



## 김치포장 내부의 이산화탄소 및 산소 제어를 위한 포장 기술 고찰

정수연 · 이현규 · 이정수 · 유승란\*  
세계김치연구소, 산업기술연구단

### Critical review on Active Technologies to Regulate the Levels of Carbon Dioxide and Oxygen for *Kimchi* Packaging

Suyeon Jeong, Hyun-Gyu Lee, Jung-Soo Lee, SeungRan Yoo\*  
Industrial Technology Research Group, World Institute of Kimchi, Republic of Korea

#### Abstract

This paper presents a literature review on the active technologies to regulate the levels of carbon dioxide and oxygen in *Kimchi* packaging. In this study, laser-etched pouches and O<sub>2</sub> scavengers were used for *Kimchi* packaging, and the efficiency of each packaging technique to regulate the CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> levels inside *Kimchi* packages was investigated. When *Kimchi* was packaged with a laser-etched pouch, the CO<sub>2</sub> concentration in the sample with a high gas transmission rate was less than that in other pouches ( $p < 0.05$ ), and a low CO<sub>2</sub> level had little effect on the expansion of the package volume. *Kimchi* treated with an O<sub>2</sub> absorber exhibited a significantly lower ( $p < 0.05$ ) O<sub>2</sub> concentration inside the packages relative to the control. A low O<sub>2</sub> concentration inside the *Kimchi* package effectively inhibited the growth of total aerobic bacteria and lactic acid bacteria, as well as yeasts and molds on *Kimchi*. These results suggest that O<sub>2</sub> absorbers have a positive effect on the microbial quality of *Kimchi*. Therefore, packaging in a laser-etched pouch and the use of an O<sub>2</sub> scavenger could provide a novel packaging material for regulating the CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> levels during *Kimchi* packaging.

Key Words: *Kimchi*, active packaging, gas control, laser-etched pouch, oxygen scavenger

### 1. 서 론

한국 전통음식인 김치는 일반적으로 배추, 무 등과 같은 채소를 식염에 절인 후 고춧가루, 마늘, 파, 생강 등의 다양한 양념을 첨가하여 발효 숙성시킨 식품이다(Nam et al. 2009). 김치는 김치원부재료내의 미생물에 의하여 자연발효가 일어나 독특한 풍미와 조화로운 영양학적 가치를 지닌다(Cheigh 2004; Lee et al. 2017b).

김치는 살아 있는 발효 식품으로 유통 중 이산화탄소가 발생한다. 김치의 숙성 과정에서 발효초기에 이상젖산발효균(heterofermentative lactic bacteria)인 *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus brevis*가 많이 번식하여 젖산, 에탄올, CO<sub>2</sub> 등을 생성하는 것으로 알려져 있다(Mheen & Kwon 1984; Lee 1997; Chang et al. 2011). 발효에 의해서 생성된 이산화탄소에 의하여 강성용기의 경우 압력이 발생하고, 유연포장의 경우 부피가 팽창하게 된다. 압력발생이나 부피팽창으로 인해 미관의 저하를 가져오며, 심한 경우 용기의 파손을 야기한다(Lee et al. 2001; Kim et al. 2009). 이러한 문제

를 해결하기 위하여 포장내부에 생성된 이산화탄소를 제어할 수 있는 포장 개발이 필요하다.

김치 유통 중 김치가 산소에 노출될 경우 김치의 변색과 아울러 하얀 효모가 김치 상부에 발생하여 김치의 외관 및 상품성을 저하시킨다. 산막 효모의 경우 외부에 노출된 김치 표면에 염수와 호염성 유산균이 적어지면서 잡균이 번식하는 형태로 김치 표면에 흰 점 또는 얇은 막 형태로 나타난다(Mheen & Kwon 1984; Han et al. 1990; Lee 1997). 발효 말기에 더 이상 젖산균이 활동하지 못하면 표면에서부터 젖산을 이용하는 산막효모(film yeast) 등 다양한 미생물이 증식하면서 젖산을 먹이로 사용함에 따라 김치의 산도가 떨어지고 이에 따라 다른 부패성 미생물이 증식한다(Mheen & Kwon 1984; Lee 1997; Kim et al. 2012; Hong et al. 2016). 이 현상은 김치가 국물에 잠겨 있지 않거나 싱겁게 만들어졌을 때 더욱 빈번히 발생한다. 김치포장 내부의 산소는 김치에서의 산막효모의 생성과 산화를 촉진할 뿐만 아니라 연부현상, 균덕내(이취), 변색, 영양소 파괴 등의 품질 열화를 야기한다(Park & Lee. 2005; Moon et al. 2014;

\*Corresponding author: SeungRan Yoo, Industrial Technology Research Group, World Institute of Kimchi, Gwangju 61755, Republic of Korea  
Tel: +82-62-610-1738 E-mail: sryoo@wikim.re.kr

Jang et al. 2015; Park et al. 2016). 김치의 상품성을 유지시키면서 유통기한을 연장하기 위해서는 김치와 산소의 접촉을 최소화할 수 있는 포장 개발이 필요하다.

따라서 포장의 팽창방지 및 산막현상 방지를 위해 김치 포장 내 이산화탄소 및 산소를 제어할 필요가 있으며, 본 연구에서는 이산화탄소 및 산소 제어 기능성 포장 탐색을 통해 김치 포장에 적용 가능한 기술을 연구하고자 한다.

## II. 본 론

### 1. 김치포장 내부의 이산화탄소 제어를 위한 포장 기술

#### 1) 이산화탄소 흡수제

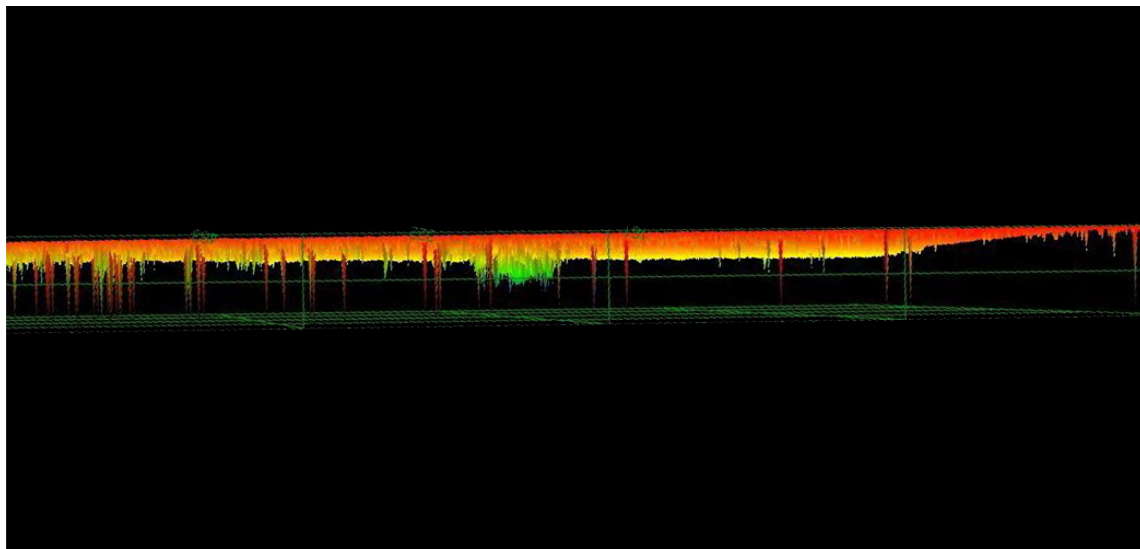
김치 포장 내부에 생성된 이산화탄소로 인한 포장의 팽창 및 파손은 김치의 숙성초기에 다량 증식하는 것으로 알려진 이종발효(hetero-fermentative) 젖산균이 탄산가스를 생산하는 것에 기인한다(Ku et al. 1988; Lee 1997; Lee et al. 2017c). 이를 해결하기 위하여 여러 가지 포장기법을 적용하여 김치 제품의 상품성을 제고하고자 하는 연구들이 진행되었다. 그 가운데 대표적인 것이 가스 흡수제를 함유한 포장으로서 이미 상당수 식품포장에 활용되고 있으며, 상업적 김치포장에서 CO<sub>2</sub> 발생에 따른 부피 팽창이나 압력 발생의 문제를 해결하기 위하여 가장 많이 사용된 방법이다(Jeong & Yoo 2016). CO<sub>2</sub> 흡수는 화학반응이나 물리적 흡착에 의하여 가능하며, 여러 흡수제가 기술적으로 검토되거나 상품김치 포장에 삽입되어 사용되고 있다. 일반적으로 실리카겔이 널리 이용되고 있으며, 일부 연구에서는 CO<sub>2</sub> 흡수를 위해 수산화칼슘, 수산화나트륨, 수산화칼륨과 같은 알칼리물질과 염화마그네슘, 염화칼슘과 같은 염화합물 등을 사용하였다(Yoon et al. 1997; Jeong & Yoo 2016). 알칼리 물질은 이산화탄소와 결합하여 탄산염과 물을 생성하며, 염화합물은 물의 존

재 하에서 탄산염과 물, 그리고 염소를 생성함으로써 이산화탄소를 제거한다(Jeong & Yoo 2016).

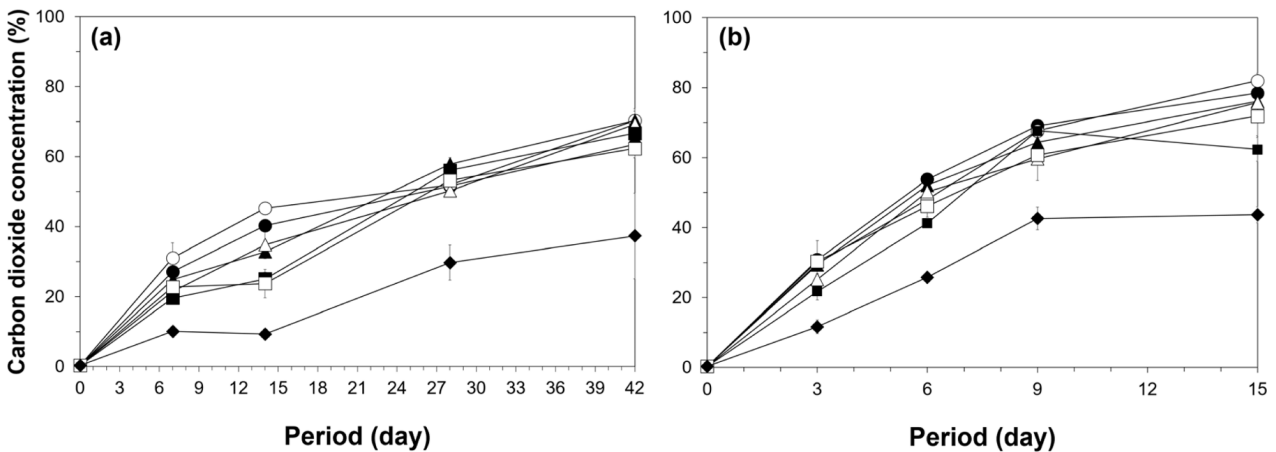
#### 2) 투과도 조절

포장 내부에 생성된 이산화탄소로 인한 부피팽창 및 포장 파손을 해결하기 위하여 다공성 필름, 투과도 조절 용기, 가스배출구 부착 포장 등 많은 연구가 있었으나 김치 국물이 외부로 누출될 수 있는 문제점이 있었다(Lee et al. 2001; Kim et al. 2009). 본 연구팀에서 개발한 레이저 가공법은 기존 천공 파우치와 달리 <Figure 1>과 같이 복합 필름의 일부만을 가공하여 비천공으로 공기 이동을 완화시켜 필름의 투과율 장벽을 낮추는 기술이다(Lee & Yoo 2017a). 김치 파우치는 대륜포장산업(주)(광주, 대한민국)에서 제공했다. 파우치는 PET (polyethylene terephthalate) 12 μm, PE (polyethylene) 20 μm, Al (aluminum foil) 7 μm, PE (polyethylene) 20 μm, LLDPE (linear low-density polyethylene) 70 μm로 만들어졌다. 김치 파우치는 1 L 용량(175 mm×250 mm)으로 제작하였으며, 레이저가공(etching) 횟수를 제어함으로써 각기 다른 산소 투과율(Oxygen Transmission Rate, OTR)로 총 7가지 샘플(A=0, B=500, C=1500, D=3700, E=7500, F=13000, G=40000)을 제작하였다. PET, PE, Al, PE 및 LLDPE의 순서로 적층된 필름의 상단(PET층)에 레이저 가공 처리를 하여 비천공 파우치를 제작하였다. 가공 형태는 laser confocal microscopy (OLS4100, Olympus, Tokyo, Japan)로 확인하였다<Figure 1>.

개발한 레이저 가공 파우치가 저장기간 중 내부에 생성된 이산화탄소 배출을 효과적으로 수행하는 것을 확인하고자 포장 내부의 이산화탄소 농도 변화를 분석하였으며 이를 <Figure 2>에 나타내었다. <Figure 2>에서 보듯이 저장 온도 및 샘플에 관계없이 이산화탄소의 양은 저장 기간 동안 증



<Figure 1> Section of the laser-etched pouch. Red and green represent the surface film and etched part, respectively (Lee & Yoo 2017a)



<Figure 2> Changes in the carbon dioxide concentrations in *Kimchi* ( 김치 ) packaging during storage at 4°C, (A) and 10°C, (B); ● : A, ○ : B, ▲ : C, △ : D, ■ : E, □ : F and ◆ : G. (Lee & Yoo 2017a)

가하였다. 저장온도에 따른 포장 내부 이산화탄소 조성의 변화는 10°C에서 저장한 샘플의 이산화탄소 농도가 4°C에서 저장한 샘플보다 빠르게 증가하였으나, 이산화탄소 생성 속도와 달리 최종 조성은 온도와 관계없이 유사했다. 이는 레이저 가공 처리를 통해 포장 내부에 생성된 가스가 일정 수준 이상이 되면 배출되기 때문으로 판단된다(Jaime et al. 2008).

또한, 파우치의 투과도에 따른 포장 내 이산화탄소 조성변화를 확인하고자 레이저 가공을 달리하여 분석한 결과, 투과도가 가장 높은 샘플 G의 포장 내부 이산화탄소가 가장 낮게 나타났다. 이를 통해 개발한 레이저 가공 파우치가 포장 내부의 이산화탄소 농도 조절에 효과가 있으며 투과도 조절을 통해 포장 내부의 이산화탄소 농도를 원하는 수준으로 조절할 수 있는 것을 확인하였다.

### 3) 가스밸브

포장 내 생성된 이산화탄소의 배출을 위하여 포장재에 가스배출구를 부착하거나 내용물은 누출되지 않고 가스만 빠져나갈 수 있도록 통로를 제작하는 등 물리적 방법으로 포장 내부에 생성된 이산화탄소를 배출시키는 기술에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 포장용 가스배출 밸브(Degassing Valve)의 개발 배경은 로스팅된 커피의 포장 밀봉시 커피에서 발생하는 가스로 인해 포장재 내부 압력의 증가 및 과열로 커피의 신선도 저하 및 품질 저하가 발생되는데, 이를 방지하기 위해 포장재 내부가 일정 압력이상으로 상승하게 되면 내부가스를 배출(Degassing)하고 반대로 외부로부터의 산소 유입을 차단하도록 고안된 One-Way Degassing Check Valve를 개발하여 포장재에 적용해 왔으며, 가스 배출시의 커피향 덕분에 아로마 밸브(Aroma Valve)라고 통칭하고 있다(Yu et al. 2014) 그러나 커피 또는 신선 식품과 같은 제품에 사용된 가스 밸브의 경우 누출의 위험 때문에 김치 포장에 적용하기가 어려운 관계로 김치 포장에 적용을 위해서는 많

은 추가 연구가 필요한 실정이다(Yu et al. 2014; Jeong et al. 2018).

Yu et al.(2014)은 기존 가스 밸브에 주로 사용 되는 원판 모양의 고무막 대신 링모양의 고무막을 사용하여 중앙 개폐형 가스배출 밸브(SP 밸브)를 개발하였으며, 폴리에틸렌 (Polyethylene, PE) 재질의 통기성 필름을 적용하여 가스 배출은 용이하고 액체 누출은 방지하는 액체 발효식품 포장용 밸브를 제작하였다. 또한, 본 연구팀에서는 김치 국물의 누액은 방지하면서 포장 내부의 가스를 배출 할 수 있는 one-way degassing valve를 개발하였다(Jeong et al. 2018).

## 2. 김치포장 내부의 산소 제어를 위한 포장 기술

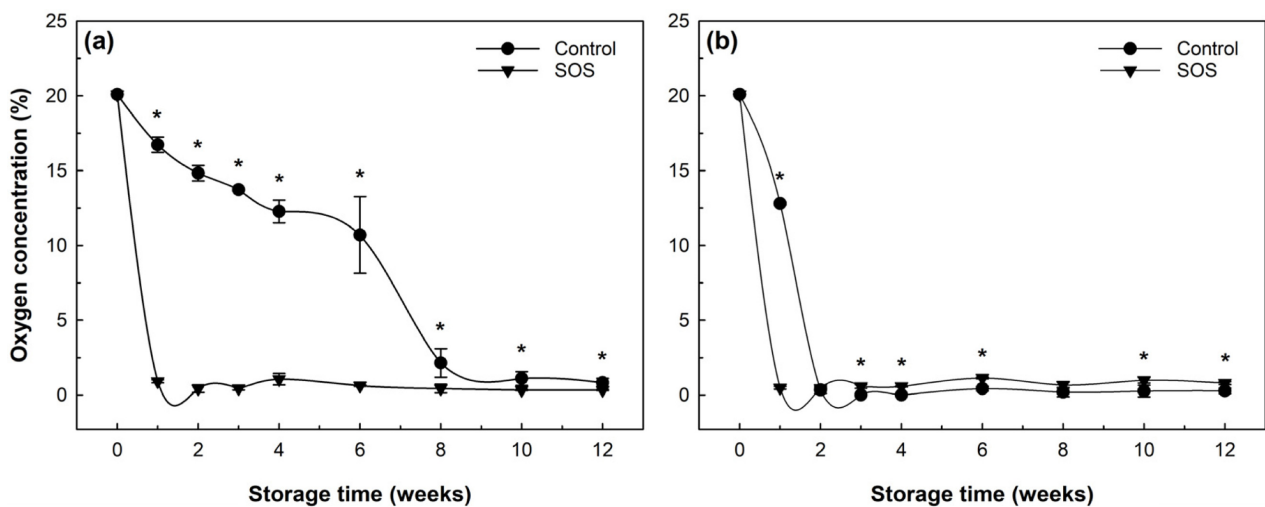
### 1) 산소 흡수제

식품 제조회사는 진공포장(vacuum packaging)과 불활성기체(inert gases) 충전 등 포장 기법 등을 통하여 산소와의 직접적인 접촉을 차단해왔다. 그러나 진공포장과 불활성기체 충전 처리에도 불구하고 포장재의 산소 투과 및 포장 내의 잔류 산소 제거에는 한계를 보였다(Mohan et al. 2008; Ahn et al. 2016). 이를 보완하기 위하여 탈산소제를 포장 처리 시스템과 함께 사용해왔다. 탈산소제는 포장된 대기의 잔존 산소를 제거하여 식품의 산화와 곰팡이 발생방지 및 색과 풍미 유지 등 식품의 품질 변화를 최소화 시켜 유통 기간을 연장시키는 역할을 한다(Ahn et al. 2016). 가장 일반적인 형태는 산소제거 물질을 통기성이 있는 포장재를 사용해 사체형태이다(Lee et al. 2018a). 산소제거 물질은 <Table 1>와 같이 금속을 기반으로 하는 metallic scavenger, 비금속을 기반으로 한 non-metallic scavenger, 그리고 효소반응을 이용한 enzymatic scavenger로 구분된다(Gaikwad et al. 2018).

현재 주로 사용되고 있는 사체 방식은 무기물인 철(iron powder)을 기반으로 한 탈산소제이며 낮은 가격대비 높은 산소흡착 효율을 가지고 있다. 그러나 무기물 철은 인체에 잠재적인 위험요소가 될 뿐 아니라 액체 제품에는 사용이 불

<Table 1> Different types of oxygen scavenging agents (Ahn et al., 2016; Hutter et al., 2016; Gaikwad et al., 2018)

Classification	Oxygen scavenging agents	Oxidation mechanism
Metallic	Iron powder, activated iron, ferrous oxide, iron salt, Co (II), Zn, Palladium	Oxidation of iron with supply of moisture and action of optional catalyst
Organic	Ascorbic acid, ascorbic acid salts, isoascorbic acid, tocopherol, hydroquinone, catechol, rongalit, sorbose, lignin, gallic acid, polyunsaturated fatty acids	Oxidation of organic substrate with metallic catalyst or alkaline substance
Inorganic	Sulfite, thiosulfate, dithionite, hydrogen sulfite, titanium dioxide	Oxidation of inorganic substrate by UV light
Polymer based	Oxidation-reduction resin, polymer metallic complex	Oxidation of polymer components with metallic catalyst (mostly cobalt)
Enzyme based	Glucose oxidase, laccase, ethanol oxidase, alcohol oxidase-ethanol vapor	Immobilization



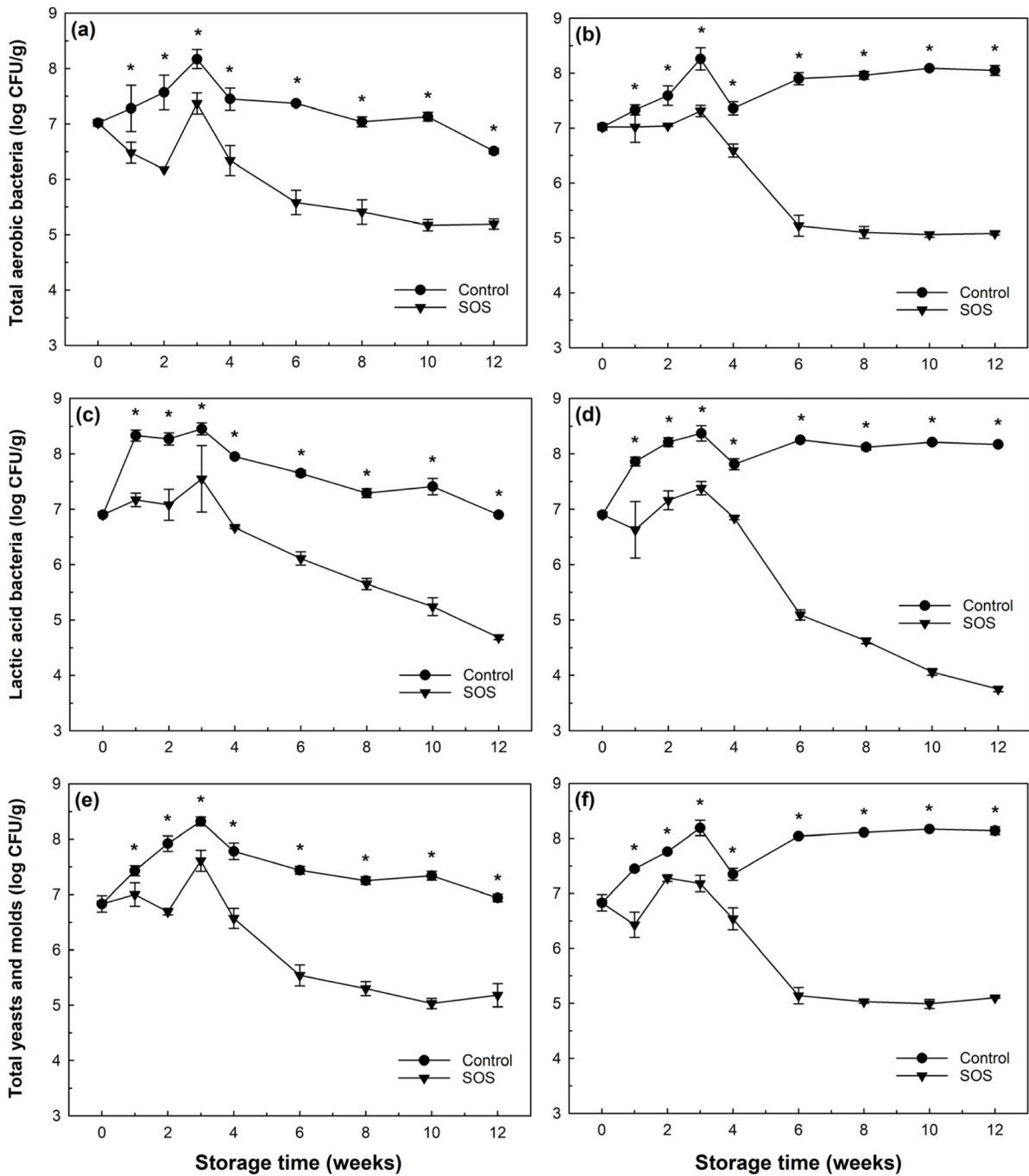
<Figure 3> Headspace oxygen and carbon dioxide concentration inside packages of packaged *Kimchi* ( 김치 ) with sulfite-based oxygen scavenger (SOS) and without sulfite-based oxygen scavenger (control). (a) and (b): headspace oxygen concentration inside packages of packaged *Kimchi* ( 김치 ) stored at 0°C and 10°C, respectively. Data are expressed as the mean±standard error of three replicates. Asterisk (\*) denotes a significant difference (p<0.05) as determined by Student's *t*-test (Lee et al., 2018b).

가능하다는 단점을 가지고 있다. 또한 전자레인지 등 전자파를 받으면 발화 및 화재의 위험에 노출 될 수 있다. 최근 무기물 철가 화합물 대체 물질로 Ascorbic acid, α-tocopherol, gallic acid 등의 폴리 페놀류를 이용한 비금속류 탈산소제의 개발에 관한 연구가 진행되고 있다(Ahn et al. 2016; Gaikwad et al. 2018).

본 연구팀에서는 산막효모 생성을 저해할 수 있는 설파이트 기반 산소 제거제(Sulfite-based oxygen scavenger, SOS)를 개발하고 이를 김치 포장 내부에 삽입하여 산막효모를 저해하고자 하였으며 저장 중 김치의 품질에 영향을 미치는지 분석하였다(Lee et al. 2018b). 가로 6 cm×세로 5 cm로 제작한 Tyvek 사체에 산소제거 물질인 소듐메타바이설파이트(SM, Sigma-Aldrich Inc., St. Louis, Missouri, USA) 5 g을 넣고 열접착기(NT400-2; HANATO, Gimcheon-si, Gyeongbuk, South Korea)로 밀봉하여 산소제거사체를 제작하였다. 사용된 Tyvek은 고밀도폴리에틸렌으로 구성된 다공성 시트 재료

로 듀폰사의 1073B (DuPont, Wilmington, DE, USA)를 사용하였다. 사용한 Tyvek의 평량은 75 g/m<sup>2</sup>이다. 제작한 탈산소 사체의 산소와의 반응을 막기 위하여 vacuum chamber sealer (AZC-070; AIRZERO, Ansan-si, Gyeonggi, South Korea)를 이용해 진공포장하였다.

저장 기간 동안의 포장 내부 산소 조성 변화는 <Figure 3> (a)-(b) 에 나타내었다. 저장 기간 동안 모든 샘플에서 포장 내부의 산소 농도는 감소하는 경향이 나타났다. 산소제거제가 삽입된 포장의 경우, 산소제거능으로 인하여 저장 초기에 산소의 농도가 급격히 저하되었다. 대조군의 경우에도 저장 기간이 증가함에 따라 포장 내부의 산소 농도가 지속적으로 감소되었는데, 그 이유는 첫째, 김치에 존재하는 미생물에 의해 산소가 소비되었고 둘째, 헤드스페이스의 산소가 김치의 조직 및 액즙에 녹아 들었기 때문이라고 사료되며 이러한 현상은 김치의 품질을 저하시키게 된다. 본 연구에서는 이러한 현상을 해결하기 위하여 저장 초기에 포장 내부에 존



<Figure 4> Microbial population in *Kimchi* of packaged *Kimchi* with sulfite-based oxygen scavenger (SOS) and without sulfite-based oxygen scavenger (control). (a) and (b): total aerobic bacteria population in *Kimchi* of packaged *Kimchi* stored at 0°C and 10°C, respectively; (c) and (d): lactic acid bacteria population in *Kimchi* of packaged *Kimchi* stored at 0°C and 10°C, respectively; (e) and (f): total yeasts and molds population in *Kimchi* of packaged *Kimchi* stored at 0°C and 10°C, respectively. Data are expressed as the mean±standard error of three replicates. Asterisk (\*) denotes a significant difference (p<0.05) as determined by Student's *t*-test (Lee et al., 2018b).

재하는 산소를 빠르게 제거하여 김치 품질 변화를 억제하고자 산소제거제를 사용하였다. 설파이트계 산소제거제가 삽입된 샘플은 0°C와 10°C에서 저장 1주일 후 20.90%에서 0.91%와 0.48%로 감소하였으며 저장 후반까지 1% 이하의 산소농도를 유지하였다(p<0.05). 대조군의 산소 감소량 및 감

소 속도는 0°C에서 저장했을 때보다 10°C에서 저장했을 때 더 빨리 나타났다. 그 이유는 0°C보다 10°C에서 미생물의 생육이 더 활발히 일어났기 때문인 것으로 보인다. 분석결과를 통해 개발한 설파이트계 산소제거제가 포장 내부에 존재하는 산소를 효과적으로 제거하는 것을 확인할 수 있었다.



또한, 본 연구(Lee et al. 2018b)에서는 설파이트계 산소제거제로 인해 생성된 낮은 산소 농도 조건이 김치의 미생물 증식에 주는 영향을 알아보고자 일반세균, 젖산균, 효모 및 곰팡이 변화를 분석하였다. 혐기성 또는 호기성 미생물의 증식은 포장의 대기 조건에 달려있다(Nair et al. 2015). 0°C와 10°C에서 최대 12주 동안 보관된 김치에서의 일반세균, 젖산균, 효모 및 곰팡이 변화는 <Figure 4> (a)-(f)에 나타났다. 일반세균, 젖산균, 효모 및 곰팡이의 초기 미생물 수는 각각  $7.02 \pm 0.06$ ,  $6.90 \pm 0.02$ ,  $6.83 \pm 0.15$  log CFU/g이었다.

일반세균의 경우 0°C와 10°C에서 저장 기간 동안 대조군보다 설파이트계 산소제거제를 적용한 김치 포장에서 유의적으로 낮게 나타났다( $p < 0.05$ ). 저장 12주 후 0°C와 10°C에서 대조군은 각각  $6.51 \pm 0.05$ ,  $8.05 \pm 0.09$  CFU/g의 값을 보이는 반면 산소제거제가 적용된 포장샘플의 경우  $5.19 \pm 0.09$ ,  $5.08 \pm 0.03$  log CFU/g의 값을 보였다. 젖산균의 경우에도 대조군은  $6.90 \pm 0.00$  (0°C),  $8.17 \pm 0.02$  log CFU/g (10°C)의 값을, 산소제거포장 샘플은  $4.68 \pm 0.04$  (0°C),  $3.75 \pm 0.05$  log CFU/g (10°C)의 값을 보여 설파이트계 산소제거제를 적용한 김치 포장에서 유의적으로 낮게 나타나는 것을 확인했다( $p < 0.05$ ). 효모 및 곰팡이 역시 대조군에서  $6.94 \pm 0.07$  (0°C),  $8.14 \pm 0.07$  log CFU/g (10°C)의 값을 보였으나 산소제거 포장을 적용한 경우  $5.18 \pm 0.21$  (0°C),  $5.10 \pm 0.01$  log CFU/g (10°C)로 감소하는 것을 확인하였다( $p < 0.05$ ).

전반적으로 김치 포장에 설파이트계 산소제거제를 적용한 결과, 김치의 일반세균, 젖산균, 효모 및 곰팡이 수가 크게 감소하는 것을 확인하였으며, 이러한 결과는 설파이트계 산소제거제가 김치 포장에서 산소를 제거함으로써 미생물의 성장을 억제 했기 때문으로 판단된다.

### III. 요약 및 결론

본 논문에서는 김치 발효를 통해 생성된 이산화탄소의 축적으로 인한 김치 포장의 팽창 및 파손을 방지하기 위한 기술과 포장내부의 산막효모 발생을 방지하기 위한 포장 내부 산소 제거 기술을 연구하였다. 다양한 이산화탄소 제어 포장 기술 중 높은 투과도를 갖는 비천공 파우치는 일정 수준의 이산화탄소 농도가 되면 내부의 이산화탄소를 외부로 배출시켜 부피 팽창을 완화시켰다. 기존 레이저 가공은 미세공을 통해 김치국물의 누액이나 김치의 품질 특성에 영향을 주는 단점이 있었지만 비천공 레이저 가공법은 내용물의 누출이 없고, 김치의 품질특성에는 영향을 주지 않으면서 포장 내부의 이산화탄소 농도를 조절할 수 있어 기존 포장을 대체할 수 있는 포장재로 판단된다. 포장 내부의 산소제어를 위한 포장 기술 중 김치 포장 내부의 산소로 인한 품질열화를 방지하기 위하여 설파이트계 산소제거물질을 사용하여 사쇄형태로 개발한 산소제거제는 포장 내부의 산소를 제거하고 저장 후반까지 1% 이하의 산소농도를 유지하였다. 설파

이트계 산소제거제는 기존 철계 산소제거제의 문제점을 해결 할 수 있을 것으로 기대된다. 이를 통해 레이저 가공 파우치와 설파이트계 산소제거제가 결합된다면 김치의 품질에는 영향을 주지 않으면서 김치 포장 내부의 이산화탄소 및 산소 농도를 효과적으로 제어할 수 있을 것으로 판단하였다.

### 감사의 글

본 연구는 세계김치연구소 기관고유사업(KE1901-4)의 연구비 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

### References

- Ahn BJ, Gaikwad KK, Lee YS. 2016. Characterization and properties of LDPE film with gallic-acid-based oxygen scavenging system useful as a functional packaging material. *J Appl Polym Sci.*, 133(43):1-8
- Chang JY, Choi YR, Chang HC. 2011. Change in the microbial profiles of commercial kimchi during fermentation. *Korean J. Food Preserv.*, 18(5):786-94
- Cheigh HS. 2004. Kimchi: Fermentation and food science. Review of. Hyoil, Seoul, Korea, pp 148-49, 270-72
- Gaikwad KK, Singh S, Lee YS. 2018. Oxygen scavenging films in food packaging. *Environ Chem Lett.*, 16:523-538
- Han HU, Lim CR, Park HK. 1990. Determination of microbial community as an indicator of kimchi fermentation. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 22(1):26-32
- Hong SP, Lee EJ, Kim YH, Ahn DU. 2016. Effect of fermentation temperature on the volatile composition of Kimchi. *J. Food Sci.*, 81(11):623-629
- Hutter S, Ruegg N, Yildirim S. 2016. Use of palladium based oxygen scavenger to prevent discoloration of ham. *Food Packaging Shelf.*, 8:56-62
- Jaime G, Ferrer A, Oria R, Salvador M. 2008. Determination of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> transmission rates through microperforated films for modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables. *J. Food Eng.*, 86(2):194-201
- Jang JY, Lee ME, Lee HW, Lee JH, Park HW, Choi HJ, Pyun YR, Kim TW. 2015. Extending the shelf life of kimchi with *Lactococcus lactis* strain as a starter culture. *Food Sci. Biotechnol.*, 24(3):1049-1053
- Jeong SY, Yoo SR. 2016. Kimchi packaging technology: An overview. *Korean J Packaging Sci Technol.*, 22(3):41-47
- Jeong SY, Cho CH, Lee HG, Lee JS, Yoo SR. 2018. Development

- and application of multi-function valve to solve major problems of expansion and off-odor leakage in the packaging of Kimchi. *Korean J Packaging Sci Technol.*, 24(3):1-8
- Kim JS, Bang JH, Beuchat LR, Kim HK, Ryu JH. 2012. Controlled fermentation of kimchi using naturally occurring antimicrobial agents. *Food Microbiol.*, 32(1):20-31
- Kim YW, Jeong JK, Lee SM, Kang SA, Lee DS, Kim SH, Park KY. 2009. Effect of permeability-controlled polyethylene film on extension of shelf-life of brined Baechu cabbage. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 38(12):1767-1772
- Ku KH, Kang KO, Kim WJ. 1988. Some quality changes during fermentation of kimchi. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 20(4):476-482
- Lee DS, Paik HD. 1997. Use of a pinhole to develop an active packaging system for kimchi, a Korean fermented vegetable. *Packaging Technol Sci.*, 10:33-43
- Lee DS, Shin DH, Lee DU, Kim JC, Cheigh HS. 2001. The use of physical carbon dioxide absorbents to control pressure buildup and volume expansion of kimchi packages. *J. Food Eng.*, 48(2):183-188
- Lee HG, Yoo SR. 2017. Use of laser-etched pouches to control the volume expansion of Kimchi packages during distribution: Impact of packaging and storage on quality characteristics. *J. Food Sci.*, 82(8):1876-1884
- Lee JH, Lee HM, Kim SH, Eun JB, Ha JH. 2017. Recovery of intact human norovirus from cabbage Kimchi stored at 4°C and 10°C during fermentation. *LWT-Food Sci. Technol.*, 78:258-264
- Lee JS, Chang YJ, Lee ES, Song HG, Chang PS, Han JJ. 2018. Ascorbic acid-based oxygen scavenger in active food packaging system for raw meatloaf. *J. Food Sci.*, 83(3):682-688
- Lee JS, Jeong SY, Lee HG, Cho CH, Yoo SR. 2018. Development of a Sulfite-Based Oxygen Scavenger and its Application in Kimchi Packaging to Prevent Oxygen-mediated Deterioration of Kimchi Quality. *J. Food Sci.*, 83(12):3009-3018
- Lee ME, Song JH, Jung MY, Lee SH, Chang JY. 2017. Large-scale targeted metagenomics analysis of bacterial ecological changes in 88 kimchi samples during fermentation. *Food Microbiol.*, 66:173-183
- Mheen TI, Kwon TW. 1984. Effect of temperature and salt concentration on kimchi fermentation. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 16(4):443-50
- Mohan CO, Chandragiri NR, Teralandur KS. 2008. Effect of O<sub>2</sub> scavenger on the shelf-life of catfish (*Pangasius sutchi*) steaks during chilled storage. *J. Sci. Food Agric.*, 88(3):442-448
- Moon SH, Mi C, Kim HY, Chang HC. 2014. *Pichia kudriavzevii* is the major yeast involved in film-formation, off-odor production, and texture-softening in over-ripened Kimchi. *Food Sci. Biotechnol.*, 23(2):489-497
- Nam YD, Chang HW, Kim KH, Roh SW, Bae JW. 2009. Metatranscriptome analysis of lactic acid bacteria during kimchi fermentation with genome-probing microarrays. *Int. J. Food Microbiol.*, 130(2):140-146
- Park SE, Yoo SA, Seo SH, Lee KI, Na CS, Son HS. 2016. GC-MS based metabolomics approach of Kimchi for the understanding of *Lactobacillus plantarum* fermentation characteristics. *LWT Food Sci. Technol.*, 68:313-621
- Park SH, Lee JH. 2005. The correlation of physico-chemical characteristics of Kimchi with sourness and overall acceptability. *Korean J. Food Cook. Sci.*, 21(1):103-109
- Yoon KY, Kang MJ, Lee KH, Youn KS, Kim KS. 1997. Studies of prevention of gas production during manufacturing and circulation of kimchi. *J Food Sci Technol.*, 9:145-151