

凍結乾燥 α -米粉의 物性に 관하여

김 관 유

김천전문대학 식품영양과

Rheological Properties of Freeze Dried α -Rice Powder

Kwan-Yu Kim

Dept. of Food and Nutrition, Kimchun Junior College

ABSTRACT

Rheological properties of α -rice powder were investigated in comparison with those of polished rice powder.

Flow behavior for cooked solutions of two powdered samples(5~11%) were Binghampseudo plastic.

Consistency index and yield stress of cooked solution of powdered α -rice were much lower than those of polished rice powder while flow behavior index was nearly similar.

9% cooked solution of powdered α -rice showed slightly weaker thixotropic behavior and more ease tendency to relax under the steady shear than those of polished rice powder.

I. 서 론

α -화미는 쌀의 2차 가공품으로서 통상 취반에 의한 밥보다 식미는 다소 뒤지나 복원 시간이 짧고 장기저장에 안정성이 있어 특수용도로 사용되어 왔다^{1,2)}.

지금까지 알려진 밥의 식미에 관한 이화학적 측정치로는 쌀가루의 아밀로그래피, 알칼리에 의한 붕괴도 및 가열흡수율 그리고 취반액의 pH 및 요오드정색 등의 취반 특성값들이 보고되어 있다^{3~5)}.

이외에도 정백미의 분쇄시료를 이용한 Shoji와 Kurasawa⁶⁾의 아밀로그래피 점도시험 등 미반의 리올로지에 대한 다수의 보고가 있을 뿐 국내의 경우에는 복원한 α -미에 대한 물성 거동에 대한 조리과학적 특성이나 식미 특성에 대한 기초 자료가 없이 α -화미의 제조에 관한 일부 연구가

있을 뿐이다^{9,10)}.

따라서 본 연구에서는 즉석 미반의 품질관리와 품질향상을 위한 연구의 일환으로 동결 건조 α -화미를 시료로 각종 리올로지적 성질을 조사하므로써 복원 특성과 복원에 따른 속도론적 특성을 검토하여 리올로지적 기초자료를 마련하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 재 료

본 실험에 사용한 재료는 1985년에 수확한 경기도 안성산의 밀양 23호로서 4℃의 저온실에서 저장하면서 사용하였다.

2. α -미분의 제조

시료 백미를 세척하고 침지(상온수에서 12시

간)한 후 100℃에서 수증기로 25분간 증자한 다음 낱알을 분리할 목적으로 상온수에서 7~10초간 씻은 후 증자하였다. 이 증자미를 -40℃에서 24시간 동결한 다음 실험실용 냉동건조기(일본동양기계 TFD-IILF5)에서 Fig. 1의 조건으로 13시간 동결건조하여 α -미로한 후 80 mesh로 분쇄하였다.

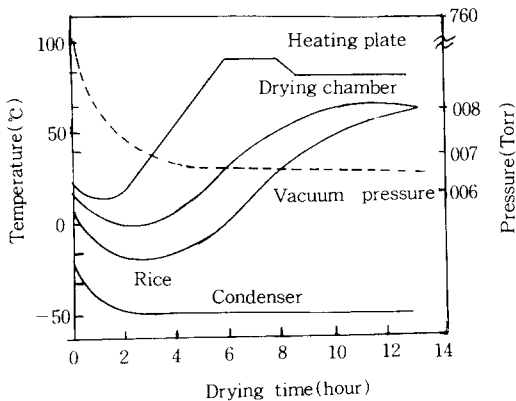


Fig. 1. Conditions of freeze drying for preparation of α -rice

3. 용해도와 팽화력의 측정

용해도 팽화력의 측정은 Leach 등¹¹⁾의 방법을 개량한 具沼 등¹²⁾의 간이법에 의하여 다음과 같이 측정하였다.

시료 1g(건물기준)을 취하여 원심분리관에 넣고 증류수를 넣어 50ml로 한다. 이를 200rpm의 회전속도로 교반하면서 50~90℃의 일정온도에 1시간 가열하고 4,500rpm에서 30분간 원심분리를 행하였다. 상등액은 decantation하고 상등액의 가용성 전분량(B, mg)은 phenol유산법으로, 침전량(A, mg)은 중량법으로 각각 측정하고 용해도(%)와 팽화력을 다음식에 의하여 결정하였다.

$$\text{용해도}(\%) = \frac{A}{10} = S$$

$$\text{팽화력} = \frac{B}{10(100-S)}$$

4. 리올로지 특성의 측정 및 특성값의 산출

리올로지 특성은 동결건조 α -화미의 80mesh 분쇄시료를 사용하여 회전점도계(Brabender viscotron)를 사용하여 측정하였다. 각 분쇄시료에 증류수를 가하여 5~11%의 현탁액을 만들고 상온에서 5분간 교반한 다음 이를 다시 95℃의 끓는물 증탕에서 서서히 교반하면서 30분간 가열하였다. 이 호화액을 얼음물 수조 중에서 교반하면서 3분이내에 측정온도인 30, 50, 60 및 70℃로 냉각하고 리올로지 측정시료로 하였다. 측정은 측정용 컵에 65ml(또는 8ml)의 각 호화액을 넣고 기포를 제거한 다음 온도조절용 용기에 3분간 열 평형시킨 후 비시간 의존 특성 및 시간 의존 특성으로 구분하여 다음과 같은 측정하였다.

즉, 비시간 의존 특성의 측정은 0~200sec⁻¹의 층밀림 속도 범위에서 층밀림 속도에 따른 층밀림 응력의 변화를 x-y-t기록계로 자동기록하여 행하였다. 한편, 시간 의존 특성의 측정은 thixotropy유체의 시험에서도 5~9%의 각 시료 호화액에 대하여 층밀림 속도를 0~200sec⁻¹로 연속적으로 증가시킨 후 다시 200~0sec⁻¹의 연속적으로 증가시킨 후 다시 200~0⁻¹로 감소시키면서 대응하는 층밀림 응력을 측정하였고, 정상층밀림(steady shear)하의 응력완화시험에서는 9%의 호화액을 0.35sec⁻¹의 일정 층밀림 속도로 회전하면서 층밀림 시간에 따른 층밀림 응력의 변화 및 평형 후 모터를 끄고 난 다음의 층밀림 응력의 변화를 역시 x-y-t기록계로 자동기록하여 행하였다.

리올로지 특성값의 산출은 Herschel-Bulkley 및 Casson식¹³⁾을 사용하여 Apple II 퍼스날 컴퓨터로 행하였으며, 시간 의존성의 정도는 thixotropy의 경우 hysteresis loop의 면적 크기로 그리고 정상 층밀림하의 응력완화 경우는 다음 식으로부터 응력완화(S_R)를 구한 후 이 값에 해당하는 응력완화 시간을 구하여 판단하였다¹⁴⁾.

$$S_R = (S - S_0) / e + S_0$$

여기서 S_R을 완화응력, S는 모터를 끈 후에 초기 층밀림 응력, S₀는 잔존항복응력, e는 자연

대수의 밑(2.718)이다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 용해도와 팽화력

용해도(%)와 팽화력은 가열 중 전분입자에 대한 물 흡수능의 지표이며^{11,15)} 정백미와 α -화미의 분쇄시료에 대한 이들의 측정 결과는 각각 Fig. 2 및 3과 같다.

정백미분은 각종 전분에 전형적인 2단 거동의 팽화력을 보여서¹⁵⁾ 60°C에서 팽화력의 급격한 증가를 보인 후 완만히 증가하다가 다시 80°C에서 급격히 증가하였다. 그러나 α -화미분은 계속적인 완만한 증가를 보였으며, 80°C이하에서는 α -화미가 정백미보다 더욱 쉽게 팽윤되었으나 그 이상의 온도에서 오히려 낮은 팽화력을 보였다. 일반적으로 2단 거동은 입자내의 결합이 서로 다른 온도에서 완화되는 2종의 내부결합이 존재함을 의미하며, 팽화력은 전분입자 내의 결합력이 강한 micelle 구조를 갖는 경우가 제한을 받게 된다^{11,15)}.

따라서 80°C 이상의 고온에서 α -미의 micelle

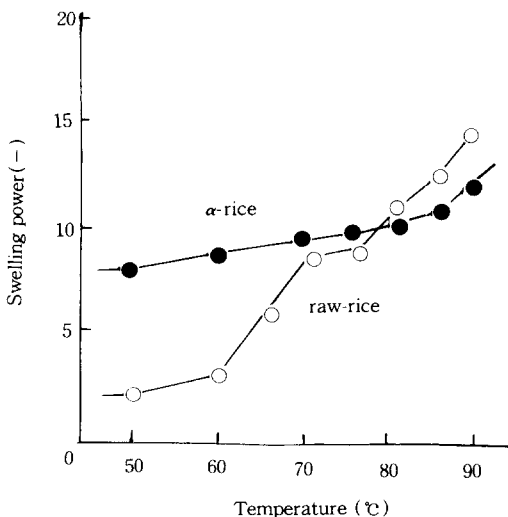


Fig. 2. Swelling patterns of raw freeze dried α -rice flours in water at different temperatures.

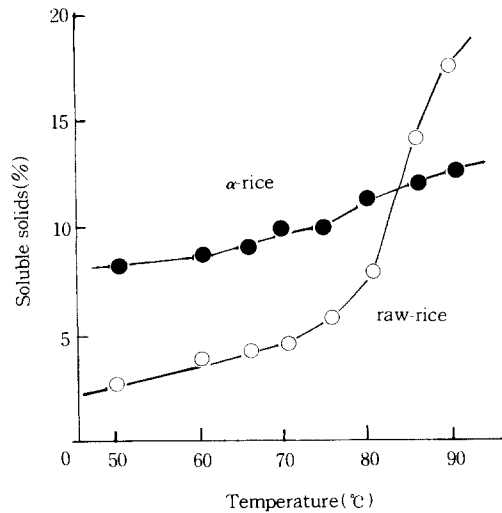


Fig. 3. Solubility patterns of raw and freeze dried α -rice in water at different temperatures.

구조, 즉 입자간의 결합력은 정백미보다 큰 것으로 볼 수 있다.

Unnikrishnan과 Bhattacharya¹⁶⁾는 Parboiled 미에서 이러한 현상은 70°C를 전후로 일어남을 보고하였고 parboiling의 증가에 따라 더욱 현저하다고 하였으며, 이러한 차이는 호화 후 급격한 건조로 인한 전분의 노화방지 때문이라 하였다.

한편, 용해도(%)의 경우도 근본적으로 이와 비슷하여 80°C에서부터, 정백미는 용해도의 급격한 증가를 보인 반면, α -화미는 온도에 크게 영향을 받지 않았으며 역시 80°C이상에서 α -화미는 정백미보다 용해도가 낮아지는 경향을 보였다. 따라서 고온에서 쌀 전분입자의 용해도는 건조에 의하여 억제됨을 알 수 있으며 Unnikrishnan과 Bhattacharya¹⁶⁾의 결과와 잘 일치하였다.

2. 유동특성 및 특성값의 산출

정백미 및 α -미의 분쇄시료 호화액(5~11%)에 대하여 층밀림 속도 0~200sec⁻¹에 따른 층밀림 용력의 변화를 30°C에서 측정하였으며 그 결과는 Fig. 4와 같았다.

두 시료 모두 농도에 관계없이 층밀림 속도에 따른 층밀림 용력의 변화는 비직선적으로 증가하

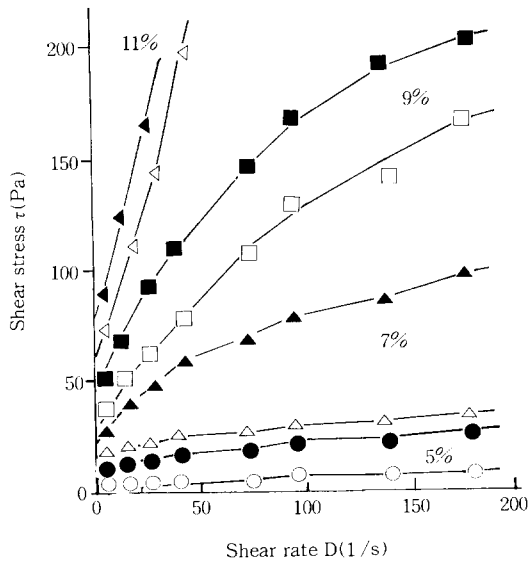


Fig. 4. Flow curves of raw and α -rice flour pastes at measuring temperature of 30°C

- , ▲, ■, ◀ : Raw rice
○, △, □, ◁ : α -rice

였으며 항복응력이 존재하는 비뉴우톤 유체의 거동을 나타내지 않았으나 충밀립 응력 값에서 Casson식¹³⁾으로 구한 항복 응력 값을 뺀 차이값을 충밀립 속도에 대하여 양대수 좌표에 그림으로 표시한 결과 모두 직선관계를 보여서 시료호화액의 리올로지적 거동은 Herschel-Bulkley식에 따름을 알 수 있었다. 선형 최소자승법으로

직선의 기울기와 $\log \gamma = 0$ 에서의 절편값으로부터 각각 점조도지수 K 및 유동거동지수 n 값을 구하였으며, 이들 결과를 Casson식으로 구한 항복응력 τ_y 값과 함께 Table 1에 나타내었다.

두 시료 모두 실험농도 범위에서 $n < 1$ 및 $\tau_y > 0$ 으로 각종 전분 호화액과 마찬가지로 Bingham plastic의 특성을 나타내었다. n 값은 농도에 상관없이 두 시료 모두 0.7내외의 비슷한 값을 보였으나 K 및 τ_y 값은 농도증가에 따라 증가 경향을 보였으며 대응하는 농도에 정백미는 α -미보다 훨씬 큰 K 및 τ_y 값을 보였다.

K 값의 농도 의존성을 정량화하기 위하여 $\log K$ vs. C 를 그림으로 표시한 결과는 Fig. 5와 같다. 정백미분은 7% 그리고 α -미분은 9%에서 각각 기울기가 서로 다른 두 개의 직선 관계를 보여서 다른 전분의 경우와 마찬가지로 다음의 지수함수식으로 나타낼 수 있었다^{17, 18)}.

$$K = K_c \exp(B \cdot C)$$

여기에서 K_c 는 무한 희석용액에서의 점조도 지수이며 B 는 농도 의존성의 정도를 나타내는 지표값이다.

여기에서 K_c 값은 정백미 및 α -미분에서 각각 0.0133 및 0.0063 $\text{Pa} \cdot \text{s}^n$ 으로 α -미분의 값이 훨씬 낮았으나 B 값은 0.4055 및 0.6745로 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 두 시료는 K_c 값의 현저한 차이를 보이나 농도 의존성은 서로 비슷함

Table 1. Rheological parameters of raw and α -rice powder pastes with different concentrations

	Concentrations (%, d.b.)	Consistency index, k ($\text{Pa} \cdot \text{s}^n$)	Flow behavior index, n (-)	Yield stress (Pa)
Raw rice	5	0.83	0.70	3.64
	7	2.97	0.68	22.53
	9	5.31	0.71	40.13
	11	10.13	0.70	61.99
α -rice	5	0.12	0.73	0.74
	7	1.00	0.69	8.45
	9	4.73	0.68	22.00
	11	6.43	0.74	64.86

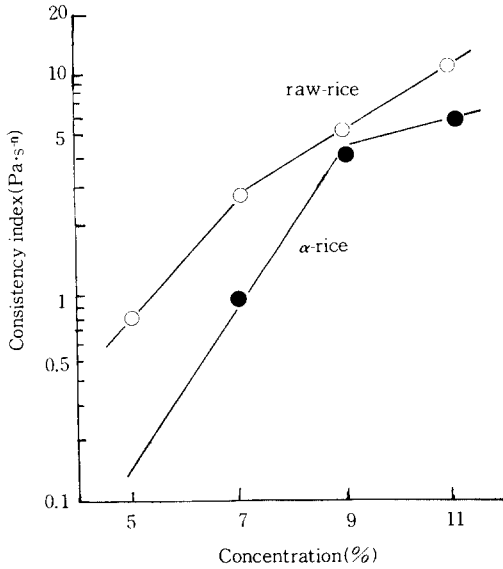


Fig. 5. Concentration dependency on consistency index of raw and α-rice flour pastes at 30°C

을 알 수 있었다.

또 직선의 기울기가 달라지는 현상은 대부분의 전분 호화액에서 보여지는 현상으로 Lee 등¹⁸⁾은 쌀 전분의 경우 7%에서 나타난다고 하였다. 이러한 현상은 이 농도에서 겔 형성과 같은 전분의 구조적 특성이 달라짐을 의미하므로 두 시료의 구조 차이를 해석하는 중요지표를 볼 수 있음을 암시하나 이에 대해서는 더욱 연구할 필요성이 높다.

한편 농도에 따른 항복 응력의 변화는 Fig. 6에서 볼 수 있는 바와 같이 역시 전분 호화액과 마찬가지로 $\sqrt{\tau_y}$ vs. C에서 직선관계를 보이고 Evans들이 제안한 다음의 관계가 잘 성립되었다.

$$\sqrt{\tau_y} = K_y(C - C_0)$$

C_0 는 호화액이 항복응력을 나타내기 시작하는 농도이며, K_y 는 항복응력의 농도 의존성을 나타내는 지표값이다.

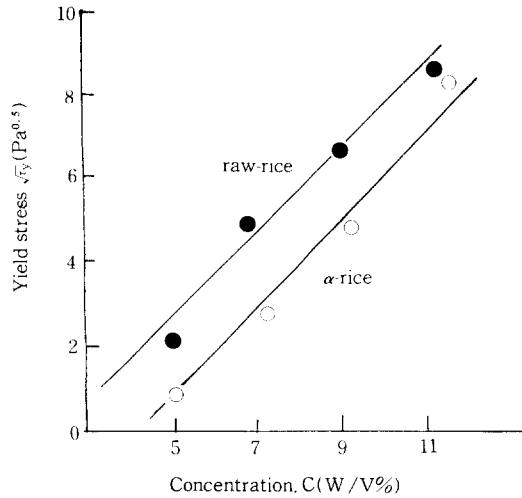


Fig. 6. Concentration dependency on yield stress of raw and α-rice flour pastes at 30°C

기울기 및 $\sqrt{\tau_y}=0$ 의 절편값으로부터 구한 K_y 값 및 C_0 값은 정백미와 α-화미에서 각각 0.973과 1.168 Pa·sⁿ 및 2.80과 4.13%이었다. K_y 값은 α-화미분의 경우가 높아서 높은 농도 의존성을 나타내었으며 C_0 값도 α-미분의 경우가 높아서 항복응력이 나타나기 시작하는 농도는 오히려 α-미분이 높음을 보였다.

또 9%시료 호화액에 대하여 \pm 정온도에 따른 유동곡선을 측정된 결과는 Fig. 7과 같다. 온도 증가에 따라 충밀립 속도에 대한 충밀립 응력의 변화는 감소하고 일반적 경향과 잘 일치하였다²⁰⁾.

Herschel-Bulkley식에 따라 각 온도에서의 리올로지 특성값을 구하였으며 그 결과는 Table 2와 같다.

n 값은 측정온도에 대한 뚜렷한 경향을 보이지 않았으나 K 및 τ_y 값은 온도증가에 따라 감소하는 경향이었다. τ_y 값의 온도 의존성은 뚜렷한 관계식을 찾을 수 없었다.

그러나 K 값의 온도 의존성은 $\log K$ vs. $1/T$ 의 관계에서 Fig. 8에서와 같이 직선관계를 보였

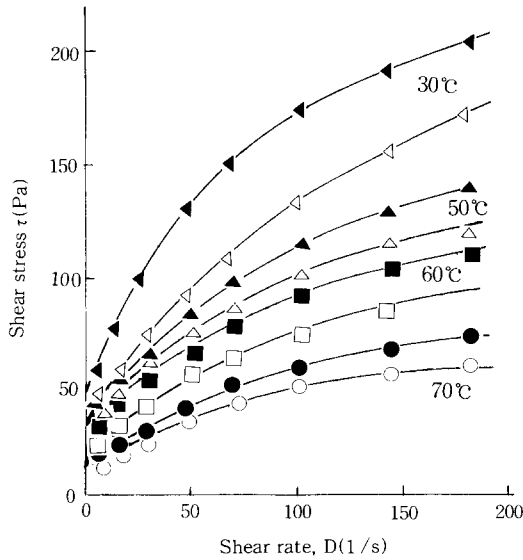


Fig. 7. Flow curves of 9% raw and α -rice flour pastes at various temperatures.

●, ▲, ■, ◀ : Raw rice
○, △, □, ◁ : α -rice

으며 따라서 다음의 Arrhenius식에 잘 따랐다.

$$K = A_0 \exp(-E_a/RT)$$

A_0 는 빈도인자, R 은 기체상수, E_a 는 활성화 에너지이다.

직선의 기울기로부터 활성화 에너지 값을 구하

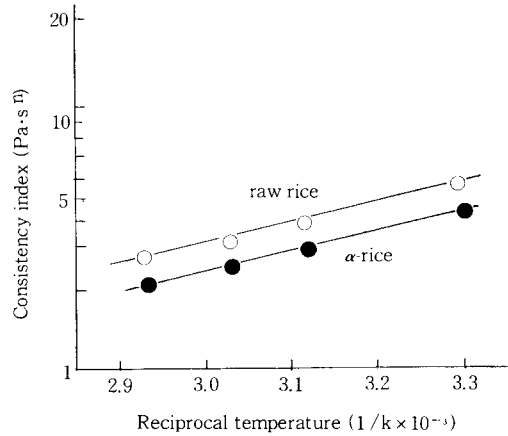


Fig. 8. Arrhenius plot for raw and α -rice flour pastes.

였으며 이 값은 정백미와 α -화미에서 각각 3.19 및 3.76kcal/mol로 서로 비슷하였다. 그러나 이들 값은 쌀 전분 경우보다 매우 낮은 값으로 전분에 비하여 온도 의존성이 매우 낮은 특성을 보였다.

한편 층밀림 상태를 제거한 후에는 층밀림 시간에 층밀림 응력이 감소하고 일징응력까지 완화하는 현상을 보였다. 정백미와 α -화 미분은 각각 잔존 항복응력을 나타내고 점탄성계의 유동거동을 보였으며 정백미는 α -미보다 큰 잔존 항복응력값을 나타내었다.

Table 2. Rheological parameters of raw α -rice powder pastes at different measuring temperatures

	Temperatures (°C)	Consistency index, K(Pa·s)	Flow behavior index, n	Yield stress (Pa)
Raw rice	30	5.31	0.71	40.13
	50	4.24	0.65	31.41
	60	3.19	0.68	20.87
	70	2.84	0.65	14.6
α -rice	30	4.73	0.68	22.00
	50	3.32	0.69	19.15
	60	2.60	0.66	17.67
	70	2.26	0.64	14.35

IV. 요 약

통상법으로 증자한 증자미로 동결건조 α -화미를 제조하고 이를 80 mesh로 분쇄하여 그 분쇄미분에 대한 각종 리올로지적 성질을 조리과학적 측면에서 정백미분과 비교 검토하였다. α -미분의 팽화력은 온도상승에 따라 계속적인 완만한 증가를 보였으나 정백미분은 2단 거동을 α -미분보다 증가의 폭이 크게 나타났으며 용해도에서도 팽화력과 비슷한 양상을 보였다. 그러나 80°C 전에서는 α -미분의 팽화력과 용해도가 정백미분보다 높게 나타났으며 α -미분의 호화액(5~11%)은 정백미분과 같이 Binghampseudo plastic의 거동을 나타내었으며 점조도지수 및 항복 응력값은 농도증가에 따라 지수적 경향으로 증가하였고 그 값은 정백미분의 α -미분보다 현저히 큰 값 범위였다. 점조도 지수값의 온도 의존성은 Arrhenius 식으로 나타났고 α -미분의 활성화 에너지(3.76kcal/mol)는 정백미분(3.19kcal/mol)보다 다소 높았다. 또한 α -미분 9% 호화액의 경우 정상 충밀립하의 응력 완화는 잔존 항복응력을 나타내는 선형 점탄성계의 유동거동을 보였으며, α -미분용액은 농도 증가에 따라 더욱 강한 Thixotropic 거동을 보였으나 정백미분보다는 약한 경향이였다.

V. 참고문헌

- Ozai Durrani, A.K. : *U.S. Patent*, 3. 189, 461. June 15(1965)
- Bongirwar, D.R., Padwal-Deasai, S.R. and Sreenivasan, A. : *J. of Food Sci. and Technol.*, 15, 31(1978)
- 이춘영, 김성곤 : 한국식품 연구문헌총괄(2), 한국식품과학회, p.16(1977)
- Juliano, B.O., Onate, L.U. and del Mundo, A.M. : *Food Technology*, 19, 1006 (1965)
- Juliano, B.O. : In "Proceedings of the work-shop on Chemical Abstracts of Rice Grain Quality", Int. Rice Research Institute, Los Banos, Philippine(1979)
- Shoji, I. and Kurasawa, H. : *J. Home Economics of Japan*, 30, 292(1979)
- Kato, S. : *J. Home Economics of Japan*, 30, 121(1979)
- Matsunaga, A., Ishida, N. and Kainuma. K. : *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaish*, 32, 797 (1985)
- 박태원 : 연구취보, 국방과학연구소(1956)
- 변재형, 최영락, 최춘언 : 국방과학연구소보고, 5, 1(1966)
- Leach, H.W., McCwoen, L.D. and Schoch, T.J. : *Cereal Chemistry*, 36, 534 (1959)
- 具沼圭二, 小田恒郎, 鈴木繁男 : 澱粉工誌, 14, 24(1967)
- Sherman, P. : *Industrial Rheology*, Academic Press, New York(1970)
- Brabender OHG Duisberg : *Uistron*, Instruction Manual(1983)
- Elder, A.L. and Schoch, T.J. : *Cereal Sci. Today*, 4, 202(1959)
- Unnikrishnan, K.R. and Bhattacharya, K.R. : *J. Fd. Technol*, 16, 403(1981)
- Youg, Y.K., Lee, S.Y. and Choi, K.C. : *J. Korean Agricultural Chemical Society*, 29, 339(1986)
- Lee, S.Y., Pyun, Y.R., Cho, H.Y., You, J.H. and Lee, S.K. : *Korean J. Food Sci. and Technol.*, 16, 29(1984)
- Evans, I.D. and Haisman, D.R. : *J. Texture Studies*, 10, 347(1979)
- Holdsworth, S.D. : *J. Texture Studies*, 2, 393(1971)