

## 포장 김치의 숙성에 맞춘 CO<sub>2</sub> 흡수제 배합비율 설계

정수연 · 이동선 · 안덕순\*

경남대학교 바이오융합학부

### Design of CO<sub>2</sub> Absorber Mix Tuned for Ripening of Packaged Kimchi

Soo Yeon Jung, Dong Sun Lee, and Duck Soon An\*

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

**Abstract** Calcium hydroxide (CH) reacts with CO<sub>2</sub> to produce moisture, and sodium carbonate (SC) reacts with CO<sub>2</sub> in the presence of moisture. Using these different characteristics of these two reactants, a CH/SC mixture of CO<sub>2</sub> absorber tuned for kimchi ripening to produce CO<sub>2</sub> in a flexible package was selected. A ratio of CH:SC (1:2) in highly gas permeable microporous spunbonded film (Tyvek) sachet was found to be appropriate for delayed and consistent CO<sub>2</sub> absorption useful for kimchi package. Addition of superabsorbent polymer (SAP) as moisture buffer was helpful for boosting the consistency of CO<sub>2</sub> absorption. In a package of 0.5 kg kimchi at 10°C, the sachet consisting of 0.794 g of CH + 2.276 g of SC + 0.4 g of SAP suppressed its volume expansion and maintained a suitable range of CO<sub>2</sub> partial pressure ( $P_{CO_2}$ ) steadily inside. These optimal conditions may vary depending on the type and salinity of kimchi, storage and distribution temperature, and the material and area of the absorber sachet. This study showed a potential of mixture CO<sub>2</sub> absorber to be tuned for CO<sub>2</sub> producing packaged kimchi for the purpose of keeping consistent  $P_{CO_2}$  at tolerable volume expansion.

**Keywords** Calcium hydroxide, Sodium carbonate, Superabsorbent polymer, CO<sub>2</sub> Absorber, CO<sub>2</sub> pressure

## 서 론

김치는 살균과 같은 열처리 공정 없이 제조, 포장, 유통, 판매 후 바로 섭취 가능한 식품으로 소금에 절여진 채소와 각종 양념이 배합되어 유산균이 증식되는 발효 식품이다. 유산균의 증식과 발효 등으로 생성된 CO<sub>2</sub>와 유기산은 호기성균의 생육을 억제시키고 김치 특유의 상큼한 맛을 부여한다. 그러나, 발효과정을 통해 축적된 CO<sub>2</sub>는 포장된 제품의 압력 발생이나 부피 팽창의 원인이 되어 제품의 외관적인 품질 저하를 초래하는 바 이런 문제를 해결하기 위해 방사선 조사, 보존제 또는 첨가제의 사용, 핀홀 포장, 고투과성 필름 포장, 포장 내 CO<sub>2</sub> 흡수제 봉지 장착, 고압처리 등 다양한 방법이 검토 또는 사용되고 있다<sup>1-4</sup>. 이러한 방법 중에서 CO<sub>2</sub> 흡수제는 유연성 포장 내 쉽게 적용 가능한 형태로 화학적 흡수제, 물리적 흡수제, 또는 두 흡수제

를 적절히 조합하여 적용가능하며<sup>5,6</sup>, 현재는 상업적으로 안전하고 가격이 저렴한 화학적 흡수제인 수산화칼슘이 많이 사용되고 있다. 현재 사용 중인 수산화칼슘의 경우 비용이나 안전성 측면은 우수하지만 김치 발효를 통해 생성된 CO<sub>2</sub>를 발효 초반에 과도하게 흡수하여 김치의 맛을 저하시킨다는 단점이 있다. 즉, 김치에서 유산균의 증식으로 생성된 CO<sub>2</sub>는 호기성균의 성장을 억제하고, 발효 초기 김치의 탄산 맛을 풍부하게 하는 이상젖산발효균인 *Leuconostoc mesenteroides*와 *Lactobacillus brevis*의 성장에 도움이 되는데<sup>7,8</sup>, 특히 *Leu. mesenteroides*는 CO<sub>2</sub> 발생량이 높아 김치에 좋은 풍미<sup>9,10</sup>를 부여하지만 김치의 포장재 팽창이나 압력을 발생시키는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 해결하고자 사용되는 흡수제인 수산화칼슘은 발효 초기 과도한 CO<sub>2</sub> 흡수로 김치 조직 내 흡수 가능한 CO<sub>2</sub> 양의 감소로 김치의 맛을 떨어뜨리게 된다. 이후 발효 후기에는 통성정상젖산발효균인 *Lactobacillus plantarum*이 성장하여 김치의 탄산 맛 보다는 신맛이 강해진다. 발효 초기부터 흡수제에 의한 CO<sub>2</sub>의 과도한 흡수는 김치의 상큼한 맛을 저해하므로, 김치 포장재의 부피 팽창을 일부 차단하면서 단계적인 흡수제의 역할이 필요하다. Shin 등<sup>5</sup>은 수분이 없

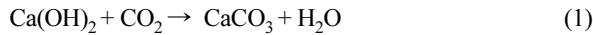
\*Corresponding Author: Duck Soon An  
School of Bioconvergence, Kyungnam University, 7 Kyungnam-daehak-ro, Changwon 51767, South Korea  
Tel: +82-55-249-2360  
E-mail: ads2004@kyungnam.ac.kr

는 조건에서 CO<sub>2</sub>를 흡수하는 zeolite(물리적 흡수제)와 수분이 있는 조건에서 CO<sub>2</sub>를 흡수하는 탄산나트륨(화학적 흡수제)을 동봉한 흡수제 봉지를 김치 포장 내부에 장착하여 압력발생 완화 효과를 확인한 바 있다. 본 연구에서는 CO<sub>2</sub> 흡수제로 기존에 상업적으로 사용되고 있는 수산화칼슘에 수분의 도움을 받아 작용하는 탄산나트륨을 혼합하고 필요에 따라 수분함량을 조절하면 단계적으로 CO<sub>2</sub>를 흡수할 수 있을 것으로 예상하였다. 김치의 발효 초·중·후기 단계별로 CO<sub>2</sub> 흡수제가 작용하여 김치의 관능적인 품질에 긍정적인 효과를 주면서 김치 포장재의 압력과 부피를 조절할 수 있는 수산화칼슘과 탄산나트륨 흡수제의 배합 조건 및 보조 역할을 하는 수분흡수제의 사용조건을 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 1. CO<sub>2</sub> 흡수제의 흡수 능력

CO<sub>2</sub>를 흡수할 수 있는 흡수제로 수산화칼슘(calcium hydroxide, CH, Ca(OH)<sub>2</sub>, 74 g/mol)과 탄산나트륨(sodium carbonate, SC, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 106 g/mol)에 대해 검토하였다. 수산화칼슘은 CO<sub>2</sub>와 반응하여 탄산칼슘과 수분을 생성하고, 탄산나트륨은 수분이 있는 환경에서 CO<sub>2</sub>와 반응하여 탄산수소나트륨을 생성하며, 반응식은 다음과 같다.



위의 반응식에서 수산화칼슘과 탄산나트륨은 수분의 존재 여부 또는 수분함량에 따라 CO<sub>2</sub>를 흡수하는 능력이나 속도 부분에 차이가 있을 것으로 예상하고, 수분을 흡수하는 고 흡수성 고분자 물질인 SAP(폴리아크릴산나트륨, ㈜LG 화학)를 함께 검토하였다. CO<sub>2</sub> 흡수제의 CO<sub>2</sub> 흡수 능력 측정법은 Wang 등<sup>11)</sup>의 방법을 활용하였다. 온도 10°C에서 1 L 밀폐 유리병에 물 0.1 L를 넣고, CO<sub>2</sub> 흡수제가 들어있는 봉지는 뚜껑 내부 하면에 매달아 두었다. CO<sub>2</sub> 흡수제 봉지가 매달려 있는 1 L 밀폐 유리병에 CO<sub>2</sub> 기체 0.1 L를 기밀성 실린지로 실리콘 주입구를 통해 주입하였다. 25°C

의 CO<sub>2</sub> 0.1 L를 1 L 밀폐 유리병에 넣으면 CO<sub>2</sub>는 0.0042 mol이 되고, 0.0042 mol에 해당되는 CO<sub>2</sub> 질량 0.185 g을 흡수할 수 있는 CO<sub>2</sub> 흡수제 종류에 따른 흡수제 양의 조건을 Table 1에 제시하였다. 수분흡수제의 존재가 미치는 CO<sub>2</sub> 흡수거동을 살펴보기 위하여 CO<sub>2</sub> 흡수제와 SAP 흡수제를 동봉하여 사용하였다. 흡수제 봉지 재질은 Tyvek (161 μm 두께, 1059B, DuPont, Wilmington, DE, USA)을 사용하였으며, 흡수제 봉지의 면적은 0.0016 m<sup>2</sup>의 크기이다. 시간 경과에 따라 밀폐 유리병 내 자유용적의 기체시료 1 mL를 취하여 기체크로마토그래피(Varian CP3800, Palo Alto, CA, USA)에 의하여 CO<sub>2</sub> 농도를 측정 후 CO<sub>2</sub> 분압을 계산하였다. 기체크로마토그래프는 CTR I column (Alltech Associates Inc., Deerfield, IL, USA)과 열전도도 검출기가 장착된 조건에서 carrier gas로 헬륨이 사용되었다. CO<sub>2</sub> 기체 분압의 측정은 CO<sub>2</sub> 기체 흡수가 어느 정도 충분히 진행되어 안정한 CO<sub>2</sub> 분압이 확인될 때까지 계속하였다.

흡수제에 의한 CO<sub>2</sub> 흡수량은 투입된 CO<sub>2</sub>량에서 자유용적에 존재하는 CO<sub>2</sub>량과 증류수에 용해된 CO<sub>2</sub>량을 고려하여 얻었다(식 (3)).

$$n_{ab} = n_{in} - \left( H_{CO_2} P_{CO_2} W + \frac{P_{CO_2} V_h}{RT} \right) \quad (3)$$

여기서  $n_{ab}$ 는 흡수제에 의해 흡수된 CO<sub>2</sub>량(mol),  $n_{in}$ 는 투입된 CO<sub>2</sub>량(0.0042 mol),  $W$ 는 밀폐 유리병에 들어 있는 물 무게(0.1 kg),  $P_{CO_2}$ 는 자유용적 내 CO<sub>2</sub> 분압(atm),  $H_{CO_2}$ 는 물에서의 CO<sub>2</sub> 용해도로서 10°C에서 0.053 mol kg<sup>-1</sup> atm<sup>-1</sup>이며(Crovetto<sup>12)</sup>),  $V_h$ 는 자유용적(L),  $T$ 는 절대온도(K),  $R$ 는 이상기체상수(0.08206 L atm K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>)이다.

### 2. CO<sub>2</sub> 흡수제와 수분 흡수제 사용에 따른 김치 포장재 내부의 CO<sub>2</sub> 분압( $P_{CO_2}$ )과 부피 변화

앞에서 측정된 CO<sub>2</sub> 흡수제의 기본적 특성에 기반하여 저장 온도 10°C에서 0.5 kg 단위 김치 포장에 적절한 규모의 CO<sub>2</sub> 흡수제를 Table 2의 조건으로 제작하여 포장에 함입시키고, 시간에 따른  $P_{CO_2}$ 와 부피 변화를 측정하였다. 김치 포장 조건으로는 두께 96 μm의 알루미늄 적층 플라스틱 필

**Table 1.** CO<sub>2</sub> absorber and super absorbent polymer (SAP) amount of sachet in basic absorption capacity test

Treatment*	CO <sub>2</sub> absorber and SAP weight (g)
CH:SC(1:0-B)	0.311 g Ca(OH) <sub>2</sub> + 0 g Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
CH:SC(2:1)	0.207 g Ca(OH) <sub>2</sub> + 0.148 g Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
CH:SC(1:2)	0.104 g Ca(OH) <sub>2</sub> + 0.297 g Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
CH:SC(1:2)+SAP(0.05)	0.104 g Ca(OH) <sub>2</sub> + 0.297 g Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + 0.05 g SAP
CH:SC(1:2)+SAP(0.1)	0.104 g Ca(OH) <sub>2</sub> + 0.297 g Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + 0.1 g SAP

\*Abbreviations-CH: calcium hydroxide, SC: sodium carbonate, SAP: super absorbent polymer

름(폴리에틸렌 테레프탈레이트/Al/선형 저밀도폴리에틸렌, 15.5 × 22.5 cm)으로 포장 봉지를 제조하였다. CO<sub>2</sub> 흡수제를 담은 흡수제 봉지의 포장은 0.0016 m<sup>2</sup> Tyvek (161 μm 두께, 1059B, DuPont, Wilmington, DE, USA)를 사용하여 제작하였다. 저장 온도 10°C에서 1 L 밀폐용기에 김치 0.5 kg을 넣고 저장 7~8일 동안 측정해 본 결과 약 0.203 g의 이산화탄소를 발생시킨다. 0.203 g에 대한 이산화탄소 양은 CO<sub>2</sub> 0.046 mol에 해당되며 CO<sub>2</sub> 0.046 mol의 70%에 해당하는 0.0322 mol을 흡수제가 흡수하는 양으로 계산하여 사용하였다. 고 흡수성 고분자 양은 예비 실험을 통해 CO<sub>2</sub> 흡수제 흡수 능력 실험에서 목표 흡수 CO<sub>2</sub> 0.0042 mol 대비 김치 0.5 kg 포장에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 0.0322 mol을 고려하여 약 8배 정도로 양을 늘려서 결정하였다. 이 조건에서 CH:SC(1:0-K) 처리구는 Ca(OH)<sub>2</sub> 2.383 g과 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0 g, CH:SC(1:2)+SAP(0.4) 처리구는 Ca(OH)<sub>2</sub> 0.794 g과 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 2.276 g에 고 흡수성 고분자 0.4 g, CH:SC(1:2)+SAP(0.8) 처리구는 Ca(OH)<sub>2</sub> 0.794 g과 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 2.276 g에 고 흡수성 고분자 0.8 g으로 포장하였다. 이산화탄소 흡수제를 넣지 않은 포장을 대조구로 다른 포장과 함께 저장하였다.

저장 중 포장의 P<sub>CO2</sub> 변화는 CO<sub>2</sub> 흡수제 흡수 능력에서 기술된 방법대로 기체크로마토그래피를 활용하여 분석하였으며, 그 부피 변화는 저장 중인 모든 처리구 포장을 저장 온도와 동일하게 유지되는 온도의 물을 담은 눈금 실린더에 담아서 부피를 측정하였다.

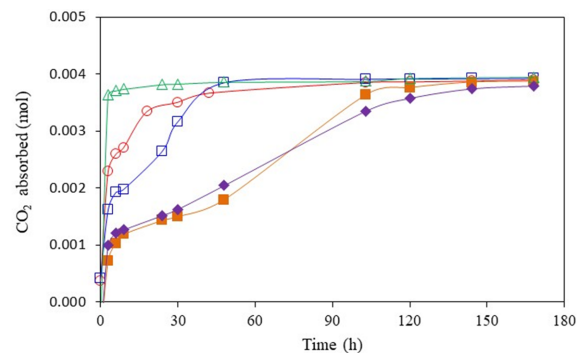
### 3. 김치의 품질측정

김치 액즙의 pH는 Orion Model 920 A plus pH meter (Orion Research Inc., Boston, USA)로 측정하였다. 김치의 총산 함량은 김치 액즙 5 g을 취하여 증류수 0.1 L를 더한 다음 Orion Model 920 A plus pH meter(Orion Research Inc., Boston, USA)로 pH 8.1이 될 때까지 0.1 N NaOH로 적정하여 젯산 농도로 환산하였다. 김치의 염도는 염도계(Model TM-301, Takemura Electric Work Ltd., Tokyo, Japan)를 활용하여 측정하였으며 2.3%이다.

## 결과 및 고찰

### 1. CO<sub>2</sub> 흡수제의 흡수 능력

상업적으로 주로 사용되는 CO<sub>2</sub> 흡수제인 수산화칼슘을 기준으로 SC 및 SAP 비율에 따른 CO<sub>2</sub> 흡수 과정을 Fig. 1에 제시하였는데, CH:SC(1:0-B)가 들어 있는 흡수제 봉지에서는 0.0042 mol의 CO<sub>2</sub> 주입 3시간 후 주입된 양의 약 90%인 0.0036 mol의 CO<sub>2</sub>를 흡수하였다. CH의 비율 조절에 따른 CO<sub>2</sub> 흡수량을 살펴보면 0.0042 mol의 CO<sub>2</sub> 주입 3시간 후 CH:SC(2:1) 비율은 주입된 양의 약 55%인 0.0023 mol 흡수하고, CH:SC(1:2) 비율은 주입된 양의 약



**Fig. 1.** CO<sub>2</sub> absorbed with absorber type in glass jar installed with absorber of Table 1 at 10°C.  $\triangle$ : CH:SC(1:0-B);  $\circ$ : CH:SC(2:1);  $\square$ : CH:SC(1:2);  $\blacksquare$ : CH:SC(1:2)+SAP(0.05);  $\blacklozenge$ : CH:SC(1:2)+SAP(0.1)

40%인 0.0016 mol 흡수하였다. CO<sub>2</sub> 주입 후 3시간 시점에서 CH:SC(1:2), CH:SC(2:1), CH:SC(1:0-B)의 순서로 흡수되는 CO<sub>2</sub> 양이 많은 것으로 보아 CH 함유 비율이 높을수록 저장 초반에 주입된 CO<sub>2</sub>를 빨리 흡수하는 것으로 확인되었다. CH:SC(2:1)과 CH:SC(1:2)로 혼합한 흡수제 봉지에서는 실험 초기 CH의 CO<sub>2</sub> 흡수 속도를 일부 조절하면서 서서히 CO<sub>2</sub>를 흡수하고 이로부터 생성된 수분과 흡수제 봉지 내로 수분 이동의 도움을 받아 SC가 중·후반부에 CO<sub>2</sub>를 흡수하여 주입된 CO<sub>2</sub>를 거의 흡수하는 것으로 나타났다. CH와 SC의 비율을 조절한다면 실험 초기 적절한 양의 CO<sub>2</sub> 흡수 이후 중·후반부까지 지속적인 CO<sub>2</sub> 흡수능력을 발휘하도록 조절할 수 있을 것으로 판단되었다.

SC를 동반한 흡수제 봉지에서 수분의 공급이 CO<sub>2</sub> 흡수 속도에 영향으로 주는 것으로 나타나서 수분흡수제를 동봉하여 흡수제 봉지내 수분 양 조절에 따른 CO<sub>2</sub> 흡수 과정을 확인하였다. 저장 초반에 CO<sub>2</sub>를 빨리 흡수하기보다는 저장 후반부까지 지속적으로 CO<sub>2</sub> 흡수가 이루어지도록 SC함량이 높은 CH:SC(1:2) 비율에 SAP를 0.05 g과 0.1 g을 각각 동봉하여 함께 살펴보았다(Fig. 1). CO<sub>2</sub> 주입 9시간에 0.0012~0.0013 mol 흡수하고, 48시간동안 0.0018~0.0020 mol로 완만히 흡수하였으며, 103시간에는 SAP 0.05 g이 동봉된 흡수제 봉지에서 0.0036 mol을 흡수하여 SAP 0.1 g이 흡수한 0.0033 mol 보다 조금 더 흡수하였다. SAP 0.05 g이 동봉된 흡수제 봉지에서 수분흡수제 양이 적어 수분흡수제의 수분 흡수 능력이 빠르게 소실됨으로 인해 흡수제 봉지내로 들어오는 수분의 도움을 받아 CH:SC(1:2)+SAP(0.05) 처리구 내 SC가 CO<sub>2</sub>를 조금 더 흡수하는 것으로 예상된다. 수분과 반응하여 CO<sub>2</sub>를 흡수하는 SC의 경우에는 수분흡수제가 수분을 흡수하면 CO<sub>2</sub> 흡수능력을 발휘하지 못하였으며, 상당한 시간이 경과하여 수분흡수제가 주위로부터 수분을 흡수하여 포화에 이르게 되어 그 역할이 감소되는 시점에 이르러서 CO<sub>2</sub>를 흡수하는 것으로 나타났다. CH:SC(1:2)+

SAP(0.05) 흡수제 봉지는 수분흡수제의 양이 적어서 흡수제 봉지 외부에서 들어오는 수분과 CH의 반응으로 생성된 수분을 적게 흡수함으로써 나머지 여분의 수분공급의 영향으로 SC의 CO<sub>2</sub> 흡수가 꾸준히 이루어지는 것으로 나타났다. CH와 SC의 흡수 비율을 조절하면서 수분흡수제를 적절히 사용하면 김치의 발효 특성에 맞는 CO<sub>2</sub> 흡수 과정을 얻을 수 있을 것으로 기대되었으며, 이후에 혼합 CO<sub>2</sub> 흡수제와 SAP의 사용량을 조절하여 유연성 김치 포장에서의 적용 효과를 검토해보았다.

## 2. CO<sub>2</sub> 흡수제와 수분 흡수제 사용에 따른 김치 포장재 내부의 P<sub>CO<sub>2</sub></sub>와 부피 변화

CO<sub>2</sub> 흡수제의 흡수 과정 실험을 통해 확인된 결과로부터 저장 온도 10°C에서 0.5 kg 단위 김치 포장에 가능한 것으로 판단되는 일부 조건을 선택하여 유연성 김치 포장에 적용해 보았다. CO<sub>2</sub> 흡수제의 흡수능력에 대한 특성을 분석한 결과에서 CH:SC(1:0-B)는 초기에 과도하게 CO<sub>2</sub>를 흡수하여 김치 포장에 적용 시 발효 초기 김치 포장 내 낮은 CO<sub>2</sub> 농도로 김치 조직 내로 녹아 들어갈 수 있는 CO<sub>2</sub> 농도가 낮아 김치의 상큼한 맛에 부정적인 영향을 줄 수 있다고 생각되었다. CH 비율을 줄여 발효 초반에 과도하지 않은 적절한 속도로 CO<sub>2</sub>를 흡수하면서 일부의 CO<sub>2</sub>가 김치 조직 내로 녹아 들어가도록 하기 위해서 SC비율을 높은 흡수제가 긍정적인 것으로 생각되었다. 아울러 발효 후반부까지 CO<sub>2</sub> 흡수를 지연시키면서 CO<sub>2</sub> 흡수 능력을 지속시킴과 아울러 낮은 부피 팽창을 얻을 수 있도록 수분흡수제 사용을 고려해 볼 필요가 있다. 따라서 이러한 점을 고려한 Table 2의 조건으로 제작한 흡수제 봉지를 김치 포장에 적용하여 저장 중 김치 포장 내 P<sub>CO<sub>2</sub></sub>와 부피의 변화를 Fig. 2에 제시하였다.

대조구에서는 김치 포장 내 P<sub>CO<sub>2</sub></sub>가 증가하여 저장 10일 이후 0.71 atm으로 유지되는 반면에 CO<sub>2</sub> 흡수제가 부착된 처리구에서는 포장 내 P<sub>CO<sub>2</sub></sub>가 낮게 유지되었다. CH:SC(1:0-K)에서는 저장 초기부터 CO<sub>2</sub>를 흡수하여 저장 7일까지 0.13 atm의 낮은 압력이 유지되다가 저장 10일에 0.37 atm으로 증가하여 저장 17일 이후 0.55 atm으로 유지되었다(Fig. 2(A)). 적숙기 총산 함량 0.6~0.8% 기준<sup>13)</sup>에서 10°C에 저장된 김치의 적숙기는 5~6일의 범위인데<sup>14)</sup>, 저장 5일에 CH:SC(1:0-K) 처리구의 P<sub>CO<sub>2</sub></sub>는 0.07 atm으로 잔존

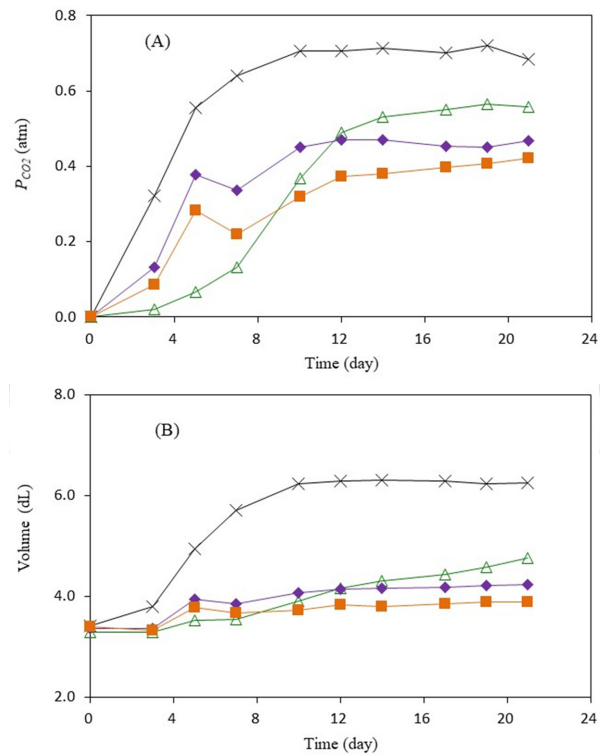


Fig. 2. (A) CO<sub>2</sub> partial pressure ( $P_{CO_2}$ ) and (B) free volume changes of 0.5 kg kimchi packages inserted with CO<sub>2</sub> absorber of Table 2 at 10°C. ×: Control; △: CH:SC(1:0-K); ■: CH:SC(1:2) + SAP(0.4); ◆: CH:SC(1:2) + SAP(0.8).

CO<sub>2</sub>가 거의 없어서 김치 조직 내로 흡수된 CO<sub>2</sub>도 거의 없을 것으로 추정된다. 적숙기 단계인 저장 5~6일 사이에 김치 조직내로 녹아 들어가야할 CO<sub>2</sub>를 CH가 흡수하여 김치 포장내 낮은 P<sub>CO<sub>2</sub></sub>로 김치의 맛을 감소시키게 될 것이다. CH:SC(1:2) + SAP(0.4)와 CH:SC(1:2) + SAP(0.8) 처리구는 적숙기 기간인 저장 5일에 CH:SC(1:0-K)에 비해 상대적으로 높은 0.28 atm과 0.38 atm의 P<sub>CO<sub>2</sub></sub>를 각각 나타냈다(Fig. 2(A)). 이 두 처리구 포장에서는 저장 초기부터 CO<sub>2</sub>를 일정한 범위에서 꾸준히 흡수하고 포장 내에 비교적 일정한 CO<sub>2</sub> 농도를 유지하여 CO<sub>2</sub>가 김치 조직 내로 적절하게 용해되어 김치의 맛을 상승시킬 수 있을 것이다. 저장 7일에 P<sub>CO<sub>2</sub></sub>가 감소되는 것으로 나타나는데, 이는 7일 이전에는 수분흡수제의 영향으로 SC의 작용이 억제되다가 7일부터 SC가 작용하는 데에 의한 것으로 해석된다. 감소 지

Table 2. CO<sub>2</sub> absorber and SAP in sachet applied for 0.5 kg kimchi package

Treatment	CO <sub>2</sub> absorber and SAP weight (g)
Control	0 g
CH:SC(1:0-K)	2.383 g Ca(OH) <sub>2</sub> +0 g Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
CH:SC(1:2)+SAP(0.4)	0.794 g Ca(OH) <sub>2</sub> +2.276 g Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +0.4 g SAP
CH:SC(1:2)+SAP(0.8)	0.794 g Ca(OH) <sub>2</sub> +2.276 g Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +0.8 g SAP

**Table 3.** Changed in pH and titratable acidity of kimchi packaged along with CO<sub>2</sub> absorber of Table 2 and then stored at 10°C

Attribute	Time(day)	Control	CH:SC(1:0-K)	CH:SC(1:2)+SAP(0.4)	CH:SC(1:2) + SAP(0.8)
pH	0	5.36 ± 0.04	5.36 ± 0.04	5.36 ± 0.04	5.36 ± 0.04
	5	4.06 ± 0.06	4.11 ± 0.05	4.17 ± 0.05	4.11 ± 0.04
	12	3.94 ± 0.05	3.98 ± 0.01	3.93 ± 0.01	3.98 ± 0.01
	19	3.96 ± 0.05	3.89 ± 0.03	3.91 ± 0.10	3.92 ± 0.02
	21	3.88 ± 0.01	3.95 ± 0.03	3.97 ± 0.07	3.96 ± 0.06
Titratable acidity (%)	0	0.33 ± 0.01	0.33 ± 0.01	0.33 ± 0.01	0.33 ± 0.01
	5	0.86 ± 0.01	0.82 ± 0.01	0.81 ± 0.01	0.84 ± 0.01
	12	1.17 ± 0.01	1.15 ± 0.01	1.08 ± 0.03	1.13 ± 0.02
	19	1.19 ± 0.09	1.15 ± 0.03	1.19 ± 0.03	1.21 ± 0.04
	21	1.15 ± 0.04	1.22 ± 0.04	1.09 ± 0.03	1.19 ± 0.03

점 이후부터 다시  $P_{CO_2}$ 가 약간 증가하여 저장 후반부에는 CH:SC(1:0-K)에 비해  $P_{CO_2}$ 가 낮게 유지되어서 필요한 CO<sub>2</sub> 흡수가 이루어진 것을 알 수 있다. 특히, CH:SC(1:2) + SAP(0.4)는 CH:SC(1:2) + SAP(0.8)에 비해 수분 흡수제가 50% 감소된 양으로 동봉되어 있어 김치 포장 내 CO<sub>2</sub> 압력이 상대적으로 낮게 유지되었는데, 수분을 흡수하는 능력이 절반 정도로 감소되어 CH에서 생성된 수분이 SC에 보다 강하게 작용하여 SC가 CO<sub>2</sub>를 잘 흡수하게 함으로써 저장 후반부까지 꾸준히  $P_{CO_2}$ 가 적절한 농도로 잘 유지되게 한 것으로 추정된다. 부피변화를 살펴보면 저장 21일째 흡수제가 들어있지 않은 대조구는 6.2 dL, CH:SC(1:0-K) 처리구는 4.8 dL, CH:SC(1:2)+SAP(0.4) 처리구는 3.9 dL, CH:SC(1:2) + SAP(0.8) 처리구는 4.2 dL로 증가하였다(Fig. 2(B)).  $P_{CO_2}$ 와 비슷한 경향으로 김치 포장 내 부피증가는 CH:SC(1:2) + SAP(0.4) 처리구와 CH:SC(1:2) + SAP(0.8) 처리구가 저장 후반부까지 지속적으로 낮은 부피 팽창을 보인다. CH와 SC가 함께 들어있는 흡수제 봉지의 경우 수분 흡수제의 양에 따라 김치 포장 내 부피 변화에 영향을 많이 주어서 CH:SC(1:2) + SAP(0.8) 처리구보다 CH:SC(1:2) + SAP(0.4) 처리구에서 가장 낮은 부피팽창을 보여 적절한 양의 SAP의 존재가 부피 팽창을 억제하는데 도움을 주었다. Lim 등<sup>2)</sup>의 연구에서 시각적으로 허용 가능한 부피 팽창 기준은 4 dL/0.5 kg의 정도로 보고되어 있는데, CH:SC(1:2) + SAP(0.4) 처리구는 저장 21일까지 3.9 dL로 유지되어 시각적 허용 가능 범위 이하로 유지되었다. CH:SC(1:2) + SAP(0.8) 처리구는 저장 10일에 4.1 dL에서 저장 20일에 4.2 dL로 증가하였지만, 시각적 부피 기준을 크게 증가하지 않아 대조구와 CH:SC(1:0-K) 처리구에 비해 낮은 부피 팽창으로 볼 수 있다.

김치 품질로서 총산 함량은 김치 포장 내  $P_{CO_2}$  양에 상관없이 저장 5일에 적숙기 범위인 약 0.8%로 확인되었다. 저장 5일에  $P_{CO_2}$  양이 낮은 CH:SC(1:0-K)와 CH:SC(1:2) + SAP(0.4) 처리구에서 총산 함량이 약간 낮았으며, CH:SC

(1:2) + SAP(0.4)는 저장 12일까지 유의한 수준 이하이지만 지속적으로 낮은 경향을 보이고 있다(Table 3). 이는 김치 조직과 김치 액즙에 녹아 있는 CO<sub>2</sub> 양이 적어서 약간 높은 pH와 낮은 총산 함량으로 측정되었을 것으로 예상된다. 그러나, 김치 포장내 총산 함량은 포장내 형성되는  $P_{CO_2}$  양에 상관없이 일정한 저장기간동안 발효가 진행되어 김치의 총산 함량이 일정한 농도로 유지되는 것으로 보고된 바 있다<sup>8,14)</sup>. 김치 발효 특성을 고려하여 CH와 SC의 비율을 조절하고, CO<sub>2</sub> 흡수 속도를 조절하기 위해 보조역할로써 수분흡수제인 SAP를 적용한다면 김치 포장내 압력과 부피를 적절히 조절하면서 김치 맛과 품질에 긍정적인 효과를 줄 수 있다. 이러한 혼합비율은 포장단위, 저장온도, 목표 유통기한 등에 따라 달라질 수 있을 것이다. 설계변수로서 필요에 따라 흡수제 봉지의 재질과 면적도 고려될 수 있을 것이다. 여러 조건에 따른 숙성과정을 파악하여 흡수제의 조건을 조정할 수 있을 것이며, 본 연구는 김치숙성 맞춤형 흡수제의 구성에 가능성을 제시하였다.

## 결론

수산화칼슘(CH)은 CO<sub>2</sub>와 반응하여 수분을 생성하고, 탄산나트륨(SC)은 수분이 있는 조건에서 CO<sub>2</sub>와 반응하는 특성을 이용하여 김치 포장에 적절한 CH/SC 혼합의 CO<sub>2</sub> 흡수제 조건을 선정하였다. 두 물질의 작용 특성을 고려하여 김치숙성의 CO<sub>2</sub> 발생과 조화롭게 CO<sub>2</sub>를 흡수할 수 있는 조건으로서 높은 기체투과도의 Tyvek 필름봉지에서 CH와 SC의 적정 비율(1:2)을 제시하였다. 또한 적정 면적의 조건에서 수분흡수제로서 고흡수성 고분자(SAP)를 포함시키는 구성으로 제작 사용함으로써 김치 포장 내에 CO<sub>2</sub> 농도를 바람직하게 조절할 수 있었다. 저장 및 유통 온도 10°C에서의 김치 0.5 kg 단위 포장에서 흡수제 봉지에 CH 0.794 g + SC 2.276 g + SAP 0.4 g을 혼합한 조건이 부피팽창을 억제하면서 적절한 범위의  $P_{CO_2}$ 를 꾸준히 유지할 수 있는 것

으로 나타났다. 이러한 적정 조건은 김치의 종류와 염도, 저장 및 유통 온도, 흡수제 봉지의 재질과 면적에 따라 달라질 수 있어서 조건에 따른 추가적인 최적화가 필요할 것이다. 본 연구는 김치숙성에 맞춤형 CO<sub>2</sub> 흡수제의 구성에 의하여 허용가능 수준의 부피 팽창의 범위에서 일정 수준의 P<sub>CO2</sub>를 꾸준히 유지할 수 있음을 보여주고 있다.

## 감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 융복합연구센터지원사업에 의하여 진행된 연구결과로 지원에 감사드리며(Project #710013-03), 실험에 도움을 주신 학사 서준영 학생에게 감사드립니다.

## 참고문헌

- Lee, J.W., Cha, D.S, Hwang, K.T. and Park, H.J. 2003. Effects of CO<sub>2</sub> absorbent and high-pressure treatment on the shelf-life of packaged kimchi products. *Int. J. Food Sci. Tech.* 38: 519-524.
- Lim, J.W., Park, E.S., Cheigh, H.S. and Lee, D.S. 2001. Effect of package size and temperature on the volume expansion of flexible permeable packages of kimchi, a Korean fermented vegetable. *Packag. Technol. Sci.* 15: 41-48.
- Park, H.J. and Chinnan, M.S. 1995. Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulosic materials. *J. Food Eng.* 25: 497-507.
- Lee, D.S. and Paik, H.D. 1997. Use of a pinhole to develop an active packaging system for kimchi, a Korean fermented vegetable. *Packag. Technol. Sci.* 10: 33-43.
- Shin, D.H., Cheigh, H.S. and Lee, D.S. 2002. The use of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-based CO<sub>2</sub> absorbent systems to alleviate pressure buildup and volume expansion of kimchi packagrs. *J. Food Eng.* 53: 229-235.
- Jaisan, C., An, D.S. and Lee, D.S. 2018. Application of physical gas absorbers in manipulating the CO<sub>2</sub> pressure of kimchi package. *J. Food Sci.* 83: 3002-3008.
- Lee, D.S., Kwon, H.R., An, D.S., Chung, M., Lee, K.S. and Yang, D.J. 2012. Technology innovation in kimchi packaging for marketing in food supply chain. *Korean J. Packag. Sci. Technol.* 18: 1-8.
- 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.
- Lee, S.R. 1987. *Fermented foods of Korea*. Ehwa Womans University Press, Seoul.
- Chyun, J.H. and Rhee, H.S. 1976. Studies on the volatile fatty acids and carbon dioxide produced in different kimchis. *Korean J. Food Sci. Technol.* 8: 90-94.
- Wang, H.J., Jo, Y.H., An, D.S., Rhim, J.W. and Lee, D.S. 2015. Properties of agar-based CO<sub>2</sub> absorption film containing Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> as active compound. *Food Packag. Shelf Life.* 4: 36-42.
- Crovetto, R. 1991. Evaluation of solubility data of the system CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O from 273 K to the critical point of water. *J. Phys. Chem. Ref. Data.* 20:575-589.
- Hong, S.I. and Park, W.S. 1997. Sensitivity of color indicators to fermentation products of kimchi at various temperature. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29(1): 21-26.
- Lee, H.L., Park, S.Y., An, D.S. and Lee, D.S. 2016. A novel kimchi container with an atmosphere actively controlled by time-programmed vacuumizing and CO<sub>2</sub> flushing. *J. Food Proc. Eng.* 41(6), e12820.

투고: 2021.04.06 / 심사완료: 2021.04.09 / 게재확정: 2021.04.14