บทที่ 3

ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน ของเยื่อที่ผ่านขบวนการต้มเยื่อแล้ว แต่ยังไม่เข้าสู่ระบบ CE/PHH พบว่าเยื่อชานอ้อยมีค่า Kappa number เท่ากับ 10.64 และค่า Brightness เท่ากับ 41.18 ส่วนเยื่อยูคาลิปตัสมีค่า Kappa number เท่ากับ 6.34 และ ค่า Brightness เท่ากับ 37.17 ซึ่งเยื่อชานอ้อยจะมีค่า Kappa number สูงกว่าเยื่อยูคาลิปตัสและมีค่า Brightness สูงกว่าเยื่อยูคาลิปตัสแสดงว่าเยื่อชานอ้อย มีปริมาณลิกนินอยู่ในเยื่อสูงกว่าเยื่อยูคาลิปตัส โดยได้ใช้เยื่อชานอ้อยและเยื่อยูคาลิปตัสที่มีค่า Kappa number และค่า Brightness ที่เริ่มต้นเท่านี้ เป็นเยื่อกระดาษเริ่มต้นในการทดลองต่อ ๆไป

1. การศึกษาฟอกเยื่อโดยวิธีทางเคมี โดยฟอกเยื่อตามขั้นตอน CE/PHH ในเยื่อชานอ้อยและในเยื่อยูคาลิปตัส หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพของเยื่อที่ได้หลังการฟอกในแต่ละขั้นตอน

จากวิเคราะห์คุณภาพของเยื่อที่ได้หลังจากการฟอกในเยื่อยูคาลิปตัสพบว่าหลังจากผ่านขั้นตอน C (Cl_2) จะได้ค่าBrightnessเท่ากับ 53.98 % หลังจากผ่านขั้นตอน E จะได้ค่าBrightnessเท่ากับ 70.14 % และค่า Permanganate number เท่ากับ 1.80 หลังผ่านขั้นตอน H_1 ได้ค่าความขาวสว่างเท่ากับ 84.31 % หลังผ่านขั้นตอน H_2 ได้ค่าBrightnessเท่ากับ 85.35% โดยค่า Kappa number เริ่มต้นการฟอกเท่ากับ 6.34 ค่าความขาวสว่างเท่ากับ 37.18 และ % yield ที่ได้หลังจากการฟอกผ่านขั้นตอนสุดท้าย H_2 เท่ากับ 99.0 % (ตางรางที่ 3 กราฟที่ 1) สำหรับเยื่อชานอ้อย พบว่าหลังผ่านขั้นตอน C (Cl_2) จะได้ค่าBrightnessเท่ากับ 53.19 % หลังผ่านขั้นตอน E จะได้ค่าBrightnessเท่ากับ 68.75 % และค่า Permanganate

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์เยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อชานอ้อยที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง

ชนิดเยื่อ	Kappa number	Brightness(%)
ยูคาลิปตัส	6.34	37.17
ชานอ้อย	10.64	41.18

ตารางที่ 3 แสดงผลการฟอกเยื่อยูคาลิปตัส ตามขั้นตอน CEHH ในสภาวะที่เหมาะสม

Bleaching Sequence:	C	E /P	H/1	H /2
Bleaching Chemical:	Cl_2	$NaOH/H_2O_2$	NaOCl/NaOH	NaOCl/NaOH
Chemical Dosage(%):	1.52	3.0/0.4	1.2/0.15	1.2/0.15
% Consistency	3	10.5	10.5	10.5
Bleaching Time(mins):	60	120	150	150
Bleaching Temperature(°C):	38	65	50	50
Brightness(%)	53.98	70.14	84.31	85.35
K.number	-	1.80	-	-

หมายเหตุ KAPPA NUMBER เริ่มต้น : 6.34

BRIGHTNESS เริ่มต้น : 37.18

ผลผลิตหลังการฟอก : 99.0%

ตารางที่ 4 แสดงผลการฟอกเยื่อชานอ้อย ตามขั้นตอน CEHH ในสภาวะที่เหมาะสม

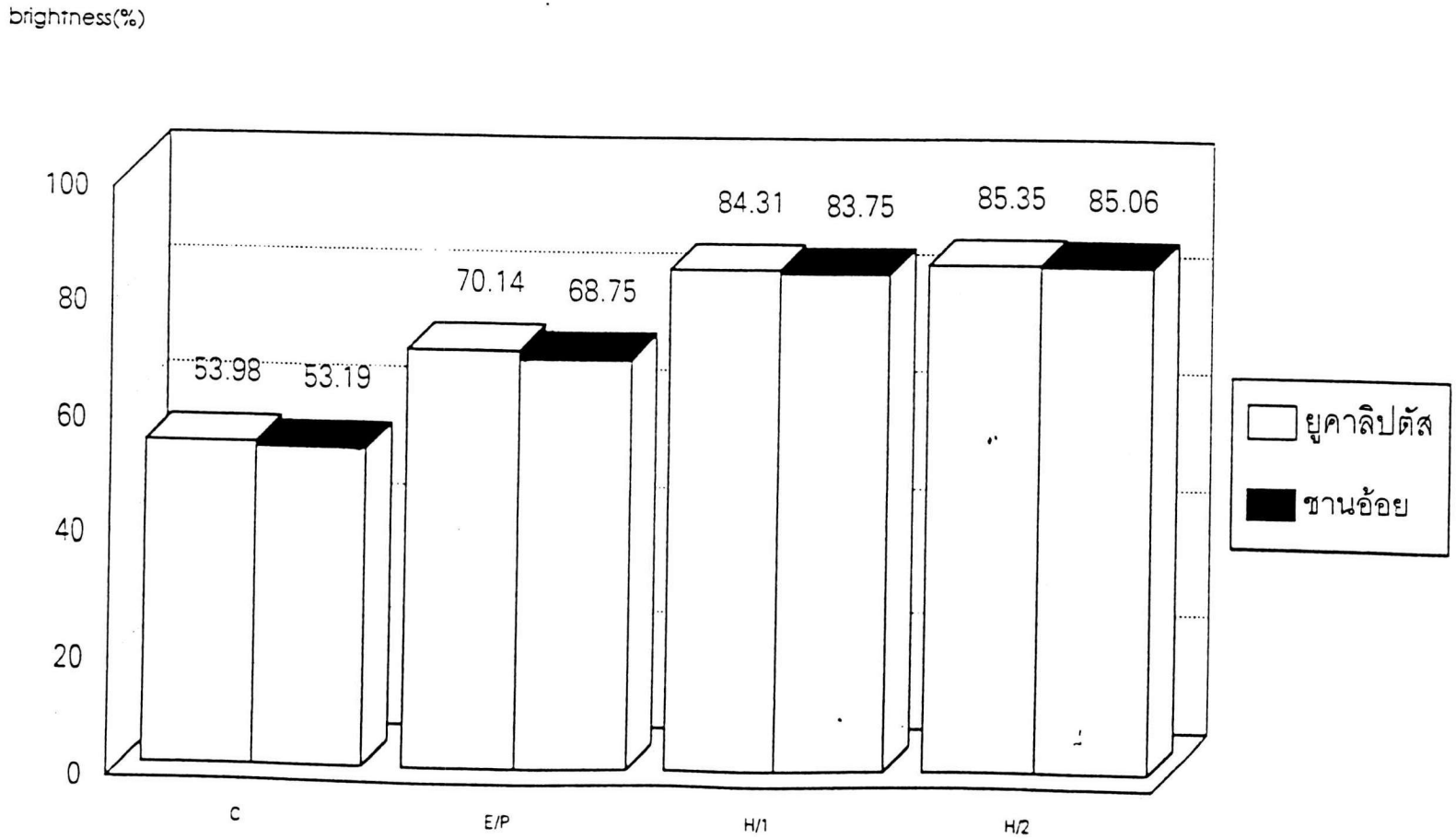
Bleaching Sequence:	C	E /P	H/1	H /2
Bleaching Chemical:	Cl_2	$NaOH/H_2O_2$	NaOCl/NaOH	NaOCl/NaOH
Chemical Dosage(%):	2.55	1.5/0.35	1.5/0.22	1.5/0.22
% Consistency	3	10.5	10.5	10.5
Bleaching Time(mins):	55	120	150	150
Bleaching Temperature($^{\circ}C$):	38	65	50	50
Brightness(%)	53.19	68.75	83.75	85.06
K.number	-	1.92	-	-

หมายเหตุ KAPPA NUMBER เริ่มต้น : 10.64

BRIGHTNESS เริ่มต้น : 41.18

ผลผลิตหลังการฟอก : 99.0%

กราฟที่ 1 แสดงผลการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสและชานอ้อย ตามขั้นตอน CEHH ในสภาวะที่เหมาะสม



number เท่ากับ 1.92 หลังผ่านขั้นตอน H_1 ได้ค่าBrightnessเท่ากับ 83.75 % และหลังผ่านขั้นตอน H_2 ได้ค่าBrightnessเท่ากับ 85.06 % โดยค่าKappa number เริ่มต้นการฟอกเท่ากับ10.64 ค่าBrightnessเท่ากับ 41.18 % และ % yield ที่ได้หลังจากการฟอกผ่านขั้นตอนสุดท้าย H_2 เท่ากับ 99.0 % (ตารางที่ 4 กราฟที่ 1)

2. การฟอกเยื่อกระดาษด้วยวิธีทางชีวภาพโดยเชื้อรา P. chrysosporium

2.1 การศึกษาการเจริญของเชื้อรา P. chrysosporium

เมื่อเลี้ยงเส้นใยเชื้อรา P. chrysosporium ในอาหาร potato dextrose broth (PDB) เก็บผลผลิตของเชื้อราเป็นน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเส้นใยแล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำ growth curve เพื่อหาระยะเมแทบอลิซึมทุติยภูมิ จากการทดลองพบว่าเส้นใยเชื้อรา P. chrysosporium มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามลำดับ ในวันที่ 1 ถึงวันที่ 6 และเริ่มคงที่ในวันที่ 7 จนกระทั่งถึงวันที่ 15 ตามตารางที่ 5 กราฟที่ 2 ซึ่งพบว่าวันที่ 7 เป็นวันที่เชื้อรา P. chrysosporium เข้าสู่ระยะ stationary หรือระยะเมแทบอลิซึมทุติยภูมิ (secondary metabolism)

การทดลองนี้ ทำให้ได้ระยะเวลาที่เหมาะสม ของเชื้อเริ่มต้นที่จะนำไปฟอกเยื่อกระดาษต่อไป

2.2 การศึกษาความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการฟอกเยื่อกระดาษทั้ง 2 ชนิด

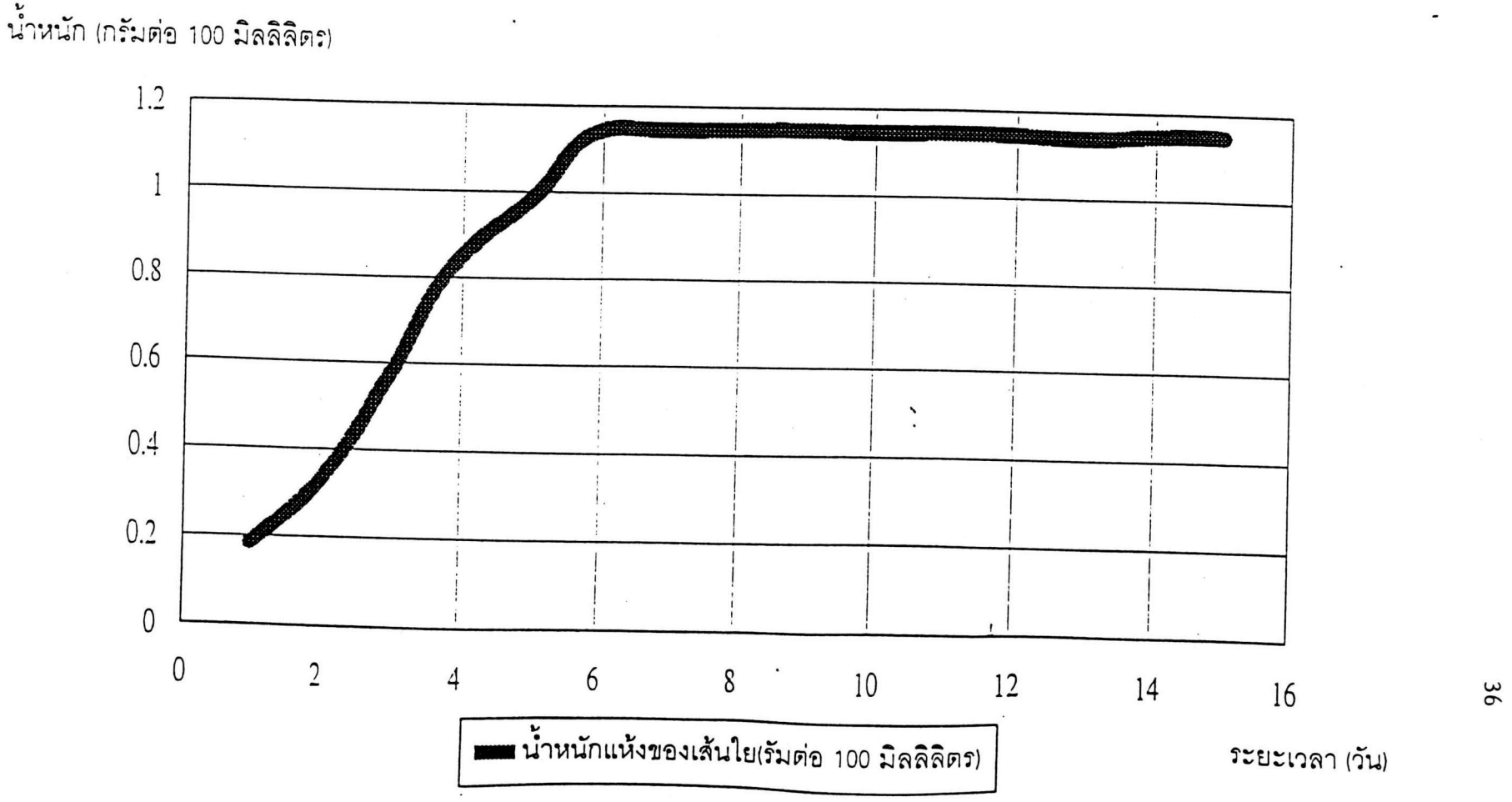
จากการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อชานอ้อย โดยเชื้อรา P. chrysosporium ในสารละลายเยื่อที่มีการปรับสภาพความเป็นกรดด่างนี้ เป็น 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 และ 7.0 ตามลำดับ พบว่าเชื้อรา P. chrysosporium มีความสามารถในการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อชานอ้อยได้ดี ที่ความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4.5 โดยเยื่อยูคาลิปตัสจะวัดค่า Brightnessได้ 67.65 % และเยื่อชานอ้อยจะวัดค่า brightnessได้

ตารางที่ 5 การเจริญของเส้นใยเชื้อรา*Phanerochaete chrysosporium* ในอาหารเหลว Potato Dextrose

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักแห้งของเส้นใย(กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)
1	0.1850 ± 0.0073
2	0.3284 ± 0.0067
3	0.5796 ± 0.0128
4	0.8542 ± 0.0032
5	0.9867 ± 0.0111
6	1.1443 ± 0.0069
7	1.1453 ± 0.0094
8	1.1484 ± 0.0095
9	1.1488 ± 0.0074
10	1.1456 ± 0.0055
11	1.1477 ± 0.0143
12	1.1458 ± 0.0098
13	1.1398 ± 0.0083
14	1.1485 ± 0.0165
15	1.1488 ± 0.0077

I20503544

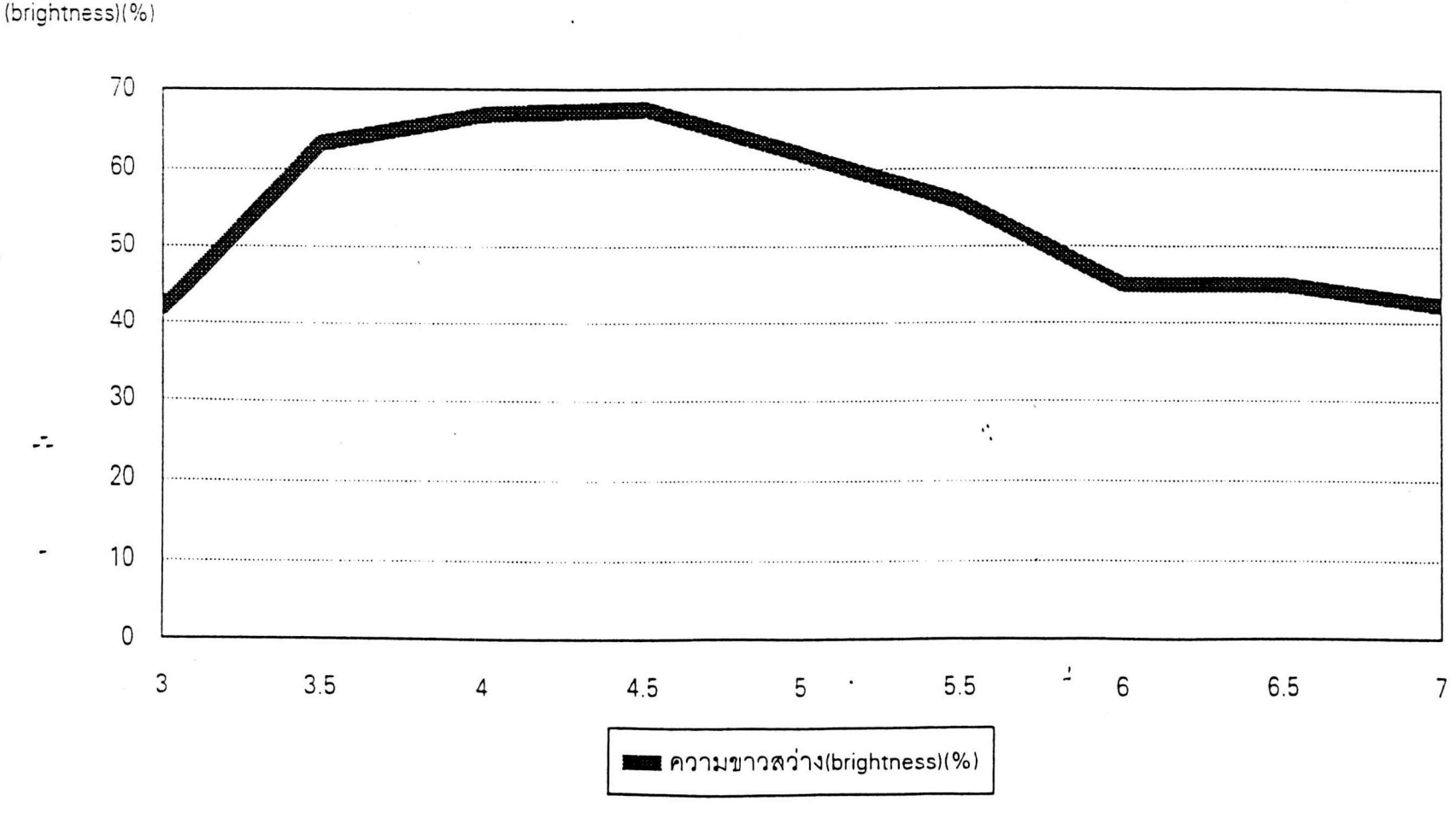
กราฟที่ 2 การเจริญของเส้นใยเชื้อรา Phanerochaete chrysosporium ในอาหารเหลว Potato Dextrose



ตารางที่ 6 แสดงผลของ pH ของสารละลายเยื่อยูคาลิปตัสต่ออัตราการฟอกเยื่อยูคาลิปตัส โดยวัดเป็นค่าความขาวสว่าง(brightness)(%) โดยเชื้อราPhanerochaete chrysosporiumเป็นเวลา 7 วัน

pH	ความขาวสว่าง(brightness)(%)
3.0	41.84 ± 0.748
3.5	63.24 ± 0.079
4.0	66.92 ± 0.051
4.5	67.65 ± 0.103
5.0	61.79 ± 0.191
5.5	55.62 ± 0.048
6.0	45.07 ± 0.009
6.5	45.13 ± 0.040
7.0	42.18 ± 0.628

กราฟที่ 3 แสดงผลของ pH ของสารละลายเยื่อยูคาลิปตัสต่ออัตราการฟอก
เยื่อยูคาลิปตัส โดยวัดเป็นค่าความขาวสว่าง(brightness)(%)
โดยเชื้อราPhanerochaete chrysosporiumเป็นเวลา 7 วัน



ตารางที่ 7 แสดงผลของ pH ของสารละลายเยื่อชานอ้อยต่ออัตราการฟอกเยื่อชานอ้อย โดยวัดเป็นค่าความขาวสว่าง(brightness)(%) โดยเชื้อรา*Phanerochaete chrysosporium*เป็นเวลา 7 วัน

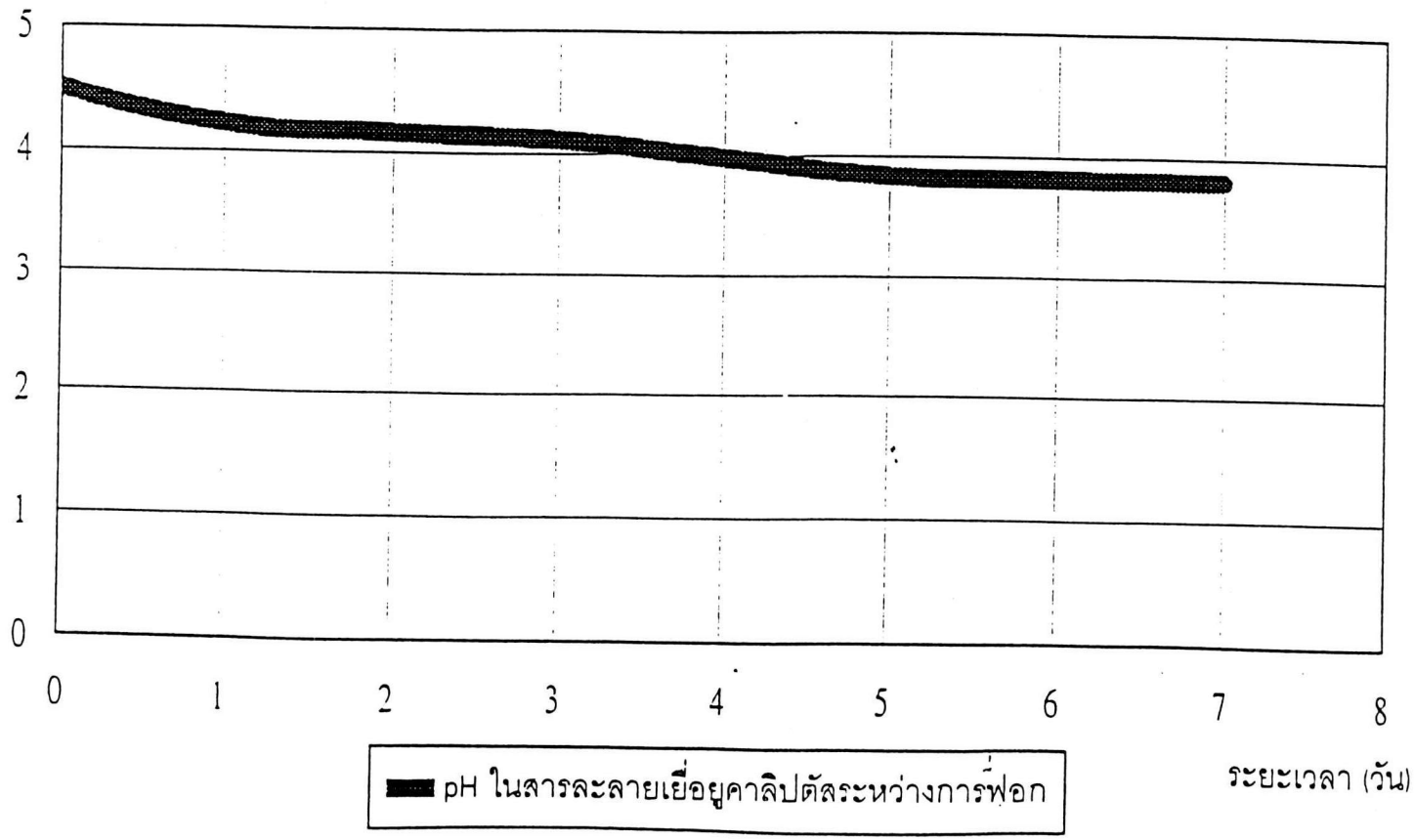
pH	ความขาวสว่าง(brightness)(%)
3.0	41.44 ± 1.224
3.5	48.32 ± 0.109
4.0	50.97 ± 0.050
4.5	53.44 ± 0.067
5.0	46.03 ± 0.058
5.5	47.58 ± 0.061
6.0	43.57 ± 0.046
6.5	42.66 ± 0.252
7.0	41.75 ± 0.772

กราฟที่ 4 แสดงผลของ pH ของสารละลายเยื่อชานอ้อยต่ออัตราการฟอก
เยื่อชานอ้อย โดยวัดเป็นค่าความขาวสว่าง(brightness)(%)
โดยเชื้อราPhanerochaete chrysosporiumเป็นเวลา 7 วัน

ตารางที่ 8 แสดงการเปลี่ยนแปลง pH ในระหว่างการฟอกเยื่อยูคาลิปตัส โดยเชื้อรา*Phanerochaete chrysosporium*

ระยะเวลา (วัน)	pH ในสารละลายเยื่อยูคาลิปตัสระหว่างการฟอก
0	4.50
1	4.22
2	4.16
3	4.11
4	3.98
5	3.84
6	3.82
7	3.81

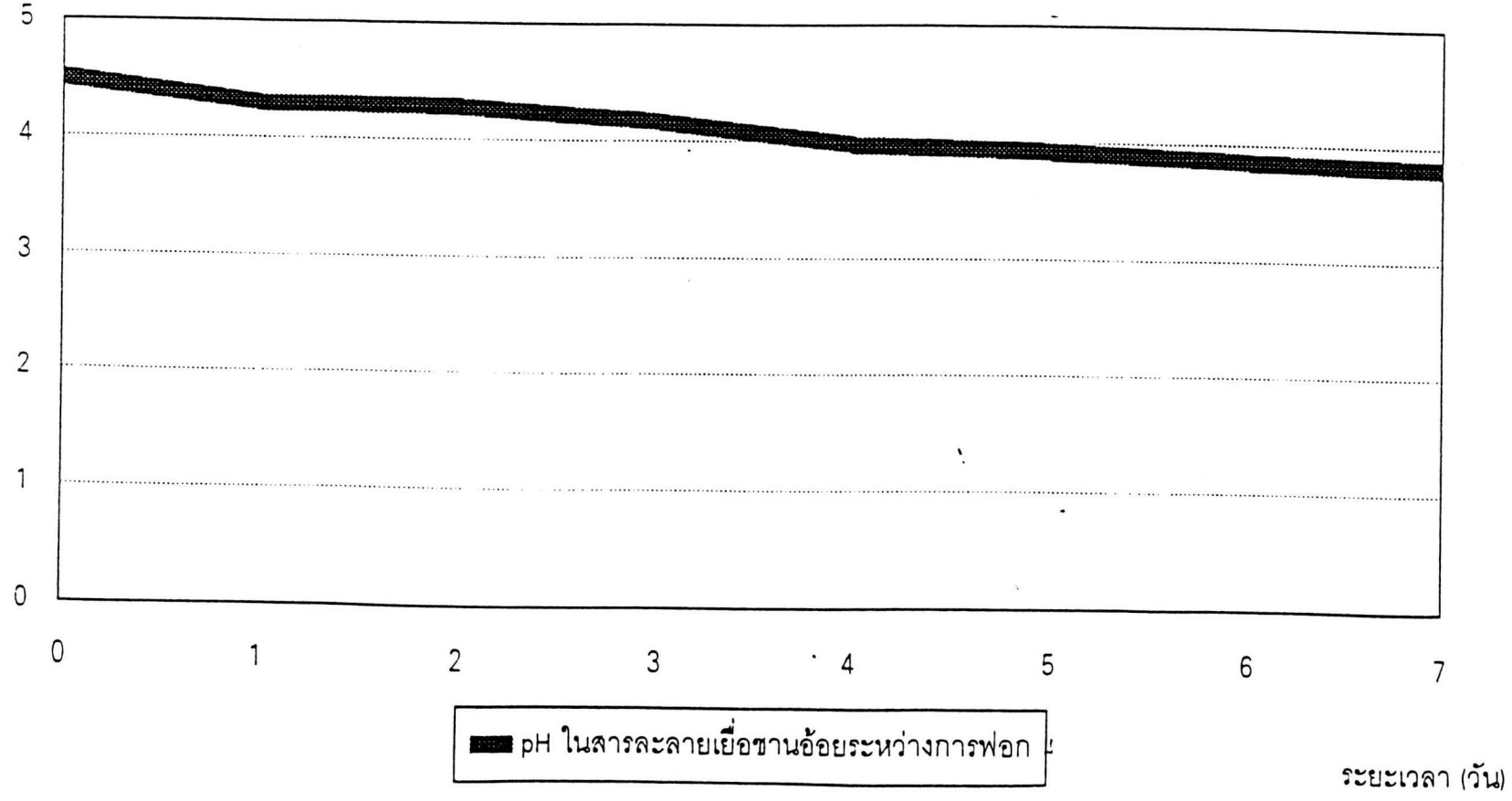
กราฟที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลง pH ในระหว่างการฟอกเยื่อยูคาลิปตัส โดยเชื้อราPhanerochaete chrysosporium



ตารางที่ 9 แสดงการเปลี่ยนแปลง pH ในระหว่างการฟอกเยื่อชานอ้อย โดยเชื้อรา Phanerochaete chrysosporium

ระยะเวลา (วัน)	pH ในสารละลายเยื่อชานอ้อยระหว่างการฟอก
0	4.50
1	4.30
2	4.28
3	4.16
4	3.97
5	3.92
6	3.85
7	3.81

กราฟที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลง pH ในระหว่างการฟอกเยื่อชานอ้อย โดยเชื้อรา*Phanerochaete chrysosporium*



53.44 % (ตารางที่ 6-7 กราฟที่ 3-4)

2.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อชานอ้อย

จากการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อชานอ้อย โดยเชื้อรา P. chrysosporium โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 4 ระดับคือ 25 30 38 และ 42 องศาเซลเซียส พบว่าในเยื่อยูคาลิปตัสที่อุณหภูมิ 30-38 องศาเซลเซียส ให้ผลดีที่สุด คือ เมื่อวัดอัตราการฟอกโดยวัดค่า Brightness ได้เท่ากับ 67.53 % และในเยื่อชานอ้อยที่อุณหภูมิ 30-38 องศาเซลเซียส ให้ผลดีที่สุด เช่นกัน โดยวัดค่า Brightness หลังจากการฟอกได้เท่ากับ 53.21 % (ตารางที่ 10 กราฟที่ 7)

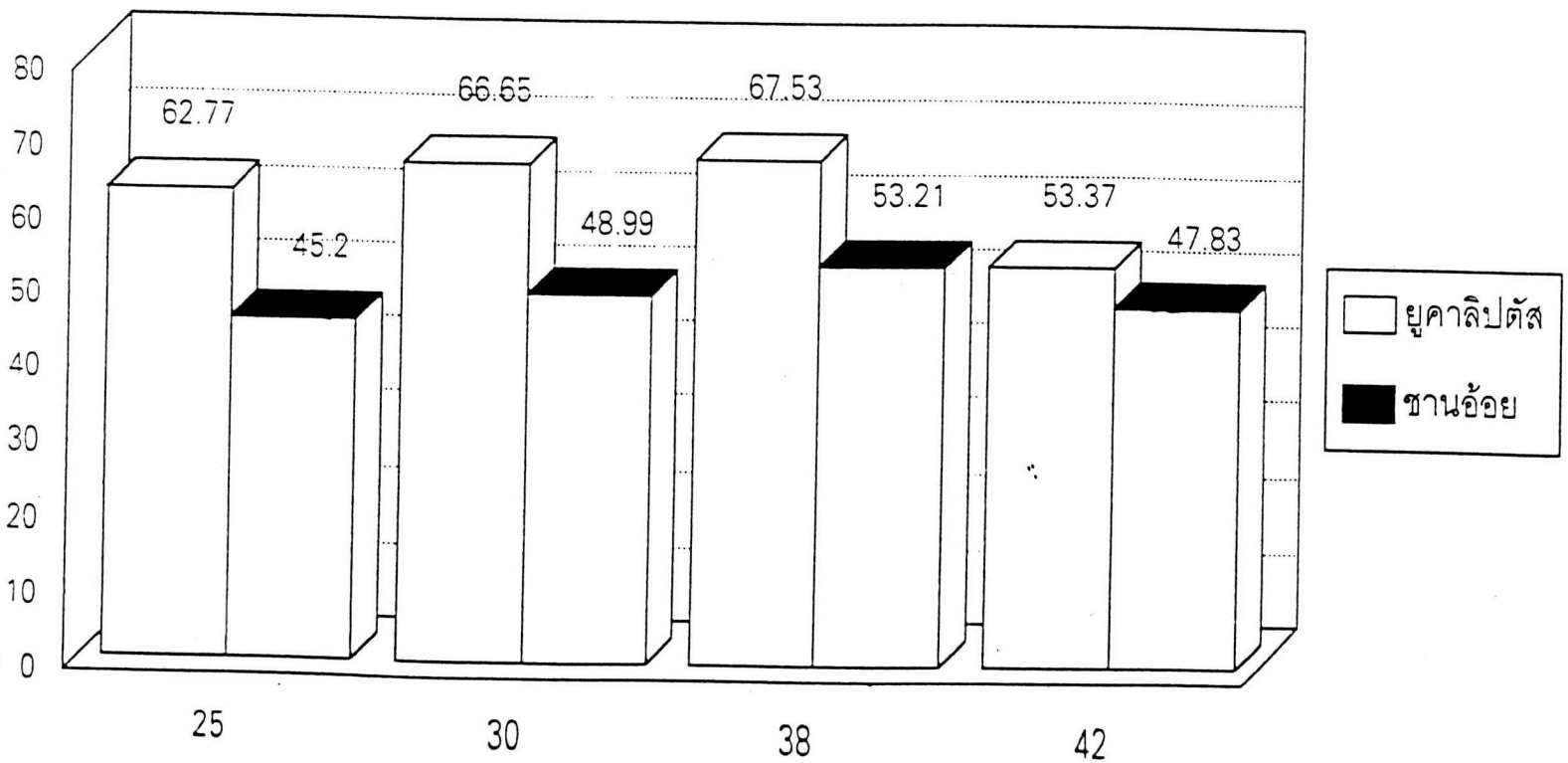
2.4 การศึกษาหาปริมาณเชื้อรา ที่เหมาะสมในการฟอกเยื่อยูคาลิปตัส และเยื่อชานอ้อย ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการฟอกเยื่อกระดาษ

จากการฟอกเยื่อกระดาษโดยเชื้อรา P. Chrysosporium โดยมีการแปรผันปริมาณเชื้อเริ่มต้น เป็น 0.5 1.0 2.0 3.0 และ 4.0 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ พบว่าในเยื่อยูคาลิปตัสการฟอกเยื่อสูงขึ้น เมื่อปริมาณเชื้อเริ่มต้นสูงขึ้น และการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสสูงสุดเท่ากับ 68.46 % Brightness เมื่อปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ 1.0 กรัม และเมื่อเพิ่มเป็น 1.5 กรัม อัตราการฟอกเยื่อก็ลดลงไม่มากนัก แต่เมื่อเพิ่มเป็น 2.0 และ 2.5 กรัม อัตราการฟอกเยื่อ จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 11 กราฟที่ 8) สำหรับในเยื่อชานอ้อย พบว่าอัตราการฟอกเยื่อสูงขึ้น เมื่อปริมาณเชื้อเริ่มต้นสูงขึ้น และการฟอกเยื่อชานอ้อยสูงสุดเท่ากับ 53.88 % Brightness เมื่อปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ 1.5 กรัม หรือเท่ากับ 53.82 % Brightness เมื่อปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ 1.0 กรัม และจะเริ่มลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ 2.0 กรัม และลดลงมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ 2.5 กรัม (ตารางที่ 12 กราฟที่ 9)

ตารางที่ 10 แสดงผลของอุณหภูมิต่อการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อชานอ้อยโดยวัดเป็นค่าความขาวสว่าง (brightness) (%) โดยเชื้อรา Phanerochaete chrysosporium บ่มที่อุณหภูมิ 25 30 38 และ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เยื่อยูคาลิปตัส	เยื่อชานอ้อย
25	62.77 ± 0.160	45.20 ± 0.095
30	66.65 ± 0.071	48.99 ± 0.188
38	67.53 ± 0.111	53.21 ± 0.024
42	53.37 ± 0.205	47.83 ± 0.448

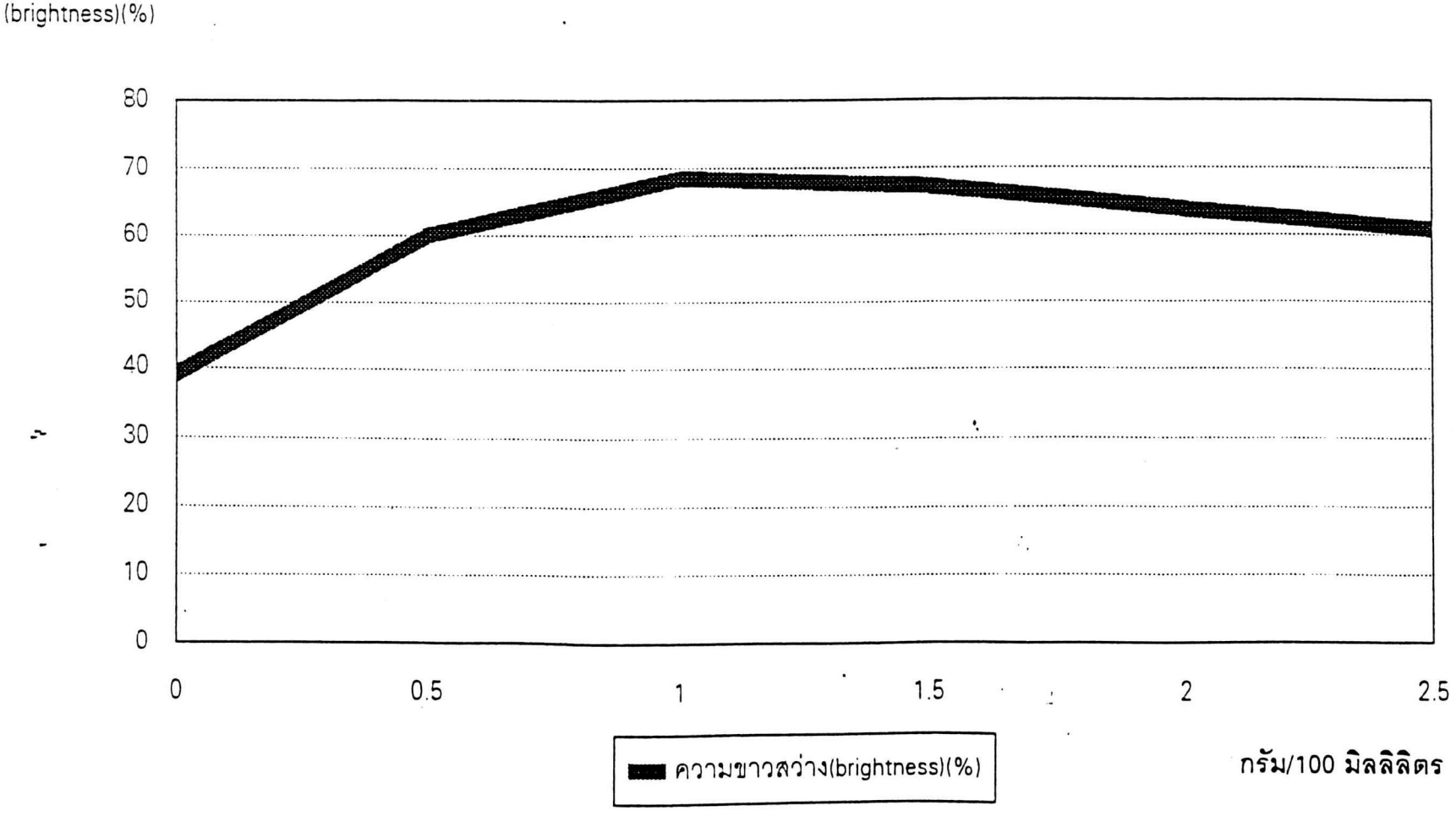
กราฟที่ 7 แสดงผลของอุณหภูมิต่อการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อชานอ้อยโดยวัดเป็นค่าความขาวสว่าง (brightness) (%) โดยเชื้อรา Phanerochaete chrysosporium บ่มที่อุณหภูมิ 25 30 38 และ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน



ตารางที่ 11 แสดงผลของปริมาณเชื้อเริ่มต้น(กรัม/100 มิลลิลิตร)ในสารละลายเยื่อยูคาลิปตัสต่ออัตราการฟอกเยื่อยูคาลิตัสโดยวัดเป็นค่าความขาวสว่าง (brightness) (%) โดยเชื้อรา Phanerochaete chrysosporium เป็นเวลา 7 วัน

ปริมาณเชื้อเริ่มต้น(กรัม/100 มิลลิลิตร)	ความขาวสว่าง (brightness)(%)
0	39.01 ± 0.088
0.5	59.99 ± 0.138
1.0	68.46 ± 0.176
1.5	67.23 ± 0.124
2.0	63.70 ± 0.023
2.5	60.79 ± 0.033

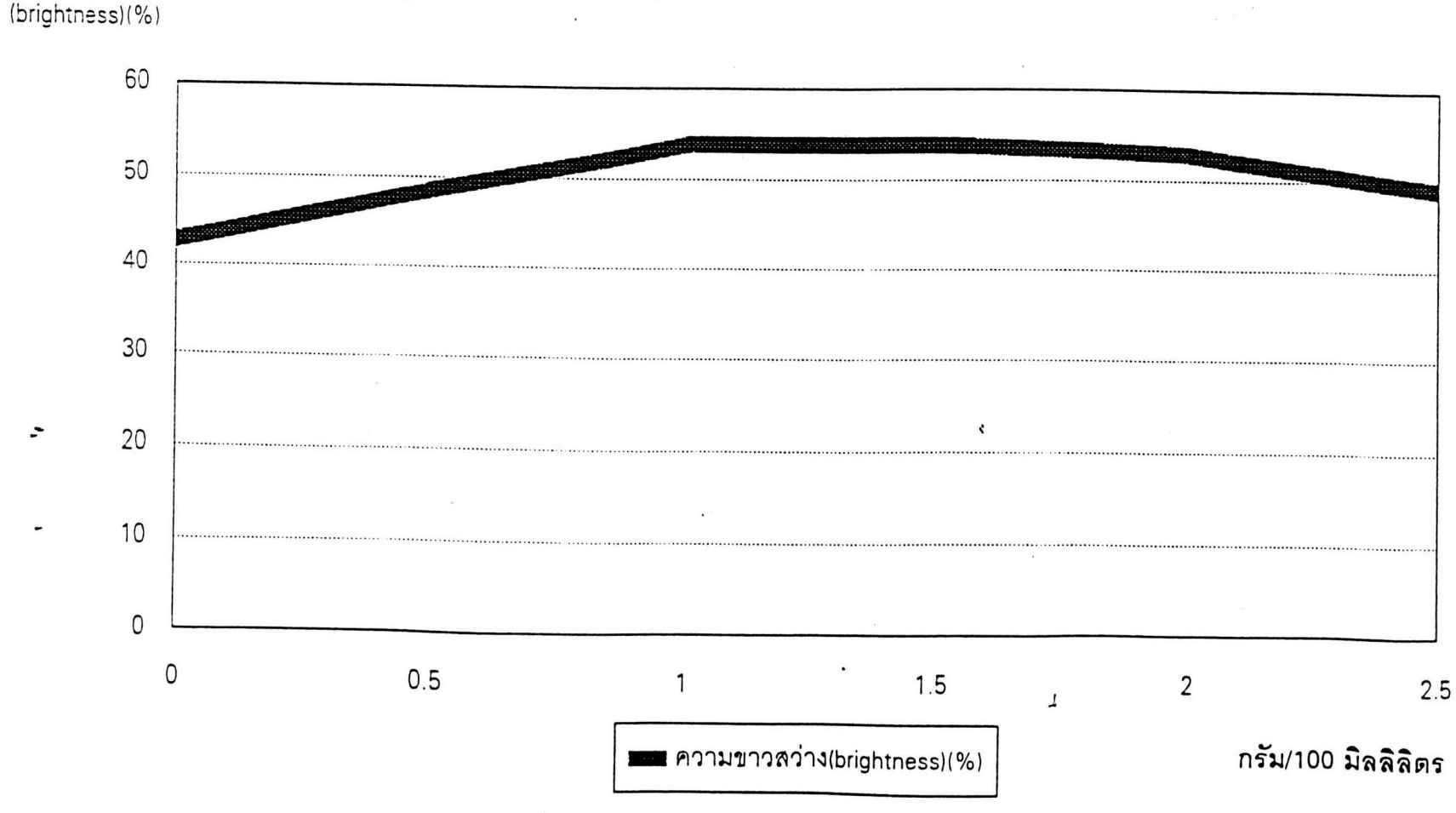
กราฟที่ 8 แสดงผลของปริมาณเชื้อเริ่มต้น(กรัม/100 มิลลิลิตร)ในสารละลายเยื่อยูคาลิปตัสต่ออัตราการฟอกเยื่อยูคาลิตัสโดยวัดเป็นค่าความขาวสว่าง (brightness) (%) โดยเชื้อรา Phanerochaete chrysosporium เป็นเวลา 7 วัน



ตารางที่ 12 แสดงผลของปริมาณเชื้อเริ่มต้น(กรัม/100 มิลลิลิตร)ในสารละลายเยื่อชานอ้อยต่ออัตราการฟอกเยื่อชานอ้อย โดยวัดเป็นค่าความขาวสว่าง (brightness) (%) โดยเชื้อรา Phanerochaete chrysosporium เป็นเวลา 7 วัน

ปริมาณเชื้อเริ่มต้น(กรัม/100 มิลลิลิตร)	ความขาวสว่าง (brightness)(%)
0	42.66 ± 0.084
0.5	48.46 ± 0.067
1.0	53.82 ± 0.039
1.5	53.88 ± 0.054
2.0	52.80 ± 0.122
2.5	48.94 ± 0.207

กราฟที่ 9 แสดงผลของปริมาณเชื้อเริ่มต้น(กรัม/100 มิลลิลิตร)ในสารละลายเยื่อชานอ้อยต่ออัตราการฟอกเยื่อชานอ้อย โดยวัดเป็นค่าความขาวสว่าง (brightness) (%) โดยเชื้อรา Phanerochaete chrysosporium เป็นเวลา 7 วัน



2.5 การศึกษาผลของสภาพการฟอกเยื่อ โดยใช้เชื้อรา P. chrysosporium ในสภาพแบบนิ่ง (stationary) และแบบเขย่า (shaken) ในสภาวะที่เหมาะสมต่ออัตราการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อชานอ้อย

จากการฟอกเยื่อกระดาษในสภาพแบบนิ่ง และสภาพแบบเขย่าพบว่าในเยื่อยูคาลิปตัสสภาวะนิ่งจะได้ Brightness เท่ากับ 47.57 % และในสภาวะเขย่าเท่ากับ 68.57 % แสดงว่าสภาวะเขย่าให้ผลการฟอกดีกว่าสภาวะนิ่ง สำหรับเยื่อชานอ้อย พบว่าการฟอกแบบสภาวะนิ่งจะได้ค่า Brightnessเท่ากับ 45.62 % และสภาวะเขย่าค่าBrightnessเท่ากับ 54.55 % แสดงว่าผลการฟอกเยื่อชานอ้อยในสภาวะเขย่าให้ผลดีกว่าการฟอกแบบสภาวะนิ่ง (ตารางที่ 13 กราฟที่ 10)

3. ศึกษาการฟอกเยื่อกระดาษ โดยใช้วิธีทางชีวภาพ(เชื้อรา)มาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีทางเคมี ดังนี้

3.1 จากการใช้วิธีทางชีวภาพร่วมกับวิธีทางเคมีแบบทดแทน หรือลดขั้นตอนใน กระบวนการ CEHH โดยทำการฟอกด้วยเชื้อรา(F) ในขั้นตอนแรก และตามด้วย ขั้นตอนการใช้สารเคมีซึ่งเป็นสารประกอบคลอรีน

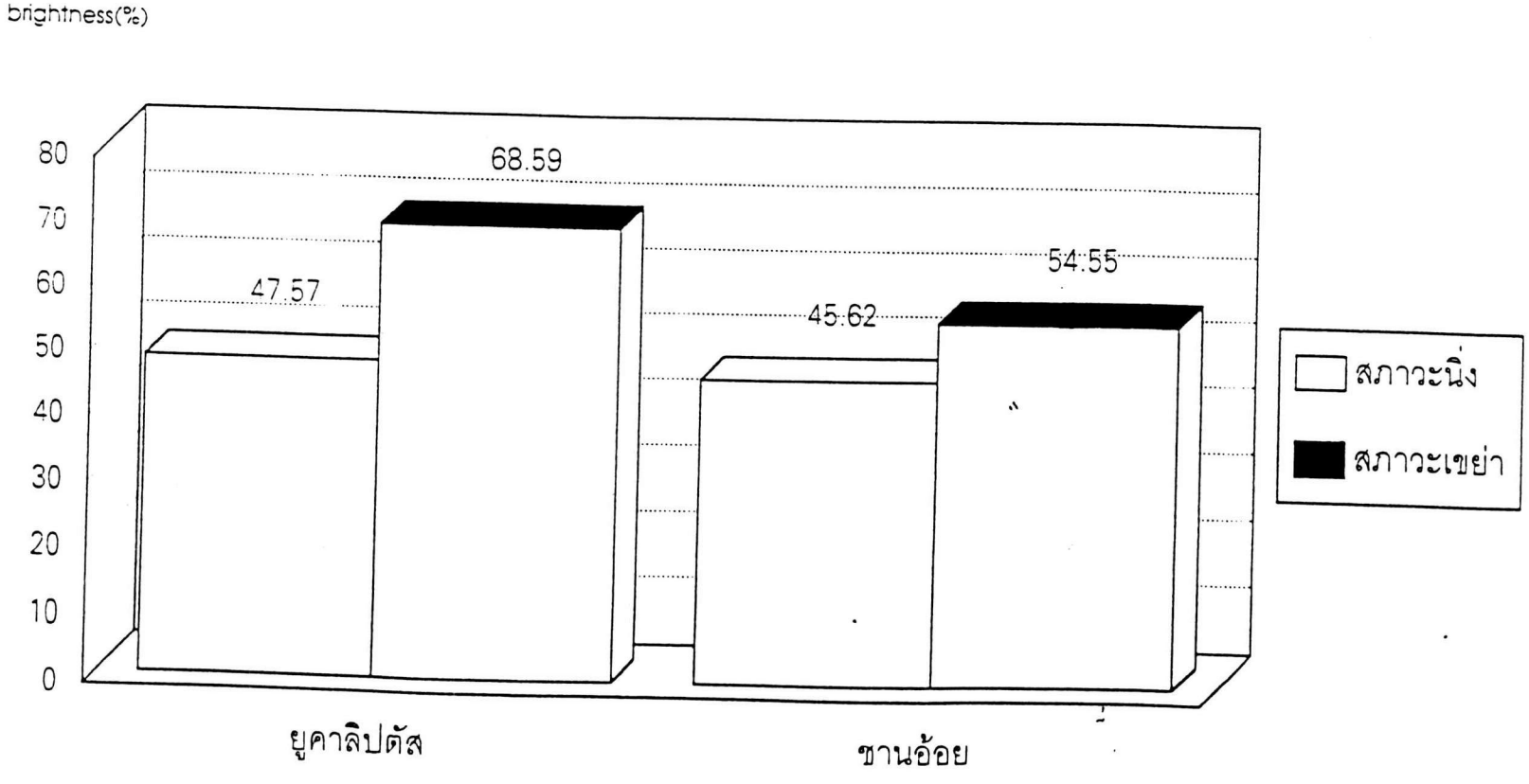
สำหรับเยื่อยูคาลิปตัสจะใช้เชื้อรา(F)ในขั้นตอนแรก และตามด้วยขั้นตอน H อีก 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอน H ทั้ง 2 ขั้นตอนนี้จะใช้สารเคมีและสภาวะในการฟอกเช่นเดียวกันกับขั้นตอน H ในกระบวนการ CEHH ดังนั้นการฟอกโดยใช้วิธีทางชีวภาพร่วมกับวิธีทางเคมีของเยื่อยูคาลิปตัสนี้จะเรียกว่ากระบวนการ FHH

สำหรับเยื่อชานอ้อยจะใช้เชื้อรา(F)ในขั้นตอนแรก และตามด้วยขั้นตอน E และขั้นตอน H อีก 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอน E และขั้นตอน H ทั้ง 2 ขั้นตอนนี้จะใช้สารเคมีและสภาวะในการฟอกเช่นเดียวกันกับขั้นตอน E และ HH ในกระบวนการ CEHH เช่นกันดังนั้นการฟอกโดยใช้วิธีทางชีวภาพร่วมกับวิธีทางเคมีของเยื่อชานอ้อยนี้จะเรียกว่ากระบวนการ FEHH

ตารางที่ 13 แสดงผลการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อชานอ้อย ซึ่งบ่มเชื้อในสภาพนิ่งและสภาพเขย่าด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 วัน โดยเชื้อรา Phanerochaete chrysosporium โดยวัดผลเป็นค่าความขาวสว่าง(brightness)(%)

สภาพการฟอก	ความขาวสว่างของเยื่อยูคาลิปตัส (brightness)(%)	ความขาวสว่างของเยื่อชานอ้อย (brightness)(%)
สภาวนิ่ง (stationary)	47.57 ± 0.040	45.62 ± 0.111
สภาวะเขย่า (shaken)	68.59 ± 0.049	54.55 ± 0.070

กราฟที่ 10 แสดงผลการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อชานอ้อย ซึ่งบ่มเชื้อในสภาพนิ่งและสภาพเขย่าด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 วัน โดยเชื้อรา Phanerochaete chrysosporium โดยวัดผลเป็นค่าความขาวสว่าง(brightness)(%)

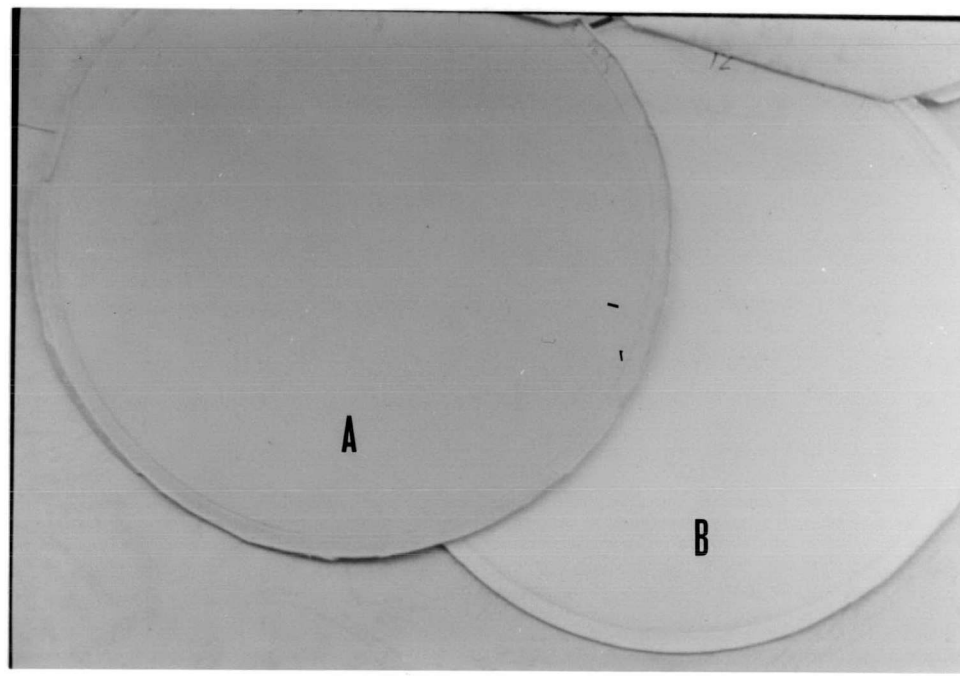


ตารางที่ 14 แสดงผลคุณภาพเยื่อยูคาลิปตัส ที่ได้หลังจากการฟอกโดยเชื้อรา Phanerochaete chrysosporium ในสภาวะที่เหมาะสมเป็นเวลา 7 วัน

การวิเคราะห์	ค่าที่ได้
ผลผลิตของเยื่อที่ได้หลังจากการฟอก(% yield)	99.1 ± 0.452
ความขาวสว่าง(brightness)(%)	68.60 ± 0.127
ค่า K.number	1.84 ± 0.32

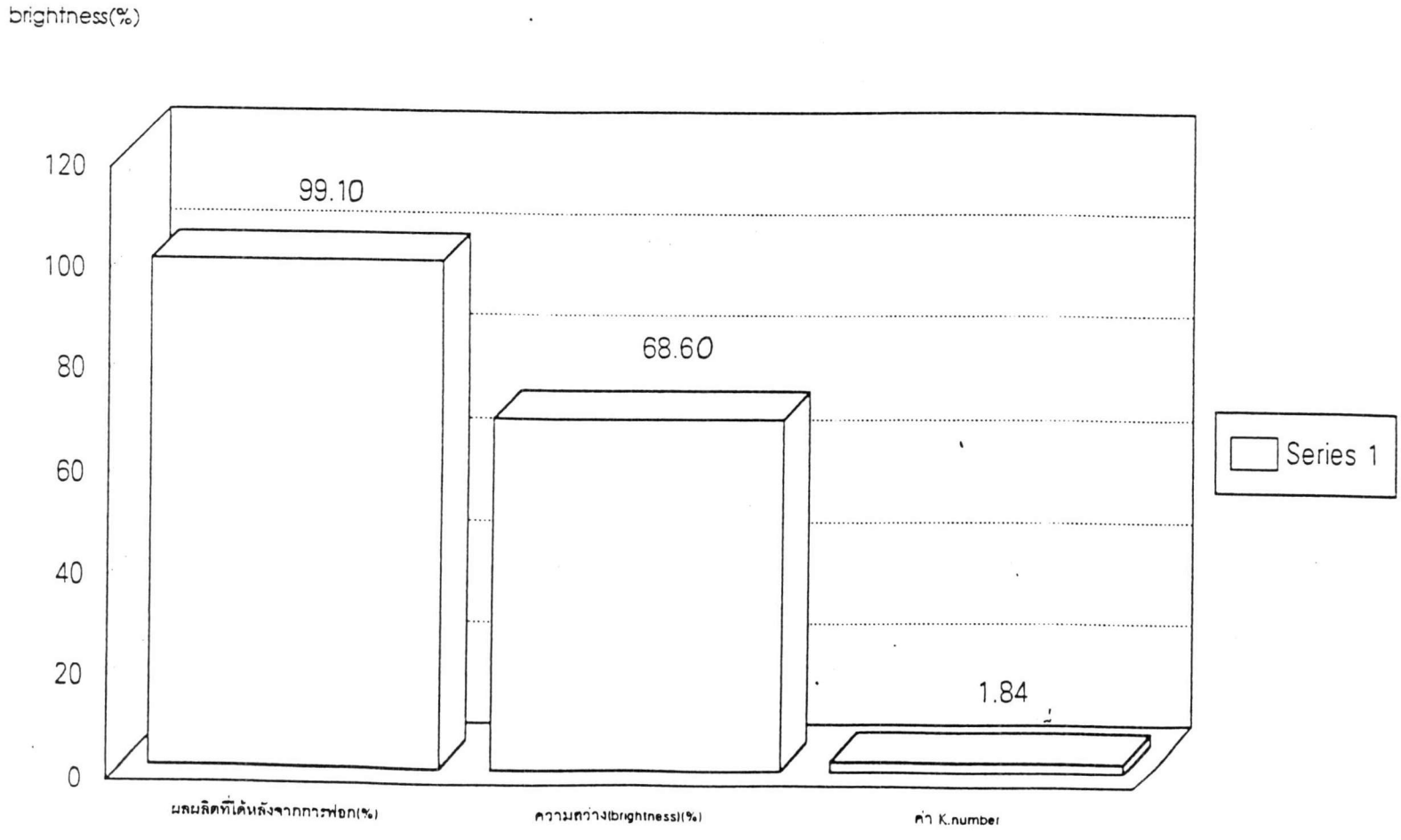
หมายเหตุ kappa number เริ่มต้น : 6.34

brightness เริ่มต้น : 37.18 %



รูปที่ 4 แผ่นเยื่อยูคาลิปตัส A=ก่อนฟอก B=หลังฟอกด้วยเชื้อรา P. chrysosporium ในสภาวะที่เหมาะสม

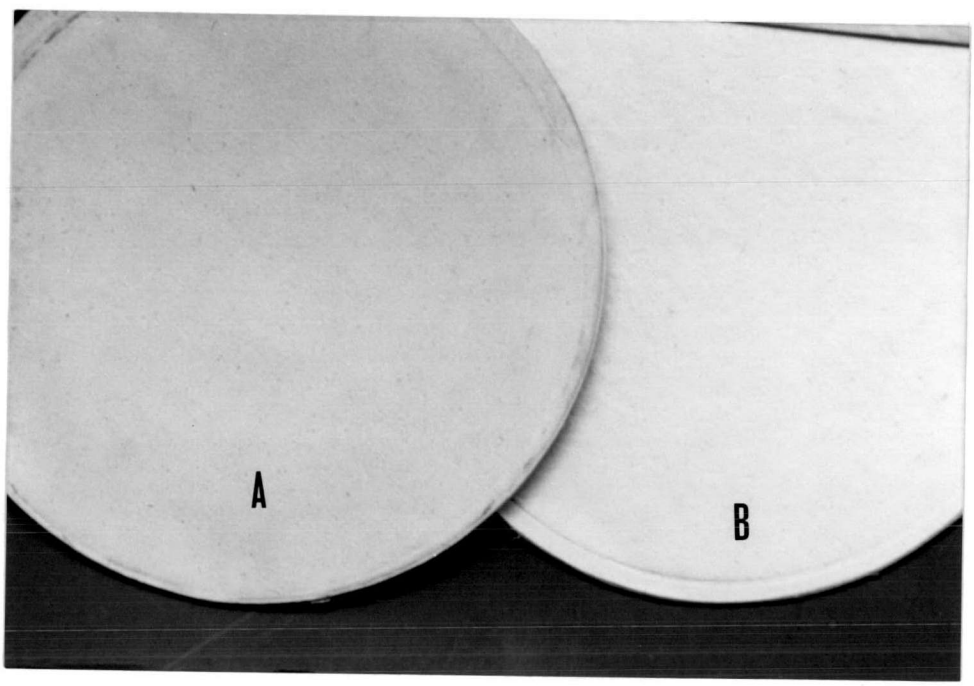
กราฟที่ 11 แสดงผลคุณภาพเยื่อยูคาลิปตัส ที่ได้หลังจากการฟอกโดยเชื้อรา Phanerochaete chrysosporium ในสภาวะที่เหมาะสมเป็นเวลา 7 วัน



ตารางที่ 15 แสดงผลคุณภาพเยื่อชานอ้อย ที่ได้หลังจากการฟอกโดยเชื้อรา Phanerochaete chrysosporium ในสภาวะที่เหมาะสมเป็นเวลา 7 วัน

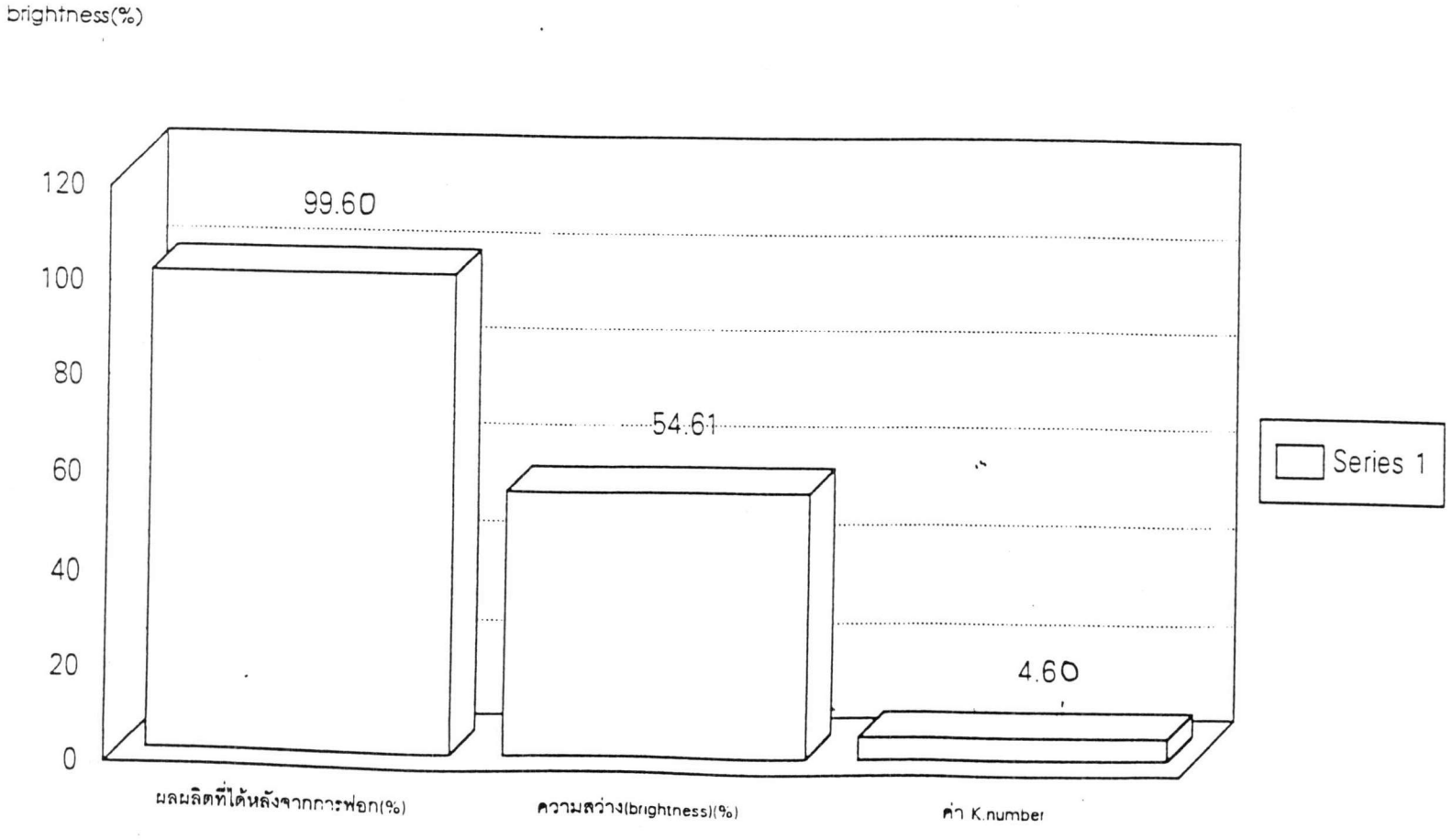
การวิเคราะห์	ค่าที่ได้
ผลผลิตของเยื่อที่ได้หลังจากการฟอก(% yield)	99.6 ± 0.512
ความขาวสว่าง(brightness)	54.61 ± 0.112
ค่า K. number	4.60 ± 0.75

หมายเหตุ kappa number เริ่มต้น : 10.64
brightness เริ่มต้น : 41.18 %



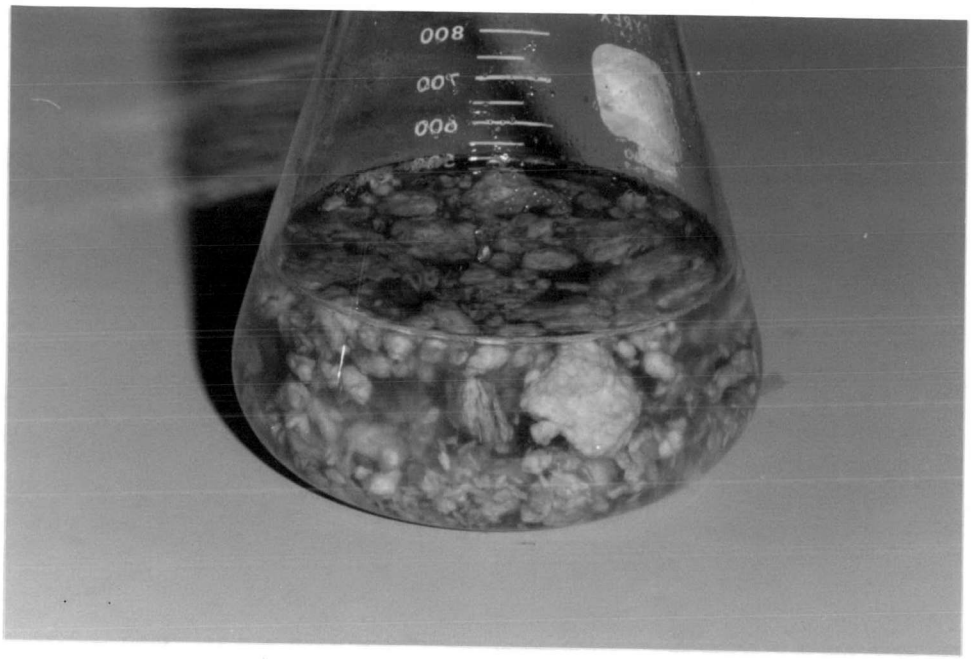
รูปที่ 5 แผ่นเยื่อชานอ้อย A=ก่อนฟอก B=หลังฟอกด้วยเชื้อรา P. chrysosporium ในสภาวะที่เหมาะสม

กราฟที่ 12 แสดงผลคุณภาพเยื่อชานอ้อย ที่ได้หลังจากการฟอกโดยเชื้อรา Phanerochaete chrysosporium ในสภาวะที่เหมาะสมเป็นเวลา 7 วัน



รูปที่ 6 เยื่อยูคาลิปตัสก่อนฟอก ในฟลาสก์ขนาด 1 ลิตร

รูปที่ 7 เยื่อยูคาลิปตัสหลังฟอก ด้วยเชื้อรา P. chrysosporium ในสภาวะที่เหมาะสม ในฟลาสก์ขนาด 1 ลิตร



รูปที่ 8 เยื่อชานอ้อยก่อนฟอก ในฟลาสก์ขนาด 1 ลิตร

รูปที่ 9 เยื่อชานอ้อยหลังฟอก ด้วยเชื้อรา P. chrysosporium ในสภาวะที่เหมาะสม ในฟลาสก์ขนาด 1 ลิตร

ตารางที่ 16 แสดงผลการฟอกเยื่อด้วยวิธีทางเคมี (CEHH)

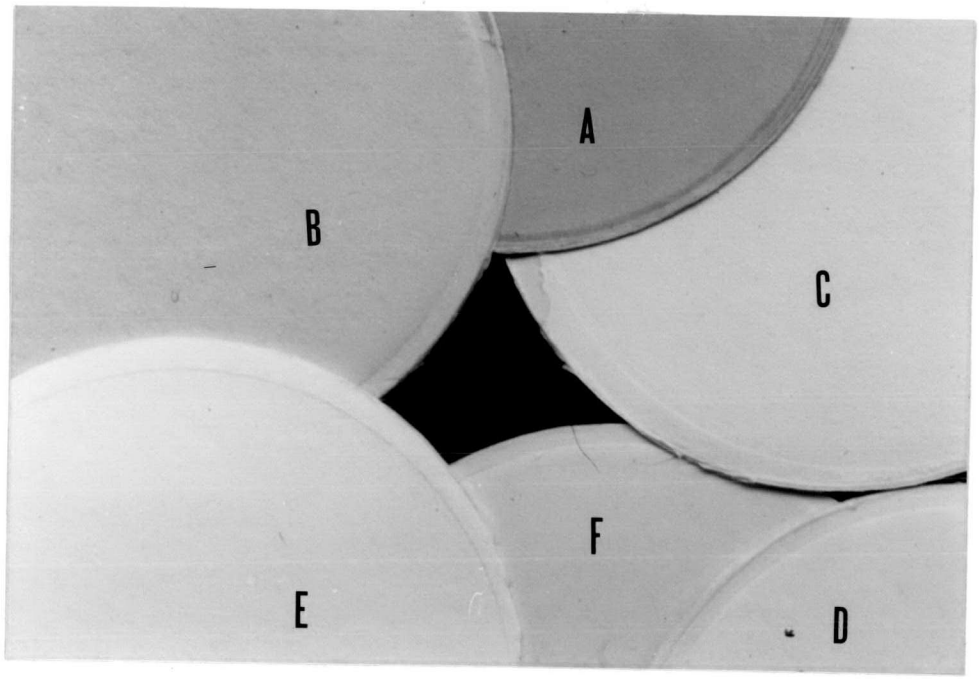
ขั้นตอนการฟอก	ยูคาลิปตัส % brightness (K.number)	ชานอ้อย % brightness (K.number)
C	53.98	53.19
E	70.14 (1.86)	68.75 (1.92)
H	84.31	83.75
H	85.35	85.06
< % yield >	< 99.0 % >	< 99.0 % >

ตารางที่ 17 แสดงผลคุณภาพเยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อชานอ้อย ที่ได้หลังจากการฟอกโดยเชื้อรา Phanerochaete chrysosporium ในสภาวะที่เหมาะสม คือ pH 4.5 อุณหภูมิ 38 °C ปริมาณเชื้อเริ่มต้น 1% ในสภาวะเขย่า

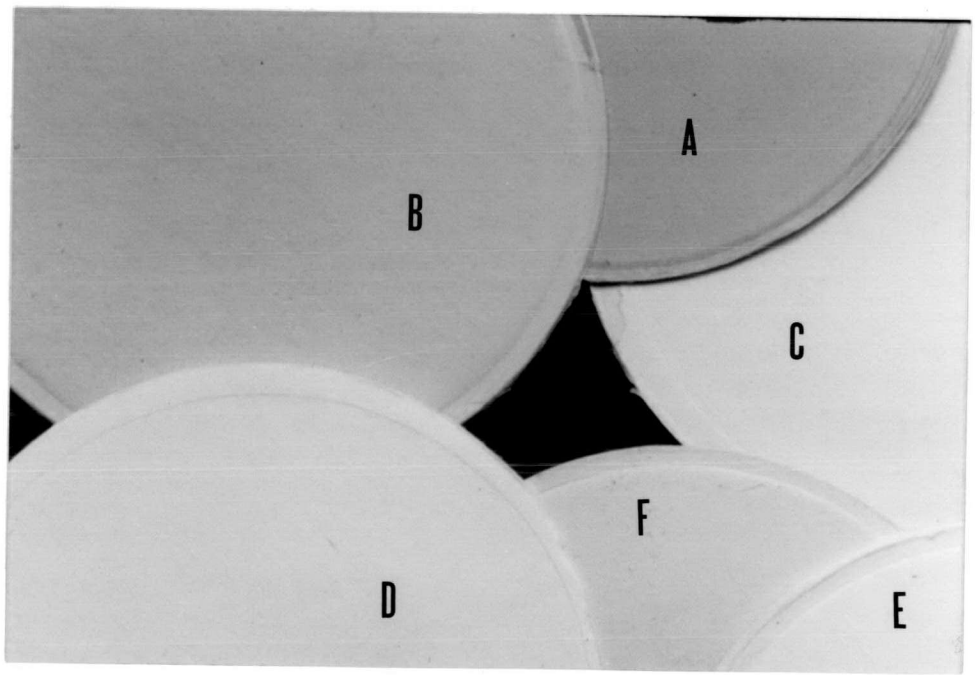
การวิเคราะห์	ยูคาลิปตัส	ชานอ้อย
(% yield)	99.1	99.6
brightness(%)	68.60	54.61
ค่า K.number	1.84	4.60

ตารางที่ 18 แสดงเปอร์เซนต์การลดลงของค่า Kappa number ของเยื่อยูคาลิปและเยื่อชานอ้อย ที่ได้หลังจากการฟอกโดยเชื้อรา Phanerochaete chrysosporium ในสภาวะที่เหมาะสม คือ pH 4.5 อุณหภูมิ 38 °C ปริมาณเชื้อเริ่มต้น 1 % ในสภาวะเขย่า

	ยูคาลิปตัส	ชานอ้อย
Kappa number ก่อนฟอก	6.34	10.64
Kappa number หลังฟอก	1.84	4.60
% การลดลงของค่า Kappa number หลังผ่านการฟอก	70.98	56.77



รูปที่ 10 แผ่นเยื่อยูคาลิปตัส A=ก่อนฟอก B=หลังผ่านขั้นตอนC C=หลังผ่านขั้นตอนE D=หลังผ่านขั้นตอนH1 E=หลังผ่านขั้นตอน2 F=หลังผ่านการฟอก ด้วยเชื้อรา P. chrysosporium ในสภาวะที่เหมาะสม



รูปที่ 11 แผ่นเยื่อชานอ้อย A=ก่อนฟอก B=หลังผ่านขั้นตอนC C=หลังผ่านขั้นตอนE D=หลังผ่านขั้นตอนH1 E=หลังผ่านขั้นตอน2 F=หลังผ่านการฟอก ด้วยเชื้อรา P. chrysosporium ในสภาวะที่เหมาะสม

พบว่าผลคุณภาพของเยื่อกระดาษทั้ง 2 ชนิด ที่ฟอกด้วยกระบวนการ FHH และ FEHH ได้ค่า brightness ใกล้เคียงกับการฟอกด้วยกระบวนการ CEHH (ตารางที่ 19)

3.2 การใช้วิธีทางชีวภาพร่วมกับวิธีทางเคมีแบบไม่ใช้คลอรีนและสารประกอบคลอรีน

จากการนำเยื่อยูคาลิปตัสที่ผ่านการฟอกด้วยเชื้อราในสภาวะที่เหมาะสมมาฟอกต่อด้วยสารเคมีโดยผ่านขั้นตอน E ซึ่งใช้ NaOH 2 % ที่ความข้นเยื่อ 10 % อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 40 นาที พบว่าได้ค่าBrightness หลังผ่านขั้นตอน E แล้วเท่ากับ 73.91 % หลังจากนั้นนำเยื่อที่ผ่านขั้นตอน FE แล้วมาต่อด้วยขั้นตอน P ซึ่งมีการแปรผันไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (P) ที่ 1 % 2 % 3 % 4 % ตามลำดับ เรียกว่า FEP ซึ่งผลการวิเคราะห์ ของคุณภาพเยื่อที่ได้พบว่า ที่ FEP 1 % จะได้ค่าBrightnessหลังการฟอกเท่ากับ 84.76 % ที่ FEP 2 % จะได้ค่าBrightnessหลังจากการฟอกเท่ากับ 87.37 % ที่ FEP 3 % จะได้ค่าBrightnessหลังการฟอกเท่ากับ 87.44 % และที่ FEP 4 % จะได้ค่าBrightnessหลังจากการฟอกเท่ากับ 87.65 % โดยค่าBrightnessเริ่มต้นของเยื่อยูคาลิปตัสหลังจากผ่านการฟอกโดยเชื้อรา (F) มีค่าเท่ากับ 68.53 % และผลผลิตที่ได้หลังจากผ่านการฟอกด้วยขั้นตอน FEP เท่ากับ 99.2 % (ตารางที่ 20 กราฟที่ 13) และจากการนำเยื่อชานอ้อยที่ผ่านการฟอกด้วยเชื้อราในสภาวะที่เหมาะสมมาฟอกต่อด้วยสารเคมีโดยผ่านขั้นตอน E ซึ่งใช้ NaOH 2 % ที่ความข้นเยื่อ 10 % อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที พบว่าได้ค่าBrightnessหลังผ่านขั้นตอน E แล้วเท่ากับ 69.73 % หลังจากนั้นนำเยื่อที่ผ่านขั้นตอน FE แล้วมาต่อด้วยขั้นตอน P ซึ่งมีการแปรผันไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (P) ที่ 1 % 2 % 3% 4% ตามลำดับ เรียกว่า FEP ซึ่งผลการวเคราะห์ของคุณภาพเยื่อที่ได้พบว่าที่ FEP 1 % จะได้ค่าBrightnessเท่ากับ 80.76 % ที่ FEP 2 % จะได้ค่า Brightness หลังจากการฟอกเท่ากับ 82.17 % ที่ FEP 3 % จะได้ค่าความขาวสว่างหลังจากการฟอกเท่ากับ 83.64 % และที่ FEP 4 % จะได้ค่าความขาวสว่างหลังจากการฟอกเท่ากับ 85.46 % โดยค่าBrightnessเริ่มต้นของ

ตารางที่ 19 แสดงผล brightness (%) ของเยื่อยูคาลิปตัสจากกระบวนการ FHH และเยื่อชานอ้อยจากกระบวนการ FEHH

ขั้นตอน	ยูคาลิปตัส	ชานอ้อย
F	68.60	54.61
E	ไม่มี	69.37
H	83.97	83.96
H	85.04	85.54

ตารางที่ 20 แสดงผลการฟอกเยื่อยูคาลิปตัส ซึ่งผ่านขบวนการฟอกโดยใช้เชื้อรา (F)แล้วนำมาต่อด้วยขั้นตอน E และ E/P เรียก FEP โดยได้ทำการแปรผันขั้นตอนE/Pที่ระดับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(P)ดังนี้

Bleaching Chemical	: NaOH	:NaOH/H_2O_2:
Chemical Dosage(%)	: 2	: 2/1 :
% Consistency	: 10	: 10.5 :
Bleaching Time(mins)	: 40	: 120 :
Bleaching Temperature(°C)	: 70	: 65 :
Brightness(%)	: 73.91	: 84.76 :

Bleaching Chemical	: NaOH	:NaOH/H_2O_2:
Chemical Dosage(%)	: 2	: 2/2 :
% Consistency	: 10	: 10.5 :
Bleaching Time(mins)	: 40	: 120 :
Bleaching Temperature(°C)	: 70	: 65 :
Brightness(%)	: 73.91	: 87.37 :

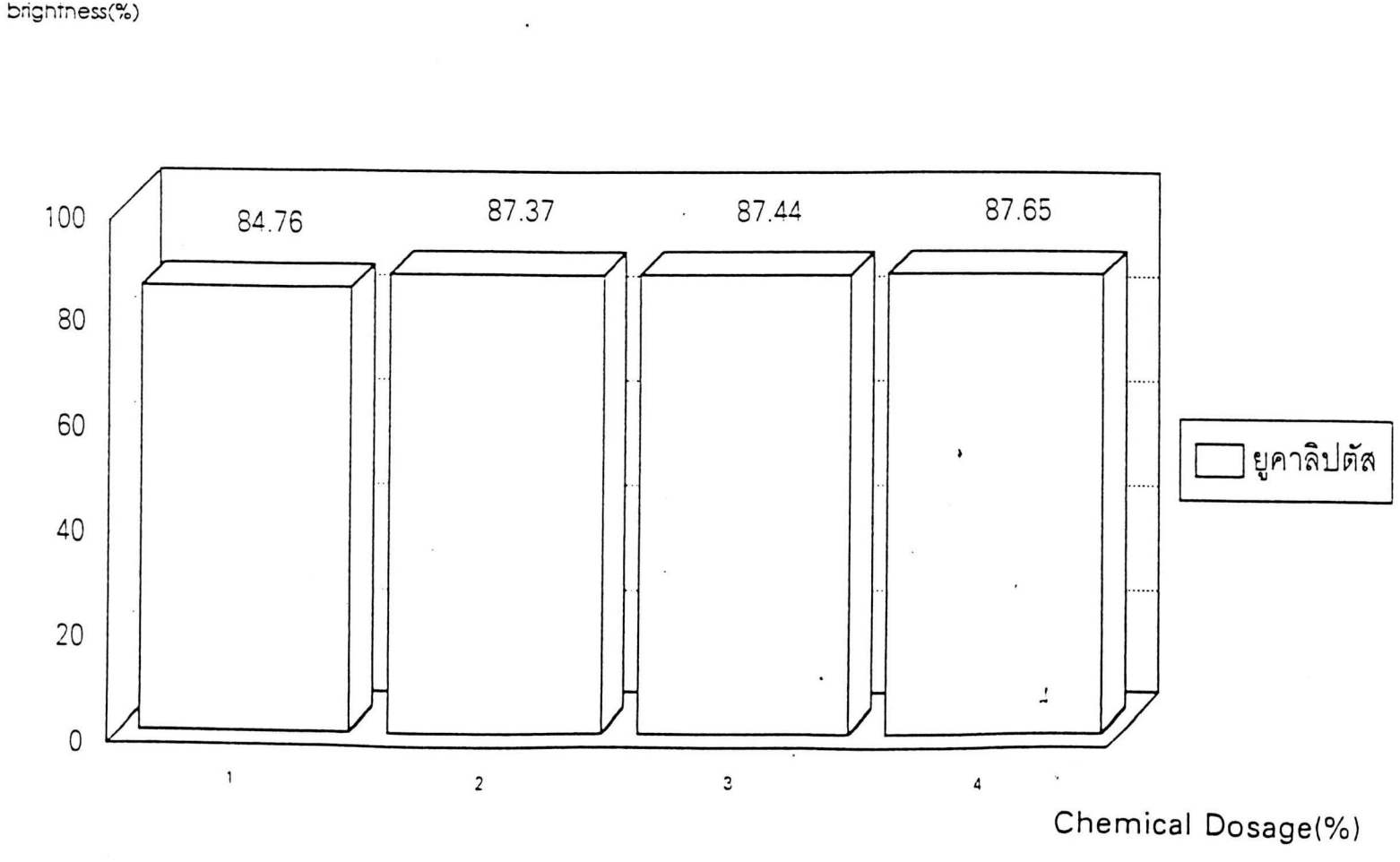
Bleaching Chemical	: NaOH	:NaOH/H_2O_2:
Chemical Dosage(%)	: 2	: 2/3 :
% Consistency	: 10	: 10.5 :
Bleaching Time(mins)	: 40	: 120 :
Bleaching Temperature(°C)	: 70	: 65 :
Brightness(%)	: 73.91	: 87.44 :

Bleaching Chemical	: NaOH	:NaOH/H_2O_2:
Chemical Dosage(%)	: 2	: 2/4 :
% Consistency	: 10	: 10.5 :
Bleaching Time(mins)	: 40	: 120 :
Bleaching Temperature(°C)	: 70	: 65 :
Brightness(%)	: 73.91	: 87.65 :

หมายเหตุ BRIGHTNESS เริ่มต้นจากการฟอกเยื่อด้วยเชื้อราแล้ว : 68.53

ผลผลิตหลังการฟอก : 99.2%

กราฟที่ 13 แสดงผลการฟอกเยื่อยูคาลิปตัส ซึ่งผ่านขบวนการฟอกโดยใช้เชื้อรา (F)แล้วนำมาต่อด้วยขั้นตอน E และ E/P เรียก FEP โดยได้ทำการแปรผันขั้นตอนE/Pที่ระดับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(P)ดังนี้



ตารางที่ 21 แสดงผลการฟอกเยื่อชานอ้อย ซึ่งได้ผ่านขบวนการฟอกโดยใช้เชื้อรา (F)แล้วนำมาต่อด้วยขั้นตอน E และ E/P เรียก FEP โดยได้ทำการแปรผันขั้นตอนE/Pที่ระดับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(P)ดังนี้

Bleaching Chemical	: NaOH	:NaOH/H_2O_2:
Chemical Dosage(%)	: 2	: 2/1 :
% Consistency	: 10	: 10.5 :
Bleaching Time(mins)	: 40	: 120 :
Bleaching Temperature(°C)	: 70	: 65 :
Brightness(%)	: 69.73	: 80.76 :

Bleaching Chemical	: NaOH	:NaOH/H_2O_2:
Chemical Dosage(%)	: 2	: 2/2 :
% Consistency	: 10	: 10.5 :
Bleaching Time(mins)	: 40	: 120 :
Bleaching Temperature(°C)	: 70	: 65 :
Brightness(%)	: 69.73	: 82.17 :

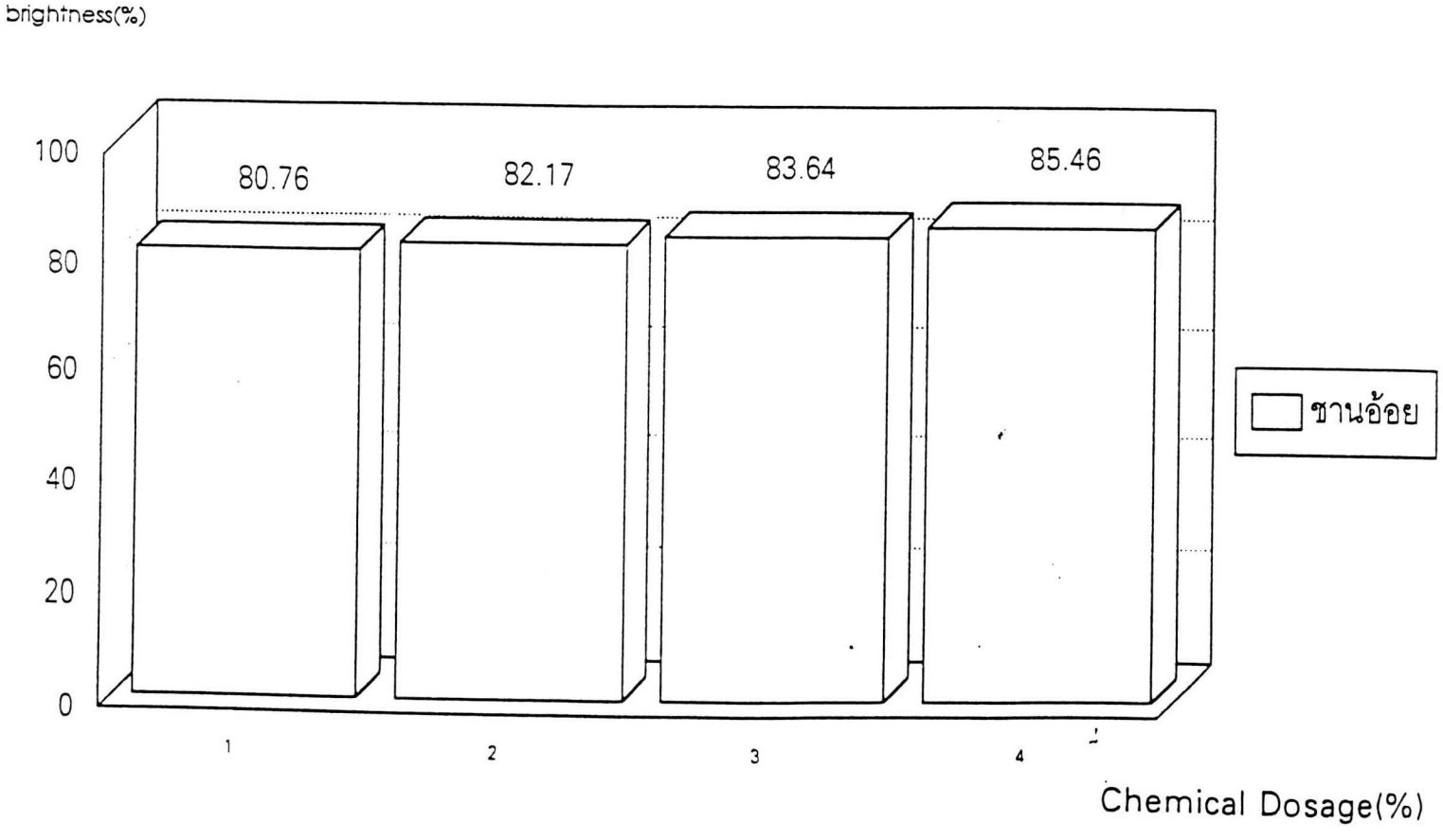
Bleaching Chemical	: NaOH	:NaOH/H_2O_2:
Chemical Dosage(%)	: 2	: 2/3 :
% Consistency	: 10	: 10.5 :
Bleaching Time(mins)	: 40	: 120 :
Bleaching Temperature(°C)	: 70	: 65 :
Brightness(%)	: 69.73	: 83.64 :

Bleaching Chemical	: NaOH	:NaOH/H_2O_2:
Chemical Dosage(%)	: 2	: 2/4 :
% Consistency	: 10	: 10.5 :
Bleaching Time(mins)	: 40	: 120 :
Bleaching Temperature(°C)	: 70	: 65 :
Brightness(%)	: 69.73	: 85.46 :

หมายเหตุ BRIGHTNESS เริ่มต้นจากการฟอกเยื่อด้วยเชื้อราแล้ว : 54.32

ผลผลิตหลังการฟอก : 98.2%

กราฟที่ 14 แสดงผลการฟอกเยื่อชานอ้อย ซึ่งได้ผ่านขบวนการฟอกโดยใช้เชื้อรา (F)แล้วนำมาต่อด้วยขั้นตอน E และ E/P เรียก FEP โดยได้ทำการแปรผันขั้นตอนE/Pที่ระดับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(P)ดังนี้



เยื่อชานอ้อย หลังจากผ่านการฟอกโดยเชื้อรา (F)ก่อนเข้าสู่ EP มีค่าเท่ากับ 54.32 % และผลผลิตที่หลังได้จากการฟอกด้วยขั้นตอนตอน FEP เท่ากับ 98.2 % (ตารางที่ 21 กราฟที่ 14)

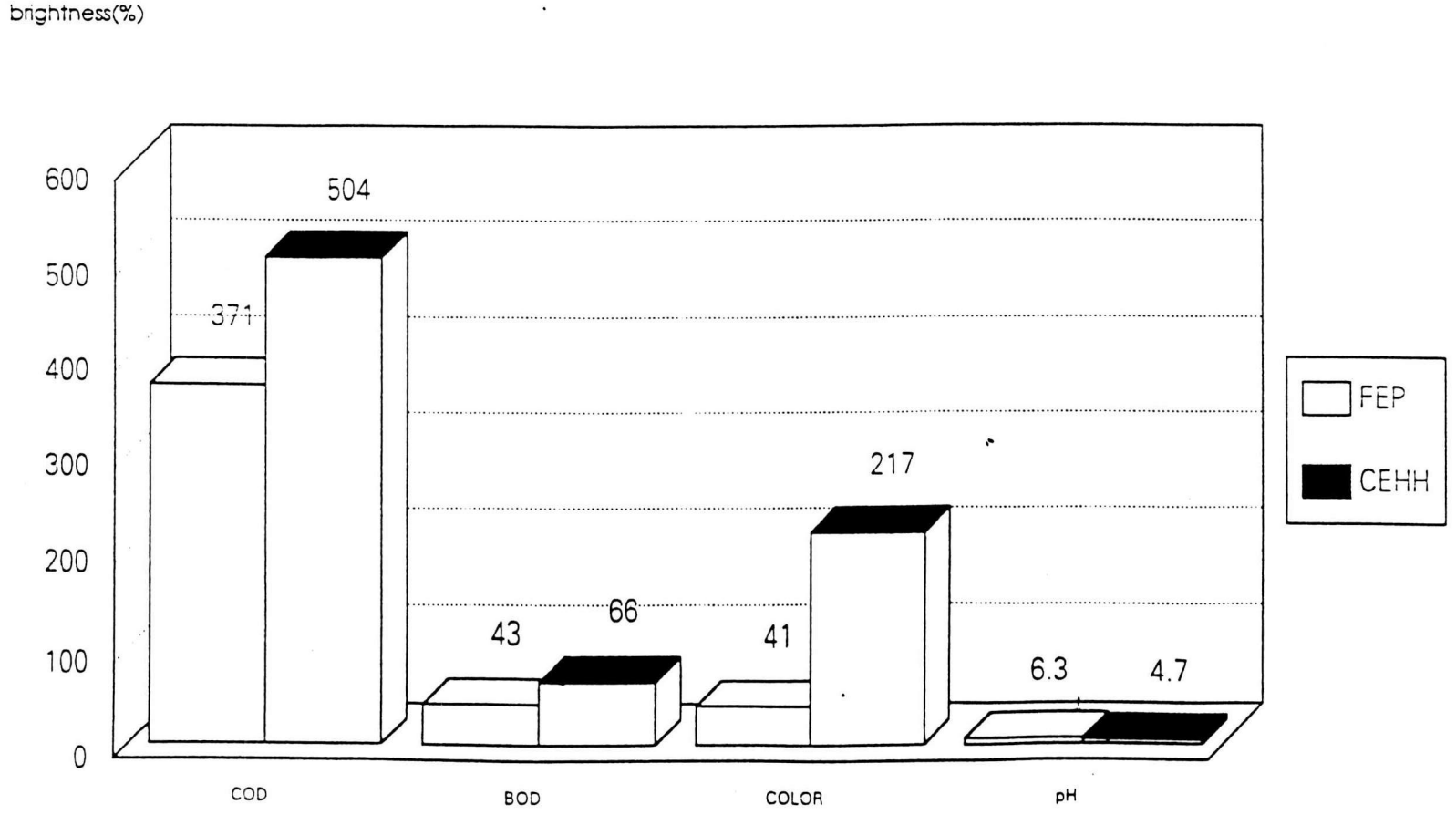
4. การวิเคราะห์น้ำเสีย ที่ได้หลังจากการฟอกเยื่อโดยใช้ขั้นตอน FEP และหลังจากการฟอกโดยใช้ขั้นตอน CF/PHH

จากการวิเคราะห์ค่า COD, BOD, สี และ pH ของน้ำเสียที่เกิดจากขบวนการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อชานอ้อยโดยวิธีทางเคมี (CEHH) และโดยการใช้เชื้อราฟอกร่วมกับการใช้โซดาไฟ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (FEP) พบว่าน้ำเสียที่เกิดจากขบวนการฟอกเยื่อยูคาลิปโดยวิธี FEP จะได้ค่า COD เท่ากับ 371 ค่า BOD เท่ากับ 43 ค่าความเข้มของสีเท่ากับ 41 ค่า pH เท่ากับ 6.3 และน้ำเสียที่เกิดจากขบวนการฟอกเยื่อยูคาลิปตัส โดยวิธี CEHH จะได้ค่า COD เท่ากับ 504 ค่า BOD เท่ากับ 66 ค่าความเข้มของสีเท่ากับ 217 และค่า pH เท่ากับ 4.7 สำหรับน้ำเสียที่เกิดจากขบวนการฟอกเยื่อชานอ้อย โดยวิธี FEP จะได้ค่า COD เท่ากับ 492 ค่า BOD เท่ากับ 52 ค่าความเข้มของสีเท่ากับ 44 ค่า pH เท่ากับ 6.4 และน้ำเสียที่เกิดจากขบวนการฟอกเยื่อชานอ้อย โดยวิธี CEHH จะได้ค่า COD เท่ากับ 780 ค่า BOD เท่ากับ 85 ค่าความเข้มของสีเท่ากับ 221 และค่า pH เท่ากับ 3.4 ซึ่งจะเห็นว่า น้ำเสียที่ได้จาก FEP จะได้ค่า COD BOD และโดยเฉพาะค่าความเข้มสีต่ำกว่าน้ำเสียที่ได้จาก CEHH ทั้งในเยื่อยูคาลิปตัส และเยื่อชานอ้อย ส่วนค่า pH ของ FEP จะได้สูงกว่า CEHH (ตารางที่ 22 กราฟที่ 15-16)

ตารางที่ 22 แสดงค่า COD,BOD,pH และสี ของน้ำเสียที่เกิดจากขบวนการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อชานอ้อย โดยวิธีทางเคมี (CEHH) และโดยการใช้เชื้อราฟอกร่วมกับการใช้โซดาไฟและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (FEP)

ชนิดเยื่อ	: COD (mg/l)	: BOD (mg/l)	: COLOUR (unit)	: pH :
<u>เยื่อยูคาลิปตัส</u>				
FEP	: 371	: 43	: 41	: 6.3 :
CEHH	: 504	: 66	: 217	: 4.7 :
<u>เยื่อชานอ้อย</u>				
FEP	: 492	: 52	: 44	: 6.4 :
CEHH	: 780	: 85	: 221	: 3.4 :

กราฟที่ 15 แสดงค่า COD, BOD, pH และสี ของน้ำเสียที่เกิดจากขบวนการฟอกเยื่อยูคาลิปตัส โดยวิธีทางเคมี (CEHH) และโดยการใช้เชื้อราฟอกร่วมกับการใช้โซดาไฟและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (FEP)



กราฟที่ 16 แสดงค่า COD,BOD,pH และสี ของน้ำเสียที่เกิดจากขบวนการฟอกเยื่อชานอ้อย โดยวิธีทางเคมี (CEHH) และโดยการใช้เชื้อราฟอกร่วมกับการใช้โซดาไฟและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (FEP)