

## 감자가루 분산액의 유변학적 및 페이스팅 특성 분석

- 연구노트 -

허혜미<sup>1</sup> · 원주인<sup>1</sup> · 진용익<sup>2</sup> · 장동철<sup>2</sup> · 김미숙<sup>3</sup> · 이영승<sup>3</sup> · 장윤혁<sup>1</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 식품영양학과  
<sup>2</sup>농촌진흥청 고령지농업연구소  
<sup>3</sup>단국대학교 식품영양학과

### Rheological and Pasting Properties of Potato Flour Dispersions

Hyemi Heo<sup>1</sup>, Chuin Won<sup>1</sup>, Yong-Ik Jin<sup>2</sup>, Dong-Chil Chang<sup>2</sup>, Misook Kim<sup>3</sup>,  
Youngseung Lee<sup>3</sup>, and Yoon Hyuk Chang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University

<sup>2</sup>Highland Agriculture Research Institute, RDA

<sup>3</sup>Department of Food Science and Nutrition, Dankook University

**ABSTRACT** The objective of this study was to investigate the rheological and pasting properties of potato flour dispersions at different concentrations (3, 4, 5, 6, and 7%, w/w). A potato cultivar 'Goun', used in this study, was developed by Highland Agriculture Research Center, RDA. Potato flour dispersions showed shear-thinning behaviors ( $n=0.44\sim 0.51$ ) at 25°C. Apparent viscosity ( $\eta_{a,100}$ ), consistency index (K), and yield stress ( $\sigma_{oc}$ ) significantly increased with an increase in potato flour concentration. Storage modulus ( $G'$ ) and loss modulus ( $G''$ ) significantly increased, whereas complex viscosity ( $\eta^*$ ) was significantly reduced with increasing frequency ( $\omega$ ) from 0.63 to 63.8 rad/s. Magnitudes of  $G'$  and  $G''$  were significantly increased with elevation of potato flour concentration.  $G'$  values were considerably greater than  $G''$  over the entire range of frequency ( $\omega$ ) with a high dependence on  $\omega$ . Cox-Merz rule was not applicable to potato flour dispersions. Rapid Visco Analyzer data showed that peak viscosity, trough viscosity, breakdown viscosity, final viscosity, and set back viscosity of samples significantly increased with an increase in potato flour concentration.

**Key words:** potato flour dispersions, rheological property, pasting property

## 서 론

남아메리카 안데스 중부지역이 원산지인 감자(*Solanum tuberosum* L.)는 현재 대부분의 나라에서 재배되고 있고 쌀, 밀, 옥수수와 함께 세계 4대 작물 중 하나로 꼽히며 연간 3.7억 톤이 생산되고 있다(1-3). 감자는 전분 함량이 높고 양질의 단백질과 비타민 C, 비타민 B<sub>6</sub>, 비타민 B<sub>3</sub>, 칼륨, 인, 마그네슘, 철, 식이섬유, 페놀성분 등을 다량으로 함유하고 있어 영양학적으로 가치가 높으며(1), 우리 몸에서 산성화된 체액을 알칼리성으로 중화시켜 주는 역할을 하는 알칼리성 식품이다(4). 또한 예로부터 혈액을 맑게 하고 기운을 돋우며 소화기관을 튼튼하게 한다고 알려져 있으며 관절염과 통증을 예방하는 데 이용되어 왔다(5,6). 최근에는 감자의 다양한 생리활성이 밝혀짐에 따라 이를 이용한 새로운 건강기능성 식품이 많이 개발되고 있다(6).

우리나라는 1990년대 이후 경제발전으로 생감자로 만든 감자칩의 수요가 증가하고 있으며(7), 최근에는 다양한 감자 스낵류가 출시되어 큰 인기를 끌면서 원재료인 감자 수요가 급증했다. 감자의 품종은 용도에 따라 식용과 가공용으로 나누어지며 현재 국내에서 가공용 품종으로 '대서(Atlantic)'가 잘 알려져 있다(6). 하지만 감자칩용으로 가장 많이 이용되는 '대서'는 가을 재배가 어려워 12월부터 5월까지의 전량 수입 감자로 감자칩을 생산하고 있다. 이에 따라 생감자칩 원료의 안정적인 공급을 위해 2006년에 가공용 품종인 '고운(Goun)' 감자가 개발되었다. '고운'은 봄과 가을에 두 번 재배할 수 있으며, 건물 함량이 높고 환원당 함량이 낮아 감자칩 가공성이 우수한 품종이다(7).

최근 10년 동안의 국내 감자 생산량은 2005년을 제외하고는 거의 변화가 없다(8). 반면 가공용 감자 원료 수입은 계속해서 증가하고 있고, 국내산 감자가 수입 감자에 대해 경쟁력을 갖추기 위해서는 감자의 품종별 특성을 분석하여 빠르게 변화하는 식품 트렌드를 반영한 기초자료를 마련하는 것이 중요하다(9). 감자를 활용한 가공식품 원료에 대한 연구는 대부분 감자 전분 위주였고(3), 지금까지 수행된 감

Received 1 June 2015; Accepted 18 June 2015

Corresponding author: Yoon Hyuk Chang, Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University, Seoul 02447, Korea  
E-mail: yhchang@khu.ac.kr, Phone: +82-2-960-7608

감자가루에 관한 연구는 주로 이화학적 특성과 요구르트(10), 쿠키(11) 등 식품에 첨가하여 품질 특성을 평가하는 연구에 초점이 맞추어져 있다. 미국 워싱턴주에서 2013년 수확한 6품종(Yukon, Gold, Gem, Victoria, Innovator, Setina, Sierra Gold)의 황색육질 감자가루의 페이스팅 특성에 관한 연구(3)가 수행되었으나, 감자가루 분산액의 유변학적 특성에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다.

일반적으로 가루 분산액의 유변학적 특성에 관한 연구는 가루를 기초로 한 식품의 품질관리, 텍스처, 관능평가, 구조에 대한 이해, 가공 특성에 대한 정보를 얻기 위해 매우 중요하다(12). 최근에 쌀가루, 고구마가루, 옥수수가루 분산액의 유변학적 특성에 관한 연구들이 수행되었고(13-15) 이들 분산액의 유변학적 특성은 농도에 의존한다는 것으로 밝혀졌다. 그러므로 감자가루 분산액의 유변학적 특성에 관한 연구는 바람직한 질을 가진 가공식품 원료와 이를 이용한 가공제품을 생산하는 데 매우 중요하다. 그러나 '고운' 감자 품종을 이용하여 제조한 감자가루 분산액의 정상유동 특성, 동적 점탄 특성 및 페이스팅 특성에 관한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 국내에서 재배된 '고운' 감자 품종을 이용하여 제조한 감자가루의 정상유동 특성, 동적 점탄 특성 및 페이스팅 특성을 측정하여 고운 감자 품종의 가공적성 규명과 가공식품 제조를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에서 사용된 감자(고운)는 2014년에 수확한 것으로 고령지농업연구소(Gangwon, Korea)에서 제공받았고 세척 후 1 cm 두께로 세절하고 동결건조기(FDS8508, Ilshin Bio Base, Gyeonggi, Korea)를 이용하여 동결건조 후 분쇄한 것을 140 mesh 표준체망을 통과시켜 사용하였다.

### 일반성분 분석

감자가루의 일반성분은 AACC 방법(16)에 따라 수분, 조단백질, 조지방, 조회분 함량을 분석하였으며, 탄수화물은 100에서 이들 함량을 뺀 값으로 하였다.

### 감자가루 분산액의 제조

감자가루 분산액(3, 4, 5, 6, 7%, w/w)은 감자가루와 증류수를 혼합하여 제조하였다. 혼합물은 실온에서 자석교반기를 이용하여 30분 동안 교반하였고, 95°C 항온수조에서 30분 동안 교반하면서 가열하였다. 가열이 끝난 후 뜨거운 시료는 유변학적 특성을 측정하기 위해 즉시 rheometer plate로 옮겨졌다.

### 정상유동 특성 측정

정상유동 특성은 25°C로 설정된 rheometer(MCR-102,

Anton Paar, Graz, Austria)의 plate-plate system(직경: 5 cm, 간격: 500  $\mu\text{m}$ )을 이용하여 측정하였다. 시료를 rheometer의 plate에 놓고 0.4~500  $\text{s}^{-1}$ 의 광범위한 전단속도( $\dot{\gamma}$ ) 범위에서 측정하였다. 시료의 정상유동 특성은 power law 모델식(식 1)과 Casson 모델식(식 2)을 적용하였다.

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n \quad \text{식(1)}$$

$$\sigma^{0.5} = K_{oc} + K_c\dot{\gamma}^{0.5} \quad \text{식(2)}$$

여기서  $\sigma$ 는 전단응력(Pa),  $\dot{\gamma}$ 는 전단속도( $\text{s}^{-1}$ ), K는 점조도 지수(consistency index,  $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ), n은 유동성 지수, 그리고  $(K_c)^2$ 은 Casson plastic viscosity( $\eta_c$ )이다. Casson 모델식에 따른 항복응력( $\sigma_{oc}$ )은 전단속도-전단응력의 선형회귀 곡선으로부터 얻었다. Power law 모델식에 의하여 얻어진 유동성 지수(n)와 점조도 지수(K)로부터 전단속도 100  $\text{s}^{-1}$ 에서의 겉보기 점도(apparent viscosity,  $\eta_{a,100}$ )를 계산하였다.

### 동적 점탄 특성 측정

동적 점탄 특성은 25°C로 설정된 rheometer(MCR-102, Anton Paar)의 plate-plate system(직경: 5 cm, 간격: 500  $\mu\text{m}$ )을 이용하여 2% strain에서 진동수(frequency,  $\omega$ ) 0.63~63.8 rad/s 범위에서 저장 탄성률(storage modulus,  $G'$ ), 손실 탄성률(loss modulus,  $G''$ ), 복소 점도(complex viscosity,  $\eta^*$ ) 및  $\tan \delta(G''/G')$ 를 측정하였다.

### Rapid Viscosity Analyzer(RVA)에 의한 페이스팅 특성 측정

농도별 감자가루 분산액의 페이스팅 특성은 RVA(RVA Model 4, Newport Scientific Inc, Warriewood, Australia)를 사용하여 측정하였다. 3, 4, 5, 6, 7%(w/w) 감자가루 분산액을 50°C에서 1분간 유지시킨 후 95°C까지 12°C/분의 속도로 가열하고 95°C에서 2.5분간 유지시킨 뒤 다시 50°C까지 같은 속도로 냉각한 다음 2분간 유지시키는 표준 방법(17)으로 측정하였다. 여기서 얻은 점도변화로부터 peak viscosity(최고점도), trough viscosity(최저점도), break down viscosity(최고점도-최저점도), final viscosity(최종점도), set back viscosity(최종점도-최저점도) 등이 측정되었다.

### 통계처리

모든 실험 결과는 평균±표준편차로 나타내었고 SAS version 9.3(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 ANOVA 분석과 Fisher's least significant differences에 의해  $P < 0.05$  수준에서 시료들 간 유의성 검정을 하였다.

## 결과 및 고찰

### 일반성분 분석

본 연구에서 사용된 '고운' 감자가루의 일반성분 함량은

**Table 1.** Proximate composition of potato flour

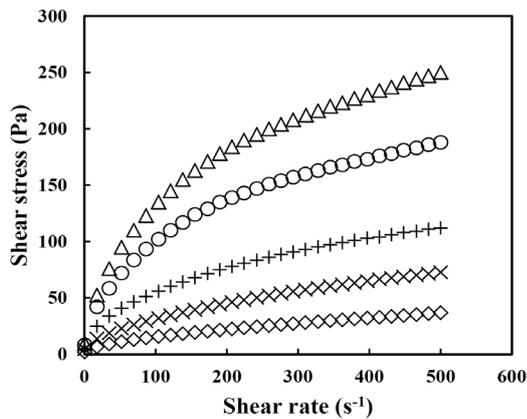
	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Crude ash	Carbohydrate <sup>1)</sup>
Potato flour	4.07±0.11	7.53±0.09	0.94±0.08	4.20±0.08	83.26

<sup>1)</sup>Carbohydrate (%) = 100 - (moisture+crude protein+crude lipid+crude ash).

Table 1과 같다. 수분 4.07±0.11%, 조단백질 7.53±0.09%, 조지방 0.94±0.08%, 조회분 4.20±0.08%, 탄수화물 83.26%로 나타났다. 이는 Kim 등(9)에 의해 수행된 국내산 감자 23품종의 영양성분 및 이화학적 특성 연구에서 사용된 '고운' 감자가루의 일반성분 결과와 거의 일치하였다.

### 정상유동 특성

농도(3, 4, 5, 6, 7%, w/w)를 달리하여 제조한 감자가루 분산액의 전단속도( $\dot{\gamma}$ )에 대한 전단응력( $\sigma$ )의 데이터는 Fig. 1과 같으며, 본 실험에서 사용된 모든 감자가루 분산액은 전단속도가 증가할수록 전단응력이 감소하는 pseudo-plastic 특성을 나타내었다. 또한 감자가루 분산액의 전단속도에 대한 전단응력의 데이터 결과는 power law 모델식과 Casson 모델식에 잘 적용되었으며 높은 결정계수( $R^2=0.93\sim0.99$ )를 보여주면서 좋은 상관관계를 나타내었다. Power law 모델식으로부터 얻은 유동성 지수  $n$ 값은 비뉴턴 거동을 나타내는 지수로 1보다 크면 shear-thickening을, 1보다 작으면 shear-thinning을 나타낸다(18). 본 연구에서 감자가루 분산액의 모든  $n$ 값은 1보다 낮은 범위( $n=0.44$



**Fig. 1.** Shear stress-shear rate plots for potato flour dispersions with different concentrations at 25°C. Potato flour concentrations were:  $\diamond$  3%,  $\times$  4%,  $+$  5%,  $\circ$  6%,  $\triangle$  7%.

~0.51)에 있어 감자가루 분산액은 shear-thinning 거동을 나타냄을 알 수 있었다. 감자가루의 농도가 3%에서 7%로 증가할수록  $n$ 값은 유의적으로 감소하는 경향을 나타냈다. 따라서 감자가루 분산액의 농도가 증가함에 따라 보다 강한 shear-thinning 성질을 나타내고 있음을 알 수 있었다. Morris(19)는 이와 같은 전단담화 성질이 전단하는 동안 영겨있는 다당류 분자의 그물 구조가 파괴되면서 나타나는 현상이라 설명하고 있는데, 이는 영겨 그물 구조 시스템에서 전단속도가 증가함에 따라 분자 간 영겨의 파괴 속도는 이들 분자의 재형성 속도보다 크기 때문에 나타나는 거동이다.

Power law 모델식으로부터 얻은 점조도 지수( $K$ ), 겔보기 점도( $\eta_{a,100}$ )는 감자가루 분산액의 농도가 증가할수록 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, Casson 모델식으로부터 얻은 Casson 항복응력( $\sigma_{oc}$ )은 3.18~39.09 Pa 범위를 나타내었고 감자가루 분산액의 농도가 증가할수록 유의적으로 증가하였다(Table 2). 이러한 경향은 쌀가루(13), 고구마가루(14), 옥수수가루(15) 분산액의 점조도 지수( $K$ ), 겔보기 점도( $\eta_{a,100}$ ), 항복응력( $\sigma_{oc}$ ) 측정 결과와 일치하였다. Jinescu(20)와 Metzner(21), Krieger(22)는 입자의 농도가 증가할수록 단위부피당 입자수가 증가하기 때문에 입자 간 상호결합이 강해지고 이로 인해 점도가 증가한다고 설명하고 있다. 따라서 본 연구에서 감자가루의 농도가 증가함에 따라 단위부피당 입자 수가 증가하여 입자 간의 결합이 더욱 더 강해져 감자농도가 증가할수록 감자가루 분산액의 겔보기 점도( $\eta_{a,100}$ ), 점조도 지수( $K$ ) 및 항복응력( $\sigma_{oc}$ )이 증가한 것으로 사료된다.

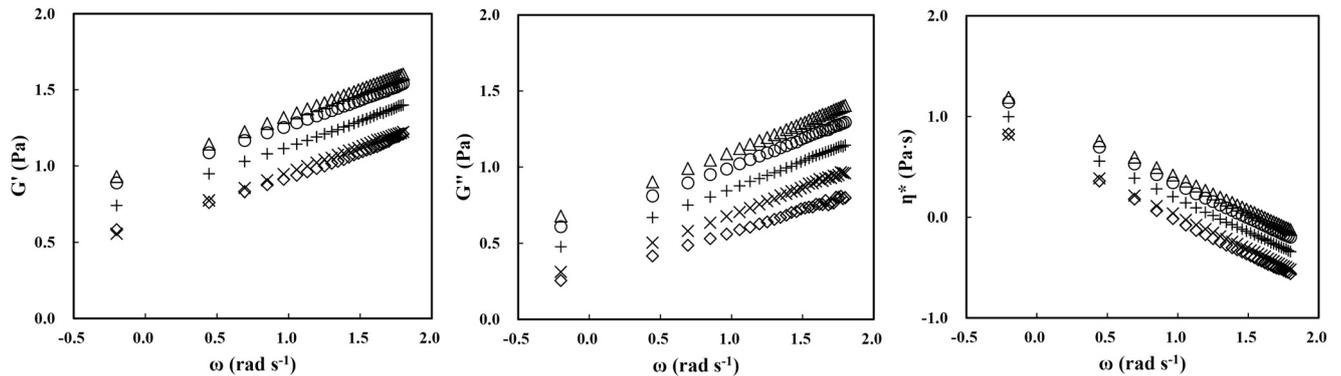
### 동적 점탄 특성

Fig. 2는 25°C에서 감자가루 분산액에 대해 진동수( $\omega$ )에 따른 저장 탄성률( $G'$ ), 손실 탄성률( $G''$ ) 및 복소 점도( $\eta^*$ )의 변화를 보여주고 있다.  $G'$ 은 탄성에 의해 손실 없이 저장되는 에너지의 양을 나타내고  $G''$ 은 점성에 의해 손실되는 에너지의 양을 나타내며,  $\eta^*$ 는 흐름에 대한 전반적인 저항에 관한 수치를 나타낸다(23). 본 연구에서 모든 감자가루 분산액

**Table 2.** Steady shear rheological properties of potato flour dispersions with different concentrations at 25°C

Concentration (% w/w)	Apparent viscosity $\eta_{a,100}$ (Pa·s)	Consistency index (Pa·s <sup>n</sup> )	Flow behavior index $n$ (-)	Casson yield stress $\sigma_{oc}$ (Pa)
3	0.15±0.01 <sup>c</sup>	1.32±0.12 <sup>c</sup>	0.52±0.01 <sup>a</sup>	3.18±0.26 <sup>c</sup>
4	0.33±0.01 <sup>d</sup>	3.34±0.27 <sup>d</sup>	0.50±0.01 <sup>b</sup>	7.86±0.31 <sup>d</sup>
5	0.52±0.03 <sup>c</sup>	6.40±0.66 <sup>c</sup>	0.46±0.01 <sup>c</sup>	15.02±0.60 <sup>c</sup>
6	0.97±0.03 <sup>b</sup>	12.93±0.21 <sup>b</sup>	0.44±0.01 <sup>cd</sup>	28.93±0.99 <sup>b</sup>
7	1.32±0.01 <sup>a</sup>	18.46±2.01 <sup>a</sup>	0.43±0.01 <sup>d</sup>	39.09±3.19 <sup>a</sup>

Values with different letters (a-e) within the same column differ significantly ( $P<0.05$ ).



**Fig. 2.** Plots of  $\log G'$ ,  $\log G''$ , and  $\log \eta^*$  versus  $\log \omega$  (frequency,  $\text{rad s}^{-1}$ ) for potato flour dispersions with different concentrations at  $25^\circ\text{C}$ . Potato flour concentrations were:  $\diamond$  3%,  $\times$  4%,  $+$  5%,  $\circ$  6%,  $\triangle$  7%.

**Table 3.** Storage modulus ( $G'$ ), loss modulus ( $G''$ ), complex viscosity ( $\eta^*$ ) and  $\tan \delta$  at  $6.3 \text{ rad s}^{-1}$  of potato flour dispersions with different concentrations at  $25^\circ\text{C}$

Concentration (% w/w)	$G'$ (Pa)	$G''$ (Pa)	$\eta^*$ (Pa·s)	$\tan \delta$
3	$6.81 \pm 0.33^c$	$3.19 \pm 0.14^c$	$1.19 \pm 0.06^c$	$0.47 \pm 0.01^c$
4	$7.78 \pm 0.14^d$	$4.24 \pm 0.21^d$	$1.41 \pm 0.03^d$	$0.54 \pm 0.02^b$
5	$11.87 \pm 0.93^c$	$6.38 \pm 0.48^c$	$2.14 \pm 0.17^c$	$0.54 \pm 0.00^b$
6	$15.68 \pm 0.42^b$	$8.44 \pm 0.27^b$	$2.83 \pm 0.08^b$	$0.54 \pm 0.00^b$
7	$17.57 \pm 0.71^a$	$10.64 \pm 0.11^a$	$3.26 \pm 0.11^a$	$0.61 \pm 0.02^a$

Values with different letters (a-e) within the same column differ significantly ( $P < 0.05$ ).

(3~7%, w/w)의  $G'$ 와  $G''$  수치는  $\omega$ 가 증가함에 따라 증가하였으며  $G'$ 은  $G''$ 보다 높은 수치를 나타내었다. 따라서 감자가루 분산액은 점성적 성질에 비해 탄성적 성질이 보다 우세함을 알 수 있었다.  $\eta^*$ 는  $\omega$ 가 증가함에 따라 감소하고 있어 감자가루 분산액은 shear-thinning 거동을 나타냄을 알 수 있었다. 이러한 결과는 정상유동 특성에서 power law 모델식의  $n$ 값으로부터 확인한 shear-thinning 거동과 일치한다. 또한 이는 4~8% 농도의 쌀가루 분산액의 동적 점탄 특성에서도 유사하게 관찰되었다(15).

Table 3은  $6.38 \text{ rad/s}$ 에서 감자가루 분산액의  $G'$ ,  $G''$ ,  $\tan \delta$  및  $\eta^*$  결과를 나타내고 있다. 감자가루 분산액의  $G'$ ,  $G''$  및  $\eta^*$  값은 농도가 증가할수록 유의적으로 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한  $G'$ 값( $6.81 \sim 17.57 \text{ Pa}$ )은  $G''$ 값( $3.19 \sim 10.64 \text{ Pa}$ )보다 유의적으로 크기 때문에 모든 감자가루 분산액은 약한 겔 거동을 나타냄을 알 수 있었다(24).

**Table 4.** Slopes ( $n'$ ,  $n''$ ) and intercepts ( $K'$ ,  $K''$ ) of  $\log(G', G'')$  versus  $\log \omega$  (frequency,  $\text{rad s}^{-1}$ ) data for potato flour dispersions with different concentration

Concentration (% w/w)	$G'$			$G''$		
	$K'$	$n'$	$R^2$	$K''$	$n''$	$R^2$
3	$0.58 \pm 0.03^c$	$0.33 \pm 0.01^b$	0.98	$0.27 \pm 0.03^c$	$0.29 \pm 0.01^d$	0.99
4	$0.62 \pm 0.00^c$	$0.34 \pm 0.01^b$	0.99	$0.36 \pm 0.02^d$	$0.34 \pm 0.00^c$	0.99
5	$0.80 \pm 0.05^b$	$0.35 \pm 0.01^b$	0.99	$0.53 \pm 0.04^c$	$0.34 \pm 0.01^{bc}$	0.99
6	$0.93 \pm 0.01^a$	$0.34 \pm 0.01^b$	0.99	$0.65 \pm 0.01^b$	$0.35 \pm 0.00^b$	0.99
7	$0.96 \pm 0.03^a$	$0.36 \pm 0.02^a$	0.99	$0.73 \pm 0.01^a$	$0.37 \pm 0.00^a$	0.99

Values with different letters (a-e) within the same column differ significantly ( $P < 0.05$ ).

시료의 점탄성 거동(viscoelastic behavior)을 평가하는 수치로  $G'$ 과  $G''$ 의 비율인  $\tan \delta$ 가 있으며,  $\tan \delta$  값이 1보다 작으면 탄성적 성질이 크고 1보다 크면 점성적 성질이 크다는 것을 나타낸다(25). 본 실험에서 감자가루 분산액의  $\tan \delta$  값( $0.47 \sim 0.61$ )은 1보다 작았고 이는 감자가루 분산액이 점성적 성질보다 탄성적 성질이 우세함을 의미한다(Table 3).

Table 4는 감자가루 분산액에서  $\log(G', G'')$  및  $\log \omega$ 의 관계식들(식 3과 4)로부터 선형회귀에 적용하여 얻어진  $G'$ ,  $G''$ 의 기울기( $n'$ ,  $n''$ )와  $G'$ 과  $G''$ 의 절편( $K'$ ,  $K''$ ) 및 결정계수( $R^2$ )를 보여주고 있다.

$$G' = K'(w)^{n'} \quad \text{식(3)}$$

$$G'' = K''(w)^{n''} \quad \text{식(4)}$$

$G'$ 의  $n'$  값은  $0.33 \sim 0.36$ 을,  $G''$ 의  $n''$  값은  $0.29 \sim 0.37$ 을 나타내었으며 높은  $R^2$  결정계수를 나타냈다( $0.98 \sim 0.99$ ). 일반적으로 구조적 측면에서 볼 때 강한 겔인 경우 기울기가 거의 '0'에 근접하지만 약한 겔이나 고농도의 용액에서는 양(+)의 기울기를 나타낸다(25). 따라서 3~7% 범위의 감자가루 분산액의 동적 점탄 특성은 약한 겔과 같은 구조적 성질을 나타냄을 알 수 있었다. 감자가루 분산액의 농도가 증가함에 따라  $K'$ 과  $K''$ 의 수치가 유의적으로 증가하였는데, Lii 등(26)에 따르면 이러한  $K'$ 과  $K''$ 의 증가는 고농도 구조에서 조밀한 입자 사이의 강한 상호결합에 기인한 것이라고 설명하고 있다.

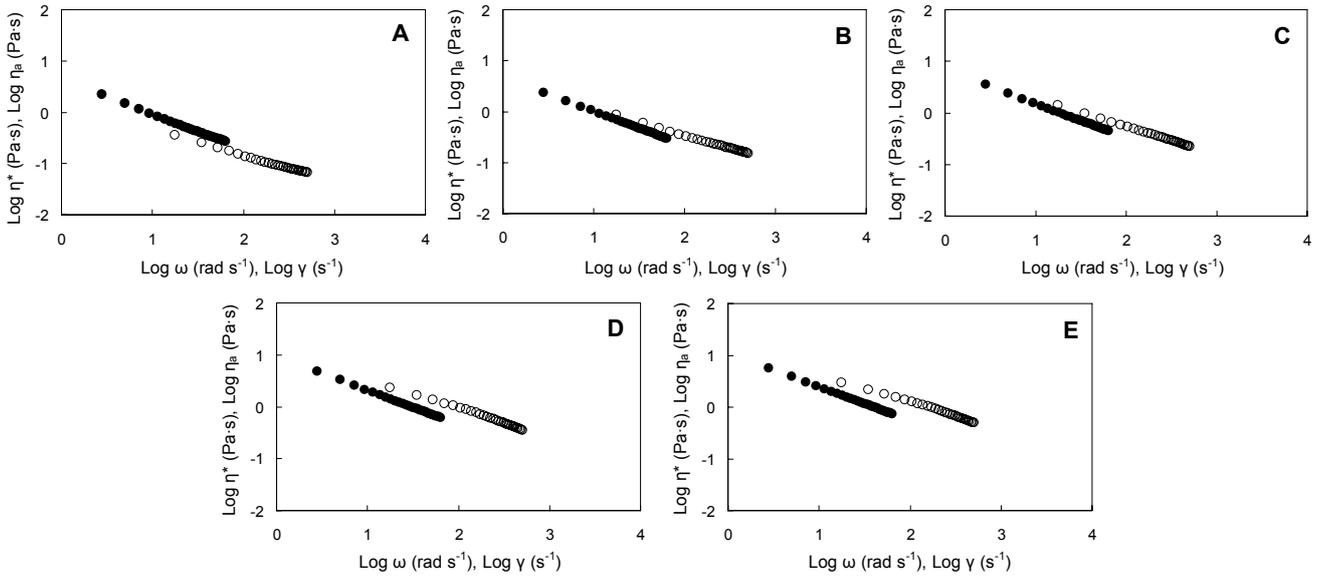


Fig. 3. Cox-Merz plots of potato flour dispersions at (A) 3%, (B) 4%, (C) 5%, (D) 6%, (E) 7%. Open symbol:  $\eta_a$ , closed symbol:  $\eta^*$ .

**Cox-Merz 중첩원리**

Cox와 Merz(27)는 고분자의 구조적 분석에 대한 유용한 정보를 제공하기 위해 전단속도( $\dot{\gamma}$ )에 따른 고분자의 겔보기 점도( $\eta_a$ )와 진동수( $\omega$ )에 따른 복소 점도( $\eta^*$ )와의 상관관계를 제안했다. Cox-Merz 중첩원리(식 5)에 의하면  $\eta^*$ 와  $\eta_a$  값은 같은 진동수( $\omega$ )와 전단속도( $\dot{\gamma}$ )에서 중첩되어야 한다.

$$\eta^*(\omega) = \eta_a(\dot{\gamma}) \Big|_{\omega = \dot{\gamma}} \quad \text{식(5)}$$

Cox-Merz 원리가 적용이 되면 구조 파괴 없이 얻어진 동적 점탄 특성으로부터 시료의 정상유동 특성을 예측할 수 있다(28). Da Silva와 Rao(29)에 의하면 Cox-Merz 원리는 몇몇 합성 고분자나 생체 고분자 분산액에서는 적용이 잘 되었으나 영김 및 응집 현상이 있는 시료에는 잘 적용되지 않았다. 본 연구에서 사용된 감자가루 분산액은 Cox-Merz 원리에 잘 적용되지 않았고 3% 농도의  $\log \eta^* - \log \omega$ 와  $\log \eta_a - \log \dot{\gamma}$  관계에서  $\eta^*$  값이  $\eta_a$  값보다 높은 수치를 나타내었다 (Fig. 3). 일반적으로 이들 오차는 시료 측정 시 적용되는 변형율의 크기에 따른 시료의 구조파괴 정도를 나타내는데, 동적 점탄 특성 측정은 선형 관계가 유지되는 낮은 변형율에서 수행되므로 구조 파괴가 일어나지 않지만 정상유동 특성 측정에서는 높은 변형율로 인하여 분자 내 혹은 분자 간 결합을 파괴시킨다(30). 따라서 이들 오차 정도는 시료의 분자 내 혹은 분자 간 구조적 결합의 강도를 나타낼 수 있다. 4~7% 농도에서 감자가루 분산액은  $\eta^*$ 가  $\eta_a$ 보다 낮은 수치를 보이면서 acid converted maize starches(30), cross-linked waxy maize(28) 전분호액과 유사한 거동을 나타냈다. 이와 같은 현상은 응집 현상이 일어나는 가루분산액의 이질성으로부터 기인한 것으로 보고 있다(28).

**페이스팅 특성**

농도별 감자가루 분산액의 페이스팅 특성을 RVA를 사용하여 측정한 결과는 Fig. 4와 같고 이로부터 얻은 각 특성치의 값은 Table 4에 나타내었다. Peak viscosity는 heating과 holding cycle 동안 기록되는 최고점도로 3%는  $308.50 \pm 13.44$  RVU, 7%는  $1,998.50 \pm 26.16$  RVU를 나타내며 감자가루 분산액의 농도가 증가할수록 유의적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 정상유동 특성과 동적 점탄 특성에서의 결과와 일치하였다. 최고점도 이후 95°C에서 2.5분간 유지시킨 후 나타나는 점도인 trough viscosity는 감자가루 분산액의 농도가 증가함에 따라 유의적으로 증가하는 경향을 나타냈으며 7% 농도의 감자가루 분산액에서  $1,054.50 \pm 0.71$  RVU로 가장 큰 값을 나타내었다.

Peak viscosity에서 trough viscosity를 뺀 값인 break-down viscosity는 감자가루 분산액이 가열되면서 점도가 변화하는 정도를 나타내는 값인데(31), 감자가루 분산액의

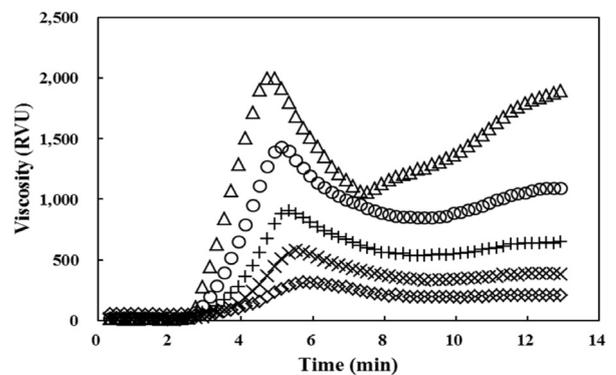


Fig. 4. Pasting properties of potato flour dispersions with different concentrations. Potato flour concentrations were:  $\diamond$  3%,  $\times$  4%,  $+$  5%,  $\circ$  6%,  $\triangle$  7%.

농도가 증가할수록 breakdown viscosity는 유의적으로 증가하여 감자가루 분산액의 농도가 증가할수록 가열 중 감자가루 분산액의 점도 변화 폭이 증가함을 알 수 있었다.

Set back viscosity(final viscosity - trough viscosity)는 노화 특성과 관련되는 final viscosity의 크기에 영향을 받고 그 값이 클수록 노화 정도가 빠르게 진행됨을 알 수 있는데(32), 본 연구에서 감자가루의 분산액의 농도가 증가할수록 final viscosity가 유의적으로 증가하였으며 set back viscosity 또한 유의적으로 증가하여 감자가루 분산액의 농도가 증가함에 따라 노화가 촉진됨을 알 수 있었다. 본 연구로부터 감자가루 농도의 증가는 분산액 내의 전분의 농도가 증가하고 분자 간의 결합이 강화되어 페이스팅 특성에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

## 요 약

본 연구는 '고운' 품종으로 제조한 감자가루 분산액의 농도(3, 4, 5, 6, 7%, w/w)에 따른 유변학적 및 페이스팅 특성에 대하여 평가하였다. 감자가루 분산액은 전단담화 거동( $n=0.41\sim0.55$ )을 나타냈으며, 감자가루 농도가 증가함에 따라 점조도 지수( $n$ ), 겔보기 점도( $n_{a,100}$ ), Casson 항복응력( $\sigma_{oc}$ ) 값이 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 동적 점탄 특성 측정 결과에 의하면 감자가루 분산액은 약한 겔과 같은 거동을 보여주었으며  $G'$ 과  $G''$  값들은 감자가루 농도와 진동수( $\omega$ )가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. Cox-Merz 중첩원리는 감자가루 분산액에 잘 적용되지 않았다. RVA에 의한 페이스팅 특성은 감자가루 농도가 증가할수록 peak viscosity, trough viscosity, final viscosity, set back viscosity, break down viscosity 값이 유의적으로 증가하였다.

## 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ011239 03)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## REFERENCES

1. Andre CM, Legay S, Iammarino C, Ziebel J, Guignard C, Larondelle Y, Hausman JF, Evers D, Miranda LM. 2014. The potato in the human diet: a complex matrix with potential health benefits. *Potato Res* 57: 201-214.
2. NPC. 2013. *2013 Potato Statistical Yearbook*. National Potato Council, Washington, DC, USA. p 77.
3. Chun IJ, Kim HS. 2014. Influence of starch characteristics on the pasting properties of potato flours prepared from yellow-fleshed potatoes. *Food Eng Prog* 18: 398-405.
4. Chang SK, Kim HJ. 2008. Physico-chemical properties and in vivo anti-cancer effects of potato kimchi prepared by adding hot water extracts of potato. *J East Asian Soc Dietary Life* 18: 302-310.
5. Jang HL, Hong JY, Kim NJ, Kim MH, Shin SR, Yoon KY. 2011. Comparison of nutrient components and physico-chemical properties of general and colored potato. *Kor J Hort Sci Technol* 29: 144-150.
6. Choi HD, Lee HC, Kim SS, Kim YS, Lim HT, Ryu GH. 2008. Nutrient components and physicochemical properties of new domestic potato cultivars. *Korean J Food Sci Technol* 40: 382-388.
7. Cho JH, Park YE, Cho HM, Seo HW, Yi JY, Cheon CK, Chae WB, Kim TG, Kim JS, Lee YG, Chang DC, Kim SY, Hong SY. 2013. A new double cropping potato cultivar 'Goun' for potato chip processing with short dormancy. *Korean J Breed Sci* 45: 262-267.
8. KOSTAT. 2014. [http://kosis.kr/statisticsList/statisticsList\\_01List.jsp?vwcd=MT\\_ZTITLE&parentId=F#SubCont](http://kosis.kr/statisticsList/statisticsList_01List.jsp?vwcd=MT_ZTITLE&parentId=F#SubCont) (accessed Sep 2014).
9. Kim KM, Jung SY, Kim JS, Kim GC, Jang YE, Kwon OK. 2013. Nutrient components and physicochemical properties of 23 Korean potato cultivars. *Food Eng Prog* 17: 346-354.
10. Jung HB, Kim JA, Pan CH, Yoon WB. 2014. Antioxidant activity and quality characteristics of cookies prepared with colored potato (Ja-young) flour. *Food Eng Prog* 18: 325-331.
11. Ahn BY, Kim DH, Choi DS. 2004. The effects of freeze-dried potato flour addition on the fermentation characteristics of yogurt. *Korean J Food & Nutr* 17: 374-381.
12. Kim WW, Yoo B. 2009. Rheological behaviour of acorn starch dispersions: effects of concentration and temperature. *Int J Food Sci Technol* 44: 503-509.
13. Chun SY, Yoo B. 2004. Rheological behavior of cooked rice flour dispersions in steady and dynamic shear. *J Food Eng* 65: 363-370.
14. Chun SY, Yoo B. 2006. Steady and dynamic shear rheological properties of sweet potato flour dispersions. *Eur Food Res Technol* 223: 313-319.
15. Bhattacharya S, Bhattacharya S. 1996. Rheology of cooked debranned maize flour suspensions. *J Food Eng* 27: 97-105.
16. AACC. 1995. *Approved method of AACC*. 10th ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA. 08-01, 30-10,44-15A,46-13.
17. Crosbie GB, Ross AS. 2007. *The RVA handbook*. AACC International, Inc., St. Paul, MN, USA. p 6-9.
18. Burrell GL, Dunlop NF, Separovic F. 2010. Non-Newtonian viscous shear thinning in ionic liquids. *Soft Matter* 6: 2080-2086.
19. Morris ER. 1989. Polysaccharide solution properties: origin, rheological characterization and implications for food system. In *Frontiers in Carbohydrate Research-1: Food Applications*. Millane RP, BeMiller JN, Chandrasekavan R, eds. Elsevier Applied Science Pub, New York, NY, USA. p 132-163.
20. Jinescu VV. 1974. The rheology of suspensions. *Int Chem Eng* 14: 397-420.
21. Metzner AB. 1985. Rheology of suspensions in polymeric liquids. *J Rheol* 29: 739-775.
22. Krieger IJ. 1985. Rheology of polymer colloids. In *Polymer Colloids*. Buscall R, Corner T, Stageman JF, eds. Elsevier Applied Science, New York, NY, USA. p 219-246.
23. Hsieh YL, Yun JJ, Rao MA. 1993. Rheological properties of mozzarella cheese filled with dairy, egg, soy proteins, and gelatin. *J Food Sci* 58: 1001-1004.
24. Ross-Murphy SB. 1984. Rheological methods. In *Biophysical Methods in Food Research*. Chan HWS, ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. p 138-199.
25. Yoo D, Kim C, Yoo B. 2005. Steady and dynamic shear rheology of rice starch-galactomannan mixtures. *Starch* -

- Stärke* 57: 310-318.
26. Lii CY, Shao YY, Tseng KH. 1995. Gelation mechanism and rheological properties of rice starch. *Cereal Chem* 72: 393-400.
  27. Cox WP, Merz EH. 1958. Correlation of dynamic and steady flow viscosities. *J Polym Sci* 28: 619-622.
  28. Da Silva PMS, Oliveira JC, Rao MA. 1998. Rheological properties of heated cross-linked waxy maize starch dispersions. *Int J Food Prop* 1: 23-34.
  29. Da Silva JAL, Rao MA. 1992. Viscoelastic properties of food hydrocolloid dispersions. In *Viscoelastic Properties of Foods*. Rao MA, Steffe JF, eds. Elsevier Applied Science Publishers, London, UK. p 285-316.
  30. Chamberlain EK, Rao MA. 1999. Rheological properties of acid converted waxy maize starches in water and 90% DMSO/10% water. *Carbohydr Polym* 40: 251-260.
  31. Lee JS, Oh MS. 2006. Quality characteristics of cookies with black rice flour. *Korean J Food Cookery Sci* 22: 193-203.
  32. Fukai Y, Matsuzawa T, Ishitani G. 1997. Physicochemical studies on Thai and Philippine rice. *J Cookery Sci Japan* 30: 17-24.