

## 마늘의 열풍건조 특성

정신교 · 강준수\* · 최종욱

경북대학교 식품공학과, \*동의공업전문대학 식품공업과

### The Convective Drying Characteristics of garlic(*Allium sativum* L.)

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

Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University

\*Department of Food Technology, Donggeui Technical Junior College

#### Abstract

We examined the drying characteristics and the drying rate model equation of garlic(*allium sativum* L.) using computer aided convective drying.

The drying characteristic curve of garlic divided into constant rate drying period and 2 stage of falling rate drying period.

The drying rate was fairly affected by hot air temperatures during the total drying period, but air flow rates has nearly no effect on the drying rate except initial drying period.

Of the several model equation,  $r^2$  values of page model equation was the highest, and the estimated drying profiles were comparatively coincided with the observed drying profiles.

Page model equation was suitable to predict the drying rate and moisture content during drying of sliced garlic.

Key words : garlic, convective drying, Page model.

## 서 론

마늘은 백합과에 속하는 인경작물로서 그 원산지는 중앙아시아이며 특유의 향기성분을 비롯한 각종 생리활성을 지니고 있어 최근 요리의 조미료, 육가공품, 소스, 통조림, 라면 스프 등의 가공식품에 이용이 확대되고 있으며 또한 보존 및 유통의 간편화를 위하여는 건조제품화가 가장 바람직하므로 효율적이고 경제적인 건조 조건을 확립하기 위하여는 그 건조특성과 건조 속도에 관한 연구가 필요하다.

국내에서는 건조방법에 따른 마늘의 품질비

교[1-4]와 건조제품의 흡수특성[5, 6]에 관한 보고가 있을 뿐이다.

이에 본인 등은 소규모 실험용 열풍 건조장치를 이용하여 마늘의 박층건조특성과 건조 속도를 예측하기 위하여 몇 가지 모델식의 이용가능성을 검토하였으므로 보고하는 바이다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시재료

공시재료는 경북 의성산 소인편종 마늘을 음

지에서 2일간 건조시킨 후 인편의 중량이 6g ( $\pm 0.5$ g) 내외인 것을 2mm 두께로 세절하여 건조용 시료로 사용하였다.

## 2. 실험장치

실험장치는 송풍기, 공기가열부, 건조실로 구성되어 마이크로컴퓨터로 제어 및 자료수집이 가능한 소규모 열풍건조기(900×450×50mm, L

×W×H)[7]를 이용하였다.

## 3. 실험 조건

마늘의 열풍건조조건은 Table 1.과 같다. 온도는 50~80°C의 범위[7]내에서 10°C 간격으로 조절하였으며 건조풍량은 1.48, 2.30, 3.11m<sup>3</sup>/min으로 조절하였고, 각 건조조건에서 3회 반복 건조실험을 수행하였다.

Table 1. The drying condition of garlic.

| Drying temp.(°C) | Air flow rate(m <sup>3</sup> /min) | R. H. (%) | Ambient temp.(°C) | F미 M. C.(d. b.) | Drying time(min) |
|------------------|------------------------------------|-----------|-------------------|-----------------|------------------|
| 50               | 1.48                               | 20.7      | 27.8              | 0.16            | 360              |
|                  | 2.30                               | 18.6      | 26.9              | 0.16            | 360              |
|                  | 3.11                               | 17.7      | 27.6              | 0.16            | 360              |
| 60               | 1.48                               | 13.5      | 31.7              | 0.14            | 300              |
|                  | 2.30                               | 14.4      | 25.8              | 0.14            | 300              |
|                  | 3.11                               | 14.6      | 33.1              | 0.14            | 300              |
| 70               | 1.48                               | 10.5      | 31.6              | 0.12            | 240              |
|                  | 2.30                               | 9.1       | 29.9              | 0.12            | 240              |
|                  | 3.11                               | 7.8       | 27.8              | 0.12            | 240              |
| 80               | 1.48                               | 8.8       | 29.4              | 0.11            | 240              |
|                  | 2.30                               | 8.2       | 30.2              | 0.11            | 240              |
|                  | 3.11                               | 8.7       | 30.8              | 0.11            | 240              |

## 4. 건조모델식의 선정

여러가지 식품의 건조속도를 예측하기 위한 모델식으로는 exponential model, Page model, diffusion model, approximation of diffusion model 등이 이용되고 있으며[8] exponential model은 곡류 등의 건조상수를 구하는데 이용됨으로 본 실험에서는 비교적 다양한 형태의 식품에 적용되는 approximation model과 Page model을 이용하여 마늘의 건조에 적합한 건조 모델식을 선정하였다.

### (1) Approximation of diffusion model equation

직육면체의 고체에서

$$\frac{\delta M}{\delta \theta} = D_x \frac{\delta^2 M}{\delta x^2} + D_y \frac{\delta^2 M}{\delta y^2} + D_z \frac{\delta^2 M}{\delta z^2}$$

where

D<sub>x</sub>, D<sub>y</sub>, D<sub>z</sub> : diffusion coefficient to x, y, z.  
D : diffusion coefficient(cm<sup>2</sup>/min)

이들 직육면체가 등방성일때 D<sub>x</sub>=D<sub>y</sub>=D<sub>z</sub>=D이며 또한 건조고체가 한쪽 방향으로만 건조가 진행되는 무한평판이라고 가정하면 윗 식은 다음과 같이 쓸 수 있게 된다.

$$\frac{\delta M}{\delta \theta} = D \frac{\delta^2 M}{\delta x^2}$$

sherwood[9]의 가정과 다음과 같은 경계조건에서[10]

$$\begin{array}{lll} \theta \rightarrow 0^+ & M=M_0 & 0 < x < 2d \\ x \rightarrow 0^+ & M=M_e & \theta > 0 \\ x \rightarrow 2d^- & M=M_e & \theta > 0 \end{array}$$

$$MR = \frac{M - Me}{M_0 - Me} = \frac{8}{\text{Exp}(-A\theta)}$$

Where,

- MR : Average moisture ratio(dimensionless)
- Mo : Initial moisture content(gH<sub>2</sub>O/ g dry solid)
- M : Average moisture content at time
- Me : Equilibrium moisture content(gH<sub>2</sub>O/ g dry solid)
- θ : time(min)
- d : half thickness of drying slab
- A : π<sup>2</sup>D/4d<sup>2</sup>

윗 식의 양변에 자연대수값을 취하면 ln MR = ln(8/π<sup>2</sup>) - Aθ를 얻게 된다.

(2) Approximation of diffusion model equation

여러가지 농산물의 건조특성을 모델화하기 위하여 (1)항의 diffusion model을 응용한 다양한 형태의 근사식이 이용되어 왔으며 본 실험에서는 Wang 등[11], Simons 등[12]이 이용한 아래와 같은 건조모델식을 적용하였다.

$$MR = \frac{M - Me}{M_0 - Me} = B \text{Exp}(-A\theta)$$

윗 식의 양변에 자연대수값을 취하면 ln MR = ln B - A θ를 얻게 된다.

(3) Page model equation

본 실험조건에서 구한 MR 값은 건조시간에 대하여 지수함수적 관계와 유사한 경향으로 감소하였다. 따라서 아래와 같은 Page model equation를 적용하였다.

$$MR = \frac{M - Me}{M_0 - Me} = B \text{Exp}(-A\theta^n)$$

양변에 자연대수값을 취하면 ln MR = -A ln θ<sup>n</sup>가 되고 다시 양변에 자연대수값을 취하면 ln(-ln MR) = ln A + B ln θ를 얻게 된다.

각 모델에서 자연대수를 위한 각각의 식을 회귀분석하여 마늘의 건조온도 및 건조풍량의 변화에 따른 A, B값을 구했다.

이 때 MR의 값은 컴퓨터에서 수집한 건조중의 수분함량(M)과 상압가열건조법으로 구한

시료의 초기수분함량(M<sub>0</sub>) 및 평형수분함량(Me)을 이용하여 구했다. 평형수분함량은 각 건조조건에서 건조후 90분 동안 중량변화가 없을 때의 수분함량으로 하였다.

자료의 처리는 SPSS/PC<sup>+</sup> regression procedure를 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 가. 건조특성곡선

건조온도와 풍량이 마늘의 건조율에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수분함량의 변화에 따른 건조율을 나타낸 마늘의 건조특성곡선을 작성하였다.

Fig 1은 건조풍량 2.30m<sup>3</sup>/min, 건조온도를 50, 60, 70, 80°C로 높였을 때의 건조특성곡선을 나타낸 것으로서 함윤건조기간과 2단계의 감윤건조기간으로 구분됨을 알 수 있었다.

또한 열풍의 온도를 높임에 따라 마늘의 건조율(g H<sub>2</sub>O/g dry solid, hr)은 모든 건조구간에 걸쳐 증가하는 경향을 나타내었다.

Fig 2는 건조온도 70°C에서 건조풍량을 1.48, 2.30, 3.11m<sup>3</sup>/min으로 변경시켜 건조풍량이 건조율에 미치는 영향을 살펴본 것으로서 건조풍량은 시료의 건조초기를 제외하고는 거의 건조율에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

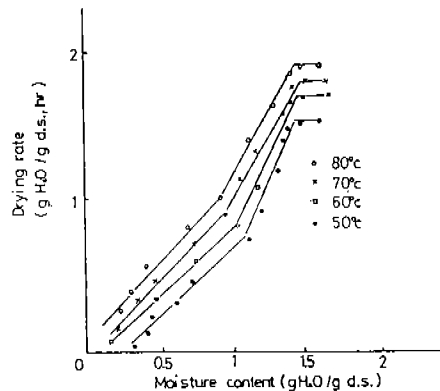


Fig.1 Drying characteristic curve of garlic at various temp. (2.30m<sup>3</sup>/min)

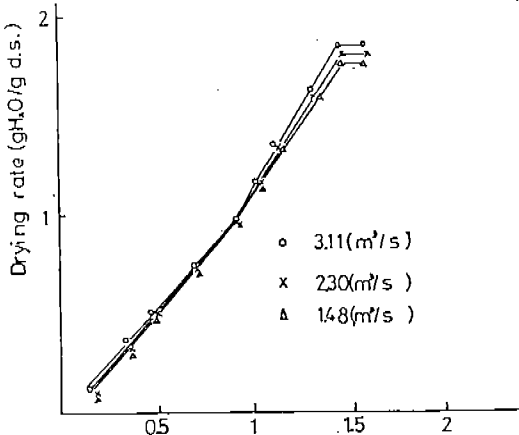


Fig.2 Drying characteristic curve of garlic at various air flow rate(70°C)

#### 나. 건조모델식의 선정

임의의 건조조건에서 건조 중의 건조속도를 예측하기 위하여는 적합한 건조모델식을 설정할 필요가 있다. 본 실험에서는 diffusion model, approximation of diffusion model equation과 Page model equation을 적용하여 마늘의 건조속도를 예측할 수 있는 모델식을 선정하고자 하였다.

Table 2는 각 건조조건에 있어서 시료의 초기 수분함량과 평형수분함량의 값으로서 이를 적용하여 건조시간에 따른 MR 값을 구했다.

Table 2. The value of  $Mo^{1)}$  and  $Me^{2)}$  of garlic at various drying conditions.

| Temperature (°C) | air flow rate (m <sup>3</sup> /min) | Mo (gH <sub>2</sub> O/g dry solid) | Me (gH <sub>2</sub> O/g dry solid) |
|------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 50               | 1.48                                | 1.54                               | 0.08                               |
|                  | 2.30                                | 1.54                               | 0.07                               |
|                  | 3.11                                | 1.54                               | 0.06                               |
| 60               | 1.48                                | 1.48                               | 0.06                               |
|                  | 2.30                                | 1.57                               | 0.06                               |
|                  | 3.11                                | 1.56                               | 0.05                               |
| 70               | 1.48                                | 1.48                               | 0.06                               |
|                  | 2.30                                | 1.54                               | 0.05                               |
|                  | 3.11                                | 1.55                               | 0.05                               |
| 80               | 1.48                                | 1.54                               | 0.04                               |
|                  | 2.30                                | 1.55                               | 0.03                               |
|                  | 3.11                                | 1.56                               | 0.03                               |

1) Initial moisture content

2) Equilibrium moisture content

Table 3은 diffusion model equation을 적용하였을 때의 건조조건에 따른 상수값과  $r^2$ 값을 구하여 본 것이다.

Table 3. Estimated values of parameter A in the diffusion model equation.

| Drying temperature (°C) | Air flow rate (m <sup>3</sup> /min) | A (x10 <sup>-3</sup> ) | r <sup>2</sup> |
|-------------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------|
| 50                      | 1.48                                | 7.7586                 | 0.9326         |
|                         | 2.30                                | 7.8682                 | 0.9294         |
|                         | 3.11                                | 7.9340                 | 0.9350         |
| 60                      | 1.48                                | 11.0100                | 0.9332         |
|                         | 2.30                                | 11.3700                | 0.9302         |
|                         | 3.11                                | 11.1300                | 0.9372         |
| 70                      | 1.48                                | 14.2700                | 0.9220         |
|                         | 2.30                                | 14.1200                | 0.9081         |
|                         | 3.11                                | 15.2300                | 0.8992         |
| 80                      | 1.48                                | 15.0200                | 0.8869         |
|                         | 2.30                                | 15.3200                | 0.8869         |
|                         | 3.11                                | 15.3700                | 0.8747         |

건조조건에 따라  $r^2$ 값은 0.8747~0.9372로 나타났으며, 이들 모델식에서 구한 이론치 MR 값과 실측치의 MR 값을 비교하여 본 결과 건조 초기에는 상당한 차이가 있었으나, 건조 후반기에 접어들수록 비교적 유사해지는 경향이였다.

또한 일반적으로 diffusion model equation에서 건조상수로 표현되는 A값은 건조온도와 풍량을

높임에 따라 조금씩 증가하는 경향이였으며, 이는 건조특성곡선에서 살펴 본 건조율의 증가와 관련이 있을 것으로 사료된다.

Table 4는 같은 건조자료를 approximation of diffusion model equation에 적용하였을 때의 상수와  $r^2$ 값을 구하여 본 결과이다.

Table 4. Estimated values of parameter A and B in the approximation of diffusion model.

| Drying temperature (°C) | Air flow rate (m <sup>3</sup> /min) | A (x10 <sup>-3</sup> ) | B      | r <sup>2</sup> |
|-------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------|----------------|
| 50                      | 1.48                                | 7.1068                 | 0.6995 | 0.8991         |
|                         | 2.30                                | 7.0399                 | 0.6722 | 0.9078         |
|                         | 3.11                                | 7.2048                 | 0.6874 | 0.9078         |
| 60                      | 1.48                                | 9.9259                 | 0.6642 | 0.9053         |
|                         | 2.30                                | 10.2677                | 0.6642 | 0.8974         |
|                         | 3.11                                | 9.8573                 | 0.6419 | 0.9170         |
| 70                      | 1.48                                | 12.0650                | 0.5929 | 0.8899         |
|                         | 2.30                                | 11.5056                | 0.5606 | 0.8626         |
|                         | 3.11                                | 12.1414                | 0.5236 | 0.8478         |
| 80                      | 1.48                                | 11.5198                | 0.4941 | 0.8299         |
|                         | 2.30                                | 11.7448                | 0.4885 | 0.8347         |
|                         | 3.11                                | 11.7174                | 0.4836 | 0.8318         |

$r^2$ 값은 0.8299~0.9170으로 나타났으며, 모델식에서 구한 이론치 MR 값과 실측치 MR 값과의 비교 결과는 diffusion model의 결과와 유사하였으나, 전반적으로 오차가 크게 나타났다.

Table 5는 같은 건조조건에서 Page model equation을 적용하여 구한 각 상수값과  $r^2$ 값을 나타낸 것이다.

Table 5. Estimated values of parameter A, B in the Page and equatio

| Drying temperature (°C) | Air flow rate (m <sup>3</sup> /min) | A      | B      | r <sup>2</sup> |
|-------------------------|-------------------------------------|--------|--------|----------------|
| 50                      | 1.48                                | 0.0134 | 0.9608 | 0.9401         |
|                         | 2.30                                | 0.0200 | 0.8810 | 0.9482         |
|                         | 3.11                                | 0.0210 | 0.8671 | 0.9552         |
| 60                      | 1.48                                | 0.0230 | 0.9098 | 0.9578         |
|                         | 2.30                                | 0.0260 | 0.8923 | 0.9658         |
|                         | 3.11                                | 0.0310 | 0.8537 | 0.9679         |
| 70                      | 1.48                                | 0.0518 | 0.7897 | 0.9692         |
|                         | 2.30                                | 0.0610 | 0.7533 | 0.9633         |
|                         | 3.11                                | 0.0710 | 0.7369 | 0.9752         |
| 80                      | 1.48                                | 0.0760 | 0.7421 | 0.9612         |
|                         | 2.30                                | 0.0780 | 0.7217 | 0.9602         |
|                         | 3.11                                | 0.0860 | 0.7004 | 0.9579         |

Page model equation을 적용하여 구한 각 건조조건에서의  $r^2$ 값은 0.9401~0.9752로 나타났으며, 이는 앞의 두 모델식에서 구한  $r^2$  값보다 비교적 높은 값이었다.

Fig 3, 4, 5, 6에 건조풍량 2.30m<sup>3</sup>/min, 건조온도 50, 60, 70, 80°C에서의 실측치 MR 값과 Page 모델식에서 구한 이론치 MR 값을 비교하여 보았다.

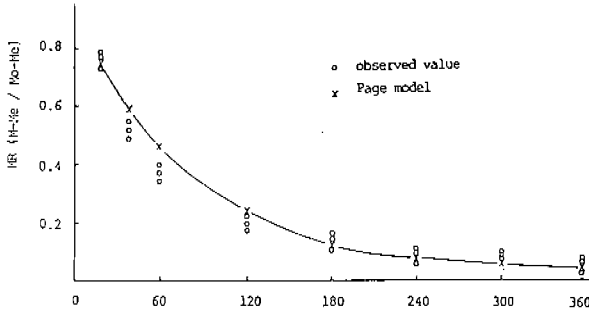


Fig.3 Comparison of observed and estimated drying profiles of garlic (50°C, 2.30m<sup>3</sup>/min)

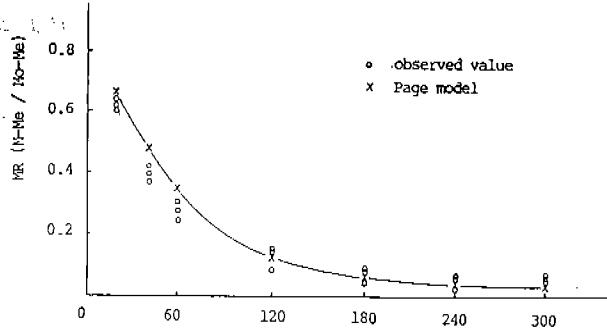


Fig.4 Comparison of observed and estimated drying profiles of garlic (60°C, 2.30m<sup>3</sup>/min)

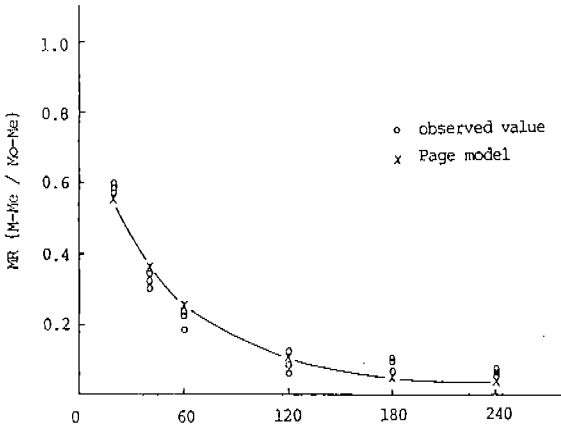


Fig.5 Comparison of observed and estimated drying profiles of garlic (70°C, 2.30m<sup>3</sup>/min)

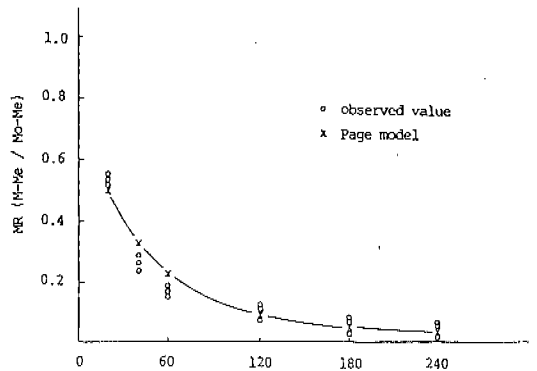


Fig.6 Comparison of observed and estimated drying profiles of garlic (80°C, 2.30m<sup>3</sup>/min)

각 건조온도에서 이론치 및 실측치 MR값을 비교한 결과 건조초기와 후반기는 비교적 유사한 경향을 나타내었으며, 건조시간 60분을 전후한 구간에서는 잘 일치하지 않는 것으로 나타났으나, 3가지 모델식 중에서 가장 실측치에 가깝고, 또한  $r^2$ 값이 높게 나타난 것으로 미루어 Page model equation을 이용하여 마늘 절편의

건조속도를 예측하는 것이 가능하다고 사료된다.

### 요 약

건조변수 및 건조자료의 자동측정 및 수집이

가능한 마이크로컴퓨터 열풍 건조장치를 이용하여 마늘의 박층 건조특성 및 건조 속도 예측 모델식을 조사하였다. 마늘의 건조 특성곡선은 항률건조기간에 걸쳐 상승하였으나 풍량은 건조 초기를 제외하고는 거의 영향을 미치지 못하였다. 마늘의 건조 중 건조 속도 및 수분 함량을 예측할 수 있는 모델식을 선정하기 위하여 여러가지 모델식들을 적용하여 본 결과 Page 모델식의  $r^2$ 가 0.9401~0.9752로 실측치와 계산치가 가장 유사하게 나타났다.

### 참 고 문 헌

1. 한관주, 송정춘(1977) 경제작물가공연구(고추, 마늘, 양파의 가공시험), 농공이용연구소 시험연구보고서, 482-495.
2. 윤인화, 송정춘(1978) 경제작물가공연구(고추, 마늘, 양파의 가공시험), 농공이용연구소 시험연구보고서, 612-620.
3. 김영수, 오상룡, 남영중, 민병용(1980) 비축농산물의 장기저장 및 가공적정조건(마늘을 이용한 향신제품개발시험) 구명시험, 식품연구소 사업보고, 55-74.
4. 박무현, 김정옥, 민병용, 서기봉(1977) 마늘가공 저장시험연구, 식품연구소 사업보고, 223-248.
5. 김현구, 조길석, 강통삼, 신호선(1987) 상대습도와 저장온도에 따른 건조마늘 플레이크의 갈변 및 흡습특성, 한국식품과학회지, 19(2), 176-180.
6. 김현구, 조길석, 허우덕, 신동화(1988) 상대습도와 저장온도에 따른 마늘가루의 갈변 및 흡습 특성, 한국식품과학회지, 20(3), 399-404.
7. 木村 進(1966) 乾燥食品, 光琳書院, p. 105.
8. Manjeet, S. C.(1984) Evaluation of selected mathematical models for describing thin-layer drying of in-shell pecans. Trans. of the ASAE., 610-615.
9. Sherwood, T. K.(1929) The drying of solids I, II. Ind. Eng. Chem., 21, 1134-1135.
10. 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.
11. Wang, C. Y., and R. P. Singh.(1978) A Single layer drying equation for rough rice. ASAE Paper No. 78-3001.
12. Simmonds, W. H. C., G. T. Ward and E. McEwen.(1953) The drying of wheat grain. Part I ; The mechanism of drying. Trans. Inst. Chem. Engrs., 31, 265-278.