

GOVP 19908579

633 88348
L2930

최 종
연구보고서

인삼의 최적 건조 및 품질 자동 평가
시스템 개발

Development of Optimal Drying and Automatic
Quality Evaluation Systems
for Korean Ginseng

주관연구기관
전북대학교

농림부



제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “인삼의 최적 건조 및 품질 자동 평가 시스템 개발” 과제 (세부과제 “인삼의 최적 건조 시스템 개발”, 세부과제 “인삼의 품질 자동 평가 시스템 개발”)의 최종보고서로 제출합니다.

1999. 12. 29

주관연구기관명: 전북대학교

총괄연구책임자: 박 승 제

연 구 원: 이 종 호

연 구 원: 김 철 수

연 구 원: 김 명 호

연 구 원: 김 성 민

요 약 문

I. 제 목

인삼의 최적 건조 및 품질 자동 평가 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 목 적

제 1 세부과제 : 인삼의 최적 건조 시스템 개발

품질과 소요 에너지 관점에서 최적 인삼 건조시스템을 설계, 제작하고 그 작동조건을 구명하여 건조시스템 실용화의 기초를 완료

제 2 세부과제 : 인삼의 품질 자동 평가 시스템 개발

영상정보에 기초한 실시간 인삼품질 자동평가 시스템의 구현

2. 연구개발의 중요성

고려인삼은 전세계적으로 인정받고 있는 우리나라의 대표적인 작물이다. 또한 그 부가가치가 높기 때문에 중국, 미국, 캐나다, 일본 등에서는 최근 인삼생산량이 급속히 증가하고 있으며 고품질 가공을 위한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 이에 대비하여 우리나라도 약효 성분이 월등히 뛰어난 고려인삼을 더욱 고품질화하여 외국산 인삼과 차별화를 꾀함으로써 인삼종주국이라는 자존심을 지켜나가야 할 것이다.

백삼건조는 주로 천일건조에 의해 이루어져 왔으나 근래에는 노동력 부족으로 인하여 인공건조가 점점 증가하고 있다. 그러나 인삼건조에 대한 이론적인 연구와 이에 입각한 실용화 연구라는 체계적인 접근방법의 결여로 현재까지 건조공정 및 건조기의 설계, 개발 및 운전은 비효율적으로 이루어지고 있는 실정이다.

현재 백삼의 품위결정은 전문가의 육시에 의하여 표본인삼과 비교평가되고 있는 실정이다. 그러나 인간의 눈은 똑같은 일을 반복할 경우 쉽게 피로해지고, 색상의 미세한 차이를 감지하는 능력이 부족할 뿐만 아니라 그 능력에 있어서도 개인별로 편차가 있기 때문에 제품의 품위를 결정하는데 객관성을 유지하기가 힘든 단점을 가지고 있다. 이런 이유로 백삼의 제조비용이 많이 들고, 품질의 신뢰성이 결여되어 있다.

인삼경지면적이 적은 한국은 인삼제품의 고품질화와 생산비 절감으로 경쟁력을 확보하는 정책이 필요하며 인삼제품의 고품질화를 위하여 핵심가공기술(건조, 선별, 품질평가 등) 개발과 생산 및 가공 에너지 절감을 통한 생산비 절감 기술개발에 관한 연구가 필요하다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구과제의 연차별 연구개발 내용과 범위를 분야별로 요약하면 다음과 같다.

1. 제 1 세부과제 : 인삼의 최적건조 시스템 개발

1차년도

◎ 인삼의 열풍건조 자료 재분석

- ◎ 인삼의 고온열풍 건조 실험을 통한 건조 특성 분석 및 고온열풍 건조방정식 개발
- ◎ 열풍건조 simulation model의 개발 및 검증

2차년도

- ◎ 인삼의 원적외선 저온건조 특성 분석
- ◎ 원적외선 저온건조 simulation model의 개발 및 검증

3차년도

- ◎ 인삼의 최적 건조 시스템 개발, 작동조건 결정 및 실증실험
 - 열풍과 원적외선 겸용 인삼 건조시스템 시작품 설계 및 제작
 - 시작품의 연속 건조 특성 분석
 - 시작품의 템퍼링 건조 특성 분석
 - 시작품의 작동 조건의 최적화
 - 열풍과 원적외선 겸용 인삼 건조시스템의 실용화 검토
- ◎ 건조 simulation model의 성능향상 및 모의실험 분석

2. 제 2 세부과제 : 인삼의 품질자동평가 시스템 개발

1차년도

- ◎ 인삼품질평가기준의 정량화
 - 인삼의 품위결정에 영향을 미치는 품질인자의 선택
 - 외부 형상인자들의 크기 및 형태를 등급별로 정량화
 - 인삼의 외부색택을 등급별로 측정, 칼라좌표계에 표시
 - 품질평가 인자들간의 상호조화를 통한 종합적인 품질평가기준의

정량화

2차년도

- ◎ 품질평가인자의 정량적 추출을 위한 영상처리 기법 개발
 - 인삼의 광학적 특성에 알맞는 영상처리시스템의 구성 및 입력영상의 전처리
 - 뇌두, 몸통, 주근 및 지근의 크기와 형태의 추출을 위한 영상처리 기법의 개발
 - 인삼 외부 색택의 정량적 표현을 위한 기법 개발

3차년도

- ◎ 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템 개발
 - 무작위 인삼을 대상으로 한 품질평가시스템의 알고리즘 성능 평가
 - 연속적으로 공급되는 인삼의 실시간 품질 평가 시스템의 알고리즘 완성
 - 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템 개발
 - 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템의 성능 평가

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

수행한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

제 1 세부과제 : 인삼의 최적건조 시스템 개발

본 연구에서는 인삼의 효율적인 건조를 위해 기존의 열풍건조 방법과 새로운 건조기술인 원적외선 건조 방법을 조합한 연속식 건조시스템 시작품을 개발하여 설계 제작하고, 시작품의 최적 작동조건을 구명하고 최적 작동조건에서의 건조 성능을 종합적으로 분석하여 인삼의

최적 건조시스템을 설계 완성하고자 하였다. 또한 인삼의 열풍 건조 및 원적외선 건조 특성을 분석할 수 있는 시뮬레이션 모델을 개발하고자 하였다. 중요 결과를 요약하면 다음과 같다.

◎ 인삼의 수분확산계수는 다른 농산물과 달리 함수율에 무관하고 온도만의 함수로 나타났다.

◎ 온도 30-80℃ 범위에 적용할 수 있는 건조방정식은 실험식 모델로서 $MR = C_1 + C_2 \text{ Lnt}$ (MR: 함수비, 소수; t: 건조시간)에 대하여

$$C_1 = 0.8099 - 0.0003988 T + 0.003215 RH$$

$$C_2 = -0.1564 - 0.001082 T - 0.0006451 RH$$

(T: 건조공기 온도, ℃ ; RH: 상대습도, %) 으로 분석되었다.

◎ 열풍과 원적외선 겸용 연속식 인삼 건조시스템의 시작품을 개발하였으며 시작품은 건조성능 및 작동특성이 우수한 것으로 분석되었다.

◎ 시작품 건조시스템에서 건조실험을 수행한 결과 같은 함수비까지 인삼을 건조하였을 때 원적외선 건조의 성능평가지수가 열풍건조 성능평가지수의 1/3 수준으로 나타났다.

◎ 12 시간동안 건조를 하였을 때 인삼의 온도와 최종 함수비는 반비례하는 특성을 보였으며, 선형 관계식은 $y = -0.0072 x + 0.6054$ (y: 최종 함수비, x: 인삼온도, ℃; $R^2 = 0.92$)으로 분석되었다.

◎ 3시간 건조, 3시간 템퍼링 방식과 6시간 건조 6시간 템퍼링 방식으로 건조하였을 때 두 방식간의 건조 특성의 차이는 나타나지 않았으며 또한 연속식 건조방식과 비교하였을 때도 별 차이가 나타나지 않았다. 인삼은 다공성 물질이어서 템퍼링의 효과가 거의 없는 것으로 판단되었다.

- ◎ 건조된 인삼을 색도계로 색도를 측정한 결과 원적외선 방사판의 온도를 150℃로 한 조건에서 건조된 인삼의 색택은 노란색을 많이 가졌으며 시중의 1 등급 인삼과 비교하였을 때 색도값 차이가 인정되었다. 하지만 100℃ 이하의 방사판 온도조건에서 건조된 인삼은 1 등급 인삼과 비교하였을 때 색도값 차이가 인정되지 않았다.
- ◎ 인삼의 단면적 수축율은 35-60%의 범위를 가졌으며 최종 함수비와 반비례 관계를 가지는 것으로 분석되었다. 관계식은 $y = -71.932x + 63.61$ (y : 단면적 수축율,%; x : 최종 함수비, 소수; $R^2 = 0.91$) 이었다.
- ◎ 실험 건조조건 범위에서는 건조조건과 인삼의 성분(사포닌과 유리당)간에는 관련성이 없는 것으로 분석되었다.
- ◎ 건조시간이 증가함에 따라 건조시간 구간별 건조 에너지는 유사하였으나 구간별 건조 열효율은 함수비와 같이 지수 형태로 감소하였다. 그러나 누적 건조에너지와 누적 열효율은 거의 직선적으로 증가하고 감소하였다.
- ◎ 건조 시간이 증가함에 따라 건조기 내부의 건조 공기온도는 거의 일정하였으나 인삼의 온도는 초기 2시간 정도까지 급격히 상승한 후 지속적으로 완만히 증가하였다.
- ◎ 건조 시스템에 투입하는 인삼의 량이 증가하여도 건조속도는 거의 차이가 없었으나 열효율은 투입량 증가율에 비례하여 증가하는 경향을 나타내었다.
- ◎ 건조 시스템의 최적 작동조건은 원적외선 방사판의 온도 100℃, 열풍온도 무처리(상온), 건조공기 속도 0.2m/s, 연속건조 방법으로 분석되었으며 이 조건에서 안전저장 함수율 13% (w.b.)까지 건

- 조하는데 소요되는 시간은 24시간 정도로 분석되었다. 또한 인삼 투입량을 최적으로 하였을 때 열효율은 약 65% 정도로 분석되었다.
- ◎ 실용적인 열풍 원적외선 겸용 연속식 인삼 건조 시스템의 제작도면을 작성하였다.
 - ◎ 건조과정 중의 수분이동을 확산현상으로 해석한 인삼의 열풍건조 model을 개발하고, model에 의한 함수율 예측치를 실험치와 비교함으로써 그 유용성을 검토하였다. 개발된 건조 simulation model은 기존의 건조실험식들과 동등한 수준의 예측성능을 보였다.
 - ◎ 본 연구에서 사용된 분산형 건조 model은 유사확산형 건조방정식과 거의 동등한 수준의 함수율 예측도를 보였지만, 인삼의 유효수분확산계수 D_{eff} 의 정밀한 측정, 그리고 D_{eff} 값과 온도, 함수율 간의 상관관계에 대한 추가연구의 필요성이 인식되었다.
 - ◎ 개발된 열풍건조 model을 사용, 열풍건조 과정과 템퍼링 과정의 반복으로 이뤄지는 인삼의 간헐 건조법에 대한 모의실험을 실시하여 건조 소요시간과 소요 에너지를 분석하였다. 총 건조 소요시간은 템퍼링이 전체 건조과정에서 차지하는 비율에 따라 증가하였으나, 템퍼링 구간과 열풍건조 구간 간의 시간비에 정확히 비례하지는 않았다. 반면, 건조 소요에너지는 템퍼링 구간과 열풍건조 구간 간의 시간비가 커짐에 따라 감소함이 예측되었다.
 - ◎ 인삼의 원적외선 건조에 대한 model을 개발하고, model에 의한 함수율 예측치를 실험치와 비교함으로써 그 유용성을 검토하였다. 개발된 원적외선 건조 simulation model은 만족할 만한 수준의 예측성능을 보였다.
 - ◎ 원적외선 건조 model을 사용, 인삼의 연속식 원적외선 건조에 대한

모의실험을 실시하여 원적외선 방사판의 온도 및 건조공기의 온도와 습도가 주요 건조특성에 미치는 영향을 조사하였다. 건조 소요시간은 건조공기의 온도에 크게 좌우되었으며, 원적외선 판의 온도는 건조공기의 온도와 함께 인삼의 온도변화에 다소 영향을 주었다.

- ◎ 모의실험 결과, 방사판의 온도가 100°C인 원적외선을 인삼건조에 사용할 경우, 관행 열풍 건조법에 비해 소요시간을 약 1/3로 단축시킬 수 있으리라 추정되었다.

제 2 세부과제 : 인삼의 품질자동평가 시스템 개발

- ◎ 관행의 인삼 검사기준을 검토하여 백삼의 품위 결정에 큰 영향을 미치면서 객관적 정량화가 가능한 인삼 몸통의 최대·최소 직경·길이, 다리의 수·길이·직경, 인삼의 섀택 그리고 외부 결함 등의 품질 인자들을 선택하였다.
- ◎ 인삼의 광학적 특성에 알맞은 영상 처리 시스템을 구성하였고 조명의 영향을 최소화하기 위하여 인삼 영상에 농도변환의 전처리를 수행하였다.
- ◎ 인삼의 뇌두, 몸통, 주근 및 지근의 크기와 기하학적 형상특징, 표면결함 영역의 분할, 그리고 수학적 특징을 추출할 수 있는 영상처리 기법을 개발하였다.
- ◎ 논리규칙에 의한 등급판정을 위해서는 기하학적인 특징이나, 결함 영역의 면적비율 등과 같은 물리적 특징들에 근거한 판정규칙을 설정하는 것이 바람직함을 알았다.
- ◎ 무작위 인삼을 대상으로 한 품질평가 시스템의 성능 평가에서는 25

가지의 수학적 특징들과 인삼의 증량을 이용한 인공지능회로망을 이용하였다. 이 시스템의 판정 성공률은 약 74%로 나타났다.

- ◎ 인삼의 증량대신 인삼영상의 투영면적을 이용한 연속적으로 공급되는 인삼의 실시간 품질평가 시스템의 알고리즘을 완성하였다.
- ◎ 시료를 이송하는 컨베이어 장치와 움직이는 시료로부터 영상을 획득, 분석하는 기계시각 장치, 그리고 이를 구동하는 소프트웨어로 구성된 실시간 인삼 품질 평가 시스템을 개발하였다.
- ◎ 개발된 실시간 인삼 품질 평가 시스템은 초당 한 개의 인삼을 처리할 수 있었으며 인삼 선별 전문가와의 판정 일치률은 약 74%로 시스템의 성능은 고무적이다.
- ◎ 본 연구에서 두 인삼 선별 전문가 그룹간의 판정 일치률은 약 70%로 인삼 선별 전문가간에도 오차가 있음을 알 수 있었다.
- ◎ 본 연구에서 개발된 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템은 인삼 선별 전문가와의 판정 일치률이 74%로 인삼 선별 전문가간의 판정 일치률 70% 보다도 약간 높아 초당 처리 속도를 증가시키면 실용적인 품질 자동 평가 시스템의 개발이 가능하리라 사료된다.

2. 결과 활용에 대한 건의

제 1 세부과제 : 인삼의 최적건조 시스템 개발

본 연구에서 개발된 원적외선과 열풍을 겸용으로 하는 연속식 건조 시스템은 품질과 건조에너지 그리고 건조기 용량면에서 많은 장점을 지니고 있는 것으로 판단되어 상품성이 있는 것으로 생각되며 또한 여타의 농산물 및 식품의 건조시스템으로도 활용될 수 있을 것이다. 품질과 건조 소요에너지 관점에서의 인삼의 최적건조 시스템이 개발된다

면, 건조에 소요되는 에너지 비용의 최소화와 품질의 향상을 통해 한국 인삼제품은 국제시장에서 가격과 품질 경쟁력은 동시에 달성할 수 있으리라 사료된다. 본 연구에서 개발한 원적외선과 열풍을 겸용할 수 있는 연속식 건조시스템을 제작한 주식회사 씨릭(건조기 제작업체)과 협의하여 상품화를 시도해 볼 계획이다.

제 2 세부과제 : 인삼의 품질자동평가 시스템 개발

본 연구에서 개발한 실시간 영상처리 응용 인삼 품질판정 시스템은 객관적이고 일관성 있는 등급판정을 가능하게 해주며 인삼 선별의 자동화를 위해서는 필수적인 핵심기술을 포함하고 있다. 따라서 개발된 기술은 인삼제품 선별의 자동화를 통하여 노동력을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 인삼제품의 고품질화를 통하여 우리 인삼의 국제경쟁력을 강화하는데 기여할 수 있을 것이다. 아울러 현재 정부에서 추진하고 있는 한국 인삼제품의 코덱스규격화를 위한 기초자료로도 활용될 수 있으며 이러한 축적된 know-how는 기타의 농산물의 품질평가에도 활용될 수 있다. 앞으로 본 연구에서 개발한 기술과 인삼의 내부 품질평가 기술을 접합시킨다면 더욱 완벽한 인삼품질평가 시스템이 될 것이다. 이에 좀더 많은 관심과 연구 노력이 필요하리라 생각된다.

S U M M A R Y

I. TITLE

Development of Optimal Drying and Automatic Quality
Evaluation Systems for Korean Ginseng

II. OBJECTIVES AND NECESSITY OF THE STUDY

1. Objectives

The First Subsection: Development of Optimal Ginseng Drying
System

To design and fabricate a prototype ginseng drying system
considering ginseng quality and drying energy.

To analyze the drying performance of the prototype drying
system

To build the basic data for designing an optimal infrared
and hot air drying system of ginseng

The Second Subsection: Development of Automatic Ginseng
Quality Evaluation System

To set up a real-time automatic ginseng quality
evaluation system based on acquired image information

2. Necessity

Korean ginseng known worldwide is a typical Korean product.
And its value added is so high that recent ginseng production of
China, United States of America, Canada, and Japan is

dramatically increasing and many researches about processing technology to increase the ginseng quality are undertaken. Provide for this, we have to develop the new processing technology for producing higher quality ginseng products than those of foreign countries. So we can keep our pride as a ginseng suzerain state.

Ginseng drying was mainly done by a sun-dried method. Recently, however, a artificial hot air drying method is preferred due to the shortage of labor force. However, theoretical studies about ginseng drying and application studies based on those were hardly done. As a result of this, ginseng drying process is being done inefficiently up to now.

Current ginseng quality evaluation is done by an eye inspection of a ginseng inspector by comparing a sample to a standard. However, the eye inspection has several disadvantages such that eyes can be easily fatigued due to repeated works, eyes can not differentiate small color difference, there are too much differences about inspection standard to person by person. Thus the cost of Korean ginseng products is so high and the credibility of Korean ginseng quality is not so high.

Korea which has small ginseng cultivating areas must maintain a policy of securing a competitive power by producing the high quality ginseng products and reducing the cost of production. To produce high quality ginseng products, studies about the

development of core processing techniques about drying, grading, and quality evaluation and the development of techniques reducing the cost of production through decreasing energy consumption for production and processing ginsengs.

III. SCOPE OF THE STUDY

1. The First Subsection: Development of Optimal Ginseng Drying System

The First Year

- ⊙ Reanalysis of existing hot air drying data of ginseng
- ⊙ Development of hot air drying equation with high temperature hot air drying experiment
- ⊙ Development and verification of hot air drying simulation model

The Second Year

- ⊙ Study on the infrared ray drying characteristics of ginseng
- ⊙ Development and verification of infrared ray drying simulation model

The Third Year

- ⊙ Development of prototype infrared ray drying system, determination of operating conditions
- ⊙ Evaluation of the energy efficiency of the prototype drying system
- ⊙ Increasing simulation performance

2. The Second Subsection: Development of Automatic Ginseng Quality Evaluation System

The First Year

- ◎ Quantification of quality evaluation standards
 - Selection of suitable quality evaluation features
 - Measurement and analysis of external shape features
 - Measurement and analysis of optical properties
 - Quantification of quality evaluation standards considering all available features

The Second Year

- ◎ Development of image processing techniques for extraction of quantified quality evaluation features
 - Setting-up of suitable image processing system considering optical properties of ginseng and preprocessing of acquired images
 - Development of image processing techniques for extraction of selected features
 - Development of image processing techniques for quantification of ginseng coloration

The Third Year

- ◎ Development of real-time ginseng quality evaluation system
 - Evaluation of quality evaluation algorithm
 - Development of quality evaluation algorithm for continuously

fed ginsengs

- Development of real-time ginseng quality evaluation system
- Evaluation of efficiency of a developed real-time ginseng quality evaluation system

IV. RESULTS OF THE STUDY AND OPINION OF UTILIZING THE RESULTS

1. Results of the study

The results of this study were summarized as follows:

The First Subsection: Development of Optimal Ginseng Drying System

In this study, a continuous flow dryer using infrared ray and hot air was developed as a prototype ginseng drying system for effective drying. The optimal drying conditions and drying characteristics of the prototype system was investigated with experiments. A simulation models to predict the drying system performance was developed with FORTRAN.

The results were summarized as follows:

- ◎ The water diffusion coefficient of ginseng was a function of temperature only.
- ◎ The drying equation was developed as an empirical model in the range of 30°C and 80°C. The drying equation was as follows.

$$MR = C_1 + C_2 \text{ Lnt}$$

where MR: moisture content, decimal; t: drying time, hr

$$C_1 = 0.8099 - 0.0003988 T + 0.003215 RH$$

$$C_2 = -0.1564 - 0.001082 T - 0.0006451 RH$$

where T: drying air temperature, °C; RH: relative humidity, %

⊙ The prototype drying system had high energy efficiency and operated very well.

⊙ The performance evaluation index by a infrared ray drying was 1/3 of that by a hot air drying when ginsengs were dried up to same moisture ratio in the prototype drying system.

⊙ As ginsengs were dried for 12 hours in the prototype drying system, relation between final moisture ratio and ginseng temperature was analyzed as a following linear equation and its R^2 was 0.92:

$$y = -0.0072 x + 0.6054$$

where x: temperature of ginseng, °C; y: final moisture ratio; decimal

⊙ When ginsengs were dried by two drying modes, 3 hour drying and 3 hour tempering, and 6 hour drying and 6 hour tempering in the prototype drying system, drying rate was little different between two modes. Also difference of drying rate was little between continuous drying and tempering drying mode. There was little tempering effect because ginseng is a porous material.

- ◎ The result of analyzing color of dried ginseng using a colorimeter showed that the coloration of dried ginseng was close to yellow at 150 °C of infrared ray plate temperature. There was color difference between ginseng dried at 150°C of IR plate and commercial first grade ginseng. However there was no clear color difference when ginseng was dried at 100 °C or lower temperature of IR plate.
- ◎ The shrinkage ratio of cross section area of ginseng was from 35% to 60% and it was inversely proportional to final moisture ratio. The linear relation between them was analyzed as following equation and it's R² was 0.91.

$$y = -71.932 x + 63.61$$
where x: final moisture ratio, decimal; y: shrinkage ratio of cross section area, %
- ◎ In the range of experimental drying condition, it was analyzed that there was no relationship between drying condition and chemical component of ginseng.
- ◎ As drying time increased, drying energy of each drying time period was similar but energy efficiency was exponentially decreased like moisture ratio did. However, accumulated drying energy increased while accumulated energy efficiency decreased linearly.
- ◎ With the increasement of drying time the drying air temperature in the prototype drying system was nearly

constant. However, ginseng temperature was drastically increased during the first 2 hours and then gradually increased to the end of drying.

- ◎ There was little difference on drying rate with increasing the amount of ginseng to be dried. However the energy efficiency increased proportionally to the increasement of ginseng amount to be dried.
- ◎ The optimal drying conditions of the developed prototype drying system were analyzed as follows. The IR plate temperature was 100 °C with ambient air temperature. Drying air speed was 0.2 m/s and a continuous drying mode was preferred. At optimal drying conditions, the required time for ginsengs to be dried to the safe storage moisture content of 13% w.b. was 24 hours and the energy efficiency of the prototype drying system was about 65%.
- ◎ A diffusion type model for hot air drying of Korean ginseng was developed. The model was comparable to the empirical drying equations in terms of predictability.
- ◎ The diffusion type model provided a satisfactory prediction of moisture change during drying. Model predictability, however, likely to improve if the effective moisture diffusivity would be further refined.
- ◎ Drying time, drying rate, and energy consumption was calculated from the simulation results on a continuous hot

air and three cyclic drying of ginseng, where a period consisting of 30 min drying phase and subsequent tempering phase of 30, 60, and 90 min, respectively, is repeated throughout the entire process. Total drying time increased as the time ratio of tempering to drying phase increased, but not necessarily proportionally. Energy consumption decreased as the time ratio of tempering to drying phase increased.

- ◎ A simulation model for infrared ray drying of Korean ginseng was developed. The model prediction of moisture change was fair.
- ◎ Continuous infrared ray drying process of ginseng was simulated to study the effects of infrared heater temperature, drying air temperature and humidity on some drying characteristics. Total drying time was closely related to the drying air temperature. Infrared heater temperature, combined with the drying air temperature, showed some influence on the temperature evolution of ginseng during drying.
- ◎ Compared with the conventional hot air drying routine, infrared ray ginseng drying with heater temperature of 100°C was predicted to reduce the drying time by 1/3.

The Second Subsection: Development of Automatic Ginseng

Quality Evaluation System

Following study was focused on the development of automatic ginseng quality evaluation system. The results were summarized as follows:

- ◎ Quality evaluation features such as external shape features, coloration, and external damaged areas were selected based on current ginseng grading standards.
- ◎ Suitable image processing system considering optical properties of ginseng was built and preprocessing of acquired images was done to minimize lighting effect.
- ◎ Image processing techniques for extraction of geometrical features, segmentation of damaged surface areas, and mathematical features were developed.
- ◎ Physical features such as geometrical features, ratio of damaged surface areas etc. were suitable for grading ginsengs.
- ◎ Artificial neural networks utilizing 25 mathematical features and a weight of a ginseng were used to test the automatic quality evaluation system. The successful evaluation rate of the system was about 74%.
- ◎ Quality evaluation algorithm for continuously fed ginsengs was developed by using an area of a ginseng from an acquired image instead of using a real weight.

- ◎ A real-time ginseng quality evaluation system including a hardware consisted of a conveyor, and a machine vision system and a software for acquisition of an image, processing it, and finally evaluating quality of a ginseng was developed.
- ◎ The developed quality evaluation system could process one ginseng per a second. The successful evaluation rate of the system compared to a ginseng-quality evaluation expert group was about 74%.
- ◎ In this study, it was found that the grading consistency rate of two ginseng-quality evaluation expert groups was about 70%.
- ◎ The successful evaluation rate of the developed system compared to a ginseng-quality evaluation expert group was higher than that of two ginseng-quality evaluation expert groups. This urged to develop a practical quality evaluation system on condition that if we can increase ginseng processing speed per a second.

2. OPINION OF UTILIZING THE RESULTS

The opinion of utilizing the results of this study is summarized as follows:

The First Subsection: Development of Optimal Ginseng Drying System

The developed continuous drying system using infra-red ray

combined with hot air has many advantages regarding the quality of processed products, energy consumption, and dryer capacity. Also, it can be used for drying of other agricultural and food products. If a optimal drying system considering final product quality and consumed drying energy is built, Korean ginseng products will have competitive power of cost and quality by minimizing consumed drying energy and improving quality at the international market. The developed drying system will be commercialized in conjunction with a private company fabricated the prototype drying system.

The Second Subsection: Development of Automatic Ginseng Quality Evaluation System

The developed real-time quality evaluation system based on a machine vision technique enable us to grade ginsengs objectively and consistently. It has necessary core techniques for the automation of ginseng quality evaluation. Thus the developed techniques can contribute to reducing labor power and increasing international competitive power. In addition to that they can be used as a basic information for government-driven Korean ginseng standardization which is a part of CODEX. The accumulated technical know-hows can be applied to quality evaluation of other agricultural products. The developed quality evaluation techniques combined with internal ginseng quality evaluation techniques will be used

for the development of a perfect ginseng quality evaluation system. More interests and research efforts are needed in this area of research.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction

Chapter 2. Development of Optimal Ginseng Drying System

Paragraph 1. Introduction

Paragraph 2. Processing of Ginseng

Paragraph 3. Hot Air Drying Characteristics of Ginseng

Paragraph 4. Infrared Ray Drying Characteristics of Ginseng

Paragraph 5. Prototype Design of Continuous Flow Ginseng Drying
System using Infrared Ray and Hot Air

Paragraph 6. Drying Characteristics of Prototype Drying System

Paragraph 7. Tempering Drying Characteristics of Prototype Drying
System

Paragraph 8. Quality Characteristics of Ginseng dried in the
Prototype Drying System

Paragraph 9. Optimal Drying Conditions of Prototype Drying System

Paragraph 10. Discussion about the Overall Performance of the
Prototype Drying System

Paragraph 11. Conclusions

Chapter 3. Development of Ginseng Drying Simulation Model

Paragraph 1. Introduction

Paragraph 2. Basic Theory of Drying Simulation Model

- Paragraph 3. Development of Hot Air Ginseng Drying Simulation Model
- Paragraph 4. Verification of Hot Air Ginseng Drying Simulation Model
- Paragraph 5. Experiment using Hot Air Ginseng Drying Simulation Model
- Paragraph 6. Development of Infrared ray Ginseng Drying Simulation Model
- Paragraph 7. Verification of Infrared ray Ginseng Drying Simulation Model
- Paragraph 8. Experiment using Infrared ray Ginseng Drying Simulation Model
- Paragraph 9. Conclusions

Chapter 4. Development of Automatic Ginseng Quality Evaluation System

- Paragraph 1. Introduction
- Paragraph 2. Analysis of Current Ginseng Grading Standards and Selection of Suitable Quality Evaluation Features
- Paragraph 3. Measurement and Analysis of Selected Quality Evaluation Standard
- Paragraph 4. Quantification of Quality Evaluation Standards
- Paragraph 5. Setting-up of Suitable Image Processing System Considering Optical Properties of Ginseng and Preprocessing of Acquired Images

Paragraph 6. Development of Image Processing Techniques for
Extraction of Selected Features

Paragraph 7. Evaluation of Quality Evaluation Algorithm

Paragraph 8. Development of Quality Evaluation Algorithm for
Continuously Fed Ginsengs

Paragraph 9. Development of Real-time Ginseng Quality Evaluation
System

Paragraph 10. Evaluation of Efficiency of Development Real-time
Ginseng Quality Evaluation System

Paragraph 11. Conclusions

References

목 차

제 1 장 서론

- 제 1 절 연구개발의 목적
- 제 2 절 연구사
- 제 3 절 연구개발의 내용 및 범위

제 2 장 인삼의 최적 건조시스템 개발

- 제 1 절 서언
- 제 2 절 인삼의 가공공정
- 제 3 절 인삼의 열풍 건조특성
- 제 4 절 인삼의 원적외선 건조특성
- 제 5 절 인삼의 열풍과 원적외선 겸용 연속식 건조시스템 설계
- 제 6 절 열풍과 원적외선 겸용 연속식 건조시스템의 건조특성
- 제 7 절 열풍과 원적외선 겸용 연속식 건조시스템의 템퍼링 건조특성
- 제 8 절 열풍과 원적외선 겸용 연속식 건조시스템의 품질 특성
- 제 9 절 열풍과 원적외선 겸용 연속식 건조시스템 최적 작동조건
- 제 10 절 인삼 건조시스템의 실용화 검토
- 제 11 절 결론

제 3 장 인삼의 건조 시뮬레이션 모델 개발

- 제 1 절 서언
- 제 2 절 건조 시뮬레이션 모델의 기초 이론
- 제 3 절 인삼의 열풍 건조 시뮬레이션 모델의 개발
- 제 4 절 인삼의 열풍 건조 시뮬레이션 모델의 검증

- 제 5 절 인삼의 열풍 건조 시뮬레이션 모델의 모의실험
- 제 6 절 인삼의 원적외선 건조 시뮬레이션 모델의 개발
- 제 7 절 인삼의 원적외선 건조 시뮬레이션 모델의 검증
- 제 8 절 인삼의 원적외선 건조 시뮬레이션 모델의 모의실험
- 제 9 절 결론

제 4 장 인삼의 품질 자동 평가 시스템 개발

- 제 1 절 서언
- 제 2 절 현행 백삼제품 검사기준의 분석 및 적절한 품질평가인자의 선정
- 제 3 절 선정된 품질평가인자의 측정 및 분석
- 제 4 절 종합적 품질평가기준의 정량화
- 제 5 절 인삼의 광학적 특성에 알맞은 영상처리시스템의 구성 및 입력영상의 전처리
- 제 6 절 뇌두, 몸통, 주근 및 지근의 크기와 형태의 추출을 위한 영상 처리기법의 개발
- 제 7 절 무작위 인삼을 대상으로 한 품질평가시스템의 알고리즘 성능 평가
- 제 8 절 연속적으로 공급되는 인삼의 실시간 품질 평가 시스템의 알고리즘 완성
- 제 9 절 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템 개발
- 제 10 절 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템의 성능 평가
- 제 11 절 결론

참고문헌

제 1 장 서 론

제 1 절 연구 개발의 목적

고려인삼은 전세계적으로 인정받고 있는 우리나라의 대표적인 작물이다. 또한 그 부가가치가 높기 때문에 중국, 미국, 캐나다, 일본 등에서는 최근 인삼생산량이 급속히 증가하고 있으며 고품질 가공을 위한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 이에 대비하여 우리나라도 약효성분이 월등히 뛰어난 고려인삼을 더욱 고품질화하여 외국산 인삼과 차별화를 꾀함으로써 인삼종주국이라는 자존심을 지켜나가야 할 것이다.

외국으로부터의 값싼 인삼의 수입을 억제하고 우리나라 인삼의 수출경쟁력을 제고시키기 위해서는 품질을 향상시키고 제조원가를 낮출 필요가 절실하다. 따라서 백삼의 제조공정중 품질에 가장 영향을 미치고 에너지 소비가 가장 많아 제조원가의 상승을 초래하는 건조공정의 최적화에 관한 연구와 품질의 신뢰성을 떨어뜨리고 전문노동력을 필요로 하는 품질판정 및 선별의 자동화에 관한 연구가 시급한 실정이다.

백삼건조는 주로 천일건조에 의해 이루어져 왔으나 근래에는 노동력 부족으로 인하여 인공건조가 점점 증가하고 있다. 그러나 인삼건조에 대한 이론적인 연구와 이에 입각한 실용화 연구라는 체계적인 접근방법의 결여로 현재까지 건조공정 및 건조기의 설계, 개발 및 운전은 비효율적으로 이루어지고 있는 실정이다.

인삼의 품질판정 및 선별공정도 인력에 의존하고 있어 객관적이고 일관된 기준에 의한 품질 자동판정시스템의 개발이 요구되고 있다.

특히 전매사업으로 한국담배인삼공사에 의해서만 조제, 가공되어 왔던 홍삼제품의 제조가 일반농가 및 가공업자에게도 최근 개방됨으로서 효율

적인 인삼건조시스템 및 객관적인 품질자동판정 시스템의 개발이 시급한 실정이다.

인삼의 약효가 세계적으로 인정받으면서 재배는 미국, 유럽 등지까지 확대일로에 있다. 현재 중국으로부터 수입 또는 밀수입되고 있는 인삼으로 인해 국내 인삼업계의 타격이 심각하며, 이런 양상은 미국, 유럽 등지의 광활한 토지 소유국의 인삼재배가 늘어나면서 더욱 심각해질 것이다.

인삼경지면적이 적은 한국은 인삼제품의 고품질화와 생산비 절감으로 경쟁력을 확보하는 정책이 필요하며 인삼제품의 고품질화를 위하여 핵심가공기술 (건조, 선별, 품질평가 등) 개발과 생산 및 가공 에너지 절감을 통한 생산비 절감 기술개발에 관한 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 인삼의 효율적인 건조를 위해 저온 통풍건조와 적외선 건조를 조합한 새로운 건조기법에 따른 인삼의 건조방법과 기존의 열풍건조방법을 혼합한 연속식 건조시스템의 시작품을 개발하여 설계 제작하고 시작품의 최적 작동조건을 구명하고 최적 작동조건에서의 건조성능을 종합적으로 분석하여 인삼의 최적 건조시스템을 설계 완성하고자 하였다.

또한 인삼 건조시스템의 성능을 예측할 수 있는 simulation model과 영양정보를 기초로 하는 인삼의 등급판정 알고리즘 및 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템을 개발하고자 하였다.

제 2 절 연구사

1. 건조의 기초이론

농산물의 변질을 방지하고 저장성과 가공성을 향상시키기 위하여 농산물에서 수분을 제거하는 것을 건조(drying) 또는 탈수(dehydration)라고

한다. 이와 같은 용어는 보통 같은 의미로 사용되나 건조는 보통 대기와 평형을 이루고 있는 함수율, 즉 곰팡이류, 효소작용 및 해충에 의한 품질 저하가 대부분의 재료에 대하여 무시될 정도까지 수분을 제거하는 것을 말한다. 탈수는 매우 적은 함수율 즉 거의 마른 상태까지 수분을 제거하는 것을 말한다. 완전건조(bone-dry)물질이란 모든 수분이 제거된 물질 즉 함수율이 0인 물질을 말한다. (Henderson과 Perry, 1976)

어떤 물질이 일정한 공기조건하에서 건조될 때 건조 초기에는 항울건조기간을 나타내고, 이어 감울건조기간을 나타낸다. 항울건조와 감울건조의 경계지점의 함수율을 임계함수율(critical moisture content)이라고 하며, 임계의 함수율로부터 평형함수율을 뺀 차이를 자유함수율(free moisture content)이라고 한다(고 등, 1990; Brooker 등, 1974; Handerson과 Perry, 1976).

항울건조기간에서의 건조는 재료의 표면으로부터 일어나며 재료의 표면에 수막이 형성될 정도로 많은 수분을 함유하고 있는 재료의 경우로서 자유수의 표면으로부터 수분이 증발되는 현상과 비슷하다. 따라서 항울건조기간은 표면이 물에 완전히 젖은 물질에서 볼 수 있으며 대부분의 농산물의 경우 이 기간은 없거나 매우 짧다.

감울건조기간에는 물질내부에서의 수분이동이 건조특성을 지배하며 액체확산(liquid diffusion)등에 의하여 재료 내부에서 물질의 표면으로 수분이 이동한 다음 수분이 제거된다. 대부분의 농산물은 감울건조기간을 나타내며 건조속도는 건조기간 중에 계속해 감소한다. 따라서 건조특성은 물질내부에서의 수분이동에 의하여 거의 좌우된다고 할 수 있는데 Van Aresdel(1963)은 물질내부에서의 수분의 이동은 매우 다양한 메카니즘으로 이루어 진다고 하였다(Chirife, 1983).

대부분의 농산물은 흡습성 통기성 물질로서 Hukill(1947)은 건조공기에 완전히 노출된 흡습성 물질은 수분을 주위의 공기로부터 혹은 주위의 공기에 이동하게 되는데 수분 이동량은 다음과 같은 식으로 추정할 수 있다고 하였다(Anderson과 Alock, 1953).

$$dM/dT = -C(P_g - P_a)$$

M : 함수율(% , db)

t : 시간

C : 매개변수

P_g : 물질내의 수분의 증기압

P_a : 건조공기의 증기압

만약 P_g 가 P_a 보다 크면 건조가 되고 P_g 와 P_a 가 같으면 평형을 이뤄 수분의 이동은 발생하지 않으며 P_g 가 P_a 보다 작으면 흡습이 일어난다고 하였다.

2. 인삼의 가공공정과 화학 성분

가. 가공공정

인삼의 가공은 원형을 유지하는 1차 가공과 1 차 가공된 인삼을 원료로 하여 다시 여러 가지 형태로 가공하는 2차 가공으로 구분할 수 있으며 여기서는 1차 가공과 백삼에 대한 공정에 국한하고자 한다.

백삼이란 보통 4년근 이상의 수삼을 원료하여 표피를 제거하거나 혹은 표피 그대로 건조하여 수분함량이 안전저장 함수율인 13%(w.b) 이하가 되도록 가공한 원형유지 인삼제품을 말한다. 백삼은 홍삼과 더불어 원형유지 가공인삼제품의 주종을 이루는데 그 동안 우리 나라에서는 백삼포가 홍삼포의 5배 이상을 유지하였다. 백삼은 자연건조 혹은 45-50℃의 열풍

건조 방법으로 건조되기 때문에 amylase, invertase 등과 같은 효소가 활성을 지닌 상태이다. 따라서 장기 저장시에는 일부 배당체 성분의 부분 분해 및 지방류의 자연 산패가 서서히 진행될 수도 있으며, 가공과정중 갈색화 반응은 거의 이루어지지 않아 색상은 유백색 또는 난백색을 띄는 것이 보통이다(고 등,1994).

백삼의 종류에는 직삼, 반곡삼, 곡삼, 미삼, 생건삼, 춘미, 파삼, 피부백삼 등으로 구분될 수 있으며 본 연구의 실험 시료로는 4년근의 박피 직삼을 이용하였다.

백삼 제조시 사용되는 수삼의 채굴시기는 9-10월이 적기이지만 7-8월경부터 채굴하여 가공되기도 한다. 백삼의 가공공정은 보통 다음과 같다.

▷ 직삼 및 반곡삼

원료수삼-치미-세삼-박피-일건(열풍건조, 결각포함)-등급선별-작근-포장

▷ 곡삼

원료수삼-치미-세삼-박피-1차건조-습점-2차건조(결각포함)-등급선별-작근-포장

나. 화학성분

인삼이 약용으로 이용된 역사는 매우 깊어 2,000년이 넘는다고 알려져 있는데 최근에 사포닌의 약효가 과학적으로 증명이 되면서 인삼은 건강식품으로서 각광을 받고 있다. 특히 고려인삼이 함유하고 있는 사포닌은 종류가 제일 많고 또한 약효가 뛰어난 것으로 유명하다.

사포닌이란 스페인어의 거품에서 유래된 말로 일반적인 특성은 물, 알콜에 잘 녹고 지속적인 거품이 있으며 생리적으로는 해독작용과 적혈구 용혈작용이 있다. 화학적으로는 리벨만부차드반응에 적색으로 발색되고 비당부에 당류가 결합된 배당체이다(고 등,1994). 인삼의 사포닌은 한방

에서 사용되는 다른 생약제 속에 들어 있는 사포닌과는 다르게 약성이 매우 온화하고 과량 투여에 의한 독성이 없을 뿐만 아니라 용혈작용이 거의 없는 것으로 알려져 있다.

인삼사포닌은 중추신경 억제작용, 단백질합성 촉진작용, 부신피질호르몬 분비촉진, 인슐린 유사작용, 해독작용, 항염증, 혈소판 응집억제 등의 많은 효능이 있는 것으로 보고되고 있으며 표 1-1 은 고려인삼과 외국삼의 사포닌 함유를 비교한 것이다(고 등,1994).

표 1-1 고려인삼과 외국삼의 사포닌 종류의 비교

종별 성분	고려홍삼	한국백삼	미국삼	전칠삼 (일본)
총 사포닌 수	25	22	13	14
파낙스 다이올계	15	14	8	5
파낙스 트리올계	9	7	4	9
올레안계	1	1	1	-

3. 원적외선 건조의 특성과 신건조 기술

가. 원적외선 건조 특성

적외선은 전자파 중에서 가시광선과 마이크로파의 중간영역(파장 760nm-200 μ m)에 있다. 적외선 중에서 2.5-5.0 μ m 보다 긴 파장대를 원적외선(far-infrared), 짧은 파장대를 근적외선(near-infrared)이라 한다. 특히 파장이 긴 원적외선은 근적외선보다 재료내부로의 침투성이 높으나 마이크로파보다는 낮다. 그러나 마이크로파보다 온화한 가열이며 마이크로파에서와 같은 누설의 위험이 적다. 원적외선 건조는 버섯류의 건조에 많이 이용된다.

원적외선은 마이크로파와 인접한 파장의 전자파이므로 마이크로파의 특성을 다소 가지고 있어 단파장의 전자파가 아니라 스펙트럼을 갖고 있고 감쇠상수는 파장의 함수이다. 벼 건조의 경우에는 침투깊이가 1mm 이하로 알려져 있다(고 등, 1995).

나. 연속식 건조기

연속식 건조기는 다회통과 건조 시스템으로서 배치식(회분식)에 비하여 처리능력을 5배 정도까지 향상 시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 연속식 건조기는 횡류형, 병류형 및 혼합류형으로 분류될 수 있으며 횡류형은 피건물의 흐름과 열풍의 흐름이 수직으로 교차하는 형식이며 주상 스크린형, 주상 배플형 및 사류형이 여기에 속한다. 병류형은 피건물의 흐름과 열풍의 흐름이 동일한 형식으로서 건조실의 설치수에 따라 1단, 2단 및 3단이 있으며 보통 2-3단이 많이 이용된다. 혼합류형은 피건물의 흐름에 대하여 열풍의 흐름 방향이 횡류, 병류 및 향류가 혼합된 형식으로서 산형다관형 또는 LSU 형이라고도 한다. 이러한 연속식 건조기는 대량으로 곡물을 건조하는 미국과 일본에서 주로 이용되고 있다(고 등, 1995).

4. 기타 종합

국내에서의 이 분야에 대한 연구 동향을 분석하여 보면 건조 분야에서는 성 현순(1983)이 백삼의 건조방법개선에 관한 연구에서 함수율 12% 까지 건조하는데 소요되는 시간은 건조온도와 원료수삼의 크기 및 조직, 체형 등에 따라 차이가 있으나 대체로 50℃의 건조온도에서 소편의 경우 60시간, 중편은 80시간, 대편은 100시간 정도였으며 외부 갈변현상은 40-45℃의 건조온도가 50-55℃의 경우보다 적게 나타나 백삼의 건조온도는 50℃ 이하가 좋다고 보고하였다. 이 종철(1985)은 박피백삼과 피부백삼에 대한 건조실험에서 저온건조일수록 품질이 양호하며 건조시 건조

기내의 습도조건은 60% 정도의 상대습도로 2시간 정도 유지하다가 배기를 시켜 45-60%로 되게 하여 건조하고 건조후기에는 35-40%정도로 조절하여 건조하는 것이 좋으며 건조온도는 45℃ 정도가 적당하다고 보고하였다. 이 종철(1986)은 백삼건조의 기계화를 위한 기초자료를 얻고자 일광건조, 열풍건조, 25℃ 온도에서의 냉풍건조 등 몇가지 건조방법을 달리하여 건조실험을 하였는데 원료수삼의 크기가 클수록 백삼수율이 증가하고 박피 백삼에 비해 피부백삼에서 건조시간이 길어지며, 일광건조의 경우 함수율 13%까지 건조하는데 피부백삼 소편에서 106시간이 소요되었으며, 냉풍건조에서는 갈변반응이 별로 진행 되지 않았고 항온건조에서는 급건으로 인해 색택변화가 심하였다고 하였으며, 건조온도가 낮을수록 백삼조직의 치밀도 및 향취가 양호하여 인공건조 온도는 낮을수록 품질면에서 좋을 것으로 판단된다고 보고하였다.

조용진(1991)은 고추의 열풍건조에 대한 소요에너지 및 건조시간을 목적함수로, 고추의 최종품질을 제한조건으로 부여한 건조과정의 최적화를 실시하여 3단계 건조시스템에서의 최적건조조건을 결정하였다. 이동선(1987)은 무우절편을 건조할 때 아스코르브산의 잔존량과 갈변도를 제한 조건으로 설정하고 에너지 소비를 최소화할 수 있는 건조공정의 최적화 연구를 수행하였다. 최병민 등(1992)은 박피백삼의 건조특성 규명 및 건조 model 을 개발하기 위해서 각 4수준의 건조온도 (30-60℃) 와 상대습도 (30-75%) 조건에서 건조실험을 수행하였다. 수학적 건조 model로는 Thompson의 model이 적합하다고 보고. 상기 건조조건 범위에서 인삼의 내공은 발생치 않았고 상대습도 75%의 건조 조건에서만 약간의 표면 갈변이 발생하였다고 보고하였다.

농산물 품질 평가 연구 분야에서는 노상하 등(1990)이 화상처리 시스템

을 이용하여 과실의 기하학적 특성들을 측정하였고 노상하 등(1991)이 영상처리 장치를 이용하여 사과의 선택을 판정하는 연구를 수행하였다. 노상하 등(1992)은 흑백영상처리장치를 이용하여 과실선별기 개발에 관한 연구를 수행하였고 조한근과 송현갑(1994)은 컴퓨터 시각을 이용하여 잎담배의 외형 및 색 특징을 추출하는 연구를 수행하였다. 이수희(1994)는 신경회로망을 이용한 과실 선별 알고리즘 개발에 관한 연구를 수행하였고 황현과 이충호(1996)는 영상정보처리기술과 신경회로망을 응용하여 표고버섯의 외관특징점을 영상정보로부터 자동추출하여 정량적인 측정을 위한 연구를 수행하였다. 김철수(1989, 1990, 1991)가 옥수수 알갱이 내부의 균열여부를 판별할 수 있는 영상처리기법을 응용한 인공시각장치를 개발하였다.

국외에서의 이 분야에 대한 연구 동향을 분석하여 보면 건조 분야에서는 Li 와 Morey(1987)가 미국산 인삼에 대해 건조온도와 풍속, 인삼의 직경이 건조속도와 품질인자들에 미치는 영향을 조사하고 Page의 건조 model을 이용하여 건조특성을 서술하였다. Brook(1978)은 그의 연구에서 dynamic programming 기법을 사용하여 에너지비용과 자본비용을 최소화하는 다단 병류형 곡물건조기의 적정운전조건과 크기를 결정하였다.

농산물 품질 평가 연구 분야에서는 Chen(1978)이 농산물의 광학적 특성을 선별이나 품질평가에 이용한 연구들에 대한 많은 연구자료들을 조사하였고 Sarkar와 Wolfe(1985)는 토마토를 크기, 형상, 색상 및 표면결합등에 따라 분류하기 위하여 영상처리 및 형상인식기법을 이용하였다. Miller와 Delwiche(1989)는 칼라영상처리장치를 이용한 복숭아 선별기를 제작하고 실험한 결과 선별정도가 사람이 한것에 비해 54% 정도되는 것으로 분석했다. Das와 Evans(1992)는 그들의 연구에서 신경회로망을 이용하

여 부화란을 판정했을 때 신경망회로를 이용하지 않은 기존의 영상처리장치 보다 높은 선별 정확도를 보임을 알 수 있었다. Ikeda와 Sawada(1993)는 신경회로망을 이용한 칼라영상장치를 이용하여 꽃의 등급을 결정하는 연구를 수행하였는데 그 결과는 사람에 의한 판정에 일치률이 약 82%로 높음을 보여주었다.

현재 체계적인 건조조건 구명연구의 결여로 최적건조시스템 및 건조조건이 불명확하고, 건조에 소요되는 에너지측면의 접근연구는 전무한 실정이며 백삼의 품위결정은 전문가의 목시에 의하여 표본인삼과 비교, 평가되고 있는 실정이다. 그러나 인간의 눈은 똑같은 일을 반복할 경우 쉽게 피로해지고, 색상의 미세한 차이를 감지하는 능력이 부족할 뿐만 아니라 그 능력에 있어서도 개인별로 편차가 있기 때문에 제품의 품위를 결정하는데 객관성을 유지하기가 힘든 단점을 가지고 있다. 이런 이유로 백삼의 제조비용이 많고, 품질의 신뢰성이 결여되어 있다.

제 3 절 연구개발의 내용 및 범위

연차별 연구개발 내용 및 범위는 표 1-2와 표 1-3과 같다.

표 1-2는 최적건조 시스템 연구의 연차별 연구개발 내용 및 범위를 나타낸다. 표 1-2에서와 같이 1차 연도에는 인삼의 열풍건조 자료 보완 및 분석 그리고 열풍 건조 simulation model을 개발하고 검증하였다. 2차 연도에는 인삼의 저온건조 특성 연구하고 저온건조 simulation model을 개발하고 검증하였다. 최종 연도인 3차 연도에서는 최적 건조 시스템을 구성하였고 그의 작동 조건을 결정하기 위해 실증 실험을 완수하였다.

표 1-3은 품질평가 시스템 연구의 연차별 연구개발 내용 및 범위를 나타낸다. 표 1-3에서와 같이 1차 연도에는 인삼 품질 평가 기준을 정량화

하였으며 2 차 연도에는 품질 평가 인자의 정량적 추출을 위한 영상처리 기법 개발을 개발하였다. 최종 연도인 3차 연도에서는 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템을 개발하였으며 이 시스템의 성능도 분석하였다.

표 1-2 최적건조 시스템 연구의 연차별 연구개발 내용 및 범위

구분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위
1차년도 (1995)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 인삼의 열풍건조 자료 보완 및 분석 ◆ 열풍건조 simulation model 개발 및 검증 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 고온(70℃, 80℃)에서 열풍건조 추가실험 실시 및 기존자료 재분석 ▶ FDM을 이용한 Computer simulation program 개발 ▶ Simulation model 예측치와 건조실험치를 비교
2차년도 (1996)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 인삼의 원적외선 저온건조 특성 연구 ◆ 저온건조 simulation model 개발 및 검증 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 저온(5-25℃) 적외선 건조 실험장치의 설계, 제작 ▶ 인삼의 저온적외선건조 특성구명 ▶ FDM을 이용한 Computer simulation program 개발 ▶ Simulation model 예측치와 건조실험치를 비교
3차년도 (1997)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 열풍 원적외선 겸용 연속식 인삼 건조시스템의 시작품을 개발, 시스템 구성, 작동조건 결정 및 실증실험 ◆ 건조 시뮬레이션 모델의 성능 향상 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 품질손상이 없는 건조조건을 범위를 설정 ▶ 설정된 건조조건 범위내에서의 에너지 효율 최적화 연구 ▶ 최적 건조시스템 설계, 제작 및 실증실험 ▶ 건조시스템의 시뮬레이션 모델의 성능 향상을 위한 인삼의 물리적 성질 연구

표 1-3. 품질평가 시스템 연구의 연차별 연구개발 내용 및 범위

구분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (1995)	◆ 인삼품질평가기준의 정량화	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 인삼의 품위결정에 영향을 미치는 품질인자의 선택 ▶ 외부 형상인자들의 크기 및 형태를 등급별로 정량화 ▶ 인삼의 외부색택을 등급별로 측정, 칼라좌표계에 표시 ▶ 품질평가 인자들간의 상호조화를 통한 종합적인 품질평가기준의 정량화
2차년도 (1996)	◆ 품질평가인자의 정량적 추출을 위한 영상처리 기법 개발	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 인삼의 광학적 특성에 알맞는 영상처리시스템의 구성 및 입력영상의 전처리 ▶ 뇌두, 몸통, 주근 및 지근의 크기와 형태의 추출을 위한 영상처리기법의 개발 ▶ 인삼 외부 색택의 정량적 표현을 위한 기법 개발
3차년도 (1997)	◆ 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 무작위 인삼을 대상으로한 품질평가시스템의 알고리즘 성능 평가 ▶ 연속적으로 공급되는 인삼의 실시간 품질 평가 시스템의 알고리즘 완성 ▶ 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템 개발 ▶ 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템의 성능 평가

제 2 장 인삼의 최적 건조시스템 개발

제 1 절 서 언

고려인삼(*Panax Ginseng* C. A. Meyer)은 우리나라의 중요한 경제작물의 하나로서 오갈피나무과(*Araliaceae*) 인삼속(*Panax*)에 속하며 4-6년 동안 그늘진 곳에서 재배되는 다년생 초본 식물이다. 한방에서는 그 뿌리를 인삼(*Ginseng radix*)이라 하며 약용으로 사용한다.

인삼은 현재 우리나라뿐만 아니라 중국, 일본, 미국, 캐나다, 소련 등지에서 재배되고 있으나 우리나라 인삼은 “고려인삼”이라는 별칭으로 유통되고 있다. 이것은 고려인삼이 다른 인삼보다 월등히 품질이 우수하기 때문에 판단하고 있다(고 등, 1994).

1988년의 경우 우리나라의 홍삼 재배면적은 630.8 정보, 백삼 재배면적은 3586.2 정보 였으며 인삼의 전체 생산량은 12,389 M/T 정도로 보고되었다(이, 1989). 그러나 90년대에 들어서 홍삼포는 일정한 면적수준을 유지하고 있으나 백삼포는 다소 감소 추세를 보이고 있는 것으로 보고되고 있다(고 등, 1994).

인삼은 3년근까지는 근의 발육상태가 불완전하나 4년근 부터는 엽경의 형태가 완성되고 개화와 결실 능력을 가지며 근의 발육상태도 속성하여 재배상의 경제성이 있기 때문에 4년근 이상이 가공 원료인삼으로 사용된다. 재식기간이 6년이 지나면 근부가 다소 비대해지고 조직이 목질화될 뿐만 아니라 병충해 등으로 인한 손실이 오히려 커지는 경향이 있어 인삼의 재식기간은 4-6년이 적당한 것으로 알려져 있다. 그러나 인삼수확은 보통 홍삼포는 6년, 백삼포는 4-5년에 이루어지며, 채굴적기는 홍삼포는 9-10월, 백삼포는 8-10월이다.

인삼제품중 원형을 유지하는 건조제품으로는 홍삼, 백삼, 태극삼 등이 있으며 그동안 홍삼류는 국가 전매사업 대상으로서 한국담배인삼공사에서 조제, 가공 판매를 하였으나 1998년부터는 일반인도 취급이 가능하게 되었다. 홍삼은 원료수삼을 약 90℃ 이상의 증기로 증삼하기 때문에 이 과정에서 매우 유용한 약용 물질이 생성되는 것으로 알려져 있어 백삼보다 가공비는 높으나 가격이 매우 높기 때문에 일반 인삼가공업자들이 홍삼 제조를 선호하고 있다. 또한 동남아나 중국 등지에서 고려 홍삼을 선호하기 때문에 더욱 그러한 경향이 나타나고 있다.

백삼(White ginseng)은 표피를 제거한 후 건조시키는 박피백삼과 표피를 제거하지 않은 피부백삼을 말하며 태극삼은 75-90℃의 물 속에 20-25분간 침지 가열하여 동체의 70-90% 정도를 익힌 후 건조한 인삼을 말한다. 홍삼이 전매사업으로 규정된 기간에서는 민간 인삼가공업자들은 앞에서 설명한 홍삼의 선호도 때문에 실제로 이 태극삼을 홍삼과 비슷한 가공 방법으로 제조하기도 하였다.

백삼을 제조하기 위해서는 원료수삼을 선별, 치미, 세삼, 박피, 1차 건조, 습침, 절각, 2차 건조, 등급선별, 포장 등의 가공공정을 거친다. 이 중에서 건조공정은 시간과 노력 및 에너지가 가장 많이 소요되는 공정이며 또한 백삼의 품위 결정에 가장 큰 영향을 주는 공정이다. 인삼의 건조는 과거에는 천일건조에 의존하였으나 노동력 부족 등의 이유로 현재는 인공화력건조에 의존하고 있다.

천일건조 방법은 기상조건에 좌우될 뿐만 아니라 건조 소요기간이 길고 인력 소요가 크며 건조기간 중 먼지나 곰팡이 및 세균 등에 오염되기 쉬운 단점이 있다. 천일건조 방법으로 소편급 피부백삼을 안전저장 함수율인 13%(w.b) 이하가 되도록 건조하는데는 106시간 정도가 소요되는 것으로

로 보고되어 있다(이 등,1986)

관행의 열풍건조(인공화력건조)는 여러 가지 에너지를 이용할 수 있지만 주로 석유 혹은 경유 버너를 이용하여 건조공기를 가열하는 방식을 채택하고 있다. 또한 건조 방식이 창고형 공간에 채반을 많이 설치하고 건조공기인 열풍의 입출구는 1-2개, 열풍의 와류와 혼합을 위하여 여러 곳에 선풍기를 설치한 배치식이 대부분이다. 투입 열풍의 온도는 약 45-50℃이며 안전 저장 함수율까지 건조하는데 소요되는 기간은 보통 3-4일 정도이다. 이러한 건조방식은 인력의 소요와 건조시간이 많고, 함수율의 불균일성 등으로 인한 품질저하와 과다한 에너지 소비가 큰 단점이다.

현재까지 인삼건조에 관한 연구는 단편적이며 또한 열풍건조의 온도조건에 따른 물리 화학적 품질변화 등에 국한되고 있으며 최 등(1992)이 백삼과 태극삼의 평형함수율과 열풍 건조방정식을 체계적으로 개발한 연구가 있었으나 건조 에너지와 품질의 관점에서 새로운 건조기의 개발 등에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

열풍건조는 건조 에너지가 많이 소요되는데 일반적으로 고온 열풍건조일수록 건조속도가 빠르고 건조에너지는 상대적으로 적은 장점이 있으나 품질이 저하되는 단점을 안고 있다. 곡물의 경우에는 고온 건조일수록 발아율이 낮고 벼의 경우에는 도정시 채미 발생율이 높아진다. 인삼건조에서는 50℃ 이상이 되면 향취와 색택이 나빠진다고 일반적으로 알려져 있다.

본 연구에서는 인삼의 효율적인 건조를 위해 저온 통풍건조와 적외선 건조를 조합한 새로운 건조기법에 따른 인삼의 건조방법과 기존의 열풍건조방법을 혼합한 연속식 건조시스템의 시작품을 개발하여 설계 제작하고 시작품의 최적 작동조건을 구명하고 최적 작동조건에서의 건조성능을 중

합적으로 분석하여 인삼의 최적 건조시스템을 설계 완성하고자 하였다. 연속식 건조 시스템의 특징은 템퍼링 과정을 포함함으로써 건조성능 향상 및 건조에너지 절감을 획기적 수준으로 향상시키고자 하는 것과 작동을 자동화하여 소요인력을 절감하고 선별의 자동화와 연계하고자 하는 것이다. 본 연구의 시작 단계에서는 홍삼은 국가 전매사업 대상이었기에 백삼을 대상으로 하였다.

제 2 절 인삼의 가공공정

미국과 중국의 인삼재배 및 건조, 선별과 관련한 가공기술 관련 자료 수집 결과를 분석하여 볼 때 인삼과 관련된 중요 가공단계인 건조 및 선별과정의 기술은 저급한 수준이며 미국은 백삼, 중국은 홍삼 및 태극삼을 주로 생산하고 이를 거의 대부분 동남아 등지로 수출하는 것으로 파악되었다. 이러한 상황은 변하지 않고 있으며 다만 미국에서의 생산량이 점점 증가하고 있다는 것이 특징이다.

1. 가공의 목적

인삼의 가공은 일반 식품류와 유사한 방법으로 오래전부터 수행되어 온 것으로 추정된다. 수삼은 재배환경이나 조건에 따라서 차이는 있으나 보통 75% 내외의 수분을 함유하고 있어 채굴된 상태로는 장기간 보존이 어렵고 유통과정 중에 변질될 우려가 있으며 인삼 자체가 함유하고 있는 여러 효소에 의하여 인삼 성분이 분해되어 상품적 가치와 효능이 저감될 가능성이 높다. 이러한 여러 가지의 이유로 건조를 하게 되며 건조에 의한 수분 감소는 세균과 미생물에 의한 오염을 억제할 수 있으며 부피와 무게를 감소시켜 저장 및 운반의 편리성도 향상시킨다. 인삼의 여러 가공공정 중에서 건조공정이 가장 중요하며 에너지 소요도 가장 많고 따라서 보통

가공이라고 하면 건조공정을 일컫게 된다. 여타의 농산물에서도 마찬가지로 이다.

2. 중국의 인삼 가공 실태

가. 중국 인삼의 자료수집

石勸列傳(석륙열전)에 의하면 중국은 서진 말년부터 인삼을 재배하기 시작하였고 주요산지는 흑룡강성, 길림성, 료녕성으로 재배면적이 20 - 35 천정보로서 건삼 생산량이 년 2400 - 4200 톤 정도로 추정된다. 길림성의 무송, 정우, 장백, 집안현이 대표적 생산지역이고, 료녕성의 신빈, 관전현, 흑룡강성의 철령, 오상현에서도 많이 재배되고 있다. 현재 북경, 하북, 산둥, 산서에서도 일부 재배되고 있는 것으로 알려져 있으며 가공 제품으로는 홍삼, 당삼, 생사삼이 주이다.

표 2-1은 중국의 대표적 인삼 주산지인 동북 3성에서의 인삼재배 현황을 나타낸 것이다. 조선족의 자치구가 있는 길림성이 70% 이상을 차지하고 있으며 실제 길림성에서의 인삼주산지는 조선족 자치구로 알려져 있다. 표 2-2는 중국인삼의 재배연수별 인삼근당의 평균중량을, 표 2-3은 수확시기별 수삼과 홍삼의 생산량을 비교한 것이다. 표 2-4는 중국수삼의 등급기준을 나타낸 것이다.

표 2-1 중국의 대표적 인삼 주산지의 인삼 재배면적

구 분	90년 (천ha)	91년 (천ha)	92년 (천ha)	93년 (천ha)
요령성	4.7	3.5	3.7	10.4
길림성	26.5	15.9	17.6	22.2
흑룡강성	1.9	1.3	1.7	2.8
합 계	33.1	20.7	23	35.4

표 2-2 중국 인삼 연수별 수삼 중량

년	1	2	3	4	5	6
수삼중량 (g/근)	0.6	4.0	12.0	25.0	53.0	64.5

표 2-3 중국 인삼의 수확 시기별 생산량

수확시기	수확면적 (m ²)	수삼생산량 (kg)	홍삼생산량 (kg)	수삼/홍삼비
9 월 11 일	12	12.63	3,405	1:3.71
9 월 16 일	12	10.25	2,853	1:3.59
9 월 21 일	12	12.75	3,730	1:3.42
9 월 26 일	12	11.65	2,875	1:3.88
10 월 2 일	12	11.55	2,860	1:4.04

표 2-4 중국 수삼의 등급 기준

등급	근당 중량(g 이상)
특 등	100 -150
1 등	62.5
2 등	41.5
3 등	31.5
4 등	25.0
5 등	12.5
6 등	5.0

그림 2-1에서 그림 2-4까지는 중국 도문시(두만강변)에 위치하는 인삼
가공공장을 방문하여 촬영한 사진들이다. 중국의 인삼 가공공장의 시설은

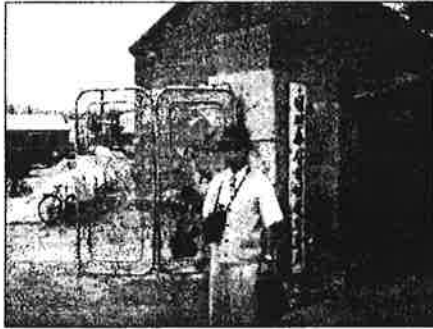


그림 2-1. 중국 도문시에 있는
인삼 가공공장

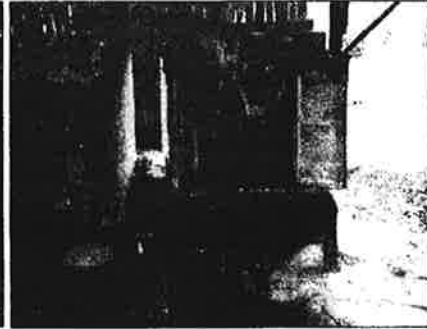


그림 2-2. 인삼 가공공장의
홍삼제조 가마솥



그림 2-3. 중국인삼 가공공장의
건조실

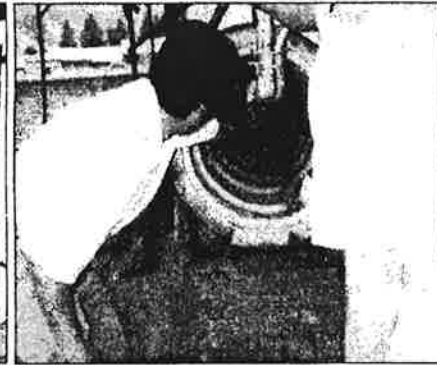


그림 2-4. 중국 인삼가공공장의
인삼 세척장치

매우 낙후되어 있었으며 거의 대부분을 홍삼으로 만들어 수출하고 있었다. 인삼세척기(그림2-4)는 직경 45 cm , 길이 3.5 m 정도의 파이프를 경사지게 놓고 (인삼투입구는 높고 출구는 낮게) 파이프내에 플라스틱관을 나선형으로 감아 파이프를 회전시키면서 직선 고압수관을 통하여 파이프내에 물을 분사함으로써 인삼이 세척되면서 출구쪽으로 유동하도록 하는 시스템을 제작하여 사용하고 있었으며 그들은 세척기의 성능에 만족하고 있었다. 수삼저장고는 반지하상태의 창고에 특별한 시설없이 보관하는 것

으로 판단되었으며 건조는 바닥에 가온시설이 되어 있는 공간에 채반을 설치하여 건조함으로써 노동인력 요구도가 높은 상태였다. 홍삼제조는 그림 2-2와 같은 가마솥 위에 채반을 놓고 가마솥에 (목재 혹은 석유 등의 기름을 이용) 열을 가하여 인삼이 일정시간 증기에 노출되도록 하는 방법과 국내의 태극삼과 같이 끓는 물에 인삼을 삶는 방법을 이용하고 있었다. 홍삼제조가공시는 시간과 온도가 관건인데 시간이 길면 색이 검고 중량이 가볍고 시간이 짧으면 백응심, 생피, 색이 없게 나타난다. 증기를 급속히 가하면 인삼이 갈라터짐으로 이를 삼가야 한다.

우리 나라에서 일반 민간인 건조업자가 홍삼제조를 할 때에는 배치식 농산물 건조기 형태에다 내부에 스팀 파이프를 설치하여 스팀을 분무하는 방식으로 수행하고 있다. 홍삼이나 백삼의 건조는 창고형 배치식 건조실이나 농산물 건조기에 채반을 설치하고 선풍기로써 열풍을 와류시켜 건조를 수행하나 일부에서는 채반 대신에 통기가 쉬운 큰 플라스틱에 인삼을 담아서 건조실에 넣기도 한다.

미국에서는 그림 2-5와 같이 킬른 화력 건조기를 사용하는데 대형 컨테이너 박스를 건조실로 개조 사용하며 채반도 매우 큰 대형이다. 그림 2-6의 작업 광경에서와 같이 물량이 지나치게 많다 보니 작업이 거칠다.

제 3 절 인삼의 열풍건조 특성

본 연구에서 사용한 시료인 원료 수삼은 채굴되어 약 2 주일 정도 저온 저장된 중편급(직경 23-25 mm) 4년근 백삼을 구입하여 세척-치미-박피-세척을 하고 물기를 어느정도 제거한 후 비닐 용기에 밀봉하여 5℃ 냉장고에 보관하면서 필요시 실험에 사용하였다. 보관기간은 최대 1 개월 정도였다. 초기 함수율 측정은 70 ℃ 상압 대류식 건조 오븐에서 72시간 건

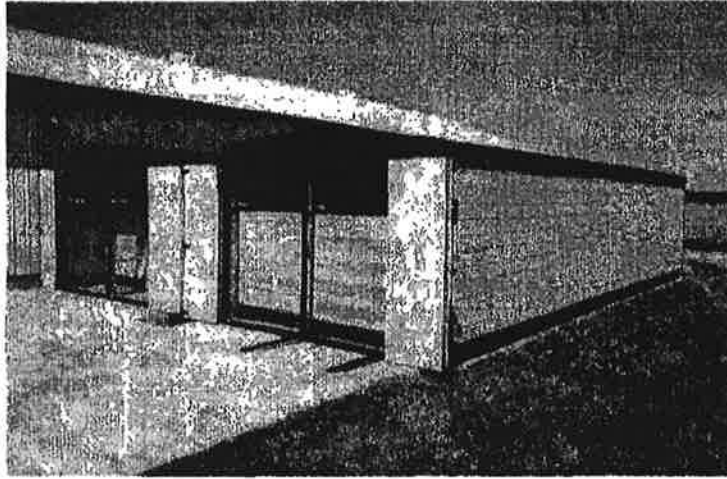


그림 2-5. 미국에서 사용되는 킬른 건조기

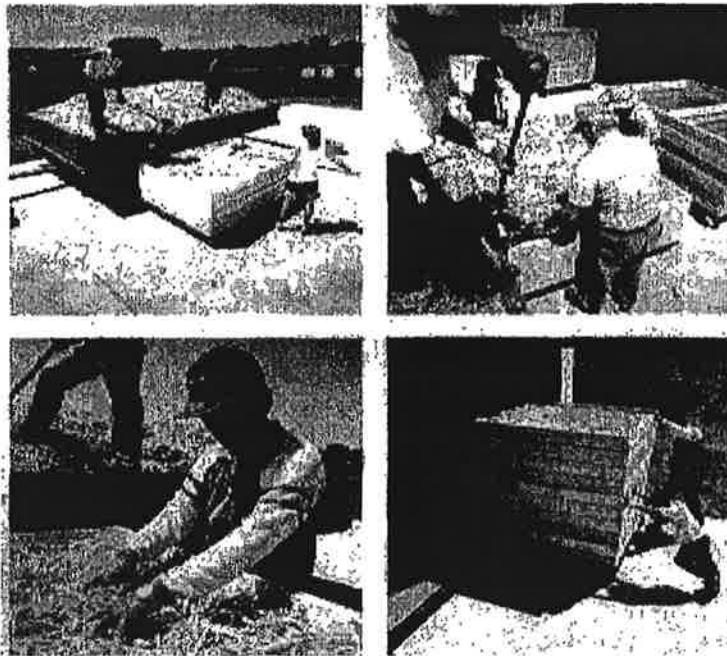


그림 2-6. 킬른 건조 작업과정

조하는 방법을 기준으로 이용하였으나 실제 대부분의 건조 실험에서는 건조실험처리 후 시료를 건조 오븐에서 48시간 건조시키는 방법을 이용하였다. 이는 건조 실험처리 후의 인삼의 함수율은 대부분 40%(w.b) 이하이기 때문이기도 하지만 함수율 측정방법 실험에서 48 시간이면 거의 완전 건조가 되는 것으로 분석되었기 때문이다.

1. 인삼의 열풍건조 기존 자료 재분석

건조공기 온도 4수준 (30, 40, 50, 60℃), 상대습도 4수준 (30, 45, 60, 75%), 시료 인삼의 크기별 3수준 (소, 중, 대편) 의 조건하에 실시되어 보고된 인삼에 대한 기존의 열풍건조 실험 자료를 재분석하여 다음과 같은 사항을 발견하였다. 인삼의 건조특성은 건조공기의 온도, 상대습도, 시료의 직경에 크게 좌우되었으며, 따라서 건조방정식의 매개변수들은 그러한 세 가지 변수들의 함수로서 결정되었다. 그러나 이 세 개의 변수들을 모두 포함시켜 결정한 매개변수들을 사용해서 예측한 결과는 실험치와 비교적 큰 차이를 보였다. 즉, 건조공기의 온도, 습도, 시료 직경의 어떤 범위에 대한 실험치와 기 개발된 인삼건조 model에 의한 예측치를 비교했을 때, 그 결과는 만족스럽지 않았다. 이같은 문제는 선정된 model들이, 건조실험에서 얻은 건조곡선의 기하학적 형태를 충실히 재현하는 지에만 근본적으로 그 초점을 맞추는 실험식이었다는 데 기인한다고 파악되었다. 이와는 달리 물질전달 현상의 수학적 기술에 많이 쓰이는 아래 식(2-1)의 Fick's 2nd law에 의한 원통형 물체의 건조 model은, 인삼 크기에 관련된 인자를 하나의 변수로써 직접 포함하고 있으며, 매개변수인 유효 확산계수 D_{eff} 는 일반적으로 함수율과 건조 공기온도의 함수로 표시되므로 하나의 범용 건조 예측식으로서 그 효용가치가 뛰어나리라 판단되었다.

기존의 인삼 열풍건조 자료의 재분석에서는 slope법을 이용하여 Ln

MR과 drying time간의 관계를 나타내는 건조곡선으로부터 유효수분확산계수 D_{eff} 를 계산한 후, 이를 온도와 함수율의 함수로써 구함도 그 목적의 하나였다. 이를 위하여, 기 수집된 30, 40, 50, 60℃에서의 열풍건조 자료를 재분석하여 다음과 같이 인삼의 유효수분확산계수 D_{eff} 를 온도와 함수율의 함수로 구하였다. 물질전달 현상의 수학적 기술에 많이 쓰이는 Fick's 2nd law 에 의한 원통형 물체의 건조 model 은 다음과 같다.

$$MR = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\beta_n^2} \exp\left(-\beta_n^2 \frac{D_{eff}t}{R_c^2}\right) \text{ ----- (2-1)}$$

여기서 R_c 는 인삼품통의 반경이며 β_n 은 1차 Bessel 함수의 근이며, 위의 무한급수로 주어진 해는 건조시간 t 가 커지면 첫째 항만으로도 충분히 근사화 할 수 있다. 즉, 위 식에서 첫째 항만을 취하고 양변을 \ln 으로 변환시키면 다음과 같은 관계식을 유도할 수 있으며, 이로부터 $\ln MR$ 과 t 간의 곡선의 기울기로부터 D_{eff} 를 계산할 수 있게 된다.

$$\ln MR = -5.783 \frac{D_{eff}t}{R_c^2} \text{ ----- (2-2)}$$

따라서, 기 수집된 인삼의 열풍건조 방정식으로부터 $\ln MR$ vs. t 곡선의 기울기 값들을 수치해석적으로 구한 후, 이들 값들에 대해 multiple regression을 실시함으로써 온도와 함수율을 변수로 갖는 유효수분확산계수 D_{eff} 의 회귀식을 구하였다. 아래 regression식의 r^2 는 0.9503으로 만족할 만한 수준이었으며, 인삼의 유효수분확산계수 D_{eff} 는 예상과는 달리 함수율에는 좌우되지 않고 온도에 의해서만 영향을 받는 것으로 나타났다. 식 (2-3)은 유효수분확산계수를 온도의 함수로 분석하여 나타낸 것이다.

$$D_{eff}(T) = -0.21228 \times 10^{-5} + 0.13968 \times 10^{-6}T - 0.13443 \times 10^{-8}T^2 + 0.55254 \times 10^{-11}T^3 \quad (2-3)$$

여기서, D_{eff} 는 인삼의 유효수분확산계수(m^2/hr), T 는 온도($^{\circ}C$)이다.

일반적으로 농산물 및 식품의 유효수분확산계수는 그림 2-7에서 보인 바와 같이 온도가 증가함에 따라 증가율이 점점 증가하는 반면, 인삼의 경우는 점점 감소하는 경향으로 분석되었다. 이 사실은 인삼의 열풍건조 시, 건조공기 온도의 증가에 따른 건조시간의 단축효과는 여타 농산물 및 식품에 비하면 작을 것이라는 예상을 가능케 한다. 그러나 그림에서와 같이 곡물류보다는 유효수분확산계수가 매우 큰데 이것은 인삼이 다공성 물질이기 때문으로 판단된다.

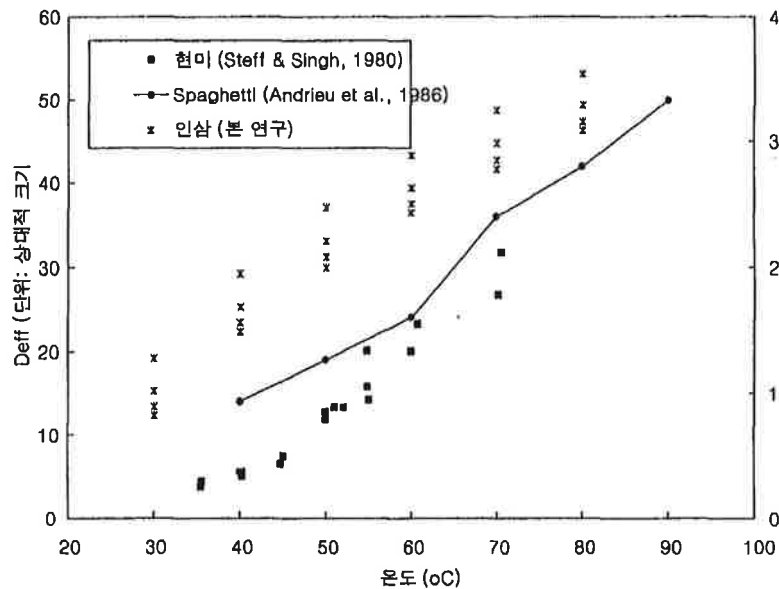


그림 2-7. 인삼의 유효수분확산계수 D_{eff} 의 온도 의존성

2. 인삼의 함수율 측정

인삼의 함수율은 열풍건조 자료의 분석에 가장 필수적인 값 중의 하나지만, 그 측정에 관한 표준은 외국의 경우 존재치 않으며, 한국 인삼검사소의 방법에서는 105℃의 오븐에서 항량에 이를 때까지 건조하여 무게를 측정한 후 이로부터 함수율을 환산하도록 되어 있다. 그러나, 인삼은 약 70℃ 이상의 온도로 장시간 건조할 경우, 열분해 현상에 의한 부정확한 함수율 측정의 가능성이 있을 것으로 판단되며, 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 타개하기 위해 진공오븐을 이용한 인삼의 함수율 측정법을 수립하기 위한 실험을 실시하였다. 즉, 감압하에서 인삼시료를 건조시킬 경우 기존의 상압 대류식 오븐 사용에 비해 비교적 저온으로써 단시간 내 보다 더 정확한 함수율 측정이 가능할 수도 있다는 점에 착안하여 70℃의 상압 대류식 오븐과 60℃의 진공오븐을 사용하여 약 100g의 인삼시료를 원형상태로 72시간 동안 건조시키면서 8시간 간격으로 무게변화를 측정하였다. 그림 2-8에서와 같이 건조 초기에는 대류식 오븐에서의 시료감량 속도가 훨씬 빨랐으나 48시간 이후에는 대류식이나 진공오븐 공히 시료감량이 거의 없어 항량에 도달한 것으로 판단된다. 따라서 60℃ 진공오븐이나 70℃ 상압 대류식 오븐 방법에서 48시간 정도 건조시켜 함수율을 계산하여도 별 오차가 없을 것으로 판단된다.

3. 인삼의 고온 열풍건조 추가실험

인삼의 고온건조 특성 조사와 고온에서의 인삼의 유효수분확산계수 De_{eff} 의 계산을 위해 건조공기 온도 2수준 (70, 80℃), 상대습도 2수준 (35, 50%), 반복 2회로써 인삼의 열풍건조 추가실험을 실시하였다. 시료는 4년근 수삼(중편급)이며 항온항습기에서 스트레인 게이지 센서와 자료 수집장치를 이용하여 건조시 무게변화를 연속적으로 컴퓨터에 입력하는

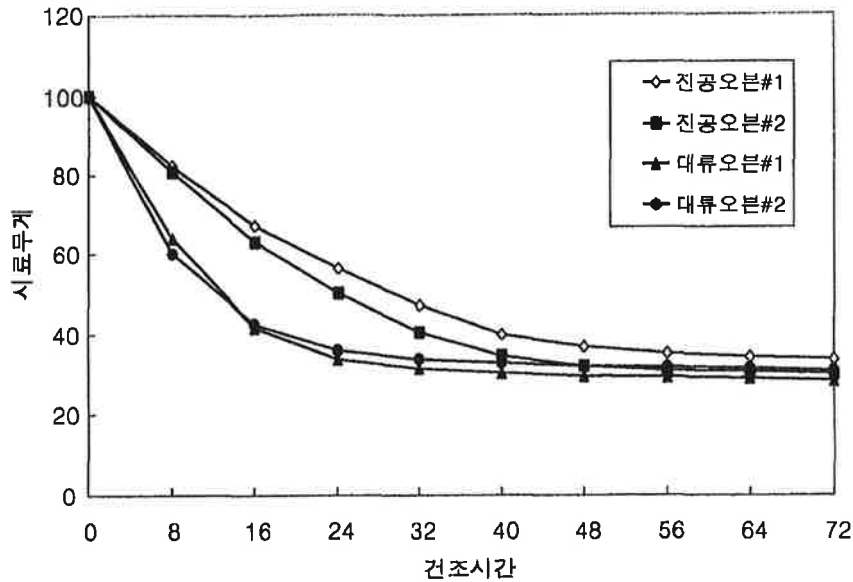


그림 2-8. 대류 및 진공오븐을 이용한 함수율 측정법 비교 실험시의 인삼 무게 변화

방식으로 실험이 수행되었다.

그림 2-9는 건조 공기온도 70, 80℃, 상대습도 35, 50% 조건에서의 실험결과를 나타낸 것이다. 그림 2-10(a)와 2-10(b)는 70℃의 고온열풍 건조결과를 기존의 건조방정식과 비교하여 나타낸 것이다. 건조방정식의 건조속도가 15%이상 빠르게 진행되고 있는데 이는 건조방정식이 공기온도 30 - 60℃ 범위의 실험결과로부터 구해진 것이기 때문에 70℃의 조건에서는 오차가 커지는 것으로 생각된다. 이것으로 판단할 때 약 80℃ 정도까지의 고온열풍 건조결과를 포함하여 건조방정식을 구해야 할 필요가 있는 것으로 판단된다. 본 실험에서는 80℃까지의 건조에서도 외부 선택이나 내공발생 등의 품질면에서 큰 이상은 발견되지 않았다.

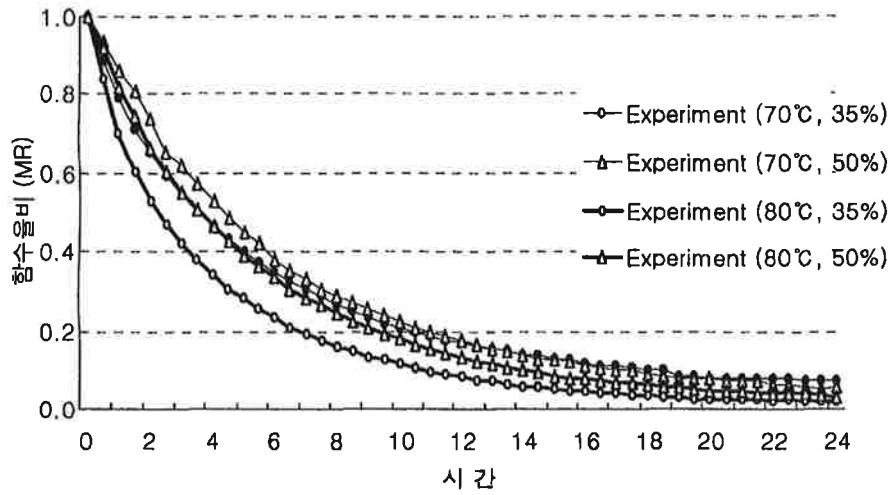


그림 2-9. 공기온도 70, 80°C, 상대습도 35, 50% 조건의 건조곡선

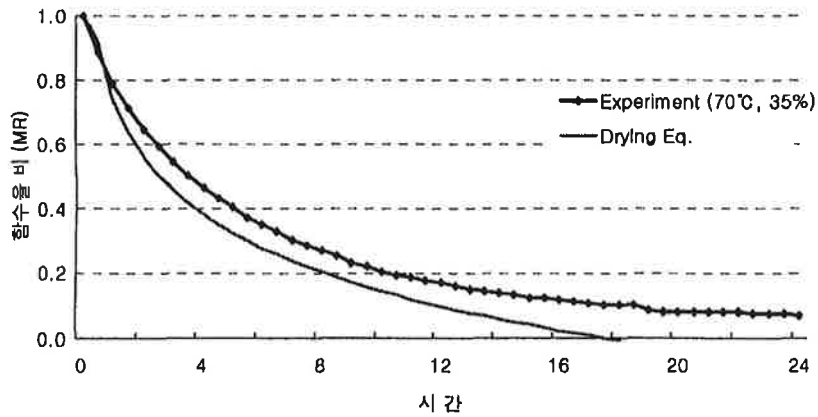


그림 2-10(a). 공기온도 70°C, 상대습도 35% 조건의 실험 건조곡선과 건조방정식에 의한 건조곡선

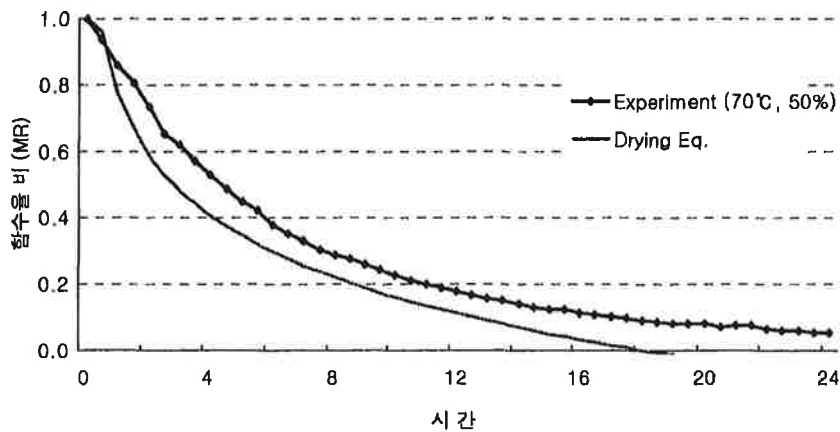


그림 2-10(b). 공기온도 70°C, 상대습도 50% 조건의 건조곡선과 건조방정식에 의한 건조곡선

4. 열풍 건조방정식 개발

최 등(1992)이 개발한 열풍 건조방정식은 열풍온도 30-60°C 범위에서 개발되었기 때문에 이 범위를 벗어난 건조조건에서는 적합성이 낮아진다. 건조 에너지를 저감시키기 위해서는 열풍의 온도를 높이는 것이 유리한 것으로 알려져 있기 때문에 품질에 이상이 없는 한 온도를 높이는 것이 에너지 효율이나 건조기의 용량면에서 유리하다.

본 연구에서 고온 열풍건조(70, 80°C) 곡선의 실험결과를 기존 열풍건조(30-60°C) 곡선의 실험결과와 통합하여 30-80°C 범위에서 적용 가능한 박피 백삼의 건조방정식을 개발하는데 사용된 자료는 표 2-5와 같으며 분석한 결과는 표 2-6이다. 이용된 방정식의 모델은 기존의 연구결과에서 적합성이 가장 좋은 실험식으로서 $MR = C_1 + C_2 \ln(t)$, 여기서 MR은 함수비(소수)이고 t는 건조시간이다. 매개변수 C는 건조공기의 온도와 상대습도의 함수로서 모델은 식 (2-4)이다.

$$C = D_1 + D_2 \times T + D_3 \times RH + D_4 \times T^2 + D_5 \times RH^2 \text{ ---- (2-4)}$$

여기서 C는 매개변수이며 D는 상수이다. T는 건조공기 온도(℃), RH는 상대습도(%)이다.

표 2-5 건조방정식 개발에 이용된 자료
(박피 백삼 중편)

건조 조건		C ₁	C ₂	R ²
온도(℃)	상대습도(%)			
30	30	1.00355	-0.22250	0.978
	45	1.00364	-0.21748	0.972
	60	1.02627	-0.23005	0.973
	75	1.08081	-0.20491	0.964
40	30	0.93091	-0.23771	0.989
	45	0.92489	-0.22993	0.992
	60	1.00598	-0.24848	0.987
	75	1.07467	-0.25862	0.979
50	30	0.83254	-0.24193	0.960
	45	0.81583	-0.23054	0.981
	60	0.91827	-0.25227	0.983
	75	1.04889	-0.27803	0.985
60	30	0.69209	-0.20057	0.929
	45	0.73862	-0.20998	0.947
	60	0.79472	-0.23097	0.944
	75	0.99746	-0.27818	0.963
70	35	1.01500	-0.26120	0.986
	50	1.09450	-0.29980	0.980
80	35	0.97030	-0.26950	0.968
	50	1.06960	-0.27990	0.982

표 2-6 건조방정식의 매개변수를 결정하는 상수

매개변수	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅
C ₁	0.8099	-0.0003988	0.003215	0.0	0.0
C ₂	-0.1564	-0.001082	-0.0006451	0.0	0.0

제 4 절 인삼의 원적외선 건조특성

1. 원적외선 저온건조 실험장치 설계

항온항습기에 원적외선 방사장치와 자료수집장치 및 제어장치를 부착하여 실험장치를 구성하였다. 일반적인 열풍건조는 건조 소요에너지가 많고 피건물의 품질이 저하되는 것으로 알려져 있다. 따라서 고품질을 유지하면서 에너지 소비를 최소로 하는 건조기 설계를 목적으로 하였으며 이를 위한 실험장치의 주요개념과 원리는 상온 또는 저온의 공기를 수분이 동 매체로 이용하되 피건조물내의 수분을 증발시킬 에너지는 원적외선 방사열을 이용하는 것이다. 이 원리에 따라 Bench 규모의 실험장치를 설계, 제작 및 구성하였다.

실험장치의 주요제원은 표 2-7과 같다. 특징은 매우 정밀 실험이 가능하며 모든 계측과 제어가 자동으로 이루어지고 실험자료는 자료수집 컴퓨터(Notebook)로 전송되어 저장되며 필요한 자료분석이 자동으로 이루어질 수 있다. 그림 2-11(a)와 그림 2-11(b)에 실험장치 중요부분의 사진을 나타내었다.

표 2-7 원적외선 저온건조 실험장치의 주요사양

장치 사양	항온항습기 (제이오텍)	원적외선 방사체	자료수집 장치 (Campbell)	자동무게 계측장치	제어장치
정격전원	AC 220/60Hz	AC 220/60Hz	AC 110/60Hz	DC 10V	AC 220/60Hz
제습방식	응축식	-	-	-	-
가열방식	INCOLOY HEATER	INCOLOY HEATER	-	-	-
가습방식	INCOLOY HEATER	-	-	-	-
송풍방식	CROSS FLOW FAN	-	-	-	-
온도범위	-20 - 150 ℃	상온-200 ℃	-25 - 50℃	-17 - 65℃	-
습도범위	30-98 %RH	-	-	-	-
파장대	-	2.5 - 10 μm	-	-	-
SCAN INTERVAL	-	-	80 Hz	-	133 MHz
ANLOG INPUT (RATED OUTPUT)	-	-	8 DIFF 16 SE	2 mV/V	-
A/D BIT	-	-	14	-	-
ACCURACY	-	-	±0.025 % FSR	±0.05% OF R. O.	-
RAM	-	-	1.8KB	-	16MB
자료 VALUES STORED	-	-	20KB	-	1GB

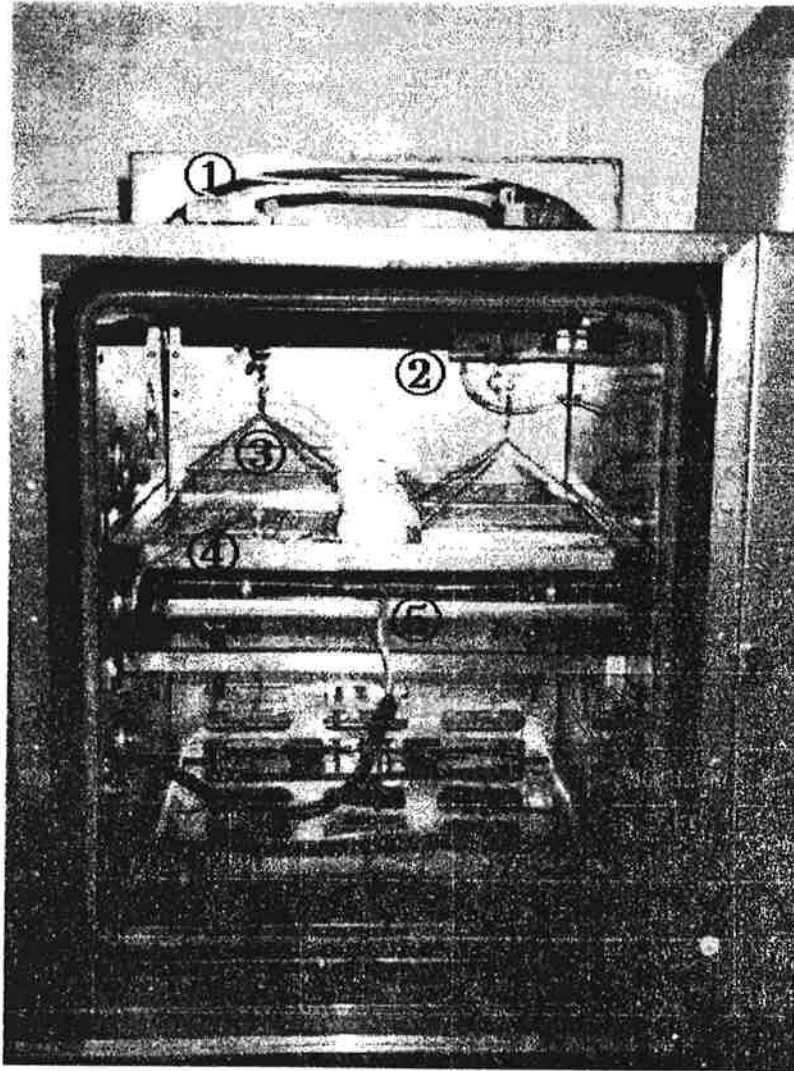


그림 2-11(a). 원적외선 저온건조 실험장치의 건조실 사진

- ① 무게센서 ② 건습구 온도센서 ③ 시료상자
④ 시료내의 온도센서 ⑤ 원적외선 방사판



그림 2-11(b) 원적외선 저온건조 실험장치의 제어 및 자료수집장치

- ① 자료수집 컴퓨터 ② 프린터 ③ 향온향습기 제어 컴퓨터
- ④ 원적외선 방사판 전력량계 ⑤ 방사판 온도제어장치
- ⑥ 자료수집장치

2. 원적외선 저온건조 실험

설계 제작한 실험장치에서 온도 25, 45, 65℃, 풍속 0.8 m/s, 상대습도 20-60% 조건에서 36시간 건조실험을 수행하여 건조특성을 분석하였다.

실험에 사용한 공시재료는 1997년 진안군내에서 수확된 수삼으로서 진안군 인삼조합에서 운영하는 수삼판매센터에서 구매하였다. 구입된 시료는 바로 세척과정과 세근의 절단과정등을 수행하고 표면수분을 제거하기 위하여 일정시간 실험실 상온에서 말린 다음 비닐 백에 넣고 약 5℃로 유지되는 냉장고에 보관하였다.

원적외선 건조실험에서 향온향습기 이외의 열원으로서 원적외선 방사판이 있었기 때문에 매우 정밀하게 작동되는 시스템이었지만 향온향습기의 제어가 약간 불안정하였다. 따라서 향온향습기의 온도와 상대습도, 원적

외선 방사판의 제어온도 등이 제어 설정치와 완전일치가 어려웠으나 비록 설정치와는 다른 값이지만 수렴하는 특성이 있었기 때문에 실험은 가능하였다.

표 2-8은 실험처리와 실험재료의 초기조건 등을 제시한 것이다. 여기서 평형 함수율은 아래 식 (2-5)의 평형함수율 방정식을 사용하여 구한 것이다(최 등, 1992).

$$Me (w.b) = 0.124 - 0.000647 T - 0.216 RH + 0.373 RH^2 \quad \text{--- (2-5)}$$

여기서 온도 T는 °C, 상대습도 (RH)는 소수이고 평형함수율 (Me)은 습량기준 소수이다.

표 2-8 원적외선 건조 실험처리 조건

공기온도 (°C)	공기 상대습도 (% RH)	원적외선 방사판 온도(°C)	초기 함수율 (w.b)	평형 함수율 (w.b)	건조시간 (시간)
25	48	90	67.3	9.9	36
25	60	69	66	9.5	24
45.5	30.2	61.3	72.1	11.2	36
52.6	21.7	74.1	72.3	12.0	36
59	15	86.1	72.8	13.0	36
45.4	48.3	102	66.1	8.8	36
26	52	94	68.5	9.9	24
52	18.3	134	67.9	11.0	36

그림 2-12는 공기온도 25°C, 상대습도 60%, 적외선 방사판 온도 69°C의 조건에서 24 시간동안 건조실험을 수행한 결과를 건조곡선으로 나타낸 것이다. 건조방정식에 의한 곡선은 기존의 인삼 건조방정식을 사용하여 만든 것이다. 건조방정식에 의한 결과보다 건조속도가 15 % 이상 빠르게 진

행되고 있는데 이는 원적외선에 의하여 인삼온도가 공기온도보다 약 5℃ 정도 높게 유지되었기 때문으로 판단된다. 그림 2-13은 원적외선 방사판의 온도와 인삼시료의 아래 표면(원적외선판이 아래에 위치하고 있기 때문에 아랫면은 복사에너지를 직접 많이 받게 된다), 인삼중심, 인삼 윗표면 온도를 나타낸 것이다. 인삼의 온도는 방사판의 온도와 직접적으로 연계하여 변화되고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 이 후의 다른 실험에서도 동일한 경향으로 나타났다. 인삼의 온도와 공기의 온도는 약 5℃ 정도의 편차를 보였는데 이것 또한 전체적인 경향이었다. 그림 2-14, 2-15, 2-16은 공기온도 52.6℃, 상대습도 21.7%, 방사판 온도 74.1℃의 조건의 결과를 나타낸 것인데 동일한 경향을 보이고 있다. 그림 2-17, 2-18, 2-19는 공기온도 44.4℃, 상대습도 48.3%, 방사판 온도 103℃의 조건의 결과를 나타낸 것인데 방사판의 온도가 높아 항온항습기의 온습도 제어가 불안정한 것 외의 다른 경향은 동일한 것으로 판단된다.

그림 2-20은 건조 공기온도 70, 80℃, 상대습도 35, 50% 조건에서 고온 열풍건조의 결과를 건조곡선으로 나타낸 것이다.

그림 2-21, 2-22는 70℃의 고온열풍 건조결과를 기존의 인삼건조방정식과 비교하여 나타낸 것이다. 건조방정식의 건조속도가 15% 이상 빠르게 진행되고 있는데 이는 건조방정식이 공기온도 30-60℃의 범위의 실험결과로써 구하여진 것이기 때문에 70℃의 조건에서는 오차가 커지는 것으로 생각된다.

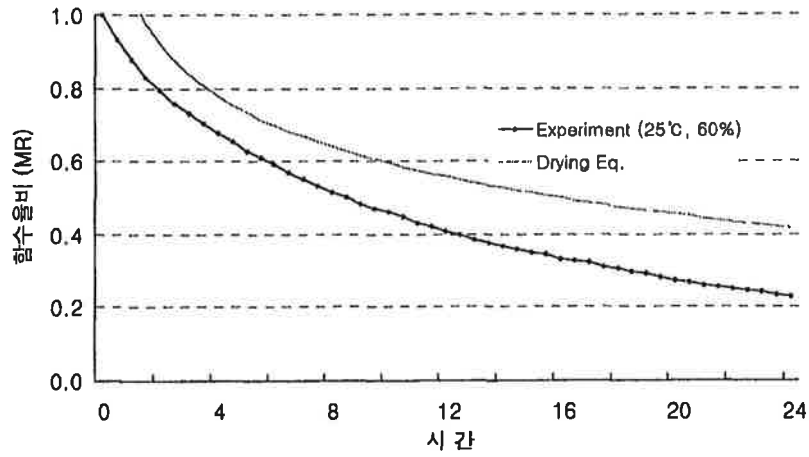


그림 2-12. 공기온도 25°C, 상대습도 60%, 원적외선 방사판 온도 69°C의 인삼 건조곡선

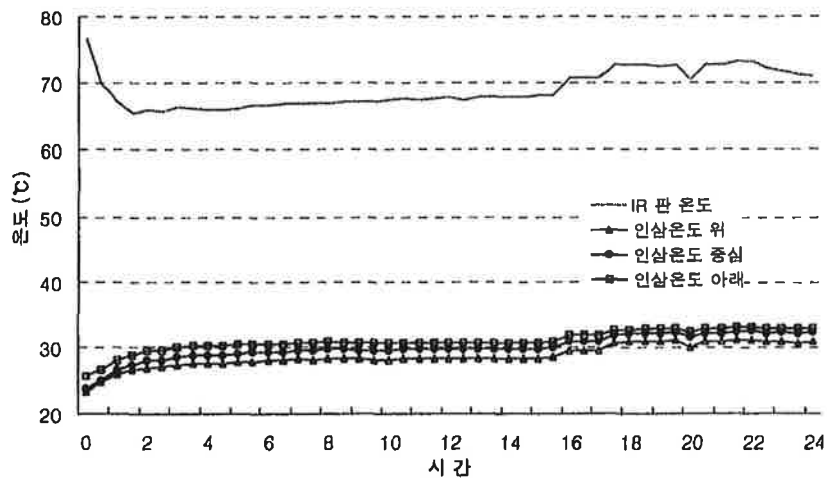


그림 2-13 공기온도 25°C, 상대습도 60%, 원적외선 방사판 온도 69°C의 실험조건에서 방사판 온도와 인삼시료의 온도

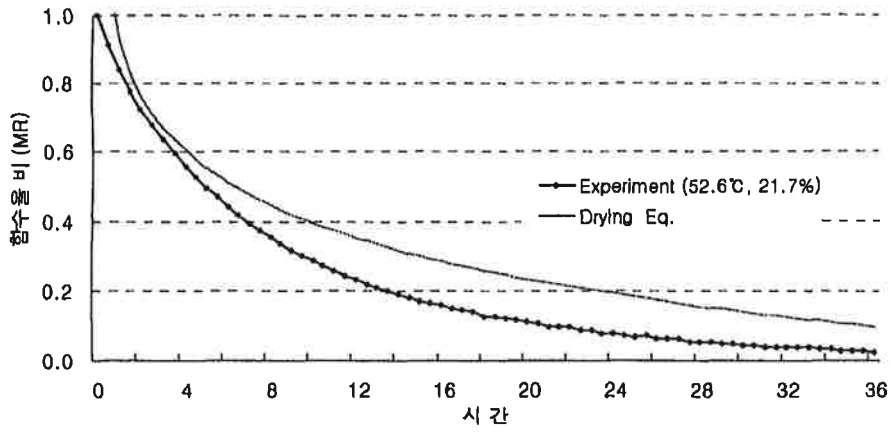


그림 2-14 공기온도 52.6°C, 상대습도 21.7%, 방사판 온도 74.1°C의 조건의 인삼 건조곡선

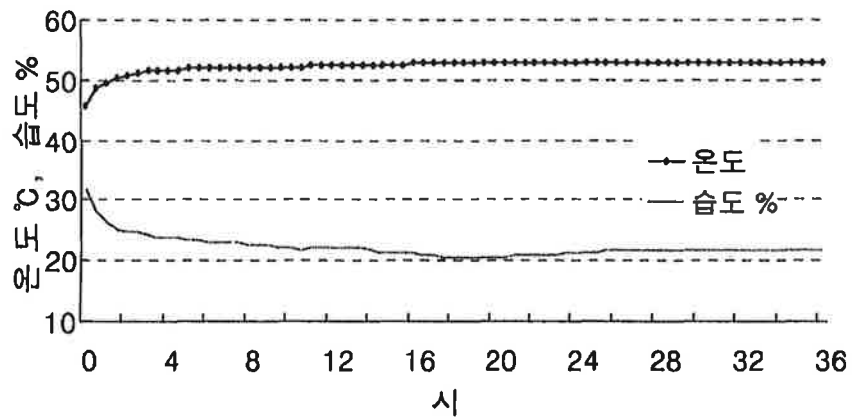


그림 2-15 공기온도 52.6°C, 상대습도 21.7%, 방사판 온도 74.1°C의 조건의 실험동안 유지된 공기온도와 상대습도

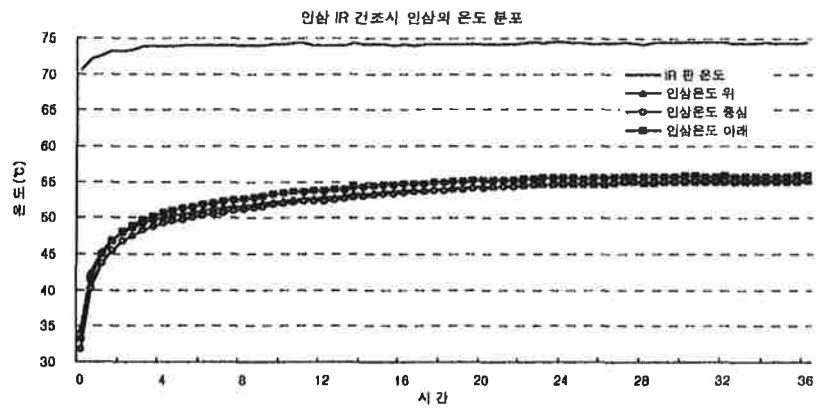


그림 2-16 공기온도 52.6°C, 상대습도 21.7%, 방사판 온도 74.1°C 조건에서의 방사판 온도와 인삼시료 온도의 변화

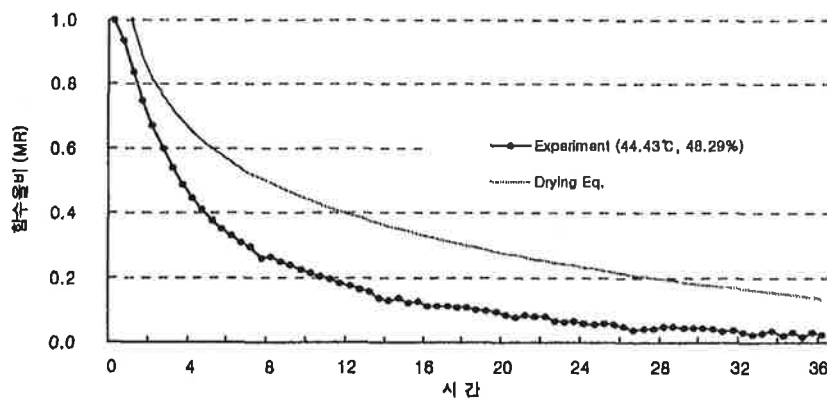


그림 2-17 공기온도 44.4°C, 상대습도 48.3%, 방사판 온도 103°C 조건의 인삼건조곡선

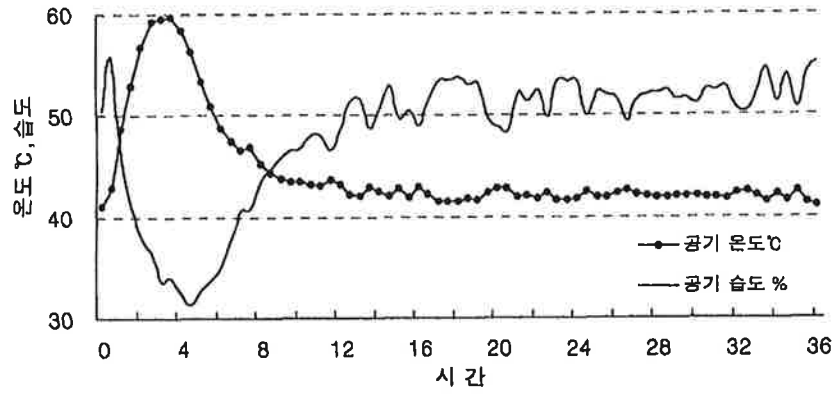


그림 2-18 공기온도 44.4℃, 상대습도 48.3%, 방사판 온도 103℃
조건에서의 실험동안 유지된 공기온도와 상대습도

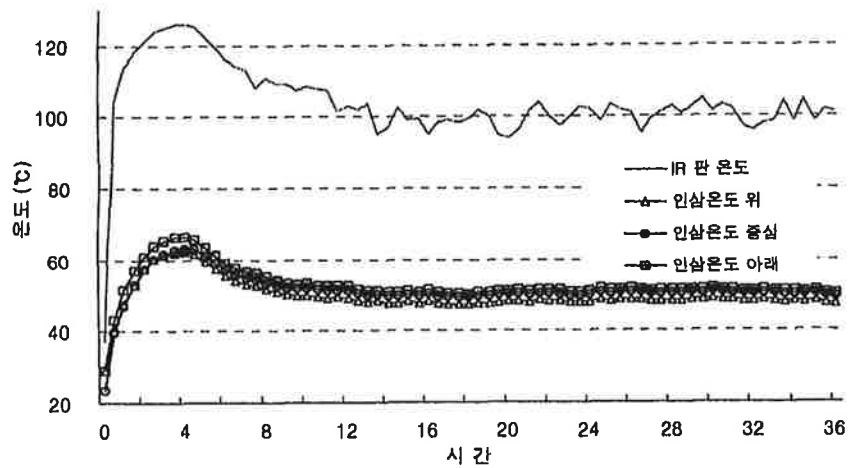


그림 2-19 공기온도 44.4℃, 상대습도 48.3%, 방사판 온도 103℃
조건에서의 실험동안 유지된 방사판 온도와 인삼시료의 온도

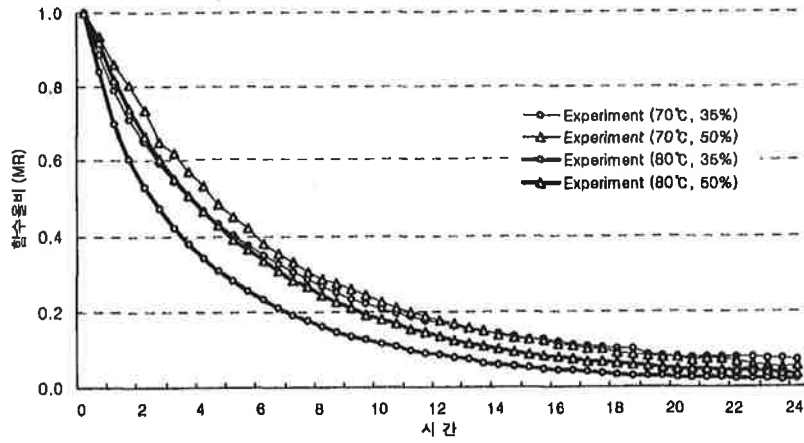


그림 2-20 공기온도 70, 80℃, 상대습도 35, 50% 조건의 건조곡선

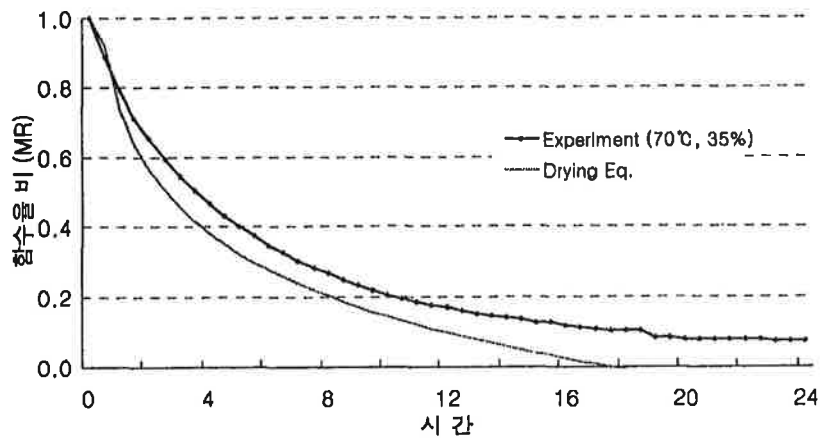


그림 2-21 공기온도 70℃, 상대습도 35% 조건의 실험 건조곡선과 건조방정식에 의한 건조곡선

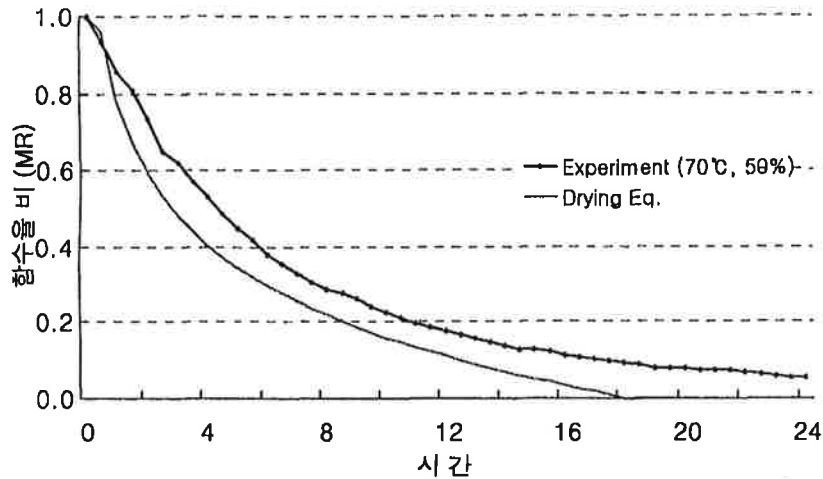


그림 2-22 공기온도 70°C, 상대습도 50% 조건의 실험 건조곡선과 건조방정식에 의한 건조곡선

제 5 절 열풍과 원적외선 겸용 연속식 건조시스템의 설계

일반적인 열풍건조는 건조 소요에너지가 많고 고온일 경우 피건물의 품질이 저하되는 것으로 알려져 있다. 따라서 고품질을 유지하면서 에너지 소비를 최소화 하는 건조기 설계를 목적으로 하였으며 이를 위하여 피건물 표면으로부터 수분을 증발시키는 열에너지를 원적외선으로 공급하고 수분을 시스템 외부로 운반하는 매체는 저온공기를 사용하는 개념을 도입하였다. 또한 원적외선 건조 효과가 낮을 가능성이 있는 여타 농산물을 건조할 경우와 시스템의 건조 용량을 극대화 하기 위하여 열풍건조를 병행할 수 있도록 하였다. 특히 에너지 절감효과가 있는 템퍼링 건조가 가능하도록 단별 제어가 독립된 연속식으로 설계하였다.

표 2-9는 시작품의 전체적인 주요 사양을 나타낸 것이며 그림 2-23에서 2-26까지는 시작품 주요부의 사진이다.

건조가 수행되는 단수는 2 단으로 되어 있으며 연속식으로서 1회 통과에 소요시간이 1-8 시간의 조절범위를 가지고 있다. 원적외선판의 표면온도는 최대 250 ℃ 까지 제어가 가능하며 피건조물로부터 원적외선판 표면까지의 거리는 5-7 cm 정도 유지된다. 각 단별로 3 곳에서 외부 공기가 공급되고 각 단의 끝에서 고습도의 공기는 배출된다. 각 단별 3 곳에서 외부 공기를 공급하는 팬의 출구쪽에 코일 히터를 장착하여서 필요시 열풍을 공급할 수 있다. 본체의 길이는 약 4 m, 높이는 1.6 m, 폭은 0.7 m 정도이며 실제 건조구역의 총길이는 약 7 m(2단), 유효폭은 0.4 m 이다.

표 2-9 원적외선과 열풍 겸용 연속식 건조시스템의 주요사양

장치 사양	본체	원적외선판	열풍장치	이송벨트	측정 및 제어장치
정격전원	220 V	220 V	220 V	220V ×90W×2	110 V, 220 V
가열방식		2kW×6	Coil Heater		원적외선판 온도, 열풍온도
송풍방식			blower		송풍량
작동범위	1 - 8 h/pass	- 250 ℃	- 90 ℃	- 6 m/h	이송벨트속도
사용재료	AL, SS41	세라믹코팅 SS41	SS41	chamglass	
규 격	2 단	570W×930L ×1.5kW×6	2kW×6	500W×8000L	PID, 자료수집

피건조물을 이송시키는 벨트는 CHAMGLASS 라는 재질의 화학유리 섬유로서 내온도, 내구성이 우수하며 8 mesh 정도의 다공질이다. 이는 현재까지 원적외선 건조에서 일반적으로 연구 사용되는 비다공질 벨트와는 다르게

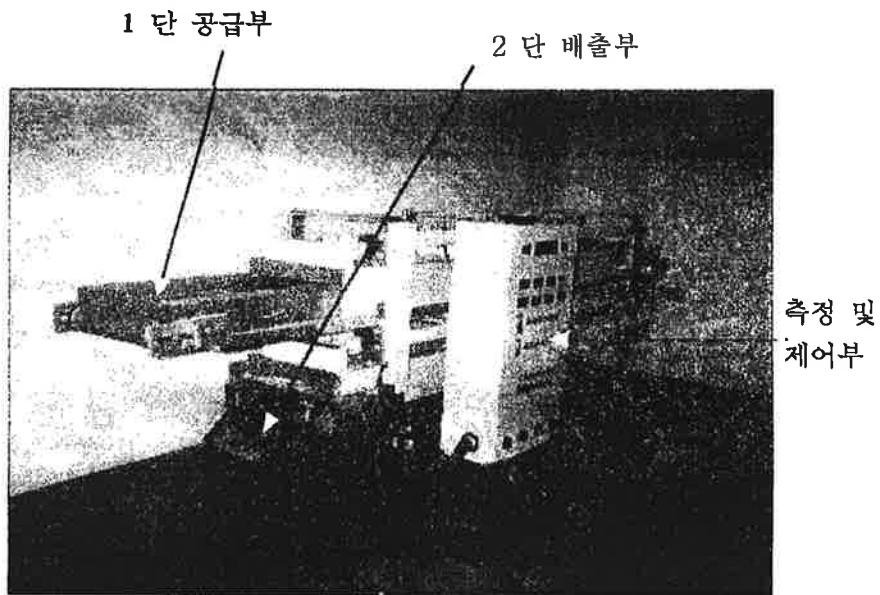


그림 2-23 원적외선 열풍 겸용 연속식 건조기(시작품)의 외관도

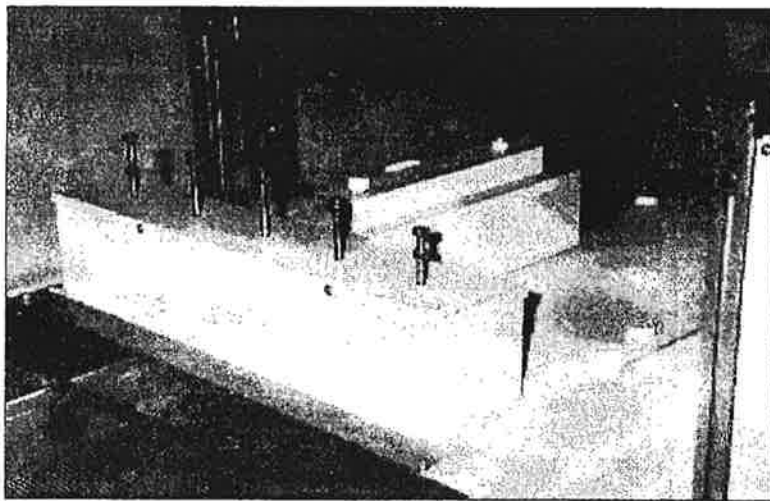


그림 2-24 시작품의 공기공급 장치의 외관도

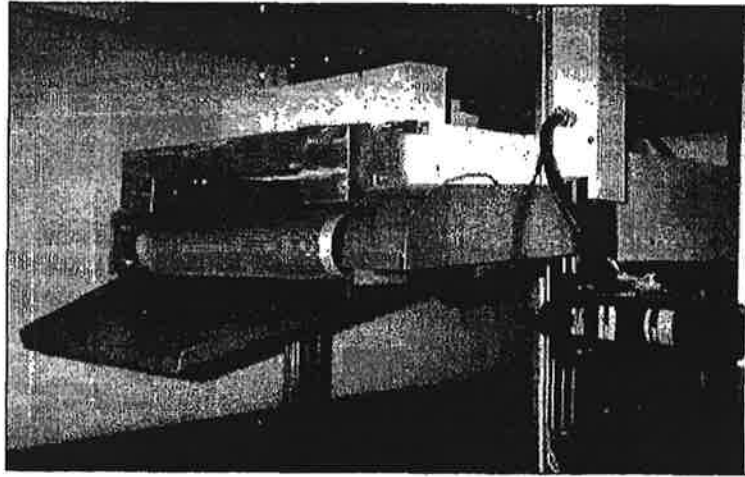


그림 2-25. 시작품의 피건물 배출부의 외관도

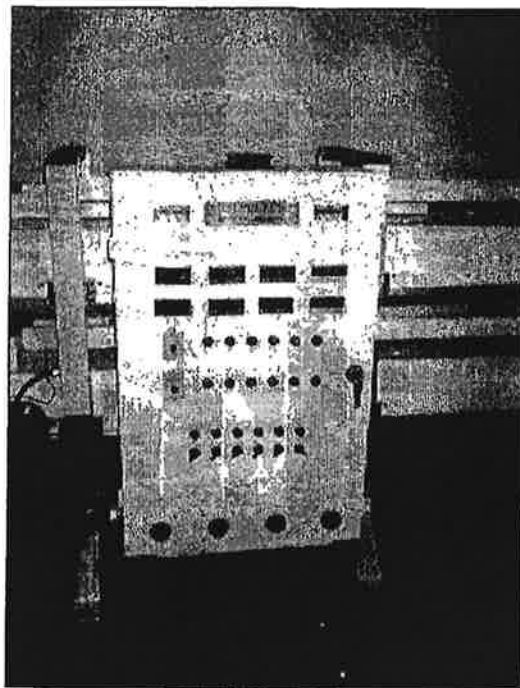


그림 2-26 시작품의 측정 및
작동제어부의
외관도

열풍건조시 효과적으로 건조가 되도록 하기 위한 것이다. 이것은 이송 벨트 아래에도 약 2-3 cm 의 공간이 있어 공기가 지나가면서 인삼과 벨트의 접촉부에도 건조가 진행되도록 한 것이다.

1 단 끝에서 2단 시작부로 피건물이 낙하될 때 인삼과 벨트와의 접촉부가 바뀌어 피건물은 골고루 건조가 되게 된다.

1 단과 2 단을 독립적으로 속도와 원적외선 및 열풍의 온도를 제어할 수 있기 때문에 2단을 템퍼링 구역으로 이용 할 수도 있다.

건조 구역의 공기 유속은 최대 1.5 m/s 이상이 되도록 설계되었으며 에너지 분석을 위하여 원적외선판의 소비전력 및 열풍 히터의 소비 전력을 각각 계량하도록 되어 있다.

건조공기의 상대습도는 열전대를 이용하여 건습구 온도를 측정하고 마이크로메트릭 공식으로 계산하는 방법을 채택하였다. 이는 상대습도를 가장 정확히 측정하는 방법으로 알려져 있다.

공기량은 단별 배출 팬 출구에서 열선풍속계를 이용하여 유속을 측정하고 단면적과의 곱으로 계산한다. 건조공기는 각 단별 3곳에 위치하는 공급팬에서 공급된다.

제 6 절 열풍과 원적외선 겸용 연속식

건조시스템의 인삼건조 특성

시작품인 열풍과 원적외선 겸용 연속식 인삼 건조시스템의 건조 성능을 분석하기 위하여 중편 크기의 4년근 인삼을 시료로 시험처리별로 건조 실험을 수행하였다.

1. 연속건조 특성

실험의 설계는 원적외선 방사판의 온도(80, 100, 120℃, 상온무처리)와 건조공기 열풍의 온도(40, 50℃, 상온무처리)를 요인으로 하였으며 건조시간은 12시간으로 하였다. 실험은 인삼 수확 적기인 9-10월에 수행되었으며 이 때 실내 주변의 온도는 각 실험 처리별로 20-22.9℃ 범위 내에 있었다. 실험 인삼 시료의 동질성을 유지하기 위하여 처리별 실험시료 편수는 많게 하기가 어려워 건조시스템 길이를 3등분하여 위치별로 3편씩 투입하였다. 건조공기의 풍속은 0.2m/s 수준을 유지하였으며 각 위치별로 인삼의 표면과 인삼의 중심의 온도를 연속적으로 측정하였다. 또한 2시간마다 시료의 무게를 측정하여 함수율의 변화를 계산하였다.

표 2-10은 12 시간 연속건조 실험처리별로 결과를 분석한 표이다. 인삼의 중심온도와 표면의 온도차는 대체로 2℃ 이내였으며 인삼의 중심온도 중에서 최대값 10개의 평균값(인삼중심 최대온도)과 전체의 중심온도 평균값의 차이는 방사판의 온도가 80℃인 경우는 약 7℃, 방사판의 온도가 100, 120℃인 경우는 10℃ 정도로 나타났다. 이런 큰 차이는 건조시간이 길어질수록 인삼의 건조가 진행이 되어 표면에서의 수분증발이 점점 적어져 수분 증발잠열이 감소하기 때문에 인삼의 온도는 약간씩 증가를 하기 때문이다.

일반적으로 건조 에너지가 큰 열풍건조(방사판 온도는 무처리로 상온 유지) 조건인 열풍온도 60℃를 기준으로 하여 건조 에너지의 상대적 비교를 한 결과는 표에서 건조기 성능평가지수의 상대적 비교 항에 나타나 있다. 성능평가지수는 피건조물내의 수분 1 kg을 건조시키는데 소비된 열량(kJ)을 나타낸 것으로서 적을수록 건조기의 열효율이 높은 것이다. 표에서 보면 동일한 방사판의 온도조건에서는 열풍온도 처리 조건이 클수록 성능평가지수는 커지고 열풍온도 무처리 조건이 월등히 작은 것을 알 수

표 2-10 12시간 연속건조 실험처리별 결과

적외선판 온도 (°C)	120			100			80			상온(무처리)	
	22 (상온)	40	50	22 (상온)	40	50	22 (상온)	40	50	50	60
열풍온도(°C)											
최종 함수비(MR)	0.14	0.10	0.08	0.19	0.19	0.13	0.32	0.19	0.21	0.35	0.34
실내공기평균온도(°C)	22.3	22.4	21.9	21.9	22.9	21.5	21.8	22.0	21.3	20.5	21.2
건조공기평균온도(°C)	65.3	73.4	78.3	56.3	63.7	68.9	49.2	56.4	61.0	45.7	53.2
인삼중심평균온도(°C)	66.4	71.3	74.4	55.1	59.9	62.3	45.8	50.5	52.4	34.9	39.9
인삼중심최대평균온도(°C)	75.8	82.1	88.1	62.6	69.2	72.5	52.1	57.1	59.5	37.8	44.0
적외선소비에너지(kWh)	8.5	7.5	7.0	6.8	5.7	5.0	4.6	3.9	3.4	0.00	0.00
열풍소비에너지(kWh)	0.00	3.3	5.5	0.00	3.7	5.8	0.00	3.7	5.8	10.9	13.8
총소비에너지(kWh)	8.5	10.8	12.4	6.8	9.4	10.8	4.6	7.6	9.2	10.9	13.8
건조기 성능평가 지수의 상대적 비교	0.47	0.59	0.69	0.41	0.57	0.59	0.32	0.48	0.59	0.99	1.0

있다. 또한 적외선 온도가 높을수록 커지는데 이 현상은 건조온도를 높일수록 에너지 효율 측면이 유리하다는 것과 상반된 결과이다. 하지만 건조효율은 피건조물의 함수율이 낮아질수록 불리하기 때문에 나타난 현상이다. 즉 방사판의 온도가 높은 조건이 같은 시간에 더 많이 건조가 되었기 때문이다. 표에서 보면 방사판의 온도가 높을수록 함수비가 낮아지고 있다. 여기서 주목할 것은 방사판 무처리(열풍건조) 조건은 함수비가 약 0.35정도인데 이것과 유사한 값인 방사판 80℃, 열풍 무처리 조건(0.32)과 성능평가지수를 비교하면 적외선 건조의 성능평가지수가 1/3에 불과하다. 이것은 건조 에너지 효율이 3배가 된다는 것을 의미한다.

그림2-27은 열풍 건조와 원적외선 건조 조건에 대하여 건조곡선을 비교한 것이다. 원적외선 건조에서 건조속도가 빠른 것을 알수 있으며 방사판의 온도가 80℃인 경우는 건조가 상당히 완만하게 진행되어 열풍건조와 유사한 곡선의 형태를 가지는 것으로 나타나고 있다.

그림 2-28은 열풍과 원적외선 혼합건조 조건과 열풍건조 조건에 대하여 건조곡선을 비교한 것이다. 원적외선 건조의 효과가 확실하게 나타나고 있으며 방사판 100,120℃인 조건이 80℃조건에 비하여 효과가 더욱 뚜렷하다. 표 2-10과 두 그림의 결과로 판단할 때 인삼중심온도의 평균이 55℃인 방사판 온도 100℃, 열풍온도 무처리인 조건이 성능지수와 건조속도를 고려할 때 최적인 건조조건으로 판단된다.

그림 2-29는 실험처리별 건조공기온도와 인삼중심온도의 평균값을 비교한 것이다. 건조공기는 인삼으로부터 직접 수분을 전달받아 배출시키며 인삼과 대류열전달을 통하여 열교환을 하기 때문에 인삼의 온도에 가장 큰 영향을 주게 된다. 그림에서 보면 건조공기 온도와 인삼 중심온도는

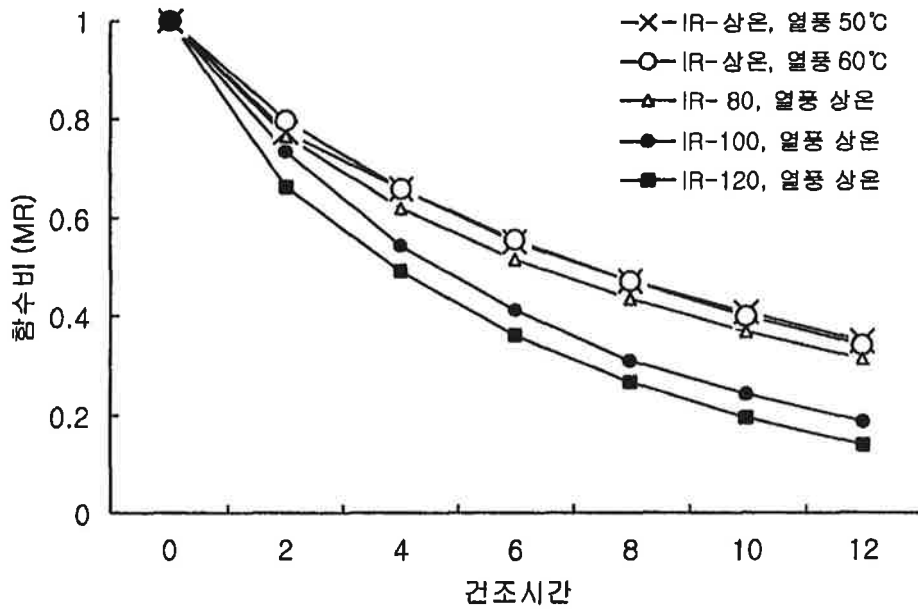


그림 2-27. 열풍건조와 원적외선 건조의 건조곡선 비교

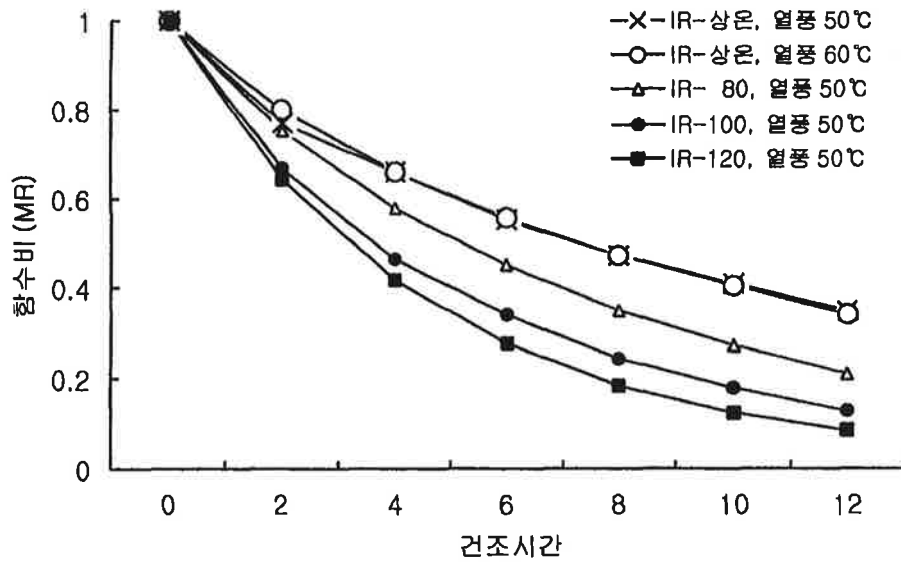


그림 2-28. 열풍과 원적외선 혼합 건조와 열풍건조의 건조곡선 비교

비례하며 방사판의 온도가 높을수록 복사열전달 효과로 인하여 인삼의 온도와 건조공기의 온도차가 적어지고 있다. 특히 열풍의 조건이 있는 경우가 큰 차이를 보이는 경향이 있고 방사판 120℃ 조건에서 열풍 무처리인 경우는 인삼의 온도가 약간 더 크게 나타나고 있다. 이러한 현상은 공기는 복사에너지를 얻지 못하나 인삼은 복사에너지를 직접 얻을 수 있기 때문으로 판단된다. 이러한 인삼의 온도 차이가 바로 건조속도의 차이를 일으키는 것으로 분석되며 이 복사열은 수분 증발잠열로 이용된다.

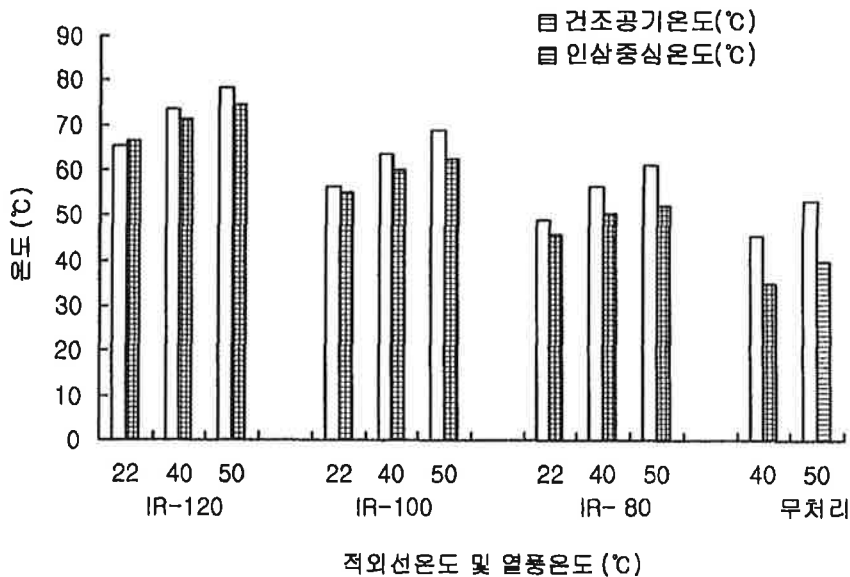


그림 2-29. 실험처리별 건조공기와 인삼중심 평균온도

제 7 절 열풍과 원적외선 겸용 연속식

건조시스템의 템퍼링건조 특성

건조는 피건조물의 표면에서 접촉하고 있는 주위 공기로 수분이동이

발생하고 내부와 표면의 수분농도 차이로 인하여 내부에서 표면으로 수분이동이 일어난다. 일반적으로 표면에서 공기로의 수분이동 속도보다 내부에서의 수분확산 속도가 낮기 때문에 어느 정도 표면의 수분이 낮아지고 난 후에는 내부에서 표면으로 수분확산이 일어나는데 필요한 시간을 줄 필요가 생긴다. 연속건조시에는 표면에서 건조가 다 진행되고 난 후에는 더 이상 건조가 진행되지 아니하고 내부에서 확산되어 나오는 수분만 건조가 된다. 이런 조건이 되면 건조속도도 느리고 무엇보다도 건조 에너지 낭비가 발생하게 된다. 따라서 이런 경우에는 건조를 계속 진행시키지 아니하고 템퍼링이라고 하는 기간을 두어 내부에서 표면으로 수분확산이 충분히 진행되도록 한 후 다시 건조를 수행한다. 내부에서 표면으로의 수분확산은 물질내의 수분농도 차이에 의하여 자연히 발생하고 충분한 시간이 지나면 물질 내에 수분이 고루 분포하게 되는 것이다. 물론 요구되는 시간은 물질에 따라, 온도와 함수율에 따라 차이가 날 것이다.

인삼은 직경이 크기 때문에 내부에서 표면으로의 수분 이동 거리도 크게 된다. 그러나 다공성의 물질이기 때문에 수분확산속도는 빠를 것으로 생각이 된다. 수분 이동거리를 생각하면 템퍼링의 효과가 클 것으로, 다공성 물질이라는 특징은 템퍼링의 효과가 작을 것으로 생각하게 한다. 그래서 본 연구에서는 적절한 템퍼링 조건이 어느 수준인지 혹은 템퍼링의 효과는 있을 것인지를 알기 위하여 앞 절에서와 동일한 방법으로 3시간 건조 후에 3시간을 상온에서 템퍼링하는 방법(3-3 방법)과 6시간 건조 후 6시간 템퍼링하는(6-6 방법) 두가지 방법으로 건조 실험을 수행하였다. 실제 건조가 이루어지는 시간은 3-3방법은 12 시간, 6-6방법은 18시간이었다.

표 2-11은 3-3 템퍼링 방법에서 실험처리별 결과를 분석한 표이며 표

2-12는 6-6 템퍼링 방법에서의 실험처리별 결과를 분석한 표이다. 표 2-13은 3-3 템퍼링, 6-6 템퍼링 건조와 연속건조 방법의 실험결과를 비교한 것인데 12시간 건조시간 결과이다.

템퍼링 건조와 연속식 건조간에 차이가 발견되지 않으며 템퍼링의 두 방법간에도 차이가 없는 것으로 판단된다. 약간의 차이가 나타나는 것은 건조공기 평균온도와 인삼중심 평균온도에서인데 템퍼링 건조는 주기별로 상온에서 다시 건조가 시작되기 때문에 온도면에서 약간 불리한 것이다. 3-3 조건이 6-6 조건보다 온도가 더 낮은 것도 이러한 이유 때문으로 판단된다. 그림 2-30은 템퍼링 건조방법에 대하여 인삼중심온도, 건조공기 온도, 주변 실내온도를 건조 시간에 따라 연속적으로 나타낸 것이다. 특이한 것은 3-3 방법의 인삼중심온도가 주기별로 조금씩 증가하고 있으나 건조공기 온도는 별 차이를 보이지 않고 있다. 이것은 인삼이 건조가 되면서 표면 수분 증발잠열이 감소하기 때문에 연속건조에서와 같이 조금씩 증가하는 것이 타당한 것으로 생각된다. 6-6 방법에서는 두 번째 건조에서 오히려 인삼온도가 약간 낮아졌는데 이는 주변 실내온도가 약간 낮아졌기 때문으로 판단된다.

표 2-11 3시간 건조-3시간 템퍼링 실험처리별 결과
(12시간 건조)

적외선판온도(℃)	120	100	80		
열풍온도(℃)	상온	상온	상온	40	50
최종함수비(MR)	0.09	0.18	0.27	0.20	0.17
실내공기평균온도(℃)	16.8	15.6	17.1	17.3	17.2
건조공기평균온도(℃)	61.1	49.5	42.8	55.4	60.5
인삼중심평균온도(℃)	53.1	43.6	37.6	43.6	45.4
인삼중심최대온도(℃)	71.2	57.1	48.5	56.8	59.0
적외선건조에너지(kwh)	8.7	6.9	4.7	4.0	3.4
열풍건조에너지(kwh)	0	0	0	4.9	7.0
총건조에너지(kwh)	8.7	6.9	4.7	8.9	10.4
건조기 성능평가 지수의 상대적 비교	0.77	0.64	0.52	0.88	1.0
12시간 연속건조시의 성능평가 지수의 상대적 비교	0.80	0.69	0.54	0.81	1.0

표 2-12. 6시간 건조-6시간 템퍼링 실험처리별 결과(18시간 건조)

적외선판온도(℃)	120	100	80			상온	
열풍온도(℃)	상온	상온	상온	40	50	50	60
최종함수비(MR)	0.03	0.07	0.19	0.07	0.08	0.31	0.27
실내공기온도(℃)	11.9	15.3	7.7	13.3	13.7	6.0	5.5
건조공기온도(℃)	57.5	51.3	39.2	54.9	60.2	42.0	49.8
인삼중심온도(℃)	58.5	50.8	38.3	47.3	50.9	27.1	31.1
인삼중심 최대온도(℃)	70.4	61.7	46.0	58.1	60.6	33.5	38.4
적외선 건조 에너지(kwh)	13.6	10.2	8.6	5.9	5.7	0.0	0.0
열풍건조에너지(kwh)	0	0	0	8.4	11.8	14.7	17.6
총건조에너지(kwh)	13.6	10.2	8.6	14.3	17.5	14.7	17.6
건조기 성능평가 지수의 상대적비교	0.54	0.40	0.39	0.62	0.69	0.92	1.0

표 2-13 템퍼링 건조와 연속건조의 결과 비교(12시간 건조)
(방사판 100℃, 열풍 무처리)

구 분	3-3 템퍼링	6-6 템퍼링	연속 건조
최종 함수비(MR)	0.18	0.18	0.19
실내 공기온도(℃)	15.6	15.3	21.9
건조공기 평균온도(℃)	49.5	51.3	56.3
인삼중심 평균온도(℃)	43.6	50.8	55.1
인삼중심 최대 평균온도(℃)	57.1	61.7	62.6
건조에너지(kwh)	5.5	7.5	6.8
건조기 성능평가지수의 상대적 비교	1.0	1.1	1.0(기준)

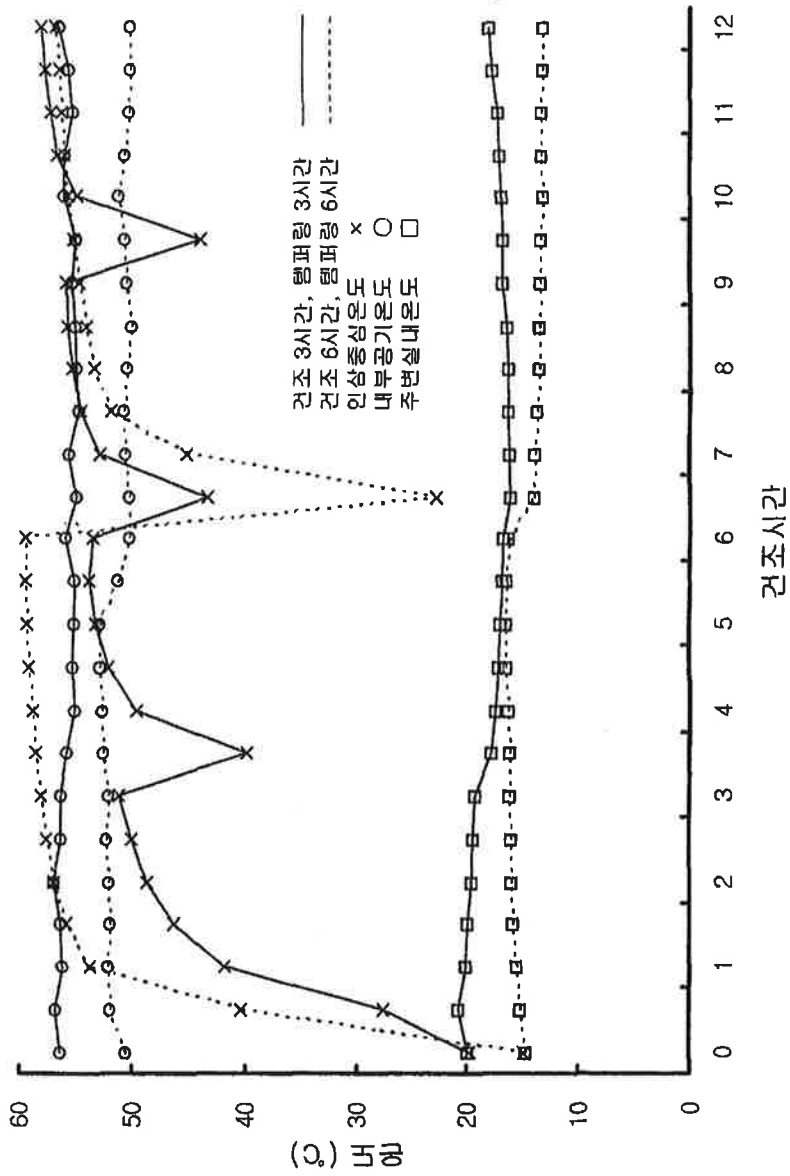


그림 2-30. 템퍼링 건조방법별 건조공기, 인삼중심, 주변실내온도 변화

제 8 절 열풍과 원적외선 겸용 연속식

건조시스템의 인삼품질 특성

건조실험 처리별 건조과정에서 발생할 인삼의 품질 변화를 측정하기 위하여 건조 전 후에 색도계를 이용하여 색도값을 측정하였고 버니어 캘리퍼스로 인삼의 최대 직경부위(인삼 뇌두로부터 2-3cm 아래)에서 편당 2회씩(90도 방향) 측정하였다.

1. 건조실험 처리별 인삼 색도 변화

그림 2-31은 실험처리별 건조 인삼의 색도 평균을 시중에서 판매하는 등급별 백삼의 색도평균과 비교한 것이다. 그림에서 방사판의 온도가 높아질수록 x 값은 크게 증가하나 y 값은 약간씩 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 방사판의 온도가 높아 인삼이 고온으로 건조될수록 노란색을 띠는 것을 의미한다. 시중에서 구입한 1,2,3 등급 백삼의 색도 평균값을 보면 큰 차이를 보이지 않는다.

방사판의 온도 100℃, 열풍온도 무처리(상온) 조건에서 건조된 인삼의 색도값 평균은 그림에서 보면 시중의 백삼과 별 차이가 없는 것으로 판단된다.

열풍건조(그림에서 C-상온 조건, 색도값 평균 C-avg) 조건에서 건조된 인삼은 x,y 값이 제일 작은 것으로 나타났는데 이는 덜 건조되어 함수율이 50%(w.b)정도인 상태의 색도값으로서 백색에 가까운 색이다.

2. 건조과정에서의 인삼의 직경변화

표 2-14는 12시간 연속 건조 실험 처리별 인삼의 직경변화를 수축율로 나타낸 것이다. 여기서 직경수축율은 $1-d_2/d_1$ (d_1 : 건조 전 직경, d_2 : 건조 후 직경), 단면적 수축율은 $1-(d_2/d_1)^2$ 이다. 직경의 수축으로 인한 단면

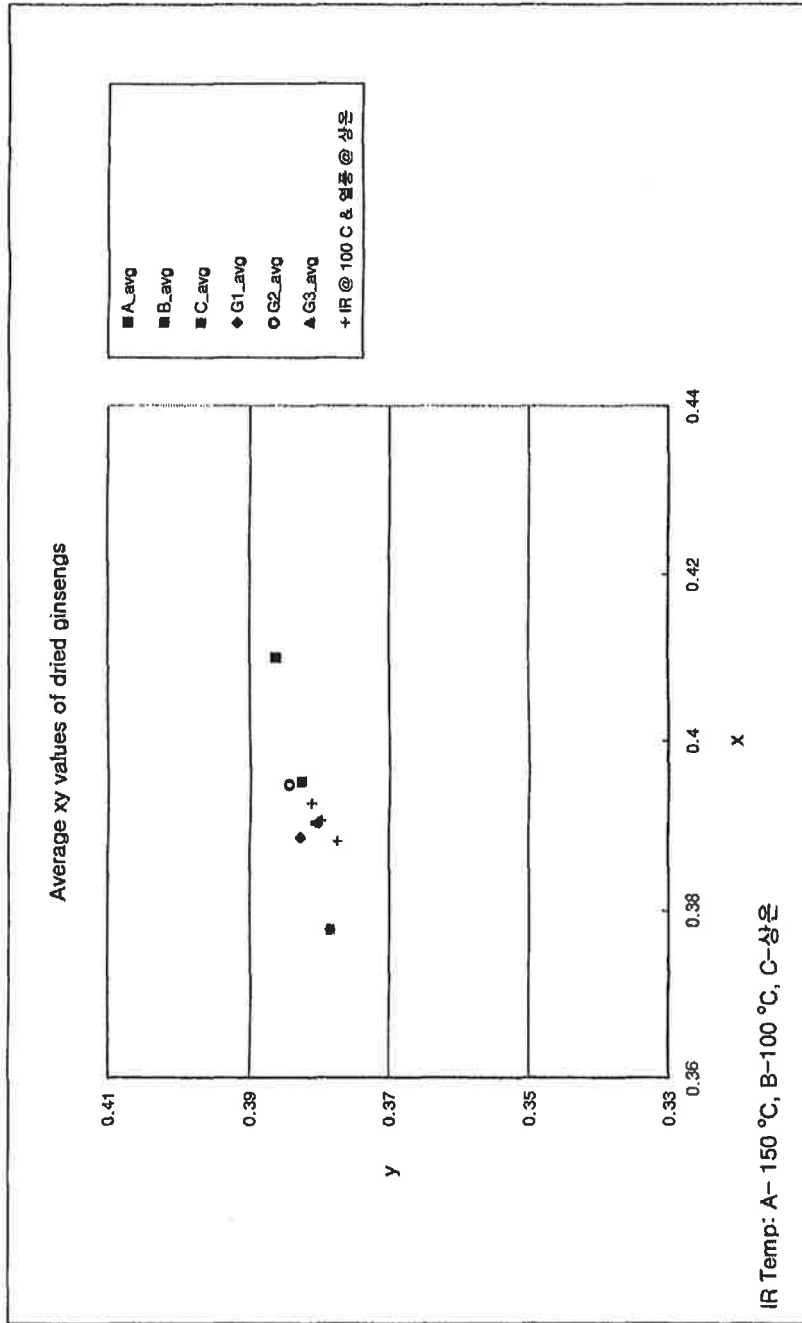


그림 2-31. 실험처리별 건조 인삼의 색도 평균

적 수축율은 35-60%의 분포를 보이고 있다.

그림 2-32는 12시간 연속 건조시 실험처리별 단면적 수축율과 인삼중심 온도 및 최종 함수비를 나타낸 것이다. 경향은 인삼중심온도가 높아질수록 수축율은 증가하고 반대로 최종 함수비는 감소하고 있다. 이러한 경향은 그림 2-33에 더욱 뚜렷이 나타난다. 인삼의 평균온도와 최종 함수비의 선형적 관계식은 그림 2-33에서와 같이 $y = -0.0072x + 0.6054$ (y : 함수비, 소수; x : 인삼 평균온도, °C; $R^2 = 0.92$) 으로 분석되었다.

그림 2-34는 함수비와 단면적 수축율의 관계를 나타낸 것인데 선형적인 관계임이 확실하다. 선형관계식은 그림에 나타난 바와 같이 $y = -71.932x + 63.61$ (y : 단면적 수축율, %; x : 함수비, 소수; $R^2 = 0.91$)이다. 이는 많이 건조될수록 수축도 많이 된다는 것을 의미하며 결국 수분이 빠져 나가면서 그 공간을 메우기 위하여 조직이 수축하는 것으로 판단된다. 전 등(1985)도 증자인삼에 대한 연구에서 유사한 결과를 보고한 바 있다.

3. 실험처리별 인삼의 화학성분 변화

가. 시료조제

시험구별 백삼시료는 미삼부위를 제거한 후 주근부위(동체+대미)의 크기가 유사한 시료를 선정한 후 분쇄기로 분쇄하여 분석용 시료로 사용하였다.

나. 분석방법

1) 사포닌성분의 정량

사포닌성분의 정량은 각 엑스로부터 Ando등(1971)의 방법에 준하여 수포화 n-butanol 추출방법으로 조사포닌 분획물을 분리한 후 감압 농축하여 증량법으로 조사포닌량을 조사하였다. 각 사포닌성분의 분리 정량은 인삼시료로부터 추출된 조사포닌 분획물을 메탄올에 용해시켜 0.45 μ m

membrane filter로 여과하여 HPLC로 분석하였다(김만옥 등,1987; 홍 등,1979). 이 때 사용한 HPLC는 Waters Associates Model 244를, 컬럼은

표 2-14 12시간 연속 건조 실험 처리별 수축율

적외선 판온도 (℃)	열풍 온도 (℃)	건조전 직경 (mm)	건조후 직경 (mm)	수축율 (직경) (%)	수축율 (단면적) (%)	최종 함수비 (MR)	인삼중심 평균온도 (℃)
120	22 (상온)	26.01	17.02	34.57	57.19	0.14	66.4
	40	26.68	17.83	33.16	55.32	0.10	71.3
	50	23.95	15.75	34.25	56.76	0.08	74.4
100	22 (상온)	23.22	14.83	36.13	59.21	0.19	55.1
	40	25.34	17.88	29.44	50.21	0.19	59.9
	50	25.65	17.74	30.85	52.18	0.13	62.3
80	22 (상온)	24.10	18.01	25.28	44.16	0.32	45.8
	40	25.33	19.19	24.24	42.60	0.19	50.5
	50	26.40	18.79	28.85	49.38	0.21	52.4
22 (상온)	50	25.11	20.15	19.75	35.60	0.35	34.9
	60	24.80	19.55	21.19	37.89	0.34	39.9

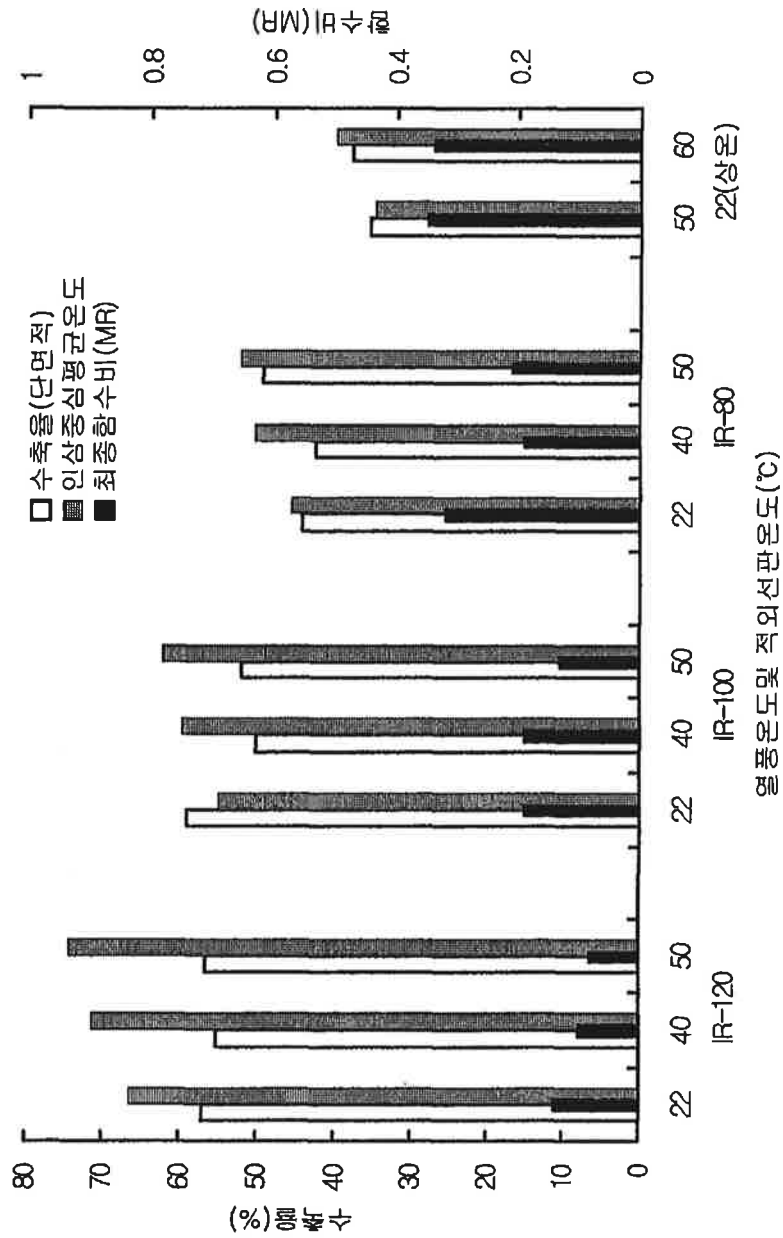


그림 2-32. 실험처리별 단면적 수축율, 인삼중심온도, 최종함수비의 비교

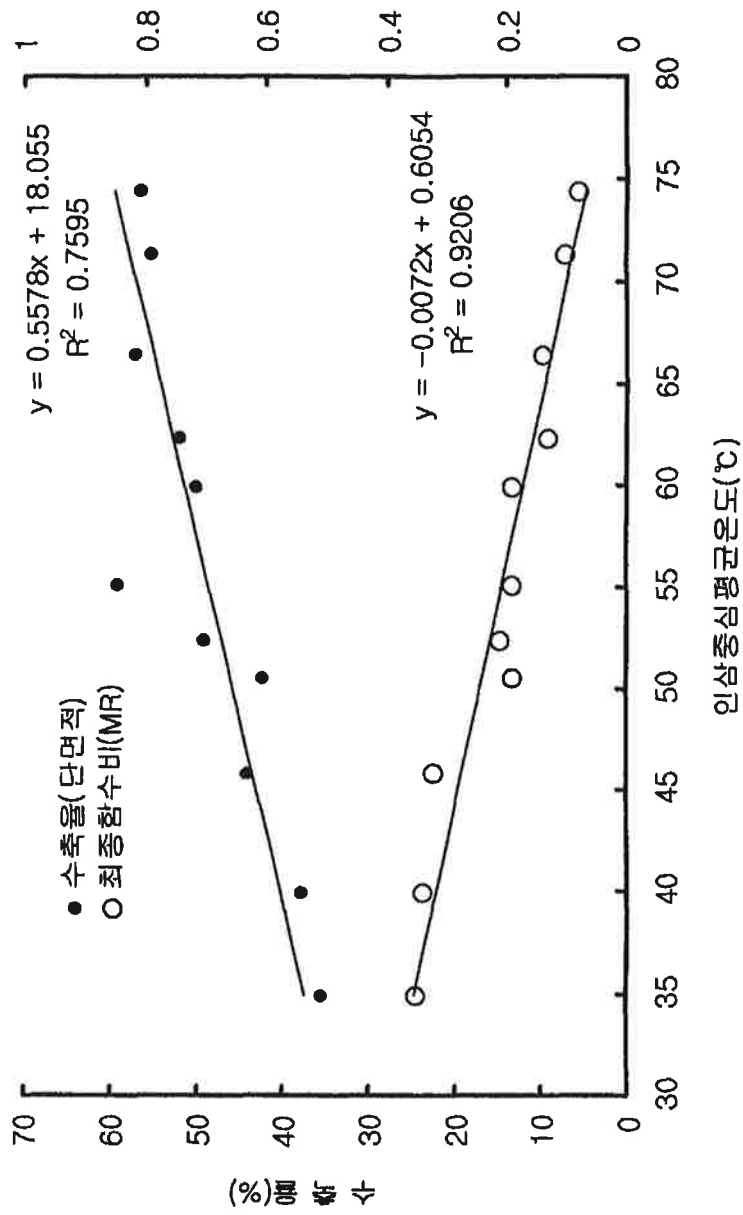


그림 2-33. 인삼 중심온도에 따른 단면적 수축율과 최종 함수비

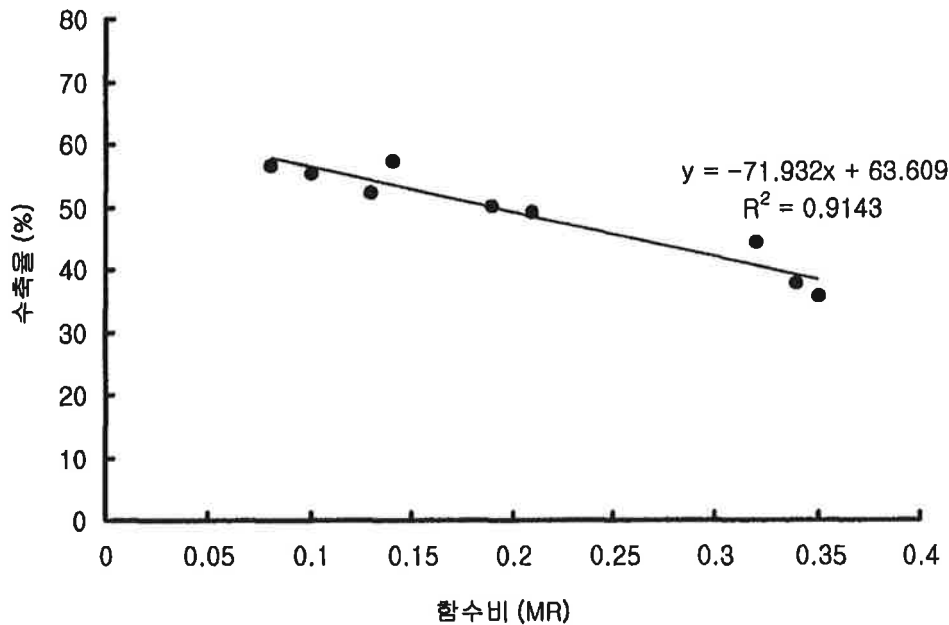


그림 2-34. 최종 함수비에 따른 단면적 수축율의 변화

Lichrosorb NH2(Merck, 10 μ m, 25 \times 0.46cm I.D.)를, 검출기는 differential refractometer RI 401을 사용하였고, 이동상은 acetonitrile/water/n-butanol(80:20:10, v/v)을 사용하였다.

2) 유리당

시료 5g에 10배량의 80% 메탄올을 가하여 75 $^{\circ}$ C 수욕조에서 환류법으로 4회 반복 추출 여과한 다음 감압 농축하였다. 농축 잔유물을 물에 용해시킨 다음 분액여두에 넣고 에테르로 추출 분획하여 지방질 성분을 제거시켰다. 다시 그 수층을 수포화 n-부탄올로 추출 분획하여 사포닌 성분을 제거시킨 후 수층을 농축하고 10ml의 물에 용해하여 HPLC 분석용 검액으로 하였다. 유리당은 HPLC를 이용하여 Lichrosorb-NH2 column (Merck Co,

10 μ m, 4mm ID \times 250mm)에 아세토니트릴/물(84:16, v/v)을 이동상으로 하여 굴절율검출기(RI)로 검출 정량하였다(고 등, 1996).

3) 실험처리별 건조 인삼의 사포닌 성분 함량

표 2-15는 열풍과 원적외선 겸용 연속식 건조 시스템에서 실험처리별로 건조된 인삼의 사포닌 성분 함량을 나타낸 것이며 표2-16은 시료번호의 건조실험조건을 나타낸 것이다. 표 2-16에서 시중구입은 민간 가공업자가 열풍건조한 1 등급 인삼이며 항온항습기는 항온항습기에서 50 $^{\circ}$ C, 50%RH 조건에서 100 시간 동안 건조한 인삼이다. 표 2-17은 유리당 함량을 분석한 표이다. 실험 건조조건 범위에서는 건조조건과 인삼 성분 함량과는 큰 관련이 없는 것으로 판단되며 또한 시중에서 구입한 1등급 인삼과 비교하여도 관련성을 찾기가 어렵다. 이상으로 미루어 짐작할 때 건조조건에 따른 화학 성분 변화는 일정한 경향을 가지지 않아 실험건조 범위 내에서는 성분변화의 제약은 없는 것으로 판단된다.

제 9 절 열풍과 원적외선 겸용 연속식

건조시스템의 최적 작동조건

시스템의 최적작동조건 구명의 실험적 연구는 품질손상이 없는 범위내에서 에너지 효율의 최적화와 건조용량의 극대화에 초점을 두어야 한다. 열풍과 원적외선 겸용 연속식 건조 시스템의 최적작동 조건을 분석하기 위하여 앞 절에서 분석한 결과가 건조용량에 따라 변화하는지를 먼저 검토하여야 한다.

건조용량의 변화에 따라 건조 조건별 건조 특성의 변화를 분석하기 위하여 합리적인 작동조건(방사판 온도 100 $^{\circ}$ C, 열풍 무처리)에서 인삼 시료

표 2-15 실험처리별 건조 인삼의 사포닌 성분 함량(건량기준%)

시료	Crude saponin	Ginsenoside							
		Rb ₁	Rb ₂	Rc	Rd	Re	Rf	Rg ₁	Total
R ₂ -1	3.73	0.22	0.09	0.09	0.02	0.07	0.07	0.23	0.79
R ₂ -2	3.83	0.22	0.10	0.11	0.02	0.10	0.06	0.20	0.81
R ₂ -3	3.39	0.19	0.08	0.10	0.02	0.10	0.07	0.16	0.72
R ₂ -4	3.88	0.27	0.12	0.14	0.02	0.12	0.08	0.24	0.99
R ₂ -5	3.92	0.28	0.12	0.12	0.03	0.15	0.09	0.29	1.08
R ₂ -6	3.68	0.17	0.07	0.07	0.02	0.10	0.07	0.18	0.68
R ₂ -7	3.22	0.18	0.06	0.07	0.02	0.10	0.05	0.14	0.62
R ₂ -8	3.71	0.28	0.14	0.15	0.02	0.14	0.08	0.31	1.12
R ₂ -9	3.59	0.25	0.10	0.12	0.02	0.12	0.07	0.25	0.93
R ₂ -10	3.34	0.17	0.07	0.08	0.02	0.09	0.04	0.14	0.61
R ₂ -11	3.84	0.23	0.10	0.12	0.02	0.14	0.08	0.21	0.90
Gn-1	3.76	0.27	0.08	0.09	0.04	0.13	0.06	0.24	0.91
Ch-1	3.67	0.22	0.10	0.12	0.03	0.13	0.07	0.22	0.89

의 투입량을 증가시켜 건조실험을 수행하였다. 시료 투입량은 건조기 용량에 직접적 영향을 준다. 본 실험에 사용된 수삼 시료는 일반 인삼가 공업체로부터 구매하였는데 다른 실험에서와 같은 4년근 중편급이었다. 인삼 투입량은 150편이었으며 18시간 연속건조 2반복 실험을 수행하였다.

표 2-16 시료번호와 건조 실험조건

시료번호	건조조건		시료번호	건조조건	
	방사판 온도(℃)	열풍온도(℃)		방사판 온도(℃)	열풍온도(℃)
R ₂ -1	100	40	R ₂ -8	무처리	60
R ₂ -2	100	50	R ₂ -9	80	무처리
R ₂ -3	120	40	R ₂ -10	100	무처리
R ₂ -4	120	50	R ₂ -11	120	무처리
R ₂ -5	80	40	Gn-1	시중구입	50
R ₂ -6	80	50	Ch-1	항온항습기	50
R ₂ -7	무처리	50			

표 2-17 실험처리별 건조 인삼의 유리당 함량(건량기준%)

Sample	Fructose	Glucose	Sucrose	Maltose	Total
R ₂ -1	1.12	1.78	16.44	3.33	22.67
R ₂ -2	1.27	1.47	23.47	3.63	29.84
R ₂ -3	1.11	1.51	21.60	6.68	30.90
R ₂ -4	2.59	3.15	24.43	4.73	34.90
R ₂ -5	2.19	1.35	22.66	0.98	27.18
R ₂ -6	1.08	1.29	21.72	1.49	25.58
R ₂ -7	0.36	0.84	23.21	2.30	26.71
R ₂ -8	0.27	0.45	27.15	0.77	28.64
R ₂ -9	0.53	0.66	24.06	1.02	26.27
R ₂ -10	0.39	0.42	20.98	0.85	22.64
R ₂ -11	2.44	2.12	26.83	2.60	33.99
Gn-1	0.56	0.80	36.27	-	37.63
Ch-1	0.59	0.51	28.25	0.50	29.85

표 2-18은 건조시간에 따른 건조기의 열효율과 성능평가지수를 비교한 것이다.

표 2-18 건조시간에 따른 건조기 열효율과 성능평가지수 비교

구분 시간	함수비 (MR)	구간별 건조 에너지 (kWh)	누적 건조 에너지 (kWh)	구간별 성능평가 지수비교	누적 성능평가 지수비교	구간별 열효율 (%)	누적 열효율 (%)
0	1.0	0	0	-	-	-	-
2	0.81	1.5	1.5	0.22	0.53	31.2	31.2
4	0.65	1.4	2.8	0.25	0.56	27.1	29.2
6	0.51	1.4	4.2	0.29	0.60	22.9	27.1
8	0.41	1.4	5.6	0.38	0.66	17.5	24.7
10	0.32	1.5	7.1	0.47	0.73	14.2	22.5
12	0.26	1.3	8.4	0.59	0.79	11.4	20.8
14	0.20	1.4	9.8	0.67	0.85	10.0	19.2
16	0.16	1.4	11.2	1.1	0.93	5.7	17.5
18	0.12	1.4	12.5	1.0	1.0	6.7	16.4

표에서 보면 건조시간이 증가함에 따라 건조성능평가지수는 증가하고 반대로 열효율은 감소하고 있다. 이러한 현상은 함수비가 감소함에 따라 건조에너지가 점점 증가한다는 것을 의미한다. 그림 2-35는 건조시간에 따라 함수비, 구간별 건조에너지, 구간별 열효율을 나타낸 것으로서 건조시간 구간별 건조에너지는 비슷하였으나 함수비가 지수 형태로 감소함에 따라 열효율도 지수적 형태로 감소하는 현상이 잘 나타나 있다. 그림 2-36은 건조시간에 따른 함수비, 누적 건조에너지, 누적 열효율을 나타낸 것으로서 시간의 증가에 따라 함수비는 지수함수 형태로 감소하나 누적

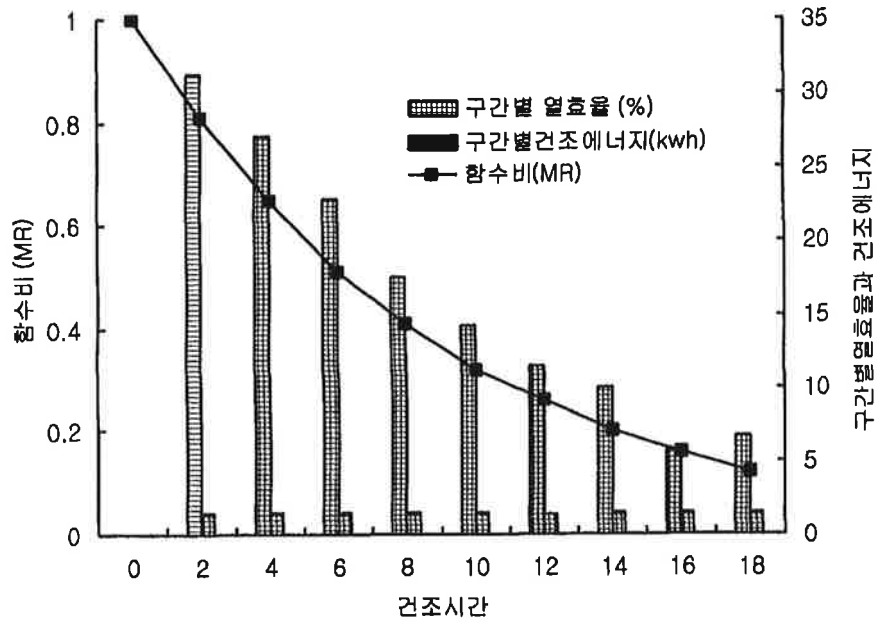


그림 2-35. 건조시간에 따른 함수비, 구간별 건조에너지 및 열효율

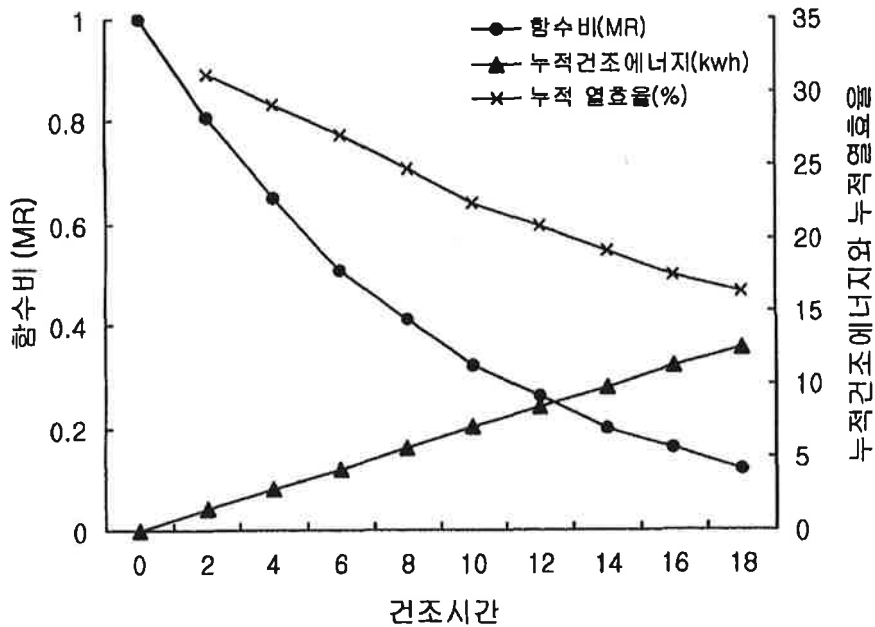


그림 2-36. 건조시간에 따른 함수비, 누적 건조에너지 및 열효율

건조에너지와 누적열효율은 거의 직선적으로 변화함을 보여준다. 특히 구간별 열효율은 지수적 감소 형태를 가지나 누적 열효율은 직선적인 감소형태를 가진다는 것을 알 수 있다.

그림 2-37은 건조시간 12시간 동안 인삼 시료 투입량(10편, 150편) 조건에 따라 인삼중심온도, 건조공기(내부공기온도) 및 건조기 주변의 실내온도의 변화를 연속적으로 측정 한 것이다. 건조기 내부의 공기온도는 거의 일정하지만 인삼중심온도는 시간이 증가에 따라 초기 2시간 까지 급격히 증가하다가 그 후에는 완만히 계속 증가하고 있는 것이 특징이다. 이러한 현상은 공기는 방사판의 복사열을 흡수하지 않지만 인삼은 복사열을 흡수하기 때문이다. 또한 인삼온도만 계속 서서히 증가하는 현상은 복사 흡수열은 동일한데 반하여 인삼 건조가 진행됨에 따라 표면에서 증발 수분이 감소하여 수분 증발잠열이 감소하기 때문으로 분석된다. 인삼 투입량 10편 조건과 150편 조건을 비교해 보면 건조기 주변의 실내온도의 차이 보다 약간 적은 온도 차이를 보일 뿐 온도변화의 경향은 동일한 것으로 판단된다.

그림 2-38은 건조시간에 따른 배출공기 상대습도와 함수비 변화에 대하여 투입량 10편과 150편 조건을 비교한 것이다. 배출공기 상대습도는 150편 조건이 20% 정도 더 높게 나타나나 함수비는 거의 비슷하게 감소하고 있다. 이것은 150편 조건의 건조 공기온도가 더 낮은 것이 주된 이유이며 다른 부수적인 원인으로서 투입량이 증가하였기 때문에 인삼으로부터 수분 증발량도 많아지는 것을 생각할 수 있다.

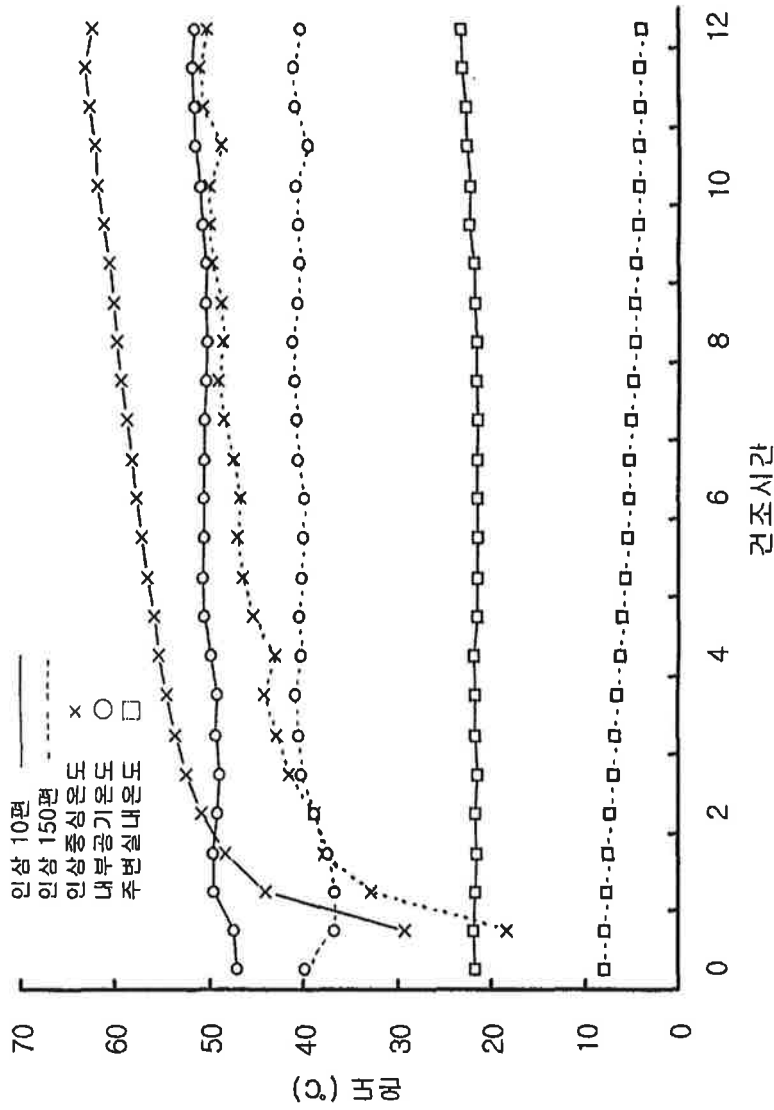


그림 2-37. 건조시간에 따른 인삼중심온도, 내부 건조공기온도 및 주변 실내온도의 변화에 대하여 인삼 투입량 (10편, 150편) 조건 비교

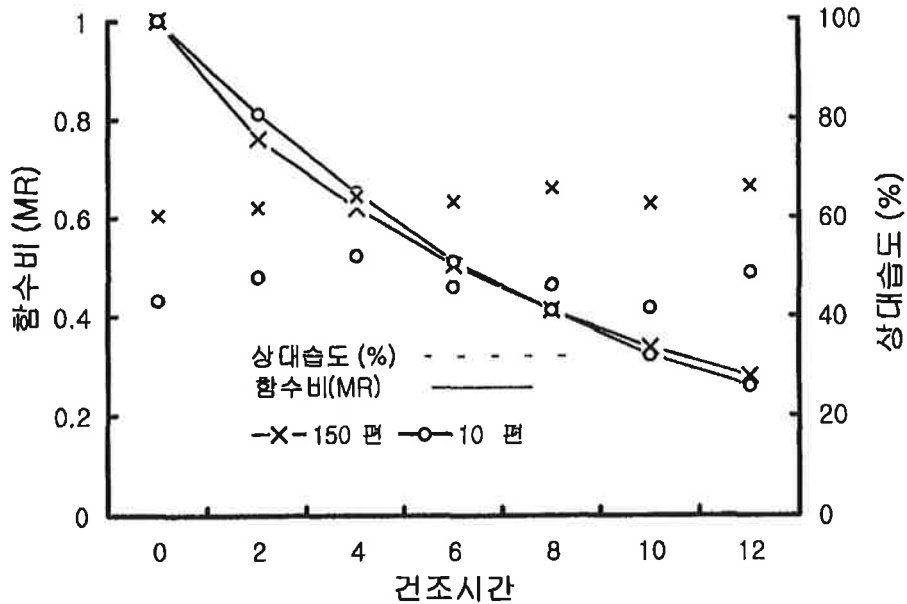


그림 2-38. 건조시간에 따른 배출공기 상대습도와 함수비 변화에 대하여 투입량 10편과 150편 조건을 비교

현재까지의 여러 결과를 분석해 볼 때 템퍼링의 효과는 특별히 없기 때문에 건조시스템의 건조용량을 고려할 때 템퍼링은 불필요한 것으로 판단된다. 색도변화는 방사판 온도가 증가함에 따라 노란색택을 더 많이 가지게 되므로 방사판 온도 120℃ 이상에서는 선택에 의한 품질 저하가 약간은 발생할 것으로 판단된다. 인삼의 화학성분은 본 실험처리 범위에서 건조조건 요인에 의한 변화는 인정되지 않았다. 건조속도가 가장 빠르고 건조에너지 효율도 좋은 방사판 온도 120℃, 열풍온도 무처리(상온) 조건은 선택변화의 우려가 있어 제외하면 방사판 온도 100℃, 열풍온도 무처리(상온)의 건조조건이 건조용량과 에너지 효율면에서 가장 최적의 건조조건으로 판단된다. 인삼의 실제 수확기간인 9-10월에 이 작동조건에서 안전

저장 함수율 13%(w.b)까지 연속 건조 시키는데는 약 24시간 정도의 시간이 소요될 것으로 판단된다. 현재 관행의 열풍건조 방법은 3-4일의 건조 시간 소요되는 것과 비교할 때 건조속도가 매우 빠르기 때문에 건조용량도 증가하는 결과를 가져온다. 기온이 매우 낮은 경우 등 필요에 따라 열풍을 병행하여도 좋을 것이나 열풍의 온도는 낮을수록 에너지 효율이 좋으므로 혼합 건조시 열풍의 온도는 20℃ 정도가 적합할 것으로 판단된다.

제 10 절 인삼 건조시스템의 실용화 검토

1. 건조 용량과 건조 성능

열풍과 원적외선 겸용 연속식 건조시스템의 실용화 가능성을 검토하기 위하여 건조용량과 건조 성능을 종합적으로 검토하였다.

표 2-19는 인삼 투입량에 따른 건조기의 성능을 종합적으로 나타낸 표이다. 표에서 보면 150편 투입조건은 12월 말 경에 실험이 이루어져 상대적으로 건조기 주위의 실내 공기온도가 약 5℃로서 10편 투입시보다 17℃ 정도 더 낮았다. 이로 인하여 건조기 내의 건조공기 온도가 10편 투입시보다 상대적으로 12℃ 정도 더 낮게 되었고 인삼의 평균온도도 9℃ 정도 더 낮았다. 따라서 건조에너지는 20% 정도 더 소비되었지만 최종 함수비는 약간 더 높았다. 전반적으로 평가할 때 건조조건이 150개 투입시가 더 불리하였지만 건조기의 열효율은 9배 이상 높게 분석되었는데 이는 건조기의 성능에 적정 투입량이 중요하다는 것을 의미한다. 시료구입의 어려움 등으로 인하여 최적 투입량 구명의 종합적 실험은 불가능하였지만 상대적 비교 실험으로 어느 정도 유추할 수 있는 것으로 판단된다. 본 연구에서 개발한 시작품의 제원으로 볼 때 최대 투입 인삼 편수는 중편 기준으로 1500편 이상으로 판단되며 이 정도 투입시에는 건조기의 열효율이

65% 이상으로 추정된다. 또한 건조기의 성능평가 지수는 3800 kJ/kg-water 이하로 예측되며 열풍건조와 비교한다면 2.5배 이상 효율이 높을 것으로 판단된다.

표 2-19 인삼 투입량에 따른 건조기 성능 비교
(IR 100℃, 열풍 상온, 12 시간 건조)

구 분	10편 투입	150편 투입
최종 함수비(MR)	0.19	0.26
건조공기 평균온도(℃)	56.3	44.5
인삼중심 평균온도(℃)	55.1	46.3
인삼중심 최대 평균온도(℃)	62.6	54.1
실내온도(℃)	21.9	5.0
실내공기 상대습도(% RH)	83.4	80.5
배출공기 상대습도(% RH)	45.8	64.7
건조에너지(kWh)	6.8	8.4
건조기 성능평가지수(kJ/kg-water)	103496	11414
건조기 열효율(%)	2.3	20.8

2. 열풍과 원적외선 겸용 연속식 인삼 건조시스템의 도면

실용적인 연속식 인삼건조 시스템으로서 에너지 효율과 건조 용량 및 다용도 목적 등을 종합적으로 고려할 때 본 연구에서 개발한 시작품 형식은 만족스럽다고 판단된다. 본 연구에서 개발한 시작품 형식으로 실용화 규모를 분석할 때 다른 제원은 동일하고 단수만 2단에서 4단으로 하는 것이 합리적이라고 생각한다. 물론 필요 용량이나 설치장소의 제약 등의 이유로 변경할 수도 있다. 그리고 가능하면 1회 통과에 24 시간 정도가 되도록 이송벨트의 속도를 조절할 수 있는 것이 좋을 것으로 판단된다.

이러한 건조 시스템의 용량은 하루 3000편의 수삼을 건조할 수 있을 것

이며 건조기 열효율은 65% 정도로 예측하는데 일반적으로 건조기의 최대 열효율을 70% 정도로 생각하므로 매우 우수한 성능을 가진다고 판단할 수 있다.

그림 2-39, 그림 2-40, 그림2-41은 제안하는 열풍 원적외선 겸용 연속식 건조시스템의 간략화한 종합적 도면이다.

제 11 절 결 론

본 연구에서는 인삼의 효율적인 건조를 위해 기존의 열풍건조 방법과 새로운 건조기술인 원적외선 건조 방법을 조합한 연속식 건조시스템 시작품을 개발하여 설계 제작하고, 시작품의 최적 작동조건을 구명하고 최적 작동조건에서의 건조 성능을 종합적으로 분석하여 인삼의 최적 건조시스템을 설계 완성하고자 하였다. 중요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 인삼의 수분확산계수는 다른 농산물과 달리 함수율에 무관하고 온도만의 함수로 나타났으며 온도의 다항식으로 나타낼 수 있었다.

2. 온도 30-80℃ 범위에 적용할 수 있는 건조방정식은 실험식 모델로서 $MR = C_1 + C_2 \text{ Lnt}$ (MR: 함수비, 소수; t: 건조시간)에 대하여

$$C_1 = 0.8099 - 0.0003988 T + 0.003215 RH$$

$$C_2 = - 0.1564 - 0.001082 T - 0.0006451 RH$$

(T: 건조공기 온도, ℃ ; RH: 상대습도, %) 으로 분석되었다.

3. 열풍과 원적외선 겸용 연속식 인삼 건조시스템의 시작품을 개발하였으며 시작품은 건조성능 및 작동특성이 우수한 것으로 분석되었다.

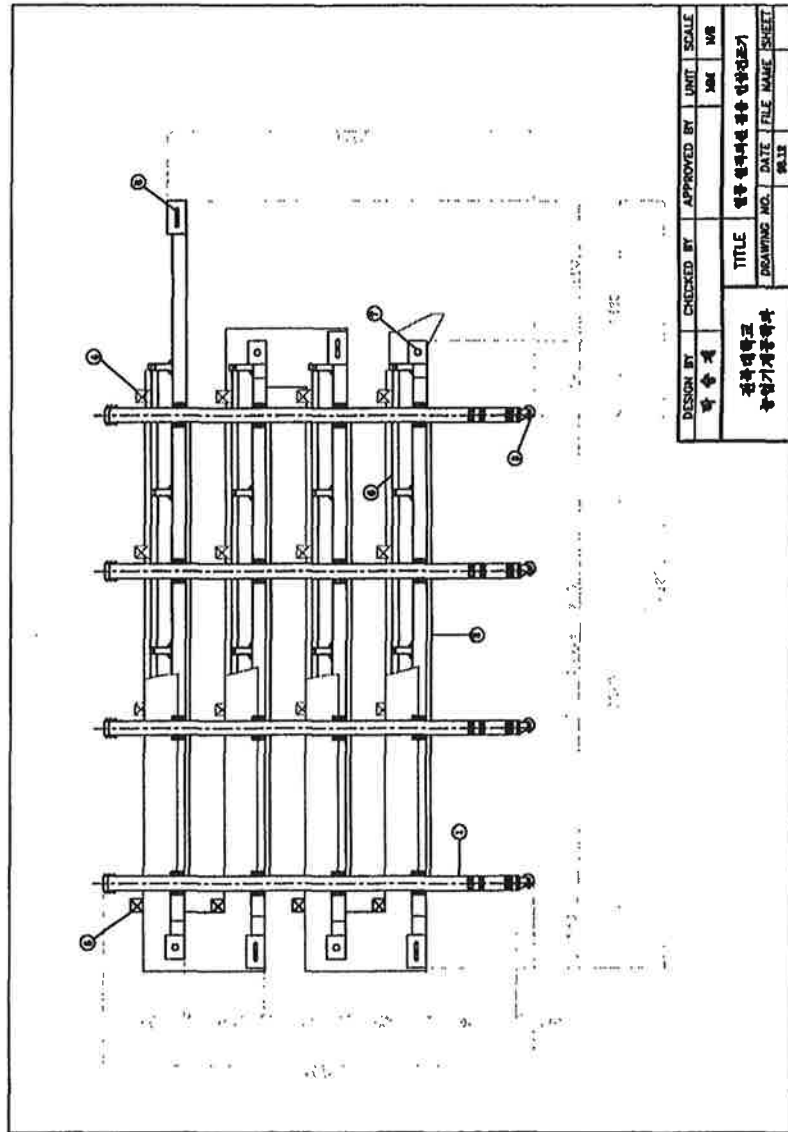
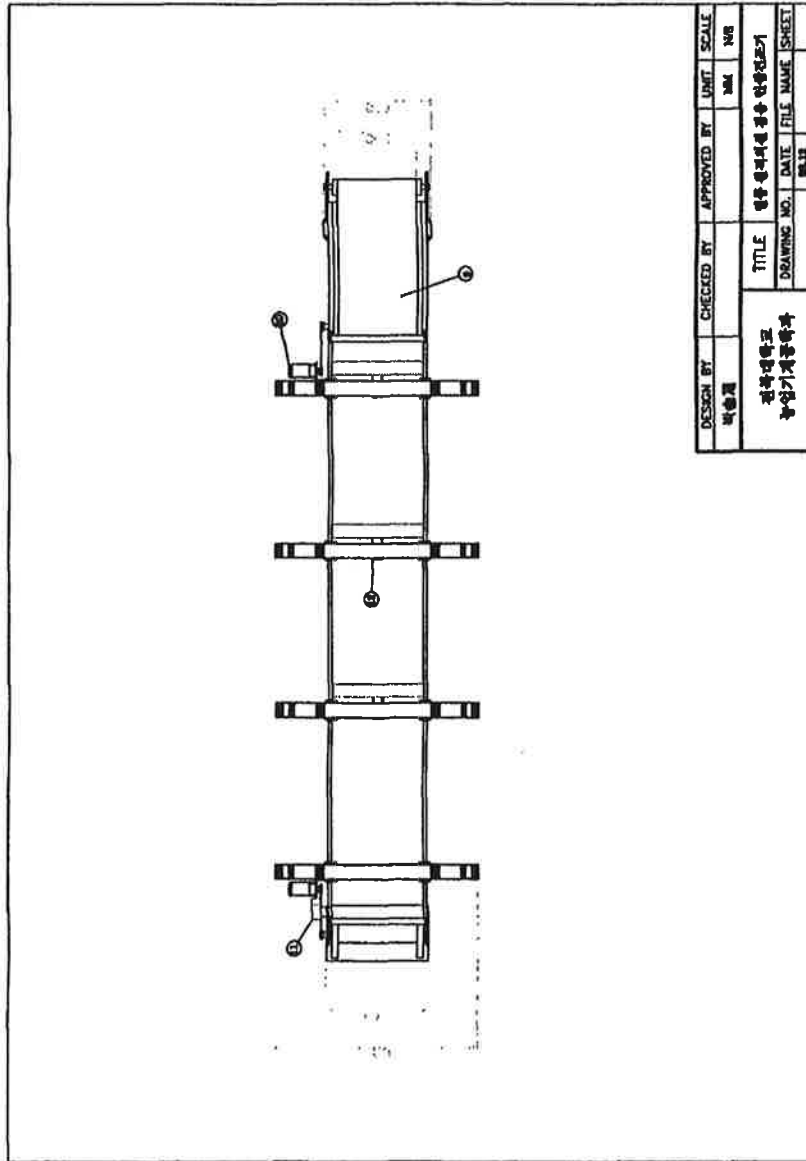


그림 2-39. 열풍 원적외선 겸용 연속식 인삼 건조시스템의 정면도



DESIGN BY	CHECKED BY	APPROVED BY	UNIT	SCALE
박승재			MM	NB
TITLE		열풍 원적외선 겸용 연속식 인삼 건조시스템		
DRAWING NO.		DATE	FILE NAME	SHEET
농업기계공학과				

그림 2-40. 열풍 원적외선 겸용 연속식 인삼 건조시스템의 평면도

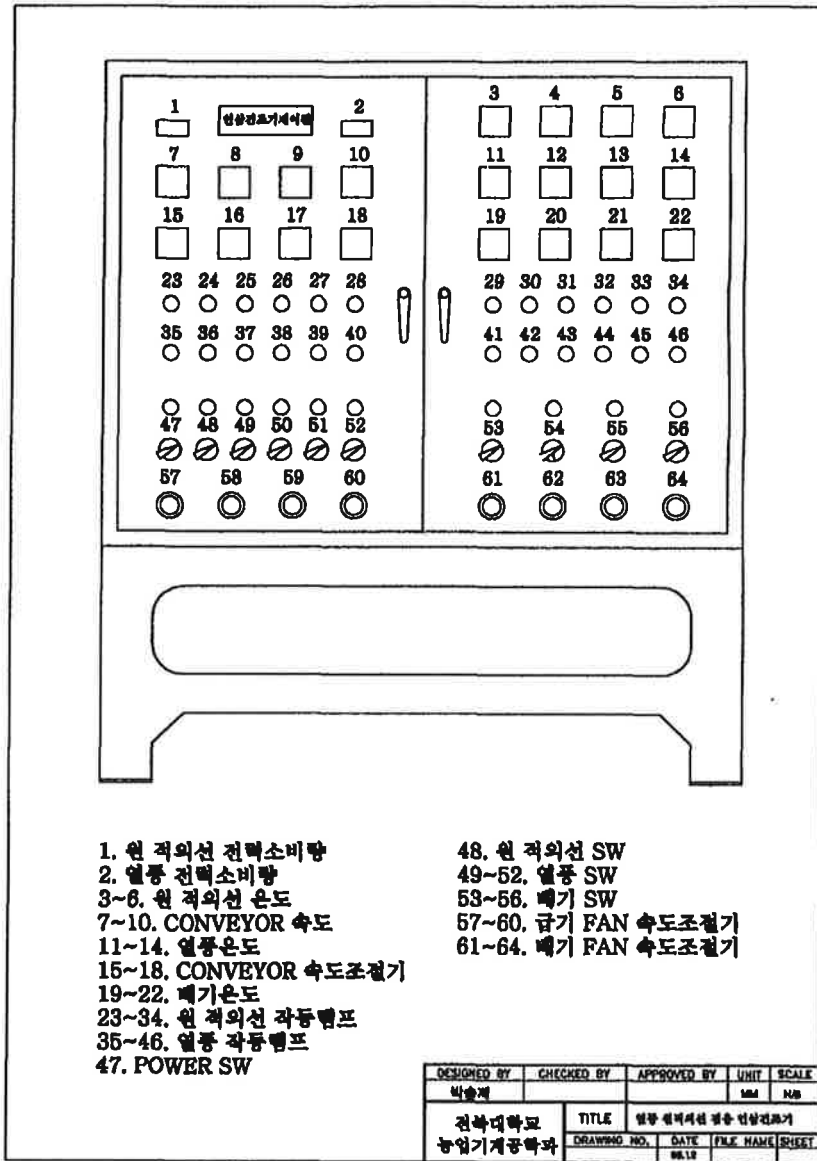


그림 2-41 열풍 원적외선 겸용 연속식 인삼 건조시스템의 제어판

4. 시작품 건조시스템에서 건조실험을 수행한 결과 같은 함수비까지 인삼을 건조하였을 때 원적외선 건조의 성능평가지수가 열풍건조 성능평가지수의 1/3 수준으로 분석되었다.
5. 12 시간동안 연속 건조를 하였을 때 인삼의 온도와 최종 함수비는 반비례하는 특성을 보였으며, 선형 관계식은 $y = -0.0072 x + 0.6054$ (y : 최종 함수비, x : 인삼온도, $^{\circ}\text{C}$; $R^2 = 0.92$)으로 분석되었다.
6. 3시간 건조, 3시간 템퍼링 방식과 6시간 건조 6시간 템퍼링 방식으로 건조하였을 때 두 방식간의 건조 특성의 차이는 나타나지 않았으며 또한 연속식 건조방식과 비교하였을 때도 별 차이가 없었다. 인삼은 다공성 물질로서 템퍼링 건조의 효과가 거의 없는 것으로 판단되었다.
7. 건조된 인삼을 색도계로 색도를 측정한 결과 원적외선 방사판의 온도를 150°C 로 한 조건에서 건조된 인삼의 색택은 노란색을 많이 가졌으며 시중의 1 등급 인삼과 비교하였을 때 색도값 차이가 인정되었다. 하지만 100°C 이하의 방사판 온도조건에서 건조된 인삼은 1 등급 인삼과 비교하였을 때 색도값 차이가 인정되지 않았다.
8. 인삼의 단면적 수축율은 35-60%의 범위를 가졌으며 최종 함수비와 반비례 관계를 가지는 것으로 분석되었다.
관계식은 $y = -71.932 x + 63.609$
(y : 단면적 수축율, %; x : 최종 함수비, 소수; $R^2 = 0.91$) 이었다.
9. 실험 건조조건 범위에서는 건조조건과 인삼의 성분(사포닌과 유리당)간에는 관련성이 없는 것으로 분석되었다.
10. 건조시간 구간별 건조 에너지는 유사하였으나 구간별 건조 열효율은 함수비와 같이 지수함수 형태로 감소하였다. 그러나 누적 건조에너지와 누적 열효율은 거의 직선적으로 증가하고 감소하였다.

11. 건조 시간이 증가함에 따라 건조기 내부의 건조 공기온도는 거의 일정하였으나 인삼의 온도는 초기 2시간 정도까지 급격히 상승한 후 지속적으로 완만히 증가하였다.
12. 건조 시스템에 투입하는 인삼의 량이 증가하여도 건조속도는 거의 차이가 없었으나 열효율은 투입량 증가율에 비례하여 증가하는 경향을 나타내었다.
13. 건조 시스템의 최적 작동조건은 원적외선 방사판의 온도 100℃, 열풍온도 무처리(상온), 건조공기 속도 0.2m/s, 연속건조 방법으로 분석되었으며 이 조건에서 안전저장 함수율 13%(w.b)까지 건조하는데 소요되는 시간은 24시간 정도로 분석되었다. 또한 인삼 투입량을 최적으로 하였을 때 열효율은 약 65% 정도로 분석되었다.
14. 실용적인 열풍 원적외선 겸용 연속식 인삼 건조 시스템의 제작도면을 작성하였다.

제 3 장 인삼의 건조 시뮬레이션 모델 개발

제 1 절 서 언

농산물과 식품의 건조에 있어서 건조 소요에너지 절감, 피건조물의 품질 열화 방지, 그리고 건조공정의 효율 제고 등을 달성하기 위해서는 건조과정을 해석하여 적정 건조방법과 건조조건을 구명하는 것이 무엇보다도 중요하다.

건조과정을 충실히 기술할 수 있는 simulation model이 개발된다면 많은 노력과 시간이 요구되는 실제 건조실험을 대신하여 computer 모의실험이 가능하며, 이는 새로운 건조기법과 건조기의 개발, 그리고 건조기의 효율적 운전 등과 관련된 연구에 큰 도움이 될 것이라고 판단된다.

따라서 본 연구에서는, 건조현상을 물질내 수분확산현상으로 해석하여 인삼 열풍건조의 simulation model을 개발하고 그 유용성을 검토하고자 하였다. 또 이를 사용하여, 인삼의 열풍건조 공정에 도입한 템퍼링 과정이 전체 건조시간과 소요에너지에 미치는 영향을 이론적으로 분석하였다.

식품의 건조에 가장 보편적으로 이용되는 열풍건조는 가열된 공기를 직접 피건조물에 송풍, 대류에 의해 건조에 필요한 증발잠열을 공급하는 방법으로서, 비교적 간단한 장치로 대량의 식품을 건조할 수는 있지만 건조의 불균일성 및 과도한 에너지 소요 등이 단점으로 지적되고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 많은 건조방법이 개발되었는데, 특히 적외선, 마이크로파, 라디오파 등과 같은 각종 전자기파를 직접 피건조물에 조사, 그들이 가진 에너지를 건조에 활용하고자 하는 방법이 근래 각광을 받고 있다.

적외선은 가시광선과 마이크로파의 중간영역에 속하며, 2.5~5.0 μm 를

경계로 원적외선과 근적외선으로 나뉜다. 이 중 원적외선은 파장이 긴 적외선을 의미하며 파장범위는 대개 4.0~5.6 μm 부터 1000 μm 까지로 정의되며, 버섯, 야채류, 차 등의 농산물 건조에는 2.5~10 μm 의 범위가 주로 사용되고 있다 (Sandu, 1986; Sakai and Hanzawa, 1994; Ratti and Mujumdar, 1995). 원적외선 건조에서는 열풍건조와는 달리 건조에 필요한 열이 복사에 의해 공급되기 때문에 열과 수분전달이라는 두 개의 현상이 동시에 고려되어야 한다. 따라서 본 연구에서는, 이들을 각각 기술하는 연립 편미분방정식을 수치해석적으로 풀이하는 computer program을 작성함으로써 인삼의 원적외선 건조 simulation model을 개발하였다.

제 2 절 건조 시뮬레이션 모델의 기초 이론

농산물 및 식품의 건조 중 함수율 변화를 기술하는 건조 simulation model은 크게 두 종류로 분류된다. 보통 건조방정식이라 부르는 실험식들이 그 첫 번째 부류로서, Page model, 유사확산형 model, Thompson model, Wang model 등이 이에 속하며 (Jayas et al., 1991), 피건조물의 평균함수율 또는 함수율비와 건조시간 간의 관계를 표시하기 때문에 포괄적인 건조식 (lumped drying equation)이라고도 한다. 거의 모든 건조방정식들은 두 개 이상의 매개변수를 포함하고 있는데, 이들은 실제 건조실험치에 대한 회귀분석을 거쳐 건조공기의 온도, 상대습도, 풍속 등과 같은 건조요인들의 함수로서 결정된다.

崔 등 (1992a)은 건조공기온도 4수준 (30, 40, 50, 60°C), 상대습도 4수준 (30, 45, 60, 75%), 시료 인삼의 크기 3수준 (소, 중, 대편)으로 건조실험을 실시하여 인삼의 건조방정식을 개발하였다. 인삼의 건조특성

은 건조공기의 온도, 상대습도, 시료의 직경에 크게 좌우되었으며, 따라서 건조방정식의 매개변수들은 그러한 세 가지 변수들의 함수로서 결정되었다. 그러나 이 세 개의 변수들을 모두 포함시켜 결정한 매개변수들을 사용해서 예측한 결과는 실험치와 비교적 큰 차이를 보였다. 즉, 건조공기의 온도, 습도, 시료 직경의 어떤 범위에 대한 실험치와 개발된 인삼의 건조식에 의한 예측치를 비교했을 때, 그 결과는 만족스럽지 못하였다. 이같은 문제는 그들이 사용한 건조방정식들이, 건조실험에서 얻은 건조곡선의 기하학적 형태를 충실히 재현하는 지에만 근본적으로 그 초점을 맞추는 실험식이었다는 데 기인한다고 파악되었다.

분산형 건조식 (distributed drying equation)은 피건조물 내부에서의 수분이동을 지배하는 확산, 모세관흐름, 증발-응축, 유출, 포와젤 이동과 같은 기작에 대한 수학적 기술로부터 출발하여 유도된 건조 model로서 앞에서 언급한 건조실험식들보다는 더욱 논리적인 준거를 가진다고 할 수 있다 (Wananen et al., 1993). 분산형 건조 model은 보통 포물선형 편미분방정식의 형태를 가지므로 거의 모든 경우에 수치해석적 풀이가 요구된다는 단점은 있지만 경계조건과 건조방법이 다른 다양한 건조과정들에의 적용성이 뛰어나며 건조 중 피건조물의 온도가 비정상상태인 경우도 손쉽게 다룰 수 있다는 장점을 갖고 있다. 또한, 평균함수율 뿐만 아니라 피건조물 내부 함수율 구배의 예측이 가능하며, 주요 건조요인들이 건조에 미치는 영향도 어느 정도 파악할 수 있다. 즉, 물질전달 현상의 수학적 기술에 많이 쓰이는 아래의 Fick's 2nd law에 의한 원통형 물체의 건조 model은, 인삼 크기에 관련된 인자를 하나의 변수로써 직접 포함하고 있으며, 매개변수인 유효수분확산계수 D_{eff} 는 일반적으로 함수율과 건조 공기온도의 함수로 표시되므로 하나의 범용 건조 예측식으로서 그 효용가치

가 뛰어나리라는 평가를 받고 있다.

$$MR = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\beta_n^2} \exp\left(-\beta_n^2 \frac{D_{eff} t}{R_c^2}\right)$$

제 3 절 인삼의 열풍 건조 시뮬레이션 모델의 개발

인삼의 열풍건조를 다음과 같은 해석적 model로 먼저 표시하였다. 즉, 건조는 등온과정으로 이뤄지며, 건조과정 중의 수분전달현상은 비정상상태 Fickian 확산식으로 기술될 수 있고, 수분은 반경방향으로만 이동한다고 가정하였다.

- 지배방정식

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[D_{eff}(T, M) r \frac{\partial M}{\partial r} \right]$$

- 초기조건

$$t=0; \quad M(r, 0) = M_i$$

- 경계조건

$$r=0; \quad \frac{\partial M}{\partial r} = 0$$

$$r=R; \quad M = M_e(T_{air}, rh_{air})$$

1. 필요 물성의 결정

윗 식의 풀이를 위해서 인삼의 유효수분확산계수 $D_{eff}(T, M)$, 평형함수 $M_e(T_{air}, rh_{air})$ 가 필요하며, 본 연구에서는 다음 값들을 사용하였다.

가. 유효수분확산계수 $D_{eff}(T, M)$

인삼의 유효수분확산계수 D_{eff} 는 함수율비 MR과 건조시간 t간의 관계를

이용한 slope법으로 구하였다. 즉, Fick's law로 기술되는 원통형 물체에
 서의 수분확산현상의 해는 다음과 같이 주어지는데 (Crank, 1975), 여기
 서 R_c 는 인삼몸통의 반경이며 β_n 은 1차 Bessel함수의 근이다.

$$MR = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\beta_n^2} \exp\left(-\beta_n^2 \frac{D_{eff}t}{R_c^2}\right)$$

위의 무한급수로 주어진 해는 건조시간 t 가 커지면 첫째 항만으로도 충
 분히 근사화할 수 있다. 즉, 첫째 항만을 취하고 양변을 \ln 로 변환시키
 면 다음과 같은 관계식을 유도할 수 있으며, 이로부터 $\ln MR$ 과 t 간의 건
 조곡선의 기울기로부터 D_{eff} 를 계산할 수 있게 된다.

$$\ln MR = -5.783 \frac{D_{eff} t}{R_c^2}$$

위와 같은 slope법은 대개 도해적으로 사용되어 D_{eff} 가 구해지지만, 본
 연구에서는 인삼의 건조곡선을崔 등 (1992a)이 추천한 유사확산형 건조
 실험식 $MR = A \exp(-kt)$ 을 사용하여 수식화한 다음, 해석적인 방법
 으로써 D_{eff} 를 결정하였다. 즉, 유효수분확산계수는 보통 온도와 함수율에
 따라 변화한다고 알려져 있으므로, 어떤 한 건조온도에서崔 등 (1992a)
 에 의해 발표된 인삼의 열풍건조 방정식으로부터 건량기준 함수율 0.2~
 2.5 범위 내의 5개 함수율 수준에서 $\ln MR$ vs. t 곡선의 기울기 값들을
 계산에 의해 구한 후, 이 값들에 대해 multiple regression을 실시하여
 온도와 함수율을 변수로 갖는 유효수분확산계수 D_{eff} 의 회귀식을 다음과
 같이 구하였으며, 회귀식의 r^2 는 0.9503으로 만족할 만한 수준이었다. 대
 부분의 농산물과 식품의 경우, 유효수분확산계수 D_{eff} 는 온도와는 지수함
 수, 함수율과는 지수함수 또는 선형적인 함수관계가 있다고 알려져 있으
 나 (Jayas et al., 1991), 인삼의 경우 예상과는 달리 함수율에는 좌우되

지 않고 온도에 의해서만 영향을 받는 것으로 나타났다. 피건조물의 유효 수분확산계수 D_{eff} 는 건조와 관련된 가장 중요한 물성 중의 하나라는 사실과 인삼의 경우 수분확산계수와 온도, 함수율 간의 관계가 여타 농산물과는 다른 양상이었다는 점을 고려할 때, 인삼의 유효수분확산계수 D_{eff} 의 정밀한 측정과 D_{eff} 값과 온도, 함수율 간의 상관관계에 대한 추가연구의 필요성이 인식되었다.

$$D_{eff}(T, M) = -0.21228 \times 10^{-5} + 0.13968 \times 10^{-6}T - 0.13443 \times 10^{-8}T^2 + 0.55254 \times 10^{-11}T^3$$

여기서, D_{eff} : 인삼의 유효수분확산계수 (m^2/hr), T : 온도 ($^{\circ}C$)

나. 평형함수율 $M_e(T_{air}, rh_{air})$

평형함수율 M_e 는 아래와 같은 Oswin model로 표시된崔 등 (1992b)의 결과를 사용하였다.

$$M_e(T_{air}, rh_{air}) = \frac{(0.1272 - 0.000742T_{air})}{\left(\frac{rh_{air}}{1 - rh_{air}}\right)^{0.4164 - 0.001368T_{air}}}$$

여기서, M_e : 평형함수율 (db, dec), T_{air} : 공기의 온도 ($^{\circ}C$), rh_{air} : 공기의 상대습도 (dec)

2. 해석적 모델의 차분근사화와 수치해석

앞에서 소개한 인삼 열풍건조의 해석적 모델을 수치해석적으로 풀어, 방정식의 해인 함수율 $M(r, t)$ 를 구하기 위한 과정으로서, 위의 편미분방정식을 Crank-Nicholson method를 이용, 음적차분근사식 (implicit difference equation)으로 다음과 같이 변환시킨 후, 이를 기초로 computer simulation program을 Fortran 언어로 작성하였다. 이 때 Δr 과 Δt 값으로는 각각 1.16 mm와 30 sec를 사용하였다.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[D_{\text{eff}}(T, M) r \frac{\partial M}{\partial r} \right] \quad \text{에서}$$

$$D_{\text{eff}}(T, M) r \frac{\partial M}{\partial r} \Big|_{i+\frac{1}{2}}^j \approx (D_{\text{eff}})_{i+\frac{1}{2}}^j r_{i+\frac{1}{2}}^j \frac{M_{i+1}^j - M_i^j}{\Delta r} \quad \text{와}$$

$$D_{\text{eff}}(T, M) r \frac{\partial M}{\partial r} \Big|_{i-\frac{1}{2}}^j \approx (D_{\text{eff}})_{i-\frac{1}{2}}^j r_{i-\frac{1}{2}}^j \frac{M_i^j - M_{i-1}^j}{\Delta r} \quad \text{로 근사화시켜}$$

대입하면, 윗 식의 우변은 다음과 같은 차분방정식의 형태로 변환된다.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[D_{\text{eff}}(T, M) r \frac{\partial M}{\partial r} \right] \\ & \approx \frac{1}{r_i} \left[\frac{(D_{\text{eff}} r \frac{\partial M}{\partial r})_{i+\frac{1}{2}}^j - (D_{\text{eff}} r \frac{\partial M}{\partial r})_{i-\frac{1}{2}}^j}{\Delta r} \right] \\ & = \frac{1}{r_i (\Delta r)^2} \left[(D_{\text{eff}})_{i+\frac{1}{2}}^j r_{i+\frac{1}{2}}^j (M_{i+1}^j - M_i^j) - (D_{\text{eff}})_{i-\frac{1}{2}}^j r_{i-\frac{1}{2}}^j (M_i^j - M_{i-1}^j) \right] \end{aligned}$$

이때, 윗 식을 간략화하기 위해 $(D_{\text{eff}})_{i+\frac{1}{2}}^j$ 와 $(D_{\text{eff}})_{i-\frac{1}{2}}^j$ 의 근사값으로

$(D_{\text{eff}})_i^j$ 를 사용하면,

$$= \frac{(D_{\text{eff}})_i^j}{r_i (\Delta r)^2} (r_{i+\frac{1}{2}} M_{i+1}^j - 2r_i M_i^j + r_{i-\frac{1}{2}} M_{i-1}^j)$$

따라서 최종적으로 얻어지는 식은,

① $i = 2, \dots, n-1$ 에 대해서는,

$$\begin{aligned} & \frac{M_i^{j+1} - M_i^j}{\Delta t} \\ & = \frac{1}{2r_i (\Delta r)^2} \left[(D_{\text{eff}})_{i+1}^j \{ r_{i-\frac{1}{2}} M_{i-1}^{j+1} - 2r_i M_i^{j+1} + r_{i+\frac{1}{2}} M_{i+1}^{j+1} \} \right. \\ & \quad \left. + (D_{\text{eff}})_i^j \{ r_{i+\frac{1}{2}} M_{i+1}^j - 2r_i M_i^j + r_{i-\frac{1}{2}} M_{i-1}^j \} \right] \end{aligned}$$

$$\dots M_i^{j+1} - M_i^j$$

$$\begin{aligned} & = \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{(\Delta r)^2} \left[(D_{\text{eff}})_{i+1}^j \left\{ \left(\frac{i-1.5}{i-1} \right) M_{i-1}^{j+1} - 2M_i^{j+1} + \left(\frac{i-0.5}{i-1} \right) M_{i+1}^{j+1} \right\} \right. \\ & \quad \left. + (D_{\text{eff}})_i^j \left\{ \left(\frac{i-0.5}{i-1} \right) M_{i+1}^j - 2M_i^j + \left(\frac{i-1.5}{i-1} \right) M_{i-1}^j \right\} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{여기서, } \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{(\Delta r)^2} = \beta \text{로 놓으면,} \\
& \dots - \beta \left(\frac{i-1.5}{i-1} \right) (D_{\text{eff}})_{i-1}^{i+1} M_{i-1}^{i+1} + (1 + 2\beta (D_{\text{eff}})_{i-1}^{i+1}) M_i^{i+1} \\
& \quad - \beta \left(\frac{i-0.5}{i-1} \right) (D_{\text{eff}})_{i-1}^{i+1} M_{i+1}^{i+1} \\
& = \beta \left(\frac{i-0.5}{i-1} \right) (D_{\text{eff}})_i^i M_{i+1}^i + (1 - 2\beta (D_{\text{eff}})_i^i) M_i^i \\
& \quad + \beta \left(\frac{i-1.5}{i-1} \right) (D_{\text{eff}})_i^i M_{i-1}^i
\end{aligned}$$

② $i = 1$ (즉, $r = 0$) 에서는, 경계조건 $\frac{\partial M}{\partial r} = 0$ 에 의해 지배방정식이 $\frac{\partial M}{\partial t} = 2 \times D_{\text{eff}} \frac{\partial^2 M}{\partial r^2}$ 로 바뀌며, 가상점 $r_0 (= r_1 - \Delta r = -\Delta r)$ 와 그 점에서의 함수을 $M_0 (= M_2)$ 를 도입하여 대치하면,

$$\begin{aligned}
& M_1^{i+1} - M_1^i \\
& = \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{(\Delta r)^2} \times 2 [2 (D_{\text{eff}})_1^{i+1} (M_2^{i+1} - M_1^{i+1}) + 2 (D_{\text{eff}})_1^i (M_2^i - M_1^i)] \\
& \dots \{1 + 4\beta (D_{\text{eff}})_1^{i+1}\} M_1^{i+1} - 4\beta (D_{\text{eff}})_1^{i+1} M_2^{i+1} \\
& = 4\beta (D_{\text{eff}})_1^i M_2^i + \{1 - 4\beta (D_{\text{eff}})_1^i\} M_1^i
\end{aligned}$$

③ $i = n$ (즉, $r = R$) 에서는, 경계조건 $M = M_e$ 로부터, 바로 $M_n = M_e(\text{rh}_{\text{air}}, T_{\text{air}})$ 로 주어진다.

제 4 절 인삼의 열풍 건조 시뮬레이션 모델의 검증

1. 시뮬레이션 모델의 검증 방법

개발한 인삼의 열풍 건조 시뮬레이션 모델의 검증은 모델에 의한 함수을 예측치와 실제 실험에서의 함수을 측정치 (崔 등 (1992a))를 비교, 평균상대오차율 (mean relative percentage deviation) P를 계산함으로써 실시하였다. 또,崔 등 (1992a)의 유사확산형 건조실험식에 의한 예측치

와의 상대비교도 실시하였다. 아래와 같이 정의된 평균상대오차율은, 인삼의 건조실험치 중에서 건조과정의 대부분을 차지한다고 볼 수 있는 습량기준 함수율 65%에서 20%까지의 범위에 한하여 측정 함수율과 건조 모델에 의해 예측된 함수율과의 간차를 실제 측정치로 나누어 표준화시킨 후, 그 평균치를 계산하여 백분율화한 것이다.

$$P(\%) = 100 \times \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|Y - Y'|}{Y}$$

여기서, Y, Y': 각각 실측 및 예측 함수율 N: 측정치의 갯수

2. 시뮬레이션 모델의 검증 결과

다음 그림 3-1~3-6은 본 연구에서 개발한 인삼 열풍건조의 simulation model에 의한 함수율 예측치와 최 등 (1992a)이 구한 유사확산형 건조방정식에 의한 예측치 및 실험치를 비교하여 본 simulation model의 적합성을 검증한 결과이다.

그림 3-1에서와 같이 건조 공기온도 30°C, 상대습도 30%의 조건에서는 본 연구에서 개발한 simulation model과 유사확산형 건조방정식 모두 함수율을 실제 측정치보다 낮게 예측하였다. 건조 공기온도 30°C, 상대습도 60%의 조건에서는 본 연구에서 개발한 simulation model은 함수율을 실제 측정치보다 낮게, 유사확산형 건조방정식은 실험치보다 높게 예측하였다 (그림 3-2). 그림 3-3와 3-4는 건조 공기온도 50°C, 상대습도 30%와 건조 공기온도 50°C, 상대습도 45%의 경우로서 simulation model과 유사확산형 건조실험식 공히 만족할 만한 예측성능을 보여주었으며, 특히 simulation model의 경우 건조시작 8시간 이후부터는 실험치와 거의 동일한 예측치를 보여주었다. 일반적으로 유사확산형 건조실험식은 건조말기에는 정확도가 높지만, 건조초기에는 큰 오차를 보인다고 알려져 있는데, 그림 3-3과

3-4에 나타난 건조초기 약 4시간 동안의 실측치와 예측치 간 비교로부터도 이같은 경향을 재확인할 수 있었다.

비교적 고온인 건조 공기온도 70°C, 상대습도 35% 및 50%의 조건에서도 거의 전체 건조기간의 반에 해당하는 초기 8시간 동안 유사확산형 건조실험식에 의한 예측치는 큰 오차를 보여주었으나, simulation model에 의한 예측치는 전 건조기간 동안 실제 실험치와 대체적으로 일치하였다 (그림 3-5, 3-6).

표 3-1은 평균상대오차율을 사용하여 이상의 3가지 건조조건하에서 함수율 예측의 정확도를 조사한 결과를 보여주고 있다. 유사확산형 건조식은 평균 11.3%, 본 연구에서 개발한 건조 simulation model은 평균 15.8%의 평균상대오차율을 보여 본 연구에서 개발한 simulation model이 인삼의 실제 건조과정 예측시 더 부정확한 듯이 보이지만, 이는 평균상대오차율을 습량기준으로 0.2-0.65, 건량기준으로는 0.25-1.857 함수율 범위에 대해서만 계산한 결과로 생각된다. 전반적으로 볼 때, 본 연구에서 개발된 인삼의 열풍건조 simulation model은 기존의 건조실험식들과 거의 동등한 수준의 함수율 예측도를 가지고 있다고 판단되었다.

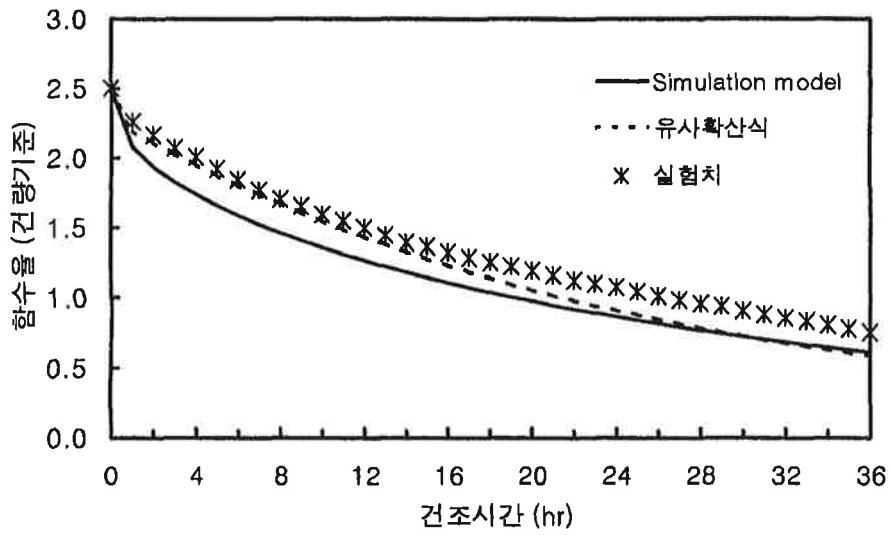


그림 3-1. 인삼 열풍건조 중 함수율 변화에 관한 model예측치와 실험치 (건조 공기온도 30°C / 상대습도 30%)

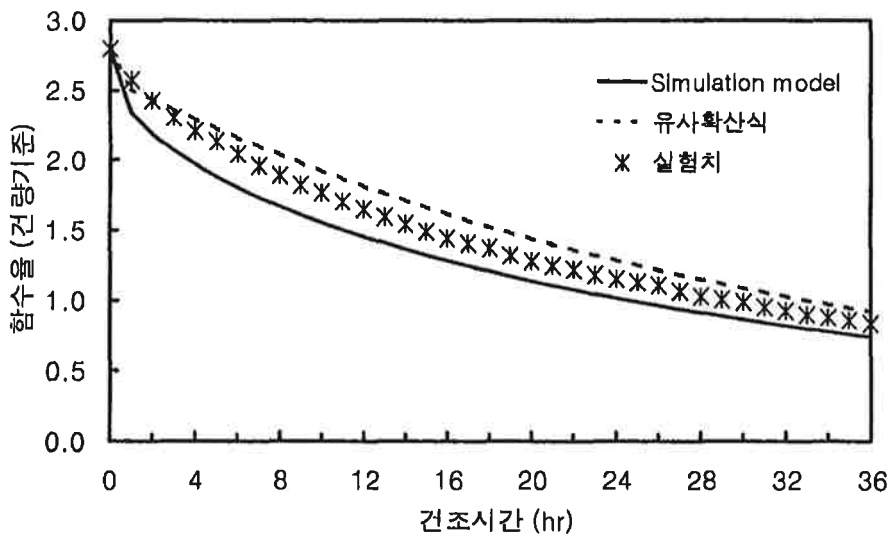


그림 3-2. 인삼 열풍건조 중 함수율 변화에 관한 model예측치와 실험치 (건조 공기온도 30°C / 상대습도 60%)

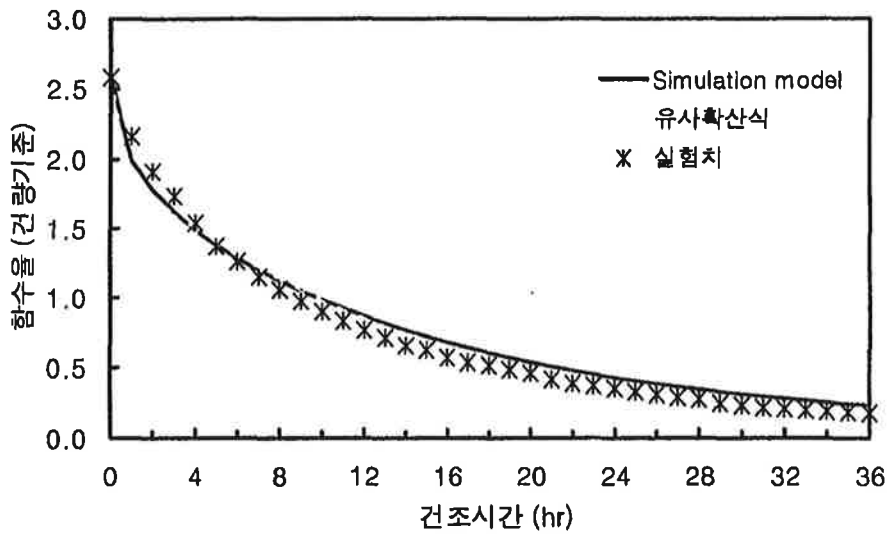


그림 3-3. 인삼 열풍건조 중 함수율 변화에 관한 model예측치와 실험치 (건조 공기온도 50°C / 상대습도 30%)

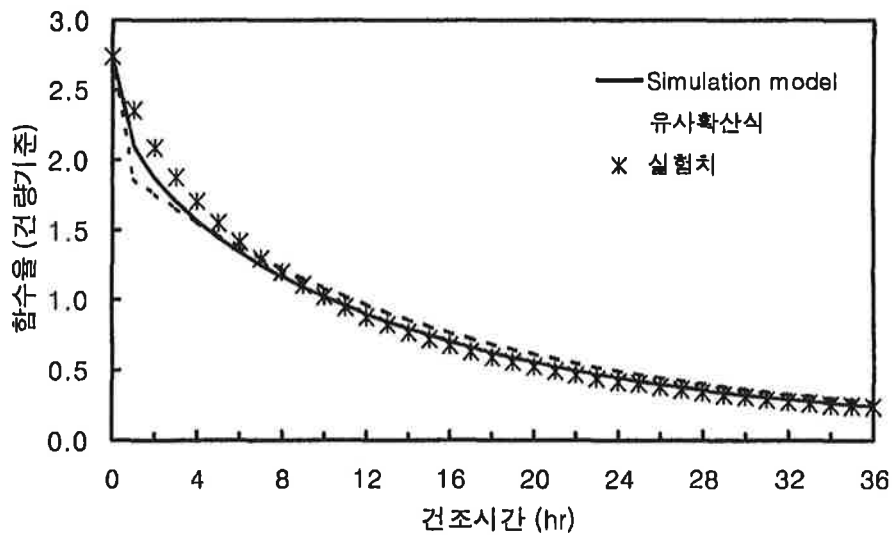


그림 3-4. 인삼 열풍건조 중 함수율 변화에 관한 model예측치와 실험치 (건조 공기온도 50°C / 상대습도 45%)

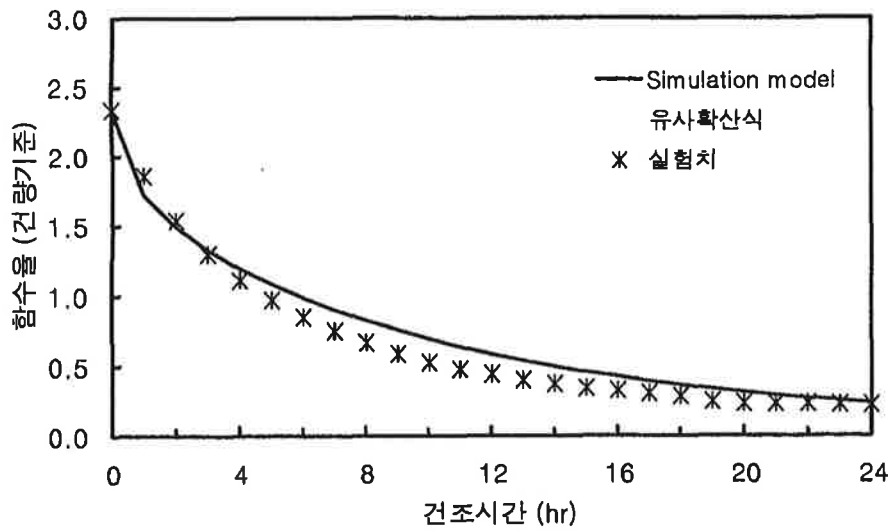


그림 3-5. 인삼 열풍건조 중 함수율 변화에 관한 model예측치와 실측치 (건조 공기온도 70°C / 상대습도 35%)

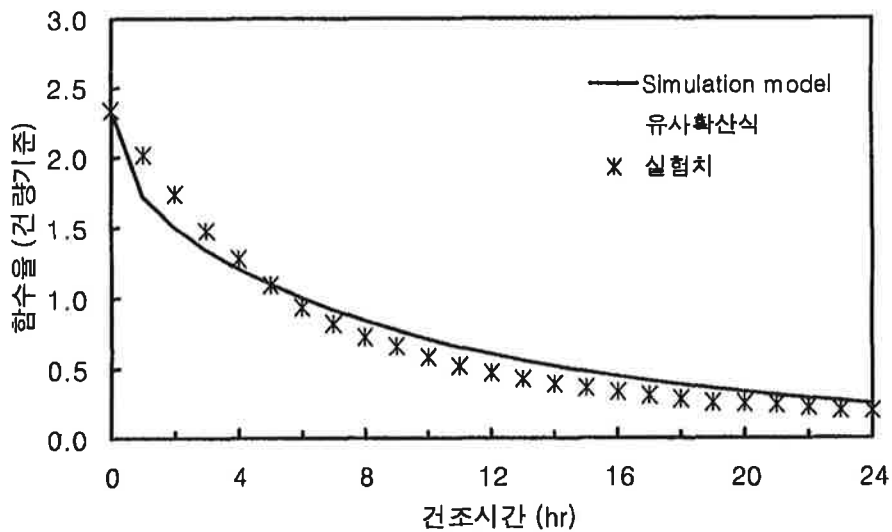


그림 3-6. 인삼 열풍건조 중 함수율 변화에 관한 model예측치와 실측치 (건조 공기온도 70°C / 상대습도 50%)

표 3-1. 인삼 열풍건조 중 함수율 변화에 관한 simulation model과 유사확산형 건조방정식의 평균상대오차율 (%)

건조공기온도 (°C)	30		50		70		평균값
	30	60	30	45	35	50	
상대습도 (%)							
Simulation model	17.5	11.7	15.1	4.9	23.3	22.2	15.8
유사확산형 건조식	12.0	10.9	9.3	13.2	9.3	13.3	11.3

제 5 절 인삼의 열풍 건조 시뮬레이션 모델의 모의실험

농산물과 식품의 건조에 있어서 건조속도의 증가, 소요 에너지의 절감, 피건조물의 품질 열화 방지 등을 위해 많은 노력이 기울여지고 있다. 이들은 건조공정의 기작 자체를 보다 더 잘 이해함으로써 건조의 효율성을 높이려는 최적화, 자동 제어를 포함한 건조공정의 자동화 및 기계화, 새로운 건조방식의 개발, 그리고 기존 건조공정의 수정을 통한 건조방법의 개선이라는 네 가지로 대분할 수 있다.

건조방법의 개선과 관련하여 템퍼링 (tempering)은 공기흐름이 없는 공간 내에 피건조물을 일정시간 거치하는 조작을 의미하며, 그 방법에 따라 피건조물과 외부대기 간의 열 및 물질전달이 모두 차단되거나 또는 물질 전달만이 차단되게 된다. 광의의 템퍼링은 가온이나 가습을 행하지 않은 상온상태의 공기를 열풍건조 도중 피건조물에 일정시간 저속으로 송풍함을 뜻하기도 하며 (Ezeike and Otten, 1981), 이러한 템퍼링의 효과로는 건조 도중 또는 건조 완료 후 피건조물의 균열발생 감소, 후속 공정에서

의 건조속도 증가 및 이로 인한 전체적인 건조 소요에너지의 감소 등이 보고되고 있다 (Brooker et al., 1992; Gustafson et al., 1983; Velupillai and Verma, 1986).

본 연구에서는, 건조 중의 수분전달을 확산현상으로 해석한 인삼 열풍 건조의 simulation tool을 개발하여 그 유용성을 이미 검토하였고, 여기서는 그를 이용하여, 템퍼링 과정을 인삼의 열풍건조에 도입한 새로운 건조 기법인 열풍 간헐건조에 대한 모의실험을 행함으로써 템퍼링 과정이 인삼의 전체 건조시간과 소요에너지에 미치는 영향을 이론적으로 분석하고자 하였다.

1. 인삼의 열풍 간헐건조 모의실험의 방법

인삼의 열풍 간헐건조 모의실험을 위해 각각 30분 열풍건조 + 30분 템퍼링, 30분 열풍건조 + 60분 템퍼링, 30분 열풍건조 + 90분 템퍼링을 반복하여 약 30% (습량기준)의 최종 함수율까지 인삼을 건조시키는 세 가지 간헐건조법을 상정하였다. 이 때, 열풍건조 과정과 템퍼링 과정에서의 건조 조건은 각각 공기온도 50°C, 상대습도 45% 및 공기온도 20°C, 상대습도 60%로 가정하였다. 이들과 비교목적으로 온도 50°C, 상대습도 45%의 열풍을 연속 사용하는 관행 건조법에 대한 분석 역시 실시하였다. 모의실험을 통한 건조 소요에너지의 분석을 위해 인삼 건조는 상용화된 회분식 선반형 건조기에 의한다고 가정했으며, 이 경우 열풍은 직접연소식 석유 버너와 도풍관 불이 축류 팬 (풍량 100 m³/min, 발생 정압 20 mm Hg, 팬 효율 0.65, 전동기 효율 0.75)에 의해 공급되는 것으로 가정하였다.

본 모의실험에서는 인삼의 열풍 간헐건조에서의 템퍼링 과정은 상온 저속 통풍 조작을 통하여 행한다고 상정하였으므로, 템퍼링 과정 역시 열풍 건조과정과 마찬가지로 본 연구에서 기 개발되어 앞에서 상술한 열풍 건조

model을 사용하여 해석하였다.

2. 인삼의 열풍 간헐건조 모의실험의 결과

백삼의 관행 건조법에 따르면 초기 함수율 약 75% (w.b.)의 수삼은 온도 40~55°C, 상대습도 40~60%의 열풍에 의해 13%의 함수율까지 건조되는데, 원료수삼의 직경이 약 2.5 cm일 경우 55시간이 소요된다 (崔 등, 1992a). 그림 3-7과 3-8 및 표 3-2는 단기간의 열풍건조 구간과 상온통풍 템퍼링 구간을 조합하여 이 과정을 주기적으로 반복하는 간헐건조법을 백삼건조에 사용할 경우, 건조시간과 건조 소요에너지의 예측결과를 나타내고 있다.

초기 함수율이 습량기준으로 73%인 원료수삼을 약 23%의 함수율까지 건조시킬 때, 총 소요시간은 연속 건조의 경우는 33.5시간, 열풍건조 구간과 템퍼링 구간을 30분+30분, 30분+60분, 30분+90분으로 하여 이를 반복시킨 간헐건조의 경우는 각각 50.5시간, 62시간 및 68.5시간으로 예측되었다 (그림 3-7). 각각의 간헐건조법에서의 총 건조 소요시간이 연속 건조법에서의 소요시간에 비해 정확히 2배, 3배, 그리고 4배가 아닌 것은 템퍼링 구간에서도 상온통풍에 의한 건조가 다소 진행되었기 때문으로 생각되며, 분석 결과 건조 소요시간을 기준으로 하면 간헐건조시 템퍼링 구간이 갖는 건조에의 기여도는 열풍 건조구간의 약 1/3에 해당하였다.

총 건조 소요시간 중 실제로 50°C의 열풍이 가해진 유효건조시간은 열풍건조 구간과 템퍼링 구간 간의 시간비에 비례하므로, 그림 3-8에서와 같이 연속건조의 경우는 33.5시간이었고 3가지 간헐건조의 경우는 각각 25.5시간, 21시간 및 17.5시간이었다. 또한, 건조공기의 가열과 팬 구동에 필요한 단위 시간당 에너지의 추정치는 각각 218.5 MJ과 2.4 MJ로서, 전 건조기간에 걸쳐 소요되는 송풍 에너지는 열풍건조 구간에서만 계산되

는 열 에너지 소요량에 비해 무시할 정도였으므로, 표 3-2에서와 같이 각 건조방법 간 전체 소요에너지의 비 역시 유효건조시간의 비와 큰 차이를 보이지 않았다.

건조와 관련하여 일반적으로 언급되는 템퍼링의 효과 중 하나로서 피건조물 내부의 함수율 구배 평탄화와 이로 인한 후속 공정에서의 건조속도 증가를 들 수 있다. 그림 3-9와 3-10은 습량기준 평균 함수율이 각각 60%와 33%일 때, 템퍼링 구간 직후의 해당 열풍 건조구간에서의 건조속도를 예측하여 각 건조방법 별로 비교한 결과이다. 건조 초기라 볼 수 있는 평균 함수율 60%까지는 역시 인삼 중심부분보다는 바깥부분이 더 빨리 건조되었으나, 건조가 더욱 진행됨에 따라 인삼 내부 위치별 건조속도는 중심부에서 최대가 되고 중심으로부터 멀어질수록 점차 작아지는 경향이 확립되었다. 그러나, 그림에서 알 수 있듯이 템퍼링 과정의 유무 및 템퍼링 시간의 장단에 따른 건조속도의 변화는 예견되지 않았다. 이러한 결과는 본 연구에서 사용한 템퍼링 과정의 정의, 즉 인삼의 템퍼링 과정은 상온 저속통풍 조작을 통하여 행해진다는 가정과 밀접한 관련이 있지 않나 추정된다. 전술한 바와 같이, 템퍼링 구간에서도 상온통풍에 의한 건조가 다소 진행되었으며 이는 오히려 피건조물 내부의 함수율 구배 평탄화라는 템퍼링 자체의 효과에 불리하게 작용하였을 것으로 생각된다.

표 3-2. 인삼의 열풍 간헐건조시 건조시간과 소요에너지의 예측값

	연속열풍건조	열풍간헐건조 (30 + 30 min)	열풍간헐건조 (30 + 60 min)	열풍간헐건조 (30 + 90 min)
총 건조시간 (hr)	33.5	50.5	62.0	68.5
유효건조시간 (hr)	33.5	25.5	21.0	17.5
건조공기 가열 에너지 (MJ)	7,319	5,571	4,588	3,823
팬 구동 에너지 (MJ)	81	122	150	165
총 소요에너지 (MJ)	7,400	5,693	4,738	3,988

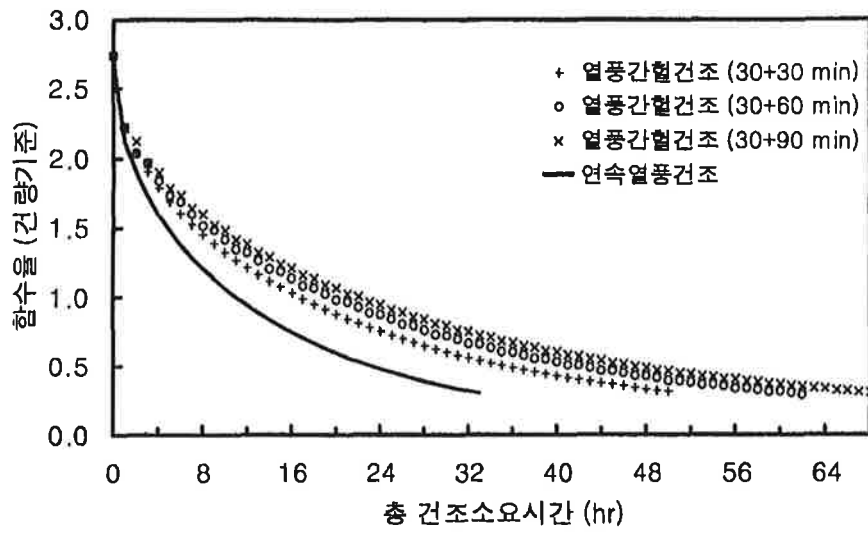


그림 3-7. 열풍간헐건조시 총 건조소요시간에 따른 인삼 함수율의 변화 예측 (건조 공기온도 50°C / 상대습도 45%)

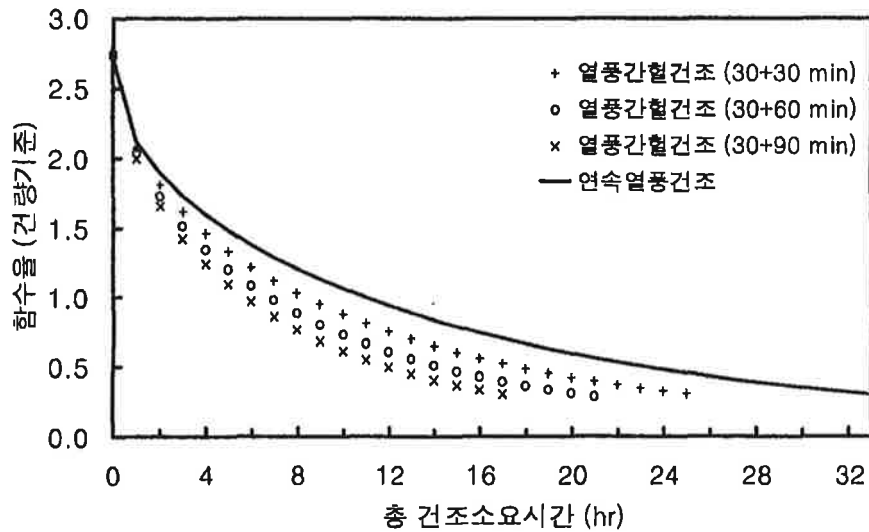


그림 3-8. 열풍간헐건조시 유효건조시간에 따른 인삼 함수율의 변화 예측 (건조 공기온도 50°C / 상대습도 45%)

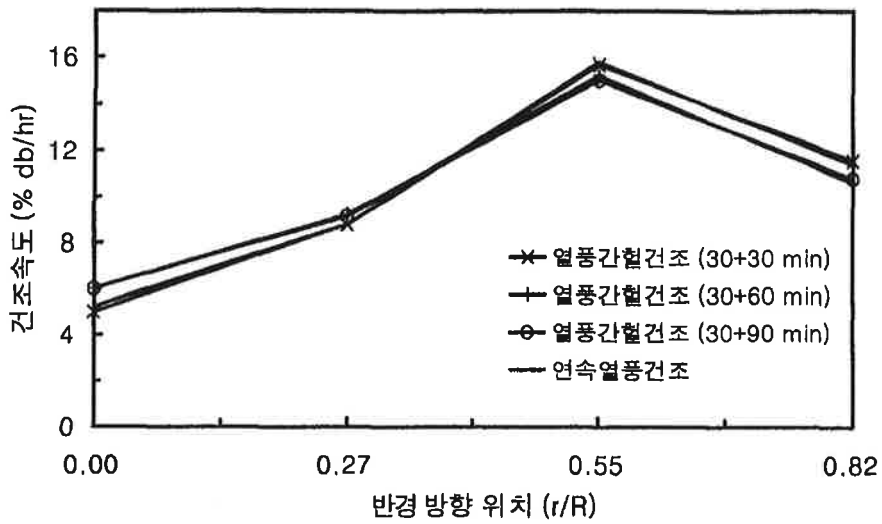


그림 3-9. 건조중 함수율 60% (wb)일 때 인삼내부 각 위치에서의 예측 건조속도 (건조 공기온도 50°C / 상대습도 45%)

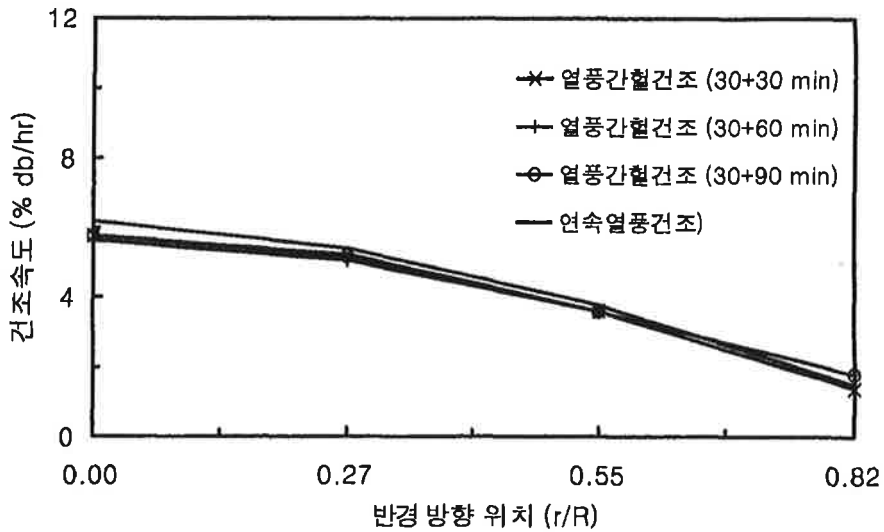


그림 3-10. 건조중 함수율 33% (wb)일 때 인삼내부 각 위치에서의 예측 건조속도 (건조 공기온도 50°C / 상대습도 45%)

제 6 절 인삼의 원적외선 건조 시뮬레이션 모델의 개발

앞에서 소개한 열풍건조 simulation model과는 달리 인삼의 원적외선 건조 simulation model은 건조에 필요한 열이 복사에 의해 공급되기 때문에 열 및 수분전달이라는 두 개의 현상을 동시에 다뤄야 하므로, 이 두 개의 현상을 각각 기술하는 편미분방정식을 연립으로 갖는 지배방정식을 세우고, 이를 수치해석적으로 풀이하는 computer program을 작성함으로써 개발하였다. 이 model에서는 인삼의 원적외선 건조과정 중의 수분 및 열 전달은 역시 반경방향으로만 가능하고, 이러한 전달현상은 비정상상태 Fickian 확산식에 근거한다고 가정했으며, 복사에 의해 피건조물에 전달된 원적외선의 가열효과 q_{rad} 는 내부로 침투하지 못하고 표면에만 국한되므로 (Fasina et al., 1998), 열전달 방정식의 경계조건으로 포함하였다.

- 지배방정식

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[D_{eff}(T, M)r \frac{\partial M}{\partial r} \right]$$

$$\rho_b(M)c_b(M) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[k(T, M)r \frac{\partial T}{\partial r} \right]$$

- 초기조건

$$t=0; \quad M(r,0) = M_i, \quad T(r,0) = T_i$$

- 경계조건

$$r=0; \quad \frac{\partial M}{\partial r} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial r} = 0$$

$$r=R; \quad M = M_e(T_{air}, rh_{air}),$$

$$k \frac{\partial T}{\partial r} = h(T_{air} - T) + L_v D_{eff} \frac{\partial}{\partial r} \left(\rho_b \frac{M}{1+M} \right) + q_{rad}$$

1. 필요 물성의 결정

윗 식의 풀이를 위해서는 인삼의 여러 가지 물성치 및 기타 건조와 관련된 인자들의 값이 필요하며, 본 연구에서 사용한 값들은 다음과 같다.

가. 유효수분확산계수 $D_{eff}(T, M)$

인삼의 유효수분확산계수 D_{eff} 는 앞의 열풍건조 simulation을 위해 개발한 것과 동일한 것을 사용하였다.

나. 평형함수율 $M_e(T_{air}, M_{air})$

인삼의 평형함수율 M_e 역시 앞의 열풍건조 simulation에서와 동일한 것을 사용하였다.

다. 열전도계수 $k(T, M)$

인삼의 열전도계수 k 는 일반 식품을 대상으로 하여 Sweat (1986)가 개발한 식품의 성분함량과 열전도계수 간의 회귀식인 다음 식을 사용하였다. 여기서, X_c , X_p , X_f , X_a , X_w 는 각각 소수로 표시한 탄수화물, 단백질, 지방, 회분, 수분의 함량이며, 원료인삼인 수삼의 경우, 100g 당 조성성분은 탄수화물 20.2g, 단백질 4.5g, 지방 0.3g, 회분 1.4g, 수분 71.8g, 기타성분 1.8g으로 조사되었으므로 이로부터 각 성분의 함량비를 계산하여 열전도계수를 구하였다.

$$k [W/m^{\circ}C] = 0.25X_c + 0.155X_p + 0.16X_f + 0.135X_a + 0.58X_w$$

라. 인삼의 겉보기밀도 $\rho_b(M)$

함수율이 M (db, dec)인 인삼시료의 겉보기 밀도 ρ_b 는 다음과 같이 기술할 수 있으며, 이 때, M 은 소수로 표시한 건량기준 함수율이며, ρ_w 는 물

의 밀도, ρ_{bo} 는 완전히 건조된 인삼 (함수율 0%)의 겉보기 밀도이다.

$$\rho_b[\text{kg total}/\text{m}^3 \text{ total}] = \frac{\rho_{bo}(1 + M)}{1 + \frac{\rho_{bo}}{\rho_w} M}$$

ρ_{bo} 값은 시료의 무게와 부피를 직접 측정하여 구하였다. 즉, 50°C로 유지된 오븐 속에서 2주일이상 가열하여 거의 완전하게 건조된 인삼시료를 만든 후, 세 개씩의 시료를 점도가 큰 광물성 오일이 담긴 정밀 메스실린더에 넣어 그 액면의 차이를 읽음으로써 부피를 측정하였고, 시료의 무게는 전자저울로 측정하였다. 5반복으로 실시한 실험 결과 얻어진 인삼의 건물밀도는 929 kg/m³이었다.

마. 인삼의 비열 $c_b(M)$

인삼의 비열 c_b 역시 일반 식품을 대상으로 하여 개발된 식품의 성분함량과 비열 간의 회귀식인 다음 식 (Singh and Heldman, 1993)으로써 구하였다.

$$c_b [\text{kJ}/\text{kg total } ^\circ\text{C}] = 1.424 X_c + 1.549 X_p + 1.675 X_f + 0.837 X_a + 4.187 X_w$$

바. 물의 증발잠열 $L_v(T)$

물의 증발잠열 계산에는 다음과 같은 회귀식 (Brooker, 1967)을 사용하였다.

$$L_v [\text{kJ}/\text{kg water}] = 3.11 \times 10^3 - 2.38(T + 273)$$

사. 대류열전달계수 h

대류열전달계수 h 는 기류방향에 대해 수직으로 놓여 있는 원통에 대한 다음 실험식을 사용하여 구하였다 (Geankoplis, 1983). 여기서, Nu , Re , Pr 는 각각 Nusselt number, Reynolds number 및 Prandtl number이며, 본

연구사업에서 수행한 인삼의 원적외선 건조실험 조건에 따른 h값의 범위는 약 $14 \text{ W/m}^2\text{°C}$ 로 계산되었다.

$$\text{Nu} = \frac{hd}{k} = 0.683 \text{ Re}^{0.466} \text{ Pr}^{1/3}$$

아. 복사 열전달 flux q_{rad}

원적외선 heater에서 방사되어 복사를 통해 인삼시료에 전달되는 열 flux q_{rad} 는 다음 식으로 표현할 수 있다. 여기서, σ 는 Stefan-Boltzmann 상수로서 $5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$, ϵ_h 와 ϵ 은 각각 원적외선 heater와 인삼의 방사율로, 그 값들은 각각 0.85와 0.6으로 가정하였다.

$$q_{\text{rad}} [\text{W/m}^2] = \frac{\sigma [(T_{\text{heater}} + 273)^4 - (T + 273)^4]}{1/\epsilon_h + 1/\epsilon - 1}$$

2. 해석적 모델의 차분근사화와 수치해석

인삼의 원적외선 건조 simulation model은 전술한 열풍건조 simulation model과 유사한 방법으로 개발되었다. 즉, 물질전달과 열전달에 관한 두 편미분방정식을 음적차분근사식 (implicit difference equation)으로 변환시킨 후, 이에 대한 computer simulation program을 Fortran 언어로 작성함으로써 인삼의 원적외선 건조 simulation model을 개발하였다. 이때, 수분전달현상에 대한 차분방정식은 앞의 열풍건조 model의 개발시 유도된 것과 동일하며, 열전달현상에 대한 차분방정식은 다음과 같이 유도되었다.

$$\rho_b c_b \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[k(T, M) r \frac{\partial T}{\partial r} \right] \quad \text{에서}$$

$$k(T, M) r \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{i+\frac{1}{2}}^j \approx k_{i+\frac{1}{2}}^j r_{i+\frac{1}{2}}^j \frac{T_{i+1}^j - T_i^j}{\Delta r} \quad \text{와}$$

$$k(T, M) r \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{i-\frac{1}{2}}^j \approx k_{i-\frac{1}{2}}^j r_{i-\frac{1}{2}}^j \frac{T_i^j - T_{i-1}^j}{\Delta r} \quad \text{로 근사화시켜}$$

대입하면, 윗 식의 우변은 다음과 같은 차분방정식의 형태로 변환된다.

$$\begin{aligned} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[k(T, M) r \frac{\partial T}{\partial r} \right] &\approx \frac{1}{r_i} \left[\frac{\left(k r \frac{\partial T}{\partial r} \right)_{i+\frac{1}{2}}^j - \left(k r \frac{\partial T}{\partial r} \right)_{i-\frac{1}{2}}^j}{\Delta r} \right] \\ &= \frac{1}{r_i (\Delta r)^2} \left[k_{i+\frac{1}{2}}^j r_{i+\frac{1}{2}}^j (T_{i+1}^j - T_i^j) - k_{i-\frac{1}{2}}^j r_{i-\frac{1}{2}}^j (T_i^j - T_{i-1}^j) \right] \end{aligned}$$

이때, 윗 식을 간략화하기 위해 $k_{i+\frac{1}{2}}^j$ 와 $k_{i-\frac{1}{2}}^j$ 의 근사값으로 k_i^j 를 사용하면,

$$= \frac{k_i^j}{r_i (\Delta r)^2} (r_{i+\frac{1}{2}} T_{i+1}^j - 2r_i T_i^j + r_{i-\frac{1}{2}} T_{i-1}^j)$$

따라서 최종적으로 얻어지는 식은,

① $i = 2, \dots, n-1$ 에 대해서는,

$$\begin{aligned} &\frac{[(\rho_b c_b)_i^{j+1} + (\rho_b c_b)_i^j]}{2} \frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} \\ &= \frac{1}{2r_i (\Delta r)^2} \left[k_i^{j+1} \{ r_{i-\frac{1}{2}} T_{i-1}^{j+1} - 2r_i T_i^{j+1} + r_{i+\frac{1}{2}} T_{i+1}^{j+1} \} \right. \\ &\quad \left. + k_i^j \{ r_{i+\frac{1}{2}} T_{i+1}^j - 2r_i T_i^j + r_{i-\frac{1}{2}} T_{i-1}^j \} \right] \\ \dots &\frac{[(\rho_b c_b)_i^{j+1} + (\rho_b c_b)_i^j]}{2} (T_i^{j+1} - T_i^j) \\ &= \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{(\Delta r)^2} \left[k_i^{j+1} \left\{ \left(\frac{i-1.5}{i-1} \right) T_{i-1}^{j+1} - 2T_i^{j+1} + \left(\frac{i-0.5}{i-1} \right) T_{i+1}^{j+1} \right\} \right. \\ &\quad \left. + k_i^j \left\{ \left(\frac{i-0.5}{i-1} \right) T_{i+1}^j - 2T_i^j + \left(\frac{i-1.5}{i-1} \right) T_{i-1}^j \right\} \right] \end{aligned}$$

제 7 절 인삼의 원적외선 건조 시뮬레이션 모델의 검증

1. 시뮬레이션 모델의 검증 방법

개발한 인삼의 원적외선 건조 시뮬레이션 모델의 검증 역시, 모델에 의한 함수율 예측치와 실제 실험에서의 함수율 측정치를 비교, 평균상대오차율 (mean relative percentage deviation) P를 계산함으로써 실시하였다. 또, **최 등 (1992a)**의 유사확산형 건조실험식에 의한 예측치와의 상대비교도 실시하였다. 앞서서와 같이 평균상대오차율은 습량기준으로 65%에서 20%까지의 범위에 속하는 함수율 값들에 한하여 계산된 후, 모델의 검증에 사용하였다.

2. 시뮬레이션 모델의 검증 결과

그림 3-11 과 3-13은 본 연구에서 개발한 인삼 원적외선 건조의 simulation model에 의한 함수율 예측치와 **최 등 (1992a)**이 구한 유사확산형 건조방정식에 의한 예측치 및 실험치를 비교하여 본 simulation model의 적합성을 검증한 결과이다.

그림 3-11에서와 같이 IR판 온도 69°C, 건조 공기온도 25°C, 상대습도 60%의 조건에서는 본 연구에서 개발한 simulation model은 건조 초기를 제외하고는 함수율을 실제 측정값보다 약간 높게 예측하였다. 이에 비해 건조 실험식에 의한 예측 함수율은 실제 측정치와 큰 차이를 보였으며 전 건조기간 내내 실제 측정치보다 높게 나타났다. 예측성능의 지표라 할 수 있는 평균 상대오차율 역시 11.7% 對 33.0%로 나타나 본 연구에서 개발한 simulation model이 기존의 건조 실험식에 비해 더욱 뛰어난 정확도를

갖고 있음을 확인할 수 있었다.

그림 3-12는 건조과정의 기술에 있어서 simulation model과 건조 실험식 간의 차이점을 단적으로 보여주는데, 즉, 건조시간에 따른 피건조물 내부의 온도 예측은 본 연구에서 개발한 것과 같은 분산형 simulation model에 의해서만이 가능한 것을 말해주고 있다. 그림 3-12는 건조 시작 후 약 4시간 동안은 높은 건조속도에 따라 많은 열에너지가 수분의 증발에 쓰이기 때문에 인삼 중앙부의 온도는 거의 증가하지 않는다는 것까지 단계를 지나면 인삼 중심부의 온도는 점차 증가하여 건조 공기의 온도에 수렴한다는 추세를 보여주고 있다.

그림 3-13은 IR판 온도 74°C, 건조 공기온도 52.6°C, 상대습도 21.7% 조건에서의 검증 결과인데, simulation model과 실험식에 의한 예측치, 그리고 실제 측정값 간의 상호관계는 앞에서 살펴 본 경우와 유사한 경향을 알 수 있었다. 다만, 건조 증기에서 simulation model의 함수율 예측치와 실측치 사이에 비교적 큰 차이가 발생하였는데, 이는 그림 3-14에 나타났듯이 건조 초기에 simulation model이 인삼 내부의 온도를 부정확하게 예측했던 것과 관련이 있지 않나 추정된다. 따라서, 평균 상대오차는 앞에서의 경우에 비해 전반적으로 증가하여 simulation model은 42.1%, 건조 실험식은 56.2%의 값을 보였다. 본 simulation model에 의한 건조과정 중 인삼 온도의 예측은 함수율 예측에 비해 그 정확도가 많이 떨어진다고 생각되지만, 이는 model의 개발에 필요했던 많은 물성값들(인삼의 열전도계수와 비열, 대류열전달계수, 원적외선 히터와 인삼의 방사율 등)과 원적외선 건조 실험장치 내부의 온도, 상대습도 및 원적외선 방사판 온도의 제어 불안정에 기인한 실험값 자체의 신뢰성 등과도 많은 연관이 있으리라 판단된다.

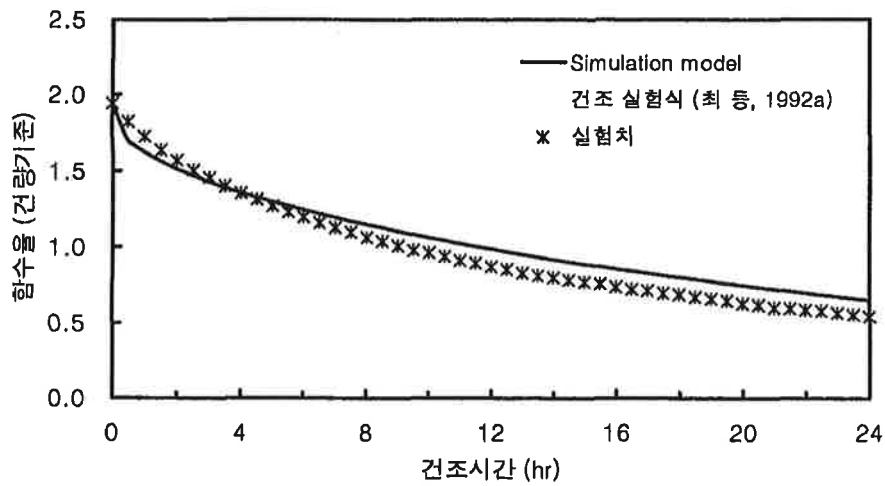


그림 3-11. 인삼 원적외선 건조 중 함수율 변화에 관한 model에
측치와 실측치
(IR 판 온도 69°C, 공기온도 25°C / 상대습도 60%)

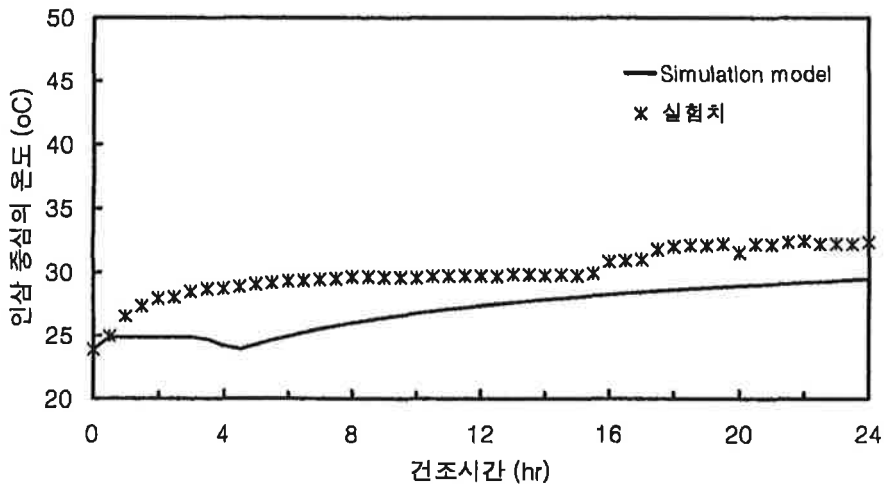


그림 3-12. 인삼 원적외선 건조 중 인삼 중심의 온도 변화에 관
한 model예측치와 실측치
(IR 판 온도 69°C, 공기온도 25°C / 상대습도 60%)

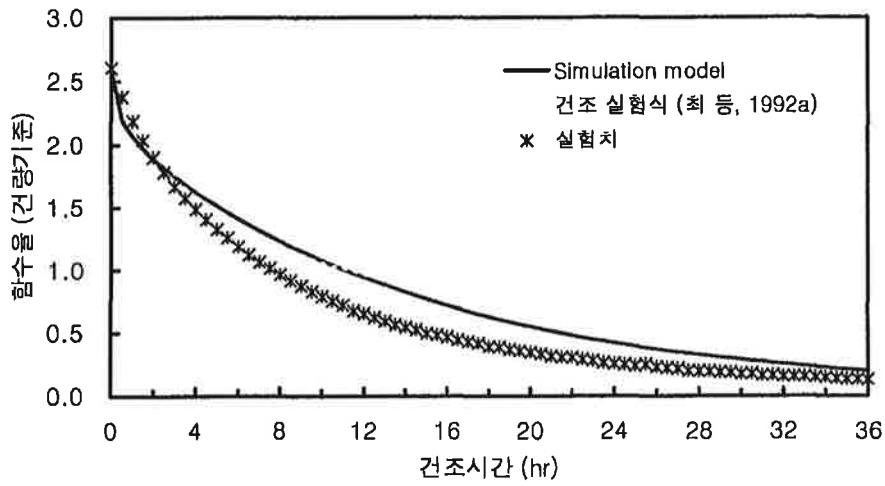


그림 3-13. 인삼 원적외선 건조 중 함수율 변화에 관한 model예측치와 실측치
(IR 판 온도 74°C, 공기온도 52.6°C / 상대습도 21.7%)

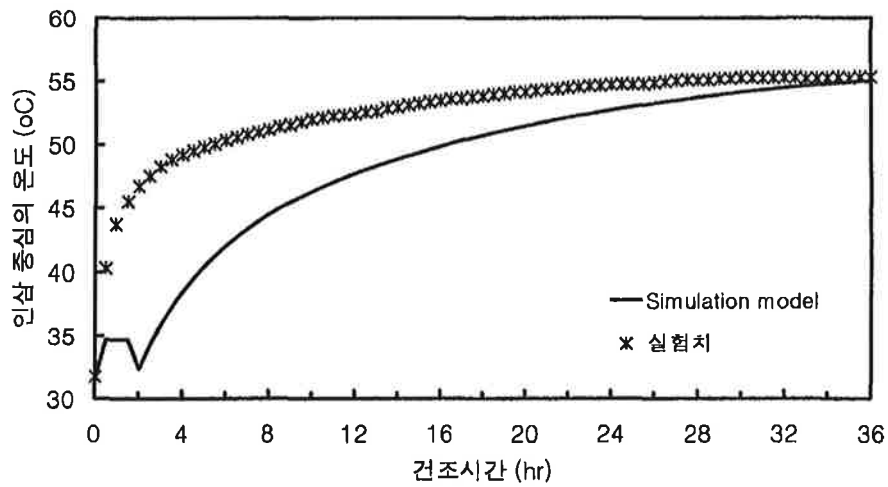


그림 3-14. 인삼 원적외선 건조 중 인삼 중심의 온도 변화에 관한 model예측치와 실측치
(IR 판 온도 74°C, 공기온도 52.6°C / 상대습도 21.7%)

제 8 절 인삼의 원적외선 건조 시뮬레이션 모델의 모의실험

인삼의 원적외선 건조에 영향을 미치는 인자로는 건조공기의 온도, 습도 및 송풍속도, 원적외선 방사판의 온도, 그리고 방사판 자체 및 건조기 내부의 구조와 재질에 따라 결정되는 방사율 등을 들 수 있다. 이러한 건조요인들과 최종 함수율, 총 건조 시간 및 소요에너지 등과 같은 주요 건조특성들 간의 관계를 이해하기 위해서는 수많은 실제 실험이 필요하지만, model을 사용하여 모의실험을 할 경우, 양자간의 정성적인 관계의 손쉬운 파악이 가능해진다.

따라서 본 연구에서는 원적외선 건조 model을 도구로 하여, 인삼의 연속식 원적외선 건조에 대해 모의실험을 실시하여 원적외선 방사판의 온도 및 건조공기의 온도와 습도가 인삼의 최종 함수율과 건조 소요시간에 미치는 영향을 조사하였다.

1. 인삼의 연속식 원적외선 건조 모의실험의 방법

모의실험에 사용한 건조 model은 이미 앞에서 자세히 설명한 원적외선 건조 simulation model이며, 인삼은 건조공기 온도 3수준 (30, 45, 60°C), 상대습도 3수준 (20, 40, 60%), 원적외선 방사판의 온도 3수준 (80, 90, 100°C)의 조건하에서 연속 건조된다고 가정하였다. 모의실험에서 조사한 건조특성으로서는 인삼의 함수율이 습량기준 30%까지 도달하는데 소요되는 시간 및 건조 18시간 경과 후 인삼의 함수율과 인삼 중심부의 온도를 선정하였다.

표 3-3. 인삼의 원적외선 연속건조에 대한 모의실험 결과

건조공기 온도 (°C)	30		45		60		IR 판 온도 (°C)
	20~40	60	20~40	60	20~40	60	
상대습도 (%)							
함수율 30% (wb) 도달까지의 소요시간 (hr)	38.5	40.5	29.0	30.0	23.0	23.5	
건조 18시간 후의 함수율 (wb, dec.)	0.51	0.51	0.45	0.45	0.38	0.39	80
건조 18시간 후의 인삼 중심의 온도 (°C)	32.5	33.0	44.7	45.3	57.3	57.9	
함수율 30% (wb) 도달까지의 소요시간 (hr)	36.5	38.0	27.5	28.5	22.0	23.0	
건조 18시간 후의 함수율 (wb, dec.)	0.50	0.50	0.44	0.44	0.37	0.38	90
건조 18시간 후의 인삼 중심의 온도 (°C)	34.7	35.2	47.0	47.6	59.6	60.2	
함수율 30% (wb) 도달까지의 소요시간 (hr)	34.5	36.0	26.5	27.5	21.5	22.0	
건조 18시간 후의 함수율 (wb, dec.)	0.49	0.49	0.42	0.43	0.36	0.37	100
건조 18시간 후의 인삼 중심의 온도 (°C)	37.1	37.6	49.5	50.1	62.1	62.7	

모의실험에서 조사한 건조특성으로서는 인삼의 함수율이 습량기준 30% 까지 도달하는데 소요되는 시간 및 건조 18시간 경과 후 인삼의 함수율과 인삼 중심부의 온도를 선정하였다.

2. 인삼의 연속식 원적외선 건조 모의실험의 결과

표 3-3 에 인삼의 원적외선 연속건조에 대한 모의실험 결과를 정리하였다. 건조공기의 상대습도는 본 연구에서 선정한 인삼의 건조특성들에는 별 영향을 미치지 않았으며, 특히 상대습도가 20~40% 범위에서 변화할 때 인삼의 건조는 이에 전혀 영향을 받지 않음을 알 수 있었다. 건조공기의 온도는 세 가지 건조특성 모두에 영향을 주었으나 특히 건조 소요시간을 크게 좌우하였다. 원적외선 판의 온도가 10°C 증가함에 따라 건조 18시간 경과 후의 인삼 중심부 온도는 약 2°C 증가하였고, 함수율 30% 도달까지의 건조 소요시간은 약간 감소되었으나 건조 18시간 경과 후의 함수율은 별 변동이 없었다.

통상적으로 인삼의 안전저장함수율은 습량기준으로 약 15%라고 알려져 있는데, 주로 가을철에 수확되는 인삼을 이 함수율까지 건조시키려면 본 모의실험 자료로 판단할 때, 방사판의 온도가 100°C인 원적외선 건조로는 약 35시간이 소요되리라 예측된다. 이는 50°C의 열풍을 사용하여 약 100시간이 소요되는 관행건조에 비해 인삼건조에 원적외선을 사용할 경우, 건조 소요시간을 약 1/3로 단축시킬 수 있으리라는 가능성을 시사하고 있다.

제 9 절 결 론

1. 건조과정 중의 수분이동을 확산현상으로 해석한 인삼의 열풍건조 model을 개발하고, model에 의한 함수율 예측치를 실험치와 비교함으로써 그 유용성을 검토하였다. 개발된 건조 simulation model은 기존의 건조실험식들과 동등한 수준의 예측성능을 보였다.

2. 본 연구에서 사용된 분산형 건조 model은 유사확산형 건조방정식과 거의 동등한 수준의 함수율 예측도를 보였지만, 인삼의 유효수분확산계수 D_{eff} 의 정밀한 측정, 그리고 D_{eff} 값과 온도, 함수율 간의 상관관계에 대한 추가연구의 필요성이 인식되었다.

3. 개발된 열풍건조 model을 사용, 열풍건조 과정과 템퍼링 과정의 반복으로 이뤄지는 인삼의 간헐 건조법에 대한 모의실험을 실시하여 건조 소요시간과 소요 에너지를 분석하였다. 총 건조 소요시간은 템퍼링이 전체 건조과정에서 차지하는 비율에 따라 증가하였으나, 템퍼링 구간과 열풍건조 구간 간의 시간비에 정확히 비례하지는 않았다. 반면, 건조 소요 에너지는 템퍼링 구간과 열풍건조 구간 간의 시간비가 커짐에 따라 감소함이 예측되었다.

4. 인삼의 원적외선 건조에 대한 model을 개발하고, model에 의한 함수율 예측치를 실험치와 비교함으로써 그 유용성을 검토하였다. 개발된 원적외선 건조 simulation model은 만족할 만한 수준의 예측성능을 보였다.

5. 원적외선 건조 model을 사용, 인삼의 연속식 원적외선 건조에 대한 모의실험을 실시하여 원적외선 방사판의 온도 및 건조공기의 온도와 습도가 주요 건조특성에 미치는 영향을 조사하였다. 건조 소요시간은 건조공기의 온도에 크게 좌우되었으며, 원적외선 판의 온도는 건조공기의 온도

와 함께 인삼의 온도변화에 다소 영향을 주었다.

6. 모의실험 결과, 방사판의 온도가 100°C인 원적외선을 인삼건조에 사용할 경우, 관행 열풍 건조법에 비해 소요시간을 약 1/3로 단축시킬 수 있으리라 추정되었다.

제 4 장 인삼의 품질 자동 평가 시스템 개발

제 1 절 서 언

고려인삼은 전세계적으로 인정받고 있는 대한민국의 대표적인 작물이다. 또한 그 부가가치가 높기 때문에 중국, 미국, 캐나다, 일본 등에서는 최근 인삼생산량이 급속히 증가하고 있으며 고품질 가공을 위한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 이에 대비하여 우리 나라도 약효성분이 월등히 뛰어난 고려인삼을 더욱 고품질화하여 외국산 인삼과 차별화를 꾀함으로써 인삼종주국이라는 자존심을 지켜나가야 할 것이다.

외국으로부터의 값싼 인삼의 수입을 억제하고 우리 나라 인삼의 수출경쟁력을 제고시키기 위해서는 품질을 향상시키고 제조원가를 낮출 필요가 절실하다. 현재 인삼의 품질판정 및 선별공정은 전문노동력을 필요로 하기 때문에 품질판정 및 선별의 자동화에 관한 연구가 시급한 실정이며 객관적이고 일관된 기준에 의한 품질 자동판정시스템의 개발이 요구되고 있다. 특히 전매사업으로 한국담배인삼공사에 의해서만 조제, 가공되어 왔던 홍삼제품의 제조가 일반농가 및 가공업자에게도 최근 개방됨으로써 객관적인 품질자동판정 시스템의 개발이 시급한 실정이다.

현재 백삼의 품위결정은 전문가의 육시에 의하여 표본인삼과 비교 평가되고 있는 실정이다. 그러나 인간의 눈은 똑같은 일을 반복할 경우 쉽게 피로해지고, 색상의 미세한 차이를 감지하는 능력이 부족할 뿐만 아니라 그 능력에 있어서도 개인별로 편차가 있기 때문에 제품의 품위를 결정하는데 객관성을 유지하기가 힘든 단점을 가지고 있다.

인삼의 약효가 세계적으로 인정받으면서 재배는 미국, 유럽 등지까지 확대일로에 있다. 현재 중국으로부터 수입 또는 밀수입되고 있는 인삼으

로 인해 국내 인삼업계의 타격이 심각하며, 이런 양상은 미국, 유럽 등지의 광활한 토지 소유국의 인삼재배가 늘어나면서 더욱 심각해질 것이다. 인삼경지면적이 적은 한국은 인삼제품의 고품질화와 생산비 절감으로 경쟁력을 확보하는 정책이 필요하다.

제 2 절 현행 백삼제품 검사기준의 분석 및 적절한 품질평가인자의 선정

1. 관행의 백삼류 검사기준 분석

현재 백삼류의 품질평가는 등급별 검사표본품을 정하여 전문가의 오관에 의한 관능검사방법으로 실시하고 있으며, 검사 기준은 본삼류, 미삼류, 잡삼류 등 품목에 따라 다르다. 본 연구에서는 인삼의 몸통을 포함하고 있는 본삼류 중 개체 당 중량이 9g 이상인 인삼으로 제조하는 직삼의 품질평가 기준을 조사하였으며 주요사항을 요약하여 표 4-1에 나타내었다.

2. 백삼의 품위 결정에 영향을 미치는 품질인자의 선택

조사한 관행 검사기준을 검토하여 백삼의 품위결정에 큰 영향을 미치면서 객관적 정량화가 가능한 품질인자들을 선택하였고 선택된 품질인자와 선택배경을 요약하면 다음과 같다.

- ① 몸통의 최대·최소 직경·길이, 다리의 수·길이·직경: 몸통과 다리의 균형도 및 인삼의 밀도를 간접적으로 예측할 수 있는 중요한 품질인자들이다.
- ② 인삼의 선택: 인삼의 외관상 품질에 가장 큰 영향을 미치는 품질인자일 뿐만 아니라 건조에 따른 품질 저하, 저장·운송 중의 품질 변

표 4-1. 백삼류의 등급별 품위 (1995년 현재)

등급	항목	최저 한도 형질	색택 및 외관	기 타
1 등		머리가 건실하고 몸통과 다리부분이 균형형을 이루어야 함.	유백색·난백색 또는 담황색을 띠고, 윤활하며 광택이 있어야 함. 1~3개의 다리가 부착되어야 하고 그 길이가 몸통 길이의 2/5 이상이어야 함.	모두 머리가 부착되어 있어야 하며 피해삼은 5% 이내이어야 함.
2 등		머리 및 몸통의 건실 정도와 다리와의 균형이 2등 표본품 이상이어야 함.	유백색·난백색 또는 담황색을 띠고, 윤활하며 광택이 있어야 함.	머리 탈락삼의 혼입율이 10% 미만이어야 함.
등 외		머리 및 몸통의 건실 정도와 다리와의 균형이 등외 표본품 이상.	색택 제한 없음.	제한 없음

주: 높은 온도로 급속건조하여 색택이 변한 때에는 등외로 한다.

화 등을 판단할 수 있다. 특히 현행 검사기준에는 유백색·난백색·담황색·담다색 등으로 표현되어 있으나 객관적인 품위 결정 및 평가의 자동화를 위해서는 필히 정량화되어야 할 품질인자이다.

- ③ 외부 결함: 주름삼, 부패삼, 피해삼 등의 여부를 결정할 수 있는 품질 인자이다.

제 3 절 선정된 품질평가인자의 측정 및 분석

1. 외부 형상인자의 측정 및 분석

전문가에 의하여 선별된 시료를 등급(1등, 2등, 등외 또는 3등)별로 각

각 20편씩 구하여 외부형상인자를 측정하여 그 결과를 표 4-2에 나타냈다. 표 4-2에서 평균값은 위에 표준편차는 아래에 제시되어 있다. 대부분의 형상인자에서 개체간의 차이에 비하여 등급간의 차이가 작은 것을

표 4-2. 백삼 등급별 외부 형상인자의 평균값 및 표준편차

	가상 밀도	다리 수	주름 길이	균열 길이
1등급	0.64 (0.14)	2.17 (0.99)	1.45 (2.14)	0.83 (1.62)
2등급	0.63 (0.10)	2.50 (1.10)	2.82 (2.05)	1.88 (2.25)
등외급	0.61 (0.13)	0.70 (1.08)	1.96 (2.74)	1.35 (1.92)

주: 괄호 안의 값은 표준편차를 나타냄.

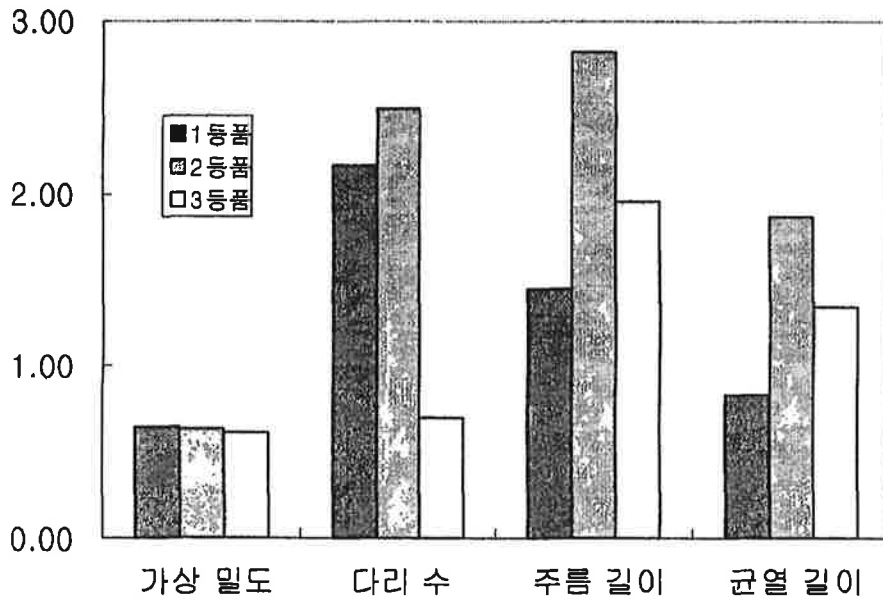


그림 4-1. 인삼 등급별 형상인자의 평균값 비교

보여주고 있으나, 다리 수는 1·2 등급과 동외급간의 평균값 차이가 비교적 크게 나타나고, 골 길이와 틈 길이에서는 1등급과 2등급간의 차이가 비교적 큰 것을 알 수 있다. 그림 4-1은 이 현상을 보다 분명하게 나타내 준다.

2. 광학적 특성의 측정 및 분석

인삼 외부 색택등급의 정량화를 위하여 색도계(colorimeter)를 이용하여 $L^*C^*H^0$ 삼자극치를 측정된 결과 정상적인 부분의 색택에서 등급간에 차이가 나타나지 않았다. 그러나 1등급에 비하여 2등급·동외급의 경우에는 주름 또는 균열 등과 같은 외부 결함이 많이 포함되어 있었으며, 외부 결함 부분들은 정상적인 부분과 다른 칼라특성을 지니고 있는 것으로

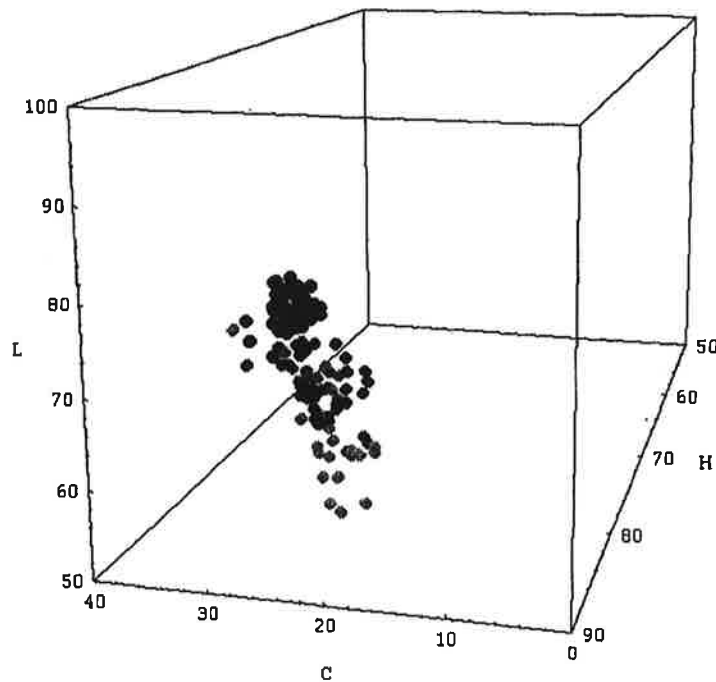


그림 4-2. 3차원 칼라공간에서의 부위별 칼라특성

표 4-3. 인삼 각 부위의 L*C*H° 칼라 특성

	Chroma	Hue	Luminance
정상	26.30	83.93	76.34
주름	26.14	79.21	66.06
균열	27.38	78.44	59.68

판단되었다. 각 부분의 칼라특성을 측정한 결과를 표 4-3에 나타내었다. 표 4-3에서 채도(Chroma)값에는 큰 차이가 없었으나 정상적인 부분이 결합 부분에 비하여 명도(Luminance)가 높고 노랑색(H°=90)에 보다 더 가까워 지는 것을 색상(Hue)값으로부터 알 수 있다.

한편 그림 4-2는 각 부위 별로 40지점씩을 선정하여 칼라 특성을 측정한 후 3차원 칼라공간내에 표시한 것이다. 검정색으로 표시되어 있는 정상적인 부위는 특정 지점(C=26.3, H=83.93, L=76.34)을 중심으로 집중되어 있어 결합부분으로부터 분할이 가능한 것을 알 수 있다.

제 4 절 종합적 품질평가기준의 정량화

인삼의 외부 형상인자들중 다리의 수와 주름 및 균열 등의 결합의 크기를 이용하여 1차적으로 정량적인 품질평가기준을 설정하였다. 다리의 수가 2개 미만인 제품은 등외급으로, 다리의 수가 2개 이상인 것들 중에서 주름의 크기가 2.2cm이

상이거나 균열의 크기가 1.3cm 이상인 제품은 2등급, 그 외의 제품은 1등급으로 평가하였다. 표 4-4는 이와 같은 기준에 의하여 평가한 등급과 전문가에 의하여 평가된 등급을 비교한 결과이다. 표 4-4에 의하면 평가

표 4-4. 평가기준의 적용실험 결과

평가기준 \ 전문가	1 등급	2등급	등외
1등급	8	2	2
2등급	7	14	1
등외	5	5	17

기준에 의한 등급과 전문가에 의한 등급간의 일치율은 65% 수준이었으며 특히 전문가에 의하여 1등급으로 평가된 시료에서 일치율이 40%로 매우 낮은 것을 알 수 있다. 따라서 시료의 밀도와 정상적인 부분과 결함부분 간의 면적비 등을 품질평가기준에 포함시키면 일치율을 개선할 수 있다고 판단되었다. 이때, 면적비의 계산을 위해서는 인삼의 입력영상으로부터 명암(contrast) 조절 등의 추가적인 처리과정을 수행하여 정상적인 부분과 결함부분을 용이하게 분할할 수 있는 알고리즘을 개발하여야 할 필요성을 발견하였다.

제 5 절 인삼의 광학적 특성에 알맞은 영상처리 시스템의 구성 및 입력영상의 전처리

1. 영상처리시스템의 구성

본 연구에서 개발한 등급 자동판정 시스템의 작동 과정을 그림 4-3에 개괄적으로 나타내었다. 이 시스템의 작동은 시료대에 놓인 인삼의 영상을 CCD 카메라에 의하여 취득하는 것으로부터 시작된다. 취득된 영상데이터는 컴퓨터에 전달되어 일차적으로 조명의 영향을 보정해주고, 배경으로부터 대상체를 분리해내기 위하여 문턱값처리 (thresholding)를 수행하는 전처리과정을 거친다. 이어서 배경과 분리된 대상체영상으로부터 등

급판정에 영향을 미치는 특징들 (features vector)을 추출하는 영상처리 과정이 수행된다. 등급판정 알고리즘이 추출된 특징들에 근거하여 등급을 결정하게 되고, 이 결과는 인삼의 분리를 수행하는 조절 신호로 이용된다.

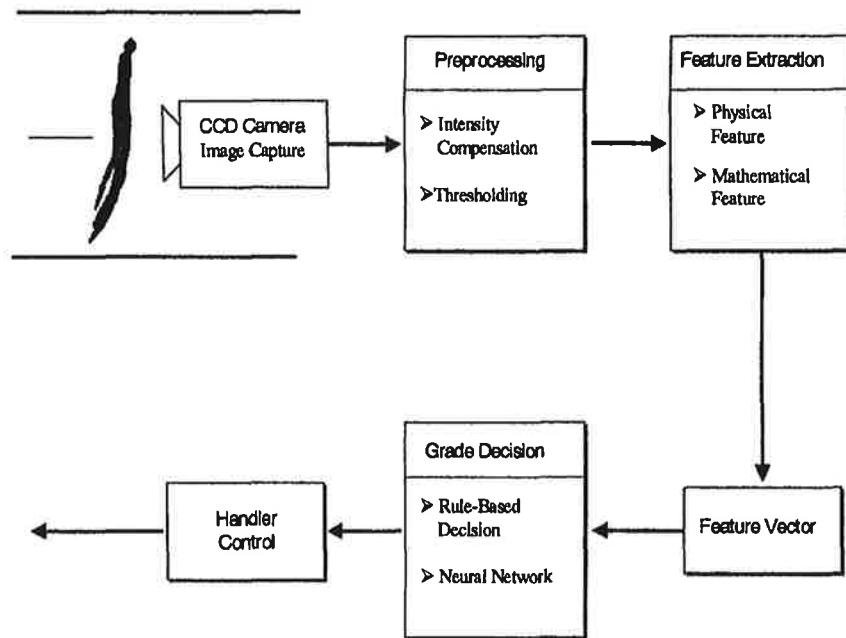


그림 4-3. 자동 등급판정 시스템의 작동

2. 입력영상의 전처리 과정

문턱값처리에 의한 영상의 분할이나 특징의 추출을 위한 영상처리 알고리즘은 입력영상의 농도값에 의존한다. 입력영상의 농도값은 조명의 영향에 의하여 크게 달라지는데, 특히 조명이 약할 경우에는 영상의 농도값이

허용된 농도 범위 전체 중 극히 일부에만 분포하게 된다.

본 연구에서는 이와같은 조명의 영향을 최소화하기 위하여 모든 영상내의 모든 화소의 농도값이 허용된 농도범위 (5~250)내에 분포하도록 농도 변환을 시도하였다. 먼저 시료대에 검정색표지와 흰색 표지를 놓고 농도값을 계측하여 각각 I_B , I_W 라 한다. 같은 조명하에서 모든 화소의 농도값들은 I_B 와 I_W 사이에 분포하게 된다. 각 화소의 농도값 I_P ($I_B \leq I_P \leq I_W$)를 식(4-1)에 의하여 변환하면 화소의 농도값이 허용된 농도범위 전체에 걸쳐 분포하게 된다.

$$I_P' = \frac{250-5}{I_W - I_B}(I_P - I_B) + 5 \dots\dots\dots (4-1)$$

또한 I_B 와 I_W 는 조명의 변화가 예견되는 경우에만 측정하여 농도변환식을 LUT (Look-Up Table)로 작성하여 사용하기 때문에 농도변환을 실시간으로 수행할 수 있다.

입력된 영상에서 대상체와 배경을 분할하는 문턱값처리에 이용되는 문턱값을 자동으로 결정하는 방법에는 여러 가지가 있다. 조명의 변화가 크지 않는 한 일정한 값을 문턱값으로 사용하여도 인삼영역과 검정색 바탕영역을 구분하는데는 큰 문제가 없다. 본 연구에서는 문턱값을 결정하기 위하여 특정조명하에서 검정색 바탕의 영상을 취득한 후 전체 영역에 걸쳐 농도값의 변화를 조사하였다. 바탕영역 농도값의 평균, m 과 표준편차, σ 를 계산하여 문턱값, T 는 $T = m + 5$ 가 되도록 설정하였다.

조명의 영향을 최소화하기 위하여 입력영상은 식(4-1)에 의한 농도변환을 거치게 된다. 그림 4-4는 농도변환을 수행하기 전의 인삼영상이며, 그림 4-5는 농도변환을 수행한 후의 인삼영상을 보여주고 있다. 그림

4-4에 나타난 바와 같이 농도변환을 수행하지 않은 영상들은 조명정도에 따라 농도값의 차이가 매우 큰 것을 알 수 있다. 그러나 그림 4-5은 식 (4-1)에 의하여 농도변환을 수행할 경우 조명정도에 따른 농도값의 변화를 크게 감소시킬 수 있음을 보여주고 있다. 다만 그림 4-5(a)의 경우에는 농도변환 후에도 그림 4-5(b) 또는 그림 4-5(c)와 약간의 농도차이가 있으나, 그림 4-4에 비하면 조명의 영향이 크게 감소된 것을 알 수 있다.

한편 칼라영상에 대해서는 색상 (H, Hue), 명도 (I, Intensity), 채도 (S, Saturation) 값들을 모두 고려하여, HSI 값이 특정범위 내에 있는 화소들을 인삼으로 그 밖의 화소들은 배경으로 구분하여야 하기때문에

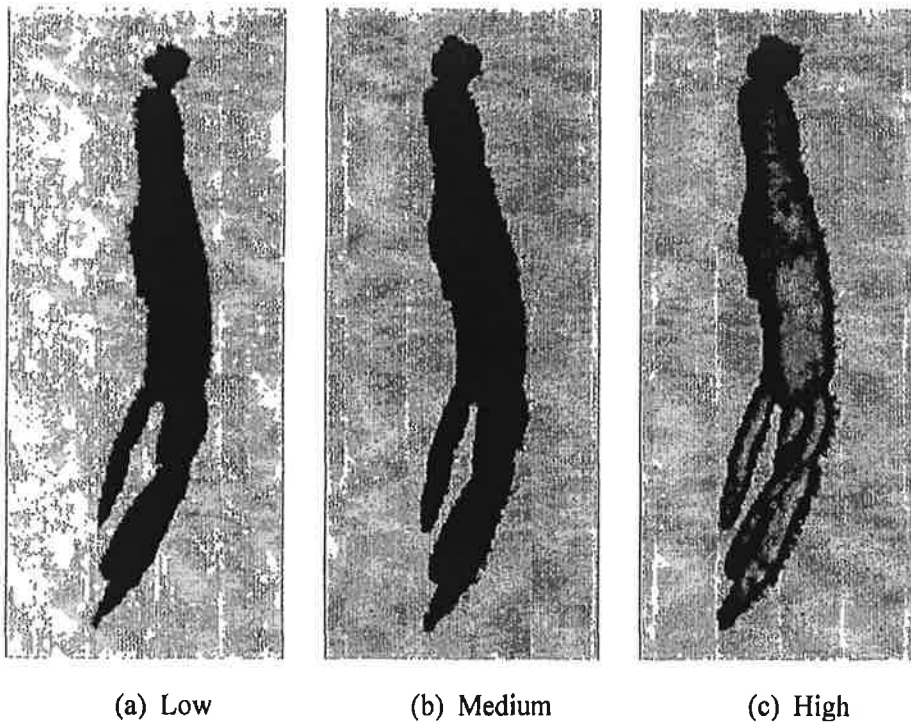


그림 4-4. 서로 다른 조명상태에서 획득한 인삼영상

약간 더 복잡하다. 본 연구에서는 450nm대역통과필터를 장착하여 얻은 영상을 위에서 설명한 방법으로 문턱값처리하여 마스크 패턴을 작성하고, 대역필터를 장착하지 않은 채 입력된 영상과 마스크 패턴을 중첩시킨 후 마스크 내에 들어있는 영역을 대상체로서 추출해내는 방법을 사용하였다. 이 방법은 두 번의 영상입력과정을 필요로 하기 때문에 영상처리속도의 저하를 수반한다. 물론 2차화된 마스크패턴 자체가 대상체의 기하학적 특성을 추출해 내는데 곧바로 활용될 수 있지만, 추후 주근, 지근, 뇌두 부분 등의 섹터를 분석하기 위해서는 본래의 입력영상의 색채정보가 필요하게 된다.

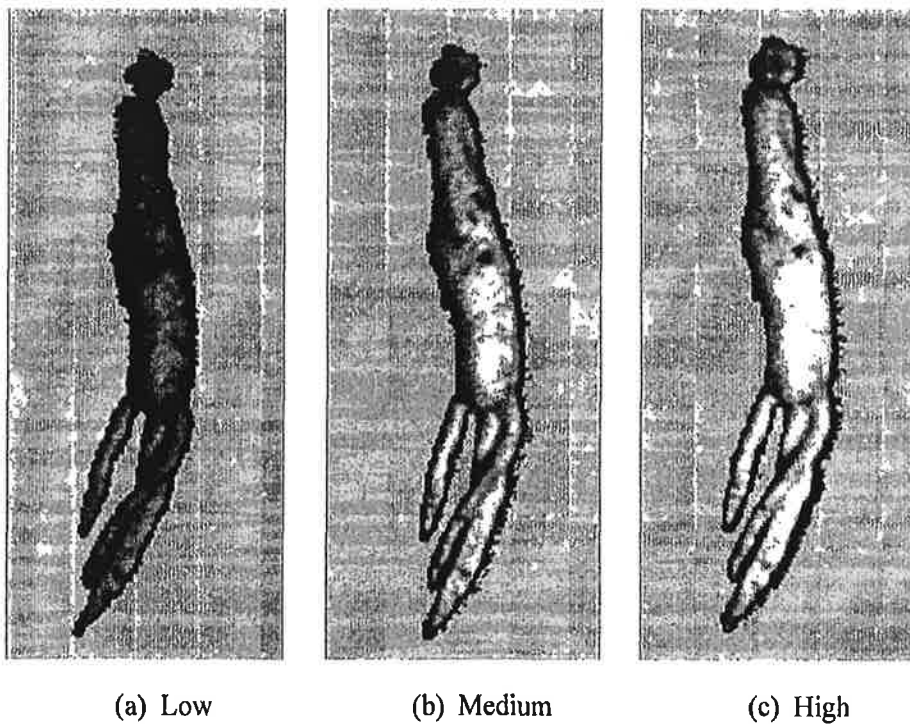


그림 4-5. 입력된 인삼영상의 농도값 변환 결과

한편 문턱값 처리에 의한 영역 분할 후에는 대상체 내부에 작은 구멍, 배경에 작은 고립점 등이 생기거나 경계선에 작은 오목부분이 생기는 경우가 많다. 본 연구에서는 경계선의 이동을 최소화하면서 이 문제를 해결하기 위하여 3×3 메디안 필터(median filter)를 이용하였다. 즉 각 화소를 중심으로 한 3×3영역의 화소값들을 크기순으로 정렬한 후 중앙값을 출력값으로 택함으로써 위에 열거한 결함들을 동시에 제거할 수 있다.

제 6 절 뇌두, 몸통, 주근 및 지근의 크기와 형태의 추출을 위한 영상처리기법의 개발

인삼의 등급판정에 영향을 미치는 특징들은 크게 물리적인 특징들(physical features)과 수학적 특징들(mathematical features)로 구분할 수 있다. 물리적인 특징들로는 주근의 굵기와 길이, 지근의 개수 및 길이, 지근의 균형 정도, 뇌두의 존재 여부, 표면 색택, 표면 결함 등을 들 수 있으며, 수학적 특징들로는 평균 농도값, 모멘트, 히스토그램 특성, 프랙탈 차원 등을 들 수 있다. 이와 같은 여러 가지 특징들 중에서 추출과정에 존재하는 어려움과 등급판정과정에서의 수용가능성 등을 동시에 고려하여 적절한 특징 집합을 선택하는 것이 등급판정시스템의 설계에 있어서 매우 중요한 작업이다. 본 연구에서는 배경으로부터 분할된 인삼영상을 대상으로하여 물리적인 특징들의 추출을 위한 알고리즘과 수학적 특징들을 계산할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 물리적인 특징추출은 다시 기하학적인 특징추출과 결함영역 추출로 세분하여 연구하였다.

1. 기하학적 형상특징 추출

배경으로부터 분할된 인삼영상의 기하학적인 특징을 추출하는 알고리즘은 그림 4-6에 나타난 바와 같이 분할된 대상체의 세선화과정과 세선화된 영상으로부터 특징을 추출하는 과정으로 구분된다.

분할된 대상체의 본래 구조를 유지한 채로 폭을 가늘게 하여 중심선을 추출하는 세선화(skeletonization)과정은 인삼의 주근과 지근의 분기점은 물론 인삼의 골격을 해석하기 위하여 필요한 과정이다. 세선화를 위해서는 대상체의 경계화소들 중 선의 끝점과 도형의 연결점이 아닌 화소들을 제거하는 과정을 반복함으로써 중심선을 찾는 방법이 널리 이용되고 있다. 본 연구에서는 유클리드 거리도표 (Euclidean distance map)를 작성하고 이를 활용하여 중심선을 찾는 방법을 이용하였다. 이 방법은 대상체의 경계에서 내부를 향하여 파동을 전파시키는 모델에 의거해서 고안된 것이다. 이론적으로 유클리드 거리도표는 대상체내의 각 화소에서 가장 가까운 경계선까지의 직선거리를 화소값으로 입력함으로써 작성한다. 따

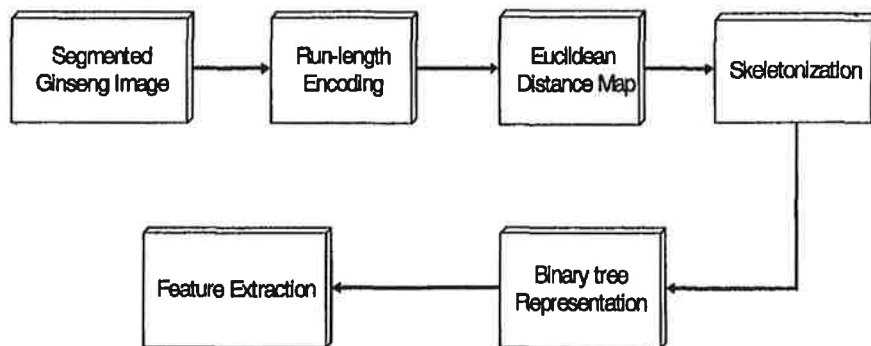
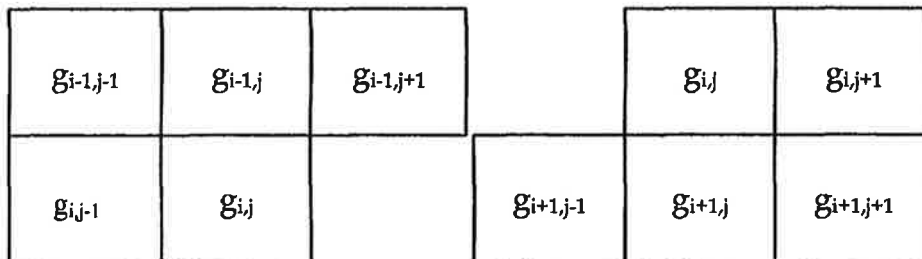


그림 4-6. 기하학적 특징추출 알고리즘

라서 경계선으로부터 대상체의 중심으로 갈수록 높은 화소값을 가지게되며 중심선에서 최대값이 된다.

이 방법의 장점은 변환된 거리값으로부터 대상체의 폭이나 형상특징의 추출이 용이하다는 것이다. 8-근방 거리를 이용하여 순차적으로 유클리드 거리도표를 구하는 알고리즘을 묘사하면 다음과 같다.

- ① 배경영역의 모든 화소값을 0으로 설정한 후 입력영상을 좌측상단으로부터 TV모니터와 같은 방향으로 주사하면서 각 화소좌표(i, j)에서 그림 4-7(a)와 같이 화소값($g_{i,j}$)을 구한다.
- ② 입력화상을 우측하단으로부터 TV 모니터와 반대방향으로 주사하면서 각 화소좌표(i, j)에서 그림 4-7(b)와 같이 화소값($g_{i,j}$)을 구한다.



(a) Neighbor used in step 1.

$$p_1 = g_{i-1,j-1} + 8$$

$$p_2 = g_{i-1,j} + 5$$

$$p_3 = g_{i-1,j+1} + 8$$

$$p_4 = g_{i,j-1} + 6$$

$$g_{i,j} = \min(p_1, p_2, p_3, p_4)$$

where $g_{i,j}$ is pixel value at (i, j)

(b) Neighbor used in step 2.

$$p_1 = g_{i,j+1} + 6$$

$$p_2 = g_{i+1,j-1} + 8$$

$$p_3 = g_{i+1,j} + 5$$

$$p_4 = g_{i+1,j+1} + 8$$

$$g_{i,j} = \min(g_{i,j}, p_1, p_2, p_3, p_4)$$

where $g_{i,j}$ is pixel value at (i, j).

그림 4-7. 유클리드 거리도표 작성에 이용된 근방화소

그림 4-7에서 근방 화소까지의 거리를 수직 방향으로 5, 수평방향은 6, 대각선 방향으로 8을 사용하였다. 그 이유는 영상을 구성하고 있는 각 화소의 장평비가 1:1.24로서 화소의 대각선 길이는 1.59가 된다. 그런데 영상처리장치에 저장되는 화소값은 자연수이면서 255보다 작아야 하기 때문에 1:1.24:1.59를 근사적으로 대신할 수 있는 값으로 각각 5:6:8을 채택한 것이다. 이와 같은 방법으로 작성된 유클리드 거리도표로 표현된 화소값들 중에서 지역 최대값(local maximum)들을 추출하면 중심선이 된다.

세선화 기법에 의하여 폭이 1인 선으로 변환된 대상체로부터 기하학적 형상특징들(주근의 굵기와 길이, 주근으로부터 뇌두와 지근이 분지하는 지점의 위치, 지근의 개수와 길이)을 추출하기 위하여 중심선에 위치한 화소들을 추적하면서 2진수목구조(binary tree node)를 작성한다. 수목구조의 작성을 위해서는 중심선 내의 화소들중에서 특징적인 화소의 검출이 필요한데 이를 위해서 각 화소에서의 연결수를 이용하였다.

먼저 연결수가 1인 화소는 끝점을 나타내며, 연결수가 2인 화소는 중심선위의 연결점들을 나타내고, 연결수가 2 보다 큰 점들은 분기를 가진 점을 나타낸다. 하나의 형상요소(feature element)는 끝점이나 분기점에서 시작하고 끝이 나게 된다. 각각의 형상요소는 수목구조상의 node로 표현되며 여기에는 형상요소의 시작점과 끝점의 위치, 길이, 평균 굵기 등과 같은 정보를 저장한다. 평균 굵기는 형상요소에 속하는 각 화소값들의 합을 총 길이로 나누어 구할 수 있다.

수목구조로 저장된 정보로부터 길이와 평균굵기의 곱이 최대값이 되는 요소를 인삼의 주근으로, 이 값이 특정값보다 큰 것들을 지근으로, 그리고 주근과 지근의 시작점과 끝점의 좌표를 비교함으로써 지근과 뇌두의

위치를 판별할 수 있다.

입력영상으로부터 배경영역과 인삼영역으로 분할된 영상은 그림 4-8(a)와 같이 배경영역의 모든 화소들의 농도값은 0으로, 인삼영역내 화소들의 농도값은 원래의 농도값을 유지하고 있다. 분할된 영상으로부터 기하학적 특징을 추출하기 위하여 인삼의 중심선에 해당하는 골격을 구하였다. 골격을 구하는 과정은 유클리드 거리도표의 작성과 세션화 처리로 구분되는데, 그림 4-8(b)는 작성된 유클리드 거리도표를 보여주고 있다.

유클리드 거리도표에서는 경계선으로부터 멀리 떨어진 화소일수록 농도값이 높아지기 때문에 흰색에 가까워지며 결과적으로 굵은 몸통의 중앙부

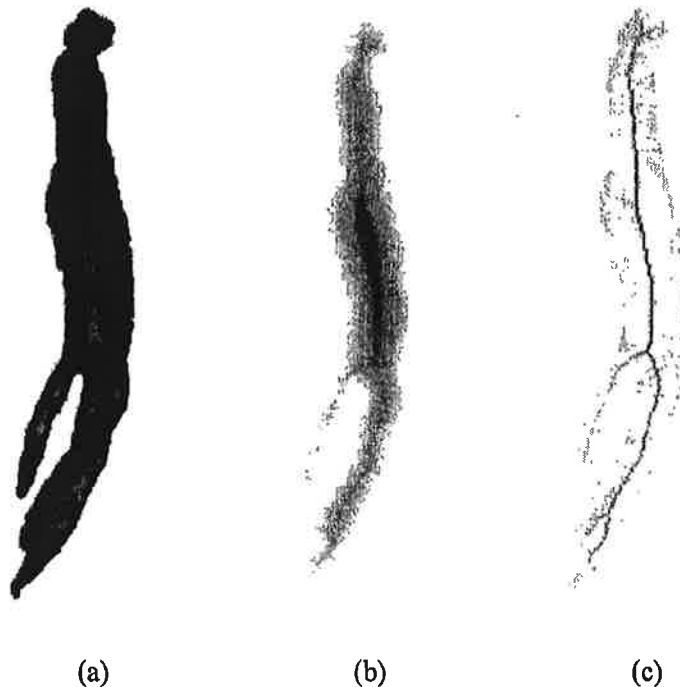


그림 4-8. 기하학적인 특징 추출 (a) 배경으로부터 분할된 인삼영상 (b) 유클리드 거리도표 [역상] (c) 세션화 결과 [역상]

분이 높은 농도값을 갖게 된다. (그림 4-8(b)는 인쇄상 편의를 위하여 역상으로 처리하였음)

그림 4-8(c)는 유클리드 거리도표로부터 중심선에 해당하는 화소만을 추출하여 세선화한 결과를 원래 인삼영상의 윤곽 위에 중첩하여 나타낸 것이다. 중심선화소들은 중심선으로부터 경계선까지의 최소거리, 즉 화소가 위치한 지점에서 의 굽기로 환산할 수 있는 화소값을 갖고 있기 때문에 인삼의 굽기를 추정하는데 유용한 정보로 활용된다. 그림 4-8(c)와 같이 세선화된 영상에서 주근과 지근의 길이와 굽기, 뇌두와 분지점의 위치 등을 추출하였는바, 주근의 길이와 굽기는 각각 57.9mm, 11.4mm, 왼쪽 지근의 길이와 굽기는 각각 28.6mm, 4.9mm로 오른쪽 지근의 길이와 굽기는 27.8mm, 8.4mm로 나타났다. 개발된 알고리즘은 뇌두와 분지점의 위치를 아주 정확하게 찾아내었기 때문에 이를 근거로 계산한 길이와 실제 길이와의 오차는 5mm 이하였다. 그러나 그림 4-8(a)에 나타난 바와 같이 실제 지근은 3개인데 반하여 2개의 지근이 존재하는 것으로 보고되었다. 이는 개발된 알고리즘에서는 오른쪽 2개의 서로 중첩되어 있는 지근을 하나로 간주하였기 때문에 발생하는 오차인 것으로 판단된다.

2. 표면결합 영역의 분할

인삼 외부 표면의 결합유무는 인삼의 등급 판정에 큰 영향을 미치는 물리적 특징이다. 1차년도 연구에서 색도계(colorimeter)를 이용하여 인삼 표면의 색상을 측정된 결과 정상적인 영역과 결합영역은 서로 다른 칼라 특성을 지니고 있는 것으로 보고되었다. 따라서 그림 4-9에 나타난 바와 같이 H (Hue), S (Saturation), I (Intensity) 등 칼라값이 특정범위

안에 속하는 영역을 각각 인삼영상으로부터 분할하여 논리곱 (Logical AND)을 수행함으로써 결합영역을 분할하였다. 그림 4-10은 1등급 인삼의

영상을, 그림 4-12는 등외급 인삼의 영상을 각각 보여주고 있다. 정상부위와 다른 칼라특성을 지니고 있는 결함영역을 분할하기 위하여 다중문턱값처리(multiband thresholding)를 수행한 결과를 그림 4-11과 그림 4-13에 나타내었다. 그림 4-11과 그림 4-13에서 결함부위를 검은색으로 표현하였는데, 등외급 인삼영상에는 1등급에 비하여 결함영역이 더 많이 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 따라서 전체영역중 결함영역이 차지하는 비율을 계산하여 인삼의 등급판정에 활용할 수 있을 것이다.

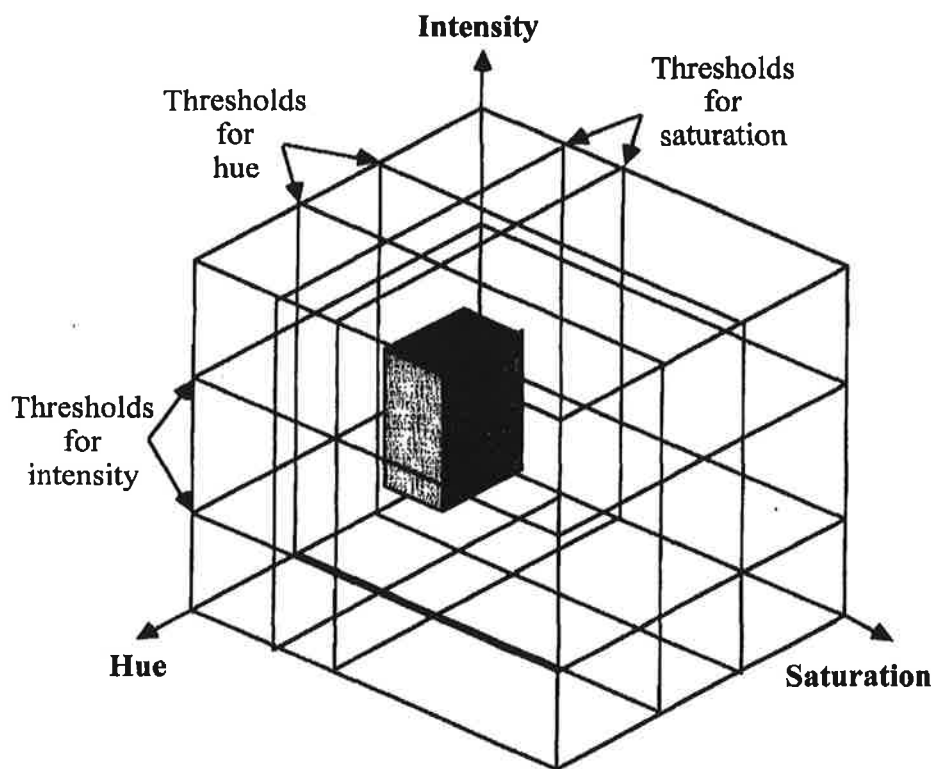


그림 4-9. 다중분할 문턱값 처리

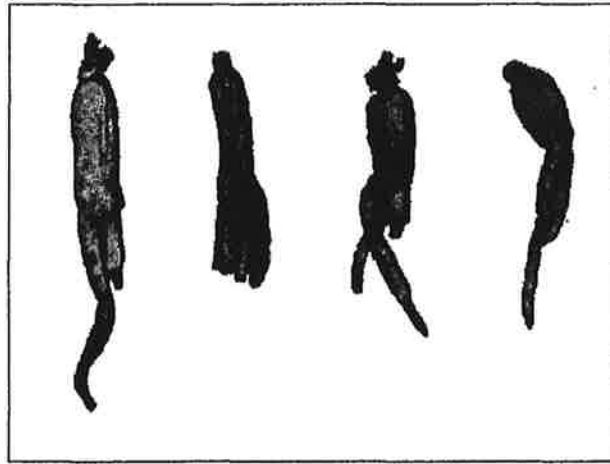


그림 4-10. 1 등급 인삼의 입력영상

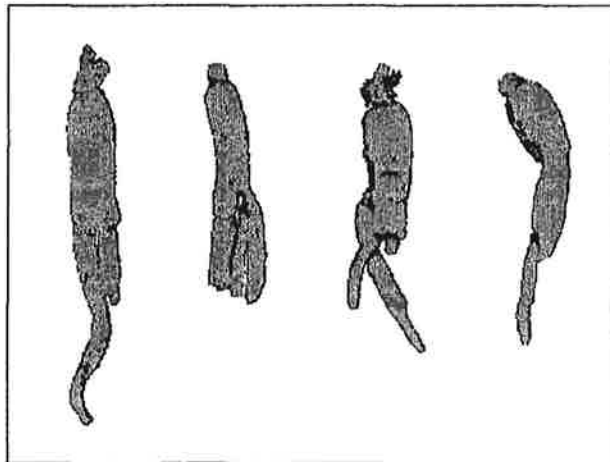


그림 4-11. 1 등급 인삼영상의 결점영역 분할

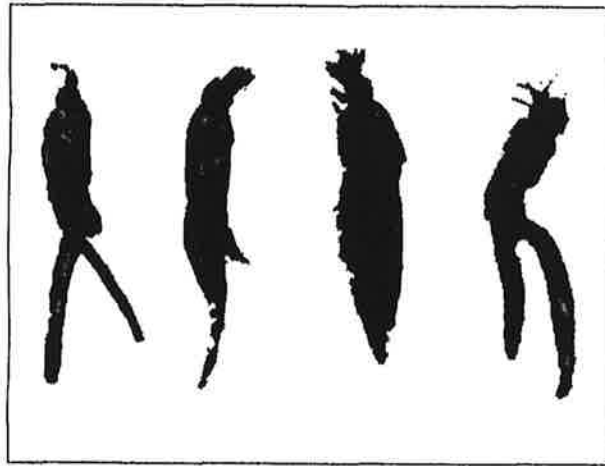


그림 4-12. 등외급 인삼의 입력 영상

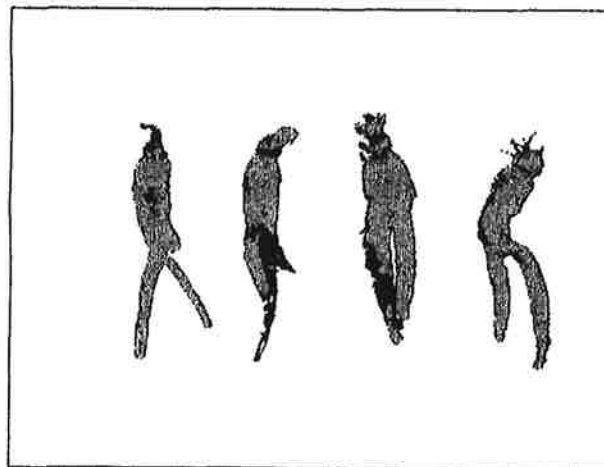


그림 4-13. 등외급 인삼의 결점영역 분할

3. 수학적 특징의 추출

물리적인 특징은 인간의 감각기관이 수행하는 인식과정에서 유용하게 사용되는 특징들이라는 장점이 있는 반면에 특징추출 알고리즘을 실시간으로 구현하기가 어려운 단점이 있다. 반면에 인간이 기계의 도움 없이 인식하기 어려운 수학적 특징을 추출하기 위한 알고리즘은 용이하게 실시간으로 구현할 수 있다. 본 연구에서는 인삼의 등급판정에 영향을 미칠 것으로 예상되는 다음과 같은 수학적 특징들을 추출하였다.

가. 농도값 히스토그램의 모멘트(Moments of gray-level histogram)

인삼의 등급판정에 영향을 미치는 중요한 성질중의 하나가 인삼 표면의 조직감(texture)이다. 즉 표면의 색상이 얼마나 균일한가, 또는 균열, 부패, 갈변 등과 같은 표면결함으로 인한 화소값의 변화는 어느 정도인가를 농도값 히스토그램의 모멘트를 계산하여 판별할 수 있다. 만약 각 화소값 z_i 에 대응하는 히스토그램의 백분율을 $p(z_i)$, ($i=1, 2, \dots, L$)라 하면 히스토그램의 평균에 대한 n 차 모멘트는 식 (4-2)과 같이 구할 수 있다.

$$\mu_n(z) = \sum_{i=1}^L (z_i - m)^n p(z_i) \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

여기에서 $m = \sum_{i=1}^L z_i p(z_i)$ 로 평균 농도값을 나타낸다.

분산이라 불리는 2차 모멘트는 $\sigma^2(z)$ 로 표기되며, 농도값의 균일성에 대한 척도가 된다. 분산을 이용하여 계산하는 $R = 1 - \frac{1}{1 + \sigma^2(z)}$ 은 농도값이 완전히 균일할 때에는 0이 되며, 분산이 매우 큰 경우에는 1이 되기

때문에 균일성의 척도로 널리 활용된다.

히스토그램의 편향율(skewness)이라 불리는 3차모멘트는 히스토그램의 분포형상을 표현해 주는 값으로서, 대칭인 경우에는 0, 평균보다 낮은쪽으로 치우치면 음의 값, 높은쪽으로 치우치면 양의 값을 나타낸다.

나. 화소배치의 기하학적 모멘트

인상영역에 해당하는 화소들의 (x, y)좌표값으로부터 계산되는 식 (4-3)에 의하여 계산되는 모멘트는 인상의 기하학적 형상에 관한 정보를 제공하게 된다.

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y) \dots\dots\dots (4-3)$$

$$\text{일반적으로 } f(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if inside object} \\ 0, & \text{if outside object} \end{cases}$$

식 (4-3)을 이용하여 인상의 도심의 좌표는 $\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}$, $\bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$ 과 같이 구해지며 도심에 관한 모멘트는 식 (4-4)로부터 구할수 있다.

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \dots\dots\dots (4-4)$$

도심에 관한 모멘트 μ_{pq} 는 식 (4-5)와 같이 정규화할 수 있다.

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^\gamma}, \quad \text{여기에서 } \gamma = \frac{p+q}{2} + 1 \dots\dots\dots (4-5)$$

정규화된 모멘트를 이용하여 대상체의 이동, 회전, 크기 변화 등에

영향을 받지않는 모멘트값인 $\phi = n_{20} + n_{02}$ 를 계산할 수 있다.

다. 기타 수학적인 특징

위에 열거한 각종 모멘트 값 이외에도 인삼 영역의 전체 화소수, 인삼영역을 Run-length encoding 했을 경우의 세그먼트 수 등도 용이하게 추출할 수 있는 특징들이다. 인삼영역에 해당하는 화소수로부터 인삼의 크기를 예측할 수 있으며, Run 세그먼트 수로부터는 지근의 수를 예측할 수도 있



그림 4-14. 인삼영상의 영역분할

표 4-5. 인삼영상의 영역별 수학적 특징

Grade		1st	2nd	3rd
Features		Grade	Grade	Grade
1/5	Mean gray	105.72	94.74	101.05
	Std. gray	36.32	31.27	36.32
	Skewness	-0.13	-0.07	-0.03
	Area ratio	0.19	0.19	0.18
	No. of segments	1.04	1.04	1.09
2/5	Mean gray	125.32	105.36	115.74
	Std. gray	34.02	28.68	34.30
	Skewness	-0.82	-0.55	-0.44
	Area ratio	0.26	0.26	0.27
	No. of segments	1.01	1.05	1.06
3/5	Mean gray	117.61	100.43	107.82
	Std. gray	34.78	29.16	34.08
	Skewness	-0.54	-0.35	-0.33
	Area ratio	0.23	0.24	0.25
	No. of segments	1.07	1.10	1.23
4/5	Mean gray	115.47	99.20	108.58
	Std. gray	35.13	30.08	35.18
	Skewness	-0.56	-0.31	-0.37
	Area ratio	0.19	0.18	0.19
	No. of segments	1.17	1.15	1.34
5/5	Mean gray	108.06	95.65	99.65
	Std. gray	36.50	30.72	34.45
	Skewness	-0.36	-0.31	-0.24
	Area ratio	0.13	0.12	0.11
	No. of segments	1.00	0.99	1.00

다. 인삼이 일정한 방향(직립 상태)을 유지한 채로 시료대에 공급된다는 것을 가정하였을 때, 영상의 상단은 인삼의 뇌두부에 그리고 하단은 지근부에 해당할 것이다.

또한 인삼의 각 부위가 등급판정에 미치는 영향이 독특하기 때문에 먼저 그림 4-14와 같이 인삼을 상하로 5등분한 후에 각 부분별로 수학적 특징을 구하였다. 그림 4-14에 나타난 바와 같이 정상적인 인삼의 경우 상단 1/5은 뇌두에, 중간 2/5는 주근에, 그리고 하단 2/5는 지근에 해당하게 된다. 표 4-5에는 5등분된 각 영역에서 추출한 수학적 특징들의 값들을 등급별로 나타내었다.

제 7 절 무작위 인삼을 대상으로 한 품질평가시스템의 알고리즘 성능 평가

등급판정에 적합하다고 판단되는 여러 가지 특징들을 추출하여 형성한 특징벡터에 근거하여 등급을 판정하는 방법으로서 두가지 방법이 널리 활용되고 있다. 첫째는 논리적인 추론을 바탕으로하는 판정방법이고, 둘째는 인공신경망의 감독·학습(supervised learning)을 통하여 특징패턴을 분류하는 방법이다.

1. 논리규칙에 의한(Rule-based) 판정

논리규칙에 의한 등급판정방법은 그림 4-15에 나타난 바와 같이 등급판정에 전문적인 지식을 갖춘 사람에 의하여 설정된 판정규칙들을 데이터베이스화하여 저장한 후, 입력되는 특징벡터에 If-then-else 형태의 논리규칙을 연속적으로 적용하여 등급을 추천하게 된다.

이 방법은 특징벡터가 인간의 인식과정에 유용하게 활용될 수 있는

물리적인 특징들의 집합으로 구성되어 있는 경우와, 특징벡터의 차원이 낮은 경우, 즉 등급판정에 관련된 특징들의 수가 적은 경우에 보다 적합하다.

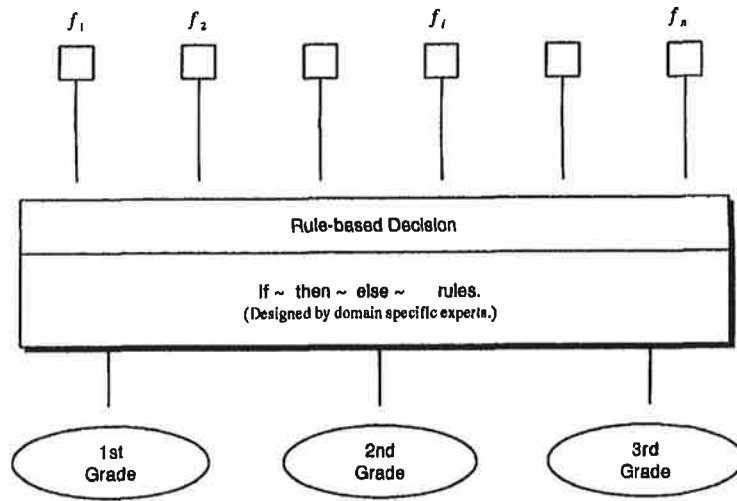


그림 4-15. 논리규칙을 이용한 등급판정 과정

2. 신경망(neural network)에 의한 판정

특징벡터의 차원이 높은 경우나 인간이 쉽게 인식하지 못하는 수학적 특징들이 포함되어 있는 경우에는 논리적인 규칙을 설정하기가 매우 어렵거나 불가능하게 된다. 이러한 문제점들의 제약을 거의 받지 않는 등급판정방법으로 최근들어 인공신경망의 활용이 크게 증가하고 있다. 신경망을 이용한 등급판정에는 전문가적인 사전지식 (a priori knowledge)이나 내

부시스템의 동작에 대한 상세한 지식이 거의 필요없다. 신경망의 내부구조는 표본패턴의 학습을 통하여 얻은 지식과 경험을 몇 개의 층(layer)으로 이루어진 네트워크의 연결강도 형태로 축적할 수 있도록 되어 있어, 학습 후에 주어지는 유사한 패턴의 등급을 스스로 판정할 수 있는 시스템이다.

그림 4-16은 기본적인 인공신경망의 감독, 학습과정을, 그림 4-17은 인공신경망에 의한 등급판정을 각각 나타내고 있다. 학습과정의 기본원리는 인공신경망에 의하여 계산된 출력값과 교사에 의하여 제시된 기대값을 비교하여 오차를 계산하고, 최소자승오차를 얻을 수 있는 방향으로

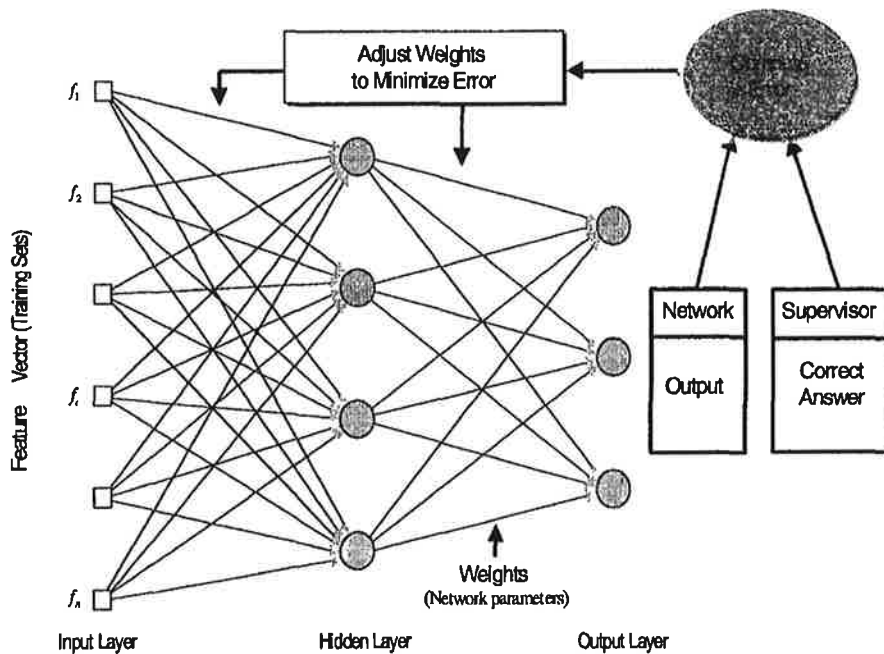


그림 4-16. 신경망의 학습 단계

네트워크 연결강도 (weights)를 조절해 가는 역전파 알고리즘이다.

그러나 일반적인 역전파 알고리즘은 전역최소값 (global minimum)에 도달하기 전에 지역최소값 (local minimum)에 갇히는 문제점이 있다. 본 연구에 사용된 신경망 모델에서는 단시간 내에 최소값에 도달하도록 Conjugate Gradient 알고리즘이 사용되었으며, 지역최소 문제를 극복하기 위하여 시뮬레이티드 어닐링 (simulated annealing)방법이 사용되었다. 특히 Conjugate Gradient 알고리즘을 사용하게 되면 학습율 (learning rate)을 스스로 결정하기 때문에 초기에 시행착오를 통하여 적절한 학습율을 설정해야되는 번거로움을 피할 수 있다. 또한 신경세포의 활성화함수로서는 하이퍼볼릭 탄젠트 (hyperbolic tangent)함수를 사용하였으며, 은닉층의 수와 신경세포의 수를 여러 가지 조합으로 구성하여 성능

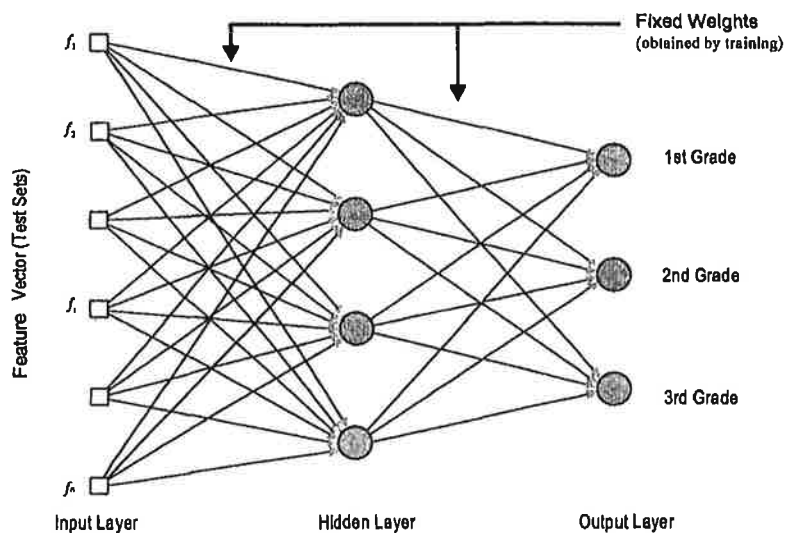


그림 4-17. 신경망에 의한 등급판정 단계

을 비교하였다. 신경망의 학습을 통하여 얻은 경험은 적절하게 설정된 연결강도 값으로 저장되어 그림 4-17에서와 같이 등급판정에 활용되게 된다.

표 4-5에 제시된 인삼의 수학적 특징값들을 살펴보면, 모든 영역에서의 평균농도값은 1등급, 등외급, 2등급 순으로 작아지며, 히스토그램의 편향율 (skewness)은 2등급, 등외급에 비하여 1등급이 가장 작고, 등외급의 세그먼트의 수가 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나 표 4-5로부터 등급판정에 활용하기 위한 논리적 규칙을 설정하는 것은 거의 불가능에 가깝다. 따라서 논리규칙에 의한 등급판정을 위해서는 기하학적인 특징이나, 결합영역의 면적비율 등과 같은 물리적 특징들에 근거한 판정 규칙을 설정하는 것이 바람직할 것이다.

1차년도 연구결과에 의하면 다리의 수, 결합의 크기 등을 이용하여 등급판정을 수행한 결과 약65%수준의 정확도를 나타내었으며, 특히 1등급으로 평가된 시료에서의 정확도는 40%수준이었다. 물론 주근의 길이와 굵기, 지근의 길이와 굵기 등과 같은 기하학적 특징에 관한 정보를 추가할 경우 정확도는 개선이 가능하겠지만, 이러한 기하학적인 특징을 추출하기 위해서는 영상처리에 상당한 시간이 소요되기 때문에 실시간으로 등급판정을 수행해야 하는 실용화시스템에의 적용이 어려워진다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 본 연구에서는 신속한 추출이 가능한 수학적 특징들을 근거로하여 신경망에 의하여 등급을 판정하는 방법을 검토하였다. 등급판정을 위하여 신경망에 입력되는 특징 벡터는 표 4-5에 열거한 25가지 특징에 자동저울에 의하여 측정된 인삼의 중량을 추가하여 구성된다. 즉 신경망의 입력세포의 수는 26개가 되며 출력세포의 수는 등

표 4-6. 인공신경망을 이용한 등급판정의 성공률

(%)

		Number of neuron in the second hidden layer				
		0	1	2	3	4
Number of neuron in the first hidden layer	1	57.5 (63.3)	54.2 (62.9)	55.0 (73.8)	55.0 (72.1)	49.2 (65.8)
	2	70.8 (87.1)	70.8 (77.9)	72.5 (85.4)	68.3 (86.3)	70.0 (87.1)
	3	73.3 (91.7)	69.2 (83.3)	70.0 (89.6)	70.8 (89.2)	64.2 (92.9)
	4	74.2 (91.3)	65.0 (81.7)	69.2 (89.6)	70.0 (92.9)	73.3 (89.6)
	5	74.2 (95.0)	65.8 (80.4)	70.8 (88.8)	69.2 (94.2)	69.2 (94.2)

주: 괄호 안은 학습용 자료를 이용한 결과임.

급수인 3개가 된다. 입력층과 출력층 사이의 은닉층의 수를 1개 또는 2개로 변화시키고, 은닉층에 포함되는 신경세포의 수를 변화시키면서 등급판정 성공률을 조사하였다.

각 등급별 120개씩 총 360개의 인삼영상 중에서 240개를 학습용 패턴으로 120를 검증용 패턴으로 활용하여 얻은 결과를 표 4-6에 나타내었다. 표 4-6에 표시된 수치는 120개의 검증용 패턴을 대상으로 한 등급판정의 성공률을 나타내며, 괄호안의 수는 학습용 패턴을 대상으로 했을 경우의 성공률은 나타낸다. 표 4-6에 나타난 바와 같이 첫 번째 은닉층 또는 두 번째 은닉층에 포함된 신경세포의 수가 1개인 경우에는 성공률이 높지 않으며, 두 번째 은닉층에 포함되는 신경세포의 수는 훈련용 패턴을 기억하는 데에는 도움을 주지만, 검증용 패턴의 성공률을 크게 증가시키지 않는 것으로 판단되었다. 따라서 오직 하나의 은닉층을 갖는 신경망에 의해서

도 인삼의 등급판정이 충분할 것으로 사료된다.

또한 등급판정의 성공률은 첫 번째 은닉층에 포함되는 신경세포의 수가 증가함에 따라서 높아져서, 신경세포의 수가 5개인 경우 성공률은 74%였으며, 신경세포의 수를 8개로 늘릴 경우 성공률은 77%까지 증가하는 것으로 관측되었다. 그러나 신경세포의 수를 증가시킴에 따라 학습에 소요되는 시간이 매우 길어질 뿐만 아니라, 충분한 학습을 위해서는 많은 수의 표준 시료를 필요로 하기 때문에 실용적인 측면에서 문제가 있을 것으로 판단된다. 따라서 인삼의 등급판정을 위해서는 신경세포의 수가 4~5개인 하나의 은닉층을 포함하는 신경망을 활용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

제 8 절 연속적으로 공급되는 인삼의 실시간 품질 평가 시스템의 알고리즘 완성

실시간 인삼 품질판정 알고리즘을 완성하기 위하여 실제와 꼭 같은 개념의 실시간 품질판정 시스템을 제작하고 이에 적합하게 프로그램을 수정하고 동시에 정확도를 향상시키기 위하여 알고리즘을 일부 변화시켰다. 품질 판정인자로 인삼의 중량을 이용하는 대신에 인삼의 투영면적을 이용하였다. 품질판정 속도도 초당 1개 이상이 가능한 것으로 분석되었다.

제 9 절 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템 개발

그림 4-18과 그림 4-19은 실시간 인삼의 품질판정을 위하여 실제와 동일한 개념으로 본 연구에서 제작한 장치이다. 인삼의 품질을 외형적인 측면만 고려하여 실시간으로 자동 평가하기 위하여 새로운 장치가 설계, 제

작되었다. 이 연구에 사용된 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템은 그림 4-20에 나타낸 것과 같이 크게 시료를 이송하는 컨베이어 장치와 움직이는 시료로부터 영상을 획득, 분석하는 기계시각 장치로 구성된 하드웨어와 이를 구동하는 소프트웨어로 구성되어 있다.

이 시스템의 작동은 컨베이어 위에 일정한 간격으로 (약 25cm) 놓여진 인삼이 이동을 하고 컬러 CCD 카메라 아래에 위치한 물체 검출 센서가 인삼의 존재를 감지한다. 이때 컴퓨터는 대상 인삼의 동영상(시료가 이동 중에 획득한 영상)을 컬러 CCD 카메라를 이용하여 획득한다. 획득되어진 영상은 개발된 소프트웨어 의해 분석이 되고 이로부터 인삼의 등급이

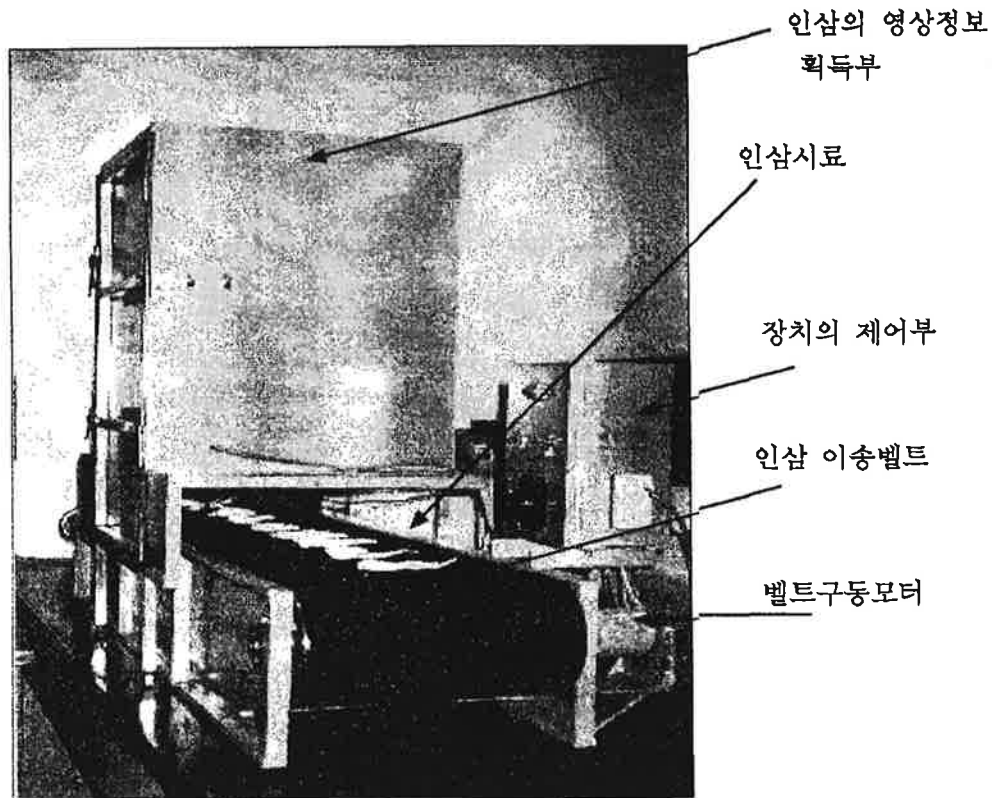


그림 4-18. 인삼의 실시간 품질평가 시스템의 외관도

결정된다. 이 모든 과정이 실시간적으로 자동으로 수행이 된다.

1. 하드웨어 개발

컨베이어 장치는 변속기가 붙어 있는 DC 모터(Wonill Industrial, Korea)에 의해 구동이 되며 0~50 cm/sec의 속도로 움직이도록 설계되었다. 이번 실험에서는 초당 25cm의 속도로 움직이도록 설정하였다. 컨베이어 벨트의 길이는 130cm, 폭은 33cm로 정하였다. 컨베이어 벨트는 영상 획득 시 빛의 반사를 최소화하기 위해 검은색 천으로 만들었으며 컨베이어의 이송 방향은 전진, 후진이 가능하도록 하였다.

기계시각 장치는 크게 조명장치, 영상처리장치, 시료검출장치, 컴퓨터 등으로 구성되어 있다 (그림 4-20 참조). 기계시각 장치는 다음과 같이 구성되어 있다.

- ① 조명장치는 조명상자와 조명으로 이루어져 있으며 조명상자는 외부로부터의 빛을 차단하고 균일한 광을 제공하기 위한 가로 40cm, 세로 40cm, 높이 80cm의 상자이며 이 내부에 있는 조명은 색상 왜곡이 최소화된 인삼의 영상을 획득하기 위하여, 시료로부터 약 70cm 위에 50Watt 형광램프 8개를 설치하였다.
- ② 시료 검출장치는 인삼의 존재 유무를 검출하기 위해 적외선센서를 사용하였으며 이 센서와 컴퓨터간의 인터페이스를 제공하기 위해 입출력카드를 사용하였다 (그림 4-21 참조).
- ③ 영상처리장치는 영상의 입력을 위한 센서로서 해상도가 768(수평)x494(수직) 화소(Pixel)인 CCD 컬러 카메라(VK-C370, Hitachi, Japan)를 사용하였으며, CCD 카메라에는 대역통과필터를 교대로 장착시킬 수 있도록 하였다. 영상처리장치(Meteor/RGB, Matrox, Canada)는 입력된 컬러 영상을 흑백 영상으로 변환하고 등급 판정에 필요한

특징들을 추출한다. 입력된 영상은 컴퓨터 모니터에 실시간으로 재현된다. (그림 4-20과 그림 4-21 참조).

- ④ 주 컴퓨터로는 120MHz 펜티엄 프로세서를 장착한 데스크톱 PC를 이용하였다. 윈도우즈 95 (Windows 95)를 컴퓨터의 운영체제로 사용하였으며 모든 소프트웨어는 이 운영체제 하에서 구동되도록 하였다.

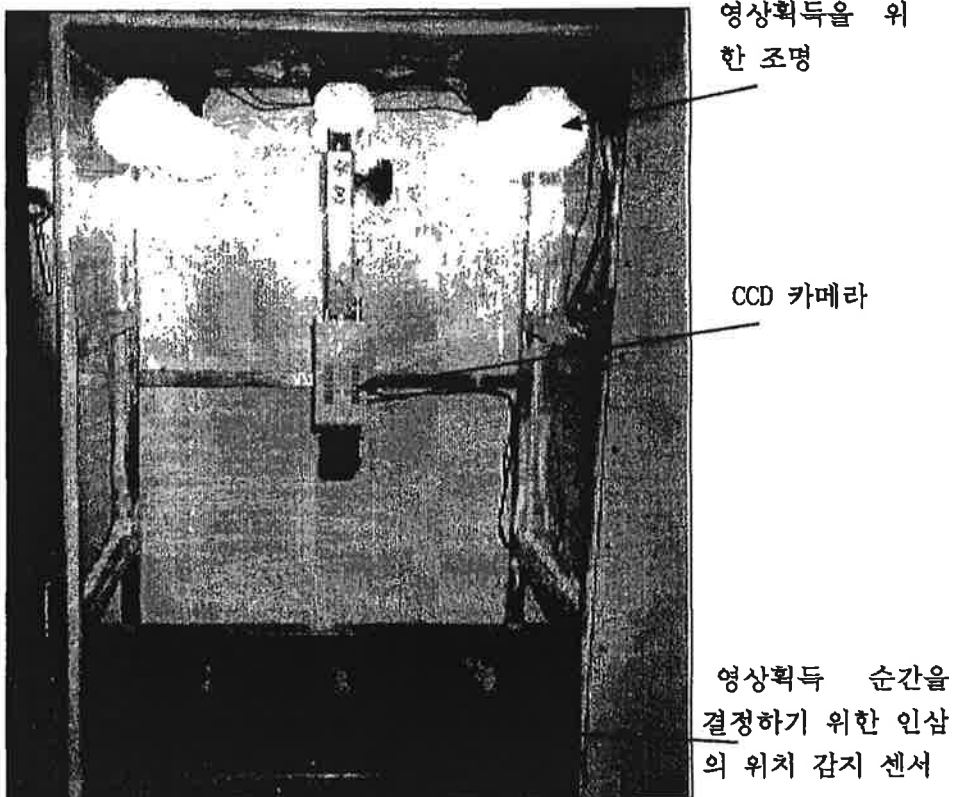


그림 4-19. 인삼의 실시간 품질평가 시스템의 영상정보 획득부

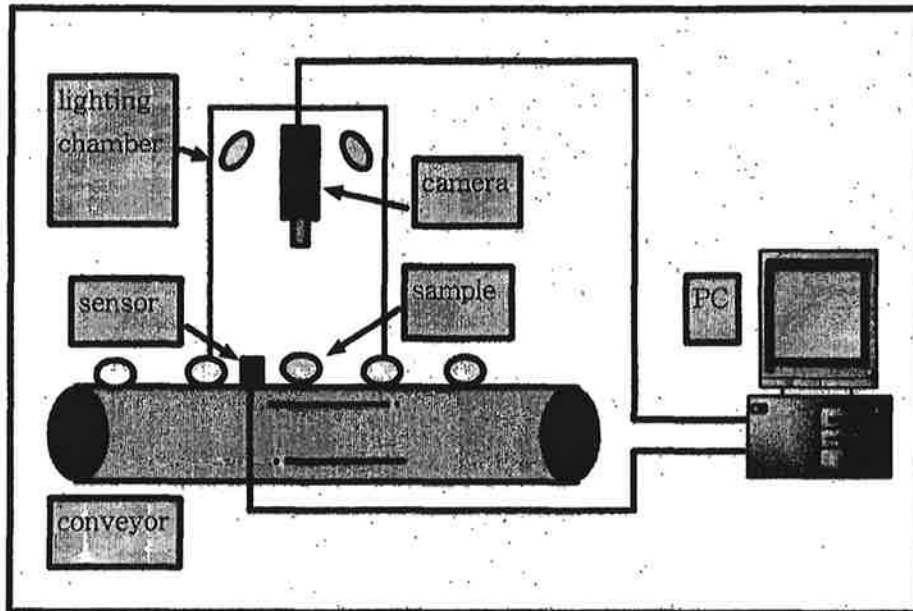


그림 4-20. 실시간 인삼품질 자동평가 시스템

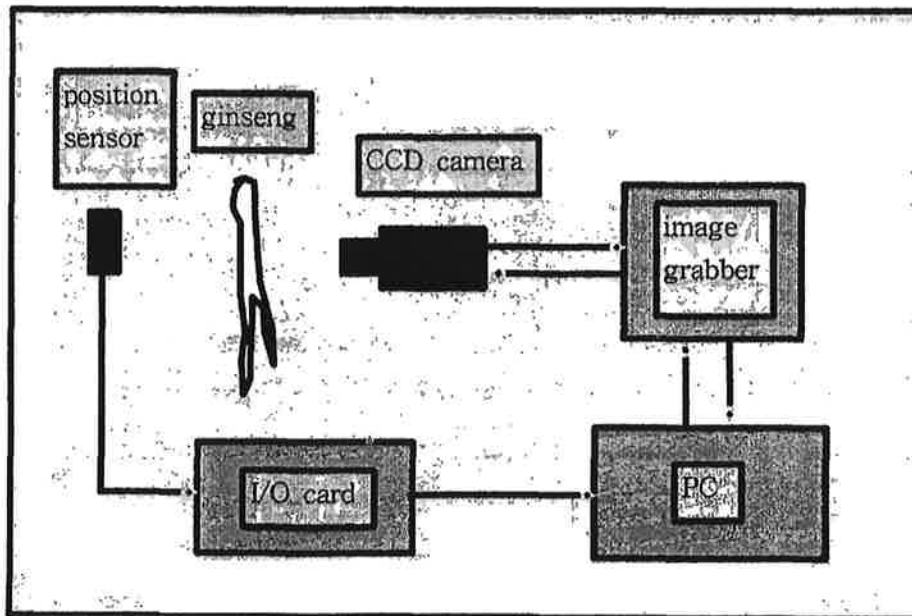


그림 4-21. 컨트롤 신호의 흐름도

2. 소프트웨어 개발

가. 연속적으로 공급되는 인삼의 실시간 품질평가시스템의 알고리즘 완성

실시간 품질판정 알고리즘을 완성하기 위하여 실제와 꼭 같은 개념의 실시간 품질판정 시스템을 제작하고 이에 적합하게 프로그램을 전환함과 동시에 정확도를 향상시키기 위하여 알고리즘을 일부 변화시켰다. 품질 판정인자로 인삼의 중량을 이용하는 대신에 인삼의 부영면적을 이용하였다. 품질판정 속도도 초당 1개 이상이 가능한 것으로 분석되었다.

나. 자동 등급 판정 프로그램의 개발

영상입력 및 영상처리 프로그램은 윈도우즈 95(Windows 95)하에서 실행되도록 C++ 언어를 사용하여 개발하였으며 인삼등급 판정은 인공신경망회로를 이용하여 수행하였다.

등급 판정 프로그램은 Microsoft Visual C++ compiler (version 5.0)와 Matrox Imaging Library (version 4.0)가 활용되었다. 그림 4-22는 인삼 등급 판정 프로그램의 실행예를 보여준다. 이 프로그램 실행시 입력 영상을 창의 왼쪽 부분에 표시하고 오른쪽 부분에는 분석 결과를 표시하게 하였다. 분석 결과를 표시하는 부분에는 첫 번째 칸에 인공신경망회로에 의해 결정된 인삼의 등급을 표시하고, 두 번째 칸에는 인삼의 길이, 세 번째 칸에는 입력 영상으로부터 추정된 인삼의 무게를 표시하고, 네 번째, 다섯 번째, 여섯 번째 칸에는 1, 2, 3등급(또는등외급)의 누적 개수를 표시하고 일곱 번째 칸에는 처리되어진 총 인삼 개수를 표시하여 각 등급의 상대적 비율을 알 수 있게 하였다.

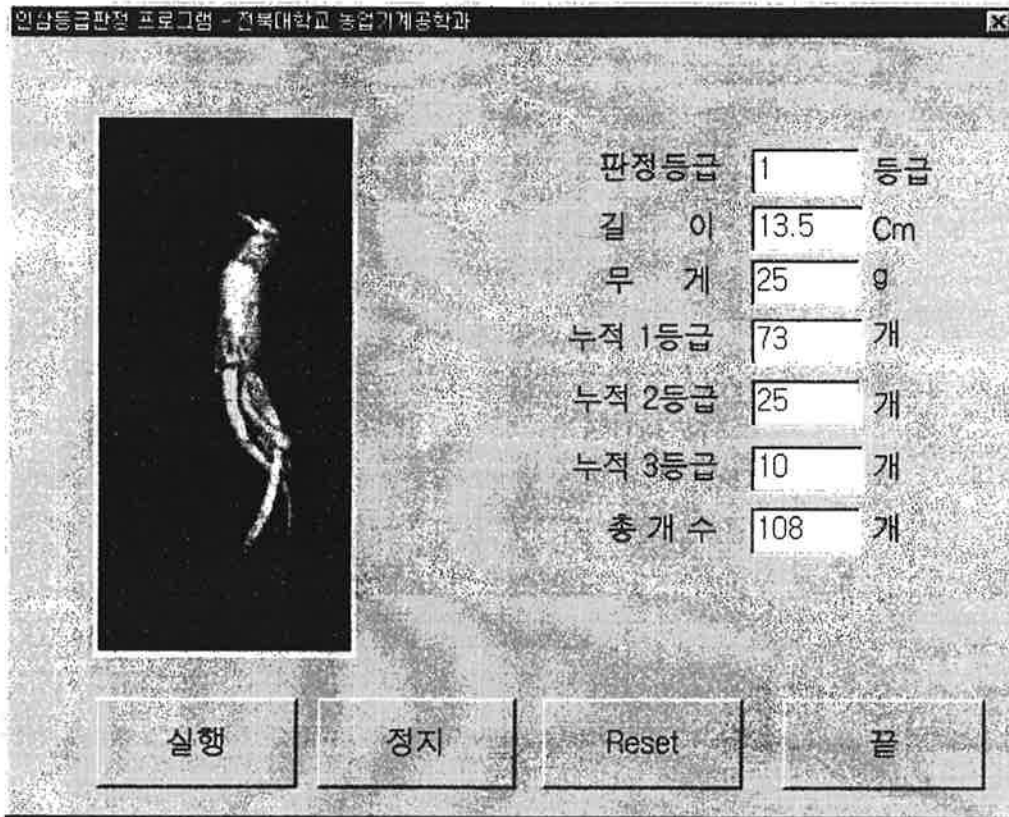


그림 4-22. 인삼 등급 판정 소프트웨어의 실행에

제 10절 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템의 성능 평가

1. 인삼 선별 전문가와 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템의 판정 일치률

인삼 선별 전문가(전문가 그룹 A)에 의해 분류된 300편의 인삼(1 등급: 100편, 2 등급: 100편, 등외(3등급): 100편)을 이용하여 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템의 성능을 검사하였다. 전문가 그룹 A는 2명의 인삼 선별 전문가로 구성되어 있다. 각 등급별 30편, 총 90편의 시료를 입

의로 선택하여 인공신경망회로를 학습시키고 나머지 210편(각 등급별 70 편씩)을 검정용으로 이용하였다.

영상 분석시 시료의 정영상(시료가 움직이지 않을 때 얻은 영상)을 이용하지 않고 실시간 품질평가 시스템은 동영상(시료가 움직이고 있을 때 얻은 영상)을 이용하기 때문에 영상의 히스토그램에 변형이 올 수 있어 히스토그램의 편향률(skewness) 정보의 숫자를 변화시키며 실험을 해보았다. 첫째 편향률 정보를 이용하지 않고 3회 반복하여 시험하였으며, 둘째 인삼 전체 영상으로부터 1개의 편향률 정보를 얻어 3회 반복하여 실험하였고, 마지막으로 인삼의 5개 소영역으로부터 5개의 편향률 정보를 얻어 반복하여 3회 실험하였다.

표 4-7은 인삼 선별 전문가(전문가 그룹 A)에 의해 분류된 인삼 시료에 대한 실시간 등급판정 시스템의 판정 결과의 일치률을 나타내며, 괄호 안의 수는 학습용 패턴을 대상으로 했을 경우의 일치률은 나타낸다. 표 4-7에 나타낸 바와 같이 학습용 시료를 이용했을 때는 한 개의 편향률 정보를 이용하였을 때 가장 좋은 결과가 나왔고 편향률 정보를 이용하지 않았을 때 가장 나쁜 결과가 나왔으나 그 차이는 그리 크지 않았다. 검정용 시료를 이용했을 때는 다섯 개의 편향률 정보를 이용하였을 때 가장 좋은 결과가 나왔고 한 개의 편향률 정보를 이용하였을 때 가장 나쁜 결과가 나왔으나 학습용 시료를 이용했을 때와 같이 그 차이는 그리 크지 않았다. 학습용 시료가 검정용 시료보다 일치률이 높았다. 실험 결과 빠른 자료 처리 시간을 요하는 실시간 시스템에서는 편향률 정보를 이용하지 않는 것이 더 적합한 것 같다.

표 4-7. 실시간 품질 판정 시스템을 이용한 등급판정의 일치률 (%)

	No skewness data			1 skewness data			5 skewness data		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
반복									
일치률	76.1 (87.8)	73.0 (84.4)	73.8 (83.3)	70.5 (88.9)	69.1 (86.7)	73.3 (85.6)	75.0 (86.7)	72.8 (80.0)	76.7 (90.0)
평균 일치률	74.2 (85.2)			71.0 (87.1)			74.8 (85.6)		

주: 괄호 안은 학습용 시료를 이용한 결과임.

2. 두 인삼 선별 전문가 그룹간의 판정 일치률

인삼 선별 전문가 그룹간의 판정 일치률을 알아 보기 위하여 비교 실험을 하였다. 표 4-8은 두 인삼 선별 전문가 그룹(전문가 그룹 A와 전문가 그룹 B)간의 판정 일치률과 불일치률을 나타내었다. 전문가 그룹 B는 2명의 인삼 선별 전문가와 10년 이상의 인삼 선별 경력을 가진 4명의 숙달된 검사자로 이루어져 있으며 전문가 그룹 A와 B의 전문가들은 서로 일치하지 않는다.

표 4-8에 의하면 총 90개의 학습용 시료에 대해서는 74.4%의 일치률을 보였으며 나머지 210개의 검정용 시료에 대해서는 69.1%의 일치률을 보여 학습용 시료에 대하여 일치률이 높음을 알 수 있었다. 1 등급 검정용 시료 선별시 일치률이 가장 높았으며 2 등급 검정용 시료 선별시 불일치률이 가장 높았다. 이 결과로부터 전문가 그룹 B는 2 등급 시료 판별시 1 등급으로 상향 평가하는 경향이 높음을 알 수 있었다.

표 4-8. 인삼 등급 판별 전문가간의 판정 일치률과 불일치률 (%)

		전문가 그룹 B		
		1 등급	2 등급	등외
전문가 그룹 A	1 등급	80.0 (83.3)	20.0 (16.7)	0.0 (0.0)
	2 등급	42.9 (26.7)	50.0 (66.7)	7.1 (6.6)
	등외	0.0 (0.0)	22.9 (26.7)	77.1 (73.3)

주: 괄호 안은 학습용 시료를 이용한 결과임.

3. 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템의 성능

인삼의 외형은 매우 불규칙적이어서 이번 연구에서는 인삼 선별 전문가 간에도 약 30%의 판정 오차를 나타내었다. 이번 연구에서 개발된 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템은 초당 한 개의 인삼을 선별할 수 있으며 인삼 선별 전문가와의 판정 일치률도 74%로 인삼 선별 전문가간의 판정 오차를 70% 보다도 높아 초당 처리 속도를 증가시키면 실용적인 품질 자동 평가 시스템의 개발을 가능하게 하리라 사료된다.

제 11 절 결론

본 연구는 현재 인삼 검사장에서 실시되고 있는 증량측정 및 외관검사에 의한 선별방법을 대체할 실용적인 품질평가시스템의 핵심 기술인 등급 자동판정기술을 개발하기 위하여 수행되었다. 그 결과 입력영상으로부터 수학적인 특징들을 추출한 후, 인공신경회로망(artificial neural networks)을 이용하여 실시간으로 인삼 등급을 판정하는 방법을 개발하였다.

총 120개의 인삼으로부터 얻은 360개의 인삼 영상을 이용한 기초 실험에서는 인삼의 품질을 정량화 할 수 있는 방법을 찾아 영상처리 장치를 구성하여 실험한 결과를 분석하여 실시간 품질 판정 시스템을 구성할 수 있는 정보를 얻었다. 각 등급별 100개씩 총 300개의 인삼영상 중에서 90개를 이용하여 개발된 실시간 품질 판정 시스템을 학습시키고 210개를 활용하여 시스템을 검정한 결과, 등급판정 성공률은 약 74%정도였다. 학습에 사용된 시료의 제약에도 불구하고, 이는 실제 현장에서 등급판정을 담당하는 실무자들의 오차 (약 30%)를 감안할 때 매우 높은 성공률로서 등급 자동판정시스템의 실용화를 위하여 매우 고무적인 결과라 사료된다. 수행한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 관행의 인삼 검사기준을 검토하여 백삼의 품위 결정에 큰 영향을 미치면서 객관적 정량화가 가능한 인삼 몸통의 최대·최소 직경·길이, 다리의 수·길이·직경, 인삼의 섹택 그리고 외부 결함 등의 품질 인자들을 선택하였다.
2. 인삼의 광학적 특성에 알맞은 영상 처리 시스템을 구성하였고 조명의 영향을 최소화하기 위하여 인삼 영상에 농도변환의 전처리를 수행하였다.
3. 인삼의 뇌두, 몸통, 주근 및 지근의 크기와 기하학적 형상특징, 표면 결함 영역의 분할, 그리고 수학적 특징을 추출할 수 있는 영상처리 기법을 개발하였다.
4. 논리규칙에 의한 등급판정을 위해서는 기하학적인 특징이나, 결함영역의 면적비율 등과 같은 물리적 특징들에 근거한 판정규칙을 설정하는 것이 바람직함을 알았다.
5. 무작위 인삼을 대상으로 한 품질평가 시스템의 성능 평가에서는 25 가

지의 수학적 특징들과 인삼의 중량을 이용한 인공신경회로망을 이용하였다. 이 시스템의 판정 성공률은 약 74%로 나타났다.

6. 인삼의 중량대신 인삼영상의 투영면적을 이용한 연속적으로 공급되는 인삼의 실시간 품질평가 시스템의 알고리즘을 완성하였다.
7. 시료를 이송하는 컨베이어 장치와 움직이는 시료로부터 영상을 획득, 분석하는 기계시각 장치, 그리고 이를 구동하는 소프트웨어로 구성된 실시간 인삼 품질 평가 시스템을 개발하였다.
8. 개발된 실시간 인삼 품질 평가 시스템은 초당 한 개의 인삼을 처리할 수 있었으며 인삼 선별 전문가와의 판정 일치률은 약 74%로 시스템의 성능은 고무적이다.
9. 이 연구에서 두 인삼 선별 전문가 그룹간의 판정 일치률은 약 70%로 인삼 선별 전문가간에도 오차가 많음을 알 수 있었다.
10. 이번 연구에서 개발된 실시간 인삼 품질 자동 평가 시스템은 인삼 선별 전문가와의 판정 일치율이 74%로 인삼 선별 전문가간의 판정 일치율 70% 보다도 높아 초당 처리 속도를 증가시키면 실용적인 품질 자동 평가 시스템의 개발을 가능하게 하리라 사료된다.

본 연구에서 개발한 실시간 영상처리 응용 인삼 품질판정 시스템은 객관적이고 일관성 있는 등급판정을 가능하게 해주며 인삼 선별의 자동화를 위해서는 필수적인 핵심기술을 포함하고 있다. 따라서 개발된 기술은 인삼제품 선별의 자동화를 통하여 노동력을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 인삼제품의 고품질화를 통하여 우리 인삼의 국제경쟁력을 강화하는데 기여할 수 있을 것이다. 아울러 현재 정부에서 추진하고 있는 한국 인삼제품의 코덱스규격화를 위한 기초자료로도 활용될 수 있으며 이러한 축적된 know-how는 기타의 농산물의 품질평가에도 활용될 수 있다. 앞으로 본 연

구에서 개발한 기술과 인삼의 내부 품질평가 기술을 접합시킨다면 더욱
완벽한 인삼품질평가 시스템이 될 것이다.

참고문헌

인삼의 최적건조 시스템 개발

1. 고성룡, 최강주, 김현경, 한강완. 1996. 고려인삼학회지. 20(10): 38-41.
2. 고지훈 외. 1994. 고려인삼. 한국인삼연초연구원. 천일인쇄사.
3. 고학균, 금동혁, 김만수, 노상하, 문성홍, 박경규, 장동일. 1990. 농산가공기계학. 향문사. 서울.
4. 고학균 외. 1994. 미곡종합처리시설. 문운당.
5. 김만옥, 고성룡, 최강주, 김석창. 1987. 고려인삼학회지. 11(1): 10.
6. 성현순, 김상달, 도재호. 1983. 백삼건조방법 개선 - 홍백삼건조방법 개선연구 보고서. 한국인삼연초연구소. 263-287.
7. 오훈일, 김상달, 도재호, 이송재, 노혜원. 1979. 백삼제조방법개선연구(백삼 및 피부백삼 제조방법 비교연구). 고려인삼연구소 인삼연구 보고서(제조분야). 75-94.
8. 이종철, 안대진, 변정수, 석영선, 유인현. 1985. 백삼건조방법 개선 연구. 한국인삼연초연구소 인삼연구보고서(재배분야). 573-587.
9. 이종철, 안대진, 변정수. 1986. 백삼건조 방법 개선 시험. 한국인삼연초연구원 보고서(재배분야). 626-638.
10. 이종호. 1989. 농산물저장 및 처리시설을 통한 지역주민 소득증대방안 -전주권 2단계 지역개발사업. 건설부보고서.
11. 전재근, 박훈, 서정식. 1985. 증자인삼의 건조특성과 건조에 수반하는 삼근의 수축. 한국농화학회지. 28(3): 167-173.
12. 최병민, 이종호, 박승제. 1992a. 인삼의 건조특성 구명 및 건조모델 개발에 관한 연구. 고려인삼학회지. 16(2): 111-123.

13. 최병민, 이종호, 박승제, 김철수, 이증용. 1992b. 인삼의 평형함수율에 관한 연구. 한국농업기계학회지. 18(2): 110-121.
14. 최병민. 1992. 인삼의 평형함수율 및 건조모델. 박사학위논문. 전북대학교학원.
15. 홍순근, 박은규, 이춘영, 김명운. 1979. 약학회지. 23(3&4): 245.
16. 中華人民共和國 統計資料
17. 李世昌, 唐熙春, 王春芝. _____. 人蔘栽培技術問答. 요령과학기술출판사. 195-201.
18. 姚宗凡, 黃英姿. 1997. 常用中藥種植技術. 金盾出版社. 49-61.
19. Anderson, J. A. and A. W. Alock. 1953. Storage of cereal grains and their products. Chap. 4: Drying cereal grains.
20. Ando, T., O. Tanaka, and S. Shibata. 1971. Shoyakugaku Zasshi 25: 28.
21. Andrieu, J. and A. Stamatopoulos. 1986. Moisture and heat transfer modeling during durum wheat pasta drying. In: Drying '86, Vol. 2, A. Mujumdar (ed.), Hemisphere, New York. 492-498.
22. Brooker, D. B. 1967. Mathematical model of the psychrometric chart. Trans. of ASAE, 10(4): 558-560, 563.
23. Brooker, D. B., F. W. Bakker-Arkema, and C. W. Hall. 1992. Drying and Storage of Grains and Oilseeds. Van Nostrand Reinhold, New York, N. Y.
24. Chirife, J. 1983. Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. ADVANCES IN DRYING: Volume. 2. McGraw-Hill International Book Company.

25. Crank, J. 1975. The Mathematics of Diffusion. Clarendon Press, Oxford, U. K.
26. Ezeike, G. O. I., and L. Otten. 1981. Theoretical analysis of the tempering phase of a cyclic drying process. Trans. of ASAE. 24(6): 1590-1594.
27. Fasina, O. O., R. T. Tyler, and M. D. Pickard. 1998. Modelling the infrared heating of agricultural crops. Drying Technology. 16(9&10): 2065-2082.
28. Geankoplis, C. 1983. Transport Processes and Unit Operations. Allyn and Bacon Inc., Newton, M. A.
29. Gustafson, R. J., A. Y. Mahmoud, and G. E. Hall. 1983. Breakage susceptibility reduction by short-term tempering of corn. Trans. of ASAE. 26(3): 918-922.
30. Haykin, S. 1994. Neural Networks - A Comprehensive Foundation. IEEE Press.
31. Henderson, S. M. and R. L. Perry. 1976. Agricultural process engineering. AVI publishing Company, Inc.
32. Hukill, W. V. 1947. Basic principles in drying corn and grains sorghum. Agric. Eng. 28:335-338, 340.
33. Jayas, D. S., S. Cenkowski, S. Pabis, and W. E. Muir. 1991. Review of thin-layer drying and wetting equations. Drying Technology. 9(3): 551-588.
34. Li, Y. and R. V. Morey. 1987. Thin-layer drying rates and quality of cultivated American ginseng. TRANSACTIONS of the

- ASAE. 30(3): 842-847.
35. Steffe, J. F. and R. P. Singh. 1980. Liquid diffusivity of rough rice components. Transactions of ASAE. 23(3): 767-774.
36. Ratti, C. and A. S. Mujumdar. 1995. Infrared drying. In: A. S. Mujumdar (ed.) Handbook of Industrial Drying. Marcel Dekker, Inc., New York, N. Y.
37. Sakai, N. and T. Hanzawa. 1994. Applications and advances in far-infrared heating in Japan. Trends in Food Science & Technology, 5(11): 357-362.
38. Sandu, C. 1986. Infrared ray drying in food engineering: a process analysis. Biotechnology Progress. 2(3): 109-119.
39. Singh, R. P. and D. R. Heldman. 1993. Introduction to Food Engineering. Academic Press Inc., New York, N. Y.
40. Sweat, V. E. 1986. Thermal properties of foods. In: M. A. Rao and S. S. H. Rizvi (ed.) Engineering Properties of Foods. Marcel Dekker, Inc., New York, N. Y.
41. Van Arsdell, W. B. and W. J. Copley. 1963. Food dehydration. Vol. 1. AVI Publishing Co., Westport, Conn.
42. Velupillai, L., and L. R. Verma. 1986. Drying and tempering effects on parboiled rice quality. Trans. of ASAE. 29(1): 312-319.
43. Waananan, K. W., J. B. Litchfield, and M. R. Okos. 1993. Classification of drying models for porous solids. Drying Technology. 11(1): 1-40.

인삼의 품질자동평가 시스템 개발

1. 노상하, 류관희, 김일용. 1990. 화상처리 시스템을 이용한 과실의 기하학적 특성 측정. 한국농업기계학회. 15(1): 23-32.
2. 노상하, 류관희, 김성민. 1991. 영상처리 장치를 이용한 사과색택 판정. 한국농업기계학회. 16(3): 272-280.
3. 노상하, 이종환, 이승훈. 1992. 흑백영상처리장치를 이용한 과실 선별기 개발에 관한 연구(I). 한국농업기계학회. 17(4): 303-311.
4. 노상하, 이종환, 이승훈. 1992. 흑백영상처리장치를 이용한 과실 선별기 개발에 관한 연구(II). 한국농업기계학회. 17(4): 321-327.
5. 이수희. 1994. 신경회로망을 이용한 과실 선별 알고리즘 개발에 관한 연구. 석사학위논문. 서울대학교대학원.
6. 조한근, 송현갑. 1994. 컴퓨터 시각에 의한 잎담배의 외형 및 색 특징 추출. 한국농업기계학회. 19(4): 380-396.
7. 황헌, 이충호. 1996. 건포고 자동선별을 위한 시작시스템 개발. 한국농업기계학회. 21(4): 414-421.
8. Chen, P. 1978. Use of Optical Properties of Food Materials in Quality Evaluation and Materials Sorting. J. of Food Process Engineering 2:307-322.
9. Haykin, S. 1994. Neural Networks - A Comprehensive Foundation. IEEE Press.
10. Ikeda, I. and T. Sawada. 1993. Evaluation of flower by neural network. ICAMPE '93. Vol. 5: 1282-1291.

11. Masters, T. 1993. Practical Neural Networks Recipes in C++. Academic Press, New York.
12. Masters, T. 1994. Signal and Image Processing with Neural Networks. John Wiley & Sons, INC.
13. Miller, B. K. and M. J. Delwiche. 1989. A Color Vision System for Peach Grading . Trans. of the ASAE. 32(4): 1484-1490.
14. Pandya, A. S. and R. B. Macy. 1996. Pattern Recognition with Neural Networks in C++. CRC Press.
15. Sarkar, N. and R. R. Wolfe. 1985. Feature Extraction Technique for Sorting Tomatoes by Computer Vision. Trans. of the ASAE. 28(3): 970-979.