

## 컨베이어 원적외선 건조기를 이용한 표고버섯의 건조 및 항산화 특성 - 연구노트 -

리 혁<sup>1</sup> · 최용민<sup>2</sup> · 이준수<sup>2</sup> · 박종수<sup>3</sup> · 연광석<sup>1\*</sup> · 한충수<sup>1</sup>

<sup>1</sup>충북대학교 바이오시스템공학과

<sup>2</sup>충북대학교 식품공학과

<sup>3</sup>기술보증기금 광주기술평가센터

### Drying and Antioxidant Characteristics of the Shiitake (*Lentinus edodes*) Mushroom in a Conveyer-Type Far-Infrared Dryer

He Li<sup>1</sup>, Youngmin Choi<sup>2</sup>, Junsoo Lee<sup>2</sup>, Jong-Soo Park<sup>3</sup>, KwangSeok Yeon<sup>1\*</sup> and ChungSu Han<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

<sup>3</sup>Kibo Technology Fund, Gwangju Technology Appraisal Center, Gwangju 502-811, Korea

#### Abstract

In an attempt to find ways of improving the quality of dried Shiitake mushroom, this study compared a conveyer-type far-infrared drying method with a traditional heated air drying method. The conveyer-type far-infrared dryer was performed at air velocity of 0.6 and 0.8 m/s under drying air temperature of 60, 70 and 80°C, respectively. Drying characteristics, antioxidant activities and the antioxidant compounds of Shiitake mushroom dried by far-infrared dryer were investigated. Generally, drying rate with the conveyer-type far-infrared drying method was faster than that with the traditional heated air drying method. In the conveyer-type far-infrared drying method, drying rates were increased with increasing temperature and air velocity. The loss of antioxidant activities during the conveyer-type far-infrared drying method at 60-0.6, 60-0.8, and 70°C-0.6 m/s was less than the traditional drying method. However, the loss of antioxidant activities at 70-0.8, 80-0.6, and 80°C-0.8 m/s was higher than that of the traditional drying method. Therefore, the conveyer-type far-infrared drying conditions with below 70°C and 0.6 m/s air velocity may produce dried Shiitake mushroom with relatively higher antioxidant activities and antioxidant compounds.

**Key words:** far infrared drying, Shiitake mushroom, ABTS, antioxidant activity, polyphenolic compound

#### 서 론

표고버섯은 독특한 향미와 조직감을 가지며 각종 아미노산, 비타민 성분이 많이 함유되어 있는 반면 지방함량은 낮아 식품뿐만 아니라 약용으로 아시아지역에서 전통적으로 이용되어 왔다(1). 수확 직후의 표고버섯은 70~90%의 높은 수분함량으로 인해 부패하기 쉽고, 조직이 연약하여 저장·운송이 어렵다. 따라서 수확량의 대부분은 천일건조나 열풍 건조한 후 건조 표고버섯으로 유통된다. 버섯을 천일건조할 경우 부대시설의 비용이 저렴하지만 건조과정 중 일기의 영향을 크게 받으며 안전저장 수분함량까지 건조하는데 긴 시간이 필요하다. 또한, 건조과정 중에 포자의 비산 및 세포조직의 교질화가 발생하며, 버섯이 자연 상태로 노출되어 있기 때문에 곤충의 피해와 미생물의 오염 등으로 변질되기 쉬어 균등한 품질의 제품을 얻기 어렵다(2). 열풍건조의 경우 천

일건조보다 건조시간이 짧지만 고온의 열풍에 장시간 노출되어 아미노산이 손실되고, 표면색도의 변화가 심하여 품질이 열화된다. 위와 같은 천일 및 열풍건조법의 단점을 보완하고자 최근 원적외선을 이용한 건조법이 농산물의 건조에 적용되고 있다. 원적외선 건조법은 열에너지가 중간 매체를 거치지 않고 피건조물에 에너지가 직접 전달되므로 가열속도가 빠르고 균일하게 가열되어 건조시간을 단축시킬 수 있을 뿐 아니라 영양소의 파괴 및 농산물의 품질유지에 효과적인 것으로 보고된다(3,4).

최근 생활수준의 향상으로 인해 농산물 및 식품의 영양학적 측면에서 기능성과 안전성에 대한 관심이 증가되고 있다. 인간의 질병 및 노화는 대사과정 중 발생하는 라디칼은 체내 지질, 단백질, 그리고 핵산과 같은 물질의 손상을 유발한다. 따라서 체내에서는 유해한 라디칼을 제거하기 위한 다양한 효소적·비효소적 반응이 진행된다(5). 일반적으로 섭취하

\*Corresponding author. E-mail: ksyon@chungbuk.ac.kr  
Phone: 82-43-261-2566, Fax: 82-43-271-4412

는 식물성 식품에는 유리라디칼 제거효과가 뛰어난 다양한 항산화제들이 존재하며 비타민 A, C, E와 더불어 카로티노이드류, 플라보노이드류, 폴리페놀물질 등이 대표적이다(6). 선행된 연구결과에 의하면 버섯, 과채류 및 곡류 등 식물성 식품을 충분히 섭취하는 것이 노화 지연 및 성인병의 예방과 치료에 도움이 되는 것으로 알려져 있다(7-9). 특히 표고버섯에는 혈액 중의 콜레스테롤을 감소시키는 혈압강하 물질인 에라타데닌(eritadenine)이 함유되어 있는 것으로 알려져 있으며(10) 표고버섯에서 분리한 렌티난(lentinan)은 Sarcoma-180 암세포의 증식을 억제하는 활성이 보고되어 있다(11).

본 연구에서는 컨베이어식 원적외선 건조기를 이용하여 송풍속도와 건조온도에 따른 표고버섯의 건조특성과 건조제품의 색도변화를 조사하였다. 또한 건조조건에 따른 표고버섯의 항산화성분과 항산화력의 변화를 분석함으로써 고품질의 원적외선 건조 표고버섯 제품 생산을 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

표고버섯은 컨베이어식 원적외선 건조기와 열풍건조기를 이용하여 건조하였으며 원적외선건조의 경우 1회 건조 시료량은 17 kg으로 건조 후 최종 함수율이 13±0.5%가 되도록 2회 반복 실험하였다. 실험조건은 건조실 내부온도와 풍속을 각각 60, 70, 80°C와 0.6, 0.8 m/s로 하였다. 대조구로는 상용화된 열풍건조기(BOPP-1.5, Shin Heung Industry Co., Korea)를 사용하였고, 열풍건조에 사용된 1회 시료량은 56 kg으로 건조 후 최종 함수율이 13±0.5%가 되도록 2회 반복 실험하였다. 열풍건조는 상용 프로그램화된 표고버섯 건조방법에 따라 건조 초기 40°C에서 3.5시간 건조한 뒤 45°C에서 1.5시간을 가열한 후 65°C에서 7시간을 건조하였다.

### 건조특성

버섯 건조 시료의 수분함량은 시료 20개를 무작위로 선정하여 세절하고, 약 20 g을 균일하게 채취하여 실험용 건조기(WFD600ND, EYELA, Japan)에서 105°C에서 24시간 건조한 후 중량비로 계산하여 수분함량으로 나타내었다(12). 건조속도는 건조과정 중, 6개의 동일 시료를 1시간 간격으로 채취하여 중량변화를 측정하였고, 시간당 중량감소율로 환산하여 함수율변화로 나타내었다.

건조된 시료의 색도변화는 색도색차계(JX-777, C.T.S., Japan)를 이용하여 건조 전·후 표고버섯 갖으로부터 6부위에 대한 L(명도), a(적색도), b(황색도) 값을 측정하여 평균값으로 나타내었다.

### 항산화 활성 측정을 위한 버섯 추출물의 제조

실험에 사용된 시료 추출액은 버섯 5 g을 증류수 100 mL

에 넣고 5분간 균질화시키고 상온에서 12시간 shaking 하였다. 이것을 10,000 rpm에서 5분간 원심분리시킨 후 상정액을 filter paper(TOYO, No. 2)로 여과하였다. 각 추출액을 증류수 100 mL로 정용하여 질소 충전하여 -20°C에 보관하면서 실험에 사용하였다.

### 총 폴리페놀 화합물

Dewanto 등(13)의 방법에 따라 Folin-Ciocalteu's reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석하였다. 추출액 100 µL에 2% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>용액 2 mL를 가한 후 3분 방치하여 50% Folin-Ciocalteu reagent 100 µL를 가하였다. 3분 후 반응액의 흡광도 값을 720 nm에서 측정하였고 표준물질로 gallic acid(Sigma Chemical Co., USA)를 사용하였다. 검량선을 작성 후 추출물의 총 폴리페놀 함량은 표고버섯 100 g 중의 mg gallic acid로 나타내었다.

### 총 플라보노이드

총 플라보노이드 함량은 Jia 등(14)의 방법을 변형하여 측정하였다. 추출물 250 µL에 5% NaNO<sub>2</sub> 75 µL, 10% AlCl<sub>3</sub> 150 µL를 각각 가한 뒤 6분 후 1 M NaOH 500 µL와 증류수 275 µL를 가하여 반응액의 흡광도 값을 510 nm에서 측정하였다. 표준물질로 (+)-catechin을 사용하였으며 검량선 작성 후 추출물의 플라보노이드 함량은 표고버섯 100 g 중의 mg (+)-catechin으로 나타내었다.

### ABTS 라디칼을 이용한 총 항산화력의 측정

총 항산화력의 측정은 ABTS radical cation decolorization assay 방법(15)에 의하여 시행하였다. 2,2'-Azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS, Sigma Chemical Co., USA) 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS cation 라디칼을 형성시킨 후 이 용액을 414 nm에서 흡광도 값이 1.5가 되도록 몰 흡광계수(ε=3.6×10<sup>4</sup> M<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>)를 이용하여 증류수로 희석하였다. 희석된 ABTS cation 라디칼 용액 1 mL에 추출액 50 µL를 가하여 정확히 90분 후 흡광도의 변화를 측정하였으며, 표준물질로서 L-ascorbic acid를 동량 첨가하였다. 총 항산화력은 아래의 식으로 계산하였다.

$$AEAC = \frac{\Delta A}{\Delta A_{aa}} \times C_{aa} \times V \times \frac{100}{W}$$

ΔA: 추출물을 넣었을 때의 흡광도 값의 변화

ΔA<sub>aa</sub>: 추출물 대신 ascorbic acid가 동량 들어갔을 때의 흡광도 값의 변화

C<sub>aa</sub>: L-ascorbic acid 표준용액의 농도 (mg/mL)

V: 추출액의 부피 (mL)

W: 시료의 무게 (g)

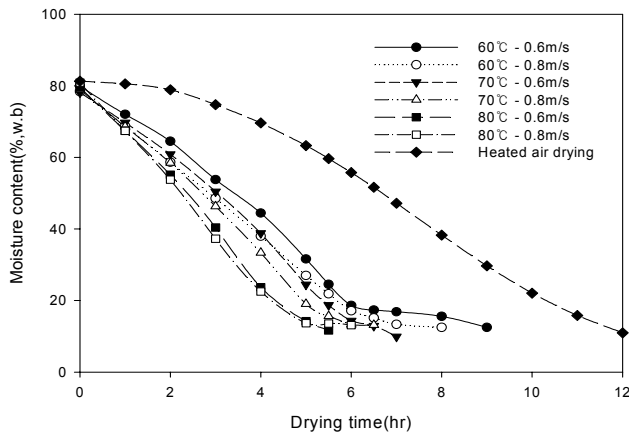


Fig. 1. Comparison of moisture content of Shiitake mushroom during drying.

결과 및 고찰

버섯 시료의 건조특성

원적외선 건조와 열풍건조의 조건별 건조시간에 따른 표고버섯의 함수율 변화는 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 원적외선의 경우 피건조물을 습량기준 함수율 13±0.5%까지 건조시키는데 건조실 내부온도 60, 70, 80°C에서 송풍속도가 0.6 m/s일 경우 건조시간은 9, 8, 7시간이었고 0.8 m/s일 경우 건조시간은 6.5, 5.5, 6시간으로 나타났다. 컨베이어식 원적외선 건조의 경우 건조실 온도가 높고, 풍속이 빠른 조건이 건조속도가 빠른 것으로 나타났다. 이것은 원적외선 방사판의 표면온도가 높아지면서 복사 에너지의 증가에 의한 잠열 증가와 송풍에 의해 수분이 빠르게 배출됐기 때문으로 사료되었다.

열풍건조의 경우 피건조물을 습량기준 함수율 13±0.5%까지 건조하는데 약 12시간이 소요되어, 원적외선 건조기를 사용할 경우 건조시간을 3~6.5시간 단축할 수 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 원적외선 건조가 열풍건조보다 건조속도가 빠른 것은 원적외선은 복사에너지로서 열효율이 높아 피건조물의 품온 상승이 빠르고 높아 잠열이 크기 때문인 것으로 판단된다. 이는 원적외선 열원이 열풍보다 에너지절감과 열효율이 높다는 Park 등의 연구결과와 일치하였다(16).

Fig. 2에 컨베이어식 원적외선 건조와 열풍건조에 의한 건조 전, 후의 표고버섯의 ΔL(명도의 차이), Δb(황색 차이)는 Fig. 2에서 표시한 바와 같다. 건조 전후의 ΔL, Δb의 값은 원적외선 건조의 경우 온도가 높고, 송풍속도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었고 열풍건조보다 건조 후 작은 ΔL, Δb의 값을 보여 색의 변화가 적은 것으로 나타났다. 원적외선 건조의 경우 온도가 60, 70, 80°C일 때, 송풍속도 0.6 m/s에 따라 건조 후 ΔL의 값은 각각 4.56, 4.30, 3.49이며, 송풍속도가 0.8 m/s의 경우, 각각 4.28, 3.97, 3.24였지만, 큰 차이는 없는 것으로 판단된다.

열풍건조의 경우 ΔL의 값은 6.47이며, 원적외선의 건조조

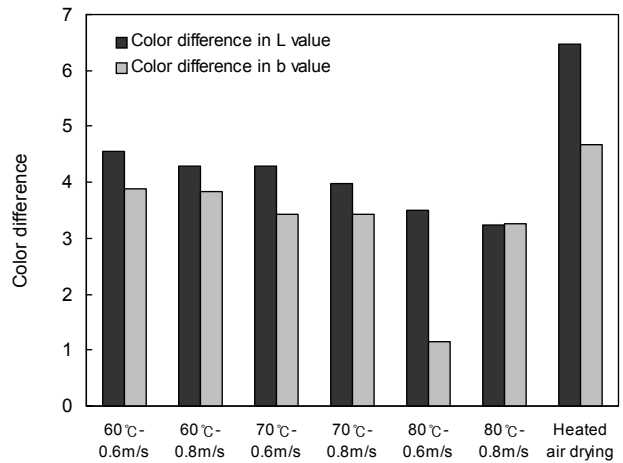


Fig. 2. Comparison of colorness of Shiitake mushroom before and after drying.

건보다 1.91~3.23 정도 크기 때문에 건조 전후의 색 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 컨베이어식 원적외선 건조조건에 의한 Δb(황색 차이)의 변화는 1.14~3.89 정도로, 열풍건조의 Δb의 값 4.68보다 0.79~3.34 정도 작은 것으로 나타났다. 한편 원적외선 건조가 열풍건조보다 ΔL과 Δb의 값이 작은 것은 원적외선 건조가 건조속도가 빠름으로 건조시간이 단축되어 시료가 고온에 노출되는 시간이 짧았기 때문에 표고버섯의 외부 갈변이 덜된 것으로 판단된다. 이것은 Kim이 하향 송풍방식 컨베이어식 원적외선 건조기를 이용한 표고버섯 건조의 연구에서 원적외선 건조가 열풍건조보다 색도변화가 작게 나타난다는 결과와 거의 일치한 경향을 나타내었다(4).

건조 표고버섯의 항산화 성분 변화

Table 1에 건조 전·후 표고버섯의 항산화성분 함량 변화를 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 표고버섯의 항산화성분인 폴리페놀과 플라보노이드 함량은 원적외선 건조와 열풍건조 모두에서 감소하는 것으로 나타났다. 원적외선 건조의 경우 건조실 내부온도를 각각 60, 70, 80°C에서 송풍속도를 0.6과 0.8 m/s로 조정할 경우 폴리페놀과 플라보노이드 함량은 건조 온도가 80°C일 경우를 제외하고 온도가 상승할수록, 송풍속도가 클수록 그 함량 손실률이 증가되는 것을 알 수 있었다. 열풍건조 전후 표고버섯의 폴리페놀 함량과 플라보노이드 함량의 감소율을 각각 45.66%와 26.92%로 나타났다. 원적외선 건조의 경우 60°C-0.6 m/s, 60°C-0.8 m/s, 70°C-0.6 m/s의 건조조건일 경우 폴리페놀 함량 감소율은 각각 21.66, 39.51, 27.20%로 나타났고 플라보노이드 함량 감소율은 각각 10.84, 23.50, 17.50%로 열풍건조에 비해 항산화성분의 손실률이 적은 것으로 나타났다. 그러나 70°C-0.8 m/s, 80°C-0.6 m/s, 80°C-0.8 m/s의 건조조건에서는 항산화성분의 손실률이 열풍건조에 비해 큰 것으로 나타났다. 따라서 원적외선 건조기의 건조조건을 저온·저속으로

**Table 1. Changes in the concentration of total polyphenols and flavonoids in Shiitake mushroom extracts after drying**

Drying conditions	Antioxidant		Concentration (mg/100 g) <sup>1)</sup>			
	Polyphenols			Flavonoids		
	Before drying	After drying	Decrease ratio (%)	Before drying	After drying	Decrease ratio (%)
60°C-0.6 m/s	822.77	644.55	21.66	232.91	207.66	10.84
60°C-0.8 m/s	1007.67	609.47	39.51	248.84	190.35	23.50
70°C-0.6 m/s	785.33	609.47	27.20	189.79	156.58	17.50
70°C-0.8 m/s	1114.30	452.17	59.42	341.93	143.99	57.88
80°C-0.6 m/s	1063.72	381.87	64.09	275.90	81.30	70.53
80°C-0.8 m/s	1183.53	464.67	60.73	290.60	146.86	49.46
Heated air drying	1451.90	788.82	45.66	295.64	216.04	26.92

<sup>1)</sup>Each content was express as mg of compound per 100 g of Shiitake mushroom (dry weight basis).

로 정한다면 열풍건조기를 사용했을 때보다 표고버섯의 항산화성분 손실을 최소화할 수 있고 보다 빠르게 건조할 수 있을 것으로 생각된다.

**표고버섯 추출물의 항산화력 변화**

표고버섯 추출물의 상대적인 항산화력의 측정은 potassium persulfate와의 반응에 의해 생성된 ABTS·<sup>+</sup>이 표고버섯의 항산화력 물질에 의해 제거되어 라디칼 특유의 청록색이 탈색되는 것을 이용한 측정방법이다. 본 연구에서는 표준물질로 ascorbic acid를 사용하여 항산화력을 AEAC값(mg/100 g)으로 산출하였다. Table 2에 원적외선 건조와 열풍건조 전후 표고버섯의 항산화력 변화를 나타내었다. Table 2에서 보는 바와 같이 원적외선 건조 표고버섯의 항산화력은 60°C-0.8 m/s의 조건을 제외하고 건조 온도와 건조속도가 증가할수록 버섯의 항산화력이 감소하였다. 열풍건조기를 사용하였을 경우 표고버섯의 항산화력 감소율은 41.38%로 나타났다. 원적외선 건조기 내부 온도와 풍속을 60°C-0.6 m/s, 60°C-0.8 m/s, 70°C-0.6 m/s로 조정하였을 경우 항산화력의 감소율은 각각 14.71, 4.39, 236.22%로 열풍건조에 비해 항산화성분의 손실률이 적은 것으로 나타났다. 그러나 항산화성분의 손실률과 마찬가지로 70°C-0.8 m/s, 80°C-0.6 m/s, 80°C-0.8 m/s의 건조조건에서 항산화력 감소율이 열풍 건조에 비해 큰 것으로 나타났다.

**Table 2. Changes of antioxidant capacity of Shiitake mushroom extracts by ABTS cation radical decolorization assay**

Drying conditions	Antioxidant capacity		
	AEAC (mgAAeq/100 g) <sup>1)</sup>		
	Before drying	After drying	Decrease ratio (%)
60°C-0.6 m/s	525.13	447.85	14.71
60°C-0.8 m/s	377.70	361.09	4.39
70°C-0.6 m/s	776.78	495.41	36.22
70°C-0.8 m/s	624.54	293.45	53.01
80°C-0.6 m/s	718.34	322.05	55.16
80°C-0.8 m/s	873.33	329.07	62.31
Heated air drying	821.95	481.79	41.38

<sup>1)</sup>Expressed as mg ascorbic acid equivalent antioxidant capacity (AEAC) per 100 g of sample.

**요 약**

본 연구에서는 컨베이어식 원적외선 건조기를 이용하여 송풍속도와 건조온도에 따른 표고버섯의 건조특성과 건조제품의 색도변화를 조사하고 건조조건에 따른 표고버섯의 항산화성분과 항산화력의 변화를 분석함으로써 고품질의 원적외선 건조 표고버섯 제품 생산을 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다. 컨베이어식 원적외선 건조의 경우 건조실 온도가 높고, 풍속이 증가할수록 건조속도가 빠른 것으로 나타났으며 열풍건조에 비해 건조시간을 약 3~6.5시간 단축할 수 있는 것으로 나타났다. 원적외선 건조에 의한 표고버섯의 항산화성분과 항산화력의 감소율은 60°C-0.6 m/s, 60°C-0.8 m/s, 70°C-0.6 m/s 조건일 경우에만 열풍건조에 건조에 비해 적은 것으로 나타났으며, 그 이상의 조건에서는 열풍건조보다 손실률이 큰 것으로 나타났다. 따라서 원적외선 건조 내부의 건조조건을 저온·저속으로 결정한다면 표고버섯의 항산화성분과 항산화력의 손실을 최소화하고 열풍건조기에 비해 신속하고 색도의 변화가 최소화된 고품질의 표고버섯 제품을 생산할 수 있을 것으로 생각된다.

**감사의 글**

이 논문은 2005년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

**문 헌**

1. Chang R. 1996. Functional properties of edible mushroom. *Nutr Rev* 54: S91-S93.
2. Jin CF. 2004. Drying characteristics of oak mushroom using stationery far infrared dryer. *MS Thesis*. Chungbuk National University, Korea.
3. Han CS, Park WS. 1994. *The theory and fact of far infrared heating*. DoYa Printing, Seoul.
4. Kim MH 2004. Drying characteristics of oak mushroom using conveyer far infrared dryer-down draft air flow type-. *MS Thesis*. Chungbuk National University, Korea.
5. Fang YZ, Yang S, Wu G. 2002. Free radical, antioxidant, and nutrition. *Nutr* 18: 872-879.

6. Morrissey PA, O'Brien NM. 1998. Dietary antioxidant in health and disease. *Int Dairy J* 8: 463-472.
7. Willet WC. 1994. Diet and health: what should we eat. *Science* 254: 532-537.
8. Slavin JL, Jacobs D, Marquart L. 1997. Whole-grain consumption and chronic disease: protective mechanism. *Nutr Cancer* 27: 14-21.
9. Ames BN, Shigenaga MK, Hagwn TM. 1993. Oxidants, antioxidants, and the degenerative disease of aging. *Proc Natl Acad Sci* 90: 7915-7922.
10. Hwang BH. 1983. Analysis of amino acid and vitamin in oak mushroom (*Lentinus edodes* Sing). *J Korean Wood Sci Tech* 11: 18-24.
11. Kwon SH, Kem CN, Kim C, Kwon ST, Park KM, Hwangbo S. 2003. Antitumor activities of protein-bound polysaccharide extracted from mycelia of mushroom. *Kor J Food Nutr* 16: 15-21.
12. Choi BM, Han EJ, Choi JH, Hong JH, Sea JS. 1999. Equilibrium moisture content of Shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). *Kor J Post Harvest Sci Technol* 6: 37-42.
13. Dewanto V, Xianzhong W, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50: 4959-4964.
14. Jia Z, Tang M, Wu J. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 64: 555-559.
15. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med* 26: 1231-1237.
16. Park SJ, Kim SM, Kim MH, Kim CS, Lee CH. 1999. Development of a prototype continuous flow dryer using far infrared ray and heated-air for white ginseng. Proceeding of the Korean society for agricultural machinery summer conference. p 199-204.

(2006년 11월 29일 접수; 2007년 1월 8일 채택)