12 มี.ค. 2557

รายงานการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพแผ่นอัดจากเปลือกไข่

Performance testing plates of shell eggs

สักรินทร์ ยีสมันอาหลี

รอฮาณี เอียดยี

รมมียา โต๊ะยี

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

2556

ชื่อวิจัย	การทดสอบประสิทธิภาพแผ่นอัดจากเปลือกไข่
ชื่อผู้วิจัย	นายสักรินทร์ ยีสมันอาหลี
	นางสาวรอฮาณี เอียดยี
	นางสาวรมมียา โต๊ะยี
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
โปรแกรมวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร

เลขทะเบียน 1135185
เลขเรียกหนังสือ 674.834
ส111ก

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้แผ่นอัดที่ความแข็งแรงจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสานยูเรียฟอร์มาดีไฮด์ พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ การพองตัวเมื่อแช่น้ำ และคุณสมบัติทางกล ได้แก่ ความต้านแรงดัด ความต้านแรงอัด โดยใช้อัตราส่วนผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ได้แก่ 65:35 70:30 75:25 และ 80:20 ตามลำดับ การผลิตแผ่นอัดทำได้โดยวิธีการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ต่อด้วยการอัดเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และอบที่อุณหภูมิ 60 ±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากผลการศึกษา พบว่า เมื่อแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสานมีความหนาแน่นสูง จะทำให้มีปริมาณความชื้นสูงด้วย ซึ่งแปรผกผันกับการดูดซึมน้ำและการพองตัวเมื่อแช่น้ำที่กลับมีค่าลดต่ำลง ในทางตรงกันข้ามเมื่อแผ่นอัดมีความหนาแน่นต่ำ จะทำให้มีปริมาณความชื้นต่ำลงด้วย แต่การดูดซึมน้ำและการพองตัวเมื่อแช่น้ำกลับมีค่าเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นความหนาแน่นยังมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกล กล่าวคือ เมื่อแผ่นอัดมีความหนาแน่นสูง จะทำให้มีความแข็งแรงสูงด้วย จึงส่งผลให้มีค่าคุณสมบัติทางกลที่ดีกว่าแผ่นอัดที่มีความหนาแน่นต่ำ ในการศึกษาครั้งนี้อัตราส่วนของแผ่นอัดที่เหมาะสมและมีความแข็งแรงที่สุด คือ อัตราส่วนของเปลือกไข่ไก่ผง 65 ต่อกาวประสาน 35 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

Environment Research Performance testing plates of shell eggs

Researcher. Mr. Sakarind Yeesaman-arlee

Miss Rahanee Iedyee

Miss Rommeeya Tohyee

Program of study Environmental Science

Faculty Science and Technology

Academic year 2556

Advisor Mr. Kamonnawin Inthanuchit

Abstract

This research aims to determine the appropriate ratio to obtain the compressive strength of a composite adhesive interface between the shell egg powder , urea formaldehyde Fort ago . And physical properties . (Density , moisture content , water absorption , swelling when immersed in water) and mechanical properties. (Flexural strength , compressive strength) using the ratio between egg shell powder on the adhesive interface . (Percentage by weight) include 65:35 70:30 75:25 and 80:20 , respectively, to produce the compression platens done by heating at 100 ° C for 5 minutes followed by a cold press at a temperature of about 30. degrees Celsius and bake for 15 minutes at a temperature of 60 ± 2 ° C for 24 h, the results showed that when the compression plates of egg shell powder composite material between the adhesive interface with high density. With the high moisture content . Which is inversely proportional to the absorption of water and swelling when immersed in water at the lower back . In contrast, when the compression is low density . Will have a lower moisture content too. However, the water absorption and swelling when immersed in water, the value increases. The density also correlated with mechanical properties that is, when the pressure is high density. Made with high strength . As a result, the mechanical properties better compression plate with low density . In this study, the ratio of the compressive strength and the ratio of egg shell powder, 65 to 35 percent by weight of the adhesive interface .pp

ใบรับรองการวิจัยสิ่งแวดล้อม

โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์)

เรื่อง การทดสอบประสิทธิภาพแผ่นอัดจากเปลือกไข่

Performance testing plates of shell eggs

ผู้วิจัย นายสักรินทร์ ยีสมันอาหลี รหัส 524273082

นางสาวรอฮาณี เอียดยี รหัส 524273077

นางสาวรมมียา โต๊ะยี รหัส 524273099

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ

(นายกมลนาวิน อินทนูจิตร)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(นางสาวนัดดา โปดำ)

.....กรรมการ

(นางสาวหิรัญวดี สุวิบูรณ์)

.....กรรมการ

(นางสาวศรีธยา ฤทธิ์ช่วยรอด)

.....กรรมการ

(นายกมลนาวิน อินทนูจิตร)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา รับรองแล้ว

.....

(ดร.พิพัฒน์ ลิมปนะพิทยาธร)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปได้ ต้องขอขอบคุณอาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และดร.พลพัฒน์ รวมเจริญ อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาการยางและพอลิเมอร์ ที่ได้ให้คำแนะนำและที่ปรึกษาเกี่ยวกับข้อมูลและรายละเอียดต่างๆรวมทั้งข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์และช่วยในการตรวจทานงานวิจัยชิ้นนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณโปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณโปรแกรมวิชาการยางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือต่างๆที่จำเป็นในการวิจัย

ขอขอบคุณร้านเลิศเบอเกอรี่ ที่ให้ความร่วมมือและความช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมเปลือกไข่ไก่ด้วยดีตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์ใดๆที่พึงได้รับจากงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลงได้ ขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้อีกครั้ง

สักรินทร์ ยีสมันอาหลี

รอฮาณี เอียดยี

รมมียา โต๊ะยี

8 พฤศจิกายน 2556

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เปลือกไข่	3
2.2 หน้าที่ของเปลือกไข่	4
2.3 โครงสร้างและองค์ประกอบของเปลือกไข่ด้านกายภาพ	4
2.4 องค์ประกอบด้านเคมีของเปลือกไข่	5
2.5 การใช้ประโยชน์จากเปลือกไข่	6
2.6 ความแข็งแรงของเปลือกไข่	7
2.7 น้ำหนักเปลือกไข่	7
2.8 ความหนาของเปลือกไข่	7
2.9 กาวและสารยึดติด	8
2.10 มาตรฐานการทดสอบ	10
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย	14
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย	14

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร SAKON NAKHON RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3 การเตรียมขั้นทดสอบ	16
3.4 วิธีการผสมและทำชิ้นตัวอย่าง	16
3.5 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล	18
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย	
4.1 การทดสอบความหนาแน่น	22
4.2 การทดสอบปริมาณความชื้น	23
4.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ	24
4.4 การทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ	25
4.5 การทดสอบความต้านทานแรงดัด	26
4.6 มอดูลัสยืดหยุ่นแรงดัด	27
4.7 การทดสอบความต้านทานแรงอัด	28
4.8 มอดูลัสยืดหยุ่นแรงอัด	29
4.9 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต	29
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	34
5.2 ข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม	37
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดสอบ	ก-1
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ	ข-1
ภาคผนวก ค ภาพประกอบการวิจัย	ค-1

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่	6
2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบ ความหนาแน่นปานกลาง(มอก.876-2532)	10
2.3 หน่วยแรงอัดตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) 1002-16 : มาตรฐานอาคารไม้	11
2.4 หน่วยมอดูลัสยืดหยุ่นแรงอัดตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) 1002-16 : มาตรฐานอาคารไม้	11
3.1 ขนาดและจำนวนชิ้นทดสอบที่ใช้ในแต่ละอัตราส่วนตามการทดสอบประเภทต่างๆ	16
4.1 ต้นทุนด้านวัสดุของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงผสมกาวประสาน	30
4.2 ต้นทุนด้านพลังงานของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงผสมกาวประสาน	30
4.3 ต้นทุนรวมของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงผสมกาวประสาน	31
4.4 ราคากลางไม้อัด	31

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 เครื่องอัดไฮโดรลิก	15
3.2 เครื่องร่อนคัดขนาดอนุภาค	15
3.3 ตัวอย่างแผ่นอัดเมื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นแล้ว	17
3.4 อนุภาคเปลือกไข่ไก่ผงที่อัดเป็นแผ่น	17
4.1 ความหนาแน่นของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ	22
4.2 ปริมาณความชื้นของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ	23
4.3 ร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ	24
4.4 ร้อยละการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ	25
4.5 ความต้านทานแรงดัดของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ	26
4.6 มอดูลัสยืดหยุ่นแรงดัดของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ	27
4.7 ความต้านทานแรงอัดของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ	28
4.8 มอดูลัสยืดหยุ่นแรงอัดของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ	29

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันมีการรณรงค์ให้นำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยมากอาจเกิดจากการใช้ซ้ำ การซ่อมแซม ตลอดจนการนำมาผ่านกระบวนการเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง ซึ่งนอกจากจะช่วยลดค่าใช้จ่ายลงได้แล้ว ยังเป็นการลดปริมาณของเสียหรือวัสดุเหลือทิ้งให้น้อยลงได้อีกด้วย อาทิเช่น การนำเศษกระดาษเหลือใช้มาผ่านกระบวนการแปรสภาพเป็นกระดาษแผ่นใหม่ การประดิษฐ์สร้างสรรค์ชิ้นงานจากกล่องนม หรือขวดพลาสติกเพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์ได้ ตลอดจนการนำเศษขี้เลื่อยจากไม้มาผ่านกระบวนการขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้กระดานอัดใหม่ ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ทดแทนไม้ได้และนอกจากนี้ยังมีวัสดุเหลือใช้อีกหลายอย่างที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

เปลือกไข่ เป็นสิ่งเหลือทิ้งที่ได้จากการบริโภคไข่เป็นอาหาร ที่นิยมโดยเฉพาะไข่ไก่ ซึ่งในแต่ละวันมีเปลือกไข่เหลือทิ้งจำนวนมาก เปลือกไข่เหล่านั้นบางส่วนถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของปุ๋ยหรือผสมในอาหารสัตว์ ส่วนที่เหลือได้ถูกทิ้งไป องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมฟอสเฟต แมกนีเซียมฟอสเฟต และอินทรียวัตถุอื่นๆ ร้อยละ 94,1,1 และ4 ตามลำดับ (สุวรรณ เกษตรสุวรรณ.2519 : 25) เปลือกไข่มีความแข็งแรงตามธรรมชาติ เนื่องจากประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตถึงร้อยละ 94 เมื่อถูกทิ้งในสิ่งแวดล้อมจะใช้เวลานานในการย่อยสลาย ในอีกด้านหนึ่งมีการนำเปลือกไข่มาศึกษาในงานวิจัยต่างๆ ตัวอย่างเช่น ปี 2547 ธินัฐดา พิมพ์พวง และอัญชลี ถิระวุฒิ ได้นำเปลือกไข่ไก่มาทดลองทำน้ำสกัดเพื่อหาผลต่อการเจริญเติบโตในผักกาดเขียวกวางตุ้ง พบว่า มีผลทำให้ผักกาดเขียวกวางตุ้งเติบโตได้ดี ในปี 2553 อนันต์ ตันติจรูญโรจน์ ได้ใช้เปลือกไข่เปรียบเทียบกับถ่านกำมันต์ และเถ้าแกลบดำในการกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำ พบว่า เปลือกไข่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด คือ 61.8% จากผลวิจัยต่างๆทำให้ทราบว่าเปลือกไข่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยเฉพาะการมีคุณสมบัติทางชีวภาพที่ดี

ดังนั้นการที่จะนำเปลือกไข่กลับมาใช้ประโยชน์ให้ได้อย่างหลากหลายนั้น นอกจากคุณสมบัติทางชีวภาพที่ดีแล้ว เปลือกไข่อาจมีคุณสมบัติด้านอื่นที่ดีอีกด้วย ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกลเกี่ยวกับการรองรับแรงของเปลือกไข่ โดยการนำมาบดผงผสมกับกาวประสานยูเรียฟอร์มาดีไฮด์ แล้วทำการอัดขึ้นรูปเป็นแผ่น ซึ่งคาดว่าอาจเป็นตัวเลือกสำหรับทดแทนไม้อัดที่มีราคาสูง และยังเป็นการลดปริมาณเปลือกไข่เหลือทิ้งลงได้อีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้แผ่นอัดที่มีความแข็งแรงจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน

2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสานมาใช้งานทดแทนไม้อัดในการผลิตชิ้นงานได้อย่างมีคุณภาพและเหมาะสม

3. เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาเปลือกไข่เพื่อพัฒนาเป็นวัสดุทดแทน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้เก็บรวบรวมเปลือกไข่ไก่ จากร้านเลิศเบอเกอรี่ ถนนนางงาม ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา โดยการเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นและความชื้นขนาด กว้าง 25 x ยาว 25 x หนา 5 มิลลิเมตร การดูดซึมน้ำขนาด กว้าง 25 x ยาว 25 x หนา 5 มิลลิเมตร และการพองตัวเมื่อแช่น้ำขนาด กว้าง 25 x ยาว 25 x หนา 5 มิลลิเมตร ตัวอย่างสำหรับทดสอบคุณสมบัติทางกล ได้แก่ ความต้านทานแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่นขนาด กว้าง 15 x ยาว 85 x หนา 5 มิลลิเมตร และความต้านทานแรงอัดและมอดูลัสยืดหยุ่นขนาด กว้าง 12.5 x ยาว 12.5 x สูง 50 มิลลิเมตร โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกไข่ไก่ผง : กาว (ร้อยละโดยน้ำหนัก) จำนวน 4 อัตราส่วน ได้แก่ 65 : 35 70 : 30 75 : 25 และ 80 : 20 ตามลำดับ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.ทำให้ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมและได้แผ่นอัดที่มีความแข็งแรงจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน

2.ทำให้ทราบผลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน

3. มีความเป็นไปได้ที่จะนำแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสานมาผลิตชิ้นงานทดแทนไม้อัด

4. สามารถลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นจำนวนมากในแต่ละวัน โดยการประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์และมีมูลค่าเพิ่มขึ้น

บทที่ 2

เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาในครั้งนี้ได้มุ่งเน้นการทดสอบด้านกายภาพและเชิงกลของแผ่นเปลือกไข่ไก่ผงผสมกาว เพื่อใช้เป็นทางเลือกแทนแผ่นไม้อัด โดยผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังรายละเอียดดังนี้

2.1 เปลือกไข่

2.2 หน้าที่ของเปลือกไข่

2.3 โครงสร้างและองค์ประกอบของเปลือกไข่ด้านกายภาพ

2.4 องค์ประกอบด้านเคมีของเปลือกไข่

2.5 การใช้ประโยชน์จากเปลือกไข่

2.6 ความแข็งแรงของเปลือกไข่

2.7 น้ำหนักเปลือกไข่

2.8 ความหนาของเปลือกไข่

2.9 กาวและสารยึดติด

2.10 มาตรฐานการทดสอบ

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เปลือกไข่

เปลือกไข่เป็นพวกหินปูนแข็งเรียบติดแน่นอยู่กับเยื่อหุ้มไข่ชั้นนอก จะแยกเปลือกไข่ออกจากเยื่อนี้ได้ยาก ความหนาของเปลือกมักขึ้นอยู่กับขนาดของไข่ ไข่ใหญ่มีเปลือกหนากว่าไข่เล็กทั้งนี้ย่อมแล้วแต่ไก่แต่ละตัว พันธุ์ อาหาร และฤดูกาลอีกด้วย ไก่พื้นเมือง ไก่ป่า มีเปลือกไข่หนากว่าไก่พันธุ์แท้ต่างๆ หรือไก่สายพันธุ์ใหม่

ผิวเปลือกไข่ มีลักษณะแตกต่างกันไป บางฟองผิวเกลี้ยงบางฟองผิวขรุขระหยาบด้าน ส่วนผิวที่เป็นริ้วรอยหรือที่มีธาตุหินปูนขรุขระด้านใดด้านหนึ่งนั้น จะพบมากในไข่ไก่ ผิวไข่ทั่วๆไปจะเกลี้ยงเกลา ไข่ที่ออกมาใหม่ๆเปลือกไข่ค่อนข้างโปร่งใส ต่อมาจะค่อยๆขุ่นทึบแสงลง ถ้า

ใช้เครื่องส่องไข่ส่องดู จะเห็นมีลักษณะตามที่แสงผ่านเป็นจุดเล็กๆในบริเวณใต้เปลือก ทั้งนี้เนื่องจากการรวมตัวของโปรตีน จนเป็นชั้นหรือเป็นแผ่นๆ ซึ่งจะทำหน้าที่ช่วยรักษาความชื้น และยังเป็นส่วนที่แสงผ่านได้สะดวกกว่าส่วนอื่นๆ

2.2 หน้าที่ของเปลือกไข่

หน้าที่ของเปลือกไข่โดยธรรมชาติต้องทนรับน้ำหนักแม่ไก่เวลากกฟักไข่ และมีความบางพอที่ลูกไก่จะเจาะดิ้นออกไปจากเปลือกนี้ได้ เปลือกไข่ยังจะต้องโปร่งพอที่จะให้เชื้อลูกไก่ได้อากาศมาหายใจ และต้องหนาพอที่จะป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ไม่ให้เข้าไปในไข่ได้ และยังมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้ความชื้นหนีหายได้ง่าย นอกจากนี้โดยธรรมชาติเปลือกไข่ยังต้องมีสารอนินทรีย์ต่างๆมากพอที่จะเป็นแร่ธาตุไปหล่อเลี้ยงเชื้อลูกไก่ให้เติบโตได้อีกด้วย

ถ้าเปลือกไข่แบนก็ไม่มีความแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักกดทับ หรือแรงกระทบกระเทือน ธรรมชาติได้สร้างให้เปลือกไข่โค้งติดกับเยื่อหุ้มไข่ และโค้งลดหลั่นกันเป็นรัศมีจากศูนย์กลางไข่ด้วยการเรียงตัวของผลึกธาตุปูน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 พวก พวกหนึ่งมีประมาณ 1/5 เป็นโครงสร้างของเปลือกประกอบด้วยอินทรีย์สารที่ทำหน้าที่เชื่อมระหว่างเซลล์เป็นโปรตีนแบบเดียวกับพังผืด และกระดูกที่ประสานโยงยึดกัน พวกที่สองเป็นส่วนประกอบของอนินทรีย์สารต่างๆ มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต มีอยู่มากที่ด้านนอกเคลือบคลุมเป็นเนื้อพื้น (matrix) ของเปลือก ทั้งสองพวกนี้สร้างมาจากท่อไข่ส่วนล่าง (uterus)

2.3 โครงสร้างและองค์ประกอบของเปลือกไข่ด้านกายภาพ

เปลือกไข่ประกอบด้วยชั้นสำคัญๆ 2 ชั้น คือ เปลือกชั้นนอก เรียกว่า spongy layer กับเปลือกชั้นใน เรียกว่า mammillary layer ชั้นนอกเป็นแคลเซียมในรูปผลึกของหินปูน (calcite) ตั้งตรงทางแกนยาวของผลึกกับผิวเปลือก เป็นชั้นที่แข็งแรงที่สุด และแน่นที่สุด ชั้นในนั้นเป็นสารประกอบของแมกนีเซียมกับฟอสเฟต แร่ธาตุต่างๆเหล่านี้ไม่อยู่ในรูปผลึก เวลาไข่ร้าวก็จะร้าวถึงภายในด้วย

เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นนี้เป็นชั้นนอกที่ฉาบติดกับเปลือกชั้นใน เป็นชั้นที่ผนึกกันแน่นและมีรูเล็กๆจำนวนมากเชื่อมโยงจากชั้นในมาเปิดที่ชั้นนี้เป็นรูพรุนแบบฟองน้ำแต่แข็งแรงมาก เปลือกชั้นนอกนี้ให้ความเป็นรูปทรง และความแข็งแก่เปลือกไข่ จากภาพขยายที่ดูด้วยเอ็กซ์เรย์จะเห็นว่าความแน่น และแกร่งของชั้นนี้มีมากที่ผิวด้านนอก เกลือแร่ต่างๆที่เป็นเนื้อหาของชั้นนี้มีลักษณะเป็นผลึกเล็กๆ ส่วนประกอบของชั้นนี้เมื่อย้อมด้วยสีโปรตีนจะเห็นว่ามันมีไม่ทั่วผิวเปลือก

แต่จะมีมากขึ้นตอนติดกับเปลือกชั้นใน สีนี้ทำให้เห็นเปลือกชั้นนอกนี้แบ่งออกเป็น 3 ชั้นตามลักษณะของเส้นใยโปรตีน (matrix fiber) คือ ชั้นที่อยู่ข้างในมีเส้นใยโปรตีนมากกว่าชั้นกลาง ชั้นนอกนั้นมีเส้นใยโปรตีนน้อยที่สุด

เปลือกชั้นใน เป็นชั้นที่บางของเปลือก อยู่ติดกับเยื่อหุ้มไข่ชั้นนอก ประกอบด้วยปุ่มพื้นเปลือกลักษณะหยาบๆ (mammilla) ที่มีรูปต่างๆตั้งแต่ทรงรูปไข่ถึงทรงกลม ปุ่มเหล่านี้ผนึกเป็นชั้นเดี่ยวอยู่ชิดกับเยื่อหุ้มไข่ ปลายปุ่มผายออกไปเปิดที่เยื่อหุ้มไข่ชั้นในเป็นทางผ่านของอากาศให้กระจายไปทั่วเปลือกชั้นนี้ไปสู่บริเวณปลายปุ่มพื้นเปลือก ซึ่งปุ่มพื้นเปลือกประกอบด้วยเกลือแร่ที่ไม่เป็นผลึกกระจายอยู่รอบผิวพื้นโปรตีนของเปลือก (granular matrix material) ในไข่ต่างๆผิวพื้นโปรตีนเหล่านี้มีลักษณะคล้ายฝาชีเรียงรายอยู่ใต้ปุ่มหินปูน ขนาด และรูปร่างของปุ่มพื้นเปลือก และการเรียงตัวของพื้นเปลือกจะแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์ปีก ความหนาของเปลือกชั้นในประมาณ 0.11 มม. หรือเป็นเนื้อที่ประมาณ 1/3 ของความหนาของผิวพื้นไข่ทั้งฟอง ความสูงของแต่ละปุ่มเหล่านี้นั้นแล้วแต่ความหนาของเปลือกชั้นใน เส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละปุ่มประมาณ 0.096-0.144 มม.

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่

เปลือกไข่ประกอบด้วยแร่ธาตุประมาณร้อยละ 95 ในส่วนนี้จะมีแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าร้อยละ 98 สารอนินทรีย์อื่นๆ จะรวมถึง ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และเหล็กกับซัลเฟอร์ปริมาณน้อยมากดังตาราง เกลืออนินทรีย์ที่อยู่ในเปลือกไข่ส่วนมากจะเป็นคาร์บอเนตและฟอสเฟตของแคลเซียม และแมกนีเซียม ผลึก calcite ที่มีอยู่ในเปลือกไข่จะประกอบด้วยแคลเซียม คาร์บอเนต และผลึก dolomite จะประกอบด้วยแคลเซียม และแมกนีเซียมคาร์บอเนต โดยโครงสร้างของผลึก dolomite จะแข็งแรงกว่าผลึก calcite เปลือกไข่จะประกอบด้วยสารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีน โพลิแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วย galactosamine, glucosamine, galactose, fructose, glucose, sialic acids และไขมันปริมาณเล็กน้อย นอกจากนี้เยื่อหุ้มเปลือกไข่ยังประกอบด้วยส่วนที่เป็นเม็ดสี คือ protoporphyrin ปริมาณเล็กน้อย (Sugino et al., 1997) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเปลือกไข่ไก่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 94 แมกนีเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 1 แคลเซียมฟอสเฟตร้อยละ 1 และสารอินทรีย์ที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอีกร้อยละ 4 (Stadelman,1995; Vaclavik, 1998) เปลือกไข่ไก่จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตเป็นแหล่งของแคลเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่

ชนิดขององค์ประกอบ	ปริมาณ(กรัม)	ปริมาณ(%)
น้ำ	0.1	1.6
วัตถุแห้ง	6.0	98.4
อินทรีย์วัตถุ	0.2	3.3
โปรตีน	0.2	3.3
ลิปิด	น้อยมาก	0.03
อนินทรีย์วัตถุ	5.8	95.1
รวม	6.1	100.0

ที่มา: สุวรรณ (2529)

2.5 การใช้ประโยชน์จากเปลือกไข่

Suguro et al. (2000) รายงานการใช้ประโยชน์จากเปลือกไข่ที่เหลือจากบริษัท Q.P.Corporation ในประเทศญี่ปุ่นคือ เป็นอาหารประมาณร้อยละ 10 ใช้เป็นปุ๋ย และอาหารสัตว์ประมาณร้อยละ 60 ส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 30 จะทิ้ง โดยทั่วไปเปลือกไข่จะนำไปแปรรูปเป็นอาหารสัตว์ในรูปของ eggshell waste หรือeggshell meal ซึ่ง eggshell waste เป็นส่วนของเปลือกไข่และของเหลวที่ติดรวมมา หรือเป็นส่วนของเปลือกที่ถูกหมุนเหวี่ยงแยกส่วนของเหลวออก ส่วน eggshell meal เป็นส่วนของ eggshell waste ที่ทำแห้ง (Galyean and Cotterill, 1995) Vandepopuliere et al. (1975) ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ eggshell meal เป็นอาหารเสริมโภชนาการ โดยผสม eggshell meal ลงในอาหารที่ใช้เลี้ยงไก่ไข่ ซึ่งกำหนดให้มีปริมาณโปรตีน กรดอะมิโน และพลังงาน ให้ใกล้เคียงกับอาหารเดิม แล้วตรวจคุณภาพของไข่ พบว่า แคลเซียมจาก eggshell meal ถูกใช้ประโยชน์ได้ดี เพื่อนำไปสร้างโครงสร้างหินปูนเป็นเปลือกไข่สอดคล้องกับรายงานของ Arvat and Hinners (1973); Vandepopuliere et al. (1973) ที่กล่าวว่า เปลือกไข่สามารถนำไปทดแทนเป็นแหล่งแคลเซียมในสัตว์ปีกได้ อย่างไรก็ตามเปลือกไข่ต้องผ่านกระบวนการเพื่อกำจัดจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค การทำแห้งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ และสามารถนำ eggshell waste มาใช้ประโยชน์ได้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้ง จะทำให้จุลินทรีย์ที่รอดชีวิตใน eggshell meal ลดลง (Galyean and Cotterill, 1995)

เปลือกไข่ถูกทำแห้ง และบดเพื่อทำเป็นปุ๋ย การใช้ eggshell แทนดินบางส่วน เพื่อทำให้ดินร่วนซุย จึงเป็นเรื่องที่น่าศึกษาต่อไป โดยมีปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น pH ในดิน เป็นต้น (Galyean and Cotterill, 1995) แต่ปัจจุบันนิยมใช้แคลเซียมจากเปลือกไข่ (eggshell calcium) เป็น

แหล่งแคลเซียมเสริมในอาหารมากขึ้น (Suguro et al., 2000) Schaafsma and Beelen (1999) กล่าวว่า เปลือกไข่ผง (eggshell powder) มีปริมาณแคลเซียมประมาณร้อยละ 38 และอาจจะเป็นแหล่งแคลเซียมในมนุษย์ได้

การผลิตแคลเซียมจากเปลือกไข่ในรูปแบบต่างๆได้รับความสนใจมากขึ้น อลงกต (2541)ได้ทดลองผลิตแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่ โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวสกัด นำไปหมุนเหวี่ยงแยกส่วนใสออก แล้วให้ความร้อนเพื่อตกตะกอนโปรตีน จากนั้นเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงอีกครั้งเพื่อแยกส่วนใสออกมา นำส่วนใสที่ได้ไประเหยบนแผ่นให้ความร้อนอุณหภูมิ 110-115°ซ จะได้แคลเซียมคลอไรด์ตกผลึกออกมา นอกจากนี้อลงกตยังได้นำแคลเซียมคลอไรด์ที่ผลิตได้จากเปลือกไข่ไปทดลองเป็นสารเพิ่มความแน่นเนื้อในเงาะกระป๋องเปรียบเทียบกับเงาะกระป๋องที่ใช้แคลเซียมคลอไรด์ทางการค้า พบว่า ค่าเฉลี่ย peak force ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer ของเงาะกระป๋องที่ใช้แคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ และเงาะกระป๋องที่ใช้แคลเซียมคลอไรด์ทางการค้าไม่แตกต่างกัน แสดงว่า แคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่ทำให้เนื้อเงาะกระป๋องมีความแน่นเนื้อใกล้เคียงกับเนื้อเงาะที่ใช้แคลเซียมคลอไรด์ทางการค้า

2.6 ความแข็งแรงของเปลือกไข่

(breaking strength) Solomon (1991) รายงานว่า ความแข็งแรงของเปลือกไข่ในความหมายทางวิศวกรรมหมายถึงคุณสมบัติในการยืดหยุ่น ความสามารถในการรองรับแรงกดและแรงตึง และ Romanoff and Romanoff (1949) รายงานว่าความแข็งแรงของเปลือกไข่วัดจากแรงที่ทำให้ไข่แตกโดยใช้แรงเพิ่มขึ้นทีละน้อยจนกระทั่งเปลือกแตก ซึ่งความแข็งแรงของไข่ฟักจะทำหน้าที่ในการป้องกันตัวอ่อนจากแม่ไก่และจากการถูกทำลาย

2.7 น้ำหนักเปลือกไข่

(shell weight) Romanoff and Romanoff (1949) รายงานว่า น้ำหนักเปลือกจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อน้ำหนักไข่มากขึ้น แต่เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะมีค่าคงที่ และ Boushy (1966) พบว่า น้ำหนักเปลือกและสัดส่วนน้ำหนักเปลือกคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น

2.8 ความหนาของเปลือกไข่

(shell thickness) Romanoff and Romanoff (1949) รายงานว่า ความหนาของเปลือกไข่และความแข็งแรงของเปลือกไข่มีสหสัมพันธ์ต่อกันค่อนข้างสูงโดยมีค่าเท่ากับ 0.835 ±

0.011 แต่ Bain (2005) รายงานว่าไข่ที่มีเปลือกหนาอาจจะไม่ใช่ไข่ที่มีเปลือกแข็งแรง ในบางครั้งไข่ที่มีเปลือกบางก็แข็งแรงกว่าไข่ที่มีเปลือกหนา

2.9 กาวและการยึดติด

กาว หมายถึง สารที่สามารถยึดเหนี่ยววัสดุระหว่างคู่วัสดุต่างๆผ่านการยึดเกาะบนพื้นผิว กาวที่ดีต้องช่วยรับโหลดใช้งานและต้องมีอายุทนทานเท่าๆช่วงอายุผลิตภัณฑ์ กาวมี 2 ประเภทคือ กาวธรรมชาติ และกาวสังเคราะห์

1. กาวธรรมชาติ หมายถึง กาวที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งอาจได้จากพืชหรือสัตว์ เช่น

1.1 กาวพืช เป็นกาวที่ผลิตจากแป้ง มีราคาถูก มีความแข็งแรงในการประสานไม่มากนัก โดยทั่วไปแล้วจะนำมาติดประสานกระดาษ

1.2 กาวยาง เป็นกาวที่ผลิตจากยางธรรมชาติกับสารละลาย (น้ำมันเบนซิน) มีความแข็งแรงในการยึดประสานดี นำมาใช้ติดประสานกระดาษ ยาง

1.3 กาวเคซีน เป็นกาวที่ได้จากโปรตีนกากถั่ว มีความแข็งแรงในการประสานได้ดี นำมาใช้ติดประสานไม้ในอาคารที่ไม่ถูกความชื้น และงานกระดาษ

1.4 กาวหนัง เป็นกาวที่ผลิตจากกระดูกและหนังสัตว์ โดยนำมาล้างทำความสะอาด แล้วนำมาเคี่ยวจนกาวข้น นำมาใช้ทำกระดาษทราย ในปัจจุบันกาวหนังไม่ค่อยนิยมนำมาใช้งาน เนื่องมีกลิ่นเหม็น และการติดประสานไม่ดี

2. กาวสังเคราะห์

กาวสังเคราะห์ คือ กาวที่ผลิตจากสารเคมีให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ พลาสติกหลายชนิดเป็นสารสังเคราะห์ด้วยการผสมสารละลาย ส่วนมากกาวสังเคราะห์จะมีชื่อเรียกตามชนิดของพลาสติกที่นำมาใช้ผลิต กาวสังเคราะห์ทำจากสารเคมีต่างๆ สามารถสังเคราะห์ให้มีคุณสมบัติตามต้องการได้ จึงเป็นที่นิยมมากกว่ากาวธรรมชาติ กาวสังเคราะห์ยังแบ่งได้อีกตามคุณสมบัติต่อความร้อนคือ

2.1 เทอร์โมเซตติ้ง เมื่อได้รับความร้อนจะทนความร้อนได้สูง ได้แก่ พวกอีพอกซี่ ซิลิโคน ฟีโนลิก ยูเรีย เป็นต้น

2.2 เทอร์โมพลาสติก เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัว กาวนี้ใช้งานที่อุณหภูมิไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส ได้แก่ กาวยาง ฮอทเมลท์ ไซยาโนอคริเลท และกาวพีวีเอ คุณสมบัติดังกล่าวของกาวได้แก่

2.2.1 กาวพีวีเอ กาวชนิดนี้แข็งตัวโดยการสูญเสียน้ำ การแข็งตัวของมันไม่ถาวรอาจเหลวได้อีก ถ้าใช้อุณหภูมิสูงๆ นอกจากนี้ยังมีความต้านทานต่ำต่อความเค้น และความชื้นสูงๆ ใช้เป็นวัสดุประสานได้ดี ใช้ประสานงานได้ทั่วๆไป ที่ใช้ในอุตสาหกรรมมากที่สุด เป็นกาวช่างไม้ เช่น กาวลาเท็กซ์ เป็นต้น

2.2.2 กาวไซยาโนอคริเลท กาวชนิดนี้แข็งตัวเร็วใช้เวลาเพียง 2-3 นาที หลังการสัมผัสกับไอน้ำหรือความชื้น และสามารถใช้กับรอยต่อของวัสดุเกือบทุกชนิด เมื่อแข็งตัวแล้วก็ไม่สามารถกลับกลายสภาพได้อีก ข้อเสียก็มีมาก เช่น เปราะรับแรงกระแทกได้น้อย ทนต่ออุณหภูมิสูงๆไม่ดี นอกจากนี้ยังต้องคอยระวังเวลาใช้ เพราะสามารถติดผิวหนังได้ทันที

2.2.3 กาวยูเรียฟอร์มาดีไฮด์ เรียกย่อว่า UF บางครั้งเรียกว่ากาวพลาสติก เป็นกาวที่มีผู้ใช้กันมากที่สุด ทำจากการให้ความร้อนแก่ยูเรีย 1 ส่วน กับฟอร์มาดีไฮด์ประมาณ 2 ส่วน ภายใต้สภาพกรดอ่อนๆ กาวชนิดนี้มีจำหน่ายลักษณะเป็นผงสามารถละลายน้ำได้ และมีอายุการเก็บรักษานานพอสมควรหากอยู่ในที่แห้งและเย็น การใช้ต้องผสมตัวเร่ง (Hardener) ช่วงเวลาการแข็งตัวขึ้นอยู่กับปริมาณกรดตัวเร่ง กาวชนิดนี้มีคุณสมบัติด้านการรับแรงดีมาก และมีความต้านทานต่อกรดและด่างอีกด้วย ทนต่ออุณหภูมิถึง 80 องศาเซลเซียส และสามารถทนต่อความร้อนได้เกินกว่านี้ ยกเว้นเมื่อใช้ร่วมกับเมลามีน

2.2.4 กาวเมลามีนฟอร์มาดีไฮด์ เรียกย่อว่า เอ็ม เอฟ (MF) กาวชนิดนี้สามารถบ่มได้ด้วยความร้อนโดยการเพิ่มกรดตัวเร่งให้แรง ไม่เหมาะที่จะเป็นกาวที่ทิ้งไว้ให้แข็งตัวในอากาศเย็น การใช้ควรอัดด้วยความร้อน 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป กาวชนิดนี้สามารถทนต่อน้ำเดือดได้อย่างสบาย คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของมันสูงกว่าฟอร์มาลดีไฮด์ แต่ให้กำลังความแข็งแรงน้อยกว่า

2.2.5 กาวอีพอกซี่ กาวประเภทนี้มีอยู่หลายชนิดสามารถใช้งานและแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ

-กาวอีพอกซี่ส่วนเดี่ยว กาวนี้ที่อุณหภูมิสูงๆ เนื้อกาวมีการหดตัวน้อยมากขณะบ่มจึงสามารถใช้ยึดชิ้นส่วนที่เป็นชิ้นยาวๆได้โดยไม่เกิดการบิดงอ เนื่องจากการหดตัวใช้ยึดเชื่อมชิ้นโลหะได้ดีทนต่ออุณหภูมิสูงๆ ขนาด 204.4 องศาเซลเซียส หรือประมาณ 260 องศาเซลเซียสอย่างชั่วคราว

-กาวอีพอกซี่ชนิดสองส่วนผสม เป็นกาวที่บ่มได้ที่อุณหภูมิห้อง หลังทำการผสมใช้ความร้อน หลักการบ่มที่อุณหภูมิห้องจะทำให้มีความแข็งขึ้น การหดตัวก็จะน้อยเช่นกัน ส่วนผสมทั้งสองอาเป็นของเหลวทั้งคู่ เป็นผงหรือครีม หรือเป็นน้ำส่วนหนึ่งก็ได้ ไม่ว่าจะเป็นชนิดใดการผสมก็ต้องให้ได้สัดส่วนที่ถูกต้อง

-กาวอีพอกซี่ดัดแปลง กาวชนิดนี้ในทางเทคนิคอาจเรียกไม่ได้ว่าเป็นพวกอีพอกซี่ มีการผสมสารเคมีบางอย่างลงไป มี 2 ชนิดค่อนข้างเป็นที่แพร่หลาย คือ อีพอกซี่โนลิก กับไนลอนอีพอกซี่ ชนิดแรกเหมาะใช้ที่อุณหภูมิสูง 260 องศาเซลเซียส ได้อย่างชั่วคราว ชนิดหลังให้ความแข็งแรงกว่ากาวทุกชนิด และเป็นกาวชนิดที่แข็งแรงต่อการรับแรงได้หลายประเภทด้วยกัน

สรุปวัสดุที่ใช้เป็นตัวเชื่อมประสาน คือ กาวผง BOSNY GLUE

2.10 มาตรฐานการทดสอบ

มาตรฐานการทดสอบที่ใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วยมาตรฐาน 2 ตัว ได้แก่ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบความหนาแน่นปานกลาง (มอก.876-2532) ซึ่งใช้สำหรับเป็นเกณฑ์ตัดสินค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ การพองตัวเมื่อแช่น้ำ และความต้านทางแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่นของชิ้นทดสอบ สำหรับมาตรฐานอีกหนึ่งตัว คือ มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย หรือ ว.ส.ท.1002-16 : มาตรฐานอาคารไม้ ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินค่าความต้านแรงอัดและมอดูลัสยืดหยุ่นของชิ้นทดสอบ โดยมาตรฐานทั้งสองตัวมีเกณฑ์และข้อกำหนด ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบ ความหนาแน่นปานกลาง (มอก.876-2532)

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด		
		ความหนา (มิลลิเมตร)		
		3 ถึง 6	เกิน 6 ถึง 19	เกิน 19 ถึง 50
1.	ความหนาแน่น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	500 - 800	500 - 800	500 - 800
2.	ปริมาณความชื้น ร้อยละ	9 - 15	9 - 15	9 - 15
3.	การดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง ร้อยละไม่เกิน	80	80	80
4.	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ร้อยละไม่เกิน	8.0	12.0	12.0
5.	ความต้านแรงดัด เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	18.0	13.8	12.5
6.	มอดูลัสยืดหยุ่น เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	2,000	2,000	1,850

ตารางที่ 2.3 หน่วยแรงอัดตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.) 1002-16 : มาตรฐานอาคารไม้

ความต้านทานแรงอัด ประเภทอัดขนานเสี้ยน	
หน่วยแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	ประเภทเนื้อไม้
105 – 279	ไม้เนื้ออ่อนมาก
217 – 365	ไม้เนื้ออ่อน
288 – 500	ไม้เนื้อปานกลาง
350 – 576	ไม้เนื้อแข็ง
482 – 725	ไม้เนื้อแข็งมาก

ตารางที่ 2.4 หน่วยมอดูลัสยืดหยุ่นแรงอัดตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.) 1002-16 : มาตรฐานอาคารไม้

ความต้านทานแรงอัด ประเภทอัดขนานเสี้ยน	
หน่วยมอดูลัสยืดหยุ่น(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	ประเภทเนื้อไม้
78,900 – 94,100	ไม้เนื้ออ่อนมาก
94,101 – 112,300	ไม้เนื้ออ่อน
112,301 – 136,300	ไม้เนื้อปานกลาง
136,301 – 189,000	ไม้เนื้อแข็ง
>189,000	ไม้เนื้อแข็งมาก

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเปลือกไข่ผง

สริญญา ชวพันธ์ (2547) ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของโพลีโพรพีลีนและยางธรรมชาติที่ผสมเปลือกไข่ โดยขนาดผงเปลือกไข่ที่เตรียมและใช้ในการศึกษา มี 3 ขนาดด้วยกันคือ 7 ไมครอน, 15 ไมครอน และ 63 ไมครอน ใช้เครื่องหลอมอัดรีดแบบสกรูคู่ และขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล คือ ทดสอบการทนต่อแรงยืดดึง

ทดสอบการทนต่อแรงกระแทก แล้วทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลวัสดุประกอบของโพลีโพรพิลีนที่ผสมเปลือกไข่ขนาดอนุภาค 63 ไมครอน กับโพลีโพรพิลีนที่ผสมแคลเซียมคาร์บอร์เนต พบว่า วัสดุประกอบจะมีสมบัติด้านความทนต่อแรงกระแทก และความต้านทานการเปลี่ยนรูปเพิ่มขึ้นตามปริมาณฟิลเลอร์ แต่สมบัติการทนต่อแรงดึง จะลดลงเมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น และได้ทำการเปรียบเทียบวัสดุประกอบที่ผสมผงเปลือกไข่ขนาดอนุภาค 7 , 15 และ 63 ไมครอน ที่เคลือบกรดสเตียริก พบว่า โพลีโพรพิลีนที่ผสมผงเปลือกไข่ขนาดอนุภาค 7 ไมครอน จะมีสมบัติทนต่อแรงกระแทกและค่า Modulus สูงที่สุด รองลงมาคือ โพลีโพรพิลีนที่ผสมผงเปลือกไข่ขนาดอนุภาค 15 และ 63 ไมครอน ตามลำดับ จาการศึกษาการกระจายตัวของผงเปลือกไข่ในเนื้อพลาสติกด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) พบว่า โพลีโพรพิลีนที่ผสมผงเปลือกไข่ขนาดอนุภาค 7 ไมครอน มีการกระจายตัวของผงเปลือกไข่ในเนื้อพลาสติกดีที่สุด รองลงมาคือโพลีโพรพิลีนที่ผสมผงเปลือกไข่ขนาดอนุภาค 15 และ 63 ไมครอน ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผงเปลือกไข่ที่ขนาดอนุภาคเล็กๆจึงสามารถนำมาใช้เป็นสารตัวเติมราคาถูกที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการทนต่อแรงกระแทกให้กับพลาสติกโพลีโพรพิลีนได้เป็นอย่างดี

2.11.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับกาวยูเรียฟอร์มาดีไฮด์

พงศ์วิทย์ ลิมป์พิศุทธิ์ (2547) ได้ทำการศึกษาการทดลองผลิตแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจากต้นไมยราบยักษ์ ที่ระดับความหนาแน่นประมาณ 600 และ 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มาดีไฮด์ ที่ระดับปริมาณกาวต่อน้ำหนักอบแห้งของเส้นใยที่แตกต่างกัน คือ 10% 13% และ 16% เป็นตัวประสาน แล้วศึกษาเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติด้านกายภาพและทางกลของแผ่น ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน JIS A 5905-1994 : fiberboards. ได้ผลสรุปดังนี้ แผ่นใยไม้อัดที่ระดับความหนาแน่น 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ได้ผลการทดลองที่ค่าคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล ดีกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ระดับความหนาแน่น 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณกาว ต่อน้ำหนักแห้งของเส้นใยที่ระดับ 16% ให้ผลการทดลองที่ทำให้ค่าคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลดีที่สุด และในการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นใยไม้อัดที่ระดับความหนาแน่น 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณกาว 13% แบบผสมพาราฟินอิมัลชั่นได้คุณสมบัติที่ดีกว่าทั้งทางกายภาพและทางกลเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นที่ไม่ผสมพาราฟินอิมัลชั่น สรุปได้ว่า แผ่นใยไม้อัดที่มีความหนาแน่นสูง มีค่าคุณสมบัติต่างๆที่ดีกว่าแผ่นที่มีความหนาแน่นต่ำ การผสมกาวในปริมาณที่เพิ่มขึ้น และการใช้พาราฟินอิมัลชั่นกับเส้นใยสามารถช่วยลดการขยายตัวตามความหนาการดูดซึมน้ำได้ และเพิ่มคุณสมบัติทางกลของแผ่นได้เป็นอย่างดี

วรธรรม อุ่นจิตติชัย (2547) ได้ศึกษาคุณสมบัติต่างๆของแผ่นใยไม้อัดจากไม้ยูคาลิปตัสที่มีอายุ 5 ปี, 7 ปี และ10 ปี โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มาดีไฮด์เป็นตัวประสาน เท่ากับ 13% ในปริมาณเนื้อกาวแห้ง เทียบกับน้ำหนักอบแห้งของเส้นใยไม้ยูคาลิปตัสและเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5908-1994 จากผลการทดสอบ พบว่า ชิ้นทดสอบแผ่นใยไม้อัดจากไม้ยูคาลิปตัสอายุ 7 ปี มีค่าผลการทดสอบการพองตัวหลังแช่น้ำและการดูดซึมน้ำมากที่สุด แต่มีค่าความต้านทานแรงดัดและความต้านทานแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าน้อยที่สุด ชิ้นทดสอบแผ่นใยไม้อัดจากไม้ยูคาลิปตัสอายุ 5 ปี มีค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าและความชื้นมากที่สุด ส่วนชิ้นทดสอบแผ่นใยไม้อัดจากไม้ยูคาลิปตัสอายุ 10 ปี มีค่าความต้านทานแรงดัด,มอดูลัสยืดหยุ่นและความหนาแน่นสูงที่สุด เมื่อทำการทดสอบและเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5908-1994 ผลปรากฏว่า การพองตัวหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมงและความต้านทานแรงดัดของแผ่นใยไม้อัดทั้ง 3 ชั้นอายุ มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 3 ชั้นอายุ ค่าแรงดึงผิวตั้งฉากมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานเฉพาะไม้อัดจากไม้ยูคาลิปตัสอายุ 5 ปี และ10 ปี ส่วนค่าความหนาแน่นและความชื้นของชิ้นไม้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดทั้ง 3 ชั้นอายุ

อาคม ปาสีโล (2550) ได้ศึกษาสมบัติปาร์ติเกิลบอร์ดที่ทำจากแกลบและฟางข้าว โดยใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาดีไฮด์ เป็นสารยึดติด พารามิเตอร์ที่ศึกษา คือ เปอร์เซ็นต์ของสารยึดติดแกลบและฟางข้าว โดยมีสมบัติที่ศึกษา คือ ความหนาแน่น การนำความร้อน มอดูลัสแตกร้าว มอดูลัสยืดหยุ่น ความต้านทานแรงกระแทกและการขยายตัว ผลจากการทดลอง พบว่า ค่าความหนาแน่น ค่าการนำความร้อน ค่ามอดูลัสแตกร้าว ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น และค่าความต้านทานแรงกระแทกของปาร์ติเกิลบอร์ดจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์สารยึดติดมากขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าปาร์ติเกิลบอร์ดที่ทำจากฟางข้าวมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ และมีค่าความแข็งแรงสูง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1.เปลือกไข่ไก่ รวบรวมได้จากร้านเลิศเบเกอรี่ ถนนนางงาม ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

2.กาวประสาน ประเภทยูเรียฟอร์มาดีไฮด์ ใช้กาวผง ยี่ห้อ BOSNY Plastic Resin Glue ผลิตโดยบริษัท อาร์.เจ.ลอนดอนเคมีคอลอินดัสทรีส์ จำกัด 42/4 ม.14 ถ.สุรินทวงศ์ ต.ศาลาแดง อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา 24000

3.น้ำสะอาดปราศจากคลอรีน

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1.เครื่องอัดไฮโดรลิก

2.เตาอบไฟฟ้า

3.เครื่องชั่งละเอียด 0.01 กรัม

4.เครื่องร่อนคัดขนาดอนุภาค

5.ตะแกรงร่อน เบอร์ 18

6.ครกบด

7.แบบหล่อขึ้นรูปแผ่นอัด หนา 5 มิลลิเมตร

8.แบบหล่อขึ้นรูปแผ่นอัด หนา 25 มิลลิเมตร

9.เลื่อยสำหรับตัดชิ้นทดสอบ

10.เวอร์เนียร์ คาลิเปอร์

11.เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดัด

12.เครื่องทดสอบความต้านทานแรงอัด

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

รูปที่ 3.1 เครื่องอัดไฮโดรลิก

(โปรแกรมเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์)

รูปที่ 3.2 เครื่องร่อนคัดขนาดอนุภาค

(โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางที่ 3.1 ขนาดและจำนวนชิ้นทดสอบที่ใช้ในแต่ละอัตราส่วนตามการทดสอบประเภทต่างๆ

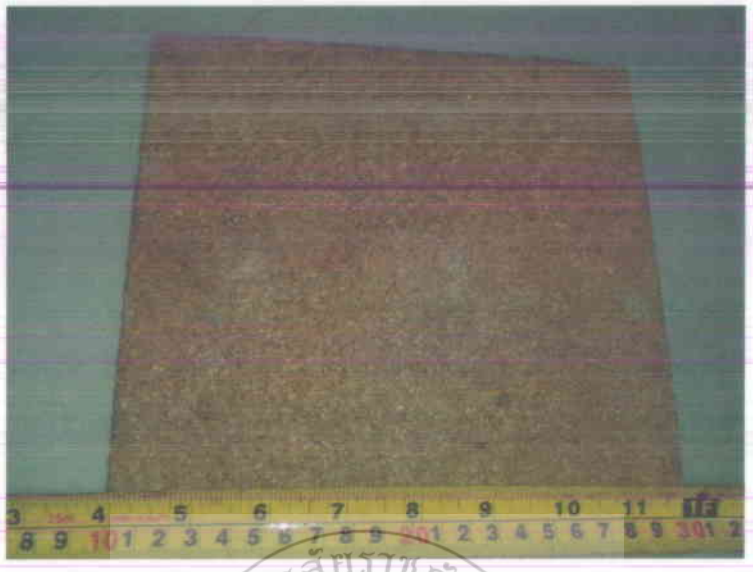
ประเภทการทดสอบ	ขนาดของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร) กว้างx ยาวx หนา	จำนวนชิ้นทดสอบ อัตราส่วนที่ใช้ 65 : 35	70 : 30	75 : 25	80 : 20	รวม
ความหนาแน่นและปริมาณความชื้น	25 x 25 x 5	5	5	5	5	20
การดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง	25 x 25 x 5	5	5	5	5	20
การพองตัวเมื่อแช่น้ำ	25 x 25 x 5	5	5	5	5	20
ความต้านทานแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น	15 x 85 x 5	5	5	5	5	20
ความต้านทานแรงอัดและมอดูลัสยืดหยุ่น	12.5 x 12.5 x 50	3	3	3	3	12
						92

3.3 การเตรียมชิ้นทดสอบ

วิธีการเตรียมตัวอย่าง การเตรียมเปลือกไข่ไก่ผง นำเปลือกไข่ไก่เหลือทิ้งมาล้างสะอาด และผึ่งไว้ให้แห้ง จากนั้นนำมาบดให้ละเอียดด้วยครก แล้วจึงนำใส่ลงเครื่องร่อนให้ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 18 และนำเปลือกไข่ไก่ที่ผ่านตะแกรงร่อนมาล้างให้สะอาดอีกครั้งเพื่อเอาเศษเยื่อหุ้มเปลือกไข่ออกไป จากนั้นนำไปผึ่งลมให้แห้ง และนำเข้าตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.4 วิธีการผสมและทำชิ้นตัวอย่าง

ทำการชั่งน้ำหนักกาวผงกับน้ำอัตราส่วน 2 : 1 หรือกาวผง 1 กิโลกรัม ต่อน้ำ 0.5 กิโลกรัม โดยค่อยๆเทกาวผงลงในน้ำพร้อมทั้งคนไปเรื่อยๆจนกาวกับน้ำเข้ากันดี และเตรียมใส่ภาชนะเอาไว้ ทำการชั่งน้ำหนักผงเปลือกไข่ตามอัตราส่วนที่กำหนด เมื่อชั่งน้ำหนักส่วนผสมทั้งสองอย่างตามอัตราส่วนแล้ว จึงนำลงใส่ภาชนะสำหรับผสม จากนั้นทำการคลุกเคล้าจนเปลือกไข่ไก่ผงกับกาวเข้ากันเป็นเนื้อเดียว แล้วจึงนำใส่ลงในเบ้าอัด และทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ในการอัดนั้นจะทำการอัดร้อนและอัดเย็นตามลำดับ อุณหภูมิของการอัดร้อนอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 5 นาที จากนั้นทำการอัดเย็นต่อทันทีที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 นาที จึงแกะออกจากเบ้าอัด และนำเข้าตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60 ±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างแผ่นอัดเมื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นแล้ว

(โปรแกรมเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์)

รูปที่ 3.4 อนุภาคเปลือกไข่ไก่ผงที่อัดเป็นแผ่น

(โปรแกรมเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

3.5 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล

3.5.1 ความหนาแน่น

ได้ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(มอก.876-2532) ตัดชิ้นทดสอบขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น ทำการชั่งชิ้นทดสอบให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม วัดความกว้าง ความยาว และความหนาตรงจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบให้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร นำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นจากสูตร

$$\text{ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)} = \frac{\text{มวล (กรัม)}}{\text{ปริมาณ (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)}} \times 10^6$$

3.5.3 การดูดซึมน้ำ

ได้ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(มอก.876-2532) ตัดชิ้นทดสอบขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น ทำการชั่งชิ้นทดสอบ ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.1 กรัมเป็นน้ำหนักก่อนแช่น้ำ จากนั้นแช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแช่ชิ้นส่วนทดสอบครบ 24 ชั่วโมงแล้ว นำชิ้นทดสอบมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมด แล้วชั่งเป็นน้ำหนักหลังแช่น้ำ นำมาคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง จากสูตร

$$\text{การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)} - \text{น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

3.5.3 การดูดซึมน้ำ

ได้ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(มอก.876-2532) ตัดชิ้นทดสอบขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น ทำการชั่งชิ้นทดสอบ ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.1 กรัมเป็นน้ำหนักก่อนแช่น้ำ จากนั้นแช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแช่ชิ้นส่วนทดสอบครบ 24 ชั่วโมงแล้ว นำชิ้นทดสอบมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมด แล้วชั่งเป็นน้ำหนักหลังแช่น้ำ นำมาคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง จากสูตร

$$\text{การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ (กรัม)} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (กรัม)}} \times 100$$

3.5.4 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ

ได้ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(มอก.876-2532) ตัดชิ้นทดสอบขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนาของชิ้นทดสอบ และวัดความหนาเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ จากนั้นแช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 1 ชั่วโมงแล้ว รีบนำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวให้ออกให้หมด แล้วปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เมื่อปล่อยชิ้นทดสอบไว้ครบ 2 ชั่วโมงแล้ว นำชิ้นทดสอบขึ้นมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม เป็นความหนาหลังแช่น้ำ และนำมาคำนวณหาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำจากสูตร

การพองตัวเมื่อแช่น้ำ (ร้อยละ)

$$= \frac{\text{ความหนาหลังแช่น้ำ(มิลลิกรัม)} - \text{ความหนาก่อนแช่น้ำ(มิลลิเมตร)}}{\text{ความหนาก่อนแช่น้ำ(มิลลิเมตร)}} \times 100$$

3.5.5 ความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น

ได้ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(มอก.876-2532) ตัดชิ้นทดสอบขนาด 15 x 85 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น วางชิ้นทดสอบลงบนแผ่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 16 เท่าของความหนาระบุของชิ้นทดสอบ ให้ปลายชิ้นทดสอบยื่นออกไปจากจุดที่รองรับประมาณข้างละ 1.5 เซนติเมตร เท่า ๆ กัน ให้แรงกดลงบนจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ โดยเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกดจนกระทั่งชิ้นทดสอบหักต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที นำมาคำนวณหาค่าความต้านแรงดัดจากสูตร

$$f = \frac{3\,wl}{2\,bd^2}$$

เมื่อ f คือ ความต้านแรงดัด เป็นเมกะพาสคัล

W คือ แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ เป็นนิวตัน

l คือ ระยะห่างของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

d คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นจากสูตร

$$E = \frac{L^3 \Delta w}{4\ bd^3 \Delta s}$$

เมื่อ E คือ มอดุลัสยืดหยุ่น เป็นเมกะพาสคัล

L คือ ระยะห่างของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร

Δw คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้น ในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง หน่วยเป็นนิวตัน

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

d คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

Δs คือ ระยะแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง หน่วยเป็นมิลลิเมตร

3.5.6 ความต้านทานแรงอัดและมอดูลัสยืดหยุ่น

ได้ทดสอบตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.)1002-16: มาตรฐานอาคารไม้ พ.ศ. 2528 ตัดชิ้นทดสอบขนาด 12.5 x 12.5 x 50 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชิ้น โดยเตรียมชิ้นทดสอบให้ได้ขนาด แล้ววัดพื้นที่หน้าตัดและความยาวของชิ้นทดสอบด้วยเวอร์เนียร์ละเอียด จากนั้นชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบโดยเครื่องชั่งละเอียด ทำการประกอบเครื่องวัดการหดตัวเข้ากับชิ้นทดสอบ โดยวางชิ้นทดสอบให้ได้ศูนย์กลางกับเครื่องมือทดสอบ ปรับเครื่องวัด (Setting) ให้เข็มผ่านแรงกดเริ่มต้นที่ศูนย์ จากนั้นให้แรงกดทีละน้อยตลอดการทดสอบด้วยความเร็วที่ทำให้หัวกด (Cross Head) เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วประมาณ 2 มิลลิเมตรต่อนาที และบันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่กดลงและการทรุดตัว จนชิ้นทดสอบวิบัติ บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบวิบัติ นำมาคำนวณหาค่ากำลังอัดประลัย โดยอาศัยสมการ

$$\sigma_u = \frac{Pu}{A}$$

เมื่อ σ_u = กำลังอัดประลัยสูงสุด , กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

Pu = น้ำหนักสูงสุด , กิโลกรัม

A = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ , ตารางเซนติเมตร

ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นจากสูตร

$$E = \frac{b_p}{E_P}$$

เมื่อ E = มอดูลัสยืดหยุ่น ,กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

b_p = ความเค้น ณ ขีดปฏิภาค

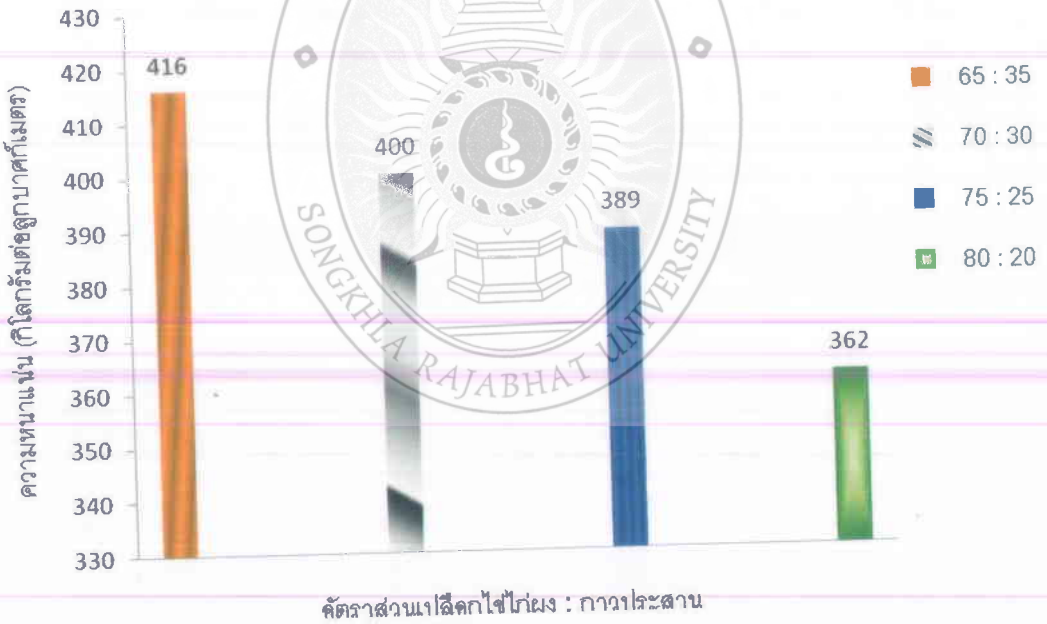
E_p = ความเครียด ณ ขีดปฏิภาค

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาด้านกายภาพและเชิงกลของแผ่นอัดเปลือกไข่ โดยใช้กาวผงสังเคราะห์ประเภทยูเรียฟอร์มาดีไฮด์เป็นวัสดุประสาน ซึ่งแบ่งเป็นการศึกษาด้านกายภาพ ได้แก่ การหาความหนาแน่นและความชื้น,การดูดซึมน้ำ และการพองตัวเมื่อแช่น้ำ สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพเชิงกล ได้แก่ การหาค่าความต้านแรงดัดงอและมอดูลัสยืดหยุ่น และการหาค่าความต้านแรงอัด ซึ่งผลการศึกษาได้ผลดังนี้

4.1 ผลการทดสอบการหาค่าความหนาแน่น

สำหรับความหนาแน่นของแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.1



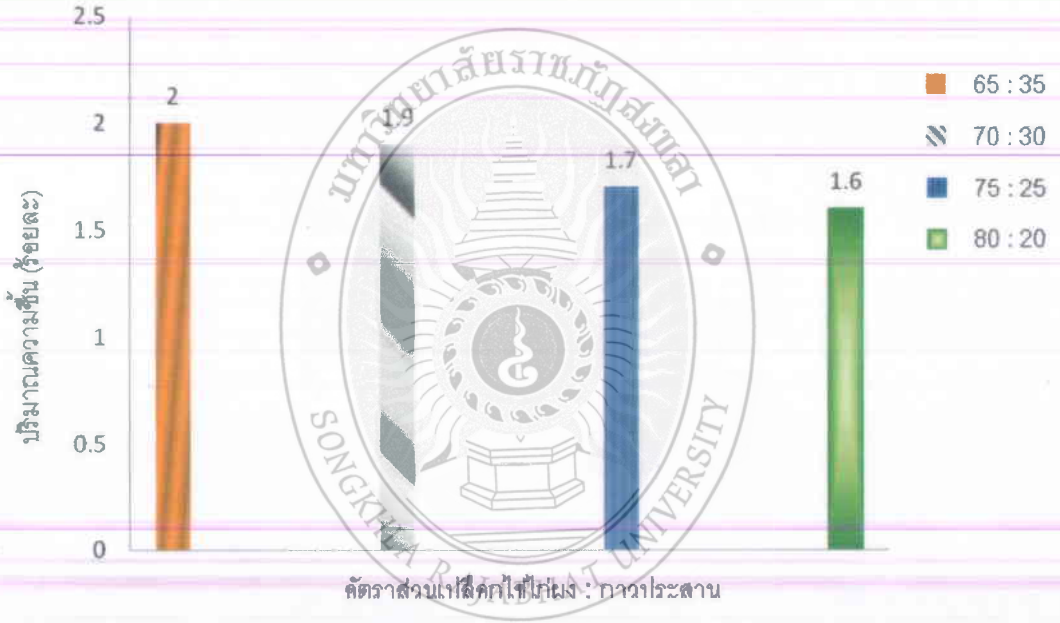
รูปที่ 4.1 ความหนาแน่นของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 พบว่า ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มสัดส่วนของกาวประสานตามลำดับ เนื่องจากเมื่อมีกาวประสานมากสามารถเข้าไปเคลือบผงเปลือกไข่ได้มากขึ้น ทำให้อนุภาคเกิดการยึดเกาะที่ดี มีช่องว่างน้อยสำหรับอัตราส่วนที่มีค่าความหนาแน่นสูงสุด คือ 65:35 รองลงมาคือ 70:30, 75:25 และ 80:20 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับมาตรฐานมอก. 876-2532 กำหนดความหนาแน่น 500 – 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่า ทุกอัตราส่วนไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นทางสถิติ สรุปได้ว่า ทุกอัตราส่วนมีค่าเฉลี่ยแตกต่างไปจาก 500-800 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2 ผลการทดสอบการหาค่าปริมาณความชื้น

การหาปริมาณความชื้น เป็นการหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน โดยคิดเป็นร้อยละโดยมวลเทียบกับมวลที่อบแห้ง ซึ่งสามารถสรุปผลได้ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ปริมาณความชื้นของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 พบว่า ร้อยละความชื้นมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอาจสังเกตเห็นว่า อัตราส่วนที่ความหนาแน่นมากจะมีค่าความชื้นมากตามไปด้วย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณกาวประสานที่มากทำให้มีค่าความหนาแน่นมากและปริมาณความชื้นจึงมากด้วย ส่วนปริมาณกาวน้อย ทำให้มีค่าความหนาแน่นน้อยและปริมาณความชื้นจึงน้อยลงด้วย อัตราส่วนที่มีปริมาณความชื้นสูงสุดคือ 65:35 รองลงมาคือ 70:30, 75:25 และ 80:20 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมาตรฐานมอก.876-2532 กำหนดความชื้นร้อยละ 9 – 15 พบว่า ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ร้อยละปริมาณความชื้นทางสถิติ สรุปได้ว่า ทุกอัตราส่วนมีค่าเฉลี่ยแตกต่างไปจาก 9-15 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

สำหรับการดูดซึมน้ำของแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 ร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ

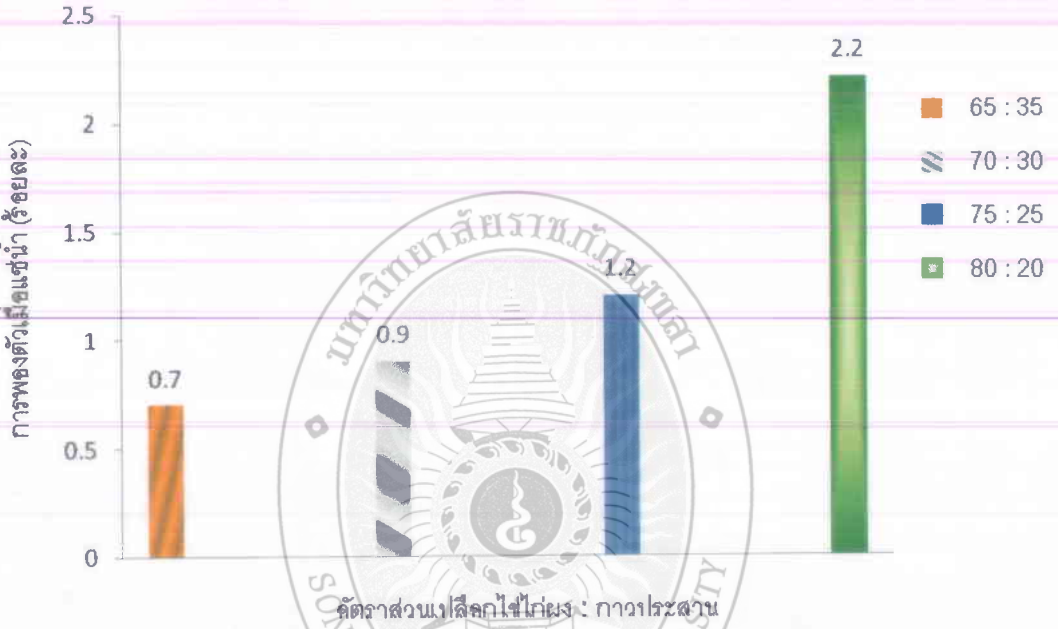
จากรูปที่ 4.3 พบว่า อัตราส่วนที่มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำสูงสุดคือ 80:20 รองลงมาคือ 75:25 70:30 และ 65:35 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อลดสัดส่วนของกาวประสานลงจะทำให้ชิ้นทดสอบยึดประสานกันได้ไม่ดี ปริมาณกาวที่น้อยไม่สามารถเติมช่องว่างระหว่างเปลือกไข่ผงได้หมด จึงทำให้อนุภาคน้ำสามารถแทรกซึมเข้าสู่ชิ้นทดสอบได้มากตามมาด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับมาตรฐานมอก.876-2532 กำหนดค่าการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง ร้อยละไม่เกิน 80 พบว่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ร้อยละการดูดซึมน้ำทางสถิติ สรุปได้ว่า ทุกอัตราส่วนมีค่าเฉลี่ยแตกต่างไปจากค่ามาตรฐานร้อยละไม่เกิน 80 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

4.4 ผลการทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ

การพองเมื่อแช่น้ำ เป็นการหาค่าร้อยละความหนาของชิ้นทดสอบที่เพิ่มขึ้นหลังแช่น้ำ เมื่อเทียบกับก่อนแช่น้ำของแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ร้อยละการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ

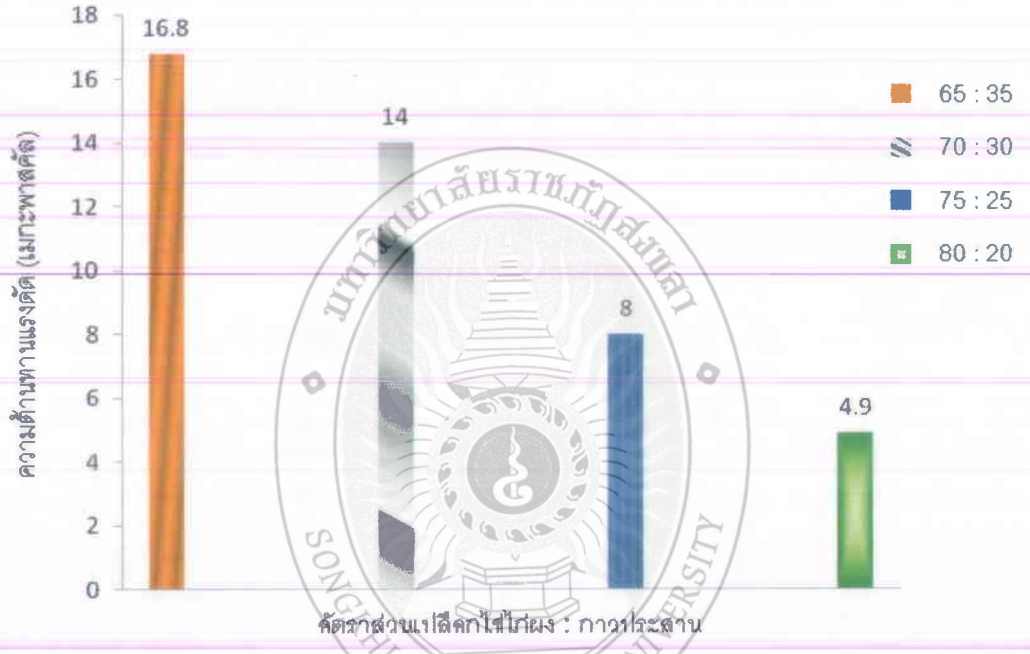
จากรูปที่ 4.4 พบว่า อัตราส่วนที่มีค่าร้อยละการพองตัวเมื่อแช่น้ำสูงสุดคือ 80:20 รองลงมาคือ 75:25 70:30 และ65:35 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อลดสัดส่วนของกาวประสานลงจะทำให้ชิ้นทดสอบยึดประสานกันได้ไม่ดี ปริมาณกาวที่น้อยไม่สามารถเติมช่องว่างระหว่างเปลือกไข่ผงได้หมดเช่นเดียวกับการดูดซึมน้ำ จึงทำให้อนุภาคน้ำสามารถแทรกซึมเข้าสู่ชิ้นทดสอบได้มาก ดังนั้นการพองตัวเมื่อแช่น้ำจึงมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับมาตรฐานมอก.876-2532 กำหนดค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ร้อยละไม่เกิน 8 พบว่า ทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ร้อยละการพองตัวเมื่อแช่น้ำทางสถิติ สรุปได้ว่า ทุกอัตราส่วนมีค่าเฉลี่ยแตกต่างไปจากค่ามาตรฐานร้อยละไม่เกิน 8 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ว
667A.83A
ส111ก

4.5 ผลการทดสอบกำลังความต้านทานแรงดัด

สำหรับค่าความต้านทานแรงดัดนั้น เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงของชิ้นทดสอบแผ่นอัดจากเปลือกไข่ไก่ต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งอาจนำค่าที่ได้ไปใช้ทำการออกแบบชิ้นงานเพื่อรองรับน้ำหนัก เช่น คานของโต๊ะ คานของชั้นวางของ เป็นต้น สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความต้านทานแรงดัดของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.5 พบว่า ค่าความต้านแรงดัดมีค่าแตกต่างกัน โดยอาจกล่าวได้ว่า อัตราส่วนที่มีความหนาแน่นสูง การยึดเหนี่ยวกันระหว่างอนุภาคก็จะสูงด้วย ส่งผลให้ชิ้นทดสอบมีค่าความต้านแรงดัดสูง ส่วนอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นต่ำ การยึดเหนี่ยวกันระหว่างอนุภาคก็จะต่ำลงด้วย ส่งผลให้ชิ้นทดสอบมีค่าความต้านแรงดัดที่ต่ำ สำหรับอัตราส่วนที่รองรับความต้านแรงดัดสูงสุด คือ 65:35 รองลงมาคือ 70:30, 75:25 และ 80:20 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับมาตรฐาน มอก.876-2532 กำหนดความต้านทานแรงดัด ไม่น้อยกว่า 18 เมกะพาสคัล พบว่า ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด มีเพียงอัตราส่วน 65:35 ที่ใกล้เคียงเกณฑ์มาตรฐานที่สุด

จากการวิเคราะห์ความต้านทานแรงดัดทางสถิติ สรุปได้ว่า อัตราส่วน 65 : 35 มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างไปจากค่ามาตรฐานไม่น้อยกว่า 18 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นอกจากนั้นทุกอัตราส่วนมีความแตกต่างกันทั้งหมด

4.6 มอดูลัสยืดหยุ่นแรงดัด

จากการทดสอบหาค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นอัดจากเปลือกไข่ไก่ต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.6

รูปที่ 4.6 มอดูลัสยืดหยุ่นแรงดัดของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.6 พบว่า ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นแปรผันตรงกับค่าความต้านแรงดัด กล่าวคือ อัตราส่วนที่มีค่าความต้านแรงดัดมาก จะทำให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมากขึ้นด้วย โดยอัตราส่วนที่มีค่าสูงสุด คือ 65:35 รองลงมาคือ 70:30, 75:25 และ 80:20 ตามลำดับ และเช่นเดียวกันเมื่อเทียบกับมาตรฐานมอก.876-2532 กำหนดมอดูลัสยืดหยุ่นแรงดัด ไม่น้อยกว่า 2,000 เมกะพาสคัล พบว่า ทุกอัตราส่วนไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

จากการวิเคราะห์มอดูลัสยืดหยุ่นแรงดัดทางสถิติ สรุปได้ว่า ทุกอัตราส่วนมีค่าเฉลี่ยแตกต่างไปจากค่ามาตรฐานไม่น้อยกว่า 2,000 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

4.7 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด

สำหรับความต้านทานแรงอัด แสดงถึงความแข็งแรงของชิ้นทดสอบในการรองรับแรงกด ซึ่งมีสองแบบ คือ การอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยน และการอัดในแนวขนานเสี้ยน โดยในประเภทอัดขนานเสี้ยนนั้นสามารถนำค่าที่ได้ไปใช้ทำการออกแบบชิ้นงาน เพื่อรองรับน้ำหนักที่กดลง เช่น ขาโต๊ะ-เก้าอี้ ขาตู้ใส่ของ เป็นต้น สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.7

รูปที่ 4.7 ความต้านทานแรงอัดของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.7 พบว่า อัตราส่วนที่ได้ค่าความต้านแรงอัดสูงสุด คือ 65:35 รองลงมาคือ 70:30 75:25 และ 80:20 ตามลำดับ เนื่องจากอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นสูง การยึดเหนี่ยวกันระหว่างอนุภาคก็จะสูงด้วย ส่งผลให้ชิ้นทดสอบมีค่าความต้านแรงอัดสูง ส่วนอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นต่ำ การยึดเหนี่ยวกันระหว่างอนุภาคก็จะต่ำลงด้วย ส่งผลให้ชิ้นทดสอบมีค่าความต้านแรงอัดที่ต่ำ อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบค่าที่ได้กับมาตรฐาน วสท.1002-16 กำหนดความต้านทานแรงอัด ไม่น้อยกว่า 105 เมกะพาสคัล พบว่า มีเพียงอัตราส่วนเดียว คือ 65:35 ที่มีความแข็งแรงอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐาน จัดอยู่ในประเภทไม้ที่มีเนื้ออ่อนมาก นอกจากนั้นไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ความต้านทานแรงอัดทางสถิติ สรุปได้ว่า อัตราส่วน 65 : 35 มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างไปจากค่ามาตรฐานไม่น้อยกว่า 105 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นอกจากนั้นทุกอัตราส่วนมีความแตกต่างกันทั้งหมด

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

4.8 มอดูลัสยืดหยุ่นแรงอัด

จากการทดสอบหาค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นอัดจากเปลือกไข่ไก่ต่อกาวประสานที่อัตราส่วนต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.8

รูปที่ 4.8 มอดูลัสยืดหยุ่นแรงอัดของแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.8 พบว่า ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นแปรผันตรงกับค่าความต้านแรงอัด กล่าวคือ อัตราส่วนที่มีค่าความต้านแรงอัดมาก จะทำให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมากขึ้นด้วย โดยอัตราส่วนที่มีค่าสูงสุด คือ 65:35 รองลงมาคือ 70:30, 75:25 และ 80:20 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับมาตรฐาน วสท.1002-16 กำหนดมอดูลัสยืดหยุ่นแรงอัด ไม่น้อยกว่า 78,900 เมกะพาสคัล พบว่า ทุกอัตราส่วนไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

จากการวิเคราะห์มอดูลัสยืดหยุ่นแรงอัดทางสถิติ สรุปได้ว่า ทุกอัตราส่วนมีค่าเฉลี่ยแตกต่างไปจากค่ามาตรฐาน ไม่น้อยกว่า 78,900 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.9 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

วัตถุประสงค์ในการหาต้นทุนการผลิตเพื่อต้องการทราบต้นทุนที่แน่นอน ถ้าหากนำไปลงทุนโดยงานวิจัยนี้มีการหาต้นทุนการผลิตมีการแบ่งต้นทุนการผลิตมีการแบ่งต้นทุนการผลิตออกเป็น ต้นทุนด้านวัสดุ ต้นทุนด้านพลังงาน และต้นทุนรวม (ซึ่งเกิดจากต้นทุนด้านวัสดุรวมกับต้นทุนด้านพลังงาน)

4.9.1ต้นทุนด้านวัสดุ

ต้นทุนด้านวัสดุก่อนการขึ้นรูปเป็นต้นทุนจากการเตรียมชิ้นงานขนาด 20 cm ×20 cm ซึ่งเป็นขนาดที่เตรียมตัวอย่างในงานวิจัยนี้ วัสดุหลักที่ใช้สำหรับเตรียมแผ่นอัดจากเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน ได้แก่ เปลือกไข่ไก่เหลือทิ้งและกาวผงยูเรียฟอร์มาดีไฮด์ นำมาคำนวณโดยคิดจากปริมาณกาวผงยูเรียฯที่ใช้ในการผสมกับเปลือกไข่ไก่ผงตามอัตราส่วนต่างๆ ข้อมูลที่คำนวณได้แสดงดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ต้นทุนด้านวัสดุของแผ่นอัดจากเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน

ส่วนประกอบ	น้ำหนักกาว/ราคา	น้ำหนักกาวที่ใช้ในอัตราส่วนต่างๆ	จำนวนแผ่น	รวมน้ำหนักกาวที่ใช้	รวมน้ำหนักกาวที่ใช้/ราคา
กาวผงยูเรียฟอร์มาดีไฮด์	2,000 g/600 บาท หรือ 3.33 g/ 1 บาท	65:35 = 112g	5	560	1,760 g คิดเป็นเงิน 528 บาท หรือ 26.4 บาท/แผ่น
		70:30 = 96g	5	480	
		75:25 = 80g	5	400	
		80:20 = 64g	5	320	
		รวม	20	1760 g	

4.9.2 ต้นทุนด้านพลังงาน

ค่าไฟฟ้าในการอัดขึ้นรูป สามารถขึ้นรูปได้ครั้งละ 1 แผ่น โดยเครื่องอัดไฮโดรลิกมีกำลังไฟฟ้า 5.6 กิโลวัตต์ ในการอัดขึ้นรูปโดยใช้เปลือกไข่ไก่ผงผสมกาวใช้เวลาทั้งหมด 20 นาที คิดเป็น 0.33 ชั่วโมง คิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 1.86 บาท ข้อมูลต้นทุนด้านพลังงานแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ต้นทุนด้านพลังงาน

ส่วนประกอบ	เวลาขึ้นรูป (นาที)	หน่วยไฟฟ้าในการอัดขึ้นรูป (หน่วย)	ค่าไฟฟ้าในการอัดขึ้นรูป (บาท)
เปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน	0.33	1.85	3.44

*หมายเหตุ เป็นค่าไฟฟ้าในการอัดขึ้นรูป

4.9.3 ต้นทุนรวม

ค่าต้นทุนรวมเป็นการรวมค่าระหว่างต้นทุนด้านวัสดุจากข้อมูลในตารางที่ 4.1 และต้นทุนด้านพลังงาน จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 โดยคิดเทียบการผลิตแผ่นอัดจากเปลือกไข่ไก่ผงผสมกาวประสาน ขนาด 20 cm×20 cm ผลการคำนวณดังกล่าวต้นทุนรวมของแผ่นอัด แสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ต้นทุนรวมของแผ่นอัดจากเปลือกไข่ไก่ผงผสมกาวประสาน

ส่วนประกอบ	ต้นทุนด้านวัสดุ	ต้นทุนด้านพลังงาน	ต้นทุนรวม
เปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน	528	3.44	531.44

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าต้นทุนด้านด้านวัสดุและต้นทุนด้านพลังงาน มีค่าต้นทุนรวม คือ 531 บาท 44 สตางค์

4.9.4 ราคากลางแผ่นไม้อัด

จากผลการคำนวณราคาต้นทุนรวมในการผลิตแผ่นอัดจากเปลือกไข่ไก่ผงผสมกาวประสาน สามารถนำมาเปรียบเทียบกับราคาของแผ่นไม้อัดจากราคากลางดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ราคากลางแผ่นไม้อัด สืบค้นวันที่ 24 พฤษภาคม 2556

ไม้อัด	ความหนา					
เกรด /คุณภาพ	3 มม.	4 มม.	6 มม.	10 มม.	15 มม.	20 มม.
อัดยาง AA ไทย	240	260	360	480	740	900
อัดยาง A ไทย	225	240	330	420	680	830
อัดยาง แบบ A ไทย	-	200	285	350	550	700
อัดยาง แบบ B ไทย	-			330	450	660
อัดยาง AA จีน	-	-	-	420	580	815
อัดยาง A จีน	-	-	-	380	520	785
อัดยาง แบบ จีน	-	-	-	295	490	650
อัดยาง ชำรุด	-	-	-	270	-	
ไม้อัดสัก ลายเส้น AA	-	475	675	845	1180	1430
ไม้อัดสัก ลายภูเขา AA	-	540	735	895	1250	1580

กระดาษอัด Hardboard	120	160	-	-	-	-
บล๊อกบอร์ด Blockboard				-	650	865
ไม้อัดดำ เคลือบฟิลม์ AAA					650	750
ไม้อัดดำ เคลือบฟิลม์ AA					630	730

ไม้อัด มอก.หนาเต็มมิล	**ความหนา**					
เกรด /คุณภาพ	**4 มม.**	**5 มม.**	**6 มม.**	**10 มม.**	**15 มม.**	**20 มม.**
อัดยาง AAA มอก ภายใน	480	-	680	880	1480	1880
อัดยาง AAA มอก ภายนอก	680	-	1080	1480	1880	2480
อัดยาง AA หนาเต็มไม่มี มอก	-	call	call	740	1140	1380

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		

ที่มา: http://www.108wood.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=118247&Ntype=4

เมื่อนำราคาต้นทุนรวมของแผ่นอัดจากเปลือกไข่ไก่ผง มาเปรียบเทียบกับราคาแผ่นไม้อัดจริงจากราคากลางในตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าราคาแผ่นอัดเกรดเปลือยความหนา 9 มิลลิเมตร มีราคาอยู่ที่ 215 ซึ่งมีราคาถูกกว่าแผ่นอัดจากเปลือกไข่ไก่ผง 316 บาท 44 สตางค์ และนำมาเปรียบเทียบกับราคากระดาษอัด (Hard board) ความหนา 4 มิลลิเมตรราคา 160 บาท พบว่า ราคาถูกกว่าแผ่นอัดจากเปลือกไข่ไก่ผงอยู่ 371 บาท 44 สตางค์

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของวัสดุผสมในการทำแผ่นอัดระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสานในอัตราส่วนต่างๆนั้น สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น, ปริมาณความชื้น, การดูดซึมน้ำ และการพองตัวเมื่อแช่น้ำ พบว่า มีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ เมื่อแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสานมีความหนาแน่นสูง จะทำให้มีปริมาณความชื้นสูงด้วย ซึ่งแปรผกผันกับการดูดซึมน้ำและการพองตัวเมื่อแช่น้ำที่กลับมีค่าลดต่ำลง ในทางตรงกันข้ามเมื่อแผ่นอัดมีความหนาแน่นต่ำ จะทำให้มีปริมาณความชื้นต่ำลงด้วย แต่การดูดซึมน้ำและการพองตัวเมื่อแช่น้ำจะมีค่าสูงขึ้น

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล ได้แก่ ความต้านทานแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น และความต้านทานแรงอัดพร้อมด้วยมอดูลัสยืดหยุ่น พบว่า มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพ กล่าวคือ เมื่อแผ่นอัดมีความหนาแน่นสูง จะทำให้มีความแข็งแรงสูงด้วย จึงส่งผลให้มีค่าคุณสมบัติทางกลที่ดีกว่าแผ่นอัดที่มีความหนาแน่นต่ำ ดังที่สังเกตได้จากผลการทดสอบความต้านแรงดัดและความต้านแรงอัดที่ผ่านมา

จากการนำผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ค่าเฉลี่ยอัตราส่วน 65 : 35 ของการทดสอบความต้านทานแรงดัดและความต้านทานแรงอัด ไม่มีความแตกต่างกับค่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นอกจากนั้นค่าเฉลี่ยอัตราส่วนที่เหลือทั้งหมดของการทดสอบประเภทอื่นๆ มีความแตกต่างกันกับค่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ดังนั้นอัตราส่วนแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสานที่เหมาะสมและมีความแข็งแรงที่สุด คือ อัตราส่วน 65 : 35 (ร้อยละโดยน้ำหนัก) แต่เมื่อพิจารณาถึงผลการทดสอบความต้านแรงดัดและแรงอัดที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ไม่น่าพอใจตามลำดับแล้ว แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนดังกล่าวสามารถสร้างชิ้นงานได้ แต่มีความไม่เหมาะสมสำหรับการสร้างชิ้นงานที่ต้องรองรับแรงกดในปริมาณมากได้

เมื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตแผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงผสมกาวยูเรียฟอร์มาดีไฮด์ พบว่า มีต้นทุนการผลิตรวมทั้งหมด 531 บาท 44 สตางค์ ซึ่งเมื่อนำราคาต้นทุนรวมของแผ่นอัดจาก

เปลือกไข่ไก่ผง มาเปรียบเทียบกับราคาแผ่นไม้อัดจริง พบว่าแผ่นอัดจากเปลือกไข่ไก่ผงมีราคาแพงกว่าแผ่นอัดจริงประเภทปาร์ติเกิลบอร์ด เกรดเปลือยอยู่ 316 บาท 44 สตางค์ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับราคากระดาษอัด พบว่า แผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ผงมีราคาแพงกว่าอยู่ 371 บาท 44 สตางค์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการขึ้นรูปเป็นแผ่นอัด ควรผสมเปลือกไข่ผงให้มากกว่าอัตราส่วนของกาวประสาน จะทำให้แผ่นอัดมีสภาพปกติ ไม่เด้ง หรือคดงอ
2. ควรศึกษาชนิดและปริมาณสารยึดติดที่นำมาใช้ให้หลากหลายด้วยกัน เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลต่อไป
3. สามารถนำไปผลิตชิ้นงานที่สามารถรองรับแรงกดปริมาณมากได้ หากมีการศึกษาเพิ่มเติมและมีการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น
4. ควรศึกษาในด้านอื่นๆเพิ่มเติม เช่น ความสามารถในการดูดสับเสียงและความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บรรณานุกรม

กรมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระราชูประถัมภ์. 2528. **มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยเรื่องมาตรฐานอาคารไม้ (วสท.1002-16).**

ดร.ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. **พอลิเมอร์เชิงพานิชย์.** พิมพ์ครั้งที่ 1 .2545.

ธินัฐดา พิมพ์พวง และอัญชลี ถิระวุฒิ. 2547.**คุณสมบัติของเปลือกไข่ไก่ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้น ผักกาดเขียวกวางตุ้ง.** รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

พงศ์พัน วรสุนทรโรสถ .**วัสดุก่อสร้าง.** 2540

พงศ์วิทย์ ลิมป์พิศุทธ์. 2547. **การศึกษาการผลิตแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจากต้นไมยราบ.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วรธรรม อุ่นจิตติชัย และคณะ. 2547. **ผลกระทบของไม้วัตถุดิบต่อการผลิตแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจากไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส.** กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้.

วรวิทย์ วณิชาภิชาติ. 2531. **ไข่และการฟักไข่.** สำนักพิมพ์รั้วเขียว.

สุวรรณ เกษตรสุวรรณ. **ไข่และเนื้อไก่.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2519.

สุวรรณ เกษตรสุวรรณ. 2529. **ไข่และเนื้อไก่.** พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์อมรการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2532. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเรื่องแผ่นชิ้นไม้อัด ชนิดอัดราบความหนาแน่นปานกลาง (มอก. 876-2532).** สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

สริญญา ชวพันธ์.2547. **การศึกษาสมบัติเชิงกลของโพลีโพรพีลีนและยางธรรมชาติที่ผสมเปลือกไข่.** รายงานวิจัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อาคม ปาสีโล. 2550. **การศึกษาสมบัติของปาร์ติเคิลบอร์ดที่ทำจากฟางข้าวและแกลบ.** การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3 .

อนันต์ ตันติจรูญโรจน์. 2553. **การกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำ โดยใช้เปลือกไข่ ถ่านกัมมันต์ และเถ้าแกลบดำ.** รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Bain, M.M. 2005. Recent advances in the assessment of eggshell quality and their future application. **World's Poult. Sci. J.** 61(002): 268-277.

Boushy, A.R.E. 1966. **Egg Shell Quality and Microstructure as Affected by Vitamin C, Other Feed Additives and High Environmental Temperatures.** Mededelingen Landbouwhogeschool, Wageningen.

Galyean, R.D. and O.J. Cotterill. 1995. Nonfood Used of Eggs, pp. 525-538. *In* W.J. Stadelman and O.J. Cotterill, eds. **Egg Science and Technology.** Food Products Press, New York.

Romanoff, A.L. and A. J. Romanoff. 1949. **The Avian Egg**. John Wiley& Sons, Inc., New York.

Solomon,S.E. 1991. **Egg and Eggshell Quality**. Wolfe Publishing, Aylesbury, England.

Stadelman, W.J. 1995. Quality Identification of Shell Eggs, pp. 39-45. *In* W.J. Stadelman and O.J. Cotterill, eds. **Egg Science and Technology.** Food Products Press, New York.

Sugino, H., T. Nitoda and L.R. Juneja. 1997. General Chemical Composition of Hen Eggs, pp. 13-24. *In* T. Yamamoto, L.R. Juneja, H. Hatta and M. Kim, eds. **Hen Eggs (Their Basic and Applied Science).** CRS Press, Inc., USA.

Suguro, N., S. Horiike, Y. Masuda, M. Kunou and T. Kokubu. 2000. Bioavailability and Commercial Use of Eggshell Calcium, Membrane Proteins and Yolk Lecithin Products, pp. 219-232. *In* J.S. Sim, S. Nakai and W. Guenter, eds. **Egg Nutrition and Biotechnology.** CAB International, Japan.

Vandepopuliere, J.M., C.W. Mckinney and H.V. Walton. 1973. Value of egg shell meal as a poultry feedstuff. **Poult. Sci.** 52: 2096-2103.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดสอบ

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดสอบ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการหาค่าความหนาแน่นของแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

	อัตราส่วนเปลือกไข่ไก่ผง : กาว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	65 : 35	70 : 30	75 : 25	80 : 20
1	424.5872	396.4027	397.5906	363.5694
2	416.744	415.2244	400.2065	341.6765
3	392.2648	403.2626	381.787	367.9883
4	421.6271	390.3145	384.1146	378.7285
5	423.9679	396.126	381.4755	360.114
เฉลี่ย	415.8382	400.2661	389.0348	362.4153

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นของแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน (ร้อยละ)

	อัตราส่วนเปลือกไข่ไก่ผง : กาว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	65 : 35	70 : 30	75 : 25	80 : 20
1	1.772	1.897	1.592	1.679
2	2.208	1.95	1.637	1.602
3	2.188	2.042	1.735	1.671
4	2.031	1.98	1.752	1.676
5	1.98	1.874	1.715	1.543
เฉลี่ย	2.0358	1.9486	1.6862	1.6342

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน (ร้อยละ)

	อัตราส่วนเปลือกไข่ไก่ผง : กาว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	65 : 35	70 : 30	75 : 25	80 : 20
1	11.01	11.08	10.61	15.61
2	9.94	9.4	9.47	10.55
3	10.8	10.7	11.41	9.5
4	11.72	11.03	10.78	9.93
5	8.71	10.3	12.05	16.39
เฉลี่ย	10.436	10.502	10.864	12.396

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน (ร้อยละ)

	อัตราส่วนเปลือกไข่ไก่ผง : กาว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	65 : 35	70 : 30	75 : 25	80 : 20
1	0	1.61	0	3.17
2	1.85	0	1.49	1.64
3	0	3.17	0	3.12
4	1.72	0	1.49	1.64
5	0	0	2.94	1.51
เฉลี่ย	0.714	0.956	1.184	2.216

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดัดของแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน (เมกะพาสคัล)

	อัตราส่วนเปลือกไข่ไก่ผง : กาว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	65 : 35	70 : 30	75 : 25	80 : 20
1	19.195	12.008	8.954	4.484
2	15.048	14.166	8.285	4.356
3	15.28	15.657	7.575	5.931
4	16.007	13.948	8.406	5.766
5	18.465	14.397	6.732	4.055
เฉลี่ย	16.799	14.0352	7.9904	4.9184

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบหาค่ามอดูลัสยืดหยุ่นแรงดัดของแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน (เมกะพาสคัล)

	อัตราส่วนเปลือกไข่ไก่ผง : กาว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	65 : 35	70 : 30	75 : 25	80 : 20
1	226.638	64.929	47.231	18.083
2	174.067	53.108	46.928	14.196
3	141.013	54.059	48	19.427
4	137.768	51.997	48.611	22.977
5	159.585	47.214	31.385	16.469
เฉลี่ย	167.8142	54.2614	44.431	18.2304

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงอัดของแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน (เมกะพาสคัล)

	อัตราส่วนเปลือกไข่ไก่ผง : กาว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	65 : 35	70 : 30	75 : 25	80 : 20
1	97.6	93.09	66.36	48.83
2	104.25	92.12	53.19	34.46
3	113.48	81.39	45.74	41.65
เฉลี่ย	105.11	88.86667	55.09667	41.64667

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบหาค่ามอดูลัสยืดหยุ่นแรงอัดของแผ่นอัดจากวัสดุผสมระหว่างเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาวประสาน (เมกะพาสคัล)

	อัตราส่วนเปลือกไข่ไก่ผง : กาว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	65 : 35	70 : 30	75 : 25	80 : 20
1	73.8125	28.79467	21.21684	10.40986
2	106.1424	28.59276	23.70588	11.21538
3	46.07035	16.61593	20.48536	6.85045
เฉลี่ย	75.34176	24.66779	21.80269	9.491899

ตารางที่ 9 วิเคราะห์ค่าความหนาแน่น โดยใช้ One-Sample Statistics by spss

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
RESULT	5	415.84	13.534	6.053
RESULT2	5	400.27	9.537	4.265
RESULT3	5	389.03	9.109	4.074
RESULT4	5	362.42	13.545	6.058

*** RESULT = 65 : 35 , RESULT2 = 70 : 30 , RESULT3 = 75 : 25 , RESULT4 = 80 : 20

ตารางที่ 10 วิเคราะห์ค่าความหนาแน่น โดยใช้ One-Sample Test by spss

	Test Value = 500					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
RESULT	-13.905	4	.000	-84.16	-100.97	-67.36
RESULT2	-23.383	4	.000	-99.73	-111.58	-87.89
RESULT3	-27.240	4	.000	-110.97	-122.28	-99.65
RESULT4	-22.713	4	.000	-137.58	-154.40	-120.77

*** RESULT = 65 : 35 , RESULT2 = 70 : 30 , RESULT3 = 75 : 25 , RESULT4 = 80 : 20

ตารางที่ 11 วิเคราะห์ค่าร้อยละปริมาณความชื้น โดยใช้ One-Sample Statistics by spss

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
RESULT	5	2.036	.1772	.0792
RESULT2	5	1.949	.0670	.0299
RESULT3	5	1.686	.0686	.0307
RESULT4	5	1.634	.0601	.0269

*** RESULT = 65 : 35 , RESULT2 = 70 : 30 , RESULT3 = 75 : 25 , RESULT4 = 80 : 20

ตารางที่ 12 วิเคราะห์ค่าร้อยละปริมาณความชื้น โดยใช้ One-Sample Test by spss

	Test Value = 9					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
RESULT	-87.900	4	.000	-6.964	-7.184	-6.744
RESULT2	-235.445	4	.000	-7.051	-7.135	-6.968
RESULT3	-238.329	4	.000	-7.314	-7.399	-7.229
RESULT4	-273.911	4	.000	-7.366	-7.440	-7.291

*** RESULT = 65 : 35 , RESULT2 = 70 : 30 , RESULT3 = 75 : 25 , RESULT4 = 80 : 20

ตารางที่ 13 วิเคราะห์ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ โดยใช้ One-Sample Statistics by spss

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
RESULT	5	10.436	1.1550	.5165
RESULT2	5	10.502	.6905	.3088
RESULT3	5	10.864	.9643	.4312
RESULT4	5	12.396	3.3226	1.4859

*** RESULT = 65 : 35 , RESULT2 = 70 : 30 , RESULT3 = 75 : 25 , RESULT4 = 80 : 20

ตารางที่ 14 วิเคราะห์ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ โดยใช้ One-Sample Test by spss

	Test Value = 80					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
RESULT	-134.680	4	.000	-69.564	-70.998	-68.130
RESULT2	-225.051	4	.000	-69.498	-70.355	-68.641
RESULT3	-160.316	4	.000	-69.136	-70.333	-67.939
RESULT4	-45.497	4	.000	-67.604	-71.729	-63.479

*** RESULT = 65 : 35 , RESULT2 = 70 : 30 , RESULT3 = 75 : 25 , RESULT4 = 80 : 20

ตารางที่ 15 วิเคราะห์ค่าร้อยละการพองตัวเมื่อแช่น้ำ โดยใช้ One-Sample Statistics by spss

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
RESULT	5	.714	.9788	.4377
RESULT2	5	.956	1.4205	.6353
RESULT3	5	1.184	1.2323	.5511
RESULT4	5	2.216	.8499	.3801

*** RESULT = 65 : 35 , RESULT2 = 70 : 30 , RESULT3 = 75 : 25 , RESULT4 = 80 : 20

ตารางที่ 16 วิเคราะห์ค่าร้อยละการพองตัวเมื่อแช่น้ำ โดยใช้ One-Sample Test by spss

	Test Value = 8					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RESULT	-16.645	4	.000	-7.286	-8.501	-6.071
RESULT2	-11.088	4	.000	-7.044	-8.808	-5.280
RESULT3	-12.368	4	.000	-6.816	-8.346	-5.286
RESULT4	-15.218	4	.000	-5.784	-6.839	-4.729

*** RESULT = 65 : 35 , RESULT2 = 70 : 30 , RESULT3 = 75 : 25 , RESULT4 = 80 : 20

ตารางที่ 17 วิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดัด โดยใช้ One-Sample Statistics by spss

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
RESULT	5	16.799	1.9051	.8520
RESULT2	5	14.035	1.3130	.5872
RESULT3	5	7.990	.8579	.3837
RESULT4	5	4.918	.8652	.3869

*** RESULT = 65 : 35 , RESULT2 = 70 : 30 , RESULT3 = 75 : 25 , RESULT4 = 80 : 20

ตารางที่ 18 วิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดัด โดยใช้ One-Sample Test by spss

	Test Value = 18					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
RESULT	-1.410	4	.231	-1.201	-3.566	1.164
RESULT2	-6.752	4	.003	-3.965	-5.595	-2.335
RESULT3	-26.089	4	.000	-10.010	-11.075	-8.944
RESULT4	-33.809	4	.000	-13.082	-14.156	-12.007

*** RESULT = 65 : 35 , RESULT2 = 70 : 30 , RESULT3 = 75 : 25 , RESULT4 = 80 : 20

ตารางที่ 19 วิเคราะห์ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นแรงดัด โดยใช้ One-Sample Statistics by spss

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
RESULT	5	167.814	36.0144	16.1061
RESULT2	5	54.261	6.5185	2.9152
RESULT3	5	44.431	7.3226	3.2748
RESULT4	5	18.230	3.2925	1.4725

*** RESULT = 65 : 35 , RESULT2 = 70 : 30 , RESULT3 = 75 : 25 , RESULT4 = 80 : 20

ตารางที่ 20 วิเคราะห์ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นแรงดัด โดยใช้ One-Sample Test by spss

	Test Value = 2000					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RESULT	-113.757	4	.000	-1832.186	-1876.904	-1787.468
RESULT2	-667.457	4	.000	-1945.739	-1953.832	-1937.645
RESULT3	-597.161	4	.000	-1955.569	-1964.661	-1946.477
RESULT4	-1345.891	4	.000	-1981.770	-1985.858	-1977.681

*** RESULT = 65 : 35 , RESULT2 = 70 : 30 , RESULT3 = 75 : 25 , RESULT4 = 80 : 20

ตารางที่ 21 วิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงอัด โดยใช้ One-Sample Statistics by spss

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
RESULT	3	105.110	7.9749	4.6043
RESULT2	3	88.867	6.4931	3.7488
RESULT3	3	55.097	10.4414	6.0283
RESULT4	3	41.647	7.1850	4.1483

*** RESULT = 65 : 35 , RESULT2 = 70 : 30 , RESULT3 = 75 : 25 , RESULT4 = 80 : 20

ตารางที่ 22 วิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงอัด โดยใช้ One-Sample Test by spss

	Test Value = 105					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
RESULT	.024	2	.983	.110	-19.701	19.921
RESULT2	-4.304	2	.050	-16.133	-32.263	-.004
RESULT3	-8.278	2	.014	-49.903	-75.841	-23.965
RESULT4	-15.272	2	.004	-63.353	-81.202	-45.505

*** RESULT = 65 : 35 , RESULT2 = 70 : 30 , RESULT3 = 75 : 25 , RESULT4 = 80 : 20

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางที่ 23 วิเคราะห์ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นแรงอัด โดยใช้ One-Sample Statistics by spss

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
RESULT	3	75.342	30.0652	17.3582
RESULT2	3	24.668	6.9738	4.0264
RESULT3	3	21.803	1.6883	.9747
RESULT4	3	9.492	2.3227	1.3410

*** RESULT = 65 : 35 , RESULT2 = 70 : 30 , RESULT3 = 75 : 25 , RESULT4 = 80 : 20

ตารางที่ 24 วิเคราะห์ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นแรงอัด โดยใช้ One-Sample Test by spss

	Test Value = 78900					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
RESULT	-4541.071	2	.000	-78824.658	-78899.344	-78749.972
RESULT2	-19589.785	2	.000	-78875.332	-78892.656	-78858.008
RESULT3	-80922.151	2	.000	-78878.197	-78882.391	-78874.003
RESULT4	-58827.915	2	.000	-78890.508	-78896.278	-78884.738

*** RESULT = 65 : 35 , RESULT2 = 70 : 30 , RESULT3 = 75 : 25 , RESULT4 = 80 : 20

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณ

ก. การหาปริมาตรของเบ้าอัด

ปริมาตร = กว้าง x ยาว x หนา

ตัวอย่างที่ 1 คำนวณหาปริมาตรของเบ้าอัด

$V = 20 \times 20 \times 0.5$

$= 200\ cm^3$

ข. การคำนวณมวลของเปลือกไข่ไก่ผง

$M = D \times V$

โดยที่ M คือ มวลของเปลือกไข่ไก่ผง (g)

D คือ ความหนาแน่นของเปลือกไข่ไก่ผง (g/cm^3)

V คือ ปริมาตรของเบ้าอัด

โดยที่กำหนดความหนาแน่น 2.4 g/cm^3

ตัวอย่างที่ 2 คำนวณมวลของเปลือกไข่ไก่ผง

$M = D \times V$

$= (2.4\ g/cm^3) \times (200\ cm^3)$

$= 480\ g$

ค. คำนวณระยะเวลาในการผลิตของแผ่นอัดจากเปลือกไข่ไก่ผงผสมกาวประสาน

ถ้าใช้เวลาในการอัดขึ้นรูป 60 นาที = 1 ชั่วโมง

ดังนั้นเวลาในการอัดขึ้นรูปทั้งหมด 20 นาที = 20 นาที × 1 ชั่วโมง/60 นาที

= 0.33 ชั่วโมง

ง. คำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตต่อหน่วย

หน่วยไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) × เวลาในการอัดขึ้นรูปทั้งหมด (ชั่วโมง)

= 5.6 (กิโลวัตต์) × 0.33 (ชั่วโมง)

= 1.85 หน่วย

จ. คำนวณค่าไฟฟ้าของแผ่นอัดจากเปลือกไข่ไก่ผงผสมกาวประสาน

ค่าไฟฟ้า 1 หน่วย = 1.86 บาท

ถ้าค่าไฟฟ้ามี 1.85 หน่วย = 1.85 หน่วย × 1.86 บาท/1 หน่วย

= 3.44 บาท

ฉ. ต้นทุนรวม

ต้นทุนรวม = ต้นทุนวัสดุ + ต้นทุนไฟฟ้า

= 26.4 บาท + 3.44 บาท

= 29.84 บาท/ แผ่น

ช. คำนวณราคาแผ่นไม้อัดจริง (ปาร์ติเคิลบอร์ด)

แผ่นไม้อัดปาร์ติเคิลบอร์ด = กว้าง × ยาว

= 122 cm × 244 cm

= 29,768 cm^2

แผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที = 20 cm × 20 cm

= 400 cm^2

ถ้าแผ่นไม้อัดปาร์ติเคิลบอร์ดมีขนาด 29,768 cm^2 มีราคา = 215 บาท

ดังนั้นแผ่นไม้อัดปาร์ติเคิลบอร์ดขนาด 400 cm^2 มีราคา = 400 cm^2 × 215 บาท/29,768 cm^2

= 2.89 บาท

ซ. การคำนวณการเปรียบแผ่นไม้อัดจริง (ปาร์ติเคิลบอร์ด) กับแผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที

แผ่นไม้อัดจริงปาร์ติเคิลบอร์ด = 2.89 บาท

แผ่นอัดจากกล่องเครื่องดื่มยูเอชที = 30.44 บาท

ดังนั้นราคาแตกต่างกัน = 29.84 บาท – 2.89 บาท

= 26.95 บาท

ภาคผนวก ค

ภาพประกอบการวิจัย

ภาคผนวก ค

ภาพประกอบการวิจัย

การเตรียมเปลือกไข่ไก่ผง

ภาพที่ ผค-1 เปลือกไข่ไก่เหลือทิ้ง

ภาพที่ ผค-2 การบดเปลือกไข่ไก่ให้เป็นผง

ภาพที่ ผค- 3 การร่อนคัดขนาดอนุภาค เปลือกไข่ไก่

ภาพที่ ผค-4 เปลือกไข่ไก่ผงที่ผ่านการร่อน และล้างแล้ว

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

การผสมอัตราส่วนเปลือกไข่ไก่ผงต่อกาว

ภาพที่ ผค-5 กาวผง 2 ส่วน ต่อน้ำ 1 ส่วน

ภาพที่ ผค-6 กาวที่พร้อมใช้งาน

ประสาน

ภาพที่ ผค-7 การผสมเปลือกไข่ไก่ผงเข้ากับกาว

ภาพที่ ผค-8 เปลือกไข่ไก่ผงกับกาวประสานที่ผ่านการคลุกเคล้า

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

การขึ้นรูปเป็นแผ่นอัด

ภาพที่ ผค-9 การนำเปลือกไข่ไก่ผงผสมกาวลงเข้าอัด

ภาพที่ ผค-10 การอัดแผ่นด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก

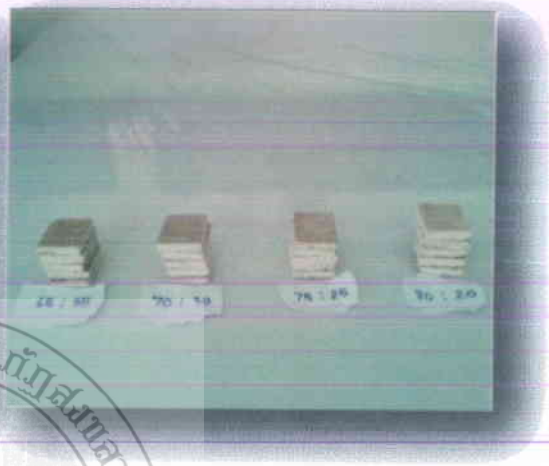
ภาพที่ ผค-11 การอบแผ่นอัดที่ผ่านเครื่องอัดไฮโดรลิกแล้ว

ภาพที่ ผค-12 แผ่นอัดเปลือกไข่ไก่ที่ได้

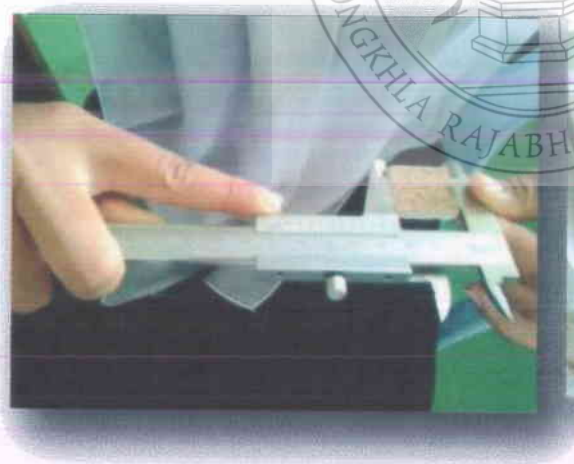
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

การตัดชิ้นทดสอบ

ภาพที่ ผค-13 การตัดแผ่นอัดเป็นชิ้นทดสอบ



ภาพที่ ผค-14 ตัวอย่างชิ้นทดสอบ



ภาพที่ ผค-15 การวัดขนาดด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

ภาพที่ ผค- 16 การชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY