

저장고 내부 위치에 따른 저장환경과 복숭아 'Kunika'의 품질 분석

박천완¹, 조세라², 최동수¹, 김용훈¹, 김승희³, 송주희^{3*}
¹국립농업과학원 수확후관리공학과, ²국립농업과학원 기후변화평가과, ³국립농수산대학교 원예학부

Storage Environment according to Storage Position and Quality Analysis of 'Kunika' Peach

Chun Wan Park¹, Se Ra Jo², Dong Soo Choi¹,
Yong Hun Kim¹, Seung Heui Kim³, Ju Hee Song^{3*}

¹Division of Postharvest Engineering, National Institute of Agricultural Sciences

²Division of Climate Change Assessment, National Institute of Agricultural Sciences

³Faculty of horticulture, Korea National University of Agriculture and Fisheries

요약 본 연구는 냉장실 내부의 환경적 특성과 저장 복숭아 "kunika"의 품질 변화를 분석하여 저장환경과 복숭아 저장 품질의 상관관계를 분석하고자 수행되었다. 저장환경 측정을 위해 CA 저장고 내부 9개소에 온도 및 습도 센서를 설치하였고, 복숭아는 동일한 위치에 저장하였다. 그 결과, 냉장실의 냉각, 적재, 제상 작업 동안 온도와 습도가 주기적으로 변화하는 것으로 나타났다. 제상 운전 시 상단의 온도는 높게 올라가고, 증발기 부근의 상대습도는 52% 감소했습니다. 냉장실 내부의 온도 및 습도 데이터에 대한 EOF 분석을 통해 모드 1의 변동성은 습도의 영향을 크게 받는 것으로 나타났습니다. 습도가 가장 낮은 곳에서 체중 감량이 12.8%로 가장 높았다. 2주 후 보관일에 따른 경도와 가용성 고형분의 차이는 크지 않았다. 품질과 위치의 상관관계 분석에서는 수평방향보다 수직방향에서 더 큰 차이를 보였다. 품질과 저장 환경 변동성의 차이도 수직방향에서 높게 나타났으나, 온도, 습도, 풍속을 개별적으로나 종합적으로 좀 더 세밀하게 분석할 필요가 있다.

Abstract This study was carried out to determine the relationship between the environmental characteristics of kunika peach quality in cold storage in varying conditions. To measure the storage environment's temperature and humidity, sensors were installed at 9 points inside a CA storage facility, and peaches were stored in the same position. The results showed that the temperature and humidity changed with periodicity during the cooling, loading, and defrosting operations of the cold storage. During the defrost operation, the temperature at the top of the storage facility rose high, and the relative humidity near the evaporator decreased by 52%. EOF analysis of the temperature and humidity data inside the cold storage showed that the variability in Mode 1 was strongly influenced by humidity. Weight loss was highest at 12.8% at the position where the lowest humidity was measured. Hardness and soluble solids did not differ significantly according to the storage date after 2 weeks. Correlation analysis between quality and position showed a greater difference in the vertical direction than the horizontal direction. The difference between quality and storage-environment variability was also higher in the vertical direction, but more detailed analysis of temperature, humidity, and wind speed individually and collectively is needed.

Keywords : Cold Storage, Controlled Atmosphere Storage, Peach, Stored Position, Quality

본 연구는 농촌진흥청 농업과학기술 연구개발사업(PJ01563002)의 지원에 의해 이루어진 것임.

*Corresponding Author : Ju Hee Song(National University of Agriculture and Fisheries)

email: Songg11@korea.kr

Received October 5, 2023

Revised October 30, 2023

Accepted November 3, 2023

Published November 30, 2023

1. 서론

원예산물의 수확 후 손실은 생산자로부터 소비자까지 유통되는 전 과정에서 발생하며, 저장과 유통 과정 중 발생하는 중량 감소나 부패 등의 상품성 상실로 인한 양적 손실과 영양성분의 감소, 식미, 색택 변화 등의 질적인 손실이 발생된다[1,2]. 국내 원예산물의 수확 후 손실률은 20~30% 정도로 미국과 같은 선진국(10% 내외)에 비교하면 높은 수준이다[2]. 이러한 수확 후 손실률을 최소화하기 위해 농산물 특성에 맞는 온도, 습도 등 최적의 저장 조건 설정[3,4], 수확 전·후 처리기술[2,5,6] 포장방법[7-9] 등의 기술이 연구되고 있다.

이중 기체제어(CA, Controlled Atmosphere, 이하 CA저장) 저장기술은 기밀이 보장되는 저장고의 기체환경을 인위적으로 조절하여 농산물의 생리작용을 억제함으로써 저장 기간을 연장하는 기술이다. 이때 기체환경 제어는 질소발생기를 이용하여 저장고를 퍼지(purge)하는 방식으로 질소의 농도, 저장고 내부 온도변화, 기류 등이 내부 환경에 영향을 미친다. 저장고의 내부 온도는 대부분 각 농산물의 동결점에 가까이 유지되나 이때 나오는 냉각 기류 등에 의한 내부 온도의 불균일성이 품질 변화 및 저장력에 악영향을 미치는 요인으로 작용한다. 이러한 이유로 저온저장고 내부의 공기유동 분석[10,11], 온도분포 및 공기유동과의 상관관계[12] 및 저온저장고 내부 냉기 유동의 순환구조 개선[13] 등 저장고 온도 균일도 분석이나 저장고 내 온도 편차를 줄이는 방법[14] 등이 다양한 각도에서 시도되고 있다. 하지만 저장고 내 저장하는 위치별 기체환경이 저장 중 농산물의 품질 변화에 미치는 영향을 분석한 연구는 찾아보기 어렵다.

복숭아는 우리나라에서 3번째로 많이 재배하는 과종으로 2021년 기준 재배면적은 1만 9,475ha이며 생산량은 19만 5천톤 수준이다[15]. 호흡급등형 과일인 복숭아는 다른 과종에 비해 수확 후부터 과실의 연화가 급격하게 일어나며 저장력이 약해 수확철 홍수 출하된다[16]. 대부분의 복숭아는 여름철 고온다습한 환경에서 수확됨으로 수확 후 저장과 유통과정에서 부패과가 발생하는 양적 손실과 조직의 물러짐, 변색 등의 질적 손실이 쉽게 발생된다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험재료 및 저장방법

본 연구는 2021년 8월 9일 전북 남원에서 수확한 복숭아 '홍금향'을 사용했다. 외관손상이 없는 340~420g 사이의 복숭아를 선별하여 난좌(9~11좌)에 고정된 뒤 종이상자에 포장하여 CA 저장 컨테이너에 Fig. 1과 같이 위치를 구분하여 저장하였다.

저장시험을 위한 컨테이너는 국립농업과학원 농업공학부에 설치된 CA 저장고(2.5×3×2.9m)를 이용하였다. 컨테이너에 입고하기 전에 5℃에서 1일간 예냉하여 복숭아 품온을 24.6℃에서 6.6℃까지 낮춘 후 입고하였다. 저장온도는 복숭아 저온장해 특성을 고려하여 5±1.0℃로 제어했다. CA 저장을 위한 기체환경은 최저 O₂ 농도 1%, 최대 CO₂ 농도는 5%로 보고되고 있으나[17,18] 저산소 장해 및 고이산화탄소 장해를 최소화하기 위해 O₂ 2-2.5%, CO₂ 0.2-2.0% 범위로 제어했다. 내부의 기체환경 측정은 통합센서(SH-VT-250-O2, Sohatech Co.,

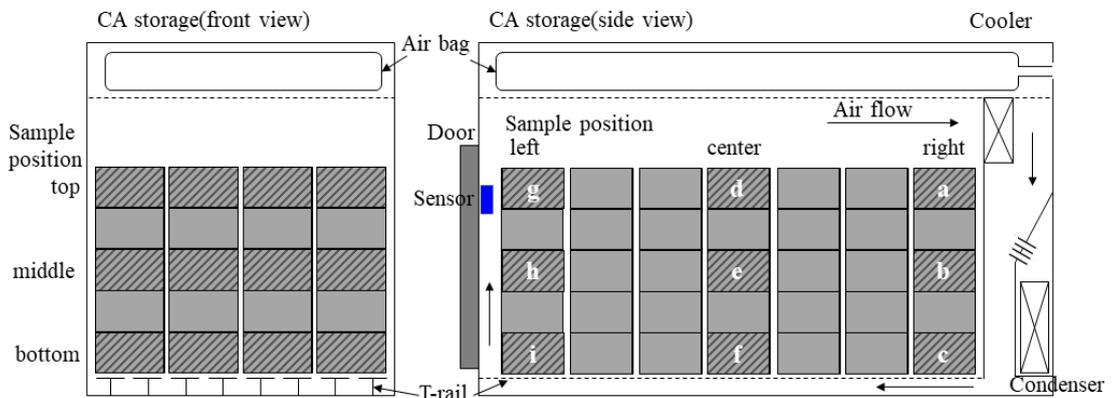


Fig. 1. Position of peach samples in CA storage

Seoul, Korea)를 이용했으며, 기체환경 조절은 CA 제어장치(DDC-478 & SM-7000T, Systronics Co., Bucheon, Korea) 및 질소발생기(10Nm³/h, GNG-2n-10, GSA Co., Gwangju, Korea)를 이용하여 O₂와 CO₂ 농도를 정밀하게 제어하였다.

2.2 저장환경 정밀 분석

저장고내 온도와 습도 차이에 의하여 호흡률과 증산량이 변화함으로 저장위치에 따른 저장환경과 농산물의 품질변화를 관찰하기 위해 저장품질분석용 시료가 위치하는 9곳에 온도, 습도 측정이 가능한 센서(TR 72, T&D Co., Tokyo, Japan)를 이용해 관찰했다. 또한 환경정밀 제어를 위해 이용된 통합센서에서 측정된 온도(°C), 상대 습도(%), 산소(%), 이산화탄소(%)는 CA저장고 관리 서버에 1분간격으로 저장하였다.

2.3 저장 위치별 복숭아 ‘홍금향’의 품질변화

저장 위치에 따른 감모율은 저장 전 과실의 중량을 정밀저울(KERN PBS/PBJ 6200-2M, Kern & Sohn, Germany)로 측정하고 저장기간 동안 과실 중량 변화를 측정하여 백분율로 나타냈다. 경도는 과피를 3mm 두께로 제거 후 11mm 프루브를 이용하여 침투속도 2mm/s, 10mm 깊이로 물성측정기(TA.XT-plus, Stable Micro Systems, UK)로 측정해 검체를 풀어 관통 할때의 힘 값(N)으로 나타냈다. 가용성 고형물 함량은 착즙하여 디지털당도계(RX-5000a, Atago Co., Tokyo, Japan)로 측정해 °Brix로 나타냈다. 산 함량은 착즙액을 10배 희석하여 0.1N NaOH로 pH가 8.1까지 적정산도계(TitroLine 5000, SI Analytics, Germany)를 이용하여 적정하여 malic acid %로 환산하여 표시하였다[6,19-22]. 과피의 색차는 저장기간 동안에 선별된 고정시료를 이용하여 과피의 착색부와 비착색부를 색차계(Spectrophotometer CM-700d, Konica minolta, INC., Japan)로 측정하였으며, CIE L*(명도, lightness), a*(적색도, red-ness), b*(황색도, yellowness) 및 ΔE 값을 계산하여 표기하였다.

2.4 통계분석

복숭아 저장 처리구(저장기간, 저장위치)의 평균값 간의 차이는 SPSS (statistical package for the social science, Version 20, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 소프트웨어를 이용하여 일원배치 분산분석(ANOVA) 및

t-test 분석법으로 검증하였고, 유의적 차이가 있는 경우는 p<0.05 수준에서 Duncan의 다중검정 방법으로 사후분석을 실시하였다. 저장위치에 따른 이화학적 품질특성의 상관관계는 상관분석을 통해 Pearson 상관계수로 나타냈다. 실험결과는 평균값±표준편차로 나타냈으며 저장일 및 저장위치에 따른 유의관계는 알파벳을 활용하여 나타냈다. 저장고 위치에 따른 환경변화는 저장위치에 따른 온도, 습도, 풍속 데이터를 이용하여 EOF(empirical orthogonal function)분석을 했고, 위치별 저장환경 특성과 그 변화의 주요요인을 분석했다.

3. 결과 및 고찰

3.1 CA저장 저장위치별 저장환경 분석

3.1.1 저온저장고 운전동작 특성 분석

Fig. 2는 복숭아 ‘홍금향’을 저장하는 저장고 내부우측 상단(a)에서 24시간 동안 측정된 온도와 습도의 변화를 나타낸 그래프이다. 온도제어를 통해 저장고의 환경이 제어되고 있으며, 6시간 간격으로 냉각기의 열을 제거하는 제상운전이 진행되고 있다. 제상운전이 진행되는 동안에는 제상열이 내부로 확산되는 것을 방지하고 상층부에 고온의 열이 머물러 있도록 팬 동작이 정지된다. 제상운전 동안 냉각기의 열을 고온으로 녹이기 때문에 상대습도가 90.6%까지 증가했다. 제상이 완료된 후 제상열로 인한 냉각부하가 증가함에 따라 냉동기의 운전시간이 길어지고 이로인해 상대습도가 52.5%까지 급감하기도 하였다.

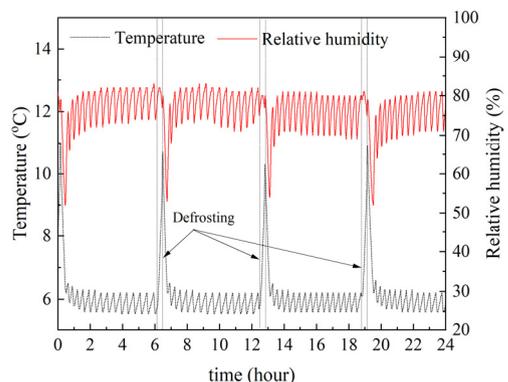


Fig. 2. Variations in temperature, relative humidity at position 1-1 inside a cold storage

3.1.2 저온저장고 위치별 저장환경 특성 분석

Fig. 3은 각 위치에서 저장환경 특성을 비교하기 위해 저온저장고 내부에서 저장기간동안 측정된 온도, 습도, 풍속 데이터를 Box plot으로 나타낸 그림이다. 저장고 온도는 $5^{\circ}\text{C} \pm 0.5$ 로 설정하였고 저장기간 동안 평균 5.6 $^{\circ}\text{C}$ 로 유지되었으며, 제상운전으로 최대 11°C 까지 상승되었다. 제상온도에 따른 온도 상승폭은 상부(a, b, c)가 가장 높게 나타났으며, 중심(e)에서 가장 일정한 온도 편차 및 비교적 낮은 온도가 유지되었다. 저장고 상부에 위치한 냉각기는 냉각운전동안 표면에 얼음을 형성하며, 이 얼음을 제거하기 위해 히터가 가동되는 동안은 냉각기 팬의 운전은 멈춘다. 따라서 저장고 상부는 가열된 공기층이 형성되고 하부는 냉각된 공기층이 형성되어 저장고 내부 온도를 성층화 시켰고 높이에 따른 온도분포를 통해 확인할 수 있다. 이러한 온도 편차는 저장고 내 보조덕트를 설치함으로써 기류의 효율적인 순환 효과로 저장고 내부 온도 분포에서 균일성을 개선시킬 수 있다[13].

저장고 내부의 평균 상대습도는 중심(e)이 99%로 가장 높았으며 증발기와 가장 가까운 위치인 (a)가 76.7%로 가장 낮았다. 냉각운전 중에는 공기 중의 수분이 냉각기 표면에 응결하여 상대습도가 낮아지게 된다. 특히, 냉각기 표면의 얼음을 녹이고 난 후 제상열원이 냉각부하를 증가시켜 냉각시간이 길어지게 되면 냉각기 표면에 가장 가까운 (a) 위치의 상대습도는 51%까지 낮아졌다. 반면에 기류가 약한 좌측 중간, 하단 및 중심부(b, c, e)는 90% 이상의 상대습도를 유지하여 위치에 따른 습도 차이를 보였다. 저장고 내부의 상대습도는 냉각운전이

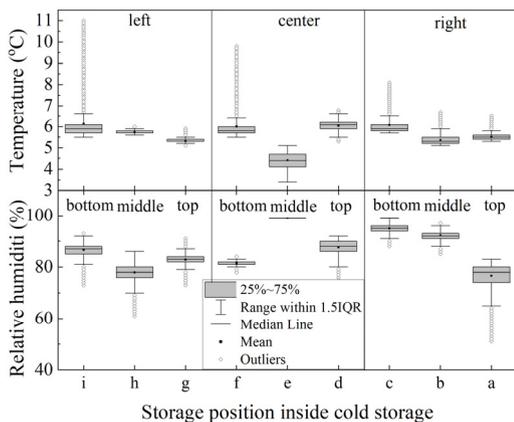


Fig. 3. Box plot of the IQR of temperature and relative humidity as a function of location inside the cold storage.

진행될 때 다습한 공기가 증발기의 낮은 표면온도에 쉽게 응축·결상되며 낮아지며, 제상과정을 통해 제상수가 외부로 배출되는 과정을 통해 수분손실이 진행된다[23]. 이러한 원리를 이용해 저온저장고에 저장중인 농산물의 감모율을 예측하기도 한다[24]. 이상의 결과로 볼 때, 상대습도 변화가 큰 저장 위치에서 높은 무게 감소율이 예상되며 온도가 높은 위치에서는 저장 중 호흡량이 높게 유지되어 선도 유지가 어려울 것으로 예상되었다.

3.1.3 위치별 온습도 변동성 분석

EOF 분석은 다변량 데이터 중 공간패턴과 그들의 시간적 변동성을 추출할 수 있다. 저온저장고는 냉각, 부하, 제상 사이클이 반복적으로 운전되는 시스템이다. 저장고 내부 구분된 공간에서 시간에 따른 온습도 변화를 측정하고 이를 EOF분석 할 경우 저장고 내부환경의 위치별 변동성을 파악할 수 있다. 저장고 내부환경의 변동성은 환경변화의 크기를 나타내며, 환경변화가 클수록 농산물의 품질유지 성능은 낮아질 수 있음을 예상할 수 있다. 또한, 위치별 환경변화특성을 파악함으로써 보다 정밀한 환경제어를 위한 기초자료로 활용할 수 있다.

Fig. 4는 분산설명비율이 39%, 22.9%로 가장 높은 모드 1과 모드 2를 나타낸 그래프이다. 모드 1에서 중심부(e)는 저장기간동안 온도와 습도의 변동성이 가장 작다. Fig. 3에서 온도 변화폭은 저장고 제어온도에 가장 큰 영향을 받지만 상대습도는 99%로 일정하게 유지되어 변동성이 낮게 나타났다. 중심부(e)와 중심 상부(d) 위치를 제외한 나머지 부분에서는 강도의 차이는 있지만 같은 방향의 변동성을 갖는다. 반면 중심 상부(d) 위치는 온도가 증가하면 습도가 감소하는 변동성을 보이고 있다. 이는 증발기 제상운전동안 상부의 온도가 상승하며 상대습도가 감소하기 때문으로 판단된다. 반면에 상부의 우측(a)과 좌측(g) 위치에서는 동일한 조건속에서 제상운전 동안 증발기 표면에서 발생한 증기가 온도차에 의한 대류 영향으로 위치 중심 상부(d)의 센서측정 지점보다 습증기를 빠르게 공급받아 상대습도가 함께 증가한 것으로 보인다. 모드 2에서는 중앙 하단(f) 위치를 제외하고 온도가 감소하면 습도는 증가하는 변동성을 보인다. 이는 냉각이 진행되는 동안에 증발기에 수분이 응축되며 나타나는 결과로 판단된다.

Fig. 5는 EOF 각 모드의 시간적 변동을 나타낸 그래프이다. Fig. 4에 나타난 모드의 시간적 변동은 Fig. 5에서 확인 할 수 있다. Fig. 5(a) 패턴의 주기성이나 변동패

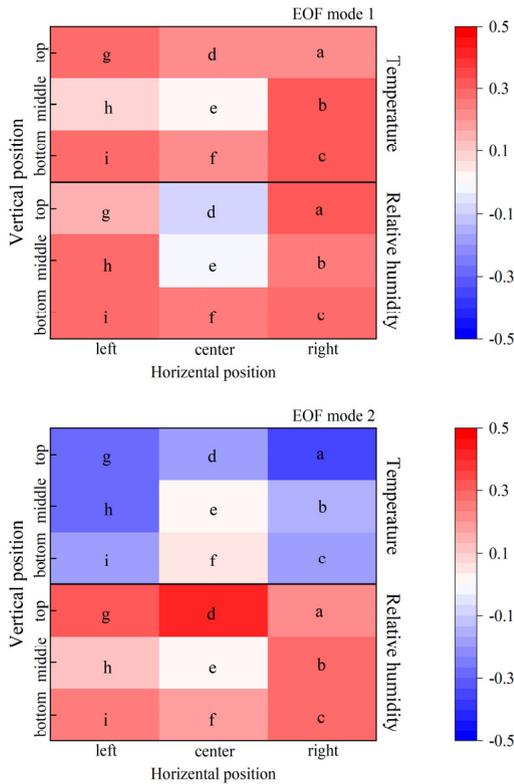


Fig. 4. EOF analysis results using cold storage internal temperature and humidity

턴은 Fig. 2에 나타난 습도변화 변화패턴과 유사한 경향을 보이고 있어 습도변화가 주요한 변화패턴의 요인으로 분석된다. 이와 마찬가지로 Fig. 5(b)는 EOF 두 번째 모드의 시간적 변동을 나타내고 있으며, 온도변화와 유사한 패턴을 보이고 있어, 온도변화가 두 번째 모드의 주요 요인으로 판단된다. 즉 저장고의 온습도에 대한 변동성의 영향력은 습도가 온도보다 크게 나타났다.

3.2 저장위치별 복숭아 ‘홍금함’의 품질특성

3.2.1 저장위치별 이화학적 품질특성변화

저장고 저장위치에 따른 복숭아의 감모율은 중심부(e)에서 6.5%로 가장 낮았고, 우측 중앙(b, 7.0%)과 중심 하단(f, 7.5%)에서 비교적 낮았다. 반면 우측 상부(a)에서 감모율은 12.8%로 가장 높았으며 좌측 상부(g, 9.5%), 중심 상부 (d, 9.3%), 우측 중앙(h, 8.8%) 순으로 높게 나타났다. 이러한 무게감소 정도는 저장고의 수평방향(좌측, 중심, 우측) 보다 수직방향(상, 중, 하) 영향이 더 크게

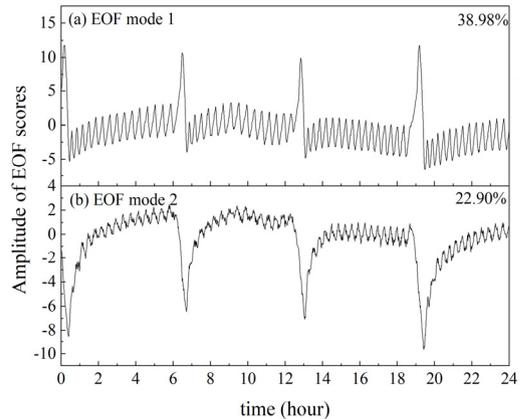


Fig. 5. Volatility explanatory power by EOF analysis mode, (a) EOF mode 1, (b) EOF mode 2

나타났으며 저장환경 조건에 따른 유의차가 품질변화에서 되었고, 저장고 습도가 가장 낮게 유지된 우측 상단(a)에서 가장 낮게 유지됨으로 감모율이 높을 것으로 예측된 결과와 일치하였다(Fig. 3). 또한, 우측 상단(a)에서 감모율은 Park et al.[25]이 보고한 ‘Kunika’ 저온저장 28일 후 무게감소결과(13%)와 비슷한 수준이었으며, 수평기류가 발생하는 위치에서는 PE 필름 등으로 기류 영향을 피할 수 있는 조치가 필요함을 알 수 있었다.

과실의 경도는 수확 후 저장기간이 경과함에 따라 급격하게 감소한다는 연구 결과[6,19]와 같이 저장전 59.6N에서 저장 2주 후에 중심 상부(d)가 11.3N까지 감소하여 저장기간에 따른 유의차는 보였으며 2주 이후에는 저장일에 따른 유의차가 보이지 않았다.

가용성 고형물 함량은 저장 전 11.3°Brix에서 저장기간이 경과함에 따라 점차 증가하는 경향을 보였다. 특히 감모율이 높은 우측 상단(a)은 13.8°Brix까지 증가했다. 반면에 중심부(d, e, f) 위치에서는 각각 12.52°Brix, 12.72°Brix, 12.68°Brix로 가용성 고형물의 함량 증가량이 낮았다. 14일 이후 우측 상단(a)을 제외한 위치에서 저장일에 따른 유의차는 확인하기 어려우며, 위치에 따른 유의차도 뚜렷하게 확인하기 어려웠다.

산 함량은 저장 전 0.38%에서 저장기간이 경과함에 따라 점차 감소하는 경향으로 저장 4주 후에 좌측 중앙(h)에서 0.18%까지 감소하였고 저장기간에 따른 유의차를 보였다. 저장일별로 저장위치에 따른 그룹간 유의적차는 보였으나, 그룹이 산발적으로 분포하여 영향은 파악하기 어려웠다. 산 함량의 감소는 저장기간 품질 저하에 영향을 미치며[6,20], Park et al.[19]의 ‘Kunika’저

Table 1. Weight loss rate according to storage position and storage days of peach 'Kunika'. A-D, a-d indicate significant differences for position and storage days, respectively. P<0.05

Storage position	Storage days				
	0	7	14	21	28
a	-	3.39±1.3 ^{dA}	6.14±2.56 ^{CA}	9.12±3.8 ^{BA}	12.78±5.53 ^{AA}
b	-	2.54±0.51 ^{dB}	3.71±0.88 ^{CC}	5.19±1.26 ^{BC}	7±1.49 ^{aCD}
c	-	2.53±0.43 ^{dB}	4.44±0.59 ^{BC}	6.28±0.79 ^{BC}	8.46±1.14 ^{ABCD}
d	-	2.55±0.87 ^{dB}	4.86±1.65 ^{CB}	6.86±2.42 ^{BB}	9.26±3.61 ^{AB}
e	-	1.93±0.78 ^{dC}	3.6±0.64 ^{CC}	4.94±0.95 ^{BC}	6.51±1.33 ^{AD}
f	-	2.55±0.55 ^{dB}	4.16±1.04 ^{BC}	5.78±1.44 ^{BC}	7.54±1.86 ^{ABCD}
g	-	2.59±0.66 ^{dB}	4.84±1.37 ^{CB}	6.93±2.14 ^{BB}	9.46±2.81 ^{AB}
h	-	2.49±0.48 ^{dB}	4.45±0.92 ^{BC}	6.26±1.27 ^{BC}	8.8±1.91 ^{ABC}
i	-	2.36±0.38 ^{dB}	4.32±0.74 ^{BC}	6.34±0.98 ^{BC}	8.74±1.3 ^{ABC}

Table 2. Firmness according to storage position and storage days of peach 'Kunika'. A-D, a-d indicate significant differences for position and storage days, respectively. P<0.05

	Storage days				
	0	7	14	21	28
a	59.56±24.28 ^{AA}	35.91±16.56 ^{BA}	12.23±5.85 ^{CB}	15.08±8.8 ^{CA}	10.8±5.66 ^{CA}
b	59.56±24.28 ^{AA}	32.54±19.66 ^{BA}	13.7±6.39 ^{CAB}	10.2±4.34 ^{BC}	10.71±4.81 ^{CA}
c	59.56±24.28 ^{AA}	35.88±24.99 ^{BA}	17.01±7.57 ^{CAB}	12.17±5.43 ^{CAB}	13.79±7.07 ^{CA}
d	59.56±24.28 ^{AA}	26.27±15.4 ^{BA}	11.29±4.65 ^{CB}	7.44±3.19 ^{CC}	8.98±3.03 ^{CA}
e	59.56±24.28 ^{AA}	26.71±16.16 ^{BA}	11.92±5.93 ^{CB}	11.23±4.83 ^{CABC}	12.83±8.1 ^{CA}
f	59.56±24.28 ^{AA}	21.06±13.29 ^{BB}	11.57±5.5 ^{BB}	13.82±9.4 ^{BA}	11.16±6.86 ^{BA}
g	59.56±24.28 ^{AA}	36.64±18.35 ^{BA}	12.39±5.72 ^{CB}	11.03±5.85 ^{CABC}	12.87±7.67 ^{CA}
h	59.56±24.28 ^{AA}	36.39±22.03 ^{BA}	18.77±11.1 ^{CA}	10.95±4.7 ^{CABC}	11.69±12.89 ^{CA}
i	59.56±24.28 ^{AA}	37.57±16.84 ^{BA}	16.84±12.49 ^{CAB}	9.93±4.75 ^{BC}	9.94±5.08 ^{CA}

Table 3. Soluble solide contents according to storage position and storage days of peach 'Kunika'. A-D, a-d indicate significant differences for position and storage days, respectively. P<0.05

	Storage days				
	0	7	14	21	28
a	11.26±1.49 ^{CA}	12.21±1.28 ^{bcABC}	12.45±1.45 ^{bb}	12.67±1.04 ^{baB}	13.8±1.96 ^{aA}
b	11.26±1.49 ^{ba}	12.21±1.01 ^{aABC}	12.42±0.97 ^{ab}	12.57±0.69 ^{abAB}	12.83±0.96 ^{aAB}
c	11.26±1.49 ^{ba}	11.95±0.79 ^{bcBC}	12.01±1.31 ^{bb}	13.1±1.51 ^{aAB}	12.92±1.08 ^{aAB}
d	11.26±1.49 ^{ba}	12.11±1.55 ^{abBC}	12.47±0.83 ^{ab}	12.96±1.08 ^{abAB}	12.52±1.63 ^{ab}
e	11.26±1.49 ^{ba}	12.86±1.02 ^{abAB}	12.87±1.21 ^{abAB}	12.2±1.21 ^{ab}	12.72±1 ^{ab}
f	11.26±1.49 ^{ba}	13.08±1.55 ^{aA}	13.39±1.18 ^{aA}	13.17±1.46 ^{aA}	12.68±0.95 ^{ab}
g	11.26±1.49 ^{ba}	12.22±0.94 ^{abABC}	12.46±1.21 ^{ab}	12.61±1.21 ^{abAB}	12.89±1.45 ^{aAB}
h	11.26±1.49 ^{CA}	12.18±1.2 ^{baABC}	12.52±1.16 ^{abAB}	12.57±0.95 ^{abAB}	13.3±1.23 ^{aAB}
i	11.26±1.49 ^{ba}	11.72±1.13 ^{bc}	12.66±1.25 ^{abAB}	13.06±1.33 ^{abAB}	13.38±1.32 ^{aAB}

온저장 28일 후 산 함량 변화와 비슷한 수준이었다.

과실의 착색은 양광면(Sunny side)의 경우 ΔE 값은 좌측하단(i)에서 저장 1주 후 9.23으로 색이 현저히 차이 나기 시작하였으나, 중심 상부(d), 좌측 중앙 및 상부

(d,g,h)에서는 저장 4주 후까지 각각 4.84, 4.86, 5.02로 색 변화가 유의하게 적었다. 명도(L*)는 모든 위치에서 저장기간에 상관없이 유지되었으나, 좌측하단(i)에서는 저장 1주일 후부터 감소하여 저장 4주까지 그 수준을

유지하였다. 적색도(a*)와 황색도(b*)는 우측하단(c)에서 저장 1주 후부터 유의한 차이가 나기 시작하였으나 다른 위치에서는 비슷한 수준으로 저장기간 동안 유지되었다. 바탕면(Background)의 ΔE 값은 양광면에서와 같이 좌측하단(i)에서 저장 1주 후 8.99로 색이 현저히 차이 나기 시작하여 저장 4주 후 11.34로 색 변화가 현저히 나타났으나, 저장 위치에 상관없이 저장기간이 경과함에 따라 L* 값의 감소, a* 값의 증가, b* 값의 감소하는 경향으로 후속에 따른 비착색 부위의 색 변화가 나타났다.

3.2.2 저장품질 및 저장위치 상관관계 분석

Fig. 6은 저장고 내부의 농산물 저장 위치와 품질간의 상관관계 및 군집 분석결과를 나타낸 그래프이다. 상관관계는 저장위치의 가로, 세로 방향으로 구분하여 각각 분석을 진행하였다. 온도와 습도의 영향을 가장 많이 받는 무게감소율은 저장고 상부 가로, 우측세로(p>0.01), 중앙가로(p>0.05)에서 위치별 상관관계가 높게 나타났다. 낮은 습도분포를 나타내는 a와 h 위치가 포함되어있고 해당위치의 감모율이 다른 위치에 비해 높게 나타났다

Table 4. Titratable acidity according to storage position and storage days of peach 'Kunika'. A-D, a-d indicate significant differences for position and storage days, respectively. P<0.05

	Storage days				
	0	7	14	21	28
a	0.38±0.08 ^{aA}	0.34±0.05 ^{abAB}	0.32±0.07 ^{ba}	0.21±0.04 ^{bcCDE}	0.2±0.05 ^{cAB}
b	0.38±0.08 ^{aA}	0.32±0.04 ^{bBC}	0.26±0.05 ^{cCDE}	0.25±0.07 ^{cA}	0.21±0.03 ^{dAB}
c	0.38±0.08 ^{aA}	0.31±0.05 ^{bBC}	0.28±0.06 ^{bBCD}	0.21±0.04 ^{cDE}	0.19±0.04 ^{cB}
d	0.38±0.08 ^{aA}	0.32±0.06 ^{bBC}	0.3±0.05 ^{baB}	0.26±0.05 ^{cA}	0.21±0.04 ^{dAB}
e	0.38±0.08 ^{aA}	0.29±0.04 ^{bCD}	0.23±0.04 ^{cd}	0.24±0.04 ^{cABC}	0.2±0.03 ^{cAB}
f	0.38±0.08 ^{aA}	0.27±0.04 ^{bd}	0.28±0.03 ^{bBC}	0.19±0.03 ^{cE}	0.19±0.03 ^{cB}
g	0.38±0.08 ^{aA}	0.32±0.07 ^{bBC}	0.31±0.04 ^{baB}	0.23±0.03 ^{cABCD}	0.21±0.04 ^{cAB}
h	0.38±0.08 ^{aA}	0.33±0.06 ^{bABC}	0.24±0.04 ^{cDE}	0.2±0.04 ^{dE}	0.18±0.05 ^{dB}
i	0.38±0.08 ^{aA}	0.36±0.07 ^{ba}	0.26±0.05 ^{cCDE}	0.24±0.06 ^{cAB}	0.23±0.04 ^{cA}

Table 5. Color difference according to storage position and storage days of peach 'Kunika'. A-D, a-d indicate significant differences for position and storage days, respectively. P<0.05

	Position	Storage days				
		0	7	14	21	28
Sunny side	a	-	3.37±1.45 ^{bb}	3.62±1.74 ^{bc}	6.27±4.08 ^{abc}	7.85±3.03 ^{abc}
	b	-	2.72±1.26 ^{cb}	4±2.25 ^{bcC}	4.55±2.96 ^{bBC}	6.68±2.36 ^{abc}
	c	-	2.98±1.21 ^{db}	4.92±1.7 ^{cBC}	6.31±2.52 ^{bBC}	7.67±2.81 ^{abc}
	d	-	2.25±0.85 ^{bb}	2.53±0.71 ^{bc}	4.54±2.41 ^{abc}	4.84±1.67 ^{cC}
	e	-	3.55±2.03 ^{bb}	8.59±6.38 ^{ab}	6.21±2.2 ^{abc}	8.8±4.09 ^{aAB}
	f	-	5.46±3.29 ^{ab}	2.51±1.33 ^{bc}	6.53±4.3 ^{ab}	7.67±4.81 ^{abc}
	g	-	2.15±0.52 ^{bb}	5±2.86 ^{abc}	2.61±1.2 ^{bc}	4.86±1.96 ^{cC}
	h	-	2.7±1.2 ^{bb}	2.68±1.61 ^{bc}	3.03±1.47 ^{bBC}	5.02±1.77 ^{cC}
	i	-	9.23±13.06 ^{aA}	12.33±14.32 ^{aA}	10.31±12.44 ^{aA}	11.44±11.58 ^{aA}
Background	a	-	2.24±0.78 ^{cb}	3.3±0.88 ^{cc}	5.2±1.12 ^{bBC}	8.75±3.76 ^{aAB}
	b	-	3.54±1.67 ^{cb}	4.43±1.76 ^{bBC}	5.49±1.42 ^{bBC}	7.98±3.9 ^{ab}
	c	-	4.72±2.84 ^{bb}	7.56±2.51 ^{ab}	7.13±3.18 ^{aAB}	7.5±3.71 ^{ab}
	d	-	1.88±0.91 ^{cb}	5.13±1.58 ^{abc}	3.38±1.24 ^{bc}	5.56±2.31 ^{ab}
	e	-	2.74±1.66 ^{cb}	6.1±3.27 ^{bBC}	4.77±2.05 ^{bBC}	7.77±2.62 ^{ab}
	f	-	2.75±1.19 ^{cb}	4.24±1.41 ^{bBC}	4.14±1.69 ^{bBC}	6.68±3.23 ^{ab}
	g	-	2.47±1.19 ^{cb}	5.98±2.55 ^{abc}	4.51±1.3 ^{bBC}	6.19±1.73 ^{ab}
	h	-	2.14±0.43 ^{db}	3.58±1 ^{cc}	5.05±1.69 ^{bBC}	7.42±2.43 ^{ab}
	i	-	8.99±13.22 ^{aA}	13.02±12.67 ^{aA}	9.84±11.82 ^{aA}	11.34±9.71 ^{aA}

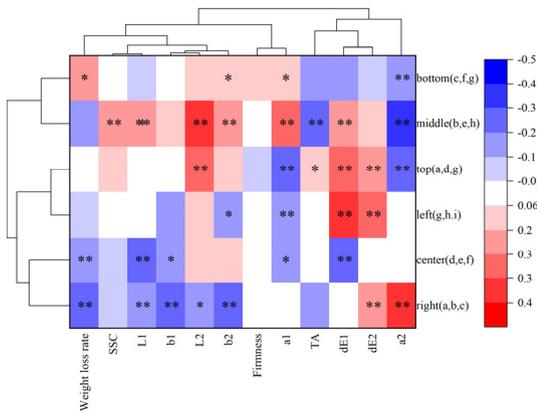


Fig. 6. Correlation analysis between storage quality and storage location, ** and * are significant at the $p < 0.01$, $p < 0.05$ levels, respectively.

기 때문으로 판단된다. 또한, 위치에 따른 품질의 상관관계는 중앙세로, 우측세로, 좌측세로 위치 순으로 높게 나타났으며 저장고 내부의 품질변화는 가로방향보다 세로(높이)방향에 의한 영향이 더 크다는 것을 확인할 수 있었다.

시간에 따른 저장환경의 변동성과 비교했을 경우 세로 방향의 변동성이 가로방향의 변동성보다 크게 나타났으며, 중앙 상부(d)에서 온도와 습도가 동시에 변하지 않고 온도 변화 후 일정시간이 지나고나서 습도가 변화하는 특수성이 있었다. 이번 연구 분석에서 CA 저장환경 주요 요인 풍속과 기체환경(O_2 , CO_2)는 저장기간동안 연속적인 측정의 어려움이 있어 제외되었으며, 온도와 습도 데이터만 이용하였기 때문에 정밀한 상관관계를 분석하는데 한계가 있었다.

4. 결론

본 연구는 냉장실 내부의 환경적 특성과 저장 복숭아 "kunika"의 품질 변화를 분석하여 저장환경과 복숭아 저장품질의 상관관계를 분석하고자 수행되었다. 저장환경 측정을 위해 CA 저장고 내부 9개소에 온도 및 습도 센서를 설치하였고, 복숭아는 동일한 위치에 저장하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 냉장실의 냉각, 적재, 제상 작업 동안 온도와 습도가 주기적으로 변화하는 것으로 나타났다. 제상 운전 시 상단의 온도는 높게 올라가고, 증발기 부근의 상대습도는 52% 감소했다.

- (2) 냉장실 내부의 온도 및 습도 데이터에 대한 EOF 분석을 통해 모드 1의 변동성은 습도의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.

- (3) 습도가 가장 낮은 곳에서 체중 감량이 12.8%로 가장 높았다. 2주 후 보관일에 따른 경도와 가용성 고형분의 차이는 크지 않았다.

- (4) 품질과 위치의 상관관계 분석에서는 수평방향보다 수직방향에서 더 큰 차이를 보였다.

본 연구에서는 농산물 저장고의 내부 온도와 습도를 상, 중, 하 방향과 좌측, 중심, 우측 방향으로 격자를 나누어 총 9지점에서 측정하였고, EOF 분석을 진행했다. 이때, 중심(e)부에서 포화에 가까운 습도(99.9%RH)분포는 온도와 습도의 변동성을 약하게 만드는 원인으로 작용하였다. 또한, 중심 상부의 위치는 변동성이 상반되는 결과를 보였으며, 이는 온도와 습도변화의 시간차이로 인한 결과로 분석되었다. 즉, 본 연구에서는 같은 저장고 내에서도 저장위치에 따라 환경이 달라지는 것을 분석하기 위한 방법으로 온도와 습도데이터를 이용한 EOF 분석을 실시 하였으나, 온도, 습도, 풍속에 대한 개별적, 종합적 EOF 분석으로 나누어 보다 세부적으로 저장환경을 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다. 이를 통해 보다 정밀한 저장환경 데이터가 분석될 경우 단순한 환경제어 변경을 통해 저장환경균일화, 농산물 장기저장품질 균일화 및 정밀한 품질예측의 기초자료로 활용할 수 있는 유의미한 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] R. J. Hodges, J. C. Buzby, B. Bennett, "Postharvest losses and waste in developed and less developed countries: opportunities to improve resource use", *Journal of Agricultural Science*, Vol.149, No. S1, pp37-45. 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859610000936>
- [2] J. S. Lee, M. H. Choi, H. J. Choi, B. S. Lim, "Improvement of calculation models for assessing postharvest loss of fruit and its application", *Journal of the Korean Society of International Agriculture*, Vol.31, No.1, pp.60-66. 2019.
DOI: <http://doi.org/10.12719/KSIA.2019.31.1.60>
- [3] J. S. Koh, S. Y. Lee. "Effect of Humidity on the Storage Life of Satsuma Mandarin", *Applied Biological Chemistry*, Vol.42, No.3, pp.223-228, 1999.
- [4] S. J. Moon, C. H. Han, B. S. Lim, C. H. Lee, M. S. Kim, Y. S. Hwang. "Effect of Storage Temperature and 1-MCP Treatment on the Incidence of Flesh Browning

- Disorder in 'Wonhwang' Pears", *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, Vol.26, No.2, pp.144-148. 2008.
- [5] S.E. Ahn, A. Y. Lee, M. H. Wang, Y. S. Hwang, "Increase of Strawberry Fruit Shelf-life through Preharvest Spray of Calcium-chitosan and Post-harvest Treatment with High Pressure CO₂", *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, Vol.32, No.5, pp.636-644. 2014.
DOI: <https://doi.org/10.7235/hort.2014.14003>
- [6] J. G. Yoo, C. H. Park, J. G. Kwon, D. H. Lee, H. Y. Jung, Y. J. Cho, I. K. Kang, "Effects of preharvest aminoethoxyvinylglycine and pre- or postharvest 1-methylcyclopropene treatments on fruit quality attributes during cold storage in 'Misshong' peaches", *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, Vol.38, pp.364-373. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.7235/HORT.20200035>
- [7] J. F. Guan, H. W. Park, Y. H. Kim, S. H. Kim, H. R. Park, "Effects on Quality of Strawberry Fruit by Dipping of Calcium Solution and MA Packaging", *The Korean Society of Food Preservation*, Vol.13, No.1, pp.13-17. 2006.
- [8] C. W. Kim, M. C. Jeong, J. H. Choi. "Effect of High CO₂ MA Packaging on the Quality of 'Campbell Early' Grapes during Marketing Simulation at Ambient Temperature", *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, Vol.27, No.4, pp.612-617. 2009.
- [9] M. H. Park, J. W. Choi, Y. B. Kim, M. H. Kim, H. Y. Won, S. Y. Shin, J. G. Kim, "Effect of Modified Atmosphere Packaging on Postharvest Quality of Kohlrabi", *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, Vol.32, No.5, pp.655-665. 2004.
DOI: <https://doi.org/10.7235/hort.2014.14022>
- [10] H. Yun, S. H. Lee, J. Y. Sung, M. H. Lee, "Study on circulating flow structure in a low-temperature storage", *Proceeding of the SAREK 2015 Summer Annual Conference*, The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, pp.64-67. 2015.
- [11] J. J. Sung, H. K. Koh, S. I. Cho, G. M. Yang, "3-D Simulation of air flow in cold storage room for uniform temperature distribution", *Journal of Biocystems Engineering*, Vol.25, No.4, pp.279-286. 2000.
- [12] H. Jeong, J. K. Kwon, H. S. Yun, W. O. Lee, Y. K. Kim et al., "Uniformity of Temperature in Cold Storage Using CFD Simulation", *The Korean Society of Food Preservation*, Vol.17, No.1, pp.16-22, 2010.
- [13] H. Yun, J. H. Kim, J. Y. Sung, "On the Improvement of Temperature Uniformity and Energy Efficiency by Auxiliary Ducts for Cooling Air in a Semi-Low Temperature Warehouse", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-B*, Vol.44, No.5, pp.313-323. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.3795/KSME-B.2020.44.5.313>
- [14] L. Wang, L. Zhang, G. Lian, "A CFD simulation of 3D air flow and temperature variation in refrigeration cabinet", *Procedia Engineering*, Vol. 102, pp.1599-1611. 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.296>
- [15] KREI. Agricultural Outlook 2022 Korea. Korea rural economic institute , Naju, Korea. pp. 628-636. 2022.
URL: <https://repository.krei.re.kr/handle/2018.oak/27661>
- [16] S. J. Choi, "Comparison of the change in quality and ethylene production between apple and peach fruits treated with 1-methylcyclopropene (1-MCP)", *Korean Journal of Food Preservation*, Vol.12, No.6. pp.511-515. 2005.
- [17] A. A. Kader, Postharvest technology of horticultural crops. University of california agriculture and natural resources. Oakland, California, pp.345-350, p.516. 2002.
- [18] A. K. Thompson, 2010. Controlled atmosphere storage of fruit and vegetables. CABI. MPG books group. UK. p.175.
- [19] H. S. Chung, J. K. Kim, K. S. Kang, J. B. Lee, J. U. Choi, "Effect of nitric oxide pretreatment on quality of MA packaged peaches", *Korean Journal of Food Science and Technology*, Vol.34, No.6, pp.1018-1022, 2002.
- [20] J. H. Choi, J. H. Lim, M. C. Jeong, D. M. Kim, "Effect of high CO₂ pretreatment on quality of Hikawa Hakuho'peach fruits" *The Korean Society of Food Preservation*, Vol.12, No.6, pp.540-545, 2005.
- [21] J. H. Jang, J. H. Park, K. E. Ban, K. H. Lee, "Changes in the quality of peaches (*Prunus persica* L. Batsch) treated by UV-C irradiation during storage", *The Korean Society of Food Science and Nutrition*, Vol.41, No.12, 1798-1804. 2012.
- [22] C. S. Kim, S. H. Lee, S. K. Chung, "Physicochemical characteristics and antioxidant capacities of peach fruits in the development stages", *Korean Journal of Food Preservation*, Vol.26, No.2, pp.174-178. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.11002/kifp.2019.26.2.174>
- [23] C. W. Park, Effects on performance of the refrigerator to a novel defrost system using waste heat by condensation. Ph.D. dissertation, Chonbuk National Univ., Jeonju, Korea.
- [24] C. W. Park, S. H. Park, J. S. Kim, D. S. Choi, Y. H. Kim, S. J. Lee, "Weight Loss Prediction by Operating Conditions of CA Storage", *Food Engineering Progress*, Vol.21, No.4, pp.312-317.
DOI: <https://doi.org/10.13050/foodengprog.2017.21.4.312>
- [25] C. W. Park, D. S. Choi, Y. H. Kim, J. S. Kim, S. H. Kim, Y. B. Kwack, J. H. Song, "Quality characteristics of 'Kunika'peaches according to storage methods", *Jouranal of the Korea Society of International Agriculture*, Vol.34, No.4, pp.344-349. 2022.
DOI: <https://doi.org/10.12719/KSIA.2022.34.4.344>

박 천 완(Chun-Wan Park)

[정회원]



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

• 2023년 1월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업연구사

<관심분야>

냉동공학, 환경제어, 센서공학, 저장유통

김 용 훈(Yong-Hoon Kim)

[정회원]



- 1995년 2월 : 한국외국어대학교 화학과 졸업
- 1997년 2월 : 한국외국어대학교 대학원 화학과 석사
- 2005년 3월 : The graduate university for advanced studies (일본) 박사

• 2009년 1월 ~ 현재 : 국립농업과학원 수확후관리공학과 농업연구사

<관심분야>

화학공학, 저장유통공학, ICT융복합

조 세 라(Se-Ra Jo)

[정회원]



- 2013년 2월 : 부산대학교 대기환경과학과 (이학석사)
- 2020년 2월 : 부산대학교 대기환경과학과 (이학박사)
- 2020년 1월 ~ 2022년 12월 : 국립농업과학원 전문연구원
- 2023년 1월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업연구사

<관심분야>

농림기상, 기후변화

김 승 희(Seung-Heui Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 충북대학교 농학대학 원예학과 (농학석사)
- 2000년 2월 : 충북대학교 농학대학 원예학과 (농학박사)
- 2000년 3월 ~ 2002년 2월 : 독일 Hohenheim 대학 식물생장조절실, Post-Doc

• 2002년 3월 ~ 2015년 8월 : 농촌진흥청 국립원예특작과학원 농업연구사

• 2005년 9월 ~ 현재 : 국립한국농수산대학교 원예학부 부교수

<관심분야>

재배생리, 수확후관리

최 동 수(Dong-Soo Choi)

[정회원]



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

<관심분야>

정보경영, 정보통신

송 주 희(Ju-Hee Song)

[정회원]



- 2002년 2월 : 전주대학교 생물학과 (생물학석사)
- 2012년 2월 : 전북대학교 농학대학 원예학과 (농학박사)
- 2007년 8월 ~ 2022년 4월 : 장수군농업기술센터 농업연구사
- 2022년 4월 ~ 현재 : 국립한국농수산대학교 원예학부 실습교수

<관심분야>

재배생리, 수확후관리