

마이크로 컴퓨터 計測 및 制御 시스템을 活用한
食品乾燥中 資料의 收集과 制御

崔扶丕 · 全在根

서울大學校 農科大學 食品工學科

Data Acquisition and Control of Food Dehydration Process with
Microcomputer System

Boo Dol Choi and Jae Kun Chun

Department of Food Technology, Seoul National University, Suwon

Abstract

A microcomputer-based on-line monitoring and controlling system was built and applied to the dehydration operation. Drying conditions-drying temperatures and air velocities-were successfully controlled by the control devices incorporated on/off relay and thyristor, and with the high language program. Drying variables-temperature in drier and weight loss of radish slice were accurately measured and acquired. The computer-based drying system effectively saved the man power required to measure and record data during the drying period and also made possible to conduct the process undisturbed for long period. The drying rate curves of radish at various drying conditions were obtained from automatic data analyzing program. And also the computer programmed control made possible to investigate the effect of air velocity change during the drying period. The dynamic change of air velocity of from one to another level could be performed and affected markedly the drying rate at first stages of drying, but no significant effect were found in falling rate period.

서 론

식품의 乾燥工程은 식품제조산업에서 중요한 위치를 점하고 있다. 식품은 건조속도가 느리기 때문에 열에너지를 많이 消耗할 뿐만아니라 많은 시간이 소요된다. 따라서 열효율을 높이고 단시간 내에 수분을 효과적으로 제거하여, 좋은 건조제품을 얻기 위한 適正한 건조 조건의 究明을 위한 많은 건조실험이 있었다.^{1)~6)}

乾燥工程 變數인 온도, 풍속, 대기습도 등은 건조속도 및 제품의 품질에 많은 영향을 미치게 된다. 따라서 이들 變數들의 영향을 알아보기 위한 건조실험은 많은 시간이 소요되고 일정한 시간 간격으로 시료를 일일이 稱量하여 자료를 분석하는 번거로움이 있었다. 더욱이 稱量 과정에서 시료를 건조재로 부터 꺼내게 됨으로 건조조건이 흐트러지게 되어 정확한 건조 양상을 볼 수 없었다.

또한 乾燥條件을 變更할 경우 기계적인 장치를 교체하는 등의 어려움이 있었다.

이와같은 점을 打開할 수 있는 컴퓨터 資料收集 및 制御裝置를 이용하여 온도 및 부계감량 등의 실험자료들

을 자동으로 計測 분석하고, 풍속, 건조온도 등의 조건을 컴퓨터 프로그램으로 필요에 따라 설정하므로, 乾燥機作의 연구와 乾燥變數가 건조속도 및 품질에 미치는 영향을 보다 용이하게 分析해 낼 수 있게 된다.

최근에 Fortis⁷⁾, Hayashi⁸⁾ 등이 식품의 건조에 컴퓨터 資料收集 및 制御 시스템을 活用한 예가 있다.

本 실험은 崔 · 全⁹⁾ 등이 발표한 Apple II 컴퓨터에 의한 온도 및 부계의 자동수척 장치에, 추가로 히타와 송풍기모터 등의 동력을 制御하여 건조온도와 풍속을 조절 할 수 있는 시스템을 제작하여 이 장치를 건조 실험에 活用하였다.

재료 및 방법

재료

건조시료는 무우를 시중에서 구입하여 냉장고에 저장하여 사용하였으며 시료의 크기는 六面體奉(75×5×10mm)으로 절단하여 사용하였다.

선반식 열풍 건조기

건조에 사용한 선반식 건조기는 Fig.1과 같이 製作 사용하였으며, 본 장치는 송풍기, 가열부, 건조실로 구성하였는데 장치에 사용된 材質 및 仕様은 Table1과 같다. 열풍의 방향은 시료에 대하여 수평방향으로 하였으며, 무게 및 온도 측정용 感應素子를 건조실 내에

설치 하였다. 또한 송풍기는 50W의 centrifugal fan을 사용하였다.

식품건조장치의 온도용 무게計測用 制御裝置

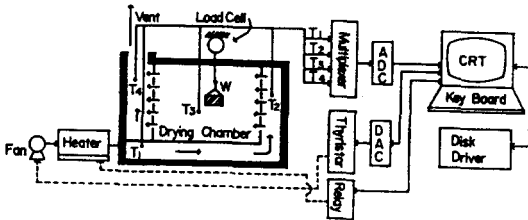
乾燥中에 건조실 내의 온도 및 건조시료의 무게 자동 계측은 崔·준(이) 등이 보고한 마이크로 컴퓨터 資料收集 裝置를 活用하였고, 乾燥溫度 및 風速의 自動制御를 위하여 필요한 회로를 追加로 제작하여 Fig.1의 건조장치에 설치 사용하였다. 乾燥室에 流入되는 風량을 제어하기 위하여 송풍기의 모터 회전속도를 제어할 수 있는 회로를 Fig.2와 같이 구성하였다. 여기에 사용된 素子들의 特性은 Table2와 같다.

컴퓨터에 8bit 出力 digital 값에 따라 D/A 變換機에서 0~5V의 출력값이 정해지며 이 신호값으로 thyrister를 제어 하였다.

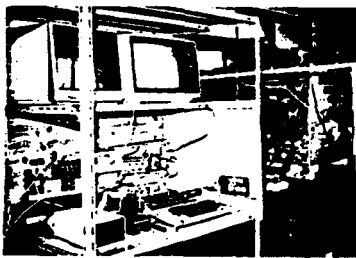
건조온도의 제어는 Fig.3과 같은 回路로 컴퓨터의 1 bit 출력 신호에 의해 heater를 on/off로 작동케 하여 일정한 온도값을 유지하도록 하였다. 이때 realy의 단락시 발생하는 逆電流에 의한 컴퓨터의 損傷을 방지하기 위하여 Fig.3에서와 같은 保護回路를 구성하였다.

식품의 乾燥方法

컴퓨터 프로그램에 의하여 건조온도는 50, 60, 70°C로, 乾燥試料를 통과할때의 風속은 1.8, 2.9, 4.5 m/sec로 設定토록 하였으며 CRT를 통해서 乾燥機의 상



(a)



(b)

Fig. 1. Computer operated tray dryer

(a) Schematic structure of tray dryer and microcomputer system

(b) Photograph of microcomputer controlled tray dryer

Table 1. Construction material and specification of tray dryer

Item	Material	Specification
Drying Chamber		
Dimension		62×62×67cm (L×W×H)
Wall	Vener plate	4 mm thickness
Insulation	High density styroform	30mm thickness
Fan		
Type		centrifugal
Power		50W
Impeller type		straight forward
Impeller diameter		10 cm
Control mode		proportional (thyristor)
Air flow		
Direction		horizontal, 1.8, 2.9, 4.5m/sec
Tray	Wire mesh	rectangular 3×20×15cm (H×L×W) hooked at weighing device
Heater		
Control mode	Nichrome wire	2kW on/off

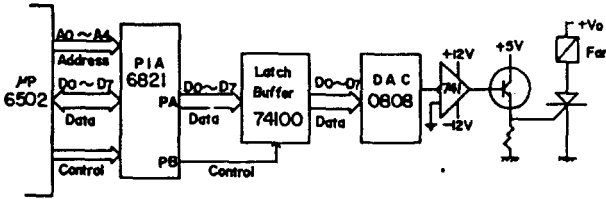


Fig. 2. Interface circuit for drying process control

Table 2. Part list and specification of control interface system

Part	Specification	Remarks
Peripheral interface adapter	MC 6821 2port, programmable	
Digital to analog converter	DAC 0808, 8bit	power supply voltage range; $\pm 4.5 \sim 18V$ setting time: 150 μs
Latch buffer	SN 74100, 8bit	output enable; High Op. Amp.
Op. Amp.	μA 741	
Current amplifier	TRSC 735	

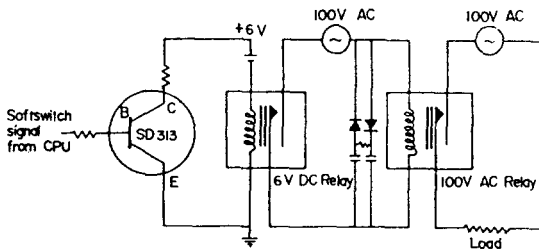


Fig. 3. High load control relay actuated by softswitch signal from CPU

태가 정상 상태에 도달한 것을 확인한 다음 乾燥를 開始하였다. 무우試料(수분함량 96% W.B.) 100g을 상자에 한점으로 평평히 넣고 平衡水分 含量에 도달할 때까지 乾燥하였다.

초기 및 平衡水分 含量 測定

試料와 건조제품의 수분함량은 常法⁽¹⁰⁾에 준하여 측정하였다.

건조기 내의 풍속 측정

열풍의 속도는 anemometer(Model v-01-A0 Sogo

Denshi Co. LTD)를 사용하여 측정하였다.

건조 장치의 운용

식품 건조기간 중 건조실 내의 시료 부근의 온도 (T_3)를 일정한 값으로 유지하기 위하여 3개지점(T_1 : inlet, T_2 , T_4 : vent)의 온도와 건조시료의 무게감량을 1초 간격으로 온도 및 무게 感應裝置(w)를 통하여 측정하고 이를 CRT에 표시케 하였으며 5분마다 各 部位의 온도, 무게 및 건조속도를 프린터나 floppy disk에 기록하도록 하였다.

프로그램에 따라 測定裝置와 設定裝置를 비교하여 온도 조정 subroutine에 의해 일정한 건조 온도가 유지되며, 또한 프로그램의 設定裝置에 따라 열풍의 송입량이 자동 제어되도록 BASIC언어로 프로그램을 작성하여 건조를 행하였다. 이를 흐름도로 나타내면 Fig.4와 같다.

결과 및 고찰

건조 장치의 열풍 送入力 제어

열풍속도 제어는 Fig.3의 접속장치로 풍속을 제어하였는데 Fig.5와 같이 디지털 출력값 100~190 사이에서

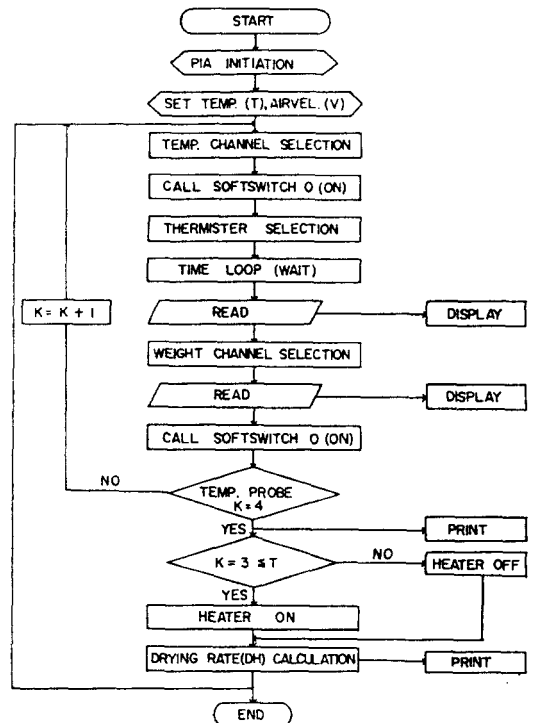


Fig. 4. Flow chart for drying process control program

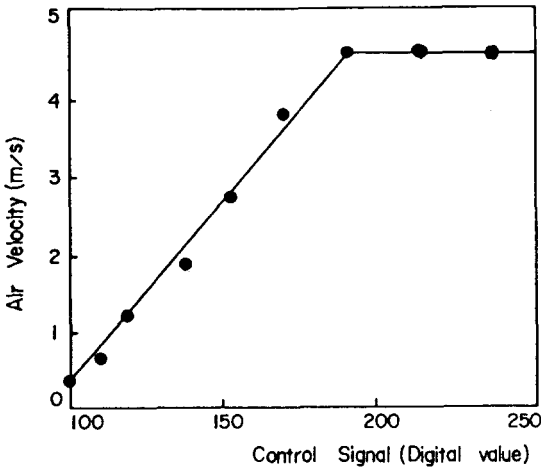


Fig. 5. Relationship between air velocity of 50W fan and digital value

0~4.5 m/s까지 직선적 比例制御가 가능하였다. 따라서 프로그램 내에 조건을 설정하여 필요한 풍속을 얻을 수 있었다.

건조속도 곡선의 수집작성

컴퓨터 자료 수집과 분석 및 制御技能을 活用하여 건조실험을 수행하여 Fig.6과 같은 乾燥速度曲線을 얻었다. 이들 건조속도곡선은 칭량법에 의하여 작성된 것과 일치하였다. 전 건조 기간에 걸쳐 건조실 내의 온도(T_s)는 설정치에 따라 $\pm 1^\circ\text{C}$ 의 오차 범위에서 정확히 제어되었고, 풍속은 일정하게 유지되었다. 건조 중 乾燥系로부터 시료를 꺼내지 않고서도 일정기간 간격으로 수분감량을 자동測定하므로써 무게측정의 번거로움을 덜 수 있었으며 정확히 수분감량을 측정할 수 있었다. 온도와 풍속의 變換도 기계적인 장치의 교체나 조작없이 컴퓨터 프로그램에 의해 처리할 수가 있어, 건조 조건을 필요에 따라 재설정하여 여러가지 조건에서 건조를 행할 수 있었다. 건조의 기본자료인 온도와 무게감량에 의해서 계산된 건조속도등을 CRT에 표시하게 하여 건조 진행과정을 용이하게 관찰할 수 있었고, text file로 필요한 자료를 floppy disk에 영구 저장할 수 있어 별도의 기록계가 필요없었다.

이와같이 종래의 건조공정에서 부딪히는 난점을 극복하여 건조를 완전 자동화 할 수 있었다.

非常常 狀態 건조연구에의 活用성검토

식품의 건조는 일정한 온습도의 열풍으로 건조시켜도 건조속도가 변화하는데 이는 식품과 공기사이의 물

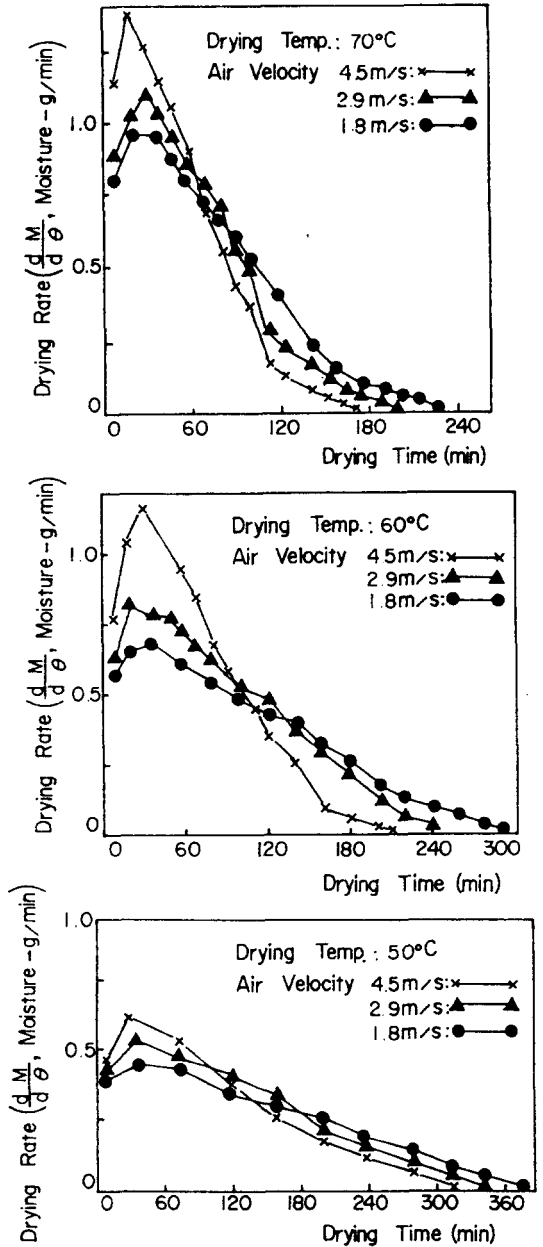


Fig. 6. Radish drying rate curve obtained through computer operated tray dryer

질이동 및 전열계수의 변화가 수반됨을 뜻한다.⁽⁴⁾

이와같은 사실은 비정상 상태에서의 건조기작을 연구할 수 있는 방법이 필요함을 의미한다.

그런데 전통적인 제어는 조작 변수들이 별개의 loop로 구성되어 주위된 변수값만 유지하게 하나 컴퓨터에 의한 제어는 software적으로 작동되므로, 모든 변수와 상수값이 컴퓨터 작업영역에 저장되어 수학적인 모델

에 따라 여러가지 값을 취하고, 공정의 모델값과 비교해서 설정치가 수학적 모델에 따라 변화되어 다른 제어요소를 자동적으로 설정하게 하는 多重變數制御가 가능하여 食品 건조와 같은 複合的인 요인으로 구성된 多重要因系의 해석이 가능하다.

전 건조기간에 걸쳐 풍속이 건조 속도에 미치는 영향을 보기 위해 60°C에서 무우를 건조하면서 프로그램에 의해 fan의 회전속도를 제어하여 풍속을 변화시키면서 건조를 행한 결과 Fig.7과 같은 건조속도 곡선을 얻었다. 그림에서와 같이 건조시료가 새로운 풍속 조건에 접할때 건조속도가 변화하는 경향을 발견할 수

있으며, 그 영향은 풍속을 增減하는 순서에도 역시 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

이는 시료의 乾燥機作을 이해하는데 도움이 되는데, 지금 시료의 無次元 水分含量($\frac{M-M_e}{M_o-M_e}$)에 대하여 乾燥速度 變化量($\frac{d^2M}{d\theta^2}$)을 도시하면 Fig.8과 같다. 그림에서와 같이 건조초기에 풍속 增減에 따라 건조속도는 현격한 차이를 보이는 반면 건조말기에는 풍속에 별 영향을 받지 않았다.

따라서 건조공정에서 第一減率乾燥가 끝나는 부분에서부터는 풍속을 감소 시킴으로써 에너지 節約效果를 거둘 수 있을 것으로 생각된다.

요 약

마이크로 컴퓨터 계측 및 제어 시스템을 설계 제작하여 프로그램에 의해 온도 및 무게를 自動測定하고 on-off作動에 의한 온도 제어와 D/A變換機를 附着한 接續裝置로 풍량을 필요에 따라 자동 제어할 수 있었다.

건조 실험에 관여하는 변수들의 기록과 분석을 컴퓨터화 함으로써 水分減量을 일일이 稱量法으로 측정하는 번거로움과 시간을 절약할 수 있었다. 더욱이 計測 과정에서 乾燥系를 전혀 扥려뜨리지 않게 함으로써 건조가 완료될 때까지 건조환경을 그대로 유지할 수 있었고, 자료의 채취시간도 프로그램을 통하여 任意로 설정하여 調節할 수 있어 건조실험을 완전 자동화할 수 있었다.

또한 건조 진행중에 software적으로 풍속을 변화시

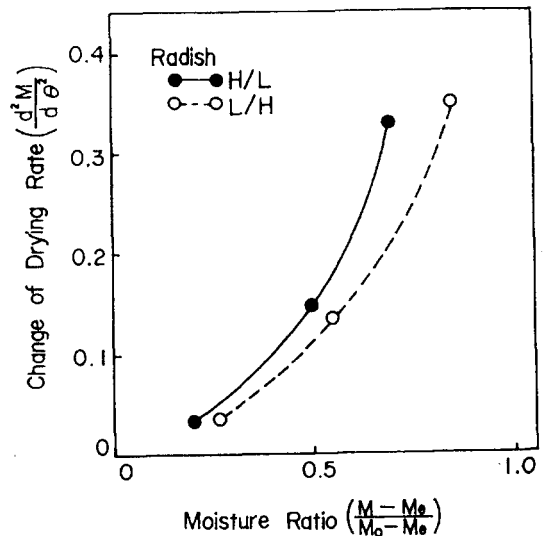
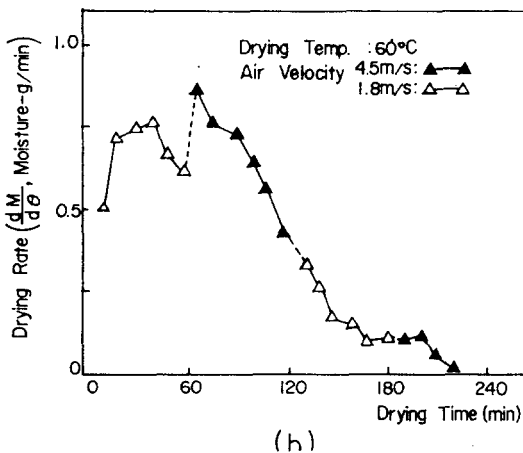
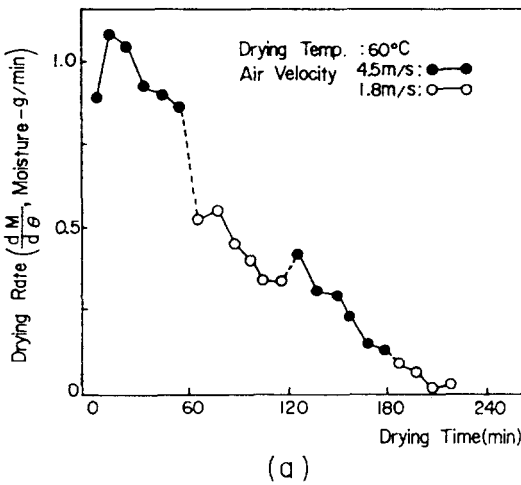


Fig. 7. Effect of air flow rate shifts during radish drying in tray dryer

- (a) Air flow rate shifting pattern: High → Low → High → Low
- (b) Air flow rate shifting pattern: Low → High → Low → High

Fig. 8. Plot of moisture ratio vs. change of drying rate at transition state of air velocity

켜 건조를 행한 결과 건조 초기에는 풍속이 건조속도에 크게 영향을 미치나 건조 말기에는 영향이 적었다.

사 의

본 연구는 한국과학재단의 차관연구비의 지원으로 이루어졌으며 崔扶正의 학위 논문의 일부이다.

문 헌

1. Peck, R.E. and Wasan, D.T.: *Advance in Chem. Engineering g*, p.247, Academic press(1975)
2. Brooker, D.B., Bakker-Arkena, F.W. and Holl, C. W.: *Drying cereal grains*, AVI(1971)

3. Chhinnan, M.S.: *Trans. of the ASAE*, **27**, 610(1984)
4. 오영탁 : 서울대학교 박사학위 논문(1984)
5. 전재근, 김공환 : 한국 농화학회지 **17**, 42(1974)
6. 정신교, 최용희, 손태화, 최종욱 : 한국식품과학회지 **18**, 61(1986)
7. Fortis, T., Tauzer, C. and Rumsey. T.: *Summer Meet. ASAE.*, Paper No. 84-3023(1984)
8. Sutsuo Hayashi and Ritsuya Yamashita: *J. of the Society of Arg. Machinery Japan*, **45**, 521(1983)
9. 최부돌, 전재근 : 한국 식품과학회지 **19**, 129(1987)
10. Kolthoff, Sandell: *Quantitative chemical analysis*, 4th ed. p.516, Macmillan(1971)

(1986년 12월 19일 접수)