韓國産業應用學會論文集,제6권,제2호,103-108,2003.5
J.Korean Society of Industrial Application,Vol.6,No.2,103-108,May.2003

배풍열 회수장치를 이용한 고추의 건조특성에 관한 연구

Drying Characteristics of Red Pepper using Exhaust Heat Recovery System

백 이*, 조기현**, 정형길**

Y Paek*, K-H Cho**, H-K Chung**

<Abstract>

This study was performed to find out drying characteristics and develop waste heat recovery dryer. this system was initiated in order to recover discharged waste heat of drying air from drying chamber in agricultural products dryer and recycle for additional heat source that could save drying cost. The system consists of drying chamber, fan, burner, circulation pump and heat exchanger made of fins and tubes. For the system performance, drying experiments with fresh pepper were conducted, and comparisons on fuel consumption amount and drying performance were made between conventional dryer and the heat recovery system attached dryer.

Key words : Agricultural products dryer, Heat exchanger, Waste heat recovery

1. 서 론

우리나라에서 고추는 연간 생산량이 노지고추는 180,120톤, 시설고추 231,630톤(2001,농림부)에 달하는 중요한 경제작물이다. 생산된 고추는 풋고추용과 건조후 가공용으로 이용하고 있다 고추 건조는 태양열을 이용한 건조, 하우스를 이용한 건조 및 건조기를 이용한 화력건조등이 있으며, 태양열건조의 경우, 고추건조기간이 대개 8-9월에는 기후의 불순으로

* 농촌진흥청
* * 경북도립 경도대학 차량기계학과

효과적인건조를 기대하기 어려운 실정이다.

그리하여 최근 농업의 기계화가 급속히 진행되면서 화석에너지를 사용하는 열풍 건조 시스템이 급속히 개발 보급되었다.

농림부의 통계현황을 보면 농산물 건조기는 약16만대('00)로 보고 되고있다(농림부,2000). 농산물건조기의 보급으로 유류의 소비량이 증가하여 농가에 큰 부담을 가지게 되었으며, 이로 인하여 에너지 절약기술은 모든 농수산, 축산 및 산업분야의 생산 및 경제성분야에 지대한 영향을 미치는 것으로 에너지 절약기술개발이 절실히 요구되고 있다.

특히 농산물건조기의 농산물을 건조할 때 배풍열 및 연통으로 나가는 배기열을 회수하여 재이용할 필요성이 증대되고 있다. 건조시 손실되는 고온의 열을 대기 중으로 방출함으로서 에너지 손실로 인한 막대한 유류의 소비를 가져오고 있으므로 이러한 손실되는 폐열을 회수하여 재활용함으로서 연료 절감 및 건조효율의 향상을 가져오리라는 판단이 된다. 농산물건조에 관한 연구를 살펴보면 다음과 같다.

김(1974)등은 고추건조시 온도는 고추의 품질에 영향을 미친다고 알려져 있는데 80℃이상의 고온은 심한 품질저하를 초래한다고 보고하였다.

강(1991)은 분말고추의 열 및 물질전달에 관한 연구에서 각 열원에 대한 온도변화의 경우 온도가 낮을수록 건조소요시간이 길어졌으며, 분말입자가 작을수록 건조소요시간이 단축되는 것으로 보고하였다.

조(1991)는 고추의 건조과정의 모형화 및 최적화에 관한 연구로서 건조과정 중 가장 적합한 함수율 모형 및 온도모형을 개발하기 위하여 기본 모형을 설정한 후 그 타당성을 실험적 분석으로 검증하여 기본모형의 타당성을 확인하였다. 열 회수에 관한 연구로서(1985)등은 농용기관의 배기가스 폐열을 회수하여 농산물을 건조에 관한 연구가 발표되었다.

강(2001)은 온풍난방기 배기열 회수시험에서 히트파이프식 열교환기로 시험결과 약 85%의 배기열을 회수하여 온실난방비를 16%감소시킬 수 있었고, 또 다른 온풍난방기의 연구로 배기열을 회수하여 온수로 변환하여 지중 난방용으로 이용한 결과 배기열의 63%를 회수할 수 있다고 보고하였다(김,2000).

본 연구는 건조에 대한 현장연구로서 주변의 열 환경 및 건조과정 중 에너지절감을 위하여 기존 농산물건조기에 부착형 배풍열 회수장치를 개발하여 연료절감 효과 및 건조성능을 구명하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

(1) 배풍열회수 건조시스템

농산물건조기의 실험장치는 Fig. 1과 같이 건조실, 송풍기, 버너, 열회수장치, 순환펌프, 건조상자 등으로 구성되어 있으며, 열회수장치는, 흡입열교환기, 배풍열교환기, 순환펌프, 유량계, 환풍기 및 열매체유 연결관으로 이루어져 있으며, 열교환기는 전열면적을 증대하여 열교환 효율을 높이기 위해 열전도율이 높은 동관을 여러 단으로 직렬 조합하여 구성하였고, 순환펌프로 열매체를 강제 순환시켜 열을 회수할 수 있도록 하였다.

열교환장치의 형식은 분리형 핀-튜브방식, 작동유체는 열매체유, 순환펌프 용량 400ℓ/h, 배풍구 동관길이 약26m, 흡입구 동관길이 약 50m로 되어 있으며, Table 1은 공시건조기 및 열교환장치의 제원을 나타내었다. 공시건조기의 형식은 밑바람식, 버너의 연료소비량 2.6-3.3(ℓ/h), 송풍기의 송풍량 142(㎥/min) 및 소비전력은 1.01(kW)로 나타났다.

(2) 공시재료

건조실험에 사용된 고추의 품종은 포청천이며 1회투입고추량은 600kg으로 공시건조기와 관행건조기를 사용하였으며, 시험장소는 경북 예천군 유천면 고추재배농가(2002년 8월17일 ~ 8월21일)와 경남 밀양시 산내면 고추재배농가(2002년 9월20 ~ 9월25일)에서 현장에서 건조성능 실험을 하였다.

(3) 실험방법

계측장치로는 초음파유량계, 다점온도기록계, 로드셀, 온·습도계, 풍량계 등으로 구성되어 있으며, 온도계측은 K타입 열전대를 이용하여 건조실, 배풍구, 흡입구, 건조실내·

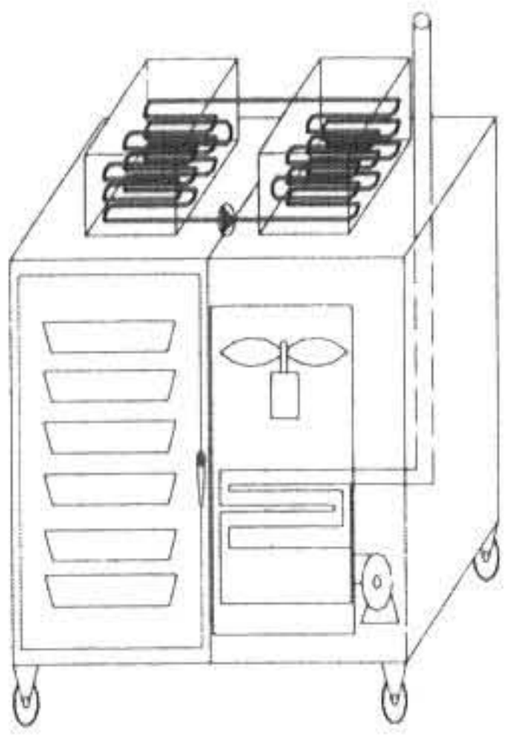

Fig.1 Model of the waste heat recovery agricultural products Dryer

외부온도 및 연소실 온도를 다점온도기록계(Hybrid recorder DR-230, YOKOGAWA, Japan)로 10초 간격으로 측정하였으며, 송풍량은 142(㎥/min)로 고정하고, 함수율 변화는 고정밀 전자저울(PB303-S)을 이용하여 무게로 계산하였으며, 초기함수율과 최종함수율 측정은 드라이 오븐을 이용하여 105℃에서 24시간동안 측정하였다. 또한, 색택은 색채색차계(CR-200, Japan)로 L, a, b값을 측정하였으며. 본 시험의 공시작물은 홍고추(포청천)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

(1) 공시건조기의 입출구 공기온도변화

Fig. 2는 배풍열 회수장치를 부착한 농산물 건조기를 이용하여 고추 600kg을 건조한 결과, 농산물건조기의 온도변화를 나타내고 있다. 농산물건조기의 배풍구 입구온도가 48~53℃일 때 배풍구 출구온도는 42~44℃로 나타났다. 이때 흡입구 입구온도는 외부온도와 같은 18℃일 때 흡입구 출구온도는 42~44℃로 나타나 건조실로 42~44℃의 높은 온도를 투입하므로 연료비를 절감할 수 있는 것으로 판단된다.

Table1. Specifications of the Experimental dryer

Item		Specification
type		under air type
dryer size(L×W×H, mm)		2,580×1,300×1,960
Burner	type	Gun type
	Fuel comsumption (ℓ/h)	2.6-3.0(Light oil)
Blower	type	axial type
	power connection	Direct moter connection
	Air flow rate(㎥/min)	142
	Electric power(kW)	1.01
Heat exchanger		
type		Separate Fin- tube type
Working fluid		Water
Fluid circulation pump (ℓ/h)		400 ℓ/h
Dryer Heat Exchanger		
Size(L·W·H,mm)		340×340×250
Area(m^2)		1.14
Pipe(mm)		L:28,600, t : 0.7, ϕ: 12.7
Indraft Heat Exchanger		
Size(L·W·H,mm)		800×500×250
Area(m^2)		2
Pipe(mm)		L:50,400, t : 0.7, ϕ: 12.7

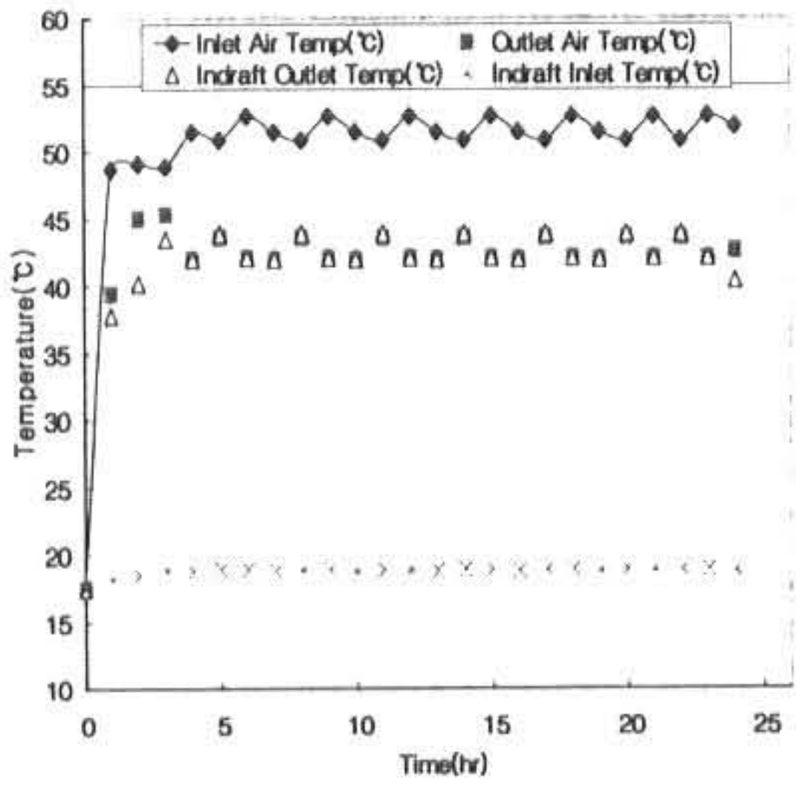

Fig. 2 Temperature variation in the dryer

(2) 단위시간당 배풍열량 및 회수열량

Fig. 3은 농산물(고추 600kg)건조시 배풍열량에 대한 회수열량을 나타내고 있다. 배풍열량은 단위기간당 41,000kJ에서 43,000kJ로 증가할 때, 흡입열량은 29500kJ에서 32700kJ로 나타났다.

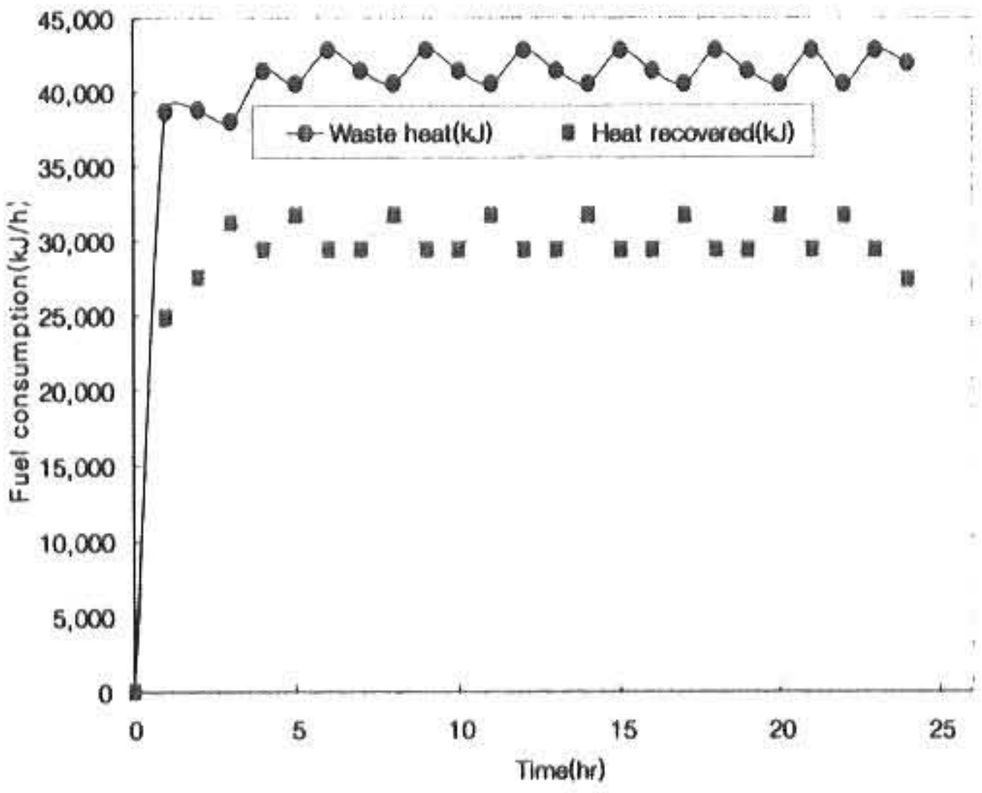

Fig. 3 Changes of the waste heat and recovered heat in the dryer

(3) 공시건조기의 건조특성 및 건조품위

Fig. 4는 고추건조시간에 대한 함수율변화를 나타낸 것이다. 고추의 초기함수율은 80%였으며, 배풍열회수건조를 할 경우는 함
수율이 약14%까지 떨어지는데 약 24시간이 경과했으며, 관행건조는 약48시간으로 나타나 건조시간이 약50%단축이 됨을 알 수 있었다.

또한 Table 2는 고추의 건조후 색택을 조사한 결과를 나타낸 것이다. 색택은 색채색차계(CR-200, Japan)로 L, a, b값을 측정하였으며, L*a값이 열회수 건조는640.1, 관행건조는 575.2, 태양초는 740로 화력건조가 다소 낮게 나타남을 알 수 있었다.

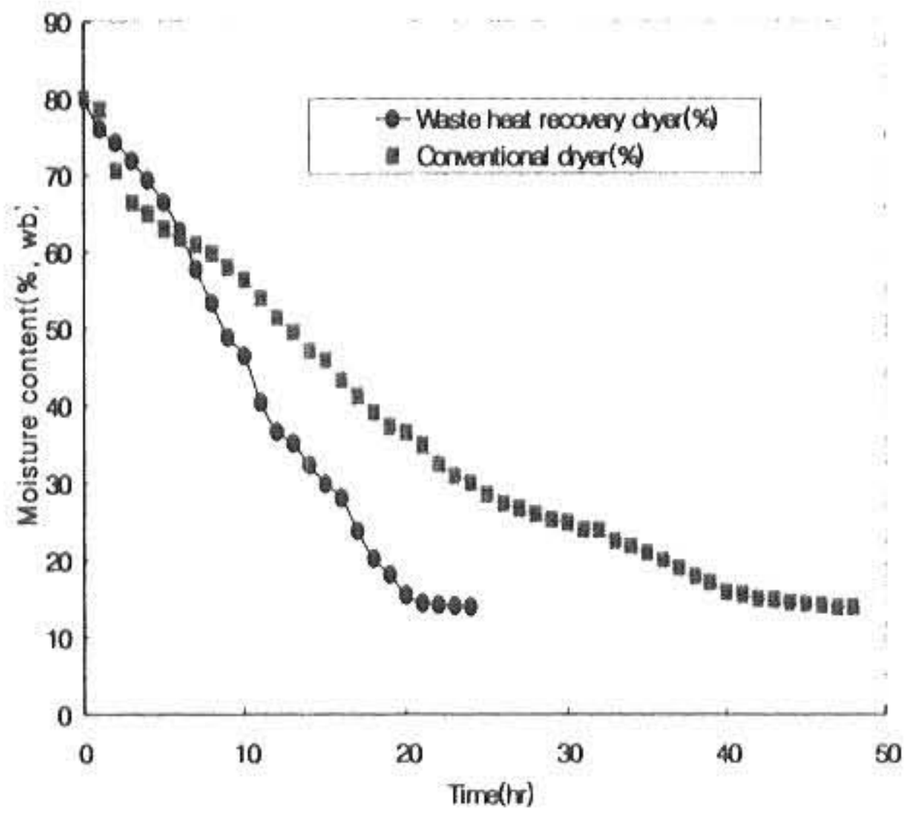

Fig. 4 Change of rad pepper Moisture contents

Table 2 Drying characteristics of rad pappers

건조방법	Initial moisture content (%,w.b.)	Final moisture content (%,w.b.)	Drying time (hr)	Color		
				L	a	b
열회수건조	80	14	24	33.62	19.04	5.5
관행건조	80	14	60	33.62	17.11	5.3
태양건조	80	14	168	33.76	21.92	6.16

(4) 투입열량에 따른 회수열량

Fig. 5는 고추건조시에 투입열량에 대한 회수열량을 나타낸 것이다. 투입열량이 1,076,544kJ일 때 배풍열량은989,949kJ이고, 회수열량은 715,019kJ으로 나타나, 투입열량이 100%일 때 배풍열량은 92%, 회수열량은 66%를 회수하여 재이용할 수 있었다.

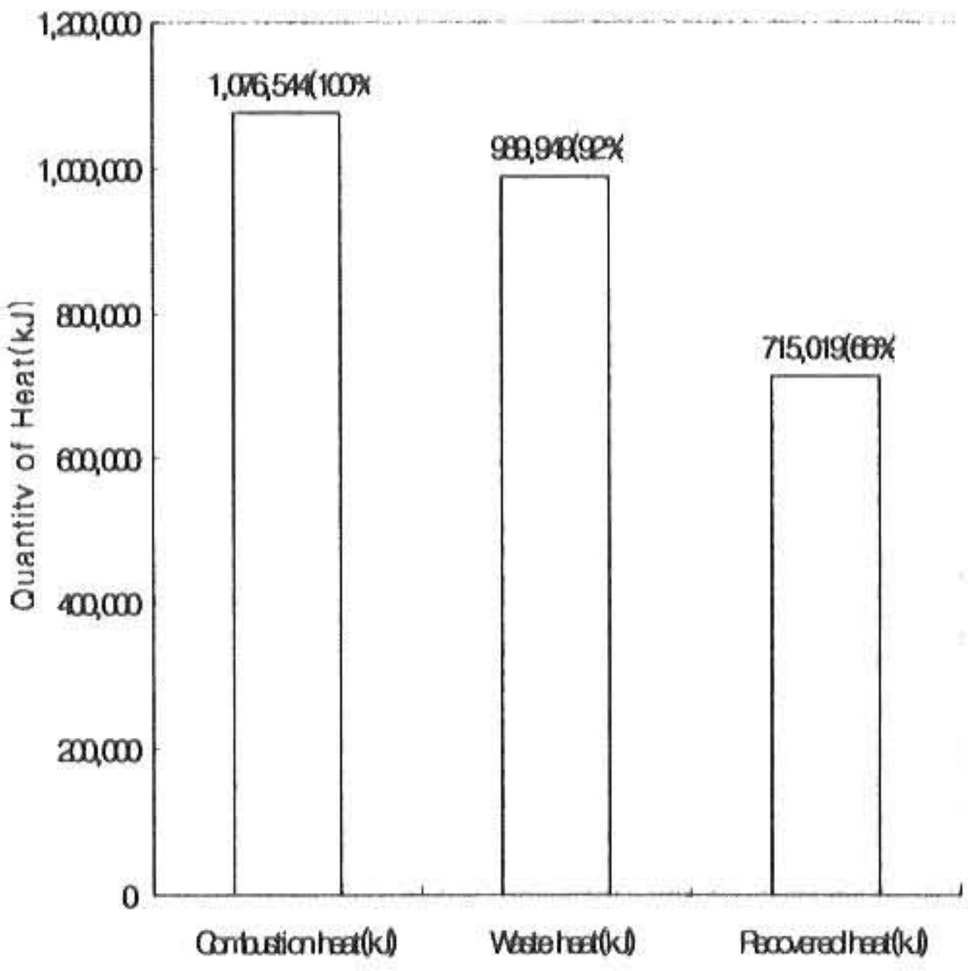

Fig. 5 Kind of heat measured in the drying process

(5) 경제성 분석

배풍열회수 농산물건조기를 이용하여 고추(600kg)을 건조를 수행하는 경우와 관행 농산물건조기를 이용하여 건조하는 경우를 분석한 결과 표 4에서 보는 바와 같이 연료소모량은 관행건조는 67.6ℓ의 연료를 소비하였으며, 배풍열회수건조시 38.5ℓ를 소비하여, 43% 절감되는 것으로 나타났으며, 건조소요 비용은 40% 절감되는 것으로 판단되었다. 또한, 배풍열 회수장치를 부착 농산물건조기를 이용할 경우 소요시간의 단축으로 기계이용효율을 높이고 농가의 소득증대에도 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

○ Dryer durable year : 10year
○ Salvage price of the dryer : Purchase Price 5%
○ Annual repair rate : 5%
○ Annual interest : 4%
○ Fuel consumption rate : 364 Won/ℓ (Light oil, Tax free)

Table 4. Economic analysis and comparison between the two dryers

Items		Conventional Dryer	Waste heat Recovery Dryer
Purchase price(won)		3,250,000	4,200,000
Durable year(year)		10	10
Total use hours(time/year)		1,000	1,000
Annual fixed cost(won/year)	Depreciation	308,750	399,000
	Repair cost	162,500	210,000
	Interest	68,250	88,200
	Sum	539,500	697,200
Fixed cost(won/hour)		539	697
Operating cost (Won/hour)	Total fuel Consumptiom(ℓ)	**67.6(100)**	**38.5(57)**
	Drying time(hour)	48	24
	fuel Consumptiom rate(ℓ/hr)	1.41	1.61
	Fuel price(won)	513.2	584.7
	Electric price(won)	38	41
	Sum	551.2	625.7
Cost(Won/hr)		1090.2	1322.7
Total costs(won/100kg)		52,331	31,745
Index(%)		**100**	**60**

○ Drying hour : Conventional Dryer 48hr, Waste heat Recovery Dryer 24hr
○ Fuel consumption rate
- Conventional Dryer : 3.2ℓ/h, Waste heat Recovery Dryer : 1.8ℓ/h

○ Electric cost : 38 Won/kWh,(for Agricultural Production)

4. 요약 및 결론

본 연구는 농산물을 건조할 때 배풍구로 버려지는 열을 회수하여 건조열원으로 재이용할 수 있는 배풍 열 회수장치를 개발하여 연료절감 및 열 회수장치의 성능을 분석한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 농산물건조기의 배풍열을 회수하여 재이용할 수 있는 분리형 핀-튜브방식의 배풍열 회수 농산물건조기를 개발하였다.
(2) 고추를 건조시 배풍구 입구온도가 48~53℃일 때 배풍구 출구온도 42~44℃, 일때 흡입구 입구온도는 18℃, 흡입구 출구온도는 42~44℃로 나타나 건조실로 42~44℃의 높은 온도를 투입할 수 있었다.
(3) 배풍 열량이 단위시간당 41,000kJ에서 43,000kJ로 증가할 때, 흡입열량은 29,500kJ에서 32,700kJ로 나타났다.
(4) 고추의 초기 함수율이 80%에서 14%까지 떨어지는데 관행건조는 약 48시간이 경과했으며, 배풍 열 회수건조를 할 경우는 약 24시간이 경과했으며. 그 결과 배풍열 회수건조가 약 24시간정도 소요시간이 단축되었으며, 색택은 L*a값이 열회수건조 640.1, 관행건조 575.2, 태양초 740으로 화력건조가 다소 낮게 나타남을 알수있었다.
(5) 배풍열 회수장치를 사용하여 농산물건조기 투입량의 47%, 배풍 열량의 64%의 열량을 회수할 수 있었다.
(6) 배풍열 회수 농산물건조기 성능시험 결과 고추 100kg 건조시 연료소모량은 43%, 건조소요비용은 40% 감소시킬 수 있었다.

참고문헌

1) 강금춘, 김영중, 유영선, 백 이, 이건중. 히트파이프를 이용한 온풍난방기 배기열회수 시스템의 열회수 특성. 농업기계학회지. 26(5). (2001)
2) 강석원. 대류 및 복사에 의한 분말고추의 열 및 물질전달 특성. 석사학위 논문. 서울대학교 대학원. (1991)
3) 고학균, 조용진, 강석원. 고추의 건조공정에서 적외선 건조법의 활용에 관한연구. 한국농업기계학회지. 15(3). (1990)
4) 고학균, 금동혁, 김만수, 노상하, 문성홍, 박경규, 장동일. 농산가공기계학. 향문사. (1990)
5) 김영중, 유영선, 장진택, 강금춘, 이건중, 신정웅. 온풍난방기의 배기열을 이용한 지

중 난방용 온수공급시스템의 열회수특성. 농업기계학회지. 25(3). (2000)
6) 김재곤, 김공환. 고추의 열풍건조 특성한 국농화학회지 17(1). (1974)
7) 농림부. 농림통계연보. (2000)
8) 백형희, 김동만, 김길환. 건조방법에 따른 표고버섯의 품질변화. Korean J. Food Sci. Technology. Vol 21(No.1)(1989)
9) 서상룡, 유수남. 농용 내연기관 폐열의열에너지 회수. 농업기계학회지 12(1). (1987)
10) 조덕봉, 김동필, 최춘순. 표고버섯의 열풍건조속도론에 관한 연구.한국영양지 10(1). (1981)
11) 조용진. 고추의 건조모형화 및 최적화에 관한 연구. 학사학위논문. 서울대학교 대학원. (1991)
12) 최병민. 인삼의 평형함수율 및 건조모델. 박사학위논문. 전북대학교 대학원. (1992)

(2002년 12월 10일 접수, 2003년 5월25일 채택)