

## 품종별 감자 澱粉 호화액의 리올로지 特性

정 란 희 · 김 경 애

전남대학교 사범대학 가정교육과

## Rheological Properties of Various Gelatinized Potato Starch Pastes

Lan Hee Jung and Kyung Ae Kim

Dept of Home Economics Education, Chonnam National University

### Abstract

Potato starches are obtained from Irish Cobbler (the dry type), Shepody and superior (the intermediate type) and Dejima (the moist type). Rheological properties of heat-gelatinized potato starch paste were studied to elucidate difference of various potato starches. Heat-gelatinized 3 to 7% potato starch paste showed pseudo plasticity in yield stress. As starch paste concentration increased, the values of consistency index was increased. Relationship between logarithmic consistency index and concentration of potato starch paste was linear at 5% starch concentration. Concentration dependence of consistency index and yield stress of Shepody was highest. As measuring temperature increased, the value of consistency index was decreased. Irish Cobbler starch paste at 50°C, Shepody, Superior and Dejima starch paste at 60°C showed linear relationships with different slopes. The activation energies of Shepody starch paste was 3.97 kcal/mol.

### I. 서 론

전보<sup>1,2)</sup>에서 저자들은 감자 전분의 특성 차이를 이해하기 위한 기초 자료로, 품종별로 전분을 분리하여 이화학적 특성과 호화 특성에 대하여 보고한 바 있다. 그 결과 품종에 따라 이화학적 특성과 호화 특성이 차이를 보였으므로 본 연구에서는 전분의 가공 적성 및 전분 구조와 밀접한 관련을 갖는 호화액의 리올로지 특성을 분질, 중간질 및 점질의 감자에서 전분을 분리하여 비교, 검토 하므로써 품종에 따른 특성 차이를 밝히고자 한다.

### II. 재료 및 방법

#### 1. 재 료

본 연구에서 사용한 재료는 경기도 수원 농촌진흥청 작물시험장에서 1989년 6월에 수확된 감자로 분질인 남작(Irish Cobbler), 중간질인 셰포디(Shepody)와 수미(Superior) 및 점질인 데지마(Dejima)를 사용하였다.

#### 2. 전분의 분리

감자 전분은 전보<sup>1)</sup>와 같이 알칼리 침지법<sup>3)</sup>으로 분리

하였다.

3. 리올로지 특성

1) 시료액의 조제

전분에 증류수를 가하여 3, 5 및 7% 현탁액을 만들고 5분간 잘 혼합한 다음 항온수조에서 일정한 속도로 교반 하면서 액의 온도가 95°C에 달할 때부터 30분간 가열하여 호화시켰다. 호화액을 얼음물 속에서 3분 이내에 측정하고자 하는 온도(30~70°C)로 냉각시킨 다음 리올로지 특성의 측정 시료액으로 하였다.

2) 리올로지 특성의 측정

리올로지 특성은 회전점도계(Brabender Viscotron)를 사용하여 외부 실린더의 내반경 21.7 mm, 내부 실린더의 외반경 20.0 mm의 measuring system(E<sub>17</sub>)에 시료 용액 8 ml을 넣고 회전속도 2~128 rpm의 연속 변화에 따른 torque의 변화를 자동 기록하여 측정하였다

3) 리올로지 특성값의 산출

리올로지 특성값은 Herschel-Bulkley 식<sup>4)</sup>으로부터

계산하였다.

$$\tau = K \dot{\gamma}^n + \tau_0$$

K : 유체의 점조도 지수 (P<sub>a</sub>·S<sup>n</sup>)

n : 유동거동 지수 (-)

$\tau_0$  : 항복응력

전단응력(Shear stress,  $\tau$ )과 전단속도(Shear rate,  $\dot{\gamma}$ )는 torque와 회전속도로부터 다음에 의하여 계산하였다.

$$\tau = B \cdot S \cdot Y$$

$$\dot{\gamma} = N \cdot X$$

S : torque값

N : 회전속도 (rpm)

B, X, Y : 제조회사의 manual에 표시된 보정 계수 n과 K값은  $\log(\tau - \tau_0)$ 와  $\log \dot{\gamma}$ 관계의 기울기,  $\log \dot{\gamma} = 0$ 일때의 절편 값으로부터 계산하였으며<sup>5)</sup>,  $\tau_0$ 값은 Casson 식<sup>6)</sup>에서 구하였다.

$$\sqrt{\tau} = K_c \sqrt{\dot{\gamma}} + \sqrt{\tau_0}$$

K<sub>c</sub> : Casson의 점조도 지수

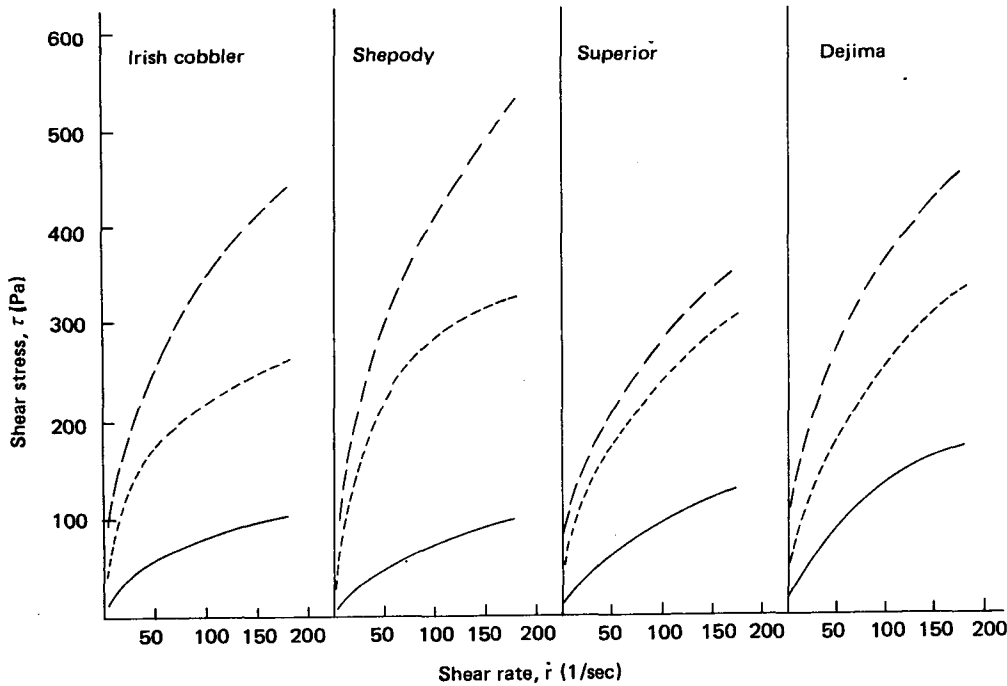


Fig. 1. Relationships of shear stress against shear rate of 3, 5 and 7% potato starch solutions gelatinized at 95°C and measured at 30°C.

3% ——— 5% - - - - - 7% . . . . .

점조도 지수값의 온도 의존성은 다음의 Arrhenius 식으로부터 계산하였다.

$$K = A \exp\left[-\frac{E_a}{RT}\right]$$

E<sub>a</sub> : 활성화에너지 (kcal/mol)

R : 기체상수 (1.987 kcal/mol·K)

A : 빈도 인자

식에 잘 적용되었다. 리올로지 특성값인 유동거동 지수  $\eta$  및 점조도 지수 K 값은 직선의 기울기와  $\log \dot{\gamma} = 0$ 의 절편값으로부터 비선형 최소자승법 (nonlinear least square method)을 사용하여 계산하여 항복응력  $\tau_y$ 값과 함께 표 1에 나타내었다. 품종별 감자 전분 모두 농도에

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 호화액의 리올로지 특성

##### 1) 유동형태

감자 전분 호화액 (3~7%)의 전단 속도에 대한 전단 응력과의 관계는 그림 1과 같다. 호화액은 품종별 감자 전분 모두 전분의 농도에 상관없이 전단 속도의 증가에 따라 전단응력이 비직선적으로 증가하는 비뉴우튼 유체의 거동을 보였고, 전분의 농도가 증가함에 따라 비직선적인 경향이 강해졌다. 이는 김등<sup>7)</sup>이 보고한 결과와 일치하였다.

Casson식에 의하여 항복응력을 구한 후 전분 호화액의 전단응력 값에서 항복응력을 뺀 대수 값의 결과는 그림 2와 같다. 시료 전분 모두 직선 관계를 보였으므로 감자 전분 호화액의 리올로지적 거동은 Herchel-Bulkley

Table 1. Rheological parameters of potato starch solutions gelatinized at 95°C and measured at 30°C

Starch	Concentration (%)	$\tau_y$ (Pa)	K (Pa·S <sup>n</sup> )	n (-)
Irish	3	5.54	5.05	0.59
	5	21.42	17.62	0.54
Cobbler	7	54.27	21.88	0.53
	3	2.66	3.84	0.64
Shepody	5	20.16	15.86	0.62
	7	51.53	23.99	0.62
Superior	3	4.24	4.68	0.70
	5	21.92	14.13	0.66
	7	48.31	16.60	0.58
Dejima	3	7.78	7.80	0.61
	5	23.80	19.87	0.55
	7	38.41	44.67	0.42

$\tau_y$  : Yield stress  
 K : Consistency index  
 n : Power law index

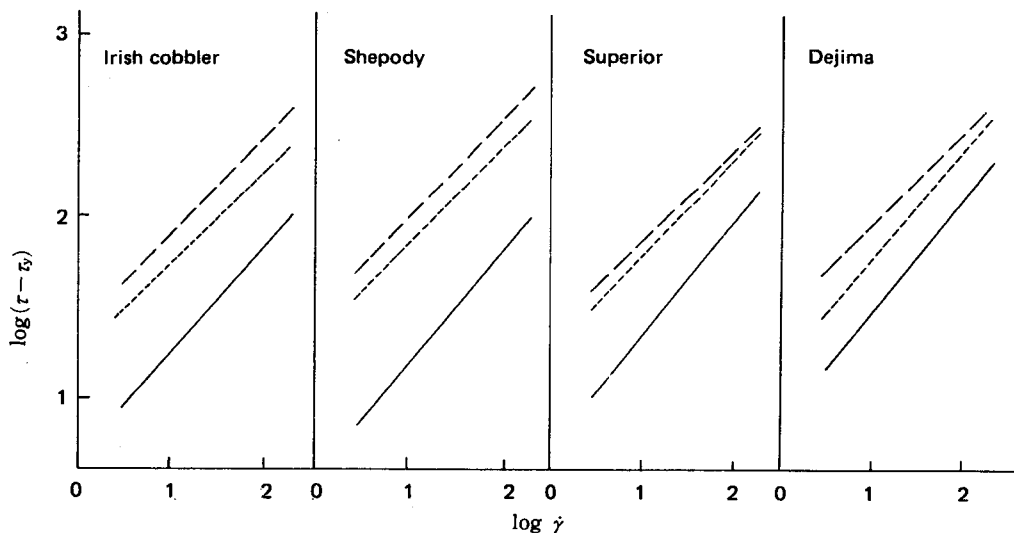


Fig. 2. Log (shear stress—yield stress) against log shear rate of potato starch solutions gelatinized at 95°C and measured at 30°C.

3% ——— 5% - - - - - 7% - . - . - .

관계없이 유동거동 지수가 1보다 작아 항복응력을 갖는 의가스성 유체 즉, 빙헴 의가스성 유체의 특성을 나타내었는데 이것은 김등<sup>7)</sup>의 결과와 일치하는 경향이였다.

**2) 농도 의존성**

점조도 지수의 농도 의존성을 조사하기 위하여 점조도 지수의 대수 값을 여러 전분 농도에 대하여 도시한 결과는 그림 3과 같다. log K와 전분 농도와의 관계는 서로 모두 직선 관계를 나타내어 다음의 지수 함수식<sup>8)</sup>으로 나타낼 수 있다.

$$K = K_0 \exp(B \cdot C)$$

$K_0$  : 무한 희석 용액에서의 점조도 지수 ( $P_a \cdot sec^{-n}$ )

S : 농도 의존성의 정도를 나타내는 상수

C : 농도 (%)

log K와 전분 농도의 관계는 시료 전분 모두 5% 농도 부근에서 기울기가 서로 다른 직선 관계를 보였다. 이는 다른 전분에서도 나타나는 현상이며 쌀 전분이 7~8%<sup>9)</sup>, 참쌀 전분이 4.5%<sup>10)</sup>, 옥수수 전분이 6~7%<sup>11)</sup>, 보리 전분이 5%<sup>12)</sup>, 밤 전분이 1.6% 부근<sup>13)</sup>에서 기울기 값이 서로 달라진다고 보고되어 있다. 김등<sup>11)</sup>은 이 농도 부근에서 전분 호화액의 구조적 특성이 달라지기 때문이라고 하였으며, 일반적으로 이 농도 부근에서 micelle의 형성, 겔(gel)의 형성 및 packing density 등이 밀접한 관련을 갖는 것으로 알려지고 있다.

그림 3의 직선 관계로부터 구한  $K_0$  및 B값은 각각 5% 이하에서 납작 전분은  $0.75 P_a \cdot sec^{-n}$  및 0.28, 세풍 전분은  $0.45 P_a \cdot sec^{-n}$  및 0.31, 수미 전분은  $0.89 P_a \cdot sec^{-n}$  및 0.24, 대지마 전분은  $1.88 P_a \cdot sec^{-n}$  및 0.21이었다.  $K_0$ 값은 대지마 전분이 크고 B값은 세풍 전분이 커

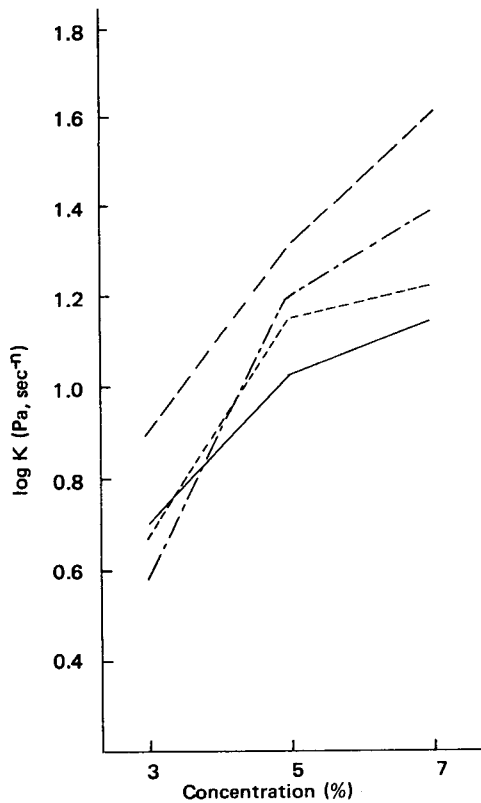


Fig. 3. Effect of starch concentrations on the consistency index of potato starch solutions gelatinized at 95°C and measured at 30°C.  
 — Irish Cobbler      - - - Shepody  
 - - - Superior      - - - Dejima

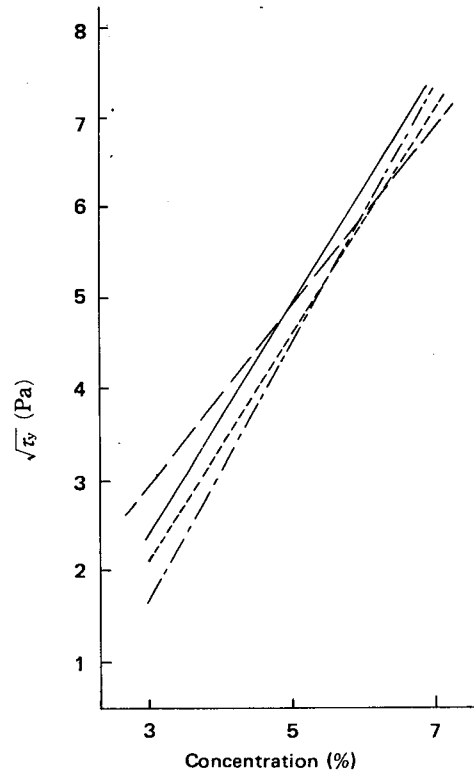


Fig. 4. Effect of starch concentration on the yield stress of potato starch paste.  
 — Irish Cobbler      - - - Shepody  
 - - - Superior      - - - Dejima

서 세풍 전분이 농도 의존성이 높음을 보였다.

한편 농도에 따른 항복응력의 변화를 살펴본 결과는 그림 4와 같다. 시료 전분 모두 농도의 증가에 따라  $\sqrt{\tau_y}$  값이 직선적으로 증가하였다.

Evans와 Haisman<sup>14)</sup>은 전분 호화액의 항복응력과 전분 농도는 다음 식으로 표시될 수 있다고 하였다.

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

여기서  $C_0$ 는 팽윤된 입자의 hydrodynamic volume 이 시료 전체 부피와 같아지는 농도 (packing density = 1) 또는 전분 호화액이 항복응력을 갖기 시작하여 순수한 유체에서 soft solid로서 거동하기 시작하는 농도이며,  $K_y$ 는 항복응력의 농도 의존성을 나타내는 상수이다.

그림 4의 직선 관계로부터 구한  $K_y$  및  $C_0$ 값은 각각 납작 전분이 1.26 및 0.03%, 세풍 전분이 1.39 및 0.00%, 수미 전분이 1.22 및 0.03%, 대지마 전분이 0.85 및 2.30%로  $K_y$ 값은 세풍 전분이 다른 시료 전분보다 높은 값을 보였고 대지마 전분이 낮아 항복응력의 농

Table 2. Rheological parameters of gelatinized 5% potato starch solutions at various measuring temperature

Starch	Measuring Temperature (°C)	$\tau_y$ (Pa)	K (Pa·S <sup>n</sup> )	n (-)
Irish Cobbler	30	21.42	17.62	0.54
	50	20.43	16.48	0.54
	60	16.09	14.39	0.55
	70	14.51	12.75	0.54
Shepody	30	21.65	21.79	0.54
	50	19.39	18.57	0.56
	60	17.75	17.87	0.55
	70	16.00	14.69	0.54
Superior	30	22.01	17.18	0.56
	50	13.81	15.37	0.56
	60	13.76	14.94	0.54
	70	13.74	12.91	0.53
Dejima	30	23.80	19.87	0.55
	50	22.45	18.58	0.54
	60	17.37	17.47	0.53
	70	14.19	14.96	0.56

$\tau_y$  : Yield stress  
 K : Consistency index  
 n : Power law index

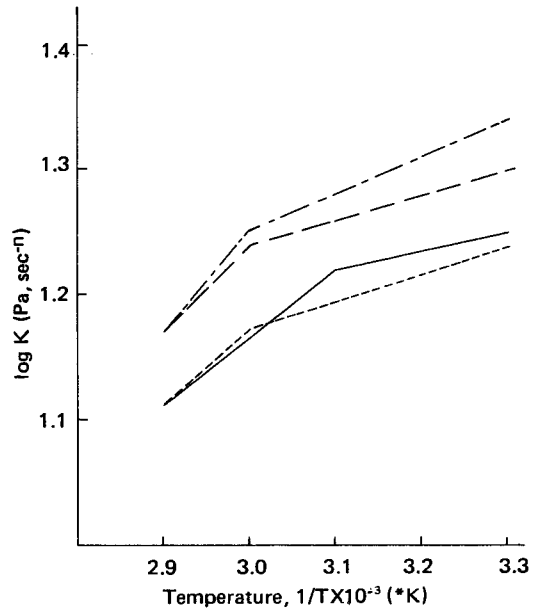


Fig. 5. Arrhenius plots of 5% potato starch solutions gelatinized at 95°C and measured 30°C.

— Irish Cobbler      - - - Shepody  
 - · - Superior      · · · Dejima

도 의존성은 세풍 전분이 높은 경향을 나타내었고 대지마 전분이 낮은 경향을 보였다.  $C_0$ 값은 대지마 전분이 다른 시료 전분보다 상당히 높았고 세풍 전분이 낮아 항복응력이 나타나기 시작하는 농도가 대지마 전분이 높음을 보였음에 반해 세풍 전분은 낮았다.

3) 온도 의존성

전분 호화액 (5%)의 측정 온도에 따른 리올로지 특성 값은 표 2와 같이 측정 온도가 증가함에 따라 시료 전분 모두 전분의 점조도 지수와 항복응력 값은 감소하는 전형적인 액체의 특성을 나타내었다.

점조도 지수 값의 온도 의존성은 그림 5에서와 같이 납작 전분은 50°C, 세풍, 수미 및 대지마 전분은 60°C에서 기울기가 다른 두 개의 직선 관계를 보여서 다음의 Arrhenius식<sup>15)</sup>으로 설명할 수 있었다.

$$K = A_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right)$$

$E_a$  : 활성화 에너지 (kcal/mol)  
 R : 기체 상수 (1.987 cal/mol·K)  
 A : 빈도 인자  
 T : 절대 온도 (°K)

Table 3. Activation energy of gelatinized 5% potato starch solutions

Starch	Activation energy (kcal/mol)
Irish Cobbler	3.49
Shepody	3.97
Superior	3.06
Dejima	3.03

그림 5의 직선 관계로부터의 기울기에서 구한 활성화 에너지 값은 표 3과 같다. 5% 농도일 때 납작 전분이 3.49 kcal/mol, 세풍 전분이 3.97 kcal/mol, 수미 전분이 3.06 kcal/mol, 대지마 전분이 3.03 kcal/mol이었다. 세풍 전분의 활성화 에너지가 다른 전분보다 높게 나타났고 대지마 전분이 가장 낮아 온도 의존성이 세풍 전분이 가장 크고 대지마 전분이 낮음을 나타내었다.

#### IV. 요 약

분질 감자인 납작, 중간질 감자인 세풍과 수미 및 점질 감자인 대지마로부터 전분을 분리하여 품종별로 가열 호화액에 대한 리올로지 특성을 비교하였다. 3~7%의 감자 전분 호화액은 항복응력이 존재하는 의가소성을 나타내었고 전분 농도가 증가함에 따라 점조도 지수값이 증가하였다. 점조도 지수의 대수값과 농도의 관계는 전분 농도 5%에서 기울기가 서로 다른 직선 관계를 나타내었고, 점조도 지수의 농도 의존성과 항복응력의 농도 의존성은 세풍 전분이 가장 높았다. 가열 호화액은 온도가 증가할수록 점조도 지수값이 감소하였고 납작전분은 50°C에서, 세풍, 수미 및 대지마 전분은 60°C에서 기울기가 서로 다른 직선 관계를 나타내었으며, 활성화 에너지는 세풍 전분이 3.97 kcal/mol로 다른 전분보다 높게 나타나 온도 의존성이 가장 컸다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 김경애, 김선민, 정란희 : 품종별 한국산 감자의 전분 특성 비교 (I), 한국조리과학회지, 5, 53 (1989)
- 2) 김경애, 정란희 : 품종별 감자 전분의 호화도 측정, 한국조리과학회지, 6, 15 (1990)
- 3) Willson, L.A., Birmingham, V.A., Moon, D.P. and Synder, H.E.: Isolation and characterization of starch from mature and soybeans, *Cereal Chem.*, 55, 661 (1978)
- 4) Sherman, P.: *Industrial Rheology*, Academic Press, New York (1970)
- 5) Holdsworth, S.D.: Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products, *J. Texture Studies*, 2, 393 (1971)
- 6) Casson, N: *Rheology of Disperse Systems*, Pergamon Press, New York (1959)
- 7) 김성곤, 이신영, 박영곤 : 수분-열 처리한 감자 및 고구마 전분의 호화 특성, 한국식품과학회지, 19, 435 (1987)
- 8) Rao, M.A.: Rheology of liquid foods-A Review. *J. Texture Studies*, 8, 135 (1977)
- 9) 김주봉, 김영숙, 이신영, 변유량 : 쌀 전분 호화액의 텍스토프로피 성질, 한국식품과학회지, 16, 451 (1984)
- 10) 송범호, 김성곤, 이규환, 변유량, 이신영 : 일반계 및 다수계 참쌀 전분의 점성 특성, 한국식품과학회지, 17, 107 (1985)
- 11) 김성곤, 이신영, 김주봉 : 유체 식품의 리올로지. 단국대학교 부설 식량 개발연구소, p. 53 (1983)
- 12) 박양균, 노일환, 김관, 김성곤 : 쌀보리 전분 호화액의 리올로지 특성, 한국식품과학회지, 18, 278 (1986)
- 13) 박영희, 김성곤, 이신영, 김주봉 : 밥 전분 호화액의 유동 특성, 한국식품과학회지, 16, 314 (1984)
- 14) Evans, L.D. and Haisman, D.R.: *J. Texture Studies*, 10, 347 (1979)
- 15) Sawayama, S., Kawabata, A., Okabe, M. and Sugi, J.: Viscosities of carrageenan aqueous solution and physical properties of carrageenan-water gels. *Nippon Nogei Kagaku Kaishi*, 52, 409 (1978)