

## 쌀의 지방과 단백질이 쌀가루 호화액의 리올로지 특성에 미치는 영향

이영순<sup>†</sup> · 김인호\* · 김현정\* · 이상호\* · 이현유\* · 박광희

경희대학교 식품영양학과

\*한국식품개발연구원

## Effect of Rice Lipid and Protein on Rheological Characteristics of Gelatinized Rice Flour Solutions

Young-Soon Lee<sup>†</sup>, In-Ho Kim\*, Hyun-Jung Kim\*, Sang-Hyo Lee\*,  
Hyun-Yu Lee\* and Kwang-Hee Park

Dept. of food and nutrition, Kyunghee University, Seoul 130-701, Korea

\*Rice utilization Research Center, Korea Food Research Institute, Sungnam 463-420, Korea

### Abstract

Effect of rice protein and lipid on rheological properties of gelatinized rice flour solutions(4%) with three rice varieties(Dongjin, Jinmi, Tamjin) known for varying taste of cooked rice was investigated with Haake viscometer. The rheological behaviors of all rice flour solutions were illustrated by Herschel-Bulkley equation and exhibited pseudoplastic behavior with yield stress. When rice flour solutions treated with protease and dithiothreitol, there was decreased in flow behavior index value. Flow behavior index was decreased by dealbumin and deglutelin rice flour solutions among deprotein groups. The Jinmi rice flour solutions exhibited slightly lower consistency index than Dongjin and Tamjin. Defatted rice flour solutions exhibited lower consistency index than rice flour solutions, while dealbumin, deglutelin rice flour solutions exhibited high consistency index. Protease-treated rice flour solutions exhibited increase in Dongjin and Tamjin. The yield stress was increased in sequence eating quality. Yield stress of defatted rice flour solutions was decreased, while deglutelin and rice starch flour solutions was increased. The time dependent characteristics of all rice flour solutions appeared forming hysteresis loop and thixotropic behavior showed. The time dependent characteristics was appeared in sequence eating quality. Rice starch and deglutelin flour solutions appeared greatly time dependent characteristics, but defatted rice flour solutions appeared very little.

Key words: rheological characteristics, defatting, deprotein, protease, dithiothreitol, rice

### 서 론

지금까지 식미에 영향을 미치는 인자에 대하여 쌀의 주성분인 전분의 성질을 중심으로 많은 연구가 이루어져 왔다(1-3).

전분의 아밀로오스 함량은 쌀의 찰기에 영향을 주며 식미의 판정 기준으로 가장 널리 이용되고 있으나 아밀로오스 함량이 서로 비슷한 쌀간에도 식미 차이가 나타나 아밀로오스 함량만으로 식미를 설명하기는 어렵다.

식품은 여러가지 성분이 혼재되어 서로 영향을 끼치는 복합 시스템이고 단백질, 지방 등 기타성분이 함께 존재 할 때는 전분이 단독으로 존재할 때와 비교하여 호화 양상 등 이화학적 성질이 크게 달라진다고 보고(4)되어 있으므로 쌀의 구성 성분인 단백질과 지방이 밥의 식미와

나아가 쌀가공 제품의 품질에 미치는 영향을 연구하는 것은 중요하다고 할 수 있다.

따라서 아밀로오스 함량에는 뚜렷한 차이가 없으나 밥 맛 차이를 느낄 수 있다고 보고된 결과(5)를 토대로 밥맛이 우수한 그룹의 전북 동진, 중간 그룹의 강원 진미, 낮은 그룹의 제주 탐진 쌀을 시료로 하여 단백질 가수분해 효소와 이황화 결합 환원체 처리를 하였고, 세포종 중 밥맛이 가장 좋은 품종으로 판정된 전북 동진을 사용하여 탈지 및 용해도 차이에 의한 단백질 회분인 albumin, globulin, prolamin, glutelin을 제거한 쌀가루를 제조하여 쌀가루 호화액의 리올로지적 성질을 측정해 볼으로써 지방과 단백질이 물성에 미치는 영향을 알아보고 밥의 식미 및 쌀가공 산업의 기초 자료를 제공하고자 한다.

<sup>†</sup>To whom all correspondence should be addressed

## 재료 및 방법

### 재료

쌀 시료는 국내에서 1994년도에 생산된 39 품종의 백미를 대상으로 관능평가하고 통계분석한 결과(5)를 참조하여 자포니카형 중에서 맛이 가장 우수한 전라북도 동진벼, 보통의 밥맛을 나타낸 강원도 진미벼, 밥맛이 가장 나쁜 제주도 탐진벼를 도정하여 사용하였으며, 80 mesh로 분쇄하여 냉동고(-20°C)에 보관하면서 사용하였다.

### 시료의 조제

쌀 전분은 알카리 침지법(6)에 의해 분리하였고, 탈지쌀가루 제조는 Folch 방법(7)에 준하여 chloroform-methanol(2:1, v/v)-용매로 지방을 3번 추출한 후 남은 잔사를 실온에서 건조시켜 사용하였다. 쌀단백질의 용해도 차이에 의하여 단백질을 제거한 쌀가루는 Osborne 방법(8)에 준하여 탈지 쌀가루 100g에 albumin은 중류수, globulin은 5% sodium chloride, prolamin은 70% ethanol, glutelin은 0.025M의 sodium hydroxide를 각각 500ml씩 넣어 추출 제거한 후 상등액은 버리고 남은 잔사를 건조시켜 사용하였다. 제단백율은 각각 10.45%, 16.84%, 9.15%, 74.03%로서 주 단백질은 glutelin이었다. 단백질 가수분 해 효소 처리 쌀가루는 protease(protease type XIV from bacterial *Streptomyces griseus*, Sigma Co., USA)로, 이황화 결합 환원 처리 쌀가루는 DTT(dithiothreitol, Sigma Co., USA)를 사용하였다. 효소 처리는 Shibuya와 Iwasaki(9)의 방법에 따라 쌀가루 20g을 중류수 200ml에 혼탁시킨 후 효소(800u/mg)121mg을, 환원제 처리는 5mM DTT 200ml를 첨가한 후 37°C 수욕상에서 2시간 동안 반응시킨 후 반복 세척하여 건조시켰다.

### 호화액의 조제

각 시료에 중류수를 가하여 4%(dry basis) 혼탁액을 만들어 열판 자석 교반기 위에서 15분간 가열 호화한 후 열음물 수조에서 3분 이내에 30°C로 급속히 냉각시켜 시료액으로 하였다.

### 리올로지 특성의 측정

쌀가루 및 전분 호화액의 리올로지 특성은 Haake Viscometer(Model Rotovisco RV 20, Haake, Germany)를 사용하였다. 측정은 30°C로 냉각시킨 시료액 9ml를 NV cup에 담고 전단 속도를 0~1200(1/s)까지 변화시키면서 전단응력을 측정하였다.

### 리올로지 특성값의 계산

유동특성값은 yield stress를 포함한 다음식(1)의 Her-

schel-Bulkley model(10)을 적용하여 구하였다.

$$\tau = \tau_0 + A \cdot D^b \quad (1)$$

여기서,  $\tau$ : 전단응력(shear stress, Pa)

$\tau_0$ : 항복응력(yield stress, Pa)

D: 전단속도(shear rates, 1/s)

b: 유동거동지수(flow behavior index, -)

A: 점조도지수(consistency index, Pa · sec<sup>-b</sup>)

한편, 항복력은 식 (2)의 Casson 식(11)에 의하여 구하였다.

$$\sqrt{\tau} - \sqrt{\tau_0} = \sqrt{\eta} \cdot \sqrt{D} \quad (2)$$

여기서,  $\tau_0$  = Casson yield point(Pa)

$\eta$  = Casson viscosity(Pa · s)

## 결과 및 고찰

### 유동특성

세 품종간의 처리구에 따른 쌀가루 호화액(4%, dry basis)의 유동거동을 30°C에서 측정한 결과는 Fig. 1과 같다. 시료 모두 전단속도에 따른 전단응력의 변화는 비직선적으로 증가하였으며 항복응력이 존재하는 비뉴우튼 유체의 거동을 나타내었다.

Herschel-Bulkley식을 이용하여 유동거동지수 b 및 점조도지수 A값을 구하였으며 그 결과를 항복응력  $\tau_0$  값과 함께 Table 1~4에 나타내었다. 모든 처리구에서 시료의 유동거동은  $b < 1$  및  $\tau_0 > 0$ 으로 빙햄 의가소성 유체의 거동을 보였다. Table 1에서 b 값은 0.731~0.789 범위의 비슷한 값으로 품종간에 큰 차이는 보이지 않았다. 점조도지수는 동진과 탐진이 비슷하게 진미보다는 약간 높은 값을 나타내었고, 항복응력 값은 동진, 진미, 탐진 순으로 동진이 가장 높게 나타남으로써 밥맛이 좋을수록 높게 나

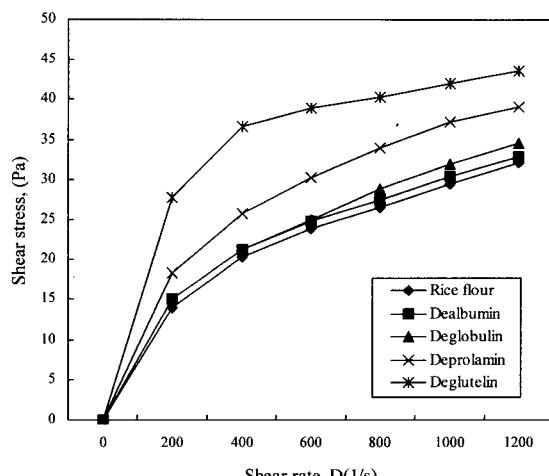


Fig. 1. Flow curves for 4% Dongjin deprotein rice flour solutions.

Table 1. Rheological parameters of 4% rice flour solutions with different eating quality

| Varieties | Consistency index, A(Pa·s <sup>n</sup> ) | Flow behavior index, b(-) | Yield stress $\tau_0$ (Pa) |
|-----------|--|---------------------------|----------------------------|
| Dongjin   | 0.164                                    | 0.779                     | 5.579                      |
| Jinmi     | 0.121                                    | 0.789                     | 4.300                      |
| Tamjin    | 0.173                                    | 0.731                     | 3.169                      |

타났다. Table 2에서 보면 쌀전분은 쌀가루보다 점조도 지수(0.096)는 낮고, 유동거동지수(0.928)가 높게 나타남으로써 전분은 다른 시료보다 의가소성(pseudoplastic)성 질이 감소하였고, 높은 항복응력(14.590)을 나타내었다. 털지 쌀가루는 쌀가루보다 유동거동지수(0.788)는 다소 증가하였고 점조도지수(0.124)와 항복응력(3.199)은 감소하였다. Choi 등(12)에 의하면 3~7%의 쌀전분 호화액은 항복응력이 존재하는 의가소성을 나타내었으며, 털지 처리에 의해 항복응력이 감소함을 보여주었다. Table 3에서 제단백질군 중 deglutelin군만이 쌀가루(5.579)보다 항복응력(12.300)의 증가가 커졌고, 나머지군은 감소하였다. 점조도지수는 dealbumin(0.314)과 deglutelin(0.474)군이 쌀가루(0.164)보다 증가하였다. Deglutelin군과 dealbumin 군의 유동거동지수는 각각 0.619, 0.649로서 의가소성 성

Table 2. Rheological parameters of 4% Dongjin rice starch and defatted rice flour solutions

| Varieties           | Consistency index, A (Pa·s <sup>n</sup> ) | Flow behavior index, b(-) | Yield stress $\tau_0$ (Pa) |
|---------------------|---|---------------------------|----------------------------|
| Rice starch         | 0.096                                     | 0.928                     | 14.590                     |
| Rice flour          | 0.164                                     | 0.779                     | 5.579                      |
| Defatted rice flour | 0.124                                     | 0.788                     | 3.199                      |

Table 3. Rheological parameters of 4% Dongjin deprotein rice flour solutions

| Varieties  | Consistency index, A(Pa·s <sup>n</sup> ) | Flow behavior index, b(-) | Yield stress $\tau_0$ (Pa) |
|------------|--|---------------------------|----------------------------|
| Rice flour | 0.164                                    | 0.779                     | 5.579                      |
| Dealbumin  | 0.314                                    | 0.649                     | 4.293                      |
| Deglobulin | 0.117                                    | 0.801                     | 3.586                      |
| Deprolamin | 0.124                                    | 0.802                     | 3.870                      |
| Deglutelin | 0.474                                    | 0.619                     | 12.300                     |

Table 4. Rheological Parameters of various 4% rice flour solutions treated with protease and dithiothreitol

|         | Varieties              | Consistency index, A(Pa·s <sup>n</sup> ) | Flow behavior index, b(-) | Yield stress $\tau_0$ (Pa) |
|---------|------------------------|--|---------------------------|----------------------------|
| Dongjin | Control                | 0.039                                    | 0.967                     | 3.379                      |
|         | Protease-treated       | 0.251                                    | 0.732                     | 4.848                      |
|         | Dithiothreitol-treated | 0.122                                    | 0.819                     | 4.975                      |
| Jinmi   | Control                | 0.090                                    | 0.882                     | 3.333                      |
|         | Protease-treated       | 0.093                                    | 0.847                     | 4.911                      |
|         | Dithiothreitol-treated | 0.133                                    | 0.799                     | 3.757                      |
| Tamjin  | Control                | 0.123                                    | 0.811                     | 4.809                      |
|         | Protease-treated       | 0.433                                    | 0.637                     | 7.491                      |
|         | Dithiothreitol-treated | 0.394                                    | 0.622                     | 6.601                      |

질이 증가하였다. 이는 단백질군 중 albumin과 glutelin군 만이 점성에 영향을 주는 것으로 나타났다. 즉 albumin과 glutelin은 쌀가루 호화액의 점성을 떨어뜨리는 효과를 보였다. 이상의 결과로, 주 단백질인 glutelin을 제거했을 때 항복응력과 점조도지수는 증가하였고 유동거동지수는 감소함을 보여주었다. 즉, 단백질은 밥의 점성과 끈기를 저해하는 인자로 볼 수 있겠다. Juliano 등(1)은 식미 저하가 쌀의 glutelin 함량과 관계 있으며 단백질이 많은 쌀은 밥이 단단하고 부착성이 떨어진다고 보고하였다.

Table 4에서 유동거동지수인 b값은 동진처리군은 0.732 ~ 0.967, 진미처리군은 0.799~0.882, 탐진처리군은 0.622 ~ 0.811로 작은 차이지만 탐진군의 유동거동지수가 가장 작은 값을 보여 Table 1의 품종간의 비교에서와 일치하였다. 세품종 모두에서 protease처리와 dithiothreitol처리한 군이 control군보다 유동거동지수 값은 낮아졌고, 점조도지수와 항복응력은 증가하였다. 점조도지수(A) 값은 동진에서는 protease 처리군이, 진미에서는 dithiothreitol 처리군이, 탐진에서는 protease처리군이 약간 높게 나타났다.

즉, 효소를 이용하여 단백질을 가수분해시켰을 때 또한 유동거동지수는 낮아졌고, 항복응력과 점조도지수가 높아짐으로써 Table 3에서의 결과와 일치하였다.

#### 호화액의 시간 의존성

시료 호화액에 대하여 전단속도를 연속적으로 증가하다가 감소시키면서 전단응력의 변화를 측정한 결과는 Fig. 2~4와 같다. 시료 모두 전단 상승곡선과 전단 하강곡선의 두개의 유동곡선은 일치하지 않고 hysteresis loop를 형성하여 시간의존특성을 나타내었으며 전단이력후 전단응력이 감소하여 thixotropic(shear-thinning)거동을 보였다.

Shoemaker와 Figoni(13)에 의하면 전단이력후에 전단응력이 감소하는 것은 감작스런 전단으로 인하여 구조가 파괴됨을 의미하며, 이 때 hysteresis loop의 면적은 구조의 파괴정도를 나타내며 이는 시간의존성 정도에 비례한다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 탐진, 진미, 동진 순으로 loop 면적이 감소되어 탐진이 thixotropic 성질이 가장

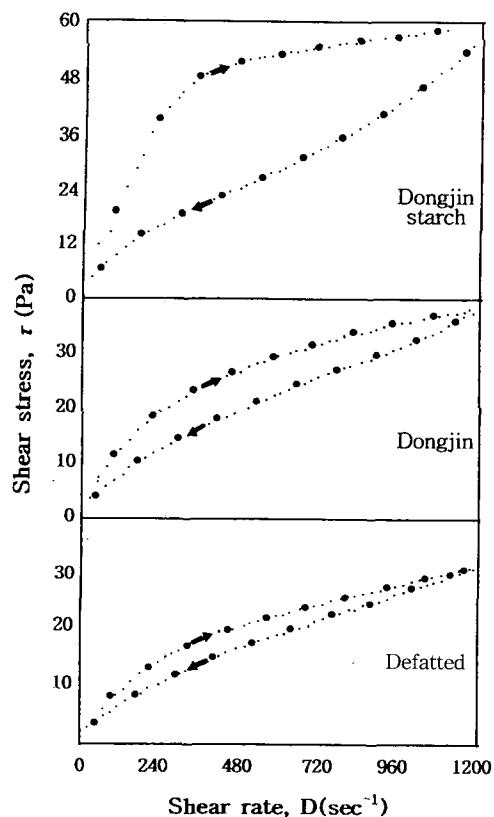


Fig. 2. Thixotropic flow curves for 4% Dongjin rice starch and defatted rice flour solutions.

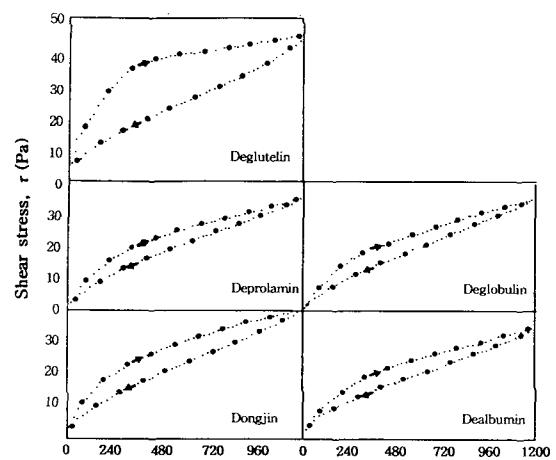


Fig. 3. Thixotropic flow curves for 4% Dongjin deprotein rice flour solution.

강하게 나타났다. Fig. 2에서는 탈지 쌀가루의 loop 면적이 감소되어 탈지 처리로 인해 thixotropic 성질이 강해졌다. Choi 등(12)도 쌀전분의 탈지 처리로 인해 thixotropic 성질이 강해지는 것을 보였으며 지방산 채 첨가로 인해 thixotropic 성질이 감소되었다.

Fig. 3에서 보면 제단백질군 중 deglutelin군이 가장 강한 시간의존특성을 보였으며 dealbumin, deglobulin, deprolamin군은 쌀가루보다는 다소 약하였다. Fig. 4에서

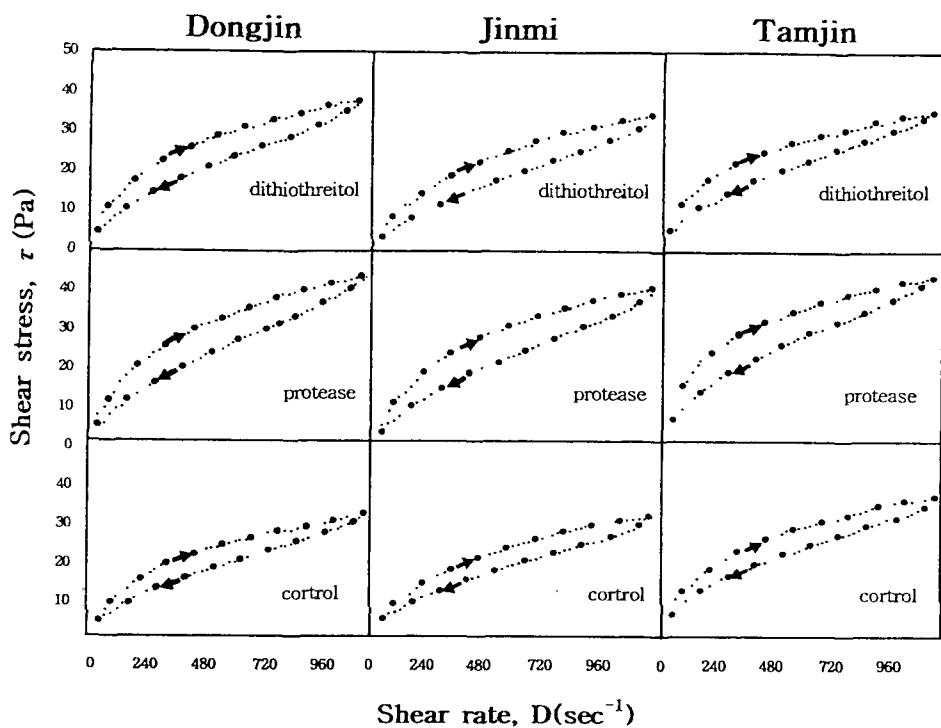


Fig. 4. Thixotropic flow curves for 4% rice flour solutions with different eating quality treated with protease and dithiothreitol.

보는 바와 같이 세 개 품종 모두에서 protease 처리군이 가장 강한 시간의 존특성을 보였고 dithiothreitol 처리군, control군 순으로 시간의 존성을 나타내었다. 즉, 주 단백질인 glutelin을 제거함으로써, 단백질 분해 효소인 protease를 처리함으로써 thixotropic 성질이 감소하였다. 이는 유동성의 감소로 점도의 증가를 나타내어 간접적으로 밥의 차진 정도에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

## 요 약

쌀 단백질과 지질이 쌀가루 호화액의 리올로지 성질에 미치는 영향을 보기 위해 밥맛이 다른 세 품종의 쌀가루 호화액(4%, dry basis)을 제조하여 Haake viscometer로 유동거동을 측정한 결과는 Herschel-Bulkley 방정식에 적합하였고 항복응력을 가진 pseudoplastic 거동을 나타내었다. 유동거동지수값을 보면 세 품종간에서는 차이를 보이지 않았고 protease 처리와 dithiothreitol 처리를 함으로써 감소하였고 또, 제단백군에서는 dealbumin군과 deglutelin군의 유동거동지수값이 감소함으로써 의가소성 성질이 증가하였다. 점조도지수값은 진미보다는 동진과 탐진군이 약간 높은 값을 나타내었고, 탈지처리에 의해 약간 낮아졌으며 제단백군에서는 deglutelin군과 dealbumin군이 높게 나타났고, 동진과 탐진 품종에서는 효소처리군이 높게 나타났다. 항복응력값은 동진, 진미, 탐진순으로 동진이 가장 높았으며, 탈지 처리와 제단백 처리군에서는 탈지군이 가장 낮은 값을 보여 탈지처리에 의해 항복응력이 감소함을 볼 수 있었고 deglutelin군만이 전분과 함께 항복응력의 증가가 커고 나머지군은 항복응력이 감소하였다. 시료 모두 hysteresis loop를 형성하여 시간의 존특성을 나타내었으며 전단이력후 전단응력이 감소하여 thixotropic 거동을 보였다. 품종간에서는 동진, 진미, 탐진 순으로 시간의 존성을 나타내었으며 전분과 deglutelin군은 강한 시간의 존특성을 보였고 탈지군은 매우 약한 시간의 존성을 나타내었다. 이상의 결과로 밥맛이 좋을수록 항복응력값은 높게 나타났으며, 쌀의 주 단백질인 glutelin을 제거했을 때와 효소를 이용하여 단백질을 가수분해 시켰을 때 유동거동지수는 낮아졌고 항복응력과 점조도지수는 높아짐으로써, 단백질은 밥의 점성과 끈기

를 저해하는 인자임을 확인할 수 있었다.

## 문 헌

- Juliano, B. O., Onate, I. U. and del Mundo, A. M. : Relation of starch composition, protein content, gelatinized temperature to cooking and eating qualities of milled rice. *Food Tech.*, **19**, 1006-1011(1965)
- Im, Y. S. : Texture of cooked rice and properties of starch with different rice species. *Ph. D. dissertation*, Seoul National University, Seoul, Korea(1989)
- Juliano, B. O. : Rice starch properties and grain quality. *J. Jap. Starch. Soc. Sci.*, **39**, 11-21(1992)
- Okabe, M. : Texture measurement of cooked rice and its relationship to the eating quality. *J. Texture Studies*, **10**, 131-152(1979)
- Shin, M. K., Min, B. K. and Kim, S. S. : Evaluation of eating quality of rice with different cultivated site and species for the discriminative price system in purchasing rice by government. *Korea Food Research Institute*, pp.37-39(1994)
- Yamamoto, K. : Studies on rheological properties of potato starches in the practical application. *J. Jap. Soc. Starch Sci.*, **28**, 206-214(1981)
- Folch, J., Lees, M. and Sloane-Stanly, G. H. : A simple method for the isolation and purification of total lipid from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, **226**, 497-509(1957)
- Juliano, B. O. : *Rice chemistry and technology*. Am. Assoc. Cereal Chem., Inc., pp.102-120(1985)
- Shibuya, N. and Iwasaki, T. : Effect of enzymatic removal of endosperm cell wall on the gelatinization properties of aged and unaged rice flours. *Starke*, **34**, 300-303(1982)
- Herschel, W. H. and Bulkley, R. : Konsistenzmessungen Von gummibenzollösungen. *Kolloidz*, **39**, 291-300(1926)
- Casson, N. : A flow equation for pigment oil suspensions the printing ink type. In "Rheology of disperse systems" Mill, C. C.(ed.), Pergamon Press, London, pp.84-104 (1959)
- Choi, H. T., Lee, S. Y. and Oh, D. W. : Effects of defatting and reincorporation with fatty acid on the rheological characteristics of rice starch. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **20**, 850-855(1988)
- Shoemaker, C. F. and Figoni, P. I. : Time-dependent rheology behavior of foods. *Food Tech.*, **38**, 110-112 (1984)

(1999년 8월 27일 접수)