

건조방법에 따른 분말마의 흡습특성

차원섭 · 박준희 · 오상룡 · 조영제 · 이원영^{1*}

상주대학교 식품공학과

¹경북대학교 식품공학과

Absorption Characteristics of Korean Yam Powder by Different Drying Methods

Woen-Suep Cha, Joon-Hee Park, Sang-Lyong Oh, Young Je Cho and Won-Young Lee^{1*}

Department of Food Science and Technology, Sangju National University

¹Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University

Abstract

The absorption characteristics of Korean yam powder according to different drying methods were investigated. The physical properties of yam powder by different drying methods were showed the biggest porosity in freeze drying sample, while the smallest in hot air drying sample. No difference was founded in proximate compositions of yam powder by various drying methods. The amount of total phenolic compound and Vit C were showed the bigger decrement in freeze dried sample than other drying methods. The time reaching to equilibrium moisture content were determined in 12 days. Monolayer moisture contents were predicted to 0.0508~0.0588 by BET equation and 0.0705~0.0811 g H₂O/g solid by GAB equation. BET equation for isothermal absorption curve showed over 0.95 R-square for every drying methods. GAB equation showed over 0.99 in vacuum and freeze drying but a poor R-square in hot air drying.

Key words – yam powder, absorption, porosity, monolayer moisture content

서 론

마는 우리나라 전역에 걸쳐 자생하는 덩이식물로서 긴마, 단마, 참마 등이 있다. 예로부터 마는 탄수화물의 급원으로 서 구황식물로서 이용되었으며 또한 그 뿌리를 찌서 말린 산약은 당뇨병, 폐결핵, 빈뇨증 등에 한약재로서도 이용되었다. 최근 국민생활 수준의 향상으로 건강식품에 대한 소

비가 증가하고 있는 시점에서 자양, 익정(益精), 지사(止瀉) 등에 효용이 있고 폐와 비장에 이로운 마는 관심의 대상이 되고 있다. 마의 섭취형태는 옛날부터 굽거나 찌서 먹고, 생으로 갈아서 먹는 형태이다. 그러나 최근 가공기술을 이용하여 yam flour나 yam flake 등의 형태로 가공되어 건강차나 건강 snack으로 그 이용이 다양화되고 있다. 그러나 마에 관한 학술적인 연구로는 한국산 마의 당질분석, 참마의 휘발성 성분의 분석, 한국산 마전분의 이화학적 특성, 마의 일반성분 및 분말의 물성측정 등에 관한 연구정도로 주로 화학적 분석에 근거한 연구뿐이다[4,9,11]. 마의 가공품으로

*To whom all correspondence should be addressed

Tel: (053) 950-5777, Fax: (053) 950-6772

E-mail: bingoday@dreamwiz.com

서 이용가능성이 가장 높은 형태는 마차나 기타 분말식품과 혼합하여 음용할 수 있는 분말 형태일 가능성이 가장 크다. 그러나 마를 이용한 분말식품을 공장단위로 제조할 때는 마가 대량으로 건조되고 분말화되어 저장될 것이므로 마 분말의 품질에 영향을 미칠 수 있는 요인들에 대한 연구가 필요하다. 마분말과 같은 분체식품에 있어 품질에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 요인은 흡습으로서 그 정도에 따라 비효소적 갈변, 지방의 산패, 미생물의 증식 등을 일으킨다. 또한 분체식품에 있어 건조방법은 분말입자의 pore size, porosity, bulk density 등의 물리적 특성을 결정하게 되는 바, 이에 따른 흡습의 고찰이 필요하다.

일반적으로 건조식품의 경우에는 아무리 건조가 잘 되었다 하더라도 저장온도 및 저장상대습도, 포장재의 방습조건 등이 적합하지 않으면 흡습에 의해서 저장기간중 품질의 노화가 심하게 일어난다. 즉 식품의 저장 중에는 수분함량에 따라 제품의 품질이 크게 영향을 받게 되는데 수분함량은 제품에 주어진 환경의 상대습도에 의해 크게 좌우되며, 이외에도 제품의 종류 및 온도 등 다양한 요인들이 있으며, 흡습의 정도에 따라 비효소 갈색화 반응, 지방의 산패, 미생물의 발생등을 초래하므로 저장중 식품의 변질을 방지하기 위해서는 식품의 수분함량을 측정할 수 있는 등온흡습곡선을 작성하는 것이 중요하며, 적정저장 안전 수분함량인단분자층 수분함량을 결정하고, 흡습에 필요한 에너지를 구하는 것은 건조식품의, 저장조건의 결정 및 포장조건의 선택 등을 위한 유용한 기초자료가 된다[5,6,14,16]. 따라서 본 연구에서는 건조방법에 따른 yam flour의 등온흡습곡선을 구하고 저장 안전수분함량인 단분자층 수분함량과 흡습에 필요한 에너지를 구함으로써 마분말 제품의 제조를 위한 건전한 건조방법의 제시와 저장조건 및 포장조건의 선택 등에 유용한 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용된 마는 경상북도 영주산 단마로 1999년 10월에 수확한 마중 무게가 약 500g정도 되는 것을 선별하여 물로 깨끗이 세척한 다음 약 2mm 두께의 slab형태로 하여 건조시료로 사용하였다.

건조방법

마의 건조에 이용된 건조방법으로서 열풍건조는 hot air dry oven (FC-1D-2, Universal Scientific Co., Korea)을 이용하여 50℃에서 12시간, 진공건조는 vacuum dry oven (OVL-570, Gallen Kamp Co., England)을 이용하여 50℃, 700mmHg에서 12시간, 동결건조의 경우에는 deep freezer (SW-UF-200, Samwon, Korea)를 이용하여 -70℃에서 24시간 동결시킨 후 동결건조기(T. D5070 RR, Iishin Lab. Co., Korea)를 사용하여 10mmHg에서 48시간 건조하여 시료로 이용하였다[3,17]. 각 방법별로 건조된 마를 분쇄하여 105~150 μ m 체를 통과한 분말을 건조시료로 사용하였다.

일반성분분석

A.O.A.C. 표준시험방법[2]에 준하여 수분은 105℃ 상압 건조법으로, 조지방은 soxhlet, 조단백은 microkjedahl법 및 조회분은 550℃ 회화법으로 분석하고 모든 측정은 3회 반복하여 평균치를 취하였다.

물리적 특성

건조분말의 물리적 특성치중 공극과 상관성이 있는 total pore area, average pore diameter, porosity등을 측정하기 위하여 수은 압입법을 사용하는 porosimeter (Poresize 9320, Micrometrics, USA)를 이용하였다[12].

총페놀의 함량측정

건조 방법과 흡습에 따른 마의 Polyphenol 화합물의 변화는 페놀성 물질이 phosphomolybdic acid와 반응하여 청색을 나타내는 현상을 이용한 Folin-Denis법[1]을 이용하여 700nm 에서 흡광도를 측정하여 tannic acid 당량으로 환산하였다.

비타민 C 함량

각 시료의 비타민 C 함량은 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNP) 방법을 이용하여 분광광도계로 540nm에서 흡광도를 측정하여 표준곡선으로부터 총 비타민 C 함량을 구하였다.

평형수분함량의 측정

Labuza방법[10]에 준하여 알루미늄 용기에 약 2g의 마 분말을 담고 이를 상대습도 11-84%를 유지하는 포화염용액

이 들어있는 데시케이터에 넣은 후 25℃ 에서 24시간 간격으로 시료를 꺼내어 수분 함량을 측정하였으며, 이 무게를 달아 최초의 수분함량을 기준으로 무게의 증감량에서 수분의 변화가 5mg이하의 함량이 될 때까지 흡습시켜 평형수분함량을 구하였다.

단분자층 수분함량의 측정

적정 저장안정 수분함량인 단분자층 수분함량을 산출하기 위하여 다음과 같은 Brunauer-Emmett-Teller식(BET식)과 Guggenheim-Anderson-Boer식(GAB식)을 이용하였다[7, 8,15]. BET식은 수분활성도가 0.05~0.45인 범위까지만 적용이 가능하다. 따라서 최근 BET 모델을 확장한 GAB 식이 널리 사용되며 많은 경우 수분활성도 0.9까지 적용되는 것으로 보고되고 있어 본 실험에서는 이 두 가지 식을 적용시키고자 하였다.

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

- 여기서, Aw : 수분 활성도
- m : 평형수분함량
- m₁ : 단분자층 수분함량
- C : 상수

위의 BET식은 Aw에 대하여 일차식으로 나타내어 구할 수 있으며 다음과 같다.

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

여기서, a는 기울기로 다시 쓰면 C-1/m₁C를 나타내며 b는 절편으로 1/m₁C로 할 수 있다.

그리고 GAB 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{GAB equation } m = \frac{m_1 C k A w}{(1 - k A w)(1 - k A w + C k A w)}$$

- 여기서, Aw : 수분 활성도
- m : 평형수분함량
- m₁ : 단분자층 수분함량
- C, k : 상수

또한 GAB식은 Aw에 대하여 이차식으로 나타내어지며, 다음과 같이 나타낸다.

$$\frac{Aw}{m} = \alpha Aw^2 + \beta Aw + \gamma$$

$$\text{여기서, } \alpha: \frac{k}{m_1} \left(\frac{1}{C} - 1\right), \quad \beta: \frac{1}{m_1} \left(\frac{1}{C} - 1\right)$$

$$\gamma: \frac{1}{m_1 C k}$$

위의 같이 각 인자를 구하여 단분자층 수분함량을 구한다.

결과 및 고찰

일반성분

본 실험에서 사용한 마분말의 일반성분은 Table 1와 같이 일반성분표의 조성과 큰 차이가 없었다. 건조방법에 따라 성분조성은 Table 2에 나타내었으며, 대체적으로 큰 차이는 나지 않았고 수분함량에서 동결건조한 것이 9.40%로 가장 높았고 열풍건조한 것이 8.64%로 가장 낮았다.

건조방법에 따른 물리적 특성

건조 방법에 따른 물리적 특성의 변화를 Table 3에 나타내었다. 열풍 건조한 시료의 공극률은 12.26%로 가장 작게 나타났으며 진공건조 31.17%, 동결건조가 41.00%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℃부근에서 급속동결이 이루어져 물분자의 이동이 용이하지 않아 작은 얼음결정을 형성하였다가 승화에 의해 건조된 때문이며 공극률이 가장 큰 이유는 급속동결에 의해 마입자내에 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 마 수분의 증기압을 상승시켜 건조속도가 열풍건조보다 훨씬 빨라진 때문이며, 평균 공극지름이 더 작은 이유는 같은 온도조건에서 건조속도가 열풍보다 빠르므로 인해 마 입자의 표면경화나 수축현상이 줄었기 때문으로 생각된다. 이러한 결과는 Yang 등의 보고[18]와 비슷한 경향을 나타내었다.

Table 1. Proximate composition of Korean yam powder (unit: % wet basis)

	Moisture	Crude lipid	Crude protein	Carbohydrates	Crude ash
Korean yam powder	85.87	1.0	3.03	9.14	0.96

Table 2. Proximate composition of dried Korean yam powder (unit: % wet basis)

Drying methods	Moisture	Crude lipid	Crude protein	Carbohydrates	Crude ash
Hot air	8.64	1.53	12.82	71.63	5.38
Vacuum	9.17	1.36	13.64	70.38	5.45
Freeze	9.40	1.67	13.54	69.74	5.65

Table 3. Physical properties of dried korean yam powder by different drying methods

	Hot air drying	Vacuum drying	Freeze drying
Porosity	12.26 %	31.17 %	41.00 %
Total pore area	0.193 m ² /g	5.500 m ² /g	16.155 m ² /g
Average pore diameter	34754 Å	2782 Å	545 Å
Bulk density	0.7292 g/ml	0.8150 g/ml	1.8625 g/ml

총페놀 함량

일반적으로 페놀성 물질은 약리성분 및 갈변의 원인물질로 알려져 있으며, 건조 방법 별 초기함량과 함께 증습에 따른 마분말의 총페놀 함량을 건물량 기준으로 비교 분석한 것을 Fig. 1에 나타내었다. 각 함량은 열풍 건조한 것이 $25.61 \times 10^2 \text{mg}$ 이고, 다음으로는 진공 건조한 것이 $28.45 \times 10^2 \text{mg}$ 이며, 동결 건조한 것이 $31.30 \times 10^2 \text{mg}$ 으로 가장 높은 함량을 보여주고 있다. 그러나 각 시료별 함량의 차

이는 크게 나타나지 않는 것으로 보이며 건조 방법에 따른 함량을 변화는 크게 살펴볼 수 없었다. 저장습도의 변화에 따른 총페놀 화합물의 함량은 그 변화폭이 동결건조에서 가장 크게 나타나고 있다. 이러한 현상은 진공건조나 열풍건조에 비해 갈변효소들의 손상이 적었음에 기인한 것으로 생각된다.

Vitamin C 함량

Ascorbic acid의 함량은 과실이나 야채류의 저장에서 신선도를 판정하는 중요한 지표로 이용되고 있다. Fig. 2는 상대습도의 증가에 따른 마의 ascorbic acid 함량의 변화를 건조 방법별 초기량과 함께 나타냈다. 초기함량은 건조방법별로 별다른 차이를 나타내지 않았으나 동결건조 제품이 가장 높은 함량을 나타내었고 증습에 따라 상대습도 80%까지 ascorbic acid의 함량은 꾸준히 감소하였다. 열풍건조와 진공건조의 경우에는 상대습도 80%까지 ascorbic acid의 감소경향은 동결건조의 경우에 비해 완만하였으나 상대습도 80%를 넘어서면서 건조방법에 관계없이 급속히 감소하였다.

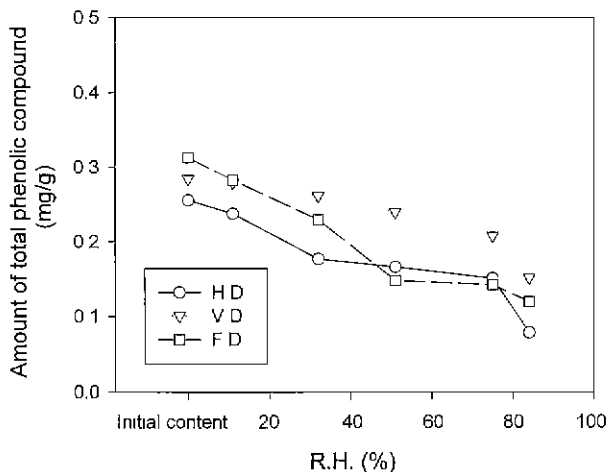


Fig. 1. The changes of total phenolics amounts from dried Korean yam powder by different drying methods at various relative humidity.

평형수분함량 측정

건조식품의 안전성은 수분함량에 따라서 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. Fig. 3은 25℃의 저장고 내에서 상

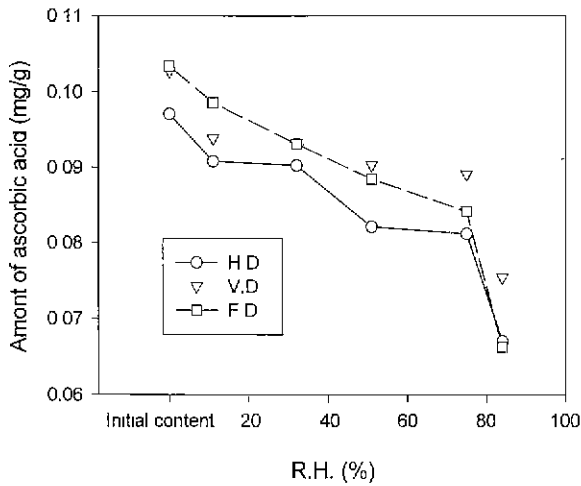


Fig. 2. The changes of ascorbic acid amount from dried Korean yam powder by different drying methods at various relative humidity.

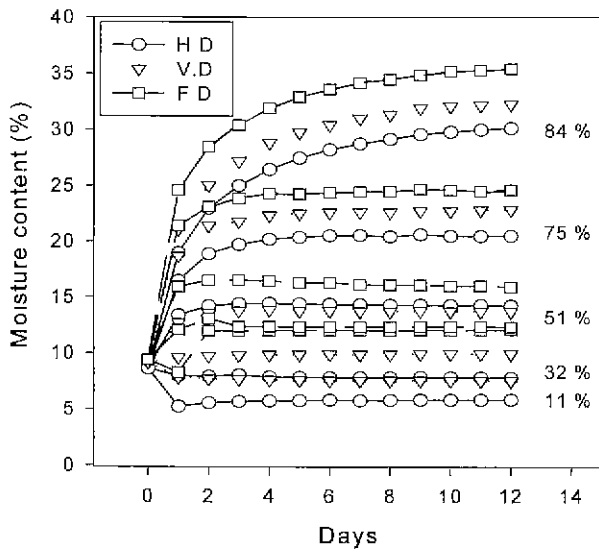


Fig. 3. Equilibrium moisture content of dried Korean yam powder by different drying methods as function of relative humidity and times.

대습도 변화에 따른 마분말의 평형수분함량에 도달하는 기간을 조사한 결과를 나타내었다. 상대습도가 증가할수록 수분 흡습량이 증가하는 경향으로 나타났다. 그리고 낮은 상대습도에서는 수분평형 상태에 도달하는 시간이 짧은 반면에 상대습도가 증가 할 수록 평형 수분함량에 도달하는 시간이 길어짐을 알 수가 있다. 저장상대습도에 따른 평형 수분함량의 도달시간은 상대습도가 75% 까지는 4일 이내에

평형상태에 다다른 것으로 나타났으며 84%일 경우는 저장일수가 10일이 넘어가면서 수분의 함량의 증가가 5mg 이내로 유지되어 거의 평형상태에 이르는 것으로 나타났다. 따라서 본 실험에서는 단분자층 수분함량을 계산하기 위한 평형수분의 량을 충분히 흡습이 이루어져 평형상태에 다다랐다고 생각되는 저장일 수 12일 때의 수분함량을 기준으로 계산하였다.

Fig. 4는 각 건조방법별 등온흡습곡선으로서 동결건조, 진공건조, 열풍건조 순으로 흡습이 잘되는 것으로 나타났다. 흡습에 미치는 영향은 여러 가지가 있는데 위에서 살펴본 바와 같이 마분말을 각기 다른 방법으로 건조했을 경우 성분변화와 품질변화는 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러므로 흡습의 차이는 각각의 물리적 특성에 따른 차이로 보여지며, 특히 물리적 특성치중 공극에 따른 차이로 사료 된다. 즉, 공극면적이 가장 크다는 것은 그만큼 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 동결건조 시료에서 곰팡이가 생성됨을 볼 수 있었는데 이는 Lim[13] 등에 의한 보고와 비슷한 결과를 보여주었다. 이와 같은 결과는 김[8]의 모형식품분말의 흡습특성에서 보

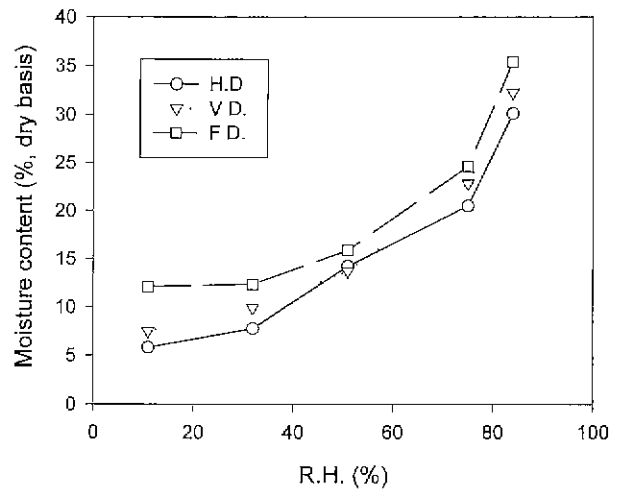


Fig. 4. The isothermal absorption curve of dried Korean yam powder by different drying methods.

고한 바와 같이 동결건조한 시료의 입자구조가 다공성이라 흡습성이 더 높다는 것과 유사하였으며, 입자크기에 따른 보고에 의하면 작은 입자일수록 흡습이 크다고 했는데 이는 입자가 작을수록 흡착표면적이 크다는 것을 의미하고 있는 것으로 사료된다. 결론적으로 흡습에 가장 큰 영향을 주는 것으로는 상대습도이지만 그 외에 온도와 분말 입자의 pore size와도 상관성이 있는 것으로 보인다.

단분자층 수분함량 및 등온흡습곡선

식품의 등온흡습곡선을 예측하기 위하여 흔히 이용되어 왔던 BET식과 수분활성도가 0.9까지의 넓은 범위에서까지도 잘 적용되어 최근에 이용되고 있는 GAB식을 이용하여 등온흡습곡선을 예측한 것을 Fig. 5, 6에 나타내었다. 또한

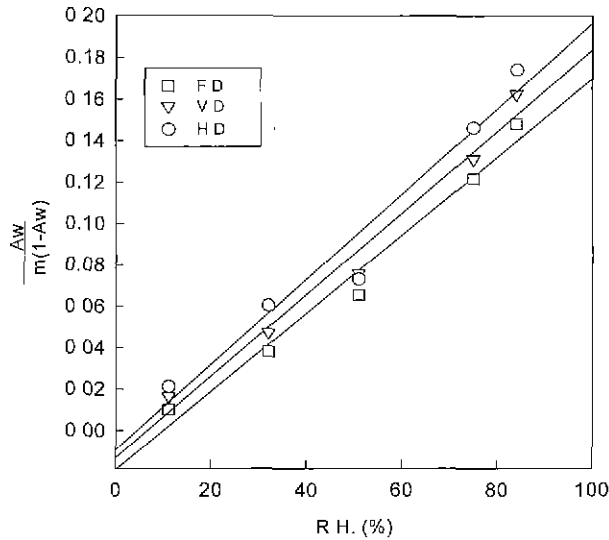


Fig. 5. BET regression plot for determination of the monolayer moisture content by different drying methods.

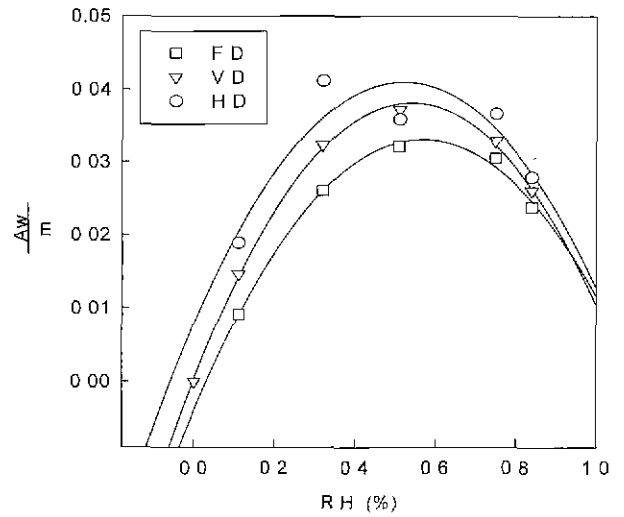


Fig. 6. GAB regression plot for determining of the monolayer moisture content of different drying methods.

이들의 예측 결과로부터 건조방법에 따른 저장 적정 수분함량인 단분자층 수분함량을 구한 결과를 Table 4에 나타내었다. BET방정식에 의하여 계산된 단분자층 수분함량은 0.0508~0.0588g H₂O/g solid의 값을 보여 주고 있으며 GAB 방정식에 의하여 계산된 단분자층 수분함량은 0.0705~0.0811g H₂O/g solid 이다. 이와 같이 단분자층 수분함량의 경우 두 식의 계산결과에서 다소 차이를 보여주고 있으며, 모든 값에서 GAB방정식으로 구한 값이 BET방정식으로 구한 값보다 큰 값을 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 GAB식이 Aw를 제곱의 항으로 처리하여 평형수분함량에 대한 민감도를 증가시킨 것에 기인하는 것으로 생각된다. 건조 방법에 따른 단분자층 수분함량은 동결건조한 것이 가장 높은 값을 보여주며, 열풍건조한 값이 가장 낮았다. 이러한 결과는 건조시료의 물리적 특성에서 나타난 바와 같

Table 4. Monolayer moisture contents and R-square of isothermal absorption curve by BET and GAB equation for Korean yam powder by different drying methods

Items	Drying methods			
	Equation	Hot air drying	Vacuum drying	Freeze drying
Monolayer moisture content (g H ₂ O/g solid)	BET	0.050846	0.054364	0.058829
	GAB	0.070589	0.072219	0.081192
R-square	BET	0.956459	0.977949	0.97761
	GAB	0.809667	0.996684	0.992645

이 porosity와 pore의 표면적에 기인하는것으로 생각된다.

요 약

현재 마차나 마주의 형태로 이용되고 있는 마분말을 사용하여 열풍건조, 진공건조, 동결건조를 이용하여 건조를 행하였다. 각 건조 방법별로 마분말의 물리적 특성치인 공극률은 열풍 건조한 시료가 12.26%로 가장 작게 나타났으며, 진공건조 31.17%, 동결건조가 41.00% 의 순으로 나타났다. 또한 총공극 면적 역시 동결, 진공, 열풍건조의 순으로 나타났으며 공극의 평균지름은 반대의 순으로 나타났다. 일반성분에서는 초기 수분함량에서 다소 차이가 있었으나 전체적인 차이는 크게 나지 않았다. 또한 총폐놀 함량에서도 동결건조한 것이 가장 높은 함량을 나타내었으나 그 10²mg 단위로 량에 있어서는 거의 비슷하였다. 과실이나 야채류의 저장에서 신선도를 판정하는 중요한 지표로 이용되고 있는 Ascorbic acid의 함량은 건조방법별로 별다른 차이를 나타내지 않았으나 동결건조 제품이 가장 높은 함량을 나타내었고 증수에 따라 ascorbic acid의 함량은 감소하였다. 저장 적정 수분함량을 구하기 위해 단분자층 수분함량을 구한 결과는 BET식과 GAB식에서 공히 동결건조한 시료가 다른 시료보다 높은 값을 나타내었고, 등은 흡습선으로서 두 식의 적합도는 BET식이 건조 방법별로 0.95 이상의 상관계수 값을 나타낸 반면 GAB식은 동결, 진공건조의 경우에는 0.99이상의 높은 상관계수를 나타내었으나 열풍건조의 경우에는 다소 낮은 상관계수 값을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. Amerine, M. A. and C. S. Ough. 1980. Methods for analysis of musts and win. pp.176-180, Wiley & Sons, New York.
2. A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis, 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C.
3. Back, H. H., D. M. Kim and K. H. Kim. 1989. Changes in quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) by different drying methods. *Koran J. Food Sci. Technol.* **21** 145-148.
4. Chung, H. Y. 1995. Carbohydrates analysis of korean

- yam tubers. *Korean J. Food Sci. Technol.* **27**, 36-40.
5. Diosady, L. L., S. S. H. Rizvi, W. CAI and D. J. Jagdeo. 1996. Moisture sorption isotherms of canola meals and applications to packaging. *J. Food Sci.* **61**, 204-208.
6. Holdsworth, S. D. 1971. Dehydration of food products. *J. Food. Technol.* **6**, 331-336.
7. Iglesias, H. A. and J. Chirife. 1984. Technical note: Correlation of BET monolayer moisture content in foods with temperature. *J. Food Technol.* **19**, 503-506.
8. Kim, D .W. 1992. The study of fluid and absorption properties for model powder food. Ph.D. thesis, Chungnam National University.
9. Kim, W. S., S. S. Kim, Y. K. Park and H. M. Seog. 1991. Physicochemical properties of several korean yam starches. *Korean J. Food Sci Technol.* **23**, 554-560.
10. Labuza, T. P., A. Kaanane and J. Y. Chen. 1987. Effect of Temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. *J. Food Sci.* **50**, 385-391.
11. Lee, M. S. and H. S. Choi. 1994. Volatile flavor components of *Dioscorea japonica*. *Korean J. Food Sci. Technol.* **26**, 68-72.
12. Lee, W. Y. 1997. Adsorption of food-born phenolic acids on activated carbon and desorption by supercritical carbon dioxide. Ph.D thesis, Kyungpook National University.
13. Lim, L. T., J. Tang and J. He. 1995. Moisture sorption characteristics of freeze dried blueberries. *J. Food Sci.* **60**, 810-813.
14. Peleg, M. 1983. Pysical characteristics of food powders. pp 293-323, In Physical Properties of foods, Peleg, M. and E.B. Bagley (eds), AVI Pub. Co., Inc., Westport, CT.
15. Shafiur, R. 1995. Food properties handbook. pp. 1-46, CRC Press, Inc.
16. Song, J. C. and H. J. Park. 1995. Food texture. pp. 216-225, Ulsan University Press.
17. Suguna, S., M. Usha, V. V. Sreenarayanan, R. Raghupathy and L. Gothandapani. 1995. Dehydration of mushroom by sun-drying, thin-layer drying, fluidized bed drying and solar cabinet drying. *J. food Sci. Technol.* **32**, 284-288.
18. Yang, C. S. T. and W. A. Atallah. 1985. Effect of four drying methods on the quality of intermediate moisture lowbush blueberries. *J. Food Sci.* **50**, 1233-1237.