

폴딩형 다용도 스마트 농작물 건조기 개발

배성현¹, 정종혁^{2*}

¹동국대학교 경주캠퍼스 파라미타칼리지, ²경운대학교 항공정보통신공학과

The Development of The Folding Multi-Purpose Smart Crop Dryer

Sung-Hyun Bae¹, Jong-Hyeog Jeong^{2*}

¹PARAMITA College, Gyeongju, Dongguk University

²Department of Aviation Information and Communication Engineering, Kyungwoon University

요약 농가에서 작물을 생산한 뒤 적절한 건조방법을 통해 농작물의 품질을 향상시키는 일은 매우 중요하다. 기존 건조 방법은 상온에서 자연광으로 건조하거나 상용 건조기를 사용하는 것이었는데 두 가지 다 문제가 있었다. 자연광을 이용할 경우에는 부패와 변색, 오염 등의 문제가 발생하고, 상용 건조기의 경우에는 구입 가격과 에너지 사용량이 문제가 되었다. 고령의 농민이 많은 농가에서는 기존 방법보다 가격 면에서 좀 더 저렴하고 손쉽게 뒤집기가 가능하며 다양한 농작물에 모두 적용이 가능한 건조기에 대한 요구가 있었다. 상황에 따라 송풍, 열풍이 가능하고, 손쉽게 접을 수 있으며, 스마트폰으로도 제어할 수 있는 폴딩형 다용도 스마트 농작물 건조기가 있으면 농가의 문제를 해결할 수 있으리라 보였다. 본 연구에서는 폴딩형 다용도 스마트 농작물 건조기를 개발하여 생고추 20.168 [kg]을 72시간 건조하는 실험을 시도하였다. 실험 결과, 캡사이신 함량, 디하이드로캡사이신 함량, 당 함량이 각각 357 %, 1,796 %, 830 % 증가하는 것을 확인하여 본 건조기로 건조된 고추의 품질에 대하여 만족할 만한 결과를 얻었다. 또한, 본 건조기에 탑재된 모바일 원격제어시스템과 스마트폰 사이의 응답시간은 5회 평균 0.512초로 응답 시간 또한 매우 빠르다는 결과를 얻었다.

Abstract It is very important to improve the quality of crops through proper drying methods after producing them at a farm. Existing drying methods are either use natural light at room temperature or a commercial dryer, but both have problems. When using natural light, problems such as decay, discoloration, and pollution occur, and in the case of commercial dryers, purchase price and energy consumption become problems. In farms with many elderly farmers, there is demand for a dryer that is cheaper than the existing methods, can be easily turned over, and can be applied to a variety of crops. It could be possible to solve the problems of farmers if there were a folding-type multi-purpose smart crop dryer that could be blown or hot aired depending on the situation, could be easily folded, and could be controlled with a smartphone. In this study, an experiment was attempted to dry 20.168 [kg] of raw red peppers for 72 hours by developing a folding-type multi-purpose smart crop dryer. As a result of the experiment, it was confirmed that the capsaicin content, dihydrocapsaicin content, and sugar content increased by 357%, 1,796%, and 830%, respectively. Satisfactory results were obtained for the quality of red pepper dried with this dryer. In addition, the response time between the mobile remote-control system mounted on this dryer and a smartphone was 0.512 seconds on average for 5 uses, resulting in a very fast response time.

Keywords : Smart Control, Light-Weight Aluminum, Capsaicin, Pepper, Drying

*Corresponding Author : Jong-Hyeog Jeong(Kyungwoon Univ.)

email: jhjeong@kw.ac.kr

Received July 7, 2021

Accepted October 1, 2021

Revised August 9, 2021

Published October 31, 2021

1. 서론

일반적으로 농가에서 작물을 재배하고 수확한 뒤에는 탈곡 또는 건조 처리를 위해 작물을 평평한 바닥에 나열하여 일광건조를 하거나 건조설비장치를 이용해 건조하는 경우가 보편적이다. 그러나, 일광 건조의 경우 외부 환경변화에 따라 건조작업이 원활하지 못할 경우가 있고, 도로 등에서 건조할 경우 유해물질 등에 노출되는 문제도 발생한다. 일광 건조 대신에 건조설비장치를 이용하면 위의 문제는 줄어들지만 초기 설치 비용이 고가여서 농가에서 쉽게 구입하여 이용할 수 없는 것이 문제이다.

고추와 같은 농작물은 건조할 경우에 장기간 보관할 수 있으며 일광건조보다 농산물 건조기 혹은 제습기를 사용한 건조에서 상품성이 좋은 것을 기존 연구결과에서 확인하였다[1]. 건조 방법 중에서 열풍 건조와 제습 건조 방식이 과실 내 수분을 낮추는 데 효과적이었다. 또한, 색도가 일광건조보다 열풍건조가 10.9 % 이상 우수함을 알 수 있었다. 고추의 캡사이신과 디하이드로캡사이신의 함량은 건조처리에 따른 차이라기보다는 품종 특성에 영향을 많이 받는다는 사실을 기존 연구를 통해 알 수 있었다[1].

기존 연구는 고추를 건조시키는 방법이 건조된 고추의 품질에 따른 생산성을 좌우한다는 사실을 보여준다. 매운맛을 나타내는 캡사이신 함량은 열풍건조 40℃ 조건에서 가장 높게 나타났고, 상대적 고온인 60℃ 온도 조건에서 당 함량이 더 높게 나타났으나 매운맛 함량이 낮아짐을 확인하였다[2].

우리나라의 고추 농가는 대개 농산물 건조기와 비닐하우스 등을 이용하여 건조작업을 한다. 비닐하우스에서 건조한 고추가 열풍건조기에서 건조한 고추보다 색택이 우수하였으며, 고온 건조를 하면 건조시간은 단축되었지만 캡사이신 함량이 감소함을 기존 연구에서 확인할 수 있었다[3,4]. 비닐하우스를 이용하여 태양초를 생산하면, 건조 기간은 지연되었지만 상품 수량은 14 % 증가하였다. 이에 본 연구에선 비닐하우스 안에서 사용할 수 있도록 접을 수 있는 건조기를 개발하되 열풍 건조처리를 하는 방법을 택하였다.

따라서 본 논문에서는 크기가 다양한 농작물을 건조할 수 있고 모바일 원격제어가 가능한 폴딩형 스마트 농작물 건조기를 고안하였다. 사용하기 쉽도록 알루미늄 소재를 사용하여 접을 수 있는 가볍고 튼튼한 건조기를 제작하되 건조기에 팬을 추가하여 열풍건조를 통해 고추의 건조 품질을 향상시키고자 했다.

2. 시스템 구성

2.1 개발 요구사항 분석

농작물을 노지에서 천막 등을 깔아서 건조하면 날씨에 따라 건조물을 펴고 덮는 일을 반복해야 하며 수시로 뒤집어줘야 하는 어려움이 있다. 일손도 많이 들 뿐 아니라 견어야 할 때를 놓치면 농작물이 썩거나 짓무르게 된다. 건조 장소에 따라 각종 유해 환경에 노출될 수 있어서 비위생적이고 품질 저하도 예상된다. 건조기를 사용하면 위의 문제가 상당 부분 해결되지만 기존 건조기는 초기 설치 비용이 고가이고 전력량도 과다한 문제가 있다. 또한 다양한 크기의 농작물에 적용하기 어렵다.

새로 개발하고자 하는 농작물 건조기는 가볍고 튼튼하여 남녀노소 누구나 손쉽게 사용이 가능한 설계가 요청되었다. 다양한 농작물을 건조할 수 있고, 고령의 농민도 쉽게 설치하여 높이 조절을 할 수 있으며, 하며, 비닐하우스에서 활용하기 좋도록 부피가 작아야 한다. 농작물이 짓무르는 것을 막기 위해 뒤집어주는 기능도 필요하며 건조 상태를 최상으로 유지하고 노동력을 절감하려면 원격으로 온도를 제어하는 기능도 필요하다. 또한 건조는 시간이 걸리는 작업이므로 전력 소비량도 줄일 수 있으면 좋다.

이러한 개발 요구 분석 결과, 본 건조기는 가볍고 강도가 있는 소재로 알루미늄을 선택했고, 공간활용도를 높이기 위해 접을 수 있는 폴딩형을 고안하였다. 모터를 이용한 자동 뒤집기 기능을 추가하였고, 원격 제어가 가능한 모바일 앱 프로그램을 탑재했다.

전력소비량을 최소화하기 위해서 송풍팬만 사용하는 건조방식과 팬에 열선을 동작시켜 건조하는 방식을 선택할 수 있도록 했다. 비닐하우스에서 팬만 사용하여 건조하는 경우 기존 상용 건조기보다 저렴하게 건조할 수 있으며 비가 오거나 온도가 낮은 경우에만 열선을 동작시킨다면 비용을 절감할 수 있다.

본 건조기를 사용하면 건조기에 부착된 열풍기로 기후나 날씨 변화에 관계없이 건조작업을 할 수 있다. 모터를 이용한 자동뒤집기 기능은 농작물의 한쪽 면이 짓무르는 것을 막아주고, 모바일 원격제어 시스템은 노동력 절감 효과를 가져오며, 농작물의 건조 상태를 최상으로 유지하도록 도와준다. 팬만 작동시켜 건조할 경우 전력 소비량도 낮아진다.

2.2 제품 개발 목표

제품 개발의 목표는 첫째, 다양한 종류의 농작물과 과

일 등을 건조하는 것이다. 다품종 소량 생산하는 농가의 경우는 농작물의 크기를 특정할 수 없기 때문에 다양한 크기에 적용가능하도록 제작하였다. 둘째, 펴고 감을 수 있는 롤형 망사 선반을 사용하여 제작하는 것이다. 소재는 알루미늄과 철망으로 사용하였다. 셋째, 기존 건조기는 열선을 이용한 열풍 건조를 한다. 본 건조기는 팬을 건조기 아래나 측면에 부착하여 송풍 건조가 가능하도록 설계하였다. 사용자가 상황에 따라 팬만 작동하는 송풍 건조와 열선까지 작동하는 열풍 건조 중에서 선택하여 사용할 수 있다. 넷째, 전기모터와 가이드 레일을 사용하여 망사 위의 농작물이 좌우로 5 cm 이상 이동이 가능하여 뒤집어질 수 있도록 제작하였다. 마지막으로 스마트 폰 앱을 사용하여 건조 온도와 시간을 제어할 수 있도록 제작하였다. 스마트 앱을 통해 건조 온도를 및 세팅정보를 확인할 수 있으며 설정 온도보다 높은 온도가 지속될 경우에 자동으로 열선을 차단하는 자동정지 기능도 개발하였다.

2.3 제품 구조도

Fig. 1의 제품 구조도를 보면 망사 선반을 주축으로 선반 가장자리에 진동 모터와 가이드 레일이 부착되어 있다. 팬 송풍 기능을 사용한 건조방식과 팬에 부착된 열선을 사용한 열풍 건조방식을 모두 사용할 수 있도록 제품을 구상하였다. 제품 높이를 제어하기 위해 4개의 기둥에 고정핀을 사용할 수 있도록 하였다. 각종 센서를 부착하여 온도, 습도 등을 자동으로 제어할 수 있게 하였다.

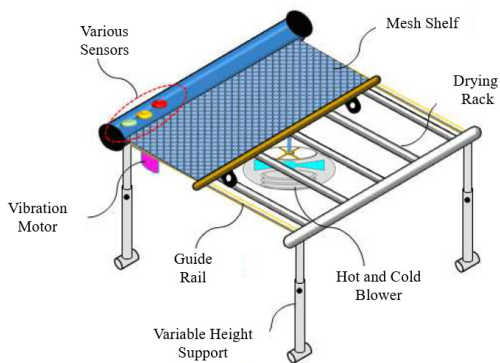


Fig. 1. Schematic Diagram

농가에서는 본 건조기를 다양한 상황에 맞게 사용할 수 있다. 야외에서 망사 선반 위에 건조물을 놓고 자연광 건조를 할 수도 있고, 비닐하우스 내에서는 팬을 사용한 송풍 건조와 열선을 사용한 열풍 건조 등을 상황에 맞게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 시제품 제작

3.1 열풍기 제작 및 구성

열풍기는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 망사 선반 아래 또는 옆에 부착하여 사용할 수 있다. 팬을 사용한 송풍 건조가 기본동작이며, 빠른 건조가 필요한 경우 모터 팬에 연결된 열선을 사용하여 열풍 건조가 가능하도록 제작하였다. 팬 밑판에 전동 감속 모터가 내장되어 있다. 모터의 회전축에 열풍기 몸체를 연결하여 모터가 회전하면 상하좌우로 회전하도록 제작하여 망사 선반 위에 있는 농작물이 골고루 건조될 수 있도록 하였다. 본 시제품은 팬이 망사 선반 아래에 부착된 경우이다. 추후 팬의 위치에 따른 건조 효율에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.



Fig. 2. Fan

3.2 진동 모터 제작 및 구성

진동 모터를 선반 앞에 설치하여 선반을 지지하는 지지판을 흔들어 주는 구조로 개발되었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 측면 하단에 고정하였다. 전기모터와 가이드 레일을 사용하여 망사 위의 농작물이 좌우로 5 cm 이상

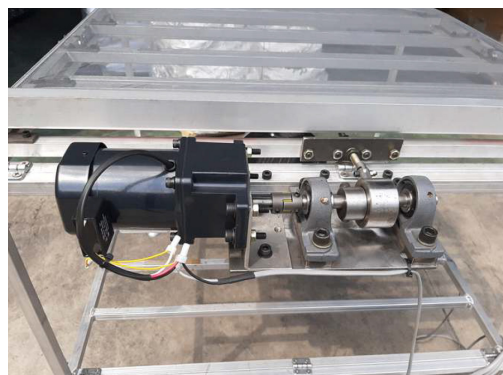


Fig. 3. Vibration Motor

이동이 가능하여 뒤집어 질 수 있도록 제작하였다. 아직 모터의 소량화와 농작물 크기에 따른 자동 뒤집기 기능은 아직 추후 개선해야할 것으로 판단된다.

3.3 컨트롤 박스 제작 및 구성

건조기를 원격으로 제어하기 위해 컨트롤 박스를 제작하였으며 각종 센서들을 Atmega2560 마이크로컨트롤러에 연결하여 제어할 수 있도록 제작하였다. 컨트롤 박스는 센서가 보내주는 온도, 습도에 대한 정보를 받아 사용자의 모바일 앱으로 전달하고 사용자가 앱에서 다시 설정한 정보를 처리할 수 있도록 하였다. 컨트롤 박스는 사용자가 처음에 설정한 건조온도, 건조시간 등 초기에 설정한 조건에 따라 건조기에 명령을 내리도록 설계되어 있다. 추후 앱을 통해 새로운 명령을 내리게 되면 건조기 동작에 반영되도록 제작하였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 컨트롤박스 내에 제어 보드와 팬, 열선 제어와 진동 모터의 동작 스위치들이 연결되어 있다.



Fig. 4. Control Box

3.4 모바일 앱의 구성

모바일 앱의 초기화면은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 건조기 시스템에서 연결된 센서를 통해 현재 온도를 나타내준다. 시스템 셋업 모드를 통해 기본 설정을 할 수 있으며, 팬 모터는 가동/정지 버튼을 통해 제어할 수 있고, 건조기 진동장치를 사용하여 뒤집기 기능을 활성화할 수 있다. 그 외 시스템 추가 버튼 등으로 모바일 앱이 구성되어 있다. 앱 메인 운영자는 시스템의 각 이용자에게 아이디와 패스워드 등의 이용 권한을 부여하고 자신의 정보를 개별적으로 설정, 해제, 제어할 수 있도록 하였다.

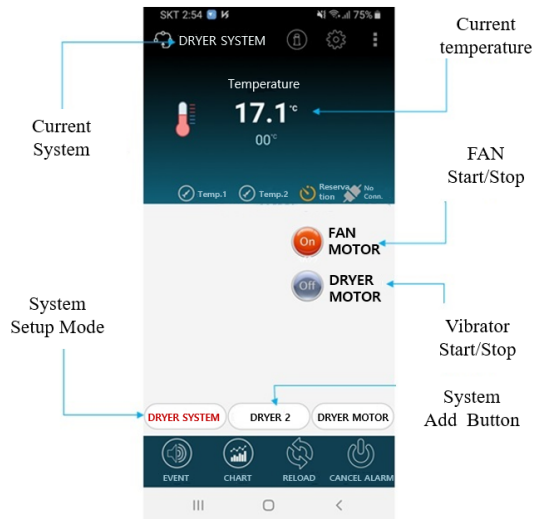


Fig. 5. Initial Screen of Control Mobile App

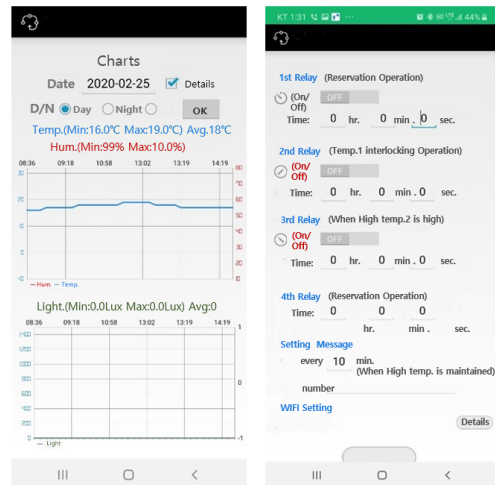


Fig. 6. Drying and Setting Information Screen

Fig. 6의 왼쪽 그림은 현재 온도와 습도를 확인할 수 있는 화면을 나타낸다. 오른쪽 그림은 예약동작, 온도1 연동동작, 온도2 상승시 동작, 수동 제어 동작 순으로 화면을 구성하였다. 온도2에 도달할 때 열선을 사용한 열풍 기능을 끌 수 있도록 하였으며, 긴급상황에 대비하여 수동 제어도 가능하도록 했다. 기본적으로 앱상에서 데이터화된 자료를 날짜, 시간 단위별 건조기 주변의 온도와 습도를 모니터링할 수 있도록 하였다.

4. 시제품의 성능 평가

4.1 건조용량 평가

첫 번째 실험에서는 본 건조기를 비닐하우스에 설치하여 송풍팬을 동작시켜 건조하였다. 건조대 위에 생고추 20.168 [kg]을 적재한 뒤에 72시간 동안 건조하였다. 72시간 건조 후 무게를 측정하였더니 4.778 [kg]이었고 무게 감소율은 76.3 %이었다. 무게 감소율은 다음 계산식에 의해 산출하였다.

$$rate(\%) = ((x - y) / x) * 100 \quad (1)$$

Where, x denotes weight before drying,

y denotes weight after 72 hours drying,

rate denotes weight loss rate

Table 1. Drying Result using a Dryer in a Vinylhouse

Eval. Items	Unit	Component Test Result		
		Before	After	rate of change (%)
Moisture	g/100g	83.94	15.84	- 81.12
Sugar	Brix	10.5	48	+ 357
Capsaicin	mg/kg	17.8	165.6	+ 830
Dihydrocapsaicin	mg/kg	9.4	178.2	+ 1796

건조된 고추의 성분 시험 결과도 양호했다. Table 1에서 보는 바와 같이 함수율이 81.12 % 감소되었고, 캡사이신 함량, 디하이드로캡사이신 함량, 당 함량이 각각 357 %, 1796 %, 830 % 증가하는 것을 확인하였다. 기존 연구에서 캡사이신과 디하이드로캡사이신의 함량이 건조처리에 따른 차이보다 품종 특성에 영향을 많이 받는다는 사실을 확인했지만 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다[1]. 개발된 본 건조기에서 건조된 고추의 캡사이신 등의 비율이 우수한 것으로 평가되었으며, 풋고추 대비 당도가 3.5배 이상 증가하여 조리용으로 사용할 수 있는 최상 품질로 확인되었다.

두 번째 실험에서는 송풍팬 동작 없이 비닐하우스 안에 망사 선반을 설치하고 동일 조건으로 건조하였다. 건조된 고추의 성분을 분석한 결과 Table 2에서 보는 바와 같이 함수율이 69.77 % 감소되었고, 캡사이신 함량, 디하이드로캡사이신 함량, 당 함량이 각각 253 %, 1571 %, 711 % 증가하는 것을 확인하였다. Fig. 7.에서 보는 바와 같이 첫 번째 실험과 두 번째 실험을 그래프로 비교해보면 비닐하우스 내에서 송풍팬으로 건조한 경우보다 송풍팬 없이 실시한 건조에서 캡사이신의 함량이 14.3 % 이상 낮은 결과를 보였다. 추후 건조 시간에 따른 캡사

이신 함량과 디하이드로캡사이신 함량, 당 함량과의 관계는 후속연구가 더 필요하다고 판단된다.

Table 2. Drying Result without Fan in a Vinylhouse

Eval. Items	Unit	Component Test Result		
		Before	After	rate of change (%)
Moisture	g/100g	83.94	25.37	- 69.77
Sugar	Brix	10.5	37.1	+ 253
Capsaicin	mg/kg	17.8	144.3	+ 711
Dihydrocapsaicin	mg/kg	9.4	157.1	+ 1571

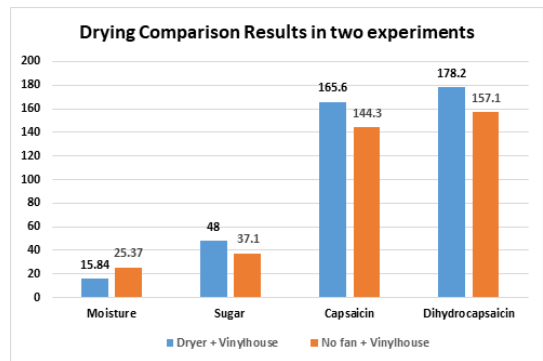


Fig. 7. Drying Comparison Results in two experiments

세 번째 실험에서는 야외에서 송풍팬 동작 없이 망사 선반 위에서 동일 조건으로 건조하였다. 새벽 이슬에 따른 습도 변화로 인해 건조한 농작물을 실내로 이동하고 다시 야외에 펼쳐놓는 반복작업으로 인해 조건이 달라져서 결과를 앞의 두 실험과 비교할 수 없었다.

4.2 소비전력 평가

개발한 건조기를 AC220V 60Hz 상용전원에 연결 후, 송풍기 가동상태에서 정밀전력분석기인 YOKOGAWA사의 WT-1800으로 소비전력으로 측정하였더니 330.3 W이었다. 시중에 판매 중인 한일 농산물 건조기의 경우 1.2KW에서 5KW까지 다양한 소비전력을 사용하였으며 가장 낮은 1.2 KW와 비교해도 소비전력의 27% 정도로 저렴하게 건조할 수 있음을 알 수 있었다.

4.3 원격제어시스템 접속속도 평가

건조기 제어시스템에 탑재된 무선 전송 모듈과 스마트폰 간의 응답 시간을 살펴보면 5회 연속 접속에 성공하였다. 응답 속도는 Table 3에서 보는 바와 같이 5회 평균 0.512초였다. 원격제어시스템은 비교적 빠른 반응속

도를 보였으며, 온도 변화를 실시간 접촉하여 건조를 유지할지 중지할지를 판단하여 동작을 실행하였다. 건조 온도가 초기에 설정한 온도 조건보다 높아지면 열선 건조가 자동 차단되도록 하였으며 수동 건조 차단기능도 빠르게 적용할 수 있었다.

Table 3. Response Time Result

Eval. Items	Measurement Result				
	1st	2nd	3rd	4th	5th
Response Time	0.72sec	0.33sec	0.4sec	0.59sec	0.52sec

5. 결론

본 연구에선 고령층이 많은 농가의 요구사항을 분석하여 접을 수 있고, 손쉽게 뒤집기가 가능하며, 다양한 농작물 건조가 가능한 건조기를 제작하였다. 첼로 제작되는 기존 건조기보다 더 가볍고 강도가 우수한 알루미늄을 사용하였으며, 송풍, 열풍을 조절하는 기능을 추가하여 고온인 날과 다습한 경우를 대비하여 다목적으로 제어할 수 있고, 낮은 전력 사용으로 농가의 부담도 줄일 수 있도록 고안하였다.

본 건조기로 생고추 건조 실험을 한 결과, 함수율이 81.12 % 감소되었고, 캡사이신 함량, 디하이드로캡사이신 함량, 당 함량이 각각 357 %, 1796 %, 830 % 증가하는 것을 확인하였다. 캡사이신, 디하이드로캡사이신, 당 함량이 기존 비닐하우스에서의 건조보다 15 % 이상 증가하여 품질이 우수한 것을 확인하였다. 또한, 스마트폰 제어를 통해 농작물 건조 상황을 계속 확인할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 추후 데이터를 활용하여 인공지능 기술과 결합하여 자동제어되도록 기능을 추가 확장할 수 있다고 판단된다.

본 연구에서 개발된 건조기를 사용할 경우, 농가에서 저렴한 비용으로 다양한 크기의 농작물을 건조할 수 있으며 사용자가 원하는 온도설정을 하여 실시간 확인이 가능함으로써 고품질의 농작물을 생산할 수 있으며 품질 향상에 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] Myeoung Hee Jo, Jong Hwa Shin, "Comparison of Dried Hot Pepper Quality and Production Efficiency

by Drying Methods", *Protected Horticulture and Plant Factory*, Vol.27, No.4, pp.356-362, Oct. 2018.

DOI: <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2018.27.4.356>

[2] Y.R. Lim, Y.N. Kyung, H.S. Jeong, H.Y. Kim, I.G. Hwang, S.M. Yoo, J.S. Lee, "Effects of Dring Methods on Quality of Red Pepper Powder".. *Journal of Korean Society of Science and Nutrition*, Vol.41, no.9, pp.1315-1319, Sep. 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2012.41.9.1315>

[3] G.J. Lee, M.G. Song, S.D. Kim, S.Y. Nam, J.Y. Lee, T.J. Nam, D.E. Kim, J.B. Toon, J.H. Choi, "Effects of Diffused Light Materials on Marketable Yield and Quality of Sunlight Dried Red Pepper (*Capsicum annum L.*) in Plastic Film House", *korean Journal of Plant Resources*, Vol.27, pp.102-109, Feb. 2014.
DOI: <https://doi.org/10.7732/kjpr.2014.27.1.102>

[4] D.J. Choi, J.H. Jang, D.H. Pae, B.S. Choi, H.D. Chung, "Effects of harvesting times and drying methods of red fruit on the quality in pepper", *Journal of the korean society for horticultural science*, Vol.15, pp.714-715, 1997.

배 성 현(Sung-Hyun Bae)

[정회원]



- 2003년 2월 : 경북대학교 일반대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 경북대학교 일반대학원 전자공학과 (공학박사수료)
- 2017년 3월 ~ 2021년 2월 : 경운대학교 항공정보통신공학과 조교수

- 2021년 3월 ~ 현재 : 동국대학교 경주캠퍼스 파라미타칼리지 디지털기초교육부 조교수

<관심분야>

사물인터넷, 정보보안, 암호프로토콜, 인공지능

정 증 혁(Jong-Hyeog Jeong)

[정회원]



- 1994년 2월 : 동아대학교 일반대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학박사)
- 1992년 3월 ~ 2000년 2월 : 부경대학교 조교/시간강사
- 2000년 3월 ~ 현재 : 경운대학교 항공정보통신공학과 교수

<관심분야>

고전압회로, 반도체공학, 초고주파회로, 해양교통안전