

최 종
연구보고서

예열 장치를 이용한 표고버섯 · 홍고추 원적외선
건조시스템 개발

Development of a Far Infrared Drying System of Oak
Mushroom(*Lentinus edodes*) and Red Pepper
using a Pre-Heater

연구기관

충북대학교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “예열 장치를 이용한 표고버섯·홍고추의 원적외선 건조시스템 개발”에 관한 연구 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004년 8월 24일

주관연구기관명 : 충북대학교

총괄연구책임자 : 연 광 석

세부연구책임자 : 한 충 수

세부연구책임자 : 조 성 찬

보 조 연 구 원 : 강 태 환

보 조 연 구 원 : 김 민 호

보 조 연 구 원 : 이 해 철

보 조 연 구 원 : 리 혁

보 조 연 구 원 : 최 중 민

요 약 문

I. 제 목

예열 장치를 이용한 표고버섯·홍고추 원적외선 건조시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 우리나라의 원적외선 건조 기술에 관한 연구는 점점 발전하는 단계로서 원적외선의 일반적인 성질은 여러 산업분야에서 응용하고 있으나, 건조분야에의 적용은 매우 미진한 상태이다. 원적외선 건조에 관한 국외의 연구 및 산업분야 응용은 일본이 가장 활발하며, 농산물과 식품 건조에 응용하여 건조속도 향상 및 품질 향상에 상당한 효과가 있는 것으로 보고 되어 있다.

국내 산업체의 소비열량 중 건조에 소비되는 열량은 약 33% 정도로 보고 되어 있다. 이중 화석연료의 의존도가 약 83%로 매우 높은 실정이고, 특히 농수산물 건조의 사용연료는 거의가 화석연료를 이용하고 있다. 현재 국내의 이러한 상황은 국제사회에서 부각되고 있는 지구온난화 방지협약과 환경보호조약에 의하여 공해물질 배출 억제로 화석연료의 사용을 제한하고 있고, 이에 따른 산업 활동이 제약을 받을 수 있다. 따라서 환경보존 및 청정에너지를 이용한 건조기술 개발이 절실히 요구되고 있다.

원적외선 건조기는 전기에너지를 열에너지로 교환하여 사용할 수 있는 청정에너지를 사용하는 것으로서 원적외선 건조기에 적용할 피건조물은 그 종류가 다양하고 건조 조건이 다르다. 특히 건조 조건 중 피건조물 온도, 상대습도, 송풍량과 송풍온도, 컨베이어 속도, 방사체 온도 등은 제품의 품질에 영향을 미치는 중요한 인자이다. 국내의 기호식품인 홍고추 및 버섯 건조는 주로 열풍과 자연건조 방법이 이용되고 있지만, 건조속도와 품질면에서 문제점이 제기되고 있고 건조 효율이 낮다.

따라서 U.R.협상타결과 세계무역기구(WTO) 출범으로 인한 시장개방의 확대에 대처하기 위한 방법으로 원적외선 건조기술은 생산자에게 생산비용의 절감과 고품질 제품생산을 가능하게 하고, 소비자에게는 저렴하고 기호에 맞는 고품질 제품을 제공할 수 있는 선진 기술이다. 따라서 건조효율, 건조품질 및 건조속도 향상, 청정에너지 사용 및 에너지를 절약할 수 있는 고효율 원적외선 건조기 개발이 필요하다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 우리나라 원적외선 건조기 기술의 선진화를 위해 연속식 예열장치를 설계·제작하고, 가열시간과 품온 관계, 피건조물 건조시 최적 예열 조건을 확립하며, 피건조물 건조시 송풍에 의한 에너지 손실을 최소화하기 위한 배기에너지 활용장치를 개발하는 것이다. 또한 원적외선 건조기를 이용한 피건조물 건조시 피건조물에 송풍하는 방식에 따라 하향송풍방식(피건조물 상부에서 송풍)과 상향송풍방식(피건조물 하부에서 송풍)을 적용한 후 건조특성을 비교분석하여 시작기인 실용원적외선 건조기에 적용하는 것이다.

우선 실험용 원적외선 건조기를 각각 2단(0.5×5m), 3단(0.6×5m)으로 설계·제작하여 건조실 공기온도, 송풍량과 원적외선 방사체온도, 피건조물 온도, 건조속도 등의 건조 조건 등을 확립하고, 건조특성 및 품질을 평가 및 피건조물의 물리적 변화량을 측정하고 비교분석한다.

이후 생산력 증가, 건조 후 색도 및 성분 잔류량 10~20% 향상 및 에너지 절감 20~40% 감소를 목표로 일반 건조 생산라인에 실용 가능한 상향송풍방식의 원적외선 건조기를 5단(0.6×5m)으로 설계·제작하여 효율적인 적정 작동 조건 확립 및 피건조물에 대한 건조특성 및 품질을 분석하고 성능을 평가하여 고효율 상향송풍 컨베이어식 원적외선 건조시스템 보급 모델을 개발하여 고품질 생산을 위한 건조방식을 확립하는 것이다.

IV. 연구개발 결과

본 연구는 건조 홍고추 및 표고버섯의 고품질화, 건조효율 향상 및 건조시간 단축을 위한 건조방법과 건조시스템개발 위하여 예열과 원적외선의 가열 메카니즘을 도입함으로써 홍고추 및 표고버섯의 건조특성을 구명하고, 건조속도, 색도, 수축율, 에너지소비량, Amino산 함량, Capsaicinoid 함량의 품질변화를 비교분석하여 고효율 원적외선 건조기 개발의 기초 자료를 제시하고자 하였다.

본 연구개발 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 마이크로파 예열장치 이용한 홍고추·표고버섯의 건조특성

가. 홍고추

- 1) 홍고추 함수율은 마이크로파 가열 전·후 큰 변화가 없는 것으로 나타났다
- 2) 마이크로파 가열용량이 1kW인 경우 6분 이상, 가열용량이 2, 3kW인 경우 2분

이상인 경우 고추의 터짐 현상이 발생하여 바람직하지 않은 것으로 나타났다.

3) 홍고추 색도 a값은 마이크로파 가열 후 가열 전 보다 2.90~0.84 정도 낮게 나타났다.

4) 마이크로파 가열 장치의 작동 중에 마이크로파 누설이 너무 심하여 연속적으로 사용하는 데는 문제가 있는 것으로 나타났다.

나. 표고버섯

1) 표고버섯의 함수율은 마이크로파 출력이 크고, 가열 시간이 길수록 크게 감소하는 것으로 나타났다.

2) 마이크로파 가열 시간이 길어지면 부분적으로 검게 변하는 현상이 발생하기 때문에 출력 1kW인 경우 5분 이하, 2kW인 경우 1분 이하로 가열하는 것이 바람직하고, 3kW 이상은 부적합한 것으로 나타났다.

2. 하향통풍방식 원적외선 건조기를 이용한 표고버섯·홍고추의 건조특성

가. 표고버섯

1) 건조속도는 원적외선 건조가 열풍건조보다는 높은 건감율을 나타내었고, 건조 시간이 1~4시간 단축되었다. 원적외선 건조의 경우에는 방사체 온도가 높고, 풍속이 느린 조건이 건조속도가 빠른 것을 알 수 있었다.

2) 원적외선건조의 에너지소비량은 조건90°C-0.6m/s를 제외하고 열풍건조에 비해서 5.54~32.36% 정도 절약되는 것으로 나타났다.

3) 수축율은 열풍 건조가 원적외선 건조에 비해 약간 낮게 나타났으며, 원적외선 건조조건별로는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

4) b(황색도)값과 ΔE (적색도)값은 하향송풍방식 원적외선 건조에 비해 열풍건조가 크게 감소하는 것으로 나타났다.

5) 유리아미노산 함량은 초기 시료에 비해 건조 후 대부분 감소하였고, 원적외선 건조가 열풍건조 보다는 대체로 유리아미노산 잔류량이 높은 것으로 나타났다.

나. 홍고추

1) 건조속도는 원적외선 건조가 열풍건조보다는 건감율이 더 높은 경향을 보였고, 건조 시간이 5~8시간 단축되었다.

2) 원적외선 건조의 에너지소비량은 풍속이 빠를수록 높게 나타났다.

3. 상향송풍방식 원적외선 건조기를 이용한 표고버섯·홍고추의 건조특성

가. 표고버섯

1) 건조속도는 상향송풍방식 원적외선 건조의 경우 건조실 내부온도가 높고 풍속이 빠를수록 건조속도가 빠른 경향을 나타내었고, 열풍건조보다 2~5.5시간, 하향송풍방식보다 1시간정도 건조속도가 빠른 것으로 나타났다.

2) 건조 전후의 ΔL (명도), Δb (황색도) 값은 상향송풍방식 원적외선 건조가 열풍건조보다 적게 감소하는 것으로 나타났고, 하향송풍방식보다 Δb 값이 14.2~16.24 적게 감소하였다.

3) 수축율은 원적외선 건조온도가 높을수록 증가하는 경향을 보였고, 열풍건조보다는 낮은 것으로 나타났으며, 하향송풍방식보다 약 3% 정도 낮은 것으로 나타났다.

4) 에너지소비량은 상향송풍방식 원적외선 건조가 열풍건조보다 36.73~44.89% 정도 에너지 감소효과를 나타내었고, 하향송풍방식보다 약 18.53~44.97% 정도 낮은 것으로 나타났다.

5) 유리아미노산 함량은 상향송풍방식 원적외선 건조의 경우 건조실 내부온도가 높고, 송풍속도가 빠를수록 감소하는 경향을 나타내었다. 열풍건조의 경우 원적외선 건조보다 유리아미노산 잔류량이 비교적 낮은 값을 나타냈다.

나. 홍고추

1) 상향송풍방식 원적외선 건조는 건조실 내부온도가 높고 풍속이 빠를수록 건조속도가 빠른 경향을 나타내었고, 열풍건조보다 건조속도 약 6~13시간 정도 빠른 것으로 나타났다.

2) a(적색도)의 감소 값은 상향송풍방식 원적외선 건조의 경우 건조온도가 높고, 송풍속도가 빠른 것이 작게 감소하는 경향을 보였고, 열풍건조보다 건조 후 a의 감소 값이 4.37~7.06 정도 작은 것으로 나타났다.

3) 에너지소비량은 상향송풍방식 원적외선 건조가 열풍건조보다 약 47.7~58.3% 정도 에너지소비량이 감소하여 에너지 절감 효과가 큰 것으로 나타내었고, 하향송풍방식 원적외선 건조보다 에너지가 절감되는 것으로 나타났다.

4) Capsaicinoid 함량은 상향송풍방식 원적외선 건조의 경우 건조실 내부온도가 높고, 송풍속도가 빠를수록 감소하는 경향을 나타내었고, 열풍건조보다 55.77~120.09mg/100g정도 Capsaicinoid 함량이 높은 것으로 나타났다.

SUMMARY

1. Title

Development of a far infrared drying system of oak mushroom(*Lentinus edodes*) and red pepper using a pre-heater

2. Introduction

At the present time, research of far infrared heating techniques in Korea is developing stage. Far infrared techniques have been implemented in various industries. However, applying the techniques in heating field is in preliminary step. It is known that research for far infrared dry and related industries are actively participated in Japan, and its results indicated that using far infrared techniques for heating agricultural and food products may help to increase drying rate and product quality compared conventional methods.

Domestic industries consume about 33% of total-consuming energy for heating process, and in that portion dependency of fossil fuel is about 83%. In particular, drying agricultural products highly depend on fossil fuel. Current situation in Korea may have potential limitation for agricultural practices due to the fact that it is getting emphasizing on restriction of generating pollution as well as using fossil fuel by Kyoto Global Warming Agreement and environmental conservation agreement. Therefore drying techniques for environmental conservation and using clean source needs to be developed.

Far infrared dryers use clean-heat energy that is transformed from electricity. The drying system may dry various materials within various conditions. Particularly, dried-material temperature, relative humidity, air blast velocity and temperature, conveyer speed, and heater temperature are significant factors to determine product quality. Current drying methods for red pepper and oak mushroom(*Lentinus edodes*), considered as domestic favorite food, are convection oven and natural drying. However, both methods have potential quality degradation, low efficiency, and drying rate.

Because of Uruguay Round Agreements Act and World Trade Organization(WTO) system, opening domestic agricultural market is getting being forced. Therefore, dried-product producers need to have a new drying system that reduces production cost and produces high quality products. Additionally, a new far infrared drying technique may

need to have high efficiency and to supply products to consumers with low price, high quality and their favor. The far infrared drying system may provide to increase drying efficiency and speed, and quality of dried products, using clean energy within less energy consumption.

3. Methods and materials

The research is to design and manufacture a pre-heater for improving domestic dryer fabricating techniques. Relationship between drying time and temperature, and optimum pre-heating condition may be established. Additionally, to minimize loss of energy due to ventilate, exhaust energy recycling system is implemented in this research. Moreover, depending on direction of air ventilation, two types of far infrared dryers, down draft airflow, air to the top of dried materials, and up draft airflow, air to the bottom of dried materials, were used during drying process.

First initial testing far infrared dryers, double stages with dimension of 0.5*5m, and triple stages with dimension of 0.6*5m, were designed and manufactured. Conditions of air temperature in drying chamber, blast velocity, temperature of far infrared heater, dried material temperature, and drying rate were established. In addition, drying characteristics and quality assessment were performed.

After initial testing, increasing productivity, improving the chromaticity and constituent of dried materials from 10 to 20%, reducing consumption of energy from 20 to 40% of commercial available far infrared dryer were aimed of the research. The dryer has 5 stages that sized of 0.6*5m, and optimum operating conditions, drying characteristics and dried material quality were analyzed, and evaluated. An conveyer type far infrared drying system of up draft airflow type with high efficiency for a commercial available model was developed based on the result.

4. Result

This research suggested that implementing a pre-heater and a far infrared drying system increase quality of dried red pepper and oak mushroom(*Lentinus edodes*), drying efficiency,

and reduce drying time. Additionally, the research recommended a guideline to design a high efficient far infrared drying system by analyzing red pepper and oak mushroom(*Lentinus edodes*) drying characteristics, drying rate, chromaticity, shrinkage ratio, energy consumption, changing of amino acid and capsaicinoid contents.

The summaries of research are as following.

1) Drying characteristics of oak mushroom and red pepper using a microwave pre-heater

(1) Red pepper

a. Applying microwave heat had insignificant effects on reducing moisture contents of red peppers.

b. Applying excessive amount of microwave heating time could defect red pepper; guideline for the expose time is less than 6 and 2 minutes for microwave heater capacity of 1kW, and 2 and 3kW, respectively.

c. 'a' range in chromaticity was reduced from 2.90 to 0.84 after applying microwave heat.

(2) Oak mushroom(*Lentinus edodes*)

a. Moisture contents of oak mushroom(*Lentinus edodes*) reduced relatively with capacities of microwave heaters, and exposing duration.

b. Depending on microwave heating time, top pertion of mushroom color changed to black so that exposing duration suggested less than 5 and 1 minutes for capacity of 1kW and 2kW, respectively. Bigger than capacity of 2kW microwave pre-heater may not use as a pre-heater.

2) drying characteristics of oak mushroom and red pepper using a far infrared dryer : down draft airflow type

(1) Oak-mushroom

a. Far infrared drying was relatively faster than heated air drying, and drying time was reduced from 1 to 4 hours by using a far infrared dryer within testing conditions. Higher temperature on far infrared heater and low blast velocity can help increasing drying rate.

b. Energy consumption of the far infrared dryer of down draft airflow saved from 5.54% to 32.36% of energy to compare with heated air drying except drying condition that the temperature of far infrared heater was 90°C and the blast velocity was 0.6m/s.

c. Mushroom shrinkage ratio of heated air drying was lower than far infrared drying. Far infrared drying conditions were not significant in the shrinkage ratio.

d. Heated air drying lost higher value on 'b' and 'E' to compare with far infrared drying.

e. Free amino acid contents were reduced after drying, and free amino acid contents by using infrared drying was almost higher than using heated air drying.

(2) Red pepper

a. Drying rate of a far infrared dryer was relatively faster than heated air drying rate. Depending on drying conditions, drying time decreased from 5 to 8 hours to compare with heated air drying time.

b. Energy consumption of the far infrared dryer increased along increasing of blast velocity.

3) Drying characteristics of oak mushroom and red pepper using a far infrared dryer: up draft airflow type

(1) Oak mushroom(*Lentinus edodes*)

a. Drying rate for an far infrared dryer of up draft airflow type increased by rising drying chamber temperature, and blast velocity. Overall drying time of the dryer reduced from 2 to 5.5 hours from convection oven dry and about 1 hour from the down draft airflow far infrared dryer.

b. In terms of decreasing 'L' and 'b' values after drying, the far infrared of up draft airflow dried materials had more 'b' values ranged from 14.2 to 16.24 to compared with the down draft airflow far infrared dried ones.

c. Shrinkage ratio rose with increasing dryer temperature, however, the ratio was lower than heated air drying ones and about 3% less than the far infrared of down draft airflow dried ones.

d. Energy consumption of the far infrared dryer of up draft airflow saved from

36.7% to 44.9% of energy to compare with heated air drying. Moreover, up draft airflow far infrared dryer saved from 18.53% to 44.97% of energy to compare with the far infrared dryer of down draft airflow.

e. Increasing drying chamber temperature and blast velocity caused of decreasing contents of free amino acid of oak mushroom(*Lentinus edodes*), and heated air drying lost more amount of free amino acid.

(2) Red pepper

a. Drying rate of an up draft airflow far infrared dryer was increased by higher drying chamber temperature, and blast velocity. drying time was reduced from 6 to 13 hours to compare with heated air drying.

b. Higher drying temperature and faster ventilation decrease least amount of 'a' values, and they were higher than 'a' values from heated air drying.

c. Energy consumption of the up draft airflow far infrared dryer saved from 47.7% to 58.3% of energy to compare with heated air drying. Moreover, Energy consumption of up draft airflow far infrared dryer was lower than down draft airflow far infrared dryer.

d. Increasing drying chamber temperature and ventilation speed of the up draft airflow far infrared dryer reduced capsaicinoid contents of red peppers. Capsaicinoid contents of far infrared dried red peppers were higher from 55.77 to 120.09mg/100g than heated air drying.

CONTENTS

요 약 문	i
I. 체 목	i
II. 연구개발의 목적 및 필요성	i
III. 연구개발 내용 및 범위	ii
IV. 연구개발 결과	ii
SUMMARY	v
CONTENTS	x
LIST OF TITLES	xi
LIST OF FIGURES	x iv
LIST OF TABLES	x viii
LIST OF PHOTOGRAPHS	x ix

LIST OF TITLES

제 1 장	연구개발과제의 개요	1
1.	연구개발의 목적 및 내용	2
2.	연구개발의 필요성	4
제 2 장	국내외 기술개발 현황	7
1.	국내의 경우	8
2.	국외의 경우	8
제 3 장	연구개발 수행 내용 및 결과	9
1	절 마이크로파 예열장치 및 하향 송풍방식 원적외선 건조기를 이용한 피건조물의 건조특성	10
1.	마이크로파 예열장치에 의한 피건조물의 건조특성	10
가.	마이크로파 예열장치 설계 · 제작	10
나.	공시재료	12
다.	실험방법 및 측정항목	12
라.	마이크로파 예열장치에 의한 홍고추의 건조특성	13
1)	홍고추의 함수율 변화	13
2)	홍고추의 색도 변화	14
마.	마이크로파 예열장치에 의한 표고버섯의 건조특성	20
1)	마이크로파 출력 1kW에 따른 가열특성	20
2)	마이크로파 출력 2kW에 따른 가열특성	23
3)	마이크로파 출력 3kW에 따른 가열특성	26
4)	마이크로파 출력 4kW에 따른 가열특성	29
2.	하향송풍방식 원적외선 건조기에 의한 표고버섯 · 홍고추의 건조특성	32
가.	하향송풍방식 원적외선 건조기의 구성	32
나.	하향송풍방식 원적외선 건조기의 기초실험	38
1)	건조실 내부 풍속 및 온도측정 위치	38
2)	송풍량 및 배풍량 측정	38
3)	건조실 내부온도 측정	40
4)	건조실 내부 풍속 측정	42

3. 하향송풍방식 원적외선 건조기를 이용한 건조 실험	43
가. 공시재료	43
나. 실험방법 및 측정항목	43
다. 결과 및 고찰	45
1) 원적외선 방사체온도 90℃, 풍속 0.3m/s인 경우 표고버섯의 건조특성	45
2) 원적외선 방사체온도 90℃, 풍속 0.5m/s인 경우 표고버섯의 건조특성	49
2 절 하향통풍방식 원적외선 건조기를 이용한 표고버섯·홍고추의 건조특성	53
1. 하향통풍방식 원적외선 건조기 PILOT PLANT 설계 제작	53
가. 원적외선 건조기 제작	53
나. 피건조물 투입장치	58
다. 배기에너지 활용장치	61
2. 원적외선 건조기 PILOT PLANT 기초실험	62
가. 송풍속도 측정	62
나. 원적외선 방사판 표면온도 측정	64
3. 하향송풍방식 원적외선 건조기를 이용한 건조실험	65
가. 공시재료	65
나. 실험방법 및 측정항목	65
다. 결과 및 고찰	68
1) 표고버섯의 건조특성	68
2) 고추의 건조특성	85
3 절 상향송풍방식 원적외선 건조기를 이용한 표고버섯·홍고추의 건조특성	91
1. 상향통풍방식 원적외선 건조기 PILOT PLANT 설계 제작	91
가. 원적외선 건조기 제작	91
2. 상향통풍방식 원적외선 건조기를 이용한 건조실험	94
가. 표고버섯의 건조특성	94

1) 공시재료	94
2) 실험방법 및 측정항목	94
3) 결과 및 고찰	96
나. 홍고추의 건조특성	108
1) 공시재료	108
2) 실험 방법 및 측정항목	108
3) 결과 및 고찰	110
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	120
1. 목표달성도	120
2. 관련분야 기여도	122
가. 에너지 및 생산 단가 절감도	122
나. 고품질 건조제품 생산	122
다. 건조제품의 다양성 및 노동력 절감	122
라. 환경문제	122
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	124
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	126
제 7 장 참고문헌	130

LIST OF FIGURES

Fig. 1. Schematic diagram of microwave Pre-heater.	11
Fig. 2. Comparison of moisture content of red pepper as affected by microwave heating conditions.	13
Fig. 3. Comparison of Δa color value of red pepper as affected by microwave heating conditions.	14
Fig. 4. Comparison of moisture content of pileus and stalk as affected by heating time and microwave energy 1kW.	20
Fig. 5. Comparison of moisture content of pileus and stalk as affected by heating time and microwave energy 2kW.	23
Fig. 6. Comparison of moisture content of pileus and stalk as affected by heating time and microwave energy 3kW.	26
Fig. 7. Comparison of moisture content of pileus and stalk as affected by heating time and microwave energy 4kW.	29
Fig. 8. Schematic diagram of one stage-far infrared dryer of down draft airflow type.	32
Fig. 9. Schematic diagram of two stage-far infrared dryer of down draft airflow type.	33
Fig. 10. Measuring position of blast velocity and temperature of dryer.	38
Fig. 11. Relationship between frequency of the blast fan and airflow.	39
Fig. 12. Relationship between frequency of the ventilator and airflow.	39
Fig. 13. Comparison of the drying chamber temperature in the first step.	40
Fig. 14. Comparison of the drying chamber temperature in the second step.	41
Fig. 15. Comparison of blast velocity in the drying chamber.	41
Fig. 16. Variation of moisture content of oak mushroom(<i>Lentinus edodes</i>) by drying time.	45
Fig. 17. Variation of drying rate of oak mushroom(<i>Lentinus edodes</i>) by drying time.	46
Fig. 18. ΔE value of oak mushroom(<i>Lentinus edodes</i>) before and after drying.	46

Fig. 19. Shrinkage rate of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after drying.	48
Fig. 20. Variation of moisture content of oak mushroom(Lentinus edodes) by drying time.	49
Fig. 21. Variation of drying rate of oak mushroom(Lentinus edodes) by drying time.	49
Fig. 22. ΔE value of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after drying.	50
Fig. 23. Shrinkage rate of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after drying.	52
Fig. 24. Schematic diagram of three stage-far infrared dryer of down draft airflow type.	54
Fig. 25. Schematic diagram of automatic feeding device.	58
Fig. 26. Dimension diagram of automatic feeding device.	59
Fig. 27. Comparison of air velocity as affected by pipe length and frequency of inverter.	62
Fig. 28. Comparison of drying rate as affected by drying temperature and air velocity.	68
Fig. 29. Comparison of moisture content as affected by drying temperature and air velocity.	69
Fig. 30. Comparison of electric energy consumption as affected by drying conditions.	70
Fig. 31. Comparison of shrinkage rate as affected by drying conditions.	71
Fig. 32. Variation of 'L' value as affected by drying conditions.	72
Fig. 33. Variation of 'a' value as affected by drying conditions.	73
Fig. 34. Variation of 'b' value as affected by drying conditions.	74
Fig. 35. Variation of ' ΔE ' value as affected by drying conditions.	74
Fig. 36. Amount of free amino acid value before and after drying.	80
Fig. 37. Comparison of inside temperature of drying chamber as affected by drying conditions.	82
Fig. 38. Comparison of inside temperature of oak mushroom(Lentinus edodes)	

as affected by drying conditions.	83
Fig. 39. Comparison of drying rate as affected by drying temperature and blast velocity.	85
Fig. 40. Comparison of moisture content as affected by drying temperature and blast velocity.	86
Fig. 41. Comparison of electric energy consumption as affected by drying condition.	87
Fig. 42. Schematic diagram of the five stage-far infrared dryer of up draft airflow type.	92
Fig. 43. Comparison of moisture content of oak mushroom(Lentinus edodes) during drying.	96
Fig. 44. Comparison of moisture ratio of oak mushroom(Lentinus edodes) during drying.	97
Fig. 45. Comparison of moisture content of oak mushroom(Lentinus edodes) during drying.	97
Fig. 46. Comparison of ΔL values of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after drying.	99
Fig. 47. Comparison of Δb values of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after drying.	100
Fig. 48. Comparison of Δa values of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after drying.	100
Fig. 49. Comparison of shrinkage rate of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after drying.	101
Fig. 50. Comparison of energy consumption of oak mushroom(Lentinus edodes) as affected by drying conditions.	102
Fig. 51. Comparison of temperature of drying chamber as affected by drying conditions.	105
Fig. 52. Comparison of inside temperature of oak mushroom(Lentinus edodes) as affected by drying conditions.	106
Fig. 53. Comparison of moisture content of red pepper during drying.	110

Fig. 54. Comparison of moisture ratio of red pepper during drying.	111
Fig. 55. Comparison of drying rate of red pepper during drying.	111
Fig. 56. Comparison of 'a' values of red paper before and after drying.	113
Fig. 57. Comparison of 'a' values of red paper during drying.	114
Fig. 58. Comparison of 'L' values of red paper during drying.	115
Fig. 59. Comparison of electric energy consumption of red pepper as affected by drying conditions.	116
Fig. 60. Comparison of inside temperature of red pepper as affected by drying conditions.	118
Fig. 61. Comparison of inside temperature of drying chamber as affected by drying conditions.	119

LIST OF TABLES

Table 1 Specification of the experimental apparatus	11
Table 2 Moisture content of red pepper as affected by microwave drying conditions	14
Table 3 Δa value of red pepper as affected by microwave drying conditions	15
Table 4 Specification of the experimental apparatus	33
Table 5 Specification of the experimental apparatus	54
Table 6 Specification of automatic feeding device	58
Table 7 Amount of free amino acid value as affected by drying conditions	81
Table 8 Specification of the experimental apparatus	92
Table 9 Free amino acid of oak mushroom by drying conditions	104
Table 10 Capsaicinoid value of red pepper as affected by drying conditions	117

LIST OF PHOTOGRAPHES

Photo. 1. Microwave pre-heater.	12
Photo. 2. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 1 minute.	15
Photo. 3. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 2 minutes.	15
Photo. 4. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 3 minutes.	16
Photo. 5. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 4 minutes.	16
Photo. 6. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 5 minutes.	16
Photo. 7. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 6 minutes.	17
Photo. 8. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 2kW, heating time 1 minutes.	17
Photo. 9. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 2kW, heating time 2 minutes.	18
Photo. 10. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 2kW, heating time 3 minutes. ..	18
Photo. 11. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 3kW, heating time 1 minutes.	19
Photo. 12. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 3kW, heating time 2 minutes. ..	19
Photo. 13. Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 1 minute.	21
Photo. 14. Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after heating as affected by microwave energy 1kW,	

	heating time 3 minute.	21
Photo. 15.	Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 5 minute.	22
Photo. 16.	Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 10 minute.	22
Photo. 17.	Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after heating as affected by microwave energy 2kW, heating time 1 minute.	24
Photo. 18.	Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after heating as affected by microwave energy 2kW, heating time 3 minute.	24
Photo. 19.	Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after heating as affected by microwave energy 2kW, heating time 5 minute.	25
Photo. 20.	Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after heating as affected by microwave energy 2kW, heating time 10 minute.	25
Photo. 21.	Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after heating as affected by microwave energy 3kW, heating time 1 minute.	27
Photo. 22.	Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after heating as affected by microwave energy 3kW, heating time 3 minute.	27
Photo. 23.	Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after heating as affected by microwave energy 3kW, heating time 5 minute.	28
Photo. 24.	Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after heating as affected by microwave energy 3kW,	

	heating time 10 minute.	28
Photo. 25.	Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after heating as affected by microwave energy 4kW, heating time 1 minute.	30
Photo. 26.	Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after heating as affected by microwave energy 4kW, heating time 3 minute.	30
Photo. 27.	Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after heating as affected by microwave energy 4kW, heating time 5 minute.	31
Photo. 28.	Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after heating as affected by microwave energy 4kW, heating time 10 minute.	31
Photo. 29.	Two stage-far infrared dryer of down draft airflow type.	33
Photo. 30.	Assembling of two stage-far infrared dryer of down draft airflow type.	34
Photo. 31.	Assembling of Far infrared heater and drying chamber.	35
Photo. 32.	Assembling of blast fan.	35
Photo. 33.	Assembling of ventilator.	35
Photo. 34.	Controlling board and distribution board.	36
Photo. 35.	Belt conveyer and belt brush.	36
Photo. 36.	Belt tension controller.	37
Photo. 37.	Driving motor.	37
Photo. 38.	Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after drying as affected by far infrared heater temperature 90°C and air velocity 0.3m/s.	47
Photo. 39.	Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after drying as affected by far infrared heater temperature 90°C and air velocity 0.5m/s.	51
Photo. 40.	Assembling of three stage-far infrared dryer type of down draft airflow	

type.	55
Photo. 41. Driving motor.	55
Photo. 42. Tension controller.	55
Photo. 43. Driving shaft and brush.	56
Photo. 44. Connecting of mesh belt.	56
Photo. 45. Far infrared heater.	56
Photo. 46. Assembling of far infrared heater.	56
Photo. 47. Blast fan.	57
Photo. 48. The upper preheating duct.	57
Photo. 49. Controlling board.	57
Photo. 50. Electrical wiring.	57
Photo. 51. Automatic feeding device.	59
Photo. 52. Chain tension controller.	60
Photo. 53. Driving motor.	60
Photo. 54. Motor speed controller.	60
Photo. 55. Input guide & Belt tension controller.	60
Photo. 56. Before connecting blast fan & exhaust pipe.	61
Photo. 57. After connecting blast fan & exhaust pipe.	61
Photo. 58. The upper hole of exhaust energy duct.	61
Photo. 59. Exhaust energy duct.	61
Photo. 60. Measurement of blast velocity of blast pipe by an anemometer.	63
Photo. 61. Measurement of far infrared heater temperature.	64
Photo. 62. Comparison of the external appearance of oak mushroom(<i>Lentinus edodes</i>) before and after drying by the use of heated air drying.	75
Photo. 63. Comparison of the external appearance of oak mushroom(<i>Lentinus edodes</i>) before and after drying as affected by far infrared ray drying condition 90°C, 0.3 ^m %.	76
Photo. 64. Comparison of the external appearance of oak mushroom(<i>Lentinus edodes</i>) before and after drying as affected by far infrared ray drying condition 90°C, 0.6 ^m %.	77

Photo. 65. Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after drying as affected by far infrared ray drying condition 100℃, 0.3m/s.	78
Photo. 66. Comparison of the external appearance of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after drying as affected by far infrared ray drying condition 100℃, 0.6m/s.	79
Photo. 67. Comparison of the external appearance after drying as affected by drying condition 90℃, air velocity 0.3m/s and drying time 1~6 hour.	88
Photo. 68. Comparison of the external appearance after drying as affected by drying condition 90℃, air velocity 0.3m/s and drying time 7~15 hour.	89
Photo. 69. Five stage-far infrared dryer of up draft airflow type.	93
Photo. 70. The Hybrid heating system.	128

제 1 장 연구개발과제의 개요

1. 연구개발의 목적 및 내용

가. 마이크로파 이용한 예열시스템 개발

마이크로파를 이용한 연속식 예열장치 시작기를 설계·제작하고, 가열시간과 품온 관계를 규명하여 피건조물 건조시 최적 예열 조건 확립한다.

나. 마이크로파 예열장치의 가열특성 및 품질 평가

피건조물의 임계온도 상승시간, 함수율 변화, 송풍량과 피건조물 상승온도, 외관 및 색도 변화 등 피건조물에 대한 가열특성 및 품질을 평가한다.

다. 피건조물의 자동 투입 장치 개발

피건조물의 건조속도와 건조량에 따라 피건조물 투입량을 조절할 수 있는 벨트 컨베이어 이송식 자동투입 장치를 설계·제작한다.

라. 배기에너지 활용 장치 개발

피건조물 건조시 송풍에 의한 에너지 손실을 최소화하기 위한 배기에너지 활용장치를 개발한다.

마. 송풍방식에 따른 피건조물의 건조특성

원적외선 건조기를 이용한 피건조물 건조시 피건조물과 송풍되는 공의 방향에 따라 하향송풍방식(피건조물 상부에서 송풍)과 상향송풍방식(피건조물 하부에서 송풍)으로 송풍하여 건조특성을 비교분석하여 실용원적외선 건조기에 적용한다.

바. 실험용 원적외선 건조기 Pilot Plant 개발

실험용 원적외선 건조기 Pilot Plant는 각각 1단(0.5×5m), 2단(0.6×5m), 3단(0.6×5m)으로 설계·제작하여 원적외선 건조기 실용화를 위한 기초 실험 및 피건조물의 물리적 변화량을 측정하고 비교분석한다.

사. 피건조물의 건조특성 및 품질 평가

실험용 원적외선 건조기 설계 제작 후 원적외선 방사체 온도에 대한 건조실 공기온도, 송풍량과 원적외선 방사체온도, 피건조물 온도, 건조속도 등의 건조 조건 등을 확립하여 건조특성 및 품

질을 평가한다.

아. 고효율 컨베이어식 원적외선 건조시스템 보급 모델 개발 및 성능 실험

생산력 증가, 건조 후 색도 및 성분 잔류량 10~20% 향상 및 에너지 절감 20~40% 감소를 목표로 일반 건조 생산라인에 실용 가능한 상향송풍방식의 원적외선 건조기 Pilot Plant를 5단(0.6×5m)으로 설계·제작하여 효율적인 적정 작동 조건 확립 및 피건조물에 대한 건조특성 및 품질을 분석하고, 성능을 평가한다.

자. 고품질 생산을 위한 건조 방식 확립

고효율 컨베이어식 원적외선 건조시스템 보급 모델을 이용하여 열풍과 원적외선 혼합 건조, 원적외선 방사체의 온도 조절에 의한 건조, 급기의 가온여부 및 내부 상대습도 변화, 컨베이어 이동 속도와 건조속도 등에 대한 관계를 구명하여 고품질 생산을 위한 건조방식을 확립한다.

2. 연구개발의 필요성

가. 연구개발의 필요성

1) 기술적 측면

가) 고추 및 버섯 예열 원적외선 건조기 개발

원적외선 건조기에 적용할 피건조물은 그 종류가 다양하고 건조 조건이 다르다. 특히 건조 조건 중 피건조물 온도, 상대습도, 송풍량과 송풍온도, 컨베이어 속도, 방사체 온도 등은 제품의 품질에 영향을 미치는 중요한 인자이다. 국내의 기호식품인 고추 건조는 주로 열풍과 자연건조 방법이 이용되고 있지만 건조속도와 품질에서 문제점이 제기되고 있고, 버섯 역시 열풍건조방법을 이용하므로 건조시간이 길고 건조 효율이 낮다. 또한 이 피건조물은 모두 원형 그대로 건조해야하므로 예열 후 건조하면 효율이 향상될 수 있다. 따라서 조건 설정이 가능한 예열 원적외선 건조기 개발이 필요하다.

나) 건조효율 향상을 위한 예열시스템과 배기에너지 재활용시스템 개발

건조 초기에는 피건조물의 온도상승에 상당한 에너지가 소요된다. 따라서 건조 초기에 피건조물의 온도를 예열하여 건조하면 건조 속도가 빨라져서 건조효율을 향상시킬 수 있다. 또한 예열장치 없이 건조할 때 보다 건조기 길이가 짧아져서 건조기 제조 단가를 낮출 수 있다. 따라서 저렴하고 효율이 높은 예열 시스템 개발이 필요한 실정이다. 또한 최종 건조 층에서 배출 되는 배기는 상대습도가 낮고, 온도가 높기 때문에 이것을 급기로 송풍할 경우 건조효율 향상 및 에너지 절감 효과를 기대할 수 있기 때문에 예열 시스템 개발이 필요하다.

다) 효율적인 송풍 시스템의 개발

송풍 시스템은 건조실 내부의 습한 공기를 배출하고, 건조속도의 향상 및 건조효율을 향상시킨다. 원적외선 건조의 송풍시스템은 기존의 열풍건조와 다르기 때문에 송풍시 건조층을 통과하는 송풍량을 적절히 조절하면 방사체의 열손실을 줄일 수 있고, 건조속도가 증가되어 건조기 효율을 높일 수 있다. 이것은 에너지 및 생산비용의 절감과 함께 제품의 경쟁력을 강화시킬 수 있는 계기가 되므로 효율적인 송풍 시스템의 개발이 매우 필요하다.

2) 경제·산업적 측면

가) 화석연료의 대체

산업체의 소비열량 중 건조에 소비되는 열량은 약 33% 정도로 보고 되어 있다. 이 소비열량을 연료별로 구분하면 증기가 70%, 유류가 13%, 전기는 6.1%로서 화석연료의 의존도가 약 83%로 매우 높은 실정이다. 특히 농수산물 건조의 사용연료는 거의가 화석연료를 이용하고 있다. 화석연료의 파동이나 고갈에 대비하고, 수입에 따른 비용을 줄이기 위해서는 화석연료를 대체할 수 있는 새로운 건조 기술이 필요하다.

나) 에너지 절약 및 생산비 절감 필요

제품의 품질을 마무리하는 건조공정에 소비되는 열량이 약 33% 정도로 에너지 절약 및 생산비 절감을 위하여 원적외선 건조기의 최적 설계조건 확립 및 예열 시스템 구축이 필요하다.

다) 독자적 건조기술 확보

건조공정은 비용이 많이 소요될 뿐 아니라 건조 방법, 건조시간, 온도 등에 의해 품질에 큰 영향을 미치고 있다. 따라서 건조효율이 높고 경제적이며, 고품질을 유지할 수 있는 독자적인 원적외선 건조기술 확보는 수입 대체 효과 뿐 아니라 기술 및 건조기 수출도 가능할 것으로 본다.

선진 기술에 대한 경쟁력을 갖추고 국내외 시장을 확보하기 위해서는 독자적인 새로운 건조기술 개발이 절실하다.

라) 21세기 새로운 해외시장 개척을 위한 기술 확보 필요

동남아시아, 일본, 중국 등의 건조기 시장을 확보하기 위해서는 독자적인 국제 경쟁력을 갖춘 신기술의 개발이 요구된다.

3) 사회·문화적 측면

가) 청정에너지원 개발

지구온난화 방지협약과 환경보호조약에 따른 공해물질 배출 제한은 화석연료의 사용을 제한하게 되고 이에 따른 산업 활동이 제약을 받을 수 있다. 따라서 환경보존 및 청정에너지를 이용한 건조기술 개발이 요구되고 있다.

나) 생산 및 소비자에게 생산비용의 절감과 고품질 제품 제공 필요

U.R.협상타결과 세계무역기구(WTO) 출범으로 시장개방이 확대되고 있고, 저렴한 수입품으로 인하여 가격 경쟁력이 약한 국내산업은 타격이 클 것으로 판단된다. 따라서 생산자는 생산비용의 절감과 고품질 생산이 필요하고 소비자에게는 저렴하고 기호에 맞는 고품질 제품의 제공이 필요하다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1. 국내의 경우

원적외선 응용 건조 기술은 발전단계라고 할 수 있으며, 여러 산업분야에서 응용하고 있으나 건조분야에의 적용은 매우 미진한 상태이고, 공동 연구업체에서 인삼, 산채, 누룽지, 육포, 녹차, 타이어 건조시스템을 개발한 상태이다. 그러나 피건조물의 종류에 따라서 건조조건이 다르고 건조 초기의 피건조물의 온도상승에 상당한 에너지가 소요된다. 따라서 건조 초기에 피건조물(고추 와 두부)의 온도를 상승시켜 건조하면 건조효율 향상 및 건조기 제조 단가를 낮출 수 있다. 그러나 이에 대한 자료 및 연구는 거의 전무한 상태이다.

2. 국외의 경우

국외의 연구 및 산업분야 응용은 일본이 가장 활발한 것으로 알려져 있고, 일본의 경우 농산물과 식품 건조에 응용하여 건조속도 향상 및 품질 향상에 상당한 효과가 있는 것으로 보고되어 있다.

학계에서는 북해도대학, 동경농공대학, 우츠노미야대학, 기후대학 등에서 가열·건조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그리고 최근 일본 생연기구(한국의 농업공학연구소에 해당)에서 5년간 열풍과 원적외선을 복합적으로 이용하는 곡물건조기를 개발하여 1998년 하반기에 공개하였다. 이는 일본 생연기구와 5개 업체(이세키, 사다케, 야마모토, 가네코, 시즈오카)가 컨소시엄을 구성하여 공동 개발한 것으로 저비용, 저소음, 고품질을 실현한 미래형 건조기로 평가받고 있다. 그러나 농수산물 및 식품 원적외선 건조시 예열에 관한 연구는 미진한 상태이다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

1 절. 마이크로파 예열장치 및 하향 송풍방식 원적외선 건조기를 이용한 홍고추 · 표고버섯의 건조특성

본 절의 연구개발 목표는 실험용 하향송풍방식 원적외선 건조기와 마이크로파를 이용한 연속식 예열장치를 설계·제작하여 피건조물 건조시 최적 예열 조건 확립을 위해 가열시간과 피건조물의 품온관계를 규명하고, 피건조물에 대한 가열특성 및 품질 평가를 위해 피건조물 임계온도 상승시간, 함수율 변화, 송풍량과 피건조물 상승온도, 외관 및 색도 변화 등의 변화를 비교분석하여 최적의 설계 조건을 제시하는 것이다.

1. 마이크로파 예열장치에 의한 피건조물의 가열특성

가. 마이크로파 예열장치 설계·제작

그림 1은 마이크로파 예열장치의 개략도를 나타낸 것이다.

그림 1에서 보는 바와 같이 마이크로파 예열장치는 투입부, 배출부, 마이크로파 발진부, 배기팬, 배출안내 가이드, 작업감시창, 예열부, 컨베이어 및 제어반으로 구성되어 있다. 발진부는 마그네트론을 이용한 마이크로파 발진장치로 주파수 2,450MHz, 출력 1kW~4kW의 마이크로파를 발생시킨다. 배기팬은 피건조물 예열시 예열장치 내부에 발생한 수분을 외부로 배출시키며, 제어반은 마이크로파 출력 및 벨트의 속도 등을 조절할 수 있도록 되어있다.

표 1은 마이크로웨이브 예열장치의 주요 부품에 대한 사양을 나타낸 것이다.

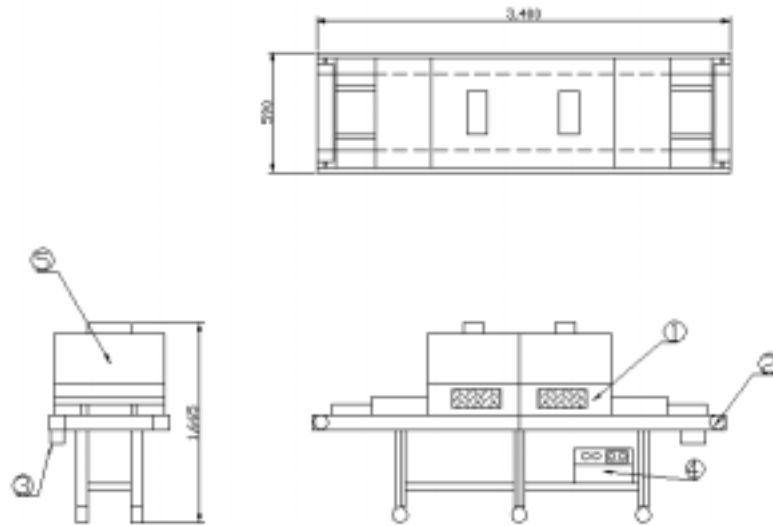


Fig. 1. Schematic diagram of microwave pre-heater.

Table 1 Specification of the experimental apparatus

Description	Specification	Description	Specification
① Pre-heating chamber	320×2,600×165mm	④ Controlling board	1set
② Belt conveyer	400×3,624×100mm	⑤ Magnetron	1kW×4
③ Motor	LS9160GBLV12, 60W, 1550rpm×1		



Photo. 1. Microwave pre-heater.

나. 공시재료

마이크로파 예열실험에 사용된 시료는 홍고추와 표고버섯으로서 저온저장고($0\sim 5^{\circ}\text{C}$)에 보관하였고, 실험 시작 1시간 전에 꺼내어 품온이 실내온도와 평형을 유지하게 한 후 예열 실험을 실시하였다.

다. 실험방법 및 측정항목

1) 실험방법

마이크로파 예열 시간은 6수준(1분, 2분, 3분, 4분, 5분)으로 하고, 출력은 3수준(1kW, 2kW, 3kW)으로 시행하였다.

2) 측정항목

가) 함수율

시료의 초기 함수율은 시료 20개를 무작위로 채취하여 잘게 썰어 전자저울 (HF-200 GD, AND, 일본)로 $10\pm 0.5\text{g}$ 칭량한 후 드라이 오븐($105^{\circ}\text{C}-24\text{h}$)을 이용하여 무게비로 함수율을 측정하였다.

나) 색도 측정

예열 후 품질 변화는 색도를 측정하였고, 색도는 시료를 편평한 검은 바닥에 가지런히 편 후 색도색차계(JX-777, C.T.S., 일본)를 이용하여 건조전·후의 시료의 3부위(상, 중, 하)를 측정하여 L(명도), a(적색도), b(황색도) 값을 구하고, 색차 ΔE는 이 값들을 이용하여 식(1)로 구하여 비교하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^2) + (\Delta a^2) + (\Delta b^2)} \dots \dots \dots (1)$$

여기서, ΔE는 색차

ΔL은 건조 전·후 명도값

Δa는 건조 전·후 적색도값

Δb는 건조 전·후 황색도값

라. 마이크로파 예열장치에 의한 홍고추의 건조특성

1) 홍고추의 함수율 변화

그림 2와 표 1에 마이크로파 예열조건과 용량별 홍고추의 함수율 변화를 나타내었다.

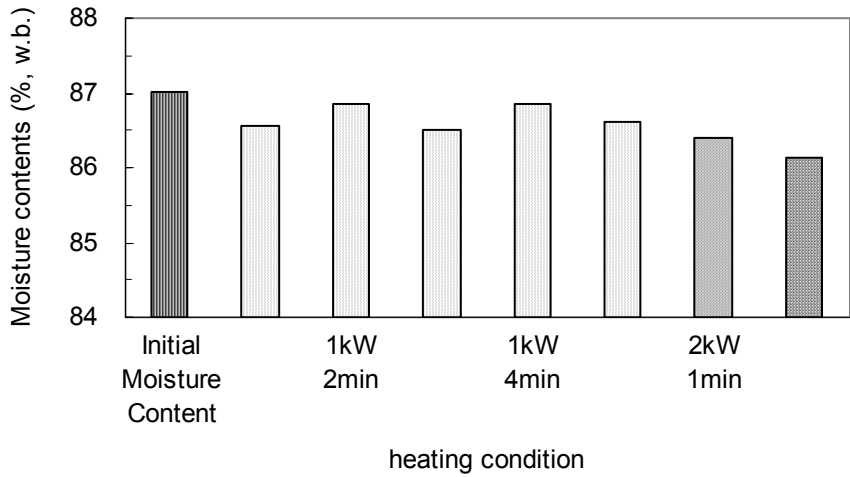


Fig. 2. Comparison of moisture content of red pepper as affected by microwave heating conditions.

Table 2 Moisture content of red pepper as affected by microwave heating conditions

Time Heating Energy	Initial moisture content	1min	2min	3min	4min	5min	6min
1kW	87.01	86.56	86.85	86.50	86.86	86.61	-
2kW	87.01	86.41	-	-	-	-	-
3kW	87.01	86.14	-	-	-	-	-

그림 2와 표 2에 나타났듯이 마이크로파 가열 전후의 홍고추 함수율은 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 이것은 가열 시간이 짧고 고추의 경우 표면에 왁스층이 형성되어 있어 내부 수분 증발이 어렵기 때문이다. 한편 마이크로파 가열용량이 작고 가열시간이 길거나, 가열용량이 크고 가열시간이 짧은 경우 고추의 터짐 현상이 나타났다.

가열용량이 1kW인 경우 가열 6분부터 고추의 터짐 현상이 나타났고, 가열용량이 2, 3kW인 경우 가열 2분부터 터짐 현상이 나타나서 부적합한 가열 조건으로 나타났다. (사진. 7 참조)

2) 홍고추의 색도 변화

그림 3과 표 3은 마이크로파 가열조건에 따른 홍고추의 색도 변화를 나타낸 것이다.

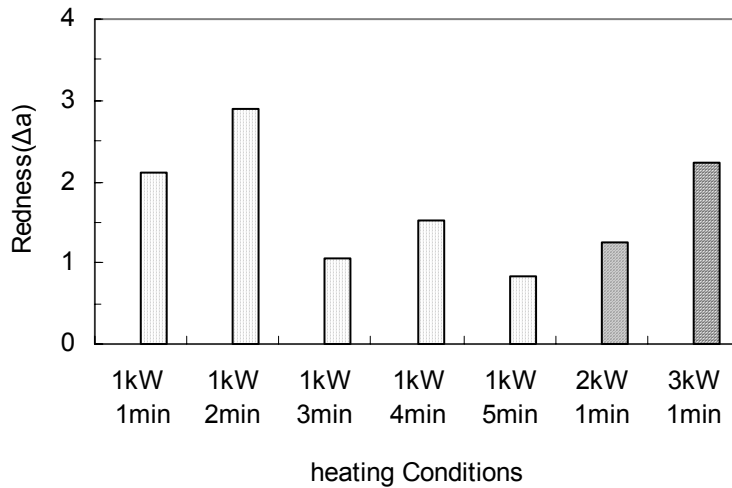


Fig. 3. Comparison of Δa color value of red pepper as affected by microwave heating conditions.

표 3에서 보는 바와 같이 마이크로파 가열 후 홍고추 색도 a값은 가열 전 보다 2.90~0.84 정도 낮아지는 경향을 나타내었다. 이 차이는 유관상으로 구별하기 어려운 값으로 실용상에 이상은 없을 것으로 판단된다.(사진. 4, 5 참조)

Table 3 Δa value of red pepper as affected by microwave heating conditions

Heating energy and time	1kW 1min	1kW 2min	1kW 3min	1kW 4min	1kW 5min	2kW 1min	2kW 2min	3kW 1min
Before heating	33.90	34.07	33.11	33.25	35.06	33.74	35.23	35.24
After heating	31.78	31.17	32.05	34.77	34.22	32.49	34.17	33.01



Before heating



After heating

Photo. 2. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 1 minute.



Before heating



After heating

Photo. 3. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 2 minutes.



Before heating



After heating

Photo. 4. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 3 minutes.



Before heating



After heating

Photo. 5. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 4 minutes.



Before heating



After heating

Photo. 6. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 5 minutes.



Before heating



After heating



Rupture of red pepper after heating

Photo. 7. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 6 minutes.



Before heating



After heating

Photo. 8. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 2kW, heating time 1 minute.



Before heating



After heating



Rupture of red pepper after heating

Photo. 9. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 2kW, heating time 2 minutes.



Before heating



After heating(Rupture of red pepper)

Photo. 10. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 2kW, heating time 3 minutes.



Before heating



After heating

Photo. 11. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 3kW, heating time 1 minute.



Before heating



Rupture of red pepper after heating

Photo. 12. Comparison of the external appearance of red pepper before and after heating as affected by microwave energy 3kW, heating time 2 minutes.

마. 마이크로파 예열장치에 의한 표고버섯의 건조특성

1) 마이크로파 출력 1kW에 따른 가열특성

가) 함수율 변화

그림 4는 마이크로파의 출력이 1kW인 경우 가열 시간에 따른 표고버섯의 갓과 줄기의 함수율 변화를 나타낸 것이다.

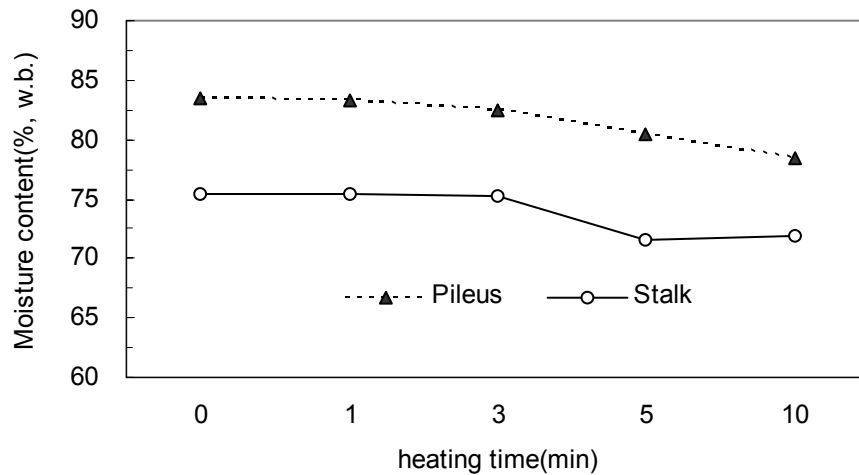


Fig. 4. Comparison of moisture content of pileus and stalk as affected by heating time and microwave energy 1kW.

그림에서 알 수 있듯이 마이크로파 가열 시간이 길수록 버섯의 함수율이 감소하는 경향을 나타내었다. 갓은 가열시간이 3분 이하인 경우 초기함수율(83.52%)보다 1% 내외 감소하였고, 가열 시간이 5분과 10분인 경우는 각각 3, 5%감소하였다. 한편 줄기의 함수율(75.48%)은 3분 가열하여도 거의 변화가 없었고, 가열 시간이 5, 10분인 경우는 3.5% 내외 감소하였다. 이것은 버섯 갓의 경우는 조직이 치밀하지 않지만, 줄기의 경우 조직이 치밀하여 수분 배출이 용이하지 않기 때문이다.

나) 외관 변화

사진 8에 마이크로파 출력 1kW일 때 가열 시간에 따른 가열 전후의 표고버섯 외관 변화를 비교하였다.

사진에서 알 수 있듯이 마이크로파 가열 시간이 길어지면 부분적으로 검게 변하는 경

향을 나타내었다. 가열 1분과 3분의 경우 갖은 변색부분이 발생하지 않았고, 5분 이상 가열하면 품질에 손상이 될 정도로 일부 변색되는 부분이 나타나기 때문에 출력 1kW인 경우 5분 이하로 가열하는 것이 바람직하다고 판단된다.

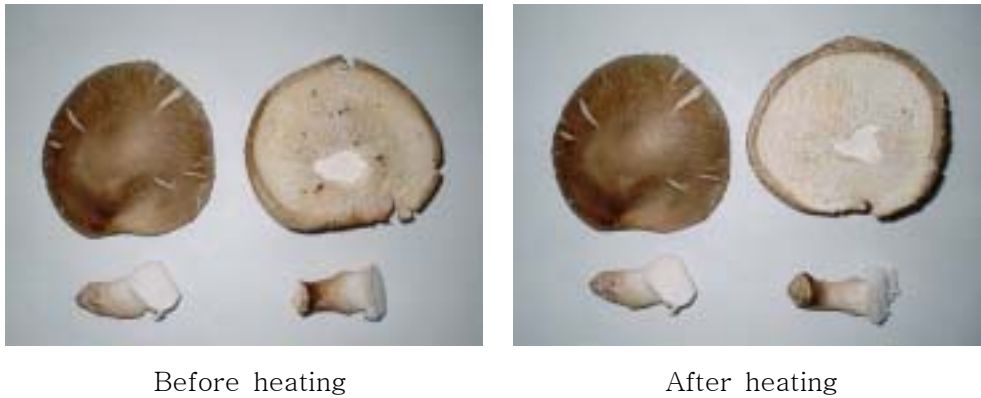


Photo. 13. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 1 minute.



Photo. 14. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 3 minutes.



Before heating



After heating

Photo. 15. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 5 minutes.



Before heating



After heating

Photo. 16. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after heating as affected by microwave energy 1kW, heating time 10 minutes.

2) 마이크로파 출력 2kW에 따른 가열특성

가) 표고버섯의 함수율 변화

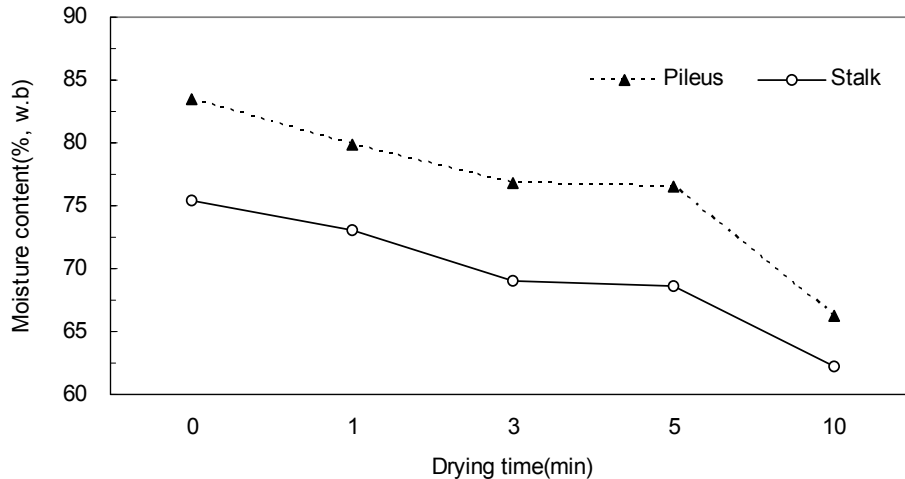


Fig. 5. Comparison of moisture content of pileus and stalk as affected by heating time and microwave energy 2kW.

그림 5에 마이크로파의 출력이 2kW인 경우 가열 시간별 버섯 갓과 줄기의 함수율 변화를 나타내었다.

그림 5에서와 같이 버섯의 함수율은 마이크로파 가열 시간이 길수록 마이크로파의 출력이 1kW인 경우 보다 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 가열시간이 1분인 경우 갓의 초기함수율(83.52%)보다 3.9% 정도, 가열 시간이 3, 5분인 경우는 6.8%, 가열 시간이 10분인 경우는 17.2% 감소하였다. 한편 출력의 증가로 줄기의 함수율(75.48%)도 2.4~13% 정도 감소하였다.

나) 표고버섯의 외관 변화

사진 9는 출력이 2kW일 때 마이크로파 가열 시간에 따른 가열 전후의 표고버섯 외관 변화를 비교한 것이다.

사진에서 보듯이 마이크로파 가열 시간이 3분부터 그 이상인 경우는 변색되는 부분이 점점 증가하여 외관 상태가 나빠지므로 제품생산에 부적합한 조건으로 판명되었다.

따라서 마이크로파 출력이 2kW인 경우는 1분 이하로 가열하는 것이 바람직하다고 판단

된다.



Before heating

After heating

Photo. 17. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after heating as affected by microwave energy 2kW, heating time 1 minute.



Before heating

After heating

Photo. 18. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after heating as affected by microwave energy 2kW, heating time 3 minutes.



Before heating

After heating

Photo. 19. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after heating as affected by microwave energy 2kW, heating time 5 minutes.



Before heating

After heating

Photo. 20. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after heating as affected by microwave energy 2kW, heating time 10 minutes.

3) 마이크로파 출력 3kW에 따른 가열특성

가) 함수율 변화

마이크로파의 출력이 3kW일 때 가열 시간별 표고버섯의 부위별 함수율 변화를 그림 6에 나타내었다.

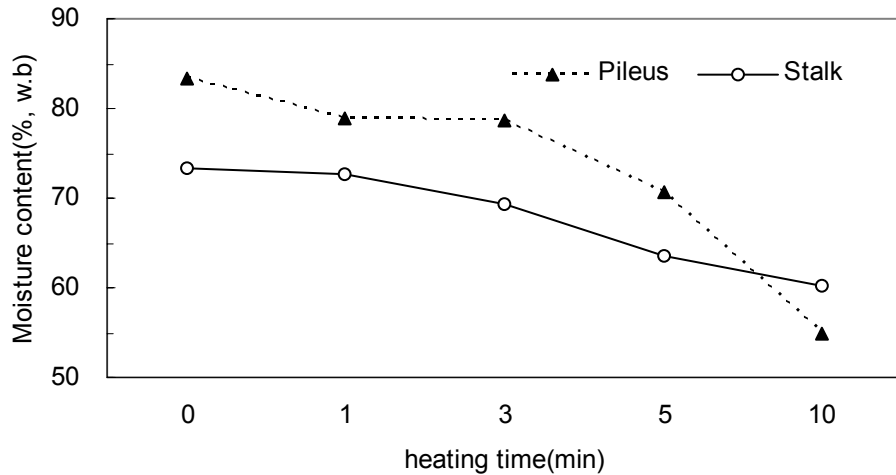


Fig. 6. Comparison of moisture content of pileus and stalk as affected by heating time and microwave energy 3kW.

그림에 나타냈듯이 마이크로파 가열 시간이 길수록 버섯 갓의 함수율은 크게 감소하였고, 줄기의 함수율도 크게 감소하는 것으로 나타났다. 갓의 경우 가열시간이 1, 3분인 경우 초기함수율(83.53)보다 4.4%, 가열 시간이 5, 10분인 경우는 각각 12.3, 28.43% 감소하였다.

한편 줄기의 함수율(75.48%)은 가열시간에 따라서 0.5~13% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

나) 외관 변화

사진 10은 출력 3kW일 때 마이크로파 가열 시간에 따른 가열 전후의 표고버섯 외관 변화를 비교하여 나타낸 것이다.

사진에서 보는 바와 같이 마이크로파 가열 시간이 1분인 경우도 일부 변색되었고, 3분 이상 가열하는 경우는 변색 부분이 크게 증가하는 것으로 나타났다.

따라서 마이크로파 출력이 3kW인 경우 버섯을 마이크로파로 가열하는 것은 부적합 것으로 판단된다.



Photo. 21. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after heating as affected by microwave energy 3kW, heating time 1 minute.

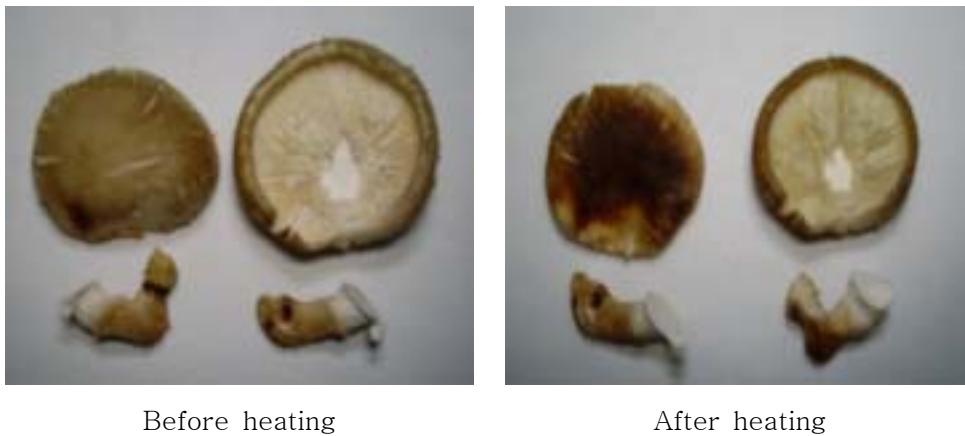


Photo. 22. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after heating as affected by microwave energy 3kW, heating time 3 minutes.



Before heating



After heating

Photo. 23. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after heating as affected by microwave energy 3kW, heating time 5 minutes.



Before heating



After heating

Photo. 24. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after heating as affected by microwave energy 3kW, heating time 10 minutes.

4) 마이크로파 출력 4kW에 따른 가열특성

가) 함수율 변화

그림 7은 마이크로파의 출력이 4kW일 때 가열 시간에 따른 표고버섯 부위별 함수율 변화를 나타낸 것이다.

그림에서 보듯이 앞에서 서술한 가열 조건보다 마이크로파 가열 시간이 길수록 버섯의 갓과 줄기의 함수율은 크게 감소하였다. 그러나 사진에서 알 수 있듯이 외관의 변색과 수축이 너무 심하여 가열 조건으로는 부적합하다고 판단된다.

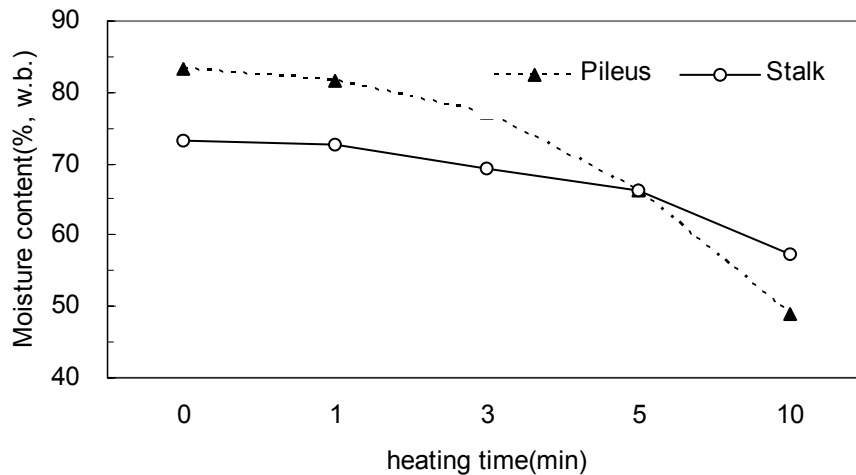


Fig. 7. Comparison of moisture content of pileus and stalk as affected by heating time and microwave energy 4kW.

나) 외관 변화

사진 11은 출력 4kW일 때 마이크로파 가열 시간에 따른 가열 전후의 버섯 외관 변화를 비교한 것이다.

사진 10과 같이 마이크로파 가열 시간이 1분인 경우도 변색되었고, 3분 이상인 경우에는 변색이 더욱 뚜렷해지는 것으로 나타났다. 5분 가열한 경우는 변색은 물론 상당히 수축되는 것으로 나타났다. 또한 마이크로파 출력이 4kW인 경우 마이크로파 출력이 3kW인 경우보다도 변색이 더욱 심화되었다. 따라서 마이크로파 출력이 4kW인 경우 표고버섯 예열을 위한 마이크로파 가열이 부적합 것으로 나타났다.



Before heating

After heating

Photo. 25. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after heating as affected by microwave energy 4kW, heating time 1 minute.



Before heating

After heating

Photo. 26. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after heating as affected by microwave energy 4kW, heating time 3 minutes.



Before heating



After heating

Photo. 27. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after heating as affected by microwave energy 4kW, heating time 5 minutes.



Before heating



After heating

Photo. 28. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after heating as affected by microwave energy 4kW, heating time 10 minutes.

2. 하향송풍방식 원적외선 건조기에 의한 피건조물의 건조특성

가. 하향송풍방식 원적외선 건조기의 구성

그림 8과 9는 1단, 2단의 하향송풍방식 원적외선 건조기의 개략도를 나타낸 것이다.

그림 8과 9에서 보는 바와 같이 하향송풍방식 원적외선 건조기는 원적외선 방사체, 건조실, 피건조물 이송 컨베이어, 하향송풍을 위한 송풍기와 배풍기 및 제어반으로 구성되어 있다.

원적외선 방사체는 스테인리스(SUS 304) 표면을 샌딩 처리한 후 원적외선 도료를 도포하고 열선 히터를 조립하여 제작 설치하였다. 건조부는 열손실을 줄이기 위하여 건조부 커버에 석면섬유로 단열 처리를 하였다. 송풍기와 배풍기는 각 단에 각각 3개소, 2개소를 설치하여 건조실 상부로부터 피건조물의 표면에 하향송풍 되도록 하였다. 제어반은 방사체 온도, 급기 및 배기량을 조절 가능하고, 급기 및 배기량을 조절하기 위하여 인버터를 추가 설치하였다.

표 4는 하향송풍방식 원적외선 건조기의 주요 부품에 대한 사양을 나타낸 것이다.

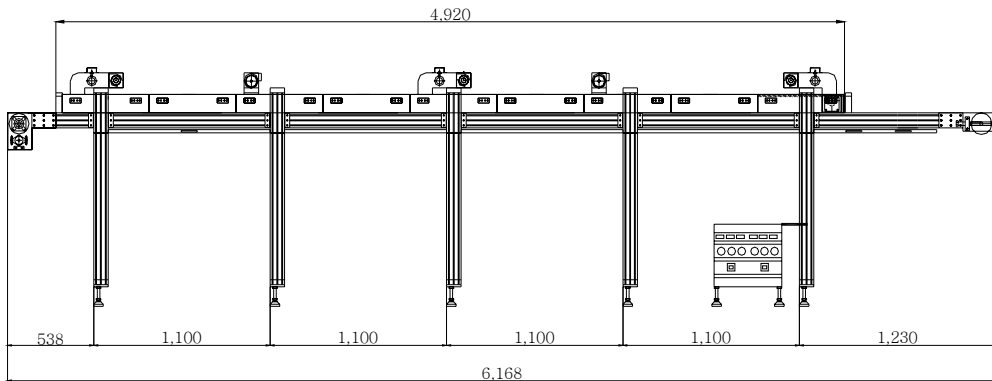


Fig. 8. Schematic diagram of one stage-far infrared dryer of down draft airflow type. .

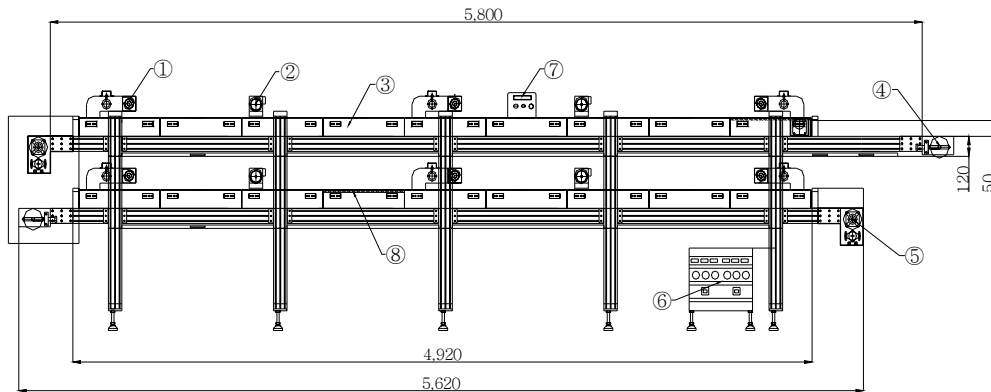


Fig. 9. Schematic diagram of two stage-far infrared dryer of down draft airflow type.

Table 4 Specification of the experimental apparatus

Description	Specification	Description	Specification
① Blast fan	10W, 10.5m ³ /min×6	⑤ Motor	9SDG2-120F1G, 120W, 90/1700rpm×5
② Ventilator	10W, 10.5m ³ /min×4	⑥ Controlling board	1
③ Drying chamber	620×5,340×190mm	⑦ Inverter	3.7kW×3
④ Belt conveyer	530×5,400×42mm	⑧ Far infrared heater	7.5kW×34



Photo. 29. Two stage-far infrared dryer of down draft airflow type.



Photo. 30. Assembling of two stage-far infrared dryer of down draft airflow type.



Photo. 31. Assembling of far infrared heater and heating chamber.



Photo. 32. Assembling of blast fan.



Photo. 33. Assembling of ventilator.



Photo. 34. Controlling board and distribution board.



Photo. 35. Belt conveyor and belt brush.



Photo. 36. Belt tension controller.



Photo. 37. Driving motor.

나. 하향송풍방식 원적외선 건조기의 기초실험

1) 건조실 내부 풍속 및 온도측정

그림 10은 실험용 원적외선 건조기의 기초 성능을 평가하기 위한 내부풍속 및 내부온도 측정위치를 나타낸 것이다.

송풍기와 배풍기의 풍량은 인버터의 주파수를 20Hz부터 60Hz까지 5Hz씩 증가시키며 측정된 풍속값과, 송풍기와 배풍기의 토출구의 단면적을 계산하여 송풍량 및 배풍량을 측정하였다.

건조실 내부 온도 측정은 K-type 열전대를 사용하여 방사체 가열온도 수준(60℃, 70℃, 80℃, 90℃, 100℃, 110℃, 120℃) 별로 측정하였다. 측정위치는 그림 10에서와 같이 건조실 1, 2단에서 길이별 9개소 측정하였고, 1개소에 폭을 3등분하여 측정하였다. 수집된 온도는 자료수집장치(DA-100, YOKOGAWA, 일본)를 사용하여 PC에 저장하였다.

건조실 내부 풍속 측정은 디지털풍속계(8360-M-GB, TSI, 미국)를 사용하였고, 인버터의 주파수를 각각 Blower 33Hz-Ventilator 60Hz, Blower 30Hz-Ventilator 55Hz, Blower 28Hz-Ventilator 50Hz, Blower 25Hz-Ventilator 45Hz, Blower 23Hz-Ventilator 40Hz, Blower 20Hz-Ventilator 35Hz로 변화시켜 Blower와 Ventilator 중간점(I), (II), (III), (IV) 폭을 각각 5등분하여 높이 25mm 위치에서 측정하였고, 건조실 1, 2단에서 길이별 8개소와 폭별 5개소 등 총 40개소를 측정하였다.

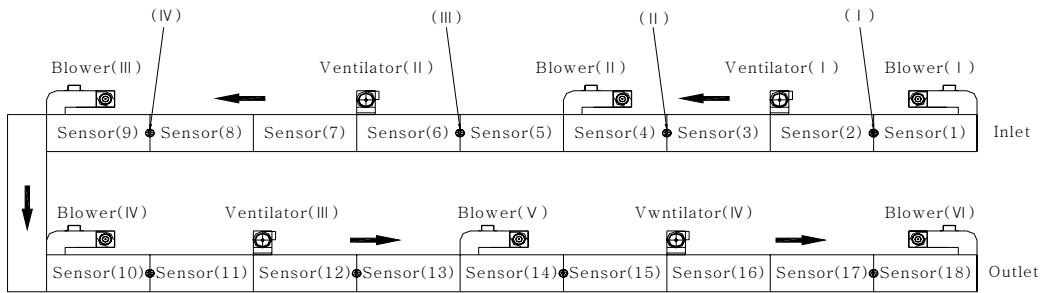


Fig. 10. Measuring position of blast velocity and temperature of dryer.

2) 송풍량 및 배풍량 측정

건조 공기의 유량을 조절하기 위하여 급기와 배기팬의 풍량은 디지털풍속계(8360-M-GB, TSI, 미국)를 이용하여 팬의 출구 중심부에 센서를 위치시켜 측정하였다.

그림 11과 12는 각각 송풍기와 배풍기의 인버터 주파수 변화에 따른 송풍량을 나타낸 것이다.

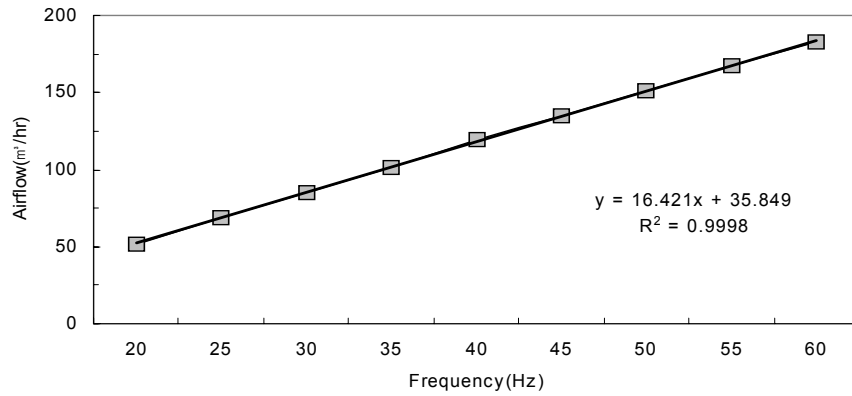


Fig. 11. Relationship between frequency of blast fan and airflow.

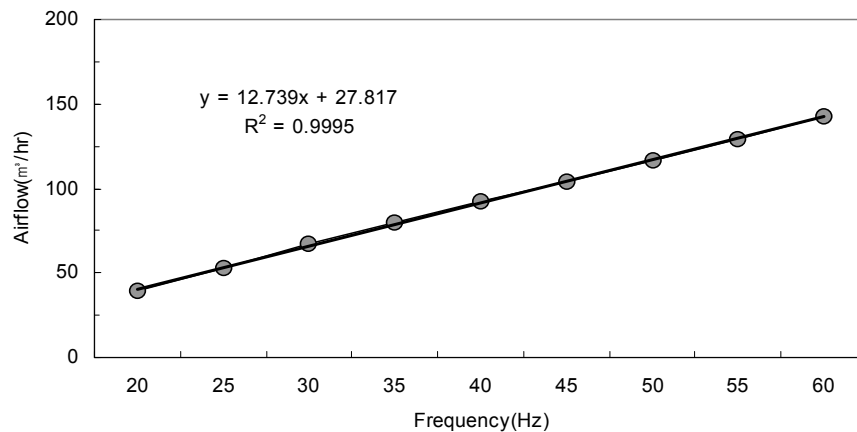


Fig. 12. Relationship between frequency of ventilator and airflow.

그림에서 보는 바와 같이 동일한 주파수에서 송풍기가 배풍기보다 풍량이 더 높은 것으로 나타났다. 또한 결정계수 R^2 값이 송풍기와 배풍기에서 각각 0.9998, 0.9995로 나타나, 인버터 주파수 변화에 따라 미세하게 송풍량과 배풍량을 조절할 수 있을 것으로 판단된다.

3) 건조실 내부온도 측정

그림 13과 14는 원적외선 방사체 온도별 건조실 1, 2단(그림 10참조)의 내부온도를 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 건조실 내부온도는 설정한 원적외선 방사관 온도보다 낮은 것으로 나타났고, 건조실의 위치에 따라 온도 값이 차이가 있는 것으로 나타났다. 원적외선 방사관 온도가 높을수록 내부 온도편차범위가 큰 경향을 보였다. 그리고 송풍기위치 전후구간보다 배풍기 전후 위치구간이 온도가 높은 것으로 나타났다.

원적외선 방사관 설정온도가 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120℃인 경우, 건조실 1, 2단에서의 온도분포는 각각 41.3~50.1℃, 47.2~67.0℃, 49.2~73.7℃, 51.2~82.0℃, 51.8~84.6℃, 55.8~100.0℃, 58.7~114.1℃로서 구간별 온도편차가 약 8.8~55.4℃ 정도인 것으로 나타났다.

이와 같은 온도편차는 외부에서 차가운 공기가 유입되는 송풍기 및 건조기 입구 쪽과 열 방출이 원활하게 이루어지지 않는 건조기 내부 쪽과의 편차 때문이다.

실제 건조실험에서는 송풍기와 배풍기에 의해 송풍이 이루어지기 때문에 온도편차범위가 줄어들 것으로 사료된다.

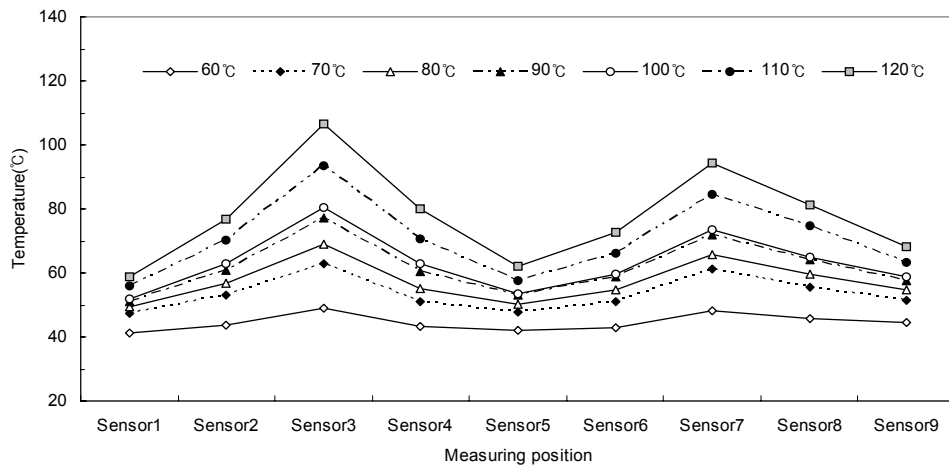


Fig. 13. Comparison of the drying chamber temperature in the first step.

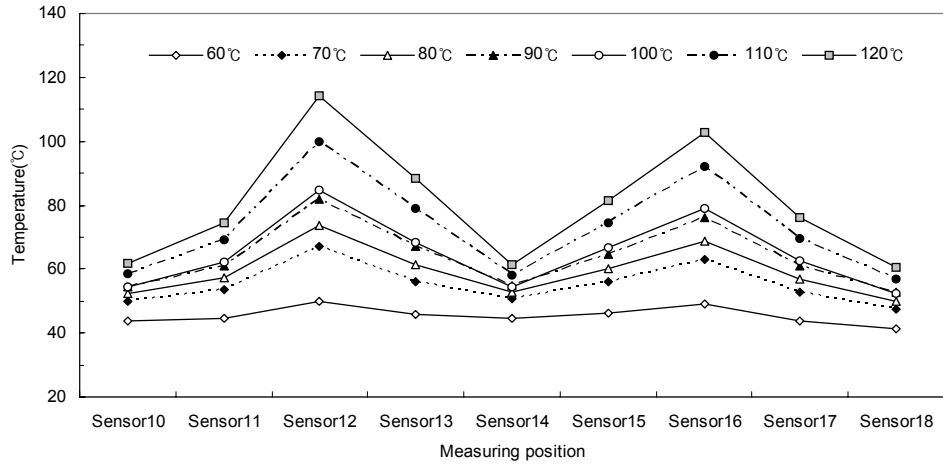


Fig. 14. Comparison of the drying chamber temperature in the second step.

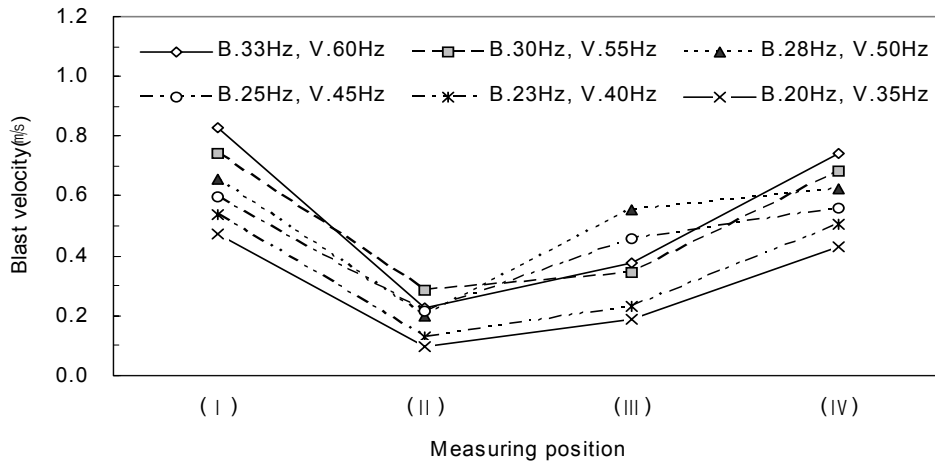


Fig. 15. Comparison of blast velocity in the drying chamber.

4) 건조실 내부 풍속 측정

그림 15에 송풍기와 배풍기의 주파수 변화에 따른 건조실 내부의 송풍속도를 나타내었다.

그림에서 15에 나타낸 바와 같이 송풍속도는 건조실 내부보다 건조기 입구와 출구 쪽의 송풍기가 위치한 곳(그림 10참조)에서 높은 경향을 나타내었다.

건조실 내부 풍속이 가장 높은 조건은 송풍기 주파수 33Hz-배풍기 주파수 60Hz로서 약 0.23~0.83‰로서 평균 0.53‰의 풍속을 나타내었고, 송풍기 주파수 20Hz-배풍기 주파수 35Hz에서 평균 0.30‰의 가장 낮은 송풍속도를 나타내었다.

건조실 위치별 송풍속도는 건조기 입구와 배출구 쪽에서 각각 0.48~0.83‰, 0.43~0.74‰로 가장 높게 나타났고, 송풍기(Ⅱ)와 배풍기(Ⅰ) 사이의 제 Ⅱ 측정 점에서 송풍속도가 0.13~0.28‰로 가장 낮게 나타났다.

이와 같이 건조실 내부풍속이 입구 쪽의 풍속보다 낮은 이유는 송풍기(Ⅱ)에 의해 송풍되는 풍속에 영향을 받기 때문으로 판단된다.

3. 하향송풍방식 원적외선 건조기를 이용한 건조 실험

가. 공시재료

공시재료 표고버섯은 박스에 포장된 상태로 구입하여 저온저장고(0~5℃)에 보관하였고, 실험 시작 1시간 전에 시료를 꺼내어 온도가 실내온도와 평형을 유지하게 한 후 건조 실험을 하였다.

나. 실험방법 및 측정항목

1) 실험방법

방사체 온도는 90℃로 하고, 풍속은 0.3m/s, 0.5m/s로 하여 건조실험을 시행하였다.

2) 측정항목

가) 함수율

함수율은 시료 20개를 무작위로 취하여 잣과 대를 분리한 후 잘게 썰어 각각 10g, 5g 씩 전자저울(HF-200GD, AND, 일본)로 칭량한 후 드라이 오븐(105℃-24h)을 이용하여 건조 후 중량비로 계산하여 식 (1)로 습량기준함수율 m 을 나타내었다.

$$m(\%, w.b.) = \frac{\text{측정한시료 중량} - \text{건물중량}}{\text{측정한시료 중량}} \times 100 = \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{건물 중량} = \text{초기시료 중량} \times \frac{100 - \text{초기함수율}(\%, w.b.)}{100} \dots\dots(2)$$

나) 건감율

건조 과정 중 시료의 함수율 변화는 1시간 간격으로 샘플을 채취, 시료의 중량 변화를 측정하였고, 초기 함수율과 건조 후 최종 함수율을 기준으로 건조 기간별 중량변화를 함수율로 환산하여 건감율로 나타내었다.

다) 색도

색도는 시료를 편평한 검은 바닥에 가지런히 편 후 색도색차계(JX-777, C.T.S., 일본)를 이용하여 건조 전·후의 잣과 대의 중심 부위를 측정하여 L(명도), a(적색도), b(황색도) 값을 구하고, 이 값들을 이용하여 식(3)으로 색차 ΔE 를 구하여 비교하였다.

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

여기서, ΔE : 색차

ΔL : 건조 전·후 L값의 차

Δa : 건조 전·후 a값의 차

Δb : 건조 전·후 b값의 차

라) 수축율

표고버섯의 수축율은 건조 전·후 갓의 장축과 단축을 3반복 측정하여 식(4)를 이용하여 산출하였다.

$$\Delta S = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

여기서, ΔS 수축률(%)

S_1 : 건조전의 갓·자루 직경(cm)

S_2 : 건조후의 갓·자루 직경(cm)

다. 결과 및 고찰

1) 원적외선 방사체온도 90℃, 풍속 0.3m/s에서의 표고버섯 건조특성

가) 함수율 변화와 건감율

그림 16과 17은 원적외선 방사체의 가열온도가 90℃, 풍속이 0.3m/s 인 경우 건조시간에 따른 함수율 변화와 건감율을 나타낸 것이다.

그림에서 16에서 보는 바와 같이 시간이 경과함에 따라 버섯의 함수율은 감소하였고, 건조 시작 후 5~6시간 사이에 건조속도가 가장 높은 것으로 나타났다.

원적외선 방사체의 가열온도가 90℃, 풍속이 0.3m/s 인 경우 표고버섯의 시간당 함수율 감소와 건감율은 건조시간 1~3hr에서 각각 평균 5.3%, 219.4(g/kg · hr)이었고, 5~6hr에서는 시간당 각각 10.8%, 312.6(g/kg · hr)로 가장 높게 나타났다. 9~10hr에서는 시간당 4.5%, 50.16(g/kg · hr)을 나타내었다.

건조 6시간 경과 후 건조속도가 감소하는 경향이 뚜렷하였고, 이것은 표고버섯이 감을 건조기간에 진입하였기 때문으로 사료된다.

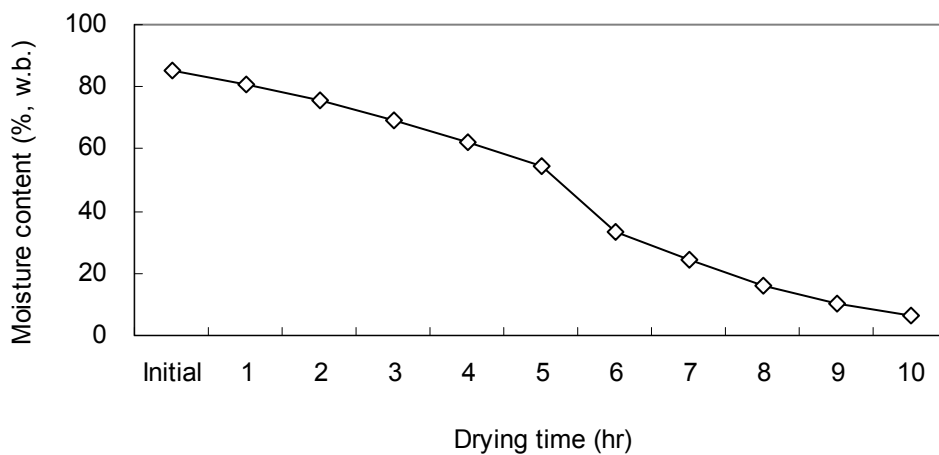


Fig. 16. Variation of moisture content of oak mushroom(*Lentinus edodes*) by drying time.

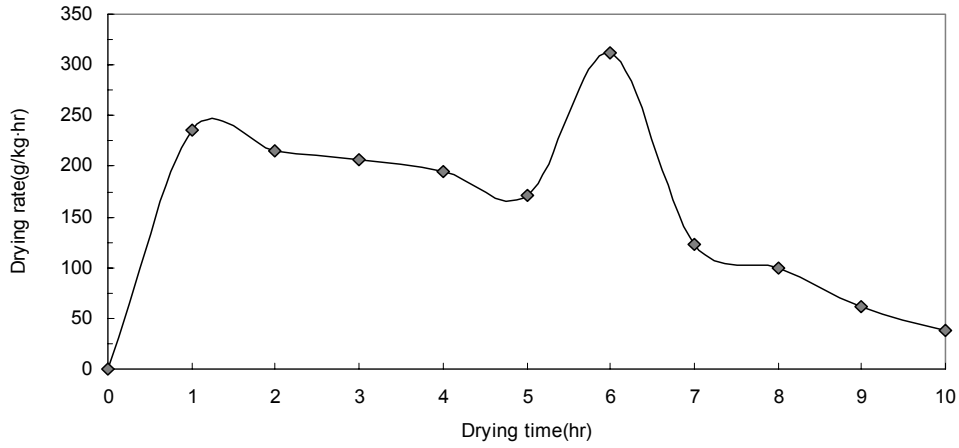


Fig. 17. Variation of drying rate of oak mushroom(Lentinus edodes) by drying time.

나) 버섯의 색차 변화

그림 18은 원적외선 건조 전후의 버섯의 색차 변화를 나타낸 것이다.

그림에 알 수 있듯이 원적외선 건조 후 색차 ΔE 값은 갓의 경우 가열 전 보다 15.46, 대의 경우 4.97의 색차 값이 감소되어, 초기보다 색도가 진해지는 것으로 나타났다.(사진 35 참조)

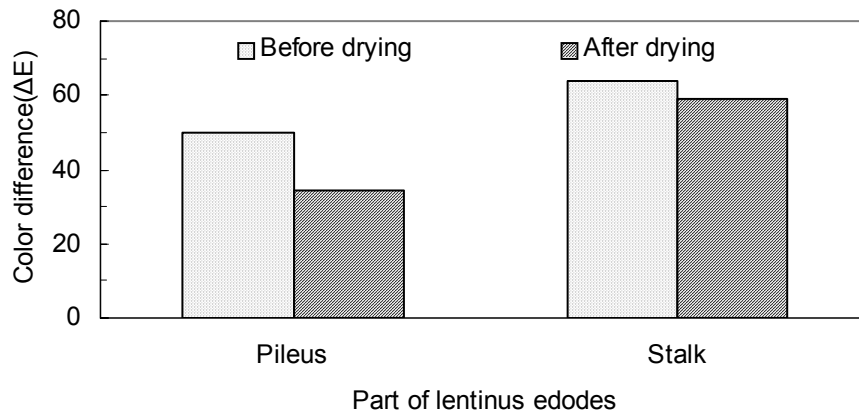


Fig. 18. ΔE values of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after drying.



Before drying



After drying

Photo. 38. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after drying as affected by far infrared heater temperature 90°C and air velocity 0.3m/s.

다) 버섯의 수축율 변화

그림 19는 원적외선 건조 전후의 버섯의 수축율 변화를 나타낸 것이다.

그림 19에서 보듯이 원적외선 건조 후 버섯의 수축율은 갓의 경우 평균 32.07%, 대의 경우 34.68% 수축되는 것으로 나타났다. 수축율은 평균값으로 보면 전체적으로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

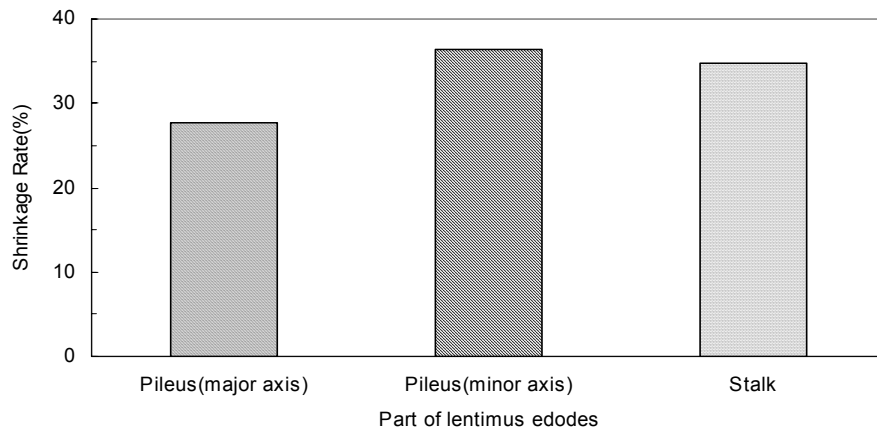


Fig. 19. Shrinkage rate of the oak mushroom(Lentinus edodes) before and after drying.

2) 원적외선 방사체온도 90℃, 풍속 0.5m/s인 경우 표고버섯의 건조특성

가) 함수율 변화 및 건감율

그림 20과 21에 원적외선 방사체의 가열온도가 90℃, 풍속이 0.5m/s 인 경우 건조시간에 따른 함수율 변화와 건감율을 나타내었다.

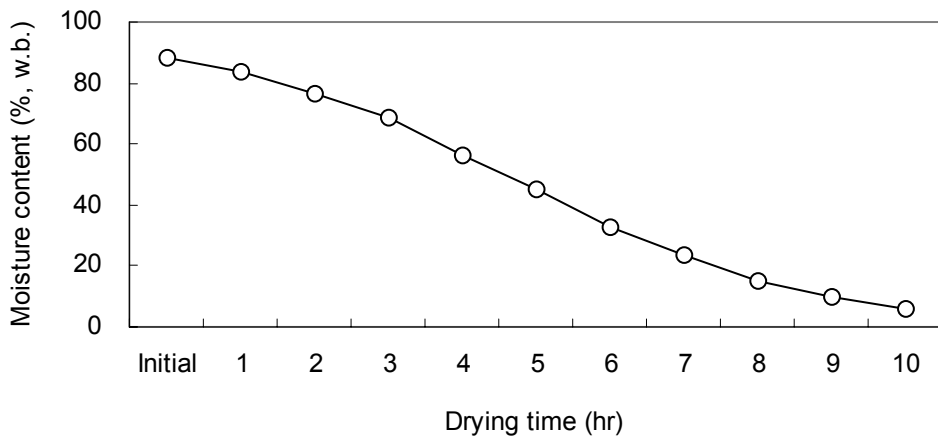


Fig. 20. Variation of moisture content of oak mushroom(*Lentinus edodes*) by drying time

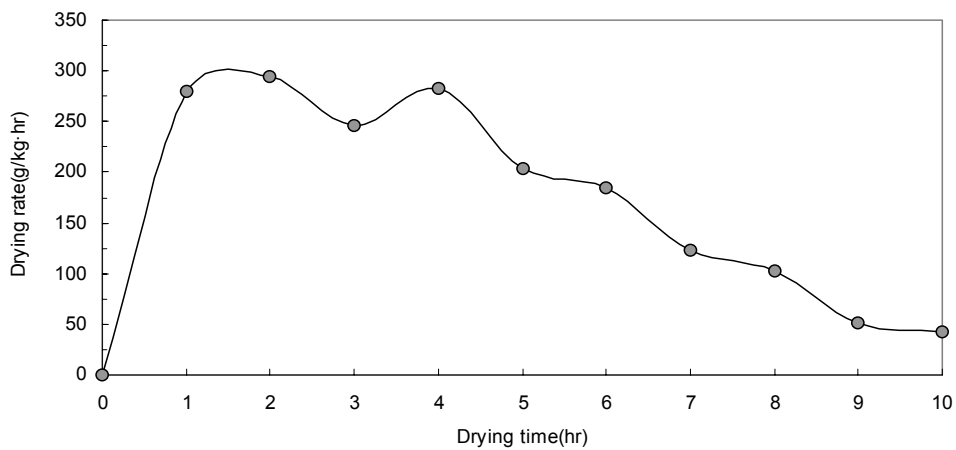


Fig. 21. Variation of drying rate of oak mushroom(*Lentinus edodes*) by drying time.

그림 20과 21에 나타낸 바와 같이 함수율 변화와 건감을 변화는 앞에 조건과 비슷한 경향을 나타내었다. 단지 방사체의 가열온도가 90℃, 풍속이 0.3m/s 인 조건보다 감율건조시간이 1시간 정도 빨라지는 것으로 나타내었다.

건감율은 건조시간 1~3hr에서는 시간당 평균 273.2(g/kg · hr), 4~7hr에서는 시간당 198.3(g/kg · hr), 8~10hr에서는 시간당 46.91(g/kg · hr) 감소되는 것으로 나타났다.

나) 버섯의 색차 변화

원적외선 방사체 온도가 90℃, 풍속이 0.5m/s 인 경우 원적외선 건조 전후의 버섯의 색차 변화를 그림 22에 나타내었다.

그림에서 알 수 있듯이 원적외선 건조 후 ΔE 값은 갓의 경우 건조 전 보다 16.01, 대의 경우 16.21 색차 값이 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 앞에서 서술한 원적외선 방사체 온도가 90℃, 풍속이 0.3m/s의 건조 조건과 비교해서 갓의 경우 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 대의 경우는 11.24 정도 감소 값이 큰 것으로 나타났지만 건조품질에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. (사진 36 참조)

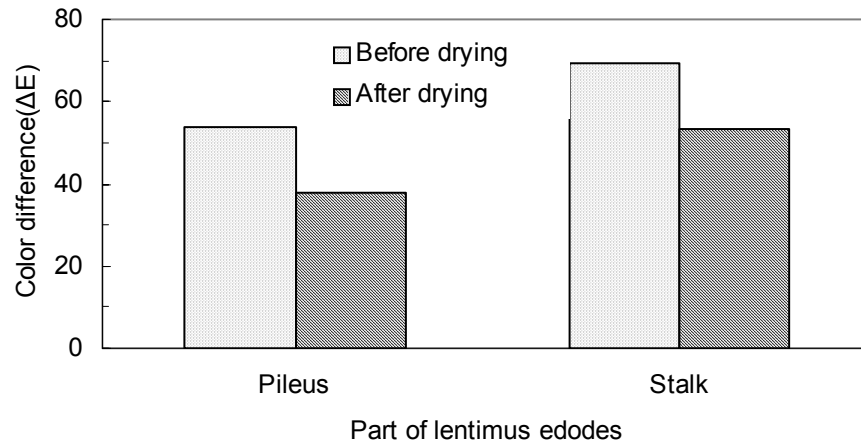


Fig. 22. ΔE value of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after drying.



Before drying



After drying

Photo. 39. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after drying as affected by far infrared heater temperature 90°C and blast velocity 0.5m/s.

다) 버섯의 수축율 변화

그림 23에 원적외선 건조 전후의 버섯의 수축율을 나타낸 것이다.

그림 23에 나타냈듯이 원적외선 가열 후 버섯의 수축율은 갓의 경우 평균 32.26%, 대의 경우 34.31%수축하여 앞에서 서술한 건조조건 방사체온도 90℃, 풍속 0.3m/s의 수축율과 거의 비슷한 값을 나타내었다. (사진 36 참조)

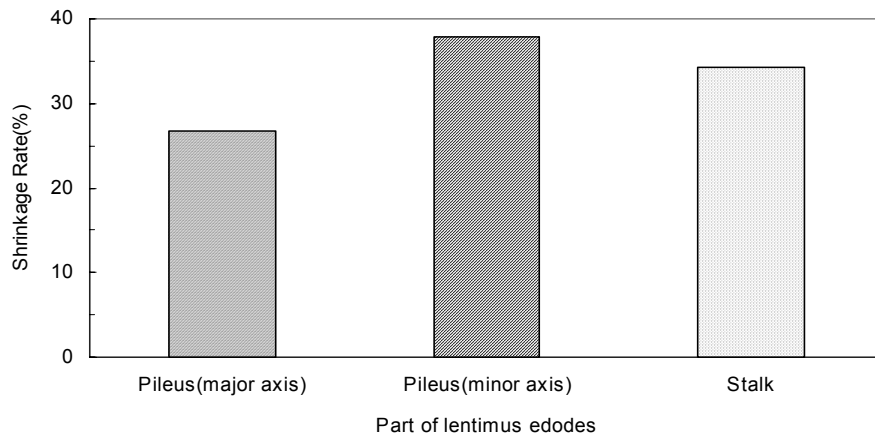


Fig. 23. Shrinkage rate of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after drying.

2 절. 하향송풍방식 원적외선 건조기를 이용한 표고버섯 · 홍고추의 건조특성

본 절에서는 하향송풍방식 원적외선 건조기를 3단으로 설계·제작하여 홍고추, 표고버섯의 최적 건조조건, 송풍속도, 건조 온도와 피건조물의 품온관계, 피건조물에 대한 가열 특성 및 품질 평가를 위하여 함수율 변화, 건조속도, 송풍량과 피건조물 상승온도, 외관 및 색도 변화, 에너지소비량 등의 변화를 비교분석하였다. 또한 건조방식이 프로그램화된 상용 열풍건조기를 이용하여 동일한 시료로 건조하고, 건조특성 및 품질변화 등을 하향송풍방식 원적외선 건조기와 비교분석하여 성능을 평가하고, 이 자료를 기초로 고효율 컨베이어식 원적외선 건조기 개발에 필요한 설계자료를 제시하는 데 그 목적이 있다.

1. 하향송풍방식 원적외선 건조기 PILOT PLANT 설계제작

가. 원적외선 건조기 제작

그림 24과 표 5는 하향송풍방식 원적외선 건조기의 개략도와 주요부품의 사양을 나타낸 것이다.

그림 24과 표 5에서 보는바와 같이 제작된 하향송풍방식 원적외선 건조기 PILOT PLANT는 원적외선 방사체, 건조실, 벨트 컨베이어, 하향송풍방식의 송풍시스템, 공기에 열 장치 및 제어반으로 구성되어 있다.

원적외선 방사체는 탄소발열체를 에폭시 수지로 코팅한 면상 원적외선 방사체이고, 열 손실과 전기에너지 절약을 위해 방사체의 상부와 하부로부터 원적외선이 방사되는 양면 방사방식으로 되어있다.

건조부의 양측면은 열손실을 줄이기 위하여 MDF 합판으로 단열 처리 하였다. 송풍기는 각 단에 각각 1대씩 3대를 설치하였다.

송풍공기는 건조기 1단 상부와 3단 하부의 예열 덕트를 통해 예열되어 송풍관을 통해 건조실 내부로 유입되고, 병류형태로 피건조물에 송풍된다. 제어반은 건조실 내부 온도, 송풍량, 벨트컨베이어 속도조절이 가능하도록 하였다.

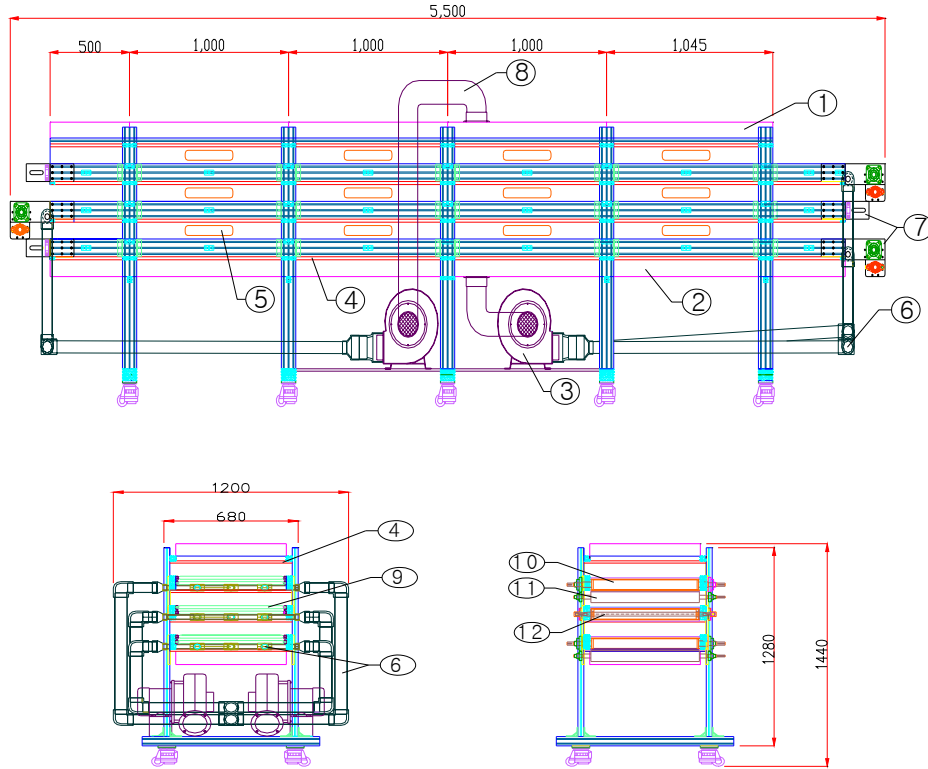


Fig. 24. Schematic diagram of three stage-far infrared dryer of down draft airflow type

Table 5 Specification of the experimental apparatus

Description	Specification	Description	Specification
① The upper preheating duct	W560×L4545×H120mm	⑦ Shaft frame	AL 12t
② The lower preheating duct	W560×L5045×H120mm	⑧ Suction pipe	5 inch pipe
③ Blast fan	1.0kW, 10.5m ³ /min×3	⑨ Idler pulley	φ25×706mm
④ Far infrared heater	MEP-550, 750W	⑩ Driving shaft	φ90×706mm
⑤ Monitoring window	W80×L300mm	⑪ Brush	φ70×767mm
⑥ Blast pipe	φ64mm PPC pipe	⑫ Driving shaft	φ90×800mm



Photo. 40. Assembling of three stage-far infrared dryer of down draft airflow type.



Photo. 41. Driving motor.



Photo. 42. Tension controller.



Photo. 43. Driving shaft and brush.



Photo. 44. Connecting of mesh belt.



Photo. 45. Far infrared heater.



Photo. 46. Assembling of far infrared heater.



Photo. 47. Blast fan.



Photo. 48. The upper preheating duct.



Photo. 49. Controlling board.



Photo. 50. Electrical wiring.

나. 피건조물 투입장치

그림 25와 표 6은 피건조물 투입장치의 개략도와 주요부품 사양을 나타낸 것이다.

그림 25에 나타난 바와 같이 피건조물 투입장치는 장치의 이송과 고정이 가능한 프레임과 피건조물을 투입장치로부터 원적외선 건조기 1단의 이송벨트 위에 놓여지게 하는 피건조물 투입가이드, 피건조물이 급경사를 타고 이송되는 동안 흘러내림을 방지할 수 있는 칸막이형 급경사(30~75°) 반송 특수수지 벨트로 구성되어 있다. 또한 벨트의 이송 속도를 조절할 수 있는 감속 모터, 벨트의 텐션을 조절할 수 있는 텐션조절 장치, 벨트의 처짐을 방지하는 아이들러, 투입호퍼 등으로 구성되어 피건조물이 원적외선 건조기 벨트 속도에 맞추어 이송될 수 있도록 제작하였다.

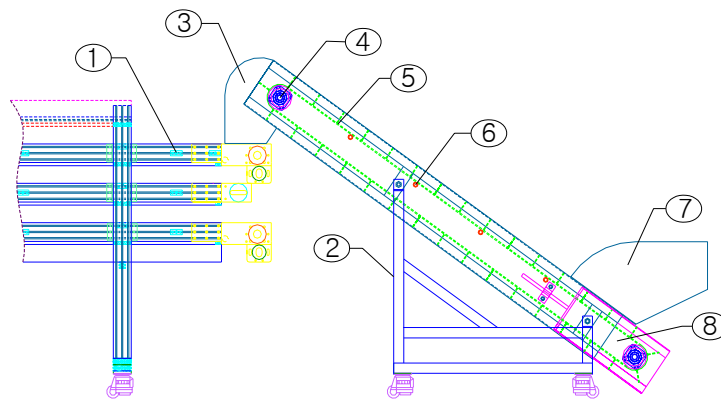


Fig. 25. Schematic diagram of automatic feeding device.

Table 6 Specification of automatic feeding device

Description	Specification	Description	Specification
① Far infrared dryer	-	⑤ Belt	W618×L4980mm
② Frame	W810×L700×H1300mm	⑥ Idler pulley	φ25×630mm
③ Feeding guide	W430×L400×H630mm	⑦ Hopper	W710×L890×H550mm
④ Driving shaft	φ120×760mm	⑧ Tension controller	-

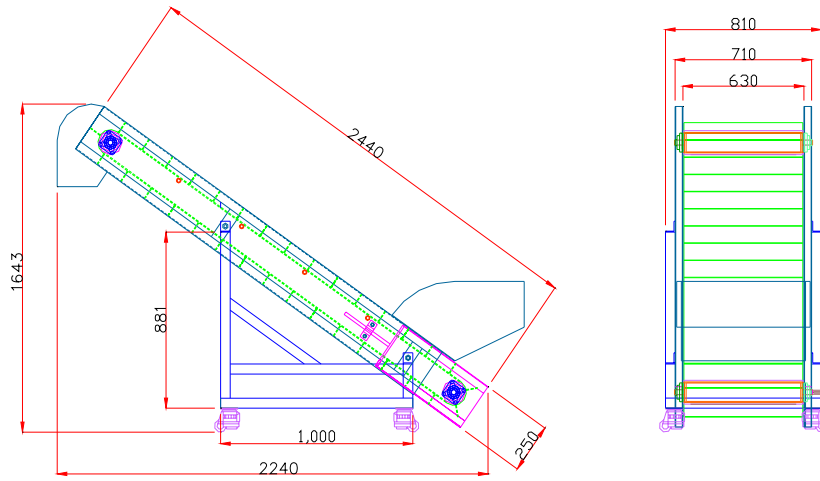


Fig. 26. Dimension diagram of automatic feeding device.



Photo. 51. Automatic feeding device.



Photo. 52. Chain tension controller.



Photo. 53. Driving motor.



Photo. 54. Motor speed controller.



Photo. 55. Input guide & Belt tension controller.

다. 배기에너지 활용장치



Photo. 56. Before connecting blast fan & exhaust pipe.



Photo. 57. After connecting blast fan & exhaust pipe.



Photo. 58. The upper hole of exhaust energy duct.



Photo. 59. Exhaust energy duct.

2. 원적외선 건조기 PILOT PLANT 기초실험

가. 송풍속도 측정

송풍속도 측정은 풍속계(V-01-AN, IET, 일본)를 사용하여 송풍관 전체 길이 5m를 1m 간격으로 송풍기 입구 쪽에서부터 $\Phi 4$, $\Phi 4.5$, $\Phi 5$, $\Phi 6$, $\Phi 7$ mm로 구멍을 뚫어고, 송풍기에 연결된 인버터를 30, 40, 50, 60Hz로 변화시키면서 풍속을 측정하였다. 측정위치는 송풍관으로부터 위로 80mm 이격시켜 측정하였고, 건조기 한단에 설치된 각각의 송풍관(L1, L2, L3)에 대해서 측정하였다.

사진 60은 풍속계를 이용하여 송풍관 길이별로 풍속측정을 나타낸 것이다.

그림 27에 인버터 주파수에 대한 송풍관 길이별 풍속을 비교하여 나타내었다.

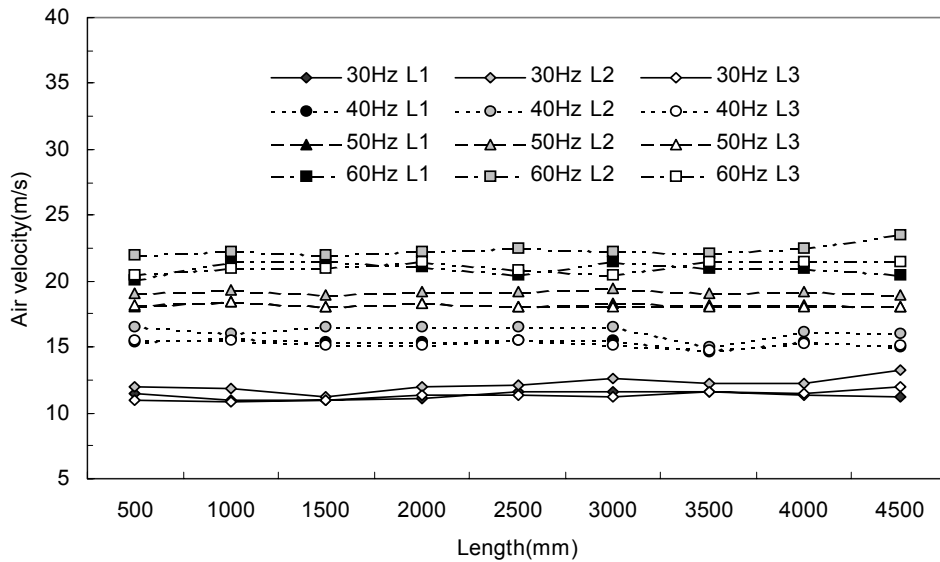


Fig. 27. Comparison of air velocity as affected by pipe length and frequency of inverter.

그림 27에서 알 수 있는 바와 같이 주파수가 높을수록 풍속은 증가하는 것으로 나타났고, 송풍관 길이에 따라 풍속은 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나 송풍관 맨 끝단에서의 풍속이 다른 부분보다 약간 더 높은 경향을 보였다. 또한 L1과 L3 보다 송풍라인의 중앙에 위치한 L2의 풍속이 약간 더 높은 것으로 나타났다

송풍속도는 주파수가 30, 40, 50Hz에서 각각 11.0~12.6m/s, 15.0~16.5m/s, 18.0~19.5m/s로 나타났고, 60Hz에서는 21.0~22.5m/s로 나타났다.

이와 같이 약간의 풍속 편차는 송풍관 길이에 따라 나타나는 것이 아니고, 같은 길이 별 측정위치에서 나타나는 것이기 때문에 건조기 전체에서 균일한 송풍이 이루어질 것으로 사료된다.

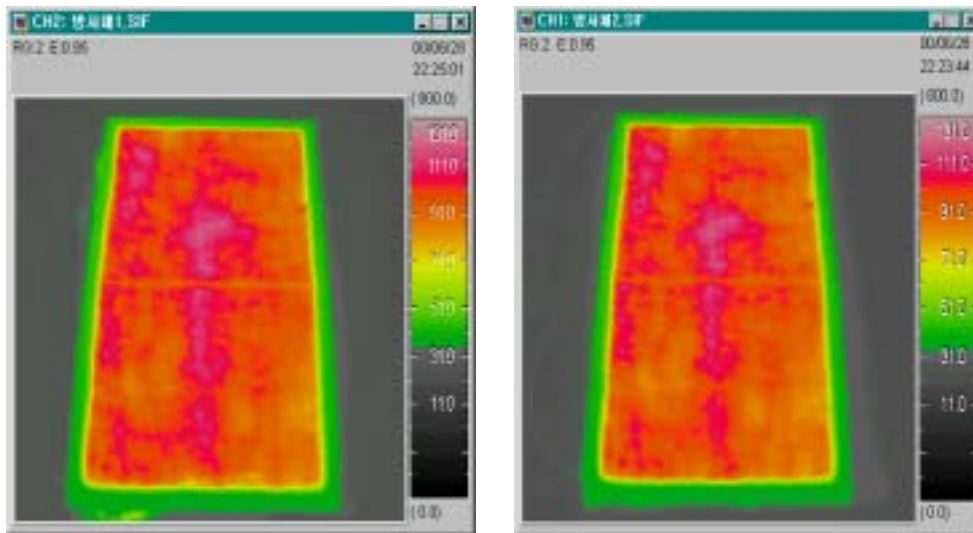


Photo. 60. Measurement of blast velocity of blast pipe by an anemometer.

나. 원적외선 방사판 표면온도 측정

사진 60은 원적외선 방사판 표면온도를 열화상 장치(TH3100MR, NEC San-ei, Japan)를 사용하여 측정한 것이다. 표면온도 측정 조건은 방사판의 한 쪽 면에 절연체로 절연하지 않은 상태인 양면 방사의 경우와 절연체로 절연한 한 면 방사의 경우로 나누어 측정하였다.

사진 60에서 알 수 있듯이 한면 단일 원적외선 방사판의 표면온도 분포 범위가 $10^{\circ}\text{C} \sim 115^{\circ}\text{C}$ 인 것으로 나타났다. 따라서 한면 단일 원적외선 방사판의 온도편차가 작아 건조에 적합한 것으로 판단된다.



(a) Emission of one face

(a) Emission of two faces

Photo. 61. Temperature distribution of far infrared heater.

3. 하향송풍방식 원적외선 건조기를 이용한 건조실험

가. 공시재료

표고버섯 건조실험에 사용된 공시재료는 2002년 12월 충청북도 청원군에서 구입한 일본 모리산업 종균 290호를 접종하여 재배한 버섯이다. 시료 버섯의 초기 함수율은 약 75%(72.75~76.00%)w.b.(이하 %로 표시)로, 1개의 평균 중량이 25~30g, 갓의 장경이 6~7cm, 단경이 5~6cm인 것을 사용하였다. 그리고 저장 중 품질변화를 최소화하기 위해 저온창고(0~5℃)에 보관하였고, 실험 시작 24시간 전에 시료를 꺼내어 상온으로 조제한 후 실험에 사용하였다.

고추 건조실험에 사용된 공시재료는 2002년 10월 충청북도 청주시 농수산물시장에서 구입한 홍고추를 사용하였다. 홍고추의 초기 함수율은 약 79.91~81.36%w.b.(이하 %로 표시)로, 1개의 평균 중량이 15.95g, 길이가 9~13cm인 것을 사용하였다. 그리고 저장 중 품질변화를 최소화하기 위해 저온창고(0~5℃)에 보관하였고, 실험 시작 24시간 전에 시료를 꺼내어 상온으로 조제한 후 실험에 사용하였다.

나. 실험방법 및 측정항목

1) 실험 방법

표고버섯 건조실험에 사용된 1회 시료량은 4kg으로 하였다. 예비 실험조건은 원적외선 방사체의 온도 2수준(90℃, 100℃)과 건조실 내부 풍속도 2수준(0.3m/s, 0.6m/s)으로 하였다.

대조구는 열풍건조기(BOPP-1.5, 신홍기업사, 한국)를 사용하였다. 열풍 건조에 사용된 1회 표고버섯 투입량은 32kg이고, 초기에 45℃에서 3시간, 이후 48℃에서 1시간 유지한 후 65℃에 도달하기까지 7시간 건조하여 함수율, 건조속도, 피건조물 내부온도, 건조실 내부온도, 에너지소비량, 수축율, 색도, 유리아미노산 성분을 비교 분석하였다.

홍고추 건조실험에 사용된 1회 시료량은 7kg으로 하였다. 실험조건은 원적외선 방사체 온도 2수준(90℃, 100℃)과 건조실 내부 풍속 2수준(0.3m/s, 0.6m/s)으로 건조하였고, 대조구는 열풍건조(BOPP-1.5, 신홍기업사, 한국)를 하였다. 열풍 건조에 사용된 1회 시료량은 80kg이고, 초기에 70℃에서 6시간 동안 찌고, 이후 건구온도 55℃, 습구온도 30℃상태에서 1시간 배습한 후 건조실 건구온도를 55℃, 습구온도를 35℃로 13시간 건조하여 함수율, 건조속도, 에너지소비량을 비교 분석하였다.

2) 측정항목

가) 함수율

건조 전·후 시료의 함수율은 시료 20개를 무작위로 채취하여 세절한 후 전자저울(HF-200GD, AND, 일본)로 $10 \pm 0.5g$ 칭량하고, 실험용 건조기(WFD600ND, EYELA, 일본)에서 $105^\circ C$ 로 24시간 건조한 후, 중량비로 계산하여 습량기준 함수율로 나타내었다(최 등 1999).

나) 건조속도

건조속도는 표고버섯 1kg 당 1시간 건조시 수분증발량으로 나타내었다. 또한 건조 과정 중 1시간 간격으로 샘플을 채취하여, 시료의 중량변화를 전자저울(HF-200GD, AND, 일본)로 측정하고, 초기함수율을 기준으로 건조 시간별 함수율 변화를 구하여 나타내었다.

다) 에너지소비량

컨베이어 원적외선 건조기의 소비 전력량은 적산전력계(Energy Monitor 2720, SOAR, 이탈리아)를 이용하여 측정하였고, 수분 1g을 건조시키는데 필요한 에너지소비량으로 환산하여 나타내었다.

라) 수축율

수축율은 건조 전·후 갖의 장경과 단경을 측정하고, 식(1)을 이용하여 장경과 단경의 수축율을 각각 구하여 평균값으로 나타내었다.

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

여기서, ΔS : 수축율(%)

S_1 : 건조 전의 갖의 장경과 단경(cm)

S_2 : 건조 후의 갖의 장경과 단경(cm)

마) 색도

색도는 건조 전·후 시료의 품위변화를 알아보기 위하여 색도색차계(JX-777, C.T.S.,

일본)를 이용하였고, 건조 전·후 갖의 5부위(중앙, 사방)의 L(명도), a(적색도), b(황색도) 값을 측정하여 평균값으로 나타내었다. 색차를 나타내는 ΔE 값은 이 값들을 이용하여 식(2)로 구하여 비교하였다.

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

여기서, ΔE : 색차

ΔL : 건조 전·후 L값의 차

Δa : 건조 전·후 a값의 차

Δb : 건조 전·후 b값의 차

바) 유리아미노산 성분분석

유리아미노산 성분분석은 건조 전·후 10개의 샘플을 채취하여 파우더로 만든 후 9.0 mg을 취하여 PICO-tag 방법을 이용하여 PITC labeling하고, PITC labeling된 시료 400 μl 중에서 10 μl 를 취하여 HPLC에 loading하여 성분을 비교분석하였다.

다. 결과 및 고찰

1) 표고버섯의 건조특성

가) 건조속도

그림 28은 표고버섯에 대한 원적외선 건조와 열풍 건조의 건조속도를 나타낸 것이다.

그림 28에 나타난 바와 같이 원적외선 건조와 열풍 건조는 건조 초기에 높은 건감율을 나타내었으나, 원적외선 건조가 열풍건조보다는 높은 건감율을 나타내었다.

건조 시작 후 3시간 동안의 원적외선 건조의 평균 건감율은 100℃-0.3m/s 조건이 0.218%/min이었고, 100℃-0.6m/s에서는 0.213%/min, 90℃-0.3m/s일 때는 0.189%/min, 90℃-0.6m/s의 경우는 0.178%/min의 순으로 나타났고, 열풍건조의 건감율은 0.164%/min로 건감율이 가장 낮은 것으로 나타났다.

원적외선 건조는 방사체 온도가 높고, 풍속이 느린 조건이 건조속도가 빠른 것을 알 수 있다. 이와 같이 풍속이 느린 경우 건조속도가 빠른 이유는 피건조물에 필요한 잠열 및 현열로 사용되는 복사에너지 손실이 적기 때문이라 판단된다.

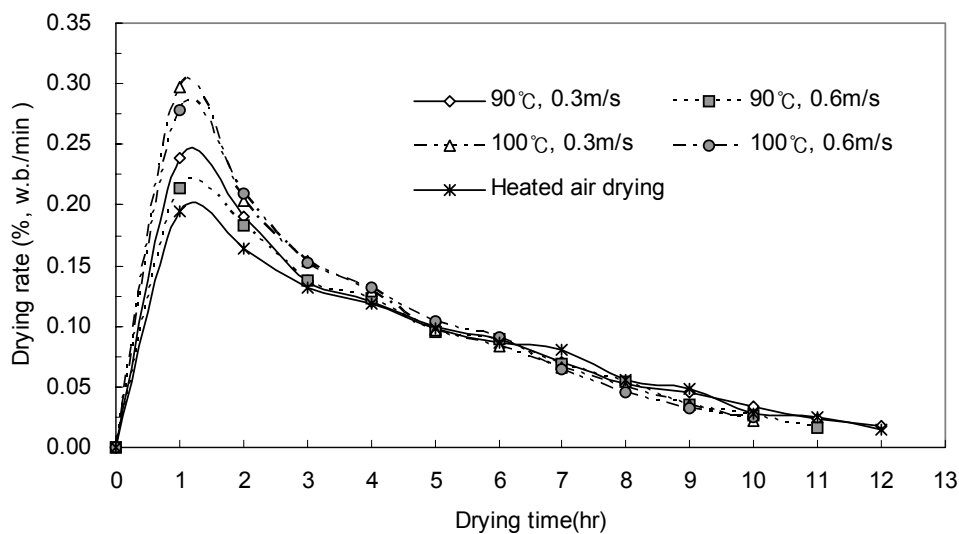


Fig. 28. Comparison of drying rate as affected by drying temperature and air velocity.

그림 29에 건조 시간에 대한 원적외선 건조와 열풍 건조의 표고버섯 건조특성곡선을 나타내었다.

그림 29에서 나타난 바와 같이 원적외선 건조는 피건조물을 습량기준 함수율 10%까지 건조하는데 90℃-0.3m/s(건조실 분위기 온도 : 55~62℃)와 90℃-0.6m/s(건조실 분위기 온도 : 50~56℃) 조건의 경우는 약 11시간, 100℃-0.3m/s(건조실 분위기 온도 : 59~67℃)와 100℃-0.6m/s(건조실 분위기 온도 : 54~60℃)의 경우는 약 8시간이 소요되었고, 방사체 온도 변화가 풍속 변화보다 건조 특성에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 원적외선 건조가 열풍 건조에 비해 건조 시간이 1~4시간 단축되는 것을 알 수 있다.

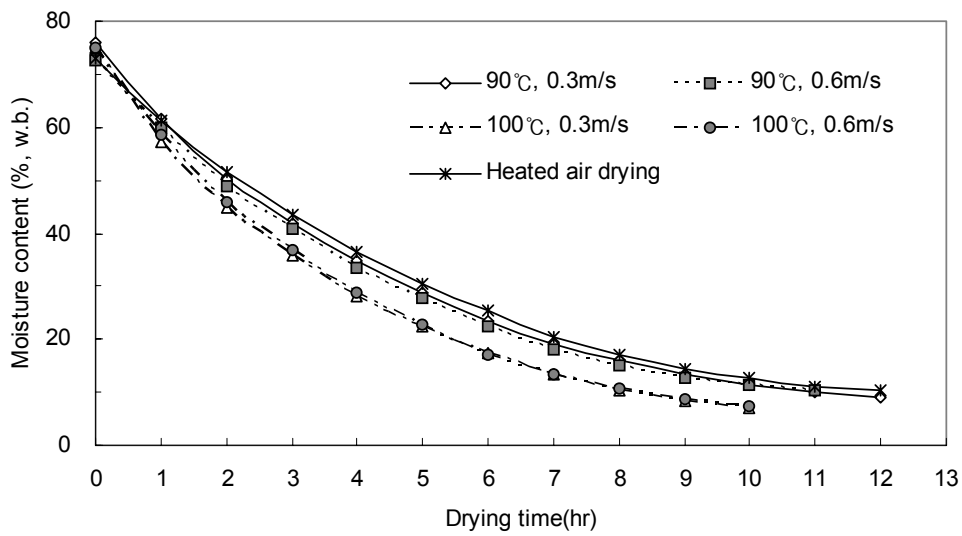


Fig. 29. Comparison of moisture content as affected by drying temperature and air velocity.

나) 에너지소비량

그림 30은 표고버섯에 대한 하향송풍방식 원적외선 건조의 에너지소비량을 나타낸 것이다.

그림 30에서와 같이 하향송풍방식 원적외선건조가 열풍건조 보다 대부분 에너지 소비량이 낮게 나타났다.

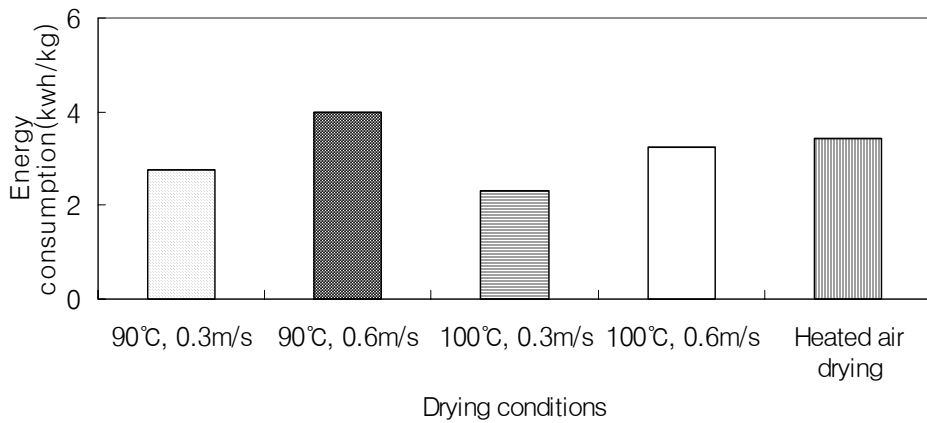


Fig. 30. Comparison of energy consumption by drying conditions

수분 1kg을 건조하는데 소요되는 에너지 소비량은 열풍건조가 3.43kWh/kg이었고, 원적외선건조 조건 90°C-0.6m/s는 3.98kWh/kg, 100°C-0.3m/s 조건의 경우는 2.32kWh/kg으로 나타났다. 원적외선건조의 에너지소비량은 조건90°C-0.6m/s를 제외하고 열풍건조에 비해서 0.19~1.11kWh/kg(수분) 정도가 감소되어, 5.54~32.36% 정도 절약되는 것으로 나타났다.

하향송풍방식 원적외선건조의 경우 에너지 소비량은 풍속이 빠른 조건이 높게 나타났고, 동일 풍속에서는 방사체 온도 90°C에 비해 100°C의 경우가 에너지 소비량이 낮은 것으로 나타났다. 이것은 90°C에 비해 100°C의 경우가 건조시간이 3시간 정도 단축되었기 때문이다.

다) 수축율

원적외선 건조와 열풍 건조의 건조 조건에 따른 수축율을 그림 31에 나타내었다.

그림 31에서 알 수 있듯이 표고버섯의 수축율은 열풍 건조가 원적외선 건조에 비해 약간 낮게 나타났으며, 원적외선 건조조건별로는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

열풍건조의 수축율은 17.3%로 나타났고, 하향송풍방식 원적외선 건조조건인 경우 18.2~19.8%를 나타냈지만, 건조조건에 따라 수축율은 큰 차이가 없어, 건조조건이 품질에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

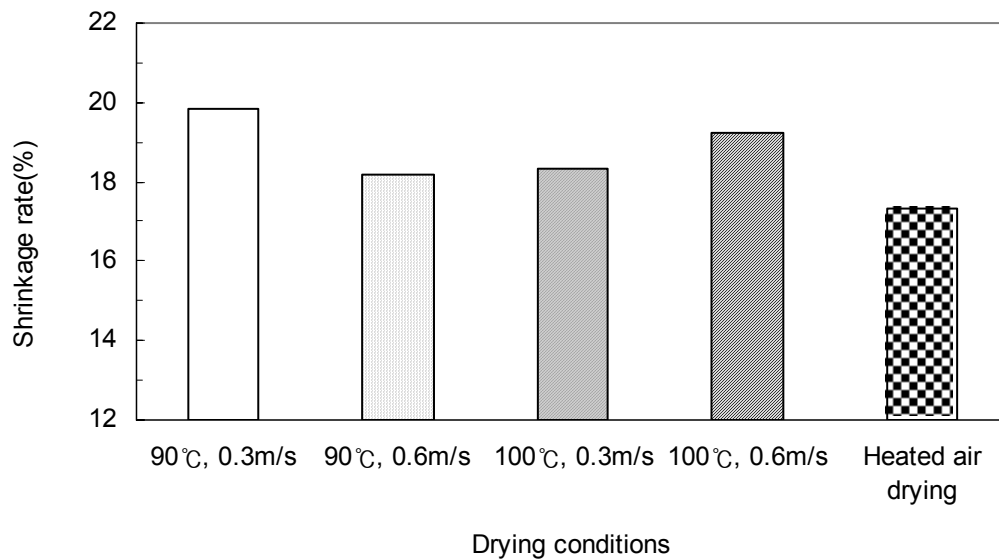


Fig. 31. Comparison of shrinkage rate as affected by drying conditions.

라) 색 도

그림 32와 33은 원적외선 건조와 열풍건조에 의한 건조 전·후의 L(명도), a(적색도) 값의 변화를 나타낸 것이다.

그림에서 보듯이 L(명도), a(적색도) 값의 변화는 건조 방법에 관계없이 감소하는 경향을 나타내고 있고, 원적외선 건조 후 L(명도) 값은 열풍건조보다 적게 감소하는 것으로 나타났지만, a(적색도) 값의 변화는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

원적외선 건조의 경우 건조 전 후 L(명도) 값은 원적외선 방사관 온도가 100℃, 0.3m/s의 건조 조건이 1.78로서 가장 적게 감소하였고, 건조조건 별로 평균 3.195 낮게 나타났다. 열풍 건조의 경우에는 L(명도) 감소 값은 6.14로서 원적외선 건조조건보다 약 2.30~4.36 정도 크게 감소하는 것으로 나타났다.

a값의 변화는 원적외선 건조가 초기값 보다 평균 0.928, 열풍건조가 0.930 감소되어 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

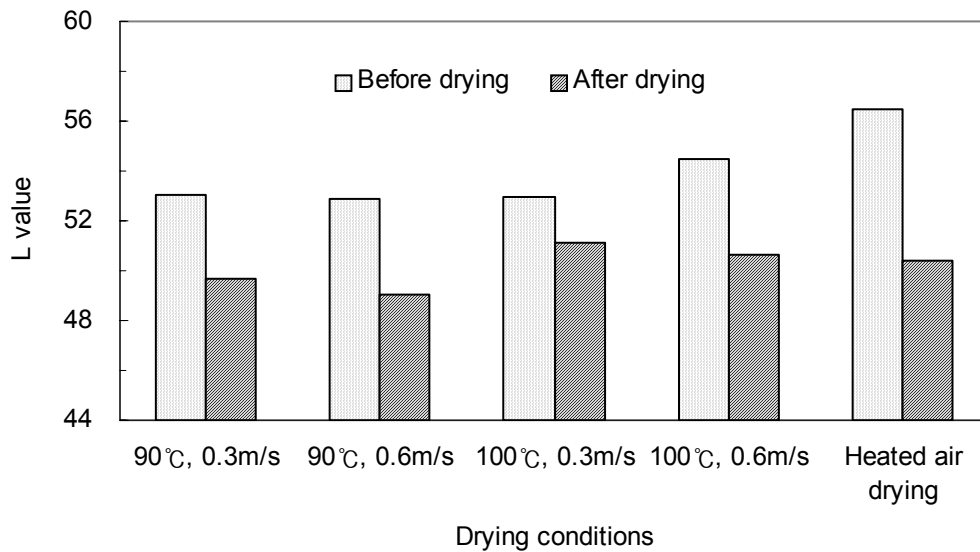


Fig. 32. Variation of 'L' value as affected by drying conditions.

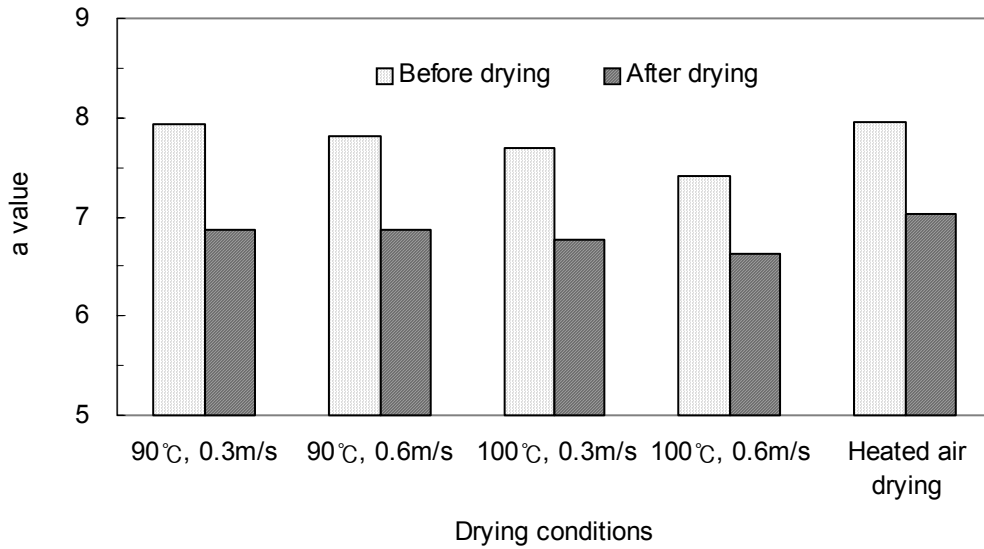


Fig. 33. Variation of 'a' value as affected by drying conditions.

원적외선 건조와 열풍건조에 의한 건조 전·후의 b(황색도), ΔE (적색도) 값의 변화를 그림 34, 35에 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 b(황색도)값과 ΔE (적색도)값은 원적외선 건조에 비해 열풍 건조의 감소 값이 큰 경향을 나타내었다.

b(황색도)값은 원적외선 건조조건인 경우 약 17.24~18.22 정도 감소하는 것으로 나타났고, 열풍건조의 경우 18.41 정도로서 원적외선 건조조건에 비해 0.2~ 1.27 감소되어 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

전체적인 색도 차이를 나타내는 ΔE 값은 원적외선 건조가 2.39~4.55 정도 감소하여 평균 3.803의 감소를 나타냈고, 열풍건조의 경우 감소 값은 6.774로서 원적외선 건조가 열풍건조에 비해 양호한 것으로 판단된다.

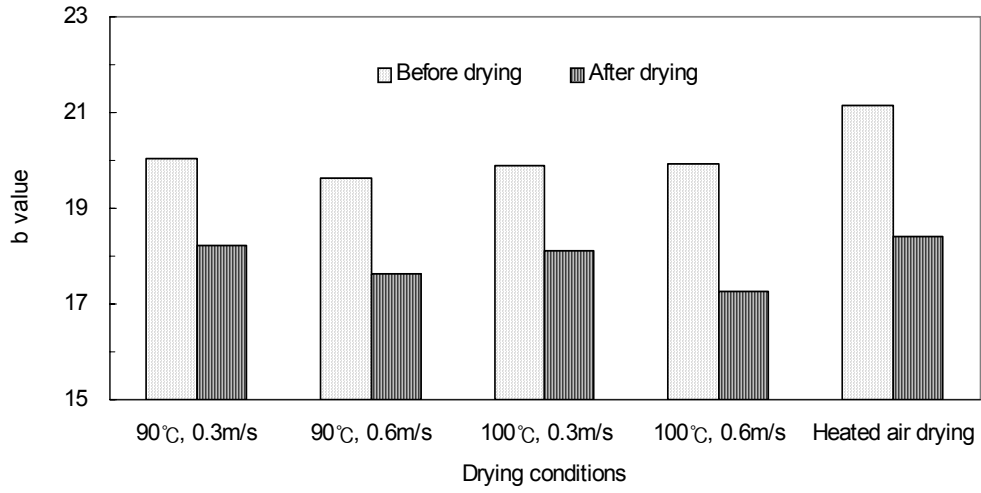


Fig. 34. Variation of 'b' value as affected by drying conditions.

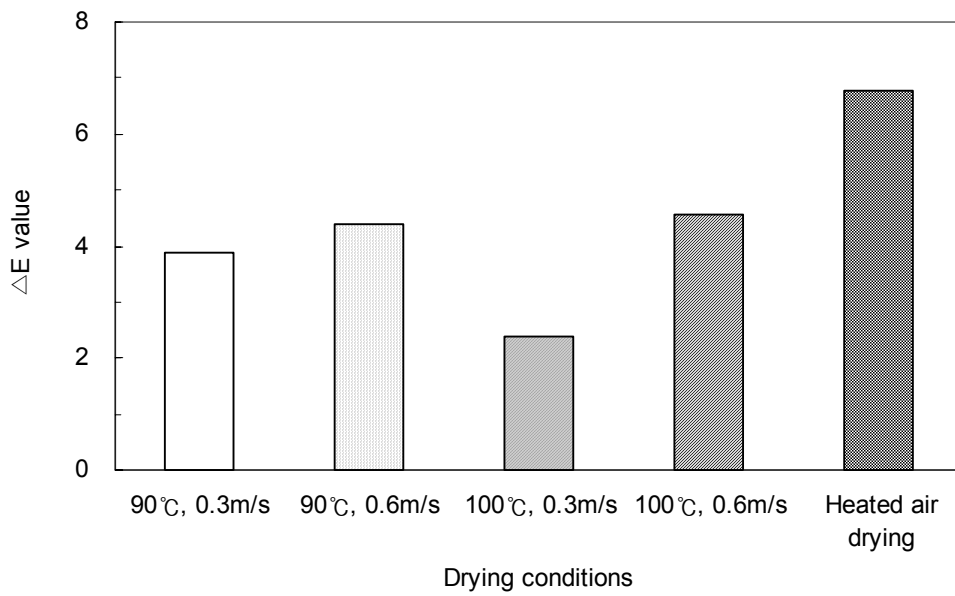


Fig. 35. Variation of 'ΔE' value as affected by drying conditions.

마) 건조 전후 외관변화

사진 61은 열풍건조 전후 표고버섯의 외관 변화를 나타낸 것이고, 원적외선 건조조건 별 건조 전후 외관변화는 사진 62~66에 나타내었다.



Before drying



After drying



Before drying



After drying

Photo. 62. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after drying using heated air drying.



Before drying



After drying



Before drying



After drying

Photo. 63. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after drying as affected by far infrared ray drying conditions 90°C, 0.3m/s.



Before drying



After drying



Before drying



After drying

Photo. 64. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after drying as affected by far infrared ray drying conditions 90°C, 0.6m/s.



Before drying



After drying



Before drying



After drying

Photo. 65. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after drying as affected by far infrared ray drying condition 100°C, 0.3^ms.



Before drying



After drying



Before drying



After drying

Photo. 66. Comparison of the external appearance of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after drying as affected by far infrared ray drying condition 100°C, 0.6m/s.

바) 유리아미노산 성분분석

그림 36은 초기 원료의 유리아미노산 함량을 기준으로, 열풍건조와 원적외선건조의 유리아미노산 함량을 상대값으로 나타낸 것이다.

그림 36에서 보듯이, 건조 후 유리아미노산 함량은 Glu, Gln만이 조건에 따라 증가하고, 나머지 아미노산 함량은 초기 시료에 비해 대부분 감소하는 것으로 나타났다. 건조 후 유리아미노산 함량이 가장 크게 감소한 성분은 Ala이었고, 다음이 Leu, Val 순이었다.

원적외선건조 조건 중 건조시간이 짧은 것이 열풍건조보다 건조 후 유리아미노산 잔류량이 많은 것으로 나타났다.

이와 같이 원적외선건조가 열풍건조보다 건조 후 시료의 유리아미노산 잔류량이 많은 것은 원적외선건조가 공기를 열매체로 사용하는 열풍건조와는 달리 원적외선복사 에너지를 이용하기 때문에 건조 시간 단축으로 인해 열에 노출시간이 짧아 유리아미노산 손상이 적었기 때문이란 판단된다.

표 7은 초기원료의 유리아미노산 함량과 열풍·원적외선 건조 한 시료의 유리아미노산 종류와 함량을 나타내었다.

표 7에서 나타난 바와 같이 표고버섯에서 21종의 유리아미노산이 정량되었으며, 그 중 인간이 필수 섭취해야만 하는 필수 아미노산인 Leucine, Lysine, Threonine, Valine, Phenlalanine, Isoleucine, Tyrosine, Methionine 등이 함유되어 있는 것으로 나타났다.

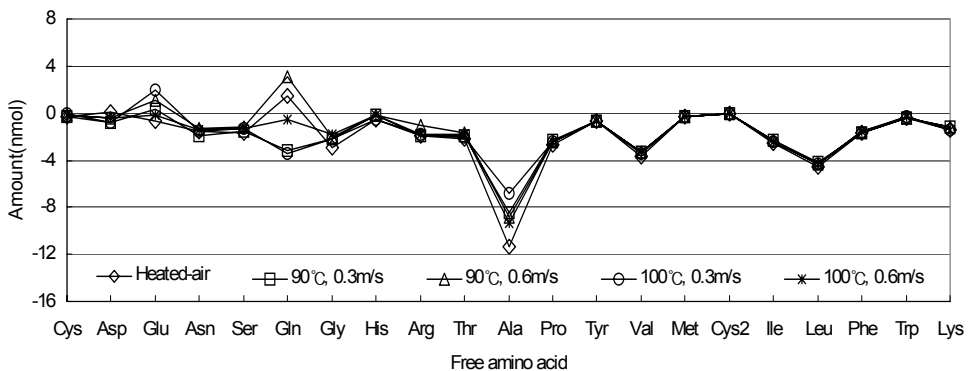


Fig. 36. Comparison of free amino acid variation oak mushroom before and after drying.

Table 7. Amount of free amino acid contents as affected
by drying conditions.

(unit : μmol)

Amino acid	Raw	Heated-air drying	Far-infrared ray drying			
			90°C, 0.3m/s	90°C, 0.6m/s	100°C, 0.3m/s	100°C, 0.6m/s
Cys	299.268	66.448	32.221	165.267	275.438	118.182
Asp	1226.353	1370.196	390.314	756.839	406.656	772.655
Glu	4130.105	3493.963	4511.400	5205.761	6058.202	3920.807
Asn	2691.499	1172.948	813.660	1397.970	1196.138	1252.299
Ser	2223.205	575.026	710.900	995.950	895.432	942.463
Gln	11568.79	12979.662	8366.491	14622.539	8152.365	11086.30
Gly	4076.899	1127.956	1953.263	2031.280	1947.900	2300.916
His	1121.797	538.754	954.636	943.369	614.210	943.462
Arg	2489.036	597.712	552.025	1424.297	700.943	728.827
Thr	2857.978	700.100	903.726	1140.954	783.466	1070.554
Ala	13338.82 7	1970.298	4869.435	4544.594	6528.515	3995.384
Pro	3004.104	310.527	649.346	602.779	621.469	584.067
Tyr	920.924	190.943	256.537	251.930	261.750	209.736
Val	4306.075	629.404	1019.406	982.117	850.409	989.942
Met	457.163	164.724	139.798	174.152	129.118	156.532
Cys2	46.434	0.152	0.036	0.033	0.141	0.168
Ile	2776.497	214.755	494.195	416.221	405.605	400.845
Leu	4894.875	327.143	716.118	592.148	637.925	607.257
Phe	2198.192	463.637	576.606	607.767	504.841	591.018
Trp	456.573	81.602	86.164	94.151	114.356	134.083
Lys	1984.513	561.083	771.812	868.820	537.592	548.127

사) 건조실 및 표고버섯의 내부온도 변화

그림 37은 원적외선 건조조건에 따른 건조실 내부온도를 나타낸 것이다.

그림 37에서 알 수 있는 바와 같이 건조실 내부온도는 동일한 방사관 온도에서 송풍 속도가 빠른 것보다 느린 것이 높은 것으로 나타났다.

건조실 내부온도는 원적외선 방사관 온도 90℃에서 송풍속도가 0.3, 0.6m/s인 경우 각각 55~62℃, 50~60℃로서 송풍속도 0.6m/s보다 0.3m/s에서의 내부온도가 약 3.5℃ 정도 높은 것으로 나타났다. 원적외선 방사관 온도가 100℃, 송풍속도 0.3, 0.6m/s에서는 각각 59~67℃, 54~60℃로 송풍속도가 느린 0.3m/s가 평균 6.0℃ 높은 것으로 나타났다.

이것은 내부 송풍속도가 빠를수록 원적외선 방사관에서 방출되는 열에너지가 빠른 공기유동에 의해 건조기 외부로 배출되었기 때문으로 판단된다.

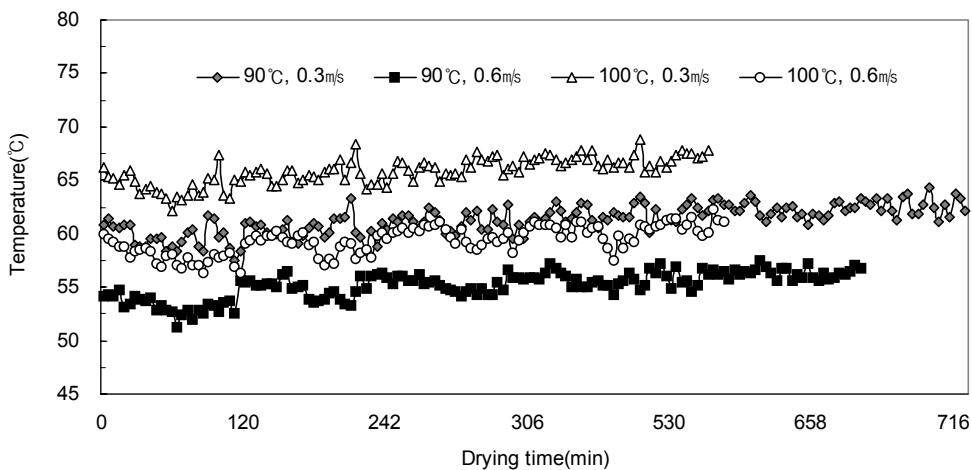


Fig. 37. Comparison of inside temperature of drying chamber as affected by drying conditions.

그림 38은 원적외선 건조조건에 따른 표고버섯의 내부온도 변화를 나타낸 것이다.

그림에 나타낸 바와 같이 표고버섯의 내부온도는 초기 40분 전후에서 빠르게 온도가 상승하는 것으로 나타났고, 건조시간이 경과함에 따라 내부온도와 거의 동일한 온도로 상승하였다. 한편, 그림에서 보듯이 각각의 시간대 별로 급격한 온도 하강이 발생하는 것은 표고버섯이 각각의 단에서 단으로 이동되는 시기로서 약 10℃ 정도의 온도편차가 나타났기 때문이다. 이와 같이 각 단의 이동시의 온도 편차는 차후 보완해야 할 과제로 판단된다.

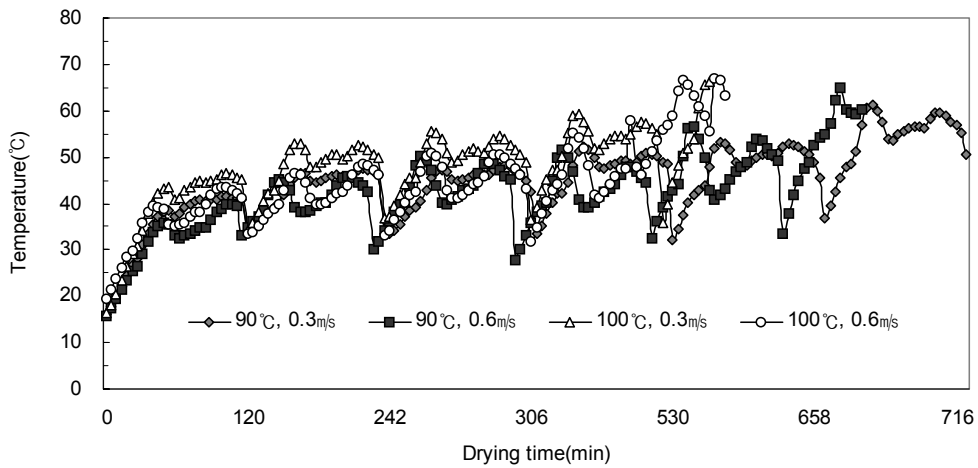


Fig. 38. Comparison of inside temperature of oak mushroom (*Lentinus edodes*) as affected by drying conditions.

아) 요약 및 결론

하향송풍방식 원적외선 건조기를 3단으로 설계·제작하여 표고버섯의 최적 건조조건, 송풍속도, 건조 온도와 피건조물의 품온관계, 피건조물에 대한 가열특성 및 품질을 분석평가하고, 이 자료를 기초로 고효율 켄베이어식 원적외선 건조기 개발에 필요한 설계자료를 제시하는 데 그 목적이 있다.

연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 건조속도는 원적외선건조가 열풍건조보다 빠른 것으로 나타났다. 원적외선건조의 겨우 건감율은 방사체 온도가 높고 풍속이 느린 조건이 빠르게 나타났다.

(2) 에너지소비량은 원적외선건조 조건이 열풍건조 보다 낮게 나타났다.

수분 1kg을 건조하는데 소요되는 에너지 소비량은 열풍건조가 3.43kwh/kg(수분)이었고, 원적외선건조 조건90℃-0.6m/s는 3.98kwh/kg(수분), 100℃-0.3m/s조건의 경우는2.32kwh/kg(수분)으로 나타났다. 원적외선건조의 에너지소비량은 조건90℃-0.6m/s를 제외하고 열풍건조에 비해서 0.19~1.11kWh/kg(수분) 정도가 감소되어, 5.54~32.36% 정도 절약되는 것으로 나타났다.

(3) 수축율은 열풍건조가 17.3%, 원적외선 건조가 18.2~19.8%로 열풍건조가 약간 작은 것으로 나타났다.

(4) L, a, b 값은 건조 후 모든 조건이 감소하는 것으로 나타났고, 원적외선 건조가 열풍건조 보다는 색도 변화가 작은 것으로 나타났다. 특히 원적외선 건조 100℃-0.3m/s 조건은 ΔE 값이 2.39로 가장 낮아 양호한 조건으로 나타났다.

(5) 유리아미노산 함량은 초기 시료에 비해 대부분 감소하였고, 원적외선 건조가 열풍 건조보다는 대체적으로 잔류량이 높은 것으로 나타났다. Gln, Glu은 조건에 따라 증가하는 경향을 나타내었고, 가장 크게 감소한 성분은 Ala, Leu, Val 순이었다.

2) 고추의 건조특성

가) 건조속도

그림 39는 홍고추에 대한 하향송풍방식 원적외선 건조와 열풍 건조의 건조속도를 나타낸 것이다.

그림 39에 나타난 바와 같이 원적외선 건조와 열풍 건조는 건조 초기에 높은 건감율을 나타내었고, 원적외선 건조가 열풍건조보다는 건감율이 더 높은 경향을 보였다.

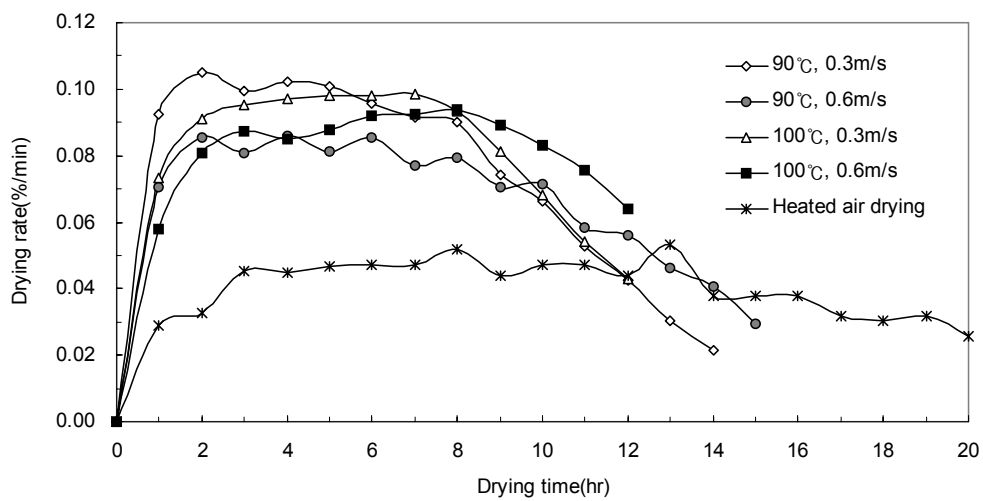


Fig. 39. Comparison of drying rate as affected by drying temperature and blast velocity.

건조 과정 중 하향송풍방식 원적외선 건조의 평균 건감율은 100°C-0.3m/s 조건이 0.076%/min이었고, 100°C-0.6m/s에서는 0.066%/min, 90°C-0.3m/s에서는 0.064%/min, 90°C-0.6m/s의 경우는 0.054%/min의 순으로 나타났고, 열풍 건조의 평균 건감율은 0.051%/min로 건감율이 가장 낮은 것으로 나타났다.

그림 40에 건조 시간에 따른 홍고추의 원적외선 건조와 열풍 건조의 건조특성곡선을 나타내었다.

그림 40에서 보는 바와 같이 원적외선 건조는 피건조물을 습량기준 함수율 20%까지 건조하는데 90°C-0.3m/s(건조실 분위기 온도 : 58.4~64.0°C)와 90°C-0.6m/s(건조실 분위기 온도 : 56.7~60.5°C) 조건의 경우는 각각 14시간, 15시간이 소요되었고, 100°C

-0.3m/s(건조실 분위기 온도 : 59.5~66.7℃)와 100℃-0.6m/s(건조실 분위기 온도 : 58.5~63.4℃)의 경우는 약 12시간이 소요되어, 방사체 온도 변화가 풍속 변화보다 건조 특성에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 원적외선 건조가 열풍 건조에 비해 건조 시간이 5~8시간 단축되는 것을 알 수 있다.

이와 같이 하향송풍방식 원적외선 건조가 열풍 건조에 비해 건조 시간이 단축된 것은 열풍의 경우 공기 대류에 의해 홍추에 열을 전도하고, 원적외선의 경우 복사에너지이므로 온도에 비례하여 큰 에너지가 직접 홍고추 전달되므로 수분확산을 빠르게 하여 건조 속도가 빨라졌기 때문이다.

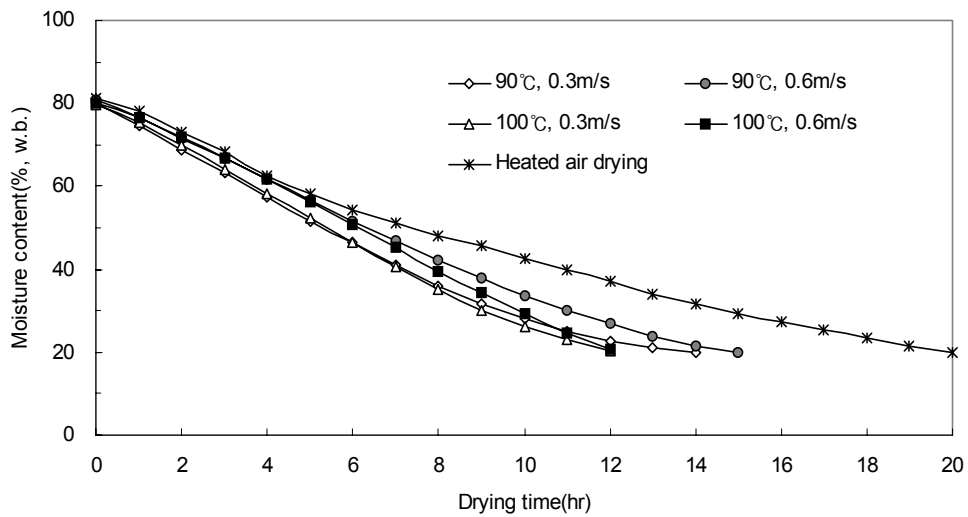


Fig. 40. Comparison of moisture content as affected by drying temperature and blast velocity.

나) 에너지소비량

그림 41은 홍고추에 대한 원적외선 건조의 에너지소비량을 나타낸 것이다.

그림 41에서 보는 바와 같이 원적외선 건조의 에너지소비량은 풍속이 빠른 조건이 높게 나타났다.

에너지소비량은 원적외선 방사체 온도가 90℃인 경우 송풍속도 0.3, 0.6m/s에서 각각 4.32~7.13kWh/kg 이었고, 방사체 온도가 100℃, 송풍속도 0.3, 0.6m/s인 경우에는 각각 4.81~6.68kWh/kg인 것으로 나타났다.

이와 같이 송풍속도가 빠른 건조조건이 에너지소비량이 높은 이유는 전술한 바와 같이 0.3m/s에 비해 0.6m/s의 경우가 건조실 내부 열손실이 크기 때문이라 판단된다.

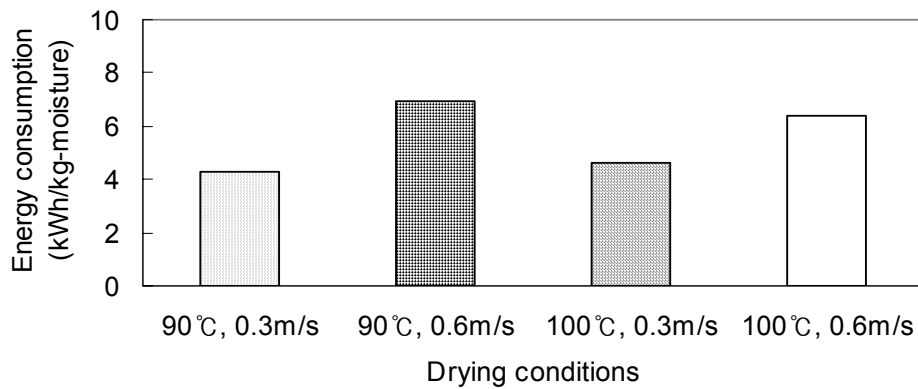


Fig. 41. Comparison of energy consumption as affected by drying conditions.

다) 홍고추의 외관변화

사진 66과 67은 홍고추의 원적외선 건조조건 90℃, 0.3m/s에서 건조시간에 따른 외관변화를 나타낸 것이다.

사진 66과 67에서 알 수 있듯이 색도가 급격히 변화하는 시간은 건조 후 10전후부터인 것으로 나타났다.



Drying time 1 hour



Drying time 2 hours



Drying time 3 hours



Drying time 4 hours



Drying time 5 hours



Drying time 6 hours

Photo. 67. Comparison of the external appearance after drying as affected by drying condition-90℃, air velocity 0.3m/s and drying time 1~6 hour.



Drying time 7 hours



Drying time 8 hours



Drying time 9 hours



Drying time 10 hours



Drying time 11 hours



Drying time 12 hours



Drying time 13 hours



Drying time 14 hours



Drying time 15 hours

Photo. 68. Comparison of the external appearance after drying as affected by dryin condition-90°C, air velocity 0.3m/s and drying time 7~15 hours

라) 요약 및 결론

하향송풍방식 원적외선 건조기를 3단으로 설계·제작하여 홍고추의 최적 건조조건, 송풍속도, 건조 온도와 피건조물에 대한 가열특성을 분석평가하고, 이 자료를 기초로 고효율 켄베이어식 원적외선 건조기 개발에 필요한 설계자료를 제시하고자 하였다.

연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 건조 과정 중 원적외선건조의 평균 건감율은 건조온도100℃,90℃에 따라 송풍속도 0.3, 0.6m/s에서 각각 0.076, 0.066, 0.064, 0.054%/min 이었으며, 방사체 온도 변화가 풍속 변화보다 건조 특성에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있고. 열풍 건조의 평균 건감율은 0.051%/min로 건감율이 가장 낮은 것으로 나타났다.

(2)원적외선 건조는 홍고추를 습량기준 함수율 20%까지 건조하는데 90℃-0.3m/s(건조실 분위기 온도 : 58.4~64.0℃)와 90℃-0.6m/s(건조실 분위기 온도 : 56.7~60.5℃) 조건의 경우는 각각 14시간, 15시간이 소요되었고, 100℃-0.3m/s(건조실 분위기 온도 : 59.5~66.7℃)와 100℃-0.6m/s(건조실 분위기 온도 : 58.5~63.4℃)의 경우는 약 12시간이 소요되어, 원적외선 건조가 열풍 건조에 비해 건조 시간이 5~8시간 단축되는 것으로 나타났다.

(3) 원적외선 건조의 에너지소비량은 풍속이 빠른 조건이 높게 나타났다. 방사체 온도가 90℃인 경우 송풍속도 0.3, 0.6m/s에서 각각 4.32~7.13Wh/g 이었고, 방사체 온도가 100℃, 송풍속도 0.3, 0.6m/s인 경우에는 각각 4.81~6.68Wh/g인 것으로 나타났다.

3 절. 개발된 상향송풍방식 원적외선 건조기를 이용한 홍고추 · 표고버섯의 건조특성

본 절에서는 기존의 하향송풍방식 원적외선 건조방식을 상향송풍방식으로 설계 · 제작하고 홍고추, 표고버섯의 최적 건조조건, 송풍속도, 건조 온도와 피건조물의 품온관계, 피건조물에 대한 가열특성 및 품질 평가를 위해 함수율 변화, 건조속도, 피건조물 온도, 외관 및 색도 변화, 에너지소비량, 성분 등의 변화를 비교하여 분석하는 것이다. 한편, 2 절에서 서술한 바와 같이 프로그램화된 상용 열풍건조기 및 하향송풍방식 원적외선 건조기의 건조특성 및 품질변화 와 상향송풍방식 원적외선 건조기를 비교분석하여 성능을 평가하는데 그 목적이 있다.

1. 상향송풍방식 원적외선 건조기 PILOT PLANT

설계 제작

가. 원적외선 건조기 제작

그림 42와 표 8에 상향송풍방식 원적외선 건조기(L5500×H1800×W1350mm)의 개략도와 주요부품의 제원을 나타내었다.

그림 42와 표 8에 나타난 바와 같이 상향송풍방식 원적외선 건조기 PILOT PLANT는 면상 원적외선 방사체, 건조실, 벨트 컨베이어, 상향송풍방식의 송풍시스템, 공기에열 장치 및 제어반으로 구성되어 있는 5단 컨베이어식으로 설계 제작하였다.

면상 원적외선 방사체(MEP-550, MAGICYURA, Korea)는 탄소발열체를 에폭시 수지로 코팅한 면상 원적외선 방사관을 사용하였고, 이것은 열손실과 전기에너지 절약을 위해 방사관의 상부와 하부로부터 원적외선이 방사되는 양면 방사방식으로 되어있다.

건조부의 양측면은 열손실을 줄이기 위하여 MDF 합판으로 단열 처리를 하였다.

송풍기(DTB-402, Dong-Gun, Korea)는 각 단에 각각 1대씩 5대를 설치하였다. 송풍공기는 건조기 1단 상부와 5단 하부의 예열 닥트를 통해 예열되고, 송풍관을 통해 건조실 내부로 유입되면 피건조물 하부에서 상부로 송풍되는 방식이다.

제어반은 온도조절기(B4RK4C, AUTONICS, 한국), 인버터(FR-E520-3.7KW, MITSUBISHI, Japan)를 사용하여 건조실 내부 온도, 송풍량 조절, 벨트컨베이어 속도조절이 가능하도록 하였다.

건조는 표고버섯이 벨트컨베이어에 의해 각각 5단의 건조실을 연속적으로 통과하면서 건조실 내부의 상·하층에 설치된 원적외선 방사관으로부터 원적외선이 조사되고, 표고버섯 이송방향에 대해서 수직 상향으로 송풍이 이루어지면서 건조된다.

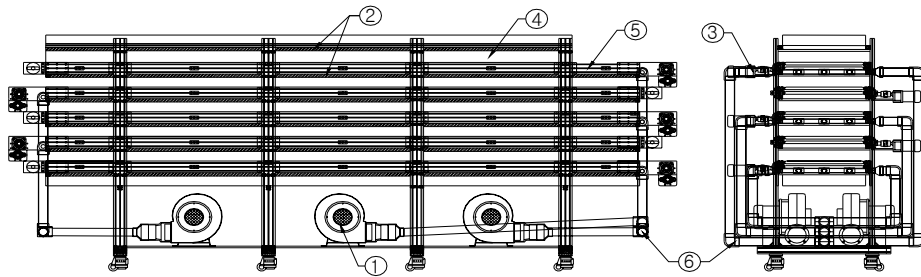


Fig. 42. Schematic diagram of five stage-far infrared dryer of up draft airflow type.

Table 8 Specification of the experimental apparatus

Description	Specification	Description	Specification
① Blast fan	1.0kW, 10.5m ³ /min×5	④ Drying chamber	W560×L4700×H90mm
② Far infrared heater	MEP-550, 750W	⑤ Belt conveyer	W620×L11000mm
③ Motor	9SDG2-120F2G, 120W, 90/1700rpm×5	⑥ Blast pipe	φ64mm PPC pipe



Photo. 69. Five stage-far infrared dryer of up draft airflow type.

2. 상향송풍방식 원적외선 건조기를 이용한

표고버섯·홍고추의 건조특성

가. 표고버섯의 건조특성

1) 공시재료

공시재료는 2004년 2월 충청북도 청원군에서 구입한 일본 모리산업 종균 290호를 접종하여 재배한 표고버섯을 사용하였다. 표고버섯의 초기 함수율은 약 76.83~82.25%,w.b.(이하 %로 표시)로서 저장 중 품질변화를 최소화하기 위해 저온창고(0~5℃)에 보관하였고, 실험 시작 24시간 전에 시료를 꺼내어 상온으로 조제한 후 실험에 사용하였다.

2) 실험방법 및 측정항목

가) 실험방법

상향송풍방식 컨베이어 원적외선 건조에 사용된 1회 표고버섯 시료량은 17kg으로 건조 후 최종함수율이 13±0.5%가 되도록 3회 반복 실험하였다. 예비실험 결과, 실험조건은 건조실 내부온도와 풍속을 각각 60, 70, 80℃와 0.6, 0.8m/s로 실험하였다. 대조구로는 상용화된 열풍건조기(BOPP-1.5, 신홍, 한국)를 이용하여 건조하였다. 열풍건조에 사용된 1회 시료량은 56kg으로 건조 후 최종 함수율이 13±0.5%가 되도록 3회 반복 실험하였다. 열풍건조는 상용 프로그램화된 표고버섯 건조방법에 따라 초기에는 45℃로 3시간에 이어 48℃로 1시간을 유지하고 이후 65℃에 도달하기까지 7시간을 건조하였다. 건조된 시료는 함수율, 건조속도, 색도, 수축율, 에너지소비량, 유리아미노산 함량을 측정하여 비교 분석하였다.

나) 측정항목

(1) 함수율

함수율은 시료 20개를 무작위로 선정하여 세절하고, 20±0.5g의 시료를 균일하게 채취하여 실험용 건조기(WFD600ND, EYELA, 일본)에서 105℃로 24시간 건조한 후 중량비로 계산하여 습량기준 함수율로 나타내었다.

(2) 건조속도

건조속도는 건조과정 중, 10개의 동일 시료를 1시간 간격으로 채취하여 중량변화를 측정하였고, 시간당 중량감소율로 환산하여 함수율비로 나타내었다. 또한 표고버섯 1kg 당 1시간 건조시 수분증발량으로도 나타내었다.

(3) 색 도

색도는 색도색차계(JX-777, C.T.S., 일본)를 사용하였고, 표고버섯을 6부위로 나누어 건조 전·후 L(명도), a(적색도), 값을 측정하여 평균값으로 나타내었다.

(4) 수축율

수축율은 건조 전·후 갖의 장경과 단경을 측정하고 각각 변화율로 환산하여 평균값으로 나타내었다.

(5) 에너지소비량

원적외선 건조의 에너지소비량은 적산전력계(Energy Monitor 2720, SOAR, 이탈리아)를 이용하여 측정하였고, 수분 1kg를 건조시키는데 필요한 에너지소비량으로 환산하여 나타내었다.

열풍건조의 에너지소비량은 건조기간 중 사용된 등유의 무게를 측정하였고, 등유 발열량을 42.8MJ/kg로 하여 수분 1kg를 건조시키는데 필요한 에너지소비량으로 환산하여 나타내었다.

(6) Free amino산 함량분석

유리아미노산 분석은 건조 전·후에 각 조건별로 시료 10개를 채취하여 분쇄기로 분쇄한 후 9.0mg을 취하고, PICO-tag 방법으로 PITC 분류한 시료 400 μ l중에서 10 μ l를 취하여 HPLC(Allience, Waters, 미국)에 투입하여 건조 전·후의 유리아미노산 함량을 비교 분석하였다.

3) 결과 및 고찰

가) 건조속도

그림 43과 44는 상향송풍방식 원적외선 건조와 열풍건조에 의한 표고버섯의 함수율 및 함수율비 변화를 나타낸 것이고, 그림 45는 건조속도를 시간당 건감율로 나타낸 것이다.

그림에 나타낸 바와 같이 상향송풍방식 원적외선 건조는 건조실 내부온도가 높고 풍속이 빠를수록 건조속도가 빠른 경향을 나타내었고, 열풍건조보다 건조속도가 빠른 것으로 나타났다.

원적외선 건조의 경우 건조시간은 건조실 내부온도가 각각 60, 70, 80℃인 경우 송풍속도 0.6, 0.8m/s에 따라 5.5~9시간 정도로 나타났고, 열풍건조의 경우 11시간 정도가 경과한 것으로 나타나, 원적외선 건조가 열풍건조에 비해 2~5.5시간정도 빠른 것으로 나타났다. 이것은 2절에서 전술한 원적외선 방사판 온도 100℃(건조실 온도 59~67℃), 송풍속도 0.3, 0.6m/s의 하향송풍방식 원적외선 건조조건보다 1시간 정도 빠른 것으로 나타나 하향송풍방식보다 상향송풍방식이 피건조물 건조에 효과가 있는 것으로 판단된다.

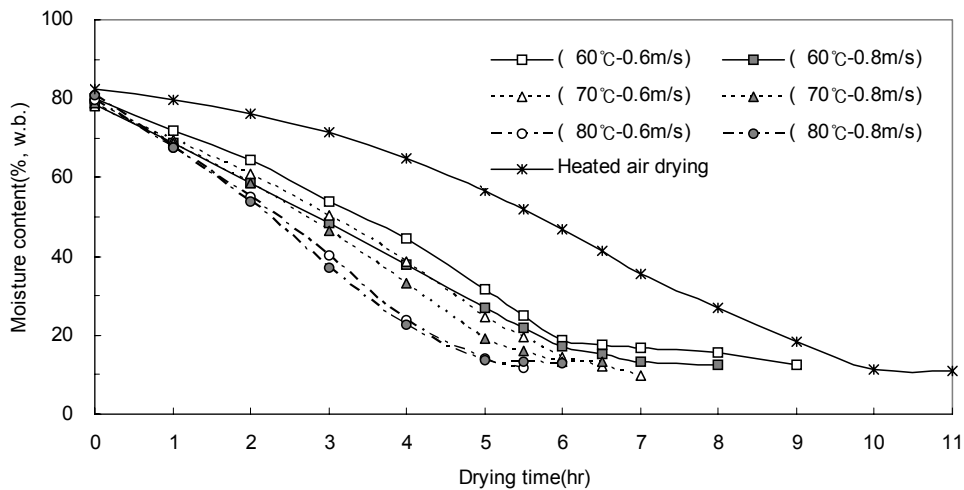


Fig. 43. Comparison of moisture content of oak mushroom(*Lentinus edodes*) during drying.

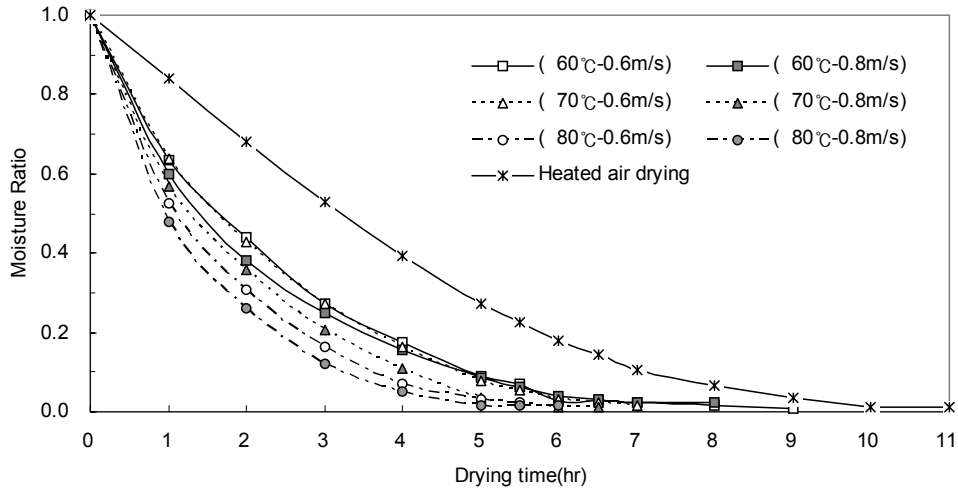


Fig. 44. Comparison of moisture ratio of oak mushroom(*Lentinus edodes*) during drying.

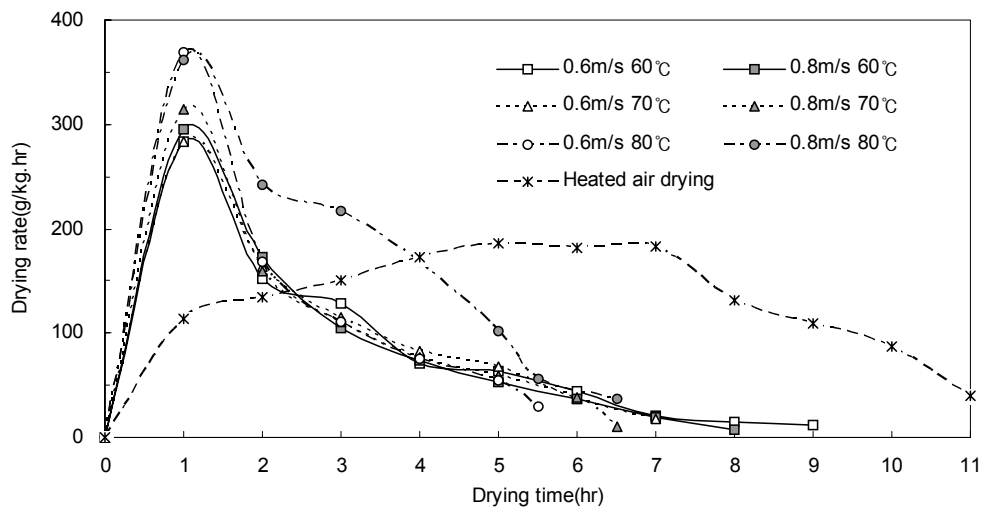


Fig. 45. Comparison of drying rate of oak mushroom(*Lentinus edodes*) during drying.

그림 45에서 상향송풍방식 원적외선 건조의 경우 건조 후 최종함수율이 13% 정도까지 건조하는 동안의 시간당 평균 건감율은 건조실 내부온도가 각각 60, 70, 80°C인 경우

송풍속도 0.6, 0.8m/s에 따라 각각 87.6, 95.5g/kg·hr, 109.3, 110.0g/kg·hr, 134.7, 169.2g/kg·hr 이었다.

열풍건조의 경우에는 평균 건감율이 135.4g/kg·hr로 컨베이어식 원적외선 건조조건 중 내부온도 60, 70℃, 송풍속도 0.6, 0.8m/s에 비해 약 25.4~47.8g/kg·hr 정도 높은 것으로 나타났고, 내부온도 80℃, 풍속 0.8m/s보다는 33.8g/kg·hr 정도 낮은 것으로 나타났다.

이와 같이 상향송풍방식 컨베이어 원적외선 건조시 건조실 내부온도가 높고, 풍속이 빠른 조건이 건조속도가 빠른 것은 원적외선 방사관의 표면온도가 높아 원적외선 복사 에너지가 증가와 상향송풍방식으로 인하여 표고버섯건조에 전달되는 잠열이 증가하였기 때문으로 판단된다. 한편 원적외선 건조 조건 중 60, 70℃에서 열풍건조보다 평균 건감율이 낮은 이유는 건조초기 2시간 내외에 건감율이 매우 높고, 그 이후 건감율이 낮아지기 때문이다.

나) 색 도

그림 46, 47과 48에 상향송풍방식 원적외선 건조와 열풍건조에 의한 표고버섯의 건조 전·후 색도차인 ΔL (명도), Δb (황색도), Δa (적색도)값의 변화를 나타내었다.

그림에서 보듯이 건조 전·후 ΔL (명도), Δb (황색도) 값은 원적외선 건조의 경우 건조 온도가 높고, 송풍속도가 빠른 것이 작게 감소하는 경향을 보였고, 상향송풍방식 원적외선 건조가 열풍건조보다 건조 후 ΔL , Δb 값이 작은 것으로 나타났다. Δa (적색도)값의 경우에는 열풍건조보다 원적외선 건조조건 중에 일부가 감소 값이 약간 더 큰 경향을 보였지만 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

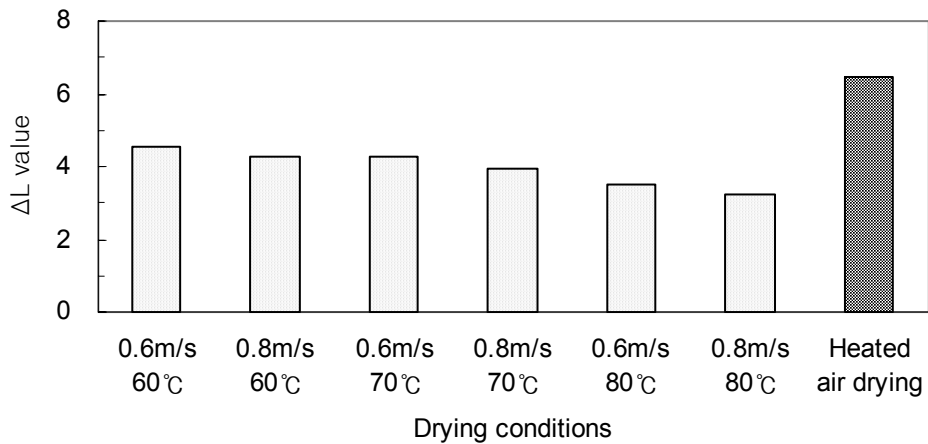


Fig. 46. Comparison of ΔL values of *Lentinus edodes* before and after drying.

상향송풍방식 원적외선 건조의 경우 ΔL 값은 송풍속도 0.6, 0.8m/s에서 건조온도 60, 70, 80°C인 겨우 각각 4.56, 4.30, 3.49와 4.28, 3.97, 3.24 감소하였고, 열풍건조의 ΔL 값 6.47보다는 1.91~3.23 정도 작게 감소한 것으로 나타났다.

Δb 값의 경우에는 송풍속도 0.6, 0.8m/s에서 건조온도 60, 70, 80°C일 때 각각 3.89, 3.42, 1.14와 3.83, 3.43, 3.25 감소하였고, 열풍건조의 Δb 값 4.68보다는 건조 후 0.79~3.54 정도 작게 감소한 것으로 나타났다.

이와 같이 상향송풍방식 원적외선 건조가 열풍건조보다 건조 후 ΔL , Δb 감소 값이 작은 이유는 열풍의 경우 표고버섯 표면에서부터 내부로 열이 전달되는 시간이 길은 반면, 원적외선 건조의 경우에는 원적외선 복사 에너지 효과로 건조속도가 빨라 건조시간이

단축되면서 열에 노출되는 시간이 짧아져 표고버섯 표면에 열손상을 적게 주기 때문으로 판단된다.

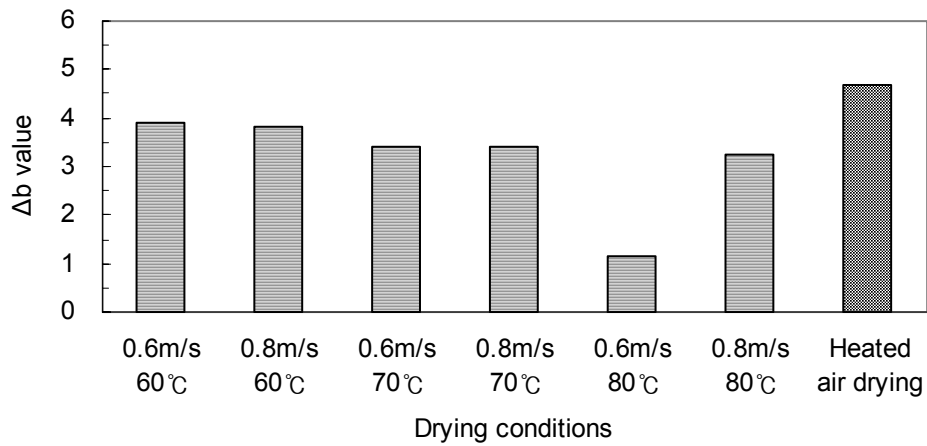


Fig. 47. Comparison of Δb values of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after drying.

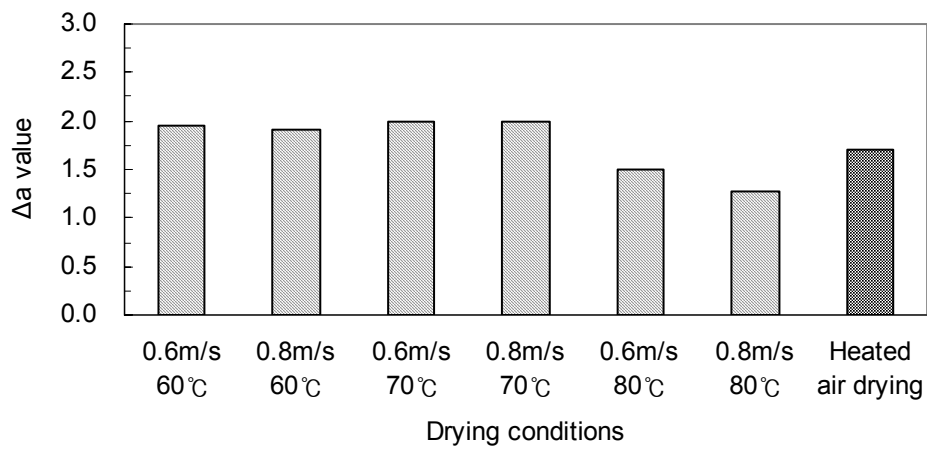


Fig. 48. Comparison of Δa values of oak mushroom(*Lentinus edodes*) before and after drying.

다) 수축율

상향송풍방식 원적외선 건조와 열풍건조에 따른 표고버섯의 건조 전·후 수축율을 그림 49에 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 상향송풍방식 원적외선 건조의 수축율은 건조온도가 높을수록 증가하는 경향을 보였고, 열풍건조보다는 약간 낮은 것으로 나타났다.

상향송풍방식 원적외선 건조의 경우 수축율은 송풍속도 0.6, 0.8m/s일 때 건조온도 60, 70, 80℃조건에서 각각 13.5, 15.3, 17.5%와 13.5, 15.9, 17.0%로 나타났고, 열풍건조시 수축율 18.1보다 0.6~4.6% 정도 낮은 것으로 나타났다. 또한 하향송풍방식 원적외선 건조의 수축율 17.32~19.82% 보다 약 3% 정도 낮은 것으로서 상향송풍방식이 하향송풍방식에 비해 수축이 덜되어 형상유지에 좋은 것으로 판단된다.

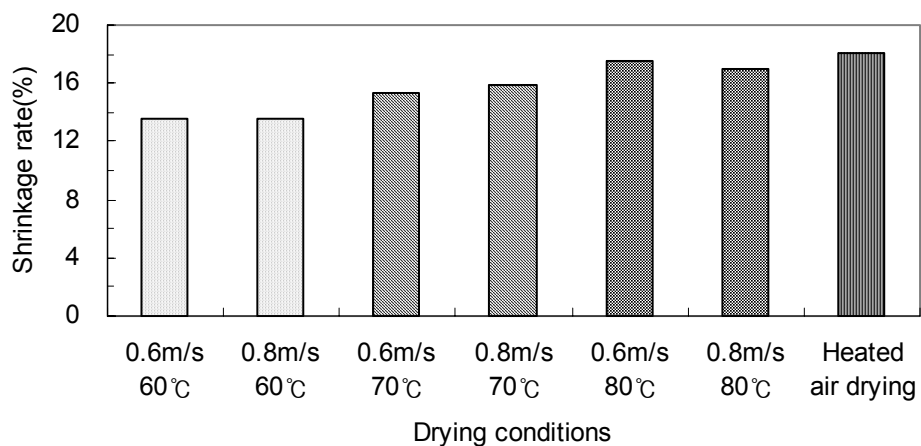


Fig. 49. Comparison of shrinkage rate of oak mushroom(Lentinus edodes) before and after drying.

라) 에너지소비량

그림 50은 상향송풍방식 원적외선 건조와 열풍건조에 따른 표고버섯의 수분 1kg 건조 시 소요되는 에너지소비량을 나타낸 것이다.

그림 50에서 알 수 있듯이 상향송풍방식 원적외선 건조가 열풍건조보다 에너지소비량이 낮은 것으로 나타났다. 상향송풍방식 원적외선 건조의 경우 건조실 내부온도가 동일한 조건에서 풍속이 빠를수록 에너지소비량이 약간 더 높은 경향을 보였지만, 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

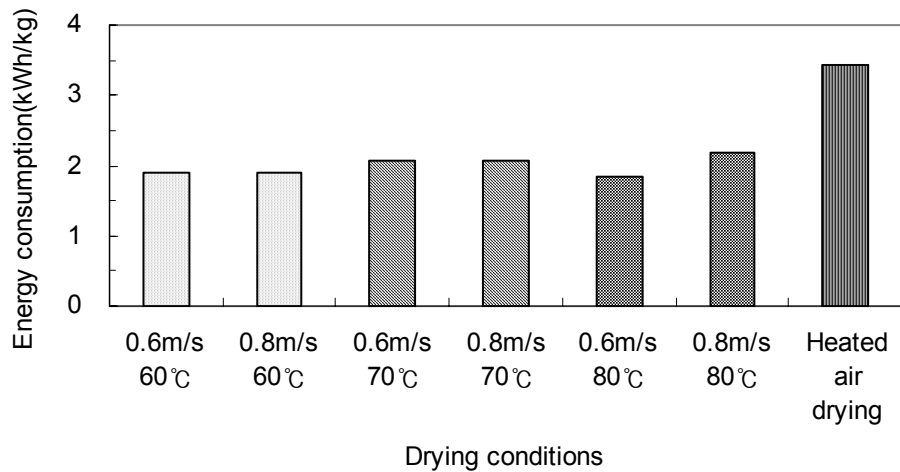


Fig. 50. Comparison of energy consumption of oak mushroom (*Lentinus edodes*) as affected by drying conditions.

표고버섯 수분 1kg을 건조시키는데 소요되는 에너지소비량은 열풍건조가 3.43kWh/kg 이었고, 원적외선 건조의 경우에는 건조조건별로 1.89~2.17kWh/kg(수분) 범위 이었다. 이것은 열풍건조보다 1.26~1.54kWh/kg정도 낮은 것으로 약 36.73~44.89% 정도 에너지 절감효과를 나타내었다.

상향송풍방식 컨베이어 원적외선 건조의 경우 동일한 내부온도 조건에서 풍속이 빠를수록 에너지소비량이 높은 것은 원적외선 복사에너지가 빠른 송풍속도에 의해 외기로 유출되는 열손실이 많았기 때문으로 사료된다. 또한 원적외선 건조가 열풍건조보다 에너지소비량이 낮은 이유는 전술한 바와 같이 원적외선 복사 에너지 효과로 인하여 표고버

섯의 내부로부터 수분확산이 빠르게 진행되어 건조시간이 단축되었기 때문으로 판단된다.

한편, 전술한 바와 같이 하향송풍방식 원적외선 건조의 경우 수분 1kg을 건조시키는데 약 2.32~3.98kWh/kg(수분) 정도가 소비된 것에 비교하면 약 18.53~44.97% 에너지 절감 효과를 나타내었고, 이것은 하향송풍방식보다 상향송풍방식의 건조속도가 빨라 건조시간이 단축되었기 때문으로 판단된다.

마) 유리아미노산 성분분석

표 9는 상향송풍방식 컨베이어 원적외선 건조와 열풍건조 후 표고버섯의 Amino산 함량을 비교하여 나타낸 것이다.

표 9에 나타난 바와 같이 Amino산 함량은 상향송풍방식 컨베이어 원적외선 건조의 경우 건조실 내부온도가 높고, 송풍속도가 빠를수록 감소하는 경향을 나타내었고, 열풍건조의 경우 원적외선 건조보다 작은 값을 나타내었다.

Table 9 Free amino acid contents of Oak mushroom by drying conditions

(unit : pmol)

Free amino acid	Raw	Heated-air drying	Far-infrared drying					
			60℃, 0.6m/s	60℃, 0.8m/s	70℃, 0.6m/s	70℃, 0.8m/s	80℃, 0.6m/s	80℃, 0.6m/s
Cys	1532.770	18.941	103.536	52.108	136.413	114.131	137.061	18.941
Asp	1260.181	101.510	105.899	193.716	152.990	136.815	135.377	101.510
Glu	2515.521	517.043	831.723	1488.126	765.264	1100.665	803.611	517.043
Asn	1430.405	283.262	244.682	464.141	172.564	243.389	192.983	283.262
Ser	1900.407	195.117	227.527	355.282	460.069	214.888	311.532	195.117
Gln	3662.905	2590.905	2751.506	5026.070	1031.616	1847.924	1798.57	2590.905
Gly	2082.157	736.494	505.255	932.284	345.967	442.966	458.087	736.494
His	273.561	606.667	782.503	1093.717	514.341	608.222	469.735	606.667
Arg	750.698	6.365	20.487	37.579	32.649	31.899	28.837	6.365
Thr	1335.580	1578.897	1040.041	1180.351	777.336	848.761	391.050	1578.897
Ala	8920.386	3060.237	2971.865	3225.890	4160.137	4515.725	2515.21	3060.237
Pro	3581.749	468.181	490.981	623.477	432.518	492.913	461.698	468.181
Tyr	857.441	493.453	518.434	641.492	323.046	396.594	310.003	493.453
Val	3552.155	726.734	666.900	885.671	459.190	579.063	432.137	726.734
Met	563.553	25.606	116.361	314.418	32.867	27.917	40.234	25.606
Cys2	20.301	0.003	0.424	2.997	0.085	0.101	23.094	0.003
Ile	3025.745	396.060	429.913	533.278	360.433	443.857	323.147	396.060
Leu	4976.935	642.995	617.207	748.097	527.550	611.408	467.777	642.995
Phe	1675.556	553.642	509.971	751.979	351.408	405.086	300.637	553.642
Trp	113.604	69.135	71.188	61.458	68.394	65.029	54.634	69.135
Lys	456.721	16.988	22.009	44.079	12.567	34.033	50.873	16.988

바) 건조실 및 표고버섯의 내부온도 변화

그림 51과 52에 상향송풍방식 원적외선 건조와 열풍건조시 건조실 및 표고버섯의 내부온도를 비교하여 나타내었다.

그림에서 알 수 있듯이 건조과정 중 건조실 온도는 설정 온도에 비해 약간 낮은 온도 분포를 나타내었지만, 설정온도와 큰 차이가 없이 일정한 온도분포를 나타내었다.

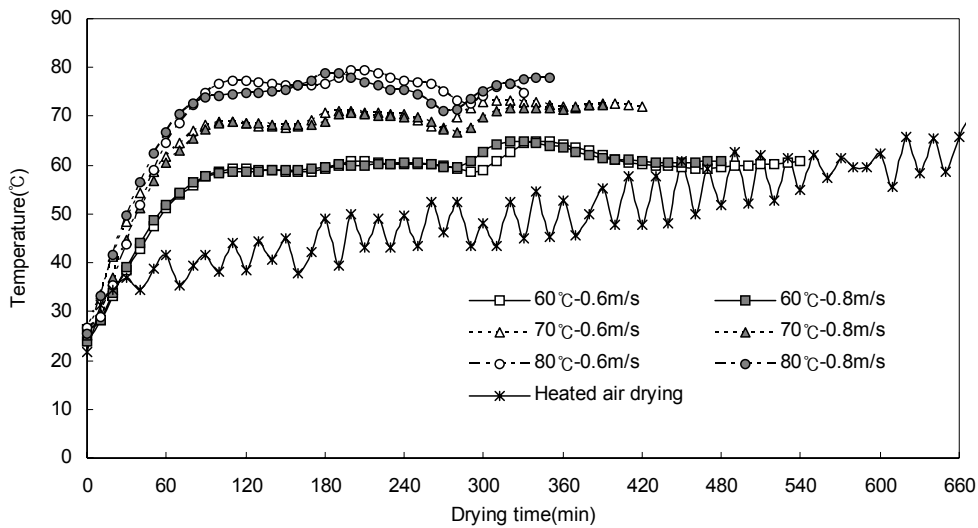


Fig. 51. Comparison of temperature of drying chamber as affected by drying conditions.

건조과정 중 표고버섯의 내부온도는 상향송풍식 원적외선 건조의 경우 건조 설정온도에 비해 약 4°C 내외로 낮은 경향을 보였고, 열풍건조의 경우에는 건조 설정온도보다 약 12°C 정도 낮은 것으로 나타났다.

이것은 원적외선 효과로 인해 원적외선 방사관으로부터 방출된 원적외선 복사에너지가 피건조물 가열시 내부로의 전도 효과가 크기 때문으로 판단된다.

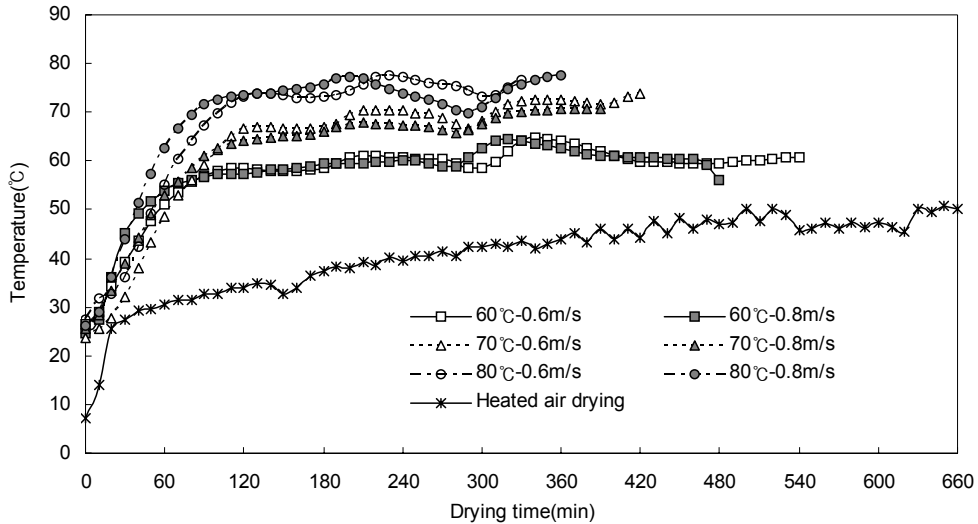


Fig. 52. Comparison of inside temperature of oak mushroom(*Lentinus edodes*) as affected by drying conditions.

4) 요약 및 결론

이 연구는 개발된 상향송풍방식 원적외선 건조기를 이용하여 표고버섯 건조시 건조특성 분석과 적정 조건을 확립 및 설계자료 제시를 위하여 수행하였고, 대조구로는 열풍건조를 실시하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가) 상향송풍방식 원적외선 건조는 건조실 내부온도가 높고 풍속이 빠를수록 건조속도가 빠른 경향을 나타내었다.

나) 상향송풍방식 원적외선 건조시간은 건조실 내부온도가 각각 60, 70, 80°C인 경우 송풍속도 0.6, 0.8m/s에서 5.5~9시간 이었고, 열풍건조는 11시간 정도로 2.0~5.5시간 느린 것으로 나타났다.

다) 상향송풍방식 원적외선 건조의 경우 명도의 감소값 ΔL 은 송풍속도 0.6, 0.8m/s에서 건조온도 60, 70, 80°C인 경우 각각 4.56, 4.30, 3.49와 4.28, 3.97, 3.24 감소하였고, 열풍건조의 ΔL 값 6.47보다는 1.91~3.23 정도 작게 감소한 것으로 나타났다.

라) 건조 전후의 a(적색도)값 감소는 열풍건조보다 원적외선 건조조건 중에 일부가 약간 큰 경향을 보였지만 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 원적외선 건조조건별 b 값의

감소 범위는 1.14~3.89 정도로 열풍건조의 4.68보다 0.79~3.54 정도 작게 감소한 것으로 나타났다.

라) 상향송풍방식 원적외선 건조 조건별 수축율 범위는 13.5~17.5% 건조온도가 높을수록 증가하는 경향을 보였고, 열풍건조의 수축율 18.1%보다 0.6~4.6%정도 낮은 것으로 나타났다. 또한 하향송풍방식 원적외선 건조의 수축율 17.32~19.82% 보다 상향송풍방식이 약 3% 정도 낮아 건조 후 형상유지에 좋은 것으로 나타났다.

마) 표고버섯 건조시 에너지소비량은 열풍건조가 3.43kWh/kg(수분) 이었고, 상향송풍방식 원적외선 건조의 경우 조건별로 1.89~2.17kWh/kg(수분)범위로 나타났다. 이것은 열풍건조보다 1.26~1.54kWh/kg(수분)정도 낮은 것으로 약 36.73~44.89% 정도의 에너지 절감효과가 있고, 하향송풍방식 원적외선 건조와 비교하면 약 18.53~44.97% 정도 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

사) 건조 후 Amino산 함량은 상향송풍방식 컨베이어 원적외선 건조의 경우 건조실 내부온도가 높고, 송풍속도가 빠를수록 감소하는 경향을 나타내었고, 열풍건조의 경우 원적외선 건조보다 유리아미노산 잔류량이 비교적 낮은 값을 나타내었다.

나. 홍고추의 건조특성

1) 공시재료

공시재료는 2003년 충북 청원군 남이에서 수확한 홍고추(품종:왕대박)를 사용하였다. 고추는 5℃ 저온창고에 보관하였고, 실험시작 24시간 전에 저온창고에서 꺼내어 상온으로 조제한 후 사용하였다. 초기함수율은 약 80.5~82.6%,w.b.(이후 %로만 표시)이었고, 초기색도 L*값은 28.45~32.33, a*값은 36.06~41.97이었다.

2) 실험 방법 및 측정항목

가) 실험방법

컨베이어식 원적외선 건조에 사용된 1회 홍고추 시료량은 10kg으로 건조 후 최종함수율이 17±0.5%가 되도록 3회 반복 실험하였다. 예비실험 결과, 실험조건은 건조실 내부온도와 풍속을 각각 60, 70℃와 0.6, 0.8m/s로 하였다. 대조구로는 상용화된 열풍건조기(BOPP-1.5, Shinheung, Korea)를 이용하여 건조하였다. 열풍건조에 사용된 1회 시료량은 32kg으로 건조 후 최종 함수율이 17±0.5%가 되도록 3회 반복 실험하였다.

열풍건조는 상용 프로그램화된 홍고추 건조방법에 따라 초기에는 건조실 내부온도를 건구온도 70℃, 습구온도 60℃로 6시간 동안 찌고, 다음단계는 건구온도 55℃, 습구온도 30℃로 1시간 배습한 후 건조실 건구온도를 55℃, 습구온도를 35℃로 설정하여 18시간 건조하였다.

건조된 시료는 함수율, 건조속도, 색도, 에너지소비량, 신미성분(capsaicinoid) 함량을 측정하여 비교 분석하였다.

나) 측정항목

(1) 함수율

함수율은 시료 20개를 무작위로 선정하여 세절하고, 10±0.5g의 시료를 균일하게 채취하여 실험용 건조기(WFD600ND, EYELA, 日本)에서 105℃로 24시간 건조한 후 중량비로 계산하여 습량기준 함수율로 나타내었다.

(2) 건조속도

건조속도는 건조과정 중, 10개의 동일 시료를 1시간 간격으로 채취하여 중량변화를 측정하였고, 시간당 중량감소율로 환산하여 함수율비로 나타내었다. 또한 홍고추 1kg 당 1시간 건조시 수분증발량으로도 나타내었다.

(3) 색 도

색도는 색도색차계(JX-777, C.T.S., 日本)를 사용하였고, 홍고추를 6부위로 나누어 건조 전·후 L(명도), a(적색도) 값을 측정하여 평균값을 구하고 그 차로 나타내었다.

(4) 에너지소비량

원적외선 건조의 에너지소비량은 적산전력계(Energy Monitor 2720, SOAR, Italy)를 이용하여 측정하였고, 수분 1kg을 건조시키는데 필요한 에너지소비량으로 환산하여 나타내었다. 열풍건조의 경우에는 사용된 등유의 무게를 측정하고 등유 발열량을 42.8MJ/kg로 하여 수분 1kg를 건조시키는데 필요한 에너지소비량으로 환산하여 나타내었다.

(5) Capsaicinoid 함량

Capsaicinoid 함량분석은 분말고추 1g을 취하고 acetonitrile 10ml를 가한 후 Polytron으로 균질화한 뒤 추출하였다. 추출된 1ml에 증류수 9ml를 혼합한 후 acetonitrile 5ml와 미리 활성화시킨 C₁₈ sep-pak 카트리지에 통과시켰다. C₁₈ sep-pak에 흡착된 Capsaicinoid는 acetonitrile 4ml와 1% acetic acid를 함유한 acetonitrile 1ml로 용출시켜 정량하였다. 이때 사용한 column은 LiChrosphere 100RP-18을 이용하였으며, 용매는 methanol:water (70:30)으로 하였다. Flow rate는 0.8ml/min, UV 280nm에서 측정하였으며, capsaicin과 dihydrocapsaicin은 Sigma사 제품(M-2028, M-1022)을 사용하였다.

3) 결과 및 고찰

가) 건조속도

그림 53, 54와 55는 상향송풍방식 원적외선 건조와 열풍건조에 의한 홍고추의 건조시간에 따른 함수율 및 함수율비 변화와 건조속도를 나타낸 것이다.

그림에 나타낸 바와 같이 상향송풍방식 원적외선 건조는 건조실 내부온도가 높고 풍속이 빠를수록 건조속도가 빠른 경향을 나타내었고, 열풍건조보다 건조속도가 빠른 것으로 나타났다. 한편, 하향송풍방식의 원적외선 건조와 건조 시간과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

상향송풍식 원적외선 건조의 경우, 건조 후 최종함수율을 $17\pm 0.5\%$ 까지 건조시키는데 필요한 건조시간은 건조 조건별로 약 12~19 시간 정도가 소요되는 것으로 나타났다. 열풍건조의 경우 25시간이 소요되어 상향송풍식 원적외선 건조시간이 약 6~13시간 정도 빠른 것으로 나타났다.

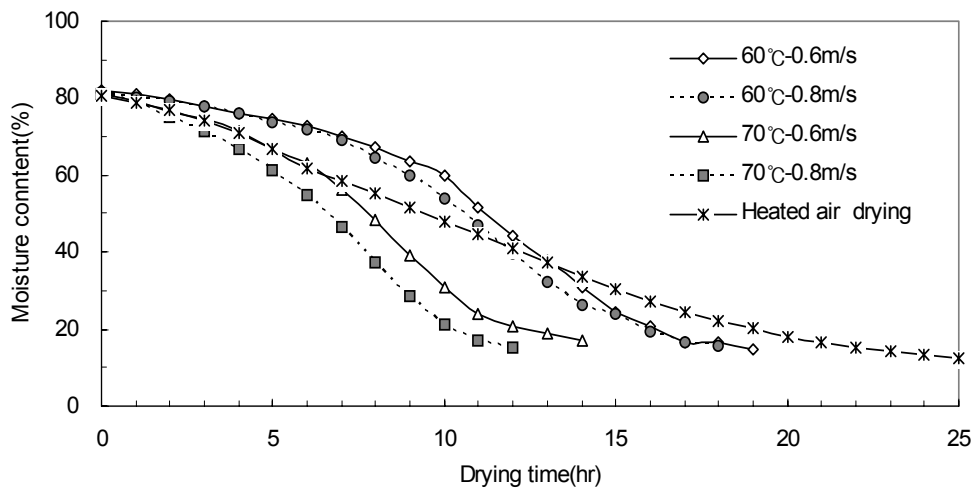


Fig. 53. Comparison of moisture content of red pepper during drying.

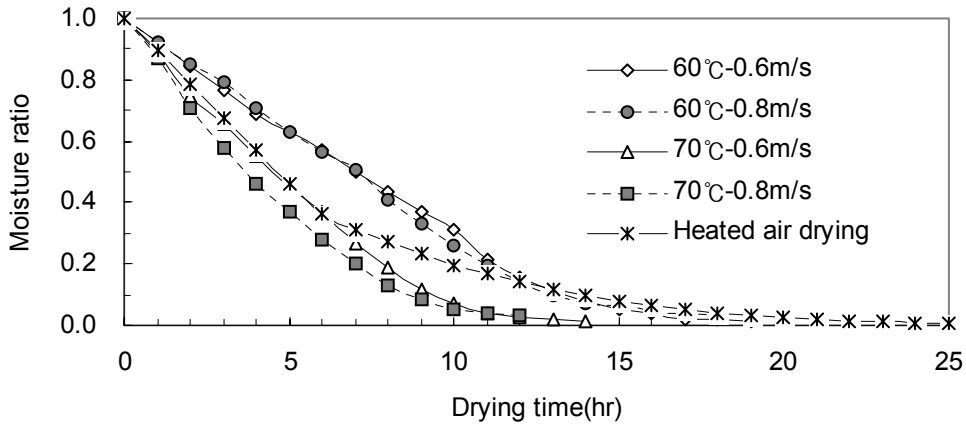


Fig. 54. Comparison of moisture ratio of red pepper during drying.

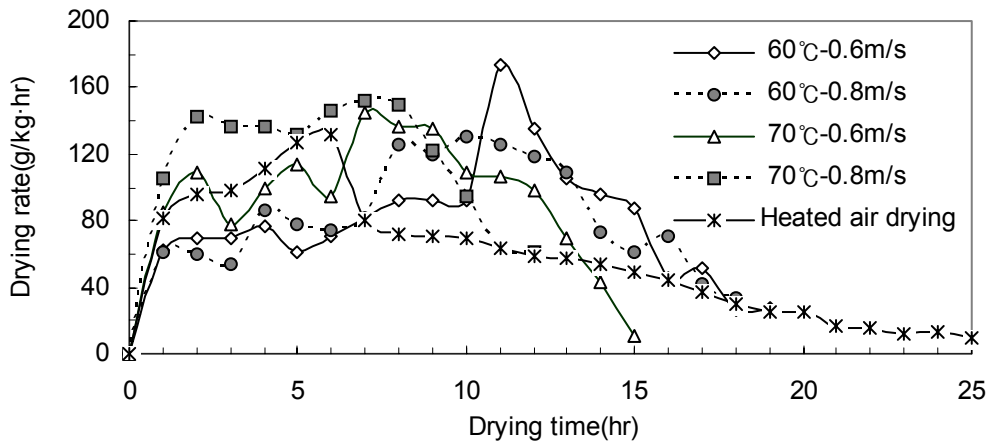


Fig. 55. Comparison of drying rate of red pepper during drying.

그림 55에서 상향송풍방식 원적외선 건조의 경우 건조 후 최종함수율이 17% 정도까지 건조하는 동안의 시간당 평균 건감율은 건조실 내부온도 60°C, 풍속 0.6m/s, 0.8m/s 인 경우 각각 79.8, 83.5g/kg · hr이었고, 내부온도가 70°C인 경우, 풍속 0.6m/s, 0.8m/s에서 각각 95.7, 120.1g/kg · hr으로 나타났다.

열풍건조의 경우 평균 건감율은 58.0g/kg·hr로 원적외선 건조에 비해 약 21.7~62.1g/kg·hr 정도 낮은 것으로 나타났다.

이와 같이 상향송풍방식 원적외선 건조시 건조실 내부온도가 높고, 풍속이 빠른 조건이 건조속도가 빠른 것은 원적외선 방사판의 표면온도가 높아 원적외선 복사에너지가 증가한 것과 홍고추로부터 확산되는 수분을 빠르게 배출하였기 때문으로 판단된다. 또한 원적외선 건조가 열풍건조보다 건조속도가 높은 이유는 열풍과 같이 홍고추의 왁스 층을 통하여 내부로 전달되는 전도열보다 원적외선 복사에너지 효과가 홍고추 내부 수분 확산에 더 큰 효과를 미쳤기 때문으로 사료된다.

나) 색도

그림 56과 57에 상향송풍방식 원적외선 건조와 열풍건조에 의한 건조 전·후와 건조 과정 중 각각의 a(적색도)값 변화를 비교하여 나타내었다.

그림 56과 57에서 보듯이 건조 전·후의 a 감소 값은 원적외선 건조의 경우 건조온도가 높고, 송풍속도가 빠른 것이 작게 감소하는 경향을 보였고, 상향송풍방식 원적외선 건조가 열풍건조보다 건조 후 a 감소 값이 작은 것으로 나타났다.

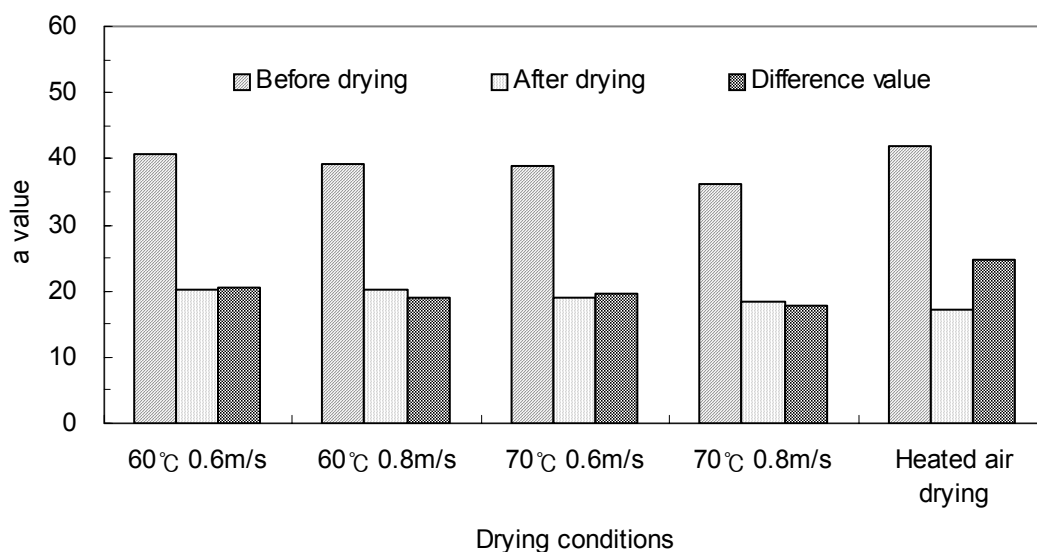


Fig. 56. Comparison of 'a' values of red paper before and after drying.

상향송풍방식 원적외선 건조의 경우 a 감소 값은 건조온도 60, 70°C에서 송풍속도 0.6, 0.8m/s일 때 각각 20.37, 18.88과 19.66, 17.68 감소하였지만 큰 차이는 없는 것으로 판단된다. 한편 상향송풍방식 원적외선 건조가 열풍건조의 a 감소값 24.74보다는 4.37~7.06 정도 작게 감소한 것으로 나타났다.

이와 같이 열풍건조가 상향송풍방식 원적외선 건조보다 a 감소 값이 큰 이유는 열풍건조의 경우 홍고추 표면에서부터 내부로 열이 전달되어 건조되므로 건조시간이 길고 열에 노출되는 시간이 길어져 색소가 파괴되었기 때문으로 판단된다.

그림 57은 상향송풍방식 원적외선 건조과정 중 건조 경과시간에 따른 a(적색도)값 변화를 나타낸 것이다.

그림 57에서 알 수 있듯이 건조과정 중 건조 경과시간에 따라 a(적색도)값이 크게 감소하는 시기는 건조 개시 후 7시간 전후로 나타났다. 특히 건조 온도가 60℃일 때보다 70℃일 때의 조건이 a(적색도)값이 급격히 감소하는 것으로 나타났다.

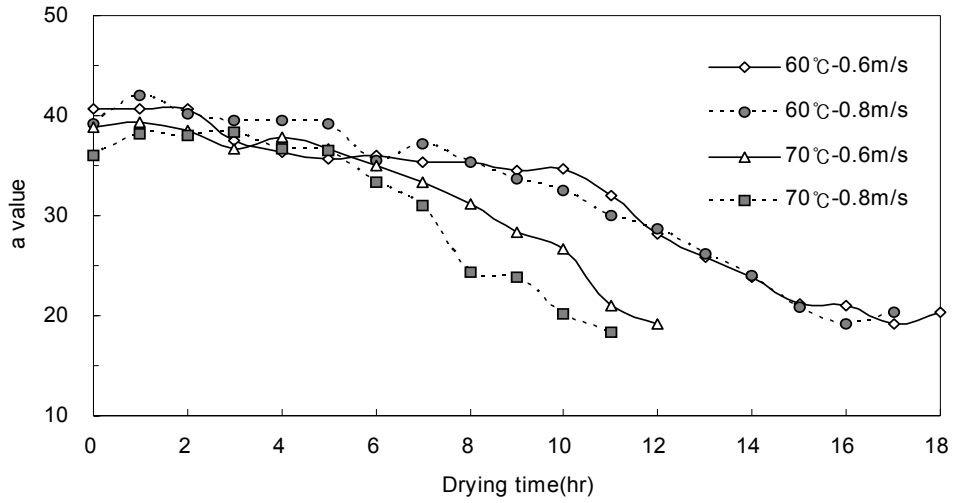


Fig. 57. Comparison of 'a' values of red paper during drying.

그림 58은 상향송풍방식 원적외선 건조와 열풍건조에 따른 홍고추의 건조 전·후의 L(명도)값 변화를 나타낸 것이다.

그림 58에서 알 수 있듯이 상향송풍방식 원적외선 건조 후 L 감소 값은 건조온도 60, 70℃에서 송풍속도 0.6, 0.8m/s일 때 각각 12.61, 9.52과 11.88, 8.81 감소하여 건조조건에 따라 0.73~3.80의 차이가 있어 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 열풍건조 후의 L 감소 값도 10.91로 상향송풍방식 원적외선 건조 조건과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

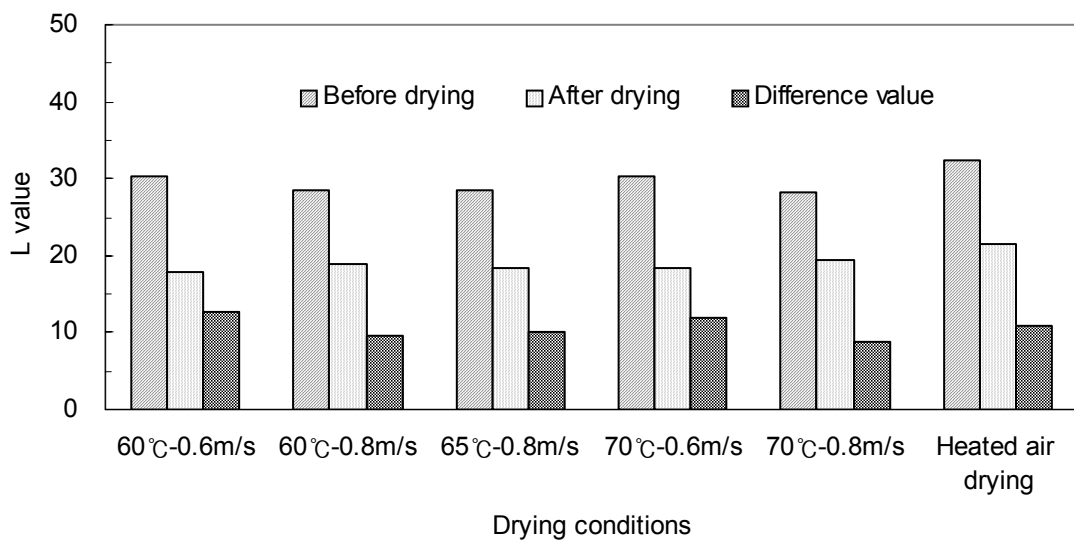


Fig. 58. Comparison of 'L' values of red paper during drying.

다) 에너지소비량

상향송풍방식 원적외선 건조와 열풍건조에 따른 홍고추 건조시 에너지소비량을 그림 59에 나타내었다.

그림에서 59에서 보는 바와 같이 상향송풍방식 원적외선 건조가 열풍건조보다 에너지 소비량이 낮게 나타났다. 상향송풍방식 원적외선 건조의 경우 건조실 내부온도가 동일한 조건에서 풍속이 빠를수록 에너지소비량은 약간 높은 경향을 나타내었고, 내부온도가 높을수록 에너지소비량은 약간 낮지만 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

홍고추 수분 1kg을 건조시키는데 소요되는 에너지소비량은 열풍건조가 4.53kWh/kg이었고, 원적외선 건조의 경우에는 건조조건별로 1.89~2.37kWh/kg로 나타났다. 이것은 열풍건조보다 2.16~2.64kWh/kg정도 낮은 것으로 약 47.7~58.3% 정도 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타내었다.

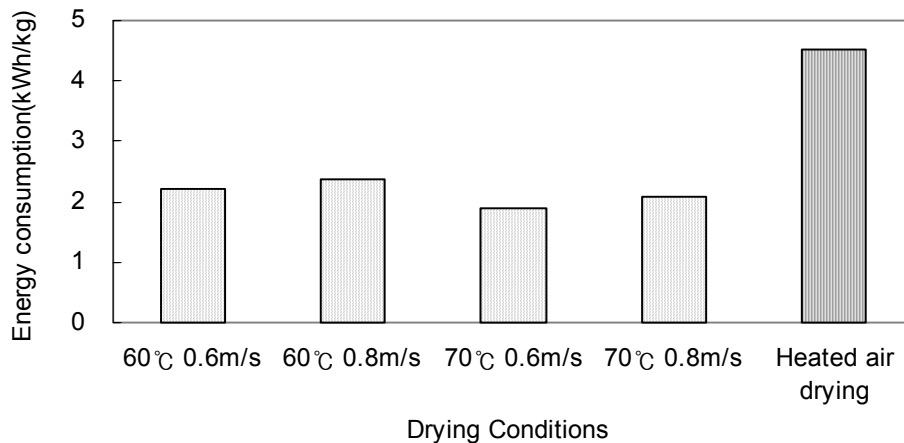


Fig. 59. Comparison of energy consumption of red pepper as affected by drying conditions.

상향송풍방식 컨베이어식 원적외선 건조의 경우 동일한 내부온도 조건에서 송풍풍속이 빠를수록 에너지소비량이 높은 것은 원적외선 복사에너지가 빠른 속도의 공기에 의해 외부로 유출되는 열손실이 있기 때문으로 사료된다. 또한 원적외선 건조가 열풍건조보다 에너지소비량이 낮은 이유는 전술한 바와 같이 원적외선 복사 에너지 효과로 인하여 홍고추의 내부로부터 수분확산이 빠르게 진행되어 건조시간이 단축되었기 때문으로

판단된다.

한편 하향송풍식 원적외선 건조에서 홍고추 수분 1kg을 증발시키는데 필요한 에너지 소비량은 4.32~7.13kWh/kg으로 상향송풍방식 원적외선 건조의 에너지 절감효과가 큰 것으로 나타났다.

라) Capsaicinoid 함량

표 10는 상향송풍방식 원적외선 건조와 열풍건조 후 홍고추의 Capsaicinoid 함량을 비교하여 나타낸 것이다. Capsaicinoid 함량은 매운맛의 주종을 이루는 capsaicin과 dihydrocapsaicin 함량을 분석하였다.

표 10에 나타난 바와 같이 Capsaicinoid 함량은 상향송풍방식 원적외선 건조의 경우 건조실 내부온도가 높고, 송풍속도가 빠를수록 감소하는 경향을 나타내었고, 열풍건조의 경우 원적외선 건조보다 잔류량이 작은 값을 나타내었다.

상향송풍방식 원적외선 건조의 경우 약 90.23~154.55mg/100g, 열풍건조의 경우에는 34.46mg/100g으로서 상향송풍방식 원적외선 건조가 열풍건조보다 55.77~120.09mg/100g정도 Capsaicinoid 함량이 높은 것으로 나타났다. 이것은 원적외선 건조조건의 경우 건조 시간이 단축되면서 열에 대한 노출 시간이 짧아져 Capsaicinoid 성분이 덜 분해되었기 때문이라 판단된다.

Table 10 Capsaicinoid value of red pepper as affected by drying conditions

Drying Conditions	Capsaicinoid(mg/100g)		
	capsaicin	dihydrocapsaicin	Total
60℃-0.6m/s	66.20	33.07	99.27
60℃-0.8m/s	103.83	50.72	154.55
70℃-0.6m/s	60.68	29.55	90.23
70℃-0.8m/s	62.72	29.49	92.21
Heated air drying	23.23	11.23	34.46

마) 건조실 및 홍고추 내부온도 변화

그림 60과 61에 상향송풍방식 원적외선 건조와 열풍건조에 의한 건조실 및 홍고추의 내부온도변화를 건조시간에 따라 나타내었다.

그림에 60에 나타낸 바와 같이 건조실 내부온도는 상향송풍식 원적외선 건조의 경우, 건조 설정온도와 큰 차이가 없는 것으로 나타났지만, 열풍건조의 경우에는 약 10℃ 정도의 편차가 발생하는 것으로 나타났다.

그림 61에서 홍고추 내부온도는 원적외선 건조와 열풍 건조에서 건조실 내부 설정온도와 거의 동일한 것으로 나타났다.

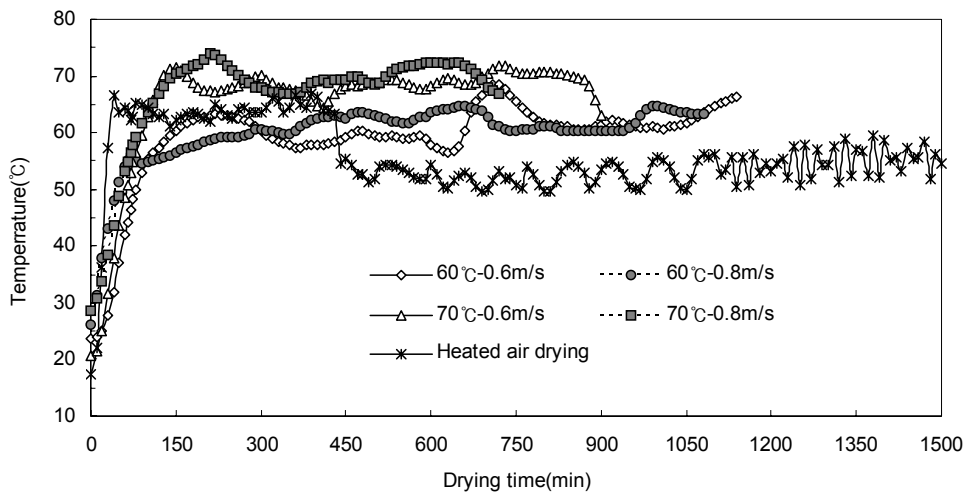


Fig. 60. Comparison of inside temperature of red pepper as affected by drying conditions.

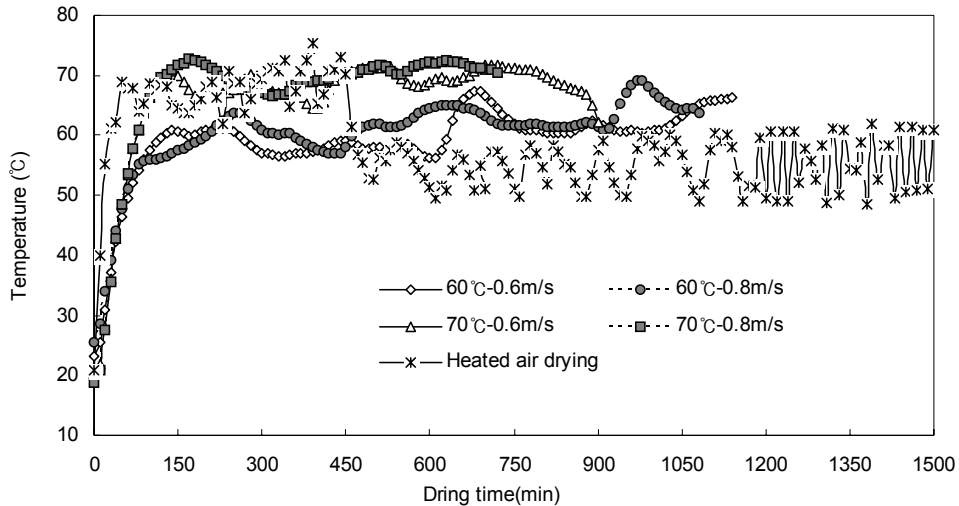


Fig. 61. Comparison of inside temperature of drying chamber as affected by drying conditions.

4) 요약 및 결론

상향송풍방식 원적외선 건조와 열풍건조에 의한 홍고추의 건조특성 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

가) 상향송풍방식 원적외선 건조의 건조시간은 건조 조건별로 약 12~19 시간 정도가 소요되었으며, 건조실 내부온도가 높고 풍속이 빠를수록 건조속도가 빠른 경향을 나타내었다. 열풍건조보다는 약 6~13시간 정도 빠른 것으로 나타났다.

나) 원적외선 건조의 경우 건조 전·후 a(적색도)의 감소 값은 17.68~20.37로 건조온도가 높고, 송풍속도가 빠른 것이 작게 감소하는 경향을 보였고, 열풍건조의 a* 감소값 24.74로 상향송풍방식 원적외선 건조보다 4.37~7.06 정도 더 감소한 것으로 나타났다.

다) 에너지소비량은 열풍건조가 4.53kWh/kg(수분)이었고, 원적외선 건조의 경우에는 건조조건별로 1.89~2.37kWh/kg(수분)이었다. 상향송풍방식 원적외선 건조가 열풍건조보다 2.16~2.64kWh/kg(수분)정도 낮아 약 47.7~58.3% 정도의 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

라) Capsaicinoid 함량은 상향송풍방식 원적외선 건조의 경우 약 90.23~154.55mg/100g, 열풍건조의 경우에는 34.46mg/100g으로서 상향송풍방식 원적외선 건조가 열풍건조보다 55.77~120.09mg/100g정도 Capsaicinoid 함량이 높은 것으로 나타났다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 목표달성도

구 분	연구개발 목표와 평가 착안 사항	연구개발 목표의 달성도	기술발전 기여도
1차년도 (2001.8)	○마이크로파 이용한 예열장치 개발 - 예열장치 Pilot Plant 설계 - 마이크로파를 이용한 연속식 예열 장치 제작	100	보통
	○피건조물 건조시 최적 예열 조건 확립 및 품질 -가열시간과 품온 관계 규명	100	보통
	○실험용 원적외선 건조기 개발 -1단, 0.5×5m 실험용 건조기 설계 및 제작	100	크다
	○건조속도 자동기록시스템 개발 -연속으로 피건물이 이동하므로 로드셀을 이용한 건조속도 측정이 부정확함	70	작다.
2차년도 (2002.8)	○원적외선 건조기 PILOT PLANT개발(2단, 0.8× 5m,) - 3단, 0.6× 5m로 확대 제작	100	매우 크다
	○피건조물 투입 장치 개발 -컨베이어식 원료 자동 투입 장치 설계 제작	100	보통
	○배기에너지 활용 장치개발 -배기에너지 활용한 예열 및 보조 건조장치 설계제작	100	크다
	○건조특성 및 품질 평가 -건조실 온도, 송풍량, 방사체온도, 피건조물 온도, 건조속도, 색도, 성분 등을 통한 조건 확립	100	보통

구 분	연구개발 목표와 평가 착안 사항	연구개발 목표의 달성도	기술발전 기여도
3차년도 (2003.8)	○예열 장치를 이용한 고효율 컨베이어식 원적외선건조시스템 보급 모델 개발 -5단으로 설계 제작	100	매우 크다
	○예열 및 보조 건조 시스템 개발 및 조건 확립	100	크다
	○고품질 생산을 위한 건조 조건 확립	100	크다
	○보급 모델의 성능 시험 -건조 속도, 색도, 성분 변화, 잔류량 및 에너지 절감 효과 -배기 에너지 활용에 따른 건조 특성 평가	100	크다
최종평가	○배기에너지 활용 및 예열장치 개발	100	크다
	○피건조물 투입 장치 개발	100	보통
	○고품질 생산을 위한 건조 조건 확립	100	크다
	○예열 장치를 이용한 고효율 컨베이어식 원적외선건조시스템 보급 모델 개발	100	매우 크다

2. 관련분야 기여도

가. 에너지 및 생산 단가 절감과 경쟁력 확보

현재 우리나라 산업체에서 건조용으로 사용되는 에너지는 33%로서 이중 화석연료의 의존도가 약 83%로 매우 높은 실정이다. 특히 농산물에 사용되는 에너지원은 화석연료를 연소시켜서 얻어지는 열량을 이용한 열풍 건조가 대부분이다. 이러한 화석연료는 유가 상승이나 유류 파동이 일어나면 생산자에게는 생산 단가 상승이라는 큰 부담을 가중시킨다.

본 연구에서는 화석연료가 아닌 전기 에너지를 이용한 고효율 상향송풍방식 컨베이어 원적외선 건조시스템을 개발하였고, 기존의 열풍 건조기를 사용하는 경우보다 에너지를 약 30%내외 절감할 수 있기 때문에 생산단가를 절감할 수 있다. 또한 생산단가 절감에 따른 경쟁력을 확보할 수 있다.

나. 고품질 건조제품 생산

국내 농산물 및 식품건조는 주로 열풍과 자연건조 방법이 이용되고 있고, 건조속도와 품질 면에서 다소 문제점이 제기되고 있으며, 건조 효율이 낮은 단점이 있다. 특히 열풍 건조는 고온에서 장시간 피건조물을 건조하므로 품질열화가 발생하고, 자연 건조의 경우 자연의 상태에서 건조하기 때문에 일기불순과 부패로 인해 수율이 감소되어, 위생상의 문제가 있다. 그러나 본 연구에서 개발된 상향송풍방식 컨베이어 원적외선 건조기의 경우 열풍건조나 자연건조에서 나타나는 문제점을 해결하여 소비자에게 고품질의 농산물 및 건조식품을 공급할 수 있다.

다. 건조제품의 다양성 및 노동력 절감

본 연구에서 개발된 상향송풍방식 컨베이어 원적외선 건조기의 경우 1대의 건조기로 농산물, 수산물, 식품, 한약재 등 여러 가지 건조제품을 건조시킬 수 있는 능력이 있기 때문에 건조를 대상으로 하는 공장, 집단 건조 가공 시설에서 초기 투자비를 적게 들여 다양한 제품을 생산할 수 있는 장점이 있다. 또한 컨베이어식이기 때문에 피건조물의 연속 투입과 건조속도 증가로 노동력의 절감 및 이에 따른 생산단가를 낮출 수 있다.

라. 환경문제

현재 국제사회에서 부각되고 있는 지구온난화 방지협약과 환경보호조약에 따른 공해

물질 배출 제한에 의해 화석연료의 사용을 제한하고 있기 때문에 환경보존 및 청정에너지 지원을 이용한 건조기술 개발이 요구되고 있다.

본 건조기는 청정 에너지인 전기에너지를 사용하여 CO₂ 및 기타 환경오염 물질이 전혀 나오지 않기 때문에 친환경적인 건조기로 기존의 농산물 및 식품의 열풍건조 가열시 발생하는 환경오염문제를 해결할 수 있다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- * 추가연구의 필요성, 타연구에의 응용, 기업화 추진방안을 기술
- * 연구기획사업 등 사업별 특성에 따라 목차는 변경 가능함

1. 추가연구의 필요성

본 연구에서는 원적외선과 다양한 송풍방식을 이용하여 표고버섯 및 홍고추에 대한 건조특성 및 품질 등을 구명하였다. 본 연구에서 사용된 원적외선 방사관의 경우 표면온도가 130℃ 전후로서 약간 온도가 낮은 상태이다. 따라서 150, 200, 250℃ 등 표면온도가 고온의 원적외선 방사체를 이용하여 피건조물로부터 적절한 거리를 유지하면서 고온의 건조가열조건을 확립하는 연구가 필요하다고 사료된다. 또한 현재 개별적으로 사용된 상향송풍방식과 하향 송풍방식을 하나의 송풍시스템으로 구축해서 건조실험을 해야 할 필요가 있다.

2. 타연구에의 응용

피건조물은 농산물에 그치지 않고, 수산물-고등어, 오징어, 한치, 미역, 다시마 등에 대한 원적외선 건조특성을 구명하고, 적절한 건조조건을 확립하여 고품질 제품의 생산이 필요하다고 사료된다. 따라서 차기 연구에서는 고온의 원적외선 방사관에 상·하향송풍방식을 적용하여 수산물 등의 각종 식품건조에 대한 건조특성 및 건조품질 등을 구명하는 연구가 필요하다.

또한 사회문제로 대두되는 음식물 쓰레기, 가축 분뇨 등을 건조하여 유기비료를 만들 수 있는 원적외선 건조 가공 시스템 연구가 필요하다고 생각한다.

3. 사업화 추진방안

현재 사회 환경문제로 부각되고 있는 음식물 쓰레기, 가축의 분뇨 등을 건조하여 비료로 재활용할 수 있는 원적외선 건조발효시스템을 구축할 필요가 있다. 현재 이러한 오염물질은 민간이나 지방자치 단체에서 관리 운영하고 있지만, 재활용율은 미비한 실정이고, 소각하거나 땅에 매립하는 형태로 처리하고 있다. 이와 같은 처리 형태로 인하여 소각시 발생하는 유해가스 등과 매립으로 인한 지하수 오염이 심각한 실정이다. 따라서 이러한 오염 물질 등을 건조하여 비료나 사료 등으로 재활용할 수 있는 원적외선 건조 가공 시스템을 구축하여 각 시도에서 국가 보조금이나, 지방자치단체 운영자금 등으로 설

치 운영한다면 자원 낭비, 환경오염, 국고낭비 등의 문제점을 어느 정도 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

일본 에히메(愛媛)대학 의학부의 요시무라(吉村)교수는 벼나 케일에 함유된 GABA(γ -aminobutyric acid)를 원적외선으로 약 3배 증가시킬 수 있는 식품제조기술을 개발하였다.

이 기술은 종래에 식품소재로 화학 합성된 glutamic acid를 대량 첨가하여 쌀배아나 미강에 함유된 효소와 혼합하는 방법으로 GABA의 함량을 증가시키는 방법과 적외선을 비교적 장시간 조사시키는 방법이 알려져 왔다. 반면, 요시무라 교수는 원적외선을 이용하면 온풍 건조처리 전후 30초에서 2분 30초까지 극히 짧은 시간 원적외선 조사처리를 행하여 GABA 함량을 증가시키는 것이 가능하다는 것을 알아냈다. 어린 벼잎의 경우, 원적외선 미처리 실험구의 GABA 함유량이 17mg/100g인 것에 비하여 원적외선 처리후에는 GABA 함유량이 85mg/100g으로 증가하였고, 케일 全葉의 경우는 미처리 GABA 함유량이 200mg/kg에 비하여 원적외선을 처리한 후 540mg/kg으로 증가되는 것을 실험적으로 검증하였다. 이러한 변화 과정에서 각 소재에 함유된 glutamic acid의 함량이 감소된 것으로 보아 원적외선 처리는 glutamic acid 탈탄산효소를 활성화 하는 것으로 추정된다.

현재, 케일에 대해서는 그 전통적인 효과, 효능을 과학적으로 평가하는 연구를 진행하고 있으며, 특히 지금까지 밝혀지지 않았던 정신기능에 대한 효과를 행동약리학적으로 검토중이며, 이미 동물과 사람에 대한 실험을 끝냈고, 현재는 생리작용의 평가를 하고 있는 단계이다.

일본 수처리기술연구소(도쿄)는 원적외선을 이용해 응집제를 사용하지 않고도 활성 오니가 탈수, 건조 되는 장치인 [오디라]를 개발했다.

이 장치는 식품공장 등에서 발생하는 함수율 98~99%의 오니를 5%이하로 건조하는 것이 가능하며, 오니의 중량을 1/100의 최소화 할 수 있는 것으로서, 오니를 스테인레스 제의 스크린상 컨베이어로 반송하면서 원적외선을 조사, 약 30분 동안에 후레이크 상으로 건조 무취화 하는 방식이다. 처리 능력은 시간 당 1-8 m^3 이다.

현재 유기성 배수의 대부분은 활성 오니 방식으로 처리되고 있어 발생하는 오니의 처리가 문제로 되고 있다. 원심분리 방식의 종래의 탈수기로는 80~85%의 수분이 남아 콘포스트화가 어려운 등 처리가 곤란한 실정이었고, 응집제가 혼입되기 때문에 농지로의

환원이 어려우며, 런던 조약에 의해 해양 투기도 금지되고 있다. 또한 일정 규모 이상의 호텔, 레스토랑 등의 주방 배수는 수중의 기름, 부유물을 응집제로 굳혀, 분리 처리하는 방법이 일반적이거나, 유화 수소에 의한 악취가 발생하며 설비 부식이 일어나기 쉽다. 이번에 개발한 장치에서는 이러한 기름, 부유물의 건조처리도 가능하게 하였다.

일반적으로 산업처리업자에게 오니 처리를 의뢰하면 비용은 톤당 6,000~10,000엔이 든다. 이 장치에서는 오니를 1/100 최적으로 줄일 수 있기 때문에 처리 비용을 대폭 감소시킨다는 장점이 있고, 또한 식품 공장의 배수처리 만이 아니라 생산라인에의 응용도 가능할 것으로 사료된다.

Tsu-Tsair Oliver Chi 박사는 적외선 장치의 신체에 대한 작용 메커니즘에 대한 그의 연구에서, 적외선은 그 출력을 증대하기 위해서 신체 조직에 선택적으로 흡수된다고 밝히고 있습니다. 우리의 신체조직에서 일반적으로 발생하는 적외선 에너지의 내부 생성은 자기치료반응과 관계가 있으며, 치료가 필요한 조직 내에서 가능한 최대의 치료반응을 유도하기 위해서 극대수준까지 상승됩니다. 이러한 인체에 무해한 현상을 동조흡수라고 부릅니다.

의학자인 로버트 베커(Robert O. Becker) 박사는 최신 저서인 “Cross Current”에서 고전압선 아래나 컴퓨터 모니터 앞에서 일할 때 겪게 되는 전자기장 노출의 위험성에 대해서 상세하게 기술하고 있습니다. 일본의 연구자들은 해로운 전자기파에 대한 대체수단으로 적외선 복사열이 효과적임을 보고하고 있습니다. 적외선 가열시스템은 이른바 “독성” 전자기파가 배출되지 않는 것으로 실험을 통해 입증되었습니다. 스웨덴 국립 방사능 방호연구소(Swedish National Institute of Radiation Protection)도 적외선 가열시스템에 사용하는 히터가 위험하지 않다는 결론을 내린 바 있습니다.

사진 70은 일본 Daito사는 Linear Motion System 분야의 세계적 선도업체이며, 50여년간 각종 Linear Motion 시스템 관련 정밀기계기술을 축적해 기술을 통해 개발한 원적외선 Hybrid 건조시스템이다. 이 시스템은 환경보호 차원의 CO₂ 배출억제와 에너지절감 차원의 획기적 건조효율 향상을 개발 Concept로 한 차세대형 건조장치로서 전기전자, 건축소재, 금속가공, 식품 등 광범한 산업분야에서 폭넓게 응용하는 것을 목적으로 원적외선, 자외선 및 온풍을 복합화한 <고속 Hybrid 건조장치>와 그 안에 원적외선 히터인 <고성능 원적외선 방사체- 특허품명 : Athtic Power Heater>가 내장되는 있는 것으로서 종래의 열풍(온풍) 건조장치 또는 Rod형 세라믹 원적외선 히터에 비해 단시간, 저비용, 고효율의 탁월한 건조성능을 구현합니다.



Photo. 70. The Hybrid heating system.

종래의 건조, 가열장치의 온풍을 매개체로 한 간접 가열의 개념과는 완전히 다른 원적외선 직접 방사 시스템으로 효율 좋은 고속건조를 실현할 수 있다.

그 특징을 보면 히터의 파장을 3.46~6.46 μm 까지 자유롭게 조절할 수 있기 때문에 흡수 파장대가 서로 다른 여러 가지 제품에 대응 적용할 수 있다. 또한 히터와 피 가열물과의 거리를 조정함으로써 피가열물에 적합한 파장은 얇으면서 도달에너지(온도)만을 조절할 수 있으며, 장치내의 순화 및 배기 팬의 유량을 각각 컨트롤 할 수 있다.

제 7 장 참고문헌

1. 이미순, 최향숙. 1996. 건조방법에 따른 냉이의 휘발성 향기성분. 한국식품과학회지. 28:814-821.
2. 한문희, 안영수, 김시경, 서두원, 양준환, 1996. 원적외선 히터를 설치한 열풍 건조로의 건조효과에 관한 연구 에너지 R&D. 18(1)
3. 한충수, 조성찬, 최태섭, 伊藤和彦. 1995. 원적외선 방사열의 가열, 건조 특성. 제1회 한·일 원적외선심포지움. 한·원적외선응용연구회
4. 安藤實, 1998. 원적외선 혼연건조에 의한 삼나무목재 건조법. 제4회 한·일 원적외선 심포지움. 한·원적외선응용연구회.
5. 西村誠, 1996. 가열건조에서 원적외선 효과의 예측. 제2회 한·일 원적외선심포지움. 한·일 원적외선응용연구회.
6. Henry L. Hackforth 저, 和田正信, 中野朝安 공역. 1974. 적외선공학. 근대과학사.
7. 상희선의외 3인. 1999. 적외선을 이용한 피혁건조·탈취효과에 관한 연구. 제5회 한·일 원적외선심포지움. 한·일원적외선응용연구회.
8. 한충수, 박완서 역. 1995. 원적외선 가열의 이론과 실제. 원적외선응용연구소
9. 伊藤和彦 외 1인 1994. 遠赤外線による農産物の乾燥(I). 遠赤外線の加熱基礎特性, 農業施設 25(1)
10. 伊藤和彦 외 1인 1995. 遠赤外線による農産物の乾燥(II). ネギの乾燥特性, 農業施設 26(2)
11. 岩淺潔. 1996. 원적외선 기술과 응용. 차잎의 건조
12. 임종환, 황금택. 1995. 산채의 건조특성에 관한 연구. 한국식품과학회지. 27:358-364.
13. 윤광섭, 최용희: 삼투처리한 당근의 건조특성. 한국식품과학회지, 28, 1126 - 1134 (1996)
14. 황금택, 임종환 : 각종 전처리 및 건조방법이 건조채소류의 품질에 미치는 영향. 한국식품과학회지, 26: 805-813(1994)
15. Kim, K. H. and Chun, J. K.:The effect of hot air heating of red pepper on the quality, Korean J. Food Sci. Technol, 7, 69, 1975
16. Kim, D. Y., Rhee, C. O. and Shin, S.C.:Color changes of red pepper by heating

- and milling method, J. Korean Agric. Chem. Soc, 25, 1, 1982
17. Cho, R. K., Hong, J. H., Kim, H. K. and Park, M. H.: Rapid quality evaluation of dried red pepper by near-infrared spectroscopy, Korean J. Food Sci. Technol, 22, 6, 1990
 18. Lee, D. S. and Kim, K, H.:Carotenoid destruction and nonenzymatic browning red pepper during as function of average moisture content and temperature, Korean J. Food Sci. Technol, 21, 425, 1989
 - 19 Lee, D. S. and Park, M. H.:Quality optimization in red pepper heating, Korean J. Food Sci. Technol, 21, 655, 1989
 - 20 Hoffman, P. G., Lego, M. C. and Galetto, G.:Separation and quantitation of red pepper major heat principle by reverse-phase HPLC, J. Agric. Food Chem, 13, 1983
 21. 한충수, 연광석, 조성찬, 김민호, 강태환, 이해철. 2003. 컨베이어 원적외선 건조기를 이용한 표고버섯의 건조특성. 한국농업기계학회 2003년 동계 학술대회 논문집. 8(1):309~314.
 22. 이혁, 연광석, 한충수, 조성찬, 김민호. 2004. 상향 송풍방식 컨베이어 원적외선 건조기를 이용한 농산물·식품의 건조특성(I)-표고버섯의 건조특성 및 품질 평가-. 한국농업기계학회 2004년 하계 학술대회 논문집. 9(2):294~297.

주 의

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