

발 간 등 록 번 호

11-1541000-000751-01

고품질 태양초 온실 자연건조를 위한
자동교반기계 개발

Development of the auto-tedding machine for the Taeyangcho
in high quality

경 북 대 학 교

농 립 수 산 식 품 부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “고품질 태양초 온실 자연건조를 위한 자동교반기계 개발”에 관한 연구과제의 보고서로 제출합니다.

2010년 12월 19일

주관연구기관명 : 경북대학교

주관연구책임자 : 김 진 현

연 구 원 : 이 기 명

연 구 원 : 하 유 신

세부연구기관명 : 한 양 테 크

세부연구책임자 : 김 기 동

세부연구기관명 : 청송군농업기술센터

세부연구책임자 : 황 부 원

연 구 원 : 심 장 섭

연 구 원 : 최 종 섭

요 약 문

I. 제 목

고품질 태양초 온실 자연건조를 위한 자동교반기계 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구의 필요성

최근 웰빙 열풍에 따라 소비자들은 고유의 맛과 향이 유지되는 자연에서 건조시킨 친환경 태양초를 많이 찾게 되고 생산능가에서도 가격면에서 화건초와는 차이가 많이 나는 고부가가치의 태양초를 대량으로 생산하는 지역이 증가하고 있다. 대량으로 고추를 건조할 때에는 비나 이슬, 벌레 등의 문제로 노지건조는 사실상 불가능하며 보통 비닐하우스 건조를 하게 되는데, 비닐하우스를 이용함에 있어 희나리(하초)의 발생이 많고 흐린 날이나 비오는 날이 많을 경우 건조기간이 10~15일로 길어져 품질 손상이 심하며 특히 비닐하우스의 내부온도가 높아 뒤집기 등에 많은 노력이 소요되고 있는 실정이다. 또 비닐하우스 건조시 품종에 따라 건조시간 및 품질의 차이가 있으며 건조과정중 젤상태가 될 때 날씨가 좋으면 상관없으나 흐릴 경우나 야간에 보일러, 온풍기 등을 가동하지 않으면 희나리 및 고추의 형태가 쭈그러지는 경우가 생긴다.

그러나 태양초는 2010년 600g당 11,000~12,000원 수준으로 화건초(약 6,000원)에 비해 약 2배 높은 가격을 형성하고 있어 부가가치가 높아 경북 청송 등의 지역에서 대량 건조를 시행하고 있지만 전술한 바와 같이 고추를 뒤집는 등의 많은 일손을 요구하게 되며 비닐하우스 내에서의 작업도 쉽지 않아 자연건조를 위한 기계장치에 대한 요구가 지속적으로 발생하였지만 현재 이러한 기계장치는 개발된 적이 없는 것으로 나타났다.

일반적인 노지 건조의 품질의 불균일성 및 기타 외부조건으로부터의 피해 등을 예방하기 위해 위생적인 태양초 생산시설을 구비하여 대량생산을 하고 있으나 고추 건조기의 비닐하우스 내부온도는 70℃ 이상이어서 고추를 뒤집거나 수확하는 작업에 많은 노력과 비용이 소요되는 실정이다.

따라서 고품질 태양초 생산을 위한 고추시설 내에 고추를 뒤집거나 수확할 수 있는 자연 건조장치에 대한 개발이 요구되어지며, 자연 건조장치가 개발된다면 자연 건조 축진을 통한 고품질 태양초의 생산이 약 100% 증가할 것으로 판단되며 생산 공정의 약 50% 단축을 통해 농가 수익성을 증대시키고 노동력을 절감하여 농가 현장 애로사항을 해결함으로써 고부가가치를 실현할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 연구의 목적

본 연구에서는 고품질 태양초 온실 자연건조 축진을 통한 고추수확량과 매출이 약 50~100% 증가하고, 온실 자연건조시 고온(약 70℃)으로 인한 혼합작업에 애로를 해소하고, 태양초 생산 공정의 약 50% 단축을 통한 농가의 수익성 증가, 자동 혼합 자연건조 장치를 통한 노동력 절감을 목표로 고품질 태양초 자동건조 교반장치를 개발하고 보급하고자 하였다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

위의 목표에 따라서 고품질 태양초 자동건조 교반장치는 다음과 같이 개발의 내용을 제시할 수 있다.

- 온실 자연건조용 고추 탑재 Bed 설계 및 제작
- Bed 하부 온풍 건조 시스템 설계, 제작
- 고추 교반용 Blade, Brush의 형상설계 및 제작
- 이송장치 및 프레임 설계 및 제작
- 교반기용 대차의 전, 후 장치 설계 및 개발
- 이송모터, 회전모터, 회전수, 전, 후진 등 계측 제어용 컨트롤러 설계 및 개발
- 전체적 시스템 및 부품의 성능 평가
- 현장실증시험 및 효율성, 경제성 평가를 통하여 청송지역 이외에 영양, 안동, 봉화 등으로 보급하여 태양초 재배 농가의 애로 사항을 극복하고자 한다.

국내에서 생산되는 태양초를 효율적으로 생산할 수 있는 교반 시스템을 개발하기 위하여 본 연구에서는

- (1) 비닐온실이용 건조기의 자동교반기계 전체 설계, 회전날 설계 및 알고리즘 개발,

- (2) 자연건조용 자동교반기계의 부품별 제작 및 회전날의 금형 제작,
- (3) 자연건조용 자동교반기계의 현장성능시험 및 평가 등의 3개의 소과제로 연구를 수행하였다.

(1)의 “비닐온실이용 건조기의 자동교반기계 전체 설계, 회전날 설계 및 알고리즘 개발”에서는

- ① 온실 자연건조용 고추 탑재 Bed의 설계, ② 야간에 고추의 결로 및 희나리 발생 방지를 위한 Bed 하부 온풍 건조 시스템 설계, ③ 고추 교반용 Blade, Brush의 형상설계 및 해석, ④ 고추의 파손을 줄일 수 있는 쟁기형 반전기의 설계 및 개발, ⑤ 이송장치 및 프레임 설계, ⑥ 교반기용 대차의 전, 후 장치 설계, ⑦ 교반기용 대차의 교반주기 최적화를 위한 저속 모터 설계, ⑧ 소요동력 산출에 의한 이송모터, 회전모터 선정, ⑨ 교반용 Blade 적정 회전속도 및 이송속도 산출, ⑩ 회전수, 전·후진 등 계측 제어용 컨트롤러 설계 및 제작, ⑪ 전체적 시스템 및 부품의 성능 평가, ⑫ 태양초 생산 에너지 절감효과 분석, ⑬ 현장실증시험 및 효율성 평가 등을 수행하였다.

(2)의 “자연건조용 자동교반기계의 부품별 제작 및 회전날의 금형 제작”에서는

- ① 고추 탑재 Bed의 제작, ② Bed 하부 온풍 건조 시스템 제작, ③ 고추 교반 기본적 모델 Blade, Brush의 금형 및 실용화를 위한 시제품 제작, ④ 이송장치 및 프레임 제작, ⑤ 교반기용 대차의 전, 후 장치 제작, ⑥ 이송장치의 전·후진 반전용 근접센서 제작, ⑦ 회전수, 전, 후진 등 계측 제어용 컨트롤러 설계, ⑧ 온실 자연건조용 고추 교반시스템 시제품 제작, ⑨ 현장실증시험에 의한 부품별 수정 및 보완으로 전체 시스템을 완성하였다.

(3)의 “자연건조용 자동교반기계의 현장성능시험 및 평가”에서는 청송군 농업기술센터에서 ① 태양초 생산농가 시험 베드 선정 및 설치 지도, ② 시스템의 현장설치에 의한 성능평가, ③ 경제성 분석 및 농가 홍보 및 지도, ④ 자연건조용 자동교반기계를 지역의 고추 생산농가의 생산성 제고를 위해 보급 활동을 수행하였다.

IV. 연구개발결과

본 연구에서는 고품질 태양초 온실 자연건조 축진을 통한 고추수확량과 매출이

약 100% 증가하고, 온실 자연건조시 고온(약 70℃)으로 인한 혼합작업에 애로를 해소하고, 태양초 생산 공정의 약 50% 단축을 통한 농가의 수익성 증가시키고, 자동 혼합 자연건조 장치를 통한 노동력 절감을 목표로 고품질 태양초 자동건조 교반장치를 개발하였다. 본 연구는 고추 교반의 요인시험, 자동건조 교반장치의 설계 및 제작, 현장적용시험, 성능시험, 경제성분석 등을 수행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 교반기의 형태에 따른 교반효과 요인시험결과, 브러시 지름이 0.4~0.5 mm인 브러시 방식이 가장 적합한 것으로 나타났다.
2. 브러시별, 전진속도별을, 회전속도별로 교반비율의 요인시험결과, 전체적으로 유의성은 나타나지 않았으나, 평균적으로 39.7%의 고추 교반이 되는 것으로 나타났다.
3. 자연건조용 자동 교반기계는 개발은 크게 ①자연건조용 고추 탑재 Bed, ②Bed 하부의 온풍 시스템, ③고추 교반용 Blade, Brush의 형상, ④이송장치 및 프레임, ⑤동력전달장치, ⑥전체 컨트롤시스템의 설계 및 제작으로 구분하여 개발하였다.
4. 제어알고리즘은 설정된 일정 속도로 주행 및 교반날을 회전시키면서 왕복 이송하고, 0.5 회/h으로 구동되도록 구성하였다.
5. 고추함수율의 평균건감율은 시작기가 0.9 %w.b./h, 관행은 0.4 %w.b./h으로 나타나 약 2배 이상의 건감율의 차이가 났다.
6. 건조과정 중 건조시간은 시작기가 3일이며, 관행은 6일로 시작기가 관행대비 고추 건조시간이 2배 이상 감소되는 것으로 나타났다.
7. 고추함수율의 평균 변이계수는 시작기가 16.8%, 관행은 35.0%로 약 2배 이상의 차이를 나타내었으며, 이 차이로 인해 관행은 불균일한 건조와 건조시간의 차이가 나는 것으로 판단되었다.
8. 시작기 운전시에 소요되는 소비전력을 측정된 결과 1회 40 m 주행시에 약 200 W로 나타났다.
9. 시작기의 연간 고정비는 1,913,180원, 관행은 755,000원으로 나타났으며, 시작기의 연간 이용비용은 2,548,175원, 관행은 2,724,800원으로 나타났다.
10. 건조규모가 증가할수록 이용비용은 절감되었으며, 톤당이용비용은 시작기는 12 ton 건조규모시에 212,348 원/년·ton, 관행은 6 ton 건조규모시에 454,133 원/년·ton으로 나타났다.
11. 건조규모별 손익분기점은 약 4 ton 이상의 규모에서 시작기가 관행보다 유리하

였으며, 12 ton 건조시에는 시작기가 관행보다 연간 약 3백만원의 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

종합적인 결론으로 본 연구에서 개발된 시스템은 우리나라의 태양초 생산 시설에 적용이 가능한 것으로 판단되며, 본 시스템의 이용 시 생산비용의 절감효과는 매우 클 것으로 기대된다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 연구성과

가. 특허 출원

- 특허명 : 고추 자동 교반 장치
- 출원번호 : 10-2010-0131627

나. 전시회 참가

- 대구 경북 첨단벤처산업대상(2010년 12월 9일)

다. 홍보실적

- KBS 뉴스9 보도(2009년 10월 8일)
- 매일신문 보도(2009년 10월 14일)
- 영남 YBN 뉴스(2010년 9월 2일)
- KBS 뉴스9 보도(2010년 9월 13일)
- 경북일보 보도(2010년 9월 14일)

라. 교육

- 청송군 농업기술센터 담당자 교육실시(2009년 9월 25일)

마. 시책건의

- 청송군 : 온실 고품질 태양초 생산확대를 위한 자동교반기 보급(2010년 11월 15일)

바. 기타활용실적

- 제작업체의 카탈로그 제작 1건

2. 활용계획

가. 기술이전

본 연구팀의 참여기업인 한양테크에서 사업화를 위해 본 연구에서 개발 제작된 시작품을 경상북도 청송군의 태양초 생산 농가에 설치하였으며, 본 연구가 종료되는 시점에 기술이전을 실시할 계획에 있다.

나. 자체 사업화

본 연구팀의 참여기업인 한양테크에서 본격적으로 자체 사업화를 실시할 계획에 있다.

다. 관련 인증 획득

개발된 태양초 교반 시스템은 “신기술”, “신규특허”를 획득하여 기술의 신뢰성을 높일 예정이다.

라. 연사회 개최 및 학술대회 발표

고추재배농가 및 관련단체 등에게 연사회를 개최하고 한국농업기계학회 등 연구회에 연구내용을 발표할 예정에 있다.

SUMMARY

I. Title

Development of the auto-tedding machine for the Taeyangcho in high quality

II. Objectives and Necessity

Taeyangcho cost around 11,000 to 12,000 Korean won per 600 g in 2010, which is around twice as much as fire-dried peppers (around 6,000 won). They are dried in large scales in areas such as Cheongsong in North Gyeongsang Province because of their high added value, but it takes a lot of effort and cost to turn the peppers, and since the work is not easy to do especially inside greenhouses, there have been continuous demands for a mechanical device to aid natural drying. However, such a device has not been developed until now.

Therefore, there is a need to develop a natural drying device that can turn or harvest chili peppers inside pepper facilities for production of high quality Taeyangcho. Development of a natural drying device is evaluated to increase production of high quality Taeyangcho by around 100% through stimulation of natural drying, and an around 50% reduction of the production process is expected to increase agricultural profits and cut down on labor to solve errors in the field and materialize high added value.

This study aimed to develop and distribute a high quality Taeyangcho automatic drying and churning device that could increase chili pepper harvest load and sales by around 50 to 100% through stimulation of natural drying inside a greenhouse, relieve errors in the mixing process from the high temperature (around 70 °C) when naturally drying in a greenhouse, increase agricultural profitability through a 50% reduction of the Taeyangcho production process, and reduce labor through the automatic mixed natural drying device.

III. Methods of studies

Development of the high quality Taeyangcho automatic drying and harvesting device includes the following stages.

- Design and production of chili pepper bed for natural drying in a greenhouse
- Design and production of a warm air drying system on the lower part of the bed
- Design and development of a blade and brush forms for chili pepper harvesting
- Design and production of transfer device and frame
- Design and development of before and after devices on the harvester
- Design and development of instrument controllers such as the transfer motor, rotation motor, number of rotations, forward and reverse
- Evaluation of overall system and parts performance
- Distribute to areas such as Youngyang, Andong and Bonghwa in addition to Cheongsong based on evaluation of efficiency and economical aspects through field tests and try to overcome problems of Taeyangcho cultivation.

IV. Results and conclusion of the research

This study conducted a chili pepper harvesting factors test, design and production of an automatic drying and harvesting device, a field adaptation test, a performance test, and economical analysis, and the results can be summarized as follows.

1. The results of the harvesting effect factors test according to form of harvesting device, the 0.4 to 0.5 mm brush type was found to be the most appropriate.
2. As a result of harvesting ratio factor test according to brush, forward speed and rotation speed, there was generally no significance, but on average, the

chili pepper harvesting efficiency was found to be 39.7%.

3. The system was largely divided into the following for development: ① Chili pepper bed for natural drying, ② a warm wind system on the lower part of the bed, ③ forms of blade and brush for harvesting chili peppers, ④ transfer device and frame, ⑤ power relaying device, ⑥ design and production of overall control system.
4. The control algorithm was designed to drive at a steady speed and rotate the harvesting blades for return transfer, and was set to move at 0.5 time/h.
5. The moisture content of chili peppers was found to have an average drying rate of 0.9 %w.b./h in the early stage and 0.4 %w.b./h in practice, showing a drying rate difference of around two times as much or more.
6. The early drying stage was 3 days and the practice was 6 days, showing the early chili pepper drying stage was reduced by at least half compared to the practice.
7. The average variable coefficient of the chili pepper moisture content was 16.8% in the early stage and the practice was 35.0%, showing a difference of around two times, and this difference was evaluated to be the reason for irregular drying and different drying times.
8. As a result of measuring consumption power when driving in the early stage it was around 200 W when driving once for 40 m.
9. The annual fixed cost of the early stage was found to be 1,913,180 won. It was 755,000 won for practice. The annual usage cost for the early stage was 2,548,175 won, and the annual usage cost for practice was 2,724,800 won,
10. The usage cost reduced as the scale of drying increased, and the usage cost per ton was 212,348 won/year.ton with a 12 ton drying scale in the early stage, and 454,133 won/year.ton with a 6 ton drying scale in practice.
11. The break-even point was more advantageous for the early stage than practice with a scale of around 4 tons or more, and when drying 12 tons, the early stage was found to have reduction effects of 3 million won per year compared to practice.

The comprehensive conclusion is that the system developed in this study is

evaluated to be fit for application in Korean Taeyangcho production facilities, and the production price reduction effects from using this system are anticipated to be very large.

CONTENTS

Chapter I. Introduction	17
Section 1. Necessity and Objectives	17
1. Necessity	17
2. Objectives	18
Section 2. Objectives and Contents	21
1. Objectives	21
2. Contents	21
3. Appraisal	24
4. Methods	25
Chapter II. Present conditions and points	29
Section 1. World level	29
Section 2. Domestic level	29
Section 3. Present conditions and points	29
Chapter III. Results of the research	32
Section 1. Factor test of auto-tedding for the Taeyangcho	32
1. Introduction	32
2. Methods	32
3. Result and Discussion	35
4. Summary and Conclusion	39
Section 2. Design and manufacture of auto-tedding machine	40
1. Design and manufacture of bed	40
2. Design and manufacture of round heater system	42
3. Design and manufacture of brush	45
4. Design and manufacture of feeder and frame	50
5. Design and manufacture of powertrain	53
6. Design and manufacture of control system	54
Section 3. Performance test	56
1. Methods	56

2. Result and Discussion	60
3. Summary and Conclusion	63
Section 4. Feasibility analysis	65
1. Introduction	65
2. Methods	65
3. Result and Discussion	68
4. Summary and Conclusion	71
 Chapter IV. Achievement and Contribution	 75
Section 1. Achievement	75
Section 2. Contribution	77
 Chapter V. Plan of application use	 81
Section 1. Outcome of research	81
Section 2. Plan of application use	90
 Chapter VI. References	 105

목 차

제 출 문	1
요 약 문	2
SUMMARY	8
CONTENTS	12
목 차	14
제 1 장 연구개발과제의 개요	17
제1절 연구개발 목적 및 필요성	17
1. 연구의 배경	17
2. 연구의 필요성	18
3. 연구의 목적	19
제2절 연구개발 목표 및 내용	21
1. 연구개발의 목표 및 내용	21
2. 평가의 착안점 및 기준	24
3. 연구개발의 방법	25
제 2 장 국내외 기술개발 현황	29
제1절 세계적 수준	29
제2절 국내수준	29
제3절 국내·외의 연구현황	29
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	32
제1절 고추 교반 요인시험	32
1. 서론	32
2. 재료 및 방법	32
가. 회전날 운동의 이론적 해석	32
나. 회전날 요인시험	33
3. 결과 및 고찰	35
가. 교반기 형태에 따른 교반효과	35

나. 브러시 방식에 따른 교반특성	36
4. 요약 및 결론	39
제2절 자연건조용 자동 교반기계의 설계 및 제작	40
1. 자연건조용 고추 탑재 Bed의 설계 및 제작	40
2. Bed 하부의 온풍 시스템 설계 및 제작	42
3. 고추 교반용 Blade, Brush의 형상 설계 및 제작	43
4. 이송장치 및 프레임의 설계 및 제작	45
5. 동력전달장치의 설계 및 제작	50
6. 전체 컨트롤시스템의 설계 및 제작	53
7. 시스템의 완성 및 시운전	54
제3절 성능시험	56
1. 재료 및 방법	56
2. 성능시험 결과	60
가. 고추의 건조특성	60
나. 고추 건조시간	61
다. 고추 건조 균일도	62
라. 소비전력량	63
3. 요약 및 결론	63
제4절 경제성 분석	65
1. 서론	65
2. 연구의 방법	65
3. 결과 및 고찰	68
가. 연간이용비용	68
나. 고추 건조규모에 따른 생산비용	69
4. 요약 및 결론	71
제5절 종합 결론	73
제 4 장 목표달성도 및 관련분야의 기여도	75
제1절 목표달성도	75
제2절 관련분야의 기여도	77
1. 기술적 측면	77
2. 경제적·산업적 측면	77

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	81
제1절 연구성과	81
제2절 활용계획	90
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	91
제 7 장 참고문헌	105

제 1 장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발 목적 및 필요성

1. 연구의 배경

고추는 남아메리카를 원산지로서 열대에서는 다년생, 온대에서는 1년생 채소에 속하며, 국내에서 고추는 2000년 재배면적 및 생산량으로 볼 때 6.5~9만ha에서 15~22만톤이 생산된다. 고추는 캡사이신 등의 카로테노이드계 색소와 매운맛을 갖고 있기 때문에 식품에 첨가하면 식품의 색을 다양하게 할 뿐만 아니라 냄새와 맛을 크게 증진시키는 효과를 가지고 있어 양념류, 김치류, 고추장 등의 매우 중요한 조미채소로 국민 1인당 소비량도 건고추를 기준하여 3.5kg/년에 이른다. 이는 채소류 생산량의 약 4%를 점유하고, 채소류 생산액의 약 30%를 차지하는 작물로서 농가 소득면에서 미곡 다음으로 중요한 위치를 점하고 있다. 생산량 중 대부분은 수확후 농가에서 건고추로 건조되어 유통 소비되고 있으며 건조과정의 관리가 양질의 건고추를 생산하기 위한 중요한 요소의 하나이다.

고추는 건조방법에 따라 일반적으로 태양초와 화건초로 구분되며 태양초는 자연의 태양빛으로 건조하여 빛깔이 선명하고 매운맛이 강하며 화건초는 연료 건조장을 이용하거나 화력 건조실에서 열에 의해 건조하는 방법으로 껍질이 얇고 단맛이 나는 것이 특징이다. 또한 명석이나 텐트를 펴고 그 위에 작업 폴리에틸렌을 피복하여 태양열의 일산을 방지, 온도를 높여 주면서 건조하는 폴리에틸렌 피복건조방식도 이용되고 있다.

고추의 열풍건조는 절단건조의 경우 부분적인 탈색이 생기며 이를 해결하기 위해 볶은 염산 등의 처리를 하여야 하며, 건조온도의 상승은 캡사이신 함량의 감소를 초래하여 적절한 온도조절도 품질을 결정하는 중요한 요소가 된다.

자연건조를 할 경우 고추의 건조기간은 7~8일 정도를 요하는데 한국의 기상특성상 고추를 수확하는 기간 중 평균 2~3일은 불리한 기상조건하에서 건조를 하게 된다, 고추의 건조가 지연되면 고추의 부패와 변질 등으로 품질의 불균일성과 시간 및 인력낭비 등의 많은 문제점을 내포하여 결과적으로는 경제적 손실이 커진다. 따

라서 고추의 건조조건에 따른 품질과 위생상의 중요성 때문에 고추의 조건에 따른 많은 연구가 진행되어 왔다.

2. 연구의 필요성

흔히 태양초라 불리는 일광 자연건조에 가까운 품질을 확보하기 위해 고추의 색 및 품질면에서 양호한 효과를 얻을 수 있는 건조방법들이 많이 소개가 되었고, 이에 따른 농산물 건조기의 보급률도 높아져 2007년 현재 약 19만대가 보급되어 있다. 이와 같이 현재 일반적인 고추 건조는 대부분 열풍에 의존하고 있으나 전술하였듯이 건조온도에 따라 고추의 몸통색이 검게 변하고 매운 맛이 떨어지는 단점이 있다.

그러나 최근 웰빙 열풍에 따라 소비자들은 고추의 맛과 향이 유지되는 자연에서 건조시킨 친환경 태양초를 많이 찾게 되고 생산농가에서도 가격면에서 화건초와는 차이가 많이 나는 고부가가치의 태양초를 대량으로 생산하는 지역이 증가하고 있다. 대량으로 고추를 건조할 때에는 비나 이슬, 벌레 등의 문제로 노지건조는 사실상 불가능하며 보통 비닐하우스 건조를 하게 되는데, 비닐하우스를 이용함에 있어 희나리(하초)의 발생이 많고 흐린 날이나 비오는 날이 많을 경우 건조기간이 10~15일로 길어져 품질 손상이 심하며 특히 비닐하우스의 내부온도가 높아 뒤집기 등에 많은 노력이 소요되고 있는 실정이다. 또 비닐하우스 건조시 품종에 따라 건조 시간 및 품질의 차이가 있으며 건조과정중 켈상태가 될 때 날씨가 좋으면 상관없으나 흐릴 경우나 야간에 보일러, 온풍기 등을 가동하지 않으면 희나리 및 고추의 형태가 쭈그러지는 경우가 생긴다.

그러나 태양초는 2010년 600g당 11,000~12,000원 수준으로 화건초(약 6,000원)에 비해 약 2배 높은 가격을 형성하고 있어 부가가치가 높아 경북 청송 등의 지역에서 대량 건조를 시행하고 있지만 전술한 바와 같이 고추를 뒤집는 등의 많은 일손을 요구하게 되며 비닐하우스 내에서의 작업도 쉽지 않아 자연건조를 위한 기계장치에 대한 요구가 지속적으로 발생하였지만 현재 이러한 기계장치는 개발된 적이 없는 것으로 나타났다.



그림 1 관행의 고추 건조

위의 그림은 경북 청송지역에 설치된 고추 건조용 비닐하우스 내부의 모습을 나타내고 있다. 일반적인 노지 건조의 품질의 불균일성 및 기타 외부조건으로부터의 피해 등을 예방하기 위해 위생적인 태양초 생산시설을 구비하여 대량생산을 하고 있으나 고추건조기의 비닐하우스 내부온도는 70℃ 이상이어서 고추를 뒤집거나 수확하는 작업에 많은 노력과 비용이 소요되는 실정이다.

따라서 고품질 태양초 생산을 위한 고추시설 내에 고추를 뒤집거나 수확할 수 있는 자연 건조장치에 대한 개발이 요구되어지며, 자연 건조장치가 개발된다면 자연 건조 촉진을 통한 고품질 태양초의 생산이 약 100% 증가할 것으로 판단되며 생산 공정의 약 50% 단축을 통해 농가 수익성을 증대시키고 노동력을 절감하여 농가 현장 애로사항을 해결함으로써 고부가가치를 실현할 수 있을 것으로 사료된다.

3. 연구의 목적

우리나라는 식량자급률이 약 26%로써 OECD 국가 중에서 가장 낮은 나라에 해당한다. 최근 일본은 식량자급률을 현재보다 8%를 올리기 위해 국가적인 사업으로 추진하고 있다. 근간 식량부족으로 인한 중국산 제품의 유해성이 우리나라뿐만 아니라 세계를 놀라게 하고 있다. 따라서 자국의 식량 확보는 자국민을 보호하는 가장 기본적인 정책이 되어야 한다.

우리나라의 태양초의 생산은 경북 영양과 청송에서 많은 양을 재배하고 있다. 도

시의 소비자들은 먹거리의 불신과 고품질 우리 농산물을 선호하고 있으나 적기에 최대한 공급할 수 있는 시스템이 결여되어 있어 많은 양이 실제로 수확 후 제품으로 시장에 출하를 하지 못하고 있는 실정이다. 태양초는 순수하게 온실에서 자연건조된 것을 말하며, 자연 건조는 기후와 시간에 영향을 받기 때문에 시장에서도 화건초에 비해 600gram 당 약 40~50%의 수익을 증대할 수 있는 장점이 있다. 따라서 수확된 태양초를 모두 빠른 시간에 자연건조 시킬 수 있는 교반장치의 개발은 농가소득 향상뿐만 아니라 생력화에도 큰 도움이 될 것으로 보여 진다.

청송지방에서는 온실에 이중 구조를 하고 태양초를 생산현황은 농가수 3,400호, 연간 생산량 4,400 ton, 연간 소득은 300억원으로 조사되고 있다. 태양초는 7월부터 9월말까지 제한된 시기에 생산이 되며 또한 자연건조 속도를 줄이면 생산량과 매출이 약 30~40% 증가한다. 그러나 수확시기에 온실 속은 약 70℃까지 온도가 상승하여 잦은 뒤집기를 할 수 없게 된다. 이러한 여건으로 태양초의 생산을 농가에서는 점차 기피하고 있어 태양초 반전기의 도입이 매우 필요한 시기라고 판단된다.

따라서 본 연구에서는

- 고품질 태양초 온실 자연건조 촉진을 통한 고추수확량과 매출이 약 30~40% 증가하고,
- 온실 자연건조시 고온(약 70℃)으로 인한 혼합작업에 애로를 해소하고,
- 태양초 생산 공정의 약 50% 단축을 통한 농가의 수익성 증가시키고,
- 자동 혼합 자연건조 장치를 통한 노동력 절감을 목표로 고품질 태양초 자동건조 교반장치를 개발하고 보급하고자 하였다.

제2절 연구개발 목표 및 내용

1. 연구개발의 목표 및 내용

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
1차 연도 (2009)	고품질 태양초 온실 자연건조를 위한 자동교반기계 개발 (경북대학교)	○ 온실 자연건조용 고추 탑재 Bed의 설계	○ 자연건조용 자동교반기계의 Bed 설계 완료 ○ Bed 이송 레일 및 전, 후진 장치 설계 완료 ○ Bed 바닥 열풍 장치 설계 완 료
		○ 야간에 고추의 결로 및 회 나리(하얇게 빛바랜 고추) 발생 방지를 위한 Bed 하부 온풍 건 조 시스템 설계	○ 회전날의 각도, 길이설계 및 최적 회전수 구명 완료 ○ 자동혼합기계의 종합 Controller의 설계 완료
	자연건조용 자동교반기계의 부품별 제작 및 회전날의 금형 제작 (한양테크)	○ 고추 교반 기본적 모델 Blade, Brush의 금형 및 실용화 를 위한 시제품 ○ 이송장치 및 프레임 ○ 교반기용 대차의 전, 후 장 치	○ Blade의 제작 및 장치 전반 제작 완료 ○ Blade 별 예비시험 실시 ○ Blade의 생고추, 건고추의 반 전 시험 평가 완료
		○ 회전수, 전, 후진 등 계측 제어용 컨트롤러 ○ 온실 자연건조용 고추 교반 시스템 시작품	○ Bed, 설치대, 열풍구 제작 ○ Bed 이송 레일 및 전후진 장 치 제작 ○ 회전날의 감속기 및 회전축 제작 ○ 회전날의 금형설계 제작 ○ 자동교반기계의 종합 Controller의 제작
	자연건조용 자동교반기계의 현장성능시험 및 평가 (청송군농업기술 센터)	○ 태양초 생산농가 시험 베드 선정 및 설치 지도	○ 청송군 파천면 서순태, 김영 식씨 농가
		○ 시스템의 현장설치에 의한 성능평가	○ 태양초 재배농가의 1차 현장 실증시험 ○ 태양초 건조성능 평가 검정 ○ 자동혼합기계의 전체적인 사 용상의 평가 및 검정 ○ 1차 시작기의 수정 및 보완

구분 (연도)	세부과제명	세부연구내용	연구범위
2차 년도 (2010)	○자연건조용 자동교반기의 전체 수정 보완 및 최적조건 알고리즘 개발 (경북대학교)	○ Bed 이송 레일 및 시스템 전체의 수정 보완 설계 ○ 회전날의 형상별, 회전수별 건조성능 평가 및 수정 설계	○ 반전을 위한 이송 레일의 시스템 문제점 보완 ○ 이송 레일의 컨트롤러 알고리즘을 통한 건조추의 수집 기능을 추가 설비
		○ 온도 및 습도 조건에 따른 최적 회전수 규명 ○ 종합 Controller의 알고리즘 수정 설계 ○ 태양초 생산 에너지 절감효과 분석	○ 생고추와 건조추의 시시별 반전 회전수의 최적 조건을 구명 ○ 고추의 상태에 따른 컨트롤 판넬의 사용조건 단순화 설계
	○자연건조용 자동교반기의 회전날 수정 및 장치의 수정 보완 (한양테크)	○ Bed, 설치대, 열풍구 수정 및 보완 제작 ○ Bed 이송 레일 및 전후진 장치의 수정 및 보완 제작	○ 열풍구 하부의 밀폐 장치 제작 ○ 이송 레일의 전후진 상용화에 따른 회전 모터의 출력 증대
		○ 회전날의 형상별 수정 및 추가 제작 ○ 회전날의 금형설계 수정 및 추가 제작 ○ 종합 Controller의 수정 제작	○ 회전용 브릿쉬의 최적 설계 ○ 0.4mm의 성능 평가 및 현장 시험을 통한 2차 수정 실시
	○자연건조용 자동교반기의 2차 현장성능시험 및 평가 (청송군농업기술센터)	○ 태양초 재배농가의 2차 현장 실증시험 ○ 태양초 건조성능 평가 검정	○ 2009년 5월 중 2차 현장 평가 실시 ○ 2차 시작품 수정 및 보완
		○ 자동혼합기계의 전체적인 사용상의 평가 및 검정 ○ 2차 시작기의 수정 및 보완	○ 2009년 7월부터 농가 태양초 생산 실시 ○ 2009년 10월까지 현장 평가 후 수정 보완 ○ 2010년 보급용 태양초 반전기 생산 실시

가. 자연 건조용 자동 교반기계의 설계

본 연구는 2년간 수행되었으며 1차년도에는 자연건조용 자동교반기계의 Bed 설계, Bed 이송 레일 및 전, 후진 장치 설계, Bed 바닥 열풍 장치를 설계하여 ①온실 자연건조용 고추 탑재 Bed의 설계를 완료하였다. 또한 회전날의 각도, 길이설계 및 최적 회전수 구명, 자동혼합기계의 종합 Controller를 설계하여 ②야간에 고추의 결로 및 회나리(하얗게 빛바랜 고추) 발생 방지를 위한 Bed 하부 온풍 건조 시스템을 설계하였다.

나. 자연건조용 자동교반기계의 부품별 제작 및 회전날의 금형 제작

Blade 별 예비시험은 생고추, 건고추의 반전 시험 평가를 진행하여 고추 교반기 기본적 모델 Blade, Brush의 금형을 제작하였으며, 이송장치 및 프레임, 교반기용 대차의 전, 후 장치를 제작하였다. Bed, 설치대, 열풍구 제작, Bed 이송 레일 및 전·후진 장치 제작, 회전날의 감속기 및 회전축 제작, 회전날의 금형을 설계하여 회전날을 제작하였으며, 회전수 조절, 전·후진 등 계측 제어용 컨트롤러를 제작하여 자동 교반기계의 종합 Controller를 제작하는 것으로 실용화를 위한 온실 자연건조용 고추 교반시스템의 시작품 제작을 완료하였다.

다. 자연건조용 자동교반기의 전체 수정 보완 및 최적조건 알고리즘 개발

본 연구의 2차년도에서는 반전을 위한 이송 레일의 시스템 문제점을 보완하고, 이송 레일의 컨트롤러 알고리즘 수정을 통한 건고추의 수집 기능을 추가로 설치하여, Bed 이송 레일 및 시스템 전체의 수정 보완 설계하고, 회전날의 형상별, 회전수별 건조성능 평가를 통하여 및 회전날의 수정 설계를 수행하였다.

생고추와 건고추의 반전 회전수의 최적 조건을 구명하고, 온도 및 습도 조건에 따른 최적 회전수 규명을 통하여 고추의 상태에 따른 컨트롤 패널의 사용조건을 단순화하여 종합 Controller의 알고리즘 수정 설계 및 제작하였다.

라. 자연건조용 자동교반기계의 회전날 수정 및 기계장치의 수정 보완

회전날 금형의 수정보완 설계를 통하여 회전날의 형상별 수정 설계 및 추가 제작을 수행하였으며, 회전용 브러쉬는 브러쉬 직경 0.4mm의 성능 평가 및 현장 시험을 통한 회전용 브러쉬의 최적 설계를 하여 2차 수정 제작을 하였다.

열풍구 하부의 밀폐 장치를 제작하였으며, 이송 레일의 전·후진 장치의 상용화에 따른 회전 모터의 출력 증대를 통하여 이송레일 및 전·후진 장치의 수정 보완 제작을 수행하였다. 또한 수정 보완 제작된 각 부분의 변경으로 종합 Controller의 수정 제작을 하였다.

마. 자연건조용 자동교반기계의 현장 성능시험

본 연구의 1차년도에 제작한 시작기를 청송군 파천면 서순태, 김영식씨 농가에 설치 적용하여 1차 현장 실증시험을 실시하였으며, 태양초 건조성능 평가 검정하고, 자동 교반기계의 전체적인 사용상의 평가 및 검정, 1차 시작기의 수정 및 보완을 실시하였다.

2차년도에 수정 보완 단계를 거친 2차 시작기를 농가에서 태양초 생산을 직접 수행하는 시점에 농가 적용으로 현장 성능시험을 실시하였다.

2. 평가의 착안점 및 기준

기술개발의 평가에 대한 착안사항과 기준은 농가 현장의 사용성을 기준으로 하여 다음과 같이 설정하였다.

항목	세부평가항목	가중치 (%)	개발목표치	비교치
구조	베드의 강도	30	안정성	터널건조 베드
	측면 레일의 직진성과 안정성		레일추종형	레일식 이송장치
	하부 열풍 투입의 적정성		야간 이슬예방 정도의 소용량	고추건조기
	이송방식의 적정성		와이어폴리에 의한 정역이송	자체구동방식
	회전날 및 브러시의 구조		고추의 파손없는 PE재질, 전후반전이 가능한 구조	로터리날
	전체시스템 구조의 적정성		적정	-
성능	회전날의 반전효과	40	90% 이상	컨베이어 방식에 의한 반전
	열풍의 건조효과		야간 이슬방지	고추건조기
	컨트롤러의 작동성			-

	고추의 파손여부		1% 내외	-
	작업효율성		인력소요 없이 베드(30~40m)당 약 5~10분 소요	인력투입(열악한 조건에서 베드(30~40m)당 2인 기준 약 30분)
	설치비용의 경제성		농가 및 기술센터의 요청으로 정부지원대상 추진	“
조작 난이도	컨트롤러의 조작성	20	용이	-
	열풍 건조기의 조작성		용이	-
	이송시스템의 조작성		용이	-
	회전날 착탈의 난이		용이	-
	자동교반기계의 보관성		용이	-
	안정성 및 정비의 난이		용이	-
	동력장치의 착탈난이		용이	-
안전성	안전장치 여부	10	여	-
	안전방호장치(회전부 등) 여부		여	-
	안전표시 여부		여	-

3. 연구개발의 방법

본 연구는 ①고추 교반 요인시험, ②교반시스템의 설계 및 제작, ③성능시험, ④현장적용시험, ⑤경제성 분석의 단계로 추진되었다. 세부과제별로 연구방법은 다음과 같으며, 아래의 그림 2, 3, 4는 시스템의 전체적인 개략도와 날의 형상을 나타내었다.

- 비닐온실이용건조기의 자동교반기계 전체 설계, 회전날 설계 및 알고리즘 개발 (주관기관)
 - 온실 자연건조용 고추 탑재 Bed의 설계
 - 야간에 고추의 결로 및 회나리(하얗게 빛바랜 고추) 발생 방지를 위한 Bed 하부 열풍 건조 시스템 설계
 - 고추 교반용 Blade, Brush의 형상설계 및 해석
 - 고추의 파손을 줄일 수 있는 쟁기형 반전기의 설계 및 개발

- 이송장치 및 프레임 설계
 - 교반기용 대차의 전, 후 장치 설계
 - 교반기용 대차의 교반주기 최적화를 위한 저속 모터 설계
 - 소요동력 산출에 의한 이송모터, 회전모터 선정
 - 교반용 Blade 적정 회전속도 및 이송속도 산출
 - 회전수, 전, 후진 등 계측 제어용 컨트롤러 설계 및 제작
 - 전체적 시스템 및 부품의 성능 평가
 - 태양초 생산 에너지 절감효과 분석
 - 현장실증시험 및 효율성 평가
- 자연건조용 자동교반기계의 부품별 제작 및 회전날의 금형 제작(세부1, 협동)
- 고추 탑재 Bed의 제작
 - Bed 하부 온풍 건조 시스템 제작
 - 고추 교반 기본적 모델 Blade, Brush의 금형 및 실용화를 위한 시제품 제작
 - 이송장치 및 프레임 제작
 - 교반기용 대차의 전, 후 장치 제작
 - 이송장치의 전후진 반전용 근접센서 제작
 - 회전수, 전, 후진 등 계측 제어용 컨트롤러 설계
 - 온실 자연건조용 고추 교반시스템 시제품 제작
 - 현장실증시험에 의한 부품별 수정 및 보완
- 자연건조용 자동교반기계의 현장성능시험 및 평가(세부2, 협동)
- 태양초 생산농가 시험 베드 선정 및 설치 지도
 - 시스템의 현장설치에 의한 성능평가
 - 경제성 분석 및 농가 홍보 및 지도
 - 자연건조용 자동교반기계의 보급

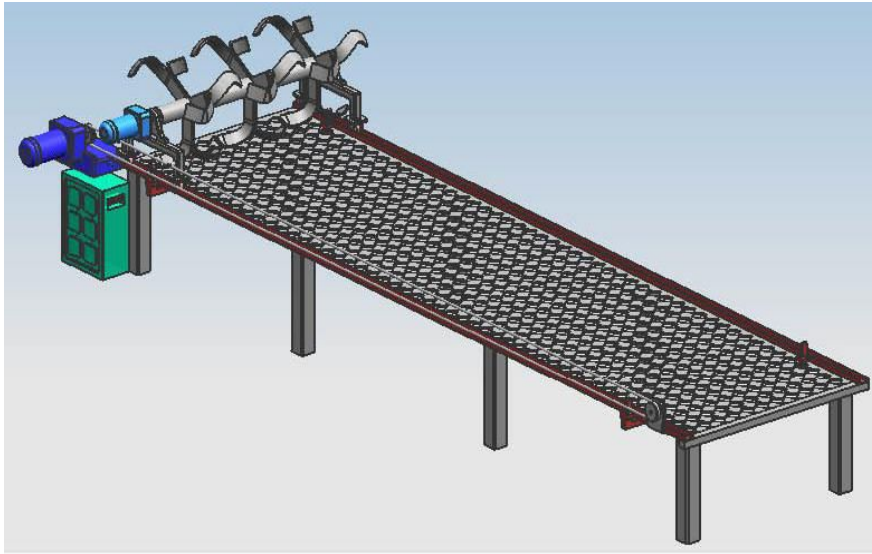


그림 2 교반시스템의 개략도

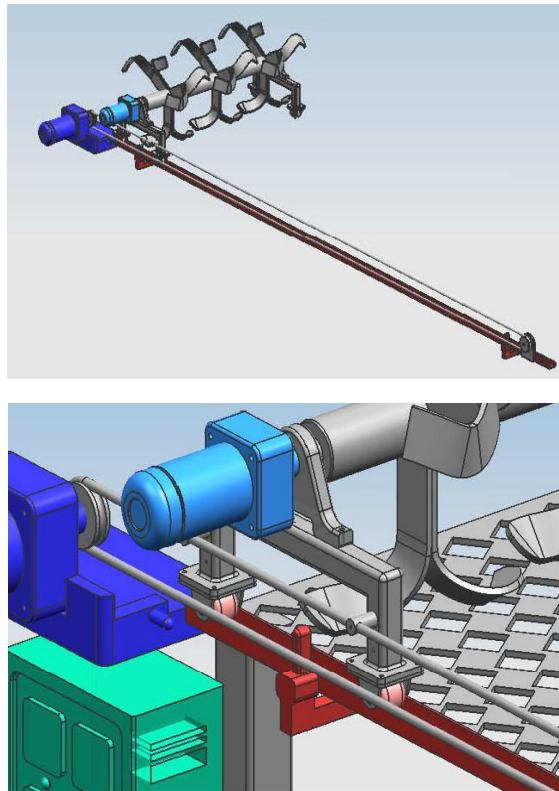
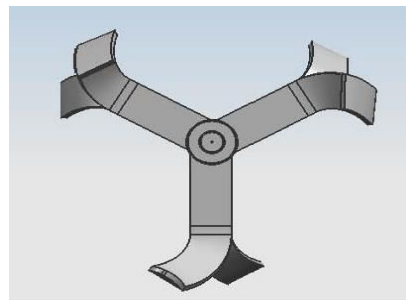
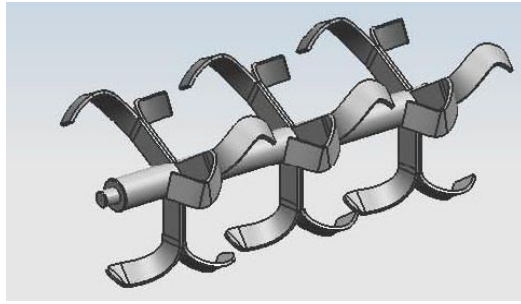
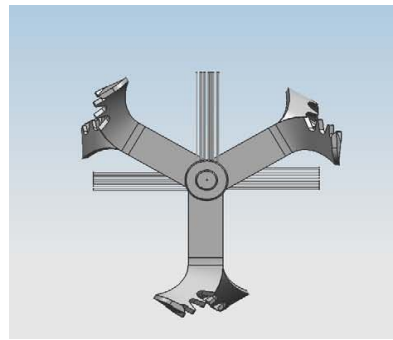
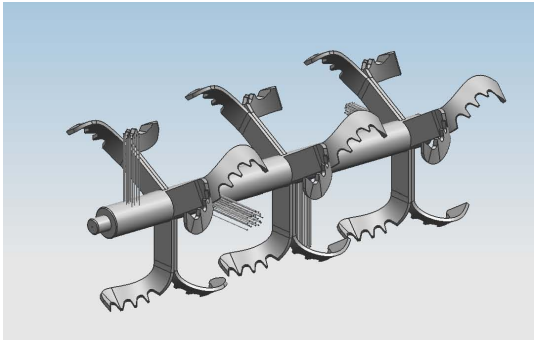


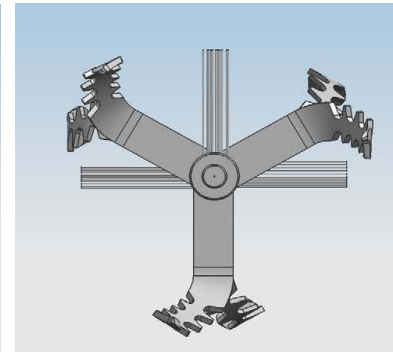
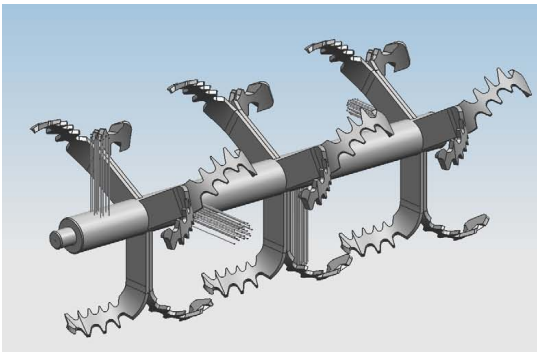
그림 3 구동시스템의 개략도



(A type)



(B type)



(C type)

그림 4 회전날의 설계 개략도

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제1절 세계적 수준

국외 고추 수확면적은 약 1,634,000ha이고 아시아지역에서 절반 이상의 면적을 재배하고 있다. 아시아, 북미, 오세아니아 및 유럽은 풋고추 등의 수요가 많아 태양초 건조를 위한 건조장치나 반전장치 등은 없는 것으로 조사되었다.

현재 인공적인 건조방법을 사용하는 건조기는 다수 개발되고 보급되어 있지만 태양초를 생산함에 있어 균일한 건조를 위해 기계적으로 반전시켜 주는 장치는 없는 것으로 조사되었다.

제2절 국내수준

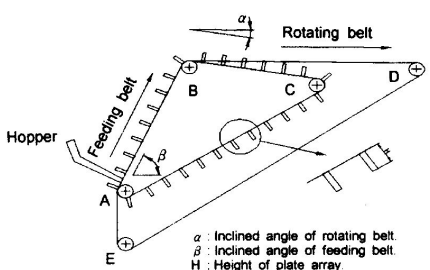
우리나라 고추의 재배면적 및 생산량을 살펴보면 2007년을 기준으로 약 54,876ha에 160,398톤이 생산되는 채소류 중 가장 넓은 재배면적을 차지하고 있는 작목이다.(2008 새기술 실용화교육교재, 영주시청) 여러 지자체에서 고품질의 건고추를 생산할 수 있는 기술에 대해 관심을 가지고 있으며 비닐하우스를 이용한 고품질의 태양초 생산기술에서도 여러 가지 방법을 제시하고 있다.

태양초는 2007년 600g당 11,000~12,000원 수준으로 화건초(약 6,000원)에 비해 약 2배 높은 가격을 형성하고 있어 부가가치가 높아 경북 청송 등의 지역에서 대량 건조를 시행하고 있지만 전술한 바와 같이 고추를 뒤집는 등의 많은 일손을 요구하게 되며 비닐하우스 내에서의 작업도 쉽지 않아 자연건조를 위한 기계장치에 대한 요구가 지속적으로 발생하였지만 현재 이러한 기계장치는 개발된 적이 없는 것으로 나타났다. 따라서, 태양초 교반기 개발에 관한 연구는 우리나라 농산물 생산에 있어서 매우 중요한 연구의 과제라고 생각된다.

제3절 국내·외의 연구현황

1. 태양초 건조 및 반전장치 논문

국내외 발표된 논문현황을 살펴보면 열풍식 건조기에 대한 내용이 대다수이며 고추의 건조특성 및 인공광을 이용한 고추 건조 등에 관한 기술에 국한되어 있다.

Keyword	태양초, 고추, 건조장치	반전장치, 반전기
검색건수	-키워드를 모두 만족하는 논문은 없었으며 고추 건조장치, 고추 건조기에 대한 논문 11건 검색	-2건
유효논문건수	-열풍식 건조기에 대한 내용이 대다수이며 고추의 건조특성 및 인공광을 이용한 고추 건조 등에 관한 기술에 국한됨. -유효논문 없음.	-농산물을 반전시키는 장치에 대한 논문 1건 
논문명	-	-박피 마늘의 품위판정 기술개발에 관한 기초연구(1)-영상식 마늘 선별기용 반전장치 개발
학술지명	-	한국농업기계학회지
저자	-	이종환 외
게재년도	-	2001
유사점	-	농산물의 반전
차이점	-	-영상에 의한 농산물 선별에 사용할 수 있도록 공급벨트와 반전벨트를 구성하여 반전시켜 주며 선별 후 바로 배출되기 때문에 본 기술과는 차이가 있음.

2. 태양초 건조 및 반전장치 특허

국내외 출원 및 등록된 특허현황을 살펴보면 대부분 열풍에 의한 농산물 건조기에 대한 내용이며, 반전해 주는 장치에 대한 특허는 없는 것으로 조사되었다.

Keyword	태양초, 고추, 건조장치, 반전장치
검색건수	-태양초와 연관된 특허는 13건 검색 -건조장치와 관련한 특허는 53건 검색되었으나 대부분 열풍에 의한 농산물 건조기에 대한 내용이며, 반전해 주는 장치에 대한 특허는 없는 것으로 조사됨.
유효특허건수	1
특허명	이동순환식 고추건조장치
보유국	대한민국
등록년도	2006.04.17
유사점	-고추를 열원에 적절히 노출시킬수 있도록 순환시키는 기계장치라는 점에서 개발기술과 가장 근접하다고 사료됨
차이점	-태양초와 비슷한 효과를 위한 열풍건조기의 일종으로 컨베이어를 따라 투입된 고추는 열풍에 건조되어 바로 배출되는 구조를 가지고 있음. 태양초 생산을 위한 건조장치라고는 보기 어려움.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 고추 교반 요인시험

1. 서론

고추 교반에 있어 회전날의 설계가 매우 중요하다. 회전날은 회전속도와 전진속도, 회전날의 형상 등은 고추 교반에 깊은 관계가 있으므로 이에 대한 운동분석이 필요하다. 또한, 회전날의 형태별로 교반효과, 고추의 손상율, 고추의 교반비율 등의 각각의 요인들을 분석하는 것이 중요하다. 본 절에서는 회전날을 설계하는 기초자료로 활용하기 위하여 고추 교반에 따른 요인을 시험하였다.

2. 재료 및 방법

가. 회전날 운동의 이론적 해석

회전날은 회전운동과 병진운동이 동시에 이루어지는 하나의 평면운동이다. 또한, 회전날의 회전방향에는 고추를 위에서 아래로 교반하는 하향교반과 반대로 아래에서 위로 교반하는 상향교반의 두가지가 있으나 일반적으로 많이 쓰이는 하향교반 방식을 이용하였다. 이러한 회전날은 선단의 궤적은 그림 5와 같이 트로코이드(trochoid) 곡선이 되며, 다음의 식을 이용하여 설계에 적용하였다.

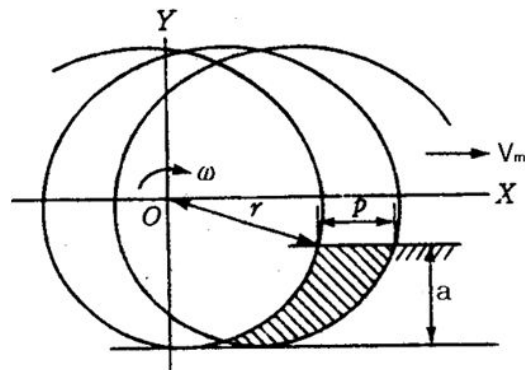


그림 5 회전날의 운동궤적

$$X=r \cos \omega t + V_m t$$

$$Y=r \sin \omega t$$

여기서, r : 회전날의 회전반경(m)

V_m : 전진속도(m/s)

ω : 회전날의 회전각속도(rad/s)

t : 주행시간(s)

a : 고추 적층높이(m)

p : 교반피치(m)

이를 이용하여 다음과 같은 식으로 회전속도의 수평 및 수직 성분을 산출할 수 있다.

$$V_x = dX/dt = V_m - r\omega \sin \omega t$$

$$V_y = dY/dt = r\omega \cos \omega t$$

여기서 회전날이 정상으로 고추를 교반하느냐의 여부는 전진속도 V_m 과 회전날의 회전각속도 ω 에 달려있다. 교반과정에서는 날의 절대속도는 하향이어야 하고, $V_x < 0$ 이면 날의 안쪽에서 고추를 누르는 현상이 나타나지 않는다. 고추 적층높이를 a 라고 하면 회전날이 고추를 교반하기 시작할 때의 좌표는 다음의 식과 같다.

$$Y=r-a= r \sin \omega t$$

$$V_m < (r-a)\omega$$

여기에서, 회전날이 고추에 관입하여 정상적인 작업을 하려면 V_m 과 ω 사이에는 일정한 비례관계가 유지되어야 함을 알 수 있다.

회전날이 한번 회전할 때마다 고추를 교반하는 길이 p 를 교반피치라고 하며, 고추의 반전율을 좌우하는 요인이 된다.

나. 회전날 요인시험

회전날 운동의 이론적 해석에서 고추의 교반에 기인하는 주요한 인자는 날 형상, 전진속도, 회전속도, 교반피치 등이다. 따라서 아래의 그림은 다양한 형상의 회전날을 나타내고 있다. 그림 6은 U후크 방식의 회전날이며, 그림 7은 스프링 방식의 회

전날, 그림 8은 브러시 방식의 회전날, 그림 9는 브러시 방식에서 브러시 굵기가 0.3~0.6 mm로 제작하여 요인시험을 실시하였다. 회전날은 전진속도와 회전속도를 다양하게 변경할 수 있도록 인버터를 이용해서 회전수를 조절하였다.

요인시험은 회전날 형태에 따른 교반효과, 고추의 손상율, 고추의 교반비율 등을 조사하였다. 회전날 형태에 따른 회전날의 회전속도는 20~90 rpm의 범위에서, 전진속도는 20~50 mm/s의 범위에서 교반시험을 하여 고추의 손상율과 교반정도를 조사하였다. 그 중에서 최적의 형태를 선정하였고, 선정된 회전날 형상에서 실제로 고추의 교반비율을 측정하였다. 교반비율은 고추를 정렬시킨 후 흰색 페인트를 이용하여 표면을 착색시키고 교반 전후의 고추에 착색유무로서 교반정도를 측정하였다.



그림 6 U후크 방식의 회전날

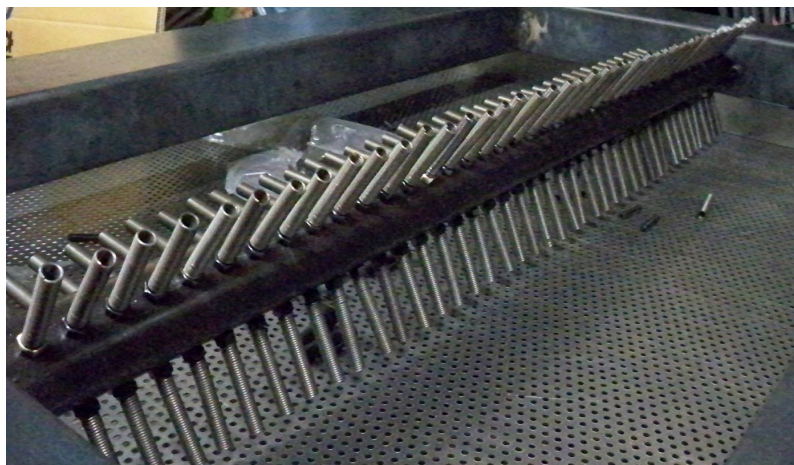


그림 7 스프링 방식의 회전날

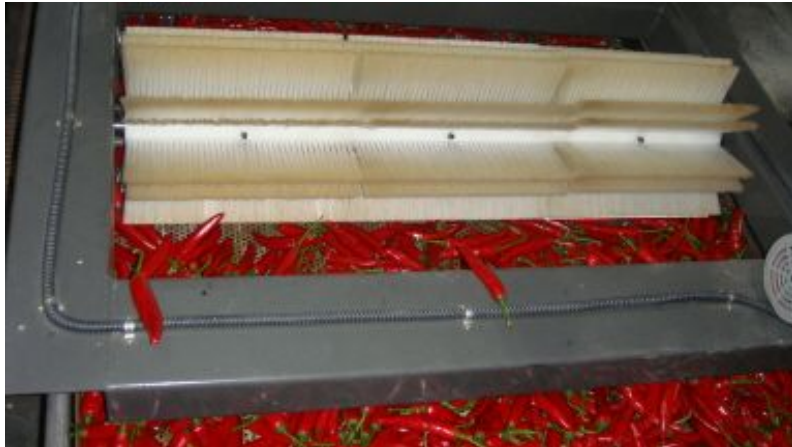


그림 8 브러시 방식의 회전날

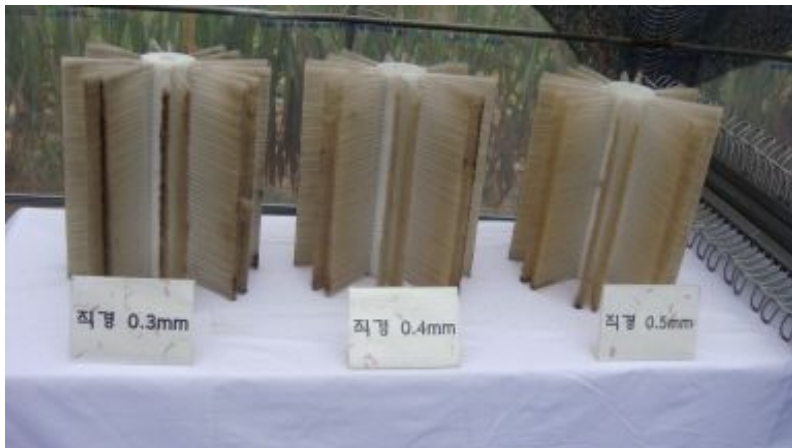


그림 9 브러시 굵기별 회전날

3. 결과 및 고찰

가. 교반기 형태에 따른 교반효과

표 1은 교반기 형태에 따른 교반효과를 분석한 결과이다. 스프링 방식의 경우는 주행속도와 무관하게 고추의 파손 정도가 심하여 적절히 못한 형상으로 나타났다. U후크 방식은 주걱형으로 고추의 무게가 가벼워 안고 뒤로 넘기지 못하는 단점이 있었다.

브러시 방식의 경우에서 0.3 mm의 브러시는 고속에는 적합하였으나 저속회전시 브러시가 휘어지는 현상으로 교반이 어려운 것으로 나타났다. 0.4mm의 브러시는 0.3 mm보다 우수한 것으로 나타났으며, 약간의 휘어지는 현상이 있으나 교반은 양

호하였다. 0.5 mm 브러시에서는 저속회전시 보다는 고속회전(90rpm, 40~50mm/sec)에 적합한 것으로 나타났다. 0.6mm 이상의 브러시에서는 고추표면에 상처 발생이 하여 완전 건조후에는 검은 줄이 생겨 품질 저하로 이어지는 것으로 나타났다.

따라서 교반기의 형태에 따른 교반효과는 브러시 방식의 굵기가 0.4~0.5 mm 정도가 되는 것이 가장 적합한 것으로 나타났다.

표 1 교반기 형태에 따른 교반효과

형태	교반회전수 A(RPM)	교반회전수 B(RPM)	교반회전수 C(RPM)	주행속도 A(mm/sec)	주행속도 B(mm/sec)	주행속도 C(mm/sec)
스프링방식	20	50	90	20	40	50
U후크모양	20	50	90	20	40	50
Brush(0.3mm)	20	50	90	20	40	50
Brush(0.4mm)	20	50	90	20	40	50
Brush(0.5mm)	20	50	90	20	40	50
Brush(0.6mm)	20	50	90	20	40	50

1, 스프링방식 : 20~90rpm, 고추의 파손 정도가 심함.(주행속도와 무관함)
 2, U후크방식 : 주걱형, 고추의 무게가 가벼워 안고 뒤로 넘기지 못함.
 3, Brush방식 : 0.3mm의 Brush, 고속에는 적합, 저속회전시는 부적합, Brush의 50%가 휘어지는 현상을 보임(생고추에도 부적합)
 4, Brush 방식 : 0.4mm의 Brush, 0.3mm 보다 우수함.
 5, Brush 방식 : 0.5mm, 저속회전 시 보다는 고속회전 (90rpm, 40~50mm/sec)에 적합.
 6, Brush 방식 : 0.6mm 이상은 고추표면에 상처 발생, 완전 건조후에는 검은 줄이 생겨 품질 저하로 이어짐, 0.5mm 이상은 부적합 판단

나. 브러시 방식에 따른 교반특성

그림 10은 교반 전 고추의 흰색 페인트를 착색한 상태를 나타낸 것이며, 그림 11

는 교반 후의 고추의 교반상태를 나타낸 것이다. 브러시 방식 0.3 mm, 0.4 mm, 0.5 mm별로 브러시의 회전수별 교반비율을 표 2에 나타내었다.



그림 10 교반 전 고추 상태



그림 11 교반 후 고추 상태

교반비율은 SAS V9.1를 이용하여 ANOVA 분석에서 Duncan의 다중검정방법 (Multiple Range Test)으로 유의성 검정을 실시하였다. 유의성 검정은 브러시별 교반비율, 전진속도별 교반비율, 회전속도별 교반비율의 3가지 경우에 대해서 실시하였다.

표 2는 브러시 방식과 전진속도 및 회전속도에 따른 교반비율의 평균값을 나타낸 것이다. 브러시 지름별로 0.3 mm일 때는 40.5%, 0.4 mm는 39.2, 0.5 mm는 39.3이며, 전체평균은 39.7%의 교반비율을 나타내었다.

표 2 브러시 방식에 따른 교반특성

브러시 지름 (mm)	주행속도 (mm/s)	회전속도 (rpm)	교반비율 (%)
0.3	20	20	37.6
		50	41.1
		90	42.3
	40	20	39.8
		50	40.3
		90	38.8
	50	20	36.4
		50	48.1
		90	40.5
0.4	20	20	39.2
		50	41.3
		90	38.2
	40	20	37.6
		50	40.6
		90	36.2
	50	20	38.9
		50	40.2
		90	41.3
0.5	20	20	35.2
		50	38.6
		90	40.9
	40	20	47.2
		50	41.1
		90	43.1
	50	20	35.1
		50	34.7
		90	38.2
평 균			39.7

표 3은 유의성 검정한 결과를 나타내었다. 브러시별 교반비율, 전진속도별 교반비율, 회전속도별 교반비율의 유의성을 검정하였으나 전체적으로 유의성은 나타나지 않는 것으로 분석되었다. 이것은 고추가 회전날에 의해서 교반되어서 뒤집어져도 그 다음 고추에 의해 방향이 바뀌거나 탄성에 의해 위치가 변하여 다시 뒤집어지는 경우가 많이 관찰되었다. 이런 이유로 여러 가지 형태별로 유의성이 없으나, 평균적으로 약 40% 정도의 교반이 되는 것으로 나타났다.

표 3 브러시 방식에 따른 교반특성

형태	R ²	C.V.	F value
브러시별 교반비율	0.03	8.2	0.43
전진속도별 교반비율	0.03	8.2	0.41
회전속도별 교반비율	0.07	8.0	1.02

4. 요약 및 결론

고추 교반에 있어 회전날의 형태별로 교반효과, 고추의 손상율, 고추의 교반비율 등의 각각의 요인들을 분석하는 것이 중요하다. 본 절에서는 회전날을 설계하는 기초자료로 활용하기 위하여 고추 교반에 따른 요인을 시험하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 교반기의 형태에 따른 교반효과는 브러시 방식의 굵기가 0.4~0.5 mm 정도가 가장 적합한 것으로 나타났다.
- 나. 브러시별, 전진속도별, 회전속도별로 교반비율의 유의성을 검정한 결과 전체적으로 유의성은 나타나지 않는 것으로 분석되었으나, 평균적으로 39.7%의 교반이 되는 것으로 나타났다.

제2절 자연건조용 자동 교반기계의 설계 및 제작

국내의 태양초 생산에 있어서 수확된 태양초를 모두 빠른 시간에 자연건조 시킬 수 있는 자연건조용 자동 교반기계는 개발은 크게 ①자연건조용 고추 탑재 Bed의 설계 및 제작, ②Bed 하부의 온풍 시스템 설계 및 제작, ③고추 교반용 Blade, Brush의 형상 설계 및 제작, ④이송장치 및 프레임의 설계 및 제작, ⑤동력전달장치의 설계 및 제작, ⑥전체 컨트롤시스템의 설계 및 제작으로 구분하여 개발하였다.

1. 자연건조용 고추 탑재 Bed의 설계 및 제작

본 연구의 자연건조용 고추 교반시스템에서 사용될 고추 탑재 Bed의 기능은,

- ① 태양초 생산을 위해 홍고추를 온실 내에 위치시키며,
- ② 직사광선을 직접 받지 않도록 하기 위해 부직포를 씌울 터널 구조물을 장착할 수 있어야 하며,
- ③ 야간 및 흐린 기상 상태일 경우 희나리 방지를 위해 온풍 에너지를 공급하는 경로가 되며,
- ④ 본 연구의 핵심이 되는 고추 교반 시스템이 이동할 수 있는 레일의 역할을 하는 등의 기능을 가지고 있어야 한다.



그림 12 고추 탑재 Bed의 지지 프레임 제작

따라서, 고추 탑재 Bed는 아래의 그림 12와 같이 온실 구조용 파이프를 이용하여

실험용 온실의 내부에 1500 mm×500 mm의 단면으로 직사각형의 구조물을 연결 조립하고 그 조립체를 1000 mm 마다 1개씩 설치하여 온실의 길이 방향으로 Bed의 골격을 형성하였다.



그림 13 고추 탑재 Bed의 지지 프레임 및 이동 레일의 조립

고추 탑재 Bed의 양단 상부에는 길이방향으로 파이프를 1열씩 조립 부착하여 고추 교반 시스템이 그 위를 타고 직선 왕복운동을 할 수 있도록 주행레일 역할을 할 수 있도록 제작하였다.



그림 14 고추 탑재 Bed의 제작

Bed의 구성은 그림 14에 나타내었으며, 위에서 구성한 지지 프레임의 골격에 300mm 간격으로 강선을 팽팽하게 감고 그 위에 플라스틱 코팅 처리된 철망을 설치하고 그 철망 위에 생고추를 적재하여도 그 중량에 의해 철망이 아래쪽으로 휘어지

지 않을 수 있도록 제작하였으며 하부 열풍 공간에서 공급되는 건조 에너지를 잘 받아들일 수 있도록 구성하였다.

2. Bed 하부의 온풍 시스템 설계 및 제작

본 연구의 자연건조용 고추 교반시스템에서 사용될 온풍 시스템의 전반적인 기능은 야간 또는 특히 흐리거나 우천의 기상상태일 경우 태양에너지를 이용한 건조가 불가능하거나 고추의 품질 유지를 위하여 강제적인 건조를 수행해야 할 때 온실내부에 적재된 건조중인 고추에 건조 에너지를 공급하도록 설계 및 제작하였다.



그림 15 Bed 하부의 온풍 공급을 위한 공간의 구성



그림 16 Bed 하부 온풍 공급을 위한 열풍장치

고추가 적재되는 Bed의 하부는 온풍이 공급될 수 있도록 1500mm×500mm의 단면

으로 공간을 마련하고 양 측부를 온실용 폴리에틸렌 비닐로 감싸 열풍기에서 공급되는 열량을 최소화 할 수 있도록 밀봉하여 제작하였다.

열풍공급을 위한 덕트는 아래의 그림 17과 같이 Bed 하부에 폴리에틸렌 재질의 지름 ϕ 400mm의 분기 덕트 2개를 위치시켜 열풍을 공급하였고 분기 덕트에 지름 10mm의 구멍을 100mm 간격으로 천공하여 비닐하우스의 입구 및 출구 쪽에 서로 균일하게 건조 에너지가 공급될 수 있도록 구성하였다.



그림 17 Bed 하부 온풍 공급을 위한 열풍 덕트의 배치

3. 고추 교반용 Blade, Brush의 형상 설계 및 제작

브러시의 설계 및 제작은 요인시험에서 분석된 결과를 토대로 설계 및 제작하였다. 브러시의 재질은 Polyethylene이며, 브러시의 지름은 0.5 mm, 브러시의 길이는 축으로부터 100 mm이며 8조가 마주보는 형상으로 제작 되어있다. 축을 포함한 브러시의 총 외경은 260 mm이며 나열된 브러시의 총 길이는 1370 mm이다. 그림 18, 19, 20은 설계 및 제작된 브러시를 나타내고 있다.

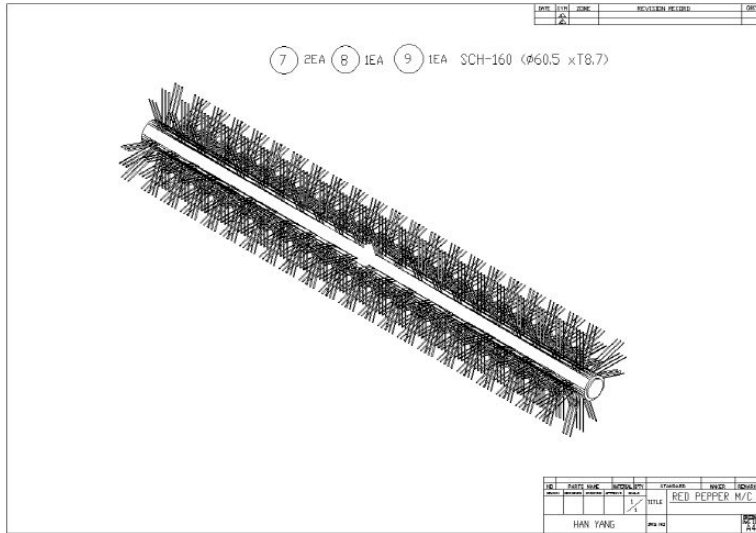


그림 18 회전 브러시의 제작 도면

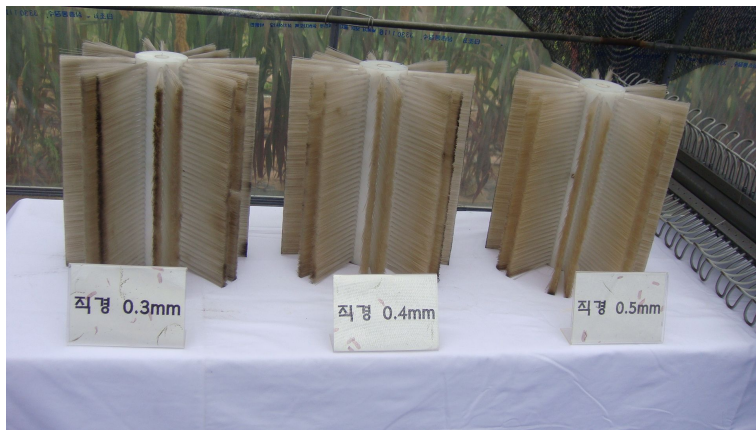


그림 19 다양한 직경으로 구성된 회전 브러시



그림 20 회전 브러시의 조립

4. 이송장치 및 프레임의 설계 및 제작

교반 시스템의 이송장치가 장착되는 프레임은 아래의 그림 21과 같이 이송모터와 회전모터 각 1개, 이송레일 중심간 거리 1200mm, 전·후방 롤러 간 거리 800mm로 설계한 이송장치가 조립 부착될 수 있도록 너비 1320mm, 길이 960mm로 설계하였다.

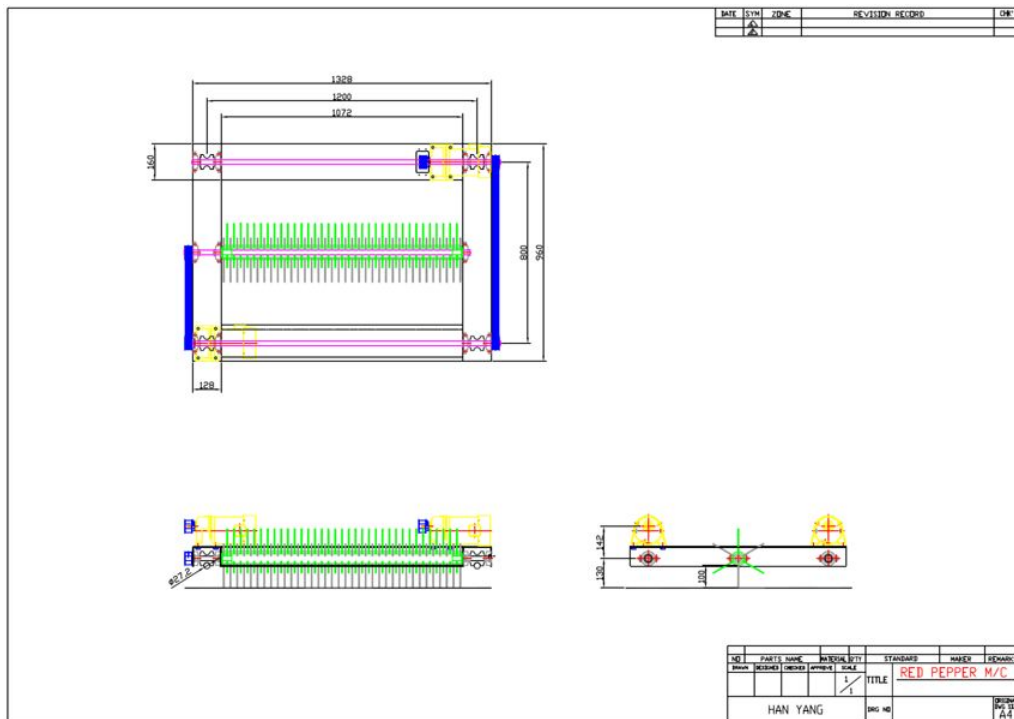


그림 21 1차년도 이송장치의 제작 도면

아래의 그림 22는 위의 제작도면에 따라 교반 시스템의 프레임을 제작한 모습이며, 전방부와 후방부의 롤러를 구동시키는 2개의 축과 회전 브러시를 구동하는 1개의 축은 모두 $\Phi 20$ 으로 제작하였다.



그림 22 1차년도에 제작된 이송장치 프레임의 모습

수정 보완을 거친 2차년도에서는 아래의 그림 23과 같이 브러시를 회전시켜 교반하는 형식으로 1차년도와 비교하여 이송레일의 중심간 거리를 1500mm로 다소 넓게 설계하였으며, 전·후방 롤러 간 거리 800mm는 그대로 적용하여 너비 1630mm, 길이 960mm로 설계하였다.

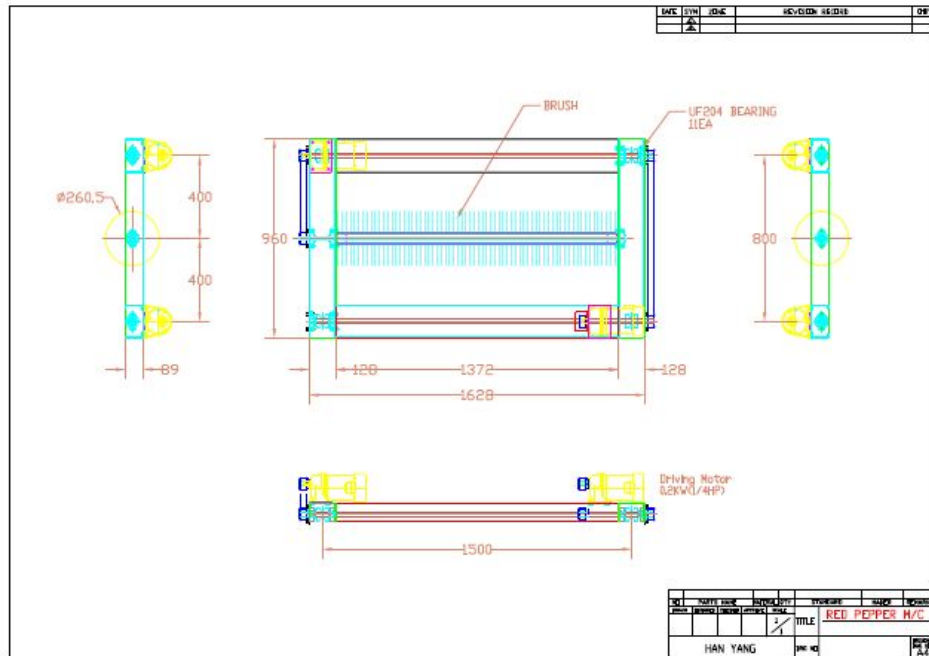


그림 23 2차년도에서 수정 보완된 이송장치의 전체 제작 도면

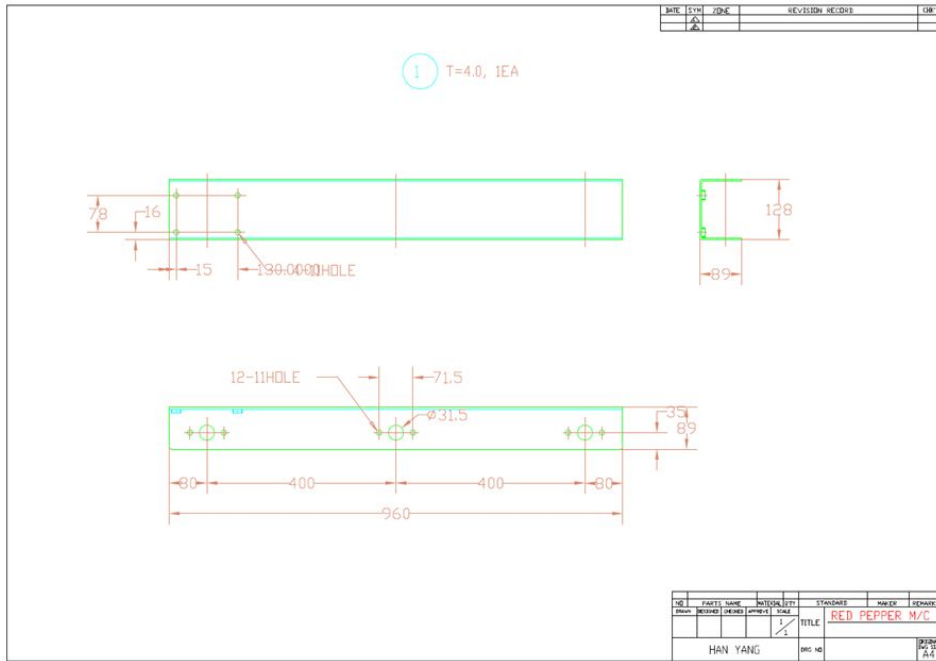


그림 24 2차년도에서 수정 보완된 이송장치의 프레임 제작 도면(1)

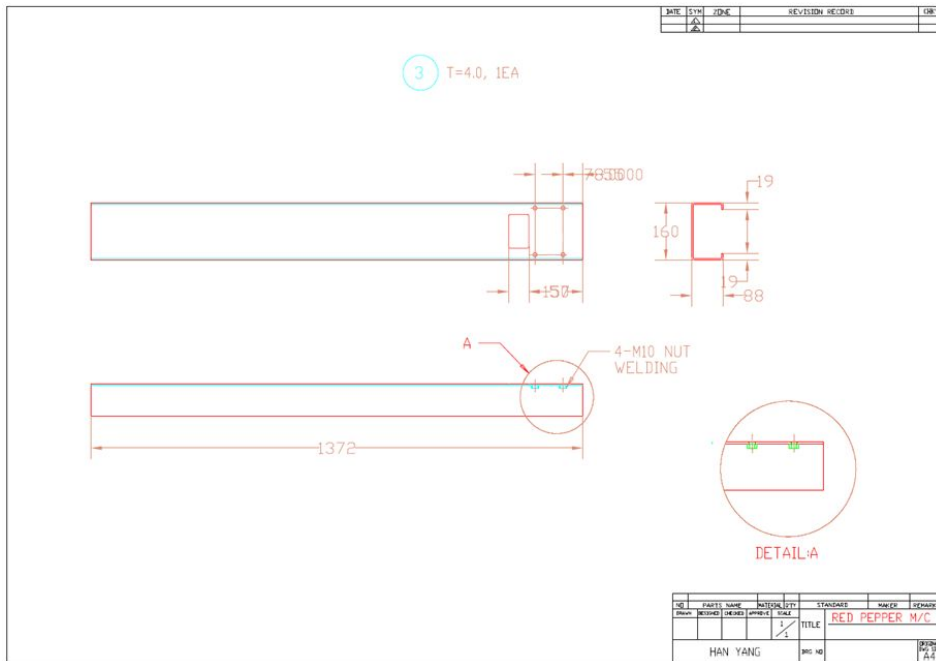


그림 25 2차년도에서 수정 보완된 이송장치의 프레임 제작 도면(2)

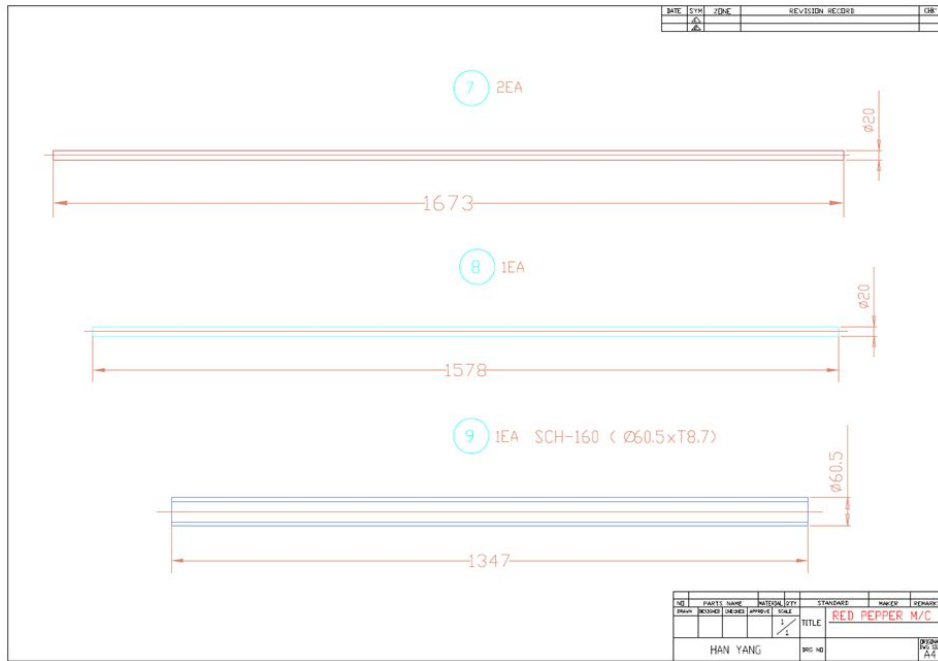


그림 26 2차년도에서 수정 보완된 이송장치의 프레임 제작 도면(3)

2차년도의 시작기 프레임은 위의 제작도면에 의하여 아래의 그림 27과 같이 제작하였다.



그림 27 2차년도에 적용된 이송장치의 프레임

교반 시스템은 Bed에 놓여진 고추를 브러시의 회전을 통하여 접촉시켜 이동하는 것으로 교반이라는 목적을 달성하는 바, 고추가 놓여진 베드와 일정간격을 유지하면서 온실의 입구에서부터 출구까지 길이방향으로 직선 왕복운동을 해야한다. 이

에 운동의 가이드 역할은 Bed 지지부에 설치한 직선의 파이프가 담당을 하고 그 파이프 위에서 교반 시스템이 이송모터의 동력을 전달 받아 움직이며 작업을 수행한다. 그러므로 교반 시스템에 장착하는 구름용 롤러를 아래의 그림 28과 같이 $\Phi 63$ 의 외부에 $\Phi 30$ 의 홈을 가공하여 Bed 상단의 가이드 파이프 위를 이탈하지 않고 주행할 수 있도록 제작하였다.

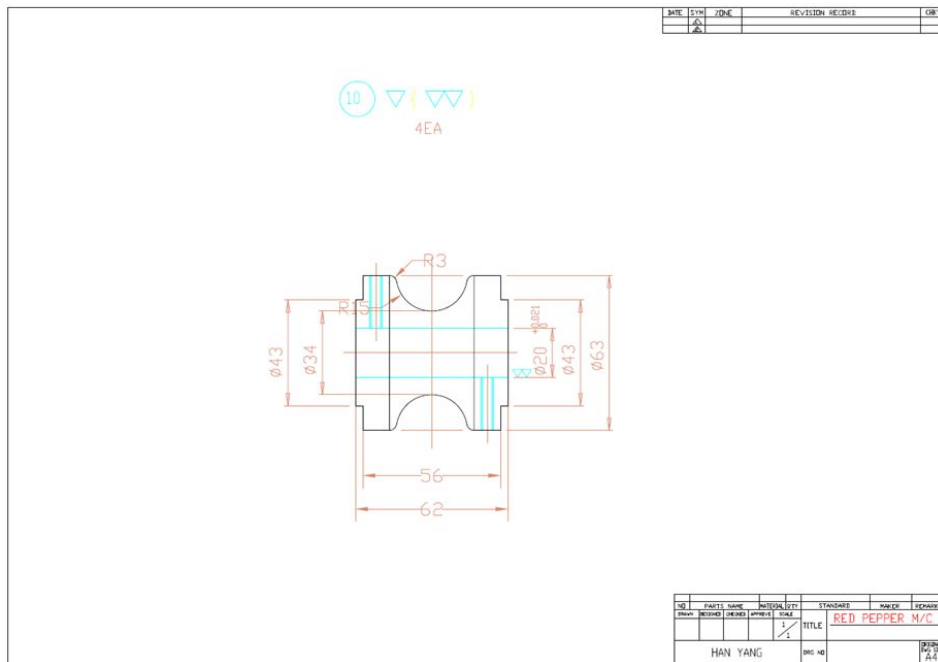


그림 28 고추 교반 시스템의 이송 롤러의 제작 도면

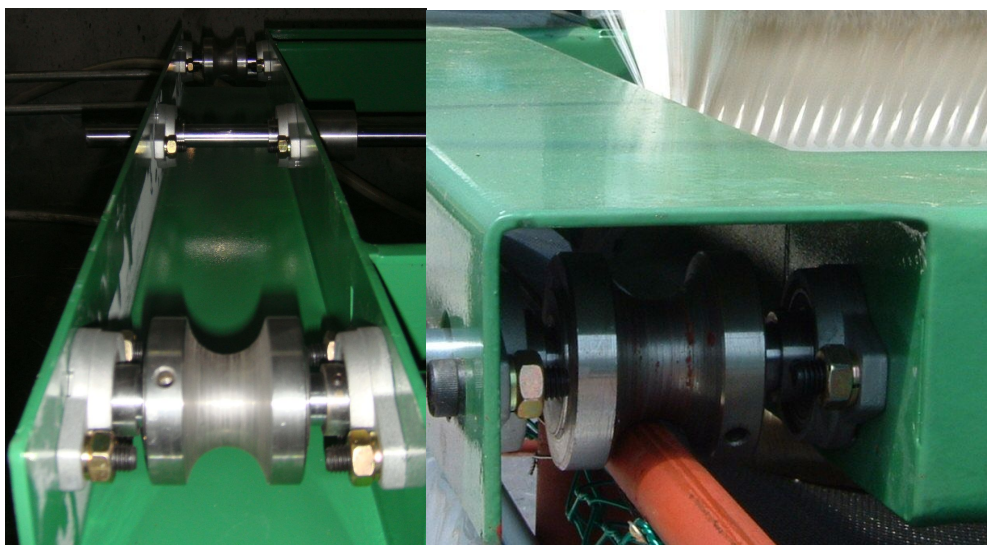


그림 29 이송 장치에 조립된 롤러 및 지지대 파이프 위를 이동하는 모습

이송 롤러는 전방부 2개소, 후방부 2개소에 장착되며 일측의 장착 모습 및 지지대 파이프 위를 주행하는 광경을 아래의 그림 29에 나타내었다.

5. 동력전달장치의 설계 및 제작

본 연구에서 개발한 태양초 교반장치의 이송 모터의 세부사양은 아래의 표 6에 나타내었으며 삼양의 Geared Motor SY200F 63 모델을 적용하였으며 220V, 60Hz, 1720rpm의 회전속도 및 1/4 HP의 성능을 갖는다.

표 6 이송 모터의 사양

모델 No	SY200F 63	용량	1/4 HP
전압	220/380V	전류	1.1/0.64 A
주파수	60Hz	회전수	1720rpm
효율	65%		

교반장치의 종동 롤러를 회전시키기 위해 적용된 모터에서는 아래의 그림 30과 같이 감속비를 1/30으로 하여 동력을 전달하였으며, 교반 브러쉬를 회전하기 위해서는 아래의 그림 31과 같이 감속비 1/10를 적용하여 구성하였다.



그림 30 1차년도 시작기에 사용된 구동축 감속기



그림 31 1차년도 시작기에 사용된 교반날 회전축
감속기

2차년도에서는 수정 보완을 통하여 그림 32와 같이 교반날 구동용 모터는 0.4kW로, 감속기의 감속비는 1/60로 변경하여 적용하고 시스템을 제작하였다.



그림 32 2차년도 시작기에 적용된 시스템 이송모터
감속기

교반 시스템의 동력전달용 벨트 풀리는 아래의 그림 33과 같이 PCD $\phi 54.57$ 이며 OD $\phi 53.81$ 인 풀리 4개를 이용하여 구동 모터의 동력을 각각 주행부와 회전부에 전달하도록 하였다. 아래의 그림34, 35에는 동력전달용 벨트 풀리를 나타내었다.

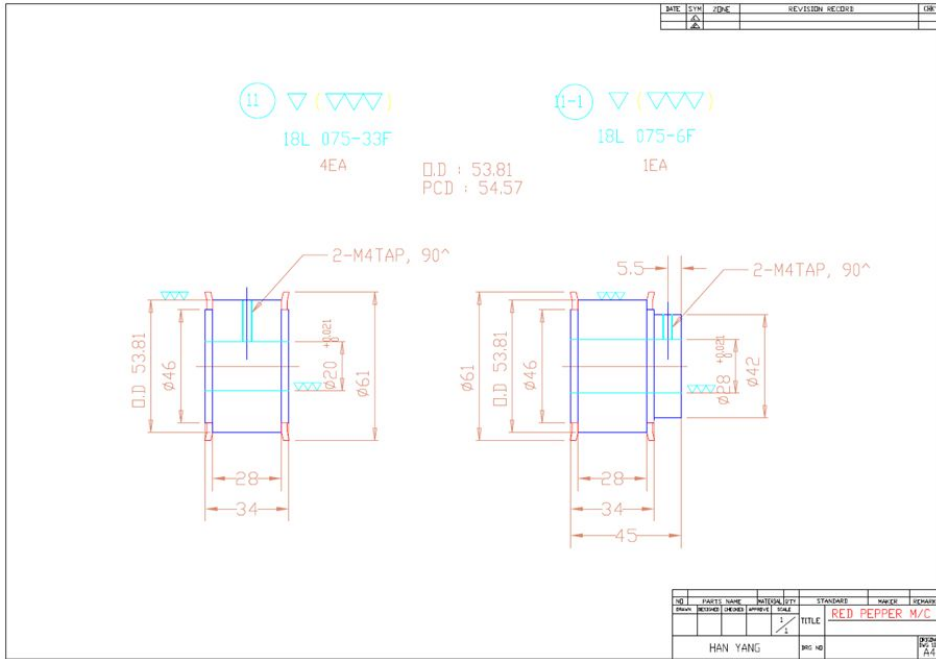


그림 33 고추 교반 시스템의 이송 및 회전부의 동력전달용 폴리



그림 34 주행 구동 모터의 장착 및 동력전달용 벨트 및 폴리의 구성

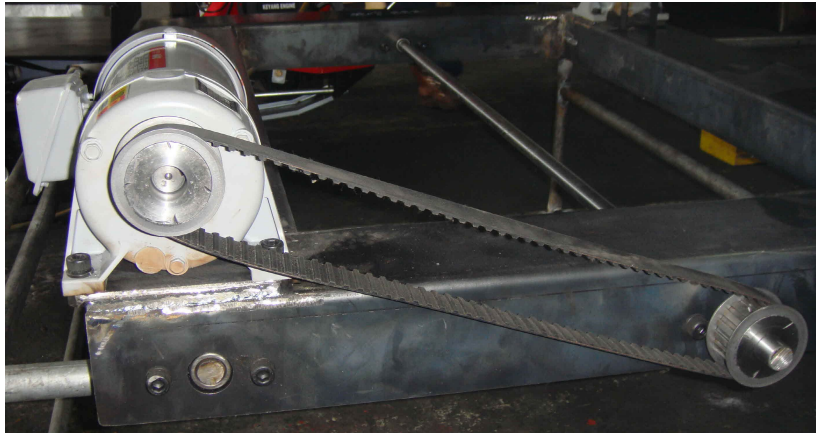


그림 35 회전날 구동 모터의 장착 및 동력전달용 벨트 및 풀리의 구성

6. 전체 컨트롤시스템의 설계 및 제작

본 연구에서 개발한 교반 시스템은 최초 콘트롤러에서 주행 시작 신호를 받아 작동하며, 설정된 일정 속도로 주행 및 교반날을 회전시키면서 이송한다. 주행 속도 및 교반날의 회전속도는 임의로 설정할 수 있도록 하였다.

일측의 리미트 스위치에서 신호를 받게 되면 이송장치는 이송 및 회전을 중단하며 기 입력된 타이머에 의해 시간이 경과한 다음, 이전 이송방향 및 회전방향의 반대방향으로 이송 및 회전 동작을 수행한다. 자동 운전 모드에서 별도의 중단 신호를 주지 않으면 계속적으로 동작을 반복하며, 임의로 동작 중지 버튼을 누르게 되면 고추 교반 작업을 중지 할 수 있도록 알고리즘을 구성하였으며 아래의 그림 37에 나타내었다.



그림 36 통합 시스템의 콘트롤러 제작

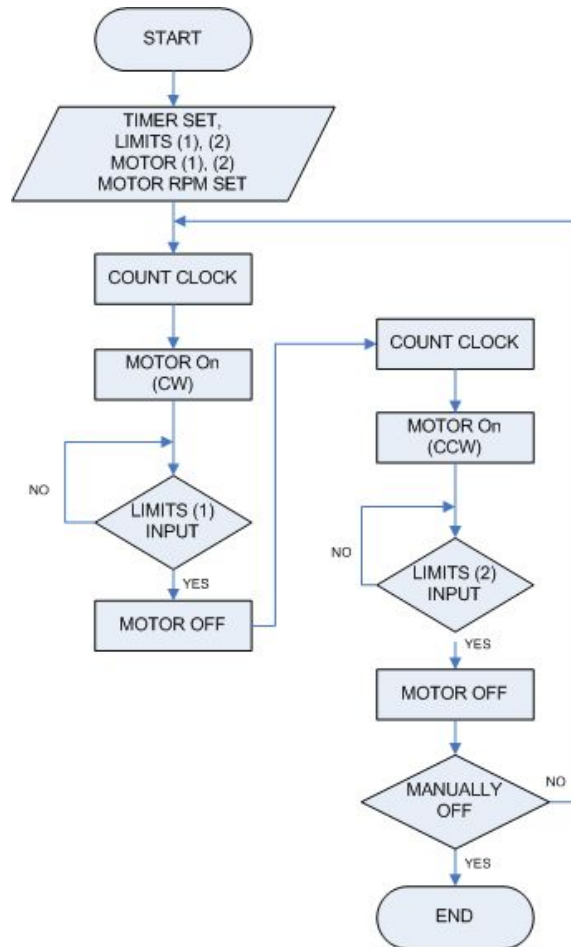


그림 37 시작기에 적용된 제어 알고리즘

7. 시스템의 완성 및 시운전

완성된 태양초 교반시스템을 경상북도 청송군 파천면 송강리 김영식씨의 비닐하우스 농가에 직접 설치하여 시운전을 실시하였다. 그림 38과 39는 설치되어 시운전 중인 모습을 나타내고 있다. 이러한 여러 차례의 현장 테스트를 통하여 농민들이 실제로 사용을 하는데 필요한 문제점 및 개선할 점을 조사하여 수정 및 보완을 하였다.



그림 38 시스템 완성 및 시운전(1)



그림 39 시스템 완성 및 시운전(2)

제3절 성능시험

앞서 완성된 태양초 교반시스템을 경상북도 청송군 파천면 송강리 김영식씨의 비닐하우스 농가에 직접 설치하여 현장적용시험을 실시하였다. 이러한 여러 차례의 현장 테스트를 통하여 농민들이 실제로 사용을 하는데 필요한 문제점 및 개선할 점을 조사하여 최종적으로 보완을 하였다. 본 연구에서는 최종적으로 설계 제작되어 완성된 태양초 교반시스템의 성능을 검증하기 위하여 아래의 관련된 성능을 시험하였다.

1. 재료 및 방법

가. 실험장치 및 재료

실험장치의 구성방법 그림 40과 그림 41과 같다. 온실의 크기는 약 330 m²의 온실 내에 길이 폭 1.500 m, 높이 0.8 m, 길이 40 m의 고추건조대를 2조로 설치하고 건조구는 관행의 작업방법으로 설치하고 시작기는 교반시스템을 장착하였다.

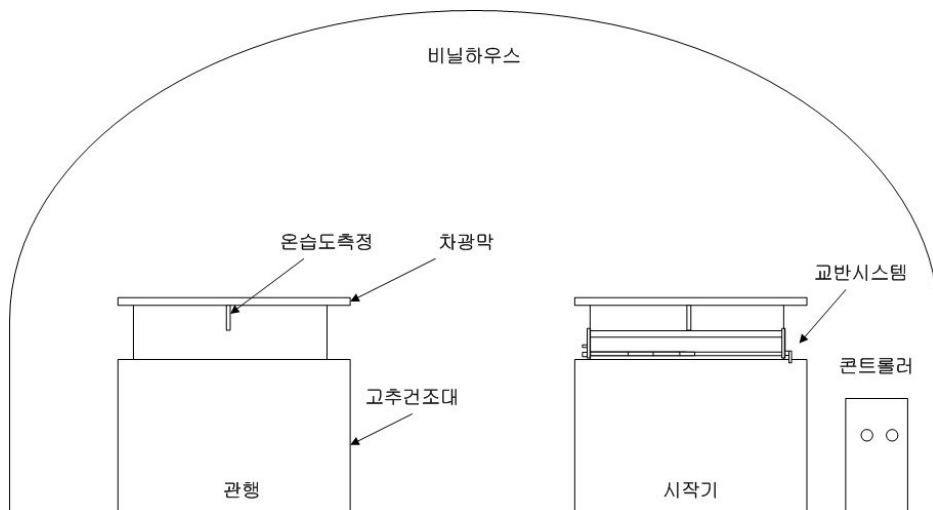


그림 40 성능시험 개략도



그림 41 실험에 사용된 비닐하우스의 외관 모습

교반기의 주행 및 회전속도는 요인시험을 통해 최적의 조건을 분석하였으며, 주행속도는 85 rpm, 회전속도는 35 rpm으로 작업하였다. 이는 회전속도가 너무 빠르면 고추가 반전되면서 선속도가 커져 고추건조대 밖으로 튕겨져 나가는 양이 많으며 회전속도가 너무 느리면 반전율이 저하되는 경우가 발생하였다. 주행속도의 경우 너무 빠르게 전진하면 고추의 반전량이 많아져 부하가 커지고, 너무 느리면 작업속도가 느려 원활한 건조작업이 어려웠다.

온습도는 온습도기록로거를 이용하여 비닐하우스 외부와 내부, 차광막 아래에 설치하여 측정하였다. 고추의 함수율을 측정하기 위하여 그림 42와 같이 저울, 건조기, 적외선수분계를 이용하여 실험하였다.

고추는 청송에서 재배된 홍고추를 이용하였고 초기함수율은 87.1%이었으며, 고추 건조대에 약 2~3단 정도로 적층하여 건조하였다.

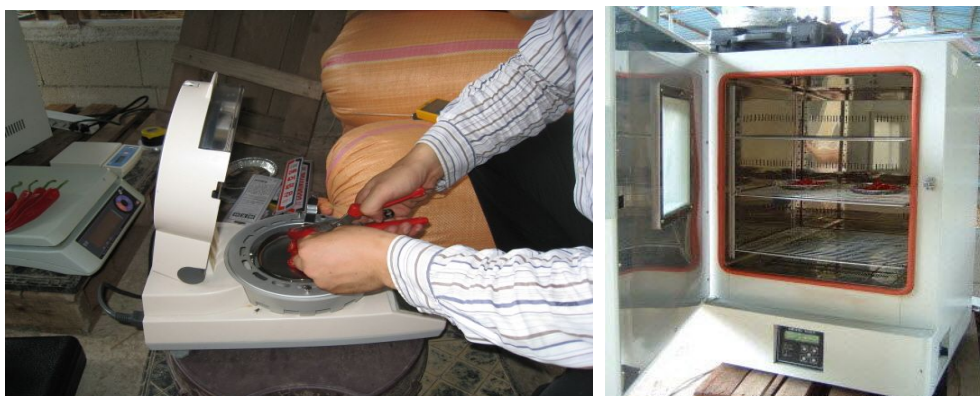


그림 42 고추 함수율 측정

나. 실험방법

그림 43은 시작기의 작업모습이며, 그림 44는 관행의 작업모습을 나타내고 있다. 시작기에서는 교반기의 회전회수를 1시간마다 1회 반전을 하였으며, 관행은 저녁무렵 1회 손으로 반전하여 건조하였다.



그림 43 시작기를 이용한 작업 모습



그림 44 관행 작업 모습

고추의 샘플링 방법은 관행과 시작기 고추건조대의 10%, 50%, 90%의 3군데 지점에서 한 지점당 3점씩 상, 중, 하로 구분하여 1회 총 9점이 되도록 샘플링하여 실험하였다.

고추의 함수율 측정방법은 105℃-24hr-오븐법으로 측정하였고, 측정된 데이터로부터 통계분석 프로그램(SAS, V9.1)을 이용하여 고추의 건조 균일도의 변이계수와

유의성을 검정하였다. 서로 다른 평균과 표준편차를 가졌을 경우 판단의 기준점이 되는 것이 변이계수(coefficient of variation; CV)로서 아래의 식을 이용하여 상·하층간의 고추의 함수율 균일도의 측정치로 이용하였다. 변이계수가 낮을수록 고추의 상·하층이 균일한 함수율을 지니고 있다고 볼 수 있다. 또한, 적산전력계로 총 소비전력을 측정하였다.

$$CV = \frac{1}{m} \sqrt{\frac{\sum x^2 - (\sum x)^2/n}{n-1}} \times 100$$

여기서, CV : 변이계수 (%)

n : 측정횟수

m : 측정값의 평균중량 (g)

$\sum x$: 각 측정값의 합계 (g)

$\sum x^2$: x값의 제곱값의 합계 (g)

다. 건조일자별 기상특성

실험기간은 2010년 8월 17일부터 8월 26일까지이며, 그림 45과 표 7에서 비닐하우스 내부온도(최고)는 43.9~68.3℃이고, 일사량은 6.5~21.1 MJ/m²로 나타났다.

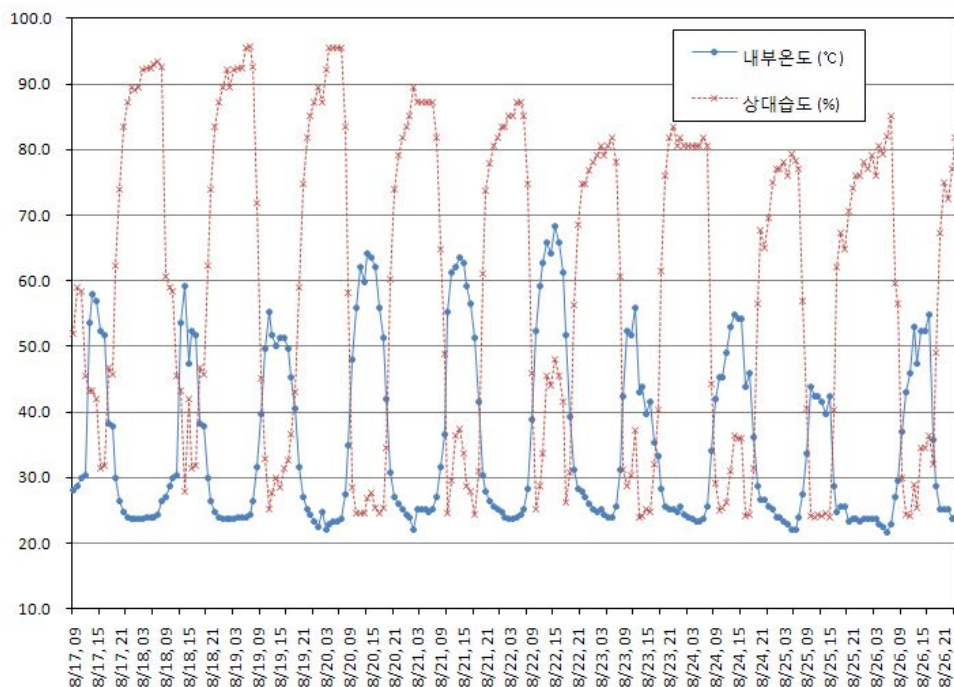


그림 45 건조일자별 비닐하우스 내부의 온·습도 그래프

표 7 건조일자별 비닐하우스 내·외부의 기상조건

날짜	외부온 도-최고 (°C)	외부온 도-최저 (°C)	내부온 도-최고 (°C)	내부온 도-최저 (°C)	내부습 도-최고 (%)	내부습 도-최저 (%)	일조시 간 (h)	일사량 (MJ/m)
8/17	32.4	21.4	58.0	23.6	89.5	31.4	5.1	15.9
8/18	33.8	22.0	59.2	23.6	93.4	27.8	6.3	15.9
8/19	33.7	22.5	55.4	23.2	95.7	25.1	5.3	15.9
8/20	35.7	21.7	64.2	22.1	95.5	24.5	10.7	21.1
8/21	36.0	23.2	63.5	22.1	89.4	24.3	7.6	20.3
8/22	35.0	23.3	68.3	23.6	87.2	25.1	7.3	18.0
8/23	35.2	23.4	56.0	24.0	83.5	24.0	8.8	15.9
8/24	33.6	22.5	54.7	23.2	81.9	24.1	7.7	15.2
8/25	30.9	21.5	43.9	22.1	79.3	24.0	2.2	6.5
8/26	32.4	21.1	54.7	21.7	85.2	24.2	5.2	12.5

2. 성능시험 결과

가. 고추의 건조특성

표 8은 고추의 함수율을 건조일자별로 매일 18:00에 측정한 결과를 나타낸 것이다. 건조일자별로 관행은 최대함수율과 최소함수율의 차이가 완만하게 줄어드는 반면, 시작기는 빠르게 줄어서 고추 반전의 효과가 큰 것으로 나타났다.

고추함수율의 평균건감율은 시작기가 0.9 %w.b./h, 관행은 0.4 %w.b./h으로 나타나 약 2배 이상의 건감율의 차이가 났다.

표 8 건조일자별 고추의 건조특성

건조일자 (월/일)	반전 형태	최대함수 율 (% w.b.)	최소함수 율 (% w.b.)	평균함수 율 (% w.b.)	건감율 (% w.b./h)	표준편 차 (% w.b.)	변이계수 (%)
8/17	시작기	-	-	81.7	-	-	-
	관행	-	-	81.7	-	-	-
8/18	시작기	-	-	84.6	-	-	-
	관행	-	-	85.6	-	-	-
8/19	시작기	-	-	83.3	-	-	-
	관행	-	-	82.6	-	-	-
8/20	시작기	81.3	77.1	79.2	0.0	1.5	1.9
	관행	81.1	75.3	78.3	0.0	1.9	2.4
8/21	시작기	71.6	28.0	52.9	1.1	13.3	25.2
	관행	73.4	39.0	60.9	0.7	19.0	31.2
8/22	시작기	31.1	12.4	18.5	1.4	6.6	35.5
	관행	71.6	18.8	48.6	0.5	19.8	40.7
8/23	시작기	14.5	13.3	13.8	0.2	0.6	4.5
	관행	67.5	14.7	43.3	0.2	18.4	42.4
8/24	관행	62.1	15.0	32.5	0.5	17.0	52.4
8/25	관행	42.1	12.4	22.4	0.4	11.4	51.1
8/26	관행	23.1	12.4	17.3	0.2	4.3	24.6

나. 고추 건조시간

표 9와 그림 46은 고추의 반전형태별 건조곡선을 나타낸 것이다. 3일 정도의 후숙과정을 거쳐 건조과정 중 건조시간은 시작기가 3일이며, 관행은 6일로 나타났다. 시작기의 경우 최종함수율은 13.8 %w.b.이며 관행은 17.3 %w.b.으로 나타나 실제로 함수율 기준으로 본다면 시작기가 관행대비 고추 건조시간이 2배 이상 감소되는 것으로 나타났다.

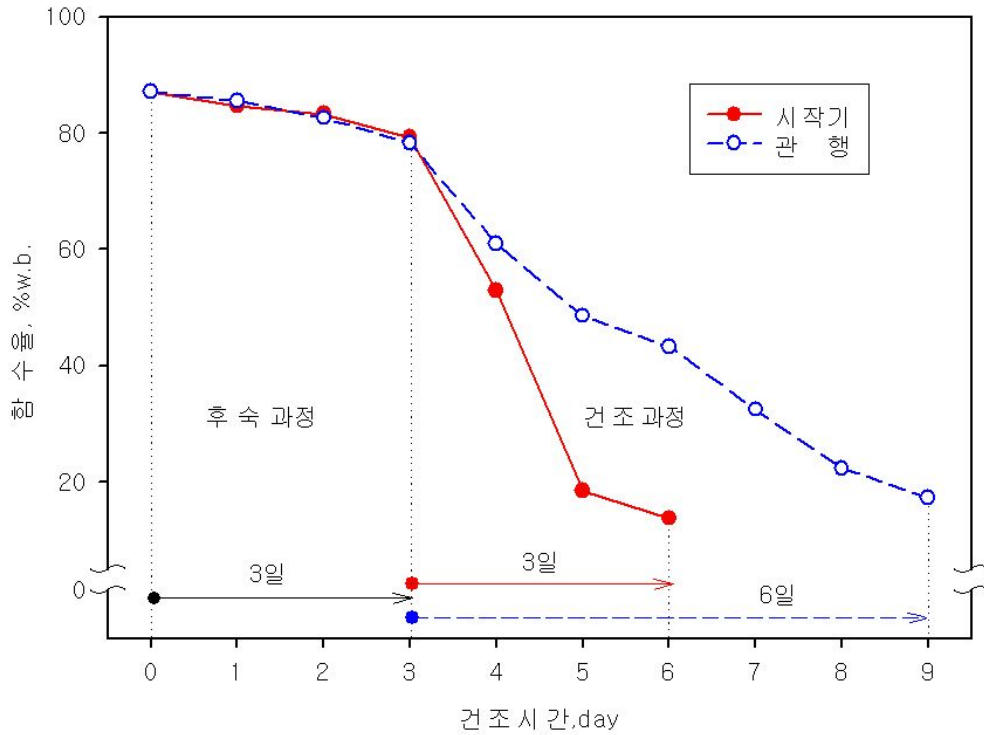


그림 46 고추의 반전형태별 건조곡선

표 9 고추의 반전형태에 따른 건조일수

건조형태 \ 반전형태	후숙과정 (일)	건조과정 (일)	비고
시작기	3	3	▼ 3일 (관행대비 건조과정 2배이상 감소)
관행	3	6	

다. 고추 건조 균일도

서로 다른 평균과 표준편차를 가졌을 경우 판단의 기준점이 되는 것이 변이계수로서 상·하층간의 고추의 함수율 균일도의 측정치로 이용하였다. 변이계수가 낮을수록 고추의 상·하층이 균일한 함수율을 지니고 있다고 볼 수 있는데, 시작기보다 관행이 변이계수가 건조일자별로 지속적으로 증가하여 불균일하게 건조되고 있는 것을 알 수 있다.

건조가 완료된 고추의 변이계수가 시작기는 2.4%로 매우 낮아 균일한 건조가 이루어진 것을 알 수 있으나, 관행은 24.6%로 아직 건조가 덜 진행된 것을 알 수 있

으며, 균일한 함수율이 되기 위해서는 건조기간이 좀 더 필요한 것으로 판단된다.

그림 47과 같이 평균 변이계수는 시작기가 16.8%, 관행은 35.0%로 약 2배 이상의 차이를 나타내었으며, 이 차이로 인해 관행은 불균일한 건조와 건조시간의 차이가 나는 것으로 판단된다.

교반기의 회전횟수를 0.5 회/h로 하였으나, 고추 건조시 초기에 건감율이 크게 떨어지므로 이때 회전횟수를 증가시키면 상·하층의 변이계수가 낮아져 균일도를 향상시키고 건조시간도 단축시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

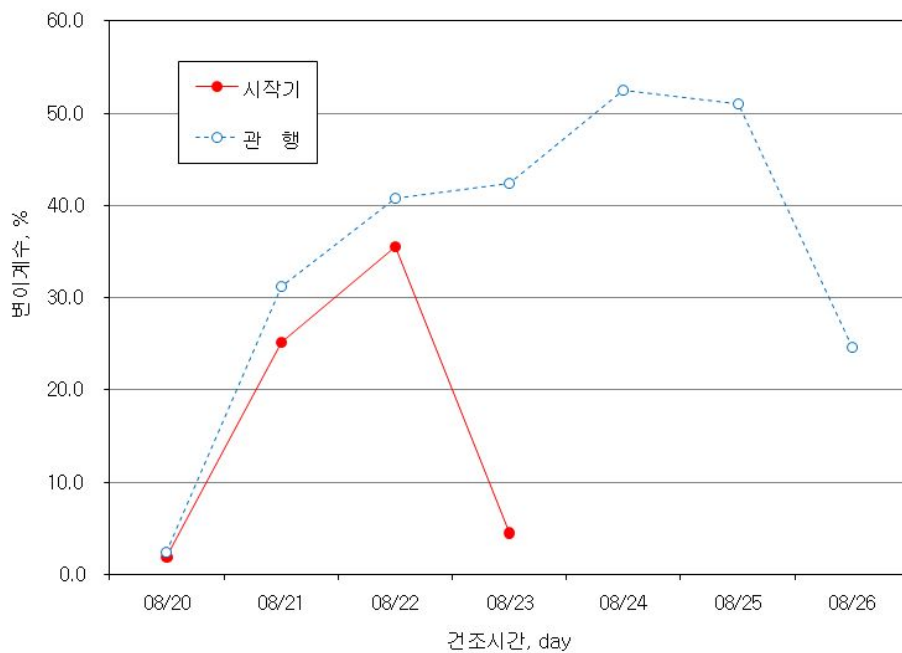


그림 47 고추 반전형태별 건조균일도 곡선

라. 소비전력량

시작기 운전시에 소요되는 소비전력을 측정 한 결과 1회 40 m 주행시에 약 200 W로 나타났다.

3. 요약 및 결론

본 연구에서는 최종적으로 설계 제작되어 완성된 태양초 교반시스템의 성능을 검

증하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 고추함수율의 평균건감율은 시작기가 0.9 %w.b./h, 관행은 0.4 %w.b./h으로 나타나 약 2배 이상의 건감율의 차이가 났다.
- 나. 건조과정 중 건조시간은 시작기가 3일이며, 관행은 6일로 시작기가 관행대비 고추 건조시간이 2배 이상 감소되는 것으로 나타났다.
- 다. 고추함수율의 평균 변이계수는 시작기가 16.8%, 관행은 35.0%로 약 2배 이상의 차이를 나타내었으며, 이 차이로 인해 관행은 불균일한 건조와 건조시간의 차이가 나는 것으로 판단되었다.
- 라. 시작기 운전시에 소요되는 소비전력을 측정한 결과 1회 40 m 주행시에 약 200 W로 나타났다.

제4절 경제성 분석

1. 서론

개발된 태양초 교반시스템은 많은 현장 테스트와 이에 대한 수정 및 보완 등을 거치면서 실증 시험한 결과 매우 만족스런 결과를 보였다.

그러나, 개발된 태양초 교반시스템이 실제로 설치되어 운영한 후 이용비용에 경제성이 있는가 하는 문제는 매우 중요한 요소가 된다. 특히 본 연구가 현장에서 고추농가에게 직접적으로 혜택을 줄 수 있어야 하기 때문에 경제성 분석은 매우 중요한 의미를 가진다 할 수 있다.

이에 따라 본 연구의 목적은 현재 설치되어 운영 중인 태양초 교반시스템의 현장 적용시험 및 성능시험 등을 통하여 획득된 자료를 바탕으로 고추농가에서 관행의 방법과 시작기를 이용하여 건조하였을 경우의 비용 및 절감효과를 분석하여 우리나라 고추농가에 적용할 수 있는지에 대한 가능성 여부를 제시함에 있다.

2. 연구의 방법

본 연구의 경제성 분석 방법에서 이용비용을 고정비와 변동비로 구분하였다. 관행과 시작기의 경우 비닐하우스 내 고추건조대를 이용하는 것으로 하였다.

가. 고정비

기계 이용시의 고정비용은 감가상각비, 수리비, 이자, 전력비(기본요금) 등의 합으로 계산되며 작업에 이용된 기계의 구입가격은 조사된 가격을 기준으로 하였다.

시작기에 대한 감가상각비는 직선법을 적용하여 산출하였다(정 등, 1995). 내구연한은 문헌 등을 참조하여(농촌진흥청, 2009), 기계류는 8년으로 하였으며, 폐기가격은 구입가격의 5%로 가정하였다.

이자선 총 투자비용에 대하여 적용하였는데, 융자 70%에 대하여는 연리 4%를 적용하고 자부담 30%에 대해서는 농업인 대출금리 3%를 적용한 다음(농림부, 2009), 변동금리를 감안하여 일률적으로 4%의 이자를 적용하였다. 보험은 건물과 시설 투자비용의 연간 0.1%를 적용하였다.

시작기의 수리비는 고정비에 포함시켜 결정하였는데, 문헌을 참조하여(정 등,

1995) 일반적으로 적용되는 연간 3%를 수리비로 적용하였다. 기계류의 경우 소요되는 부속품과 작동시 고온다습한 경우로 기계구입가의 연간 5%를 적용하였다.

나. 변동비

변동비용은 다음의 식으로 산출하였다.

$$VC=H(F+L+E)$$

- 여기서, VC : 변동비용(원/년)
H : 연간 기계 이용시간(시간/년)
F : 1시간 작업시의 소모 연료비용(원/시간)
L : 시간당 노동임금(원/시간)
E : 시간당 소모 전력비(원/시간)

연간 이용시간은 적응시험 및 성능시험을 통하여 산정된 이용시간을 적용하였으며 이를 이용하여 연간이용시간으로 환산하였다.

전력비는 농업용 병을 기준으로 기본료 1,070 원/kW·월과 사용료 36.4 원/kWh의 합으로 계산되는데(한국전력공사, 2008), 기본료는 고정비로 사용료는 변동비로 분류하여 산출하였다. 연료비의 경우 면세유가격 668원/ℓ(농촌진흥청, 2008)을 적용하였다.

시간당 노임은 2008년 농촌 노동임금 전국평균치인 성인 남자 1인의 경우 7,674 원/h로 하였다(농림수산식품부, 2008).

다. 기타

관행의 경우 경북 청송군의 김영식씨 고추농가에서 비닐하우스 내 건조하는 방법을 설문 조사하여 데이터로 이용하였다. 설문내용은 아래의 표 10과 같으며 노동력과 작업환경이 열악하여 태양초 생산량은 전체생산량의 5~10%이며, 소요노동력은 1회 반전시 2시간이상 고추반전을 실시해야하는 것으로 나타났다.

표 10 태양초 재배 농가 설문자료

태양초 재배 농가 설문(081121)

주소 : 경북 청송군 파천면 송강리 187번지 김영식 청송군 고추담당계장 최종섭
재배면적 : 16,500 m ² (5,000평) 태양초 생산 기간 : 약 45일~50일, 생산량에 따라 60일 정도 늘어날 수 있음 태양초 생산량 : 전체생산량의 5~10%(주문량에 따라 조절) 만 태양초를 생산함 태양초 생산의 가장 애로 사항 : 노동력 과다, 작업환경 열악, 에너지 과다소모 건조대 규모 : 1.5m×20m×2라인 내부온도 : 70° 내외 1회 생산물량 : 15kg×75포대=1,125kg(약 1.1 톤), 태양초 총생산량 1500근×0.6kg=900kg 생산 태양초 1근의 가격 : 10,000×1500(근)=1500만원/년 1회 생산 소요시간 : 맑은 날 4~5일, 흐린날 10일 이상 1회 고추반전 시간 : 2시간(1회 이상 불가) 적정 반전횟수 : 약 5회, 10시간 소요, 2~3일(약 1톤 건조 가능) 흐린 날 : 45일 중, 평균 약 15일 송풍(5일)하거나 지속적이면 열풍기 가동(10일) : (1드럼/day), 년평균 열풍기 가동 일수 : 10일, 10드럼(10×180ℓ×1,000원=180만원 소요)

아래의 표 11은 시작기의 기계사양 및 설비비용을 나타낸 것으로, 규격 1.5m x 0.8m x 40m을 기준으로 하였을 때 고추건조대는 약 4백만원, 고추반전기는 약 6백만원으로 총 1천만원의 투자비용이 드는 것으로 나타났다.

표 11 시작기의 기계사양 및 설비비용

구분	내 용	규격	수량	단 가(원)	금 액(원)
1.	레일 제작용 파이프(백관)	15mm	81	17,100	1,385,100
2.	철망			120,000	120,000
3.	흙 망사			120,000	120,000
4.	강선			70,000	70,000

5.	철사고리			100,000	100,000
6.	부직포			254,000	254,000
7.	터널파이프			300,000	300,000
8.	하부비닐			60,000	60,000
9.	제작인건비(레일작업)		10	150,000	1,500,000
10.	부러쉬 제작비	∅330	1	300,000	300,000
11.	프레임 절곡비용			300,000	300,000
12.	로울러 절곡		4	13,000	52,000
13.	축제작		3	20,000	60,000
14.	베어링		10	8,000	80,000
15.	감속모터(단상) 100 : 1	1/4	1	196,800	196,800
16.	감속모터(단상) 40 : 1	1/2	1	223,200	223,200
17.	폴리 제작		5	20,000	100,000
18.	V 벨트	A 형	3	10,000	30,000
19.	도장			130,000	130,000
20.	기계제작 인건비		4	150,000	600,000
21.	전기제어장치			1,200,000	1,200,000
22.	전지설치 인건비		4	150,000	600,000
23.	<u>A형 : 규격 1.5m x 0.8m x 40m, 기준</u>				
24.	누계(원가)				7,781,100
25.	기업이윤(20%)				1,556,220
26.	합계				9,337,320
27.	부가세 (10%)				933,732
28.					
29.	총합계				10,271,052

3. 결과 및 고찰

가. 연간이용비용

이상에서 언급한 내용을 토대로 관행과 시작기를 이용하였을 경우에 고추 생산량 별 연간 이용비용을 계산하여 그 결과를 표 12에 나타내었다. 시작기의 연간 고정비는 1,913,180원이며 관행은 755,000원으로 나타났다. 연간 이용비용은 시작기는

2,548,175원이며, 관행은 2,724,800으로 나타났다.

표 12 관행 및 시작기의 연간 이용비용

항목		시작기	관행
설치가격(원)		10,000,000	4,000,000
고정비 (원/년)	감가상각비	1,187,500	475,000
	이자	400,000	160,000
	전력비(기본)	25,680	0
	수리비	300,000	120,000
	소계	1,913,180	755,000
변동비 (원/년)	노임	31,975	767,400
	연료비	601,200	1,202,400
	전력비(사용)	1,820	0
	소계	634,995	1,969,800
년간이용비용 (원/년)		2,548,175	2,724,800

나. 고추 건조규모에 따른 생산비용

시작기를 이용할 경우는 약 12 ton의 고추를 건조할 수 있으나 관행은 시작기의 50%인 6 ton을 건조할 수 있기 때문에 고추의 건조규모에 따라 이용비용은 차이가 날 수 있다. 따라서 아래의 표 13과와 표 14, 그림 48에 고추 건조규모에 따른 관행과 시작기의 이용비용을 나타내었다.

시작기의 경우는 건조규모가 증가함에 따라 이용비용은 급격하게 감소하는 추세이며, 4 ton 작업규모에 이르면 감소세가 완만하게 나타났다. 톤당이용비용은 시작기는 12 ton 건조규모시에 212,348 원/년·ton, 관행은 6 ton 건조규모시에 454,133 원/년·ton으로 나타났다.

표 13 시작기의 고추건조 규모에 따른 이용비용

고추건조규모(ton)			12	8	4	1	
이용비용	고정비	항목	감가상각(원/년)	1,187,500	1,187,500	1,187,500	1,187,500
		이자(원/년)	400,000	400,000	400,000	400,000	
		전력비(원/년)	25,680	25,680	25,680	25,680	
		수리비(원/년)	300,000	300,000	300,000	300,000	
		소계(원/년)	1,913,180	1,913,180	1,913,180	1,913,180	
	변동비	항목	노임(원/년)	31,975	21,317	10,658	2,665
		연료비(원/년)	601,200	400,800	200,400	50,100	
		전력비(원/년)	1,820	1,213	607	152	
		소계(원/년)	634,995	423,330	211,665	52,916	
	이용비용합계(원/년)			2,548,175	2,336,510	2,124,845	1,966,096
기계비용합계(원/년-ton)			212,348	292,064	531,211	1,966,096	

표 14 관행의 고추건조 규모에 따른 이용비용

고추건조규모(ton)			6	4	2	1	
이용비용	고정비	항목	감가상각(원/년)	475,000	475,000	475,000	475,000
		이자(원/년)	160,000	160,000	160,000	160,000	
		전력비(원/년)	0	0	0	0	
		수리비(원/년)	120,000	120,000	120,000	120,000	
		소계(원/년)	755,000	755,000	755,000	755,000	
	변동비	항목	노임(원/년)	767,400	511,600	255,800	127,900
		연료비(원/년)	1,202,400	801,600	400,800	200,400	
		전력비(원/년)	0	0	0	0	
		소계(원/년)	1,969,800	1,313,200	656,600	328,300	
	기계비용합계(원/년)			2,724,800	2,068,200	1,411,600	1,083,300
기계비용합계(원/년-ton)			454,133	517,050	705,800	1,083,300	

건조규모별 손익분기점은 약 4 ton 이상의 규모에서 시작기가 관행보다 유리한 것으로 나타났다. 12 ton 건조시에는 시작기가 관행보다 연간 약 3백만원의 절감효과가 있는 것으로 나타났다. 이용비용분석은 비닐하우스 1동을 기준으로 고추를 건조시킬 경우에 대한 비용분석이지만, 고추 건조규모가 증가할수록 절감효과는 더욱 더 클 것으로 예상된다.

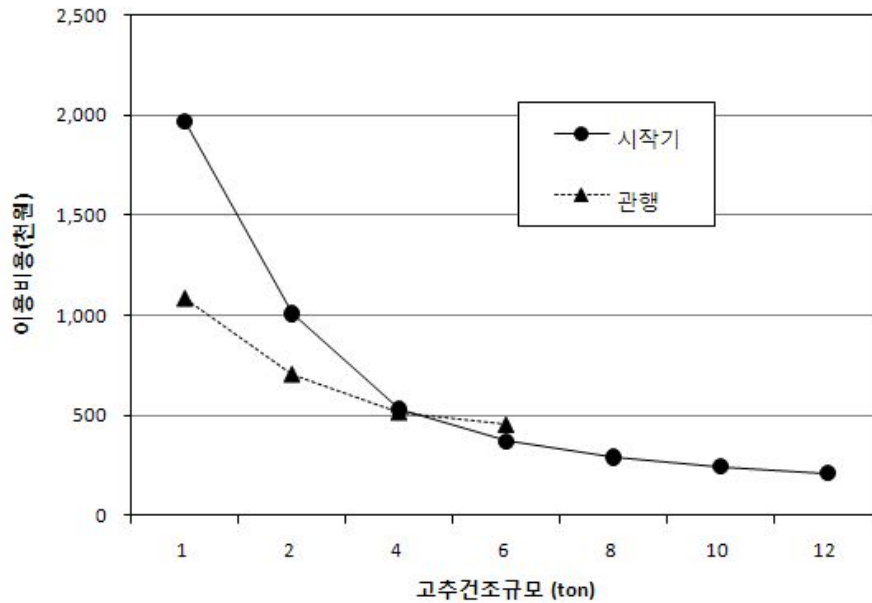


그림 48 고추 건조규모에 따른 이용비용 비교

표 15 고추 건조규모에 따른 절감비용

고추건조규모 (ton)	절감비용 (원)
6	494,123
8	1,296,557
10	2,098,991
12	2,901,425

4. 요약 및 결론

본 연구에서 개발된 시작기의 경제성을 검증하기 위하여 관행의 시스템과 이용비

용을 분석하여 그 결과를 검토하였다. 분석된 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 시작기의 연간 고정비는 1,913,180원, 관행은 755,000원으로 나타났으며, 시작기의 연간 이용비용은 2,548,175원, 관행은 2,724,800으로 나타났다.
- 나. 건조규모가 증가할수록 이용비용은 절감되었으며, 톤당이용비용은 시작기는 12 ton 건조규모시에 212,348 원/년·ton, 관행은 6 ton 건조규모시에 454,133 원/년·ton으로 나타났다.
- 다. 건조규모별 손익분기점은 약 4 ton 이상의 규모에서 시작기가 관행보다 유리하였으며, 12 ton 건조시에는 시작기가 관행보다 연간 약 3백만원의 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구에서 개발된 시작기는 우리나라의 고추 농가에 적용 가능한 것으로 판단되었다.

제5절 종합 결론

본 연구에서는 고품질 태양초 온실 자연건조 촉진을 통한 고추수확량과 매출이 약 2배 증가하고, 온실 자연건조시 고온(약 70℃)으로 인한 혼합작업에 애로를 해소하고, 태양초 생산 공정의 약 50% 단축을 통한 농가의 수익성 증가시키고, 자동 혼합 자연건조 장치를 통한 노동력 절감을 목표로 고품질 태양초 자동건조 교반장치를 개발하였다. 본 연구는 고추 교반의 요인시험, 자동건조 교반장치의 설계 및 제작, 현장적용시험, 성능시험, 경제성분석 등을 수행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 교반기의 형태에 따른 교반효과 요인시험결과, 브러시 지름이 0.4~0.5 mm인 브러시 방식이 가장 적합한 것으로 나타났다.
2. 브러시별, 전진속도별, 회전속도별로 교반비율의 요인시험결과, 전체적으로 유의성은 나타나지 않았으나, 평균적으로 39.7%의 고추 교반이 되는 것으로 나타났다.
3. 자연건조용 자동 교반기계는 개발은 크게 ①자연건조용 고추 탑재 Bed, ②Bed 하부의 온풍 시스템, ③고추 교반용 Blade, Brush의 형상, ④이송장치 및 프레임, ⑤동력전달장치, ⑥전체 컨트롤시스템의 설계 및 제작으로 구분하여 개발하였다.
4. 제어알고리즘은 설정된 일정 속도로 주행 및 교반날을 회전시키면서 왕복 이송하고, 0.5 회/h으로 구동되도록 구성하였다.
5. 고추함수율의 평균건감율은 시작기가 0.9 %w.b./h, 관행은 0.4 %w.b./h으로 나타나 약 2배 이상의 건감율의 차이가 났다.
6. 건조과정 중 건조시간은 시작기가 3일이며, 관행은 6일로 시작기가 관행대비 고추 건조시간이 2배 이상 감소되는 것으로 나타났다.
7. 고추함수율의 평균 변이계수는 시작기가 16.8%, 관행은 35.0%로 약 2배 이상의 차이를 나타내었으며, 이 차이로 인해 관행은 불균일한 건조와 건조시간의 차이가 나는 것으로 판단되었다.
8. 시작기 운전시에 소요되는 소비전력을 측정된 결과 1회 40 m 주행시에 약 200 W로 나타났다.
9. 시작기의 연간 고정비는 1,913,180원, 관행은 755,000원으로 나타났으며, 시작기의 연간 이용비용은 2,548,175원, 관행은 2,724,800원으로 나타났다.
10. 건조규모가 증가할수록 이용비용은 절감되었으며, 톤당이용비용은 시작기는 12

ton 건조규모시에 212,348 원/년·ton, 관행은 6 ton 건조규모시에 454,133 원/년·ton으로 나타났다.

11. 건조규모별 손익분기점은 약 4 ton 이상의 규모에서 시작기가 관행보다 유리하였으며, 12 ton 건조시에는 시작기가 관행보다 연간 약 3백만원의 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

종합적인 결론으로 본 연구에서 개발된 시스템은 우리나라의 태양초 생산 시설에 적용이 가능한 것으로 판단되며, 본 시스템의 이용 시 생산비용의 절감효과는 매우 클 것으로 기대된다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야의 기여도

제1절 목표달성도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)
1차 연도 (2009)	고품질 태양초 온실 자연건조를 위한 자동교반기계 개발 (경북대학교)	○ 온실 자연건조용 고추 탑재 Bed의 설계	100
		○ 야간에 고추의 결로 및 회나리(하얗게 빛바랜 고추) 발생 방지를 위한 Bed 하부 온풍 건조 시스템 설계	100
	자연건조용 자동교반기계의 부품별 제작 및 회전날의 금형 제작 (한양테크)	○ 고추 교반 기본적 모델 Blade, Brush의 금형 및 실용화를 위한 시제품	100
		○ 이송장치 및 프레임 ○ 교반기용 대차의 전, 후 장치 ○ 회전수, 전, 후진 등 계측 제어용 컨트롤러 ○ 온실 자연건조용 고추 교반시스템 시제품	100
	자연건조용 자동교반기계의 현장성능시험 및 평가 (청송군농업기술센터)	○ 태양초 생산농가 시험 베드 선정 및 설치 지도	100
		○ 시스템의 현장설치에 의한 성능평가	100

구분 (연도)	세부과제명	세부연구내용	달성도 (%)
2차 년도 (2010)	자연건조용 자동교반기의 전체 수정 보완 및 최적조건 알고리즘 개발 (경북대학교)	○ Bed 이송 레일 및 시스템 전체의 수정 보완 설계	100
		○ 회전날의 형상별, 회전수별 건조성능 평가 및 수정 설계	
	자연건조용 자동교반기의 회전날 수정 및 장치의 수정 보완 (한양테크)	○ 온도 및 습도 조건에 따른 최적 회전 수 규명	100
		○ 종합 Controller의 알고리즘 수정 설계	
		○ 태양초 생산 에너지 절감효과 분석	
	자연건조용 자동교반기의 2차 현장성능시험 및 평가 (청송군농업기술센터)	○ Bed, 설치대, 열풍구 수정 및 보완 제작	100
○ Bed 이송 레일 및 전,후진 장치의 수정 및 보완 제작			
○ 회전날의 형상별 수정 및 추가 제작		100	
			○ 회전날의 금형설계 수정 및 추가 제작
○ 종합 Controller의 수정 제작	100		
		○ 태양초 재배농가의 2차 현장실증시험	100
○ 태양초 건조성능 평가 검정			
○ 자동혼합기계의 전체적인 사용상의 평가 및 검정	100		
		○ 2차 시작기의 수정 및 보완	

제2절 관련분야의 기여도

1. 기술적 측면

가. 건고추의 고품질화

비닐하우스를 이용함에 있어 회나리(하초)의 발생이 많고 흐린 날이나 비오는 날이 많을 경우 건조기간이 10~15일로 길어져 품질 손상이 심하며 특히 비닐하우스의 내부온도가 높아 뒤집기 등에 많은 노력이 소요되고 있는 실정이다. 또 비닐하우스 건조시 품종에 따라 건조시간 및 품질의 차이가 있으며 건조과정중 젤상태가 될 때 날씨가 좋으면 상관없으나 흐릴 경우나 야간에 보일러, 온풍기 등을 가동하지 않으면 회나리 및 고추의 형태가 찌그러지는 경우가 생긴다. 본 연구에서는 관행보다 2배 더 빨리 건조되므로 고추의 품질이 높아지는 장점이 있다.

나. 품질의 균일화

자연건조를 할 경우 고추의 건조기간은 7~8일 정도를 요하는데 한국의 기상특성상 고추를 수확하는 기간 중 평균 2~3일은 불리한 기상조건하에서 건조를 하게 된다, 고추의 건조가 지연되면 고추의 부패와 변질 등으로 품질의 불균인성으로 경제적 손실이 커진다. 본 연구에서는 관행보다 2배 더 균일하게 건조되므로 고추의 품질이 균일화되는 장점이 있다.

다. 소요 에너지 절감

태양초 생산 기간이 약 50일 일때, 연간 연평균 열풍기 가동 일수가 10일정도이며, 1일 180 L의 경유가 소비되는 것으로 나타났다. 건조시간이 50% 줄어들기 때문에 소비되는 경유량도 거의 절반으로 줄어들어 소요에너지의 절감효과가 매우 큰 장점이 있다.

그림 49는 맑은날 건조시 절감되는 에너지를 그래프로 표시한 것이며, 그림 50, 51, 52는 흐린날의 경우 절감되는 에너지를 그래프로 표시하였다. 그래프에서 보는 바와 같이 흐린날에도 소요에너지의 절감효과는 매우 큰 것으로 나타났다.

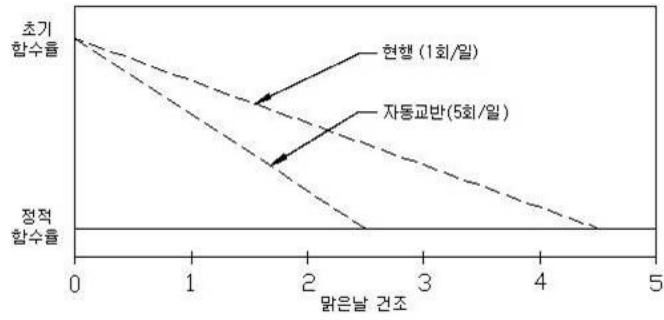


그림 49 맑은날 건조시 절감 에너지

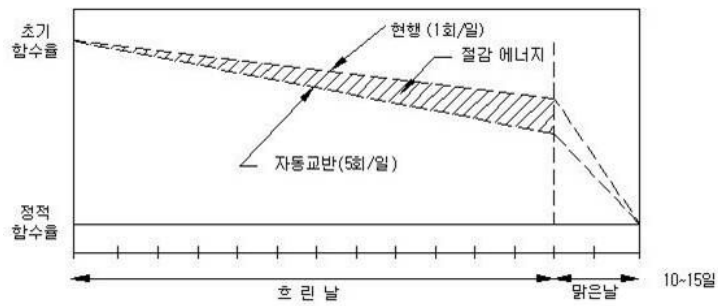


그림 50 초기에 흐린날 건조시 절감 에너지

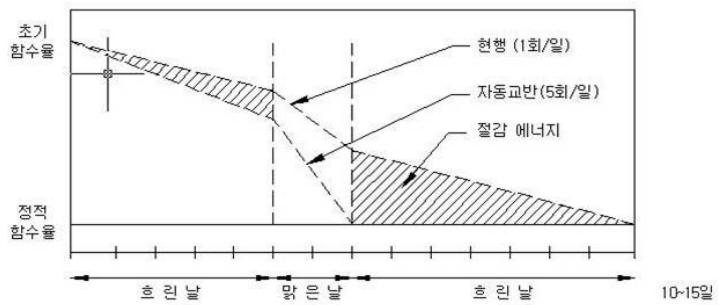


그림 51 중기에 흐린날 건조시 절감 에너지

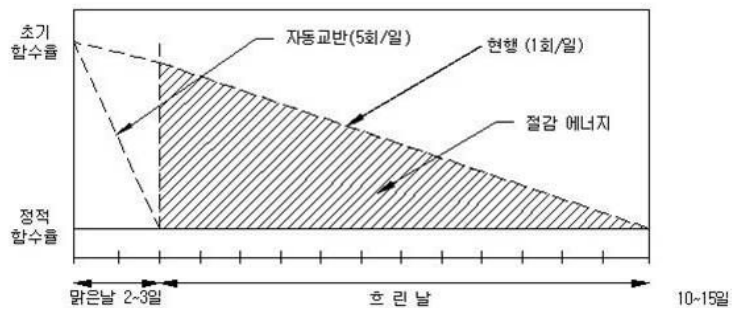


그림 52 말기에 흐린날 건조시 절감 에너지

라. 새로운 시스템의 개발

태양초는 2010년 600g당 11,000~12,000원 수준으로 화건초(약 6,000원)에 비해 약 2배 높은 가격을 형성하고 있어 부가가치가 높아 경북 청송 등의 지역에서 대량 건조를 시행하고 있지만 전술한 바와 같이 고추를 뒤집는 등의 많은 일손을 요구하게 되며 비닐하우스 내에서의 작업도 쉽지 않아 자연건조를 위한 기계장치에 대한 요구가 지속적으로 발생하였지만 현재 이러한 기계장치는 개발된 적이 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 개발된 기술을 관련분야에 새로운 시스템으로 보급할 수 있다.

2. 경제적·산업적 측면

가. 노동력 절감

일반적인 노지 건조의 품질의 불균일성 및 기타 외부조건으로부터의 피해 등을 예방하기 위해 위생적인 태양초 생산시설을 구비하여 대량생산을 하고 있으나 고추 건조기의 비닐하우스 내부온도는 70℃ 이상이어서 고추를 뒤집거나 수확하는 작업에 많은 노력과 비용이 소요되는 실정이다. 따라서 고품질 태양초 생산을 위한 고추시설 내에 고추를 뒤집거나 수확할 수 있는 자연 건조장치에 대한 개발이 요구되어지며, 자연 건조장치가 개발된다면 자연건조 축진을 통한 고품질 태양초의 생산이 약 2배 증가할 것으로 판단되며 생산공정의 약 50% 단축을 통해 농가 수익성을 증대시키고 노동력을 절감하여 농가 현장 애로사항을 해결함으로써 고부가가치를 실현할 수 있을 것이다.

나. 생산비 절감

본 연구에서 개발된 기술을 이용할 경우 고추건조 12톤 규모시에 연간 3백만원의 생산비를 절감할 수 있는 효과가 있다.

다. 산업화를 통한 파급효과

(단위 : 백만원)

산업화 기준 항 목	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
직접 경제효과	500	750	1,000	1,000	1,250	4,500
경제적 파급효과	250	375	500	500	500	2,125
부가가치 창출액	1,000	1,250	1,500	1,500	1,750	7,000
합계	1,750	2,375	3,000	3,000	3,500	13,625

- ※ 직접 경제효과 : 본 연구과제 개발기술의 산업화를 통해 기대되는 제품의 매출액 추정치
- ※ 경제적 파급효과 : 본 연구과제 개발기술의 산업화를 통한 농가소득효과, 비용절감효과 등 추정치
- ※ 부가가치 창출액 : 본 연구과제 개발기술의 산업화를 통해 기대되는 수출효과, 브랜드가치 등 추정치

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제1절 연구성과

1. 특허 출원

- 특허명 : 고추 자동 교반 장치
- 출원번호 : 10-2010-0131627

관 인 생 략 출원번호통지서

출원일자 2010.12.21
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호 10-2010-0131627 (접수번호 1-1-2010-0844344-91)
출원인명칭 경북대학교 산학협력단(2-2004-001684-4)
대리인성명 특허법인 우한(9-2007-100061-4)
발명자성명 김진현 김기동 황부원
발명의명칭 고추 자동 교반 장치

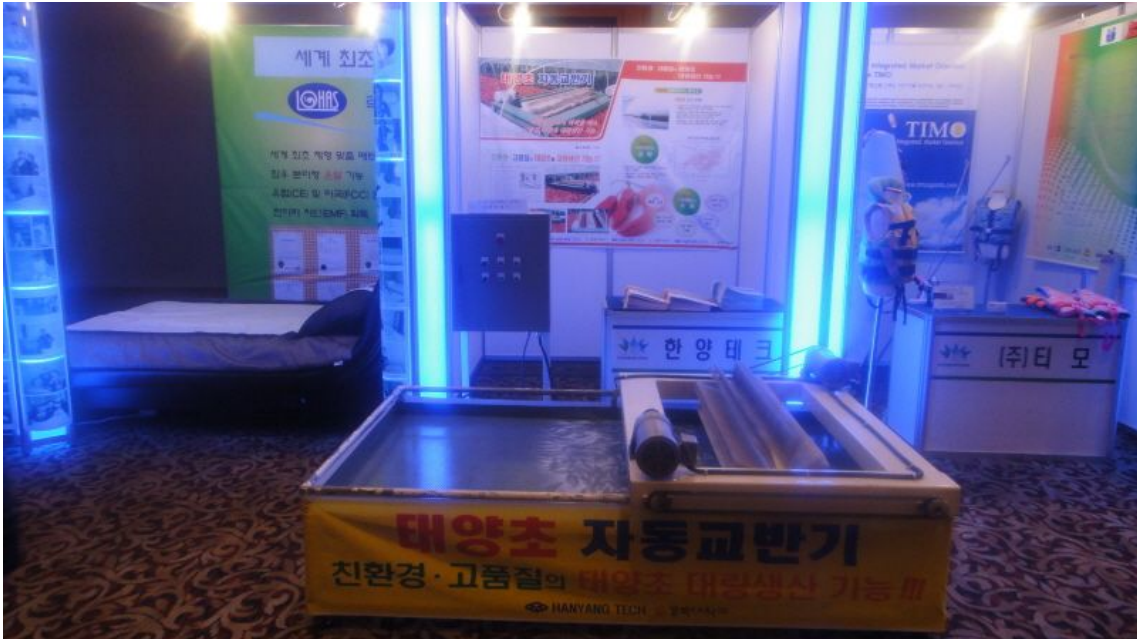
특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
* 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
* 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 국내출원건을 외국에도 출원하고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정 받을 수 있습니다.
* 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12월, 상표·디자인은 6월 이내
* 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
* 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

2. 전시회 참가

- 행사명 : 대구 경북 첨단벤처산업대상 전시회
- 기간 : 2010년 12월 9일
- 장소 : 대구 인터블고호텔



3. 홍보실적

- KBS 뉴스9 보도(2009년 10월 8일)

1) [KBS 뉴스9] 태양초 건조 기계 개발(2009년 10월 8일)



수확한 고추의 10% 정도를 태양초로 만들고 있는 농가입니다. 태양초는 일반 고추보다 6백 그램 기준 3천 원 정도 더 받을 수 있지만 손이 많이 가 대량생산이 어렵습니다. 말릴 때 자주 뒤집어줘야 하고 건조 기간도 길어 노동력이 많이 소요되기 때문입니다.

<인터뷰> 서순태/청송군 파천면

"일일이 다 뒤집어 주면 허리 끊어질 것 같아요. 여름에 온실 안에 들어가면 70도나 되니까 화상 입을 정도고"

청송군과 경북대 등이 이런 문제점을 해결해 줄 고추 자동 뒤집기 기계를 개발했습니다. 수작업으로 할 경우 맑은 날 기준 총 건조 기간이 6~7일 정도 걸리지만 이 기계를 사용하면 여러 번 뒤집게 돼 기간을 반으로 줄일 수 있습니다. 솔이 돌아가며 고추를 뒤집는 방식으로 보통 하루 1번 뒤집는 것을 4~5차례로 늘릴 수 있습니다. 노동력은 절감되고 생산량은 두 배 정도 늘어날 것으로 예상됩니다. 하지만 건조 과정에서 생기는 일부 흠집은 보완해야 할 부분입니다.

<인터뷰> 경북대학교 교수

"현재 0.5mm 솔을 사용하니까 건조가 많이 된 고추는 흠이 생기더라고요. 그래서 0.4mm로 교체하면 가장 적정할 것으로 보입니다."

이 기계는 내년 봄 시중 보급을 앞두고 있어 내년 고추 수확철부터 태양초 생산에 본격 사용될 계획입니다.

KBS뉴스 안다영입니다.

안다영기자

입력시간 : 2009.10.08 (14:56)

□ 매일신문 보도(2009년 10월 14일)

2) 매일신문 보도(2009년 10월 14일)

고추 자동으로 뒤집는 '태양초 건조 기계' 개발

농림수산식품부 지원, 청송군 · 경북대 김진현 교수 · 한양테크 산학연공동연구



청송지역 태양초 고추 생산의 획기적 전기가 될 '태양초 건조 기계'가 개발돼 고추 생산농가들이 크게 반기고 있다. 청송군과 경북대 김진현 교수, 한양테크 등이 고추를 자동으로 뒤집어 주는 기계를 개발한 것. 청송군 고추재배 농가들은 수확한 고추의 10% 정도를 태양초로 만들고 있다. 태양초의 경우 일반 화근 고추보다 600g당 3천원 정도 더 비싸지만, 대량생산이 어려웠다.

김영식(65·청송 파천면 송강리)씨는 "고추를 말릴 때 손으로 뒤집어줘야 해 허리 통증이 심했고, 여름에는 70℃를 오르내리는 비닐하우스 안 고온으로 화상을 입을 때도 있었다"고 했다.

고추 건조는 수작업으로 할 경우 맑은 날 기준 6, 7일 정도 걸리지만, 이 기계를 사용하면 기간을 절반으로 줄일 수 있다. 또 솔이 돌아가며 고추를 뒤집는 방식으로 보통 하루 1번 뒤집는 것을 4, 5차례로 늘릴 수 있다.

한동수 군수는 "이 기계는 내년 봄 시중보급을 앞두고 있어 내년 수확철부터 태양초 생산에 본격 사용될 것"이라고 말했다.

청송·김경돈기자 kdon@msnet.co.kr

Copyrights © 1995-, 매일신문사 All rights reserved.

□ 영남 YBN 뉴스(2010년 9월 2일)

3) 2010년 9월 2일 뉴스보도(2차년 연구결과 현장평가)

[영남YBN뉴스] 태양초 자동교반기계 개발



□ KBS 뉴스9 보도(2010년 9월 13일)

4) 2010년 9월 13일 뉴스보도(2차년 연구결과 현장평가)

[KBS 뉴스9] 태양초 건조기 개량



<앵커멘트>

요즘 수확철을 맞아 고추 농가에선 고추를 따고 말리는 작업이 한창인데요. 때 맞춰 태양초 건조기가 개발돼 농가에 호응을 얻고 있습니다. 김준범 기자의 보도입니다.

<리포트>

건조 중인 고추 위로 전동솔이 쉴새없이 돌아갑니다. 솔이 지나가고 나면, 고추

는 위아래가 뒤집혀 나옵니다. 이렇게 건조대 위에 깔린 고추를 차례로 뒤집습니다. 청송군과 경북대가 함께 개발한 '태양초 건조기'입니다. 지금까지 태양초는 하루에 서너 차례씩 손으로 고추를 뒤집어야 했습니다. 건조를 위해 비닐하우스 안을 섭씨 60~70도로 유지하기 때문에, 농민들로선 큰 고역이었습니다.

<인터뷰>서순태/청송군 송강리

"이만큼 뒤집고 나면 한 30분 걸리는데, 다 뒤집고 나면 한증막에 들어간 것보다 더하죠."

건조기가 힘든 과정을 대신할 수 있는 만큼 태양초 생산을 늘리는 데 한 몫 할 것으로 보입니다. 태양초를 늘릴수록 농가로선 이득입니다. 보통 이런 태양초는 일반 고추보다 50% 정도 가격을 더 받기 때문에 농가 소득을 올리는 데도 큰 도움이 될 것으로 기대됩니다. 기존의 열풍 방식처럼 기름이나 전기를 대량으로 쓰지 않기 때문에 연료비도 크게 줄일 수 있습니다.

<인터뷰>김진현/경북대학교 기계공학과

"전기나 석유를 쓰게 되면 kg당 150~200원 정도 소요되는데, 지금 이 자동 교반 장치 같은 경우는 태양초 100kg에 100원 정도 소요되니까."

청송군은 올해 안에 태양초 건조기 특허를 출원하고, 내년부턴 일선 농가에 시범 보급할 계획입니다.

KBS 뉴스, 김준범입니다.

김준범 기자

입력시간 : 2010-09-13 (19:50)

□ 경북일보 보도(2010년 9월 14일)

5) 2010년 9월 14일 경북일보

청송, 태양초 건조 자동교반기 개발

건조시간 2배로 단축 균일 건조 상품가치 높여

기사입력 | 2010-09-14



농림수산식품부 지원, 청송군 농업기술센터 등이 공동으로 개발한 자동교반기계. 태양초 건조를 위한 자동교반기계가 개발돼 청송지역 고추농가들의 소득향상에 크게 기여할 것으로 보인다.

경북 청송군 농업기술센터, 경북대학교 김진현 교수, 한양테크가 공동으로 연구한 '고품질 태양초 온실 자연건조를 위한 자동교반기계' 기계가 13일 청송군 파천면 송강리에서 시연회를 가졌다.

현재까지 태양을 이용한 태양초 고추 생산을 위해 노력했으나 수시로 고온에서 잔손질을 해야 하고 건조시간이 오래 걸려 농가들의 큰 불편을 가져왔다.

그러나 이번에 개발한 태양초 자동 교반기는 6일 정도 걸리던 건조시간을 3일 만에 건조시켜 관행대비 2배로 건조시간이 줄이는 효과가 있는 것으로 나타났다.

또 건조 균일도 면에서도 상·하층간의 고추 함유율의 균일도가 일정하여 아래와 위가 다 같이 균일하게 건조되어 상품가치를 높일 수 있는게 특징이다.

청송군농업기술센터 심장섭 과장은 "지역의 특화작목인 고추의 새로운 태양초 건조방법은 상품성 향상과 노력 절감은 물론 저탄소 녹색성장에도 큰 도움이 될 것"이라고 말했다.

김세종기자 kimsj@kyongbuk.co.kr

© 경북일보 &kyongbuk.co.kr, 무단 전재 및 재배포 금지

4. 교육

□ 청송군 농업기술센터 담당자 교육 실시(2009년 9월 25일)



5. 시책건의

□ 청송군 : 온실 고품질 태양초 생산확대를 위한 자동교반기 보급(2010년 11월 15일)

태양초 자동교반기

❖ 고품질 태양초는 도시 소비자가 가장 선호하지만 생산량이 제한
 ❖ 온실태양초 생산은 건조시간이 길고 호린날 온풍연료 비용과다
 ❖ 온실 자동교반기를 통한 생산량 2배 증대, 호린날 에너지소모 획기적 절감이 필요(정부 녹색성장에 부합)
 ❖ 고품질 태양초 생산을 위한 건조 관리성 및 노동력 절감 필요

□ 사업개요

- 사업내용 : 온실 고품질 태양초 생산확대를 위한 자동 교반기의 보급
- 주요시설 : 100평 규모의 온실에 적합한 자동교반기
- 소요사업비 : 2,000만원(농가당) × 2농가 = 4,000만원
- 100평 규모 : 농가당 2대 소요
- 2대×1,000만원(자동교반기 셋, 50평당 1대)×2농가=4,000만원

□ 경제성 분석

- 벌크건조와 비교 : 10,000군(6,000kg) 생산시 1,800,000원 전기요금 절감
- 인력온실건조 비교 : 생산량 2배 증가, 5,000군(3,000kg) 증가시 연간 2,000만원 수익 증대
- 100평 규모 온실 설치시 : 자동교반기 설치비용의 2배 수익성 확보 가능

□ 추진계획

- 태양초 판매 확보된 2개의 농가 선정
- 농가당 100평 규모(각 2대 설치) : 2011년 5~6월 완료
- 시운전 및 보완 : 2011년 7월
- 농가 생산 : 2011년 8월부터



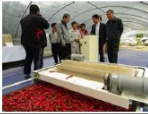

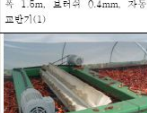



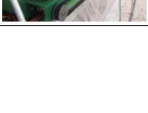
□ 사업효과

- 농가효과 :
 - 노동력 : 30% 절감(온실 내부온도 약 70℃, 습도 80% 이상)
 - 태양초 생산량 : 2배 증가(5,000평 규모 농가 기준 연간 2,000만원 증가)
 - 고품질 태양초 : 건조 균일성 2배 증가
 - 호린 날 온풍에너지 : 50% 절감

□ 건의사항

- 경북 청송군의 요청으로 개발된 자동교반기를 우선 청송군을 중심으로 보급이 필요
- 태양초 생산 농가의 경북 북부권에서 건축적 보급이 필요
- 태양초 생산의 에너지 절감 기술, 친환경 기술로 적극적 관심 필요

□ 사진자료

관해건조 장면(일명대지 농가(정수, 조지현, 송장희)) 	관해건조장면(보도자료) 	1차년도 시험평가(2009년 9월) 
1차년도 평가후 HBS 보도자료(2009년 9월) 	폭 1.6m, 보러의 0.4mm 자동교반기(1) 	폭 1.6m, 보러의 0.4mm 자동교반기(2), HBS 등 보도(2010년 10월) 
신작의 활용 우수지출이집가 개용 개용 	폭 1.6m, 보러의 0.4mm 자동교반기(1) 	폭 1.6m, 보러의 0.4mm 자동교반기(2), HBS 등 보도(2010년 10월) 

6. 기타 활용실적

□ 제작업체의 카탈로그 제작

태양초 자동교반기

(특허출원중)



태양초 자동교반기

친환경 고품질 태양초 대량생산 가능!!!



1일 5~7회 이상 자동교반
 건조시간 50% 단축, 균질 건조, 균질 품질, 작업효율성, 노동력 절감
친환경 고품질의 태양초 생산량 200% 증대!!!

HANYANG TECH 경북대학교

대구광역시 북구 황산로 552-2(황학동 350-6)
 TEL: (053) 3331-1111(영남) 9482: (053) 3331-9959 H.F: 011-503-7479
 E-mail: hanyangtech@naver.com Homepage: http://www.hytc.kr

HANYANG TECH 경북대학교



태양초 자동교반기

태양초 건조시 어려움 해소 고품질 태양초 대량생산 가능

친환경· 고품질의 태양초 대량생산 가능!!!

태양초 자동교반기의 필요성

태양초 생산 현황

- ▶ 고온건조기에 비닐하우스 내부온도는 70℃ 이상 이어서 고온을 건조하는 조건이 매우 많음
- ▶ 비닐하우스 건조시 황사(미세먼지)의 발생이 많고 환풍 날개는 건조거리가 10~15m로 길어져 품질 저하 우려되고 환풍기 손상이 등
- ▶ 비닐하우스 건조시 자동교반기에 의해 일일 5~7회 교반시작해 건조시간을 50% 단축 시킬 수 있음.

태양초 자동교반기의 실험

▶ 균등계수가 낮아 관행 태양초 생산보다 50% 균질함

▶ 자동교반시 건조시간이 50% 단축되고 고품질이 태양초 생산 가능

건조시간과 함수율 실험 자료



건조 시간 (hr)	관행 (함수율 %)	자동교반 (함수율 %)
0	~95	~95
10	~85	~85
20	~75	~75
30	~65	~65
40	~55	~55
50	~45	~45
60	~35	~35
70	~25	~25
80	~15	~15
90	~5	~5

태양초 자동교반기의 효과

- ▶ **노동력 절감 90%**
- ▶ **작업효율 감소**
- ▶ **균등 품질 2배**
- ▶ **평균 건조시간 50% 단축**
- ▶ **쉽고 빠른 건조**

친환경· 고품질의 태양초 대량생산 가능!!!

고추 저온으로 품질을 높이는 태양초 건조기 개발

태양초 건조기 개발을 위한 연구진은 고추의 특성을 고려하여 건조 온도를 낮추고 환풍기를 설치하여 고추의 수분을 고르게 건조시키며, 건조 시간을 단축시켜 고추의 품질을 높이는 데 성공했다.





제2절 활용계획

국내 및 국외시장 분석결과 태양초에 대한 관심이 높고 일반 화건초보다 높은 가격과 품질로 생산 및 판매가 이루어지고 있으나, 생산단계에서 많은 노동력이 소요되어 농가의 애로사항이 많으므로 본 연구과제에서는 고품질 태양초 생산을 위한 자동 반전장치에 관한 연구를 추진하여 농업기술센터 등을 통해 제품을 홍보하고 고추재배 및 태양초 생산농가에 판매할 계획이다.

1. 기술이전

본 연구팀의 참여기업인 한양테크에서 사업화를 위해 본 연구에서 개발 제작된 시작품을 경상북도 청송군의 태양초 생산 농가에 설치하였으며, 본 연구가 종료되는 시점에 기술이전을 실시할 계획에 있다.

2. 자체 사업화

본 연구팀의 참여기업인 한양테크에서 본격적으로 자체 사업화를 실시할 계획에 있다.

3. 관련 인증 획득

개발된 태양초 교반 시스템은 “신기술”, “신규특허”, “EM” 마크를 획득하여 기술의 신뢰성을 높일 예정이며, 정부의 저리 융자 등 자금지원 대상품목 자격을 취득할 예정이다.

4. 연사회 개최 및 학술대회 발표

고추재배농가 및 관련단체 등에게 연사회를 개최하고 한국농업기계학회 등 연구회에 연구내용을 발표할 예정에 있다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. Study of the drying kinetics of green bell pepper and chemical characterization

STUDY OF THE DRYING KINETICS OF GREEN BELL PEPPER AND CHEMICAL CHARACTERIZATION

J. M. F. Faustino, M. J. Barroca and R. P. F. Guiné*

Department of Food Engineering, ESAV, Polytechnic Institute of Viseu, Viseu, Portugal.

Abstract: The present work aimed, on one hand, the study of the drying of green peppers, in terms of drying kinetics evaluated at 30°C, 40°C, 50°C, 60°C and 70°C, having the experimental data been fitted to different empirical kinetic models from literature. This kinetic study was then complemented with the modelling in terms of Fick's diffusion equation.

On the other hand, the chemical characterization in fresh and after drying at the lowest and highest temperatures was analysed, for evaluation of the effect of drying and drying temperature on the chemical composition of the product. In this way, the analyses made were: moisture content, sugar content, proteins, ash, fat, fibre and acidity.

From the results obtained, it was concluded that the empirical models that best describe the dehydration kinetics were the Page and Newton models. From the experimental data was possible to estimate the diffusivities, which range between 9.0×10^{-10} at 30°C and 8.0×10^{-9} m² s⁻¹ at 70°C.

Moreover, it was verified that drying influences the chemical composition of the peppers, but, conversely, the influence of the drying temperature was not very significant.

Keywords: bell pepper; capsicum annum; dried bell pepper; drying kinetics; chemical characterization; nutritional value.

INTRODUCTION

Capsicum is a genus of plants from the nightshade family (Solanaceae). Some of them are used as spices, vegetables or even medicines. The fruit of *Capsicum* plants can have a variety of names depending on place and type, being commonly called chilli pepper, red or green pepper or just pepper.

The bell pepper refers to the actual fruit of the capsicum plant, being this term used in North America. In Britain it is simply referred to as 'pepper', whereas in many countries such as India, Malaysia and Australia it is called 'capsicum'. In areas such as Scandinavia, Hungary, Germany and Indonesia bell peppers are commonly called 'paprika', and in France they are called 'poivron', with the same root as *poivre* (meaning black pepper). 'Pimento' or 'pimentão' are Portuguese words for bell pepper, while 'pimenta' refers both to chilli peppers and to black pepper.

The 'Pimento' is a variety of large, red, heart-shaped chile pepper (*Capsicum annum*) that measures 7–10 cm long and 5–7 cm wide (medium, elongate). These 'pimentos' are the familiar red stuffing found in green olives. They are eaten green or ripe and are used for salads, soups, stews, relishes and pickling.

They are fleshy and heavily seeded, and mature from green to red. They vary in size, colour and flavour and the level of heat as measured in Scoville heat units. The higher the number of Scoville heat units, the hotter the pepper. The fruit of most species of *Capsicum* contains capsaicin (methyl vanillyl nonenamide), a lipophilic chemical that can produce a strong burning sensation in the mouth. Bell peppers contain a recessive gene that eliminates the capsaicin in the fruit.

The colour can be green, red, yellow, orange and, more rarely, white, purple, blue, black and brown, depending on when they are harvested. Green peppers are unripe bell peppers, while the others are all ripe, with the colour variation based on cultivar selection (Simonne *et al.*, 1997). Because they are unripe, green peppers are less sweet and slightly more bitter than yellow, orange or red peppers, which all have a rather similar hot taste. The taste of ripe peppers can also vary with growing conditions and post-harvest storage treatment. The fruits allowed to ripen fully on the plant in full sunshine are the sweetest, while the fruits harvested green and after-ripened in storage are less sweet.

*Correspondence to:
Professor Raquel
P.F. Guiné, Quinta da
Alagoa, Estrada de Nelas,
Ranhados, 3500-606 Viseu,
Portugal.
E-mail: raquelguine@
esav.ipv.pt

DOI: 10.1205/tp07009

0960-3085/07
\$30.00 + 0.00

Food and Bioproducts
Processing

Trans IChemE,
Part C, September 2007

© 2007 Institution
of Chemical Engineers

IChemE

163

Vol 85 (C3) 163–170

2. Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper

Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper

Karina Di Scala^{a,c,*}, Guillermo Crapiste^{b,c}

^aGrupo de Investigación en Ingeniería en Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Juan B. Justo 4302, Mar del Plata 7600, Argentina

^bPLAPIQUI (Universidad Nacional del Sur—CONICET), Camino La Carrodanga km. 7, C.C. 717, 8000 Bahía Blanca, Argentina

^cCONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), Argentina

Abstract

A mathematical model is proposed to simulate the process of drying of individual pieces of red pepper under constant external conditions and to predict changes in some nutritional and organoleptic attributes of the product. The model was solved numerically to obtain moisture content and temperature as well as ascorbic acid and carotenoids concentration in the product as a function of time. A good agreement between predictions and experimental data at different drying temperatures was obtained.

Water sorption isotherms of red pepper were determined in the range 20–50 °C and represented by two different sorption equations. Drying kinetics were represented by a diffusive model, the effective moisture diffusivity ranging from 5.01 to 8.32×10^{-10} m²/s with an activation energy of 23.35 kJ/mol. Degradation kinetics for ascorbic acid and total carotenoids were measured in the range 50–70 °C and modelled as first-order reactions. The rate constants increased with temperature and product moisture content. Average activation energies for carotenoids and vitamin C degradation were 50.1 and 26.9 kJ/mol, respectively.

Keywords: Drying; Sorption isotherm; Ascorbic acid; Carotenoids; Red pepper

1. Introduction

The increasing demand for high-quality shelf-stable dried vegetables requires the design, simulation and further optimization of the drying process with the purpose of accomplishing not only the efficiency of the process but also the final quality of the dry product. During drying, vegetables undergo physical, structural, chemical, organoleptic and nutritional changes that cause quality degradation (Crapiste, 2000).

Red pepper (*Capsicum annuum* L.), as other vegetables, is a good source of antioxidant substances such as carotenoids (provitamin A) and vitamin C, which confer protection against carcinogenic components and delay the aging

process (Howard, Smith, Wagner, Villalon, & Bums, 1994; Simonne, Simonne, Eitenmiller, Mills, & Green, 1997). Dried red pepper or paprika is one of the most important vegetable spices, its quality being determined mainly by colour (Minguez-Mosquera, Jarén Galán, & Garrido-Fernández, 1992; Nagle, Villalon, & Burns, 1979). Carotenoids are responsible for the colour (Davies, Matthews, & Kirk, 1970; Minguez-Mosquera & Hornero-Méndez, 1993; Reeves, 1987) and their contents are related to varietal and technological factors (Biacs, Czinkotai, & Hoschke, 1992; Carbonell, Piñaga, Yusá, & Peña, 1986; Minguez-Mosquera, Pérez-Galvez, & Garrido-Fernandez, 2000).

Some previous research has been presented in the literature on the dehydration of red pepper. Turhan, Turhan, and Sahbaz (1997), Ramesh, Wolf, Tevini, and Jung (2001) and Doymaz and Pala (2002) studied the drying kinetics of red pepper under different pretreatments and drying conditions. Other authors reported the influence of drying on various quality parameters such as carotenoids and non-enzymatic browning (Lee &

*Corresponding author. Grupo de Investigación en Ingeniería en Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Juan B. Justo 4302, Mar del Plata 7600, Argentina.
Tel.: +54 2234816600.

E-mail address: kdiscal@fi.mdp.edu.ar (K. Di Scala).

3. Mathematical model for prediction of moisture content in jalapeno pepper

MATHEMATICAL MODEL FOR PREDICTION OF MOISTURE CONTENT IN JALAPEÑO PEPPER (*Capsicum frutescens*)

MODELO MATEMÁTICO PARA LA PREDICCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
EN CHILE JALAPEÑO (*Capsicum frutescens*)

MODELO MATEMÁTICO PARA A PREDICCIÓN DO CONTIDO DE HUMIDADE
EN CHILE JALAPEÑO (*Capsicum frutescens*)

Ochoa-Martínez, L. A.; Gallegos-Infante, J. A.*; Morales-Castro, J.; Medrano-Roldán, H.; Rocha-Guzmán, N. E.

Instituto Tecnológico de Durango, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. Blvd. Felipe Pescador 1830 Ote. Durango, Dgo. C.P. 34080 México.

*Corresponding author. e-mail: jinfañtel@starmedia.com

Recibido: 26 de Junio de 2003; recibida versión revisada: 14 de Octubre de 2003; aceptado: 16 de Octubre de 2003
Received: 26 June 2003; revised version received: 14 October 2003; accepted: 16 October 2003

Abstract

A model to predict the moisture content in jalapeño peppers (*Capsicum frutescens*) has been presented. The product was dried under five drying temperatures (50, 60, 70, 80 and 95°C), and these experiments provided data for model formulation. Analysis of the simulated results have indicated that there are two possible mechanisms for jalapeño peppers drying, both of which are a function of the temperature. It was found that one mechanism occurs below 60°C and the other at temperature above 80°C. © 2004 Altaga. All rights reserved.

Keywords: Capsicum, drying mechanisms, model

Resumen

En este trabajo, se presenta un modelo para predecir el contenido de humedad en chile jalapeño (*Capsicum frutescens*). El producto se deshidrató a cinco diferentes temperaturas (50, 60, 70, 80 y 95°C), cuyos datos experimentales se utilizaron en la formulación del modelo. El análisis de resultados, indicó que existen dos posibles mecanismos en el secado del chile jalapeño, los cuales están en función de la temperatura. Se encontró que un mecanismo ocurre por debajo de 60°C y el otro a temperatura por encima de 80°C. © 2004 Altaga. Todos los derechos reservados.

Palabras clave: Capsicum, mecanismos de secado, modelo

Resumo

Neste traballo, preséntase un modelo para predecir o contido de humidade en chile jalapeño (*Capsicum frutescens*). O produto deshidratouse a cinco diferentes temperaturas (50, 60, 70, 80 y 95°C), cuos datos experimentais utilizáronse na formulación do modelo. A análise de resultados, indicou que existen dous posibles mecanismos no secado do chile jalapeño, os cales están en función da temperatura. Encontrouse que un mecanismo ocorre por debaixo de 60°C e o outro a temperatura por riba de 80°C. © 2004 Altaga. Todos os dereitos reservados.

Palabras chave: Capsicum, mecanismos de secado, modelo

4. Equilibrium moisture content of bell pepper

INTERNATIONAL JOURNAL OF FOOD PROPERTIES, 3(3), 459–464 (2000)

EQUILIBRIUM MOISTURE CONTENT OF BELL PEPPER

U. S. Shivhare*, J. Ahmed, and Manpreet Singh

Department of Food Science and Technology
Guru Nanak Dev University, Amritsar 143 005, INDIA

*Corresponding author (Tel.: 91-0183-220667, Fax: 91-0183-258820, and E-mail:
fst@gndu.ernet.in)

ABSTRACT

Equilibrium moisture content (EMC) of bell pepper at selected levels of temperature (30-70°C) and relative humidity (10-75%) of the surrounding air was determined experimentally by the static method. The EMC increased with relative humidity but decreased with increase in temperature. Results demonstrated that Henderson model predicted accurately the variation of EMC with relative humidity at selected temperatures. The standard error was less than 0.077 while correlation coefficient was greater than 0.942 in all cases.

INTRODUCTION

EMC is defined as the moisture content of the hygroscopic products such as dried food materials once it has reached in equilibrium with the surrounding air. Vapor pressure present in the food material equals that of surrounding air. EMC plays a significant role in storage and drying applications. EMC indicates whether the product will lose or absorb moisture for the given temperature and relative humidity of the surrounding atmosphere (Brooker et al., 1974).

Bell pepper (*Capsicum frutescens* var. *grossum*), known as sweet pepper is one of the most liked green vegetables throughout the world. It is used in both conventional and fast food preparations. Bell pepper is a rich source of vitamins; a 100 g edible portion contains about 92.4% moisture, 1.2g protein, 11 mg calcium, 870 I.U. vitamin, 175 mg ascorbic acid, 0.06 mg thiamine, 0.03 mg riboflavin and 0.55 mg niacin. Large sized bell peppers are valued for its crisp texture, delicate but characteristic aroma, and attractive green color in salad and stuffing (Govindrajan, 1986). Bell pepper is available only during the harvesting season due to its perishable nature and its shelf life is limited

5. Mathematical modeling for drying kinetics of black pepper under open sun

1 **Mathematical modeling for drying kinetics of black pepper (*Piper nigrum*) under**
2 **open sun**

3
4 E Jayashree, T John Zachariah, B Chempakam and K Alaguselvi¹

5
6 *Indian Institute of Spices Research*
7 *Marikunnu P.O., Calicut-673 012, Kerala, India*
8 *E-mail: ejayasree05@yahoo.com*

9
10
11 **Abstract**

12 The sun drying behaviour of black pepper (*Piper nigrum*) varieties, Sreekara and
13 Panniyur-1 was studied and from the drying curves it was observed that constant rate
14 drying period was absent. The drying process took place in the falling rate period.
15 Sreekara took 38 h to dry from initial moisture content of 244.82 % dry basis (d.b.) to the
16 final moisture content of around 9.77 % d.b. Whereas Panniyur-1 took 40 h to dry from
17 initial moisture content of around 270.37 % d.b. to the final moisture content of around
18 9.63 % d.b. The drying data were fitted to eight different mathematical models. The
19 performance of these models was investigated by comparing the coefficient of
20 determination (r^2), root mean square error (RMSE), mean bias error (MBE) and mean
21 square of deviation (χ^2) between the observed and predicted moisture ratios. Among the
22 models, the diffusion approximation model was found most suitable to explain the thin
23 layer open sun drying behaviour of black pepper. The effective moisture diffusivity
24 during drying of black pepper was $4.13 \times 10^{-07} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ for Sreekara and $4.90 \times 10^{-07} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$
25 for Panniyur-1.

26 **Keywords:** Black pepper, sun drying, thin layer modeling

27

6. Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper



Available online at www.sciencedirect.com



LWT 41 (2008) 789–795



www.elsevier.com/locate/lwt

Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper

Karina Di Scala^{a,c,*}, Guillermo Crapiste^{b,c}

^aGrupo de Investigación en Ingeniería en Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Juan B. Justo 4302, Mar del Plata 7600, Argentina

^bPLAPIQUI (Universidad Nacional del Sur—CONICET), Camino La Carrindanga km. 7, C.C. 717, 8000 Bahía Blanca, Argentina

^cCONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), Argentina

Received 9 March 2007; received in revised form 13 June 2007; accepted 14 June 2007

Abstract

A mathematical model is proposed to simulate the process of drying of individual pieces of red pepper under constant external conditions and to predict changes in some nutritional and organoleptic attributes of the product. The model was solved numerically to obtain moisture content and temperature as well as ascorbic acid and carotenoids concentration in the product as a function of time. A good agreement between predictions and experimental data at different drying temperatures was obtained.

Water sorption isotherms of red pepper were determined in the range 20–50 °C and represented by two different sorption equations. Drying kinetics were represented by a diffusive model, the effective moisture diffusivity ranging from 5.01 to 8.32×10^{-10} m²/s with an activation energy of 23.35 kJ/mol. Degradation kinetics for ascorbic acid and total carotenoids were measured in the range 50–70 °C and modelled as first-order reactions. The rate constants increased with temperature and product moisture content. Average activation energies for carotenoids and vitamin C degradation were 50.1 and 26.9 kJ/mol, respectively.

© 2007 Swiss Society of Food Science and Technology. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Drying; Sorption isotherm; Ascorbic acid; Carotenoids; Red pepper

1. Introduction

The increasing demand for high-quality shelf-stable dried vegetables requires the design, simulation and further optimization of the drying process with the purpose of accomplishing not only the efficiency of the process but also the final quality of the dry product. During drying, vegetables undergo physical, structural, chemical, organoleptic and nutritional changes that cause quality degradation (Crapiste, 2000).

Red pepper (*Capsicum annuum* L.), as other vegetables, is a good source of antioxidant substances such as carotenoids (provitamin A) and vitamin C, which confer protection against carcinogenic components and delay the aging

process (Howard, Smith, Wagner, Villalon, & Bums, 1994; Simone, Simone, Eitenmiller, Mills, & Green, 1997). Dried red pepper or paprika is one of the most important vegetable spices, its quality being determined mainly by colour (Minguez-Mosquera, Jarén Galán, & Garrido-Fernández, 1992; Nagle, Villalon, & Burns, 1979). Carotenoids are responsible for the colour (Davies, Matthews, & Kirk, 1970; Minguez-Mosquera & Hornero-Méndez, 1993; Reeves, 1987) and their contents are related to varietal and technological factors (Biacs, Czinkotai, & Hoshcke, 1992; Carbonell, Piñaga, Yusá, & Peña, 1986; Minguez-Mosquera, Pérez-Galvez, & Garrido-Fernandez, 2000).

Some previous research has been presented in the literature on the dehydration of red pepper. Turhan, Turhan, and Sahbaz (1997), Ramesh, Wolf, Tevini, and Jung (2001) and Doymaz and Pala (2002) studied the drying kinetics of red pepper under different pretreatments and drying conditions. Other authors reported the influence of drying on various quality parameters such as carotenoids and non-enzymatic browning (Lee &

*Corresponding author. Grupo de Investigación en Ingeniería en Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Juan B. Justo 4302, Mar del Plata 7600, Argentina.

Tel.: +54 2234816600.

E-mail address: kdiscala@fimdp.edu.ar (K. Di Scala).

7. Drying of red pepper in open sun and greenhouse conditions mathematical modeling and experimental validation



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Journal of Food Engineering 79 (2007) 1094–1103

JOURNAL OF
FOOD
ENGINEERING

www.elsevier.com/locate/jfoodeng

Drying of red pepper in open sun and greenhouse conditions Mathematical modeling and experimental validation

Sami Kooli^a, Abdelhamid Fadhel^{a,*}, Abdelhamid Farhat^a, Ali Belghith^b

^a Institut National de Recherche Scientifique et Technique, BP 95, Hammam-If, Tunis 2050, Tunisia

^b Faculté des Sciences de Tunis, Département de Physique, Le Belvédère 1002, Tunisia

Received 11 May 2005; accepted 21 March 2006

Available online 18 April 2006

Abstract

In order to study the drying of red pepper in open sun and greenhouse conditions drying experiments at constant laboratory conditions and at varying outdoor conditions were carried out. Laboratory drying experiments were undertaken, inside a wind tunnel where solar radiation was simulated by a 1000 W lamp, for different external parameters (incident radiation, ambient temperature and air velocity). Effect of drying parameters on moisture content and drying time were determined. A simple drying model of red pepper related to water evaporation process was developed and verified. Outdoor drying experiments were carried out in open sun and greenhouse conditions respectively to validate the drying model obtained at laboratory under constant conditions. It was found that the laboratory model overestimates the drying process under time varying conditions. A correction factor was then introduced in the formulation of the model to adjust these predictions.

In studying the consistency of the model coefficient of determination and reduced chi-square were used. The results of these tests have confirmed the consistency of the model at laboratory under constant conditions and in open sun and greenhouse conditions.

© 2006 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Open sun drying; Greenhouse drying; Solar radiation; Modeling; Pepper

1. Introduction

Open air natural sun drying presents some problems making this operation not always suited to large scale production. Among them, the most important one are: lack of ability to control the drying operation properly, the length of the drying time, whether uncertainties, high labor costs, large area requirement, insect infestation, mixing with dust and other foreign materials and so on.

Solar tunnel dryers based on plastic tunnel greenhouses have a great potential in Tunisia. These can be exploited in summer, when inside temperature is very high, for drying agricultural products and may become a more convenient alternative.

Simulation models are helpful in designing new or in improving existing drying systems or for the control of the drying operation. Modeling drying of crops under solar energy is a complex problem involving simultaneous heat and mass transfer in a hygroscopic nature of crop. The drying rate depends on a number of external variable parameters (solar irradiation, ambient temperature, relative humidity and wind velocity) and internal parameters (initial moisture contents, type of crops, crop absorptivity, mass of product per unit exposed area etc.)

The drying kinetics of materials may be described completely using their transport properties (thermal conductivity, thermal diffusivity, moisture diffusivity and heat and mass transfer coefficients) together with these of drying medium. Ratti and Mujundar (1997) developed a diffusion model based on Fick's law and simulation code of solar dryer, using heat and mass balances, applied to solid and gas phases with time varying air conditions. The results

* Corresponding author.

E-mail address: fad_ham@yahoo.fr (A. Fadhel).

8. Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Journal of Food Engineering 85 (2008) 42–50

JOURNAL OF
FOOD
ENGINEERING

www.elsevier.com/locate/jfoodeng

Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. Lamuyo)

A. Vega-Gálvez^{a,*}, R. Lemus-Mondaca^a, C. Bilbao-Sáinz^b, P. Fito^c, A. Andrés^c

^a Department of Food Engineering, Universidad de La Serena, Av. Raúl Bitrán s/n. 599, La Serena, Chile

^b Department of Biological Systems Engineering, Washington State University, Pullman, WA 99164-6120, USA

^c Department of Food Technology, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n. 46022, Valencia, Spain

Received 2 January 2007; received in revised form 29 May 2007; accepted 26 June 2007

Available online 2 August 2007

Abstract

Red pepper samples (*Capsicum annuum* L.) were dried at four air inlet temperatures from 50 to 80 °C and rehydrated in water at 30 °C to study the influence of air drying temperature on the quality and microstructural properties of the rehydrated tissue. A determination was made on the effects of sample pretreatment on the drying process; samples were immersed in a solution containing NaCl, CaCl₂ and Na₂S₂O₃ prior to drying at 70 °C. At the end of the rehydration process several quality parameters were analyzed, including the rehydration ratio, water retention capacity, colour, firmness, vitamin C content and microstructure. The results showed that the best quality product was obtained when samples were pretreated before drying. Microscopic examination of the rehydrated pepper samples suggested that damage to cellular structure was minimized by pretreatment of samples; the resulting rehydrated peppers displayed comparatively improved vitamin C retention, colour, and firmness.

© 2007 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Red pepper; Air drying; Rehydration; Quality; Microstructure

1. Introduction

The red bell pepper (*Capsicum annuum* L.) variety Lamuyo is in high commercial demand by the global food industry, based on its aromatic, colouring, and flavoring properties. Dehydrated pepper has commonly been obtained by hot air drying, which allows rapid and massive processing, although the maintenance of nutritional and commercial quality of this pepper through the process has presented some serious problems in the past. Some studies cited in the literature have addressed the influence of drying conditions on the quality characteristics of the dehydrated product (Carbonell, Piñaga, Yusá, & Peña, 1986; Simal, Garau, Femenia, & Rosselló, 2005). Conventional drying of pepper causes a major loss of colour and texture quality of the final product.

Undesirable changes in the colour may lead to a decrease in its quality and marketing value, therefore, the surface colour of the pepper is an important criterion. Loss of red colour is caused by autoxidation of carotenoids. The stability of the main carotenoids of the red bell pepper during storage has been shown to depend on the drying conditions, with the rate of deterioration increasing as the drying temperature increases (Carbonell et al., 1986; Doymaz & Pala, 2002). Weak chemical treatments including the application of antioxidants and calcium salts to the peppers prior to drying have helped to improve the acceptability of final products by avoiding deterioration in colour, vitamins, and texture (Turhan, Turhan, & Sahbaz, 1997). Red bell pepper contain not only carotenoids as natural antioxidants but also other components such as ascorbic acid. Firmness is one of the most desirable attributes in rehydrated dried peppers. Calcium binds with pectic substances to form calcium pectate, making vegetables more resistant to thermal softening.

* Corresponding author. Tel./fax: +56 51 204305.
E-mail address: avegag@userena.cl (A. Vega-Gálvez).

9. Equilibrium moisture content and heat of sorption of *Gelidium sesquipedale*



Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

Journal of Stored Products Research 41 (2005) 199–209

Journal of
STORED
PRODUCTS
RESEARCH

www.elsevier.com/locate/jpsr

Equilibrium moisture content and heat of sorption of *Gelidium sesquipedale*

L. Ait Mohamed^{a,b}, M. Kouhila^{a,*}, S. Lahsasni^{a,b}, A. Jamali^a, A. Idlimam^a,
M. Rhazi^a, M. Aghfir^a, M. Mahrouz^b

^aLaboratoire d'Energie Solaire et Plantes Aromatiques et Médicinales, Ecole Normale Supérieure, BP 2400,
Marrakech, Morocco

^bUnité de Chimie Agroalimentaire (LCOA), Faculté des Sciences Semkalia, BP 2390, Marrakech, Morocco

Accepted 12 March 2004

Abstract

Moisture equilibrium data for adsorption and desorption of water from *Gelidium sesquipedale* were investigated at temperatures in the range of 30–50°C and water activity ranging from 0.05 to 0.9. The experimental procedure used was based on the gravimetric static method. The sorption curves of *Gelidium sesquipedale* decreased with increase in temperature at constant relative humidity. The hysteresis effect was observed. The experimental data of sorption were described by six models. The GAB and modified BET models were found to be the most suitable for describing the sorption curves. The isosteric heats of desorption and adsorption of water were determined from the equilibrium data at different temperatures. © 2004 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Equilibrium moisture content (EMC); *Gelidium sesquipedale*; Isosteric heat of sorption; Modelling; Sorption isotherms

1. Introduction

The production of agar from red algae has become an important sector of industry in Morocco. This industry provides the country with an annual export income of approximately 40 million euros. In total, around 500 workers are employed in this sector. It is primarily the *Gelidium* species of algae which are used, with *Gigartina* and *Gracilaria* species being used to a lesser extent. These

*Corresponding author. Tel.: +212-44-34-07-89; fax: +212-44-34-22-87.
E-mail address: kouhila@hotmail.com (M. Kouhila).

10. Hot-air dry characteristics of red pepper



Journal of Food Engineering 55 (2002) 331–335

JOURNAL OF
FOOD
ENGINEERING

www.elsevier.com/locate/jfoodeng

Hot-air drying characteristics of red pepper

İbrahim Doymaz*, Mehmet Pala

Chemical Engineering Department, Yıldız Technical University, 34210 Esenler, Istanbul, Turkey

Received 16 July 2001; accepted 12 March 2002

Abstract

This work presents a theoretical and experimental study of the drying kinetics of red peppers under different pretreatment and air drying conditions. Red peppers, *Capsicum annuum*, grown in the region of Kahramanmaraş, Turkey, were pretreated with various solutions of alkaline emulsion of ethyl oleate (AEEO) and dried afterwards. To date, there has been no work that studied the effect of AEEO pretreatment solution on the drying of red peppers. Our results indicated that pretreated peppers dried faster and had higher Hunter *L* (lightness), *+a* (redness) and *+b* (yellowness) values than the untreated and dried peppers. 2% ethyl oleate and 5% K_2CO_3 solution was found to be the most effective dipping solution that provided for whole peppers dried at 50 °C, and yielded best color quality. Drying curves of sliced peppers were obtained using the Page and exponential equations. Comparing the r^2 values of both equations, it was concluded that the Page equation represents drying characteristics better than the exponential equation. © 2002 Elsevier Science Ltd. All rights reserved.

Keywords: Drying; Red pepper; Pretreatment solution; Modelling

1. Introduction

Pepper, specifically *Capsicum annuum*, is a general name for plants coming from *Capsicum* species of Solanaceae family, whose products are used as vegetables and spices (Luning, Yuksel, Vuurst-de-Vries, & Roozen, 1995). Pepper is a good source of vitamins A and C, which are important antioxidants (Howard, Smith, Wagner, Villalon, & Burns, 1994; Lee, Howard, & Villalon, 1995). It is eaten as a raw and cooked vegetable and also used commonly in making paste, pickle, and sauce. Red ground pepper made by drying and pulverizing the hot red pepper is used as a spice and flavor ingredient in the food industry (Isidoro, Cotter, Fernandez, & Southward, 1995). Also, Bosland (1994) reported its wide range of medical applications, from increasing appetite, relieving pain associated with arthritis, to diuretic effect.

Red pepper is one of the main agricultural products in Turkey. Pepper growing for the purpose of drying is common in the Kahramanmaraş region of Turkey (Abak & Pakyurek, 1995). Drying of red pepper all over the world is carried out by either sunlight or dryers using

solar collectors (Atagunduz & Karagulle, 1977; Trim & Ko, 1982; Tiris, Ozbalta, Tiris, & Dincer, 1994; Ayensu, 1997). Traditionally, in Turkey, peppers are dried in the open air and exposed to sunlight, which usually takes 8–10 days. This practice is a common method, yet it has several drawbacks such as time consuming, prone to contamination with dust, soil, sand particles and insects, and being weather dependent (Tuncer, 1995; Öztekin, Bascetinçelik, & Soysal, 1999). Therefore, using hot-air dryers, which are far more rapid, providing uniformity and hygiene are inevitable for industrial food drying processes (Minguez-Mosquera, Jaren-Galan, & Garrido-Fernandez, 1994; Chung, Shin, & Choi, 1992). Some experimental studies on pepper drying were reported in the literature. Kim, Rhee, and Shin (1982) reported the color of red pepper changed considerably during drying. Hot-air drying produced red pepper with a blackish red color compared to be sun drying method. Sigge, Hansmann, and Joubert (1998) studied green bell pepper dices dried at different temperatures and relative humidities. Drying rates increased with increasing temperatures and decreasing relative humidity.

Dipping waxed fruits for a few seconds in a cold aqueous emulsion of ethyl oleate or suitable compound (usually fatty acid derivatives used as wetting agents and emulsifiers) greatly reduces drying time (Ponting & McBean, 1970; Guadagni & Safford, 1979; Suarez,

* Corresponding author. Tel.: +90-212-449-17-18; fax: +90-212-449-18-95.

E-mail address: doymaz@yildiz.edu.tr (I. Doymaz).

11. Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper



Available online at www.sciencedirect.com



Journal of Food Engineering 79 (2007) 1460–1466

JOURNAL OF
FOOD
ENGINEERING

www.elsevier.com/locate/jfoodeng

Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper (var. Lamuyo)

A. Vega ^{a,*}, P. Fito ^b, A. Andrés ^b, R. Lemus ^a

^a Department of Food Engineering, Universidad de La Serena, Av. Raúl Bitrán s/n. 599, La Serena, Chile

^b Department of Food Technology, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n. 46022 Valencia, Spain

Received 20 December 2005; received in revised form 12 April 2006; accepted 17 April 2006
Available online 5 May 2006

Abstract

The drying kinetics of the red bell pepper (var. Lamuyo) was studied and modeled at different temperatures (50, 60, 70 and 80 °C), using an air velocity of 2.5 m s⁻¹. Only the falling rate period could be observed during the experiment. Effective moisture diffusivity was estimated to be between 3.2 × 10⁻⁹ and 11.2 × 10⁻⁹ m² s⁻¹ within the temperature range studied. The effect of temperature on the diffusivity was described by the Arrhenius equation with an activation energy (*E_a*) of 39.70 kJ mol⁻¹. The Newton, Henderson-Pabis, Page and Page modified models were applied to the experimentally obtained moisture data. The fit quality of the models was evaluated using the correlation coefficient, sum square error, root mean square error, and Chi-square. Comparisons of the experimental values with the calculated values demonstrated that the Page modified model produced the best fit for every drying curve, representing an excellent tool for estimation of the drying time.

© 2006 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Red bell pepper; Drying; Diffusivity; Fick; Modeling; Arrhenius; Page modified

1. Introduction

Dehydration is an important preservation process which reduces water activity through the decrease of water content, avoiding potential deterioration and contamination during long storage periods. Also, food quality of is preserved, the hygienic conditions are improved, and product loss is diminished (Kaymak-Ertekin, 2002). For these reasons, several methods or combinations of dehydration methods can be used, including solar drying, hot-air, freeze drying, osmotic dehydration, spray drying, impregnation vacuum, etc. Other important objectives of food dehydration are weight and volume reduction, intended to decrease transportation and storage costs (Okos, Narasimhan, Singh, & Witnauer, 1992).

The red bell pepper (var. Lamuyo) is one of the main agricultural products of the regions of Almería, Murcia,

and Alicante (Spain) that can successfully undergo dehydration processes by means of hot-air drying, due mainly to a reasonable resistance to heat variations, within a given range of temperatures. Thus, red bell pepper keeps its sweet flavor and brilliant red color, with the latter feature recognized as a significant quality indicator (Vega, 2003). In addition, red bell pepper can be regularly consumed as a raw and cooked vegetable in pastes, pickles and sauces, as well as dried powder, hot spice, or as a condiment (Doymaz & Pala, 2002).

Several factors can influence hot-air drying of food, for example: velocity and temperature of air, water diffusion through material, load density, thickness and shape of the product to be dried. However, the sudden removal of water decreases the nutritional and sensorial value of food (Lenart, 1996), and allows the presence of phenomena such as hardening and shrinkage.

Several mathematical models may be used to describe the drying process and help in its optimization, and assist in the effective design of dryers (Kiranoudis, Maroulis, &

* Corresponding author. Tel.: +56051204305; fax: +56051204446.
E-mail address: avegag@userena.cl (A. Vega).

12. Moisture sorption isotherm characteristics of peppers



Journal of Food Engineering 47 (2001) 225–231

JOURNAL OF
FOOD
ENGINEERING

www.elsevier.com/locate/jfoodeng

Moisture sorption isotherm characteristics of peppers

Figen Kaymak-Ertekin *, Mustafa Sultanoglu

Engineering Faculty, Department of Food Engineering, Ege University, Gıda Muh. Bölümü, Bornova 35100, İzmir, Turkey

Received 12 January 2000; accepted 24 July 2000

Abstract

Moisture sorption isotherms of green and red peppers were determined at three different temperatures (30°C, 45°C and 60°C) and relative humidities (10–90%), using the standard static, gravimetric method. The GAB, Halsey, Oswin and BET sorption models were tested to fit the experimental data. A nonlinear regression analysis method was used to evaluate the constants of four sorption equations. The Halsey equation gave the best fit to the experimental sorption data for a wide range of water activity while BET gave the best fit for a water activity range of 0.1–0.5. The agreement between experimental and calculated values was found to be satisfactory. The isosteric heats of desorption and adsorption of water were determined from the equilibrium data at different temperatures using the Clausius–Clapeyron equation. © 2000 Elsevier Science Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

A moisture sorption isotherm describes the relationship between the water activity (a_w) and the equilibrium moisture content for a food product at a constant pressure and temperature. The knowledge and understanding of moisture sorption isotherms for foods is of great importance in food science and technology for many problems such as the design and optimisation of processing as for instance in drying, for assessing packaging problems, for modelling moisture changes which occur during drying, for predicting shelf life stability, for ingredient mixing predictions etc. (Spiess & Wolf, 1983; Gal, 1987).

Several researchers have reported moisture sorption data for different vegetables and temperatures (Iglesias & Chirife, 1982; Lomauro, Bakshi, & Labuza, 1985; Mazza, 1986; Sharma & Nath, 1991; Timmerman & Chirife, 1991; Wang & Brennan, 1991; Rapusas, Driscoll, & Buckle, 1993; Kiranoudis, Maroulis, Tsami, & Marinou-Kouris, 1993). Research on the temperature dependence of isotherms, determination of heat of sorption and mathematical models to represent sorption isotherms have also been reported in the literature.

Many empirical and semiempirical equations describing the sorption characteristics of foods have been

proposed in the literature. Chirife and Iglesias (1978) reviewed the 23 equations existing in the literature for fitting moisture sorption isotherms of foods and food products. Later, Boquet, Chirife, & Iglesias (1978) evaluated eight equations for 39 different foods. Van den Berg and Bruin (1981) collected and classified 77 such equations. In all these studies, the researchers reported which equations gave the best fit to food isotherms. Among the sorption models, the Guggenheim–Anderson de Boer (GAB) equation has been applied successfully to various foods (Van den Berg, 1985) and it is recommended by the European project Cost 90 on physical properties of foods (Wolf, Spiess, Jung, Weisser, Bizot, & Duckworth, 1984). The three parameter GAB model for multilayer adsorption which is based on Brunauer–Emmett–Teller (BET) theory was reported to fit sorption data over a wider range of a_w than the widely used BET equation.

The net isosteric heat of sorption can be used to estimate the energy requirements for dehydration processes. The level of material moisture content at which the net isosteric heat of sorption approaches the latent heat of vaporisation of water is often taken as an indication of the amount of “bound water” existing in the food (Duckworth, 1972; Wang & Brennan, 1991; Kiranoudis et al., 1993). The heat of vaporisation of sorbed water may increase to values well above the vaporisation of pure water as food is dehydrated to low moisture levels (Rizvi, 1986). Values of the isosteric heat of water adsorption and desorption have been reported for

* Corresponding author. Tel.: +90-232-388 0110/3006; fax: +90-232-3427592.

E-mail address: figene@textil.ege.edu.tr (F. Kaymak-Ertekin).

13. Physicochemical and microbiological characterization of the dehydration processing of red pepper fruits for paprika production

LWT - Food Science and Technology 43 (2010) 1359–1367



Contents lists available at ScienceDirect

LWT - Food Science and Technology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/lwt



Physicochemical and microbiological characterization of the dehydration processing of red pepper fruits for paprika production

Lourdes Gallardo-Guerrero^a, Antonio Pérez-Gálvez^a, Emilio Aranda^b,
María Isabel Mínguez-Mosquera^a, Dámaso Homero-Méndez^{a,*}

^a Grupo de Química y Bioquímica de Pigmentos, Departamento de Biocología de Alimentos, Instituto de la Grasa, CSIC, Avda. Padre García Tejero, 4, 41012 Sevilla, Spain

^b Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Nutrición y Bromatología, Escuela de Ingenierías Agrarias, Universidad de Extremadura, Carretera Cáceres s/n, 06071 Badajoz, Spain

ARTICLE INFO

Article history:
Received 18 August 2009
Received in revised form
14 April 2010
Accepted 20 April 2010

Keywords:
Dehydration
Drying
Capsicum annuum
Red peppers
Paprika
Carotenoids
Pectin
Polygalacturonase
Microbial flora

ABSTRACT

In order to determine whether changes in pectin fractions facilitate or not the traditional drying of red pepper fruits (*Capsicum annuum* L.) and the possible consequences of these changes on the dehydration conditions for paprika processing, that have an impact on the evolution of carotenoid content (responsible for colour), this evolution and other parameters were monitored during a traditional drying process in correlation with the temperature–time combinations used. Evolution of microbial flora was followed to analyse their possible contribution, as an exogenous source, to enzymatic polygalacturonase (PG) activity. Our results indicated that the mild temperature–time regime mediated the selection and proliferation of a microbial flora that contributed to enzymatic PG activity modifying the pectic fraction. The enzymatic activity generated rises in the calcium pectate (CaP) fraction, which favoured the drying of fruit with an initial low content of soluble pectins (SP) and CaP. Thus, the changes in texture helped during the transfer of moisture, facilitating the dehydration process, and therefore, a milder temperature–time regime was required. Consequently, bioactive compounds of the fruit, such as capsorubin, capsanthin and provitamin A carotenoids, remained almost unaltered. On the other hand, when the SP fraction increased during dehydration, the process was delayed, and this was also correlated with a higher content in SP and CaP in fresh fruit, indicating that the fruits were harvested at a later stage of ripeness. In this case a more intense temperature–time regime was needed, negatively affecting the carotenoid content by decreasing it significantly.

© 2010 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Emerging technologies have substantially improved the safety and quality of processed foods. However, there are still traditional processing techniques that generate a craft product with unique organoleptic and quality characteristics, which are difficult to be reproduced industrially. In Spain, there are two clear examples: the

saffron from La Mancha and the paprika from La Vera, both products protected by PDO (Product with Designation of Origin) regulations. With respect to the paprika from La Vera, the ripe red fruits of the pepper (*Capsicum annuum* L.), with the particularity of possessing a high carotenoid content, are slowly dehydrated in a traditional way using heat from burning logs. During this process the imposed temperature and time conditions are mild, and no technical controls are used, so that it is an operator who stirs the fruits and evaluates the heat applied, ‘regulating’ it by controlling combustion, during a period of 7–10 days. The main quality of this processing in comparison with industrial techniques is that the initial carotenoid content of the fresh fruits remains almost unchanged, due to the balance between the catabolic and anabolic processes affecting these pigments (Mínguez-Mosquera & Homero-Méndez, 1994; Mínguez-Mosquera, Jareń-Galán, & Garrido-Fernández, 1994; Mínguez-Mosquera, Pérez-Gálvez, & Garrido-Fernández, 2000). Previous studies have shown that the initial temperature of the process and the moisture content of the fruits are the key factors promoting

Abbreviations: AIS, alcohol insoluble solids; AUTTC, area under the temperature–time curve; BHT, butylated hydroxytoluene; BP, Baird Parker; CaP, calcium pectate; GA, galacturonic acid; GHPs, good hygienic practices; HACCP, hazard analysis critical control point; MR, moisture ratio; MRS, Man Rogosa Sharpe; MSA, man nitrol salt agar; PCA, plate count agar; PDO, Product with Designation of Origin; PG, polygalacturonase; PP, protospetin; TP, total pectins; SB, super broth; SP, soluble pectins; SPS, sodium polyamethanesulfonate; VRBA, violet red bile agar; VRBG, violet red bile glucose.

* Corresponding author. Tel.: +34 954691054; fax: +34 954691262.

E-mail address: hornero@ccia.es (D. Homero-Méndez).

14. Thin layer drying of red pepper



Journal of Food Engineering 59 (2003) 99–104

JOURNAL OF
FOOD
ENGINEERING

www.elsevier.com/locate/jfoodeng

Research note

Thin layer drying of red pepper

Ebru Kavak Akpınar ^{*}, Yasar Bicer, Cengiz Yıldız

Department of Mechanical Engineering, Firat University, Elazığ 23279, Turkey

Received 9 May 2002; accepted 19 October 2002

Abstract

The thin layer drying behaviour of red pepper slices is experimentally investigated in a convective dryer and the mathematical modelling by using thin layer drying models in literature is performed. Drying experiments were conducted at inlet temperatures of drying air of 55, 60 and 70 °C and at a drying air velocity of 1.5 m/s. Eleven different thin layer mathematical drying models were compared according to their coefficient of correlation to estimate drying curves. The effects of drying air temperature on the model constants and coefficients were predicted by regression models. According to the results, an approximation of the diffusion model could satisfactorily describe the drying curve of red peppers with a correlation coefficient (r) of 0.9987. The constants and coefficients of this model could be explained by the effect of drying air temperature.

© 2003 Elsevier Science Ltd. All rights reserved.

Keywords: Drying; Thin layer; Red pepper; Mathematical modelling

1. Introduction

Drying is defined as a process of moisture removal due to simultaneous heat and mass transfer (Göğüş, 1994). It is also one of the conservation methods of agricultural products, which is most often used and is the most energy-intensive process in industry (Dincer, 1998). Moreover, drying is one of the oldest methods of food preservation and is a difficult food processing operation mainly because of undesirable changes in the quality of the dried product. Longer shelf-life, product diversity and substantial volume reduction are the reasons for popularity of dried fruits and vegetables, and this could be expanded further with improvements in product quality and process applications. These improvements could increase the current degree of acceptance of dehydrated foods in the market (Maskan, 2001).

Cost-effective and hygienic ways of preserving foods are of great importance given the prevailing insecurity in food supplies throughout the world. The introduction of dryers in developing countries can reduce crop losses and improve the quality of the dried product significantly when compared to the traditional methods of

drying such as sun or shade drying. Therefore, simulation models are needed for the design and operation of dryers. Several researchers have developed simulation models for natural and forced convection drying systems (Diamante & Munro, 1993; Ratti & Mujumdar, 1997).

The study of drying behaviour of different materials has been subject of interest for various investigators on both theoretical and application grounds during the past 60 years. Recently, there have been many studies on the drying behaviour of various vegetables and fruits such as mushroom and pollen (Midilli, Ölgün, & Ayhan, 1999), potato (Diamante & Munro, 1991; Göğüş, 1994), onion (Sarsavadia, Sawhney, Pangavhane, & Singh, 1999), green pepper, green bean and pumpkin (Yaldız & Ertekin, 2001), grape (Dincer, 1996; Yaldız, Ertekin, & Uzun, 2001), pistachio (Midilli, 2001) and red pepper (Passamai & Saravia, 1997a,b; Kaymak-Ertekin, 2002). In this study, the thin layer drying behaviour of red pepper slices in a convective type dryer has been investigated and mathematical modelling by using thin layer drying models from the literature has been performed.

2. Experimental set-up and procedure

2.1. Experimental set-up

Fig. 1 shows a schematic diagram of a dryer used for experimental work. It consists of a fan, heaters, drying

^{*} Corresponding author. Tel.: +90 424 2370000/5343; fax: +90 424 241 5526.

E-mail addresses: ekapinar@firat.edu.tr (E.K. Akpınar), ybicer@firat.edu.tr (Y. Bicer), cylidiz@firat.edu.tr (C. Yıldız).

제 7 장 참고문헌

1. 고헌균 외. 건조조건이 변화가 고추의 건조시간 및 품질에 미치는 영향. 서울대학교 농학연구, Vol 12, No. 1, p79~88. 1987.
2. 고헌균 외. 건조고추의 재건조 공정에서 에너지의 효율적 이용. 한국농업기계학회지 14(4). 1989.
3. 고헌균 외. 고추의 건조과정에서 적외선 건조법의 활용에 관한 연구. 한국농업기계학회지. Vol 15, No 4, 1990.
4. 고헌균. 가공용 고추의 건조시스템 개발. 서울대학교 농업생명과학연구, 제2권. 1998
5. 금동혁. 태양열을 이용한 곡물건조에 관한 연구. 한국농업기계학회지. Vol 3, No 1, 1978
6. 금동혁 외. 고추 건조기의 개발에 관한 연구-시뮬레이션 및 최적화. 농업기계학회지. Vol 16, No 3, 1991.
7. 김공한 외. 고추의 열풍건조가 품질에 미치는 영향. 한국식품기계학회지. Vol 17, No 2, 1975.
8. 김재열. 고추의 열풍 및 원적외선 건조특성 비교연구. 경북대학교 박사학위 논문. 1991.
9. 리혁. 원적외선을 이용한 농수산물의 건조 및 품질특성. 충남대학교 박사학위 논문. 2009.
10. 박준걸 외. 바이오 시스템 기계공학. 도서출판 씨아이알. 2008

11. 성시홍 외. 고추 건조기 개발을 위한 고추의 적정 건조방법에 관한 기초 연구. 건국대학교 자연과학연구지. Vol 5. 1994
12. 윤용철 외. 온실용 히트펌프 시스템의 폐열을 이용한 고추 건조. 생물환경조절학회. 1999.
13. 이동화. 고추의 평형함수율과 원적외선에 의한 건조특성. 경북대학교 석사학위논문. 1986.
14. 이태규 외. 고추건조를 통한 태양열 건조기의 열성분석. 태양에너지 2호. p14~21. 1989.
15. 이원석 외. 고추의 건조모델에 관한 연구. 서울대학교 농학연구. Vol 13, No 2. 1988.
16. 전재근 외. 고추의 열풍건조특성. 한국농화학회지. Vol 17, No 1, 1974.
17. 정순경 외. 건조효율 향상을 위한 고추건조공정의 최적화. 식품공학회지. Vol 24, No 5, p428~439. 1992.
18. 조용진. 고추의 건조특성과 건조모델에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문. 1986
19. 조용진. 고추의 범용 건조모형 개발에 관한 연구. 농업기계학회지. Vol 16, No 1, 1991.
20. 최부들 외. 간이 태양열 집열기의 유형별 분석 및 고추건조에의 이용. 식품과학회지, Vol. 18, No. 6, 1986
21. 농촌진흥청. 고추 순태양초 건조기술 개발. 영양군 농업기술센터. 1999
22. 농림통계연보. 농림부. 2009.

23. 농업기계가격. 한국농기계공업협동조합. 2010.
24. 농업기계연감. 한국농기계공업협동조합. 2000-2009.
25. 농업전망 1999, 한국농촌경제연구원, 1999.
26. 시험연구결과 경제성분석기준자료. 농촌진흥청. 2000.
27. Han, I. K. 1993. Feed Science and Processing Technology. Sunjinmoonhwa Co. Seoul, Republic of Korea.
28. Holman, J. P. 2002. Heat Transfer Ninth Edition. McGraw-Hill, Inc., New York, USA.
29. KAMICO. 2009. Agricultural Machinery in Korea. Korea Agricultural Machinery Industry Cooperative, Seoul, Republic of Korea.
30. KAPA. 2009. The Official Land Value. Korea Association of Property Appraisers, Seoul, Republic of Korea.
31. KEPCO. 2008. Electric Rates Table. Korea Electric Power Corporation, Seoul, Republic of Korea.
32. MIFAFF. 2008a. A Guide Book for Agriculture and Forestry. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Gwacheon, Republic of Korea.
33. MIFAFF. 2008b. Food, Agriculture, Forestry and Fisheries Statistical Yearbook. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Gwacheon, Republic of Korea.
34. Park, J. G. 2008. Bio-production Machinery Engineering. CIR, Seoul, Republic

of Korea.

35. RDA. 2008. Information Resources for Economic Analysis on Research. Rural Development Administration, Suwon, Republic of Korea.
36. SAS. 2010. SAS 9.1 User's Guide. SAS Institute Inc., North Carolina, USA.
37. SigmaPlot. 2002. SigmaPlot 8.0 User's Guide. SPSS Inc., Chicago, USA.
38. Surfer. 2002. Surfer 8.0 Getting Started Guide. Golden software Inc., Colorado, USA.

주 의

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