

GOVP1199605057

제 1차년도
중간 보고서

**고추의 공동집하 및 자동화 처리 시설
개발에 관한 연구**

Development of washing, drying and packing facilities
of red pepper

연 구 기 관
상주산업대학교

농 립 수 산 부

제 출 문

농림수산부 장관 귀하

본 보고서를 “고추의 공동집하 및 자동화 처리 시설 개발에 관한 연구”과제의 1년차보고서로 제출합니다.

1995. 12. 9.

주관연구기관명 : 상주산업대학교

총괄연구책임자 : 김 재 열

연구 원 : 금 동 혁

“ : 한 충 수

“ : 박 준 희

“ : 강 우 원

“ : 이 대 원

“ : 최 창 현

“ : 김 의 응

“ : 윤 종 경

“ : 배 준 우

“ : 이 양 근

“ : 박 춘 우



요 약 문

I. 제 목

고추의 공동집하 및 자동화 처리시설 개발에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

고추의 생산량은 매년 증가하여 채소류 생산량의 약 4%를 점유하고 있을 뿐만 아니라 채소류 생산액의 약 30%를 차지하는 작목으로 농가 소득면에서 미곡 다음으로 중요한 위치를 차지하고 있다.

고추는 수확후 세척 및 건조 방법에 따라서 빛깔, 신미 등 품질이 크게 다르게 되며, 판매가격도 많은 차이가 난다. 비교적 품질이 높고 청결한 태양건고추가 약 30% 정도의 높은 판매가격을 유지하고 있는 실정이다. 그러나 현재 우리나라에서 수행되고 있는 고추수확후 관리방법은 세척공정의 비위생적 처리 및 미기계화, 건조공정에서의 과에너지 소비 및 노동투하시간 과대, 건고추의 품질저하 및 포장방법의 미숙 등 많은 문제점을 내포하고 있어 고품질 저비용의, 상품성 있는 건고추 관리체계가 극히 미흡한 실정이다.

따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 세척, 건조 및 포장공정을 기계화, 자동화하는 동시에 집단화하여 건고추 생산비용을 절감하고 상품성을 제고하여 고추재배농가의 소득을 증대시키는 시스템의 개발이 긴요한 실정이다.

본 연구의 궁극적인 목표는 고추의 세척, 건조 및 포장공정의 기계화, 자동화, 공동화 시스템을 개발하는 데 있으며 구체적인 연구목적은 다음과 같다.

1. 선택과 신미 등의 건고추의 품질에 영향을 미치는 건조요인 즉, 열풍 조건, 태양열 및 원적외선의 영향을 구명하고
2. 복합열(석유연소열, 태양열, 원적외선)을 이용한 복합열 태양초 자동건조기를 개발하고
3. 초음파를 이용한 초음파 자동고추세척기를 개발하여
4. 초음파 세척기, 복합열 태양초 자동건조기, 무게계량시설, 이송시설 및 포장시설로 이루어진 고추의 공동집하, 세척, 건조, 포장등을 일괄 처리하는 시스템을 개발하는데 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 설문조사

- 가. 고추생산의 현황
- 나. 건고추 생산의 문제점
- 다. 농약사용과 세척관계
- 라. 건조방법
- 마. 건고추의 품질 선호도

2. 건고추 품질요인 구명

- 가. 건조요인을 구명하기 위한 실험장치로 열풍 및 원적외선 발열장치, 무게자동계량장치, 습도조절장치가 구비된 건조실험장치의 개발
- 나. 석유가열 열풍의 온도 및 습도, 원적외선 가열 열풍의 온도 및 습도가 고추의 품질 즉, 선택, 맛의 변화에 미치는 영향을 구명
- 다. 고추의 품질을 유지하는 최적의 건조조건 구명

3. 복합열 태양초 자동건조기 개발

- 가. 복합열을 이용하며 고추가 건조중에 교반되는 건조과정을 해석할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램의 개발
- 나. 건조기의 설계조건을 결정하기 위한 최적화 프로그램의 개발
- 다. 고추의 투입 및배출, 건조온도 및 습도, 배기재순환율을 자동조절하는 복합열 자동건조장치의 시작기 설계 제작
- 라. 건조실험을 통하여 시작기의 문제점파악 및 개량
- 마. 현장 투입규모의 본건조기 설계 제작 및 성능평가

4. 초음파 자동세척기 개발

- 가. 초음파 세척실험장치 설계 제작, 세척요인 구명
- 나. 시작기 설계 제작 및 성능평가
- 다. 자동 투입 및 배출장치를 구비한 본세척기 설계 제작 및 성능평가

5. 공동집하, 세척, 건조, 포장시스템 개발

- 가. 반입, 이송, 계량, 포장시스템 설계
- 나. 파이롯 시설 설치, 성능평가
- 다. 시스템 경제성 평가.

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과(1차 연도)

- 가. 고추생산농가의 현장애로 및 건고추 생산의 문제점을 파악하기 위하여 설문조사 및 현장조사를 실시하여 많은 애로점을 발견하였다.
- 나. 건조요인을 구명하기 위한 실험에서 동일 건조조건에서 원적외선건조가 열풍건조에 비하여 색깔, 매운맛, 조지방 함량 등 품질이 우수

한 것으로 나타났다.

- 다. 동일 건조조건에서 원적외선 건조가 열풍건조에 비하여 건조속도가 1.5~2.0배 빠른 것으로 나타났다.
- 라. 복합열 태양초 자동건조기에 의한 건조과정을 해석하는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램과 최적설계 프로그램을 개발하였다.
- 마. 용량 800kg 규모의 복합열 태양초 자동건조기의 시작기를 설계 제작하여 성능을 평가한 결과 건고추의 품질, 소요에너지 등에서 우수한 것으로 나타났으나, 교반장치, 건조실의 구조, 태양에너지 이용 효율, 원적외선 가열열원 등의 문제점이 발견되어 개량이 요구되었다.
- 바. 초음파 자동 세척기의 시작기를 설계 제작하여 세척효과를 평가한 결과 세척후의 색도가 우수하게 나타났으며, 초음파 세척의 특성을 파악하여 보조 입형 회전솔을 개발하고 용기내의 고추의 적정 충진율과 세척율을 확립하였다.

2. 활용방안(최종 연구후)

- 가. 고추 재배단지에 공동.자동화 고추처리 시설 설치를 위한 기술 및 정책자료로 활용
- 나. 고추외에 벼, 버섯, 약초, 산채 등 건조가 요구되는 거의 모든 농산물의 건조에 다목적으로 활용
- 다. 원적외선을 이용한 건조기술의 확립으로 타 농산물의 고품질 건조 기술에 활용

Summary

Development of washing, drying and packing facilities of red pepper

The objective of this study is to development of washing, drying and packing facilities. The effects of drying air temperature and solar energy, and far infrared energy on qualities of red pepper were evaluated by experimental tests. The pilot scale dryer was developed and the performances were evaluated. The combined energy of kerosene fuel combustion energy, solar energy, and far infrared energy were used as heat sources of the dryer. The red peppers were mixed intermittently in drying chamber by rotary type mixer to increase drying speed and decrease moisture differences. Redesign of rotary type mixer, solar energy using system were needed.

The ultrasonic washer were developed to wash the dusts and impurities on the surface of red peppers. The colors of red peppers after washing were more reddisher than before washing. The detailed performance tests were needed to decide the optimum ultrasonic power and the ratio of materials and washing water.

CONTENTS

I . Introduction

1. Importances and objectives
2. Scope of research

II. Field survey and quality factors of red pepper drying

1. Field survey
2. Design and manufacturing of experimental dryer
3. Quality factors

III. Development of automatic red pepper the dryer

1. Objectives
2. Determination of design parameters
3. Development and performance evaluation of dryer

IV. Development of ultrasonic red pepper washer

1. Design and manufacturing
2. Performance evaluation

목 차

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 중요성과 목적

제 2 절 연구개발내용 및 범위

제 2 장 현장조사 및 건조실험과 품질평가

제 1 절 고추 품질평가를 위한 현장애로 사항 조사

제 2 절 건조실험장치 설계와 제작

제 3 절 건조실험 및 품질평가

제 3 장 복합열 태양초 자동건조기

제 1 절 개발방향 및 설계목표

제 2 절 설계변수 결정

제 3 절 시작기의 설계와 제작

제 4 장 초음파 자동 세척기

제 1 절 시작기의 설계와 제작

제 2 절 시작기의 성능실험

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 중요성과 목적

고추의 생산량은 1983년도 194,184톤에서 1993년도 267,214톤으로 37.6% 증가하였으며 계속 증가될 전망이다. 또한 고추는 채소류 생산량의 약 4%를 점유하고 있으며 채소류 생산액의 약 30%를 차지하는 작목으로서 농가소득면에서 미곡 다음으로 중요한 위치를 점하고 있다.

93년도 총 고추 생산량의 도별 점유율은 경북 20.1%, 경남 16%, 전남 15.5%, 충북 13.8%로 4개도에서 65.4%를 차지하고 있으며, 도별로 단지화 되어 얼굴있는 고추를 출하하고 있는 실정이다.

또한 현재 시중에는 태양건고추와 청결고추가 약 30% 정도의 높은 판매가격을 유지하는 거래성향으로 볼때 청결 태양 건고추를 대량으로 생산할 수 있는 합리적이고 일관된 세척공정, 건조공정 및 포장공정을 긴급히 요구하고 있다.

따라서, 건고추의 품질을 향상시키기 위하여 위생적인 세척과 질적변화가 적은 건조방법을 가미한 공정의 공동화, 시설화 및 자동화가 필요하며 결과적으로 생산비 및 가공비를 줄일 수 있으므로 고추와 같이 단지화가 이루어진 작목은 이러한 효과가 배가된다.

현재 고추의 세척은 거의 이루어 지지 못하고 있는 실정이고 세척하고 있다 하더라도 일부 수작업으로 세척된 고추가 건조하여 출하되고 있는 실정으므로, 고품질의 건고추를 생산하기 위해서는 먼지, 농약 등으로 오염된 고추를 깨끗하게 세척하여야 할 것이다.

또한 고추는 건조방법이 불량하면 카로테이노이드 함량의 감소로 빛깔이 퇴색되며 신미가 떨어져서 품질의 저하를 초래한다. 그러나 농가에 보급되어 있는

화력건조기는 질적 저하를 줄일 수 없을 뿐만 아니라 자동화 및 시설화가 어려운 구조인 상자형 건조기가 개별 농가에 보급되어 있는 실정이며 건조소요시간(30~40시간)이 길고, 연료소비가 과다하며, 건조중에 상자를 상하 교환하는 번거로움과 일정 함수율까지 건조후 다시 비닐 하우스에서 태양건조를 하는 등 인력과 비용이 낭비적이다.

따라서, 고추의 청결성 및 빛깔과 신미를 유지하고 노동력과 에너지의 절감을 통한 고품질의 건고추를 생산하기 위하여는 고추 수확후의 완벽한 세척, 합리적인 건조, 포장공정의 공동화, 시설화 및 자동화하여야 한다.

본 연구의 궁극적인 목표는 고추의 세척, 건조 및 포장공정의 기계화, 자동화, 공동화 시스템을 개발하는 데 있으며 구체적인 연구목적은 다음과 같다.

1. 설문조사를 통한 현장애로사항과 문제점을 파악하고
2. 선택과 신미 등의 건고추의 품질에 영향을 미치는 건조요인 즉, 열풍조건, 태양열 및 원적외선의 영향을 구명하고
3. 복합열(석유연소열, 태양열, 원적외선)을 이용한 복합열 태양초 자동건조기를 개발하고
4. 초음파를 이용한 초음파 자동고추세척기를 개발하여
5. 초음파 세척기, 복합열 태양초 자동건조기, 무게계량시설, 이송시설 및 포장시설로 이루어진 고추의 공동집하, 세척, 건조, 포장시스템을 개발하는데 있다.

제 2 절 연구개발 내용 및 범위

제 1차년도 연구개발 목표 및 내용

구 분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위	비 고
1차 년도 (1995년도 연구완료)	건고추 품질요인 구명	- 현장애로 사항 조사 - 건조실험장치 설계 및 제작 - 품질분석	
	복합열 태양초 자동건조기 시작기 개발	- 건조시뮬레이션 프로그램개발 - 800kg 용량의 시작기 설계제작 - 2차의 예비실험 수행, 개량요점 구명	
	초음파 세척기 개발	- 초음파 세척 실험장치 설계제작 - 입형 세척술 개발 - 용기의 고추 충진율과 세척율 확립	

1. 현장애로사항 조사

현지 농가에서는 생산과정에서 다른 작목과 마찬가지로 많은 어려움이 있을 것으로 판단되어 몇가지 현장조사와 설문조사를 실시하였다. 그 결과 몇가지 애로점을 발견하여 해결방안을 모색하고자 하였다.

위생적이고 고품질의 건고추생산을 위하여 단위 가구당 건고추생산량, 고추의 건조방법, 고추의 세척방법, 열풍 건조기의 문제점, 고추의 유통과정등을 중심으로 조사하였다.

2. 건고추의 품질요인 구명

가. 건고추 품질의 주요성분 분석 방법확립

- (가) 수용성 갈변물질
- (나) 색도(색차계 이용)
- (다) Capsanthin 함량
- (라) Capsaicin
- (마) 유리환원당
- (바) 지질

나. 건조실험장치 설계 제작 및 여러가지 건조방법에 따른 건고추의 성분 분석

건조 실험장치는 열풍과 원적외선을 병행하여 자동제어 및 계측이 될 수 있도록 설계 제작하였다.

건고추의 성분분석은 금탑고추를 이용하여 태양건조, 50℃ 열풍건조, 70℃ 열풍건조, 70℃ 열풍으로 단시간 건조후 50℃ 열풍건조, 70℃ 열풍건조후 비닐하우스 건조, 원적외선 건조 등 8가지 방법의 건고추에 대해 성분분석을 하였다.

3. 복합열 태양초 자동건조기 개발

가. 시뮬레이션 프로그램 개발

고추 퇴적층에서 고추를 교반하는 경우의 건조속도, 품온변화, 열풍의 온도 및 습도변화, 소요에너지 및 품질변화를 예측할 수 있는 미분방정식 수학모델과 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 개발하여 검증한다.

나. 최적화 프로그램개발

고추 퇴적층의 적정 교반속도, 적정 열풍온습도, 적정 배기열 재순환율을 결정하기 위하여 고추의 품질 또는 건조소요에너지를 목적함수로 하는 최적화 프로그램을 개발한다.

다. 시작기 설계.제작

건조조 1.5m x 6m x 0.5m, 생고추 처리량 780kg, 로타리형 교반장치(회전속도 66rpm, 진행속도 50 m/min.), PC온실 5.5m x 3.9m x 3.16m, 배출콘베이어를 장치한 복합열 이용 건조장치 설계. 제작

라. 시작기 성능실험

시작기에서 태양열, 원적외선, 석유연소열을 복합적으로 이용하여 생고추 건조실험을 수행하며, 건조조건과 분석 사항은 다음과 같다.

- (1) 건조물량 : 생고추양 1,460 kg (2회)
- (2) 온도설정 : 시뮬레이션 결과에 따라 가변적으로 설정
- (3) 배기재순환율 : 시뮬레이션 결과에 따라 가변적으로 설정
- (4) 교반회수 : 1회/10분
- (5) 측정 및 분석내용
 - 외기온 습도 및 온실내 온 습도 변화
 - 태양강도 변화
 - 고추 함수율 변화
 - 고추의 색깔 변화(L,a,b치 측정)
 - 고추의 선택 및 신미 변화
(수용성 갈변물질, capsaicin, capsanthin 변화분석)
 - 건조소요에너지 분석
 - 건조속도 분석

마. 시작기의 개량 요점 구명

시작기의 성능실험을 기초로 시작기의 개량요점을 발견하여 개량하고 1차년도 연구에서 발견된 개량요점은 다음과 같다.

- (1) 건조실의 적정규모 재분석

- (2) 야간 적정 작동조건 재구명
- (3) 교반장치 재설계
- (4) 상대습도가 고추품질에 미치는 영향 구명

4. 초음파 세척기

가. 고추의 흡수율

고추의 표피에는 먼지 등 이물질이 부착되어 있어 그대로 식용으로 사용하는 것은 위생상 좋지 않다. 따라서 건조하기전 또는 가공하기 전에 세척하는 것이 바람직 하다. 세척시에는 침수시간또는 세척시간에 따라서 흡수율의 진행상태를 실험하였다.

흡수율은 조건에 따라서 약간의 차이는 있으나 0.2% ~ 0.5%정도인 것으로 나타나 세척하는데 문제가 없는 것으로 판단되었다.

나. 고추의 세척정도 설정

고추 표피의 먼지나 이물질의 부착은 미세하여 육안으로는 판단이 가능하지만 오염도를 수치화 하기에는 수확시기, 재배지, 수확후 관리 등에 따라서 차이가 매우 심하다. 따라서 본 연구에서는 석회가루, 밀가루, 진흙 등을 고추에 도포한 후 세척전후 색도를 색차계를 이용하여 비교하였다. 이들중 밀가루와 진흙은 부착상태가 불균일하여 실험대상에서 제외하고 석회를 이용하여 세척전후의 색도를 비교하였다.

다. 초음파 세척 실험장치 설계 및 개발

고추 뿐만 아니라 대부분의 농산물은 대량으로 처리해야 하는 것이 많다. 또한 토양에서 재배하므로 먼지 등 이물질이 많이 부착되어 있다. 이와같은 것을 효과적으로 제거하기 위해 고압분사 세척, 솔을 이용한 세척 등이 이용되고 있다. 본 연구에서는 초음파를 이용하여 고추 세

척기를 설계 개발하였다.

초음파 주파수 : 27kHz, 출력 : 0.6kW, 전원 : 220V, 크기 : 350 x 400 x 110(mm)

라. 초음파의 고추 세척 특성 파악

고추는 비중이 낮아 물위에 뜨므로 밑면만 세척이 된다. 따라서 수면 윗쪽 부분의 세척을 위해 고추를 뒤집어야 하므로 소형 수중펌프를 이용하여 물과 고추를 순환시키면서 세척을 하였다. 세척효과는 향상되었으나 일부 세척이 안되는 부분이 있었다. 이와같은 단점을 보완하기 위하여 보조입형회전 솔을 설치하고 물속에서 세척이 되는 방법을 개발하였다.

마. 입형 회전 세척솔 개발

초음파세척이 안된 부분을 재 세척하여 세척정도를 향상시킨다.

- 원통지름 : 120mm,
- 솔의 길이 : 65 ~ 75mm,
- 축지름 : 35mm,
- 풀리지름 : 130mm

바. 고추의 투입배출이없는 상태에서 용기의 고추 충전율과 세척율 확립

세척조의 고추 충전율은 고추의 반전이나 흐름에 영향을 미치므로 80%전후로 충전하는 것이 세척효과가 좋은 것으로 나타났다.

제 2 장 현장조사 및 건조실험과 품질평가

제 1 절 고추 품질평가를 위한 현장조사

브라질이 원산지로 알려진 가지과에 속하는 고추는 우리나라에 약 400년전에 전파된 이래 우리나라에서 빼 놓을 수 없는 향신 조미료로 이용되고 있다. 고추의 재배면적은 1993년 기준으로 노지재배가 85,221 ha, 시설재배가 3,431 ha 로 그 생산량은 187,043톤(노지), 80,182톤(시설)으로 그 합이 267,000여 톤에 이른다. 이렇듯 많은 양의 고추가 생산되는 현지 농가에서는 생산과정에서 다른 작목과 마찬가지로 많은 어려움이 있을 것으로 판단되어 몇가지 설문 조사를 실시하여 그 결과를 제시하고 결과에 대한 애로점을 타개할 수 있는 방안을 모색하고자 하였다.

1. 현장조사 내용 및 방법

본 조사연구는 현장애로 기술개발사업 연구의 일환으로 고추생산농가의 애로점을 타개하는 방법으로 생산 노동력을 절감하고 품질향상을 도모하며 가격경쟁력을 높이고 나아가 WTO 체제에 적응할 수 있는 방안을 강구하고자 하였다..

가. 현장조사 내용

위생적이고 고품질의 건고추생산을 위하여 단위 가구당 건고추생산량, 고추의 건조방법, 고추의 세척방법, 열풍 건조기의 문제점, 고추의 유통과정 등을 중심으로 조사하였다.

나. 현장조사 대상 및 방법

(1) 조사대상

우리나라에서도 고추생산이 비교적 집단화되어있고 농가의 주소득원으로 하고있는 곳을 중심으로하여 경북북부지방의 영양군(25), 청송군(20),

예천군(25), 문경군(5), 충북의 보은군(20), 괴산군(10)을 대상으로 단위농가 가구주를 중심으로하여 조사하였다.

(2) 조사방법

현지 방문조사에서 예비조사후 작성한 단위항목당 네가지 질문내용의 설문지를 만들어 우편조사및 단위 행정기관의 특작계 직원,농촌지도소의 담당직원, 연고지의 대학생을 통하여 조사하였다.

2. 현장조사 결과 및 고찰

가. 농가당 고추 재배면적

고추재배면적에 대한 설문 결과는 표2-1과 같다.

표2-1. 고추재배 농가당 면적

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
1000평 미만	1.00	21	20.0	20.0	20.0
1000-2000평 미만	2.00	46	43.8	43.8	63.8
2000-3000평 미만	3.00	23	21.9	21.9	85.7
3000평 이상	4.00	15	14.3	14.3	100.0
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	105	Missing Cases	0		

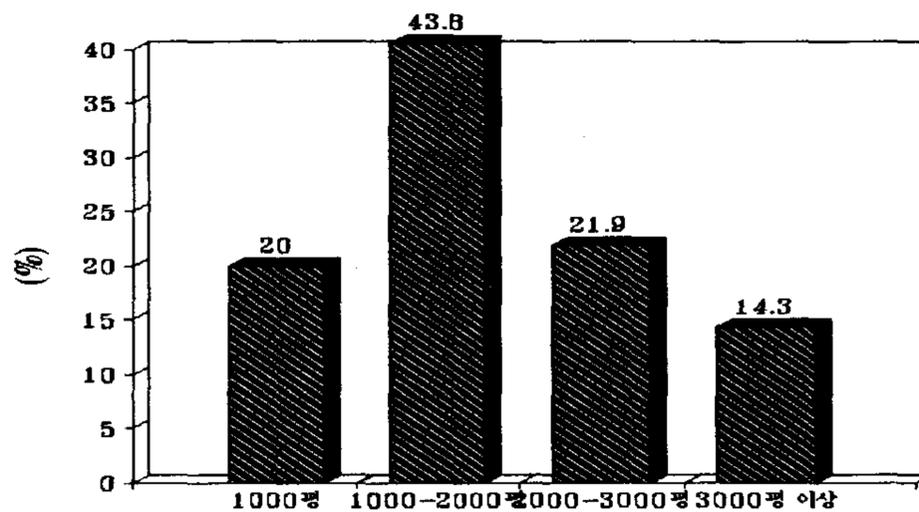


그림2-1 고추재배 농가당 면적

표2-1에서 보는 바와 같이 고추 재배면적은 1000평에서 3000평재배가 약 65%로 조사대상의 거의 반수 이상이나 된다. 이는 160만 전국 농가중에서 경지면적 1ha 미만 소유농가가 약 60%로 볼때 거의 대부분 고추생산농가가 고추작목 하나만으로 농업소득을 가지고 경제활동을 하는, 즉 고추의 생산량과 고추의 품질에 따라서 농가소득이 크게 영향을 받을 것으로 생각된다.

나. 농가당 고추생산량

농가당 고추생산량은 표2-2와 같다.

표2-2 농가당 건고추 생산량

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
1000근 미만	1.00	16	15.2	15.4	15.4
1000-2000근 미만	2.00	19	18.1	18.3	33.7
2000-3000근 미만	3.00	32	30.5	30.8	64.4
3000근 이상	4.00	37	35.2	35.6	100.0
	.00	1	1.0	MISSING	
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	104	Missing Cases	1		

표2-2에서와 같이 건조 고추로서 2000근(1200kg)이상 생산농가가 66%됨을 볼수 있다. 1994년 12월 영양지방의 건고추 시판 가격에서 근당 3900원 거래되었음을 감안 할때 단위 농가당 조수익은 3000근으로 기준하여 1170만원정도가 된다.이는 1993년도 통계연보에서 전국 농가호당 평균 조수입이 1030만원과 비교할때 고추 한작목으로 생각한다면 상당한 결과라 하겠다..

다. 고추 재배방법

고추재배 방법으로는 표2-3과 같이 대부분 조숙터널재배와 노지멀칭재배가 대부분이다. 그러나 현지 조사로 조사한 바로는 비가림재배가 재배면적이 점점 늘어날 것이라는 예측이다. 그 이유로는 병충해의 전파억제, 농약살포의 효율성 제고, 수확시기 연장으로 다수확을 기할 수 있기 때문이다. 그

러나 비가림 재배의 문제점으로는 농약들이 빗물에 씻기지 않기 때문에 고추 수확 후 반드시 완벽한 세척이 요구 될 것으로 생각된다.

표2-3 고추 재배 방법

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
비가림 재배	1.00	1	1.0	1.0	1.0
조숙터널재배	2.00	51	48.6	49.0	50.0
노지 멀칭 재배	3.00	52	49.5	50.0	100.0
	.00	1	1.0	MISSING	
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	104	Missing Cases	1		

라. 고추재배 품종에 대하여

표2-4에서 보는 바와 같이 주로 재배되는 고추품종으로는 현지조사에서 조사된 거성, 광복, 금탑, 다복, 다홍, 대명, 대왕, 동방, 만냥, 신바람, 이천년, 오른, 조광, 태양, 향촌 등 다수품종이 재배되고 있었으며 많은 고추 품종중에서 금탑, 거성이라는 품종이 전 조사농가 중에서 반수이상 차지하고 있었다.

표2-4 고추 품종

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
금탑	1.00	37	35.2	35.6	35.6
거성	2.00	18	17.1	17.3	52.9
조광	3.00	10	9.5	9.6	62.5
기타	4.00	39	37.1	37.5	100.0
	.00	1	1.0	MISSING	
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	104	Missing Cases	1		

마. 1년중 홍고추 수확이 많은 시기

표2-5 1년중 홍고추 수확이 많은 시기

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
8 월	1.00	28	26.7	26.7	26.7
9 월	2.00	76	72.4	72.4	99.0
10 월	3.00	1	1.0	1.0	100.0
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	105	Missing Cases	0		

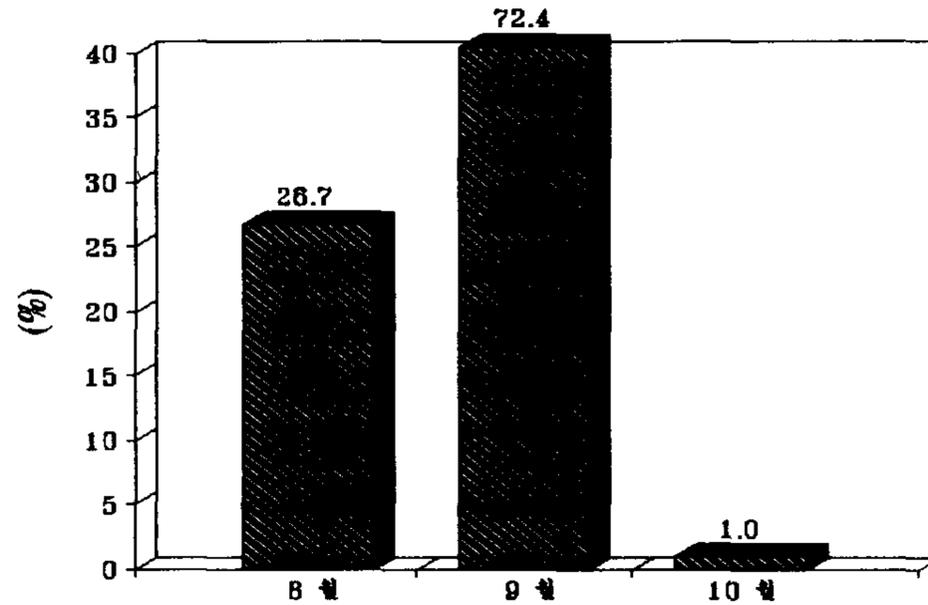


그림2-2 1년중 홍고추 수확이 많은 시기

위의 표에서 보는 바와 같이 수확시기에서 8월, 9월, 10월 중에서 9월에 수확하는 경우가 72.4%로 거의 집중되어 있다. 이로 말미암아 일시에 집중된 물량의 홍고추를 건조하는데 많은 어려움이 발생할 것으로 생각되며 능률적인 고추 건조기 개발이 필요할 것으로 생각된다.

바. 고추수확기 까지 농약 살포회수

표2-6에서 보는 바와 같이 농약 살포 회수는 기후와 병충해 발생빈도와 상관관계가 있을 것으로 생각되나 대부분 5회 전후로 살포하는 것으로 나타

났다. 농약의 많은 살포 횟수는 고추품질의 신뢰성과 큰 관계가 있을 것으로 생각되며 소비자의 불신을 초래하여 가격저하의 원인이 될 것으로 생각된다. 확실한 세척법을 강구하여야 할 것이다.

표2-6 풋고추에서 홍고추 수확 까지 농약 살포회수

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
1-2회	1.00	1	1.0	1.0	1.0
3-4회	2.00	36	34.3	34.3	35.2
5-6회	3.00	45	42.9	42.9	78.1
7-8회	4.00	23	21.9	21.9	100.0
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	105	Missing Cases	0		

사. 수확기에 많이 사용하는 농약

수확시기에 많이 사용하는 농약으로는 현지조사로 가스란, 고추탄, 다이센, 다코닐, 데스반, 데시스, 란네이트, 리도밀, 메소밀, 스미렉스, 안트라콜, 지오판, 코사이드, 타코닐, 톱신등 여러종류의 농약이 살포되고 있으나 표 2-7에서 보는 바와 같이 타코닐, 다이센, 고추탄등이 많이 사용되고 있었다. 수확기에 사용하는 농약으로 인하여 농약으로 인한 건조고추의 품질저하를 고려하여야 할 것이다.

표2-7 수확기에 많이 사용하는 농약

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
타코닐	1.00	29	27.6	28.7	28.7
다이센	2.00	11	10.5	10.9	39.6
고추탄	3.00	13	12.4	12.9	52.5
기타	4.00	48	45.7	47.5	100.0
	.00	4	3.8	MISSING	
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	101	Missing Cases	4		

아. 건조전 세척여부

표2-8에서 나타난 것과 같이 홍고추를 건조하기직전에 세척여부를 조사하여 본 결과 조사대상자중 반수 이상이 세척하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 소규모 생산농가를 감안한다면 세척하지않거나 세척이 미비한 상태로 건조하는 경우가 많을 것으로 생각된다. 이는 고추품질 즉 색도유지와 위생적인 측면에서 심각하게 개선되어야 할 부분이라고 생각된다.

표2-8 건조전 세척여부

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
세척한다	1.00	48	45.7	46.6	46.6
세척 안한다	2.00	55	52.4	53.4	100.0
	.00	2	1.9	MISSING	
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	103	Missing Cases	2		

자. 세척방법에 대하여

다음 표의 결과에서 본 바와 같이 흐르는 물에서 단순한 세척으로는 다소 도움은 되겠으나 전착제와 같이 살포한 농약성분이라든지 오목부분의 이물질 등은 세척이 어려울 것으로 생각되며 기존의 방법외에 과학적이고 위생적이면서 대량처리 될수 있는 세척기 개발이 요구된다.

표2-9 세척 방법

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
흐르는 물	1.00	27	25.7	48.2	48.2
고인물통	3.00	15	14.3	26.8	75.0
기타	4.00	14	13.3	25.0	100.0
	.00	49	46.7	MISSING	
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	56	Missing Cases	49		

차. 고추건조방법에 대하여

표2-10에서와 같이 조사농가 중 건조기에 의한 건조가 70%이상 되는 것으로 나타났다. 이런 내용은 농촌여건상 재래식 방법의 고품질 태양초 건조는 불가능하다는 반증이다. 단순한 열풍건조기에 의한 의존이 높다는 결과라고 생각되며 우수한 기능의 건조기, 기존의 건조기에서 기대될 수 없는 자연태양초 품질을 기대할 수 있는 첨단기능의 건조기 개발이 요구될 것으로 본다.

표2-10 고추건조 방법

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
A:건조기	1.00	51	48.6	48.6	48.6
B:건조기와 비닐하우스	2.00	24	22.9	22.9	71.4
C:비닐하우스	3.00	8	7.6	7.6	79.0
D:야외 햇볕 건조	4.00	4	3.8	3.8	82.9
E:앞담배 건조실	5.00	18	17.1	17.1	100.0
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	105	Missing Cases	0		

카. 태양초 건조시 소요일수

표2-11 태양초 건조시 소요일수

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
3~4 일	1.00	6	5.7	5.9	5.9
5~6 일	2.00	18	17.1	17.6	23.5
7~8 일	3.00	37	35.2	36.3	59.8
9~10 일	4.00	40	38.1	39.2	99.0
10일이상	5.00	1	1.0	1.0	100.0
	.00	3	2.9	MISSING	
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	102	Missing Cases	3		

다. 열풍건조시 소요일수

표2-12 열풍 건조시 소요일수

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
1 일	1.00	12	11.4	12.5	12.5
1.5 일	2.00	24	22.9	25.0	37.5
2 일	3.00	41	39.0	42.7	80.2
3 일	4.00	19	18.1	19.8	100.0
	.00	9	8.6	MISSING	
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	96	Missing Cases	9		

표2-11, 2-12의 결과를 종합하면 자연태양초 건조시 소요일수가 7~10일 정도 소요된다는 응답농가가 75% 이상이다. 장기간 소요되는 건조일수는 앞으로의 농촌 사정으로 볼 때 고품질의 자연태양초 생산은 불가능 할 것으로 현장 조사되었다. 짧은 시간이 소요되는 자연태양초 건조기능의 건조기 개발이 요구된다.

파. 열풍건조시 고추품질의 문제점

열풍건조시 품질의 문제점은 표2-13에서 보는 바와 같이 색택과 매운맛의 변화가 있다는 응답자가 77%가 되었다. 이는 열풍건조의 문제점으로 건조할때의 높은 열은 Capsanthin의 변화와 Carotenoid의 변화, Capsaisin의 열화 등으로 품질의 변화를 초래한다고 생각된다. 그러므로 높은 열을 이용하더라도 건조적성이 좋게 입증된 원적외선 조사 방법등으로 태양건조에 가까운 건조기 개발이 요구된다.

표2-13 열풍건조시 품질의 문제점

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
A:선택이 좋지않다	1.00	39	37.1	39.0	39.0
B:매운맛이 떨어진다	2.00	38	36.2	38.0	77.0
C:등외품 발생	3.00	6	5.7	6.0	83.0
D:전반적인 품질이 저하	4.00	17	16.2	17.0	100.0
	.00	5	4.8	MISSING	
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	100	Missing Cases	5		

하. 고추재배, 수확, 건조, 판매중의 애로점

표2-14 고추재배, 수확, 건조, 판매의 애로점

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
재배	1.00	14	13.3	13.3	13.3
수확	2.00	75	71.4	71.4	84.8
건조	3.00	5	4.8	4.8	89.5
판매	4.00	11	10.5	10.5	100.0
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	105	Missing Cases	0		

거. 고추건조시 중점사항

표2-15 고추 건조시 중점 사항

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
선택유지	1.00	83	79.0	79.0	79.0
건조시간	2.00	10	9.5	9.5	88.6
매운맛유지	3.00	7	6.7	6.7	95.2
경비	4.00	5	4.8	4.8	100.0
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	105	Missing Cases	0		

너. 건조기 사용시 건조최고 온도

표2-16 건조기 사용시 최고 건조온도

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
45℃ 내외	1.00	11	10.5	11.0	11.0
55℃ 내외	2.00	21	20.0	21.0	32.0
65℃ 내외	3.00	48	45.7	48.0	80.0
70℃ 이상	4.00	20	19.0	20.0	100.0
	.00	5	4.8	MISSING	
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	100	Missing Cases	5		

더. 고추품질 평가기준에 대하여

표2-17 고추 품질 평가의 기준

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
꼭지 색깔	1.00	9	8.6	8.7	8.7
몸통 색깔	2.00	33	31.4	31.7	40.4
꼭지와 몸통 색깔	3.00	57	54.3	54.8	95.2
고추속 색깔	4.00	5	4.8	4.8	100.0
	.00	1	1.0	MISSING	
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	104	Missing Cases	1		

러. 우수고추품질의 꼭지 색깔의 기준

표2-18 꼭지 색깔의 상품(上品)기준

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
진한녹색	1.00	9	8.6	8.7	8.7
열은녹색	2.00	16	15.2	15.5	24.3
열은갈색	3.00	8	7.6	7.8	32.0
노란색~회색	4.00	70	66.7	68.0	100.0
	.00	2	1.0	MISSING	
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	103	Missing Cases	2		

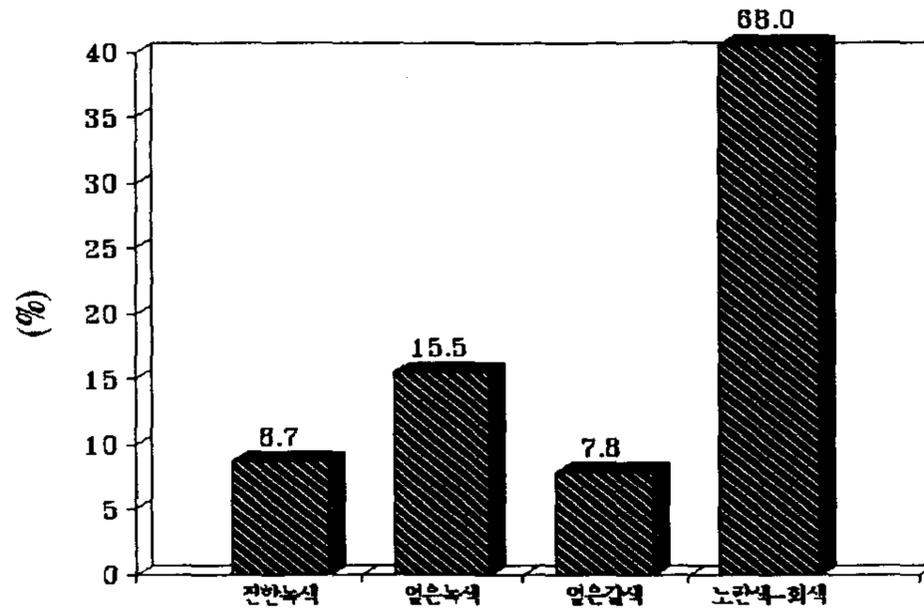


그림2-3 쪽지색깔의 상품기준

표2-15, 2-16, 2-17, 2-18을 종합하면 고추건조에서 가장 중요시 하는 내용은 고추몸통과 쪽지의 색깔문제로 나타났다. 고추 몸통의 색깔문제는 일광 자연 건조방법이 가장 선명한 색깔을 유지할 수 있으나 단기간 대량생산과 분리한 기상조건 하에서 건조의 지연으로 고추의 변패를 초래하여 결과적으로 경제적 손실이 커지는 문제점이 있어 차선의 방법인 열풍건조를 이용하고 있었다.

조사대상 농가중에서는 품질을 나름대로 고급화 하기 위하여

첫째는, 고추쪽지 색깔변화에 중점을 두어 태양건조와 같은 옅은색(연노랑색)으로 하는 방법으로 53℃~58℃에서의 건조기에 의한 열풍건조 후 vinyl house에서 4~5일정도 태양건조하는 방법과,

둘째로, 건조기에 의한 65℃건조, 60℃건조, 50℃건조로 일상적인 건조기 사양대로 하는 방법등으로 활용하고 있었다. 연구자들에 의하면 고추의 최적 건조온도와 건조에 따르는 색소변화 등을 조사한 결과 65℃의 건조온도로도 별문제가 없는 것으로 제시되었으나 현지 대농민들과의 조사 결과로는 상당한 갈색화 현상이 일어 난다고 하였다.

그외에도 순환식 열풍건조, 55℃ 건조기에서 열풍건조 등의 농가마다 다양한 방법으로 건조방법을 채택하고 있으나, 상품적, 영양적, 위생적 가치는

각 방법마다 장단점이 있어 태양초 건조에서 나타난 고추몸통 색깔과 꼭지 색깔을 기준으로 건조방법을 채택하였을 때 가장 상품성이 있다고 설문조사 및 현지조사 되었다.

러. 우수고추 품질의 고추몸체의 색깔의 선호도

표2-19 건조고추 몸체색깔의 선호도 기준

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
선홍색	1.00	39	37.1	37.9	37.9
적갈색	2.00	55	52.4	53.4	91.3
암갈색	3.00	4	3.8	3.9	95.1
암적색	4.00	5	4.8	4.9	100.0
	.00	2	1.9	MISSING	
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	103	Missing Cases	2		

고추 몸체색깔의 선호도 조사에서 가장 선호도가 높은 색깔이 적갈색과 선홍색으로 나타났다. 이는 현지농가에서 건조기에 의한 건조방법으로 건조한 고추의 색깔 때문일 것으로 생각되며, 태양초 건조시에 나타날 것으로 생각되는 선홍색의 선호도가 낮은 것은 모든 농가가 건조기에 의한 건조방법을 채택하고 있다는 판단이었다.

머. 건조고추의 유통경로

표2-20 고추 유통경로

Value Label	Value	Frequency	Percent	Valid Percent	Cum Percent
공판장	1.00	5	4.8	4.8	4.8
시장	2.00	19	18.1	18.3	23.1
중간상인	3.00	79	75.2	76.0	99.0
가공업자	4.00	1	1.0	1.0	100.0
	.00	1	1.0	MISSING	
TOTAL		105	100.0	100.0	
Valid Cases	104	Missing Cases	1		

농가에서 고추를 건조 한후 대부분을 중간상인에게 넘기는 유통구조를 보이고 있고 일부는 재래시장, 농협공판장으로 판매하고 있었다. 앞으로 부가가치를 높이기 위하여는 생산, 세척, 건조, 가공을 일괄화하고 집단화할 필요가 있을 것으로 사료된다.

3. 요약

- 가. 조사 농가의 고추생산에는 비교적 고추에 대한 전문성이 있는 전업농이었다.
- 나. 홍고추 수확도 다른 농산물과 마찬가지로 8~9월중 집중 생산되어 단기간 많은 량의 건조처리가 문제되었다.
- 다. 농약사용이 많아 신뢰성 있는 건고추 생산을 위하여는 건조전 완벽한 세척이 요구되었다.
- 라. 건조방법에는 일반 열풍건조기에 의한 건조가 많았다. 그리고 태양초 건조와 비슷한 결과를 얻기 위하여 일반건조기 건조와 vinyl house 건조를 복합하여 건조하였다.
- 마. 농가에서 건조 후 건고추 상태로 대부분을 중간상인에 판매하는 유통 경로를 가졌다.
- 바. 조사내용을 종합하면 고품질의 건조고추생산을 위하여 세척문제, 대규모 단시간 태양초 건조기능의 건조기 개발이 요구되었다.

제 2 절 건조실험장치 설계 와 제작

1. 건조장치

본 실험을 수행하기 위하여 그림2-4과 같은 건조장치를 제작 사용하였고, 건조실의 내부규격은 가로 500mm, 세로700 mm, 높이900 mm 이다.

이것은 열풍건조와 원적외선건조를 병행하여 실험할 수 있도록 각각의 필요한 장치를 설치하였다. 건조실의 하단에 지름 13 cm의 원형 열풍유입구를 설치하였고, 유출구는 열풍유입구와 동일한 면의 상단에 지름 5 cm의 원형 유출구를 두었다.

열풍 유입용 송풍기는 입력전압에 따라 송풍량이 변화하는 축류형 가변속 송풍기를 사용하였으며 열풍 유입시 열원으로 600W 와 1,500W 전열코일을 각각 2개씩 사용하였다. 또한 원적외선 건조장치는 660 W 의 원적외선 Lamp 3개를 건조실의 내부상단에 설치하였다. 원적외선 건조시에는 건조실의 하부에 있는 축류 송풍기에서 내부 공기를 흡입하였으며, 열풍 건조시에는 가열된 공기가 유입되도록 하였다.

온도제어는 설정온도에 따라 건조실의 시료채반 및 시료에 설치한 온도 센서에 의하여 건조열원의 전류를 On-Off 시켜 제어되도록 하였다. 온도의 계측은 열풍건조 유입구와 고추의 내부, 외부, 건조실의 열풍출구 및 건조실의 내부 상단에서 계측되도록 하였다. 시료채반은 건조실의 상부에 설치한 하중변환 Ring 에 지름 5mm 의 구멍을 통하여 철선으로 매달아 건조물의 중량변화를 연속 측정할 수 있도록 하였다. 이때 하중변환 Ring 을 건조실 외부에 설치한 것은 온도변화가 큰 건조실 내에서 Strain gauge 를 부착한 하중변환 Ring 의 온도변화에 대한 영향을 줄이기 위한 조치였다.

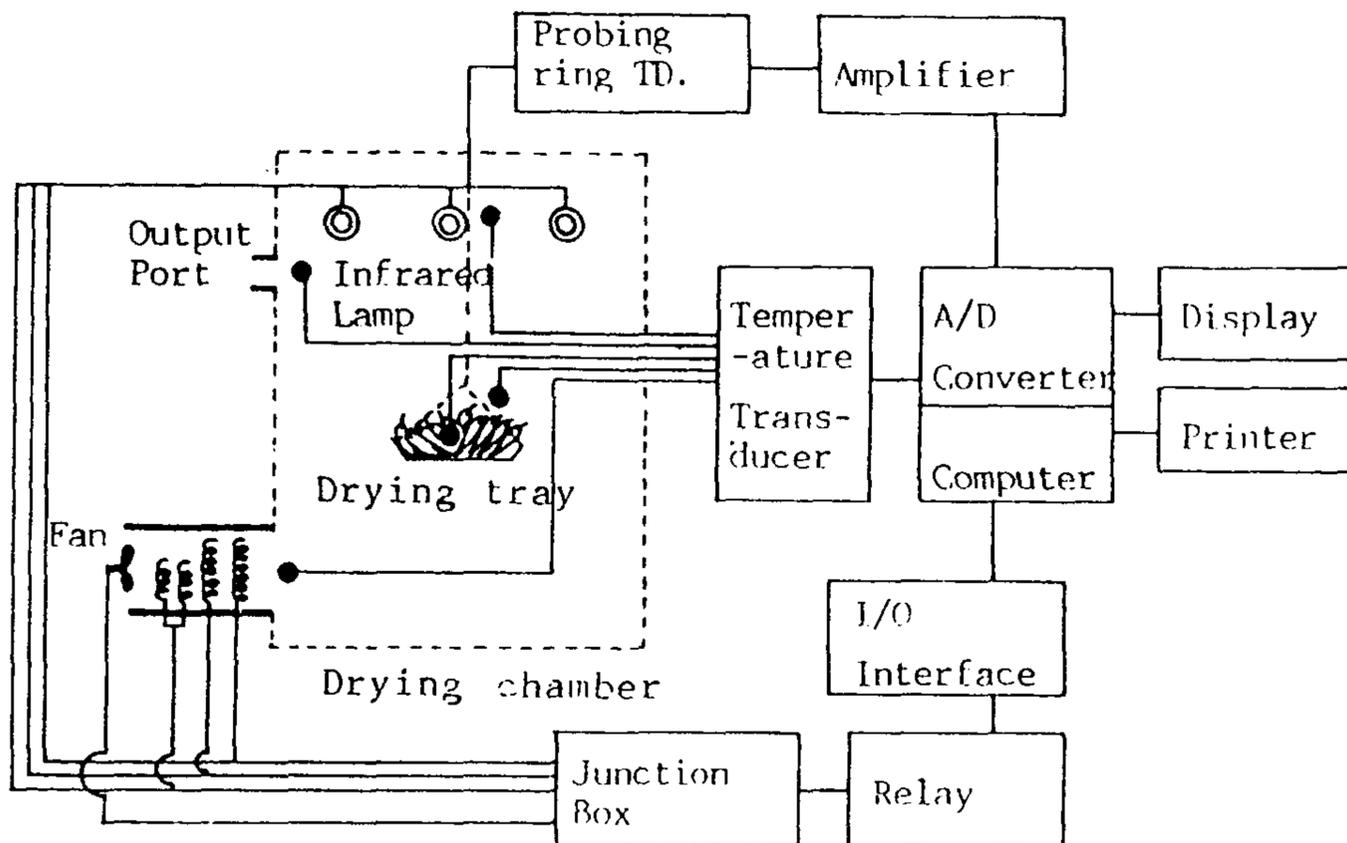
2. 계측장치

계측 및 제어시스템 구성에는 IBM-PC 호환기종의 80486 마이크로컴퓨터를 사용하였으며, 데이터의 처리를 위해서는 분해능이 12bit이며, 입력 16Channel과 출력 2Channel의 순차비교형인 PLC812의 A/Dconverter를 사용하였다.

측정입력된 자료의 분석결과에 따라 최적제어는 컴퓨터의 I/O interface, Relay 및 Actuator를 통하여 이루어 진다.

본 실험에 Actuator의 contacter조작을 위해서는 DC 12Volt용의 Relay를 사용하였으며, 이 때에 2SC1815의 +단자에 +5Volt의 전원을 연결하였고, 또 Relay의 한단은 출력Channel을 연결하였다. Relay를 통한 원적외선 Lamp와 전열기를 Actuator로 작동할때 Magnetic contacter를 사용하였으며, 이때 순간적인 역과전압(Inverse overvoltage)이 발생되어 컴퓨터의 작동에 큰 영향을 미치는 것을 방지하기 위하여 $0.01\mu\text{F}$ Capacity 및 1W, 100Ω 의 저항을 Relay의 출력 단자에 직렬 연결하여 예방되도록 하였다.

온도와 고추의 중량변화 값을 계측하고, 일정한 건조온도를 유지하기 위하여 고추의 건조온도를 5초마다 연속으로 계측하여 30초간의 평균치로 건조온도를 제어하고 동시에 결과를 Monitor에 출력되도록하여 계측 및 제어 상태를 확인할 수 있도록 하였다.



TD : Transducer

그림2-4 건조실험장치

제 3 절 고추의 품질평가

고추(Capsicum annum)는 조선시대 중기 부터 현재에 이르기까지 우리나라의 전통식문화에 중요한 역할을 차지하는 향신조미료로서 거의가 건조 상태로 유통되고 있는데 그 대부분이 가정에서 조리목적으로 이용되고 있으며 일부가 고추장, 라면스프, 혼합양념 등으로 사용되고 있다.

수확한 고추는 대개 수분 함량이 12-15%까지 천일 또는 열풍건조, 열풍과 하우스 건조 후 저장되어 연중 유통 소비되고 있다.

천일건조고추는 열풍건조고추에 비해 색깔이나 성분의 보존면에서 우수하나 건조시 기상조건의 변화에 따라 품질의 변화가 심한 단점이 있다. 그래서 최근 원적외선에 의한 야채류의 건조에 대해 많은 연구가 행해지고 있는데, 원적외선은 수분과 고분자화합물의 적외선 흡수 spector대를 넓게 cover할 뿐만 아니라 재료에 비교적 내부까지 침투해서 재료내부를 균일하게, 단시간에 가열할 수가 있고 종래의 파장이 비교적 짧은 적외선과 같이 표면 가열에 의한 표면경화 등의 악영향을 적게 할 수 있다. 그래서 본 실험은 빛깔이 우수하면서 맛이 뛰어난 고품질의 건조고추를 생산하기 위한 목적과 품질의 변화를 줄이기 위해 복합열 태양초 자동건조기를 개발하여 고추의 품질평가를 행했다. 아울러 천연, 열풍, 원적외선 등의 건조방법을 이용하여 품질을 비교하였다.

1. 실험재료 및 방법

가. 재료와 건조방법

경북 상주시 사벌면에서 노지 재배한 금탑고추를 1995년 8월 1일 수확하여 ①일광건조(13일) ②열풍건조(50℃) 8일간 ③열풍건조(70℃) 38시간 ④열풍건조(70℃) 3시간 + 열풍건조(50℃) 41시간 ⑤열풍건조(70℃) 3시간 + 비

닐하우스건조(15일간) ⑥원적외선건조(위의 각 방법에서의 온도) 등 8가지 방법의 건조실험을 행했고, 유명한 고추 생산지로 알려진 경북 영양군에서 노지재배한 알찬고추를 1995년 9월 28일 수확하여 ①복합태양초 자동건조시작기로 대량건조 ②열풍건조(60℃) ③열풍건조(70℃) 38시간 ④원적외선 건조(70℃) 30시간 건조처리한 건고추를 꼭지 및 종자와 태좌를 제거하고 과피만을 분쇄기로 분쇄한 후 건고추의 품질을 분석하였다.

(1) 품질 측정 방법

(가) 수용성 갈변물질

고추가루 0.3g을 100ml 증류수로 30℃ 항온수조에서 2시간 추출한 후 여과(Toyo No.2)하여 420nm에서 흡광도를 측정하였다.

(나) 색도

통고추의 색도는 한처리 10개를 채취하여 1개당 6곳을 색차계(Model TC-3600, 日本色工業製)로 표준백색판(L=90.6, a=0.2, b=3.2)을 이용하여 Hunter 방식인 L,a,b의 값으로 색도를 측정하여 평균하였다.

(다) Capsanthin 정량

건조시료를 40mesh까지 마쇄후 0.1g을 cap test tube에 넣고 benzen으로 3회 반복 추출후, 여액을 합하여 100ml로 정용하고 486nm에서 흡광도를 측정하여 Davis법에 따라 아래식에 준하여 Capsanthin의 양으로 표시하였다.

$$X = A \times V / E1\% / 100$$

여기에서, X : Capsanthin의 양 (g) A : Absorbance V : Volume
E1% : 486nm(=1790)에서 Capsanthin의 extnction coefficient

(라) Capsaicin 정량

여러 연구자들의 실험방법에 준하여 시료 1g에 25ml의 acetone을 가

하여 Capsanthin정량시과 같은 방법에 의해, 추출한 액 2ml를 시험관에 취한 다음 Carbon tetrachloride 2ml와 alkali염 용액(2% NaCl + 0.5N NaOH) 8ml를 가하고 충분히 혼합하여 Capsaicin을 alkali층에 이행시켰을 때의 상층액 5ml를 취하여 공시액으로 하였고, 공시액 5ml와 1mM Sodium phosphate monobasic용액 4ml를 혼합후 phenol 시약 1ml를 가하여 비등수조에서 7분간 반응시킨 다음, 흐르는 물에 10분동안 냉각시켜 750nm에서 흡광도를 측정하여 표준곡선에 의하여 정량하였다.

(㉞) 유리환원당 정량

시료 1g에 증류수 50ml를 가하여 30분간 진탕추출 후 여과하여 100ml에 정용하였다. 이중 20ml를 취하여 10% lead acetate 5ml 와 3.2% Sodium oxalate 5ml를 가한 후 여과하고, 100ml로 정용하였다. 이것을 2ml를 취하여 somogyi-Nelson 시료로 하였으며 여기에 A시약 2ml를 가하고 정확히 10분 비등수조에서 가열한후 급냉하여 B시약 2ml를 가하고 25ml에 정용한 후 Vortex mixer로 충분히 혼합한후 500nm에서 흡광도를 측정하여 표준곡선에 의하여 정량하였다.

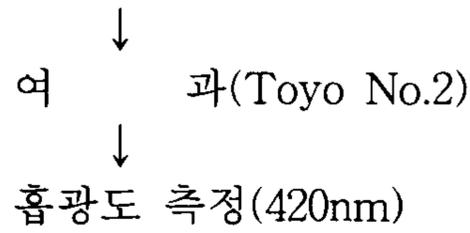
(㉟) 지질 정량

지질정량은 Soxhlet 추출법에 준하여 측정하였다. 즉 시료 5g을 원통 여지에 정확히 취하여 항온건조기에서 2-3시간 건조시킨후 방냉시켜 Soxhlet 추출 장치에 넣고 에테르 16시간 추출하여 조지질함량을 측정하였다.

(2) 각 품질측정 방법의 실험순서

(가) 수용성 갈변물질

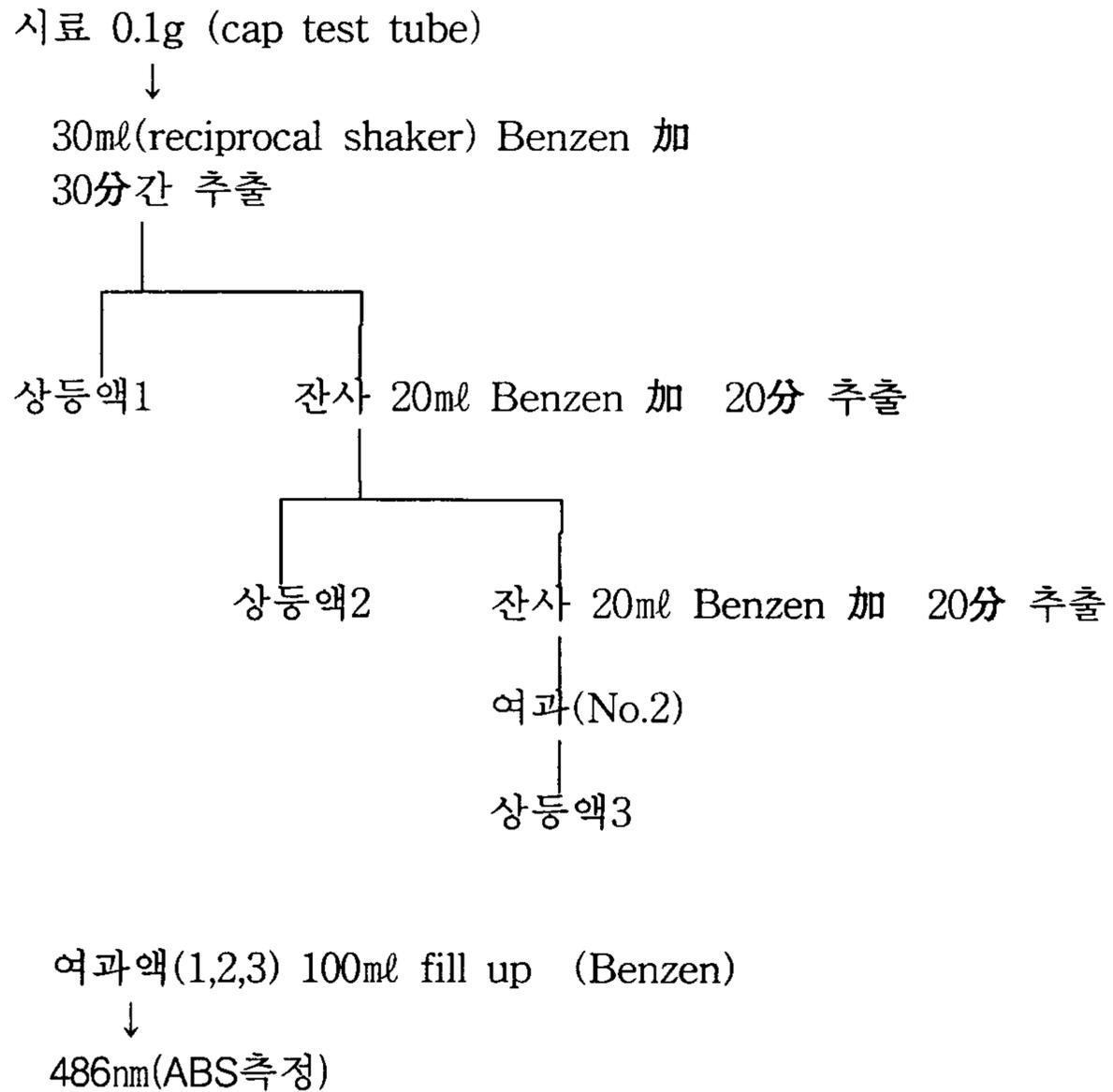
고추가루 시료(0.3g)
↓
100ml 증류수로 추출(30°C, 2hr)



(나) 색도(색차계 이용)

한 시료 당 10개를 채취하여 1개당 6군데의 값을 평균하였음

(다) Capsanthin 함량



$$Xg = \frac{ABS \times V_0 \cdot 1.}{E_{1cm}^{1\%} \times 100}$$

$E_{1cm}^{1\%}$: 1790(capsanthin)
 2650(β -carotene)
 2460(Cryptoxanthin)

(라) Capsaicin

고추시료(1g)
↓
acetone 25ml 加
진탕 추출 4시간
↓
추출액 2ml 取(시험관)
↓
carbon tetra chloride 2ml 加
알칼리염 용액 (2% NaCl + 0.5N-NaOH) 8ml 加
↓
mixing(충분히)
↓
상등액 5ml 取
1M Sodium phosphate monobasic 용액 4ml 加
↓
mixing
↓
phenol 시약 1ml 加
↓
비등수조 7분간 반응
↓
냉각 (流水中, 10分)
↓
750nm ABS 측정

(마) 유리환원당

시료 1g에 증류수 50ml 加
↓
30분 진탕 추출
↓
여과(No.2)
↓
100ml fill up
↓

20ml 取
 ↓
 10% lead acetate 5ml 加
 ↓
 3.2% Sodium oxalate 5ml 加
 ↓
 여과 (No.2)
 ↓
 100ml fill up
 ↓
 2ml 取 Somogyi-Nelson 시료
 ↓
 25ml mess test tube에 sample 2ml + 2ml A시약
 ↓
 Boiling (water bath) 정확히 10分
 ↓
 급 냉
 ↓
 B시약 2ml 加
 ↓
 25ml fill up
 ↓
 mixing (vortex)
 ↓
 500nm 비색측정
 (15 ~ 40분 사이에 측정)

(바) 지질

시료 5g(원통여지取)
 ↓
 항온건조기 (105-100도, 2-3시간)
 ↓
 방냉(데시케이터)
 ↓
 Soxhlet추출 장치(16시간 추출)
 ↓
 조지방 함량 측정

2. 품질검사결과 및 고찰

건조방법을 달리하였을때 금탑과 알찬품종의 주요품질결정요인을 분석한 결과를 표2-21과 표2-22에 나타내었다.

표2-21 건조방법별 고추(금탑)의 품질 평가결과

건조방법	색도(통고추)			수용성 갈변물질	Capsaicin (mg%)	Capsanthin (mg/g)	지질 (%)	환원당 (%)
	L	a	b					
물 시 료	23.26	24.98	9.12		89.6	6.5	9.7	11.8
태 양 초	19.00	8.69	4.73	0.391	35.0	5.1	7.4	10.6
50℃(열풍)	18.93	4.92	4.45	0.416	80.0	1.7	7.7	8.8
70℃(열풍)	17.12	6.04	3.16	0.649	58.5	5.4	8.4	9.0
70℃→50℃ (열풍)	18.21	7.40	3.88	0.412	50.0	5.2	7.4	10.9
70℃→비닐 하우스	17.72	7.83	4.53	0.279	47.0	4.6	5.6	10.4
50℃(원적외 선)	20.9	10.22	5.64	0.206	74.5	5.4	10.6	10.8
70℃(원적외 선)	16.64	7.27	3.76	0.218	75.5	5.6	12.3	11.0
70℃→50℃ (원적외선)	17.51	8.87	4.39	0.183	83.5	6.2	10.4	9.8

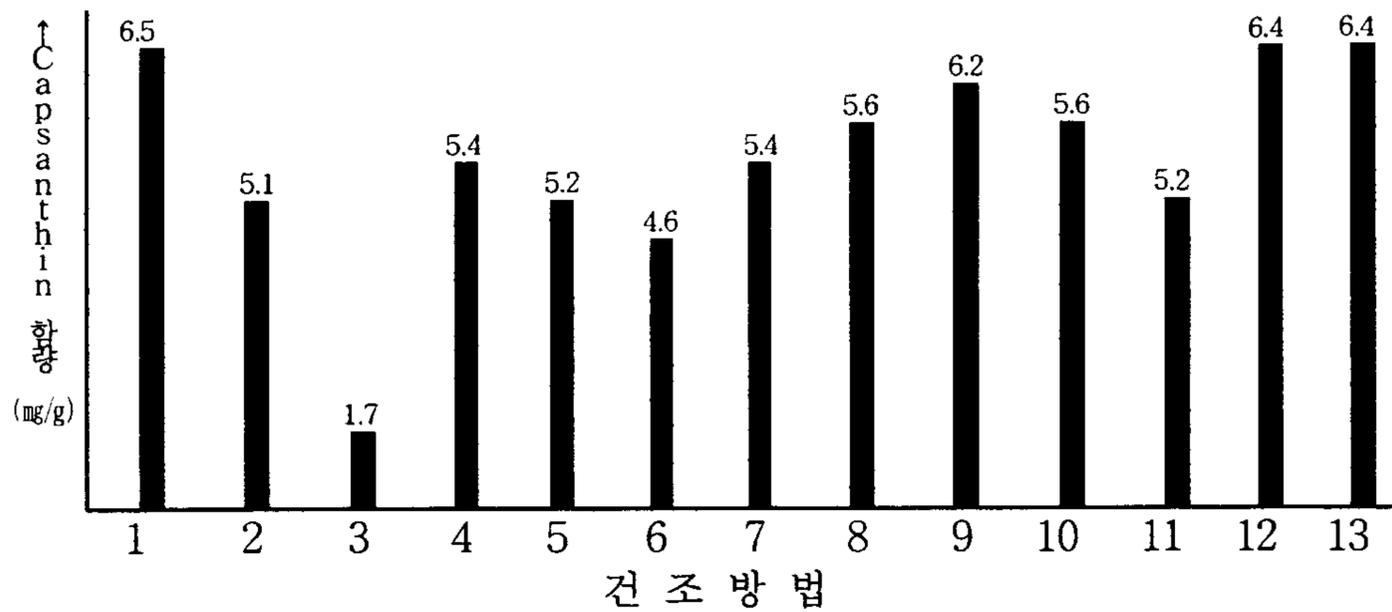
표2-22 건조방법별 고추(알찬)의 품질 평가결과

품 종 및 구 분	색도측정			수용성 갈변물질	Capsaicin (mg %)	Capsanthin (mg %)	지질 (%)	환원당 (%)
	L	a	b					
60℃ 열풍 (알찬)	17.4	17.6	13.2	0.281	45.6	5.6	7.67	8.99
70℃ 열풍 (알찬)	17.2	17.9	13.46	0.836	48.5	5.2	7.92	9.5
70℃ 원적외 선(알찬)	17.5	18.3	13.56	0.361	50.57	6.4	8.18	9.4
복합열태양 초 자동건조	20.8	19.1	14.17	0.187	51.46	6.4	8.03	8.89

가. 건조 방법이 색도에 미치는 영향

고추의 Carotenoid는 Capsanthin 35%, β -Carotene 과 Violaxanthin 10%, Cryptoxanthin 10%, Capsorubin 6% 등으로 구성되어 있으며 고추의 품질 기준으로서 적색도는 주로 Capsanthin을 정량하거나 색차계를 이용하여 비교 판정하고 있다.

Capsanthin 함량은 건조방법에 따라 1.7-6.4 mg/g으로 큰 차이를 보였는데(그림2-5) 이는 건고추에 비해 물고추시료가, 열풍처리보다 원적외선처리가 Capsanthin 함량이 높게 나타났고, 복합열 태양초 자동건조기로 처리한 고추에서도 아주 높은 값을 보여 복합열 태양초 자동건조기로 대량 처리한 고추가 품질이 균일하면서 색도가 좋은 고품질의 고추를 가공할 수 있음을 알 수 있었다.



* 건조방법 범례

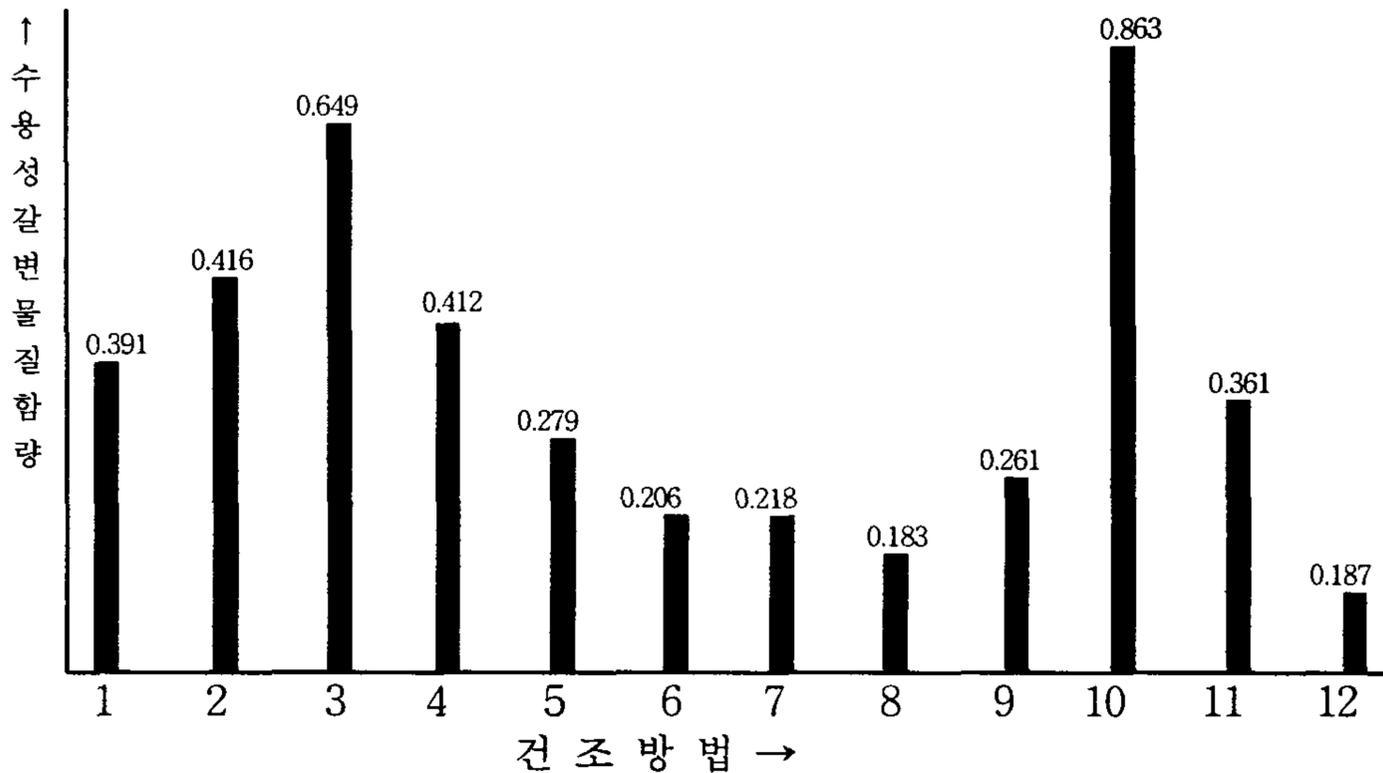
1. 물시료 2. 태양초 3. 50℃ 열풍 4. 70℃ 열풍 5. 70℃→50℃ 열풍
 6. 70℃→비닐하우스 7. 50℃ 원적외선 8. 70℃ 원적외선
 9. 70℃→50℃ 원적외선 10. 60℃ 열풍(알찬고추) 11. 70℃ 열풍(알찬고추)
 12. 70℃ 원적외선(알찬고추) 13. 복합열 태양초 자동건조

그림2-5 건조방법별 Capsanthin의 함량 변화

또 색차계를 이용한 통고추의 색도를 조사한 결과 태양초에서 a값이 가장 높고, 건조온도에 의한 영향보다 원적외선의 처리유무가 a값에 더 큰 영향을 보였으며, 복합열 태양초 자동건조기로 처리한 고추가 19.1로 아주 높은 값을 나타냈다.

연구자들에 의하면 고추는 가열온도가 높을수록 또 가열시간이 길수록 total Carotenoid 색소의 감소와 더불어 갈변물질이 현저하게 증가하며, 고추의 흑적색은 total carotenoid의 감소보다는 급격한 갈변물질의 증가에 주된 원인이 된다고 보고하고 있다. 본 실험에서도 그림2-6의 건조방법별 수용성 갈변물질의 함량에서도 나타난 바와 같이 수용성 갈변물질의 생성이 온도에 영향을 받아, 건조온도가 높을수록 수용성 갈변물질 양이 증가했으나 원적외선 처리가 수용성갈변물질의 증가를 억제시키는 역할을 하

여 0.2-0.4정도 그 함량이 낮았다. 또 복합열 태양초 자동건조가 0.187로 가장 낮은 값을 나타내 고추건조에 가장 좋은 처리방법으로 나타났다.



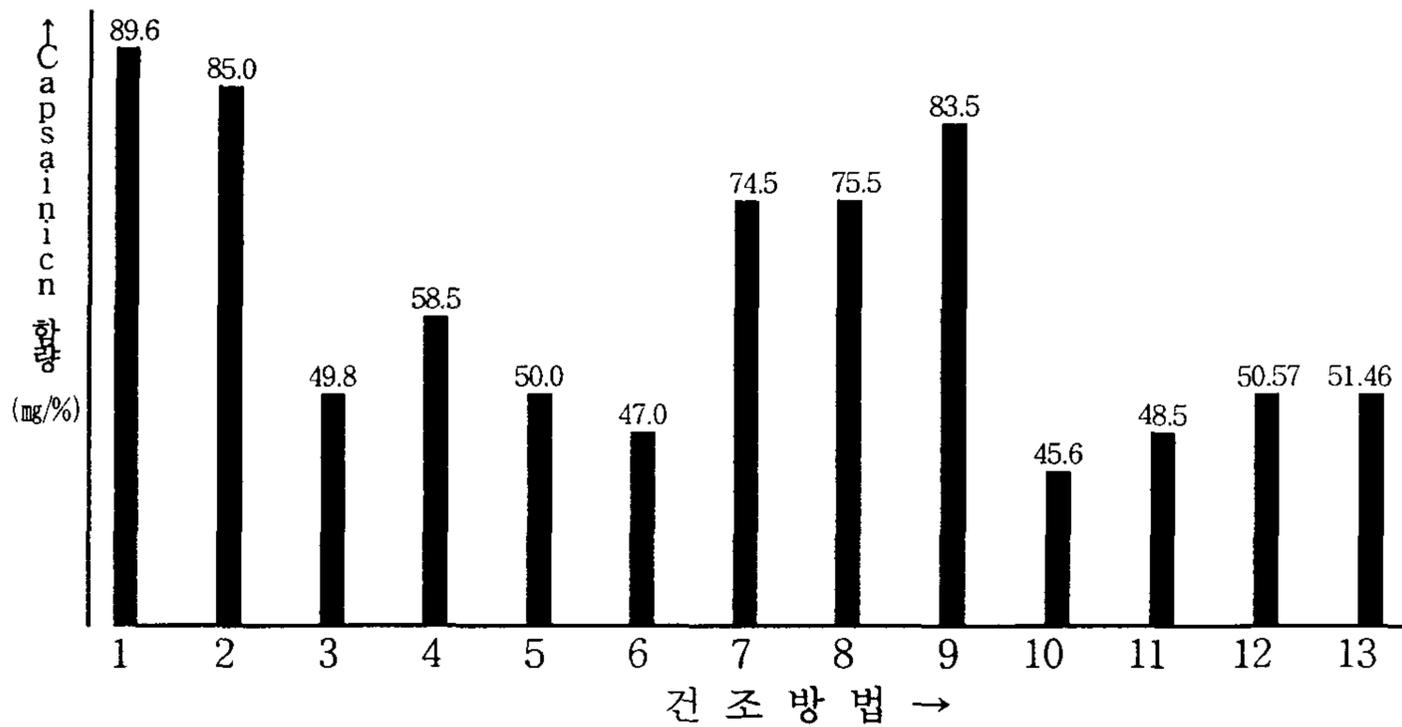
* 건조방법 범례

1. 태양초 2. 50℃ 열풍 3. 70℃ 열풍 4. 70℃→50℃ 열풍
 5. 70℃→비닐하우스 6. 50℃ 원적외선 7. 70℃ 원적외선
 8. 70℃→50℃ 원적외선 9. 60℃ 열풍(알찬고추) 10. 70℃ 열풍(알찬고추)
 11. 70℃ 원적외선(알찬고추) 12. 복합열 태양초 자동건조

그림2-6 건조방법별 수용성 갈변물질의 변화

나. 건조방법이 맛에 미치는 영향

고추의 건조방법에 따른 capsaicin 함량 변화(그림2-7)를 보면, 열처리 온도에 따른 capsaicin 함량 변화는 별로 없었으나 원적외선 처리구에서는 열풍 처리구에 비해 건조에 의한 감소량이 적었다. 또, 복합열 태양초 자동건조가 다른 처리구에 비해 감소량은 적었으나 큰 효과는 나타나지 않았다.



* 건조방법 범례

1. 물시료 2. 태양초 3. 50℃ 열풍 4. 70℃ 열풍 5. 70℃→50℃ 열풍
 6. 70℃→비닐하우스 7. 50℃ 원적외선 8. 70℃ 원적외선
 9. 70℃→50℃ 원적외선 10. 60℃ 열풍(알찬고추) 11. 70℃ 열풍(알찬고추)
 12. 70℃ 원적외선(알찬고추) 13. 복합열 태양초 자동건조

그림2-7 건조방법별 Capsaicin의 함량변화

가열된 고추에 있어서 변색은 carotenoid색소의 산화보다는 갈변물질의 생성에 기인되며, 갈변물질은 주로 비효소적 갈변중 Carbonyl화합물과 아미노산 또는 그 유도체 사이에서 일어나는 Maillard반응인데, 당중에서도 환원당이 갈변반응을 비교적 잘 일으킨다고 알려져 있다. 본 실험에서, 물시료에 비해 건조 시료에서는 1-3%정도 그 함량이 감소하는 경향이 있었으나 원적외선이나 건조온도에 따른 당함량의 영향은 거의 없었다.

채소 과일에는 일반적으로 지질함량은 적지만 이것이 성숙, 추숙에 따라 일어나는 역할은 매우 중요하며 맛에도 많은 영향을 미칠 것으로 생각되는 지질의 변화는 금탑품종에서 원적외선 처리가 열풍 처리보다 2-7% 높게 나타났고 복합 열태양 건조에서도 원적외선 처리와 비슷한 경향을 보였으며, 전반적으로 지질함량은 7-12%함량을 나타내고 있다.

3. 요약

건조방법별 고추의 품질평가를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. Capsanthin함량은 건조방법에 따라 1.7-6.4mg/g으로 큰 차이를 보였는데 열풍처리보다 원적외선 처리가 높게 나타났으며, 복합열 태양초 자동 건조기로 처리한 고추에서도 51.46mg/g으로 아주 높은 값을 보여, 복합열처리가 품질이 균일하면서 색도가 좋은 고품질의 고추를 생산할 수 있음을 알 수 있었다.
- 나. 색차계를 이용한 통고추의 색도를 조사한 결과 온도에 의한 영향보다 원적외선 처리 유무가 붉은색에 큰 영향을 보였으며 복합열 태양초 자동 건조기로 처리한 고추의 a값이 19.1로 아주 높은 값을 나타냈다.
- 다. 수용성 갈변 물질은 건조 온도가 높을수록 함량이 증가되었으나 복합열 이용 건조가 0.187로 가장 낮은 값을 나타내 고추 건조에 가장 좋은 처리 방법으로 나타났다.
- 라. Capsaicin함량 변화를 보면 열처리 온도에는 별로 영향을 받지 않으나 원적외선 처리구에서는 열풍 처리구에 비해 감소량이 약간 적었고 복합열 건조가 다른 처리구에 비해 건조에 따른 Capsaicin함량 감소는 적었으나 큰 효과는 나타나지 않았다.
- 마. 환원당 함량의 변화는 물시료에 비해 건조시료에서는 전반적으로 1-3% 정도 낮은 함량을 나타내는 경향이 있었으나 원적외선이나 건조온도에 따른 당함량의 영향은 거의 없었다.
- 바. 조지질의 변화는 금탑 품종에서는 원적외선 처리가 열풍처리보다 그 함량이 2-7% 높게 나타났고 복합열 처리구에서는 원적외선 처리구와 비슷한 함량을 나타냈다. 이와 같은 사실을 종합해 볼 때 복합열 태양초 자동 건조기로 처리한 고추가 여타의 방법으로 처리된 고추에 비해 상품적 가치인 색 뿐만 아니라 맛 성분도 훨씬 뛰어나서 품질이 균일하면서 고품질의 건고추 생산에 아주 적합한 건조 방법이라 생각된다.

제 3 장 복합열 태양초 자동건조기 개발

제 1 절 개발방향 및 설계목표

1. 개발방향

현재 고추건조공정은 다음 그림 3-1과 같이 수행되고 있다.

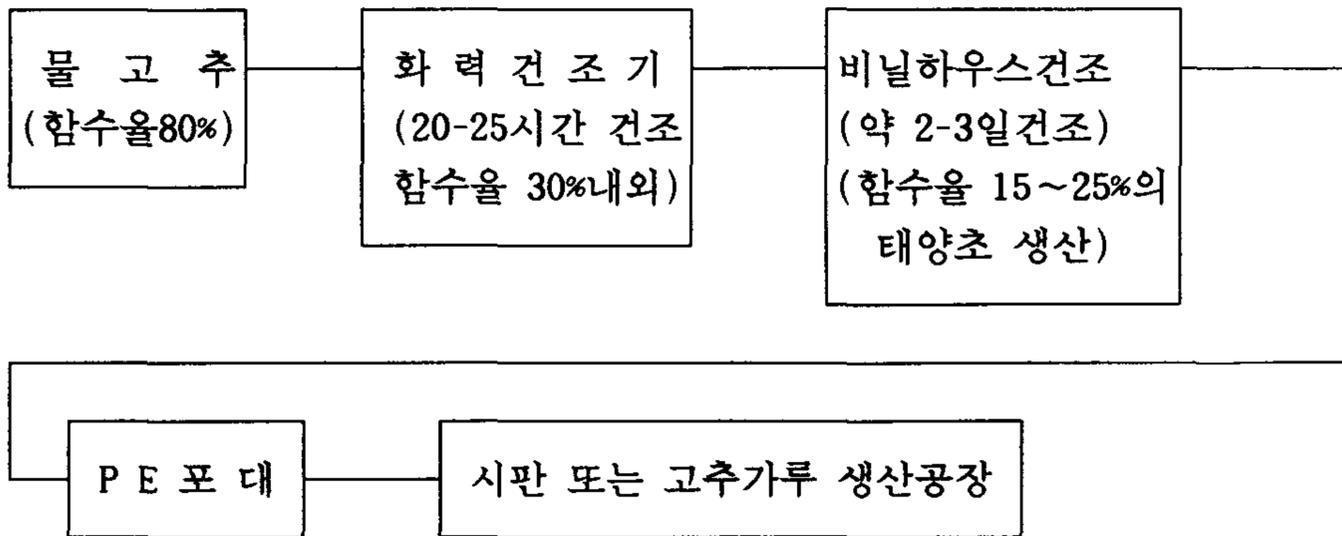


그림3-1 현행 건 고추 생산공정

그림에서와 같이 수확된 물 고추(함수율 80~85%)를 상자형 화력 건조기에 투입하여 보통 함수율 25~35 %까지 건조한 후 선택을 내기 위하여 비닐하우스 내에서 2~3일 동안 태양열을 이용하여 함수율 20% 정도까지 건조한다. 상자형 건조기는 건조 중에 상자를 상하 층간에 서로 교환해 주어야 한다. 교환하지 않으면 건조 속도가 크게 저하될 뿐만 아니라 상하 층간에 불균일 건조가 심하여 균일한 함수율의 건고추를 생산할 수 없다. 비닐하우스에서의 건조공정을 생략하고 화력건조만으로 건조를 완료할 경우 건조소요시간이 40~50 시간에 이르게 되며 고추의 품질도 크게 저하하게 된다. 이러한 현행건조공정의 문제점을 요약하면 다음과 같다.

가. 건조 노력 및 비용 과다 소요

나. 비닐하우스 건조시 고추의 양적 손실 증대

다. 건 고추의 품질저하

라. 자동화 불가

이상의 현행 고추 공정의 문제점을 해결하기 위하여 새로운 고추 건조기의 처리 시스템의 구성을 다음과 같이 설정하였다.

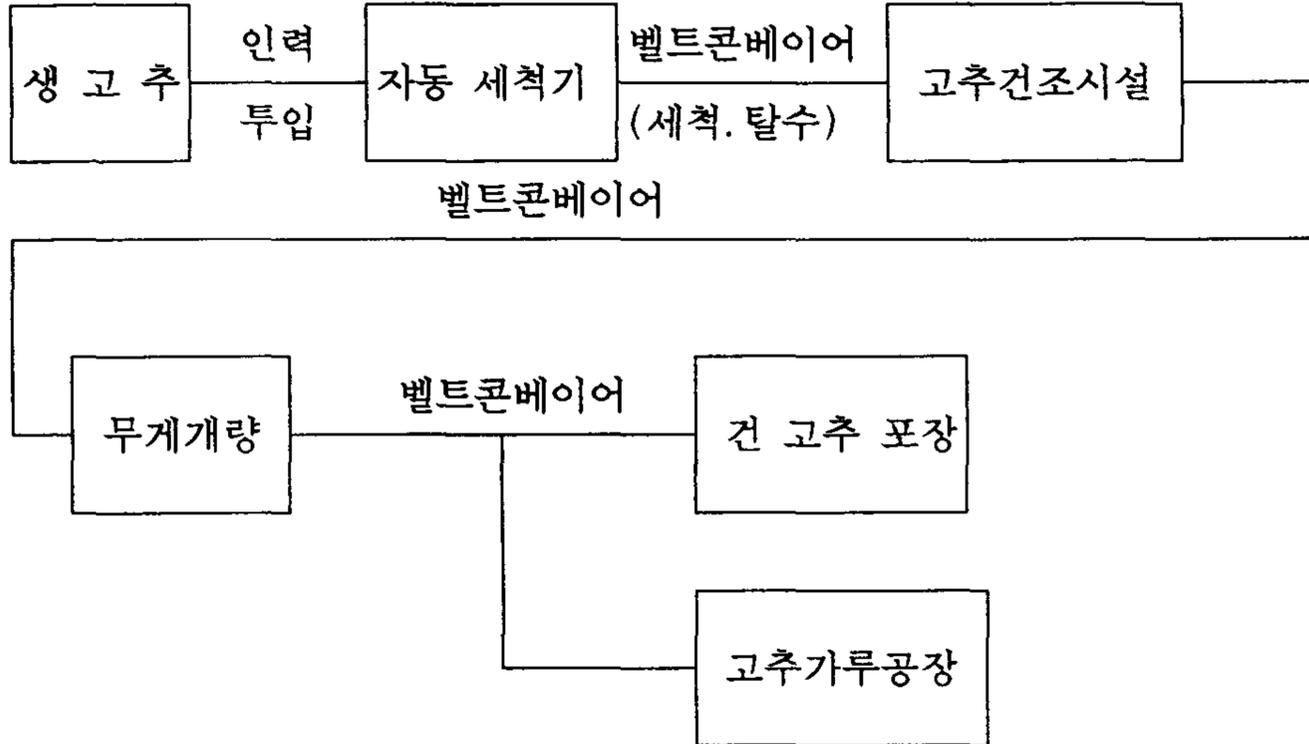


그림3-2 자동화 고추건조기 처리 시스템

수확된 물 고추를 인력으로 고추자동세척기에 투입되며, 세척기에서 초음파와 물로 세척된 고추는 탈수된 후 배출되어 건조장치로 이송된다. 세척기의 출구와 건조기의 상부와 연결된 벨트콘베이어에 의해 세척된 고추는 건조장치로 자동투입된다. 건조장치내에 설치된 교반장치에 의해 10분간격으로 반전혼합되면서 태양빛과 원적외선에 교대로 노출되며, 열풍에는 계속 노출되어 건조된다. 약 25~30시간 건조후 건조가 완료되며, 건조가 완료된 건고추는 건조장치의 하부에 설치된 벨트콘베이어에 의해 외부로 배출되어 무게계량장치로 이송된다. 무게가 계량된 건고추는 농가단위시설에서는 용도에 따라 포장되며, 고추가루공장과 연계하여 설치할 경우는 공장의 투입공정으로 바로 연결될 수 있도록 한다.

이상의 사항을 고려하여 건조기의 개발 방향은 다음과 같이 설정하였다.

가. 건 고추의 품질을 태양초의 품질이상이어야 한다.

나. 현행 건조 방법에 비하여 건조 비용과 소요 시간이 절감되어야 한다.

다. 건조 전의 세척 공정, 건조 후의 포장 공정과 연계될 수 있도록 건조 공정이 자동화되어야 한다.

2. 설계 목표

고추는 건조과정중에 색택과 매운맛이 저하되는 품질 변화가 일어난다. 이러한 품질 변화는 건조 온도, 상태 습도 및 열원에 따라서 다르게 나타난다. 태양열은 고추의 색택과 매운맛을 유지하는데 유리한 열원이지만 건조 속도가 느려(7일~10일) 건조중의 부패율이 15~25%에 달하는 단점이 있다. 화석연료(석유)는 적절한 온도와 습도를 유지하면 건조속도를 임의로 조절할 수 있는 장점이 있으나 건조속도가 빠르면 색택이 저하되는 단점이 있다. 원적외선에 의한 건조는 화석연료에 비하여 건조속도가 1.5~2배 빠르며 품질도 우수한 결과로 나타나고 있다. 그러나 원적외선은 막대한 에너지의 투하로 에너지 비용이 과다한 단점이 있다.

이상의 각 열원의 장단점을 고려하여 화석 에너지의 저 비용 열원, 태양열에 의한 품질 증대 및 원적외선 열원에 의한 건조 속도 증대와 품질 증대 효과를 복합적으로 이용함으로써 건조속도를 증대시키는 동시에 품질이 우수한 건조추를 생산할 수 있을 것으로 기대된다.

고추를 균일하게 건조하기 위해서는 적절한 장치를 이용하여 건조 중의 고추를 열풍에 고르게 노출시켜주는 구조이어야 한다. 또한 건조 공정을 자동화하기 위해서는 고추를 건조기에 투입하고 배출하는 장치를 기계화, 자동화할 필요가 있다.

이상의 사항을 고려하여 개발 건조기의 설계 목표를 다음과 같이 설정하

였다.

가. 건조기 용량 : 물 고추 800 kg(시작기), 2,000kg(본기, ha당 1회수확량, 4회수확)

나. 건조기 형식 : 교반식

다. 열원 : (석유연소열 + 태양열 + 원적외선) 복합 이용

라. 건조 소요 시간 : 25~35 시간

마. 건조 소요 에너지 : 석유연소열 5,000 kJ/kg.H₂O

바. 건 고추 품질 : 카로테노이드 함량 > 250 mg/100g.건물

사. 자동화 : 투입. 배출 기계화. 자동화

온. 습도 조절 자동화

제 2 절 설계 변수 결정

1. 건조기의 기본 구조 및 건조 공정

건조기는 그림 3-3과 같이 건조실, 건조조, 교반장치, 열풍기, 원적외선 발열 장치, 투입 장치, 배출 장치 및 제어장치로 구성하였다. 투입콘베이어에 의해 건조조에 투입된 고추는 건조조내에 고르게 퇴적된다. 열풍기에서 배출된 열풍은 태양열로 가열된 건조실 내의 공기와 혼합되어 고추 퇴적층의 상부로 유입되어 하부로 배출된다. 하부로 배출된 배풍의 일부는 건조실외로 배출되며 일부는 재 순환된다. 건조조에 퇴적된 고추는 건조중에 적절한 간격으로 교반되어 균일하게 건조되도록하며, 또한 고추는 태양빛에 간헐적으로 노출된다. 교반장치에 원적외선 발열체를 부착하여 고추가 교반될 때 간헐적으로 원적외선에 노출된다.

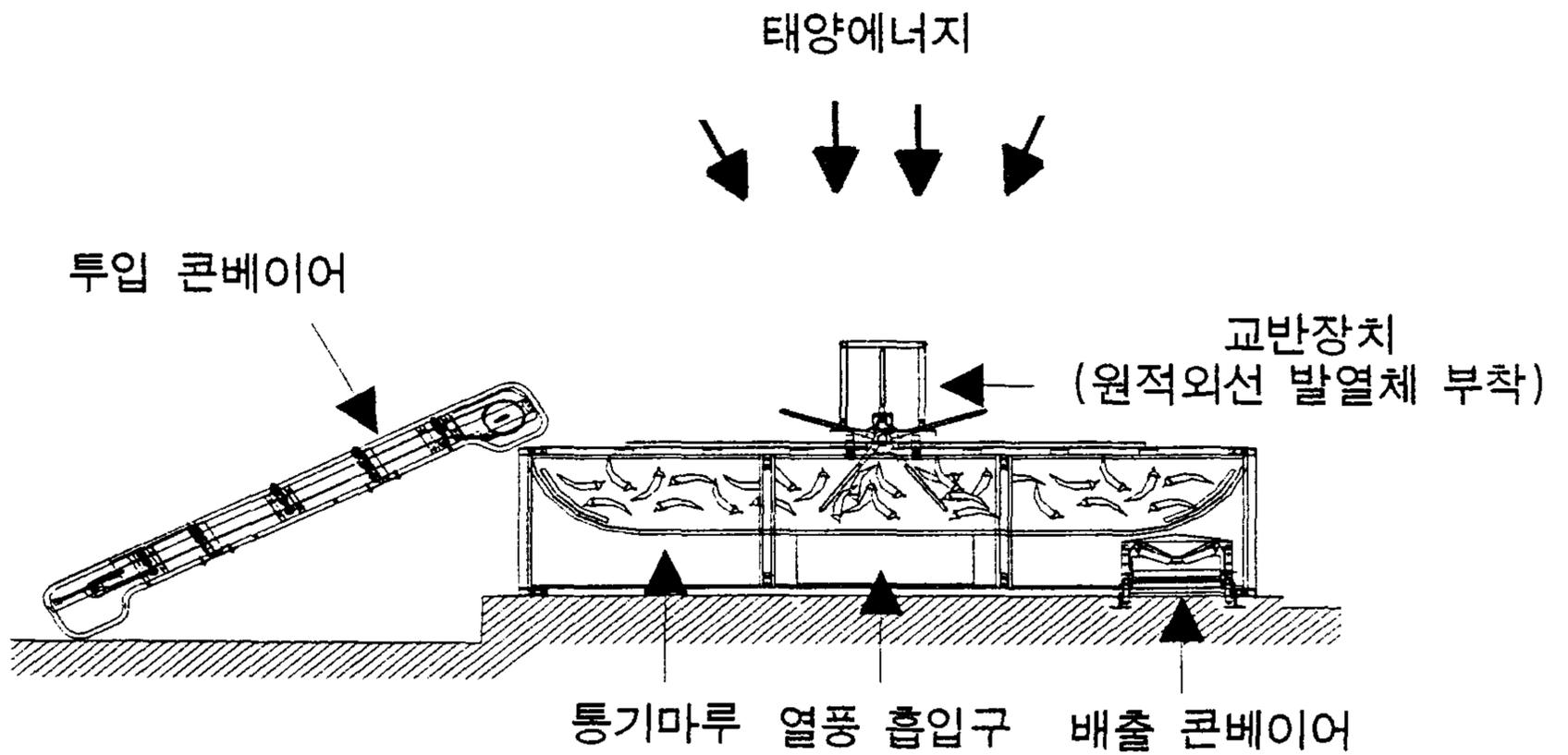
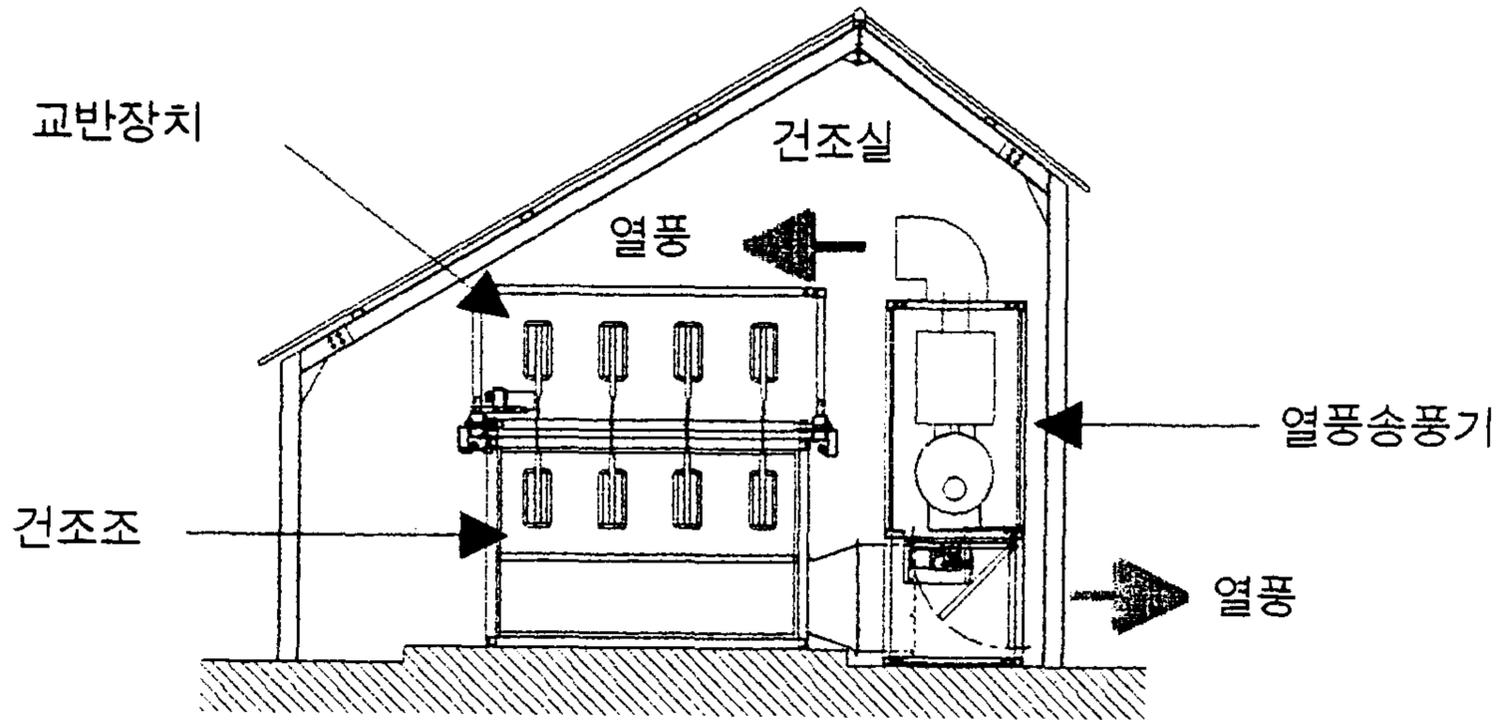


그림3-3 건조기의 기본 구조

2. 최적 설계

고추 건조기의 주요 설계사양인 송풍량, 송풍온도 및 배기재순환율을 결정하기 위하여 건조과정을 해석석하기 위한 건조시뮬레이션 프로그램과 최적화프로그램을 개발하였다.

가. 시뮬레이션 프로그램 개발

건조 조에 후층으로 퇴적되어 간헐적으로 교반되는 후층건조를 해석하기 위하여 개발된 수확건조모델은 다음과 같다.

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{-h A_s (T-\theta)}{G_a (c_a + c_v H)} \quad \dots\dots\dots(3-1)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{h A_s (T-\theta)}{\rho_p c_p} - \frac{h_{fg} + c_v (T-\theta)}{\rho_p c_p} G_a \frac{\partial H}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(3-2)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{\rho_p}{G_a} \frac{\partial M}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(3-3)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -\frac{3 D_e}{d^2} (M - M_e) \quad \dots\dots\dots(3-4)$$

$$D_e = A M^B \quad \dots\dots\dots(3-5)$$

$$A = 0.000041492(1 - RH) \exp(0.0405465 \theta)$$

$$B = 0.295258 + 0.00738769 \theta$$

$$d = 0.01898 + 0.02684 M - 0.00227 M^2 + 0.01186 M m_b$$

- 여기서, T : 고추층 통과 공기의 온도(°C)
 θ : 고추의 온도(°C)
 H : 고추층 통과 공기의 절대습도(kg/kg)
 M : 고추의 함수율(dec., d.b.)
 A_s : 고추 퇴적층의 비표면적(m²/m³)
 c_a : 건 공기의 비열(kJ/kg.K)
 c_p : 고추의 비열(kJ/kg.K)
 c_v : 수증기의 비열(kJ/kg.K)
 G_a : 송풍 공기의 질량 유동율(kg/hr.m²)

h : 고추 퇴적층의 대류열전달계수(kJ/hr.m².K)
 h_{fg} : 고추수분증발잠열(kJ/kg)
 M_e : 고추의 평형함수율(dec.,d.b.)
 m_b : 고추 개체의 건물 중량(g)
 t : 건조 시간(hr)
 x : 고추 퇴적층의 깊이 좌표(m)

상기 식을 유한차분법을 이용하여 해를 구하고 고추 층의 함수율, 고추의 온도, 통과 공기의 온도와 절대습도를 예측하는 컴퓨터프로그램을 작성하였다. 프로그램에 사용된 고추의 열 및 물성에 관련된 방정식은 다음과 같다.

고추의 평형함수율은 다음 식(3-6)을 사용하였다.

$$M_e = A \ln(-\ln(RH)) + C \quad \dots\dots\dots(3-6)$$

$$A = -0.0595$$

$$C = 0.17711 - 0.000015051 T^2 - 0.0339181/m_b$$

고추의 비열은 다음 식(3-7)을 사용하였다.

$$c_p = \frac{1.441 + 4.187 M}{1 + M} \quad \dots\dots\dots(3-7)$$

고추의 비표면적은 다음 식(3-8)을 사용하였다.

$$A_s = \frac{0.1 \rho_p A_b}{m_b} \quad \dots\dots\dots(3-8)$$

$$A_b = 3.74 + 23.62 m_b - 1.76 m_b^2$$

고추층의 대류열전달계수는 다음 식(3-9)을 사용하였다.

$$h = 44.93 V^{0.74} \quad \dots\dots\dots(3-9)$$

나. 건조기의 최적 설계

최적화의 목적은 고추의 품질을 유지하면서 초기함수율에서 목표함수율까지 건조하는데 소요되는 에너지를 최소화하는 것으로 설정하였으며,

이에 따른 최적의 열풍 온도, 송풍량 및 배기재순환율을 결정하기 위한 최적화 설계 프로그램을 개발하였다. 최적 설계의 전제조건은 다음과 같이 설정하였다.

- (1) 고추의 초기함수율 80%,w.b.
- (2) 목표함수율 20%, w.b.
- (3) 초기 carotenoid 함량 370mg/100g.drymatter
- (4) 교반간격 1회/10분
- (5) 퇴적층 깊이 50 cm

건조 소요 에너지는 공기 가열에너지와 송풍에너지의 합으로 하였다. 공기 가열에너지는 다음 (3-10)식으로 계산하였다.

$$q_f = \dot{m}_i [h_i - (1-R)h_a - R h_r] \quad \dots\dots\dots(3-10)$$

- 여기서, q_f : 공기 가열 에너지(kJ/hr)
 \dot{m}_i : 건조조 유입 공기의 질량유동율(kg-dry air/hr)
 h_i : 건조조 유입 공기의 엔탈피(kJ/kg-dry air)
 h_a : 외기의 엔탈피(kJ/kg-dry air)
 h_r : 건조조 배기의 엔탈피(kJ/kg- dry air)
 R : 배기의 재순환율(dec.)

프로그램에서 시간중분 Δt 시간 동안의 공기 가열 에너지 $q_f \Delta t$ 를 구하고, 이를 전체 건조시간에 걸쳐서 합산하여 총공기 가열에너지 Q_f 를 구하였다.

송풍 에너지는 다음 (3-11)식으로 산출하였다.

$$Q_p = \frac{3.6 V \Delta P}{\eta} t \quad \dots\dots\dots(3-11)$$

여기서, Q_f : 송풍 에너지(kJ)

- V : 송풍량(m³/s)
- ΔP : 고추 퇴적층의 공기저항(Pa)
- t : 건조 시간(hr)
- η : 송풍기 효율(0.5)

고추 퇴적층의 공기저항 ΔP 는 공기저항에 관한 Ergun식에서 퇴적물질의 형상에 따른 계수 C_1 과 C_2 의 값을 각각 1.54 및 1.083 (실린더에 관한 값)로 하고, 50 °C의 공기 물성값을 대입하여 정리한 다음 식(3-12)를 이용하였다.

$$\frac{\Delta P}{L} = (2.2 R_e + 1.083) \left(20.07 \frac{S^2}{D_p R_e} \right) \dots\dots\dots(3-12)$$

- 여기서, D_p : 고추(실린더)의 직경(m)
- L : 퇴적 깊이(m)
- R_e : Reynolds수
- S : 공기의 겉보기 속도(m/s)

최적화의 제어 변수는 송풍량, 송풍 온도 및 배기재순환율이며, 이들의 제한 조건(명시적제한조건)은 다음과 같이 설정하였다.

명시적 제한 조건

- (1) 송풍 온도 ≤ 70 °C
- (2) 송풍량 ≤ 50 cmm/m²
- (3) 배기재순환율 ≤ 1.0

송풍 온도를 70°C이하로 설정한 것은 고추의 품질유지의 최상한의 온도가 70°C로 보고되고 있기 때문이며, 송풍량은 50cmm/m² 이상일 경우 송풍기 동력이 크게 증가할 것으로 예상되어 이 값 이하로 설정하였다.

암시적 제한 조건으로 건조시간은 건조기의 건조능력을 고려하여 35시간이하로 제한하였으며, 고추의 품질을 나타내는 카로테노이드함량은 210mg/100g-drymatter)으로 하였다. 건조소요에너지는 현행건조기에 비

하여 30%의 절약효과를 나타내기 위하여 5,000kJ/kg이하로 제한하였다.

암시적제한조건

- (1) 건조 시간 ≤ 25~35시간
- (2) 최종 carotenoid함량 ≥ 210mg/100g.drymatter
- (3) 소요 에너지 ≤ 5,000 kJ/kg(30%에너지 절감)

건조 과정 동안의 카로테노이드 함량의 변화는 다음 식(3-13)으로 계산하였다.

$$\frac{dC}{dt} = -kC \quad \dots\dots\dots(3-13)$$

$$k = k_o \exp\left(-\frac{E}{R T}\right)$$

$$\ln(k_o) = 401879 - 1,9466M + 3.2619M^2$$

$$E = 7698.3 - 692.58M + 1911.2M^2$$

최적화 알고리즘은 complex방법을 사용하였으며, 최적화 프로그램은 부록에 수록하였다.

송풍량은 건조 초기부터 종표시까지 일정한 값을 유지하게 하고 송풍 온도와 배기재순환율을 3단계로 변화시키는 3단계건조방법에 대하여 최적화를 수행하였다.

최적화에서 결정된 최적 제어 변수의 값은 다음 표3-1과 같았다.

표3-1. 제어 변수의 3단 조절 건조 방법에서의 최적화 결과

단계	최적 제어 변수				소요 에너지 (kJ/kg)	건조 소요 시간 (hr)	최종카로테노이드 함량(mg)	송풍기 동력 (kW/m ²)
	경과 시간 (hr)	송풍 온도 (°C)	송풍량 (cmm/m ²)	배기재순환율(dec.)				
1	7.6이하	69.0	19.5	0.890	4240	27.8	221	0.18
2	7.6~16.0	55.8		0.829				
3	16이상	62.7		0.918				

표3-1 에서와 같이 건조 소요 에너지를 최소화하는 송풍량은 19.5 cmm/m², 송풍기 동력은 0.18 kW/m²으로 나타났으며, 송풍온도와 배기의 재순환율은 처음 7.6시간 동안은 각각 69℃, 0.890, 7.6~16.0시간 동안은 각각 55.8℃, 0.829, 16시간이상 경과후에는 각각 62.7℃, 0.918로 나타났다. 이 때 건조소요에너지는 4240 kJ/kg, 건조소요시간은 27.8시간, 최종카로테노이드 함량은 221 mg/100g으로 나타났다.

제 3 절 시작기의 설계와 제작

1. 주요제원

- 형식 : 교반식 복합열 태양초 자동 건조기
- 건조조 규격 : 4.0m x 1.5m x 0.5m
- 생고추 처리량 : 780kg/회
- 퇴적층 깊이 : 0.5m
- 송풍량 : 133 m²/min. , 15mmAq
- 송풍기 소요 동력 : 1.01W
- 건조 방법 : 건조온도 3단조절
- 배기재순환율 : 0.5 ~ 0.95
- 투입 호퍼 : 0.2 톤
- 투입벨트콘베이어 : 1.5kW, 50m/min., 66rpm
- 교반장치 : 자동 반전 로타리형
 - 구동 모터 0.75kW, 4p, 1/180, 토크 65kg.m
 - 반전 장치 행정 속도 0.5m/min.
- 온풍 장치 : 40,000kcal/hr
- 배출콘베이어 : 1.5kW, 50m/min, 66rpm, 5ton/hr, 우레탄 특수고무

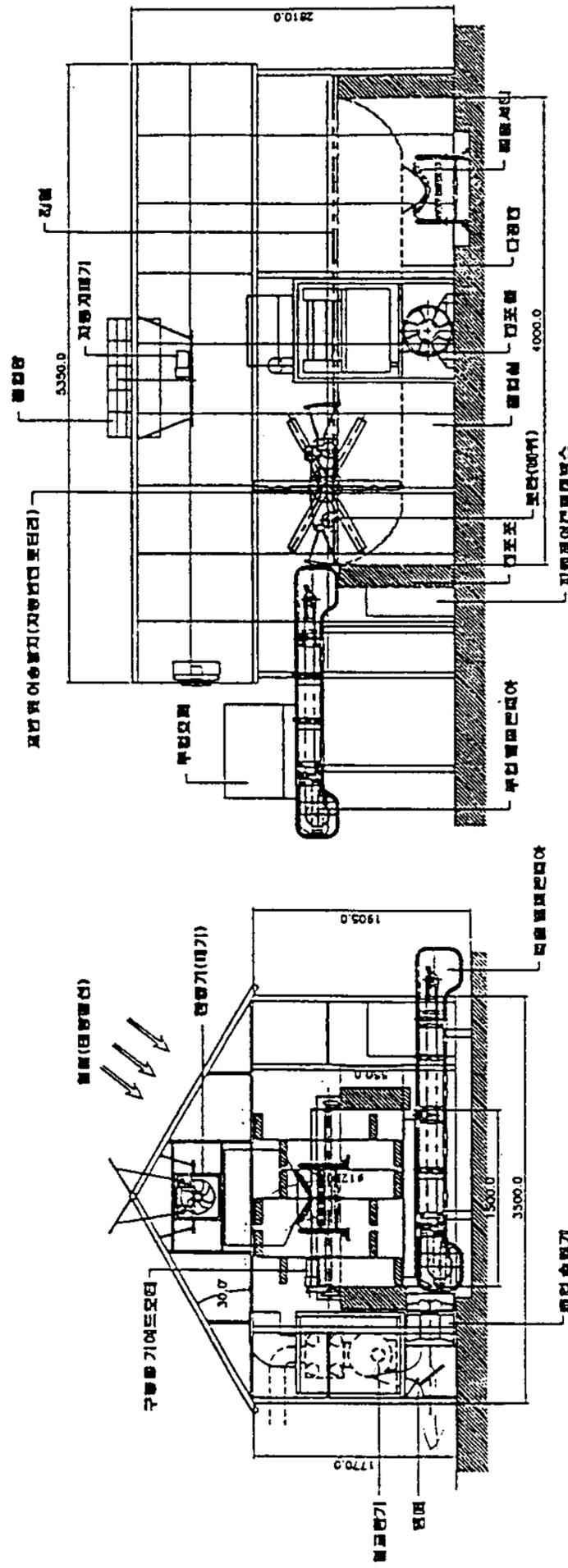
- PC온실 규격 : 5.5m x 3.9m x 1.49m x 3.16m
- 자동 제어 콘트롤박스 : 온풍 장치, 콘베이어, 교반장치, 실내건구.습구 온도, 배출장치 자동제어

2. 구 조

건조기는 건조실, 건조조, 교반장치, 열풍기, 원적외선 발열 장치, 투입장치, 배출장치 및 제어장치로 구성하였다. 건조실은 유리온실로 제작하였다. 건조실의 지붕각도는 태양열을 최대로 이용할 수 있도록 정적경사도를 분석하여 결정하였으며, 적정경사각은 30도로 분석되었다. 건조실내에 건조조를 설치하고 1회에 780kg의 물고추를 투입할 수 있도록 설계제작하였다. 건조조의 바닥은 다공의 철판으로 제작한 통기마루를 설치하였으며, 통기마루밑에 열풍흡인구를 설치하여 열풍송풍기와 연결하여 열풍을 흡인할 수 있도록 하였다. 물고추의 투입과 반입은 벨트콘베이어를 이용하여 기계적으로 수행할 수 있는 구조로 설계 제작하였다. 건조조 상부에 안내 레일을 설치하고 레일위를 이동하면서 고추를 교반하는 교반장치를 설치하였다. 교반장치는 로타리 회전형으로 건조조위를 이동하는 시간은 10분이 소요되게 하였다. 교반장치는 건조조위를 이동하면서 고추층을 교반하며, 교반된 고추는 태양빛을 고르게 받도록 설계제작하였다. 교반장치의 축에 원적외선 발열체를 설치하였으며, 이 발열체를 가열하기 위한 별도의 열원은 없으며 열풍에 의하여 가열되어 원적외선을 방사하도록 하였다. 석유를 연료로 사용하는 온풍기를 설치하여 건조조 하부로 고추층에서 공기를 흡인하여 가열기에서 가열한후 고추층 상부로 유입되도록 설계.제작하였다.

주요부의 상세도는 그림3-4~그림3-10과 같다.

태양열 복합열 태양조 자동 건조기 시스템 LAYOUT

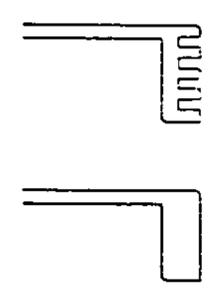


태양 고수건조기 설계 조건

1. 목표건조속도 : 2.4~3.0%/H (20~25시간내 건조완료)
2. 소비에너지 : 4.161KJ/KG.water (30~50%에너지절감)
3. 용액 : 평면식 복합열 태양열 자동 건조기
4. 건조기 길이 : 1.5m
5. 폭 : 0.5~0.8m
6. 송풍량 : 18~20cm³/m
7. 풍속 : 0.27m/s
8. 온도 : 45~70 C
9. 건조열 : 건조온도 38도
10. 에너지 효율 : 0.5~0.9 (현재 효율 0.77~0.86)

태양열 복합열 태양조 자동 건조기 사양

1. 원리 : 자연 대류 방식 : 자연 대류 방식
 건조실 : 1.5m x 1.5m x 1.5m (30~50% 에너지절감)
 배출구 길이 : 1.5m
2. 건조실 크기 : 4m x 1.5m x 0.55m (차량용 건조기 780kg/차)
3. 폭 : 0.5m
4. 송풍기 : 풍량 : 120m³/min (풍압 20mmHg 기준)
 풍속 : 1.8 m/s (7.5ft/s)
 용량 : 1.8kw (2.5HP)
5. 고압 열 교환기 : 용량 : 자동제어 모터
 구조 : 자연 대류 방식
 구조 : 1.5m x 1.5m x 1.5m (30~50% 에너지절감)
 배출구 길이 : 1.5m (30~50% 에너지절감)
 용량 : 1.8kw (2.5HP)
6. 주요 열교환기 : 용량 : 1.0kw
 풍량 : 5ton/h
7. 보조 열교환기 : 용량 : 1.0kw
 풍량 : 5ton/h
8. 자동제어 모터 : 용량 : 0.2ton
9. 송풍기 : 용량 : 자동제어 모터
10. 송풍기 : 용량 : 자동제어 모터
11. 자동제어 모터 : 용량 : 자동제어 모터
 용량 : 0.4kw, 1/270.6rpm
12. 송풍기 : 용량 : 자동제어 모터
 용량 : 1.2000kcal/h
 풍량 : 1.75G/H
13. 송풍기 : 용량 : 자동제어 모터 (자동제어 모터)
14. 자동제어 모터 : 용량 : 자동제어 모터
 용량 : 자동제어 모터



태양열 복합열 태양조

그림3-4 복합열 태양조 자동 건조기 개략도

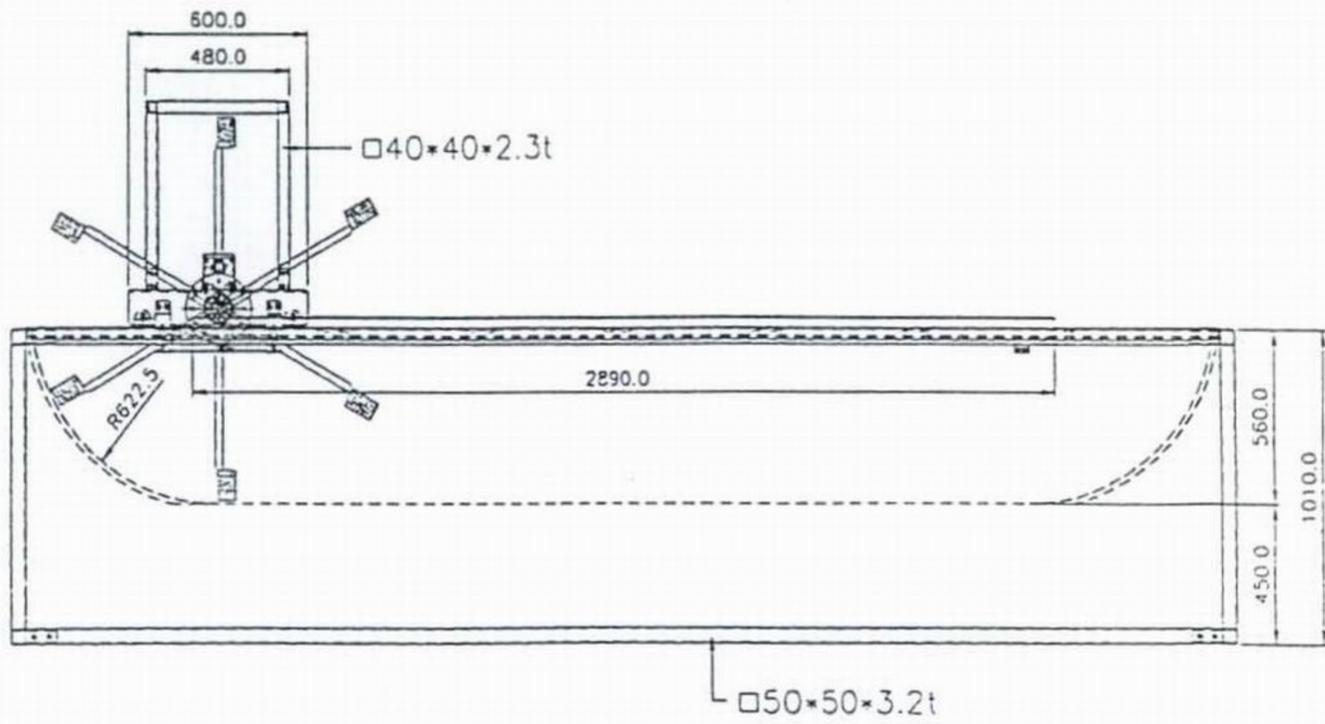


그림3-5 복합열 태양초 자동건조기 교반장치



그림3-6 복합열 태양초 자동건조기의 건조실



그림3-7 복합열 태양초 자동건조기의 건조조



그림3-8 복합열 태양초 자동건조기의 교반장치와 이송장치



그림3-9 복합열 태양초 자동건조기의 제어장치

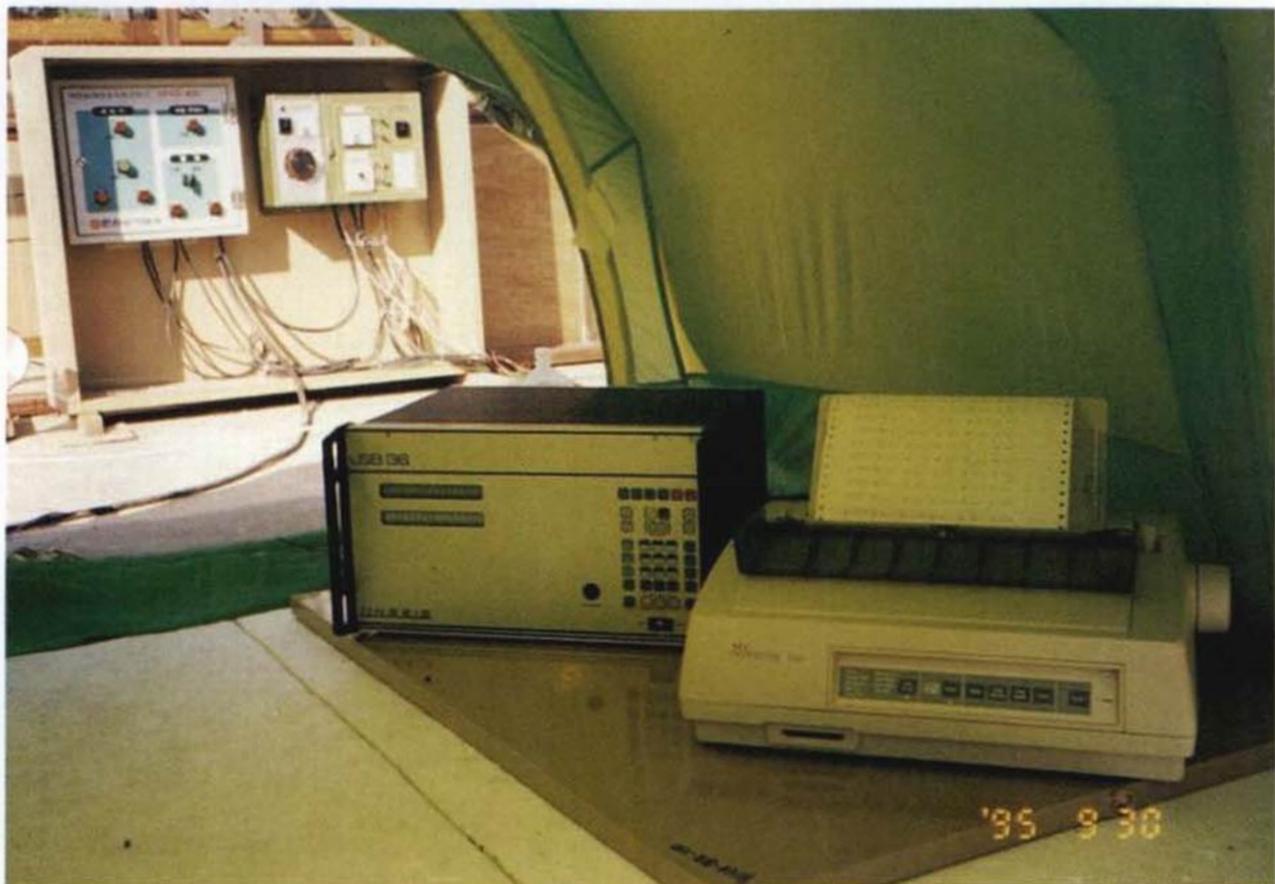


그림3-10 복합열 태양초 자동건조기의 계측장치

3. 시작기의 예비 실험

가. 건조 조건

시작기의 성능을 평가하여 개량 요점을 구명하기 위하여 2차의 고추건조실험을 수행하였다. 건조실험의 실험기간 및 사용된 고추의 조건은 다음 표3-2와 같다.

표3-2 시작기 예비 건조 실험의 건조 조건

실험회차	실험기간	고추품종	고추사용량 (kg)	초기함수율 (%,w.b.)	퇴적깊이 (m)
1차	95.9.26 - 29	금 탑	750.56	82.2	0.48
2차	95.9.29 -10.3	금 탑	709.78	81.3	0.47

예비 실험에서는 건조실내의 온습도변화, 고추의 건조속도, 교반장치의 성능, 고추의 품질 및 소요에너지를 측정 분석하였다.

나. 측정 방법

대기의 온도와 습도, 건조실 내의 온도와 습도는 건구온도와 습구온도를 측정하여 계산하였다. 건조실내의 온도측정을 위하여 건조조의 상부 열풍이 유입되는 4곳에 온도센서를 설치하였으며, 외기온습도는 실외의 백엽상을 설치하여 측정하였다. 건구온도와 습구온도는 온도자동기록장치를 이용하여 20분간격으로 자료를 기록하였다.

고추의 함수율은 3시간 단위로 건조조내의 9개소에서 시료를 채취하여 건조 오븐으로 측정하였다. 연료의 소비량은 석유 소비량의 무게를 측정하였으며, 전력 소비량은 적산 전력계를 이용하였다.

고추의 품질은 색도, 수용성 갈변 물질, capsaisin, capsanthin 함량을 측정하여 분석하였다.

교반장치의 성능은 함수율 변화의 균일 정도와 손상 정도를 판단하여 결정하였다.

다. 결과 및 고찰

(1) 건조실 내의 온도 습도 변화

그림3-11은 1차 건조 실험에서 건조실 내의 온도 습도, 외기의 온도 습도 변화를 나타낸 것이다. 1차실험에서는 열풍의 온도를 40℃에서 52℃사이에서 조절하였다. 그림에서 건조실내의 온도의 변화가 다소 기복이 있는 것은 열풍기의 용량의 부족에 기인된 것으로 판단된다. 1차 실험에서는 배기의 재순환율을 설계사양의 설정치로 제어한 결과로 온풍기의 용량부족과 열손실에 기인하여 온도제어를 용이하게 할 수 없는 것으로 나타났다. 그림3-12은 2차 건조실험에서 건조실내의 온도변화를 나타낸 것이다. 열풍의 온도는 50℃에서 60℃사이에서 조절하였다. 2차실험에서는 배기재순환율을 설계사양치보다 10%정도 증가시킨 결과이다. 온도제어가 1차 실험보다 정교하게 할 수 있었다. 건조실내의 상대습도의 제어가 설계사양과 다소 상이하게 나타남으로써 상대습도의 제어시스템의 재설계가 요구되었다.

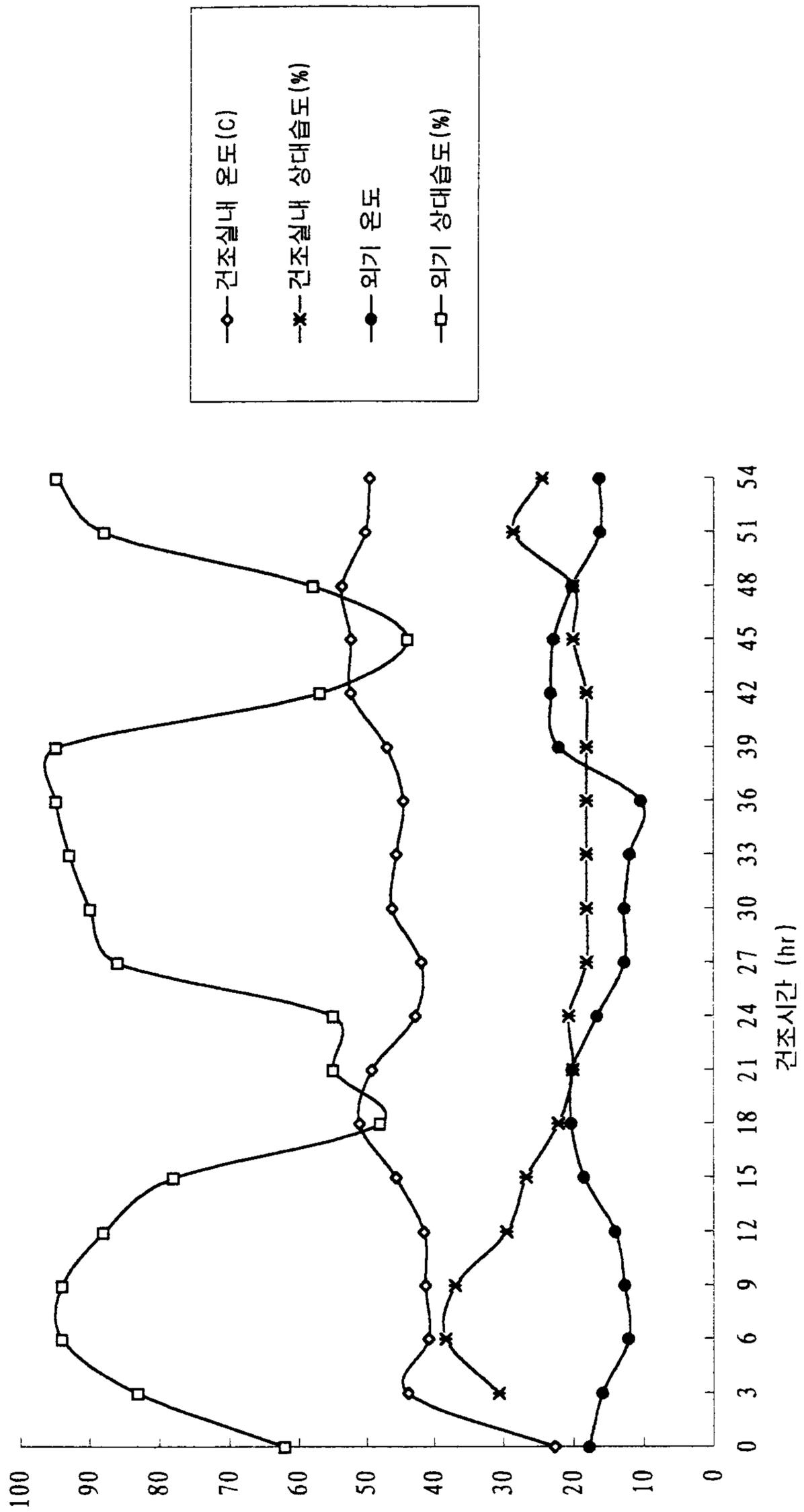


그림 3-11 건조실 내외의 온습도 변화(1차 실험)

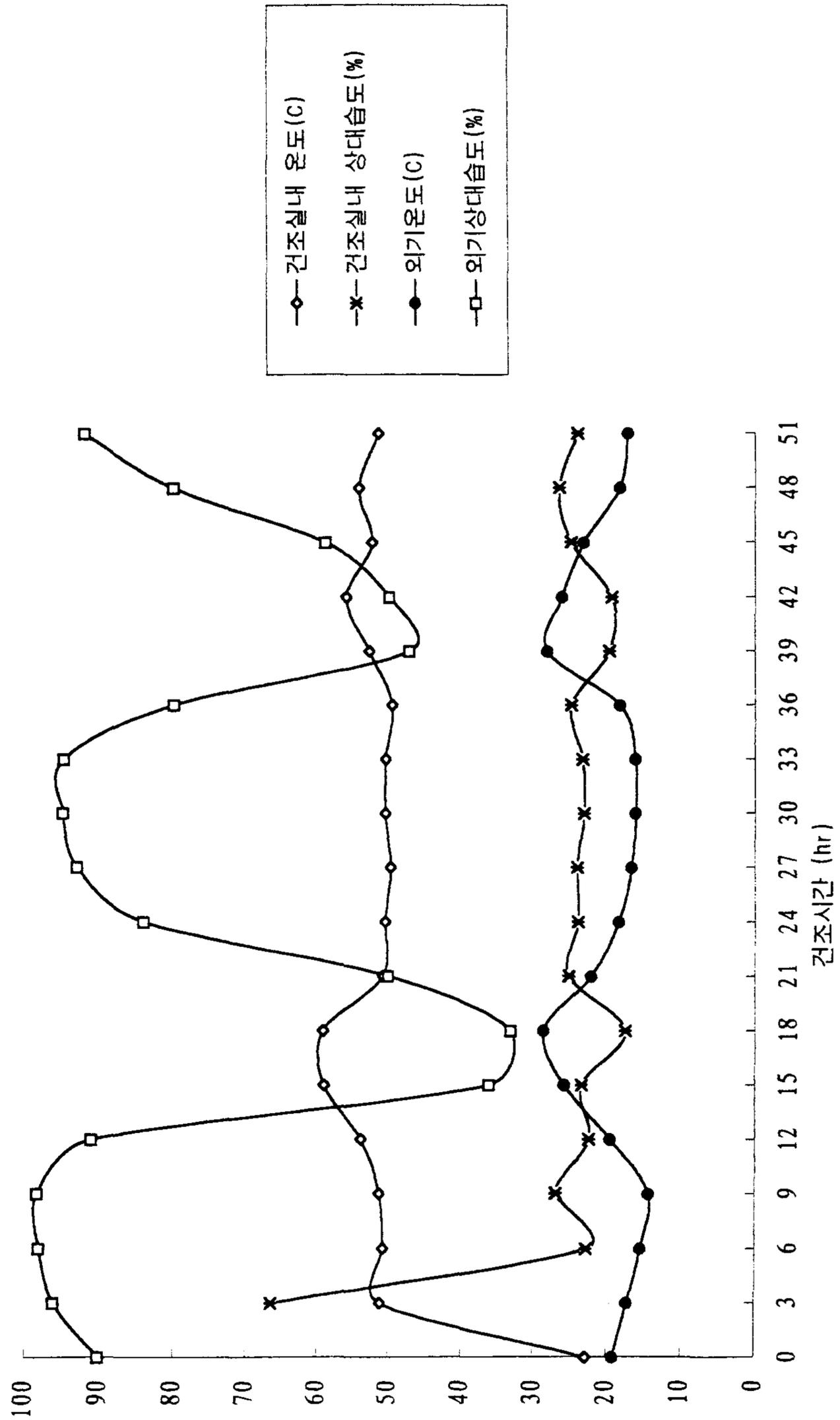


그림 3-12 건조실 내의 온 습도 변화(2차 실험)

(2) 고추의 건조 속도

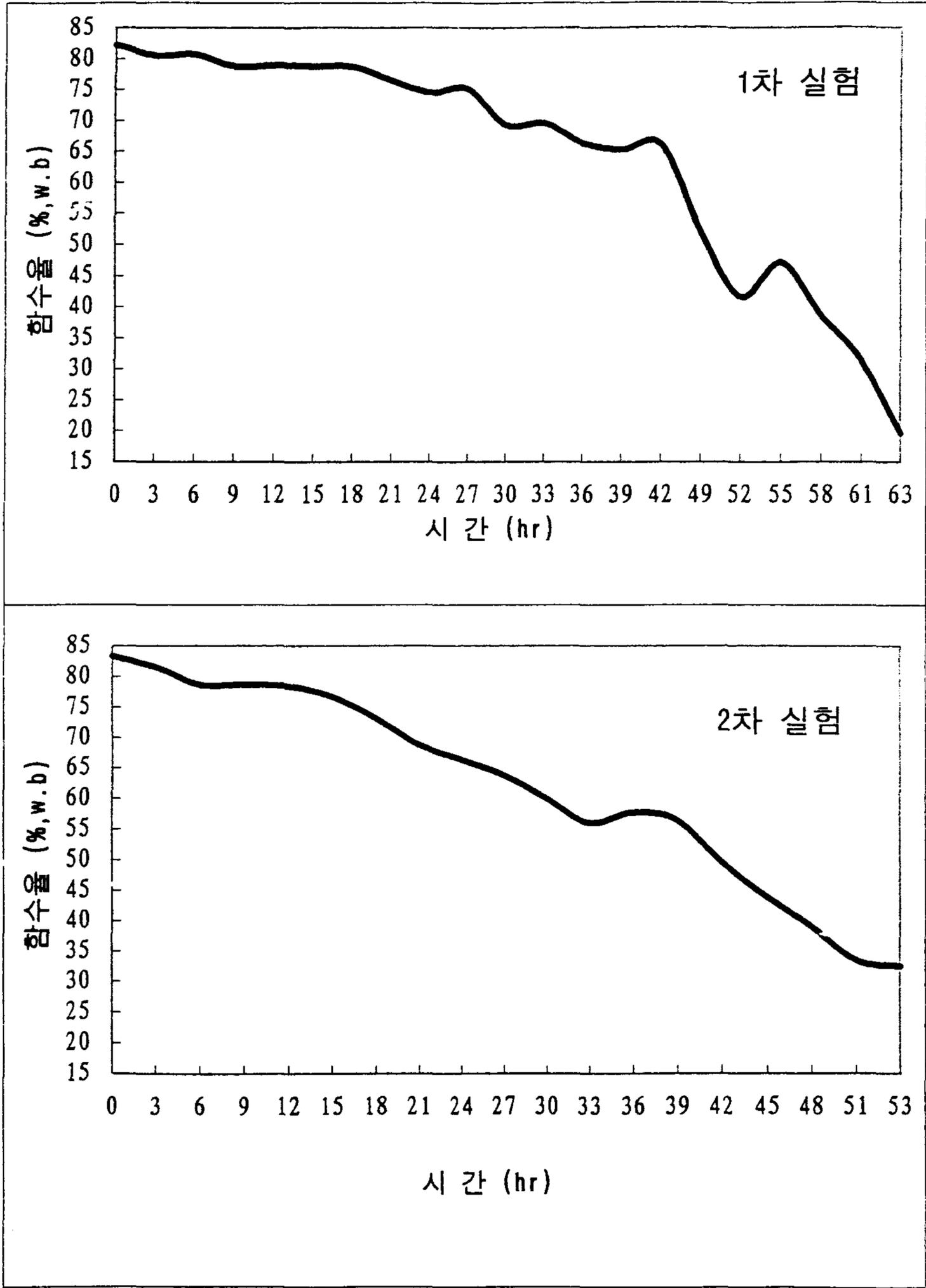


그림 3-13 건조 시간에 따른 함수율 변화

그림3-13은 1차 및 2차 예비 실험에서 고추의 함수율 변화를 나타낸 것으로 건조속도가 설계사양보다 느리게 나타났다. 이는 송풍온도를 낮게 설정하고, 교반장치의 교반성능이 불량하여 완전한 교반이 이루어지지 못한 결과로 판단된다. 2차 실험에서의 함수율 변화는 1차실험보다는 30%정도 증대한 것으로 설계목표에는 부족한 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 문제점을 발견하기 위한 예비실험으로 온도설정, 배기재순환율, 원적외선 이용 등을 설계치와 상이하게 설정한 결로 판단된다. 예비 실험결과를 토대로 본 개발 건조기의 적정작동조건을 재분석할 필요성을 발견하였다.

(3) 소요 에너지

고추 건조에 소요된 연료 소비량은 1차실험에서 2.99 kg/hr, 2차 실험에서 2.49 kg/hr이 소요되었다. 1차실험에서 8372 MJ, 2차실험에서 5080 MJ의 연료 에너지를 소비하였다. 그림 3-14는 건조기간 동안 태양 강도를 나타낸 것이다. 건조기간 동안 건조에 이용된 태양에너지는 1차실험에서 717 MJ, 2차 실험에서 548 MJ로 나타났다. 이는 각각 연료에너지의 8.6% 및 10.8 %에 해당한다.

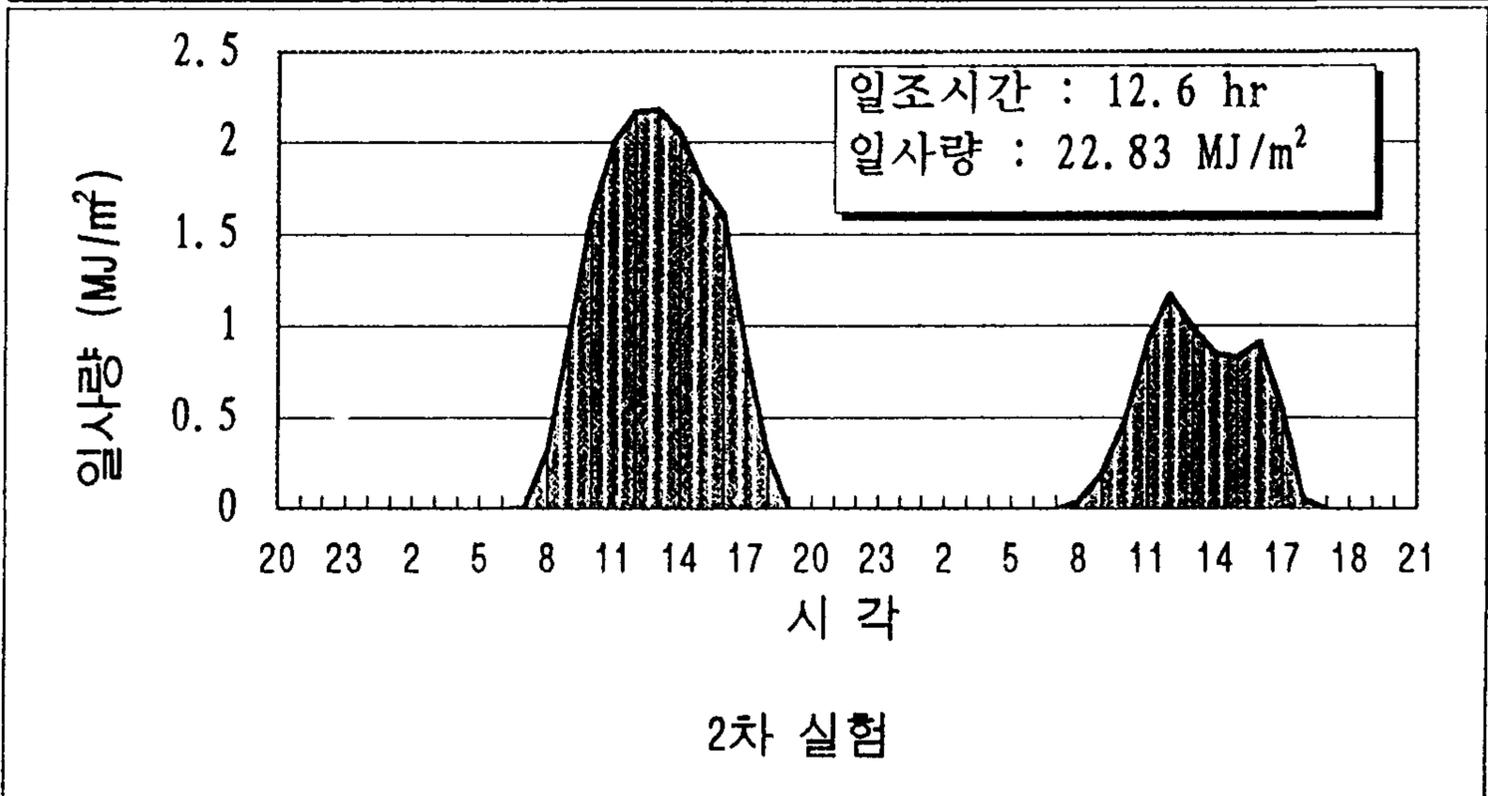
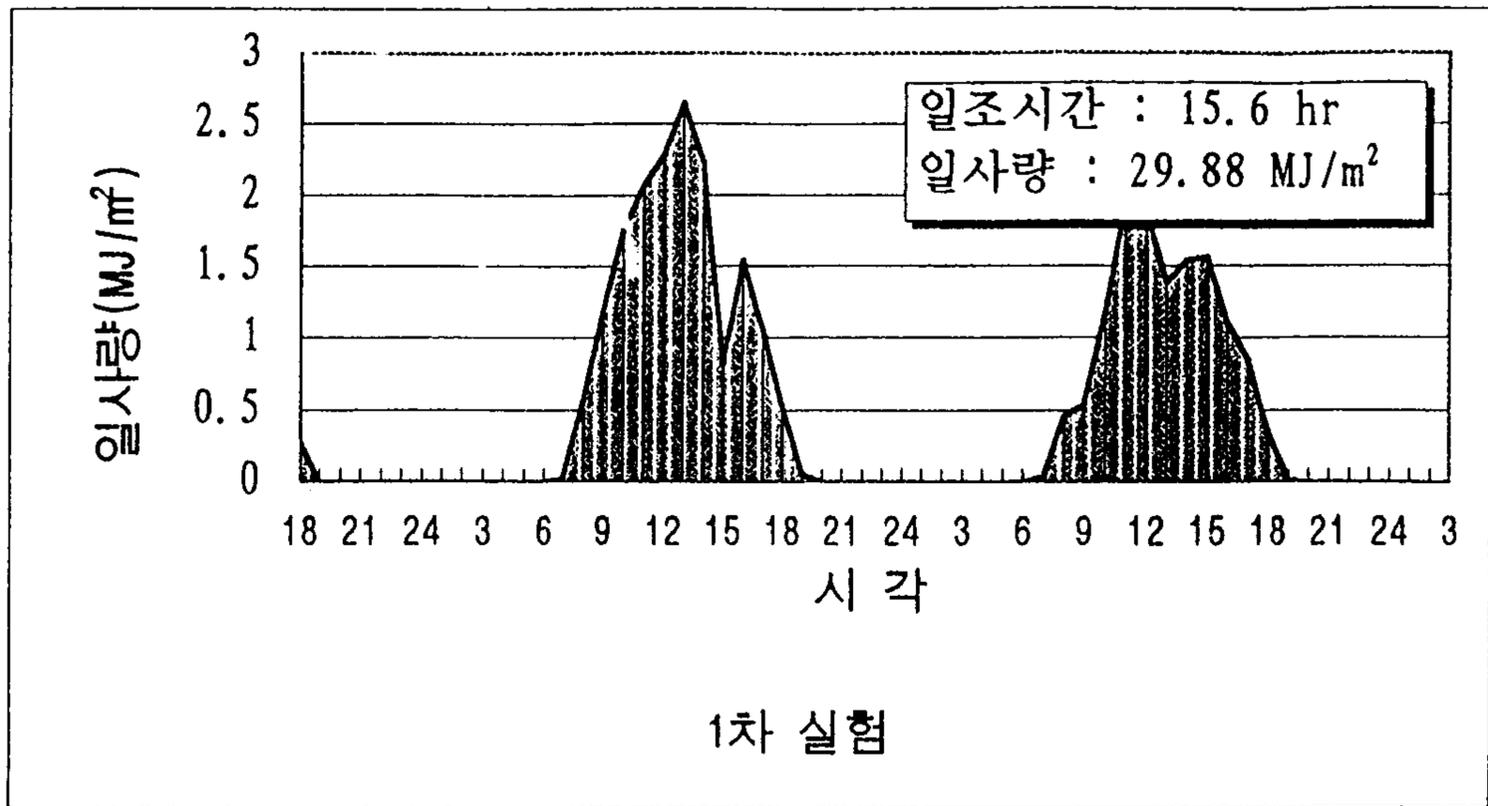


그림 3-14 건조기간 동안의 태양 복사에너지

(4) 고추의 품질

건조 전의 고추와 건조후의 고추에 대한 색차를 비교하였다. L, a, b 값은 2차 실험에서 건조전고추는 L=27.73, a=18.85, b=5.55, E=2.75로 나타났으며, 건조후 고추는 L=5.12, a=16.93, b=9.87, E= 2.26으로 나타났다. 이는 건조후 고추는 건조전 고추에 비하여 채도를 나타내는 L치는

22.61, 붉은 정도를 나타내는 a치는 1.92 각각 감소하고, 황색의 정도를 나타내는 b치는 4.32 증가한 결과이다.

(5) 개량 요점

이상의 결과에서 개량 요점을 정리하면 다음과 같다.

- (가) 건조실의 적정 규모의 재분석
- (나) 고추의 품질에 대한 상대 습도의 영향 구명
- (다) 야간의 경우 적정 작동 조건의 재구명
- (라) 온풍기의 용량의 재분석
- (마) 교반장치의 기구학적 분석을 통한 재설계
- (바) 교반장치 교반날의 재설계

제 4 장 초음파 자동 세척기

제 1 절 시작기의 설계와 제작

1. 세척기의 기본 구조 및 세척 공정

가. 세척기의 기본 구조

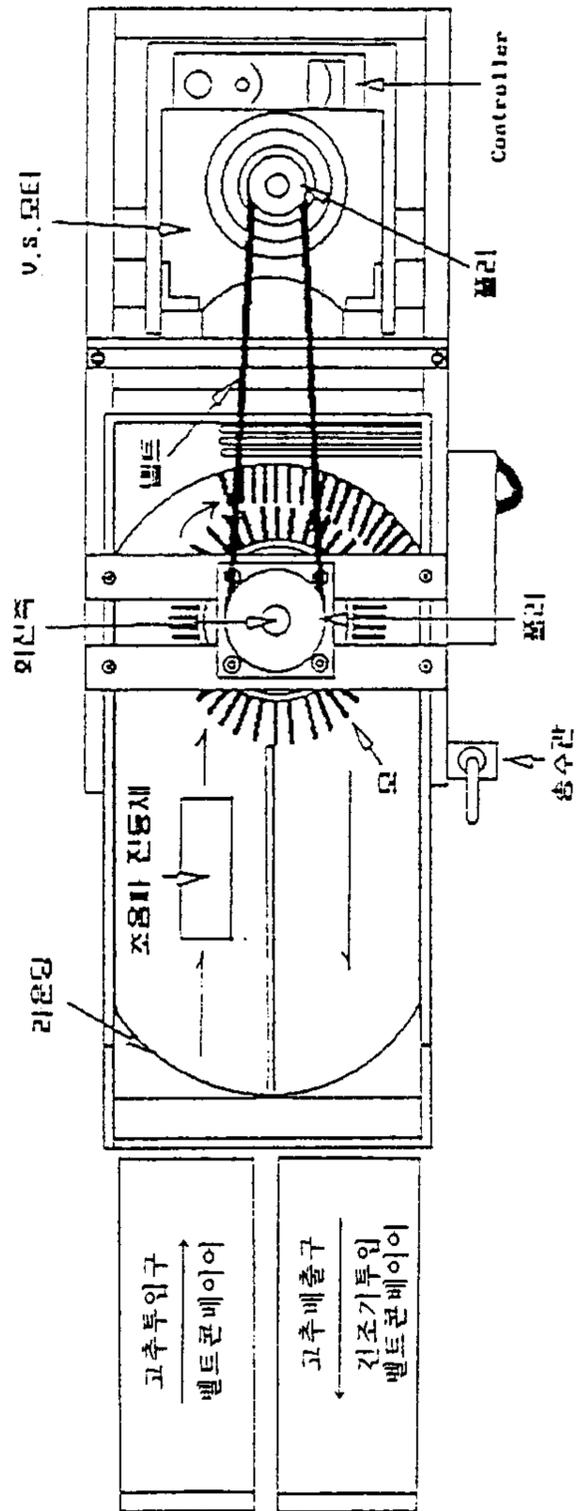


그림4-1 세척기의 기본 구조 및 개략도

세척기는 그림4-1에서 보는 바와 같이 투입구(벨트콘베이어) 초음파 세척부분, 입형 회전솔, 배출장치(벨트콘베이어)로 구성되어 있다. 입형 회전솔구동의 구동부는 V.S모터를 사용하였다.

나. 세척공정

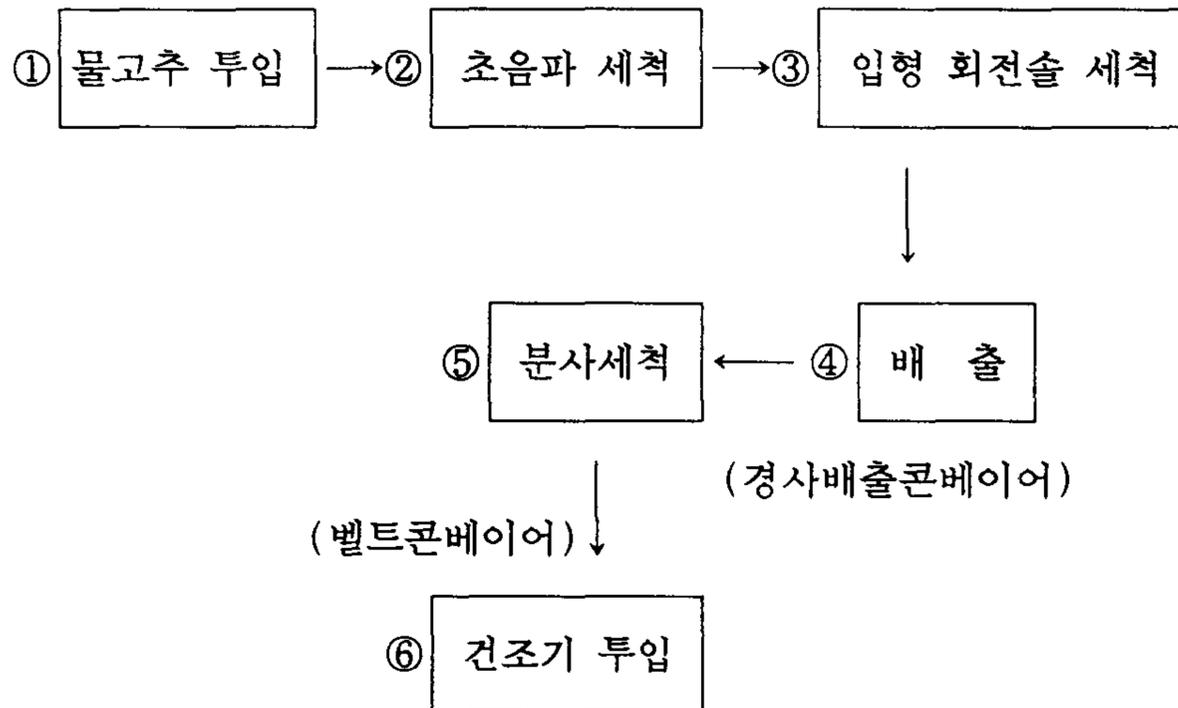


그림4-2 초음파 세척기의 흐름도

- (1) 수확된 물고추를 고추 투입구에 올려 놓는다. 투입구는 벨트 콘베이어를 이용한다.
- (2) 세척조에 투입된 고추는 초음파 세척을 통하여 흠등에 붙어있는 먼지등을 세척함.
- (3) 전처리 초음파 세척공정에서 세척이 덜 된 부분을 입형 회전솔로 세척한다.
- (4) 세척후 경사 배출 콘베이어를 이용하여 세척조로 부터 배출한다.
- (5) 세척조에서 배출된 고추는 벨트 콘베이어로 건조기로 이송하면서 분사세척을 시킨다.
- (6) 건조기에 투입시킨다.

2. 초음파 발생 장치의 용량 설정과 설계 및 제작

초음파 세척기와 고추의 세척 특성을 파악하기 위해 초자용 세척기(세척조 크기 : $180 \times 150 \times 150 = L \times W \times H$, 출력 : 100W)를 이용하여 고추의 세척 정도와 세척 시간 등을 비교·검토하여 설계 기초 자료로 사용하였다.

세척수 온도에 따른 세척 정도를 비교하기 위해 세척조에 수중용 히터를 부착하도록 설계·제작하였다. 그결과 다음과 같은 제원의 실험용 초음파 발전 장치와 히터를 제작하였다.

가. 초음파 발전 장치

- (1) 전 원 : 220 V (1 Φ)
- (2) 용 량 : 0.8 Kw
- (3) 주파수 : 27 KHz (+5%)
- (4) 출 력 : 0.6 Kw (+10%)
- (5) 크 기 : 350, 300, 140 (L \times W \times H)
- (6) 초음파 변환 효율 : 90% 이상

나. 초음파 진동부

- (1) 크 기 : 305, 235, 110 (L \times W \times H)

다. 히터

- (1) 전 원 : 220 V (3 Φ)
- (2) 용 량 : 3 Kw
- (3) 온도 조절 범위 : 0 $^{\circ}$ C ~ 110 $^{\circ}$ C

라. 제작사 및 모델명

- (1) 제작사 : 동양 초음파(인천)
- (2) 모델명 : DUC 600

3. 세척 용기 설계 및 제작

농산물에 초음파 세척기가 실용화 된 사례가 없어 반복 실험과 사용시료를 고려하여 실험용 세척조를 다음과 같이 설계·제작하였다. 특히 세척조는 물과 접촉되는 부분이 많으므로 부식을 방지하기 위해 스테인레스 스틸을 사용하였다.

가. 재질 : 스테인레스 스틸

나. 크기 : 800 × 440 × 480 (L×W×H)

4. 보조 세척솔 설계 및 제작

고추의 초음파 세척 결과 초음파가 접하는 밀면만 세척이 되고 물위로 표출된 부분은 세척이 안되므로 물펌프를 이용하여 회전을 시키면서 세척을 하였다. 그러나 고추의 세척량이 많아 하나씩 회전시키는 것이 곤란하고, 고추의 형태가 불규칙하므로 일부 세척이 안되는 부분이 있었다. 이와 같은 점을 보완하기 위하여 입형 세척 회전솔과 고정솔을 설치하였다.

세척 원리는 회전솔의 회전력에 의해 와류가 계속적으로 발생되므로 물위에 떠 있는 고추가 와류 속으로 끌려들어 가면서 회전솔과 고정솔 사이를 통과하여 세척이 되도록 하였다.

입형 세척 회전솔 및 고정솔에 사용한 재료와 제원은 다음과 같고, 회전솔의 동력원은 VS모터를 사용하였다.

가. 입형 세척 회전솔 제원

- (1) 솔 한 개의 지름 : 0.2 ~ 0.3 (mm)
- (2) 솔 부착 원통 지름 : 120 (mm)
- (3) 솔의 길이 : 65 ~ 75 (mm)
- (4) 솔 한 다발의 지름 : 5.5 ~ 6.5 (mm)
- (5) 총 부착 솔 다발수 : 115개

(6) 축 지름 : 35 (mm)

(7) 폴리 지름 : 130 (mm)

나. 보조 세척 고정솔 제원

(1) 솔 한 개의 지름 : 0.2 ~ 0.3 (mm)

(2) 솔의 길이 : 45 ~ 55 (mm)

(3) 솔 한 다발의 지름 : 5.5 ~ 6.5 (mm)

(4) 총 부착 솔 다발수 : 110개

(5) 크기 : 28 × 11 (L×W)

다. VS 모터 제원

(1) 용량 : 0.4 Kw (1/2 Hp)

(2) 최대 및 최소 회전수 : 110~1500 RPM

(3) 전원 : AC 220V ~ 380V

(4) 축지름 : 22 (mm)

(5) 폴리 지름 : 65 (mm)

(6) 벨트 규격 : 1300 (mm) V벨트 A형 2개

(7) 회전수 조절기(Controller) : 0~1800 RPM → (60Hz)

0~1500 RPM → (50Hz)

제 2 절 시작기의 성능실험

1. 실험 조건

예비 실험 결과 세척 시간이 길어질수록 세척 효과는 향상되었지만 실용화를 고려하여 최소한 3분 이내에 세척 처리를 해야 되고, 세척수 온도(상온, 35℃)에 따른 세척 효과는 큰 차이가 나타내지 않았다. 세척 방법은 초음파 세척, 회전솔세척, 초음파와 입형 세척 회전솔을 사용하였다.

실험 조건은 표4-1과 같이 설정하였다.

표4-1 고추 세척 실험 조건

세척 시간	1분, 2분, 3분
세척 온도	상온(21.9~22.1℃)
세척 방법	초음파, 회전 솔, 초음파와 회전솔
세척수 수위	세척조 바닥으로부터 18cm
입형 회전 솔 회전수	114 rpm
1회 세척 중량	1 kg

2. 세척의 측정 기준과 세척 시료의 조제

본 실험에서 세척 기준은 세척할 고추 약 1kg 중 기준 고추를 선택하여 표시한 후 색차계를 이용하여 기준 고추의 색도 측정 부위를 일정하게 유지 하면서 L(명도), a(색도 : +적색 · -녹색), b(색도 : +황색 · -청색)를 측정하였다. 세척 전후의 L, a, b 값 중에서 a값(적색)의 크기로 세척 정도를 비교·분석하였다.

세척할 시료의 조제 과정은 다음과 같다.

가. 세척전 고추(생고추)의 a값을 측정한다.

세척할 고추 약 1kg 중 선정한 기준 고추의 표면을 색차계로 a값을 측정한다.

나. 고추에 물을 묻혀 석회를 도포 한다.

고추를 물에 적신 후 석회 가루로 도포 한다. 약하게 흔들어서 고추 표면에 붙어있는 석회를 제거한 후 석회가루가 도포된 기준 고추의 표면을 색차계로 측정한다.

다. 고추를 수돗물에 분사 세척한다.

고추 표면에 묻은 석회 덩어리 및 가루가 씻기도록 수돗물로 세척한 후 표면에 물기를 선풍기로 건조시키면 미세한 석회가루가 하얗게 도포된 상태가 된다. 이것을 시료로 하여 세척을 실시하였다. 기준 고추의 표면은 색차계로 측정한다.

라. 초음파, 회전 솔, 초음파+회전솔 세척

실험 조건에 의해 세척이 종료되면 시료 표면의 물기를 선풍기로 건조시킨 후 색차계로 측정하여 세척정도를 비교한다.

3. 고추의 흡수율

고추 세척 시 흡수상태를 알아보기 위하여 세척수의 온도에 따라 세척 시간별로 흡수율 실험을 실시하였다. 또한 세척 종류에 따른 흡수율도 비교해 보았다.

흡수율은 다음 식으로 구하였다.

$$\text{흡수율(\%)} = \frac{\text{세척후 고추 중량} - \text{세척전 고추 중량}}{\text{세척전 고추 중량}} \times 100$$

실험 조건에 따른 흡수율 결과를 표4-2에 나타냈다.

표4-2 세척 실험조건에 따른 흡수율 결과

세척시간 및 종류	1 분			2 분			3 분		
	초음파	회전솔	초음파+ 회전 솔	초음파	회전솔	초음파+ 회전 솔	초음파	회전솔	초음파+ 회전 솔
세척수 22.1℃	0.312	0.246	0.232	0.408	0.359	0.227	0.388	0.380	0.482
세척수 35.0℃	0.318	0.301	0.201	0.403	0.315	0.292	0.478	0.354	0.256

표에 나타난 바와 같이 흡수율은 0.201 ~ 0.482% 정도였고, 세척 시간이 경과함에 따라서 약간 증가하는 경향을 나타냈다. 그러나 흡수량은 아주 미세하고 주로 꼭지부분에 흡수되는 것으로 고추 중량에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단되었다.

세척수 온도 및 세척 종류에 따른 흡수율 변화도 본 실험 조건에서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 생고추 세척은 고추 중량 및 품질에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

4. 초음파의 세척 효과

가. 상온의 세척수에서 초음파 세척 효과

그림4-3은 상온(21.9~22.1℃)의 세척수에서 초음파에 의해 세척된 효과를 초음파 세척 시간별로 나타낸 것으로 세척전, 석회도포후, 분사세척 후, 초음파 세척후의 색차계 a(적색)값을 이용하여 비교한 것이다.

그림에서와 같이 세척전 고추의 붉은 색의 정도를 나타내는 a값의 범위는 34.7~37.46으로 1분 세척에 사용한 시료가 2, 3분 세척에 사용한 시료보다 a값이 작아 붉은 색이 옅고, 고추마다 차이가 약간 있음을 알 수 있다.

석회 도포 후에 고추의 붉은 색 값은 7.56~22.39로 세척 전보다 색도가 12~30정도 낮아져 석회가 코팅 됐음을 알 수 있다.

분사 세척 후에 고추 표면의 다량으로 묻어 있던 석회가 세척되어 a값은 30.38~32.28로 상승하였다. 이때의 고추 표면의 수분을 건조시키면 석회의 매우 미세한 입자들이 고추 표면에 옅게 도포 되어 있음을 볼 수 있다. 이것을 초음파에 의해 세척하면 세척 1분 후의 a값은 31.62로 세척전보다 3정도가 낮아졌다. 이것은 세척이 약간 미진함을 의미한다. 세척 2분 후 a값은 33.48로 세척 전보다 약 2정도 낮고 3분 후에는 약 1정도로 더

속 낮아져 초음파 세척 시간이 경과함에 따라 세척 효과가 증대함을 나타낸다.

따라서 초음파 세척의 효과를 증대시키기 위해서는 세척 시간을 길게 하는 것이 바람직하다고 판단되나, 초음파 세척시간을 너무 길게하면 대량 세척하는데 시간이 많이 걸려 세척효율을 저하시키므로 3분 이내에서 적정 세척조건을 규명해야 할 것으로 판단된다. 또한 초음파만을 이용해서는 완벽한 세척이 어려운 것으로 판단되며 수중 순환펌프 등을 이용하여 물과 고추를 세척조 내에서 회전시키며 고추가 뒤집히도록 유도해야 세척정도가 향상되었다.

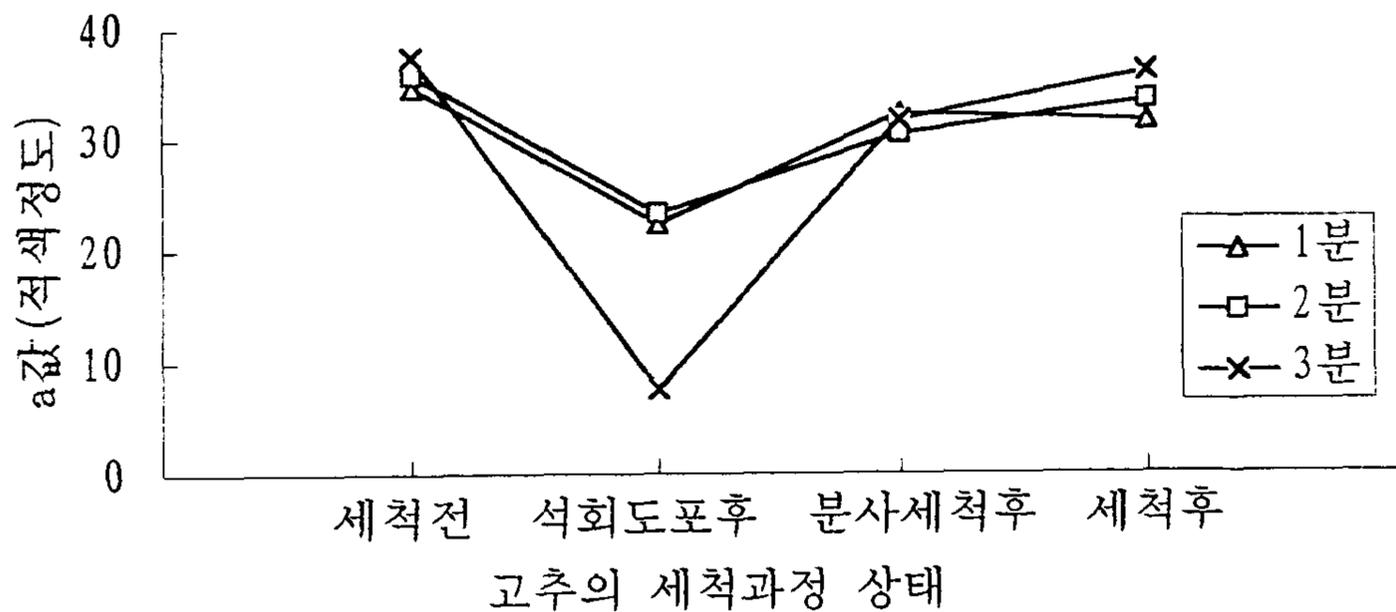


그림4-3 초음파 세척 시간에 따른 색도의 변화(세척수 상온)

나. 35℃의 세척수에서 초음파 세척 효과

그림4-4은 35℃의 세척수에서 초음파에 의해 세척된 효과를 세척과정 상태별, 초음파 세척 시간별로 a(적색)값을 비교한 것이다.

그림에 나타냈듯이 세척전 고추의 붉은 색의 정도를 나타내는 a값은

33.77~36.3으로 세척전 초기 고추마다 약간의 차이를 나타냈다.

35℃에서 초음파 세척 후 a값은 세척전 a값보다 각각 2~4 정도로 낮게 나타났다. 이것은 전술한 상온 초음파 세척에 비해 차이가 없는 것으로 세척수의 온도가 높아도 세척 효과에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 한편 세척수를 가열하면 에너지 소비에 따른 생산 단가가 높아지기 때문에 초음파 세척시에는 상온 세척수를 사용하는 것이 경제적인 측면에서 바람직한 것으로 사료된다.

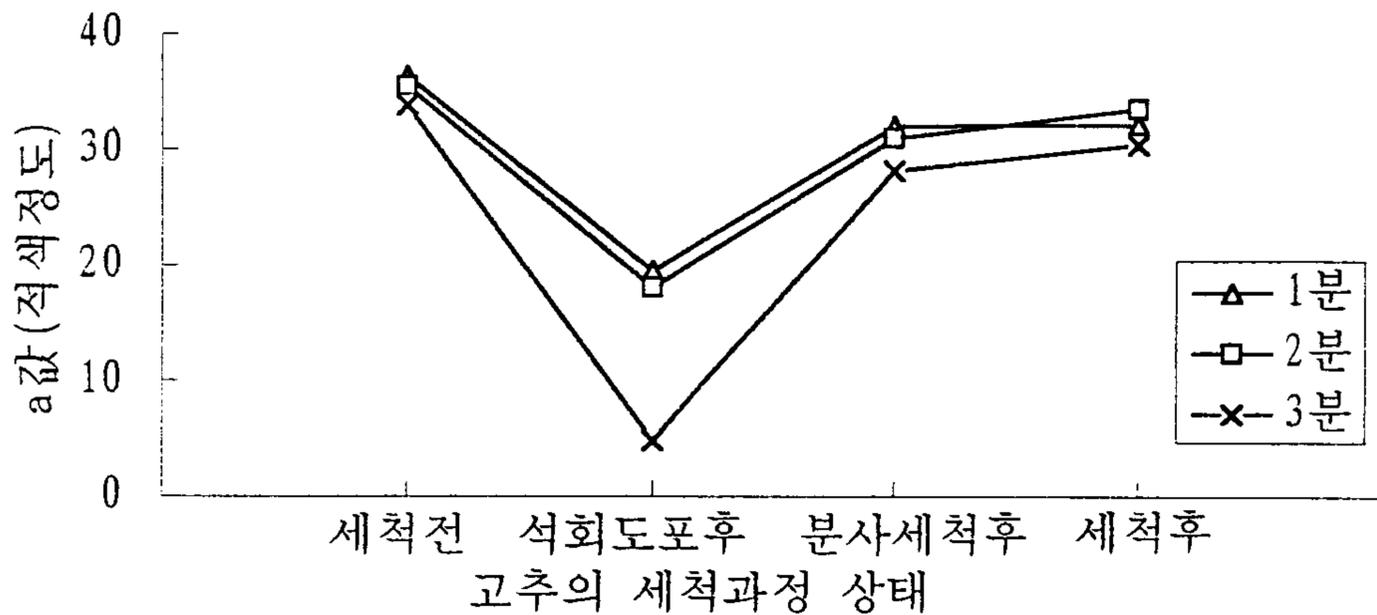


그림 4-4 초음파 세척 시간에 따른 색도의 변화(세척수 35℃)

5. 입형 세척 회전 솔의 효과

가. 상온의 세척수에서 입형 세척 회전솔의 세척 효과

그림4-5는 상온(21.9~22.1℃)의 세척수에서 입형 세척 회전솔에 의해 세척된 효과를 회전솔에 의한 세척 시간별로 나타낸 것으로 앞에서 설명한 바와 같은 조건의 고추에 대해 a(적색)값을 비교한 것이다.

그림에 나타냈듯이 세척전 고추의 a값은 32.12~36.63이었다. 석회도포 후와 분사세척 후의 a값은 각각 23.18~28.04, 28.38~32.64로 앞에서

설명한 초음파 세척에서와 같이 분사 세척 후 커지는 경향을 나타냈다. 이것은 석회가 씻겨나가고 고추의 붉은색이 나타남을 의미한다.

회전 솔 세척 후 a값은 세척전 a값보다 각각 0.2~0.8 정도로 전술한 초음파 세척에 비해 그 차이가 적으므로 세척효과가 좋다고 할 수 있다. 이와 같은 효과를 얻을 수 있는 것은 입형회전솔이 회전할 때 회전력에 의해 와류가 계속적으로 발생되므로 물위에 떠있는 고추가 와류속으로 끌려들어 가면서 회전솔과 고정솔 사이를 통과하는 동안 솔에 의해 세척이 되기 때문이라 판단된다. 그러나 회전솔 세척만으로도 완벽한 세척이 이루어지지 않았다.

따라서 회전솔에 의한 세척의 효과를 증대시키기 위해서는 세척시간, 세척량, 세척효율 등을 고려하여 3분 이내에서 적정 세척조건을 규명해야 할 것으로 판단된다. 또한 114rpm의 회전수로 회전솔만을 이용해서는 완벽한 세척이 어려우므로 회전수와 손상율, 초음파와 브러쉬의 동시 사용 등을 고려하여 적합한 조건을 규명해야 한다.

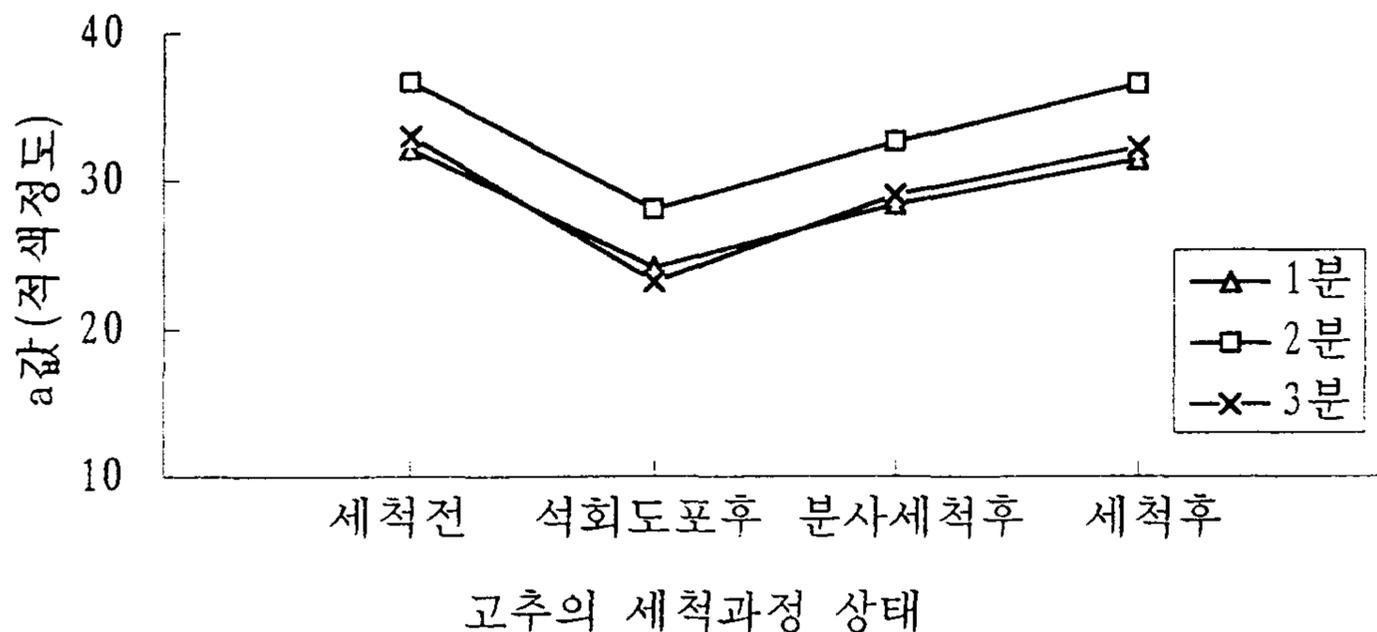


그림4-5 입형 세척 회전 솔의 세척시간에 따른 색도의 변화(세척수 상은)

나. 35℃의 세척수에서 입형 세척 회전솔의 세척 효과

그림4-6은 35℃의 세척수에서 입형 세척 회전솔에 의해서만 고추의 세척된 효과를 세척과정, 상태별, 세척 시간별로 a(적색)값을 비교한 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 세척 전, 석회 도포 후, 분사세척 후 a값은 앞에서 설명한 것과 같이 고추마다 약간의 차이를 나타냈다.

35℃의 세척수에서 입형 세척 회전솔에 의한 세척 후 a값은 세척전 a값보다 각각 0.4~1 정도 낮게 나타났다. 이것은 전술한 상온에서 입형 세척 회전솔의 세척과 비교해서 큰 차이가 없는 것으로 세척수의 온도가 높아도 세척효과에는 큰 영향을 미치지 않는 초음파 세척에서와 같은 경향을 나타냈다.

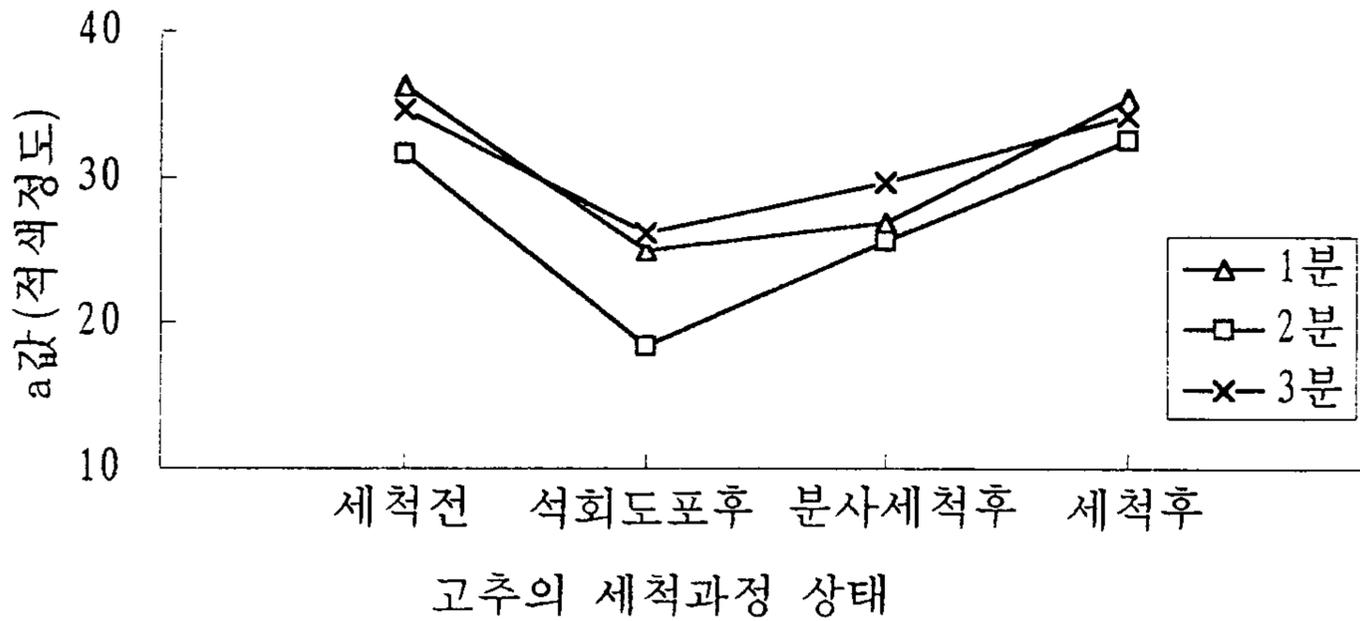


그림4-6 입형 세척 회전 솔의 세척시간에 따른 색도의 변화(세척수 35℃)

6. 초음파와 입형 세척 회전 솔의 동시 사용 효과

가. 상온의 세척수에서 초음파와 입형 세척 회전솔의 동시 세척 효과

그림4-7은 상온의 세척수에서 초음파와 입형 세척 회전솔에 의해 동시

세척된 효과를 세척 시간별로 고추의 세척과정 상태별 a(적색)값을 비교한 것이다.

그림에서와 같이 세척전 고추의 a값은 37.2~38.81이었고, 석회 도포 후의 a값은 저하되고, 분사세척후 상승하는 경향은 전과 동일한 경향을 나타냈다. 초음파와 회전솔을 동시에 사용하는 세척도 세척시간이 길어짐에 따라 세척효과가 증대되는 경향을 나타냈다.

동시세척 1분 후의 a값은 36.33으로 세척전 38.38보다 색도가 약 2정도 낮은 것으로 나타나 세척이 약간 미진한 경향을 나타냈고, 세척 2, 3분 후는 세척전 고추의 a값과 각각 0.43, 0.14 정도 낮아 초음파와 브러쉬를 동시에 사용하는 것이 세척 효과가 매우 높은 것으로 판단되며, 매우 효과적인 세척기가 개발될 것으로 판단된다.

금후 초음파와 입형 세척 회전 솔의 동시 사용에 의한 세척효과를 더욱 면밀히 검토하여 적절한 세척조건을 규명해야 할 것으로 판단되며, 세척용량 설정에 따른 투입 및 배출장치, 분사장치 설계 및 제작 등이 연구되어야 한다고 판단된다.

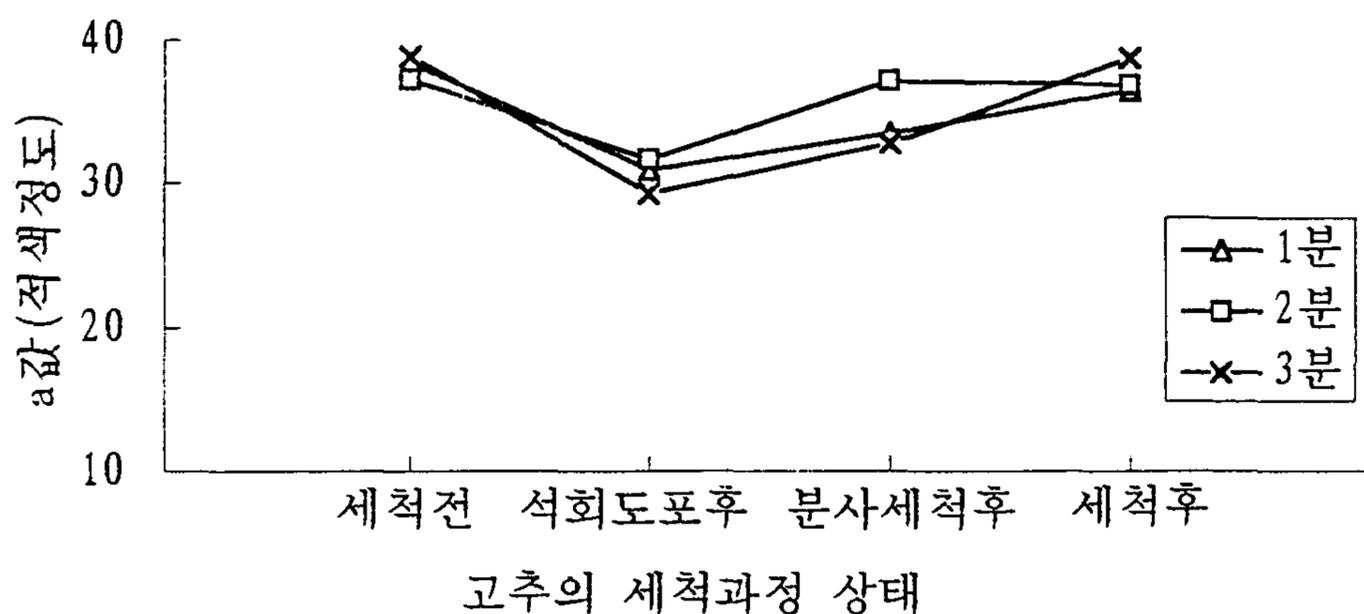


그림4-7 초음파와 입형 세척 회전 솔의 세척시간에 따른 색도의 변화(세척수 상온)

나. 35℃의 세척수에서 초음파와 입형 세척 회전솔의 동시 세척 효과

그림4-8은 35℃의 세척수에서 초음파와 입형 세척 회전솔에 의해 동시 세척된 효과를 세척 시간별로 고추의 세척과정 상태별 a(적색)값을 비교한 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 세척 전, 석회 도포 후, 분사세척 후 a값은 앞에서 설명한 것과 같이 고추마다 약간의 차이를 나타냈다.

35℃의 세척수에서 동시 세척 후 a값은 세척전 a값보다 각각 $\pm 0.4 \sim 0.5$ 정도로 나타났다. 이것은 전술한 상온 및 다른 세척방법보다 35℃ 동시 세척이 세척정도가 높음을 의미한다. 이와같이 다른 세척조건보다 세척정도가 향상된 것은 초음파와 입형 세척 회전솔의 동시 세척 효과와 세척수의 온도가 높아 이물질의 분리가 용이한 상태로 되었기 때문이라 사료된다.

동시 세척 시 세척수 온도는 에너지 문제 및 생산단가 등을 고려하여 적정 온도조건을 규명해야 할 것으로 판단된다.

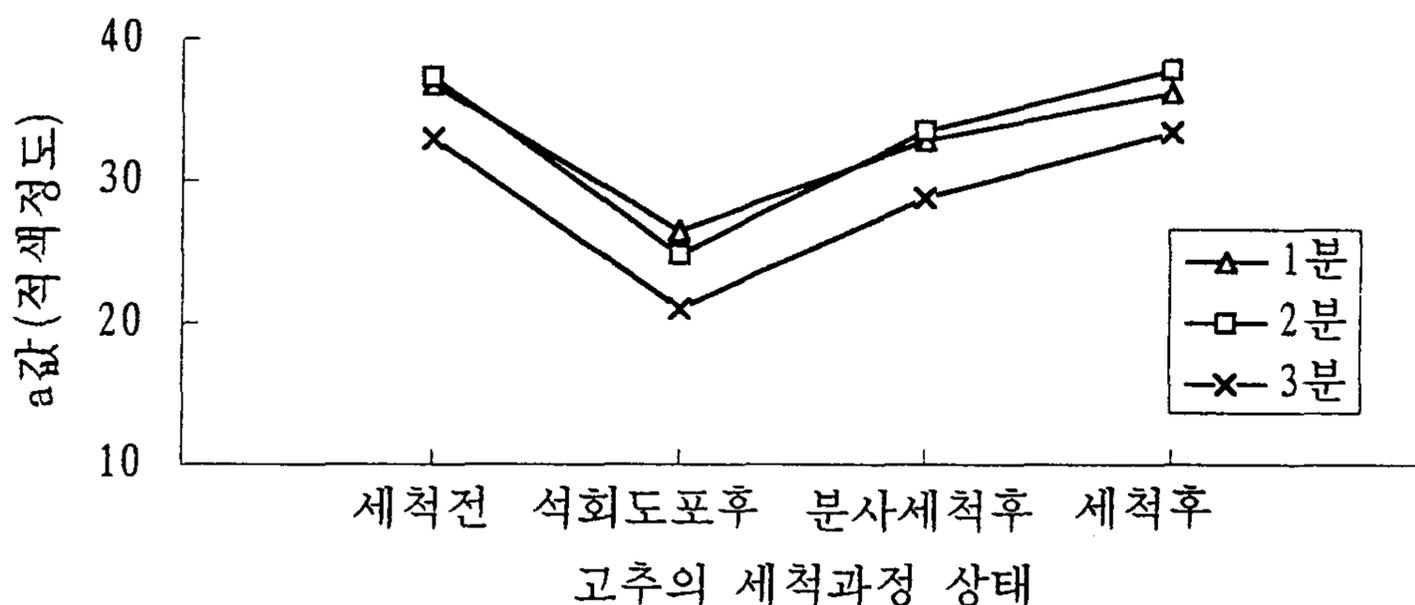


그림4-8 초음파와 입형 세척 회전 솔의 세척시간에 따른 색도의 변화(세척수 35℃)

7. 결과 및 고찰

- 가. 초음파 세척으로 인해 흙 등에 박혀 있는 먼지 등을 완벽하게 세척할 수 있다.
- 나. 보조 세척 회전 솔을 사용하므로 해서 고추의 반전율이 완전하게 이루어질 뿐만 아니라, 반전으로 인해 초음파 세척율을 향상시킬 수 있어 세척효과를 더욱 높일 수 있다.
- 다. 기존의 세척기 보다 크기를 줄일 수 있어 이동이 용이하고, 세척수의 사용량도 줄일 수 있어 경제적이다.
- 라. 초음파에 의한 세척이므로 고추의 손상이 거의 없을 것으로 판단된다.
- 마. 보조 세척 고정솔의 크기를 조절함으로써 비중이 작아 물에서 뜨는 과채류의 세척기로도 활용이 가능할 것으로 판단된다.
- 바. 저가로 고추 세척기 제조가 가능하므로 농가에 보급이 확대될 수 있을 뿐 아니라 마을 단위별로 이용하는 대용량 세척기로도 충분한 활용 가능성이 있는 것으로 판단된다.
- 사. 고추가루 가공 공장 및 대형 건조 시스템용 세척기로도 활용이 가능하다.

부 록 1

복합열 태양초 자동건조기개발을 위한 설문서

이 설문지는

보다 질 좋은 고추생산을 위하여

나아가 농촌 소득 증대에 이바지할 현장애로
기술개발 사업의 일환으로 추진하고 있는 복합열
태양초 자동건조기 개발연구를 위하여
귀중한 자료로 사용하고저
합니다.

1995. 6. 1.

국 립 상 주 산 업 대 학 교

- ① 건조기에서 ② 건조기와 비닐하우스 혼합 ③ 비닐하우스에서만
 ④ 야외 햇볕 건조 ⑤ 잎담배 건조실에서 ⑥ 온돌방에서
11. 만약 태양건조(비닐하우스)할 때의 예측되는 건조소요 일수는 얼마나 됩니까?
 ① 3~4 일 ② 5~6 일 ③ 7~8 일 ④ 9~10 일
12. 만약 인공열풍건조기를 사용한다면 건조시키는데 걸리는 시간은 몇일 쯤 됩니까?
 ① 1 일 ② 1.5 일 ③ 2 일 ④ 3 일
13. 열풍건조기에서 건조하였을 때의 품질면에서 문제점은 어떤 것입니까?
 ① 색택이 좋지않다. ② 매운맛이 떨어진다.
 ③ 등외품이 발생한다. ④ 전반적인 품질이 떨어진다.
14. 고추재배에서 판매까지 가장 힘든 작업은 무엇입니까?
 ① 재배 ② 수확 ③ 건조 ④ 판매
15. 고추를 건조할때 가장 중점을 두는 사항은 무엇입니까?
 ① 색택유지 ② 건조시간 ③ 매운맛유지 ④ 경비
16. 건조기를 사용하여 건조할때 건조기 내의 최고 건조온도는 얼마입니까?
 ① 45℃ 내외 ② 55℃ 내외 ③ 65℃ 내외 ④ 70℃ 이상
17. 고추의 품질 평가로서 중점을 두는 부분은 어느 부분입니까?
 ① 고추의 꼭지색깔 ② 고추몸통의 색깔
 ③ 꼭지와 몸통의 색깔 ④ 고추속의 색깔
18. 꼭지의 색깔로 구분한다면 상품(上品)으로 판단되는 색깔은 어떤 색깔입니까?
 ① 진한녹색 ② 옅은녹색 ③ 옅은갈색 ④ 노란색~회색
19. 건조고추의 몸체로 구분한다면 상품(上品)으로 판단되는 색깔은 어떤 색깔입니까?

① 선홍색 ② 적갈색 ③ 암갈색 ④ 암적색

20. 고추 상품을 출하할때 가장 소득이 높으리라고 생각되는 것은 어느 것입니까?

① 풋고추 ② 홍고추 ③ 건조고추 ④ 고추가루

21. 고추의 매운 맛에 대한 일반적인 소비자들의 선호도는 어떻습니까?

- ① 아주매운 것을 좋아 한다.
- ② 보통매운 것을 좋아 한다.
- ③ 맵지 않는 것을 좋아 한다.

22. 고추를 유통시키는 방법으로 주로 택하는 유통경로는 어떤 경로입니까?

① 공판장 ② 시장 ③ 중간상인 ④ 가공업자

23. 평년작 하에서 홍고추(건조되지 않은 상태)로 수확할때 300평당에서 하루에 수확하는 량은 얼마나 되겠습니까? (하루= kg)

(하루= 가마니)

24. 귀하가 사용하고 계신 건조기의 용량은 얼마입니까?

(1회 투입량= kg)

(건조시간= 시간)

25. 위의 질문내용에서 언급되지 않은 귀하만의 품질 좋은 고추선택법이 있으시면 그 내용을 적어 주십시오

성실하게 답해 주셔서 감사합니다.

부 록 2

C

```
=====
C THE MAIN PROGRAM FOR OPTIMIZATION OF FIXED-BED RED
PEPPER DRYER
```

C

C

```
=====
```

C

```
COMMON
BW,XMO,XMF,THIN,TAMB,RHAMB,CO,CF,DDENS,DEPTH,BMC,RTIME
COMMON CMC1,CMC2,TPMC,ABMC,BMCC
DATA N,K,IC,ISIM/7,14,1,0/
WRITE(*,*) 'Goal of optimization : ENERGY CONSUMPTION'
WRITE(*,*) 'Average bone dry weight of a red pepper (g) ?'
READ(*,*) BW
WRITE(*,*) 'Initial moisture content (dec. db) ?'
READ(*,*) XMO
WRITE(*,*) 'Initial temperature of red pepper (c) ?'
READ(*,*) THIN
WRITE (*,*) ' Enter bed depth (m)'
READ (*,*) DEPTH
WRITE (*,*) ' Enter dry bulk density (Kg/m**3)'
READ (*,*) DDENS
WRITE(*,*) 'Initial carotenoid concentration (mg/100g dry solid) ?'
READ(*,*) CO
WRITE(*,*) 'Final moisture content after drying (dec. db) ?'
READ(*,*) XMF
WRITE (*,*) ' Enter ambient air temterature'
READ (*,*) TAMB
WRITE (*,*) ' Enter ambient relative humidity (dec.)'
READ (*,*) RHAMB
WRITE(*,*) 'Quality level after drying :'
WRITE(*,*) 'Final carotenoid concentration (mg/100g dry solid) ?'
READ(*,*) CF
WRITE (*,*) ' Required drying time (hr)'
READ (*,*) RTIME
WRITE (*,*) ' Enter moisture when change first conition'
READ (*,*) CMC1
WRITE (*,*) ' Enter moisture when change second condition'
```

```

READ (*,*) CMC2
WRITE (*,*) ' Enter time between mixing'
READ (*,*) TPMC
WRITE (*,*) ' Enter allowable average moisture'
READ (*,*) ABMC
WRITE(*,*) '-----'
WRITE(*,*) ' Explanation of variables !'
WRITE(*,001)
001 FORMAT(1X,'X(1)=Dry air temerature at first stage',/
1      1X,'X(2)=Recycle ratio at first stage',/
2      1X,'X(3)=Dry air temperature at second stage',/
3      1x,'X(4)=Recycle ratio at second stage'/
4      1X,'X(5)=Dry air temperature at third stage'/
5      1X,'X(6)=Recycle ratio at third stage'/
6      1X,'X(7)=Air flow rate (m/min.)')
WRITE(*,*) '-----'
CALL BOX(N,K,IC,ISIM)
WRITE(6,*)
WRITE(6,*) '-----'
WRITE(6,*) ' Explanation of control variables '
WRITE(6,*)
WRITE (6,001)
WRITE(6,*) '-----'
STOP
END

C
C
=====
C   THE SUBROUTINE PROGRAM FOR MINIMIZATION BY COMPLEX
METHOD OF BOX
C
C
=====
C
C
=====
C   DESCRIPTION OF PARAMETERS AND VARIABLES
C
C   N       : NUMBERS OF CONTROL VARIABLES
C   K       : NUMBERS OF POINTS IN COMPLEX

```

```

C      X(i,j) : CONTROL VARIABLES (i=1, 2, ... , N ; j=1, 2, ... , K)
C      XEL(i) : LOWER LIMIT OF EXPLICIT CONSTRAINTS
C      XEU(i) : UPPER LIMIT OF EXPLICIT CONSTRAINTS
C      R(i,j) : RANDOM NUMBERS BETWEEN 0 AND 1
C      IC      : NUMBERS OF IMPLICIT CONSTRAINTS
C      G(ii,j) : IMPLICIT CONSTRAINTS (ii=0, 1, ... , IC)
C      XIL(ii) : LOWER LIMIT OF IMPLICIT CONSTRAINTS
C      XIU(ii) : UPPER LIMIT OF IMPLICIT CONSTRAINTS
C      XC(i)   : CENTROIDS (TYPE I, II AND III)
C      F(j)    : OBJECTIVE FUNCTIONS
C      ITER    : NUMBERS OF ITERATIONS
C      ITMAX   : MAXIMUM NUMBERS OF ITERATIONS
C      D       : DISTANCE BETWEEN ANY TWO POINTS IN COMPLEX
C      SD      : STANDARD DEVIATION OF OBJECTIVE FUNCTION
VALUES
C      E1, E2  : CRITERIA FOR TESTS OF CONVERGENCE
C      JMAX    : INDEX OF POINT WITH MAXIMUM FUNCTION VALUE
C      JMIN    : INDEX OF POINT WITH MINIMUM FUNCTION VALUE
C      ALPHA   : REFLECTION FACTOR
C      DELTA   : VIOLATION CORRECTION FACTOR IN EXPLICIT
CONSTRAINTS
C      XR(i,j) : REFLECTED POINT (j=jmax)
C      FR(j)   : FUNCTION VALUE AT REFLECTED POINT
C
=====
=
C
C
C ..... Guess of a feasible starting point and input of parameters
C
      SUBROUTINE BOX(N,K,IC,ISIM)
      COMMON
BW,XMO,XMF,THIN,TAMB,RHAMB,CO,CF,DDENS,DEPTH,BMC,RTIME
      COMMON CMC1,CMC2,TPMC,ABMC,BMCC
      DIMENSION X(7,14), XEL(7), XEU(7), R(7,14), G(1,14), F(14)
      DIMENSION XIL(1), XIU(1), XC(7), XR(7,14), FR(14), TEMP(7)
      DIMENSION DTIME(14),CARO(14),HEAT(14)
      OPEN(UNIT=5, FILE='A:RANDOM.DAT', STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=6, FILE='A:MINIMUM.OUT', STATUS='NEW')
      DATA ALPHA, DELTA, SD, ITER /1.3, 0.0001, 1.E05, 0/

```

```

WRITE(*,*) 'Initial guess of one point in complex !'
DO 99 I=1, N
WRITE(*,020) I
READ(*,*) X(I,1)
99 CONTINUE
WRITE(*,*) 'Convergence criterion regarding distance'
WRITE(*,*) 'between any two points, E1 = ?'
READ(*,*) E1
WRITE(*,*) 'Convergence criterion regarding standard'
WRITE(*,*) 'deviation of function values, E2 = ?'
READ(*,*) E2
WRITE(*,*) 'No of maximun iterations = ?'
READ(*,*) ITMAX
C
C ..... Input of n x (k-1) random numbers between 0 and 1
C
DO 100 I=1, N
READ(5,*) (R(I,J), J=2,K)
100 CONTINUE
C
C ..... Printing formation
C
001 FORMAT(//,21X,'MINIMIZATION BY COMPLEX METHOD OF BOX')
002 FORMAT(/, 6X,'Parameters in complex method',//,6X,'No of control v
variables = ',I2,/,6X,'No of points in complex = ',I3,/,6X,'No of i
2mplicit constraints = ',I2)
003 FORMAT(/, 6X,'Reflection factor = ',F5.2,/,6X,'Convergence paramet
ler :',/,9X,'Distance between any two points = ',F10.5,/,9X,'Standa
2rd deviation of function values = ',F10.5)
004 FORMAT(/,6X,'Random numbers',/)
005 FORMAT(3(2X,'R(',I2,',',I2,') = ',F6.4))
006 FORMAT(/,6X,'Coordinates of initial complex',/)
007 FORMAT(3(2X,'X(',I2,',',I2,') = ',1PE12.5))
008 FORMAT(/,6X,'Values of objective function',/)
009 FORMAT(3(2X,'F(',I2,') = ',1PE12.5))
010 FORMAT(/,6X,'Numbers of iteration = ',I6,)
011 FORMAT(/,6X,'Values of control variables',/)
012 FORMAT(3(2X,'X(',I1,') = ',1PE12.5))
013 FORMAT(3X,'Fmin = ',1PE12.5)
014 FORMAT(//,6X,'The numbers of iterations has exceeded. Iteration =

```

```

1',I6)
015 FORMAT(//,1X,'INITIAL VALUES')
016 FORMAT(//,1X,'FINAL OUTPUT')
017 FORMAT(//,6X,'Failure of processing. Restart, please !')
018 FORMAT(/6X,'Maximum distance between any two points=',1PE12.5)
019 FORMAT(/6x,'Standard deviation of function values = ',1PE12.5)
020 FORMAT(1X,'X(',I1,') = ?')
022   FORMAT(/1X,'GOAL   OF   OPTIMIZATION   :   consumed
energy(KJ/KgH2O)')
023 FORMAT(/,1X,'INPUT DATA FOR DRYING SIMULATION'//
1   6X,'Initial moisture (d.b.,dec) = ',f6.3/
2   6x,'Final moisture (d.b.,dec) = ',f6.3/
3   6x,'Initial temperature of red pepper (c) = ',f6.2/
4   6x,'Initial carotenoid (mg/100g dry solid) = ',f7.2/
5   6x,'Final carotenoid (mg/100g dry solid) = ',f7.2/
6   6x,'Average bone dry weight of pepper (g) = ',f5.2/
7   6x,'Ambient air temperature (c) = ',f6.2/
8   6x,'Ambient relative humidity (dec) = ',f6.3/
9   6X,'Dry bulk density (kg/cum) = ',f6.2/
*   6X,'Bed depth of dryer (m) = ',f6.2/
*   6X,'Required drying time (m) = ',f6.1/
*   6X,'Moisture at change first condition =',f7.2/
*   6x,'Moisture at change second condition = ',f7.2/
*   6X,'Bottom layer moisture when mixing = ',f6.1/
*   6x,'Allowable bottom layer moisture (d.b,dec) = ',f6.2)
026 FORMAT(/,1X,'DRYING RESULTS USING OPTIMUM CONDITIONS'/)
030 FORMAT (1X,'X(1)=Dry air temperature at first stage'/
*   1X,'X(2)=Recycle ratio at first stage'/
*   1X,'X(3)=Dry air temperature at second stage'/
*   1X,'X(4)=Recycle ratio at second stage'/
*   1x,'X(5)=Dry air temperature at third stage'/
*   1x,'X(6)=Recycle ratio at third stage'/
*   1X,'X(7)=Air flow rate (m/min.)')
C
C ..... Print of parameters
C
WRITE(6,001)
WRITE(6,023)
XMO,XMF,THIN,CO,CF,BW,TAMB,RHAMB,DDENS,DEPTH,
*RTIME,CMC1,CMC2,TPMC,ABMC

```

```

WRITE(6,002) N, K, IC
WRITE(*,003) ALPHA, E1, E2
WRITE(6,003) ALPHA, E1, E2
WRITE(*,004)
WRITE(6,004)
DO 101 I=1, N
WRITE(*,005) (I, J, R(I,J), J=2, K)
WRITE(6,005) (I, J, R(I,J), J=2, K)
101 CONTINUE
WRITE(*,015)
WRITE(6,015)
C
C ..... Generation of points of X(2) to X(k) in initial complex
C
51 DO 102 I=1, N
DO 102 J=2, K
CALL EXPL(N, XEL, XEU, I)
X(I,J)=XEL(I)+R(I,J)*(XEU(I)-XEL(I))
500 IF(X(I,J) .LT. XEL(I)) X(I,J)=X(I,J)+DELTA
IF(X(I,J) .GT. XEU(I)) X(I,J)=X(I,J)-DELTA
IF(X(I,J) .LT. XEL(I)) GO TO 500
IF(X(I,J) .GT. XEU(I)) GO TO 500
102 CONTINUE
C
C ..... Feasibility test regarding points in complex and process
C ..... of moving half way and evaluation of objective function
C
XIL(1)=CF
XIU(1)=CO
DO 103 II=1, IC
DO 103 J=1, K
501 CALL PEPPER (N,K,X,J,TOTEN,AVCAR,ISIM,TIME)
G(II,J)=AVCAR
F(J)=TOTEN
DTIME(J)=TIME
CARO(J)=AVCAR
IF(G(II,J) .LT. XIL(II)) GO TO 502
IF (DTIME (J).GT.RTIME) GO TO 502
IF (BMCC.LT.ABMC) GO TO 502
IF(G(II,J) .LE. XIU(II)) GO TO 103

```

```

502 DO 104 I=1, N
    IF (J.EQ.1) THEN
        WRITE (*,030)
        WRITE (*,*) 'Enter again initial guesses'
        DO 50 KK=1,N
            WRITE (*,020) KK
50    READ (*,*) X(KK,1)
        GO TO 51
    ENDIF
    CALL CENT1(N, K, X, XC, I, J)
    X(I,J)=(XC(I)+X(I,J))/2.0
104 CONTINUE
    GO TO 501
103 CONTINUE
C
    WRITE(*,006)
    WRITE(6,006)
    DO 106 I=1, N
        WRITE(*,007) (I, J, X(I,J), J=1, K)
        WRITE(6,007) (I, J, X(I,J), J=1, K)
106 CONTINUE
    WRITE(*,008)
    WRITE(6,008)
    WRITE(*,009) (J, F(J), J=1, K)
    WRITE(6,009) (J, F(J), J=1, K)
C
C ..... Test for convergence : distance between any two vertices
C ..... among points in complex
C
504 ITER=ITER+1
    DMAX=0.0
    DO 107 J=1, K-1
        DO 107 JJ=J+1, K
            D=0.0
            DO 108 I=1, N
                D=D+(X(I,J)-X(I,JJ))**2
108 CONTINUE
            D=SQRT(D)
            IF(DMAX .LE. D) DMAX=D
            IF(D .GT. E1) GO TO 505

```

```

107 CONTINUE
C
C ..... Test for convergence : standard deviation of function values
C
      DO 109 I=1, N
      CALL CENT2(N, K, X, XC, I)
      TEMP(I)=X(I,1)
      X(I,1)=XC(I)
109 CONTINUE
      CALL PEPPER(N,K,X,1,TOTEN,AVCAR,ISIM,TIME)
      FC=TOTEN
      DO 110 I=1, N
      X(I,1)=TEMP(I)
110 CONTINUE
      SD=0.0
      DO 111 J=1, K
      SD=SD+(FC-F(J))**2
111 CONTINUE
      SD=SD/FLOAT(K)
      SD=SQRT(SD)
505 JMIN=1
      DO 112 J=2, K
      IF(F(JMIN) .GT. F(J)) JMIN=J
112 CONTINUE
      WRITE(*,010) ITER
      WRITE(*,018) DMAX
      WRITE(*,019) SD
      WRITE(*,*)
      WRITE(*,009) (J, F(J), J=1, K)
      WRITE(*,011)
      WRITE(*,012) (I, X(I,JMIN), I=1, N)
      WRITE(*,008)
      WRITE(*,013) F(JMIN)
      IF(SD .LE. E2) GO TO 996
      IF(CARO(JMIN) .LE. CF+0.005) GO TO 996
      IF(ITER .GE. ITMAX) GO TO 996
C
C ..... Process of reflection regarding the largest function value
C
      JMAX=1

```

```

DO 113 J=2, K
IF(F(JMAX) .LE. F(J)) JMAX=J
113 CONTINUE
JXR=JMAX
DO 114 I=1, N
114 XR(I,JXR)=X(I,JMAX)
506 DO 115 I=1, N
CALL CENT3(N, K, X, XC, I, JXR)
XR(I,JXR)=(1.0+ALPHA)*XC(I)-ALPHA*XR(I,JXR)
115 CONTINUE
C
C ..... Feasibility test regarding the reflected point
C
DO 116 I=1, N
507 IF(XR(I,JXR) .LT. XEL(I)) XR(I,JXR)=XR(I,JXR)+DELTA
IF(XR(I,JXR) .GT. XEU(I)) XR(I,JXR)=XR(I,JXR)-DELTA
IF(XR(I,JXR) .LT. XEL(I)) GO TO 507
IF(XR(I,JXR) .GT. XEU(I)) GO TO 507
116 CONTINUE
KKT=0
IF(IC .EQ. 0) GO TO 510
DO 117 II=1, IC
508 CALL PEPPER (N,K,XR,JXR,TOTEN,AVCAR,ISIM,TIME)
FR(JXR)=TOTEN
G(II,JXR)=AVCAR
IF(G(II,JXR) .LT. XIL(II)) GO TO 509
IF (TIME.GT.RTIME) GO TO 509
IF (BMC.LT.ABMC) GO TO 509
IF(G(II,JXR) .LE. XIU(II)) GO TO 117
509 DO 118 I=1, N
CALL CENT3(N, K, X, XC, I, JXR)
XR(I,JXR)=(XC(I)+XR(I,JXR))/2.0
118 CONTINUE
KKT=KKT+1
IF (KKT.GT.15) GO TO 996
GO TO 508
117 CONTINUE
C
C ..... Comparison of the function value of the reflected point
C ..... and the maximum function value and half way movement

```

```

C
510 IF(FR(JXR) .GE. F(JMAX)) GO TO 511
    DO 119 I=1, N
        X(I,JMAX)=XR(I,JXR)
119 CONTINUE
    F(JMAX)=FR(JXR)
    GO TO 504
511 DO 120 I=1, N
    XR(I,JXR)=(XC(I)+XR(I,JXR))/2.0
    X(I,JMAX)=XR(I,JXR)
120 CONTINUE
    CALL PEPPER(N,K,X,JMAX,TOTEN,AVCAR,ISIM,TIME)
    F(JMAX)=TOTEN
    GO TO 504

```

C

C Print of final output

C

```

996 WRITE(*,016)
    WRITE(6,016)
    WRITE(*,010) ITER
    WRITE(6,010) ITER
    WRITE(*,018) DMAX
    WRITE(6,018) DMAX
    WRITE(*,019) SD
    WRITE(6,019) SD
    WRITE (6,031)
031 FORMAT (/6X,'Coordinates of final complex'/)
    DO 125 I=1,N
125 WRITE (6,007) (I,J,X(I,J),J=1,K)
    WRITE (6,032)
032 FORMAT (/6X,'Final values of objective functions'/)
    WRITE (6,009) (J,F(J),J=1,K)
    WRITE(*,011)
    WRITE(6,011)
    WRITE(*,012) (I, X(I,JMIN), I=1, N)
    WRITE(6,012) (I, X(I,JMIN), I=1, N)
    WRITE(*,008)
    WRITE(6,008)
    WRITE(*,013) F(JMIN)
    WRITE(6,013) F(JMIN)

```

```

WRITE(6,026)
ISIM=1
CALL PEPPER (N,K,X,JMIN,TOTEN,AVCAR,ISIM,TIME)
IF (ITER.GE.ITMAX) THEN
997 WRITE(*,014) ITMAX
WRITE(6,014) ITMAX
998 WRITE(*,017)
WRITE(6,017)
ENDIF
999 RETURN
END

C
C
=====
C SUBROUTINE PROGRAM FOR CENTROID OF ALREADY ACCEPTED
POINTS
C (TYPE-I CENTROID)
C
=====
C
SUBROUTINE CENT1(N, K, X, XC, I, J)
DIMENSION X(N,K), XC(N)
XC(I)=0.0
DO 10 L=1, J-1
XC(I)=XC(I)+X(I,L)
10 CONTINUE
XC(I)=XC(I)/FLOAT(J-1)
RETURN
END

C
C
=====
C SUBROUTINE PROGRAM FOR CENTROID OF ALL VERTICES
C (TYPE-II CENTROID)
C
=====
C
SUBROUTINE CENT2(N, K, X, XC, I)
DIMENSION X(N,K), XC(N)
XC(I)=0.0

```

```

DO 10 L=1, K
XC(I)=XC(I)+X(I,L)
10 CONTINUE
XC(I)=XC(I)/FLOAT(K)
RETURN
END

C
C
=====
C   SUBROUTINE PROGRAM FOR CENTROID OF ALL VERTICES
EXCEPT THE
C   VERTICE WITH THE MAXIMUM FUNCTION VALUE
C   (TYPE-III CENTROID)
C
=====
C
SUBROUTINE CENT3(N, K, X, XC, I, JMAX)
DIMENSION X(N,K), XC(N)
XC(I)=0.0
DO 10 L=1, K
IF(L .NE. JMAX) XC(I)=XC(I)+X(I,L)
10 CONTINUE
XC(I)=XC(I)/FLOAT(K-1)
RETURN
END

C
C
=====
C   SUBROUTINE PROGRAM FOR EXPLICIT CONSTRAINTS
C
=====
C
SUBROUTINE EXPL(N, XEL, XEU, I)
DIMENSION XEL(N), XEU(N)
XEL(1)=45.0
XEU(1)=70.0
XEL(2)=0.
XEU(2)=0.98
XEL(3)=45.
XEU(3)=70.

```

```

XEL(4)=0.
XEU(4)=0.98
XEL(5)=45.
XEU(5)=70.
XEL(6)=0.
XEU(6)=0.98
XEL(7)=0.
XEU(7)=50.
RETURN
END

C
FUNCTION AREA(BW)

C
=====
C AREA : SURFACE AREA OF A RED PEPPER(cm**2)
C BW   : BONE DRY WEIGHT OF A RED PEPPER(g)
C
=====

AREA=3.74+23.62*BW-1.76*BW*BW
RETURN
END

C
C *****
C THIS SUBROUTINE IS TO SIMULATE FIXED-BED DRYING OF RED
PEPPER
C BY 4-DIFFERENTIAL EQUATIONS
C
SUBROUTINE PEPPER (N,K,X,JJK,TOTEN,BOTCAR,ISIM,TIME)
COMMON
BW,XMO,XMF,THIN,TAMB,RHAMB,CO,CF,DDENS,DEPTH,BMC,RTIME
COMMON CMC1,CMC2,TPMC,ABMC,BMCC
DIMENSION XM(50),TH(50),RH(50),SVT(50),SVH(50)
DIMENSION T(50,2),H(50,2),CAR(50)
DIMENSION X(N,K),XMM(50),CARR(50),THH(50)
DATA CA,CV/1.0069,1.87568/
DATA RHC,PATM/0.9999999,101325./

C
F(TC)=TC+273.16
FMD(XMW)=XMW/(1.-XMW)
FMW(XMD)=XMD/(1.+XMD)

```

```

C
  IF (ISIM.EQ.1) TBTPR=2.
C CALCULATE STEPSIZE & NUMBER OF NODE & DEPTH BETWEEN
PRINT
  DELT=0.2
  DELX=0.02
  NE=DEPTH/DELX
  DELX=DEPTH/NE
  NN=NE+1
C INPUT DATA
  TIN=X(1,JJK)
  RATIO=X(2,JJK)
  TIN2=X(3,JJK)
  RA2=X(4,JJK)
  TIN3=X(5,JJK)
  RA3=X(6,JJK)
  VEL=X(7,JJK)
  HIN=HADBRH(F(TAMB),RHAMB)
  RHIN=RHDBHA(F(TIN),HIN)
C SET INITIALS
  TIME=0.
  THEAT=0.0
  IEXIT=0
  TCOND=0.
  TBMIX=0.
  KKJ=0
  KN=0
  KL=0
  BMC=XMO
  PRT=TBTPR
  SVT(1)=THIN
  DO 200 I=1,NE
    IPI=I+1
    XM(I)=XMO
    H(IPI,1)=HIN
    T(IPI,1)=THIN
    RH(IPI)=RHAMB
  CAR(I)=CO
200  TH(I)=THIN
C

```

```

T(1,1)=TIN
T(1,2)=TIN
RH(1)=RHIN
H(1,1)=HIN
H(1,2)=H(1,1)
C CONVERT AIRFLOW RATE TO Kg DRYAIR/hr, M2 & COMPUTE
C CONVEACTIVE HEAT TRANSFER COEFFICIENT AND SPECIFIC
SURFICE AREA
GA=60.*VEL/VSDBHA(F(TAMB),HIN)
HC=3.6*41.26*(VEL/60.)**0.74*0.3
SA=DDENS/BW*AREA(BW)*0.1
C CALCULATE POWER AND ENERGY AND DRYING RATE
RE=1425.3*(VEL/60.)
DELP=(1766.2*RE+869432)*(VEL/60.)**2/RE*DEPTH
PFAN=DELP*(VEL/60.)/0.35/1000.
C PRINT INPUT CONDITIONS
IF (ISIM.EQ.1) WRITE (6,700)
C BEGIN TIME LOOP
4 TIME=TIME+DELT
TBMIX=TBMIX+TIME
IF (BMC.LE.CMC1.AND.BMC.GT.CMC2) THEN
KN=KN+1
T(1,1)=TIN2
T(1,2)=TIN2
RATIO=RA2
IF (KN.EQ.1) CTIME1=TIME
ENDIF
IF (BMC.LE.CMC2) THEN
KL=KL+1
T(1,1)=TIN3
T(1,2)=TIN3
RATIO=RA3
IF (KL.EQ.1) CTIME2=TIME
ENDIF
XMAX=0.
XMIN=CO
XMMIN=XMO
IF (TBMIX.GE.TPMC) THEN
DO 453 I=1,NE
IIJ=NE-I+1

```

```

        XMM(I)=XM(IJ)
        CARR(I)=CAR(IJ)
453     THH(I)=TH(IJ)
        DO 455 I=1,NE
            XM(I)=XMM(I)
            CAR(I)=CARR(I)
455     TH(I)=THH(I)
            KKJ=KKJ+1
            TBMIX=0.0
            XMTIME=TIME
        ENDIF
C BEGIN DEPTH LOOP
    DO 400 J=2,NN
        JM=J-1
        T2=0.5*(T(JM,2)+T(J,1))
        TT=0.5*(TH(JM)+T2)
        HT=0.5*(H(JM,2)+H(J,1))
        XMT=XM(JM)
        RHT=RHDBHA(F(TT),HT)
        EM=EMC(RHT,TT,BW)
        IF (EM.GE.XMT) THEN
            XM(JM)=XMT
        ELSE
            CALL THLYEQ(TT,RHT,DELT,XMT,BW,XMN)
            XM(JM)=XMN
        ENDIF
C HUMIDITY EQUATIONS
        H(J,2)=H(JM,2)-DDENS*DELX*(XM(JM)-XMT)/(GA*DELT)
        SVH(JM)=.5*(H(JM,2)+H(J,2))
C TEMPERATURE EQUATIONS
        HF=HFG(TT,XMT,BW)
        C2=-HC*SA*DELX/(2.0*GA*(CA+CV*SVH(JM)))
        C1=1.-C2
        C3=HC*SA*DELT/(DDENS*HEAT(XMN))
        C4=C3*GA*(H(J,2)-H(JM,2))/(HC*SA*DELX)
        C5=C4*CV-C3
        C6=1.+C3-C4*CV
        SVT(JM)=(TH(JM)-C4*HF-C6*T(JM,2)/C2)/(C5-C1*C6/C2)
        TH(JM)=(T(JM,2)-C1*SVT(JM))/C2
        T(J,2)=2.*SVT(JM)-T(JM,2)

```

```

C COMPUTE RH & CHECK FOR CONDENSATION
  TABS=F(T(J,2))
  RH(J)=RHDBHA(TABS,H(J,2))
  IF (RH(J)-RHC) 9,8,8
C CONDENSATION SIMULATOR
  8   PS=PVHA(H(J,2))
      HS=H(J,2)
      DP=DBPS(PS)
      TWBA=WDBBDP(TABS,DP)
      T(J,2)=TWBA-273.16
      H(J,2)=HADBRH(TWBA,RHC)
      RH(J)=RHC
      XM(JM)=XM(JM)+(HS-H(J,2))*GA*DELT/(DDENS*DELX)
  9   CONTINUE
C COMPUTE CAROTENOIDS RETENTION(MG/100G DRY MATTER)
  10  C=CAR(JM)
      XMT=XM(JM)
      TD=TH(JM)
      CALL CAROT (XMT,TD,C,DELT)
      CAR(JM)=C
C END OF DEPTH LOOP
  400 CONTINUE
C SHIFT ARRAYS AND COMPUTE AVERAGE MC
  SUM=0.0
  SUMC=0.
  DO 450 J=2,NN
    T(J,1)=T(J,2)
    H(J,1)=H(J,2)
    SUM=SUM+XM(J-1)
    SUMC=SUMC+CAR(J-1)
  450 CONTINUE
  AVMC=SUM/NE
  AVCAR=SUMC/NE
  BMC=AVMC
  IF (KKJ.EQ.0) THEN
    TMC=XM(NE)
    BOTCAR=CAR(1)
    TMCC=XM(NE)
    BMCC=XM(1)
    BOTC=CAR(1)

```

```

ELSE
  DO 451 I=1,NE
  IF (XM(I).GT.XMAX) XMAX=XM(I)
  IF (XM(I).LT.XMMIN) XMMIN=XM(I)
  IF (CAR(I).LT.XMIN) XMIN=CAR(I)
451 CONTINUE
  TMCC=XMAX
  BOTCAR=XMIN
  BMCC=XMMIN
  BOTC=XMIN
ENDIF
IF (TIME.GT.RTIME) GO TO 900
C CALCULATE ENTHALPY OF AMBIENT ,EXIT AIR & INPUT AIR AND
C HUMIDITY OF INPUT AIR
  ENAMB=CA*TAMB+(2501.3+CV*TAMB)*HIN
  ENEXT=CA*T(NN,2)+(2501.3+CV*T(NN,2))*H(NN,2)
  H(1,1)=(1.-RATIO)*HIN+RATIO*H(NN,2)
  H(1,2)=H(1,1)
  TMIX=(1.-RATIO)*ENAMB+RATIO*ENEXT-2501.3*H(1,1)
  TMIX=TMIX/(CA+CV*H(1,1))
  IF (TMIX.GE.T(1,1)) THEN
    T(1,1)=TMIX
    T(1,2)=TMIX
  ENDIF
  HEATT=GA*(CA+CV*H(1,1))*(T(1,1)-TMIX)*DELT
  T11=F(T(1,1))
  RH11=RHDBHA(T11,H(1,1))
  RH(1)=RH11
  THEAT=THEAT+HEATT
C CHECK IF MOISTURE CONTENT LOW ENOUGH OR TIME TO PRINT
C ....IF NONE OF THESE GO TO BEGINNING OF TIME LOOP
  IF(AVMC.LE.XMF) THEN
    IEXIT=1
  ELSE
    IF (ISIM.EQ.1) THEN
      IF(TIME-PRT) 4,13,13
    ELSE
      GO TO 4
    ENDIF
  ENDIF
ENDIF

```

```

13 PRT=PRT+TBTPR
C MAKE FINAL CALCULATIONS & PRINT
C TOP & BOTTOM LAYER MOISTURE
  ENERGY=THEAT/0.85
  DRATE=(XMO-AVMC)*100./TIME
  WATER=(XMO-AVMC)*DDENS*DEPTH
  IF (WATER.LE.0.) WATER=1.
  XKJH2O=ENERGY/WATER
  ENFAN=PFAN*TIME*3600./WATER
  TOTEN=ENFAN+XKJH2O
  WRITE (*,910) TIME,BOTCAR,BMCC
910 FORMAT (1X,'TIME=',F6.1,2X,'BOTCAR=',F6.1,2X,'MINMC=',F7.3)
  IF (ISIM.EQ.1) THEN
    WRITE (6,800)TIME,AVMC,DRATE,TMCC,BMCC,RH11,BOTC,AVCAR
    1,XKJH2O,TOTEN,TCOND
  ENDIF
700 FORMAT (//2X,'TIME',3X,'AVMC',3X,'DRATE',3X,'MAX MC'
1      3X,'MIN MC',3X,'RHIN',3X,'MINCAR',3X,
*      3X,'AV CAROT',3X,'FUEL E',6X,'TOT E',6X,'CON H2O'/
2      2X ' HR ',3X,' D.B',3X,' D.B ', 4X,' D.B ',
3      3X,' D.B ',3X,' DEC',3X,' mg ',3X,' mg '
4      3X,'mg/100g',3X,'KJ/KG,H2O',3X,'KJ/KG H2O',3X,' KG')
800 FORMAT (1X,F6.1,2X,F6.3,1X,F6.2,2X,F6.3,2X,F7.3,
1      2X,F6.3,3X,F6.2,3X,F6.1,5X,F8.2,4X,F8.2,4X,F9.
21)
C CHECK IF EXIT CONDITIONS HAS BEEN MET...
C ...IF NOT RETURN TO BEGINNING OF TIME LOOP
C
610 IF (IEXIT-1) 4,14,4
14 CONTINUE
  IF (ISIM.EQ.1) THEN
    WRITE(6,590)
DELDP,PFAN,TOTEN,XKJH2O,ENFAN,CTIME1,CTIME2,XMTIME
  ENDIF
590 FORMAT (//6X,'STATIC PRESSURE(PA)           ;',F8.2/
*      6X,'FAN POWER(KW)                       ;',F8.2/
*      6X,'TOTAL ENERGY(KJ/KgH2O)             ;',F9.1/
*      6X,'FUEL ENERGY(KJ/KgH2O)              ;',F9.1/
*      6X,'FAN ENERGY(KJ/KgH2O)               ;',F9.1/
*      6X,'TIME WHEN CHANGE FIRST CONDITION :',F9.1/

```

```

*          6X,'TIME WHEN CHANGE SECOND CONDITION ;',F9.1/
*          6X,'TIME WHEN MIXING                ;',F9.1)
900 RETURN
END

```

C*****

```

FUNCTION EMC(RH,T,BW)
IF (RH.GE.0.9999) RH=0.9999
IF(RH.LE.0.) RH=0.01
A=-0.059590
C=0.17711-0.000015051*T*T-0.039181/BW
XX=-ALOG(RH)
IF (XX.LE.0.) WRITE (*,*) 'ERH',XX
EMC=A*ALOG(-ALOG(RH))+C
IF (EMC.LE.0.05) EMC=0.05
RETURN
END

```

C*****

```

SUBROUTINE THLYEQ(TT,RH,DELT,XM,BW,XMN)
REAL K1,K2,K3,K4
F(XM,DE,TH,EM)=-3.*DE*(XM-EM)/TH**2
DE=DIFFU(TT,XM,RH)
TH=THICK(XM,BW)
EM=EMC(RH,TT,BW)
K1=F(XM,DE,TH,EM)*DELT
XM1=XM+0.5*K1
DE1=DIFFU(TT,XM1,RH)
TH1=THICK(XM1,BW)
K2=F(XM1,DE1,TH1,EM)*DELT
XM2=XM+0.5*K2
DE2=DIFFU(TT,XM2,RH)
TH2=THICK(XM2,BW)
K3=F(XM2,DE2,TH2,EM)*DELT
XM3=XM+K3
DE3=DIFFU(TT,XM3,RH)
TH3=THICK(XM3,BW)
K4=F(XM3,DE3,TH3,EM)*DELT
DM=(K1+2.*K2+2.*K3+K4)/6.
XMN=XM+DM
RETURN
END

```

```

C
FUNCTION DIFFU(TT,XM,RH)
A=0.000041492*(1.-RH)*EXP(0.0405465*TT)
B=0.295258+0.00738769*TT
DIFFU=A*(XM**B)
RETURN
END

C
FUNCTION THICK (XM,BW)
THICK=0.01898+0.02684*XM-0.002270*XM*XM+0.01186*XM*BW
RETURN
END

C
FUNCTION HEAT(XM)
HEAT=(1.441+4.187*XM)/(1.+XM)
RETURN
END

C
FUNCTION HFG(TM,XM,BW)
DB=273.16+TM
H=HLDB(DB)
HFG=H*(1.+(4.6033-2.108/BW)*EXP(-16.78*XM))
HFG=0.001*HFG
RETURN
END

C
FUNCTION RATE (XM,TM)
DOUBLE PRECISION A
IF (XM.GT.3.5) XM=3.5
XKO=4.1879-1.9466*XM+3.2619*XM*XM
XKO=EXP(XKO)*60.
EAC=7698.3-692.58*XM+1911.2*XM*XM
A=EAC/1.987/(TM+273.16)
RATE=XKO*EXP(-A)
RETURN
END

C
SUBROUTINE CAROT (XM,TM,C,DELT)
REAL K1,K2,K3,K4
F(C,XK)=-XK*C

```

```

XK=RATE(XM, TM)
K1=F(C, XK)*DELTA
C1=C+0.5*K1
K2=F(C1, XK)*DELTA
C2=C+0.5*K2
K3=F(C2, XK)*DELTA
C3=C+K3
K4=F(C3, XK)*DELTA
DC=(K1+2.*K2+2.*K3+K4)/6.0
C=C+DC
RETURN
END

```

C*****

C

C PSYCHROMETRIC EQUATIONS

C *****

C UNIT : M,KG,J,PA,K

C*****

```

FUNCTION HADBRH(DB, RH)
HADBRH=HAPV(RH*PSDB(DB))
RETURN
END

```

C

```

FUNCTION HADP(DP)
HADP=HAPV(PSDB(DP))
RETURN
END

```

C

```

FUNCTION HAPV(PV)
HAPV=0.6219*PV/(101325.-PV)
RETURN
END

```

C

```

FUNCTION RHDBHA(D1, D2)
A=PSDB(D1)
B=PVHA(D2)
RHDBHA=B/A
RETURN
END

```

C

```

FUNCTION PVDBWB(DB,WB)
DATA PATM/101325./
A=PSDB(WB)
B=0.6219*HLDB(WB)*PATM
C=1006.9254*(A-PATM)*(WB-DB)
PVDBWB=(A*B-C*PATM)/(B+0.15577*C)
RETURN
END

```

C

```

FUNCTION PVDBVS(DB,VS)
DATA PATM/101325./
PVDBVS=PATM-287.*DB/VS
RETURN
END

```

C

```

FUNCTION PVHA(HA)
DATA PATM/101325./
PVHA=HA*PATM/(0.6219+HA)
RETURN
END

```

C

```

FUNCTION DBPS(PS)
PS=0.001*PS
IF(PS.GE.1.6E-4.AND.PS.LE.0.61074) THEN
  A=82.44543
  B=0.1164067
  C=3.056448
  D=-76.34573
ELSE
  A=33.38269
  B=0.2226162
  C=7.156019
  D=-26.39589
ENDIF
IF (PS.LE.0.) WRITE (*,*) 'PS'
DBPS=A*PS**B+C*ALOG(PS)+D+273.16
PS=PS*1000.
RETURN
END

```

C

```

FUNCTION WBDBDP(DB,DP)
DATA A,B,C,D/-0.38799E-03,-0.026394,-0.76378,0.28894E-03/
DB=DB-273.16
DP=DP-273.16
TDB=A*DP**3+B*DP*DP+C*DP+D
IF(DP.GE.-18.0.AND.DP.LT.0.0) THEN
  IF(DB.GE.-18.0.AND.DB.LT.TDB) THEN
    B1=0.125896E-06
    B2=-0.476257E-02
    B3=0.463702
    B4=0.679164E-03
    B5=0.120197
    B6=0.547492
  ELSE
    IF(DB.GE.TDB.AND.DB.LE.82.0) THEN
      B1=0.118282E-04
      B2=-0.370293E-02
      B3=0.578023
      B4=-0.325391E-04
      B5=0.302971E-01
      B6=0.878100
    ELSE
      B1=0.509257E-05
      B2=-0.243035E-02
      B3=0.519673
      B4=-0.388462E-04
      B5=0.287864E-01
      B6=0.897871
    ENDIF
  ENDIF
ELSE
  IF(DB.GE.0.0.AND.DB.LE.82.0) THEN
    B1=0.157853E-04
    B2=-0.413278E-02
    B3=0.587189
    B4=0.560380E-04
    B5=-0.197368E-01
    B6=0.115724E+01
  ELSE
    B1=0.571141E-05

```

```

        B2=-0.257305E-02
        B3=0.525065
        B4=0.293342E-04
        B5=-0.165536E-01
        B6=1.18502
    ENDIF
ENDIF
DT=DB-DP

WB=DP+(B1*DT**3+B2*DT*DT+B3*DT)*EXP((B4*DT+B5)*ABS(DP)**B6)
WBDBDP=WB+273.16
DB=DB+273.16
DP=DP+273.16
RETURN
END
C
FUNCTION PSDB(DB)
DATA R,A,B,C,D,E,F1,G/22105649.25,-27405.526,97.5413,-0.146244,
10.12558E-03,-0.48502E-07,4.34903,0.39381E-02/
IF(DB-273.16) 1,2,2
1 IF (DB.LT.0.) WRITE (*,*) 'DB',DB
  PSDB=EXP(31.9602-6270.3605/DB-0.46057*ALOG(DB))
  RETURN
2
PSDB=R*EXP((A+B*DB+C*DB**2+D*DB**3+E*DB**4)/(F1*DB-G*DB**2))
RETURN
END
C
FUNCTION HLDB(DB)
IF(DB-273.16) 1,1,2
1 HLDB=2839683.144-212.56384*(DB-255.38)
  RETURN
2 IF(DB-338.72) 3,3,4
3 HLDB=2502535.259-2385.76424*(DB-273.16)
  RETURN
4 HLDB=SQRT(7329155978.E+3-15995964.08*DB*DB)
  RETURN
END
C
FUNCTION VSDBHA(DB,HA)

```

```
DATA PATM/101325./
VSDBHA=287.*DB*(0.6219+HA)/0.6219/PATM
RETURN
END
```

C

```
FUNCTION ENDBDP(DB,DP)
HA=HADP(DP)
T1=1006.9254*(DB-273.16)+HLDB(DP)*HA+1875.6864*HA*(DB-DP)
IF(DP-273.16) 1,2,2
1 ENDBDP=T1-HA*(333432.1+2030.598*(273.16-DP))
RETURN
2 ENDBDP=T1+4186.8*HA*(DP-273.16)
RETURN
END
```

C

```
*****
```