

김치용기에서의 이산화탄소 농도 제어를 위한 주입 프로그램 조건 설정

안덕순* · 조민경 · 박수연 · 이동선

경남대학교 바이오융합학부

Programmed Conditions of Supplying Carbon Dioxide to Keep its Desired Concentration in Kimchi Container

Duck Soon An*, Min Gyeong Jo, Su Yeon Park, and Dong Sun Lee

School of Bioconvergence, Kyungnam University, Changwon, 631-701 Korea

Abstract Kimchi is a refreshing sour food which gives sour and carbonic acid taste of carbon dioxide produced during the fermentation process. So, carbon dioxide injection was tried to raise carbonic acid taste of kimchi stored in the airtight container. First, carbon dioxide injection times of a given gas supply system were determined experimentally to attain initial concentration of 80% for different solid/liquid ratios. Since carbon dioxide is dissolved in kimchi to decrease its concentration during storage, periodical carbon dioxide injection conditions were needed and determined to keep the CO₂ concentration above 70%. For the initial flushing to 80% CO₂ concentration in model system filled with water, the injection time ranged from 40 to 89 seconds for free volumes of 2-8 L. CO₂ injection conditions for the under-ripened storage at 10°C consisted of longer time at more frequent cycles for watery kimchi than for Chinese cabbage kimchi. At 0°C of subsequent ripened stage storage of watery kimchi, the periodical injection at 3 hour interval was required because of continuous dissolution of carbon dioxide. However, Chinese cabbage kimchi did not require subsequent CO₂ injection during the ripened state storage and needed only flushing to 80% CO₂ at time of the container opening and closing. These results can be used as basic information for the programmed control of CO₂ injection in the kimchi container system.

Keywords Kimchi, container, storage, carbon dioxide, control program

서 론

이산화탄소는 인체에 무해하여 일상생활에 많이 이용하는 가스로써 식품에 청량감을 부여하기 위해 여러가지 청량음료나 탄산수 등 각종 탄산음료로 제조하여 판매되고 있다. 섭취된 이산화탄소는 일부 체외로 배출되고, 일부는 인체에 흡수되어 혈액의 pH를 일정하게 유지하는 완충역할을 한다. 식품의약품안전처에서 발표한 식품별 생산 및 매출현황¹⁾에 따르면 최근 탄산수의 판매가 2013년 59억원에서 2017년 193억원 판매로 증가하고 있으며 판매되는 탄산수를 구입하여 마시기도 하지만, 가정용 냉장고(지펠 스

파클링 냉장고, RF793SFPEX3)에 탄산수 제조기²⁾(Delight Co., Paju, Gyeonggi, Korea)를 장착하여 판매되고 있다. 이러한 청량감을 맛볼 수 있는 식품이나 음료는 가공공정에서 외부로부터 탄산을 주입하는 경우도 있지만 우리나라 고유의 발효식품인 김치의 경우는 발효과정을 통해 이산화탄소가 일부 생성되어 김치의 청량감을 부여한다. 그래서, 발효초기부터 이산화탄소를 공급하면 발효과정을 통해 김치의 신맛과 탄산맛이 더해져서 상큼한 신맛을 상승시킬 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구자는 김치 보관 용기에 이산화탄소를 주입할 수 있는 탄산가스 제어 용기 시스템을 개발하였으며(Fig. 1), 개발된 용기에 김치를 담고 발효초기부터 고농도의 이산화탄소를 주입할 수 있다. 그런데, 이산화탄소는 식품에 용해되는 특성이 있어 시간이 지날수록 고농도로 주입된 이산화탄소는 식품으로 용해되어 용기 내 이산화탄소 농도가 낮아진다³⁾. 그래서, 일정한 시간 간격으로 이산화탄소를 주입

*Corresponding Author : Duck Soon An
School of Bioconvergence, Kyungnam University, 7 Kyungnam-daehak-ro, Changwon 51767, South Korea
Tel : +82-55-249-2360
E-mail : ads2004@kyungnam.ac.kr

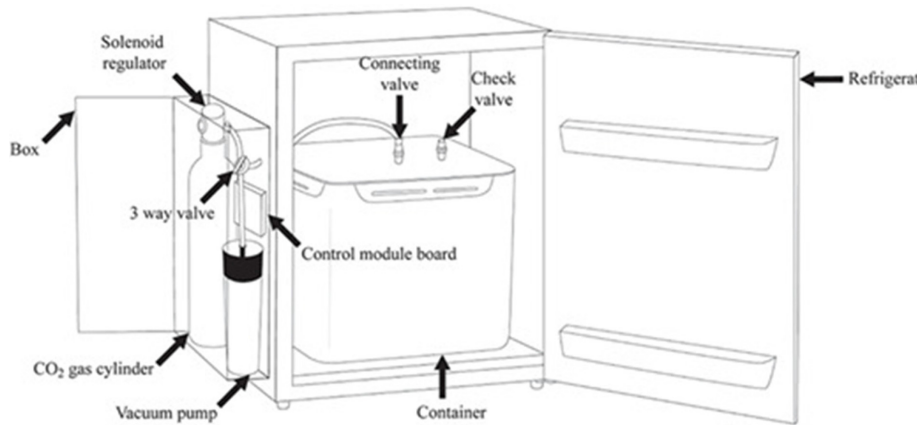


Fig. 1. Container system for high concentration carbon dioxide control⁵⁾.

하여 용기 내 이산화탄소 농도를 일정한 수준 이상으로 유지해 주어야 하며, 저장되는 김치에 함유된 고체/액체의 비율에 따라 이산화탄소 용해 정도가 다르기 때문에 이산화탄소 주입의 주기를 조절하여야 한다. 또한, 발효 후숙기에는 발효 초기와 달리 김치발효로 발생하는 이산화탄소가 용기내 높은 이산화탄소 농도 유지에 영향을 미치므로 이에 적합한 이산화탄소 주입의 주기 간격이 필요하다.

본 연구에서는 기 개발된 탄산가스 제어 용기 시스템 내 높은 이산화탄소 농도로 자동 공급 가능하도록 프로그램을 개발하는데 필요한 조건별 기본 데이터를 제공하기 위한 연구를 수행하고자 한다. 김치의 저장온도는 발효초기 10°C와 발효후기 0°C로 조건을 정하고 탄산가스 제어 밀폐 용기의 자유용적, 저장되는 김치의 고체/액체 비율, 김치의 발효 진행 정도에 따라 이산화탄소 주입의 주기와 주입시간에 대한 결과는 높은 이산화탄소 농도 주입 유지 프로그램의 알고리즘 개발에 활용 가능하다.

재료 및 방법

1. 용기 및 김치 재료

높은 이산화탄소 농도로 주입 가능한 밀폐 용기의 전체 부피는 약 10 L(37 cm × 26 cm × 17 cm)이고, 밀폐 용기 내 물이나 김치를 80, 60, 40, 20% 채우게 되면 밀폐용기의 자유용적(free volume)은 각각 2, 4, 6, 8 L이다. 밀폐 용기 내 이산화탄소 주입 및 유지 조건을 확인하기 위해 액체 비율이 높은 물김치와 고체 비율이 높은 배추김치를 사용하였다. 물김치는 Kwon⁴⁾의 방법에 따라 5 × 2 × 2 cm 크기로 절단한 무에 동일한 양의 물을 첨가하고, 양념은 무 100g당 다진 마늘 1g, 다진 생강 0.5g, 잔파 3g을 첨가하여 실험실에서 직접 제조하였다(최종 염도 1.0~2.0%). 배추김치는 진해농협에서 당일 생산한 제품(염도 2.6~2.7%)을 구입하여 1시간 이내 실험실로 배송하여 사용하였다.

2. 밀폐 용기내 높은 이산화탄소 농도 주입 시간 결정

밀폐 용기 내 고 농도의 이산화탄소를 주입하는 방법은 본 연구자가 기 개발한 탄산가스 제어 용기 시스템⁵⁾을 활용하였으며, 개발된 제품의 형태는 Fig. 1과 같다. 밀폐 용기는 냉장고 내부에 장착 가능하고, 이산화탄소를 주입할 수 있는 이산화탄소 실린더와 제어 시스템은 냉장고 외부에 설치 가능하다. 냉장고 외부에 장착된 용기 시스템에서 이산화탄소 실린더를 통해 용기 내로 이산화탄소가 주입되도록 설계되어 있다. 실제 본 연구에 활용된 용기 시스템은 Fig. 1에 제시된 바와 같이 진공펌프가 장착된 구조이고, 컴퓨터 프로그램으로 진공펌프 작동여부를 선택할 수 있으며, 본 연구에서는 진공펌프를 작동시키지 않고 조작하였다. 용기 시스템에 장착된 제어보드를 통해 밀폐 용기 내로 이산화탄소의 주입시간과 주입간격이 자동으로 작동하도록 프로그램화되어 있다. 즉, 컴퓨터에 셋팅된 프로그램에서 이산화탄소 농도 주입 시간을 입력하고 작동시키면 이산화탄소 실린더에 장착된 솔레노이드 밸브가 자동으로 열리고 일정한 시간 동안 이산화탄소가 용기 내로 주입되는 구조이다. 셋팅된 주입 시간이 끝나면 솔레노이드 밸브는 자동으로 닫히고, 용기내 이산화탄소 농도는 기체크로마토 그래피로 분석하여 농도를 확인 할 수 있다. 이산화탄소 실린더에 부착된 솔레노이드 밸브는 프로그램과 연동하여 자동으로 열리고 닫히는 구조이고, 압력 조절은 이산화탄소 실린더에 부착된 조절기(CO₂ Supermarket, South Milford, UK)로 안전하게 작동하도록 제어된다. 밀폐 용기 내 이산화탄소 농도를 초기 80%로 주입하고, 저장 중에 이산화탄소 농도가 70%로 낮아지는 시간을 기준으로 저장 중 이산화탄소 추가 주입 조건을 시간 주기로 결정하였다⁵⁾. 먼저, 탄산가스 제어 용기 시스템을 활용하여 저장 초기 및 용기 개폐 시 80%의 이산화탄소 농도를 주입하기 위한 조건을 확립하였다. 단순히 이산화탄소를 주입하는 부분이어서 단시간에 이루어지므로 온도의 영향은 고려하지 않고 상온에서 밀폐

용기내 물을 채워서 실험하였다. 다음으로, 저장 개시와 함께 높은 이산화탄소 농도로 얻어진 김치 용기에서 김치 액즙이나 김치 조직 내부로 이산화탄소 용해로 감소되는 이산화탄소 농도를 보충하는 주입조건을 결정하기 위한 실험을 진행하였다. 이산화탄소의 용해는 김치의 고체/액체 비율과 김치의 숙성도가 영향을 미치기 때문에 이 부분을 고려하여 측정하였는데, 초기 80%로 이산화탄소를 주입하고 저장 중 70%로 낮아지는 시간을 확인하여 주기를 결정하였다. 저장 온도는 김치가 맛있게 익어가는 적숙기⁶⁾까지는 10°C에서 진행하고, 적숙기 이후 발효 후기인 김치를 보관하는 온도로서 0°C로 설정하여 진행하였다. 밀폐 용기 내 이산화탄소 농도는 기체분석기(Checkmate 3, PBI Dansensor, Ringsted, Denmark)와 기체크로마토 그래피(Varian CP3800, Palo Alto, CA, USA)를 활용하여 측정하였다. 기체크로마토 그래피는 열전도도검출기와 Alltech CTR I column (Alltech Associates Inc., Deerfield, IL, USA)이 사용되었다.

결과 및 고찰

1. 저장 초기 및 밀폐 용기 개폐 시 이산화탄소 주입 조건

저장 개시 또는 저장 중 용기 개폐 시 밀폐 용기 내에 이산화탄소 농도를 80%까지 얻을 수 있는 시간을 결정하기 위해 실온에서 밀폐 용기에 2, 4, 6 L의 물을 담고 각각 자유용적별로 측정하였다. 그 결과 밀폐 용기의 자유 용적 2 L에서는 29~33초, 자유용적 4 L에서는 45~51초, 자유용적 6 L에서는 60~66초로 측정되었다(Fig. 2). 밀폐 용기의 자유용적이 클수록 주입되는 이산화탄소 양이 많기 때문에 주입시간이 직선적으로 비례적으로 길어지는 것은 당연한 것으로 이해된다. 그래서, Fig. 2에 제시된 직선 회귀식을 사용하여 밀폐 용기의 자유용적에 따른 이산화탄소 주입시간을 구할 수 있다. 이 회귀식은 밀폐 용기의 자유용적별

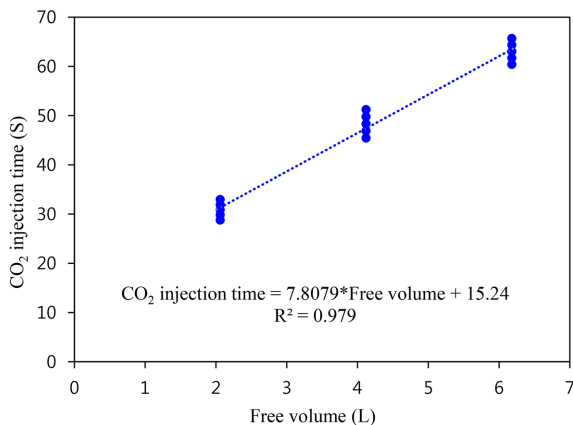


Fig. 2. CO₂ injection time per free volume of airtight container system.

이산화탄소 주입시간을 컴퓨터 프로그램을 활용한 자동화 시스템 알고리즘 구성에 기본 수식으로 활용 가능하다.

2. 지속적 저장 시의 이산화탄소 주입 조건

김치용기 저장 시스템이 안전성을 갖는다는 의미에서 김치의 발효가 활발하게 진행되기 전인 저장초기 및 적숙기 이전에는 일정한 시간 간격으로 이산화탄소 주입이 필요하다. 이는 김치에 이산화탄소의 상큼한 맛을 충분히 부여하고, 밀폐 용기의 기밀성의 결함, 이산화탄소 농도의 용해, 사용자의 부주의 등을 고려한 이산화탄소 농도 감소를 대비할 수 있다. 저장 초기 밀폐 용기에 김치를 담고 내부에 80% 이상의 농도로 이산화탄소를 치환시켜두면 초기 치환된 농도로 유지되어야 한다. 그런데 밀폐된 상태의 용기에서 80% 농도로 채워진 이산화탄소는 김치 내로 용해되어 용기 내 헤드스페이스의 이산화탄소 농도가 낮아지게 되므로 저장 중 이산화탄소를 주입할 필요가 있다. 80% 이상의 이산화탄소 농도로 채워진 용기에서 그 농도가 70%로 감소하면 일정량의 이산화탄소를 지속적으로 주입하여 80% 이상의 농도를 회복시키는 운용 프로그램을 설계하였다. 초기 80% 이상의 이산화탄소를 채우는 조건과 저장 중 용기 내부 이산화탄소 농도 감소 시 다시 주입하여 70% 농도로 유지하는 조건은 기 연구 결과⁵⁾를 기준으로 설정하였으며, 이 조건에서 김치의 탄산미가 관능적으로 가장 우수한 농도이다. 고체/액체 비율을 고려하여 물김치와 배추김치로 구분하여 진행하였으며, 이산화탄소 추가 주입 간격과 주입 시간에 대한 결과는 Table. 1에 제시하였다. 초기에 이산화탄소를 80% 농도 부근이 되도록 주입하고 그대로 살펴볼 때, 물김치의 경우 이산화탄소가 용해되어 자유용적 2, 4 L에서는 2시간, 자유용적 6, 8 L에서는 3시간만에 70%로 감소되었고 배추김치의 경우 자유용적에 관계없이 약 8시간 이후에 70%에 도달하였음을 보여주었다. 물김치와 배추김치 각각의 측정 데이터를 활용하여 농도변화를 2차의 회귀식을 얻어서 초기 80% 농도로 채워진 조건에서 70%로 감소되는 시간을 구하여 Table 1에 제시하였다. 프로그램 작동의 단순화 측면에서 자유용적을 고려하지 않는다면 물김치는 2~3시간 간격, 배추김치는 8시간 간격의 주기로 이산화탄소를 주입하여 70% 농도 감소 수준에서 80%로 유지 가능하며 주입 시간은 김치의 종류에 따라 자유용적별로 주입시간을 달리하여 이산화탄소를 주입하여야 한다. 자유용적에 따라 물김치는 최소 7초에서 최대 24초, 배추김치는 최소 8초에서 최대 16초의 주입시간을 나타내고 있다(Table 1).

Fig. 2의 회귀식을 활용하여 저장 초기 이산화탄소 농도가 약 80% 채워지도록 자유용적 2 L 용기에는 40초, 4 L에는 50초, 6 L에는 67초, 8 L에는 89초 동안 이산화탄소를 주입한 다음 물김치와 배추김치에서의 이산화탄소 용해

Table 1. The interval and time of additional injection of carbon dioxide in the container for water kimchi and chinese cabbage kimchi at 10°C

Free volume (L)	Watery kimchi			Chinese cabbage kimchi		
	Interval (h)	Injection time (s)	Regression equation	Interval (h)	Injection time (s)	Regression equation
2	2.0	7-9	$y = 0.342x^2 - 5.7367x + 83.00$	9.4	8	$y = 0.0142x^2 - 1.195x + 80.19$
4	2.0	11-15	$y = 0.5637x^2 - 9.5956x + 82.91$	9.7	10	$y = -0.1225x^2 + 0.1556x + 80.65$
6	3.0	14-24	$y = 0.223x^2 - 4.0558x + 83.41$	8.2	11	$y = 0.0491x^2 - 1.6245x + 80.90$
8	3.0	24	$y = 0.3126x^2 - 4.4465x + 82.55$	9.1	16	$y = -0.0196x^2 - 1.0964x + 80.72$

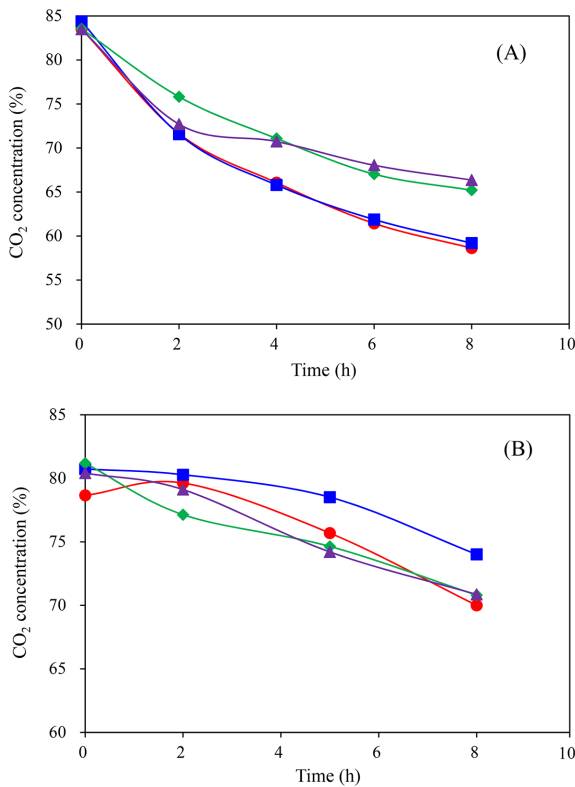


Fig. 3. Changes of carbon dioxide concentration in container due to dissolution of CO₂ into (A) watery kimchi and (B) Chinese cabbage kimchi during early fermentation at 10°C. ●: free volume 2 L; ■: free volume 4 L; ◆: free volume 6 L; ▲: free volume 8 L.

도를 확인해 보았다. Fig. 3은 발효초기 10°C에서 물김치와 배추김치의 용해정도를 나타내었는데, Fig. 3(A)의 물김치는 액체 비율이 높아 이산화탄소가 잘 용해되어 추가 주입 간격이 단축되었고 Fig. 3(B)의 배추김치는 고체 비율이 높아 표면에서 용해된 이산화탄소가 김치 내부로 침투하는데 오랜 시간이 소요되고 꾸준한 이산화탄소 용해가 천천히 진행 되는 것으로 이해된다. 자유용적을 기준으로 고려해보면 물김치의 경우 자유용적이 작을수록 액체 비율이 높아 이산화탄소가 잘 용해되어 감소폭이 컸으며, 고체비율이 높은

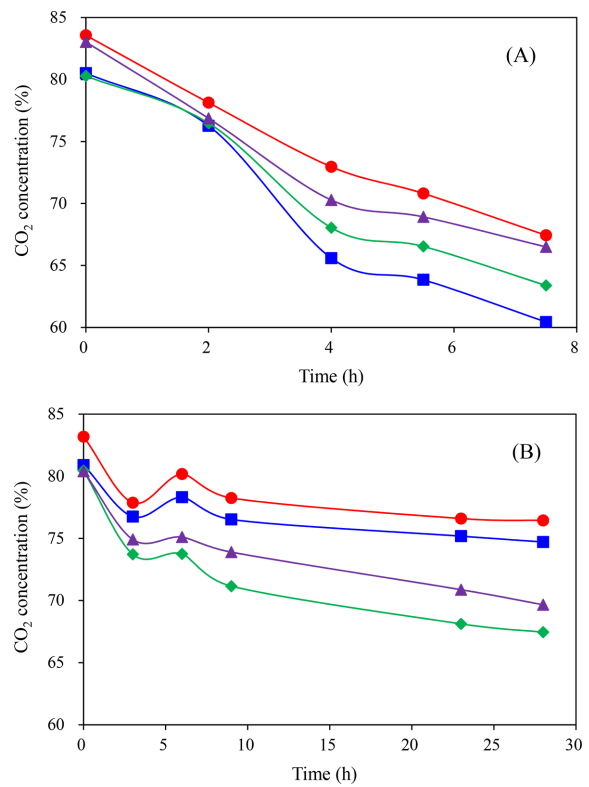


Fig. 4. Changes of carbon dioxide concentration in container due to dissolution of CO₂ into (A) watery kimchi and (B) Chinese cabbage kimchi during period of ripened stage storage at 0°C. ●: free volume 2 L; ■: free volume 4 L; ◆: free volume 6 L; ▲: free volume 8 L.

배추김치의 경우 자유용적 조건에 관계없이 이산화탄소가 용해되어 농도가 감소하였다.

김치의 발효가 진행된 이후에는 0°C 저장조건에서 물김치와 배추김치에 대한 이산화탄소 용해 정도를 살펴보았다 (Fig. 4). 이산화탄소는 낮은 온도에서 잘 용해되는 특성이 있는데, 액체비율이 높은 물김치의 경우 10°C에서 0°C로 온도가 낮아짐으로 인해 이산화탄소가 용해되어 70% 이하로 감소되어 일정한 시간 동안 추가적인 주입 간격과 주입 시간 조건이 필요하다. 이에 반해 고체비율이 높은 배추김

치는 상대적으로 천천히 용해되어 70% 정도로 유지되고 있다. 배추김치에서는 저장온도가 낮아지더라도 고체비율이 높고 이산화탄소 발생량이 많아서 용기내 이산화탄소 농도가 완만하게 감소하여 70%로 유지되는 것으로 나타나 김치 발효로 생산되는 이산화탄소가 농도 증가에 영향을 준 것으로 본다. 그래서, 발효가 진행된 이후에는 70% 이하로 감소하지 않으므로 주기를 갖는 이산화탄소 주입은 불필요할 것으로 판단된다. 배추김치에 상당량 이산화탄소가 용해되어 있고, 발효속성으로부터 이산화탄소 생산이 이루어지는 것으로 이해되어 김치용기를 열고나면 용기 내 이산화탄소가 소실되므로 이산화탄소 주입이 필요하다. 기본적으로 이산화탄소 용해와 발효속성이 이루어지기 때문에 80% 농도로 상승시키는 1회 주입만으로 충분하며 이 부분을 고려하여 프로그램을 설정한다. 발효가 진행된 이후의 물김치와 배추김치에서 자유용적이 적을수록 김치의 양이 많아 이산화탄소가 잘 용해된다는 비례적인 결과를 얻을 수 없었으며, 이는 자유용적 조건 보다는 김치의 발효로 발생하는 이산화탄소 농도에 영향을 받는 것으로 생각된다.

결 론

발효 식품인 김치의 탄산맛 상승 차원에서 저장 초기 밀폐 용기 내 80% 이상의 이산화탄소 농도를 얻기 위한 자유용적에 따른 이산화탄소 주입시간을 설정하고, 저장 중 일정한 간격으로 이산화탄소를 주입하는 조건을 결정하여 용기 내 이산화탄소 농도가 70% 이상 유지 가능하도록 하였다. 물로 채워진 밀폐 용기 시스템을 활용하여 저장 초기 및 용기 개폐시 용기내 80% 이상의 이산화탄소 농도를 얻기 위해서는 자유용적 2~8 L 조건에서 약 40~89초 범위로 이산화탄소를 주입하면 된다. 이산화탄소 용해도 특성을 고려하여 액체/고체비율에 따라 물김치와 배추김치에 대해 진행하였으며, 저장온도 10°C인 발효 초기에는 물김치와 배추김치의 특성에 따라 일정한 주기로 이산화탄소를 주입하였다. 저장온도 0°C인 발효 후기의 경우 물김치는 이산화탄소가 계속 녹아 들어가는 특성이 있어 주기적으로 이산

화탄소를 주입하지만, 배추김치는 용기 개폐 시 주입만으로 이산화탄소가 높은 농도로 유지되었다. 이러한 결과는 가정용 냉장고에 장착된 탄산가스 제어 용기 시스템의 김치 용기내에 높은 이산화탄소 농도를 유지시키는 제어 프로그램 조건 설정에 기본 정보로 활용될 수 있다. 이산화탄소 주입으로 인해 발생하는 김치 냄새의 유출에 따른 이취는 미비하거나 냉장고 내부에 장착된 탈취제를 통해 제거 가능하다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 융복합연구센터지원사업에 의하여 이루어졌으며, 지원에 감사드립니다(Project #710013-03).

참고문헌

1. Korea Ministry of Food and Drug Safety. 2017, Statistics of Processed Foods and Food Additives, Chapter 4. Processed food production and sales. pp. 123.
2. Kim, R.D., Jeon, M.Y., Lee, H.E., Lee, J.Y., Kim, S.Y., and Choi, J.H. 2014, Trend Korea 2015. Seoul: Miraebok publishing.
3. Lee, H.L., An, D.S., and Lee, D.S. 2016, Effect of initial gas flushing or vacuum packaging on the ripening dynamics and preference for *kimchi*, a korean fermented vegetable. Packag. Technol. Sci. 29: 479-485.
4. Kwon, H.R. 1995, Modeling CO₂ production in kimchi fermentation and estimation of pressure and volume of kimchi package. Master Thesis, Kyungnam University, Changwon, South Korea.
5. Lee, H.L., Park, S.Y., An, D.S. and Lee, D.S. 2018, A novel *kimchi* container with an atmosphere actively controlled by time-programmed vacuumizing and CO₂ flushing. J. Food Process Eng. 41(6): e12820.
6. Lee, E.W., Lee, M.J., and Song, Y.O. 2012, Comparison of fermentation properties of winter kimchi stored for 6 months in a kimchi refrigerator under ripening mode or storage mode. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 41(11): 1619-1625.

투고: 2019.08.01 / 심사완료: 2019.08.08 / 게재확정: 2019.08.09