

태양열 건조 시스템에 관한 실험적 연구(Ⅱ) —벼의 태양열 건조 특성—

고 학 균 · 김 용 현* · 송 대 빈** · 박 재 복***

서울대학교 농공학과
서울대학교 농업개발연구소*
서울대학교 대학원 농공학과**
한국식품개발연구원***

Experimental Studies for Solar Drying System of Agricultural Products(Ⅱ) —Solar drying characteristics for rough rice—

Koh, Hak-Kyun · Kim, Yong-Hyeon* · Song, Dae-Bin** ·
Park, Jae-Bok***

Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National Univ.
Institute of Agricultural Science & Development, Seoul National Univ.*
Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National Univ. Graduate**
Korea Food Research Institute***

요 약

곡물 bin을 이용한 벼의 건조실험을 수행하여 상온통풍건조 시스템과 태양열 건조 시스템의 건조 특성을 비교하여 분석하였다. 태양열 건조의 시뮬레이션 모형에 대한 컴퓨터 프로그램을 개발하였으며 시뮬레이션 모형에 의한 함수율의 예측치는 실측치와 전체적으로 일치하였다.

또한, inverter를 사용하여 벼의 건조 상태에 따라 송풍량을 적절하게 제어하는 송풍량 제어 시스템을 개발하였으며, 개발된 송풍량 제어 시스템을 통하여 에너지 절약 효과를 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

In-bin grain drying experiments were performed to investigate the drying characteristics between natural air and solar heated-air drying system of rough rice. A computer

simulation model for solar drying system of rough rice resulted in a good agreement between the experimental and predicted moisture content.

In order to save the electric energy consumption of fan, airflow rates control system using inverter was developed and resulted in the effect of energy saving.

Nomenclature

a : specific surface area(m^2/m^3)
 f : frequency(Hz)
 c : specific heat(KJ/kg-dry air K)
 G : mass flow rate(kg-dry air/hr m^2)
 h : convective heat transfer coefficient
 (KJ/hr m^2 K)
 h_{fg} : evaporation latent heat(KJ/kg- H_2O)
 H : absolute humidity(kg- H_2O / kg-dry air)
 K : drying constant
 M : moisture content(decimal)
 \bar{M} : average moisture content(decimal or percentage)
 N : rotating speed of motor(rpm)
 P : number of poles
 \dot{Q} : airflow rate(kg/min)
 s : slip(%)

t : drying time(hr)
 T : air temperature($^{\circ}C$)
 x : depth of grain(m)

Greek symbols

θ : grain temperature($^{\circ}C$)
 ρ : bulk density(kg-dry matter/ m^3)

Subscripts

a : dry air
 e : equilibrium state
 in : inlet air
 m : measured
 o : initial
 p : grain or predicted
 v : vapor
 w : water

1. 서 론

농산물의 건조 작업은 다른 농작업에 비하여 많은 에너지를 소모하고 있다. 현재 우리나라 농가에 있어서 벼의 건조방법은 포장에서의 천일건조 또는 화력건조기를 이용한 인공건조에 의해서 이루어지고 있다. 천일건조방법은 건조 작업중에 상당한 노동력을 필요로 할 뿐더러 건조 과정의 강우로 인한 곡물의 양적 또는 질적 손실을 초래할 뿐만 아니라, 단기간내에 많은 양의 곡물을 안전하게 저장 가능한 수준까지 건조시킬 수 없다.

태양열을 곡물건조에 이용하려는 연구는 Lipper와 Davis⁹⁾에 의하여 처음 시도된 이후 Peterson¹⁰⁾, Roa¹¹⁾, 堀部和雄³⁾등 여러사람들의 주목을 받아왔다. 이러한 연구의 대부분은 상온통풍건조방법의 보조열원으로 태양열을 이용하려는 것이다.

한편, 농산물의 건조 시스템에 사용되는 송풍기는 피건조물의 건조상태에 상관없이 일정량의 풍량을 지속적으로 공급하는 연속송풍방법 또는 on-off제어에 의한 간단송풍방법이 채택되어 왔다. 이러한 연속송풍방법 또는 간단송풍방법은 피건조물의 과건조로 말미암은 품질 저하는 물론 전력소모량을 불필요하게 증가시켜주는 요인이 된다. 따라서, 피건조물의 품질 보전 및 과도한 전력소모량을 줄이기 위해서 피건조물의 건조 상태에 따라 송풍량을 적절하게 제어해주는 것이 바람직할 것이다.

본 연구에서는 태양열을 벼의 상온통풍건조방법의 보조열원으로 사용한 태양열 건조 시스템의 개발 및 성능 평가, 송풍기의 송풍량 제어, 태양열 건조 시스템의 건조 시뮬레이션 모형 개발 및 타당성을 검증하는 데 그 목적이 있다.

2. 실험 내용 및 방법

2.1 벼의 상온통풍건조 및 태양열건조 시스템

벼의 태양열 건조 시스템의 건조 특성, 동할미 발생율, 건감율등을 상온통풍건조 시스템과 비교 분석하고자 곡물 bin을 이용한 태양열 건조 및 상온통풍건조 실험을 동시에 수행하였다.

2.1.1 건조 시스템의 구성

건조 실험에 사용된 곡물 bin은 1.6mm두께의 철판을 사용하여 직경 2.0m, 높이 1.8m의 원통형으로 제작되었다. 바닥에서 30cm의 높이에 유공 면적비가 25%인 유공 철판을 설치하였으며 이와 같은 유공 철판은 송풍 공기의 저항에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 보고되었다.⁶⁾ Table 1은 건조 실험 조건을 나타낸 것이다.

Table 1. Conditions of drying experiments

Item	Method	Natural air drying	Solar heated-air drying
Variety		Namyang 3	Namyang 3
Harvesting date		Oct.18,1990	Oct.18,1990
Initial moisture content(%w.b.)		26.5	26.2
Initial grain temp.(°C)		18.0	18.0
Unit airflow rate(cmm/m ³)		4.3	6.5
Total weight of grain(kg)		1,650	1,700
Initial bulk density(kg/m ³)		570	570
Stored grain depth(m)		0.92	0.95

상온 통풍 건조에 사용된 송풍기는 sirroco fan으로 1735rpm에서 18m³/min의 풍량을 낼 수 있는 것으로 1/2HP의 단상전동기가 연결되었다.

한편, 태양열건조 시스템에 사용된 송풍기는 sirroco fan으로 1750rpm에서 35m³/min의 풍량을 낼 수 있는 것으로 1HP의 3상 유도전 전동기가 연결되었다.

2.1.2 태양열 집열기의 구조

태양열 건조 시스템에 설치된 집열기는 폭

0.91m, 길이 14.56m로서 집열면적이 13.2m²인 공기 가열식 집열기이다. 집열기의 덮개로 는 두께 0.1mm의 투명 폴리에틸렌 필름을 사용하였고, 집열판은 두께 12mm의 합판과 그 위에 설치된 두께 0.05mm의 흑색 폴리에틸렌 필름으로 이루어졌다. 한편, 집열판의 하부에는 단열재로서 두께 30mm의 styrofoam을 설치하였다. Fig.1은 곡물 bin을 이용한 태양열 건조 시스템의 개략도를 나타낸 것이다.

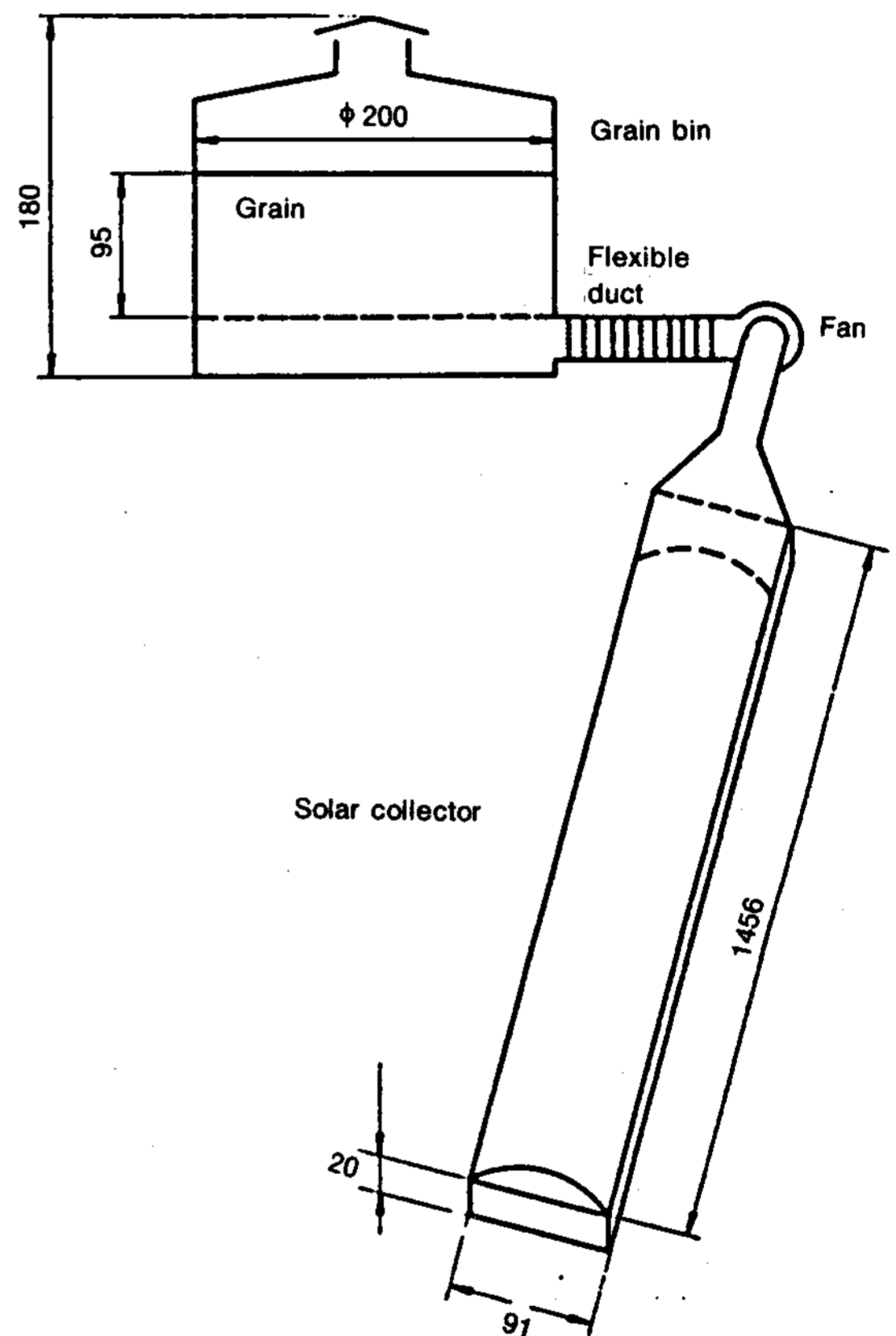


Fig. 1 Schematic diagram for solar heated-air drying system of rough rice(unit: cm)

2.2 벼의 태양열 건조 시뮬레이션

2.2.1 시뮬레이션 모형

Brooker등⁶⁾은 열 및 물질 평형식에 기초하여 후층건조 과정 동안 곡물의 건조 시뮬레이션 모형을 제시하였다. 시뮬레이션 모형을 세우는데 필요한 가정은 다음과 같다.

- (1) 건조과정동안 곡물의 체적수축은 무시한다.
- (2) 곡립 내부의 온도구배는 무시한다.
- (3) 곡립과 곡립 사이의 전도열전달은 무시한다.
- (4) 송풍량은 균일하다.
- (5) 곡물 bin의 벽면을 통한 열손실은 무시한다.
- (6) 단시간내에 습공기와 곡물의 열용량은 일정하다.
- (7) 건조 공기의 온도 및 습도의 시간변화율은 위치변화율에 비해서 무시할 만큼 작다.

상기의 가정하에 유도된 벼의 후층건조의 시뮬레이션 모형은 다음과 같다.

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{-ha(T-\theta)}{G_a(c_a+c_vH)} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{-ha(T-\theta)}{\rho_p(c_p+c_wM)} - \frac{h_{fg}+c_v(T-\theta)}{\rho_p(c_p+c_wM)} \frac{\partial M}{\partial t} \quad (2)$$

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

$$\frac{\partial \bar{M}}{\partial t} = -K(\bar{M}-M_e) \quad (4)$$

식(1)~(4)의 연립편미분 방정식을 후층건조에 대한 곡물의 후층건조모델 또는 편미분방정식 모델이라 부른다. 식(4)는 박층건조방정식으로서 본 연구에서는 중립종 벼에 대하여 Wang¹³⁾이 제시한 것을 사용하였다. 상기식의 초기 및 경계 조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} T(x,0) &= T_{in}, H(x,0) = H_{in} \\ \theta(x,0) &= \theta_0, M(x,0) = M_0 \end{aligned} \quad (5)$$

$$T(0,t) = T_{in}, H(0,t) = H_{in}$$

2.2.2 시뮬레이션 모형의 수치해석

비선형 편미분 방정식은 그것의 비선형성 때문에 해석적인 해를 구하기가 쉽지않다. 그러나, 편미분 방정식을 이산화하여 각각의 독립변수에 대한 상미분방정식으로 변환시키고, 수치해석법을 적용하면 근사해를 얻을 수 있다.

열 및 물질 평형식에 기초하여 유도된 태양열 건조 과정의 시뮬레이션 모형을 분석하고자 식(1)~(4)의 시뮬레이션 모형에 전향중심차분법을 적용한 후 Von Rosenberg¹²⁾ 등의 해법을

이용하여 수치해를 얻었다.

수치해석에 사용된 언어는 Fortran 77이며, 컴퓨터 프로그램의 전체 유통도는 Fig.2와 같다. 컴퓨터 프로그램의 주요 입력 및 출력 자료는 다음과 같다.

〈입력 자료〉

- (1) 건공기, 수증기, 물의 비열 및 곡물의 건물비열
- (2) 대기압, 곡물의 산물밀도, 비표면적
- (3) 곡물의 초기 및 최종함수율
- (4) 곡물의 온도, 퇴적고 및 격자점의 수
- (5) 유입공기 온도, 대기 온도 및 상대습도
- (6) 송풍량, 시간 증분

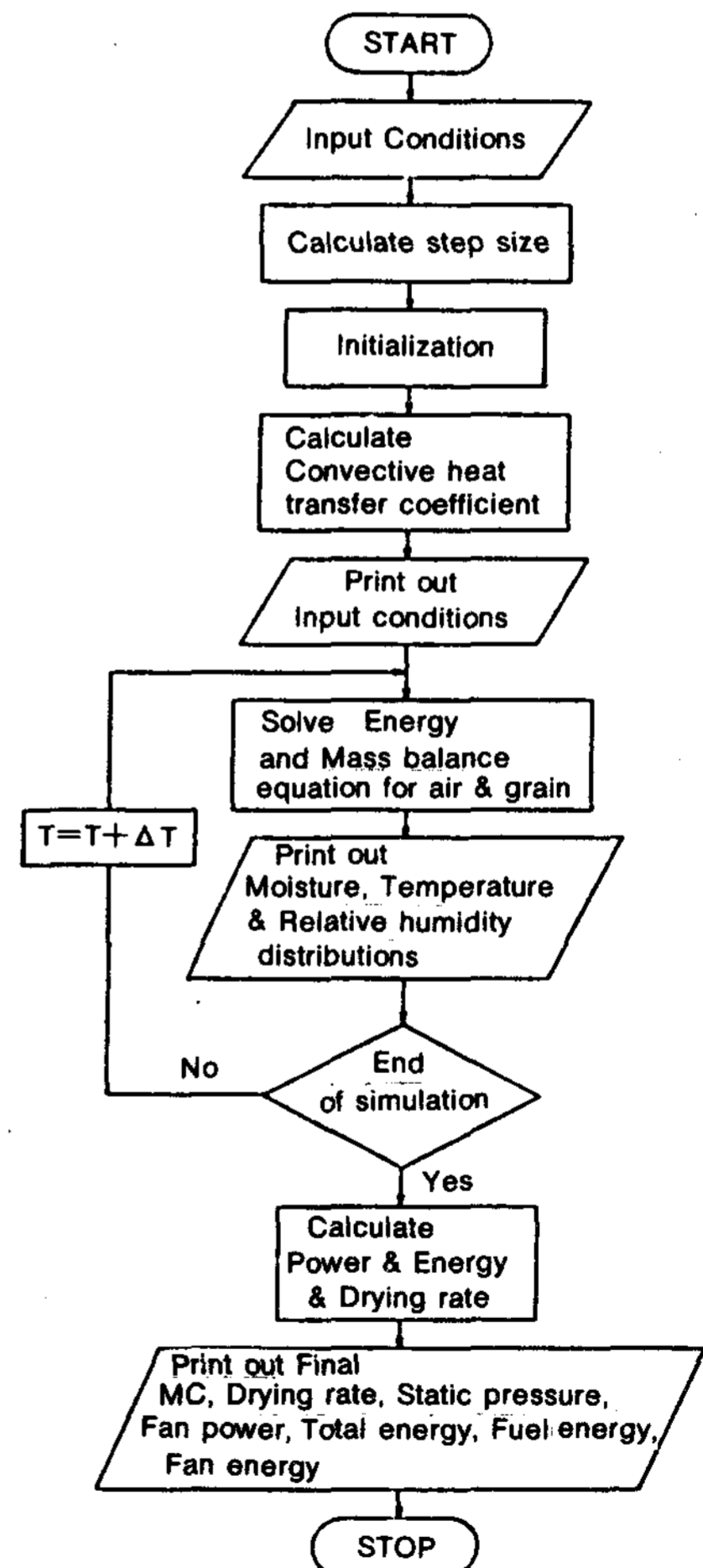


Fig. 2 Flow chart of the computer program for simulation of heat and mass transfer in solar drying system

〈출력 자료〉

- (1) 곡물의 초기함수율, 온도, 퇴적고 및 풍속
- (2) 대기 온도 및 상대습도, 대류열전달계수
- (3) 시간, 평균함수율, 제거된 수분의 무게
- (4) 함수율, 곡물의 온도, 배출공기의 상대습도 및 공기 온도 분포
- (5) 최종함수율, 건감율, 정압, 송풍기 소요 동력, 에너지 소모량

2.3 송풍기의 송풍량 제어

2.3.1 Inverter의 속도 제어 원리

Inverter는 사용 전원으로부터 공급된 전력의 주파수와 전압을 변환시켜 전동기의 회전속도를 제어할 수 있는 정지식 전동기 속도제어 장치이다.

일반적으로 유도전동기 회전자의 회전속도는 다음과 같이 표시된다.

$$N = \frac{120f(1-s)}{P} \quad (6)$$

식(6)에서 전동기 회전자의 회전 속도는 주파수에 비례함을 알 수 있다. 따라서, 주파수를 제어하면 광범위한 범위에 걸쳐 전동기의 원활한 속도 제어가 가능하다.

2.3.2 송풍량 제어 시스템의 구성

피건조물의 건조 상태에 따라 적합한 송풍량을 공급시켜주려면 송풍기가 부착되어 있는 교류전동기의 회전속도 제어가 선행되어야 한다.

송풍량의 제어 기준은 곡물 bin의 배출공기의 상대습도이다. 배출공기의 상대습도는 건조 초기에 높은 값을 갖게 되나 건조가 진행되어 감에 따라 점차 감소하며 곡물 bin의 상부에 퇴적된 곡물의 함수율이 평형함수율에 도달하면 유입공기의 상대습도와 비슷한 수준을 유지한다. 그러므로 배출공기의 상대습도에 따라 송풍기의 회전속도를 제어함으로써 결과적으로 피건조물의 건조 상태에 따라 송풍량을 제어하게 된다.

교류전동기의 회전속도를 제어하기 위한 controller로 16bit의 퍼스널 컴퓨터를 사용하였다. 퍼스널 컴퓨터를 이용한 교류전동기의 회전속도 제어의 원리를 개략적으로 설명하면 다

음과 같다. 퍼스널 컴퓨터의 확장 slot에 PC Lab card(PCL-711S)를 장착한 후 PCL-711S에 들어있는 D/A 변환기의 출력신호(0-5VDC)에 따라 교류전동기의 회전속도제어용 inverter(SV-004GS-2)를 구동시킨다. 이 inverter는 퍼스널 컴퓨터의 단말기에서 입력되어 D/A 변환기를 통하여 출력된 신호에 비례한 주파수를 나타내고, 궁극적으로 식(6)의 관계에서 주파수에 비례하여 교류전동기의 회전속도를 제어하는 것이다. Fig.3은 inverter의 제어 회로 구성 요소를 나타낸 것이며, Table 2는 inverter의 사양을 나타낸 것이다.

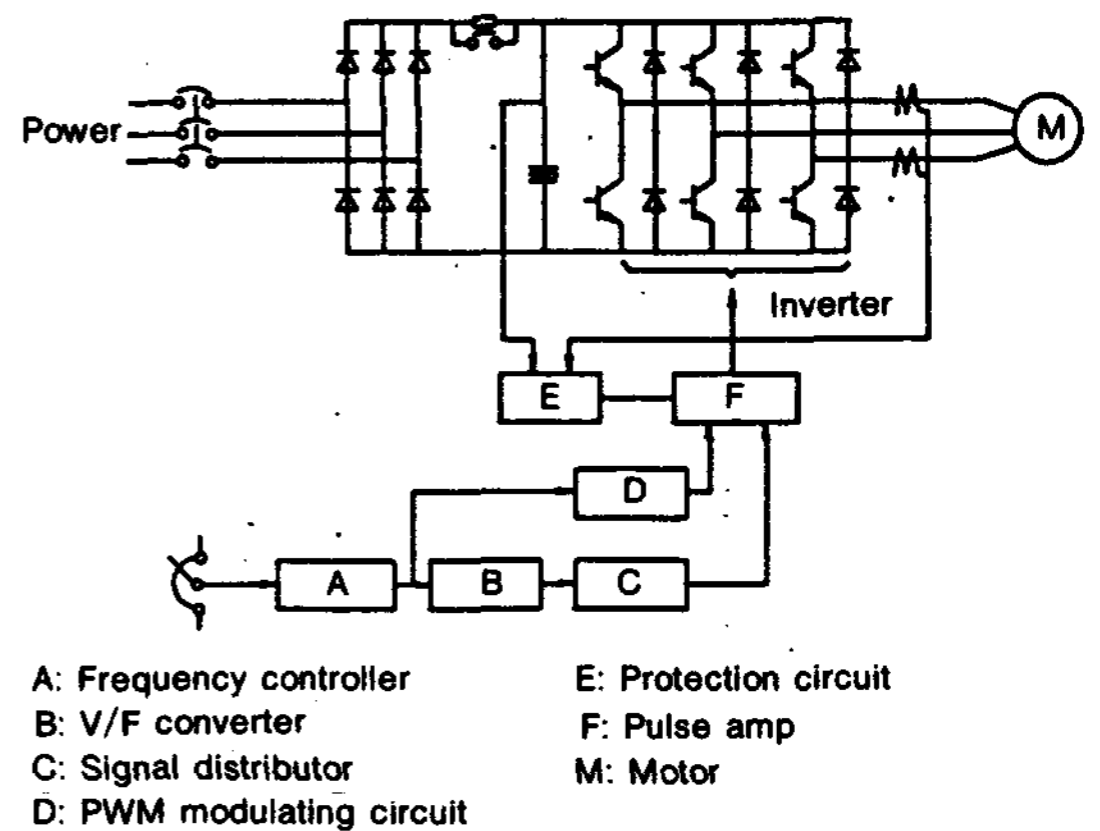


Fig. 3 Block diagram for the control circuit of inverter

Table 2. Specifications of inverter

Item	Specifications
Moter	0.4Kw
Power	three phase 200~230V 50/60Hz
Control	type: sine wave PWM control 0.5 ~360Hz resolution: 0.01Hz

3. 측정항목 및 방법

상은 통풍 건조와 태양열 건조 시스템의 건조 능력을 비교 분석하고자 벼의 함수율을 매일 오전 9시와 오후 5시에 시료 채취기를 이용하여 시료를 채취한 후 공기 오븐법으로 측정

하였다. 시료는 유공철판의 중앙으로부터 각각 0.1, 0.45, 0.8m되는 지점에서 채취하였다.

벼의 태양열 건조 특성과 태양열 건조의 시뮬레이션 모형에 대한 검증을 위해서 외기의 건구 및 습구온도, 집열기 입구 및 출구의 공기 온도, 건조실내의 공기 온도, 배출 공기의 건구 및 습구 온도, 곡물의 온도 변화를 직경 0.3mm의 Copper-constantan 열전대를 사용하여 측정하였다. 외기 및 배출공기의 습구온도는 공기가 불포화 상태일때 열전대를 둘러싼 젖은 형겅으로부터 수분이 증발되는 과정에서 결정된다.

곡물의 온도는 상온통풍건조 및 태양열 건조 시스템의 경우 유공철판의 중앙으로부터 각각 0.1, 0.45, 0.8m되는 지점에서 퍼스널 컴퓨터에 연결된 자료수집 시스템(Data acquisition system)을 이용하여 1시간 간격으로 측정하였다. 일사량은 지표면으로부터 180cm 높이에 Eppley 일사계를 설치하여 수평면 전천일사량을 측정하였다. 유입공기 및 배출공기의 상대 습도는 측정된 건구 및 습구온도를 이용하여 습공기의 성질 계산을 위한 컴퓨터 프로그램으로 결정하였다. 송풍기에서 공급되는 송풍량은 유입공기의 duct에서 열선식 풍속계를 사용하여 풍속을 측정 후 결정하였고, 송풍기의 전력소모량은 watt-hour meter를 사용하여 측정하였다. 한편, 집열기의 외부 풍속은 실험장소에 인접한 수원 기상 측후소의 기상 자료를 이

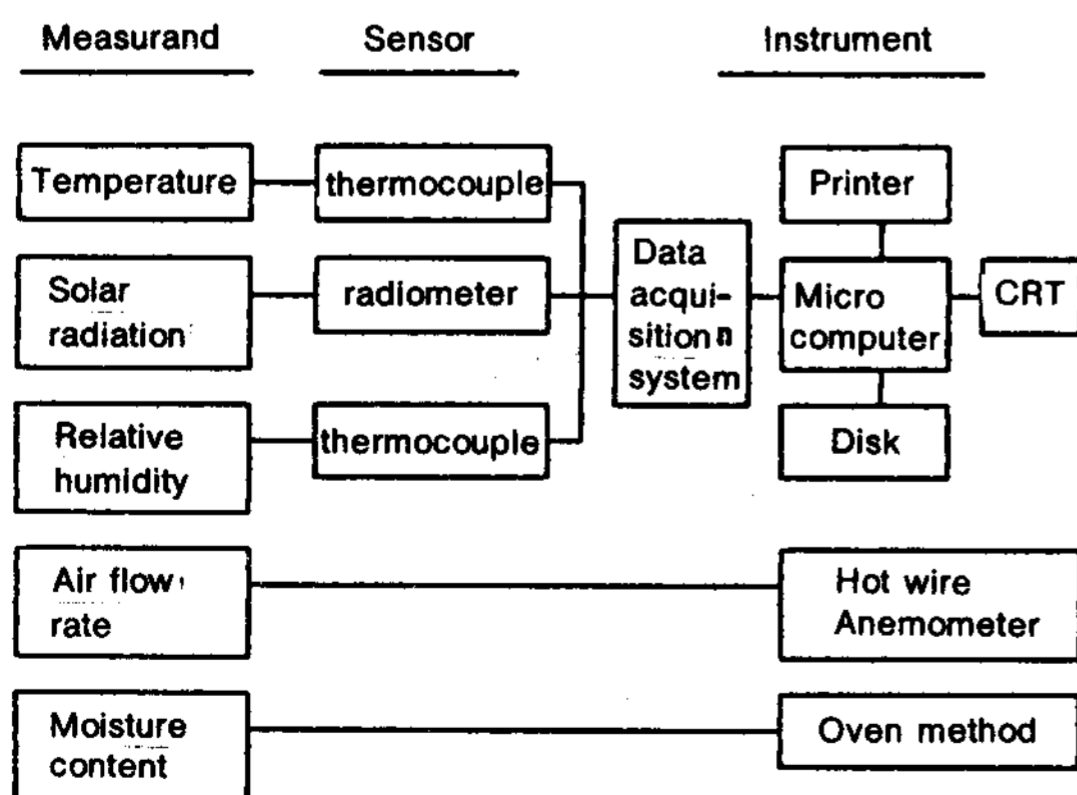


Fig. 4 Block diagram of the measurement system used in the experiment

용하였다. Fig.4는 본실험의 측정항목 및 측정 방법의 개략도를 나타낸 것이다.

4. 결과 및 고찰

4.1 상온통풍건조와 태양열건조 시스템의 건조 특성

4.1.1 건조 특성

Fig.5는 상온통풍 건조시 벼의 각층별 함수율 변화를 나타낸 것이다. 함수율이 15%이하까지 도달하는 데 소요된 건조 시간은 퇴적고가 10cm이하일 때 72시간, 퇴적고 45cm이하의 층은 240시간 소요되었으며, 퇴적고 80cm되는 층에서는 함수율이 16%이하로 떨어지지 않았다. 312시간 건조 후 최종함수율은 14.7~16.8%로서 상하층간의 함수율 차이가 크게 나타나지 않았으며, 평균함수율은 15.7%로 나타났다.

Fig.6은 태양열을 이용한 벼의 건조시 각층별 함수율 변화를 나타낸 것이다. 176시간 건조 후 최종함수율은 평균 14.5%로 안전저장 함수율에 도달하였으나, 퇴적고 10cm이하 층은 13%이하로 건조되어 과건조 현상을 나타내었다. 이러한 현상은 송풍공기의 온도가 다소 높

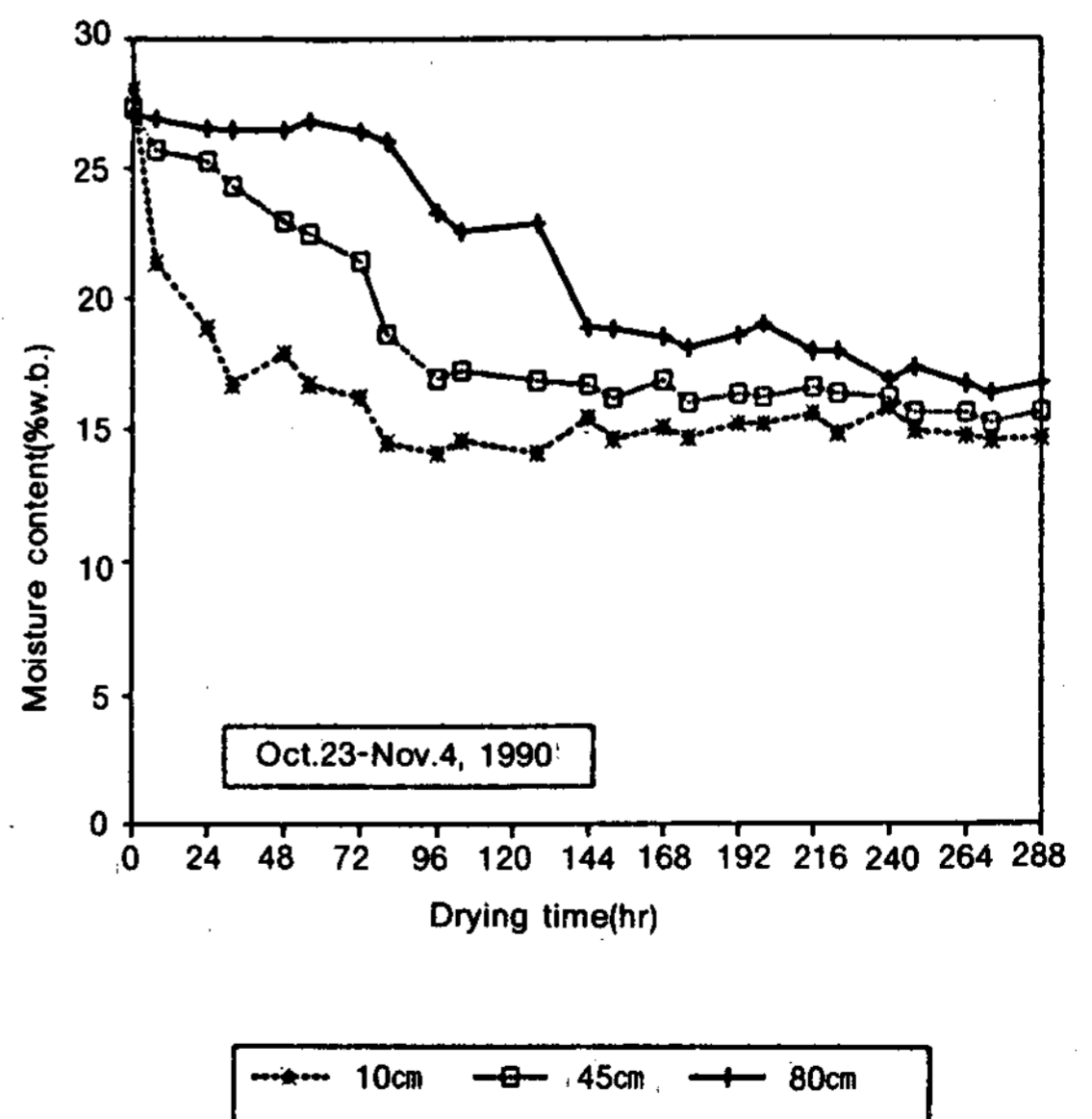


Fig. 5 Variation of moisture contents for natural air drying of rough rice.

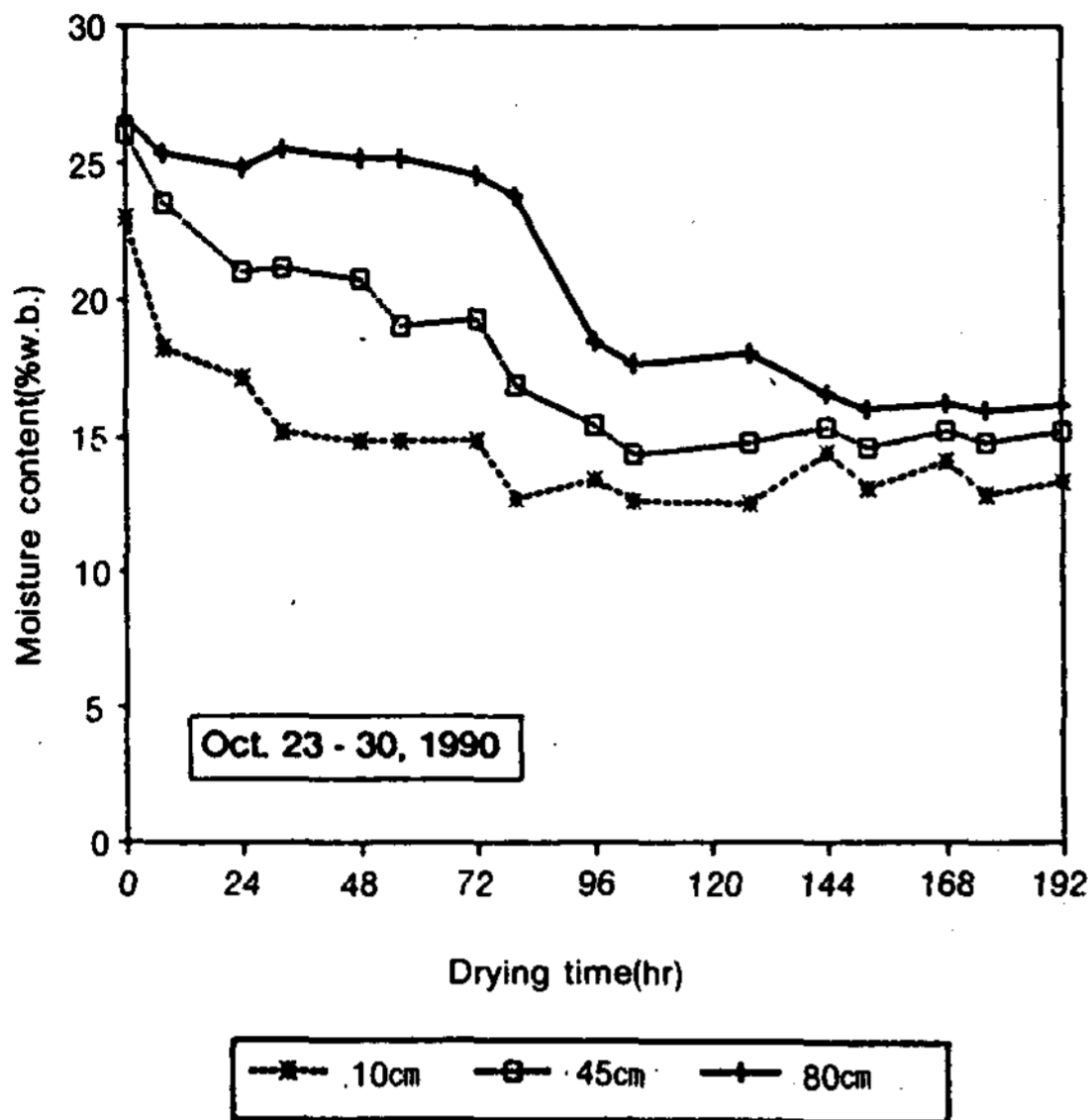


Fig. 6 Variation of moisture contents for solar heated-air drying of rough rice

은 데서 기인한 것으로 판단된다.

4.1.2 동할미 발생율

건조 방법에 따른 동할미 발생율을 비교하고자 각층별로 시료 100g을 채취하여 손으로 왕겨층을 제거한 후 확대경으로 동할미 발생 정도를 조사하였다. Table 3은 건조 방법에 따른 각층별 동할미 발생율을 나타낸 것이다. 건조

Table 3. Crackage of rough rice according to drying system

Method depth(cm)	Natural air		Solar heated-air	
	before	after	before	after
10	0.1	1.3	0.2	2.7
45	0.2	0.8	0.1	1.3
80	0.1	0.5	0.2	0.7
Average	0.1	0.9	0.2	1.6

전 상온통풍건조의 평균 동할미 발생율은 0.1%, 태양열 건조의 경우 0.2%로 나타났다.

건조후 동일한 방법으로 동할미 발생 정도를 조사한 결과 퇴적고 10cm이하의 층에서 상온통풍건조는 1.3%, 태양열 건조의 경우 2.7%로 나타나 태양열 건조 시스템의 동할미 발생율이 약 2배 정도 높게 나타났다. 이러한 이유는 송

풍 공기의 온도가 높아 태양열 건조 시스템의 하층부에서 건조가 급격하게 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다.

4.1.3 건감율

건조 기간동안 송풍기는 상온통풍 건조의 경우 312시간 가동되어 평균 건감율은 0.035%/hr로 나타났다. 태양열 건조의 경우 송풍기가 176시간 가동되어 평균 건감율은 0.066%/hr로서, 상온통풍건조에 비하여 1.9배 정도 높게 나타났다. Table 4는 건조 방법에 따른 평균건감율을 나타낸 것이다.

Table 4. Average drying rate of rough rice according to drying system

	Natural	Solar
Fan operation(hr)	312	176
Initial moisture content(%w.b.)	26.5	26.2
Final moisture content(%w.b.)	15.7	14.5
Average drying rate(%w.b./hr)	0.035	0.066

4.2 태양열건조의 시뮬레이션

태양열 건조에 관한 시뮬레이션 모형의 타당성을 검증하기 위하여 벼의 각층별 함수율의 실측치를 시뮬레이션 모형에 의한 예측치와 비교하였다. Table 5는 시뮬레이션 모형에 사용된 주요 인자들을 나타낸 것이다. Fig.7은 건조 기간 동안 곡물 bin내 유공철판의 중앙으로부터 각각 10, 45, 80cm되는 지점에서 함수율의 실측치와 예측치를 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 45cm층에서 함수율의 예측치와 실측치 사이에 2~4%의 차이가 나타났으나, 10cm및 80cm 층에서는 전체적으로 일치하였다.

한편, 45cm층의 경우 건조초기에 다소 커다란 차이를 나타내었으나 건조가 진행되면서 함수율의 예측치와 실측치 사이에 2~4% 정도의 차이를 나타내었다. 결과적으로 평균 기상자료를 입력하여 얻은 함수율의 예측치가 실측치와

Table 5. Parameters used in the simulation model

Description	Value	Unit	Reference
Specific heat of air	1.0069	KJ/kg K	8
Specific heat of vapor	1.87568	KJ/kg K	12
Specific heat of water	5.45	KJ/kg K	8
Specific heat of rough rice	0.9213	KJ/kg K	14
Bulk density of rough rice	519.1	kg/m ³	Measured
Initial moisture content	0.26	decimal	Measured
Final moisture content	0.145	decimal	Measured
Specific surface area	1040.0	m ² /m ³	13
Temperature of rough rice	18.0	°C	Measured
Stored grain depth	0.95	m	Measured
Inlet air temperature	20.8	°C	Measured
Ambient temperature	18.2	°C	Measured
Relative humidity	0.61	decimal	Measured
Airflow rate	5.73	m ³ /min	Measured

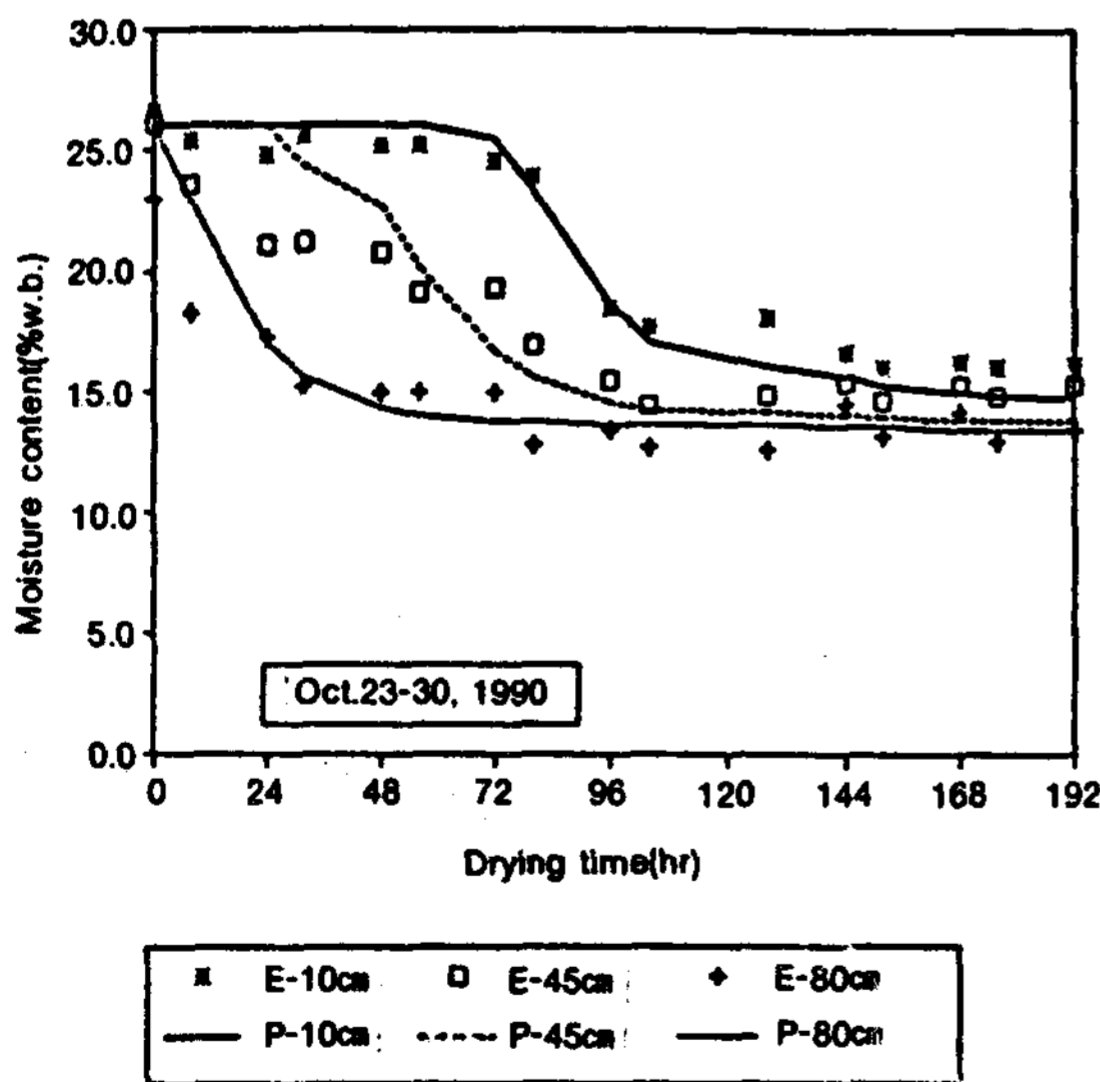


Fig. 7 Comparison of the experimental and predicted moisture contents with stored depth of rough rice.

근사함을 알 수 있었는데, 상기의 결과는 Bakker-Arkema⁵⁾의 결과와 동일한 것이다.

Fig.8은 수평축에 평균 함수율의 실측치를, 수직축에 평균 함수율의 예측치를 찍지어 나타낸 것이다. 그림에서 실선은 예측치와 실측치의 회귀식을 나타내며, 점선은 Y=X의 직선을 의미한다. 평균 함수율의 예측치와 실측치가 Y=X의 직선상에 근접하면 예측치와 실측치가 잘 일치하는 것으로 판단할 수 있다. 식(7)은 평균 함수율의 예측치와 실측치의 회귀식에 해당한다.

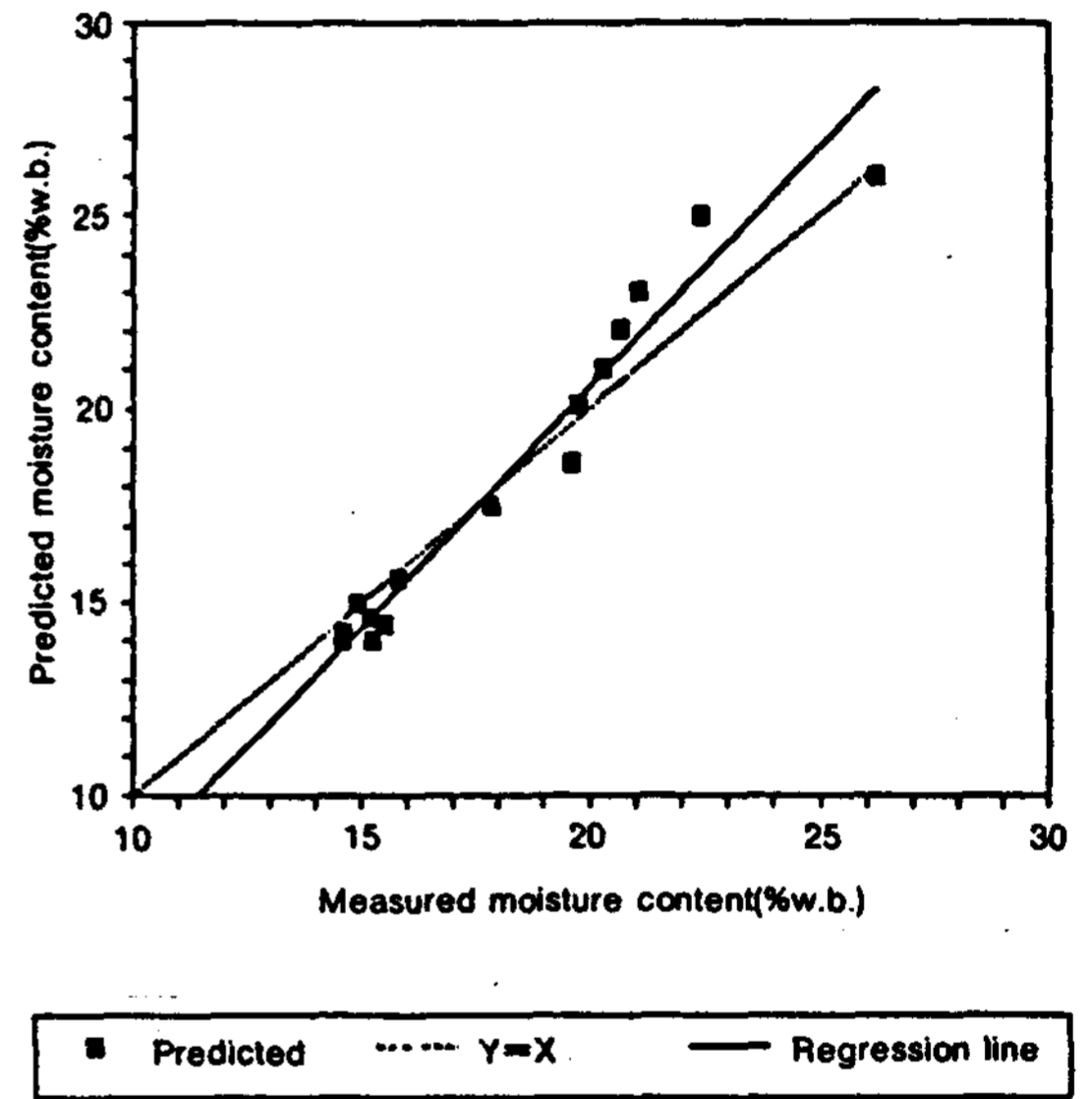


Fig. 8 Comparison of the moisture contents for the experimental versus predicted values.

$$M_p = 1.24412M_m - 4.29147 \quad (7)$$

$$(R^2 = 0.9683)$$

회귀분석 결과 함수율 예측치의 결정 계수는 0.9683으로 높은 값을 나타냈으며, 표준오차는 0.06%w.b.로 나타났다.

4.3 송풍기의 송풍량 제어

4.3.1 송풍량 제어

D/A 변환기의 출력에 대응하여 변화하는 inverter의 주파수는 교류 전동기의 회전속도와 비례 관계를 갖는다. Fig.9는 inverter의 주파수 변화에 따른 송풍기의 송풍량을 나타낸 것이다.

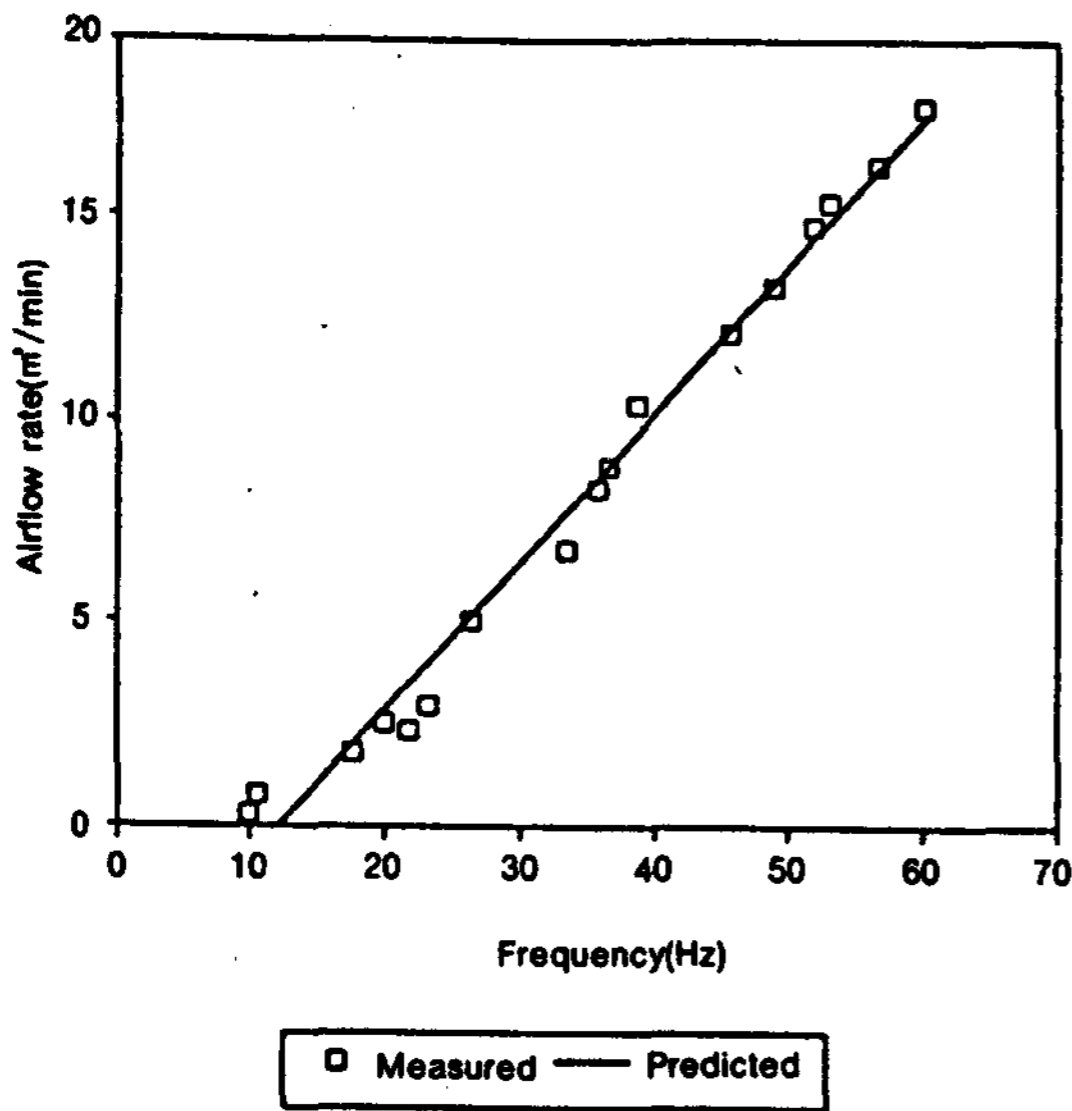


Fig. 9 Relation between airflow rate of dryer fan and frequency of inverter

회귀분석 결과 inverter의 주파수와 송풍량과의 관계는 직선성이 양호하여 inverter의 가변주파수에 의한 송풍량의 제어가 가능함을 뒷바침하여주고 있다.

$$\dot{Q} = 0.36373f - 4.44513 \quad (8)$$

$$(R^2 = 0.9867)$$

4.3.2 에너지 절약 효과

건조 초기에 배출공기의 상대습도는 거의 100%에 상당하므로 이 시기에 퍼스널 컴퓨터에 장착된 D/A 변환기는 출력 신호의 최고치를 inverter에 보내 inverter가 상용주파수(60Hz)를 갖도록 제어하며 inverter의 상용주파수는 궁극적으로 송풍기가 최대회전속도를 갖도록 송풍량을 제어하게 된다. 그러나, 곡물의 건조가 점차 진행되면서 배출공기의 상대습도가 낮아지면 D/A 변환기는 습도 변화에 대응한 출력 신호를 inverter에 보내 inverter의 주파수를 낮추어 조절하고 이에 따라 송풍기의 회전속도가 감소하도록 제어하는 것이다.

송풍기의 회전속도가 감소하면 송풍기의 전력 소모량은 회전속도의 3승에 반비례하여 감소함으로써 이에 상당한 에너지의 절약 효과를 얻게 된다. 송풍량 제어 시스템을 태양열 건조

에 적용한 후 건조 방법에 따른 전력소모량이 Table 6에 실려 있다.

건조 기간동안 태양열 건조 시스템의 전기에너지 소모량은 78.5Kwh, 상온통풍건조의 경우 106.1Kwh로서 inverter를 사용하여 송풍기의 회전속도를 제어한 태양열 건조 시스템이 상온통풍건조에 비해서 26.0%의 에너지 절약 효과를 나타냈다.

Table 6. Electric energy consumption according to drying system

	Natural	Solar
Fan operation(hr)	312	176
Energy consumption(Kwh)	106.1	78.5
Average energy consumption(Kwh/hr)	0.34	0.45
Energy saving for solar drying system	$\frac{(106.1 - 78.5)}{106.1} \times 100 = 26.0\%$	

5. 결론

태양에너지의 효율적인 이용을 위하여 곡물 bin을 이용한 상온통풍 건조 시스템에 공기가 열식 집열기를 설치하고 벼의 건조 실험을 수행한 후 건조 특성, 동할미 발생율, 건감을 등을 상온 통풍 건조의 경우와 비교하여 분석하였다. 함수율 변화를 예측할 수 있는 건조 시뮬레이션 모형의 개발, 송풍기의 송풍량 제어 시스템 개발 및 에너지 절약 효과에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 벼의 상온통풍 건조 및 태양열 건조에 소요된 건조 시간은 각각 312시간, 176시간으로 나타났다. 건조 후 최종함수율의 평균치는 상온통풍건조 및 태양열 건조의 경우 각각 15.7%, 14.5%로 나타났다. 건조후 동할미 발생율은 상온통풍건조가 0.9%, 태양열 건조가 1.6%로 나타났다. 건감율은 상온통풍 건조에서 0.035%/hr, 태양열 건조에서 0.066%/hr로 나타났다.
2. 태양열 건조의 시뮬레이션 모형에 대한 컴퓨터 프로그램을 개발하였으며 시뮬레이션

모형에 의한 함수율의 예측치와 실측치는 전체적으로 일치하였다.

3. 교류 전동기 회전속도 제어용 inverter를 사용하여 곡물의 건조 상태에 따른 송풍기의 송풍량 제어 시스템을 개발하였다. 태양열 건조 시스템에 inverter를 이용한 송풍량 제어 결과 상온통풍건조에 비해서 26.0%의 에너지 절약 효과를 얻었다.

후 기

본 연구는 1990년도 동력자원부의 “대체에너지 기술개발사업”의 연구비지원에 의하여 수행된 것의 일부로서 관계제위께 감사드리는 바이다.

참 고 문 헌

1. 고헌균, 농산물의 태양열 건조 시스템 개발에 관한 연구. 동력자원 대체에너지 기술개발보고서(1990)
2. 고헌균, 김용현, 태양열 건조 시스템에 관한 실험적 연구. 제4회 신재생에너지 기술 개발 및 동향에 관한 세미나(1991)
3. 堀部和雄, 中川健治, 大河誠一, 太陽熱を利用したもみ乾燥について. 日本農業機械學會誌 45(1) : 115-121(1983)
4. 堀部和雄, 中川健治, 大河誠一, 前田正俊. 太陽熱利用もみ乾燥の實用化に関する研究 (第一報). 日本農業機械學會誌 45(1) : 485-492(1984)
5. Bakker-Arkema, F.W. and J. Haight. Required weather data for simulation of solar grain drying. ASAE Paper No.76-3020(1976)
6. Buelow, F.H. and J.S. Boyd. Heating air by solar energy. Agric. Eng. 38(1): 28-30(1957)
7. Lipper, R.I. and C.P. Davis. Solar energy for crop conditioning. ASAE Paper No.59-902(1959)
8. Peterson, W.H. and M.A. Hellickson. Solar-electric drying of corn in South Dakota. Trans. of the ASAE19(2): 349-353(1976)
9. Roa, G. and I.C. Mcedo. Grain drying in stationary bins with solar heated air. Solar Energy 18: 445-449(1976)
10. Troegger, A.T. and J.L. Burtler. Simulation of solar peanut drying.
11. Von Rosenberg, D.U., R.P. Chambers, and G.A. Swan. Numerical solution of surface controlled fixed bed adsorption. Ind. Chem. Fundamentals 1: 154(1977)
12. Wang, C.Y. Simulation of thin-layer and deep-bed drying of rough rice. Ph.D. Thesis U.C. Davis(1978)

Simulation model for thermal environments of solar collector was developed to investigate the effect of solar radiation and airflow rate on thermal performance.

Experimental Studies for Solar Drying System of Agricultural Products(Ⅱ)

— Solar drying characteristics for rough rice —

Koh, Hak-Kyun · Kim, Yong-Hyeon* · Song, Dae-Bin · Park, Jae-Bok*****

Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National Univ.

Institute of Agricultural Science & Development, Seoul National Univ.*

Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National Univ. Graduate**

Korea Food Research Institute***

In-bin grain drying experiments were performed to investigate the drying characteristics between natural air and solar heated-air drying system of rough rice. A computer simulation model for solar drying system of rough rice resulted in a good agreement between the experimental and predicted moisture content.

In order to save the electric energy consumption of fan, airflow rates control system using inverter was developed and resulted in the effect of energy saving.

Misgurnus Anguillicaudatus Growing in Winter Season by Solar Thermal Heating

Jung, Hyun Chai · Sun, Kyung Ho · Jo, Jae Sun* · Nam, Sang Yul**

Kyung Hee Univ. Institute of Solar Energy. Dept. of Chemistry, Kyung Hee Univ.

Dept. of Food Processing, Kyung Hee Univ.*

Dept. of Biology, Kyung Hee Univ.**

We have maintained the optimum water temperature for misgurnus in winter season by solar thermal heating energy.

The Optimum temperatures for the misgurnus anguillicaudatus were experimentally estimated, i.e. for the total length 4~5cm and body weight 1~2g, the optimum temperature was 18~20°C. For the total length 5~7cm, body weight 2~3g was 20~22°C and for the total length 7~9cm and body weight 4~6gr was 22~24°C.

The smaller misgurnus(1~3g) grow relatively slow but the bigger ones(4~8g) grow relatively fast and total average body weight increment was about 30~50g per month.

A Performance Study on Direct Gain Passive Solar School Buildings

Lim, Sang Hoon · Lee, Nam Ho · Lim, Bok Kyu*