

ผลของอุณหภูมิและค่า pH ของการสังเคราะห์กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีต่อระยะเวลาแข็งตัวของกาวย



นาย พรเทพ วิชยสุนันท์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

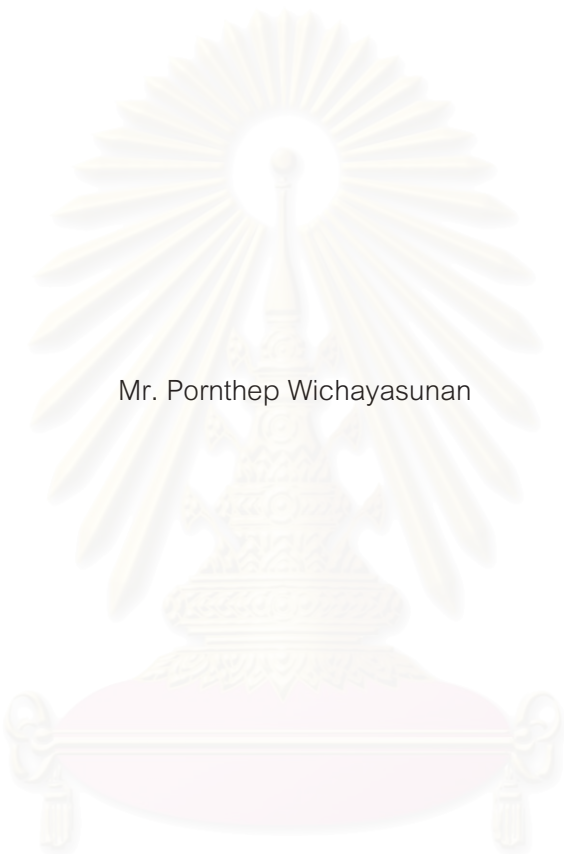
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-3536-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF TEMPERATURE AND pH OF UREA-FORMALDEHYDE RESIN SYNTHESIS ON
GELATION TIME



Mr. Pornthep Wichayasunan

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering


Chulalongkorn University

Academic year 2005

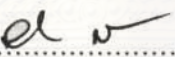
ISBN 974-17-3536-7

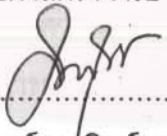
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของอุณหภูมิและค่า pH ของการสังเคราะห์กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์
ที่มีต่อระยะเวลาแข็งตัวของกาวยูเรีย
โดย นาย พรเทพ วิชยสุนันท์
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. วิทย์ สุนทรนันท์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม (ถ้ามี) นาย สุรชาติ สุวรรณเกษ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวณย์ศิริ)

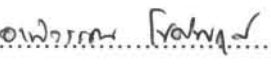
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิตรา จงวิศาล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. วิทย์ สุนทรนันท์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม (ถ้ามี)
(นาย สุรชาติ สุวรรณเกษ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทิวรรณ ชาติพิฤกษ์)

นายพรเทพ วิชยสุนันท์ : ผลของอุณหภูมิ และค่า pH ของการสังเคราะห์กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ ที่มีต่อระยะเวลาแข็งตัวของกาว. (EFFECTS OF TEMPERATURE AND pH OF UREA-FORMALDEHYDE RESIN SYNTHESIS ON GELATION TIME) อ. ที่ปรึกษา : ดร. วิทย์ สุนทรนันท์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : นายสุรชาติ สุวรรณเกษฯ 68 หน้า. ISBN 974-17-3536-7.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิและค่า pH ต่อผลิตภัณฑ์กาวที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์กับยูเรีย โดยควบคุมอุณหภูมิในการทดลองที่ 75, 80, 85, และ 90 องศาเซลเซียส ในขณะที่ทำการปรับเปลี่ยนค่า pH เท่ากับ 5.0, 5.4, 6.2, และ 6.6 ตามลำดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิและ pH ของการเกิดปฏิกิริยาของสารตั้งต้นทั้งสองคือยูเรียและฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มขึ้น จะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการควบแน่นที่สมบูรณ์มากขึ้น (เหลือฟอร์มาลดีไฮด์น้อยลง) แต่โมเลกุลของกาวที่ได้จะมีขนาดเล็ก เมื่อนำกาวดังกล่าวไปทำการอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ไม้ ทำให้ดัชนีวัดความแข็งแรงต่างๆ อาทิเช่น Internal bonding strength (IB), Bending strength (MOR และ MOE) และ Screw holding test มีค่าสูงขึ้น ในขณะที่การบวมตัวและการดูดซึมน้ำมีค่าต่ำลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากโมเลกุลขนาดเล็กสามารถซึมแพร่เข้าไปในเนื้อไม้ได้ดี และเกิดการพอร์มโครงสร้างแบบร่างแหภายในเนื้อไม้ได้สมบูรณ์กว่า นอกจากนี้ ยังพบว่าผลิตภัณฑ์ไม้ที่ได้จะมี Formaldehyde emission ที่ต่ำลงอีกด้วย อย่างไรก็ตาม การแข็งตัวของกาวจะต้องใช้ระยะเวลาที่นานขึ้น เนื่องจากปริมาณกรดที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการควบแน่นของกาวมีปริมาณลดลง ในขณะที่ทั้งอุณหภูมิและ pH ไม่ส่งผลต่อความถ่วงจำเพาะ ความหนืด รั้อยละของเนื้อกาวที่ได้แต่อย่างใด อย่างไรก็ตาม พบว่าที่ pH สูงกว่า 6.2 จะไม่สามารถสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์กาวที่มีคุณสมบัติตามต้องการได้ เนื่องจากไม่เกิดปฏิกิริยาการควบแน่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิสิต..... พกทพ 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4670398021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: urea-formaldehyde / gel time

MR.PORNTHEP WICHAYASUNAN : EFFECTS OF TEMPERATURE AND pH OF UREA-FORMALDEHYDE RESIN SYNTHESIS ON GELATION TIME. THESIS ADVISOR : WIT SOONTARANUN, PhD., THESIS COADVISOR : MR.SURACHART SUWANKESA, 68 pp. ISBN 974-17-3536-7.

The effects of temperature and pH on UF (urea-formaldehyde) resin formed during the reaction between formaldehyde and urea were studied. The temperature was controlled at 75, 80, 85, and 90°C while pH was varied at 5.0, 5.4, 6.2, and 6.6 respectively. It was found that by increasing the temperature and pH of the reaction, more resin was formed via condensation (less formaldehyde left) but the molecular weight of resulted resin was comparatively low. Upon applying the resin in the production of particle board, the strength properties of particle board such as internal bonding, bending, and screw holding, were increased while thickness swelling and water absorption became lower. It was anticipated that small resin molecules could penetrate into wood texture better and, hence, a more complete formation of network structure was achieved. Less formaldehyde emission was also resulted. Nevertheless, longer (gel) time was required to complete such formation because the acid catalyst for condensation became lower. Both temperature and pH variations did not affect either specific gravity, viscosity, or solid content. It was noted however that, by controlling pH higher than 6.2, none of resin product could be obtained due to non-condensation.

Department Chemical Engineering
Field of study Chemical Engineering
Academic year 2005

Student's signature.....
Advisor's signature.....
Co-advisor's signature.....

บทที่	หน้า
4.2.3	Modulus Of Rupture..... 31
4.2.4	Modulus Of Elasticity..... 32
4.2.5	Formaldehyde emission..... 33
4.2.6	Surface Soundness..... 34
4.2.7	Screw holding..... 35
4.2.8	Thickness Swelling..... 36
4.2.9	Water Absorption..... 37
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 39
5.1	สรุปผลการวิจัย..... 39
5.2	ข้อเสนอแนะ..... 39
	รายการอ้างอิง..... 41
	บรรณานุกรม..... 42
	ภาคผนวก 43
	ภาคผนวก ก วิธีการวัดคุณสมบัติเชิงกลของไม้..... 44
	ภาคผนวก ข ผลการทดลอง..... 58
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 68

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2-1 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มาลดีไฮด์.....	10
ตารางที่ 2-2 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับโมโนเมทิลอลดยูเรีย.....	11
ตารางที่ 2-3 พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มาลดีไฮด์.....	12
ตารางที่ 2-4 ผลของ pH และสัดส่วนโมลที่มีต่อคุณสมบัติของกาว.....	14
ตารางที่ 2-5 คุณสมบัติทางกล และ Formaldehyde emission ของแผ่นไม้พาติเคิล.....	15
ตารางที่ 2-6 ค่า Peak assignment และค่า Peak Intensity ของกาวจากเครื่อง ¹³ C NMR....	16
ตารางที่ 2-7 ความสัมพันธ์ของค่า I.B กับองค์ประกอบของกาวจากเครื่อง ¹³ C NMR.....	17
ตารางที่ 2-8 ความสัมพันธ์ของค่า Formaldehyde emission ต่อบริเวณประกอบของกาว.....	18
ตารางที่ 2-9 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์.....	19
ตารางที่ 4-1 คุณสมบัติของกาวที่ได้จากการทดลอง.....	25
ตารางที่ 4-2 ความหนาแน่นของแผ่นไม้ที่ได้จากการทดลอง.....	29
ตารางที่ ก-1 มาตรฐานของแผ่นไม้พาติเคิล.....	55
ตารางที่ ก-2 มาตรฐานสำหรับแผ่นไม้พาติเคิลชนิด P1.....	56
ตารางที่ ก-3 มาตรฐานสำหรับแผ่นไม้พาติเคิลชนิด P2.....	57
ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของกาวสังเคราะห์จากการทดลอง.....	59
ตารางที่ ข-2 Gel time ของกาวสังเคราะห์จากการทดลอง.....	60
ตารางที่ ข-3 ความหนาแน่น และ Formaldehyde emission ของแผ่นไม้พาติเคิล.....	64
ตารางที่ ข-4 ค่า IB, MOR, MOE และ Surface Soundness ของแผ่นไม้พาติเคิล.....	65
ตารางที่ ข-5 ค่า Screw holding, Thickness swelling และ Water absorption ของแผ่นไม้	66
ตารางที่ ข-6 ปริมาณการใช้วัสดุดิบและน้ำที่ระเหยออกจากการสังเคราะห์กาว.....	67

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2-1 สูตรโครงสร้างของสาร MU, DMU และ TMU.....	5
รูปที่ 2-2 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์.....	13
รูปที่ 4-1 กราฟแสดงระยะเวลาแข็งตัวของกาบ.....	26
รูปที่ 4-2 กราฟแสดงระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในการสังเคราะห์กาบ.....	28
รูปที่ 4-3 กราฟแสดงค่า Internal bonding strength.....	30
รูปที่ 4-4 กราฟแสดงค่า Modulus of rupture (MOR).....	31
รูปที่ 4-5 กราฟแสดงค่า Modulus of elasticity (MOE).....	32
รูปที่ 4-6 กราฟแสดงค่า Formaldehyde emission.....	33
รูปที่ 4-7 กราฟแสดงค่า Surface soundness.....	34
รูปที่ 4-8 กราฟแสดงค่า Screw holding.....	35
รูปที่ 4-9 กราฟแสดงค่า Thickness swelling.....	36
รูปที่ 4-10 กราฟแสดงค่า Water absorption.....	37
รูปที่ ก-1 วิธีการวัดค่า Internal bonding strength.....	45
รูปที่ ก-2 วิธีการวัดค่า Bending strength (MOR และ MOE).....	46
รูปที่ ก-3 วิธีการวัดค่า Surface soundness.....	48
รูปที่ ก-4 วิธีการวัดค่า Screw holding.....	49
รูปที่ ก-5 ชุดเครื่องวัดค่า Formaldehyde emission.....	52
รูปที่ ก-6 ส่วนขยายของอุปกรณ์เครื่องมือวัดค่า Formaldehyde emission.....	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มนุษย์รู้จักใช้กาวยาธรรมชาติติดไม้มาตั้งแต่สมัยอียิปต์โบราณ ซึ่งเป็นเวลานับพันปีมาแล้ว โดยเริ่มจากการใช้กาวยาธรรมชาติ เช่น กาวแป้ง เป็นต้น แต่ในศตวรรษที่ผ่านมา มนุษย์ได้พัฒนา กาวสังเคราะห์อัดร้อน เช่น กาวฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ และกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ขึ้น เป็นผลให้เกิดการใช้กาวสังเคราะห์ทั้งสองชนิดในอุตสาหกรรมไม้ เพื่อทดแทนกาวยาธรรมชาติอย่างรวดเร็ว เนื่องจากกาวสังเคราะห์ทั้งสองชนิดสามารถใช้งานได้สะดวกและรวดเร็ว จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมไม้แผ่นประเภท ไม้อัด (Plywood) แผ่นไม้พาติเคิล (Particle board) แผ่นไม้เอ็มดีเอฟ (Medium Density Fiber Board, MDF Board) และอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ ทำให้มีปริมาณความต้องการในการใช้ไม้แผ่นเพิ่มจำนวนมากขึ้น จึงส่งผลให้มีความต้องการในการใช้ กาวสังเคราะห์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยทั่วไปกาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมไม้แผ่นคือกาวประเภท กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ กาวเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ และกาวฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งกาวแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติและความทนทานที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งานที่แตกต่างกันไป เช่น กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นกาวชนิดที่มีคุณสมบัติทนทานต่อการแช่ในน้ำเย็น ไม่มีความทนทานต่อการแช่ในน้ำร้อน กาวเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นกาวชนิดที่มีคุณสมบัติทนทานต่อการแช่ในน้ำเย็นได้ดี และมีความทนทานต่อการแช่ในน้ำร้อนได้พอสมควร ส่วนกาวฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นกาวชนิดที่มีคุณสมบัติทนทานต่อการแช่ในน้ำเย็นและน้ำร้อนได้ดีมาก เมื่อเปรียบเทียบในด้านราคากาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นกาวที่มีราคาถูกที่สุด ส่วนกาวฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์จะมีราคาแพงที่สุด ดังนั้นในอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์มากที่สุดในการผลิตไม้แผ่นชนิดต่างๆ

ประเภทของกาวชนิดต่างๆ เช่น กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ กาวเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ และกาวฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นกาวสังเคราะห์ชนิดเทอร์โมเซตติง สามารถแข็งตัวที่อุณหภูมิต่างๆกัน โดยใช้สารฮาร์ดเดนเนอร์ หรือ ตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้ความร้อนช่วยให้โมเลกุลของกาวมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ หรือที่เรียกว่าเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งจะประสานให้เนื้อไม้ติดกันแน่น

แข็งแรงและหลังจากที่ก้าวแข็งตัวด้วยความร้อน หรือตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว จะไม่สามารถทำให้คืนสภาพเป็นของเหลวได้อีกไม่ว่าจะใช้วิธีใดก็ตาม

อุตสาหกรรมผลิตไม้แผ่นประเภท ไม้อัดสลับนั่น แผ่นไม้พาดิเคิล แผ่นไม้เอมดีเอฟ ส่วนใหญ่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นสารยึดติด โดยในการผลิตไม้อัดสลับนั่นจะมีการปกไม้ออกเป็นแผ่นบางๆ หลังจากนั้นจะนำไม้ผ่านเข้าเครื่องเพื่อตากแล้วนำไปวางทับกันเป็นชั้นๆ หลังจากได้ความหนาตามที่ต้องการแล้วจะนำไปเข้าเครื่องอัดร้อน ซึ่งเมื่อกาวได้รับความร้อนแล้ว จะเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันแข็งตัวยึดติดไม้แต่ละชั้นเข้ากันเป็นแผ่นไม้อัด ส่วนแผ่นไม้พาดิเคิล และแผ่นไม้เอมดีเอฟ จะต้องผ่านกระบวนการนำไม้ท่อนไปย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ ก่อนแล้วจึงนำไปฉีดพ่นกาว จากนั้นจึงผ่านเครื่องโรยเป็นชั้นก่อนที่จะผ่านเข้าเครื่องอัดร้อน โดยในการอัดร้อนของไม้แผ่นทั้งสามชนิดจะใช้ระยะเวลาในการอัดช่วงระยะเวลาหนึ่ง ตามแต่ขนาดความหนาของแผ่นไม้ที่ต้องการ ซึ่งถ้าหากสามารถลดระยะเวลาในการอัดได้ก็จะสามารถเพิ่มผลผลิตไม้แผ่นได้ในปริมาณที่มากขึ้นได้

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาสภาวะในการผลิตกาว เพื่อให้ได้กาวที่ใช้ระยะเวลาในการแข็งตัวที่สั้นลง ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากงานวิจัยชิ้นนี้คือสามารถนำไปใช้ในการผลิตกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เพื่อให้ได้กาวที่ใช้ระยะเวลาในการแข็งตัวสั้นลง ซึ่งจะสามารถช่วยให้ผลผลิตไม้แผ่นพาดิเคิลได้ปริมาณที่มากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาผลของอุณหภูมิและค่า pH ในการทำปฏิกิริยาของยูเรีย กับฟอร์มาลดีไฮด์ ที่มีต่อระยะเวลาในการแข็งตัวของกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ และคุณสมบัติเชิงกลของไม้แผ่นที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นตัวประสาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาผลของอุณหภูมิและ pH ที่มีผลต่อเวลาในการแข็งตัวของกาว รวมถึงคุณสมบัติเชิงกลของไม้แผ่นที่ได้จากการใช้กาวที่ได้จากการศึกษา โดยที่ในการทดลองจะทำการปรับค่าสภาวะต่างๆ ดังนี้

- ก. สัดส่วนโมลระหว่างยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1:2.22 ถึง 1:1.36
- ข. อุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยาเท่ากับ 75, 80, 85, 90 องศาเซลเซียส
- ค. ค่า pH เริ่มต้นที่ 8.8 - 9.0 และค่า pH ที่ใช้ในระหว่างการทำปฏิกิริยาคงแน่นที่ 5.0, 5.4, 6.2, 6.6

- ง. ความเข้มข้นของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 42.0-42.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าความเข้มข้นของเมทานอล 2.0-3.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ก. เข้าใจถึงผลของอุณหภูมิและค่า pH ในการทำปฏิกิริยาระหว่างยูเรีย กับฟอร์มาลดีไฮด์ ที่มีต่อระยะเวลาในการแข็งตัวของกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์
- ข. เข้าใจถึงผลของอุณหภูมิและค่า pH ในการทำปฏิกิริยาระหว่างยูเรีย กับฟอร์มาลดีไฮด์ ที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลของไม้แผ่นที่ใช้กาวที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้น

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

- ก. ค้นคว้าข้อมูล
- ข. กำหนดสภาวะที่จะทำการทดลอง
- ค. ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ
- ง. วิเคราะห์ผลการทดลอง
- จ. สรุปผลการวิจัย

บทที่ 2

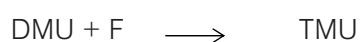
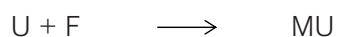
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยายูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์

ปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ จะทำให้เกิดพอลิเมอร์เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย การศึกษาปฏิกิริยาของสารทั้งสองเป็นสิ่งที่ยาก และจำเป็นจะต้องใช้หลักของจลนพลศาสตร์มาร่วมในการพิจารณาด้วย สิ่งแรกที่จะกล่าวถึงในสังเคราะห์กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์คือฟังก์ชันนอลิตีของสารยูเรีย สารยูเรียตามสูตรโครงสร้างมีค่าฟังก์ชันนอลิตีเท่ากับ 4 ค่านี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของจำนวนไฮโดรเจนที่จะทำปฏิกิริยาได้ หรือจำนวนของแหล่งกัมมันต์จากสารยูเรีย จากการศึกษาปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ พบว่ามีปฏิกิริยาสองแบบ คือ ปฏิกิริยาเมทิลอเลชันหรือปฏิกิริยาการเติม และปฏิกิริยาควบแน่น ปฏิกิริยาหลังนี้เป็นการสร้างพอลิเมอร์ต่อจากปฏิกิริยาเมทิลอเลชันของยูเรีย

2.1.1 ปฏิกิริยาเมทิลอเลชันของยูเรีย

ปฏิกิริยาเมทิลอเลชันเป็นปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ เกิดขึ้นได้ดีในสภาวะที่เป็นต่างมากกว่าเป็นกรด แหล่งกัมมันต์ของสารยูเรียในปฏิกิริยานี้จะมีค่าเท่ากับ 3 แทนที่จะเป็น 4 ตามจำนวนของไฮโดรเจน กลไกของปฏิกิริยาเมทิลอเลชันของยูเรียจะขึ้นอยู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาว่าเป็นกรดหรือต่าง ถ้าตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นต่าง ยูเรียจะเป็นตัวนิวคลีโอไฟล์ ถ้าตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรด ฟอร์มัลดีไฮด์จะเป็นตัวอิเล็กโทรไฟล์ โดยปฏิกิริยาเมทิลอเลชันของยูเรียสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้



เมื่อ U คือ ยูเรีย (Urea) $H_2N-CO-NH_2$

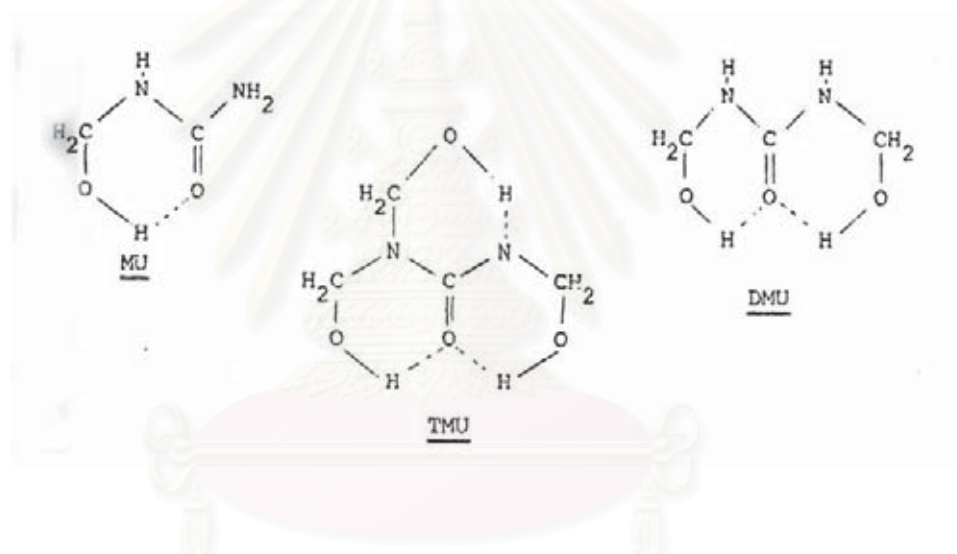
F คือ ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde) HCOH

MU คือ เมทิลอลยูเรีย (Methylol urea) $\text{H}_2\text{N-CO-NH-CH}_2\text{-OH}$

DMU คือ ไดเมทิลอลยูเรีย (Dimethylol urea) $\text{HO-CH}_2\text{-NH-CO-NH-CH}_2\text{-OH}$

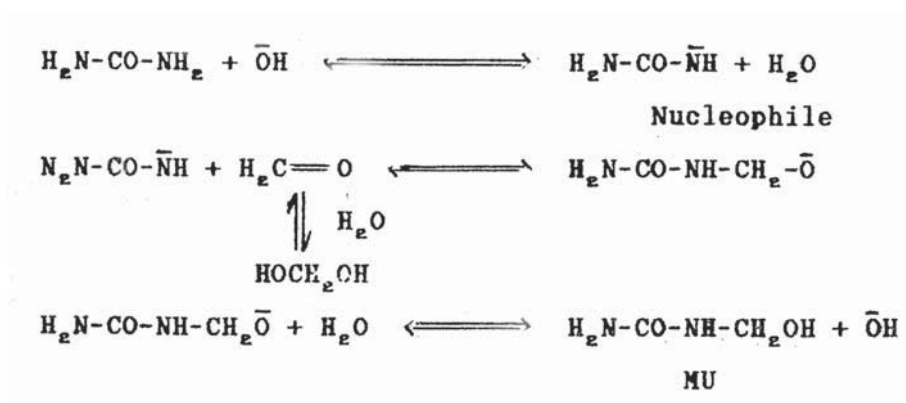
TMU คือ ไตรเมทิลอลยูเรีย (Trimethylol urea) $(\text{HO-CH}_2)_2\text{-N-CO-NH-CH}_2\text{-OH}$

MU, DMU และ TMU สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของตัวเองได้ ดังสูตรโครงสร้างในรูปที่ 1 จากการเกิดพันธะไฮโดรเจนนี้น่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความเร็วของการเกิดหมู่เมทิลอล และการเกิดปฏิกิริยาควบแน่นลดลงด้วย

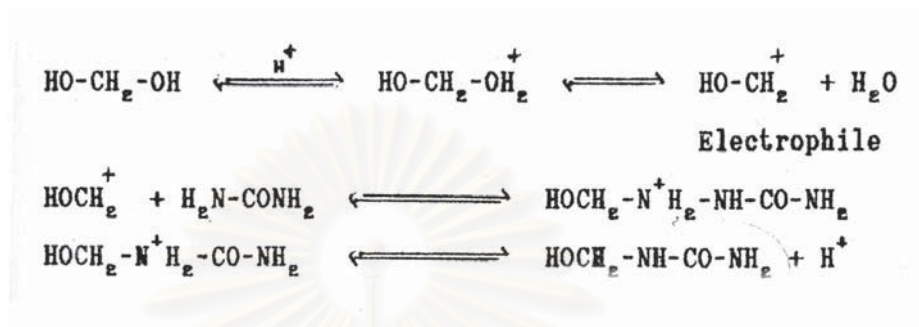


รูปที่ 2-1 สูตรโครงสร้างของสาร MU, DMU และ TMU (ปรีชา เกียรติกระจาย, 2531)

ปฏิกิริยาของยูเรียในสารเร่งที่เป็นต่าง แสดงได้ดังสมการ (ปรีชา เกียรติกระจาย, 2531)



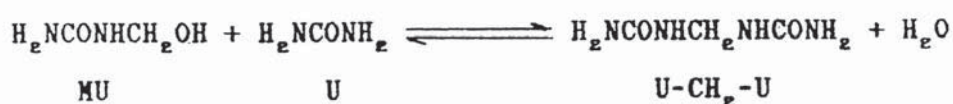
ปฏิกิริยาของยูเรียในสารเร่งที่เป็นกรด แสดงได้ดังสมการ (ปรีชา เกียรติกระจาย, 2531)



ในปฏิกิริยาการสร้างหมู่เมทิลอล ความเร็วของปฏิกิริยาจะมีค่าสูงตาม pH หรือความเป็นด่าง เช่น ที่ pH เท่ากับ 11 ความเร็วของการเกิด MU จะเป็น 16 เท่าของการทำปฏิกิริยาที่ pH 6-7 (ปรีชา เกียรติกระจาย, 2531)

2.1.2 ปฏิกิริยาควบแน่น

ในการสังเคราะห์กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์นั้น การทำปฏิกิริยาของสารทั้งสองไม่ได้หยุดที่เมทิลอลยูเรีย เพราะว่าสัดส่วนโมลระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์ต่อยูเรียมากกว่า 1 ดังนั้นโอกาสที่ฟอร์มาลดีไฮด์จะทำปฏิกิริยากับเมทิลอลยูเรียมีมาก ตัวเมทิลอลยูเรียนั้นสามารถที่จะทำปฏิกิริยาควบแน่นกับยูเรียหรือเมทิลอลยูเรียตัวอื่นได้ โดยปฏิกิริยาควบแน่นเป็นการสร้างพันธะเมทิลีนระหว่างยูเรียนิวเคลียส ปฏิกิริยาควบแน่นที่เกิดขึ้น มาจากการทำปฏิกิริยาของหมู่เมทิลอล เช่น ปฏิกิริยาของ MU กับ U, MU, DMU, TMU หรือสารอื่นๆ ที่มียูเรียนิวเคลียสอยู่ ปฏิกิริยาควบแน่นของยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์นี้เกิดขึ้นได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดมากกว่าเป็นด่าง ตัวอย่างปฏิกิริยาควบแน่นเป็นดังสมการ (ปรีชา เกียรติกระจาย, 2531)



2.2 เทคโนโลยีการสังเคราะห์กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์

ในการสังเคราะห์กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ไม่ผ่าน จำเป็นจะต้องควบคุมขนาดของพอลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาควบแน่นให้ได้ เพราะว่าคุณสมบัติของกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ผลิตได้นั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การวัดขนาดของพอลิเมอร์ทำได้โดยวัดความหนืดของสารละลาย ในระยะแรกความหนืดของสารละลายจะมีค่าต่ำ และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น สารละลายจะเปลี่ยนจากใสเป็นขุ่น ขณะที่พอลิเมอร์เหล่านั้นยังละลายในน้ำอยู่ น้ำหนักโมเลกุลจะเปลี่ยนแปลงไปโดยในระยะแรกจะมีค่าประมาณ 200-800 แต่เมื่อเป็นกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์แล้วจะมีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นเป็น 2,000-3,000 โดยในแต่ละครั้งที่ทำปฏิกิริยาควบแน่นจะได้น้ำออกมาจากปฏิกิริยาในขณะที่พอลิเมอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น การตรวจสอบปริมาณการละลาย ความหนืด ค่า pH และความเข้มข้นของสารละลายเป็นสิ่งที่จำเป็นในการสังเคราะห์กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยที่สำคัญและมีผลต่อคุณสมบัติขั้นสุดท้ายของกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ ได้แก่ ความบริสุทธิ์ของยูเรียและฟอร์มาลดีไฮด์ สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ และการควบคุมค่า pH ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

2.2.1 ความบริสุทธิ์ของสารยูเรียและฟอร์มาลดีไฮด์

ความบริสุทธิ์ของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสิ่งสำคัญมากกว่าความบริสุทธิ์ของยูเรียซึ่งมีค่าสูงอยู่แล้ว โดยปกติแล้วสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่จะใช้ในการสังเคราะห์กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ จะมีเมทานอลผสมอยู่ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และจะต้องเก็บไว้ในที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แต่สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีความเข้มข้น 37-41 เปอร์เซ็นต์ จะมีเมทานอลผสมอยู่ 6-12 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้สารดังกล่าวเสถียร การนำสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์มาใช้ในการสังเคราะห์กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ จำเป็นจะต้องกลั่นเอาเมทานอลออก และปรับให้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์มีค่า pH เป็นกลาง เพราะทั้งปริมาณเมทานอลและค่า pH ของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์จะทำให้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ที่สังเคราะห์ได้ มีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำได้มากขึ้นตั้งแต่ 6-10 เปอร์เซ็นต์

2.2.2 สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์

ในการสังเคราะห์กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ นิยมใช้สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ระหว่าง 1 : 1.4 ถึง 1 : 1.6 อย่างไรก็ตาม การเร่งปฏิกิริยาการสร้างหมู่เมทิลอลอาจทำในระยะแรก โดยแบ่งยูเรียออกเป็น 2-3 ส่วน แล้วค่อยๆ เติมยูเรียที่แบ่งออกมาในตอนหลังการ

ปฏิบัติดังกล่าว เป็นผลให้มีการสร้างเมทิลอลยูเรีย ได้มากและเร็วขึ้นในระยะแรก เทคนิคนี้ใช้มากในการสังเคราะห์กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ในอุตสาหกรรม ซึ่งก่อนที่จะเติมยูเรียในสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ จำเป็นจะต้องกลั่นเอาเมทานอล ออกจากสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ให้ได้มากที่สุด ต่อจากนั้นจะต้องทำสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ให้มีค่า pH เป็นกลางก่อนแล้วจึงเติมยูเรียลงไป โดยในระยะแรกของการทำปฏิกิริยา สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 1 : 2.2 เพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาการสร้างหมู่เมทิลอล การเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายจนเดือดจะช่วยเร่งปฏิกิริยาการสร้างหมู่เมทิลอลให้เร็วยิ่งขึ้นเช่นเดียวกัน การทำปฏิกิริยาในการสังเคราะห์กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ จะอยู่ภายใต้การกั่นไหลกลับประมาณ 10-30 นาที เพื่อสร้างหมู่เมทิลอล การเติมกรดลงไปเล็กน้อยให้มี pH 4.8 – 5.0 จะช่วยเร่งปฏิกิริยาควบแน่นเป็นผลให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น เมื่อสารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น จึงทำการลดอุณหภูมิของสารละลายลงเหลือ 25-30 องศาเซลเซียส แล้วเติมยูเรียที่เหลือลงไป สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ จะลดลงเป็น 1 : 1.4 ถึง 1 : 1.7 คนสารละลายที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง แล้วปรับ pH ให้เหมาะสมเพื่อยืดอายุของกาวยูเรียได้

สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งที่จะสร้าง MU DMU และ TMU นอกจาก pH และอุณหภูมิ จากการศึกษาปฏิกิริยาของยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ pH 8 และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยให้สัดส่วนโมลแตกต่างกันออกไป พบว่าปริมาณของ MU และ DMU มีมากขึ้นที่เพิ่มสัดส่วนโมลของยูเรีย นอกจากนี้แล้วสัดส่วนของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์ ยังมีผลต่อคุณสมบัติของกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ในการแข็งตัวด้วย เช่นถ้าใช้ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์สูงเกินไป ความทนทานของกาวยูเรียจะลดลงและยังทำให้กาวยูเรียที่สังเคราะห์แล้วมีฟอร์มาลดีไฮด์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาเหลืออยู่ ซึ่งเหตุผลในประการหลังเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อขบวนการผลิตในอุตสาหกรรมไม้ และผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ตามมาอีกด้วย การใช้ฟอร์มาลดีไฮด์น้อยเกินไป จะทำให้ความหนืดของกาวยูเรียต่ำและเพิ่มเวลาในการเป็นเจลของกาวยูเรีย และยังอาจเป็นผลให้การแข็งตัวของกาวยูเรียไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้สัดส่วนโมลของสารทั้งสองยังมีผลต่อความต้านทานน้ำของกาวยูเรีย เช่น สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 1:2.0 และ 1:1.8 จะให้กาวยูเรียที่มีความทนทานต่อน้ำสูงกว่าสัดส่วนโมลเป็น 1:1.6 และ 1:1.4

การเติมยูเรียครั้งที่สองเป็นเทคนิคที่จะเพิ่มแรงยึดของกาวยูเรีย โดยการสร้างหมู่เมทิลอลให้มากขึ้นและเพิ่มขนาดของยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์พอลิเมอร์ อย่างไรก็ตามในการเพิ่มแรงยึดของกาวยูเรียต่อไม้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่จะต้องนำมาพิจารณาเพิ่มเติมแทนที่จะพิจารณาจากสัดส่วนโมลระหว่างยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เพียงอย่างเดียว

2.2.3 การควบคุมค่า pH

ในการสังเคราะห์กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์จำเป็นต้องควบคุม pH ของสารละลาย โดยระยะของการสังเคราะห์กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ สัดส่วนโมลของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 1:2.0 – 2.3 และค่า pH ของสารละลายเป็น 7.5 – 8.5 แล้วต้มสารละลายให้มีอุณหภูมิใกล้จุดเดือด (90 องศาเซลเซียส) จนได้เมทิลอลยูเรียตามที่ต้องการ แล้วทำให้สารดังกล่าวทำปฏิกิริยาควบแน่นอุณหภูมิห้องจนกระทั่งได้ความหนืดตามที่ต้องการ ถ้าค่า pH ของสารละลายมีค่าต่ำกว่า 5.0 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาควบแน่นเร็วเกินไป

การควบคุมขนาดของพอลิเมอร์ของกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นสิ่งจำเป็นมากในการนำกาวยูเรียไปใช้กับอุตสาหกรรมแผ่นไม้อัด ในขณะที่ทำการอัดร้อนเพื่อให้กาวยึดตัว เช่น ถ้ากาวยูเรียมีขนาดพอลิเมอร์เล็กเกินไปจะไหลไปตามช่องว่างในเนื้อไม้ได้ง่าย ทำให้ปริมาณกาวยึดตัวไม่พอเพียงและเป็นผลให้รอยต่อไม่แน่น และใช้เวลาในการทำให้กาวยึดตัวนานขึ้น ถ้าพอลิเมอร์ของกาวยูเรียมีขนาดใหญ่เกินไปก็จะมีปัญหาเกี่ยวกับการไหลขณะทาการในการเก็บรักษา ก็จะสั้นลง

2.2.4 เวลาเป็นเจลและการแข็งตัวของกาวยูเรีย

เวลาเป็นเจลเป็นการวัดอายุกาวยูเรียที่ผสมแล้ว หรือเป็นเวลาเวลาที่กาวยูเรียมีคุณสมบัติความยืดหยุ่นสูงที่สุดหลังจากเติมสารเร่ง หรือเป็นระยะเวลาที่กาวยูเรียเปลี่ยนสถานะจากของไหลเป็นเจลหลังจากเติมสารเร่ง การวัดเวลาเป็นเจลส่วนใหญ่ดูจากกาวยูเรียที่เสียสมบัติของความหนืดไป การใช้กาวยูเรียสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมไม้ นิยมผสมสารเติม สารเพิ่ม และสารเร่งเพื่อความเหมาะสม การควบคุมให้กาวยูเรียเป็นกลางหลังจากแข็งตัวแล้วจะช่วยลดการเกิดไฮโดรไลซิสของกาวยูเรีย ดังนั้นกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เมื่อสังเคราะห์เสร็จแล้วจึงควรปรับค่า pH ให้มีค่าเป็นกลางหรือเป็นด่างอ่อนๆ โดยสัดส่วนโมล ของยูเรียต่อฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าระหว่าง 1.2 – 2.0 การกระทำดังกล่าวจะช่วยลดความหนืดของกาวยูเรียที่เพิ่มขึ้นขณะที่เก็บไว้ก่อนนำไปใช้งาน

กาวยูเรียจะแข็งตัวที่อุณหภูมิประมาณ 120 – 140 องศาเซลเซียส การแข็งตัวของกาวยูเรียคือ การเกิดปฏิกิริยาควบแน่นเกิดพันธะระหว่างพอลิเมอร์ เพื่อช่วยให้กาวยูเรียแข็งตัวเร็วขึ้น ในงานอุตสาหกรรมไม้ได้เติมสารเร่ง หรือสารช่วยให้กาวยูเรียแข็งตัวโดยสารเร่งส่วนใหญ่ที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมก็คือ แอมโมเนียมคลอไรด์ กรดอินทรีย์อ่อน เป็นต้น

2.3 สมบัติของกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์

กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นกาวที่มีราคาถูกลง และมีความเป็นพิษต่ำกว่าฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ ความแข็งแรงของกาวมีค่าสูงและสามารถใช้ได้กับวัสดุหลายชนิด จุดอ่อนของกาวชนิดนี้ คือไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ภายนอกหรือในที่ที่มีความชื้นสูง เพราะจะทำให้ฟอร์มัลดีไฮด์ระเหยออกมาได้ง่าย คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล เมื่อเปรียบเทียบกับกาวฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ พบว่าความหนาแน่น ดรรรชนีการหักเห การดูดซับน้ำ และความร้อนจำเพาะของกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์มีค่าใกล้เคียงกับกาวฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ และเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวโดยความร้อนและแรงดึงของกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์มีค่าสูงกว่ากาวทั้งสอง ความแข็งแรงอื่นๆ เช่น แรงดัดมอดูลัสแตกร้าวของกาวฟีนอลสูงกว่ากาวยูเรียและกาวเมลามีน เมื่อพิจารณาถึงความคงทนของพันธะเคมีในกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์พบว่าพันธะคาร์บอน-ออกซิเจนระหว่างกาวกับเซลลูโลสมีค่าต่ำที่สุด และพันธะคาร์บอนไนโตรเจนจะให้ความคงทนสูงที่สุด

2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Raveendran และคณะ (1983) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับจลนพลศาสตร์และกลไกของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับสองสำหรับปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ และยูเรียกับเมทิลอลยูเรีย ดังได้แสดงในตารางที่ 2-1 และ ตารางที่ 2-2 ส่วนตารางที่ 2-3 แสดงค่าพลังงานกระตุ้น (E) ของปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ที่ค่า pH ต่างๆ

ตารางที่ 2-1 ค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k) ของปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ ($U = 0.25$ M, $F = 0.25$ M) ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	pH	ค่าคงที่อันดับที่ 2 ของปฏิกิริยา ($\times 10^4$ ลิตร โมล ⁻¹ วินาที ⁻¹)
40	3.0	8.39

ตารางที่ 2-1 ค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k) ของปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ ($U = 0.25$ M, $F = 0.25$ M) ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	pH	ค่าคงที่อันดับที่ 2 ของปฏิกิริยา ($\times 10^4$ ลิตร โมล ⁻¹ วินาที ⁻¹)
40	4.7	2.21
	7.0	1.94
	9.4	6.61
50	3.0	22.15
	4.7	3.79
	7.0	3.20
	9.4	14.61

ตารางที่ 2-2 ค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k_2) ของปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับโมโนทิลอลยูเรีย ($U = 0.25$ M, $MMU = 0.25$ M: * $U = 0.40$, * $MMU = 0.1$ M)

pH	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่อันดับที่ 2 ของปฏิกิริยา ($\times 10^4$ ลิตร โมล ⁻¹ วินาที ⁻¹)
4.2	20	1.44
	30	4.04
3.8	20	4.18
	30	10.69
4.0*	20	9.36
	30	15.43

ตารางที่ 2-2 ค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k_2) ของปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับโมโนทีลอลยูเรีย ($U = 0.25 \text{ M}$, $MMU = 0.25 \text{ M}$: * $U = 0.40$, * $MMU = 0.1 \text{ M}$) (ต่อ)

pH	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่อันดับที่ 2 ของปฏิกิริยา ($\times 10^4$ ลิตร โมล ⁻¹ วินาที ⁻¹)
3.5*	20	10.16
	30	24.28

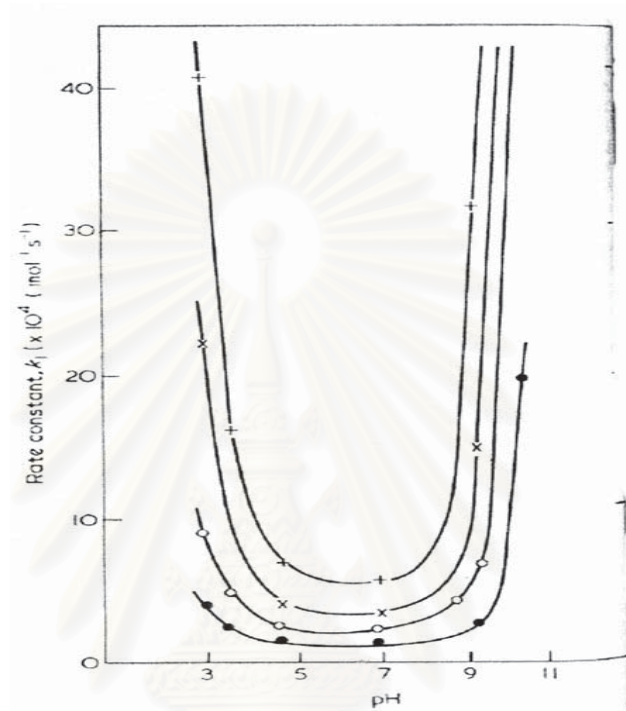
ตารางที่ 2-3 พลังงานกระตุ้น (E) ของปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ที่ค่า pH ต่างๆ

pH	E (kcal mol ⁻¹)
3.0	17,160
3.5	13,070
4.7	11,440
7.0	10,500
9.4	16,700
10.5	18,300

จากตารางที่ 2-1 พบว่าค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น มีผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์มีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิเท่ากัน รวมถึงค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรดของปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 3

จากรูปที่ 2-2 พบว่าค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าต่ำสุดอยู่ในช่วง pH ระหว่าง 4.5 – 8 ส่วนในช่วงค่า pH ต่ำกว่า 4.5 และสูงกว่า 8 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และจากการวิจัยนี้ยังพบว่า ปฏิกิริยาเมทีลอลเลชันจะเกิดได้ดีในสภาวะที่เป็นด่าง และปฏิกิริยาการควบแน่นจะเกิดได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด โดยที่ปัจจัยหลักของการเกิดปฏิกิริยาการ

ควมแน่น มาจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารเมทิลอลยูเรียกับยูเรียที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเมทิลอลเลชัน



รูปที่ 2-2 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาระหว่าง ยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ ที่ค่า pH ต่างๆ (ยูเรีย = 0.25 โมล, ฟอร์มัลดีไฮด์ = 0.25 โมล) • 30 C, o 40 C, x 50 C และ + 60 C (Nair และ Francis, 1982)

Hse (1994) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่า pH ในการทำปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ ที่มีผลต่อคุณสมบัติและคุณลักษณะของกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์โดยได้สรุปไว้ดังตารางที่ 2-4 และ ตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-4 ตารางแสดงผลของค่า pH ในการทำปฏิกิริยา และค่าสัดส่วนโมลของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรีย ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์

pH	F/U ratio	Solid content %	Viscosity cps	Specific gravity	Free-HCOH
1.0	2.5		(gelled)		
	3.0	49	80	1.255	6.35
	3.5	45	30	1.250	6.6
	4.0	43	25	1.250	7.05
4.8	2.5	54	110	1.257	6.31
	3.0	51	65	1.255	6.46
	3.5	48	40	1.255	6.57
	4.0	46	30	1.258	6.86
8.0 – 5.0	2.5	55	45	1.255	5.11
	3.0	51	35	1.246	5.70
	3.5	48	25	1.250	5.80
	4.0	46	25	1.245	6.28

จากผลการทดลองในตารางที่ 2-4 พบว่ากาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ในสภาวะที่เป็นกรด ค่าฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (free HCHO) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าสัดส่วนโมลของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรียมีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่าลดลงเมื่อค่า pH ของปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้น ในการทดลองนี้ยังได้นำกาวที่ได้จากการทดลองไปผลิตเป็นแผ่นไม้หลังจากนั้นจึงได้ทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล และทำการวัดค่า

formaldehyde emission ของไม้ที่ผลิตจากกาวที่ได้เตรียมจากการทดลองโดยได้แสดงผลดังในตาราง

ตารางที่ 2-5 คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties) และ Formaldehyde Emission ของไม้ Particle Board

Resin	pH	F/U ratio	Internal Bonding Strength MPa	Bending strength		Formaldehyde Emission Ppm
				MOR MPa	MOE MPa	
A	1.0	3.0	0.56	11.56	2459	1.4
B	1.0	3.5	0.57	11.93	2344	2.1
C	1.0	4.0	0.55	11.52	2241	2.3
D	4.8	2.5	0.70	11.72	2523	1.6
E	4.8	3.0	0.69	12.20	2772	2.0
F	4.8	3.5	0.71	12.67	2613	2.5
G	4.8	4.0	0.71	12.05	2606	3.0
H	8.0-5.0	2.5	0.74	12.60	2689	1.9
I	8.0-5.0	3.0	0.67	12.58	2779	2.3
J	8.0-5.0	3.5	0.62	12.11	2579	3.4
K	8.0-5.0	4.0	0.68	12.51	2717	3.8

จากตารางที่ 2-5 พบว่า ไม้ที่ผลิตจากกาวที่เตรียมจากปฏิกิริยากรดจะให้ค่า internal bonding strength และค่า bending strength ต่ำกว่าในกรณีที่เกิดจากปฏิกิริยากรดอ่อนหรือต่างและในขณะเดียวกันค่า formaldehyde emission ที่ได้มีค่าต่ำกว่าเช่นเดียวกัน

Ferg และคณะ (1993) ได้ทำการศึกษาโดยใช้ ^{13}C Nuclear Magnetic Resonance (NMR) ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีที่ต่างกันซึ่งแบ่งเป็นชนิด A และชนิด B โดยที่กาวยูเรียทั้งสองชนิดมีค่าสัดส่วนโมลระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรียเท่ากัน จากนั้นนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มาหาความสัมพันธ์ที่สามารถบอกถึงค่า formaldehyde emission, ค่าความแข็งแรง (I.B.strength) ของกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ในสภาวะที่กาวยูเรียแข็งตัว ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ได้แสดงดังตารางที่ 2-6, 2-7 และ 2-8 ตามลำดับ

ตารางที่ 2-6 ค่า peak assignment แลค่า peak intensity ของกาวยูเรียที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ ^{13}C NMR

Functional Group (ppm)	1:1.8	1:1.5	1:1.3 A	1:1.1 B	1:1.1 A	1:1.1 B	1:0.9 A	1:0.9 B
Carbonyl group {C}								
NH ₂ CONHCH ₂ OH (163.6) {C1}	23.7	52.5	42.1	58.8	58.8	18.0	28.9	11.4
=NCON= (162.0) {C2}	4.0	27.7	37.3	14.0	54.2	20.5	25.1	15.0
Methylene group {Me}								
-NHCH ₂ NH- (48.8) {A} ²	2.4	9.0	7.1	3.7	14.0	2.9	8.9	4.7
-N(CH ₂) ₂ CH ₂ NH- (55.5) {C} ²	3.5	9.6	6.2	3.1	12.2	2.3	8.0	3.1
-NH(CH ₂) ₂ CH ₂ N(CH ₂) ₂ - (61.6) {E} ²	1.0	2.7	1.0	1.2	1.3	1.0	1.2	0.5
Methylol group {Mo}								
-NCH ₂ OH (66.6) {Mo1}	26.3	101.5	68.0	31.0	115.9	28.7	67.1	25.3
-N(CH ₂) ₂ CH ₂ OH (71.0) {Mo2}	5.3	18.4	12.2	6.9	21.3	4.7	11.9	6.1
Ether {E}								
-NHCH ₂ OCH ₃ (73.4) {E1}	10.2	12.9	6.5	2.8	9.5	1.9	9.2	1.8
-N(CH ₂) ₂ CH ₂ OCH ₃ (77.7) {E2}	1.3	3.2	1.9	1.2	2.8	0.7	2.4	0.9
-NHCH ₂ OCH ₂ OH (88.7) {E3}	2.0	2.2	-	-	-	-	-	-
-NHCH ₂ OCH ₂ NH- (70.3) {E4}	-	3.7	2.5	1.5	3.3	0.7	2.4	0.9

ตารางที่ 2-6 ค่า peak assignment แลค่า peak intensity ของการที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ ^{13}C NMR (ต่อ)

Functional Group (ppm)	1:1.8	1:1.5	1:1.3 A	1:1.1 B	1:1.1 A	1:1.1 B	1:0.9 A	1:0.9 B
Ether {E} (ต่อ)								
-NH(<u>C</u> H ₂ -) <u>C</u> H ₂ OCH ₂ NH- (75.0) {E5}	1.7	3.9	3.1	2.0	5.2	0.9	3.2	1.3
Methanol <u>C</u> H ₃ OH (51.7)	1.3	3.5	1.8	-	-	-	-	-
Free formaldehyde (84.7)	7.9	9.4	2.4	1.3	3.3	-	-	-
Urea NH ₂ <u>C</u> ONH ₂ (165.4)	-	6.6	21.3	5.5	55.5	23.5	49.7	20.7

ตารางที่ 2-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า I.B. strength กับ ค่าอัตราส่วนขององค์ประกอบทางเคมีที่วัดได้จากเครื่อง ^{13}C NMR

	NMR species ratio	Correlation for A series resins	Correlation for B series resins
Y1	Urea/(C1+C2)	0.888	0.895
Y2	C1/C2	0.228	0.412
Y3	E1/E2	0.145	0.357
Y4	Crosslinking (C+2E)/(A+C+E)	0.410	0.919
Y5	Me/Mo	0.780	0.482
Y6	(E1+E4)/(E2+E5)	0.139	0.336

ตารางที่ 2-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า I.B. strength กับ ค่าอัตราส่วนขององค์ประกอบทางเคมีที่วัดได้จากเครื่อง ^{13}C NMR (ต่อ)

	NMR species ratio	Correlation for A series resins	Correlation for B series resins
Y7	$(E1+E2)/(E4+E5)$	0.063	0.277
Y8	Free F/Me	0.424	0.456

ตารางที่ 2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Formaldehyde emission กับ ค่าอัตราส่วนขององค์ประกอบทางเคมีที่วัดได้จากเครื่อง ^{13}C NMR

	NMR species ratio	Correlation for A series resins	Correlation for B series resins
Y1	$\text{Urea}/(C1+C2)$	0.805	0.786
Y2	$C1/C2$	0.954	0.973
Y3	$E1/E2$	0.927	0.986
Y4	$\text{Crosslinking } (C+2E)/(A+C+E)$	0.844	0.705
Y5	Me/Mo	0.099	0.153
Y6	$(E1+E4)/(E2+E5)$	0.939	0.985
Y7	$(E1+E2)/(E4+E5)$	0.909	0.966
Y8	Free F/Me	0.996	0.997

จากตารางที่ 2-7 จะได้ค่าสมการของค่า I.B. strength ของกาวชนิด A เป็นดังสมการ

$$I.B. = 0.43 Y4 - 0.36 Y1 + 2.39 Y5$$

และสมการของค่า I.B. strength ของกาวชนิด A เป็นดังสมการ

$$I.B. = 1.08 Y4 - 0.11 Y1 + 0.14 Y5$$

จากตารางที่ 8 จะได้ค่าสมการของค่า Formaldehyde emission ของกาวชนิด A เป็นดังสมการ

$$F = 19.18 Y8 - 11.66 Y1 + 7.17 Y4 + 4.13 Y7$$

และสมการของค่า Formaldehyde emission ของกาวชนิด B เป็นดังสมการ

$$F = 21.71 Y8 - 6.09 Y1 + 2.3917 Y4 + 4.35 Y7$$

โดยที่ค่าคงที่ที่ใช้เป็นค่าคงที่เฉพาะของกาวแต่ละชนิด ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงเมื่อสภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์กาวและการอัดไม้เปลี่ยนแปลงไป

Minopoulou (2003) ได้ทำการศึกษาโดยเครื่อง new Infrared (NIR) ในการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์พบว่า กาวที่ได้จากการทำปฏิกิริยาในสภาวะที่เป็นกรดจะมีน้ำหนักโมเลกุลขนาดมาก และมีความมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนกาวที่ได้จากการทำปฏิกิริยาในสภาวะที่เป็นกลาง หรือสภาวะที่เป็นด่างจะได้กาวที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาให้สูงขึ้นกลับไม่มีความเปลี่ยนแปลงมากนักซึ่งแสดงดังตารางที่ 2-9

ตารางที่ 2-9 ค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์

Temperature (°C)	pH	M_n	M_w	M_z
75	8.5	1.7×10^2	2.0×10^2	2.4×10^2
75	7.5	1.8×10^2	2.0×10^2	2.4×10^2

ตารางที่ 2-9 ค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ (ต่อ)

Temperature (°C)	pH	M_n	M_w	M_z
75	6.5	1.9×10^2	2.3×10^2	2.9×10^2
75	5.5	2.2×10^2	3.0×10^2	4.1×10^2
85	5.5	3.2×10^2	5.2×10^2	8.9×10^2
85	8.5	1.8×10^2	2.1×10^2	2.6×10^2
90	8.5	1.7×10^2	2.0×10^2	2.5×10^2

ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าปฏิกิริยาควบแน่นเกิดได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด และมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และกาวที่ได้จากการทำปฏิกิริยาที่สภาวะเป็นกลาง หรือในสภาวะที่เป็นด่างจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

- 3.1.1 หม้อปฏิกรณ์ (Reactor) ขนาด 3000 มิลลิลิตร
- 3.1.2 เครื่องควบแน่น (Condenser)
- 3.1.3 ขวดรูปชมพู่ (Conical flask) ขนาด 1000 มิลลิลิตร
- 3.1.4 ปั๊มทำสุญญากาศ (Vacuum pump)
- 3.1.5 กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3.1.6 เทอร์โมมิเตอร์ 0 – 100 องศาเซลเซียส
- 3.1.7 อุปกรณ์การกวน (Magnetic stirrer)
- 3.1.8 เครื่องให้ความร้อน (Heater)
- 3.1.9 เครื่องวัดความหนืด (Viscometer)
- 3.1.10 อุปกรณ์วัดค่าความถ่วงจำเพาะ (Hydrometer)
- 3.1.11 กระดาษวัดค่า pH (pH paper)
- 3.1.12 เครื่องวัดความชื้นของไม้
- 3.1.13 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ (Oven)
- 3.1.14 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- 3.1.15 เครื่องชั่งสารเคมี (Analytical Balance)
- 3.1.16 หลอดทดลอง (Test tube)
- 3.1.17 นาฬิกาจับเวลา
- 3.1.18 ช้อนตักสารเคมี
- 3.1.19 กรวยสำหรับเทสารเคมี

3.1.20 แผงแก้วสำหรับคนสารละลาย

3.1.21 ถ้วยตวงสารเคมี (Beaker) ขนาด 50, 250 และ 500 มิลลิลิตร

3.2 สารเคมี

3.2.1 สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 42 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

3.2.2 ยูเรีย

3.2.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

3.2.4 สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

3.2.5 ไตรเอทานอามีน (Triethanolamine)

3.2.6 แวกซ์ใช้สำหรับการอัดไม้

3.2.7 สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10, 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

3.3 วิธีทดลอง

3.3.1 วิธีการสังเคราะห์กาก

3.3.1.1 ชั่งน้ำหนักของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์และยูเรีย โดยอัตราส่วนโมลระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์ต่อยูเรียตอน เริ่มต้น เท่ากับ 2.22 : 1

3.3.1.2 ปรับค่า pH ของสารละลาย ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ค่า pH อยู่ในช่วง 8.8 – 9.0

3.3.1.3 ให้ความร้อนแก่สารละลาย โดยควบคุมอุณหภูมิในการสังเคราะห์ เท่ากับ 75, 80, 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

3.3.1.4 ปรับค่า pH ของสารละลายด้วยสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตให้ค่า pH เท่ากับ 5.0, 5.4, 6.2 และ 6.6

3.3.1.5 ทดสอบหาจุดยุติของปฏิกิริยา โดยการหยดสารละลายในหม้อปฏิกิริยาลงในน้ำ การแตกตัวของสารละลายจะเห็นเป็นเส้นใยสีขาว

โดยอุณหภูมิของน้ำที่ใช้วัดจุดยุติปรับค่าตั้งแต่ 5,10,15, 20 และ 25 องศาเซลเซียส

- 3.3.1.6 ปรับค่า pH ของสารละลายด้วยสารละลายไตรเอทานอามีน ให้ได้ค่า pH อยู่ในช่วง 6.8 – 7.0 จากนั้นเติมยูเรียเป็นครั้งที่สอง โดยสัดส่วนโมลระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรียหลังจากเติมยูเรียครั้งที่สองเท่ากับ 1.81 : 1
- 3.3.1.7 ระเหยน้ำออกจากสารละลายภายใต้สภาวะสุญญากาศ
- 3.3.1.8 เมื่อได้ปริมาณน้ำครบตามที่กำหนดแล้ว ปรับความดันภายในหม้อปฏิกริยาให้เป็นสภาวะบรรยากาศ เติมยูเรียครั้งที่สาม โดยสัดส่วนโมลระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรีย หลังจากเติมยูเรียครั้งที่สามเท่ากับ 1.36 : 1 จากนั้นหล่อเย็นสารละลายให้ได้อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส
- 3.3.1.9 เก็บตัวอย่างสารละลายทำการวัดค่าความหนืด ค่าความถ่วงจำเพาะ ปริมาณเนื้อขาว ค่า pH ระยะเวลาแข็งตัวของขาว
- 3.3.2 ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้พาดิเคิล
 - 3.3.2.1 นำไม้ (Chip) มาอบให้ได้ความชื้นอยู่ในช่วง 2 – 3 เปอร์เซ็นต์
 - 3.3.2.2 ชั่งน้ำหนักไม้โดยแยกเป็นส่วนผิวกับไส้
 - 3.3.2.3 ชั่งน้ำหนักสารสำหรับชั้นผิวและไส้ พร้อมส่วนผสมต่างๆ เช่น แวกซ์ น้ำ และฮาร์ดเดนเนอร์ นำส่วนผสมทั้งหมดผสมกัน
 - 3.3.2.4 นำไม้ที่เตรียมไว้สำหรับชั้นผิว และกาวที่เตรียมไว้สำหรับชั้นผิวผสมกัน โดยการพ่นกาวให้เป็นฝอยเข้าไปผสมกับไม้ ในเครื่องผสม
 - 3.3.2.5 นำไม้สำหรับชั้นผิวที่ผสมแล้วไปทำการวัดความชื้น โดยค่าความชื้นที่ได้มีค่าระหว่าง 10 – 11 เปอร์เซ็นต์
 - 3.3.2.6 นำไม้ที่เตรียมไว้สำหรับชั้นไส้ และกาวที่เตรียมไว้สำหรับชั้นไส้ผสมกัน โดยการพ่นกาวให้เป็นฝอยเข้าไปผสมกับไม้ ในเครื่องผสม
 - 3.3.2.7 นำไม้สำหรับชั้นไส้ที่ผสมแล้วไปทำการวัดค่าความชื้น โดยค่าความชื้นที่ได้มีค่าระหว่าง 7 – 8 เปอร์เซ็นต์

- 3.3.2.8 นำไม้สำหรับชั้นผิวแบ่งเป็น 2 ส่วน โยกลงในกล่องเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้ จากนั้นนำไม้สำหรับชั้นใต้มาโรยทับชั้นผิวที่โรยไว้แล้ว เมื่อเสร็จแล้ว นำไม้ชั้นผิวมาโรยทับชั้นใต้อีกครั้ง
- 3.3.2.9 กดอัดไม้ที่โรยแล้วให้แน่น โดยใช้พลาสติกแผ่นเรียบขนาดเท่ากับพื้นที่ของแผ่นไม้ที่โรยไว้
- 3.3.2.10 นำแผ่นไม้เข้าเครื่องอัดร้อน
- 3.3.2.11 นำแผ่นไม้ที่อัดเสร็จแล้ว ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วตัดขอบทั้งสี่ด้านออก ทำการห่อให้สนิทเพื่อรอการทดสอบค่าคุณสมบัติต่างๆ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 กาวสังเคราะห์

4.1.1 คุณสมบัติของกาวสังเคราะห์

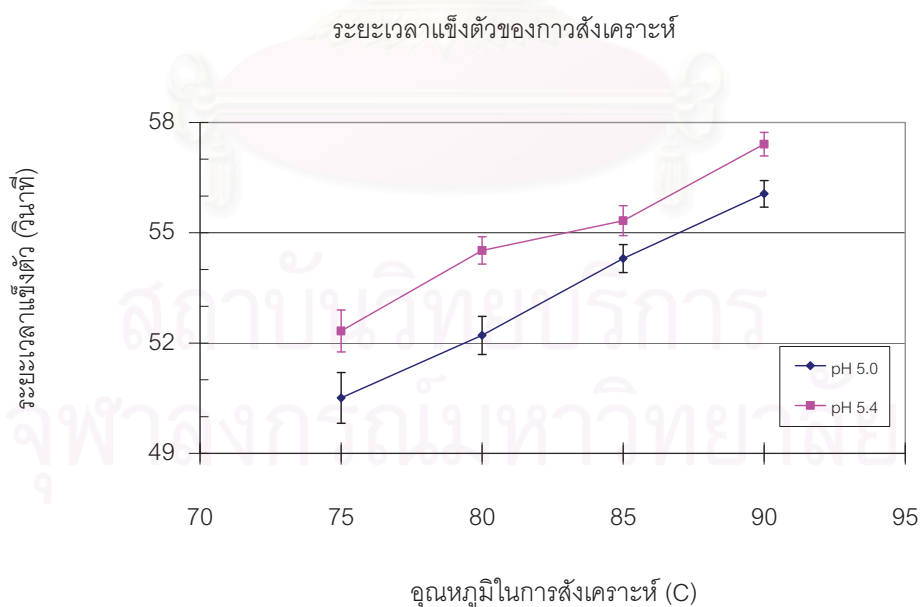
จากการทดลองพบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความหนืด ค่า pH และปริมาณเนื้อกาว (Solid content) ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อค่าอุณหภูมิและค่า pH ที่ใช้ในการสังเคราะห์เปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 10 ดังนั้นเราจึงพิจารณาเพียงค่าระยะเวลาการแข็งตัวของกาว (gel time) เพียงเท่านั้น ดังรูปที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ตารางแสดงค่าคุณสมบัติต่างๆของกาวที่ได้รับการทดลอง

pH	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความหนืด (poise)	เนื้อกาว (%)	pH
5.0	75	1.277	2.18	66.5	7.4
	80	1.277	2.26	66.5	7.3
	85	1.275	2.22	66.5	7.4
	90	1.279	2.25	66.7	7.3
5.4	75	1.279	2.16	66.9	7.4
	80	1.278	2.18	66.3	7.4
	85	1.277	2.10	66.0	7.5
	90	1.279	2.20	66.3	7.4

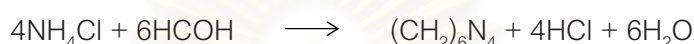
วัตถุดิบในการทดลองแต่ละการทดลองประกอบด้วย สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ และยูเรีย ซึ่งสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์มีองค์ประกอบที่เป็นน้ำอยู่ด้วยเมื่อฟอร์มาลดีไฮด์ทำปฏิกิริยากับยูเรียได้สารเมทิลอลยูเรีย และเมื่อสารเมทิลอลยูเรียทำปฏิกิริยาควบแน่นกับยูเรียจะมีน้ำเกิดขึ้นด้วย ซึ่งเมื่อทำสมดุลมวลสารระหว่างวัตถุดิบที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากปฏิกิริยาแล้วคำนวณย้อนกลับไปพบว่า ปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาควบแน่นของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ค่า pH 5.0 และ 5.4 มีปริมาณที่ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่าปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาควบแน่นก็ไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด จึงไม่อาจหาข้อสรุปโดยพิจารณาจากปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นเพียงอย่างเดียว จึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์เกี่ยวกับโครงสร้างและสารองค์ประกอบภายในเพื่อให้ทราบความแตกต่างระหว่างการทำปฏิกิริยาที่ค่า pH และอุณหภูมิต่างๆ ที่เกิดขึ้น

4.1.2 ระยะเวลาแข็งตัวของกาวสังเคราะห์



รูปที่ 4-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการแข็งตัวของกาว (gel time) ที่ได้จากการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิและค่า pH ต่างๆ

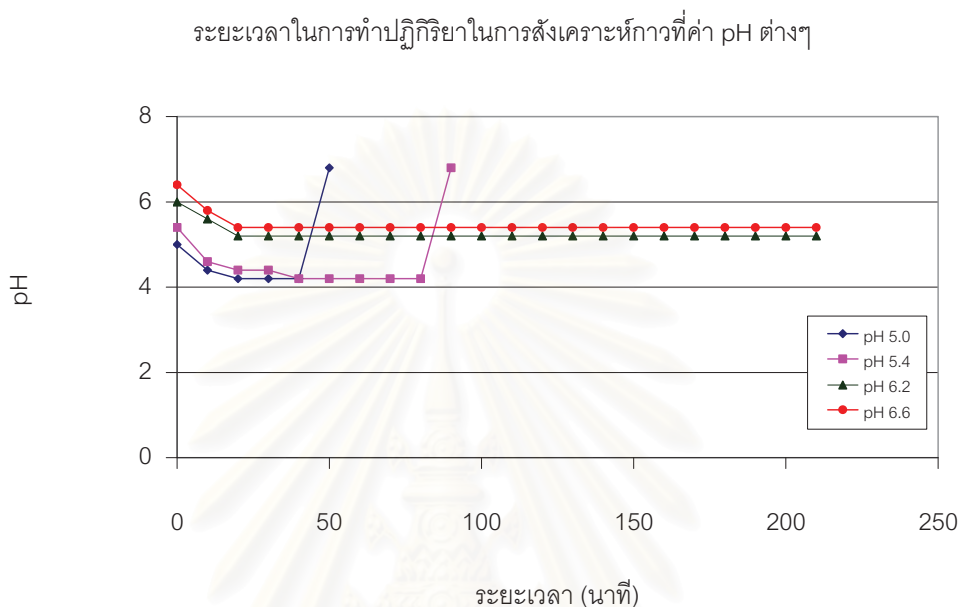
จากกราฟจะเห็นว่าระยะเวลาในการแข็งตัวของกาว (gel time) มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการสังเคราะห์กาวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้นทำให้การเกิดปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับยูเรียได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (Raveendran และ Francis, 1982) จึงทำให้ฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลืออยู่น้อยกว่า และเมื่อเติมสารสำหรับเร่งการแข็งตัว (hardener) ซึ่งมีแอมโมเนียมคลอไรด์ผสมอยู่ลงไปจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ



จากสมการดังกล่าวจะเห็นว่าแอมโมเนียมคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาในสารละลายเกิดเป็นกรดไฮโดรคลอริกขึ้น ซึ่งกรดนี้จะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาควบแน่นต่อไป เมื่อปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์เหลือน้อยลงจึงทำให้ปฏิกิริยาดังกล่าวข้างต้นเกิดได้น้อยกว่า ทำให้ระยะเวลาในการแข็งตัวมีเวลาที่ยาวกว่า และเมื่อพิจารณาจากค่า pH ในการสังเคราะห์กาว จะเห็นว่ากาวที่สังเคราะห์ด้วยค่า pH 5.0 มีค่าระยะเวลาในการแข็งตัว (gel time) สั้นกว่ากาวที่สังเคราะห์ด้วยค่า pH 5.4 เนื่องจากกาวที่สังเคราะห์ที่ค่า pH ที่เป็นกรดจะทำให้เกิดปฏิกิริยาควบแน่นเป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงขึ้น ซึ่งกาวที่สังเคราะห์ที่ค่า pH 5.0 จะเกิดพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงอยู่เป็นสัดส่วนที่มากกว่ากาวที่สังเคราะห์ที่ค่า pH 5.4 (HSE และคณะ, 1994) เมื่อเติมสารเร่งการแข็งตัวของกาวลงไปก็จะเกิดปฏิกิริยาควบแน่นของสารที่มีมวลโมเลกุลสูงรวมตัวกัน เกิดเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่และเกิดการแข็งตัวขึ้นเร็วกว่ากาวที่สังเคราะห์ที่ค่า pH 5.4

จากการทดลองพบว่าเมื่อค่าระยะเวลาแข็งตัวของกาวมีค่าสั้นลง มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถเพิ่มผลผลิตในการขึ้นรูปแผ่นไม้พาติเคิลในอุตสาหกรรมได้จริง เนื่องมาจากในปัจจุบันการผลิตแผ่นไม้พาติเคิลโดยใช้กาวที่มีระยะเวลาแข็งตัวที่ 57 วินาที ทำการอัดร้อนโดยมีค่า press factor เท่ากับ 5.0 วินาที ต่อความหนา 1 มิลลิเมตร ซึ่งที่ได้กาวที่ได้จากการทดลองมีค่าระยะเวลาแข็งตัวประมาณ 55 วินาที ซึ่งสั้นกว่า และทำการทดลองโดยอัดร้อนที่ค่า press factor 5.0 เท่ากันและได้ค่าคุณสมบัติเชิงกลของไม้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จึงมีแนวโน้มว่าเมื่อนำไปใช้จริงในอุตสาหกรรมมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถอัดร้อนที่ค่า press factor ที่ต่ำกว่า 5.0 ได้ แต่อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอีกหลายประการที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการอัดร้อน จำเป็นจะต้องพิจารณาประกอบ เช่นระบบของเครื่องจักร และความต้องการในแง่คุณสมบัติเชิงกลต่างๆ เป็นต้น

4.1.3 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในการสังเคราะห์กาวย



รูปที่ 4-2 กราฟแสดงระยะเวลาหลังจากเติมแอมโมเนียมซัลเฟตเพื่อปรับค่า pH ของปฏิกิริยาในการสังเคราะห์กาวยที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4-2 จะเห็นว่าเมื่อปรับค่า pH ของสารละลายด้วยแอมโมเนียมซัลเฟตให้ได้เท่ากับ 6.2 และ 6.6 พบว่าใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาต่อไปเรื่อยๆ ค่า pH ของสารละลายก็ยังคงไม่สามารถลดลงมาได้เท่ากับการทดลองที่ค่า pH 5.0 และ 5.4 ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองจนถึงจุดที่วัดได้ว่าเป็นจุดยุติของปฏิกิริยาด้วยวิธีการเดียวกันกับที่ใช้ในการทดลองของช่วงปฏิกิริยาที่ค่า pH 5.0 และ 5.4

จากรูปที่ 4-2 ในการทดลองที่ค่า pH 5.0 และ 5.4 กราฟมีค่า pH สูงขึ้นในตอนสุดท้ายมาจากการปรับค่า pH ของสารละลายให้เป็นกลางหลังจากวัดจุดยุติของปฏิกิริยาได้แล้ว จึงเติมสารละลายไตรเอทานอามีนลงในหม้อปฏิกิริยาเพื่อยุติปฏิกิริยา

4.2 คุณสมบัติของไม้แผ่นพาดิเคิล

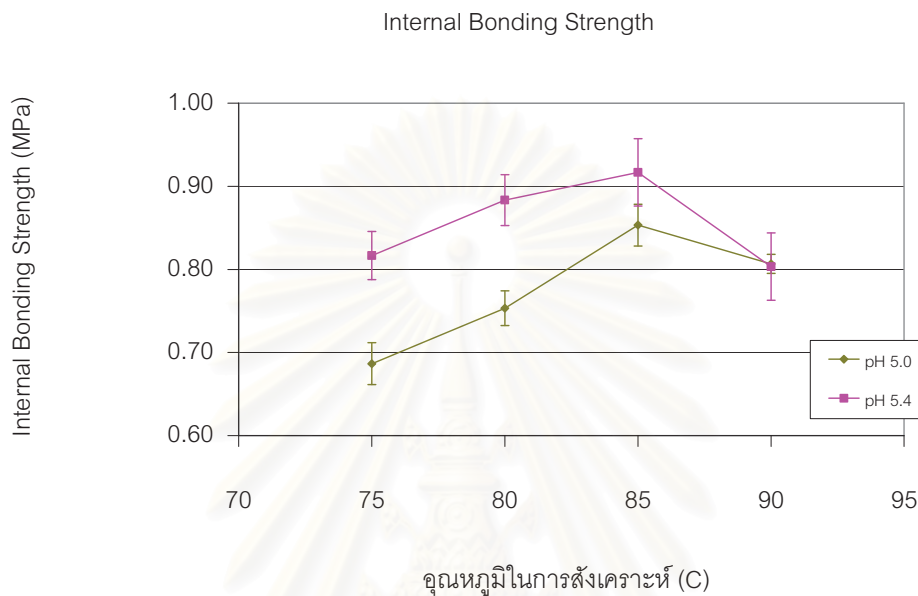
4.2.1 ความหนาแน่นของไม้แผ่นพาดิเคิล

ตารางที่ 4-2 แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดพาดิเคิล (Particle board) ที่ได้จากการที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิและค่า pH ต่างๆ

ค่า pH	อุณหภูมิ (เซลเซียส)	ความหนาแน่นของไม้แผ่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
5.0	75	725.6
	80	725.5
	85	727.4
	90	726.1
5.4	75	723.5
	80	727.7
	85	728.0
	90	726.8

จากผลการทดลองเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้ที่ได้จากการทั้งสองนั้นมีค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกัน เนื่องจากในการอัดไม้แผ่นพาดิเคิลในการทดลองได้อัดด้วยปริมาณไม้ และปริมาณการที่เท่ากันตามสัดส่วน (Dry basis) อีกทั้งยังอัดด้วยความดันและอุณหภูมิในการอัดร้อนเท่ากันอีกด้วย

4.2.2 Internal Bonding Strength (IB)

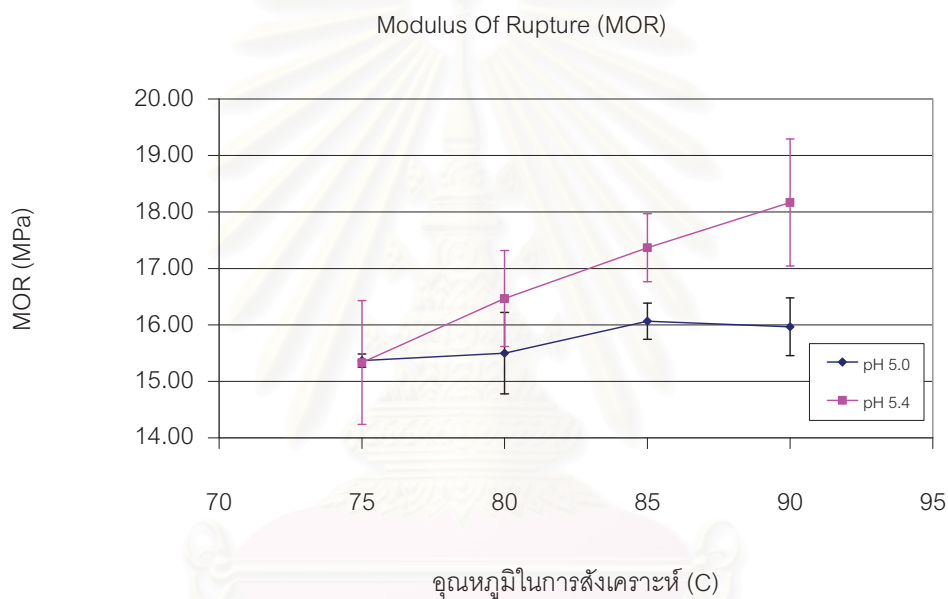


รูปที่ 4-3 กราฟแสดงค่า Internal bonding strength, IB ที่ได้จากการสังเคราะห์ที่สภาวะอุณหภูมิ และค่า pH ต่างๆ

การวัดค่าแรงยึดเหนี่ยวภายใน (Internal bonding strength, IB) เป็นการวัดโดยใช้แรงดึงจากด้านบนและด้านล่างของชิ้นงานจนกระทั่งชิ้นงานขาดออกจากกัน และจากกราฟค่าแรงยึดเหนี่ยวภายในแผ่นชิ้นงาน (IB) ของไม้ที่ได้พบว่าค่า IB เพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH และอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์การมีค่าสูงขึ้น ในกาที่สังเคราะห์ที่ค่า pH 5.0 จะมีสัดส่วนของโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่าการที่สังเคราะห์ที่ค่า pH 5.4 (Hse และคณะ, 1994) ทำให้เมื่อพ่นกาวเพื่อผสมกับไม้ก่อนการอัดร้อนกาวที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่อาจจะไม่สามารถซึมเข้าไปในเนื้อไม้ได้มากนัก จะเกาะอยู่แค่ที่ด้านนอกของผิวไม้ทำให้เมื่ออัดร้อนแล้วเกิดการแข็งตัวยึดเกาะกันเฉพาะแนวกาว ไม่ได้เป็นการยึดระหว่างกาวกับไม้จึงทำให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวภายในของแผ่นไม้ (Internal bonding strength) มีค่าต่ำกว่าในกรณีที่สังเคราะห์ด้วยค่า pH 5.4 ซึ่งกาวที่ได้มีสัดส่วนของสารโมเลกุลต่ำอยู่ในจำนวนที่มากกว่า เมื่อพ่นเข้าไปผสมกับไม้แล้วกาวบางส่วนจะซึมเข้าไปในเนื้อไม้เมื่ออัดร้อนแล้วเกิดการแข็งตัวของกาว จะทำให้เกิดแรงยึดระหว่างแนวกาวและไม้มากกว่า

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์กาวที่เพิ่มขึ้น มีส่วนในการทำให้ปฏิกิริยาควบแน่นได้สมบูรณ์มากขึ้น (Minopoulou และคณะ, 2003) ทำให้เกิดพอลิเมอร์เป็นโครงสร้างที่แข็งแรง ทำให้ที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีค่าแรงยึดเหนี่ยวภายในมีมากขึ้น

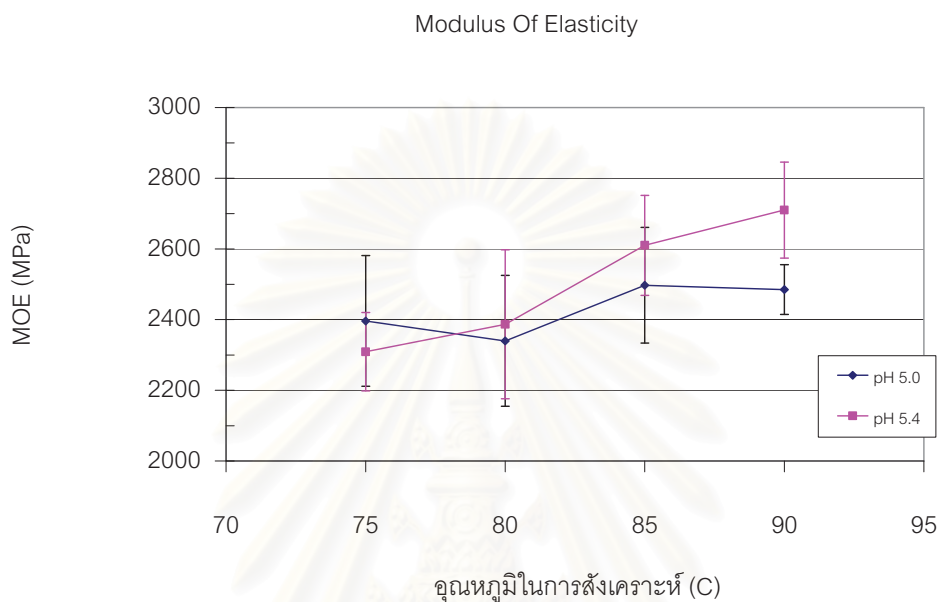
4.2.3 Modulus Of Rupture (MOR)



รูปที่ 4-4 กราฟแสดงค่า MOR (Modulus Of Rupture) ที่ได้จากกาวที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิและค่า pH ต่างๆ

การวัดค่า bending strength เป็นการวัดโดยการให้แรงกดลงบนชิ้นงานแล้ววัดค่าแรงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานหักซึ่งค่าที่วัดได้จะแสดงออกมา 2 ค่าคือค่า MOR และ MOE จากการทดลองพบว่าค่า Bending strength ของแผ่นไม้พาดิเคิลที่ได้ มีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิและค่า pH ที่ใช้ในการสังเคราะห์กาวมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปในทางเดียวกันกับค่าแรงยึดเหนี่ยวภายในแผ่นไม้ ซึ่งกาวที่สังเคราะห์ที่ค่า pH 5.0 จะเกิดแนวการเมื่อการแข็งตัวเมื่อไม่ได้มีการยึดติดกับไม้ทำให้การรับแรงไม่เกิดความยืดหยุ่น จึงทำให้ได้ค่าน้อยกว่ากาวที่สังเคราะห์ด้วยค่า pH 5.4

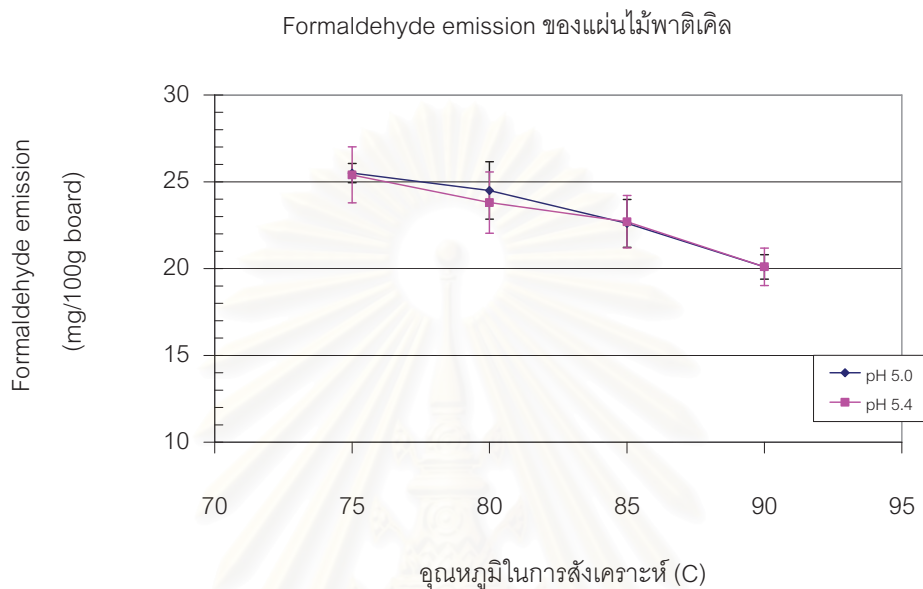
4.2.4 Modulus of Elasticity (MOE)



รูปที่ 4-5 กราฟแสดงค่า MOE ของแผ่นไม้พาดิเคิลที่ได้จากการอัดด้วยกาวที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิและค่า pH ต่างๆ

จากการทดลองพบว่าค่า MOE ของไม้พาดิเคิลที่ได้ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและค่า pH ที่ใช้ในการสังเคราะห์กาวมีค่าสูงขึ้นไปในทางเดียวกันกับค่าแรงยึดเหนี่ยวภายในแผ่นไม้ ซึ่งกาวที่สังเคราะห์ที่ค่า pH 5.0 เมื่อกาวแข็งตัวจะเกิดเป็นแนวกาวซึ่งไม่ได้มีการยึดติดกับไม้ทำให้การรับแรงไม่เกิดความยืดหยุ่น จึงทำให้ได้ค่าน้อยกว่ากาวที่สังเคราะห์ที่ค่า pH 5.4 เช่นเดียวกับในกรณีของ MOR

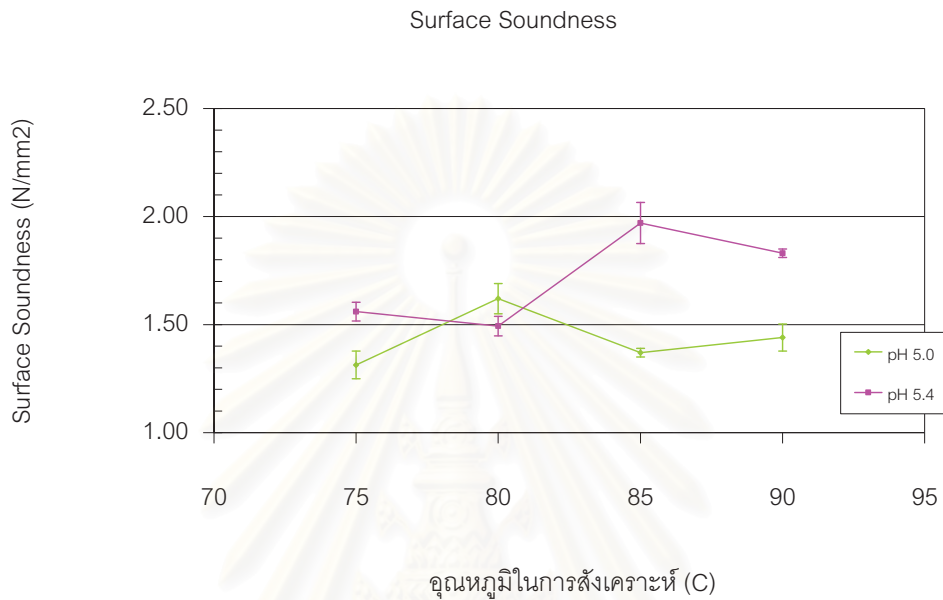
4.2.5 Formaldehyde emission



รูปที่ 4-6 กราฟแสดงค่า Formaldehyde emission (mg/100 g board) ที่ได้จากการที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิและค่า pH ต่างๆ

ค่า Formaldehyde emission จากแผ่นไม้พาดิเคิลที่ได้ ในการทดลองครั้งนี้ใช้วิธีการ Perforator ในการวัดค่า formaldehyde emission จากแผ่นไม้ ซึ่งพบว่าค่า formaldehyde emission ที่วัดได้มีค่าต่ำลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์กาวมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น จะทำให้ฟอร์มัลดีไฮด์ถูกใช้ในการทำปฏิกิริยาไปมาก (Nair และ Francis, 1982) จึงมีฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาในกาวน้อยลง ทำให้เมื่อนำมาอัดร้อนแล้วมีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ระเหยออกมาน้อยลง ในขณะที่ผลจากค่า pH ไม่แตกต่างกันมากนัก จากการที่ฟอร์มัลดีไฮด์เหลืออยู่ (ถูกใช้) เท่ากันที่ค่า pH 5.0 และ 5.4 จะมีผลให้โครงสร้างของตัวกาวแตกต่างกันใน เช่น ขนาดโมเลกุล โครงสร้างโมเลกุล เป็นต้น

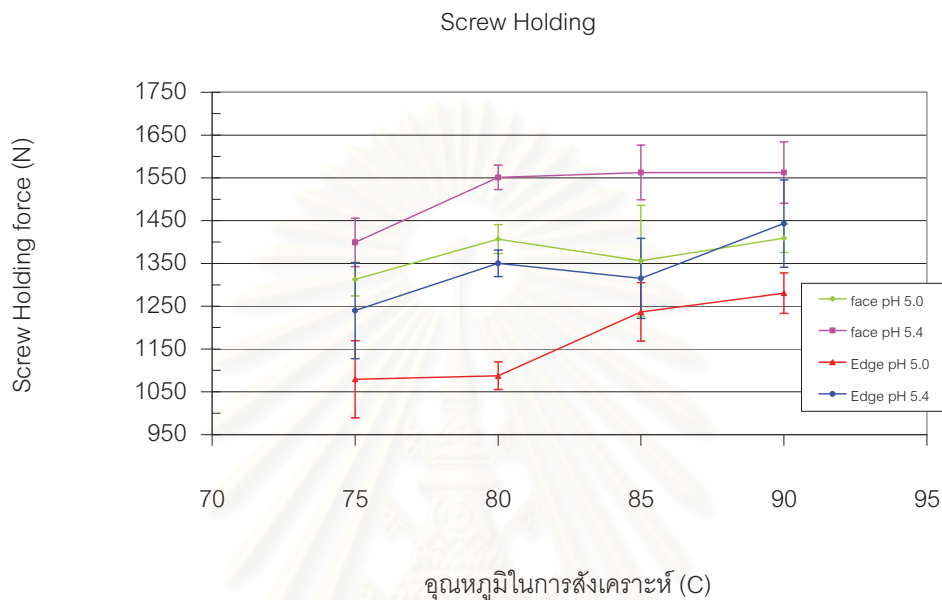
4.2.6 Surface Soundness



รูปที่ 4-7 กราฟแสดงค่า Surface Soundness ของแผ่นไม้พาดิเคิลที่ได้จากกาวที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิและค่า pH ต่างๆ

การวัดค่า Surface soundness, SS เป็นการวัดค่าโดยการวัดแรงดึงที่ผิวของแผ่นชิ้นงานในทิศทางตั้งฉากกับชิ้นงาน ซึ่งค่า SS ที่ได้จากการทดลองไม่แสดงแนวโน้มไปในทิศทางใดทางหนึ่งน่าจะเป็นเพราะว่าการวัดค่า SS เป็นการวัดแรงดึงเฉพาะที่ผิวของชิ้นงาน ซึ่งผิวของไม้แผ่นพาดิเคิลจะมีขนาดของไม้ที่เล็กมากเมื่ออัดแล้วความหนาแน่นของไม้บริเวณส่วนที่เป็นผิวไม้ได้มีความแตกต่างกันมากนัก เมื่อเทียบกับส่วนที่เป็นแกนกลางซึ่งมีขนาดของชิ้นไม้ที่ใหญ่กว่าทำให้ค่าแรงดึงที่วัดได้ไม่แสดงผลที่ชัดเจนนัก

4.2.7 Screw holding

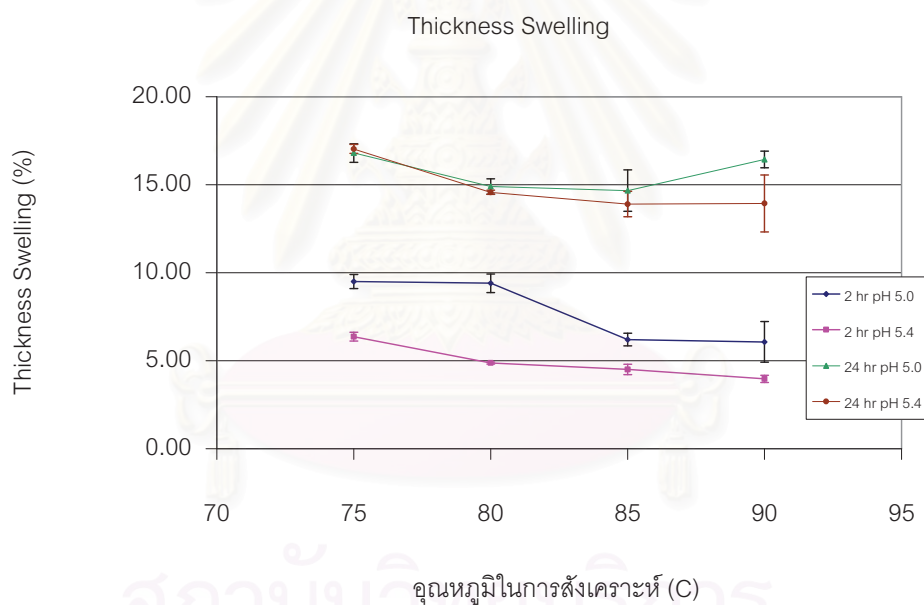


รูปที่ 4-8 กราฟแสดงค่า Screw holding ของไม้พาดิเคิลที่ได้จากกาวที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิและค่า pH ต่างๆ

ค่า Screw holding test วัดโดยการเจาะรูที่กึ่งกลางของแผ่นชิ้นงานที่ตำแหน่งผิวหน้าและที่ตำแหน่งของขอบด้านใดด้านหนึ่งของแผ่นชิ้นงาน แล้วนำสกรูมายึดจากนั้นนำไปวัดโดยใช้แรงดึงที่สกรูวัดค่าแรงดึงที่ได้ โดยวัดเป็นแรงดึงที่ด้านหน้าและที่ขอบ ซึ่งค่าแรงที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์กาวเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นเหตุผลในลักษณะเดียวกับค่า Internal bonding strength MOR และ MOE โดยที่ค่าแรงดึงที่ด้านหน้ามีค่ามากกว่าที่ขอบ เนื่องจากว่าในการอัดไม้แผ่นพาดิเคิลบริเวณที่เป็นแกนกลางของแผ่นไม้ มีความหนาแน่นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ผิวหน้าของแผ่นไม้ ทำให้ค่าแรงดึงที่วัดได้ที่ด้านหน้าของแผ่นไม้มีค่ามากกว่าที่ภายในได้ ส่วนกาวที่สังเคราะห์ที่ค่า pH 5.0 มีค่า screw holding test ต่ำกว่ากาวที่สังเคราะห์ด้วยค่า pH 5.4 ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกับในกรณีของค่า Internal bonding strength MOR และ MOE นอกจากนี้แล้วความแตกต่างระหว่างค่า screw holding ที่วัดด้านหน้ากับด้านขอบอาจเป็นผลมาจากรูปทรงทางเรขาคณิตของด้านหน้ากับด้านข้างกล่าวคือ ด้านหน้ามีพื้นที่ใน

การรับแรงดึงมากกว่าด้านข้าง ทำให้ต้องใช้แรงในการดึงที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการดึงที่ด้านขอบซึ่งมีพื้นที่น้อยกว่า อาจจะมาจากรูปทรงของตัวชิ้นไม้ (chip) รวมถึงการจัดเรียงตัวของชิ้นไม้ในขั้นตอนของการโรยก่อนนำเข้าอัดร้อน การโรยไม้ที่ผ่านการพ่นกาวแล้วทำโดยใช้แรงลมเป่าให้ชิ้นไม้ปลิวไปและตกลงตามแรงโน้มถ่วงบนแผ่นลำเลียงเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการอัดร้อน จากการตกอย่างอิสระตามแรงโน้มถ่วงของโลกอาจทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของไม้ที่แตกต่าง เมื่อคิดปัจจัยทั้งหมดที่กล่าวมาอาจจะส่งผลถึงค่า Screw holding ที่วัดได้อีกด้วย

4.2.8 Thickness swelling

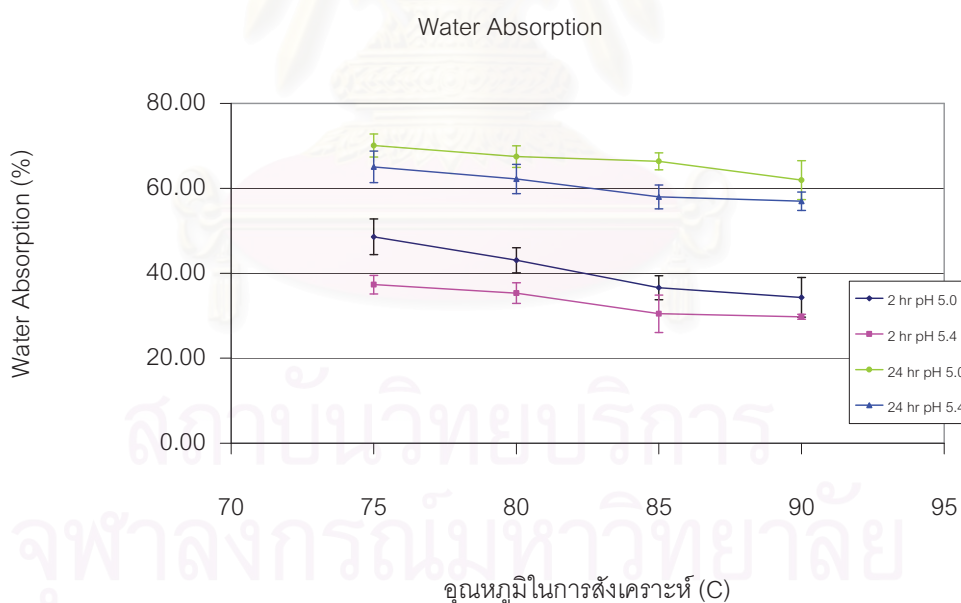


รูปที่ 4-9 กราฟแสดงค่า Thickness swelling ของไม้พาดิเคิลที่ได้จากกาวสังเคราะห์ที่อุณหภูมิและค่า pH ต่างๆ

การวัดค่า Thickness swelling วัดโดยการนำชิ้นไม้ตัวอย่างมาทำการแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาวัดความหนา จากนั้นทำการแช่น้ำต่อจนครบ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาวัดความหนาซึ่งผลที่ได้พบว่า Thickness swelling ของกาวที่สังเคราะห์

ที่ค่า pH เท่ากัน เมื่ออุณหภูมิในการสังเคราะห์สูงขึ้นได้ค่า thickness swelling ลดลงน่าจะเป็นเพราะว่าเมื่อกาวที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิสูงเมื่อนำไปอัดร้อน เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเกิดการแข็งตัวของกาวที่สมบูรณ์กว่า เมื่อนำไปแช่น้ำทำให้โมเลกุลของน้ำไม่สามารถแทรกเข้าไปในเนื้อไม้ไม่ทำให้การบวมน้ำเกิดขึ้นได้น้อยกว่า ส่วนกาวที่สังเคราะห์ที่ค่า pH 5.0 มีค่าการบวมน้ำมากกว่ากาวที่สังเคราะห์ที่ค่า pH 5.4 เป็นเพราะกาวที่สังเคราะห์ที่ pH 5.0 มีองค์ประกอบของพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงอยู่เป็นสัดส่วนที่มากกว่ากาวที่สังเคราะห์ที่ pH 5.4 เป็นผลให้กาวส่วนใหญ่อาจจะไม่ซึมเข้าเนื้อไม้แต่จะเคลือบอยู่ที่ผิวนอก เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจนกระทั่งกาวแข็งตัวจะเกิดเป็นแนวกาว ซึ่งไม่ได้ยึดติดกับไม้มากเท่าที่ควรทำให้เมื่อนำไปแช่น้ำโมเลกุลของน้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อไม้ได้มากกว่า จึงทำให้เกิดการบวมของไม้มากกว่า

4.2.9 Water absorption



รูปที่ 4-10 กราฟแสดงค่า Water Absorption ของไม้พาดิเคิลที่ได้จากกาวที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิและค่า pH ต่างๆ

การวัดค่า Water absorption ของชิ้นงานตัวอย่างวัดโดยการนำชิ้นงานตัวอย่างไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากนั้นนำชิ้นงานไปแช่น้ำต่อจนครบ 24 ชั่วโมง ซึ่งผลจากการทดลองพบว่าค่า Water absorption ของไม้พาดิเคิลมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิในการสังเคราะห์กาวเพิ่มขึ้นด้วยเหตุผลในลักษณะเดียวกันกับกรณีของ Thickness Swelling

ปัจจัยอีกประการที่อาจส่งผลกระทบต่อค่า Thickness swelling และค่า Water absorption คือการดูดซึมน้ำของตัวไม้ที่นำมาเป็นวัตถุดิบ รวมถึงการสังเคราะห์ที่แข็งตัวแล้วว่ามี ความสามารถในการดูดซับน้ำได้มากน้อยเพียงไรอีกด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การสังเคราะห์เป็นสารซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลสารโมโนเมอร์ พอลิเมอร์ และไอโกลิเมอร์ ที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรง และโครงสร้างที่มีกิ่งก้านรวมกันอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกันตามแต่วิธีที่ใช้ในการสังเคราะห์ ซึ่งในขั้นตอนของการสังเคราะห์กาว เมื่ออุณหภูมิและ pH ของการเกิดปฏิกิริยาของสารตั้งต้นทั้งสองคือยูเรียและฟอร์มัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น จะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการควบแน่นที่สมบูรณ์มากขึ้น (เหลือฟอร์มัลดีไฮด์น้อยลง) แต่โมเลกุลของกาวที่ได้จะมีขนาดเล็ก เมื่อนำกาวดังกล่าวไปทำการอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ไม้ ทำให้ดัชนีวัดความแข็งแรงต่างๆ อาทิเช่น Internal bonding strength (IB), Bending strength (MOR และ MOE) และ Screw holding test มีค่าสูงขึ้น ในขณะที่การบวมตัวและการดูดซึมน้ำมีค่าต่ำลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากโมเลกุลขนาดเล็กสามารถซึมแพร่เข้าในเนื้อไม้ได้ดี และเกิดการพอร์มโครงสร้างแบบร่างแหภายในเนื้อไม้ได้สมบูรณ์กว่า นอกจากนี้ ยังพบว่าผลิตภัณฑ์ไม้ที่ได้จะมี Formaldehyde emission ที่ต่ำลงอีกด้วย อย่างไรก็ตาม การแข็งตัวของกาวจะต้องใช้ระยะเวลาที่นานขึ้น เนื่องจากปริมาณกรดที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการควบแน่นของกาวมีปริมาณลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าค่า pH ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ค่า pH 6.2 และ 6.6 ไม่สามารถทำการทดลองโดยวิธีการที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้ รวมถึงอุณหภูมิและค่า pH ที่ใช้ในการสังเคราะห์กาวมีผลต่อโครงสร้างทางเคมีภายในตัวกาว ขนาดของพอลิเมอร์ ที่เกิดขึ้น จึงเสนอแนวทางในการที่จะทำการศึกษาต่อไปดังนี้

1. เปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาจากสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต เป็นกรดชนิดอื่นเช่น กรดไฮโดรคลอริกกรดซัลฟูริก เป็นต้น เพื่อทดสอบว่าสามารถทำการทดลองจนถึงจุดยุติของปฏิกิริยาได้หรือไม่ และผลของคุณสมบัติเชิงกลมีความแตกต่างกันอย่างไร
2. ศึกษาถึงสารเร่งการแข็งตัวของกาวยกนอกเหนือจากแอมโมเนียมคลอไรด์ มีผลต่อค่าระยะเวลาในการแข็งตัวของกาวหรือไม่ และมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของไม้หรือไม่
3. ศึกษาคุณสมบัติของกาวเมื่อแบ่งการเติมสารยูเรียเป็น หลายช่วงเวลาเพื่อดูความแตกต่างของคุณสมบัติของกาวที่สังเคราะห์ได้ และคุณสมบัติเชิงกลที่ได้จากการนำกาวไปอัดไม้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ปรีชา เกียรติกระจาย. กาวและการยึดติดไม้. กรุงเทพฯ : โครงการเผยแพร่ความรู้ทางวนผลิตภัณฑ์
ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2531.

ภาษาอังกฤษ

Ferg, E.E., Pizzi, A., and Levendis, D.C., “¹³C NMR Analysis Method for Urea-
Formaldehyde Resin Strength and Formaldehyde Emission”, Journal of Applied
Polymer Science, 50 (1993):907-915.

Hse, C.Y.; Yuan, Z., and Tomita, B., “Effects of Reaction pH on Properties and
Performance of Urea-Formaldehyde Resins”, Holzforschung, 48 (1994):527-532.

Minopoulou, E., Dessipri, E., Chryssikos, G.D., Gionis, V., Paipetis, A., and Panayiotou,
C., “Use of NIR for structure characterization of urea-formaldehyde resins”,
International Journal of Adhesion and Adhesive, 23 (2003):473-484

Nair, B.R., and Francis, D.J., “Kinetics and Mechanism of Urea-Formaldehyde
Reaction”, Polymer, 24 (1983):626-630.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

ภาษาอังกฤษ

- Dunky, M., "Urea-formaldehyde (UF) adhesive resins for wood", International Journal of Adhesion and Adhesive, **18** (1998):95-107.
- Dutkiewicz, J., "Preparation of Cured Urea-Formaldehyde Resins of Low Formaldehyde Emission", Journal of Applied Polymer Science, **29** (1984):45-55.
- Ebewele, R.O., "Differential Scanning Calorimetry and Dynamic Mechanical Analysis of Amine-Modified Urea-Formaldehyde Adhesive", Journal of Applied Polymer Science, **58** (1995):1689-1700.
- Ebwele, O.R., River, H.B., and Myers, E.G., "Behavior of Amine-Modified Urea-Formaldehyde-Bonded Wood Joints at Low Formaldehyde/Urea Molar Ratios", Journal of Applied Polymer Science, **52** (1994):689-700.
- Hill, G.C., Jr., Hedren, M.A., "Raman Spectroscopy of Urea-Formaldehyde Resins and Model Compounds", Journal of Applied Polymer Science, **29** (1984):2749-2762.
- Levendis, D., Pizzi, A., and Ferg, E., "The Correlation of strength and Formaldehyde Emmission with the Crystalline/Amorphous Structure of UF Resins", Holzforschung, **46** (1992):263-269.
- Myers, E.G., "Investigation of Urea-Formaldehyde Polymer Cure by infrared", Journal of Applied Polymer Science, **26** (1981):747-764.
- Scheikl, M., Dunky, M., "Measurement of Dynamic and Static Contact Angles on Wood for the Determination of its Surface Tension and the Penetration of Liquid into the Wood Surface", Holzforschung, **52** (1998):89-94.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการวัดค่าแรงยึดภายในของแผ่นไม้พาดิเคิล (Internal Bonding strength)

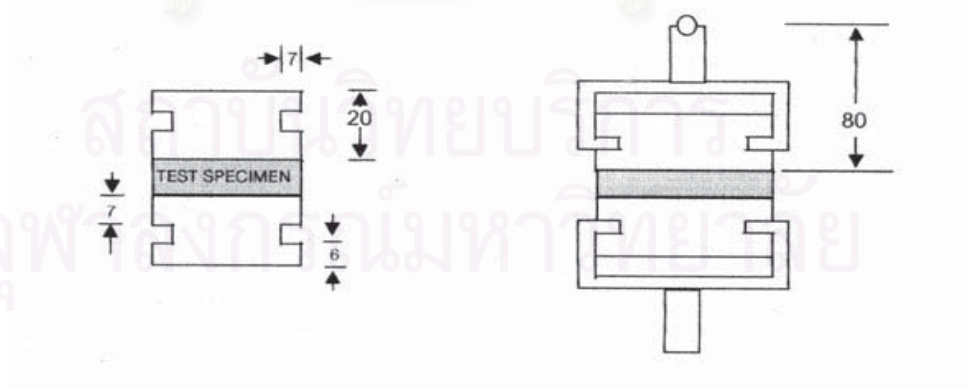
1. ตัดชิ้นงานขนาด กว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร
2. นำชิ้นงานทั้งหมด วัดความหนา (มิลลิเมตร) ชั่งน้ำหนัก (กรัม) จากนั้นนำไปขัดผิวหน้าทั้งสองด้านของชิ้นงานให้เรียบ
3. นำชิ้นงานที่ขัดผิวแล้วมาทาขาว (hot melt) ติดกับอุปกรณ์ในการยึดชิ้นงานกับเครื่องดึงทั้งสองด้านเพื่อทำการยึดชิ้นงานกับเครื่องดึง ก่อนที่จะนำชิ้นงานไปเข้าเครื่องทดสอบวัดแรงดึงดังรูปที่ 13
4. เมื่อการแห้งแล้วให้นำชิ้นงานไปเข้าเครื่องทดสอบวัดแรงดึง ซึ่งเป็นการวัดแรงดึงในแนวตั้งฉากกับผิวหน้าชิ้นงาน จากนั้นบันทึกค่าแรงดึงสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องวัด แล้วนำมาคำนวณหาค่า Internal Bonding strength ตามสูตรการคำนวณต่อไปนี้

$$\text{Internal Bonding (N/mm}^2\text{)} = \frac{P'}{2bL}$$

โดยที่ P' คือค่าแรงดึงสูงสุด (นิวตัน) ที่เวลาที่เกิดการแยกตัวของชิ้นงาน

b คือ ความกว้างของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)

L คือ ความยาวของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)



รูปที่ ก-1 รูปแสดงวิธีการวัดค่าแรงยึดภายใน (Internal Bonding strength)

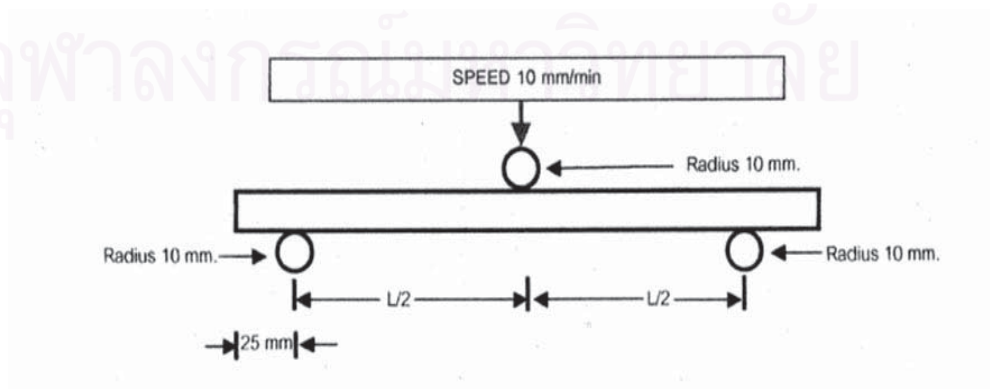
วิธีการวัดค่า Bending strength (MOR และ MOE)

1. ตัดชิ้นงานขนาด กว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น
2. นำชิ้นงานทั้งหมด วัดความหนา (มิลลิเมตร) ชั่งน้ำหนัก (กรัม)
3. นำชิ้นงานที่ได้ไปเข้าเครื่องรับแรงกดที่ชิ้นงาน โดยเครื่องวัดจะวัดแรงกดที่กระทำลงบนชิ้นงานดังรูปที่ 14
4. นับบันทึกค่าแรงดึงสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องวัด แล้วนำมาคำนวณหาค่า Bending strength และ MOE ตามสูตรการคำนวณต่อไปนี้

$$\text{MOR (N/mm}^2\text{)} = \frac{3PL}{2bt^2}$$

$$\text{MOE (N/mm}^2\text{)} = \frac{L^3 (F_2 - F_1)}{4bt^3 (a_2 - a_1)}$$

- โดยที่ P คือค่าแรงกดสูงสุด (นิวตัน)
- b คือความกว้างของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
- L คือระยะ span (มิลลิเมตร)
- t คือความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
- $F_2 - F_1$ คือค่าของโหลดที่เพิ่มขึ้น โดย F_1 มีค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของโหลดสูงสุดและ F_2 มีค่าประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของโหลดสูงสุด
- $a_1 - a_2$ คือค่าของการเสียรูปของแผ่นไม้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของความยาวของชิ้นงาน



รูปที่ ก-2 รูปแสดงวิธีการวัดค่า Bending strength (MOR และ MOE)

การวัดค่า Thickness Swelling และ Water Absorption

1. ตัดชิ้นงานขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตรจำนวน 5 ชิ้น
2. วัดความหนา และน้ำหนักของชิ้นงานแต่ละชิ้น บันทึกค่าไว้
3. นำชิ้นงานไปแช่ในน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. เมื่อแช่น้ำครบ 24 ชั่วโมงแล้ว ให้นำชิ้นงานมาทำการวัดความหนา และชั่งน้ำหนักแต่ละชิ้น พร้อมบันทึกค่าเอาไว้
5. นำความหนาและน้ำหนักที่ได้บันทึกไว้มาคำนวณหาค่า Thickness swelling และค่า Water Absorption ได้ดังสมการ

$$\text{Thickness Swelling (\%)} = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100$$

โดยที่ t_1 คือความหนาก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

t_2 คือความหนาลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

$$\text{Water Absorption (\%)} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

โดยที่ m_1 คือน้ำหนักก่อนแช่น้ำ (กรัม)

m_2 คือน้ำหนักหลังแช่น้ำ (กรัม)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวัดค่า Surface Soundness

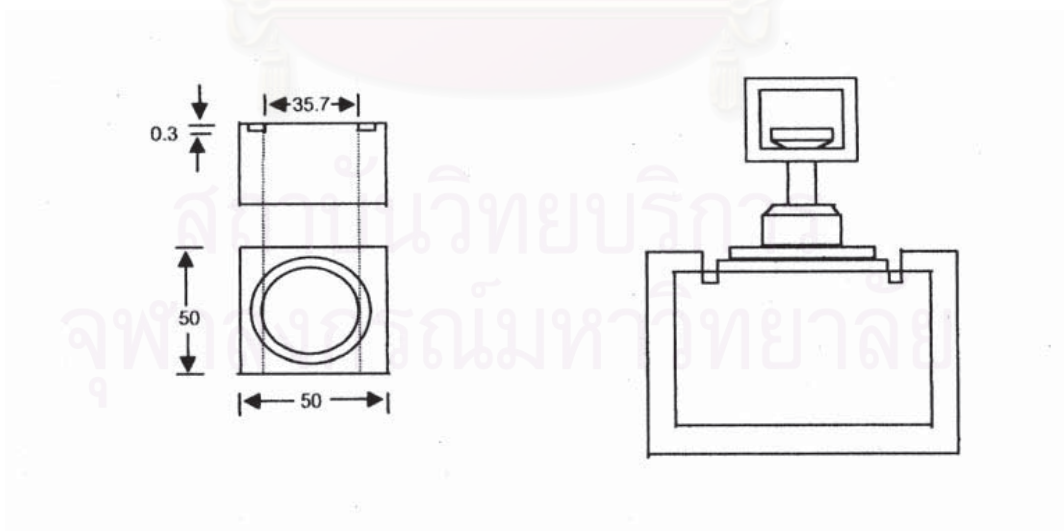
1. ตัดชิ้นงานขนาดกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น
2. นำชิ้นงานทั้งหมดมาวัดความหนา (มิลลิเมตร) บันทึกค่าเอาไว้ นำชิ้นงานทั้งหมดมาขัดผิวหน้าด้านใดด้านหนึ่งให้เรียบ
3. นำชิ้นงานมาตากาว (hot melt) ด้านที่ขัดผิวหน้าไว้แล้ว เพื่อติดกับอุปกรณ์ในการยึดชิ้นงานเข้ากับเครื่องดิงก่อนนำไปเข้าเครื่องดิงดังรูปที่ 15
4. เมื่อกาวแห้งดีแล้วนำไปเข้าเครื่องดิง ทำการดิงในแนวตั้งฉากกับผิวหน้าของชิ้นงาน โดยเครื่องจะหยุดดิงเมื่อชิ้นงานเกิดการฉีก บันทึกค่าแรงดิง แล้วนำไปคำนวณหาค่า Surface soundness ดังสมการ

$$\text{Surface soundness (N/mm}^2\text{)} = \frac{F}{A}$$

โดยที่ F คือค่าแรงดิงที่จุดที่ทำให้ชิ้นงานฉีก (นิวตัน)

A คือค่าพื้นที่ในการรับแรงดิง (ตารางมิลลิเมตร)

A มีค่าเท่ากับ 1000 ตารางมิลลิเมตร

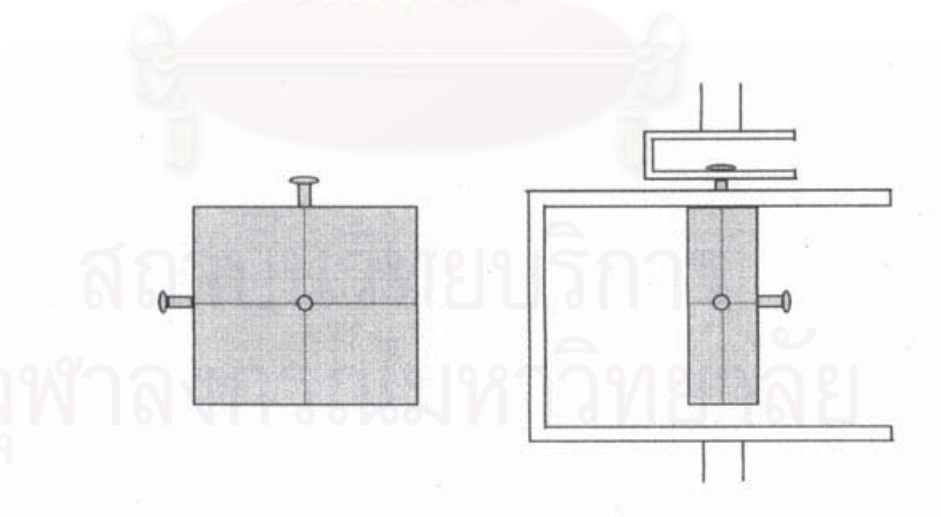


รูปที่ ก-3 รูปแสดงวิธีการวัดค่า Surface Soundness

การวัดค่า Screw Holding

1. ตัดชิ้นงานขนาดกว้าง 75 มิลลิเมตร ยาว 75 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น
2. วัดความหนา (มิลลิเมตร) และชั่งน้ำหนัก (กรัม) ของชิ้นงานแต่ละชิ้น บันทึกค่าเอาไว้
3. เจาะรูตรงกึ่งกลางด้านใดด้านหนึ่งของแผ่นชิ้นงาน และกึ่งกลางในแนวขอบของชิ้นงานทุกชิ้นโดยใช้สว่าน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2.7 มิลลิเมตร และความลึกของรูที่เจาะมีความลึก 19 มิลลิเมตร
4. ใช้สกรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.2 มิลลิเมตร ยาว 38 มิลลิเมตร ระยะ pitch 1.4 มิลลิเมตร
5. ร้อยสกรูผ่านอุปกรณ์สำหรับการใช้ในการจับยึดกับเครื่องดึง แล้วหมุนสกรูเข้าไปในรูที่เจาะไว้จนสุด
6. นำชิ้นงานเข้าเครื่องวัดแรงดึงในแนวตั้งฉากกับชิ้นงาน โดยค่าแรงดึงที่ได้คือค่า screw withdrawal test ดังสมการ

$$\text{Screw holding (N)} = \text{ค่าแรงดึงสูงสุด (N)}$$



รูปที่ ก-4 รูปแสดงวิธีการวัดค่า Screw holding

การหาค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้พาติเคิล

1. วัดความกว้าง ความยาว และความหนา ของแผ่นไม้ที่ได้จากการทดลอง
2. ชั่งน้ำหนักของแผ่นไม้
3. คำนวณหาค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้ตามสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = \frac{m}{V}$$

โดยที่ m คือน้ำหนักของแผ่นไม้ (กรัม)

V คือปริมาตรของแผ่นไม้ (กว้าง x ยาว x หนา) (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

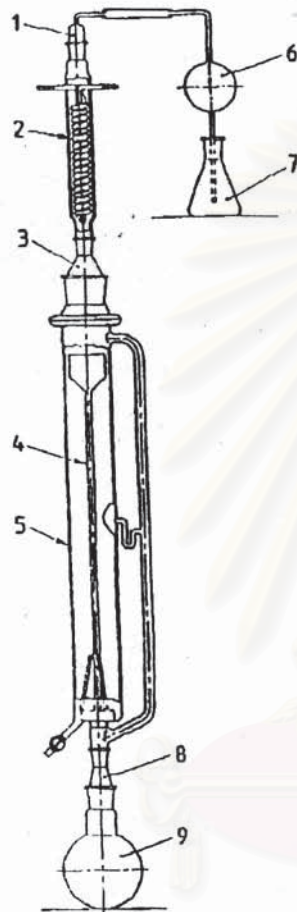
วิธีการวัดค่าระยะเวลาการแข็งตัวของกาว (gel time)

1. ชั่งตัวอย่างกาว 50 กรัมในปิเกตอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมแอมโมเนียมคลอไรด์ที่มีค่าความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) ปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณเนื้อกาว
3. เทกาวที่ผสมแอมโมเนียมคลอไรด์แล้วลงในหลอดทดลอง โดยชั่งน้ำหนักกาวจำนวน 4 กรัม
4. นำกาวที่ชั่งแล้วไปแช่ในน้ำเดือด พร้อมกับเริ่มจับเวลา ในขณะที่แช่ในน้ำเดือดให้แห้ง แก้วคนในกาวตลอดเวลา
5. เมื่อกาวเปลี่ยนสถานะจะของเหลวในช่วงต้นไปเป็นของแข็งจึงหยุด ระยะเวลาที่ได้คือ ค่าระยะเวลาการแข็งตัวของกาว

วิธีการวัดค่า Formaldehyde emission จากแผ่นไม้พาดิเคิล

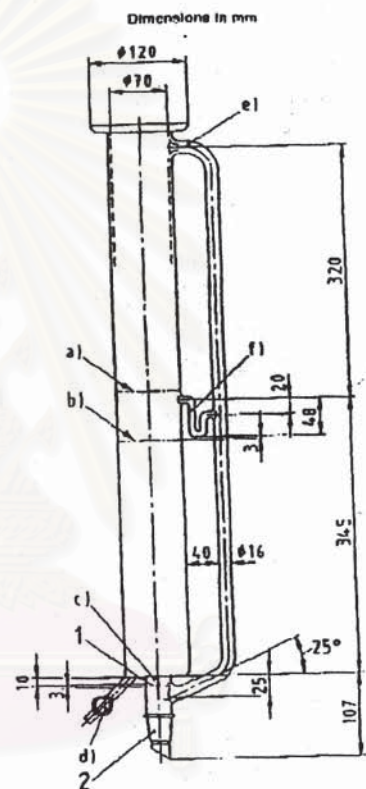
1. ตัดชิ้นไม้ขนาด กว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตร ซึ่งด้วยเครื่องซึ่งความละเอียด 0.1 กรัมจำนวน 110 กรัม ใส่ลงใน flask ก้นกลม ขนาด 1000 มิลลิลิตร หมายเลข 9 ในรูปที่ 17
2. เติมโทลูอีนจำนวน 600 มิลลิลิตร ลงใน flask ที่บรรจุชิ้นไม้อยู่
3. เติมน้ำกลั่นประมาณ 1000 มิลลิลิตร ลงใน perforator attachment หมายเลข 5 ในรูปที่ 17 โดยให้ระดับความสูงของน้ำกลั่นต่ำกว่า siphon tube (f) ในรูปที่ 17 ประมาณ 2-3 เซนติเมตร
4. เติมน้ำกลั่นจำนวน 100 มิลลิลิตร ลงใน flask หมายเลข 7
5. ต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้ากันดังรูปที่ 17 จากนั้นให้ความร้อนกับ flask ที่บรรจุโทลูอีนกับไม้ ด้วย heater จนกระทั่งเกิดการเดือด
6. ไอน้ำของโทลูอีนที่เกิดขึ้น เมื่อลอยขึ้นไปสู่ด้านบนของชุดเครื่องมือจะถูกควบแน่นให้หยดกลับลงมา ด้วยคอนเดนเซอร์ (หมายเลข 2) ที่อยู่ด้านบนของชุดทดสอบ เริ่มจับเวลา เมื่อเกิดฟองของโทลูอีนผ่านแผ่นกรอง (หมายเลข 1) ในรูปที่ 18 โดยใช้เวลาในการทดลองเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
7. เมื่อครบเวลา 2 ชั่วโมงแล้วปิด heater
8. รินน้ำกลั่นที่อยู่ภายใน perforator และใน flask ในข้อ 4 ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 2000 มิลลิลิตร แล้วล้าง perforator 2 ครั้งๆ ละประมาณ 200 มิลลิลิตร แล้วรินใส่รวมไว้ใน flask เดียวกัน รวมทั้งน้ำใน flask จากข้อ 4 จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้ครบจำนวน 2000 มิลลิลิตร
9. ใช้ pipette ดูดน้ำกลั่นในข้อ 8 จำนวน 10 มิลลิลิตร ใส่ลงใน flask ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายออกซีไดไฮโดรเจน จำนวน 10 มิลลิลิตร สารละลายแอมโมเนียมอซิเตด จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงใน flask เขย่ารวมกัน นำไปอุ่นในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้วเก็บในที่มืด 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำสารละลายนั้นมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร

Page 8
EN 120 : 1992



- 1 conical adaptor 29/32
- 2 Dimroth cooler
- 3 conical adaptor 45/40 to 71/51
- 4 filter insert
- 5 perforator attachment
- 6 (double) bulbed tube
- 7 conical flask, 250 ml
- 8 conical adaptor 20/32 to 45/40
- 9 round bottom flask, 1000 ml with socket 45/40

Figure 1: Extraction apparatus



- 1 blanking plate
- 2 cone 29/32
- a) toluene level
- b) maximum water level
- c) 4 \varnothing hole each side
- d) stopcock 4 \varnothing bore
- e) side arm
- f) 8 \varnothing siphon tube

Figure 2: Perforator attachment

รูปที่ ก-5 ชุดเครื่องวัดค่า Formaldehyde emission (Perforator test)

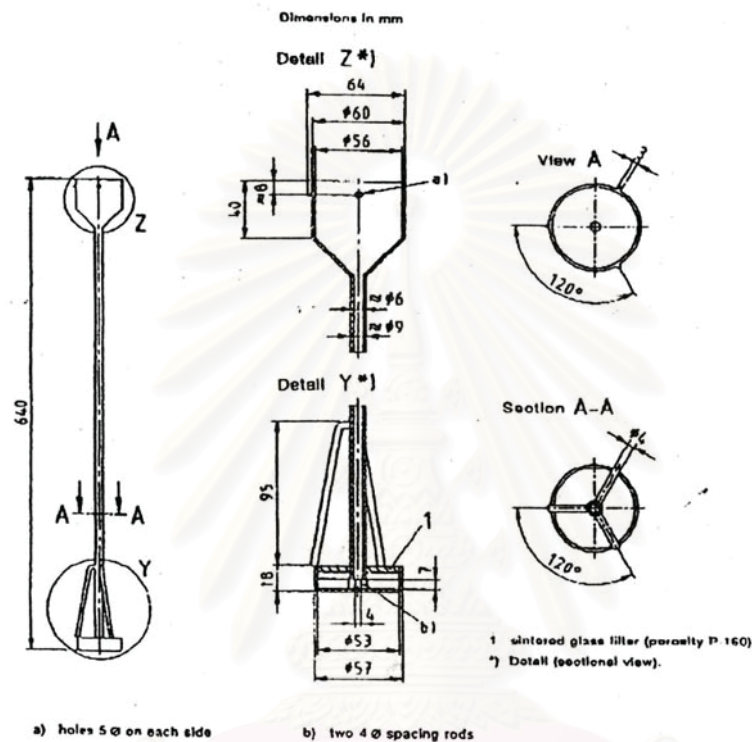


Figure 3: Filter insert

รูปที่ ก-6 ส่วนขยายของอุปกรณ์เครื่องมือในการวัดค่า Formaldehyde emission

การหาค่าความชื้นของไม้

1. ตัดไม้ขนาดกว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตร จำนวน 12 ชิ้น
2. ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.1 กรัม บันทึกน้ำหนักไว้
3. นำไม้เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส ประมาณ 12 ชั่วโมง
4. นำออกจากตู้อบมาใส่ใน desiccator ให้เย็นลง

5. ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.1 กรัม บันทึกน้ำหนักไว้ แล้วนำมาคำนวณหาค่าความชื้นดังสูตรการคำนวณ

$$\text{ค่าความชื้น} = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100$$

โดยที่ m_0 คือน้ำหนักก่อนอบ (กรัม)

m_1 คือน้ำหนักหลังอบ (กรัม)

การคำนวณหาค่า perforator

$$\text{Perforator value} = \frac{(A_S - A_B) \times f \times (100 + H) \times V}{m_H}$$

โดยที่ A_S absorbance ของสารละลายที่สกัดได้

A_B absorbance ของน้ำกลั่น

f ค่าความชื้นของเส้นกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

H ค่าความชื้นของไม้ (เปอร์เซ็นต์)

m_H น้ำหนักของไม้ที่ใช้ในการหาค่า perforator

V เป็นปริมาตรของvolumetric flask (2000 มิลลิลิตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 มาตรฐานของไม้แผ่นพาติเคิล (EN 312:2003)

No	Property	Test method	Requirement
1 ^a	Tolerances of nominal dimensions	EN 324-1	
	- Thickness (sanded) within and between boards		± 0.3 mm
	- Thickness (unsanded) within and between boards		- 0.3 mm, + 1.7 mm
	- Length and width		± 5 mm
2 ^a	Edge straightness tolerance	EN 324-2	1.5 mm per m
3 ^a	Squareness tolerance	EN 324-2	2 mm per m
4	Moisture content	EN 322	5% to 13%
5 ^a	Tolerance on the mean density within a board	EN 323	± 10%
6 ^b	Formaldehyde release according to EN 13986		
	- Class E1 Perforator value	EN 120	Content ≤ 8 mg/100 g oven dry board ^d
	Steady state emission value ^c	ENV 717-1	Release ≤ 0.124 mg/m ³ air
	- Class E2 Perforator value	EN 120	Content > 8 mg/100 g oven dry board ≤ 30 mg/100 g oven dry board
	Steady state emission value ^c	ENV 717-1	Release > 0.124 mg/m ³ air

Note a These values are characterized by a moisture content in the material corresponding to a relative humidity of 65% and a temperature of 20 °c

- b The perforator values apply to boards with moisture contents H of 6.5% in the case of particleboards with different moisture content (in the range of $3\% \leq H \leq 10\%$) the perforator value shall be multiplied by a factor F which can be calculated from the following $F = -0.133 H + 1.86$
- c Required for initial type testing other than for established products where initial type testing may also be done on the basis of existing data with EN 120 or ENV 717-1 testing, either from factory production control or from external inspection.
- d Experience has shown that to ensure compliance with these limits, the rolling average of the EN 120 values found from the internal factory production control over a period of ½ year should not exceed 6.5 mg HCHO/100 g panel mass.

ตารางที่ ก-2 ตารางมาตรฐานของไม้พาติเคิล (Type P1 General purpose for use in dry condition)

Property	Test method	Unit	Thickness range (mm, nominal)						
			3 to 6	>6 to 13	>13 to 20	>20 to 25	>25 to 32	>32 to 40	> 40
Bending strength	EN 310	N/mm ²	14	12.5	11.5	10	8.5	7	5.5
Internal bond	EN 319	N/mm ²	0.31	0.28	0.24	0.20	0.17	0.14	0.14
Note The values are characterized by a moisture content in the material corresponding to a relative humidity of 65% and a temperature of 20 °C									

ตารางที่ ก-3 ตารางมาตรฐานของไม้พาดิเคิล (Type P2 for interior fitments (including furniture) for use in dry condition)

Property	Test method	Unit	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	EN 310	N/mm ²	13	14	13	13	11.5	10	8.5	7
Modulus of elasticity in bending	EN 310	N/mm ²	1800	1950	1800	1600	1500	1350	1200	1050
Internal bond	EN 319	N/mm ²	0.45	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.20
Surface soundness	EN 311	N/mm ²	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Note The values are characterized by a moisture content in the material corresponding to a relative humidity of 65% and a temperature of 20 °C										

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-1 ตารางผลการทดสอบคุณสมบัติของกาวสังเคราะห์

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Reaction pH	ความหนืด (m.Pa.s)	ความถ่วงจำเพาะ	เนื้อกาว (%)	pH
75	5.0	2.15	1.276	66.3	7.3
		2.20	1.276	66.9	7.4
		2.20	1.278	66.4	7.4
	5.4	2.20	1.280	67.0	7.4
		2.10	1.278	66.8	7.4
		2.20	1.278	66.8	7.3
80	5.0	2.35	1.276	66.3	7.4
		2.25	1.278	66.7	7.4
		2.20	1.278	66.5	7.4
	5.4	2.35	1.279	66.6	7.3
		2.00	1.278	65.9	7.3
		2.20	1.276	66.3	7.5
85	5.0	2.25	1.276	66.6	7.4
		2.20	1.275	66.4	7.4
		2.20	1.275	66.4	7.3
	5.4	2.10	1.276	66.2	7.4
		2.10	1.278	66.3	7.5
		2.05	1.276	65.9	7.5
90	5.0	2.25	1.280	66.7	7.4
		2.20	1.278	66.6	7.3
		2.30	1.280	66.6	7.3
	5.4	2.15	1.278	66.2	7.4
		2.30	1.280	66.5	7.4
		2.15	1.278	66.3	7.5

ตารางที่ ข-2 ตารางแสดงค่า gel time ของกาวสังเคราะห์

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Reaction pH	Batch No.	ตัวอย่าง	Gel time (วินาที)
75	5.0	1	1	50'85"
			2	50'35"
			3	49'76"
		2	1	50'98"
			2	50'13"
			3	51'24"
		3	1	49'88"
			2	51'65"
			3	49'77"
80	5.0	1	1	51'33"
			2	52'44"
			3	52'75"
		2	1	52'08"
			2	52'54"
			3	51'79"
		3	1	52'98"
			2	52'11"
			3	51'85"

ตารางที่ ข-2 ตารางแสดงค่า gel time ของกาวสังเคราะห์ (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Reaction pH	Batch No.	ตัวอย่าง	Gel time (วินาที)
85	5.0	1	1	54'05"
			2	54'18"
			3	54'54"
		2	1	54'77"
			2	53'64"
			3	54'20"
		3	1	54'81"
			2	54'06"
			3	54'44"
90	5.0	1	1	55'29"
			2	55'76"
			3	56'22"
		2	1	56'50"
			2	56'08"
			3	55'93"
		3	1	56'14"
			2	56'39"
			3	56'22"

ตารางที่ ข-2 ตารางแสดงค่า gel time ของกาวสังเคราะห์ (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Reaction pH	Batch No.	ตัวอย่าง	Gel time (วินาที)
75	5.4	1	1	51'16"
			2	52'71"
			3	52'56"
		2	1	52'19"
			2	53'15"
			3	52'08"
		3	1	52'78"
			2	52'11"
			3	52'23"
80	5.4	1	1	54'01"
			2	54'26"
			3	54'17"
		2	1	54'72"
			2	54'55"
			3	55'23"
		3	1	54'38"
			2	54'59"
			3	54'81"

ตารางที่ ข-2 ตารางแสดงค่า gel time ของกาวสังเคราะห์ (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Reaction pH	Batch No.	ตัวอย่าง	Gel time (วินาที)
85	5.4	1	1	55'20"
			2	55'04"
			3	55'43"
		2	1	55'59"
			2	54'81"
			3	54'75"
		3	1	55'89"
			2	55'46"
			3	55'79"
90	5.4	1	1	57'78"
			2	57'33"
			3	57'95"
		2	1	56'92"
			2	57'24"
			3	57'53"
		3	1	57'23"
			2	57'19"
			3	57'55"

ตารางที่ ข-3 ตารางแสดงค่าความหนาแน่น และค่า Formaldehyde emission ของแผ่นไม้
พาดิเคิลที่ได้จากการทดลอง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Reaction pH	ความหนาแน่น (kg/m ³)	Formaldehyde emission (mg/100g board)
75	5.0	724.9	25.4
		725.6	26.1
		726.4	25.0
	5.4	725.5	27.2
		724.8	24.1
		720.3	24.9
80	5.0	727.8	25.3
		723.2	22.6
		725.4	25.6
	5.4	727.6	22.5
		726.8	25.8
		728.7	23.1
85	5.0	728.9	23.8
		725.7	22.5
		727.7	23.3
	5.4	728.7	24.1
		727.5	22.9
		727.8	21.1
90	5.0	725.7	20.9
		724.1	19.8
		728.6	19.6
	5.4	728.3	21.3
		727.8	19.8
		724.3	19.2

ตารางที่ ข-4 ตารางแสดงค่า IB, MOR, MOE และค่า Surface Soundness ของแผ่นไม้พาดิเคิลที่ได้จากการทดลอง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Reaction pH	IB (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	SS (N/mm ²)
75	5.0	0.69	15.5	2519.3	1.34
		0.66	15.3	2485.9	1.24
		0.71	15.5	2183.6	1.36
	5.4	0.85	16.6	2399.2	1.59
		0.80	14.7	2342.9	1.58
		0.80	14.7	2185.4	1.51
80	5.0	0.77	16.1	2455.8	1.69
		0.73	14.7	2126.6	1.55
		0.76	15.7	2437.8	1.62
	5.4	0.91	17.3	2630.4	1.54
		0.85	15.6	2262.7	1.45
		0.89	16.5	2267.9	1.49
85	5.0	0.83	15.7	2345.1	1.35
		0.88	16.2	2670.6	1.39
		0.85	16.3	2476.7	1.37
	5.4	0.96	18.0	2720.8	2.08
		0.88	16.8	2450.8	1.92
		0.91	17.3	2659.6	1.91
90	5.0	0.82	16.1	2555.9	1.51
		0.80	16.4	2485.1	1.42
		0.80	15.4	2415.1	1.39
	5.4	0.81	17.9	2732.5	1.83
		0.84	19.4	2833.5	1.85
		0.76	17.2	2564.3	1.81

ตารางที่ ข-5 ตารางแสดงค่า Screw holding, Thickness Swelling และค่า Water Absorption ของแผ่นไม้พาดิเคิลที่ได้จากการทดลอง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Reaction pH	Screw holding (N)		Thickness Swelling (%)		Water Absorption (%)	
		Face	Edge	2 hr	24 hr	2 hr	24 hr
75	5.0	1313.9	1132.9	9.1	16.4	45.3	68.3
		1348.4	1129.4	9.9	17.4	53.3	73.2
		1271.1	975.3	9.5	16.6	47.2	68.8
	5.4	1364.8	1329.3	6.6	16.8	39.8	69.1
		1368.3	1275.9	6.1	17.3	35.6	61.8
		1464.5	1113.9	6.4	17.0	36.6	64.3
80	5.0	1444.5	1100.1	9.8	15.4	45.3	70.4
		1382.1	1111.6	8.8	14.6	39.7	65.7
		1393.4	1050.8	9.6	14.7	44.2	66.3
	5.4	1557.8	1336.7	4.8	14.7	33.1	58.5
		1575.6	1328.6	4.9	14.5	35.0	63.5
		1519.9	1385.9	4.9	14.5	37.9	64.8
85	5.0	1374.8	1239.9	6.5	15.4	35.6	68.6
		1218.3	1166.7	5.8	13.3	34.4	64.7
		1474.9	1303.1	6.3	15.3	39.8	65.8
	5.4	1569.3	1353.9	4.2	13.3	30.8	56.9
		1495.4	1208.7	4.5	13.7	25.9	55.9
		1622.8	1383.0	4.8	14.7	34.7	61.2
90	5.0	1384.4	1283.6	5.5	16.6	35.9	67.2
		1395.5	1231.9	5.3	15.9	29.1	59.7
		1447.1	1326.3	7.4	16.8	38.0	58.9
	5.4	1645.4	1558.3	4.2	15.8	30.4	57.9
		1517.2	1407.1	3.8	13.1	29.2	58.5
		1524.9	1363.6	3.9	12.9	29.7	54.5

ตาราง ข-6 ปริมาณการใช้วัตถุดิบและน้ำที่ระเหยออกจากการสังเคราะห์กาก

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Reaction pH	Formaldehyde (g)	Urea1 (g)	Urea2 (g)	Urea3 (g)	Dehydration water (g)
75	5.0	1498.2	569	129	231	390
		1498.2	569	129	231	390
		1498.2	569	129	231	390
	5.4	1495.0	568	129	230	395
		1495.0	568	129	230	395
		1495.0	568	129	230	395
80	5.0	1498.2	569	129	231	390
		1498.2	569	129	231	390
		1498.2	569	129	231	390
	5.4	1495.0	568	129	230	395
		1495.0	568	129	230	395
		1495.0	568	129	230	395
85	5.0	1498.2	569	129	231	390
		1498.2	569	129	231	390
		1498.2	569	129	231	390
	5.4	1495.0	568	129	230	395
		1495.0	568	129	230	395
		1495.0	568	129	230	395
90	5.0	1498.2	569	129	231	390
		1498.2	569	129	231	390
		1498.2	569	129	231	390
	5.4	1495.0	568	129	230	395
		1495.0	568	129	230	395
		1495.0	568	129	230	395

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย พรเทพ วิชยสุนันท์ เกิดเมื่อวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2518 ในจังหวัดปราจีนบุรี จบการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2540 เริ่มเข้าทำงานเมื่อปี พ.ศ. 2540 ที่บริษัท ไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 116 หมู่ 11 ถนน สุขสวัสดิ์ ตำบลในคลองบางปลากด อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ ในตำแหน่ง ผู้ช่วยหัวหน้าแผนก (ฝ่ายผลิต)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย