

## 쌀 전분의 노화 특성에 관한 연구

이 찬

한서대학교 식품생물공학과

### Studies on the Retrogradation Properties of Rice Starch

Chan Lee

*Dept. of Food and Biotechnology, Hanseo University*

#### Abstract

The effect of varietal differences of rice starches by amylose content and gel consistency on the retrogradation behavior was studied. The gel consistency test, which is designed to detect differences in the texture of cooked rice of varieties that have a similar amylose content, had been turned out to be useful in this study. Both Suwon 232 and San Li Cun had higher amylose content, but were greatly different in gel consistency values. The results showed that setback viscosity of rice flour measured in a Brabender amylograph was significantly affected by amylose content as well as gel consistency. Increase in the rigidity modulus (E) of rice starch gels during storage determined by using Texture analyzer indicated that amylose content was an important factor in terms of hardness development. The study of Avrami kinetics of retrogradation showed that time constant of rice starch gels was influenced by amylose content, but not by gel consistency.

Key words : rice starch, amylose, retrogradation, Avrami kinetics.

#### 서 론

쌀은 우리나라의 가장 중요한 식량자원인데 최근 쌀소비가 점차 감소되고 있으므로 농가의 어려움이 가중되고 있다. 밥은 지은 후 시간이 경과하면 점차 굳어지면서 식미가 저하되는데 이것은 화학적으로 전분의 노화 (retrogradation)가 진행된 결과로서 전분입자들이 온도상승에 따라 물을 흡수하면서 점도가 큰 콜로이드 용액을 형성하는 호화 (gelatinization)와 반대되는 물리적 현상으로서 일부 전분분자들이 수소결합으로 다시 결합되는 현상을 의미한다. 전분의 노화

에 영향을 주는 요인들로서는 전분의 종류, 아밀로오스와 아밀로펙틴의 함량, 전분의 농도, 수분함량, 온도, pH, 염류의 존재 등이 있다. 특히 아밀로오스 함량이 전분의 특성을 결정하는데 가장 중요한 요인으로 알려져 있다<sup>1~3)</sup>.

아밀로오스와 아밀로펙틴으로 구성되어 있는 전분은 semi-crystalline 상태로 존재하는데 호화개시온도 이상으로 가열시 birefringence와 결정성을 상실하고 선택적으로 가용화된 아밀로오스가 전분입자 밖으로 용출되어 matrix를 형성한다. 여기에 호화된 전분입자들이 혼합된 유동액으로 변하는데 전분의 농도가 총

† Corresponding author : Chan Lee, Department of Food and Biotechnology, Hanseo University, 360, Daegok-ri, Haemi-myun, Seosan-si, Chung-nam, 356-706 Korea  
Tel : 041-660-1453, Fax : 041-688-9957, E-mail : leechan@hanseo.ac.kr

분할 경우에는 냉각시 탄성을 가진 겔을 형성하게 된다. 전분의 노화에 대한 연구는 Miles 등<sup>4)</sup>, Ring 등<sup>5)</sup> 및 Gidley와 Bulpin<sup>6)</sup>에 의해 kinetics 및 분자구조적으로 심도있게 연구되었는데 이들에 의하면 노화현상이란 호화된 전분입자 밖으로 용출된 아밀로오스가 이중나선구조 형태의 결합을 이루고, 팽윤된 전분입자내에 존재하는 아밀로펙틴은 짧은 외측분지에서 재결정화가 일어나는 두가지를 모두 포함하는 현상이라고 설명하였다. 그리고 아밀로오스와 아밀로펙틴의 결정화 양상에는 약간의 차이가 있는데 아밀로오스의 결정화는 호화 후 수시간이내에 빠르게 진행되는 반면 아밀로펙틴은 장시간에 걸쳐 서서히 진행되며 100℃ 이하로 가열시 아밀로오스의 결정화에는 변함이 없는 반면 아밀로펙틴은 호화개시온도와 매우 유사한 점에서 가역적으로 결정화가 상실되는 차이점이 있다고 하였다. 현재까지 전분의 노화에 영향을 주는 인자들에 대한 연구로는 전분의 농도<sup>7)</sup>, 당<sup>8~10)</sup>, 단백질<sup>11,12)</sup>, 지방<sup>13)</sup>, sugar alcohol<sup>14)</sup> 및 pentosan<sup>15,16)</sup> 등이 보고되고 있으며 방법적으로는 Avrami kinetics<sup>17)</sup>, differential scanning calorimetry (DSC)에 의해상전이를 측정하는 방법<sup>18,19)</sup>, X-ray diffraction에 의해 결정화 정도를 측정하는 방법<sup>20)</sup>,  $\beta$ -amylase-pullulanase (BAP)를 이용하는 방법<sup>21)</sup>들이 보고되고 있다.

본 연구는 아밀로오스 함량과 gel consistency가 다른 쌀종종을 이용하여 쌀전분의 노화특성을 조사하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

농촌진흥청 작물시험장에서 시험재배된 용주벼, 수원 230, 추청, 수원 232, San Li Cun을 사용하였으며 쌀전분은 Willingen<sup>22)</sup>의 방법에 따라 분리한 후 실온에서 건조 후 마쇄하여 제조하였다.

### 2. 쌀의 일반성분

쌀시료의 일반성분(수분, 단백질, 지방 및 회분)은 Cyclotec을 이용하여 100mesh의 쌀가루로 제조한 후 AOAC<sup>23)</sup>의 방법에 준하여 분석하였다.

### 3. 이화학적 성질 특성

쌀의 아밀로오스 함량은 Juliano<sup>24)</sup>의 방법에 의해 100mesh의 크기를 가진 쌀시료 100mg에 95% ethanol 1mL와 1N NaOH 9mL를 첨가하여 100℃에서 10분간 호화한 후 냉각시키고 이것을 100mL로 정용한 후 이

용액 5mL를 취하고 여기에 1N acetic acid 1mL와 iodine용액(0.2g I<sub>2</sub> + 2.0g KI/100mL D.W.) 2mL를 첨가한 후 다시 100mL로 정용하였다. 흡광도는 이 용액을 실온에서 20분간 방치한 후 620nm에서 측정하였으며 이때 표준곡선은 감자 아밀로오스 (Sigma Co., USA)를 사용하여 작성하였다.

Gel consistency는 Cagampang 등<sup>3)</sup>의 방법에 의해 측정하였는데 100mesh의 쌀가루 100mg+0.1mg과 120mg+0.1mg을 각각 2반복 칭량하여  $\phi 13 \times 100$ mm의 시험관 (Pyrex no.9820)에 넣고 0.2mL의 0.025% thymol blue 용액을 가하여 시료를 젓게 한 후 0.2N KOH 2mL를 가하여 Vortex mixer로 5초 동안 mixing하고 즉시 끓는 water bath에서 8분간 가열하고 5분간 실온에 방치한 다음 얼음물에서 20분간 냉각 후 형광등 유리판 아래 그래핑용지를 부착한 상자위에서 시험관을 눕혀 30분 후 gel이 흐르는 길이를 측정하였다.

### 4. Amylograph에 의한 호화특성

쌀가루의 호화특성은 Bhattacharya와 Sowbhagya<sup>25)</sup>의 방법에 따라 Brabender amylograph (Model : 800200, West Germany)를 이용하여 시료농도 8%에서 측정하였으며 얻어진 아밀로그래프로 부터 호화개시온도, 최고점도 (P), 95℃에서 15분 후의 점도(H), 50℃로 냉각시의 점도 (C)를 측정하고 breakdown은 P-H 그리고 setback은 C-P에 의해 계산하였다.

### 5. 저장중 Rigidity Modulus (E)의 변화

45%의 쌀전분 겔을 20℃에서 저장하면서 0, 1, 2, 3, 5일 후 rigidity modulus (E)를 Texture analyzer (Model : TA-XT2, U.K.)에 의하여 측정하였다.

### 6. 쌀전분 겔의 노화특성

Kim 등<sup>14)</sup>에 의해 보고된 Avrami equation을 이용하여 노화특성을 조사하였으며 식 (1)에서 각각  $\theta$ 는 시간 t 경과 후 결정화되지 않고 남은 부분, K는 rate constant, n은 결정화양상을 나타내는 값, E<sub>0</sub>는 초기의 경도, E<sub>t</sub>는 t시간 경과 후의 경도 그리고 E<sub>L</sub>은 제한된 시간 후의 경도이다.

$$\theta = \frac{E_L - E_t}{E_L - E_0} = \exp(-Kt^n) \quad (1)$$

Avrami exponent (n)는 log를 취한 식 (2)에서 기울기로 부터 구하였으며 n값이 1에 가까울 때 rate constant (k)는  $\log(E_L - E_0)$ 에 대한 시간 t에 대한 그래프에서 구하고 time constant (1/k)는 rate constant (k)의 역수를 사용하였다.

$$\log \left( -\log_e \frac{E_L - E_t}{E_L - E_0} \right) = \log K + n \log t \quad (2)$$

### 결과 및 고찰

#### 1. 쌀의 일반성분

쌀품종별 시료의 일반성분은 Table 1에서 보듯이 수분함량은 약 12% 정도로 큰 차이가 없었으며 단백질함량은 추청이 6.40%로 가장 낮았으며 나머지 품종들은 비슷하였다. 지방함량은 수원232가 0.09%로 가장 낮았다. Germani 등<sup>10)</sup>의 보고에 의하면 일반적으로 당은 전분의 노화를 촉진시키는 반면 지질은 노화를 억제하며 특히 지방산 조성중 사슬길이가 짧을수록 효과적이라고 하므로 지질함량이 높은 수원 230의 쌀전분이 타 품종에 비하여 노화가 억제될 가능성이 있다.

#### 2. 이화학적 성질 특성

아밀로오스 함량은 수원 230과 추청이 각각 21.3%, 20.1% 그리고 수원 232와 San Li Cun이 각각 28.7%, 27.6%였으며 용주벼가 17.5%로 가장 낮았다(Table 2). Gel consistency는 수원 230과 수원 232가 hard gel 특성을 가지며 나머지는 soft gel인 것으로 측정되었다. Gel consistency test는 micro amylograph screening 용도로 Cagampang 등<sup>3)</sup>에 의해 개발된 것으로 높은 setback 값과 hard gel 특성간에 상관관계가 있는 것으로 알려져 있는데 gel consistency의 차이는 일차적으로 쌀의 아

Table 1. Proximate analyses (%) of various rices

Variety	Moisture	Protein	Lipid	Ash
Yongjubyeo	11.78	7.89	0.25	0.25
Suwon 230	13.42	7.31	0.35	0.70
Chucheongbyeo	12.25	6.40	0.14	0.39
Suwon 232	12.18	7.78	0.09	0.50
San Li Cun	11.85	7.71	0.17	0.59

Table 2. Amylose content and gel consistency of various rices

Variety	Amylose content (%)	Gel consistency (mm)	
		100mg	120mg
Yongjubyeo	17.5	72	55
Suwon 230	21.3	29	30
Chucheongbyeo	20.1	87	68
Suwon 232	28.7	36	37
San Li Cun	27.6	79	66

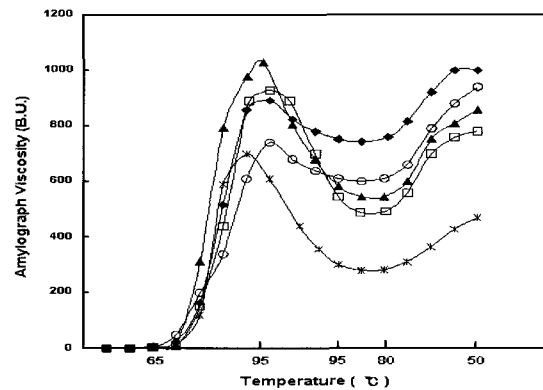


Fig. 1. Amylograph curves for various rice flours having different amylose contents and gel consistency (8%).

□-□, Yongjubyeo, ○-○, Suwon 230 ; \*-\*, Chucheongbyeo ; ◆-◆, Suwon 232 ; ▲-▲, San Li Cun.

밀로오스 함량과 관계가 있으며 그 다음으로 아밀로펙틴의 분자량과 상관관계가 있는 것으로 보고되고 있다. Table 2에서 수원 232와 San Li Cun은 모두 고아밀로오스 품종인데 수원 232는 hard gel이고 San Li Cun은 soft gel의 특성을 나타내는 것은 아밀로오스 함량외에 아밀로펙틴의 분자량 차이 등 다른 요인들이 영향을 주기 때문이라고 사료된다.

#### 3. Amylograph에 의한 호화 특성

쌀품종별 호화양상은 Fig. 1에서 나타난 것처럼 호화 후 50°C에서 냉각시의 점도증가는 고아밀로오스인 수원 232와 San Li Cun보다 아밀로오스 함량이 중간정도인 수원 230과 추청에서 더 큰 차이를 보였는데 gel consistency의 차이에 의해 호화양상이 다름을 알 수 있었다. 호화개시온도란 아밀로그래프에서 온도가 증가함에 따라 처음으로 점도가 증가하기 시작하는 점에서의 온도로서 본 실험에서는 고아밀로오스인 San Li Cun이 71.4°C로 가장 높았다. 최고점도는 용주벼와 San Li Cun이 모두 970BU로 가장 높았으며 추청의 경우는 최고점도와 50°C로 냉각 후의 점도가 각각 700 BU와 480BU로 가장 낮았다. 그리고 가공중의 안정도를 나타내는 지표로 사용되는 breakdown의 수치는 hard gel인 수원 230과 수원 232가 다른 품종들에 비하여 낮은 값을 보인 반면 노화의 정도를 나타내는 지표인 setback의 경우는 이들 두가지 품종이 각각 210BU와 120BU로 다른 품종들에 비하여 높은 값을 보였다 (Table 3). 이러한 결과는 soft gel인 전분이 Brabender amylograph에 의한 호화특성에서 작은 setback 값을 갖

**Table 3. Pasting properties measured in a Brabender amylograph for various rice flours**

Variety	GT (°C)	Viscosity, BU				
		Peakn	95°C	50°C	Break-down	Set-back
Yongjubyeo	68.4	970	580	780	390	-190
Suwon 230	63.9	730	600	940	130	210
Chucheongbyeo	63.1	700	300	480	400	-220
Suwon 232	66.9	860	720	980	140	120
San Li Cun	71.4	970	590	860	380	-110

는다고 한 Juliano 등<sup>26)</sup>의 보고와 일치하는 결과이다.

**4. 저장중 Rigidity Modulus (E)의 변화**

저장시의 경도변화를 측정하기 위하여 쌀전분 겔을 20°C에서 5일간 저장후 측정시 아밀로오스 함량이 높은 수원232와 San Li Cun의 경도가 다른 품종들에 비해 더 높았다. 그리고 아밀로오스 함량이 유사한 수원 230과 추청의 경우는 초기경도는 추청이 더 낮은 반면 5일 후의 경도는 더 높았는데 그 원인에 대해서는 분자구조적인 차원에서 연구가 더 필요하다고 생각된다 (Table 4).

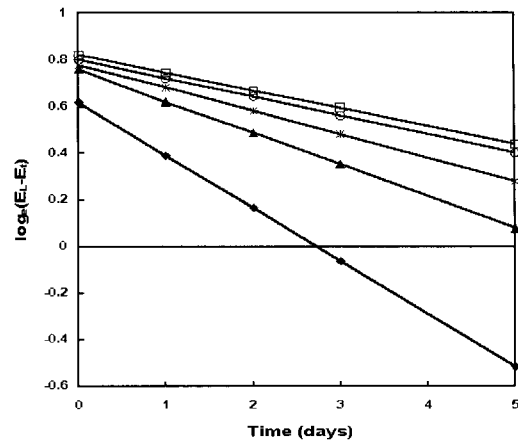
**5. 쌀전분 겔의 노화특성**

결정화 현상에 대한 Avrami<sup>27)</sup>이론에 따르면 분자들이 cluster를 형성하기까지는 매우 불안정하지만 그 이상에서는 일정한 크기로 증가한다고 하였다. 즉, 쌀전분 시료의 결정화 양상은 순간적인 핵형성에 의한 간상구조상의 결정체 형성이 그 원인인 것으로 추정되며 이것을 구체적인 수식으로 표시한 것이 현재 전분의 노화현상을 연구하기 위한 방법중 한가지로 사용되고 있는데 본 실험에서는 Avrami equation을 이용하여 Avrami exponent (n) 값(Fig. 2)과 노화의 속도를 나타내는 time constant(1/k)을 시간 t에 대한  $\log_2(E_L - E_t)$ 에서 구하여(Fig. 3) 품종간의 노화속도를 비교하였다.

Avrami exponent(n) 값은 품종간의 차이에 관계없이

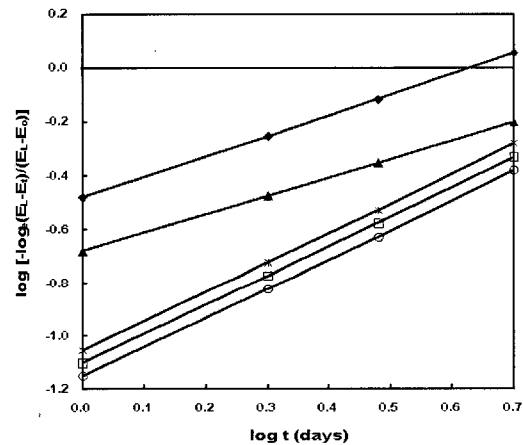
**Table 4. Amylose content and gel consistency of various rices**

Variety	Storage time (days)				
	0	1	2	3	4
Yongjubyeo	0.159	0.959	3.059	3.330	3.729
Suwon 230	0.347	1.202	2.727	3.402	3.930
Chucheongbyeo	0.254	1.226	2.462	3.008	4.273
Suwon 232	0.793	3.123	4.605	5.248	5.373
San Li Cun	0.486	2.918	3.966	4.792	5.341



**Fig. 2. Plot  $\log(E_L - E_t)$  vs time for 45% rice starch gel stored at 20°C.**

□-□, Yongjubyeo, ○-○, Suwon 230 ; \*-\*, Chucheongbyeo ; ◆-◆, Suwon 232 ; ▲-▲, San Li Cun.



**Fig. 3. Plot  $\log[-\log_2(E_L - E_t)/(E_L - E_0)]$  vs time for 45% rice starch gel stored at 20°C.**

□-□, Yongjubyeo, ○-○, Suwon 230 ; \*-\*, Chucheongbyeo ; ◆-◆, Suwon 232 ; ▲-▲, San Li Cun.

실험오차를 고려할 때 모두 1에 가까운 것으로 나타났으며 time constant(1/k)는 고아밀로오스인 수원232와 San Li Cun이 각각 4.42와 7.94였으므로 다른 품종들에 비해 전분의 노화속도가 더 빠른 것으로 나타났다.

아밀로오스 함량이 20~21%로 유사한 경우 soft gel인 추청은 9.91, hard gel인 수원230은 12.89로 중간 정도의 값을 보였으며 아밀로오스 함량이 17.5%인 용주벼는 13.4의 값을 나타내 노화가 가장 천천히 일어나는 것으로 나타난 반면 gel consistency가 노화속도에 미치는 영향은 고아밀로오스인 경우는 hard gel인 수원232가 4.42로 soft gel인 San Li Cun보다 노화속도가

**Table 5. Avrami exponent and time constant of various rice starch gels**

Variety	Avrami exponent (n)	Time constant (1/k)
Yongjubyeo	1.112	13.40
Suwon 230	1.099	12.89
Chucheongbyeo	1.133	9.91
Suwon 232	0.801	4.42
San Li Cun	0.762	7.94

더 빠른 반면 중아밀로오스이며 hard gel인 수원230은 12.89로 soft gel인 추청에 비해 오히려 노화속도가 더 느리게 나타났다. 최근 전분의 노화에 대한 분자구조적인 연구에 따르면 전분입자의 결정화는 전분의 호화시 입자 밖으로 용출되어 matrix를 형성한 아밀로오스간에 이중나선구조 형태의 결합이 일어나고 전분입자내에 존재하는 아밀로펙틴도 d.p.15 정도의 짧은외측분지에서 결정화가 일어나 이 두가지 과정이 모두 전분입자의 결정화에 영향을 준다고 하였다.

한편 호화된 전분은 X-ray diffraction에서 V-type 패턴을 가지며 노화된 전분은 B-type 패턴을 갖는 것으로 알려져 있는데 Morris<sup>28)</sup>에 의하면 아밀로오스 겔도 B-type 패턴을 나타내는 결정성을 나타낸다고 주장하고 있다. 그러므로 B-type 패턴이 형성되는 원인으로 전분입자로부터 용출된 아밀로오스에 이중나선구조 형태의 결합이 형성되었기 때문이라고 설명할 수 있다.

Gel consistency 수치를 이용하여 품종간의 노화속도에 대한 차이를 구명할 수 없었던 이유는 Avrami equation에 의한 전분의 노화특성에 대한 해석이 아밀로펙틴의 결정화를 선택적으로 볼 수 없다는 것이 그 이유인 것으로 사료된다. 쌀전분의 특성중 아밀로펙틴에 의한 차이인 gel consistency는 가공 및 식미에 영향을 주는 중요한 특성인데, 특히 Yuan 등<sup>29)</sup>에 따르면 아밀로펙틴의 사슬길이에 따라 전분의 호화개시온도를 비롯한 전분의 가공특성에 차이가 난다고 하여 분자구조적인 측면에서 쌀품종별 가공특성에 관한 계속적인 연구가 요구된다.

## 요 약

밥의 식미에 영향을 주는 쌀품종별 노화특성에 관한 연구에서 아밀로오스 함량과 gel consistency가 다른 5가지 품종에 대하여 조사하였다. Brabender amylograph에 의한 쌀품종별 호화특성에서는 아밀로오스

함량에 관계없이 hard gel인 품종이 높은 setback 값을 보였다. 저장시의 경도변화에서는 아밀로오스 함량이 높은 품종의 최종경도가 더 높았다. 또한 Avrami equation에 의한 쌀전분질의 노화특성 연구에서도 아밀로오스 함량이 높은 품종에서 노화속도를 나타내는 지표로서 사용되는 time constant(1/k)값이 더 높은 것으로 나타남에 따라 아밀로오스 함량이 쌀전분의 노화현상에서 매우 중요한 요인라는 것을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- Hall, V. L. and Johnson, J. R. : A revised starch-iodine blue test for raw milled rice. *Cereal Chem.*, **43**, 297 (1966)
- Juliano, B. O. : Physicochemical properties of rice. In Rice Chemistry and Technology. Juliano, B.O. (ed.) *Am. Assoc. Cereal Chem.*, St. Paul, MN. p.175~205 (1985)
- Cagampang, G. B., Perez, C. M. and Juliano, B. O. : A gel consistency test for eating quality of rice. *J. Sci. Fd. Agric.*, **24**, 1589 (1973)
- Miles, M. J., Morris, V. J., Orford, P. D. and Ring, S. G. : The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydr. Res.*, **135**, 271 (1985)
- Ring, S. G., Colonna, P., l'Anson, K. J., Kalichevsky, M. T., Miles, M. J., Morris, V. J. and Orford, P. D. : The gelation and crystallization of amylopectin. *Carbohydr. Res.*, **162**, 277 (1987)
- Gidley, M. J. and Bulpin, P. V. : Aggregation of amylose in aqueous systems: The effect of chain length on phase behavior and aggregation kinetics. *Macromolecules*, **22**, 341 (1989)
- Matsunaga, A. and Kainuma, K. : Studies on the retrogradation of starch in starchy foods. *Starch*, **38**, 1 (1986)
- Katsuta, K., Nishimura, A. and Miura, M. : Effects of saccharides on stabilities of rice starch gels. 2. Oligosaccharides. *Food Hydrocoll.*, **6**, 399 (1992)
- Katsuta, K., Miura, M. and Nishimura, A. : Kinetic treatment for rheological properties and effects of saccharides on retrogradation of rice starch gels. *Food Hydrocoll.*, **6**, 187 (1992)
- Germani, R., Ciacco, C. F. and Rodriguez-Amaya, D. B. : Effect of sugars, lipids and type of starch on the mode and kinetics of retrogradation of concentrated corn starch gels. *Starch*, **35**, 377 (1983)
- Takahashi, S., Kobayashi, R., Watanabe, T. and Kainuma, K. : Effects of addition of soybean protein on gelatinization and retrogradation of starch. *J. Jnp. Soc. Starch Sci.*, **30**, 276 (1983)
- Erlanger, S. R. and Erlanger, L. G. : Explanation of ionic sequences in various phenomena. X. Protein-carbohydrate

- interactions and the mechanism for the staling of bread. *Starch*, **21**, 305 (1969)
13. Hibi, Y., Kitamura, S. and Kuge, T. : Effect of lipids on the retrogradation of cooked rice. *Cereal Chem.*, **67**, 7 (1990)
  14. Miura, M., Nishimura, A. and Katsuta, K. : Influence of addition of polyols and food emulsifiers on the retrogradation rate of starch. *Food Structure*, **11**, 225 (1992)
  15. Michniewicz, J., Biliaderis, C. G. and Bushuk, W. : Effect of added pentosans on some properties of wheat bread. *Food Chem.*, **43**, 251 (1992)
  16. Jankiewicz, M. and Michniewicz, J. : The effect of soluble pentosans isolated from rye grain on staling of bread. *Food Chem.*, **25**, 241 (1987)
  17. Kim, S. K., Ciacco, C. F. and D'apponia, B. L. : A research note - Kinetic study of retrogradation of cassava starch gels. *J. Food Sci.*, **41**, 1249 (1976)
  18. Nakazawa, F., Noguchi, S., Takahashi, J. and Takada, M. : Retrogradation of gelatinized potato starch studied by differential scanning calorimetry. *Agric. Biol. Chem.*, **49**, 953, (1985)
  19. Roulet, P., Raemy, A. and Wuersch, P. : Retrogradation kinetics of concentrated gelatinized wheat starch in gels or powders: A comparative study by rigidity modulus, DSC and X-ray diffraction. *Food Hydrocoll.*, **1**, 575 (1987)
  20. Dragsdorf, R. D. and Varriano-Marston, E. : Bread staling: X-ray diffraction studies on bread supplemented with  $\alpha$ -amylases from different sources. *Cereal Chem.*, **57**, 310, (1980)
  21. Kainuma, K., Matsunaga, A., Itagawa, M. and Kobayashi, S. : New enzyme system- $\beta$ -amylase-pullulanase. To determine the degree of gelatinization and retrogradation of starch or starch products. *J. Jap. Soc. Starch Sci.*, **28**, 235 (1981)
  22. Willingen, A. H. A. : Potato starch. In *Method in Carbohydrate Chemistry*: Whistler, R.L.(ed), Academic Press, New York, Vol.4, p.9 (1964)
  23. A. O. A. C. : Official Methods of Analysis. 12th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C. (1975)
  24. Juliano, B. O. : A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Sci. Today*, **16**, 334 (1971)
  25. Bhattacharya, K. R. and Sowbhagya, C. M. : Pasting behavior of rice: A new method of viscography. *J. Food Sci.*, **44**, 797 (1979)
  26. Juliano, B. O. and Perdon, A. A. : Gel and molecular properties of nonwaxy rice starch. *Starch*, **27**, 115 (1975).
  27. Avrami, M. : Granulation, phase change, and microstructure - Kinetics of phase change. III. *J. Chem. Phys.*, **9**, 177 (1941)
  28. Morris, V. J. : Starch gelation and retrogradation. *Trends in Food Sci. Technol.*, **1**, 2, (1990)
  29. Yuan, R. C., Thompson, D. B. and Boyer, C. D. : Fine structure of amylopectin in relation to gelatinization and retrogradation behavior of maize starches from these wx-containing genotypes in two inbred lines. *Cereal Chem.*, **70**, 81 (1993)

---

(2003년 4월 15일 접수)