

## 마이크로컴퓨터 제어 열풍건조장치의 제작운영

정 신 교 · 감 준 수\* · 최 종 욱

경북대학교 식품공학과, 동의공업전문대학 식품공학과\*

### Operation of microcomputer aided convective drying system

Shin-Kyo Chung, Jun-Soo Kang\*, Jong-Uck Choi

*Department of Food Science and Technology,  
Kyungpook National University*

*\*Department of Food Technology, Dongeui Technical Junior College*

#### Abstract

To convert the analog signal from the drying process into the digital signal, the interface circuit was designed and built. To measure the weight and temperature during drying process, strain gauge type load cell and temperature transducer composed of pt 100  $\Omega$  thermometers and wheatstone bridge circuits were built and used. The temperature control device was composed of photocoupler and triac. Microcomputer aided experimental convective drying system was built with above circuits and devices. Drying characteristics of onions can be estimated using this system.

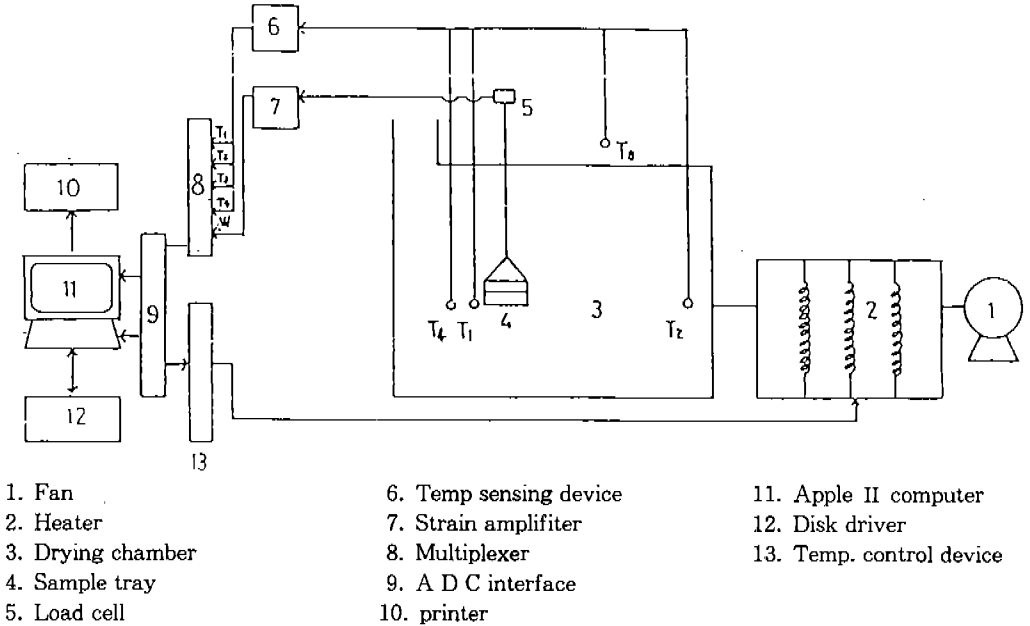
Key words : Microcomputer, control, convective drying system

#### 서 론

식품의 건조특성에 관한 연구는 Newman<sup>1)</sup>, Sherwood<sup>2)</sup>에 의하여 건조 중 고체내의 수분이동 이론이 제시된 이후 활발히 진행되어 왔다. Saravacos 등<sup>3)</sup>은 각종 과실과 야채의 건조율에 미치는 건조조건의 영향과 그 건조 특성에 관하여 보고하였으며 Henderson<sup>4)</sup>은 수분확산방정식을 근거로 하여 곡류의 건조기작과 건조상수에 미치는 건조온도의 영향을 검토하였다. Vaccarezza 등<sup>5)</sup>은 사탕무 건조시 Fick의 법칙을 응용하여 건조시료의 내부수분의 분포 및 건조시간을 예측하고자 하였으며 White 등<sup>6)</sup>은 Page 모델식을 이용하여 최초의 수분함량을 알 때 건조조건에 따라서 예측할 수 있는 대두의 박층건조모델식을 구하였다. 그리고 Manjeet<sup>7)</sup>은 건조온도와 습도를 변경시킨 건조조건하에서 호두의 박층건조에 가장

적합한 모델은 Page 모델식이라고 보고하였다. 그러나 식품은 그 구성성분 및 조직이 복잡다양하여 건조특성과 건조기작이 개개의 식품에 대하여 특이적이므로 현재까지도 충분히 해석되지 않고 있다. 따라서 이러한 식품의 건조특성을 해석하기 위하여는 건조 중의 수분함량을 연속적으로 측정할 수 있는 보다 정밀한 장치가 필요하다. 최근 다양하게 보급되고 있는 센서와 마이크로컴퓨터를 건조기와 적절하게 접속시키므로 경제적인 방법으로 건조공정 중 변수의 자동적인 측정 및 분석이 가능하게 되었다.<sup>8-9)</sup>

이에 본인 등은 마이크로컴퓨터를 이용하여 건조자료의 수집과 건조온도제어가 가능한 실험실 규모의 농산물용 열풍건조장치를 실험적으로 제작하여 이를 양파의 건조에 활용하여 그 특성을 조사하였으며 보고하고자 한다.



- 1. Fan
- 2. Heater
- 3. Drying chamber
- 4. Sample tray
- 5. Load cell
- 6. Temp sensing device
- 7. Strain amplifier
- 8. Multiplexer
- 9. A/D interface
- 10. printer
- 11. Apple II computer
- 12. Disk driver
- 13. Temp. control device

Fig. 1. Schematic diagram of experimental drying apparatus.

재료 및 방법

1. 실험장치 및 측정방법

가. 실험장치의 구성

본 실험에 사용한 열풍건조장치는 Fig. 1과 같이 송풍기, 공기가열부, 건조실, 제어 및 컴퓨터 접속장치, 마이크로컴퓨터 및 주변장치로 구성하였으며 본 건조장치의 제작에 사용된 재질의 사양은 Table 1과 같다.

Table 1. The specification of experimental dryer

Item	Material	Specification
Drying chamber		
dimension		900×450×500mm(L×W×H)
insulation	asbestos	5mm thickness
	styrofoam	10mm thickness
	vener plate	3mm thickness
Fan		
type		centrifugal
maximum air flow rate		4.5m <sup>3</sup> /min
Power		150W
Heating box		
dimension		400×250×350mm(L×W×H)
heater	nichrome wire	2KW
insulation	asbestos	5mm thickness
	glasswool	2mm thickness
	asbestos	5mm thickness
control mode	photocoupler	on/off
	triac	

건조실을 asbestos와 styrofoam 및 합판으로 단열 하였으며, 송풍기는 최대풍량 4.5m<sup>3</sup>/min의 원심팬으로 입력전압을 transformer로 조절하여 건조풍량을 조절하였고 공기 가열부분은 asbestos와 glasswool로 3중 단열하였다.

나. 마이크로컴퓨터 접속장치의 구성  
건조공정 중 자료수집과 제어를 자동으로 하기 위하여 Fig. 2회로의 접속장치를 설계 제작하여 건조기와 마이크로컴퓨터를 접속하였다.

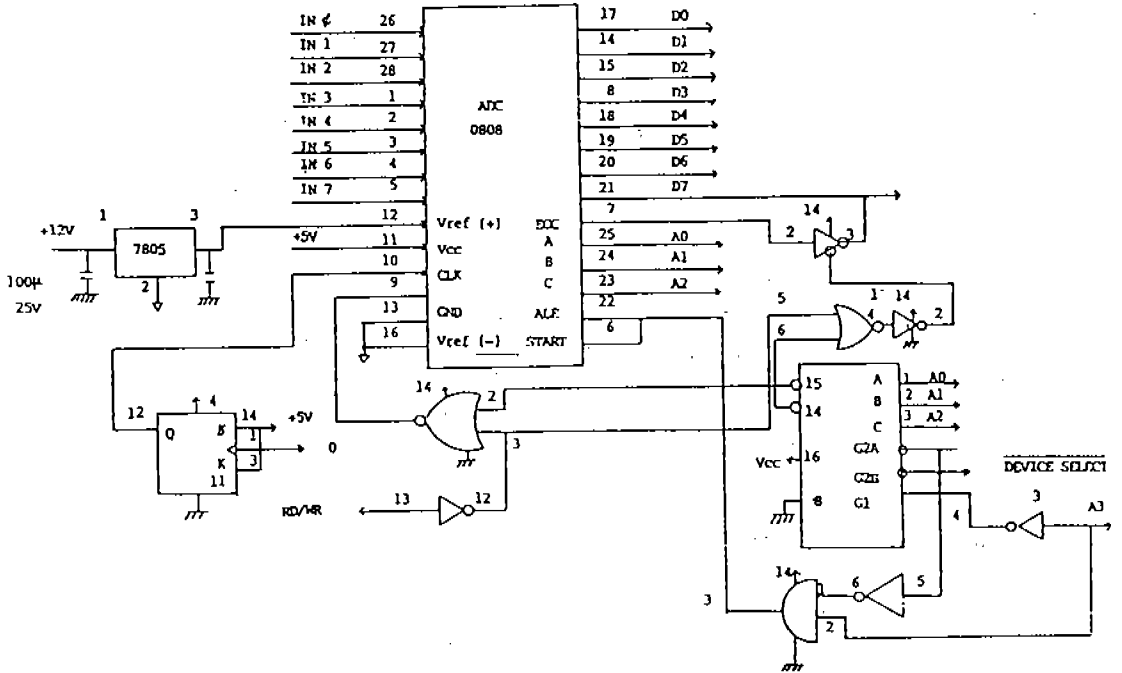


Fig. 2. Dehydration data acquisition and control interface circuit for Apple II microcomputer.

중량 및 온도변환기에서 얻은 아날로그 신호를 입력포트 0~7에서 받아 들여 ADC에서 디지털화하여 컴퓨터로 입력시킬 수 있도록 접속회로를 설계하였다. 입력포트 0~3까지는 온도, 4는 중량을 입력시키는 포트에 설정하였으며 포트의 지정을 위하여

demultiplexer를 사용하였다. 그리고 접속장치에 사용된 소자의 특성은 Table 2와 같으며, 컴퓨터 출력주파수 1MHz를 ADC 작동주파수 540kHz로 맞추어 주기 위하여 J-K flip flop을 사용하였다.

Table 2. The specification of microcomputer interface system

Item	Chip	Specification
ADC	ADC 0808	8 channel, 8 bit
Demultiplexer	74LS138	3 to 8 line decoder
Clock-divider	74LS73	J-K flip flop
Buffer gate	74LS125	3-state output
NOR gate	74LS02	
Inverter	74LS04	
AND gate	74LS08	
Voltage regulator	7805	input: +12V, output: +5V

### 다. 건조공정 변수의 측정 및 제어방법

#### (1) 중량측정장치

건조공정 중 시료중량의 연속적 측정을 위하여 4개의 스트레인게이지로 구성된 diaphragm형의 load cell(Kyowa, LM-L, Japan)에 시료 tray를 부착하였다. Load cell의 미소출력을 strain amplifier(Kyowa, DPM613B, Japan)를 사용하여 ADC의 입력전압(0~5V)로 증폭시켰다.

#### (2) 온도측정 및 제어

Pt 100Ω thermometer를 이용하여 마이크로컴퓨터로 건조실 내의 온도를 자동측정하기 위하여 강등<sup>10)</sup>의 방법과 유사하게 instrumentation amp.을 포

합하는 온도변환 회로를 설계 제작하였다.

한편 건조실 내의 온도를 제어하기 위하여 Fig. 3과 같은 회로로 제어시스템을 구성하였다. 건조실 내의 온도가 소정의 온도보다 낮으면 \$C0B2번지(D<sub>7</sub>)에 5V가 입력되도록 하여 photoisolator(H11J1, General Electric co., Japan)을 작동시키고 이어서 heating coil과 연결된 triac을 trigger시켜 heater를 on시켰다. 건조실 온도가 소정의 온도보다 높을때는 같은 방법으로 D<sub>7</sub>이 0V가 되도록하여 JK flip flop을 toggle 상태로 만들어 heater를 off시켰다.<sup>11)</sup>

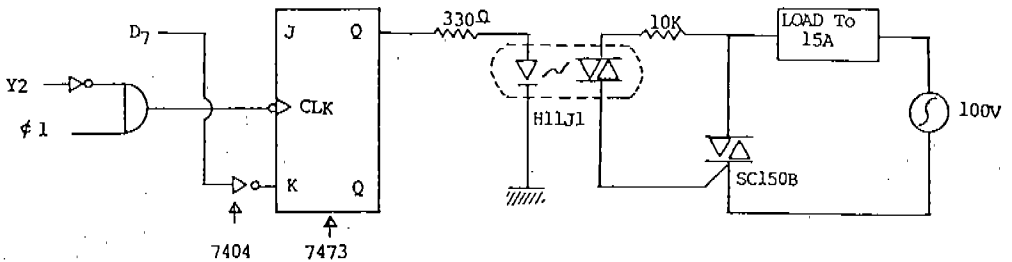


Fig. 3. Circuit of temperature control device.

#### (3) 상대습도 및 기타 변수의 측정

건조실 내의 상대습도는 건습구온도와 아래의 Oteh의 식을 program에 삽입하여 컴퓨터로 자동측정하였다.

$$\alpha = \frac{P_w - \beta P_s (T_{db} - T_w)}{P_s}$$

저항, 전압 및 전류는 digital multimeter(Kingdom KT218T), clock pulse는 oscilloscope(Triosc1012, U. K), 건조풍량은 풍속계(Sato Co. Japan)를 사용하여 각각 측정하였다.

## 2. 재료

시중에서 구입한 신선한 양과를 4°C의 저장실에 24시간 저장한 후 8mm의 폭으로 절단하여 건조 재료로 사용하였다.

## 3. 건조 방법

제작한 마이크로컴퓨터 제어 열풍건조기를 소정의 온도와 풍량으로 유지시킨 후 건조가 내부의

load cell에 부착된 tray에 양과 시료 80~90g을 균일하게 담아 건조를 수행하였다. 온도 50, 60, 70°C와 풍량 2.69, 2.23, 1.72m<sup>3</sup>/min로 각각 변화시켜 9가지의 조건하에서 건조를 수행하였다.

## 4. 예측 모델

건조시간, 건조공기의 풍량, 건조온도를 독립변수로 하고 건조중 감량, 건조속도를 종속변수로 하여 이들의 상호관계를 SAS의 regression procedure를 이용하여 분석하여 예측모델을 설정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 마이크로컴퓨터 건조 시스템의 운영

제작한 접속장치를 Apple II 마이크로컴퓨터의 3번 확장 slot(\$C0B0~\$C0BF)에 장착하여 BASIC으로 \$C0B8번지를 PEEK하여 ADC의 analog input port중 0번을 지정한 후 ADC 내의

address latch를 enable 시키고 digital로 변환하였다. \$COB1번지를 확인한 후 끝났으면 tristate output latch buffer를 작동시킨 다음 \$COB0번지를 PEEK하여 output enable에 high signal을 보내어 컴퓨터로 전송시켰다. \$COB8번지에서 COBC번지를

순차적으로 지정하여 위의 data 변환 및 전송을 반복하여 중량자료와 4개의 온도자료를 디지털화하여 컴퓨터로 입력시켰다. Fig. 4는 제작한 실험용 건조기를 마이크로 컴퓨터를 이용하여 작동시키기 위한 program의 flow chart이다.

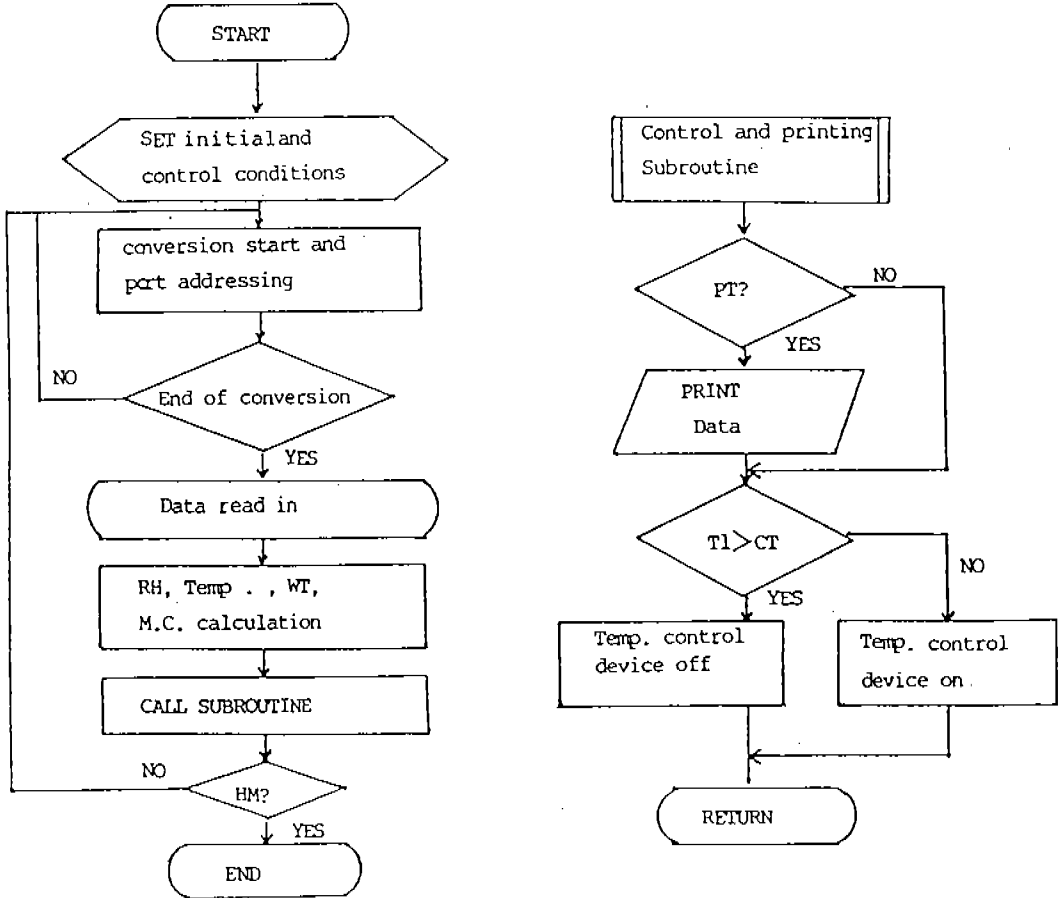


Fig. 4. Data acquisition and control program flow chart for experimental dryer.

2. 건조공정의 변수계측

가. 중량계측 및 수분함량 계산

일정한 건조조건하에서 건조 중 시료의 중량을 연속적으로 측정하기 위하여 load cell과 strain amplifier로 구성된 중량측정기를 마이크로컴퓨터에 접속시켰을 때 중량(W)과 컴퓨터의 디지털 값(D.V.) 사이의 관계는  $W = -14.59 + 0.45D.V$  ( $r=0.9996$ )의 식으로 표현되었으며 고도의 상관계수를 나타내었다. 이 식과 아래의 식을 이용하면 농산물 건조 중의 경시적인 중량과 수분함량의 변화를 검

퓨터에서 자동으로 수집할 수 있었다.

$$M.C. = \frac{W_i}{W_o} \times 100$$

where

M.C. : Moisture content(d.b.%)

W<sub>i</sub> : Weight of H<sub>2</sub>O in sample(g)

W<sub>o</sub> : Weight of dry solid in sample(g)

나. 온도계측과 제어

건조기 내외의 각 지점에 온도센서를 설치하여 설계 제작한 온도 변환, 증폭 및 접속 회로를 거쳐

컴퓨터로 출력시킨 후 회귀분석을 수행한 결과는 Table 3과 같다. 표준온도계를 이용한 실제온도(T)와 컴퓨터 디지털 값(D.V.)과의 관계는 일차함수의 형태( $T=A \cdot D.V.+B$ )로 표현되었으며, 센서에 따라서 조금씩 다른 양상을 보였으나 전반적으로 높은 상관관계를 유지하였다.

Photo isolator와 triac으로 구성된 제어회로를 사용함으로써 일반적으로 사용되는 relay 회로 구성시에 발생하는 과도한 역전류를 제거시켜 컴퓨터에서 안정된 건조자료를 수집하였으며, 온도는  $0.4^{\circ}\text{C}$ , 중량은 0.4g 이내의 정도를 나타내었다.

Table 3. Parameter A, B in the temperature sensors

Sensor no.	Sensor constant		Correlation coefficient	Uses
	A	B		
1	0.3321	1.5714	0.9986	$T_{db}$
2	0.3296	2.8557	0.9992	inlet
3	0.3426	2.1709	0.9962	ambient
4	0.3408	2.8027	0.9993	$T_{wb}$

### 3. 양파의 건조에 응용

마이크로컴퓨터 제어 열풍건조기를 이용하여 양파의 건조를 수행한 결과를 회귀분석하여 구한 모델식

은 Table 4 및 5와 같았다. 이들 모델값과 실측치와의 관계는 Fig. 5 및 6과 같았는데 대체적으로 모델값과 실측치는 거의 일치하였다.

Table 4. Estimated parameters for weight change during dryin process when drying time and flow rate are assumed to be the independent variables.

Temp( $^{\circ}\text{C}$ )	Weight = $A_0 + A_1 \cdot H + A_2 \cdot H^2 + A_3 \cdot H^{1/2} + A_4 \cdot \exp(H) + A_5 \cdot F + A_6 \cdot F^2$ <sup>a)</sup>							$r^2$ <sup>b)</sup>
	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	
50	140.73	-3.92	0.31	-20.39	$-9.74 \times 10^{-7}$	-49.05	10.01	0.9929
60	83.07	0.00	0.25	-31.67	$-1.19 \times 10^{-6}$	0.00	0.00	0.9839
70	87.17	7.78	0.00	-48.71	$-5.49 \times 10^{-7}$	0.00	-0.72	0.9474

a) H : drying time(hr)

F : flow rate( $\text{m}^3/\text{min}$ )

b)  $r^2$  : correlation coefficient

Table 5. Estimated parameters for weight change during dryin process when drying time and temperature are assumed to be the independent variables.

Flow rate ( $\text{m}^3/\text{min}$ )	Weight = $A_0 + A_1 \cdot H^2 + A_2 \cdot H^{1/2} + A_3 \cdot \exp(H) + A_4 \cdot T$ <sup>a)</sup>					$r^2$
	A0	A1	A2	A3	A4	
2.69	91.27	0.25	-31.24	$-1.29 \times 10^{-6}$	0.00	0.9639
2.23	97.28	0.25	-31.99	$-1.23 \times 10^{-6}$	-0.23	0.9747
1.72	108.42	0.21	-29.66	$-8.88 \times 10^{-7}$	-0.43	0.9768

a) T : drying temperature( $^{\circ}\text{C}$ )

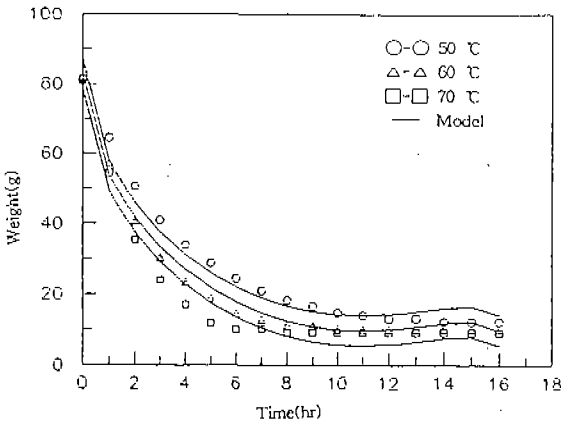


Fig. 5. The changes of weight of the onions according to the drying time and flow rate of hot air.

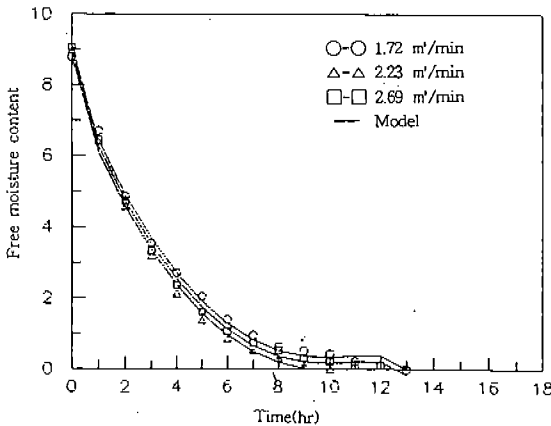


Fig. 6. The changes of free moisture content of the onions according to the drying time and temperature of hot air.

요 약

건조공정에서 계측한 아날로그 신호를 마이크로컴퓨터에 입력시키기 위한 접속장치를 제작하였다. Photocoupler와 triac으로 구성된 회로를 제작하여 건조온도를 자동제어하였으며, 건조중량과 온도를 측정하기 위하여 strain gage와 Pt 100Ω RTD를 각각 이용하여 중량 및 온도 변화회로를 구성하였다. 이를 활용하여 마이크로컴퓨터를 이용하여 온도제어와 건조공정 중의 변수의 자동수집이 가능한 열풍건조

장치를 제작하였으며 이 장치를 양과의 건조에 성공적으로 응용할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Newman, A. B.(1931) Diffusion and surface emission equation. Trans, ALCHE, 27.
2. Sherwood, T. K.(1929) The drying of solids I, II. Ind. Eng. Chem., 21, 1134~1135.
3. Saravacos, G. D. and Charm, S. E.(1962) A study of the mechanism of fruit and vegetable dehydration. Food Tech., 16, 78~81.
4. Henderson, S. M. and Pabis, S.(1961) Grain drying theory I ; Temperature effect on drying coefficient. J. Agri. Res., 6(3), 169~174.
5. Vaccarezza, L. M., Lombardi, L. M. and Chirife, J.(1974) Kinetics of moisture movement during air drying of sugar beet root. J. Fd. Tech., 9, 317~327.
6. White, G. M., bridges, T. C., Loewer, O. J. and Ross, I. J.(1981) Thin layer drying model for soybeans. Trans. of the ASAE, 1643~1646.
7. Manjeet, S. C.(1984) Evaluation of selected mathematical models for describubg thin-layer drying of in-shell pecans. Trans. of the ASAE, 610~615.
8. 강준수, 전재근(1987) 마이크로 컴퓨터 감압건조시스템의 제작운영과 풋고추의 감압건조특성, 한국농화학회지, 30, 65.
9. 박제균, 전재근, 이승구, 김공환(1989) 과채류 저장시 호흡량과 증량감소의 자동계측, 한국식품과학회지, 21, 387.
10. 강준수, 서명교, 박재호, 정신교, 정현식, 최종욱(1994) 마이크로컴퓨터 시스템을 이용한 CA저장 중 사과의 증산속도 측정, 한국농산물저장유통학회지, 1(1), 37.
11. Smith, J. R., Wiley, J., and Sons.(1980) Electronics-circuits and devices 2nd ed.