

Ganoderma lucidum菌 前處理를 이용한 벼짚의 常壓 · 소다펄프화

주용찬[†] · 강진하

(2002년 10월 15일 접수; 2002년 11월 23일 채택)

Bio-Soda Pulping of Rice Straw with *Ganoderma lucidum* under Atmospheric Pressure

Yong-Chan Ju[†] and Jin-Ha Kang

(Received on October 15, 2002; Accepted on November 23, 2002)

ABSTRACT

This study was carried out to develop the biochemical pulping method to enhance energy saving and decrease the capital cost through the soda pulping under atmospheric pressure (100°C). Nonwood substrates, rice straw, were pretreated by white-rot fungi, *Ganoderma lucidum*. It has acquired several basic data that can be applied in bio-soda pulping. The results of this study were as follow.

Without any nutrients or with glucose, N and glucose+N the weight losses of rice straws inoculated by *Ganoderma lucidum* were 8.5~29.8%, 9.3~32.1%, 11.8~30.1% and 11.8~24.4% respectively for 5, 10, 15, 20, 25 and 30 days incubation. The more extending incubation periods, the more increasing weight losses. The yield of untreated rice straw was 54.8% after pulping. When any nutrients was not added or glucose, N and glucose+N were added for the pretreatment, the total yields were ranged 50.6~38.5%, 48.6~34.4%, 47.2~38.4% and 49.5~42.6% respectively for 5, 10, 15, 20, 25 and 30 days incubation. The yields were gradually decreased based on extending of incubation.

The physical properties of rice straw soda pulps without fungal treatment, the density, breaking length, burst index, tear index and folding endurance were 0.24 g/cm³, 2.32 km, 0.91 kPa · m²/g, 56.7 mN · m²/g and 35 times, respectively. After pretreatment without any nutrients or with glucose, N and glucose+N as nutrients, the density was 0.27~0.30 g/cm³, the breaking length 3.14~5.25 km, burst index 1.42~2.78 kPa · m²/g, tear index 45.8~64.5 mN · m²/g and folding endurance 47~288 times at all incubating periods when pulping was done.

The physical properties were increased with the increasing incubation periods. However, when glucose+N was added, the physical properties were shown superior results each incubating duration.

• 전북대학교 농과대학 산림과학부 (Division of Forest Science, College of Agriculture, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea).

† 주저자 (Corresponding author) : e-mail : yongchango@orgio.net

Keywords : Rice straw, White-rot fungi, *Ganoderma lucidum*, Pretreatment, Soda pulping, Atmospheric pressure

1. 서론

인류문명의 발달과 함께 정보사회화 되어감에 따라 정보전달의 매개체인 종이의 원료로서 펄프의 소비량은 해마다 증가되고 있다.^{1,2)} 매년 급증하고 있는 종이 소비량을 만족시키기 위하여 이러한 원자재를 공급하려고 하다보면 지구상의 삼림자원의 고갈 및 에너지 소비량의 증가로 지구의 환경이 더욱 악화 될 것은 분명하다. 따라서 그 대책의 하나로 자원부족의 해소와 환경훼손의 경감에 효과가 클 뿐만아니라 종이의 제조 원가절감 효과 등의 이점이 있는 비목질계 식물을 이용하는 방안이 제시되어 왔다.³⁻⁷⁾ 이와같은 비목질계 섬유자원은 단기간에 재생산이 가능하며, 생산성이 높고, 대부분 농업 부산물로서 발생되므로 값이 싸다는 이점을 가지고 있으며, 짚류는 비목질계 섬유 자원 중 가장 많은 양이 생산되고 있다.^{8,9)}

그러나 벚짚 등 짚류로부터 제조된 펄프는 목재펄프에 비하여 품질이 떨어지는데도 불구하고, 화학펄프를 제조하기 위해서는 고온과 고압용기가 필요하여 펄프 제조시 설비와 에너지 이용면에서 목재화학펄프 제조시와 크게 다를바 없다.

이에따라 본 연구는 비목질계 섬유자원인 벚짚을 사용하여 펄프를 제조하기 전에 리그닌 분해능력이 높은 것으로 알려진 *Ganoderma lucidum*로 전처리 후, 상압에서 소다펄핑을 하므로써 에너지와 시설비를 절감할 수 있는 생물·화학펄프화법을 개발하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 벚짚

벚짚(*Oryza sativa*)은 전북 김제에서 산출된 것을 두부를 제외한 부분을 펄프제조에 이용하고자 20 mm 내외 정도 길이로 절단하여 음지에서 기건시켰다.

2.1.2 균주

목재 부후균 중 리그닌 분해력이 우수하다고 알려진 백색부후균의 일종인 *Ganoderma lucidum*을 임업 연구원에서 분양받아 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 액체배지 제조

접종용 액체배지는 300 ml 삼각플라스크에서 potato dextrose broth(4.8g)와 yeast extract (1.46g)를 200 ml 의 증류수에 용해하여 잘 혼합한 후 autoclave에서 120℃로 1시간 동안 멸균하였다. 멸균 후 상온에서 냉각시킨 다음 potato dextrose agar(PDA)배지로부터 5×5 mm 크기의 배지를 떼어내어 접종하였고, 접종 후 30℃로 7일간 인큐베이터 안에서 교반하면서 배양하였다.

2.2.2 영양원 첨가

균의 성장을 촉진시키므로써 리그닌의 분해가 증진되도록 영양원으로서 탄소원으로는 glucose, 질소원으로는 urea를 각각 첨가하거나, 또한 혼합하여 첨가하였다. 영양원은 벚짚시료(전건기준)에 대해 glucose 0.5%, 질소 0.25%를 첨가하였다.

2.2.3 벚짚배지 제조 및 멸균

벚짚 100g(전건기준)을 비닐 백에 넣은 후 증류수와 각각의 영양원 용액을 첨가하였고, 벚짚의 함수율이 75%가 되도록 하였다. 비닐 백은 밀봉 후에 1일 동안 방치하여 수분이 고르게 분포되도록 하였으며, 벚짚을 2 l 용량의 P.P병으로 옮긴 다음 autoclave 안에서 120℃로 1시간 동안 멸균하였다.

2.2.4 접종 및 배양

배양기 안에서 7일간 배양된 접종물을 믹서로 10초 동안 분쇄한 후 현탁액 30 ml를 벚짚배지에 접종하였

고, 접종 후 벗짚배지는 인큐베이터(28℃) 안에서 배양기간을 각각 5, 10, 15, 20, 25, 30일로 하여 배양하였다.

배양기간 중 초기 4~5일 동안은 매일 1회씩 균사가 균일하게 성장하도록 혼합하여 주었다. 배양기간에 따라 배양 후 흐르는 물에서 세척하였으며, 음지에서 건조하여 중량감소율을 측정하였다.

2.2.5 화학적 조성분 분석

백색부후균 *Ganoderma lucidum*으로 5, 10, 15, 20, 25 및 30일간 각각 전처리 하여 기전시킨 벗짚과 펄핑 후 얻어진 펄프들의 화학적 조성분을 TAPPI 표준 시험법으로 측정하였다.

2.2.6 펄프 제조 및 펄프 특성 조사

상압 펄핑을 위해 냉각관을 연결한 2ℓ 삼각플라스크를 이용하였으며, 다음과 같은 조건에서 소다펄프를 제조한 후 세척하여 그 펄프들의 수율을 계산하였다. 제조한 펄프들의 Kappa No.는 Tappi Standard T_{os}-76에 의거, 백색도는 백색도 측정기(GE type)를 사용하여 측정하였다.

- 알칼리 농도 : NaOH 15%(Na₂O 기준)
- 증해온도 : 100℃
- 증해 최고온도 도달시간 : 60 min.
- 최고온도(100℃) 유지시간 : 120 min.
- 액비(Rice straw/liquor) : 1/10

2.2.7 펄프의 물리적 성질조사

각각의 배양기간에 따라 전처리 된 후 제조된 벗짚 펄프들을 PFI mill을 이용하여 고해도를 300 ml로 고해한 후 수초지기를 사용하여 평량 60 g/m²으로 초지하였다. 초지한 종이는 항온항습실(온도 : 20±1℃, RH : 65±5%)에서 24시간 이상 조습하였으며, 조습된 종이는 TAPPI Test Methods에 의거 열단장, 비파열도, 비인열도 및 내절도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전처리 후 중량 감소율 측정

벗짚을 *Ganoderma lucidum*으로 각각 5, 10, 15,

Table 1. Weight losses of rice-straw after pretreatment with *Ganoderma lucidum* (Unit : %)

Incubation Period(days)	Additives			
	None	glucose	N	glucose+N
Untreated	0 (100)	0 (100)	0 (100)	0 (100)
5	8.5 (91.5)	9.3 (90.7)	11.8 (88.2)	11.8 (88.2)
10	15.7 (84.3)	14.8 (85.2)	17.5 (82.5)	17.8 (82.2)
15	20.8 (79.2)	17.7 (82.3)	21.7 (78.3)	19.9 (80.1)
20	21.7 (78.3)	24.3 (75.7)	25.6 (74.4)	20.8 (79.2)
25	26.9 (73.1)	29.3 (70.7)	28.1 (71.9)	22.9 (77.1)
30	29.8 (70.2)	32.1 (67.9)	30.1 (69.9)	24.4 (75.6)

* () : Yields after pretreatment

* Glucose : 0.5%, N : 0.25%

20, 25 및 30일 동안 전처리 후 중량 감소율을 측정한 결과는 Table 1과 같다.

영양원을 첨가하지 않고 배양하였을 경우 배양기간 5일에서 8.5%이었고, 30일로 연장됨에 따라 29.8%까지 증가하였다. 영양원으로서 glucose를 0.5% 첨가시 중량 감소율은 배양 5일 후 9.3%이었으나, 30일 후에는 32.1%까지 증가하여 중량 감소율이 가장 크게 나타났으며, 질소를 0.25% 첨가시 중량 감소율은 배양 5일 후 11.8%에서 30일 후에는 30.1%까지 중량이 감소하였고, glucose 0.5%+질소 0.25%를 첨가시 배양기간의 연장에 따라 중량 감소율은 11.8%에서 24.4%까지 증가되어 감소량은 가장 적은 수준이었다.

영양원을 첨가하지 않거나, 영양원으로 glucose를 첨가시 배양 5일 후 중량 감소율이 각각 8.5%와 9.3%로, N 첨가와 glucose+N 첨가시 각각 11.8% 보다 낮았고, glucose 0.5%+N 0.25% 첨가시 배양 30일의 중량 감소율은 24.4%로 영양원을 첨가하지 않거나 glucose 또는 N 첨가시보다 중량 감소율이 적었다.

벗짚의 분해과정을 전반적으로 보았을 때, 영양원으로서 N 또는 glucose+N을 첨가한 경우 배양 초기에는 벗짚의 분해가 촉진되었으나, 배양 후반기에는 영양원 무첨가 또는 glucose 첨가시보다 오히려 분해율이 낮은 경향을 나타냈다.

Table 2. Chemical constituents of rice-straw after pretreatment with *Ganoderma lucidum* (Unit : %)

Culture period(days)	Additives	A · B extractives	Holo-cellulose	α -cellulose	Klason lignin	Ash
	Untreated	9.6	70.5	41.8	20.1	10.3
5	None	4.8 (4.4)	75.8 (64.9)	46.0 (42.1)	21.8 (19.9)	13.7 (12.5)
	glucose	4.1 (3.7)	74.0 (67.1)	46.3 (42.0)	22.0 (20.0)	13.6 (12.3)
	N	2.8 (2.5)	75.1 (66.2)	48.7 (43.0)	19.9 (17.6)	13.6 (12.0)
	glucose+N	3.6 (3.2)	76.5 (67.5)	49.0 (43.2)	19.7 (17.4)	13.6 (12.0)
	None	2.8 (2.4)	77.2 (65.1)	45.0 (37.9)	20.7 (17.5)	14.3 (12.1)
10	glucose	2.9 (2.5)	76.6 (65.3)	45.4 (38.7)	21.2 (18.1)	13.9 (11.8)
	N	2.5 (2.1)	76.7 (63.3)	49.0 (40.4)	20.4 (16.8)	14.2 (11.7)
	glucose+N	3.0 (2.5)	77.2 (63.5)	48.3 (39.7)	20.5 (16.9)	13.8 (11.3)
	None	3.4 (2.7)	76.8 (60.8)	44.0 (34.8)	24.2 (19.2)	14.4 (11.4)
15	glucose	2.8 (2.3)	77.0 (63.4)	44.6 (36.7)	23.5 (19.3)	14.2 (11.7)
	N	2.5 (2.0)	78.7 (61.6)	48.7 (38.1)	23.6 (18.5)	14.1 (11.0)
	glucose+N	2.8 (2.2)	78.3 (62.7)	49.1 (39.3)	22.3 (17.9)	14.0 (11.2)
	None	2.6 (2.0)	76.1 (59.6)	43.2 (33.8)	25.3 (19.8)	14.8 (11.6)
20	glucose	3.0 (2.3)	78.3 (59.3)	45.0 (34.1)	24.7 (18.7)	15.1 (11.4)
	N	2.4 (1.8)	78.5 (58.4)	49.9 (37.1)	23.9 (17.8)	14.4 (10.7)
	glucose+N	2.8 (2.2)	78.5 (62.2)	49.9 (39.5)	24.4 (19.3)	14.0 (11.1)
	None	2.7 (2.0)	78.5 (57.4)	45.9 (33.6)	24.8 (18.1)	15.2 (11.1)
25	glucose	2.7 (1.9)	77.3 (54.7)	44.5 (31.5)	25.4 (18.0)	15.1 (10.7)
	N	2.3 (1.7)	79.0 (56.8)	49.3 (35.4)	23.6 (17.0)	14.6 (10.5)
	glucose+N	2.8 (2.2)	78.8 (60.8)	50.6 (39.0)	22.4 (17.3)	14.3 (11.0)
	None	2.6 (1.8)	77.6 (54.5)	46.1 (32.4)	23.2 (16.3)	14.9 (10.5)
30	glucose	2.7 (1.8)	76.3 (51.8)	44.7 (30.4)	25.0 (17.0)	15.3 (10.4)
	N	2.3 (1.6)	78.5 (54.9)	51.3 (35.9)	21.6 (15.1)	14.5 (10.1)
	glucose+N	3.1 (2.3)	78.8 (59.6)	51.8 (39.2)	21.6 (16.3)	13.8 (10.4)

* A · B : Alcohol · Benzene

* Glucose : 0.5%, N : 0.25%

* () : Contents based on original material

3.2 전처리 볏짚의 화학적 조성분

전처리를 하지 않은 볏짚과 전처리한 볏짚의 화학적 조성분을 분석한 결과는 Table 2와 같다.

무처리 볏짚의 알콜·벤젠 추출물은 9.6%이었고, 영양원을 첨가하지 않고 전처리한 경우 1.8~4.4%, 영양원으로 glucose, N 또는 glucose+N 첨가시 각각 1.8~3.7%, 1.6~2.5%, 2.2~3.2% 범위로서 영양원을 첨가하지 않거나 glucose 또는 N 첨가시는 배양기간의 연장에 따라 감소하였으며, glucose+N 첨가시는 배양기간 15일까지는 감소하였으나 이후 배양기간에서는 비슷한 수준이었다.

무처리 볏짚의 holocellulose와 α -cellulose 함량은 각각 70.5%와 41.8%였고, 전처리한 후 이들 함량은 원시료를 기준으로 하였을 때 무처리 볏짚보다 낮게 나타났다. holocellulose 함량은 전처리시 영양원을 첨가하지 않거나 영양원으로 glucose를 첨가하였을 경우 원시료를 기준으로 하였을 때, 각각 54.5~65.1%, 51.8~67.1%, 영양원으로 N 또는 glucose+N을 첨가하였을 경우 각각 54.9~66.2%, 59.6~67.5% 범위로서 배양기간의 연장에 따라 감소하는 경향을 보였는데, 영양원으로 glucose+N을 첨가한 경우 가장 적은 감소를 보였다.

α -cellulose 함량은 전처리시 영양원을 첨가하지 않거나 영양원으로 glucose를 첨가한 경우 원시료를 기준으로 하였을 때, 배양기간에 따라 각각 42.1~32.4%, 42.0~30.4%, 영양원으로 N 또는 glucose+N을 첨가하였을 경우 각각 43.0~35.4%, 43.2~39.0% 범위로서, 영양원을 첨가하지 않거나 glucose 또는 N을 첨가하였을 경우 감소하는 경향을 보였고, glucose+N을 첨가하였을 경우 모든 배양기간에서 원시료와 비슷한 수준이었다.

무처리 볏짚의 Klason lignin 함량은 20.1%였고, 영양원을 첨가하지 않고 전처리한 경우 배양기간에 따라 19.9~16.3%, 영양원으로 glucose, N 또는 glucose+N 첨가시 20.0~17.0%, 18.5~15.1%, 19.3~16.3% 범위였는데, 영양원의 첨가유무와 종류에 관계없이 15.1~20.0% 범위로서, 원시료를 기준으로 하였을 때 무처리 볏짚보다 낮아지는 경향이였다.

한편, ash의 함량도 원시료의 경우 10.3%이었으나, 전처리 하였을 경우 영양원의 첨가 유무에 관계없이 10.1~12.5%로 원시료 보다 높은 경향이였다. 이와 같이 균으로 전처리시 ash의 함량이 무처리 볏짚보다 높은 것은 균이 섬유소 등의 유기물을 분해하여 상대적으로 무기물의 비율이 높아진데 기인하는 것으로 사료된다.

3.3 전처리 볏짚의 Soda 펄핑

3.3.1 수율

전처리한 후 가성소다 농도를 15%로 하고 100℃에서 120분간 증해하여 제조한 상압 볏짚 소다펄프의 수율은 Table 3과 같다.

무처리 볏짚과 전처리한 볏짚으로 제조된 펄프의 수율을 비교한 결과 무처리 볏짚으로 펄프를 제조시 54.8%였고, 전처리한 후 펄프를 제조하였을 때, 영양원을 첨가하지 않은 경우는 원시료를 기준으로 하였을 때, 배양기간에 따라 38.5~50.6%, 영양원으로 glucose 첨가시 34.4~48.6% 범위였다. 또한, 영양원으로 N 첨가와 glucose+N 첨가한 경우의 펄프 수율은 각각 38.4~51.8%와 42.6~49.6%의 범위로서 영양원을 첨가하지 않거나 glucose 첨가시보다 높은 경향이였다. 결과적으로 배양기간의 연장에 따라 수율은 영양원의 첨가유무와 종류에 따라 감소율이 다르게 나타났다는데, glucose+N 첨가시 가장 높은 수율을 보였다.

Table 3. Yields of rice-straw pulps cooked with caustic soda after pretreatment with *Ganoderma lucidum* (Unit : %)

Incubation Period(days)	Additives			
	None	glucose	N	glucose+N
Untreated	54.8	54.8	54.8	54.8
5	55.3 (50.6)	53.6 (48.6)	53.5 (47.2)	56.1 (49.5)
10	55.4 (46.7)	53.1 (45.2)	62.8 (51.8)	60.4 (49.6)
15	57.1 (45.2)	52.5 (43.2)	57.3 (44.9)	57.8 (46.3)
20	51.0 (39.9)	61.6 (46.6)	56.9 (42.3)	55.2 (43.7)
25	52.7 (38.5)	55.1 (39.0)	55.6 (40.0)	55.2 (42.6)
30	56.1 (39.4)	50.7 (34.4)	55.0 (38.4)	57.2 (43.2)

* Cooking conditions : NaOH 15 % (as Na₂O), temperature 100℃, time 120 min., rice straw/liquor : 1/10

* Glucose : 0.5%, N : 0.25%

* () : yields based on original material

3.3.2 Kappa number

전처리한 후 가성소다 농도를 15%로 하고 100℃에서 120분간 증해하여 제조한 상압 벗짚 소다펄프의 Kappa No.는 Table 4와 같다.

Kappa No.는 무처리 벗짚으로 제조된 펄프가 23.4였고, 영양원을 첨가하지 않고 전처리한 경우 26.5~44.6, 영양원으로 glucose 첨가시 24.5~47.0, N 첨가시 25.4~36.9, glucose+N 첨가시 23.8~37.0범위였다. 영양원을 첨가하지 않은 경우 배양기간의 연장에 따라 계속적인 증가를 보였고, 각종 영양원을 첨가시 일정 배양기간까지는 Kappa No.가 증가하였으나, 다시 감소하는 경향이었는데, N 또는 glucose+N 첨가시 다른 경우보다 크게 낮았다.

이와 같이 무처리 벗짚으로 제조된 펄프의 Kappa No.가 가장 낮은 것은 무처리 벗짚으로 제조된 펄프의 경우 불완전한 해섬으로 인하여 Kappa No. 측정시 펄프내 일부의 리그닌만이 $KMnO_4$ 와 반응한데 기인한 것으로 사료된다. 한편 전처리 후 제조된 펄프들의 경우 배양기간이 연장됨에 따라 Kappa No.가 증가되는 것은 해섬상태가 양호해짐에 따라 $KMnO_4$ 가 반응할 수 있는 부분이 증가된데 기인하며, 영양원을 첨가시 배양기간 30일에서 Kappa No.가 감소되는 것은 정상적인 펄프화와 탈리그닌이 일어났음을 의미한다고 볼 수 있다.

Table 4. Kappa numbers of rice-straw pulps cooked with caustic soda after pretreatment with *Ganoderma lucidum*

Incubation Period(days)	Additives			
	None	glucose	N	glucose+N
Untreated	23.4	23.4	23.4	23.4
5	26.5	24.5	26.6	23.8
10	27.6	25.9	25.4	28.1
15	34.2	34.9	33.9	33.3
20	36.4	39.5	34.9	27.1
25	37.1	47.0	36.9	37.0
30	44.6	36.2	26.8	26.6

* Cooking conditions : NaOH 15 % (as Na₂O), temperature 100℃, time 120 min., rice straw/liquor : 1/10

* Glucose : 0.5%, N : 0.25%

3.3.3 백색도

전처리한 후 가성소다 농도를 15%로 하고 100℃에서 120분간 증해하여 제조한 상압 벗짚 소다펄프의 백색도는 Table 5와 같다.

Table 5. Brightnesses of rice-straw pulps cooked with caustic soda after pretreatment with *Ganoderma lucidum*

Incubation Period(days)	Additives			
	None	glucose	N	glucose+N
Untreated	31.4	31.4	31.4	31.4
5	27.6	32.5	30.0	31.9
10	27.7	32.6	30.9	32.9
15	32.0	28.1	26.1	28.6
20	26.3	26.1	26.8	29.8
25	28.4	27.5	27.2	28.2
30	28.9	28.6	32.4	31.8

* Cooking conditions : NaOH 15 % (as Na₂O), temperature 100℃, time 120 min., rice straw/liquor : 1/10

* Glucose : 0.5%, N : 0.25%

무처리 벗짚으로 제조한 펄프의 백색도는 31.4였고, 전처리하여 펄핑한 펄프의 백색도는 영양원을 첨가하지 않은 경우 26.3~32.0, 영양원으로 glucose 첨가시 26.1~32.6, N 첨가시 26.1~32.4, glucose+N 첨가시 28.2~32.9의 범위로 배양기간에 따라 원시료 보다 낮거나 비슷하였다.

영양원을 첨가하지 않은 경우는 배양기간이 연장됨에 따라 일정 배양기간까지 증가하였으나, 다시 감소하는 경향을 보였고, 각종 영양원을 첨가한 경우는 배양 초반부에 높거나 비슷한 수준을 나타내다가 중반부에는 감소되었다. 그러나 배양기간 30일에서 다시 증가되었는데, 이는 카파가의 감소와 관련이 있는 것으로 사료된다.

이와 같이 전처리 벗짚으로 제조된 펄프의 백색도가 무처리 벗짚으로 제조된 펄프에 비하여 배양기간에 따라 비슷하거나 오히려 낮은 수준을 보이는 것은, 벗짚 구성성분의 균 분해로 인한 탈리그닌의 촉진효과보다 섬유내 발색단의 증가효과가 더 큰데 기인하는 것으로 사료된다.

3.4 펄프의 화학적 조성분

전처리를 하지 않은 볏짚과 각각의 배양기간에 따라 전처리된 볏짚으로 소다펄프를 제조하여 화학적 조성분을 분석한 결과는 Table 6과 같다.

무처리 볏짚으로 제조한 펄프의 알콜·벤젠 추출물은 1.6%였고, 전처리한 경우 배양기간이 증가함에 따라 영양원을 첨가하지 않고 배양하여 펄프를 제조한 경우 1.2~0.7%로 감소하였으며, glucose 첨가와 N 첨가시 각각 1.7~0.8%, 1.4~0.8%, glucose+N 첨가시 1.3~0.9%로 감소하였으나 감소량은 미미하였고, 영양원의 첨가 유무에 의한 차이도 나타나지 않았다.

무처리 볏짚으로 제조된 펄프의 holocellulose 함량은 82.0%였는데, 전처리 하였을 때 영양원을 첨가하지 않거나 영양원으로 glucose를 첨가하여 배양한

후 제조한 펄프는 배양기간의 연장에 따라 81.3~84.1%와 80.8~85.2%, 영양원으로 N 첨가와 glucose+N 첨가시 각각 83.3~88.7%, 82.4~89.0%범위로서 holocellulose 함량이 무처리시 보다 높은 경향이였다.

α -cellulose는 무처리 볏짚으로 제조된 펄프의 경우 61.1%였고, 전처리 후 제조된 펄프 중 영양원을 첨가하지 않거나 영양원으로 glucose 첨가시 배양기간의 연장에 따라 각각 59.8~64.0%, 58.5~65.5%, 영양원으로 N 또는 glucose+N 첨가시 각각 60.5~67.8%, 59.6~67.8% 범위로서, 무처리 시와 비슷하거나 다소 높은 경향이였으며, N 또는 glucose+N 첨가하여 배양한 후 제조된 펄프의 경우 배양기간에 따라 차이는 있으나 영양원을 첨가하지 않거나 glucose 첨가시보다 높은 수준이였다.

Table 6. Chemical constituents of soda pulps made from rice straw pretreated with *Ganoderma lucidum* (Unit : %)

Culture period(days)	Additives	A · B extractives	Holo-cellulose	α -cellulose	Klason lignin	Ash
5	Untreated	1.6	82.0	61.1	9.2	6.0
	None	1.2	83.1	60.5	9.1	5.4
	glucose	1.7	85.2	62.7	9.4	5.5
	N	1.4	84.4	60.5	9.9	4.8
	glucose+N	1.3	82.4	59.6	10.6	4.6
10	None	0.9	83.7	64.0	11.1	5.6
	glucose	1.2	85.2	65.5	9.8	5.7
	N	1.1	84.5	64.2	10.0	5.8
	glucose+N	1.1	85.9	63.7	10.4	5.5
15	None	1.1	84.1	62.4	9.5	6.3
	glucose	1.0	82.7	62.1	10.7	6.1
	N	1.2	84.4	62.7	10.6	5.6
	glucose+N	0.9	85.5	62.9	8.4	5.3
20	None	1.0	81.3	59.8	9.5	7.4
	glucose	1.2	83.1	62.3	12.5	6.4
	N	1.0	83.3	61.7	9.7	5.3
	glucose+N	1.0	85.2	65.0	10.5	5.0
25	None	0.7	83.9	61.1	7.8	4.8
	glucose	0.8	80.8	58.5	11.4	5.2
	N	0.9	84.6	62.4	9.1	4.8
	glucose+N	1.0	85.0	64.3	9.0	4.5
30	None	1.0	84.0	62.4	9.6	4.8
	glucose	0.8	84.2	60.6	7.9	5.8
	N	0.8	88.7	67.8	6.3	4.5
	glucose+N	0.9	89.0	67.8	7.2	5.0

* A · B : Alcohol · Benzene

* Glucose : 0.5%, N : 0.25%

무처리 벚짚으로 제조된 펄프의 Klason lignin 함량은 9.2%였고, 전처리하였을 때 영양원을 첨가하지 않거나 영양원으로 glucose를 첨가하여 배양한 후 제조한 펄프는 배양기간에 따라 각각 7.8~11.1%, 7.9~12.5%, 영양원으로 N 또는 glucose+N 첨가시 각각 6.3~10.6%, 7.2~10.6% 범위로서, 영양원을 첨가하지 않거나 영양원을 첨가시 무처리 벚짚과 비슷한 수준으로 배양기간의 연장에 의한 차이는 크지 않았는데, 배양기간 30일의 경우는 상당히 감소되었다.

무처리 벚짚으로 제조된 펄프의 ash의 함량은 6.0%였고, 전처리한 후 제조된 펄프 중 영양원을 첨가하지 않거나 영양원으로 glucose를 첨가하여 배양한 후 제조된 펄프는 배양기간의 연장에 따라 각각 4.8~7.4%, 5.2~6.4%, 영양원으로 N 및 glucose+N 첨가시 각각 4.5~5.8%, 4.5~5.5% 범위로서, 무처리

벚짚으로 제조된 펄프보다 약간 낮은 경향이였다.

이와 같이 ash의 함량이 펄핑 후에도 경우에 따라서 무처리 벚짚으로 제조된 펄프와 비슷하거나 높게 나타나기도 했는데, 이는 펄핑전 화학적 조성분에서 고찰한 것과 같은 원인에 기인한 것으로 사료된다.

3.5 펄프의 물리적 성질

무처리 벚짚으로 제조한 펄프와 전처리한 벚짚으로 제조된 펄프들의 여수도를 300 mlCSF로 고해한 후 평량 60 g/m²로 수초지하여 밀도, 열단장, 파열지수, 인열지수 및 내절도를 측정된 결과는 Table 7과 같다.

무처리 벚짚으로 제조한 펄프의 밀도는 0.24 g/cm³였고, 전처리한 후 제조한 펄프들 중 영양원을 첨가하

Table 7. Physical properties of soda pulps made from rice straw pretreated with *Ganoderma lucidum*

Culture period(days)	Additives	Density (g/cm ³)	Breaking length(Km)	Burst index (kPa · m ² /g)	Tear index (mN · m ² /g)	Folding endurance(times)
	Untreated	0.24	2.32	0.91	56.7	35
5	None	0.27	3.14	1.42	47.7	47
	glucose	0.27	4.01	1.81	45.8	56
	N	0.27	3.80	2.02	48.8	71
	glucose+N	0.28	3.97	2.07	45.9	52
10	None	0.28	3.26	1.90	48.1	54
	glucose	0.27	4.17	1.96	47.8	85
	N	0.27	4.09	2.04	49.4	72
	glucose+N	0.28	4.32	2.10	50.1	75
15	None	0.28	3.56	1.92	53.8	65
	glucose	0.28	4.20	2.01	48.7	102
	N	0.28	4.25	2.11	53.4	67
	glucose+N	0.29	4.49	2.17	58.9	106
20	None	0.28	3.63	1.94	56.7	79
	glucose	0.29	4.28	2.17	52.7	98
	N	0.29	4.32	2.15	54.3	70
	glucose+N	0.29	4.53	2.21	59.1	97
25	None	0.29	3.67	1.99	57.7	83
	glucose	0.29	4.34	2.32	59.1	134
	N	0.29	4.59	2.23	59.3	86
	glucose+N	0.30	4.76	2.39	64.5	106
30	None	0.29	4.01	2.05	58.5	64
	glucose	0.30	4.87	2.46	58.9	225
	N	0.30	5.25	2.78	57.2	249
	glucose+N	0.30	4.95	2.47	59.9	288

* Freeness of pulps after beating : 300 mlCSF

* Glucose : 0.5%, N : 0.25%

지 않거나 영양원으로 glucose 첨가시 펄프들의 밀도는 각각 0.27~0.29 g/cm³, 0.27~0.30 g/cm³, 영양원으로 N 또는 glucose+N 첨가시 각각 0.27~0.30 g/cm³, 0.28~0.30 g/cm³ 범위로서 영양원의 첨가효과가 나타났으며, 배양기간이 연장됨에 따라 증가하였다.

밀도는 영양원으로 glucose+N을 첨가한 후 배양하여 제조된 펄프가 가장 높았고, 영양원으로 glucose 첨가와 N 첨가시 배양기간 10일에서는 영양원을 첨가하지 않은 경우보다 낮았으나, 이후 높은 수준을 나타냈으며, 배양기간과 첨가한 영양원의 종류에 관계없이 전체적인 밀도의 차이는 미미하였고, 전처리한 경우 각종 영양원의 첨가 유무에 관계없이 무처리 벗짚으로 제조된 펄프보다 크게 높았다.

무처리 벗짚으로 제조한 펄프는 열단장이 2.32 km였고, 전처리한 후 제조한 펄프들 중 영양원을 첨가하지 않거나 영양원으로 glucose 첨가한 펄프들의 열단장은 각각 3.14~4.01 km, 4.01~4.87 km, 영양원으로 N 또는 glucose+N 첨가시 각각 3.80~5.25 km, 3.97~4.95 km 범위로서 배양기간이 연장됨에 따라 증가하였다.

영양원을 첨가하여 전처리 하였을 때, 영양원의 종류에 관계없이 배양기간 10일에서 25일까지의 증가는 미미하였으나, 30일의 경우 상당히 높은 수준이었고, 영양원으로서 glucose+N 첨가시 배양기간 25일까지는 가장 높게 나타났으나 배양기간 30일에서는 N첨가시 가장 높았으며, 영양원을 첨가하지 않은 경우는 가장 낮은 수준이었다. 또한 전처리한 경우 각종 영양원의 첨가유무에 관계없이 무처리 벗짚으로 제조된 펄프보다 크게 높았다.

무처리 벗짚으로 제조한 펄프의 파열지수는 0.91 kPa · m²/g였고, 영양원을 첨가하지 않고 전처리하여 제조된 펄프들의 경우 1.42~2.05 kPa · m²/g, 영양원으로 glucose, N 또는 glucose+N 첨가시 각각 1.81~2.46 kPa · m²/g, 2.02~2.78 kPa · m²/g, 2.07~2.47 kPa · m²/g 범위로서 배양기간의 연장에 따라 증가하였다. 각종 영양원을 첨가하였을 경우 동일한 배양기간에서 차이는 적었는데, 영양원으로 glucose+N 첨가시 배양기간 25일까지 가장 높았고, 배양기간 30일에서는 N 첨가시 가장 높게 나타났다. 영양원을 첨가하지 않은 경우는 배양기간 10일에서 커다란 증가폭을 나타냈으나, 이후의 배양기간에서의 증가는 미미하였으며, 가장 낮은 파열지수를 나타냈고, 무처리 벗짚으로 제조된 펄프와 비교시 전처리한 경우 각종 영양원의 첨가유무에 관계없이 크게 높았다.

무처리 벗짚으로 제조한 펄프는 인열지수가 56.7 mN · m²/g이었다. 그러나 영양원을 첨가하지 않고 전처리하여 제조된 펄프들의 경우 47.7~58.5 mN · m²/g, 영양원으로 glucose, N 또는 glucose+N 첨가시 각각 45.8~59.1 mN · m²/g, 48.8~59.3 mN · m²/g, 45.9~64.5 mN · m²/g 범위였다. 인열지수는 밀도, 열단장과 달리 영양원의 첨가 유무와 종류에 따라 펄프 종류간 많은 차이를 보였는데, 영양원을 첨가하지 않은 경우 배양기간의 연장에 따라 계속 증가하였고, 영양원을 첨가하여 배양한 경우 배양기간 25일까지는 증가하였으나, 배양 30일에서는 비슷하거나, 약간 감소하였다. 전처리 후 제조된 펄프들 중 영양원으로 glucose+N을 첨가하여 배양한 후 제조된 펄프가 배양기간 10일 이후부터 가장 높게 나타났다. 그러나, 무처리 벗짚으로 제조된 펄프와 비교시 일정 배양기간까지는 전처리 후 제조된 펄프들이 낮게 나타났으나, 이후의 배양기간에서는 높게 나타났다.

결과적으로 균 전처리는 인열지수에 부정적인 영향도 미치는 것으로 평가되는데, 이에 따라 균에 의한 셀룰로오스의 분해가 인열지수의 감소와 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다.

무처리 벗짚으로 제조된 펄프의 내절도는 35회였고, 영양원을 첨가하지 않거나 영양원으로 glucose 첨가 후 전처리하여 제조된 펄프는 배양기간에 따라 각각 47~83회, 56~225회, 영양원으로 N 또는 glucose+N 첨가시 각각 67~249회, 52~288회의 범위로서 각종 영양원의 종류에 관계없이 배양기간 30일에서 가장 크게 나타났는데, 영양원으로 glucose+N 첨가시 가장 크게 나타났다. 이와 같은 결과들을 검토하여 볼 때 균 전처리와 영양원 첨가의 여부는 내절도에 크게 영향을 미치는 것으로 평가된다.

4. 결론

본 연구에서는 비목질계 섬유자원인 벗짚을 리그닌 분해력이 우수한 *G. lucidum*을 이용하여 영양원을 첨가하지 않거나, glucose, N 및 glucose+N을 첨가하여 5, 10, 15, 20, 25 및 30일간 각각 배양한 후, 상압에서 소다펄핑을 실행하였으며, 그 결과를 검토한 바 얻은 결론은 다음과 같다.

*G. lucidum*으로 전처리시 영양원의 종류에 따라 약간의 차이는 있지만, 배양기간은 10일 정도가 적절하였으며, 영양원은 glucose+N을 첨가한 경우 효과가 좋았다. 배양기간을 10일 이상으로 연장할 경우 펄

프의 물리성 성질이 개선되는 경향은 있지만 균처리 후 중량 감소율, 펄핑시 수율, 펄프화 정도 등을 고려하여 볼 때, 배양기간을 10일 이상으로 연장하는 것은 바람직하지 않다고 사료된다.

이에 따라 균전처리 후 상압에서 벗짚 소다펄프를 제조하므로써 에너지와 설비비를 절감할 수 있는 결과를 얻었다. 그러나 본 연구에서 얻어진 벗짚 소다펄프들은 해섬상태가 완전치 못하여 고급용지의 원료로서는 부적합하고, 포장지 등 중·저급지용으로 활용 가능하다고 사료되므로, 상압에서 완전히 해섬된 화학펄프를 얻을 수 있도록 지속적인 연구가 필요하다.

인 용 문 헌

1. 강진하, 박성종, 고수율 및 저카파가의 벗짚화학펄프 제조방법 개발, 펄프 · 종이기술, 32(2): 58-67 (2000).
2. 韓舜教, 微生物을 이용한 펄프製造, 펄프 · 종이기술, 14(1): 26-29 (1982).
3. Ban, Wei-ping, Song, J.-G. and Zhang, L.-P., Polysulfide-antraquinone additive pulping of rice straw, 3rd INWFPPC PROCEEDINGS, Vol. 1: 197-202 (1996).
4. Chen, K-L., Tosaka, K. and Hayashi, J., Alkali-oxygen pulping of rice-straw, Tappi J., 77(7): 109-113 (1994).
5. Harmohinder, S. S., Akhtar, M., Blanchette, R. A. and Young, R. A., Refiner mechanical and biomechanical pulping of jute, Holzforschung, 49: 537-544 (1995).
6. Mammers H., Yuritta, J. P. and Menz, D. J., Explosion pulping of bagasse and wheat straw, Tappi J., 64(7): 93-96 (1981).
7. Marguerite S., Environmental compatibility of effluents of aspen biomechanical pulps, Tappi J., 77(1): 161-166 (1994).
8. Kobayashi, Y., Recent worldwide trends of R&D on pulping and paper-making of nonwood plant fibers, Tappi J., 69(6): 1-23 (1986).
9. Perdue, Jr. R. E. and Niechlag, H. J., Fiber dimensions of nonwoody plants materials, Tappi J., 44(11): 776-784 (1961).