

การแยกกลีกลงจากน้ำดำในกระบวนการทำเยื่อกระดาษจากยูคาลิปตัส



นางสาววิชา พิชัยณรงค์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2476-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SEPARATION OF LIGNIN FROM EUCALYPTUS PULPING BLACK LIQUOR



Miss Witchar Pichainarong

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science

Inter-department of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2476-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การแยกกลีกรีนออกจากน้ำดำในกระบวนการทำเยื่อกระดาษจากยูคาลิปตัส
โดย นางสาววิชา พิชัยณรงค์
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรวิฑูร)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)

วิชา พืชพรรณรงค์ : การแยกลิกนินออกจากน้ำดำในกระบวนการทำเยื่อกระดาษจากยูคาลิปตัส
(Separation of Lignin from Eucalyptus Pulping Black Liquor) อาจารย์ที่ปรึกษา:รองศาสตราจารย์
ดร. อมร เพชรสม , 93 หน้า ISBN 974-17-2476-4

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกลิกนินออกจากน้ำดำที่ได้จากกระบวนการทำเยื่อกระดาษจากยูคาลิปตัส โดยการตกตะกอนด้วยกรดซัลฟิวริก ในการศึกษานี้ได้ใช้วิธีการตกตะกอน 2 ขั้นตอน โดยขั้นแรกเป็นการตกตะกอนที่ pH 6 เพื่อกำจัดสารที่เกิดจากการย่อยสลายโพลีแซคคาไรด์ เพื่อไม่ให้ปนเปื้อนกับตะกอนลิกนินที่จะแยกในขั้นต่อไปหลังจากนั้นปรับ pH เป็น 5, 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับเพื่อตกตะกอนลิกนิน น้ำดำหลังแยกตะกอนลิกนินออก นำมาวิเคราะห์ค่า COD และ สี ส่วนตะกอนลิกนินนำมาวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างโดย GPC , ¹³C-NMR และ IR

ผลการศึกษาพบว่า การตกตะกอนลิกนินในน้ำดำมีแนวโน้มการตกตะกอนเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่า pH ลดลง แต่ที่ pH 3, 2 และ 1 ตะกอนลิกนินที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นที่ pH 3 จึงเหมาะสมกับการตกตะกอนลิกนินในน้ำดำ โดยที่ pH 3 สามารถแยกลิกนินได้ 93.51% และค่า COD และ สีของน้ำหลังแยกตะกอนลิกนิน ลดลง 80.45 % และ 98.20 % ตามลำดับ ส่วนตะกอนลิกนินที่แยกได้มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยระหว่าง 1,348-1,540 ดัลตัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4289695220: MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORDS: LIGNIN, EUCALYPTUS, BLACK LIQUOR

WITCHAR PICHAINARONG : SEPARATION OF LIGNIN FROM EUCALYPTUS

PULPING BLACK LIQUOR. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. AMORN PETSOM,

PhD. 93 PP. ISBN 974-17-2476-4

The acid precipitation of lignin from Eucalyptus pulping black liquor was studied. A method of two-step precipitation was proposed in this study. Prior to lignin precipitation, the polysaccharide degradation products were removed from black liquor by centrifuge after precipitation at pH 6. Then the pH of black liquor was reduced to pH 5,4,3,2 and 1, respectively, with sulfuric acid in order to precipitate lignin. The lignin fraction were characterized by GPC , ¹³C-NMR and IR .

The results showed that more lignin precipitate when pH was reduced. At optimum pH 3, about 93.51% of the lignin was recovered. The COD and color were reduced by 80.45% and 98.20 % , respectively. The lignin fraction had molecular – average weight between 1348 – 1540 dalton.



Inter-department Environmental Science

Field of Study Environmental Science

Academic year 2002

Student's signature.....

Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ลงได้โดยได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. อมร เพชรสม ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบุลย์ รศ. ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรวิตรกุล รศ. ดร. สมใจ เพ็งปรีชา ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี ที่ได้กรุณาเชื้อเพื่อสถานที่ และเครื่องมือในการทำวิจัยบางส่วน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี รวมทั้งพี่ เพื่อน และน้องๆที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ได้มีส่วนช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมูลนิธิชิน โสภณพณิช ที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณบริษัทแอดวานซ์อะโกร จำกัดมหาชนที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลอง

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ มารดา และญาติๆ ที่ได้ให้กำลังใจ ช่วยเหลือ และสนับสนุนตั้งแต่ต้นจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2. การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ลิกนิน.....	3
2.2 การผลิตเยื่อกระดาษ.....	11
2.3 ปฏิกริยาระหว่างการต้มเยื่อแบบอัลคาไลน์.....	16
2.4 การผลิตเยื่อกระดาษของบริษัทแอดวานซ์ อะโกร จำกัดมหาชน.....	17
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
3. วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	22
3.2 สารเคมีสำหรับการวิจัย.....	22
3.3 การเตรียมรีเอเจนต์.....	23
3.4 วิธีดำเนินการทดลอง.....	24
4. ผลและวิจารณ์การวิจัย	
4.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำดำที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการ.....	28
4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนลิกนินจากน้ำดำที่.....	29
เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการ	
4.3 ลักษณะทางกายภาพของน้ำดำจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ.....	37

สารบัญ (ต่อ)

4.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนลิกนินจากน้ำดำ.....	38
ที่ได้จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ	
4.5 ศึกษาลักษณะของตะกอนลิกนิน	48
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	53
รายการอ้างอิง.....	57
ภาคผนวก.....	61
ประวัติผู้เขียนผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	93



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของลิกนินในไม้.....	4
2.2 แสดงปริมาณลิกนินที่พบในไม้ประเภทต่างๆ.....	7
2.3 ลิกนินในสภาวะที่แตกต่างกัน.....	8
2.4 สมบัติโดยเฉลี่ยของน้ำดำ.....	15
4.1 ความชื้นในไม้ยุคาลิปตัส.....	28
4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำดำที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการ.....	29
4.3 ปริมาณลิกนินที่แยกได้จากน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ.....	32
4.4 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำดำที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการหลังแยกตะกอนลิกนิน.....	34
4.5 เปรียบเทียบปริมาณลิกนินที่แยกได้กับการลดลงของค่า COD และสีของน้ำหลังแยกตะกอนลิกนิน	35
4.6 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำดำจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ.....	37
4.7 ปริมาณลิกนินที่แยกได้และ คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำดำ..... จาก Mill_1 หลังแยกตะกอนลิกนิน	40
4.8 ปริมาณลิกนินที่แยกได้คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำดำจาก..... Mill_2 หลังแยกตะกอนลิกนิน	40
4.9 ปริมาณลิกนินที่แยกได้คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำดำจาก..... Mill1_Evap หลังแยกตะกอนลิกนิน	41
4.10 เปรียบเทียบปริมาณลิกนินที่แยกได้กับการลดลงของค่า COD..... และสีของน้ำหลังแยกตะกอนลิกนินของน้ำดำจาก Mill_1	41
4.11 เปรียบเทียบปริมาณลิกนินที่แยกได้กับการลดลงของค่า COD..... และสีของน้ำหลังแยกตะกอนลิกนินของน้ำดำจาก Mill_2	43
4.12 เปรียบเทียบปริมาณลิกนินที่แยกได้กับการลดลงของค่า COD..... และสีของน้ำหลังแยกตะกอนลิกนินของน้ำดำจาก Mill1_Evap	44
4.13 น้ำหนักโมเลกุล, จำนวนโมเลกุล และ Polydispersity ของตะกอนลิกนิน.....	48

สารบัญตาราง (ต่อ)

4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในลิกนิน..... 50

4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในลิกนินที่ได้ในการตกตะกอนน้ำดำจาก.....50
 ฟางข้าวสาลี

4.16 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของลิกนินจาก Coniferous..... 50



สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบการเรียกชื่อของลิกนิน.....	5
2.2 p – hydroxyphenyl, Syringyl และ Guaiacyl.....	5
2.3 ตัวอย่างการเชื่อมต่อกันแบบต่างๆ ในลิกนิน.....	6
2.4 ปฏิกิริยาของ Vanillyl alcohol ในสารละลายต่างๆ ที่มีซัลไฟด์ประกอบอยู่.....	16
2.5 ขั้นตอนการทำเยื่อกระดาษ.....	18
4.1 น้ำดำที่ pH1, pH2, pH3, pH4 และ pH5 ก่อนแยกตะกอนลิกนิน.....	31
4.2 น้ำดำที่ pH1, pH2, pH3, pH4 และ pH5 หลังแยกตะกอนลิกนิน.....	31
4.3 ปริมาณลิกนินที่แยกได้จากน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ.....	33
4.4 CODของน้ำดำที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการหลังแยกตะกอนลิกนิน.....	34
4.5 สีของน้ำดำที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการ หลังแยกตะกอนลิกนิน.....	35
4.6 เปรอเซ็นต์การลดลงของปริมาณลิกนิน COD และ สีของน้ำดำ.....	36
ที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการ หลังแยกตะกอนลิกนิน	
4.7 น้ำดำจาก Mill_1 ที่ pH1, pH2, pH3, pH4 และ pH5 ก่อนแยกตะกอนลิกนิน.....	39
4.8 น้ำดำจาก Mill_1 ที่ pH1, pH2, pH3, pH4 และ pH5 ก่อนแยกตะกอนลิกนิน.....	39
4.9 ปริมาณลิกนิน COD และ สีของน้ำดำจาก Mill_1 หลังแยกตะกอนลิกนิน.....	42
4.10 ปริมาณลิกนิน COD และ สีของน้ำดำจาก Mill_2 หลังแยกตะกอนลิกนิน.....	43
4.11 ปริมาณลิกนิน COD และ สีของน้ำดำจาก Mill1_Evap หลังแยกตะกอนลิกนิน.....	45
4.12 เปรียบเทียบการลดลงของปริมาณลิกนินในน้ำดำจากแต่ละแหล่งหลังแยกตะกอน.....	45
4.13 เปรียบเทียบการลดลงของ COD น้ำดำจากแต่ละแหล่งหลังแยกตะกอน.....	46
4.14 เปรียบเทียบการลดลงของสีในน้ำดำจากแต่ละแหล่งหลังแยกตะกอน.....	46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเติบโตทางเศรษฐกิจในปัจจุบันทำให้ความต้องการใช้กระดาษเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษซึ่งเป็นวัตถุดิบของการผลิตกระดาษจึงทวีความสำคัญมากขึ้นตามลำดับ ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษในประเทศไทยมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการทั้งภายในประเทศและเพื่อการส่งออก เนื่องจากการผลิตเยื่อกระดาษเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมาก โดยการผลิตเยื่อกระดาษ 1 ตัน ต้องใช้น้ำ 40-60 ลูกบาศก์เมตร (ปิยะนันท์ สุวรรณเมณะ, 2539) ทำให้มีน้ำทิ้งจากโรงงานในปริมาณมากซึ่งก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำ อันเนื่องมาจากอุตสาหกรรมประเภทนี้เป็นอย่างยิ่ง

ปัจจุบันการผลิตเยื่อกระดาษโดยกรรมวิธีแบบอัลคาไลน์ (alkaline pulping) เป็นวิธีที่นิยมใช้ ข้อดีของวิธีนี้ก็คือ เยื่อที่ได้มีความแข็งแรง และสามารถนำสารเคมีกลับมาใช้ได้อีก เมื่อสิ้นสุดกระบวนการน้ำทิ้งที่ออกมาจะมีสีดำเรียกว่า น้ำดำ (black liquor) ในน้ำดำจะประกอบไปด้วย โซเดียมที่อยู่ในรูปเกลือต่างๆ สารประกอบซัลเฟต สารประกอบคาร์โบไฮเดรต รวมทั้งลิกนิน (Gilarranz, Rodriguez และ Olliet, 1998) นอกจากนี้องค์ประกอบของน้ำดำยังเปลี่ยนแปลงไปตามกระบวนการผลิตรวมทั้งวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นสารตั้งต้นด้วย โดยทั่วไปน้ำดำจะถูกนำไประเหยให้มีความเข้มข้นแล้วนำไปใช้เผาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตเยื่อกระดาษปริมาณการผลิตถูกจำกัดด้วยปริมาณของน้ำดำที่โรงงานสามารถรับและนำกลับมาเผาได้ หากเพิ่มปริมาณการผลิต มักมีน้ำดำเกินกว่าที่จะเผาได้หมด จึงต้องปล่อยออกมาและทำการบำบัด อย่างไรก็ตามการบำบัดโดยทั่วไป ไม่สามารถกำจัดลิกนินออกมาได้และน้ำที่ปล่อยออกมาก็ยังมีค่าซีไอสูงซึ่งก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากลิกนินที่อยู่ในน้ำดำสามารถแยกออกและนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างเช่น ใช้ผสมกับหินเพื่อลดฝุ่นที่ฟุ้งกระจาย ใช้ในการกำจัดไขมันที่ลอยอยู่บนผิวหน้าของน้ำ และใช้เป็นสารช่วยในการเกาะติด (บุญยรัชต์ กิตติยานันท์ และ รวิินทร์ พลานันทกุลธร, 2535) นอกจากนี้ยังใช้ในการสังเคราะห์สารเคมีต่างๆเช่น วานิลลิน (Vanillin) และสารประกอบ ฟีนอล (Phenolic compounds) ซึ่งให้คุณค่าทางเศรษฐกิจมากกว่าการนำลิกนินในน้ำดำไปเผาเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางในการ

จัดการปัญหามลพิษอันเนื่องมาจากน้ำดำของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษให้เปลี่ยนเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอื่น ช่วยลดการนำเข้าสู่สารเคมี และน้ำเสียที่ออกมาหลังจากนั้นแล้วสามารถบำบัดได้ง่ายขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการแยกลิกนินออกจากน้ำดำในการทำเยื่อกระดาษจากยูคาลิปตัส
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนลิกนินโดยใช้กรดอินทรีย์
3. ศึกษาเอกลักษณ์ของลิกนินที่แยกได้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. วิธีการที่ใช้แยกลิกนินออกจากน้ำดำ คือ การตกตะกอนด้วยกรดอินทรีย์
2. น้ำดำที่ใช้ในการแยกลิกนินมาจากการต้มเยื่อยูคาลิปตัสในห้องปฏิบัติการและจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนลิกนิน
4. วิเคราะห์องค์ประกอบของลิกนินที่ได้จากการตกตะกอนที่สภาวะที่เหมาะสม

1.4 สมมติฐานการวิจัย

น้ำดำในกระบวนการทำเยื่อกระดาษจากยูคาลิปตัสมีลิกนินในปริมาณสูงซึ่งสามารถแยกลิกนินออกจากน้ำดำนี้ได้โดยการตกตะกอนด้วยกรดอินทรีย์ ซึ่งค่า pH ที่ใช้มีผลต่อปริมาณการตกตะกอนและเอกลักษณ์ของลิกนิน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สภาวะที่เหมาะสมในการแยกลิกนินโดยการตกตะกอนด้วยกรด
2. ได้แนวทางในการแยกลิกนินออกจากน้ำดำในโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ
3. ได้ทราบเอกลักษณ์ของลิกนินที่แยกออกมาเพื่อเป็นข้อมูลในการนำลิกนินไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ต่อไป

บทที่ 2

การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลิกนิน

คำว่าลิกนินถูกใช้ในต้นศตวรรษที่ 19 โดยใช้ในการเรียกสารในไม้ หลังจากนั้นก็เรียกเฉพาะส่วนที่ไม่เป็นเซลลูโลสในเนื้อไม้ ต่อมาเมื่อมีความก้าวหน้าของวิทยาการมากขึ้นทำให้ส่วนที่ไม่เป็นเซลลูโลสในเนื้อไม้เป็นที่รู้จักดีขึ้นและสามารถแยกออกมาได้ เช่น คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) แทนนิน (tannins) โรซิน (Rosins) และลิกนิน ส่วนต่างๆ เหล่านี้ได้มีการศึกษากันต่ออย่างกว้างขวาง

ลิกนินทำหน้าที่เป็นเสมือนตัวเชื่อมประสานเส้นใยเซลลูโลส (cellulose) เข้าด้วยกันซึ่งทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงของไม้ โดยทั่วไปแล้วลิกนินจะเชื่อมโมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) ต่างๆ โดยเฉพาะ เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) กับเซลลูโลส สำหรับโครงสร้างที่แท้จริงของลิกนินยังไม่มีใครทราบแน่นอน แต่จากการตรวจสอบโดยใช้วิธี นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear magnetic resonance, NMR) แสดงให้เห็นว่า ลิกนินที่อยู่อย่างอิสระเป็นสารโพลีเมอร์ที่มีวงอะโรมาติก (Aromatic Ring) อยู่ด้วย (Sjostrom และ Alen ,1980)

ลิกนินจากไม้เนื้อแข็ง เป็นสารโพลีเมอร์ที่เกิดจากการรวมตัวอย่างสุ่มของสารที่เกิดจากการดีไฮโดรจิเนชัน (Dehydrogenation) ของคอนิฟิрил (Coniferyl) และซินาพิล แอลกอฮอล์ (Sinapyl alcohol) โดยกลุ่มฟังก์ชันที่อยู่ในลิกนิน เช่น ไฮดรอกซิล (Hydroxyl) เมทอกซิล (Methoxyl) และคาร์บอนิล (carbonyl) จะเป็นตัวบ่งบอกชนิดของโพลีเมอร์นั้น ดังนั้นคุณสมบัติและองค์ประกอบของลิกนินจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น แหล่งที่มา หรือ วิธีการสกัดแยก (บุนยรัชต์ กิตยานันท์ และ รวิินทร์ พลานันท์กุลธร, 2535) ลิกนินจึงมีหลายชนิด การเรียกชื่อของลิกนินอาจเรียกตามแหล่งที่มาของลิกนิน เช่น ลิกนินจากฟางข้าว (Wheat straw lignin) ลิกนินจากไม้เนื้ออ่อน (Softwood lignin) หรือเรียกตามวิธีการสกัดแยก เช่น ลิกนินที่อยู่ในไม้เรียกว่า native lignin หรือ protolignin และลิกนินที่ได้มาจากการแยกเป็นส่วนโดยวิธีทาง เชิงกล เรียกว่า milled wood lignin (MWL) หรือ ลิกนินที่แยกได้จากการต้มเยื่อโดยกรรมวิธีแบบอัลคาไลน์ เรียกว่า อัลคาไลน์ลิกนิน (Alkaline lignin) เป็นต้น (Sjostrom และ Alen,1980)

ถึงแม้ว่าได้มีการศึกษาคุณสมบัติและมีการใช้ลิกนินมานานแล้วแต่เป็นการใช้ประโยชน์เพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์จากเนื้อไม้รวมหลายล้านตัน เนื่องจากต้นทุนในการผลิตไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม หรือแหล่งฟอสซิลอื่นๆ แต่เนื่องจากปริมาณของแหล่งฟอสซิลที่ลดลงอย่างรวดเร็ว และราคาของปิโตรเลียมที่สูงขึ้นจึงทำให้การใช้ลิกนินกลับมามีความสำคัญมากขึ้น

2.1.1 คุณสมบัติทั่วไปของลิกนิน

ลิกนินที่แยกได้จากการทดลอง และ ลิกนินในเชิงพาณิชย์เป็นของแข็งชิ้นเล็กๆ โดยปกติเป็นผงสีน้ำตาล มีความหนาแน่น 1.3-1.4 กรัมต่อตารางเซนติเมตร และดัชนีการหักเห (refractive index) 1.6 ลิกนินไม่ละลายในน้ำ, strong mineral acids และ ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons) โดยทั่วไปใช้สมบัติของลิกนินที่ไม่ละลายใน 72% กรดซัลฟิวริก สำหรับบอกความแตกต่างระหว่างลิกนิน เซลลูโลส และ คาร์โบไฮเดรตอื่นๆ ในไม้ ลิกนินส่วนมากละลายในสารละลายเบส (alkaline) บางชนิดละลายใน Oxygenated organic compound และในเอมีน (amine) จาก x – ray diffraction ซึ่งให้เห็นว่าลิกนินเป็น พอลิเมอร์ที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (amorphous polymer) และจากค่าความหนืดจำเพาะ (specific viscosity) ที่ต่ำของสารละลายลิกนินแสดงให้เห็นว่าลิกนินเป็นพอลิเมอร์ที่มีโซ่กิ่ง ลิกนินมีความร้อนจากการเผาไหม้ (heat of combustion) ประมาณ 29.5 เมกกะจูล ต่อ กิโลกรัม (Othmer, 1981)

2.1.2 ส่วนประกอบและโครงสร้างของลิกนิน

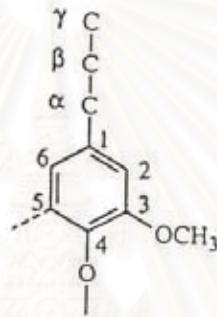
การวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของลิกนินแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของลิกนินในไม้ (%)

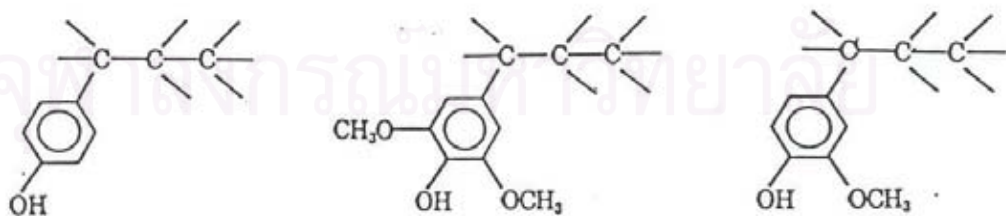
Species	C	H	O	OCH ₃
Coniferous	63.8	6.3	29.9	15.8
Deciduous	59.8	6.4	33.7	21.4

ที่มา : Othmer, 1981

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของลิกนิน พบว่าโครงสร้างพื้นฐานของลิกนิน คือ phenylpropane (C_6-C_3) โดยมีระบบการเรียกชื่อสำหรับหน่วยลิกนินดังแสดงในรูปที่ 2.1 และมีสูตรโมเลกุล คือ $C_9H_{7.95}O_{2.4}(OCH_3)_{0.92}$ มีมวลโมเลกุล ประมาณ 184 ต่อ หนึ่งโมโนเมอร์ ลิกนินเป็น โพลีเมอร์ที่ประกอบไปด้วยหน่วยโมโนเมอร์ได้แก่ หน่วย p-hydroxyphenyl หน่วย syringyl และ หน่วย guaiacyl ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ลิกนินต่างชนิดกันจะมีอัตราส่วนของหน่วย p-hydroxyphenyl, syringyl และ guaiacyl ต่างกัน

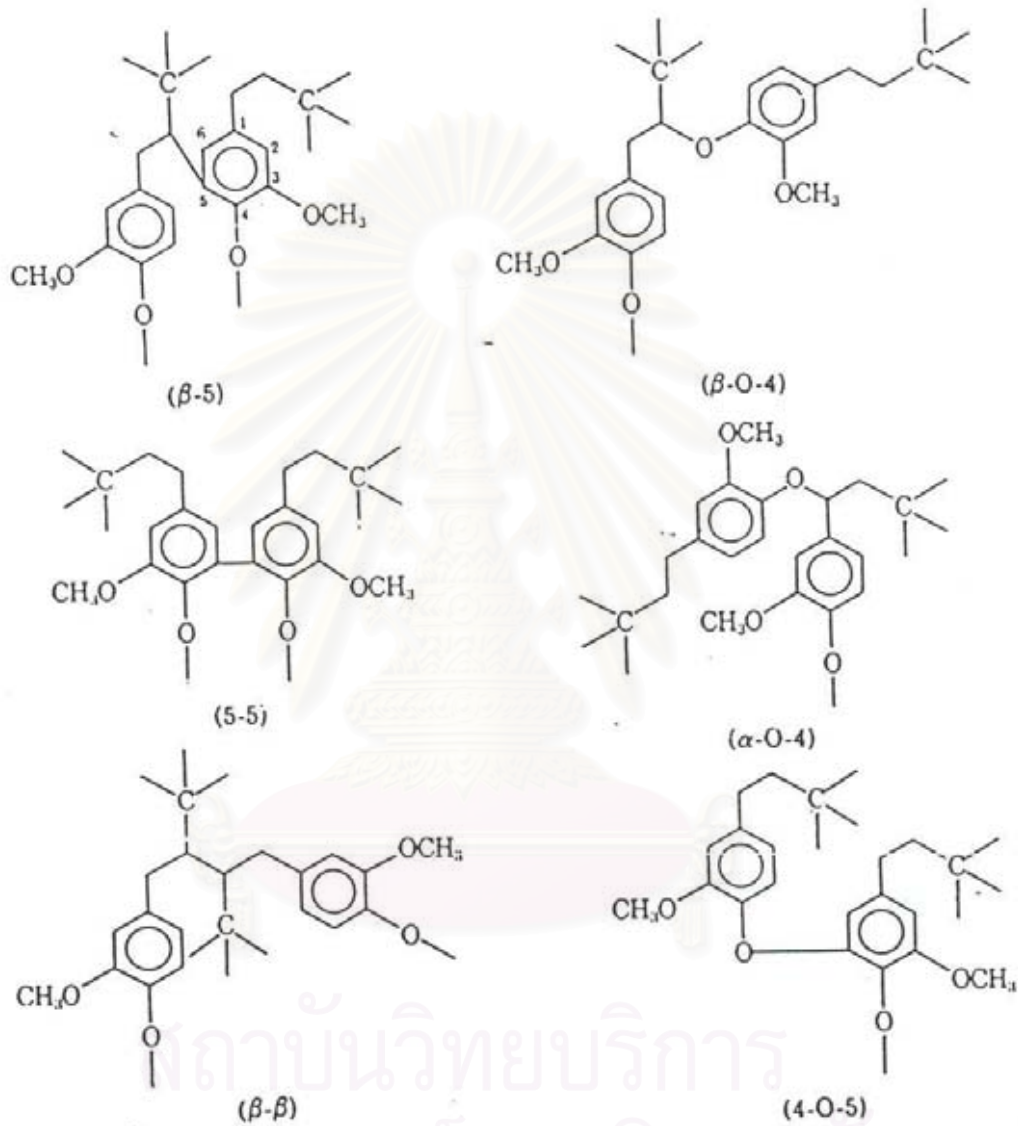


รูปที่ 2.1 แสดงระบบการเรียกชื่อของลิกนิน (Othmer, 1981)



รูปที่ 2.2 p-hydroxyphenyl, syringyl และ guaiacyl (Othmer, 1981)

หน่วย Phenylpropane ในลิกนินจะเชื่อมต่อกันด้วยรูปแบบ ต่างๆ ที่พบบ่อยได้แก่ β -5, β -O-4, 5-5, β - β , α -O-4 และ 4-O-5 ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการเชื่อมต่อกันแบบต่างๆในลิกนิน (Othmer, 1981)

2.1.3 แหล่งของลิกนิน

แหล่งที่พบลิกนินมาก คือ ต้นไม้ โดยทั่วไปลิกนินที่มีอยู่ในไม้จะไม่ละลายน้ำ ถ้าหากไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งถือว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงทางโพลีเมอร์หรือเป็นการไฮโดรไลส์พันธะของลิกนินกับสารตัวอื่น ในปัจจุบันพบว่ามีหลายวิธีการที่สามารถแยกลิกนินออกจากส่วนต่างๆของต้นไม้ โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างน้อยที่สุด โดยทั่วไปจะใช้วิธีการละลายลิกนินแล้วกรองแยกสารตัวอื่นออกหรืออาจใช้วิธีการละลายสารตัวอื่นทิ้งไปได้ แต่หลักการใหญ่ๆ คือ ใช้ คุณสมบัติและปฏิกิริยาของลิกนินที่ต่างจากตัวอื่นในการแยก ตามปกติแล้วไม้เนื้ออ่อนจะมีปริมาณลิกนินมากกว่าไม้เนื้อแข็ง

สำหรับปริมาณลิกนินในไม้แสดงไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณลิกนินที่พบในไม้ประเภทต่างๆ

ไม้เนื้ออ่อน	ปริมาณลิกนิน (%)
Douglas fir	27.2
Noble fir	29.3
Engelmann	26.3
Jack pine	26.7
Slash pine	28.0
Western hemlock	27.8
Beech	21.0
Trembling aspen	19.3
White birch	20.0
Yellow birch	22.7
Chestnut oak	24.3
Red maple	22.8

ที่มา : Othmer, 1981

ไม้ที่เติบโตภายใต้สภาวะความกดดัน จะมีปริมาณลิกนินสูงกว่าในสภาวะปกติและถ้าเติบโตในสภาวะที่มีความตึงเครียด (Tension) จะมีปริมาณลิกนินน้อยกว่าในสภาวะปกติ นอกจากนี้ปริมาณลิกนินยังเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่นไม้ที่มีอายุมากจะมีปริมาณลิกนินน้อยกว่าไม้ที่มีอายุน้อย และไม้ในฤดูร้อนจะมีปริมาณแตกต่างจากในฤดูหนาวซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ลิกนินในสภาวะที่แตกต่างกัน

แหล่งของลิกนิน	ปริมาณลิกนิน (%)
Spruce wood	
Normal	26.0
Compression	38.0
Eucalyptus	
Normal	22.0
Compression	16.0
Black spruce bar	
Outer	33.9
Inner	6.6
Loblolly pine	
Early sapwood	28.1
Late sapwood	26.8
Early heartwood	26.8
Late heartwood	24.2

ที่มา : Othmer, 1981

ถึงแม้ว่าแหล่งของลิกนินมีอยู่มาก แต่ในบางแหล่งยังไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์เช่น ไม้และเปลือกไม้จากอุตสาหกรรมโรงเลื่อย ไม้ที่เหลือจากการทำเกษตรกรรม และเศษเยื่อไม้จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โดยแหล่งที่มาจากรองานผลิตเยื่อกระดาษจะเป็นแหล่งที่ไม่ใหญ่นัก แต่มีความเป็นไปได้มากที่สุด

2.1.4 การแยกประเภทของลิกนิน

อนุพันธ์ต่างๆ มากมายที่ได้มาจากไม้ มักเรียกรวมกันว่า ลิกนิน จึงต้องมีการแยกคุณสมบัติของลิกนินในไม้โดยอาจใช้ชนิดของพืชที่นำมาใช้เป็นสารตั้งต้น ลักษณะของผลิตภัณฑ์ วิธีการเตรียม หรือใช้หลายอย่างประกอบกันในการพิจารณา

ถ้าหากแบ่งลิกนินโดยใช้ชนิดของพืชที่นำมาใช้เป็นสารตั้งต้น จะแบ่งได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1.) ลิกนินจากไม้เนื้ออ่อน (Softwood lignin) ได้แก่ลิกนินจากไม้จำพวกสนที่มีใบเขียวตลอดปีและมีลักษณะใบแคบ โดยไม้ชนิดนี้เมื่อนำไปทำเยื่อกระดาษจะได้เยื่อใยยาวซึ่งมีคุณสมบัติทำให้กระดาษมีความเหนียวและแข็งแรง

2.) ลิกนินจากไม้เนื้อแข็ง (Hardwood lignin) ได้แก่ ลิกนินจากไม้เบญจพรรณต่างๆ ที่ผลัดใบทุกปีและมีลักษณะใบกว้าง ไม้ชนิดนี้นิยมนำไปผลิตเยื่อกระดาษประเภทเยื่อใยสั้นซึ่งมีคุณสมบัติทำให้กระดาษมีความทึบและหน้ากระดาษเรียบ

3.) ลิกนินจากหญ้าหรือพืชล้มลุก (Grass or Annual plant) เป็นไม้เฝ้าซึ่งมีคุณภาพดี เช่น ปอ กก อ้อย หญ้าขจรจบ ต้นอ้อ และต้นแขม

ถ้าแบ่งตามกรรมวิธีการเตรียมทางเคมีจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. ซัลไฟต์ลิกนิน (Sulfite lignin)หรือ ลิกโนซัลไฟเนต(Lignosulfonate) เป็นลิกนินที่สามารถผลิตขึ้นได้จากน้ำดำที่ได้จากกระบวนการทำเยื่อแบบซัลไฟต์ ซึ่งในน้ำดำจากกระบวนการแบบซัลไฟต์จะมีลิกโนซัลไฟเนตอยู่ประมาณ 40-60% โดยมีมวลโมเลกุลประมาณ 250 ต่อหนึ่งโมเนอเมอร์ ลิกโนซัลไฟเนตละลายในน้ำแต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ (Othmer,1981)

2. อัลคาไลน์ลิกนิน (Alkaline lignin) เป็นลิกนินที่ผลิตจากน้ำดำที่เรียกว่า Soda black liquor และ Sulfate black liquor หรือ kraft black liquor อัลคาไลน์ลิกนินประกอบด้วยหมู่กรด 2 ชนิด คือ กรดอ่อนซึ่งได้แก่หมู่ฟีนอลิก (phenolic) และกลุ่มกรดแก่ ได้แก่ คาบอกซิลิก(carboxylic) (Casey,1980) อัลคาไลน์ลิกนินโดยทั่วไปจะเป็นผงสีน้ำตาลและละลายในเบสและตัวทำละลายอินทรีย์ (Othmer,1981)

2.1.5 ประโยชน์ของลิกนิน

ในทางการค้า ลิกนินจะอยู่ในรูปต่างๆกัน แต่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้คล้ายคลึงกัน เช่น ใช้ผสมกับหินเพื่อลดฝุ่นที่ฟุ้งกระจาย ใช้เป็นสารช่วยในการเกาะติด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการซ่อมผิวหน้าของถนนลาดยางมะตอย ใช้ผสมกับดิน-ทราย ในอุตสาหกรรมการหล่อ เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรง, ใช้เป็นส่วนผสมเพื่อการผลิต Carbon black, เครื่องเซรามิกส์ ,สีย้อมต่างๆ ,เม็ดสี ยาฆ่าวัชพืช และยาฆ่าแมลง ใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในยางที่ต้องการให้มีน้ำหนักเบา ใช้ผลิตแทนนิน (tannin) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการฟอกหนัง ใช้ในการกำจัดไขมันที่ลอยอยู่บนผิวหน้าของน้ำ ใช้ในการกำจัดเกลือในน้ำที่ทำให้เกิดน้ำกระด้าง ใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดรูพรุนในแผ่นยิปซัม(บุณยรัชต์ กิตยานันท์ และ รวิินทร์ พลานันท์ทุกุลธร,2535) ลิกนินสามารถตกตะกอนร่วมกับโปรตีนด้วยคุณสมบัตินี้จึงถูกใช้สำหรับทำให้น้ำบริสุทธิ์ นอกจากนี้ลิกนินยังใช้ในการสังเคราะห์สารเคมีต่างๆ เช่น วานิลิน (Vanillin) และสารประกอบฟีนอล (Phenol compound) (Casey,1980) และในปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการนำลิกนินมาใช้ประโยชน์อีกมากมาย เช่น ได้มีการศึกษาการนำลิกนินมาใช้ในการลดความเป็นพิษของอะลูมิเนียม (Al) ที่มีมากเกินไปในดินและน้ำ (Katsumata,Maruyama และ Meshitsuka,2000)

2.2 การผลิตเยื่อกระดาษ

2.2.1 วัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ

พืชทุกชนิดประกอบด้วยเส้นใย ซึ่งมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก แต่ไม่ได้หมายความว่าพืชทุกชนิดจะสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษได้พืชที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบได้ ต้องมีเส้นใยแข็งแรง เหมาะสมกับการนำไปผลิตกระดาษ นอกจากนี้จะคำนึงถึงคุณสมบัติของเส้นใยแล้ว ยังต้องมีความเป็นไปได้ทางธุรกิจ คือ หาง่าย ราคาไม่แพง การเก็บ การขนส่งไม่ยุ่งยาก

พืชที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1.) ไม้ยืนต้น (Wood) หมายถึงพืชที่เป็นต้นไม้มีลำต้นแข็งแรง อายุยืน แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1.1) ไม้เนื้ออ่อน (Softwood) เป็นไม้ที่ขึ้นในที่สูง อากาศเย็น โด่ซ่า ใบมีลักษณะแคบ เรียวยาว เส้นใยในไม้เนื้ออ่อน เรียกว่า เยื่อใยยาว มีลักษณะหยาบ ความแข็งแรงสูง มีความยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 0.02 – 0.04 มิลลิเมตร ไม้ในกลุ่มนี้ได้แก่ สน (Pine)

1.2) ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) เป็นไม้ที่ขึ้นในบริเวณเขตร้อน โด่เร็ว ใบมีลักษณะกว้าง เส้นใยในไม้เนื้อแข็งเรียกว่า เส้นใยสั้น มีลักษณะเล็ก ละเอียด ความแข็งแรงต่ำ มีความยาวประมาณ 0.01-0.12 มิลลิเมตร ไม้ในกลุ่มนี้ได้แก่ เบิร์ช (Birch) แอสเพน (Aspen) ยูคาลิปตัส (Eucalyptus) กระถินเทพา (Acacia)

2.) ไม้ล้มลุก (Nonwood) ได้แก่ พืชอื่นๆ นอกเหนือจากไม้ยืนต้น ที่เส้นใยมีคุณสมบัติเหมาะสม สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษได้ ได้แก่ ปอ ใผ่ ฝ้าย หรือเป็นส่วนที่เหลือจากเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย เป็นต้น สมบัติของเส้นใยจาก Nonwood มีสมบัติไม่แน่นอน อาจมีความยาวตั้งแต่น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ไปจนถึงหลายเซนติเมตร

เส้นใยที่ได้จากไม้เนื้ออ่อน (ใยยาว) และเส้นใยที่ได้จากไม้เนื้อแข็ง(ใยสั้น) มีสมบัติแตกต่างกันมาก เยื่อกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีจากไม้เนื้ออ่อน เรียกว่าเยื่อใยยาวมีคุณสมบัติเหมาะสมกับการนำไปผลิตกระดาษที่ต้องรับแรงขณะใช้งาน เช่น กระดาษบรรจุภัณฑ์ ถุง กระดาษห่อต่างๆ กล่องลูกฟูก เนื่องจากเส้นใยมีความแข็งแรงสูง เยื่อกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีจากไม้เนื้อแข็ง เรียกว่าเยื่อใยสั้น มีสมบัติเหมาะกับการนำไปผลิตกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์ หรือ เขียน เนื่องจากเส้นใยมี

ความละเอียด จึงสามารถผลิตกระดาษที่มีความเรียบสูง มีเนื้อละเอียดได้ ส่วนการผลิตเยื่อจาก Nonwood นั้นมีไม่มากเมื่อเทียบกับเยื่อจากไม้ยืนต้น เพราะมีปัญหาค่อนข้างมาก เช่น ต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บมาก เนื่องจากวัตถุดิบมีความหนาแน่นต่ำ พืชบางอย่างมีเป็นฤดูกาล เช่น ฟางข้าว มีเฉพาะช่วงเก็บเกี่ยว ในปัจจุบันจึงไม่นิยมผลิตเยื่อกระดาษจากวัตถุดิบเหล่านี้

2.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย

ในเส้นใยประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิด สารเหล่านี้เป็นสารอินทรีย์ที่เกิดจากการสังเคราะห์แสง ได้แก่

1.) เซลลูโลส (Cellulose) เป็นสารที่มีปริมาณมากที่สุด และมีความแข็งแรงมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารตัวอื่น การที่ต้นไม้มีความแข็งแรงก็เนื่องจากเซลลูโลสนี้เอง เซลลูโลสบริสุทธิ์มีสีขาว เช่น เส้นใยของฝ้ายมีสีขาวเนื่องจากมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบมากกว่า 90 % โมเลกุลของเซลลูโลสเป็นเส้นตรงยาว ประกอบด้วยหน่วยย่อย คือ กลูโคส (Glucose) เช่นเดียวกับแป้ง แต่มีสูตรโครงสร้างต่างกัน แป้งจึงอมน้ำและพองตัวเมื่อโดนน้ำ ในขณะที่เซลลูโลสไม่เป็นเช่นนั้น ในการผลิตเยื่อต้องรักษาเซลลูโลสให้ถูกทำลายน้อยที่สุด

2.) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เฮมิเซลลูโลสเป็นสารที่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเช่นเดียวกับเซลลูโลส แต่โครงสร้างของโมเลกุลเป็นแบบมีกิ่งก้านสาขา ไม่ได้เป็นเส้นตรงยาวเหมือนเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสจึงมีความแข็งแรงต่ำ สามารถอมน้ำและพองตัวได้คล้ายแป้ง

3.) ลิกนิน (Lignin) มีอยู่ประมาณ 20-40% เป็นโพลีเมอร์เชิงซ้อน (Complex Polymer) เป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติกทำหน้าที่เป็นสารยึดเส้นใยในเนื้อไม้ให้เกาะติดกัน มีสีน้ำตาลดังนั้นการที่เนื้อไม้มีสีน้ำตาลก็เนื่องมาจากในเนื้อไม้มีลิกนินนั่นเอง ลิกนินจะละลายออกมาจากเส้นใยในขณะถูกย่อยสลาย เช่น ละลายในสารละลายกรดในกระบวนการผลิตเยื่อแบบซัลไฟต์ (Sulfite process) หรือละลายในด่างร้อนในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษแบบคราฟท์ (Kraft) หรือกระบวนการแบบซัลเฟต (Sulfate process) เยื่อที่มีลิกนินมากจะมีสีคล้ำ เปลี่ยนสีง่าย เป็นสารที่ต้องกำจัดออกในการผลิตเยื่อ

4.) อื่นๆ (Extraneous component) ส่วนนี้จะมีประมาณ 2-10% เป็นสารประกอบที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลาย มีปริมาณน้อย ได้แก่ กรดอ่อน เทอร์พีน (Terpene) ชัน เรซิน เป็นต้น

2.2.3 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

ในการผลิตเยื่อ สามารถแบ่งประเภทกระบวนการผลิตได้เป็น 3 ประเภท คือ

1.) กระบวนการผลิตเยื่อเชิงกล (Mechanical Pulping)

เป็นการใช้พลังงานกลในการแยกเส้นใยออกจากกัน กระบวนการนี้เน้นที่การบด (Grinding) การนำไม้มาบดกับหินโดยตรงเส้นใยจะถูกหินบดจนหลุดออกมา ความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้ลิกนินอ่อนตัว เส้นใยจึงแยกออกจากกันได้ง่าย เยื่อไม้บดที่ได้จะมีลักษณะเป็นไม้แท้อยู่มากและมีคุณสมบัติไม่ดีเพราะไม่ใช่เยื่อเซลลูโลสบริสุทธิ์ เยื่อที่ได้จากกระบวนการนี้มีปริมาณสูงที่สุด คือ ร้อยละ 85 ถึง ร้อยละ 95 และเยื่อที่ได้จะมีความทึบแสงสูง ราคาถูก จึงนิยมใช้ทำกระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษอนามัยบางชนิด และกระดาษกันสำหรับบรรจุสิ่งของกันแตกภายในกล่อง

2.) กระบวนการผลิตเยื่อกึ่งเคมี (Semi – Chemical Pulping)

กระบวนการนี้จะคล้ายกับกระบวนการเชิงกลแต่มีการใช้สารเคมีร่วมด้วยและมีการใช้พลังงานในการบดเยื่อน้อยกว่า ชิ้นไม้สับจะถูกต้มด้วยสารเคมีโดยสภาพกึ่งดิบกึ่งสุก แล้วจึงนำไปบดด้วยเครื่องบดเยื่อ คุณภาพของเยื่อที่ได้จะอยู่ระหว่างเยื่อเชิงกลและเยื่อเคมี นิยมใช้ทำกระดาษลูกฟูก

3.) กระบวนการผลิตเยื่อเคมี (Chemical Pulping)

กระบวนการนี้จะให้เยื่อที่มีปริมาณลิกนิน เจือปนอยู่น้อยมากจึงเหมาะสำหรับทำกระดาษคุณภาพดี และมีความเหนียว แต่ปริมาณเยื่อที่ได้จะมีปริมาณน้อยกว่า กระบวนการผลิตเยื่อเชิงกล กระบวนการผลิตเยื่อเคมีแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ ตามสารเคมีที่ใช้ดังนี้

3.1) กระบวนการซัลไฟต์ (Sulphite Process) กระบวนการนี้เหมาะสำหรับทำเยื่อจากพันธุ์ไม้เนื้อแข็ง และพันธุ์ไม้จำพวกหญ้า น้ำยาต้มเยื่อที่ใช้มีฤทธิ์เป็นกรด มักใช้กรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid, H_2SO_4) และสารประกอบไบซัลไฟต์ เยื่อที่ได้เรียกว่าเยื่อซัลไฟต์ มีสมบัติเป็นกรด เส้นใยที่ได้มีความแข็งแรงต่ำ ใช้ได้กับไม้บางชนิดเท่านั้น แต่ข้อดีคือน้ำยาต้มเยื่อมีราคาถูก

3.2) กระบวนการแบบอัลคาไลน์(Alkaline process) กระบวนการนี้สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 กระบวนการคือ

3. 2.1) กระบวนการโซดา (Soda process)

เป็นกระบวนการที่ใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวทำละลายลิกนินในการต้มเยื่อ กระบวนการโซดาใช้สำหรับการทำเยื่อแบบง่าย ๆ เช่น ฟางข้าวและไม้เนื้อแข็งบางชนิด ซึ่งบางครั้งอาจเติม Anthraquinone เพื่อลดการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต เยื่อกระดาษที่ได้เมื่อนำไปฟอกขาวแล้วจะเหมาะสำหรับทำกระดาษพิมพ์เขียน กระดาษจดหมาย และกระดาษที่ต้องการความนุ่ม

3.2.2) กระบวนการแบบคราฟท์ (Kraft process)

กระบวนการแบบคราฟท์ (Kraft process)หรือ เรียกว่า กระบวนการแบบซัลเฟต(Sulfate process) เป็นกระบวนการที่พัฒนาต่อมาจากกระบวนการโซดาโดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมซัลไฟด์ เยื่อที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีความแข็งแรงกว่ากระบวนการแบบโซดา เยื่อที่ได้ชนิดไม่ฟอกสีใช้ทำถุงกระดาษ กระดาษห่อของ และกระดาษผิวกล่องชนิดฟอกขาว ใช้ทำกระดาษพิมพ์เขียน กระดาษหนังสือคุณภาพดี

2.2.4 ลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำดำ

น้ำดำ คือ น้ำทิ้งจากกระบวนการทางเคมีของการต้มเยื่อกระดาษซึ่งมีสีดำ องค์ประกอบของน้ำดำจะเปลี่ยนแปลงไปตามวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเยื่อกระดาษ และกรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษ แต่โดยเฉลี่ยแล้วน้ำดำจากทุกกระบวนการทางเคมีในการต้มเยื่อจะมีสมบัติโดยทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 2.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 แสดงสมบัติโดยเฉลี่ยของน้ำดำ

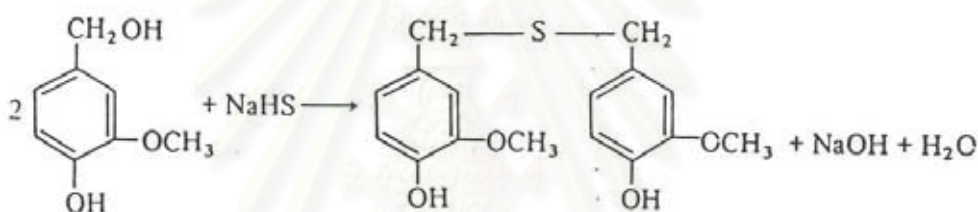
คุณสมบัติ หรือส่วนประกอบ	ปริมาณ
ความถ่วงจำเพาะ	1.097 ที่ 17.5 องศาเซลเซียส
สารอินทรีย์	
ลิกนิน	12-20 %
อื่น ๆ	3.55 %
สารอนินทรีย์	
โซเดียมไฮดรอกไซด์	2.44 %
โซเดียมคาร์บอเนต	2.76 %
อื่น ๆ	2.77 %

ที่มา : Kagawa, 1970

ในการผลิตเยื่อแบบคราฟท์ น้ำดำที่ได้ออกมาบางส่วนจะถูกส่งไปผสมกับน้ำยาที่ใช้ในการต้มเยื่อเพื่อให้น้ำยาต้มเยื่อมีปริมาณมากพอสำหรับการต้มเยื่อ น้ำดำส่วนที่เหลือ จะถูกนำเข้ากระบวนการนำสารเคมีกลับคืน ซึ่งเริ่มต้นจากหน่วยทำระเหยเพื่อให้ น้ำดำมีความเข้มข้นมากขึ้น จากนั้นจึงป้อนน้ำดำเข้มข้นเข้าสู่หม้อนำสารกลับคืน สารอินทรีย์ในน้ำดำเข้มข้นจะติดไฟและให้พลังงานความร้อนออกมา สารเคมีหรือสารอนินทรีย์ที่เหลือจะละลายเป็นของเหลวไหลลงสู่ด้านล่างของหม้อนำสารกลับคืน ผสมกับของเหลวเจือจางในสารละลายกลายเป็นของเหลวสีเขียว ซึ่งจะถูกส่งไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกสิ่งเจือปนที่เป็นของแข็งออก แล้วส่งต่อไปยังหน่วยทำด่างเพื่อทำปฏิกิริยากับปูนขาว กลายเป็นน้ำยากลับเข้าสู่การผลิตเยื่อต่อไป พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผา น้ำดำเข้มข้นในหม้อนำสารเคมีกลับคืน ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของไอน้ำ และนำไปใช้ในหน่วยทำระเหย ต่อไป

2.3 ปฏิกริยาของลิกนินระหว่างการต้มเยื่อแบบอัลคาไลน์

ปฏิกริยาของลิกนินระหว่างการต้มเยื่อแบบอัลคาไลน์เป็นเรื่องที่ซับซ้อนและยังไม่เป็นที่เข้าใจแน่ชัด แต่เป็นที่รู้กันว่า ซัลไฟด์จะเป็นตัวเร่งการสลายตัวของลิกนินออกจากไม้โดยไม่ทำให้เกิดการย่อยสลายของเซลลูโลส การทำความเข้าใจกลไกของการเกิดปฏิกริยาการสลายของลิกนินออกจากไม้ในระหว่างการต้มเยื่อแบบอัลคาไลน์มักทำโดยการตรวจสอบลิกนินที่ละลายอยู่ในน้ำดำ และจากการศึกษาแบบจำลองสารประกอบของลิกนิน ได้มีการศึกษาสารประกอบ Vanillyl alcohol โดยใส่ในสารละลายต่างร้อนที่มี ซัลไฟด์ประกอบอยู่ด้วยพบว่าจะได้ Vanillyl monosulfide เป็นผลิตภัณฑ์หลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.4



ที่มา: Casey, 1980

รูปที่ 2.4 แสดงปฏิกริยาของ Vanillyl alcohol ในสารละลายต่างร้อนที่มีซัลไฟด์ประกอบอยู่

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าการแตกของพันธะอีเธอร์บนโซ่ข้างลิกนินมีบทบาทสำคัญในการแยกลิกนินออกจากไม้ ไฮดรอกซิลไอออนจะทำหน้าที่เป็น nucleophilic ทำให้เกิดการแตกของพันธะอีเธอร์ในกระบวนการแบบโซดา ส่วนในกระบวนการแบบคราฟท์ การรวมของ ไฮโดรซัลไฟด์ และซัลไฟด์ไอออน น้อยกว่าในแบบอัลคาไลน์แต่มีความเป็น nucleophilic มากกว่า ไฮดรอกซิลไอออนเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างกระบวนการแบบโซดาและแบบคราฟท์ จากการศึกษาสารประกอบของลิกนินสามารถจำแนกการแตกของพันธะในลิกนินระหว่างกระบวนการแบบคราฟท์ได้ 3 อย่างดังนี้

1. การแตกของพันธะอัลฟา-อะริลอีเธอร์ (α -aryl ether) ในหน่วย phenolic
2. การแตกของพันธะเบตา-อะริลอีเธอร์ (β -aryl ether) ในหน่วย phenolic
3. การแตกของพันธะเบตา-อะริลอีเธอร์ (β -aryl ether) ในหน่วย non-phenolic

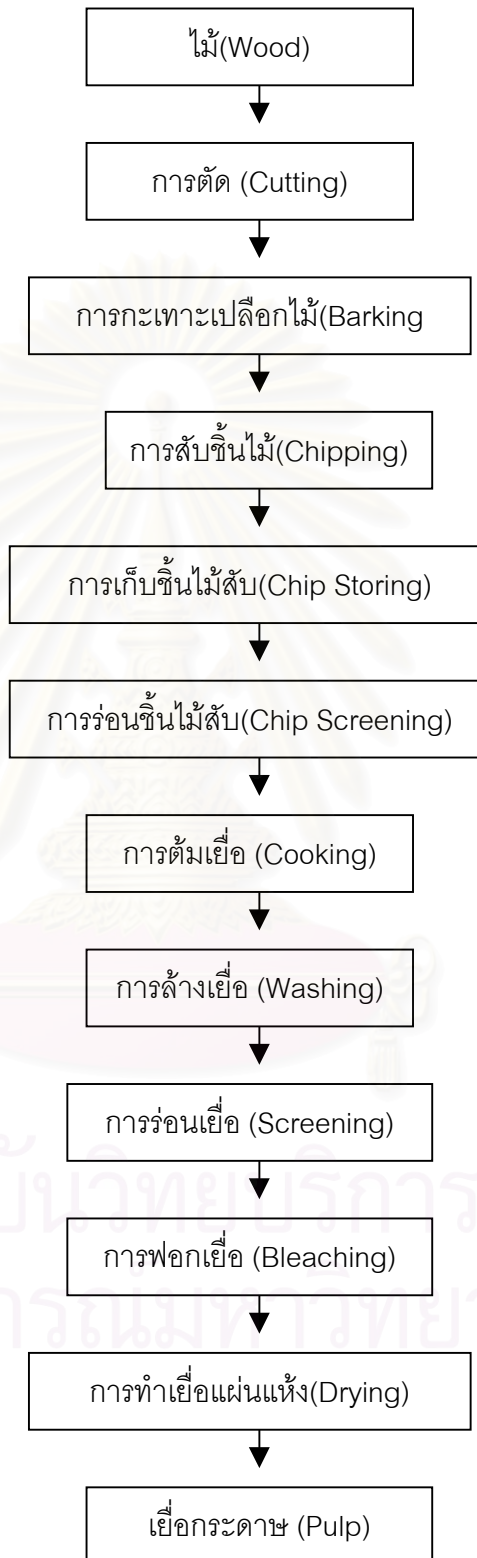
2.4 การผลิตเยื่อกระดาษของบริษัทแอดวานซ์ อะโกร จำกัดมหาชน

การผลิตเยื่อกระดาษของบริษัทแอดวานซ์อะโกร ใช้ยูคาลิปตัสสายพันธุ์ คามาสดูเลนซิส (Carmadulensis) เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ โดยจะทำการผลิตเยื่อแบ่งเป็น 2 โรง คือ โรงเยื่อที่ 1 และโรงเยื่อที่ 2 โรงเยื่อที่ 1 จะผลิตเยื่อแล้วส่งเยื่อที่ผลิตได้ผ่านทางท่อไปใช้ในโรงงานผลิตเยื่อกระดาษโดยตรง ส่วนโรงเยื่อที่ 2 เป็นการผลิตเยื่อกระดาษคราฟท์แผ่นแห้งเพื่อส่งขาย

การผลิตเยื่อกระดาษเริ่มจาก ไม้ท่อนถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องกะเทาะเปลือกไม้ เพื่อกะเทาะเปลือกไม้ ไม้ท่อนที่ปอกเปลือกแล้วจะถูกสับเป็นชิ้นไม้สับ แล้วลำเลียงเข้าไปเก็บในลานเก็บชิ้นไม้สับ ก่อนนำชิ้นไม้สับไปใช้ ชิ้นไม้สับจะถูกร่อนเพื่อคัดชิ้นไม้สับที่มีขนาดใหญ่ หรือเล็กเกินไปออกก่อนด้วยตะแกรงร่อนชิ้นไม้สับ ขั้นตอนตั้งแต่การกะเทาะเปลือกไม้ การสับชิ้นไม้สับ การเก็บชิ้นไม้สับ และการร่อนชิ้นไม้สับ เรียกรวมกันว่า Wood Handling หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการต้มเยื่อ ชิ้นไม้สับจะถูกลำเลียงโดยสายพานเข้าสู่หม้อต้มเยื่อ (Digester) ในหม้อต้มเยื่อมีอุณหภูมิประมาณ 130-170 องศาเซลเซียส และความดันสูงกว่าบรรยากาศ โดยโรงเยื่อที่ 1 มีกำลังการผลิตประมาณ 560 ตันต่อวัน หรือ 175,000 ตันต่อปี การต้มเยื่อเป็นแบบ Super batch เป็นการใช้หม้อต้มเยื่อแบบเดียวจำนวน 5 ใบแต่ละใบมีขนาด 300 ลูกบาศก์เมตร มาจัดลำดับการต้มเยื่อ เพื่อให้มีเยื่อไหลเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง และในขณะเดียวกัน ก็ได้เยื่อออกมาอย่างต่อเนื่องด้วย ในการต้มเยื่อแต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง ส่วนโรงเยื่อที่ 2 มีกำลังการผลิต 800 ตันต่อวัน หรือ 250,000 ตันต่อปี การต้มเยื่อเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous Cooking) คือชิ้นไม้จะถูกเติมเข้าทางด้านบนอย่างต่อเนื่องและเยื่อก็จะไหลออกทางด้านล่างอย่างต่อเนื่องเช่นกัน โดยทั้ง 2 โรงเยื่อใช้กระบวนการต้มแบบคราฟท์ หลังจากขั้นตอนการต้มเยื่อ ก็เป็นการล้างเยื่อเพื่อกำจัดสารเคมีออกจากเยื่อ ต่อจากนั้นก็เข้าสู่การร่อนเยื่อ, การฟอกเยื่อและสุดท้ายคือ การทำเยื่อแผ่นแห้ง ขั้นตอนการทำเยื่อกระดาษดังแสดงในรูปที่ 2.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนต่างๆสามารถเขียนเป็นแผนผังได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการทำเยื่อกระดาษ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tanistra และ Bodzek (1998) ได้ทดลองแยกลิกนินซัลเฟต (sulfate lignin) ออกจากน้ำดำ โดยกระบวนการ ultrafiltration โดยในกระบวนการ ultrafiltration นั้นจะใช้เยื่อ polyacrylonitrile จากการทดลองพบว่าได้ลิกนินซัลเฟตจากกระบวนการนี้มากกว่า 88% ของลิกนินที่มีในน้ำเสียโดยปริมาณน้ำกลับ ลิกนินที่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและความดันที่ใช้

Lappan และ Pelton (1997) ศึกษาทดลองการตกตะกอนคราฟท์ลิกนิน (kraft lignin) ด้วย poly (diallyldimethyl ammonium chloride) หรือ poly(DADMAC) ที่ค่าความเป็นกรดเบสต่างกัน จากการทดลองพบว่า ที่ส่วนผสมระหว่าง poly (DADMAC) ต่อลิกนินเป็น 0.53 และค่าความเป็นกรดเบสที่ 12.6 จะได้ลิกนินตกตะกอนประมาณ 80% และจากการทดลองยังพบว่าที่ค่าความเป็นกรดเบสยิ่งต่ำปริมาณ poly (DADMAC) ที่ใช้เติมเพื่อตกตะกอนลิกนินยิ่งน้อย

Villar (1996) ได้ทำการทดลองตกตะกอนน้ำดำจากกระบวนการทำเยื่อกระดาษแบบคราฟท์ ด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แอลกอฮอล์, อะซีโตน, เกลือแคลเซียม, เกลืออลูมิเนียม, สารละลาย แอลกอฮอล์ - เกลือแคลเซียม และ แอลกอฮอล์ - เกลืออลูมิเนียม จากการทดลองพบว่าวิธีที่สามารถตกตะกอนลิกนินได้ดีที่สุดคือ ใช้ สารละลายแอลกอฮอล์ - แคลเซียม โดยหากมีการกรองที่ดีจะได้ลิกนินประมาณ 90 %

Gillarranz และ Rodriguez (1998) ทดลองแยกลิกนินโดยการตกตะกอนด้วยกรดในน้ำดำที่ได้จากกระบวนการทำเยื่อกระดาษจากฟางข้าวสาลี โดยก่อนการตกตะกอนลิกนินนั้นมีการกำจัดของแข็งอื่นๆ และซิลิกาออกจากน้ำดำก่อนโดยการปั่นแยก (centrifugation) เพื่อไม่ให้ปนเปื้อนกับลิกนินที่จะตกตะกอนออกมา หลังจากนั้นปรับค่าความเป็นกรดเบสให้เท่ากับ 3.5 ด้วยกรดซัลฟิวริก จากผลการทดลองจะได้ลิกนินตกตะกอนออกมา 80 % สีของน้ำดำ และค่า COD ลดลง 82 และ 71 % ตามลำดับ

Sun และ Tomkinson (1999) ทดลองแยกลิกนินออกจากน้ำดำที่ได้มาจากกระบวนการทำเยื่อกระดาษจากลำต้นปาล์มน้ำมัน โดยการตกตะกอน 2 ขั้นตอน ขั้นแรกทำให้น้ำดำมีค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับ 6 โดยการเติม กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เพื่อตกตะกอนสารที่ได้จากการย่อยสลายโพลีแซคคาไรด์นำไปกรองแล้วนำน้ำที่ผ่านมาปรับค่าความเป็นกรดเบสด้วยกรดฟอสฟอริกเพื่อตกตะกอนลิกนินจากการทดลองพบว่าได้ลิกนินที่มีความบริสุทธิ์ถึง 99.5 %

Sun และ Tomkinson (2000) งานวิจัยนี้เป็นการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ-เคมีและลักษณะโครงสร้างของ alkali-soluble lignin 6 ตัวซึ่งสกัดจากต้น poplar ซึ่งเป็นไม้โตเร็วโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 5%, 7.5% และ 10% ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4-12 ชั่วโมง ลิกนินที่ได้ถูกตรวจสอบโดยใช้ UV, FT-IR, C-NMR, GPC และ Alkaline nitrobenzene oxidation ผลที่ได้แสดงว่าลิกนินที่ได้ไม่มีส่วนประกอบของโพลีแซคคาไรด์ แต่มีปริมาณของ syringyl และ guaiacyl มาก ในขณะที่มี p-hydroxyphenyl เพียงเล็กน้อย มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4,520 ถึง 6,900 กรัมต่อโมล

บุญรัตน์ กิตยานันท์ และ รวิินทร์ พลานันทกุลธร(2535) ศึกษาปฏิกิริยาซัลไฟเนชั่นของลิกโนเซลลูโลสในน้ำดำที่ได้มาจากกระบวนการทำเยื่อกระดาษจากชานอ้อย โดยศึกษาสภาวะความเป็นกรดเบสที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา และการทำให้เป็นกลาง (Neutralization) ตามลำดับนอกจากนี้ยังได้ทำการหาวิธีการแยกสารลิกโนซัลไฟเนตที่เหมาะสม เช่น ใช้การกรอง การเซนตริฟิวส์ การระเหย น้ำรวมทั้งการใช้เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดพ่น จากการทดลองพบว่าเบสที่ใช้ในการทำให้เป็นกลางควรเป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยเติมเบสจนกระทั่งได้สารละลายที่เป็นกลางพอดี และกรรมวิธีที่ใช้ในการแยกสารลิกโนซัลไฟเนตที่ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมคือการใช้เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดพ่น อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้ยังไม่ได้มีการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารลิกโนซัลไฟเนตที่ได้

Lalvani SB, Wiltowski TS , Murphy D และ Lavani LS (1997) ได้ศึกษาความสามารถของลิกนินที่ได้มาจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษในรูปของผงและเม็ด ในการดูดซับโลหะในน้ำ โดยศึกษาผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับโลหะ ได้แก่ ไตรวาเลนซ์โครเมียม เฮกซะวาเลนซ์โครเมียม ตะกั่ว และสังกะสี

Villar JC., Capetos A. และ GarciaOchoa F. (1996) ได้ศึกษาการออกซิเดชันของลิกนินที่ได้มาจากน้ำดำโดยใช้สารละลายเกลือแคลเซียมในอัลกอฮอล์เป็นตัวตกตะกอน ลิกนินที่ได้ถูกนำมาออกซิไดส์ในสภาวะที่เป็นเบสเพื่อให้ได้สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) ซึ่งได้แก่ ไฮริงกัลดีไฮด์ (syringaldehyde) วานิลลิน (vanillin) กรดไฮริงจิก (syringic acid) และ กรดวานิลลิก (vanillic acid) โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้ ไนโตรเบนซีน (Nitrobenzene) และ คอปเปอร์ ทุออกไซด์ (Copper (II) oxide) เป็นตัวออกซิไดส์ จากผลการทดลองพบว่าไนโตรเบนซีนเป็นตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่า

Katsumata KS., Maruyama M. และ Meshitsuka G. (2001) ศึกษาการนำ คราฟท์ลิกนิน (Kraft Lignin) ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธี Alkaline oxygen Treatment สามารถนำมาใช้ลดความเป็นพิษของอะลูมิเนียม (Al) ที่มีอยู่มากเกินไปในดิน การวิจัยทำโดยตรวจสอบการเจริญเติบโตของรากหัวผักกาดขาวในดินและน้ำที่มีอะลูมิเนียม และมีการเติมลิกนินลงไป ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าลิกนินสามารถลด ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมที่ไปยับยั้งการเจริญเติบโตของการหัวผักกาด โดยเติมลิกนินลงในดินที่มี pH 4.5-4.8 หรือเติมลงในน้ำที่มี pH 4.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

พีเอชมิเตอร์ (pH meter) รุ่น 701 A ของบริษัท Orion Research Inc., USA

เครื่องชั่งน้ำหนัก รุ่น PJ 3600 ของบริษัท Diethelm, Thailand

ชุดวิเคราะห์ COD

Hot plate

เครื่องวัดการดูดกลืนแสงยูวี (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น 8452A ของบริษัท

Hewlett Packard, Germany

เครื่องวัดสี

เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)

กระดาษกรอง whatman เบอร์ 5

อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ

3.2 สารเคมีสำหรับการวิจัย

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) A.R. ของบริษัท Merck, Germany

โซเดียมซัลไฟด์ (Na₂S) A.R. ของบริษัท Fluka, Switzerland

กรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) A.R. ของบริษัท Merck, Germany

กรดบอริก (Boric acid 99.5% AG SEELZE-HANNOVER)

ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag₂SO₄) A.R. ของบริษัท Merck, Germany

ไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต FeSO₄·7H₂O ของบริษัท Merck, Germany

ไอร์ออน(II)แอมโมเนียมซัลเฟต (Fe(NH₄)₂(SO₄)₂·6H₂O) A.R. ของบริษัท Allied Chemical, USA

เมอร์คิวรีซัลเฟต(Hg₂SO₄) A.R. ของบริษัท Merck, Germany

อัลคาไลลิกนิน (Alkali,Lignin) A.R. ของบริษัท Aldrich, USA

โพแทสเซียมไดโครเมต (K₂Cr₂O₇) A.R. ของบริษัท May & Baker LTD, England

1,10 ฟีนานโทรอลีนโมโนไฮเดรต (C₁₂H₁₆N₂·H₂O) ของบริษัท Merck, Germany

3.3 การเตรียมรีเอเจนต์

1. White liquor (NaOH 1 โมล และ Na_2S 0.2 โมล)

ละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 กรัม และ โซเดียมซัลไฟด์ 15.6 กรัมลงในน้ำกลั่น แล้วเจือจางให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร

2. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.0417 โมล

ละลายโพแทสเซียมไดโครเมตซึ่งอบให้แห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหนัก 12.259 กรัม ลงในน้ำกลั่นทำให้เจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร

3. กรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์

ละลายซัลเฟอร์ซัลเฟต 22 กรัม ลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 ขวด ซึ่งมีน้ำหนัก 4.0 กิโลกรัม (ต้องใช้เวลาในการละลาย 1-2 วัน)

4. สารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟตไทแทนท์เข้มข้น 0.1 โมล

ละลายไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต 98 กรัม ลงในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ทำให้เย็น แล้วเจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร สารละลายนี้จะต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนในแต่ละวัน ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต

5. สารละลายเฟอร์ริโนอินดิเคเตอร์

ละลายไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮปต้าไฮเดรต 0.695 กรัม และ 1,10-ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต 1.485 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร

6. สารละลายบอริก 0.1 โมล

ละลายกรดบอริก 6.183 กรัม ลงในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับ pH ให้เป็น 12 ด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์

7. สารละลายลิกนิน 1000 ppm

ละลายอัลคาไลน์ลิกนินที่อบให้แห้งที่ 103 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงหนัก 1 กรัมลงในสารละลายบอริก แล้วเจือจางให้เป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยสารละลายกรดบอริก 0.1 โมล

8. สารละลายลิกนิน 10,20,30,40,50 ppm

ปิเปตสารละลายลิกนิน ความเข้มข้น 1000 ppm มา 1,2,3,4,5 มิลลิลิตรตามลำดับ ใส่ในขวดปรับปริมาตร แล้วเติมสารละลายกรดบอริก 0.1 โมล ให้เป็น 100 มิลลิลิตร

3.4 วิธีดำเนินการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกลิกนินออกจากน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ

3.4.1 ทำการย่อยไม้ยูคาลิปตัสโดยกระบวนการแบบอัลคาไลน์ในห้องปฏิบัติการ

3.4.2 นำน้ำดำที่ได้จากการย่อยไม้ยูคาลิปตัสมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ ได้แก่ ค่า COD (Chemical Oxygen demand), ปริมาณลิกนิน, Total Solid

3.4.3 นำน้ำดำมาตกตะกอนที่ค่า pH 1.5, 2, 3, 4, 5

3.4.4 นำน้ำดำที่แยกตะกอนลิกนินออกแล้วมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ ได้แก่ ค่า COD (Chemical Oxygen demand) , ปริมาณลิกนิน , Total Solid

3.4.5 วิเคราะห์องค์ประกอบของลิกนินที่แยกได้จากการตกตะกอน

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาโดยใช้น้ำดำจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โดยมีขั้นตอนการศึกษาเหมือนในการศึกษาน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ

การหาความชื้นไม้

นำไม้ใส่ในบีกเกอร์ 20 กรัม และนำไปอบที่อุณหภูมิ 104 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นใน dessicator จนน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักไม้ที่หายไปและคำนวณความชื้นของไม้จากสมการที่ 3.1

$$\% \text{ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักไม้ก่อนอบ} - \text{น้ำหนักไม้หลังอบ}}{\text{น้ำหนักไม้ก่อนอบ}} \times 100 \quad (3.1)$$

การต้มไม้ยูคาลิปตัส

ชั่งไม้ 100 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติม White liquor 1,000 มิลลิลิตร ต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นและกรองน้ำดำ (black liquor) ผ่านผ้าขาวบาง

การตกตะกอนน้ำดำที่พีเอช 6

นำน้ำดำที่กรองผ่านผ้าขาวบางมาปรับพีเอชให้เป็น 6 ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ทิ้งให้ตกตะกอนสมบูรณ์ แล้วแยกตะกอนออกจากน้ำดำโดยการปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)

การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำดำ

นำน้ำดำที่ผ่านการปรับพีเอชให้เป็น 6 และปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนออกแล้ว มาปรับพีเอชให้เป็น 1.5, 2, 3, 4 และ 5 ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ทิ้งให้ตกตะกอนสมบูรณ์ประมาณ 24 ชั่วโมง กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5 ด้วยเครื่องดูดสุญญากาศ

การหาค่าซีโอดี (Chemical oxygen demand, COD) ของน้ำดำ

วิธีวิเคราะห์

1. เจือจางน้ำดำที่พีเอชต่างๆ 100 เท่า ใส่เมอคิวรี (II) ซัลเฟต (Hg_2SO_4) ประมาณ 0.4 กรัม ลงในขวดรีฟลักซ์ เติมตัวอย่างน้ำที่ทำให้เจือจางแล้วลงไป 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลายมาตรฐานโพแตสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) จำนวน 10 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆ เติมกรดซัลฟิวริก

เข้มข้นซึ่งมีซิลเวอร์ซัลเฟตเจือปนอยู่ 30 มิลลิกรัม ลงไป ใส่ลูกแก้ว (glass beads) ลงไป 5-6 เม็ด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเดือดอย่างรุนแรง

2. นำขวดรีฟลักซ์ต่อเข้ากับเครื่องควบแน่น ใช้ปีกเกอร์เล็กๆ ปิดปลายด้านบนเปิดของเครื่องควบแน่น เพื่อป้องกันสารต่างๆ จากภายนอกหลุดเข้าไป แล้วรีฟลักซ์หรือต้มให้เดือดเป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น ฉีกล้างเครื่องควบแน่นด้วยน้ำกลั่นก่อนที่จะถอดเครื่องควบแน่นออกจากเครื่องรีฟลักซ์

3. ทำส่วนผสมให้เจือจางลงด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 150 มิลลิกรัม ทำให้เย็นลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วไตเตรตหาปริมาณของไดโครเมตที่มากเกินพอด้วยสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์ การเปลี่ยนสีของส่วนผสมเมื่อถึงจุดยุติ จะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเขียวไปเป็นสีน้ำตาลแดง

4. การทำแบลนด์ควรทำไปพร้อมกับตัวอย่าง ใช้น้ำกลั่น 20 มิลลิกรัม แทนน้ำตัวอย่าง เดิมรีเอเจนต์ต่างๆ ที่ใช้ และทำการรีฟลักซ์เช่นเดียวกับตัวอย่างทุกประการ

การคำนวณ

$$\text{ซีไอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{(A-B)M \times 8,000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิกรัม)}} \quad (3.2)$$

A = ปริมาตรของไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต (มิลลิกรัม) ซึ่งใช้ไตเตรตสำหรับแบลนด์

B = ปริมาตรของไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต (มิลลิกรัม) ซึ่งใช้ไตเตรตสำหรับน้ำตัวอย่าง

M = ความเข้มข้นของไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต

การหาปริมาณลิกนิน

ปิเปตน้ำที่ต้องการหาปริมาณลิกนิน 1 มิลลิลิตร เจือจางให้เป็น 250 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดบอริก นำไปวัดด้วยเครื่อง UV spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงของน้ำตัวอย่างที่ลบด้วยค่าการดูดกลืนแสงของแบลงค์ไปหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

การวัดสีของน้ำ

วัดสีของน้ำโดยวิธี APHA Platinum Cobalt Standard Method ใช้เครื่อง Portable Datalogging Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 455 นาโนเมตร

การหาน้ำหนักโมเลกุลของลิกนิน

หาน้ำหนักโมเลกุลโดยใช้เครื่อง Gel permeation chromatography (GPC)

การหามวลโมเลกุลของลิกนิน

หามวลโมเลกุลโดยใช้เครื่อง Gel permeation Chromatography (GPC) โดยมีสภาวะในการวิเคราะห์เป็นดังนี้

Effluent : Tetrahydrofuran, Flow rate: 1.0 ml/min

Injection volume : 100 μ l, Temperature : 40 $^{\circ}$ C

Column set : PL gel 5 μ m 100 $^{\circ}$ A 2 Column (MW resolving range = 100-4,000)

Polymer standard : Polystyrene

Calibration method : Polystyrene standard calibration (MW 580-1,300)

การวิเคราะห์โครงสร้างของตะกอน

วิเคราะห์โครงสร้างของลิกนินที่แยกได้โดยใช้เทคนิค Nuclear Magnetic Resonance (NMR) และวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Infrared Spectroscopy (IR).

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์การวิจัย

4.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำดำที่เตรียมจากการต้มไม้ยูคาลิปตัสในห้องปฏิบัติการ

ในกระบวนการต้มเยื่อกระดาษปัจจัยที่มีผลต่อเยื่อกระดาษและน้ำดำที่ออกจากกระบวนการ คือ 1.ชนิดของไม้ 2.สภาวะของไม้ ได้แก่ ความชื้น, ขนาดของไม้ 3.น้ำยาที่ใช้ในการต้ม ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำยาตอนเริ่มต้น, อัตราส่วนของไม้ต่อน้ำยา, Percent sulfidity 4.เวลาที่ใช้ในการต้ม 5.วิธีการให้ความร้อน

ดังนั้นในการเตรียมน้ำดำจึงต้องควบคุมปัจจัยเหล่านี้ให้มีความใกล้เคียงกันในแต่ละครั้ง ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ไม้ยูคาลิปตัสนำมาสับเป็นแผ่นและนำไปเข้าเครื่องสับให้มีขนาดเล็ก และก่อนนำมาต้มในแต่ละครั้งทำการหาความชื้น โดยนำไม้ยูคาลิปตัสที่ถูกล้างให้มีขนาดเล็ก ไปอบที่อุณหภูมิ 104 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน dessicator จนน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักที่หายไป และคำนวณความชื้นของไม้จากสมการที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์ความชื้นในไม้แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความชื้นในไม้ยูคาลิปตัส

ครั้งที่	ความชื้น
1	10.17
2	9.92
3	9.92
4	9.93
5	9.93

จากผลการวิเคราะห์ความชื้นในไม้ยูคาลิปตัสแต่ละครั้งก่อนนำไปต้ม พบว่ามีความชื้นใกล้เคียงกัน

การต้มไม้ยูคาลิปตัสในห้องปฏิบัติการได้จัดสภาวะให้ใกล้เคียงกับการต้มไม้ในโรงงานซึ่งเป็นการต้มแบบคราฟท์ โดยให้ white liquor มี 30% Sulfidity และใช้อัตราส่วนการต้มไม้ยูคาลิปตัส 1: 10 ทำโดยนำไม้ยูคาลิปตัส 100 กรัม เติม white liquor 1000 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร และใช้กระจกนาฬิกาปิดด้านบนของบีกเกอร์ ต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสโดยใช้เวลาประมาณ 30 นาที อุณหภูมิจึงขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียสแล้วจึงต้มต่ออีก 3 ชั่วโมง ต่อจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นและกรองน้ำดำผ่าน

ต่อจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นและกรองน้ำดำผ่านผ้าขาวบางเพื่อกรองเศษไม้ ออก ตวงปริมาตรน้ำดำที่ได้จากการต้ม หลังจากนั้น นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ปริมาณลิกนิน COD และสี จากการทดลองต้มทั้งหมด 5 ครั้ง ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำดำที่เตรียมจากการต้มไม้ยูคาลิปตัสในห้องปฏิบัติการ

ครั้งที่	ปริมาตรน้ำดำ (มิลลิลิตร)	pH	ปริมาณลิกนิน (กรัม/ลิตร)	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	สี (หน่วย PtCo)
1	620	13.56	11.98	55,830	99,000
2	630	13.56	13.94	51,242	99,060
3	590	13.58	9.96	46,233	97,220
4	630	13.56	9.84	41,619	96,010
5	600	13.58	12.29	46,368	98,810
เฉลี่ย	614	13.57	11.60	48,258	98,020
SD	18.17	0.01	1.72	5,431	1,355

จากผลการวิเคราะห์ ได้ปริมาตรน้ำดำเฉลี่ย 614 มิลลิลิตร เนื่องจากมีการระเหยของน้ำและบางส่วนถูกดูดซับไว้ในไม้ มีค่า pH 13.57, ปริมาณลิกนิน 11.60 กรัมต่อลิตร ค่า COD 48,258 มิลลิกรัมต่อลิตร และสี 98,020 หน่วยPtCo

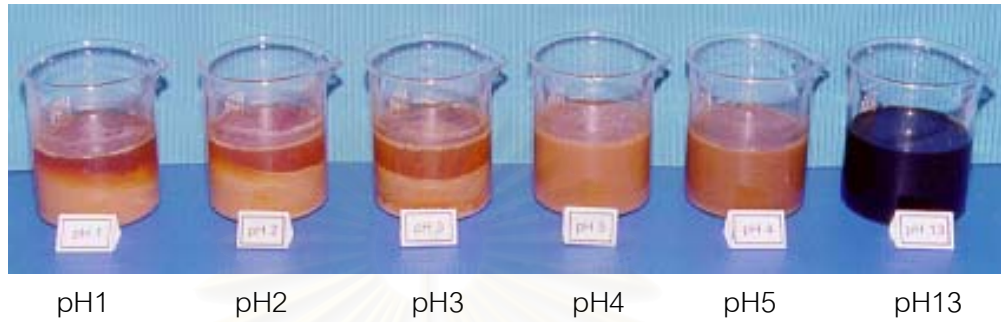
4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนลิกนินจากน้ำดำที่เตรียมจากการต้มไม้ยูคาลิปตัสในห้องปฏิบัติการ

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตกตะกอนลิกนินพบว่า มีหลายวิธีที่สามารถใช้ในการตกตะกอนลิกนินออกจากน้ำดำ เช่น ตกตะกอนด้วย Polydiallyldimethyl ammonium chloride (Lappan และ Pelton, 1997) , สารละลายแอลกอฮอล์-เกลือแคลเซียม (Villar, 1996) และจากคุณสมบัติที่ละลายได้ไม่ดีในกรดของลิกนินจึงมีการปรับสภาวะน้ำดำให้อยู่ในช่วงความเป็นกรดโดยใช้ CO₂, กรดซัลฟิวริกและ กรดไฮโดรคลอริก ซึ่งในแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน เช่น การตกตะกอนลิกนินด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีข้อเสีย คือทำให้เกิด ไอออนลบที่ไม่ต้องการในกระบวนการ ส่วน CO₂ สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ pH 8-9 และตะกอนที่เกิดขึ้นมักอยู่ในรูปของคอลลอยด์ซึ่งทำให้ยากในการกรองออก ส่วนการตกตะกอนโดยใช้เกลือแคลเซียมถึงแม้ว่าจะมีราคาถูกแต่ตะกอนอยู่ในรูปคอลลอยด์ซึ่งทำให้ยากในการกรองออกเช่นเดียวกับการ

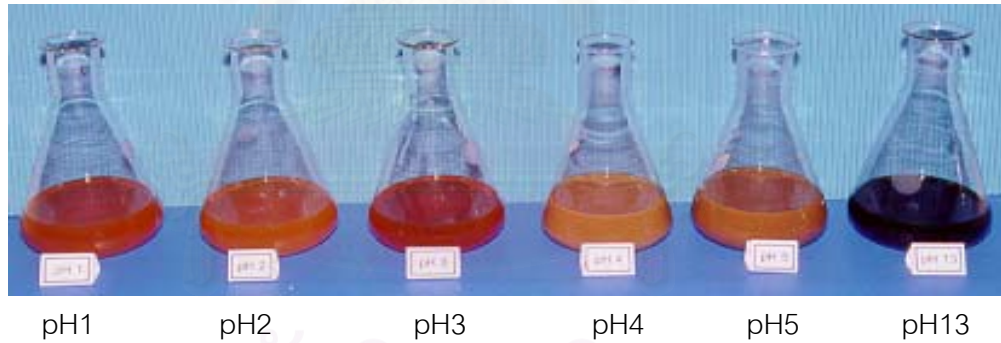
ใช้ CO₂ นอกจากนั้นยังมีแคลเซียมปนออกมากับตะกอนลิกนิน (Gillarranz, Rodriguez และ Oliet, 1998) ในการวิจัยครั้งนี้ตกตะกอนลิกนินโดยใช้กรดซัลฟิวริกเนื่องจากเป็นสารเคมีที่มีราคาถูกและหาได้ง่ายทั้งมีความเหมาะสมกับระบบการนำสารเคมีที่ใช้ในการทำเยื่อกระดาษกลับคืน (Gillarranz, Rodriguez และ Oliet, 1998) นอกจากนี้ตะกอนของลิกนินสามารถแยกออกจากน้ำดำได้ง่าย โดยแบ่งการตกตะกอนออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการตกตะกอนที่ pH 6 เพื่อแยกสารที่เกิดจากการสลายตัวของโพลีแซคคาไรด์ออกก่อนเพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนกับตะกอนของลิกนินที่แยกออกในขั้นต่อไป ต่อจากนั้นทดลองตกตะกอนลิกนินในช่วง pH1–pH5 ในการศึกษา pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนลิกนิน จะศึกษาจากปริมาณลิกนินที่ตกตะกอนได้ และคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำหลังจากตกตะกอนลิกนินได้แก่ค่า COD และสีของน้ำ

น้ำดำจากการต้มแต่ละครั้งนำมาปรับ pH เป็น 6 ด้วยกรดซัลฟิวริก จากการทดลองพบว่าเมื่อค่า pH เป็น 6 จะสังเกตเห็นน้ำเป็นสีน้ำตาลเนื่องจากเกิดตะกอนแขวนลอยอยู่ในน้ำซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sun, Tomkinson และ Bolton (1999) จากนั้นทิ้งไว้ให้ตกตะกอน จากการทดลองพบว่า ไม่สามารถกรองตะกอนออกได้ด้วยกระดาษกรองเนื่องจากตะกอนมีขนาดเล็กมาก แต่สามารถแยกออกได้โดยการเซนตริฟิวส์

หลังจากปรับ pH น้ำดำให้มีค่าเป็น 6 และกรองตะกอนออก นำมาแบ่งใส่บีกเกอร์ บีกเกอร์ละ 100 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้เป็น 5, 4, 3, 2 และ 1 ด้วยกรดซัลฟิวริกทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 24 ชั่วโมง พบว่าที่ pH 4 และ pH 5 มีตะกอนแขวนลอยอยู่ในน้ำซึ่งตะกอนมีขนาดเล็กมากไม่สามารถแยกออกด้วยการกรองโดยใช้กระดาษกรองแต่สามารถแยกออกได้โดยการเซนตริฟิวส์ น้ำที่ออกมาหลังจากการแยกตะกอนมีลักษณะขุ่น สีน้ำตาล เนื่องจากอาจมีตะกอนขนาดเล็กซึ่งไม่สามารถแยกออกปนอยู่ด้วย ส่วนที่ pH1, pH2 และ pH3 นั้นตะกอนจมตัวลงบริเวณด้านล่างของบีกเกอร์ และสามารถกรองตะกอนออกด้วยกระดาษกรอง น้ำที่ผ่านการกรองมีลักษณะ สีน้ำตาลใส ลักษณะการตกตะกอนที่ pH1, 2, 3, 4, 5 และน้ำหลังจากแยกตะกอนออกมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 น้ำดำที่ pH1, 2, 3, 4 และ 5 ก่อนแยกตะกอนลิกนิน



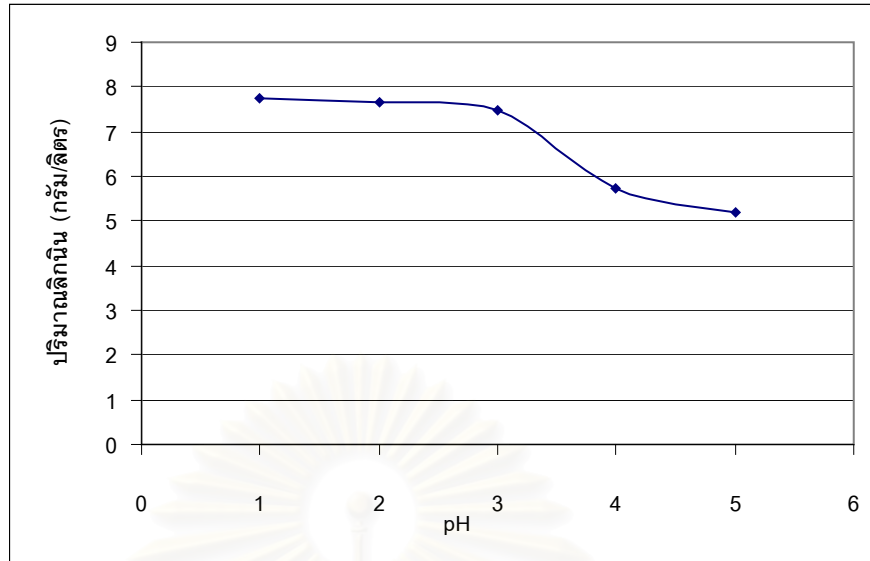
รูปที่ 4.2 น้ำดำที่ pH1, 2, 3, 4 และ 5 หลังจากแยกตะกอนลิกนิน

4.2.1 ปริมาณลิกนิน

วิเคราะห์ปริมาณลิกนินที่แยกได้ออกมาจากน้ำดำโดยคิดจากปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในน้ำดำ เทียบกับปริมาณลิกนินในน้ำดำก่อนทำการตกตะกอน โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินในน้ำดำด้วย เครื่อง UV Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร โดยให้ค่า absorbance อยู่ในช่วง 0 – 1 และนำไปเทียบหาปริมาณลิกนินจาก Calibration Curve ดังแสดงในภาคผนวก จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณลิกนินที่แยกได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ลดลง คือ จาก 5.19 กรัมต่อลิตร ที่ pH 5 มาเป็น 5.72 ที่ pH 4 และเป็น 7.50, 7.67, 7.73 กรัมต่อลิตร ที่ pH 3, 2 และ 1 ตามลำดับ ดังแสดงข้อมูลไว้ในตารางที่ 4.3 และในรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่าง pH ที่ใช้ในการตกตะกอนและปริมาณลิกนินที่แยกได้จากผลการวิเคราะห์พบว่าที่ pH 3 ถึง pH 1 ปริมาณลิกนินที่แยกได้มีปริมาณใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.3 ปริมาณลิกนินที่แยกได้จากน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ

pH	ปริมาณลิกนิน (กรัม/ลิตร)	SD (n=5)	คิดเป็น %
1	7.73	1.1	66.64
2	7.67	1.0	66.14
3	7.50	1.0	64.67
4	5.72	0.57	49.28
5	5.19	0.47	44.72



รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณลิกนินที่แยกได้จากน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ

4.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำหลังแยกตะกอนลิกนินออก

น้ำดำหลังจากปรับ pH เป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 และแยกตะกอนลิกนินออก นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ค่า COD และ สีของน้ำ ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการหลังแยกตะกอนลิกนิน

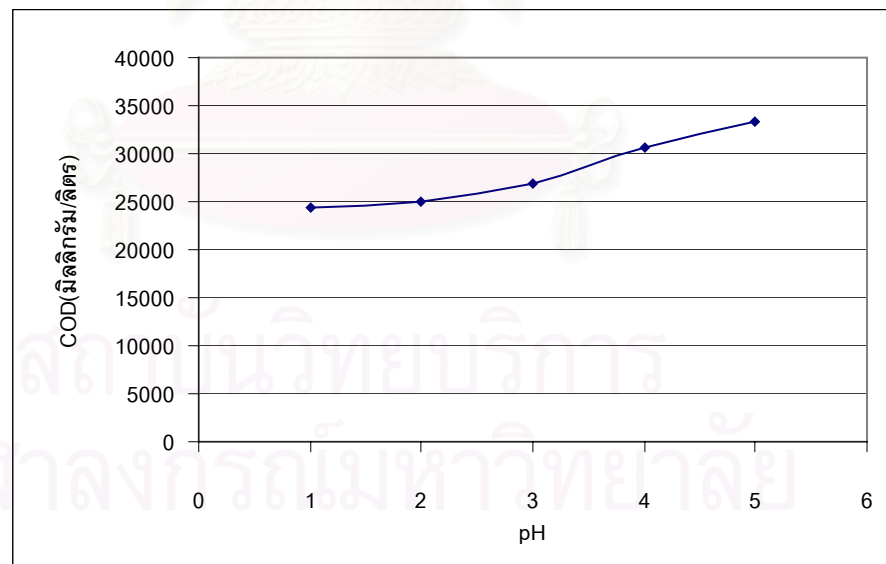
pH	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	SD (n=5)	COD ลดลง %	สี (หน่วย PtCo)	SD (n=5)	สีลดลง %
1	24,470	2,850	49.29	6,636	151	93.23
2	24,952	3,089	48.30	6,706	228	93.10
3	25,934	2,937	46.26	6,790	229	93.02
4	30,586	2,290	36.62	10,572	2,173	89.21
5	33,399	2,606	30.79	11,266	2,413	89.03

4.2.2.1 ค่า COD

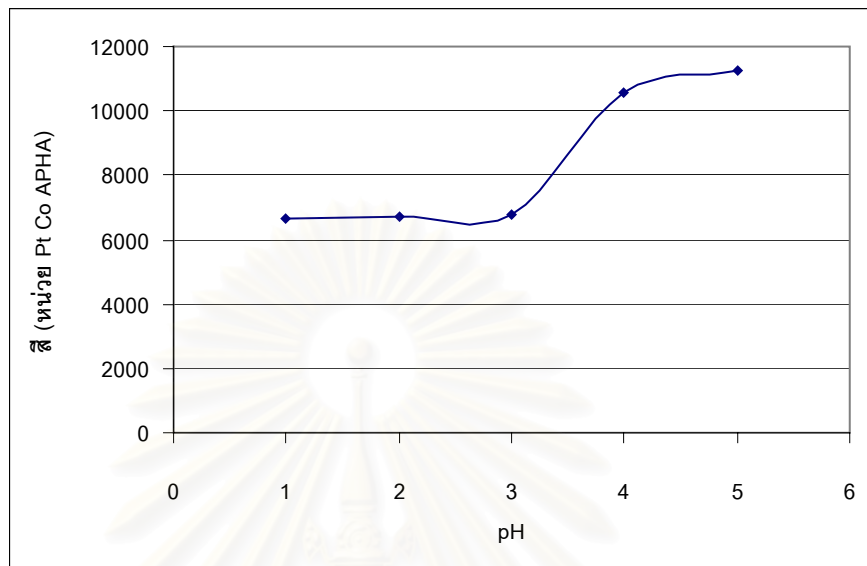
การวิเคราะห์ COD เป็นการบอกถึงปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ เนื่องจากลิกนินเป็นสารอินทรีย์ การที่ปริมาณลิกนินในน้ำลดลงจึงมีความสัมพันธ์กับค่า COD (Gilarranz, Rodriguez และ Oliet, 1998) คือ ค่า COD ลดลงด้วย จึงได้ทำการวิเคราะห์ค่า COD ของน้ำดำหลังจากปรับ pH เป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 และแยกตะกอนลิกนินออก โดยวิธี Dicromate Reflux Method โดยผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และความสัมพันธ์ระหว่าง pH ที่ใช้ในการตกตะกอนกับค่า COD แสดงในรูปที่ 4.4 จากการวิเคราะห์พบว่าค่า COD มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า pH ลดลง เช่นเดียวกับปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในน้ำดำซึ่งลดลงเมื่อค่า pH ลดลง

4.2.2.2 สีของน้ำ

จากผลการวิเคราะห์สีของน้ำดำหลังแยกตะกอนลิกนินที่ pH ต่างๆ ด้วยเครื่อง Portable Datalogging Spectrophotometer โดยวิธี APHA Platinum Cobalt Standard ซึ่งเป็นการเทียบสีของน้ำกับสีมาตรฐาน ที่ความยาวคลื่น 455 นาโนเมตร พบว่าสีของน้ำดำหลังแยกตะกอนลิกนินออกมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า pH ที่ใช้ในการตกตะกอนมีค่าลดลงแต่ค่าที่ลดลงไม่แตกต่างกันมาก และมีค่าใกล้เคียงกันที่ pH1, pH2 และ pH3 คือ 93.23%, 93.10% และ 93.02% โดยรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH ที่ใช้ในการตกตะกอนและค่าสีของน้ำ



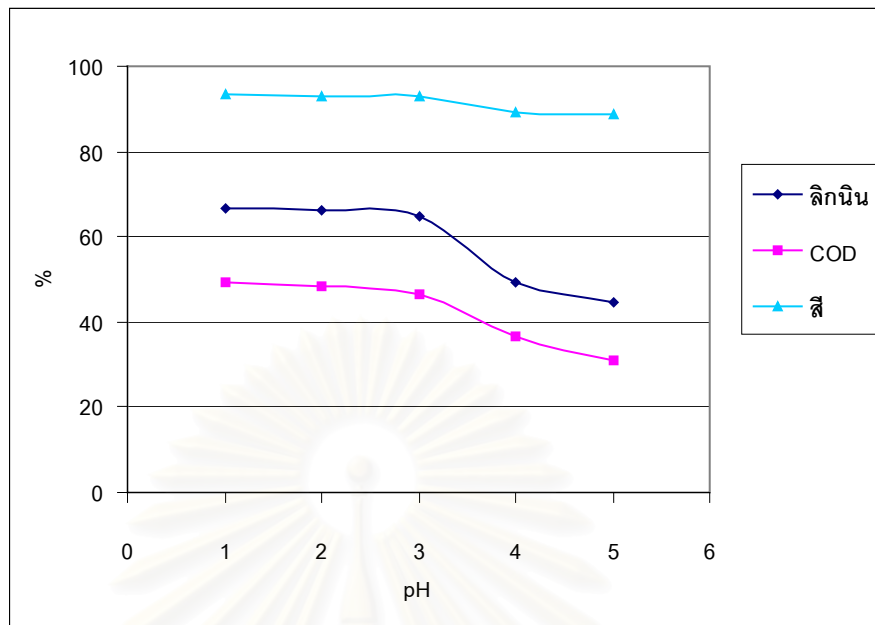
รูปที่ 4.4 แสดงค่า COD ของน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการหลังแยกตะกอนลิกนิน



รูปที่ 4.5 แสดงสีของน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการหลังแยกตะกอนลิกนิน

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบปริมาณลิกนินที่แยกได้กับการลดลงของค่า COD และสีของน้ำหลังแยกตะกอนลิกนิน

pH	ปริมาณลิกนินที่แยกได้(%)	CODลดลง (%)	สีลดลง (%)
1	66.64	49.29	93.23
2	66.12	48.30	93.10
3	64.66	46.26	93.02
4	50.00	36.62	89.68
5	44.47	30.79	89.03



รูปที่ 4.6 ปริมาณลิกนิน, COD และสี ของน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการหลังแยกตะกอนลิกนิน

จากรูปที่ 4.6 ปริมาณลิกนินที่แยกได้มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นจาก pH 5 มาเป็น pH 3 คือ จาก 44.7% มาเป็น 64.66% แต่จากที่ pH 3 มาเป็น pH 1 ปริมาณลิกนินที่แยกได้มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 64.66%, 66.12% และ 66.64% ในขณะที่ COD มีแนวโน้มลดลงเพิ่มขึ้นจาก pH 5 มาเป็น pH 3 เช่นเดียวกัน คือ จาก 30.79% มาเป็น 46.26% ส่วนที่ pH 1, pH 2 และ pH 3 ค่า COD ลดลงใกล้เคียงกัน คือ 46.26%, 48.30% และ 49.29% นอกจากนี้ การวิเคราะห์สีก็ให้แนวโน้มการลดลงของสีในน้ำหลังแยกตะกอนลิกนินออกเหมือนกับ ปริมาณลิกนินและค่า COD คือ มีค่าใกล้เคียงกันที่ pH 1, pH 2 และ pH 3 เนื่องจากลิกนินเป็นสารอินทรีย์ และเป็นสารที่ทำให้สีดำ ดังนั้นเมื่อแยกลิกนินออกจากน้ำดำ ค่า COD และ สีของน้ำจึงลดลง เมื่อแยก ลิกนินออกจากน้ำได้มากขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gilarranz, Rodriguez และ Oilet ซึ่งตกตะกอนลิกนินออกจากน้ำดำจากฟางข้าวด้วยกรดซัลฟิวริก คือ ที่ pH 3.5 สามารถแยก ตะกอนลิกนินออกได้ 80% และ ค่า COD และ สีลดลง 71% และ 82% ตามลำดับ ดังนั้นจากผลการ ทดลองจึงสรุปได้ว่าที่ pH 3 มีความเหมาะสมต่อการตกตะกอนของลิกนินจากน้ำดำที่เตรียมได้จากการต้ม ไม้ยูคาลิปตัสในห้องปฏิบัติการ

4.3 ลักษณะทางกายภาพของน้ำดำจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ

น้ำดำจากบริษัทแอดวานซ์อะโกร จำกัดมหาชนซึ่งเป็นโรงงานผลิตเยื่อกระดาษจากยูคาลิปตัส โดยกระบวนการแบบคราฟท์ โดยน้ำดำมาจากโรงเยื่อที่ 1 (Mill_1) โรงเยื่อที่ 2 (Mill_2) และ น้ำดำจากโรงเยื่อที่ 1 ที่ผ่านการระเหยน้ำออกประมาณ 30% (Mill1_Evap) ซึ่งการต้มเยื่อของโรงเยื่อที่ 1 เป็นแบบ Superbatch คือเป็นการต้มโดยใช้หม้อต้มเยื่อแบบเดี่ยวจำนวน 5 ใบมาจัดลำดับการต้ม ส่วนโรงเยื่อที่ 2 การต้มเป็นแบบ Continuous การต้มเยื่อแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 3 – 4 ชั่วโมง ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศและอุณหภูมิประมาณ 130-170 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับค่า Kappa Number (เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเส้นใย) ของเยื่อกระดาษที่ต้องการ ผลการวิเคราะห์ปริมาณลิกนิน ค่า COD และ สี แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำดำจากโรงงาน

โรงเยื่อ	PH	ปริมาณลิกนิน (กรัม/ลิตร)	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	สี (หน่วย PtCo)
Mill_1	13.06	91.86	185,013	359,111
Mill_2	13.48	108.30	191,947	418,888
Mill1_Evap	13.43	201.42	292,505	721,555

จากการวิเคราะห์น้ำดำที่ได้จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษพบว่าค่า pH ใกล้เคียงกันในแต่ละแหล่งและใกล้เคียงกับน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ แต่น้ำดำจากโรงงานทั้งจากโรงเยื่อที่ 1 โรงเยื่อที่ 2 และโรงเยื่อที่ 1 ซึ่งผ่านการระเหยน้ำออก 30% มีปริมาณลิกนิน ค่า COD และ สีมากกว่าน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ ที่เป็นดังนี้เนื่องมาจากในขั้นตอนการต้มไม้ของโรงงานมีประสิทธิภาพในการกำจัดลิกนินออกจากไม้ได้ดีกว่าเพราะสามารถควบคุมอุณหภูมิและความดันของการต้มไม้ได้ ดังนั้นจึงมีปริมาณลิกนินในน้ำดำมากกว่าน้ำดำที่ได้จากการต้มไม้ยูคาลิปตัสในห้องปฏิบัติการ ส่วนน้ำดำจากโรงเยื่อที่ 1 ซึ่งผ่านการระเหยน้ำออก 30% มีปริมาณลิกนิน ค่า COD และสีสูงกว่าเนื่องจากการระเหยน้ำออกไปบางส่วนทำให้น้ำดำมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น

4.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนลิกนินจากน้ำดำที่ได้จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ

การศึกษา pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนลิกนินของน้ำดำจากโรงงานมีขั้นตอนเหมือนการศึกษา น้ำดำที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการ น้ำดำเมื่อปรับ pH เป็น 6 และแยกตะกอนลิกนินออกแล้วนำมาปรับให้ pH เป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 จากการทดลองพบว่าระหว่างการปรับค่า pH ในช่วง pH1 ถึง pH 5 เมื่อหยดกรดซัลฟิวริกลงไปจะเกิดฟองก๊าซจำนวนมากและมีกลิ่นเหม็นโดยที่ค่า pH ยิ่งต่ำจะยิ่งเกิดฟองก๊าซจำนวนมาก โดยฟองก๊าซและกลิ่นที่เกิดขึ้นเป็นของสารละลายไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อยู่ในน้ำดำที่เปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อค่า pH ลดต่ำลง (Casey, 1980) ในขณะที่การปรับค่า pH ในช่วง pH1 ถึง pH5 ของน้ำดำที่ต้มเองในห้องปฏิบัติการเกิดฟองก๊าซเพียงเล็กน้อย ที่เป็นดังนี้เนื่องจากการต้มไม้ในห้องปฏิบัติการปฏิกิริยาของสารเคมีอาจเกิดไม่สมบูรณ์ทำให้มีสารละลายไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำดำจากการเตรียมในห้องปฏิบัติการน้อยกว่าน้ำดำจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษจึงเกิดฟองก๊าซและกลิ่นเหม็นน้อยกว่า

นอกจากการเกิดฟองก๊าซและกลิ่นเหม็นมากกว่าการตกตะกอนน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการแล้ว ลักษณะการตกตะกอนของลิกนินในน้ำดำจากโรงงานคล้ายกับการตกตะกอนของลิกนินในน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ คือ ที่ pH1, pH2 และ pH 3 เมื่อปรับ pH แล้วตั้งทิ้งไว้ตะกอนจะรวมตัวกันและจมลงบริเวณด้านล่างของบีกเกอร์ เมื่อกรองตะกอนออกโดยใช้กระดาษกรอง น้ำจะมีสีน้ำตาลอ่อน ส่วนที่ pH 4 และ pH 5 ของการตกตะกอนน้ำดำจากโรงงานพบว่าเกิดตะกอนเห็นชัดเจนกว่าที่ pH 4 และ pH 5 ของการตกตะกอนน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการและสามารถกรองตะกอนได้โดยการใช้กระดาษกรองแต่น้ำหลังการกรองมีสีน้ำตาลเข้มกว่าที่ pH1, pH2 และ pH 3 โดยลักษณะการตกตะกอนดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



pH5

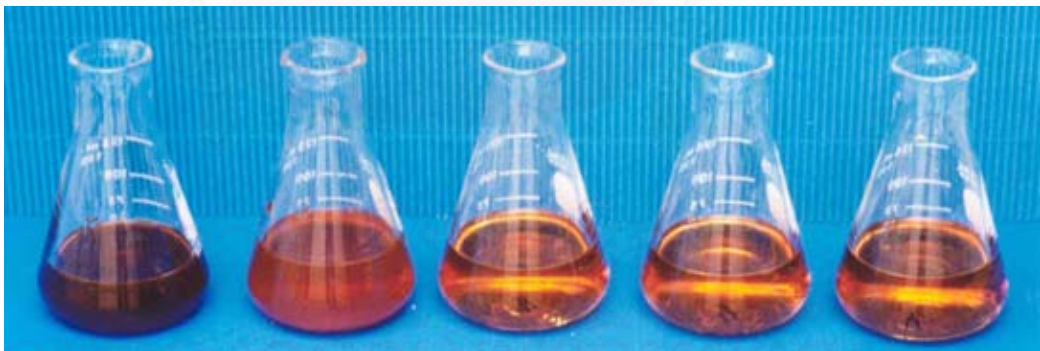
pH4

pH3

pH2

pH1

รูปที่ 4.7 น้ำดำจากโรงเยื่อที่ 1 ที่ pH5, 4, 3, 2 และ 1 ก่อนแยกตะกอนลิกนิน



pH5

pH4

pH3

pH2

pH1

รูปที่ 4.8 น้ำดำจากโรงเยื่อที่ 1 ที่ pH5, 4, 3, 2 และ 1 หลังแยกตะกอนลิกนิน

น้ำดำจากโรงเยื่อที่ 1 โรงเยื่อที่ 2 และโรงเยื่อที่ 1 ซึ่งระเหยน้ำออก 30% หลังจากแยกตะกอนของลิกนินออก นำน้ำมาวิเคราะห์ที่ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.7, 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.7 ปริมาณลิกนินที่แยกได้และคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำดำจาก Mill_1 หลังแยกตะกอนลิกนิน

pH	ปริมาณลิกนิน (กรัม/ลิตร)	SD (n=3)	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	SD (n=3)	สี (หน่วย PtCo)	SD (n=3)
1	82.27	1.36	56197	825	10908	162
2	82.18	1.53	59539	166	10988	153
3	80.45	0.98	62156	656	12744	91
4	77.18	0.51	66883	934	37888	209
5	67.80	1.94	84653	1875	97661	211

ตารางที่ 4.8 ปริมาณลิกนินที่แยกได้และคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำดำจาก Mill_2 หลังแยกตะกอนลิกนิน

pH	ปริมาณลิกนิน (กรัม/ลิตร)	SD (n=3)	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	SD (n=3)	สี (หน่วย PtCo)	SD (n=3)
1	101.79	0.39	36767	350	7028	174
2	101.84	0.28	35548	1196	6944	48
3	101.27	0.43	36972	641	7306	193
4	97.23	2.35	58321	1755	38944	172
5	79.11	3.28	92663	2515	123000	314

ตารางที่ 4.9 ปริมาณลิกนินที่แยกได้และคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำดำจาก Mill1_Evap หลังแยกตะกอนลิกนิน

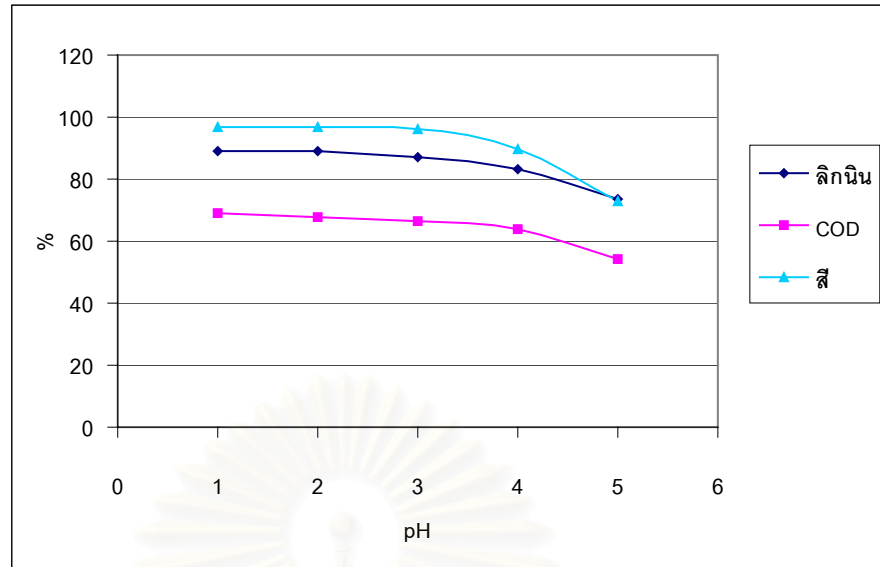
pH	ปริมาณลิกนิน (กรัม/ลิตร)	SD (n=3)	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	SD (n=3)	สี (หน่วย PtCo)	SD (n=3)
1	190.48	0.10	96308	548	9472	394
2	190.06	0.37	98935	834	11778	347
3	189.81	0.16	102044	728	12750	220
4	186.05	1.65	120927	157	44109	1694
5	176.42	1.58	139087	432	100168	144

โรงเยื่อที่ 1

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินที่ได้ ค่า COD และสี ที่ลดลงหลังจากการตกตะกอนลิกนินที่ pH ต่างๆ พบว่าสามารถแยกลิกนินออกได้มากขึ้นเมื่อ pH มีค่าลดลง แต่ลิกนินที่แยกได้มีค่าใกล้เคียงกันที่ pH เป็น 1, 2 และ 3 ส่วนค่า COD และสีมีแนวโน้มการลดลงเพิ่มขึ้น เมื่อค่า pH มีแนวโน้มลดลง คือ ค่า COD ลดลง 69.67 % และ สีลดลง 96.96 % ที่ pH เป็น 1 จากรูปที่ 4.9 แสดงแนวโน้มการลดลง พบว่าเมื่อลดค่า pH จาก 3 เป็น 1 ปริมาณลิกนินที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่การลดลงของ COD และสี มีค่าใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกัน ดังนั้นที่ pH 3 จึงมีความเหมาะสมในการตกตะกอนลิกนินน้ำดำที่ได้จากโรงเยื่อที่ 1

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณลิกนินที่แยกได้กับการลดลงของค่า COD และสีของ น้ำหลังแยกตะกอนลิกนินของน้ำดำจากโรงเยื่อที่ 1

pH	ปริมาณลิกนินที่ แยกได้(%)	CODลดลง (%)	สีลดลง (%)
1	88.97	69.27	96.96
2	88.89	67.70	96.94
3	87.01	66.14	96.45
4	83.46	63.98	89.45
5	73.33	54.17	72.80



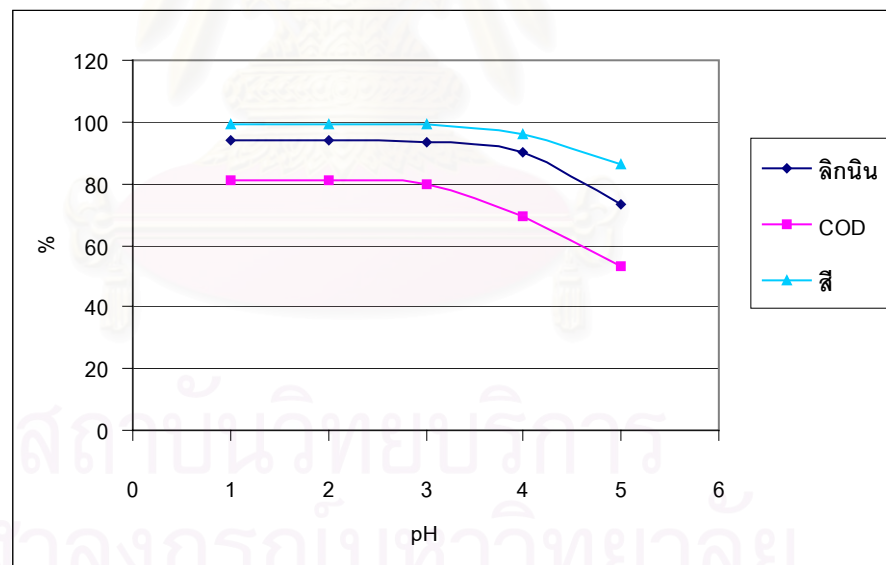
รูปที่ 4.9 ปริมาณลิกนิน COD และสีของน้ำดำจาก Mill_1 หลังแยกตะกอนลิกนิน

โรงเยื่อที่ 2

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินที่ได้ ค่า COD และสี ที่ลดลงหลังจากการตกตะกอนลิกนินที่ pH ต่างๆ พบว่าสามารถแยกลิกนินออกได้มากขึ้นเมื่อ pH มีค่าลดลง แต่ลิกนินที่แยกได้มีค่าใกล้เคียงกันที่ pH เป็น 1, 2 และ 3 ส่วนค่า COD และสีมีแนวโน้มการลดลงเพิ่มขึ้น เมื่อค่า pH มีแนวโน้มลดลง คือ ค่า COD ลดลง 80.57 % และ สีลดลง 81.2% ที่ pH เป็น 1 จากรูปที่ 4.10 แสดงแนวโน้มการลดลง พบว่าเมื่อลดค่า pH จาก 3 เป็น 1 ปริมาณลิกนินที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่การลดลงของ COD และสี มีค่าใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกัน ดังนั้นที่ pH 3 จึงมีความเหมาะสมในการตกตะกอนลิกนินน้ำดำที่ได้จากโรงเยื่อที่ 2

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณลิกนินที่แยกได้กับการลดลงของค่า COD และสีของน้ำ
หลังแยกตะกอนลิกนินของน้ำดำจากโรงเยื่อที่2

pH	ปริมาณลิกนินที่ แยกได้(%)	CODลดลง (%)	สีลดลง (%)
1	94.06	80.85	99.09
2	94.09	80.94	99.11
3	93.57	79.60	99.03
4	89.84	69.40	96.12
5	73.42	53.43	86.03



รูปที่ 4.10 ปริมาณลิกนิน COD และสีของน้ำดำจาก Mill_2 หลังแยกตะกอนลิกนิน

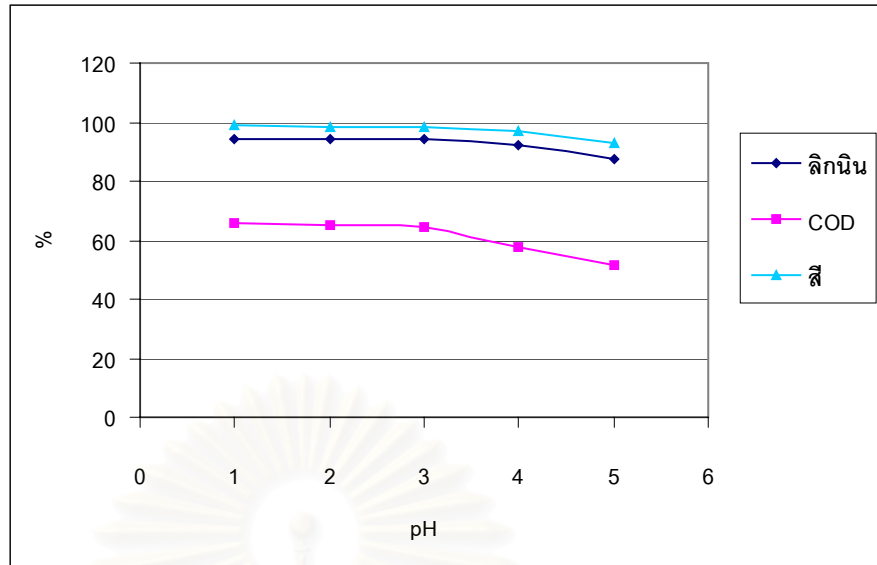
โรงเยื่อที่ 1 ซึ่งผ่านการระเหยน้ำออก 30%

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินที่ได้ ค่า COD และสี ที่ลดลงหลังจากการตกตะกอนลิกนินที่ pH ต่างๆ พบว่าสามารถแยกลิกนินออกได้มากขึ้นเมื่อ pH มีค่าลดลง แต่ลิกนินที่แยกได้มีค่าใกล้เคียงกันที่ pH เป็น 1, 2 และ 3 ส่วนค่า COD และสีมีแนวโน้มการลดลงเพิ่มขึ้น เมื่อค่า pH มีแนวโน้มลดลง คือ ค่า COD ลดลง 67.08 % และ สีลดลง 98.69 % ที่ pH เป็น 1 จากรูปที่ 4.11 แสดงแนวโน้มการลดลง พบว่าเมื่อลดค่า pH จาก 3 เป็น 1 ปริมาณลิกนินที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่การลดลงของ COD และสี มีค่าใกล้เคียงกันเช่นเดียวกัน ดังนั้นที่ pH 3 จึงมีความเหมาะสมในการตกตะกอนลิกนินน้ำดำที่ได้จากโรงเยื่อที่ 1 ซึ่งผ่านการระเหยน้ำออก 30 % เช่นเดียวกับโรงเยื่อที่ 1 และโรงเยื่อที่ 2

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบปริมาณลิกนินที่แยกได้กับการลดลงของค่า COD และสีของน้ำ หลังแยกตะกอนลิกนินของน้ำดำจากโรงเยื่อที่ 1 ซึ่งระเหยน้ำออก 30%

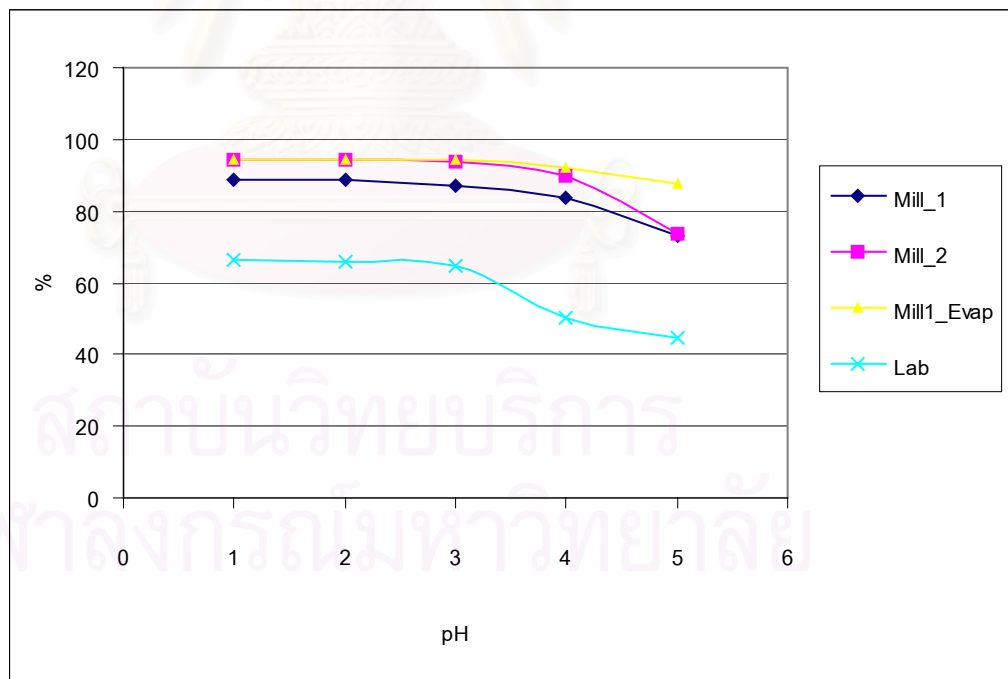
pH	ปริมาณลิกนินที่แยกได้(%)	CODลดลง (%)	สีลดลง (%)
1	94.57	66.03	98.69
2	94.40	65.28	98.36
3	94.24	64.26	98.23
4	92.37	57.82	93.06
5	87.58	51.70	86.69

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

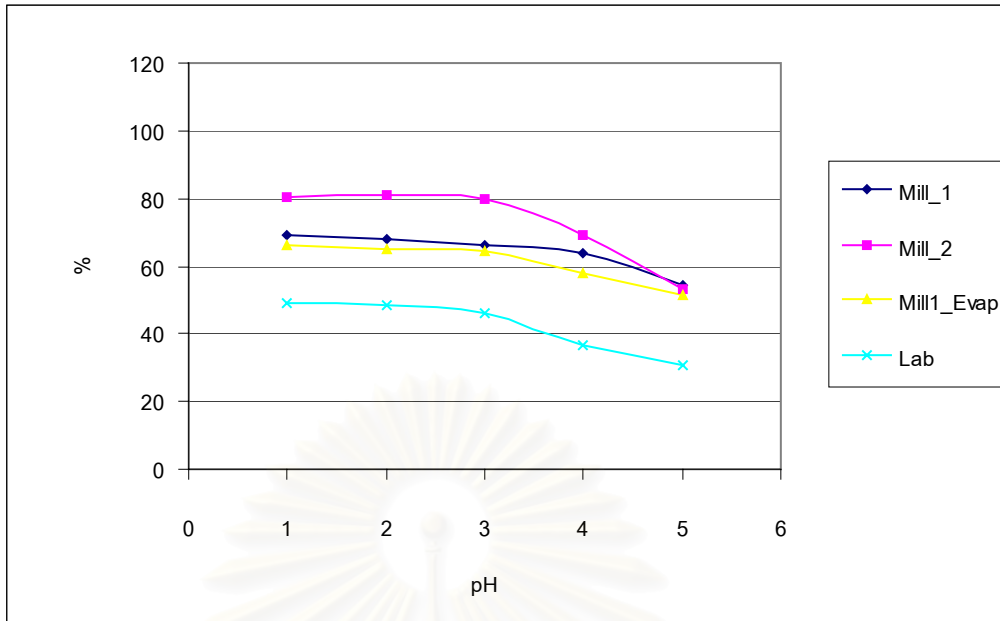


รูปที่ 4.11 ปริมาณลิกนิน COD และสีของน้ำดำจากMill1_Evap หลังแยกตะกอนลิกนิน

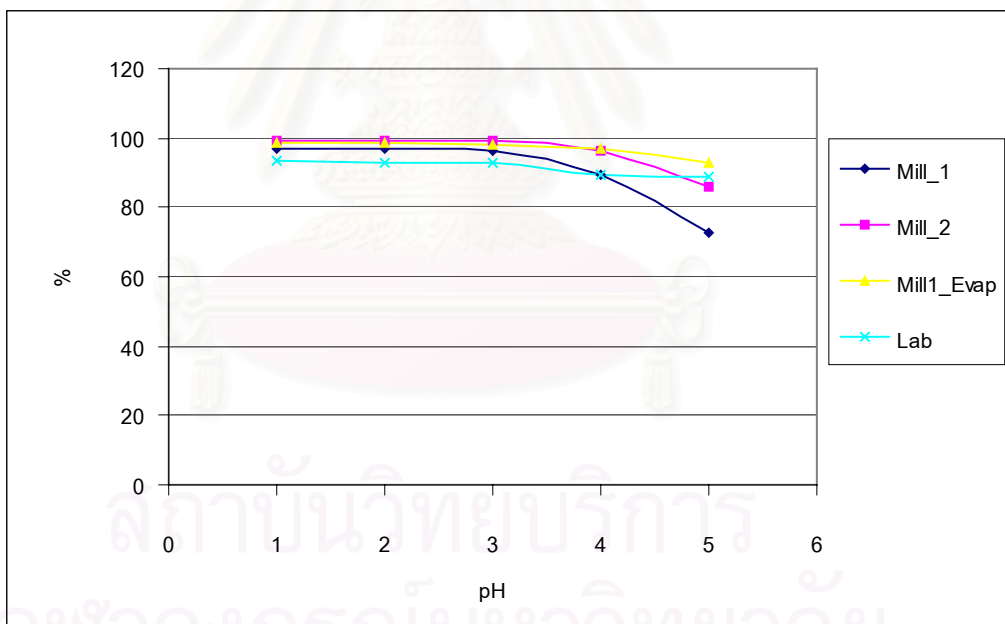
รูปที่ 4.12 ,4.13 และ 4.14 แสดงแนวโน้มการลดลงของปริมาณลิกนิน ค่า COD และ สีในน้ำหลังการแยกตะกอนลิกนินออกที่ pH1, pH2, pH3, pH4 และ pH 5 โดยเปรียบเทียบกันในแต่ละแหล่งของน้ำดำ



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบการลดลงของปริมาณลิกนินในน้ำดำจากแต่ละแหล่งหลังแยกตะกอน



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบการลดลงของค่า COD ในน้ำดำจากแต่ละแหล่งหลังแยกตะกอน



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบการลดลงของสีในน้ำดำจากแต่ละแหล่งหลังแยกตะกอน

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณลิกนินมีแนวโน้มตกตะกอนมากขึ้นเมื่อค่า pH ลดลง ส่วนค่า COD และ สี มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า pH ลดลง หรือเมื่อแยกตะกอนลิกนินออกได้มากขึ้น โดยน้ำดำที่เตรียมได้จากการต้มไม้ยูคาลิปตัสในห้องปฏิบัติการ, น้ำดำจากโรงเยื่อที่ 1, โรงเยื่อที่ 2 และโรงเยื่อที่ 1 ซึ่งผ่านการระเหยน้ำออก 30% มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือเปอร์เซ็นต์การลดลงของ COD และสีเพิ่มขึ้น เมื่อค่า pH ลดลง และใกล้เคียงกันที่ pH1, pH2 และ pH 3 แต่เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า COD และสี ของน้ำดำที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการมีค่าน้อยกว่า การลดลงของน้ำดำจากโรงงาน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ที่สภาวะเริ่มต้นของน้ำดำมีความแตกต่างกันแต่แนวโน้มการตกตะกอนของลิกนินในน้ำดำเหมือนกัน และจากงานวิจัยที่ได้ศึกษามาแสดงว่าที่ pH ประมาณ 3 ค่อนข้างมีความเหมาะสมในการตกตะกอนลิกนิน แต่อาจขึ้นอยู่กับปริมาณลิกนินที่ต้องการและวัตถุประสงค์ในการนำลิกนินไปใช้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 ศึกษาลักษณะของตะกอนลิกนิน

4.5.1 วิเคราะห์มวลโมเลกุล

ตะกอนลิกนินที่อยู่ในน้ำดำหลังตกตะกอนที่ pH1, pH2, pH3, pH4 และ pH 5 นำมากรองจนแห้งโดยใช้เครื่องดูดสูญญากาศและเก็บไว้ใน Dessicator จนกว่าจะวิเคราะห์ ตะกอนที่แยกได้มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลไม่ละลายน้ำ ตะกอนลิกนินที่แยกได้จากน้ำดำที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการและน้ำดำที่ได้จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษนำมาวิเคราะห์ มวลโมเลกุลโดยวิธี Gel Permiation Chromatography ซึ่งสถานะที่ใช้ในการทดสอบเป็นดังนี้

Effluent : Tetrahydrofuran, Flow rate: 1.0 ml/min

Injection volume : 100 μ l, Temperature : 40°C

Column set : PL gel 5 μ m 100°A 2 Column (MW resolving range = 100-4,000)

Polymer standard : Polystyrene

Calibration method : Polystyrene standard calibration (MW 580-1,300)

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 น้ำหนักโมเลกุล, จำนวนโมเลกุล และ Polydispersity ของตะกอนลิกนินที่แยกได้จากน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ, โรงเยื่อที่ 1, โรงเยื่อที่ 2 และโรงเยื่อที่ 1 ซึ่งระเหยน้ำออก 30%

ลิกนิน	Mw	Mn	Mw/Mn
Lab	1447	1365	1.06
Mill_1	1437	1293	1.11
Mill_2	1540	1338	1.15
Mill1_Evap	1348	1120	1.20

Mw = Molecular by weigh

Mn = Molecular by number

จากผลการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของลิกนินพบว่าลิกนินที่ได้จากการตกตะกอนน้ำดำที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการ และจากโรงงานกระดาษทั้งจากโรงเยื่อที่ 1 โรงเยื่อที่ 2 และ โรงเยื่อที่ 1 ซึ่งผ่านการระเหยน้ำออก 30% มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1540 ถึง 1348 ดัลตันและมีค่า Polydispersity ใกล้เคียงกัน

จากงานวิจัยของ RunCang Sun และคณะในปี 1996 ซึ่งศึกษาลิกนินที่แยกได้จากฟางข้าวสาลีที่อุณหภูมิในขั้นตอนการต้มแตกต่างกัน และในปี 1997 ศึกษาลิกนินที่แยกได้จากฟางข้าวสาลีที่ความเข้มข้นของน้ำยาในการต้มแตกต่างกัน พบว่าที่อุณหภูมิและความเข้มข้นยิ่งเพิ่มขึ้นขนาดของลิกนินที่แยกได้จะมีขนาดเล็กลงเนื่องมาจากการแตกที่มากขึ้นของพันธะที่เชื่อมต่อกันโดยพบว่าน้ำหนักโมเลกุลมีค่าอยู่ระหว่าง 1211-1560 นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Xue-Jan Pan และ Yoshihiro Sano ในปี 1999 ซึ่งทำการศึกษาลิกนินที่แยกได้จากฟางข้าวโดยใช้ Acetic acid ที่เข้มข้น 80% และ 90% เป็นน้ำยาในการต้มจากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของน้ำยามีผลต่อขนาดของโมเลกุลของลิกนินโดยที่ความเข้มข้นมากกว่าลิกนินจะมีขนาดเล็กกว่า และจากงานวิจัยของ RunCangc และคณะในปี 1999 ได้ศึกษาลิกนินที่แยกได้จากน้ำดำที่ได้จากกระบวนการทำเยื่อกระดาษจากต้นปาล์ม โดยใช้กรดในการตกตะกอนลิกนินในการศึกษาพบว่า pH ที่ใช้ในการตกตะกอนไม่มีผลต่อขนาดของลิกนินที่แยกได้ คือลิกนินที่แยกได้มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกัน และมีรูปแบบการกระจายตัวเหมือนกัน จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ว่าขนาดของลิกนินที่แยกได้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบซึ่งก็คือชนิดของไม้และปัจจัยในการต้มเยื่อได้แก่ อุณหภูมิ,ความเข้มข้นของน้ำยาที่ใช้ในการต้มและกระบวนการที่ใช้ ดังนั้นน้ำหนักโมเลกุลของลิกนินที่ได้ในงานวิจัยครั้งนี้จึงมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากใช้วัตถุดิบชนิดเดียวกัน เป็นกระบวนการแบบกราฟท์เหมือนกันและมีปัจจัยในการต้มเยื่อซึ่งก็คือความเข้มข้นของน้ำยาและอุณหภูมิใกล้เคียงกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.2 วิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของลิกนิน

ตะกอนลิกนินที่แยกได้จากน้ำดำที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการและน้ำดำที่ได้จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษนำมาวิเคราะห์ หาค่าองค์ประกอบของธาตุในลิกนินได้แก่ คาร์บอน(C) ไฮโดรเจน(H) ออกซิเจน(O) ซัลเฟอร์(S) และไนโตรเจน(N) ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในลิกนินที่แยกได้

ลิกนิน	%C	%H	%O	%S	%N
Lab	43.493	4.496	51.567	0.203	0.000
Mill_1	55.150	6.528	38.019	0.211	0.092
Mill_2	55.477	6.392	37.821	0.232	0.078
Mill1_Evap	56.300	6.623	36.795	0.217	0.065

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในลิกนินที่ได้ในการตกตะกอนน้ำดำจากฟางข้าวสาลี

ลิกนิน	%C	%H	%O	%S	%N
Wheat straw	64.58	6.07	29.14	0.19	0.02

ที่มา :Gellerstedt and Lindfors,1984

ตารางที่ 4.16 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในลิกนิน

ลิกนิน	%C	%H	%O	%S	%N
Coniferous	63.80	6.30	29.9	-	-

ที่มา : Othmer,1981

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในลิกนินที่ได้ในการตกตะกอนจากน้ำดำในการศึกษาครั้งนี้ และจากงานวิจัยของ Gellerstedt and Lindfors (1984) พบว่ามีซัลเฟอร์ประกอบอยู่ด้วยในขณะที่ลิกนินในเนื้อไม้จะไม่มีซัลเฟอร์ที่เป็นดังนี้เพราะในการแยกลิกนินออกจากเนื้อไม้ต้องใช้สารเคมีซึ่งมีส่วนประกอบของซัลเฟอร์ในขั้นตอนการต้มเพื่อช่วยให้เกิดการแตกของพันธะ phenolic β -aryl ethers ในลิกนิน นอกจากนี้ซัลเฟอร์อาจจะมาจากการตกค้างของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการตกตะกอน

4.5.3 วิเคราะห์โครงสร้าง

ลิกนินที่ตกตะกอนและแยกออกมาจากน้ำดำที่ pH 3 นำมาวิเคราะห์โดยวิธีนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ ($^{13}\text{C-NMR}$) โดยละลายลิกนินใน Dimethylsulphoxide (DMSO) จากการวิเคราะห์พบว่า การตรวจโดยวิธีนี้ไม่ค่อยเหมาะสมเนื่องจากลิกนินที่แยกได้มีขนาดโมเลกุลค่อนข้างใหญ่ จึงทำให้การวิเคราะห์ต้องใช้เวลานานและเห็นผลไม่ชัดเจน จากการวิเคราะห์พบว่าต้องใช้เวลาประมาณ 35 ชั่วโมง คือ ประมาณ 35,000 scans จึงจะเห็นกราฟของโครงสร้างลิกนินโดยกราฟจากการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก และจากผลการวิเคราะห์กราฟพบในตะกอนลิกนินที่แยกได้น้ำดำจากโรงเยื่อที่ 1 ได้ผลดังนี้

ppm range	Assignment
145 –150	Carbons 3 and 5 of phenolic syringyl Carbons 3 and 4 Guaiacyl
137-140	Carbon 4 of etherified syringyl
133-136	Carbon 1 of guaiacyl and syringyl
114-117	Carbon 5 of guaiacyl
102-108	Carbon 2 and 6 of syringyl
55-57	Methoxy group

จากผลการวิเคราะห์ด้วยนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ โครงสร้างของลิกนินที่ได้จากการตกตะกอนลิกนินในน้ำดำที่ pH 3 มีลักษณะใกล้เคียงกับลิกนินในงานวิจัยของ Dmitry V. Evtuguin et al. (2001) ซึ่งศึกษาโครงสร้างของลิกนินจากไม้ยูคาลิปตัสโดยพบว่าลิกนินในไม้ยูคาลิปตัสประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นอะโรมาติกและประกอบไปด้วยหน่วย Guaiacyl และ Syringyl เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะแตกต่างจากลิกนินที่แยกได้จากไม้ล้มลุกเช่น อ้อย หรือ ฟางข้าว ซึ่งมักมีหน่วย p-hydroxy phenyl ประกอบอยู่ด้วย (Sun, Tomkinson and Bolton, 1999)

4.5.4 วิเคราะห์โครงสร้างลิกนินโดยใช้ IR

ลิกนินที่ตกตะกอนและแยกออกมาจากน้ำดำที่ pH 3 นำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Infrared Spectroscopy(IR) โดยรูปภาพแสดงลักษณะของอินฟราเรดสเปกตรัมของลิกนินแสดงไว้ในภาคผนวก และผลการวิเคราะห์ลิกนินที่แยกได้จากน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการและน้ำดำจากโรงเยื่อที่1, โรงเยื่อที่2 และโรงเยื่อที่1ซึ่งผ่านการระเหยน้ำออก30% ได้ผลการทดลองดังนี้

Band(cm ⁻¹)	Assignment	Lab	Mill_1	Mill_2	Mill_1(Evap)
1738-1709	C = O stretch in unconjugated ketone, carbonyl and in ester groups	1718	1719	1702	1708
1593-1605	Aromatic skeletal ,C=O stretching	1610	1610	1610	1610
1505-1515	Aromatic skeletal	1458	1460	1460	1460
1422-1430	Aromatic skeletal vibrations combined with C-H in plane deformations	1426	1426	1426	1426
1325-1330	Condense S and G rings	1328	1329	1328	1327
1230-1100	-C-N	1216	1216	1217	1215
1200-1000	COH	1114	1114	1114	1114
835-800	CH=C	831	831	831	831
1200-1000	COH	1114	1114	1114	1114
835-800	CH=C	831	831	831	831

จากผลการวิเคราะห์ข้างบนโดยเทียบอ้างอิงกับงานวิจัย Jun และ Sano (1999) พบว่าลิกนินที่แยกได้จากการวิจัยในครั้งนี้ทั้งลิกนินที่แยกได้จากน้ำดำที่เตรียมจากการต้มไม้ยูคาลิปตัสในห้องปฏิบัติการ, โรงเยื่อที่1, โรงเยื่อที่ 2 และโรงเยื่อที่1 ซึ่งผ่านการระเหยน้ำออก 30% นั้น มีการดูดกลืนแสงในช่วงค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีรูปแบบในการดูดกลืนเหมือนกัน แสดงว่าลิกนินที่แยกได้มีโครงสร้างไม่แตกต่างกัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1สภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอน

จากผลการทดลองหา pH ที่เหมาะสมโดยวิเคราะห์จากปริมาณลิกนิน ค่า COD และ สีของน้ำ พบว่าเมื่อค่า pH ลดลง ลิกนินมีแนวโน้มการตกตะกอนเพิ่มมากขึ้น แต่ในช่วง pH 3 ถึง pH 1 มีปริมาณลิกนินตกตะกอนใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับค่า COD และสีของน้ำหลังแยกตะกอนลิกนินออก พบว่าค่า COD และ สี ลดลงเมื่อค่า pH ลดลงและใกล้เคียงกัน ที่ pH 3 ถึง pH 1 ดังนั้นที่ pH 3 จึงมีความเหมาะสมในการตกตะกอนลิกนินด้วยกรดซัลฟิวริกในน้ำดำที่ได้จากการต้มไม้ยูคาลิปตัสโดยกระบวนการแบบกราฟท์ โดยน้ำดำที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการสามารถลดปริมาณ ลิกนิน COD และสี ได้ 64.66%, 46.26 % และ 93.02% ตามลำดับ

ส่วนน้ำดำจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษจากยูคาลิปตัสโดยกระบวนการแบบกราฟท์ที่มีแนวโน้มการตกตะกอนเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่า pH ลดลง และมีค่าใกล้เคียงกันในช่วง pH3 ถึง pH 1เช่นเดียวกับการตกตะกอนลิกนินจากน้ำดำที่ได้จากการต้มไม้ในห้องปฏิบัติการ โดยในโรงเยื่อที่ 1ที่ pH 3 สามารถลดปริมาณลิกนิน COD และสี ได้ 87.58%, 66.45% และ 96.45 % ตามลำดับ ส่วนที่ pH3 น้ำดำจากโรงเยื่อที่ 2 สามารถลดปริมาณลิกนิน COD และสี 93.5%, 80.46%, 98.26% ตามลำดับ และสุดท้ายที่ pH3 น้ำดำจากโรงเยื่อที่ 1 ซึ่งผ่านการระเหยน้ำออก 30% สามารถลดปริมาณลิกนิน COD และสีได้ 94.24%, 65.11%, 98.23% ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ลักษณะของตะกอนลิกนิน

ลิกนินที่ตกตะกอนที่ pH 3 แยกโดยกรองออกด้วยกระดาษกรองจนแห้งโดยใช้เครื่องดูดสูญญากาศ ตะกอนลิกนินที่แยกได้มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลแดงแสดงรูปในภาคผนวก และต้องนำตะกอนที่ได้เก็บไว้ใน Dessicator จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์

5.2.1 มวลโมเลกุล

ตะกอนลิกนินที่แยกได้จากน้ำดำที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการและน้ำดำที่ได้จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษวิเคราะห์มวลโมเลกุลโดยวิธี Gel Permeation Chromatography โดยลิกนินที่แยกได้จากน้ำดำที่เตรียมจากการต้มไม้ยูคาลิปตัสในห้องปฏิบัติการมีน้ำหนักโมเลกุล 1,447 ดัลตัน ส่วนลิกนินที่แยกได้จากน้ำดำโรงเยื่อที่ 1 มีมวลโมเลกุล 1,437 ดัลตัน โรงเยื่อที่ 2 มีมวลโมเลกุล 1540 ดัลตัน และลิกนินจากโรงเยื่อที่ 1 ซึ่งผ่านการระเหยน้ำออก 30% มีน้ำหนักโมเลกุล 1,348 ดัลตัน เนื่องจากขนาดของลิกนินขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและปัจจัยในการต้มเยื่อได้แก่กระบวนการต้ม, อุณหภูมิ, ความเข้มข้นของน้ำยา และเวลาที่ใช้ในการต้ม ดังนั้นน้ำหนักโมเลกุลของลิกนินที่ได้ในงานวิจัยครั้งนี้จึงมีค่าไม่แตกต่างกันมากเนื่องจากใช้วัตถุดิบชนิดเดียวกัน เป็นกระบวนการแบบคราฟท์เหมือนกันและความเข้มข้นของน้ำยา อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ใกล้เคียงกัน

5.2.2 องค์ประกอบของธาตุในลิกนิน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในลิกนินที่แยกจากการตกตะกอนน้ำดำที่ pH 3 พบว่าประกอบไปด้วย ธาตุต่างๆ ดังแสดงไว้แล้วในตารางที่ 4.14 ซึ่งจะเห็นว่าในตะกอนลิกนินที่แยกได้มีซัลเฟอร์ปนอยู่ด้วย ในขณะที่ลิกนินที่อยู่ในเนื้อไม้ ซึ่งปกติจะไม่มีซัลเฟอร์ ทั้งนี้เนื่องมาจากสารเคมีที่ใช้ในการย่อยสลายลิกนินออกจากเนื้อไม้มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบและในขั้นตอนการล้างตะกอนลิกนิน อาจไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะกำจัดซัลเฟอร์ออก ดังนั้นหากมีการนำลิกนินไปใช้ประโยชน์จึงต้องมีขั้นตอนการทำลิกนินให้บริสุทธิ์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการนำลิกนินไปใช้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.3 โครงสร้างของลิกนิน

ศึกษาโครงสร้างของลิกนินโดยวิเคราะห์ด้วย Nuclear Magnetic Resonance พบว่าลิกนินที่แยกได้ประกอบไปด้วยหน่วย Guaiacyl และ Syringyl เป็นส่วนใหญ่ซึ่งแตกต่างจากลิกนินที่ได้จากไม้ล้มลุกที่จะมีหน่วย p-hydroxyphenyl ประกอบอยู่ด้วย ส่วนการวิเคราะห์ด้วย Infrared Spectroscopy พบว่าลิกนินที่แยกได้ทั้งจากน้ำดำที่เตรียมจากการต้มไม้ยูคาลิปตัสในห้องปฏิบัติการ และจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษมีโครงสร้างไม่แตกต่างกันโดยมีรูปแบบการดูดกลืนแสงเหมือนกัน ดังจะเห็นได้จากรูปภาพแสดงลักษณะของอินฟราเรดสเปกตรัมของลิกนินที่แสดงไว้ในภาคผนวก โดยลิกนินที่แยกได้มีโครงสร้างของ C=O โดยสังเกตจากการดูดกลืนแสงในช่วง $1702-1719\text{ cm}^{-1}$ และ Aromatic skeletal ที่การดูดกลืนแสงที่ 1610 cm^{-1} และช่วง $1458-1460\text{ cm}^{-1}$ ส่วนการดูดกลืนแสงในช่วง 1426 cm^{-1} ซึ่งให้เห็นว่าเป็น C-H deformations และ Aromatic vibration และที่ $1327-1329\text{ cm}^{-1}$ แสดงให้เห็นว่าเป็น Condense S และ G rings

จากการทดลองในครั้งนี้นับพบว่าในน้ำดำจากการทำเยื่อกระดาษจากยูคาลิปตัสโดยกรรมวิธีแบบอัลคาไลน์มีลิกนินละลายอยู่ และสามารถแยกลิกนินออกจากน้ำดำโดยการตกตะกอนด้วยกรดโดยมีสภาวะที่เหมาะสม คือที่ pH 3 โดยน้ำดำหลังจากแยกตะกอนออกแล้วมีค่า COD และสีของน้ำลดลงประมาณ 80.45% และ 98.20% ซึ่งการแยกลิกนินออกจากน้ำดำช่วยให้การบำบัดน้ำเสียในขั้นต่อไปทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากสีของน้ำและค่า COD ที่ลดลง ช่วยลดปัญหามลพิษอันเนื่องมาจากน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ นอกจากนี้ลิกนินที่แยกได้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น การนำไปผลิตเป็นวานิลิน หรือสารประกอบฟีนอล ดังนั้นนอกจากจะเป็นการช่วยลดปัญหาการเกิดมลพิษทางน้ำมลพิษแล้ว ยังเป็นการนำเอาสารที่ไม่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมหนึ่งไปเป็นวัตถุดิบที่มีประโยชน์ของอุตสาหกรรมหนึ่ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาต่อมีดังนี้

1. ควรมีการศึกษาการบำบัดน้ำดำหลังแยกตะกอนลิกนินว่าควรมีการบำบัดอย่างไรต่อไป

2. เนื่องจากลิกนินสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง ดังนั้น ควรมีการนำลิกนินที่แยกได้ไปศึกษาการใช้ประโยชน์ต่อ เช่น การนำไปผลิตเป็น วานิลลิน (Vanillin) และสารประกอบฟีนอล (Phenol compound) หรือ การใช้เป็นสารที่ช่วยในการเกาะติด ว่าหลังจากแยกลิกนินออกมาแล้วควรมีการจัดการกับลิกนินอย่างไรบ้างเพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการนำลิกนินไปใช้ประโยชน์ต่อในแต่ละวัตถุประสงค์

3. ในขั้นตอนการตกตะกอนด้วยกรดซัลฟิวริก จะเกิดฟองก๊าซจำนวนมากและมีกลิ่นเหม็น ดังนั้น หากนำไปใช้ในโรงงานควรมีการออกแบบระบบในการตกตะกอนเพื่อควบคุมกลิ่นที่เกิดขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กวรรณิการ์ สิริสิงห. 2544. เคมีของน้ำ น้ำใสโคจร และการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : คณะ
สาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. หน้า 11-18.

บุญยรัชต์ กิตยานันท์ และ รวิินทร์ พลานันท์กุลธร. 2535. ซัลโฟเนชันของลิกโนเซลลูโลส. วิทยานิพนธ์
ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิยะนันท์ สุวรรณเมนะ. 2539. อุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ: ลู่ทางและโอกาสการส่งออก และผลกระทบ
จากการมีเขตการค้าเสรีอาเซียน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร. หน้า 5-22.

แม่น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. 2534. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่ 1.
กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์. หน้า 206-211.

สาวิตรี ผาดยานนท์. 2542. การกำจัดสารประกอบคลอรีนที่ปนออกจากรองานผลิตเยื่อกระดาษโดย
ใช้ผงเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิต
วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Biermann, C.J. 1993. Essentials of Pulping and Papermaking. California: Academic Press,
pp.86-90.

Britt, K.W. 1970. Hand book of Pulp and Paper Technology. 2nd ed. New York: Liton Educational
Publishing, pp. 135-143.

- Casey, J.P. 1980. Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology. vol. 1. 3th ed. New York: Wiley-Interscience Publication. pp.377-491.
- Dmitry V.Evtuguin., et al. 2001. Comprehensive Study on the Chemical Structure of Dioxane Lignin from Plantation Eucalyptus globulus Wood. Journal of Agriculture Food Chemical 49(4) : 4252-4261.
- Davy, M.F., Uloth, V.C. and Cloutire, J.N. 1998. Economic Evaluation of Black Liquor Treatment Processes for Incremental Kraft Pulp production: A Comparison of two processes at Paprican. Pulp and Paper-Canada 99(2): 35-39.
- Gellertedt, G. and Lindfors, E.L. 1984. Structural Changes in Lignin During Kraft Pulping. Holzforschung 38(3):151-158.
- Gilarranz, M.A., Rodriguez, F. and Oliet, M. 1998. Acid Precipitation and Purification of Wheat Straw Lignin. Separation Science and Technology 33(9): 1359-1377.
- Howell, J.F. and Thring, R.W. 2000. Hardwood Lignin Recovery using Generator Waste Acid. Statistical Analysis and Simulation. Industrial and Engineering Chemistry Research 39 (7): 2534-2540.
- Katsumata, KS., Maruyama, M. and Meshitsuka, G. 2001. Reduction of Aluminum to Radish by Alkaline Oxygen Treated Kraft Lignin. Journal of Wood Science 47(2): 129-134.
- Lalvani, SB., Wiltowski TS., Murphy, D. and Lavani, LS. 1997. Metal Removal from Process Water by Lignin. Enviromental Technology 18(11):1163-1168.

- Lappan, R.E., Pelton, R., McLennan, I., Patry, J. and Hrymak, A.N. 1997. Kraft Lignin-poly (DADMAC) Precipitate Formation. Industrial and Engineering Chemistry Research 36 (4): 1171-1175.
- Petsom, A., Steelink, C. 1987. Effect of Base on The C-13 NMR Spectra of Model Phenolic Acids To humic Acids and Lignins. 1988. Environmental Technology Letters 9(12) : 609-620.
- Scalbert, A., Monties, B. 1986. Comparison of Wheat Straw Lignin Preparation 1. Chemical and Spectroscopic Characterization. Holzforschung 40(2): 119-127.
- Sjostrom, E. and Alen, R. 1999. Analytical Methods in Wood Chemistry, Pulping, and Papermaking. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp 77-117.
- Sun, R., Mark Lawther, J. and Banks, W.B. 1997. Effect of Pretreatment Temperature and Alkali Concentration on the Composition of Alkaline-Soluble Lignins from Wheat Straw. Journal of Applied Polymer Science 62(9) : 1473-1481.
- Sun, R., Mark Lawther, J. and Banks, W.B. 1997. Fractional Isolation and Physico-Chemical Characterization of Alkaline-Soluble Lignins from Wheat Straw. Holzforschung 51 (3):244-250.
- Sun, R., Tomkinson, J. and Bolton, J. 1999. Separation and Characterization of Lignins from The Black Liquor of Oil Palm Trunk Fiber Pulping. Separation Science and Technology 34 (15): 3045-3058.

Sun, R., Tomkinson, J., Sun, X.F. and Wang, N.J. 2000. Fractional Isolation and Physico-Chemical Characterization of Alkaline-Soluble Lignins from Fast – Growing Poplar Wood. Polymer 41(23):8409-8417.

Tanistra, I. and Bodzek, M. 1998. Preparation of High-Purity Sulphate Lignin from Spent Black Liquor using Ultrafiltration and Diafiltration Processes. Desalination 115(2): 111-120.

Villar, J.C., Caperos, A. and Garcia-Ochoa, F. 1996. Precipitation of Kraft Black Liquors by Alcohol-Calcium Solutions. Separation Science and Technology 31(12): 1721-1739.

Villar, J.C., Caperos, A. and Garcia-Ochoa, F. 1997. Oxidation of Hardwood Kraft-lignin to Phenolic Derivatives. Journal of Wood Chemistry and Technology 17(3): 259-285.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดลอง

การต้มไม้มันยูคาลิปตัสครั้งที่ 1

วิเคราะห์ค่า COD

ความเข้มข้น FAS

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้	ความเข้มข้น FAS	คือ
1	28.5		
2	28.5		
เฉลี่ย	28.5	0.0877	

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่า COD ของการต้มไม้มันยูคาลิปตัสครั้งที่ 1

pH	ปริมาตร FAS		เฉลี่ย	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	20.1	20	20.05	27,012
2	19.8	20	19.9	27,538
3	19.6	20.1	19.85	27,713
4	18.4	18.9	18.65	31,923
5	17.8	18	17.9	34,534
น้ำดำ	13.1	13.2	13.15	55,830
blank	27.7	27.8	27.75	

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินของการต้มไม้ยูคาลิปตัสครั้งที่ 1

pH	ปริมาณลิกนิน(กรัม/ลิตร)		เฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	
1	7.78	7.79	7.79
2	7.57	7.60	7.59
3	7.45	7.50	7.48
4	5.42	5.39	5.41
5	4.99	4.88	4.94
น้ำดำ	11.94	12.01	11.98

ตารางที่ ก-3 ข้อมูลการวิเคราะห์สีของการต้มไม้ยูคาลิปตัสครั้งที่1

pH	สี(หน่วย PtCo)
1	6,660
2	6,960
3	7,010
4	12,110
5	13,070
น้ำดำ	99,000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การต้มไม้ยูคาลิปตัสครั้งที่ 2

การวิเคราะห์ค่า COD

ความเข้มข้น FAS

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้	
1	26.2	
2	26.1	
เฉลี่ย	26.15	ความเข้มข้น FAS คือ 0.0956

ตารางที่ ก-4 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่า COD ของการต้มไม้ยูคาลิปตัสครั้งที่ 2

pH	ปริมาตร FAS(มิลลิลิตร)		เฉลี่ย	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	18.3	18.3	18.3	27,533
2	17.9	18	17.95	28,871
3	17.7	17.7	17.7	29,827
4	16.8	16.9	16.85	33,078
5	16.1	16.1	16.1	35,946
น้ำดำ	12.0	12.0	12.0	51,242
blank	25.5	25.5	25.5	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-5 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินของการต้มไม้ยูคาลิปตัสครั้งที่ 2

pH	ปริมาณลิกนิน(กรัม/ลิตร)		เฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	
1	8.92	9.47	9.20
2	8.82	9.42	9.12
3	8.65	9.16	8.90
4	6.67	6.83	6.75
5	6.05	5.89	5.97
น้ำดำ	13.66	14.22	13.94

ตารางที่ ก-6 ข้อมูลการวิเคราะห์สีของการต้มไม้ยูคาลิปตัสครั้งที่ 2

pH	สี(หน่วยPtCo)
1	6,860
2	6,910
3	7,040
4	12,410
5	13,340
น้ำดำ	99,060

การต้มไม้ยูคาลิปตัสครั้งที่ 3

การวิเคราะห์ค่า COD

ความเข้มข้น FAS

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้		
1	29.3		
2	29.3		
เฉลี่ย	29.3	ความเข้มข้น FAS คือ	0.0853

ตารางที่ ก-7 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่า COD ของการต้มไม้ยูคาลิปตัสครั้งที่ 3

pH	ปริมาตร FAS(มิลลิลิตร)		เฉลี่ย	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	18.4	18.5	18.45	24,566
2	18.5	18.6	17.95	23,884
3	17.9	17.9	17.70	25,931
4	16.5	16.4	16.85	31,390
5	15.4	15.4	16.10	35,144
น้ำดำ	12.1	12.1	12.10	46,233
blank	25.65	25.65	25.50	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-8 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินของการต้มไม้ยูคาลิปตัสครั้งที่ 3

pH	ปริมาณลิกนิน(กรัม/ลิตร)		เฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	
1	6.65	6.67	6.66
2	6.69	6.69	6.69
3	6.32	6.30	6.31
4	5.45	5.45	5.45
5	4.91	4.89	4.90
น้ำดำ	9.94	9.98	9.96

ตารางที่ ก-9 ข้อมูลการวิเคราะห์สีของการต้มไม้ยูคาลิปตัสครั้งที่ 3

pH	สี(หน่วยPtCo)
1	6,590
2	6,480
3	6,630
4	8,510
5	9,230
น้ำดำ	97,220

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การต้มไม้ครั้งที่ 4

การวิเคราะห์ COD

ความเข้มข้น FAS

ครั้งที่ ปริมาตร FAS ที่ใช้

1 26.9

2 26.9

เฉลี่ย 26.9 ความเข้มข้น FAS คือ 0.0929

ตารางที่ ก-10 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่า COD ของการต้มไม้ยูคาลิปตัสครั้งที่ 4

pH	ปริมาตร FAS(มิลลิลิตร)		เฉลี่ย	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	21.3	21.3	21.30	21,181
2	21.1	21.1	21.10	21,924
3	20.9	20.8	20.85	22,853
4	19.1	19.2	19.15	29,171
5	18.5	18.5	18.50	31,586
น้ำดำ	15.8	15.8	15.80	41,619
blank	27.0	27.0	27.00	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-11 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินของการต้มไม้ยูคาลิปตัสครั้งที่ 4

pH	ปริมาณลิกนิน(กรัม/ลิตร)		เฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	
1	6.67	6.62	6.65
2	6.67	6.60	6.64
3	6.58	6.55	6.57
4	5.49	5.50	5.50
5	4.86	4.81	4.84
น้ำดำ	9.87	9.80	9.84

ตารางที่ ก-12 ข้อมูลการวิเคราะห์สีของการต้มไม้ยูคาลิปตัสครั้งที่ 4

pH	สี(หน่วยPtCo)
1	6,440
2	6,480
3	6,520
4	6,910
5	8,120
น้ำดำ	96,010

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การต้มไม้ครั้งที่ 5

การวิเคราะห์ค่า COD

หาความเข้มข้น FAS

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้	
1	31.05	
2	31.05	
เฉลี่ย	31.05	ความเข้มข้น FAS คือ 0.0805

ตารางที่ ก-13 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่า COD ของการต้มไม้ยูคาลิปตัสครั้งที่ 5

pH	ปริมาตร FAS(มิลลิลิตร)		เฉลี่ย	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	23.2	23.1	23.15	22,057
2	23.0	23.0	23.00	22,540
3	22.7	22.8	22.75	23,345
4	21.5	21.5	21.50	27,370
5	20.8	20.7	20.75	29,785
น้ำดำ	15.6	15.6	15.60	46,368
blank	30.0	30.0	30.00	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-14 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินของการต้มไม้ยูคาลิปตัสครั้งที่ 5

pH	ปริมาณลิกนิน(กรัม/ลิตร)		เฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	
1	8.32	8.39	8.36
2	8.28	8.35	8.32
3	8.17	8.32	8.25
4	5.42	5.51	5.47
5	5.23	5.35	5.29
น้ำดำ	12.27	12.30	12.29

ตารางที่ ก-15 ข้อมูลการวิเคราะห์สีของการต้มไม้ครั้งที่ 5

pH	สี(หน่วยPtCO)
1	6,630
2	6,700
3	6,750
4	11,920
5	12,570
น้ำดำ	98,810

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-16 ค่าเฉลี่ยของค่า CODจากการตกตะกอนลิกนินน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ

pH	COD(มิลลิกรัม/ลิตร)					เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5		
1	27,012	27,533	24,566	21,181	22,057	24,469.82	2850.13
2	27,538	28,871	23,884	21,924	22,540	24,951.43	3089.22
3	27,713	29,827	25,931	22,853	23,345	25,933.81	2937.51
4	31,923	33,078	31,390	29,171	27,370	30,586.44	2290.68
5	34,534	35,946	35,144	31,586	29,785	33,399.00	2606.17
น้ำดำ	55,830	51,242	46,233	41,619	46,368	48,258.4	5431.12

ตารางที่ ก-17 ค่าเฉลี่ยของปริมาณลิกนินจากการตกตะกอนลิกนินน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ

pH	ปริมาณลิกนิน(กรัม/ลิตร)					เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5		
1	7.79	9.2	6.66	6.65	8.36	7.73	1.1
2	7.59	9.12	6.69	6.64	8.32	7.67	1.0
3	7.48	8.90	6.57	6.57	8.25	7.50	1.0
4	5.41	6.75	5.50	5.5	5.47	5.71	0.57
5	4.94	5.97	4.84	4.84	5.29	5.19	0.47
น้ำดำ	11.98	13.94	9.84	9.84	12.29	11.60	1.72

ตารางที่ ก-18 ค่าเฉลี่ยของสี จากการตกตะกอนลิกนินน้ำดำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ

pH	สี(หน่วย PtCo)					เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5		
1	6,660	6,860	6,590	6,440	6,630	6,636	151.09
2	6,960	6,910	6,480	6,480	6,700	6,706	228.21
3	7,010	7,040	6,630	6,520	6,750	6,790	229.67
4	12,110	12,410	8,510	7,910	11,920	10,572	2173.64
5	13,070	13,340	9,230	8,120	12,570	11,266	2413.45
น้ำดำ	99,000	99,060	97,220	96,010	98,810	98,020	1355.19

โรงเยื่อที่ 1

การหา COD

หาความเข้มข้น FAS

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้
1	25.9
2	26
เฉลี่ย	28.95 ความเข้มข้น FAS คือ 0.0963

ตารางที่ ก-19 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่า COD ของน้ำดำโรงเยื่อที่ 1 ครั้งที่ 1

pH	ปริมาตร FAS(มิลลิลิตร)		เฉลี่ย	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	22.4	22.4	22.40	55,854
2	22.2	22.2	22.2	59,706
3	22.0	22.1	22.05	62,595
4	21.8	21.9	21.85	66,447
5	21	21	21	82,818
น้ำดำ(เจือจาง 500 เท่า)	20.5	20.5	20.5	184,896
blank	25.3	25.3	25.3	

หาความเข้มข้น FAS

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้
1	26.7
2	26.8
เฉลี่ย	26.75 ความเข้มข้น FAS คือ 0.0935

ตารางที่ ก-20 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่า COD ของน้ำดำโรงเยื่อที่ 1 ครั้งที่ 2

pH	ปริมาตร FAS(มิลลิลิตร)		เฉลี่ย	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	20	20	20	57,503
2	19.8	19.8	19.8	59,373
3	19.5	19.6	19.55	61,710
4	18.9	19.0	18.95	67,320
5	16.9	16.9	16.9	86,488
น้ำดำ(เจือจาง 500 เท่า)	21.2	21.2	21.2	185,130
blank	26.2	26.1	26.15	

ครั้งที่ 3

หาความเข้มข้น FAS

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้	
1	25.4	
2	25.4	
เฉลี่ย	25.4	ความเข้มข้น FAS คือ 0.0984

ตารางที่ ก-21 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่า COD ของโรงเยื่อที่ 1 ครั้งที่3

pH	ปริมาตร FAS(มิลลิลิตร)		เฉลี่ย	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	20.1	20	20.05	56,594
2	19.8	19.7	19.75	59,547
3	19.4	19.4	19.40	62,992
4	19.2	19.1	19.15	65,453
5	17.2	17.3	17.25	84,153
น้ำดำ(เจือจาง1000เท่า)	21.2	21.1	21.15	183,071
blank	25.9	25.9	25.9	

ตารางที่ ก-22 ค่าเฉลี่ยของค่า CODของน้ำดำจากโรงเยื่อที่1

pH	COD(มิลลิกรัม/ลิตร)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		
1	55,854	57,503	56,594	56,650.33	825.94
2	59,706	59,373	59,547	59,542.00	166.56
3	62,595	61,710	62,992	62,432.33	656.29
4	66,447	67,320	65,453	66,406.67	934.15
5	82,818	86,488	84,153	84,486.33	1857.56
น้ำดำ	18,496	185,130	183,070	184,365.3	165.46

ตารางที่ ก-23 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินของโรงเยื่อที่ 1

pH	ปริมาณลิกนิน (กรัม/ลิตร)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		
1	80.72	82.84	83.25	82.27	1.36
2	80.42	82.91	83.22	82.18	1.53
3	79.34	80.81	80.21	80.45	0.98
4	76.63	77.23	77.65	77.17	0.51
5	65.57	68.70	69.13	67.80	1.94
น้ำดำ	90.26	24.47	92.86	92.46	2.03

ตารางที่ ก-24 ข้อมูลการวิเคราะห์สีของน้ำดำจากโรงเยื่อที่1

pH	สี(หน่วย PtCo)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		
1	10,750	11,075	10,900	10,908	162.66
2	11,166	37,666	10,900	10,988	153.57
3	12,833	12,750	12,650	12,744	91.63
4	38,083	10,900	37,916	37,888	209.87
5	97,500	11,075	97,583	97,661	211.09
น้ำดำ	358,667	361,333	357,333	359,111	2036.63

โรงเยื่อที่ 2

การหา COD

หาความเข้มข้น FAS

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้	
1	25.9	
2	26	
เฉลี่ย	25.95	ความเข้มข้น FAS คือ 0.0963

ตารางที่ ก-25 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่า COD ของโรงเยื่อที่ 2 ครั้งที่ 1

pH	ปริมาตร FAS(มิลลิลิตร)		เฉลี่ย	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	21.6	21.5	21.55	37,076
2	21.7	21.8	21.75	35,150
3	21.4	21.4	21.4	38,520
4	19.4	19.4	19.4	57,780
5	15.8	15.9	15.5	91,967
น้ำดำ	20.4	20.4	20.4	192,600
blank	25.4	25.4		

หาความเข้มข้น FAS

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้	
1	26.4	
2	26.4	
เฉลี่ย	26.4	ความเข้มข้น FAS คือ 0.0947

ตารางที่ ก-26 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่า COD ของโรงเยื่อที่ 2 ครั้งที่ 2

pH	ปริมาตร FAS(มิลลิลิตร)		เฉลี่ย	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	22.5	22.6	22.55	36,460
2	22.5	22.4	22.45	37,406
3	22.2	22.2	22.2	39,774
4	20	20	20	60,608
5	17	17.1	17.05	88,545
	21.3	21.4	21.35	191,294
blank	26.4	26.4	26.4	

ครั้งที่ 3

หาความเข้มข้น FAS

ครั้งที่ ปริมาตร FAS ที่ใช้

1 25.7

2 25.7

เฉลี่ย 25.7 ความเข้มข้น FAS คือ 0.0973

ตารางที่ ก-27 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่า COD ของน้ำดำโรงเยื่อที่ 2 ครั้งที่ 3

pH	ปริมาตร FAS(มิลลิลิตร)		เฉลี่ย	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	21.3	21.3	21.30	36,479
2	21.3	21.2	21.25	36,965
3	21	21.1	21.05	38,910
4	19.1	19.2	19.15	57,393
5	16.1	16.1	16.1	87,062
น้ำดำ(เจือจาง1000เท่า)	20.1	20.2	20.15	190,660
blank	25.1	25	25.05	

ตารางที่ ก-28 ค่าเฉลี่ยของค่า COD ของน้ำดำจากโรงเยื่อที่ 2

pH	COD(มิลลิกรัม/ลิตร)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		
1	37076	36460	36479	36671.17	350.29
2	35150	37407	36965	36506.96	1196.15
3	38520	39774	38910	39068.13	641.71
4	57780	60608	57393	58593.61	1755.22
5	91967	88545	87062	89191.01	2515.34
น้ำดำ	192600	191294	190661	191518.3	988.79

ตารางที่ ก-29 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินของน้ำดำจากโรงเยื่อที่ 2

pH	ปริมาณลิกนิน (กรัม/ลิตร)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	102.30	101.72	101.54	101.85	0.39
2	102.22	101.79	101.68	101.89	0.29
3	101.81	101.21	100.97	101.33	0.43
4	99.99	95.73	96.14	97.29	2.35
5	75.75	81.85	80.92	79.51	3.29
น้ำดำ	108.24	108.37	108.29	108.30	0.07

ตารางที่ ก-30 ข้อมูลการวิเคราะห์สีของน้ำดำจากโรงเยื่อที่ 2

pH	สี(หน่วย PtCo)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	3832.5	3582.5	3917.5	3777.5	174.14
2	3667.5	3667.5	3750.0	3695.0	47.92
3	4167.5	3832.5	4167.5	4055.8	193.41
4	16322.5	16417.5	16082.5	16277.5	172.65
5	58750.0	58167.5	58662.5	58416.7	314.29
น้ำดำ	418000.0	419333.3	419333.3	418888.9	769.61

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โรงเยื่อที่1 ผ่านการระเหยน้ำ 30%

การหา COD

หาความเข้มข้น FAS

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้
1	26.3
2	26.4
เฉลี่ย	26.35 ความเข้มข้น FAS คือ 0.0949

ตารางที่ ก-31 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่า COD ของน้ำดำโรงเยื่อที่ 1 ที่ผ่านการระเหยน้ำ 30% ครั้งที่1

pH	ปริมาตร FAS(มิลลิลิตร)		เฉลี่ย	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	16	16	16	96,798
2	15.7	15.7	15.7	99,645
3	15.4	15.4	15.4	102,492
4	13.4	13.5	13.45	120,998
5	11.5	11.5	11.5	139,503
น้ำดำ	18.4	18.5	18.45	294,190
blank	26.2	26.2	26.2	

หาความเข้มข้น FAS

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้
1	26
2	25.9
เฉลี่ย	25.95 ความเข้มข้น FAS คือ 0.0963

ตารางที่ ก-32 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่า COD ของน้ำดำโรงเยื่อที่1ที่ผ่านการระเหยน้ำ 30%ครั้งที่2

pH	ปริมาตร FAS(มิลลิลิตร)		เฉลี่ย	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	15.4	15.3	15.35	95,819
2	15.1	15.1	15.1	98,226
3	14.8	14.7	14.75	101,597
4	12.7	12.8	12.75	120,857
5	10.9	10.9	10.9	138,672
น้ำดำ	17.7	17.8	17.75	290,826
blank	25.3	25.3	25.3	

ครั้งที่ 3

หาความเข้มข้น FAS

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้
1	26.1
2	26.1
เฉลี่ย	26.10

ความเข้มข้น FAS คือ 0.0958

ตารางที่ ก-33 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่า COD ของน้ำดำโรงเยื่อที่1ที่ผ่านการระเหยน้ำ 30%ครั้งที่3

pH	ปริมาตร FAS(มิลลิลิตร)		เฉลี่ย	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
1	15.7	15.7	15.70	96,737
2	15.5	15.6	15.55	98,174
3	15.3	15.2	15.25	101,047
4	13.2	13.2	13.20	120,682
5	11.3	11.3	11.30	138,672
น้ำดำ(เจือจาง1000เท่า)	18.2	18.1	18.15	290,826
blank	25.8	25.8	25.8	

ตารางที่ ก-34 ค่าเฉลี่ยของค่า COD ของน้ำดำโรงเยื่อที่1ที่ผ่านการระเหยน้ำ 30%

pH	COD(มิลลิกรัม/ลิตร)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		
1	96,798	95,819	96,738	96,451.67	548.73
2	99,645	98,226	98,175	98,682.00	834.37
3	102,492	101,597	101,048	101,712.30	728.88
4	120,998	120,857	120,683	120,846.01	157.79
5	139,503	138,672	138,881	139,018.70	432.27
น้ำดำ	294,190	290,826	293,087	292,701.00	1714.89

ตารางที่ ก -35 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินของน้ำดำโรงเยื่อที่1ที่ผ่านการระเหยน้ำ 30%

pH	ปริมาณลิกนิน (กรัม/ลิตร)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		
1	190.37	190.54	190.55	190.49	0.10
2	190.56	189.91	189.93	190.13	0.36
3	189.63	189.93	189.89	189.82	0.16
4	184.15	187.00	187.01	186.05	1.64
5	174.59	177.33	177.34	176.42	1.58
น้ำดำ	201.47	201.39	201.41	201.42	0.04

ตารางที่ ก -36 ข้อมูลการวิเคราะห์สีของน้ำดำ โรงเยื่อที่1ที่ผ่านการระเหยน้ำ 30%

pH	สี(หน่วย PtCo)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	9332.5	9917.5	9167.5	9472.5	394.11
2	12167.5	11500.0	11667.5	11778.3	347.08
3	13000.0	12582.5	12667.5	12750.0	220.92
4	23167.5	22667.5	2582.5	22805.83	1694.59
5	49917.5	50167.5	50167.5	50084.17	144.34
น้ำดำ	722000	720000	722666.7	721555.56	1387.51

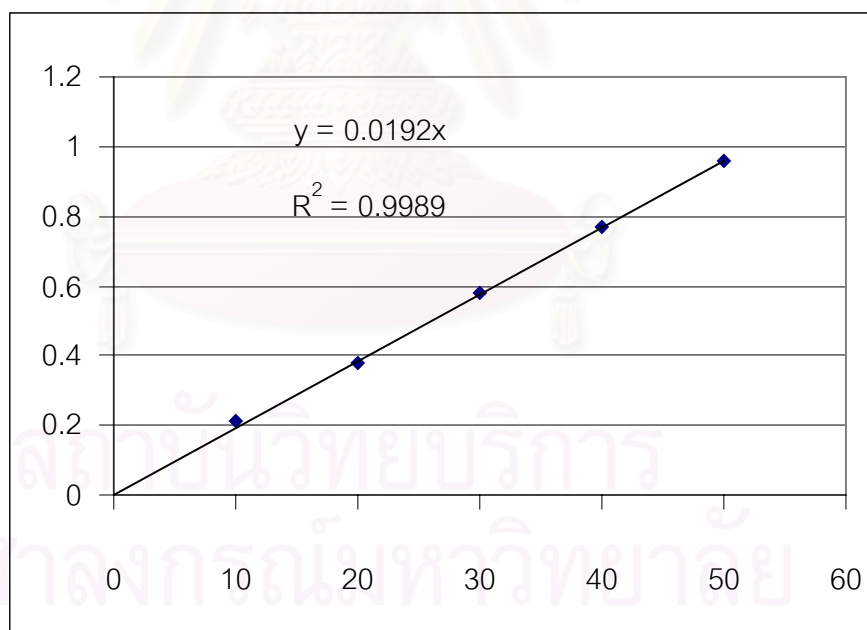
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

Calibration Curve ของลิกนิน

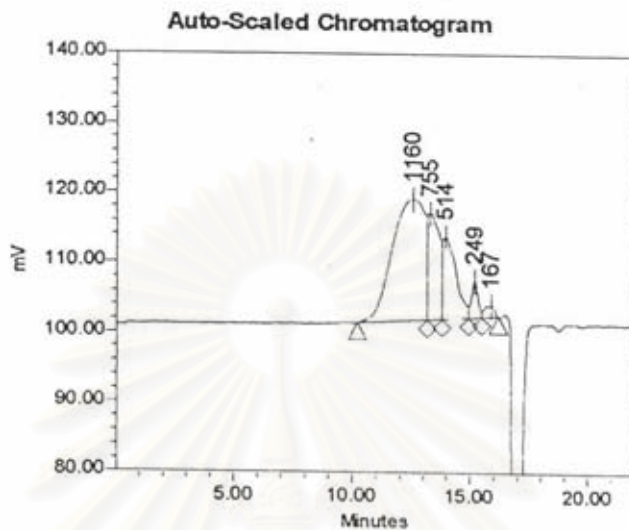
ตารางที่ ข-1 ความเข้มข้นและค่า Absorbance ของลิกนิน

ความเข้มข้น (ppm)	Absorbance
10	0.21092
20	0.38171
30	0.57765
40	0.76712
50	0.95689

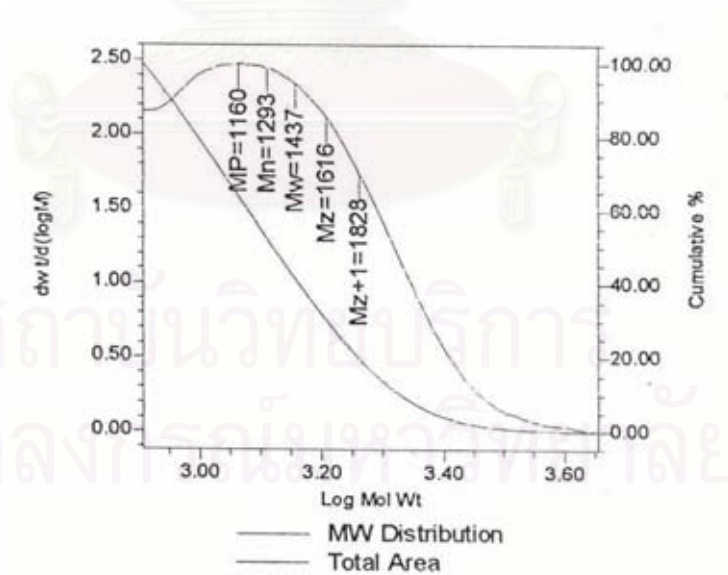


รูปที่ ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance และความเข้มข้นของลิกนิน

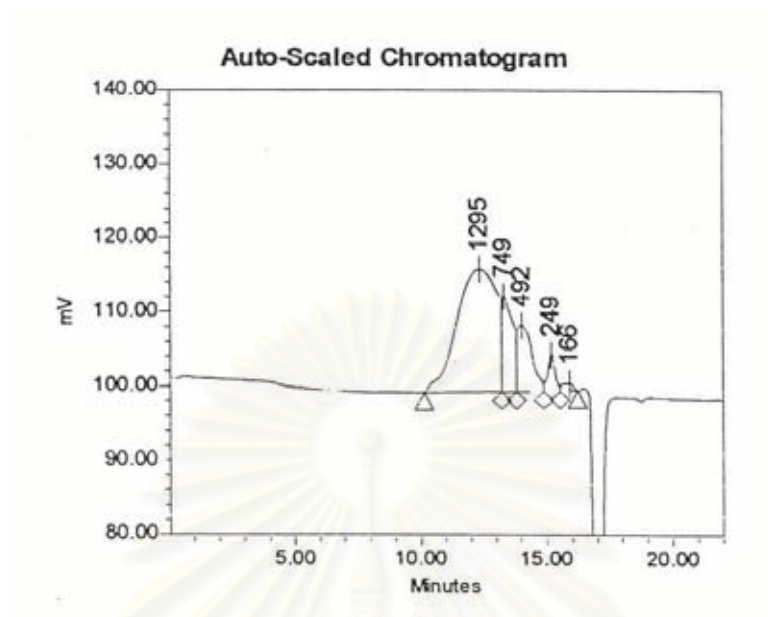
รูปแสดง GPC Chromatogram และกราฟแสดงการกระจายน้ำหนักโมเลกุลโดยการวิเคราะห์ด้วย Gel Permeation Chromatograph



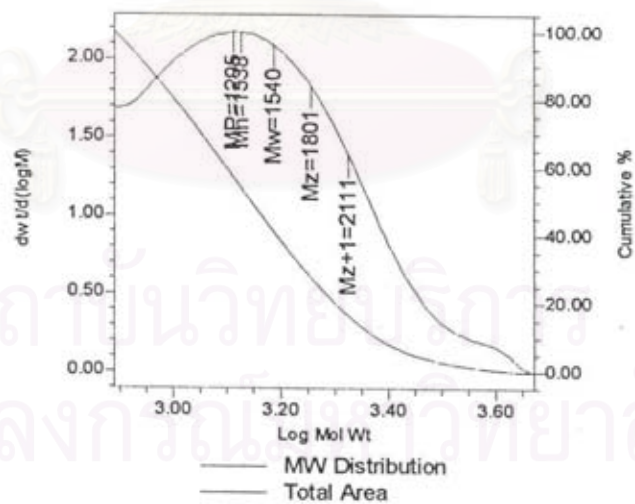
รูปที่ ข-2 แสดง GPC Chromatogram ของลิกนินจากการตกตะกอนน้ำดำที่เตรียมจากการต้มไม้ยูคาลิปตัสในห้องปฏิบัติการที่ pH3



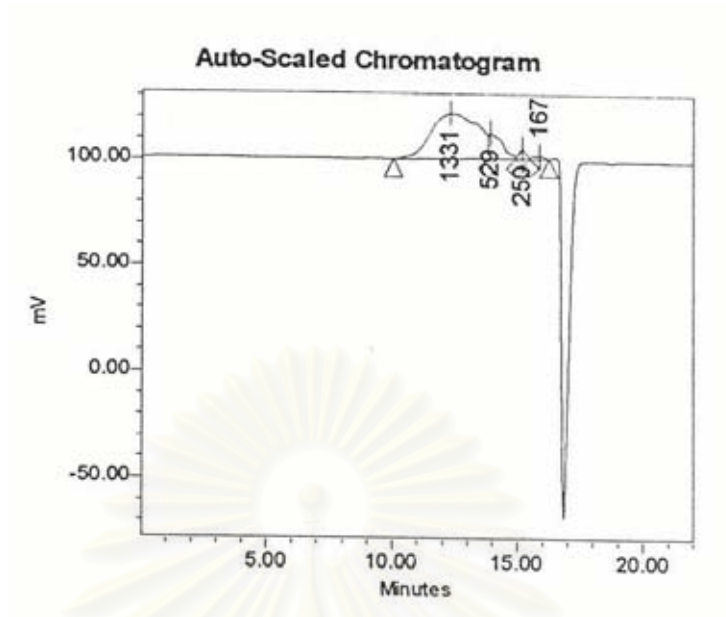
รูปที่ ข-3 กราฟแสดงการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของลิกนินจากการตกตะกอนน้ำดำที่เตรียมจากการต้มไม้ยูคาลิปตัสในห้องปฏิบัติการที่ pH3



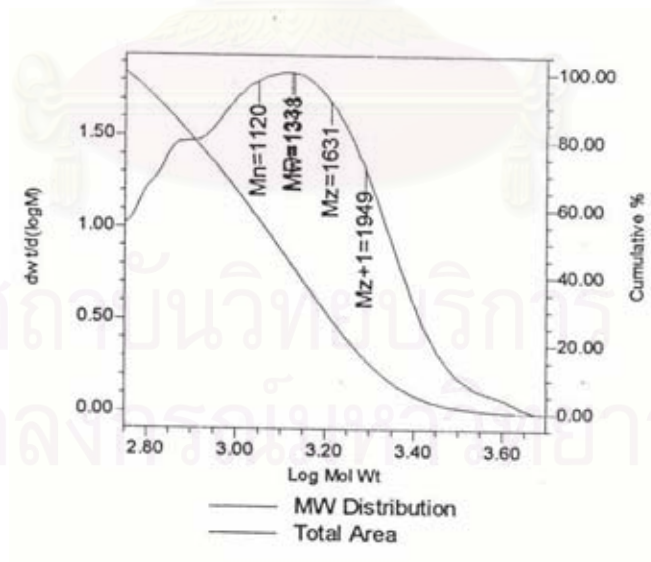
รูปที่ ข-4 แสดง GPC Chromatogram ของลิกนินจากการตกตะกอนน้ำดำโรงเยื่อที่ 1 ที่ pH3



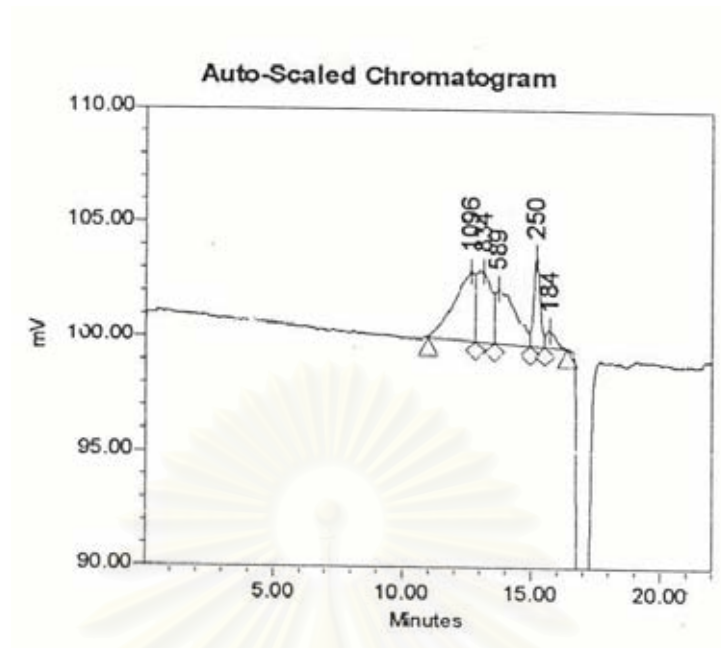
รูปที่ ข-5 กราฟแสดงการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของลิกนินจากการตกตะกอนน้ำดำโรงเยื่อที่ 1 ที่ pH1



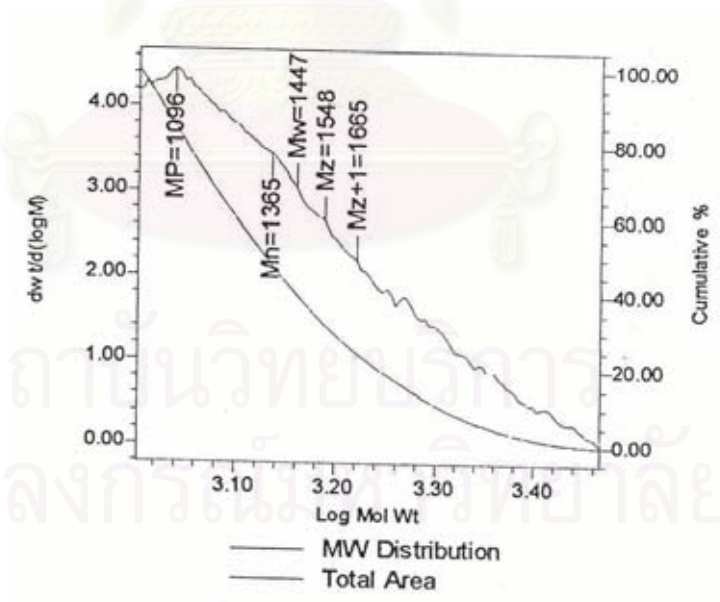
รูปที่ ข-6 แสดง GPC Chromatogram ของลิกนินจากการตกตะกอนน้ำดำโรงเยื่อที่ 2



รูปที่ ข-7 กราฟแสดงการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของลิกนินจากการตกตะกอนน้ำดำโรงเยื่อที่ 2 ที่ pH3



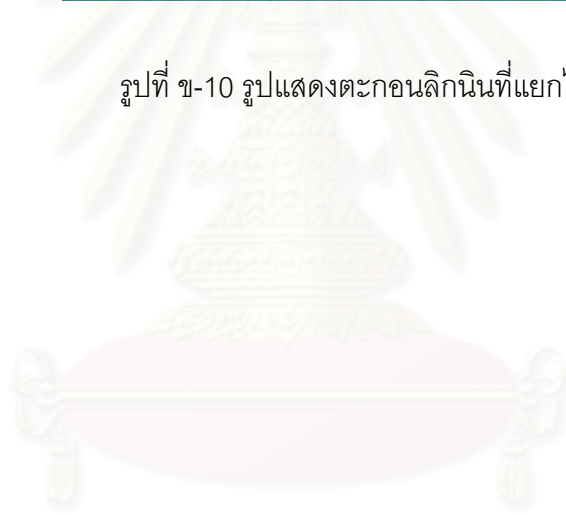
รูปที่ ข-8 แสดง GPC Chromatogram ของลิกนินนินจากการตกตะกอนน้ำดำโรงเยื่อที่ 1 ซึ่งผ่านการระเหยน้ำออก 30% ที่ pH 3



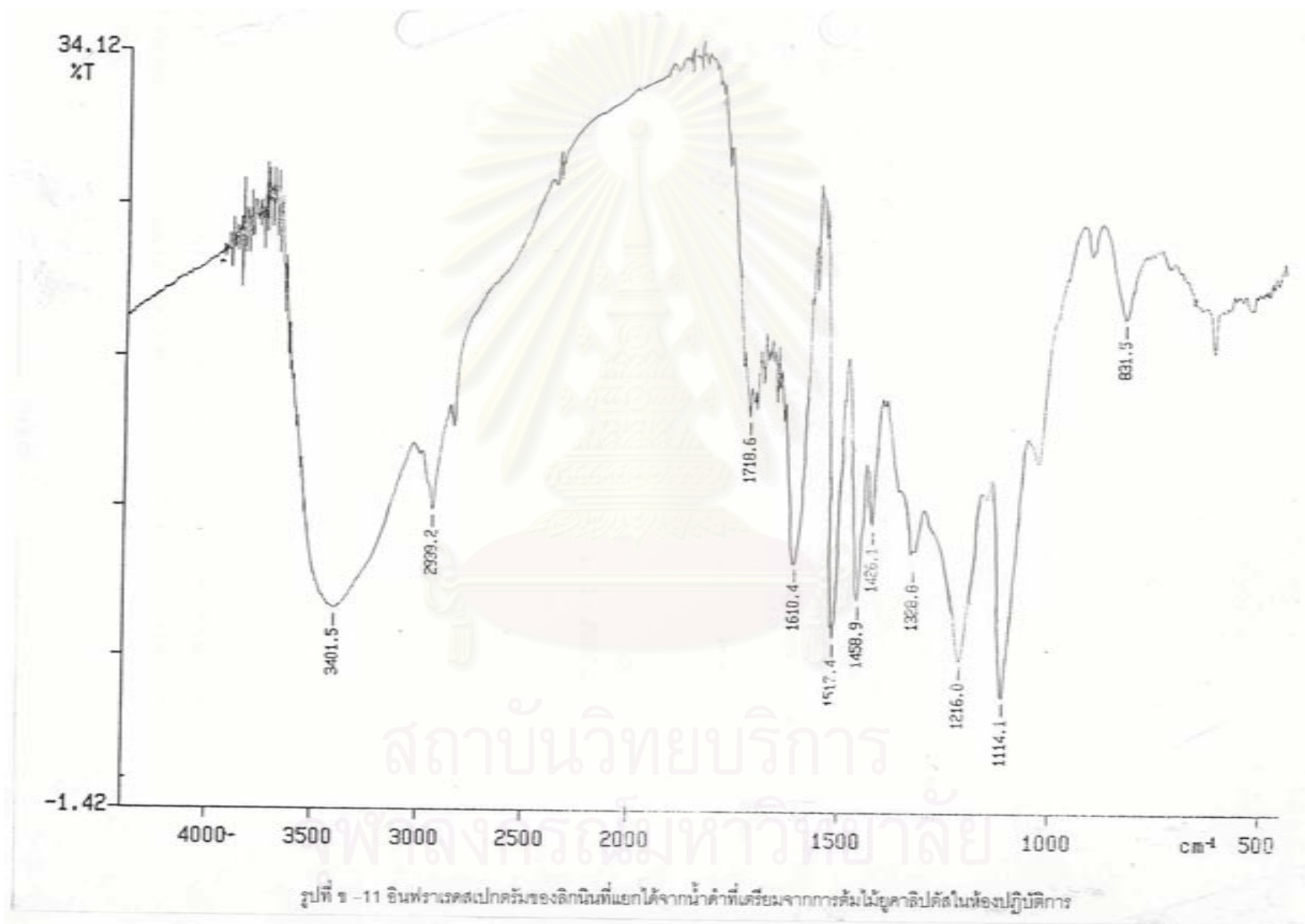
รูปที่ ข-9 กราฟแสดงการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของลิกนินนินจากการตกตะกอนน้ำดำโรงเยื่อที่ 1 ซึ่งผ่านการระเหยน้ำออก 30% ที่ pH 3

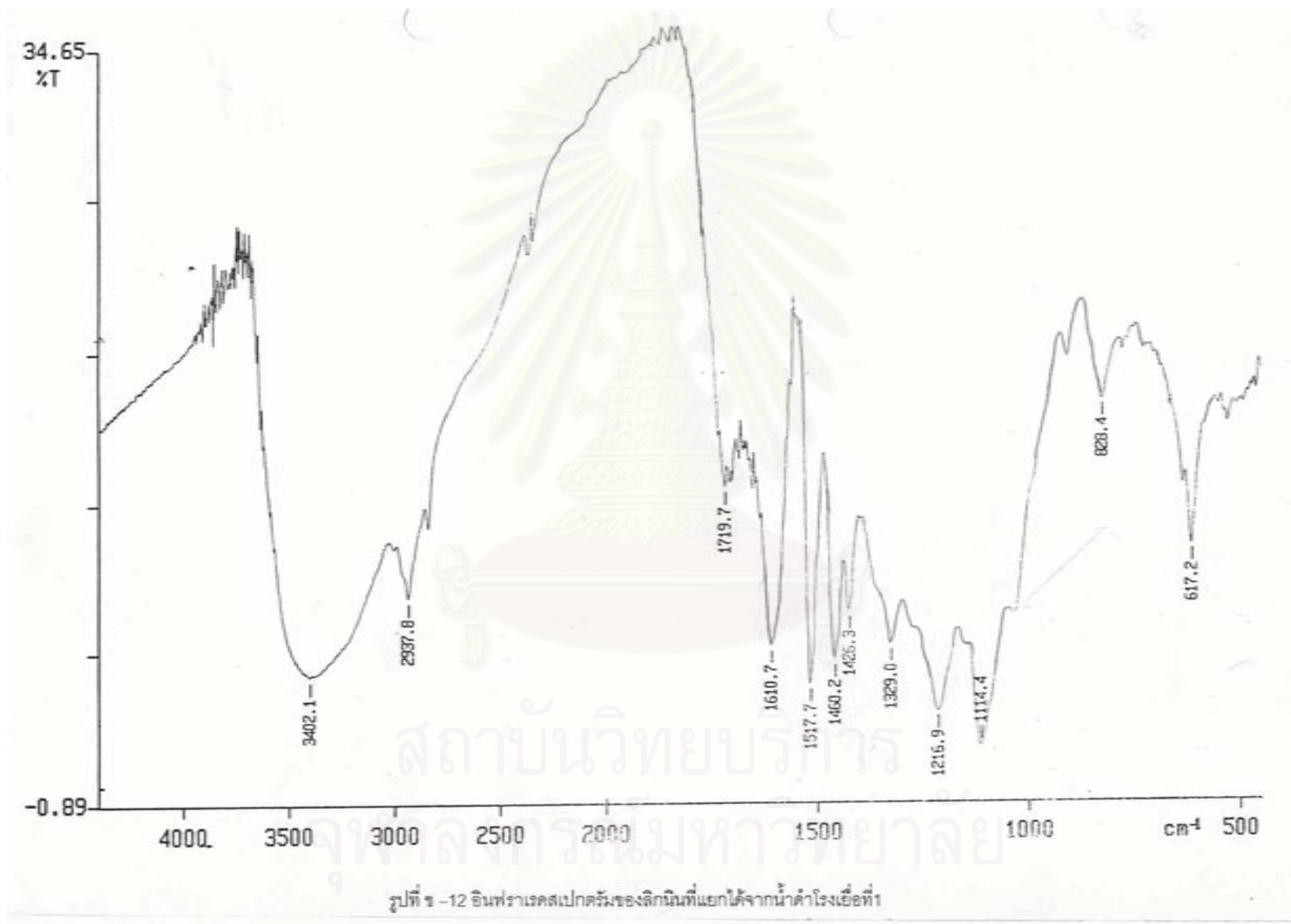


รูปที่ ข-10 รูปแสดงตะกอนลิกนินที่แยกได้

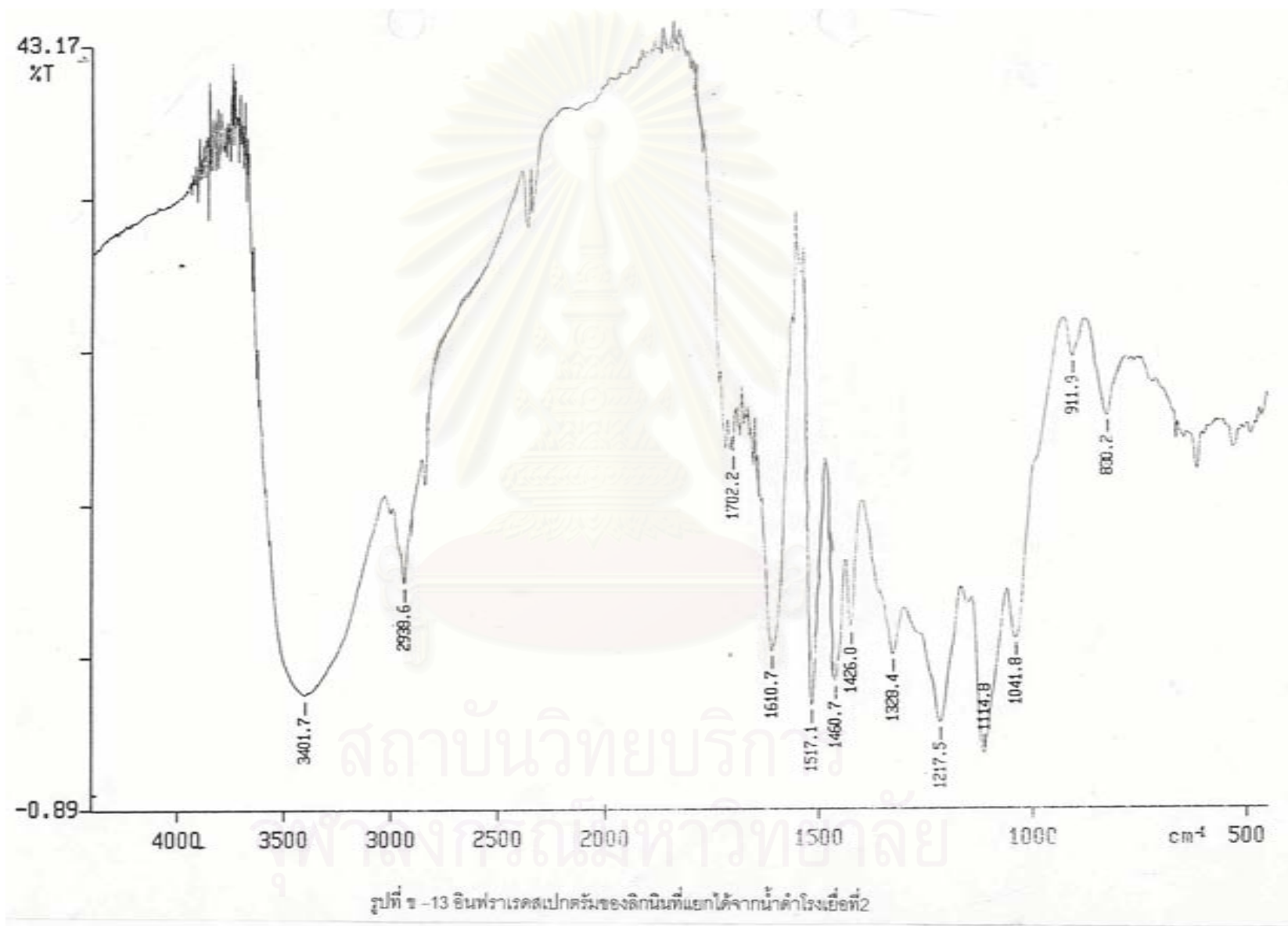


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

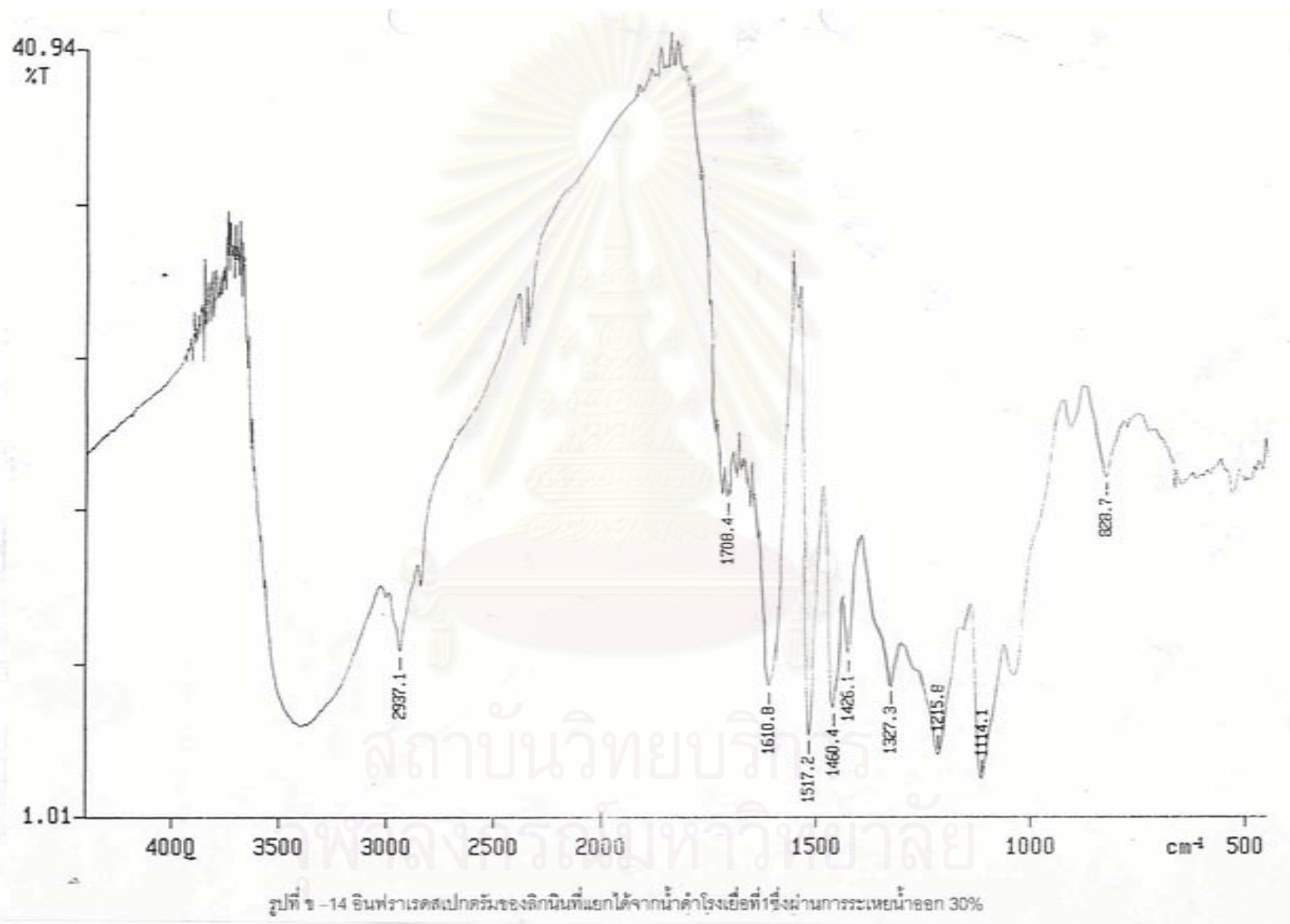




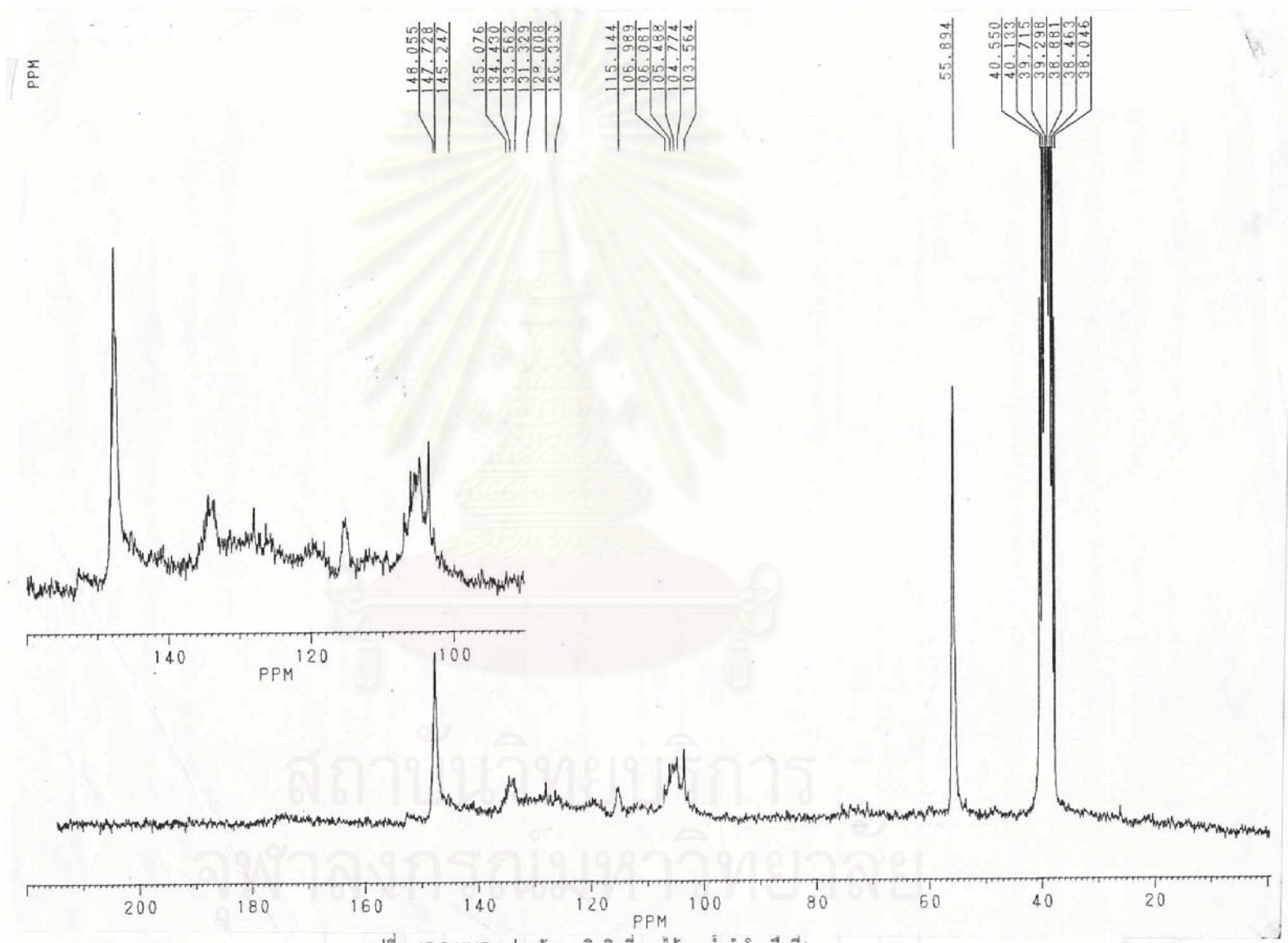
รูปที่ ๑ -12 อินฟราเรดสเปกตรัมของฉีกนิ้มที่แยกได้จากน้ำคำโรงเยื่อที่ 1



รูปที่ ๒ -13 อินฟราเรดสเปกตรัมของลิกนินที่แยกได้จากน้ำดำโรงเยื่อที่ 2



รูปที่ ข -14 อินฟราเรดสเปกตรัมของลิกนินที่แยกได้จากน้ำค้ำโรงเชื้อที่ 1 ซึ่งผ่านการระเหยน้ำออก 30%



รูปที่ ข-15 C-NMRสเปกตรัมของลิกนินที่แยกได้จากน้ำดำโรงเยื่อที่1

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิชชา พิชัยณรงค์ เกิดเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 2520 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่ โรงเรียนสตรีวิทยา ในปีการศึกษา 2537 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพแคว้นด้อมบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย