KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL.
Vol. 26, No. 2, pp. 184~187(1994)

현미경법, 표준체법, 전기저항법, 공기역학법에 의한 쌀가루의 입도분포의 비교

김영진 · 김상숙
한국식품개발연구원

Comparison of Size Distributions of Rice Flour Measured by Microscope, Sieve, Coulter counter, and Aerodynamic Methods

Young Jin Kim and Sang Sook Kim
Korea Food Research Institute

Abstract

Size distributions of rice flour measured by microscope, sieve, Coulter counter (electrozone) and aerodynamic (Aerosizer) methods were compared. Among the particle sizes measured by four methods, those by microscope and sieve were the smallest and the largest, respectively. Difference was found between the particle sizes measured by Coulter counter and aerodynamic methods.

Key words: rice flour, size distribution, microscope, sieve, electrozone, aerodynamics

서 론

쌀을 떡, 과자, 주류 등 가공식품으로 사용하기 위하여서는 먼저 분쇄하여 쌀가루로 만들어야 한다. 분쇄된 쌀가루의 입도분포는 쌀가루의 paste특성[1]과 gel consistency[2] 등 물리화학적 특성을 변화시킴으로써 제빵, 제면 등 최종제품의 품질에 직접적인 영향을 미친다[3-7]. 그러므로 쌀가루의 입자크기를 정확하게 파악할 필요가 있다. 쌀을 포함한 대부분의 분쇄된 곡물입자는 여러가지 기하학적 형태를 갖고 있으므로 입자크기를 표시하는 것은 간단하지 않다. 일반적으로 일차원적인 직경 즉 입자경(particle diameter)으로 표시하고 있다. 분쇄된 곡물에는 여러가지 크기의 입자가 집합되어 있으므로 전체 구성입자의 크기는 입도분포(size distribution)로서 표시하고 있다[8]. 현재 곡물의 입도분포를 신속하고 정확하게 측정하기 위하여 여러가지 방법이 고안되어 있다. 현미경법[9,10]과 표준체법[11,12]은 오래전부터 곡물의 입도분포를 측정하는 데 사용되어 왔고 최근에는 전기저항법(Coulter counter)[13,14], 공기역학법(aerodynamic methods)[15]이 개발되어 사용되고 있다. 본 연구에서는 동일한 쌀가루에 대하여 이 네가지 방법으로 입도분포를 측정하고 그 결과를 비교하였다.

Corresponding author: Young Jin Kim, Korea Food Research Institure, San 46-1, Baekhyun-dong, Bundang-ku, Seongnam-si, 463-420, Korea

재료 및 방법

재료

경기도 성남근교에서 1992년에 수확된 멥쌀(품종 : 진미)을 사용하였다. 쌀(백미)을 상온의 물에 3시간 침지한 후 2시간 동안 체에 받쳐서 물을 제거하고 pin mill(경창기계 공작소, model SC-1B)을 이용하여 분쇄하였다. 분쇄된 쌀가루를 열풍건조기를 이용하여 40℃ 에서 건조시킨 후(수분함량 5.7%) 시료로 사용하였다.

쌀가루의 입도크기 측정

현미경법에 의한 입도조사는 쌀가루를 slide glass위에 놓고 methanol을 한방울 가하여 넓게 분산시킨 후 광학현미경(Parco®, model ML1300, Parco Scientific Company, Vienna, OH, U.S.A.)과 현미경의 micrometer를 이용하여 쌀가루입자의 정방향최대경을 1회에 200개씩 무작위로 측정하였으며[16] 3회 반복하여 총 600개의 입자크기를 측정하였다. 측정된 입자크기별로 분류하여 개수기준에 의한 입도분포를 구하고 다음 식을 이용하여 중량기준에 의한 입도분포로 환산하였다.

$$f_w = d^3 \times f_n / \sum(d^3 \times f_n) \times 100$$

f_w: 중량기준의 도수(%)
f_n: 개수기준의 도수(%)
d: 입자경(μm)

표준망을 이용한 입도분포는 Nishita와 Bean[11]의 방법에 따라 쌀가루 100 gram을 20, 30, 40, 50, 70, 100,

Table 1. Operation conditions for Coulter counter and Aerosizer

1. Coulter counter	
Orifice	380 μm
Volume	200 μL
Peak	4800
Flow Pressure	160 mmHg
Current	4.5
Gain	1.0
2. Aerosizer	
(a) Parameters	
Run length	300 sec
PMT Voltage	850 Volts
Laser intensity	18
Clock Frequency	40 MHz
Nozzle type	700 micrometer
(b) Dispenser control	
Dispenser type	Pulse jet
Flow pressure	50
Pulse increments	0.5
Low flow limt	4000
High flow limt	10000

140, 200, 270, 400 mesh(864, 535, 381, 279, 185, 140, 107, 74, 53, 35 μm)의 표준망체에 넣고 sieve shaker(model Rx-86, serial #2682, Mentor, OH, U.S.A.)를 이용하여 10분간 흔든 후 각 표준망체에 잔류된 쌀가루의 중량을 측정하여 입도분포로 하였다.

전기저항법(Coulter counter)은 orifice를 부착시킨 Elzone 280PC Counting and Distribution Analyser(model Elzone 280PC, England)를 사용하여 methanol에 분산시킨 쌀가루 50,000개의 입도크기 및 중량기준의 입도분포를 측정하였으며 공기역학적인 방법을 이용한 입도분포는 API Aerosizer(Amherst Process Instruments, Madley, MA, U.S.A.)를 이용하여 측정하였다(Table 1).

결과 및 고찰

평균입자경

동일한 쌀가루에 대하여 현미경법, 표준체법, 전기저항법 및 공기역학법에 의하여 측정된 입자경의 기하평균값, 최빈값, 중위수, 평균편차, 변이계수는 Table 2와 같고, 누적입도분포와 상대적 입자분포는 각각 Fig. 1, 2와 같다. 현미경법으로 측정한 평균입자경이 가장 작게 나타났고(기하평균 직경 25.4 μm) 그 다음으로는 공기역학법(기하평균 31.7 μm), 전기저항법순이었고(기하평균 68.7 μm), 표준체법에서는 가장 큰 것으로 나타났다(기하평균 108.7 μm). 각 분포의 표준편차를 보면 현미경법에서는 12.1 μm로 가장 작게 나타났으며, 표준체법에서는 114.2 μm로 가장 크게 나타났다. 동일한 쌀가루에 대하여 측정방법에 따라 각각 다른 입자분포로 나타났다.

Table 2. Statistics on size distributions of rice flour measured by four different methods; microscope, sieve, Coulter counter and Aerosizer

Statistics	Microscope	Sieve	Coulter	Aerosizer
Geometric mean (μm)	25.4	108.7	68.7	31.7
Arithematic mean (μm)	28.3	128.5	77.3	48.4
Mode(μm)	15.0	90.5	73.7	34.3
Median(μm)	8.0	117.1	70.2	40.0
S.D.(μm)[1]	12.1	114.2	39.1	40.1
C.V.(%)[2]	47.9	105.1	56.9	110.4

[1]S.D.: Standard Deviation
[2]C.V.: Coefficient of Variance

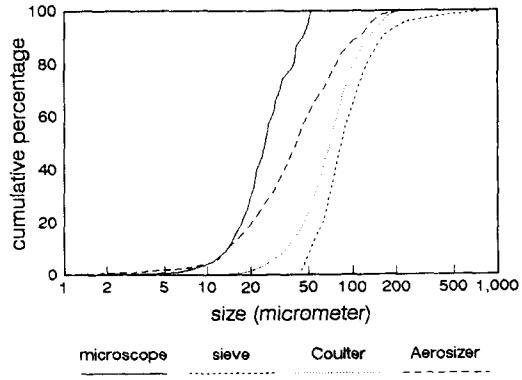

Fig. 1. Cumulative particle size distributions for rice flour measured by four different methods: microscope, sieve, Coulter counter and Aerosizer

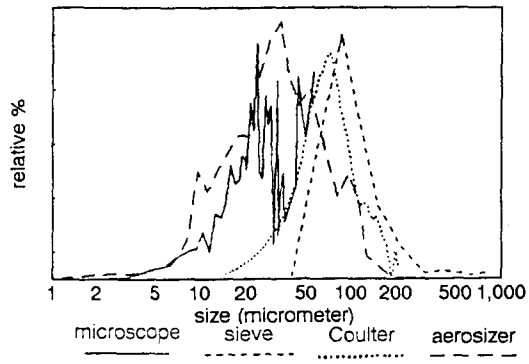

Fig. 2. Relative particle size distributions of rice flour measured by microscope, sieve, Coulter counter and Aerosizer

현미경법

현미경법에 의하여 측정된 분포는 작은 입자에서 비교적 많은 수의 입자가 측정된 반면, 50 μm 이상의 큰 입자는 적은 것으로 나타났다. 그 반면 표준체법에서는

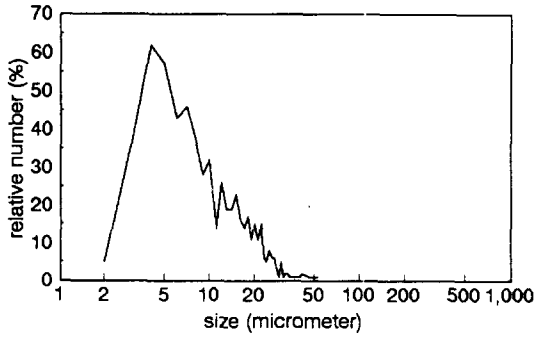

Fig. 3. Particle size distributions of rice flour (based on frequency), measured by microscope

50 μm 이하의 작은 입자는 검출되지 않았고 200 μm 이상의 큰 입자는 많은 것으로 나타났다. 현미경법은 입자를 현미경을 통하여 관찰하고 그 직경을 입자별로 각각 측정하는 신뢰성이 높은 방법이며[8], 특히 입자의 분포가 좁은 범위안에 있을 때는 가장 정확한 방법으로 알려져 있다. 현미경법을 통한 쌀가루의 개수기준에 의한 상대적 입자분포는 Fig. 3과 같다. 개수기준으로 볼때 2~5 μm의 작은 입자가 가장 많은 것으로 나타났다. 표준체법과 전기저항법, 공기역학법은 중량기준의 입자분포이기 때문에 현미경법의 결과를 다른 세 방법과 비교하기 위하여 Fig. 1과 2에서는 중량기준으로 표시하였다. 현미경법에서는 작은 입자의 갯수가 많이 관찰되어도 중량비율에서는 많지 않고 큰 입자는 적은 수로 관찰되어도 입자자체의 중량이 큼으로서 중량비율로는 크게 나타난다는 것을 알 수 있다. 분쇄에 있어서 작은 입자의 수는 큰 입자의 수보다 상대적으로 크기 때문에 일정한 수의 입자를 관찰할 경우 작은 입자가 상대적으로 더 많이 관찰된다(Fig. 3). 쌀가루의 경우 600개를 조사한 결과 50 μm 이상의 입자는 관찰되지 않았다. 그러나 다른 방법에서는 50 μm보다 더 큰 입자가 상당히 발견되고 있다. 따라서 쌀가루의 경우 현미경법에 의한 입자분포는 실제의 입자분포보다 작은 것으로 나타나고 있다. 또한 쌀가루를 현미경법으로 정확하게 측정하기 위하여서는 600개 이상으로 측정할 필요가 있으며 실제로는 많은 수고가 따르게 될 것이다.

표준체법

표준체를 이용하여 측정한 입자분포에서는 50 μm 이하의 작은 입자는 거의 발견되지 않았고 200 μm 이상의 큰 입자는 많은 것으로 나타났다(Fig. 1). 그러나 다른 방법에서는 50 μm 이하의 작은 입자도 상당히 발견되었다. 표준체법은 구멍의 크기가 큰 것을 위에 놓고 순차적으로 작은 것을 아래에 배열하고 맨위에 입자를 넣고 일정시간(10분) 동안 진탕하여 각각의 체에 남아있는 시료의 중량을 측정하는 방법이다. 이 방법은 간편하고 단시간에 측정할 수 있는 장점이 있지만 입자가 뭉치거나 구멍을 막아서 체를 통과하지 못할 경우 오차를 가져오게 된다[17]. 결과적으로 이 방법은 실제의 입자분포보다도 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

전기저항법과 공기역학법

전기저항법과 공기역학법에서 입자분포는 비교적 정규분포에 가깝게 나타났다. 전기저항법에서는 범위 15~220 μm, 기하평균값은 68.7 μm, 최빈값은 73.7 μm로 나타났고, 공기역학법에서는 범위 1~220 μm, 기하평균값 31.7 μm, 최빈값 34.3 μm으로 나타났다. 전기저항법에서는 공기역학법에서 보다 입자분포가 더 크게 나타났다. 표준편차는 두 방법에서 거의 비슷하게 나타났으나 변이계수로 보면 전기저항법이 더 적게 나타났다. 이 두 방법은 현미경법과 표준체법에 비해 비교적 단시간에 많은 입자의 크기를 측정하여 입자분포를 조사할 수 있는 장점이 있다. 그러나 쌀가루의 경우 두 방법간에 입자분포는 다르게 나타났다. 이러한 차이는 측정원리가 각각 다름에 기인하는 것으로 생각되고 있다. 전기저항법은 입자를 전해질에 분산시키고 일정한 간격을 통과할 때의 전기저항을 측정하여 입자의 부피를 계산하고 입자가 구(球)로 이루어졌다고 가정하여 직경으로 환산하는 방법이다. 이에 반하여 공기역학법은 입자를 공기중에서 가속하여 입자가 일정한 거리를 통과하는 시간(time of flight)을 측정하여 질량을 계산하고 그 질량으로부터 직경을 환산하는 방법이다. 전기저항법은 시료를 전해질에 분산시키야 하지만, 공기역학법은 쌀가루 그대로 사용할 수 있는 장점을 지니고 있다. 그러나 어느 방법이 쌀가루의 입도분포를 정확히 보여주고 있는 지 여부와 쌀가루의 입도분포를 간단하고 정확하게 측정하는 방법을 결정하기 위해서는 더 연구가 필요하다.

요 약

쌀가루의 입도분포를 네가지 방법; 현미경법, 표준체법, 전기저항법(Coulter counter) 및 공기역학법(Aerosizer)으로 측정한 후 비교하였다. 동일한 쌀가루에 대하여 네가지 방법중에서 현미경법에서는 가장 작은 입도들의 분포로 나타났고 표준체법에서는 가장 크게 나타났다. 현미경법에서는 실제의 입도분포보다도 작게, 표준체법에서는 실제보다 크게 나타났다. 전기저항법과 공기역학법에 의하여 측정된 입도분포간에도 다소 차이가 있었다.

문 헌

1. Halick, J.V. and Kelly, J.V.: Gelatinization and pasting characteristics of rice varieties as related to cooking behavior. *Cereal Chem.*, **36**, 91(1959)
2. Cagampang, G.B., Perez, C.M. and Juliano, B.O.: A

gel consistency test for eating quality of rice. *J. Sci. Food Agric.*, **24**, 1589(1973)
3. Mendes, F.P., Brilhante, S., Suzuki, H., Hada, M. and Webb, B.D.: Cooperative test on amylograph of milled rice flour pasting viscosity and starch gelatinization temperature. *Starch*, **37**, 40(1985)
4. Yamazaki, K., Nakazato, T. and Kasegawa, T.: Cooking quality of rice flour II Experiment on butter cakes. *Nihon Shokuhin Kogyo Gakkai-Shi.*, **18**, 512(1971)
5. Bean, M.M., Elliston-Hoops, E.A. and Wishita, K.D.: Rice flour treatment for cake baking applications. *Cereal Chem.*, **60**, 445(1983)
6. Evers, A.D. and Stevens, D.J.: Starch damages. In *Cereal Science and Technology*. Polmeranz, Y., American Association of Cereal Chemists St. Paul, MN. 7, 335 (1986)
7. Luh, B.S. and Liu, Y.: Rice flour in baking. In *Rice Utilization*. Luh, B.S. and Liu, Y., Van Nostrand Reinhold, New York, p.9(1991)
8. 赤尾 剛, 安口正之, 林 弘通 : 固體・粉體處理 3. 食品工學基礎講座. 株式會社 光林, 東京, p.47(1986)
9. Evers, A.D., Greenwood, C.T., Muir, D.D. and Venables, C.: Studies on the biosynthesis of starch granules. Part I. A comparison of the properties of the small and large granules in mature cereal starches. *Starch.*, **26**, 42(1974)
10. Baum, B.R. and Bailey, L.G.: A survey endosperm starch granules in the genus Hordeum: a study using image analytic and numerical taxonomic techniques. *Can. J. Bot.*, **65**, 1563(1987)
11. Nishita, K.D. and Bean, M.M.: Grinding methods: Their impact on rice flour properties. *Cereal Chem.*, **59**, 46(1982)
12. Hansen, R.C. and Henderson, S.M.: Development of size distribution measurement and representation for ground cereal grains. *Trans. ASAE*, p.510(1972)
13. Morrison, W.R. and Scott, D.C.: Measurement of the dimension of wheat starch granule populations using a coulter counter with 100 channel analyzer. *J. Cereal Sci.*, **4**, 13(1986)
14. Dengate, H. and Meredith, P.: Variation in size distribution of starch granules from wheat grain. *J. Cereal Sci.*, **2**, 83(1984)
15. Niven, R.W.: Aerodynamic particle size testing using a time-of-flight areosol beam spectrometer. *Pharm. Technol.*, Jan. p.72(1993)
16. 南宮是 : 化學機械設計原論, 文運堂, 서울, p.13(1970)
17. Bean, M.M. and Nishita, K.D.: Rice flour for baking. In *Rice Chemistry and Technology*. B.O. Juliano, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. p. 539(1985)

(1993년 11월 8일 접수)