

진공 반죽의 동적 레올로지 특성

정원호 · 이승주

(주)풀무원, 동국대학교 식품공학과

Dynamic rheological properties of vacuum mixed dough

Won-Ho Jeong and Seung Ju Lee

Pulmuone Co., Ltd

Department of Food Science and Technology, Dongguk University, Korea

Abstract

Vacuum mixing method for raw noodle was compared with atmospheric mixing method in terms of dynamic rheological properties of dough. The dough was prepared by mixing in vacuum or atmosphere and rolling into a noodle sheet. In the frequency sweep, vacuum mixed dough had larger G' and smaller $\tan\delta$ than atmospheric one, but almost the same G'' . It indicated that elastic property of dough might increase with vacuum mixing. In frequency dependency, G' as well as G'' changed significantly, which implied that viscous property prevailed over elastic one due to insufficient gluten development. In the temperature sweep, changes in G' , G'' and $\tan\delta$ were in a common pattern with a peak. It represented that the dough property shifted from hard to soft consistency due to starch gelatinization and glass transition. The vacuum mixed dough was higher in the temperature at the peak of $\tan\delta$ than the atmospheric one, suggesting that the gelatinization of the vacuum mixed dough occurs more easily than the atmospheric one.

Key words: vacuum mixing, dough rheology, dynamic viscoelasticity

서 론

최근 면류시장은 종전의 값싼 건면에서 고급 건면 및 생면으로 변천하며 소비자들의 기호를 충족시키고 있으며, 특히 생면은 소비자들의 신선한 고품질 제품의 요구에 부응하여 인스턴트 라면과 대별하여 면시장의 성장을 주도하고 있다(한국식품공업협회, 2004). 일반적으로 생면은 원료, 혼합, 반죽(압연), 절출, 절단, 계량, 포장의 순으로 단순한 제조공정으로 제조하는 제품으로서 공정 중 가장 기본이 되는 원료를 혼합·반죽하는 공정이 품질향상에 중요한 요인으로 알려져 있다(김성수, 1996).

반죽(mixing)은 밀가루에 물을 균일하게 혼합, 분산시키고 밀가루의 성분 중 단백질을 물과 결합하여 글루텐 형성을 용이하게 하여 반죽(dough)를 만드는데 목적이 있다(Faridi와 Faubion, 1990). 현재 사용되고 있는 반죽 장치는 1축 혹은 2축의 회전체를 갖는 구조로 되어 있으며 라면업체, 대형공장 등에서 가장 많이 사용하고 있는 횡형믹서(mixer)와 일부 제면공장과 케익용 반죽에 사용되는 소량용 수직형믹서가 있다(Cheng, 1992). 더욱 진보된 형태로서 진공믹서가 있는데 진공 하에서 반죽을 수행하고 탈기하는 기능을 가지고 있어서 소맥분내의 공기에 의한 수분침투를 지연시키고 균일한 혼합이 이루어지며 반죽시간 단축과 반죽의 밀도, 면의 품질향상에 기여하는 효과를 갖다(Campbell *et al.*, 1998). 대부분의 제면공장에서는 칼국수와 같은 생면을 제조하는 경우 상업믹서를 사용하고 있으며, 우동과 같은 숙면을 제조하는 경우에는 진공믹서를

Corresponding author: Seung Ju Lee, Professor, Department of Food Science and Technology, Dongguk University, Seoul, 100-715 Korea.
Phone: +82-2-2260-3372, Fax: +82-2-2260-3372
E-mail: Lseungju@dongguk.edu

사용하고 있다(김성수, 1996). 최근 들어 진공믹서가 상압믹서에 비하여 다가수가 가능하여 고수분계 반죽에 의한 생산수율이 향상되고, 색상은 밝고 투명하게, 생지의 조직은 더 치밀하게 되어 좀 더 탄력 있고 쫄깃한 식감을 유지할 수가 있다고 알려지면서 진공믹서의 사용이 점차 증가되고 있으나 이에 대한 반죽특성, 면의 품질 등에 관하여 연구 보고된 사례는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 진공믹서에 의한 생면 반죽의 특성을 알아보기 위하여 상압믹서와 진공믹서를 사용해서 제조된 면대(dough sheet)의 동적 점탄성(dynamic viscoelasticity)을 분석하였다. 즉, 측정의 조건인 frequency에 따른 탄성과 점성의 변화와 특히 생면의 조리 특성과 연관될 수 있는 온도에 따른 탄성과 점성을 분석하여 진공 반죽의 레올로지 특성에 관한 기초 자료를 마련하고자 하였다.

재료 및 방법

재 료

대한제분에서 제분한 호주산 밀인 ASW(Australian standard white wheat) 소맥분(수분함량 14%, 단백질 함량 8.5%, 회분함량은 0.38%)을 사용하였다. 소맥분을 100% 기준으로 할 때 정제염 1.6%, 산미료 0.4%, 주정 2.5%를 미리 수돗물(경도 144, pH 6.3)에 녹여 10분간 방치하여 배합수로 사용하였다.

면대의 제조

소맥분(3 kg)을 진공이 가능한 실험용 믹서(MWPM-3, (주)명우기기)에 넣고 배합수를 통상적인 소맥분 중량대비 30%를 가하여 고속(100 rpm)에서 5분, 저속(50 rpm)에서 10분간 상압 또는 진공도 55 cmHg에서 각각 반죽한 후 압연기(MWPR-3, (주)명우기기)를 이용하여 먼저 7.0 mm로 면대를 만든 후 재차 면대를 접어서 롤간격 7.0 mm를 통하여 다시 면대를 형성시켰다. 연속적으로 같은 방법으로 롤간격 4.6, 3.5, 2.7, 2.1, 1.6 mm의 총 6단계를 걸쳐 면대를 완성하여 냉장고에서 1일 보관 후 레올로지 분석용 시료로 사용하였다.

동적 점탄성의 측정

Rheometer(Model 902-30062 REV B, Rheometric Scientific, NJ., USA)를 Table 1과 같은 조건으로 설정하여 사용하였다. 두께 1.6 mm인 면대를 직경

Table 1. Operating conditions of rheometer for viscoelasticity of noodle dough

Setup conditions	Sweep test	
	Frequency sweep	Temperature sweep
Initial frequency (rad/s)	0.1	-
Final frequency (rad/s)	7	-
Fixed frequency (rad/s)	-	10
Initial temperature (°C)	-	30
Final temperature (°C)	-	130
Fixed temperature (°C)	30	-
Increment	0.2	3
Strain (%)	5	10

20 mm로 절단하여 역시 직경 20 mm인 parallel plate fixture의 아래 원판에 놓고 윗 원판을 내려 측정하였다.

먼저 strain 범위는 Abdelrahman과 Spies(1986)이 반죽 점탄성의 최적조건이라 보고한 10% 이내에서 정하였다. 그러나 10% strain은 일반적으로 선형점탄성(linear viscoelasticity) 구간을 벗어나게 되지만 반죽간의 상대 비교를 최대화하기 그대로 적용하였다. Frequency sweep의 strain은 5%, temperature sweep은 10%의 조건에서 수행하였다. 이 때 temperature sweep의 strain을 frequency sweep의 strain보다 더 크게 정한 이유는 stress의 반응도를 높이기 위함이며, frequency sweep의 경우 strain rate 변화에 의한 시료의 안정성을 높이기 위함이었다. Frequency sweep과 temperature sweep 방식으로 나누어 측정하였다.

결과 및 고찰

밀가루를 주원료로 하여 제조한 생면의 점탄성을 동적 레올로지 방법으로 측정하였다. 이 측정기법은 시료에 대하여 작은 변형을 유도하여 비파괴적으로 시료의 레올로지 특성을 분석할 수 있기 때문에 측정하는 동안 측정시료가 변형되지 않는 구조를 유지할 수 있는 장점을 갖는다(지호균 등, 2004). 시료에 진동적으로 변형(strain)을 가하고 이에 대한 응력(stress)을 측정하여 탄성 modulus(G'), 점성 modulus(G'') 및 G''/G' 인 $\tan\delta$ 의 레올로지 특성값을 산출할 수 있다. 단, 진동적으로 stress를 가하고 이에 대한 반응으로 strain을 측정할 수도 있다. G' 은 탄성 또는 물체에 가해진 변형 에너지를 저장하는

능력, 그리고 G' 는 점성 또는 물체에 가해진 에너지가 소멸되는 능력을 포괄한다. δ 는 strain과 stress의 위상차를 의미하는데 순수 탄성체인 경우 위상차 δ 는 0° ($\tan\delta = 0$)이며, 순수 점성체인 경우 위상차 δ 는 90° ($\tan\delta = \infty$)이다(Steffe, 1996).

상압반죽과 진공반죽으로 제조한 면대의 점탄성을 frequency의 변화에 따라 측정한 결과는 Fig. 1~3과 같았다. G' 은 진공반죽이 상압반죽에 비하여 더 높게 나타났다. G'' 는 반죽 방법간 거의 비슷하게 나타났다. $\tan \delta$ 의 변화는 G' 에서 나타난 현상과 반대되므로 진공반죽이 더 낮은 값을 보였다. 따라서 반죽의 탄성은 진공반죽에 의하여 증가함을 알 수 있었다. 그 원인은 크게 반죽 구성물의 결착 또는 혼합·수화의 관점에서 생각해 볼 수 있는데, 먼저 진공은 압축(compression)과는 달리 반죽 구성물들 서로 결착시켜 뭉치게 하는 효과는 제공할 수 없다. 반면에 글루텐 형성을 물과 밀단백질의 혼합·수화의 과정으로 간주할 때 진공 조건은 밀가루 입자 사이에 존재할 수 있는 공기를 제거함으로써 입자의 유동이 더욱 자유로워지면서 접촉 및 혼합이 용이하게 되어 결국 수화가 촉진되어 글루텐 형성향상에 따른 탄성이 증가한 것으로 생각된다.

Frequency의 효과는 G' 과 G'' 모두 비슷한 양상으로 증가하는 추세를 보였다. G'' 의 frequency 의존성은 점성, 그리고 G' 의 무의존성은 탄성을 나타내는데 상압이나 진공 반죽 모두 전자의 양상만을 보여 점성 지배적 즉 글루텐이 잘 형성되지 않은 것으로

분석되었다. 이는 생면 반죽은 일반적으로 글루텐이 적당한 형성되어야 하는 사실과 일치함을 볼 수 있다(Jun *et al.*, 1998). 또한 $\tan\delta$ 의 frequency 의존성에서도 증가하여 탄성에 비하여 점성의 반응성이 더 높은 것으로 나타났다. 이상의 결과로부터 진공에 의하여 탄성은 증가하되 생면 반죽의 조건인 글루텐 형성의 불완전에 따른 점성은 그대로 유지할 수 있음을 알 수 있었다.

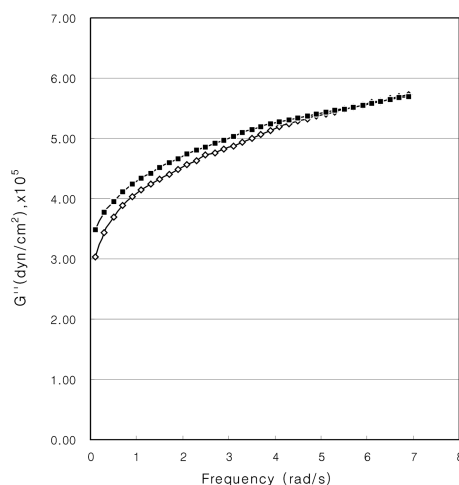


Fig. 2. Frequency dependency of G'' of noodle dough made by two different mixing methods. - \diamond -, atmospheric mixing method; - \blacksquare -, vacuum mixing method.

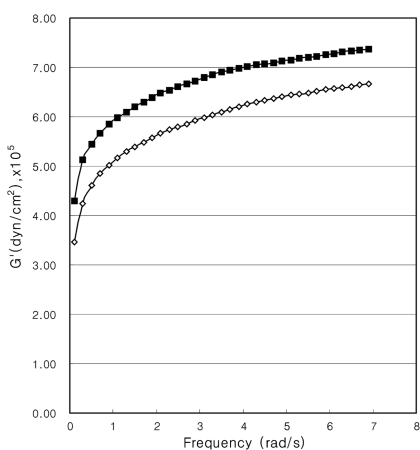


Fig. 1. Frequency dependency of G' of noodle dough made by two different mixing methods. - \diamond -, atmospheric mixing method; - \blacksquare -, vacuum mixing method.

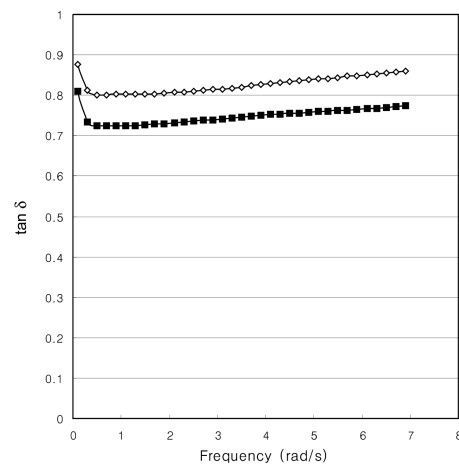


Fig. 3. Frequency dependency of $\tan \delta$ of noodle dough made by two different mixing methods. - \diamond -, atmospheric mixing method; - \blacksquare -, vacuum mixing method.

Temperature sweep에 의한 점탄성 특성을 측정한 결과는 Fig. 4~6과 같았다. 상압 또는 진공의 반죽 조건에 관계없이 G'가 G''보다 작게 나타났다. G'은 30~50°C정도까지 감소하다가 55°C 부근부터 다시 증가하면서 70°C 부근에서는 최대값을 보였다. 그 이후 100°C 부근까지 계속 감소하다가 다시 불규칙하게 증가되고 다시 감소하였다. 이로부터 온도의 상승에 따라 탄성 modulus가 감소되어 면대가 연한 상태로 변화함을 알 수 있었다. G''은 온도에 따라 증가하다가 80°C 부근에서 최대값을 보였으며 그

이후로는 점차 감소하였다. 온도에 따른 점성 modulus의 증가는 면대의 물성이 점성으로 바뀌면서 일종의 점도가 증가한 사실을 반영한다. 이는 면대의 전분이 온도 상승에 따라 호화되기 때문으로 생각된다. 단, G'이 temperature sweep 시작 이후 급격히 감소한 것과 호화 후 최대 값과 시작 값의 차이가 크지 않는 점, 그리고 호화 예상 부분을 제외하고는 전체적으로 너무 많이 감소하는 점 등으로 보아 strain 10% 조건에 따른 비선형구간의 변형으로 인한 조직의 파괴가 수반됐을 가능성도 배제할 수 없다.

Fig. 6에서 tanδ는 반죽조건과 상관없이 65°C 부근까지 거의 1을 유지하여 탄성과 점성의 성질이 대등하게 전개되다가 그 이상의 온도에서는 tanδ가 1 이상의 값으로 증가하였다. 이는 면대의 점탄성이 탄성에서 점성 지배적으로 바뀔을 의미하며, 또한 그 이후로는 점성의 온도 의존성(Steffe, 1996)에 따르는 것으로 생각된다.

Tanδ의 변화에서 최대값을 보이는 양상은 유리전이(glass transition)의 동적 점탄성 특성에서도 찾아볼 수 있다(Farhat et al., 2003). 즉, 온도가 상승하면서 G'은 G''보다 상대적으로 감소하여 tanδ가 증가하며, 유리전이온도에 도달한 이후에는 G'은 작용하지 않고 G''가 온도 상승에 따라 감소하여 tanδ는 다시 작아진다. 이는 유리질(glass state)이 유리전이 온도를 거치면서 고무질(rubbery state)로 전이되어 탄성 modulus는 감소하게 되고, 유리전이온도 이후에는 점성의 온도 의존성에 따라 고무질의 점성

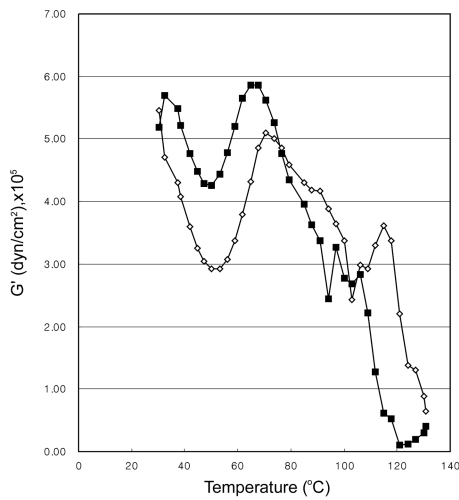


Fig. 4. Temperature dependency of G' of noodle dough made by two different mixing methods.

-◇-, atmospheric mixing method; -■-, vacuum mixing method.

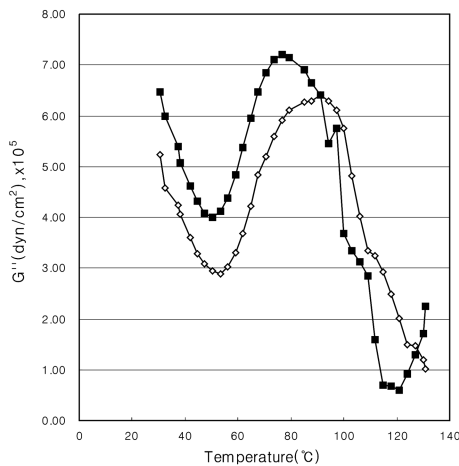


Fig. 5. Temperature dependency of G'' of noodle dough made by two different mixing methods.

-◇-, atmospheric mixing method; -■-, vacuum mixing method.

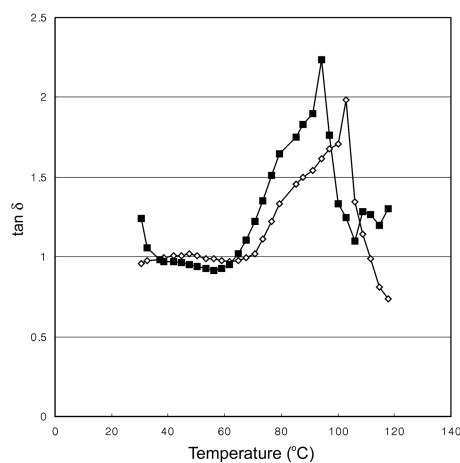


Fig. 6. Temperature dependency of tan δ of noodle dough made by two different mixing methods.

-◇-, atmospheric mixing method; -■-, vacuum mixing method.

modulus가 감소하는 현상에 근거한다. 이 원리를 Fig. 6에 반영하여 볼 때 $\tan\delta$ 의 최대값에서 유리전이 존재의 여부는 알 수 없지만 탄성 modulus가 높은 상에서 낮은 상으로 전이현상이 일어난 것은 확실하다. 전분의 호화는 일종의 용융(melting)으로서 호화 직전에 유리전이가 수반되는 것으로 알려져 있다 (Liu *et al.*, 1990). 따라서 $\tan\delta$ 의 변화 양상은 전분의 온도 상승에 따른 유리전이 및 호화가 주된 원인이라고 간주할 수 있으며 특히 수분함량이 약 60% 이하에서 일어나는 호화는 호화개시온도가 상승하여 30% 정도에서 약 90°C에서 일어나는 사실 (Faridi와 Faubin, 1990)과 일치함을 알 수 있다. 그런데 최대값 위치의 온도가 진공반죽이 상압반죽보다 낮은 것으로 보아 결국 진공반죽에 의하여 생면의 호화가 더 용이할 것으로 판단된다.

요 약

생면 제조의 진공 반죽 방법이 생면의 레올로지 특성에 미치는 영향을 알아보았다. 상압과 진공의 조건에서 각각 반죽하고 압연하여 면대를 제조하여 동적 점탄성을 비교 분석하였다. Frequency sweep 실험에서 진공반죽이 상압반죽보다 G' 은 높았으며 $\tan\delta$ 는 낮았고 G'' 는 거의 비슷하게 나타나서, 반죽의 탄성이 진공반죽에 의하여 증가하였음을 제시하였다. Frequency에 따라 G' 와 더불어 G'' 또한 변화하는 추세로부터 상압반죽과 진공반죽 모두 점성 지배적 즉 글루텐이 잘 형성되지 않은 상태임을 알 수 있었다. 온도 sweep 실험에서 반죽조건과 무관하게 G' , G'' , $\tan\delta$ 는 공통적으로 일종의 최대값이 존재하는 유형을 보였다. 이는 온도의 상승에 따라 면대가 유리전이와 호화와 관련하여 연한 상태로 변화함을 반영하였다. 최대값 위치의 온도는 진공반

죽이 상압반죽보다 더 낮게 나타나 진공반죽 생면의 호화가 더 용이할 것으로 판단된다.

문 헌

- 김성수. 1996. 건면, 숙면, 생면 및 냉동면 제조기술. 식 품기술 **9**(3): 77-89
- 이철호. 1991. 전통면류의 제법과 품질특성. 한국식문화 학회지 **6**(1)
- 지호균, 김철진, 조용진, 장영상, 박용곤, 김종태. 2004. Thermal-setting 기법에 의한 과실겔의 제조 및 레올로 지 특성. 산업식품공학 **8**(2): 91-97
- 한국식품공업협회. 2004. 면류제품의 현황과 나아갈 길. 식품공업 5월호 통권 제 179호
- Abdelrahman A. and R. Spies. 1986. Dynamic rheological studies of dough systems. In: *Fundamentals of Dough Rheology*. H. Faridi and J.M. Faubion (ed.). The AACC Inc., St. Paul, Minnesota, USA. pp. 87-103
- Campbell, G.M., C.D. Rielly, P.J. Fryer and P.A. Sadd. 1998. Aeration of bread dough during mixing: effect of mixing dough at reduced pressure. *Cereal Foods World* **43**(3): 163-167
- Cheng, L.M. 1992. *Food Machinery: for the Production of Cereal Foods, Snack Foods, and Confectionary*. Ellis Horwood, NY, USA
- Faridi, H. and J.M. Faubion. 1990. *Dough Rheology and Baked Product Texture*. Van Nostrand Reinhold, NY, USA
- Farhat, I.A, Z. Mousia and J.R. Mitchell. 2003. Structure and thermomechanical properties of extruded amylopectin sucrose system. *Carbohydrate Polymers* **52**(1): 29-37
- Jun, W.J., P.A. Seib and O.K. Chung. 1988. Characteristics of Noodle Flours from Japan. *Cereal Chem.* **75**(6): 820-825
- Liu, H., J. Lelievre and W. Ayoung-Chee. 1990. A study of starch gelatinization using differential scanning calorimetry, X-ray, and birefringence measurements. *Carbohydrate Research* **210**: 79-87
- Steffe, 1996. *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Freeman Press, MI, USA