

이산화염소가스를 이용한 식품산업용 소독장에서의 살균효과

김현정 · 신지영 · 김지은 · 양지영*

부경대학교 식품공학과

Effect of Gaseous Chlorine Dioxide on Sterilization in Industrial Food-holding Cabinets

Hyeon Jeong Kim, Jiyoung Shin, Ji-eun Kim, and Ji-young Yang*

Department of Food Science and Technology, Graduate School Pukyong National University, Busan, Korea

(Received February 7, 2019/Revised February 21, 2019/Accepted February 26, 2019)

ABSTRACT - The aim of this study was to investigate the effect of different concentrations of chlorine dioxide (ClO₂) on sterilization and deodorization of food-holding cabinets under different exposure times. For the measuring sterilization and deodorization, a 6.5 L chamber and a 625 L cabinet with circulation systems were used. Two bacteria (*Staphylococcus aureus* KCTC1916 and *Escherichia coli* KCTC 1682) that were artificially inoculated in the plate respectively were put into the 6.5 L chamber and the 625 L cabinet. The ClO₂ gas was produced by ampules. In the 6.5 L chamber, neither of the two bacteria was detected after 24 hours treatment by ClO₂ gas. Moreover, the deodorization rate against ammonia and phenol was 94% and 70%, respectively, but deodorization against formaldehyde was not effective. When the concentration reached maximum (6 ampule, 4.6 ppm) levels in the cabinet, it lasted for approximately 2 h and then decreased slowly. When a circulator was used, the gas concentration was very low (6 ampule, 0.8 ppm) and the antibacterial activity against *S. aureus* and *E. coli* was low. The level of reduction against *S. aureus* and *E. coli* was 2.98 log CFU/plate and 6.06 log CFU/plate, respectively, in the cabinet after 24 h without a circulator. The reduction against *S. aureus* KCTC1916 and *E. coli* KCTC1682 was 2.69 log CFU/plate and 4.41 log CFU/plate for 24 h, respectively.

Key words : Chlorine dioxide gas, Cabinet, Antimicrobial activity

이산화염소(ClO₂)는 녹색빛이 섞여있는 연노란색의 염소와 비슷한 냄새를 내는 물질이다. 이산화염소의 가장 중요한 성질 중 하나는 염소보다 2.5배의 전자를 받아들일 수 있는 강한 산화능력이다¹⁾. 이 특징으로 인해 살균효과가 있는 것으로 알려져 있다. 또한 불쾌치를 줄이고, 이물질을 제거하기 위한 용도로 이용될 뿐만 아니라 물에 존재하는 망간과 철을 제거하는데도 도움을 주는 것으로 알려져 있어 정수 산업에서 많이 이용되고 있다²⁾. 이산화염소는 가수분해에 영향을 받지 않고, 사용하는 즉시 효과가 나타나는 것으로 알려져 있고, 보관할 때 농도가 빨리 떨어지지 않아서 오존, 자외선, 여과 등과 같은 일시적인 효과를 주는 방법에 비해 지속적이기 때문에 경제적인 것으로 알려져 있다. 또한, 이산화염소는 광범위한 pH에서

효과가 있고, 암모니아와 요소에 반응하지 않아 폐수 처리나 비료 산업에서도 자주 이용되고 있다. 또한 이산화염소는 11°C 이상에서 물에 대한 용해도가 염소에 비해 10배 정도 높아 수용액 상태로 이용되어져 왔다^{3,4)}.

이산화염소 발생 방법은 다양하지만 가장 많이 사용되는 생성법은 아염소산나트륨(sodium chlorite, NaClO₂)용액에 다양한 산성기 공급 물질인 염소가스(Cl₂), 차아염소산(HOCl), 염산(HCl)을 반응시키는 것이다. 이는 아염소산나트륨이 Na⁺와 ClO₂로 분해될 때 산성기 공급 물질이 ClO₂의 전자를 잃게 하여 ClO₂를 형성시키는 원리이다⁵⁾.



액체 형태로 반응을 시키게 되면 잔류 이산화염소와 이산화염소의 반응부산물인 아염소산(chlorite)이 발생하여 인체에 해로운 영향을 줄 수 있는데, 기체 형태로 이산화염소가 스만 이용하게 되면 인체에 유해한 불필요한 요소를 줄일 수 있게 된다. 또한 액체상태의 이산화염소보다 기체상태일

*Correspondence to: Ji-young Yang, Department of Food Science and Technology, Graduate School Pukyong National University, Busan, 48513, Korea
Tel: 82-51-629-5828, Fax: 82-51-629-5824
E-mail: jyyang@pknu.ac.kr

때 침투력이 좋다. 하지만 기체 형태의 이산화염소는 고온, 고압에서 폭발성이 있어 보관이 어려워 사용하고자 하는 장소에서 직접 생성해야 하고, 50°C 이상의 온도에서 쉽게 분해되는 단점이 있어 산업적으로 이용이 제한적이었다^{6,7)}.

이산화염소 가스를 이용한 살균력 연구는 사과에 오염된 *Escherichia coli* O157:H7 저감화 효과⁸⁾, Modified atmosphere (MA) 포장된 당근에 적용하여 일반 호기성 균주, 젖산균, 효모 등에 효과를 입증한 사례가 있었다⁹⁾. 그리고 무균환경의 주스 저장 탱크 환경을 조성하기 위하여 높은 농도의 이산화염소 가스를 이용하여 *Lactobacillus buchneri*, *Leuconostoc mesenteroides*의 불활성화 연구 사례가 존재하였다¹⁰⁾. 그 외에도 방울토마토¹¹⁾, 딸기¹²⁾ 등에 이산화염소가스를 처리한 연구 결과가 존재한다. 이산화염소가스를 이용한 연구는 살균력 뿐만이 아니라 악취제거에 대한 연구도 진행되어 있다. 퇴비장에서의 이산화염소 염소 분무 장치를 통해서 암모니아, 황화수소, 메틸메르캅탄, 황화메틸 등을 저감화시킨 연구가 존재한다¹³⁾.

하지만 식품산업에서 사용하는 기구에 대한 소독 작용 및 소취 작용에 대한 연구는 미미한 실정이다. 이산화염소 가스를 이용한 살균 처리는 원재료를 처리하는 동안이나 저장하는 동안, 그리고 최종 제품의 유통하는 과정에서도 적용할 수 있을 뿐만 아니라 소독장을 비롯한 식품 전 산업에서 이용가능성이 높을 것이라 판단되었다. 따라서, 본 연구에서는 식품 산업에서 직접적으로 이용할 수 있도록 이산화염소 가스를 농도별로 소독장에 채운 다음 *S. aureus*와 *E. coli*를 접종한 작업화를 이산화염소 가스에 노출시켜 시간에 따른 살균력을 확인하였다.

Materials and Methods

시약 및 기구

소규모 반응조로는 밀폐가 되는 6.5 L 용기(ROCK & ROCK, Seoul, Korea)를 이용하였다. 소독장(625 L, 1750 mm × 650 mm × 550 mm)은 (주)세기시스템(Haeundae, Busan, Korea)에서 제공받았으며, 이산화염소 가스 앰플은 (주)푸르고팜(Hwaseong, Korea)에서 제공받아 이용하였다. 이산화염소가스 측정기는 PortaSens II C16(Analytical Technology Inc. Collegeville, PA, USA)를 이용하였다.

균주

S. aureus KCTC 1916와 *E. coli* KCTC 1682를 이용하였으며, 모든 미생물은 KCTC에서 구매하여 실험을 진행하였다. 냉동균주로 보관중인 *S. aureus* KCTC 1916, *E. coli* KCTC 1682를 tryptic soy broth(TSB; Difco, Becton Dickinson Co., NJ, USA)를 이용하여 24시간 동안 35°C에서 액체배양을 하여, 10⁸ CFU/mL 수준을 유지하였다.

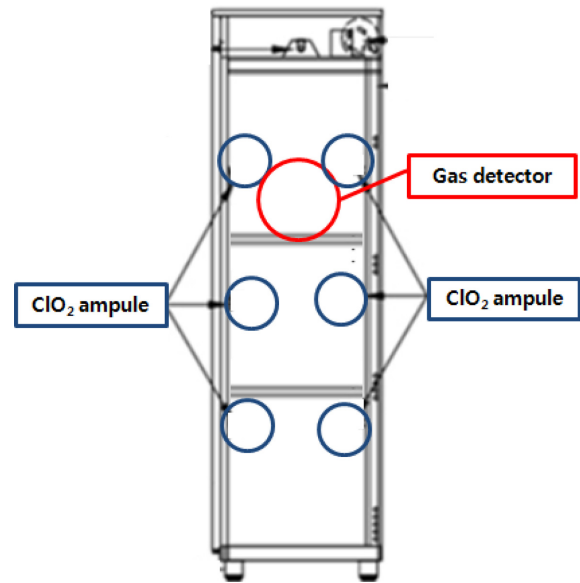


Fig. 1. Design of cabinet (625 L), position of ClO₂ gas ampule and gas detector.

이산화염소 가스 농도 조절

소규모 용기에서는 가스 측정기와 앰플 1개를 반응시커 중앙에 배치하여 이산화염소 가스 농도를 조절하였다. 앰플은 반응 직후 사용하였으며, 실험마다 새로운 앰플을 이용하여 동일한 조건에서 실험을 진행하였다. 이산화염소 가스 농도는 3회 반복 측정하였다.

소독장에서 이산화염소 가스 농도 조절

가스 측정기는 첫 번째 층에 비치하여 가스를 측정하였다. 이산화염소 가스를 생성하는 앰플을 이용하여 왼쪽부터 오른쪽, 위에서 아래 순서로 설치하였으며 4개, 6개 및 12개를 사용하여 이산화염소 농도를 조절하였다(Fig. 1). 또한 순환팬의 가동 유무로 이산화염소 가스 농도를 추가로 조절하였다. 앰플은 반응 직후 사용하였으며, 실험마다 새로운 앰플을 이용하여 동일한 조건에서 실험을 진행하였다.

살균 효과 확인

Kaye의 방법¹⁴⁾을 응용하여 액체 배양된 균주를 빈 페트리디쉬(55 × 12 mm)에 200 μL 분주한 후 무균상태에서 2 시간 동안 완전히 건조시켜 실험에 이용하였으며, 균을 건조시킨 페트리디쉬는 사용하기 전까지 밀폐용기에 담아 보관하였다.

6.5 L 용기에 균이 건조된 페트리디쉬를 넣고 이산화염소 가스를 생성시킨 후, 용기를 밀폐시켜 4, 8, 12, 16, 20 및 24시간 동안 처리하였다. 균을 측정하기 위해 3M pipet swab(Seoul, Korea)을 이용하여 동일한 면적을 채취하여

멸균된 phosphate buffer saline(PBS) 희석수를 이용하여 희석을 하였고, 생균수를 측정하기 위해 *S. aureus* KCTC 1916는 tryptic soy agar(TSB; Difco)를 이용하였으며, *E. coli* KCTC 1682는 Petrifilm™ *E. coli* and coliform count plates(3M)를 이용하였다. 3회 반복하였으며, 동일한 조건에서 앰플을 넣지 않은 상태를 대조구로 사용하였다.

소독장에서의 살균 효과

소독장에서 살균 효과를 확인하기 위해 6.5 L 용기에서의 방법과 동일하게 페트리디쉬에 균을 건조하고 측정하였다. 소독장에 이산화염소 앰플을 이용하여 이산화염소 가스를 생성한 후 균이 건조된 페트리디쉬를 넣고 문을 닫아 밀폐상태를 유지하며 4, 8, 12, 16, 20 및 24시간 동안 처리하여 균수를 측정하였다.

소독장에서의 작업화에 대한 살균 효과

소독장에서 작업화에 대한 살균 효과를 확인하기 위해 작업화 내부에 균이 접종된 후 건조된 페트리디쉬를 넣고 4, 8, 12, 16, 20 및 24시간 동안 처리한 후 위와 동일한 방법으로 균수를 측정하였다.

6.5 L 용기에서의 소취 효과

악취물질은 3종으로 ammonia(Junsei chemical Co. Ltd. Tokyo, Japan) phenol (Junsei), formaldehyde (Kanto chemical Co. Inc., Tokyo, Japan)을 증류수로 각 검지관의 측정 범위 내부에서 측정이 가능하도록 희석하였다. 6.5 L 용기 뚜껑에 가스 검지관이 통과할 수 있는 구멍을 뚫고, 가스 측정을 할 때를 제외하고는 구멍을 막아 밀봉상태를 유지하였다. 용기 내부에 앰플 한 개를 미리 배치한 후 희석한 용액을 1 mL를 주입하여 악취를 유발하였고, 4, 8, 12, 16, 20 및 24시간 동안 처리하여 가스를 측정하였다. 동일한 조건에서 앰플을 넣지 않은 조건을 대조구로 사용하였다. 본 연구에서 사용된 가스검지기는 GV-100S (Gastec, Kanagawa, Japan)를 이용하였고, 암모니아, 포름알데히드, 페놀 검지관(Gastec)은 Table 1과 같이 이용하였다. 3회 반

Table 1. Condition of gas detector tube.

	Ammonia	Formaldehyde	Phenol
Model	No. 3La.	No. 91	No. 60
Measuring range (ppm)	0~100	2~20	1~25
Sampling time	30 sec/pump stroke	45 sec/pump stroke	1.5 min/pump stroke
Detecting limit (ppm)	0.5	0.5	0.1
Color change	Purple → yellow	White → brown	Pale yellow → gray

복하였으며, 동일한 조건에서 앰플을 넣지 않은 상태를 대조구로 사용하였다. 동일한 조건에서 앰플을 제거하고 악취물질을 측정하여 용기의 밀폐상태 등을 확인하였다¹⁵⁾. 소취력은 다음과 같은 식에 따라 계산하였다.

$$\text{Deodorization rate (\%)} = \frac{\text{Conc. of gas after treatment}}{\text{Initial conc. of gas}} \times 100$$

Results and Discussion

6.5 L 용기에서의 이산화염소 농도

6.5 L 용기에서 앰플 1개를 이용하여 이산화염소 가스를 생성하였고, 15분이 경과하고 가스가 검출되어 6.5 L 용기에 가스가 채워지는 것을 확인할 수 있었다. 초기 가스 농도는 낮았지만, 3시간 이내에 6 ppm을 초과하였고, 계속 농도가 증가하는 것을 관능적으로 추정할 수 있었다. 시간이 지나면서 용기 내부의 색이 변하는 등의 변화가 생겨 고농도의 이산화염소 가스를 이용하는데 주의가 필요할 것으로 판단되었다.

6.5 L 용기에서의 살균효과

앰플을 활성화 시킨 후 6.5 L 용기에 넣고 4시간이 경과하였을 때 *S. aureus* KCTC 1916는 1.1 log CFU/plate 감소하였지만 *E. coli* KCTC 1682는 2.2 log CFU/plate 감소하였다. 그리고 *E. coli* KCTC 1682는 16시간 처리하였을 때부터 균이 검출되지 않았으나, *S. aureus* KCTC 1916는 24시간 처리하였을 때 균이 검출되지 않았다(Fig. 2). *S. aureus* KCTC 1916보다 *E. coli* KCTC 1682에 더 큰 효과가 있다고 판단되었다. Singh 등¹⁶⁾에 따르면 이산화염소 가스 노출 시간은 큰 영향이 없다고 하였으나, 처리 시

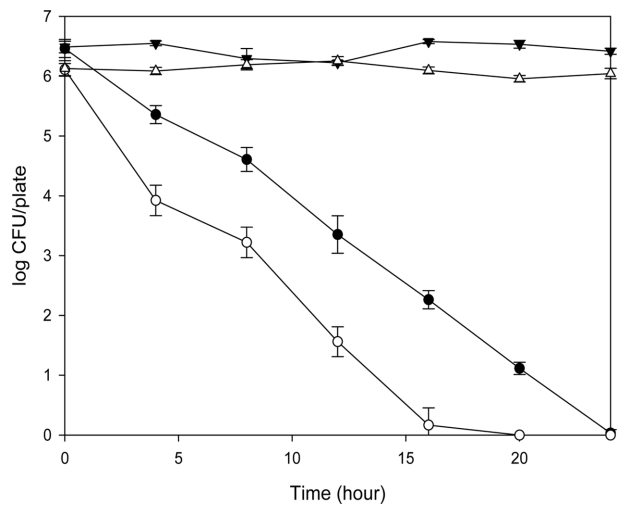


Fig. 2. The effect of various concentration ClO₂ on viable cell counts in closed 6.5 L chamber. (●- *S. aureus*; ○- *E. coli*, ▼- *S. aureus* without ampule - △ - *E. coli* without ampule)

간이 5분, 10분, 15분으로 짧았기 때문에 본 연구와 차이가 있었다고 판단되었다. 24시간이 경과하였을 때, 용기 내부뿐만 아니라 페트리디쉬의 표면도 혼탁해지는 것을 확인할 수 있었고, 이로 인해 균이 급격히 감소된 것으로 판단되었으며, 이산화염소 가스의 플라스틱과의 반응 등에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다. 이산화염소 가스를 생성하는 앰플이 *S. aureus* KCTC 1916 와 *E. coli* KCTC 1682 모두에 효과가 있는 것으로 확인되었으며, 이후 소독장에서 살균 효과 실험을 진행하였다.

6.5 L 용기에서의 소취 효과

가스검지법으로 3종의 악취물질에 대하여 소취력에 대한 평가를 실시하였다. 포름알데히드는 24시간이 경과하였을 때 초기 농도와 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 3, Fig. 4). 그리고 암모니아와 페놀의 경우 4시간 경과하였을 때

거의 감소가 되지 않았는데, 이는 초기 이산화염소 가스가 생성되어 용기 전체에 확산되는 시간이 걸렸기 때문으로 판단되었다. 검지관을 장착할 때 소량의 가스가 소실되는 것을 대조구를 통해 확인할 수 있었지만 이산화염소 가스가 일정 농도 이하로 감소하면 암모니아와 페놀의 농도는 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 암모니아 가스는 8시간 경과하여 46% 감소되었고, 12시간 경과 후, 2.67 ± 2.52 ppm 검출되어 대부분 제거된 것을 확인할 수 있었다. 그리고 16시간 경과하였을 때 암모니아 가스가 검출되지 않아 소취력이 100%에 도달하는 것을 알 수 있었다. Lee 등¹⁷⁾는 신발소독장을 이용하여 포름알데히드 75%, 암모니아 50% 감소한다고 하였고, 본 연구에서 포름알데히드에 관한 소취력은 다소 떨어지지만 암모니아에 관한 소취력이 더 우수하다고 판단되었다. 또한 Park 등¹⁸⁾에 의하면 *Philodendron selloum* 등 공기정화용 실내식물

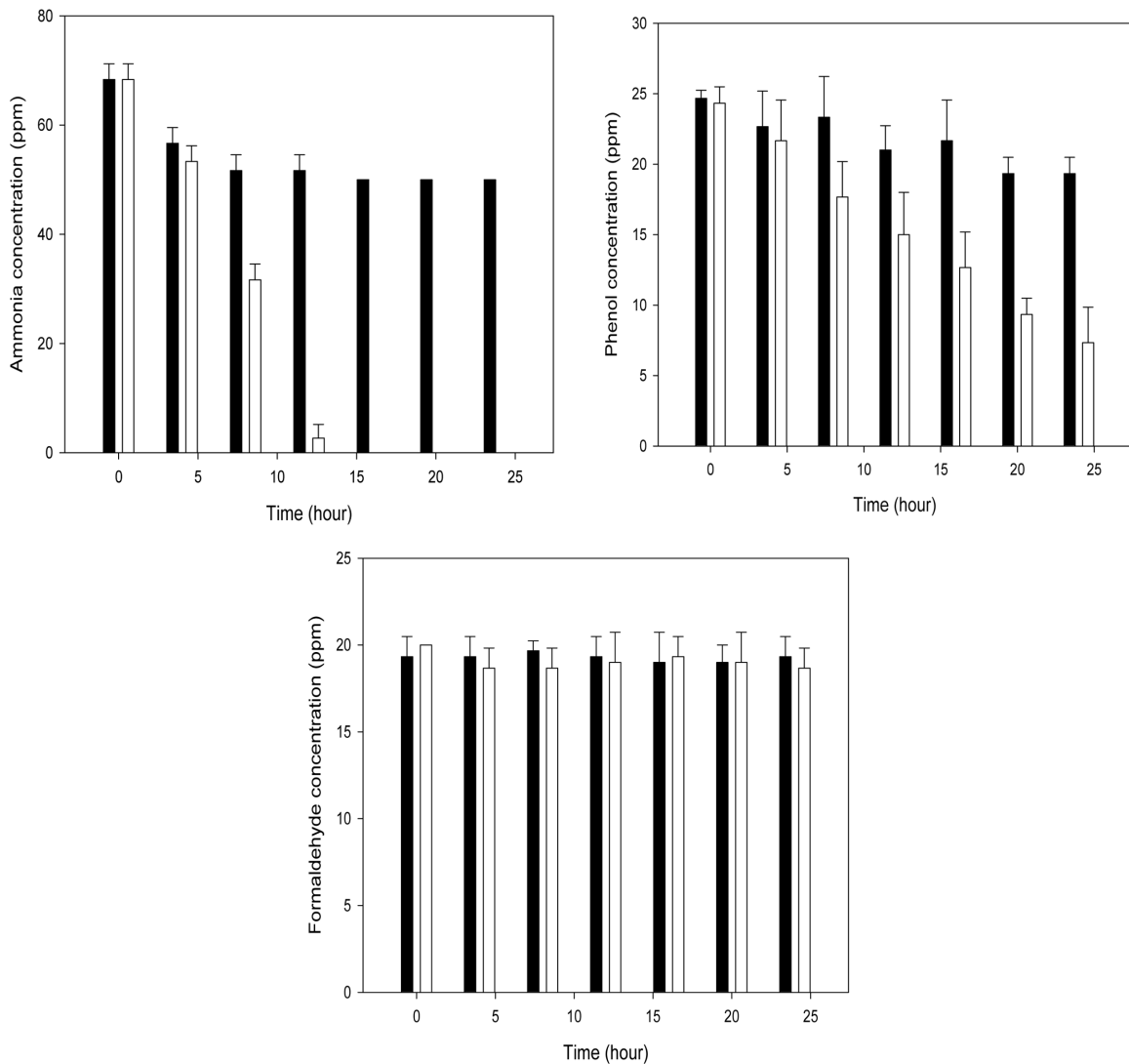


Fig. 3. Concentration of ammonia(A), phenol(B), formaldehyde(C) by treatment of ClO₂ gas ampule. (-■- without ampule, -□- with ampule)

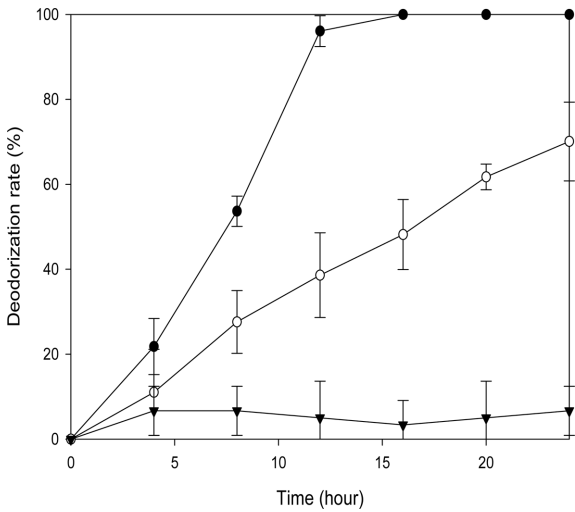


Fig. 4. Deodorization rate of ammonia, formaldehyde, phenol by treatment of ClO₂ gas ampule. (●- ammonia; ○- phenol; ▼- formaldehyde)

로는 고농도의 포름알데히드를 제거할 수 없다고 하였는데, 본 연구에서도 고농도의 포름알데히드를 이용하였기 때문에 효과가 없었다고 판단되었다. 페놀의 경우 처리 시간이 경과하면서 소취력이 증가하는 것을 확인할 수 있었고, 24시간이 경과하였을 때 69.9% 제거되었다. Hwang 등¹⁵⁾은 잣나무 정유를 이용하여 1시간 후 75.17%의 소취력을 보였다고 하였는데, 본 연구에서는 8시간 후 94%의 소취력을 보여 더 큰 효과가 있다고 판단되었다.

소독장에서의 이산화염소 농도

소독장 내부가 가스로 채워지는 시간은 소독장 내부에 첫 가스가 검출된 시간으로 판단하였으며, 1시간이 소요되었다. 앰플의 수가 많아질수록 소독장이 가스로 채워지는 시간이 짧아지는 것을 확인할 수 있었다. 이산화염소 가스의 농도는 서서히 증가하다 일정 농도에 도달하면 점차 감소하는 경향을 보였고, 이산화염소 가스의 최대 농도는 앰플의 수가 많아질수록 높아지는 것을 확인할 수 있었다. Sun 등¹⁹⁾의 결과에 따르면 이산화염소 가스 농도를 14일 동안 측정된 결과, 5일 동안 최고지점에 도달한 후 어느 정도 유지하다 감소하는 경향을 보였고, 본 연구가 유지 기간은 짧았지만 비슷한 경향을 보인다고 판단되었다.

앰플 4개는 최대 2.8 ppm, 6개일 때는 최대 4.6 ppm이었으며, 앰플 12개를 이용하였을 때는 이산화염소 가스 농도를 측정할 수 없었지만 앰플 수와 농도가 비례적으로 상승하는 것을 고려하여 최대 8.5~9.0 ppm 으로 추정할 수 있었다(Fig. 5). 이산화염소 가스의 농도가 높아질수록 관능적으로 확인이 가능하였으며, 특히 앰플 12개를 이용하였을 경우, 자극적인 냄새가 나는 것을 확인할 수 있었다.

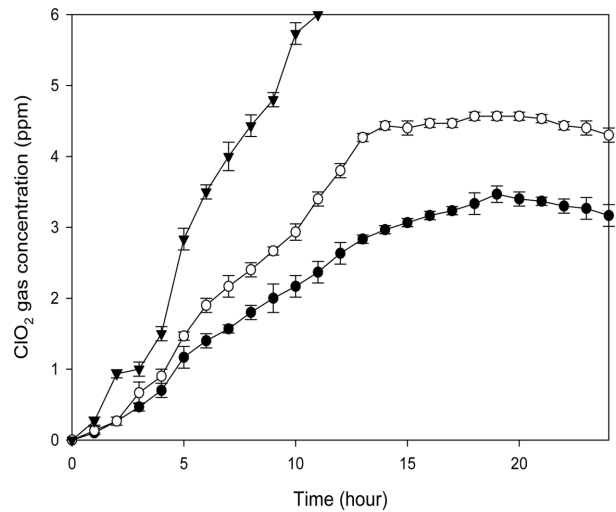


Fig. 5. Concentration of ClO₂ gas over storage time when various number of ampules were used in closed cabinet. (●- 4 ampules; ○- 6 ampules; ▼- 12 ampules)

소독장 문을 열었을 때 이산화염소 가스의 농도는 급속도로 낮아졌고, 소독장 내부의 가스 농도에 따라 차이가 있지만 문을 열어두면 가스가 모두 소실되었다.

소독장에서 순환팬을 작동시키면 이산화염소 가스의 농도가 낮은 상태로 유지되었고, 앰플 6개를 설치한 것을 비교하여 보면 순환팬을 작동시키지 않았을 때는 최대 4.6 ppm이었지만 순환팬을 작동시켰을 때는 최대 0.8 ppm이 검출되어 순환팬의 유무에 따라 5배 이상의 큰 차이를 보였다. 또한 앰플 12개를 사용하였을 때 최대 1.4 ppm으로 앰플 6개를 사용한 것보다 약 2배정도 증가하여, 순환팬을 작동시켰을 때도 앰플 수에 따라 비례적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 순환팬을 사용하게 되면서 내부의 공기를 빨아들이는 과정에서 이산화염소 가스의 손실이 있었을 것으로 판단되었다.

소독장에서의 살균 효과

이산화염소 가스 앰플을 4, 6 및 12개 넣어 이산화염소 가스를 조절하여 살균 효과를 확인하였다. 순환팬의 유무에 따라 큰 차이를 보였고, 순환팬을 사용하지 않았을 때는 처리시간이 증가함에 따라 두 균주 모두 감소하는 경향을 보였다. 순환팬을 사용하게 되면 이산화염소 가스 농도가 낮아지면서 대조구와 비슷한 결과를 보여 *S. aureus* KCTC 1916 와 *E. coli* KCTC 1682에 대하여 살균 효과가 미미하였는데, 이는 이산화염소 가스 농도가 순환팬을 사용하지 않았을 때보다 상당히 낮기 때문이라고 판단되어진다(Fig. 6).

S. aureus KCTC 1916는 24시간 처리하였을 때 앰플 4개는 0.49 log CFU/plate, 6개는 1.2 log CFU/plate 그리고 12개는 2.98 log CFU/plate 감소되었다. 4시간까지는 농도에 큰 영향을 받지 않고 균이 비슷하게 감소하였는데, 이

는 초기에 이산화염소 가스가 소독장에 채워지는데 시간이 다소 걸리는 점과 일정 농도까지 비슷한 속도로 증가하기 때문인 것으로 판단되어졌다.

E. coli KCTC 1682는 24시간을 처리하였을 때 4개, 6개, 12개 순서로 0.16 log CFU/plate, 2.68 log CFU/plate, 6.06 log CFU/plate 감소하였다. *E. coli* KCTC 1682는 *S. aureus* KCTC 1916와 비교하면 앰플을 4개 사용하였을 경우 두 균에 대해 미미한 차이를 보이지만 살균 효과가 없었고, 6개 이상부터 균 감소량에 차이가 나기 시작하여 6개를 사용하였을 때 *E. coli* KCTC 1682이 *S. aureus* KCTC 1916보다 2배 이상의 살균력을 보였다. 그리고 12개를 사용하였을 때는 *E. coli* KCTC 1682가 빠른 속도로 감소하여 24시간이 지났을 때는 균이 검출되지 않았지만 *S. aureus* KCTC 1916는 2.98 log CFU/plate만 감소하여 *E. coli* KCTC 1682에 더 큰 효과가 있었다. Chung 등²⁰의 결과에 따르면 이산화염소수를 이용하여 과일 및 채소를 처리한 후 *E. coli*를 확인한 결과, 50 ppm, 100 ppm 을 처리하였을 때 1.69 log CFU/g, 2.3 log CFU/g 감소되었

다고 하였다. 그리고 Choi 등²¹은 이산화염소 수용액 200 ppm 을 10분 동안 처리하였을 때 *E. coli* O157에 대하여 2.28 log CFU/g 감소되었다고 하였다. 본 연구에서는 10 ppm 이하의 농도에서 효과가 있었는데, 이는 수용액 상태와 가스형태의 차이에서 보이는 차이로 판단되었다.

작업화 내부에 대한 살균 효과

작업화의 내부에서 *S. aureus* KCTC 1916, *E. coli* KCTC 1682에 대한 살균 효과를 확인하였다. 앰플 4개를 사용하고 순환팬을 사용하지 않았을 때 *S. aureus* KCTC 1916는 24시간이 경과한 후 신발 내부는 6.70 log CFU/plate였고, *E. coli* KCTC 1682는 신발 내부가 6.21 log CFU/plate로 나타났다는데, 이는 초기 균수와 비교하였을 때 큰 차이를 보이지 않아 2.8 ppm일 때는 효과가 없는 것으로 나타났다(Fig. 7). 24시간 동안 처리하였을 때 앰플 6개를 사용한 경우 *S. aureus* KCTC 1916와 *E. coli* KCTC 1682 는 각각 1.22 log CFU/plate, 2.10 log CFU/plate 감소하였고 12개로 처리한 것은 2.69 log CFU/plate, 4.41 log CFU/plate 감소하여, 각 4.6 ppm, 8~9 ppm일 때 효과가 있는 것으로 판단되었다. 이

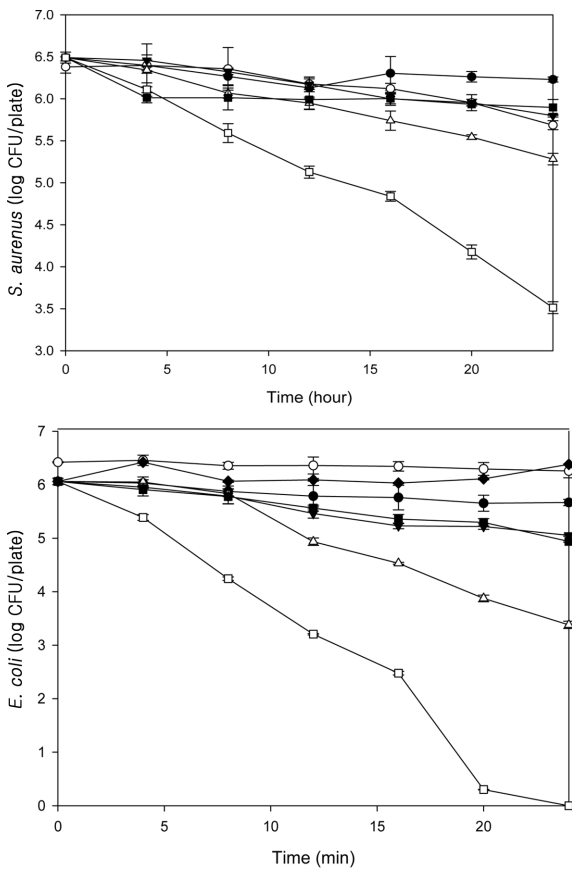


Fig. 6. The effect of various concentration of ClO₂ on viable cell counts of *S. aureus* (A) and *E. coli* (B) in closed cabinet. (-●- 4 ampoules with circulator; -○- 4 ampoules, -▼- 6 ampoules with circulator; -△- 6 ampoules; -■- 12 ampoules with circulator; -□- 12 ampoules, -◆- without ampoule)

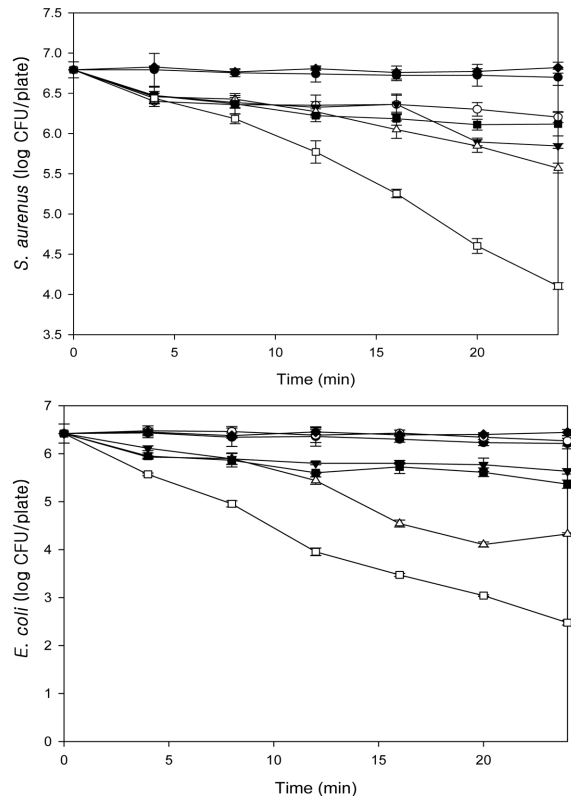


Fig. 7. The effect of various concentration of ClO₂ on viable cell counts of *S. aureus* (A) and *E. coli* (B) incubated inside of boots in closed cabinet. (-●- 4 ampoules with circulator; -○- 4 ampoules; -▼- 6 ampoules with circulator; -△- 6 ampoules; -■- 12 ampoules with circulator; -□- 12 ampoules, -◆- without ampoule)

는 작업화 내부에 적용하였을 때도 *S. aureus* KCTC 1916 보다 *E. coli* KCTC 1682에 더 큰 효과가 있다고 판단할 수 있었다. 표면에 접촉하여 실험한 이전의 결과보다 살균 효과가 떨어진 이유는 대류현상으로 인해 이산화염소 가스가 원활하게 이동하지 못하였기 때문이라고 판단되었다. 또한 Du 등²²⁾에 의하면 사과 껍질 표면에 균을 부착시킨 것이 꽃받침 등에 부착시킨 것보다 균이 많이 감소되어 표면의 상태나 균주의 접촉 위치가 중요한 요소라고 하였고, 본 연구에서 작업화 내부에 접촉하면서 균 접촉 위치에 차이가 났기 때문이라고 판단되었다. Lee 등¹⁷⁾은 UV 램프와 이온 발생기가 적용된 신발장은 *E. coli* 와 *S. aureus*에 대해 30 초 이상 노출시켰을 때 99.0%의 제거 효율을 보였고 60초 이후에 99.9%의 제거 효율을 보였다고 하였는데, 본 연구는 시간이 더 소요되지만 살균 효과는 더 효과적이라고 판단되었다.

국문요약

본 연구는 이산화염소 가스를 생성하는 애플을 이용하여 6.5 L 용기에서 살균효과와 소취효과를 확인하였고, 소독장에서 이산화염소 가스 농도의 변화 및 *S. aureus* KCTC 1916 와 *E. coli* KCTC 1682에 대한 살균 효과를 확인하였고, 소독장안에서 작업화 내부의 살균 효과 또한 확인하였다. 애플은 6.5 L 용기에서 *S. aureus* KCTC 1916와 *E. coli* KCTC 1682에 대해 살균 효과가 있었다. 또한 포름알데히드에 대해서는 소취효과가 없었지만 암모니아와 페놀에는 효과가 있었다. 이산화염소 가스의 최대 농도는 애플의 수가 많아 질수록 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 애플 4개는 최대 2.8 ppm, 6개일 때는 최대 4.6 ppm이었으며, 애플 12개를 이용하였을 때는 이산화염소 가스 농도를 측정할 수 없었지만 애플 수와 농도가 비례적으로 상승하는 것을 고려하여 최대 8.5~9.0 ppm 으로 추정할 수 있었다. 또한 순환팬을 가동하게 되면 5배 이상의 농도 감소가 발생하였다. *S. aureus* KCTC 1916는 24시간 처리하였을 때 애플 4개는 0.49 log CFU/plate, 6개는 1.2 log CFU/plate 그리고 12개는 2.98 log CFU/plate 감소되었다. *E. coli* KCTC 1682는 24시간을 처리하였을 때 4개, 6개, 12개 순서로 0.16 log CFU/plate, 2.68 log CFU/plate, 6.06 log CFU/plate 감소하였다. 작업화 내부에 대해 24시간 동안 처리하였을 때 애플 6개를 사용한 경우 *S. aureus* KCTC 1916와 *E. coli* KCTC 1682 는 각각 1.22 log CFU/plate, 2.10 log CFU/plate 감소하였고 12개로 처리한 것은 2.69 log CFU/plate, 4.41 log CFU/plate 감소하였다.

Acknowledgement

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의하여 연구되었음.

References

1. Merenyi, G., Lind, J., Shen, X.: Electron transfer from indoles, phenol, and sulfite (SO₃²⁻) to chlorine dioxide. *J. Phys. Chem.*, **92**, 134-1370 (1988).
2. Harrington, R.M., Shertzer, H.G., Bercz, J.P.: Effects of ClO₂ on the absorption and distribution of dietary iodide in the rat. *Fundam Appl. Toxicol.*, **5**, 672-678 (1985).
3. Aieta, E.M. and Berg, J.D.: A review of chlorine dioxide in drinking water treatment. *J. Am. Water Works Assoc.*, **78**, 62-72 (1986).
4. Nario, O., Takashi, S.: Protective effect of low-concentration chlorine dioxide gas against influenza A virus infection. *J. Gen. Virol.*, **83**, 60-67 (2008).
5. Hoehn, R.C., Ellenberger, C.S., Gallagher, D.L., Benninger, E.T.V., Benninger, R.W., Rosenblatt, A.: ClO₂ and by-product persistence in a drinking water system. *J. Am. Water Works Assoc.*, **95**, 141-150 (2003).
6. Han, Y., Linton, R.H., Nielsen, S.S., Nelson, P.E.: Reduction of *Listeria monocytogenes* on green peppers (*Capsicum annuum* L.) by gaseous and aqueous chlorine dioxide and water washing and its growth at 7 degrees C. *J. Food Prot.*, **64**, 1730-1738 (2001).
7. Gómez-López, V.M., Rajkovic, A., Ragaert, P., Smigic, N., Devlieghere, F.: Chlorine dioxide for minimally processed produce preservation: a review. *Trends in Food Sci. & Technol.*, **20**, 17-26 (2009).
8. Du, J., Han, Y., Linton, R.H.: Efficacy of chlorine dioxide gas in reducing *Escherichia coli* O157:H7 on apples surfaces. *Food Microbiol.*, **20**, 583-591 (2003).
9. Lee S.C., Jang, Y.S.: Design of a shoe rack for effective sterilization and decolorization of the shoes contaminated by various bacteria. *JKAIS(???)*, **17**, 199-206 (2016)
10. Han, Y., Guentert*, A. M., Smith, R. S., Linton, R. H. and Nelson, P. E.: Efficacy of chlorine dioxide gas as a sanitizer for tanks used for aseptic juice storage. *Food Microbiol.*, **16**, 53-61 (1999).
11. Woo, S.C., Ahn, B.J., Kim, Y.S., Kang, H., Lee, J., Lee, Y.S.: Quality changes of cherry tomato with different chlorine dioxide (ClO₂) gas treatments during storage. *J. Packaging Technol. Sci.*, **19**, 17-27 (2013).
12. Lee, H.S., Shim, W.B., An, H.M., Ha, J.H., Lee E.S., Kim W.L., Kim H.Y., Kim S.R.: Antimicrobial effects of chlorine dioxide gas on pathogenic *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. colonizing on strawberries for export. *J. Food Hyg. Saf.*, **31**, 451-457 (2016).
13. Song, J.I., Jeon J.H., Lee J.Y., Park K.H., Cho S.B., Hwang Y.H., Kim D.H.: Conducted to verify the effect of chlorine dioxide (ClO₂) on odor reduction at a compost facility. *J. Hous. Built Environ.*, **18**, 1-6 (2012).
14. Kaye V.Sy., Melinda B., Murray, M., David H., Larry R. Beuchat.: Evaluation of gaseous chlorine dioxide as a sanitizer for killing *Salmonella*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, and yeasts and molds on fresh and fresh cut produce. *J. Food Prot.*, **68**, 176-1187 (2005).

15. Hwang H.J., Yu J.S., Lee H.Y., Kwon D.J., Han W., Heo S.I., Kim S.Y.: Evaluations on deodorization effect and anti-oral microbial activity of essential oil from pinus koraiensis. *Kor. J. Plant Res.*, **27**, 1-10 (2014).
16. Singh N., Singh R.K., Bhunia A.K., Stroshine R.L.: Efficacy of chlorine dioxide, ozone, and thyme essential oil or a sequential washing in killing *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce and baby carrots. *Lebensm. Wiss. Technol.*, **35**, 720-729 (2002).
17. Lee S.C., Jang Y.S.: Design of a shoe rack for effective sterilization and deodorization of the shoes contaminated by various bacteria. *JKAIS*, **17**, 199-206 (2016).
18. Park S.Y., Sung K.J.: Plant effects on indoor formaldehyde concentration. *J. Environ. Sci.*, **16**, 197-202 (2007).
19. Sun X., Zhou B., Luo Y., Ference C., Baldwin E., Harrison K., Bai J.H.: Effect of controlled release chlorine dioxide on the quality and safety of cherry/grape tomatoes. *J. Food control*, **82**, 26-30 (2017).
20. Chung C.C., Huang T.C., Shen F.Y., Chen H.H.: Bactericidal effects of fresh-cut vegetables and fruits after subsequent washing with chlorine dioxide. ICFEB 2011, Singapore (2011).
21. Choi M.R., Lee S.Y.: Inhibitory effects of chlorine dioxide and a commercial chlorine sanitizer against foodborne pathogens on lettuce. *Korean J. Food Cookery Sci.*, **24**, 445-451 (2008).
22. Du J., Han Y., Linton R. H.: Inactivation by chlorine dioxide gas (ClO₂) of *Listeria monocytogenes* spotted onto different apple surfaces. *J. Food Prot.*, **19**, 481-490 (2002).