

압력변위법을 이용한 농산물의 부피 측정

이현동** · 정현식** · 김남희 · 이주백*** · 손태영* · 강준수* · 정신교 · 최종욱

경북대학교 식품공학과, *동의공업대학

경북대학교 농산물가공저장유통기술연구소, *대구보건대학 첨단발효건강식품학과

Volume Measurement of an Agricultural products with a Pressure Variation Method (PVM)

Hyun-Dong Lee**, Hun-Sik Chung**, Nam-Hee Kim, Tae-Young Sohn*, Jun-Soo Kang*,
Shin-Kyo Chung and Jong-Uck Choi

Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University

**Department of Food Engineering, Dongeui Institute of Technology*

***Postharvest Technology Research Institute, Kyungpook National University*

****Department of fermentation and health food, Taegu Health College*

Abstract

This study was carried out to develop a volume and specific gravity measurement apparatus for agricultural products such as apples, persimmons, rice, and soybeans using the pressure variation method. The apparatus detected volume with the differential pressure measured by a sensor, a H₂O manometer and specially designed algorithm. A correlation equation was obtained between differential pressure regression and constant volume of distilled water. Volumes (V_t) were calculated by the correlation equation. It was possible to set up linear equations which show high correlations between V_t and V_a in that r^2 is more than 0.99. The result showed that precise volume and specific gravity measurement without disturbing the sample condition could be made in a short time period and in a simple operation.

Key words: pressure variation method, agricultural products, volume

서 론

밀도는 식품재료에 있어서 매우 중요한 물성으로 특히 신선 농산물의 경우 수확 후에는 부피와 무게가 일정하나 저장 과정에서 저장조건 및 저장 중 생리작용에 의해 부피와 무게가 변화하므로 밀도도 함께 변하게 된다. 따라서 작물의 종류에 따라 밀도를 측정하면 신선 농산물의 성숙정도, 저장기간을 짐작할 수 있는 간접 지표로 사용 될 수 있다(Shewfelt와 Prussia, 1993). 또한 밀도는 농산물의 저장설비의 설계(Otis와 pomroy, 1957), 신선식품의 조직감 및 연화 예측(Labelle, 1964), 식물조직의 공극 예측(Davis, 1962), 그리고 원예산물의 품질평가(박윤문 등, 1996) 등의 많

은 분야에 응용되고 있다.

신선식품에서 밀도를 측정하기 위해서는 식품의 중량과 부피를 측정하여야 하는데 중량의 측정은 비교적 쉬우나 부피의 측정은 재료의 모양과 성상이 불규칙하기 때문에 매우 까다롭다. 일반적으로 고체식품의 부피 측정에는 아르키메데스의 원리를 이용한 부력법, 천평법 등이 사용되고 있으며 이외에 부유 측정법, 침강법(송재철과 박현정, 1992), pycnometer method와 air comparison pycnometer(Mohsenin, 1980) 등이 이용되고 있다. 이 중 air comparison pycnometer를 제외하고는 물 또는 이미 밀도를 알고 있는 액체를 이용하여 시료의 밀도를 환산하는 방법으로, 시료의 밀도를 측정하기 위해서는 밀도를 알고 있는 액체에 시료를 침지시켜야 한다. 따라서 시료는 용액에 용해성이 없어야 하며 용액이 시료에 흡수되지 않도록 해야 하는 등의 제약이 있으며 측정하고자 하는 개체의 수

Corresponding author: Jun-Soo Kang, Professor, Don-geui Institute of Technology, Yangjung-ku, Pusan 614-715 Korea (Phone: 051-860-3175)

가 많을 경우에는 한번에 측정하기 매우 곤란하다. 특히 신선식품의 경우에는 식품을 용액 등에 침지하게 되면 식품의 특성이 변하기 때문에 부피를 측정한 시료는 호흡속도 등 다른 품질요소의 측정이 어려워지는 단점이 있다(Mohsenin, 1980).

따라서 본 연구는 온도가 일정한 밀폐된 용기에 의 부에서 일정량의 공기를 주입시켰을 때 용기 내부에 있는 물질의 부피에 따라 용기 내부의 압력이 변화하는 압력변위법(이현동등, 1997)의 원리를 이용하여, 형태와 조직이 일정하지 않아 부피측정이 곤란한 농산물의 부피를 시료의 품질과 생리현상에 영향을 주지 않고 간단하게 측정할 수 있는 장치를 개발하고자 하였다.

재료

사과와 감 같은 과일류와 쌀과 콩 같은 곡류를 슈퍼마켓에서 구입하여 부피 측정시료로 사용하였다. 시료의 부피 측정은 20°C에서 실험을 수행하였다. 부피를 정확하게 측정하기 위하여 실험을 수행하기 전에 시료를 실험온도에서 12시간동안 방치하여 시료와 주변 장치의 온도가 평형을 이루도록 하였다.

부피 측정장치

부피 측정용기와 마이크로컴퓨터 시스템으로 Fig. 1 과 같이 부피 측정장치를 제작하였다. 부피측정용기는 외경 140 mm, 높이 280 mm의 밀봉병(두산유리, Seoul, Korea)에 기밀성 밸브, silicon gasket, 외경 6 mm의 nipple과 우레탄 튜브를 장착하여 제작하였다. 부피 측정용기의 뚜껑에는 압력센서(MPX-10-DP, Motorola, USA)와 공기 주입구를 설치하였다(Fig. 1). 본 연구에 사용된 압력센서는 측정범위가 0~10 kPa이고 감도는 3.5 mV/kPa이며 선형성은 ±1.0% full scale이었다. 장치의 기밀성은 H₂O 마노메타를 이용하

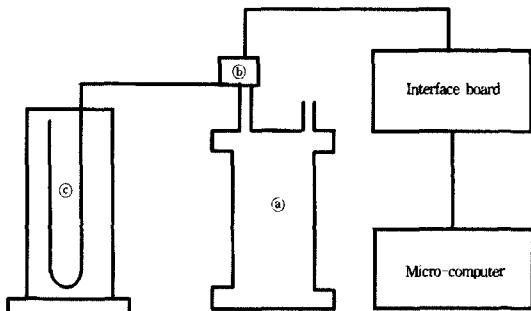


Fig. 1. Schematic diagram of an experimental apparatus.
 (a) : volume measuring jar, (b) : pressure sensor, (c) : water manometer.

여 가압과 감압 상태에서 각 24 시간 씩 실험하여 확인하였다.

부피 측정

부피 측정장치를 교정하기 위해서 온도평형이 이루어진 용기에 일정량의 증류수를 넣어 용기 내부의 부피를 일정하게 변화시킨 다음 syringe로 50 mL의 공기를 용기에 주입한 후 이때 나타나는 H₂O 마노메타의 수두 및 압력센서의 출력 값을 측정하였다. 이 때 측정된 압력(P, cmH₂O 또는 kPa)과 측정용기 내부의 증류수의 실제부피(V_i, mL)의 관계를 회귀하여 식 1을 얻었다. 시료의 부피는 측정된 압력(P)을 식 1에 대입하여 구하였다.

$$V_i = 425.0P - 2882.6 \quad (1)$$

본 연구에서 제작한 부피측정장치에서 얻어진 부피를 검정하기 위하여 과일류는 아르키메데스의 원리에 근거한 platform scale method를, 곡류는 pycnometer method를 이용하여 시료의 개략적인 부피(apparent volume, V_a)를 측정하였다(Mohsenin, 1980).

결과 및 고찰

부피 측정장치의 교정

부피 측정장치에 일정량의 증류수를 넣은 후 syringe로 50 mL의 공기를 용기에 주입하였을 때 용기 내부의 증류수 양에 따른 H₂O 마노메타의 수두의 변화는 Fig. 2와 같았다. 이 때 용기 내부의 압력 변화와 증

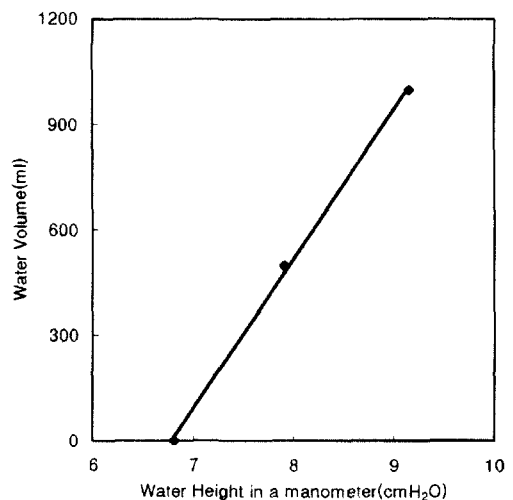


Fig. 2. A calibration curve of the experimental apparatus.

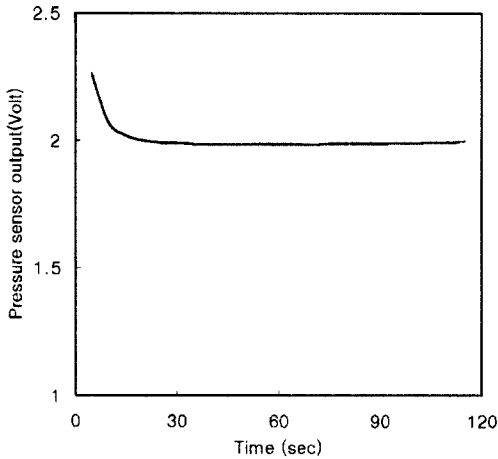


Fig. 3. Change of differential pressure in the volume measuring container at 20°C.

류수의 실제부피 사이의 관계 직선적으로 나타났으며 결정계수가 0.99 이상을 나타내어 장치 내부의 압력변화로부터 시료의 부피를 성공적으로 측정할 수 있음을 알 수 있었다.

부피 측정 중 용기 내부의 압력변화

시료의 부피측정 중 압력센서의 출력 변화는 Fig. 3 과 같은 경향을 나타내었다. 측정용기에 공기를 주입한 직후 압력센서의 출력은 최대에 도달한 후 시간이 경과함에 따라서 점차 감소하다가 평균 약 30초 후에는 평형상태에 도달하여 일정한 압력으로 유지되었다. 평형상태에 도달하는데 시간이 약간 소요되는 것은 외부에서 주입한 공기가 시료의 조직 내부까지 도달하는데 소요되는 시간으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 부피측정장치 내에 공기를 주입한 후 30초 이후에 검출되는 용기내의 압력을 측정하여 시료의 부피 환산에 이용하였다.

시료의 부피와 압력

시료 및 부피 측정장치를 실험온도에서 일정시간 방치하여 온도 평형에 도달시킨 다음, 장치 내부의 시료의 개수를 증가시키며 압력센서와 H₂O 마노메타를 이용하여 장치 내부의 압력변화를 측정하였다. 이 때 압력변화와 platform-scale method와 pycnometer를 이용하여 측정된 시료의 개략적인 부피(V_a, apparent

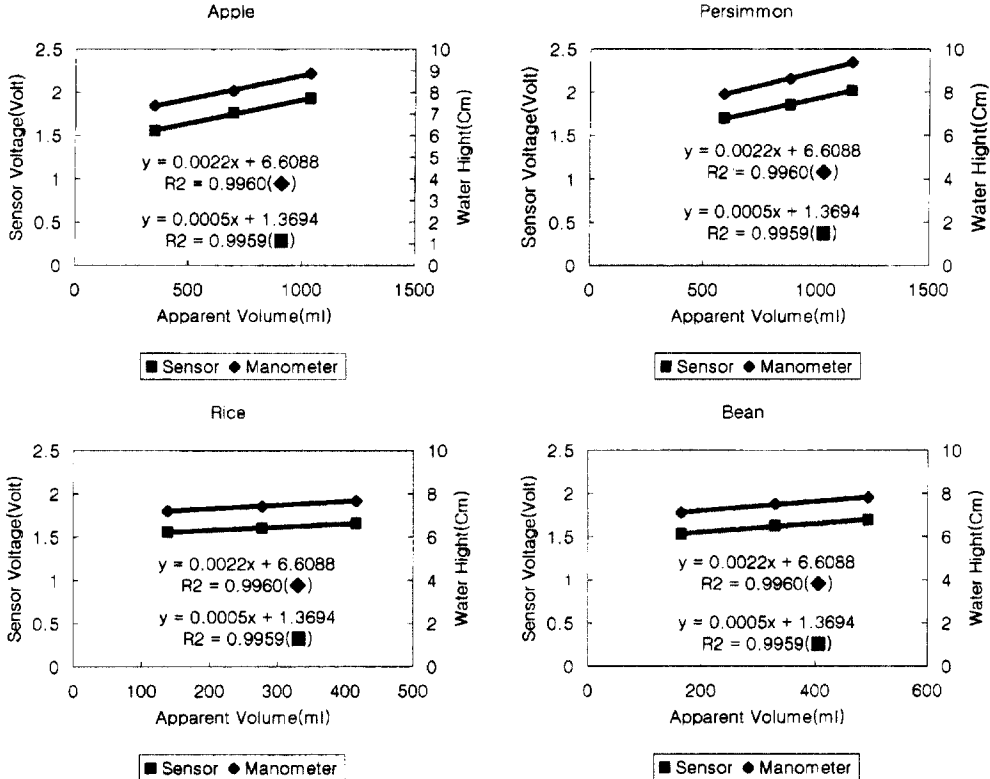


Fig. 4. Correlation between the apparent volume and the differential pressure (pressure sensor output and water height in the manometer) in different sample (p<0.05).

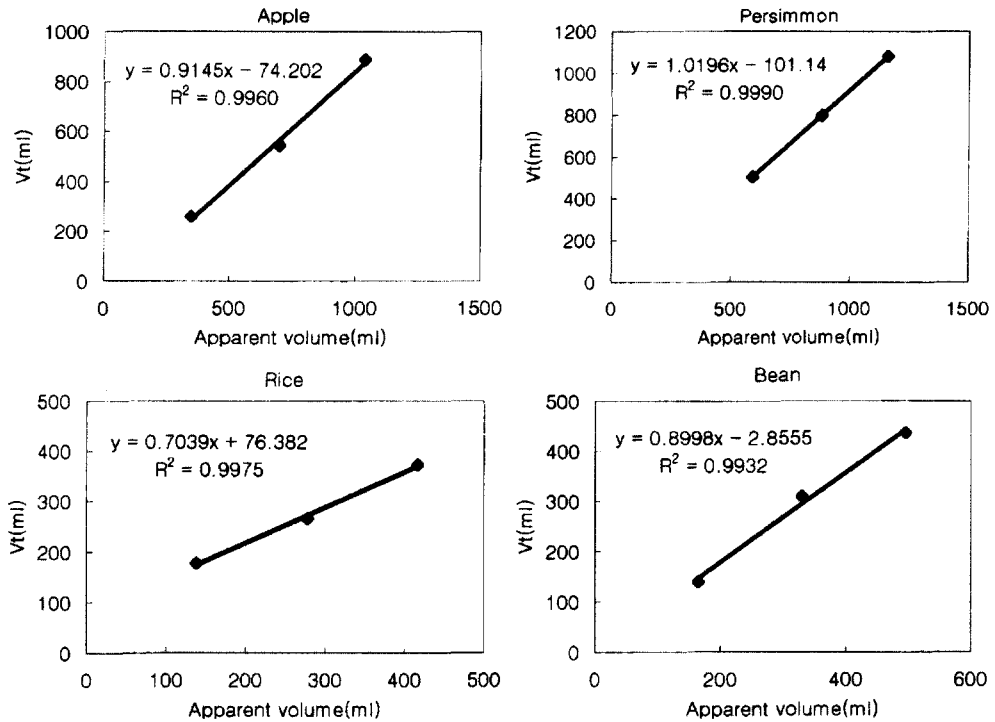


Fig. 5. Correlation between apparent volume(V_a) and V_t in different samples as determined by PVM ($p < 0.05$).

volume)와의 관계를 회귀 분석한 결과 일차함수로 회귀되었으며 모든 시료에서 $r^2=0.99$ 이상의 고도의 정상관을 나타내었다(Fig. 4).

측정방법에 따른 시료의 부피

본 연구에서 개발한 부피 측정장치를 이용하여 측정한 압력의 변화를 식 1에 대입하여 구한 시료의 부피(V_t)와 plat-form scale method 및 pycnometer를 이용하여 측정한 부피(V_a)의 관계는 Fig. 5와 같았다. 모든 시료에서 V_t 는 V_a 에 대하여 결정계수 값이 0.99 이상으로 매우 높은 상관 관계를 나타내었으며 일차함수 식으로 회귀되었다. 측정 용기의 크기에 비해 시료의 양이 적을 경우와 사과 시료에서는 V_a 값이 V_t 값보다 높은 경향을 나타내었으며 시료의 양이 용기의 크기에 대하여 충분히 많은 경우와 쌀과 콩 같은 곡류시료의 경우 측정방법에 따른 부피의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 전반적으로 과일시료의 경우에는 V_a 가 압력을 이용하여 부피를 측정한 V_t 보다 다소 높은 값을 나타내었다. 이는 조직내부에 공극이 많은 과일의 구조적 특성에 그 원인이 있는 것으로 추정된다. 본 연구의 결과에서 V_t 및 V_a 는 모

두 정확하게 비례 관계를 보여 각 부피 사이에 적절한 비례상수를 도입하게 되면 식품의 개략적인 부피뿐만 아니라 식품 내부의 공극의 부피를 제외한 실제 부피 두 가지 모두를 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

측정방법에 따른 시료의 비중

Fig. 6에 platform-scale method와 pycnometer를 이용하여 측정한 비중과 본 연구에서 개발한 장치로 측정한 비중을 비교하여 나타내었다. 사과와 같이 과일의 조직이 다공질인 경우에는 개략적인 부피(V_a)로 환산한 비중($S.G._a$)이 본 장치로 측정한 부피(V_t)로부터 환산한 비중($S.G._t$)보다 낮게 나타났으며, 비교적 조직이 치밀한 감은 측정방법에 따라 시료의 비중은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 콩의 비중은 측정방법에 따라서 거의 차이를 보이지 않았으나 쌀의 경우에는 시료의 부피가 작은 구간에서는 비중의 차이가 다소 나타났다. 이는 측정용기의 부피에 비해 시료의 양이 너무 적을 경우 발생하는 현상으로 용기의 크기를 조절하거나 공기 주입량을 늘임으로써 해결할 수 있을 것으로 보인다.

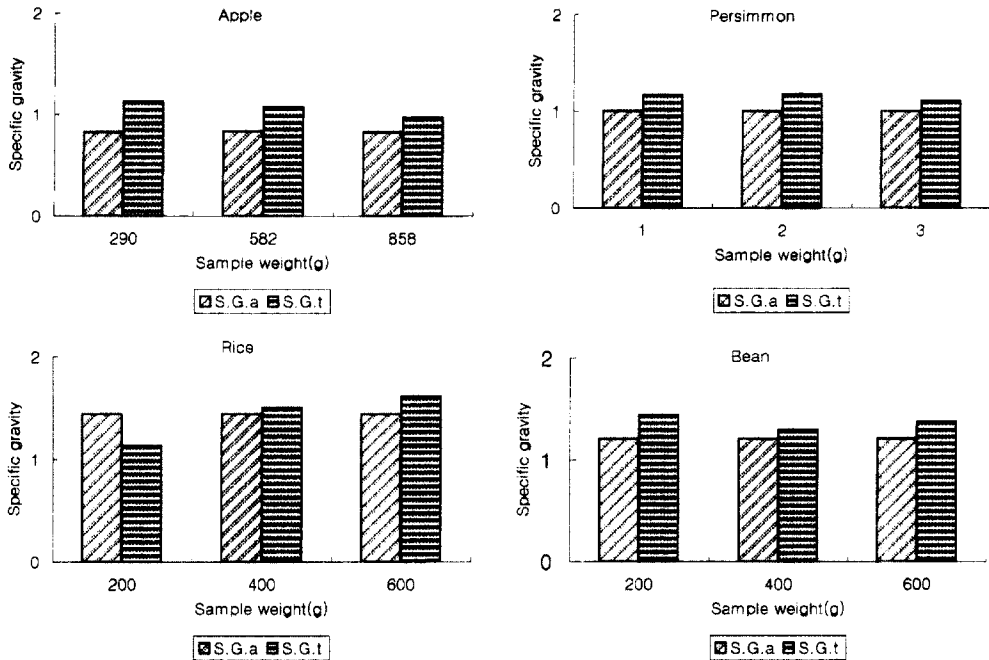


Fig. 6. Comparison of specific gravity of agricultural produces by several methods.

요 약

압력 변위법을 이용하여 농산물의 부피와 비중을 정확하고 간단하게 측정할 수 있는 방법에 관하여 연구하였다. 시료가 들어있는 밀폐된 부피측정용기에 외부에서 일정량의 공기를 주입시켰을 때 용기 내부의 압력변화와 기존의 부피 측정법으로 구한 부피(V_a)는 모든 시료에서 높은 상관관계($r^2 > 0.99$)를 나타내었다. 측정장치에서 얻은 압력변화는 증류수로 교정한 회귀식 ($V_f = 425.0 P - 2882.6$)에 대입하여 시료의 부피(V_f)로 각각 환산하였다. 본 연구의 방법으로 측정된 시료의 부피인 V_f 와 기존의 방법으로 구한 시료의 부피 V_a 는 일차함수로 회귀되었으며 고도의 정상관($r_2 > 0.99$)을 나타내었다. 한편 V_f 및 V_a 는 모두 정확하게 비례 관계를 보여 각 부피 사이에 적절한 비례상수를 도입하게 되면 식품의 개략적인 부피뿐만 아니라 식품 내부의 공극의 부피를 제외한 실제 부피 두 가지 모두를 측정할 수 있을 것으로 판단되었다. 본 연구에서 측정된 부피와 V_a 를 이용하여 환산한 시료의 비중을 비교한 결과 사과와 같이 공기가 침투하기 쉬운 구조를 가진 과일은 V_a 로 환산한 비중보다 V_f 로 환산한 값이 다소 크게 나타났다. 그러나 대부분의 시료에서는 두 방법으로 구한 비중 사이에는 거의 차이가 없었다. 또한 시료의 양이 적을 때 보다 시료의 양이 많을 때 편차

가 더욱 작아짐을 알 수 있었다. 본 연구에서 개발한 부피측정장치로 형태가 일정하지 않은 다양한 농산물의 부피와 비중을 시료의 품질과 생리현상에 영향을 주지 않고 간단하게 측정할 수 있었다.

문 헌

김동만, 김종기, 박세윤, 박윤문, 양용준, 이승구, 최성진, 황용수. 1996. 원예작물의 수확후 생리: 제4장 품질의 특성과 판정. 성균사, 경기도, 대한민국. pp90-91
 송재철, 박현정. 1994. 식품물성학. 울산대학교 출판부, 울산, 대한민국. pp76-78
 이현동, 정현식, 강준수, 정신교, 최종욱. 1997. 수정된 압력 변위법을 이용한 과채류의 호흡속도 측정. 한국식품과학회지 **29**(6): 1119-1124
 Davis, R.M. 1962. Tissue air space in the potato : Its estimation and relation to dry matter and specific gravity. *American Potato Journal* **39**: 298-305
 Labelle, R.L. 1964. Bulk density-A versatile measure of food texture and bulk. *Food Technology* **18**(6): 879-938
 Mohsenin, N.N. 1980. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York, USA. pp66-74
 Otis, C.K. and J.H. Pomroy. 1957. Density: A tool in silo research. *Agricultural Engineering* **38**(11): 806-807
 Shewfelt, R.L. and S.E. Prussia. 1993. *Postharvest Handling a System Approach*. Academic Press, Inc., San Diego, California, USA. pp103-105