

버섯의 감압건조기술에 관한 연구(II) A Study of Depress Drying Technic for Mushroom(II)

김영민* 조광환* 김유호* 이선호* 오성식*
정회원 정회원 정회원 정회원
Y. M. Kim K. H. Cho Y. H. Kim S. H. Lee S. S. Oh

1. 서론

생활수준의 향상과 국민소득이 높아짐에 따라 건강식품이자 고급식품인 버섯에 대하여 소비자의 관심이 증가되면서 수요가 늘어나고 있으며, 한편 농가에서는 고소득을 올릴 수 있는 작목으로서 재배면적을 확대시키고 있는 추세이다.

건조는 버섯의 품질을 결정하는 중요한 작업으로 대부분의 농가에서는 건조온도를 40~65℃범위로 설정하여 건조하고 있으나, 건조온도가 높을 경우 색택의 변화가 심하고 수축되어 품질이 떨어져 재값을 받지 못하고 있다. 일부 농가에서 아가리쿠스와 같은 고가의 버섯을 진공동결건조하고 있으나, 제작비가 고가이며 유지비가 많이 들고 건조량이 적어 사용하는 데 어려움이 있는 실정이다.

본 연구에서는 실용화가 가능한 감압건조기를 개발하기 위한 기초연구로 버섯의 감압 건조 특성을 구명하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 연구에서 사용한 공시재료는 댐퍼조절방식 감압건조장치에서는 2000년 9~10월에 수확한 표고버섯 "산림 8호"과 아가리쿠스를 이용하였고, 슬레노이드방식 감압건조장치에서는 2001년 10~12월에 수확한 표고버섯과 아가리쿠스를 사용하였다.

나. 시험장치 설계제작

(1) 댐퍼조절방식 감압건조장치

그림 1의 댐퍼조절방식 감압건조장치는 건조실 압력을 댐퍼를 이용하여 조절할 수 있도록 하였으며 건조부, 감압블로워, 건조실 압력조절댐퍼, 가열부 및 제어반으로 구성되어 있다. 건조부는 건조실 내부벽에 분산판을 설치하여 열풍이 균일하게 분산되도록 하였고, 건조실의 풍량을 고르게 하기 위하여 건조실 뒤쪽에 교반팬을 설치하였다. 감압블로워는 반대쪽에 설치된 공기조절댐퍼와 조합하여 건조실 내부압력을 조절하며, 이때의 건조실 내부압력 조절범위는 1,013hPa(표준대기압)~950hPa이다. 가열부는 봉상 전기히터방식으로 건조온도를 상온에서 60℃까지 조절할 수 있도록 하였다.

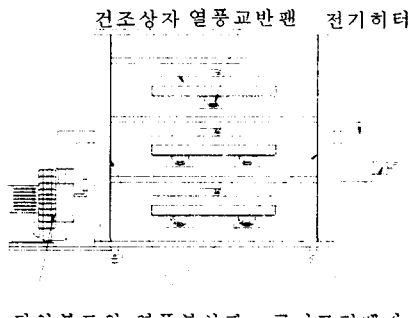


Fig 1. Schematic diagram of damper type experimental apparatus

* 농촌진흥청 농업기계화연구소

Table 1. Specification of damper type experimental apparatus.

구 분		제 원
건 조 기	형 식 크기(L×W×H)	배치식 1,100×1,950×2,150mm
건 조 실	크기(L×W×H) 건조상자수 건조상자(L×W×H)	900×1,800×1,800mm 3개 900×600×90mm
가열장치	가열방식 용 량 온도조절범위	전기히터 4.8kW(0.8kW×6개) 상온~60℃
감압블로워	형 식 최대풍량 모 터 제어방식	원심식 8cm 3.7kW -
공기교반팬	형 식 최대풍량 모 터	축류식 15cm(3cm×5개) 67.5W(13.5W×5개)

(2) 솔레노이드방식 감압건조장치

솔레노이드방식 감압건조장치의 형식은 배치식이고, 감압블로워, 흡·배기구 솔레노이드 밸브, 열풍분산판, 송풍기, 전기히터로 구성되어 있으며, 구조와 제원은 각각 그림 2, 표 2과 같다. 공기조절댐퍼로 흡입되는 공기량을 조절하여 건조실의 압력을 낮추어 감압블로워를 연속 가동하여 공기를 뽑아내는 방식에서 건조실 내부에 부착된 압력센서를 이용하여 설정 압력에 도달하면 감압블로워와 흡기구 솔레노이드 밸브를 on/off 제어하여 감압상태를 유지하도록 하였으며, 건조실 외부에 부착된 전기히터를 내부로 옮겨 열손실을 줄일 수 있도록 제작하였다. 압력강하시 건조실 내부 공기의 균일한 순환을 위하여 사각격자형태의 송풍 가이드와 열풍교반팬을 부착하였고, 건조실 내부습도에 따라 흡, 배기구의 솔레노이드 밸브를 on/off 제어하도록 보완하였다. 시험장치는 건조실의 내부 압력이 표준대기압~900hPa, 열풍 온도는 상온~60℃까지 조절할 수 있도록 제작하였다.

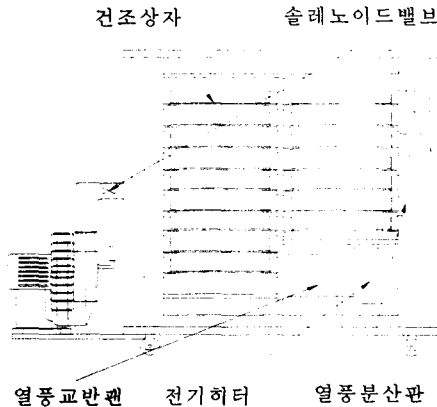


Fig 2. Schematic diagram of solenoid valve type experimental apparatus

Table 2. Specification of solenoid valve type experimental apparatus.

구 분		제 원
건 조 기	형 식 크기(L×W×H)	배치식 1,100×1,950×2,150mm
건 조 실	크기(L×W×H) 건조상자수 건조상자(L×W×H)	900×1,800×1,800mm 14개 970×580×80mm
가열장치	가열방식 용 량 온도조절범위	전기히터 4.8kW(0.8kW×6개) 상온~60℃
감압블로워	형 식 최대풍량 모 터 제어방식	원심식 8cm 3.7kW 압력센서에 의한 건조실 압력 제어
공기교반팬	형 식 최대풍량 모 터	축류식 60cm 0.4kW

다. 시험방법

(1) 온습도, 압력 측정

온도는 CC열전대를 이용하여 데이터로거(DR10, DJ Co.)로 기록하였고, 습도는 온·습도측정기록기(TR-72S, Hans system)를 이용하여 건조실 내부와 외부의 습도를 기록하였으며, 건조실 내부 압력은 압력센서(HD9408T, Delta Ohm Co.)와 인디케이터(HD9022)을 이용하여 측정하였다.

(2) 함수율측정

함수율 측정은 건조오븐법(10g-105℃-24h)으로 초기함수율을 측정하고, 건조중의 함수율의 변화는 건조상자를 로드셀에 매달아서 무게변화를 측정한 후 건조 종료후 환산하였다.

(3) 건조시험

멤퍼조절방식 감압건조장치의 경우 표고버섯을 건조온도 2수준(50, 60℃), 건조실 내부압력을 표준대기압, 990hPa, 950hPa 등 3수준으로 건조시험을 하였고, 아가리쿠스는 건조온도 50℃, 건조실 내부압력을 표준대기압, 990hPa, 950hPa로 3수준으로 하여 건조시험을 실시하였다. 슬레노이드방식 감압건조장치에서는 건조실 내부압력을 900(하한치)~940(상한치), 940~980, 980~표준대기압 등 3수준으로 하였고, 열풍온도는 40, 50, 60℃로 3수준으로 하여 건조시험을 실시하였다.

(4) 품질평가

건조후의 품질변화는 수축률, 복원률 및 색차로 평가하였고, 수축률은 건조 전, 후의 갓과 자루의 직경, 갓 두께를 측정하여 식(1)로 계산하였고, 복원률은 건조한 시료의 갓과 자루의 직경, 갓 두께를 측정하여 물에 60분간 담아 두었다가 꺼내어 같은 방법으로 측정하여 측정 전, 후의 변화율을 식(2)로 계산하였으며, 색차는 색차계(CR-200, Kett)를 이용하여 건조 전, 후의 갓의 색택을 측정하여 식(3)으로 계산하였다.

$$\Delta S = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서, ΔS 수축률(%)

S_1 : 건조전의 갓·자루 직경, 갓 두께(mm)

S_2 : 건조후의 갓·자루 직경, 갓 두께(mm)

$$\Delta D = \frac{D_1 - D_2}{D_1} \times 100(\%) \quad (2)$$

여기서, ΔD 복원률(%)

D_1 : 수침전의 갖의 직경(mm)

D_2 : 수침후의 갖의 직경(mm)

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (3)$$

여기서, ΔE 색차

ΔL 건조전, 후의 L 값의 변화

Δa 건조전, 후의 a 값의 변화

Δb 건조전, 후의 b 값의 변화

3. 결과 및 고찰

가. 댐퍼조절방식 감압건조장치

(1) 건조특성곡선

그림 3, 4는 표고버섯의 건조특성을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 건조온도 50℃에서는 건감률이 3.13~3.34%/hr로 나타나 건조실 압력에 따른 건감률의 변화는 크게 나타나지 않았으나, 건조온도 60℃에서 건조실 내부압력이 990hPa일 때 4.57%/hr로 표준대기압에 비해 높게 나타났다.

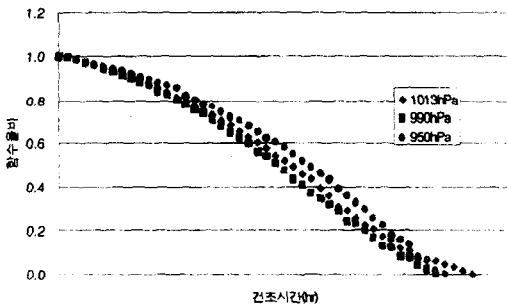


Fig. 3. Drying curves of mushroom at drying temperature 50℃.

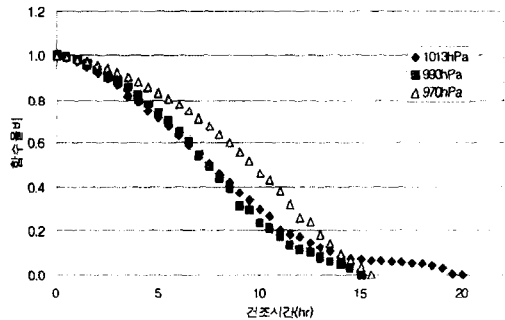


Fig. 4. Drying curves of mushroom at drying temperature 60℃.

그림 5는 건조온도 50℃에서 아가리쿠스의 함수율 변화곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 건조실 압력에 따른 건감률은 압력이 950hPa일 때 2.37%/hr로 990hPa일 때 1.98%/hr보다 약 1.2배 빠르게 나타났다.

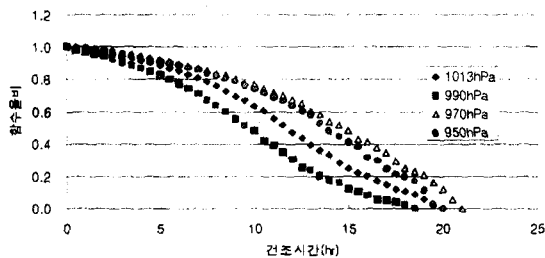


Fig. 5. Drying curves of Agaricus Blezei at drying temperature 50℃.

(2) 건감률 및 품위

표 3은 표고버섯의 온도, 압력별 색차 및 수축률의 변화를 나타내었다. 색차면에서는 온도

50℃일 때 1,013hPa에서 색차변화가 크게 나타났지만, 건조실 내부 압력이 낮아질수록 변화가 적은 것으로 나타났다. 한편 수축률은 압력별로 거의 변화가 없었으나, 건조온도 60℃, 압력 990hPa에서 색차 4.78, 수축률 7.9%로 나타나 다른 조건에 비해 양호한 것으로 판단된다.

Table 3. Drying characteristics of mushroom.

열풍온도	건조실내부 압력(hPa)	초기함수율 (% w.b.)	최종함수율 (% w.b.)	건조시간(hr)	건감률 (%/hr)	ΔE	수축률 (%)
50℃	1,013	83.94	13.71	21.0	3.34	33.10	9.3
	990	85.96	13.76	23.0	3.13	6.88	10.0
	950	82.45	14.92	21.5	3.14	5.38	9.9
60℃	1,013	83.48	13.70	20.0	3.49	6.35	10.8
	990	82.59	14.05	15.0	4.57	4.78	7.9

표 4는 아가리쿠스의 건조실 압력별 색차 및 수축률의 변화를 시험한 결과이다. 색차와 수축률은 건조실 압력이 950hPa에서 각각 10.77, 14.2%로 나타나 건조실 압력이 낮을수록 품위가 우수한 것으로 판단되었다.

Table 4. Drying characteristics of Agaricus Blazei.

건조실내부 압력(hPa)	초기함수율 (%w.b)	최종함수율 (%w.b)	건조시간 (hr)	건감률 (%/hr)	ΔE	수축률 (%)
1,013	90.61	14.17	42.0	1.82	21.39	26.5
990	89.22	13.92	38.0	1.98	13.98	32.5
950	88.00	14.54	31.0	2.37	10.77	14.2

그러나, 위 시험에 적용된 댐퍼압력조절방식 감압건조장치는 건조실 내부에 공기분배가 일정하지 않고, 건조실 내부압력 강하성능이 떨어지는 문제점이 발생하여 솔레노이드를 이용한 압력조절방식으로 보완제작하여 건조시험을 실시하였다.

나. 솔레노이드방식 감압건조장치

(1) 건조특성곡선

그림 6은 열풍온도에 따른 건조특성곡선을 나타낸 것이다. 건조실 내부압력 900~940hPa, 열풍온도를 40, 50, 60℃로 하여 표고버섯을 건조시험한 결과, 건조시간은 40, 50, 60℃일 때 각각 42, 23, 22hr로 나타났으며, 건조초기에는 완만한 곡선이 되다가 중부 이후에 경사가 급하게 나타남을 볼 수 있다. 열풍온도 40℃에서는 5시간 이후부터 다른 열풍온도와 건조속도차이가 현저하게 지연되고 있는 것을 볼 수 있다.

그림 7은 건조실 내부 압력에 따른 건조특성곡선을 나타낸 것이다. 표고버섯은 열풍온도를 50℃로 고정하고 건조실 내부 압력별로 시험한 결과, 건조실 내부압력을 3수준으로 하고 건조실 내부압력이 940~980hPa일 때 건조시간이 27시간으로 나타났다.

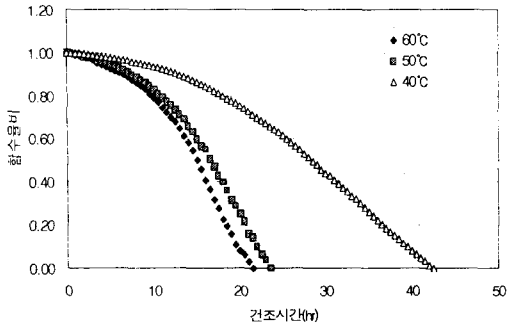


Fig. 6. Drying curves of mushroom at various drying temperature

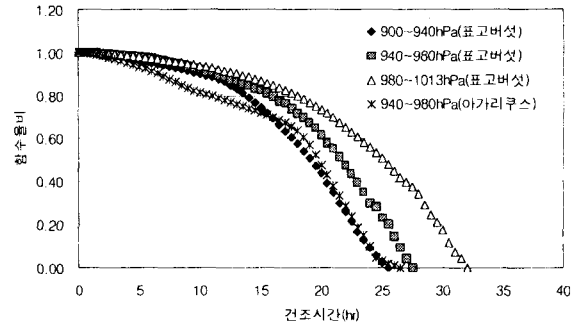


Fig. 7. Drying curves of mushroom at various drying pressure

(2) 건감률 및 품위

건조실 내부압력을 900~940hPa로 설정하고 열풍온도별로 표고버섯을 건조하였을 때 건감률 및 품위는 표 5와 같이 나타내었다. 열풍온도 50℃에서 건조 전·후의 갓, 주름부분의 색차는 각각 5.06, 17.53, 갓 직경, 자루 직경, 갓 두께의 수축률은 각각 28.8, 30.7, 29.7%로 F-test로 유의성을 검증한 결과, 5%의 유의수준에서 열풍온도별로 색택과 복원률에서 유의차가 있는 것으로 나타나 다른 건조조건에 비해 품위가 우수한 것으로 판단된다.

Table 5. Drying characteristics of mushroom. by drying temperature

품종	열풍 온도 (℃)	함수율 (% w.b.)		건조 시간 (hr)	건감률 (%/hr)	색차 (ΔE)	수축률 (%)			복원률 (%)		
		초기	최종				갓	자루	두께	갓	자루	두께
표고버섯	40	85.71	14.15	42	1.69	ΔE _o : 9.07 ΔE _i : 26.56	29.2	38.1	52.0	80.1	85.2	55.9
	50	85.96	13.76	23	3.08	ΔE _o : 5.06 ΔE _i : 17.53	28.8	30.7	29.7	79.4	89.0	84.6
	60	85.33	14.51	22	3.25	ΔE _o : 5.99 ΔE _i : 25.12	28.4	28.7	28.3	83.8	97.5	91.7

※ ΔE_o : 갓의 색차, ΔE_i : 주름의 색차

※ 건조실 내부 압력 : 900~940hPa, 유의성 검증 : F-test, 5%

표 6은 건조실 내부압력에 따른 건감률 및 품위를 나타낸 것으로 표고버섯은 940 ~ 980hPa에서 건감률 2.69%w.b./hr, 갓과 주름의 색차는 9.15, 16.19, 갓 직경, 자루 직경, 갓 두께에 대한 수축률은 각각 19.3, 33.4, 29.4%로 다른 조건에 비해 낮게 나타났고, 갓 직경, 자루 직경, 갓 두께에 대한 복원률은 각각 90.1, 71.3, 82.4%로 높게 나타나 품위가 우수한 것으로 나타났다. 열풍온도 50℃, 건조실 내부압력 940~980hPa로 아가리쿠스를 건조 시험한 결과, 건감률 2.78%w.b./hr, 갓, 주름살의 색차는 각각 28.95, 42.93, 갓의 수축률 30.1%, 갓의 복원률 75.9%로 나타났다. F-test로 유의성을 검증한 결과, 5%의 유의수준에서 건조실 내부 압력별로 수축률, 복원률에서 유의차가 있는 것으로 나타났다.

Table 6. Drying characteristics of mushroom. by drying pressure

품종	건조실 압력 (hPa)	함수율 (% w. b)		건조 시간 (hr)	건감률 (%/hr)	색차 (ΔE)	수축률 (%)			복원률 (%)		
		초기	최종				갓	자루	두께	갓	자루	두께
표고버섯	900~940	85.01	16.66	26	2.63	$\Delta E_o : 13.17$ $\Delta E_f : 21.53$	38.4	44.0	47.6	66.9	70.3	55.2
	940~980	86.05	12.06	27	2.69	$\Delta E_o : 9.15$ $\Delta E_f : 16.19$	19.3	33.4	29.3	90.1	71.3	82.4
	980~1,013	85.02	15.01	31	2.18	$\Delta E_o : 9.80$ $\Delta E_f : 22.49$	40.8	30.3	47.4	68.0	76.0	70.0
아가리쿠스	940~980	87.40	13.65	27	2.78	$\Delta E_o : 28.95$ $\Delta E_f : 42.93$	30.1	44.2	41.6	75.9	72.1	67.6

※ 열풍온도 : 50℃, 유의성 검정 : F-test, 5%

4. 적 요

버섯의 감압건조시험을 할 수 있는 요인시험장치를 제작하여 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 뎀퍼조절방식 감압건조장치로 건조시험한 결과, 표고버섯은 건조온도 50℃에서는 나타나 건조실 압력에 따른 건감률의 변화는 크게 나타나지 않았으나, 건조온도 60℃에서 건조실 내부압력이 990hPa일 때 4.57%/hr로 1,013hPa에 비해 높게 나타났으며, 색차면에서는 온도 50℃일 때 건조실 내부 압력이 낮아질수록 변화가 적은 것으로 나타났고, 수축률은 압력별로 거의 변화가 없었으나, 건조온도 60℃, 압력 990hPa에서 다른 조건에 비해 양호한 것으로 판단되었으나 건조실 내부에 공기분배가 일정하지 않고, 건조실 내부압력 강하성능이 떨어지는 문제점이 발생하여 솔레노이드를 이용한 압력조절방식으로 보완제작하여 건조시험을 실시하였다..

나. 솔레노이드방식 감압건조장치로 건조시험한 결과, 표고버섯은 열풍온도 50℃, 건조실 내부압력 940~980hPa에서 건감률 2.69%w.b./hr, 갓의 복원률 90.1%로 가장 높았고, 색차 및 수축률이 가장 낮은 것으로 나타났으며, 건조실 내부압력을 900~940hPa로 고정하고 열풍온도를 40, 50, 60℃로 표고버섯을 시험한 결과 건감률은 60℃일 때 가장 높았으나, 색차, 수축률, 복원률을 고려할 경우 열풍온도 50℃가 가장 적합한 것으로 판단된다.

다. 솔레노이드방식 감압건조장치로 건조한 표고버섯으로 품위에 대한 유의성 검증결과, 표고버섯의 경우 온도별로는 색택과 복원률, 건조실 내부 압력별로는 수축률, 복원률에서 유의차가 있는 것으로 나타났다.

라. 본 연구에서 구명된 감압건조특성을 기초로 하여 배치식 감압건조기를 설계·제작에 활용하고자 한다.

5. 인용문헌

- 안병학 외 5인, 1991, 버섯류의 유통기간 연장 및 적정가공방법에 관한 연구, 과학기술처.
- 木村進, 1968, 乾燥食品, 光琳書院.
- 김영민 외 4인, 2000, 버섯의 감압건조기술에 관한 연구(I) - 표고버섯 및 아가리쿠스의 건조특성, 2001, 농업기계학회 동계학술논문집.