

## 배출식 CA저장 컨테이너 개발과 기체제어성능 분석

박석호\* · 박종우 · 최동수 · 김진세 · 김용훈 · 최승렬 · 오성식 · 오유석 · 이진수<sup>1</sup>

국립농업과학원 농업공학부, <sup>1</sup>국립원예특작과학원 저장유통연구팀

### Development of the Purge-type Controlled Atmosphere Storage Container and Analysis of Gas Control Performance

Seok Ho Park\*, Jong Woo Park, Dong Soo Choi, Jin Se Kim, Yong Hun Kim, Seung Ryul Choi, Sung Sik Oh, Yu Seok Oh, and Jin Su Lee<sup>1</sup>

*Division of Postharvest Engineering, National Institute of Agricultural Science*

*<sup>1</sup>Postharvest Research Team, National Institute of Horticultural & Herbal Science*

#### Abstract

This study was conducted to develop and evaluate an appropriate control device for a purge type controlled atmosphere (CA) storage in Korea. To determine ideal performance, oxygen and carbon dioxide control capability and airtightness were analyzed according to the postharvest management manual of CA storage of Fuji apples. In shortened experiments for CA storage, the condition was delayed CA at 0-0.5°C for three days and stored at 0.1-0.5% carbon dioxide levels for 3 days and then further stored 6 days under 1% carbon dioxide. As a result, the temperature control range of a developed CA container was 0.0-0.5°C, and the relative humidity was more than 90%, except for the defrosting step for the freezer during the storage period. The rate of pressure reduction for the CA container in the negative and positive pressure states was 0.45 and 0.21 mmH<sub>2</sub>O/min, respectively, and it was twofolds higher than standard airtightness for CA storage. After nitrogen injection, oxygen concentration was achieved at 2%, and carbon dioxide concentration was maintained at 0.1-0.5% for 6 days. Afterwards, carbon dioxide levels were tightly controlled between 0.1-1.0%. These results suggest that a developed purge type CA container could be effective in commercially maintaining the quality of agricultural products.

**Key words:** storage, controlled atmosphere, CA container, CA control device

## 서 론

저온저장은 수확 후에도 지속적으로 호흡하는 농산물의 호흡속도를 지연시켜 품질변화를 최소화시키는 저장기술이다. 현재 국내 농가에서 사용되고 있는 대부분의 저온저장고는 1990년대 초반부터 보급되기 시작하였으며 농산물의 품온을 낮추어 호흡량을 감소시키는 기초적 저장기술을 바탕으로 하고 있다. 하지만 현대사회에 이르러 경제성장에 따라 양질의 농산물을 선호하는 소비형태가 늘고 있으며 전통 방식의 저온저장을 통에서는 이를 만족시키기 어려워짐에 따라 일반 저온저장에서 나아가 저장고 내 산소(O<sub>2</sub>) 농도를 낮추어 농산물의 호흡률 및 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 발생을

제어함으로써 품질변화를 최소화하는 기체조절(controlled atmosphere; CA) 저장기술이 각광받고 있다(Lim et al., 2009).

일반 저온저장에 비하여 CA저장은 최대 2배 이상 저장기간을 연장할 수 있으며, Park et al. (2003)에 따르면 후지 품종의 사과를 상온, 저온 및 CA 저장했을 때 저장기간을 각각 90일, 180일 및 250일로 연장할 수 있다고 보고하였다. 이와 같이 후지 사과를 CA저장하기 위한 기체 조성 연구에서 각 연구자들은 최적 저장조건을 1.0-5.0% CO<sub>2</sub>/3.0% O<sub>2</sub>, 1.0-3.0% CO<sub>2</sub>/3.0% O<sub>2</sub>, 2.0-3.0% CO<sub>2</sub>/2.0-3.0% O<sub>2</sub>, 1.5% CO<sub>2</sub>/1.0% O<sub>2</sub> 이하 및 1.0-3.0% CO<sub>2</sub>/0.5% O<sub>2</sub> 이하로 밝히고 있으며, 연구자간에 약 2.0%의 차이를 보이고 있다(Hong et al., 1997; Hong & Lee, 2003; Park et al., 2005; Kweon et al., 2013). 그러나 연구자들이 제시한 O<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub> 농도를 벗어나게 되면 내부갈변, 저산소장해, 고이산화탄소장해 등의 CA 저장장해로 인한 상품성 손실이 나타났다고 보고하고 있기 때문에 CA 저장고의 기체농도를 정밀하게 자동 제어할 수 있는 제어장치가 매우

\*Corresponding author: Seok Ho Park, Division of Postharvest Engineering, National Institute of Agricultural Science, Wanju, Jeollabuk-do, 55365, Korea

Tel: +82-63-238-4123; Fax: +82-63-238-4105

E-mail: shpark1827@korea.kr

Received December 14, 2015; revised February 4, 2016; accepted January 19, 2016

중요하다.

CA 저장고 내 기체 조성방법에 따라 배출식(purge type)과 순환식(circulation type)으로 구분할 수 있으며(Chong et al., 2013), 각 방식에서 기체 조성은 농산물 입고 후 O<sub>2</sub>의 농도를 목표 수준까지 낮추는 단계와 농산물의 호흡에 의해 높아진 CO<sub>2</sub>와 감소한 O<sub>2</sub> 농도를 적정 수준으로 다시 조절하는 단계로 이루어진다. 순환식 CA에서 기체제어는 CO<sub>2</sub> 및 에틸렌제거기를 이용하여 저장고의 기체 농도를 적정 수준으로 유지시키는 방식으로 내부 기체를 순환시켜 CO<sub>2</sub>와 에틸렌을 제거하기 때문에 배출식에 비해 구조가 복잡하고 설치비용이 많이 든다. 반면 배출식 CA는 질소(N<sub>2</sub>)를 공급하여 저장고의 기체 농도를 적정수준으로 조절하는 방식으로 N<sub>2</sub>를 공급할 때 CO<sub>2</sub>, 에틸렌, 및 휘발성 가스 등을 저장고 밖으로 배출시키기 때문에 별도의 장비 없이 N<sub>2</sub>발생기만을 이용하여 저장고 내의 유해가스를 효과적으로 제거할 수 있다. 이처럼 배출식은 순환식에 비해 구조가 간단해 설치비용을 절감할 수 있는 반면 N<sub>2</sub>발생기를 매일 작동시켜 전기비용이 더 들어가는 단점도 있다(Adel, 2002).

본 연구에서는 구조가 간단하고 비용을 절감할 수 있어 우리나라 여건에 적합하다고 판단되는 배출식 CA컨테이너를 개발하고 성능을 평가하고자 하였다. CA저장 컨테이너의 성능평가는 수확후 관리매뉴얼에서 제시하고 있는 후지사과의 CA저장 환경조건에 따른 컨테이너 내부의 온습도, O<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub> 제어성능을 분석하고 성능을 평가하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 실험에 사용된 사과를 전라북도 장수군에서 10월 수확된 후지 사과 중 중량이 200-250 g 내외인 중소과를 선별한 후 4.5톤을 개발된 컨테이너에 적재하였다.

### 사과의 품질조사

CA저장 실험 전후에 사과 60개씩을 무작위로 추출하여 경도, 산도, 당도를 분석하였다. 사과 과육의 경도는 texture analyzer (TA-XT2, Stable Micro System Ltd., Surrey, UK)를 사용하여 penetration test를 수행하였다. 지름 5 mm puncture probe를 사용하였으며 test speed 2 mm/s 속도와 10 mm 깊이로 과육을 통과하였다. 적정산도는 시료 20 g 과 증류수 180 mL를 혼합한 뒤 균질화 하여, 균질화된 시료 20 mL를 0.1 N NaOH 용액으로 pH 8.2가 될 때까지 적정하고 사과의 주요 유기산 인 malic acid 함량(%)으로 계산하였다. 사과 당도는 사과 과육을 착즙한 후 굴절당도계(RX-5000α, Atago Co., Tokyo, Japan)로 측정하여 °Brix로 나타내었다.

### CA저장 컨테이너 제작

CA저장 컨테이너는 컨테이너와 N<sub>2</sub>발생기로 구성되도록 제작하였다. 컨테이너의 기체농도는 온습도, O<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub>를 동시에 측정할 수 있는 통합센서를 이용 컨테이너 내부의 환경을 감지하고, 제어장치를 통해 온도, O<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub> 농도를 설정하게 되면 온도는 냉동기에 의해 조절되며, O<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub> 농도는 N<sub>2</sub>발생기와 5개의 전동밸브를 ON/OFF시켜 자동으로 제어되도록 개발하였다. 컨테이너의 크기는 길이, 가로, 높이가 각각 6.0×2.4×2.7 m이며, 상단에는 공기백(air breather bag)을 설치하여 온도변화로 인한 공기의 수축과 팽창에 따른 컨테이너 내외부의 압력 차를 상쇄하도록 설계하여 기밀 및 형태를 유지하도록 설계하였다(Choi, 1997; Adel, 2002; Naro et al., 2003). N<sub>2</sub>발생기는 원형의 흡착제인 CMS (carbon molecular sieve)로 O<sub>2</sub>를 걸러내어 N<sub>2</sub>를 분리하는 PSA (pressure swing adsorption)방식의 N<sub>2</sub>발생기(N<sub>2</sub>-PSA, Global Standard Air & Gas, Gwangju, Korea)를 주문 제작하였다(Chapon et al., 2004; Park et al., 2015). 내부 환경을 계측하기 위한 통합센서(VT250-02, Soha-tech, Seoul, Korea) 또한 주문제작 하였으며, 온도 및 습도 센서의 작동범위는 각각 -25.0-85.0°C 및 0.0-100%, O<sub>2</sub> 센서와 CO<sub>2</sub> 센서의 작동범위는 각각 0.1-25.0% 및 0.00-5.00%로 제작하였다. 센서의 성능은 대기상태와 혼합가스(2.0% O<sub>2</sub>, 0.5% CO<sub>2</sub>)를 이용하여 검증하였다.

### CA저장 컨테이너의 자동제어 및 기체환경 설정

제작된 컨테이너의 기체제어 성능을 분석하기 위하여 시간 단축실험을 수행하였다. 총 12일의 성능평가기간 동안 온도는 0°C, 습도 90-95%로 설정하였으며, 초기 3일간은 N<sub>2</sub>주입 없이 저온저장을 유지하면서 외기(20.9% O<sub>2</sub>, 0.03% CO<sub>2</sub>) 유입밸브 제어를 통해 CO<sub>2</sub> 농도를 0.5% 이하로 유지하는 지연 CA기간을 부여하고, 저장고 내 기체조성 후 3일간의 초기 CA저장에서는 N<sub>2</sub>발생기에서 생성된 98% N<sub>2</sub> (2% O<sub>2</sub>, 0.03% CO<sub>2</sub>)와 N<sub>2</sub>밸브를 제어하여 CO<sub>2</sub> 0.5%에 O<sub>2</sub> 2%로 유지하고, 장기 CA저장에서는 CO<sub>2</sub> 1.0%에 O<sub>2</sub> 2%로 유지하는 기간을 6일로 설정하였다. CA컨테이너 제어장치의 정상작동 판단 범위는, 온도는 0-0.5°C에서 냉동기와 제상작업이 이루어지지 않는 동안은 90% 이상의 습도를 유지해야 한다. 또한 CA컨테이너 내부의 기체농도는 3일 후 O<sub>2</sub>가 2%로 낮아져서 6일까지 CO<sub>2</sub>가 0.1%에서 0.5% 범위 내에서 조절되어야 하며, 6일 이후부터 CO<sub>2</sub> 농도가 0.1%에서 1.0%범위 내에서 조절되도록 제어되어야 한다.

## 결과 및 고찰

### CA저장 컨테이너의 구성 및 기본성능

개발된 CA저장 컨테이너는 Fig. 1A와 1B에 나타내었다. 이는 크게 저장 컨테이너 및 N<sub>2</sub>발생기로 구성되어 있으며,

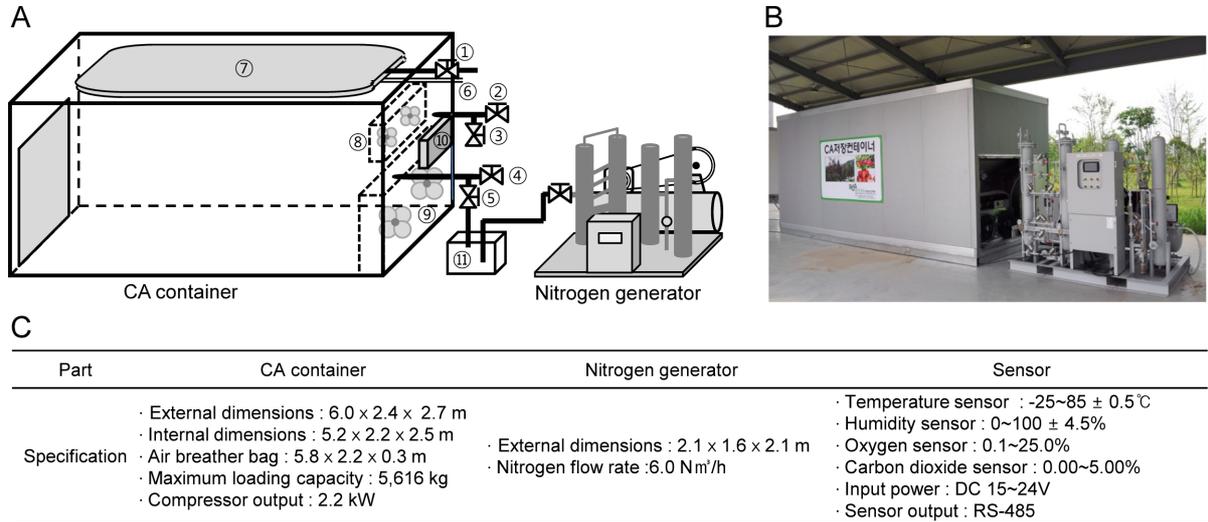


Fig. 1. Schematic diagram (A), picture (B) and specification (C) of CA storage container (① air ventilation valve of air breather bag, ② air ventilation valve, ③ nitrogen ventilation valve, ④ air inhale valve, ⑤ nitrogen injection valve, ⑥ discharge off condensation water loop, ⑦ air breather bag, ⑧ inside heat exchanger, ⑨ outside heat exchanger, ⑩ integrated sensor and control modules, and ⑪ water tank).

Table 1. The verification of integrated sensor

Test Condition	Atmospheric gases		Mixture gas at 0.0°C		Error
	General	Measured	Mixed	Measured	
Oxygen (%)	20.94	20.50	2.00	2.00	0.22
Carbon dioxide (%)	0.04	0.06	5.00	0.49	0.01

컨테이너 내부에는 냉각을 위한 열 교환기 및 내부 환경을 계측하고 N<sub>2</sub>발생기를 제어할 수 있는 통합센서 및 제어모듈이 존재한다. CA저장 컨테이너의 규격은 Fig. 1C에서 나타내는 바와 같이 내부체적 28.6 m<sup>3</sup>에 최대 사과적재량은 5,616 kg이며, N<sub>2</sub>발생량은 6.0 Nm<sup>3</sup>/h로 50.6 m<sup>3</sup> 규모의 컨테이너 내부농도를 24시간 이내에 목표치 까지 낮출 수 있을 만큼 급속CA가 가능한 용량이다. 온도 및 습도 센서의 작동범위는 각각 (-25.0-85.0)±0.5°C 및 (0.0-100)±4.5%이며, O<sub>2</sub> 센서와 CO<sub>2</sub> 센서의 작동범위는 각각 0.1-25.0% 및 0.00-5.00%에서 정밀도는 각각 ±0.22% 및 ±0.01%로 나타났다(Table 1). 개발된 CA저장 컨테이너에 사용된 N<sub>2</sub> 발생기 및 통합센서는 CA저장 기술을 국내보급하기 위한 저변기술 확보 일환으로 순수 국산화를 달성하여 유지보수 및 경제성에서 장점을 가지며 그 성능 또한 우수하여 추후 CA저장 기술보급에 기여할 것으로 예상된다.

CA저장 컨테이너의 온·습도 제어성능

농산물은 수확 후에도 지속적인 호흡작용을 하게 되며 사과의 경우 내부에 축적된 저장양분이 산화되는 과정에서 O<sub>2</sub>를 흡수하여 CO<sub>2</sub>, 수분 및 호흡열을 방출하게 된다 (Chung & Choi, 1999; Park et al., 2005). 또한 사과는 호흡 급등형(climacteric) 과실로서 수확시기에 따라 호흡열 및 노화에 직접영향을 미치는 에틸렌 생성량에 차이를 나

타내며 적숙과를 이용한 저장이 이루어져야 한다(Kweon et al., 2010). 하지만, 본 연구는 CA저장 컨테이너가 설정한 값대로 정밀하게 제어되는지를 평가하는데 초점을 맞추어 짧은 기간 동안 사과를 CA저장하였기 때문에 Table 2와 같이 저장 전후의 사과의 품질조사의 차이는 나타나지 않았다. CA 저장 컨테이너에 사과를 입고한 후의 내부 온도 및 상대습도 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 컨테이너 내부의 온도는 3.27시간 만에 28°C에서 0°C로 낮아졌고, 0°C에서 0.5°C로 온도가 상승하는데 소요되는 시간은 52분이었으며 다시 냉동기가 동작하여 0.5°C에서 0°C로 온도를 다시 내리는 시간은 10분이 소요되었다. 컨테이너 내부의 습도는 초기 온도를 0°C로 낮추기 위하여 냉동기가 동작하는 구간에서는 상대습도가 64%에서 33%까지 크게 감소하였으나 목표온도에는 90.0% 이상을 유지하였고 냉동기의 제상단계 및 열교환기 동작 구간에서는 일시적으로 습도가 85%까지 낮아졌다. 하지만 열교환기 가동 중 나타나는 저습도 문제는 대부분의 농산물 저장고에서 나타나는 현상

Table 2. Physicochemical qualities of Fuji apples

Instrumental attribute value	Before CA storage	After CA storage
Firmness (N)	15.30	15.20
Titrateable acidity (%)	0.30	0.29
Total soluble solids (°Brix)	14.90	14.90

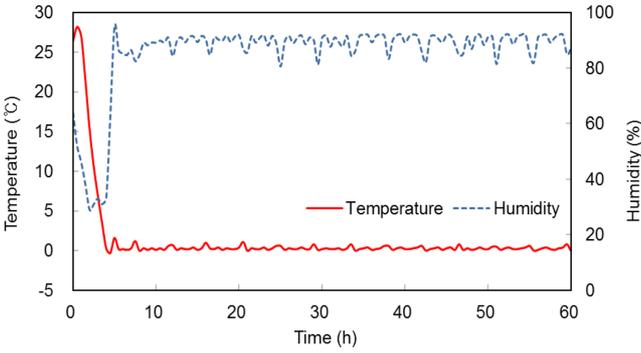


Fig. 2. Change in temperature and humidity inside CA container.

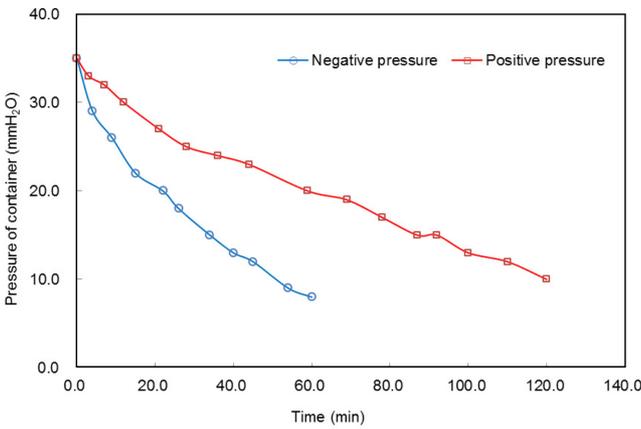


Fig. 3. Change in pressure test inside the CA container.

으로 이러한 습도 편차를 줄이기 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보여진다. 또한 O<sub>2</sub>흡착제(carbon molecular sieve; CMS)를 이용한 N<sub>2</sub>발생기에서 분리된 N<sub>2</sub>의 습도는 8% 가량으로 반복적으로 투입 시 상대습도가 낮아지는 문제가 발생되지만 본 연구에서 개발한 CA저장 컨테이너에서는 분리된 N<sub>2</sub>를 물속으로 통과시켜 88% 가량의 고습도로 만들어 해결하였고 상대습도가 낮아지는 현상은 발생하지 않아 CMS방식의 질소발생기 이용이 효율성 및 경제적 측면에서 적절할 것으로 판단된다.

CA저장 컨테이너의 기밀유지 성능평가

CA저장 컨테이너는 O<sub>2</sub>의 농도를 낮게 유지하면서 농산물을 저장하는 기술로서 컨테이너의 기밀여부에 따라 성능이 크게 좌우된다. 기밀이 유지되지 않는다면 컨테이너 내부의 O<sub>2</sub> 농도가 지속적으로 상승하게 되고 이를 낮추기 위해서는 N<sub>2</sub>를 자주 공급하게 된다. 이에 따른 N<sub>2</sub>발생기와 냉동기의 잦은 동작은 에너지소비를 증가시키고 저장 환경의 불안정화를 유발해 농산물의 품질저하로 인한 경제적 손실을 가져오게 된다. CA저장 컨테이너의 기밀성 평가를 위하여 컨테이너에 공기를 주입하여 양압이 걸린 상태와 공기를 추출하여 음압이 걸린 상태에서 압력변화를 측정하

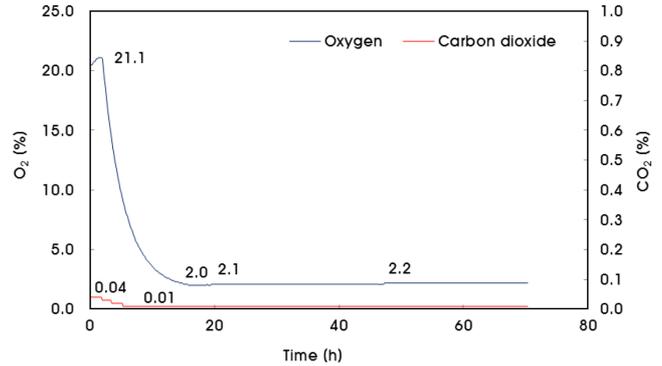


Fig. 4. Change in oxygen and carbon dioxide concentration inside CA container.

여 Fig. 3에 나타내었다. 컨테이너 내부의 온도는 36.7-37.2°C일때 양압의 경우는 35 mmH<sub>2</sub>O에서 10 mmH<sub>2</sub>O까지 감소하는데 120분이 소요되었으며, 음압은 35 mmH<sub>2</sub>O에서 8.0 mmH<sub>2</sub>O까지 감소하는데 60분이 소요되었다. Adel (2002)의 연구에 따르면 CA저장에 적합한 기밀기준은 양압이 25 mmH<sub>2</sub>O에서 반감기가 20분 이상으로서 감압율은 0.625 mmH<sub>2</sub>O/min 이하이다. 본 연구에서 개발한 CA컨테이너의 감압율은 양압의 경우가 0.21 mmH<sub>2</sub>O/min, 음압의 경우가 0.45 mmH<sub>2</sub>O/min로서 기밀성능이 매우 우수한 상태라고 판단된다.

컨테이너의 기밀에 따른 기체조성 유지성능은 Fig. 4에 나타내었다. 농산물이 없는 상태에서 N<sub>2</sub>를 주입하여 O<sub>2</sub> 농도가 21%에서 2.0%로 감소하는데 13.8시간이 소요되었고, O<sub>2</sub> 농도가 2.0%에서 N<sub>2</sub> 공급이 중단되어 2.0-2.1% 사이의 기체 안정화 구간이 2시간 가량 존재하였으나 이후 안정화되어 19.5시간 동안 2.1%를 유지했고, 47.3시간 동안 2.2%로 유지되어 우수한 결과를 보였다. 실제 농산물의 CA저장에서는 12시간 간격으로 CO<sub>2</sub> 농도조절을 위한 N<sub>2</sub> 공급이 이루어지기 때문에 O<sub>2</sub> 농도 또한 12시간만 유지되어도 CA저장이 가능하다. 따라서 본 연구에서 개발된 CA저장 컨테이너의 기밀 및 기체조성 유지성능은 CA저장에 적합하다고 판단된다.

CA저장 컨테이너의 기체 자동제어성능

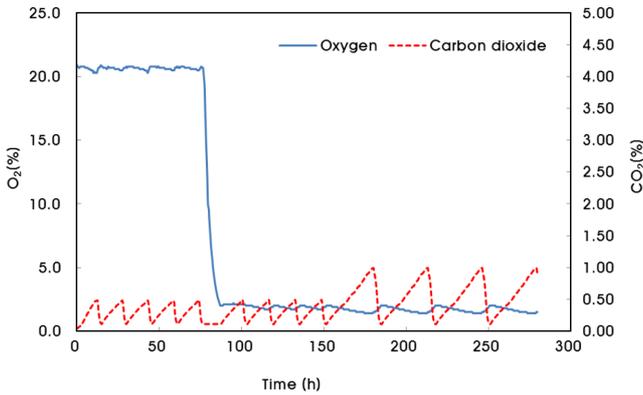
CA저장은 저장고 내 기체농도의 정밀제어 능력에 따라 농산물의 저장품질 및 저장기간이 좌우되기 때문에 저장기간 동안 지정된 기체조성을 정밀하게 자동 제어할 수 있어야 한다. 수확후 관리매뉴얼에 제시된 ‘후지’ 사과의 CA저장 환경과 본 연구에서 수행된 단축실험 CA환경을 Table 3에 나타내었다. 사과의 CA저장 과정은 저온저장을 통하여 사과의 갈변 원인으로 밝혀진 밀병을 소멸시키기 위한 지연 CA 단계(Kweon et al., 2013), 호흡증가에 따른 CO<sub>2</sub> 관리단계 및 장기저장단계로 구성된다. 이러한 3가지 단계에 따른 CA저장 컨테이너의 O<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub>의 자동제어 성능

**Table 3. Condition setting of CA storage**

Step <sup>1)</sup>	Manual <sup>2)</sup>			This study		
	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Period	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Period
Delayed CA	-	-	21 day	-	0.1-0.5%	3 day
Pre CA storage	2%	0.5%	3 month	1.0-3.0%	0.1-0.5%	3 day
CA storage	1-3%	1%	shipping date	1-3%	1.0% ↓	6 day

<sup>1)</sup>Every CA storage steps were stored by temperature at 0-0.5°C and humidity at 90-95%.

<sup>2)</sup>Postharvest technology manual (Park et al., 2005).



**Fig. 5. Variation of oxygen and carbon dioxide concentration inside CA chamber.**

분석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 작동개시 후 76시간까지 1단계 지연CA 구간으로 사과와 호흡에 의하여 O<sub>2</sub>를 소모하고 CO<sub>2</sub> 방출을 통해서 저장고 내 CO<sub>2</sub> 농도가 증가하게 된다. 이때 자동제어 시스템이 외기를 유입하도록 하여 O<sub>2</sub> 농도 20.9%를 회복하고 CO<sub>2</sub>를 0.1%로 조절하게 됨에 따라 O<sub>2</sub>는 20.9-20.3%로 유지 되었고 CO<sub>2</sub>는 O<sub>2</sub> 농도에 반비례해서 0.1-0.5%에서 주기적으로 증감이 나타났다. 이후 CA저장 단계에 접어들어 87시간까지 99% N<sub>2</sub> (1% O<sub>2</sub>, 0.03% CO<sub>2</sub>)가 공급되어 O<sub>2</sub> 농도가 20.7%에서 2.0%까지 낮아졌다. CO<sub>2</sub> 농도는 0.5%에서 0.1%까지 낮아져서 질소가 계속 공급되더라도 그 이하로는 감소하지 않았다. 이는 사과와 호흡에 의해서 CO<sub>2</sub>가 지속적으로 컨테이너 내부에 축적되고 있기 때문으로 판단된다. CA저장 단계에서는 사과와 호흡에 의한 O<sub>2</sub>의 소비 및 CO<sub>2</sub> 증가가 98% N<sub>2</sub> (2% O<sub>2</sub>, 0.03% CO<sub>2</sub>) 공급에 의하여 조절되며, 2단계 초기 CA저장 구간에서는 CO<sub>2</sub> 농도가 0.5%에 도달하면 N<sub>2</sub>발생기가 동작하여 CO<sub>2</sub>가 0.1%에 도달할 때까지 N<sub>2</sub>가 공급되어 O<sub>2</sub> 농도 또한 2.0%로 회복되는 것으로 O<sub>2</sub> 농도는 2.0-1.7%에서, CO<sub>2</sub>는 0.1-0.5%에서 반복적으로 증감을 나타내었다. 이와 같은 원리로 151시간 이후 3단계 CA저장 구간에서 O<sub>2</sub> 농도는 2.0-1.5%, CO<sub>2</sub>는 0.1-1.0%에서 반복적으로 증감을 나타내었다. 이러한 결과는 본 연구에서 개발한 CA저장 컨테이너의 제어시스템과 N<sub>2</sub>발생기를 통하여 정밀한 기체제어가 가능하다는 것을 보여준다. 따라서 본 연구

에서 개발한 CA저장 컨테이너는 농산물 입고 후 간편하게 자동제어를 통해 장기 CA저장이 가능 할 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구에서는 우리나라 여건에 적합하다고 판단되는 배출식 CA컨테이너를 개발하고 성능을 평가하였다. CA컨테이너 제어장치의 성능은 수확후 관리 매뉴얼에서 제시한 후지 사과와 CA저장 방법에 따라 산소 및 이산화탄소 농도의 정밀제어 능력을 평가하였다. 본 연구에서는 CA컨테이너의 성능을 평가하기 위하여 사과 4.5톤을 적재하고, 온도는 0-0.5°C, 지연CA기간은 3일, 이산화탄소 농도를 0.5%이하로 조절하는 기간은 3일, 이산화탄소 농도를 1.0% 이하로 6일간 저장하는 단축실험을 수행하였다. 그 결과 온도는 0.0-0.5°C, 습도는 냉동기 가동과 제상이 진행될 때를 제외하고는 90.0% 이상을 유지하였다. CA컨테이너의 기밀성능을 판단하기 위한 감압율은 양압에서 0.21 mmH<sub>2</sub>O/min, 음압 0.45 mmH<sub>2</sub>O/min로 CA저장고의 기밀 유지기준 보다 2배 이상 우수한 것으로 나타났다. 또한 컨테이너 내부의 기체농도는 후지 사과입고 후 6일까지 이산화탄소가 0.1-0.5%, 이후에는 0.1-1.0%로 정밀하게 제어되었으며, CA 기체조성 후 산소의 농도는 2%가량으로 유지되었다. 따라서 본 연구에서 개발한 CA저장 컨테이너는 정밀자동제어가 가능하며 모든 CA저장 요구조건을 충족시켜 상용화가 가능하다고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 2014년 농촌진흥청 기관고유사업(과제번호: PJ0100112016)의 지원에 의해 이루어진 것으로 감사드립니다.

## 참고문헌

Adel K. 2002. Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California, Division of Agricultural and Natural Resources, California, USA, pp. 119-124.  
 Chapon JF, Blanc C, Varoquaux P. 2004. A modified atmosphere system using a nitrogen generator. Postharvest Biol. Tec. 31: 21-

- 28.
- Choi JU. 1997. Korean CA storage and distribution system for high quality of agricultural products. *Food Sci. Ind.* 30: 142-151.
- Chong KL, Peng N, Yin H, Lipscomb GG, Chung TS. 2013. Food sustainability by designing and modelling a membrane controlled atmosphere storage system. *J. Food Eng.* 114: 361-374.
- Chung HS, Choi JU. 1999. Production of ethylene and carbon dioxide in apple during CA storage. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.* 6: 153-160.
- Hong YP, Lee SK. 2003. Optimum CA condition for four apple cultivars grown in Korea. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 21: 316-320.
- Hong SS, Jung DS, Hong YP, Kim YB. 1997. CA storage experiment of fruits. Research Report, RDA, Jeonju, Korea. pp. 437-447.
- Kweon HJ, Choi DG, Lee JW, Jung HY, Choung MG, Kang IK. 2013. Effects of delayed CA treatment on fruit quality of 'Fuji' apples during storage. *Protec. Hort. Plant Fact.* 22: 202-208.
- Kweon HJ, Lee SG, Park MY, Song YY, Nam JC, Sagong DH. 2010. Influence of harvest time after freezing damage on fruit quality during storage of 'Fuji' apple. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28: 990-995.
- Lim BS, Park YM, Hwang YS, Do GR, Kim KH. 2009. Influence of ethylene and 1-methylcyclopropene treatment on the storage quality of 'Hongro' apples. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27: 607-611.
- Naro R. M, Clement V, Yvan G, Timothy JR. 2003. Computerized monitoring and control for a research controlled-atmosphere storage facility. *Comput. Electron. Agr.* 39: 23-37.
- Park SH, Chun HH, Choi DS, Choi SR, Kim JS, Oh SS, Lee JS. 2015. Development of controlled atmosphere container using gas separation membrane for the storage of agricultural products. *Food Eng. Prog.* 19: 70-75.
- Park YM, Hong YP, Kweon HJ. 2005. *Postharvest Technology Manual*. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea.
- Park YM, Lee SG. 2003. Ethylene removal program for quality maintenance of cold-stored 'Fuji' apples. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 21: 203-208.