



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์)
.....
ปริญญา

..... วนผลิตภัณฑ์	 วนผลิตภัณฑ์
..... สาขา	 ภาควิชา

เรื่อง การผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำ

Manufacturing of Low Formaldehyde Content Particleboards

นามผู้วิจัย นายณัฐณรงค์ เอี่ยมมี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(.....
อาจารย์นิคม แหลมสัถ, Ph.D.)

กรรมการ

(.....
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทรงกลด จารุสมบัติ, วท.ม.)

กรรมการ

(.....
รองศาสตราจารย์ทองฟู ศิริวงศ์, M.S.)

หัวหน้าภาควิชา

(.....
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทรงกลด จารุสมบัติ, วท.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(.....
รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 28 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำ

Manufacturing of Low Formaldehyde Content Particleboards

โดย

นายณัฐณรงค์ เอี่ยมมี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์)

พ.ศ. 2549

ISBN 974-9846-47-8

ฉันทรงศ์ เอี่ยมมี 2549: การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำ

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์) สาขาวิชานวนผลิตภัณฑ์ ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์

ประธานกรรมการที่ปรึกษา: อาจารย์นิคม แหลมสัถ, Ph.D. 93 หน้า

ISBN 974-9846-47-8

ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นแอลดีไฮด์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำที่สุดเท่ากับ 30.03 ในสภาวะปกติจะมีสถานะเป็นแก๊ส ฟอร์มาลดีไฮด์ใช้ในอุตสาหกรรมการสังเคราะห์กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแผ่นไม้ประกอบ คือ แผ่นขึ้นไม้อัด แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง และอื่น ๆ อีกหลายประเภท ปัจจุบันการใช้แผ่นขึ้นไม้อัดทดแทนไม้จริงมีมากขึ้น แต่ปัญหาที่เกิดจากการใช้งาน คือ ปัญหาการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคทำให้แนวโน้มความต้องการแผ่นไม้ที่มีค่าฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำมีมากขึ้น เนื่องจากผู้บริโภคตระหนักถึงอันตรายที่เกิดจากฟอร์มาลดีไฮด์ที่ตกค้างในแผ่นไม้นั้นเอง

การวิจัยนี้ใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ผสมสารสังเคราะห์ที่นำมาจากแป้งมันสำปะหลังเป็นสารเติมแต่งลงในกาวยูเรียสังเคราะห์ที่ใช้เป็นสารเติมแต่งมี 3 ชนิด ได้แก่ Additive I, II และ III ปริมาณการใช้มี 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 10 และ 15 dry/dry glue นำแผ่นไม้อัดที่ได้ ไปทำการตรวจสอบคุณภาพและวิเคราะห์หาค่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ เปรียบเทียบกับแผ่นขึ้นไม้อัดที่ไม่เติมสารเติมแต่ง

จากการวิจัยพบว่า แป้งมันสำปะหลังสามารถนำมาทำสังเคราะห์สังเคราะห์ เป็นสารเติมแต่งใช้ในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำได้ ขึ้นอยู่กับค่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ของกาวยูเรียที่นำมาใช้ในการผลิต ชนิดและปริมาณสารสังเคราะห์มีผลต่อคุณภาพและค่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ของแผ่นไม้ สารเติมแต่งชนิดที่ III ที่ระดับปริมาณการใช้ร้อยละ 5 dry/dry glue มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการลดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ คือลดลงจาก 9.86 เป็น 5.94 mg/100 g ODB. คิดเป็นปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ลดลงเท่ากับร้อยละ 39.81 ซึ่งอยู่ในมาตรฐาน Class I และที่ปริมาณการใช้ร้อยละ 10 dry/dry glue จะให้คุณภาพแผ่นขึ้นไม้อัดโดยรวมดีที่สุด คือ ค่าพิคกิ้งเท่ากับ 14.77 MPa ค่าแรงดึงตั้งฉากเท่ากับ 0.60 MPa ค่าการพองตัวเท่ากับร้อยละ 7.05 และ ค่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในแผ่นไม้ เท่ากับ 4.68 mg/100g ODB.

ฉันทรงศ์ เอี่ยมมี

ลายมือชื่อนิติกร

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

29 / ก.พ. / 2549

Natnarong Iammee 2006: Manufacturing of Low Formaldehyde Content Particleboards.

Master of Science (Forestry), Major Field: Forest Products, Department of Forest Products.

Thesis Advisor: Mr. Nikhom Laemsak, Ph.D. 93 pages.

ISBN 974-9846-47-8

Formaldehyde is the lowest molecular weight aldehyde at 30.30. It is gas in normal atmospheric formaldehyde. It has been used in urea-formaldehyde glue synthetic industry for Particleboards and Medium Density Fiberboard. At present, the board using to substitute the real wood is increasing but the problem is formaldehyde releasing from board and it is dangerous for consumers. This problem leads to increasing demand of low level formaldehyde content board due to the fact that consumers have realized the danger of formaldehyde to be left behind in board.

In this experiment, using urea-formaldehyde glue mixed with modified starch as the additive. In this research tapioca modified starch, there are 3 types of modified starch: additive I, II and III with 3 dosages: 5, 10 and 15 percentage dry additive/dry glue. And then test the qualities of board and analyze formaldehyde value comparing to control.

The consequent this research is tapioca starch could be modified to use in low formaldehyde board producing. It depends on level of formaldehyde in glue. Type and qualities of modified tapioca starch effect to quality and formaldehyde value of board. At 5 percentage dry additive/dry glue of modified tapioca starch type III is the most efficient to reduce formaldehyde value from 9.86 to 5.94 mg./100 g. ODB. It is 39.81 percentage reduction of formaldehyde which is in Class I Standard and at 10 percentage dry additive/ dry glue gives the best overall qualities of board. Modulus of rupture, internal bonding, thickness swelling and formaldehyde value are 14.77 Mpa, 0.60 Mpa, 7.05 Percentage and 4.68 mg./100 g. OBD respectively.

Natnarong IAMMEE

Student's signature

N. Laemsak

Thesis Advisor's signature

27 ' Feb. ' 06

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีครั้งนี้ เกิดจากการสนับสนุนของหลายฝ่ายด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณชาติ ศาสนา พระมหากษัตริย์ ที่ทำให้ข้าพเจ้ามีที่อยู่อาศัย และที่ศึกษาและประกอบอาชีพ ขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้กำเนิดและส่งเสริมให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ขอบพระคุณอาจารย์นิคม แหยมลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทรงกลด จารุสมบัติ รองศาสตราจารย์ทองฟู ศิริวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีระ วิณิน และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ความช่วยเหลือในการลงทะเบียนเรียน ขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ทุกท่านที่ช่วยประสานงานในการเรียน ขอบคุณบริษัท วนชัย กรู๊ป จำกัด (มหาชน) ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ สารเคมีและอำนวยความสะดวกต่าง ๆ จนทำให้การทดลองนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและสนับสนุนข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ณัฐณรงค์ เอี่ยมมี

มีนาคม 2549

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
ผลกระทบของฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีต่อมนุษย์และสัตว์	4
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมันสำปะหลัง	4
การคัดแปรสตาโรส	6
ฟอร์มัลดีไฮด์	18
ยูเรีย	21
กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์	22
การปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ออกจากแผ่นขึ้นไม้อัด	22
อุปกรณ์และวิธีการ	34
อุปกรณ์	34
วิธีการ	35
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	49
ผลการทดลอง	49
วิจารณ์ผลการทดลอง	77
สรุปและข้อเสนอแนะ	80
สรุป	80
ข้อเสนอแนะ	81
ภาคผนวก	91

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก มาตรฐานการจำแนกคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นหินไม้อัด ของยุโรป	92

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	มาตรฐานการจำแนกชั้นการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ของแผ่นจีนไม้อัดและแผ่นใยไม้อัด	23
2	แสดงการเตรียมกาวสำหรับผสมกับไม้ผิว	44
3	แสดงการเตรียมกาวสำหรับผสมกับไม้ไผ่	44
4	แสดงเวลาและความดันที่ใช้ในการอัดร้อน	45
5	ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพของชุดควบคุม	49
6	ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง I ร้อยละ 5 dry/ dry glue	51
7	ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง I ร้อยละ 10 dry/ dry glue	53
8	ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง I ร้อยละ 15 dry/ dry glue	55
9	ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง II ร้อยละ 5 dry/ dry glue	57
10	ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง II ร้อยละ 10 dry/ dry glue	59
11	ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง II ร้อยละ 15 dry/ dry glue	61
12	ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง III ร้อยละ 5 dry/ dry glue	63
13	ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง III ร้อยละ 10 dry/ dry glue	65
14	ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง III ร้อยละ 15 dry/ dry glue	67
15	ตารางค่าพิกัดหักที่ปรับความหนาแน่น	70
16	ตารางค่าแรงดึงต้งฉากที่ปรับความหนาแน่น	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	ตารางค่าการพองตัวที่ปรับความหนาแน่น	71
18	ตารางปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์	71
19	ตารางคุณภาพและปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ปรับค่าตามความหนาแน่น	72
20	ตารางการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของชนิด และปริมาณแป้งดัดแปรที่ใช้ที่มีผลกระทบต่อค่าฟักหัก	73
21	ตารางการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของชนิดและปริมาณสารเติมแต่งที่ใช้ที่มีผลต่อค่าแรงดึงตึงฉาก	74
22	ตารางการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าการพองตัว ชนิด และปริมาณสารเติมแต่ง	75
23	ตารางการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ ชนิด และปริมาณสารเติมแต่งที่ใช้ที่มีผลกระทบต่อค่าปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์	76
24	ประสิทธิภาพของ สารเติมแต่งในการลดปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในแผ่นชิ้นไม้อัด	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
1 มาตรฐานการจำแนกคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นหินไม้อัดของยุโรป	93

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิคคัท และความหนาแน่นของชุดควบคุม	50
2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตึงฉาก และความหนาแน่น ของชุดควบคุม	50
3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของชุดควบคุม	51
4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิคคัท และความหนาแน่นของสารเติมแต่ง ชนิดที่ I ร้อยละ 5 dry/ dry glue	52
5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตึงฉาก และความหนาแน่นของ สารเติมแต่งชนิดที่ I ร้อยละ 5 dry/ dry glue	52
6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของ สารเติมแต่งชนิดที่ I ร้อยละ 5 dry/ dry glue	53
7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิคคัท และความหนาแน่นของสารเติมแต่ง ชนิดที่ I ร้อยละ 10 dry/ dry glue	54
8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตึงฉาก และความหนาแน่นของ สารเติมแต่งชนิดที่ I ร้อยละ 10 dry/ dry glue	54
9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของ สารเติมแต่งชนิดที่ I ร้อยละ 10 dry/ dry glue	55
10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิคคัท และความหนาแน่นของสารเติมแต่ง ชนิดที่ I ร้อยละ 15 dry/ dry glue	56
11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตึงฉาก และความหนาแน่นของ สารเติมแต่งชนิดที่ I ร้อยละ 15 dry/ dry glue	56
12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของ สารเติมแต่งชนิดที่ I ร้อยละ 15 dry/ dry glue	57
13	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิคคัท และความหนาแน่นของสารเติมแต่ง ชนิดที่ II ร้อยละ 5 dry/ dry glue	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตั้งฉาก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ II ร้อยละ 5 dry/ dry glue	58
15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ II ร้อยละ 5 dry/ dry glue	59
16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดหัก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ II ร้อยละ 10 dry/ dry glue	60
17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตั้งฉาก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ II ร้อยละ 10 dry/ dry glue	60
18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ II ร้อยละ 10 dry/ dry glue	61
19	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดหัก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ II ร้อยละ 15 dry/ dry glue	62
20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตั้งฉาก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ II ร้อยละ 15 dry/ dry glue	62
21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ II ร้อยละ 15 dry/ dry glue	63
22	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดหัก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ III ร้อยละ 5 dry/ dry glue	64
23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตั้งฉาก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ III ร้อยละ 5 dry/ dry glue	64
24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ III ร้อยละ 5 dry/ dry glue	65
25	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดหัก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ III ร้อยละ 10 dry/ dry glue	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตั้งฉาก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ III ร้อยละ 10 dry/ dry glue	66
27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ III ร้อยละ 10 dry/ dry glue	67
28	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดหัก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ III ร้อยละ 15 dry/ dry glue	68
29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตั้งฉาก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ III ร้อยละ 15 dry/ dry glue	68
30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ III ร้อยละ 15 dry/ dry glue	69
31	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดหัก ชนิด และปริมาณของสารเติมแต่ง	73
32	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตั้งฉาก ชนิด และปริมาณของสารเติมแต่ง	74
33	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว ชนิดและปริมาณสารเติมแต่ง	75
34	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ ชนิด และปริมาณสารเติมแต่ง	76

การผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำ

Manufacturing of Low Formaldehyde Content Particleboards

คำนำ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้พื้นที่ป่ามีปริมาณลดลง จนส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม ทำให้ไม่สามารถที่จะนำไม้จากป่าธรรมชาติมาแปรรูปใช้งานได้เหมือนในอดีต ผลิตภัณฑ์แผ่นชิ้นไม้อัดและแผ่นใยไม้อัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนการใช้ไม้จากป่าธรรมชาติที่ใช้เศษไม้ ปลายไม้ในการผลิต โดยวัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ ไม้ยางพาราและไม้ยูคาลิปตัส การใช้ประโยชน์ของแผ่นชิ้นไม้อัดและแผ่นใยไม้อัด สามารถใช้งานได้หลากหลาย เช่น ทำลำโพง เครื่องเสียง อุปกรณ์สำนักงาน ตู้เสื้อผ้า พื้น และเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีจำหน่ายในท้องตลาดโดยทั่วไป จะมีสารระเหยชนิดหนึ่งที่ปลดปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์และมีผลกระทบต่อผู้บริโภคในระยะยาว คือ ฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde)

ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นแอลดีไฮด์ (aldehyde) ที่สำคัญในทางการค้าตัวหนึ่งที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเคมีอื่น ๆ และโพลิเมอร์ประโยชน์ของฟอร์มาลดีไฮด์ที่สำคัญ คือ ใช้ปรับปรุงคุณภาพเส้นด้ายในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำยาสระผม รวมทั้งใช้ในการสังเคราะห์กาวยูเรีย ฟอร์มาลดีไฮด์ (urea-formaldehyde; UF) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด (particleboards; PB) และแผ่นใยไม้อัดหนาแน่นปานกลาง (medium density fibreboards; MDF) ซึ่งกาวยูเรีย ฟอร์มาลดีไฮด์ มีข้อดี คือ ใช้งานง่าย ราคาถูก และไม่มีสีเมื่อแข็งตัวจึงเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมนี้

อุตสาหกรรมการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด และแผ่นใยไม้อัด ที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เป็นตัวประสานจะเกิดปัญหา คือ การปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde emission) จากแผ่นไม้ จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อเยื่อจมูกและดวงตา จากการทดลองกับสัตว์ทดลอง เช่น ลิงและหนู พบว่า ฟอร์มาลดีไฮด์ยังเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย แต่ยังไม่มีการยืนยันว่าจะมีผลต่อมนุษย์หรือไม่

นอกจากนี้ทิศทางการค้าแผ่นชิ้นไม้อัดและแผ่นใยไม้อัดหนาแน่นปานกลางมีตลาดส่วนใหญ่อยู่ในแถบประเทศ ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย ยุโรป และอเมริกา ที่ให้ความสำคัญต่อคุณภาพชีวิตและ

สิ่งแวดล้อมสูง ทำให้ความต้องการแผ่นไม้ประกอบที่มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำสูงตามไปด้วย จึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่ผู้ผลิตจะต้องดำเนินการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดดังกล่าวเพื่อสร้างความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจในยุคของการค้าเสรีได้

มันสำปะหลังเป็นสินค้าเกษตรที่มีการเพาะปลูกกันมากทางภาคตะวันออก และภาคอีสาน เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีคุณสมบัติเป็นกาวตามธรรมชาติ และมีราคาไม่สูงจึงมีศักยภาพในการที่จะนำมาพัฒนาเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นไม้ที่มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำ ซึ่งเป็นการเพิ่มแนวทางในการนำแป้งมันสำปะหลังไปใช้ประโยชน์อีกทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำ โดยใช้แป้งมันสำปะหลังคัดแปร
2. เพื่อให้ผู้ผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดมีทางเลือกในการผลิตแผ่นไม้ที่มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำ และผู้บริโภคได้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยมากขึ้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้ผู้บริโภคแผ่นขึ้นไม้อัดมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น
2. เพิ่มมูลค่าให้กับแผ่นขึ้นไม้อัด
3. ลดต้นทุนการผลิตแผ่นไม้ขึ้นที่มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำให้กับผู้ผลิต
4. เพิ่มความสามารถในการแข่งขันให้กับผู้ผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด

ขอบเขตการวิจัย

ทำการศึกษาการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด class I โดยใช้สสารซัดแปรทางเคมีเป็นสารเติมแต่ง สดาร์ทที่ใช้ คือ แป้งมันสำปะหลัง สารเคมีที่ใช้ในการดัดแปรได้แก่ กรดไนตริก ยูเรีย และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ นำสสารซัดแปรที่ได้เป็นสารเติมแต่งผสมกับตัวประสาน หรือ กาวที่ใช้ทำ การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดกาวที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์นำแผ่นขึ้นไม้อัดที่ได้ไป ทำการตรวจสอบปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde content) ในแผ่นไม้ตามมาตรฐาน DIN EN120: 1996 ของเยอรมัน

การตรวจเอกสาร

ผลกระทบของฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีต่อมนุษย์และสัตว์

ความอันตรายของฟอร์มาลดีไฮด์จะลดลงเมื่อขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น แอลดีไฮด์ที่ไม่เสถียรจะเป็นอันตรายมากกว่าแอลดีไฮด์ที่เสถียร ผลกระทบเมื่อได้รับในปริมาณที่มากจะทำลายระบบประสาทส่วนกลางทำให้เกิดอาการมีเนมา และทำให้เกิดการระคายเคืองที่เยื่อจมูก ฟอร์มาลดีไฮด์จะส่งผลกระทบต่อระบบหายใจส่วนบนเป็นหลักจากการทดลองของ US Formaldehyde Institute ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีต่อ ลิง และหนูแฮมสเตอร์ โดยให้สัตว์ทดลองอยู่ในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน วันละ 22 ชั่วโมงเป็นเวลา 6 เดือน โดยให้อยู่สภาพที่มีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ 0.2-3 ppm ผลปรากฏว่าเนื้อเยื่อจมูกของสัตว์ทดลองจะเกิดการระคายเคืองที่ระดับฟอร์มาลดีไฮด์ 3 ppm

German Research Association (DFG) ได้จำแนก ฟอร์มาลดีไฮด์อยู่ในกลุ่ม IIIB ซึ่งเป็นกลุ่มที่คาดว่าเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งได้ (K.C.Khoo and others, 1993)

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนของทวีปอเมริกา ตั้งแต่ประเทศเม็กซิโกถึงประเทศบราซิล ชาวพื้นเมืองในทวีปนี้ใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารหลัก ส่วนประเทศไทยไม่ปรากฏหลักฐานแน่ชัดว่ามันสำปะหลังถูกนำเข้ามาในประเทศเมื่อใด แต่มีรายงานการผลิตตั้งแต่ศตวรรษที่ 18 พันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้า เชื่อว่านำมาจากประเทศมาเลเซียระยะแรกใช้ปลูกร่วมกับยางพาราเมื่อต้นยางพารายังเล็กอยู่ตามสวนยางในภาคใต้ ซึ่งภายหลังได้กระจายไปบริเวณอื่น ๆ ของประเทศ เนื่องจากมันสำปะหลังสามารถปลูกได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีความทนทานต่อสภาพแห้งแล้ง ตลอดจนโรคและแมลงศัตรูพืชก็มีน้อยการปลูก และการเก็บเกี่ยวไม่ขึ้นกับฤดูกาลแต่ราคาขายของหัวมันสำปะหลังสดในแต่ละปีจะมีความไม่แน่นอน

การปลูกมันสำปะหลังเป็นการค้าขนาดใหญ่เริ่มที่ภาคตะวันออก คือ จังหวัดชลบุรี และจังหวัดระยอง ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวมีลักษณะเป็นเนินเขาลาดเอียง ดินทราย และไม่มีแหล่งน้ำที่จะทำการชลประทานจึงไม่เหมาะแก่การทำนาและปลูกพืชไร่ชนิดอื่น แต่สามารถปลูกมันสำปะหลัง

ได้ผลดีจนกลายเป็นอาชีพที่แพร่หลายอย่างรวดเร็วปัจจุบัน พื้นที่การปลูกมันสำปะหลังอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทยส่งออกแป้งมันสำปะหลังไปยังประเทศไต้หวัน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และประเทศเพื่อนบ้านทำให้มีโรงงานแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นและทันสมัยขึ้นอย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมมันเส้น และมันอัดเม็ดก็ยังมีมากกว่า เนื่องจากมีการนำไปเลี้ยงสัตว์ในกลุ่มประเทศประชาคมยุโรป ซึ่งอาหารสัตว์พวกข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด มีราคาสูงแต่มันอัดเม็ดจากไทยมีราคาต่ำเพราะภาษีขาเข้าต่ำกว่าชาติอื่น ๆ อีกทั้งกลุ่มประเทศประชาคมยุโรปมีนโยบายการเกษตรร่วม (common agriculture policy) เพื่อให้เกษตรกรของประเทศสมาชิกมีรายได้ทัดเทียมกับอาชีพอื่น ๆ จึงทำการสนับสนุนราคาธัญชาติให้สูงกว่าราคาตลาดโลกในขณะเดียวกันก็กีดกันธัญชาติจากประเทศอื่น ๆ ที่จะส่งเข้าไปในกลุ่มประเทศของตนโดยตั้งกำแพงภาษีสูงแต่อย่างไรก็ตามกลุ่มประเทศประชาคมเศรษฐกิจยุโรปได้ผูกพันกับข้อตกลงว่าด้วยภาษีศุลกากร และการค้าระหว่างประเทศ (general agreement on tariff and trade; GATT) ซึ่งเป็นกฎหมายระหว่างประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2510 ในการเจรจา Kenedy Round โดยเก็บภาษีศุลกากรนำเข้ามันสำปะหลัง เพียงร้อยละ 6 เพื่อแลกเปลี่ยนผลประโยชน์กับสิทธิที่จะได้รับจากสินค้าอื่น ๆ เป็นการตอบแทน ดังนั้นกลุ่มประเทศดังกล่าวจึงใช้มันอัดเม็ด และมันเส้นจากประเทศไทยเป็นอาหารสัตว์ทดแทนธัญชาติ และได้พยายามจำกัดปริมาณการนำเข้ามันสำปะหลัง (เจริญศักดิ์, 2519)

สตาร์ชมันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมกระดาษ และอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยนิยมใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด เพิ่มความคงตัว เพิ่มเนื้อสัมผัสดูดซับน้ำหรือน้ำมัน และป้องกันการแยกตัวของส่วนผสม (Luallen, 1985) แต่การใช้ประโยชน์จากสตาร์ชดิบในอาหารโดยเฉพาะอาหารสำเร็จรูปยังมีข้อจำกัด เนื่องจากสตาร์ชดิบไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส แต่สามารถดูดซับน้ำได้บางส่วนเมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้น พันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลของสตาร์ชจะคลายตัว โมเลกุลน้ำไปจับเป็นพันธะร่วมกับโมเลกุลสตาร์ชในส่วนที่เกาะตัวกันหนาแน่น ทำให้การยึดเกาะของโมเลกุลส่วนนี้คลายตัวออก เม็ดสตาร์ชจึงเริ่มพองตัว และสูญเสียเงาจากบาท (birefringence) ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน และอุณหภูมิที่เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว เรียกว่า อุณหภูมิเจลาติไนเซชัน (gelatinization temperature) สามารถวัดได้โดยกล้องจุลทรรศน์คอพเลอร์แบบแทนร้อน (Wurzburg, 1972) ค่าที่วัดได้จะต่ำกว่าอุณหภูมิที่กราฟเริ่มมีความหนืด (pasting temperature) ซึ่งวัดโดยเครื่องบราเบนเดอร์อะมิโลกราฟ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่สตาร์ชมีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เม็ดสตาร์ชจะพองตัวเต็มที่ถ้ายังเพิ่มอุณหภูมิ และเวลาต่อไปอีก

เมื่อแป้งจะสลายตัว และความหนืดจะลดลงทันทีตลอดช่วงให้ความร้อน และการกวน (Hullinger, 1967; Kruker and Murray, 1979) เมื่อลดอุณหภูมิลงโมเลกุลอะมิโลสจะมารวมตัวกันใหม่ทำให้ความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) แป้งไขมันสำปะหลังดิบจะเกิดการรีโทรเกรเดชันช้า เนื่องจากมีปริมาณอะมิโลส น้อย และโมเลกุลอะมิโลสมีขนาดใหญ่โอกาสที่จะมาจับยึดกันจึงเกิดได้ยาก (Kruker and Murray, 1979; Daniel and Whistler, 1985)

The Food Additives and Contaminants Committee Report on Modified Starches (1980) ให้ความหมายของแป้งดัดแปรว่าเป็นผลิตภัณฑ์ใด ๆ ที่ได้จากแป้งโดยการดัดแปรคุณสมบัติ เดิมของแป้งให้เปลี่ยนไปมากกว่าหนึ่งอย่าง แต่ไม่รวมอาหารบำรุงจากข้าวบาร์เลย์คั่ว หรือน้ำตาลกลูโคส

การดัดแปรแป้ง

Greenwood (1976) แบ่งการดัดแปรแป้งเป็น 2 ประเภท คือ การดัดแปรโดย วิทยาทาน และการดัดแปรโดยวิธีทางเคมี

1. การดัดแปรแป้งโดยวิธีทางวิทยาทาน

แป้งที่ดัดแปรโดยวิธีนี้ เรียกว่า pregelatinized starch หรือ pregeled starch หลักการ คือ ให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งที่ข้นหนืด จนมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเจลาตินในเซชันแล้วทำให้แห้งทันทีเพื่อป้องกันการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Howling, 1974) วิธีการที่นิยม คือ นำแป้งเข้มข้น ร้อยละ 40-50 ใส่เข้าเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) ซึ่งอาจใช้แบบลูกกลิ้งเดี่ยว (single drum dryer) หรือ ลูกกลิ้งคู่ (double drum dryer) ความร้อนจากผิวหน้าลูกกลิ้งที่ได้จากไอน้ำจะทำให้แป้งเกิดเจลาตินชัน และมีการระเหยน้ำพร้อมไปด้วยแป้งดัดแปรที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ ฉาบผิวหน้าของลูกกลิ้ง ซึ่งจะมีใบมีดที่ติดกับเครื่องขูดออกแล้วนำแป้งดัดแปรที่ได้ไปบดร่อนผ่านตะแกรงตามขนาดที่ต้องการ นอกจากนี้อาจผลิตโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ (spray dryer) หรือ เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ก็ได้ (Howling, 1974; Snyder, 1984) แป้งดัดแปรนี้สามารถละลายในน้ำเย็นและให้ความข้นหนืดแก่ผลิตภัณฑ์

ประโยชน์ที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารช่วยให้เตรียมอาหารได้ง่ายสะดวกรวดเร็วโดยการเติมน้ำเย็นก็จะรับประทานได้ทันที ได้แก่ การใช้ใน instant-type pudding ใช้เป็นส่วนผสมของเค้ก (cake mixes) เพื่อเพิ่มการดูดซับน้ำใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อเพื่อรักษาความชุ่มน้ำ (moisture stabilizer) ใช้เป็นส่วนผสมของซูปผง (dry soup mixes) เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันโดยการจับตัวกับไขมัน (Heckman, 1977)

2. การดัดแปรสตาร์ชโดยวิธีทางเคมี

Greenwood (1976) แบ่งการดัดแปรทางเคมีเป็น 2 ประเภท ได้แก่ degradative chemical modification คือ การดัดแปรโดยวิธี conversion และ nondegradative chemical modification คือ การดัดแปรโดยวิธี chemical substitution และครอสลิงกิง

2.1 degradative chemical modification การดัดแปรสตาร์ชแบบนี้จะทำให้โครงสร้างของสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลสตาร์ชแตกตัว ซึ่งจะเกิดที่ตำแหน่ง α -D(1-4)-glucosidic linkage เป็นส่วนมากทำให้ความหนืดของสตาร์ชลดลง รวมถึงการเกิดออกซิเดชันของหมู่ไฮดรอกซิลเป็นหมู่อัลดีไฮด์คีโตน หรือ คาร์บอกซิล (Fleche, 1985)

2.1.1 การดัดแปรสตาร์ชด้วยกรด (acid conversion หรือ acid thinning) สตาร์ชดัดแปรที่ได้ เรียกว่า acid-thinned หรือ thin-boiling starch เนื่องจากเมื่อสตาร์ชสุกจะเหนียวน้อยมากเตรียมโดยการย่อยสลายสารแขวนลอยสตาร์ชด้วยกรด ซึ่งนิยมดัดแปรในสตาร์ชข้าวโพด (Moore and others, 1984) ความเข้มข้นร้อยละ 36-40 ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชประมาณ 40-60 องศาเซลเซียส กรดที่นิยมใช้ คือ กรดซัลฟูริก และ กรดไฮโดรคลอริก กรดจะตัด α -D(1-4)-glucosidic linkage ของอะมิโนเพกทินได้ง่ายทำให้ขนาดโมเลกุลเล็กลงเมื่อความหนืดได้ตามต้องการจะทำให้ปฏิกิริยาหยุด โดยการทำให้เป็นกลางกรองล้างแล้วทำให้แห้ง (Wurzburg, 1972; Trimble, 1983; Wurzburg, 1986) สตาร์ชที่ได้มีความหนืดในขณะร้อน (hot paste viscosity) ต่ำกว่าสตาร์ชดิบทำให้ใช้สตาร์ชได้ในปริมาณที่มากขึ้น (Heckman, 1977)

2.1.2 การดัดแปรสตาร์ชด้วยการฟอก (alkaline conversion หรือ oxidation) เตรียมโดยการย่อยสลายสารแขวนลอยสตาร์ชด้วยสารออกซิไดซ์ เช่น โซเดียมไฮพอกโลไรท์ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต หรือ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ สารเคมีที่นิยมใช้ คือ ค่าง

พวกไฮพอกคลอไรท์ (Wurzburg, 1986) ปฏิกิริยาจะเกิดแบบสุ่มโดยหมู่ไฮดรอกซิลจะถูกออกซิไดซ์เป็นหมู่แอลดีไฮด์คีโตน หรือ คาร์บอกซิล ในขณะที่เดียวกันโมเลกุลของสตาร์ชจะมีขนาดเล็กลง สตาร์ชตัดแปรที่ได้จากการฟอกจะใส และ มีแนวโน้มในการเกิดเจลน้อยกว่าสตาร์ชที่ตัดแปรด้วยกรด เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลจะป้องกันการรวมตัวกันใหม่ของโมเลกุลสตาร์ช (Wurzburg, 1972; Trimble, 1983) นอกจากนี้ยังฟอกสีที่มีในธรรมชาติของสตาร์ชให้ขาวขึ้นและช่วยกำจัดจุลินทรีย์พวกทANNER (Hood, 1982; Wurzburg, 1986)

2.1.3 pyroconversion หรือ dextrinization เดกซ์ทรินเกิดจากการไฮโดรไลซ์โมเลกุลขนาดใหญ่ของสตาร์ช ทำให้สตาร์ชดังกล่าวมีปริมาณน้ำตาล หรือของแข็งที่ละลายในน้ำเย็นได้มากกว่าสตาร์ชตัดแปรชนิดอื่น ๆ (Luallen, 1985) สามารถผลิตได้โดยใช้เอนไซม์หรือกรดในสภาพสารแขวนลอย หรือ ในรูปสตาร์ชแห้ง (dry granular form) ซึ่งการตัดแปรที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง หรือ บัฟเฟอร์ เช่น แอมโมเนียมคาร์บอเนต หรือ ไตรโซเดียมฟอสเฟต ในขณะเดียวกันก็ให้ความร้อนด้วยการหยุดปฏิกิริยาทำโดยการให้ความเย็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มี 3 ชนิด คือ white dextrans, yellow dextrans และ british gums

white dextrans conversions ปฏิกิริยาเกิดแบบไฮโดรไลซิส มีความชื้นต่ำและใช้กรดในปริมาณสูง และ อุณหภูมิต่ำ 110-130 องศาเซลเซียส เป็นตัวช่วยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีขาวถึงขาวหม่นละลายในน้ำเย็นได้

yellow dextrans conversions กระบวนการผลิตจะใช้กรดในปริมาณสูง ความชื้นต่ำ และ อุณหภูมิค่อนข้างสูง 135-160 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความหนืดต่ำ และ ละลายในน้ำเย็นได้ดีกว่า white dextrin ที่ความหนืดเท่ากัน

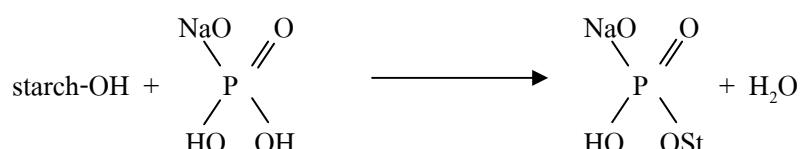
british gums เตรียมโดยใช้กรดเล็กน้อยหรือไม่ใช้เลย และ อุณหภูมิ 150-180 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์นี้มีความหนืดสูงสุด (Wurzburg, 1972) สีนํตาลอ่อนถึงนํตาลเข้ม

การใช้ประโยชน์ เช่น เพิ่มความกรอบในมันฝรั่งทอด (french fries) โดยการจุ่มมันฝรั่งที่จะทอดในสารละลายเดกซ์ทริน เพื่อเคลือบผิวและเป็นการลดปริมาณการซึมผ่านของน้ำมันในขณะที่ทอด (Heckman, 1977) และใช้โรยเคลือบ (glaze) ในผลิตภัณฑ์ขนมอบบางชนิด (Trimble, 1983)

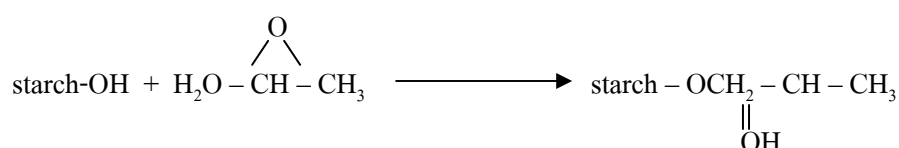
2.2 nondegradative chemical modification ได้แก่ chemical substitution และ ครอสลิงกิง

2.2.1 chemical substitution การดัดแปรนี้จะป้องกันการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชในสารละลายโดยเฉพาะอะมิโลสซึ่งไหลออกมาในระหว่างการให้ความร้อน ทำโดยการลดจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลลงทำให้การรวมตัวระหว่างโมเลกุลลดลง (Fleche, 1985) Fleche (1985) แบ่งการดัดแปรโดยวิธีนี้เป็น 2 แบบ คือ esterification และ etherification

esterification สารเคมีที่ใช้ เช่น โซเดียมอโทฟอสเฟต ได้ starch phosphate monoester ดังสมการ (Wurzburg, 1986)



Etherification สารเคมีที่ใช้ เช่น โพรไพลีนออกไซด์ ได้ hydroxypropyl starch ดังสมการ



2.2.2 การดัดแปรสตาร์ชแบบครอสลิงกิง เป็นวิธีการที่ใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีกลุ่มที่ทำปฏิกิริยาได้ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป ทำปฏิกิริยากับสตาร์ช (Hullinger, 1967) พันธะข้ามที่เกิดขึ้นจะเป็นพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) ซึ่งจะช่วยให้เสริมพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ที่ยึดเม็ดสตาร์ชเข้าด้วยกัน ทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น (Rutenberg and Solarek, 1984) Rowland and Bauer (1938) ดัดแปรสตาร์ชโดยใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ทำปฏิกิริยากับสตาร์ชในสภาวะที่เป็นกรด อุณหภูมิ 75 องศาฟาเรนไฮต์ เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทำเยื่อกระดาษ Felton and Schopmeyer (1943) ใช้ฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์ในระดับต่ำๆ (ร้อยละ 0.15-0.25 ของน้ำหนักสตาร์ช) ได้ไคสตาร์ชฟอสเฟต ซึ่งมีการพองตัวที่จำกัด และ มีความหนืดที่พอดีในขณะร้อนช่วยป้องกันการสลายตัวของเม็ดสตาร์ช Pierson (1947) นำสตาร์ชกับปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์เข้มข้นร้อยละ 3-10 ของน้ำหนักสตาร์ชที่ pH 2.4-4.0 แล้วนำมากรองทำให้แห้งจนมีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 20

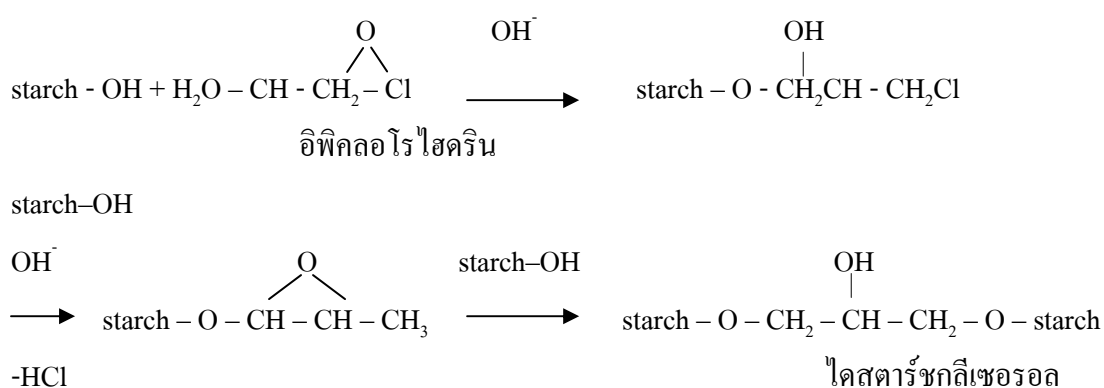
จากนั้นให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 150-220 องศาฟาเรนไฮต์ ประมาณ 2-24 ชั่วโมง เพื่อให้ปฏิกิริยาครอสลิงกิงเกิดอย่างสมบูรณ์ Kerr and Schink (1948) เตรียมโดยใช้สตาร์ชพืชหัวทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ หรือ อะเซทาลดีไฮด์เข้มข้นร้อยละ 0.075-0.5 ของน้ำหนักสตาร์ช ใช้เวลา 3-28 ชั่วโมง Caldwell (1949) ให้สารแขวนลอยสตาร์ชทำปฏิกิริยากับ mixed anhydride ของ linear dibasic acids และ acetic หรือ propionic acid Konigsberg (1950) พบว่า สตาร์ชในสภาพสารแขวนลอยที่ยังไม่เจลาติไนซ์จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีเท่ากับการใช้ในสภาพผงแห้ง ภายใต้สภาพเบส เมื่อใช้ aliphatic dihalides และ epoxyhalogen compounds เช่น อีพิกลอโรไฮดริน ในกรณีของอีพิกลอโรไฮดรินได้ ไคสตาร์ชกลีเซอรอล โดยระดับการครอสลิงกิงขึ้นกับสภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา Kerr and Claveland (1957) ใช้โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต ในการเตรียมสตาร์ชตัดแปรภายใต้สภาพเบส 15 วัน ได้ ไคสตาร์ชฟอสเฟต Wurzburg (1960) ใช้ mixed anhydride ซึ่งเตรียมโดยใช้กรดซัลฟริก หรือ กรดอะซิติก ผสมกับ propionic หรือ acetic anhydride เพื่อเพิ่มความคงตัวแก่ สตาร์ช Srivastava and Patel (1973) ใช้สตาร์ชมันสำปะหลังที่มีความหนืดแตกต่างกัน 2 ตัวอย่างแล้วใช้โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต อีพิกลอโรไฮดริน และ ฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์ พบว่า อีพิกลอโรไฮดรินเป็นสารที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยใช้ปริมาณเพียงร้อยละ 0.01-0.15 ของน้ำหนักสตาร์ช และ สตาร์ชมันสำปะหลังที่มีความหนืดสูง (540 บี.ยู.) จะใช้ปริมาณสารเคมีในการครอสลิงกิงต่ำกว่าสตาร์ชที่มีความหนืดต่ำ (200 บี.ยู.)

วิธีครอสลิงกิงสามารถใช้ร่วมกับวิธีอื่นได้ Hofreiter and others (1960) ใช้อีพิกลอโรไฮดรินก่อนแล้วจึงใช้วิธีฟอกด้วย periodate และ chlorous acid ได้ cross-linked dicarboxyl starch ซึ่งมีความหนืดที่คงตัวที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ๆ ได้และยังมีความคงตัวที่อุณหภูมิต่ำด้วย Tushhoff and others (1969) ใช้ โพโรไฟลินออกไซด์ แล้วทำปฏิกิริยาต่อด้วยฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์ได้ phosphorus-oxyhalide cross - linked hydroxypropyl cereal starch ซึ่งมีความหนืดสูงในสภาพที่ให้ความร้อนภายใต้ความดัน และ ทนต่อสภาพการแช่แข็งและการละลายได้ดี

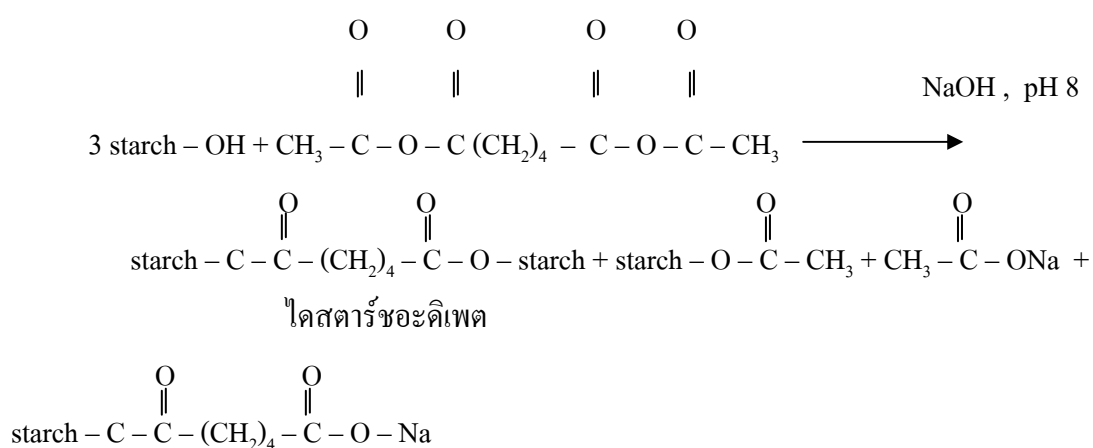
นอกจากนี้การตัดแปรแบบครอสลิงกิงนี้ได้มีการศึกษาในวัตถุดิบพวกเมล็ดข้าว เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะต่อการบรรจุกระป๋อง Rutledge and others (1972) ศึกษาโดยใช้ อีพิกลอไรด์ไฮดรินปรับปรุงความคงตัวของข้าวก่อนการบรรจุกระป๋อง Isam and others (1974) พบว่า น้ำหนักโมเลกุลขนาด และ รูปร่างของสารเคมีที่ใช้การตัดแปรข้าวมีความสัมพันธ์กับผลึกของสตาร์ช จากการศึกษาพบว่าอีพิกลอโรไฮดรินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กและรูปร่างเกือบเป็นเส้นตรงจะมีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยามากกว่าฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์ และ โซเดียมไตรเมตา-

ฟอสเฟต Rutledge and others (1974) ปรับปรุงความคงตัวในการบรรจุกระป๋องของข้าวนึ่ง โดยใช้ อีพิกลอโรไฮดริน ฟอสฟอรัสออกซิคโลไรด์ และ โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต พบว่า ข้าวที่ดัดแปรจะต้านทานต่อสภาพการทำให้สุกที่นานเกินไปในกระบวนการผลิต โดยใช้ความร้อนมีการสูญเสียของแข็งต่ำ และ ผลทางด้านประสาทสัมผัสดีกว่าตัวอย่างข้าวบรรจุกระป๋องที่ไม่ผ่านการดัดแปรมาก่อน พบว่า ข้าวที่ใช้อีพิกลอโรไฮดริน และ โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตจะดีกว่าข้าวที่ใช้ฟอสฟอรัสออกซิคโลไรด์ พบว่า ข้าวที่ดัดแปรจากสารเคมีทั้ง 3 ชนิด ซึ่งกล่าวมาแล้วจะเก็บที่อุณหภูมิห้องได้ดีกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปร

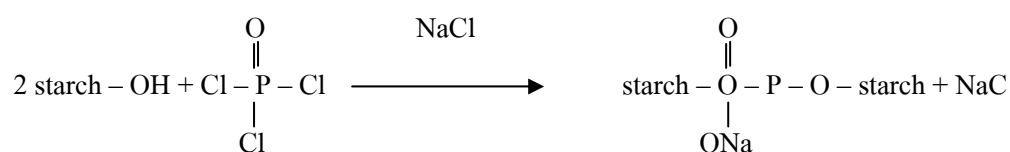
วิธีโครสลิงกิงนิยมใช้กับสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวฟ่างเหนียว และ สตาร์ชข้าวโพดเหนียว (Knight, 1969) อีพิกลอโรไฮดริน เมื่อทำปฏิกิริยากับสตาร์ชได้ไดสตาร์ช-กลีเซอรอลดังสมการ (Rutledge and others, 1972)



และ mixed adipic-acetic anhydride ไดสตาร์ชดัดแปรรูปไดสตาร์ชอะดิเพต ดังสมการ (Rutenberg and Solareck, 1984)



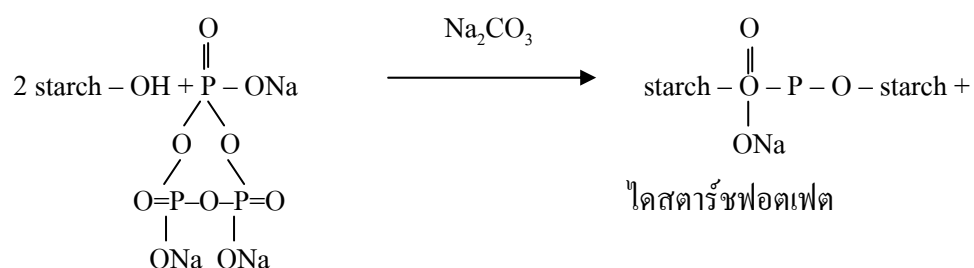
และฟอสฟอรัสออกซิกลอไรด์ ได้สตาร์ชดัดแปรรูปไดสตาร์ชฟอสเฟต ดังสมการ (Rutenberg and Solarek, 1984)



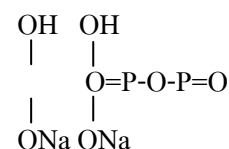
ฟอสฟอรัสออกซิกลอไรด์

ไดสตาร์ชฟอสเฟต

โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตได้สตาร์ชดัดแปรรูปไดสตาร์ชฟอสเฟต ดังสมการ (Rutenberg, 1980)



ไดสตาร์ชฟอสเฟต



โซเดียมไดไฮโดรเจนไพโรฟอสเฟต

สตาร์ชดัดแปรที่ใช้อาหารมีเพียงไดสตาร์ชฟอสเฟต และ ไดสตาร์ชอะดิเฟต (Wurz-burg, 1986) ส่วนสารเคมีอื่นๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น aldehyde, dialdehyde, vinyl sulphone, diepoxides, 1,3,5-trichloro และ 1,3,5-triacryl S-triazine, hexamethylene di-isocrylamide, bis-hydroxy methyl ethylene urea และ N,N-methylene-bisacrylamide โดยมีจุดประสงค์เพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติของสตาร์ชดิบให้ใช้ในอุตสาหกรรมได้มากขึ้น ดังนี้คือ เปลี่ยนลักษณะที่เหนียวของสตาร์ชสุกเป็นลักษณะที่อ่อนนุ่ม มีความรู้สึกละเอียดขึ้นทำให้โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชแข็งแรงไม่แตกหักในระหว่างการให้ความร้อน แรงเหวี่ยงจากเครื่องมือ หรือ ภายใต

สภาพที่เป็นกรดสูง และ ให้ความหนืดของสตาร์ชในผลิตภัณฑ์สุดท้ายสูง (Knight, 1969; Radley, 1976) สตาร์ชตัดแปรแบบคอสลิ่งกิงเตรียมโดยการเติมสารเคมีในสารแขวนลอยสตาร์ชเข้มข้นร้อยละ 35-41 ซึ่งมีสภาพเป็นเบส (pH 8 - 11) โดยเปลี่ยนที่เดิมจะเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาคอสลิ่งกิง หรือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Knight, 1969; Hamilton และ Paschall, 1967) สตาร์ชและสารเคมีจะผสมเข้าด้วยกัน โดยการกวนด้วยความเร็วพอเหมาะ เพื่อรักษามะล็ดสตาร์ชไม่ให้แตกหัก หรือ ถูกทำลายในระหว่างเกิดปฏิกิริยา (Radley, 1976) ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชันของสตาร์ช (20-50 องศาเซลเซียส)

ระดับการคอสลิ่งกิงขึ้นกับปริมาณสารเคมี ความเข้มข้นของเบส ปริมาณเกลือ อุณหภูมิ เวลาในการเกิดปฏิกิริยา และ ปัจจัยอื่น ๆ (Mitchell, 1972; Knight, 1974) ปริมาณสารเคมี ปกติการใช้ความเข้มข้นเพียงร้อยละ 0.005 - 0.1 ของน้ำหนักสตาร์ชก็เพียงพอที่จะช่วยให้สตาร์ชมีความคงตัวดี (Wurzburg, 1986; Kerr and Claveland, 1957) พบว่า ปริมาณของโซเดียมไคโรเมตาฟอสเฟตเพียงร้อยละ 0.03 ของน้ำหนักสตาร์ช ที่ pH 11 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จะทำให้ความหนืดของสตาร์ชข้าวโพดสูงขึ้นและในสภาวะเดียวกันถ้าใช้โซเดียมไคโรเมตาฟอสเฟต ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักสตาร์ชจะได้สตาร์ชที่ไม่เกิดเจลาตินในชื่อน้ำเดือด Knight (1974) ได้ศึกษาปฏิกิริยาคอสลิ่งกิงของสตาร์ชข้าวฟ่างเหนียว โดยใช้ฟอสฟอรัสออกซิคโลไรด์ ระดับต่าง ๆ กัน คือ ร้อยละ 0.02, 0.05 และ 0.07 ของน้ำหนัก สตาร์ช พบว่า เมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสออกซิคโลไรด์เพิ่มขึ้น ระดับการคอสลิ่งกิงจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยความเข้มข้นของเบส หรือ pH ของสารละลายเบสจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคอสลิ่งกิง โดยระดับการคอสลิ่งกิงจะเพิ่มตาม pH ที่เพิ่มขึ้น (Kerr and Claveland, 1957; Kerr and Claveland, 1959) ยกเว้นสารเคมีในกลุ่มแอลดีไฮด์ เช่น ฟอรัลดีไฮด์ ซึ่งสารเคมีในกลุ่มนี้จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีในสภาพกรด ถ้า pH มากกว่า 7.5 ปฏิกิริยาจะหยุด (Robert, 1965) แต่ถ้าสตาร์ชดูดซับเบสไว้มากกว่าความเข้มข้นวิกฤต (critical concentration) จะทำให้สตาร์ชเกิดเจลาตินในชื่อน้ำได้ค่าความเข้มข้นวิกฤตจะขึ้นกับชนิดของสตาร์ช และ ชนิดของเบส (Leach, 1965) เบสที่ใช้ในการปรับ pH ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แต่เบสที่ใช้มากในทางการค้า คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากราคาถูกและมีประสิทธิภาพมาก (Petersen, 1975) pH ที่นิยมใช้จะอยู่ในช่วง 8 - 11 Kerr and Claveland (1957) ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริกปรับ pH ที่ 8, 9, 10 และ 11 โดยใช้โซเดียมไคโรเมตาฟอสเฟต ร้อยละ 0.6 ของน้ำหนักสตาร์ชข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่า ระดับการคอสลิ่งกิงจะเพิ่มเมื่อ pH เพิ่มขึ้นและที่ pH 8 ถ้าใช้เวลามากกว่า 24 ชั่วโมง สารเคมีจะถูกไฮโดรไลซ์ Knight (1974) ศึกษาผลความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์

(ร้อยละ 0.3, 0.6 และ 0.9) กับสสารสีขาวฟางเหนียวนาน 30 นาที พบว่า เมื่อความเข้มข้นของ โซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นระดับการอสลึงกิง และ ความคงตัวของสสารที่ดัดแปรในสภาพกรดจะ เพิ่มขึ้น

ปริมาณเกลือโดยทั่วไปแล้วเกลือ (ร้อยละ 0.1-10 ของน้ำหนัก) จะทำให้กรดของ ตัวสสาร และ การเกิดเจลาตินของสสารลดลงในสภาพที่มีความเข้มข้นของเบสสูง เนื่องจาก เกลือทำให้สสารดูดน้ำได้น้อยลงส่งผลให้เม็ดสสารมีการพองตัวน้อยกว่า และ ไม่เกิดเจลาตินขึ้นในช่วงทำปฏิกิริยาการอสลึงกิง นอกจากนี้เกลือยังช่วยป้องกันการชะล้างโมเลกุลสสาร และ เพิ่มความคงตัวของเม็ดสสารต่อสารเคมี เช่น ฟอสฟอรัสออกซิคัลไรด์ โดยช่วยให้การแทรกซึม ของสารเคมีเข้าไปในเม็ดสสารได้ง่ายขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาการอสลึงกิงเกิดได้ดี และสม่ำเสมอมากขึ้น (Rutledge and orthes, 1972; Petersen, 1975; Rutenberg and Solarek, 1984; Knight, 1974) ศึกษา ผลของโซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ 0.06, 0.12 และ 1.0) ต่อฟอสฟอรัสออกซิคัลไรด์ พบว่า เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์สูงขึ้น ระดับการเกิดปฏิกิริยาจะสูงขึ้นด้วย

อุณหภูมิขึ้นกับชนิดสารเคมี พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อปฏิกิริยาของอิพิคลอโร-ไฮดรินและฟอสฟอรัสออกซิคัลไรด์น้อยมากปฏิกิริยาสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องให้ความร้อน หรือ ความเย็นส่วนโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตปฏิกิริยาการอสลึงกิงจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในสภาวะเดียวถ้าใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียสจะต้องใช้ปริมาณสารเคมี มากขึ้น (Kerr and Claveland, 1957; Knight, 1969; Knight, 1974)

สารเคมีประเภทฟอสเฟตที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาการอสลึงกิง ได้แก่ โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต หรือ ฟอสฟอรัสออกซิคัลไรด์ ส่วนของโซเดียมที่เพิ่มเติมในระบบ เช่น โซเดียมคาร์บอเนต หรือ โซเดียมคลอไรด์จะทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการอสลึงกิง Kerr and Claveland (1957) ศึกษาผลของโซเดียมในสสารสีขาวโพลโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ หรือ โซเดียมคาร์บอเนตร่วมกับ โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตที่ความเป็นกรดและเบส 11.2-11.6 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่า ตัวอย่างที่เติมโซเดียมคลอไรด์ หรือ โซเดียมคาร์บอเนต จะเกิดปฏิกิริยาการอสลึงกิงได้ดีพอ ๆ กัน และปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมโซเดียมคลอไรด์ หรือโซเดียมคาร์บอเนตนอกจากนี้ ปฏิกิริยาที่ใช้ไตรเมตาฟอสเฟตจะเกิดกรดโซเดียมไพโรฟอสเฟต (acid sodium pyrophosphate) ขึ้นซึ่งเมื่อใช้ร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนตจะทำให้ปฏิกิริยาการอสลึงกิงนั้นมีสภาพคล้ายบัพเฟอร์ขึ้น

ระดับการเกิดปฏิกิริยาโครสลิงกิง โดยทั่วไปแล้วไม่สามารถวิเคราะห์ระดับการโครสลิงกิงได้โดยตรง (Radley, 1976; Rutenberg and Solarek, 1984) แต่สามารถวัดได้โดยวิธีทางกายภาพ ได้แก่ การวัดความชื้นหนืด ความสามารถในการพองตัว การละลาย และ ความต้านทานต่อแรงเฉือน (Hullinger, 1976; Rutenberg and Solarek, 1984)

คุณสมบัติของสตาร์ชตัดแปรแบบโครสลิงกิง จำแนกเป็น 6 ลักษณะ คือ

1. ลักษณะของเม็ดสตาร์ชเมื่อตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์จะไม่พบการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสตาร์ชหลังจากการเกิดปฏิกิริยาโครสลิงกิงที่อุณหภูมิห้อง (Wurzburg, 1986) สตาร์ชยังคงมีเงากาบภาพ แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดในบริเวณที่เม็ดสตาร์ชจับตัวกันหลวม ๆ (amorphous area) (Savarin, 1969; Rutenberg and Solarek, 1984) Hood and Seifried (1974) ศึกษารูปร่างของสตาร์ชมันสำปะหลังทั้งก่อนและหลังการตัดแปรโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่า เม็ดสตาร์ชจะมีรูปร่างกลมหรือคล้ายเกือกม้า (truncated) ผิวของเม็ดสตาร์ชจะเรียบ (Wurzburg, 1986) ไม่แตกต่างกัน

2. ลักษณะการเกิดเจลในเซชันของสตาร์ชตัดแปรการตัดแปรสตาร์ชแบบโครสลิงกิงในระดับต่ำพันธะเคมีที่เกิดขึ้นยังไม่มากพอที่จะยับยั้งการแตกหักของเม็ดสตาร์ช ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนต่อไปเรื่อย ๆ ความหนืดจะลดลง เมื่อระดับการโครสลิงกิงเพิ่มขึ้นเม็ดสตาร์ชจะต้านทานแตกหักได้มากขึ้นด้วยทำให้ความหนืดหลังจุดที่สตาร์ชมีความหนืดสูงสุด และ ช่วงที่คงไว้ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ที่วัดจากเครื่องบราเบนเดอร์ไม่ลดลงหรือลดลงน้อยมากเมื่อระดับการโครสลิงกิงยังเพิ่มต่อไปอีกกราฟบราเบนเดอร์จะไม่ปรากฏความหนืดสูงสุด แต่ ความหนืดจะเพิ่มต่อไปเรื่อย ๆ ตลอดช่วงให้ความร้อนถ้าระดับการโครสลิงกิงสูงมากความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ หรือไม่เพิ่มเลย (Srivastava and Patel, 1973 and Rutenberg and Solarek, 1984)

ในสภาพอุณหภูมิสูง เช่น การทำให้สุกภายใต้ความดัน (pressure cooking) สเตอริไลเซชัน (sterilization) เป็นต้น การตัดแปรสตาร์ช แบบโครสลิงกิงจะทำให้สตาร์ชสุก (paste) มีความคงตัวดี เม็ดสตาร์ชเกิดการแตกหักน้อยสตาร์ชข้าวฟ่างเหนียวจะมีความหนืดน้อยลง และ มีการละลายมากขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตที่ใช้ความดัน แต่สตาร์ชที่ตัดแปรแบบโครสลิงกิงจะมีความหนืดและการละลายเกือบคงที่ (Wurzburg, 1986)

3. คุณสมบัติของสสารที่สุกสสารที่ตัดแปรแบบโครสลิงกิงจะมีพันธะเคมีเกิดขึ้นทำให้เม็ดสสารที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และต้านทานต่อการแตกหักสสาร เมื่อสุกจึงมีเนื้อสัมผัสนุ่ม (short paste) นำรับประทานมากขึ้น (Wurzburg, 1986)

4. ความสามารถในการพองตัวของเม็ดสสาร ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน สสารจะไม่ละลายน้ำ แต่จะมีการดูดซับน้ำได้อย่างจำกัดน้ำจึงเข้าไปในส่วนที่โมเลกุลสสารยึดเกาะกันอย่างหลวม ๆ และ พองตัวโดยบริเวณที่โมเลกุลสสารยึดเกาะกันแน่น (crystalline area) ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อทำให้น้ำจะแยกออกมาโดยไม่มีผลต่อคุณสมบัติของเม็ดสสาร (Rutenberg, 1980) เนื่องจากส่วนที่โมเลกุลสสารยึดเกาะกันอย่างหลวม ๆ ทำให้เม็ดสสารมีความยืดหยุ่น (Wurzburg and Szymanski, 1970) เมื่อทำให้สสารร้อนในน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน พันธะไฮโดรเจนที่ยึดอย่างเหนียวแน่นจะอ่อนลง และถูกทำลายน้ำจึงผ่านเข้าได้และจับกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ เม็ดสสารจะเกิดการพองตัวต่อไปเรื่อย ๆ ในที่สุดเม็ดสสารจะเกิดการแตก (Leach, 1965; Wurzburg, 1986) อะมิโลสจะไหลจากเม็ดสสารทำให้การละลายของสสารเพิ่มขึ้น (Savarin, 1969; Hood, 1982) รูปแบบการพองตัว และการละลายขึ้นกับชนิดของสสาร (Leach and others, 1959)

การตัดแปรแบบโครสลิงกิงทำให้เม็ดสสารสามารถต้านทานแรงเค้นจากเครื่องมือ และอุณหภูมิสูงได้ส่วนที่ละลายออกจากเม็ดสสารที่พองตัวลดลง เมื่อระดับการโครสลิงกิงต่ำลงการละลายของเม็ดสสารจะเพิ่มขึ้น (Wurzburg and Szymanski, 1970; Hood and Seifried, 1974; Wurzburg, 1986) Chabot and others (1976) พบว่า การตัดแปรสสารแบบโครสลิงกิงจะทำให้การพองตัวของเม็ดสสารลดลงโดยเม็ดสสารที่พองตัวจะมีการแตกหักน้อยลงโดยเฉพาะที่ระดับโครสลิงกิงสูงทำให้อะมิโลสที่ออกจากเม็ดสสารลดลง หรือ ถ้าระดับการโครสลิงกิงสูงพอจะไม่มีสิ่งใดออกจากเม็ดสสารที่อุณหภูมิสูง ๆ

ปัจจัยหลักที่ควบคุมการพองตัวของสสาร คือ ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแห (micellar network) ภายในเม็ดสสารซึ่งขึ้นกับระดับ และ ชนิดของพันธะภายในเม็ดสสาร (Leach, 1965) การพองตัวของสสารจะสัมพันธ์กับระดับการโครสลิงกิงสสารข้าวฟ่างเหนียวมีการพองตัวสูงมากการโครสลิงกิงเพียงเล็กน้อยจะยับยั้งการพองตัวของเม็ดสสาร และ เมื่อระดับการโครสลิงกิงเพิ่มขึ้นการพองตัวจะลดลง ฉะนั้นเม็ดสสารสามารถพองตัวได้เพียงเล็กน้อยในน้ำเดือด

4. ความต้านทานต่อแรงเฉือนของสตาร์ชตัดแปรความหนืดของสตาร์ชจะลดลง เมื่อได้รับแรงเฉือนต่าง ๆ เช่น การเขย่า การผสม หรือการกวน หรือ จากอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต เช่น เครื่องไฮโมจิไนซ์ เครื่องดูดถ่ายตัวอย่าง (pump) เครื่องบดตัวอย่าง (colloid mill) เป็นต้น สตาร์ชจากพืช ราก พืชหัว และ สตาร์ชเหนียว (waxy starch) เมื่อสตาร์ชจะเกิดการแตกหักได้ง่ายกว่าสตาร์ชธัญชาติ การหาความต้านทานต่อแรงเฉือนทดสอบโดยการกวนสตาร์ชสุกนาน 20 นาที ที่ความเร็วที่ต้องการ และ วัดความหนืดหลังการกวนจะพบว่าสตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชข้าวโพดเหนียว จะมีความหนืดต่ำสุดสตาร์ชมันฝรั่งจะมีความหนืดปานกลาง และ สตาร์ชข้าวโพดจะมีความหนืดสูงสุด (Swinkels, 1985) การตัดแปรแบบโครสลิงกิงจะทำให้เม็ดสตาร์ชยึดเกาะกันได้แน่นขึ้น และทำให้สตาร์ชสุกมีความต้านทานต่อแรงเฉือนมากขึ้น (Swinkels, 1985; Wurzburg, 1986)

6. ความสามารถในการย่อยของสตาร์ชตัดแปร FAO(1982) กำหนดให้สตาร์ชตัดแปรแบบโครสลิงกิงด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต หรือ ฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์ ต้องมีฟอสฟอรัสในสตาร์ชมันฝรั่ง หรือ ข้าวสาลีตัดแปรไม่เกินร้อยละ 0.14 แต่ถ้าเป็นสตาร์ชชนิดอื่นมีได้ไม่เกินร้อยละ 0.4

การใช้ประโยชน์สตาร์ชตัดแปรแบบโครสลิงกิง

สตาร์ชตัดแปรแบบโครสลิงกิงจะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้มีความข้นหนืด และความคงตัวสูงในสภาพที่เป็นกรดแรงเฉือนจะสูงกว่า และ การผลิตที่ต้องใช้ความร้อนสูงระดับของสตาร์ชตัดแปรที่ใช้ในอาหารโดยวิธีนี้ขึ้นกับเนื้อสัมผัส และ ความหนืดที่ต้องการในสภาวะการผลิตต่าง ๆ กันเช่น ความเป็นกรดและเบส ความเข้มข้นของน้ำตาล อุณหภูมิในการเตรียม และ กระบวนการผลิตที่ใช้ (Rogols, 1986)

การผลิตอาหารโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ เป็นกระบวนการผลิตแบบผสมทำให้วัตถุดิบสุกที่อุณหภูมิประมาณ 121-127 องศาเซลเซียส ความดันประมาณ 300-700 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Harmann and Harper, 1974) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการผลิตสูงสามารถผลิตอาหารได้หลายประเภทอย่างรวดเร็วได้ผลิตกันได้ในปริมาณมาก ค่าใช้จ่ายต่ำ สิ้นเปลืองแรงงานน้อย ได้แก่ อาหารเด็กอ่อน เนื้อเทียม อาหารว่าง เป็นต้น โดยเฉพาะอาหารว่างที่ผลิตโดยเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ จะกรอบ และ มีการพองตัวดีมีรูปร่าง และ ขนาดหลายแบบตามความต้องการขึ้นกับชนิดของหน้าตัด (die) และความเร็วในการตัดของใบมีด (knife) ระหว่างการทำงานจะเกิดแรงเฉือนสูงในช่วง

ของการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบในเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ ภายใต้สภาวะดังกล่าวสารชนิดนี้จะมีการแตกได้ง่าย (Harper, 1986) การดัดแปรสสารแบบโครสลิงกิงในระดับที่เหมาะสม เมื่อใช้ในส่วนผสมของอาหารว่าง ซึ่งผลิตโดยเครื่องอิเล็กทรอนิกส์จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสดี (specific texture) (Sanderude, 1969; Harper, 1981)

พอร์มัลดีไฮด์

ศาสตราจารย์ Alexander Mikhailovich Butlerov ชาวรัสเซียเป็นผู้ที่ค้นพบพอร์มัลดีไฮด์ ในปี ค.ศ. 1859 อีก 9 ปีต่อมา ศาสตราจารย์ Hofmann August Wilhelm ชาวเยอรมันได้เตรียมพอร์มัลดีไฮด์จากการออกซิไดส์เมทานอลด้วยอากาศ โดยใช้แพลทินัมเป็นสารเร่งซึ่งเป็นจุดเริ่มแรกในการเตรียมพอร์มัลดีไฮด์ใน ทางอุตสาหกรรม (ปรีชา, 2531)

พอร์มัลดีไฮด์เป็นสารประกอบแอลดีไฮด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสุด ผลกระทบของแอลดีไฮด์ที่มีต่อมนุษย์ คือ แอลดีไฮด์ที่มีเซนยาว แอลดีไฮด์ที่ไม่เสถียรจะมีอันตรายมากกว่า แอลดีไฮด์ที่เสถียร และจะส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางเป็นอันตรายต่อเยื่อจมูกจะทำให้เกิดการระคายเคือง แอลดีไฮด์ที่มีเซนสั้นจะทำให้เกิดการระคายเคือง ในขณะที่แอลดีไฮด์ที่มีเซนยาวจะทำให้เกิดการวิงเวียนศีรษะหรือมีน้ำหนักโมเลกุลเป็น 30.03 ที่อุณหภูมิห้องในสภาพที่มีความชื้นจะอยู่ในรูปของเหลว มีคุณสมบัติดังนี้ (K.C.Khoo and others, 1993)

พอร์มัลดีไฮด์บริสุทธิ์

สูตรโครงสร้าง	CH ₂ O
น้ำหนักโมเลกุล	30.03
มีจุดหลอมเหลว, องศาเซลเซียส	- 118
จุดเดือด , องศาเซลเซียส	- 19

สารละลายโดยทั่ว ๆ ไป

ความเข้มข้นพอร์มัลดีไฮด์, ร้อยละ	37-40
ปริมาณเมทานอล, ร้อยละ	6-15

ความถ่วงจำเพาะ

1.09-1.15

ฟอร์มาลดีไฮด์ที่อยู่ในรูปของเหลวมักจะละลายอยู่ในตัวทำละลายที่มีขั้ว และไม่มีขั้ว ฟอร์มาลดีไฮด์เมื่อละลายในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น อีเทอร์ หรือ คลอโรฟอร์มจะเป็นของผสมที่เป็นเนื้อเดียวกันและเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นขั้ว เช่น น้ำ สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วไม่มีจำหน่ายในท้องตลาดสารละลายประเภทนี้มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์กาวในอุตสาหกรรมไม้ไม่น้อยมาก

น้ำเป็นตัวทำละลายที่เป็นขั้วที่ใช้ละลายฟอร์มาลดีไฮด์มากกว่าตัวทำละลายที่เป็นขั้วอื่นๆ เช่น เมทานอล หรือ เอทานอล น้ำเป็นตัวทำละลายที่มีราคาถูก และยังสามารถเป็นตัวกลางที่ช่วยให้ปฏิกิริยาของฟอร์มาลดีไฮด์กับฟินอล หรือ ยูเรียดีกว่าตัวทำละลายที่เป็นขั้วประเภทแอลกอฮอล์ เพราะแอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับฟอร์มาลดีไฮด์ เกิดเป็นเฮมิอะซิเตล (hemiacetal) ดังสมการ

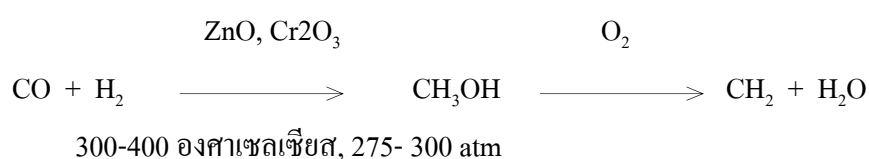


การเกิดเป็นเฮมิอะซิเตลจะลดความเร็วของปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันของฟอร์มาลดีไฮด์กับยูเรีย หรือ ฟินอล ปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์กับน้ำเกิดเป็นเมทานอล และกรดฟอร์มิกนี้จะเกิดในสภาวะที่เป็นด่าง pH สูงกว่า 8 ปฏิกิริยานี้มีชื่อเรียกว่า ปฏิกิริยาแคนิซาโร

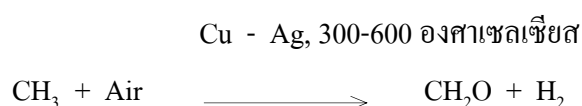
น้ำเป็นตัวทำละลายของฟอร์มาลดีไฮด์ที่สำคัญที่สุด สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำพบฟอร์มาลดีไฮด์อยู่บนผิวน้ำจะอยู่ในรูปของแก๊ส และที่อยู่ในน้ำจะอยู่ในรูปของเมทิลีนไกลคอลโอลิโกเมอร์ และ โพลีเมอร์ของฟอร์มาลดีไฮด์ผสมกันฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจะมีความเข้มข้นระหว่างร้อยละ 37-40 ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์กาวจะมีความเข้มข้นร้อยละ 50 มีเมทานอล และ กรดฟอร์มิกอยู่น้อยสารทั้งสองจะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน เมทานอล จะทำปฏิกิริยากับโอลิโกเมอร์ของฟอร์มาลดีไฮด์เกิดเป็นเฮมิอะซิเตล เป็นผลให้ปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันช้าลง ซึ่งจะทำให้ความลำบากในการควบคุมขนาดโมเลกุลของกาว ปฏิกิริยาระหว่างเมทานอลกับโอลิโกเมอร์หรือโพลีเมอร์ของฟอร์มาลดีไฮด์ (ปรีชา, 2531)

การผลิตฟอร์มัลดีไฮด์ในอุตสาหกรรม

ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผลิตในอุตสาหกรรม ได้มาจากการออกซิไดซ์เมทานอลในอากาศที่มีสารเร่ง และใช้อุณหภูมิสูงเมทานอลอาจสังเคราะห์มาจากแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ดังสมการ



การผลิตฟอร์มัลดีไฮด์จากเมทานอลที่นิยมในอุตสาหกรรมมี 2 ระบบ มีความต่างกันในสารเร่ง คือ ในระบบแรกสังเคราะห์ฟอร์มัลดีไฮด์โดยผสมเมทานอลและอากาศ แล้วผ่านสารผสมทั้งสองไปบนสารเร่งทองแดง และเงินที่อุณหภูมิ 300-600 องศาเซลเซียส จะได้ฟอร์มัลดีไฮด์ไฮโดรเจน และเมทานอลที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกมาผ่านผลผลิตที่ได้นี้ไปในน้ำไฮโดรเจนจะอยู่ในรูปของแก๊สจะถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น ฟอร์มัลดีไฮด์และเมทานอลซึ่งเป็นของเหลวจะถูกแยกออกจากกันโดยการกลั่นเมทานอลที่ไม่ทำปฏิกิริยาจะถูกนำไปผลิตฟอร์มัลดีไฮด์ อีกดังสมการ



การผลิตฟอร์มัลดีไฮด์อีกระบบหนึ่ง โดยผ่านสารผสมเมทานอลกับอากาศไปบนสารเร่งที่เป็นออกไซด์ของโลหะ เช่น เหล็ก โมลิบดีนัม หรือ นิเกิล ที่อุณหภูมิ 350-450 องศาเซลเซียส จะได้ฟอร์มัลดีไฮด์และน้ำออกมาระบบนี้เมทานอลจะถูกออกซิไดส์เป็นฟอร์มัลดีไฮด์เกือบทั้งหมดในระบบนี้จำเป็นจะต้องควบคุมการออกซิไดส์ไม่ให้มีมากเกินไป เพราะจะทำให้เกิดกรดฟอร์มิกผสมออกมาด้วย (ปรีชา, 2531)

ยูเรีย

Rouel ค้นพบยูเรียในปัสสาวะครั้งแรกในปี ค.ศ.1773 ร่างกายของมนุษย์จะขับเอายูเรียออกมาประมาณ 50 กรัมต่อคนต่อวัน ยูเรียเกิดจากการรวมตัวของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับแอมโมเนีย เป็นโคอะมิคของกรดคาร์บอนิก ในปัจจุบันมีการผลิตยูเรียมากกว่า 10 ล้านตัน ในแต่ละปี ยูเรียส่วนใหญ่ใช้ทำปุ๋ย ส่วนที่เหลือใช้ทำการผลิตเป็นกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ และสารพลาสติก (ปรีชา, 2531)

คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของยูเรีย

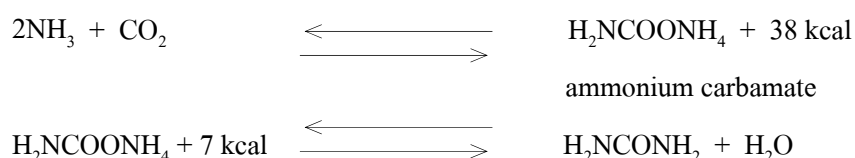
ยูเรียมีสูตรทั่ว ๆ ไปเป็น $\text{N}_2\text{H}_4\text{CO} = \text{NH}_2 - \text{CO} - \text{NH}_2$ มีน้ำหนักโมเลกุล 60.06 เป็นสารไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส เป็นผลึกแบบเตตระโกนอล สมบัติของยูเรียและโครงสร้างผลึก จากการศึกษาโดยใช้นิวตรอนเอกซเรย์ลำแสงอินฟราเรด และ การศึกษาโครงสร้าง พบที่โมเลกุลของยูเรียเป็นสมมาตรแบบ C_2 สมบัติทางฟิสิกส์อื่น ๆ ของยูเรียสรุปได้ดังนี้

จุดหลอมเหลว, องศาเซลเซียส	132.7
ความถ่วงจำเพาะ (d_4^{20})	1.335
พลังงานของการเกิด, kcal/g-mol	-47.12
ความร้อนของการหลอม, cal/g (endothermic)	60
ความร้อนของการตกผลึก (ร้อยละ 70), cal/g (endothermic)	58
ความร้อนจำเพาะ (ร้อยละ 50), cal/g- $^{\circ}\text{C}$	110

ยูเรียละลายน้ำได้ดี เมื่อละลายน้ำจะดูดความร้อนจากระบบทำให้สารละลายเย็นลงปริมาณการละลายของยูเรียจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของสารละลาย สารละลายยูเรีย มีคุณสมบัติเป็นค่าเล็กน้อย ยูเรียละลายได้น้อยในแอลกอฮอล์ และ อีเทอร์

อุตสาหกรรมการผลิตยูเรียเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สแอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ ในดังทำปฏิกิริยาที่ทนต่อความดันอุณหภูมิสูง และทนต่อการกัดกร่อนของด่างด้วย ปฏิกิริยาขั้นแรกเป็นการเกิดแอมโมเนียมคาร์บอเนต ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนให้แก่ระบบมีค่า 38 kcal/g-mol ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดันปกติจากนั้นจะเป็นปฏิกิริยา

คายน้ำของแอมโมเนียมคาร์บอเนต ให้ยูเรีย ปฏิกริยาหลังนี้เป็นปฏิกริยาการดูดกลืนความร้อนจากระบบมีค่าเป็น 7.5 kcal/g-mol ของยูเรีย ซึ่งปฏิกริยาทั้งหมดในการสังเคราะห์ยูเรียจากแอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแบบคายความร้อนสู่ระบบ ดังนั้นจะต้องมีการระบายความร้อนจากถึงทำปฏิกริยาการสังเคราะห์ยูเรีย ดังแสดงในสมการ (ปรีชา, 2531)



กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์

กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นปฏิกริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ จะทำให้เกิดโพลีเมอร์ขั้นสุดท้ายในการสังเคราะห์กาวจำเป็นจะต้องควบคุมขนาดของโพลีเมอร์ที่เกิดจากปฏิกริยาการควบแน่นให้ได้ เนื่องจากขนาดของกาวจะขึ้นอยู่กับขนาดของโพลีเมอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์มีคุณสมบัติเป็น thermosetting คือ เมื่อได้รับความร้อนจะแข็งตัว (ปรีชา, 2531)

กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ใช้มากในอุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัดและข้อต่อต่าง ๆ ที่ใช้ภายใน กาวชนิดนี้มีราคาถูกสามารถแข็งตัวได้ดีที่อุณหภูมิสูงใช้งานได้ดีกับไม้เกือบทุกชนิด และสะดวกในการใช้งาน เมื่อแข็งตัวแล้วเป็นของแข็งที่ใสไม่มีสี จึงเป็นที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด ทั่วโลกจะใช้กาวชนิดนี้ในการผลิตมากกว่าร้อยละ 90 นอกจากอุตสาหกรรมไม้แล้วยังใช้เป็นสารเคลือบในอุตสาหกรรมกระดาษและใช้เป็นสารในอุตสาหกรรมทำแบบ (K.C.Khoo and others, 1993)

การปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ออกจากแผ่นขึ้นไม้อัด

กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกริยาการควบแน่น (condensation) ระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์โดยสัดส่วนระหว่าง ยูเรียต่อฟอร์มัลดีไฮด์ที่แตกต่างกันโดยปกติจะอยู่ระหว่างร้อยละ 40-50 ซึ่งจะมีฟอร์มัลดีไฮด์อิสระ (free formaldehyde) ที่มากเกินไปตกค้างอยู่ใน

การปล่อยเล็กน้อย การปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde emission) จากแผ่นชั้นไม้อัดส่วนใหญ่เกิดจากฟอร์มาลดีไฮด์อิสระ และ ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ทำปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันที่ไม่แข็งแรง ได้แก่ กลุ่มของ methylene group และ methylol group ซึ่งจะถูกไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ให้กลับมาเป็นฟอร์มาลดีไฮด์ได้ง่ายฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารที่อันตรายต่อสุขภาพ เมื่อได้รับเข้าไปปริมาณมาก ดังนั้น จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานการปลดปล่อย ฟอร์มาลดีไฮด์ออกจากแผ่นชั้นไม้อัดขึ้นมาเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคมาตรฐานที่นิยม หรือ ที่ใช้ปฏิบัติ ได้แก่ DIN312-1: 1996 ของเยอรมัน ซึ่งกำหนดไว้ดัง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มาตรฐานการจำแนกชั้นปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ของแผ่นชั้นไม้อัดและแผ่นใยไม้อัด

DIN 312 – 1 : 1996	
Class	Perforator value
Class I	$\leq 8 \text{ mg HCHO/100 g}$
Class II	$\leq 30 \text{ mg HCHO/100 g}$

ที่มา: European standard Particleboard general requirement for all boards DIN EN 312-1 (1996)

1. ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากแผ่นชั้นไม้อัด

1.1 ปัจจัยจากพารามิเตอร์ในการผลิต

ในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นชั้นไม้อัดและแผ่นใยไม้อัดหนาแน่นปานกลาง ส่วนใหญ่จะใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เป็นตัวประสาน แต่ก็จะมีปัญหาการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ของแผ่นชั้นไม้อัด และ แผ่นใยไม้อัดหนาแน่นปานกลางมีหลายปัจจัยซึ่งได้แก่ ชนิดไม้ ชนิดของกาวยูเรีย (อัตราส่วนระหว่างยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์) ระดับความชื้นของกาวยูเรียที่ขึ้นของฟอยไม้หลังจากการผสมกาวยูเรีย และ ปริมาณของสารเร่งแข็งที่ใช้ ชนิด และ ปริมาณของสารเติมแต่ง (formaldehyde catchers) สภาพการอัด (pressing time & temperature) และ การปรับสภาวะ (Conditioning)

สำหรับการปรับสภาพหลังการผลิต (post production treatment) เช่น การปรับสภาพด้วยแก๊สแอมโมเนีย ก็สามารถที่จะลดค่าการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ได้เช่นกัน (K.C.Khoo and others, 1993)

1.2 ปัจจัยจากชนิดไม้และปริมาณของเปลือกไม้

ไม้เป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 90 ของการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด เนื่องจากการเลือกชนิดไม้ที่ใช้ในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจะขึ้นอยู่กับที่ตั้งของโรงงาน ต้นทุน และเทคโนโลยีการผลิต จึงทำให้มีการศึกษาการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ ที่เกิดจากชนิดไม้และปริมาณเปลือกไม้ไม่มากนัก จากการศึกษาภายใต้สภาวะเดียวกัน พบว่า การปลดปล่อยปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ของไม้โอ๊คจะมีค่าน้อยกว่าตระกูลสน นอกจากนี้ พบว่า เปลือกไม้ก็มีผลต่อการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเช่นกัน แผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตจากเปลือกของสปรุชและโอ๊คจะให้ค่าการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ ต่ำกว่าบิช การปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากเปลือกจะมีค่าต่างกัน ยังขึ้นอยู่กับสัดส่วนของเปลือกที่ใช้ทำการผลิต จากการศึกษาแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตจากไม้สน พบว่า ถ้ามีสัดส่วนของเปลือกมากขึ้นจะทำให้มีการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์น้อยลง และเมื่อทิ้งไว้นานการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จะมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น (K.C.Khoo and others, 1993)

1.3 ปัจจัยจากปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ของกาว

ในระยะแรก ๆ ของการนำกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์มาใช้ในอุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัด และแผ่นใยไม้อัดหนาแน่นปานกลาง จะใช้กาวที่มีสัดส่วนโมลระหว่างยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ประมาณ 1 : 1.8 หรือมากกว่า แต่ในปัจจุบันนี้จะใช้อยู่ที่ประมาณ 1 : 1.1 และสัดส่วนนี้มีแนวโน้มที่จะลดลง ซึ่งสัดส่วนโมล จะมีผลต่อการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ ออกจากแผ่นขึ้นไม้อัดในขณะทำการอัดร้อน และที่เป็นผลิตภัณฑ์แล้ว (Merulzky el.al 1979) และ (Merutzky el.al 1979)

อย่างไรก็ดีแล้วแต่การใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีสัดส่วนโมลต่ำมีข้อจำกัด คือ ถ้ามีสัดส่วนโมลต่ำมากเกินไปก็จะมีผลต่อคุณภาพของแผ่นขึ้นไม้อัด (K.C.Khoo and others, 1993)

Sundin (1987) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลระหว่างยูเรีย ต่อฟอร์มาลดีไฮด์ กับการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ของแผ่นขึ้นไม้อัด โดยใช้วิธี chamber 1 m³,

perforator, modified roffael และ desiccator method ซึ่งพบว่า การปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์มีแนวโน้มลดลงถ้าในกาวมีปริมาณน้อยลง

การทำกายูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีสัดส่วนโมลต่ำ มีผลทำให้ค่าพิกัดหัก (modulus of rupture; MOR), แรงยึดติดภายใน (internal bonds strength; IB) ต่ำลงและค่าการพองตัว (thickness swelling; TS) สูงขึ้น ซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาด้วย

1.4 ปัจจัยจากความชื้นของชิ้นไม้หลังผสมกาว

ความชื้นของชิ้นไม้ที่ผสมกาวแล้วเป็นปัจจัยที่ต้องพิจารณาถึงผลกระทบที่มีต่อการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์จากแผ่นชิ้นไม้อัด โดยใช้กาวที่มีสัดส่วนโมลต่าง ๆ กัน พบว่าความชื้นของชิ้นไม้ หลังผสมกาวที่ต่ำจะทำให้การปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ที่ต่ำด้วย (K.C.Khoo and others, 1993)

1.5 ปัจจัยจากสารเร่งแข็ง

กายูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นกาวที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมแผ่นชิ้นไม้อัด และแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางโดยทั่วไปไม้จะมีค่า pH สูง ค่าความเป็นกรดต่ำการเติมสารเร่งแข็งลงในกาวเป็นปกติทั่ว ๆ ไป เพื่อให้เกิดเปลี่ยนสารประกอบของกาวเร็วขึ้น

สารเร่งแข็งที่ใช้กันโดยทั่วไปจะเป็นพวกเกลือแอมโมเนีย ซึ่งเป็นกรดแก่ เช่น แอมโมเนียมคลอไรด์, แอมโมเนียซัลเฟต, แอมโมเนียมฟอสเฟต, แอมโมเนียไนเตรด, แอมโมเนียมฟลูออไรด์ และ แอมโมเนียมบอร์เรต จะทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ที่ไม่รวมตัวเป็นกาวได้ methylol groups ของ monomeric และ low polymeric forms ซึ่งจะเกิดเป็น Hexamethylenetetramine (HMTA) ชนิดและปริมาณของ สารเร่งแข็ง ที่ใช้จะมีผลต่อการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ ของ แผ่นชิ้นไม้อัด ที่แตกต่างกัน จากการศึกษาของRoffael et.al. (1975) เกี่ยวกับผลของสารเร่งแข็งต่อการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์จากแผ่นชิ้นไม้อัด ที่ทำจากไม้ไผ่ และ ไม้สน โดยใช้แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เป็นสารเร่งแข็ง

จากการศึกษาของ Petersen et.al. (1974) ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของการใช้สารเร่งแข็งแรงต่างชนิด พบว่า การปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์มีปริมาณสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์

แอมโมเนียมคลอไรด์เป็นสารเร่งแข็งแรงที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดและแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง แต่ในประเทศสหรัฐอเมริกาจะนิยมใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นสารเร่งแข็งแรง เนื่องจากเมื่อนำเศษที่เหลือของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ใช้แอมโมเนียมคลอไรด์เป็นสารเร่งแข็งแรงไปเผาไฟจะเกิดสาร dioxine compounds ซึ่งสารนี้เป็นสารก่อมะเร็งตัวหนึ่ง (K.C.Khoo and others, 1993)

1.6 ปัจจัยจากเงื่อนไขการอัดร้อน

เงื่อนไขการอัดร้อนที่มีผลต่อการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ คือ อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการอัดร้อน คือ ถ้าเพิ่มเวลาในการอัดร้อนมากขึ้นจะทำให้ค่าการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ลดลง (Wittmann 1962, Stegmann and v. Bismarck 1967, Plath 1967) และจากการทดสอบของ Brinkmann (1978) พบว่าถ้าเพิ่มอุณหภูมิในการอัดร้อนจะทำให้ การปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ลดลงได้ (K.C.Khoo and others, 1993)

2. การปรับสภาพหลังการอัดร้อนเพื่อลดการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์

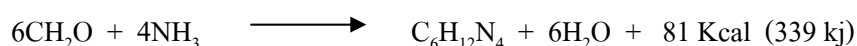
การลดการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ นอกจากจะกระทำก่อนและขณะอัดร้อนแล้ว ยังมีวิธีการที่ใช้ได้ดีคือ หลังจากการอัดร้อน ซึ่งวิธีการนี้มีวิธีการที่แตกต่างกันออกไปวิธีการหนึ่งคือการทำให้ Reactive Substances ในชิ้นไม้จะทำปฏิกิริยา หรือ จับตัวกับฟอร์มาลดีไฮด์ และวิธีการหุ้มหรือเคลือบฟอร์มาลดีไฮด์ไว้ไม่ให้ระเหยออกมา

การปรับสภาพหลังการอัดร้อนจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของฟอร์มาลดีไฮด์อิสระที่ยังคงอยู่ในแผ่นไม้หลังจากการอัดร้อนแล้ว หรือ ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของแผ่นขึ้นไม้อัด ทำปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น วิธีการนี้จะทำให้สามารถใช้กาวที่มีสัดส่วนโมลสูง ในการผลิตแผ่นไม้ E1 ได้ การผลิตแผ่นไม้ที่ทนไฟจะใช้วิธีการนี้ เมื่อเปรียบเทียบการใช้สคาร์เวนเจอร์การปรับสภาพ

หลังการอัดร้อนพบว่า วิธีการการปรับสภาพหลังการอัดร้อนจะทำให้ความเป็นกรดและเบสที่ผิวไม้สูงขึ้นและทำให้การอัดร้อนยากขึ้นกว่าการใช้สคาร์เวนเจอร์เล็กน้อย (K.C.Khoo and others, 1993)

2.1 การปรับสภาพด้วยแอมโมเนีย

ฟอร์มัลดีไฮด์ของแผ่นไม้ที่ทำจากกาวอะมิโน สามารถที่จะลดได้ด้วยการปรับสภาพหลังการอัดร้อนด้วยแอมโมเนีย ซึ่งแอมโมเนียจะทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์เป็น HMTA ในขณะที่ทำการปรับสภาพ ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้ ฟอร์มัลดีไฮด์ ถูกดักเอาไว้ ปฏิกิริยาระหว่าง ฟอร์มัลดีไฮด์ และ แอมโมเนีย จะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนดังสมการ

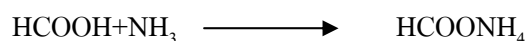


จากการทดลองพบว่า ฟอร์มัลดีไฮด์ที่เกิดจากการไฮโดรไลซิส ของ HMTA จะต่ำกว่าตามทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่าง HMTA และฟอร์มัลดีไฮด์อิสระขึ้นอยู่กับค่า pH ของไฮโดรไลซิส pH ที่ต่ำ ในการเกิดไฮโดรไลซิส จะทำให้เกิด ฟอร์มัลดีไฮด์ได้มากกว่าดังนั้นการพ่นไอน้ำแอมโมเนียจะสามารถลดการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ได้อย่างมากถ้าปราศจากตัวบัพยังแอมโมเนีย สามารถที่จะเข้าไปเพื่อทำปฏิกิริยากับกรดอิสระในแผ่นชิ้นไม้อัดได้ทุกระดับของ pH และทำให้ pH ของแผ่นไม้สูงขึ้น (Roffael and Menzel 1980) มีความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มความต้านทานปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของกาวอะมิโนได้ โดยการเพิ่มค่า pH ของแผ่นไม้

จากการปรับสภาพชิ้นไม้บัพก่อนการอัดร้อนด้วยน้ำอุ่น หรือ สารละลายแอมโมเนียพบว่า การปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ของแผ่นชิ้นไม้อัดที่ทำจากชิ้นไม้ ดังกล่าวมีค่าลดลง (Roffael, 1980a) ซึ่งเป็นไปได้ว่าการปรับสภาพด้วยน้ำอุ่น หรือ สารละลายแอมโมเนียจะทำให้กรดบางส่วนถูกล้างออกไปและบางส่วนเป็นบัพเฟอร์ของกรดที่อยู่ภายในชิ้นไม้ ความเป็นไปได้ของปฏิกิริยาของแอมโมเนียกับไม้ Roffael (1980) ได้แสดงผลของปริมาณไนโตรเจนในชิ้นไม้ที่เพิ่มขึ้นหลังจากการใช้แอมโมเนียปรับสภาพที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส

วิธีการปรับสภาพหลังอัดร้อนด้วยแอมโมเนียของแผ่นชิ้นไม้อัดที่แพร่หลายได้แก่ the verkor method (DE-OS 2903254) หรือที่รู้จักกันดี FD-EX method วิธีการจะทำลักษณะคล้ายกับตู้อบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วน A (absorption chamber) แผ่นไม้จะถูกพ่นด้วยไอน้ำของ

แอมโมเนียที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ส่วนที่ D (disorption chamber) แผ่นไม้จะดูดซับแอมโมเนียไว้ที่ผิวส่วนที่ไม่ถูกดูดซับจะระเหยออกไป ส่วนที่ F (fixation chamber) แอมโมเนียที่ถูกดูดซับไว้ที่ผิวแผ่นไม้จะทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ ได้ HMTA และทำปฏิกิริยากับกรดฟอร์มิกเป็นแอมโมเนียมฟอร์เมต ดังสมการ



แอมโมเนียมฟอร์เมต สามารถที่จะจัดฟอร์มัลดีไฮด์ที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสของกาวอะมีโน ซึ่งวิธีการนี้จะลดการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ได้สูงมาก (Maderthaner and Verbestel, 1980) FD-EX method ได้ทำการทดลองใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งได้รายงานผลของการลดค่าการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ของแผ่นชิ้นไม้อัด

ปริมาณการลดลงของฟอร์มัลดีไฮด์ในแผ่นไม้ขึ้นอยู่กับเวลาที่แผ่นไม้สัมผัสแอมโมเนียในส่วนที่ 1 ความหนาแน่น ความหนาของแผ่นไม้ และระดับของฟอร์มัลดีไฮด์ ในแผ่นไม้ก่อนปรับสภาพซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น (Simon, 1980; Skiest, 1982)

จากการทดสอบของ Verkor mill พบว่าวิธีการนี้ให้มีผลกระทบต่อคุณภาพของแผ่นไม้ซึ่งต้นทุนสำหรับวิธีการนี้จะต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กาวที่มีสัดส่วนโมลต่ำ และการใช้สคาร์เวนเจอร์วิธีการนี้ยังสามารถที่จะลดเหลือ 2 ส่วน โดยตัดส่วนของ fixation chamber ออกได้

ไอของแอมโมเนียจะถูกพ่นเข้ามาตามช่อง (2) สำหรับ (3) มีหน้าที่ในการปรับแรงดันไอของ แอมโมเนียให้อยู่ในช่วง 10,000-60,000 Pa หลังจากแผ่นไม้ถูกปรับสภาพจนถึงระยะเวลาที่ต้องการแผ่นไม้จะถูกลำเลียงออก

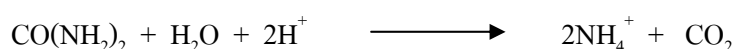
RYAB method สามารถที่จะปฏิบัติการได้ทั้งแบบต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง ซึ่งวิธีการนี้ได้จดสิทธิบัตรที่สวีเดน (Swedish Patent NO.7701189-8) ซึ่งวิธีการนี้สามารถลดการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ ได้ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความหนาแน่น เวลาที่สัมผัส ระดับของการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์

วิธีการนี้ในประเทศสหรัฐอเมริกา และอังกฤษ ใช้ในการลดการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ในแผ่นใยไม้อัดหนาแน่นปานกลาง (Roffael and Miertzsch, 1990) (K.C.Khoo and others, 1993)

2.2 การปรับสภาพด้วยยูเรียและสารประกอบแอมโมเนีย

วิธีการนี้ (DE-PS 2829021) มีการเขียนลงในหนังสืออย่างแพร่หลายเกี่ยวกับการลดการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ใช้กาวอะมิโนเป็นตัวประสาน โดยการพ่นสารละลายยูเรียลงบนแผ่นไม้ภายใต้สภาวะที่ยังร้อนหลังจากการอัดร้อนก่อนที่จะเข้าที่กองไม้ หรือขณะฝั่งไม้ให้เย็นตัวลง ซึ่งวิธีการนี้สามารถลดการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ ได้ประมาณร้อยละ 30 (ตารางที่ 6.3) สำหรับการปรับสภาพที่ดีมาก ๆ จะสามารถลดได้มากกว่าร้อยละ 50

ปฏิกิริยาของยูเรียเป็นไปได้หลายวิธียูเรียสามารถทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์และละลายน้ำได้มากขึ้น เมื่อได้รับความร้อนปฏิกิริยาของยูเรียในสภาวะกรดจะเกิดเป็นแอมโมเนียไอออน ดังสมการ



แอมโมเนียไอออนสามารถที่จะทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์เป็น HMTA การเพิ่มสมดุลของการละลายของ ยูเรีย สามารถทำได้โดยการให้ความร้อนและการเติมกรดลงในสารละลายการเติมกรดจะทำให้สมดุลของการละลายของยูเรียสูงขึ้น แต่จะไม่มีหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การเติมกรดลงไปในปริมาณน้อยขณะทำการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจะทำให้สารเร่งแข็ง (NH_4Cl) หรือ ($\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) และไม่มีเกิดกรดอิสระด้วยและ Acids

วิธีการ DE-PS 2829021 รวมถึงการใช้สารประกอบแอมโมเนีย และสคาร์เวนเจอร์อื่นๆ จากการตรวจสอบแผ่นขึ้นไม้อัดด้วย Perforator method พบว่า ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ลดลงจาก 25-30 mg/100g ODB เป็น 5-10 g/100g ODB (ASSI method, later Swedspan method and Casco method) (K.C.Khoo and others, 1993)

2.3 การปรับสภาพหลังการอัดร้อนด้วยเคมีอื่น ๆ

การการปรับสภาพที่ต่างกันก็จะมีผลต่อปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ต่างกัน จากการทดลองในญี่ปุ่น (Imura and Minemura cited by Meyer, 1979) มีการเขียนบทความเกี่ยวกับการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำการปรับสภาพแผ่นขึ้นไม้อัด ซึ่งสามารถลดการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ได้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ได้เป็นสารประกอบหลายชนิด และ ทำปฏิกิริยากับความชื้นในแผ่นไม้ได้เป็นกรดซัลเฟอร์ และเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริก โดยการออกซิเดชันของอากาศ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ความเป็นกรดของแผ่นขึ้นไม้อัดสูงขึ้น และความแข็งแรงลดลง แต่ยังไม่มีการศึกษาถึงการต้านทานปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส การต้านทานความชื้น การต้านทานสภาวะแวดล้อมของการลดปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยวิธีนี้ และก็ยังไม่มีการนำวิธีนี้ไปใช้ในอุตสาหกรรม

2.4 การปรับสภาพโดยให้ความร้อนด้วยคลื่นวิทยุ

การใช้สารเคมีทำปรับสภาพหลังอัดร้อนฟอร์มัลดีไฮด์ สามารถที่จะเกิดขึ้นมาอีกก็ได้ จากการทดลองของ Mayer และ Carlson (1983) โดยให้ความร้อนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Heating) หลังจากทำการอัดร้อน ซึ่งมีหลักการดังนี้ คือ แผ่นขึ้นไม้อัดเป็นวัสดุที่ไม่สม่ำเสมอ และได้รับความร้อนในการอัดร้อนขณะผลิตไม่สม่ำเสมอขึ้นไม้ที่ขึ้นรูปเป็นก็มีความชื้น และอุณหภูมิที่ลดหลั่นกัน (profile) ด้วยเหตุนี้การเคลื่อนตัวหรือการส่งผ่านความร้อนจะลดหลั่นกัน ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการผลิตแผ่นไม้ให้มีความหนาแน่นที่ผิวสูงและจะทำให้ความแข็งแรงสูงด้วย แต่ก็จะมีผลกระทบต่อการแข็งตัวของกาวที่ไม่สม่ำเสมอด้วยการส่งผ่านความร้อน และความชื้นจากผิวไปยังไส้ การส่งผ่านความร้อนและความชื้นนี้จะเป็นเหตุให้เกิดการระเหยตัวของสารระเหยที่อยู่ในกาว ซึ่งจะไปรวมตัวกันเป็นของเหลวในจุดที่เย็นกว่าของแผ่นไม้ ซึ่งผลกระทบนี้จะทำให้เกิดการแยกตัวระหว่างกาวที่มีสัดส่วนโมลสูง และ ด้าที่ผิวของขึ้นไม้ของแผ่นไม้ประกอบ ด้วยเหตุนี้แผ่นไม้ประกอบจึงมีกาวที่ยังทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ กาวที่มีสัดส่วนโมลฟอร์มัลดีไฮด์สูง และ กาวที่มีพันธะอ่อน ๆ จะเป็นเหตุให้เกิดการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ได้

การให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูงจะไปทำให้กาวในชั้นไส้แข็งตัวขึ้นและลดการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ได้แต่อย่างไรก็แล้วแต่ยังไม่มีโรงงานใดใช้วิธีนี้ (K.C.Khoo and others, 1993)

3. การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดและแผ่นใยไม้อัด E1

การผลิตแผ่นไม้ E1 เป็นสิ่งที่น่าสนใจในอุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัด และ แผ่นใยไม้อัด การผลิตแผ่นไม้ E1 มีทฤษฎีและวิธีการหลายอย่าง ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องและวิธีการ post-treatment resin ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ต่อไปนี้จะเป็นการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มารวมเพื่อผลิตแผ่นไม้ E1

3.1 การใช้กาวที่มีการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ต่ำ (E1 resins)

การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ต่ำ มีการผลิตในปริมาณมากตั้งแต่ปี 1980 โดยใช้กาวที่มีการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ต่ำ ซึ่งการใช้กาวชนิดนี้ก็ต้องใช้ความระมัดระวังในการผลิต คือ จะต้องใช้ เหนือไขพิเศษในการผลิต เช่น ใช้ปริมาณกาวสูงขึ้น ความชื้นขึ้นไม้หลังการผสมกาวที่ต่ำลง และใช้สารเร่งแข็งมากขึ้นกว่าการผลิตแผ่นไม้ E2 และการหลีกเลี่ยงการใช้ฝุ่นที่ได้จากขัดในประเทศเยอรมันใช้วิธีการนี้มากกว่าร้อยละ 90 และวิธีการนี้ก็ขยายไปในอุตสาหกรรมการผลิตอย่างรวดเร็วกาวที่ใช้ในการผลิตแผ่นไม้ E1 นี้มีส่วนโมลฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรีย ในช่วง 1 : 1 ถึง 1.15 : 1 (Mayer 1978, Marutzky et al. 1979, Sundin 1987)

นอกจากนี้ปัจจัยจากการใช้สารเร่งแข็งก็มีผลต่อการระเหยตัวของฟอร์มัลดีไฮด์ การใช้แอมโมเนียมซัลเฟตแทนแอมโมเนียมคลอไรด์ เพื่อลดปริมาณควันที่เกิดจากการผลิตอาจจะทำให้ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์สูงขึ้นได้ในระยะยาว ประสิทธิภาพของสารเร่งแข็งจะมีผลบังคับให้ได้มาซึ่งคุณภาพของ E1

การผลิตแผ่นไม้ E1 ควรจะทำให้ความชื้นของขึ้นไม้ หรือเส้นใยต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยปกติแล้วการใช้กาวที่มีสัดส่วนโมลต่ำ มีผลกระทบต่อคุณภาพของแผ่นไม้ คือ ทำให้ความแข็งแรงของแผ่นไม้ต่ำลง และทำให้ค่าการพองตัวด้อยลงด้วย ซึ่งการแก้ไขสามารถทำได้โดยการเพิ่มปริมาณกาวที่ใช้ (K.C.Khoo and others, 1993)

3.2 การใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์

การใช้กาวที่มีสัดส่วนโมลต่ำ การควบคุมสถานะการผลิตจะต้องมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น (ความคลาดเคลื่อนในการควบคุมน้อยลง) และอาจจะทำให้คุณภาพของแผ่นไม้ด้อยลง

ด้วยเหตุนี้บางโรงงานได้ทำการปรับปรุงวิธีการใช้กาวที่มีสัดส่วนโมล ใกล้เคียง 1 : 1 และ ประยุกต์ใช้กับวิธีอื่น ๆ เพื่อให้ได้ค่าการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ต่ำ โดยไม่ทำให้คุณภาพของแผ่น ไม้ด้อยลง

การปรับปรุงคุณภาพของกาวที่มีฟอร์มัลดีไฮด์ต่ำ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การ ดัดแปรด้วย polymeric compounds การผลิตแผ่นไม้ E1 ด้วยกาวดัดแปรนี้จะทำให้แผ่นไม้มี ฟอร์มัลดีไฮด์ต่ำอย่างชัดเจนการเติมเมลามีนลงในกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพได้ มีการจดทะเบียนไว้ (EP 0062389)

กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่เติมเมลามีน ที่มีสัดส่วนโมลระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรีย 1.1 : 1.0 ถึง 1 : 1 สามารถที่จะทำให้คุณภาพของแผ่นไม้ดีขึ้นโดยเฉพาะค่าการพองตัว โดยไม่ทำ ให้ฟอร์มัลดีไฮด์ สูงขึ้น คุณภาพของแผ่นไม้ที่ใช้อัดที่ใช้วิธีการเติมเมลามีนกับกาวที่ไม่ได้มีการ ปรับแต่งคุณภาพการเติมเมลามีนลงในกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีสัดส่วนโมลสูงนั้นในอุตสาหกรรม แผ่นไม้ที่ใช้อัดใช้เพื่อผลิตแผ่นไม้ V313 ในฝรั่งเศสมานานกว่าสิบปีแล้วในบางโรงงานจะใช้กาวที่ ไม่ได้ปรับแต่งคุณภาพในขั้นผิว และใช้กาวที่ปรับแต่งคุณภาพในขั้นไส้ ในบางโรงงานกาวที่มี สัดส่วนโมลต่ำก็จะเติม fortified agent ตัวอื่นแทนเมลามีน เช่น ฟีนอล เรซอสีนอล ในปริมาณไม่ มากนักเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการ (DE-OS 2747830, DE-OS 3115208)

Wittmann (1983) การ Modified UF resins ด้วยเมลามีนจะเพิ่มความทนทาน ถ้าทำ การปรับปรุงกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยฟีนอลในรูปของโคคอนเดนเซชัน(Co-condenations) จะเพิ่ม ความต้านทานต่อสภาวะธรรมชาติได้มีโรงงานของประเทศสหรัฐอเมริกาที่ผลิตไม้อัดจะใช้ ครอบคลึงโดยใช้โพลีไวนิลอะซีเตท (PVA) ร่วมกับกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์และสามารถทดแทนกาว ได้ร้อยละ 10-20 (K.C.Hhoo and others, 1993)

3.3 การใช้กาวยูเรียดัดแปร

สารเติมแต่งที่ช่วยยึดฟอร์มัลดีไฮด์มีหลายชนิดด้วยกันและประสิทธิภาพก็ต่างกันด้วย การใช้เวกซ์ผสมกับฟอร์มัลดีไฮด์แอคทีฟเมททีเรียล (formaldehyde active material) (DE - OS 2740207) เป็น สารเอนเจอร์ก็มีใช้ในอุตสาหกรรมสคาร์เอนเจอร์ที่เป็นยูเรียสามารถใช้ได้กับ

การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดที่ขึ้นรูปหลายชั้นได้ (multi-Layer) โดยในบางชั้นอาจจะไม่ต้องใช้ กาวอะมีโนพลาสติก ซึ่งวิธีการนี้สามารถทำแผ่นไม้ E1 ได้ ในสวิตเซอร์แลนด์ใช้เรซินผสมกับกลีโนไซด์ (KenosizeFR4514) ซึ่งมีสารจับยึดฟอร์มาลดีไฮด์ ผสมอยู่ (USP 4565662) ซึ่งมีผู้ใช้อยู่ 2 บริษัท ซึ่งการใช้กลีโนไซด์ นั้นให้ผลประโยชน์ 2 ประการ คือ สามารถลดปริมาณการปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ขณะทำการอัดร้อนได้ และไม่ทำให้คุณสมบัติทางกลของแผ่นไม้ลดลง สคาร์เวนเจอร์บางชนิดเป็นพวกยูเรีย และลิกโนซัลโฟเนต (lignosulphonates) หรือ ยูเรีย ลิกโนซัลโฟเนต และแอมโมเนียม-คลอไรด์ (Calve and Brunette, 1984)

แผ่นขึ้นไม้อัด คือ แผ่นไม้ที่ผลิตจากชิ้นไม้ หรือ วัสดุที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลส และลิกนินเป็นองค์ประกอบหลัก (lignocellulosic material) ที่ถูกย่อยให้มีขนาดต่าง ๆ แล้วยึดติดด้วยตัวประสานอินทรีย์หรือตัวประสานอนินทรีย์ภายใต้ความร้อน แรงอัด และยังมีการใช้สารเติมแต่งเพื่อให้ได้คุณสมบัติอื่น ๆ ตามที่ต้องการ (ASTM D1554-75; มอก.876-2547)

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

อุปกรณ์

1. เครื่องมือ

1. เครื่องชั่ง ละเอียด 0.0001 กรัม
2. ตู้อบ
3. spectrophotometer
4. extraction apparatus bulb (e. g. Conical flask 250 มิลลิลิตร)
5. volumetric flask 2,000 มิลลิลิตร
6. conical flask 250 มิลลิลิตร
7. burette 50 มิลลิลิตร
8. watch glass (ขนาดใหญ่)
9. volumetric flask 1,000 มิลลิลิตร 2 อัน
10. volumetric flask 100 มิลลิลิตร 6 อัน
11. bulb pipette 100 มิลลิลิตร
12. bulb pipette 25 มิลลิลิตร
13. bulb pipett 10 มิลลิลิตร 3 อัน
14. stoppered flask 50 มิลลิลิตร
15. cylinder 250 มิลลิลิตร 2 อัน
16. water bath
17. pH meter
18. hot press
19. เครื่องผสมกากกับชิ้นไม้ (glue blender)
20. ไม้ยางพารา
21. เครื่องอบ วัดความชื้น (IMAL UM200)

2. สารเคมี

1. โทลูอิน
2. อะเซติลอะซีโตน (acetylacetone analytical grade)
3. แอมโมเนียมอะซิเตท (ammonium acetate analytical grade)
4. ไอโอดีน
5. กรดซัลฟูริก
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์
7. สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ (ร้อยละ 37)
8. โซเดียมไฮดรอกไซด์
9. ยูเรีย
10. แป้งมันสำปะหลัง

วิธีการ

1. วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ (determination of formaldehyde emission)

อ้างอิง : E 120 : 1991

1.1 หลักการ

ใช้โทลูอินสกัดฟอร์มาลดีไฮด์ออกจากในแผ่นไม้แล้วใช้น้ำกลั่นเป็นตัวสกัดฟอร์มาลดีไฮด์ ออกจากโทลูอินอีกครั้ง ฟอร์มาลดีไฮด์จะละลายอยู่ในน้ำกลั่นจากนั้นนำสารละลายที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ด้วย วิธี photometrically โดยการใช้ acetylacetone method

1.2 ขั้นตอนทดสอบ

ตัดชิ้นตัวอย่างที่จะนำมาทำการตรวจสอบค่าปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากชิ้นทดสอบขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน EN120 : 1996

1.3 Extraction in the perforator

ก่อนที่จะทำการกลั่นควรหุ้ม sidearm ของ perforator attachment ด้วย thermal insulation

1.3.1 นำชิ้นทดสอบมาประมาณ 110 กรัม นำมาชั่งน้ำหนักละเอียดทศนิยม 1 ตำแหน่ง

1.3.2 ใส่ชิ้นทดสอบลงใน round bottom flask แล้วเทโทลูอิน ลงไป 600 มิลลิลิตร

1.3.3 ต่อ round bottom flask เข้ากับเครื่อง extractor ปิดรอยต่อทุกจุดให้สนิท

1.3.4 เทน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร ลงในส่วน main extractor จนกระทั่งห่างจาก syphon outlet 20-30 mm

1.3.5 ต่อ supply น้ำเย็นเข้ากับ condenser แล้วเปิดน้ำเย็นให้ไหลเข้า

1.3.6 เทน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ลงใน conical flask แล้วต่อเข้ากับเครื่อง (ภาพที่ 1)

1.3.7 เปิด heater ให้ความร้อนแก่ round bottom flask

1.3.8 ให้ทำการควบคุมน้ำกลั่นที่ 70-90 หยด ต่อนาที ระมัดระวัง อย่าให้น้ำไหลย้อนกลับจาก absorption bulb เข้าสู่ส่วนอื่น ๆ ในระหว่างและหลังการสกัด

1.3.9 ทำการสกัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยจับเวลาตั้งแต่หยดแรกที่น้ำหยดแรกผ่านจาก filter insert ขึ้นมา (จะใช้เวลาประมาณ 20 นาที หลังจากเริ่มเปิดเครื่องให้ความร้อน)

1.3.10 เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ให้ทำการปิด heater และเอา conical ออก

1.3.11 ถ่ายน้ำออกจาก main extractor ลงใน volumetric flask ระวังก่อนให้โทลูอินปนออกมา

1.3.12 ใช้น้ำกลั่นฉีดล้าง main extractor ให้ทั่ว หลังจากนั้นถ่ายน้ำและโทลูอินผ่านทาง stopcock ใส่ในกรวยแยกแยกแยกแยกแยกแล้วเปิดเอาน้ำออกใส่รวมใน volumetric flask

1.3.13 ถอด antisiphon ออกแล้วเทน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ลงทาง condensor ลงใน volumetric flask ขนาด 200 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

1.3.14 เทน้ำจาก conical flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ลงใน volumetric flask ต้าง flask อีกครั้ง แล้วรินลง volumetric flask

1.3.15 เติมน้ำกลั่นลงใน flask ให้ได้ปริมาณ 2,000 มิลลิลิตร

1.4 การทำ Blank test

ทำขั้นตอนการสกัดซ้ำข้อ 1.3.4 โดยใช้โทลูอินจาก bath เดิม แต่ไม่ต้องใส่หินทดสอบ

1.5 การวิเคราะห์หา ฟอรั่มัลดีไฮด์ (determination of formaldehyde in the extract)

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟอรั่มัลดีไฮด์ในสารละลายที่สกัดได้ด้วย photometrically โดยใช้ acetylacetone method

1.5.1 หลักการ

เป็นการวิเคราะห์โดยยี่ดหลัก ปฏิกิริยาของ Handtzech (handtzech reaction) โดยสารละลายฟอรั่มัลดีไฮด์จะถูกทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมไอออน (ammonium ions) และอะเซติลอะซีโตนไดได acetylhydrolutidine (DDL) ซึ่ง DDL จะสามารถดูดแสงมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร (ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเกิดได้มากเฉพาะกับฟอรั่มัลดีไฮด์)

1.5.2 สารเคมี

1.5.2.1 สารละลายอะเซติลอะซีโตน เติมอะเซติลอะซีโตน จำนวน 4 มิลลิลิตร (โดยใช้ pipette ขนาด 5 มิลลิลิตร) ลงใน volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปให้ได้ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

1.5.2.2 สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 200 กรัม ในน้ำกลั่นเติมลงใน volumetric flask จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

1.5.3 วิธีการ

1.5.3.1 ดูดสารละลาย (จากข้อ 1.3.4) ด้วย pipette ขนาด 10 มิลลิลิตร ใส่ใน flask ขนาด 50 มิลลิลิตร

1.5.3.2 เติมสารละลายอะเซติลอะซีโตน (จากข้อ 1.5.3.1) ลงจำนวน 10 มิลลิลิตร

1.5.3.3 เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (จากข้อ 1.5.3.2) ลงจำนวน 10 มิลลิลิตร

1.5.3.4 ทำการปิดฝา flask เขย่า แล้วนำไปอุ่นใน water bath ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จะได้สารละลายสีตองอ่อน (greenish-yellow solution)

1.5.3.5 นำสารละลาย (จากข้อ 1.5.3.4) ไว้ในตู้มืดเป็นเวลา 60 นาที

1.5.3.6 ทำการวิเคราะห์สารละลายด้วยเครื่อง Spectrophotometer (หา Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร

1.5.4 ทำตามวิธีข้อ 1.5.3 แต่ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลาย เพื่อใช้เป็นค่า Absorbance of analysis with distilled water ในการคำนวณหาค่า perforator value (ตามข้อ 1.7.2)

1.6 Calibration curve

Calibration curve สามารถทำได้จากสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์มาตรฐาน โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์มาตรฐานวิเคราะห์โดยวิธี Iodometric titration

1.6.1 สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์มาตรฐาน (formaldehyde standard solution)

สารเคมี

- สารละลายมาตรฐานไอโอดีน (standard iodine solution) ความเข้มข้นเท่ากับ 0.05 โมล
- สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต (standard sodium thiosulphate solution) ความเข้มข้นเท่ากับ 0.1 โมล
- สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (standard sodium hydroxide solution) ความเข้มข้นเท่ากับ 1 โมล
- สารละลายมาตรฐาน กรดซัลฟูริก (standard sulfuric solution) ความเข้มข้นเท่ากับ 1 โมล
- น้ำแป้ง (starch solution) ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

วิธีการ

- นำสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ (ความเข้มข้นร้อยละ 35-37) 25 กรัมละลายด้วยน้ำกลั่นใน volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่แท้จริงดังนี้
- นำสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์มาตรฐาน 20 มิลลิลิตร สารละลายมาตรฐานไอโอดีน 20 มิลลิลิตร สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 มิลลิลิตร ผสม กันใน flask แล้วนำไปเก็บไว้ในตู้มืด 15 นาที
- เติมสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 15 มิลลิลิตร
- ทำการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต โดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์
- การทำ blank ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์มาตรฐาน แล้วทำตามวิธีข้างต้น

การคำนวณหาความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์

$$c(\text{HCHO}) = \frac{(V_o - V) \times 15 [c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)] \times 100}{20}$$

โดยที่

$c(\text{HCHO})$ คือ ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์, มิลลิกรัมต่อลิตร

V_o คือ ปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ทำ blank, มิลลิกรัมต่อลิตร

V คือ ปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ทำ titration solution, มิลลิกรัมต่อลิตร

1.6.2 สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์มาตรฐาน

จากค่าความเข้มข้นในข้อ 1.5.4 ให้ทำการคำนวณหาปริมาตรสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ 15 มิลลิกรัม จากนั้นนำสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีปริมาตรที่คำนวณได้ใส่ใน volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร โดยใช้ micro buret แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้สารละลาย 1,000 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้เป็น formaldehyde calibration solution

1.6.3 วิธีการทำ standard curve

1.6.3.1 เตรียม volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 6 อัน

1.6.3.2 เติม Formaldehyde Calibration solution (จากข้อ 6.4.2) 0, 5, 10, 20, 50, 100 มิลลิลิตร ลงใน volumetric flask อันที่ 1-6 ตามลำดับ

1.6.3.3 เติมน้ำกลั่นลงใน volumetric flask ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

1.6.3.4 นำสารละลายจากข้อ 1.6.3.3 มาจำนวน 10 มิลลิลิตร ไปวิเคราะห์โดยใช้ spectrophotometer เช่นเดียวกับข้อ 1.6.3 ข้างต้น

1.6.3.5 นำค่า absorbance ที่ได้ และความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ (ระหว่าง 0-0.015 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) มาทำกราฟพล็อตกราฟ คำนวณหาความชันของกราฟ

1.7 แสดงผลการวิเคราะห์

1.7.1 Moisture Content (MC) สูตรที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{MC} \% = \frac{(m_1 - m_0) \times 100}{m_0}$$

โดยที่

m_1 = น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนอบแห้ง

m_0 = น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังอบแห้ง

1.7.2 Perforator Value

ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ หรือ Perforator Value จะแสดงออกมาในหน่วยของ มิลลิกรัมของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อแผ่นไม้ (น้ำหนักแห้ง) 100 กรัม โดยคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\text{Perforator Value (mg /100g.ODB)} = \frac{(A_s - A_b) \times F \times (100 + \text{MC}) \times V}{M}$$

โดยที่

A_s = ค่า absorbance ของสารละลายที่สกัดได้

A_B = ค่า absorbance ของน้ำกลั่น

F = ความชันของ standard curve, มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

MC = ปริมาณความชื้นของขึ้นทดสอบ, ร้อยละ

V = ปริมาตรของสารที่ใช้ทดสอบ, มิลลิลิตร

M = น้ำหนักขึ้นทดสอบ, กรัม

2. การเตรียมขึ้นตัวอย่าง

นำไม้ยางพารามาซอยให้มีขนาดเล็ก ที่เรียกว่า flakes นำไปอบให้มีความชื้นระหว่างร้อยละ 2-3 เพื่อทำเป็นชั้นผิว และชั้นไส้ นำขึ้นไม้ แต่ละส่วนไปทำการชั่งน้ำหนักแล้ว ทำการคำนวณหา น้ำหนักแห้งของไม้แต่ละส่วน จากสูตรข้อ 1.7.1 หลังจากนั้นนำไม้ไปผสมกับกาวและสตาร์ชที่คัด แปรไว้แล้วโดยชั้นผิวใช้กาวร้อยละ 10 และชั้นไส้ใช้ร้อยละ 6 dry glue/dry particle ควบคุม ความชื้นของชั้นผิวให้อยู่ระหว่างร้อยละ 9-11 และความชื้นของชั้นไส้ที่ร้อยละ 5-7

การทดลองนี้จะทดสอบกับขึ้นตัวอย่าง ความหนา 12 มิลลิเมตร ความหนาแน่น 740 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นำขึ้นไม้ที่ผสมกาวเรียบร้อยแล้วไปทำการชั่งน้ำหนักโดยแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ ชั้นผิวบน (S1) ชั้นไส้ (CL) และชั้นผิวล่าง (S2) โดยมีสัดส่วนร้อยละ $S1 : CL : S2$ เท่ากับ 21 : 58 : 21

2.1 ขึ้นไม้ (Flakes)

แผ่นไม้ที่ต้องการขนาด 40 x 40 เซนติเมตร ความหนา 12 มิลลิเมตร ความหนาแน่น 740 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สัดส่วนชั้นผิวและไส้ (SL : CL) เท่ากับ 42 : 58 กาวชั้นผิวใช้ร้อยละ 10 dry glue/dry particle กาวชั้นไส้ร้อยละ 6 dry glue/dry particle

การคำนวณ

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักแผ่นไม้ที่ความชื้นร้อยละ 5} &= 0.4 \times 0.4 \times 0.012 \times 740 \\
 &= 1.4208 \text{ กิโลกรัม} \\
 \text{น้ำหนักแผ่นไม้อบแห้ง} &= 1.4208 / 1.05 \\
 &= 1.3531 \text{ กิโลกรัม} \\
 \text{น้ำหนักแห้ง SL ร้อยละ 42} &= 1.3531 \times 42/100 \times 1,000 \\
 &= 568.32 \text{ กรัม} \\
 \text{ปริมาณกาวที่ใช้ SL ร้อยละ 10 dry glue/dry particle} \\
 \text{น้ำหนักกาวแห้งที่} &= 568.32 \times 10/100 \\
 &= 56.83 \text{ กรัม} \\
 \text{น้ำหนักแห้ง SL} &= 568.32 - 56.83 \\
 &= 511.49 \text{ กรัม} \\
 \text{น้ำหนักแห้ง CL ร้อยละ 58} &= 1.3531 \times 58/100 \times 1,000 \\
 &= 784.82 \text{ กรัม} \\
 \text{ปริมาณกาวที่ใช้ CL ร้อยละ 6 dry glue/dry particle} \\
 \text{น้ำหนักกาวแห้งที่ CL} &= 784.82 \times 6/100 \\
 &= 47.09 \text{ กรัม} \\
 \text{น้ำหนักแห้งชิ้นไม้ได้ (CL)} &= 784.82 - 47.09 \\
 &= 737.73 \text{ กรัม} \\
 \text{ชิ้นไม้หลังอบมีความชื้นร้อยละ 2.5} \\
 \text{น้ำหนักชิ้นไม้ผิวที่ร้อยละ 2.5} &= 511.49 \times 1.025 \\
 \text{น้ำหนักชิ้น SL ต่อแผ่น} &= 524.28 \text{ กรัม} \\
 \text{น้ำหนักชิ้นไม้ได้ที่ร้อยละ 2.5} &= 737.73 \times 1.025 \\
 \text{น้ำหนักชิ้น CL ต่อแผ่น} &= 756.18 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

2.2 การเตรียมกาวและการผสมกับชิ้นไม้ (glue application)

ในการทดลองนี้ใช้กาว CR 1201 ของ บริษัท วนชัยเคมีคัล จำกัด solid content ร้อยละ 68 ความถ่วงจำเพาะ 1.28 ตัวอย่างการคำนวณกาวที่ใช้ในการทดลอง โดยใช้กาวร้อยละ 10 dry

glue/dry particle สำหรับไม้ผิว และร้อยละ 6 สำหรับไม้ไส้ โดยผสม สารเคมีแต่ง I ที่ปริมาณร้อยละ 10 dry /dry glue และสารเคมีอื่น ๆ ดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 แสดงการเตรียมกาวสำหรับผสมกับไม้ผิว

Chemical	conc. %	spec. den.	Volumn	Weight(g)	Dry (g)	H2O (g)	%D/DG	%D/DP
resin	68	1.28	312.5	400	272	128	100	10
Wax	45	0.95	34.994	33.24	14.96	18.28	5.5	0.55
Hardener	30	1.18	15.367	18.13	5.44	12.69	2	0.2
Additive I	34.48	1.19	66.291	78.89	27.2	40.8	10	1
water	0	1	67.9	67.9	0	67.9	0	0
Total	55.25	1.2	497.052	598.16	330.48	267.68	117.5	11.75

ความเข้มข้นของกาวที่ผสมแล้ว, ร้อยละ	=	55.25
เนื้อกาว, ร้อยละ	=	45.47
น้ำ, ร้อยละ	=	44.75
กาวผสมแล้วที่ใช้ผสมกับชิ้นไม้, กรัม	=	112.48
ความชื้นของไม้หลังผสมกาว, ร้อยละ	=	11.00

ตารางที่ 3 แสดงการเตรียมกาวสำหรับผสมกับไม้ไส้

Chemical	conc. %	spec. den.	Volumn	Weight(g)	Dry(g)	H ₂ O(g)	%D/DG	%D/DW
Resin	68	1.28	234.375	300	204	96	100	6
Wax	45	0.95	43.743	41.56	18.7	22.86	9.17	0.55
Hardener	30	1.18	11.525	13.6	4.08	9.52	2	0.12
Na- Starch	34.48	1.22	48.492	59.16	20.4	30.6	10	0.6
Water	0	1	0	0	0	0	0	0
Total	61.63	1.23	338.13	414.32	255.34	158.98	121.17	7.27

ความเข้มข้นของกาวที่ผสมแล้ว, ร้อยละ	=	61.63
เนื้อกาว, ร้อยละ	=	49.24
น้ำ, ร้อยละ	=	38.37
กาวผสมแล้วที่ใช้ผสมกับชิ้นไม้, กรัม	=	89.90
ความชื้นของไม้หลังผสมกาว, ร้อยละ	=	6.67

นำชิ้นไม้ตามสัดส่วนที่คำนวณได้มาผสมกับกาวด้วยเครื่องผสมกาว (glue blender) ดังภาพที่ 2 โดยใช้เวลาในการผสม (mixing time) 3 นาที หลังจากผสมกาวเรียบร้อยแล้ว นำชิ้นไม้ไปทำการหาความชื้นหลังผสมกาวด้วยเครื่อง IMAL UM200 นำชิ้นไม้ที่เหลือใส่ถุงและปิดปากถุงให้สนิท เพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นระเหยออกไป นำความชื้นที่ได้ไปคำนวณหาน้ำหนักชิ้นไม้ที่ผสมกาวแล้วที่ต้องใช้ในการขึ้นแผ่นต่อไปสำหรับชิ้นไม้ชั้นผิวให้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สำหรับผิวบน และผิวล่างนำชิ้นไม้ที่ได้ไปทำการขึ้นแผ่นการขึ้นแผ่นต้องให้ทั้งแผ่นมีน้ำหนักสม่ำเสมอกันมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ หลังจากนั้นนำไปใส่อากาศออกแล้วนำเข้าอัดร้อน

2.3 การอัดร้อน (hot pressing)

การอัดร้อนจะทำการควบคุมสภาวะการอัด เหมือนกันทุกการทดลองโดยอุณหภูมิการอัดร้อนที่ใช้เท่ากับ 180 องศาเซลเซียส เวลาการอัด (T) และความดัน (P) ดังตารางที่ 4 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4 แสดงเวลาและความดันที่ใช้ในการอัดร้อน

เวลาอัด (T)	T1	T2	T3	T4	T5
Pressure (bar)	120	55	40	34	10
Pressure (N/mm ²)	5.3	2.4	1.8	1.5	0.4
Time (sec.)	33	15	40	10	40

แผ่นชิ้นไม้อัดออกมาผึ่งในอากาศจนกว่าจะเย็น ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าพิกัดหัก ค่าการยึดติดของกาว และค่าการพองตัว

3. การเตรียมสตาร์ชดัดแปร(modification of starch)

การเตรียมสตาร์ชดัดแปรนี้ ใช้วิธีการดัดแปรทางเคมีโดยใช้ยูเรีย กรดเข้มข้น และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และนำสตาร์ชดัดแปรที่ได้นี้ไปผสมกับกาวเป็นสารเติมแต่ง โดยจะทำการเตรียมสตาร์ชดัดแปรที่นำมาใช้เป็นสารเติมแต่งทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ additive I, additive II และ additive III ซึ่งมีวิธีการ และขั้นตอนการเตรียม ดังนี้

3.1 additive I

1. เตรียมสตาร์ชมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 ของสตาร์ชแห้ง
2. นำไปปรับอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส ใน water bath
3. ทำการปรับค่า pH จนกว่า จะได้ 1-2 ด้วยกรดเข้มข้น ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส คนให้เข้ากันนาน 60 นาที
4. เติมน้ำยูเรียที่ร้อยละ 40 ของสตาร์ชแห้ง
5. ปรับ pH ไปที่ 7.4-7.6 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
6. เติมน้ำโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 20 ของสตาร์ชแห้ง คนให้ละลายเข้ากันนาน 60 นาที
7. นำสารละลายที่เตรียมนี้ไปผสมกับกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ โดยทำการผสมร้อยละ 5 ,10 และ 15 dry /dry glue

3.2 additive II

1. เตรียมแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 ของสตาร์ชแห้ง
2. นำไปปรับอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส ใน water bath
3. ปรับค่า pH จนกว่า จะได้ 1-2 ด้วยกรดเข้มข้น คนให้เข้ากันนาน 60 นาที
4. เติมน้ำยูเรียลงร้อยละ 50 ของสตาร์ชแห้ง คนให้ละลายเข้ากัน นาน 10 นาที
5. ปรับ pH ไปที่ 7.2-7.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
6. เติมน้ำโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 10 ของสตาร์ชแห้งคนให้ละลายเข้ากันนาน 30 นาที
7. เติมน้ำแอมโมเนียมซัลเฟตลงร้อยละ 20 ของสตาร์ชแห้ง คนให้ละลายเข้ากัน

8. เติมน้ำยรีดลงโปรยละ 33.33 ของสตาร์ชแห้งคนให้ละลายเข้ากัน นาน 60 นาที

3.3 additive III

1. เตรียมแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 ของสตาร์ชแห้ง
2. นำไปปรับอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส ใน water bath
3. ปรับค่า pH จนกว่า จะได้ 1 – 2 ด้วยกรดเข้มข้น คนให้เข้ากันนาน 60 นาที
4. เติมน้ำยรีดที่ร้อยละ 60 ของสตาร์ชแห้ง คนให้เข้ากันนาน 10 นาที
5. ปรับ pH ไปที่ 7.2 – 7.5 ด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์
6. เติมน้ำโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 10 ของสตาร์ชแห้ง คนให้ละลายเข้ากันนาน 30

นาที

7. เติมน้ำแอมโมเนียมซัลเฟตลง โปรยละ 20 ของสตาร์ชแห้ง คนให้ละลายเข้ากัน
8. เติมน้ำยรีดที่ร้อยละ 41.67 ของสตาร์ชแห้ง คนให้ละลายเข้ากัน

การวางแผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบ 3 x 3 factorial in CRD โดยปัจจัยแรกเป็นชนิดของสารเติมแต่ง 3 ชนิด ที่มีปริมาณของยูเรีย ร้อยละ 40, 50 และ 60 ของสตาร์ชแห้ง ปัจจัยที่ 2 ได้แก่ ปริมาณของสารเติมแต่งแต่ละชนิด 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 5 , 10 และ 15 dry/dry glue โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

1. ศึกษาอิทธิพลของ สารเติมแต่ง แต่ละชนิด โดยนำค่าที่ได้จากการทดลองเขียนกราฟและหา สมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและความหนาแน่น ด้วยโปรแกรม Excel และทำการปรับค่าคุณสมบัติทางกายภาพจากสมการความสัมพันธ์ที่ได้ที่ความหนาแน่น 730 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2. ทำการวิเคราะห์สถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS

3. ศึกษาอิทธิพลของปริมาณ สารเติมแต่ง แต่ละชนิด โดยวิเคราะห์ และหาความแตกต่างทางสถิติ เช่นเดียวกับข้อ 2

สถานที่ดำเนินการ

ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สวนอุตสาหกรรมกลุ่มวนชัย บริษัท วนชัย กรู๊ป จำกัด (มหาชน) ชลบุรี

ระยะเวลาในการดำเนินงาน

เริ่มตั้งแต่	1 มิถุนายน 2544
สิ้นสุดเมื่อ	31 มกราคม 2545

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

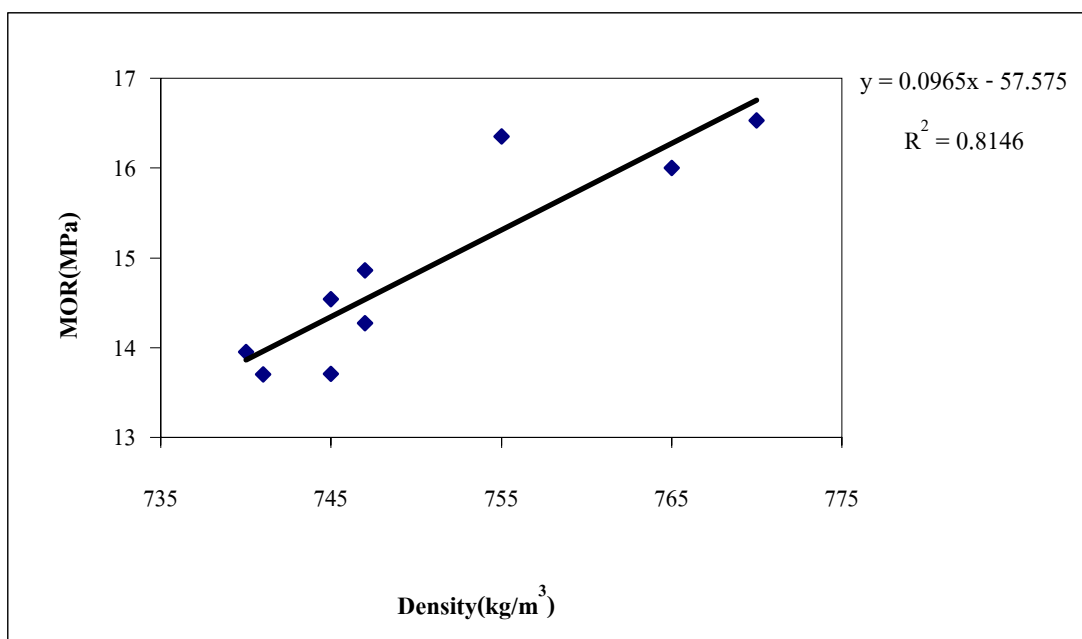
ผลการทดลอง

ในการนำเสนอผลการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าพิกัดหัก ค่าแรงดึงตึงฉีกและค่าการพองตัว ส่วนที่ 2 เป็นปริมาณพอร์มัลติไฮด์ นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับความหนาแน่น และปรับค่าคุณสมบัติทางกายภาพมาที่ความหนาแน่นเดียวกัน

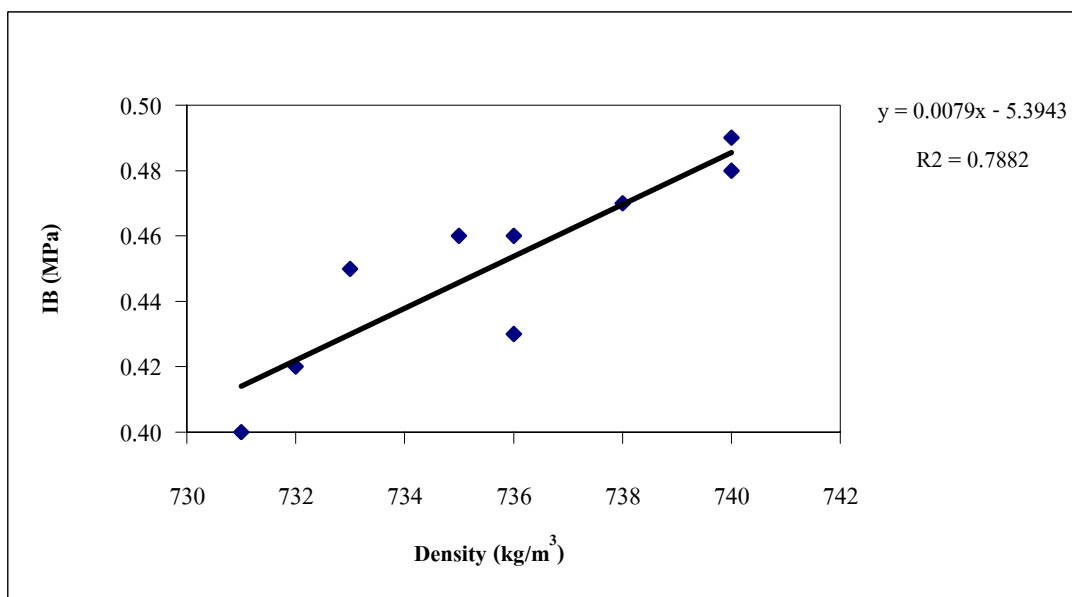
คุณสมบัติของแผ่นไม้กับปริมาณพอร์มัลติไฮด์ แสดงดังตาราง

ตารางที่ 5 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพของชุดควบคุม

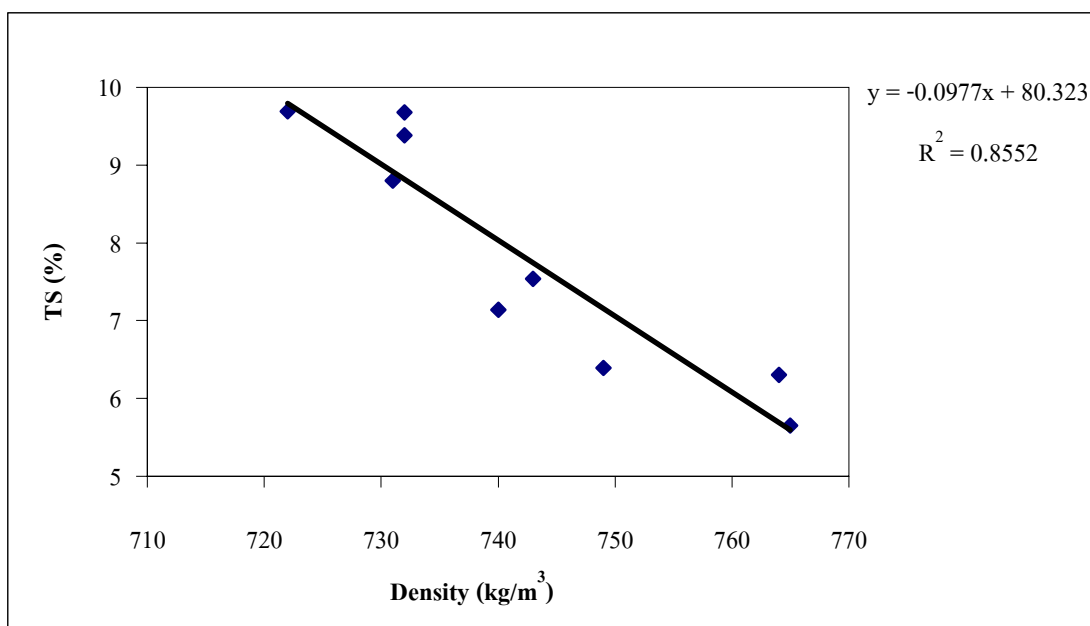
Additive (%dry/DG)	0								
Repeat	I			II			III		
Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
MOR (MPa)	16.35	14.27	13.71	13.70	14.54	16.53	14.86	16.00	13.95
Density of MOR (kg/m ³)	755	747	745	741	745	770	747	765	740
IB (Mpa)	0.47	0.43	0.46	0.48	0.46	0.40	0.49	0.48	0.45
Density of IB (kg/m ³)	738	736	736	740	735	731	740	732	733
TS (%)	8.80	9.68	9.69	6.30	7.14	7.54	9.38	6.39	5.65
Density of TS (kg/m ³)	731	732	722	764	740	743	732	749	765



ภาพที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดหัก และความหนาแน่นของชุดควบคุม



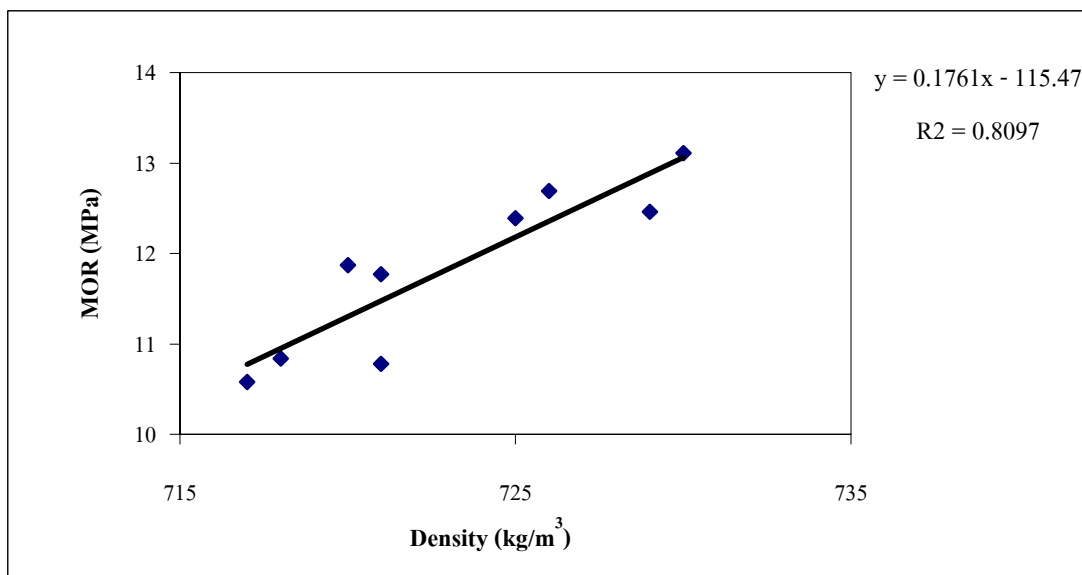
ภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตั้งฉาก และความหนาแน่นของชุดควบคุม



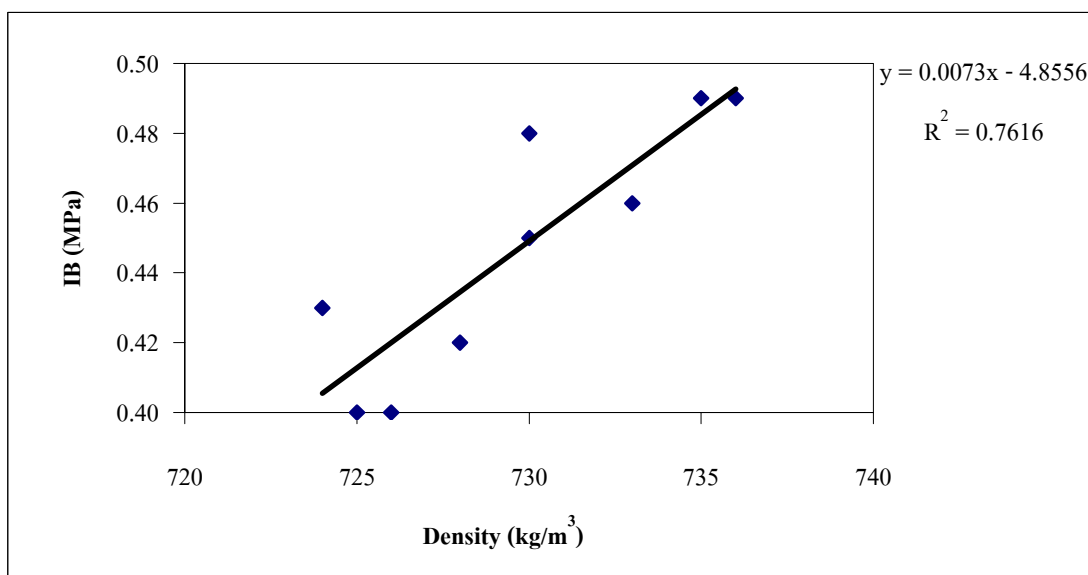
ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของชุดควบคุม

ตารางที่ 6 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง I ร้อยละ 5 dry/dry glue

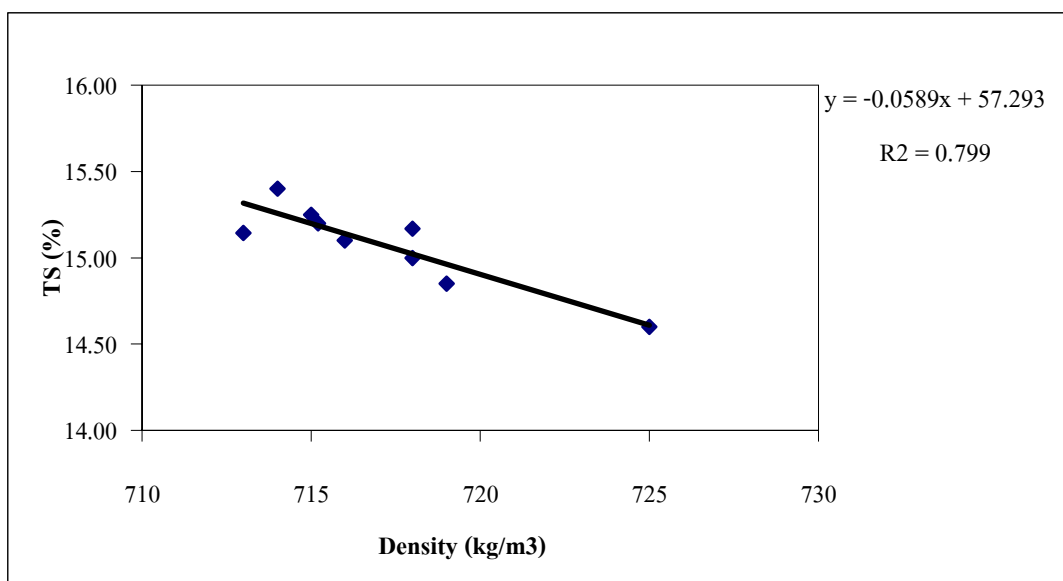
Additive (%dry/dry glue)	5								
Repeat	I			II			III		
Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
MOR (MPa)	13.11	12.39	12.69	11.87	10.84	12.46	10.58	10.78	11.77
Density of MOR (kg/m ³)	730	725	726	720	718	729	717	721	721
IB (MPa)	0.49	0.48	0.43	0.42	0.40	0.46	0.40	0.49	0.45
Density of IB (kg/m ³)	735	730	724	728	726	733	725	736	730
TS (%)	15.25	14.60	15.14	14.85	15.20	15.40	15.00	15.10	15.17
Density of TS (kg/m ³)	715	725	713	719	715	714	718	716	718



ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิ้งค์หัก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ I ร้อยละ 5 dry/dry glue



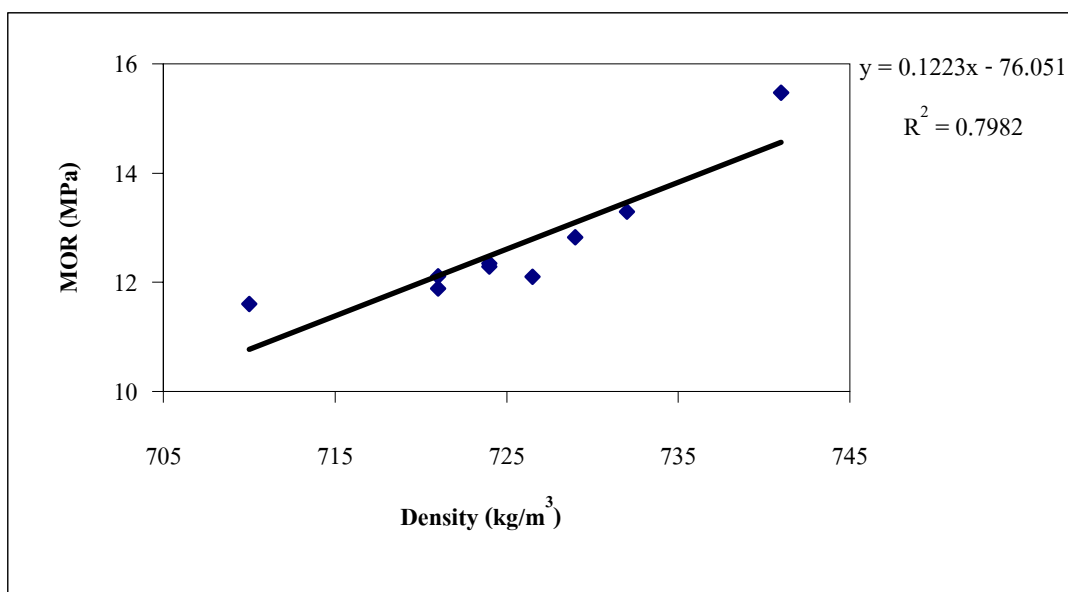
ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตึงฉาก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ I ร้อยละ 5 dry/dry glue



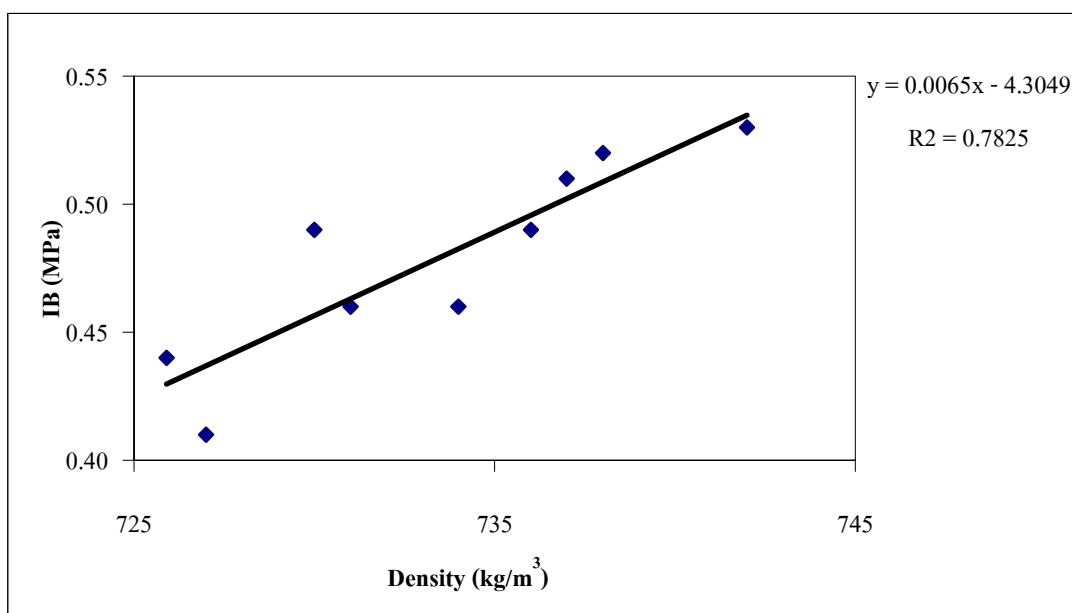
ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของสารเติมแต่ง ชนิดที่ I ร้อยละ 5 dry/dry glue

ตารางที่ 7 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง I ร้อยละ 10 dry/dry glue

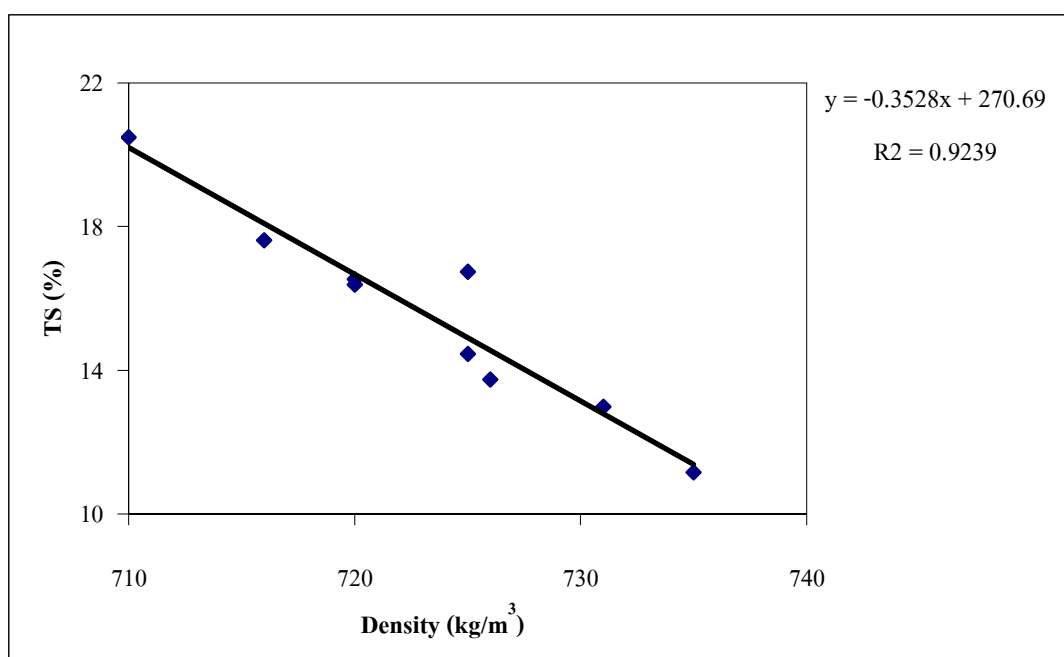
Additive (%dry/dry glue)	10								
Repeat	I			II			III		
Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
MOR (MPa)	11.89	12.35	12.29	13.29	12.10	12.11	11.60	15.47	12.82
Density of MOR (kg/m ³)	721	724	724	732	727	721	710	741	729
IB (MPa)	0.51	0.52	0.53	0.49	0.44	0.46	0.46	0.41	0.49
Density of IB (kg/m ³)	737	738	742	736	726	731	734	727	730
TS (%)	20.49	16.39	17.62	16.53	14.46	13.75	12.98	11.16	16.75
Density of TS (kg/m ³)	710	720	716	720	725	726	731	735	725



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดหัก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ I ร้อยละ 10 dry/dry glue



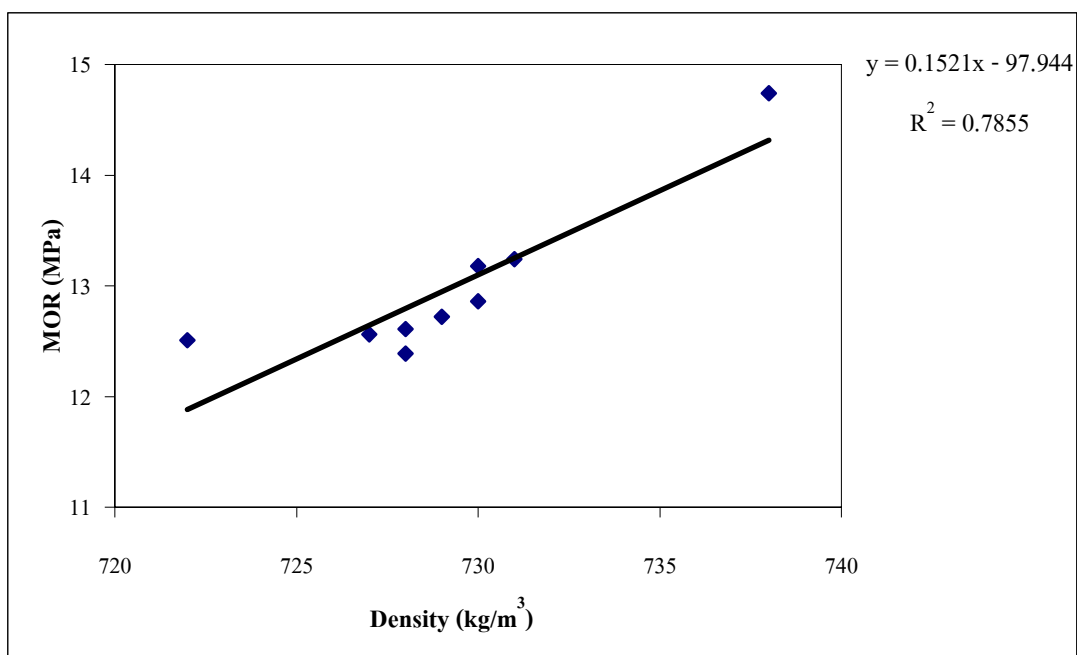
ภาพที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตึงฉาก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ I ร้อยละ 10 dry/dry glue



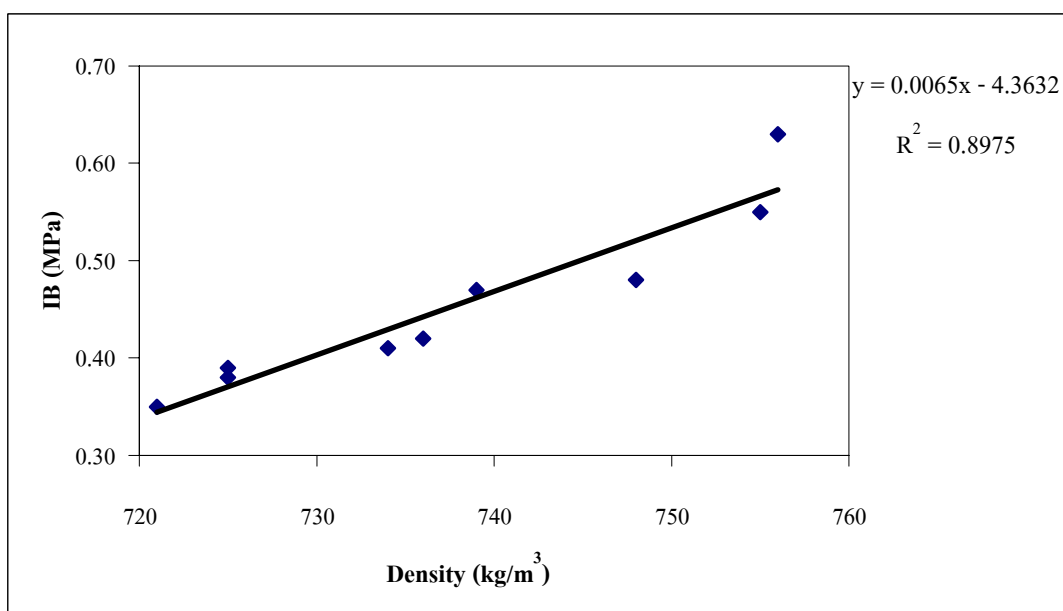
ภาพที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของสารเติมแต่ง ชนิดที่ I ร้อยละ 10 dry/dry glue

ตารางที่ 8 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง I ร้อยละ 15 dry/dry glue

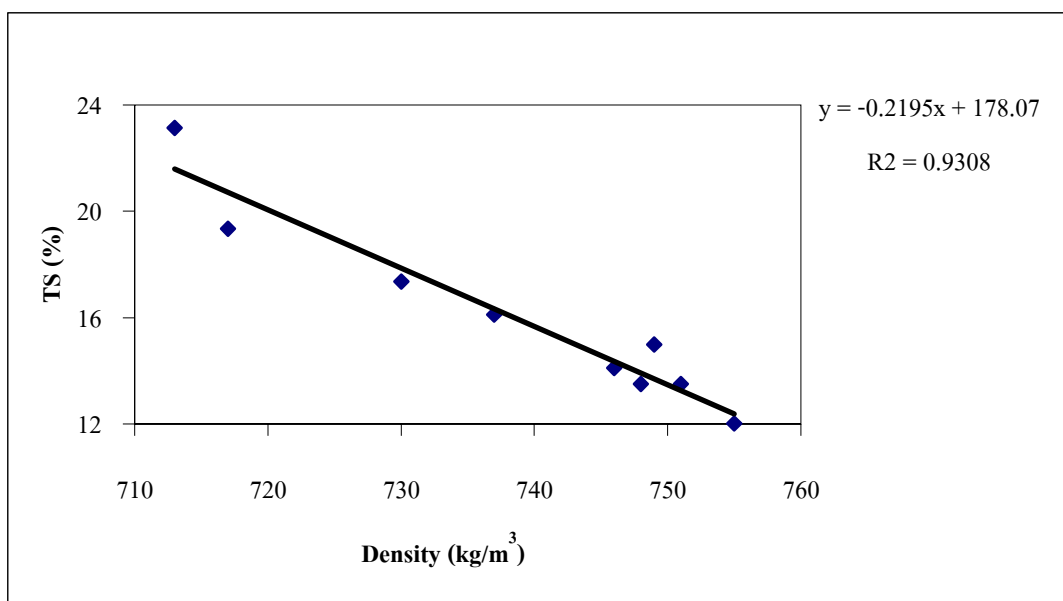
Additive (%dry/dry glue)	15								
Repeat	I			II			III		
Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
MOR (MPa)	12.72	12.39	12.86	14.74	13.24	12.61	12.51	12.56	13.18
Density of MOR (kg/m^3)	729	728	730	738	731	728	722	727	730
IB (MPa)	0.39	0.41	0.38	0.42	0.48	0.63	0.55	0.35	0.47
Density of IB (kg/m^3)	725	734	725	736	748	756	755	721	739
TS (%)	23.14	15	16.12	14.1	19.34	13.5	17.36	12.03	13.5
Density of TS (kg/m^3)	713	749	737	746	717	751	730	755	748



ภาพที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิคัดหัก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ I ร้อยละ 15 dry/dry glue



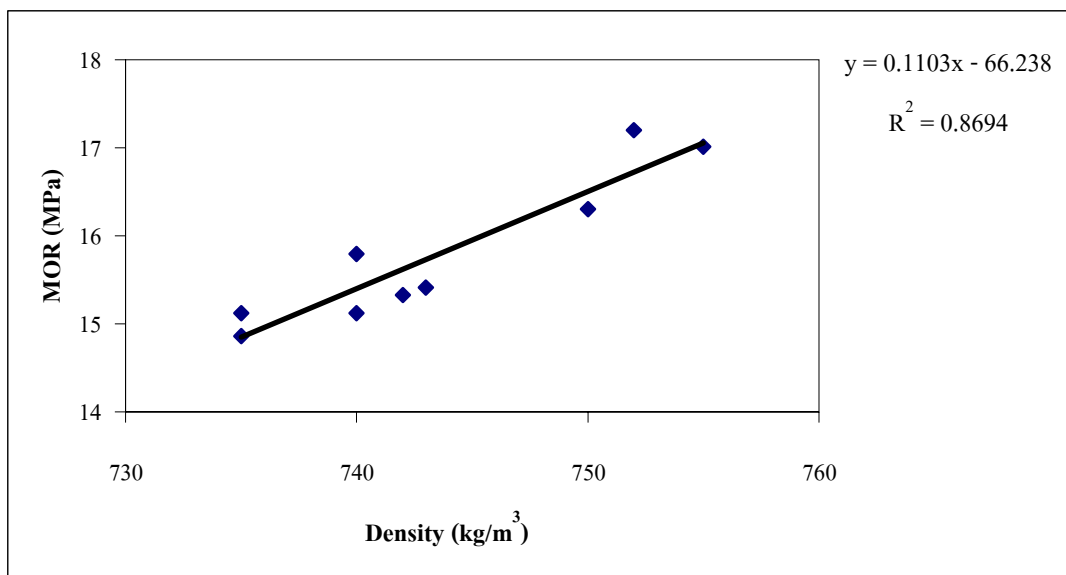
ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตึงจาก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ I ร้อยละ 15 dry/dry glue



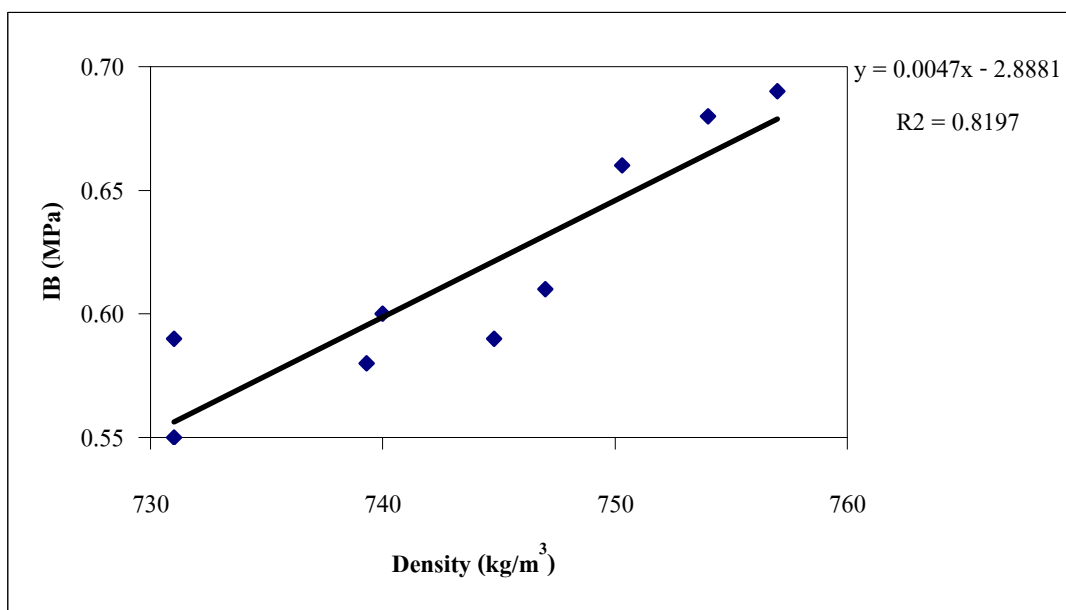
ภาพที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของสารเติมแต่ง ชนิดที่ I ร้อยละ 15 dry/dry glue

ตารางที่ 9 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง II ร้อยละ 5 dry/dry glue

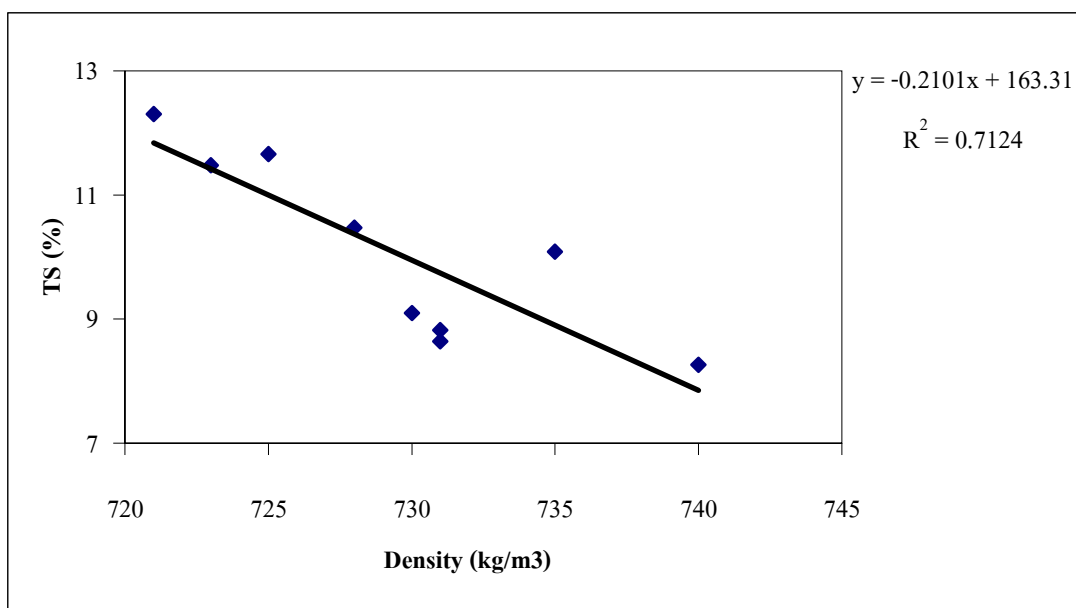
Additive (%dry/dry glue)	5								
Repeat	I			II			III		
Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
MOR (MPa)	16.86	15.35	17.80	14.56	17.29	14.69	14.83	14.97	15.79
Density of MOR (kg/m ³)	750	742	752	735	755	740	743	735	740
IB (MPa)	0.69	0.58	0.60	0.59	0.55	0.68	0.59	0.66	0.61
Density of IB (kg/m ³)	757	739	740	745	731	754	731	750	747
TS (%)	8.26	8.64	10.47	12.30	8.82	9.10	11.66	11.48	10.09
Density of TS (kg/m ³)	740	731	728	721	731	730	725	723	735



ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดหัก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ II ร้อยละ 5 dry/dry glue



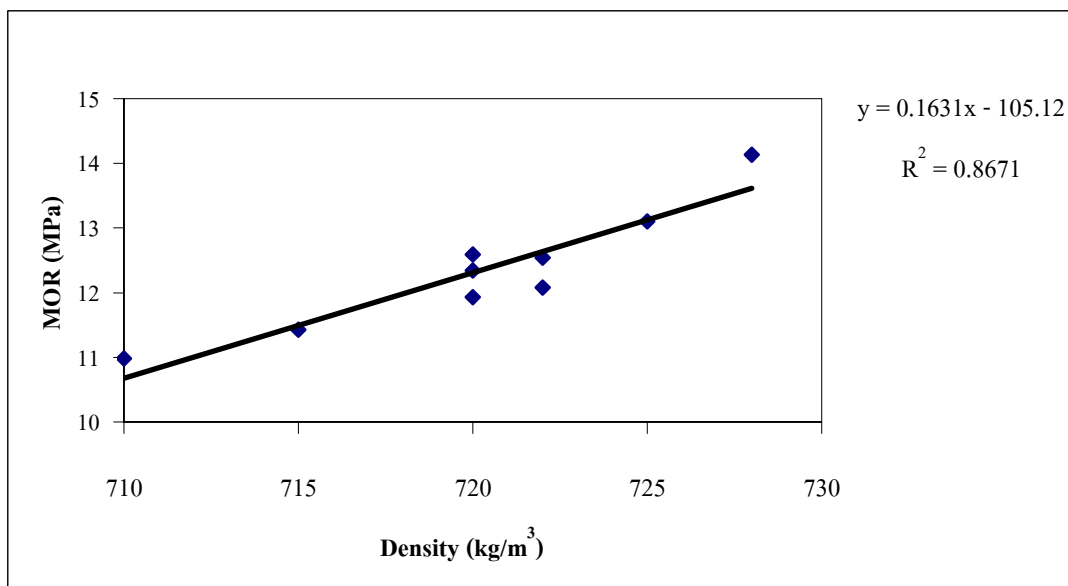
ภาพที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตึงจาก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ II ร้อยละ 5 dry/dry glue



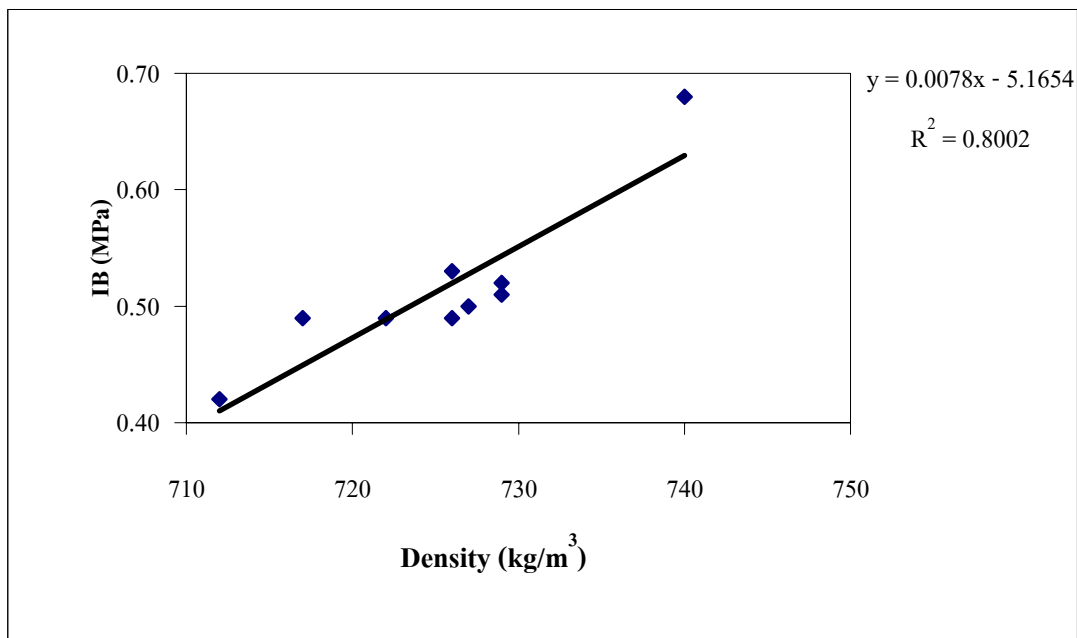
ภาพที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของ สารเติมแต่ง ชนิดที่ II ร้อยละ 5 dry/dry glue

ตารางที่ 10 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง II ร้อยละ 10 dry/dry glue

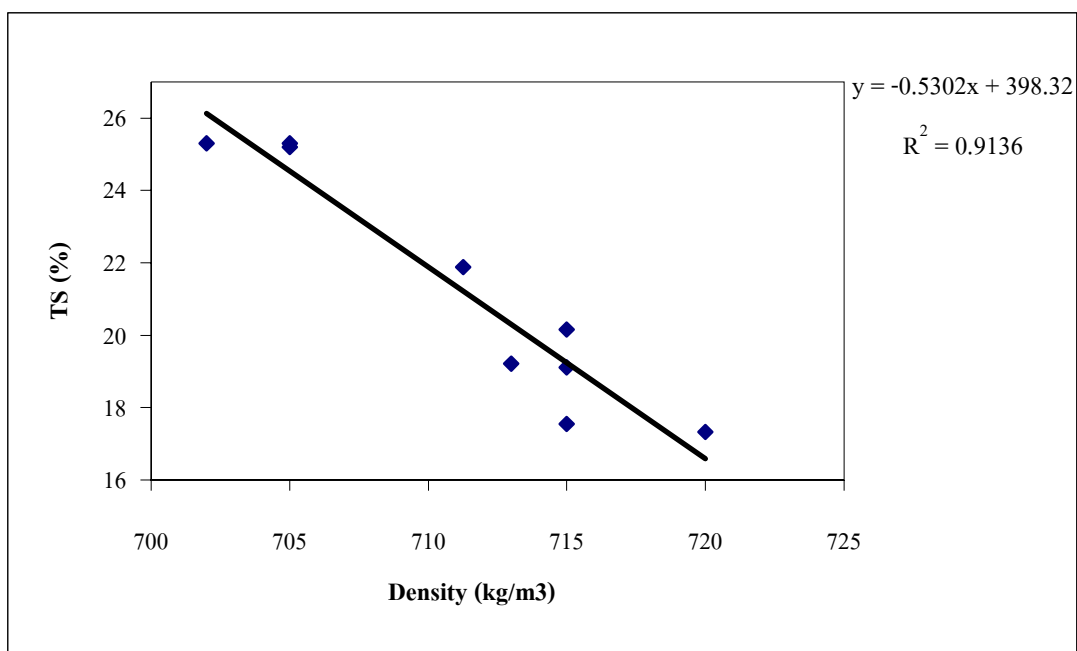
Additive (%dry/dry glue)	10								
Repeat	I			II			III		
Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
MOR (MPa)	12.53	11.11	11.21	12.33	12.21	12.70	13.01	12.00	12.14
Density of MOR (kg/m ³)	722	710	715	725	720	720	728	720	722
IB (MPa)	0.68	0.51	0.49	0.49	0.52	0.42	0.53	0.50	0.49
Density of IB (kg/m ³)	740	729	717	726	729	712	726	727	722
TS (%)	17.55	25.30	20.00	22.09	25.20	25.31	20.16	19.54	21.89
Density of TS (kg/m ³)	715	702	713	715	705	705	715	720	711



ภาพที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดหัก และความหนาแน่นของสารเติมแต่ง ชนิดที่ II ร้อยละ 10 dry/dry glue



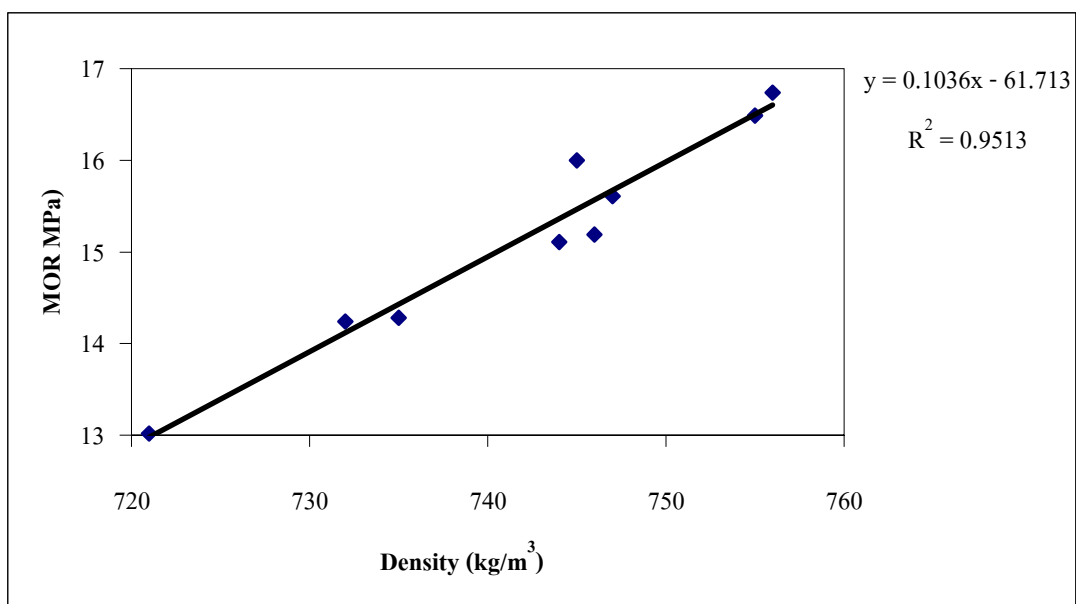
ภาพที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตึงฉาก และความหนาแน่นของสารเติมแต่ง ชนิดที่ II ร้อยละ 10 dry/dry glue



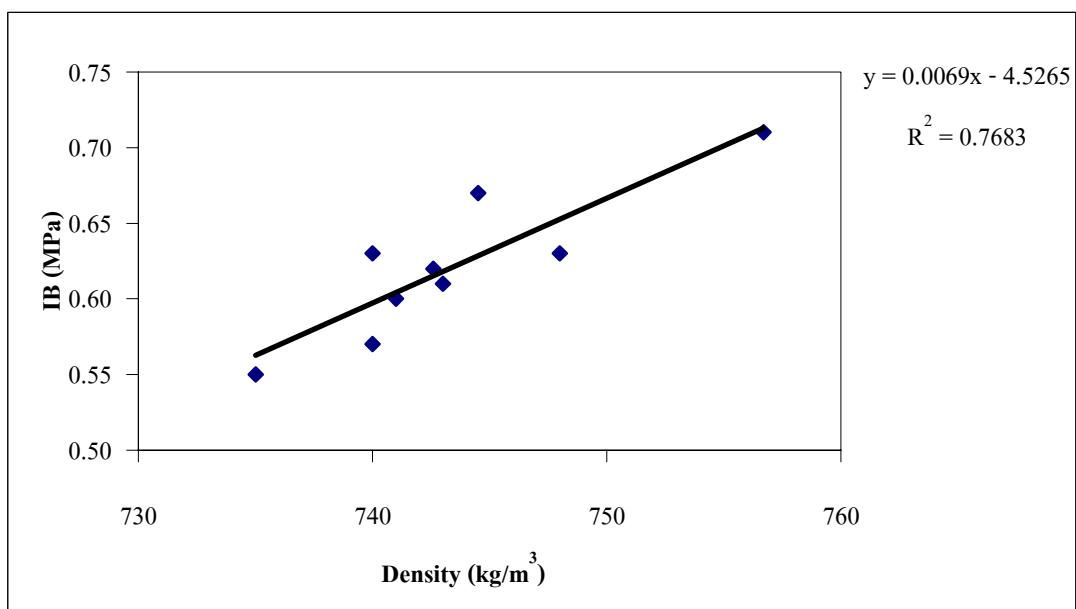
ภาพที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัว และความหนาแน่นของสารเติมแต่ง ชนิดที่ II ร้อยละ 10 dry/dry glue

ตารางที่ 11 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง II ร้อยละ 15 dry/dry glue

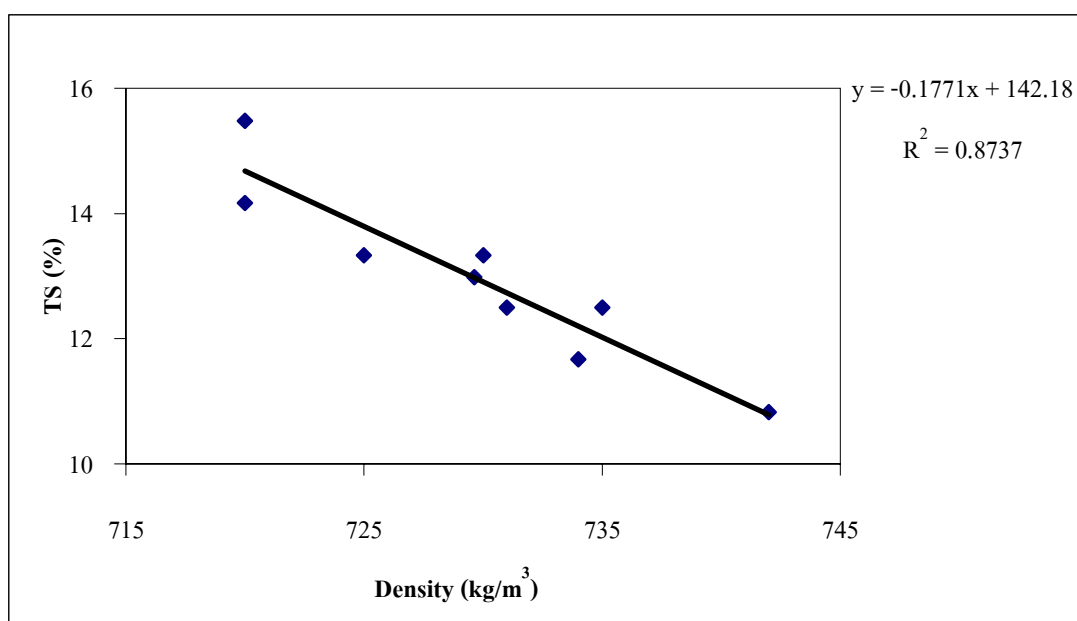
Additive (%dry/dry glue)	15								
Repeat	I			II			III		
Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
MOR (MPa)	14.24	13.02	15.11	16.49	16.74	14.28	16.00	15.61	15.19
Density of MOR (kg/m ³)	732	721	744	755	756	735	745	747	746
IB (MPa)	0.71	0.67	0.63	0.62	0.57	0.55	0.61	0.63	0.60
Density of IB (kg/m ³)	757	745	740	743	740	735	743	748	741
TS (%)	11.67	10.83	15.48	13.33	12.50	14.17	12.50	13.33	12.98
Density of TS (kg/m ³)	734	742	720	725	731	720	735	730	730



ภาพที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟิสิกส์และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ II ร้อยละ 15 dry/dry glue



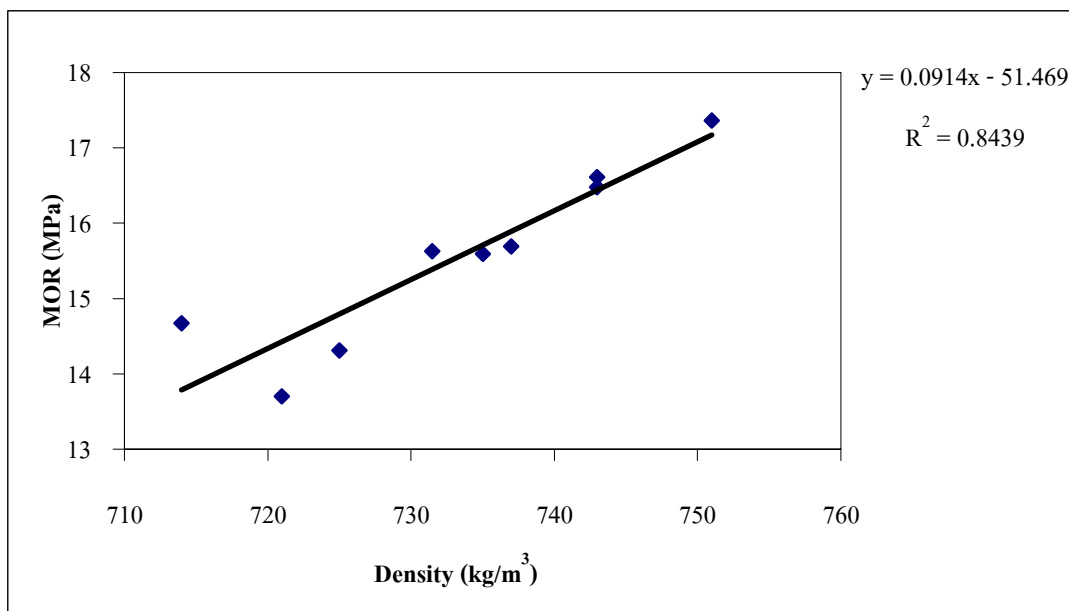
ภาพที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตั้งฉากและความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ II ร้อยละ 15 dry/dry glue



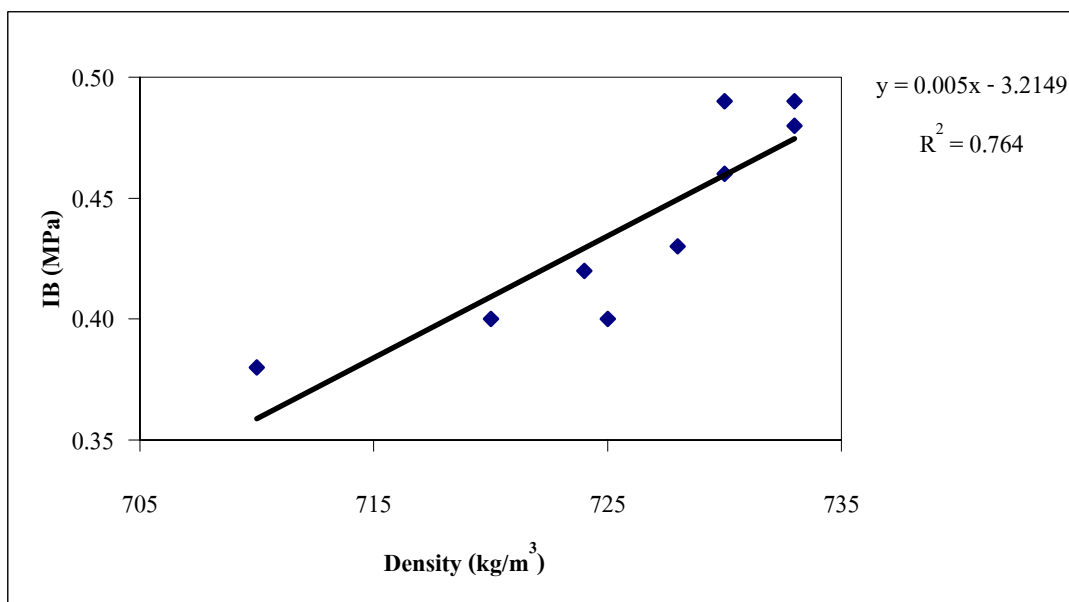
ภาพที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของสารเติมแต่ง ชนิดที่ II ร้อยละ 15 dry/dry glue

ตารางที่ 12 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง III ร้อยละ 5 dry/dry glue

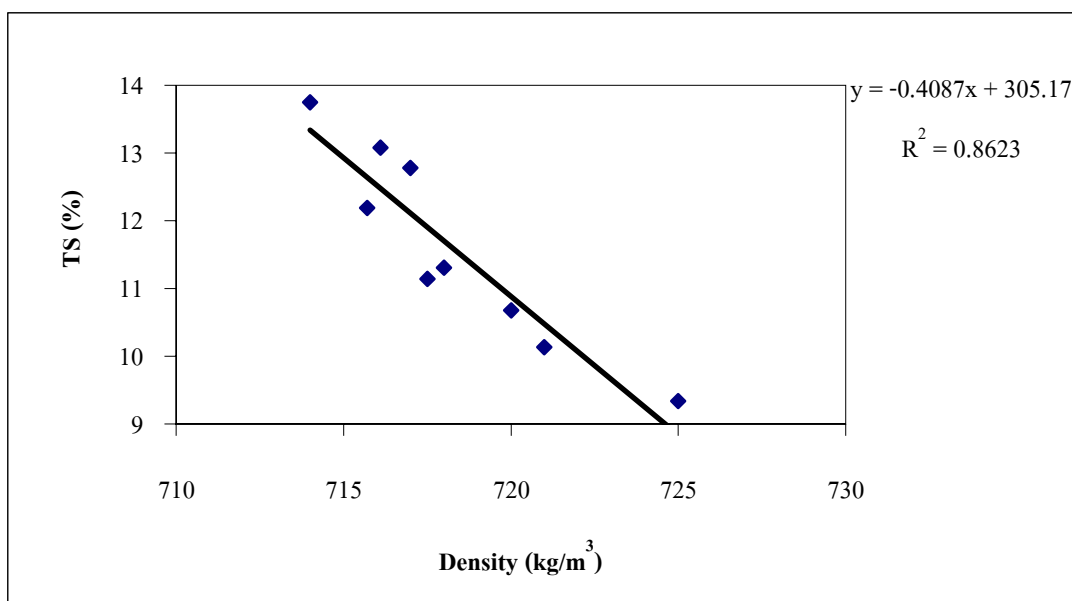
Additive (%dry/dry glue)	5								
Repeat	I			II			III		
Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
MOR (MPa)	13.70	16.48	14.31	15.63	14.67	17.36	15.69	16.61	15.59
Density of MOR (kg/m^3)	721	743	725	732	714	751	737	743	735
IB (MPa)	0.49	0.48	0.43	0.42	0.38	0.40	0.46	0.40	0.49
Density of IB (kg/m^3)	730	733	728	724	710	720	730	725	733
TS (%)	15.25	14.60	15.15	14.85	15.20	15.40	15.00	15.10	15.17
Density of TS (kg/m^3)	718	725	717	720	716	714	721	716	718



ภาพที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดหัก และความหนาแน่นของสารเติมแต่ง ชนิดที่ III ร้อยละ 5 dry/dry glue



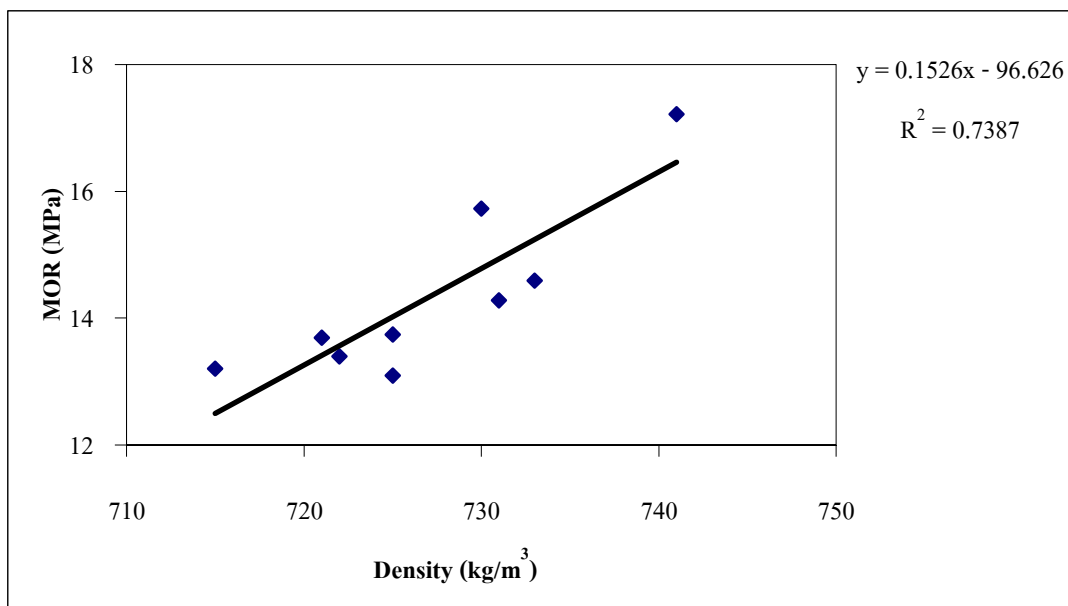
ภาพที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตั้งฉาก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ III ร้อยละ 5 dry/dry glue



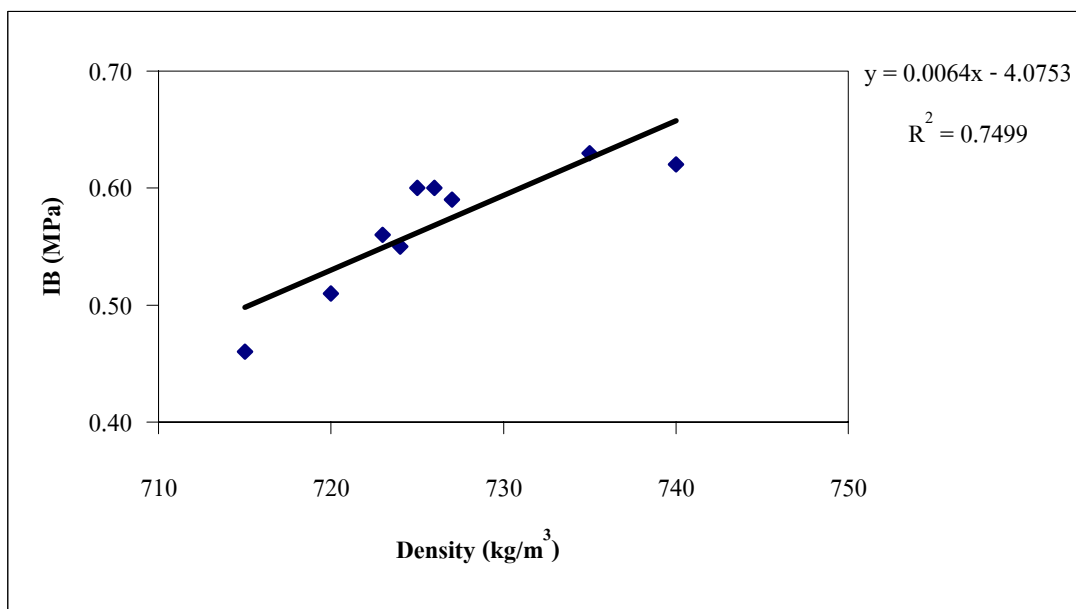
ภาพที่ 24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของสารเติมแต่ง ชนิดที่ III ร้อยละ 5 dry/dry glue

ตารางที่ 13 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง III ร้อยละ 10 dry/dry glue

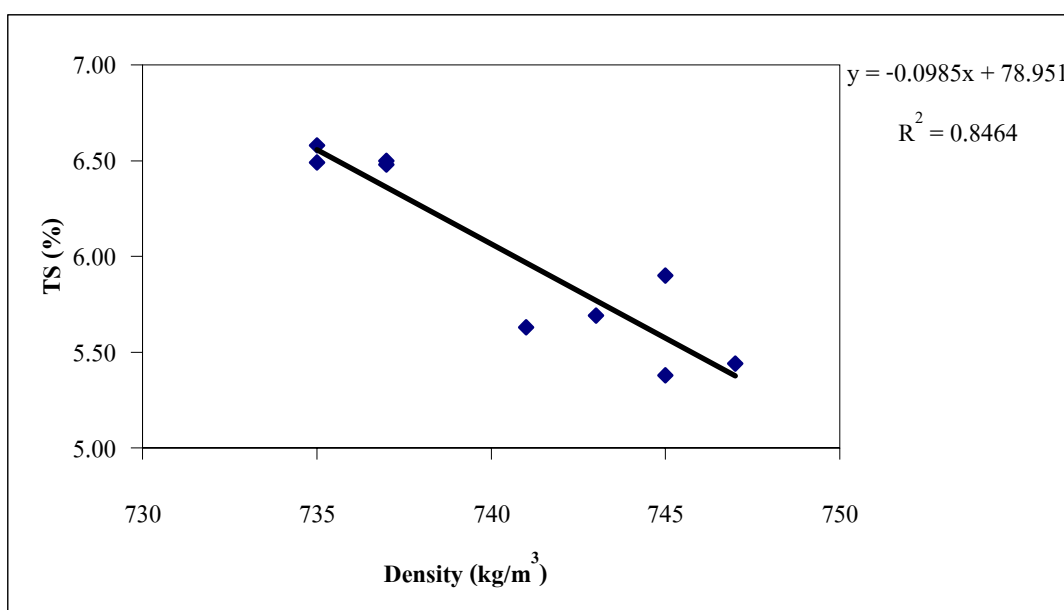
Additive (%dry/dry glue)	10								
Repeat	I			II			III		
Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
MOR (MPa)	13.20	13.69	17.22	15.73	13.40	13.09	13.74	14.59	14.28
Density of MOR (kg/m ³)	715	721	741	730	722	725	725	733	731
IB (MPa)	0.60	0.62	0.56	0.46	0.51	0.60	0.63	0.55	0.59
Density of IB (kg/m ³)	726	740	723	715	720	725	735	724	727
TS (%)	5.44	6.48	5.69	6.58	6.50	5.90	6.49	5.63	5.38
Density of TS (kg/m ³)	747	737	743	735	737	745	735	741	745



ภาพที่ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดหัก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ III ร้อยละ 10 dry/dry glue



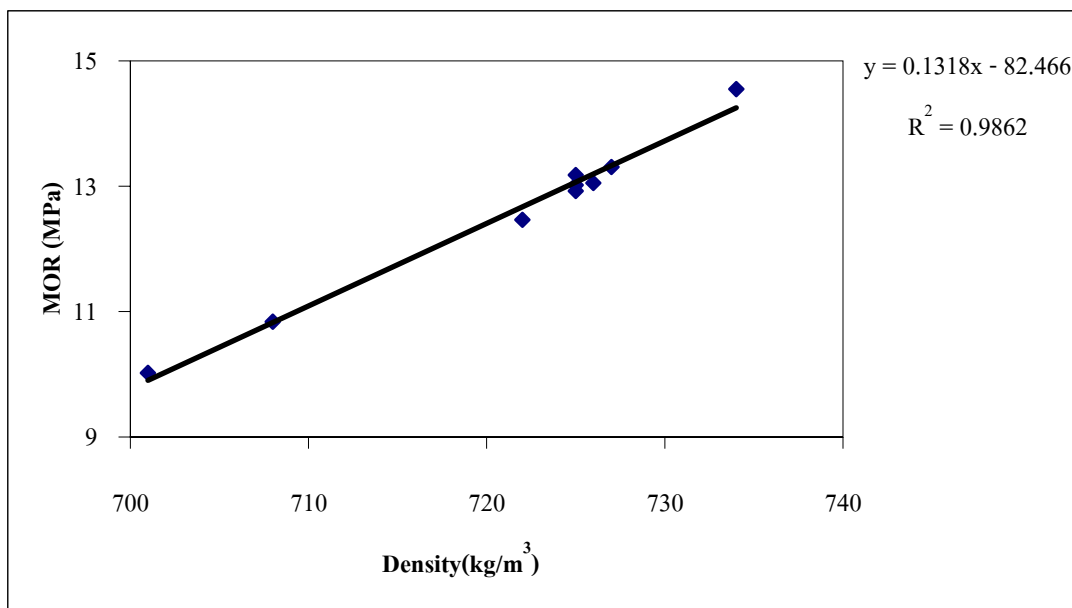
ภาพที่ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตึงฉาก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ III ร้อยละ 10 dry/dry glue



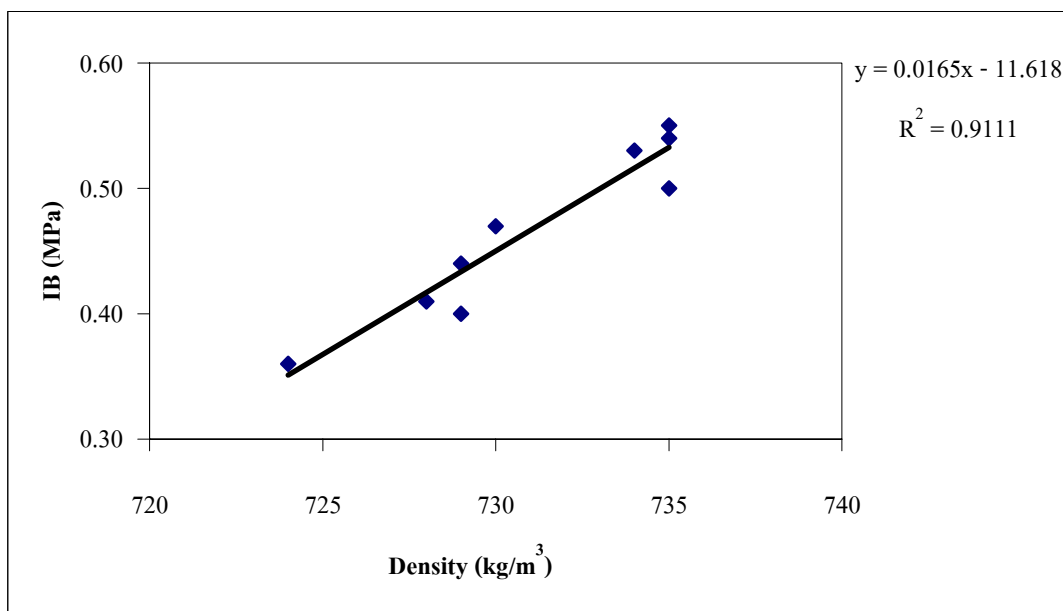
ภาพที่ 27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของสารเติมแต่ง ชนิดที่ III ร้อยละ 10 dry/dry glue

ตารางที่ 14 ตารางแสดงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใช้ สารเติมแต่ง III ร้อยละ 15 dry/dry glue

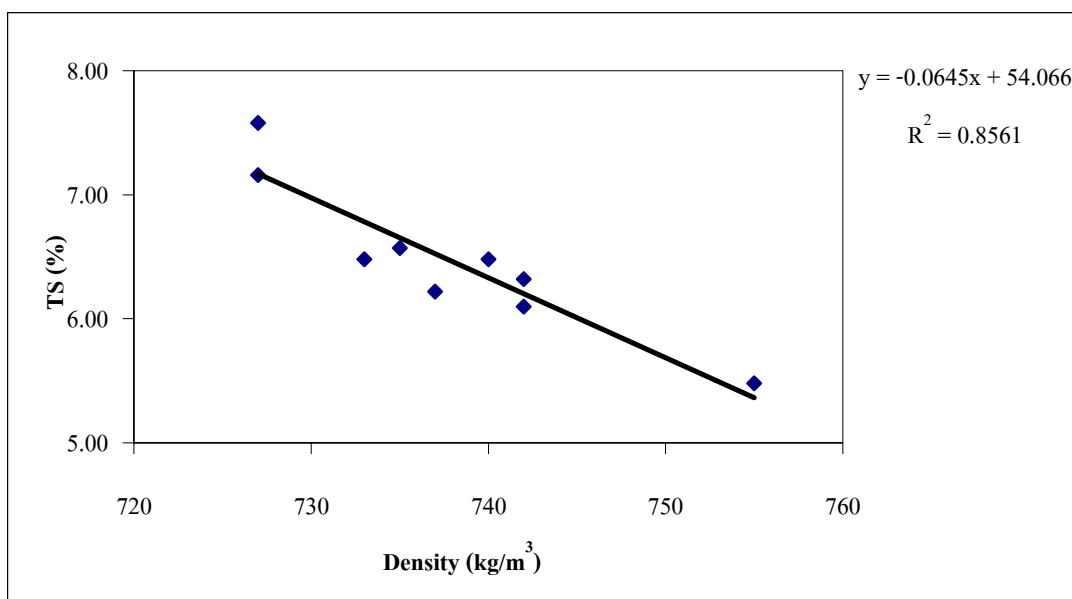
Additive (%dry/dry glue)	15								
Repeat	I			II			III		
Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
MOR (MPa)	10.84	14.55	10.02	13.05	12.92	13.31	13.02	12.46	13.18
Density of MOR (kg/m ³)	708	734	701	726	725	727	725	722	725
IB (MPa)	0.50	0.41	0.44	0.55	0.53	0.54	0.47	0.36	0.40
Density of IB (kg/m ³)	735	728	729	735	734	735	730	724	729
TS (%)	6.32	7.58	6.10	7.16	5.48	6.48	6.22	6.57	6.48
Density of TS (kg/m ³)	742	727	742	727	755	733	737	735	740



ภาพที่ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดหัก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ III ร้อยละ 15 dry/dry glue



ภาพที่ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตึงฉาก และความหนาแน่นของสารเติมแต่งชนิดที่ III ร้อยละ 15 dry/dry glue



ภาพที่ 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว และความหนาแน่นของสารเติมแต่ง ชนิดที่ III ร้อยละ 15 dry/dry glue

เนื่องจากความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัด ของขึ้นตัวอย่างมีความแตกต่างกัน เพื่อควบคุมปัจจัยภายนอกที่เกิดจากความหนาแน่น จึงต้องทำการปรับให้ความหนาแน่นของตัวอย่างให้คงที่ เนื่องจากความหนาแน่นมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าพิกัดหัก ค่าการยืดติดของกาว และค่าการพองตัว

การปรับความหนาแน่นให้เท่ากัน ทำโดยหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น คุณสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นขึ้นไม้อัด ตามสมการที่แสดงดังภาพที่ 1 ถึง 30

จากกราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งที่ได้ ทำการปรับคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ความหนาแน่น 730 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เนื่องจากแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีความหนาตั้งแต่ 9 – 12 มิลลิเมตร ที่ผลิตส่วนใหญ่มีความหนาแน่นประมาณ 730 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าที่ได้จากการปรับแก้แสดงดังตารางที่ 15 ถึง 17

ตัวอย่างการคำนวณเพื่อปรับแก้คุณสมบัติทางกายภาพ

จากภาพที่ 1 ของชุดควบคุม สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดหักและความหนาแน่น

$$\text{ดังสมการ } Y = 0.0965 X - 57.575$$

โดยที่ X คือ ความหนาแน่น, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Y คือ ค่าพิกัดหัก, MPa

แทนค่า X = 730 ในสมการพิกัดหัก

$$Y = (730 \times 0.0965) - 57.575$$

$$= 12.87 \text{ MPa}$$

ฉะนั้น ค่าพิกัดหักของชุดควบคุมที่ผ่านการปรับแก้ เท่ากับ 12.87 MPa

ตารางที่ 15 ตารางค่าพิกัดหักที่ปรับความหนาแน่น

Additive (%dry/dry glue)	-	0	5	10	15
MOR (MPa)	Additive I	12.87	13.01	13.23	13.09
	Additive II	12.87	14.28	13.93	13.92
	Additive III	12.87	15.25	14.77	13.75

หมายเหตุ ค่าพิกัดหักที่ความหนาแน่นที่ 730 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 16 ตารางค่าแรงดึงตั้งฉากที่ปรับความหนาแน่น

Additive (%dry/dry glue)	-	0	5	10	15
IB (MPa)	Additive I	0.41	0.47	0.44	0.38
	Additive II	0.41	0.54	0.53	0.51
	Additive III	0.41	0.44	0.60	0.43

หมายเหตุ ค่าการยึดติดที่ความหนาแน่นที่ 730 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 17 ตารางค่าการพองตัวที่ปรับความหนาแน่น

Additive (%dry/dry glue)	-	0	5	10	15
TS (%)	Additive I	9.00	14.30	13.15	17.84
	Additive II	9.00	9.94	11.27	12.97
	Additive III	9.00	6.82	7.05	6.98

หมายเหตุ ค่าการพองตัวที่ความหนาแน่นที่ 730 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 18 ตารางแสดงปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์

Additive	Formaldehyde Content (mg/100g dry board)											
	Control			5			10			15		
% dry/dry glue	Control			5			10			15		
Repeat	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Additive I	9.96	9.94	9.69	7.59	7.6	7.61	5.44	5.44	5.44	4.75	4.77	4.76
Additive II	9.96	9.94	9.69	7.14	7.15	7.14	4.94	4.93	4.95	4.75	4.75	4.74
Additive III	9.96	9.94	9.69	5.94	5.95	5.92	4.67	4.68	4.68	3.87	3.88	3.90

ตารางที่ 19 ตารางคุณภาพและปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ปรับค่าตามความหนาแน่น

Properties	Additives									
	Control	I			II			III		
dry/dry glue (%)	0	5	10	15	5	10	15	5	10	15
MOR (MPa)	12.87	13.01	13.23	13.09	14.28	13.93	13.92	15.25	14.77	13.75
IB (MPa)	0.41	0.47	0.44	0.38	0.54	0.53	0.51	0.44	0.60	0.43
TS (%)	9.00	14.30	13.15	17.84	9.94	11.27	12.97	6.82	7.05	6.98
Emission (mg/100 g OD)	9.86	7.60	5.44	4.76	7.14	4.94	4.75	5.94	4.68	3.88

หมายเหตุ ค่าการพองตัวที่ความหนาแน่นที่ 730 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

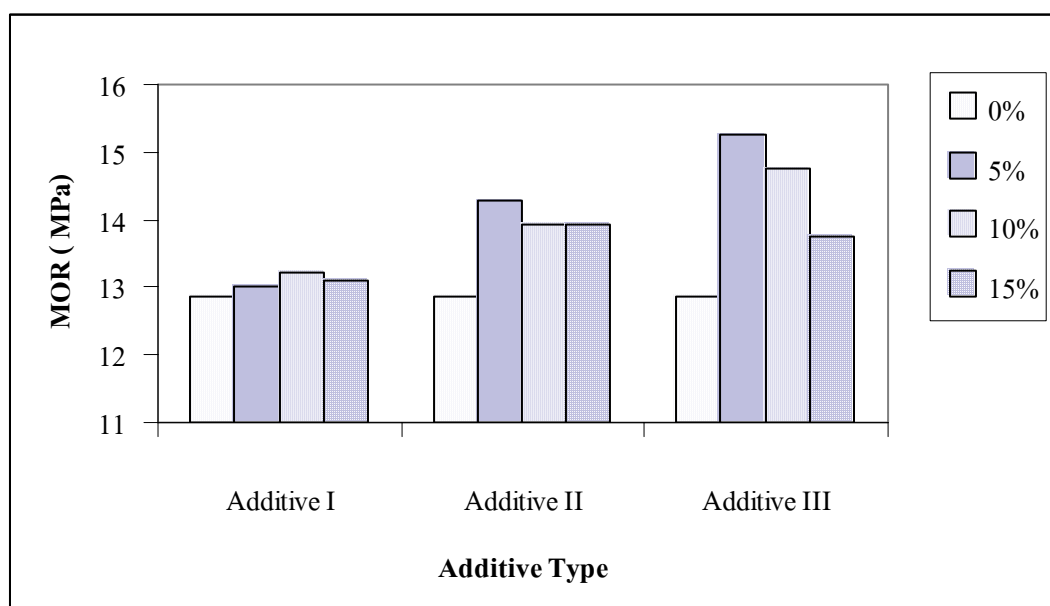
2. การวิเคราะห์ข้อมูลที่ผ่านการปรับความหนาแน่นแล้ว เพื่อทำการศึกษาอิทธิพลของสารเติมแต่ง แต่ละชนิดที่มีผลต่อคุณภาพ และปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ของแผ่นไม้ ไปทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS (ANOVA) และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิด และปริมาณของสารเติมแต่ง ที่มีผลต่อคุณภาพและปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ของแผ่นไม้ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 20, 21, 22 และ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์แสดงดังภาพที่ 31, 32, 33 และ 34

ตารางที่ 20 ตารางการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของชนิด และปริมาณแป้งคัดแปรที่ใช้ที่มีผลกระทบต่อค่าพิกัดหัก

Dependent Variable: MOR

Source	Sum of Square	Df	Mean Square	F	Sig.
Main Effects	8.345	5	1.699	7.869	0.013
Percent of Additives	6.248	3	2.083	9.820	0.010
Type of Additives	2.097	2	1.048	4.943	0.054
Model	8.345	5	1.669	7.869	0.013
Residual	1.273	6	0.212		
Total	9.617	11	0.874		

^a. MOR by Percent, Additives alpha = 0.05



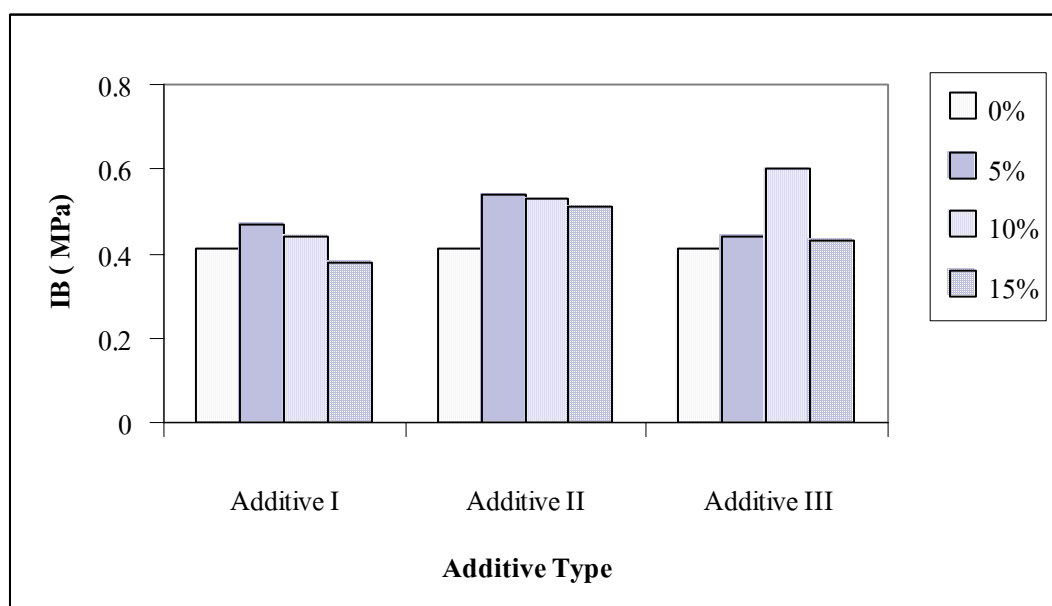
ภาพที่ 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดหัก ชนิด และปริมาณของสารเติมแต่ง

ตารางที่ 21 ตารางการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของชนิดและปริมาณสารเติมแต่งที่ใช้ที่มีผลต่อค่าแรงดึงตึงฉาก

Dependent Variable: IB

Source	Sum of Square	Df	Mean Square	F	Sig.
Main Effects	4.542E-02	5	9.083E-02	6.00	0.025
Percent of Additives	3.397E-02	3	1.132E-02	2.508	0.019
Type of Additives	1.145E-02	2	5.725E-03	5.519	0.087
Model	4.452E-02	5	9.083E-03	5.519	0.025
Residual	9.083E-03	6	1.514E-03	6.00	
Total	5.450E-02	11	4.955E-03		

^a. IB by Percent, Additives alpha = 0.05



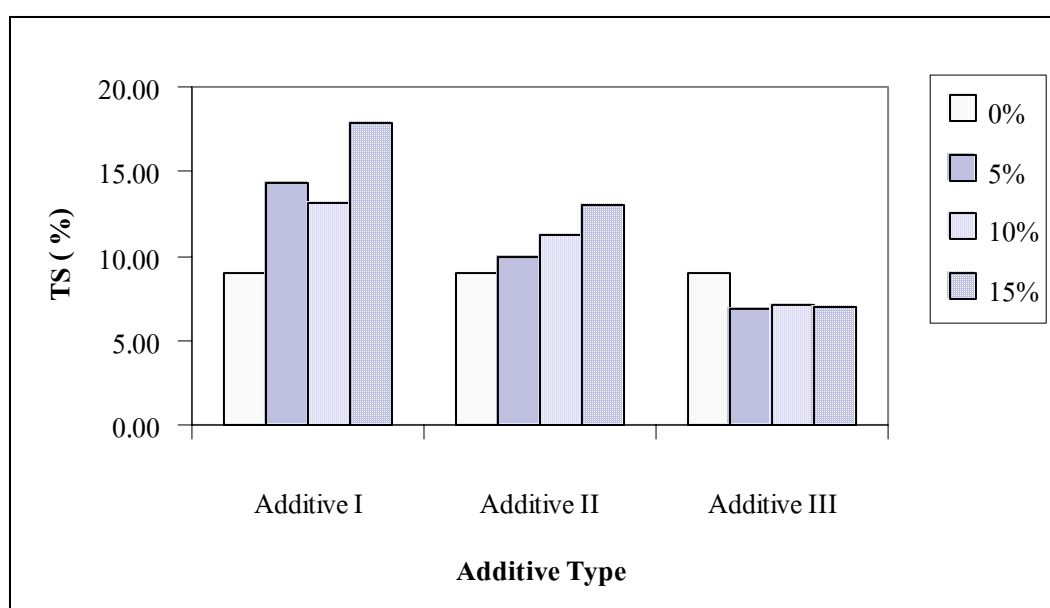
ภาพที่ 32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงตึงฉาก ชนิด และปริมาณของสารเติมแต่ง

ตารางที่ 22 ตารางการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าการพองตัว ชนิด และปริมาณสารเติมแต่ง

Dependent Variable: TS

Source	Sum of Square	Df	Mean Square	F	Sig.
Main Effects	91.434	5	18.287	3.330	0.088
Percent of Additives	18.649	3	6.216	1.132	0.408
Type of Additives	72.785	2	36.392	6.628	0.030
Model	91.434	5	18.287	3.330	0.088
Residual	32.946	6	5.491		
Total	124.379	11	11.307		

^a. TS by Percent, Additives alpha = 0.05



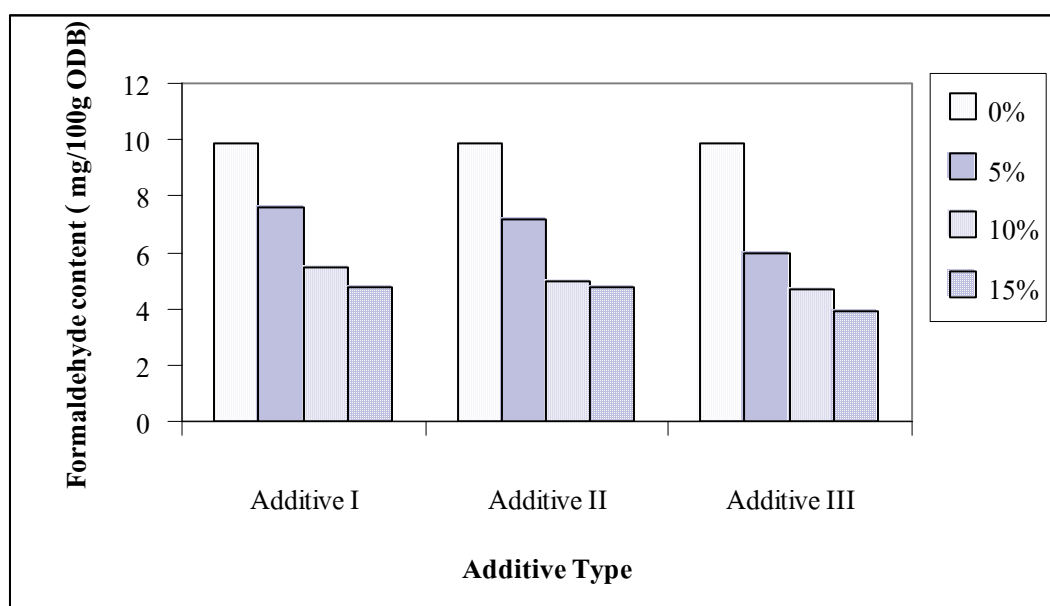
ภาพที่ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัว ชนิดและปริมาณสารเติมแต่ง

ตารางที่ 23 ตารางการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ ชนิด และปริมาณสารเติมแต่งที่ใช้ที่มีผล
กระทบต่อค่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์

Dependent Variable: formaldehyde content

Source	Sum of Square	Df	Mean Square	F	Sig.
Main effect	500.209 ^a	11	45.474	10493.897	0.000
Percent of Additives	479.545	3	159.848	36888.046	0.000
Type of Additives	13.067	2	6.533	1507.715	0.000
Model	7.598	6	1.266	292.215	0.000
Residual	0.416	24	4.333E-03		
Total	5151.403	36	5151.403		

^a. formaldehyde content by Percent, Additives alpha = 0.05



ภาพที่ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ชนิด และปริมาณสารเติมแต่ง

วิจารณ์ผลการทดลอง

ค่าพิกัดหัก

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากตารางที่ 20 พบว่าระดับปริมาณการใช้ของสารเคมีแต่งมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าพิกัดหัก โดยที่สารเคมีแต่งชนิดที่ I, II และ III ที่ระดับปริมาณการใช้ร้อยละ 5, 10 และ 15 จะทำให้ค่าพิกัดหักของแผ่นไม้สูงขึ้น เมื่อเทียบกับแผ่นไม้ที่ไม่เติมสารเคมีแต่ง สารเคมีแต่งชนิดที่ I ที่ระดับปริมาณการใช้ร้อยละ 5 และ 10 ให้ค่าพิกัดหักใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้สารเคมีแต่งมากขึ้น สารเคมีแต่งชนิดที่ II ที่ระดับปริมาณการใช้ร้อยละ 5 และ 10 ให้ค่าพิกัดหักใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้มากขึ้น สารเคมีแต่งชนิดที่ III ที่ระดับปริมาณการใช้ร้อยละ 5 ให้ค่าพิกัดหักสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระดับปริมาณการใช้สารเคมีแต่งมากขึ้น ที่ระดับปริมาณการใช้ร้อยละ 5 และ 10 ให้ค่าพิกัดหักสูงกว่าสารเคมีแต่งชนิดที่ I และ II ทั้งสามระดับการทดลอง

ค่าแรงดึงตึงฉาก

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากตารางที่ 21 ระดับปริมาณการใช้สารเคมีแต่งมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแรงดึงตึงฉากของกาว โดยที่สารเคมีแต่งชนิดที่ I ที่ระดับปริมาณการใช้ร้อยละ 5, 10 และ 15 จะทำให้ค่าแรงดึงตึงฉากของแผ่นไม้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นไม้ที่ไม่เติมสารเคมีแต่ง เมื่อเพิ่มระดับปริมาณ สารเคมีแต่ง เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าแรงดึงตึงฉากลดลง สารเคมีแต่งชนิดที่ II ที่ระดับปริมาณการใช้ร้อยละ 5, 10 และ 15 จะทำให้ค่าการยึดติดของแผ่นไม้เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับแผ่นไม้ที่ไม่เติมสารเคมีแต่ง และเมื่อใช้เพิ่มระดับปริมาณสารเคมีแต่ง เพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 15 มีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าแรงดึงตึงฉากลดลง สารเคมีแต่งชนิดที่ III ทำให้ค่าแรงดึงตึงฉากสูงขึ้นทั้ง 3 ระดับการทดลอง โดยที่ระดับปริมาณสารเคมีแต่งที่ ร้อยละ 10 เป็นระดับที่ให้ค่าแรงดึงตึงฉากของกาวสูงสุด และเมื่อเพิ่มระดับปริมาณสารเคมีแต่งเป็นร้อยละ 15 จะทำให้ค่าแรงดึงตึงฉากลดลง ค่าแรงดึงตึงฉากเมื่อใช้ สารเคมีแต่งชนิดที่ I และ III มีแนวโน้มลดลง ที่เมื่อเพิ่มระดับปริมาณการใช้จาก ร้อยละ 10 เป็น ร้อยละ 15

ค่าการพองตัว

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากตารางที่ 22 พบว่าชนิดของสารเติมแต่งมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าการพองตัวของเมื่อน้ำและนอกจากนี้ยังพบว่า สารเติมแต่ง ชนิดที่ I และ II ทั้ง 3 ระดับการทดลองจะทำให้ค่าการพองตัวของแผ่นไม้เมื่อน้ำน้อยลง เมื่อเทียบกับแผ่นไม้ที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง สารเติมแต่ง III ที่ระดับปริมาณการใช้สารเติมแต่งร้อยละ 5, 10 และ 15 ทำให้ค่าการพองตัวดีขึ้น คือการพองตัวของแผ่นไม้ลดลงเมื่อเทียบกับแผ่นไม้ที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง ถ้าใช้ปริมาณมากกว่านี้ มีแนวโน้มที่จะทำให้คุณภาพแผ่นไม้ลดลง

ค่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์

ค่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Perforator Method ค่าที่วิเคราะห์ได้มีหน่วยวัดเป็น mg/100gODB แล้วจึงนำค่าที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานเพื่อจำแนกชั้นของแผ่นไม้อัด ค่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์อยู่ใน Class I จัดว่าเป็นแผ่นไม้ที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำ

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากตารางที่ 23 พบว่า ชนิด และปริมาณการเติม สารเติมแต่ง ทั้ง 3 ชนิด มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์และ สารเติมแต่ง ทั้ง 3 ชนิด สามารถนำไปทำการผลิตแผ่นไม้ที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำ ได้ประสิทธิภาพของสารเติมแต่งในการลดฟอร์มาลดีไฮด์แสดงดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ประสิทธิภาพของ สารเติมแต่งในการลดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในแผ่นชิ้นไม้อัด

Additives Type	-	1			2			3		
dry additive/dry glue (%)	0	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Formaldehyde Content (mg/100gOD)	9.86	7.6	5.44	4.76	7.14	4.94	4.75	5.94	4.68	3.88
Formaldehyde Content ที่ลดลง (%)	-	22.95	44.85	51.74	27.58	49.92	51.88	39.81	52.52	60.63
ผลต่าง Formaldehyde Content ที่ลดลง (%)	-	22.95	21.9	6.89	27.58	22.34	1.96	39.81	12.71	8.11

จากภาพที่ 34 และตารางที่ 24 พบว่า สารเติมแต่ง ทั้ง 3 ชนิด สามารถใช้ผลิตแผ่นไม้ที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำ Class I ได้

เมื่อใช้ สารเติมแต่ง ทั้ง 3 ชนิด พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้ สารเติมแต่งมากขึ้นทำให้ผลต่างของปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในแผ่นชิ้นไม้อัดที่ลดลง มีค่าร้อยละที่ลดต่ำลง ทำให้ทราบว่า ประสิทธิภาพของ สารเติมแต่งมีขีดจำกัดในการลดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ โดยที่ สารเติมแต่งชนิดที่ III, II และ I ที่ปริมาณการใช้ ร้อยละ 5 ให้ผลต่างของ ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในแผ่นชิ้นไม้อัดที่ลดลง สูงสุดร้อยละ 39.81 , 27.58 และ 22.95 ตามลำดับ

สารเติมแต่ง ชนิดที่ III ที่ปริมาณการใช้ร้อยละ 15 ทำให้ค่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในแผ่นชิ้นไม้อัดต่ำสุดเท่ากับ 3.88 mg /100g ODB.

สรุป

จากผลการทดลองพบว่า แป้งมันสำปะหลังสามารถนำมาทำสตาร์ชตัดแปร เพื่อใช้เป็นสารเติมแต่งในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำได้ (low formaldehyde emission) โดยที่สารเติมแต่ง ทั้ง 3 ชนิดให้ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

สารเติมแต่ง ทั้ง 3 ชนิด สามารถนำมาทำการผลิตแผ่นไม้ที่มีค่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำได้ (formaldehyde emission class I) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกาที่นำมาใช้ทำการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจะให้ค่าปริมาณค่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ของแผ่นขึ้นไม้อัดก่อนเติมสารเติมแต่ง เนื่องจากประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ของสารเติมแต่งมีขีดจำกัด

ปริมาณการใช้ สารเติมแต่ง ทั้ง 3 ชนิด เพียงร้อยละ 5 ก็สามารถผลิตแผ่นไม้ Class I ได้ สารเติมแต่ง ชนิดที่ 3 ที่ปริมาณการใช้ร้อยละ 10 ให้คุณภาพแผ่นไม้โดยรวมสูงกว่าแผ่นไม้ที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง โดยให้ค่าคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อปรับแก้แล้ว คือ ค่าพิคัดหัก เท่ากับ 14.77 MPa ค่าแรงดึงตั้งฉากเท่ากับ 0.60 MPa ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำเท่ากับร้อยละ 7.05 และค่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 4.68 mg/100gODB สารเติมแต่งชนิดที่ 3 ที่ปริมาณการใช้ร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ก็สามารถลดได้ร้อยละ 39.81

ปริมาณ สารเติมแต่ง สามารถใช้ผสมกับกาวได้ในปริมาณที่จำกัด โดยปริมาณที่เหมาะสมไม่ควรเกินร้อยละ 10 ปริมาณการใช้ที่มากเกินไปจะส่งผลให้คุณภาพของแผ่นไม้ด้อยลง แผ่นขึ้นไม้อัดที่มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำ ตามมาตรฐาน class I เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ ซึ่งในปี พ.ศ. 2548 ราคาแผ่นขึ้นไม้อัด class I มีราคาสูงกว่า class II

ในการทดลองจะต้องทำการควบคุมปัจจัยผลิตให้คงที่ เช่น ความชื้นของขึ้นไม้หลังการผสมกาว ปริมาณกาวที่ใช้ระยะเวลาในการอัดร้อน นอกจากนี้ความสม่ำเสมอในการขึ้นรูปก็มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของแผ่นไม้ทางด้านความแข็งแรงและการขยายตัวเมื่อแช่น้ำ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจทำให้คุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงในการทดลองมีความคลาดเคลื่อนได้

ข้อเสนอแนะ

1. สารเติมแต่งที่เตรียมขึ้นนี้ มีความเข้มข้นสูง จะทำให้ตกตะกอนได้ง่าย ก่อนการใช้งาน ควรทำการกวนทุกครั้ง
2. ในขบวนการผลิต การผสมกากับขึ้นไม้ และการขึ้นรูปของแผ่นมีความสม่ำเสมอว่า ซึ่งจะทำให้คุณภาพของแผ่นไม้ที่ได้ สูงกว่าในห้องปฏิบัติการ จึงควรนำผลการวิจัยที่ได้นี้ไปทำการพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้จริงในภาคอุตสาหกรรมการผลิต
3. สารเติมแต่ง มีความเข้มข้นสูง ทำให้ตกตะกอนได้ง่าย จึงควรปรับลดความเข้มข้นลง เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม
4. โครงสร้าง และความหนาแน่นของแผ่นไม้มีผลกระทบต่อคุณภาพของแผ่นไม้ ฉะนั้นจึง จำเป็นต้องควบคุมให้มีความสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น

การวิจัยนี้เป็นก้าวแรกของการพัฒนานำเอาแป้งมันสำปะหลังมาใช้ในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดและเป็นพื้นฐานให้ผู้ที่จะพัฒนาการผลิตแผ่นไม้ที่มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำในอนาคตต่อไปได้

จากผลการวิจัยพบว่าการนำแป้งมันสำปะหลังสามารถนำมาทำสตาร์ชตัดแปรเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำได้แล้ว ยังมีแนวโน้มที่จะลดปริมาณการใช้กาวในการผลิตได้ เนื่องจากคุณสมบัติทางด้านกายภาพสูงขึ้น จึงควรนำผลการวิจัยนี้ไปศึกษาและพัฒนาต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- เจริญศักดิ์ โรจน์ฤทธิ์พิเชษฐ์. 2529. มันสำปะหลัง ความสำคัญ อนาคตตลาด และการใช้ประโยชน์, น. 1-12. ใน การปลูกมันสำปะหลัง. เอกสารวิชาการ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปรีชา เกียรติกระจาย. 2531. กาวและการยัดติดไม้. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 245 น.
- วรธรรม อุ๋นจิตติชัย. 2541. อุตสาหกรรมการผลิตแผ่นปาร์ติเกิล (แผ่นขึ้นไม้อัด) และกรรมวิธีผลิต. กลุ่มพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ. 202 น.
- ศูนย์สถิติการเกษตร. 2539. สถิติการเกษตรของไทย ปีเพาะปลูก 2532/2533. เอกสารสถิติที่ 422. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กรุงเทพฯ. 270 น.
- อนันต์ชัย เชื้อนธรรม. 2532. แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกไม่สมบูรณ์. เอกสารประกอบการเรียน วิชาสถิติ 461. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 24 น.
- Bjorck, I., A. Gunnarsson and K. Ostergard. 1989. A Study of native and chemically modified potato starch. digestibility in the rat intestinal tract. **FSTA. Abstr.** 21 (9) : 130.
- Boonyasirikool, P., S. Renngmanceptoon, S. Thippayang and S. Prabhavat. 1986. **Asean-Thailand Food Technology Research and Development Project 1982-1985.** Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart Univ., Bangkok. 67 p.
- Caldwell, C.G. 1949. **Starch ester derivatives**, p. 43. Cited by O.B. Wurzburg. Modified Starches : Properties and Uses. CRC Press, Ltd., New York. 277 p.

- Chabot, J.F., L.F. Hood and J.E. Allen. 1976. **Effect of chemical modification on the ultrastructure of corn, waxy maize, and tapioca starches.** *Cereal chem.* 53 (1) : 85-91.
- Daniel, J.R. and R.L. Whistler. 1985. **Principle change in starches during food processing**, pp. 305-326. In T. Richardson and J.W. Finley (eds.). *Chemical Change in Food During Processing*. AVI. Publishing Company, Inc., Connecticut.
- Faubion, J.M. and R.C. Hoseney. 1982. **High-temperature short-time extrusion cooking of wheat starch and flour.** II. Effect of moisture and flour type on exudate properties. *Cereal Chem.* 59 (6) : 529-533.
- Felton, G.E. and H.H. Schopmeyer. 1943. **Thick-bodies starch and method of making.** U.S. Patent. 2,328,537.
- Fleche, G. 1985. **Chemical modification and degradation of starch**, pp. 73-99. In G.M.A. Van Beynum and J.A. Roels (eds.). *Starch Conversion Technology*. Marcel Dekkers, Inc., New York.
- Food Additives and Contaminants Committee Report on Modified Starches. 1989. **FAC/REP/31.** **Cited by E. Trimble.** *Modified Starches in Foods.* J. of Consumer Studies and Home Economics 7 : 247-260.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1982. **Specifications for Identity and Purity.** FAO Food and Nutrition Paper. 250 p.

- Greenwood, C.T. 1976. Starch, pp. 119-157. In Y. Pomeranz (ed.). **Advances in Cereal Science and Technology**. American Association of Cereal Chemists, Incorporated, St. Paul, Minnesota.
- Hamilton, R.M. and E.F. Paschall. 1967. **Production and uses of starch phosphates**, pp. 351-368. In R.L. Whistler, E.F. Paschall, J.N. Bemiller and H.J. Roberts (eds.). **Starch Chemistry and Technology**. Vol. II. Academic Press, Ltd., New York.
- Harmann, D.V. and J.M. Harper. 1974. **Modeling a forming foods extruder**. J. of Food Sci. 39 (6): 1099-1104.
- Heckman, E. 1977. **Starch and its modification for the food industry**, pp. 464-499. In H.D. Graham (ed.). **Food Colloids**. AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut.
- Hofreiter, B.T., C.L. Mehlretter, J. Bennie and G.E. Hammerstrand. 1960. **Starch products of stable Viscosity**. U.S. Patent. 2,929,811.
- Hood, L.F. 1982. **Current concept of starch structure**, pp. 217-236. In D.R. Lineback and G.E. Inglett (eds.). **Food Carbohydrates**. AVI Publishing Company, Inc., Connecticut.
- Hood, L.F. and A.S. Seifried. 1974. Effect of frozen storage on the microstructure and syneresis of modified tapioca starch-milk gels. **J. of Food Sci.** 36 (1) : 121-124.
- Howling, D. 1974. **Modified starches for the food industry**. Food Tech. in Aus. 26 (9) : 463-467, 469, 471, 473.

- Hullinger, C.H. 1967. **Production and use of cross-linked starch**, pp. 445-450. In R.L. Whistler, E.F. Paschall, J.N. Bemiller and H.J. Roberts (eds.). *Starch : Chemistry and Technology*. Academic Press, Ltd., New York.
- Islam, M.N, J.E. Rutledge and W.H. James. 1974. **Influence of rice crystallinity on cross-linking**. *Cereal Chem.* 51 (1) : 51-56.
- Kerr, R.W. and F.C. Cleveland. 1957. **Process for the preparation of distarch phosphate and the resulting product**. U.S. Patent. 2,801,413.
- Kerr, R.W. and F. C. Cleveland. 1959. **Orthophosphate esters of starch**. U.S. Patent. 2,801,413.
- Kerr, R.W. and N.F. Schink. 1948. **Modifying starch**. U.S. Patent. 2,438,855.
- Kite, F.E. 1971. **Starch phosphate**, pp. 103-119. In J.M. Deman and P. Mellnychyn (eds.). *Symposium : Phosphate in Food Processing*. AVI Publishing Company, Inc., Connecticut.
- Knight, F.W. 1969. **The Starch Industry**. Pergamon Press Ltd., Oxford. 189 p.
- _____. 1974. **Speciality food starches**, pp. 77-87. In E.V. Araullo, B. Nestel and M. Campbell (eds.). *Cassava Processing and Storage. Preceedings of an Interdisciplinary Workshop*, Pattaya, Thailand, 17-19 April 1974.
- Konigsberg, M. 1950. **Ungelatinzied starch ethers from polyfunctional etherifying agents**. U.S. Patent. 2,500,950.
- K.C. Khoo, M.P. Koh and C.L. Ong. 1993. **Formaldehyde release from particleboard and other wood based panels**. Forest Research Institute Malaysia (FRIM). 281 p.

แปลจาก Edmone Roffael. Formaldehyde release from particleboard and other wood based panels

Kruger, L.H. and R. Murray. 1979. **Starch texture**, pp. 427-444. In J.M. Deman, P.W. Voisey, V.F. Rasper and D.W. Stanley (eds.). *Rheology and Texture in Food Quality*. AVI Publishing Company, Inc., Connecticut.

L.G. Wade, JR. 1987. **Organic Chemistry**, Prentice – Hall, Inc., Eaglewood Cliffs, New Jersey. 1377 p.

Leach, H.W. 1965. **Gelatinization of starch**, pp. 289-307. In R.L. Whistler and E.F. Paschall (eds.). *Starch : Chemistry and Technology*. Vol. I. Academic Press, New York.

Leach, H.W., L.D. McCowen and T.J. Schoch. 1959. **Structure of the starch granule swelling and solubility patterns of various starches**. *Cereal Chem.* 36 (1) : 534-544.

Luallen, T.E. 1985. **Starch as a functional ingredient**. *Food Tech.* 38 (1) : 59-63.

Mazurs, E.G., T.J. Scoch and F.E. Kite. 1957. **Grafical analysis of the brabender viscosity curves of various starches**. *Cereal Chem.* 34 (3) : 141-152.

Mitchell, W.A. 1972. **Analyzing the metaphosphate stabilization reaction of starch by acid titration**. *Food Technol.* 26 (3) : 34-36, 38, 40, 42.

Moore, C.O., J.V. Tuschhoff, C.W. Hastings and R.V. Schanefelt. 1984. **Application of starches in foods**, pp. 575-592. In R.L. Whistler, J.N. Bemiller and E.F. Paschall (eds.). *Starch : Chemistry and Technology*. Academic Press, Inc., Florida.

- O'Dell, J. 1979. **The use of modified starch in the food industry**, pp. 173-181. In J.M.V. Blanshard and J.R. Mitchell (eds.). Polysaccharide in Food. Fakenham Press Ltd., Fakenham.
- Petersen, N.B. 1975. **Edible starches and starch-derived syrups**. Food Tech. Review No. 24. Noyes Data Corporation. Park Ridge, New Jersey. 424 p.
- Pierson, C.G. 1947. **Insoluble starch. Cited by O.B. Wurzburg**. Modified Starches : Properties and Uses. CRC Press, Ltd., New York. 277 p.
- Radley, J.A. 1976. **Starch Production Technology**. Applied Science Publishers Ltd., London. 586 p.
- Robert, H.J. 1965. **Nondegradative reaction of starch**, pp. 439-493. In R.L. Whistler and E.F. Paschall (eds.). Starch : Chemistry and Technology. Academic Press, New York.
- Rogols, S. 1986. **Starch modification** : a view into the future. Cereal Foods World 31 (12) : 869-870, 872-874.
- Ruben, R.W. 1975. **Process for the preparation of cold water swelling starches**. U.S. Patent. 4,183,969.
- Rowland, B.W. and J.V. Bauer. 1938. **Starch sizing of paper**, p. 42. Cited by O.B. Wurzburg. Modified Starches : Properties and Uses. CRC Press, Ltd., New York. 277 p.
- Rutenberg, M.N. 1980. **Starch and its modification**, pp. 22-1-22-83. In R. L. Davidson, (ed.). Handbook of water-soluble Gums and Resins. McGraw-Hill book Company, New York.

- Rutenberg, M.N. and D. Solarek. 1984. **Starch derivatives** : production and uses, pp. 312-388. In R.L. Whistler, J.N. Bemiller and E.F. Paschall (eds.). *Starch : Chemistry and Technology*. 2d ed., Academic Press Inc., Florida.
- Rutledge, J.E. and M.N. Islam. 1976. **Improved shelf-life at room temperature of canned rice modified by cross-linking**. *Cereal Chem.* 53 (6) : 862-866.
- Rutledge, J.E., M.N. Islam and W.H. James. 1972. **Improved canning stability of rice by chemical modification**. *Cereal Chem.* 49 (4) : 430-436.
- Rutledge, J.E., M.N. Islam and W.H. James. 1974. **Improved canning stability of parboiled rice though cross-linking**. *Cereal chem.* 51 (1) : 46-51.
- Sanderude, K.G. 1969. **Continuous cooking extrusion** : benefits to the snack food industry. *Cereal Sci. Today* 14 (6) : 209-210, 214.
- Savarin, B. 1969. **Starches**, pp. 274-333. In M. Glickman (ed.). *Gum Technology in the Food Industry*. Academic Press Inc., New York.
- Smith, R.J. 1964. **Viscosity of starch pasted**, pp. 114-117. In R.L. Whistler, R.J. Smith, J.M. BeMiller and M.L. Wolform (eds.). *Methods in Carbohydrate Chemistry*. Academic Press Inc., New York.
- Snyder, E.M. 1984. **Industrial microscope of starches**, pp.661-673. In R.L. Whistler, J.N. BeMiller and E.F. Paschall (eds.). *Starch : Chemistry and Technology*. 2d ed. Academic Press Inc., Orlando, Florida.

- Srivastava, H.C. and M.N. Patel. 1973. **Viscosity stabilization of tapioca starch**. Die Starke 25 (1) : 17-21.
- Swinkels, J.J.M. 1985. **Sources of Starch, its chemistry and physics**, pp. 15-46. In G.M.A. Van Beynum and J.A. Roels (eds). Starch Conversion Technology. Marcel Dekler, Inc., New York.
- Trimble, E. 1983. **Modified starches in foods**. J. of Consumer Studies and Home Economics 7 : 247-260.
- Tushhoff, J.V., G.L. Kessinger and C.E. Hanson. 1969. **Cereal starch thickeners**. Cited by N.B. Petersen. Edibles starches and starchderived syrups. Food Tech. Review No. 24. Noyes Data Corporation. Park Ridge, New Jersey. 424 p.
- Watson, S.A. 1964. **Gelatinization temperature**, pp. 240-242. In R.L. Whistler, R.J. Smith, J.N. BeMiller and M.L. Wolfrom (eds.). Methods in Carbohydrate Chemistry. Academic Press Inc., New York.
- Whistler, R.L. and A.M. Belfort. 1961. **Science**, p. 40. Cited by World Health Organization Toxicological Evaluation of Some Enzymes, Modified Starches and Certain Other Substances. WHO Food Additives Series, No.1., Geneva. 64 p.
- Williams, S.D. 1975. **Sensory and instrumental measurement of food texture**. Cited by J.N. Yeatman and B.K. Drake. Texture Measurement of Foods. D. Reidel Publishing Company, Boston. 670 p.
- Wotton, M. and M.A. Chaudhry. 1974. **Starke**. Cited by E. Trimble. Modified Starches in Foods. J. of Consumer Studies and Home Economics 7 : 247-260.

Wurzburg, O.B. 1960. **Starch derivatives**. Cited by O.B. Wurzburg. **Modified Starches : Properties and Uses**. CRC Press, Ltd., New York. 277 p.

_____. 1972. **Starch in the food industry**. pp. 361-395. In T.E. Furia (ed.). **Handbook of Food Additive**. 2d ed., CRC Press. Ltd., New York.

_____. 1986. **Modified Starches : Properties and Uses**. CRC Press, Ltd., New York. 277 p.

Wurzburg, O.B. and C.D. Szymanski. 1970. **Modified starches for the food industry**. J. Agri. Food Chem. 18 (6) : 997-1001.

Yeatman, J.N. and B.K. Drake. 1973. **Physiological aspect of textural perception**, including mastication, including mastication, pp. 10-16. In A. Kramer and A.S. Szczensiak (eds.). **Texture Measurements of Foods**. Publishing Company, Boston.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

มาตรฐานการจำแนกคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นหินไม้อัดของยุโรป

ตารางผนวกที่ 1 มาตรฐานการจำแนกคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฉนวนใยหินยุโรป

Property	Unit	Requirement							
		Thickness range (mm, nominal)							
		3 to 4	>4 to 6	>6 to 13	>13 to 20	>20 to 25	>25 to 32	>32 to 40	>40
Bending strength	N/mm ²	13	15	14	13	11.5	10	8.5	7
MOE	N/mm ²	1800	1950	1800	1600	1500	1350	1200	1050
Internal bonding	N/mm ²	0.45	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.20
Surface soudness	N/mm ²	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

ที่มา: European standard Particleboard general requirement for all boards DIN EN 312-3 (1996)