

느타리버섯 재배용 배지 입상 장치 개발(1)

- 배지 물성 조사 및 장치요소 설계 -

이경진 임학규 김태한

Development of Loading Machine of Culture Medium for Oyster Mushroom Production

- Investigation of Physical Properties and Element Design of System -

K. J. Lee H. K. Lim T. H. Kim

Abstract

In the process of oyster mushroom production, loading work of culture medium needs the most intensive labor power and cost. Therefore, the development of culture medium loading machine causes to reduce the manpower and cost. The main objectives of this study are identify cultivating environment, physical properties of culture medium and to make an element design of culture medium loading machine.

The results are summarized as follows :

1. The moisture content and density of popularly used culture medium were 70%(w.b), 26 kg/m³, respectively.
2. Pressure of the blower increased as the impeller speed increased, and the opening ratio of pressure controller decreased.
3. Recommendable clearance(δ) between an impeller plate and a blower case was 25 mm at an impeller speed of 3183 rpm
4. Discharge device of type B with a hopper and suit was better than type A with a hopper.

Keywords : Culture medium, Oyster mushroom, Physical properties, Element design, Loading system

1. 서론

우리나라의 느타리버섯 재배 면적은 2004년 기준으로 버섯 총재배면적의 45%인 601 ha를 차지하고 있으며 생산량도 52,211 M/T으로 전체 버섯생산량의 33.5%를 차지하고 있어 버섯농가에서 가장 큰 소득원으로 자리매김하고 있다(Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2004). 그러나 느타리버섯 재배를 위한 배지 입상 작업은 버섯 재배 작업 가운데 가장 중노동이나 거의 대부분 인력에 의존하고 있으며 이와 같은 작업을 연간 3~4회 반복하게 되므로 많은 노동투하시간이 필요하다. 따라서 느타리버섯 재배 단계 중 배

지의 입상작업을 기계화한다면 버섯재배 농가의 생산성 향상과 노동력 절감효과를 꾀할 수 있을 것이다. 지금까지 연구된 느타리버섯 배지 입상장치로서 Choi(2000)는 폐면 털기를 마친 배지를 인력으로 호퍼에 넣으면 원관내에 장착된 스크류에 의해 재배단에 배지를 입상하는 장치를 개발하였으나 버섯재배사 재배단의 상단인 3, 4단에서는 작업이 용이하나 하단인 1, 2단에서는 수작업에 비해 작업효율이 떨어져 배지 투입구 확장과 배지출구에 강제 배출장치가 필요하다고 하였다. 또한 Park(1999)은 버섯배지 퇴적 점 입상장치로서 퇴비퇴적용 포크를 개발하여 벗짚을 퇴적시킬 수 있고 입상작업도 할 수 있는 것을 개발하였으나 이는 배지의 퇴적 작업

This work was financially supported by Agricultural R&D promotion center(ARPC). The article was submitted for publication on 2009-03-12, reviewed on 2009-07-01, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-07-23. The authors are Kyung Jin Lee, Teacher, Yeong-deuk Highschool, Hak Kyu Lim, Instructor, and Tae Han Kim, Professor, Kyungpook National University. Corresponding author: T. H. Kim, Professor, Dept. of Bio-industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, 1370 Sankyuk-dong, Buk-gu, Daegu, 702-701, Korea; Fax: +82-53-950-5793; E-mail: <thakim@knu.ac.kr>.

에 큰 비중을 둔 장치이다.

그 외 배지처리 와 관련된 장치로서 Choi(2002)는 반밀폐 식 발효조 내에 상부 좌우 이송 스크류와 하부 좌우 교반스 크류를 설치하여 배지를 혼합, 발효, 살균한 후 스크류 중앙 부의 배출관을 통해 배지상자에 담는 장치를 개발하였으며 Lee(1996)는 느타리버섯 자동화 시설로서 배지 상자의 이동을 자동화하여 재배노력을 65% 절감하였다고 보고하였다.

본 연구는 느타리 버섯재배 작업 단계에서 버섯 배지의 입상작업을 기계화하는데 목적이 있다. 따라서 본 보에서는 배지입상장치 개발에 관한 기초 연구로서 느타리버섯 재배사의 균상면적, 배지 입상방법, 균상 면적당 소요 배지량, 배지의 물리적 특성 등을 조사 분석하고, 느타리버섯 배지 입상 장치 개발을 위한 요소설계와 성능시험 결과를 보고하였다.

2. 재료 및 방법

가. 재배환경 조사

경북 칠곡군과 군위군의 느타리버섯 재배 농가를 직접 방문하여 재배사의 균상면적, 배지 입상방법, 균상 면적당 소요 배지량을 조사하였다. 균상면적은 줄자를 이용하여 가로 세로의 길이를 측정 하였고, 배지 입상 방법과 소요량은 현재 농가에서 배지를 균상에 입상하기 위해서 사용하는 도구와 소요인력, 입상하는 배지의 무게를 정밀 저울(DA-150A, CAS, Seoul, Korea)을 이용하여 측정하였다.

나. 배지 물성 시험

우리나라 느타리버섯 재배농가에서 사용하는 배지의 종류 및 솜과 깎지의 혼합비 등을 조사하였고 또한 비중량 측정을 위하여 규격상자와 정밀저울을 사용하였고, 함수율 측정을 위하여 적외선수분측정기(FD-720, Korea Kett Engineering, Daejeon, Korea)를 이용하였다. 측정은 공시재료에 대하여 5 회 반복 시험한 값의 평균을 취하였다. 또한, 방울 솜의 비중량 측정은 가로×세로×높이가 1000×1000×500 mm인 규격 상자 안에 공시재료를 채워서 단위 체적 당 무게를 10회 측정 한 결과의 평균값을 취하였다.

다. 장치요소 설계 및 성능시험

1) 외형 설계

그림 1은 배지 입상장치 외형도를 나타낸 것으로 7.5 kW 전동기를 동력원으로 하고 흡입관, 송풍기, 사이클론, 이송장치, 배출장치로 구성하였다.

그림에서와 같이 배지는 흡입관을 통해 흡입되어 송풍기를 거쳐 사이클론으로 보내진 후 최종적으로 이송장치와 배출장

치를 통해 재배사의 균상에 입상되도록 되어 있다. 이송장치는 벨트 컨베이어로 구성하였고 벨트 컨베이어는 이송각도와 이송속도를 조절하여 입상높이와 입상시간을 제어할 수 있도록 하였다. 또한 송풍기에서 흡입한 배지는 고압상태이므로 사이클론을 이용하여 압력을 저하시킨 후 이송장치로 보내도록 구성하였다. 배지 입상장치의 전체 크기는 느타리버섯 재배 농가의 재배사 입구 크기에 준하여 가로×세로×높이가 1000×1200×2000 mm로 설계하였다.

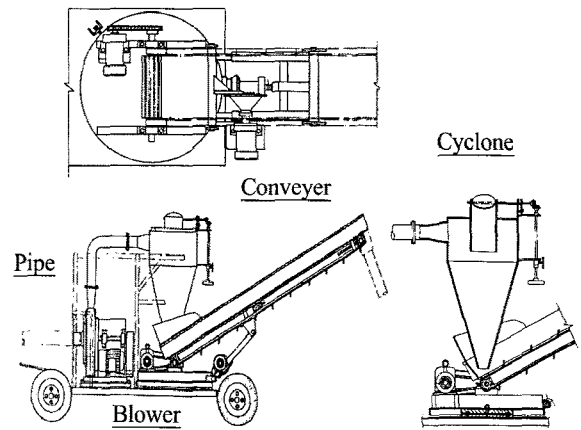


Fig. 1 Design of cultivating medium loading device on improved prototype.

2) 송풍기

임펠러의 성능을 결정하는 인자에는 무게, 크기, 날개의 모양, 날개의 개수, 날개 끝이 임펠러 중심축과 이루는 각도, 임펠러 내에서 날개판과의 거리 등이 큰 변수로 작용하게 되며 흡입량과 송출량을 결정짓는데 매우 중요한 요소이다.

송풍기 설계에서 임펠러의 회전속도를 3500 rpm, 송풍기 전압을 900 kPa, 흡입 및 송출량을 1.9 m³/min로 하여 다음 식들을 이용하여 설계하였다(Ha and Shon, 1994). 본 연구에서 배지의 흡입 및 송출량을 1.9 m³/min, 임펠러의 회전속도를 3500 rpm, 송풍기 전압을 900 kPa 설정한 것은 균상 면적 200 m²인 재배사에 소요되는 배지를 4시간 만에 입상하도록 송풍기를 설계하기 위해서이다.

$$(1) \text{비속도 } n_s = N \frac{Q^{1/2}}{(P_t/r)^{3/4}} = 3500 \times \frac{1.9^{1/2}}{(900/26)^{3/4}} = 338$$

위 식에서 N은 임펠러의 회전속도, Q는 유량, P_t는 전압, r는 유체의 비중량이다.

(2) 송풍기의 종류, 전압효율을 고려하여 비속도 $n_s = 338$ 에 대한 것으로, 전압효율 $\eta_t = 65\%$ 인 블로어를 선정하였다.

(3) 임펠러의 바깥지름(D₂)

배지는 기체와 액체와 달리 고체성분에 가까운 것으로서 비속도 $n_s = 338$ 에 대한 $K_u = 4.0$ 값을 대입하면

임펠러의 바깥지름은 56.9 cm가 되므로 시작기 제작 시 적용 값은 60 cm로 하였다.

$$D_2 = \frac{60K_u \sqrt{2gp_i/\gamma}}{\pi N} = \frac{60 \times 4 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 900/26}}{\pi \times 3500} = 0.569 \text{ m} = 56.9 \text{ cm}$$

위 식에서 K_u 는 유속계수, g 는 중력가속도이다. 또한 유체비중량은 물성시험 결과 26 kg/m^3 로 나타난 것을 이용하였다.

(4) 임펠러의 안지름(D_1)

임펠러의 안지름은 다음 식에서

$$D_1 : n_s = 338 \text{에 대하여 } D_1/D_2 = 0.89 \text{에서}$$

$$D_1 = 0.40 \times 0.60 = 0.24 \text{ m} = 24 \text{ cm로 계산되어 제작 시 } 24 \text{ cm로 하였다.}$$

(5) 임펠러의 출구 폭(b_2)과 입구 폭(b_1)

$n_s = 338$ 에 대하여 다음 식에 대입하면 출구폭은

$$\frac{b_2}{D_2} = 0.01 : b_2 = 0.01 D_2 = 0.01 \times 0.6 = 0.006 \text{ m} = 60 \text{ mm}$$

로 산출 되었고, 입구 폭은

$$\frac{b_1}{D_2} = 0.009 : b_1 = 0.009 D_2 = 0.009 \times 0.6 = 0.0054 \text{ m} = 54 \text{ mm}$$

로 산출 되었다.

(6) 날개 수(z)

임펠러의 날개 수는 다음 식에서 5.3개로 산출되어 6개로 제작하였다.

$$z = 2.35 \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} = 2.35 \frac{600 + 230}{600 - 230} = 5.3 \text{개}$$

그림 2는 이론적인 고찰을 통해서 얻어진 인자를 바탕으로 설계한 송풍기 임펠러의 형상을 나타낸 것으로 60° 간격으로 6개의 날개를 배열하였고 날개의 고정은 볼트를 이용하여 뒷면에서 체결하였다.

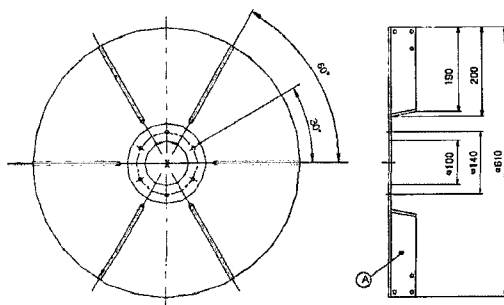
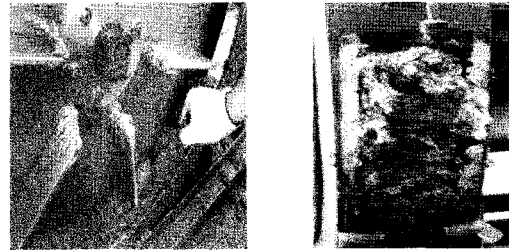


Fig. 2 Impeller design for experiment (unit:mm).

송풍기는 배지 입상장치의 핵심부로 배지를 흡입하고 송출하는 중요한 역할을 한다. 상기와 같이 계산하여 시작한 송풍기를 이용하여 배지의 흡입성능을 시험한 결과 송풍기가 배지를 흡입하여 10분정도 지났을 때 그림 3과 같이 배지가 임펠러 하부의 외실에 퇴적되어 고착되는 현상으로 인해 배지의 입상이 원활하지 못하였다.



(A) Material hardened (B) Material accumulation

Fig. 3 Troubles occurred during testing the blower.

이 문제점을 해결하기 위해 보조장치가 필요하게 되었고 그림 4에서와 같이 두께 8 mm, 크기가 88 mm×58 mm(가로×세로)인 철판을 이용해 중앙에 길이 30 mm, 폭 10 mm인 돌기를 가공하여 임펠러 날개 끝단에 장착하여 누적된 배지를 매 회전마다 긁어 올리는 역할을 하는 임펠러 보조핀을 제작하여 장착하였다. 이것을 좌측, 중앙, 우측으로 엇갈리게 배열하여 배지가 외실 하부에 퇴적되는 현상을 최소화 하고자 하였다.

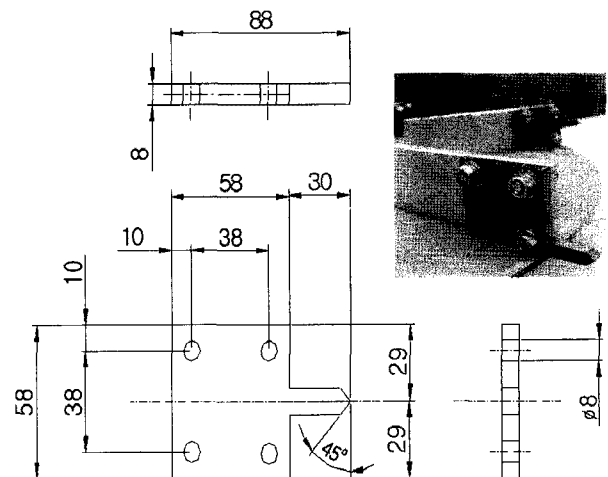


Fig. 4 Supplemental scrappers attached on the impeller (unit:mm).

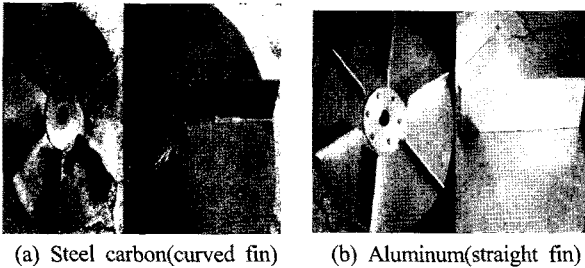
또한 송풍기 임펠러의 회전속도를 3,712 rpm, 3,200 rpm, 2,880 rpm로 변화시키면서 스트레인 게이지식 압력센서(PHB-A-1MP, Kyowa, Tokyo, Japan)와 스트레인앰프(YB-503A, Kyowa, Tokyo, Japan)를 이용하여 송풍기 배출관내의 압력을 측정하였다. 이는 사이클론 상부에 설치한 압력조절장치

의 조절에 의한 배지 배출관의 압력 변화와 그에 따라 배출구를 통해 나오는 배지의 흐름 상태를 육안으로 판별하기 위한 것이다. 그림 5는 압력을 측정하는 모습을 나타낸 것이다.



Fig. 5 Measuring static pressure in the blower at the various speeds.

또한 임펠러는 재질을 탄소강과 알루미늄 2종류로 제작하여 구동시의 송풍기내 배지의 흐름 상태를 육안으로 판별하였고, 소요 전류를 측정하여 성능을 비교 하였다. 그림 6은 제작한 임펠러를 나타낸 것이다. 그림에서 탄소강으로 제작한 임펠러는 핀의 끝은 굽혀 원판에 용접하였고, 알루미늄으로 제작한 임펠러는 핀을 굽히지 않고 직선으로 하여 원판에 용접하였다.



(a) Steel carbon(curved fin) (b) Aluminum(straight fin)

Fig. 6 Kinds of impeller materials.

그림 7은 송풍기 임펠러와 외실내면과의 간격(δ)을 나타낸 것이다. 이 값을 10, 15, 20, 25, 30 mm 5단계로 변화시키면서 배지의 흡입 및 배출성을 통해 최적 간격을 구하였다. 이는 임펠러와 외실내면과의 간격 변화에 따라 배지가 외실내로 흡입되고, 배출 될 때 외실내에 부하가 적게 걸리면서 흡입, 배출이 양호한 조건을 찾기 위한 것이다. 배지의 흡입 및 배출 성능 시험은 공시 배지 20 kg을 미리 임펠러 입구에 놓고 실험장치를 구동시켜 흡입이 시작되어 완료 될 때까지의 시간, 그리고 배출이 시작되어 종료될 때까지의 시간을 스톱워치를 이용하여 측정하였다. 배출시간 측정은 단지 배지가 임펠러내에서 체류하는 시간을 파악하기 위해서이다. 실험은 10회 측정된 결과의 평균값을 취하였다. 실험에 사용한 배지는 습과 각지의 비가 70:30인 방울 습으로서 함수율이 70%(w.b)인 것을 사용하였다.

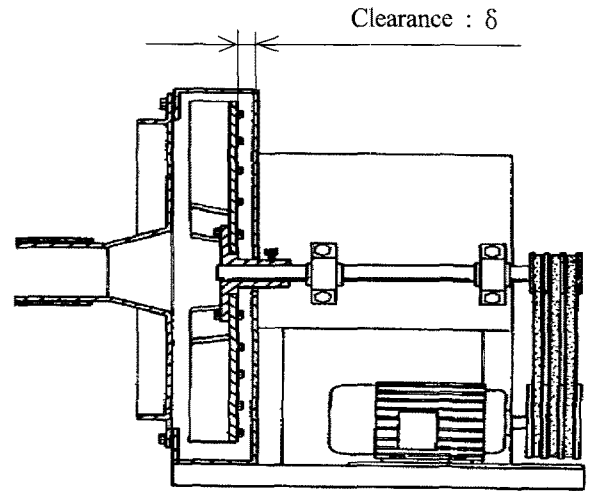


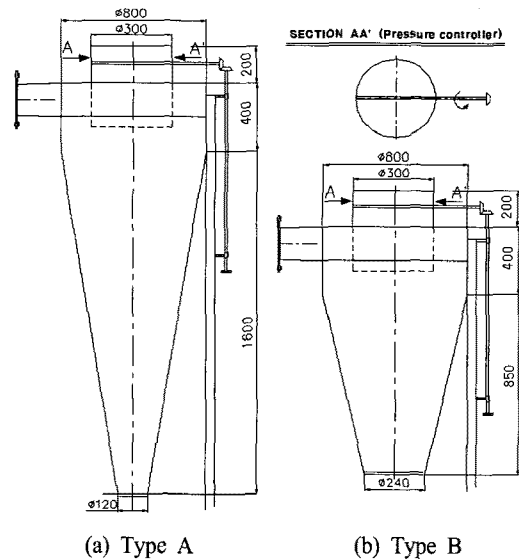
Fig. 7 Clearance(δ) between impeller plate and blower case.

3) 사이클론

표 1과 그림 8은 시작한 사이클론의 체원을 나타낸 것이다. 사이클론의 원추부분의 높이가 각각 1,600 mm와 850 mm, 원추각이 각각 12°(type A)와, 18°(type B) 인 2가지 형태의 사이클론을 제작하였다.

Table 1 Dimensions of cyclone (unit: mm)

Items	Dimensions	
	Type A	Type B
Inlet	φ150	φ150
Body scale × Height	φ800×400(h)	φ800×400(h)
Cone angle, Height	12°, 1,600(h)	18°, 850(h)
Outlet	φ120	φ240
Pressure controller size	φ300	



(a) Type A (b) Type B

Fig. 8 Kinds of the cyclone type (unit:mm).

또한 그림 9는 사이클론내의 압력 조절장치를 나타낸 것이다. 이는 사이클론의 상부에 원판형의 덮개를 설치하고 베벨 기어를 이용하여 개폐할 수 있도록 제작하여 개구비를 1(full open), 1/2(1/2 open), 0(closed)으로 3단계 조절할 수 있도록 하였다. 이는 송풍기를 통해 사이클론으로 들어오는 배지가 송풍기의 토출 압력이 너무 높으면 사이클론 내에서 날림 현상이 너무 크고 또한 토출 압력이 너무 낮으면 송풍기에서 토출이 잘 되지 않아서 배지 입상이 불가능하게 된다. 성능 시험은 송풍기를 통해 사이클론으로 들어오는 배지의 흐름 상태를 육안으로 판별하였다.

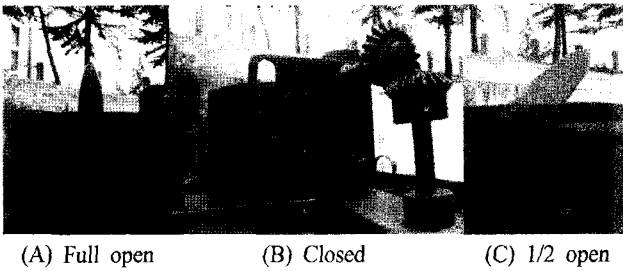


Fig. 9 Pictures of the pressure controller in the cyclone.

4) 이송장치

배지 이송장치는 그림 10과 같이 기어내장형 전동기를 구동하여 벨트컨베이어의 경사각도는 지면을 수평으로 하여 수직 방향으로 6수준(10°, 15°, 22°, 28°, 35°, 40°)으로 조절할 수 있게 제작하였다. 이러한 경사각도는 버섯 재배사에서 배지를 입상할 때 입상높이와 관련된 것으로 경사각 15°의 경우는 지면으로부터 입상높이가 1.5 m가 되어 재배단 2단에 입상하는 높이가 된다.

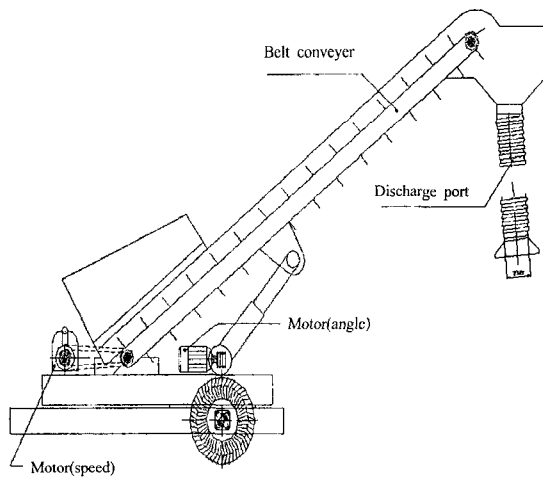


Fig. 10 Schematic diagram of the designed belt conveyor system.

표 2는 벨트컨베이어의 경사각도에 따른 배지 이송 높이를 나타낸 것이다.

Table 2 Inclination angle and height at discharge of the conveyor system

Step	Angle of inclination	Drop height (m)
Max.	40°	3.5
S4	35°	3
S3	28°	2.5
S2	22°	2
S1	15°	1.5
Min.	10°	1

표에서 컨베이어의 경사각이 40° 일 때는 높이가 3.5 m인 재배단위에 배지를 낙하하는 것을 의미한다. 또한 표 3은 벨트컨베이어식 이송장치의 제원을 나타낸 것으로 표에서 보는 바와 같이 벨트컨베이어의 구동을 위해서는 0.75 kW, 기어비가 1:15인 모터를 사용하였고, 4단으로 이루어진 버섯재배사의 재배단 높이에 따라 입상이 가능하도록 컨베이어의 경사각도를 조절해주기 위해서는 0.4 kW, 1:15 기어비를 가진 모터를 베벨기어축과 V형 벨트로 연결하였다. 이 장치에 의해 배지의 배출 높이를 최대 3,500 mm, 최소 1,000 mm로 조절할 수 있다. 또한 이송벨트의 폭은 300 mm, 축간거리는 1,590 mm, 최대이송속도는 0.6 m/s로 설계하였다.

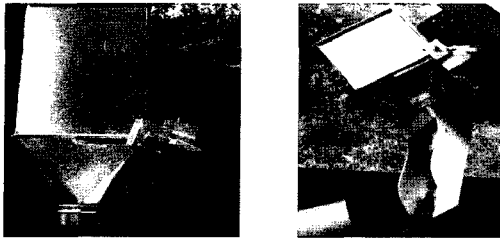
Table 3 Specifications of a selected belt conveyor for the final discharge

	Specifications		Remarks
Motor	Belt conveyor driving	• 0.75 kW • 60 Hz (1,690 rpm)	• 1/15 gear ratio • 3 Ph induction
	Transporting angle controlling	• 0.4 kW • 60 Hz (1,685 rpm)	
Chain sprocket	Motor side	RS #60 19T	
	Driven side	RS #60 32T	
Belt	Speed	0.6 m/s	1,590 mm distance between shaft
	Length	5,000 mm	
	Width	300 mm	
Guide carrier	Pitch	300 mm	
	Width	200 mm	
Discharge height	Maximum	3,500 mm	
	Minimum	1,000 mm	

5) 최종 배출 장치부

최종 배출 장치부의 형상 결정을 위해 그림 11(a)와 같이 컨베이어 벨트 선단 하부에 직육면체와 원추형으로 일체화한 호퍼(Type A) 만을 부착하여 벨트컨베이어에 의해 이송된 배지가 이것을 통해 균상에 낙하되도록 제작한 것과 (b)와 같이 (a)의 구조 하부에 슈트를 부착(Type B)하여 이 슈트를 좌우로 선회시키면서 벨트컨베이어에 의해 이송된 배지가 이것을 통해 균상에 낙하되도록 한 형태 등 2지 형식의 장치를 제

작하였다. 배지의 입상작업은 입상장치가 재배사 내의 작업 통로를 이동하면서 실시하므로 가능하면 입상장치의 이동거리를 최소화 하면서 작업을 완료하는 것이 효과적이다. 따라서 본 시험은 어느 배출장치가 입상장치를 이동시키지 않고 배지를 균상위에 골고루 낙하시킬 수 있는가 즉 배지가 균상위에 입상된 면적이 어느 구조가 큰 것인가를 자를 이용하여 측정하였다. 실험은 5회 반복 실시한 결과를 평균 하였다.



(a) Hopper (Type A) (b) Hopper+suit (Type B)

Fig. 11 Design of the discharge device.

6) 흡입관

배지 입상 작업방법은 버섯재배사의 입구에 배지를 쌓아두고, 입상장치를 재배사 작업통로 내에 이동시키면서 작업하는 방식을 선정하였고, 입상을 위한 흡입관의 직경계산을 위해 유량계수 Φ 는 0.7로 하였고, 유속 $v=3 \text{ m/s}=180 \text{ m/min}$ 로 하였으며, 유량 $Q=1.9 \text{ m}^3/\text{min}$ 의 값을 사용할 때 관 직경은 아래 식과 같이 계산 할 수 있다. 일반적으로 임펠러 내를 흐르는 유체가 액체의 경우에는 유량계수가 0.85~0.98의 범위에 있으나(Ha et al., 1994) 본 연구에서 사용하는 유체는 솜이므로 유체보다는 손실이 더 클 것으로 생각하여 유량계수를 0.7로 하였다.

$$Q = \Phi A v \text{ m}^3/\text{min} \text{에서}$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v \Phi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.9}{\pi \times 180 \times 0.7}} = 0.139 \text{ m} = 13.9 \text{ cm}$$

따라서 관 직경은 배지흐름의 안전율을 고려하여 150 mm로 제작하였다. 또한 관의 재질은 유연성이 좋은 고무제의 튜브를 선정하였고, 길이는 작업성을 고려하여 15 m로 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 재배사 형태

그림 12는 느타리버섯 재배시설의 구조를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 110 m²의 재배사 전체 대지위에 25 m²정도의 균상을 수평으로 2단, 수직으로 4단을 설치하여 전체 균상 8단을 마련한 것을 알 수 있다. 또한 우리나라에서 느타리버섯 재배는 부업형이 64.3%이며 전업농가형은 35.7%

이기 때문에 경영형태에 따라서 재배사의 크기가 상이하지만 부업형일 경우에는 재배사 1동의 크기가 균상면적으로 200 m²가 관리하기에 적당한 것으로 나타났다.

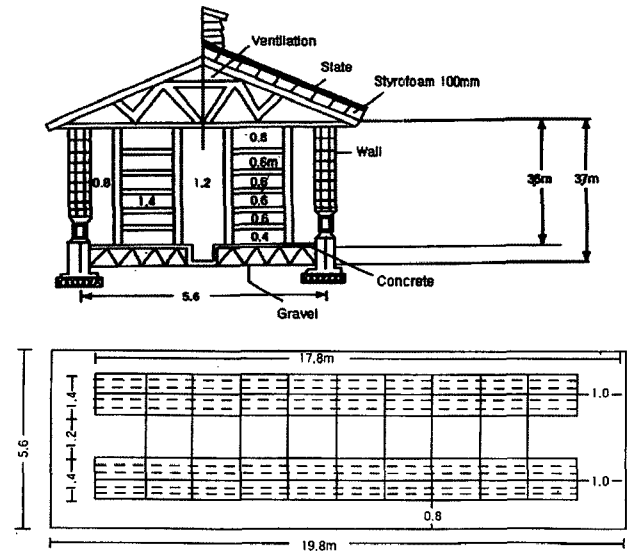


Fig. 12 Structural drawing of cultivation unit for oyster mushroom.

재배사 1동의 크기가 200 m² 이상 일 때는 부부가 작업할 경우 작업량이 많아 작업이 지연되고 따라서 고온 기에는 작업 중 배지가 변질 될 가능성이 높으며 살균 시에는 보일러 용량에 비해 살균 면적이 과다하여 배지의 살균이 불충분하게 되고 배지제조와 살균과정이 잘 이루어 저도 균상 관리 시 적정온도 유지가 곤란하고 환기가 알맞지 않아 재배에 실패 가능성이 높은 것으로 나타났다.

그림 13은 느타리버섯 재배사의 내부모습을 보여주는 것으로 비닐과 부직포로 지어진 간이 재배사는 바닥을 콘크리트로 처리하였고 직경 6 cm, 8 cm 파이프를 수직, 수평 균상 뼈대를 만들고 노끈과 고강도 비닐을 이용해 균상 판을 제작하였으며 통로의 폭은 1.2 m~1.8 m 정도였다.



Fig. 13 Interior structure of oyster mushroom cultivation unit.

나. 배지 입상 작업방식

버섯 재배 농가를 방문하여 균상에 배지를 입상을 하는 방법을 조사한 결과 농가마다 차이가 있었으며 대표적인 방법

으로는 넓은 작업대에 바퀴를 부착한 이동식 작업대와 인력을 이용한 방법과 트랙터의 전부장치인 로더를 이용해 트럭 위의 컨테이너에 1차적으로 배지를 싣고 재배사로 트럭을 들어와 인력을 이용하여 균상에 배지를 입상하는 것이 일반적인 방법이었다.

그림 14는 이동식 작업대를 이용하여 배지를 입상하면 모습을 나타낸 것이다. 균상의 2단에서부터는 작업 노동 강도를 줄이기 위해 이동식 작업대를 자체 제작하여 4단까지 입상하였으며, 균상면적 200 m²의 재배사 1동을 부부가 인력으로 할 경우 약24시간이 소요되어 1일 작업시간을 8시간 기준으로 볼 때 3일이 소요되었다.

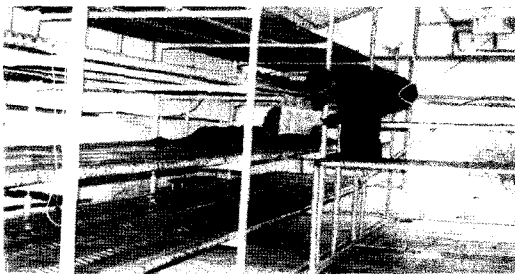


Fig. 14 Manual loading of culture medium on the portable workbench with container.

그림 15는 이동식 작업대 대신 트럭을 이용하여 입상하는 모습을 나타낸 것이다. 트럭에 컨테이너를 나열한 후 로더를 장착한 트랙터로 야외발효가 끝난 배지를 트럭위의 컨테이너에 담아 2단에서 3단 정도 쌓아 트럭을 재배사 내로 진입시켜 입상하는 방식이었다. 이 방식에 의해 균상면적 200 m²의 재배사 1동을 부부가 인력으로 입상 할 경우 약12시간이 소요되어 1일 작업시간을 8시간 기준으로 볼 때 하루 반이 소요되는 것으로 나타났다. 이 방식은 이동식 작업대를 이용하는 방식에 비해 50%정도 입상시간을 줄일 수 있었으나 최종적으로 균상에 배지를 입상하는 것은 인력으로 이루어져 작업자의 노동 강도가 컸으며 로더와 트랙터가 필요한 단점이 있었다.



Fig. 15 Manual loading of culture medium with helps of truck, loader and container.

다. 작업체계 및 소요 배지량

느타리버섯 생산을 위한 재배공정을 보면 배지 준비 → 배

지 수분 조절과 야외 발효 → 입상 → 살균 및 발효 → 종균 접종 및 균사배양 → 버섯발생 및 생장 → 수확 및 포장 → 폐상의 단계로 이루어지고 이러한 작업체계를 1년에 3~4회 실시하게 되며 배지는 3.3 m²당 여름에는 55 kg, 겨울에는 65 kg으로 평균 60 kg정도 소요되며 2열 4단으로 이루어진 200 M² 재배사의 경우 3,600 kg의 배지를 사용하고 있었다.

라. 배지 물성 시험

우리나라 느타리버섯 재배농가에서 사용하는 배지의 종류에는 방울 솜 배지, 벗짚배지, 먼실락배지를 이용한 균상재배법이 사용되고 있었다. 이용률을 보면 방울 솜 사용 비율이 약 60~70%를 차지하고 있었다. 그림 16은 시중에서 유통되는 수입 방울 솜으로서 솜과 각지의 혼합비를 나타낸 것이다. 그림에서 80:20은 솜 80, 각지 20의 비를 의미한다. 그림에서와 같이 깎지 비율이 높을수록 조직이 거칠고 색상이 짙어짐을 알 수 있다.

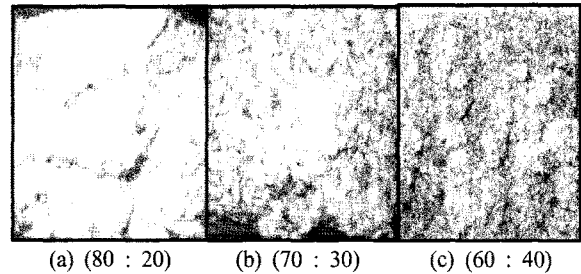


Fig. 16 Cotton waste (cotton vs skin ratio).

현재 농가에서는 솜과 각지의 비가 70:30인 배지를 가장 많이 사용하고 있었다.

표 4는 배지의 물리적 특성을 나타낸 것이다. 표에서와 같이 배지로 사용되는 방울 솜은 입상전 약 일주간의 물 추기기, 뒤집기 과정을 거쳐서 재배사에 입상될 때는 함수율이 69~71%(w.b)가 됨을 알 수 있었다. 또한 배지의 비중량은 26 kg/m³로 나타났다.

Table 4 Moisture contents and densities dg medium

Sub-rate materials	Moisture content (% , w.b)	Density (kg/m ³)
Cotton:skin=80:20	71	25.92
Cotton:skin=70:30	70	26.14
Cotton:skin=60:40	69	26.35

마. 장치요소 성능시험

1) 송풍기 배출부 압력

그림 17은 송풍기의 회전속도와 사이클론의 압력조절장치의 개구비 변화에 따른 송풍기내 배출부의 압력변화를 나타

낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 송풍기의 회전속도가 증가할수록 압력도 증가함을 알 수 있다.

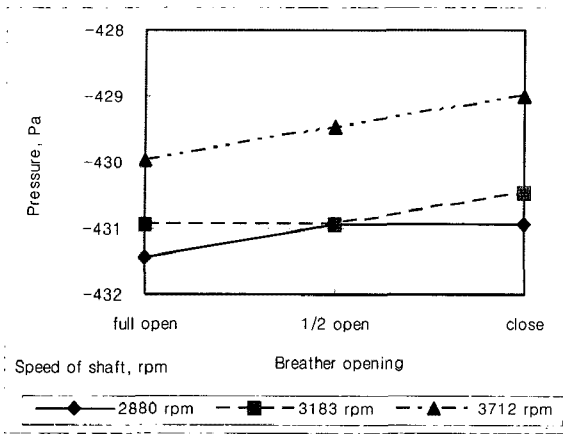


Fig. 17 Static pressure at various impeller speeds.

그리고 사이클론의 압력 조절장치의 개구비를 0(완전히 닫음)으로 했을 경우에는 개구비를 1(완전히 열림)로 했을 경우보다 송풍기내에서 발생하는 압력이 증가함을 알 수 있다. 사이클론의 압력조절장치의 개구비가 1일 때 송풍기의 회전속도가 2,880 rpm에서, -431.4 Pa, 3,183 rpm에서 -430.9 Pa, 3,712 rpm에서 -430 Pa로 나타났고 개구비가 0일 때 송풍기의 회전속도가 2,880 rpm에서, -430.9 Pa, 3,183 rpm에서 -430.5 Pa, 3,712 rpm에서 -429.0 Pa로 나타났다.

또한, 압력조절장치의 개구비를 0으로 한 상태에서 송풍기의 회전속도를 3,712 rpm으로 할 경우 사이클론의 배출구로 빠져나오는 배지의 비산이 심하여 배지의 손실과 작업 진행에 불편함이 있었는데 이와 같은 현상의 원인은 압력 조절장치로 빠져나가지 못한 바람이 배지 배출구로 가압되기 때문인 것으로 생각된다.

2) 송풍기 임펠러와 외실내면의 간격에 따른 성능

그림 18은 송풍기 임펠러와 외실내면과의 간격에 따른 배지 흡입·배출성능 결과를 나타낸 것이다. 본 성능시험에서 송풍기 축의 회전속도는 3,712 rpm, 사이클론의 압력 조절장치는 개구비를 1/2로 한 상태에서 실시하였다. 실험에 사용한 배지는 습과 각지의 비가 70:30인 방울 습으로서 함수율이 70%(w.b)인 것을 사용하였다.

그림에서와 같이 간격이 증가하면 흡입시간과 흡상시간이 감소하다가 간격 25 mm를 기점으로 흡입시간과 입상시간이 다시 증가함을 알 수 있다. 따라서 배지 입상장치는 송풍기 임펠러와 외실내면과의 간격을 25 mm로 설계, 제작하는 것이 작업성능이 우수하게 됨을 알 수 있다. 그림에서 간격이 10 mm일 때 흡입시간은 40초로 가장 느리게 나타났고, 입상시간은 58초로 나타났으며 간격이 25 mm일 때는 흡입시간

15초, 입상시간 31초로 가장 우수함을 보였다. 또한 배지가 흡입되어 배출되기 전까지 임펠러의 외실내에 체류하는 시간은 16~18초 정도임을 알 수 있다.

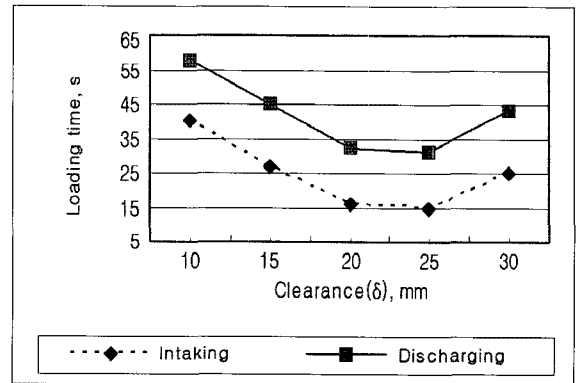


Fig. 18 Loading time by clearance(δ) between impeller plate and blower case.

3) 송풍기 임펠러 재질에 따른 성능

표 5는 임펠러 재질을 탄소강과 알루미늄 2종류로 제작하여 구동시의 소요전류를 측정된 결과를 나타낸 것이다.

Table 5 Comparison of impeller material

Materials		Steel carbon(SC)	Aluminum(AL)
Total weight		16.20 kg	6.42 kg
Number of blade		6 EA	6 EA
Shape of blade		Curved fin	Straight fin
Drive current	Start	100 A	60 A
	Idle	20 A	24 A
	Work	40 A	21 A~30 A

표에서와 같이 탄소강으로 제작한 임펠러는 무게가 16.20 kg 이나 알루미늄으로 제작한 것은 무게가 6.42 kg으로 나타나 약 60% 경량화 되었으며 또한, 전동기 작동 시 구동축의 부하에 의한 소요 전류를 측정된 결과 탄소강 재질의 임펠러는 시동 시 소요 전류가 100 A로 나타났으나 알루미늄 재질의 임펠러는 60 A로 나타나 약 40% 감소시킬 수 있었다. 또한 송풍기내의 배지 흐름 상태를 육안으로 판별한 결과 재질을 탄소강으로 하여 핀의 끝 부분을 절곡한 형식은 절곡 부위에 배지가 걸려 배지 흡입, 배출이 알루미늄재질로 제작한 것 보다 양호하지 못하였다.

4) 사이클론

사이클론의 원추부분의 길이를 각각 1,600 mm와 850 mm, 원추각을 각각 12°, 18°인 2가지 형태의 사이클론에 대해 송풍기 축의 회전속도 3,712 rpm, 압력 조절장치의 개구비를 1/2로 한 상태에서 실험하여 배지 배출 성능을 육안으

로 판별한 결과 원추부의 길이가 850 mm, 원추각이 18°인 사이클론이 송풍기에서 흡인한 배지가 배출될 때 날림현상을 감소시켜 배출이 양호하였다. 이는 사이클론의 원추부의 길이가 짧고 원추각이 커서 사이클론 내로 들어온 소용돌이 공기의 가속성이 줄어들기 때문인 것으로 판단된다.

5) 배출장치

표 6은 2가지 형태의 배출장치에 대한 배출성능 시험결과를 나타낸 것이다. 이는 배지를 균상 위에 골고루 낙하시킬 수 있는 구조가 어느 것인가를 알기 위함이다. 배지 배출 시험을 통해 균상위에 배지를 낙하 시키는 면적을 측정하여 비교하였다. 표에서와 같이 호퍼와 슈트를 혼합한 배출장치(type B)가 호퍼만으로 제작한 배출장치(type A)보다 배지의 균상 위 입상 면적이 60% 증가하였다. 이는 A형태의 장치에 의한 균상위 배지 살포 면적을 1로 하였을 때 B형태의 장치에 의한 균상위 배지 살포 면적비를 나타낸 것이다.

Table 6 Performance comparison of medium loading

Item	Type A	Type B
	Hopper	Hopper+suit
Scattering area	1	1.6

4. 요약 및 결론

느타리버섯 재배를 위한 배지 입상작업은 버섯 재배 작업 가운데 가장 중노동이나 거의 대부분 인력에 의존하고 있으며 이와 같은 작업은 년 간 3~4회 반복하게 되므로 많은 노동투하시간이 필요하게 된다. 따라서 배지 입상작업을 기계화한다면 버섯재배 농가의 생산성 향상과 노동력 절감효과를 꾀할 수 있을 것이다.

본 연구는 느타리 버섯재배 작업 단계에서 버섯 배지의 입상작업을 기계화하는데 목적이 있다. 따라서 본 보에서는 배지입상장치 개발에 관한 기초 연구로서 느타리버섯 재배사의 균상면적, 배지 입상방법, 균상 면적당 소요 배지량, 배지의 물리적 특성 등을 조사 분석하고, 느타리버섯 배지 입상 장치 개발을 위한 요소설계 및 성능시험을 실시하였다. 그 결과는 아래와 같았다.

- (1) 부엽형 농가의 재배사 1동의 균상 면적은 200 m²이었다.
- (2) 배지의 입상 방식은 이동식 작업대와 컨테이너를 이용하는 방식과 트랙터와 트럭 및 컨테이너를 이용하는 방식이 있었다.

- (3) 배지로 사용되는 방울 솜은 함수율이 70%(w.b) 이었고, 비중량은 26 kg/m³이었다.
- (4) 배지로 사용하는 방울 솜의 솜 대 각지 비는 70 : 30 으로 나타났다.
- (5) 송풍기 와실내의 배출부 압력은 송풍기의 회전속도가 증가할수록 증가하였고, 사이클론의 압력 조절장치의 개구비가 감소하면 증가하였다.
- (6) 송풍기 임펠러와 와실내면과의 간격에 따른 배지 흡입 배출성능은 간격이 10 mm일 때 흡입시간은 40초, 입상시간은 58초로 가장 느리게 나타났고, 간격이 25 mm일 때는 흡입시간 15초, 입상시간 31초로 가장 빠르게 나타났다.
- (7) 송풍기 임펠러의 재질을 탄소강과 알루미늄 2종류로 제작하여 무게와 구동시의 소요전류를 측정한 결과 알루미늄으로 제작한 것은 무게가 6.42 kg으로 나타나 약 60% 경량화 되었고, 시동 시 소요 전류도 60A로 나타나 약 40% 감소하였다.
- (8) 배출장치의 설계요인 구멍 시험결과 호퍼와 슈트로 구성된 배출장치(type B)가 호퍼만으로 구성된 배출장치(type A)보다 우수하였다.

참고문헌

1. Choi, I. Y. 2000. Manufacture of medium loader. Jeonbuk Agricultural Research & Extension Service, Jeonju, Korea. (In Korean)
2. Choi, K. J. 2002. Development of package system for mushroom cultivation. Experiment and Research Report, Rural Development Administration (RDA), Suwon, Korea. (In Korean)
3. Ha, J. H. and B. J. Sohn. 1994. Fluid Machinery. pp. 67-102, 305-333. Bomoondang, Seoul, Korea. (In Korean)
4. Lee, S. Y. 1996. Development of automatic facilities for mushroom cultivation. Report, Rural Development Administration, Suwon, Korea. (In Korean)
5. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. 2004. Statistics of Mushroom Production. Gwacheon, Korea. (In Korean)
6. Park, W. K. 1999. Development of medium accumulation and loading system with power tiller attachment. Experiment and Research Report, Rural Development Administration(RDA), Suwon, Korea. (In Korean)