

진동이 물김치의 동결과 발효에 미치는 영향

- 연구노트 -

김기남¹ · 한상보² · 김은정³ · 이동선^{1*}

¹경남대학교 식품생명학과

²경남대학교 기계자동차공학부

³LG전자(주) 디지털 김치연구소

Influence of Vibration on Freezing and Fermentation of Watery *Kimchi*

Gi-Nahm Kim¹, Sangbo Han², Eun-Jeong Kim³ and Dong Sun Lee^{1*}

¹Dept. of Food Science and Biotechnology, Kyungnam University, Masan 631-701, Korea

²Division of Mechanical Engineering and Automation, Kyungnam University, Masan 631-701, Korea

³Digital Research Center on Kimchi, LG Electronics, Changwon 641-711, Korea

Abstract

Vibration at frequency of 20 Hz and 0.18 g of acceleration was applied to 600 g watery *kimchi* contained in a glass jar of 1 L at subfreezing temperature (-3 and -6°C) and 10°C in order to see its effect on freezing and fermentation behaviors, respectively. The vibration at the subfreezing temperature delayed the freezing process and contributed to maintaining small ice crystal slurry in subsequent frozen storage. The vibration at 10°C accelerated the acid and carbon dioxide production from the watery *kimchi*, which may be beneficial in shortening ripening time and attaining fresh cool taste.

Key words: watery *kimchi*, vibration, ice crystal, subfreezing, CO₂ production

서 론

액즙을 주로 섭취하는 물김치로는 동치미, 열무김치, 나박김치 등이 있으며, 제조에서는 배추, 무, 파, 고추, 생강, 마늘 등을 소금물에 담아서 발효시킨다(1,2). 많은 경우 숙성을 촉진하기 위하여 호화시킨 전분질 원료를 약간 첨가하기도 한다. 물김치류에서는 염도 1~2%에서 *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Streptococcus* 등의 유산균에 의한 발효에 의하여 액즙에 생성된 젖산과 이산화탄소(CO₂)가 짠맛과 채소의 조직감과 어울려 독특한 맛과 향미를 부여한다(3,4). 물김치류 중에서 동치미는 주로 겨울에 담고, 열무김치는 여름에 담았으나, 근래에는 원료 채소의 연중 재배와 냉장고의 보급으로 계절에 관계없이 제조되고 있으며, 그 형태도 여러 가지로 다양해지고 있다. 특히 최근 김치 냉장고의 보급으로 인하여 김치류 소비는 그 종류와 질에서 다양하고 풍부하게 되었다. 김치냉장고에 발효숙성기능이 첨가되어 적숙 상태의 김치를 원하는 때에 소비하고 장기간 저장하게 되었다. 이러한 가정용 전자제품 기술은 예전에 생각할 수 없었던 여러 식품가공기술을 김치에 도입할 수 있는 가능성을 제공하고 있다. 물김치에서는 보관온도의 제어에 의하여 우수한 관능적 품질을 얻기 위하여 살얼음이 언 상태로 소비될 수

있는 기능을 제공하기도 한다. 이러한 기능성의 하나로 제기되는 시도가 진동을 물김치의 보관과 발효에 적용시키는 것이다. 진동은 적절한 온도제어와 함께 살얼음 상태의 유지에 영향을 미칠 수 있으며, 독특한 발효상태를 얻는 데에도 이용될 수 있을 것으로 보인다.

진동은 과냉각수의 얼음 결정핵 생성 속도를 빠르게 하는 것으로 보고되고 있으며(5,6), 이는 초음파 진동의 경우 과냉각수에서 cavitation에 따른 압력발생에 따른 기작에 의한 것으로 설명되고 있다(7,8). 또한 초음파 진동은 동결 열전달 속도를 빠르게 하는 효과를 가진다(9). 이러한 초음파 진동에 의한 동결속도의 향상은 채소조직의 texture에도 긍정적인 영향을 주는 것으로 보고되고 있다(10). 하지만 진동의 동결에 대한 효과는 초음파 진동을 대상으로 주로 연구되었고, 실제적으로 냉장고에서 물김치 보관에서 이용 가능한 진동의 영역에 대하여 연구되지는 못하였다.

물김치와 같은 액체 발효식품에서 진동이 기여할 수 있는 또 다른 한 면이 발효 속도나 발효된 식품의 품질에 영향을 줄 수 있다. 본질적으로 진동은 교반효과에 의하여 기질이 미생물이나 효소와 쉽게 접촉할 수 있게 함으로써, 어느 범위까지는 발효 속도나 미생물 증식속도를 촉진시킬 수 있는 것으로 알려져 있다(11). 하지만 이러한 진동이나 교반이 물

*Corresponding author. E-mail: dongsun@kyungnam.ac.kr
Phone: 82-55-249-2687, Fax: 82-55-249-2995

김치와 같은 한국고유의 액체발효식품에 적용된 적은 없다. 세계적으로 초음파를 포함한 진동이 식품의 발효에 미치는 영향에 대해서는 거의 연구된 바가 없으며, Tverdokhle와 Kim(12)이 빵의 발효에서 초음파 진동을 부과하면 발효 속도가 빨라지는 것으로 보고한 바가 있다. 그리고 이와 직접 관련되지는 않지만 Nakamura 등(13)은 진동의 부과에 의하여 토마토의 호흡과 숙성이 촉진된다고 보고하였다. 진동 자체의 효과가 식품 발효에 미치는 영향에 대해서는 연구가 이루어진 바가 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 진동을 물김치에 가할 때, 빙결점 이하에서의 동결과 저온에서의 발효에 일어나는 현상을 실험적으로 관찰하여 보고하는 바이다.

재료 및 방법

물김치

(주)두산 거창공장에서 혼합 제조되어 숙성되기 전의 나박김치를 10 kg 단위로 냉장상태로 수송하여 사용하였다. 염도계(model TM-301, Takemura Electric Work Ltd., Tokyo, Japan)에 의하여 측정된 액즙의 염도는 1.5~1.7%이었다. 1 L의 유리용기에 600 g의 나박김치를 담아서 기밀성을 유지하게 밀봉하였다. 포장시에 고품분과 액즙의 비율을 일정하게 하기 위하여 고품분:액즙의 비를 1:3으로 일정하게 충전하였다.

빙결점이하의 온도에서 진동의 적용

냉장고 내에 진동부과 장치를 장착하여 물김치 용기에 진동을 가할 수 있도록 하였다. 물김치를 충전한 조건에서 -3°C에서 주파수 20 Hz, 1.8 m/s²의 가속도 수준의(0.18 g의 가속도에 해당) 진동을 주는 처리구와 정치시킨 대조구를 비교하여 실험자가 정한 기준에 따라(Table 1) 물김치의 얼음 형성 정도를 평가하였다. 진동처리구에서는 물김치를 담은 유리병 4개를 고정된 선반(18×18 cm)을 진동장치와 연결시켜 원하는 진동의 주파수와 진동강도를 주도록 제어하였다. 진동 장치는 신호발생기(model PET-0A, IMV, Osaka, Japan)에서 발생하는 특정 주파수의 정현파신호를 소형 가진기(Shaker model PET-01, IMV)를 통하여 유리병

이 담긴 고정 선반에 진동이 전달되도록 구성하였으며 고정 선반에 직접 전달되는 진동의 크기는 가속도계(model 302A07, PCB, Tokyo, Japan)로 측정된 신호를 신호분석기(CF350, Onosoki, New York, USA)를 통하여 확인하였다. 진동의 주파수와 강도는 신호발생기의 주파수와 gain(가속도 수준)을 조절하여 원하는 크기로 조절할 수 있도록 되어 있는데 본 실험에 적용한 진동의 조건은 김치냉장고에서 가벼운 진동을 주는 조건으로 예비실험에 의하여 설정된 조건을 채택하였다.

얼음의 형성 정도는 5단계로 나누었으며, 평가 척도는 Table 1에 나타내었다. 또한 빙결점 이하에서 물김치의 동결 진행과정을 보다 구체적으로 이해하고자, 물김치를 -6°C에서 동일한 수준의 진동 처리구와 대조구를 저장하면서 중심부의 온도를 동-콘스탄탄 열전대에 의하여 측정하였다.

10°C 발효에서 진동의 적용

유리병에 충전밀봉된 물김치를 주파수 20 Hz에서 0.18 g의 가속도에 해당하는 진동을 주는 처리구와 정치시킨 대조구를 10°C에서 저장하면서 용기 head space 내의 기체 시료 1 mL를 취하여 gas chromatograph(Hitachi Ltd., Tokyo, Japan)에 의하여 CO₂ 농도를 측정하고, 필요시 용기를 개봉하여 물김치의 총산을 측정하였다. Gas chromatograph에 의한 CO₂가스 농도의 측정조건으로는 He를 carrier gas로 하여 Alltech CTR I column(Alltech Associate Inc., Deerfield, IL, USA)을 통과시킨 후 열전도도 검출기(TCD)에 의하여 정량하였다. 측정된 CO₂ 농도는 이상기체 상태방정식에 의하여 CO₂ 분압으로 환산하여 표현하였다(14). 총산은 적정산도로서 물김치 액즙 100 mL를 취하여 0.1 N NaOH로 pH 8.1이 될 때까지 적정하여 젖산함량으로 나타내었다.

결과 및 고찰

진동이 물김치의 동결에 미치는 영향

물김치를 사용하여 -3°C에서 진동 처리구와 무진동의 대조구에 의한 물김치의 살얼음 형성 정도를 평가하여 Fig. 1에 나타내었다. 대조구의 경우 -3°C에서 2~3시간 후 살얼음이 형성되기 시작하여 점차 살얼음의 단계가 강화되어 12시간쯤에 3단계에 이르렀으며, 20시간 후 완전히 동결되는 현상을 보였다. 반면 계속적 진동을 부과한 경우, 8시간 후에 살얼음이 얼기 시작하여 13시간쯤에 3단계에 이르렀으며 그 후 그 상태를 계속 유지하였다. 즉, 계속적 진동이 무진동에 비하여 살얼음의 형성을 늦추어 주었고, 살얼음 형성 후에도 완전 빙결되기 전의 살얼음 상태를 오래 유지시키는 것으로 나타났다.

-6°C에 노출된 물김치의 중심부를 측정된 결과를 보면 진동 및 무진동 처리구 모두에서 비슷한 냉각과정을 보이며, 4시간 부근에서 -1.4°C까지 하강하여 약간의 과냉각 상태를

Table 1. Scale describing the visual status of ice formation in watery kimchi

Scale	Status of physical appearance
1	Ice nuclei started to be formed on the surface of watery kimchi brine contacting the jar
2	Slight ice plane is partially formed on the surface of watery kimchi brine contacting the jar
3	Shallow ice plane covers the top of watery kimchi brine
4	Thick ice structure surrounds the small portion of unfrozen watery kimchi
5	Completely frozen

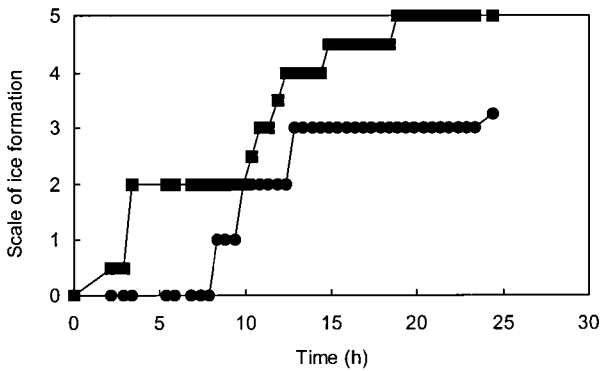


Fig. 1. Effect of vibration on ice formation of watery kimchi at -3°C. ●, with vibration; ■, without vibration.

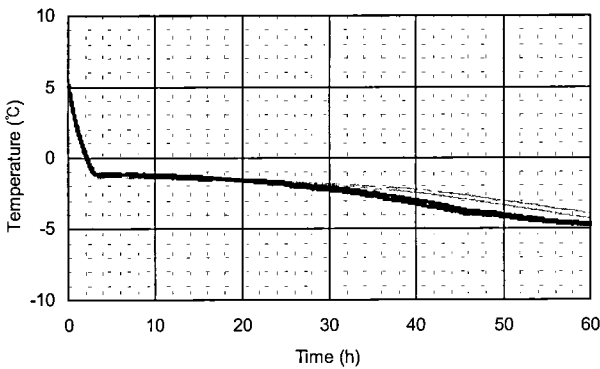


Fig. 2. Comparison of the cooling and freezing curves of watery kimchi with or without vibration at -6°C. Thick lines indicate center temperature for control jars without vibration while thin lines indicate those for watery kimchi jars with vibration.

보인 후 일정한 온도 상태를 보여서 동결이 진행되고 있음을 나타내고 있다(Fig. 2). 그리고 이러한 일정 온도의 상태는 약 30시간 후에 종료되기 시작하고 있으며, 그 시작과 진행은 무진동의 대조구에서 약간 빨랐다. 즉, 동결은 진동의 유무에 관계없이 비슷한 시점에서 -1.4°C의 동결점에서 시작되었으나, 얼음 형성의 진행은 진동을 부과한 경우에 약간 늦어지는 것을 보였다.

Fig. 1과 Fig. 2에서 보여진 바대로 진동이 물김치 동결을 약간 지연시키고, 살얼음 상태를 오래 유지시키는 현상은, 초음파 진동이 과냉각수의 얼음 핵 생성속도를 촉진한다는 다른 연구보고(5,6)와는 일견 상이한 것으로 보인다. 하지만 물김치와 같이 많은 소형 부유성 고형분 입자를 가져서 얼음 결정핵 생성이 용이한 조건에서는 핵의 생성속도보다는 결정의 성장이 육안적인 동결진행과 동결상태에 영향을 주는 것으로 생각된다. 식품에서 수분의 동결과정과 상태는 결정핵의 생성과 결정 성장의 상호관계에 의해서 이루어짐이 일반적으로 알려진 사실이다(15). 이는 냉각속도와 진동 등의 여러 요소에 따라 달라질 수 있다. 격렬한 진동은 식품의

냉각속도를 빠르게 함에 따라 작은 결정을 균일하게 유지할 수 있는 것으로 보고되고 있으며(8,9), 이는 일면 본 연구 결과와 상응하는 것이다. Fig. 1과 Fig. 2의 결과로 보았을 때, 본 연구에서 가한 약한 정도의 진동은 육안적으로 확인되는 동결 상태의 진행을 지연시키면서 작은 얼음 결정 상태를 유지하도록 하며, 이는 물김치의 보관 품질에 긍정적인 효과로서 작용할 수 있는 것으로 보인다. 진동이 액체 식품의 동결에서 미치는 영향은 식품의 특성, 냉각속도, 진동의 강도 등에 따라 달라질 수 있는 것으로 보이며, 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요한 것으로 생각된다.

진동이 물김치의 발효에 미치는 영향

10°C에서 진동을 가한 물김치가 무진동의 경우보다 CO₂ 발생과 총산의 생성이 훨씬 빠르고 높게 이루어졌다(Fig. 3). 진동은 기질과 미생물 간의 접촉과 혼합을 촉진함에 따라서 미생물의 생육을 도와주는 것으로 생각된다(11). 특히 발효 초기에 진동에 의해서 높은 CO₂ 발생을 보인 것은 김치 발효에서 CO₂ 생성에 주로 기여하는 이상젖산발효균인 *Leuconostoc mesenteroides*의 생육을 촉진한 것으로 추정된다. 물김치에서 높은 CO₂ 생성은 액즙에 많은 용존 CO₂를 존재케 하며 이로 인하여 시원한 맛에 기여하는 주요 요인이다. 따라서 물김치의 저온 숙성시 진동을 가한다면 숙성기간을 단축시키며 초기 CO₂의 축적을 높여서 관능적인 품질 향상에 기여할 것으로 생각된다. 하지만 진동 처리구에서 산의 생성이 빠른 점은 숙성시간의 단축이란 긍정적인 면이 있는 반면에 물김치 보관의 측면에서는 산패의 촉진을 가져올 수 있는 부정적인 면을 가질 수 있다. 진동을 가하여 숙성되는 물김치의 경우, 숙성의 보관 시에 보다 일찍 저온으로 옮겨 저장할 필요성이 있다.

결론적으로 볼 때, 진동은 얼음결정의 형성과 유지, 그리고 CO₂ 생성과 발효 촉진의 복합적인 효과를 얻을 수 있으며, 이에 대한 종합적인 검토에 의해 물김치의 숙성제어와 품질유지에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

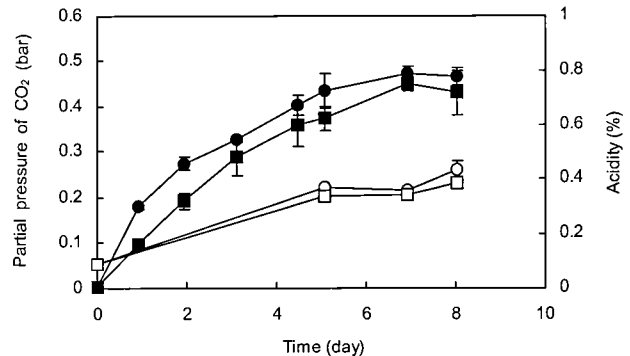


Fig. 3. Effect of vibration on head space CO₂ pressure and acidity during fermentation of watery kimchi at 10°C. ●, CO₂ partial pressure with vibration; ■, CO₂ partial pressure without vibration; ○, acidity with vibration; □, acidity without vibration.

요 약

주파수 20 Hz와 0.18 g의 가속도에 해당하는 진동을 1 L 유리병에 담겨진 600 g의 물김치에 가하였다. -3°C 와 -6°C 에서 동결의 진행정도를 관찰하였고, 10°C 에서는 총산과 CO_2 발생을 측정하여 발효진행 정도를 측정하였다. 진동이 없는 대조구를 같은 온도조건에서 두어서 진동의 효과를 비교하였다. -3°C 와 -6°C 에서의 진동은 동결의 과정을 지연시키고, 계속되는 저장에서 작은 얼음결정의 혼합체를 유지하는 데에 있어서 긍정적인 결과를 보였다. 10°C 에서 진동은 산의 생성과 CO_2 발생을 촉진하여 숙성시간을 단축시키고 시원한 맛을 주는 데 긍정적인 역할을 할 수 있는 것으로 평가되었다.

감사의 글

본 연구는 BK21 신규사업의 연구결과의 일부이며, LG전자(주)가 산학협동 프로그램으로 참여하였습니다.

문 헌

1. Lee SR. 1986. *Korean fermented foods*. Ehwa Womens University Press, Seoul. p 139-193.
2. Pie JE, Jang MS. 1995. Effect of preparation methods on *yulmoo kimchi* fermentation. *J Korean Soc Food Nutr* 24: 990-997.
3. Lee DS, Lee YS. 1997. CO_2 production in fermentation of *dongchimi* (pickled radish roots, watery radish *kimchi*). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26: 1021-1027.
4. Oh JY, Hahn YS, Kim YJ. 1999. Microbiological characteristics of low salt *mul-kimchi*. *Korean J Food Sci Technol* 31: 502-508.
5. Inada T, Zhang X, Yabe A, Kozawa Y. 2001. Active control of phase change from supercooled water to ice by ultrasonic vibration 1. Control of freezing temperature. *Int J Heat Mass Transfer* 44: 4523-4531.
6. Li B, Sun DW. 2002. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods—a review. *J Food Eng* 54: 175-182.
7. Ohsaka K, Trinh EH. 1998. Dynamic nucleation of ice induced by a single stable cavitation bubble. *Appl Phys Lett* 73: 129-131.
8. Zhang X, Inada T, Yabe A, Lu S, Kozawa Y. 2001. Active control of phase change from supercooled water to ice by ultrasonic vibration 2. Generation of ice slurries and effect of bubble nuclei. *Int J Heat Mass Transfer* 44: 4533-4539.
9. Oh YK, Park SH, Cho YI. 2002. A study of the effect of ultrasonic vibrations on phase-change heat transfer. *Int J Heat Mass Transfer* 45: 4631-4641.
10. Sun DW, Li B. 2003. Microstructural change of potato tissues frozen by ultrasound-assisted immersion freezing. *J Food Eng* 57: 337-345.
11. Rice JF, Helbert JR, Garver JC. 1974. The quantitative influence of agitation on yeast growth during fermentation. *Proc Amer Soc Brewing Chem* 32: 94-96.
12. Tverdokhlebb LL, Kim LV. 1982. Intensity of rye dough fermentation with ultrasonic processing of liquid starter. *Khlebopekarnaya i Konditerskaya Promyshlennost* 6: 32-33. From FSTA issue 7 of year 1983.
13. Nakamura R, Ito T, Inaba A. 1977. The effect of vibration on the respiration of fruit. II. Effects of vibration on the respiration rate and the quality of tomato fruit during ripening after vibration. *J Japanese Soc Hort Sci* 46: 349-360.
14. Lee DS, Kwon HR, Ha JU. 1997. Estimation of pressure and volume changes for packages of *kimchi*, a Korean fermented vegetable. *Packag Technol Sci* 10: 15-32.
15. Fennema O. 1973. Nature of freezing process. In *Low-temperature preservation of food and living matter*. Fennema O, Powrie WD, Marth EH, eds. Marcel Dekker, New York. p 151-239.

(2007년 5월 3일 접수; 2007년 6월 14일 채택)