

# 마이크로 컴퓨터 減壓乾燥시스템의 製作運營과 풋고추의 減壓乾燥特性

全 在 根·姜 峻 洙\*

서울대학교 農科大學, \*東義工業專門大學  
(1987년 2월 6일 수리)

## Microcomputer Based Vacuum Drying System and its Application to the Vacuum Drying of Green Red Pepper.

Jae-Kun Chun and Jun-Soo Kang\*

College of Agriculture, Seoul National University, \*Dong Eui Technical Junior College, Korea.

### Abstract

In order to measure the pressure and weight decrease of drying sample during the vacuum drying process of food, sensing devices were designed and constructed with strain gauge. Microcomputer based vacuum drying system was made up of these devices interfaced to Apple II microcomputer. The electrical output signal from vacuum sensor which constituted with Bourdon tube whereon strain gauge attached were digitalized and input to microcomputer through the MC 6821 interface I.C. chip. The relationship between read-out digital value ( $D$ ) from microcomputer and readings of vacuum gauge ( $P$ , mmHg) was  $P = -146.136 + 3.620D$  ( $r = 0.9994$ ). The pressure control of vacuum dryer was successfully conducted in the range of 400~600 mmHg accuracy. The digitalized load cell output ( $D$ ) could be correlated with the real weight ( $W$ , g) as  $W = -14,000 + 0.585D$  ( $r = 0.9998$ ). Drying curves of green red pepper under 64°C, 400~600 mmHg was similar to those of red pepper and differently affected by the degree of vacuum pressure but was varied according to their shape (cut or whole). Moisture movement of green red pepper during the vacuum drying process was fitted to Page model. The empirical equations obtained were  $M - M_e / M_0 - M_e = \exp(-0.0673\theta^{1.177})$  and  $M - M_e / M_0 - M_e = \exp(-0.0655\theta^{1.477})$  for whole and cut green red pepper, respectively.

### 緒 論

食品의 減壓乾燥法은 原價面에서 噴霧乾燥와 凍結乾燥의 中間정도이며 식품이 低溫에서 건조되므로 식품의 品質保存에 有益하다. 그러나 減壓乾燥工程은 건조條件이 維持된 狀態에서 관련 공정변수의 分析이 쉽지 않다<sup>1,2)</sup>. 따라서 감압건조상태를 制御함과 동시에 水分蒸發速度를 計測할 수 있는

方法이 要求되고 있다.

이와같은 試圖는 F. Burgheimer 등이<sup>3)</sup> 동결건조에서 適用한 바 있으며 最近 崔, 全등은<sup>4)</sup> Apple II 마이크로컴퓨터와 食品의 熱風乾燥工程을 연결시켜 관련 공정변수의 입력과 공정제어에 성공하였다. 또 Fortis 등도<sup>5)</sup> 類似한 研究를 수행한 바 있다.

그러나 減壓乾燥工程에서 資料를 收集하고 제어하는데 컴퓨터가 利用된 연구문헌은 찾아 보기 힘

들다.

따라서 本 研究에서는 strain gauge를 감압건조 하에서 乾燥速度와 壓力을 計測 및 制御할 수 있는 센서를 製作하는데 應用하고, 건조공정을 관리 할 수 있는 마이크로컴퓨터 시스템을 제작하여 이를 芻고추의 감압건조에 活用하였다.

### 材料 및 方法

#### 1. 材料

原型 또는 半切상태의 芻고추를 감압건조용 試料로 使用하였다.

#### 2. 方法

##### 1) 測定裝置 및 方法

減壓乾燥裝置 : 진공오븐(Townson & Mercer

LTD., England, Volume capacity 0.0155m<sup>3</sup>), 진공펌프(Shimadzu, Japan)와 Dip cooler (Techne, England)를 Fig. 2-a처럼 조립하여 감압건조장치로 使用하였다. 乾燥室의 溫度는 20~200°C사이에서 ±0.1°C로 조절하였으며 壓力은 眞空度 0~760 mmHg로 임의로 조절할 수 있도록 하였다.

減壓乾燥室內의 무게計測裝置 : 崔, 全 등과<sup>4)</sup> 같이 4개의 strain gauge를 利用하여 링(ring)형의 load cell을 제작하여 무게를 計測하였다.

減壓乾燥室內의 壓力計測裝置 : 減壓乾燥室에 부착된 진공계의 부르돈관 표면에 Fig. 1-a와 같이 strain gauge 1개를 接착하여 壓力센서로 利用하였다. 壓力센서의 出力값은 Fig. 1-b와 같은 wheatstone bridge와 증폭회로를 거쳐 컴퓨터에 入力시킬 수 있도록 하였다.

마이크로컴퓨터 시스템 : Apple II 마이크로컴

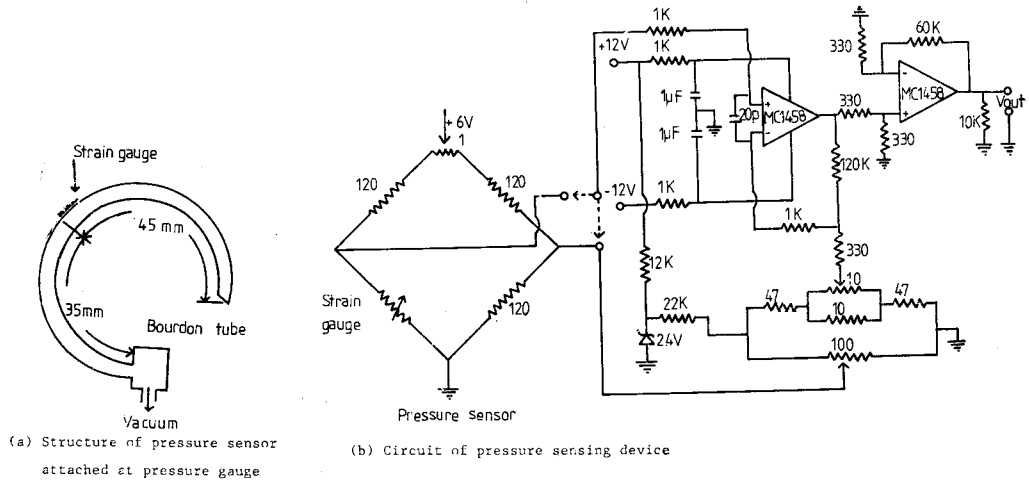


Fig. 1. Pressure sensing device

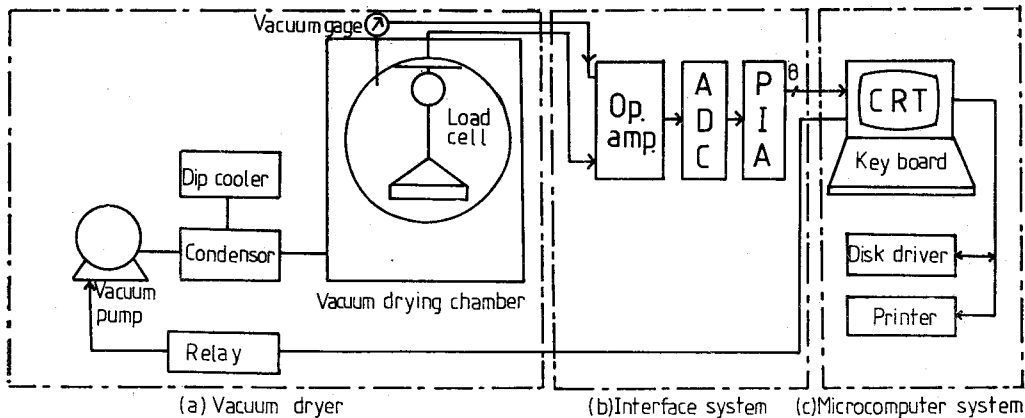


Fig. 2. Vacuum drying system operated with microcomputer

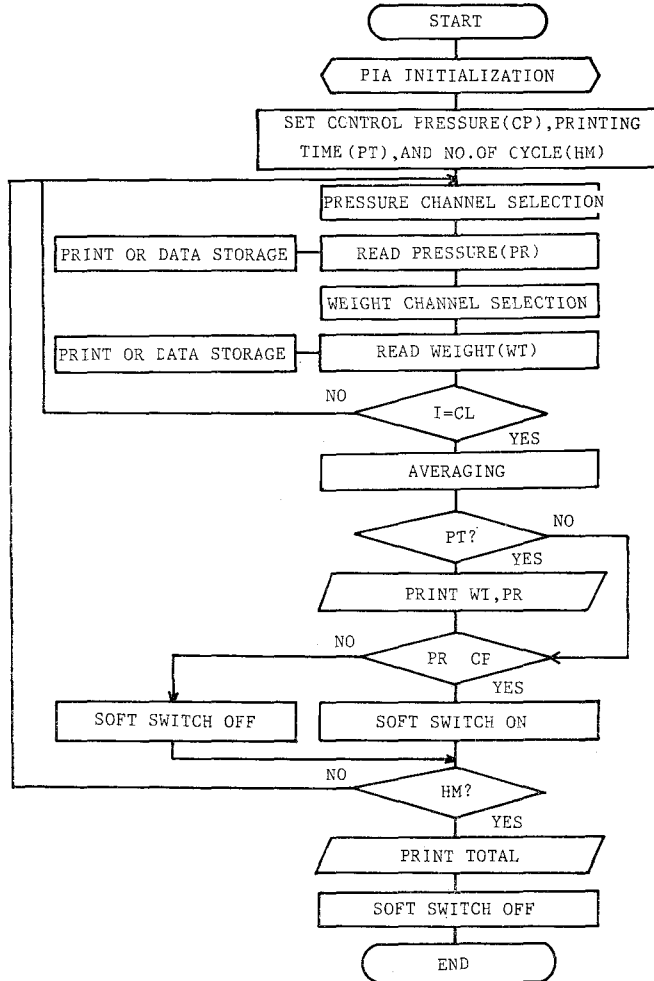


Fig. 3. Flow chart for data acquisition and pressure control during the vacuum drying

퓨터를 使用하였으며 감압건조장치와의 接續은 컴퓨터의 확장슬롯을 利用하였고 출력 모니터, 디스크드라이브, 프린터 등으로 마이크로컴퓨터 시스템을 구성하였다(Fig. 2-c).

減壓乾燥用 마이크로컴퓨터 接續裝置 : 乾燥중 計測된 資料를 컴퓨터에 入力하기 위한 接續裝置는 Peripheral interface adapter(MC 6821), Analog-to-digital converter(ADC 0809), Tristate buffer, clock divider 등으로 제작·사용하였다<sup>4)</sup>.

減壓乾燥시스템의 마이크로컴퓨터制御 : 減壓乾燥機, load cell, 壓力센서, 接續裝置 및 마이크로컴퓨터 시스템으로 구성된 풋고추의 減壓乾燥시스템은 Fig. 2와 같다.

減壓乾燥 工程變數의 自動收集 및 減壓工程의 壓

力制御를 위한 컴퓨터 프로그램 : Fig. 3과 같은 흐름도의 컴퓨터 프로그램을 이용하여 건조변수중 壓力과 무게計測은 각각 ADC의 7번과 4번 channel로 입력하였으며 Apple II의 soft switch를 통하여 乾燥室內의 壓力을 制御하였다.

### 2) 實驗方法

풋고추의 乾燥方法 : 原型 또는 半切 풋고추100g을 평량하여 load cell에 넣고  $64 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지된 減壓乾燥室이 소정의 眞空度(400~600 mmHg)에 도달했을 때를 풋고추의 건조개시점으로 하였다. 압력은 Apple II game I/O의 \$C05B, \$C05A번지를 호출하여 진공펌프를 on/off시키므로써 制御하였다.

풋고추의 水分定量 : 乾燥前 試料와 乾燥製品

의 수분함량은 常法<sup>6)</sup>에 준하여 測定하였다.

### 結果 및 考察

#### 1. 減壓乾燥室內의 壓力測定 및 制御

壓力測定을 위하여 압력센서로 부터 얻은 아날로그 신호를 接續裝置를 통해 디지털화하여 마이크로컴퓨터에 입력시킨 디지털값(D)과 壓力計의 지시진공도(P, mmHg)와의 관계는 式 ①과 같았다.  $P = -149.136 + 3.620D$ , ( $r = 0.9994$ )...①

壓力과 溫度를 달리했을 때 압력센서의 컴퓨터 출력값은 시간의 경과에 대해 약 3 mmHg 정도의 안정된 변화폭을 나타내어 이 압력센서로써 충분히 減壓乾燥機의 壓力을 測定할 수 있었다.

그러나 減壓乾燥室內의 壓力制御時에는 30 mmHg 정도의 변화폭을 나타내었다.

#### 2. 減壓乾燥中 무게測定

減壓乾燥室內에 설치한 load cell의 출력신호를 0~5 V.DC 범위로 증폭하고 이를 디지털화시킨 출력값(D)과 실제 무게(W)와의 관계는 式 ②와 같았다.  $W = -14.000 + 0.585D$ , ( $r = 0.9998$ )...②

#### 3. 컴퓨터 減壓乾燥裝置에 의한 桴고추의 乾燥

건조과정중 桴고추의 수분함량의 변화는 Fig. 4와 같았다. 즉, 수분함량 20% (DB)에 도달하는데 소요되는 시간은 原型 桴고추의 경우 진공도 600 mmHg에서는 22시간이었고 400mmHg에서는 26시간으로 약 4시간의 차이를 보였으며 半切 桴고추의 경우 진공도 600mmHg에서 14시간, 400mmHg에서는 17시간으로 약 3시간의 차이를 보였다.

한편 乾燥速度도 乾燥條件에 따라 Fig. 5와 같은 차이를 보였는데, 桴물건조기는 거의 나타나지 않았으며 진공도가 높을 수록 제 1 桴물건조기가 완료되는 시간이 단축되었다. 또 제 2 桴물건조기에서의 진공도의 영향은 제 1 桴물건조기에서 보다 미약함을 알 수 있었다.

以上的 結果는 桴 등<sup>7)</sup> 완숙고추의 건조와 類似한 양상을 보였으나 乾燥速度의 크기에는 약간의 차이가 있었다. 건조속도와 減壓乾燥室內의 空氣流入速度는 직접적인 관계가 있었는데 공기의 유입속도를 크게 해 주면 건조속도도 매우 크게 되고 아울러 桴고추의 원형의 색깔을 대부분 維持한 좋은 乾燥製品을 얻을 수 있으리라 생각된다.

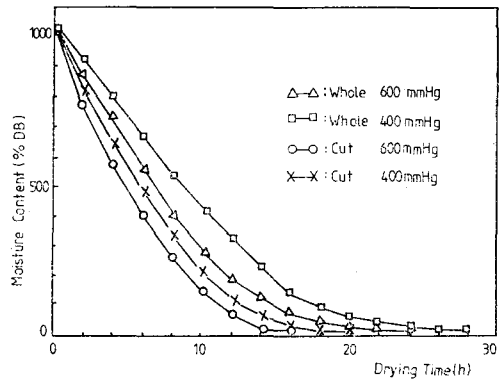


Fig. 4. Vacuum drying curve of red green pepper

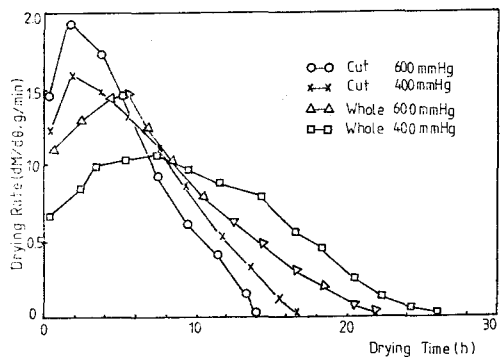


Fig. 5. Drying rate curve of red green pepper at vacuum dryer

#### 4. 桴고추의 減壓乾燥기작

Fig. 5와 같이 桴고추의 減壓乾燥는 減率乾燥樣相을 나타내므로 桴물건조기의 水分移動에 대해 理論적으로 확립된 式을 적용시켜보므로써 대략적인 건조기작을 究明코자 하였다. 減率乾燥기작으로는 毛細管移動과 擴散移動을 대표적으로 들고 있으나 桴 등<sup>7)</sup>은 완숙고추의 경우 확산이동을 따른다고 보고한 바 있으므로 桴고추의 경우도 확산이동을 따른다고 볼 수 있다. 따라서 건조결과를 확산기작중 Exponential model<sup>8)</sup>에 적용시켜 본 결과는 Fig. 6과 같았다. 즉, 全 乾燥期間에서 試料의 狀態와 乾燥條件에 관계없이 모두 類似한 形態의 曲線으로 나타났으나 모든 조건에서 一定한 乾燥常數값을 나타내지 못하였다. 이는 桴고추의 건조는 건조조건과 시료의 상태에 관계없이 대체로 유사한 기작을 따른다는 것을 나타내며 또 Exponential model로는 桴고추의 건조기작을 精確히 설명할 수 없음을 보여준다. 따라서, 확산기작중

Page model(식③)을 적용시켜 보았다<sup>9)</sup>.

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-A\theta^B) \dots \textcircled{3}$$

여기서  $M$ : 수분함량(DB%),  $\theta$ : 건조시간(h),  $M_0$ : 초기수분함량(DB%),  $M_e$ : 평형수분함량(DB%),  $A, B$ 는 실험상수이다. 이 관계식을 Fig. 7와 같이 도시하여 linear regression으로 구한 상수  $A$ 와  $B$ 의 값은 원형 풋고추의 경우 각각 0.0673과 1.1770이며 반절 풋고추의 경우는 각각 0.0655와 1.4770이었다. 따라서 풋고추의 형태와 수분확산 계수값이 일정하다는 가정하에서 풋고추의 대략적

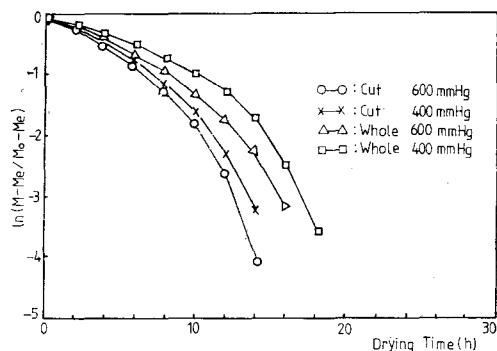


Fig. 6. Plot of dimensionless moisture content vs. vacuum drying time

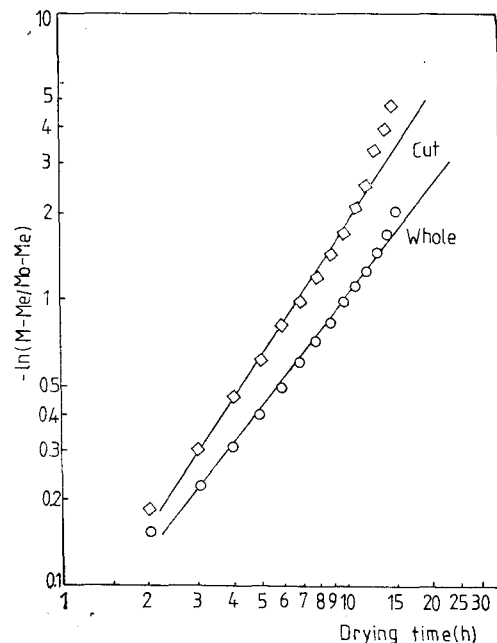


Fig. 7. Graphical determination of empirical constants

인 감압건조식은 原型 및 半切 풋고추에 대해 각각 식④ 및 식⑤로 표시되었다.

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-0.0673\theta^{1.1770}) \dots \textcircled{4}$$

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-0.0655\theta^{1.4770}) \dots \textcircled{5}$$

앞에서 壓力보다 풋고추의 狀態가 乾燥速度에 더 큰 영향을 미친다는 것을 알았으므로 一定 壓力下에서 乾燥試料의 狀態에 따른  $A, B$ 값을 구하였다. 이 結果는 全동의<sup>7)</sup> 완속고추의 경우와 약간 다른 차이를 보이기는 하지만 풋고추와 완속고추의 片육 및 수분함량과 乾燥方法의 차이에서 기인하는 것 같으며 감압건조상태에서의 풋고추의 건조기간은 Page model을 따른다고 보아야 할 것이다.

### 抄 錄

Strain gauge로 食品의 減壓乾燥過程中 壓力과 水分減少量을 計測할 수 있는 感應소자를 製作하고 이를 Apple II 마이크로 컴퓨터에 接續하여 마이크로컴퓨터 減壓乾燥시스템을 製作하였다.

부르돈관 표면에 strain gauge를 接착하여 제작한 減壓計測단자의 出力값은 디지털화시킨 후 MC 6821 積속 I.C. chip을 통하여 마이크로컴퓨터에 入力시켰다.

컴퓨터 입력값( $D$ )과 減壓室의 壓力( $P, \text{mmHg}$ )과의 관계는  $P = -146.136 + 3.620D$  ( $r = 0.994$ )이었다. 減壓乾燥室의 압력은 컴퓨터 프로그램에 의하여 400~600mmHg의 범위에서 30mmHg의 誤差로 制御할 수 있었다.

乾燥試料의 무게( $W, g$ )와 load cell을 통한 컴퓨터 디지털출력값( $D$ )과의 관계는  $W = -14.000 + 0.585D$  ( $r = 0.9998$ )이었다.

64°C, 400~600mmHg하에서 풋고추의 乾燥曲線은 완속고추의 常壓乾燥曲線과 비슷하였으며 形態에 따른 乾燥速度의 變化는 상이하였고 眞空度에도 영향을 받았다.

풋고추의 減壓乾燥中 水分移動은 Page model을 따랐으며 그 關係式은 原型 풋고추의 경우  $M - M_e / M_0 - M_e = \exp(-0.0673\theta^{1.177})$ 이었고 半切 풋고추의 경우  $M - M_e / M_0 - M_e = \exp(-0.0655\theta^{1.477})$ 이었다.

謝 意

本 研究는 1985年 한국科學財團의 차관연구비의 支援으로 이루어졌다.

參 考 文 獻

1. 전재근 : 식품과학, 18(3) : 4 (1985)
2. 木村進 : 乾燥食品事典, 朝倉書店(1984)
3. Burgheimer, F., Steinberg, M.P. and Nelson,

A.I.: J. of Food Science, 36 : 270 (1971)

4. 최부돌, 전재근 : 한국식품과학회지, 19(3) (1987).
5. Fortis, T., Tauzer, C. and Rumsey, T.: AS-AE Summer Meeting, 84~3023 (1984).
6. AOAC: "Official methods of Analysis" 14th Ed. (1984).
7. 전재근, 김공환 : 한국농화학회지, 17(1) : 42 (1974).
8. Chhinnan, Manjeet S.: Transactions of the ASAE, 27 : 610 (1984).