

보안과제(), 일반과제 (○) 과제번호 107003-2

전자빔 처리를 이용한 버섯배지 제조기술 개발

Development of mushroom culture medium by
application of electron beam

연구기관

충남대학교

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “전자빔 처리를 이용한 버섯배지 제조 기술 개발”에 관한 연구
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2009년 5월 일

주관연구기관명 : 충남대학교
총괄연구책임자 : 서 영 범
세부연구책임자 : 이 종 신
연구보조원 : 이 민 우
연구보조원 : 김 영 옥
연구보조원 : 김 완 중
연구보조원 : 손 효 정
연구보조원 : 김 도 균
연구보조원 : 서 동 선
연구보조원 : 배 성 훈

요 약 문

I. 제 목

전자빔 처리를 이용한 버섯배지 제조기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

버섯은 다양한 종류의 아미노산과 무기염류 및 비타민을 함유하고 있으며, 항암, 항균, 항바이러스 성분 등 다양한 약용 성분을 함유하고 있어 식용으로 뿐 아니라 제약산업과 건강보조식품으로서의 기능도 매우 크다.

전 세계적으로 많은 종류의 식용버섯이 재배되고 있으며, 특유의 맛과 향으로 생산량과 소비량이 꾸준히 증가되고 있으며 우리나라에서는 최근 5년간 매년 약 7.5%의 생산량 증가를 보이고 있다. 우리나라의 식용버섯 생산 농가 수(2004년 기준)는 약 11,000호에 이르며 재배면적은 400만평으로 1호당 평균 버섯 생산량이 연간 약 14톤에 이르러 우리나라 농가의 주요 소득 작목으로 자리매김하였다. 버섯 품목별 생산량을 보면 2004년 총생산량 156,599톤 중에서 느타리 52,211톤, 팽이 32,796톤, 새송이 32,736톤, 양송이 24,053톤 등으로 느타리가 가장 높은 비율을 차지하고 있다.

식용버섯 중에서 생산량이 가장 많은 느타리 버섯의 재배는 1970년대 원목재배에서 1980년대 벗짚재배, 1990년대 폐면재배로 배지의 재료가 바뀌는 등 재배법에 많은 발전이 있었으나 1990년대 후반부터 농가의 인력부족과 인건비 부담, 재배의 집약화, 기계화 등으로 현재는 봉지 및 병 재배로 전환을 많이 시도하고 있다.

느타리 버섯 재배용 배지로 가장 많이 사용하는 폐면은 전량 방글라데시, 파키스탄 등지에서 수입하여 사용하고 있으나 폐면을 이용한 느타리버섯 재배농가의 증가로 폐면의 수요가 급증함에 따라 수입상들의 무분별한 수입과 산지에서의 국내 업체들 간의 과대경쟁 구매 등이 국내 폐면 가격의 상승요인으로 작용하여 재배농가의 생산비 부담을 증가시키고 있으며, 저질의 수입 폐면을 사용한 농가에서는 재배 실패를 초래하는 등 이중으로 막대한 경제적 손실을 입는 경우가 발생하고 있다.

느타리버섯, 팽이버섯, 새송이 등의 식용버섯은 병재배, 균상재배, 봉지재배, 상자재배 등 다양한 재배양식에 의하여 생산되고 있다. 재배양식에 따라 사용되는 배지 원료에 차이가 있어 병재배의 경우에는 톱밥, 균상재배의 경우에는 볏짚 또는 폐면, 봉지 또는 상자재배에는 주로 폐면 등이 사용되고 있다. 이들 배지원료를 구성하고 있는 주요 화학성분은 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌 등과 같은 천연 고분자 화합물로 버섯균의 생장에 매우 중요한 영양원 공급원이 된다.

이들 천연고분자화합물을 버섯균이 영양원으로 이용하기 위해서는 균사 세포막을 통과하여 세포내로 흡수할 수 있을 정도의 작은 분자량을 갖는 수용성 저분자화합물로 분해해야 하며 이를 위해 균사의 효소를 분비하여 저분자화합물로 분해한 후 흡수, 이용하게 된다.

볏짚과 폐면에 다량 함유되어 있는 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스는 버섯 재배과정 중에 버섯균에 의해서 직접 또는 공존하는 다른 미생물에 의해 분해되어 버섯생장의 영양원으로 이용된다.

볏짚이나 폐면을 이용한 균상 또는 상자(봉지)재배에서는 재배과정 중에 반드시 볏짚이나 폐면의 발효(야외발효, 후발효)과정을 거치게 되는데 발효에 의해 배지의 균일한 수분조절과 연화, 유해한 잡균의 번식 억제 등의 효과도 얻을 수 있지만, 그 이외에도 셀룰로오스 등이 분해되어 버섯균이 쉽게 흡수, 이용할 수 있게 된다.

따라서 볏짚이나 폐면 재배에서 발효와 같은 효과를 얻을 수 있는, 즉 셀룰로오스의 고분자 결합구조를 인위적으로 절단하여 저분자화 시킬 수 있는 방법을 버섯재배에 적용한다면 생산성을 향상시킬 수 있다.

최근, 물질의 성질을 빠르고 간편하게 변환시킬 수 있는 전자빔 처리가 주목을 받고 있으며 다양한 분야에서는 일찍이 연구가 진행되어 산업적으로 이용되고 있다.

전자빔이란 전자총(필라멘트)에서 방출되는데 전자를 고진공상태에서 고전압을 가하여 빛의 속도에 가깝게 가속시킨 전자의 가는 흐름으로 높은 운동에너지를 갖고 있어 기초과학연구를 비롯하여 각종 산업분야에서 널리 응용되고 있다.

전자빔의 특성은 다른 전자파에 비하여 높은 에너지를 갖기 때문에 물체에 대한 높은 투과성을 나타내 조사된 물체 내부에서는 분자 간의 결합이 끊어지거나 (Degradation) 분자나 원자 간에 가교결합(Cross-linking)이 형성되거나 또는 중합(Polymerization)이 일어나기도 하는데 수분이 존재하는 상태에서는 이온화가 잘 일

어나고 수분이 적은 상태에서는 라디칼(Radical)이 형성되어 반응이 진행된다.

전자빔 처리효과를 살펴보면, 톱밥, 벚짚, 폐면 등에 함유되어 있는 쇄상고분자화합물인 섬유소를 저분자화시킨 후 배지 원료로 사용하게 되면 버섯균은 이들 저분자화합물을 짧은 시간 내에 쉽게 분해하여 영양원으로 흡수, 이용할 수 있다. 따라서 저분자화 처리 배지에서는 기존의 배지에 비하여 균사 성장속도가 빨라져 수확기간을 단축할 수 있고 주재료의 영양분을 충분히 흡수, 이용할 수 있기 때문에 고품질의 버섯 생산이 가능하다. 또한 저분자화 진행 정도에 따라 균사의 성장 속도가 다르기 때문에 버섯 수확시기를 조절할 수 있어 과잉 생산에 의한 버섯 가격 폭락을 방지할 수 있고 연중 생산이 가능하여 재배 농가의 소득 증대에 큰 기여를 할 수 있다.

배지의 저분자화와 함께 배지 원료의 발효과정이 불필요하기 때문에 노동력 감축과 재배기간을 단축할 수 있다. 또한 침엽수 톱밥 중에 함유되어 있는 수지류와 같은 유해 성분을 분해, 제거할 수 있기 때문에 톱밥의 장기간 야외퇴적 작업이 불필요하고 사용 가능한 톱밥의 수종 제한을 없앨 수 있다.

이상과 같은 여러 효과가 기대되기 때문에 식용버섯 재배에서도 다양한 산업분야에서 응용되고 있는 전자빔 처리와 같은 최첨단의 신기술을 도입하여 생산성을 향상시키고 고품질의 버섯을 생산할 수 있는 차별화된 재배기법을 개발해야 할 필요가 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

전자빔 처리한 톱밥의 물리적 성질을 조사하기 위하여 처리 조건 별로 톱밥의 pH, 수분 보유도(WRV) 등을 조사하였다. 또한 전자빔 처리 톱밥의 회분, 온수 및 1% 알칼리용액 추출물 등 추출물량, α , β , γ 셀룰로오스의 함량, 셀룰로오스의 중합도 등을 측정하여 톱밥의 화학적 성질 변화를 조사하였다.

전자빔 처리 톱밥배지에서 버섯의 성장특성을 조사하기 위하여 전자빔 처리 톱밥배지에서 느타리버섯과 큰느타리버섯의 균사 성장속도, 자실체 초발이 일수, 버섯 수확기간 및 수확량 등을 조사하여 무처리 톱밥배지에서의 경향과 비교, 조사하였다. 또한 전자빔처리의 살균효과를 조사하기 위하여 상법에 준하여 톱밥 배지를 제조한 후 살균처리를 하지 않고 전자빔 처리만을 실시한 후 종균을 접종하여 잡균에

의한 배지의 오염 여부를 관찰하였다.

전자빔 처리한 배지를 이용하여 재배한 버섯의 아미노산 함량, 경도, 검성, 씹음성 등을 조사하여 생산된 버섯의 품질특성을 조사하였다.

폐면을 이용한 느타리버섯의 상재재배 특성을 조사하기 위하여 톱밥에서와 동일한 조건으로 폐면에 전자빔을 처리한 후 물리 및 화학적 성질을 조사하였다. 또한 전자빔 처리 폐면배지를 이용한 상자재배를 통하여 느타리버섯의 생육특성을 조사하여 전자빔 처리 효과를 확인하였다. 무처리 및 전자빔 처리 폐면 배지에서 생산한 버섯의 아미노산 함량과 육질을 측정하여 전자빔 처리가 버섯의 품질에 미치는 영향을 조사하였다.

IV. 연구개발결과

벗짚이나 폐면을 이용한 균상재배에 비하여 톱밥을 이용한 병재배는 고품질의 느타리버섯과 새느타리버섯을 생산할 수 있다. 관행의 톱밥 병재배에서는 배지 주재료인 침엽수 톱밥 중에 함유되어 있는 버섯 군사 생육 저해물질을 제거하기 위해 반드시 야외 퇴적을 실시하고 있다. 또한 톱밥 중에 함유되어 있는 물질에 제한을 받아 비교적 수지와 같은 군사 생육 저해 물질을 적게 함유하고 있는 미송 톱밥 등을 선호하고 있다. 톱밥의 수종 제한을 없애고 야외 퇴적 기간을 생략할 수 있도록 톱밥의 재질 개선을 위해 전자빔 처리 기술을 도입하여 배지를 제조한 후 느타리버섯과 큰느타리버섯 병재배를 통하여 가능성을 검토하였다.

전자빔을 처리한 톱밥 배지에서의 느타리버섯과 큰느타리버섯 군사의 생장은 전자빔을 처리하지 않은 무처리 톱밥 배지에 비하여 군사의 성장속도가 현저하게 향상되어 전자빔 처리 효과가 뚜렷하였으며 특히 낙엽송과 혼합톱밥 배지에서 그 효과가 월등하였다. 또한 전자빔 처리를 함으로써 모든 톱밥배지에서 관행의 야외발표 미송톱밥 배지에서 보다 약간 빠르거나 거의 동일한 수준의 군사성장 속도를 보여 전자빔 처리가 군사생장에 유효하였다.

전자빔의 버섯 자실체 생산에 미치는 효과를 조사한 결과, 느타리버섯과 큰느타리버섯 모두에서 전자빔 무처리 배지에 비하여 빠른 원기발생 및 자실체 수확, 그리고 자실체 수확량을 보였으며 관행의 미송발효 톱밥배지에서의 결과와 거의 유사하였다.

재배한 버섯의 품질을 조사하기 위하여 아미노산 함량과 물리적 성질을 조사한 결과 전자빔 무처리 및 처리 톱밥배지, 관행의 미송 발효톱밥 배지 사이에서 크게 유의성이 인정되지 않아 전자빔 처리 또는 무처리가 생산된 배지의 품질에 영향을 미치는 경우는 없는 것으로 판단되었다.

전자빔의 배지 살균효과를 조사한 결과, 배양 중에 모든 배양병에서 푸른곰팡이의 오염이 발생하여 전자빔의 살균효과는 기대하기 어려운 것으로 밝혀졌다.

느타리버섯과 큰느타리버섯을 재배하며 이병율을 조사한 결과 전자빔을 처리하지 않은 그룹에서는 균사생장이 상대적으로 느리게 진행되기 때문에 오염 발생 기회가 높아져 전자빔 처리 및 관행의 미송발효 톱밥 배지에 비하여 이병율이 높았다. 그러나 전자빔을 처리함으로써 균사 생장이 촉진되어 이병율이 감소하는 효과를 나타냈다.

따라서 첨단기술인 전자빔 처리 기술을 병재배용 톱밥 재질 개선에 도입한다면, 톱밥의 수중제한을 없앨 수 있을 뿐만 아니라 약 3개월에 걸쳐 실시하는 야외퇴적 과정을 생략할 수 있어 배지 재료인 톱밥을 안정적이고 저가로 공급할 수 있어 재배농가의 소득 증대에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단되었다.

전자빔의 물체에 대한 높은 투과성과 물체 내부에서 분자 간의 결합을 절단해 주는 특징을 이용하여 고분자의 다당류를 함유하고 있는 폐면에 전자빔을 처리하여 느타리버섯 균사가 보다 쉽게 이용할 수 있는 저분자 물질로의 변환을 시도하였다. 전자빔의 폐면에 대한 저분자화 효과를 확인하기 위해 전자빔 강도를 달리하여 처리한 폐면을 이용하여 느타리버섯 상자재배를 실시하고 버섯 균사의 성장속도와 자실체의 수확량 및 품질 등을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

전자빔 처리 배지에서의 느타리버섯 균사의 성장속도는 일부를 제외하고 전자빔 처리 배지에서는 관행의 발효 배지에서의 균사 성장속도와 동일하거나 약간 빠른 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 전자빔 처리에 의해 폐면 중에 함유되어 있는 셀룰로오스를 비롯한 고분자 다당류가 저분자 상태로 절단됨으로써 버섯 균사가 보다 빨리 분해 이용할 수 있어 균사 생장이 촉진되었기 때문인 것으로 판단하였다.

버섯의 초발이 일수를 비교한 결과, 균사 성장속도와는 달리 전자빔 처리 배지와 관행의 발효 배지 사이에 큰 차이는 나타나지 않았다. 그러나 전자빔을 처리하지 않은 배지에서는 가장 늦은 원기 발생을 보였다.

자실체 수확일수에 의한 전자빔 처리 효과를 조사한 결과, 발효 배지와 사이에서 초발이 일수와 마찬가지로 큰 차이는 보이지 않았다. 이와 같이 초발이 일수나 자실체 수확 일수에서 큰 차이를 인정할 수 없는 것은 모든 처리 간에서 0.5일 이하의 차이를 나타내기 때문이다.

자실체 수확량을 조사한 결과, 균사 성장속도가 가장 빨랐던 전자빔 처리 배지에서 비교적 많은 자실체 수확 개수와 수확량을 보였다. 이들 처리 배지에서는 관행의 발효배지에서 보다 우수한 결과를 보여 전자빔 처리 효과를 확인할 수 있었다.

생산된 버섯의 품질을 비교한 결과, 전자빔 처리 배지와 관행의 발효 배지 간에 15종의 아미노산 함량이나 강도, 경도, 응집성 등과 같은 물리적인 성질에서 일정한 경향이나 뚜렷한 차이가 나타나지 않아 전자빔 처리에 의해 느타리버섯의 성장과 자실체 발생이 촉진된다해도 버섯 품질에는 큰 영향이 없는 것으로 판단되었다.

따라서 이상의 결과로부터 전자빔 처리에 의해 폐면의 야외 발효 과정을 생략할 수 있어 버섯 생산 기간의 단축으로 생산성 향상을 기대할 수 있다는 결론을 도출하였다.

V. 연구성과의 활용 계획

느타리, 큰느타리, 팽이버섯 등의 톱밥 병재배에 개발된 전자빔 처리 기술을 도입함으로써 식용버섯의 생산성 향상에 활용할 계획이다.

또한 톱밥뿐만 아니라 느타리버섯의 상자재배에 사용되고 있는 폐면에도 전자빔 처리 기술을 적용하여 생산성 향상을 도모할 계획이다.

SUMMARY

I. Title

Development of mushroom culture medium by application of electron beam

II. Research objectives and needs

Culturing bed materials for mushroom cultivation such as wood chips, saw dust, cotton waste, rice straw, etc. usually need pre-treatments for higher quality and high yield of mushroom products. Pre-treatment of culturing bed materials by field fermentation is an well-known one. Wood chips from Douglas fir is known to give better results in mushroom cultivation than those of radiata pine because of less resin contents of the former. Electron beam radiation on organic substances degrades polymers to lower DP and sterilizes them. Sometimes, resinous materials inside the organic materials lose their adverse effects on the mushroom cultivation by the electron beam radiation.

Radiata pine, larch, and cotton waste are treated with electron beam in several different strengths, and their results of mushroom cultivation were compared to those of fermented wood chips from Douglas fir in this study. The quality, the total number, and the total weight of the mushrooms were measured and compared.

III. Research contents

Chemical analysis of electron beam treated samples were done. In the chemical analysis, the contents of water solubles, organic solvent solubles, lignins, holocelluloses (alpha, beta, and gamma celluloses), and ashes were

measured quantitatively for each electron beam treatment.

Pleurotus ostreatus and *Pleurotus eryngii* were cultivated in the mushroom culturing bed after sterilizing. Hyphae growth rate, the number and the weight of mushrooms were measured for each electron beam treatment. For quality evaluation, the contents of 15 different amino acid group, and mushroom physical properties were measured and compared.

IV. Results of research

It was observed that mushroom hyphae grew faster and could be harvested earlier in the electron beam-treated cultivation bed than those grown in the fermented one. However, the time differences were not greater than 24 hours, and would allow no great advantage in reality. Instead, it was found that, when treated with electron beam, radiata pine and larch can be used as good as Douglas fir in mushroom cultivation and can be used effectively without need of outside fermentation. Electron beam radiation increased water solubles and beta cellulose contents, but decreased alpha cellulose greatly. No change was observed in lignin contents.

In cotton waste, electron beam treatment of 240 kGy increased total yield of mushroom up to 70% by weight compared to the one from fermented culturing bed. The quality of the mushrooms grown in the electron beam-treated culturing bed were no different from the ones grown in conventional culturing bed in their amino acid contents and physical properties.

V. Application plans of results

It was observed that radiata pine and larch chips, when they are treated by electron beam, can replace Douglas fir chips, which are more expensive, and can

do away with outside fermentation process. Electron beam-treated cotton waste gave significantly more mushroom harvest without lowering quality. At present, it is needed to build the electron beam application facility for the commercial treatment. Another option is to lend the facility for a few days to treat tens of tons of culturing bed materials.

CONTENTS

Part I Out line of research	13
1. Targets of research	13
2. Requirements of research	14
3. Scopes of research	16
Part II Status of technology in domestic and aboard	18
Part III Contents and results of research	19
1. Physical and chemical properties of E-beam treated sawdust	19
2. Physical and chemical properties of E-beam treated cotton waste	45
3. Using the E-beam treated sawdust for bottle cultivation of <i>Pleurotus ostreatus</i> and <i>Pleurotus eryngii</i>	67
4. Using the E-beam treated cotton waste for box cultivation of <i>Pleurotus ostreatus</i>	98
Part IV Attainment of targets and contribution to related fields	114
Part V Application of results	119
Part VI References	121

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	13
제 1 절 연구개발의 목적	13
제 2 절 연구개발의 필요성	14
제 3 절 연구개발의 범위	16
제 2 장 국내외 기술개발 현황	18
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	19
제 1 절 전자빔 처리 톱밥의 물리 및 화학적 특성	19
제 2 절 전자빔 처리 폐면의 물리 및 화학적 특성	45
제 3 절 전자빔 처리 톱밥을 이용한 느타리버섯 및 큰느타리버섯의 병재배	67
제 4 절 전자빔 처리 폐면을 이용한 느타리버섯의 상자재배	98
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	114
제 5 장 연구개발 성과 및 활용계획	119
제 6 장 참고문헌	121

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

버섯은 다양한 종류의 아미노산과 무기염류 및 비타민을 함유하고 있으며, 항암, 항균, 항바이러스 성분 등 다양한 약용 성분을 함유하고 있어 식용으로 뿐 아니라 제약산업과 건강보조식품으로서의 기능도 매우 크다.

전 세계적으로 많은 종류의 식용버섯이 재배되고 있으며, 특유의 맛과 향으로 생산량과 소비량이 꾸준히 증가되고 있으며 우리나라에서는 최근 5년간 매년 약 7.5%의 생산량 증가를 보이고 있다. 우리나라의 식용버섯 생산 농가 수(2004년 기준)는 약 11,000호에 이르며 재배면적은 400만평으로 1호당 평균 버섯 생산량이 연간 약 14톤에 이르러 우리나라 농가의 주요 소득 작목으로 자리매김하였다. 버섯 품목별 생산량을 보면 2004년 총생산량 156,599톤 중에서 느타리 52,211톤, 팽이 32,796톤, 새송이 32,736톤, 양송이 24,053톤 등으로 느타리가 가장 높은 비율을 차지하고 있다.

국민소득의 증가와 소비자의 건강식품에 대한 관심 때문에 식용버섯 재배는 재도약 할 수 있는 기회를 맞았으나 농산물 수입개방에 의한 값싼 중국산 버섯의 무분별한 수입으로 국내시장이 점유 당할 위기에 처해 있다. 중국에서 들어오는 저가 버섯과의 경쟁에서 살아남기 위해서는 고품질, 고생산성 정책을 추진해야 할 필요성이 제기되고 있으며 이를 위해서는 우량 종균 및 배지 개발, 병충해 방제법 개발 등의 버섯과학의 발전이 선행되어야 한다.

식용버섯 재배에 있어서 생산비의 60% 이상을 배지 원료(벗짚, 폐면, 톱밥 등)가 격이 차지하고 있어 배지 품질이 재배 성공 및 소득에 직접적인 영향을 미칠 수 있다.

식용버섯 중에서 생산량이 가장 많은 느타리 버섯의 재배는 1970년대 원목재배에서 1980년대 벗짚재배, 1990년대 폐면재배로 배지의 재료가 바뀌는 등 재배법에 많은 발전이 있었으나 1990년대 후반부터 농가의 인력부족과 인건비 부담, 재배의 집약화, 기계화 등으로 현재는 봉지 및 병 재배로 전환을 많이 시도하고 있다.

병 및 봉지 재배는 시설비가 많이 요구되기 때문에 일반 농가에서는 시도하기가

어려워 현재는 분양센터에서 배양 완료된 배지를 분양 받아 버섯을 생산하는 형태로 변하고 있다. 병 및 봉지 재배를 위한 배지로는 농가부산물인 볏짚, 왕겨, 미강, 밀기울, 폐면, 옥수수 칩 등과 톱밥을 많이 사용하고 있으나 분양센터 또는 제조시기에 따라 배지 재료와 배합비율이 달라 버섯의 생산이 안정적이지 못한 실정이다.

느타리 버섯 재배용 배지로 가장 많이 사용하는 폐면은 전량 방글라데시, 파키스탄 등지에서 수입하여 사용하고 있으나 폐면을 이용한 느타리버섯 재배농가의 증가로 폐면의 수요가 급증함에 따라 수입상들의 무분별한 수입과 산지에서의 국내 업체들 간의 과대경쟁 구매 등이 국내 폐면 가격의 상승요인으로 작용하여 재배농가의 생산비 부담을 증가시키고 있으며, 저질의 수입 폐면을 사용한 농가에서는 재배 실패를 초래하는 등 이중으로 막대한 경제적 손실을 입는 경우가 발생하고 있다.

고품질의 버섯 생산을 통하여 재배농가의 소득을 보장해 주기 위해서는 버섯 생산에서 가장 중요한 위치를 차지하고 있는 배지 원료를 안정적으로 공급해 줄 수 있는 대책이 필요하다. 이를 위해서 현재 사용되고 있는 톱밥, 볏짚, 폐면 등을 보다 다수확성이며 속성 재배가 가능한 고품질의 배지로 가공할 수 있는 새로운 기술을 개발하여 보급할 필요가 있다.

제 2 절 연구개발의 필요성

느타리버섯, 팽이버섯, 새송이 등의 식용버섯은 병재배, 균상재배, 봉지재배, 상자재배 등 다양한 재배양식에 의하여 생산되고 있다. 재배양식에 따라 사용되는 배지원료에 차이가 있어 병재배의 경우에는 톱밥, 균상재배의 경우에는 볏짚 또는 폐면, 봉지 또는 상자재배에는 주로 폐면 등이 사용되고 있다. 이들 배지원료를 구성하고 있는 주요 화학성분은 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌 등과 같은 천연 고분자 화합물로 버섯균의 생장에 매우 중요한 영양원 공급원이 된다.

이들 천연고분자화합물을 버섯균이 영양원으로 이용하기 위해서는 균사 세포막을 통과하여 세포내로 흡수할 수 있을 정도의 작은 분자량을 갖는 수용성 저분자화합물로 분해해야 하며 이를 위해 균사의 효소를 분비하여 저분자화합물로 분해한 후 흡수, 이용하게 된다.

볏짚과 폐면에 다량 함유되어 있는 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스는 버섯 재배과정 중에 버섯균에 의해서 직접 또는 공존하는 다른 미생물에 의해 분해되어 버섯생

장의 영양원으로 이용된다.

볏짚이나 폐면을 이용한 균상 또는 상자(봉지)재배에서는 재배과정 중에 반드시 볏짚이나 폐면의 발효(야외발효, 후발효)과정을 거치게 되는데 발효에 의해 배지의 균일한 수분조절과 연화, 유해한 잡균의 번식 억제 등의 효과도 얻을 수 있지만, 그 이외에도 셀룰로오스 등이 분해되어 버섯균이 쉽게 흡수, 이용할 수 있게 된다.

따라서 볏짚이나 폐면 재배에서 발효와 같은 효과를 얻을 수 있는, 즉 셀룰로오스의 고분자 결합구조를 인위적으로 절단하여 저분자화 시킬 수 있는 방법을 버섯 재배에 적용한다면 생산성을 향상시킬 수 있다.

최근, 물질의 성질을 빠르고 간편하게 변환시킬 수 있는 전자빔 처리가 주목을 받고 있으며 다양한 분야에서는 일찍이 연구가 진행되어 산업적으로 이용되고 있다.

전자빔이란 전자총(필라멘트)에서 방출되는데 전자를 고진공상태에서 고전압을 가하여 빛의 속도에 가깝게 가속시킨 전자의 가는 흐름으로 높은 운동에너지를 갖고 있어 기초과학연구를 비롯하여 각종 산업분야에서 널리 응용되고 있다.

전자빔의 특성은 다른 전자파에 비하여 높은 에너지를 갖기 때문에 물체에 대한 높은 투과성을 나타내 조사된 물체 내부에서는 분자 간의 결합이 끊어지거나 (Degradation) 분자나 원자 간에 가교결합(Crosslinking)이 형성되거나 또는 중합(Polymerization)이 일어나기도 하는데 수분이 존재하는 상태에서는 이온화가 잘 일어나고 수분이 적은 상태에서는 라디칼(Radical)이 형성되어 반응이 진행된다.

전자빔의 응용분야는 폐수를 처리하는 수질분야, 휘발성 유기화합물(VOC)를 처리하는 대기정화 분야, 육류, 가공식품, 곡물, 과일 등을 살균, 살충 처리하는 식품 분야, 그 밖에 고분자개질 분야, 섬유개질 분야, 폐기물 재활용분야, 수지코팅 분야 등 다양한 분야에서 산업적으로 응용되고 있다.

전자빔 처리효과를 살펴보면, 톱밥, 볏짚, 폐면 등에 함유되어 있는 쇠상고분자화합물인 섬유소를 저분자화시킨 후 배지 원료로 사용하게 되면 버섯균은 이들 저분자화합물을 짧은 시간 내에 쉽게 분해하여 영양원으로 흡수, 이용할 수 있다. 따라서 저분자화 처리 배지에서는 기존의 배지에 비하여 균사 성장속도가 빨라져 수확기간을 단축할 수 있고 주재료의 영양분을 충분히 흡수, 이용할 수 있기 때문에 고품질의 버섯 생산이 가능하다. 또한 저분자화 진행 정도에 따라 균사의 성장 속도가 다르기 때문에 버섯 수확시기를 조절할 수 있어 과일 생산에 의한 버섯 가격 폭

락을 방지할 수 있고 연중 생산이 가능하여 재배 농가의 소득 증대에 큰 기여를 할 수 있다. 배지의 저분자화와 함께 살균효과를 동시에 얻을 수 있기 때문에 배지살균 과정을 생략할 수 있어 생력화가 가능하다. 배지 원료의 발효과정이 불필요하기 때문에 노동력 감축과 재배기간을 단축할 수 있다. 침엽수 톱밥 중에 함유되어 있는 수지류와 같은 유해 성분을 분해, 제거할 수 있기 때문에 톱밥의 장기간 야외퇴적 작업이 불필요하고 사용 가능한 톱밥의 수종 제한을 없앨 수 있다.

이상과 같은 여러 효과가 기대되기 때문에 식용버섯 재배에서도 다양한 산업분야에서 응용되고 있는 전자빔 처리와 같은 최첨단의 신기술을 도입하여 생산성을 향상시키고 고품질의 버섯을 생산할 수 있는 차별화된 재배기법을 개발해야 할 필요가 있다.

제 3 절 연구개발의 범위

1. 전자빔 처리가 톱밥의 물리적 성질에 미치는 영향 조사

톱밥의 물리적 성질은 배지 제조 시 배지의 함수율에 영향을 미치는 중요한 인자이다. 따라서 전자빔 처리가 톱밥의 물리적 특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 전자빔 처리 전후의 톱밥의 흡수성, 수분 보유도(WRV) 등을 측정, 비교하였다.

2. 전자빔 처리가 톱밥의 화학적 성질에 미치는 영향 조사

톱밥 중에 함유되어 있는 화학성분은 식용버섯 균사의 생장에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 인자이다. 따라서 톱밥의 화학적 성질에 미치는 전자빔 처리의 영향을 조사하기 위하여 전자빔 처리 톱밥에 대하여 pH, C/N율을 비롯 추출물량(냉수, 온수, 1% 알칼리용액)을 측정하였다. 그 밖에 셀룰로오스 함량, 셀룰로오스 중합도 등을 측정하여 전자빔 무처리 톱밥의 그것과 비교하였다.

3. 전자빔 처리 톱밥 배지에서의 버섯의 생육특성 조사

여러 조건에서 전자빔을 처리한 톱밥을 이용, 상법에 준하여 배지를 제조한 후 느타리버섯과 큰느타리버섯의 병재배를 실시하였다. 각 버섯의 균사 성장속도, 초발

이 일수, 자실체 수확기간 및 수확량 등을 조사하여 전자빔 무처리 배지에서의 균사 생장 및 버섯 수확 특성과 비교하였다.

또한 전자빔 처리가 톱밥 배지 살균효과를 확인하기 위하여 병 배지를 제조하여 전자빔을 처리한 후 바로 종균을 접종, 배양하며 균사의 생장과 함께 잡균에 의한 오염 여부를 확인하였다.

4. 버섯의 품질특성 조사

전자빔 처리 톱밥 배지에서 생산한 버섯을 수확한 후 상법에 준하여 버섯의 아미노산 함량과 경도, 검성, 씹음성 등을 조사한 후 무처리 톱밥 배지에서 재배한 버섯과 비교하여 버섯의 품질 차이에 대하여 조사하였다.

5. 전자빔 처리 폐면의 물리 및 화학적 특성 조사

폐면을 이용한 느타리버섯의 상자재배에 있어 전자빔 처리 효과를 검토하기 위하여 전자빔 처리 폐면의 물리 및 화학적 성질을 조사하였다. 폐면의 흡수성, 수분 보유도 및 pH, C/N율, 추출물량, 셀룰로오스 함량, 셀룰로오스 중합도 등을 전자빔 처리와 비처리 폐면에 대하여 비교, 조사하였다.

6. 전자빔 처리 폐면을 이용한 느타리버섯의 상자재배

전자빔 처리 강도를 달리하여 처리한 폐면으로 상법에 준하여 배지를 제조한 후 느타리버섯 상자 재배를 시도하였다. 느타리버섯 균사의 생장속도, 초발이 일수, 수확기간, 수확량 등을 전자빔 무처리 배지와 상호 비교하여 전자빔 처리 효과를 검증하였다. 또한 수확한 버섯의 아미노산 함량과 육질도 비교, 조사하였다.

7. 배지 종류 별 최적의 전자빔 처리 조건 결정

톱밥 및 폐면에 처리 강도를 각각 달리하여 전자빔을 처리한 후 느타리버섯과 큰느타리버섯의 톱밥 병재배, 느타리버섯의 폐면 상자재배를 각각 실시하고 버섯의 생산량과 품질 등을 비교하여 최적의 전자빔 처리 강도를 구명하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

현재 세계적으로 전자빔 가속기를 이용하는 분야는 매우 다양하며, 수십 년 전에는 접속 전기용접 및 증착분야에서 주로 적용되었으나 최근에는 고무경화, 고분자가교 및 결합, 수지경화, 섬유개질, 코팅, 식품의 살균·살충 분야 등에서 기술향상이 크게 이루어져 있다.

그러나 아직까지 농산물 생산 및 가공분야에 응용되어 기술이 개발된 예는 국내외적으로 없으며, 특히 식용버섯 재배용 고품질 배지제조에 전자빔의 특성을 이용하려는 시도는 본 연구가 처음이다.

본 연구진이 연구의 성공 가능성을 검토하기 위하여 사전에 조사한 것이 국내외적으로 처음이며 조사한 결과, 톱밥이나 폐면에 전자빔을 조사하게 되면 각 원료의 분자구조가 절단되고 분자량이 현저하게 저하됨으로서 이들을 기질로 하여 성장하는 버섯균들이 쉽게 흡수, 이용할 수 있을 것으로 판단되었으며 이러한 효과에 의하여 버섯재배 기간을 단축시킬 수 있고 품질이 우량한 버섯을 생산할 수 있을 것으로 기대되었다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 전자빔 처리 톱밥의 물리 및 화학적 특성

1. 서 론

목재의 화학적 조성은 주성분(major components)과 부성분(minor components)으로 대별되는데, 주성분에는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 및 리그닌이 있고, 부성분에는 무기성분(회분), 방향족 화합물, 지방족 화합물, terpene류, 질소화합물, pectin 등이 있다.

셀룰로오스는 목재를 구성하고 있는 성분 중 가장 많은 양을 차지하며, 목재의 종류에 관계없이 일반적으로 약 50%가 존재한다. 셀룰로오스는 β -1, 4-glucoside가 결합한 쇄상 고분자로서 오늘날 목재성분의 이용에서 가장 많이 사용되는 성분이다. 헤미셀룰로오스는 6탄당인 glucose, mannose, galactose와 5탄당인 xylose, arabinose 등의 단당류로 이루어져 있으며, 셀룰로오스에 비하여 분자량이 작은 분자구조를 가진 경우가 많고, 침엽수 및 활엽수재에서 그 구성 단당류의 종류가 상이한 특징을 지니고 있다. 이러한 헤미셀룰로오스의 목재 중의 함량은 20~30% 정도이며, 상술한 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스를 합쳐 홀로-셀룰로오스라고 한다. 홀로-셀룰로오스는 목재의 약 70~80%를 차지한다. 이와 같은 탄수화물을 제외한 나머지 20~30%는 phenylpropane(C_6-C_3) 단위로 이루어진 리그닌이라고 불리는 성분으로 이루어져 있다. 이 밖에 부성분은 물, alcohol, benzen, acetone 등의 중성용매로 추출되기 때문에 추출성분이라고 하며, 또한 양적으로 적기 때문에 중속성분이라고도 한다. 이와 같은 부성분은 세포내강이나 수지도 등에 존재하고, 그 함유량은 수종에 따라 현저한 차이가 있으며, 수종 특유의 성분인 지표성분(index constituent)을 함유하는 것도 있다. 무기성분의 주성분은 K, Ca, Mg 이며, 일반적으로 회분량은 0.3~1%로 수종에 따른 상위는 적지만 남양재에는 주로 Si성분이 많다.

전자빔 처리를 통해 고분자화합물인 톱밥배지가 얼마나 저분자화 되었는지 살펴보기 위해 전자빔 처리된 톱밥의 물리적 특성과 화학적 특성 분석은 KS, JIS 및 TAPPI 법에 준하여 실시하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 재료

침엽수 원목 제재 과정 중에 다양한 수종이 혼합되어 있는 혼합톱밥, 톱밥 생산량이 가장 많은 라디에타소나무(*Pinus radiata*) 톱밥, 균 성장 저해물질인 페놀성 화합물(심재물질)이 다량 함유되어 있어 버섯 생산이 불가능한 것으로 알려져 있으며 비교적 톱밥 생산량이 많은 낙엽송(*Larix leptolepis*) 톱밥을 제재소로부터 분양받아 사용하였다.

나. 물리적 성질 조사

1) pH 측정(KS M ISO 6588-1)

초순수의 냉수 100ml를 사용하여 시료 2g을 1시간 동안 추출한다. 이 후 추출액을 여과하고, 염이 포함된 용액을 첨가하여 20~25℃ 사이의 온도에서 추출액의 pH를 측정한다. pH 단위 0.1까지 보고하며 각각의 결과는 pH 단위 0.2 이상 차이가 나지 않아야 한다. 만약 차이가 난다면, 추가로 2개의 추출액을 더 측정하고 평균값과 모든 측정값의 범위를 보고한다. 따라서 총 3회 측정한 평균값을 계산한다.

사용된 pH 측정장치는 (주)이스텍에서 제조한 pH/ISE Meter로서 735P 모델을 사용하여 측정하였다.



<그림 1-1> pH 측정기(좌) 및 측정 방법(우)

2) 보수도(Water retention value, WRV) 측정(J TAPPI No. 26)

원심법에 의한 섬유 보수도 측정은 섬유의 팽윤도를 평가하는 좋은 방법으로써 팽윤섬유 중에 가지고 있는 물과 섬유 내 및 섬유 간에 존재하는 자유수를 적당한 원심력에 의해 구별한다는 가정에 기초를 두고 있다.

먼저 전건의 시료 0.5g을 정확히 취하여 물을 충분히 습윤시킨 후 원심분리 측정캡에 투입한다. 이 때 원심분리 측정캡의 하단에는 200mesh(눈금크기 75 μ m)의 와이어가 내재되어 있다. 원심분리기 내에 방사방향 순서로 원심분리 측정캡을 장착한 후 원심력 3000g(이 때 g = 중력가속도)로 15분 작동시킨다. 원심분리기 내부의 온도는 18~20 $^{\circ}$ C 사이이며, 탈수된 섬유를 원심분리 측정캡에서 분리하여 무게를 측정한다. 보수도의 계산은 다음과 같다.

$$\text{보수도}(\%) = \frac{A-B}{B} \times 100$$

여기서, A = 원심분리 후 시료의 무게, g

B = 전건 후 시료의 중량, g



<그림 1-2> 원심분리기 (좌) 및 원심분리 측정캡(우)

다. 화학적 성질 조사

1) 시료 조제(TAPPI T 257 hm-85)

분석시료는 반응이나 용매 추출 등의 화학적 처리에 대하여 가능한 균일하게 다루어져야 하고, 동시에 처리 후의 조작을 용이하게 하기 위하여 적당한 크기의 분말

형태로 조제함을 필수로 한다. 버섯재배의 배지로 쓰인 톱밥이나 미강은 균일한 목분형태이므로 물리적 처리 없이 그대로 실험에 사용하였으며, 폐면의 경우 가위로 세절하여 화학분석의 시료로 사용하였다.

2) 수분(함수율), (TAPPI T 264)

수분 함량(moisture content)의 측정방법에는 건조법·증류법·적정법 등이 있다. 시료를 약 2g이 되게 0.1mg까지 달아서 칭량병에 넣은 후 항온 건조기 속에서 $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ 로 건조시킨다. 이후 약 2시간 건조시킨 후에 칭량병의 뚜껑을 닫고, 데시케이터에 넣어 방냉(放冷)시킨 다음 무게를 0.1mg까지 측정한다. 이 때, 때때로 칭량병의 뚜껑을 열어 주어야 한다. 다시 시료를 건조기에 넣어 1시간 건조시킨 후 방냉하고, 무게를 측정하는 조작을 항량이 될 때까지 동일한 조작을 반복한다.

위와 같은 실험방법을 통한 수분 M(%)은 다음 식으로 소수점 이하 1자리까지 계산하여 보고 한다.

$$M(\%) = \frac{L}{S} \times 100$$

여기서, S = 초기 측정된 시료의 무게(기건상태의 무게, g)

L = 건조에 의해 감량된 시료의 무게(전건상태의 무게, g)

3) 회분(Ash), (TAPPI T 211 om-85)

회분(ash)은 유기물을 가열 연소 시킨 후의 잔사로서, 탄화된 재 중의 무기성분의 무게와 거의 같다. 실험방법으로는 먼저 빈 도가니와 뚜껑을 $575\pm 25^{\circ}\text{C}$ 에 15분 이상 강열 시켜 불순물을 제거한 후 항온 건조기에 넣어 어느 정도 온도를 떨어뜨린 다음 다시 데시케이터에 냉각 시켜 그 무게를 측정한다. 이 후 건조 시료 약 1~2g에 해당하는 시료를 0.1mg까지 달아서 도가니에 넣고 시험체로 한다. 이렇게 준비된 시험체를 연소 장치에 넣고, 내용물이 비산(흩어져 날림)되지 않도록 조심 하면서 온도를 서서히 올려 $575\pm 25^{\circ}\text{C}$ 에서 3시간 이상 연소 시킨다. 연소가 끝난 시험체는 꺼내어 데시케이터에서 방냉 시킨 후 무게를 측정한다.

회분 함량(%)은 다음과 같이 계산하고, 계산한 함량은 0.01%까지 두 시료를 계산하여 평균값을 보고한다.

$$\text{회분(\%)} = \frac{A}{B} \times 100$$

여기서 A = 처리 후 재의 무게, g

B = 무수 시료(처리하지 않은 시료)의 무게, g



<그림 1-3> 회분기(furnace) (좌) 및 회분기 내 도가니가 투입된 모습(우)

4)추출물(Extractives), (TAPPI T 204 os-76)

추출물(extractives)은 중성용매(물 또는 유기용제의 일부) 및 수증기 증류에 의하여 추출되는 성분을 말한다. 대게 목재 내 추출성분 함유량은 2~5% 정도로 적다. 일반적으로 추출되는 성분은 유지, 밀납, 수지, 색소, 탄닌 등의 부성분이며, 각각 정량하지 않고 여러 가지 용제로 추출물을 정량하여 함량을 측정한다. 유기용매로는 에테르, 알콜, 알콜-벤젠, 함수아세톤 등이 사용되지만, 알콜-벤젠 혼합액이 일반적으로 이용되고 있으며, 또한 용출력도 크다. 알콜-벤젠처리에 의하여 유지, 색소, 수지, 정유등이 용출된다.

유기용매 추출법에는 속슬레(soxlet) 추출관을 사용하는데, 이는 유기용매에 의해 추출되는 물질은 위에서 언급하였다시피, 유지나 탄닌 등의 성분으로 이러한 점착성(sticky)이 있는 물질이 추출된 후 다시 시료에 묻는 경우를 방지하기 위함이다.

먼저 속슬레 추출관과 추출 플라스크를 깨끗이 씻어 105±3℃로 유지된 항온 건조기에서 건조하고, 냉각시킨 후 그 무게를 측정하다. 시료를 투입한 원통여과지를 추출관에 넣고, 추출 플라스크에는 알콜-벤젠 혼합 용제 150ml를 넣는다. 이 때, 원통여과지에 투입하는 시료의 양은 약 7~8g이 적당하다. 그 이유는 유기용매 추출로서 추출물을 제거한 시료를 사용하여 셀룰로오스 및 리그닌 정량 시험을 하기 때문

이다. 이 후 속슬레 추출장치(환류냉각기 조합장치)를 조립하고 냉각기에 물이 흐르게 한 후 서서히 온도를 가열하여 유기용매가 끓도록 하는데, 용매가 적어도 1시간에 6회 이상 회전하도록 조정한다. (시료의 추출이 4-5시간에 걸쳐 24회보다 적지 않게 추출한다.)

추출이 끝나면 원통여과지의 시료는 건조하여 다음 실험에 쓸 수 있도록 보관하고, 추출액과 유기용매가 함께 들어있는 추출 플라스크를 105±3℃로 유지되는 항온 건조기에서 향량이 될 때까지 건조 후 칭량한다. 추출물은 0.1%까지 계산하여 평균 값을 보고한다.

$$\text{추출물}(\%) = \frac{A}{B} \times 100$$

여기서 A = 플라스크 내의 건조된 추출물 무게, g

B = 무수 전건시료의 무게, g



<그림 1-4> 속슬레(soxlet) 추출관에 환류냉각기를 장착한 모습

5) 물(온수) 가용분 시험방법 (TAPPI T 207 om-81)

건조시료 약 2g을 0.1mg까지 측정하여 200ml 삼각플라스크에 넣고, 증류수 100ml를 가하여 환류냉각장치를 이용하여 끓는 물에서 3시간 처리한다. 이 후 서서히 식힌 삼각플라스크 내의 시료를 흡인 거르개 장치(aspirator)에서 미리 무게를 알아둔 유리 거르개로 거른다. 시료가 담긴 유리 거르개를 105±3℃의 항온건조기에서 4시간 정도 건조하고 냉각하여, 무게를 0.1mg까지 측정한다. 측정 후 다시 1시간 건조

하고 방냉하여 무게를 달고, 연속 2회의 무게의 차가 0.02mg 이하가 될 때까지 같은 조작을 반복한다. 온수 추출물은 0.1%까지 계산하여 평균값을 보고한다.

$$\text{추출물}(\%) = \frac{A}{B} \times 100$$

여기서 A = 온수 추출후의 시료 무게, g

B = 무수 전건시료의 무게, g



<그림 1-5> 온수추출을 위해 삼각플라스크에 환류냉각기를 장착한 모습

6) 리그닌(Lignin)

리그닌(Lignin)의 정량 방법에는 목재 중의 다른 성분을 용해시키고 잔사로서 얻어지는 리그닌을 칭량하는 방법, methoxyl기의 정량이나 각종 시약과 리그닌과의 반응량 측정에 의하여 간접적으로 리그닌 양을 구하는 방법, 그리고 용해시킨 리그닌의 분광학적 측정에 의하여 리그닌 양을 산출하는 방법들이 있다. 이중 첫 번째는 황산법·염산법·불화수소법 등이 있지만, 그중에서도 황산법이 조작이 간단하고 신뢰성이 높아 가장 표준적인 정량법으로 채용되고 있다.

황산법은, 우선 72%황산으로 처리하여 다당류를 팽윤, 용해 또는 일부 가수분해시키고, 계속해서 비등한 희석용액 중에서 황산 ester기나 cellodextrin을 가수분해한다. 잔사로서 얻어지는 리그닌을 황산 리그닌 또는 Klason lignin이라고 부른다.

리그닌 정량의 시료로는 알콜-벤젠 추출 후 더운 물이나 에탄올로 세척하여 용매를 제거 후, 대기 혹은 건조기에 건조시킨 시료, 즉 탈지 시료를 사용한다. 건조한

탈지시료 1g을 100ml 비이커에 옮기고 72%황산 15ml를 넣는다. 그리고 유리막대로 균일하게 잘 저으면서 20±1℃의 물중탕에서 2시간 동안 계속 유지한다. 2시간이 경과한 후 반응물을 560ml의 증류수로 씻어 1L의 삼각플라스크에 넣는데, 이 때 황산의 농도는 약 3%가 된다. 이어서 환류 냉각장치를 이용하여 4시간 동안 끓인다.

4시간이 경과한 후 반응물을 정치하여 불용해 잔류물을 가라 앉힌다. 삼각플라스크 내의 시료를 흡인 거르개 장치(aspirator)에서 미리 무게를 알아둔 유리 거르개로 거른 후, 뜨거운 증류수로 수차례 세척한다. 이 후 잔유물이 들어있는 유리 거르개를 105±3℃로 조절된 향온 건조기에서 건조시키고 끝으로 데시케이터에서 냉각 후 칭량한다. 리그닌은 0.1%까지 두 시료를 계산하여 평균값을 보고한다.

$$\text{리그닌(\%)} = \frac{A}{B} \times 100$$

여기서 A = 유리거르개에 남겨진 잔여물의 무게, g

B = 초기 무수 탈지 전건시료의 무게, g



<그림 1-6> 환류냉각장치에 장착된 뚝은 황산용액

7) Holocellulose (Wise 법)

셀룰로오스와 헤미셀룰로오스를 합하여 홀로셀룰로오스(Holocellulose)라 부른다. 이 홀로셀룰로오스 정량법에는 염소·모노에탄올아민법, 아염소산염법 및 과초산법이 있다. 이들 방법모두 가능한 선택적으로 리그닌을 산화분해시켜 물가용화함으로써, 다당류 성분을 잔사로서 단리 정제하는 것이다. 이 중 아염소산염법은 Wise법이

라고라고 불리고 조작이 간단하다는 장점이 있지만, 탈리그닌율(60%이상)이 높으면 탄수화물의 손실량이 증가한다는 단점을 가지고 있다.

무수 상태시료(알콜-벤젠 추출 후 더운 물이나 에탄올로 세척하여 용매를 제거 후, 대기 혹은 건조기에 건조 시킨 시료) 2.5g을 300ml용 삼각플라스크에 넣고 증류수 150ml를 가한다. 이어서 아염소산나트륨 1g 및 빙초산 0.2ml를 가하고 플라스크에 랩을 씌우던지 아니면, 소형 삼각플라스크를 거꾸로 덮어 반응 후 생성되는 염소가스의 누출을 막는 마개 대용으로 한다. 이 후 70~80℃의 물중탕에서 진탕하면서 1시간 가운, 다시 냉각하지 않고 아염소산나트륨 1g, 빙초산 0.2ml를 가하여 반복 처리 한다. 이 조작을 4회 행한다.

처리 후 백색 잔사를 유리 거르개로 흡입, 여과하며 냉수(약500ml) 및 아세톤(약 50ml)으로 수차 세정한다. 충분히 아세톤을 흡입하고 다시 얼마간 풍건시킨 후, 유리 거르개를 칭량병으로 옮겨 105±3℃에서 항량이 될 때까지 건조하여 칭량한다.

$$\text{Holocellulose}(\%) = \frac{A}{B} \times 100$$

여기서, A = 유리거르개에 남겨진 잔여물의 무게, g

B = 초기 무수 탈지 전건시료의 무게, g



<그림 1-7> 온수탱크(좌) 및 표백되어 탈리그닌이 진행된 모습(우)

8) 셀룰로오스(Cellulose), (KS M 7044)

일반적으로 셀룰로오스의 정량에는 비 셀룰로오스 물질을 용출시키고 칭량하는 중량법이 이용되고 있다. 이 방법은 여러 가지 산화제를 이용하여 탈 리그닌을 행하

고 얻어지는 홀로셀룰로오스로부터 NaOH 또는 KOH로 헤미셀룰로오스를 용출제거하는 방법이다. 17.5%의 알칼리에 대한 용해도로부터 알파, 베타 및 감마-셀룰로오스를 분별한다. 여기서 알파-셀룰로오스는 거의 순수 셀룰로오스로 이루어져 있다.

Holocellulose 정량법에 의해 선택적으로 리그닌을 산화 분해하여 가용화하고, 다당류 잔사로 단리 조제한 홀로셀룰로오스 5g을 정확히 달아서 300ml 비이커에 넣고, 비이커를 전체 높이의 1/2까지 잠기도록 20℃ 항온 물중탕 중에 30분간 방치 한다.

이 후 20℃의 17.5 % 수산화나트륨 용액 50ml를 뷰렛을 사용하여 시료에 균일하게 습윤 되도록 추가한다. 추가 개시 후 3분 30초 방치하고 끝이 평탄한 유리막대를 사용하여 5분간 시료를 짓이겨 시료가 충분히 용액(알칼리 액)을 흡수 하도록 한다.(유리 막대는 매분 50회 이하로 가볍게 움직일 정도로 짓이긴다.)

이와 같이 물리적인 처리로 용액의 흡수를 촉진 시킨 후, 20℃의 증류수 50ml를 피펫으로 추가하면서 내용물을 유리막대로 교반한 후, 20℃ 항온 물중탕 중에서 5분간 방치한다. 비이커의 내용물을 무게를 아는 유리 거르개로 1분 이내 될 수 있는 한 많이 옮긴다. 펌프로 감압하여 거르고, 이 거른 액을 다시 되돌려서 1회 다시 거른다. 그리하여 거른 액이 80ml 될 때까지 반복한다. 매회 펄프 층이 층만할 정도로 20℃의 증류수를 추가하고, 감압-탈수를 반복하여 세척한다. 세척수 총량은 900ml를 사용하며 중점은 페놀프탈레인 중성으로 한다. 거른액 및 세척수는 20℃에서 1000ml로 하여 다음의 베타 셀룰로오스의 시험에 사용한다.

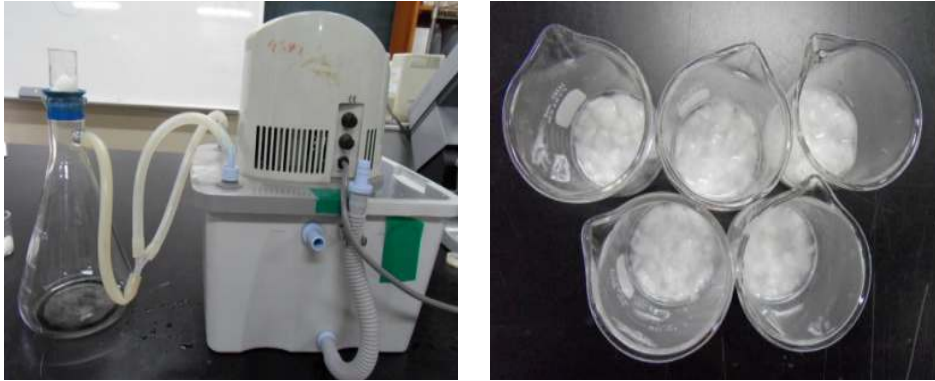
수세를 마친 유리 거르개에 10% 초산 40ml를 추가하고 5분간 방치해서 산액을 충분히 침투시킨 후 감압하여 1000ml의 끓는 물을 사용하여 이와 같은 조작으로 세척을 완료한다. 이 후 유리 거르개를 100~105℃의 항온 건조기에 넣어 건조시킨 후 잔유 섬유무게를 구하여 알파 셀룰로오스라 한다.

알파 셀룰로오스 (%) 은 다음 식에 따라 계산하고, 소수점이하 1자리까지 보고한다. 이 시험은 2회해서 그 평균값을 취한다. 다만, 각 회의 차는 0.2% 이하가 되지 않으면 안 된다.

$$\text{알파 셀룰로오스 (\%)} = \frac{w}{s} \times 100$$

여기서, W : 잔유 섬유 건조 무게, g

S : 홀로셀룰로오스 시료, g



<그림 1-8> 흡인장치(좌) 및 알칼리 용액에 팽윤되도록 방치된 시료의 모습(우)

이어서 베타-셀룰로오스의 시험 방법으로, 알파셀룰로오스에서 얻은 처리 용액 500ml를 비이커에 분취하여 30%초산 40ml를 가한다. 끓지 않을 정도로 100℃ 가까이까지 물중탕에서 서서히 가열하여 응집시킨 후, 다시 20분간 냉각해서 응집된 물질을 비이커 밑바닥에 침강시킨다. 경사법에 의하여 응집된 물질을 무게를 아는 거름종이 위에 옮겨 모은다. 응집물질과 거름종이를 함께 100~105℃의 항온 건조기에 항량이 될 때까지 건조하여 칭량한다.

베타-셀룰로오스(%)는 다음의 식에 따라 계산하고, 소수점 이하 한자리 까지 보고한다. 이 시험은 2회에서 그 평균값을 취한다. 다만, 각 회의 차가 0.2%이내가 되지 않으면 안 된다.

$$\text{베타-셀룰로오스}(\%) = \frac{W \times 2}{S \times R} \times 100$$

여기서, W = 응집 침전물의 건조무게, g

S = 알파-셀룰로오스 시험 공시 시료, g

R = 절건비

9) 자료의 통계처리(유의성 검정)

본 연구에서는 전자빔 세기에 따른 톱밥의 물리적 및 화학적 성질을 표와 그림으로 나타내었다. 표에 나타난 측정값은 그룹간의 유의성 검정의 필요가 있는 데이터

에 한해서 완전임의배치법으로 유의성을 검증하였고, LSD(Least Significant Difference : 최소유의차)로 처리하였다. 그림의 경우, 측정치를 입력하여 분산형으로 작성한 후 추세선을 기입하여 경향의 신뢰도를 비교·평가하였다. (<참고> 유의차 검정표)

3. 결과 및 고찰

가. 물리적 성질

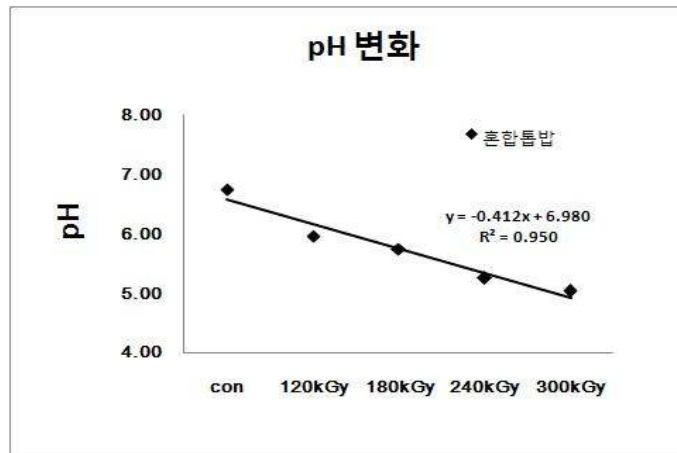
1) pH

전자빔 처리 세기에 따른 일반 혼합툽밥, 라디에타소나무 툽밥 및 낙엽송 툽밥의 pH변화에 대하여 비교 조사하였으며, 그 결과를 <표1-1> 및 그림 <1-9>, <1-10>, <1-11>에 각각 나타내었다.

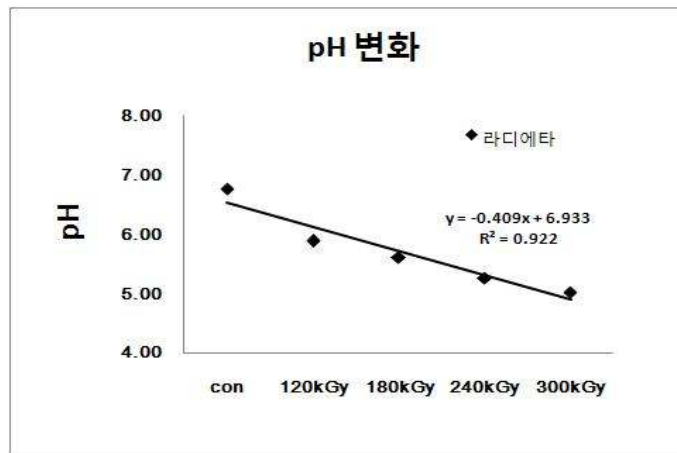
일반적으로 전자빔 처리 강도의 세기가 커짐에 따라 툽밥에서 용출된 용출액의 pH가 점차 낮아짐을 확인 할 수 있었으며, 이는 전자빔 가속기에서 방출된 자유전자에 의한 툽밥의 산화로 해석된다. 특히 낙엽송 툽밥의 경우 다른 툽밥에 비해 매우 경향성 짙은 결과를 보였다. 느타리버섯 생장의 최적 pH 조건이 중성(6~7)인 것을 미루어 볼 때, pH의 감소가 우려되는 면도 없진 않지만 전자빔 처리 세기의 증가에 따른 중합도 감소나 추출물 증가 추세에 비해 그 변화량은 매우 미미하기도 하거니와 환기 및 세척과정을 통해 보완가능한 문제로 볼 수 있다.

<표 1-1> 전자빔 처리 세기에 따른 툽밥의 pH 변화

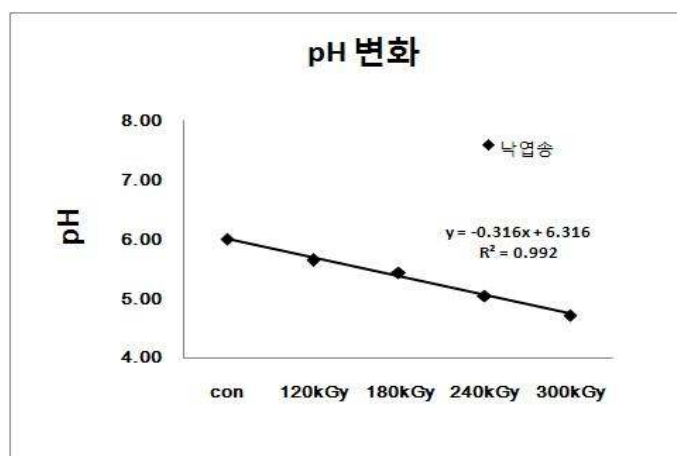
구 분		일반 혼합툽밥	라디에타 소나무 툽밥	낙엽송 툽밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	6.74	6.76	6.00
	120	5.96	5.88	5.64
	180	5.73	5.60	5.44
	240	5.25	5.26	5.04
	300	5.03	5.02	4.72



<그림 1-9>



<그림 1-10>



<그림 1-11>

2) 보수도(WRV)

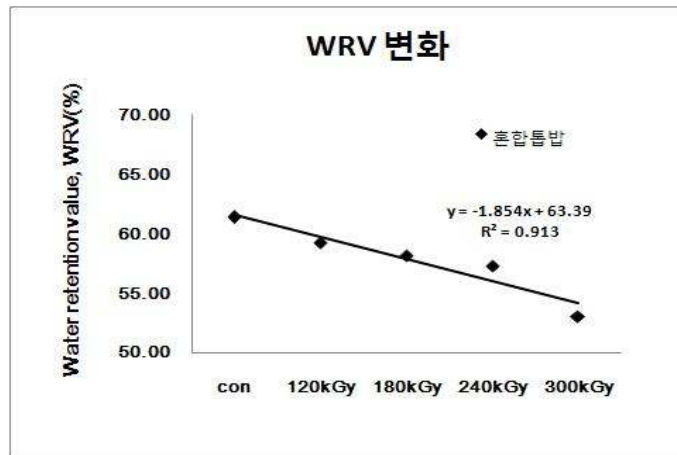
전자빔 처리 세기에 따른 일반 혼합툽밥, 라디에타소나무 툽밥 및 낙엽송 툽밥의 보수도를 측정하여 그 결과를 <표1-2> 및 그림 <1-12>, <1-13>, <1-14>에 각각 나타내었다.

앞선 보수도 측정방법 및 원리에 대해 언급한 바와 같이 보수도는 섬유의 유연성 및 팽윤도와 밀접한 관계가 있다. 섬유의 팽윤이 일어날 수 있는 조건으로는 물리적인 힘을 가하여 섬유자체에 손상을 입히거나(fibrillation), 알칼리액에 침지시켜 섬유의 팽윤을 유도하는 방법이 있다. 전자빔 처리에 따라 툽밥 용출액의 pH가 점차적으로 떨어지는 것으로 볼 때 알칼리에 의한 섬유의 팽윤은 없다고 볼 수 있으며, 물체 내부의 화학적 구조 및 특성을 변화시키는 전자빔 처리 특성 상 섬유손상에 의한 것으로도 보기 어렵다. 가장 신뢰성 있는 평가로서 전자빔처리에 따른 홀로셀룰로오스의 감소로 볼 수 있는데, 홀로셀룰로오스는 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스를 합친 총량으로 친수성인 헤미셀룰로오스의 감소에 따라 섬유의 보수능력이 떨어진다는 결론을 내릴 수 있다.

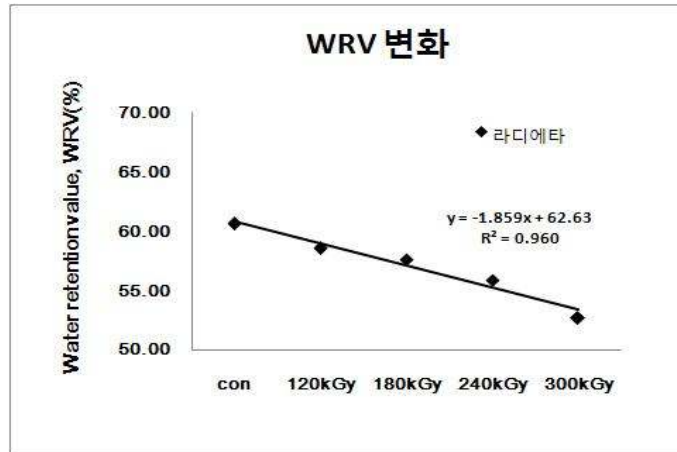
전자빔 처리 세기에 따른 보수도의 변화는 일반 혼합툽밥, 라디에타 소나무툽밥, 낙엽송 툽밥 모두 점차 감소하는 경향을 보였다. 하지만 낙엽송 툽밥의 경우는 다른 툽밥에 비해 경향이 약간 분산되어 있는 것을 볼 수 있는데 이는 재 중의 성분(폐놀성 화합물 및 균 생육 저해물질) 및 재질의 차이에 의한 결과라 할 수 있다.

<표 1-2> 전자빔 처리 세기에 따른 툽밥의 WRV 변화 (%)

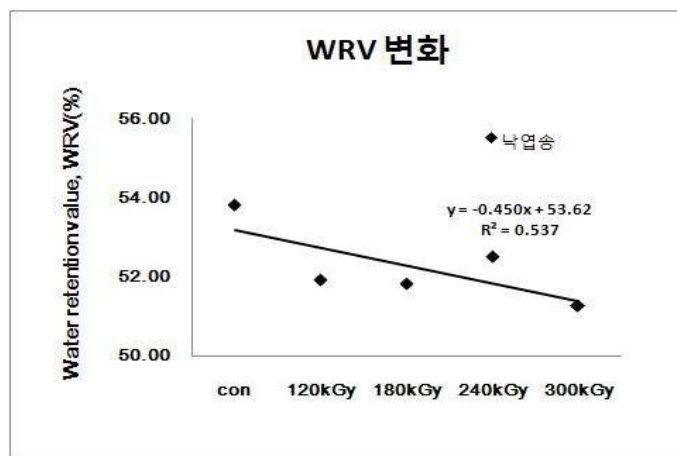
구 분		일반 혼합툽밥	라디에타 소나무 툽밥	낙엽송 툽밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	61.37	60.62	53.82
	120	59.24	58.53	51.93
	180	58.16	57.63	51.83
	240	57.31	55.87	52.52
	300	53.06	52.65	51.27



〈그림 1-12〉



〈그림 1-13〉



〈그림 1-14〉

나. 화학적 성분분석

1) 회분

<표1-3>은 전자빔 처리 세기에 따른 일반 혼합톱밥, 라디에타소나무 톱밥 및 낙엽송 톱밥의 회분 결과를 나타낸 것이다.

회분(ash)은 유기물을 가열 연소 시킨 후의 잔사로서, 탄화된 재 중의 무기성분의 무게와 거의 같다. 일반적으로 침엽수의 회분 함량은 0.1~0.5%미만으로 결과에서 다소 높게 나타난 것은 목재성분 외의 물질로 톱밥가공과정이나 보관 중 생겨난 이물질의 이입으로 볼 수 있다. 전자빔 처리 세기에 따른 회분의 변화량의 차이가 없는 것으로 볼 때, 톱밥 내 무기성분은 전자빔의 영향을 받지 않으며 따라서 초기 시료의 무기성분 함량에 따른 결과가 그대로 반영되었다고 볼 수 있다.

<표 1-3> 전자빔 처리 세기에 따른 톱밥의 회분량(ash) 변화 (%)

구 분		일반 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	0.68	0.67	0.57
	120	0.34	0.54	0.57
	180	0.53	0.93	0.35
	240	0.78	0.25	0.09
	300	0.23	0.34	0.12

2) 온수추출물

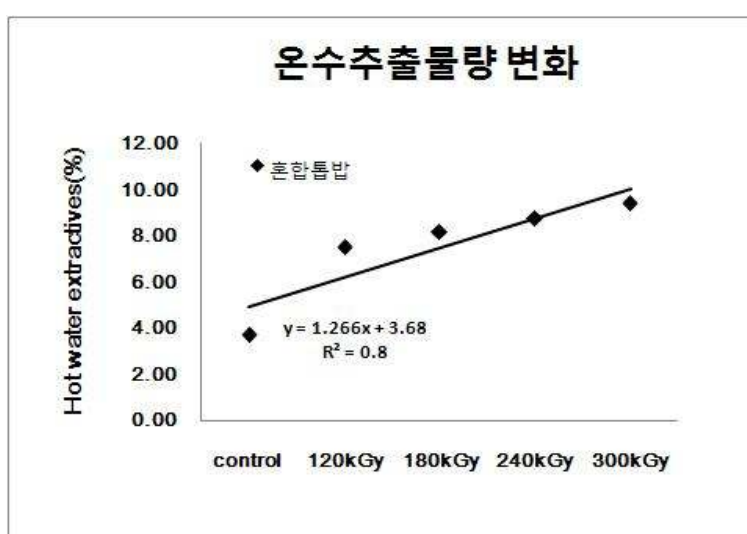
전자빔 처리 세기에 따른 일반 혼합톱밥, 라디에타소나무 톱밥 및 낙엽송 톱밥의 온수추출물량의 변화에 대하여 비교 조사하였으며, 그 결과를 <표1-4> 및 그림 <1-15>, <1-16>, <1-17>에 각각 나타내었다.

전자빔 처리 세기에 따른 톱밥의 온수추출물량은 현저히 증가함을 보였으며, 이는 군사가 생육에 이용하는 양분을 쉽게 이용하여, 성장량 증가 및 수확일수를 앞당길 수 있는 결과를 초래하였다. 일반적으로 목재 내 온수가용분의 함량은 약 5%미만으로 균에 의해 쉽게 분해되는 성분들이다. 일반 혼합톱밥과 라디에타 소나무

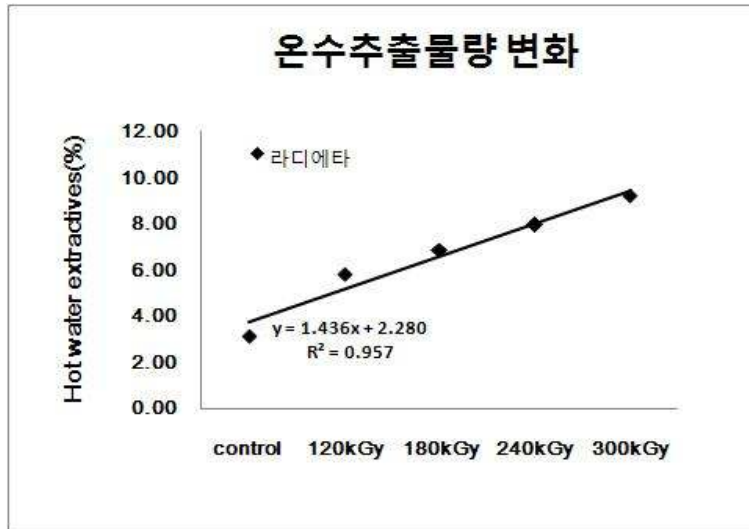
톱밥의 경우 전자빔 처리 세기에 따라 약간의 차이는 있지만, 점점 증가하여 최종적으로 전자빔 세기 300kGy일 때 9.38%의 용출량을 나타냈다. 이는 초기 온수가용분의 양에 비해 약 155%가 증가한 것으로 전자빔 처리에 의한 효과가 매우 잘 반영된 결과이다. 또한 낙엽송의 경우 역시, 전자빔 처리 세기의 증가에 따라 온수추출물량이 일정하게 증가하였으나 초기 용출량이 타 시료에 비해 높아 300kGy에서의 용출량도 다소 높았다. 재의 특성 상 톱밥배지로서 약간 부적절하다고 판단되어 왔던 낙엽송톱밥의 이 같은 결과는 버섯균사생장을 위한 영양공급원으로서 가능성이 있다는 것을 보여주는 결과이다.

<표 1-4> 전자빔 처리 세기에 따른 톱밥의 온수추출물량 변화 (%)

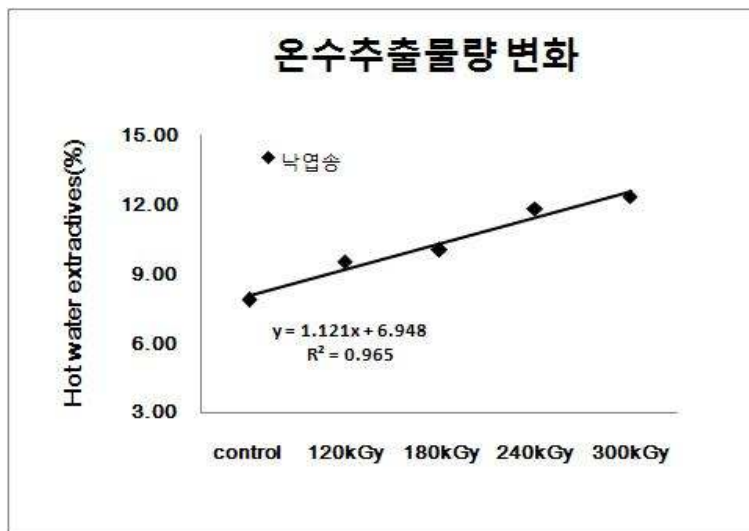
구 분		일반 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	3.68	3.11	7.87
	120	7.47	5.81	9.53
	180	8.13	6.85	10.01
	240	8.73	7.95	11.83
	300	9.38	9.23	12.32



<그림 1-15>



<그림 1-16>



<그림 1-17>

3) 유기용매추출물

<표1-5>는 전자빔 처리 세기에 따른 일반 혼합톱밥, 라디에타소나무 톱밥 및 낙엽송 톱밥의 유기용매추출물량의 변화를 나타낸 것이다.

유기용매추출물은 중성용매(물 또는 유기용제의 일부) 및 수증기 증류에 의하여 추출되는 성분을 말한다. 대게 목재 내 추출성분 함유량은 2~5% 정도로 적다. 일반적으로 추출되는 성분은 유지, 밀납, 수지, 색소, 탄닌 등의 부성분이며, 각각 정

량하지 않고 여러 가지 용제로 추출물을 정량하여 함량을 측정한다. 유기용매로는 에테르, 알콜, 알콜-벤젠, 함수아세톤 등이 사용되지만, 알콜-벤젠 혼합액이 일반적으로 이용되고 있으며, 또한 용출력도 크다. 본 연구의 유기용매추출물 함량 분석에서 사용된 알콜-벤젠처리에 의해서는 유지, 색소, 수지, 정유등이 용출된다.

결과에서 보는 바와 같이 일반 혼합톱밥과 라디에타 소나무톱밥의 경우는 전자빔 처리 세기가 증가함에 따라 추출물량의 증가를 보이고 있다. 그에 반해 낙엽송톱밥의 경우는 경향성이 약간 분산되어 있는데, 이는 다른 시료에 비해 낙엽송 재에 다량 함유된 sticky한 성분(수지 등)이 용출됨에 따라 초자기구에 묻거나 시료에 다시 달라붙어 생긴 오차라 볼 수 있다. 그러나 위의 온수추출물의 경우처럼 확연히 증가하지는 않지만 전자빔 세기에 따라 다소 증가하는 경향을 보인 것은 분명하다.

<표 1-5> 전자빔 처리 세기에 따른 톱밥의 유기용매추출물량 변화 (%)

구 분		일반 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	1.43	0.42	1.10
	120	1.78	0.85	1.32
	180	1.91	1.11	0.93
	240	2.01	2.06	1.47
	300	2.15	0.92	1.35

4) 리그닌 정량

<표1-6>은 전자빔 처리 세기에 따른 일반 혼합톱밥, 라디에타소나무 톱밥 및 낙엽송 톱밥의 리그닌 함량을 나타낸 것이다.

리그닌의 정량 방법으로 사용한 황산법을 통해 얻어지는 리그닌은 목재 중의 다른 성분 즉 다당류를 팽윤, 용해 또는 일부 가수분해 시켜 잔사로서 얻어지는 리그닌을 말한다. 결과에서 보는 바와 같이 전자빔 세기에 따른 리그닌의 함량 변화는 관찰되지 않으며, 따라서 톱밥 내 리그닌은 전자빔에 의해 영향을 받지 않는다는 결과를 얻을 수 있었다.

<표 1-6> 전자빔 처리 세기에 따른 톱밥의 잔여 리그닌량 변화 (%)

구 분		일반 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	25.97	25.82	25.89
	120	27.29	25.56	25.56
	180	27.24	25.55	25.47
	240	27.31	25.67	25.26
	300	26.79	27.20	25.25

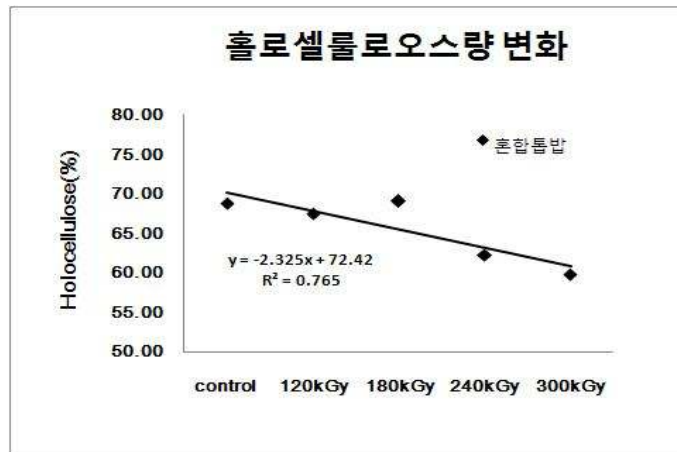
5) 홀로셀룰로오스 정량

전자빔 처리 세기에 따른 일반 혼합톱밥, 라디에타소나무 톱밥 및 낙엽송 톱밥의 홀로셀룰로오스 함량 변화에 대하여 비교 조사하였으며, 그 결과를 <표1-7> 및 그림 <1-18>, <1-19>, <1-20>에 각각 나타내었다.

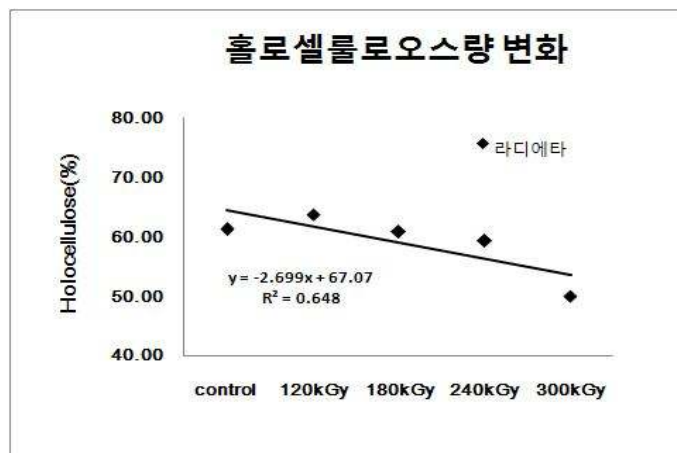
셀룰로오스와 헤미셀룰로오스를 합하여 홀로셀룰로오스(Holocellulose)라 부르며, 전자빔 처리 세기에 따른 톱밥의 홀로셀룰로오스량은 점차적으로 감소함을 보였다. 전자빔 처리에 의해 절단된 셀룰로오스 체인은 곧 여타의 추출물등과 함께 용출되어지고 홀로셀룰로오스의 함량을 감소시키는 결과를 가져왔다. 홀로셀룰로오스를 정량하는 방법은 방향족 물질인 리그닌을 제거하는 일종의 표백과정으로서, 셀룰로오스와 셀룰로오스보다 저분자인(체인길이가 짧은 것을 의미) 홀로셀룰로오스가 혼재한다. 이를 정리해보면, 전자빔의 처리를 받은 시료의 세포벽에는 영향을 받지 않은 리그닌과 절단된 셀룰로오스 조각들 및 헤미셀룰로오스가 존재한다. 이 중 리그닌을 제외하고, 추출물과 함께 소량 용출된 양을 포함한 모든 물질이 모두 홀로셀룰로오스가 된다는 것이다. 따라서 이와 같은 사실이 홀로셀룰로오스의 함량 변화가 온전한 셀룰로오스인 알파-셀룰로오스의 현저한 함량 감소에 비해 감소의 폭이 크지 않은 이유이다.

<표 1-7> 전자빔 처리 세기에 따른 톱밥의 홀로셀룰로오스 정량 변화 (%)

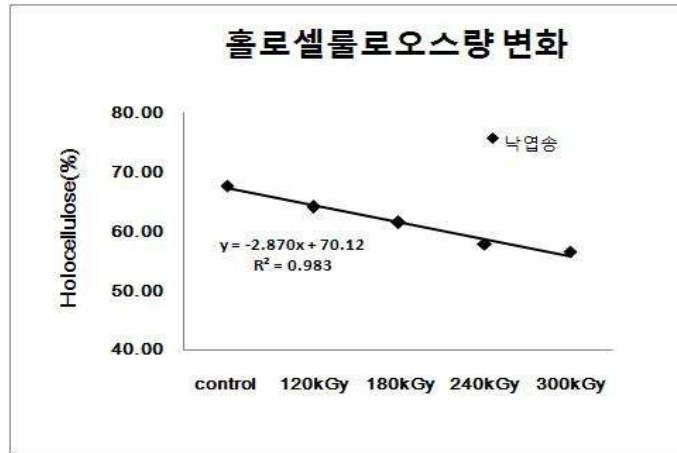
구 분		일반 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	68.80	63.67	67.72
	120	67.43	61.23	64.09
	180	69.04	60.78	61.41
	240	62.18	59.28	57.89
	300	59.80	49.93	56.46



<그림 1-18>



<그림 1-19>



<그림 1-20>

6) 알파-셀룰로오스 정량

전자빔 처리 세기에 따른 일반 혼합톱밥, 라디에타소나무 톱밥 및 낙엽송 톱밥의 알파-셀룰로오스 함량 변화에 대하여 비교 조사하였으며, 그 결과를 <표1-8> 및 그림 <1-21>, <1-22>, <1-21>에 각각 나타내었다.

본 연구에서 사용된 셀룰로오스 정량법으로 비 셀룰로오스 물질을 용출시키고 칭량하는 중량법을 사용하였다. 이 방법은 여러 가지 산화제를 이용하여 탈 리그닌을 행하고 얻어지는 홀로셀룰로오스로부터 NaOH 또는 KOH로 헤미셀룰로오스를 용출 제거하는 방법이다. 17.5%의 알칼리에 대한 용해도로부터 알파, 베타 및 감마-셀룰로오스를 분별한다. 여기서 알파-셀룰로오스는 거의 순수 셀룰로오스로 이루어져 있다.

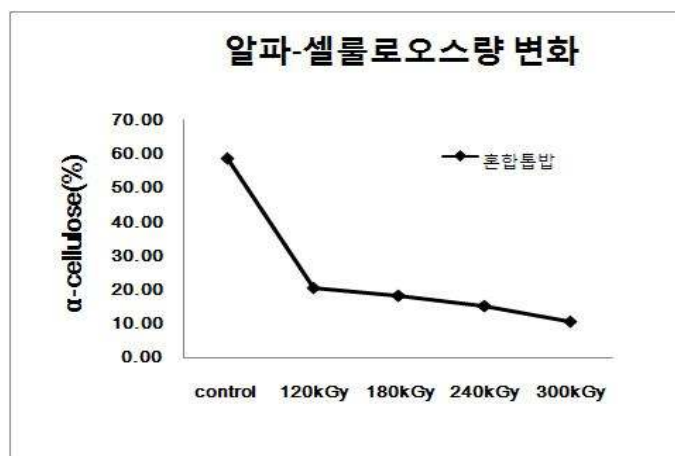
표와 그림에서 보는 바와 같이 전자빔 처리 세기에 따른 알파-셀룰로오스의 함량이 현저히 감소함을 알 수 있다. 일반 혼합톱밥의 경우 120kGy의 전자빔을 주사하면서 이미 초기 알파-셀룰로오스 함량의 187%가 감소하였으며, 최종 300kGy의 전자빔을 주사하였을 때, 알파-셀룰로오스의 양은 1/6로 감소하였다. 이러한 경향은 라디에타 소나무톱밥에서 더욱 현저히 관찰되었다. 120kGy의 전자빔 처리로 인해 초기 알파-셀룰로오스 함량의 약 284%가 감소하였으며, 최종 300kGy에서의 알파-셀룰로오스의 함량은 1.12%로서 셀룰로오스의 체인이 거의 끊어졌음을 확인할 수 있었다. 낙엽송톱밥의 경우, 라디에타 소나무톱밥에 비해 감소의 경향은 작으나 일반 혼합톱밥과 견주어 볼 때, 상당량의 셀룰로오스 체인이 절단되었음을 알 수 있

었다.

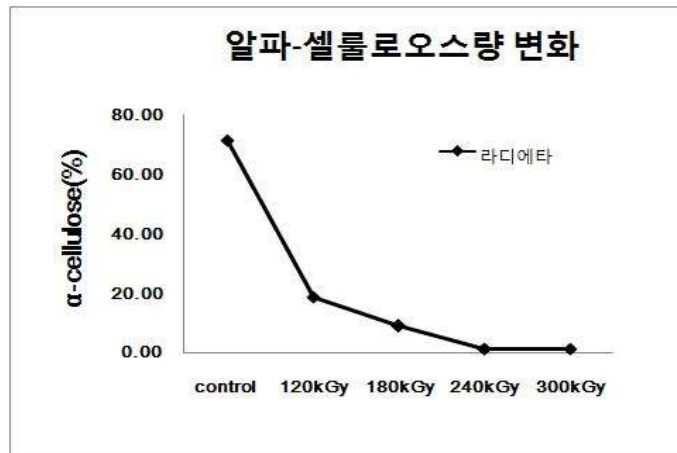
이렇듯, 전자빔 처리에 의한 알파-셀룰로오스 함량의 감소로 인해 버섯균사의 영양분 섭취가 훨씬 용이하게 됨은 3절에서 나타나는 균사의 생육량 증가 및 수확일 시의 조기화를 뒷받침하는 결과로 활용된다.

<표 1-8> 전자빔 처리 세기에 따른 톱밥의 알파-셀룰로오스 정량 변화 (%)

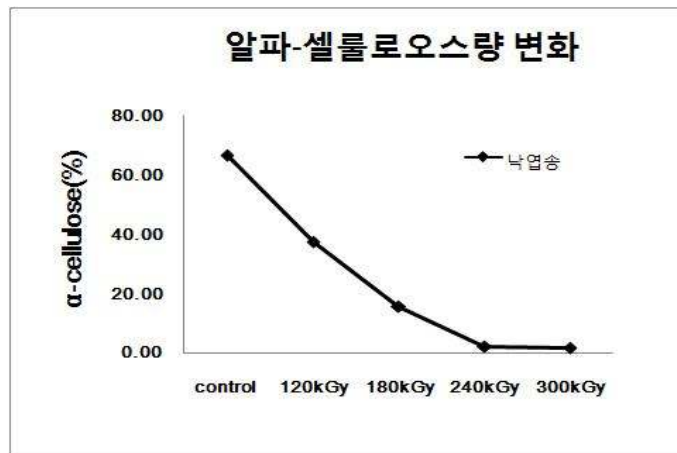
구 분		일반 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	58.80	71.51	66.80
	120	20.50	18.61	41.26
	180	18.30	8.82	19.72
	240	15.30	1.19	2.67
	300	10.50	1.12	2.62



<그림 1-21>



<그림 1-22>



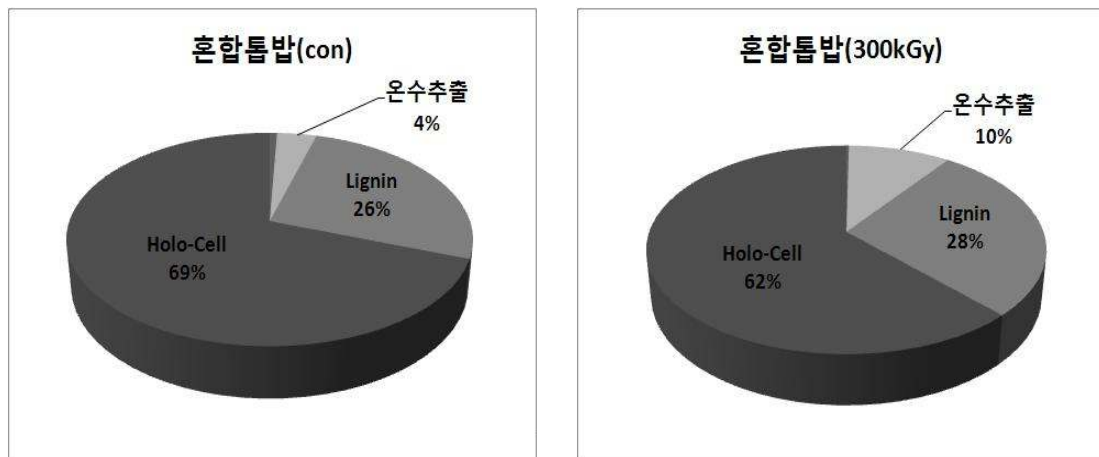
<그림 1-23>

4. 결 론

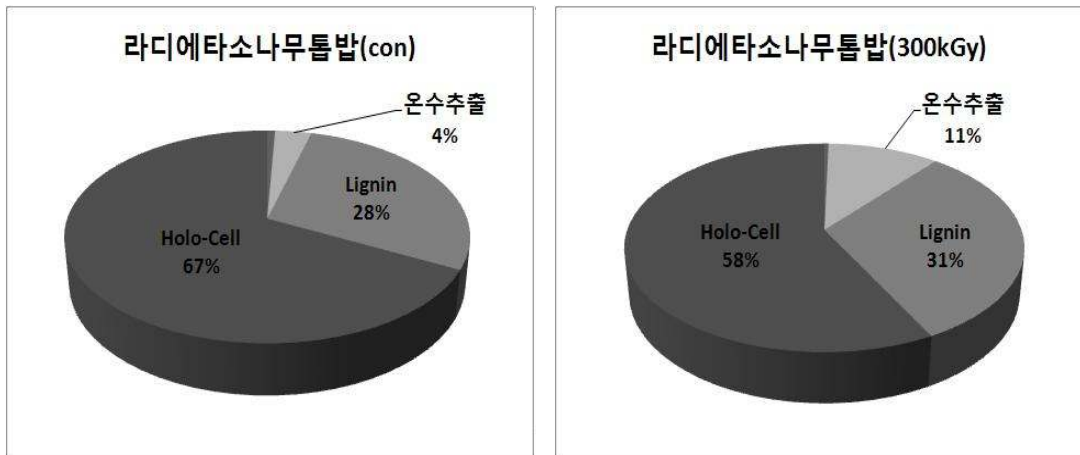
전자빔의 물체에 대한 높은 투과성과 물체 내부에서 분자 간의 결합을 절단해 주는 특징을 이용하여 고분자의 다당류, 즉 셀룰로오스를 함유하고 있는 톱밥에 전자빔을 처리하여 그 물리적 특성과 화학적 특성의 변화를 관찰하였다. 전자빔의 저분자화 효과를 확인하기 위해 전자빔 강도를 달리하여 처리한 톱밥을 이용하여 pH 및 보수도 등을 측정하였고, 목재성분의 화학적 분석방법을 통하여 추출물의 함량 변화 및 셀룰로오스의 저분자화 등을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

전자빔 처리 톱밥배지에서의 pH 및 보수도의 변화를 관찰한 결과, 전자빔 처리 강도가 높아짐에 따라 pH와 보수도가 저하되는 결과를 보였으며, 특히 낙엽송 톱밥의 경우 다른 톱밥에 비해 매우 경향성 짙은 결과를 보였다. 톱밥배지의 pH 저하는 매우 미미하여 느타리버섯의 성장조건을 저해할 정도라고는 판단되지 아니하였다.

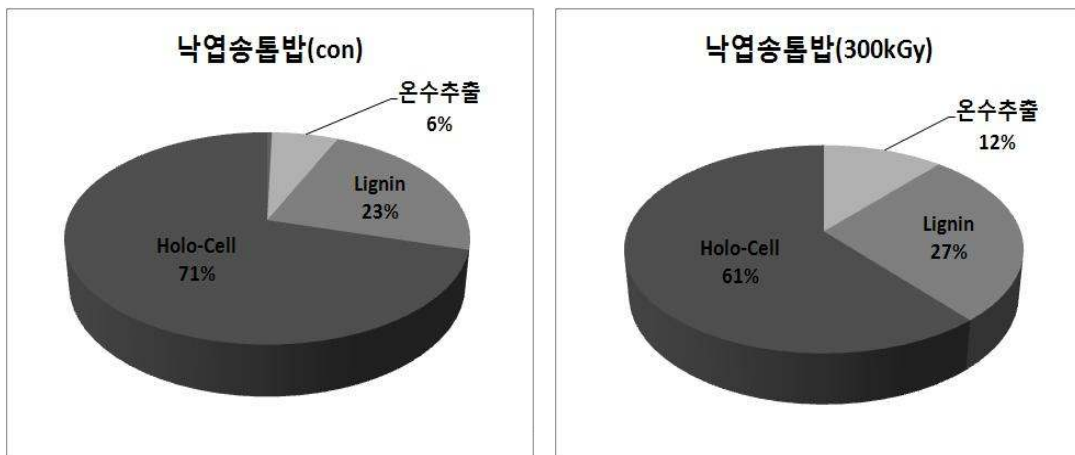
톱밥버섯배지의 화학적 특성 분석에서 온수추출물의 함량이 눈에 띄게 증가하였다. 일반 혼합톱밥과 라디에타 소나무톱밥의 경우 전자빔 처리 세기에 따라 약간의 차이는 있지만, 점점 증가하여 최종적으로 전자빔 세기 300kGy일 때 9.38%의 용출량을 나타냈다. 이는 초기 온수가용분의 양에 비해 약 155%가 증가한 것으로 전자빔 처리에 의한 효과가 매우 잘 반영된 결과라 볼 수 있다. 또한 낙엽송의 경우 역시, 전자빔 처리 세기의 증가에 따라 온수추출물량이 일정하게 증가하였으나 초기 용출량이 타 시료에 비해 높아 300kGy에서의 용출량도 다소 높았다. 재의 특성 상 톱밥배지로서 약간 부적절하다고 판단되어왔던 낙엽송톱밥의 이 같은 결과는 버섯 균사생장을 위한 영양공급원으로서 가능성이 있다는 것을 보여주는 결과이다.



<그림 1-24>



<그림 1-25>



<그림 1-26>

이와는 반대로 순수 셀룰로오스라 할 수 있는 알파-셀룰로오스의 함량은 현저히 감소하였다. 일반 혼합톱밥의 경우 120kGy의 전자빔을 주사하면서 이미 초기 알파-셀룰로오스 함량의 187%가 감소하였으며, 최종 300kGy의 전자빔을 주사하였을 때, 알파-셀룰로오스의 양은 1/6로 감소하였다. 라디에타 소나무톱밥의 경우는 120kGy의 전자빔 처리로 인해 초기 알파-셀룰로오스 함량의 약 284%가 감소하였으며, 최종 300kGy에서의 알파-셀룰로오스의 함량은 1.12%로서 셀룰로오스의 체인이 거의 끊어졌음을 확인할 수 있었다. 낙엽송톱밥의 경우, 라디에타 소나무톱밥에 비해 감소의 경향은 작으나 일반 혼합톱밥과 견주어 볼 때, 상당량의 셀룰로오스 체인이 절단되었음을 알 수 있었다. 이밖에 톱밥 내 무기물 함량(회분)이나 리그닌의 경우, 전자빔 처리에 의한 함량 변화는 관찰되지 아니하였다.

제 2 절 전자빔 처리 폐면의 물리 및 화학적 특성

1. 서 론

목재의 화학적 조성은 주성분(major components)과 부성분(minor components)으로 대별되는데, 주성분에는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 및 리그닌이 있고, 부성분에는 무기성분(회분), 방향족 화합물, 지방족 화합물, terpene류, 질소화합물, pectin 등이 있다.

셀룰로오스는 목재를 구성하고 있는 성분 중 가장 많은 양을 차지하며, 목재의 종류에 관계없이 일반적으로 약 50%가 존재한다. 셀룰로오스는 β -1, 4-glucoside가 결합한 쇄상 고분자로서 오늘날 목재성분의 이용에서 가장 많이 사용되는 성분이다. 헤미셀룰로오스는 6탄당인 glucose, mannose, galactose와 5탄당인 xylose, arabinose 등의 단당류로 이루어져 있으며, 셀룰로오스에 비하여 분자량이 작은 분자구조를 가진 경우가 많고, 침엽수 및 활엽수재에서 그 구성 단당류의 종류가 상이한 특징을 지니고 있다. 이러한 헤미셀룰로오스의 목재 중의 함량은 20~30% 정도이며, 상술한 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스를 합쳐 홀로-셀룰로오스라고 한다. 홀로-셀룰로오스는 목재의 약 70~80%를 차지한다. 이와 같은 탄수화물을 제외한 나머지 20~30%는 phenylpropane(C_6-C_3) 단위로 이루어진 리그닌이라고 불리는 성분으로 이루어져 있다. 이 밖에 부성분은 물, alcohol, benzen, acetone 등의 중성용매로 추출되기 때문에 추출성분이라고 하며, 또한 양적으로 적기 때문에 중속성분이라고도 한다. 이와 같은 부성분은 세포내강이나 수지도 등에 존재하고, 그 함유량은 수종에 따라 현저한 차이가 있으며, 수종 특유의 성분인 지표성분(index constituent)을 함유하는 것도 있다. 무기성분의 주성분은 K, Ca, Mg 이며, 일반적으로 회분량은 0.3~1%로 수종에 따른 상위는 적지만 남양재에는 주로 Si성분이 많다.

전자빔 처리를 통해 고분자화합물인 폐면이 얼마나 저분자화 되었는지 살펴보기 위해 전자빔 처리된 폐면의 물리적 특성과 화학적 특성 분석은 KS, JIS 및 TAPPI 법에 준하여 실시하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 재료

버섯재배 농가로부터 느타리버섯 상자 재배용 방울 슴 100kg을 구입하여 사용하였다. 폐습의 함수율은 약 14.3%로 기건상태였다.

나. 물리적 성질 조사

1) pH 측정(KS M ISO 6588-1)

초순수의 냉수 100ml를 사용하여 시료 2g을 1시간 동안 추출한다. 이 후 추출액을 여과하고, 염이 포함된 용액을 첨가하여 20~25℃ 사이의 온도에서 추출액의 pH를 측정한다. pH 단위 0.1까지 보고하며 각각의 결과는 pH 단위 0.2 이상 차이가 나지 않아야 한다. 만약 차이가 난다면, 추가로 2개의 추출액을 더 측정하고 평균값과 모든 측정값의 범위를 보고한다. 따라서 총 3회 측정한 평균값을 계산한다.

사용된 pH 측정장치는 (주)이스텍에서 제조한 pH/ISE Meter로 735P 모델을 사용하여 측정하였다.

2) 보수도(Water retention value, WRV)측정(J TAPPI No. 26)

원심법에 의한 섬유유 보수도 측정은 섬유유 팽윤도를 평가하는 좋은 방법으로써 팽윤섬유 중에 가지고 있는 물과 섬유 내 및 섬유 간에 존재하는 자유수를 적당한 원심력에 의해 구별한다는 가정에 기초를 두고 있다.

먼저 전건의 시료 0.5g을 정확히 취하여 물을 충분히 습윤시킨 후 원심분리 측정캡에 투입한다. 이 때 원심분리 측정캡의 하단에는 200mesh(눈금크기 75 μ m)의 와이어가 내재되어 있다. 원심분리기 내에 방사방향 순서로 원심분리 측정캡을 장착한 후 원심력 3000g(이 때 g = 중력가속도)로 15분 작동시킨다. 원심분리기 내부의 온도는 18~20℃ 사이이며, 탈수된 섬유유를 원심분리 측정캡에서 분리하여 무게를 측정한다. 보수도의 계산은 다음과 같다.

$$\text{보수도}(\%) = \frac{A-B}{B} \times 100$$

여기서, A = 원심분리 후 시료의 무게, g

B = 전건 후 시료의 중량, g

다. 화학적 성질 조사

1) 시료 조제(TAPPI T 257 hm-85)

분석시료는 반응이나 용매 추출 등의 화학적 처리에 대하여 가능한 균일하게 다루어져야 하고, 동시에 처리 후의 조작을 용이하게 하기 위하여 적당한 크기의 분말 형태로 조제함을 필수로 한다. 버섯재배의 배지로 쓰인 톱밥이나 미강은 균일한 목분형태이므로 물리적 처리 없이 그대로 실험에 사용하였으며, 폐면의 경우 가위로 세절하여 화학분석의 시료로 사용하였다.

2) 수분(함수율), (TAPPI T 264)

수분 함량(moisture content)의 측정방법에는 건조법·증류법·적정법 등이 있다. 시료를 약 2g이 되게 0.1mg까지 달아서 칭량병에 넣은 후 항온 건조기 속에서 $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ 로 건조시킨다. 이후 약 2시간 건조시킨 후에 칭량병의 뚜껑을 닫고, 데시케이터에 넣어 방냉(放冷)시킨 다음 무게를 0.1mg까지 측정한다. 이 때, 때때로 칭량병의 뚜껑을 열어 주어야 한다. 다시 시료를 건조기에 넣어 1시간 건조시킨 후 방냉하고, 무게를 측정하는 조작을 항량이 될 때까지 동일한 조작을 반복한다.

위와 같은 실험방법을 통한 수분 M(%)은 다음 식으로 소수점 이하 1자리까지 계산하여 보고 한다.

$$M(\%) = \frac{L}{S} \times 100$$

여기서, S = 초기 측정된 시료의 무게(기건상태의 무게, g)

L = 건조에 의해 감량된 시료의 무게(전건상태의 무게, g)

3) 회분(Ash), (TAPPI T 211 om-85)

회분(ash)은 유기물을 가열 연소 시킨 후의 잔사로서, 탄화된 재 중의 무기성분의 무게와 거의 같다. 실험방법으로는 먼저 빈 도가니와 뚜껑을 $575\pm 25^{\circ}\text{C}$ 에 15분 이상

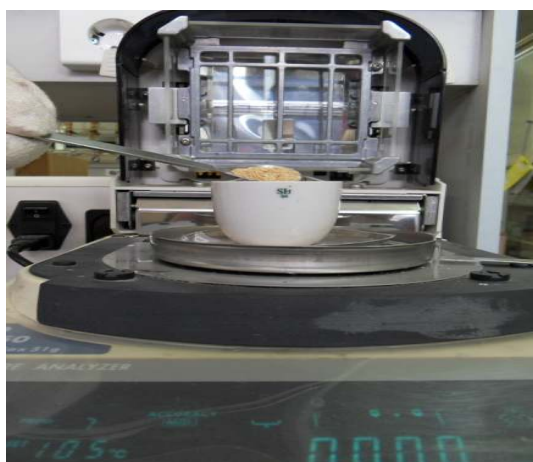
강열 시켜 불순물을 제거한 후 항온 건조기에 넣어 어느 정도 온도를 떨어뜨린 다음 다시 데시케이터에 냉각 시켜 그 무게를 측정한다. 이 후 건조 시료 약 1~2g에 해당하는 시료를 0.1mg까지 달아서 도가니에 넣고 시험체로 한다. 이렇게 준비된 시험체를 연소 장치에 넣고, 내용물이 비산(흩어져 날림)되지 않도록 조심 하면서 온도를 서서히 올려 575±25℃에서 3시간 이상 연소 시킨다. 연소가 끝난 시험체는 꺼내어 데시케이터에서 방냉 시킨 후 무게를 측정한다.

회분 함량(%)은 다음과 같이 계산하고, 계산한 함량은 0.01%까지 두 시료를 계산하여 평균값을 보고한다.

$$\text{회분(\%)} = \frac{A}{B} \times 100$$

여기서 A = 처리 후 재의 무게, g

B = 무수 시료(처리하지 않은 시료)의 무게, g



<그림 2-1> 회분용 시료 무게 측정(좌) 및 데시케이터 내 도가니 모습(우)

4)추출물(Extractives), (TAPPI T 204 os-76)

추출물(extractives)은 중성용매(물 또는 유기용제의 일부) 및 수증기 증류에 의하여 추출되는 성분을 말한다. 대게 목재 내 추출성분 함유량은 2~5% 정도로 적다. 일반적으로 추출되는 성분은 유지, 밀납, 수지, 색소, 탄닌 등의 부성분이며, 각각 정량하지 않고 여러 가지 용제로 추출물을 정량하여 함량을 측정한다. 유기용매로는 에테르, 알콜, 알콜-벤젠, 함수아세톤 등이 사용되지만, 알콜-벤젠 혼합액이 일

반적으로 이용되고 있으며, 또한 용출력도 크다. 알콜-벤젠처리에 의하여 유지, 색소, 수지, 정유등이 용출된다.

유기용매 추출법에는 속슬레(soxlet) 추출관을 사용하는데, 이는 유기용매에 의해 추출되는 물질은 위에서 언급하였다시피, 유지나 탄닌 등의 성분으로 이러한 점착성(sticky)이 있는 물질이 추출된 후 다시 시료에 묻는 경우를 방지하기 위함이다.

먼저 속슬레 추출관과 추출 플라스크를 깨끗이 씻어 105±3℃로 유지된 항온 건조기에서 건조하고, 냉각시킨 후 그 무게를 측정한다. 시료를 투입한 원통여과지를 추출관에 넣고, 추출 플라스크에는 알콜-벤젠 혼합 용제 150ml를 넣는다. 이 때, 원통여과지에 투입하는 시료의 양은 약 7~8g이 적당하다. 그 이유는 유기용매 추출로서 추출물을 제거한 시료를 사용하여 셀룰로오스 및 리그닌 정량 시험을 하기 때문이다. 이 후 속슬레 추출장치(환류냉각기 조합장치)를 조립하고 냉각기에 물이 흐르게 한 후 서서히 온도를 가열하여 유기용매가 끓도록 하는데, 용매가 적어도 1시간에 6회 이상 회전하도록 조정한다. (시료의 추출이 4-5시간에 걸쳐 24회보다 적지 않게 추출한다.)

추출이 끝나면 원통여과지의 시료는 건조하여 다음 실험에 쓸 수 있도록 보관하고, 추출액과 유기용제가 함께 들어있는 추출 플라스크를 105±3℃로 유지되는 항온 건조기에서 항량이 될 때까지 건조 후 칭량한다. 추출물은 0.1%까지 계산하여 평균 값을 보고한다.

$$\text{추출물}(\%) = \frac{A}{B} \times 100$$

여기서 A = 플라스크 내의 건조된 추출물 무게, g

B = 무수 전건시료의 무게, g



<그림 2-2> 폐면의 유기용매 추출모습(좌) 및 후드 내에서 원통여과지 내의 잔여 용매를 휘발시키는 모습(우)

5) 물(온수) 가용분 시험방법 (TAPPI T 207 om-81)

건조시료 약 2g을 0.1mg까지 측정하여 200ml 삼각플라스크에 넣고, 증류수 100ml를 가하여 환류냉각장치를 이용하여 끓는 물에서 3시간 처리한다. 이 후 서서히 식힌 삼각플라스크 내의 시료를 흡인 거르개 장치(aspirator)에서 미리 무게를 알아둔 유리 거르개로 거른다. 시료가 담긴 유리 거르개를 105±3℃의 항온건조기에서 4시간 정도 건조하고 냉각하여, 무게를 0.1mg까지 측정한다. 측정 후 다시 1시간 건조하고 방냉하여 무게를 달고, 연속 2회의 무게의 차가 0.02mg 이하가 될 때까지 같은 조작을 반복한다. 온수 추출물은 0.1%까지 계산하여 평균값을 보고한다.

$$\text{추출물(\%)} = \frac{A}{B} \times 100$$

여기서 A = 온수 추출후의 시료 무게, g

B = 무수 전건시료의 무게, g



<그림 2-3> 폐면 내 증류수 추가(좌) 및 환류냉각장치를 이용한 온수추출 모습(우)

6) 리그닌(Lignin)

리그닌(Lignin)의 정량 방법에는 목재 중의 다른 성분을 용해시키고 잔사로서 얻어지는 리그닌을 칭량하는 방법, methoxy기의 정량이나 각종 시약과 리그닌과의 반응량 측정에 의하여 간접적으로 리그닌 양을 구하는 방법, 그리고 용해시킨 리그닌의 분광학적 측정에 의하여 리그닌 양을 산출하는 방법들이 있다. 이중 첫 번째

는 황산법·염산법·불화수소법 등이 있지만. 그중에서도 황산법이 조작성이 간단하고 신뢰성이 높아 가장 표준적인 정량법으로 채용되고 있다.

황산법은, 우선 72%황산으로 처리하여 다당류를 팽윤, 용해 또는 일부 가수분해 시키고, 계속해서 비등한 희석용액 중에서 황산 ester기나 cellodextrin을 가수분해 한다. 잔사로서 얻어지는 리그닌을 황산 리그닌 또는 Klason lignin이라고 부른다.

리그닌 정량의 시료로는 알콜-벤젠 추출 후 더운 물이나 에탄올로 세척하여 용매를 제거 후, 대기 혹은 건조기에 건조시킨 시료, 즉 탈지 시료를 사용한다. 건조한 탈지시료 1g을 100ml 비이커에 옮기고 72%황산 15ml를 넣는다. 그리고 유리막대로 균일하게 잘 저으면서 20±1℃의 물중탕에서 2시간 동안 계속 유지한다. 2시간이 경과한 후 반응물을 560ml의 증류수로 씻어 1L의 삼각플라스크에 넣는데, 이 때 황산의 농도는 약 3%가 된다. 이어서 환류 냉각장치를 이용하여 4시간 동안 끓인다.

4시간이 경과한 후 반응물을 정지하여 불용해 잔류물을 가라 앉힌다. 삼각플라스크 내의 시료를 흡인 거르개 장치(aspirator)에서 미리 무게를 알아둔 유리 거르개로 거른 후, 뜨거운 증류수로 수차례 세척한다. 이 후 잔유물이 들어있는 유리 거르개를 105±3℃로 조절된 항온 건조기에서 건조시키고 끝으로 데시케이터에서 냉각 후 칭량한다. 리그닌은 0.1%까지 두 시료를 계산하여 평균값을 보고한다.

$$\text{리그닌(\%)} = \frac{A}{B} \times 100$$

여기서 A = 유리거르개에 남겨진 잔여물의 무게, g

B = 초기 무수 탈지 전건시료의 무게, g



<그림 2-4> 폐면 내 72% 황산 주가 모습(좌) 및 리그닌 정량을 위해 환류냉각장치에 장착된 모습(우)

7) Holocellulose (Wise 법)

셀룰로오스와 헤미셀룰로오스를 합하여 홀로셀룰로오스(Holocellulose)라 부른다. 이 홀로셀룰로오스 정량법에는 염소·모노에탄올아민법, 아염소산염법 및 과초산법이 있다. 이들 방법모두 가능한 선택적으로 리그닌을 산화분해시켜 물가용화함으로써, 다당류 성분을 잔사로서 단리 정제하는 것이다. 이 중 아염소산염법은 Wise법이 라고하고 불리고 조작이 간단하다는 장점이 있지만, 탈리그닌율(60%이상)이 높으면 탄수화물의 손실량이 증가한다는 단점을 가지고 있다.

무수 상태시료(알콜-벤젠 추출 후 더운 물이나 에탄올로 세척하여 용매를 제거 후, 대기 혹은 건조기에 건조 시킨 시료) 2.5g을 300ml용 삼각플라스크에 넣고 증류수 150ml를 가한다. 이어서 아염소산나트륨 1g 및 빙초산 0.2ml를 가하고 플라스크에 랩을 씌우던지 아니면, 소형 삼각플라스크를 거꾸로 덮어 반응 후 생성되는 염소가스의 누출을 막는 마개 대용으로 한다. 이 후 70~80℃의 물중탕에서 진탕하면서 1시간 가온, 다시 냉각하지 않고 아염소산나트륨 1g, 빙초산 0.2ml를 가하여 반복 처리 한다. 이 조작을 4회 행한다.

처리 후 백색 잔사를 유리 거르개로 흡입, 여과하며 냉수(약500ml) 및 아세톤(약 50ml)으로 수차 세정한다. 충분히 아세톤을 흡입하고 다시 얼마간 풍건시킨 후, 유리 거르개를 칭량병으로 옮겨 105±3℃에서 항량이 될 때까지 건조하여 칭량한다.

$$\text{Holocellulose(\%)} = \frac{A}{B} \times 100$$

여기서, A = 유리거르개에 남겨진 잔여물의 무게, g

B = 초기 무수 탈지 전건시료의 무게, g



<그림 2-5> 염소가스 반응 전 폐면의 모습(좌) 및 탈리그닌화가 진행중인 폐면(우)

8) 셀룰로오스(Cellulose), (KS M 7044)

일반적으로 셀룰로오스의 정량에는 비 셀룰로오스 물질을 용출시키고 칭량하는 중량법이 이용되고 있다. 이 방법은 여러 가지 산화제를 이용하여 탈 리그닌을 행하고 얻어지는 홀로셀룰로오스로부터 NaOH 또는 KOH로 헤미셀룰로오스를 용출제거하는 방법이다. 17.5%의 알칼리에 대한 용해도로부터 알파, 베타 및 감마-셀룰로오스를 분별한다. 여기서 알파-셀룰로오스는 거의 순수 셀룰로오스로 이루어져 있다.

Holocellulose 정량법에 의해 선택적으로 리그닌을 산화 분해하여 가용화하고, 다당류 잔사로 단리 조제한 홀로셀룰로오스 5g을 정확히 달아서 300ml 비이커에 넣고, 비이커를 전체 높이의 1/2까지 잠기도록 20℃ 항온 물중탕 중에 30분간 방치 한다.

이 후 20℃의 17.5 % 수산화나트륨 용액 50ml를 뷰렛을 사용하여 시료에 균일하게 습윤 되도록 추가한다. 추가 개시 후 3분 30초 방치하고 끝이 평탄한 유리막대를 사용하여 5분간 시료를 짓이겨 시료가 충분히 용액(알칼리 액)을 흡수 하도록 한다.(유리 막대는 매분 50회 이하로 가볍게 움직일 정도로 짓이긴다.)

이와 같이 물리적인 처리로 용액의 흡수를 촉진 시킨 후, 20℃의 증류수 50ml를 피펫으로 추가하면서 내용물을 유리막대로 교반한 후, 20℃ 항온 물중탕 중에서 5분간 방치한다. 비이커의 내용물을 무게를 아는 유리 거르개로 1분 이내 될 수 있는 한 많이 옮긴다. 펌프로 감압하여 거르고, 이 거른 액을 다시 되돌려서 1회 다시 거른다. 그리하여 거른 액이 80ml 될 때까지 반복한다. 매회 펄프 층이 층만할 정도로 20℃의 증류수를 추가하고, 감압-탈수를 반복하여 세척한다. 세척수 총량은 900ml를 사용하며 종점은 페놀프탈레인 중성으로 한다. 거른액 및 세척수는 20℃에서 1000ml로 하여 다음의 베타 셀룰로오스의 시험에 사용한다.

수세를 마친 유리 거르개에 10% 초산 40ml를 추가하고 5분간 방치해서 산액을 충분히 침투시킨 후 감압하여 1000ml의 끓는 물을 사용하여 이와 같은 조작으로 세척을 완료한다. 이 후 유리 거르개를 100~105℃의 항온 건조기에 넣어 건조시킨 후 잔유 섬유무게를 구하여 알파 셀룰로오스라 한다.

알파 셀룰로오스 (%) 은 다음 식에 따라 계산하고, 소수점이하 1자리까지 보고한다. 이 시험은 2회해서 그 평균값을 취한다. 다만, 각 회의 차는 0.2% 이하가 되지 않으면 안 된다.

$$\text{알파 셀룰로오스 (\%)} = \frac{W}{S} \times 100$$

여기서, W : 잔유 섬유 건조 무게, g

S : 홀로셀룰로오스 시료, g



<그림 2-6> 알파셀룰로오스 실험모습(좌) 및 유리거르개에 담긴 건조시료 무게 측정모습(우)

이어서 베타-셀룰로오스의 시험 방법으로, 알파셀룰로오스에서 얻은 처리 용액 500ml를 비이커에 분취하여 30%초산 40ml를 가한다. 끓지 않을 정도로 100°C 가까이까지 물중탕에서 서서히 가열하여 응집시킨 후, 다시 20분간 냉각해서 응집된 물질을 비이커 밑바닥에 침강시킨다. 경사법에 의하여 응집된 물질을 무게를 아는 거름종이 위에 옮겨 모은다. 응집물질과 거름종이를 함께 100~105°C의 항온 건조기에 항량이 될 때까지 건조하여 칭량한다.

베타-셀룰로오스(%)는 다음의 식에 따라 계산하고, 소수점 이하 한자리 까지 보고한다. 이 시험은 2회에서 그 평균값을 취한다. 다만, 각 회의 차가 0.2%이내가 되지 않으면 안 된다.

$$\text{베타-셀룰로오스(\%)} = \frac{W \times 2}{S \times R} \times 100$$

여기서, W = 응집 침전물의 건조무게, g

S = 알파-셀룰로오스 시험 공시 시료, g

R = 절건비

9) 자료의 통계처리(유의성 검정)

본 연구에서는 전자빔 세기에 따른 톱밥의 물리적 및 화학적 성질을 표와 그림으로 나타내었다. 표에 나타난 측정값은 그룹간의 유의성 검정의 필요가 있는 데이터에 한해서 완전임의배치법으로 유의성을 검증하였고, LSD(Least Significant Difference : 최소유의차)로 처리하였다. 그림의 경우, 측정치를 입력하여 분산형으로 작성한 후 추세선을 기입하여 경향의 신뢰도를 비교·평가하였다. (<참고> 유의차 검정표)

3. 결과 및 고찰

가. 물리적 성질

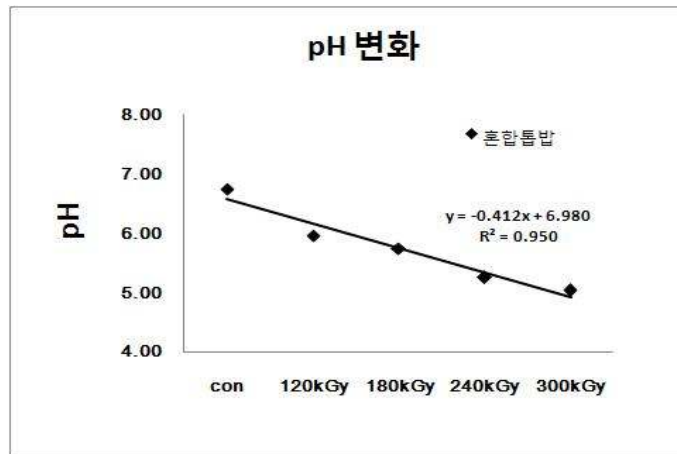
전자빔 처리 세기에 따른 폐면의 pH 변화 및 보수도 등 물리적 특성의 변화에 대하여 비교 조사하였으며, 그 결과를 <표2-1> 및 그림 <2-7>, <2-8>에 각각 나타내었다.

pH 변화의 경우 앞선 톱밥의 경우에 비해 소폭으로 감소하기는 하지만 전자빔 처리 강도의 세기가 커짐에 따라 폐면에서 용출된 용출액의 pH가 점차 낮아짐을 확인 할 수 있었다. 또한 톱밥의 경우와 비교하였을 때, 상대적으로 중성에 가깝다는 점과 전자빔 처리에 의한 pH 저하가 미미하다는 점은 느타리버섯의 생육조건에 있어서 이점으로 작용될 수 있는 결과이다.

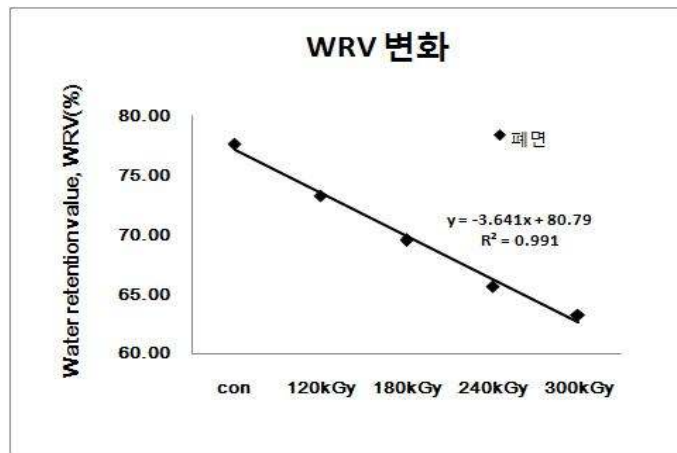
이에 비해 보수도의 경우는 매우 경향성 짙은 결과를 나타냈다. 초기 시료 자체의 보수도가 톱밥에 비해 훨씬 높았으며, 보수도의 감소 경향도 뚜렷하다. 이는 면(cotton)의 경우 구성성분의 대부분이 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스로 이루어져 있으며, 특히 그 중 셀룰로오스의 구성비는 90% 이상이다. 제공받은 폐면의 상태는 습과 더불어 이물질이 다량 붙어있긴 하지만 보수성에서 나타난 결과의 차이는 폐면의 대부분을 구성하고 있는 홀로셀룰로오스의 영향이 크게 작용했다고 볼 수 있다.

<표 2-1> 전자빔 처리 세기에 따른 폐면의 물리적 특성 변화

		pH	보수도(%)
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	6.86	77.66
	120	6.78	73.27
	180	6.54	69.50
	240	6.37	65.68
	300	6.35	63.24



<그림 2-7>



<그림 2-8>

나. 화학적 성분분석

전자빔 처리 세기에 따른 폐면의 온수추출물 함량 및 알파-셀룰로오스 함량 변화 등 화학적 특성의 변화에 대하여 비교 조사하였으며, 그 결과를 <표2-2> 및 그림 <2-9>, <2-10>, <2-11>에 각각 나타내었다.

앞선 2절의 톱밥의 경우와 마찬가지로 회분 및 리그닌 함량의 변화는 관찰되지 아니하였고, 온수추출물의 함량 증가 및 알파-셀룰로오스의 함량 감소는 톱밥에 비해 현저히 큰 경향성을 보였다. 회분의 경우 일반 목재 톱밥의 함량에 비해 높은 이유는 폐면 내 이물질 함량이 높은 결과로 보여 진다.

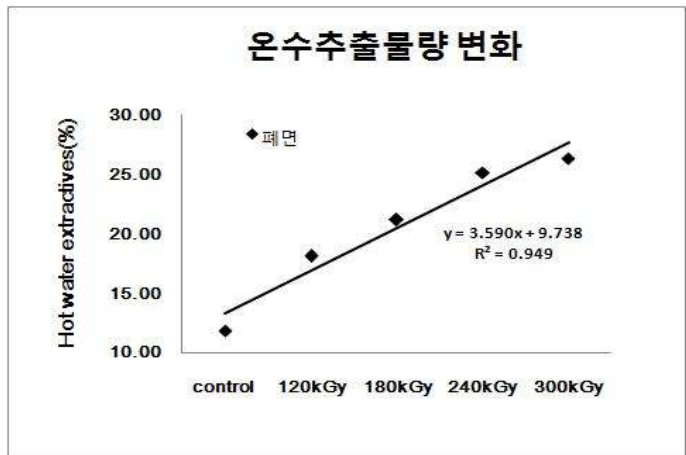
온수추출물 함량의 경우 최종 300kGy의 전자빔을 처리하였을 때 초기 무처리구에 비해 약 121% 증가한 결과를 보였으며, 이로써 폐면을 배지로 이용할 경우 버섯균사의 영양분 흡수에 있어서 톱밥배지에 비해 더욱 효과적이라는 결론을 내릴 수 있다. 이와는 반대로 알파-셀룰로오스의 함량변화를 살펴보면, 두 번째 처리구인 120kGy의 강도로 전자빔을 처리했을 때, 알파-셀룰로오스의 함량은 이미 초기치의 약 10% 이하로 감소하였다. 전자빔 처리 강도가 증가함에 따라 차차 감소하여 최종 300kGy 처리에서는 폐면 전체의 약 1% 정도 밖에 남아있지 않았다.

이와 같이 전자빔 처리에 의한 온수추출물의 함량 증가 및 알파-셀룰로오스 함량의 감소로 인해 버섯균사의 영양분 섭취가 훨씬 용이하게 됨은 3절에서 나타나는 균사의 생육량 증가 및 수확일시의 조기화를 뒷받침하는 결과로 활용된다.

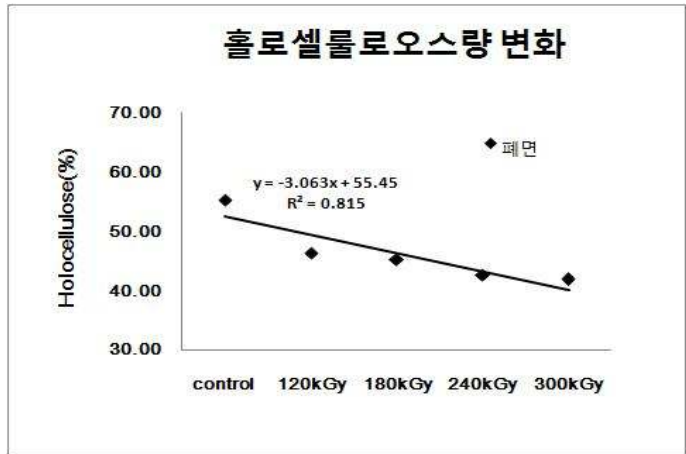
<표 2-2> 전자빔 처리 세기에 따른 폐면의 화학적 특성 변화

(단위 : %)

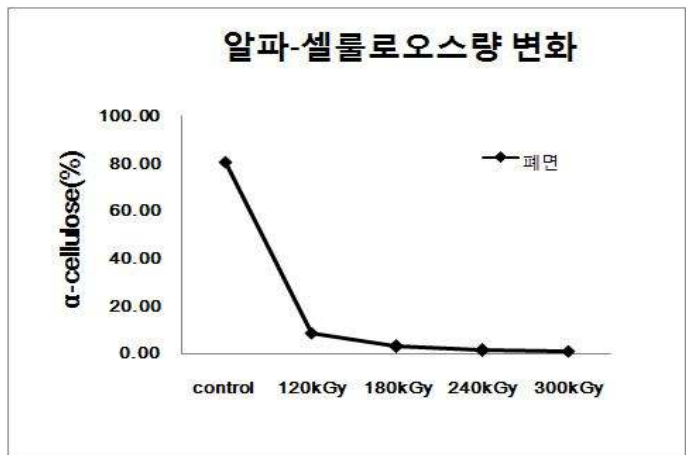
		회분	온수 추출물	유기용매 추출물	리그닌	홀로 셀룰로오스	알파- 셀룰로오스
전자빔 처리강도 (kGy)	0	8.28	11.86	0.51	15.29	55.35	80.43
	120	6.96	18.10	4.21	13.43	50.12	7.35
	180	7.56	21.17	5.35	11.50	45.24	2.84
	240	7.14	25.12	0.81	14.88	42.64	1.18
	300	9.12	26.30	1.06	14.24	41.86	1.25



<그림 2-9>



<그림 2-10>



<그림 2-11>

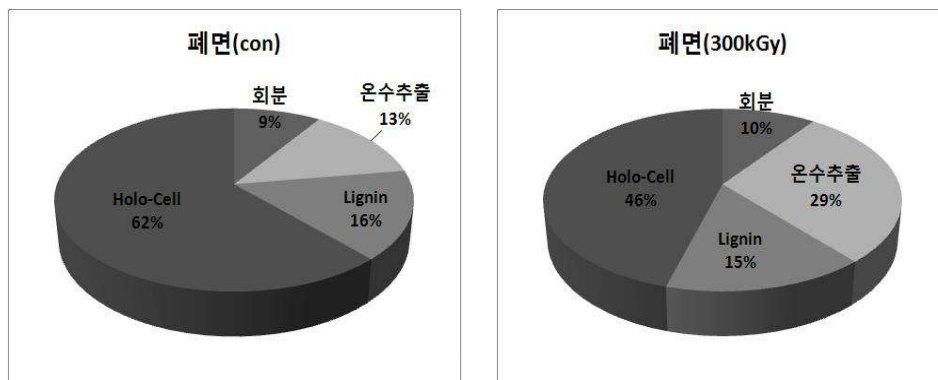
4. 결 론

전자빔의 물체에 대한 높은 투과성과 물체 내부에서 분자 간의 결합을 절단해 주는 특징을 이용하여 고분자의 다당류, 즉 셀룰로오스를 90% 이상 함유하고 있는 폐면에 전자빔을 처리하여 그 물리적 특성과 화학적 특성의 변화를 관찰하였다. 전자빔의 저분자화 효과를 확인하기 위해 전자빔 강도를 달리하여 처리한 폐면을 이용하여 pH 및 보수도 등을 측정하였고, 목재성분의 화학적 분석방법을 통하여 추출물의 함량 변화 및 셀룰로오스의 저분자화 등을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

전자빔 처리 폐면배지의 pH 및 보수도의 변화를 관찰한 결과, 톱밥배지의 경우와 마찬가지로 전자빔 처리 강도가 높아짐에 따라 pH와 보수도가 저하되는 결과를 보였다. pH의 경우 저하되는 폭이 미미하여 군사 생육조건에 영향을 미치지 않는 것이라 판단되고, 보수도의 저하는 톱밥배지에 비해 현저하게 관찰되었다.

폐면배지의 화학적 특성 분석에서는 그림 <2-12>에서 보는 바와 같이 온수추출물의 함량이 매우 크게 증가하였으며, 홀로셀룰로오스의 함량은 감소하였다. 특히 온수추출물 함량의 경우 최종 300kGy의 전자빔 처리를 한 폐면배지는 초기치에 비해 약 123% 증가하였으며, 이에 반해 전자빔 처리된 폐면배지의 알파-셀룰로오스 함량은 초기 폐면의 전체함량에 약 1% 정도밖에 미치지 못하였다.

폐면배지의 이와 같은 화학성분 변화는 버섯 군사 생장에 있어서 톱밥배지에 비해 유리하게 작용될 수 있으며, 또한 전자빔 처리에 의한 셀룰로오스 저분자 효과가 매우 잘 반영된 결과라 볼 수 있다.



<그림 2-12>

< 참 고 > 유의차 검정 결과표

1. pH 특성 분석 결과

<표 참-1> 수종별 처리평균 비교표 (LSD=0.693198)

	혼합톱밥 (5.743)	라디에타 (5.706)	낙엽송 (5.368)
폐면(6.579)	0.836*	0.873*	1.211*
낙엽송(5.368)	0.375	0.338	
라디에타(5.706)	0.037		

(P < 0.05 유의수준임.)

수종별 처리조합 간 혼합톱밥-폐면, 라디에타-폐면, 낙엽송-폐면 간 유의차가 인정되나, 그 외의 처리조합 간에는 유의차가 인정되지 않는다.

<표 참-2> 세기별 처리평균 비교표 (LSD=0.09384)

	con (6.590)	120kGy (6.066)	180kGy (5.829)	240kGy (5.480)
300kGy(5.280)	1.310	0.786	0.549	0.200
240kGy(5.480)	1.110	0.586	0.349	
180kGy(5.829)	0.761	0.237		
120kGy(6.066)	0.524			

(P < 0.05 유의수준임.)

전자빔 세기별 처리조합 간에는 유의차가 인정되지 않는다.

2. WRV 특성 분석 결과

<표 참-3> 수종별 처리평균 비교표 (LSD=5.072791)

	혼합툽밥 (57.830)	라디에타 (57.061)	낙엽송 (52.273)
폐면(69.871)	12.041*	12.810*	17.598*
낙엽송(52.273)	5.557*	4.788	
라디에타(57.061)	0.769		

(P < 0.05 유의수준임.)

수종별 처리조합 간 혼합툽밥-낙엽송, 툽밥배지-폐면배지 간 유의차가 인정되나, 그 외의 처리조합 간에는 유의차가 인정되지 않는다.

<표 참-4> 세기별 처리평균 비교표 (LSD=5.252724)

	con (63.367)	120kGy (60.743)	180kGy (59.281)	240kGy (57.846)
300kGy(55.057)	8.310*	5.686*	4.224	2.789
240kGy(57.846)	5.521*	2.897	1.435	
180kGy(59.281)	4.086	1.462		
120kGy(60.743)	2.624			

(P < 0.05 유의수준임.)

전자빔 세기별 처리조합 간 무처리-240kGy 이상의 처리 조합 및 120kGy-300kGy 간의 유의차가 인정되나, 그 외의 처리조합간에는 유의차가 인정되지 않는다.

3. 회분(ash) 분석 결과

<표 참-5> 수종별 처리평균 비교표 (LSD=0.78185)

	혼합톱밥 (0.512)	라디에타 (0.546)	낙엽송 (0.335)
폐면(0.781)	0.269	0.235	0.446
낙엽송(0.335)	0.177	0.211	
라디에타(0.546)	0.034		

(P < 0.05 유의수준임.)

수종별 처리조합 간 유의차가 인정되지 않는다.

<표 참-6> 세기별 처리평균 비교표 (LSD=0.810618)

	con (2.548)	120kGy (2.103)	180kGy (2.343)	240kGy (2.056)
300kGy(2.453)	0.095	0.350	0.110	0.397
240kGy(2.056)	0.492	0.047	0.287	
180kGy(2.343)	0.205	0.240		
120kGy(2.103)	0.445			

(P < 0.05 유의수준임.)

전자빔 세기별 처리조합 간에는 유의차가 인정되지 않는다.

4. 온수추출물 분석 결과

<표 참-7> 수종별 처리평균 비교표 (LSD=2.164583)

	혼합톱밥 (7.479)	라디에타 (6.591)	낙엽송 (10.312)
폐면(19.957)	12.478*	13.366*	9.645*
낙엽송(10.312)	2.833*	3.721*	
라디에타(6.591)	0.888		

(P < 0.05 유의수준임.)

수종별 처리조합 간 혼합톱밥-라디에타 소나무톱밥 간 유의차가 인정되지 않으나, 그 외의 처리조합 간에는 유의차가 인정된다.

<표 참-8> 세기별 처리평균 비교표 (LSD=2.241361)

	con (6.631)	120kGy (9.535)	180kGy (11.541)	240kGy (13.405)
300kGy(14.311)	7.680*	4.776*	2.770*	0.906
240kGy(13.405)	6.774*	3.870*	1.864	
180kGy(11.541)	4.910*	2.006		
120kGy(9.535)	2.904*			

(P < 0.05 유의수준임.)

전자빔 세기별 조합간에서 무처리와 처리간, 120-240, 120-300, 180-300 kGy 간의 유의차가 인정되나, 그 외의 처리조합 간에는 유의차가 인정되지 않는다.

5. 리그닌 분석 결과

<표 참-9> 수종별 처리평균 비교표 (LSD=1.886404)

	혼합톱밥 (26.921)	라디에타 (25.959)	낙엽송 (25.486)
폐면(13.869)	13.052*	12.090*	11.617*
낙엽송(25.486)	1.435	0.473	
라디에타(25.959)	0.962		

(P < 0.05 유의수준임.)

수종별 처리조합 간 혼합톱밥배지-폐면배지 간 유의차가 인정되나, 그 외의 처리 조합 간에는 유의차가 인정되지 않는다.

<표 참-10> 세기별 처리평균 비교표 (LSD=1.953315)

	con (23.245)	120kGy (22.958)	180kGy (22.438)	240kGy (23.282)
300kGy(23.371)	0.126	0.413	0.933	0.089
240kGy(23.282)	0.037	0.324	0.844	
180kGy(22.438)	0.807	0.520		
120kGy(22.958)	0.287			

(P < 0.05 유의수준임.)

전자빔 세기별 처리조합 간에는 유의차가 인정되지 않는다.

6. 홀로셀룰로오스 분석 결과

<표 참-11> 수종별 처리평균 비교표 (LSD=2.929639)

	혼합톱밥 (65.452)	라디에타 (58.979)	낙엽송 (61.514)
폐면(47.042)	18.410*	11.937*	14.472*
낙엽송(61.514)	3.938*	2.535	
라디에타(58.979)	6.473*		

(P < 0.05 유의수준임.)

수종별 처리조합 간 라디에타-낙엽송 톱밥 간 유의차가 인정되지 않으나, 그 외의 처리조합 간에는 유의차가 인정된다.

<표 참-12> 세기별 처리평균 비교표 (LSD=3.033554)

	con (63.884)	120kGy (60.718)	180kGy (59.118)	240kGy (55.500)
300kGy(52.014)	11.870*	8.704*	7.104*	3.486*
240kGy(55.500)	8.384*	5.218*	3.618*	
180kGy(59.118)	4.766*	1.600		
120kGy(60.718)	3.166*			

(P < 0.05 유의수준임.)

전자빔 세기별 처리조합 간 120kGy-180kGy 간 유의차가 인정되지 않으나, 그 외의 처리조합 간에는 유의차가 인정된다.

7. 알파-셀룰로오스 분석 결과

<표 참-13> 수종별 처리평균 비교표 (LSD=3.922371)

	혼합톱밥 (24.683)	라디에타 (20.885)	낙엽송 (26.101)
폐면(18.784)	5.899*	2.101	7.317*
낙엽송(26.101)	1.418	5.216*	
라디에타(20.885)	3.798		

(P < 0.05 유의수준임.)

수종별 처리조합 간 혼합톱밥-폐면, 라디에타-낙엽송, 낙엽송-폐면 간 유의차가 인정되나, 그 외의 처리조합 간에는 유의차가 인정되지 않는다.

<표 참-14> 세기별 처리평균 비교표 (LSD=4.061499)

	con (70.392)	120kGy (22.217)	180kGy (11.640)	240kGy (5.121)
300kGy(3.696)	66.696	18.521	7.944	1.425*
240kGy(5.121)	65.271	17.096	6.519	
180kGy(11.640)	58.752	10.577		
120kGy(22.217)	48.175			

(P < 0.05 유의수준임.)

전자빔 세기별 처리조합 간 204kGy-300kGy 간 유의차가 인정되나, 그 외의 처리조합 간에는 유의차가 인정되지 않는다.

제 3 절 전자빔 처리 톱밥을 이용한 느타리버섯 및 큰느타리버섯의 병재배

1. 연구목적

벚짚을 이용한 재배법에 의존하던 느타리버섯 재배는 농작업의 기계화와 일손부족 등으로 신선한 벚짚의 구득이 어려워지고 조사료 등으로 이용됨에 따라 가격 상승으로 수익성이 맞지 않게 되어 1980년대 초부터 폐면을 이용한 균상 재배법이 개발 보급된다. 그러나 이러한 균상재배방식은 농가의 노동력 부족과 재배환경 불량에 의한 병해충 피해 발생 등의 재배 실패와 함께 폐면의 가격상승으로 인해 재배 농가의 생산비 부담이 가중되어 현재는 톱밥을 이용한 자동화 병 재배로 재배방식 전환이 많이 이루어지고 있다.

우리나라 농가의 고소득 작목으로 중요한 위치를 점하고 있는 버섯 재배에 있어서 배지원료 구입비가 생산비의 60% 이상을 차지하고 있는 우리 농가의 현실을 감안할 때 배지원료의 가격상승은 재배 농가의 소득감소와 직결됨에 따라 새로운 값싼 대체배지 개발이 요구되고 있다.

식용버섯 병재배에 가장 적합한 배지원료는 톱밥으로 현재 국내에서는 침엽수 톱밥을 이용하여 느타리버섯, 큰느타리버섯, 팽이버섯 등이 생산되고 있다. 버섯 병재배의 배지원료인 침엽수 톱밥은 야외 퇴적 및 발효 기간을 거쳐야 한다. 이 작업은 톱밥 중에 함유되어 있는 군사 생육 저해물질인 수지 등 추출물을 제거하기 위함이다. 야외 퇴적 및 발효는 일반적으로 3개월 이상의 기간을 필요로 한다.

한편 이와 같은 톱밥 내 군사 저해물질 때문에 사용할 수 있는 톱밥의 수종에도 제한이 있어 유해물질을 적게 함유하고 있는 미송이라고 알려진 수종의 톱밥이 주로 이용되고 있다. 그러나 국내에서 제재목 생산에 다량 사용되고 있는 침엽수 수종으로는 주로 수입산의 라디에타소나무와 국내산인 리기다소나무, 낙엽송, 잣나무 등이 차지하고 있다. 미송 제재목 생산량은 급격하게 줄어 톱밥 구입이 어려워짐에 따라 라디에타소나무 톱밥을 미송톱밥으로 판매하고 있는 것으로 알려져 있다. 미송톱밥의 경우에도 버섯 군사의 용이한 성장을 위해서는 반드시 야외퇴적에 의한 발효(톱밥 중의 유해물질 제거 과정)과정을 거쳐야 한다.

물질의 성질을 빠르고 간편하게 변환시킬 수 있는 전자빔 처리가 주목을 받고 있으며 다양한 분야에서 일찍이 연구가 진행되어 산업적으로 이용되고 있다. 전자빔의 특성은 다른 전자파에 비하여 높은 에너지를 갖기 때문에 물체에 대한 높은 투과성을 나타내며 조사된 물체 내부에서는 분자 간 결합의 절단, 분자나 원자 간 가교결합의 형성 또는 중합 등의 반응이 진행된다.

본 연구에서는 고품질의 식용버섯을 생산할 수 있는 병재배의 주재료인 톱밥의 수종의 제한을 없애고 야외발효 기간을 생략할 수 있는 새로운 병재재용 톱밥 배지 생산을 위해 전자빔 처리기술의 도입 가능성을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 재료

1) 침엽수 톱밥

침엽수 원목 제재 과정 중에 다양한 수종이 혼합되어 있는 혼합톱밥, 톱밥 생산량이 가장 많은 라디에타소나무(*Pinus radiata*) 톱밥, 균 성장 저해물질인 페놀성 화합물(심재물질)이 다량 함유되어 있어 버섯 생산이 불가능한 것으로 알려져 있으며 비교적 톱밥 생산량이 많은 낙엽송(*Larix leptolepis*) 톱밥을 제재소로부터 분양받아 사용하였다.

2) 야외 발효 톱밥

연구결과의 비교를 위해 협동연구기관인 (주)에스엠바이오에서 큰느타리버섯의 병재배에 사용하고 있는 관행의 미송 야외발효 톱밥을 분양받아 사용하였다.

3) 공시 버섯 균주

병 재배를 위해 느타리버섯(*Pleurotus ostreatus*) 춘추 1호와 큰느타리버섯(*Pleurotus eryngii*)의 톱밥 종균을 분양받아 사용하였다.

나. 실험 방법

1) 톱밥의 전자빔 처리

톱밥을 종류 별로 전자빔 처리 전용 트레이의 상판 용기에 적당량을 얇게 펼쳐 올려놓고 처리 과정 중에 톱밥의 휘산을 방지하기 위하여 비닐로 덮개를 한 후 처리하였다. 전자빔 처리는 협동연구기관인 이비테크(주)에 설치되어 있는 대형의 전자빔 처리 장치를 사용하여 120, 180, 240, 300 kGy의 전자빔 강도 조건에서 실시하였다. <그림 3-1>에 처리 과정을 나타냈다.



<그림 3-1> 톱밥의 전자빔 처리

또한 전자빔 처리의 배지 살균효과를 조사하기 위하여 상법에 준하여 톱밥배지를 제조한 후 전용 플라스틱 배양병에 입병한 후 동일한 전자빔 강도 조건에서 <그림 3-2>에서와 같이 전자빔을 처리하였다.



<그림 3-2> 툽밥 배지 입병 후 배양병의 전자빔 처리

2) 배지 제조 및 종균 접종

전자빔 처리 및 무처리 혼합툽밥, 라디에타소나무 툽밥, 낙엽송 툽밥과 대조구로 사용할 전자빔을 처리하지 않은 야외 발효 미송툽밥에 영양원으로 미강을 용적비율 7(툽밥) : 3(미강)으로 혼합하였다. 배지 함수율을 습량기준 70%로 조절한 후 참여 기업인 (주)에스엠바이오의 현장에 있는 입병기를 사용하여 입병하였다. 입병량은 평균 550g이었으며 입병을 완료한 배지는 현장의 고온고압살균기를 이용하여 살균하였다. 살균이 끝난 배양병은 상온까지 냉각시킨 후 현장의 종균 접종기를 사용하여 느타리버섯 춘추 1호와 큰느타리버섯 툽밥 종균을 접종하여 균사 배양에 공시하였다.



<그림 3-3> 제조한 툽밥 배지의 입병



<그림 3-4> 배양병의 살균(좌)과 공시 버섯균의 종균접종(우)

한편, 전자빔 처리의 살균효과를 조사하기 위해 준비한 배양병은 입병 후 고온고압 살균을 실시하지 않고 참여기업인 이비테크(주)로 옮겨와 전술한 전자빔 처리 조건에서 전자빔 처리를 실시한 다음 종균 접종에 공시하였다. 종균 접종은 현장의 종균 접종기의 잡균 오염의 위험성을 고려하여 종균 접종기를 사용하지 않고 실험실의 클린벤치 내에서 실시하였다.

3) 군사 배양 및 버섯 발생

종균을 접종한 배양병은 온도 25℃, 습도 65%의 배양실 내에서 배양하며 군사가 배양병 전체에 만연될 때까지 소요된 배양일수를 배지 처리 별로 조사하였다. 군사가 만연된 배양병은 계속하여 10일간 후숙시킨 후 균굽기를 실시하였다. 균굽기한 배양병은 수돗물을 사용하여 세척하듯이 관수한 후 느타리버섯의 경우에는 신문지를 덮고 가볍게 물을 뿌려준 후 온도 15℃, 습도 95% 이상, 광량 200Lux의 조건에서 원기발생을 유도하였다. 큰느타리버섯의 경우에는 관수 후에 배양병을 거꾸로 놓고 원기발생을 유도하였다. 원기가 발생된 배양병은 신문지를 걸어 내거나 배양병을 올바르게 세워 놓고 느타리버섯의 경우에는 원기발생과 동일한 환경 조건에서 버섯을 생장시켰다.

한편, 큰느타리버섯의 경우에는 원기 발생을 확인한 후 발생된 원기 중에서 가장 우량한 원기 1개만을 남겨놓고 나머지는 제거하는 숙기 작업을 실시하고 나서 온도 15℃, 습도 약 80%, 광량 200Lux의 조건에 자실체를 생장시켰다.

버섯 수확은 느타리버섯의 경우에는 배양병당 발생한 자실체 수의 50%가 직경 5cm에 도달하는 시점을 수확일로 삼았으며, 큰느타리버섯의 경우에는 수확 적기의 판단이 어려워 갓을 관찰해 가며 육안적으로 갓이 편평하게 퍼지기 직전으로 하였다.

전자빔 처리 유무에 따른 톱밥의 수종 별 버섯의 생육특성은 군사생장속도, 초발이 일수, 1병당 평균 자실체 수, 1병당 자실체 생산량 등으로 조사하여 관행의 미송 발효 톱밥배지와 비교하였으며 모든 처리구는 48반복을 실시하였다.

4) 버섯의 품질 조사

수확한 버섯의 일부를 품질조사에 공시하였다. 아미노산 분석을 위한 버섯은 즉시 동결건조하여 분석 시까지 데시케이터 내에서 보관하였으며 물리적 성질은 버섯

수확 후 바로 측정하였다.

버섯의 아미노산 분석은 수확 직후 동결 건조시킨 느타리버섯 자실체 시료 100g을 분해 병에 넣은 후 6N 염산 40ml를 가하고 질소가스를 주입하였다. 이것을 110℃에서 24시간 가수분해 시킨 후 증발 플라스크에 옮기고 로타리 증발기에 연결하여 50℃에서 염산을 제거하였다. 그 후 증류수로 분해 병을 세척하고 증발 플라스크에 옮기고 다시 증발시켰다. 이 조작을 3회 반복하였다. 증발 건조된 증발 플라스크에 시료 회석 완충용액(pH 2.2)을 소량 가하여 아미노산을 용해시킨 후 여과지(No. 5B)로 여과하여 전체 양을 50ml로 만들어 분석에 공시하였다. 조제한 분석 시료액을 아미노산 분석장치(Hitachi, L-8500 A)를 사용하여 분석한 후 식 (1)에 의하여 시료액 중의 아미노산 함량을 산출하였다.

$$A(\%) = C \times \frac{SA}{ST} \times D \times \frac{M}{W} \times 100 \text{ -----(1)}$$

여기서 *C*: 표준 아미노산의 농도(μmoles/ml)

SA: 시료액의 아미노산 peak 면적

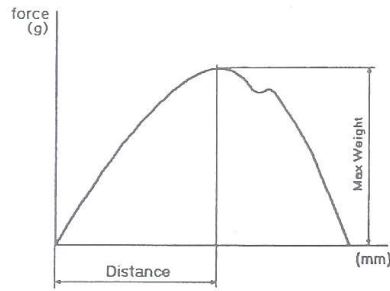
ST: 표준액의 아미노산 peak 면적

D: 회석량(ml)

M: 아미노산 분자량

W: 시료의 중량(g)

버섯의 물리적인 성질은 수확직 후 버섯의 대 중앙 부위를 절취하여 시험에 공시하였다. 물리적인 성질은 버섯 물성측정기(Rheo-Meter, Compac-100)를 사용하여 견고성(strength), 경도(hardness), 응집성(cohesiveness), 반발성(springness), 검성(gumminess), 부서짐성(brittleness) 등을 조사하였다. 분석은 최대하중 10kg, 하중 속도 100mm/min의 조건에서 실시하였다. 각각의 물리적 성질은 식 (2)~(7)에 의하여 산출하였다.



$$S \text{ (g/cm}^2\text{)} = \frac{W}{A} \text{ ----- (2)}$$

여기서 S : 견고성(Strength)

W : 최대 하중(g)

A : 시료 면적(cm^2)

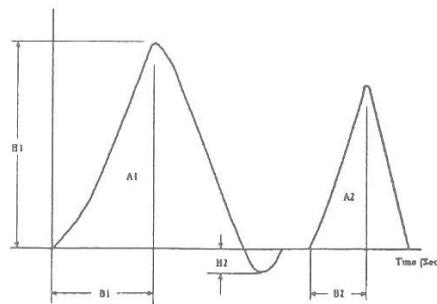
$$H \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{S \times h}{D} \text{ ----- (3)}$$

여기서 H : 경도(Hardness)

S : 견고성(Strength)

h : 시료 높이(mm)

D : 최대하중까지의 거리(mm)



$$C \text{ (%) } = \frac{A_2}{A_1} \text{ ----- (4)}$$

여기서 C : 응집성(Cohesiveness)

$$S (\%) = \frac{B_2}{B_1} \text{ ----- (5)}$$

여기서 S : 반발성(Springness)

$$G (\text{g}) = \frac{W \times A_2}{A_1} \text{ ----- (6)}$$

여기서 G : 검성(Gumminess)

W : 최대하중

$$B (\text{g}) = \frac{W \times A_2}{A_1} \times \frac{B_2}{B_1} \text{ ----- (7)}$$

여기서 G : 부서짐성(Brittleness)

W : 최대하중

3. 결과 및 고찰

가. 공시 버섯 균주의 균사 생장

1) 느타리버섯

전자빔 처리가 느타리버섯 균사의 생육에 미치는 영향을 조사하기 위하여 전자빔 처리 강도별 균사의 만연 일수를 조사하였다. 그 결과를 일반 느타리버섯의 병재배의 배지원료로 사용하는 3개월 야외발효 미송톱밥과 비교하여 <표 3-1>에 나타냈다. 1개 처리구 당 배양병수는 48개(48반복)로 하였으며 개개의 배양병 전체에 균사가 완전히 만연되는 날을 조사, 평균값을 산출하여 비교하였다.

관행의 야외 발효 미송톱밥 배지에서 느타리버섯 균사가 배양병 전체에 완전히 성장하기까지는 평균 16.2일이 소요되었다. 제재소에서 구입하여 사용한 일반 침엽수 톱밥에서의 느타리버섯 균사의 성장속도를 살펴보면, 먼저 낙엽송 톱밥과 리기다소나무, 낙엽송, 라이에타소나무 등 여러 수종이 혼합된 것으로 추정되는 침엽수 혼합톱밥 배지에서는 가장 느린 균사생장 속도를 보였다. 그러나 라이에타소나무 톱밥에서는 발효 미송톱밥 배지에서 보다 평균 1일 빠른 균사 성장을 보여 예상 외의 균사 성장속도를 보였다.

국산 침엽수 중에서 리기다소나무의 경우에는 재중에 수지분이 많이 함유되어 있어 목재 사용상에서도 많은 문제가 있을 정도이다. 낙엽송의 경우에는 수목의 성장 특성 상 심재화가 빨리 진행되는 수종으로 직경이 작은 원목일지라도 80%이상이 심재로 구성되어 있다. 이들 심재에는 탄닌과 같은 페놀성 화합물을 비롯하여 미생물 성장을 저해하는 물질이 다량 함유되어 있어 목재를 가해하는 담자균류인 부후균에 대한 耐朽性이 매우 높은 수종에 속한다.

배지 원료로 사용한 침엽수 혼합톱밥의 경우에 버섯 균사의 생육저해 물질이 다량 함유되어 있는 리기다소나무와 낙엽송과 같은 수종의 톱밥이 섞여 있기 때문에 느타리버섯 균사의 성장속도가 매우 느리게 나타난 것은 당연한 결과이다. 혼합톱밥과 함께 가장 느린 균사 성장속도를 보인 낙엽송 톱밥의 경우에도 동일한 결과이다.

한편 라이에타소나무의 경우에는 뉴질랜드나 칠레에서 수입되는 침엽수로 국내산

침엽수에 비하여 재질이 연하고 수지분도 그다지 많이 함유되어 있지 않아 목재 부후균에 대한 내후성이 가장 작은 수종 중에 하나이다. 따라서 라디에타소나무 톱밥 배지에서 느타리버섯 균사의 생장이 다른 두 종류의 톱밥에 비하여 빠를 것으로 기대는 하였으나 야외 발효를 하지 않았음에도 발효미송 톱밥과 거의 동일한 수준을 보인 것은 의외의 결과로 이에 관해서는 추가적인 연구를 진행할 필요가 있을 것으로 사료된다.

<표 3-1> 침엽수 톱밥 배지에서 느타리버섯 균사의 만연일수

구 분		침엽수 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥	발효 미송톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	19.2±2.3	15.2±1.1	20.2±2.2	16.2±1.5
	120	16.1±0.7	14.5±1.2	13.4±0.7	-
	180	14.4±1.5	14.5±1.1	15.2±1.9	-
	240	15.6±1.5	16.3±0.8	14.7±1.3	-
	300	16.2±1.6	15.7±1.0	15.2±0.8	-

전자빔을 처리한 톱밥 배지에서의 느타리버섯 균사의 성장상태를 살펴보면, 모든 전자빔 처리 조건에서 전자빔을 처리하지 않은 무처리 톱밥 배지에 비하여 균사의 성장속도가 현저하게 향상되어 전자빔 처리 효과가 뚜렷하였으며 특히 낙엽송과 혼합톱밥 배지에서 그 효과가 월등하였다. 또한 전자빔 처리를 함으로써 모든 톱밥배지에서 관행의 야외발효 미송톱밥 배지에서 보다 약간 빠르거나 거의 동일한 수준의 균사성장 속도를 보였다는 것은 매우 우수한 연구결과로 인정할 수 있다.

전자빔 처리 강도 별로 균사의 성장속도를 비교하였을 경우에는 3종류의 톱밥 배지에서 모두 어느 일정한 경향을 보이지 않아 균사성장 속도 측면에서 볼 때 120kGy에서 처리해도 전자빔 처리효과는 충분히 발현될 것으로 판단된다.

이상과 같이 전자빔 처리에 의해 균사의 성장속도가 빨라진 것은 톱밥 중에 함유되어 있는 성장 저해물질이 전자빔에 의해 어떠한 형태로든지 변화되어 균사 성장에 해를 끼치지 않았기 때문으로 생각할 수 있다. 이것은 전자빔 처리 톱밥의 물리 및 화학적 성질 조사(제 1 절 참조)에서도 알 수 있듯이 전자빔 처리 톱밥이 무처

리 톱밥에 비하여 온수 추출물량이 많아진 것으로부터 설명되어 진다.



<그림 3-5> 느타리버섯의 균사 배양

2) 큰느타리버섯

전자빔 처리 및 무처리 톱밥 배지에서서의 큰느타리버섯 균사의 성장속도를 조사하여 <표 3-2>에 나타냈다.

큰느타리버섯의 경우에도 느타리버섯에서의 결과와 거의 일치한 결과를 보였다. 전자빔을 처리함으로써 톱밥 중의 균사 성장 저해물질이 제거 또는 화학적으로 변화되어 버섯 균사의 성장에 어떠한 해도 끼치지 않아 관행의 미송 발효톱밥과 거의 동일한 수준의 균사 성장속도를 보였다.

따라서 이와 같은 결과로부터 앞으로 느타리버섯 또는 큰느타리버섯의 병재배에 있어 전자빔 처리를 효과적으로 활용할 수만 있다면 톱밥 수중에 제한을 받지 않고 거의 모든 수종의 톱밥을 사용할 수 있어 배지 원료 확보의 어려움을 해결할 수 있을 뿐만 아니라 버섯 생산비의 약 60%를 차지하고 있는 배지 원료의 가격 하락을 기대할 수 있어 생산비 절감 효과도 가져올 수 있을 것으로 판단된다.

<표 3-2> 침엽수 톱밥 배지에서 큰느타리버섯 균사의 만연일수

구 분		침엽수 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥	발효 미송톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	29.2±1.4	26.8±3.3	30.2±2.2	25.6±1.4
	120	26.3±1.5	25.6±1.8	26.3±2.6	-
	180	24.1±1.6	25.1±1.2	25.8±2.3	-
	240	25.3±2.1	27.6±2.7	26.1±1.8	-
	300	26.5±1.8	24.2±2.2	27.6±2.2	-

나. 공시 버섯 균주의 자실체 생산

1) 느타리버섯

버섯 균사가 배양병 전체에 만연된 후 추가적으로 10일 동안 후숙시킨 다음 원기 발생을 유도하였다. 각 처리 배지에서 느타리버섯 원기 발생에 소요된 일수를 조사하여 <표 3-3>에 나타냈다.

전자빔 처리 및 무처리 톱밥 배지 간에 차이를 살펴보면, 먼저 무처리 배지에서는 침엽수 혼합톱밥이나 라디에타톱밥 배지에서는 관행의 발효 미송톱밥과 원기발생에 큰 차이를 보이지 않았다. 이와 같은 결과는 균사 만연 후 10일간의 후숙 기간을 두었기 때문에 이 기간 중에 균사가 충분히 성장하여 원기를 발생시킬 수 있을 정도까지 균사생장 및 밀도가 이루어졌기 때문이라고 판단된다. 이를 보다 정확하게 밝히기 위해서는 균사만연 후 후숙 기간을 두지 않고 바로 원기 발생 유도과정에 들어가는 실험을 할 필요가 있다고 생각된다.

한편, 낙엽송 톱밥 배지에서는 침엽수 혼합톱밥이나 라디에타소나무 톱밥과는 달리 가장 늦은 초발이를 보였다. 이것은 전술한 바와 같이 배지 중에 페놀성 화합물인 심재물질과 같은 균 생육 저해물질이 함유되어 있기 때문에 10일간의 후숙기간을 두었음에도 불구하고 균사 생장 뿐 만 아니라 원기발생에 악영향을 미치는 것으로 나타났다.

전자빔 처리 톱밥 배지에서는 모든 처리구에서 극히 일부를 제외하고 관행의 발

효 미송톱밥 배지에서의 초발이 일수와 거의 동일한 결과를 보였다. 또한 관행의 발효 미송톱밥 배지에 비하여 초발이가 늦은 처리구의 경우에도 평균 1일 이상의 차이를 보이지 않았다.

낙엽송 무처리 톱밥 배지를 제외하고 모든 처리구 배지에서 관행의 발효 미송톱밥 배지와 거의 동일한 초발이 일수를 보였으며 이로 인하여 초발이 조사 결과에 의한 전자빔 처리 효과를 구명하기는 어려웠다. 이것은 초발이 일수에 차이가 있다 하더라도 처리구 간에 그 차이가 1일 이하에 불과하여 판단하기가 매우 곤란하기 때문이다.

<표 3-3> 침엽수 톱밥 배지에서 느타리버섯의 초발이 일수

구 분		침엽수 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥	발효 미송톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	5.2±1.2	5.3±0.6	6.3±0.6	5.1±0.5
	120	5.0±0.0	5.1±0.5	5.3±0.6	-
	180	5.5±0.6	5.5±0.8	6.1±0.5	-
	240	5.3±0.9	5.3±0.7	5.6±0.6	-
	300	5.5±0.4	5.4±0.6	5.3±0.9	-

원기 발생 후 갓 직경이 5cm에 달하는 자실체 수가 50% 이상이 되는 시점을 수확일로 하여 각 처리 및 무처리 배지에서의 자실체 수확 일수를 조사하여 <표 3-4>에 나타냈다. 무처리 톱밥 배지의 경우, 균사의 성장속도에서는 관행의 발효 미송톱밥 배지에서의와 거의 동일한 수치를 보였음에도 불구하고 자실체 성장속도는 느린 것으로 조사되었다. 발효 미송톱밥 배지에서는 원기 발생 후 평균 약 5일 만에 자실체를 수확할 수 있었으나 3종류의 전자빔 무처리 톱밥 배지에서는 평균 약 6일에서 7일이 소요되어 버섯 수확을 위해서는 1~2일이 더 필요한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 균사 만연일수 조사 결과에서와 같이 톱밥 중에 함유되어 있는 버섯 균 성장 저해물질에 기인되는 현상이라고 판단되어 진다. 그러나 원기발생에서는 모든 처리구에서 거의 동일한 결과를 보였으나 원기가 성장하여 버섯이 되기까지 필요한 성장기간에 차이가 나타나는 원인을 구명하기 위해서는 보다 자세한

추가적인 연구를 수행해야 할 것으로 생각된다.

한편, 전자빔을 처리한 톱밥 배지에서는 침엽수 혼합톱밥 240kGy 처리와 낙엽송 톱밥 240과 300kGy 처리조건을 제외하고 모든 전자빔 처리 배지에서는 관행의 미송 발효톱밥과 거의 동일한 수확기간을 나타냈다. 이들 결과로부터도 전자빔에 의해 침엽수 톱밥 중에 함유되어 있는 수지를 비롯한 균 성장 저해물질이 다른 물질로 분해되어 저해성을 상실했거나 제거되었을 것으로 추정된다.

<표 3-4> 침엽수 톱밥 배지에서 느타리버섯의 자실체 수확일수

구 분		침엽수 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥	발효 미송톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	6.5±1.5	6.7±1.0	7.6±0.6	5.1±1.3
	120	5.2±0.7	5.4±0.9	5.3±0.8	-
	180	5.1±0.8	5.2±1.2	5.4±0.9	-
	240	6.2±0.6	5.6±1.5	6.2±1.2	-
	300	4.6±0.5	5.7±1.1	6.5±1.8	-

자실체 수확량을 조사하여 <표 3-5>와 <표 3-6>에 나타냈다. 관행의 발효 미송 톱밥 배지와 일반 침엽수 톱밥 간에 배양병 당 수확된 자실체 수를 비교하면, 전자빔 무처리 톱밥에서 가장 적은 자실체가 수확되어 다른 결과와 동일한 결과를 보여 버섯 재배에 부적합한 것으로 나타났다.

한편, 전자빔 처리 톱밥 배지에서의 자실체 수확개수를 관행의 미송발효 톱밥과 비교하면 전자빔 무처리의 경우와는 달리 전자빔 처리의 자실체 증수효과가 나타나 일부의 처리구를 제외하고 미송 발효 톱밥 배지와 거의 동일한 수준의 자실체 수확 결과를 보였다.

자실체 수확 개수 이외에 배양병 당 수확된 자실체의 생중량으로 전자빔 처리효과를 살펴보면, <표 3-6>의 결과와 같다. 무처리 침엽수 톱밥 중에서 다른 2종류의 톱밥에 비하여 비교적 양호한 버섯 군사 생육상태를 보였던 라디에타소나무 톱밥에서는 자실체 수확개수는 관행의 미송 발효톱밥에 비하여 떨어졌으나 수확된 자실체의 평균 생중량에서는 우수한 결과를 보였다. 한편, 낙엽송 무처리 톱밥에서는 가장

수확량이 낮아 관행의 발효 미송톱밥의 1/2 수준에 머물렀다.

<표 3-5> 침엽수 톱밥 배지에서 느타리버섯의 자실체 수확 개수

구 분		침엽수 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥	발효 미송톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	9.5±2.6	12.5±2.9	7.5±3.0	14.3±3.6
	120	12.4±1.0	13.3±3.5	11.2±2.1	—
	180	14.2±2.5	14.2±2.5	10.6±2.1	—
	240	13.6±1.6	12.1±1.7	15.3±3.0	—
	300	12.2±3.1	14.4±2.5	13.6±2.4	—

<표 3-6> 침엽수 톱밥 배지에서 느타리버섯의 자실체 수확량(g/병)

구 분		침엽수 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥	발효 미송톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	76.5± 9.5	95.0±12.7	78.2±11.3	88.5±16.2
	120	88.4±20.0	89.2±13.8	84.6±17.8	—
	180	88.9±19.0	83.5±10.1	87.2±10.2	—
	240	86.3±20.1	84.9±13.5	95.2±12.7	—
	300	91.6±16.9	87.0±10.2	85.1±13.5	—

전자빔 처리 톱밥 배지에서의 수확량을 살펴보면 무처리 톱밥에서와는 달리 관행의 발효 미송톱밥 배지와 거의 동일한 수준의 수확량을 보여 전자빔 처리효과가 나타났다. 이와 같은 결과를 전자빔 처리 톱밥의 물리 및 화학적 특성 조사 결과와 관련시켜 검토해 보면, 전자빔 처리 효과가 잘 설명되어진다.

즉, 일반 침엽수 톱밥에 전자빔을 처리함으로써 온수 추출물이 증가하는 것은 톱밥 중에 함유되어 있던 수용성의 균사 생육 저해 물질이 분해 제거될 수 있다는 것을 나타낸다. 또한 전자빔 처리 톱밥 중에 리그닌을 제거하고 남은 잔사인 홀로셀

룰로오스의 양이 감소한다는 것은 전자빔에 의해 고분자화합물인 셀룰로오스가 저분자화되어 리그닌과 함께 추출되어 버리기 때문이다. 따라서 전자빔 처리 톱밥 중에는 버섯 균이 쉽게 분해 이용할 수 있는 저분자화된 다당류의 양이 증가하고 이와 함께 생육저해 물질도 제거되기 때문에 전자빔을 처리하지 않은 톱밥에 비해서 버섯 균사의 생육이 양호하고 수확량이 많아지는 것으로 판단할 수 있다.



<그림 3-6> 수확 직전의 느타리버섯



미송 발효 톱밥



전자빔 120 kGy 처리



전자빔 180 kGy 처리



전자빔 300 kGy 처리

<그림 3-7> 미송 발효톱밥과 전자빔 처리 라디에타소나무톱밥 배지에서 느타리버섯 자실체 생육



전자빔 무처리



전자빔 120 kGy 처리



전자빔 180 kGy 처리



전자빔 300 kGy 처리

<그림 3-8> 전자빔 무처리 및 처리 낙엽송 톱밥배지에서의 느타리버섯 자실체 생육

2) 큰느타리버섯

균사가 배양병 전체에 만연된 후에 10일간 후숙시킨 다음 큰느타리버섯의 초발이 일수, 수확기간, 수확량 등에 관해서 비교, 조사하였다. 그 결과를 <표 3-7>, <표 3-8>, <3-9>에 각각 나타냈다.

초발이 일수, 자실체 수확일수, 수확량 등이 느타리버섯에서의 결과와 거의 유사한 경향을 보였다. 즉, 전자빔을 처리하지 않은 침엽수 톱밥에서는 원기 발생, 자실체의 수확 시간 및 수확량 등에서 관행의 발효 미송톱밥에 비하여 열등한 결과를 보였다. 그러나 이러한 톱밥에 전자빔을 처리함으로써 버섯 생육상태가 월등하게 향상되어 발효 미강톱밥에 버금가는 결과를 나타냈다.

따라서 느타리버섯 결과에서 전술한 바와 같이 전자빔은 침엽수 톱밥을 수중에 관계없이 느타리버섯 및 큰느타리버섯 재배에 적합한 방향으로 물리 및 화학적 성질을 개선해주는 특성을 가진 것으로 판단되었다.

<표 3-7> 침엽수 톱밥 배지에서 큰느타리버섯의 초발이 일수

구 분		침엽수 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥	발효 미송톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	17.2±2.1	17.6±1.2	19.2±2.1	14.3±1.4
	120	15.2±0.8	14.2±0.5	15.1±1.2	—
	180	14.8±1.3	14.6±0.8	15.4±2.0	—
	240	14.2±1.4	15.2±0.7	14.2±2.1	—
	300	15.1±1.3	14.3±0.6	14.7±1.3	—

<표 3-8> 침엽수 톱밥 배지에서 큰느타리버섯의 자실체 수확일수

구 분		침엽수 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥	발효 미송톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	10.2±3.5	9.4±5.8	15.3±5.9	7.5±1.1
	120	7.6±1.1	6.9±2.1	7.3±2.8	—
	180	6.8±2.2	7.6±3.7	6.9±3.2	—
	240	7.2±1.5	6.5±2.6	7.9±2.6	—
	300	9.2±1.4	6.7±1.4	8.2±1.4	—

<표 3-9> 침엽수 톱밥 배지에서 큰느타리버섯의 자실체 수확량(g/병)

구 분		침엽수 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥	발효 미송톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	40.9± 9.2	44.5±10.1	39.5±11.4	45.7±13.6
	120	41.5±11.3	48.1±10.5	45.2±13.6	—
	180	43.8±10.7	45.1±13.0	44.0±10.8	—
	240	49.5± 9.5	42.9±10.7	44.8±12.3	—
	300	49.3±13.4	45.7±12.0	45.7±16.4	—



<그림 3-9> 수확 직전의 큰느타리버섯

마. 자실체의 품질

1) 아미노산 조성

전자빔 처리 및 무처리 침엽수 톱밥과 관행의 비송 발효톱밥 배지에서 재배한 느타리버섯의 아미노산 함량 분석 결과의 일부를 <표 3-10>, <표 3-11>, <표 3-12>에 나타냈다. 단, 전자빔 처리 톱밥의 경우에는 전자빔 강도 180kGy와 300kGy 처리 배지에서 수확한 버섯에 한해서 분석에 공시하였다. 분석 대상으로 한 아미노산은 15종으로 산성 아미노산 5종(Aspartic acid, Threonine, Serine, Glutamic acid, Proline), 중성 아미노산 5종(Glycine, Alanine, Valine, Iso-leucine, Leucine), 염기성 아미노산 5종(Tyrosine, Phenylalanine, Lysine, Histidine, Arginine)으로 하였다.

산성 아미노산 중에서 Aspartic acid와 Glutamic acid가 느타리버섯 자실체 중에 가장 많이 함유되어 있는 것으로 나타났다. 그 밖에 Threonine과 Serine의 비율은 거의 동일한 수준이었으며 Proline이 가장 적은 비율을 보였다.

톱밥 수종 및 전자빔 처리 강도 별로 산성 아미노산의 함유율을 비교하면 <표 3-10>에서도 알 수 있듯이 어느 일정한 경향을 보이지 않아 처리 간의 차이를 확인하기 곤란하였다. 또한 관행의 발효 미송톱밥에서 수확한 자실체의 산성 아미노산 비율과도 큰 차이를 보이지 않을 뿐 만 아니라 일정한 경향을 파악할 수 없었다. 중성 및 염기성 아미노산 비율에서도 산성 아미노산에서와 같이 모든 처리구 간에 큰 차이를 보이지 않을 뿐 만 아니라 일정한 경향을 파악하기가 곤란하였다. 심지어 생육이 불량했던 전자빔 무처리 톱밥에서 자란 버섯의 아미노산 함량도 생육이 비교적 양호했던 전자빔 처리 톱밥이나 관행의 발효 미송톱밥에서 수확한 자

실체와 큰 차이를 보이지 않았다.

이상의 결과와 같이 톱밥 수종 또는 전자빔 처리 여부가 느타리버섯 자실체의 아미노산 함량에 미치는 영향을 구명하기는 어려웠으나 전자빔 처리가 버섯의 아미노산 함량을 저하시키는 위험은 없는 것으로 판단되었다.

<표 3-10> 침엽수 톱밥 배지에서 재배한 느타리버섯의 산성 아미노산 함량

배지 종류		산성 아미노산(%)					
		Asp	Thr	Ser	Glu	Pro	
전자빔 처리 톱밥 (kGy)	0	혼 합	2.76	1.16	1.13	3.33	0.90
		라디에타	2.76	1.13	1.17	3.31	0.97
		낙엽송	2.81	1.20	1.15	3.29	0.92
	180	혼 합	2.79	1.18	1.15	3.30	0.89
		라디에타	2.83	1.12	1.13	3.41	0.91
		낙엽송	2.81	1.21	1.18	3.38	0.99
	300	혼 합	2.80	1.16	1.17	3.40	0.93
		라디에타	2.79	1.18	1.16	3.42	0.95
		낙엽송	2.81	1.15	1.17	3.39	0.95
발효 미송 톱밥		2.78	1.18	1.17	3.42	0.96	

* Asp: Aspartic acid, Thr: Threonine, Ser: Serine, Glu: Glutamic acid,
Pro: Proline

<표 3-11> 침엽수 톱밥 배지에서 재배한 느타리버섯의 중성 아미노산 함량

배지 종류		중성 아미노산(%)					
		Gly	Ala	Val	Ile	Leu	
전자빔 처리 톱밥 (kGy)	0	혼 합	0.95	1.23	1.04	0.91	1.44
		라디에타	0.92	1.19	1.03	0.93	1.41
		낙엽송	0.89	1.20	1.08	0.89	1.44
	180	혼 합	0.93	1.21	1.11	0.90	1.39
		라디에타	0.94	1.20	1.06	0.87	1.37
		낙엽송	0.96	1.22	1.06	0.86	1.42
	300	혼 합	0.86	1.25	1.07	0.91	1.40
		라디에타	0.89	1.22	1.06	0.88	1.41
		낙엽송	0.90	1.28	1.10	0.85	1.39
발효 미송 톱밥		0.94	1.28	1.08	0.88	1.41	

* Gly: Glycine, Ala: Alanine, Val: Valine, Ile: Iso-leucine, Leu: Leucine

<표 3-12> 침엽수 톱밥 배지에서 재배한 느타리버섯의 염기성 아미노산 함량

배지 종류		염기성 아미노산(%)					
		Tyr	Phe	Lys	His	Arg	
전자빔 처리 톱밥 (kGy)	0	혼 합	0.79	1.01	1.49	0.95	1.88
		라디에타	0.78	1.98	1.51	0.92	1.80
		낙엽송	0.81	1.00	1.51	0.96	1.79
	180	혼 합	0.81	1.04	1.48	0.91	1.77
		라디에타	0.80	1.02	1.51	0.92	1.80
		낙엽송	0.79	1.07	4.53	0.95	1.80
	300	혼 합	0.81	1.03	1.51	0.98	1.79
		라디에타	0.81	1.01	1.49	0.91	1.77
		낙엽송	0.88	1.06	1.50	0.93	1.75
발효 미송 톱밥		0.79	1.02	1.50	0.96	1.79	

* Tyr: Tyrosine, Phe: Phenylalanine, Lys: Lysine, His: Histidine,
Arg: Arginine

각종 톱밥 배지에서 재배한 큰느타리버섯의 아미노산 분석 결과를 <표 3-13>, <표 3-14>, <표 3-15>에 아미노산 종류 별로 각각 나타냈다. 큰느타리버섯의 경우에도 느타리버섯에서와 같이 전자빔 처리 강도 180과 300kGy 처리 톱밥배지에서 재배한 버섯에 대해서만 대표적으로 아미노산 분석을 실시하여 전자빔 무처리 및 관행의 발효 미송 톱밥의 결과와 비교하였다.

15종의 아미노산 함량을 느타리버섯 자실체의 함량과 비교하면, 큰느타리버섯에 비하여 느타리버섯에 각종 아미노산이 배지 종류에 관계없이 많이 함유되어 있는 것으로 나타났다.

한편, 버섯을 재배한 배지 종류 별로 아미노산 함량을 비교 조사한 결과, 느타리버섯에서와 마찬가지로 톱밥의 종류, 전자빔 처리 여부 및 처리 강도 간에 일정한 경향을 찾기가 곤란하였고 차이도 극히 적어 어떤 종류의 배지에서 재배한 버섯에 아미노산 함량이 높다고 단정하기는 극히 곤란하였다.

<표 3-13> 침엽수 톱밥 배지에서 재배한 큰느타리버섯의 산성 아미노산 함량

배지 종류			산성 아미노산(%)				
			Asp	Thr	Ser	Glu	Pro
전자빔 처리 배지 (kGy)	0	혼 합	2.21	0.91	0.94	2.45	0.81
		라디에타	2.10	0.89	0.93	2.40	0.80
		낙엽송	2.35	0.82	0.97	2.41	0.79
	180	혼 합	2.19	0.93	0.92	2.48	0.79
		라디에타	2.12	0.97	0.94	2.40	0.78
		낙엽송	2.29	0.89	0.90	2.43	0.74
	300	혼 합	1.99	0.91	0.89	2.47	0.78
		라디에타	2.23	0.93	0.91	2.38	0.71
		낙엽송	2.14	0.97	0.88	2.41	0.79
발효 미송 톱밥			2.23	0.92	0.98	2.46	0.78

* Asp: Aspartic acid, Thr: Threonine, Ser: Serine, Glu: Glutamic acid,
Pro: Proline

<표 3-14> 침엽수 톱밥 배지에서 재배한 큰느타리버섯의 중성 아미노산 함량

배지 종류		중성 아미노산(%)					
		Gly	Ala	Val	Ile	Leu	
전자빔 처리 배지 (kGy)	0	혼 합	0.86	1.04	0.79	0.81	1.31
		라디에타	0.81	1.10	0.71	0.75	1.28
		낙엽송	0.83	1.09	0.69	0.79	1.26
	180	혼 합	0.79	1.05	0.73	0.80	1.34
		라디에타	0.86	1.07	0.71	0.77	1.29
		낙엽송	0.81	1.06	0.64	0.81	1.33
	300	혼 합	0.85	1.04	0.75	0.79	1.30
		라디에타	0.78	1.02	0.71	0.76	1.27
		낙엽송	0.84	1.08	0.72	0.84	1.31
발효 미송 톱밥		0.87	1.08	0.69	0.80	1.29	

* Gly: Glycine, Ala: Alanine, Val: Valine, Ile: Iso-leucine, Leu: Leucine

<표 3-15> 침엽수 톱밥 배지에서 재배한 큰느타리버섯의 염기성 아미노산 함량

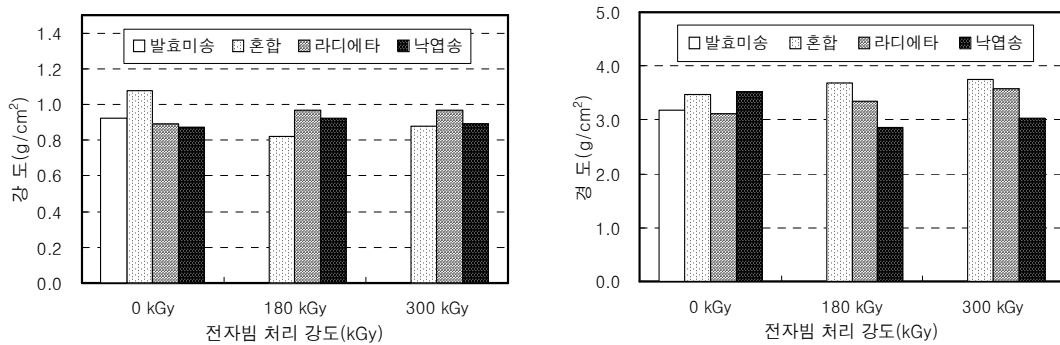
배지 종류		염기성 아미노산(%)					
		Tyr	Phe	Lys	His	Arg	
전자빔 처리 배지 (kGy)	0	혼 합	0.49	0.73	1.26	0.40	1.16
		라디에타	0.50	0.82	1.23	0.42	1.18
		낙엽송	0.53	0.76	1.28	0.38	1.20
	180	혼 합	0.51	0.77	1.30	0.38	1.28
		라디에타	0.48	0.81	1.36	0.41	1.30
		낙엽송	0.46	0.83	1.28	0.38	1.28
	300	혼 합	0.51	0.88	1.35	0.42	1.29
		라디에타	0.48	0.79	1.36	0.44	1.30
		낙엽송	0.46	0.77	1.29	0.40	1.31
발효 미송 톱밥		0.51	0.81	1.36	0.41	1.32	

* Tyr: Tyrosine, Phe: Phenylalanine, Lys: Lysine, His: Histidine,
Arg: Arginine

2) 버섯의 물리적인 성질

전자빔 처리 및 무처리 톱밥 배지에서 재배한 느타리버섯 자실체의 물리적인 성질을 조사하여 <그림 3-10>, <그림 3-11>, <그림 3-12>에 각각 나타냈다. 전자빔 처리 톱밥 배지의 경우, 전자빔 강도 180과 300kGy에 대해서만 대표적으로 물리적 성질을 조사했으며, 이 들 물리적인 성질은 자실체 갓이 아닌 대부분에서 시료를 채취하여 측정하였다.

자실체 조직의 단단함과 치밀함을 나타내는 강도(견고성)와 경도를 살펴보면, 각 처리구 간에 일정한 경향을 보이지 않았다. 특히 관행의 발효 미송톱밥과 전자빔 처리 또는 무처리 톱밥 간에도 강도와 경도 값에 변화가 심하게 나타나 측정된 값을 가지고 톱밥 수종, 전자빔 처리 여부에 따른 버섯 조직의 단단함과 치밀함을 평가하기에는 매우 곤란하였다.

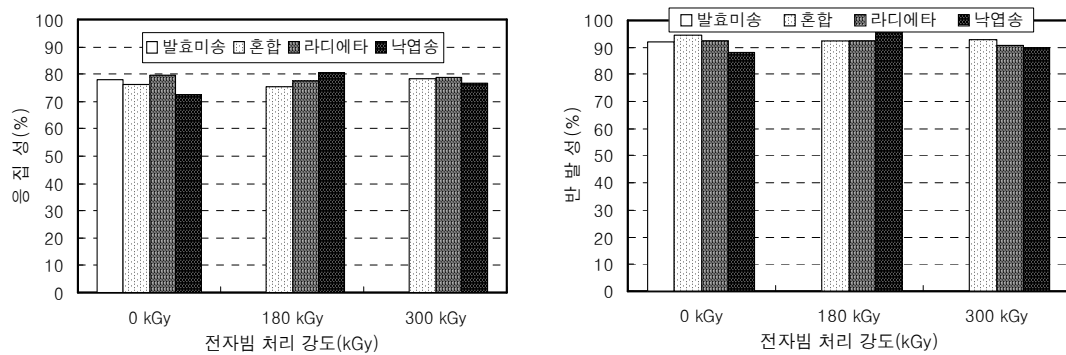


<그림 3-10> 느타리버섯의 강도 및 경도

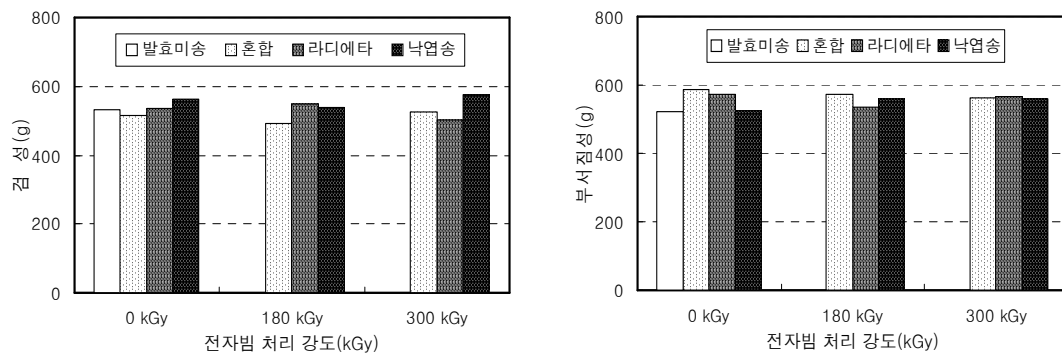
버섯의 응집성과 반발성을 살펴보면 전자빔 처리 톱밥이 관행의 발효 톱밥과 거의 동일하거나 약간 높은 수치를 보여 조직에 차이가 있는 것으로 나타났으나 그 값의 차이가 작고 편차가 심하여 견고성과 경도에서와 마찬가지로 재배에 사용한 배지 원료 차이에 따른 버섯의 응집성과 반발성의 우열을 판단하기는 곤란하였다.

조리 후에 섭취 시 삼키기 쉬운 상태로 분쇄하는데 필요한 에너지를 나타내는 검성의 경우 혼합톱밥을 제외하고 전자빔 처리 톱밥 배지에서 재배한 버섯이 관행의 미송 발효 톱밥으로 재배한 버섯에 비하여 약간 높은 값을 나타냈다. 이와 같이 검성이 증가함으로써 섭취 시에 치아를 이용하여 작은 입자로 분쇄하는데 많은 에너지를 필요로 함에 따라 좋은 육질감을 줄 것으로 판단된다. 또한 어떤 힘이 가해졌

을 때 변형없이 부서지는 성질로 씹을 때 소리 효과를 나타내는 부서짐성도 일부를 제외하고 전체적으로 관행의 미송발포 톱밥에 비하여 약간이나마 높은 값을 나타내 섭취 시에 청각적 효과가 좋을 것으로 추정된다. 그러나 전술한 다른 물리적인 성질에서와 같이 현저한 차이가 나타나지 않고 편차도 심하여 우수성을 단정하기에는 곤란할 것으로 생각되며 이상의 결과로부터 전자빔 처리 톱밥으로 재배한 버섯은 관행의 발효 미송톱밥으로 재배한 버섯에 비하여 물리적인 성질 면에서 뒤떨어지지 않음을 판단할 수 있다.



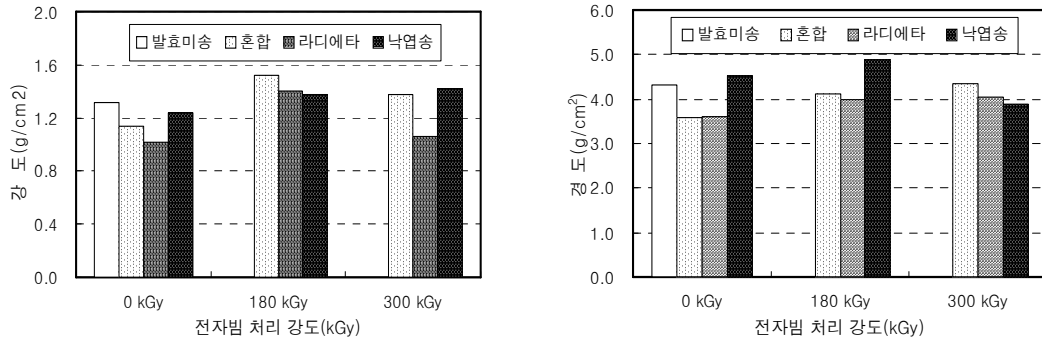
<그림 3-11> 느타리버섯의 응집성과 반발성



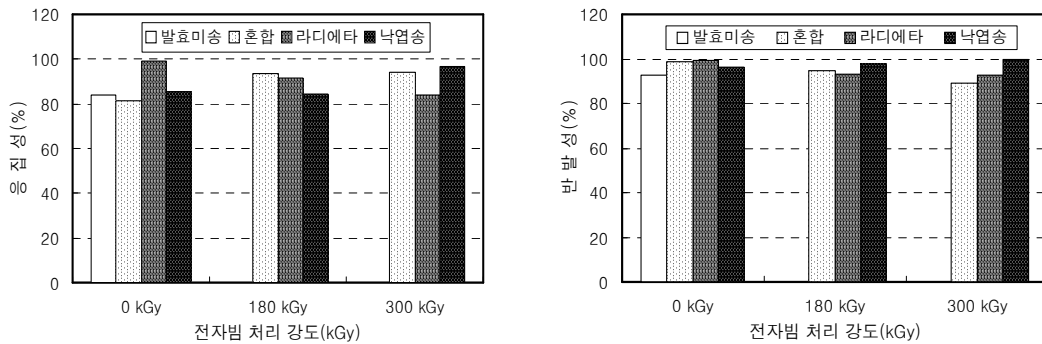
<그림 3-12> 느타리버섯의 검성과 부서짐성

느타리버섯과 동일한 조건의 각종 톱밥 배지에서 병재배한 큰느타리버섯의 물리적인 성질을 조사하여 <그림 3-13>, <그림 3-14>, <그림 3-15>에 각각 나타냈다. 먼저 느타리버섯과의 물리적 성질을 비교하면 큰느타리버섯이 느타리버섯에 비하

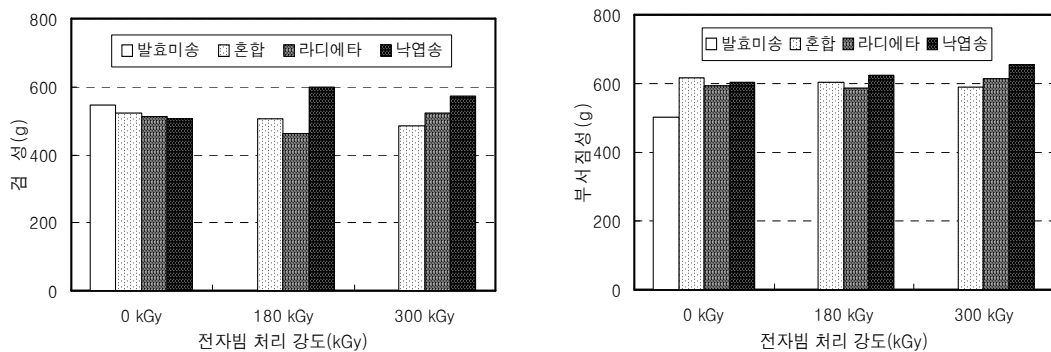
여 강도와 경도를 비롯한 모든 항목에서 높은 값을 나타내어 물리적 성질이 양호한 것으로 나타났다.



<그림 3-13> 큰타리버섯의 강도 및 경도



<그림 3-14> 큰타리버섯의 응집성 및 반발성



<그림 3-15> 큰타리버섯의 검성 및 부서검성

한편, 큰타리버섯에서도 느타리버섯에서와 마찬가지로 관행의 미송발효 톱밥과

전자빔 처리 톱밥 간에 3수종 모두에서 어떤 일정한 경향이 나타나지 않아 각 처리구 간에 버섯의 물리적 성질의 차이를 톱밥의 수종과 전자빔 처리 등 각종 조건과 물리적 성질과의 관계를 구명하는 것은 불가능하였다.

따라서 전자빔 처리가 톱밥의 물리 및 화학적 성질에는 큰 영향을 미치고 더 나아가 이들 톱밥으로 제조한 배지에서의 버섯 균사의 성장이나 자실체 수확 등에는 좋은 효과를 나타내나 수확한 버섯의 품질에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

다. 전자빔 처리의 톱밥 배지 멸균 효과

전자빔의 살균 효과를 버섯 배지 멸균에 활용하기 위해서 배지 제조 후 관행의 고온 증기멸균을 실시하지 않고 처리 강도 120, 180, 240, 300kGy에서 전자빔만을 처리한 후 톱밥 종균(느타리버섯, 춘추 1호)을 접종하여 배양을 실시하였다.

전자빔만을 처리하여 배양한 배양병은 <그림 3-16>에 나타낸 바와 같이 조사 대상 배양병 모두에서 푸른곰팡이에 의한 오염이 발생하여 전자빔의 멸균효과를 달성하지 못하였다. 일반적으로 전자빔의 투과력은 비중 1인 물질의 경우 투과 깊이가 10mm로 알려져 있다. 침엽수 톱밥 배지의 경우 비중은 1에 도달하지 못하지만, 배양병 반지름이 47.5(직경 95mm)mm에 달해 배지 중앙부 내부까지 균일하게 침투하지 못했기 때문에 완전 멸균효과를 발휘하지 못한 것으로 추정된다. 이를 해결하기 위하여 전자빔 강도를 300kGy 이상으로 증가시켜 처리하여 보았으나 높은 강도에서는 배양병이 전자빔에 의해 손상이 발생하는 것으로 확인되어 전자빔 처리에 의한 배지의 멸균은 불가능한 것으로 밝혀졌다.



<그림 3-16> 전자빔 처리 라디에타소나무 톱밥 배지에서의 오염 발생

라. 침엽수 톱밥 병배지의 이병을 조사

느타리버섯 재배 중의 병배지의 오염 발생율을 조사하여 <표 3-16>에 나타냈다. 먼저 톱밥 수종 별로 병 발생비율을 살펴보면, 관행의 발효 미송톱밥 배지에서는 2.1%의 이병율을 보여 비교적 오염 발생이 적었다. 그러나 나머지 3수종의 톱밥 배지에서는 일부 처리구에서는 관행의 미송 발효 톱밥 배지에 비하여 높은 이병율을 보였다. 특히 전자빔 무처리 톱밥 배지의 경우 8.3~12.5%의 이병율을 보였으며 이것은 처리구 당 시험에 공시한 총 배양병 48병 중에서 4~6병 정도에 병이 발생한 것을 의미한다.

전자빔 무처리 톱밥에는 야외 퇴적에 의한 발효 과정을 거치지 않았기 때문에 수지나 심재물질인 페놀성화합물과 같이 버섯 균사 생육 저해물질이 그대로 함유되어 있다. 따라서 이들 배지에서의 버섯 균사의 생장이 원활하게 진행되지 못하여 잡균에 의한 오염 기회가 많아짐에 따라 전자빔 무처리 배지에서 이병율이 높게 나타난 것으로 판단된다. 특히 버섯 균사의 생장속도가 가장 느렸던 낙엽송 톱밥 배지에서 이병율이 가장 높게 나타난 것도 이와 같은 원인에 기인한 것으로 생각된다.

전자빔을 처리한 톱밥 배지에서는 병 발생율이 감소하여 무처리 톱밥 배지에 비하여 현저하게 낮은 병 발생율을 보여 일부를 제외하고 관행의 미송 발효톱밥 배지의 수준에 머물렀다. 이것은 전자빔 처리에 의해 톱밥 중에 함유되어 있던 버섯 균사 생육 저해물질이 제거됨으로써 균사 생육속도가 빨라져 잡균 침입 기회가 적어졌기 때문인 것으로 판단할 수 있다.

<표 3-16> 느타리버섯 재배 중 침엽수 톱밥 병배지의 이병율(%)

구 분		침엽수 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥	발효 미송톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	8.3	10.4	12.5	2.1
	120	2.1	2.1	4.2	-
	180	2.1	2.1	0.0	-
	240	4.2	0.0	6.3	-
	300	4.2	6.3	2.1	-

큰느타리버섯에 대해서도 동일한 방법으로 재배 중에 발생하는 이병율을 조사하여 <표 3-17>에 나타냈다.

먼저 표에서도 알 수 있듯이 느타리버섯에 비하여 큰느타리버섯 재배 과정 중에 병 발생율이 높았다. 또한 느타리버섯 재배와 동일한 조건의 처리구 간에도 큰느타리버섯 배양병에서 높은 이병율을 보였다. 군사 성장 속도를 비교하면 느타리버섯의 경우 전자빔 처리 배지에서 최저 13일에서 최고 16일의 군사 만연일수를 보였으나 큰느타리버섯의 경우에는 최저 24일에서 최고 27일이었다. 따라서 큰느타리버섯 군사 배양 중에 병 발생이 높게 나타난 것은 군사의 성장속도가 느리기 때문에 잠균에 의한 오염 기회가 많아진 것에 기인한다고 생각된다.

큰느타리버섯에서도 느타리버섯 재배 시와 마찬가지로 전자빔 무처리 톱밥 배지에서 가장 높은 이병율을 보였으며 전자빔을 처리함으로써 병 발생이 감소하는 경향을 보였다. 톱밥 수종 간에는 전자빔 무처리의 경우 느타리버섯에서와 같이 버섯 군사성장 속도가 가장 느렸던 낙엽송에서 가장 높은 이병율을 보였으나 전자빔 처리 톱밥배지에서는 침엽수 혼합톱밥 배지에서 비교적 높은 이병율을 보였다.

이상에서와 같이 전자빔 처리한 톱밥 배지에서 버섯 재배 과정 중에 병 발생을 완전히 방지하지는 못하였으나 전자빔 무처리 톱밥 배지에 비해서 병 발생율이 감소한 것은 전자빔의 멸균 효과보다는 전자빔 처리에 의해 배지의 물리 및 화학적 성질이 개선되어 버섯 군사 성장에 유리한 조건으로 변화하였기 때문인 것으로 판단된다.

<표 3-17> 큰느타리버섯 재배 중 침엽수 톱밥 병배지의 이병율(%)

구 분		침엽수 혼합톱밥	라디에타 소나무 톱밥	낙엽송 톱밥	발효 미송톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	16.6	10.4	20.8	4.2
	120	10.4	4.2	10.4	-
	180	4.2	8.3	4.2	-
	240	6.3	4.2	6.3	-
	300	8.3	6.3	2.1	-

4. 결 론

벗짚이나 폐면을 이용한 균상재배에 비하여 톱밥을 이용한 병재배는 고품질의 느타리버섯과 새느타리버섯을 생산할 수 있다. 관행의 톱밥 병재배에서는 배지 주재료인 침엽수 톱밥 중에 함유되어 있는 버섯 군사 생육 저해물질을 제거하기 위해 반드시 야외 퇴적을 실시하고 있다. 또한 톱밥 중에 함유되어 있는 물질에 제한을 받아 비교적 수지와 같은 군사 생육 저해 물질을 적게 함유하고 있는 미송 톱밥 등을 선호하고 있다.

본 연구에서는 톱밥의 수종 제한을 없애고 야외 퇴적 기간을 생략할 수 있도록 톱밥의 재질 개선을 위해 전자빔 처리 기술을 도입하여 배지를 제조한 후 느타리버섯과 큰느타리버섯 병재배를 통하여 가능성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

전자빔을 처리한 톱밥 배지에서의 느타리버섯과 큰느타리버섯 군사의 생장은 전자빔을 처리하지 않은 무처리 톱밥 배지에 비하여 군사의 생장속도가 현저하게 향상되어 전자빔 처리 효과가 뚜렷하였으며 특히 낙엽송과 혼합톱밥 배지에서 그 효과가 월등하였다. 또한 전자빔 처리를 함으로써 모든 톱밥배지에서 관행의 야외발효 미송톱밥 배지에서 보다 약간 빠르거나 거의 동일한 수준의 군사생장 속도를 보여 전자빔 처리가 군사생장에 유효하였다.

전자빔의 버섯 자실체 생산에 미치는 효과를 조사한 결과, 느타리버섯과 큰느타리버섯 모두에서 전자빔 무처리 배지에 비하여 빠른 원기발생 및 자실체 수확, 그리고 자실체 수확량을 보였으며 관행의 미송발효 톱밥배지에서의 결과와 거의 유사하였다.

따라서 첨단기술인 전자빔 처리 기술을 병재배용 톱밥 재질 개선에 도입한다면, 톱밥의 수종제한을 없앨 수 있을 뿐만 아니라 약 3개월에 걸쳐 실시하는 야외퇴적 과정을 생략할 수 있어 배지 재료인 톱밥을 안정적이고 저가로 공급할 수 있어 재배농가의 소득 증대에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단되었다.

재배한 버섯의 품질을 조사하기 위하여 아미노산 함량과 물리적 성질을 조사한 결과 전자빔 무처리 및 처리 톱밥배지, 관행의 미송 발효톱밥 배지 사이에서 크게 유의성이 인정되지 않아 전자빔 처리 또는 무처리가 생산된 배지의 품질에 영향을

미치는 경우는 없는 것으로 판단되었다.

전자빔의 배지 살균효과를 조사한 결과, 배양 중에 모든 배양병에서 푸른곰팡이의 오염이 발생하여 전자빔의 살균효과는 기대하기 어려운 것으로 밝혀졌다.

느타리버섯과 큰느타리버섯을 재배하며 이병율을 조사한 결과 전자빔을 처리하지 않은 그룹에서는 군사생장이 상대적으로 느리게 진행되기 때문에 오염 발생 기회가 높아져 전자빔 처리 및 관행의 미송발효 톱밥 배지에 비하여 이병율이 높았다. 그러나 전자빔을 처리함으로써 군사 생장이 촉진되어 이병율이 감소하는 효과를 나타냈다.

제 4 절 전자빔 처리 폐면을 이용한 느타리버섯의 상자재배

1. 연구목적

느타리버섯의 균상재배용 배지로 가장 많이 사용하는 것은 폐면으로 전량 방글라데시, 파키스탄 등지에서 수입하고 있다. 폐면을 이용한 느타리버섯 재배농가의 증가로 폐면의 수요가 급증함에 따라 수입상들의 무분별한 수입과 산지에서의 국내 업체들 간의 과다경쟁 구매 등이 발생하고 있으며 이는 국내 폐면 가격의 상승요인으로 작용하여 재배농가의 생산비 부담을 증가시키고 있다. 또한 저질의 수입 폐면을 사용한 농가에서는 재배 실패를 초래하는 등 이중으로 막대한 경제적 손실을 입는 경우가 발생하고 있다. 이와 같이 느타리버섯 재배는 배지원료인 폐면의 품질저하와 가격상승으로 재배농가의 생산비 부담이 가중되고 있어 이를 타개할 새로운 재배기술 개발이 요구되고 있다.

폐면을 구성하고 있는 주요 화학성분은 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스와 같은 천연 고분자화합물로 버섯균의 생장에 매우 중요한 영양원 공급원이 된다. 이들 천연 고분자화합물을 버섯균이 영양원으로 이용하기 위해서는 균사 세포막을 통과하여 세포내로 흡수할 수 있을 정도의 작은 분자량을 갖는 수용성 저분자화합물로 분해해야 하며 이를 위해 균사의 효소를 분비하여 저분자화합물로 분해한 후 흡수, 이용하게 된다. 폐면에 다량 함유되어 있는 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스는 버섯 재배과정 중에 버섯균에 의해서 직접 또는 공존하는 다른 미생물에 의해 분해되어 버섯생장의 영양원으로 이용된다.

폐면을 이용한 느타리버섯의 균상재배에서는 재배과정 중에 반드시 폐면의 발효(야외발효, 후발효)과정을 거치게 되는데 발효에 의해 배지의 균일한 수분조절과 연화, 유해한 잡균의 번식 억제 등의 효과도 얻을 수 있지만, 그 이외에도 셀룰로오스 등이 분해되어 버섯균이 쉽게 흡수, 이용할 수 있게 된다. 폐면 재배에서 발효와 같은 효과를 얻을 수 있는, 즉 셀룰로오스의 고분자 결합구조를 인위적으로 절단하여 저분자화 시킬 수 있는 방법을 버섯 재배에 적용한다면 생산성을 향상시킬 수 있다.

전자빔은 다른 전자파에 비하여 높은 에너지를 갖기 때문에 물체에 대한 높은 투

과성을 나타내 조사된 물체 내부에서는 분자 간의 결합을 끊어주는 특징을 가지고 있다. 따라서 고분자 다당류로 구성되어 있는 느타리버섯 재배용 폐면에 전자빔을 처리한다면 버섯 균이 보다 쉽고 빠르게 이용할 수 있는 저분자 물질로 변환될 수 있어 버섯 생산성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 전자빔을 처리한 폐면을 이용하여 느타리버섯의 상자재배를 실시하고 버섯 생산성에 미치는 전자빔 처리 효과 및 최적의 전자빔 처리조건을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 재료

1) 폐면

버섯재배 농가로부터 느타리버섯 상자 재배용 방울 솜 100kg을 구입하여 사용하였다. 폐솜의 함수율은 약 14.3%로 기건상태였다.

2) 야외 발효 폐면

버섯 재배농가로부터 상법에 준하여 야외 발효시킨 폐면 배지를 분양받아 전자빔 처리 배지에서의 버섯 균사의 생육상태와 비교하기 위하여 대조구로 사용하였다.

3) 공시 버섯 균주

폐면 상자 재배를 위해 춘추느타리 1호 품종의 톱밥 종균을 종균 배양소로부터 구입하여 사용하였다.

나. 실험 방법

1) 폐면의 전자빔 처리

구입한 방울 솜을 수작업으로 균일한 크기로 솜 털기를 실시한 후 전자빔 처리 과정 중에 폐솜의 휘산을 방지하기 위하여 크기 40×60cm의 지퍼 팩에 넣고 전자빔을 처리하였다.

전자빔 처리는 협동연구기관인 이비테크(주)에 설치되어 있는 대형의 전자빔 처리 장치를 사용하였다. 처리는 60, 120, 180, 240, 300 kGy의 전자빔 강도 조건에서 자동 운반 트레이에 준비된 폐면 시료를 올려놓고 실시하였으며 <그림 4-1>에 처리 장면을 나타냈다.



<그림 4-1> 폐면의 전자빔 처리 장면

2) 배지 제조

전자빔 처리 및 무처리 폐면을 수도수를 사용하여 습량기준 함수율이 약 80%가 되도록 수분을 조절한 다음 비닐봉지에 넣고 온도 90℃에서 3시간 동안 상압 살균 하였다. 살균이 끝난 배지는 상온에 방치하여 냉각시킨 후 크기 38(가로)×38(세로)×10(높이)cm의 재배용 플라스틱 상자에 담아 종균 접종 및 배양에 공시하였다. 상자 1개 당 배지의 중량은 10kg으로 하였으며, 1 처리 조건 당 7개의 상자배지를 준비하여 실시하였다.

3) 버섯 균주의 접종 및 배양

살균 및 냉각이 끝난 배지를 청결하게 세척해 놓은 재배용 상자에 약 10kg씩 담은 후 배지 표면 위에 느타리버섯 톱밥 종균을 오염되지 않도록 주의 깊게 접종하였다. 종균 접종량은 배지 상자 1개 당 약 200g씩으로 하였다.

종균 접종이 끝난 배지는 뚜껑을 덮은 후 배양실로 옮겨 온도 25±1℃, 습도 65%의 조건에서 균사 배양을 실시하였다.

4) 버섯의 생장특성 조사

배지 상자에 균사가 완전히 만연된 후 추가로 1주일 간 후숙시킨 다음 관수를 실시하고 온도 15℃, 광량 200Lux, 상대습도 95% 이상의 환경 조건에서 발이를 유도하였다. 갓 직경이 5cm 이상 되는 자실체가 전체 자실체의 약 50% 이상이 되는 시점을 자실체 최초 수확일로 하였으며 수확은 모든 처리구에 있어서 3회까지 하여 비교하였다. 4회부터는 수확에 소요되는 기간도 길고 수확량도 급격하게 떨어졌기 때문이다. 무처리와 전자빔 처리 배지에서의 공시 버섯의 생장특성은 균사 만연일수, 초발이 일수, 자실체 수확일수, 자실체 수확량 등에 근거하여 비교, 조사하였다.

5) 버섯의 품질 조사

제 3 절의 톱밥 병재배한 느타리버섯과 큰느타리버섯의 아미노산과 물리적 성질 조사 방법과 동일한 방법으로 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 공시 버섯 균주의 균사 생장

전자빔 처리 및 무처리 폐면 배지와 발효 폐면 배지에서의 느타리버섯의 생육상태를 조사한 결과를 <표 4-1>에 나타냈다. 버섯 균사의 생장속도를 조사한 결과를 살펴보면, 재배상자 밑바닥까지 균사가 완전히 만연되기까지 전체 배지 종류에서 평균 약 13~15일이 소요되는 것으로 나타났다. 보통 재배농가에서 폐면 상자 재배시 느타리버섯 균사의 생장기간은 14~20일인 것으로 알려지고 있다. 따라서 전자빔 처리 및 무처리, 발효배지에서의 결과들은 느타리버섯 상자 재배에서의 균사 생장기간과 거의 일치하는 것을 알 수 있다.

전자빔 처리 및 무처리 배지 간에 균사 생장속도를 비교하면 전자빔을 처리하지 않은 배지에서는 전자빔을 처리한 배지에 비하여 균사생장이 느려 가장 긴 균사 만연일수를 보였다. 전자빔을 처리한 배지에서의 경우, 전자빔 처리 강도 차이에 따른 균사 생장속도를 비교하면 전체적으로 뚜렷한 차이는 보이지 않았으나 전자빔 강도 120kGy로 처리한 배지를 제외하고 전자빔 강도가 강해질수록 균사의 생장속도가 다소 빨라지는 경향을 보였다.

<표 4-1> 폐면 배지에서의 느타리버섯 생육상태

배지 종류		균사 만연일수	초발이 일수	자실체 수확일수
전자빔 처리 배지 (kGy)	0	15.2±0.8	5.0±0.7	3.4±0.5
	60	13.0±0.7	4.4±0.5	3.0±0.7
	120	14.0±1.6	4.2±0.4	3.8±0.8
	180	13.6±0.9	4.4±0.5	3.6±0.5
	240	12.6±1.5	4.0±0.7	3.8±1.3
	300	12.8±0.8	4.6±0.5	3.2±0.8
발효배지		13.0±0.7	4.2±0.8	3.8±0.8

전자빔 처리 배지와 관행의 발효배지에서의 균사 성장속도를 비교하면, 전자빔 강도 60~180kGy에서는 발효 배지보다 약간 늦거나 거의 동일한 수준을 보였으나 전자빔 강도 240과 300kGy에서는 다소 빠른 균사성장 속도를 보였다.

이상의 결과로부터 전자빔 처리 배지에서는 관행의 야외발효 배지에서와 거의 동일하거나 약간 빠른 균사성장속도를 보여 전자빔 처리를 실시함으로써 야외발효 단계를 생략할 수 있어 버섯 수확기간을 단축할 수 있을 것으로 판단되었다.

이와 같이 전자빔을 처리한 배지에서 일반 관행의 발효 배지에서와 같이 빠른 균사 성장속도를 나타낸 것은 전자빔에 의해 폐면에 함유되어 있는 셀룰로오스를 비롯한 다당류들이 분해되어 버섯 균사들이 영양원으로써 이용하기 쉬운 형태로 변화되었기 때문으로 추정할 수 있다. 전자빔 처리 폐면의 화학분석 결과(표2-2)에서도 알 수 있듯이 전자빔 처리에 의해 수분 가용성의 온수 추출물이 증가하였고 리그닌을 제거하고 남은 잔사인 홀로셀룰로오스의 함량이 감소하였다. 이것은 전자빔 처리에 의해 폐면 내에 저분자량의 물질이 많이 생산된 것을 의미한다. 또한 전자빔 처리 강도가 강해질수록 셀룰로오스 중에서 중합도가 높은(셀룰로오스 chain이 긴 것을 의미) α -셀룰로오스의 비율이 감소하고, 반면에 저분자인 β -셀룰로오스의 비율이 증가하였다. 이들 모두의 현상들은 전자빔에 의해 고분자의 셀룰로오스 chain이 절단되어 저분자화 된다는 것을 의미한다. 따라서 느타리버섯 균사들이 영양원으로 이용할 수 있는 저분자 물질들이 전자빔을 처리함으로써 배지 중에 많이 생산되어 균사의 성장속도를 촉진시켰을 것으로 판단할 수 있다.

나. 공시 버섯의 원기발생

균사가 재배 상자에 완전히 만연된 후 1주일간 후숙시킨 다음 관수를 실시하고 원기 발생을 유도하였다. <그림 4-2>는 원기발생을 유도하는 재배사 내부의 광경을 나타낸 것이다.

원기발생에 소요된 초발이 일수를 조사하여 <표 4-1>에 나타냈다. 표에서도 알 수 있듯이 전자빔을 처리하지 않은 배지에서 원기발생이 가장 늦게 나타났고 전자빔을 처리한 배지와 발효배지에서는 거의 동일한 기간 내에 원기가 발생된 것을 알 수 있다. 전자빔 처리 강도 간에 있어서 초발이 일수에서는 거의 차이가 나타나지 않고 평균 4.5일이 소요되었다.

무처리 배지에 비하여 전자빔 처리 배지에서 원기발생이 빨랐던 이유는 전술한 바와 같이 전자빔 처리에 의하여 배지 중에 영양원으로 쉽게 흡수할 수 있는 저분자 물질이 많이 생산됨으로써 균사의 생장이 촉진되고 균사의 밀도가 증가하였고 이들 결과가 빠른 원기발생으로 이어진 것으로 생각할 수 있다.



<그림 4-2> 느타리버섯의 원기발생 유도 광경

다. 자실체 수확

각 폐면 배지에서의 자실체 수확일수 및 수확량 등을 조사하여 전자빔 처리효과를 비교하였다. 발생한 자실체의 50%이상이 갓 직경이 약 5cm에 이르는데 소요된 시간을 수확일수로 하여 조사한 결과를 <표 4-1>에 나타냈다. 일정 크기의 자실체를 수확하는데 걸린 기간은 최소 3일에서 최대 3.8일을 나타냈으며 모든 배지에서 1일 이상의 차이를 보이지 않았다. 따라서 전자빔 처리에 의한 자실체 수확일의 단축 효과는 나타나지 않았으며 관행의 발효배지와 전자빔 처리 및 무처리 배지 간에 있어서 버섯 수확일에는 크게 차이가 발생하지 않았다.

<표 4-2>는 상자 1개당 수확된 자실체 수를 나타낸 것으로 7개 상자 배지의 평균값이다. 전자빔을 처리한 폐면 배지와 관행의 발효 배지에서는 1차 수확 때부터 많은 수의 자실체가 수확되어 초기 수확율이 높았으나 전자빔을 처리하지 않은 배지에서는 전자빔 처리 또는 발효 배지의 50% 수준에 불과하였다. 한편 전자빔 처리 배지에서는 3회째 수확부터 자실체 수가 급격하게 감소하는 경향을 보였다. 이와

같은 현상은 전자빔 처리에 의해 폐면을 구성하고 있는 고분자의 다당류(셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 등)가 저분자화됨으로써 버섯 균사들이 배양 초기부터 이들 성분을 이용하여 생육이 빠르게 진행되었기 때문이라고 생각되어진다. 그러나 전자빔을 처리하지 않은 배지와 관행의 발효 배지에서는 자실체 수확 개수의 감소 경향이 뚜렷하지 않았다. 이것은 폐면을 구성하고 있는 고분자 물질들이 버섯 균사의 생장과 함께 서서히 분해, 이용되기 때문에 나타나는 현상이라고 판단할 수 있다.

3회에 걸쳐 수확된 총 자실체 개수를 비교하면, 전자빔 강도 240kGy 처리 배지가 관행의 발효 배지와 거의 동일한 자실체 수확 개수를 보였으나 1회 수확 시의 자실체 개수는 관행의 발효 배지에 비하여 현저하게 많았다. 그러나 3회째 수확부터는 다른 배지에 비하여 자실체 수가 뚜렷하게 감소하는 경향을 보였다.



<그림 4-3> 상자 폐면 배지에서의 느타리버섯 자실체 발생

<표 4-3>은 각 처리 상자 배지에서 수확된 느타리버섯의 수확량을 조사하여 나타낸 것이다. 전자빔 처리 강도 별 버섯 수확량을 비교하면 240kGy의 배지에서 가장 많은 버섯 수확량을 보였다. 특히 자실체 수확 개수가 많았던 1회째 수확에서 자실체 수확량도 가장 많아 초기 수확률이 매우 높은 것을 알 수 있다. 이어서 전자빔 강도 300kGy 처리 배지에서 많은 자실체 수확량을 나타냈다. 이들 배지에서의 자실체 수확량을 관행의 발효 배지에서의 수확량과 비교하면 자실체 수확개수는 거의 동일하거나 약간 적었어도 수확량 면에서는 뚜렷하게 증가한 것을 알 수 있다. 이것은 전자빔 처리 배지에서 느타리버섯의 생육이 빨리 진행된다는 것을 의미한다.

다. 따라서 전자빔 처리가 느타리버섯의 생육에 유리하게 작용한다는 사실을 알 수 있다. 이것은 전자빔을 처리하지 않은 배지에서는 자실체 수확 개수나 수확량 면에서 전자빔 처리 배지나 관행의 발효 배지에 비하여 가장 열등한 결과를 보인 것으로부터도 설명할 수 있다.

폐면을 이용한 느타리버섯의 균상재배나 상자재배에서 폐면을 발효시키는 이유는 수분을 조절하고 호기성 미생물의 생장을 촉진시킴으로써 폐면의 물리적 성질을 개선시켜 느타리버섯 균사의 생장에 양호한 조건을 만들어 주기 위함이다.

이상의 결과에서와 같이 전자빔 처리 배지가 관행의 발효 배지보다 느타리버섯 생산에서 우수한 결과를 보임으로써 폐면의 야외 발효를 대체할 수 있을 것으로 판단되며, 이것은 야외발효 과정을 생략함으로써 버섯 재배기간이 단축되어 생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

<표 4-2> 폐면 배지에서 느타리버섯의 자실체 수확 회수와 자실체 수

배지 종류		자실체 수/상자			
		1회	2회	3회	합계
전자빔 처리 배지 (kGy)	0	7.2± 4.3	14.4± 5.8	12.8± 4.8	34.4
	60	21.2± 9.4	13.7± 6.2	12.4± 7.2	47.3
	120	14.5± 6.9	13.1± 5.2	10.6± 6.6	38.2
	180	19.2± 2.1	8.3± 4.1	8.9± 6.7	36.4
	240	29.9±12.9	18.2±10.1	8.8± 3.6	56.9
	300	16.3± 9.8	18.3± 7.2	15.5± 7.3	50.1
발효배지		21.3±16.1	16.6± 9.6	18.5±14.2	56.4

<표 4-3> 폐면 배지에서 느타리버섯의 자실체 수확 회수와 수확량

배지 종류		자실체 생중량(g)/상자			
		1회	2회	3회	합계
전자빔 처리 배지 (kGy)	0	61.9± 46.2	130.2± 61.8	110.3±37.5	302.4
	60	147.5± 88.9	106.3± 35.4	77.0±44.5	330.8
	120	116.1± 67.5	123.6± 52.1	93.7±60.8	333.4
	180	183.6± 38.3	107.8± 86.1	83.7±58.3	375.1
	240	435.9±267.2	202.5±200.1	88.8±66.0	727.2
	300	205.4±122.7	220.3±163.1	129.2±83.9	554.9
발효배지		162.0± 16.1	104.4± 45.5	158.2±96.7	424.6

마. 자실체의 품질

1) 버섯의 아미노산 조성

전자빔 처리 및 무처리 배지와 관행의 발효배지에서 재배한 느타리버섯의 아미노산 함량을 분석하여 <표 4-4>, <표 4-5>, <표 4-6>에 나타냈다. 분석 대상으로 한 15종의 아미노산 중에서 Aspartic acid, Threonine, Serine, Glutamic acid, Proline은 산성 아미노산, Glycine, Alanine, Valine, Iso-leucine, Leucine은 중성 아미노산, Tyrosine, Phenylalanine, Lysine, Histidine, Arginine은 염기성 아미노산에 각각 속한다.

자실체 중에 함유되어 있는 산성 아미노산의 비율을 살펴보면 배지 종류에 관계 없이 Glutamic acid와 Aspartic acid가 가장 많은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 처리 조건 별로 산성 아미노산의 함유량 차이를 조사한 결과, <표 4-4>에서도 알 수 있듯이 배지의 처리 조건에 따라 어느 일정한 경향을 보이지 않아 전자빔 처리가 버섯의 아미노산 함량 변화에 미치는 영향은 불명확하였다.

그 밖에 <표 4-5>와 <표 4-6>에 나타낸 바와 같이 중성과 염기성 아미노산 비율에서도 산성 아미노산에서와 거의 동일한 경향을 보여 배지 종류의 차이에 따른 생산된 버섯의 아미노산 함량의 차이 유무를 확인하기는 곤란하였다.

특히 관행의 발효배지에서 재배한 자실체와 비교하였을 경우 아미노산 종류에 따

라 전자빔 처리 배지에서 재배한 자실체에서 높거나 낮은 아미노산 함유율을 보여 배지에 처리하는 전자빔이 생산되는 버섯의 영양원 함유량 변화에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단할 수 있다. 또한 배지 종류 별로 아미노산 종류에 따라 차이가 있다하더라도 대부분 0.1% 단위 수준에 그쳐 재배에 이용한 배지 종류의 차이에 따른 아미노산의 함량 차이는 거의 없다고 판단할 수 있다. 따라서 이와 같은 결과로부터 전자빔을 처리한 폐면 배지로 버섯을 재배하더라도 버섯의 영양가치의 저하는 없는 것으로 판명됨에 따라 버섯 생산량 및 재배기간 등을 고려하면, 느타리버섯 폐면 재배에 전자빔 처리 기술을 도입하는 것은 매우 유용할 것으로 생각된다.

<표 4-4> 폐면 배지에서 재배한 느타리버섯의 산성 아미노산 함량

배지 종류		산성 아미노산(%)				
		Asp	Thr	Ser	Glu	Pro
전자빔 처리 배지 (kGy)	0	2.53	1.18	1.19	3.19	0.90
	60	2.62	1.21	1.18	3.22	0.94
	120	2.71	1.17	1.16	3.18	0.91
	180	2.42	1.22	1.18	3.21	0.93
	240	2.68	1.17	1.21	3.16	0.87
	300	2.51	1.20	1.13	3.20	0.89
발효배지		2.56	1.18	1.18	3.18	0.91

* Asp: Aspartic acid, Thr: Threonine, Ser: Serine, Glu: Glutamic acid,
Pro: Proline

<표 4-5> 폐면 배지에서 재배한 느타리버섯의 중성 아미노산 함량

배지 종류		중성 아미노산(%)				
		Gly	Ala	Val	Ile	Leu
전자빔 처리 배지 (kGy)	0	0.94	1.29	1.05	0.91	1.40
	60	0.96	1.31	1.06	0.87	1.40
	120	0.92	1.27	1.09	0.89	1.43
	180	0.97	1.30	1.11	0.91	1.38
	240	0.90	1.24	1.10	0.89	1.40
	300	0.92	1.26	1.06	0.92	1.42
발효배지		0.94	1.27	1.07	0.93	1.45

* Gly: Glycine, Ala: Alanine, Val: Valine, Ile: Iso-leucine, Leu: Leucine

<표 4-6> 폐면 배지에서 재배한 느타리버섯의 염기성 아미노산 함량

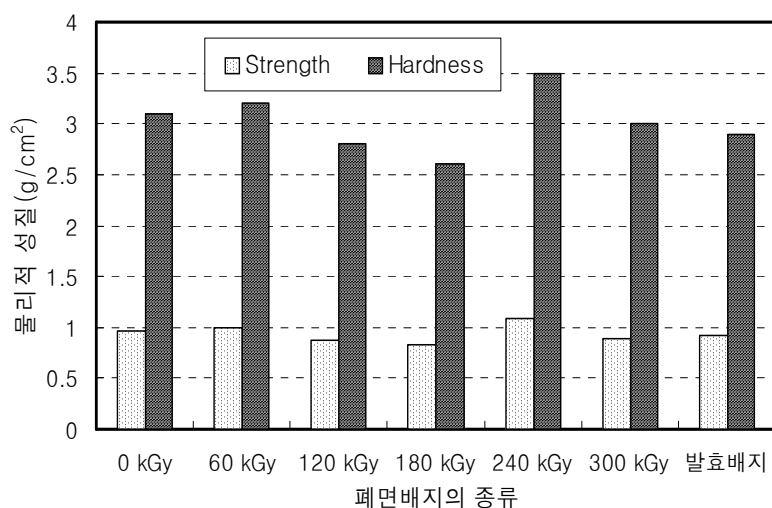
배지 종류		염기성 아미노산(%)				
		Tyr	Phe	Lys	His	Arg
전자빔 처리 배지 (kGy)	0	0.79	0.98	1.51	0.90	1.86
	60	0.77	1.00	1.46	0.91	1.86
	120	0.79	1.02	1.52	0.93	1.86
	180	0.78	1.01	1.50	0.89	1.82
	240	0.79	1.00	1.47	0.97	1.79
	300	0.81	1.01	1.49	0.93	1.80
발효배지		0.79	1.01	1.54	0.95	1.86

* Tyr: Tyrosine, Phe: Phenylalanine, Lys: Lysine, His: Histidine,
Arg: Arginine

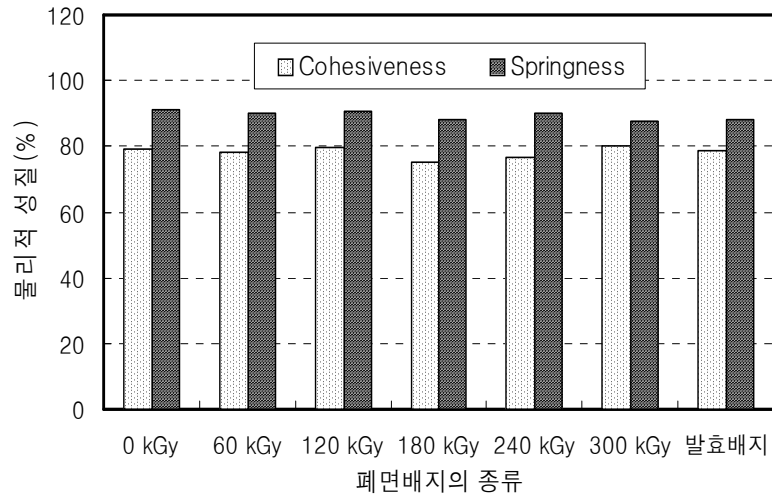
2) 버섯의 물리적인 성질

전자빔 처리 및 무처리 폐면과 발효 폐면 배지로 재배한 느타리버섯의 조직 특성 차이를 밝히기 위하여 물리적 성질을 조사하여 그 결과를 <그림 4-4>, <그림 4-5>, <그림 4-6>에 각각 나타냈다.

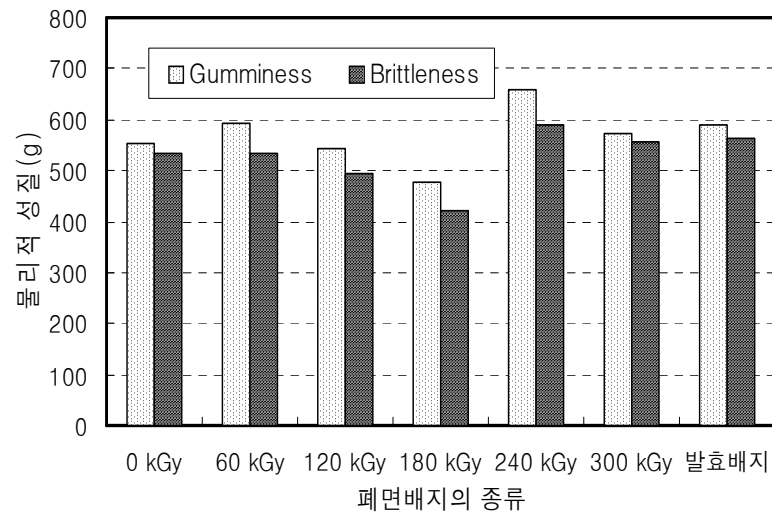
견고성(강도)과 경도는 어떤 물질의 변형에 대한 저항성, 즉 주어진 변형을 일으키는데 필요한 힘으로 나타낸다. 재배에 사용한 폐면 배지의 종류 간에 이들 성질을 비교하면 전자빔 강도 240kGy로 처리한 배지에서 수확한 버섯에서 가장 높은 수치를 나타냈다. 견고성은 버섯의 단위 면적 당 하중에 견디는 힘을 나타내기 때문에 수치가 높을수록 조직이 단단하다는 것을 의미한다. 경도는 버섯의 표면으로부터 일정 깊이까지 누르는데 필요한 힘을 나타내기 때문에 값이 클수록 역시 조직이 치밀함을 의미한다고 할 수 있다. 따라서 이들 결과로부터 전자빔 강도 240kGy 처리 배지에서 수확한 느타리버섯이 비교적 다른 버섯에 비하여 조직이 단단하고 치밀하다고 할 수 있다. 이와 같은 결과는 버섯의 생육이 비교적 다른 전자빔 처리 강도나 발효 폐면배지에서 보다 양호했기 때문인 것으로 판단되나 이를 보다 명확하게 밝히기 위해서는 추가적으로 세밀한 조사가 필요할 것으로 생각된다.



<그림 4-4> 폐면배지에서 재배한 느타리버섯의 강도와 경도



<그림 4-5> 페면배지에서 재배한 느타리버섯의 응집성과 반발성



<그림 4-6> 페면배지에서 재배한 느타리버섯의 검성과 부서짐성

버섯의 응집성과 반발성을 살펴보면 <그림 4-5>에서도 알 수 있듯이 배지 종류 간에 큰 차이를 보이지 않고 차이가 있다 해도 그 값이 크지 않아 재배에 사용한 배지 원료 차이에 따른 버섯의 응집성과 반발성의 우열을 판단하기는 곤란하였다.

조리 후에 섭취 시 삼키기 쉬운 상태로 분쇄하는데 필요한 에너지를 나타내는 검

성의 경우, <그림 4-6>에서와 같이 전자빔 처리 강도 240kGy 배지에서 재배한 버섯이 다른 배지에서 재배한 버섯에 비하여 상대적으로 높은 값을 나타냈다. 이와 같이 검성이 증가함으로서 섭취 시에 치아를 이용하여 작은 입자로 분쇄하는데 많은 에너지를 필요로 함에 따라 좋은 육질감을 줄 것으로 판단된다. 또한 어떤 힘이 가해졌을 때 변형 없이 부서지는 성질로 씹을 때 소리 효과를 나타내는 부서짐성도 동일한 배지에서 재배한 버섯에서 높은 값을 나타내 섭취 시에 청각적 효과가 좋을 것으로 추정된다. 그러나 전술한 다른 물리적인 성질에서와 같이 현저한 차이가 나타나지 않고 편차도 심하여 우수성을 단정하기에는 곤란할 것으로 생각되며 이상의 결과들로부터 전자빔 처리 폐면으로 재배한 버섯은 관행의 발효 폐면으로 재배한 버섯에 비하여 물리적인 성질 면에서 적어도 뒤떨어지지 않는 것으로 나타났다.

4. 결 론

전자빔의 물체에 대한 높은 투과성과 물체 내부에서 분자 간의 결합을 절단해 주는 특징을 이용하여 고분자의 다당류를 함유하고 있는 폐면에 전자빔을 처리하여 느타리버섯 균사가 보다 쉽게 이용할 수 있는 저분자 물질로의 변환을 시도하였다. 전자빔의 폐면에 대한 저분자화 효과를 확인하기 위해 전자빔 강도를 달리하여 처리한 폐면을 이용하여 느타리버섯 상자재배를 실시하고 버섯 균사의 성장속도와 자실체의 수확량 및 품질 등을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

전자빔 처리 배지에서의 느타리버섯 균사의 성장속도는 일부를 제외하고 전자빔 처리 강도 240kGy와 300kGy에서는 관행의 발효 배지에서의 균사 성장속도와 동일하거나 약간 빠른 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 전자빔 처리에 의해 폐면 중에 함유되어 있는 셀룰로오스를 비롯한 고분자 다당류가 저분자 상태로 절단됨으로써 버섯 균사가 보다 빨리 분해 이용할 수 있어 균사 생장이 촉진되었기 때문인 것으로 판단하였다.

버섯의 초발이 일수를 비교한 결과, 균사 성장속도와는 달리 전자빔 처리 배지와 관행의 발효 배지 사이에 큰 차이는 나타나지 않았다. 그러나 전자빔을 처리하지 않은 배지에서는 가장 늦은 원기 발생을 보였다.

자실체 수확일수에 의한 전자빔 처리 효과를 조사한 결과, 발효 배지와 사이에

서 초발이 일수와 마찬가지로 큰 차이는 보이지 않았다. 이와 같이 초발이 일수나 자실체 수확 일수에서 큰 차이를 인정할 수 없는 것은 모든 처리 간에서 0.5일 이하의 차이를 나타내기 때문이다.

자실체 수확량을 조사한 결과, 균사 성장속도가 가장 빨랐던 전자빔 강도 240kGy와 300kGy 처리 배지에서 비교적 많은 자실체 수확 개수와 수확량을 보였다. 이들 처리 배지에서는 관행의 발효배지에서 보다 우수한 결과를 보여 전자빔 처리 효과를 확인할 수 있었다.

생산된 버섯의 품질을 비교한 결과, 전자빔 처리 배지와 관행의 발효 배지 간에 15종의 아미노산 함량이나 강도, 경도, 응집성 등과 같은 물리적인 성질에서 일정한 경향이나 뚜렷한 차이가 나타나지 않아 전자빔 처리에 의해 느타리버섯의 성장과 자실체 발생이 촉진된다 해도 버섯 품질에는 큰 영향이 없는 것으로 판단되었다.

따라서 이상의 결과로부터 전자빔 처리에 의해 폐면의 야외 발효 과정을 생략할 수 있어 버섯 생산 기간의 단축으로 생산성 향상을 기대할 수 있다는 결론을 도출하였다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발의 목표 및 달성도

1. 1차년도

세부연구목표	가중치	평가의 착안점 및 기준	목표달성도
전자빔 처리에 의한 톱밥배지의 물리 및 화학적 성질 변화 구명	40%	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 처리 조건 별 톱밥의 물리적 성질 변화 조사 <ul style="list-style-type: none"> - pH, 보수도 변화 ◦ 처리 조건 별 배지의 화학적 성질 변화 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 추출물량, 홀로셀룰로오스 및 알파 셀룰로오스 함량 ◦ 셀룰로오스의 중합도 변화 ◦ 톱밥을 비롯한 목질계의 버섯배지활용 검토 	100%
전자빔 처리 톱밥배지에서의 버섯 성장특성 구명	40%	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 종균 접종 및 배양 <ul style="list-style-type: none"> - 배지 조성: 전자빔 처리 톱밥 단독, 첨가제 혼합(첨가제 종류 및 혼합비) - 버섯 종류: 느타리버섯, 큰느타리버섯 ◦ 배지 조건 및 살균 전후 별 버섯 생장 특성 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 균사 성장속도, 자실체 초발이일수, 버섯 수확기간 및 수확량 ◦ 버섯의 품질특성 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 영양분: 아미노산 함량 등 	100%
톱밥배지의 전자빔 처리 최적 조건 구명	10%	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 톱밥의 전자빔 처리 <ul style="list-style-type: none"> - 톱밥 조건: 수종, 함수율, 야외퇴적 실시 여부 등 - 전자빔 처리 강도: con, 120, 180, 240, 300kGy ◦ 제1, 2세부 과제의 결과를 토대로 최적의 톱밥배지 전자빔 처리 조건 구명 	100%
전자빔 처리 톱밥배지를 이용한 현장 재배기술 확립	10%	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 전자빔 최적 처리 톱밥을 이용한 현장 재배 <ul style="list-style-type: none"> - 재배양식: 병재배 - 균사의 성장속도, 초발이일수, 수확량, 이병율 등 ◦ 현장 병재배 기술 확립 	100%

2. 2차년도

세부연구목표	가중치	평가의 착안점 및 기준	목표달성도
전자빔 처리에 의한 폐면배지의 물리 및 화학적 성질 변화 구명	40%	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 처리 조건 별 톱밥의 물리적 성질 변화 조사 <ul style="list-style-type: none"> - pH, 보수도 변화 ◦ 처리 조건 별 배지의 화학적 성질 변화 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 추출물량, 홀로셀룰로오스 및 알파 셀룰로오스 함량 ◦ 셀룰로오스의 중합도 변화 ◦ 톱밥을 비롯한 목질계의 버섯배지활용 검토 	100%
전자빔 처리 폐면배지에서의 버섯 성장특성 구명	40%	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 종균 접종 및 배양 <ul style="list-style-type: none"> - 배지 조성: 전자빔 처리 폐면 단독 - 버섯 종류: 느타리버섯, 큰느타리버섯 ◦ 배지 조건 및 살균 전후 별 버섯 성장 특성 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 균사 성장속도, 자실체 초발이일수, 버섯 수확기간 및 수확량 ◦ 버섯의 품질특성 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 영양분: 아미노산 함량 등 	100%
폐면배지의 전자빔 처리 최적 조건 구명	10%	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 폐면의 전자빔 처리 <ul style="list-style-type: none"> - 폐면 조건: 종류, 함수율, 야외퇴적 실시 여부 등 - 전자빔 처리 강도: con, 120, 180, 240, 300kGy ◦ 제1, 2세부 과제의 결과를 토대로 최적의 폐면배지 전자빔 처리 조건 구명 	100%
전자빔 처리 폐면배지를 이용한 현장 재배기술 확립	10%	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 전자빔 처리 폐면 상자 및 봉지재배 <ul style="list-style-type: none"> - 선발된 최적 조건으로 처리한 폐면배지를 이용하여 현장 재배 - 균사의 성장속도, 초발이일수, 수확량, 이병률 ◦ 배지 살균처리법의 경제성 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 관행의 고압멸균처리와 전자빔 처리 ◦ 현장 재배 기술 확립 	100%

3. 최종평가(○, ×로 구분)

세부연구목표	가중치	평가의 착안점 및 기준	의견
톱밥과 폐면의 전자빔처리에 의한 화학적 성분변화	40%	전자빔처리에 의한 화학적 성분 변화에 대한 결과를 얻었는가?	○
전자빔처리에 의한 톱밥과 폐면의 버섯생장효과	40%	전자빔처리에 의해 버섯생장에 경제적으로 유의한 결과를 얻었는가?	○
배지의 전자빔처리를 실시한 후, 생산현장의 시험이 이루어졌는가 ?	10%	전자빔 처리된 배지로 실제 충분한 규모의 현장실험이 이루어졌는가?	○
톱밥이나 폐면에 효과적인 전자빔 처리방식이 개발되었는가?	10%	전자빔 처리에서 효과적으로 배지의 처리가 단계별로 이루어졌는가?	○

제 2 절 관련분야 기술발전

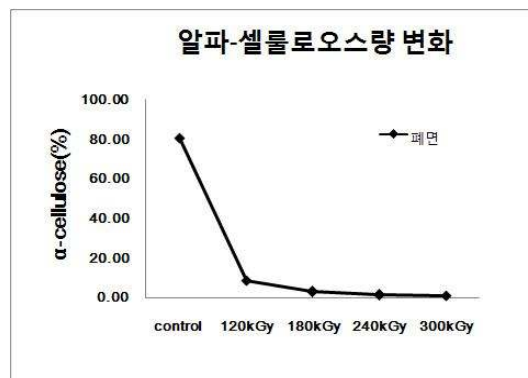
1. 참여기업 - (주)이비테크

가. 연구배경

최근 버섯 배지로 사용되는 톱밥과 폐면 등 생활폐기물의 재활용에 있어 이들에 전자빔 처리를 하여 버섯 균이 영양원을 더욱 쉽게 섭취, 이용하여 버섯의 성장특성을 향상시킬 수 있음.

나. 기술내용

전자빔 처리에 의해 버섯 균이 쉽게 영양원으로 섭취할 수 있는 추출물량이 평균적으로 약 150% 증가하고, 셀룰로오스의 분해가 확연히 이루어짐으로써 버섯의 생육량 향상 및 수확시기 조절이 가능.



다. 기대효과

재배농가에 적용될 경우 야외발효(야적) 등과 같은 불필요한 공정이 없어지고, 버섯의 생육량 및 품질의 향상으로 재배농가의 소득이 향상될 것으로 기대됨. 현재 특허 출원 중임.

1. 참여기업 - (주)에스엠바이오

가. 연구배경

전자빔 처리에 따른 배지 구성성분(셀룰로오스)의 저분자화 진행 정도에 따라 균사의 생장 속도가 다르기 때문에 버섯 수확시기를 조절할 수 있어 과일 생산에 의한 버섯 가격 폭락을 방지할 수 있고 연중 생산이 가능하여 재배 농가의 소득 증대에 큰 기여를 할 수 있음. 뿐만 아니라 배지 원료의 발효과정이 불필요하기 때문에 노동력 감축과 재배기간을 단축할 수 있음.

나. 기술내용

전자빔 처리에 의한 균사 생장속도, 버섯 자실체 생산 수준 등이 무처리에 비하여 향상되어 발효배지와 유사하거나 높은 수준을 나타냄.

구 분		침엽수 혼합톱밥	라디에타 소나무톱밥	낙엽송 톱밥	발효 미송톱밥
전자빔 처리 강도 (kGy)	0	40.9± 9.2	44.5±10.1	39.5±11.4	45.7±13.6
	120	41.5±11.3	48.1±10.5	45.2±13.6	-
	180	43.8±10.7	45.1±13.0	44.0±10.8	-
	240	49.5± 9.5	42.9±10.7	44.8±12.3	-
	300	49.3±13.4	45.7±12.0	45.7±16.4	-

다. 기대효과

재배농가에 적용될 경우 배지에 적용되는 수종의 제한을 없앨 뿐만 아니라 약 3개월에 걸쳐 실시하는 야외퇴적 과정을 생략할 수 있어 배지 재료인 톱밥을 안정적이고 저가로 공급할 수 있어 재배농가의 소득 증대에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단됨.

제 5 장 연구개발 성과 및 활용계획

제 2 절 연구개발 성과

1. 핵심기술의 기술적 수준

핵심기술 또는 성과물의 내용	수준			
	세계 최초	국내 최초	우리실정에 맞게 변경	기타
① 전자빔을 이용한 버섯 재배용 고품질 톱밥배지 제조 기술	○	○		
② 전자빔을 이용한 버섯 재배용 고품질 폐면배지 제조 기술	○	○		

2. 기술의 활용유형

구분	기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	특허출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책자료	기타
①의 기술	○	○	○		
②의 기술	○	○	○		

3. 기술의 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	본 연구의 결과인 전자빔을 이용한 버섯 재배용 고품질 톱밥배지 제조 기술을 현장에 도입하여 버섯의 수확량 증대, 수확일시 조절, 배지제조에 있어서 톱밥 수종의 제한 해결 등을 기대할 수 있다.
②의 기술	본 연구의 결과인 전자빔을 이용한 버섯 재배용 고품질 폐면배지 제조 기술을 현장에 도입하여 버섯의 수확량 증대, 수확일시 조절, 배지제조에 있어서 톱밥 수종의 제한 해결 등을 기대할 수 있다.

4. 연구성과

특허출원	특허등록	국내학술회의 발표					기타
		발표년도	발표제목	학술대회명	인쇄물명	개최장소	
○	○	2009	전자빔 처리한 버섯배지의 특성 및 버섯의 생산연구	한국펄프 종이공학회	2009 춘계학술 논문발표	서울	

5. 인력활용/양성 성과

(1) 인력지원 성과

지원 대상 (학위별, 취득자)				성별		지역별		
박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	대전	기타지역
	1				1		1	

(2) 장·단기 연수지원 성과

장기 (2월 이상)		단기 (2월 미만)	
국내	국외	국내	국외

(3) 산업기술인력 양성 성과

프로그램명	프로그램 내용	교육기관	교육 개최 회수	총 교육시간	총 교육인원

5. 경제사회 파급효과

산업지원 성과 (단위 : 건)				고용창출 성과 (단위 : 명)		
기술지도	기술이전	기술평가	합계	창업	사업체 확장	합계

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.