

발간등록번호

11-1543000-001174-01

폐배지의 부가가치제고 기술개발에 관한 연구

(버섯배지 살균시 발생하는 잉여 폐열을 이용한 폐배지 건조기 개발 및 건조된 폐배지의 부가가치제고 기술개발)

(A Study on the Development of technology for improving added value from dried mushrooms spent medium)

바이오매스아시아(주)

농림축산식품부

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “폐배지의 부가가치제고 기술 개발에 관한 연구” 과제(세부과제 “ 버섯배지 살균 시 발생하는 잉여 폐열을 이용한 폐배지 건조기 개발 및 건조된 수확후배지의 부가가치제고 기술개발에 관한 연구”)의 보고서로 제출합니다.

2016년 3월 25일

주관연구기관명 : 바이오매스아시아(주)

주관연구책임자 : 송 한 상

세부연구책임자 : 송 한 상

연 구 원 : 이 태 옥

연 구 원 : 김 종 민

연 구 원 : 이 상 학

1협동연구기관명 : 참맛버섯영농조합법인

1협동연구책임자 : 이 영 옥

2협동연구기관명 : 한국농수산대학

2협동연구책임자 : 서 건 식

위탁연구기관명 : 한국농수산대학

위탁연구책임자 : 김 완 영

# 요 약 문

## I. 제 목

폐배지의 부가가치제고 기술개발에 관한 연구(버섯배지 살균 시 발생하는 잉여폐열을 이용한 수확후배지 건조기 개발 및 건조된 수확후배지의 부가가치제고 기술개발)

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

버섯시장의 규모가 국내외에서 경제발전과 웰빙식품 선호를 통해 점차 확대되고 있다. 이에 따라 버섯의 수확 후에 발생하는 수확후배지의 규모도 크게 증가하고 있으나 현재 이 수확후배지는 무상 혹은 저렴한 가격으로 퇴비나 부산료로 농가에 공급 사용되고 있을 뿐이므로, 이에 버섯 수확 후 배지에 대한 활용성 증대 및 부가가치 사업화의 필요성이 절실한 실정이다.

아울러 동남아 등 해외에서는 버섯 수확후배지를 재활용하는 기계가 없기 때문에, 이번 연구사업 기회를 통해 수확후배지 기계를 개발 가동하여 해외 수출을 도모할 수 있으며, 동남아 지역에 우선 수확후배지 기계를 수출할 수 있다면, 우리나라의 수출증대는 물론 국내에서 관련 일자리 창출에도 크게 기여할 것으로 보인다.

버섯배지 살균 시 발생하는 잉여폐열을 이용한 수확후배지 건조기 개발 및 건조된 수확후배지의 부가가치제고 기술개발을 위해서는 ① 버섯배지 살균 시 발생하는 잉여폐열 이용 기술, ② 경제적인 건조기 및 건조기술 개발이 필요하며, 건조한 수확후배지의 활용가치 평가로 ③ 화목보일러 연료로의 펠릿 가능성 및 ④ 버섯배지 대체 재료 및 가축 사료로의 가능성을 알아볼 필요가 있다.

### <폐열회수 건조기, 입도선별기 및 펠릿성형기 개발>

본래 버섯 배지는 톱밥과 사료로 사용되는 면실박, 비트펠프 등을 섞어 조제한 것으로 버섯 수확 후의 배지는 버섯균에 의해 1차 분해되어 연성화된 것으로서 이를 다시 저온 순간식 건조분쇄 등의 특수한 공법에 의하여 영양학적인 손실을 최소화 하면서 기계적으로 건조 미분쇄하면 가축의 소화흡수를 용이하게 하며 영양학적으로도 가치가 높은 조사료로서의 우수한 성질을 가질 것으로 예상되었다. 그러나 버섯 수확후배지를 조사료로 이용하는 데에 있어서 문제점은 60%가 넘는 수분 함량으로 쉽게 변질되기 때문에 장기간 보관이나 장거리 이동이 불가능하다는데 있으나, 수분함량을 20%대 이하로 건조할 수 있다면 위의 문제점을 해결할 수 있으며 활용성이 확대될 수 있다고 본다.

### <폐열회수 건조기 설치 운용 조건 구명 및 산물의 펠릿화>

목재펠릿의 국내 수요량은 2009년 18천 톤에서 2015년 1,737천 톤으로 급격히 증가하였으나 국내 생산량은 2014년 90,000톤이며 나머지 부족분은 해외에서 수입하여 충당하는데 그 양이

1,654천 톤으로 전체 국내 수요량의 95%를 수입 목재펠릿이 차지하고 있는 실정이다. 버섯 생산이 대규모 자동화 병재배 방식으로 이루어지면서 톱밥 및 농업부산물을 이용한 연중재배 체계가 이루어졌고, 따라서 매일 일정 규모의 버섯 수확후배지가 배출되는데 버섯 배지는 톱밥, 미강, 콘코브, 면실박, 면실피, 비트펄프 등 농임업 부산물로 구성되어 있으며 각각의 재료들의 발열량은 모두 4000kcal/kg 이상이며, 이들을 혼합한 버섯 수확후배지를 이용한 펠릿이 고품연료로서의 가치가 충분한지 밝힐 필요가 있다.

#### <건조 버섯 수확후배지의 부가가치제고>

국내에서 버섯재배를 위한 배지 재료는 거의 대부분 수입에 의존하고 있어 해외시장의 상황, 수입 선에 따라 가격변동이 심하여 안정적인 버섯 재배를 위해서는 대체 배지의 개발과 자원의 재활용이 절실한 실정이다. 외국에서 수입하여 버섯재배에 활용한 많은 유기물이 1회 버섯 재배 후 폐기되거나 값싼 유기물 퇴비 등으로 활용되고 있으나, 이러한 수확후배지를 2차 원료로서 버섯배지로 활용하거나 유기물 함유를 감안한 가축 사료화, 톱밥 등 가연성 재료의 함유를 감안한 연료화 등 부가가치를 올릴 수 있는 자원의 재활용 연구로 부가가치제고 방안이 얻어진다면 이를 농가 소득증대의 일환으로 보급을 검토할 필요가 있다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구의 최종 목표는 버섯 배지 살균 시 발생하는 잉여폐열을 이용한 버섯 수확후배지의 건조기를 개발하여 ① 건조된 수확후배지를 버섯 배지로의 재활용으로 자원 재활용과 버섯 생산비 절감, ② 건조된 수확후배지를 펠릿화 하여 화석연료 대체 친환경 연료 개발, ③ 건조된 수확후배지를 이용한 반추동물의 고영양성 조사료 개발로 저탄소 녹색 순환 농업에 기여하고자 다음과 같은 연구개발 목표와 연구 범위를 수행하였다.

#### <폐열회수 건조기, 입도선별기 및 펠릿성형기 개발>

- (가) 폐열 회수형 건조기개발 : 폐열회수장치 개발
- (나) 전용 선별기 개발
- (다) 전용 펠릿성형기 개발

#### <폐열회수 건조기 설치 운용 조건 구명 및 산물의 펠릿화>

- (가) 버섯 수확후배지 배출규모 조사 : 공시버섯 수확후배지 배출 규모 조사(느타리, 큰느타리, 팽이, 만가닥 버섯)
- (나) 적정 건조 조건 확립 : 보관 및 운반을 위한 적정 건조 조건 조사
- (다) 건조 산물의 연료용 펠릿의 물리성과 발열량 분석
- (라) 건조 산물의 조사료용 펠릿의 영양성분 분석

#### <건조 버섯 수확후배지의 부가가치제고>

- (가) 버섯 종류별 배지 원료와 수확 후 배지의 건조 전후의 성분 분석
- (나) 건조 수확후배지를 이용한 최적의 재활용 배지 조성 구명



- (다) 비료 혹은 사료로 이용 가능성
- (라) 연료로의 이용 가능성

## IV. 연구개발결과

### <폐열회수 건조기, 입도선별기 및 펠릿성형기 개발>

본 연구에서는 버섯생산 공정 중 배지를 만든 이후 살균하는 과정에서 버려지는 폐열을 활용하여 에너지를 효율적으로 이용하면서도 추가적 에너지 사용을 극소화 하는 수확후배지 건조공정을 개발하였다. 버섯배지의 살균 작업 시 발생하는 폐열을 최대한 회수하고자 수확후배지 저장조, 건조기 등에 폐열을 이용하도록 업계 최초로 시도하고 응축수 저장조와 함께 회수장치를 구성하였다.

참맛버섯영농조합에서는 1일 약 2톤의 수확후배지(폐배지)가 발생하는데 병에서 탈피된 배지를 일시 저장하여 대기 중에 자연 건조를 유도하면서 이를 촉진하기 위하여 살균조 가동시간(약 6시간) 중에는 직접 폐 스팀을 JACKET으로 공급하거나, 드럼 건조기에서 나온 40℃~60℃, 습도 50%미만의 폐 온풍을 유인하여 저장된 폐배지를 가열건조 할 수 있도록 하였고, 내부에는 건조를 촉진하기 위하여 작은 동력을 이용한 교반장치가 설치되어 있으며 필요에 따라 덕트 혹은 송풍장치를 추가적으로 구비할 수 있도록 구성 되어 있다.

선행기술인 기존 건조기에 배지 살균 후 확보된 폐 스팀을 연결하는 덕트와 JACKET을 장착하여 폐열을 활용하였다. 연구 초기에는 기존 건조기 내부 JACKET을 검토하였으나 2,400rpm의 고속회전체의 간섭 등으로 외부장착을 결정하였다. 기존의 건조기를 개량하여, 수집된 폐열을 적극 활용하여 건조효율을 높이도록 개발하였으며, 기류식 건조기가 필요하지 않은 배지의 경우 바로 드럼건조기를 통하여 함수율을 조절한 후 컨베이어 시스템에 연동되어 펠릿 성형기로 이동하도록 운용하였다. 건조 폐배지의 압축률을 재산정하여 함수율을 18-20%로 높인 후 시 성형에 성공하였으며, 함수율 15% 미만인 건조 수확후배지(폐배지)로 펠릿을 생산하였다. 수확후배지(폐배지)는 목재펠릿과 달리 접착력이 있는 성분이 없어 성형이 어려워 충분한 압축률을 반영하여 제작하였다.

입도선별기는 버섯 배지가 톱밥을 함유한다는 가정하에 초기 필요성을 예상하여 4mesh와 8mesh 2종을 제작하였으나 연구 과정 중 연구 대상으로 선정한 공시 버섯(느타리, 큰느타리, 팽이, 만가닥)의 성분 및 활용성에 대한 검토 결과 팽이버섯은 톱밥을 함유하지 않고, 느타리버섯은 톱밥이 과다 함유(50%)되어 타 버섯배지로의 2차 원료화의 가치가 적으며 톱밥의 선별작업의 경제적 가치가 미미하여 이에 대한 연구는 지속적으로 진행하지 아니하였다.

### <폐열회수 건조기 설치 운용 조건 구명 및 산물의 펠릿화>

연간 285,000톤이 배출되고 있는 국내 병 재배 버섯 수확후배지는 대부분 평균 26원/kg에 되 비로 처리되고 있다. 따라서 버섯재배농가에서는 수확후배지의 재활용을 통한 고부가가치의 활용 방법을 기대하고 있었다. 수확후배지의 적극적인 활용을 위해 건조시스템 가동 조건을 구명하였는데, 1차 건조조건으로 저장조의 회전수는 2회/min, 시간은 8시간이상, 배지 투입량은 150

kg/h, 폐열+배풍기 가동시에 가장 효율적이었다. 기류식 건조기의 경우 1차적으로 드럼건조기에서 수분함량 30%대로 건조한 후에 rotor 회전은 1,500~2,000rpm, 투입량을 300kg/h으로 하였을 때, 수분함량이 16~18% 정도로 건조되었다. 펠릿 성형에 있어 수분함량이 15% 전후일 때가 가장 유리하였고, 성형 후 보관기간 중에도 곰팡이 등과 같은 오염에도 변질됨이 적었다.

### <건조 버섯 수확후 배지의 부가가치제고>

공시한 4품목의 버섯인 느타리버섯, 큰느타리버섯, 팽이버섯과 만가닥버섯의 수확후배지의 성분 분석을 실시하였다. 각 버섯별 버섯 접촉 전 배지, 배양 완료된 배지 및 버섯 수확후배지, 3단계 배지의 C/N율, 유기물과 무기질 함량 변화 등을 비교 조사하였다. 농촌진흥청이 고시한 유기질비료 기준에 따라 비교한 결과, 유해 성분이 기준이하이고, 유기물 함량도 80%이상으로 비료로 이용 가치는 충분하였다. 또한 기존 시판되고 있는 제품과 비교하여도 성분에 큰 차이가 없어 비료나 버섯증강제로의 활용 가능하다고 판단된다.

배지재료로의 활용에서 배지재료 전체를 대상이 아니라, 자실체 형성과 생육에 관여하는 C/N율을 기준으로 수확후배지와 C/N율이 유사한 재료의 대체용도로의 사용을 모색하였다. 수확후배지를 농가에서 비트펠프 대용으로 사용한 실증 재배를 한 결과, 느타리버섯에는 큰느타리버섯 수확후배지를 재사용했을 때, 수량(1%) 증가와 경영비(93,514원/day) 절감 효과가 나타났다. 큰느타리버섯에는 팽이버섯 수확후배지가 수량(4.4%) 증가와 경영비(181,931원/day) 절감 효과가 나타났다. 팽이버섯과 만가닥버섯은 수확후배지 사용으로 생산성 감소를 초래하였다. 4품목 버섯의 수확후배지가 모두 배지 재료로의 재활용이 가능한 것은 아니었지만, 큰느타리버섯과 팽이버섯 수확후배지의 배지 재료 대체재로의 가능성은 확인할 수 있었다.

수확후배지 연료용 펠릿은 3급 목재펠릿 기준에도 내구성과 발열량을 충족한다. 재료 특성상 바이오 고형연료에 해당되며, 발열량은 기준(3,000kcal/kg)보다 높아 바이오 고형연료로 사용이 가능하다고 판단된다. 각 수확후배지로 제조한 성형 펠릿을 재배용 버섯 배지 살균을 위한 연료로 사용할 경우, 기존의 목재펠릿보다 적은 소모량을 보였다. 느타리버섯 수확후배지의 펠릿은 기존 목재펠릿 사용량(123kg)보다 적은 116kg으로 살균이 가능하였고, 이는 일일 10,000명 입병 규모에서 연간 13,000천원의 살균연료 비용 절감효과를 기대할 수 있다.

수확후배지의 사료용 펠릿에 대한 시험은 대조구 TMR에 각각 팽이 및 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿을 5% 첨가한 처리구[팽이버섯 수확후배지 펠릿 첨가구(FSM)와 큰느타리버섯 폐배지 펠릿 첨가구(PSM)]로 구분하였고 처리구 당 비육후기 거세한우 20두씩 공시하여, 26개월령부터 31개월령까지 6개월 동안 시험사료를 급여하였다. 사료 섭취량은 전 기간 동안 처리구들 간에 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 사료 섭취량이 감소하는 시기인 비육후기 거세한우를 이용한 점을 고려하면, 육성기 및 비육전기에는 본 시험에서 사용한 수준보다 높은 비율을 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

비육후기 거세한우에게 팽이 및 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿의 첨가는 도체중, 등지방두께, 배 최장근 단면적, 육량지수 및 육량등급 및 마블링 지수에 영향을 미치지 않은 것으로 나타나, 결론적으로 본 시험의 결과는 펠릿으로 제조한 팽이 및 큰느타리버섯 수확후배지는 비육후기 거세한우의 TMR원료로 사용 가능함을 제시하였다.

## V. 연구 성과 및 성과활용 계획

### 1. 연구 성과

#### < 지적재산권 출원 및 등록 >

구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국 명	출원(등록)			기 타
			출원(등록)인	출원(등록)일	출원(등록)번호	
발명 특허	중력식 수확후배지선별기	대한민국	바이오매스아시아	2016.2.18	10-1597107	등록
발명 특허	수확후배지 저장조	대한민국	바이오매스아시아	2014.9.11	10-2014-0120168	
발명 특허	살균조 폐열활용 버섯 폐배지 건조시스템	대한민국	바이오매스아시아	2015.11.19	10-2015-0162207	

#### <폐열회수 건조기, 입도선별기 및 펠릿성형기 개발>

- 폐열을 이용한 건조기술을 활용하여 수확후배지를 건조, 펠릿화 하여 장기보관 및 이동이 쉽게 함으로써 고부가가치 자원으로 활용할 수 있음

#### <폐열회수 건조기 설치 운용 조건 구명 및 산물의 펠릿화>

- 건조기 운행 조건 구명으로 수확후배지를 건조하여 활용하고자하는 농가에 기술 교육
- 톱밥 함유량이 많은 수확후배지의 연료화를 위한 펠릿화로 장기 보관 가능
- 사료화가 가능한 수확후배지에 대한 펠릿화로 장기 보관이 가능

#### <건조 버섯 수확후배지의 부가가치제고>

- 건조한 팽이버섯과 큰느타리버섯의 수확후배지는 느타리류 버섯재배에서 비트펠프 대응으로 사용 가능하여 수입 대체효과와 경영비 절감에 기여할 수 있음
- 건조한 수확후배지의 배지재료로의 활용기술을 보급하여 생산성 향상과 경영비 절감에 기여할 수 있음
- 유기질비료나 버섯증강제로 사용가능한 영양성분 확인으로 고부가가치 상품 창출
- 톱밥 함유량이 많은 수확후배지의 연료펠릿화로 화목보일러 설치 농가의 경영비 절감효과
- 바이오 고형연료보다 우수한 발열량을 확인하였고, 기존 목재펠릿보다 사용량이 감소하여 농가의 연료비 절감에 기여할 수 있음
- 팽이 및 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿에 대한 한우 거세우의 사양시험으로 사료로의 가치가 확인됨

### 2. 성과 활용 계획

- 3톤/일 처리 용량의 수확후배지 건조시스템의 농가 보급형으로 상용화
  - 버섯배지 2차 원료로의 재활용
  - 연료용 펠릿 생산으로 자체 연료비 절감 또는 판매로 소득증대
  - 사료용 펠릿 제작, 판매로 농가 소득 증대
- 5~10톤/일 처리 용량의 수확후배지 건조시스템 개발, 상용화 및 수출 추진

# SUMMARY

## I. Title

A Study on the Development of technology for improvement of value-added from dried mushroom spent medium (Development of the dryer for mushroom spent medium and technology for improvement of value-added from dried mushroom spent medium using surplus waste heat generated during sterilizing mushroom medium)

## II. Purpose and Significance of Research

The market size of mushroom is gradually expanding at domestic and abroad through the economic growth and well-being food preferences. Accordingly, the size of the mushrooms spent medium that occur after harvest of mushrooms also largely increased. But currently, it is only to be used for supplying it to the farmers with free or affordable prices as compost or animal feed. Therefore the improvement of utilization for the mushrooms spent medium and necessity of commercialization for improvement on value-added are required very much

Because there is no machinery to recycle mushrooms spent medium at Southeast Asia as well as overseas, we can develop the machinery suitable to mushrooms spent medium through this study, we can promote opportunity of export. If we could export the mushrooms spent medium machine by starting from Southeast Asia to expending to other area, this would be expected to contribute significantly to domestic-related jobs.

In order to develop dryer of the mushrooms spent medium and technology for improving value-added from dried mushrooms spent medium by using surplus waste heat generated during sterilization mushroom medium, we need to know as follows

① The technology to recycle surplus waste heat energy during sterilizing mushroom spent medium, ② Development economic dryers and drying technology, ③ The possibility of using solid fuel pellets for boiler, and ④ The possibility of recycling to the material of mushrooms medium and stock feed ingredients.

< Development of Waste Heat Recovering Dryer, Particle Size classifier and pellet molding machine >

Primarily, sawdust, cottonseed meal which is used as feed, and beet pulp are mixed to produce mushroom medium. After softening through primary decomposition by fungus, spent medium is formed. It was expected that spent medium could be processed into bulky feed, which is not only easy to digest and to absorb, but also nutritious, through special methods such as low temperature instantaneous dry grinding process to minimize loss of nutrition. However, one major drawback of spent medium as feed is that it is not suitable for long term storage, or long distance transportation because of its perishability resulting from its water content over 60%. Its usability could be expanded if it is possible to lower its water content below 20%.

< Set-up the operating conditions of dryer for waste heat recovery and making pellet >

Domestic demand for pellets increased rapidly from 18,000 tons in 2009 to 1,737,000 tons. Only 90,000 tons of them were produced domestically in 2014, while 1,654,000 tons accounting for 95% of domestic demand came from overseas. Mushroom production through automated large scale bottle cultivation has enabled year-round cultivation system using sawdust and by-product of agriculture, which generates spent medium of a certain size everyday. The spent medium consists of sawdust, rice bran, corncob, cottonseed meal, beet pulp, and such like. However, the value of pellets as solid fuel should be clarified, using spent medium which is a mixture of ingredients that have calorific values higher than 4,000 kcal/kg.

< Value-added enhancement of dried mushrooms spent medium >

Korea imports most of ingredients of medium for mushroom production, which results in great price fluctuations in accordance with harvest and import of overseas markets. Accordingly, development of alternative medium and recycling of resources are required for stable mushroom production. Organic matters for mushroom production imported from abroad are discarded, or used as cheap compost, currently. If measures for value-added enhancement are found from research for recycling methods, such as production of mushroom medium using spent medium as a secondary ingredient, production of livestock feed, and production of fuel, their distribution should be considered as a way of boosting farmers' income.

### III. Contents and Scope of Research

The final purpose of this study is to do followings through development the dryer for the mushroom spent medium using the surplus waste heat during sterilizing mushroom medium:

- ① Reduction of mushroom production costs by recycling dried mushroom spent medium as material of mushroom medium.

② Development of environmental friendly fuel alternative to the fossil fuel.

③ Contributes to low-carbon green cycle Agriculture using high nutritional supplementary feeding of ruminants with dried mushroom spent medium

To achievement for above purpose, the following research goals and the range was studied.

< Development of Waste Heat Recovering Dryer, Particle Size classifier and pellet molding machine>

1. Waste Heat Recovering Dryer: Development the Waste Heat Recovering Device.
2. Development of grain size classifier
3. Development of pellet molding machine

< Set-up the operating conditions of dryer for waste heat recovery and making pellet>

1. Investigation of Exhaust-scale of mushroom spent medium
2. Set-up the proper drying conditions : Proper drying conditions survey for the storage and transportation
3. Analysis of physical and calorific value of the pellets

< Value-added enhancement of dried mushrooms spent medium >

1. Component Analysis for the material of the mushroom medium and spent medium before and after dry
2. Recycling identify optimal medium composition using dried mushroom spent medium
3. Availability for fertilizer, solid fuel or feed

## IV. Results of Research

< Development of Waste Heat Recovering Dryer, Particle Size classifier and pellet molding machine >

In this study, we developed a process for drying waste medium efficiently used while minimizing the additional energy consumption of energy by utilizing the waste heat discarded in the process of creating the medium after sterilization of the mushroom production process. Possible to recover the waste heat generated during the operation of the sterilization medium mushroom industry's first attempt to use the waste heat and the waste reservoir medium, drying and recovering device was configured with a condensate storage tank.

“Chammat mushroom farming corp.” produces around 2 tons of spent medium a day. Spent medium is taken out of bottles and left to dry naturally. To facilitate drying, waste

steam is provided to JACKET directly during the operating hours of sterilizer, about 6 hours, or waste hot-air from drum dryer at a temperature of 40°C ~60°C and a humidity of below 50% is induced. Stirring apparatus using a small power is installed inside. In addition, a duct or a blower could be equipped as necessary.

Waste heat is utilized by equipping a existing dryer with a duct to connect to waste steam produced as a by-product of medium sterilization and JACKET. JACKET was to be installed inside the existing dryer in the early stages of research. Eventually, JACKET is installed outside considering the interference of 2,400rpm high speed rotor. The improvement of the existing dryer leads to higher drying efficiency. Spent medium that does not need airflow dryer is transported to pellet molding machine through a conveyer system after adjustment of water content using drum dryer. A tryout of molding ended up with success after modification of compressibility of dehydrated waste medium and increase of water content to 18-20%. Dehydrated spent medium of water content of below 15% was processed into pellets considering the fact that it does not contain any adhesive ingredient unlike wood pellets.

Two types of particle size classifier were produced on the assumption that mushroom medium might contain sawdust; 4mesh and 8mesh. However, after the analysis of components and usability of mushrooms chosen as objects of study, oyster mushroom, king oyster mushroom, winter mushroom, and beech mushroom, it is shown that winter mushroom does not contain sawdust. In addition, oyster mushroom is found to be less valuable to process into secondary ingredients for mushroom medium because of its containing too much sawdust, which means that particle size classification process has little commercial value. Accordingly, further study was not conducted.

< Set-up the operating conditions of dryer for waste heat recovery and making pellet >

We investigate the drying system operating conditions for active use of the spent media, the first rotational speed of the drying conditions in the reservoir is 2 times / min, the time is at least 8 hours, and the medium dose is 150kg/h, when the movable heat and ventilator operate It was the most efficient. When the air current type dryer, if the primary drum dryer at a moisture content after drying is 30% 1,500~2,000rpm rotor rotation, the input to 300kg / h, a water content of about 16 to 18% and dried. The moisture content of the pellets were molded in the most advantageous time to be around 15% during the storage period after molding alteration being even less pollution, such as fungi.

< Value-added enhancement of dried mushrooms spent medium >

The disclosure of Oyster Mushroom, king oyster mushrooms, winter mushrooms and beech mushroom only to spent medium component analysis was conducted of mushrooms. Mushroom inoculation medium, incubated medium, and mushroom spent medium, a

three-phase medium C/N ratio, organic matter and minerals, including a change were compared. Results comparing the RDA of notification in accordance with the standards of organic fertilizer, hazardous ingredients are below standard and, using the value as a fertilizer in organic matter content more than 80 were sufficient. In addition, it is determined that it is possible the use of fertilizers or mushroom growth zero components do not have a large difference in degree as compared with the conventional products that are commercially available.

We tried to find a way to use spent medium as an alternative of certain ingredients that have similar C/N ratio, related to fruit-body formation and growth, with it. As a result of demonstrating cultivation using spent medium as an alternative of beet pulp, the amount increased 1% and the operating costs were reduced by 93,514 won/day when king oyster mushroom spent medium was reused to grow oyster mushroom. And the amount increased 4.4% and the operating costs were reduced by 181,931 won/day when winter mushroom spent medium was reused to grow king oyster mushroom. In the case of winter mushroom and beech mushroom, their productivity decreased when spent medium was used. Even though not all spent medium of 4 mushrooms can be recycled as ingredients for mushroom medium, king oyster mushroom and winter mushroom spent medium still has a possibility of becoming alternatives of materials for mushroom medium.

In addition, the pellets meet in durability and calorific value to wood pellet standards. Bio-material nature, and the solid fuel, heat is determined that can be used as bio-solid fuel is higher than the reference (3,000kcal / kg). When used in manufacturing molded pellets as fuel for medium sterilization, it showed less consumption than conventional wood pellets. Pellets of oyster mushroom harvest can be sterilized medium was 116kg less than traditional wood pellet consumption (123kg), which can be expected to sterilize the annual fuel savings of 13,000,000 won to 10,000 bottles scale.

FSM was produced by adding 5% of winter mushroom spent medium pellets to control TMR, and PSM was by adding 5% of king oyster mushroom spent medium pellets. There were two groups of 20 cows in late-fattening, and each of groups was fed on FSM and PSM for 6 months from 26-month age to 31-month age. There was no significant difference in the amount of intake among them through entire experimental period. Considering that the experiment used cows in late fattening phase when the amount of intake generally decreases, spent medium pellets of higher ratio than this experiment chose are considered to be able to be used during growing and early-fattening periods.

Reviews beef fattening steer to the top and a king oyster mushroom spent medium pellet addition of one conductor, back fat thickness, muscle area times the maximum, was found not adversely affect the meat weight index and meat weight level and marbling index.



In conclusion, the result is a top and a king oyster mushroom produced by the pellets of the test spent medium suggested the possible use of TMR raw beef in fattening late castration.

## V. Result of R & D and Utilization plan of the results

< Development of Waste Heat Recovering Dryer, Particle Size classifier and pellet molding machine >

- By utilizing the drying technology with waste heat harvesting, pelletized and long-term storage of mushroom spent medium is easily moved and can be used as a value-added resource.

< Set-up the operating conditions of dryer for waste heat recovery and making pellet >

- Technical training for farmers to take advantage of mushroom spent medium in the optimal dryer operating conditions
- It confirmed the superior calorific value than solid bio fuel usage than traditional wood pellets that can contribute to reduced fuel costs for farmers
- operating costs savings effect for farmer of Log Gasification Boiler installation

< Value-added enhancement of dried mushrooms spent medium >

- Spent medium of dried Enoki mushrooms and big Oyster mushrooms can be used as a substitute for beet pulp and can contribute to import substitution effect and reduce operating costs in Oyster mushroom or Oyster mushroom similar cultivation
- To spread the use of technology of dried spent medium that can contribute to increase productivity and reduce operating costs
- To spread the use of a fuel pellet of dried spent medium that can contribute to enhancing added value of mushroom spent medium
- Available nutrients in organic fertilizer or mushroom enhancer can lead to create of high value-added products
- The value of feedstuff Confirmed for feeding Castrated cow with dried spent medium pellet of Enoki mushrooms and Big Oyster mushroom

# CONTENTS

Chapter 1	Overview of R & D project .....	19
Section 1	The purpose and need for R & D project .....	19
Section 2	Range of R & D project .....	23
Chapter 2	Domestic and foreign technical development .....	25
Chapter 3	Contents and results of research performed .....	27
Section 1	Waste Heat Recovery Dryer and pellet molding machine development .....	27
1.	Introduction .....	27
2.	Material and Methods .....	28
(1)	Utilizing process waste heat .....	28
(2)	Heat Exchanger (water → air) .....	28
(3)	Development of the waste heat utilization device dry component .....	30
3.	Conclusion .....	37
4.	Summary .....	38
Section 2	Dryer waste heat recovery installation of the operating conditions identified and making pellet .....	39
1.	Introduction .....	39
2.	Material and Methods .....	41
(1)	Nationwide mushroom spend media scale .....	41
(2)	Operating condition setting in a dry heat recovery system .....	41
(3)	Examine the availability of pelletizing and bio-fuels of dried spent media .....	41
3.	Conclusion .....	42
4.	Summary .....	54
Section 3	High value-added technology develop of mushroom spend media .....	55
1.	Introduction .....	55
2.	Material and Methods .....	56
(1)	The development of recycling technologies to the medium for cultivation of mushrooms .....	56
(2)	To explore the possibility of utilizing animal feed .....	58
3.	Conclusion .....	62
4.	Summary .....	78
Chapter 4	Goals and contribution to related areas .....	80
Chapter 5	Result of R & D and utilization plan of the results .....	81

Chapter 6	International Scientific and Technical Information .....	84
Chapter 7	Research Facilities Equipment Status .....	85
Chapter 8	Reference .....	86

# 목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요 .....	19
제1절	연구개발의 목적 및 필요성 .....	19
제2절	연구개발의 범위 .....	23
제 2 장	국내외 기술개발 현황 .....	25
제 3 장	연구개발 수행 내용 및 결과 .....	27
제1절	폐열회수 건조기, 입도선별기 및 펠릿성형기 개발 .....	27
1.	서론 .....	27
2.	재료 및 방법 .....	28
가.	폐열활용프로세스 .....	28
나.	열교환 장치 (물→공기) .....	28
다.	폐열 활용 건조장치 구성요소의 개발 .....	30
3.	결과 및 고찰 .....	37
4.	요약 .....	38
제2절	폐열회수 건조기 설치 운용 조건 구명 및 산물의 펠릿화 .....	39
1.	서론 .....	39
2.	재료 및 방법 .....	41
가.	전국 병 재배 버섯 수확후배지 배출규모 조사 .....	41
나.	폐열회수 건조 시스템의 운용조건 설정 .....	41
다.	건조된 수확후배지의 펠릿화 및 바이오 고형연료로의 이용가능성 구명 .....	41
3.	결과 및 고찰 .....	42
4.	요약 .....	54
제3절	건조 버섯 수확후배지의 고부가가치 기술 개발 .....	55
1.	서론 .....	55
2.	재료 및 방법 .....	56
가.	버섯 재배용 배지로의 재활용 기술 개발 .....	56
나.	가축 사료로의 활용 가능성 모색 .....	58
3.	결과 및 고찰 .....	62
4.	요약 .....	78
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도 .....	80
제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획 .....	81
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....	84

제 7 장 연구시설·장비 현황 ..... 85

제 8 장 참고문헌 ..... 86



# 제1장 연구개발과제의 개요

## 제1절 연구개발 목적 및 필요성

버섯시장의 규모가 국내외에서 경제발전과 웰빙식품 선호를 통해 점차 확대되고 있다. 이에 따라 버섯의 수확 후에 발생하는 수확후배지의 규모도 크게 증가하고 있으나 현재 이 수확후배지는 무상 혹은 저렴한 가격으로 퇴비나 부사료로 농가에 공급 사용되고 있을 뿐이므로, 이에 버섯 수확후배지에 대한 활용성 증대 및 부가가치 사업화의 필요성이 절실한 실정이다. 그러나 버섯 수확 후 수확후배지의 조사료로 이용하는 데에 있어서 문제점은 60%가 넘는 수분 함량으로 쉽게 변질되기 때문에 장기간 보관이나 장거리 이동이 불가능하다는데 있으나, 수분함량을 20%대 이하로 건조할 수 있다면 위의 문제점을 해결할 수 있으며 활용성이 확대될 수 있다.

본래 버섯 배지는 톱밥과 사료로 사용되는 면실박, 비트펄프 등을 섞어 조제한 것으로 버섯 수확 후의 배지는 버섯균에 의해 1차 분해되어 연성화 된 것으로서 이를 다시 저온 순간식 건조분쇄 등의 특수한 공법에 의하여 영양학적인 손실을 최소화 하면서 기계적으로 건조 미분쇄하면 가축의 소화흡수를 용이하게 하며 영양학적으로도 가치가 높은 조사료로서의 우수한 성질을 가질 것으로 예상된다. 따라서 버섯 수확후 배지를 저온 순간식 건조 분쇄한 것을 조사료로 이용할 경우 버섯재배 농가 및 가축사육농가 모두에게 이익이 되며 국가적으로는 부족한 조사료 수입에 따른 외화유출을 상당히 줄일 수 있을 것이다.

현재 버섯농가에서는 버섯을 단순히 생산, 판매하는 1차 산업 구조를 취하고 있어, 버섯 수확후배지를 재활용하여 수익구조를 다원화하는 등 버섯사업을 다각화할 수 있는 기회가 필요한데, 국내에서 버섯재배를 위한 배지 재료는 거의 대부분 수입에 의존하고 있어 해외시장의 작황, 수입선에 따라 가격변동이 심하여 안정적인 버섯 재배를 위해서는 대체 배지의 개발과 자원의 재활용이 절실한 실정이다. 외국에서 수입하여 버섯재배에 활용한 많은 유기물이 1회 버섯 재배 후 폐기되거나 값싼 유기물 퇴비 등으로 재활용되고 있어 부가가치를 올릴 수 있는 자원의 재활용 연구 및 농가 보급이 필요하다. 버섯 수확후배지는 가격이 매우 저렴하거나 거의 폐기물화 되고 있는 실정에서, 수확후배지의 고부가가치화에 성공한다면 우선 경기, 강원에 산재되어 있는 버섯농장에서 버섯 수확후배지의 조달은 매우 용이한 편이므로, 본 사업을 통해 수익 창출을 기대할 수 있다. 또한, 버섯 원료에서부터 생산, 마케팅, 재활용에 이르는 전 공정을 커버하는 종합적인 시스템 구축에도 이바지하고, 동남아 등 해외에서는 버섯 수확후배지를 재활용하는 기계가 없기 때문에, 이번 연구사업 기회를 통해 수확후배지 기계를 개발 가동하여 해외 수출을 도모, 우리나라의 수출증대는 물론 국내에서 관련 일자리 창출에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

### 1. 폐열회수 건조기, 입도선별기 및 펠릿성형기 개발

현재 버섯농가의 경우 버섯을 생산, 판매하고 있으나, 버섯 수확후배지를 재활용하여 수익구조를 다원화하는 등 버섯사업을 다각화할 수 있는 기회를 마련할 수 있다. 국내에서 버섯재배

를 위한 배지 재료는 거의 대부분 수입에 의존하고 있어 해외 시장의 작황, 수입선에 따라 가격변동이 심하여 안정적인 버섯 재배를 위해서는 대체 배지의 개발과 자원의 재활용이 절실한 실정이다. 외국에서 수입하여 버섯재배에 활용한 많은 유기물이 1회 버섯 재배 후 폐기되거나 값싼 유기물 퇴비 등으로 재활용되고 있어 부가가치를 올릴 수 있는 자원의 재활용 연구 및 농가 보급이 절실한 실정임이 명확하다.

일부 연구자에 의해 수확후배지의 활용연구는 수행된 바 있으나 체계적인 연구가 미흡하고 아직 실용화되지 않고 있으며, 버섯 수확후배지는 가격이 매우 저렴하거나 거의 폐기물화 되고 있는 실정에서, 수확후배지의 재활용을 위한 사업화가 성공한다면 버섯농가의 수익성 증대는 물론 수입대체 효과도 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 또한 경기, 강원에 산재되어 있는 버섯농장에서 버섯수확후배지의 조달은 매우 용이한 편이므로, 본 사업을 통해 수익 창출에 기여할 것으로 기대된다. 나아가 버섯 원료에서부터 생산, 마케팅, 재활용에 이르는 전 공정을 커버하는 종합적인 시스템 구축에도 이바지할 것으로 보인다.

버섯 수확후배지의 재활용을 위해서는 우선적으로 해결해야 할 문제점이 60%가 넘는 수분 함량으로 인해 변질되는 것을 방지하는 것이 급선무이며 이를 위해서는 수분 함량이 20%이하가 되도록 건조하여야 한다. 그러나 재래식 건조 방법인 화석 연료를 이용한 가열 건조는 재활용 대비 비용이 월등히 많이 들어가 이를 대체할 수 있는 저비용의 건조기 개발이 된다면 이는 자원 재활용 및 비용 절감적인 측면에서 효용성이 크다고 할 수 있겠다.

본래 버섯 배지는 유기물과 함께 톱밥과 사료로 사용되는 면실박, 비트펄프 등을 섞어 조제한 것으로 버섯 수확 후의 배지는 버섯균에 의해 1차 분해되어 연성화 된 것으로서, 이를 다시 저온 순간식 건조분쇄 등의 특수한 공법에 의하여 영양학적인 손실을 최소화 하면서 기계적으로 건조 미분쇄하면 가축의 소화흡수를 용이하게 하며 영양학적으로도 가치가 높은 조사료로서의 우수한 성질을 가질 것으로 예상된다.

따라서 버섯수확 후 배지를 저온 순간식 건조분쇄한 것을 조사료로 이용할 경우 버섯재배 농가 및 가축사육농가 모두에게 이익이 되며 국가적으로는 부족한 조사료 수입에 따른 외화유출을 상당히 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 뿐만 아니라 톱밥, 면실박, 면실피 등 가연성 물질이 함유되어 있는 점을 감안하여 연료화가 가능할 것으로 판단되며 수확후배지를 건조하면 버섯배지의 2차 원료로도 사용이 가능하리라 판단된다.

이와 같이 버섯 수확후배지를 건조하는 기술이 개발되면 그에 따르는 재활용 방법, 즉 버섯 배지의 2차 원료화, 연료화, 가축 사료화 등의 실현이 가능할 것으로 예측이 가능하다.

동남아 등 해외에서는 버섯 수확후배지를 재활용하는 기계가 없기 때문에, 이번 연구사업 기회를 통해 수확후배지 기계를 개발 가동하여 해외 수출을 도모할 수 있으며, 동남아지역에 우선 수확후배지 기계를 수출할 수 있다면, 우리나라의 수출증대는 물론 국내에서 관련 일자리 창출에도 크게 기여할 것으로 보인다. 특히, 고도성장중인 중국과 원자력 문제 중인 일본 등으로 수확후배지 기계와 더불어 국산 버섯의 수출 붐을 조성할 수 있는 해외 마케팅을 강화하는 계기로 삼는다.



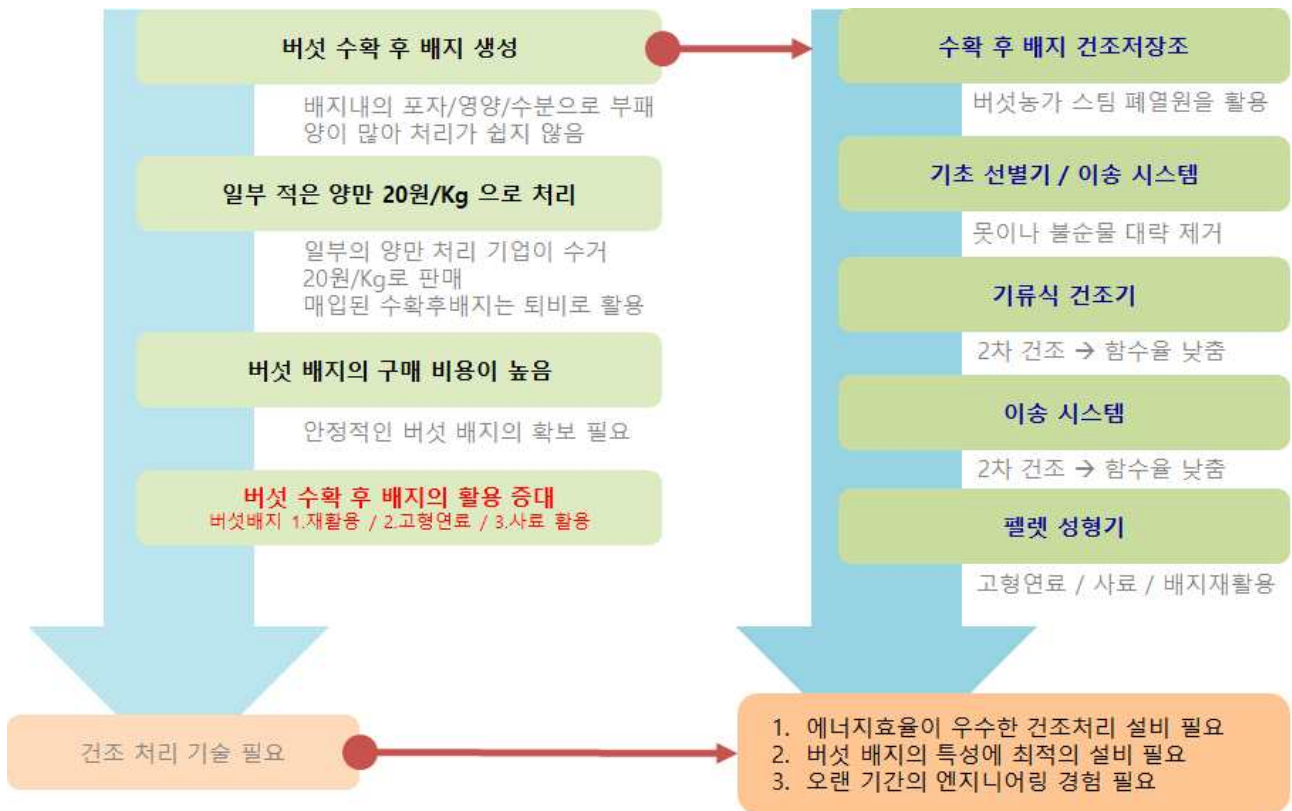


Fig 1-1 수확후배지 처리현황 (The status of mushroom spent medium)

## 2. 건조 버섯 수확후배지의 부가가치제고 기술

버섯 수확후배지는 느타리버섯, 큰느타리버섯, 팽이버섯 등의 재배에 기질로 사용된 혼합재료들이 버섯을 재배한 후 남겨진 것으로 각 버섯 재배마다 그 혼합재료 및 비율이 다르며 또한 같은 버섯 내에서도 재배농가마다 약간의 차이가 있다. 버섯 수확후배지는 수분함량이 60~65% 수준이며 기질 내 잉여의 영양분이 풍부하여 변질이 쉽게 일어난다. 따라서 버섯 수확후배지의 활용도를 높이기 위해서는 빠른 시간 안에 수분 함량을 15%이하로 낮추어야 한다. 건조된 수확후배지는 그 자체로 장기간 저장이 가능하여 다양한 용도 및 거리, 시간 등에 제약 없이 활용할 수 있다. 버섯 배지는 톱밥과 사료로 사용되는 면실박, 비트펄프 등을 섞어 조제한 것으로 버섯 수확 후의 배지는 버섯균에 의해 1차 분해되어 연성화된 것으로, 기계적으로 건조 미분쇄하면 가축의 소화흡수를 용이하게 하며 영양학적으로도 가치가 높은 조사료로서의 우수한 성질을 가진다. 아울러 사료화할 수 없는 수확후배지를 연료화 함으로서 버섯 수확후배지는 가격이 매우 저렴하거나 거의 폐기물화 되고 있는 실정에서 재활용으로 인한 농가의 수입 증대, 원료의 수입 대체, 화석연료의 대체로 환경오염 요인 감소 등 수확후배지의 활용은 부가가치제고 효과가 크다고 판단된다.

버섯 수확후배지를 사료로 활용할 경우, 국가적으로 부족한 조사료 수입에 따른 외화유출을 상당히 줄일 수 있을 것이다. 국내에서 버섯재배를 위한 배지 재료는 거의 대부분 수입에 의존하고 있어 해외시장의 작황과 수입선에 따라 가격변동이 심하여 안정적인 버섯 재배를 위해서는 대체 배지의 개발과 자원의 재활용이 절실한 실정이다.

국내 느타리버섯 재배 농가가 일일 배출하는 버섯 수확후배지는 일일 360여 톤, 그리고, 팽이버섯과 큰느타리버섯을 합쳐 약 600여 톤으로 추산되며, 그 대부분은 축분과 혼합되어 퇴비로 활용되고 있으며 극히 일부 농가에서만 인근 축산농가와 연계하여 TMR(Total Mixed Ration, 완전혼합사료) 사료의 원료로 이용되고 있는 현실이다.

버섯 수확후배지를 건조분쇄기술을 통해 새로운 조사료 원료가 제조된다면, Kg당 150원 정도 될 것으로 전망되고 있어, 연간 버섯수확후배지 재활용시장규모는 405억원으로 확대될 것으로 추산된다.

- ① 버섯 수확후배지 재활용으로 생산비용 절감
- ② 연료 펠릿 확보로 농가 에너지 비용 절감
- ③ 축산 보조사료 판매로 부가수익 창출
- ④ 적시의 수확후배지 처리로 작업공간 확보
- ⑤ 적시의 수확후배지 처리로 공기 등의 환경개선



- ① 버섯 수확후배지 재활용으로 외화 절감
- ② 연료 펠릿 확보로 국가 에너지 비용 절감
- ③ 축산 보조사료 공급으로 외화 절감
- ④ 농가 환경개선으로 농업의 발전을 촉진
- ⑤ 농가 생산 환경개선으로 국가 경쟁력 확보
- ⑥ 타 국가 설비 수출로 외화확보의 기회
- ⑦ 귀농 활성화 촉진의 기회

- ① 퇴비 수준의 비료사업을 한 단계 업그레이드 가능
- ② 바이오매스 순환 사업을 통한 사업기회 창출
- ③ 저렴한 자원을 활용하여 고부가가치 상품 판매 기회
- ④ 실질적인 엔지니어링 기술을 확보하여 기업경쟁력 확보
- ⑤ 농가와 국가에 도움이 되는 사업기회 확보

Fig. 1-2. 건조 버섯 수확후배지의 부가가치 (The value of mushroom spent medium)

상기와 같은 상황에서 재활용에 필수적인 것은 에너지 효율이 우수한 건조설비와 요소기술을 확보하는 것이 중요하다. 배지용기 살균 시 발생하는 폐열을 기반으로, 회수장치를 개발하여 당사의 저온 고속회전기류식 건조기와 융합, 고효율 저비용건조기 개발 및 운용이 가능하다. 버섯 재배 농가별로 사용하는 보일러와 스팀 살균기 등에서 발생하는 사용 후 열에너지원 (폐열) 들은 열 교환장치를 통해 상태를 변환 유지하게 되며, 각 공정상에 있는 건조기들에 열 에너지원으로 활용되어 버섯 수확후배지를 건조시킨다.

폐열 냉각 시 발생하는 응축수는 보관하여, 폐 열원 공급이 중단된 이후에도 활용 가능하도록 개발하였으며, 배관의 보온을 철저히 하여 PUMP를 이용, 필요시 건조기의 HEATING JACKET으로 유도하여 기류식 건조기와 저장조 건조기의 효율을 높이도록 구성하였다. 이러한 설비의 구성은 버섯 농가에서 활용하는 다양한 증기에너지 및 전기에너지를 활용하여, 에너지

순환 사이클을 생성하여 기존 전기에너지의 50%를 절감할 수 있는 계기를 만들었다는 것에 그 의미가 있다고 하겠다. 아울러 최종적으로 생성된 버섯 수확후배지의 고형연료 형태는, 추가의 에너지 비용 없이 순수 버섯배지에서 얻어진 펠릿으로 펠릿보일러를 적용 & 활용할 수 있는 것도 큰 의미가 있다고 하겠다.

## 제2절 연구개발 목표 및 범위

본 연구의 최종 목표는 버섯 배지 살균 시 발생하는 잉여폐열을 이용한 버섯 수확후배지의 건조기 개발하여 ① 건조된 수확후배지를 버섯 배지로 재활용으로 자원 재활용과 버섯 생산비 절감, ② 건조된 수확후배지를 펠릿화 하여 화석연료 대체 친환경 연료 개발, ③ 건조된 수확후배지를 이용한 반추동물의 고영양성 조사로 개발로 저탄소 녹색 순환 농업에 기여하고자 다음과 같은 연구개발 목표와 연구 범위를 수행하였다.

### <폐열회수 건조기, 입도선별기 및 펠릿성형기 개발>

- (가) 폐열회수장치 및 건조기개발 : 방출되는 폐스팀으로부터 80%이상 폐열회수장치 개발 및 버섯 수확후배지 시간당 500kg을 건조할 수 있는 건조기 개발
- (나) 전용 선별기 개발 : 건조된 수확후배지의 입도 및 비중차이별 선별
- (다) 전용 펠릿성형기 개발 : 95%이상의 내구성을 가진 펠릿생산 성형기 개발

### <폐열회수 건조기 설치 운용 조건 구명 및 산물의 펠릿화>

- (가) 버섯수확후배지 배출규모 조사 : 공시버섯 수확후배지 배출 규모 조사(느타리, 큰느타리, 팽이, 만가닥버섯)
- (나) 적정 건조 조건 확립 : 보관 및 운반을 위한 적정 건조 조건 조사
- (다) 건조 산물 펠릿의 물리성과 발열량 분석

### <건조 버섯 수확후 배지의 부가가치제고>

- (가) 버섯 종류별 배지 원료와 수확후배지의 건조 전후의 성분 분석 : 일반 조성분, 무기질, 아미노산 등 영양성분 분석
- (나) 건조 수확후배지를 이용한 최적의 재활용 배지 조성 구명 : 버섯 재배용배지 재료와 타 재료의 대체용으로 활용 비교
- (다) 비료 혹은 사료로 이용 가능성 : 한우 거세우 60두 사양시험

연구 범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
[제1세부] 폐열회수방법 연구	- 열전달에 의한 폐열 회수	· 건조기 및 폐열회수장치에 자켓장착후 건조효율 조사(회수율80%)
폐열회수장치 개발	- 저장조, 드럼식 건조기, 기류식 건조기에 자켓 및 열교환기를 개발, 적용하여 폐열 회수 효과 시험	· 저장조, 기류식 건조기에 자켓을 설치하여 폐열회수,드럼식 건조기에 열교환기를 설치, 이를 통과한 열풍을 활용(시간당 0.2톤 건조 가능)
선별장치 개발	- 건조후 입도선별 시험	· 건조후 1차 입도선별,(입도 2.0mm)
펠릿성형기 개발	- 건조 수확후배지(폐배지) (함수율 13%) 성형	· 건조 수확후배지(폐배지) 성형하기 위한 펄다이하와 롤러의 적용압력을 시험(Table 2-6 참조)
[제1협동] 목재펠릿으로 이용가능성 구명	- 수확후배지 규모 조사 - 펠릿의 물리성 분석 - 펠릿의 발열량 분석	· 건조조건 확립 후 건조 산물을 이용하여 펠릿 제작 후 실험 발열량 : 4000Kcal/Kg 이상
폐열회수장치의 최적설치 조건 설정	- 최적설치조건 설정	· 폐열 회수형 건조기 설치 완료 · 자켓에 공급 조건 : 페 스타 : 90℃ 응축수 : 80℃
버섯종류별 수확 후 배지(폐배지)의 적정 건조조건 확립	- 시간당 투입량 - 챔버 내 적정온도 설정 - 회전체의 회전속도 설정	· 시간당 투입량 : 0.4m <sup>3</sup> /hr · 챔버 내 온도 : 80℃ · 회전체 1,500rpm~2,500rpm/min
[제2협동] 공시 수확 후 배지와 공시 재료 종류 및 성상 조사	- 공시버섯의 재배용 배지의 재료 종류 및 성상 조사 - 재료의 배합비율	· 공시 버섯(4품목) : 느타리, 큰느타리, 팽이, 만가닥버섯 · 공시버섯별 재배용 배지원료 조사
공시 수확후배지의 성분 분석	- 재배용 배지의 재배전후 성분 분석	· 재배용 버섯의 버섯 접종 전후 및 수확 후 배지의 탄소원, 질소원 등 비료 혹은 사료로 이용가치 유무 조사

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 1. 국내 기술 동향 및 수준

국내 바이오매스 건조 기술은 선진국에 비해 낙후되어 있어, 대부분 유럽, 일본, 미국 등의 해외 기술을 수입하여 에너지 생산 설비 및 시스템에 적용하고 있는 것이 현실이다. 국내의 충돌제트기류 관련 연구는 일부 대학(연세대, 인하대, 포항공대 등)에서 충돌제트노즐의 유동 및 열전달 특성에 관한 기초연구가 수행되었으며, 주로 터빈 입구 및 날개 등의 냉각용으로 기술 개발이 추진되고 있다.

한국에너지기술연구원에서는 성균관대학교와 공동으로 충돌제트기류를 이용한 고성능 통기 건조장치 개발 연구 용역을 수행하여, 충돌제트노즐을 이용한 유동·기류 복합건조기 300kg/hr 규모의 pilot scale의 시작품을 개발하였으며, 국내 업체인 FASC 코리아는 캐나다 FASC (First American Scientific corp.)의 충돌기류 건조 장치 기술을 도입하여 하수슬러지 연료화 시스템의 건조 공정에 적용하기 위한 pilot plant를 설치한 경험이 있다.

### 2. 국외 기술 동향 및 수준

#### 가. 북미 및 남미지역

캐나다 FASC(First American Scientific Corporation)에서는 충돌제트기류를 이용한 바이오매스 건조·분쇄 장치(제품명: KDS Micronex)를 개발하여 여러 국가의 다양한 바이오매스 처리에 활용하고 있다. 캐나다에서는 프레이저 밸리의 72톤/일 계분 처리 시스템에 적용하여 미세분말을 생산, 미분 연소기(dust burner)에 연결하여 가스의 1/2 비용으로 농업용 열공급을 진행하며, 유제품 설비 제조업체인 누트리텍솔루션 (Nutritech Solutions Ltd.)에서는 농업부산물과 축산분뇨를 전살균된 미세분말로 처리한다. 또한, 퀘벡에서는 건설폐기물 살균 처리용 시스템에 적용하고 있고, 프린스조지의 하수슬러지 처리 설비에 적용하고 있다.

미국 미네소타 밸리 알파파 제조업체에서는 고급 사료 제품(Premium Alfafa Leaf Pellets) 생산의 핵심 설비로 KDS Micronex를 채택하여 가스 건조 공정을 대체하고 있다.

브라질에 소재하는 도계장에서는 KDS Micronex를 적용하여 사료 생산 공정에 적용하여 활용하고 있다.

#### 나. 유럽지역

노르웨이 발티카(Baltica Invest AS of Norway)는 KDS Micronex를 적용하여 북유럽 지역의 해양 녹조류를 건조·분쇄 처리하여 비료를 생산하는 공정에 활용한다.

#### 다. 아시아지역

일본의 JP스틸플랜텍 (JP SteelPlantech: (JFE/Kawasaki/Sumitomo합작사)은 캐나다 FASC의 기술을 도입하여 오키나와에 연간 2만톤 생산규모의 건설폐목재 펠릿 연료화 플랜트를 건설하여 운영하고 있으며, 축산분뇨 및 하수슬러지 연료화 플랜트에 대한 적용을 진행하였다.

말레이시아의 TSH Bio-Energy Sdn Bhd는 FASC의 기술을 도입하여 팜 부산물을 이용한 5MW 열병합발전 프로젝트에 FASC의 KDS Micronex 장치를 적용하고 있다.

### 3. 국내·외 경쟁기관 현황

FASC Korea에서는 캐나다 FASC의 기술을 도입하여 2007년 경기도 시흥에 하수슬러지 연료화 pilot plant를 설치하여 운영하였으나, 기술 지원 등이 미흡하여 현재 플랜트를 철거한 상황이다.

Table 2. 국내외 예상 경쟁기관 및 기업현황 (Status of Global Technology Competition)

경쟁기관	국명	제품명	판매가격 (천원)	비고
한국에너지기술연구원	대한민국	-	-	상용화제품 없음
FASC KOREA	대한민국	KDS Micronex	300,000	로열티 지급
FASC	캐나다	KDS Micronex	USD 250,000	기술 및 제품 수출
JP STEEL PLANTECH	일본	KDS Micronex	USD 500,000	기술 구매

# 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

## 제1절 폐열회수 건조기, 입도선별기 및 펠릿성형기 개발

### 1. 서론

버섯 생산 과정에서 부산물로 나온 수확후배지를 장기간 보존을 기반으로 연료, 조사료, 혹은 배지로의 재활용을 위해서는 우선 적정한 건조 과정을 통해 배지에 포함된 수분을 제거하여야 한다.

그런데 수분을 단시간에 제거하기 위해서는 많은 화석연료 비용의 지출이 불가피한 문제가 있다. 또한, 건조에 따르는 에너지 비용을 줄이는 방법으로는 지열 혹은 태양열 등과 같은 지속 가능한 에너지원을 사용할 수 있으나 열 취득에 따르는 초기 시설비용이 과다하여 농가에서 활용하기 어려운 점이 있다. 더욱이 그 열원을 화석연료를 추가 이용하는 것은 연료비 상승과 더불어 이산화탄소 배출량을 키우는 상태가 될 것이다.

따라서 본 연구에서는 버섯생산 공정 중 배지를 만든 이후 살균하는 과정에서 버려지는 폐열을 활용하여 에너지를 효율적으로 이용하면서도 추가적 에너지 사용을 극소화하는 수확후배지 건조공정을 개발하였다.

아래 그림은 폐열 이용 버섯배지 펠릿 생산 과정을 보여주는 것으로 버섯 생산 과정에서 나온 병 수확후배지는 저장조에 일정기간 저장되어 저장조 자켓의 열이나 드럼 건조기를 거친 따스한 온기류에 의하여 예열건조 혹은 대기 중에서 약간의 수분이 제거된 이후 잔존수분 함량에 따라 드럼 혹은 기류식 건조장치 또는 드럼건조와 기류식 건조 장치를 순차적으로 거쳐 펠릿 제조에 필요한 건조 상태가 된다.

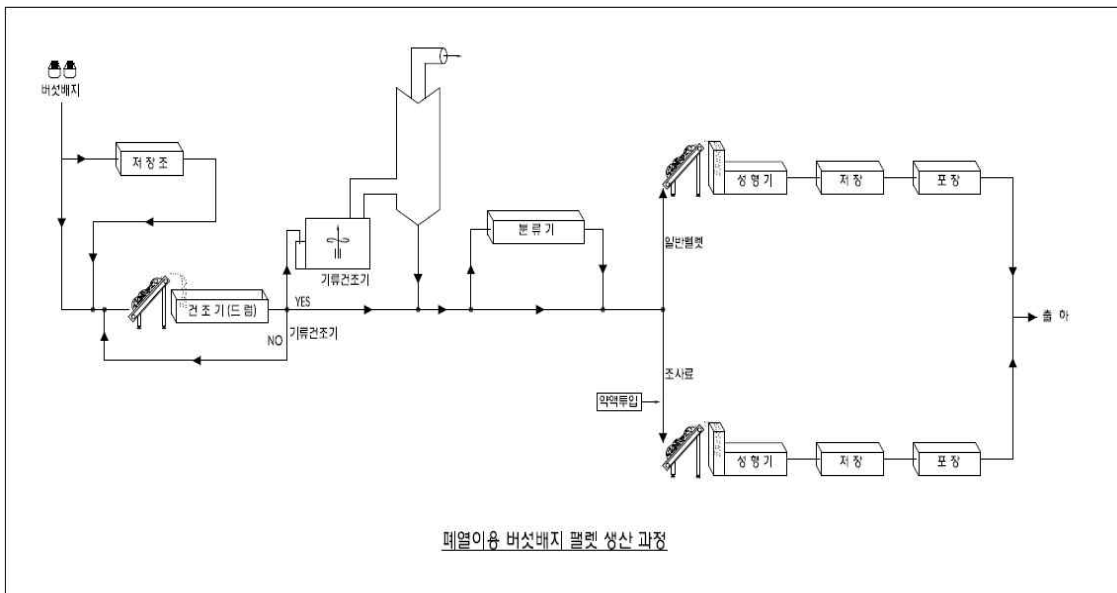


Fig. 3-1. 폐열 이용 버섯배지 펠릿 생산 과정  
Pellet Production with waste heat and mushroom spent medium

건조된 수확후배지는 필요에 따라 분류기를 거친 이후 일반 펠릿제조에서는 성형기를 통해 일정 규격의 펠릿으로 만들어져 저장하고 포장되어 상품화 되며, 조사료로 제조 시에는 필요한 영양분이 포함된 액체 원료를 건조수확후배지에 섞어 성형기로 유입시킨 후 펠릿으로 제조하고 저장하여 포장이후 상품으로 출하하게 된다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 폐열 활용 프로세스

본 연구 중 건조와 펠릿 제조 실증의 테스트 배드로 이용되고 있는 참맛버섯영농조합법인의 버섯제조 공정에는 350kw 급 전기보일러가 사용되고 있으며, 생산 열용량은 약 280,000kcal/hr (효율 약 95%)이며, 이 발생 스팀은 전량 살균조 부하에 따라 가변의 용량으로 이용되고 있으며, 여느 버섯 제조공장과 동일하게 살균 과정 및 살균조 개방 시 양질의 스팀이 다량으로 대기 중에 발산되어 버려지고 있는 실정이다.

따라서 살균조에서 배출 되는 고온고압의 폐 스팀 중 대부분을 판형열교환기를 통해 90℃ 이상의 온수로 열교환 하여 온수 저장조에 열을 저장하거나 드럼건조기 가열용 온풍을 만들기 위해 설치된 덕트 내 열교환기의 가열용 열원으로 활용하기 위한 목적으로 사용되거나 저장조의 자켓과 기류건조기 자켓에 선택적으로 사용할 수 있도록 배관을 구성하였으며, 또한 물과 열교환 과정에서 응축된 폐 스팀은 90℃ 이상의 온수로 바뀌어 보일러 옆에 설치된 응축수 탱크로 회수되고 이후 전기보일러의 스팀 발생용 보충수로 재활용됨으로써 물 절약과 에너지 절약을 동시에 실현시키게 되었다. 아래 그림은 수확후열 재활용을 위한 건조장치 열원 프로세스를 나타내고 있다.

폐 스팀 이용 프로세스는 1차 배관에서 보일러 보충수로 활용, 2차로 건조기 JACKET으로 활용, 3차로 저장조(수확후열회수장치)로 활용, 4차로 드럼건조기 열원으로 활용 하였다.

응축수로 재이용 시에는 수확 후 응축수를 별도로 저장하여 폐 스팀을 활용하고 난 후 저장조의 JACKET에 공급하여 잔여시간 (약18시간)동안 폐열을 활용하는 방식으로 사용하였으며, 2차년 도에는 폐 응축수 저장조에 배관을 돌려 JACKET 설치하여 활용 후 폐 스팀을 거쳐서 지나가도록 최대한 활용하였다.

### 나. 열교환 장치 (물→공기)

전기보일러에서 생성된 스팀은 살균조에서 1차로 사용되고 살균조의 벤트 혹은 배기용 배관을 통해 대기 중에 방출되기 전에 스팀 對 물용의 판형열교환기를 거쳐 100도 미만의 온수를 생산하고 저장된 온수는 필요시 건조열원으로 사용하거나 열교환과 동시에 배관을 통해 드럼건조기에 온기류를 유입시키기 위한 목적으로 덕트 라인에 설치된 물 對 공기 열교환기에 온수열원을 공급하여 80도 이상의 온풍을 생성하는 역할을 실행하고 있다.

참맛버섯영농조합에 실증용으로 설치된 열교환 장치는 약 100,000kcal/hr 용량의 것으로 시간당 310kg의 수확후배지 속 수분 약 106kg를 제거 할 수 있는 능력의 것이나 살균조 비 가동시간에도 가동하기 위한 열을 축열하기 위해 온수로 열 전환하여 사용함으로써 좀 더 높은 온도의 기류를 만들기 어려운 약점이 있는 점은 아쉬움이라 하겠으며, 타 현장의 상업용 목적으로 활용시 축열의 의미가 크지 않은 농장에서는 폐열원인 고온의 스팀을 직접 열 교환하는 방식으로 공기의 온도를 더 높게 만들 경우 건조효율을 극대화 할 수 있을 것으로 기대한다.



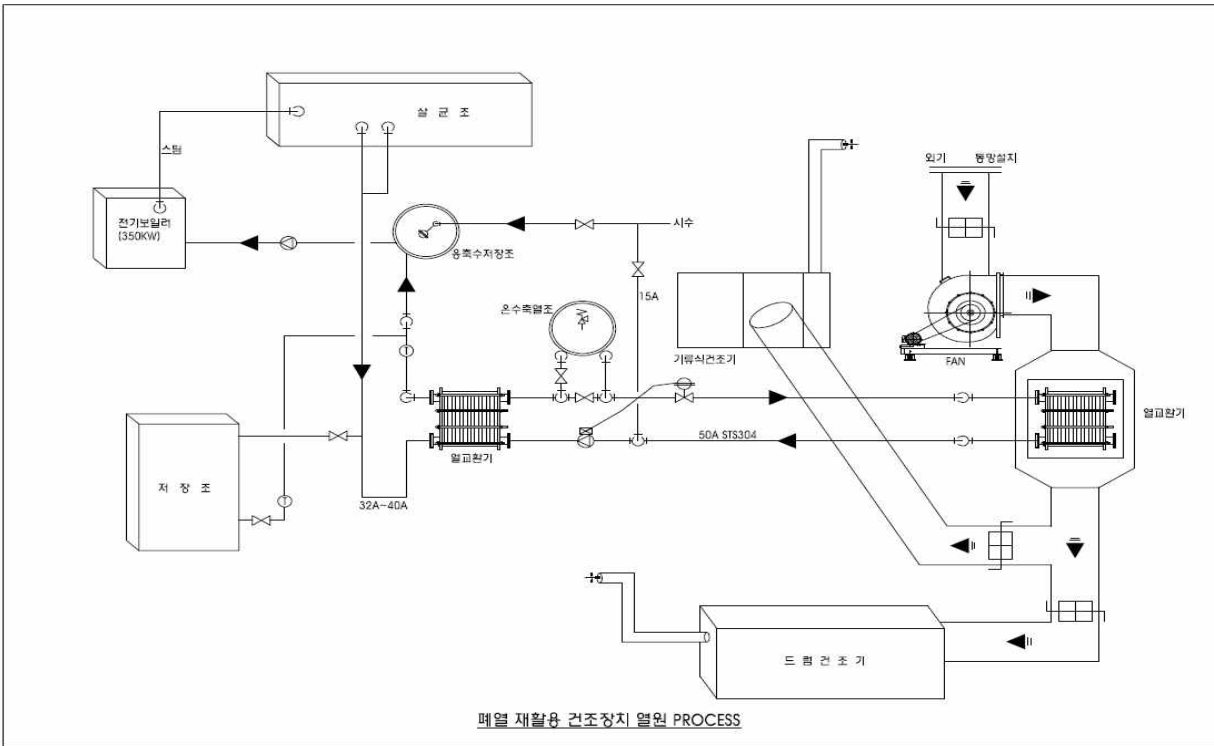


Fig. 3-2. 수확후열 재활용을 위한 건조장치 열원 프로세스(Heat source handling process)

본 장치의 구성은 웬과 열교환기, 덕트와 탬퍼, 배관과 펌프, 온도계 및 펌프제어용 온도 센서와 전기 공급 장치 등으로 구성되어 있으며, 스팀을 사용한 경우 너무 높은 온도가 되는 것을 막기 위해 스팀 라인에 온도 조절용 밸브와 자동제어장치 등이 구비되어 있다. 상기와 같은 구성요소의 설비 구축을 통해 양질의 온풍을 얻을 수 있었으며, 스팀보일러에서 나와 버려지는 폐열을 활용할 수 있었다. 아울러 효율적인 에너지 관리 프로세스를 통해서 전력 사용량을 최소화 구현하였다.



Fig. 3-3. 열 공기를 불어넣어주는 블로어 (Blower for heated Air)

#### 다. 폐열 활용 건조장치 구성요소의 개발

버섯배지의 살균 작업 시 발생하는 수확후열을 최대한 회수하고자 수확후배지 저장조, 건조기 등에 폐열을 이용하도록 업계 최초로 시도하고 응축수 저장조와 함께 회수장치를 구성하였다.

##### (1) 저장조

참맛버섯영농조합에서는 1일 발생량 약 2톤의 수확후배지가 발생하는데 병에서 탈피된 배지를 일시 저장하여 대기 중에 자연 건조를 유도하면서 이를 촉진하기 위하여 살균조 가동시간 (약 6시간) 중에는 직접 폐 스팀을 JACKET으로 공급하거나, 드럼 건조기에서 나온 40℃~60℃, 습도 50%미만의 폐 온풍을 유인하여 저장된 수확후배지를 가열 건조할 수 있도록 하였고, 내부에는 건조를 촉진하기 위하여 작은 동력을 이용한 교반장치가 설치되어 있으며 필요에 따라 덕트 혹은 송풍장치를 추가적으로 구비할 수 있도록 구성되어 있다.

##### ① 장치구성

참맛버섯영농조합의 1일 수확후배지 발생량인 약 2톤을 저장할 수 있도록 설계된 저장조, 기화된 수분을 대기 중에 확산건조 목적으로 설치한 교반장치와 이를 구동하기 위한 전동기, 저장조 둘레에 설치되어 저장조에 살균조로부터 유입된 폐증기열원을 적당하게 전달시킬 목적으로 설치된 JACKET과 배관, 그리고 덮개 및 지지대 등으로 구성하였다.



Fig. 3-4. 저장조 (Temporal Storage)

##### ② 결과 및 성과

적용 설비 중 유일하게 24시간 가동하게 하여 후단설비의 부하를 경감시켜 에너지 절약과 가동 효율을 극대화 할 수 있는 설비로 농가에서 유용하게 활용가능하다.

저장조 활용을 극대화 하는 경우, 초기 함수율 대비 약 15% 전후의 함수율을 저장할 수 있으며 평균적으로 7% 정도의 함수율이 저장되었다.

아울러 저장조 내 수확후배지 저장으로 작업환경 청결 유지와 작업 효율성이 증대되며, 수확후배지의 장기저장과 부가가치 제고를 위하여 본 건조시키기 전 보관 상태에서부터 통풍 건조를 시킴으로써 본 건조의 효율을 높이고 저장 및 건조비용 절감이 가능하였다.

##### (나) 수확후열이용방식의 기류식 건조장치

기존의 기류식 건조 장치는 투입된 목재등과 같은 바이오매스를 고속의 Rotor와 기류장에 의해 효율적으로 건조·분쇄하여 순환 Fan에 의해 외부로 배출하며, 수분은 별도의 유로를 따라 외부로 배출하는 구조로 되어 있어 주요 구성성분이 톱밥으로 구성되어 있는 수확후배지의 연속적 건조에 이용 시 고속회전체가 일으키는 물리적 일을 열과 압력에너지로 전환되는 과정에서 대기압에서의 건조온도보다 낮은 온도에서 수분의 기화점이 형성되어 건조효율이 높아지는 특성을 보이거나 톱밥의 작은 규격의 성분이 고속회전 과정에서 지나치게 미분화 경향을 보이고, 비중이 낮은 톱밥 특성상 건조기에서의 체공시간이 짧아 건조목표에 따른 함수율 감소가 이루어지지 않는 점이 확인되어 이를 보완하기 위하여 인입기류를 대기에서 수확후 열을 재이용한 가열 공기를 이용하면서 JACKET에 수확후열을 활용한 가열을 부가함으로써 건조효율을 향상시킬 수 있었으며, 지나친 미분의 입도를 조절할 목적으로 로터의 날개수를 조절하여 일부 개선 효과를 보았으며, 더욱이 입도가 작은 성과물을 펠릿의 원료로만이 아닌 버섯재배의 원료와 타 목적제품의 구성요소로 활용하기 위한 방법을 이번연구과제 이후에도 계속해서 연구하여 쓰임을 다원화하기로 하였다.



Fig. 3-5. 수확후 열덕트가 연결된 기류식 건조기 (Dryer with duct of waste heat)

#### ① 장치 구성

선행기술인 기존 건조기에 배지 살균 후 확보된 폐 스팀을 연결하는 덕트와 JACKET을 장착하여 수확후열을 활용하였다. 연구 초기에는 기존 건조기 내부 JACKET을 검토하였으나 2,400rpm의 고속회전체의 간섭 등으로 외부장착을 결정하였다.

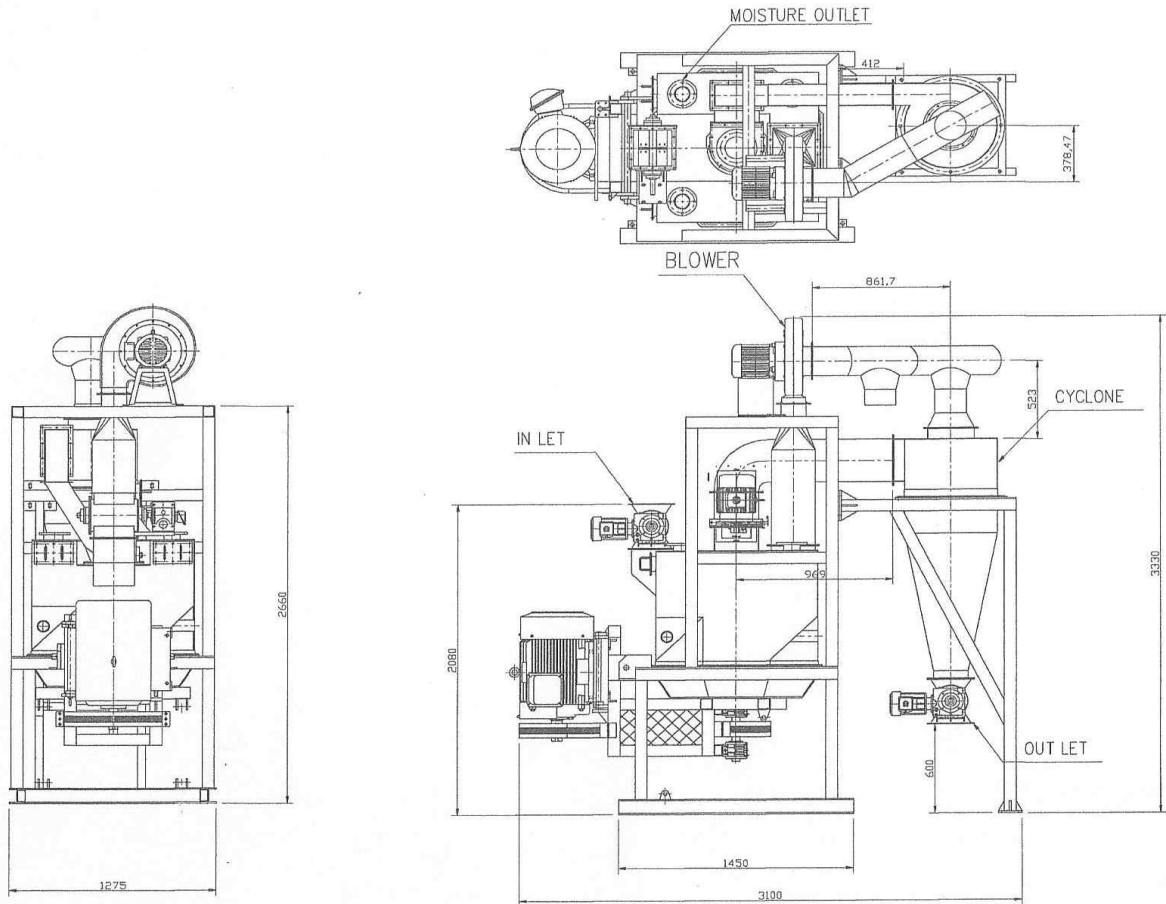


Fig. 3-6. 기류식 건조기 설계도



Fig. 3-7. 수확후 열 회수형 건조기와 Jacket 장착 (Dryer with Jacket with waste heat)

## ② 결과 및 성과

페 스티م 라인에 직접 JACKET을 설치하여 건조기의 내부온도를 유지 혹은 상승시켜 건조에 활용하였다. 각 위치의 온도 측정 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1차 수확후열을 이용하고 난 후 온도 : 약 90℃
- 건조기 JACKET 도달 후 온도 : 약 80℃

- 건조기 JACKET 순환 후 수확후열회수장치 도달온도 : 약 60℃
- 수확후열회수장치 순환 후 온도 : 약 40℃

살균시간 (5-6시간)동안은 1차 수확후열회수 구간을 지나온 수확후열을 직접 활용하였으며, 살균 진행이 끝난 후 건조기 가동시간 (6시간 예상)에는 응축수 저장조의 수확후열을 활용하였다.

본 연구에서의 폐열회수장치는 발명특허 출원 장치로서 다른 사례가 없어 결과에 대한 비교 분석이 불가능한 바, 장비를 운용하면서 지속적으로 효율제고를 위하여 개선, 발전시킬 필요가 있다.

#### (다) 폐열 회수형 드럼건조장치

드럼형 건조장치는 기류식 건조장치와 더불어 건조를 위한 중요 장치로써 드럼에 유입된 수확후배지를 수확후열을 열원으로 가열된 기류에 의하여 가열건조하기 위한 시설이며, 적절한 기울기와 회전력을 통해 수확후배지를 이동, 교반을 반복하여 건조를 진행시키며, 스크류형 콘베이어에 의해 유입된 정량의 수확후배지를 연속적으로 건조하기에 적절한 구조이어야 한다.

특히 드럼은 열손실이 적게 단열되어야 하며 드럼 내부에는 건조물이 적절하게 뜨거운 기류와 접촉할 수 있도록 구성되어야하고, 발생된 수증기는 기류에 실려 즉시 배출되는 구조이어야 한다.

특히 수확후배지 유입구는 수확후배지와 열 교류로 습해진 기류의 배출에 지장이 없도록 위치 및 투입구 구조 구성에 신경써야 하고, 수확후배지 토출구는 비중이 높거나 버섯뿌리 등이 묻쳐 부피가 커진 건조물이 먼저 나오게 되는데 이는 건조물 내부 미 건조될 확률이 높으므로 필요시 교반기에서 채에 걸러내어 분류하고 재 건조 과정을 시행하는 것도 고려해야 한다.

#### ① 장치구성

기존의 건조기를 개량하여, 수집된 수확후열을 적극 활용하여 건조효율을 높이도록 개발하였으며, 기류식 건조기가 필요하지 않은 배지의 경우 바로 드럼건조기를 통하여 함수율을 조절한 후 컨베이어 시스템에 연동되어 펠릿성형기로 이동하도록 운용하였다.

- 6M 길이의 드럼식 건조기
- Geared Motor & Worm Reducer ; G-Motor : 3HP X 1/20 Worm Reducer : 1/10
- 열교환기 적용

드럼형 건조장치는 기류식 건조장치와 더불어 건조를 위한 중요 장치로써 드럼에 유입된 수확후배지를 폐열을 열원으로 가열된 기류에 의하여 가열건조하기 위해 설치된 설비로써 건조물을 가열된 기류로 건조하기 위해 일정시간 채류하며 이동과 교반을 연속적으로 구성하기 적합한 구조인 장방형의 원통형 본체와 열손실 방지 위해 설치한 보온재, 그리고 함석마감재, 또한 이 본체를 일정 속도로 회전시켜 교반과 이동을 돕도록 설치된 체인과 감속장치, 그리고 이를 구동하기 위한 인버터가 부착된 모터와 전기 공급 장치, 또한 건조물의 중력 이동을 위해 약간 기울인 각도의 본체를 지탱하도록 설치된 가대 등으로 구성되어 있다. 아래 그림은 현장에 설치된 제품사진이다.





Fig. 3-8. 드럼건조기 (Drum type Dryer)

② 결과 및 성과

적정 회전수 제어를 통해 건조물의 체류 시간을 최적화 하여 건조시켰다. 이렇게 함으로써 기류와 건조물간의 열적 교류 효율 증대를 확보할 수 있어 건조효율을 높일 수 있다. 대용량 처리용량을 적용하여 설계 시 본체 몸통의 지름이나 길이조정을 통해 처리용량을 조정할 수 있다. 초기 함수율 대비 약 30~25% 전후의 함수율 저감을 구현하였다.

다양한 버섯 배지들을 대상으로 최적의 운용시간을 파악하기 위하여 Time, RPM, 과쇄상태 등의 조건들을 대조실험 진행하였으며, 드럼형 건조기와 기류식 건조기의 혼합적용 운용을 바탕으로 최종 목표 함수율 15%에 도달하였다. 전 공정의 안정적인 정량 투입량을 관리하기 위하여 컨베이어 시스템 구축을 연계하였다.



Fig. 3-9. 기류식 건조기에 수확후열활용 (Dryer with waste heat)

(라) 전용 선별기 개발

기존의 선별기는 입자(입도) 선별이나 비중(중력식)선별의 각각의 전용기로 이루어져 있으나 당사의 선별기는 수확후배지의 다양한 혼합재료라는 특수성 때문에 2단으로 구분하고, 과다한 설비비와 복잡한 공정을 혼합형으로 구성하여 완전히 차별화된 수확후배지 전용 선별기가 되

도록 맞춤 개발을 하였다. 그럼에도 불구하고 시중의 톱밥의 성상이 공급자별로 일괄적이지 않아 최적의 선별을 도출하지는 못하였고, 전 공정의 앞단에서 플라스틱 조각과 부적절한 삼입물 질들을 걸러내는 공정에 활용하였다.

① 장치개요

사료로서 부적합한 톱밥을 최대한 선별하는 것이 목적이었으나, 현재 국내에 유입 공급되는 톱밥의 성상들은 공급자별로 일괄적이지 못한 것이 현실적이다. 이에 톱밥과 왕겨 등의 배지성분과 분리해 내는 것은 좀 더 고도화되고 정밀 제어가 가능한 선별기를 개발 활용하여야 될 것으로 본다.



Fig. 3-10. 선별기 (Classifier)

② 결과 및 성과

입자선별기를 4mesh와 8mesh를 적용하여 테스트 하였으나, 기존 배지에 사용되는 미강과 배지조성분과 물질특성이 비슷하여 선별기의 선별결과는 만족스럽지 못하였다.

재활용을 위한 선별 필요성에 있어서 큰느타리버섯의 수확후배지는 느타리버섯의 2차 원료로, 팽이버섯의 수확후배지는 큰느타리버섯의 2차 원료로 사용이 가능하나 팽이버섯은 톱밥을 함유하지 않고, 큰느타리버섯 배지는 톱밥 함유량이 느타리버섯에 비해 적으므로 선별하여도 그 의미가 적다. 팽이버섯과 만가닥버섯의 수확후배지는 타 버섯배지로의 재활용의 효과가 미미하다. 따라서 수확후배지의 재활용을 위해 고려되었던 톱밥 선별 공정은 그 경제적 수익성이 반감되어 본 연구에서 더 이상 진행하지 않았다.

버섯배지의 톱밥 배합비율을 분석해 보면, 농가에서 관행적으로 사용하는 버섯 배지의 톱밥 함유비율은 다음과 같다.

- 팽이버섯 : 톱밥 없음
- 느타리버섯 : 톱밥 50% (v/v)
- 큰느타리버섯 : 톱밥 30% (v/v)
- 만가닥버섯 : 톱밥 30% (v/v)

(마) 전용 펠릿성형기 개발

수확후배지를 펠릿화한 사례를 찾을 수 없어서 수십 개의 성형기 MAKER를 접촉하였으나 기존의 성형기로는 수확후배지 펠릿을 성형할 수가 없어 전용기 업체와 함께 개발을 하였다. 우선 기존 계획에 의한 SCREW TYPE은 함수율이 35%이상일 때 가능한 방식으로 확인되었고, 링다이 타입과 플랫다이 타입으로 진행했으나 내구성, 압축률 등을 감안하여 플랫다이 타입으로 실험한 바 적절한 사양과 시험성형을 확인하였다.

① 장치개요

함수율 15%이하인 수확후배지를 펠릿화 함으로써 사료 및 연료로 사용함에 저장성, 이동성, 적합성을 유지하고자 하였다.

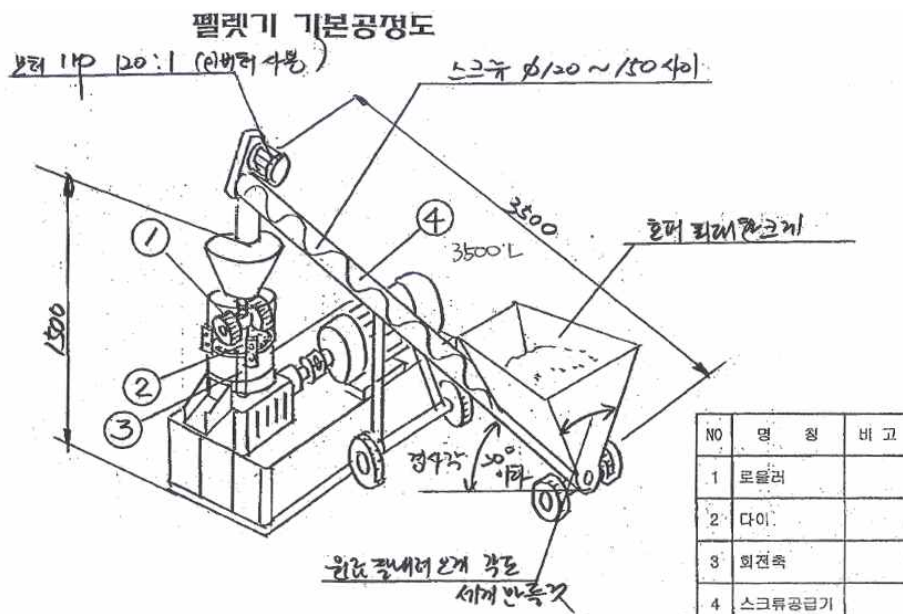


Fig. 3-11. 버섯배지 전용 펠릿 성형 공정도 (Process for pallet of mushroom spent media)

함수율 70%인 만가닥버섯의 수확후배지를 함수율 15%이하로 건조시킨 후 원반형 FLAT DIE TYPE 의 펠릿성형기에 성형을 시켰다. 기존 성형기에서는 물성의 차이로 펠릿화가 되지 않았음을 확인하였으며, 성형기의 롤러와 다이를 교체해 가면서 시 성형을 하였으나 실패하여 새로운 롤러와 특성을 반영한 전용 펠릿성형기를 개발 도입하였다.

건조 수확후배지의 압축률을 재산정하여 함수율을 18-20%로 높인 후 시 성형에 성공하였으며, 함수율 15% 미만인 건조 수확 후 배지로 펠릿 시 성형에 성공하였다. 수확후배지는 목재펠릿과 달리 접착력이 있는 성분이 없어 성형이 어려워 충분한 압축률을 반영하여 제작하였다.

② 결과 및 성과

함수율 20%인 건조 수확후배지로 성형한 펠릿은 약 2주 후부터 곰팡이가 발생하기 시작하여 약 1개월 후에는 곰팡이가 심한 상태가 되며, 함수율 15%이하로 성형한 수확후배지 펠릿은 성형 후 3개월이 경과하여도 아무 변질이 관찰되지 않았다.





Fig. 3-12. 펠릿성형기와 결과물 (Pellet Press and Pellets of mushroom spent media)

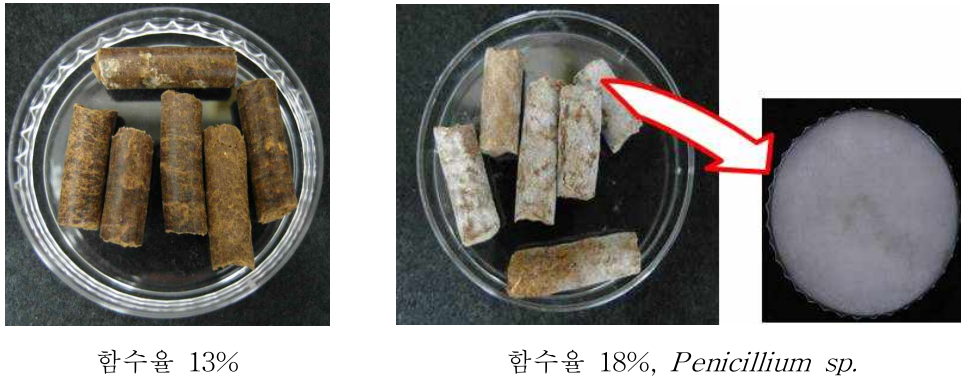


Fig. 3-13. 함수율에 따른 펠릿 곰팡이 발생과 분리오염균

버섯 수확후배지를 펠릿화 하여 분석해 보면, 크기 밀도는 거의 비슷하며, 버섯수확후배지 발열량은 1급 펠릿에 준하여 우수한 것으로 분석되었다(4454 Kcal/Kg). 버섯 배지의 특성으로 인한 회분과 질소분 성분이 많이 포함된 것으로 나타났으며, 성분 분석과 열량분석은 한국임업진흥원 위탁으로 나온 결과이다.(그림 3-21~24)

### 3. 결과 및 고찰

폐 스팀 이용 프로세스는 1차 배관에서 보일러 보충수로 활용, 2차로 건조기 JACKET으로 활용, 3차로 저장조(수확후열회수장치)로 활용, 4차로 드럼건조기 열원으로 활용하였다. 응축수로 재이용 시에는 폐 응축수를 별도 저장하여 폐 스팀을 활용하고 난 후 저장조의 JACKET에 공급하여 잔여시간 (약18시간)동안 폐열을 활용하는 방식으로 사용하였다. 이와 같은 구성요소의 설비 구축을 통해 양질의 온풍을 얻을 수 있었으며, 스팀보일러에서 나와 버려지는 폐열을 활용할 수 있었으며, 효율적인 에너지관리 프로세스를 통해서 전력 사용량을 최소화 구현하였다.

저장조는 적용 설비 중 유일하게 24시간 가동하게 하여 후단설비의 부하를 경감시켜 에너지 절약과 가동 효율을 극대화 할 수 있는 설비로 농가에서 유용하게 활용가능하다. 저장조 활용을 극대화 하는 경우, 초기 함수율 대비 약 15% 전후의 함수율을 저장할 수 있으며 평균적으로 7% 정도의 함수율이 저장되었다. 아울러 저장조 내 수확후배지 저장으로 작업환경 청결 유지와 작업 효율성이 증대되며, 수확후배지의 장기저장과 부가가치 제고를 위하여 본 건조시키기 전 보관 상태에서부터 통풍 건조를 시킴으로써 본 건조의 효율을 높이고 저장 및 건조비용 절감이 가능하였다.

드럼건조기는 적정 회전수 제어를 통해 건조물의 체류 시간을 최적화 하여 건조시켰다. 이렇게 함으로써 기류와 건조물간의 열적 교류 효율 증대를 확보할 수 있어 건조효율을 높일 수 있다. 초기 함수율 대비 약 30~25% 전후의 함수율 저감을 구현하였다.

다양한 버섯 배지들을 대상으로 최적의 운용시간을 파악하기 위하여 Time, RPM, 파쇄상태 등의 조건들을 대조실험 진행하였으며, 드럼형 건조기와 기류식 건조기의 혼합적용 운용을 바탕으로 최종 목표 함수율 15%에 도달하였다.

#### 4. 요약

본 연구에서는 버섯생산 공정 중 배지를 만든 이후 살균하는 과정에서 버려지는 폐열을 활용하여 에너지를 효율적으로 이용하면서도 추가적 에너지 사용을 극소화 하는 폐배지 건조공정을 개발하였다. 버섯배지의 살균 작업 시 발생하는 폐열을 최대한 회수하고자 폐배지 저장조, 건조기 등에 폐열을 이용하도록 업계 최초로 시도하고 응축수 저장조와 함께 회수장치를 구성하였다.

참맛버섯영농조합에서는 1일 발생량 약 2톤의 수확후배지(폐배지)가 발생하는데 병에서 탈피된 배지를 일시 저장하여 대기 중에 자연 건조를 유도하면서 이를 촉진하기 위하여 살균조 가동시간(약 6시간) 중에는 직접 폐 스팀을 JACKET으로 공급하거나, 드럼건조기에서 나온 40℃~60℃, 습도 50%미만의 폐 온풍을 유인하여 저장된 폐배지를 가열건조할 수 있도록 하였고, 내부에는 건조를 촉진하기 위하여 작은 동력을 이용한 교반장치가 설치되어 있으며 필요에 따라 덕트 혹은 송풍장치를 추가적으로 구비할 수 있도록 구성되어 있다.

선행기술인 기존 건조기에 배지 살균 후 확보된 폐 스팀을 연결하는 덕트와 JACKET을 장착하여 폐열을 활용하였다. 연구 초기에는 기존 건조기 내부 JACKET을 검토하였으나 2,400rpm의 고속회전체의 간섭 등으로 외부장착을 결정하였다. 기존의 건조기를 개량하여, 수집된 폐열을 적극 활용하여 건조효율을 높이도록 개발하였으며, 기류식 건조기가 필요하지 않은 배지의 경우 바로 드럼건조기를 통하여 함수율을 조절한 후 컨베이어 시스템에 연동되어 펠릿성형기로 이동하도록 운용하였다. 건조 폐배지의 압축률을 재산정하여 함수율을 18-20%로 높인 후 시 성형에 성공하였으며, 함수율 15% 미만인 건조 수확후배지(폐배지)로 펠릿으로 생산하였다. 수확후배지(폐배지)는 목재펠릿과 달리 접착력이 있는 성분이 없어 성형이 어려워 충분한 압축률을 반영하여 제작하였다.

## 제2절. 폐열회수 건조기 설치 운용 조건 구명 및 산물의 펠릿화

### 1. 서론

버섯 수확후배지는 느타리버섯, 큰느타리버섯, 팽이버섯 등의 재배에 기질로 사용된 혼합재료가 버섯을 재배한 후 남겨진 것으로 각 버섯 재배마다 그 혼합재료 및 비율이 다르며 또한 같은 버섯 내에서도 재배농가마다 약간의 차이가 있다. 버섯 생산량은 매년 농림축산식품부에서 그 생산량을 품목별로 조사하고 있으나 수확후배지에 대하여는 일부 연구자들이 추정하여 산출하였다. 그러나 수확후배지의 활용방안을 모색하는데 있어 먼저 각 버섯 품종별 구체적인 배지 생산규모 및 이를 통한 수확후배지 발생량을 전수 조사할 필요가 있다.

버섯 수확후배지는 수분함량이 60~65% 수준이며 기질 내 잉여의 영양분이 풍부하여 변질이 쉽게 일어난다. 따라서 버섯 수확후배지의 활용도를 높이기 위해서는 빠른 시간 안에 수분함량을 15%이하로 낮추어야 한다. 건조된 수확후배지는 그 자체로 장기간 저장이 가능하여 다양한 용도 및 거리, 시간 등에 제약없이 활용할 수 있다.

Table 3-1. 2014년 주요 버섯 농가 수, 재배면적, 생산량 및 생산액현황

	느타리	큰느타리	팽이	양송이	영지	상황	기타	계
농가수 (호)	1,227	441	21	604	105	88	940	3,426
재배면적 (ha)	166	107	26	91	25	18	329	762
생산량 (M/T)	76,389	47,814	33,259	11,493	428	205	12,961	182,561
생산액 (10억원)	162.4	135.7	56.6	79	21.4	-	-	455.1

※ 2014 특용작물생산실적, 2015 농림축산식품 주요 통계, 농림축산식품부

2014년 농림축산식품부 통계자료에 의하면 국내 버섯농가는 3,426호이며 버섯생산량은 182,561 M/T이고 농가 출하 기준 총 생산액은 4,550억 원이다. 생산량을 기준하여 느타리버섯(41.8%), 큰느타리버섯(26.2%), 팽이버섯(18.2%)이 전체 생산량의 약 86%를 차지하고 있다.

국내에서 병 재배 방법으로 재배되는 버섯은 느타리버섯, 큰느타리버섯, 팽이버섯으로 국내 버섯생산량의 약 80%를 차지하나, 재배면적은 약 40%로 낮다. 이는 단위면적당 생산효율이 높은 재배형태임을 반증한다.

청정에너지원인 목재펠릿의 생산과 이용에 대한 관심이 높아진 상황에서 정부에서 목재펠릿 제조생산 설비에 대한 설비 지원과 산림조합 등 관련 업계의 설비 확충이 많이 이루어지고 있다. 그러나 국내 산림환경은 충분한 원료 생산에 한계가 있으며 국내 부족분의 목재펠릿을 수입을 통하여 조달하고 있다. 따라서 국내에 존재하는 바이오매스 자원을 이용하여 연료화하는 연구가 많이 시도되고 있으며 그 중 버섯 수확후배지를 이용한 연구가 국립산림과학원 등에서 이루어지고 있다.

Table 3-2. 연도별 목재펠릿 생산 및 판매량

(단위: 톤)

연도별	계		국내산		수입산	
	공급량	소비량	공급량	소비량	공급량	소비량
2009	20,569	18,216	8,527	6,174	12,042	12,042
2010	33,981	33,751	13,088	12,858	20,893	20,893
2011	64,013	62,917	34,335	33,239	29,678	29,678
2012	173,790	174,068	51,343	51,621	122,447	122,447
2013	550,271	551,455	65,603	66,787	484,668	48,4668
2014	1,940,103	1,737,274	90,462	82,562	1,849,641	1,654,712

※ 출처: 한국펠릿협회

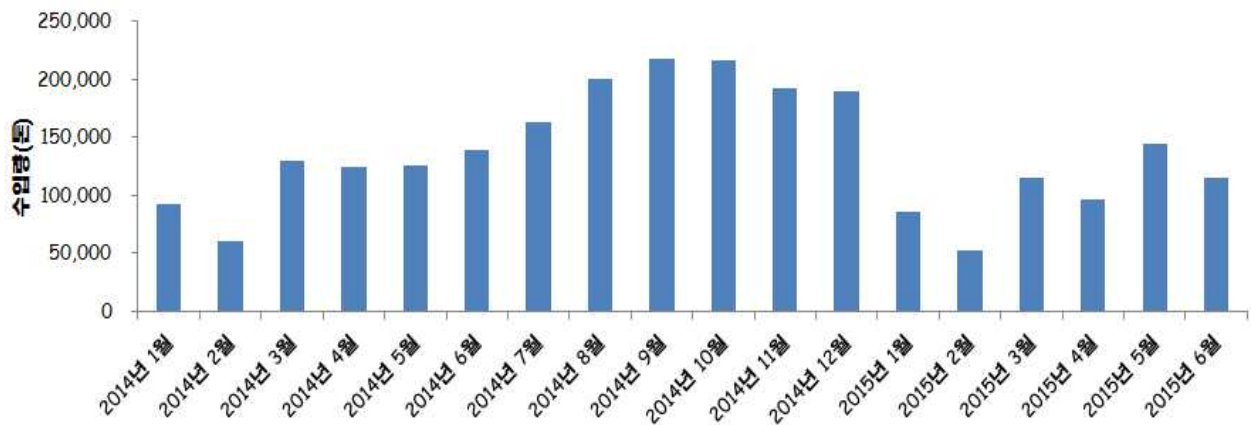


Fig. 3-14. 국내 목재펠릿 수입량 추이

※ 출처: 한국펠릿협회

목재펠릿의 국내 수요량은 2009년 18천 톤에서 2015년 1,737천 톤으로 급격히 증가하였으나 국내 생산량은 2014년 90천 톤이며 나머지 부족분은 해외에서 수입하여 충당하는데 그 양이 1,654천 톤으로 전체 국내 수요량의 95%를 수입 목재펠릿이 차지하고 있는 실정이다.

1996년 런던협약 이후 가축분뇨와 음식 수확후기물의 해양배출을 단계적으로 금지하고 있으며 우리나라도 2009년 1월 런던협약에 가입하면서 2012년부터 축산수확후기물의 해양배출이 단계적으로 금지되었다. 이러한 이유로 가축분뇨를 이용한 바이오 고형연료화 연구가 진행되었으며 그 결과 우분을 이용한 고형화 펠릿의 발열량은 3,578kcal/kg으로 낮은 수준이다(김 등, 2013). 버섯생산이 대규모 자동화 병 재배 방식으로 이루어지면서 톱밥 및 농업부산물을 이용한 연중재배 체계가 이루어졌고 따라서 매일 일정 규모의 버섯 수확후배지가 배출되는데 버섯 배지는 톱밥, 미강, 콘코브, 면실박, 면실피, 비트펠프 등 농임업부산물로 구성되어 있으며 각각의 재료들의 발열량은 모두 4000kcal/kg 이상이며 이들을 혼합하여 버섯을 재배 수확한 후 그 배지를 이용하여 펠릿화 하여 고형연료로서의 이용 가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 전국 병 재배 버섯 수확후배지 배출규모 조사

각 도 농업기술원을 통하여 입수한 병 재배 버섯농가의 연락처를 토대로 직접 전화 상담하여 각 농가의 입병규모, 병 크기, 버섯수확배지 배출처 및 향후 버섯수확후배지의 활용 희망분야에 대하여 조사하였다.

### 나. 폐열회수 건조 시스템의 운용조건 설정

본 연구에서 개발된 폐열회수 열교환기, 버섯 수확후배지 저장조, 드럼건조기 및 기류건조기를 이용하여 각 기계들의 적정 투입량, 가동조건 및 그 산물의 함수율을 측정하였다. 먼저 저장조에 버섯 수확후배지를 2톤 투입 후 다양한 조건으로 12시간 가동 후 함수율을 측정하였다.

저장조 실험에서 가장 수분함량이 줄어든 조합의 수확후배지를 이용하여 드럼건조기에서 투입량별 수분함량 변화를 조사하였다.

### 다. 건조된 수확후배지의 펠릿화 및 바이오 고형연료로의 이용가능성 구명

#### (1) 버섯 수확후배지 수거

건조와 펠릿화 실험을 위해 일정량의 수확후배지의 수집이 중요한 부분을 차지했다. 건조기와 열 회수장치 등이 설치 시험운영되고 있는 경기도 여주농장에서 근거리에 위치하고 공시한 4품목의 버섯의 생산 규모도 큰 농가를 선정하여 수확후배지를 획득하였다. 느타리버섯의 경우 경기도 양평군 소재 농가에서, 큰느타리버섯과 팽이버섯 수확후배지는 경기도 안성시 소재 농장에서 수거하였으며, 만가닥버섯 수확후배지는 경기도 여주군 소재 농장에서 수거하였다.

#### (2) 일반 농산물 건조기를 이용한 건조시간별 버섯 수확배지의 수분함량변화

위 4종의 버섯 수확후배지를 85kg씩 준비하여 농산물건조기(경동 Dryer, DS-501)를 이용하여 건조하였다. 건조 조건은 건조기 선반에 각 2.5kg의 수확후배지를 담아 총 33개의 건조선반을 건조기에 장착한 후 건조기를 50℃, 12시간 강제 배습을 실시하여 시간별 수확후배지의 수분함량 변화를 OHAU SM835 수분측정기를 이용하여 조사하였다.

#### (3) 수확후배지 수분함량별 펠릿화 정도

위 4종의 건조된 버섯 수확후배지에 함유된 수분함량을 5~25%까지 5% 단위로 조정하여 위에서 개발한 펠릿성형기를 이용하여 펠릿화 한 후 24시간 상온에서 고화작업을 실시한 후 그 펠릿정도를 육안 조사하여 상업성 있는 펠릿 제품을 생산하기 위한 적정 버섯 수확후배지 내 수분함량을 결정하였다.

#### (4) 버섯 수확후배지 펠릿의 성상 및 발열량 조사

버섯 수확후배지를 이용하여 펠릿화 된 4종 펠릿의 내구성, 회분, 발열량 및 황, 염소, 질소 등의 성분검사를 한국임업진흥원에 의뢰하여 분석하였다. 4종 펠릿의 수분함량은 보유하고 있는 OHAU SM835 수분측정기를 이용하여 조사하였다.(그림 3-21~24)

### (5) 배지 살균시 버섯 수확후배지 펠릿 농가실증

4종의 버섯 수확후배지 펠릿을 이용한 버섯 배지 살균 농가실증 실험을 경기도 여주시 소재의 느타리버섯 병 재배 농가로 살균용 펠릿보일러를 보유하여 기존 산림조합에서 판매하는 목재펠릿을 이용하여 배지살균을 하는 농가로 입병 규모는 900cc 병을 일일 3,500병 입병하는 규모다.

기존 사용하는 산림조합의 목재펠릿과 4종의 수확후배지 펠릿을 각각 살균에 이용 시 설정온도까지 도달 시간 및 사용된 펠릿의 무게를 측정하였고 또한 펠릿보일러 배기 배출구에서 배출되는 가스의 색깔도 조사하였다.

이 실험을 바탕으로 경유, 목재펠릿, 수확후배지 펠릿 사용 시 경제성 분석을 실시하였다.



살균전용 펠릿보일러



수확후배지펠릿 시판중인 목재펠릿

Fig. 3-15. 펠릿보일러와 펠릿

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 전국 병 재배 버섯 수확후배지 배출규모 조사

국내 병버섯 재배 농가의 1일 버섯 생산규모 및 수확후배지 배출량을 시도별로 조사한 결과 버섯 품종별 재배량이 지역별로 특화되는 것을 알 수 있었다(표 3-3). 느타리버섯은 경기도가 전국 생산량의 76.8%를 생산하였고, 팽이버섯은 전남과 경북, 큰느타리버섯은 전남과 경남에서 각각 전국 생산량의 84.1%, 56%를 생산하고 있다.

느타리버섯 재배 농가가 하루에 배출하는 수확후배지는 약 360여 톤이고, 팽이버섯은 196톤, 큰느타리버섯이 약 390여 톤으로 총 960여 톤의 수확후배지가 생산되고 있다. 이를 연간으로 환산하면 약 285천 톤이다.

배출되는 수확후배지의 대부분은 지역의 퇴비업자에 의해 처리되며 일부 축산농가에서 인근의 팽이버섯이나 큰느타리 농가로부터 극소량의 수확후배지를 수거하여 TMR 사료제조에 이용하는 것으로 나타났다. 버섯 수확후배지의 판매가격에 대하여 조사한 결과 느타리버섯은 평균 25원/kg, 큰느타리버섯은 27원/kg, 팽이버섯은 26원/kg에 판매하고 있었으며, 경북 청도의 일부 농가의 경우 자가 퇴비시설에서 퇴비화하여 120원/kg에 판매하였다.

수확후배지의 활용방안에 대하여 농가설문 조사를 한 결과 건조 펠릿화 하여 버섯농장의 펠릿보일러에 재활용하여 버섯배지 살균에 소요되는 에너지비용 절감에 82%가 응답하였고, 팽이버섯의 대부분은 축산사료로서의 재활용에 응답하였으며(6.7%), 나머지 농가들은 배지 재활용

에 관심을 보였다(11.3%).

Table 3-3. 전국의 병 재배 버섯의 1일 입병규모 및 수확후배지 배출규모

		강원	경기	경남	경북	대구	대전	울산	인천	전남	전북	충남	충북	총계
느타리	농가수(호)	6	90	3	7	-	2	-	1	4	6	4	3	126
	입병량 (천병/일)	74	783	12	35	-	12	-	3	24	30	28	18	1,019
	수확후배지 배출량 (톤/일)	25.9	274.1	4.2	12.3	-	4.2	-	1.1	8.4	10.5	9.8	6.3	356.8
팽이	농가수(호)	-	-	-	3	-	-	1	-	6	3	-	-	13
	입병량 (천병/일)	-	-	-	207	-	-	57	-	206	21	-	-	491
	수확후배지 배출량 (톤/일)	-	-	-	82.7	-	-	22.8	-	82.5	8.5	-	-	196.5
큰느타리	농가수(호)		11	172	130	11	2	3		78	9	29	15	460
	입병량 (천병/일)		9.7	322.9	140.1	10.7	5.5	6.4		225.7	13.7	120.3	124.4	979.4
	수확후배지 배출량 (톤/일)		3.9	129.2	56	4.3	2.2	2.6		90.3	5.5	48.1	49.8	391.9
만가닥	농가수(호)	2	1	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	7
	입병량 (천병/일)	14	5	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	49
	수확후배지 배출량 (톤/일)	4.2	1.5	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	14.7

나. 폐열회수 건조 시스템의 운용조건 설정

(1) 버섯 수확후배지 저장조

한번에 2톤의 버섯 수확후배지를 투입하고 저장조 벽체 외부에 설치된 JACKET에 직접 살균 폐 스팀을 투입한 후 저장조 가동 회전수를 달리하여 12시간 후의 수분함량을 조사한 결과는 표 3-4와 같다.



Table 3-4. 저장조에 버섯 수확후배지 투입 후 가동시간별 수분함량 변화(%)

수확후배지 종류	저장조 가동조건	버섯 수확후배지 투입 후 경과시간(H)						
		0	2	4	6	8	10	12
느타리버섯 수확후배지	무처리	63.4	63.4	63.0	62.7	62.4	62.1	61.8
	폐열투입	63.4	63.0	62.7	62.0	61.2	60.5	59.8
	폐열투입+송풍	63.4	62.4	60.7	57.4	53.1	51.9	48.4
	폐열투입+배풍	63.4	60.3	55.7	51.1	47.9	44.5	40.5
큰느타리버 섯수확후배 지	무처리	64.1	64.1	63.6	63.5	62.9	62.6	62.2
	폐열투입	64.1	63.0	62.7	62.0	61.6	61.3	60.8
	폐열투입+송풍	64.1	62.4	60.7	58.6	55.8	52.9	50.5
	폐열투입+배풍	64.1	61.3	55.2	50.0	47.2	43.5	41.4
팽이버섯 수확후배지	무처리	62.7	62.7	62.1	61.9	61.4	60.5	60.1
	폐열투입	62.7	62.0	61.4	61.1	60.0	59.1	58.3
	폐열투입+송풍	62.7	60.2	58.7	55.8	52.1	50.2	48.0
	폐열투입+배풍	62.7	59.3	55.7	52.3	48.0	45.5	40.7
만가닥버섯 수확후배지	무처리	66.3	66.2	65.6	65.1	64.5	64.0	63.3
	폐열투입	66.3	64.2	63.7	62.8	61.2	60.0	59.0
	폐열투입+송풍	66.3	63.5	61.7	58.4	56.7	55.9	54.1
	폐열투입+배풍	66.3	60.3	56.8	52.9	48.0	46.5	45.6

※ 투입된 폐열의 온도는 112℃, 저장조 내부 표면온도 103℃

※ 저장조 교반기의 회전수는 분당 2회전

저장조를 분당 2회전하면서 버섯 수확후배지를 투입 후 각 조건별 수분함량변화를 살펴본 결과 모든 버섯 수확후배지에서 저장조에 폐열을 투입하고 저장조 내의 유리 수증기를 배풍기를 이용하여 빨아낸 조합에서 약 20%정도 수분함량이 줄어들었다. 폐열투입+송풍 처리구에서 수분함량이 약 15%정도 감소하였는데 저장조 내의 유리된 수분을 신속히 외부로 배출하는 것이 건조에 유리한 것으로 판단된다. 저장조의 회전수를 분당 3회, 4회까지 늘려서 실험하였으나 분당 2회와 비교하여 차이가 없었다. 따라서 건조는 저장조의 회전수는 분당 2회, 시간은 8시간으로 폐열투입+배풍기를 가동할 때 가장 효율적이었다.

## (2) 드럼건조기

저장조에서 1차 건조한 수확후배지를 드럼건조기에 시간당 투입량을 달리하여 수분함량 변화를 조사하였고, 1차 배출된 산물을 같은 드럼건조기에 2차 투입하여 산물의 수분함량을 조사하였다.



Table 3-5. 드럼건조기에서의 버섯 수확후배지 투입량별 수분함량

수확후배지 종류	배풍실 시여부	투입전 수분함량	버섯 수확후배지 투입량(kg/H)									
			50		100		150		200		250	
			1회	2회	1회	2회	1회	2회	1회	2회	1회	2회
느타리버섯 수확후배지	미배풍	40.5	22.5	13.7	26.4	17.0	28.8	22.6	32.7	26.5	37.1	30.8
	배풍	40.5	12.4	-	16.5	-	18.6	12.8	21.7	16.2	28.9	20.3
큰느타리버섯 수확후배지	미배풍	41.4	24.2	15.8	28.4	17.9	29.5	24.0	35.7	28.5	37.3	31.8
	배풍	41.4	13.3	-	16.9	-	19.1	13.6	22.7	16.3	28.4	20.9
팽이버섯 수확후배지	미배풍	40.7	22.6	13.9	27.1	16.8	29.0	23.1	31.5	26.4	36.2	30.1
	배풍	40.7	12.8	-	16.9	-	18.4	12.2	21.9	16.8	26.9	21.9
만가닥버섯 수확후배지	미배풍	45.6	25.6	16.8	31.4	19.6	36.8	22.6	38.7	26.9	42.1	31.9
	배풍	45.6	14.8	-	17.4	-	20.6	15.4	24.4	17.2	28.9	21.8

※ 드럼건조기에 투입된 열풍온도 84℃

※ 드럼건조기의 회전수는 분당 2회전, 배출소요시간은 1시간

폐 스팀을 판형 열교환기를 통과하여 112℃ 폐 스팀을 96℃ 열수로 전환한 후 이를 다시 1절에서 개발한 열교환기를 통과하여 84℃ 열풍을 드럼건조기에 투입하였다.

드럼건조기 설치 초기에 배풍시설을 하지 않고 수확후배지를 투입하였더니 수분감소 효과가 크지 않아 열풍배출구 쪽에 강제 배기시설을 설치하여 2차 실험을 진행하였고 그 결과 미 배풍시보다 월등한 수분감소 효과를 보였다.

시간당 수확후배지 투입량별 수분함량을 조사한 결과 시간당 150kg 이하를 투입하였을 경우 1차 투입에서 19%이하의 수분함량을 보였으나 200kg 이상을 투입하였을 경우 20%넘는 수분함량을 보였고 이를 다시 드럼건조기에 재투입하여 2차 건조를 실시한 결과 200kg 투입구에서 16%대의 수분함량을 보였다. 그러나 시간당 250kg을 투입한 처리구는 2차 투입 시에도 20%대의 수분함량을 보여 개발된 드럼건조기의 적정투입량은 1회 투입을 기준으로 150kg, 2회 투입 기준으로는 200kg이 적당한 것으로 판단된다.

1차 투입 후 2차 투입함으로 인한 건조시간의 길어짐을 해결하기 위해서는 현재 개발된 드럼건조기의 길이를 늘이면 1회 투입으로 목표하는 수분함량을 달성할 수 있을 것이다.

### (3) 기류식 건조기

수거한 직후의 버섯 수확후배지를 기류식 건조기에 투입하여 가동 시 버섯 수확후배지의 수분함량이 높아 기류건조기 하단의 고속 회전하는 rotor부분에 버섯 수확후배지가 쌓여 rotor를 회전시키는 motor가 정지하는 현상이 벌어졌다. 따라서 드럼건조기에서 200kg를 1차 투입하여 배출된 수분함량 30%대의 수확후배지를 이용하여 기류식 건조기의 투입량과 수분함량 변화를 조사하였다.

드럼건조기와 마찬가지로 페스팀을 관형 열교환기를 통과하여 112℃ 페스팀을 96℃ 열수로 전환한 후 이를 다시 1절에서 개발한 열교환기를 통과하여 84℃ 열풍을 기류식 건조기에 투입하였다. 또한 기류식 건조기 chamber 외벽에 장착된 JACKET에 페스팀을 주입하여 chamber 온도를 상승시켰다.

Table 3-6. 기류식 건조기에서의 버섯 수확후배지 투입량별 수분함량

수확후 배지 종류	투입전 수분함량	시간당 투입량(kg/H)	rotor회전수(RPM)			
			1,000	1,500	2,000	2,500
느타리버섯 수확후배지	28.9	100	12.3	14.5	16.8	20.4
		150	13.6	16.7	18.7	23.6
		200	15.1	16.9	19.0	24.5
		300	17.3	17.6	18.1	24.2
새송이버섯( 큰느타리버섯 )수확후배지	28.4	100	12.5	14.7	16.2	19.5
		150	13.8	16.9	17.9	22.8
		200	15.1	16.4	19.7	22.9
		300	16.4	17.8	18.1	23.2
팽이버섯 수확후배지	26.9	100	13.6	14.5	16.9	20.7
		150	13.8	17.0	18.3	24.0
		200	14.1	15.8	18.5	22.5
		300	16.3	16.9	18.5	22.2
만가닥버섯 수확후배지	28.9	100	12.4	14.8	16.9	20.9
		150	14.0	16.3	18.5	24.0
		200	15.2	16.8	19.2	23.5
		300	17.1	17.5	18.5	23.8

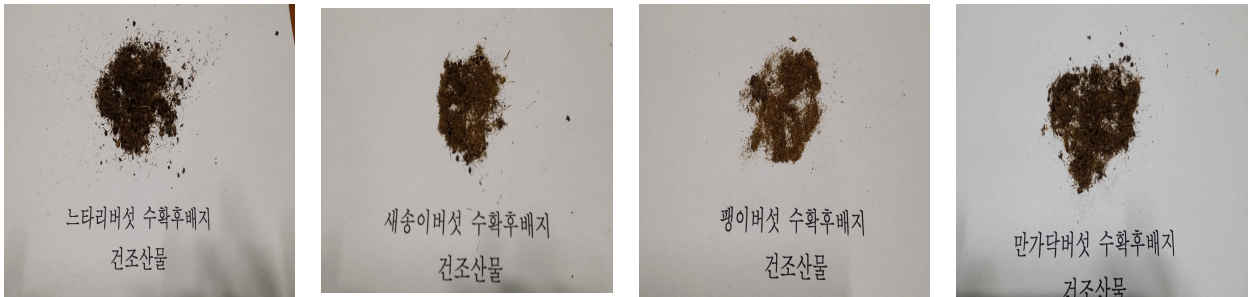
rotor 회전수를 높일수록 건조효율이 떨어지는데 이는 고속으로 회전하면서 배지입자를 너무 빨리 배출시켜 미처 수분이 배지로부터 유리되지 않았기 때문이며 위 결과 1,500~2,000RPM으로 회전시키고 투입량을 시간당 150kg을 투입하였을 때 배출되는 수확후배지의 수분함량이 16~18% 정도였다. 기류식 건조기에 버섯 수확후배지를 시간당 200kg 투입하였을 경우 rotor부분에 배지가 쌓여 모터가 멈추는 현상이 발생하였다. 이를 해결하기 위하여 rotor회전 모터의 용량을 40kw/h에서 60kw/h로 바꾸어 진행하였다. 그 결과 1500RPM에서 300kg 투입시 수분함량이 16-18%대의 버섯 수확후배지 건조산물을 얻을 수 있었다. 그러나 300kg/h 이상을 건조하고자 할 경우에는 모터용량을 늘리는 방법으로 해결 가능할 것으로 판단된다.



저장조를 이용하여 건조한 버섯 수확후배지



드럼건조기를 이용하여 건조한 버섯 수확후배지



기류식 건조기를 이용하여 건조한 버섯 수확후배지

Fig. 3-16. 건조한 수확후 배지

다. 건조된 수확후배지의 펠릿화 및 바이오 고형연료로의 이용가능성 구명

(1) 일반 농산물 건조기를 이용한 건조시간별 버섯 수확배지의 수분함량변화

공시한 버섯 느타리, 큰느타리, 팽이, 만가닥버섯 4품목과 참나무톱밥을 주재료로 사용하는 표고버섯 수확후배지도 펠릿화를 위해 건조 실험에 포함하였다. 5종의 버섯 수확후배지의 초기 수분함량은 표고버섯을 제외하고 60%대 중반이었으며 건조시간 경과에 따라 수분함량이 감소하였는데 특히 4~6시간대에 급격한 감소를 보이며, 8시간 이후부터 수분 함량 감소 속도가 줄어 들었다.

수확후배지를 펠릿화하기 위해서는 배지의 수분함량을 18% 이하에서 낮추어야 하므로, 일반 농산물 건조기를 이용할 경우 8시간 이상은 건조시켜야 한다.

건조된 버섯 수확후배지의 성상은 느타리버섯, 큰느타리버섯, 팽이버섯은 각각의 입자들이 분리된 형태로 굵은 알갱이가 없이 입도가 균일하였으나 만가닥버섯의 경우 입도가 불균일하

고 상당히 큰 입자들이 많았는데 이는 만가닥버섯 수확후배지의 경우 점성이 다른 버섯 수확 후배지보다 강하여 서로 더 응집하고 있기 때문으로 사료되며 이는 향후 대량 건조 시 단점으로 작용할 것으로 생각된다.

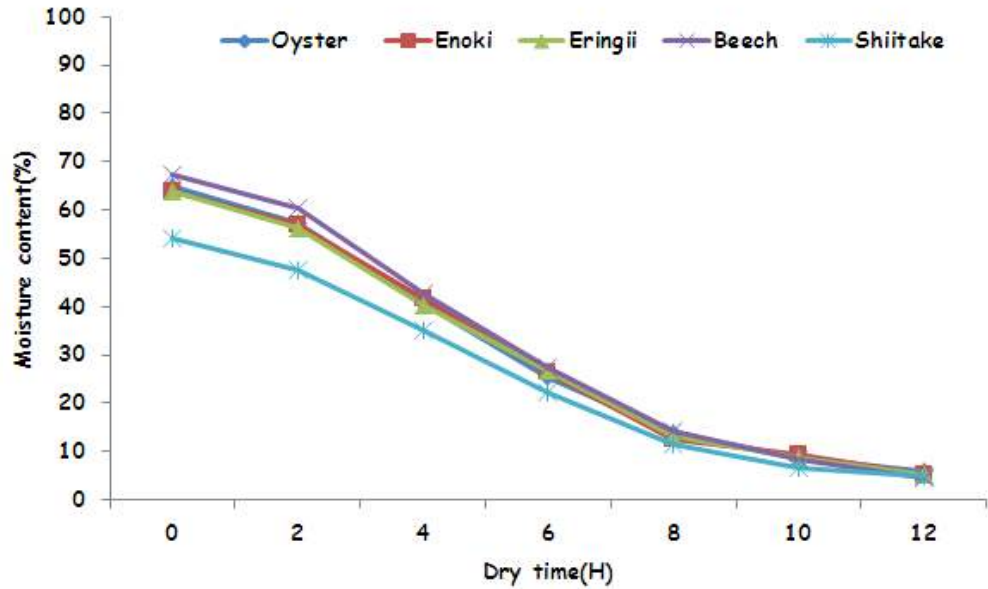


Fig. 3-17. 건조 시간별 버섯 수확 후 배지의 수분함량 변화

(2) 수확후배지 수분함량별 펠릿화 정도

수분함량별 버섯 수확후배지의 펠릿화 정도를 육안 조사하였다.



Fig. 3-18. 버섯 수확후배지 수분함량별 펠릿화 정도

버섯 수확후배지의 수분이 7%에서는 펠릿이 형성되지 못하고 가루 형태로 배출되었으며 10%에서는 펠릿 형성 정도가 30%정도였고 나머지는 가루 형태로 배출되었다. 수분함량 15%에서는 정상적으로 펠릿이 형성되어 원활히 배출되었으나 수분함량이 20%가 넘어가면서 펠릿이 매끄럽게 형성되지 못하고 펠릿 측면이 많이 갈라지고 끝부분이 휘어져 배출되었다. 따라서 원활한 펠릿형성을 위한 버섯 수확후배지의 수분함량은 15% 내외로 판단되며 15%수분 함량의 수확후배지로 펠릿을 형성한 직후 뜨거운 펠릿을 자연 냉각시킨 후 펠릿의 수분함량을 측정할 결과 11%를 보였는데 이는 펠릿성형기에서 발생한 고온의 마찰열과 펠릿성형기가 고압으로 밀어내는 힘에 의해 발생하는 열에 의해 수확후배지 내의 수분이 건조된 것으로 사료된다.

함수율 20%인 수확후배지로 성형한 펠릿은 약 2주 후부터 곰팡이가 발생하기 시작하여 약 1개월 후에는 곰팡이가 심한 상태가 되었으며 그 곰팡이는 *Penicillium* 계통의 푸른곰팡이였다. 그러나 함수율 15%의 수확후배지후 배지로 성형한 펠릿은 성형 후 3개월이 경과하여도 아무 변질도 관찰되지 않았다.

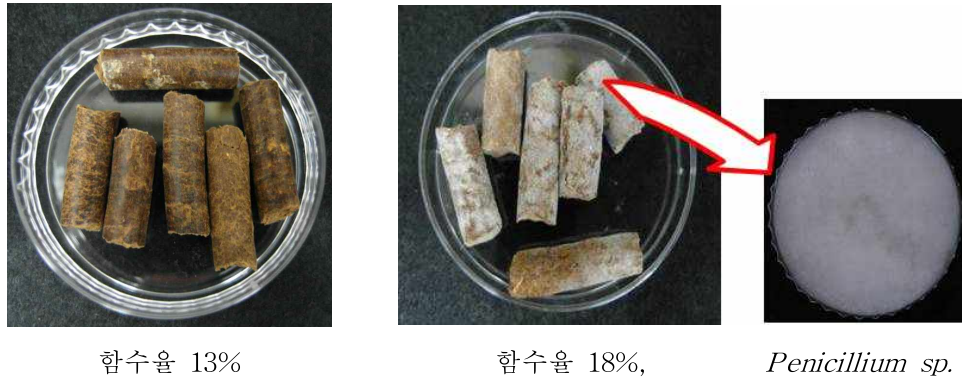


Fig. 3-19 버섯 수확후배지의 함수율에 따른 펠릿의 변화(펠릿 성형 후 20일)

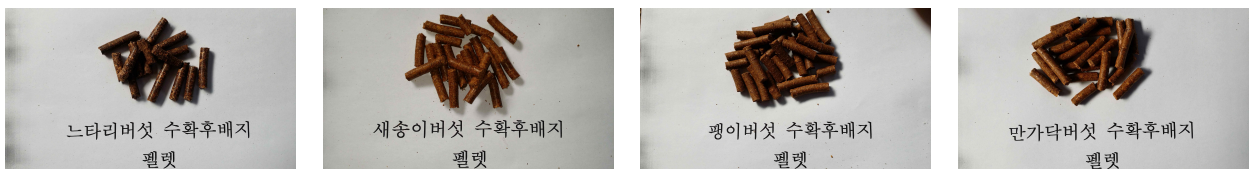


Fig. 3-20. 펠릿화 된 버섯수확후배지

### (3) 버섯 수확후배지 펠릿의 성상 및 발열량 조사

4종의 버섯 수확후배지를 이용한 펠릿의 이화학적 특성을 분석한 결과 내구성과 발열량에 있어 3급 목재펠릿 기준을 충족하였다. 그러나 회분과 기타 무기성분의 경우 목재펠릿 기준을 초과하였다. 버섯 수확후배지는 그 재료의 특성상 목재펠릿으로 분류되지 아니하고 바이오 고형연료에 해당하는 것으로 바이오 고형연료의 기준과 비교한 결과 수분함량을 제외한 항목에서 그 기준을 충족하였으며 일반적인 고형화 연료보다 발열량이 높으며 목재펠릿에 비교해서 손색없는 열량을 갖고 있는 것으로 판단된다.

Table 3-7. 목재펠릿, 바이오 고품연료 기준 및 버섯수확후배지 펠릿의 이화학적 특성

	내구성 (%)	수분함량 (%)	회분 (%)	발열량 (kcal/kg)	황 (%)	염소 (%)	질소 (%)
느타리버섯	97.1	11.5	4.2	4,454	0.17	0.02	1.9
큰느타리버섯	98.2	12.4	7.2	4,298	0.22	0.05	2.6
팽이버섯	97.7	12.3	10.4	4,436	0.17	0.01	2.3
만가닥버섯	98.8	11.9	7.8	4,200	0.13	0.03	1.7
목재펠릿(3급)	95이상	15이하	3이하	4,040이상	0.05이하	0.05이하	0.3이하
Bio-SRF	-	10이하	15이하	3,000이상	0.6이하	0.5이하	-

※ 목재펠릿 : 국립산림과학원 목재펠릿 기준

※ Bio-SRF : 바이오 고품연료제품, 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙 별표7

(4) 수확후배지 펠릿을 이용한 농가 배지살균 실증실험 및 경제성분석

버섯 수확후배지를 이용하여 건조 후 펠릿 생산 시까지 소요되는 비용은 펠릿 1kg을 생산하는데 189원이 소요되며 이중 가장 큰 부분을 차지하는 것은 감가상각비용으로 전체 원가의 약 40%를 차지한다. 따라서 개인이 시설비를 자가 부담하여 수확후배지를 펠릿화 하기에는 경제성이 낮으며 이를 보완하기 위해서는 시설비용에 대해 일정 부분 국가 보조가 필요할 것으로 판단된다. 또한 소요되는 전기사용료의 경우 일반 산업용 전기료로 산정하였는데 이를 농업용 전기로 대체할 수 있다면 전기사용비용을 50% 줄일 수 있을 것이다.

버섯재배용 배지를 살균 시 현재 많은 농가가 경유를 사용하고 있으며 일부 농가는 목재펠릿을 이용하여 스팀보일러를 가동하여 살균하고 있다. 경유를 이용하여 살균 시 총 살균시간은 253분이었으며 연료는 59L를 소모하였다. 산림조합에서 판매하는 목재펠릿을 사용하였을 때 살균시간은 263분 소요되었으며 연료는 123kg을 사용하였다. 버섯 수확후배지 중 느타리버섯 수확후배지 펠릿은 다른 수확후배지 펠릿(272-288분)보다 살균 소요시간이 짧은 269분이었으며 연료소비량은 산림조합 목재펠릿보다 적은 116kg이었다.

일일 3,500병 배지 살균 시 경유를 사용하는 것 대비 느타리버섯 수확후배지를 이용한 펠릿을 사용할 경우 년 간 4,575천 원이 절감되었으며 심지어 산림조합 목재펠릿을 이용하는 것보다 약 4,000천원 정도를 절약할 수 있었다. 이를 일일 10,000병 입병 기준으로 환산할 경우 년 간 13,000천원의 살균연료 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.



발급번호 제 69 호		<b>Kofpi</b> 한국임업진흥원 Korea Forestry Promotion Institute		157-841 서울특별시 강서구 공항대로 475 신송빌딩 TEL:02-6393-2604-5/ FAX:02-6393-2609			
성명	참맛버섯영농조합법인 문송국	사업자등록번호	126-81-89719 (131271-0001320)				
주소 및 상호	강원도 홍천군 화촌면 야시대로 122						
대상물품명 또는 조사사항	목재제품 시험(신청내용 : 새송이버섯 펠릿)						
수량 또는 조사면적							
생산지(제조지) 또는 조사지역							
채취연월일							
내 용	내구성, 회분, 발열량, 황, 염소, 질소						
방 법	한국임업진흥원 목재제품 표준시험법에 의한						
성 적	담당자 : 김영훈 책임자 : 박병수						
		내구성 (%)	회분 (%)	발열량 (kcal/kg)	황 (%)	염소 (%)	질소 (%)
		98.2	7.2	4,298	0.22	0.05	2.6
		<ol style="list-style-type: none"> <li>본 성적서는 의뢰인이 제출한 시료에 대한 시험결과로서 전체 제품의 품질을 보증하지 않으며, 발급기관의 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송 등의 용도에는 사용할 수 없습니다.</li> <li>「목재펠릿 규격·품질기준」의 등급에 부합되는지 여부는 별도의 목재제품 규격·품질 검사를 거쳐야 합니다.</li> </ol>					
		<p>「임업 및 산촌 진흥촉진법에 관한 법률」 제29조의3 제4항, 「한국임업진흥원 임업시험 위탁처리에 관한 규정」 제3조의 규정에 의거하여 2015년 5월 11일자로 제출한 대상물품(접수번호 : 2015-1806)에 대한 임업시험 성적書を 위와 같이 통지 합니다.</p>					
		2015년 6월 10일		한국임업진흥원 장			

fig 3-22 큰느타리(새송이)버섯 수확후백지펠릿 시험성적서

발급번호 제 69 호		<b>Kofpi</b> 한국임업진흥원 Korea Forestry Promotion Institute		157-841 서울특별시 강서구 공항대로 475 신송빌딩 TEL:02-6393-2604-5/ FAX:02-6393-2609			
성명	참맛버섯영농조합법인 문송국	사업자등록번호	126-81-89719 (131271-0001320)				
주소 및 상호	강원도 홍천군 화촌면 야시대로 122						
대상물품명 또는 조사사항	목재제품 시험(신청내용 : 느타리버섯 펠릿)						
수량 또는 조사면적							
생산지(제조지) 또는 조사지역							
채취연월일							
내 용	내구성, 회분, 발열량, 황, 염소, 질소						
방 법	한국임업진흥원 목재제품 표준시험법에 의한						
성 적	담당자 : 김영훈 책임자 : 박병수						
		내구성 (%)	회분 (%)	발열량 (kcal/kg)	황 (%)	염소 (%)	질소 (%)
		97.1	4.2	4,454	0.17	0.02	1.9
		<ol style="list-style-type: none"> <li>본 성적서는 의뢰인이 제출한 시료에 대한 시험결과로서 전체 제품의 품질을 보증하지 않으며, 발급기관의 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송 등의 용도에는 사용할 수 없습니다.</li> <li>「목재펠릿 규격·품질기준」의 등급에 부합되는지 여부는 별도의 목재제품 규격·품질 검사를 거쳐야 합니다.</li> </ol>					
		<p>「임업 및 산촌 진흥촉진법에 관한 법률」 제29조의3 제4항, 「한국임업진흥원 임업시험 위탁처리에 관한 규정」 제3조의 규정에 의거하여 2015년 5월 11일자로 제출한 대상물품(접수번호 : 2015-1805)에 대한 임업시험 성적書を 위와 같이 통지 합니다.</p>					
		2015년 6월 10일		한국임업진흥원 장			

fig 3-21 느타리버섯 수확후백지펠릿 시험성적서

발급번호 제 609 호

**임업시험성적서**

**Kofpi**  
한국임업진흥원  
Korea Forestry Promotion Institute

157-841  
서울특별시 강서구 공항대로 475 신용빌딩  
TEL:02-6393-2604-5/ FAX:02-6393-2609

성명	참맛버섯영농조합법인 문승국	사업자등록번호	126-81-89719 (131271-0001320)
주소 및 상호	강원도 홍천군 화촌면 야시대로 122		
대상물품명 또는 조사사항	목재제품 시험(신청내용: 팽이버섯 펠릿)		
수량 또는 조사면적			
생산지(제조지) 또는 조사지역			
채취연월일			
내 용	내구성, 회분, 발열량, 황, 염소, 질소		
방 법	한국임업진흥원 목재제품 표준시험법에 의함		
성 적	담당자: 김영훈 책임자: 박병수		

내구성 (%)	회분 (%)	발열량 (kcal/kg)	황 (%)	염소 (%)	질소 (%)
97.7	10.4	4,436	0.17	0.01	2.3

1. 본 성적서는 의뢰인이 제출한 시료에 대한 시험결과로서 전체 제품의 품질을 보증하지 않으며, 발급기관의 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송 등의 용도에는 사용할 수 없습니다.  
2. 「목재펠릿 규격·품질기준」의 등급에 부합되는지 여부는 별도의 목재제품 규격·품질 검사를 거쳐야 합니다.

「임업 및 산촌 진흥촉진법에 관한 법률」 제29조의3 제4항, 「한국임업진흥원 임업시험 위탁처리에 관한 규정」 제3조의 규정에 의거하여 2015년 5월 11일자로 제출한 대상물품(접수번호: 2015-1807)에 대한 임업시험 성적서를 위와 같이 통지합니다.

2015년 6월 10일

**한국임업진흥원장**

fig 3-23 팽이버섯 수확후배지펠릿 시험성적서

발급번호 제 609 호

**임업시험성적서**

**Kofpi**  
한국임업진흥원  
Korea Forestry Promotion Institute

157-841  
서울특별시 강서구 공항대로 475 신용빌딩  
TEL:02-6393-2604-5/ FAX:02-6393-2609

성명	참맛버섯영농조합법인 문승국	사업자등록번호	126-81-89719 (131271-0001320)
주소 및 상호	강원도 홍천군 화촌면 야시대로 122		
대상물품명 또는 조사사항	목재제품 시험(신청내용: 만가닥버섯 펠릿)		
수량 또는 조사면적			
생산지(제조지) 또는 조사지역			
채취연월일			
내 용	내구성, 회분, 발열량, 황, 염소, 질소		
방 법	한국임업진흥원 목재제품 표준시험법에 의함		
성 적	담당자: 김영훈 책임자: 박병수		

내구성 (%)	회분 (%)	발열량 (kcal/kg)	황 (%)	염소 (%)	질소 (%)
98.8	7.8	4,200	0.13	0.03	1.7

1. 본 성적서는 의뢰인이 제출한 시료에 대한 시험결과로서 전체 제품의 품질을 보증하지 않으며, 발급기관의 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송 등의 용도에는 사용할 수 없습니다.  
2. 「목재펠릿 규격·품질기준」의 등급에 부합되는지 여부는 별도의 목재제품 규격·품질 검사를 거쳐야 합니다.

「임업 및 산촌 진흥촉진법에 관한 법률」 제29조의3 제4항, 「한국임업진흥원 임업시험 위탁처리에 관한 규정」 제3조의 규정에 의거하여 2015년 5월 11일자로 제출한 대상물품(접수번호: 2015-1808)에 대한 임업시험 성적서를 위와 같이 통지합니다.

2015년 6월 10일

**한국임업진흥원장**

Fig. 3-24. 만가닥버섯 수확후배지펠릿의 시험성적서(\*한국임업진흥원)



Table 3-8. 버섯 수확후배지를 이용하여 펠릿생산 원가(일일 1.5톤 펠릿생산)

	비용(원/kg)	비고
버섯수확후배지	20	수분함량 60%
수거운반비	5	일일 10톤 수거
건조 및 펠릿화 전기료	40	75kw×8시간×100원
인건비	40	일60,000원/1인
포장비	10	포장재료비
감가상각비	74	200,000,000원 / 6년
합계	189	-

Table 3-9 농가 버섯배지 살균 시 버섯수확후배지, 목재펠릿 및 경유 사용에 따른 살균시간 및 경제성 비교

	100℃ 도달시간 (분)	121℃ 도달시간 (분)	총 소요 시간(분)	연료 소모량 (Kg, L)	소요 연료비 (원)	연료단가	경유대비 연간절감 액(천원)
느타리버섯 수확후배지펠릿	62	27	269	116	29,000	250원/kg	4,575
큰느타리버섯 수확후배지펠릿	73	30	283	119	29,750	250원/kg	4,350
팽이버섯 수확후배지펠릿	64	28	272	117	29,250	250원/kg	4,500
만가닥버섯 수확후배지펠릿	75	33	288	122	30,500	250원/kg	4,125
산림조합 목재펠릿	58	25	263	123	43,050	350원/kg	360
경유(증발량 300Kg/H)	50	23	253	59	44,250	면세유 750원/L	-

- ※ 100℃에서 90분간 유지 후 121℃에서 90분간 살균하였음
- ※ 일일 입병 량 3,500병, 년 간 300일 작업 기준
- ※ 면세유단가는 2015년 10월 기준

#### 4. 요약

국내 병재 배 버섯 수확후배지의 배출 규모는 일일 느타리버섯 360톤, 팽이버섯 196톤, 큰느타리버섯 390톤 정도로 총 1,000여톤으로 추정된다. 이는 연간 285,000톤이 배출되고 있는 것이다. 그러나 본 실험에서 수확후배지의 처리에 대해 조사한 결과, 대부분의 농가에서 퇴비로 처리하고 있었다. 수확후배지의 가격은 평균 26원/kg 정도로 형성되어 있으며, 간혹 자가 퇴비시설을 보유하고 퇴비화 시켜 120원/kg에 퇴비로 판매하였다. 이 수확후배지의 활용에 대한 설문에서는 건조 펠릿으로 제조하여 버섯배지살균에 필요한 연료로 사용에 82%, 축산사료 활용이 6.7%, 버섯 재배용 재료로의 재활용이 11.3%로 나타났다.

수확후배지의 활용을 위해 건조시스템 운용 조건은 저장조의 회전수는 분당 2회, 시간은 12시간으로 폐열투입+배풍기를 가동하는 할 때 가장 효율적이었다. 저장조에서 1차 건조된 버섯 수확후배지를 이용하여 드럼건조기에서도 배풍기를 가동하면서 1회 투입량이 150kg/h 일 때, 수분함량 20%이하로 건조되었다. 추가적으로 2차 건조과정을 거치면 수분함량이 13%로 낮아지지만, 시간과 에너지 효율이 떨어진다. 기류식 건조기의 경우 1차적으로 드럼건조기에서 수분함량 30%대로 건조한 후, 적용하였다. rotor 회전은 1,500~2,000rpm, 투입량을 150kg/h로 하였을 때, 수분함량이 16~18% 정도로 건조되었다. 모터용량을 60kw/h로 키웠을 때 시간 당 300kg까지 투입이 가능하였다.

건조한 수확후배지의 펠릿 성형에 있어 수분함량이 15% 전후일 때가 가장 유리하였고, 성형 후 보관기간 중에도 곰팡이 등과 같은 오염에도 변질됨이 적었다.

본 연구에 사용된 4품목의 수확후배지 펠릿은 3급 목재펠릿 기준에 내구성과 발열량은 충족하였지만, 회분 등 무기성분이 기준을 초과하였다. 그러나 재료 특성상 바이오고형연료에 해당되어 비교한 결과, 수분함량을 제외하고 기준에 충족되며, 발열량은 기준(3,000kcal/kg)보다 높아 바이오 고형연료로 사용이 가능하다고 판단된다. 각 수확후배지로 제조한 성형펠릿을 재배용 버섯 배지 살균을 위한 연료로 사용할 경우, 기존의 목재펠릿보다 적은 소모량을 보였다. 느타리버섯 수확수배지의 펠릿은 기존 목재펠릿 사용량(123kg)보다 적은 116kg으로 살균이 가능하였고, 이는 일일 10,000병 입병 규모에서 연간 13,000천원의 살균연료 비용 절감효과를 기대할 수 있다.

### 제3절 건조 버섯 수확후배지의 고부가가치 기술 개발

#### 1. 서론

1980년대 중반 팽이버섯 재배를 시작으로 자동화재배가 시작되어 느타리버섯, 큰느타리버섯 등으로 확대되었으며 자동화시설재배의 확대와 규모화로 생산자는 감소하였으나 생산량은 급격히 증가하여, 과잉생산으로 인한 수요대비 공급과잉으로 가격하락을 초래했다. 그럼에도 국내 버섯시장의 규모가 경제발전과 웰빙 식품 선호를 통해 점차 확대됨에 따라 버섯의 수확 후에 발생하는 배지의 규모도 크게 증가하고 있으나 현재 이 자원의 재활용 측면에서 수확후배지는 무상 혹은 저렴한 가격으로 퇴비나 조사료로 농가에 공급 사용되고 있을 뿐이다. 이에 버섯 수확후배지에 대한 활용성 증대 및 부가가치 사업화를 진행할 필요가 있다. 버섯 수확후배지를 재활용과 가축의 조사료로 이용하는 데에 있어서 문제점은 60%가 넘는 수분함량으로 쉽게 변질되기 때문에 장기간 보관이나 장거리 이동이 어렵다는 데 있었다. 그러나 수분함량이 20%대 이하로 건조할 수 있다면 위의 문제점을 해결할 수 있으며 활용성이 커질 것으로 예상된다. 국내 느타리버섯 재배 농가가 하루에 배출하는 버섯 수확후배지는 약 360여 톤이고, 팽이버섯과 큰느타리버섯이 약600여 톤으로 총1,000여 톤의 수확후배지가 생산되고 있다고 추산되며, 여기서 안정적으로 확보 가능한 버섯 수확후배지의 국내 생산규모는 하루 약 760톤으로 예상된다. 1년 300일을 감안하면, 연간 약 22만톤 이상 생산되고 있는 것으로 국내 버섯 수확후배지 재활용시장규모가 400억 원 이상이 될 것으로 추정되고 있다.

1990년대 후반 배지재료로 사용하는 볏짚, 미강 등 농산부산물이 사료나 친환경농업제재로 사용되기 시작하면서 국내에서 생산되는 농산부산물의 공급이 원활하지 않아 사료로 수입하는 면실피, 면실피, 콘코브 등을 대체배지로 사용하기 시작하였다. 이들 배지 재료는 대부분 수입에 의존하고 있기 때문에 국제 곡물가의 변동에 따라 버섯 생산비가 급격히 증가, 경쟁력 약화 요인으로 작용하고 있다. 특히 버섯 생산에서 팽이와 큰느타리버섯의 경우 톱밥 대신 콘코브의 첨가 비율이 상승하고 있고, 면실피도 사용빈도 역시 높아지고 있어 수입에서 수입단가와 수입량 변동은 생산농가의 생산비 상승이라는 문제를 초래하고 있다. 또한 수입처, 수입시기에 따른 원료의 영양성분 변화도 버섯 생산과 품질에 미치는 영향이 크다.

Table 3-10. 버섯 재배용 배지의 주요 원료의 연간 수입량

(단위 : ton)

	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년
콘코브	80,177	71,425	134,388	130,433	106,894	97,692	106,977	109,703	98,883	90,147
비트펄프	120,390	144,215	185,488	151,992	141,321	145,566	145,260	155,071	124,563	162,807
미강	320	45kg	5,884	6,003	946	36	132	4,976	1,978	58
면실피	84,790	81,5915	88,685	100,158	90,263	77,949	76,059	67,581	81,518	64,054

Table 3-11. 버섯 재배용 배지의 주요 원료의 연간 평균 단가

(단위 : 원/kg)

	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년
콘코브	119	121	137	171	151	179	208	215	226	230
비트펠프	191	159	187	287	250	249	316	336	338	363
미강	293	-	167	175	191	1,233	508	315	405	356
면실피	113	132	146	197	180	236	264	217	221	267

※ 달러 환율을 1,100원으로 한 가격임.

국내에서 재배되는 버섯은 품목에 따라 배지 조성이 차이가 있으며, 대체적으로 톱밥(미송, 포플러 등), 콘코브, 밀기울 미강, 비트펠프, 면실박, 케이폭박 등을 혼합하여 사용하고 있다. 그러나 대부분 수입품으로 수입시기, 수입국 등에 따른 성분의 차이가 있다. 따라서 농가에서는 사용 재료에 따라 약간 혼합 비율을 다르게 하고 있으나, 일반적으로 느타리는 532배지(톱밥 : 비트펠프 : 면식박), 만가닥버섯은 톱밥 : 콘코브 : 미강 : 대두피, 큰느타리는 콘코브 : 미강 : 옥분 : 면실박이고, 팽이버섯은 콘코브 : 비트펠프 : 면실박 : 대두박 : 미강 : 비지 등을 기본으로 혼합하여 사용하고 있다.

병 재배법이 본격적으로 보급된 1990년대 이후, 버섯의 생산은 2014년 버섯 생산량이 18만 톤으로 계속 증가(2014 특용작물생산실적, 농림축산식품부)하고 있으나, 버섯 수확후배지 재활용에 대한 연구는 그 수가 적다. 버섯 재배과정에 배지영양원의 약 15~25%만 버섯에 의해 이용한다고 알려져 버섯 수확후배지는 가축 사료로의 가치가 높은 것으로 알려져 있다(Williams 등, 2001; Bae 등, 2006). 또한 버섯 배지로의 재활용으로도 가능성이 높을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 병 재배 버섯의 수확후배지의 재활용에 관한 방향을 모색하기 위해 느타리, 큰느타리, 팽이, 만가닥버섯의 재배용 배지의 조단백, 조섬유, 조지방 함량 등 일반 영양성분 함량과 중금속 함량 분석 및 군사 생장과 버섯 생육을 위한 재활용 배지로의 조사와 가축 사료로의 사양시험을 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 버섯 재배용 배지로의 재활용 기술 개발

#### (1) 공시버섯과 공시 버섯의 배지 재료 조사

국내에서 생산하는 주요 버섯인 느타리, 큰느타리, 팽이, 만가닥버섯 총 4품목을 공시하였다. 이 공시한 4품목 버섯의 재배용 배지는 본 연구의 성형펠릿 제조를 위하여 수송이 용이하고, 대형 농가를 대상으로 채취, 수거하여 배지에 대한 원료 조사를 하였다.

공시 배지의 혼합비는 느타리버섯은 톱밥:비트펠프:면실피:면실박(=42:16:30:12)이고, 만가닥버섯은 톱밥:콘코브:미강:대두피(=30:25:23:22), 큰느타리버섯은 톱밥:콘코브:미강:면실박:면실피:비트펠프:대두피:과옥세:밀기울:배아박:대두박:패분(=16:26:10:4:8:6:8:5:5:8:2), 팽이버섯은 콘코브:미강:비트펠프:소맥피:과옥세:패분(=45:30:7:5:4:3:6)으로 이루어져 있었다. 이 혼합비율은 재료의 무게 비율에 의한 것이고, 느타리버섯과 만가닥버섯은 재배에 850cc병, 큰느타리와 팽이버섯은 1,100cc병을 사용한다. 배지는 입병되어 상태로 수거하여 탈병 후 열풍 건조하여 밀봉 보관하였

다. 버섯 배지는 주재료로 미송, 포플러, 참나무, 콘코브, 비트펠프 등을, 부재료로는 면실박, 면실피, 소맥피, 대두박, 미강, 케이폭박 등을 다양하게 사용하고 있다. 각 배지 재료의 이화학적 특성은 표 3-12와 같다.

Table 3-12. 버섯배지 재료의 이화학적 특성

(단위 : %)

	수분	pH	T-C	T-N	C/N율	조지방	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
미송	45.2	5.1	52.4	0.07	748.5	0.7	0.01	0.035	0.09	0.018
포플러	43.8	5.2	49.3	0.08	616.3	0.6	0.02	0.14	0.19	0.0478
콘코브	12.9	5.8	45.9	0.45	102	0.4	0.8	0.87	0.2	0.21
밀기울	10.2	6.1	48.2	2.3	20.9	3.6	2.1	1.6	0.1	0.73
미강	11.9	6.3	46.3	2.1	22.1	18.7	4.2	2.0	0.1	1.28
옥수수피	11.6	4.6	37.1	1.3	28.5	3.9	0.8	0.56	0	0.36
대두피	9.9	5.9	51.2	3.1	16.5	2.1	1.1	0.85	0.2	0.38
건비지	6.7	6.8	53.1	3.7	14.4	8.1	0.8	1.54	0.4	0.42
비트펠프	12.3	5.1	45.8	1.7	26.9	0.5	0.2	0.42	0.5	0.49
면실박	12.8	6.8	44.8	8.1	5.5	1.2	2.9	2.14	0.3	1.13
대두박	10.5	6.5	39.4	7.6	5.2	1.2	1.7	2.83	0.4	0.48
케이폭박	10.2	5.5	49.7	3.9	12.7	2.3	1.9	2.41	0.2	0.59

### (2) 배지의 주요 성분 분석

공시 버섯의 3단계 배지(미 접종 배지, 배양 완료된 배지, 버섯 수확후배지)를 각각 수거하여 열풍으로 건조하여 일반 성분 분석 시료로 사용하였다. 또한 수확후배지를 건조하고 성형한 펠릿을 공시 품목별로 수거하여 성분 분석을 실시하였다. 일반 성분은 수분, 조단백, 조지방, 조섬유 등을 조사하였고, 그 외 무기질(Ca, P, K, Na 등) 함유량과 중금속 함량 등을 조사하였다. 성형 펠릿은 사료화 가능성 여부를 파악하기 위해 펙신소화율과 NDF(Neutral Detergent Fiber, 중성불용성섬유), ADF(Acid Detergent Fiber, 산성불용성섬유) 등을 조사하였다. 수분, 조단백질, 조회분 등은 AOAC(1995)의 일반성분 분석법에 의하여 구하였고, NDF(Neutral detergent fiber)와 ADF(Acid detergent fiber)는 Van Soest 등(1991)의 방법에 준하여 분석하였는데, 농업기술실용화재단에 의뢰하여 분석하였다.

### (3) 수확후배지를 재활용한 배지에서 버섯균사 생장

품목별 공시 배지 및 재활용 배지에서의 균사 생장을 조사하기 위하여 느타리는 춘추2호, 큰느타리버섯은 애린이3호를 사용하였고, 만가닥과 팽이버섯은 시판 중인 버섯을 조직 분리하여 보관 균주를 만들고, 버섯 균사 생장 실험에 사용하였다. 균사 생장 실험은  $\phi$  30 tube에 공시배

지 대조구와 재활용배지를 100%, 75%, 50%, 25% 비율로 첨가한 배지를 제조하였다. 버섯 균사는 PDA에서 7일간 배양한 것으로 접종하여 균사 생장을 조사하였다.

(4) 실증 재배

느타리버섯 재배에 버섯 수확후배지를 비트펄프 대용으로 사용 가능한지를 검토하기 위하여 미루나무:비트펄프:면실피:면실박(=94g:35g:67g:26g)을 대조구로 하였고, 비트펄프를 큰느타리, 팽이, 만가닥버섯 수확후배지 건조물로 100% 대체하여 배지를 제조하였다. 수분함량은 65%로 조정하여 850cc 병당 580g씩 입병한 후 121℃에서 90분간 고압살균 후 냉각하여 느타리버섯 수확후배지의 중균을 병당 12g씩 접종하여 20℃에서 25일간 배양한 후 시험에 사용하였다.

큰느타리버섯의 경우는 1100cc 병당 톱밥 43g, 콘코브73g, 미강29g, 밀기울15g, 배아박15g, 대두피17g, 비트펄프22g, 면실박10g, 파옥세 23g, 패분6g을 첨가한 것을 대조구로 비트펄프를 느타리, 팽이, 만가닥버섯 수확후배지 건조물로 100% 대체하여 배지를 제조하였다. 수분함량은 65%로 조정하여 1100cc 병당 750g 씩 입병한 후 121℃에서 90분간 고압살균 후 냉각하여 큰느타리버섯 액체중균을 노즐분사로 접종하여 20℃에서 25일간 배양한 후 시험에 사용하였다.

팽이버섯의 경우는 1100cc 병당 콘코브152g, 미강101g, 비트펄프24g, 소맥피17g, 건비지12g, 파옥세 9g, 패분20g을 첨가한 것을 대조구로 비트펄프를 느타리, 큰느타리, 만가닥버섯 수확후배지 건조물로 100% 대체하여 배지를 제조하였다. 수분함량은 65%로 조정하여 1100cc 병당 750g 씩 입병한 후 121℃에서 90분간 고압살균 후 냉각하여 큰느타리버섯 액체중균을 노즐분사로 접종하여 20℃에서 25일간 배양한 후 시험에 사용하였다.

만가닥버섯의 경우는 900cc 병당 톱밥 80g, 콘코브68g, 밀기울66g, 대두피43g을 첨가한 것을 대조구로 대두피를 느타리, 큰느타리, 팽이버섯 수확후배지 건조물로 200% 대체하여 86g을 첨가하고 콘코브를 40g 첨가하여 배지를 제조하였다. 수분함량은 65%로 조정하여 900cc 병당 600g 씩 입병한 후 121℃에서 90분간 고압살균 후 냉각하여 만가닥버섯 중균을 병당 20g씩 접종하여 20℃에서 25일간 배양한 후 시험에 사용하였다.

나. 가축 사료로의 활용 가능성 모색

(1) 공시축 배치 및 사양관리

공시축으로 비육후기(24개월령) 거세한우 60두(개시체중 689.3+2.88kg)를 선정 한 후, 처리구 간 개시체중의 차이가 크지 않도록 총 15개의 우방(5×10m)에 각각 4두씩 배치하였고, 물은 자유롭게 섭취할 수 있게 하였다. 처리구는 표 3-13에 나타나 있는 바와 같이 대조구(Control), 팽이버섯 수확후배지 펠릿 첨가구(FSM) 및 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿 첨가구(PSM)로 구분하였으며, 처리구 당 20두씩(5개 우방) 공시하여(그림 3-25), 26개월 령부터 31개월 령까지 6개월 동안 시험사료를 급여하였다.

Table 3-13. 대조구 및 시험구 배치 현황[Animals and treatments]

	Control <sup>1)</sup>	FSM <sup>2)</sup>	PSM <sup>3)</sup>
한우거세 비육후기	20두	20두	20두

<sup>1)</sup> 대조구

<sup>2)</sup> 팽이버섯 수확후배지 펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR

<sup>3)</sup> 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR



Fig. 3-25. 사양시험 중인 거세한우(비육후기)  
Hanwoo steers at the final stage used for the experiment



Fig. 3-26. 팽이 및 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿 형태  
Pelleted spent mushroom (*Flammulina velutipes* and *Pleurotus eryngii*) substrates

(2) 시험사료 준비

시험사료는 비육후기 TMR을 이용하였으며, 팽이 및 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿(그림 3-26)의 일반성분은 표3-14와 같으며, 대조구 및 처리구를 위한 시험사료의 원료성분 및 시험사료의 일반성분은 표3-15 및 표 3-16과 같다. 팽이 및 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿은 펠릿의 품질 및 기호성 향상을 위해서 제조 공정에서 당밀 5%를 첨가하였다.

Table 3-14. 팽이 및 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿의 일반성분

Chemical composition (%) of pelleted spent mushroom (*Flammulina velutipes* and *Pleurotus eryngii*) substrates

	건물	단백질	조지방	NDF	ADF	조회분	NFC <sup>1)</sup>	TDN
팽이버섯 펠릿	85.7	10.9	4.3	43.9	23.1	8.6	32.3	62.6
큰느타리버섯 펠릿	85.5	11.9	1.1	48.7	32.8	7.9	30.4	61.1

<sup>1)</sup>Non-fiber carbohydrate

Table 3-15. 시험사료의 원료사료 배합비

Ingredient composition (%) of the experimental diet (TMR)

	Control <sup>1)</sup>	FSM <sup>2)</sup>	PSM <sup>3)</sup>
원료 성분(원물기준, %)			
라이그라스 짚	5.0	5.0	5.0
톨페스큐 짚	5.0	5.0	5.0
과옥쇄	35.0	35.0	35.0
소맥	13.0	13.0	13.0
단백피	14.5	12.0	12.0
종려핵박	11.8	6.8	7.8
대두	2.0	3.0	3.0
소맥피	4.0	5.0	4.0
대두피	5.0	5.0	5.0
당밀	3.0	3.0	3.0
소금	0.3	0.3	0.3
팽이버섯수확후배지		5.0	
큰느타리버섯수확후배지			5.0
석회석	0.3	0.3	0.3
보호지방	1.0	1.5	1.5
비타민-미네랄	0.1	0.1	0.1
합계	100.0	100.0	100.0

<sup>1)</sup> 대조구<sup>2)</sup> 팽이버섯 수확후배지 펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR<sup>3)</sup> 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR

Table 3-16. 시험사료의 일반성분

Chemical composition (%) of the experimental diet

	Control <sup>1)</sup>	FSM <sup>2)</sup>	PSM <sup>3)</sup>
일반 성분(건물기준, %)			
건물	88.5	88.4	88.4
조단백질	13.3	13.2	13.3
조지방	4.9	5.3	5.2
NDF	30.2	29.2	29.7
ADF	16.0	15.0	15.8
조회분	5.7	5.9	5.8
TDN	81.0	81.0	81.0

<sup>1)</sup> 대조구<sup>2)</sup> 팽이버섯 수확후배지 펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR<sup>3)</sup> 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR



### (3) 사료섭취량 및 체중 측정

사료섭취량은 1일 2회(08:00, 18:00) 급여량과 다음날 아침 사료급여 전 잔여사료를 수거하여 그 차이에 의하여 계산하였고, 체중은 증체량을 조사하기 위하여 시험개시 시 체중과 시험 종료 시 체중을 측정(그림 3-27)하였으며, 증체량은 시험개시 체중과 종료체중의 차이로 구하였다.



Fig. 3-27. 체중 측정 [Body weight determination]

### (4) 출하 및 등급 판정

시험이 종료된 공시축 60두는 24시간 절식시킨 후 3차례에 걸쳐 1주일 간격으로 축산물공판장으로 운반하여 12시간 계류 후 도축하여, 도체는 냉장실에서 24시간 냉각시킨 후 ‘축산물등급판정세부기준’(농림축산식품부, 2007)에 따라 육량 및 육질 등급을 한국 축산물 품질 평가원 등급사로부터 판정 받았다.

### (5) 통계처리

실험결과에 대한 통계처리는 Statistical Analysis System(SAS, 2000)을 사용하였고, 각 처리구의 평균간 비교는 Duncan's multiple range test를 이용하여  $p=0.05$  수준에서 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 버섯 배지로의 재활용 기술 개발

##### (1) 공시버섯의 수확 후 배지의 성분 분석

국내 느타리버섯 재배 농가가 하루에 배출하는 버섯 수확후배지는 약 360여 톤이고, 팽이버섯과 큰느타리버섯이 약 600여 톤으로 약1,000톤 규모의 수확 후 배지가 생산되고 있는 것으로 추산되고 있다. 연간 약 30만톤 이상 생산되고 있는 것으로 추정되고 있으며 일부는 동물사료와 퇴비 등으로 활용되고 있으나 대부분 버려지고 있다. 공시 버섯인 느타리, 큰느타리, 팽이, 만가닥버섯의 재배용 배지의 성분 분석을 비교 조사하기 위하여 각 버섯별 버섯 접종 전 배지, 배양 완료된 배지 및 버섯 수확 후 배지를 각각 수집하였다. 수집한 배지는 40℃로 열풍 건조하여 분석 시료로 사용하였다.

Table 3-17. 공시 버섯의 재배용 배지의 이화학적 특성

Comparison of physicochemical properties on the 3 step for cultivation substrates

(단위 : %)	큰느타리			팽이			만가닥			느타리		
	E1*	E2**	E3***	F1	F2	F3	H1	H2	H3	P1	P2	P3
질소	1.8	1.8	1.96	1.84	2.07	1.64	1.17	1.5	1.43	1.71	1.86	1.93
탄소	51.95	51.14	49.81	47.45	47.20	45.55	52.50	50.86	50.77	47.12	47.49	47.76
C/N ratio	28.86	28.41	25.41	24.46	22.80	27.77	44.87	33.91	35.50	27.56	25.53	24.75
인산	1.24	1.26	1.34	2.63	2.47	2.7	1.34	1.81	1.97	0.51	0.56	0.41
칼리	0.89	0.88	0.83	1.23	1.34	0.84	0.94	1.22	1.09	0.58	0.53	0.36
가용성규산	0.01	0.019	0.0093	0.0094	0.018	0.012	0.014	0.017	0.034	0.0067	0.0062	0.0075
석회	2.35	2.56	3.24	3.36	3.64	5.09	0.36	0.44	0.5	0.81	0.87	0.98
고토	0.5	0.45	0.58	0.96	1.0	1.15	0.54	0.72	0.82	0.32	0.33	0.36
알카리분	2.96	3.22	3.95	4.5	5.32	7.19	1.13	1.5	1.65	1.21	1.35	1.45
MnO	0.0059	0.0059	0.0068	0.0065	0.0062	0.0055	0.0065	0.0059	0.0062	0.0062	0.0066	0.0055
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0038	0.0034	0.0038	0.0041	0.0049	0.0046	0.0026	0.0032	0.0012	0.0043	0.0052	0.0062
철	0.021	0.03	0.044	0.36	0.011	0.011	0.022	0.04	0.049	0.016	0.038	0.041
구리	0.001	0.0008	0.0005	0.0008	0.0007	0.0006	0.0005	0.0007	0.0008	0.0008	0.001	0.0009
아연	0.0043	0.0045	0.0044	0.0059	0.0048	0.0052	0.0036	0.0053	0.0063	0.0024	0.0036	0.0022
몰리브덴	흔적	흔적	흔적	흔적	흔적	흔적	흔적	흔적	흔적	흔적	흔적	흔적
유기물	89.57	88.16	85.88	81.81	81.38	78.53	90.51	87.68	87.53	81.23	81.88	82.33
질소초기용출율	37.14	31.56	30.95	30.12	43.77	24.07	21.93	41.07	41.21	18.85	26.13	18.14
염기치환용량 (cmol+/kg)	32.64	38.57	43.42	34.35	57.23	61.49	26.95	36.5	38.71	37.14	46.61	50.09

\*1: 버섯 접종 전 배지, \*\*2: 배양완료 배지, \*\*\*3: 버섯 수확 후 배지

버섯 재배용 배지를 비료 등으로 재활용 가능성을 검토하기 위하여 표 3-17과 같이 각 시기별(접종 전 배지, 배양완료 배지 및 버섯 수확후배지) 재배용 배지의 이화학적 특성을 조사하여 비교하였다. 만가닥버섯용 배지의 C/N율이 다른 버섯에 비하여 1.5배 높은 것을 제외하고, 공시 버섯(느타리, 큰느타리, 팽이, 만가닥버섯)의 각 시기별 배지 내 성분 변화는 크게 차이가 나지는 않지만, 팽이버섯의 배지 C/N율은 재배 전후로 3.3%정도 증가한 반면, 느타리버섯은 27.6%에서 24.8%로 2.8% 감소하였고, 만가닥버섯은 44.9%에서 33.9%로 11%가 감소하였다. 각 품목별 인산의 함량은 팽이 > 만가닥 > 큰느타리 > 느타리 순으로 수확후 배지의 인산 함량이 다소 증가함을 알 수 있었다. 느타리버섯을 제외한 큰느타리, 팽이, 만가닥버섯을 수확후배지의 인, 칼륨, 철, 유기물 함량 등이 버섯균 접종 전보다 증가되었다.

버섯 수확후배지는 유기질비료로 활용 가능할 것으로 판단되며 실제로 일부 농가에서 사용하고 있다. 그러나 정확한 비료성분분석이 이루어지지 않은 상태로 사용하거나 또는 적정 사용량을 모르고 사용하는 경우가 많기 때문에 작물에 도움이 되지 않거나 오히려 악영향을 주는 경우도 있다. 농촌진흥청에서는 「비료 공정규격설정 및 지정」에 따르면, 수확후배지는 부산물비료 중 부숙유기질비료(퇴비)에 속한다. 유기물은 30%이상 함량이면서 유기물/질소의 비는 70%이하를 가져야하며, 염분의 함량도 2%이하로 제한되어 있다. 유해성분은 비소 45mg/kg, 카드뮴 5mg/kg, 수은 2mg/kg, 납 130mg/kg, 크롬 250mg/kg, 구리 400mg/kg, 니켈 45mg/kg, 아연 1,000mg/kg이하여야 하고 법령(고시)하였다. 따라서 큰느타리, 팽이, 만가닥, 느타리 수확후배지의 비료성분을 분석한 결과를 비료 공정 규격과 비교하였을 때, 유해 성분이 기준이하이고, 유기물 함량도 80이상으로 비료로 이용 가치는 충분하다고 판단된다(표 3-17).

현재 시판 중인 버섯 증강제나 비료 등과 비교해 보면 시판 제품은 질소전량이 2.4~3.5% , 인산은 0.6~2%, 칼륨 0.1~1.3%를 포함하고 있고, 본 연구에서 조사한 4품목 버섯의 수확후배지의 질소전량은 시판보다는 다소 낮은 경향을 보였지만, 큰느타리와 느타리버섯은 1.9%이상으로 나타났다. 인산과 칼륨 함량은 유사한 수치를 보였으며, 유기질 비료에서 가장 중요한 유기물 함량은 팽이버섯(78.5%)에서만 기준치보다 낮았다. 이런 분석 결과를 볼 때, 버섯 수확후배지는 비료와 버섯 증강제로 사용가능한 충분한 성분을 가지고 있음을 확인하였다.

공시한 버섯의 수확후 배지의 조성분 분석 결과, 조단백질은 큰느타리 > 만가닥 > 팽이 > 느타리 순이고, 조섬유는 느타리 > 큰느타리 > 만가닥 > 팽이 순으로 분석되었다. 느타리의 조섬유가 높은 이유는 배지의 주재료가 미송과 같은 톱밥을 사용하기 때문으로, 톱밥의 형태상 더욱이 반추동물 사료로의 이용은 힘들다. 가축사료로 활용을 기대하고 있는 큰느타리버섯과 팽이버섯의 수확후배지의 조섬유 함량은 31.37%와 21.31%로 큰느타리버섯이 더 높게 분석되었는데, 이는 배지에 미루나무톱밥이 포함되어 있기 때문이다. 이 두 배지의 무기질을 비교해보면, 성분 간의 큰 차이를 보이지는 않지만, Na 함량에서 팽이버섯(676.45mg/kg)이 큰느타리(510.95mg/kg)보다 160mg/kg이상 높았다. 아미노산에서도 두 배지간의 차이는 거의 없었다.

Table 3-18. 공시 버섯의 수확 후 배지의 영양성분

Nutritional ingredients of spent mushroom substrate according to mushroom species  
(단위 : %)

		큰느타리	팽이	만가닥	느타리
조 성 분	수분	6.13	8.30	8.35	14.34
	조단백질	12.13	9.50	10.33	8.47
	조지방	3.08	6.33	2.52	0.18
	조섬유	31.37	21.31	30.45	50.25
	조회분	9.17	9.87	6.66	3.04
무 기 질	Ca (%)	1.89	2.2	0.33	0.62
	P (%)	0.58	1.1	0.96	0.18
	K (%)	0.45	0.62	1.17	0.19
	Na (mg/kg)	510.95	676.45	249.38	243.37
	Mg (%)	0.32	0.52	0.49	0.2
	Fe (mg/kg)	383.95	310.88	456.66	378.73
	Cu (mg/kg)	0	0	0	0
	Mn (mg/kg)	42.33	57.61	57.94	34.05
	Zn (mg/kg)	25.76	21.9	51.14	10.99
	Cr (mg/kg)	8.41	5.8	4.92	3.15
	S (%)	0.21	0.16	0.14	0.13
	Cd (mg/kg)	0	0	0	0
	Pb (mg/kg)	0	0	0	0
	As(mg/kg)	0	0	0	0
	아 미 노 산	시스테인	0.217	0.165	0.164
메치오닌		0.135	0.122	0.123	0.118
아스파르트산		0.835	0.591	0.628	0.582
트레오닌		0.392	0.314	0.342	0.291
세린		0.413	0.314	0.354	0.33
글루탐산		1.109	0.935	0.914	0.911
글리신		0.457	0.354	0.365	0.305
알라닌		0.454	0.369	0.396	0.314
발린		0.396	0.306	0.33	0.32
이소루신		0.306	0.211	0.228	0.232
루신		0.561	0.408	0.415	0.422
타이로신		0.149	0.245	0.18	0.137
페닐알라닌		0.35	0.308	0.282	0.313
라이신		0.305	0.298	0.345	0.235
히스티딘		0.152	0.156	0.152	0.129
아르기닌	0.647	0.427	0.348	0.427	

Table 3-19. 수확후배지 펠릿의 영양성분

Chemical composition on the pellet of spent mushroom substrate

		큰느타리	팽이	만가닥	느타리
조성분	수분(%)	10.17	13.41	7.33	8.84
	조단백질(%)	13.87	10.81	8.64	8.54
	조지방(%)	2.98	6.3	3.71	1.52
	조섬유(%)	26.57	18.83	28.58	44.99
	조회분(%)	6.27	8.53	7.13	3.08
	요소(%)	0.055	0.55	0.012	0.06
	칼로리(cal/g)	3,594	3,619	3,739	3,761
무기질	Ca (%)	1	0.25	0.4	0.63
	P (%)	0.7	1.13	1	0.16
	K (%)	0.6	1.04	1.15	0.57
	Na(mg/kg)	436.77	215.87	281.7	360.44
	Mg (%)	0.38	0.53	0.5	41.66
	Fe(mg/kg)	543.66	468.83	304.2	493.99
	Cu(mg/kg)	4.14	15.95	6.08	4.12
	Mn(mg/kg)	74.46	107.66	94.34	41.66
	Zn(mg/kg)	28.81	36.88	35.04	18.65
	Cr(mg/kg)	8.5	5.62	7.22	1.09
	Cd(mg/kg)	0	0.1	0	0
	Pb(mg/kg)	0	0.99	0.65	0.6
	Hg (%)	0	0	0	0
	As(mg/kg)	0	0	0	0
렙신소화율 (%)		59.44	64.61	70.68	33.79
NDF (%)		48.53	38.96	45.68	65.11
ADF (%)		32.75	20.79	33.3	53.87
리그닌 (%)		8.81	6.3	6.13	17.34

또한, 가축 사료 원료로 사용하고 있는 콘코브, 미강, 밀기울, 비트펄프 등이 버섯배지의 원료로 사용되고 있기 때문에, 공시 버섯의 수확 후 배지를 가축 조사료로 활용하기 위하여 조단백질, 조지방, 조섬유 등 일반 성분과 무기질, 아미노산 함량을 분석하였다(표 3-18). 수확후배지의 건조체와 펠릿의 영양성분을 비교해 보면, 펠릿의 조단백질 함량이 조금 높아지고 그 외의 조성분(조지방, 조섬유, 조회분)등은 감소한 것으로 보이나 큰 차이는 보이지 않았다. 본 연구에 이용된 팽이버섯 수확후배지의 일반성분은 정 등(2012)이 조사한 우리나라 3개 지역에서 생산되는 팽이버섯 수확후배지의 성분(조단백질 9.3~9.9%, NDF 28.6~42.6%, 조회분 9.8~13.3%, 조지방 2.2~4.6%)과 큰 차이가 없었지만, 김 등(2007)이 조사한 팽이버섯 수확후배지

의 일반성분은 조단백질 7.8%, NDF 75.0%로서 본 연구에서 이용된 팽이버섯 수확후배지에 비하여 조단백질 함량은 낮고 NDF 함량은 높아 다소 영양적 가치가 낮은 것으로 조사되었다. 큰느타리버섯 수확후배지의 일반 성분도 Gal 등(2011)이 조사한 결과는 조단백질 13.5%, NDF 70.8%, 조회분 9.4%, 조지방 0.8%, NFC(비섬유소탄수화물) 5.5%이었고 배 등(2006)이 조사한 결과는 조단백질 7.2%, NDF 78.2%, 조회분 4.7%, 조지방 2.1%, NFC 7.8%로서 차이가 있지만, 본 연구에 사용된 배지가 NDF 함량이 매우 낮고 NFC함량은 높은 것으로 나타났다.

(2) 수확후배지 펠릿을 이용한 버섯 실증재배실험 및 경제성분석

버섯 수확후배지를 재배용 배지로 재사용한 연구는 농촌진흥청 버섯과와 경기도농업기술원 버섯연구소 등에서 실험을 수행한 적이 있지만, 본 연구에서는 공시한 4품목의 각 수확후배지의 C/N율을 조사하여 배지 원료 중 유사한 C/N율을 보이는 비트펄프에 대한 대체재료의 가능성과 경제성 분석을 하였다.

버섯 수확후배지를 건조하여 배지 원료로 재활용 가능 여부를 조사하기 위하여 공시 버섯 중 가장 수확 후 배지 발생량이 많은 느타리버섯 수확 후 배지를 자연 건조하여 배지 원료로 재활용 실험을 실시하였다. 재활용에 사용된 느타리버섯의 조성은 532배지(툽밥 : 콘코브 : 면실박 = 50:30:20)이다. 재활용 배지 조성은 건조한 수확후배지 비율이 100, 70, 50, 30, 0%(w/w)가 되도록 신규 532배지와 혼합하여 제조하였으며, 실험 재배 버섯으로는 느타리 수한, 춘추2호와 노루궁뎅이버섯을 3종을 선택하였으며 재배공정은 일반적인 농가 관행 재배방식을 따랐다. 수확후배지 혼합율이 70%와 50%인 처리구에서 춘추2호의 배양 완료가 평균 15일로 빠른 균사 생장을 보였고, 노루궁뎅이버섯은 모든 처리구에서 느린 생장(30일)을 보였다. 현재 배양 완료된 상태로 발이 유도 중에 있으며, 배양 시 균사 생장만을 본다면 수확후배지를 건조하여 배지 제조 시 재활용 가치가 있는 것으로 판단되었다.

Table 3-20. 수확후배지 혼합비율에 따른 느타리버섯의 생육기간  
Cultivation period of the oyster mushroom according to mixing ratio of spent mushroom substrate

혼합비율(%)		춘추2호				수한			
532배지	건조된 수확후배지	배양일수	초발이	생육기	총 소요일수	배양일수	초발이	생육기	총 소요일수
100	0	23	5	5	33	25	6	5	36
70	30	18	5	5	28	16	5	5	26
50	50	15	5	5	25	17	5	5	27
30	70	15	5	5	25	16	5	5	26
0	100	16	5	5	26	22	5	5	32

정 등(2012)이 느타리버섯의 경우 재활용 배지로 배지재료를 50%까지 대체하여도 수량이 안정적으로 생산되며, 또한 10~30% 수준으로 첨가하여도 배지 재료비의 23.8% 정도의 절감 효과를 갖는다고 보고하였다.

공시버섯의 수확후배지의 펠릿을 가지고 실증실험 전 균사 생장을 보기 위하여  $\phi$  30 tube 검정을 수행하였는데, 수확후배지 펠릿의 혼합비는 100, 75, 50, 25, 0%로 하였다. 배지의 수분은 65~70%정도로 조절하고, 121°C에서 30분간 살균하여 사용하였다. 각 공시버섯의 배지를 사용하였으며, 대조구는 배지를 수거한 농장의 비율에 따라 제조하여 사용하였다.

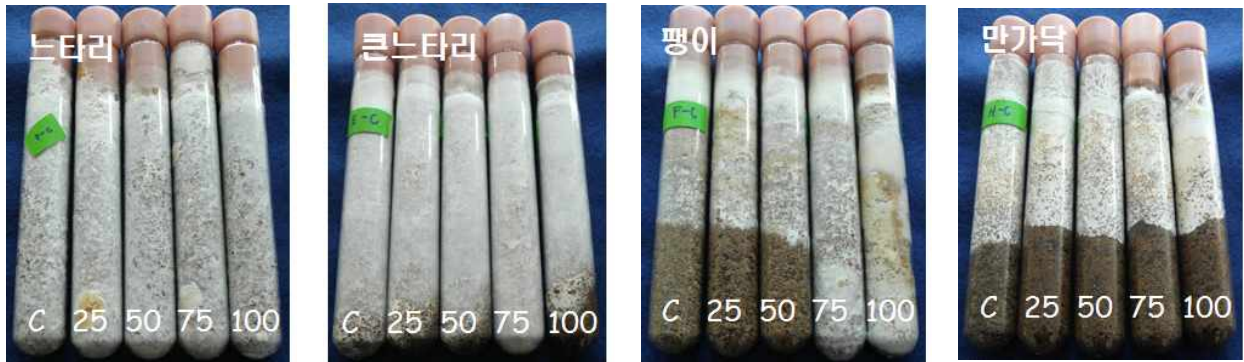


Fig. 3-28. 펠릿 혼합비에 따른 버섯 균사생장

(가) 느타리버섯

느타리버섯은 수한품종을 사용하여, 표 3-21 에서 보는바와 같이 대조구로 일반 농가에서 사용하는 P+비트펠프 조성을 사용하고, 각 수확후배지를 첨가한 조합을 비교한 결과 pH 5.5~5.8, C/N율은 대조구(27.6%)와 비교해서 큰 차이는 없었지만, 만가닥버섯 수확후배지를 첨가한 처리구에서 C/N율이 29.4%로 약간 높았다. 이는 만가닥버섯 수확후배지의 C/N율이 다른 수확후배지에 비해 약 10%정도 높았기 때문으로 판단된다.

Table 3-21. 느타리버섯의 배지 종류별 배양 및 생육특성 및 수량

	pH	C/N율	배양 소요일수	초발이 소요일수	생육일수	수량 (g/병)	수량지수
Control <sup>1)</sup>	5.7	27.6	25	4	4	170.4	100
P <sup>2)</sup> +큰느타리수확후배지	5.5	28.0	25	4	5	172.1	101
P <sup>2)</sup> +팽이수확후배지	5.6	27.1	24	4	5	165.4	97.0
P <sup>2)</sup> +만가닥수확후배지	5.8	29.4	24	4	6	160.3	94.1

<sup>1)</sup>Control 혼합비 : 미루나무 : 면실피 : 면실박 : 비트펠프 (= 42:30:12:16)

<sup>2)</sup>P : Control 조성에서 비트펠프만을 제외시킨 배지 조성임

느타리버섯 균사가 활착하여 병 전체에 배양 완료되기까지 소요기간은 24~25일로 차이가 없었으며, 균 굵기 후 원기가 형성되는 초발이 소요일수도 4일로 모든 조합에서 같은 발이 양상을 보였다. 그러나 생육소요일수는 대조구가 4일인데 비하여 큰느타리와 팽이버섯 수확후배

지를 첨가한 조합에서는 5일, 만가닥버섯 수확후배지를 첨가한 조합에서는 6일로 생육이 길어지는 것으로 나타났다.



Fig. 3-29. 수확후배지 첨가에 따른 느타리버섯 자실체

느타리버섯 수량은 대조구를 100으로 보았을 때 큰느타리버섯 수확후배지 첨가구는 대조구와 비슷한 수량을 보였으나 팽이와 만가닥버섯 수확후배지 첨가구는 대조구에 비해 3~6% 수량이 감소하였다. 느타리버섯에서 높은 C/N율이 균사 성장에는 영향을 미치지 않지만, 자실체 생육에는 생육일수 지연과 자실체 수량 감소를 야기함을 확인할 수 있었다. 느타리버섯 재배에서 적정 C/N율은 27.5~28%으로 추정되며, 비트펄프 대체 재료로는 큰느타리버섯 수확후배지가 적합할 것으로 판단되었다.

Table 3-22. 느타리버섯 배지에서 비트펄프를 수확후배지가 대체할 경우의 경제성분석

처리내용	재료비 (원)	버섯수량 (g/병)	총수량 (kg/만병)	조수익 (천원)	포장박스 수량	포장비 (원)	절감액 (원/day)
Control <sup>1)</sup> (A)	730,618	170.4	1,704	3,408,000	852	511,200	93,514
P <sup>2)</sup> +큰느타리 수확후배지(B)	667,454	172.1	1,721	3,442,000	860.5	516,300	
(A)-(B)	63,614			34,000		-4,100	

<sup>1)</sup>Control 혼합비, 미루나무 : 면실피 : 면실박 : 비트펄프 (= 42:30:12:16)

<sup>2)</sup>P : Control 조성에서 비트펄프만을 제외시킨 배지 조성임

※ 생산규모 : 10,000병/day

느타리버섯 배지 중 비트펄프를 큰느타리 수확후배지로 대체 시 경제성분석을 하였다(정 등,



2012). 일일 10,000병 기준으로 재료비는 730,618원에서 63,614원이 감소되고, 생산 수량은 증가하여 조수익이 34,000원/일이 증가하였다. 생산량 증가로 포장비가 4,100원 증가하였지만, 재료비부터 포장비까지의 전체적인 경영비 분석을 한 결과, 93,514원/일의 절감 효과를 보았고, 연간 300일 생산 기준으로 28,054,200원의 경영비 절감효과를 기대할 수 있다.

(나) 큰느타리버섯

각 수확후배지의 C/N율을 조사하여 배지원료 중 유사한 C/N율을 보이는 비트펄프를 대체하는 가능성을 타진하였다. 표 3-23에서 보는바와 같이 관행적으로 큰느타리버섯을 재배하는 E+비트펄프 조합을 대조구로 하여 각 수확후배지를 첨가한 조합을 비교한 결과 pH는 5.5~6.3, C/N율은 27~33%를 보였다.

Table 3-23. 큰느타리버섯 배지 중 비트펄프를 수확후배지로 대체한 배지종류별 배양, 생육특성 및 수량

처리내용	pH	C/N율	배양 소요일수	초발이 소요일수	생육일수	수량 (g/병)	수량지수
Control <sup>1)</sup>	6.1	28.7	25	9	9	189.8	100
E <sup>2)</sup> +느타리 수확후배지	5.5	30.2	25	9	10	172.1	90.1
E <sup>2)</sup> +팽이 수확후배지	6.3	27.1	24	9	9	198.2	104.4
E <sup>2)</sup> +만가닥 수확후배지	5.8	33.4	24	11	12	155.3	81.8

<sup>1)</sup>Control 혼합비, 톱밥 : 콘코브 : 미강 : 면실박 : 비트펄프 : 대두피 : 파옥세 : 밀기울 : 배아박 : 패분 (=17:29:4:3:9:7:9:6:6:2)

<sup>2)</sup>E : Control 조성에서 비트펄프를 제외시킨 조성임

느타리버섯과 마찬가지로 균사가 활착하여 병 전체에 배양 완료되기까지 24~25일로 차이가 없었으며 균 굵기 후 발이형성이 완료되는 초발이 소요일수는 만가닥버섯 수확후배지가 첨가된 처리구 만 11일로 다른 처리구에 비해 2일정도 느렸다. 그러나 생육소요 일수도 대조구가 처리구에 비하여 만가닥버섯 수확후배지를 첨가한 조합에서는 3일이 길어지는 것으로 나타났다. 큰느타리버섯 수량은 대조구를 100으로 보았을 때 팽이버섯 수확후배지 첨가구에서 대조구보다 증수되는 것으로 나타났다.

큰느타리버섯 배지 중 비트펄프를 팽이버섯 수확후배지로 대체 시 경제성분석을 하였다(정 등, 2012) 일일 10,000병 기준으로 재료비는 39,131원이 줄었고 조수익은 168,000원이 증가하여 전체적으로 경영에 이익을 발생시키는 금액은 207,131원이고 대신 포장비가 25,200원 증가하여 전체적으로 일일 181,931원, 연간 300일 기준으로는 54,579,300원의 경영비 절감효과를 기대할 수 있다.

Table 3-24. 큰느타리버섯 일일 10,000병에 대한 배지 중 비트펄프를 팽이버섯 수확후배지로 대체한 배지의 경제성분석

처리내용	재료비 (원)	버섯수량 (g/병)	총수량 (kg/만병)	조수익 (천원)	포장박스 수량	포장비 (원)	절감액 (원)
Control <sup>1)</sup> (A)	880,899	189.8	1,898	3,796,000	949	569,400	181,931
E <sup>2)</sup> +팽이 수확후배지(B)	841,768	198.2	1,982	3,964,000	991	594,600	
(A)-(B)	39,131			168,000		-25,200	



Fig. 3-30. 수확후배지 첨가에 따른 큰느타리버섯 자실체

(다) 팽이버섯

각 수확후배지의 C/N율을 조사하여 배지원료 중 유사한 C/N율을 보이는 비트펄프를 대체하는 가능성을 타진하였다.

표 3-25에서 보는바와 같이 관행적으로 팽이버섯을 재배하는 F+비트펄프 조합을 대조구로 하여 각 수확후배지를 첨가한 조합을 비교한 결과 pH는 6.1- 6.5, C/N율은 27-31%를 보였다.

팽이버섯 균사가 활착하여 병 전체에 배양 완료되기까지 27-29일로 차이가 없었으며 균 굵기 후 발이형성이 완료되는 초발이 소요일수는 만가닥버섯 수확후배지가 첨가된 처리구 만 11일로 다른 처리구에 비해 2일정도 느렸다. 또한 생육소요 일수도 대조구에 비하여 만가닥버섯 수확후배지를 첨가한 조합에서는 2일이 길어지는 것으로 나타났다.

팽이버섯 수량은 대조구를 100으로 보았을 때 모든 처리구에서 낮았으며 따라서 비트펄프를 대체하기 위해서 수확후배지를 첨가하는 것은 경제성이 없는 것으로 판단된다.

Table 3-25. 팽이버섯 배지 중 비트펄프를 수확후배지로 대체한 배지종류별 배양, 생육특성 및 수량

처리내용	pH	C/N율	배양 소요일수	초발이 소요일수	생육일수	수량 (g/병)	수량지수
Control <sup>1)</sup>	6.5	28.6	27	9	21	317.4	100
F <sup>2)</sup> +느타리 수확후배지	6.1	27.2	27	10	22	280.5	88.4
F <sup>2)</sup> +큰느타리수확후배지	6.3	28.1	27	9	21	290.7	91.6
F <sup>2)</sup> +만가닥 수확후배지	6.2	31.5	29	11	23	270.1	85.1

<sup>1)</sup>Control 혼합비, 콘코브 : 미강 : 비트펄프 : 소맥피 : 건비지 : 파옥세 : 폐분 (=45:30:7:5:4:3:6)

<sup>2)</sup>F : Control 조성에서 비트펄프를 제외시킨 조성임



Fig. 3-31. 수확후배지 첨가에 따른 큰느타리버섯 자실체

(라) 만가닥버섯 재배연구

본 시험에서는 각 수확후배지의 C/N율을 조사하여 배지원료 중 16.5%의 C/N율을 보이는 대두피를 대체하는 가능성을 타진하였다.

표 3-26에서 보는바와 같이 관행적으로 만가닥버섯을 재배하는 H+대두피 조합을 대조구로 하여 각 수확후배지를 첨가한 조합을 비교한 결과 pH는 5.5 - 5.8, C/N율은 대조구에 비해 수확후배지를 첨가한 조합에서 10%이상 차이를 보였는데 이는 첨가된 수확후배지의 C/N율이 낮기 때문으로 판단된다.

Table 3-26. 만가닥버섯 배지 중 대두피를 수확후배지로 대체한 배지종류별 배양, 생육특성 및 수량

처리내용	pH	C/N율	배양 소요일수	초발이 소요일수	생육일수	수량 (g/병)	수량지수
Control <sup>1)</sup>	5.5	44.8	42	10	9	180.9	100
H <sup>2)</sup> +느타리 수확후배지	5.7	30.8	40	13	12	140.1	77.4
H <sup>2)</sup> +큰느타리수확후배지	5.9	33.4	40	12	10	152.4	84.2
H <sup>2)</sup> +팽이 수확후배지	5.3	32.3	41	12	10	155.1	85.7

<sup>1)</sup>Control 혼합비, 미루나무톱밥 : 콘코브 : 밀기울 : 대두피(=30:27:26:17)

<sup>2)</sup>H : Control 조성에서 대두피를 제외시킨 조성임



Fig. 3-32. 수확후배지 첨가에 따른 만가닥버섯 자실체

균사가 활착하여 병 전체에 배양 완료되기까지 대조구에 비해 1-2일이 빠르는데 이는 수확후배지 첨가구의 질소함량이 대조구에 비해 높기 때문일 것이다. 균 굵기 후 발이형성이 완료되는 초발이 소요일수도 대조구에 비해 2-3일이 느렸고, 생육소용 일수도 1-3일 늦어졌다.

만가닥버섯 수량은 대조구를 100으로 보았을 때 모든 처리구에서 15-23% 낮게 나왔으며 이를 통하여 만가닥버섯 재배 시 대두피를 수확후배지로 대체하는 것은 경제성이 없는 것으로 사료된다.

나. 가축 사료로의 활용 가능성 모색

(1) 사료섭취량에 미치는 영향

가축사료로의 활용 가능성을 알아보기 위하여 버섯 수확후배지를 성형 펠릿화 하여 한우 거세우에 급여하였다. 일반적으로 버섯 수확후배지는 수분함량이 높아서 부패가 쉽기 때문에 안정성과 저장성을 높일 수 있는 가공 처리가 필요하며(Moon 등, 2012), 이러한 버섯 수확후배지의 특성은 기호성과 연관이 크다.

본 시험에서는 버섯 수확후배지의 수분함량에 따른 문제를 해결하고자 건조 및 펠릿화 하였기 때문에 사료의 안정성 및 저장성을 높였고, 또한 기호성도 대조구와 비교하여 차이가 없었다. 전체 기간의 처리구별 평균 1일 건물섭취량은 대조구 11.3kg, 팽이버섯 수확후배지(FSM) 11.3kg, 큰느타리버섯 수확후배지(PSM) 11.3kg으로서 처리구간 유의적인 차이가 없었다.

Table 3-27. 버섯 수확후배지 펠릿 첨가가 한우 거세우의 건물 섭취량에 미치는 영향  
Effects of dietary supplementation of pelleted spent mushroom (*Flammulina velutipes* and *Pleurotus eryngii*) substrates on feed intake of Hanwoo steers

개월령	Control <sup>1)</sup>	FSM <sup>2)</sup>	PSM <sup>3)</sup>	SEM <sup>4)</sup>	P 값
건물섭취량(kg/일)					
26	11.8	11.7	11.8	0.53	0.828
27	11.8	11.7	11.9	0.48	0.901
28	11.1	11.5	11.6	0.43	0.801
29	11.0	11.1	11.1	0.48	0.896
30	10.9	10.9	10.8	0.41	0.887
31	10.9	10.8	10.9	0.42	0.902

<sup>1)</sup> 대조구

<sup>2)</sup> 팽이버섯 수확후배지 펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR

<sup>3)</sup> 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR

<sup>4)</sup> Standard error of the mean

본 실험에서는 TMR 원료의 일부를 대체하여 급여하였기 때문에 직접적인 사료섭취량 차이의 비교가 어려움이 있으나, Gal 등(2011)은 큰느타리버섯 수확후배지를 발효시켜 한우 거세우 사료 내 30% 첨가하였을 경우 발효취에 의해 사료섭취량이 증가하였다고 보고하였지만, 대조구 사료는 배합사료와 볏짚을 급여한 반면 발효된 큰느타리버섯 수확후배지 첨가구는 TMR을 급여하여 사료섭취량의 증가 효과가 TMR 급여 효과와 혼합되어 있다. 반면 Kim 등(2012)은 한우 거세우의 육성기 및 비육기에 배합사료와 볏짚을 분리급여하면서 미생물 발효된 큰느타리버섯의 수확후배지를 추가로 급여한 결과 총 건물 섭취량이 증가하는 경향이 있다고 보고하였다.

비록 본 시험에서는 사료섭취량 증가의 효과가 나타나지는 않았지만, 대조구와 비교하여 기호성이 감소되지 않았기 때문에 펠릿으로 제조한 팽이 및 큰느타리버섯 수확후배지는 거세 한우의 TMR원료로 사용 가능함을 시사한다. 특히 본 시험에서 사료섭취량이 감소하는 시기인 비육후기 거세 한우를 이용한 점을 고려하면, 육성기 및 비육전기에는 본 시험에서 사용한 수준보다 높은 비율을 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

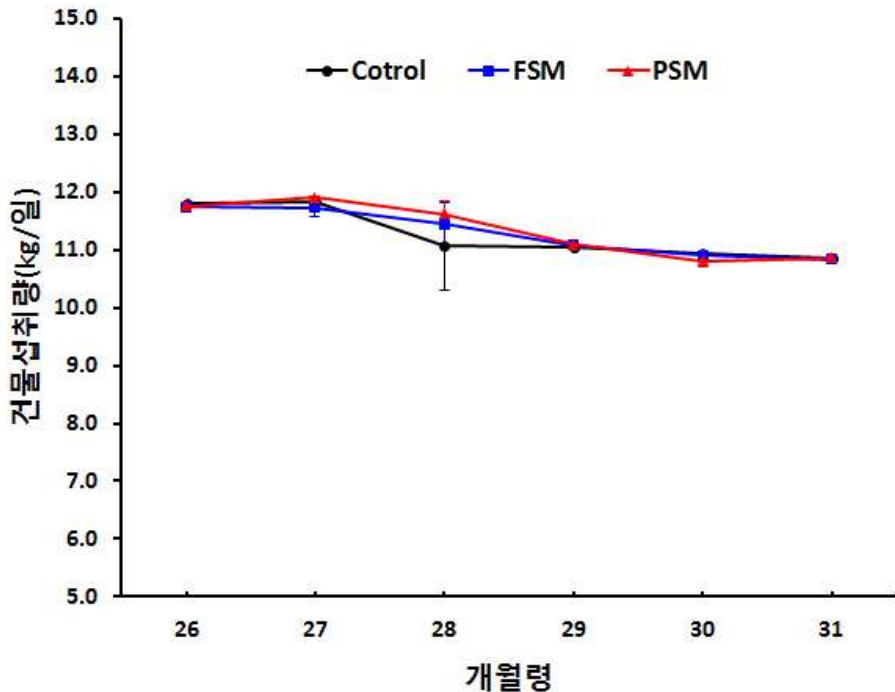


Fig. 3-33. 버섯 수확후배지 펠릿 첨가가 한우 거세우의 건물 섭취량에 미치는 영향  
Effects of dietary supplementation of pelleted spent mushroom (*Flammulina velutipes* and *Pleurotus eryngii*) substrates on feed intake of Hanwoo steers  
FSM = 팽이버섯 수확후배지펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR; PSM = 큰느타리버섯 수확후배지펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR. Error bars represent standard error.

(2) 체중, 일일증체량 및 사료 요구율에 미치는 영향

급여시험 개시체중은 대조구 687kg, FSM처리구 693kg, PSM처리구 688kg 조사되었으며, FSM구가 다른 처리구에 비하여 약간 높게 조사되었으나 각 처리구간 유의적인 차이는 없었다 (표 3-28 및 그림 3-34).

출하 시 체중은 대조구 786kg, FSM처리구 795kg, PSM처리구 793kg으로 조사되었고, FSM 처리구는 개시체중과 높았던 만큼 출하 시에도 체중 증가를 보였지만, 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 시험기간 동안의 일일증체량은 대조구 0.58kg/일, FSM처리구 0.57kg/일, PSM처리구 0.58kg/일로 조사되었다. 이는 처리구간 유의적 차이가 없음을 보여준다.

출하 시 체중이 PSM처리구가 대조구보다 높는데, 일일증체량은 비슷하게 나타났는데 그 이유는 대조구의 시험기간이 PSM 처리구보다 7일 짧았기 때문이다.

Gal 등(2011)의 연구결과에서는 큰느타리버섯 수확후배지를 30% 첨가한 처리구가 대조구보다 유의적으로 건물섭취량을 증가시켰음에도 일일증체량에서는 차이가 없었고, Kim 등(2012)의 연구에서도 배합사료와 볏짚을 분리급여하면서 미생물 발효된 큰느타리버섯의 수확후배지를 추가로 급여하여 건물섭취량 증가경향은 있었으나 일일증체량은 차이가 없는 것으로 보고하였다.

Table 3-28. 버섯 수확후배지 펠릿 첨가가 한우 거세우의 체중, 일일증체량 및 사료 요구율에 미치는 영향  
Effects of dietary supplementation of pelleted spent mushroom (*Flammulina velutipes* and *Pleurotus eryngii*) substrates on body weight, daily gain and feed conversion of Hanwoo steers

	Control <sup>1)</sup>	FSM <sup>2)</sup>	PSM <sup>3)</sup>	SEM <sup>4)</sup>	P 값
개시체중(kg)	687	693	688	51.2	0.410
종료체중(kg)	786	795	793	56.1	0.393
일일증체량(kg/일)	0.58	0.57	0.58	0.068	0.751
사료요구율	19.5	19.7	19.6	0.27	0.689

<sup>1)</sup> 대조구

<sup>2)</sup> 팽이버섯 수확후배지펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR

<sup>3)</sup> 큰느타리버섯 수확후배지펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR

<sup>4)</sup> Standard error of the mean

본 시험에서도 사료 섭취량 및 일일증체량이 처리구간에 비슷하게 나타나 사료요구율도 각 처리구간 유의적인 차이가 없는 것으로 조사되었다. 이는 사용된 시험사료는 대조구와 영양성분 차이가 없고, 또한 사료 섭취량에서도 차이가 나타나지 않았기 때문에 결과적으로 증체효과 또한 대조구와 비슷하게 나타난 것으로 사료된다.

사료 섭취량 결과와 마찬가지로 일일증체량이 대조구와 차이가 없이 나타난 결과는 펠릿으로 제조한 팽이 및 큰느타리버섯 수확후배지가 비육후기 거세 한우의 TMR원료로 사용 가능성을 제시하고 있다.

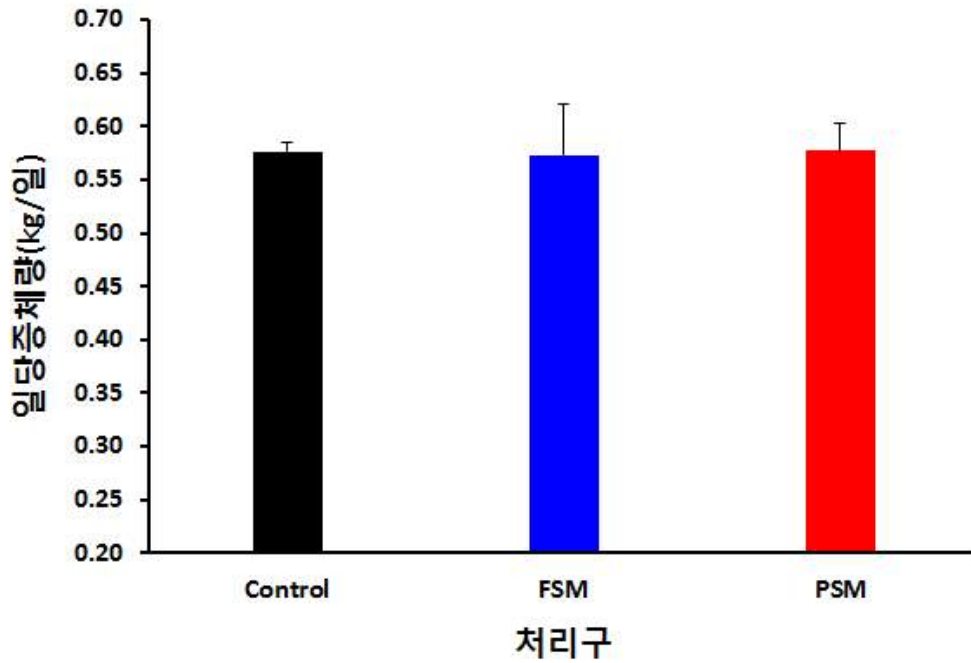


Fig. 3-34. 버섯 수확후배지펠릿 첨가가 한우 거세우의 일일증체량에 미치는 영향  
 Effects of dietary supplementation of pelleted spent mushroom (*Flammulina velutipes* and *Pleurotus eryngii*) substrates on daily gain of Hanwoo steers  
 FSM = 팽이버섯 수확후배지 펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR; PSM = 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR. Error bars represent standard error.

(3) 도체성적에 미치는 영향

비육후기 거세 한우에게 팽이 및 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿의 첨가는 도체중, 등지방두께, 배최장근 단면적, 육량지수 및 육량등급에 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다(표 3-29). 큰느타리버섯 수확후배지를 발효시켜 한우 거세우 사료 내 30% 첨가한 연구(Gal 등, 2011)에서도 육질등급 및 육량등급이 통계적으로 유의적인 차이가 없음을 보고하였고, 또한 Kim 등 (2012)도 큰느타리버섯 수확후배지를 한우 거세우에게 급여한 결과 육량 및 육질등급이 차이가 없는 것으로 보고하였다. 따라서 버섯 수확후배지가 비교적 값싼 원료로서 반추가축에 이용 가능함을 제시하였다.

본 시험에서도 육량 등급뿐만 아니라 마블링 지수(그림 3-35)도 처리구 간에 유의적인 차이가 없는 것으로 나타나 펠릿으로 제조한 팽이 및 큰느타리버섯 수확후배지가 비육후기 거세 한우의 TMR원료로 사용 가능함을 제시하고 있다.



Table 3-29. 버섯 수확후배지 펠릿 첨가가 한우 거세우의 도체성적에 미치는 영향

Effects of dietary supplementation of pelleted spent mushroom (*Flammulina velutipes* and *Pleurotus eryngii*) substrates on carcass characteristics of Hanwoo steers

	Control <sup>1)</sup>	FSM <sup>2)</sup>	PSM <sup>3)</sup>	SEM <sup>4)</sup>	P 값
도체중(kg)	445.3	451.8	450.1	41.3	0.528
등지방두께 (mm)	18.5	18.6	17.6	4.61	0.375
배최장근단면적(cm <sup>2</sup> )	92.6	92.9	91.1	8.97	0.714
마블링지수	6.50	6.55	6.55	1.012	0.783
육질등급(1++:1+:1)	5:10:5	6:10:4	5:11:4		0.392
육량등급(A:B:C)	1:6:13	0:7:13	0:8:12		0.425

<sup>1)</sup> 대조구

<sup>2)</sup> 팽이버섯 수확후배지펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR

<sup>3)</sup> 큰느타리버섯 수확후배지펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR

<sup>4)</sup> Standard error of the mean

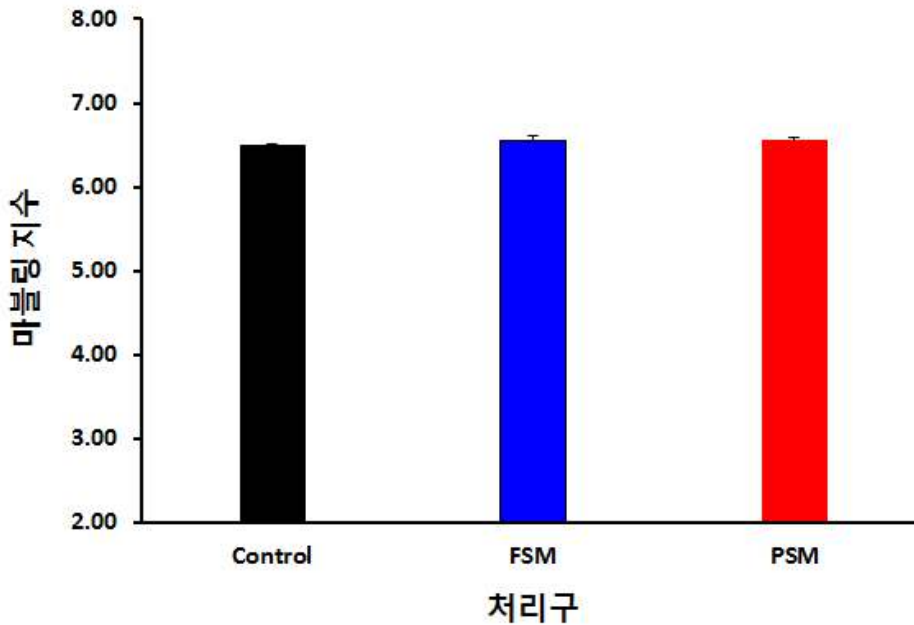


Fig. 3-35. 버섯 수확후배지펠릿 첨가가 한우 거세우의 마블링 지수에 미치는 영향

Effects of dietary supplementation of pelleted spent mushroom (*Flammulina velutipes* and *Pleurotus eryngii*) substrates on marbling score of Hanwoo steers

FSM = 팽이버섯 수확후배지펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR; PSM = 큰느타리버섯 수확후배지펠릿이 5% 함유되도록 제조된 TMR. Error bars represent standard error.

#### 4. 요약

국내 버섯 수확후배지는 하루 약1,000톤 규모로 생산되고 있다. 이 수확후배지의 고부가가치 창출을 위한 재활용할 방법으로 버섯 재배용 배지 재료로의 재활용과 비료, 가축사료로의 재활용 방법을 모색하였다. 공시한 4품목의 버섯인 느타리버섯, 큰느타리버섯, 팽이버섯과 만가닥버섯의 수확후배지의 성분 분석을 실시하였다. 각 버섯별 버섯 접종 전 배지, 배양 완료된 배지 및 버섯 수확후배지, 3단계 배지의 C/N율, 유기물 함량과 무기질 함량 변화 등을 비교 조사하였다. 팽이버섯만 버섯재배 전후로 C/N율이 증가하였고, 느타리버섯을 제외한 큰느타리, 팽이, 만가닥버섯을 수확후배지의 인, 칼륨, 철, 유기물 함량 등이 버섯균 접종 전보다 증가되었다.

현재 수확후배지는 저장과 수송에 제약을 받기 때문에 근거리에서 26원/kg정도로 퇴비로 판매되고 있다. 그러나 건조한 수확후배지는 저장과 수송이 용이하기 때문에 유기질비료로의 성분만 확실하다면 활용 가능성이 높다. 농촌진흥청이 고시한 유기질비료 기준에 따라 비교한 결과, 유해 성분이 기준이하이고, 유기물 함량도 80이상으로 비료로 이용 가치는 충분하였다. 또한 기존 시판되고 있는 제품과 비교하여도 성분에 큰 차이가 없어 비료나 버섯증강제로의 활용 가능하다고 판단된다.

가축사료로의 활용을 위한 영양성분 분석 결과, 조단백질은 큰느타리 > 만가닥 > 팽이 > 느타리 순이고, 조섬유는 느타리 > 큰느타리 > 만가닥 > 팽이 순으로 분석되었다. 가축사료로 활용을 기대하는 큰느타리버섯과 팽이버섯의 수확 후 배지의 무기질과 아미노산 함량은 큰 차이는 없지만, 나트륨 함량이 팽이버섯(676.45mg/kg)이 큰느타리(510.95mg/kg)보다 160mg/kg이상 높았다.

수확후배지를 재활용한 배지에서 느타리버섯균의 배양은 기존 배지에 비하여 5일정도 빨라졌으나, 수량 면에서 감소하는 경향을 보였다. 따라서 배지재료로의 활용에서 배지재료 전체를 대상이 아니라, 자실체 형성과 생육에 관여하는 C/N율을 기준으로 수확후배지와 C/N율이 유사한 재료 대체용도의 사용을 모색하였다. 그 결과 균사생장은 느타리버섯과 큰느타리버섯, 만가닥버섯은 모든 처리구에서 균일한 생장을 보였고, 팽이는 수확후배지를 콘코브 대용으로 사용한 처리구에서 더 빠른 생장을 보였다. 이 수확후배지를 농가에서 비트펠프 대용으로 사용한 실증 재배를 한 결과, 느타리버섯에는 큰느타리버섯 수확후배지를 재사용했을 때, 수량(1%) 증가와 경영비(93,514원/day) 절감 효과가 나타났다. 큰느타리버섯에는 팽이버섯 수확후배지가 수량(4.4%) 증가와 경영비(181,931원/day) 절감 효과가 나타났다. 팽이버섯과 만가닥버섯은 수확후배지 사용으로 생산성 감소를 초래하였다. 4품목 버섯의 수확후배지가 모두 배지 재료로의 재활용이 가능한 것은 아니었지만, 큰느타리버섯과 팽이버섯 수확후배지의 배지 재료 대체재로의 가능성은 확인할 수 있었다.

본 시험은 대조구 TMR에 각각 팽이 및 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿을 5% 첨가한 처리구 [팽이버섯 수확후배지펠릿 첨가구(FSM)와 큰느타리버섯 폐배지펠릿 첨가구(PSM)]로 구분하였고 처리구 당 비육후기 거세한우 20두씩 공시하여, 26개월 령부터 31개월 령까지 6개월 동안 시험사료를 급여하였다. 사료 섭취량은 전 기간 동안 처리구들 간에 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 사료섭취량이 감소하는 시기인 비육후기 거세 한우를 이용한 점을 고려하면, 육성기 및 비육전기에는 본 시험에서 사용한 수준보다 높은 비율을 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

시험기간 동안의 일일증체량은 대조구 0.58kg/일, FSM구 0.57kg/일, PSM구 0.58kg/일로서 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았는데, 이는 시험에 이용된 시험사료가 대조구와 영양성

분 차이가 없고, 또한 사료 섭취량에서도 차이가 나타나지 않았기 때문에 결과적으로 증체효과 또한 대조구와 비슷한 결과를 보인 것으로 판단된다.

비육후기 거세 한우에게 팽이 및 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿의 첨가는 도체중, 등지방두께, 배 최장근 단면적, 육량지수 및 육량등급 및 마블링 지수에 영향을 미치지 않은 것으로 나타나, 결론적으로 본 시험의 결과는 펠릿으로 제조한 팽이 및 큰느타리버섯 수확후배지는 비육후기 거세 한우의 TMR원료로 사용 가능성을 제시하였다.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

구분 (연도)	연구개발의 목표	달성내용	달성도 (%)
1차년도 (2014)	수확후 열회수형 건조기 구성(시간당 0.5톤 건조)	시간당 0.5 톤 건조	100
	수확후 열회수량 80%	수확후열 회수량 90% 이상	100
	버섯종류별 수확후배지 입자선별 (입도 0.05~2.0mm)	4mesh와 8mesh를 적용하여 테스트 완료함	100
	건조 후 전용성형방법	펠릿 성형기 시제품 개발완료	100
	느타리, 큰느타리, 팽이, 만가닥버섯의 수확후 배지 연간 배출규모 조사	지역별 버섯종류별 폐배지규모 조사 완료(40쪽)	100
	건조 수확후배지를 이용해 제작한 펠릿의 물리적 분석	한국임업진흥원 위탁하여 완료	100
	건조 수확후배지를 이용해 제작한 펠릿의 발열량 분석	한국임업진흥원 위탁하여 완료	100
	수확후열회수장치의 최적설치조건 설정	자켓 및 저장조 활용으로 최적화	100
	수확후배지의 적정 건조 조건 확립	건조기 성능에 따른 건조조건 설정	100
	느타리, 큰느타리, 팽이, 만가닥버섯의 재배용 배지원료 및 배지의 이화학적 성분 분석	4품목 버섯배지의 이화학적 성분 분석	100
2차년도 (2015)	살균 배지, 배양 완료 배지, 수확후배지의 탄소원, 질소원, 무기질 등 성분분석	주요 영양성분 분석	100
	건조효율 분석 (함수율 75%→15%이하, 무게 40%이상 감소)	20 ~ 15% 건조효율 도달	100
	선별능력 산출	경제성이 낮아 연구 중단 - 완성품 제작 보류	50
	전용성형기 제작	제작 완료	100
	TMR 사양시험(한우)	거세우에 대한 사료 가능성 확인	100
	펠릿의 버섯배지와 연료로의 사용시 경제성 분석	버섯배지 경제성 분석 완료	100
	건조수확후배지 활용한 버섯배지조성	재활용배지 적정 혼합비 확립	100
건조수확후 배지 펠릿의 농가 실증시험	4품목 버섯 재배실증시험	100	

## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

- 폐열을 이용한 건조기술을 활용하여 수확후배지를 건조, 펠릿화 하여 장기보관 및 이동이 쉽게 함으로써 고부가가치 자원으로 활용할 수 있음
- 건조기 운행 조건 구명으로 수확후배지를 건조하여 활용하고자하는 농가에 기술 교육
- 바이오 고형연료보다 우수한 발열량을 확인하였고, 기존 목재펠릿보다 사용량이 감소하여 농가의 연료비 절감에 기여할 수 있음
- 화목보일러 설치 농가의 경영비 부담 절감 효과
- 건조한 팽이버섯과 큰느타리버섯의 수확후배지는 느타리류 버섯재배에서 비트펠프 대용으로 사용 가능하여 수입 대체효과와 경영비 절감에 기여할 수 있음
- 건조한 수확후배지의 배지재료로의 활용기술을 보급하여 생산성 향상과 경영비 절감에 기여할 수 있음
- 유기질비료나 버섯증강제로 사용가능한 영양성분 확인으로 고부가가치 상품 창출
- 팽이 및 큰느타리버섯 수확후배지 펠릿에 대한 한우 거세우의 사양시험으로 사료로의 가치가 확인됨

### 1. 실용화 및 산업화 계획

#### 가. 폐열회수 건조기, 입도선별기 및 펠릿성형기보급

- 버섯 수확후배지 1일 3톤 처리용량의 농가용 건조시스템 상용화 및 농가홍보 및 보급
- 향후 1일 5톤-10톤의 버섯 수확후배지를 건조할 수 있는 건조시스템 개발 및 농가보급
- 버섯 수확후배지 건조설비를 수출하여 새로운 수출사업의 일환이 될 수 있음

#### 나. 펠릿의 연료로의 보급

- 기존 목재펠릿보다 우수한 발열량과 적은 소비량, 가격 면에서 우월하기 때문에 수확후배지 펠릿의 산업화 추진
- 버섯 농가를 대상으로 버섯 수확후배지 펠릿의 연료로 이용 가능성 홍보
- 버섯배지 살균 시 경유 혹은 목재펠릿을 사용하는 것보다 버섯 수확후배지 펠릿을 이용할 경우 연간 1,200만원 이상 절감할 수 있으며 또한 에너지 수입 대체효과도 있음
- 향후 국제원유가격이 배럴당 100달러 이상 급등 시 배지 살균에 소요되는 비용은 수확후배지 펠릿을 이용하는 것이 면세유를 이용하는 것보다 월등히 유리할 것임

#### 다. 배지 재활용 기술 보급

- 최적의 버섯 배지 조성 구명으로 경영비 절감 재배 기술 보급
- 거의 경제성이 없던 수확후배지를 자원화 하여 버섯농가 소득 증대에 기여
- 국내의 부족한 조사료 자원을 저렴하게 확보함으로써 연간 27만 톤 규모만큼 조사료의 수입대체 효과로 국내 축산농가의 수익개선 기여



## 2. 저장조

관인생략

### 출원번호통지서

출원일자 2014.09.11  
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 환조번호(002)  
출원번호 10-2014-0120168 (접수번호 1-1-2014-0860376-65)  
출원인명칭 바이오매스아시아 주식회사(1-2009-014689-9)  
대리인성명 고영희(9-1998-000147-6)  
발명자성명 송한상  
발명의명칭 폐배지 저장조

특 허 청 장

## 3. 건조시스템

관인생략

### 출원번호통지서

출원일자 2015.11.19  
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출원번호 10-2015-0162207 (접수번호 1-1-2015-1127974-78)  
출원인명칭 바이오매스아시아 주식회사(1-2009-014689-9)  
대리인성명 고영희(9-1998-000147-6)  
발명자성명 송한상  
발명의명칭 살균조 폐열활용 버섯 폐배지 건조시스템

특 허 청 장

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

### 1. 국내·외 지식재산권 현황

#### (1) 관련 기술/제품의 국내 지식재산권(특허 등) 현황

- 충돌기류를 이용한 기술은 토너 제조, 진공청소기, 미분쇄 장치 등의 여러 분야에 폭넓게 사용되고 있음
- 본 개발 기술과 유사한 분야의 국내 특허는 한국에너지기술연구원의 ‘충돌제트기류를 이용한 수확후입자 건조장치’ 이나, 이 특허는 외부에서 열풍을 공급하여 장치 내부의 여러개의 원형 제트노즐에서 기류를 분사하여 입자를 건조하는 장치로서 본 연구에서 개발하고자 하는 기술과는 차이가 있음

지식재산권명	지식재산권출원인	출원국	출원·등록번호
충돌제트기류를 이용한 폐입자 건조장치	한국에너지기술연구원	대한민국	특허등록 10-0722432
바이오매스로부터의 점토 및 연료의 회수	FASC	대한민국	특허출원 10-2005-7009932

#### (2) 관련 기술/제품의 국외 지식재산권(특허 등) 현황

- 미국, 캐나다, 영국, 러시아 등의 해외 기술 선진국에서는 1980년대부터 충돌제트기류를 이용한 건조 기술에 대한 연구가 이루어져왔으며, 섬유, 식품, 제약원료 등의 산업 분야의 건조 설비로 상용화하여 활용하고 있음
- 캐나다의 FASC(First American Scientific Corporation)에서는 충돌기류를 이용한 바이오매스 건조 장치에 대한 특허를 보유하고 있으며, 상용화 장치를 개발하여 여러 국가에 제품을 판매하여 다양한 바이오매스 수확후기물의 연료화 및 자원화 분야에 적용하고 있음

지식재산권명	지식재산권출원인	출원국	출원·등록번호
Recovery of fuel and clay from a biomass	FASC	캐나다	CA 2512688
		미국	US 7,481,385B2
Device and method for comminution	Ashford Holdings Limited	미국	US 6,024,307



## 제 7 장 연구시설·장비 현황

품 명	단 위	수 량	단 가	금 액 (원)	관련되는 세부연구내용
○수확후열회수장치제작 -배관작업 및 설치 -회수장치 제작	식 대	1 1	16,600,000 20,000,000	16,600,000 20,000,000	수확후열회수용
○선별기 unit ○펠릿성형기 unit		2 1	16,000,000 22,000,000	32,000,000 22,000,000	· 입자, 비중 선별 · 건조 선별 후 성형기술
○수확후열회수장치 장착형 건조기 개발품 제작 - 자켓 제작 - 배관 및 자켓 건조기 장착		1	21,500,000	21,500,000	
○ 건조기		0.36	67,500,000	24,500,000	현물
합 계				136,600,000 (24,500,000)	

## 제 8 장   참고문헌

AOAC. Official method of analytical chemists, Washington D. C., USA. 1995.

Cheong JC, Lee CJ, Moon JW. Comparison of mycelial growth and fruiting bodies yield according to substrate in *Flammulina Velutipes*. J. Mushroom. 2014. 12(2):117-121.

Cheong JC, Lee CJ, Shin PG, Suh JS. Recycling posr-harvest medium from bottle cultivation for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). J. Mushroom Sci. Prod. 2012. 10(4) : 167-173.

Cho NS, Oh BI, Kim DS, Min DS. Manufacturing of organic composts from shiitake bedlogs. Mokchae konghak. 1999. 27(2):62-69.

Fermor, T., Watts, N., Duncombe, T., Brooks, R., Mccarthy, A., Semple, K and Reid, B. Bioremediation: Use of composts and composting technologies. Mushroom Sci. 2000. 15 : 833-842.

Gal SW, Moon YH, Cho SJ. Effect of the dietary supplementation of fermented spent mushroom (*Pleurotus eryngii*) substrates on the growth performance and carcass characteristics in Hanwoo steers. J. of Life Sci. 2011. 21(12) : 1705-1709.

Jeong CS, Cho SJ, Cho WK, Lee SJ, Kim ET, Chang SS, Sung. Lee S, Moon YH. Chemical Composition and Ruminal *In Situ* Degradability of Spent *Flammulina Velutipes* Mushroom Substrates Fermented by Supplemental levels of Molasses. Journal of Agriculture & Life Science 2014; 48(4):165-173.

Kim CH, Oh TS, Shin DG, Cho YK, Kim YW, Ann SW. Study on the development of horticultural media using recycled used-mushroom-media. Journal of Environmental Science International. 2014. 23(2); 303-312.

Kim JE, Park SK, Kim TW, Mun M, Koh JS, Jeong SK, Kook K. Effects of feeding fermentation of spent mushroom substrate (FSMS) on growth performance in broiler chicks. Korean J Vet Serv. 2010. 33(4) : 387~392

Kim MK, Ryu JS, Lee YH, Park JS, Jung JI, Kwon JH, Rho CW, Yun HD. The productio of media and optional additive rate using the cultivation media wasted *Pleurotus eryngii*. J. Mushroom Sci. Prod. 2007. 5(2) : 76-80.

Kim YI, Bea JS, Huh JW, Kwak WS. Monitoring of feed nutritional components, toxic heavy metals and pesticide residues in mushroom substrates according to bottle type and vinyl bag type cultivation. J. Anim. Sci. & Technol. 2007. 49(1):67-78.

Kim YI, Lee YH, Kim KH, Oh YK, Moon YH, Kwak WS. Effects of supplementing microbially-fermented spent mushroom substrates on growth performance and carcass characteristics of Hanwoo steers(a field study). Asian-Aust J. Anim. Sci. 2012. 25(11) : 1575-1581.

Kim YI, Park JM, Lee YH, Lee M, Choi DY, Kwak WS. Effect of by-product feed-based silage feeding on the performance, blood metabolites, and carcass characteristics of Hanwoo steers (a field study). Asian-Aust. J. Anim. Sci. 2015. 28(2) : 180-187.

Lim SH, Kim JK, Lee YH, Kang HW. Production of Lignocellulytic Enzymes from Spent Mushroom Compost of *Pleurotus eryngii*. Kor. J. Mycol. 2012. 40(3):152-158.

Lim SH, Lee YH, Kang HW. Optimal extraction and characteristics of lignocellulytic enzymes from various spent mushroom composts. Kor. J. Mycol. 2013. 41(3):160-166.

Mekala, M., Galkin, S., Hatakka, A. and Lundel, T. Production of organic acids and oxalate decarboxylase in lignin-degrading whote rot fungi. Enzyme Microb. Technol. 2002. 30 : 542-549.

Moon YH, Shin PG, Cho SJ. 2012. Feeding value od spent mushroom(*Pleurotus eryngii*) substrate. J. Mushroom Sci. Prod. 10(4) : 236-243.

Moon YH, Lee SS, Kang TW, Cho SJ. Effects of supplemental levels of spent mushroom (*Flammulina velutipes*) substartes on chemical composition and quality of whole crop sorghum silage. J. Mushroom Sci. Prod. 2012. 10 : 136-142.

SAS. 2000. User's Guide : Statistical analysis system. Inst. Inc. Cary, NC.

Semple, K. T., Watts, N. U. and Fermor, T. R. Factors affecting the mineralization of [U-C-14] bezene in spent mushroom substarte. FEMS Microbiol. Lett. 1988. 164 : 317-321.

Silanikove, N., Danai, O. and Levanon D. Composted cotton straw silage as a substrate for *Pleurotus sp.* cultivation. Biol. Wastes 1988. 25 : 219-226.

Tuomela, M., Vikman, M., Hattakka, A. and Itavaara M. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. Bioresource Tech. 2000. 72 : 169-183.

Van Soest, P. J., J. B. Robertson and B. A. Lewis. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 1991. 74 : 3583-3597.

Williams, B. C., McMullan, J. T. and McCahey, S. An initial assesment of spent mushroom compost as a potential energy feedstock. *Bioresour. Technol.* 2001. 79 : 227-230.

김영일, 배지선, 정세형, 안문환, 곽완섭. 버섯수확후배지의 발생량 조사 및 새송이, 느타리, 팽이 버섯 수확후배지의 버섯종류별과 재배방식별의 물리화학적 특성 평가. *한국동물과학회지.* 2007. 49(1) : 79-88.

김영일, 석중상, 곽완섭. 복합생균제 첨가가 버섯부산물의 화학적 성분 변화와 발효 자장성에 미치는 영향. *한국동물자원과학회지.* 2008. 50(6) : 831-838.

문여황, 김수철, 조응기, 이성실, 조수정. 팽이버섯 수확후배지 첨가가 호밀사일리지 발효품질에 미치는 영향. *한국버섯학회지.* 2014. 12(2) : 138-143.

배지선, 김영일, 정세형, 오영균, 곽완섭. 느타리, 새송이 및 팽이버섯 수확후배지의 반추동물 조사료원으로서의 사료 영양적 가치평가. *한국동물자원과학회지.* 2006. 48(2) : 237-246.

송만강, 조남석. 볏짚에 대한 자기가수분해 처리 표고버섯 수확후골목의 대치가 면양에서의 대사적 반응과 성장에 미치는 영향. *한국영양사료학회지.* 1997. 21(6):525-532.

임광철, 라창식, 길준민, 김병완, 권응기, 신중서, 홍병주. 표고버섯 수확후기목균을 이용한 호기성처리가 볏짚의 반추위내 분해 특성에 미치는 영향. *한국축산학회지.* 1998. 40(4):381-390.

정종천, 이찬중, 서장선, 문여황. 팽이버섯 접종전과 수확후 배지의 이화학적 및 영양성분 비교. *J. Mushroom Sci. & Prod.* 2012. 10(4) : 174-178.

## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.