

함수율과 온도에 따른 호밀의 레올로지 특성

Rheological Properties of Rye under Different Moisture Content and Temperature

이귀현* 최규원*
G. H. Lee G. W. Choi

1. 서론

호밀(Rye)은 라이보리 혹은 흑밀이라고도 한다. 호밀은 춥고 찬 냉대성 기후와 메마르고 척박한 땅에서도 잘 자라는 곡류로 전 세계적으로는 유럽국가와 러시아 지역에서 주로 많이 생산되고 있다. 호밀은 과거에 유럽국가에서 열량, 단백질, 탄수화물의 가장 중요한 공급원이었으나, 밀, 기름, 설탕 등을 손쉽게 구하게 되면서 호밀의 소비가 급격히 줄어들었다. 최근에는 호밀내에 함유된 생리활성 성분의 새로운 기능성이 밝혀지면서 식품 산업계의 큰 관심을 불러일으키고 있어 호밀을 이용한 신제품의 개발이 활성화 되고 있는 실정이다(황, 2003). 호밀의 영양성분은 단백질 10 ~ 15%, 지방 2 ~ 3%, 전분 55 ~ 65%, 회분 2%, 총 식이섬유 15 ~ 17% 등을 포함한다. 호밀은 제분해서 빵을 만드는 원료로 가장 많이 쓰이며, 누룩, 면류, 된장, 간장의 원료로도 쓰인다.

이밖에도 호밀가루를 이용한 전통식품과 식품 압출성형공법의 발전으로 호밀 플레이크(flake) 및 아침식사용 시리얼(cereal) 등도 많이 생산되고 있다(Lorenz, 2000). 호밀가루를 포함한 곡류가루는 함유하고 있는 전분, 단백질, 지방 등의 화학적 구성성분의 차이로 인해 가공과정 동안 서로 다른 유동특성을 나타낸다. 압출성형동안 레올로지 특성은 이러한 곡류의 화학적 구성성분 뿐만 아니라 온도와 함수율과 같은 압출성형 공정변수에 의해 크게 변화한다(Harper, 1981; Colonna, et al., 1989). 이러한 곡류의 레올로지 특성은 압출성형용 다이설계 및 압출성형 공정모델 개발에 매우 중요한 요소이다. 따라서 본 연구에서는 수분함량 및 압출온도가 호밀의 레올로지 특성에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 연구에 사용된 호밀가루는 핀란드 제품으로 성립식품으로부터 공급받았다. 호밀가루의 초기함수율은 20 g의 각 시료 5개를 100℃의 열풍건조기에서 24시간 건조시켜 무게를 측정하여 평균값을 계산하였으며, 10.5%(wb)로 나타났다. 시료의 함수율을 30%, 35%, 40%의 각각 일정한 수준으로 만들기 위해 초기함수율에 대해 적정량의 물을 첨가하여 믹서로 잘

* 강원대학교 농업생명과학대학 농업공학부

혼합하였다. 물을 혼합한 시료는 비닐포장으로 밀봉하여 24시간동안 4℃의 냉장고에 저장하여 수분이 평형상태에 도달한 후 실험에 사용하였다. 본 실험은 습량기준 수분함량 30%, 35%, 40% 및 압출온도 120℃, 130℃에서 호밀의 레올로지 특성을 분석하였다.

나. 레올로지 측정

본 실험에서는 모세관 점도계(Rheo-Tester 2000, Gottfert Co., Germany)를 사용하였으며, 약 100 g의 시료를 바렐에 삽입하고, 약 5분의 평형상태 후 120℃ 및 130℃에서 압출하였다. 실험에 사용된 모세관 점도계의 다이 직경은 3 mm였고, 길이/직경 비(L/D)는 10/1이었다. 여기서 겔보기 전단속도($\dot{\gamma}_{ap}$)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{\gamma}_{ap} = AV/\pi R^3 \quad (1)$$

여기서 A 는 다이 단면적, V 는 다이 속도, R 은 다이 반경을 나타내며, 겔보기 전단응력(τ_{ap})은 다음과 같이 표현된다.

$$\tau_{ap} = PD/4L \quad (2)$$

여기서 P 는 압출압력, D 는 다이 직경, L 은 다이 길이를 나타내며, 겔보기 점도(μ_{ap})는 다음과 같이 표현된다.

$$\mu_{ap} = \tau_{ap}/\dot{\gamma}_{ap} \quad (3)$$

많은 유체는 전단응력을 전단속도에 대하여 ln - ln 좌표에 그렸을 때 직선을 나타낸다. 이와 같은 거동을 나타내는 유체는 다음과 같은 지수법칙식 또는 Ostwald de Waele식으로 표현할 수 있다.

$$\tau = K(\dot{\gamma})^n \quad (4)$$

여기서 $K(N \cdot s^n/m^2)$ 는 점조도 지수, n 은 유동거동지수로 무차원이며, 지수법칙식의 양쪽에 대수를 취하면, $\ln \tau = n \ln(\dot{\gamma}) + \ln K$ 로 실험값으로부터 $\ln \tau$ 와 $\ln(\dot{\gamma})$ 를 그리면 직선을 얻을 수 있으며, 직선의 기울기로부터 유동거동지수 n 과 전단속도 $1s^{-1}[\log(\dot{\gamma}) = 0]$ 에서 절편 값으로부터 점조도 지수 K 를 구할 수 있다. 또한 지수법칙식을 이용하여 겔보기 점도를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\mu_{ap} = \tau_{ap}/\dot{\gamma}_{ap} = K(\dot{\gamma}_{ap})^{n-1} \quad (5)$$

3. 결과 및 고찰

Table 1에 압출조건에 다른 호밀의 겔보기 전단응력과 전단속도의 관계를 나타내는 지수법칙식의 점조도 지수(K) 값 및 유동거동지수(n) 값을 나타내었다. 각 실험조건에서 겔보기 전단응력과 겔보기 전단속도의 상관관계를 나타내는 결정계수(r^2) 값의 범위는 0.973 ~ 0.997로 높게 나타났다. 점조도 지수 K 값은 호밀의 수분함량 및 압출온도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 n 값은 0.20 ~ 0.29의 범위에 있었으며 각 수분함량 및 압출온도에 따른 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 점조도 지수 K 값에 대한 본 연구와 유사한 결과로 Madeka와 Kokini(1992)는 amioca 전분의 수분함량과 압출온도가 증가할수록 K 값은 감소하나, n 값은 증가한다고 보고하였다. 또한, 밀가루 반죽의 수분함량이 증가할수록 K 값이 감소한다는 본 연구와 유사한 연구결과가 보고된바 도 있다(Sharma et al., 1993). 각 압출온도 120℃ 및 130℃에서 겔보기 전단속도에 대한 겔보기 전단응력 및 점도의 관계를 figs. 1 및 2에 나타내었다. 그림에서와 같이 점조도 지수 K 값이 호밀의 수분함량 및 압출온도가 증가할수록 감소한다는 것을 알 수 있다.

Table 1. K and n values of power law equation depending on extrusion conditions

Temperature (°C)	Moisture Content (%)	K (N·s ^{n} /m ²)	n	r^2
120	30	9.0×10^4	0.24	0.994
	35	5.5×10^4	0.27	0.997
	40	3.4×10^4	0.25	0.973
130	30	5.9×10^4	0.20	0.985
	35	3.6×10^4	0.29	0.996
	40	3.0×10^4	0.21	0.978

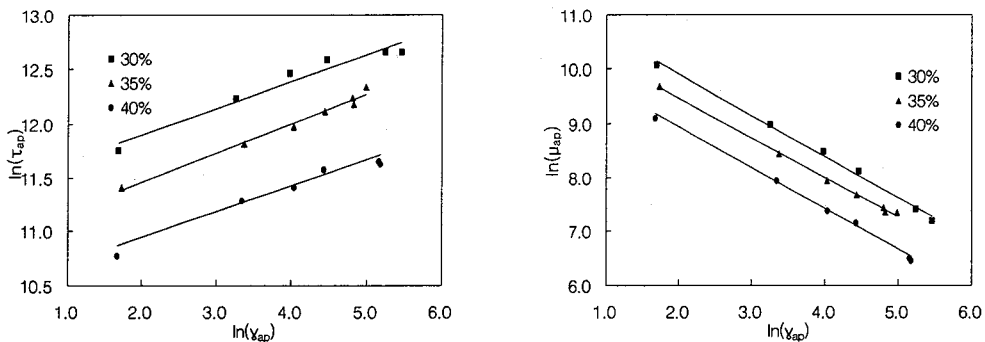


Fig. 1 Apparent shear stress and viscosity at temperature of 120°C.

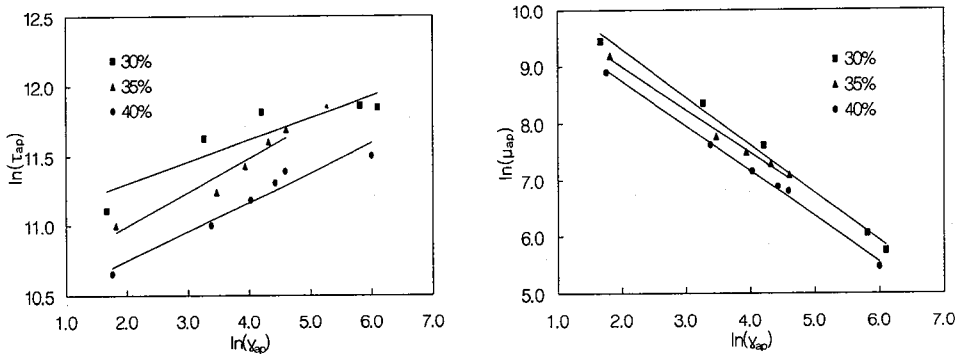


Fig. 2 Apparent shear stress and viscosity at temperature of 130°C.

3. 요약 및 결론

본 연구에서는 모세관 점도계를 이용하여 수분함량(30%, 35%, 40%) 및 압출온도(120°C, 130°C)가 호밀의 레올로지 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 각 압출조건에서 겔보기 전단 응력과 겔보기 전단속도의 상관관계를 나타내는 결정계수(r^2) 값의 범위는 0.973 ~ 0.997로 높게 나타났다. 점도도 지수 K 값은 호밀의 수분함량 및 압출온도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으나, n 값은 각 수분함량 및 압출온도에 따른 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다.

5. 참고문헌

1. Hwang J. K. 2003. Food and Physiological Functions of Rye. Food Sci. & Industry 36(3):70-80. (In Korean)
2. Colonna, P., Tayeb, J., Mercier, C. 1989. Extrusion cooking of starch and starchy products. In: Extrusion Cooking. Linko, P., Harper, J. M. (eds.), St. Paul, USA: American Association of Cereal Chemists.
3. Harper, J. M. 1981. Extrusion of Foods, vol. I, CRC Press, Boca Raton, USA.
4. Lorenz, K. R. 2000. In: Handbook of Cereal Science and Technology. Kup, K. and Ponte, J. E. (eds.), Marcel Dekker, New York, USA. pp. 223-256.
5. Madeka, H., Kokini, J. L. 1992. Effect of addition of zein and gliadin on the rheological properties of amylopectin starch with low-to-intermediate moisture. Cereal Chemistry 69:489-494.
6. Sharma, N., Hanna, M. 1993. Flow behaviour of wheat flour-water dough using a capillary rheometer. II. Effects of water, protein, mix and rest time. Cereal Chemistry 70:63-67.