

전분반죽의 점도에 미치는 가열온도의 영향

이부용 · 이창호 · 이철호*

한국식품개발연구원, *고려대학교 식품공학과

Effect of Heating Temperature on Viscosity of Starch Dough

Boo-Yong Lee, Chang-Ho Lee and Cheri-Ho Lee*

Korea Food Research Institute

*Department of Food Technology, Korea University

Abstract

To measure rheological properties of the starch dough, an Extrusion Capillary Viscometer(ECV) cell was self-made and attached to Instron machine(Model 1140). Apparent viscosities of corn and waxy corn starch doughs were measured and their gelatinization degrees were determined by enzymatic analysis. The effects of heating temperature on the viscosity of starch dough with 36~52% moisture contents were examined in terms of Arrhenius equation. The activation energy(E_a) of the dough viscosity from the effect of heating temperatures changed from negative(-) to positive(+), as the moisture content increased from 44% to 48% in the corn starch dough and from 40% to 44% in the waxy corn starch dough.

Key words: starch dough, rheological properties, heating temperature

서 론

본 연구에서는 전보⁽¹⁾에 이어서 옥수수전분과 찰옥수수전분을 사용하여 중간수분계의 수분함량으로 반죽을 제조하고 수분함량과 가열온도, 가열시간에 따른 전분 반죽의 물성변화와 호화양상을 밝혀보고자 하였다. 외국의 연구보고들을 살펴보면 Remsen과 Clark⁽²⁾, Roller⁽³⁾는 일정한 수분함량을 갖는 대두단백질 반죽의 겔보기 점도에 대한 시간과 온도의 영향을 검토하였으며, Morgan 등⁽⁴⁾은 탈지대두분 반죽의 겔보기 점도에 대한 온도, 전단속도, 수분함량, 온도-시간경력(temperature-time history) 등의 영향을 설명할 수 있는 이론적인 모델식을 개발하였다. Bhattacharya와 Hanna⁽⁵⁾는 전단속도와 수분함량에 따른 옥수수 글루텐 밀(meal)과 농축대두단백의 물성을 파악할 수 있는 실험적인 모델식을 발표하였고, Morgan 등⁽⁶⁾은 최근에 전단속도, 온도, 수분함량, 시간-온도경력, 변형경력(deformation history)에 따른 단백질 반죽의 점도를 예측하는 모델식을 제시하였다. Mackey 등은 Morgan의 모델식을 약간 변형시켜 저수분에서 중간수분 함량범위의 옥수수 전분반죽⁽⁷⁾과 밀가루반죽⁽⁸⁾의 물성을 측정하는 모델식을 제안하였다. 한편 Harmann과 Harper⁽⁹⁾, Tsao 등⁽¹⁰⁾은 압출조리시 제량부위

(metering section)에서 일어나는 등온유체흐름(isothermal flow)을 설명하기 위해 power law 모델을 사용하기도 하였지만 어떤 모델식도 그 모델식만 갖고는 구성성분들이나 가열시간, 가열온도, 다른 압출성형 변수들에 따라 변하는 반죽의 겔보기 점도를 다 설명하기는 어려운 것으로 알려져 있다. 따라서 앞으로도 반죽의 겔보기 점도를 예측할 수 있는 적당한 형태의 모델식 개발이 계속 이루어져야 할 것으로 사료된다.

이를 위하여 본 실험에서는 옥수수전분과 찰옥수수전분 반죽에 대해 수분함량과 가열온도별로 점도와 호화도를 측정하고 점도에 미치는 가열온도의 영향을 Arrhenius 식으로 조사하였다.

재료 및 방법

실험재료

실험에 사용한 전분은 옥수수전분과 찰옥수수전분으로서 전보⁽¹⁾와 동일하다.

반죽의 제조

옥수수전분과 찰옥수수전분을 사용하여 건물기준으로 36%, 40%, 44%, 48%, 52%의 수분함량이 되도록 전보⁽¹⁾와 동일하게 반죽을 제조하였다.

반죽의 점도 측정

제조된 반죽의 점도를 전보⁽¹⁾와 동일한 방법으로 측

Corresponding author: Boo-Yong Lee, Korea Food Research Institute, San 46-1, Baekhyun-dong, Bundang-gu, Seongnam-si, Kyunggi-do 463-420, Korea

정하였다.

반죽의 점도계산

여러 조건에서 Instron에 의해 측정된 F_c (force required to extrude material through the capillary)와 F_o (force required to extrude material through the orifice)는 전보⁽¹⁾와 동일한 과정에 의해 겔보기 점도로 계산하였다.

반죽의 호화도 측정

전보⁽¹⁾와 같이 BAP법^(11,12)으로 호화도를 측정하였다.

반죽의 점도에 대한 가열온도의 영향분석

수분함량(36%, 40%, 44%, 48%, 52%), 가열온도(60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C)에 따라 ECV로 측정한 옥수수 전분과 찰옥수수전분 반죽의 점도에 대한 가열온도의 영향분석을 다음과 같은 Arrhenius식^(13,14)으로 분석하였다.

$$\eta = \eta_{\infty} \exp(E_a/RT)$$

E_a : 유동 활성화에너지(activation energy for flow, J mol⁻¹ K⁻¹)

η_{∞} : 무한겔보기 점도(infinite apparent viscosity, Pa S)

R : 기체상수(gas constant, 8.314 J mol⁻¹ K⁻¹)

T : 절대온도(absolute temperature, K)

위의 식에서 수분함량에 따라 가열온도가 반죽의 점도에 미치는 영향을 E_a 값으로 살펴보았다.

결과 및 고찰

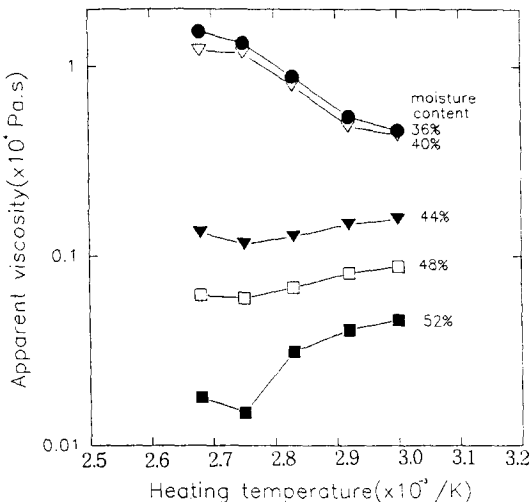


Fig. 1. Effect of heating temperature on apparent viscosity of corn starch dough at 20 s⁻¹ apparent shear rate

가열온도의 영향

옥수수전분 반죽 : 옥수수전분 반죽을 수분함량 36~52%, 가열온도 60~100°C에서, 겔보기 전단속도를 20 s⁻¹, 32 s⁻¹, 40 s⁻¹, 80 s⁻¹, 160 s⁻¹, 200 s⁻¹로 변화시키면서 겔보기 점도를 측정된 결과는 대표적으로 Fig. 1, 2, 3과 같다. Fig. 1, 2, 3에서 볼 때 기울기(E_a/R)가 (-)로부터 (+)로 전환되는 수분함량이 전단속도가 20 s⁻¹에서는 40~44% 사이고, 80 s⁻¹에서는 44~48% 사이, 200 s⁻¹에서도 44~48% 사이로 나타났다. 또한 수분함량

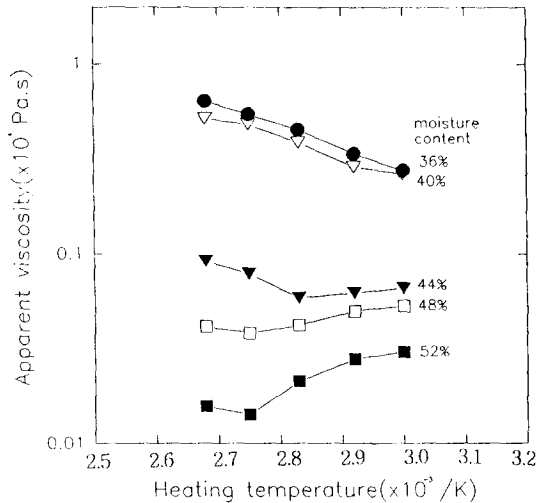


Fig. 2. Effect of heating temperature on apparent viscosity of corn starch dough at 80 s⁻¹ apparent shear rate

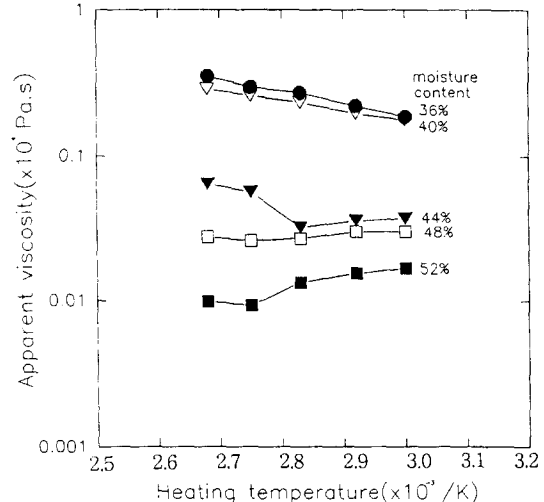


Fig. 3. Effect of heating temperature on apparent viscosity of corn starch dough at 200 s⁻¹ apparent shear rate

Table 1. Values of η_{∞} and E_a of corn starch dough at 20 s^{-1} apparent shear rate

Moisture content (%)	Heating temperature (K)	η_{∞} ($\times 10^6$ Pa s)	E_a ($\text{J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	$r^{1)}$
36	333-373	1004.3845	-34.2296	-0.9885
40	333-373	253.3961	-30.5706	-0.9740
44	333-373	0.0002	5.9836	0.7771
48	333-373	0.000020	10.4041	0.9557
52	333-373	0.000000109	29.7068	0.9235

¹⁾r: correlation coefficient

Table 2. Values of η_{∞} and E_a of corn starch dough at 80 s^{-1} apparent shear rate

Moisture content (%)	Heating temperature (K)	η_{∞} ($\times 10^6$ Pa s)	E_a ($\text{J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	r
36	333-373	8.5271	-22.2757	-0.9978
40	333-373	2.6315	-19.2394	-0.9856
44	333-373	0.0148	-8.9226	0.7530
48	333-373	0.000029	7.9490	0.8967
52	333-373	0.00000018	20.6802	0.9449

Table 3. Values of η_{∞} and E_a of corn starch dough at 200 s^{-1} apparent shear rate

Moisture content (%)	Heating temperature (K)	η_{∞} ($\times 10^6$ Pa s)	E_a ($\text{J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	r
36	333-373	0.6668	-16.2514	-0.9956
40	333-373	0.1939	-13.0214	-0.9985
44	333-373	0.0931	-15.7268	0.7892
48	333-373	0.000090	3.3156	0.7776
52	333-373	0.00000051	16.1856	0.9435

44% 이상에서는 측정된 모든 온도구간에서 직선적인 경향을 보이지는 않는다는 점을 유의하자. 이 측정값들을 Arrhenius식을 이용하여 활성화 에너지(E_a) 값을 구하고, E_a 값으로 반죽의 수분함량에 따라 가열온도가 반죽의 점도에 미치는 영향을 조사하였다. 각각의 겔보기 전단 속도에서 η_{∞} 와 E_a 값을 정리한 결과는 Table 1, 2, 3과 같다. 여기서 E_a 값이 (-)라는 의미는 가열온도가 증가함에 따라 반죽의 겔보기 점도가 감소하는 것을 말하는 것으로서 반죽이 가열에 의해 전분이 호화되어 점도가 증가하는 효과보다 유동성이 증가하여 점도가 감소하는 효과가 훨씬 큰 것을 나타낸다. (+) 의미는 가열온도 증가에 따라 반죽의 유동성이 증가하여 점도가 감소하는 효과보다 호화에 의해 반죽의 유동성이 감소하여 점도가 증가하는 효과가 커져서 전체적으로는 점도가 증가하는

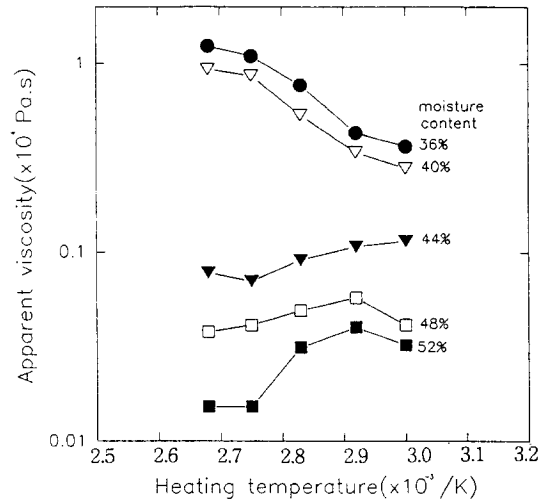


Fig. 4. Effect of heating temperature on apparent viscosity of waxy corn starch dough at 20 s^{-1} apparent shear rate

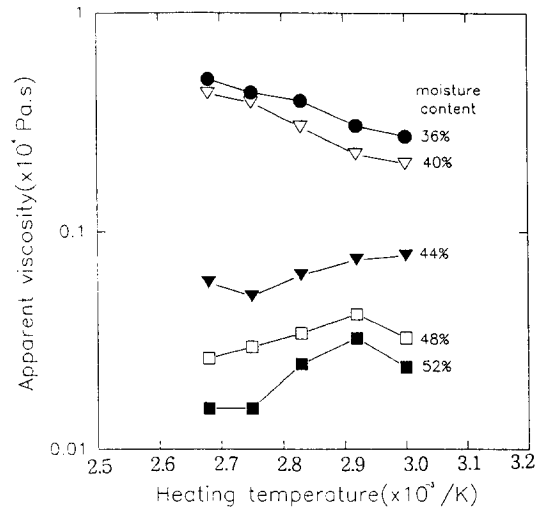


Fig. 5. Effect of heating temperature on apparent viscosity of waxy corn starch dough at 80 s^{-1} apparent shear rate

것을 의미한다. Table 1에서는 반죽의 수분함량이 40%에서 44%로 증가할 때 E_a 값이 $-30.5706 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 에서 $5.9836 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 로 증가하여 44% 수분함량부터는 가열온도가 증가하면 전분의 호화에 의해 반죽의 점도가 증가하는 것으로 나타났다. Table 2의 겔보기 전단속도 80 s^{-1} 에서는 반죽의 수분함량이 44%에서 48%로 증가할 때 E_a 값이 $-8.9226 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 에서 $7.9490 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 로 증가하였고 Table 3의 겔보기 전단속도 200 s^{-1} 에서도 반죽의 수분함량이 44%에서 48%로 증가

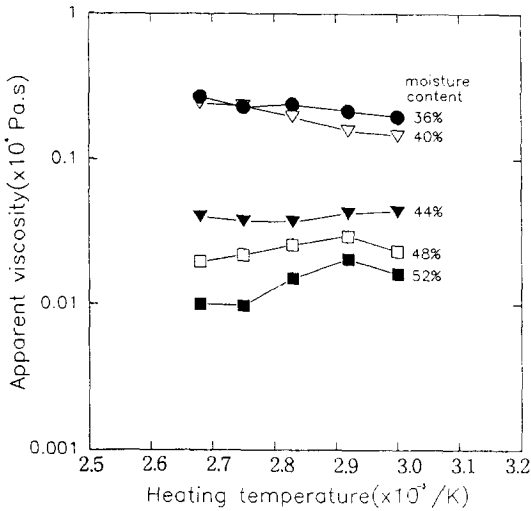


Fig. 6. Effect of heating temperature on apparent viscosity of waxy corn starch dough at 200 s⁻¹ apparent shear rate

할 때 E_a 값이 -15.7268 J mol⁻¹ K⁻¹에서 3.3156 J mol⁻¹ K⁻¹로 증가하였다.

찰옥수수전분 반죽 : 찰옥수수전분 반죽을 수분함량 36~52%, 가열온도 60~100°C에서, 겉보기 전단속도를 20 s⁻¹, 32 s⁻¹, 40 s⁻¹, 80 s⁻¹, 160 s⁻¹, 200 s⁻¹로 변화시키면서 겉보기 점도를 측정하고 이 측정값들을 Arrhenius식에 의해 활성화 에너지(E_a) 값을 구하였다. 대표적인 겉보기 전단속도에서 가열온도 증가에 따른 수분함량 별 반죽의 겉보기 점도는 Fig. 4, 5, 6으로 측정된 모든 온도구간에서 직선적인 경향을 보여주지는 않았다. η_∞와 E_a 값을 정리한 결과는 Table 4, 5, 6과 같다. Fig. 4, 5, 6에서 볼 때 찰옥수수전분 반죽은 20 s⁻¹부터 200 s⁻¹의 겉보기 전단속도 범위에서 모두 수분함량이 40%에서 44%로 증가할 때 E_a 값이 (-)에서 (+)로 전환되었다. 이것과 옥수수전분의 경우 44%에서 48%로 수분함량이 증가할 때 E_a 값이 (-)에서 (+)로 전환된 것을 비교하면 찰옥수수전분 반죽이 옥수수전분 반죽보다 4% 정도 낮은 수분함량에서도 호화에 의해 반죽의 점도가 증가한다는 것을 의미하는 것을 알 수 있다. 즉 동일한 가열온도, 수분함량이라면 아밀로펙틴 함량이 훨씬 높은 찰옥수수전분 반죽이 옥수수전분 반죽보다 더 많이 호화되는 것으로 판단되었다. 이와같은 결과는 전보¹⁾의 효소측정법에 의한 옥수수전분과 찰옥수수전분 반죽의 호화도 측정에서 보듯이 동일한 수분함량에서 옥수수전분보다 찰옥수수전분 반죽의 호화도가 더 높게 나타난 경향과도 잘 일치하였다. 한편 Fig. 4, 5, 6에서 찰옥수수전분 반죽은 수분함량 48%와 52%는 가열온도 100°C에서 옥수수전분 반죽과는 달리 90°C보다 모두 점도가 감소하는 현상을 나타내었는데, 이는 이 조건에서 찰옥수수전분

Table 4. Values of η_∞ and E_a of waxy corn starch dough at 20 s⁻¹ apparent shear rate

Moisture content (%)	Heating temperature (K)	η _∞ (×10 ⁶ Pa s)	E _a (J mol ⁻¹ K ⁻¹)	r ¹⁾
36	333-373	1101.5393	-35.0976	-0.9835
40	333-373	731.8128	-34.7159	-0.9847
44	333-373	0.000014	12.1867	0.9237
48	333-373	0.000031	5.0666	0.7598
52	333-373	0.00000004	25.4766	0.8554

¹⁾r: correlation coefficient

Table 5. Values of η_∞ and E_a of waxy corn starch dough at 80 s⁻¹ apparent shear rate

Moisture content (%)	Heating temperature (K)	η _∞ (×10 ⁶ Pa s)	E _a (J mol ⁻¹ K ⁻¹)	r
36	333-373	0.9080	-16.1333	-0.9907
40	333-373	3.6325	-20.8565	-0.9894
44	333-373	0.000020	10.1780	0.8739
48	333-373	0.0000037	8.0463	0.7033
52	333-373	0.00000077	16.4783	0.7901

Table 6. Values of η_∞ and E_a of waxy corn starch dough at 200 s⁻¹ apparent shear rate

Moisture content (%)	Heating temperature (K)	η _∞ (×10 ⁶ Pa s)	E _a (J mol ⁻¹ K ⁻¹)	r
36	333-373	0.0259	-7.1093	-0.9280
40	333-373	0.2939	-14.7482	-0.9855
44	333-373	0.000135	3.1851	0.6583
48	333-373	0.0000275	6.3386	0.6309
52	333-373	0.000000365	17.3946	0.8375

반죽의 물성 측정시 팽화 현상이 일어나서 반죽을 모세관으로 밀어내는데 힘이 감소하고 이에 따라 점도가 감소한 것으로 판단되었다. 이는 Colonna 등¹⁵⁾이 전분 시료의 압출 성형시 압출물의 팽화율(expansion ratio)과 시료의 점도를 연구한 결과에서 시료의 점도가 감소할 수록 압출물의 팽화율은 증가한다고 보고한 결과와 비교할 때, 현상적으로는 단순히 찰옥수수전분 반죽이 팽화가 일어나고 점도가 감소하는 것으로 나타났지만, 결국은 수분함량 48%와 52%, 가열온도 100°C에서 찰옥수수전분 반죽의 점도 감소가 먼저 일어나고 그에 따라 팽화가 일어난 것으로 해석할 수 있었다.

이상과 같이 ECV를 자체 제작하여 옥수수전분과 찰옥수수전분 반죽의 물성을 측정된 결과 중간수분계의

반죽은, 고수분계의 전분이 호화될수록 점도가 증가하는 양상과는 달리, 수분함량이 증가하고 전분호화온도 이상으로 가열하여 반죽이 호화되면서 반죽의 유동성은 오히려 증가하고 전체적인 전단응력과 점도가 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 ECV를 사용하여 물성 실험을 한다면 반고체 식품들의 물성 측정 뿐만 아니라 압출 성형기를 이용한 식품의 압출성형시 압출기 내부에서 일어나는 유체의 물성 변화도 예측할 수 있다. ECV의 원리를 압출성형기에 적용시켜 capillary가 die에 부착된 on-line viscometer 형태로 구성하면 보다 훌륭한 압출물 물성 측정 장치가 될 것으로 판단되며, 기존의 원통형 점도계 등으로는 측정하기 어려운 반죽과 같은 반고체 상태 유체들의 물성측정과 연구에 많은 도움이 되리라 사료된다.

요 약

전보⁽¹⁾에 이어서 옥수수전분과 찰옥수수전분을 사용하여 중간 수분계의 수분함량으로 반죽을 제조하고 수분함량과 가열온도, 가열시간에 따른 전분 반죽의 물성 변화와 호화양상을 밝혀보고자 하였다. 이를 위하여 옥수수전분과 찰옥수수전분 반죽에 대해 수분함량과 가열온도별로 점도와 호화도를 측정하고 점도에 미치는 영향을 Arrhenius 식으로 조사하였다.

반죽의 점도에 미치는 가열온도의 영향은 옥수수전분의 경우 수분함량이 증가할 때 44~48% 사이에서 E_a 의 값이 (-)에서 (+)로 바뀌고, 가열온도가 호화온도 이상으로 증가할 때 반죽의 점도가 증가하는 것으로 나타났다. 찰옥수수전분의 경우 수분함량이 40%와 44% 사이에서 E_a 의 값이 (-)에서 (+)로 전환되어서 옥수수전분보다 4% 정도 낮은 수분함량에서도 가열온도가 전분호화온도 이상이면 반죽의 점도가 증가하는 것으로 나타났다.

문 헌

1. 이부용, 이창호, 이철호: 전분 반죽의 점도에 미치는 수분함량의 영향. 한국식품과학회지, 27, 582 (1995)
2. Remsen, C.H. and Clark, J.P.: A viscosity model for a cooking dough. *J. Food Proc. Eng.*, 2, 39 (1978)

3. Roller, M.B.: Characterization of the time-temperature-viscosity behavior of curing β -staged epoxy resins. *Polym. Eng. Sci.*, 9, 49 (1970)
4. Morgan, R.G., Suter, D.A. and Sweat, V.E.: Modeling the effects of temperature-time history, temperature, shear rate and moisture on apparent viscosity of defatted soy flour dough. *Paper No. 79-6002*, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI (1979)
5. Bhattacharya, M. and Hanna, M.A.: Viscosity modeling of dough in extrusion. *J. Food Tech.*, 21, 167 (1986)
6. Morgan, R.G., Steffe, J.F. and Ofoli, R.Y.: A generalized viscosity model for extrusion of protein doughs. *J. Food Proc. Eng.*, 11, 55 (1989)
7. Mackey, K.L. and Ofoli, R.Y.: Rheological modeling of corn starch doughs at low to intermediate moisture. *J. Food Sci.*, 55, 417 (1990)
8. Mackey, K.L. and Ofoli, R.Y.: Rheology of low to intermediate moisture whole wheat flour doughs. *Cereal Chem.*, 67, 221 (1990)
9. Harmann, D.V. and Harper, J.M.: Modeling a forming foods extruder. *J. Food Sci.*, 39, 1099 (1974)
10. Tsao, T.F., Harper, J.M. and Repholz, K.M.: The effect of screw geometry on extruder operational characteristics. *AIChE Symp. Ser.*, 74(172), 142 (1978)
11. Kamori, I., Shinozaki, T., Matsumoto, S., Tanimura, W. and Obara, T.: Changes of gelatinization degree and physical properties of stored gelatinized-rice after cooking. *Nippon Shokukin Kogyo Gakkaishi*, 25, 43 (1978)
12. Matsunaga, A. and Kainuma, K.: Studies on the retrogradation of starchy foods (part I): Retrogradation of cooked rice. *J. Home Economics of Japan*, 32, 131 (1981)
13. Harper, J.C. and Lebernamn, K.W.: Viscometric behavior of tomato concentration. *J. Food Sci.*, 30, 470 (1965)
14. Kim, S.K., Lee, S.Y. and Park, Y.K.: Gelatinization properties of heat moisture treated potato and sweet potato starches. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 19, 485 (1987)
15. Colonna, P., Tayeb, J. and Mercier, C.: Extrusion cooking of starch and starchy products. In *Extrusion Cooking*, Mercier, C. and Linko, P.(ed.), American Association of Cereal Chemists Inc., Minnesota, p.247 (1989)

(1995년 4월 20일 접수)