

ประสิทธิภาพของการฟอกเชื้อกระดาษด้วยวิธีทางชีวภาพโดย

Phanerochaete chrysosporium

นางสาวศรีสุดา ธรรมวิฑูกร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-238-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20503544

EFFICIENCY OF A BIOLOGICAL BLEACHING OF PAPER PULPS

BY Phanerochaete chrysosporium

Miss Srisuda Dhanwichukorn

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of The Requirements  
for the Degree of Master of Science

Programe of Biotechnology

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-632-238-9



## พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ศรีสุดา ธรรมวิฑูกร : ประสิทธิภาพของการฟอกเยื่อกระดาษด้วยวิธีทางชีวภาพ โดย *Phanerochaete chrysosporium* (EFFICIENCY OF A BIOLOGICAL BLEACHING OF PAPER PULPS BY *Phanerochaete chrysosporium* อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.หรรษา ปุณณะพยัคฆ์ อ.ที่ปรึกษาร่วม รศ.มุกดา คูหิรัญ, 145 หน้า. ISBN 974-632-238-9

การศึกษาการฟอกเยื่อกระดาษด้วยวิธีทางชีวภาพโดยใช้เชื้อรา *Phanerochaete chrysosporium* และวิธีทางเคมี โดยใช้กระบวนการ CEHH ใช้เยื่อคาลิปต์ส ซึ่งมีค่า Kappa Number เท่ากับ 6.34 ค่า Brightness เท่ากับ 37.18% และเยื่อชานอ้อย ซึ่งมีค่า Kappa Number เท่ากับ 10.64 ค่า Brightness เท่ากับ 41.18% เป็นวัตถุดิบ เริ่มต้นโดยศึกษาถึงศึกษาภาพของการฟอกเยื่อกระดาษด้วย *P. chrysosporium* แล้วนำมาประยุกต์ใช้ทดแทนหรือร่วมกับวิธีทางเคมี และเปรียบเทียบคุณภาพของเยื่อที่ฟอกได้ รวมทั้งศึกษาคุณภาพของน้ำเสียที่ได้หลังจากการฟอก พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการฟอกเยื่อคาลิปต์สและเยื่อชานอ้อย โดย *P. chrysosporium* มี pH เริ่มต้นที่เหมาะสมคือ 4.5 ที่อุณหภูมิ 38 °C โดยใช้เชื้อเริ่มต้น 1% ในสภาวะเขย่า สำหรับเยื่อคาลิปต์สจะได้ %Yield เท่ากับ 99.1 K. number เท่ากับ 1.84 และ Brightness เท่ากับ 69.60% สำหรับเยื่อชานอ้อยจะได้ค่า %Yield เท่ากับ 99.6% K. number เท่ากับ 4.60 และ Brightness เท่ากับ 54.61%

เมื่อทำการฟอกเยื่อกระดาษโดยเชื้อรา (F) ร่วมกับวิธีทางเคมี โดยใช้สารประกอบคลอรีนสำหรับเยื่อคาลิปต์ส พบว่า สามารถใช้กระบวนการ FHH แทนกระบวนการ CEHH ได้ดีและสำหรับเยื่อชานอ้อยสามารถใช้กระบวนการ FEHH แทนกระบวนการ CEHH ได้ดีเช่นกัน เนื่องจากคุณภาพของเยื่อ หลังแต่ละกระบวนการจะได้ใกล้เคียงกัน และเมื่อศึกษากระบวนการ FEP สำหรับเยื่อคาลิปต์ส ขั้นตอน P (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) (FEP2%) จะได้ค่า Brightness สูงถึง 87.37% และ %Yield เท่ากับ 99.2 สำหรับเยื่อชานอ้อยที่ FEP 4% จะได้ค่า Brightness สูงถึง 85.46% และ %Yield เท่ากับ 98.2%

เมื่อศึกษาถึงคุณภาพของน้ำเสียจากกระบวนการ FEP และ CEHH พบว่าน้ำเสียจากกระบวนการ FEP ของเยื่อคาลิปต์ส และเยื่อชานอ้อยได้ค่า COD BOD และโดยเฉพาะสีจะต่ำกว่ากระบวนการ CEHH มาก จึงสามารถใช้ FEP ซึ่งเป็นกระบวนการฟอกเยื่อที่ไม่ใช้สารประกอบคลอรีนแทนกระบวนการ CEHH ได้ดี

ภาควิชา .....เทคโนโลยีทางชีวภาพ.....  
สาขาวิชา .....เทคโนโลยีทางชีวภาพ.....  
ปีการศึกษา .....2537.....

ลายมือชื่อนิสิต .....ศรีสุดา ธรรมวิฑูกร.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....ผศ.ดร.หรรษา ปุณณะพยัคฆ์.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....รศ.มุกดา คูหิรัญ.....

## C626863: MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEY WORD: Phanerochaete chrysosporium/BIOLOGICAL BLEACHING/PAPER PULPS  
SRISUDA DHAMWICHUKORN : Efficiency of a Biological Bleaching of  
Paper Pulps by Phanerochaete chrysosporium THESIS ADVISOR :  
ASSIST. PROF. HUNSA PUNNAPAYAK, Ph.d., ASSO. PROF. MUKDA  
KUHIRUN, I45 pp. ISBN 974-632-238-9

Eucalyptus and bagasse soda pulps were treated with Phanerochaete chrysosporium. Optimal conditions for bleaching of these pulps were investigated. The initial optimal pH was 4.5. The suitable bleaching conditions were 38 °C, 1.0% inoculum with 120 rpm. shaking for 7 days. For the Eucalyptus pulp Brightness of the pulp increased from 37.18% to 68.60%. The yield loss was less than 1% and number 1.84 was obtained. For the bagasse pulp, the brightness increased from 41.18% to 54.61%, %yield was 99.6 and K. number 4.60 was obtained.

The combined fungal and chemical bleaching (FHH) in eucalyptus and the combined fungal and chemical bleaching (FEHH) in bagasse, gave similar result as the conventional CEHH bleaching. The combination of fungal, alkaline extraction and hydrogen peroxide bleaching with 2% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (P) gave the Eucalyptus pulp 87.37% brightness. The FE and hydrogen peroxide bleaching with 4% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> gave the bagasse pulp 85.46% brightness. Yield loss of these pulps were less than 1%.

The quality of wastewater form FEP of these pulps gave COD BOD Values less than a wastewater form the CEHH. The FEP also help reduce color in the wastewater. The FHH, FEHH and FEP bleaching processes could significantly reduce the use of chlorine-based chemicals and the pollution of wastewater compared to the CEHH process.

ภาควิชา..... เทคโนโลยีทางชีวภาพ.....

สาขาวิชา..... เทคโนโลยีทางชีวภาพ.....

ปีการศึกษา..... 2537.....

ลายมือชื่อนิสิต..... สรสุดา ดามวิชุกอร์น.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... หุนสา ปุณณะปายัก.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... มุกดา คูหิรุน.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่าน ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.हररषा पुण्डरीकधर อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความกรุณาอย่างยิ่งในการช่วยเหลือแนะนำ และให้ความคิดอย่างดียิ่ง ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ รวมทั้งให้ความดูแลเอาใจใส่ ช่วยเหลือลูกศิษย์ด้วยดีมาตลอด ขอกราบขอบพระคุณ รศ.มุกดา คูหิรัญ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้ความดูแลเอาใจใส่ ช่วยเหลือลูกศิษย์อย่างดีมาตลอด ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ ที่ได้ให้ความเอาใจใส่ดูแลช่วยเหลือลูกศิษย์ หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ เป็นอย่างยิ่ง ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สันต์ พานิชกุล รศ.ดร.ไพเราะ ปิ่นพานิชยการ อาจารย์อเนกวรรต เจริมพงษ์ ที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์

ขอขอบพระคุณ บริษัทเยื่อกระดาษสยาม จำกัด(มหาชน) ที่ได้ให้เงินทุนสนับสนุน และความพร้อมในด้านต่างๆในการทำวิจัย วิทยานิพนธ์นี้จะไม่ประสบผลสำเร็จ ถ้าปราศจากผู้ใหญ่หลายท่านที่ให้ความกรุณาเป็นอย่างยิ่งขอกราบขอบพระคุณคุณเจตน์ ชรรมวลานิช หัวหน้าศูนย์พัฒนาผลิตภัณฑ์และวิศวกรรม ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้วยดีมาตลอด รวมทั้งเห็นคุณค่าของการศึกษาและวิจัย ของนิสิตในมหาวิทยาลัย ขอกราบขอบพระคุณ คุณวิศิษฐ์ ปิติวัฒนะกุล วิศวกรใหญ่ของศูนย์พัฒนาเป็นอย่างมาก ที่ได้ให้ความช่วยเหลือต่างๆ และให้คำแนะนำ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยเป็นอย่างมากด้วยดีตลอดมา ขอกราบขอบพระคุณ คุณคณิง อินทรธานี ผู้จัดการฝ่ายผลิต บริษัทเยื่อกระดาษฯ เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างดีเสมอ

ขอขอบคุณ คุณวิจัย หอมศักดิ์มงคล คุณมรกต วีรพันธ์ุ คุณสิบลักษณ์ เลิศชนะ เรืองฤทธิ์ คุณสุนทร มั่นคง และ คุณอรสา ร่วมพุ่ม เป็นอย่างมาก ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี รวมทั้งพี่น้อง เพื่อน ๆ ชาวศูนย์ฯ ทุกคน

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และคุณภรรยา จุฬาคินนัท น้ำสาวที่แสนดีของข้าพเจ้า รวมทั้งขอขอบคุณ พี่สาวน้องสาว และ คุณอรอนงค์ ฐาปนพันธ์-นิตกุลเพื่อนที่ดีของข้าพเจ้า ที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ท้ายที่สุด ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน จนกระทั่งสำเร็จการศึกษา ด้วยความซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญกราฟ .....	ฉ
สารบัญรูป .....	ค
สารบัญแผนภาพ .....	ท
สารบัญภาพ .....	ณ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	ด
บทที่	
1. บทนำ .....	1
2. วัตถุประสงค์และวิธีการวิจัย .....	17
3. ผลการวิจัย .....	29
4. อภิปรายผลการวิจัย .....	78
5. สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	88
เอกสารอ้างอิง .....	92
ภาคผนวก .....	112
ประวัติผู้เขียน .....	145

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
1	เปอร์เซ็นต์ของลิกนินและโพลีแซคคาไรด์ต่างๆ ในรูปของน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่หายไปจากเนื้อไม้ที่ถูกย่อยสลายด้วย white rot fungi เป็นเวลา 12 สัปดาห์.....	7
2	แสดงผลการวิเคราะห์เยื่อคาลิปต์สและเยื่อชานอ้อย ที่ใช้เป็นวัสดุติบในการทดลอง.....	30
3	แสดงผลการฟอกเยื่อคาลิปต์ส ตามขั้นตอน CEHH ในสภาวะที่เหมาะสม.....	31
4	แสดงผลการฟอกเยื่อชานอ้อย ตามขั้นตอน CEHH ในสภาวะที่เหมาะสม.....	32
5	การเจริญของเส้นใยเชื้อรา <u>P. chrysosporium</u> ในอาหารเหลว Potato Dextrose.....	35
6	แสดงผลของ pH ของสารละลายเยื่อคาลิปต์สต่ออัตราการฟอกเยื่อคาลิปต์ส.....	37
7	แสดงผลของ pH ของสารละลายเยื่อชานอ้อยต่ออัตราการฟอกเยื่อชานอ้อย.....	39
8	แสดงผลการเปลี่ยนแปลง pH ในระหว่างการฟอกเยื่อคาลิปต์ส โดย <u>P. chrysosporium</u> .....	41
9	แสดงผลการเปลี่ยนแปลง pH ในระหว่างการฟอกเยื่อชานอ้อย โดย <u>P. chrysosporium</u> .....	43
10	แสดงผลของอุณหภูมิต่อการฟอกเยื่อคาลิปต์ส และเยื่อชานอ้อย โดยเชื้อรา <u>P. chrysosporium</u> บ่มที่อุณหภูมิ 25, 30, 38 และ 42 องศาเซลเซียส.....	46
11	แสดงผลปริมาณเชื้อเริ่มต้น(กรัม/100 มิลลิลิตร)ในสารละลายเยื่อคาลิปต์ส ต่ออัตราส่วนการฟอกเยื่อคาลิปต์สโดยเชื้อรา <u>P. chrysosporium</u> .....	48



สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
12	แสดงผลปริมาณเชื้อเริ่มต้น (กรัม/100 มิลลิลิตร) ในสารละลาย เชื้อชานอ้อย ต่ออัตราส่วนการฟอกเชื้อชานอ้อย โดยเชื้อรา <u>P. chrysosporium</u> .....	50
13	แสดงผลการฟอกเชื้อยูคาลิปตัสและเชื้อชานอ้อย ซึ่งบ่มเชื้อใน สภาพนิ่ง และสภาพเขย่าด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที โดย <u>P. chrysosporium</u> .....	53
14	แสดงผลคุณภาพของเชื้อยูคาลิปตัสที่ได้หลังจากการฟอกเชื้อโดย <u>P. chrysosporium</u> ในสภาวะที่เหมาะสมเป็นเวลา 7 วัน.	55
15	แสดงผลคุณภาพของเชื้อชานอ้อยที่ได้หลังจากการฟอกเชื้อ โดย <u>P. chrysosporium</u> ในสภาวะที่เหมาะสมเป็นเวลา 7 วัน.	58
16	แสดงผลสรุปการฟอกเชื้อด้วยวิธีทางเคมี (CEHH).....	63
17	แสดงผลสรุปคุณภาพของเชื้อยูคาลิปตัสและเชื้อชานอ้อยที่ได้หลัง จากการฟอกเชื้อโดย <u>P. chrysosporium</u> ในสภาวะที่เหมาะสม เป็นเวลา 7 วัน.....	63
18	แสดงเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า Kappa number ของเชื้อยูคาลิปตัส และเชื้อชานอ้อยที่ได้หลังจากการฟอกเชื้อโดย <u>P. chrysosporium</u> ในสภาวะที่เหมาะสมเป็นเวลา 7 วัน.....	64
19	แสดงผล brightness (%) ของเชื้อยูคาลิปตัส จากกระบวนการ FHH และเชื้อชานอ้อยจากกระบวนการ FEHH.....	67
20	แสดงผลการฟอกเชื้อยูคาลิปตัส ซึ่งผ่านกระบวนการฟอกโดย เชื้อรา (F) แล้วนำมาต่อด้วยขั้นตอน E และ E/P เรียก FEP โดยได้ทำการแปรผันขั้นตอน E/P ที่ระดับไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์ (P) ต่างๆ .....	68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
21	แสดงผลการฟอกเยื่อชานอ้อย/ซึ่งผ่านขบวนการฟอกโดยเชื้อรา (F) แล้วนำมาต่อด้วยขั้นตอน E และ E/P เรียก FEP โดยได้ทำการแปรผันขั้นตอน E/P ที่ระดับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (P) ต่างๆ .....	71
22	แสดงค่า COD, BOD, pH และสี ของน้ำเสียที่เกิดจากขบวนการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อชานอ้อย โดยวิธีทางเคมี (CEHH) และโดยการใช้เชื้อราฟอกร่วมกับการใช้โซดาไฟ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (FEP).....	75
23	แสดงการเปลี่ยนแปลง brightness ใน hardwood kraft pulp หลังจากการฟอกด้วย white rot fungi.....	84

## สารบัญกราฟ

กราฟที่		หน้า
1	แสดงผลการฟอกเชื้อยูคาลิปตัส ตามขั้นตอน CEHH ในสภาวะที่เหมาะสม.....	33
2	การเจริญของเส้นใยเชื้อรา <u>P. chrysosporium</u> ในอาหารเหลว Potato Dextrose .....	36
3	แสดงผลของ pH ของสารละลายเชื้อยูคาลิปตัสต่ออัตราการฟอกเชื้อยูคาลิปตัส.....	38
4	แสดงผลของ pH ของสารละลายเชื้อชานอ้อยต่ออัตราการฟอกเชื้อชานอ้อย.....	40
5	แสดงการเปลี่ยนแปลง pH ในระหว่างการฟอกเชื้อยูคาลิปตัสโดย <u>P. chrysosporium</u> .....	42
6	แสดงการเปลี่ยนแปลง pH ในระหว่างการฟอกเชื้อชานอ้อยโดย <u>P. chrysosporium</u> .....	44
7	แสดงผลของอุณหภูมิต่อการฟอกเชื้อยูคาลิปตัสและเชื้อชานอ้อยโดยเชื้อรา <u>P. chrysosporium</u> บ่มที่อุณหภูมิ 25, 30, 38 และ 42 องศาเซลเซียส.....	47
8	แสดงผลปริมาณเชื้อเริ่มต้น (กรัม/100 มิลลิลิตร) ในสารละลายเชื้อยูคาลิปตัส ต่ออัตราส่วนการฟอกเชื้อยูคาลิปตัสโดยเชื้อรา <u>P. chrysosporium</u> .....	49
9	แสดงผลปริมาณเชื้อเริ่มต้น (กรัม/100 มิลลิลิตร) ในสารละลายเชื้อชานอ้อย ต่ออัตราส่วนการฟอกเชื้อชานอ้อย โดยเชื้อรา <u>P. chrysosporium</u> .....	51
10	แสดงผลการฟอกเชื้อยูคาลิปตัสและเชื้อชานอ้อย ซึ่งบ่มเชื้อในสภาพนิ่ง และสภาพเขย่าด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที โดย <u>P. chrysosporium</u> .....	54

สารบัญกราฟ (ต่อ)

กราฟที่	หน้า
11	57
แสดงผลคุณภาพของเยื่อคาลิปต์สที่ได้หลังจากการฟอกเยื่อโดย <i>P. chrysosporium</i> ในสภาวะที่เหมาะสมเป็นเวลา 7 วัน	
12	60
แสดงผลคุณภาพของเยื่อชานอ้อยที่ได้ หลังจากการฟอกเยื่อโดย <i>P. chrysosporium</i> ในสภาวะที่เหมาะสมเป็นเวลา 7 วัน	
13	70
แสดงผลการฟอกเยื่อคาลิปต์ส ซึ่งผ่านขั้นตอนการฟอกโดย เชื้อรา (F) แล้วนำมาต่อด้วยขั้นตอน E และ E/P เรียก FEP โดยได้ทำการแปรผันขั้นตอน E/P ที่ระดับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (P) ต่างๆ .....	
14	73
แสดงผลการฟอกเยื่อชานอ้อย/ทั้งผ่านขั้นตอนการฟอกโดยเชื้อรา (F) แล้วนำมาต่อด้วยขั้นตอน E และ E/P เรียก FEP โดยได้ทำการแปรผันขั้นตอน E/P ที่ระดับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (P) ต่างๆ .....	
15	76
แสดงค่า COD, BOD, pH และสี ของน้ำเสียที่เกิดจากขั้นตอนการฟอกเยื่อคาลิปต์ส โดยวิธีทางเคมี (EHH) และโดยการใช้เชื้อราฟอกร่วมกับการใช้โซดาไฟ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (FEP).....	
16	77
แสดงค่า COD, BOD, pH และสี ของน้ำเสียที่เกิดจากขั้นตอนการฟอกเยื่อชานอ้อย โดยวิธีทางเคมี (CEHH) และโดยการใช้เชื้อราฟอกร่วมกับการใช้โซดาไฟ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (FEP).....	

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	เชื้อรา <u>P. chrysosporium</u> เจริญบนอาหาร PDA (potato dextrose broth).....	19
2	เครื่อง Pressure ทำแผ่นเชื้อสำหรับวัด Brightness.....	20
3	เครื่องวัด brightness.....	21
4	แผ่นเยื่อยูคาลิปตัส A=ก่อนฟอก B=หลังฟอกด้วยเชื้อรา <u>P. chrysosporium</u> ในสภาวะที่เหมาะสม.....	56
5	แผ่นเยื่อชานอ้อย A=ก่อนฟอก B=หลังฟอกด้วยเชื้อรา <u>P. chrysosporium</u> ในสภาวะที่เหมาะสม.....	59
6	เยื่อยูคาลิปตัสก่อนฟอก ในพลาสติกขนาด 1 ลิตร.....	61
7	เยื่อยูคาลิปตัสหลังฟอก ด้วยเชื้อรา <u>P. chrysosporium</u> ในสภาวะที่เหมาะสม ในพลาสติกขนาด 1 ลิตร.....	61
8	เยื่อชานอ้อยก่อนฟอก ในพลาสติกขนาด 1 ลิตร.....	62
9	เยื่อชานอ้อยหลังฟอก ด้วยเชื้อรา <u>P. chrysosporium</u> ในสภาวะที่เหมาะสม ในพลาสติกขนาด 1 ลิตร.....	62
10	แผ่นเยื่อยูคาลิปตัส A=ก่อนฟอก B=หลังผ่านขั้นตอนC C=หลังผ่านขั้นตอนE D=หลังผ่านขั้นตอนH1 E=หลังผ่านขั้นตอน2 F=หลังผ่านการฟอก ด้วยเชื้อรา <u>P. chrysosporium</u> ในสภาวะที่เหมาะสม.....	65
11	แผ่นเยื่อชานอ้อย A=ก่อนฟอก B=หลังผ่านขั้นตอนC C=หลังผ่านขั้นตอนE D=หลังผ่านขั้นตอนH1 E=หลังผ่านขั้นตอน2 F=หลังผ่านการฟอก ด้วยเชื้อรา <u>P. chrysosporium</u> ในสภาวะที่เหมาะสม.....	65

## สารบัญแผนภาพ

แผนภาพที่		หน้า
1	สรุปขั้นตอนการเตรียมเชื้อรา (inoculum) และการใส่เชื้อราในเชื้อกระดาษ .....	27
2	สรุปขั้นตอนการฟอกเยื่อ โดยนำเชื้อรามาสะยুক্তใช้ร่วมกับวิธีทางเคมี โดยไม่ใช้คลอรีนหรือสารประกอบคลอรีน โดยใช้วิธีที่เรียกว่า FEP .....	28

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จากการย่อยสลาย spruce wood โดยเชื้อรา <u>P. chrysosporium</u> .....	13