

건조방법과 온도변화에 따른 감 분말의 흡습특성

이 원 영 · 김 증 국*

상주대학교 식품생물공학과, 상주대학교 식품영양학과*

Absorption Characteristics of Persimmon Powder Depending on Temperature Changes and Drying Methods

Won-Young Lee and Jong-Kuk Kim*

Department of Food and Bio-Resources Engineering, Sangju National University

Department of Food Science and Nutrition, Sangju National University*

Abstract

The absorption characteristics of persimmon powder related to different drying methods and various storage temperatures was investigated. The physical properties of persimmon powder by different drying methods displayed the largest amount of porosity in the freeze-dried sample, and the smallest in hot air dried sample. Equilibrium moisture was reached in 6 days. Monolayer moisture contents were predicted to 0.09687~0.19712(freeze drying), 0.07820~0.18617(vacuum drying) and 0.07715~0.18056(hot air drying) g H₂O/g solid respectively using the BET equation. BET equation for isothermal absorption curve showed over 0.95 R-square for all dried methods. Monolayer moisture contents were increased as storage temperature was incremented because water molecular movement was more active and there was a greater chance to clash with the absorption surface area.

Key words : persimmon powder, absorption, porosity, monolayer moisture content.

I. 서 론

감나무(*Diospyros kaki*, T.)는 동아시아원산의 과수로서 야생종은 한국, 중국 및 일본 등에 분포하고 있으며 세계적으로 대략 1,000여 품종이 알려져 있다. 감의 품종분류는 떫은 맛이나 종자 유무와 갈반형성과의 관계에 따라 완전단감, 불완전단감, 불완전 떫은감 및 완전떫은감의 4군으로 나누어지나 흔히 단감과 떫은감의 2종으로 분류한다¹⁾. 감과실은 포도

당, 과당 등의 당류와 비타민 A 및 C가 풍부한 알칼리성 식품이며, 설사와 출혈을 멈추게 하는 약리작용을 나타내는 과일로 알려져 있다²⁾. 현재, 국내 감 생산량은 연간 약 239,000M/T이며 그 생산량이 매년 증가하고 있는 추세이며 건조를 비롯해 여러 가지 형태로 소비되고 있다. 단감은 거의 전량 생식용으로 이용되므로 가공품 개발은 필요성이 낮으나 떫은감의 경우에는 생과 이용이 곤란하므로 오래 전부터 각종 방법으로 가공되어 왔다. 떫은감의 가공이용은 꽃감, 연시, 탈삼 등의 방법이 주를 이루어 왔으나

최근 감식초, 감장아찌, 감고추장 등에 대한 다양한 연구가 이루어졌다³⁻⁷⁾. 그러나 아직도 소비자의 기호변화에 부합되는 제품개발은 미약한 상태로 기호성이 높은 다양한 가공제품 개발을 통한 감과실의 소비확대가 필요한 실정이다.

감은 다른 과실에 비하여 수확기간이 짧고 수확 후 연화 등의 품질변화가 급격하게 진행되는 등 가공성이 낮아 다양한 가공제품을 개발하기에는 어려움이 있다. 감의 가공적성을 높이기 위한 저장이나 동결의 수단은 감을 연화후 이용하여야 한다는 점과 이미 연화된 감의 경우에는 그 보관 수단이 동결의 방법밖에는 없어 그 저장비용이 상당하다는 단점이 있다. 따라서 감의 중간소재로 제시될 수 있는 현실적인 방법은 연화감을 건조후 분말화하여 보관하는 방법이 될 것이다.

감 분말을 공장단위로 제조할 때는 연화감이 대량으로 건조되고 분말화되어 저장될 것이므로 감분말의 품질에 영향을 미칠 수 있는 요인들에 대한 연구가 필요하다. 감분말의 품질에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 요인은 흡습으로서 그 정도에 따라 비효소적 갈변, 지방의 산패, 미생물의 증식 등을 일으킨다. 또한 건조방법은 분말입자의 pore size, porosity, bulk density 등의 물리적 특성을 결정하게 되는 바, 이에 따른 감분말의 수분함량을 측정할 수 있는 등온흡습곡선을 작성하는 것이 중요하며, 저장조건의 결정 및 포장조건의 선택 등을 위한 저장 안전 수분함량인 단분자층 수분함량을 결정할 필요가 있다⁸⁻¹¹⁾. 따라서 본 연구에서는 건조방법에 따른 감분말의 등온흡습곡선과 저장 안전수분함량인 단분자층 수분함량을 구함으로써 감분말 제조를 위한 적절한 건조방법의 제시와 저장 및 포장조건의 선택 등에 유용한 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 재 료

실험에 사용된 감은 경상북도 상주산 등시로 2000년 10월에 수확한 외관이 양호한 등시로 실험실에서 자연상태에서 3주 이상 연화시켜 믹서기(Hanil, Ko-

rea)로 파쇄한 과육을 833 μ m체를 통과시키고 건조방법별로 건조하여 시료로 사용하였다.

2. 건조방법

감 과육의 건조에 이용된 건조방법으로서는 열풍 건조는 convection oven(FC-ID-2, Universal Scientific Co., Korea)을 이용하여 50°C에서 24시간, 진공 건조는 vacuum dry oven(OVL-570, Gallen Kamp Co., England)을 이용하여 50°C, 700mmHg에서 24시간, 동결건조의 경우에는 deep freeze(SW-UF-200, Samwon, Korea)를 이용하여 -70°C에서 24시간 동결시킨 후 동결건조기(T. D5070 RR, Iishin Lab. Co., Korea)를 사용하여 10mmHg에서 72시간 건조하여 시료로 이용하였다^{12,13)}. 각 방법별로 건조된 감 과육을 분쇄하여 105~150 μ m체 사이의 분말을 건조시료로 사용하였다. 이 때 열풍건조 시료의 수분함량은 3.5%, 진공건조는 7.0% 그리고 동결건조는 3.5%의 초기수분함량을 지니고 있었다.

3. 물리적 특성

건조분말의 물리적 특성치 중 공극과 상관성이 있는 total pore area, average pore diameter, porosity 등을 측정하기 위하여 수은 압입법을 사용하는 porosimeter(Poresize 9320, Micrometrics, USA)를 이용하였다¹⁴⁾.

4. 평형수분함량의 측정

Labuza 방법¹⁵⁾에 준하여 알루미늄 용기에 약 2g의 감 과육 분말을 담고 이를 상대습도 32, 43, 84%를 유지하는 포화염용액이 들어있는 데시케이터에 넣은 후 10, 20, 30°C에서 24시간 간격으로 시료를 꺼내어 수분함량을 측정하였으며, 이 무게를 달아 최초의 수분함량을 기준으로 무게의 증감량에서 수분의 변화가 5mg이하의 함량이 될 때까지 흡습량을 측정하여 평형수분함량을 구하였다.

5. 단분자층 수분함량의 측정

적정 저장안정 수분함량인 단분자층 수분함량을 산출하기 위하여 다음과 같은 Brunauer-Emmett-Teller(BET)식을 이용하였다¹⁶⁻¹⁸⁾.

$$\text{BET equation } \frac{Aw}{m(1-Aw)} = \frac{1}{m_1C} + \frac{C-1}{m_1C} Aw$$

여기서, Aw : 수분 활성도
 m : 평형수분함량
 m_1 : 단분자층 수분함량
 C : 상수

위의 BET식은 Aw 에 대하여 일차식으로 나타내어 구할 수 있으며 다음과 같다.

$$\frac{Aw}{m(1-Aw)} = aAw + b$$

여기서, a 는 기울기로 다시 쓰면 $C-1/m_1C$ 를 나타내며 b 는 절편으로 $1/m_1C$ 로 할 수 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 건조방법에 따른 물리적 특성

건조 방법에 따른 물리적 특성의 변화를 Table 1에 나타내었다. 열풍 건조한 시료의 공극률은 1.90%로 가장 작게 나타났으며 진공건조 2.13%, 동결건조가 3.95%의 순으로 나타났다. 또한 총공극 면적 역시 동결, 진공, 열풍건조의 순으로 나타났으며 공극의 평균지름은 반대의 순으로 나타났다. 이러한 결과는 동결건조의 경우 공극의 크기가 가장 작은 이유는 -70°C 부근에서 급속동결이 이루어져 물분자의 이동이 용이하지 않아 작은 얼음결정을 형성하였다가 승화에 의해 건조된 때문이며 공극률이 가장 큰 이유는 급속동결에 의해 감분말 입자내에 고르게 분포하고 있던 얼음이 승화에 의해 건조되므로 입자의 모양이 거의 원형을 유지하면서 조직에 고르게 공극이 분포하기 때문인 것으로 생각된다. 또한 진공건조가 열풍건조보다 더 큰 공극률과 공극면적을 나타내는 이유는 같은 온도에서 진공상태가 수분의 증기압을 상승시켜 건조속도가 열풍건조보다 훨씬 빨라진 때문이며, 평균 공극지름이 더 작은 이유는 같은 온

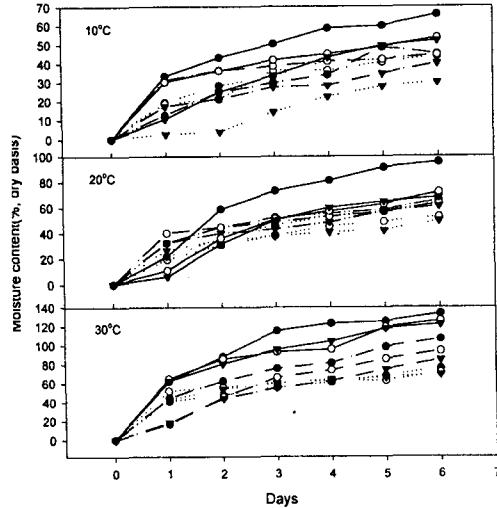


Fig. 1. Changes of equilibrium moisture content of dried persimmon by different drying methods as function of relative humidity and times.

● : Freeze drying, ○ : Vacuum drying, ▼ : Hot air drying, ... : 32% R. H., - - - : 44% R. H., — : 83% R. H.

도조건에서 건조속도가 열풍보다 빠르므로 인해 입자의 표면경화나 수축현상이 줄었기 때문으로 생각된다. 이러한 결과는 Yang 등의 보고¹⁹⁾와 비슷한 경향을 나타내었다.

2. 평형수분함량 측정

건조식품의 안전성은 수분함량에 따라서 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. Fig. 1은 10, 20, 30°C의 저장고 내에서 상대습도의 변화에 따른 감 분말의 평형수분함량에 도달하는 시간을 조사한 결과이다. 상대습도가 증가할수록 흡습량이 증가하는 것으로 나타났으며 저장 3일을 기점으로 그 이전에는 흡습량이 급격히 증가하다가 그 이후에는 증가폭이 둔

Table 1. Physical properties of dried persimmon powder by different drying methods

Items	Freeze drying	Vacuum drying	Hot air drying
Porosity	3.95 %	2.13 %	1.90 %
Total pore area	7.961 m ² /g	7.207 m ² /g	6.945 m ² /g
Average pore diameter	165 Å	172 Å	337 Å
Bulk density	0.7174 g/ml	0.6354 g/ml	0.5887 g/ml

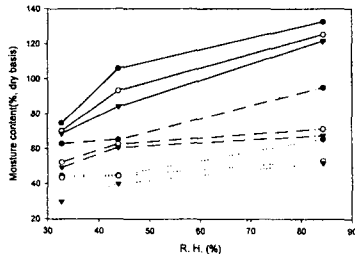


Fig. 2. The isothermal absorption curve of dried persimmon powder by different drying methods at various storage temperature.

● : Freeze drying, ○ : Vacuum drying, ▼ : Hot air drying. ····· : 10°C, - - - : 20°C, — : 30°C.

화하는 것으로 나타났다. 또한 낮은 상대습도에서는 수분평형상태에 도달하는 시간이 짧은 반면 상대습도가 증가할수록 평형수분함량에 도달하는 시간이 길어지는 경향을 나타내었다. 온도의 변화에 있어서는 저장온도가 증가할수록 평형상태에 이르는 시간이 길어졌으며 저장상대습도에 따른 평형수분함량의 도달시간은 실험구간내에서의 상대습도변화에서는 5일 정도에서 평형상태에 거의 다다른 것으로 나타나 본 실험에서는 저장 6일째를 평형수분함량의 계산점으로 결정하였다.

Fig. 2는 각 건조방법별 등온흡수곡선으로서 동결건조, 진공건조, 열풍건조 순으로 흡습이 잘 되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 각각의 물리적 특성에

따른 차이로 보여지며, 특히 물리적 특성치중 공극에 따른 차이로 사료된다. 즉, 공극면적이 가장 크다는 것은 그 만큼 수분을 흡습할 수 있는 공간이 크기 때문에 동결건조에서 가장 많은 흡습량을 보여주고, 가장 공극이 적은 열풍건조가 제일 낮은 흡습량을 보여주는데, 이는 물리적 특성 중 공극률과 공극면적이 흡습에 직접 영향을 미치며 공극이 클수록 흡습이 많이 되기 때문이다. 또한 이러한 결과로 상대습도 84%에서 저장 한 시료는 열풍건조를 제외한 진공건조와 동결건조시료일부에서 곰팡이가 생성됨을 볼 수 있었는데 이는 Lim 등²⁰⁾에 의한 보고와 비슷한 결과를 보여주었다. 이상의 결과는 김¹⁷⁾의 모형식품분말의 흡습특성에서 보고한 바와 같이 동결건조한 시료의 입자구조가 다공성이라 흡습성이 더 높다는 것과 유사하였으며, 입자크기에 따른 보고에 의하면 작은 입자일수록 흡습이 크다고 했는데 이는 입자가 작을수록 단위 중량당 흡착표면적이 크다는 것을 의미하고 있는 것으로 생각된다. 같은 상대습도에서도 저장온도가 증가함에 따라 흡습량이 증가하는 것은 온도의 증가로 인해 물분자들의 증기압의 증가와 운동 에너지의 증가로 흡착표면에 충돌 및 흡착 기회가 증가한 때문으로 생각된다. 단 이러한 경우는 실험구간이 상온에 가까운 30°C이내에서 이루어져 물분자의 흡착량이 탈착량보다 많은 경우이며 온도를 더욱 상승시키면 흡착량보다는 탈착량이 많아지는 역전현상이 생길 것으로 예상된다.

Table 2. Monolayer moisture contents and R-square of isothermal absorption curve by BET equation for pesimmon powder by different drying methods and at various storage temperature

Drying methods	Storage temperature(°C)	Monolayer moisture content (g H ₂ O/g solid)	R-square for BET equation
Freeze drying	10	0.09687	0.9851
	20	0.140385	0.9802
	30	0.197127	0.9705
Vacuum drying	10	0.078205	0.9838
	20	0.105358	0.9736
	30	0.186179	0.9722
Hot air drying	10	0.077153	0.9668
	20	0.099752	0.9714
	30	0.180569	0.9769

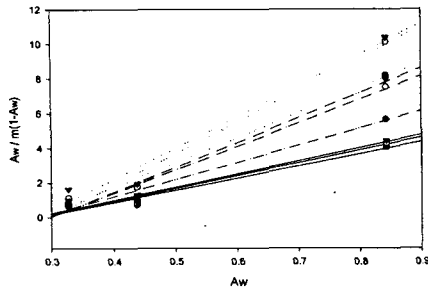


Fig. 3. BET regression plot for determination of the monolayer moisture content by different drying methods.

● : Freeze drying, ○ : Vacuum drying, ▼ : Hot air drying, : 10%, ----- : 20°C, — : 30°C

3. 단분자층 수분함량 및 등온흡습곡선

감분말의 등온흡습선을 예측하기 위하여 BET식을 이용하여 Fig. 3에서와 같이 예측하고 그 결과로부터 건조방법에 따른 저장 적정 수분함량인 단분자층 수분함량을 구하여 Table 2에 나타내었다. 단분자층 수분함량을 계산하기 위한 BET식의 상관계수 값은 0.95이상의 적합도를 나타내었다. 단분자층 수분의 량도 동결, 진공, 열풍건조의 순으로 크게 나타났으며 이는 건조방법에 따른 물리적 특성치에서도 나타난 바와 같이 공극의 크기 등에 기인할 뿐 아니라 당류를 비롯한 기타 화학적 성분이 열적손상을 적게 받는 방법에 의하여 화학적 흡착능력의 손상을 적게 입은 것에 기인하는 것으로 생각된다. 같은 건조방법에서도 온도가 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타난 것은 온도의 상승에 따른 수분의 증기압의 증가 및 활동성의 증가가 시료의 흡착표면의 미세한 부분까지 잘 확산되도록 한 것으로 생각된다.

IV. 요약

감 과육 파쇄물을 열풍, 진공, 동결의 건조방법으로 건조를 행하였다. 각 건조 방법별로 감분말의 물리적 특성치인 공극률은 열풍 건조한 시료가 1.9%로 가장 작게 나타났으며, 진공건조 2.13%, 동결건조가 3.95%의 순으로 나타났다. 또한 총공극 면적 역시 동결, 진공, 열풍건조의 순으로 나타났으며 공극의

평균지름은 반대의 순으로 나타났다. 상대습도의 변화에 따른 감 분말의 평형수분함량에 도달하는 기간을 조사한 결과이다. 상대습도가 증가할수록 흡습량이 증가하는 것으로 나타났으며 저장 3일을 기점으로 그 이전에는 흡습량이 급격히 증가하다가 그 이후에는 증가폭이 둔화하는 것으로 나타났다. 또한 낮은 상대습도에서는 수분평형상태에 도달하는 시간이 짧은 반면 상대습도가 증가할수록 평형수분함량에 도달하는 시간이 길어지는 경향을 나타내었다. 온도의 변화에 있어서는 저장온도가 증가할수록 평형상태에 이르는 시간이 길어졌으며 저장상대습도에 따른 평형수분함량의 도달시간은 실험구간내에서의 상대습도변화에서는 5일 정도에서 평형상태에 거의 다다른 것으로 나타나 저장 적정 수분함량을 구하기 위해 단분자층 수분함량을 구한 결과는 BET식에서 동결건조한 시료가 다른 시료보다 높은 값을 나타내었고, 등온 흡습선으로서 적합도는 건조 방법별로 0.95 이상의 상관계수 값을 나타내었다.

V. 문헌

- Kim, T. C. and Ko, K. C. : Classification of persimmon cultivars on the basis of horticultural traits. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.*, 36(3) : 331~342, 1995.
- Kang, W. W., Kim, G. Y., Kim, J. K. and Oh, S. L. : Quality characteristics of the bread added persimmon leaves powder. *Korean J. Soc. Food Sci.*, 16(4) : 336~341, 2000.
- Shin, D. J., Kim, K. H., Son, G. M., Lee, S. C. and Hwang, Y. I. : Changes of physicochemical properties during preparation of prepersimmon pickles. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 29(3) : 420~424, 2000.
- Kim, J. G., Choi, H. S., Kim, W. J. and Oh, H. I. : Physical and sensory characteristics of persimmon jam prepared with enzyme treated persimmon juice. *Korean J. Soc. Food Sci.*, 15(1) : 50~54, 1999.
- Moon, K. D., Kim, J. K., Kim, J. H. and Oh, S.

- L. : Studies on valuable components and processing of persimmon flesh and peel. Korean J. Dietary Culture, 10(4) : 321~326, 1995.
6. Lee, G. D. and Jeong, Y. J. : Optimization on organoleptic properties of *Kochujang* with addition of persimmon fruits. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr., 27(6) : 1132~1136, 1998.
 7. Kim, H. Y. and Chung, H. J. : Changes of physicochemical properties during the preparation of persimmon pickles and its optimal preparation conditions. Koran J. Food Sci. Technol., 27(5) : 697~702, 1995.
 8. Diosady, L. L., Rizvi, S. S. H., CAI, W. and Jagdeo, D. J. : Moisture sorption isotherms of canola meals and applications to packaging. J. Food Sci., 61 : 204~208, 1996.
 9. Holdsworth, S. D. : Dehydration of food products. J. Food Technol., 6 : 331~336, 1971.
 10. Peleg, M. : Physical characteristics of food powders. In Physical Properties of Foods, Peleg, M. and E.B. Bagley (eds), 293~323, AVI Pub. Co., Inc., Westport, CT, 1983.
 11. Song, J. C. and Park, H. J. : Food texture. 216~225. Ulsan University Press. 1995. .
 12. Back, H. H., Kim, D. M. and Kim, K. H. : Changes in quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) by different drying methods. Korean J. Food Sci. Technol., 21 : 145~148, 1989.
 13. Suguna, S., Usha, M., Sreenarayanan, V. V., Raghupathy, R. and Gothandapani, L. : Dehydration of mushroom by sun-drying, thin-layer drying, fluidized bed drying and solar cabinet drying. J. Food Sci. Technol., 32 : 284~288, 1995.
 14. Lee, W. Y. : Adsorption of food-born phenolic acids on activated carbon and desorption by supercritical carbon dioxide. Ph. D thesis, Kyungpook National University. 1997.
 15. Labuza, T. P., Kaanane, A. and Chen, J. Y. : Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. J. Food Sci., 50 : 385~391, 1987.
 16. Iglesias, H. A. and Chirife, J. : Technical note: Correlation of BET monolayer moisture content in foods with temperature. J. Food Technol., 19 : 503~506, 1984.
 17. Kim, D. W. : The study of fluid and absorption properties for model powder food. Ph. D. thesis, Chungnam National University 1992.
 18. Shafiur, R. : Food properties handbook. 1~46, CRC Press, Inc. 1995..
 19. Yang, C. S. T. and Atallah, W. A. : Effect of four drying methods on the quality of intermediate moisture lowbush blueberries. J. Food Sci., 50 : 1233~1237, 1985.
 20. Lim, L. T., Tang, J. and He, J. : Moisture sorption characteristics of freeze dried blueberries. J. Food Sci., 60 : 810~813, 1995.