

표고버섯 골목의 사용연수에 따른 화학적, 물리적 성상 및 폭쇄처리 후 변화 관찰*1

구본욱*2 · 박준영*2 · 이수민*2 · 최돈하*3 · 최인규*2†

Analysis of Chemical and Physical Characteristics of Log Woods for Oak Mushroom Production Depending on Cultivation Periods and Steam Explosion Treatment*1

Bon-Wook Koo*2 · Jun-Yeong Park*2 · Soo-Min Lee*2 · Don-Ha Choi*3 · In-Gyu Choi*2†

요 약

표고버섯 폐골목의 대체에너지 자원으로서의 가능성을 살펴보기 위하여 폐골목을 사용연수별로 구분하고 동일 수종의 정상재와 함께 화학적, 물리적 성상을 비교, 조사하였다. 또한 폐골목에 잔존하는 효소에 의한 전처리 효과를 살펴보기 위하여 기존의 전처리 방법인 폭쇄처리법과 비교하였다. 사용연수에 따른 화학적 성상의 변화는 회분, 수용성 추출물, alkali 추출물, 유기용매 추출물 함량 모두 뚜렷한 경향을 나타내진 않았지만 균주를 접종한 직후 폐골목에서 정상재보다 높은 함량을 나타내었다. Holocellulose 함량은 큰 폭으로 감소하였고 다른 주성분인 lignin 함량은 균주 접종 전후에 큰 변화를 보여주지 않았지만 cellulose 함량이 큰 폭으로 감소한 것을 고려하면 균주에 의해 상당량의 lignin 분해가 진행되었다. 부후정도는 균주 접종 후 점차 증가하는 모습을 보였지만, 결정화도는 급격히 감소하였다. 폭쇄처리에 의한 화학적, 물리적 성상의 변화로서 수용성 추출물, alkali 추출물, 유기용매 추출물 함량은 큰 폭으로 증가하였고, holocellulose 함량도 소폭 상승하였지만 lignin 함량은 특별한 경향을 나타내지 않았다. 그러나 다른 추출물의 함량이 급격히 증가한 것을 고려하면 holocellulose와 lignin 모두 감소하였다고 생각된다. 폭쇄처리에 의한 결정화도의 감소는 균주 접종 후의 감소폭과 비슷한 결과를 나타내었고, 인위적으로 부후시킨 재료에 대한 lignin 함량은 폐골목의 함량보다 감소하여 잔존 효소에 의한 전처리 가능성을 나타내었다. 이상의 결과로 미루어 보아 폐골목은 대체에너지 자원으로서 충분한 가능성을 갖고 있다고 사료된다.

* 1 접수 2004년 11월 22일, 채택 2005년 1월 12일

* 2 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부, Dept. of Forest Science, College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

* 3 국립산림과학원 Dept. of Wood Chemistry & Microbiology, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

† 주저자(corresponding author) : 최인규(e-mail: cingyu@snu.ac.kr)

ABSTRACT

In order to investigate the ability of log wood for oak mushroom production as a source of an alternative energy, both chemical and physical characteristics of log wood were investigated according to the cultivation periods. Also, both chemical and physical characteristics of material that treated by steam explosion were investigated to confirm the pretreatment effect by remaining enzyme as a control. The contents of ash, water-, alkali- and organic soluble extracts have been increased after the inoculation. It appeared that holocellulose contents substantially decreased and the contents of lignin as another main component of wood remained constant after the inoculation. However this result implied that indeed, a sufficient amount of lignin has been degraded partially by enzymes of oak mushroom *Lentinus edodes* if we consider that the amount of holocellulose was substantially reduced. It also indicated that the degree of degradation gradually progressed but crystallinity decreased after the inoculation. The contents of water-, alkali- and organic soluble extracts have been increased by steam explosion. Holocellulose contents increased within narrow limits and lignin contents remained constant. However the contents of holocellulose and lignin have been decreased by steam explosion, considering that the amount of other extractives was relatively increased. The degree of crystallinity and lignin contents reduction by steam explosion was almost similar to the result obtained by increasing cultivation periods. According to the results, log woods for mushroom production have a potential as material for developing alternative energy.

Keywords: alternative energy, lignocellulosics, *Lentinus edodes*, logwood, pretreatment

1. 서 론

화석연료의 고갈과 환경적인 문제로 인해 기존의 화석에너지를 대신할 새로운 대체에너지의 개발에 대한 요구는 전세계적으로 증가하고 있으나 여러 바이오매스를 이용한 대체에너지 개발은 과다한 초기투자 및 경제성 부족이 실용화에 커다란 약점으로 지적되어 왔다. 그러나 미국, 일본 등을 비롯한 선진국에서는 미래 에너지원으로서의 대체에너지에 대한 과감한 연구개발과 보급정책 등을 추진해오고 있는 실정이다(원, 2002). 대체에너지는 지속적인 공급이 가능하고, 기술개발을 통해 확보 가능한 미래의 에너지원이므로 특히 우리나라와 같이 에너지자원이 부족한 나라에서의 대체에너지에 대한 연구는 필수적이라 할 수 있다. 이러한 대체에너지의 새로운 자원으로서 바이오매스 자원이 주목받고 있다(Cheung *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2001). 특히 목질 바이오매스와 같은 lignocellulosics은 화학원료와 에너지원으로서 유

용하게 활용될 수 있는 cellulose 성분을 다량 함유하고 있어(Cheung *et al.*, 1997; Sun *et al.*, 2002; Iranmahboob *et al.*, 2002; Soderstrom *et al.*, 2003) 새로운 대체에너지 개발을 위한 바이오매스 자원으로 주목받고 있으며 이에 대한 연구가 필요한 실정이다. Lignocellulosics 중에서 식용버섯의 골목으로 사용된 후 버려지는 폐골목은 버섯 재배 기간동안 생성된 균체 및 효소의 잔존에 의한 cellulose 결정화도의 감소와 부분적인 lignin 분해의 진행이 예상된다. 따라서 잔존효소들의 성장 및 분해환경을 적절히 조성하여 줌으로써 자연 상태에서의 전처리 공정을 유도하여 기존의 전처리 공정을 대체할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 버섯 재배 기간동안 목질부의 경도 역시 상당부분 감소되어 당화에 유리한 조건을 가질 수 있어 대체에너지 개발을 위한 새로운 자원으로서 충분한 가치를 갖고 있다. 하지만 폐골목은 현재 화목으로 다량 이용되고 있으나 열량이 낮아 좋은 활용 방안이라고는 볼 수 없고(문 등, 1999), 많은 양의 폐골

목이 자연상태에서 폐기 또는 불용처리되고 있는 실정이다(김 등, 1994). 따라서 본 연구에서는 폐골목의 활용을 위하여 실제 표고버섯의 숙주로 사용되는 골목의 사용연수에 따른 화학적, 물리적 성상을 조사하고, 이를 기존의 전처리 방법 중 전처리 효과가 우수하다고 알려진 폭쇄처리 과정을 거친 재료와 비교하여(Klyosov *et al.*, 1986; Martinez *et al.*, 1990), 재료 자체가 갖고 있는 전처리 효과의 가능성을 확인함으로써 대체에너지 개발을 위한 새로운 바이오매스 자원으로서 폐골목의 가능성을 살펴보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 재료

경기도 화성시 소재 버섯 농장으로부터 표고버섯 골목으로 사용되는 신갈나무(*Quercus mongolica Fischer*) 정상재와 실제 버섯재배에 이용된 골목을 사용연수별(1~5년)로 제공 받아 이를 분쇄기를 사용하여 40 mesh 크기의 목분으로 제조하여 공시 재료로 사용하였고, 연질 X선 촬영을 위해서는 공시재료를 목리에 직각방향으로 절단하여 두께 4 cm의 disk 형태로 제작하여 사용하였다.

2.2. 폭쇄 처리에 의한 전처리

표고버섯 재배기간동안 생성된 균체 및 효소에 의한 전처리 효과의 정도를 살펴보기 위한 비교 대상으로 기존의 전처리 방법인 증기 폭쇄처리 방법을 선택하여 실시하였다. 공시재료를 사용연수별로 구분하여 대구광역시 달성군에 위치한 에이비티 인터내셔널 주식회사 소유의 폭쇄처리 장치를 이용하여 실시하였으며, 온도 211~214°C, 압력 25 Kgf/cm²의 조건으로 처리하였다(임 등, 1997).

2.3. 화학적 성상 분석

2.3.1. 화학 조성 분석

사용연수에 따른 공시 재료의 화학 조성 변화를 확

인하기 위하여 TAPPI Test Method에 의해 공시재료의 함수율(T 207 om-88), 회분 함량(T 211 om-93), alkali 추출물 함량(T 212 om-93), 온수 및 냉수추출물 함량(T 207 om-88), 유기용매 추출물 함량(T 204 om-88), Klason lignin 함량(T 222 om-88)을 조사하였고, TAPPI Useful Method 249에 따라 Wise 방법으로 holocellulose 함량을 사용연수별로 구분하여 정량 분석하였다.

2.3.2. FT-IR 및 NMR 분석

사용연수의 증가에 의한 폐골목내 관능기의 변화를 살펴보기 위하여 공시재료에 대한 FT-IR과 NMR 분석을 실시하였다. 서울대학교 기초과학교육공동기원에서 보유하고 있는 FT-IR (Bomem DA 8, Bomem, Canada)과, 서울대학교 농업과학공동기센터에서 보유하고 있는 FT-IR (Nicolet Magna 550 Series II, USA)을 이용하여 측정하였고, 한국기초과학지원연구원 서울분소에 의뢰하여 200 MHz solid NMR Spectrometer (Unity Inova 200, Varian)를 이용하여 NMR spectrum을 분석하였다.

2.4. 물리적 성상 분석

2.4.1. XRD 분석

표고 균 접종 및 배양에 따른 결정화도의 변화를 확인하기 위하여 시료를 정상재와 사용연수별(1~5년) 골목으로 구분하여 60 mesh가 되도록 분쇄하고, 서울대학교 기초과학교육공동기원에서 보유하고 있는 HR-XRD (High Resolution X-ray Diffractometry, Bruker D8 DISCOVER, Germany)를 이용하여 각 시료의 강도 곡선을 얻었다. 또한 균에 의한 결정화도 변화를 확인하기 위해 서울대학교 농업과학공동기센터의 Powder X-ray Diffractometry (Bruker D5005, Germany)를 이용하여 정상재와 접종 후 5년이 지난 골목, 그리고 정상재를 폭쇄처리한 재료에 대한 강도 곡선을 얻었다. 그리고 표고버섯 균주 및 폭쇄처리에 의한 결정화도의 감소를 비교함으로써 균 접종 및 배양에 의한 결정화도의 변화 정도를 확인하였다. 결정

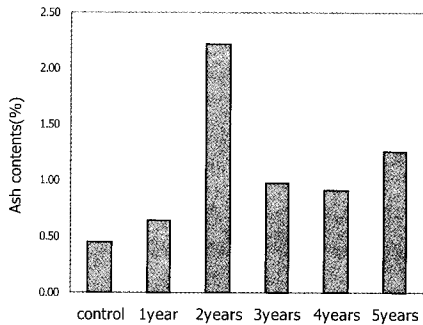


Fig. 1. Ash contents of log woods on various cultivation periods.

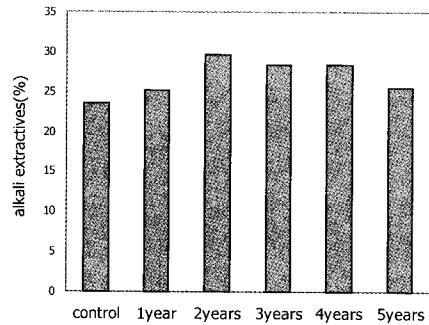


Fig. 2. Alkali extractives contents of log woods on various cultivation periods.

화도 측정을 위한 기기의 조건은 HR-XRD는 반사법으로써 40 kV, 40 mA, scanning speed = 0.75°/min으로, Powder XRD는 40 kV, 40 mA, scanning speed = 0.4°/min를 적용하였다.

시료에 대한 결정화도는 segal법(Segal *et al.*, 1959)에 의해 구했다. 즉 결정화도(%) = $\frac{(I_{002} - I_{am})}{I_{002}} \times 100$ 의 식에 따라 산출하였으며, 여기서 $I_{002} = 22.06^\circ$ 의 peak intensity, $I_{am} = 19.07^\circ$ 에서의 peak intensity를 사용하였다.

2.4.2. X선 분석

사용 연수의 증가에 따른 부후의 진행과 그에 따른 정도의 감소를 확인하기 위해 공시재료를 정상재와 사용연수별로 구분하여 복리에 직각방향으로 절단하여 두께 4 cm의 disk 형태로 제작하였다. Disk의 횡단면을 연결 X선 촬영기(SOFTX K-4, Japan)로 40 kV, 2 mA, 40~45초의 조건으로 촬영하여 목재 부후 진행을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 사용연수에 따른 화학적 성상

3.1.1. 화학 조성 비교

3.1.1.1. 회분 함량 조사

공시재료의 회분 함량을 조사한 결과 0.45%~2.21

% 범위였다. 전체적인 회분 함량은 정상재보다 균주를 접종한 골목에서 높게 나타났고, 균주 접종 후 증가하는 경향을 보여주었다. 접종 후 2년이 지난 골목에서 정상재의 회분함량보다 약 4배의 함량을 보여 가장 높게 나타났다. 하지만 회분 함량의 증가는 회분 자체의 증가보다는 표고 균 접종 및 배양으로 인한 다른 목재 성분의 분해와 함량감소로 인한 상대적인 증가로 생각된다(문 등, 1999)(Fig. 1).

3.1.1.2. 추출물 함량 변화

냉수와 온수 추출물 모두 접종 후 2년까지 증가한 후 감소하는 모습을 보여주었다. 함량의 증가 정도는 냉수 추출물의 경우 5.61%에서 7.61%로 온수추출물은 6.43%에서 9.07%로 증가하였고, 이를 통해 균 접종 후 2년 이내에 분해가 용이한 hemicellulose의 상당량이 분해됨을 알 수 있었다(Choi *et al.*, 1996, Zabel *et al.*, 1992). 그러나 일반적인 목재에서 나타나는 두 추출물간 함량의 차이는 나타나지 않았다(데이터 미제시).

공시재료의 alkali 추출물 함량은 23.5~29.6% 범위를 나타내었다. 접종 후 폐골목의 alkali 추출물 함량은 29.6%를 나타내 23.5%의 함량을 보인 정상재보다 상승하였다. 이러한 결과는 수용성 추출물 함량의 증가와 같은 이유로 분해가 용이한 hemicellulose의 상당량이 균에 의해 분해되고 균의 대사에 사용되었기 때문으로 생각된다. 또한 alkali 가용분의 함량이 목재의 부후정도를 판단하는 지표로 사용된다는 것을 고려하면(문 등, 1999) 사용연수 증가에 따른 폐골목

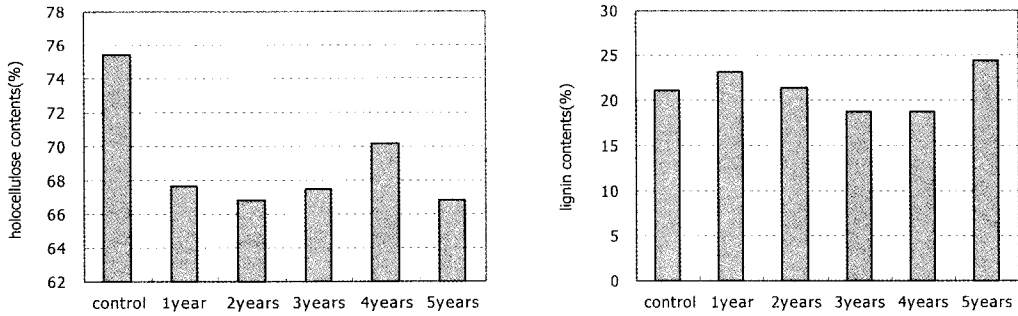


Fig. 3. Holocellulose (Left) and lignin (Right) contents of log woods on various cultivation periods.

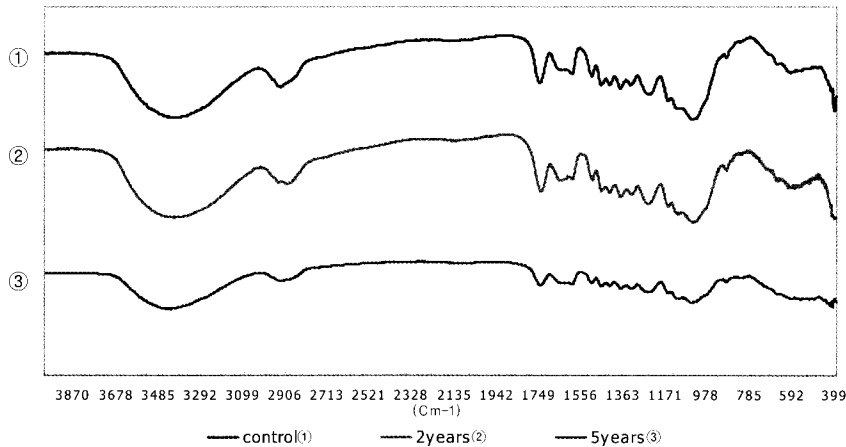


Fig. 4. FT-IR spectra of waste log woods on various cultivation periods.

의 부후 진행도 확인할 수 있었다(Fig. 2).

Ethanol-benzene 혼합용액을 이용한 유기용매 추출물 함량은 2.5~4.3%의 범위를 나타내었고, 특별한 경향을 보이지는 않았다. 그러나 전체적인 추출물의 함량을 비교한 결과 정상재보다 골목에서 유기용매 추출물 함량이 높았고, 이는 실제 접종된 표고 균에서 생성된 리그닌 분해효소에 의해 부분적인 리그닌 분해 및 유기물질의 분해에 의한 것으로 생각된다.

3.1.1.3. Holocellulose 및 lignin

공시재료를 ethanol-benzene 혼합용액을 이용하여 탈지시킨 후 이를 음건시켜 시료로 사용하여 holocellulose 함량을 조사하였다. 균주 접종 후 holocellulose 함량은 75%에서 67%로 큰 폭으로 감소하였으

며, 버섯 재배 기간에는 큰 변화를 보이지 않았다. 접종 후 함량이 큰 폭으로 감소한 것은 cellulose가 접종 초기에 균의 대사에 이용되었다고 사료된다(Adamovic *et al.*, 1998).

Holocellulose 함량 조사에서의 마찬가지로 탈지시료를 사용하여 사용연수에 따른 lignin 함량을 조사하였다. 재료로 사용된 표고버섯은 백색 부후균으로서 담자균류에 속하기 때문에 상당량의 lignin 분해가 일어날 것으로 예상되었지만(최 등, 1994) 실제 lignin 함량은 접종 후 약간 감소하는 경향을 나타내었을 뿐 큰 변화를 보이지는 않았다. 그러나 이는 상대적인 함량으로서 holocellulose의 함량이 큰 폭으로 감소한 결과를 고려하면 균주 접종 1년 이내에 상당량의 lignin 분해가 일어났다고 보여진다(Fig. 3).

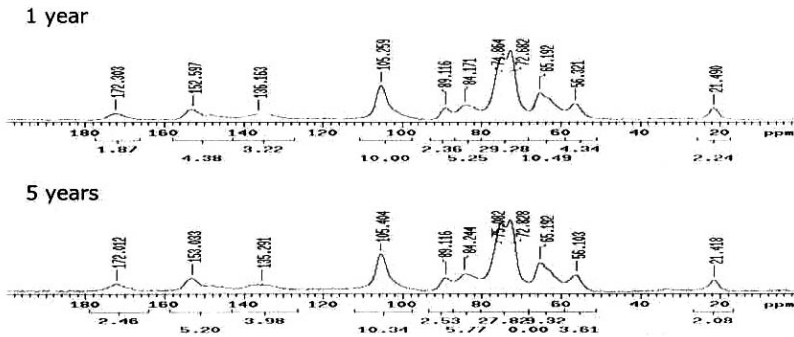


Fig. 5. ^{13}C NMR spectra of waste log woods on various cultivation periods.

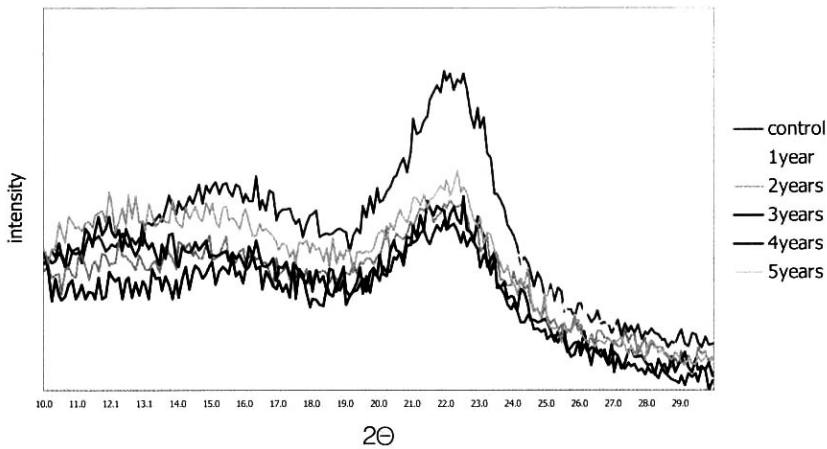


Fig. 6. Crystallinity of waste log woods determined by HR-XRD on various cultivation periods.

3.1.2. 관능기 변화 관찰

관능기의 변화를 살펴보기 위해 FT-IR spectrum을 관찰한 결과, FT-IR spectrum에서 나타난 폐골목의 주요한 peak는 3400 cm^{-1} 의 O-H, 2940 cm^{-1} 의 C-H stretch, 1751 cm^{-1} 의 C=O, $1600, 1470\text{ cm}^{-1}$ 의 aromatic C=C stretch, 1430 cm^{-1} 의 $-\text{CH}_2$ bond, 1062 cm^{-1} 의 C-O 등으로 나타났고, 사용연수가 증가함에 따라 1751 cm^{-1} 의 C=O peak의 감소와 1062 cm^{-1} 의 C-O peak의 감소를 확인할 수 있었다(Fig. 4). 특히 1751 cm^{-1} 의 C=O peak의 감소는 부후진행에 따른 hemicellulose와 cellulose의 분해에 의한 것으로 생각된다(최 등, 1992).

균 접종 및 배양에 따른 NMR spectrum의 변화를

정상재와 접종 후 5년이 지난 골목을 비교하여 확인하였다. 사용연수가 증가함에 따라 hemicellulose와 cellulose의 분해가 진행되고, 이로 인한 carbohydrate carbon ($72\sim 74\text{ ppm}$)의 감소를 관찰할 수 있었다(Fig. 5).

3.2. 사용연수에 따른 물리적 성상

3.2.1 결정화도 및 부후정도 비교

공시재료를 HR-XRD를 이용하여 결정화도를 비교한 결과 균주 접종 후 1년 동안 결정화도가 큰 폭으로 감소하고 그 후 버섯 재배기간 동안은 큰 변화를 나타내지 않음을 회절강도 곡선을 통해 확인할 수 있었고,

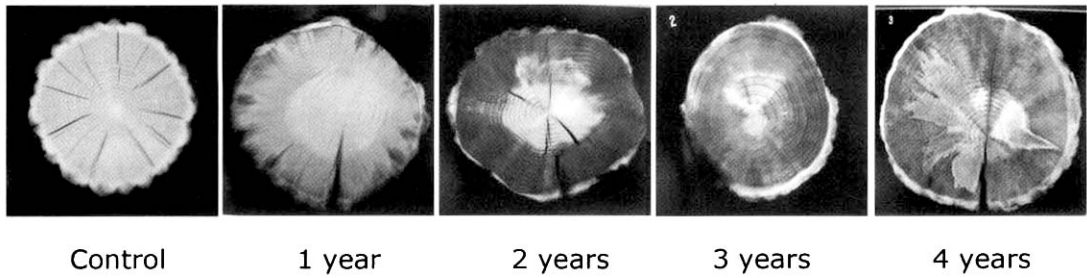


Fig. 7. Degradation of log woods determined by X-ray on various cultivation periods.

Table 1. Crystallinity of log wood on cultivation periods

	Crystallinity (%)
control	49
1 year	31
2 years	33
3 years	33
4 years	27
5 years	28

이 결과는 holocellulose의 함량 변화와 비슷한 경향을 나타내었다(Fig. 6). 이를 수치상으로 확인하기 위하여 segal법을 이용하여 결정화도의 변화를 살펴보았다. 그 결과 정상재의 결정화도는 약 49%를 나타내었으나 균 접종후 1년이 지난 골목은 31%의 결정화도를 나타내었고 그 후 사용연수의 증가에 따라 결정화도는 27~33%의 값을 보여주었다. 정상재와 각 사용연수별 골목의 결정화도는 Table 1에 나타내었다. 부후 초기에 나타난 급격한 결정화도의 감소는 상당량의 중량감소가 진행된 후에 즉, 비결정 영역의 분해가 이루어진 후에 결정영역의 분해가 진행되어 결정화도의 감소가 진행된다는 기존의 보고(최 등, 1992, Ishihara *et al.*, 1984; Fukuda *et al.*, 1985)와는 다른 결과였다. 접종 2년째부터는 결정화도의 감소가 없는 것으로 볼 때, 접종 후 1년 동안 큰 폭의 분해가 진행되어 비결정 영역의 분해가 충분히 이루어진 후 결정 영역의 분해가 진행되어 큰 폭의 결정화도의 감소가 일어났다고 생각된다. 이러한 결과를 확인하기 위해서는 실제 재료에 대한 중량 감소율의 측정이 필

요하다고 생각된다.

사용연수에 따른 부후의 진행을 확인하기 위해 연질 X선 촬영기를 이용하여 disk 형태로 제작한 재료를 촬영, 비교한 결과는 Fig. 7과 같다. 실제 X선 사진에 있어서 부후 2년째의 변색부분이 조금 진하게 나타났으나 부후의 진행은 사용연수의 증가에 따라 급격히 진행됨을 확인할 수 있었고 이에 따른 정도의 감소가 예상되었다.

3.3. 폭쇄처리에 의한 화학 조성 변화

폭쇄처리재에 대한 화학 조성 분석을 실시한 결과 먼저 수용성 추출물과 alkali 추출물의 함량은 모두 폭쇄처리하지 않았던 정상재와 골목에 비해 수용성 추출물은 5.90%에서 17.61%로, alkali 추출물은 26.75%에서 51.91%로 큰 폭의 함량 증가를 보여주었다. 이러한 수용성 추출물과 alkali 추출물의 증가는 분해가 용이한 hemicellulose 뿐만 아니라 폭쇄처리라는 강력한 물리적 처리에 의하여 다른 성분들이 분해 용출되어 나온 것으로 생각된다. 유기용매 추출물의 함량 역시 3.41%에서 28.78%로 큰 폭으로 증가하였는데, 이러한 결과도 폭쇄처리에 의하여 lignin 및 기타성분들이 상당량 분해, 추출된 것으로 사료된다. 그러나 holocellulose 함량은 폭쇄처리에 의한 분해로 큰 폭의 감소를 예상하였으나, holocellulose는 65%에서 71%로, lignin 함량은 25%에서 27%로 모두 소폭의 상승을 나타내어 예상과는 다른 결과를 보여주었다. 이는 실제 함량의 증가라기 보다는 다른 추출물의 함량이 매우 큰 폭으로 증가한 것을 고려하면 holocellulose와 lignin 함량은 모두 소폭의 감소가 진

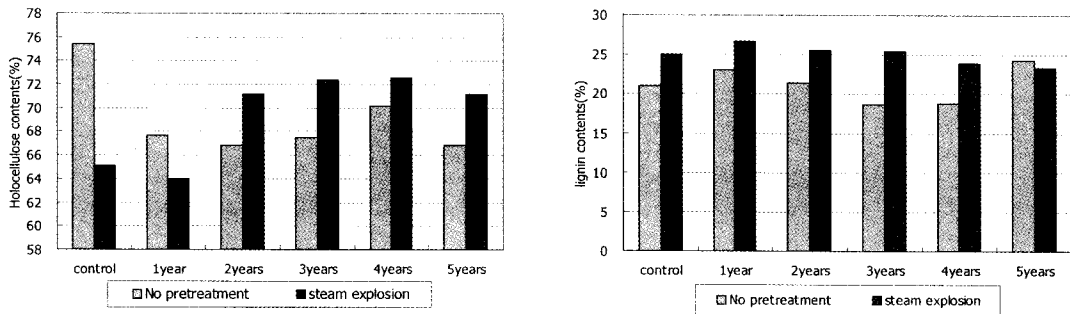


Fig. 8. Contents of holocellulose (Left) and lignin (Right) after steam explosion.

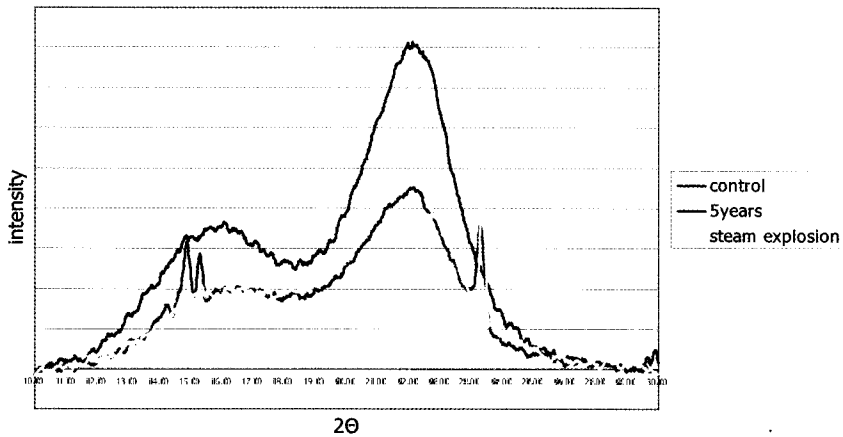


Fig. 9. Comparison of crystallinity reduction by mushroom cultivation and steam explosion.

행되었다고 보여진다(Fig. 8).

3.4. 폭쇄처리에 의한 사용연수별 결정화도 비교

폭쇄처리재를 사용연수별로 구분하여 결정화도를 비교한 결과 33~39%의 결정화도를 나타내었고 사용연수에 따른 폭쇄처리재의 결정화도 변화는 관찰되지 않았다. 이는 폭쇄처리로 인해 이미 결정영역의 상당량이 분해되어 결정화도가 큰 폭으로 감소하였고 이로 인해 균의 접종에 의한 감소가 결정화도의 감소에 영향을 주지 못했다고 사료된다(데이터 미제시).

실제 골목 내 잔존하는 균에 의한 결정화도의 감소 정도를 확인하기 위하여 접종 후 5년이 지난 골목의

결정화도 감소와 폭쇄처리를 실시한 재료의 결정화도 감소를 비교하였다. 그 결과 정상재의 결정화도는 68%를 나타내었고 접종 후 5년이 지난 골목과 폭쇄처리재의 결정화도는 각각 57%, 58%를 나타내었다. 그리고 이를 회절강도 곡선으로 확인하였을 때도 폭쇄처리에 의한 결정화도의 감소와 사용연수에 의한 결정화도의 감소 폭이 비슷한 경향을 나타내었다(Fig. 9). 이를 통해 균 접종 및 배양에 의한 결정화도의 감소는 기존의 전처리 방법인 폭쇄처리와 비슷한 정도임을 확인할 수 있었다.

4. 결론

별다른 활용방안 없이 화목으로 이용되거나 폐기처

분되고 있는 폐골목의 대체에너지 개발을 위한 새로운 재료로서의 가능성을 확인하고, 이의 활용을 위한 기초 자료를 제공하기 위한 목적으로 사용연수에 따른 화학적, 물리적 성상의 변화를 확인하였다.

균주 접종 후 적은 폭의 lignin 감소가 확인되었지만, cellulose가 큰 폭으로 감소한 것을 고려하면 상당량의 lignin 분해가 일어나서 표고버섯에 의한 재배과정에서의 lignin 분해는 가수분해를 위한 전처리 과정으로서 충분한 가치가 있다고 사료되었다. 또한 균 접종에 의한 결정화도의 감소가 확인되었고, 그 정도는 폭쇄처리에 의한 결정화도의 감소 정도와 비슷하였다.

FT-IR 및 X선 촬영을 통해 사용연수별 골목에서의 급격한 부후 진행이 관찰되었고, 이는 정도의 감소로 이어질 것으로 예측되었으며 이러한 정도의 감소는 대체에너지를 위한 새로운 재료로서 폐골목이 가지고 있는 장점 중 하나라고 판단된다.

이상의 결과로부터 현재 대부분 폐기되고 있는 폐골목의 화학적, 물리적 성상은 대체에너지 재료로서 많은 장점을 갖고 있으며 충분한 가능성이 있다고 사료된다. 그러나 대체에너지 생산시 실제 가수분해 및 당화에 이용되는 cellulose의 감소는 해결되어야 할 문제점이며, 이는 가수분해 방법 개선을 통한 수율 증가 등의 방법으로 해결될 수 있다고 생각된다. 또한 실제 잔존 효소에 대한 확인과 최적의 생장조건 탐색과 같은 부가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

사 사

이 연구의 일부분은 BK21 (임산공학 연구인력 양성 사업팀)과 산업자원부 에너지관리공단의 연구비 지원에 의해서 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Adamovic, M., G. Grubic, Ivanka Milenkovic, R. Jovanovic, R. Protic, Ljiljana Sretenovic, and Lj. Stoicevic. 1998. The biodegradation of wheat straw by *Pleurotus ostreatus* mushrooms and its use in cattle feeding. *Animal Feed Science and*

Technology, 71, Issues 3-4: 357~362.

2. Cheung, S. W. and B. C. Anderson. 1997. Laboratory investigation of ethanol production from municipal primary wastewater solids. *Bioresource Technology*, 59: 81~96.

3. Choi, C. H. and A. P. Mathews. 1996. Two-step acid hydrolysis process kinetics in the saccharification of low-grade biomass. 1. Experimental studies on the formation and degradation of sugars. *Bioresource Technology*, 58(2): 101~106.

4. Fukuda, K. and T. Haraguchi. 1985. Action of microfungi on wood. *Mokuzai Gakkaishi*, 31: 132~1373.

5. Iranmahboob, J., F. Nadim, and S. Monemi. 2002. Optimizing acid-hydrolysis: a critical step for production of ethanol from mixed wood chips. *Biomass and Bioenergy*, 22: 401~404.

6. Ishihara, M. and K. Shimizu. 1984. Chemical characteristics of brown rot by *Tyromyces palustris*. *Bull. Jap. For. & For. Prod. Res. Inst.*, No.330: 141~152.

7. Klyosov, A. A. 1986. Enzymatic conversion of cellulosic materials to sugar and alcohol. *Appl. Biochem. Biotech.* 12: 249~300.

8. Lee, W. Y., S. D. Park, and S. D. Yeo. 2001. Hydrolysis of cellulose under subcritical and supercritical water using continuous flow system. *Hwahak Konghak*, 39(2): 257~263.

9. Martinez, J. M., F. Negro, J. Saez, Manero, R. Saez, and C. Martin. 1990. Effect of acid steam explosion on enzymatic hydrolysis of *onervosum* and *C. cardunculus*. *Appl. Biochem. Biotech.*, 24(25): 127~134.

10. Segal, L., J. J. Creely, A. E. Martin, Jr., and C. M. Conrad. 1959. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. *Text. Res. J.* 786~794.

11. Soderstrom, J., L. Pilcher, M. Galbe, and G. Zacchi. 2003. Two-step steam pretreatment of softwood by dilute H₂SO₄ impregnation for ethanol production. *Biomass and Bioenergy*, 24: 475~486.

12. Sun, Y. and J. Cheng. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production. *Bioresource Technology*, 83: 1~11.

13. Zabel, Robert A. and Jeffrey J. Morrell. 1992. *Wood*

- microbiology: 150.
14. 김남훈, 이원용. 1994. 표고버섯곰팡이의 재활용에 관한 연구(I). 목재공학, 22(3): 26~31.
 15. 문성필, 노행남, 김무기. 1999. 표고 재배 폐곰팡이의 이화학적 특성. 전북대학교 농대 논문집, 제30권: 60~67.
 16. 원장묵. 2002. 대체에너지 기술개발 및 상용화 전망. News & Information for Chemical Engineers, 제 20권 제6호: 666~672.
 17. 임부국, 양재경, 이종윤. 1997. 목질계 Biomass의 변환 이용(III)- 목쇄처리재의 산소·알칼리법에 의한 용해용 펄프의 제조. 목재공학, 25(4): 68~74.
 18. 최돈하, 안원영. 1994. 노랑노타리(*Pleurotus cornucopia* (Pers.) Rolland)의 Laccase에 의한 리그닌의 분해. 한국목재공학회 94년 학술논문발표요지: 87~88.
 19. 최지호, 한옥수, 김윤수. 1992. 갈색부후목재의 X선 회절 및 IR 분석. 목재공학, 20(3): 55~60.