

생리감응형 CA저장을 위한 ‘후지’ 사과의 저산소 한계 결정

손재용[°], 박천완^{*}, 최동수^{*}, 김용훈^{*}, 김진세^{*}

Determination of Low-Oxygen Limit of ‘Fuji’ Apples for Storage of Physiologically Sensitive CA

Jae Yong Son[°], Chun Wan Park^{*}, Dong Soo Choi^{*}, Yong Hoon Kim^{*}, Jin Se Kim^{*}

요약

장기저장을 목적으로 하는 CA 저장은 농산물의 호흡을 억제하기 위해 저산소 상태로 장기간 유지해야 한다. 본 연구는 DCA 저장에 필요한 저산소 한계점을 찾기 위하여 수행하였다. O₂ 농도와 에탄올 일일 발생량과의 관계를 분석한 결과 0.5~2.5%에서는 0.2ppm/day이었으나 0.5% 미만에서는 0.6ppm/day로 큰 차이를 보였다. 저장 기간 경과에 따른 O₂ 농도별 기체 발생량을 분석하기 위하여 극저산소 구간(0.35~0.51%)과 저산소 구간(1.81~2.01%)으로 나누어 시험하였다. 저장기간 경과에 따라 저산소 구간에서는 에탄올 발생량의 차이가 나타나지 않았으나 극저산소 구간에서는 완만하게 증가하는 경향이였다. 에틸렌 발생량의 경우 저산소 구간에 비해 극저산소 구간에서 현저하게 낮게 나타났다. 챔버 기밀도와 O₂ 농도별 RQ 변화를 확인한 결과 기밀도가 58분방 이하의 챔버에서는 O₂ 농도에 따른 RQ 변화에 큰 차이가 나타나지 않았으나, 80분방 이상의 챔버에서는 O₂ 농도 0.50% 이하에서 RQ 값이 급격하게 증가함에 따라 이 지점을 사과의 혐기보상점으로 판단할 수 있으며, 이와 같은 조건에서 장기간 저장 시 사과의 품질 저하를 유발할 수 있으므로 사과의 생리 특성을 감지하여 자동으로 탈출하는 제어시스템을 구축하였으며, 실제 탈출되는 결과를 확인하였다.

키워드 : 생리감응형, DCA 저장, 호흡지수, ‘후지’, 사과

Key Words : Physiologically sensitive, DCA storage, Respiratory quotient, ‘Fuji’, Apple

ABSTRACT

CA storage for a long-term storage requires long-time low-oxygen conditions to suppress respiration of agricultural products. This study was conducted to find the low-oxygen limit threshold required for DCA storage. As a result, ethanol was generated 0.2ppm/day at the O₂ concentration of 0.5-2.5%, but when the O₂ concentration was less than 0.5%, the amount increased to 0.6ppm/day. The ethanol generation rate did not show any difference in the low-oxygen level (1.81~2.01%) according to the storage period, but it tended to

※ 본 연구는 농촌진흥청 기관고유사업(과제번호 : PJ0141822021)의 지원에 의해 수행되었음

[°] First and Corresponding Author : Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, son1892@korea.kr, 정희원

^{*} First Author : Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, chunwan1@korea.kr, 정희원

^{*} National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, {kmn8824, csy21780, choi0ds, yhkim, ferroj}@korea.kr

논문번호 : 202109-233-0-SE, Received August 18, 2021; Revised October 18, 2021; Accepted October 25, 2021

increase moderately in the ultra-low oxygen level (0.35~0.51%). The ethylene generation was significantly lower in the ultra-low oxygen level than in the low-oxygen level. In case of chamber airtightness below 58 minutes room, RQ change did not appear according to O₂ concentration, but RQ increased rapidly at O₂ concentration less than 0.5% over 80 minutes room. And this section was judged as the anaerobic compensation point at which the respiratory characteristics of the apple change. The change of respiratory characteristics according to the exposure of low-oxygen level for a long time can cause the quality of apples, so the low-oxygen escape system was constructed through monitoring and automatic control and the operation was confirmed.

I. 서론

연중 재배되는 열채소는 장기저장의 필요성이 없어 수확후 즉시 신선 채소를 접할 수 있지만, 사과 등과 같은 과일은 재배기간이 길고 1년에 한 번만 수확되기 때문에 소비자에게 연중 공급하기 위해서는 저장이 필수적이다. 그러나 신선 농산물은 높은 수분함량, 수확후 증산 및 호흡작용에 따른 급격한 품질변화로 장기저장이 쉽지 않다¹⁾. 따라서 금방 수확한 과일처럼 신선한 상태로 섭취하기 위해서는 진보된 저장 기술이 필수적이다. 현재 일반적인 사과 저장 기술은 저온저장, MA²⁾ 그리고 1-MCP 처리³⁾이며, CA 저장^{4,5)}은 유럽 및 일본 기술이 도입되어 대규모 APC 및 대형마트에서 일부 활용되고 있고 최근에는 국내기술이 개발되어 농촌진흥청 시범보급사업으로 현장에 일부 활용되고 있다.

사과 장기저장을 위해 일반적으로 사용되고 있는 기술은 저온저장에 1-MCP를 처리하는 방식이 보편화되어있다. 이 방식은 특정 휘발성 물질을 억제하여 생리적인 장해를 조절하여 사과의 저장기간을 연장하는 기술이지만, 화학약품 사용이라는 부정적인 인식 때문에 많은 나라에서 이 제품을 사용하는 것이 제한되기도 한다⁶⁾. 이에 반해 CA 저장기술은 대기 중의 공기를 이용하기 때문에 이와 같은 논란에 대해서는 자유롭다.

CA 저장기술은 저장고 내 온도·습도만을 조절하는 일반 저온저장과는 달리 온도·습도, O₂ 및 CO₂ 농도를 조절해서 저장하기 때문에 저장고의 기밀 유지는 필수적이다. CA 저장은 사과의 호흡을 억제해서 장기저장을 해야 하지만 만약 기밀도가 떨어져 외부 공기가 저장고 내부로 유입되면 사과의 호흡에 의해서만 저장고 내부 산소농도를 떨어뜨려야 하는 CA 저장이 불가능하게 된다⁷⁾.

CA 저장은 밀폐된 저장고 내부의 O₂ 및 CO₂ 농도를 미리 설정한 범위 내에서 자동으로 강제 조절하는

방식이지만, DCA(Dynamic Controlled Atmosphere) 저장은 산소 및 이산화탄소 기체농도를 능동적으로 조절하는 방식을 말한다^{8, 9, 10, 11, 12)}. DCA 저장기술은 다양한 방식이 검토되었는데 엽록소 형광(CF, Chlorophyll Fluorescence)센서, 에탄올(ET, Ethanol) 측정센서, 호흡지수(RQ, Respiration Quotient) 센서 등이 대표적이다. 엽록소 형광센서를 이용한 방식이 일반적으로 사용되고 있지만, 햇빛에 노출된 부위와 그렇지 않은 부위의 차이 때문에 산소농도 제어에 어려움이 있다. 따라서 호흡지수 기반으로 산소농도를 제어하는 방식이 연구되고 있다⁶⁾.

본 연구에서는 DCA 저장에 필요한 저장소 한계점을 찾기 위하여 수행하였다. 부패 등 사과 장해지수와 관련성이 큰 에탄올 및 에틸렌 발생량을 산소농도별 저장기간 경과에 따라 분석하였다. 저장 중 O₂ 와 CO₂ 변화량을 측정하여 호흡지수에 따라 능동적으로 기체환경을 제어하고자 기밀도와 호흡지수의 상관성을 구명하였다. 또한 저장소 이하에서 장기간 지속될 경우 품질저하 우려가 커지게 되므로 생리 특성을 감지하여 자동으로 저장소를 탈출시키는 제어시스템을 구축하였다.

II. 재료 및 방법

2.1 기체환경 측정시스템 구성

2.1.1 기체 발생량 측정시스템

사과 저장 중 발생되는 O₂ 와 CO₂ 농도, 에탄올 및 에틸렌 가스 발생량을 측정하기 위하여 Fig. 1과 같이 기체환경 측정시스템을 구성하였다. 질소발생기, 기밀 챔버, O₂ 와 CO₂ 농도 측정센서, 에탄올 및 에틸렌 발생량 측정기기 등으로 구성하였다. 기체환경 조절은 질소발생기로부터 생성된 고농도의 질소를 챔버 내부로 공급하여 O₂ 와 CO₂ 농도를 제어하도록 하였다.

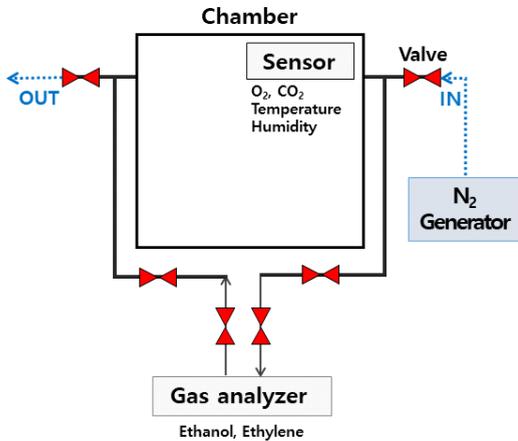


그림 1. 기체 발생량 측정시스템
Fig. 1. Experimental system for measuring the gas generation

2.1.2 기밀 챔버

사과 저장시험을 위하여 5면은 스텐인레스(5t) 재질로 정면의 1면은 시험재료 투입 및 배출용으로서 아크릴판(10t)을 나사 조임 방식으로 제작하였다. 나사 조임 강도에 따라 기밀도를 조절하였다. 챔버 내부의 공기 주입은 강제대류 방식을 채택하여 일정하게 유지시켰다. 챔버의 기밀도는 25mmH₂O에서 12.5mmH₂O까지 감소하는데 걸리는 시간을 측정하여 분방으로 표시하였으며^[13, 14], 챔버 내부에는 시험용 ‘후지’ 사과를 플라스틱(PE) 상자(520×360×320mm)에 약 20kg을 담아 저장하였다.

2.1.3 기체환경 측정장치

챔버 내부에 저장된 ‘후지’ 사과의 호흡지수 측정에 필요한 O₂ 와 CO₂ 농도는 통합센서 (SH-VT250_O2, Sohatech co., Seoul-si, Korea)로 측정하였다. 또한 생리작용에 따른 에탄올과 에틸렌 발생량 측정은 기체분석기기(INNOVA1312, Lumasene technologies, Ballerup Denmark)를 이용하였으며, 기체환경 분석기기와 챔버 입출구에 연결된 호스를 통하여 분석기기의 진공펌프로 챔버 내부의 기체를 빨아들여 측정하였다.

2.2 저산소 한계 결정을 위한 시험

사과 등 수확후 농산물은 호흡대사로 노화를 촉진시킨다. 이에 따라 저장 농산물의 장기저장을 위해서는 호흡을 억제하는 기술이 요구된다. 그러나 과도한 호흡억제는 혐기성호흡으로 이어져 부패 등 저장장해의 원인이 된다.

에탄올은 부패를 측정하는 중요한 지표로서 에탄올 생성량이 증가하는 산소농도 구간을 구명하여 저장 시 저산소 한계점을 결정하고자 하였다. 이를 위해 저장 기간에 따라 산소농도별 에탄올 발생량을 측정하였다.

혐기성호흡을 예측하기 위한 지표로서 O₂와 CO₂ 변화량의 비율로 계산되는 호흡지수(RQ, Respiration Quotient)가 있으며 이는 특정 O₂ 농도 이하에서 급격히 증가하는 경향을 관찰할 수 있다^[15]. 호흡지수는 식 (1)과 같이 계산된다.

$$RQ = \frac{\Delta CO_2}{\Delta O_2} \quad (1)$$

호흡지수를 통한 혐기성호흡을 관찰하기 위해서는 저장고의 기밀도가 높아야 한다. 이를 위해 저장고의 기밀도와 O₂ 농도별 호흡지수를 계산하여 상관성을 확인하였다. 챔버 기밀도는 24, 58, 80, 87분방 등 4단계로 조절하였고, 챔버의 초기 O₂ 농도는 3%로 조절된 후 사과의 호흡에 의해 O₂ 를 감소시켰다.

2.3 저산소 탈출 알고리즘

사과의 호흡억제를 위하여 극저산소 상태에서 저장 기간을 장기간 유지할 경우 부패 등 장애와 발생으로 품질저하 우려된다. 따라서 극저산소 상태로 일정 기간 지속될 경우 일반 CA 저장 조건으로 탈출하게 하는 저산소 탈출 자동제어 알고리즘을 개발하여 품질저하에 대처하였다.

III. 결 과

3.1 산소농도별 기체 발생량

3.1.1 산소농도와 에탄올 및 에틸렌 발생량과의 관계

호흡을 억제하여 장기저장을 목적으로 하는 CA 저장은 저산소 상태로 장기간 유지되어야 한다. 그러나 저산소 이하에서 장기저장 시 부패에 이르게 된다. 따라서 부패를 판단하는 중요 지표인 에탄올 발생량을 Fig. 2와 같이 O₂ 농도별로 측정하였다.

O₂ 농도 2.5~0.5% 범위에서는 일일 에탄올 발생량이 약 0.2ppm/day 수준으로 큰 차이를 보이지 않았으나 0.5% 이하에서는 0.6ppm/day로서 약 3배 정도 급격히 증가하였다. 따라서 산소농도 0.5% 이하에서 장기간 저장 시 부패가 촉진될 것으로 예상된다. 한편 사과 노화와 관련이 큰 에틸렌 발생량은 O₂ 농도(2.5

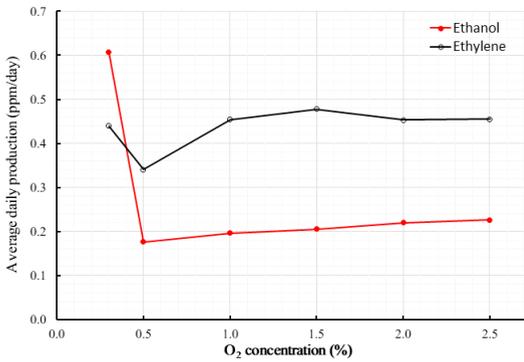


그림 2. 산소농도별 일 에탄올 및 에틸렌 발생량
Fig. 2. Ethanol and ethylene generation by oxygen concentration

~0.3%)별 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

3.1.2 저장기간 경과에 따른 산소농도와 에탄올 및 에틸렌 발생량의 관계

저장기간 경과에 따라 산소농도별 에탄올 및 에틸렌 발생량 차이를 확인하기 위하여 극저산소 구간과 저산소 구간에서 시험하였다. 극저산소 구간에서는 초기 농도를 0.5%로 조절한 후 호흡으로 감소시켜 0.3%로 떨어질 때 측정하였고, 저산소 구간에서는 초기 농도를 2.0%, 호흡으로 감소시킨 후 1.8%에서 측정하였다. 두 구간에서 각각 15회씩 약 50일간 측정하였다. 그러나 질소발생기로 조절한 초기농도와 호흡에 의해 떨어진 농도는 편차로 인해 설정 농도와 일치하지 않아 15회씩 측정된 값을 평균하여 제시하였다. 즉 극저산소 구간은 0.35~0.51%, 저산소 구간은 1.81~2.01%이었다.

먼저 극저산소인 0.35~0.51% 구간에서는 ①~③ 과정을 15회 약 50일간 반복하였다. 이후 저산소 구간인 1.81~2.01%에서도 위와 동일한 방법으로 시험하였다.

- ①초기 O₂ 농도를 0.5%로 조절
- ②사과의 호흡작용으로 0.3%까지 감소
- ③질소공급으로 챔버 내부 O₂ 농도 0.5%로 초기화

Fig. 3과 같이 극저산소 구간에서는 저장기간이 길어질수록 에탄올 발생량이 다소 증가하는 경향이 나타났다. 저산소 구간에서는 저장기간에 따른 차이는 나타나지 않았다. 따라서 극저산소 상태로 장기간 저장할 경우 에탄올 발생이 증가하여 부패 등 장해과로 이어질 수 있다.

Fig. 4는 저장기간에 따른 O₂ 농도별 에틸렌 발생

량을 나타낸 것으로서 저산소 구간에 비해 극저산소 구간에서 에틸렌 발생량이 현저하게 낮게 나타났다. 이는 극저산소 구간에서 강한 호흡억제로 인하여 대사활동이 급격히 줄어든 것에 기인한다.

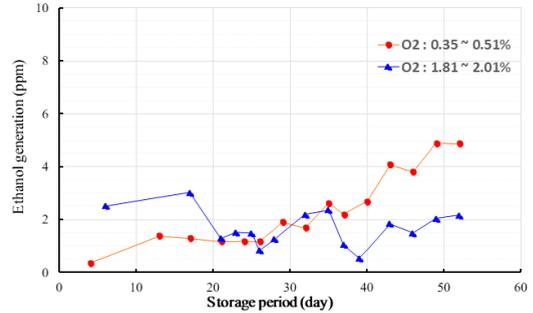


그림 3. 산소농도별 저장기간에 따른 에탄올 발생량
Fig. 3. Ethanol generation by oxygen concentration and storage period

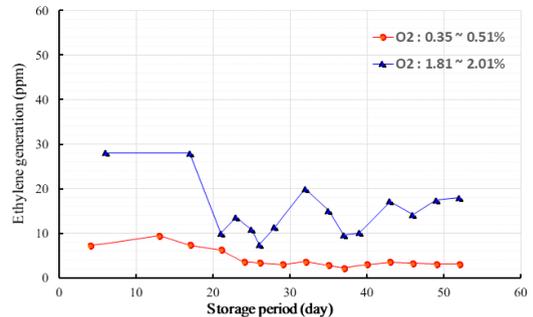


그림 4. 산소농도별 저장기간에 따른 에틸렌 발생량
Fig. 4. Ethylene generation by oxygen concentration and storage period

3.2 챔버 기밀도와 산소농도에 따른 RQ의 변화

Fig. 5~8은 챔버 기밀도에 따른 기체변화 특성을 나타낸 것이며, Fig. 5는 이전 연구에서^[16] 수행한 데이터 참조하였다.

시험결과 챔버 기밀도가 높을수록 저장 사과의 O₂ 농도를 호흡으로 더 낮게 떨어뜨릴 수 있다. Fig. 5와 같이 기밀도가 낮은 24분방에서는 호흡으로 떨어지는 최저 산소농도가 약 1.0%까지이었으나, Fig. 7 및 8과 같이 기밀가 높은 80분방 이상에서는 약 0.3%까지 떨어졌다. 이는 기밀도 낮은 24분방의 경우 외부 공기가 유입되어 챔버 내의 O₂ 농도 감소가 상대적으로 적은 것으로 판단된다.

Fig. 9는 챔버 기밀도와 O₂ 농도에 따른 RQ 변화를 나타낸 것이다. 기밀도가 낮은 24분방에서는 모든 구간에서 RQ가 높게 나타났다. 이는 Fig. 5에서 알 수

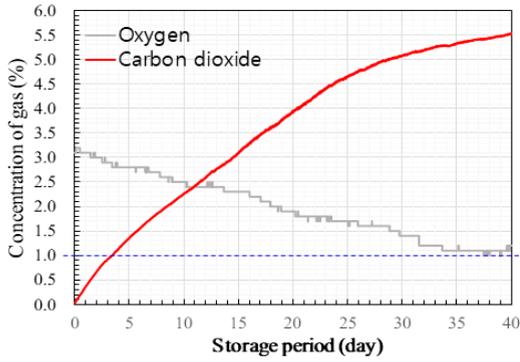


그림 5. 챔버 기밀도에 따른 기체변화 특성(기밀도 : 24분방)
Fig. 5. Characteristics of gas change according to airtight container(airtight : 24 min room)

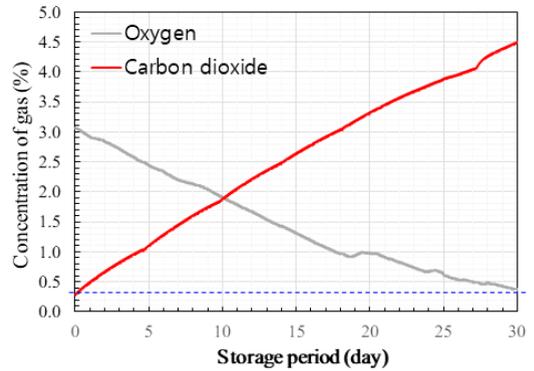


그림 8. 챔버 기밀도에 따른 기체변화 특성(기밀도 : 87분방)
Fig. 8. Characteristics of gas change according to airtight container(airtight : 87 min room)

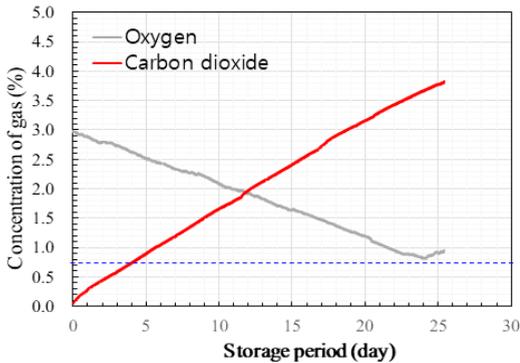


그림 6. 챔버 기밀도에 따른 기체변화 특성(기밀도 : 58분방)
Fig. 6. Characteristics of gas change according to airtight container(airtight : 58 min room)

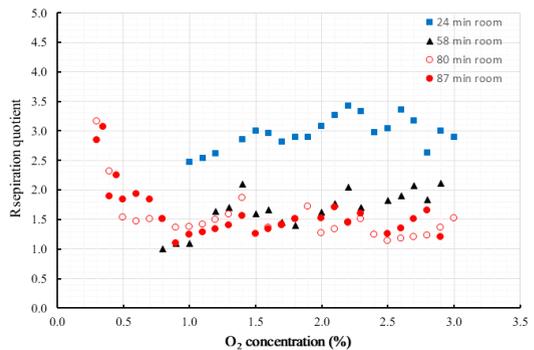


그림 9. 챔버 기밀도와 산소농도에 따른 RQ 변화
Fig. 9. Characteristics of the RQ according to airtight container and oxygen concentration

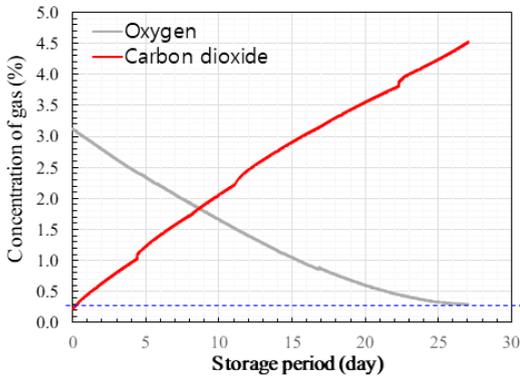


그림 7. 챔버 기밀도에 따른 기체변화 특성(기밀도 : 80분방)
Fig. 7. Characteristics of gas change according to airtight container(airtight : 80 min room)

있듯이 CO₂ 생성량보다 O₂ 소비량이 적기 때문에 O₂ 농도 변화량에 대한 CO₂ 농도 변화량의 비율에 의해 계산되는 RQ가 높게 나타났다. 기밀도 58분방 이상에

서는 O₂ 농도 0.5% 지점까지는 큰 변화 없이 유사하게 나타났다. 그러나 80분방 이상 챔버에서는 산소농도가 0.3%까지 감소 되었으며, 0.5% 미만에서 RQ 값이 급격히 증가하는 것으로 나타났다. RQ 값이 급격히 증가하는 이유는 혐기성호흡으로 전환되는 것을 의미하며 이와 같은 조건에서 장기간 저장 시 부패 등 장해과 발생의 원인이 된다.

3.3 저산소 탈출 알고리즘

사과 장기저장 시 저산소 이하 상태로 지속될 경우 혐기성호흡에 따른 부패 등이 발생할 수 있으므로 특정 O₂ 농도 이상으로 탈출하는 방법이 필요하다. Fig. 10은 저산소 구간에서 저장이 지속될 경우 탈출하는 알고리즘을 나타낸 것이다. RQ 계산 측정주기는 24시간이며, RQ 계산은 측정주기 시작과 종료 지점에서 측정된 O₂ 와 CO₂ 농도의 변화량의 비율을 이용하였다. 측정주기 종료 지점에서 측정된 O₂ 농도가 ①, ② 조건 모두 성립할 경우 저산소 탈출을 위해 미리 설정

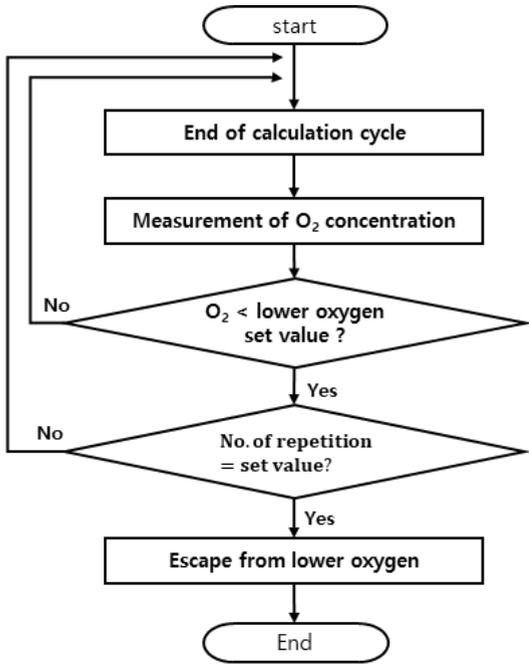


그림 10. 저산소 탈출 알고리즘
Fig. 10. Algorithm of escape from low-oxygen

된 O₂ 농도값으로 자동 조절되도록 프로그램하였다.
① 저산소 탈출 설정 농도값 이하
② 저산소 탈출 설정 농도값 이하 반복 횟수

Fig. 11은 저산소 탈출 알고리즘을 활용하여 실제 사과 저장 중인 CA 저장시스템에서 자동제어 프로그램 작동 상태를 나타낸 것이다.

본 시험에서 저산소 탈출 알고리즘 작동을 확인하기 위하여 탈출과 관련된 몇 가지 조건을 설정하여 확인하였다. 저산소 탈출을 위한 설정 농도는 1.0%, 저산소 탈출 여부를 판단하기 위해서는 측정주기 종료

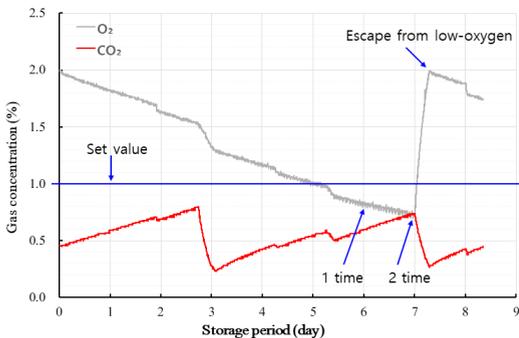


그림 11. 자동제어에 의한 저산소 탈출
Fig. 11. Low-oxygen escape by automatic control

지점에서 O₂ 농도를 측정해야 하며 이 값이 저산소 상태(1.0% 이하)에서 2회 이상 반복될 경우 탈출하게 하였으며, 저산소에서 탈출한 후 새로운 초기화 O₂ 농도값은 2.0%로 설정하였다.

앞으로 저산소 농도의 기준과 저산소 구간 반복 횟수 및 저산소 탈출 후 새로운 초기화 농도 등은 저장 사과의 품질 상태 비교를 통하여 결정할 필요가 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 ‘후지’ 사과의 호흡지수를 활용하여 능동적으로 기체를 제어하는데 필요한 저산소 한계점 결정 및 품질 저하를 방지하기 위한 저산소 탈출 알고리즘을 구현하여 DCA 저장시스템에 적용하였다. 저장기간 경과에 따른 산소농도별 에탄올 및 에틸렌 발생량 분석, 챔버 기밀도와 호흡지수와 상관성 구명 그리고 저산소에서 장기간 저장 시 품질 저하 우려로 생리 특성을 감지하여 자동으로 탈출하는 제어시스템을 구축하였다.

O₂ 농도별 일일 기체 발생량을 분석한 결과 산소농도 2.5~0.5%에서는 약 0.2ppm/day로 나타났다. 그러나 0.5% 미만에서는 0.6ppm/day로서 이 조건에서 장기간 저장 시 부패가 촉진될 것으로 예상된다. 반면 에틸렌 발생량의 경우 산소농도 건 구간에서 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

저장기간 경과에 따른 산소농도와 기체 발생량을 분석한 결과 극저산소 구간인 0.35~0.51%에서는 저장기간이 길어질수록 에탄올 발생량은 증가하는 경향이었으나, 저산소 구간인 1.81~2.01%에서는 저장기간에 따른 차이가 나타나지 않았다. 에틸렌 발생량은 저산소 구간에 비해 극저산소 구간에서 호흡억제로 인한 대사활동 감소로 현저하게 낮게 나타났다.

챔버 기밀도와 O₂ 농도에 따른 RQ 변화를 분석한 결과 80분방 이상 챔버에서는 산소농도 0.5% 이하에서 RQ 값이 급격히 증가하였다. 이는 혐기성호흡으로 전환되는 것을 의미하며 이와 같은 조건에서 장기간 저장시 부패 등 장애와 발생의 원인이 된다.

저산소 이하에서 저장이 지속될 경우 혐기성호흡으로 인하여 품질 저하가 우려되므로 생리 특성을 감지하여 자동으로 탈출하는 제어시스템을 구축하였으며 실제 알고리즘에 의해 탈출되는 결과를 확인하였다.

References

- [1] J. W. Kim, "Quality change according to drying method and drying method of agricultural products, utilization and excellence of infrared drying method," *Food Preservation and Process. Ind.*, vol. 18, no. 2, pp. 7-15, 2019.
- [2] D. S. Chung, Y. P. Hong, and Y. S. Lee, "Effects of modified atmosphere film packaging application and controlled atmosphere storage on changes of quality characteristics in Hongro and Gamhong Apples," *Korean J. Horticultural Sci. and Technol.*, vol. 24, no. 1, pp. 48-55, 2006.
- [3] J. G. Yoo, B. K. Kang, J. W. Lee, D. H. Kim, D. H. Lee, H. Y. Jung, D. G. Choi, M. G. Choung, I. M. Choi, and I. K. Kang, "Effect of preharvest and postharvest 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatments on fruit quality attributes in cold-stored Fuji apples," *Korean J. Horticultural Sci. and Technol.*, vol. 33, no. 4, pp. 542-549, 2015.
- [4] Y. M. Park, H. G. Park, and B. S. Lim, "Analysis of postharvest 1-MCP treatment and CA storage effects on quality changes of 'Fuji' apples during export simulation," *Korean J. Horticultural Sci. and Technol.*, vol. 29, no. 3, pp. 224-231, 2011.
- [5] M. N. Kim, J. Y. Son, C. W. Park, C. Y. Choi, D. S. Choi, Y. H. Kim, and J. S. Kim, "Weight loss rate prediction by quality prediction system of 'Fuji' apple stored in CA storage," *J. KICS*, vol. 45, no. 8, pp. 1439-1446, 2020.
- [6] A. Mditshwa, O. A. Fawole, and U. L. Opara, "Recent developments on dynamic controlled atmosphere storage of apple - A review," *J. Food Packaging and Shelf Life*, vol. 16, pp. 59-68, 2018.
- [7] N. Bessemans, P. Verboven, B. E. Verlinden, and B. M. Nicolai, "Model based leak correction of real-time RQ measurement for dynamic controlled atmosphere storage," *Postharvest Biol. and Technol.*, vol. 136, pp. 31-41, 2018.
- [8] F. Feng, M. Li, F. Ma, and L. Cheng, "Effects of location within the tree canopy on carbohydrates, organic acids, amino acids and phenolic compounds in the fruit peel and flesh from three apple (*malus × domestica*) cultivars," *Horticulture Res.*, vol. 1, pp. 1-6, 2014.
- [9] S. Sun, L. Xin, H. Gao, J. Wang, and P. Li, "Response of phenolic compound in 'Golden Delicious' and 'Red delicious' apple peel to fruit bagging and subsequent sunlight re-exposure," *J. Scientia Horticulture*, vol. 168, pp. 161-167, 2014.
- [10] B. Vanderlei, R. T. Fabio, B. Auri, O. A. Rogerio, F. F. Daniele, and W. Roger, "Effects of dynamic controlled atmosphere by respiratory quotient on some quality parameters and volatile profile of 'Royal Gala' apple after long-term storage," *Food Chem.*, vol. 215, pp. 483-492, 2017.
- [11] W. Anderson, B. Auri, B. Vanderlei, P. P. Elizandra, O. A. Rogério, and R. R. Fabio, "Respiratory quotient: innovative method for monitoring 'Royal Gala' apple storage in a dynamic controlled atmosphere," *Sci. Agric.*, vol. 72, no. 1, pp. 28-33, 2015.
- [12] N. Bessemans, P. Verboven, B. E. Verlinden, and B. M. Nicolai, "A novel type of dynamic controlled atmosphere storage based on the respiratory quotient(RQ-DCA)," *Postharvest Biol. and Technol.*, vol. 115, pp. 91-102, 2016.
- [13] J. A. Bartsch and G. D. Blanpied, "Refrigeration and controlled atmosphere storage for horticultural crops," *The Northeast Regional Agric. Eng. Serv.*, pp. 42, 1984.
- [14] G. S. V. Raghavan, C. Vigneault, Y. Gariépy, N. Markarian, and P. Alvo, "Refrigerated and controlled/modified atmosphere storage," CRC Press, 2004.
- [15] D. G. Christopher and M. B. Randolph, "Determination of the low oxygen limit for several commercial apple cultivars by respiratory quotient breakpoint," *Postharvest*

Biol. Technol., vol. 3, pp. 259-267, 1993.

- [16] C. W. Park, J. Y. Son, M. N. Kim, C. Y. Choi, D. S. Choi, Y. H. Kim, and J. S. Kim, "Automatic gas control algorithm for controlled atmosphere storage system using 'Fuji' apple respiration quotient," *J. KICS*, vol. 45, no. 8, pp. 1430-1438, 2020.

손재용 (Jae Yong Son)



1993년 2월 : 경북대학교 농업기계공학과 학사
 1995년 8월 : 경북대학교 농업기계공학과 석사
 2004년 8월 : 경북대학교 생물산업기계공학과 박사
 1992년 7월~현재 : 국립농업과학원 수확후관리공학과 농업연구관

<관심분야> 저장유통기계, 근적외선 분광분석
 [ORCID:0000-0003-3559-0082]

박천완 (Chun Wan Park)



2009년 2월 : 전북대학교 기계공학과 학사
 2011년 2월 : 전북대학교 기계공학과 석사
 2016년 2월 : 전북대학교 기계공학과 박사
 2016년 1월~현재 : 국립농업과학원 박사후연구원

<관심분야> 냉동공학, 환경제어, 센서공학, 저장유통
 [ORCID:0000-0002-1485-6331]

최동수 (Dong Soo Choi)



1991년 2월 : 충남대학교 농업기계공학과 학사
 1993년 2월 : 충남대학교 농업기계공학과 석사
 2001년 2월 : 충남대학교 농업기계공학과 박사
 1998년 2월~현재 : 국립농업과학원 수확후관리공학과 농업연구사

<관심분야> 농업공학, 냉동공학
 [ORCID:0000-0003-2492-8324]

김용훈 (Yong Hoon Kim)



1995년 2월 : 한국외국어대학교 화학과 학사
 1997년 2월 : 한국외국어대학교 대학원 화학과 석사
 2005년 : The graduate university for advanced studies (일본) 박사

2009년 1월~현재 : 국립농업과학원 수확후관리공학과 농업연구사

<관심분야> 화학공학, 저장유통공학, ICT융복합
 [ORCID:0000-0001-7214-1388]

김진세 (Jin Se Kim)



1998년 2월 : 고려대학교 물리학과 학사
 2000년 2월 : 고려대학교 물리학과 석사
 2018년 8월 : 충남대학교 농기계공학과 박사
 2013년 10월~현재 : 국립농업과학원 수확후관리공학과 농업연구사

<관심분야> 냉동공학, 저장유통공학
 [ORCID:0000-0001-5514-3445]