

## DCA 저장을 위한 기체환경제어 특성 분석

박 찬 완\*, 최 동 수\*, 김 용 훈\*, 김 진 세\*, 손 재 용<sup>o</sup>Gas Environment Control Characteristic Analysis for  
Dynamic Controlled Atmosphere StorageChun Wan Park\*, Dong Soo Choi\*, Yong Hoon Kim\*, Jin Se Kim\*, Jae Yong Son<sup>o</sup>

## 요 약

CA저장은 산소농도를 낮춰 농산물의 생리작용을 억제하고 저장기간을 연장시키는 저장기술이다. 최근 기체제어 장치의 성능 향상으로 보다 정밀한 기체환경제어가 가능해지며 ULO-CA, D-CA에 관한 연구가 진행되고 있다. 하지만 국내에서 CA저장설비에 관한 연구는 매우 제한적으로 이루어지고 있으며, 정밀기체환경 제어를 위해 기체환경제어에 영향을 주는 요인을 파악하고 이론적 설계를 위한 기초자료 확보가 시급한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 DCA저장 중 초기 제어 과정인 산소 제거 특성을 관찰하고자 하였다. 이를 위해 PSA방식의 질소발생기 및 이산화탄소제거기를 기밀이 유지되는 저장고에 각각 배출식과 순환식으로 연결하였고 대기(O<sub>2</sub> 21%)에서 2%까지 산소제거 과정을 관찰하였다. 운전조건은 온도조절을 위한 냉각운전의 유무와 질소발생기 단독운전 및 질소발생기와 이산화탄소제거기의 복합운전으로 나누어 진행하였다. 또한 기체치환에측식 계산 결과와 실험 결과를 비교하여 설계에 필요한 기초자료를 확보하고자 하였다. 그 결과, 냉각기의 운전 유무에 따른 저산소(5-2%)구간의 산소제거 시간은 각각 34, 99시간으로 냉각운전에 의한 외기유입 영향을 확인하였고, 복합운전이 산소제거에 34시간으로 가장 빠르게 제어를 완료했다. 이때, 이산화탄소제거기는 6 Nm<sup>3</sup>/h의 질소를 공급한 것과 동일한 성능으로 예측되었다. 따라서 정밀한 기체환경제어를 위해서 냉각속도에 의한 부피변화보다 높은 공급유량을 갖는 기체제어장치가 요구되며, 대형저장고의 경우 질소발생기와 이산화탄소제거기의 복합운전이 효율적일 것으로 판단된다.

**키워드** : DCA 저장, 질소발생기, 이산화탄소제거기, 기체환경제어, 농산물

**Key Words** : DCA storage, Nitrogen generator, Carbon dioxide, Controlled atmosphere, Agricultural product

## ABSTRACT

In this study, we observed the oxygen removal process, which is the initial control process during CA storage, to identify the factors affecting precise gas environment control and to secure theoretical basic design data. For this purpose, the PSA-type nitrogen generator and carbon dioxide scrubber were connected to the airtight storage by exhaust and circulation-type, respectively, and the oxygen removal process was observed from the atmosphere (O<sub>2</sub> 21%) to 2%. The operating conditions of the CA system were divided into the

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

• First Author : Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, chunwan1@korea.kr, 정회원

o Corresponding Author : Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, Son1892@korea.kr, 정회원

\* National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, (kmn8824, csy21780, choi0ds, yhkim, ferroj)@korea.kr

논문번호 : 202109-229-0-SE, Received August 30, 2021; Revised October 25, 2021; Accepted October 27, 2021

presence or absence of cooling operation for temperature control, single operation of the nitrogen generator, and combined operation of the nitrogen generator and carbon dioxide scrubber. In addition, the basic data needed for the design was obtained by comparing the results of the gas replacement prediction formula calculation with the experimental results. As a result, the oxygen control time of the low oxygen (5-2%) section according to the operation of the cooling device was 34 and 99 hours, respectively, and the outside air inflow effect by the cooling operation was confirmed. At this time, the carbon dioxide scrubber was predicted to be the same performance as the nitrogen supply of 6 Nm<sup>3</sup>/h.

### I. 서 론

농산물 장기저장을 위한 CA저장시스템은 크기에 따라 보급형<sup>[1]</sup>, 시설형<sup>[2]</sup> 그리고 팻릿단위 CA저장<sup>[3]</sup>으로 구분되어 개발 및 운영되고 있다. 특히, 농산물의 호흡량을 최대한 억제시키기 위한 ULO(Ultra low oxygen) CA<sup>[4]</sup>는 저산소 장애 발생 우려가 있어 정밀한 산소농도 제어가 필요하다. CA저장 초기 저장고 내부의 기체조절은 농산물의 호흡을 이용하였으나 산소농도를 급격히 낮추었을 경우 발생하는 이점들이 밝혀짐에 따라 다양한 방법으로 산소농도를 제거하기 위한 연구가 진행되었다.<sup>[5,6]</sup> 1990년대까지 프로판 버너를 이용해 산소와 이산화탄소를 교환했으나 추가적으로 이산화탄소를 제거하거나 불완전 연소에 의한 에틸렌이 발생하는 등 문제점이 발생했다. 이후 PSA(Pressure swing absorber) 또는 HFM(Hollow fiber membrane)을 이용한 질소공급장치를 이용하여 고농도의 질소를 생산하고 이를 저장고 내부로 공급하여 저장고 내부 기체와 질소를 치환하는 방식이 주로 이용되고 있다.

Park et. al.<sup>[11]</sup>은 PSA 질소발생기를 이용하여 배출식 CA저장고의 기체교환 특성에 대해 연구하였고 대형유통사에서 운영하는 순환식 CA저장고와의 기체조절 특성이 다르며 CA저장 설계를 위한 기초적인 데이터가 부족함을 언급하였다.

하지만 국내에서 CA저장 관련 연구는 주로 농산물의 CA 저장을 위한 산소 및 이산화탄소 적정 농도 구명에 대해 연구되어 왔으며<sup>[7-9]</sup>, 사과를 이용한 품질에 측연구도 수행되고 있다.<sup>[10]</sup> CA저장 시스템 장치, 기체제어장치, 센서, 제어알고리즘 등 기술 구현에 관련된 연구는 극히 제한적으로 이루어져 왔다. 따라서 CA저장 시스템의 체계적인 기술 개발과 정밀한 기체환경 제어를 위해서는 기체환경제어에 영향을 주는 요인을 파악하고 이론적 설계를 위한 기초자료 확보가 시급한 실정이다.

본 연구에서는 PSA방식으로 제작된 질소공급장치와 이산화탄소 제거장치를 기밀이 유지되는 저장고에 연결하여 다양한 조건에서 기체조절을 진행하므로써 DCA운전 초기 산소가 제거되는 과정을 관찰하였다. 세부적으로 냉동기의 동작상태, 배출식으로 연결된 질

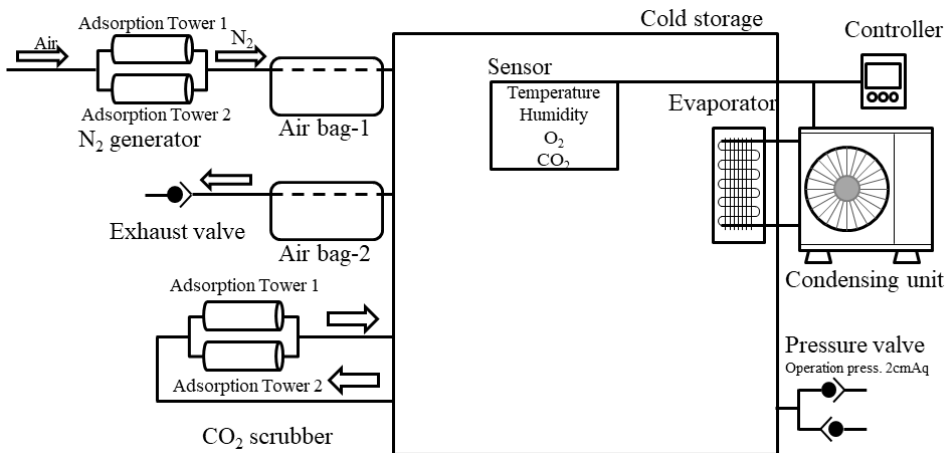


그림 1. 기체환경제어 특성분석을 위한 CA저장 시험장치 개략도  
Fig. 1. Experimental device for analysis of oxygen control characteristics

소발생기와 순환식으로 연결된 이산화탄소제거장치를 이용해 산소가 제거되는 과정을 이론식과 비교하였고, 기체조절에 영향을 주는 세부인자를 파악하여 정밀 기체환경제어를 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1 CA저장시스템 구성 및 기체환경제어

#### 2.1.1 CA저장시스템

CA저장시스템은 기밀이 유지되는 저온저장고, 기체제어장치, 통합센서, 냉각장치 및 컨트롤러로 구성 되어있다. 저온저장고는 6.75×6.15×3.48m로 제작되었으며, 기밀은 20분 이상 유지할 수 있다. 기체제어 장치는 PSA 방식으로 동작하며 흡착제로 CMS(Carbon molecular seive)를 이용한다. 이때 질소발생기(GNG-2n-6 GSA Co., Gwangju, Korea)는 6 Nm<sup>3</sup>/h의 유량으로 질소를 공급한 후 내부 기체를 외부로 배출하는 배출식으로 연결되었으며, 이산화탄소 제거기(GSA CO2-1.5n-13n, CSA Co., Gwangju, Korea)는 내부공기를 흡입하여 이산화탄소를 2.04kg/h(at 8%) 제거한 뒤 다시 저장고 내부로 공급하는 순환식으로 연결되었다. 통합센서(SHVT-250-O2, Sohatech co. Seoul, Korea)는 온도, 습도, 산소, 이산화탄소를 측정할 수 있다. 컨트롤러는 통합센서로 측정된 기체농도와 입력된 설정농도에 맞춰 기체제어장치 동작신호를 출력하도록 되어있으며, 질소발생기 단독 또는 질소발생기와 이산화탄소제거기를 동시에 운전할 수 있다. CA저장시스템은 기체압력에 대한 두가지 안전장치를 포함한다. 첫 번째는 질소발생기의 공급, 배출구에 공기주머니를 설치하고 진공압 및 양압이 300Pa을 초과할때 개방되는 압력제어 밸브를 설치하여 기체공급 및 온도변화에 의한 압력 변화에 구조물이 파손되지 않도록 압력제어를 진행하였다.

#### 2.1.2 기체환경제어 알고리즘

기체환경제어 알고리즘은 그림 2에 플로우차트를 이용해 나타내었다. 통합센서를 이용해 저장고 내부환경을 측정한 후 설정값과 비교하여 산소농도제어가 필요할 경우 질소발생기 또는 질소발생기와 이산화탄소제거기를 동시에 동작시킨다. 질소발생기와 이산화탄소제거기를 동시에 운전시킬 때 질소발생기는 질소농도 조절을 위해 퍼지운전 과정이 포함된다. 이때 이산화탄소제거기는 압력조절을 위해 질소발생기 퍼지

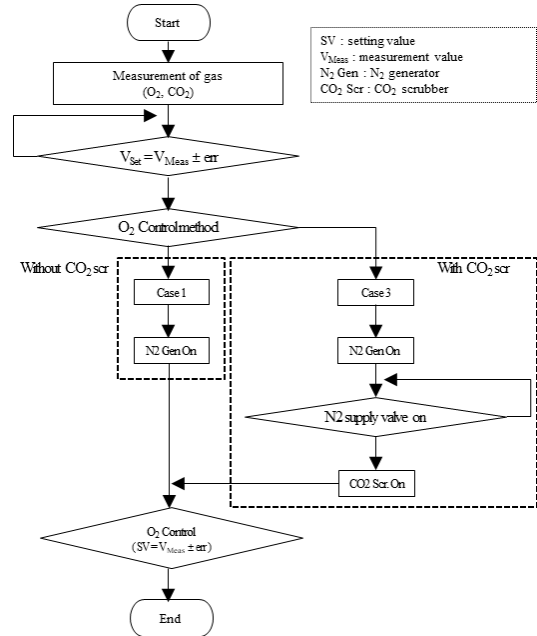


그림 2. 산소농도 제어 알고리즘 플로우 차트  
Fig. 2. flow chart for oxygen concentration control algorithm

운전이 종료된 후 질소가 공급되는 경우에만 동작하도록 한다.

### 2.2 기체제어 방법 및 이론식

#### 2.2.1 산소제거 방법

산소제거는 이론식 적용의 타당성 검증, 냉각상태의 유무 및 이산화탄소제거기의 효과를 검증하기 위해 표 1과 같이 조건을 설정하였다. Case 1은 외부영향을 최소화 하기 위해 냉동기가 동작되지 않으며, Case 2는 냉각상태시 온도차에 의한 압력변화가 산소제거에 미치는 영향을 파악하고자 0℃로 온도제어를 진행했다. Case 3은 순환식으로 연결된 이산화탄소 제거기와 질소발생기를 동시에 동작시켜 이산화탄소 제거기가 산소제거에 미치는 영향을 파악하였다.

#### 2.2.2 Sweep through Purging 이론 적용

기체가 제거되는 과정은 Sweep through purging 과정과 동일하다. 이때 산소농도를 제거하는데 걸린 시간은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.<sup>[5]</sup> 식 (1)은 다시 최종 산소농도(O<sub>f</sub>)로 정리하게 되면 식 2와 같이 나타낼 수 있으며 시간에 따른 저장고의 산소농도 변화를 예측할 수 있게 된다. 이때 t는 산소제어에 걸린 총 시간, A는 저장고 체적, f는 질소공급유량, O<sub>i</sub>는 초기산

표 1. 산소제어 시험 조건

Table 1. Experimental condition for oxygen concentration control.

	Gas control device			
	N <sub>2</sub> Generator	N <sub>2</sub> concentration	CO <sub>2</sub> Scrubber	Cooler
Case1	On	99%	Off	Off
Case2	On	99%	Off	On
Case 3	On	99%	On	Off

Theoretical analysis using Eq. 2

Case4 (4-1=Case 1, 4-3=Case3 calculation)  
 $A=144.3\text{ m}^3$ ,  $f=6\text{ Nm}^3/\text{h}$ ,  $O_i=20\%$ ,  $O_s=1.2\%$

산소농도,  $O_s$ 는 공급산소농도,  $O_f$ 는 최종 제어 농도이며, 공급산소농도는 (100-질소공급농도)이다.

$$t = \frac{A}{f} \ln\left(\frac{O_i - O_s}{O_f - O_s}\right) \quad (1)$$

$$O_f = (O_i - O_s) \exp\left(-\frac{t \times f}{A}\right) + O_s \quad (2)$$

### 2.2.3 소비전력 산출

기체조절장치는 2.2kW의 공기압축기를 사용하며 부수적인 제어장치는 전체전력의 9% 미만을 차지한다. 따라서 압축기의 소비전력( $P_{comp}$ )과 제어장치의 소비전력( $P_{cont}$ )을 이용하여 약식 계산한 후 전체 동작시간( $t_{oper}$ )을 곱해 소비된 전력량(kWh)을 식 3과 같이 계산하였다.

$$W = (P_{comp} + P_{cont}) \times t_{oper} \quad (3)$$

## III. 결과

### 3.1 조건에 따른 산소제거 과정 및 환경변화

그림 3은 기체조절이 진행되는 과정동안 환경변화를 관찰한 그래프이다. 측정된 상대습도는 온도의 영향 때문에 그 변화과정은 상이하나, Case 1-3 모두 건조한 질소의 공급으로 인해 지속적으로 낮아지는 경향을 보인다. Case 2의 경우 상대적으로 높은 상대습도를 유지하고 있으며, 이는 냉각운전으로 내부 온도가 낮아져 상대습도가 높아졌기 때문이다.

### 3.2 온도조절에 의한 차이

그림 4는 저장고 냉각의 유무에 따라 산소농도가

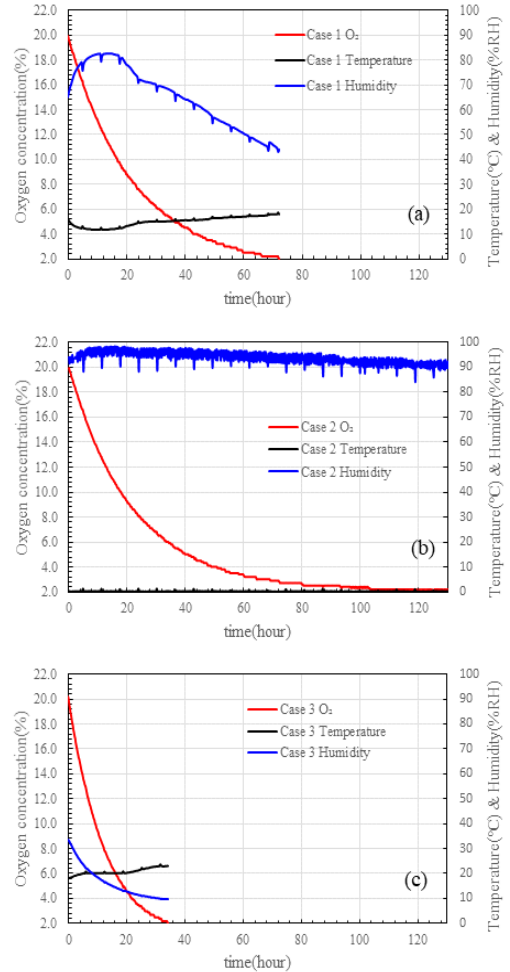


그림 3. 산소농도 조절에 따른 환경변화. (a)Case 1, (b)Case 2, (c)Case 3

Fig. 3. Environmental changes of CA storage during oxygen concentration control (a)Case 1, (b)Case 2, (c)Case 3

변화하는 구간별 소요시간을 나타낸 그래프이다. 산소농도가 20%에서 5%까지 감소하는데 걸린시간은 Case 1이 37시간, Case2가 40시간으로 3시간정도 차이가 발생하였으나, 이후 산소농도가 5%에서 2%까지 감소하는데 걸린 시간은 각각 34시간, 99시간으로 Case 2가 약 3배 길게 나타났다. 이는 저장고의 냉각 운전시 온도가 급격하게 감소함에 따라 저장고 내부에 진공압이 발생하고, 압력제어밸브를 통해 외기가 내부로 유입됨에 따라 산소제거가 지연되기 때문으로 판단된다. 그림 5에 제어구간에 따라 소비되는 시간을 전체 제어시간에 대한 백분율로 나타냈다. Case 1은 산소농도 20%에서 5%까지 제어시간 비율이 약 51.6%이며, Case 2의 경우 28.7%를 차지한다. 즉, 냉

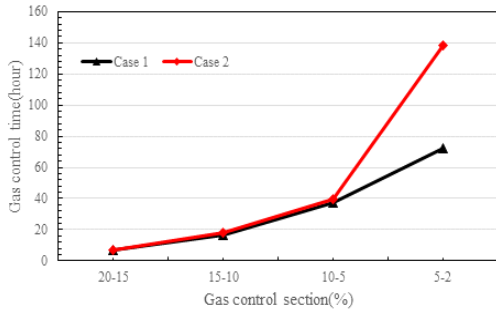


그림 4. 산소농도 구간별 제어시간  
Fig. 4. The time required for oxygen concentration control section

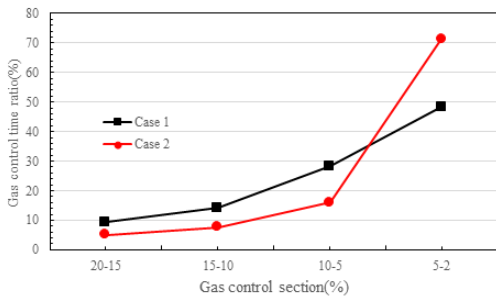


그림 5. 산소농도 구간별 제어 시간 비율  
Fig. 5. Control time ratio for oxygen control section

각운전이 진행될 때 외기의 유입은 산소 제거과정을 지연시키는 요인으로 작용할 수 있으며 특히 저산소 구간에서 과도한 질소공급량을 요구할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 적절한 크기의 공기주머니 설계 또는 냉각속도, 질소공급유량의 요인설계가 필요하다.

### 3.3 이산화탄소 제거기의 효과

PSA 방식의 이산화탄소 제거기는 이산화탄소뿐만 아니라 산소도 함께 제거하게 된다. 이러한 특성을 활용하여 질소발생기와 이산화탄소제거기의 복합운전을 통해 산소제거 효과를 확인하였다. 그림 6은 Case 1과 Case 3의 결과 및 Case 4를 Case 1과 Case 3에 적용하여 산출한 결과를 나타낸 그래프이다. Case 1은 식 (2)를 이용해 계산한 Case 4-1과 비교했을 때, 표준오차 0.008로 기체치환 해석모델은 매우 높은 적합성을 갖는다. 이산화탄소제거기의 효과를 확인하기 위해 Case 3에 기체치환 해석모델(식 2)을 적용하고 질소공급유량을 변화시켜 이산화탄소제거기의 효과를 질소공급유량으로 환산시켰다. 그 결과 표준오차 0.015로 질소공급유량

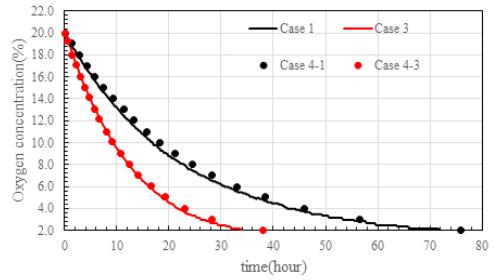


그림 6. 예측식을 이용한 이산화탄소 제거기의 산소제거 효과 관찰  
Fig. 6. Observation of oxygen control effect of carbon dioxide scrubber using predictive equation

6 Nm<sup>3</sup>/h 공급유량을 추가한 효과 즉, 12 Nm<sup>3</sup>/h를 공급한 결과와 동일할 것으로 예측되었다.

그림 7은 Case 1과 Case 3의 산소농도 제어구간별 시간을 나타낸 그래프이다. 기체치환 해석모델을 이용해 분석한 결과 Case 3은 Case 1의 약 2배 질소를 공급한 결과와 동일하게 나타났으며, 각 구간별 제어시간 역시 Case 3이 Case 1에 비해 산소농도 제어시간이 1/2로 줄어든 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 Case 1과 Case 2의 산소농도 제어구간별 소요된 시간 비율을 나타내고 있다. 제거에 소요된 시간은 약 1/2로 줄어들었지만 구간별 소요 시간 비율은 Case 3이 더 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 PSA 방식의 이산화탄소제거기 특성 및 기체제어장치 운전 알리듬에 의한 것으로 판단된다. 이산화탄소제거기는 단독으로 운전시 저장고 내부기체를 지속적으로 제거하므로 저장고는 진공압이 점차 증가하게 된다. 따라서 질소발생기의 질소공급이 시작될 이후에 운전을 시작하게 되며 이후, 안정적으로 이산화탄소를 제거하기까지 약 20-30분이 소비된다. 이로 인해 조기 산소

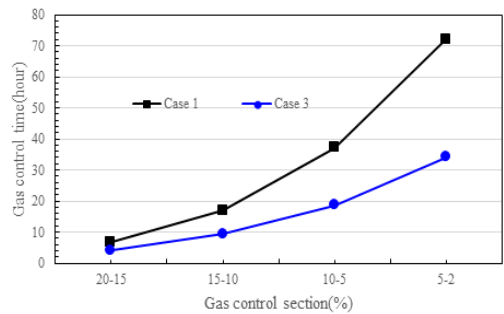


그림 7. 이산화탄소제거기 추가에 따른 산소농도 구간별 제어시간 비교  
Fig. 7. Comparison of control time by oxygen concentration section with adding carbon dioxide scrubber

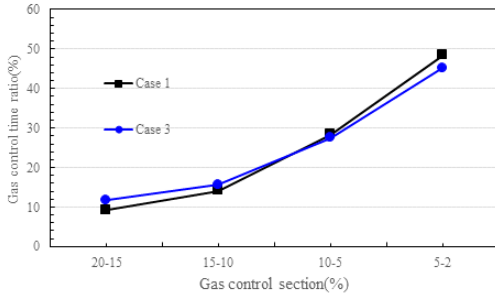


그림 8. 이산화탄소제거기 추가에 따른 산소농도 구간별 제어시간 비율  
 Fig. 8. Control rime ratio for each oxygen concentration section with adding carbon dioxide scrubber

농도 제어시간 비율이 높은 것이며, 이러한 기계적 특성을 고려하여 이산화탄소제거장치를 운전해야 한다.

### 3.4 소비전력 비교

그림 9는 식 (3)을 이용하여 각 조건에 따른 산소농도 제어 구간별 소비된 소비전력량을 나타낸 그래프이다. Case 1에서 Case 3은 각각 총 소비전력이 171.6, 330, 161.8kW 산출 되었다. 특히, 산소농도 5%에서 2%까지 제거하는데 소비전력은 Case 1, 3에서 각각 45%, 48.4%를 차지하고 있어 저산소 제어를 위한 전력소비가 높은 것을 알 수 있다. 또한 냉각에 의한 외기가 유입될 경우 Case 2의 산소농도 20%에서 5%까지 소비전력은 Case 1, 3과 유사하지만 5%에서 2%구간 소비전력이 크게 늘어났다. 에너지 효율을 높이기 위해서는 저장고의 냉각속도에 의한 부피 변화보다 높은 질소공급량을 주입하여 외기의 영향을 최소화 해야 하며, 소비전력 비율이 높은 5% 이하의 산소 제거과정은 농산물의 호흡을 이용하여 소비전력을 줄일 수 있다. 따라서 초기 CA저장 환경이 농산물에 미치는 영향에 관한 추가 연구가 필요할 것으로 사

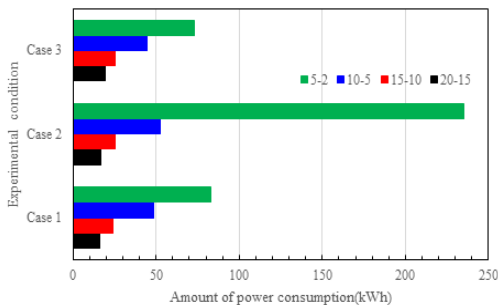


그림 9. 시험조건별 소비 전력량 산출  
 Fig. 9. Power consumption calculation by test conditions

료 된다.

## IV. 결론

본 연구에서는 PSA방식으로 동작하는 질소발생기와 이산화탄소제거기를 기체제어 알고리즘을 이용하여 제어함으로써 운전조건에 따른 CA저장고 내부의 기체환경변화 특성을 관찰하였다.

냉각기의 운전은 저장고 내부의 기체부피 변화를 유발하고 외기를 유입시켜 저산소(5-2%)구간의 산소 제어시간을 급격히 증가시켰다. 질소발생기와 이산화탄소제거기 복합운전 결과 PSA 및 압력제어를 고려한 작동 알고리즘 특성으로 초기산소제어에 걸린 시간비율이 높았으나 질소 6 N/m/h의 공급효과를 확인하였다. 기체제어에 소비된 총 전력량은 Case 2가 저산소 구간에서 높은 전력소비를 보였으며, Case 3이 161.8kWh로 가장 적게 나타났다.

정밀한 기체제어를 빠르게 수행하기 위해 외기의 유입을 억제해야 함을 Case2에서 확인하였다. 이는 저장고의 냉각속도에 따른 부피축소량보다 질소의 공급량이 높거나 공기주머니, 기밀저장고 기체 배출관의 외기 역류방지, 압력밸브 등을 이용하여 외기유입을 최소화 해야함을 알 수 있다. 또한 질소발생기와 이산화탄소제거기를 복합운전한 Case 3이 가장 빠르게 기체제어를 완료했으며 소비전력이 낮았다. 하지만 기체 제어장치의 높은 초기비용을 고려 할 경우 보급형(16.5m<sup>3</sup> 이하)은 질소발생기 단일운전, 시설형(66m<sup>3</sup> 이상)의 경우 복합운전이 효율적일 것으로 판단된다. 또한, 농산물의 생리상태를 고려한 5% 이하의 기체조절 연구는 CA저장의 효과를 극대화 하며 기체조절장치의 에너지 소비를 절약을 가능하게 할 것이다.

## References

- [1] S. H. Park, C. W. Park, M. N. Kim, S. Y. Choi, D. S. Choi, J. S. Kim, Y. H. Kim, and S. J. Lee, "The characteristics of gas exchange for purge-type in a controlled atmosphere storage system," *J. Food Eng. Progress*, vol. 22, no. 2, pp. 118-125, 2018.
- [2] C. W. Park, S. H. Park, J. S. Kim, D. S. Choi, Y. H. Kim, S. J. Lee, and J. Y. Yong, "Effects of controlled atmosphere storage of 'Sangjudungsi' persimmon," *J. Food Eng. Progress*, vol. 24, no. 2, pp. 133-140, 2020.

- [3] H. H. Chun, E. J. Choi, J. H. Lee, J. Y. Son, and C. W. Park, "Quality prediction and change in quality of Kimchi Cabbages stored under a pallet unit-controlled atmosphere," *J. Food Eng. Progress*, vol. 24, no. 3, pp. 191-199, 2020.
- [4] A. Ortiz, J. Graell, and I. Lala, "Cell wall-modifying enzymes and firmness loss in ripening 'Golden Reinders' apples: A comparison between calcium dips and ULO strage," *J. Food Chem.*, vol. 128, no. 4, pp. 1072-1079, 2011.
- [5] E. M. Yahia, *Modified and controlled atmosphere for the storage, transportation and packaging of horticultural commodities*, Boca Raton, FL, USA, CRC Press, pp. 33-38, 2008.
- [6] G. L. Malcolm, "Advancements in the implementation of CA technology for storage of perishable commodities," *Acta Hort.*, vol. 682, pp. 1593-1597, 2005.
- [7] J. S. Kang and G. H. Hong, "Effects of storage gas concentration on the qualities of Garlic (*Allium sativum* L.) bulb during CA storage," *Korean J. Postharvest Sci. and Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 258-263, 2001.
- [8] S. Y. Choi, M. A. Cho, Y. P. Hong, I. K. Hwang, D. S. Chung, and S. K. Yun, "Suppression of chilling injury and maintenance of quality characteristics in Prunus Mume Fruits stored under controlled atmosphere," *Korean J. Food Preservation*, vol. 18, no. 2, pp. 143-148, 2011.
- [9] E. J. Lee, S. Y. Choi, M. A. Cho, Y. P. Hong, J. W. Choi, and D. S. Chung, "Quality maintenance and suppression of chilling injury of 'Akihime' Plum fruits stored under controlled atmosphere," *J. Hort. Sci. and Technol.*, vol. 31, no. 6, pp. 732-739, 2013.
- [10] M. N. Kim, J. Y. Son, C. W. Park, S. 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.

**박 천 완 (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]

**최 동 수 (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]

**김 용 훈 (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 : 국립농업과

학원 수확후관리공학과 농업연구사

<관심분야> 냉동공학, 저장유통공학

[ORCID:0000-0001-5514-3445]

손재용 (Jae Yong Son)



1993년 2월 : 경북대학교 농업기계공학과 학사

1995년 8월 : 경북대학교 농업기계공학과 석사

2004년 8월 : 경북대학교 생물산업기계공학과 박사

1992년 7월~현재 : 국립농업과

학원 수확후관리공학과 농업연구관

<관심분야> 저장유통기계, 근적외선 분광분석

[ORCID:0000-0003-3559-0082]