 64 | |
| SD | | | 3 |
| 15 | 1 | 56 | 57 |
| | 2 | 54 | |
| | 3 | 57 | |
| | 4 | 59 | |
| | 5 | 60 | |
| SD | | | 2 |
| 30 | 1 | 60 | 57 |
| | 2 | 55 | |
| | 3 | 57 | |
| | 4 | 55 | |
| | 5 | 57 | |
| SD | | | 2 |

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

**ตารางที่ ผข-7** การทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

| จำนวนชั้นของกล่อง | ชิ้นทดสอบ | ความหนาก่อนแช่ cm | ความหนาหลังแช่/hr | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 24 hr | %การพองตัว | เฉลี่ย | 48 hr | %การพองตัว | เฉลี่ย |
| 6 | 1 | 1.70 | 2.08 | 22.35 | 21.47 | 2.20 | 29.41 | 26.16 |
| | 2 | 1.70 | 1.98 | 16.47 | | 2.10 | 23.53 | |
| | 3 | 1.70 | 2.10 | 23.53 | | 2.18 | 28.23 | |
| | 4 | 1.70 | 2.10 | 23.53 | | 2.10 | 23.53 | |
| | | | | | | | | |
| SD | | | | | 3.38 | | | 3.09 |
| 10 | 1 | 2.42 | 2.92 | 20.66 | 23.79 | 3.08 | 27.27 | 27.04 |
| | 2 | 2.20 | 2.80 | 27.27 | | 2.90 | 31.81 | |
| | 3 | 2.20 | 2.72 | 23.63 | | 2.74 | 24.54 | |
| | 4 | 2.20 | 2.72 | 23.63 | | 2.74 | 24.54 | |
| | | | | | | | | |
| SD | | | | | 2.70 | | | 3.43 |
| 15 | 1 | 3.80 | 4.62 | 21.57 | 24.14 | 4.80 | 26.31 | 28.56 |
| | 2 | 3.65 | 4.80 | 31.50 | | 4.92 | 34.79 | |
| | 3 | 2.85 | 3.40 | 19.29 | | 3.60 | 26.32 | |
| | 4 | 3.80 | 4.72 | 24.21 | | 4.82 | 26.84 | |
| SD | | | | | 5.30 | | | 4.16 |

**หมายเหตุ** *จำนวน 30 ชั้น ชิ้นทดสอบใช้ไม่ได้

**ตารางที่ ผข-8** การทดสอบการดูดซึมน้ำที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

| จำนวนชั้นของกล่อง | ชิ้นทดสอบ | น้ำหนักก่อนแช่ (g) | น้ำหนักหลังแช่ (g) 24 hr | %การดูดซับน้ำ | น้ำหนักหลังแช่ (g) 48 hr | %การดูดซับน้ำ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 1 | 1.0541 | 1.2251 | 16.22 | 1.3199 | 25.21 |
| | 2 | 1.0698 | 1.3145 | 22.87 | 1.3221 | 23.58 |
| | 3 | 1.0689 | 1.3615 | 27.37 | 1.3865 | 29.71 |
| | 4 | 1.0650 | 1.3918 | 30.68 | 1.4010 | 31.54 |
| เฉลี่ย | | | | 26.47 | | 27.51 |
| 10 | 1 | 1.7353 | 2.2177 | 27.80 | 2.3250 | 33.98 |
| | 2 | 1.5084 | 1.7569 | 16.47 | 1.9889 | 32.52 |
| | 3 | 1.5746 | 1.9879 | 26.24 | 2.0356 | 29.27 |
| | 4 | 1.5555 | 2.1059 | 35.38 | 2.2237 | 42.95 |
| เฉลี่ย | | | | 26.47 | | 34.68 |
| 15 | 1 | 2.1879 | 2.6700 | 22.03 | 2.9114 | 33.06 |
| | 2 | 2.0399 | 2.5643 | 25.71 | 2.6512 | 29.96 |
| | 3 | 1.8192 | 2.4236 | 33.22 | 2.6435 | 45.31 |
| | 4 | 1.9620 | 2.5814 | 31.57 | 2.6013 | 32.58 |
| เฉลี่ย | | | | 28.13 | | 35.23 |

**หมายเหตุ** *จำนวน 30 ชั้น ชิ้นทดสอบใช้ไม่ได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

**ตารางที่ ผข-9** การทดสอบความแข็งที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

| จำนวนชั้นของกล่อง | ชิ้นทดสอบ | ความแข็ง (Shore D) | เฉลี่ย |
|---|---|---|---|
| 6 | 1 | 73 | 68 |
| | 2 | 69 | |
| | 3 | 67 | |
| | 4 | 66 | |
| | 5 | 64 | |
| SD | | | 3.42 |
| 10 | 1 | 67 | 67 |
| | 2 | 68 | |
| | 3 | 70 | |
| | 4 | 64 | |
| | 5 | 68 | |
| SD | | | 2.19 |
| 15 | 1 | 64 | 66 |
| | 2 | 68 | |
| | 3 | 68 | |
| | 4 | 66 | |
| | 5 | 64 | |
| SD | | | 2 |
| 30 | 1 | 56 | 57 |
| | 2 | 55 | |
| | 3 | 55 | |
| | 4 | 59 | |
| | 5 | 61 | |
| SD | | | 2.68 |

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

**ตารางที่ ผข-10** แสดงความต้านทานต่อการดัดโค้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

| แรงดัดโค้ง ( Flexural force (N)) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนชั้น | ชิ้นทดสอบ | P(N) | L(mm) | d(mm) | b(mm) | m(N) |
| 6 | 1 | 30.63 | 75.20 | 1.82 | 25.50 | 8.91 |
| | 2 | 21.80 | 76.70 | 1.90 | 25.00 | 1.81 |
| | 3 | 60.78 | 73.90 | 1.90 | 25.00 | 27 |
| เฉลี่ย | | 37.74 | | | | 12.58 |
| 10 | 1 | 95.94 | 75.70 | 3.92 | 25.80 | 102.30 |
| | 2 | 90.56 | 72.72 | 3.90 | 25.80 | 45.38 |
| | 3 | 93.50 | 75.70 | 3.10 | 25.90 | 48.20 |
| เฉลี่ย | | 93.33 | | | | 65.29 |
| 15 | 1 | 159.75 | 75.00 | 4.40 | 27.10 | 81.08 |
| | 2 | 107.43 | 75.00 | 4.12 | 26.60 | 88.72 |
| | 3 | 143.17 | 71.10 | 3.80 | 26.60 | 80.22 |
| เฉลี่ย | | 136.78 | | | | 83.34 |
| 30 | 1 | 230.45 | 75.00 | 8.00 | 25.80 | 64.72 |
| | 2 | 217.56 | 74.80 | 8.30 | 26.10 | 78.99 |
| | 3 | 263.09 | 74.12 | 7.60 | 26.82 | 78.48 |
| เฉลี่ย | | 237.03 | | | | 74.06 |

SISAKHA RAJABHAT UNIVERSITY

**ตารางที่ ผข-11** แสดงความต้านทานต่อการดัดโค้งที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

| แรงดัดโค้ง ( Flexural force (N)) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนชั้น | ชิ้นทดสอบ | P(N) | L(mm) | d(mm) | b(mm) | m(N) |
| 6 | 1 | 47.39 | 75.00 | 2.42 | 25 | 24.04 |
| | 2 | 47.39 | 75.00 | 2.70 | 25 | 23.77 |
| | 3 | 55.6 | 75.00 | 2.10 | 25 | 29.56 |
| เฉลี่ย | | 50.14 | | | | 25.79 |
| 10 | 1 | 52.61 | 73.70 | 3.92 | 25.00 | 18.44 |
| | 2 | 55.44 | 72.70 | 3.02 | 25.60 | 20.62 |
| | 3 | 65.56 | 73.50 | 3.30 | 25.60 | 19.11 |
| เฉลี่ย | | 57.87 | | | | 19.39 |
| 15 | 1 | 110.59 | 73.90 | 3.90 | 26.60 | 55.20 |
| | 2 | 95.16 | 75.50 | 3.30 | 26.82 | 55.75 |
| | 3 | 120.09 | 76.00 | 5.10 | 25.80 | 58.71 |
| เฉลี่ย | | 108.61 | | | | 56.55 |
| 30 | 1 | 218.87 | 75.80 | 6.42 | 27.30 | 133.46 |
| | 2 | 190.15 | 73.50 | 7.30 | 26.60 | 133.57 |
| | 3 | 187.89 | 73.80 | 8.30 | 26.20 | 104.08 |
| เฉลี่ย | | 198.97 | | | | 123.70 |

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

**ตารางที่ ผข-12** แสดงความต้านทานต่อการดัดโค้งที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

| แรงดัดโค้ง ( Flexural force (N)) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนชั้น | ชิ้นทดสอบ | P(N) | L(mm) | d(mm) | b(mm) | m(N) |
| 6 | 1 | 56.38 | 74.00 | 1.80 | 25.72 | 4.97 |
| | 2 | 56.38 | 74.20 | 2.12 | 25.70 | 6.75 |
| | 3 | 55.82 | 72.30 | 1.60 | 25.72 | 15.9 |
| เฉลี่ย | | 56.19 | | | | 9.21 |
| 10 | 1 | 54.04 | 75.00 | 2.10 | 25.00 | 9.77 |
| | 2 | 89.58 | 75.00 | 1.72 | 25.80 | 13.45 |
| | 3 | 71.18 | 74.62 | 2.20 | 25.50 | 18.01 |
| เฉลี่ย | | 71.60 | | | | 13.74 |
| 15 | 1 | 171.40 | 75.00 | 4.00 | 26.90 | 164.20 |
| | 2 | 115.97 | 74.90 | 3.62 | 25.60 | 41.50 |
| | 3 | 108.63 | 75.62 | 4.80 | 27.10 | 28.34 |
| เฉลี่ย | | 132.00 | | | | |
| 30 | 1 | 247.44 | 77.00 | 8.80 | 27.70 | 96.90 |
| | 2 | 237.69 | 74.40 | 7.90 | 26.10 | 112.09 |
| | 3 | 228.95 | 72.20 | 7.79 | 25.40 | 96.90 |
| เฉลี่ย | | 238.03 | | | | 101.96 |

SUKHOTHAI RAJABHAT UNIVERSITY

# ภาคผนวก ค

# ภาพประกอบการวิจัย

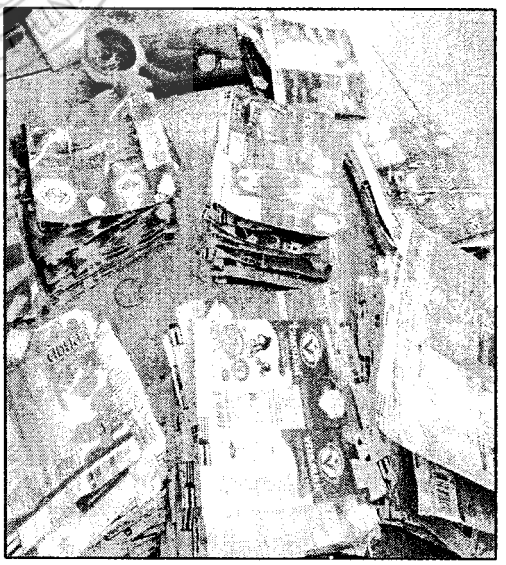
# ภาพประกอบการวิจัย

## การเก็บและทำความสะอาดกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

รูปที่ ผค-1 การเก็บกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

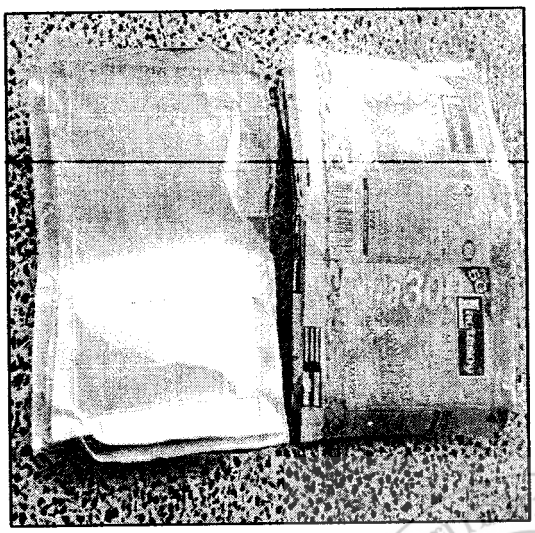
รูปที่ ผค-2 การทำความสะอาดกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

รูปที่ ผค-3 การตากแดดให้แห้ง



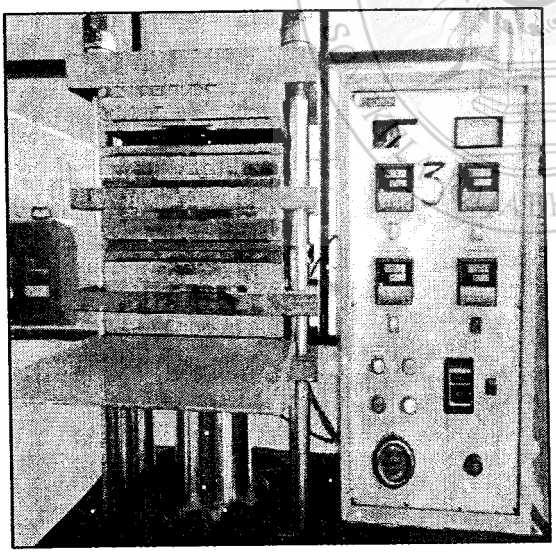
รูปที่ ผค-4 จัดเก็บตามจำนวนชั้น

## การขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยใช้เครื่องอัดเบ้าแบบไฮโดรลิค



รูปที่ ผค-5 กล่องเครื่องดื่มยูเอชที

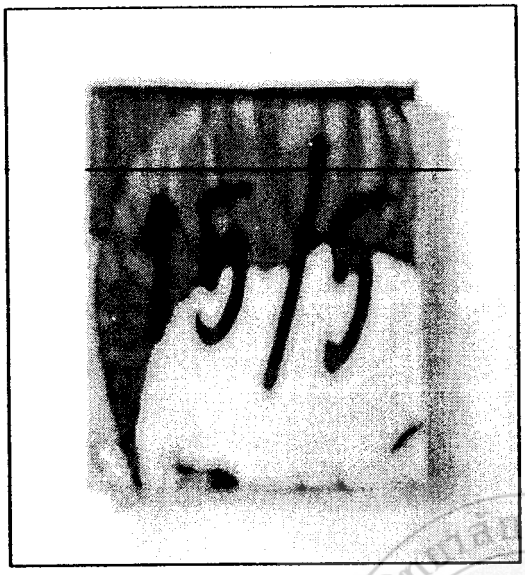
รูปที่ ผค-6 นำกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีใส่เบ้าอัด



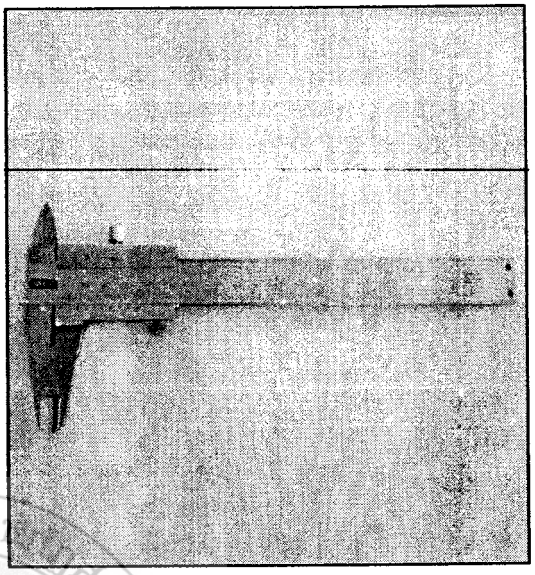
รูปที่ ผค-7 เครื่องอัดเบ้าแบบไฮโดรลิค

รูปที่ ผค-8 แผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

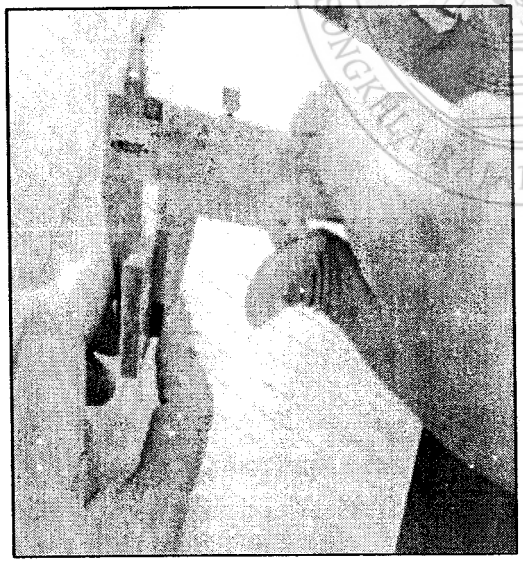
## การทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ



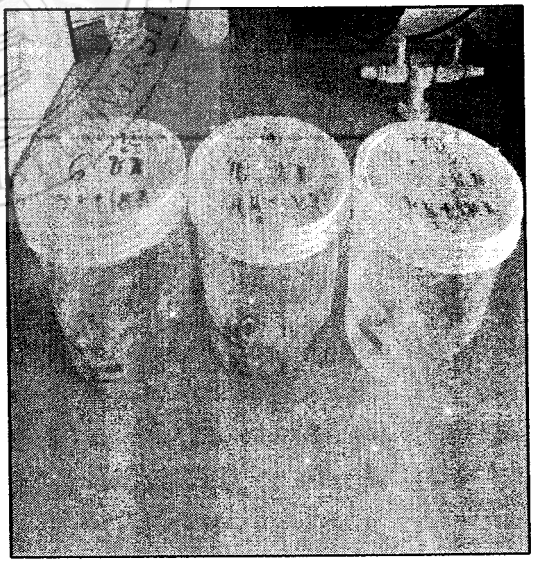
รูปที่ ผค-9 ชิ้นทดสอบ



รูปที่ ผค-10 เวอร์เนียร์

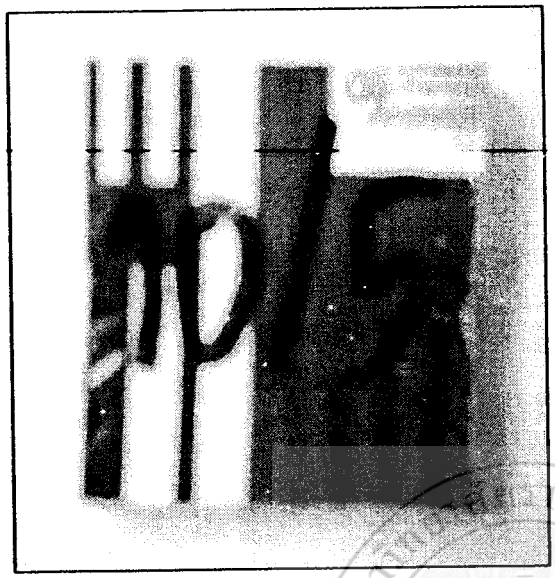


รูปที่ ผค-11 นำชิ้นทดสอบมาวัดความหนาก่อนและหลังการแช่น้ำกับเวอร์เนียร์

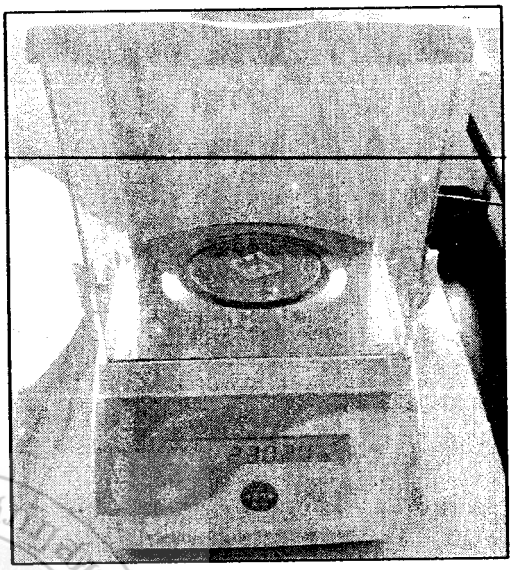


รูปที่ ผค-12 นำชิ้นทดสอบมาแช่น้ำ

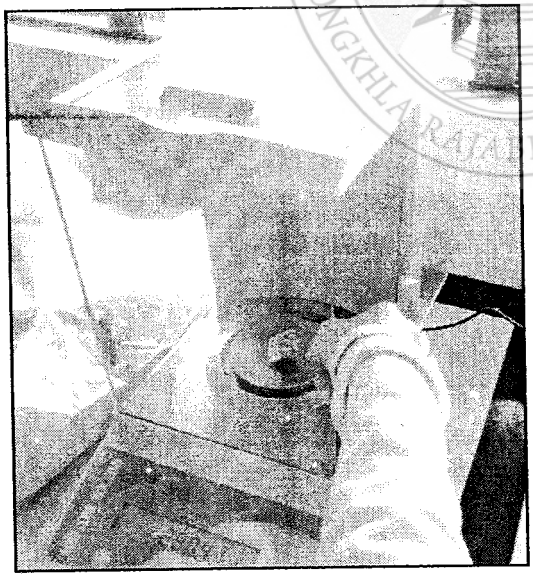
## การทดสอบการดูดซึมน้ำ



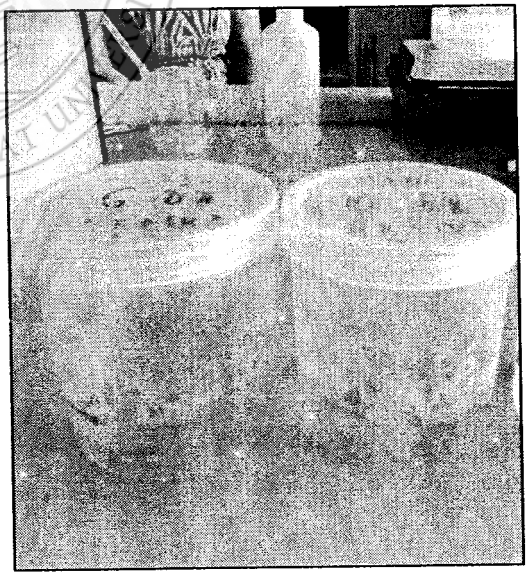
รูปที่ ผค-13 ชิ้นทดสอบ



รูปที่ ผค-14 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

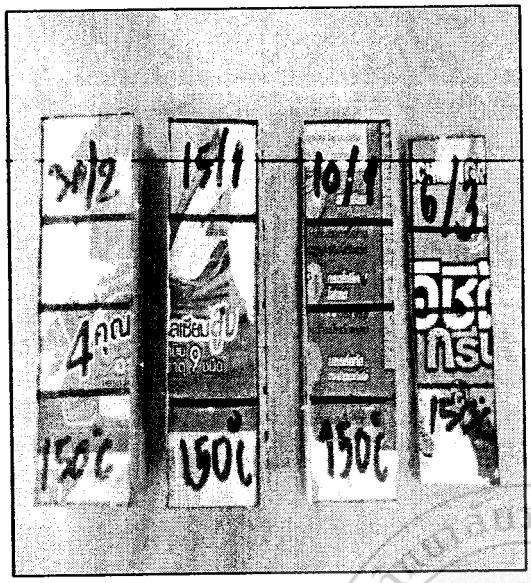


รูปที่ ผค-15 นำชิ้นทดสอบมาชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการแช่น้ำ

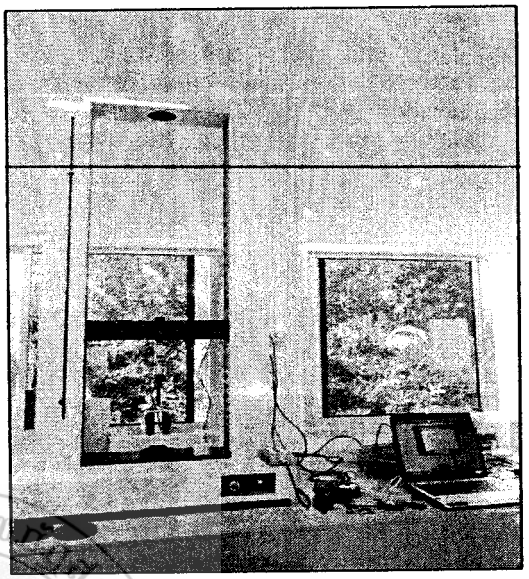


รูปที่ ผค-16 นำชิ้นทดสอบมาแช่น้ำ

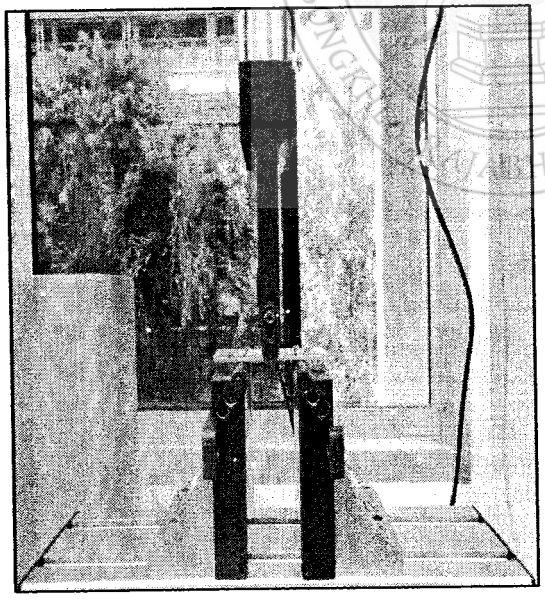
## การทดสอบการดัดโค้ง



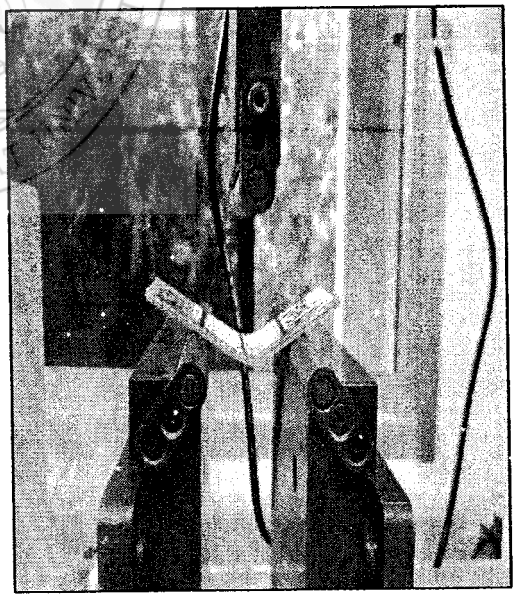

รูปที่ ผค-17 ชิ้นทดสอบ



รูปที่ ผค-18 เครื่องทดสอบการดัดโค้ง

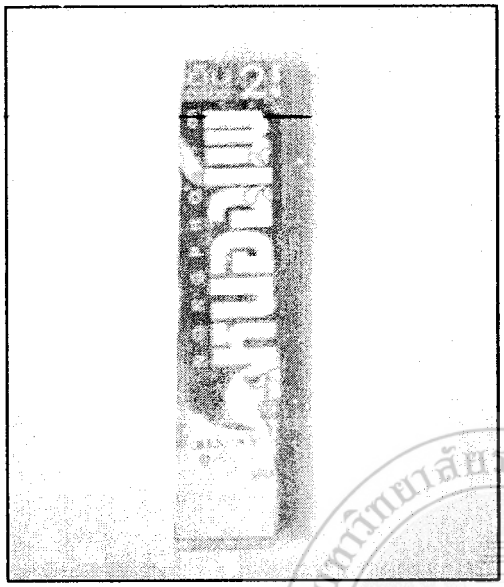


รูปที่ ผค-19 เตรียมตัวอย่างชิ้นทดสอบเข้าเครื่องทดสอบ

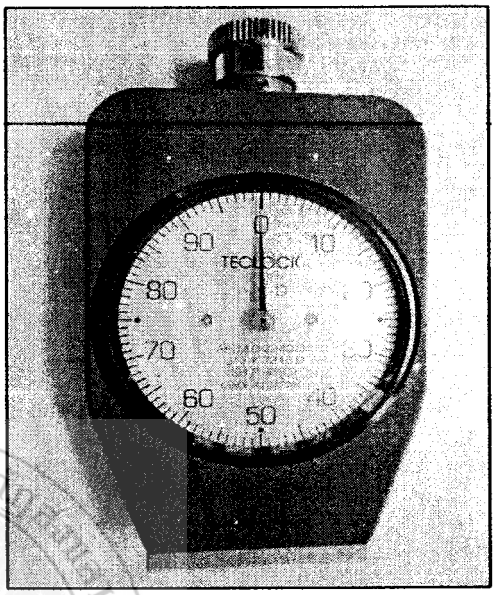


รูปที่ ผค-20 ชิ้นทดสอบเกิดการดัดโค้ง

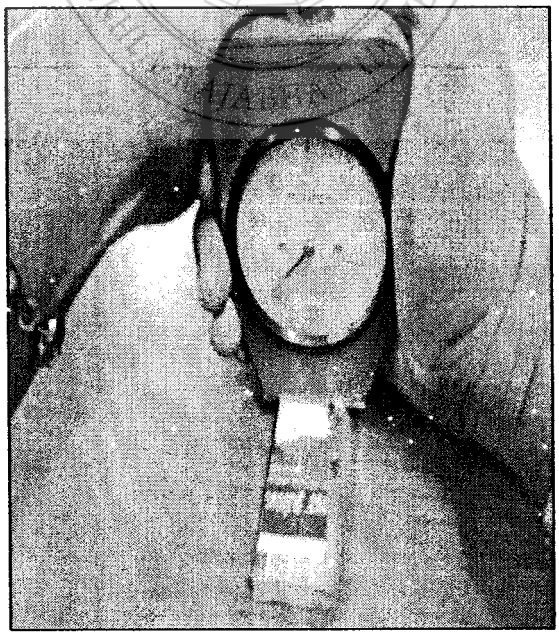
**การทดสอบความแข็ง (Shore D)**



รูปที่ ผค-21 ชิ้นทดสอบ




รูปที่ ผค-22 เครื่องทดสอบความแข็ง



รูปที่ ผค-23 นำเครื่องทดสอบความแข็งมากดลงบนชิ้นทดสอบ

# ภาคผนวก ง

# แบบเสนอโครงการวิจัย

# แบบเสนอโครงการวิจัย
# โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
# วิจัยเฉพะทางสิ่งแวดล้อม (4003002)

**1. ชื่อโครงการวิจัย** การพัฒนาแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

The development of composite boards from U.H.T. milk packages.

**2. ปีการศึกษาที่ทำการวิจัย** 2556

**3. สาขาที่ทำการวิจัย** วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

**4. ประวัติของผู้วิจัย**

4.1นางสาวชนัญดา เสมอภพ
ศึกษาระดับปริญญาตรี
ชั้นปีที่ 4 โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
Miss.ChanundaSamerphop, Education of Bachelor Degree 4, Environmental Science,Faculty of Science and Technology, SongkhlaRajabhatUniversity
4.2 นางสาวธนัญญา มะดีเยาะ
ศึกษาระดับปริญญาตรี
ชั้นปีที่ 4 โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
Miss.Tananya Madeeyoh, Education of Bachelor Degree 4, Environmental Science,Faculty of Science and Technology, SongkhlaRajabhat University

**5. อาจารย์ที่ปรึกษา** ดร.พลพัฒน์ รวมเจริญ

**6. รายละเอียดเกี่ยวกับการวิจัย**

**6.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา**

ปัจจุบันโลกกำลังประสบปัญหาภาวะโลกร้อน ซึ่งกำลังส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตของสิ่งมีชีวิตบนโลกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน นั่นคือขยะที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นทุกปีโดยในปีพ.ศ. 2550มีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นในประเทศไทยสูงถึงประมาณ 14.72 ล้านตันหรือประมาณ 40,332 ตันต่อวัน และมีการคัดแยกและนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยการนำไปใช้ซ้ำและขายให้ร้านรับซื้อของเก่าเพื่อส่งไปแปรรูปยังโรงงานต่าง ๆ ประมาณ 3.25 ล้านตันหรือประมาณร้อยละ 22 เท่านั้น ซึ่งนับว่าเป็นปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น(http://www.ampolfood.com) โดยขยะเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาขยะล้นเมืองจึงทำให้เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษต่าง ๆ เช่น มลพิษทางอากาศ มลพิษทางกลิ่น มลพิษทางดิน เป็นต้นขยะที่พบนั้นส่วนใหญ่จะเป็นขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ เช่น โฟม พลาสติก กล่องเครื่องดื่ม และขยะอันตรายต่าง ๆ เป็นต้น

กล่องเครื่องดื่มเป็นกล่องที่ใช้บรรจุเครื่องดื่มหรืออาหารเหลวประเภทนมน้ำผลไม้ชากาแฟฯลฯกล่องเครื่องดื่มแบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่1.กล่องยูเอชที2.กล่องพาสเจอไรซ์ ซึ่งกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมีส่วนประกอบเป็นกระดาษ (68%) อะลูมิเนียมฟอยล์(5%) และพลาสติกประเภทพอลิเอทีลีน(27%) ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุสามารถเก็บไว้ได้นาน(http://www.greenboardthailand.com) กล่องเครื่องดื่มยูเอชทีจึงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เมื่อเป็นที่นิยมของผู้บริโภคกันมากขึ้น ทำให้มีปริมาณการผลิตเครื่องดื่มประเภทกล่องเพิ่มขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานของมนุษย์

ดังนั้นผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่าการนำกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมาแปรรูปเป็นแผ่นอัดเพื่อใช้ประโยชน์จึงเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการลดขยะและมลพิษ อีกทั้งแผ่นอัดที่ได้จากการรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มยูเอชทียังมีความคงทนแข็งแรง และสามารถกันน้ำได้ ซึ่งแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่ผลิตขึ้นจะมีวิธีการในการทดสอบสมบัติของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีคือ การทดสอบการดัดโค้ง การทดสอบความแข็ง การทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำและการทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นอัดที่มีความหนาแตกต่างกัน จึงมีแนวคิดในการทดสอบสมบัติของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการเลือกใช้แผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีให้เกิดประโยชน์ต่อผู้นำไปใช้มากที่สุด

## 6.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

2. เพื่อศึกษาสมบัติของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

## 6.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. การนำวัสดุเหลือใช้จากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมาพัฒนาเป็นแผ่นอัด

2. ทราบถึงแบบและความหนาที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ตามต้องการ

## 6.4 การประมวลเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 6.4.1 ขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

ปัจจุบันขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างหนึ่ง เนื่องจากขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้หรือใช้ระยะเวลานานถึง 450 ปี เพราะในกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมีพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนเป็นองค์ประกอบหลัก จึงไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติโดยจุลินทรีย์(นิทัศน์, 2543) จึงนำกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีกลับมารีไซเคิลใหม่ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2555 ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นประมาณ 15.9 ล้านตัน หรือ 43,000 ตันต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2556) ในจำนวนนี้มีขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีประมาณ 30,000 ถึง 40,000 ตันต่อปี ซึ่งมีสัดส่วนการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารเหลวในปี 2549 ประเภทผลิตภัณฑ์นม จะแบ่งเป็นการบริโภคนมที่เก็บไว้ในอุณหภูมิปกติ (นมยูเอชที) 13.2 ลิตรต่อคนต่อปี นมที่ต้องแช่เย็น(นมพลาสเจอร์ไรซ์) 5.4 ลิตรต่อคนต่อปี นมเปรี้ยวยูเอชที 2.02 ลิตรต่อคนต่อปี นมเปรี้ยวพลาสเจอร์ไรซ์ 3.2 ลิตรต่อคนต่อปี น้ำผลไม้ 6.4 ลิตรต่อคนต่อปี นมถั่วเหลืองและธัญพืช 6 ลิตรต่อคนต่อปี ชาพร้อมดื่ม 2.7 ลิตรต่อคนต่อปี (www.measwatch.org) ซึ่งในประเทศไทยมีอัตราการรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีกว่า 13,200 ตัน หรือประมาณ 1,320 ล้านกล่อง คิดเป็นร้อยละ 25.4 (www.measwatch.org) การนำกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเหล่านี้มาผลิตเป็นแผ่นอัด เพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ ทำให้เพิ่มมูลค่าขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ทั้งนี้ยังช่วยลดปัญหามลพิษที่เกิดจากกล่องเครื่องดื่มยุเอชทีอีกด้วย (www.greenboardthailand.com)

**6.4.2 มลพิษที่เกิดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที**

กล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเมื่อถูกทิ้งไว้เป็นขยะ จะไม่สามารถย่อยสลายได้ เนื่องจากภายในกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือพอลิเอทิลีน กระดาษ อลูมิเนียมฟอยล์(foil) ซึ่งยากแก่การย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ จึงทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมในทุก ๆ ด้าน ได้แก่ มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ และมลพิษทางดิน ซึ่งขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที หากไม่ได้รับการกำจัดอย่างถูกวิธีหรือถูกทิ้งไว้ ณ แหล่งกำเนิดเป็นเวลานานเกินไป จะก่อให้เกิดมลพิษดังกล่าวมาข้างต้น สรุปได้ดังต่อไปนี้

**ก. มลพิษทางน้ำ**

- ทำให้แม่น้ำลำคลองต่าง ๆ เป็นแหล่งสะสมของกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น

- ทำให้สภาพภูมิทัศน์ของแหล่งน้ำขาดความสวยงามและสร้างความเสียหายต่อการท่องเที่ยว

**ข. มลพิษทางอากาศ**

- เมื่อนำมาทำลายโดยวิธีการเผา ทำให้เกิดควันเสีย ซึ่งจะเป็นการเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่บรรยากาศ

- ทำให้เกิดปัญหาก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases, GHGs) ซึ่งเกิดจากขยะจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีที่มีการกองทับถมกันเป็นเวลานาน และเกิดการย่อยสลายตามขบวนการไร้ออกซิเจน (Anaerobic condition) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ก๊าซเรือนกระจกดังกล่าว ได้แก่ $CO_2$ ,$CH_4$และ$H_2S$เป็นต้น

**ค. มลพิษทางดิน**

- ทำให้พื้นดินที่เป็นสถานที่ฝังกลบขยะไม่สามรถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ได้

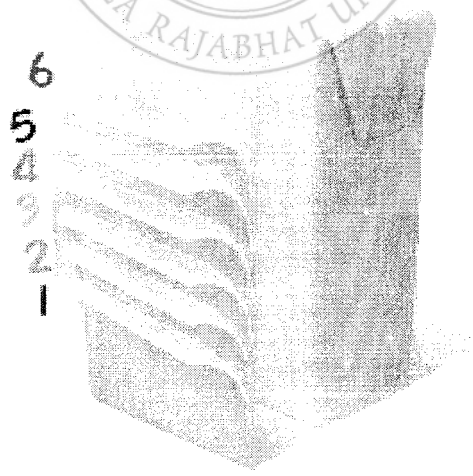
- ทำให้เกิดการการปนเปื้อนของน้ำชะล้างขยะลงสู่พื้นดิน (อาณัติ, 2553)

### 6.4.3 กล่องเครื่องดื่มยูเอชที

**กล่องเครื่องดื่มยูเอชที** หมายถึง กล่องที่ใช้บรรจุเครื่องหรืออาหารเหลว ประเภทนม น้ำผลไม้ ชา กาแฟ มีองค์ประกอบคือกระดาษ อะลูมิเนียมฟอยล์ และพลาสติกพอลิเอทิลีน ซึ่งช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ สามารถเก็บไว้นานโดยไม่ต้องแช่เย็นแสดงดังตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.1 ซึ่งกล่าวถึงองค์ประกอบ สมบัติและหน้าที่ของกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

**ตารางที่ผง-1** องค์ประกอบและสมบัติของกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

| ชั้นที่ | องค์ประกอบ | สมบัติและหน้าที่ |
|---|---|---|
| 1 | พอลิเอทิลีน | ป้องกันความชื้นจากภายนอก |
| 2 | กระดาษ | เพื่อความคงทนแข็งแรงของกล่อง |
| 3 | พอลิเอทิลีน | ช่วยผนึกกล่องให้แน่นสนิท |
| 4 | อะลูมิเนียมฟอยด์ | ป้องกันภาวะภายนอก |
| 5 | พอลิเอทิลีน | ช่วยผนึกกล่องให้แน่นสนิท |
| 6 | พอลิเอทิลีน | ช่วยป้องกันและยึดติดการรั่วซึมของของเหลว |




**รูปที่ ผง-1**ชั้นของกล่องเครื่องดื่มยูเอชที (www.greenboardthailand.com)

**6.4.4 กระดาษ**

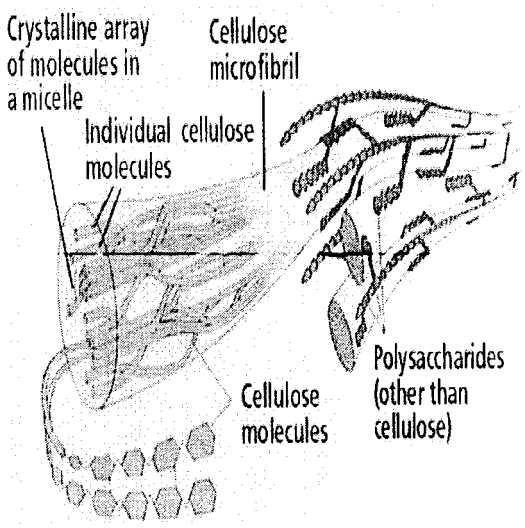
**ก. ความหมายของกระดาษ**

กระดาษหมายถึง วัตถุแผ่นบาง ๆ ซึ่งทำมาจากเส้นใยของวัตถุดิบประเภทหลัก ๆ คือ วัตถุดิบประเภทไม้ (Wood) และวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้ (Nom-Wood) สำหรับวัตถุดิบที่นิยมใช้ในประเทศไทยที่เป็นไม้ คือ ยูคาลิปตัส ส่วนวัตถุที่ไม่ใช้ไม้ คือ ชานอ้อย ปอแก้ว ฟางข้าว และไม้ไผ่ เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตกระดาษ (สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542)

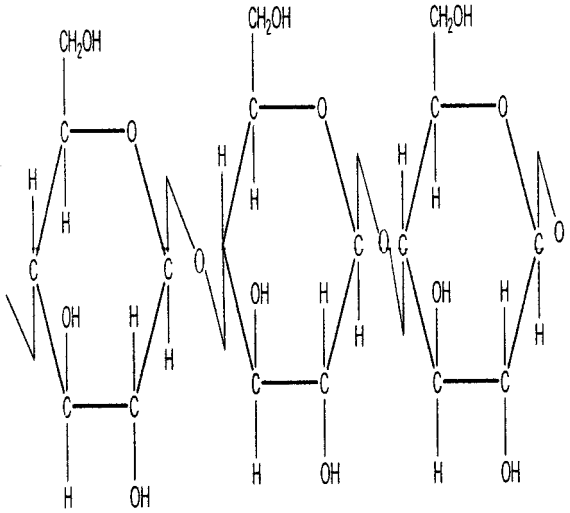
**ข. องค์ประกอบของกระดาษ**

**1. เซลลูโลส(Cellulose)**

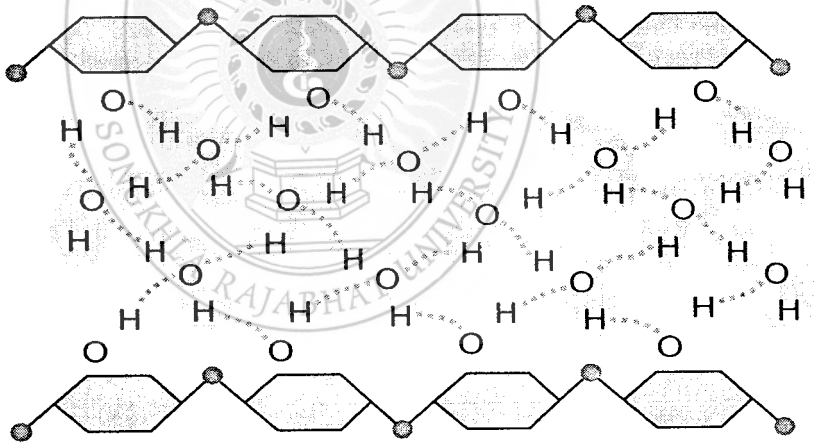
เซลลูโลส เป็นสารประกอบที่มีมากที่สุดในโครงสร้างเนื้อเยื่อของพืช ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่อยู่ในผนังเซลล์พืชทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงทนทาน และความเหนียวแก่พืช ดังนั้นโครงสร้างทางเคมีของเซลล์พืชทั่วไป จึงมีลักษณะเป็นเส้นตรงขนาดเล็กที่มีโมเลกุลจัดเรียงกันเป็นมัดหรือที่เรียกว่า“ไฟบริล” (fibril) โครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีหน่วยย่อยคือกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,4(-1,4) ไกลซิดิค (glycosidic linkage) เกิดเป็นโซ่ยาว แต่ละโซ่จะอยู่ในลักษณะที่ขนานกัน จัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบซ้อนทับกัน ยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างผิวของโซ่โมเลกุลของเส้นใย ซึ่งกลุ่มของไฮดรอกซิลจะมีขั้วเป็นลบและเมื่อพันธะไฮโดรเจนหรือน้ำ ซึ่งมีขั้วเป็นบวก ทำให้มีแรงดึงดูดระหว่างหมู่ ไฮดรอกซิลและพันธะไฮโดรเจน ส่งผลทำให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลง (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2545) เมื่อโมเลกุลของน้ำเข้าไปแทรกระหว่างพันธะไฮโดรเจนและออกซิเจนของเซลลูโลสหรือเฮมิเซลลูโลส จะทำให้เส้นใยอ่อนและมีพื้นที่สัมผัสมากขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2( มณฑา, 2541)




ก. โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส



ข. ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส



ค. โครงสร้างของเส้นใยกระดาษที่ถูกน้ำแทรกซึม

**รูปที่ ผง-2** โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

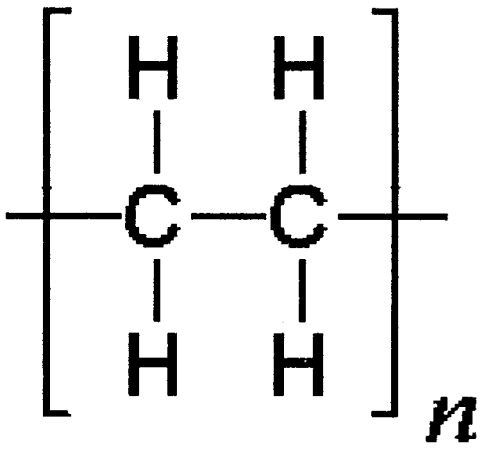
**ค.กระบวนการผลิตของกระดาษ**

การทำกระดาษเริ่มตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ ต้องปอกเปลือกไม้ออกก่อน หลังจากนั้นไม้จะถูกสับให้มีขนาดความยาวและกว้างประมาณ 20-30 มิลลิเมตร หนาประมาณ 6-10 มิลลิเมตร (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542) ภายหลังที่จัดเตรียมวัตถุดิบเรียบร้อยแล้ว จะนำวัตถุดิบเหล่านั้นมาผ่านขั้นตอนการย่อยแยกเส้นใย มีทั้งหมด 3 วิธี คือ การผลิตเยื่อเชิงกลหรือเยื่อบด (Mechanical pulp) การผลิตเยื่อเคมี (Chemical pulp) และการผลิตเยื่อกึ่งเคมี (Semi-chemical pulp) แต่วิธีที่นิยมกันมากเป็นการผลิตเยื่อเชิงกล โดยนำชิ้นไม้ไปบดด้วยหินบดหรือจานบด เยื่อที่ได้มีลักษณะสั้นและขาดเป็นท่อน อีกทั้งยังมีลิกนินตกค้างอยู่มากจึงต้องทำการฟอกเยื่อ (Bleaching) เพื่อขจัดลิกนินออก ซึ่งสารที่ใช้ในการฟอกเยื่อ เช่น คลอรีน (Cholorine) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) เป็นต้น แล้วนำเยื่อที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการกระจายเส้นใย เพื่อทำให้เส้นใยออกจากกัน โดยใช้เครื่องไฮดราพับเพอร์(Hydrapulper) ต่อมาทำการบดเยื่อและผสมน้ำเยื่อ แล้วคัดแยกวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยออก เช่น หิน ทราย เป็นต้น หลังจากผสมน้ำเยื่อเรียบร้อยแล้ว น้ำเยื่อจะถูกส่องเข้าสู่เครื่องจักรผลิตกระดาษแบบโฟร์ดริเนียร์(Four drinier) โดยทำหน้าที่แยกน้ำออก กดน้ำออก และอบกระดาษให้แห้ง และทำเป็นแผ่นให้เรียบจึงได้แผ่นกระดาษออกมา (www.paperlandonline.com) ซึ่งมีสมบัติความแข็งแรง สลายตัวได้ง่าย เนื่องจากป้องกันก๊าซไม่ได้และจะเสียความแข็งแรงเมื่อเปียกน้ำ (สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542)

**6.4.5 พอลิเอทิลีน (Polyethylene : PE)**

**ก. ลักษณะของพอลิเอทิลีน**

พอลิเอทิลีนเป็นเทอร์มอพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง ทั้งมีจุดหลอมเหลวต่ำเมื่อเทียบกับพลาสติกชนิดอื่น ๆ ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำ พอลิเอทิลีนผลิตจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชั่น(Polymerisation) ของก๊าซเอทิลีน พอลิเอทิลีนจะมีลักษณะสีขาวขุ่นโปร่งแสงมีความเหนียวทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีและเป็นฉนวนไฟฟ้า นิยมนำมาผลิตเป็นถุงร้อน ขวดใส่น้ำ เครื่องเล่นของเด็ก ถุงใส่แผ่นฟิล์ม และเก้าอี้ เป็นต้น ซึ่งมีสูตรโครงสร้างของพอลิเอทิลีนดังนี้ (ปุ่น, 2541)



รูปที่ ผง-3สูตรโครงสร้างของพอลิเอทิลีน

**ข. สมบัติของพอลิเอทิลีน**

พอลิเอทิลีนมีสมบัติที่ดีคือ มีความทนทานต่อสารเคมี หยุ่นตัวได้ ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ติดแม่พิมพ์มีความเหนียวทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีเป็นฉนวนไฟฟ้า ใส่สีผสมได้ง่าย มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้เมื่อความหนาแน่นสูงขึ้นจะทำให้มีความแข็งและความเหนียวเพิ่มขึ้น

**6.4.6 แผ่นไม้อัด (Particle Board)**

**ก. ความหมายของแผ่นไม้อัด**

แผ่นไม้อัดเป็นผลิตภัณฑ์จากไม้ที่ย่อยเป็นชิ้น ไสเป็นฝอย หรือแยกเป็นเส้นใยโดยมีวัสดุประสานเป็นตัวประสาน (เช่น ยูเรียฟอร์มัลดิไฮด์พีวีซี และพอลิยูริเทน ฯลฯ) แล้วนำมาอัดรวมกันเข้าเป็นแผ่นจนเป็นแผ่นไม้อัดที่สามารถใช้งานได้ จัดเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ไม้ขนาดเล็กตลอดจนเศษไม้ปลายไม้ที่ทำให้เกิดประโยชน์ (ธีระและทรงกลด, 2535)

**ข. ประเภทของแผ่นไม้อัด**

สามารถแบ่งแผ่นไม้อัดออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

**1. แผ่นชิ้นไม้อัด (Particleboard)**

แผ่นชิ้นไม้อัดใช้เศษไม้บ่ลายไม้ มีลักษณะแผ่นชิ้นไม้อัดขนาดลดหลั่ง (Graduated) ชนิดแผ่นชิ้นไม้อัด 3 ชั้น (3 Layer) และ 1 ชั้น (Single - layer) ซึ่งยังไม่มีการผลิตในประเทศ แผ่นชิ้นไม้อัดเริ่มมีบทบาทเด่นชัดขึ้นเพราะสามารถใช้ทดแทนไม้ได้ และราคาถูกกว่าอีกด้วย

**2. แผ่นใยไม้อัด (Fiberboard)**

แผ่นใยไม้อัดสามารถผลิตแผ่นไม้ให้ทดแทนแผ่นไม้อัดไม้ประกอบอื่น ๆ ได้ดี โดยเฉพาะแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (MDF) ซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงไม้ธรรมชาติ นอกจากนี้แผ่นใยไม้อัดยังสามารถที่จะนำพืชเส้นใยทางการเกษตร เช่น ปอ ฝ้าย เป็นต้น นับว่าเป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องจากการเกษตร

**3.แผ่นใยไม้อัดแข็ง(Hard board)**

แผ่นใยไม้อัดแข็งทำมาจากเส้นใยของเนื้อไม้นำมาอัดเป็นแผ่นโดยใช้สารลิกนินในเส้นใยเป็นสารเชื่อม ไม่ใช้กาว และยังสามารถใช้ไม้ยูคาลิปตัส เศษไม้ปลายไม้ชนิดต่างๆ และพืชเส้นใยพวกชานอ้อย มาเป็นวัตถุดิบได้เช่นเดียวกัน (http://www.greenwood1993.com)

**ค. องค์ประกอบของแผ่นไม้อัด**

**1. เส้นใย (Fibers)** คือ มีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียว องค์ประกอบของเซลล์ส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส เกิดจากการรวมตัวของพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) ของกลูโคส (glucose) ซึ่งโมเลกุลของเซลลูโลสเรียงตัวกันในผนังเซลล์ของพืชเป็นหน่วยเส้นใยขนาดเล็กมาก เกิดการเกาะจับตัวกันเป็นเส้นใยขึ้นซึ่งเส้นใยมี 3 ประเภท ดังนี้

ก. เส้นใยจากธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นเส้นใยที่ประกอบด้วยเซลลูโลส ซึ่งได้จากส่วนต่างๆของพืช เช่น ป่าน ปอ ลินิน ใยสับปะรด ใยมะพร้าว ฝ้าย นุ่น เป็นต้น

ข. เส้นใยสังเคราะห์เป็นเส้นใยที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นจากสารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์ใช้ทดแทนเส้นใยจากธรรมชาติ เช่น เส้นใยพอลิเอไมด์ (ไนลอน)

ค. เส้นใยกึ่งสังเคราะห์เป็นเส้นใยที่ได้จากการนำสารจากธรรมชาติ มาปรับปรุงโครงสร้างให้เหมาะกับการใช้งาน เช่น การนำเซลลูโลสจากพืชมาทำปฏิกิริยากับสารเคมีบางชนิด เส้นใยกึ่งสังเคราะห์นำมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่าเส้นใยธรรมชาติ ตัวอย่างเส้นใยกึ่งสังเคราะห์ เช่น วิสคอสเรยอง แบมเบอร์กเรยอง เป็นต้น (http.//www.baanjomyut.com)

**2. วัสดุประสาน**คือ วัสดุที่ใช้ผสมลงไปในวัสดุที่จะนำมาอัดเป็นแผ่น เพื่อทำให้วัสดุดังกล่าวยึดติดกันได้ดียิ่งขึ้น (สุนทร, 2547) ซึ่งใช้พวกพอลิเมอร์เป็นวัสดุประสานเป็นส่วนใหญ่ สามารถแบ่งชนิดของพอลิเมอร์ออกได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

**ก. เทอร์โมพลาสติก (Therinoplastic)**คือ เทอร์โมพลาสติกเป็นวัสดุพอลิเมอร์แบบเส้นตรงหรือแบบมีกิ่งสาขา ที่อ่อนตัวลงเมื่อถูกความร้อนและแข็งตัวใหม่เมื่อถูกทำให้เย็น และสามารถนำกลับมาหลอมใหม่ได้หลังจากผ่านกระบวนการแปรรูป เทอร์โมพลาสติกประเภทนี้ ได้แก่ (สมศักดิ์, 2543)

1.1พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE)พอลิเอทิลีนเป็นพลาสติกที่มีการใช้มากที่สุดและมีราคาถูก พอลิเอทิลีนเป็นเทอร์มอพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นโปร่งแสงซึ่งสามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ ถุงเย็น เก้าอี้ ถุงบรรจุขนมปัง และกล่องเครื่องดื่ม เป็นต้น

1.2 พอลิพรอไพลีน (Polypropylene: PP)ทำมาจากก๊าซโพรเทน ใช้ทำถุงพลาสติกร้อน มีลักษณะขาวขุ่นทึบแสงกว่าพอลิเอทิลีนสามารถลอยน้ำได้เช่นเดียวกันกับพอลิเอทิลีน

1.3 พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC)ทำจากอะเซทิลีนกับกรดเกลือ โดยขบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน มีสมบัติพิเศษคือ ทนต่อกรด และแอลกอฮอล์ มีลักษณะทั้งเป็นแข็งคงรูปและอ่อนเหนียว ใช้ทำเป็นฉนวนไฟฟ้าอย่างดี

1.4 พอลิสไตรีน(Polysthyrene)เป็นพลาสติกมีความใสเหมือนแก้วไม่มีสี และสามารถย้อมสีได้ เปราะ มีคุณสมบัติทนกรด ด่าง และเกลือละลายได้ดีในเบนซิน และตัวทำละลายพวกอินทรีย์ ใช้ทำโฟมไม้บรรทัด แปรงสีฟัน เป็นต้น

**ข. เทอร์โมเซต (Thermosetting plastic)**คือ พอลิเมอร์ที่หลังจากการแปรรูปแล้ว จะแข็งตัวอย่างถาวร และหลังการแปรรูปแล้วไม่สามารถหลอมใหม่ได้ แต่ถ้าให้ความร้อนสูงจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ พอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมเซตนี้ได้แก่

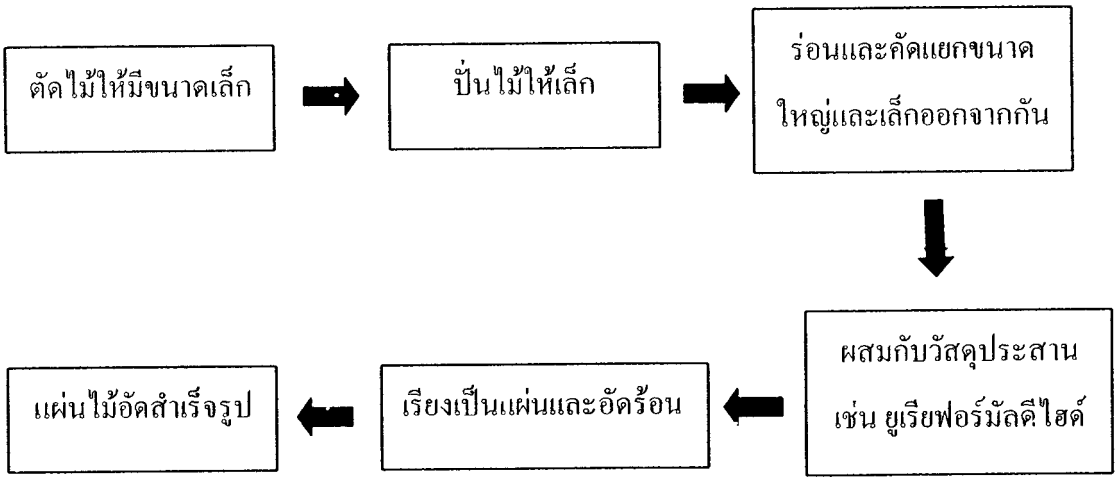
2.1 ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (Phenolformaldehyde resin) ทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนคุณสมบัติ คือ แข็งทนต่อความร้อนใช้ทำฉนวนไฟฟ้า ตู้ วิทยุอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ

2.2 เมลามีน ฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (Malaminformaldyhile resin) มีสมบัติที่ดี คือ ทนต่อความร้อนได้ถึง 250 องศาเซลเซียส ทนต่อสารละลาย และแรงกระแทก แต่ไม่ทำปฏิกิริยากับอากาศ กรด เบส ส่วนใหญ่ใช้ทำพลาสติกอย่างดีราคาแพง ฉนวนไฟฟ้า เป็นต้น

3.3 ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (Urea formaldyhile resin) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากฟอร์มัลดีไฮด์กับยูเรีย เป็นพลาสติกที่แตกง่ายมีสีขาวใสสามารถย้อมเป็นสีต่าง ๆ ได้ ไม่ทนต่อกรด ด่าง และแรงกระแทก ใช้ทำกาวแผ่นไม้อัดทำปุ่มจับด้ามเครื่องมือ เป็นต้น (เจริญ, 2544)

**ง. กระบวนการผลิตแผ่นไม้อัด**

กระบวนการผลิตแผ่นไม้อัดประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ในการผลิตที่แตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตของแหล่งผลิต โดยเฉพาะวิธีการผลิตดังต่อไปนี้ ซึ่งจะนิยมใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมไม้เป็นส่วนใหญ่ ดังรูปที่ 2.3




**รูปที่ ผง-4** กระบวนการผลิตแผ่นไม้อัด (ทวีศักดิ์, 2543)

จากกระบวนการผลิตแผ่นไม้อัดในรูปที่ 2.3 ทำโดยการเตรียมวัสดุไม้ที่เหลือจากอุตสาหกรรมการแปรรูปไม้ต่าง ๆ เข้าเครื่องย่อยเป็นชิ้นเล็ก ๆ ตามความต้องการ นำไม้ที่ได้จากการย่อยเป็นชิ้นเข้าตู้อบซึ่งเป็นแบบหมุนกระจายความร้อน (rotary drum drier) เพื่อให้ชิ้นไม้แห้งมีความชื้นตามกำหนด ไม้ที่อบนี้จะมีความชื้นอยู่ประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ หลังจากอบ และนำเข้าเครื่องร่อนเป็นตัวแยกชนิดของไม้ ซึ่งจะแยกไม้อย่างละเอียดและอย่างหยาบ ส่วนชิ้นไม้ที่ขนาดใหญ่ที่เหลือจากการร่อนจะถูกนำไปบดด้วยเครื่องบด (hammer mill) และจะถูกส่งเข้าเครื่องร่อนและแยกอีกครั้ง นำไม้ที่ได้ฟอร์มแผ่นโดยนำผงไม้ที่ได้ผสมกับวัสดุประสาน ซึ่งในการผสมวัสดุประสานกับไม้นับเป็นขั้นตอนสำคัญอย่างหนึ่งของการทำแผ่นไม้อัด เมื่อเรียงเสร็จจึงนำไปผ่านแม่เหล็กเพื่อดูดแม่เหล็กที่หลงเหลืออยู่ จากนั้นจะผ่านแท่งอัดร้อนใช้แรงอัดประมาณ 720 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนความร้อนขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นไม้อัดและชนิดของวัสดุประสาน เช่นหากใช้ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ และต้องการความหนา 3 มิลลิเมตร จะใช้ความร้อนประมาณ 165-170 องศาเซลเซียส ถ้าความหนา 16-19 มิลลิเมตร จะต้องใช้ความร้อนมากขึ้น เมื่อเรียงและอัดร้อนเสร็จ ต้องผ่านเครื่องชั่งน้ำหนักเป็นการตรวจสอบว่าอยู่ในค่าน้ำหนักที่กำหนดเสร็จแล้วจะผ่านเข้าเลื่อยตัดแผ่นไม้อัด ซึ่งมีขนาด 2.50 × 10 เมตร จะตัดได้ขนาด 4 × 8 ฟุต ได้ประมาณ 8 แผ่น พอดีตัดตามยาวก่อนแล้วจึงตัดตามขวาง เมื่อตัดเป็นแผ่นแล้วจึงเก็บไว้ 3-5 วัน เพื่อให้ความร้อนคลายตัว จากนั้นจึงผ่านเข้าเครื่องขัดกระดาษทรายเพื่อปรับความหนาและผิวหน้าเรียบสม่ำเสมอ (ทวีศักดิ์, 2543)

**จ. สมบัติและมาตรฐานการทดสอบของแผ่นไม้อัด**

โดยทั่วไปสมบัติของแผ่นไม้อัดจะมีความแข็งแรงทนทานสูง มีความคงตัวไม่ยืดหด สามารถตัด เลื่อยฉลุได้ง่าย ไม่แตกหัก โค้งงอได้โดยไม่ฉีกหัก และรับน้ำหนักได้ในอัตราที่สูงกว่าไม้ธรรมดา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติและลักษณะทั่วไปของไม้อัด เช่น น้ำหนัก ความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ.ความแข็ง และความทนทาน แผ่นไม้อัดแต่ละชนิดมีมาตรฐานในการควบคุมที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้คือ การนำกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมาผลิตเป็นแผ่นอัด ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้มาตรฐาน มอก.876-2532 โดยมีการกำหนดลักษณะทั่วไปของแผ่นอัด เช่น จำนวนชั้น และสมบัติสำคัญต่าง ๆ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2

**ตารางที่ ผง-2** สมบัติของแผ่นชิ้นไม้อัดตามมาตรฐาน มอก.876-2532

| สมบัติ | เกณฑ์ที่กำหนด | | | |
|---|---|---|---|---|
| | จำนวนชั้น | | | |
| | 6 ชั้น | 10 ชั้น | 15 ชั้น | 30 ชั้น |
| การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) ไม่เกิน | | | | |
| -2 ชั่วโมง | 40 | 40 | 40 | 40 |
| -24 ชั่งโมง | 80 | 80 | 80 | 80 |
| การพองตัวเมื่อแช่น้ำ (ร้อยละ) ไม่เกิน | 12 | 12 | 12 | 12 |
| ความแข็ง (มากกว่า 40 ) | 40 | 40 | 40 | 40 |

**ที่มา:** (มอก. 876-2532)

**ฉ. การทดสอบสมบัติของแผ่นไม้อัด**

1. ความแข็ง(Durometer Shore D) คือ การวัดความแข็งโดยใช้เครื่องมือ Durometer Shore D กดลงบนผิวของชิ้นทดสอบ โดยอาศัยหัวกดที่เป็นเข็ม และใช้แรงในการกดลงไปบนชิ้นทดสอบ 4-5 จุด ทั้งหน้าและหลังชิ้นทดสอบ

2. การพองตัวเมื่อแช่น้ำ คือ การวัดความหนาของชิ้นทดสอบก่อนและหลังการแช่น้ำ

3. การดูดซึมน้ำ คือ การชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนและหลังการแช่น้ำ

4. การดัดโค้ง (Universal Testing) คือ เป็นการทดสอบแบบ 3 จุด (3-PointLoading) กำหนดจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบและวางบนจุดรองรับตัวอย่าง ใช้อัตราเร็วในการทดสอบ 50 มิลลิเมตรต่อนาที วัดค่าแรงกดสูงสุดที่วัดได้ (N)

**6.4.7 แผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที**

**แผ่นอัด** หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีหลายแผ่นมาประกอบอัดให้เป็นแผ่น ซึ่งโดยทั่วไปแผ่นอัดจะได้มาจากแผ่นอัดจากชานอ้อย แผ่นอัดจากไม้ประกอบ เป็นต้น และแผ่นจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีนั้นจะมีส่วนประกอบที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ กล่องเครื่องดื่มยูเอชที ซึ่งมีสมบัติของแผ่นอัดและมาตรฐานการทดสอบแผ่นอัด ได้แก่การหักงอ ความแข็ง การพองตัวเมื่อแช่น้ำ และดูดซึมน้ำ และเมื่อได้แผ่นอัดแล้วสามารถนำแผ่นอัดไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ทำเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นโต๊ะ ตู้ เก้าอี้ เป็นต้น

**6.4.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้กล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเป็นแผ่นอัด**

ทรงกลด และวรธรรม (2541) ได้ศึกษาวิจัยการนำกล่องนม U.H.T. กลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบของแผ่นไม้อัดโดยใช้ชิ้นกล่องนม U.H.T. กับชิ้นเกล็ดไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซีสอายุ 15 ปีโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นไม้อัด ซึ่งผลการศึกษาพบว่าค่าความหนาแน่นความชื้นการพองตัวเมื่อแช่น้ำและการดูดซึมน้ำแปรผันตามอัตราส่วนของชิ้นเกล็ดไม้ที่เพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าแปรผกผันตามอัตราส่วนของชิ้นเกล็ดไม้ที่เพิ่มขึ้นส่วนค่าความต้านแรงดัดและมอดุลัส

ยึดหยุ่นจะแปรผกผันตามอัตราส่วนของชิ้นเกล็ดไม้ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นไม้อัดกับสมบัติของแผ่นไม้อัดจากไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซีสอายุ 15 ปีและกับเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบ : ความหนาแน่นปานกลางมอก. 876-2532 พบว่าแผ่นไม้อัดอัตราส่วน 80:20 มีสมบัติดีที่สุด

Nadir และคณะ (2008) ได้ศึกษาวิธีประเมินคุณสมบัติที่เหมาะสมของแผ่นกระดาษแข็งซึ่งจะนำมาซ้อนทับกันกับไม้บีช (Beech) แผ่นกระดาษแข็งซึ่งนำมาใช้ในการทดลองนี้ได้มาจากกล่องบรรจุภัณฑ์ทั้งอาหารและเครื่องดื่มซึ่งผ่านการรีไซเคลแล้ว ประกอบด้วย กระดาษแข็ง 75%, พอลิเอทิลีนที่ความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene หรือ LDPE) 20%, และอลูมิเนียมฟอยล์ 5% นำส่วนประกอบเหล่านี้มาซ้อนทับกันโดยอาศัยการยึดติดกับวัสดุ 4 ชนิดต่อไปนี้ พอลียูรีเทน (Polyurethane) ฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ (Phenol-formaldehyde) ยูเรียฟอร์มาดีไฮด์(Urea-formaldehyde) และเมลามีน-ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (Melamine-urea formaldehyde) ผลการศึกษาพบว่า พอลียูรีเทนยึดติดได้ดีกว่า และการดูดซึมน้ำต่ำกว่าตัวอย่างซึ่งใช้สารประเภทอื่นยึดติด ผลจากการค้นพบครั้งนี้ องค์ประกอบของกล่องกระดาษซึ่งซ้อนทับกันถูกนำมาพิจารณาเรื่องการเลือกใช้วัตถุดิบให้เหมาะสมกับการผลิต เช่น เลือกใช้เพื่อนำมาทำเป็นเฟอร์นิเจอร์ อ่างล้างหน้า พื้น และตู้กับข้าว เป็นต้น

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นอัด**

ฉันท์ทิพ และมนทิพย์ (2552) ได้ศึกษากระบวนการผลิตของแผ่นอัดจากใยมะพร้าว ชานอ้อย ฟางข้าว และแกลบ โดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression Molding ) และตัวแปรที่จะใช้ศึกษาได้แก่ ชนิดและปริมาณของวัสดุประสานที่เหมาะสม ซึ่งใช้วัสดุประสานของพอลิเมอร์ ได้แก่ ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และศึกษาสมบัติของแผ่นอัดแผ่นอัดจากใยมะพร้าว ชานอ้อย ฟางข้าว และแกลบ อันได้แก่ สมบัติเชิงกล และการดูดซึมน้ำ จากผลการทดลองพบว่า การผลิตแผ่นอัดจากเส้นใยธรรมชาติต่างชนิดกัน จะใช้ปริมาณสารเชื่อมประสานที่ต่างกัน และในการผลิตแผ่นอัดโดยใช้ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นวัสดุประสานในปริมาณต่ำกว่าการใช้พอลิเอทิลีนเป็นวัสดุประสาน จากการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำพบว่า ถ้าใช้ปริมาณวัสดุประสานมากขึ้นจะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นอัดลดลง นอกจากนี้เส้นใยที่ต่างกันจะให้สมบัติการดูดซึมน้ำที่ต่างกัน การใช้พอลิเอทิลีนเป็นวัสดุประสานจะทำให้ได้แผ่นอัดที่มีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำ จากการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าถ้าใช้ปริมาณวัสดุประสานมากขึ้นจะทำให้สมบัติเชิงกลของแผ่นอัดดีขึ้น นอกจากนี้เส้นใยที่ต่างกันจะให้สมบัติเชิงกลที่ต่างกัน การ

ใช้ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เป็นวัสดุประสานจะทำให้ได้แผ่นอัดสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการใช้พอลิเอทิลีนเป็นวัสดุประสาน

กิตติเดชและคณะ (2546) ได้ศึกษาการเตรียมพอลิเอสเทอร์เรซิน(Polyester resin) จากขวดPoly (ethylene terepthalate: PET) ที่ใช้แล้วด้วยวิธีการย่อยสลายขวดPET โดยกระบวนการไกลไลซิส(Glycolysis) โดยใช้ไกลคอล(glycol) เป็นตัวทำละลายจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ปฏิกิริยาพอลิเอสเทอร์ฟีเคชัน(Polyesterification) โดยใช้กรดอินทรีย์เป็นมอนอเมอร์เป็นตัวแปรและอัตราส่วนของกรดอินทรีย์ต่อ Glycolyzed Products โดยกรดอินทรีย์ที่สภาวะเหมาะสม คืออัตราส่วนMaleic acid 1: 3 อุณหภูมิ180 °C เวลา8 ชั่วโมงซึ่งได้ลักษณะของพอลิเอสเทอร์เรซิน ที่มีความหนืดมีกลิ่นฉุนคล้ายกาวมีความเหนียวจากนั้นผสมไฮโดรควีไนน( Hydroquinone) เพื่อชะลอการแข็งตัวของพอลิเอสเทอร์เรซินที่ได้ไปทากับแผ่นไม้บางอัดร้อนที่อุณหภูมิ110 °C เพื่อผลิตไม้อัดซึ่งหลังจากการอัดร้อนแล้วพบว่าพอลิเอสเทอร์เรซินได้ซึมเข้าเนื้อไม้ทำให้ไม่ปรากฏชั้นของพอลิเอสเทอร์เรซินระหว่างไม้

ณัฐวุฒิ และคณะ(2547)ได้ศึกษาการผลิตแผ่นชิ้นอัดจากใบสัก ไม้อัดที่ได้มีความหนาแน่น750 กก./ลบ.ม ความหนาของแผ่นเท่ากับ10 มม. ใช้ปริมาณยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ 13% ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์7% ไอโซไซยาเนต5% และยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ผสมกับไอโซไซยาเนตในอัตราส่วนไอโซไซยาเนต5% , 10% และ15% ในสัดส่วนกาวทั้งหมด13% เทียบกับน้ำหนักใบสักแห้งโดยมีรายละเอียดการผลิตดังนี้คือทำการอัดด้วยเครื่องอัดร้อนความดันในการอัด150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อุณหภูมิในการอัด120 - 130 องศาเซลเซียส เวลาในการอัด5 นาที ความชื้นใบสักก่อนการผสมกาวมีความชื้นไม่เกิน5 - 6% สำหรับยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์และยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ผสมกับไอโซไซยาเนตมีความชื้นไม่เกิน12% สำหรับไอโซไซยาเนตได้แผ่นชิ้นอัดจากใบสักที่มีความหนาแน่นเฉลี่ย790 – 840 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของ ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์และไอโซไซยาเนต พบว่าไอโซไซยาเนตให้ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่ดีกว่ายูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์และฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ส่วนไอโซไซยาเนตผสมในยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์5% 10% และ15% ในอัตราส่วนไอโซไซยาเนต15% ให้ผลสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าอัตราส่วน5% และ10% เมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานJIS A 5908 - 1994 พบว่าแผ่นทดสอบทุกชนิดของวัสดุประสานมีความหนาแน่นและความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดของมาตรฐานแต่สมบัติการพองตัวและสมบัติเชิงกลไม่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกชนิดของวัสดุประสานยกเว้นแผ่นชิ้นอัดจากใบสักที่ใช้ไอโซไซยาเนตและไอ

โซไซยาเนตผสมกับยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์5% 10% และ15% มีความต้านทานแรงดึงที่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดเนื่องจากสมบัติของชิ้นอัดปริมาณกาวและชนิดกาวนั้นๆควรทำการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นดีขึ้นต่อๆไป

วรธรรมและคณะ (2546) ได้ศึกษาขนาดของขี้เลื่อยและขนาดของเศษไม้สักควบคู่กับการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตได้แก่ปัจจัยการใช้ชนิดของวัสดุที่แตกต่างกัน3 ชนิดคือยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์และไอโซไซยาเนตชนิดpolymeric diphenylmethanediisocyanate (P-MDI) ผลการศึกษาพบว่าจากการทดสอบสมบัติความต้านแรงดัดมอดุลัสยืดหยุ่นและความต้านแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าของแผ่นชิ้นไม้อัดพบว่าเมื่อใช้วัสดุประสานแผ่นชิ้นไม้อัดจากขี้เลื่อยจะมีค่าที่สูงกว่าแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษไม้สักยกเว้น ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ 7 %จะให้ค่าความต้านแรงดัดมอดุลัสยืดหยุ่นต่ำกว่าส่วนสมบัติการพองตัวเมื่อแช่น้ำปรากฏแผ่นชิ้นไม้อัดจากขี้เลื่อยจะมีการพองตัวเมื่อแช่น้ำได้ดีกว่าแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษไม้สัก ไม่ว่าจะผลิตด้วยวัสดุประสานชนิดใดก็ตามเมื่อเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นชิ้นไม้อัดกับเกณฑ์กำหนดมาตรฐานJIS A 5908 (1994) พบว่าแผ่นชิ้นไม้อัดจากขี้เลื่อยจะมีสมบัติดีกว่าแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษไม้สัก

เศกสิทธิ์และคณะ (2547) ได้ศึกษาการเตรียมแผ่นอัดจากวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์มะขามโดยใช้เปลือกและรกหุ้มเนื้อของฝักมะขามอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้อัดมี 6 ประเภท ตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกต่อรกหุ้มเนื้อของฝักมะขามเท่ากับ 10 : 0 , 8 : 2 , 6 : 4 , 4 : 6 , 2 : 8 , 0 :10 ใช้กรรมวิธีการอัดขึ้นรูปร้อนด้วยไฮโดรลิคขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้อัดชั้นเดียวแบบอัดราบผลการพัฒนาพบว่าแผ่นไม้อัดมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของแผ่นไม้อัด 0.72 - 0.78 กรัม./ลบ.ซม. ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยของแผ่นไม้อัด 5.15 - 8.17 เปอร์เซ็นต์ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของแผ่นไม้อัด 48.23 - 62.19 เปอร์เซ็นต์ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำเฉลี่ยของแผ่นไม้อัด 13.28 - 32.00 เปอร์เซ็นต์ค่าความต้านแรงดัดเฉลี่ยของแผ่นไม้อัด 2.00 - 21.91 นิวตัน/ตร.มมค่าแรงยึดเหนี่ยวภายในเฉลี่ยของแผ่นไม้อัด 0.59 - 2.28 นิวตัน/ตร.มมค่าความยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวเฉลี่ยของแผ่นไม้อัด 206.43 - 1,223.79 นิวตันผลการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นไม้อัด (JIS A 5908 - 1994) พบว่าการใช้ปริมาณอัตราส่วนของเปลือกต่อรกหุ้มเนื้อของฝักมะขามที่แตกต่างกันจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นไม้อัด (JIS A 5908 - 1994) ดังนี้สมบัติทางกายภาพของแผ่นไม้อัดด้านความหนาแน่นปริมาณความชื้นและความยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวเฉลี่ยของแผ่นไม้อัด มีสมบัติทางกายภาพผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นไม้อัด (JIS A 5908 - 1994)

ทุกอัตราส่วนและผลการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของแผ่นไม้อัดจากวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์มะขามทั้ง 6 อัตราส่วน พบว่าสมบัติทางกายภาพด้านความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดไม่มีความแตกต่างกันส่วนสมบัติทางกายภาพด้านความต้านแรงดัดและความยืดเหนี่ยวของตะปูเกลียวพบว่ามีความแตกต่างกันทุกอัตราส่วน นอกนั้นสมบัติทางกายภาพด้านปริมาณความชื้นการดูดซึมน้ำการพองตัวเมื่อแช่น้ำและแรงยึดเหนี่ยวภายในของแผ่นไม้อัด ผลการเปรียบเทียบพบว่ามีความแตกต่างกันบางอัตราส่วน สรุปได้ว่าการใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกต่อรกหุ้มเนื้อของฝักมะขามที่แตกต่างกันจะมีสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันโดยแนวโน้มปริมาณของรกหุ้มเนื้อของฝักมะขามในอัตราส่วนที่สูงขึ้นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นไม้อัด (JIS A 5908 - 1994) ที่สูงขึ้น

**6.5 ตัวแปรและนิยามปฏิบัติการ**

**6.5.1 ตัวแปร**

ตัวแปรอิสระ: จำนวนชั้นของกล่องเครื่องดื่มยูเอชที, อุณหภูมิ

ตัวแปรตาม : ความแข็ง, การดัดโค้ง, การพองตัวเมื่อแช่น้ำ, การดูดซึมน้ำ

ตัวแปรควบคุม : ระยะเวลาในการขึ้นรูป, ความดันของการอัดขึ้นรูป, ชนิดของกล่องเครื่องดื่ม

**6.5.2 นิยามศัพท์**

1. แผ่นอัด หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกล่องเครื่องยูเอชทีหลายแผ่นมาประกอบอัดให้เป็นแผ่น

2. กล่องเครื่องดื่มยูเอชที หมายถึง กล่องที่ใช้บรรจุเครื่องดื่มหรืออาหารเหลวประเภท นม น้ำผลไม้ ชา กาแฟ เป็นต้น ซึ่งในกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีจะมีกระดาษอลูมิเนียมฟอยล์ และพลาสติกประเภทโพลีเอทีลีนเป็นส่วนประกอบ

3. ความแข็ง หมายถึง ความต้านทานต่อแรงกดการขัดสีและการกลึงของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

4. การดัดโค้ง หมายถึงการใช้แรงในการดัดแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีเพื่อให้เกิดการดัดโค้ง

5. การพองตัวเมื่อแช่น้ำ หมายถึง การนำแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมาวัดความหนาก่อนการแช่น้ำ แล้วนำมาวัดการพองตัวหลังการแช่น้ำ

6. การดูดซึมน้ำ หมายถึง การนำแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมาชั่งน้ำหนักก่อนการแช่น้ำ และนำมาชั่งน้ำหนักการดูดซึมน้ำหลังการแช่น้ำ

**6.6 สมมุติฐาน**

1. สามารถเตรียมแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีได้โดยกระบวนการอัดขึ้นรูป

2. แผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดราบ:ความหนาแน่นปานกลาง (มอก. 876-2547)

**6.7 ระเบียบวิธีการวิจัย**

**6.7.1 วัสดุ**

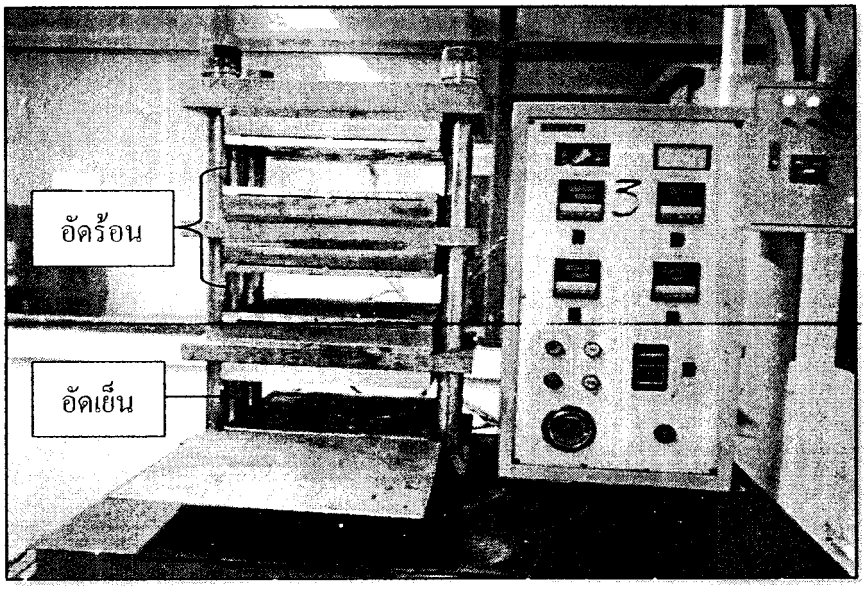
**1.กล่องเครื่องดื่มยูเอชที ได้แก่**

- กล่องน้ำผลไม้ อิชิตันกรีนที ปริมาตรสุทธิ 250 มิลลิลิตร และโออิชิ ปริมาตรสุทธิ 250 มิลลิลิตร

- กล่องนม ไมโลไวตามิ้ลค์แลคตาซอย ปริมาตรสุทธิ 250 มิลลิลิตร โอวัลตินดัชมิลล์ ดีน่า ปริมาตรสุทธิ 180 มิลลิลิตร แลคตาซอย ปริมาตรสุทธิ 300 มิลลิลิตร โฟร์โมสต์ ปริมาตรสุทธิ 225 มิลลิลิตรนมโรงเรียน ปริมาตรสุทธิ 200 มิลลิลิตร

**2.อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย**

2.1 เครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงานไฮโดรลิค (hydraulic compression machine) Gotechรุ่น GT-7014-A10C ผลิตโดยบริษัท Gotech Testing Machine Inc. แท่นอัดขนาด แท่นอัดบน 2 แท่นเป็นแท่นอัดร้อนสามารถตั้งและควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยสามารถตั้งอุณหภูมิสูงสุดได้ 250องศาเซลเซียส แท่นล่างสุดเป็นแท่นอัดเย็น




**รูปที่ ผง-5**เครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงานไฮโดรลิค

2.2 เครื่องทดสอบการดัดโค้ง (Universal Testing )Narinรุ่น NRI-TS-500-5 ผลิตโดยบริษัท Narin Instrument Co.Ltd.สามารถใช้ทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง รวมถึงทดสอบความต้านทานต่อการดัดโค้งได้ด้วย

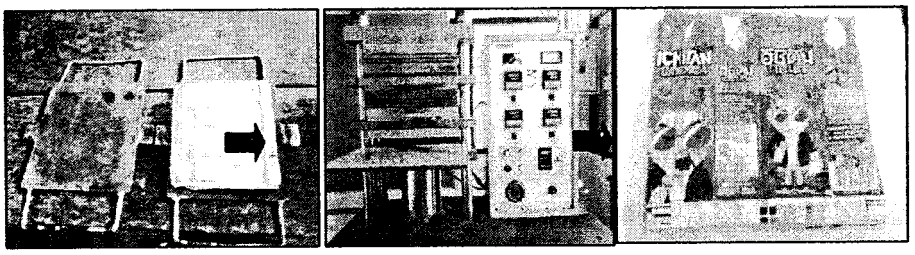
2.3 เครื่องทดสอบความแข็ง (Durometer Shore D) Teclockรุ่น GS-702N

2.4 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง MettlerToldeoรุ่น AB204-S ชั่งได้ละเอียด 0.0001 กรัม และสามารถรับน้ำหนักสูงสุดได้ถึง 220 กรัม

**6.7.2 วิธีการทดลอง**

**1. การเตรียมกล่องเครื่องดื่มยูเอชเพื่อขึ้นรูป**

ล้างทำความสะอาดกล่องเครื่องดื่มที่เก็บได้จากมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ผึ่งตากแดดให้แห้งจากนั้นตัดกล่องเครื่องดื่มยูเอชที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งในการขึ้นรูปนำกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมาจัดวางสลับกันในแต่ละชิ้นตามความหนา 6 ชั้น 10 ชั้น 15 ชั้น และ 30 ชั้น แล้ววางลงในแม่พิมพ์อัดเพื่อทำการขึ้นรูปโดยตั้งอุณหภูมิของเครื่องอัดไฮโดรลิคอุณหภูมิที่ 150 170 และ 200 องศาเซลเซียส ความดัน 25 psi และเวลาในการอัดร้อน 10 นาที เพื่อหลอมเหลวพลาสติกที่เคลือบที่กล่อง จากนั้นอัดเย็น เพื่อทำให้พลาสติก กระดาษและอะลูมิเนียมฟอยล์ เกิดการแข็งตัว ใช้เวลาในการอัดเย็น 3 นาที จึงได้แผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีแสดงขั้นตอนดังรูปที่ 6



(ก) (ข) (ค)

**รูปที่ ผง-6** ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปกล่องเครื่องดื่ม (ก) ลักษณะกล่องเครื่องดื่ม (ข) ขั้นตอนการอัดขึ้นรูป (ค) ลักษณะชิ้นงานที่เตรียมได้

**6.7.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที**

**1. การทดสอบการดูดซึมของน้ำและการพองตัวเมื่อแช่น้ำ**

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.876-2532) โดยการนำแผ่นอัดจากเครื่องดื่มยูเอชทีที่ได้มาตัดเป็นชิ้นงานทดสอบขนาด 2.5×2.5 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักชิ้นงานทดสอบ (ด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และนำไปแช่น้ำกลั่นในขวดที่มีฝาปิดแน่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและ 48 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักหลังการแช่น้ำ คำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของแผ่นอัดจากเครื่องดื่มยูเอชที โดยมีสูตรการคำนวณสมการ (3.1) ดังนี้

$$\text{การดูดซึมน้ำ}(\%) = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100 \quad \text{..... (3.1)}$$

โดยที่ $W$ คือน้ำหนักของชิ้นงานทดสอบหลังการแช่น้ำ (g)

$W_0$คือน้ำหนักของชิ้นงานทดสอบก่อนการแช่น้ำ (g)

การทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ จะใช้วิธีการวัดความหนาของชิ้นงานทดสอบก่อนการทดสอบและหลังการแช่น้ำ โดยจะทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และคำนวณการพองตัว มีสูตรการคำนวณดังสมการที่ (3.2) ดังต่อไปนี้

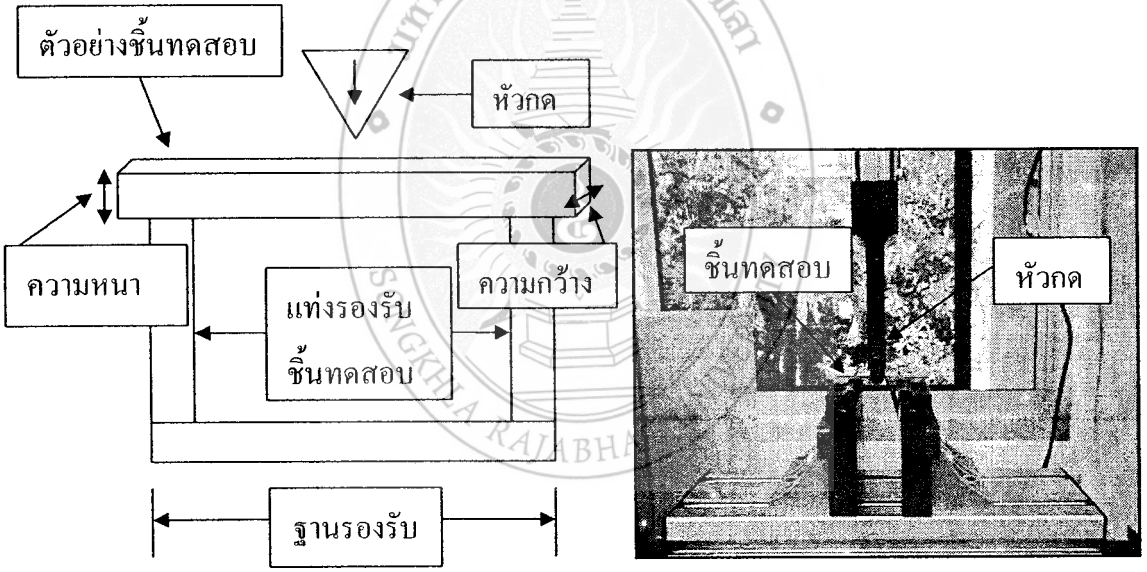
การพองตัวเมื่อแช่น้ำ (%) = $\frac{T-T_0}{T_0} \times 100$ ..... (3.2)

โดยที่ $T$ คือ ความหนาหลังการแช่น้ำ (mm)

$T_0$คือ ความหนาก่อนการแช่น้ำ (mm)

**2. การทดสอบการดัดโค้ง**

การทดสอบการหักงอตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) 876-2532 เป็นการทดสอบแบบ 3 จุด (3-PointLoading) โดยมีการเตรียมตัวอย่างการทดสอบให้มีลักษณะเป็นแผ่น ขนาดความยาว 150 มิลลิเมตร กว้าง 25 มิลลิเมตร กำหนดจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบและวางบนจุดรองรับตัวอย่าง (Support Span) แสดงดังรูปที่ 3.3 ใช้อัตราเร็วในการทดสอบ 50 มิลลิเมตรต่อนาที วัดค่าแรงกดสูงสุดที่วัดได้ (N)

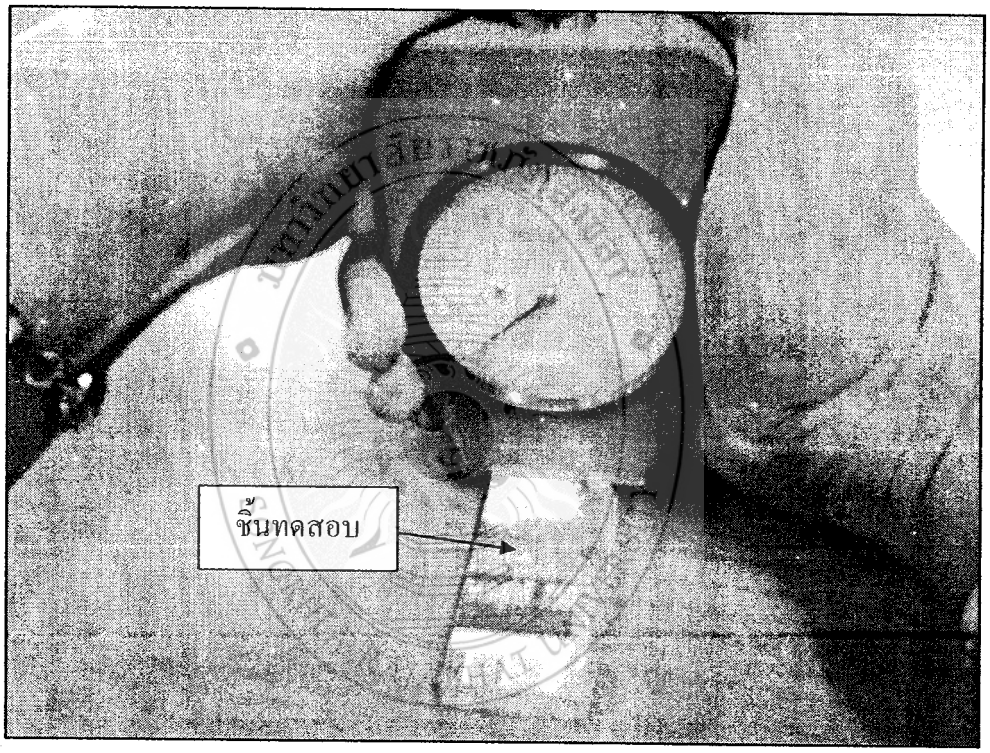



(ก) (ข)

**รูปที่ ผง-7**ชิ้นตัวอย่างทดสอบการหักงอ (ก) แผนภาพจำลองเครื่องทดสอบการหักงอ (ข) ลักษณะเครื่องมือและการวางชิ้นทดสอบ

**3.การทดสอบความแข็ง**

เตรียมชิ้นทดสอบที่มีจำนวนชั้นที่แตกต่างกัน มาทดสอบความแข็งของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง ( Durometer Shore D )โดยวัดความแข็งที่จุดต่างๆ 3-5 จุดของชิ้นทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที




**รูปที่ ผง-8**การทดสอบความแข็ง

**6.8 การวิเคราะห์ข้อมูล**

1. การวิเคราะห์การทดสอบสมบัติความแข็งของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที โดยนำชิ้นทดสอบมาทดสอบความแข็งด้วยเครื่อง Durometer Shore D โดยอาศัยหัวกดที่เป็นเข็ม ใช้แรงกดลงบนชิ้นทดสอบ ทั้งหน้าและหลังชิ้นทดสอบ 4-5 จุด

2. การวิเคราะห์การทดสอบสมบัติการดัดโค้งของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที ด้วยเครื่อง Universal Testing การใช้แรงในการดัดแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที เพื่อให้เกิดการดัดโค้ง

3. การวิเคราะห์การทดสอบสมบัติการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที โดยการนำชิ้นทดสอบมาแช่น้ำในระยะเวลา 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง ซึ่งทำการวัดความหนาของชิ้นทดสอบก่อนและหลังการแช่น้ำ เพื่อสังเกตการพองตัว

4. การวิเคราะห์การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที โดยการนำชิ้นทดสอบมาแช่น้ำในระยะเวลา 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง ซึ่งทำการชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนและหลังการแช่น้ำ เพื่อสังเกตการดูดซึมน้ำ

**6.9ระยะเวลาการดำเนินการวิจัย**

ในการดำเนินการวิจัยการพัฒนาแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชทีมีระยะเวลาในการดำเนินการวิจัยตั้งแต่ เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2555 จนถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2556ดังตารางที่ 3

**ตารางที่ ผง-3 แสดงระยะเวลาในการดำเนินงานตลอดโครงการ**

| ขั้นตอนการดำเนินการ | ระยะเวลาการดำเนินการวิจัย | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2555 | | | | | | 2556 | | | | | | |
| | ก.ค | ส.ค | ก.ย | ต.ค | พ.ย | ธ.ค | ม.ค | ก.พ | มี.ค | เม.ย | พ.ค | มิ.ย | ก.ค |
| 1.ศึกษาและเก็บข้อมูล | ← | → | | | | | | | | | | | |
| 2.วางแผนดำเนินการ | | ← | → | | | | | | | | | | |
| 3.เสนอแบบโครงสร้าง | | | ← | → | | | | | | | | | |
| 4.ตรวจเอกสาร | | | | ← | → | | | | | | | | |
| 5.ดำเนินการวิจัย | | | | | ← | → | | | | | | | |
| 6.วิเคราะห์ผลการทดลอง | | | | | | | | ← | → | | | | |
| 7.สรุปผลและอภิปรายผล | | | | | | | | | | | ← | → | |
| 8.จัดทำรูปเล่ม | | | | | | | | | | | | ← | → |

**6.10 สถานที่ทำการวิจัย**

1. สถานที่เก็บกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

   : จากมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

2. สถานที่ทำการทดลอง

   : อาคารโปรแกรมวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

**6.11งบประมาณในการวิจัย**

**1. หมวดค่าใช้จ่าย**

| | |
|---|---|
| - ค่าเดินทางในการเก็บรวบรวมข้อมูล | 200บาท |
| - ค่าเอกสารในการเก็บรวบรวมข้อมูล | 500 บาท |
| - ค่าจัดทำรายงาน | 1,500 บาท |

**2. หมวดวัสดุสิ้นเปลือง**

| | |
|---|---|
| - ค่าวัสดุสำหรับการวิจัย | 300 บาท |
| **รวมค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น** | **2,500 บาท** |

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY