Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 23, No. 11 pp. 840-846, 2022

https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.11.840
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

아두이노 및 3D 프린터를 이용한 MA포장 기체조성장치 개발

김진세*, 최동수
국립농업과학원 농업공학부

Development of gas diffusion area control device for modified atmosphere package with Arduino and 3D printer

Jin-Se Kim*, Dong-Soo Choi
Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences

요 약 농산물의 저온 저장 중 호흡속도를 늦추고 곰팡이 증식을 억제하는 효과가 있는 modified atmosphere (MA) 포장은 적정한 기체조성을 위해 필름 투과도와 농산물 포장량 등을 조절하여 사용되어 왔다. 본 연구에서는 포장내부의 기체조성을 호흡구 면적 제어를 통해 조절하는 기체조성장치의 제작방법 및 효과를 제시하고자 한다. 3가지 호흡구 면적을 갖는 기밀포장에 질소를 주입하고 일정한 부피로 만든 뒤 5, 10, 15, 20℃에서 산소투과도를 분석하였으며, 저장온도보다는 호흡구 면적이 산소투과도에 영향을 주는 것으로 분석되었다. 호흡구 면적 제어장치는 오픈소스 기반 제어장치인 아두이노와 스텝모터, 이산화탄소 센서를 이용하여 구성하였으며, 호흡구 면적 제어를 위한 구동부와 케이스는 3D 캐드 및 3D 프린터를 이용하여 제작하였다. 여러 개의 미세천공을 가림막이 가리는 방식으로 이산화탄소 확산을 위한 호흡구 면적을 제어하였는데, 60kg 한라봉 MA포장에서 미세천공 크기가 0.4 mm^2 보다는 0.1 mm^2 일 때 목표한 농도와 근접하게 안정화 되는 것을 확인하였다. 다양한 포장에 적용하기 위해서는 미세천공을 면적을 합산한 호흡구 면적이 커야 하며, 이때는 센서 측정 위치를 호흡구 유로와 별개의 위치로 개선할 필요가 있다. 호흡구 면적제어 방식은 기존의 호흡구 개폐 방식보다 전력소모가 적기 때문에 무선 기체조성장치에 적합한 방식으로 판단된다.

Abstract Modified atmosphere packaging (MAP) is an economical method to extend the shelf life of agricultural products by slowing the respiration rate and inhibiting mold growth. This paper introduces a gas control device for MAP by changing the diffusion area and its effects. The oxygen permeability of three MAPs with a different number of diffusion holes was analyzed at four different storage temperatures, 5, 10, 15, and 20°C. The oxygen permeability was affected more by the diffusion area (number of diffusion holes) than the storage temperature. The gas diffusion area control device was manufactured using Arduino, a step motor, a carbon dioxide sensor, and a case and moving parts made using a 3D printer. The diffusion area was controlled by covering several micro-perforations with a moving screen. The gas composition of 60 kg MAP of a kind of citrus fruit (Dekopon) was effectively maintained in the perforation size of 0.1 mm^2 rather than 0.4 mm^2. To use a large gas diffusion area, which is the sum of the perforation areas, for various MAP, the sensor position needed to be changed from the air diffusion pathway to a separate position. The diffusion area control method might be suitable for the wireless gas composition device considering the energy efficiency of the diffusion area control method compared to the open/close method.

Keywords : 3D Printer, Arduino, Carbon Dioxide Sensor, Gas Diffusion Area Control, Modified Atmosphere Package, Shelf Life

본 논문은 농촌진흥청 연구과제(PJ01562801)로 수행되었음.
*Corresponding Author : Jinse Kim(National Institute of Agricultural Sciences)
email: ferroj@korea.kr
Received September 23, 2022 Revised October 31, 2022
Accepted November 4, 2022 Published November 30, 2022

1. 서론

농산물의 저장온도를 낮추면 호흡속도가 느려져서 더 길게 저장할 수 있는데, 동일한 온도에서 농산물의 저장기간을 더욱 연장하기 위해 controlled atmosphere (CA) 저장과 modified atmosphere (MA) 포장이 사용된다[1,2]. CA저장은 제어장치를 이용하여 저장고 내부의 산소농도와 이산화탄소 농도를 일정하게 유지하는 방법으로 최근에는 생리현상을 감응하여 극저산소로 저장하는 연구까지 다양하게 진행되고 있다[1]. 하지만 CA저장은 관행 저온저장고 대비 질소발생기, 산소 및 이산화탄소 센서, 기체환경 제어장치가 추가로 필요하고 저장고의 기밀도도 높아야 되기 때문에 사과 등 고부가가치 농산물에 주로 적용되고 있다[3]. MA포장은 필름포장만을 이용하여 포장내부에 낮은 산소 농도와 높은 이산화탄소 농도를 유지하여 농산물의 호흡속도를 늦추고, 곰팡이 생육을 억제하는 효과를 갖는다[4]. 하지만, 별도의 제어장치 없이 사용되기 때문에 정밀한 기체조성 제어가 불가능하여, 포장내부의 산소농도가 너무 낮아질 경우 혐기성 호흡에 의한 발효가 진행되고, 산소농도가 높을 경우 포장 내부의 높은 습도로 인해 오히려 곰팡이 생육을 촉진하는 역효과가 발생한다.

MA포장의 문제점을 개선하고자 포장 내부에 적절한 기체조성을 할 수 있도록 포장필름의 두께, 재질, 미세천공 처리 등을 조절하여 산소와 이산화탄소 농도가 적정하게 유지되도록 하는 연구가 수행되었으며[5,6], 필름 재질 및 흡습제를 이용한 포장 내 상대습도를 낮추는 연구도 수행되었다[7-9]. 곰팡이 생육과 에틸렌에 의한 숙성 문제를 개선하기 위해 포장 내부에 유황패드와 같은 살균제나 ethyl pyruvate와 같은 훈증제, 과망간산칼륨이나 제올라이트 같은 에틸렌 분해제나 흡착제 처리가 연구되었다[4,10,11].

농산물의 종류별 저장온도별 호흡속도를 이용하여 MA포장의 기체조성을 위한 호흡구 크기를 산정할 수 있는데[4,8], 농산물의 호흡속도는 저장온도, 저장기간에 따라 달라지기 때문에 CA저장처럼 저장에 적합한 기체조성 상태로 계속 저장하기 어렵다.

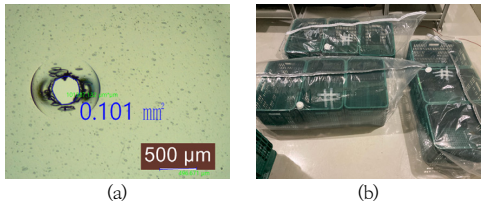
CA저장 수준은 아니지만, 플라스틱 기밀 상자 내부에 산소와 이산화탄소 센서를 설치하고 호흡구 밸브를 여닫는 방식으로 기체조성을 일정한 범위에서 유지하도록 하는 장치가 연구되었으나, 가스농도 범위를 미세하게 조절할 경우 밸브가 계속적으로 동작하기 때문에 목표 농도 범위를 2% 수준으로 넓게 해야 하는 문제가 있었다[12,13].

농산물의 호흡속도와 호흡구 면적이 평형을 이루게 할 경우 별도의 추가적인 제어 없이 MA포장 내부의 기체조성을 일정한 수준으로 유지할 수 있을 것으로 예상하여, 본 연구에서는 오픈소스 기반 제어장치인 아두이노와 3D프린터를 활용하여 MA포장 내부의 기체조성을 일정하게 유지할 수 있는 호흡구 면적 제어장치를 설계 제작하고, MA포장에 부착하여 기체조성 효과를 검증하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 호흡구 크기에 따른 기체투과도 비교

MA포장에서 포장 자체의 산소투과도를 배제하고, 호흡구에 의한 산소투과도만을 분석하기 위해 850 × 1800 × 300 mm 크기의 진공 압축팩(unknown, China)을 사용하였다. 산소 5% 이하의 농도로 3개의 포장에 질소가스를 주입하고, portable gas analyzer (CheckPoint 3, Ametek Mocon, Ringsted, Denmark)를 이용하여 14일간 산소농도의 변화가 없음을 통해 기밀도를 확인하였다. 포장에 각각 가열한 바늘을 이용하여 0.1mm^2 크기의 2, 4, 8개의 구멍을 천공하고 각각의 천공크기는 현미경(DM750 + ICC50, Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Germany)을 이용하여 확인하였다(Fig. 1a), 산소를 4%로 주입하고 5, 10, 15, 20℃ 의 저장고 온도에서 저장하며 산소농도의 변화를 측정하였다(Fig. 1b).



(a) (b)

Fig. 1. Micro perforation (a) and packages for oxygen permeability analysis (b)

포장의 크기를 유지하기 위해 550 × 366 × 325 mm 크기의 플라스틱 박스(NAP122-1, NPC Co., LTD., Ansan, Republic of Korea) 3개를 넣고, 질소를 주입하였으며 필름이 플라스틱박스에 밀착하도록 공기를 뺀 뒤 산소농도 5% 인근에서의 투과도를 비교하였다.

2.2 기체조성장치 구성 및 프로그래밍

포장내부의 기체조성 중 이산화탄소 농도를 측정하도록 non-dispersive infrared (NDIR) 방식 이산화탄소 센서(MinIR, GSS Ltd., Cumbernauld, UK)를 사용하였고, 호흡구 면적제어를 위한 스텝모터(28BYJ-48, Mouser Electronics, Inc., Texas, USA), 아두이노 나노(Arduino nano, Arduino SRL, Torino, Italy)를 이용하여 장치를 구성하였다. 이산화탄소 농도 측정값을 저장하기 위한 메모리 카드(Pro Endurance micro SD card, Samsung Electronics Co., LTD.,Seoul, Republic of Korea)는 아두이노에 연결 가능한 메모리 사용 한계인 32 GByte를 사용하였다.

스텝모터 제어기판, 이산화탄소 센서, SD카드를 아두이노의 디지털 단자 및 5V, ground 단자와 연결하였다(Fig. 2). 프로그램은 스텝모터 오픈소스 Stepper.h 헤더파일을 이용하였고, 이산화탄소 센서와 관련한 SoftwareSerial.h 헤더파일, Micro SD 카드의 Serial Peripheral Interface (SPI) 통신을 위한 SPI.h 와 SD.h 헤더파일을 이용하였다.

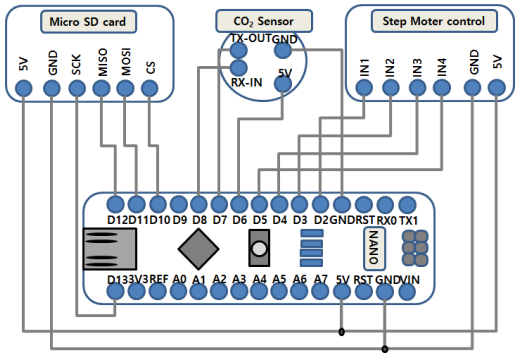


Fig. 2. Arduino circuit design using step motor, carbon dioxide sensor and micro SD card for gas diffusion area control device

스텝모터의 기어는 공기유로 가림막이 회전하다가 벽에 막히면 미끄러지듯 회전하도록 제작하였기 때문에 모터의 좌회전과 우회전만으로 제어하였다. 이산화탄소 농도 제어 목표값(M_T)과 상한값(H_T), 하한값(L_T), 이전 측정값(P_P)과 현재 측정값(C_P)을 통해 현재 농도와 농도변화속도를 고려하여 목표값 인근으로 호흡구 면적을 제어할 수 있도록 flow chart를 구성하였다(Fig. 3).

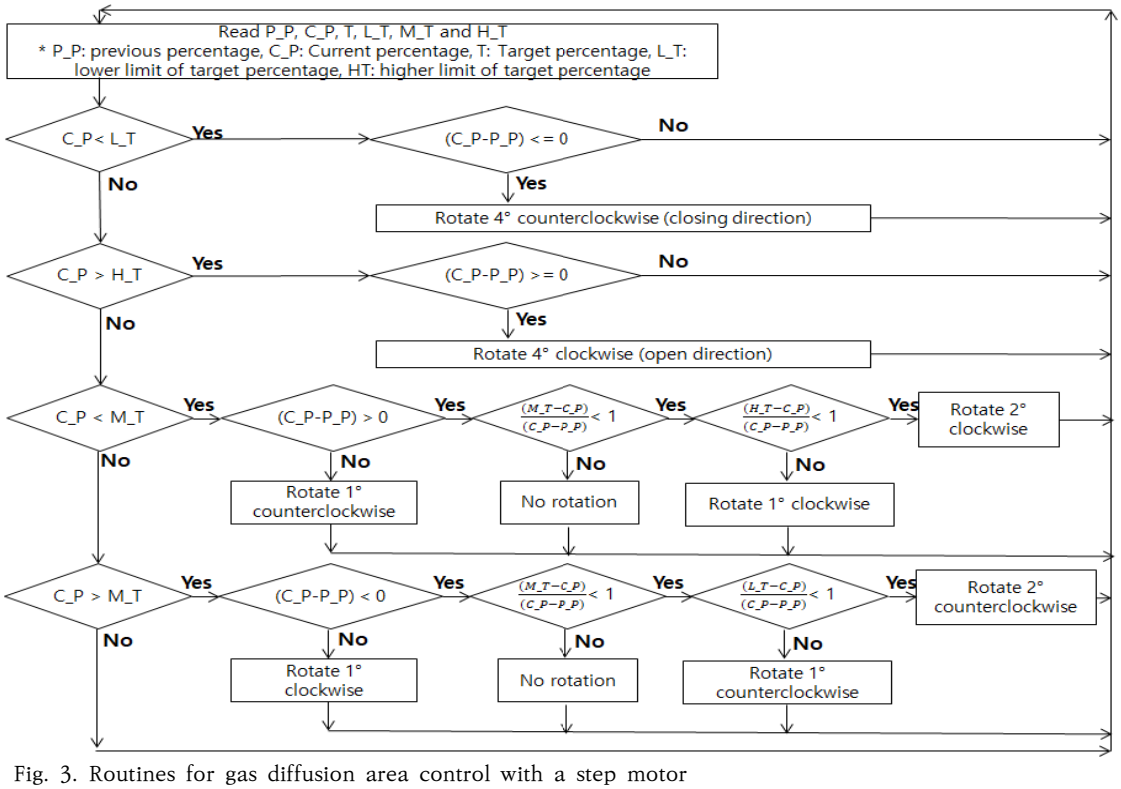


Fig. 3. Routines for gas diffusion area control with a step motor

2.3 3D 프린터를 이용한 구동부 및 케이스 제작

3D 디자인 프로그램(NX 1899, Siemens, Texas, USA)을 이용하여 케이스와 구동부를 설계하였고(Fig. 4a, 4b), 3D 프린터(Ultimaker S5, Brule, Utrecht, Netherlands)를 이용하여 출력하였다. 케이스 재질은 poly lactic acid (PLA)를 이용하였고, 구동부와 기어는 탄성이 있는 thermal polyurethane (TPU)를 이용하여 완전히 닫히거나 열렸을 때 기어가 미끄러지듯 회전할 수 있도록 하였다. 호흡구는 스카치테이프에 가열한 바늘로 천공하여 공기유로입구에 부착하였다(Fig. 4c). 케이스 안에 아두이노와 이산화탄소 센서, 스텝 모터, 마이크로 SD 카드를 연결하고 면적제어 구동부와 기어를 설치하였다. 하부의 돌출한 공기 유로 크기로 MA포장 필름을 원형 천공하고 양면테이프로 부착하여 사용하였다(Fig. 4d).

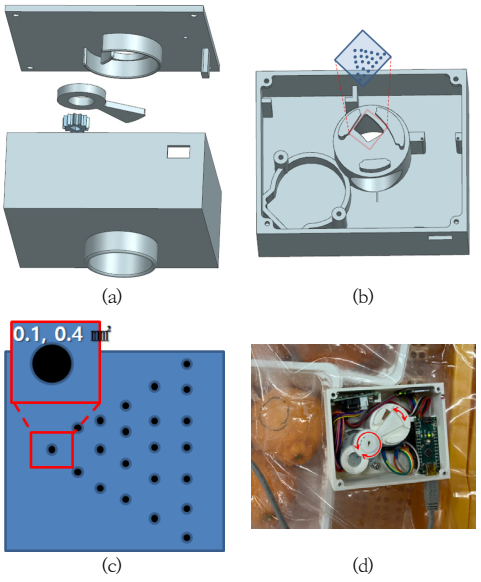


Fig. 4. Device design with 3D cad (a, b), gas diffusion hole in scotch tape (c), gas diffusion area control device attached to MA package (d)

2.4 기체조성 성능 시험

제주도 서귀포에서 무농약으로 재배한 한라봉을 2022년 2월 구입하여 사용하였다. 만졌을 때 과피와 과육 사이에 빈공간이 없는 크기가 비슷한 한라봉을 선별하였고, 550 × 366 × 120 mm 크기의 플라스틱 박스(NAP5312, NPC Co., LTD., Ansan, Republic of Korea)에 한라봉을 1단으로 적재하여 2℃ 저온저장고에 저장하였다. MA포장은 2.1절에서 사용한 진공압축팩을 활용하여 상기 플라스틱 박스 12개에 약 60 kg의 한라봉을 담아서 저장하였다.

감귤의 4℃ 호흡속도 6 $mgCO_2/kg{\cdot}h$[14] 와 Kim 등[4,8]의 호흡구 면적 계산공식을 사용하면 호흡구 면적은 다음과 같이 예상할 수 있다.

$$A\,[mm^2] = 0.00611 \times 중량 \times 호흡속도 \quad (1)$$
$$= 0.00611 \times 60 \times 6 \simeq 2.2$$

실험 시 면적 0.1과 0.4 mm^2 의 천공을 22개 뚫어서 실험하였다(Fig. 4c).

저장고 및 MA포장 내부의 온습도는 무선 온습도 데이터로거(TR-73U, TandD Co., Matsumoto, Japan)를 이용하여 측정하였다.

한라봉은 에틸렌이 농도가 높아질 경우 후숙 현상이 나타나기 때문에 이산화탄소 농도 제어 기준을 15±1%로 하여 두 개의 MA포장으로 30일간 저장하였다. 기체조성이 잘 이루어지는지에 초점을 맞추었기 때문에 품질분석은 실험 전과 후에 가용성 고형분, pH 및 적정산도, 경도, 색도를 측정하였다. 에틸렌 농도는 photoacoustic gas monitor (INNOVA 1412, LumaSense Technologies Inc., Ballerup, Denmark)를 이용하여 측정하였다.

가용성 고형분은 추출액을 이용하여 디지털 굴절당도계(RX-5000α, Atago Co., Tokyo, Japan)로 측정하였고, 적정산도는 추출액 5 mL을 취하여 45 mL의 증류수에 희석한 후 자동 적정기(TitroLine 500, Si Analytics, Mainz, Germany)를 이용하여 pH 8.3이 될 때까지 0.1 N NaOH 용액으로 적정하여 측정한 값을 citric acid로 환산하였다. 경도는 겉껍질에 대해 물성분석기(TA-XT2 texture analyser, Stable Micro System Ltd., Godalming, UK)로 측정하였다. 측정 탐침은 지름 2 mm probe를 사용하였으며, 0.2 mm/sec의 속도로 10 mm까지의 최대 압축강도를 측정하였다. 색도는 찍을 위치를 표시하여 저장 전과 후의 Hunter L (lightness), a (redness), b (yellowness) 값을 색차계(CM-700D, Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다.

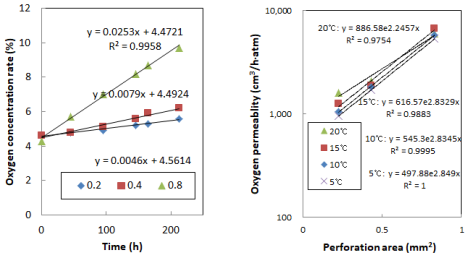
모든 분석결과는 처리구 당 3회 반복 이상 실험한 결과로부터 평균값과 표준편차로 나타내었으며 통계분석은 IBM SPSS Statistics(25, IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하여 ANOVA test와 Duncan's multiple range test를 통해 시료 간 유의적 차이($p<0.05$)를 검정하였다.

3. 실험결과

3.1 호흡구 크기에 따른 기체투과도 비교

저장고 온도를 일정하게 유지하며 5, 10, 15, 20℃에서 0.1 mm^2 크기의 천공 2개, 4개, 8개로 호흡구 면적을 달리하여 MA포장 내부의 산소농도가 시간에 따라 변하는 것을 Fig. 5a와 같이 측정하였다. 포장의 산소투과도는 저장온도보다는 호흡구 면적에 따라 큰 차이가 발생하였으며, 호흡구 면적과 산소투과도는 다음의 비례관계를 보였다(Fig. 5b).

$$Oxygen\,permeability = ae^{bx} \quad (2)$$



(a) (b)

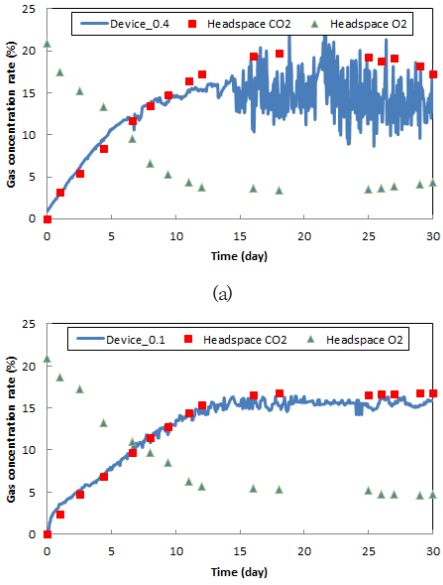
Fig. 5. Oxygen concentration rate changes according to the perforation area, 0.2, 0.4 and 0.8 mm^2 at 10℃ (a) and the relation between oxygen permeability and perforation area at each storage temperature (b)

여기서 a와 b는 비례상수, x는 호흡구의 면적이며, 5~15℃의 경우 a값은 497~617, b값은 약 2.83으로 나타났으나, 20℃의 경우는 a값 887, b값 2.25로 다른 온도에 비해 약간의 차이가 있었지만, 미세천공 개수 조정을 통한 면적변화를 통해 산소투과도를 조절할 수 있음을 확인하였다.

3.2 기체조성 성능 시험

제작한 기체조성장치는 이산화탄소 농도 목표범위를 14~16% 하여 1시간 단위로 이산화탄소 농도를 측정하며 호흡구 면적을 제어하도록 설정하였다. 즉, Fig. 3의 이산화탄소 농도 제어 목표값(M_T)은 15%이고, 상한값(H_T)은 16%, 하한값(L_T)은 14%로 설정하였다.

호흡구를 0.4 mm^2 크기로 천공한 경우 이산화탄소 농도가 16%에 도달할 때까지는 일정하게 증가하였으나 16%를 넘어가며 장치의 이산화탄소 농도 측정값이 크게 변하는 현상이 나타났다(Fig. 6a). 이것은 스텝모터의 작동에 의해 호흡구 면적이 순간적으로 크게 변하며 센서 측정값도 영향을 받은 것으로 보인다. 하지만, 실제 MA포장 내부의 이산화탄소 농도(headspace CO_2)는 큰 진동 없이 목표 값보다 2~4% 정도 높은 수준으로 유지되었으며, 산소 농도도 4~5% 사이의 적정 수준으로 유지되었다. 단위 천공 면적이 0.1 mm^2인 경우 호흡구를 여닫는 동작으로 유출되는 이산화탄소의 변화가 작아서 목표범위 인근에서 이산화탄소 농도가 유지되었다(Fig. 6b).



(a)

(b)

Fig. 6. Comparison of data-logged carbon dioxide concentrations and manually measured gas concentrations at the headspace of MA packages for different perforation areas, 0.4 mm^2 (a), 0.1 mm^2 (b)

MA포장으로 저장하는 농산물의 호흡속도를 알지 못하는 경우 호흡구 면적을 작은 값에서 큰 값까지 변화시키며 적정한 호흡구 면적을 찾아야 하는데, 호흡구 면적이 클 경우 이산화탄소 센서가 호흡구 인근에 있으면, 호흡구 개폐의 영향으로 MA포장 내부의 이산화탄소 농도를 대표하기 어려워진다. 따라서, 이산화탄소 센서를 호흡구와 연결된 공기유로 중간에 배치하는 것 보다 [12,13]의 연구처럼 측정 센서를 호흡구와 멀리 떨어뜨리기는 것이 유리하다. 따라서, 공기가 확산되는 유로 중간에 위치한 이산화탄소 센서를 별도의 유로에 배치하여 호흡구 개폐에 민감하게 반응하지 않도록 하는 것이 필요해 보인다.

Table 1. Quality changes of a kind of citrus fruits (Dekopon) from low temperature storage (control) and MA packaging

Quality	Before	After 30 days	
		Control	MAP
Soluble solid contents (°Brix)	12.8 ±1.1	13.2 ±0.8	12.5 ±1.0
pH	3.33[a] ±0.25	3.83[b] ±0.13	3.44[a] ±0.79
Titratable acidity (%)	1.12[a] ±0.35	0.59[b] ±0.08	1.10[a] ±0.10
Hunter's L	62.25[a] ±1.15	61.21[a] ±1.66	60.42[b] ±2.01
Hunter's a	33.31 ±2.07	33.02 ±2.60	32.93 ±2.58
Hunter's b	61.09 ±1.91	60.61 ±2.95	61.21 ±2.82
Hardness (N/Ø2probe)	4.54[a] ±1.31	3.73[b] ±0.83	3.44[b] ±1.43

한라봉을 30일간 2℃ 저장하며 대조구와 MA포장에 대해 저장 전·후의 품질을 비교하였다(Table 1). MA포장 두 처리구의 실제 기체조성(headspace CO_2 and O_2 in Fig. 6) 차이는 산소의 경우 약 1%, 이산화탄소는 2~4%정도로 크지 않았고, 품질 분석 값도 통계적인 차이가 나타나지 않았기 때문에 특별히 구분하지 않고 표기하였다. MA포장 내부의 한라봉은 호흡이 억제되기 때문에 pH 증가 및 적정산도 감소가 지연되었다. 포장 내부에 에틸렌 농도가 증가하며 Hunter's color L 값이 감소하였고, 과피의 경도가 낮아지는 특징이 나타났지만, 경도의 경우 통계적인 차이는 없이 절대값만 낮은 수준으로 측정되었다. 에틸렌 농도는 이산화탄소 농도 증가와 비례하게 최종적으로 20 ppm 수준까지 증가하였다(그래프 생략). 30일간의 실험 종료 후에도 한라봉의 에틸렌 영향을 살피려고 MA포장상태로 보관하였고, 시간이 더 경과할 경우 색상은 더욱 어두워지고 과육에서도 숙성향이 나타났다. 한라봉을 MA포장으로 저장하기 위해서는 별도의 에틸렌 제거기술이 필요하다고 판단된다.

4. 결론

농산물의 종류, 저장요소별 호흡속도를 늦춰서 저장기간을 연장하는 MA포장은 적정한 호흡구의 천공이 필수적이나, 저장온도와 농산물의 종류, 양에 따라서 필요한 호흡구 면적이 달라진다. 본 연구에서는 아두이노와 3D 프린터를 이용하여 이산화탄소 농도를 측정하며 호흡구의 면적을 제어하는 기체조성장치를 개발하며 다음의 결과를 얻었다.

1. 미세천공의 상부를 가림막으로 여닫아서 호흡구 면적을 제어하는 방식으로 MA포장 내부의 기체조성을 목표하는 농도로 유지할 수 있었다.
2. 미세천공의 면적이 0.4 mm^2로 적정 크기보다 큰 경우 호흡구를 여닫는 동작의 영향으로 센서 인근의 이산화탄소 농도가 크게 변하는 문제가 있었으나, 미세천공이 0.1 mm^2 로 적정할 경우 이러한 문제가 줄어들었다. 이 문제는 스텝모터의 최소 회전각 안에서 적정 호흡구 면적보다 큰 면적이 변화되면서 발생한 것으로 판단된다.
3. 호흡에 의해 이산화탄소 농도가 15±1%로 안정화된 한라봉 MA포장에서 대조구 대비 호흡지연에 의한 pH 및 산도 변화 지연효과가 나타났다.
4. 단위 미세천공 면적이 0.4 mm^2인 경우 호흡구 인근의 이산화탄소 센서 측정값은 가림막의 개폐 동작으로 크게 변동하였고, 실제 포장 내부의 이산화탄소 농도는 목표 값보다 높게 유지되었다. 제어를 위한 이산화탄소 센서 위치를 호흡구 유로와 별도의 공간에 배치한다면 포장내부의 이산화탄소 농도를 목표 값과 유사하게 제어할 수 있을 것으로 판단된다.
5. MA포장 기체조성장치를 수십~수백 kg 크기의 다양한 농산물 포장에 적용할 수 있게 하려면, 호흡구 가림막의 크기와 개폐되는 최대 천공 면적을 늘려야 하며, 에틸렌 민감도가 높은 농산물에 적용하려면 별도의 에틸렌 분해장치가 필요할 것으로 판단된다.
6. 호흡구 면적제어 방식은 기존의 호흡구 개폐 방식처럼 전자변에 계속적인 전력 공급이 필요하지 않기 때문에 전력소모가 적으며 무선 기체조성장치에 적합한 방식으로 판단된다.

References

[1] A. Mditshwa, O. A. Fawole, U. L. Opara, "Recent developments on dynamic controlled atmosphere storage of apples- A review", *Food Packaging and Shelf Life*, Vol.16, pp.59-68, Feb. 2018.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.01.011

[2] Y. Fang, M. Wakisaka, "A review on the modified atmosphere preservation of fruits and vegetables with cutting-edge technologies", *Agriculture*, Vol.11,

No.992, pp.1-15, Oct. 2021.
DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture11100992

[3] C. W. Park, D. S. Choi, Y. H. Kim, J. S. Kim, J. Y. Son, "Gas environment control characteristic analysis for dynamic controlled atmosphere storage", *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol.46, No.11, pp.2064-2071, Nov. 2021.
DOI: https://doi.org/10.7840/kics.2021.46.11.2064

[4] J. Kim, J. W. Park, S. H. Park, D. S. Choi, Y. H. Kim, "Effect of moidifed atmosphere packaging (MAP) and vaporized ethyl pyruvate (EP) treatment for the shelf life of '*Seolhyang*' strawberries", *Korean Journal of Food Preservation*, Vol.24, No.3, pp.351-360, Jun. 2017.
DOI: https://doi.org/10.11002/kjfp.2017.24.3.351

[5] S. Mangaraj, T. K. Goswami, P. V. Mahajan, "Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: A review", Food EnginMditshwa, O. A. Fawole, U. L. Opara, "Recent developments on dynamic controlled atmosphere storage of apples- A review", *Food Engineering Review*, Vol.1, pp.133-158, Jul. 2009.
DOI: https://doi.org/10.1007/s12393-009-9007-3

[6] Z. Hussein, O. J. Caleb, U. L. Opara, "Perforation-mediated modified atmosphere packaging of fresh and minimally processed produce- A review", *Food Packaging and Shelf Life*, Vol.6, pp.7-20, Aug. 2015.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2015.08.003

[7] J. Kim, J. W. Park, S. Park, D. S. Choi, S. R. Choi, "Study of pallet scale modified atmosphere packaging films for reducing water condensation", *Journal of Biosystems Engineering*, Vol.41, No.2, pp.98-107, Jun. 2016.
DOI: https://doi.org/10.5307/JBE.2016.41.2.098

[8] J. Kim, H. K. Jung, S. Y. Nam, J. Y. Son, S. H. park, "Effect of pallet size modified atmosphere packaging using polyamide film and linear low density polyethylene film on the shelf life of strawberries", *Food Engineering Progress*, Vol.23, No.1, pp.55-61, Feb. 2019.
DOI: https://doi.org/10.13050/foodengprog.2019.23.1.55

[9] G. Rux, P. V. Mahajan, M. Geyer, M. Linke, A. Pant, "Application of humidity-regulating tray for packaging of mushrooms", *Postharvest Biology and Technology*, Vol.108, pp.102-110, Oct. 2015.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.06.010

[10] M. H. Choi, J. S. Lee, B. S. Lim, "Effects of combination treatment with sulfur dioxide generating pad and modified atmosphere packaging (MAP) on the quality of 'Campbell Early' grape under simulated export donditions", *Korean Journal of Food Preservation*, Vol.24, No.6, pp.734-745, Oct. 2017.
DOI: https://doi.org/10.11002/kjfp.2017.24.6.734

[11] H. Wei, F. Seidi, T. Zhang, Y. Jin, H. Xiao, "Ethylene scavengers for the preservation of fruits and vegetables: A review", *Food Chemistry*, Vol.337, No.127750, pp.1-12, Jul. 2021.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127750

[12] Y. H. Jo, D. S. An, D. S. Lee, "Effectiveness of real-time oxygen control in fresh produce container equipped with gas-diffusion tube", *Korean Journal of Packaging Science and Technology*, Vol.19, No.3, pp.119-123. 2013.
https://koreascience.kr/article/JAKO201317741960568

[13] Y. H. Jo, D. S. An, D. S. Lee, "Atmosphere and green pepper quality influenced by active air flushing in fresh produce container controlled in real-time O_2 concentration", *Korean Journal of Packaging Science and Technology*, Vol.20, No.2, pp.29-33. 2014.
https://koreascience.kr/article/JAKO201403760396459

[14] K. C. Gross, C. Y. Wang, M. Saltveit, "The commercial storage of fruit, vegetables, and florist and nursery stocks", *USDA Agriculture Handbook number 66*, Agriculture Research Service, Washington DC, USA, pp.7-9, 2016.
https://ars.usda.gov/arsuserfiles/oc/np/commercialstorage/commercialstorage.pdf

김 진 세(Jin-Se Kim) [정회원]

- 2000년 2월 : 고려대학교 물리학과 (물리학석사)
- 2018년 8월 : 충남대학교 농기계공학과 (농기계공학박사)
- 2013년 10월 ~ 현재 : 국립농업과학원 수확후관리공학과 농업연구사

〈관심분야〉
물리학, 농업공학

최 동 수(Dong-Soo Choi) [정회원]

- 1993년 2월 : 충남대학교 농업기계공학과 (농업기계공학석사)
- 2001년 2월 : 충남대학교 농업기계공학과 (농업기계공학박사)
- 1998년 2월 ~ 현재 : 국립농업과학원 수확후관리공학과 농업연구사

〈관심분야〉
농업공학, 냉동공학