

## 히트펌프를 이용한 농산물 건조 및 저온저장 시스템 (II) - 사과의 저온저장 성능 -

강연구 한충수 금동혁

### Drying and Low Temperature Storage System of Agricultural Products using the Air to Air Heat Pump (II)

#### - Performance of Low Temperature Storage for Apples -

Y. K. Kang C. S. Han D. H. Keum

#### Abstract

Heat pump systems are recognized to be heating and cooling systems. In this study, to check the practical application possibility of heat pump systems as low temperature storage systems and get basic data, apples of a long term storage items were stored and performance of low temperature storage and quality changes of apples were evaluated. Cooling coefficient of performance of the system was from 1.1 to 1.3. Although ambient air temperature varied widely from  $-13^{\circ}\text{C}$  to  $29.6^{\circ}\text{C}$  during low temperature storage period from January to June, the average temperature of low temperature storage chamber was  $1.1^{\circ}\text{C}$  at setting temperature of  $1.5^{\circ}\text{C}$ . Sucrose of apples stored by the heat pump decreased from initial sucrose of 15.4% (Brix number) to final sucrose of 14.3%. Weight loss ratio of apples was 9.7% and internal and external view of apples after low temperature storage were very satisfactory with the naked eye.

**Keywords :** Heat pump, Low temperature storage, COP, Apple, Heating and cooling

### 1. 서론

경제성장과 더불어 국민소득이 향상됨에 따라 농산물의 소비 형태는 계절에 상관없이 보다 다양화되고 있으며, 생산량도 매해 증가하는 추세를 보이고 있다. 신선한 농산물을 장기간 공급하기 위해서는 저온저장이 필수적인 저장방법으로 오래전부터 확인되었다. 그러나 국내 농산물은 현재 과잉 생산되고 있으며 저장 및 유통시설의 활용도가 낮고 운용기술이 부족하여 홍수 출하로 인한 가격 하락을 해결하지 못하고 있다. 농산물 시장에서 경쟁력을 확보하기 위해서는 농산물의 생산량 증가 기술뿐 아니라 수확 후에 일어나는 상품성 저하

를 최대한으로 억제하는 기술이 뒷받침되어야 하며 저장 시설의 활용도를 높여야 한다.

Yang 등(2003a)은 재래식 제어방식의 저온저장고 제어시스템 성능을 개선하여 저온저장고 운전시 최적의 환경을 제공할 수 있는 정밀제어 시스템인 뉴로-퍼지 제어시스템을 개발하고, 양파를 저장하여 뉴로-퍼지 제어시스템의 성능을 검증하였다. Yang 등(2003b)은 3차원 CFD시뮬레이션을 이용하여 저온저장고의 형상을 돔형으로 설계하고 컨테이너 박스형 저온저장고와 비교하여, 돔형 저온저장고는 공기가 천장부와 측벽부를 부드럽게 순환하기 때문에 균일한 온도 분포와 풍속분포를 보였으며, 돔형 저온저장고의 성능이 더 우수

This study was conducted by the research fund supported by Ministry of Agriculture and Forest. The article was submitted for publication in January 2007, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in April 2007. The authors are Youn Ku Kang, Post-Doctoral Researcher, KSAM member, National Institute of Agricultural Engineering (NIAE), Chung Su Han, Professor, KSAM member, Dept of Bio System Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Korea, and Dong Hyuk Keum, Professor, Dept of Bio-Mechatronic Engineering, SungKyunKwan University, Suwon, Korea. Corresponding author: Y. K. Kang, Energy and Resources Engineering Laboratory, NIAE, Suwon, 441-100, Korea; Tel: +82-31-290-1902; Fax: +82-31-290-1945; E-mail: <ykk0977@rda.go.kr>.

하였다고 보고하였다. 박 등(2001)은 기존 상온저장 시설을 저온저장시설로 전환시키거나 신축하는 경우, 보다 더 에너지를 절약하면서 저장효과를 극대화할 수 있는 모델을 설정하기 위한 연구를 행하였다. 연 등(1997)은 폴리머 콘크리트 샌드위치 패널을 외장재로 하고 R12를 사용하는 건조 및 저온저장시설을 설치하였으며, 저장고 내의 온도 분포는 냉기가 방출되는 곳으로부터 멀리 떨어져 있는 곳과 에어덕트(air duct)가 설치되어 공기의 순환이 원만하지 못한 코너부분을 제외하고는 대부분 2°C 이내로 균등하다고 하였으며, 이로써 다양한 종류의 농산물을 건조하고, 저온저장하는 것이 가능하다고 보고하였으나 외장재에 많은 비중을 할애하였다. 김 등(2001)은 농산물중 저장성이 취약한 근채류, 엽채류, 화훼류의 품목별 저장특성에 맞는 조건을 조성하여 현재의 단순 저온저장에만 의존하고 있는 저장여건을 개선하고자 예냉, 예건, 큐어링, 가슴 등을 종합적으로 컨트롤할 수 있는 시스템과 관련 핵심기술을 개발하였다고 보고하였다. 이(2000)는 에너지 절약형 저온저장 건축환경 설비 시스템 설계 지침을 마련하고, 이를 실제 적용함으로써 약 20% 정도의 전력부하 절감이 가능하다고 보고하였다. 김과 송(1997)은 냉방부하에 영향을 미치는 주요 변수는 1일 입고량과 예냉온도이며, 에너지 절약 차원에서 1일 입고량, 예냉온도, 단열재료, 냉각시간, 작업시간, 하역기계, 작업원수, 환기회수 등에 대해 국내 시설에 적절한 기준을 제안하였다.

국내에서는 히트펌프를 이용하여 저온저장을 행한 경우는 드물며, 히트펌프는 간단한 조작만으로도 난방과 냉방을 병행할 수 있어, 난방시에는 농산물의 건조를, 냉방시에는 농산물의 저온저장을 행한다면 연중활용도를 높일 수 있는 장점이 있다.

그러므로 본 연구에서는 농가 단위 혹은 부락 단위가 연중 사용할 수 있는 건조와 저온저장을 겸할 수 있는 히트펌프 시스템을 설계 제작하여 장기 저장 품목인 사과를 직접 저장 실험하였다. 분석항목은 당도, 부패율, 감모율, 시각적 품질을 좌우하는 색도를 위주로 하여 본 시스템이 저장시설로서 현실적인 적용이 가능한지 확인하고, 설계 응용에서의 기초 자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

공시재료는 충북 충주지역의 과수농장에서 수확된 후지사과로 하였으며 시료 개체 당 평균 중량은 약 345 g이었으며 히트펌프를 이용한 농산물 저온저장 시스템의 주요 제원은 표 1과 같다.

**Table 1** Specifications of low temperature storage system using heat pump.

Items	Specifications
Drying and low temperature storage chamber	Size: 5.77×2.18×2.20 m (L×W×H) Wall thickness: 100 mm Insulation material: Styrofoam
Installation space of heat pump	Size: 1.00×2.18×2.20 m (L×W×H)
Compressor	Size: 7.5 kW for heat pump Type: Reciprocating Manufacturer: Kyoungwon Century, Korea
Condenser	Size: 0.71×0.175×0.45 m (L×W×H) Tube diameter: 15.88 mm (5/8") Tube arrangement: 6 column×8 row Heat transfer area of tube: 17.0 m <sup>2</sup>
Evaporator	Size: 2.00×0.175×0.75 m (L×W×H) Tube diameter: 10 mm (3/8") Tube arrangement: 6 column×18 row Heat transfer area of tube: 67.86 m <sup>2</sup>

냉방 성능계수는 증발기 입·출구에 K-type 열전대를 설치하여 공기온도를, 열선풍속계(velociplus, TA instrument, USA)를 사용하여 풍량을, 전력량계(VIP system, Elcontrol, Italy)를 이용하여 순간 전력을 측정하여 식 (1)에 의해 구하였다.

$$COP_C = \frac{\rho_a \cdot Q_a \cdot c_a \cdot (T_{a,o} - T_{a,i})}{P_{HP}} \quad (1)$$

여기서,  $COP_C$ : 냉방성능계수,  $P_{HP}$ : 히트펌프의 소비전력 (kW),  $\rho_a$ : 공기의 밀도(m<sup>3</sup>/kg),  $Q_a$ : 공기의 체적 유량(m<sup>3</sup>/s),  $c_a$ : 증발기를 통과하는 공기의 비열(kJ/kg·°C),  $T_{a,i}$ ,  $T_{a,o}$ : 증발기 입, 출구 공기온도(°C)

사과의 저온저장 중 저온저장고의 온도는 저온저장고의 높이 1.2 m 지점에 열전대를 설치하여 기록계(8H12, NEC San-ci, Japan)에 기록되도록 하였다. 또한 저온저장고의 내의 온도분포는 저온저장고를 증발기로부터 저온저장고 끝까지 길이 방향으로 전(1.2 m, A-A), 중(2.6 m, B-B), 후(4.0 m, C-C)의 3개 단면으로 나누고, 한 단면당 25개소(측점과 측점사이의 거리 0.35 m)의 측점에서 측정하였으며, 이를 Winsurf 프로그램을 이용하여 도시하였다.

저온저장온도는 일반적으로 보고되어 있는 사과의 저온저장온도와 냉각공기와 저장물은 직접 접촉으로 인한 동해(凍害) 방지를 고려하여 1.5°C로 설정하였으며 저온저장고의 온도편차는 1.0°C로 하여 외기변화에 관계없이 일정한 온도수준을 유지하도록 제어하였다. MA(modified atmosphere)포장에서 얻을 수 있는 환경조절 효과를 고려하여 과일 저온저장에 많이 이용되고 있는 박스 film 포장방법을 선택하였다. 임의로 선별한 사과 60박스(15 kg/box)를 0.5 mm PE film으로

포장하여, 이중 40박스는 히트펌프 저온저장 시스템에서 나머지 20박스는 상온에서 저장하여 각 품질변화를 비교하였다.

저온 및 상온 저장된 사과 각각 10개를 임의 추출하고, 1개의 사과당 4부분의 과육을 고르게 채취하여 과즙의 당도를 휴대용 당도계(Brix. 0~32%, N type, USA)로 측정하여 평균값을 사용하였다. 부패율은 저온저장 및 상온저장에서 각각 2상자를 선정 한 후, 총과수에 대한 총부패과수의 백분율로 계산하였다. 감모율은 전자저울(DB-1S, Cas, Korea)을 이용하여 초기중량에 대한 감소 중량의 백분율로 계산하였다. 또한 당도, 부패율 및 감모율은 5,000(15 kg기준) 상자를 기존 저온저장방법으로 0℃에 저장한 같은 품종의 사과와 비교하였다.

색도는 저장 전 및 히트펌프에 의해 저온 저장된 사과 각각 10개를 임의 추출하여 양극부분과 중간부분을 각각 4곳을 선정하고 색도색차계(CR-200, Minolta Co., Japan)를 이용하여 L, a, b값을 측정하여 평균값을 사용하였으며, 측정값들을 windows용 SAS 통계 프로그램에 의해 유의 수준 0.05에서 t-test를 실시하여 유의성을 분석하였다. 사과의 품질변화는 15~20일 간격으로 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 성능 계수

히트펌프는 입력에 대한 출력비가 항상 1 이상이고 이것을 성능계수라 한다. 그러므로 성능계수는 히트펌프시스템의 성능을 평가하는 중요한 지표이다.

그림 1은 냉방 성능계수를 나타낸다. 히트펌프의 냉방 성능계수는 비교적 낮은 수준이었으며, 식 (1)을 이용하여 분석한 냉방 성능계수는 1.3에서 1.1 수준이었다. 이것은 저온저장실이 협소하여 증발기에서 유출된 공기가 빠른 시간에 저온저장

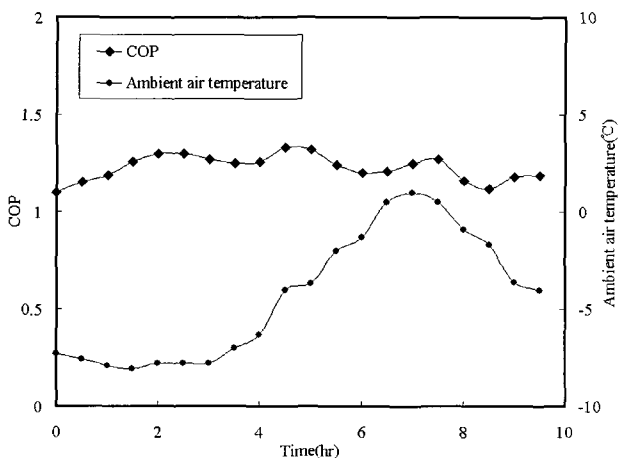


Fig. 1 Variation of ambient air temperature and COP at setting temperature of 1.5℃.

장실을 순환한 후 증발기에 유입되어 증발기의 냉매 온도와 증발기에 유입되는 공기의 온도차가 작아 열교환 능력이 떨어졌기 때문인 것으로 사료된다.

본 논문에서 냉방 성능계수를 측정한 외기온도는 낮고 국한적이어서 높은 외기온도에서 냉방 성능계수를 측정하여야 하나, 공기 대 공기 히트펌프의 경우 외기온도가 상승하면 난방 성능계수는 상승하나 냉방의 경우는 이와 반대로 외기온도가 상승하면 하강하는 패턴을 보인다(김, 1990). 이는 외기온의 상승으로 인하여 응축기와 외기온의 열교환 성능이 저하하고 이는 다시 히트펌프의 고온측 압력을 상승시켜 소비전력이 상승하므로 성능계수의 저하를 유발한다. 또한 여기에서는 저온저장실의 온도편차를 1.0℃ 수준으로 하여 단속 운전하였으므로 외기온도변화에 대한 냉방 성능계수의 변화를 기대할 수 없을 것으로 사료되어 높은 외기온도 수준에서의 성능계수 측정을 실시하지 않았다. 그러나 이러한 수준의 성능계수로도 농산물의 저온저장이 가능한 것으로 판단되었다.

#### 나. 저온저장실 온도 변화

저온저장실에서 중요한 기능은 균일한 온도 유지라고 할 수 있다. 저장실의 온도 유지는 저장물의 품질과 직결되며 저온저장시스템의 성능을 가늠할 수 있기 때문이다. 이는 저온저장실의 온도가 외기온도에 영향을 받아 상승 또는 하강할 경우 균일한 온도유지가 불가능을 나타내는 것을 의미하는 것이다. 따라서 외기 온도가 저장실의 온도에 영향을 미친다면 벽체단열, 밀폐상태 및 냉동능력미흡 등 여러 가지 요인에 의한 것이며, 이미 저장시설로서 기능을 상실한 것이다.

그림 2는 설정온도를 1.5℃로 하였을 경우 저온저장기간 동안 저장실의 공기온도와 외기온도 변화를 나타낸 것이다. 3

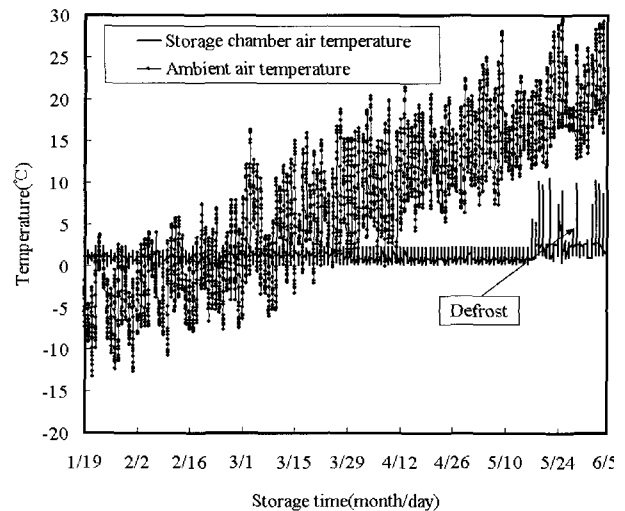


Fig. 2 Variation of storage chamber and ambient air temperature during low temperature storage of apples.

월 초순의 경우 외기온도는 -13°C에서 8°C까지 약 21°C의 큰 온도 차이를 보였으나 저온저장실의 온도는 0.3~2.5°C를 나타내 당초 설정온도인 1.5°C를 기준할 때, 외기온도변화에 영향을 크게 받지 않음을 알 수 있었다. 또한, 3월 중순부터 5월 초순에는 외기온도는 -7°C에서 25°C까지 32°C범위에서 나타났으나 저온저장실의 온도는 앞의 경우와 비슷한 온도를 유지함을 알 수 있었다. 그리고 5월 중순부터 6월 초순까지도 외기온도는 7.4°C부터 29.6°C까지 변화하였음에도 불구하고 저온저장실 온도는 설정 온도를 잘 유지하는 것으로 나타났다. 그림에서 저온저장실 온도가 갑자기 상승하는 것은 제상(除霜)때문이며, 한시적인 것이므로 저온저장에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

**다. 온도 분포**

저온저장시스템의 단열 및 시스템에 문제가 발생하면 열에너지의 손실이 크고, 불균일한 공기유동으로 인해 저온저장실 내부의 온도 분포가 고르지 못하여 저장효율이 떨어진다. 저장 중 농산물의 품질저하를 최소화하기 위해서는 저장실의 온도분포를 가능한 균일하게 하는 것이 중요하다.

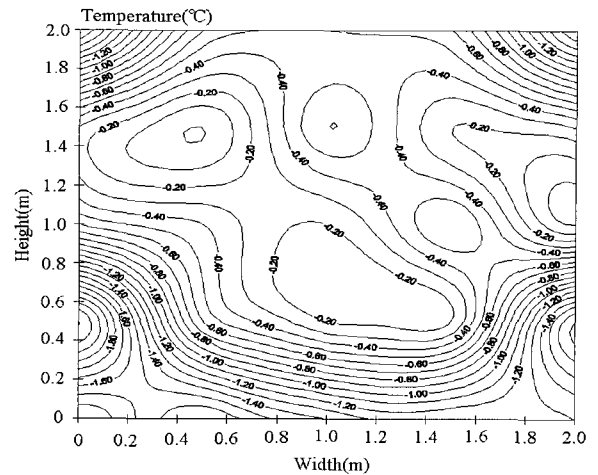
그림 3(a)~(c)는 증발기로부터의 거리에 따른 각 단면의 온도분포를 나타낸 그림이다. A-A단면은 증발기로부터 1.2 m, B-B단면은 2.6 m, C-C단면은 4.0 m 떨어진 위치를 나타낸다. 증발기에서 1.2 m위치의 A-A단면에서는 하층부의 온도가 상층부 온도보다 낮았으며, 증발기로부터 멀수록 단면의 상, 하층부 온도는 균일해지는 것으로 나타났다. 그러나 모든 단면에서 중앙 부분의 온도가 약간 높게 나타났으며, 하층부의 좌측모서리 온도가 중앙 부분의 온도보다 낮게 나타났다. 이것은 증발기가 하층부에 설치되어 있어 냉기가 바로 방출되기 때문이다.

A-A단면에서의 최저온도는 -1.6°C이었고, 최고온도는 -0.2°C로 1.4°C의 편차를 나타내었고, B-B단면에서는 최저온도는 -1.3°C, 최고온도는 0.3°C로 1.6°C의 차이가 있었다. 한편 C-C단면에서는 최저온도는 -1.1°C, 최고온도는 -0.1°C로 1.0°C의 차이를 나타내었다. B-B단면의 온도가 다른 단면에 비해 약간 높은 경향을 나타냈지만 저온저장에는 지장이 없을 것으로 판단된다.

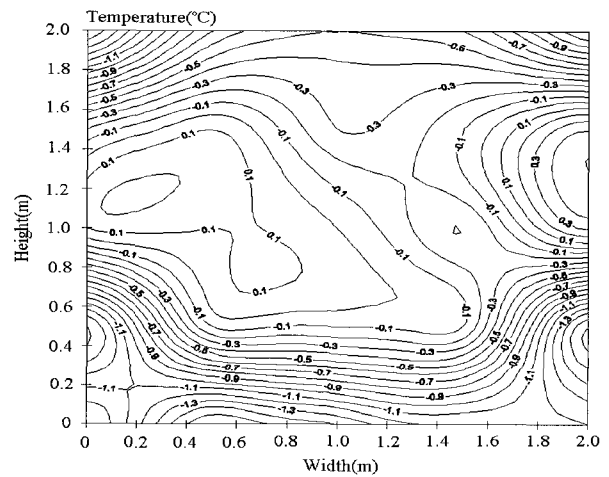
저장물이 없는 경우 기존 저온저장고 내부의 온도편차가 약 1°C인 것(성 등, 2000)과 본 시스템의 내부 온도편차가 1.6°C인 것을 비교할 때, 온도분포면에서 기존의 저온저장고와 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

**라. 당도 변화**

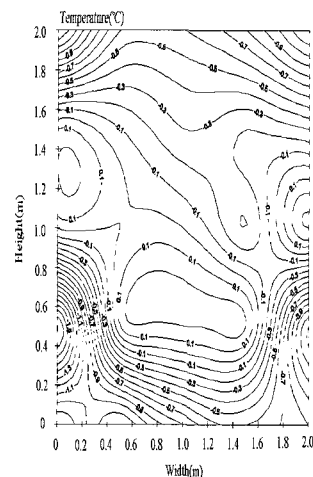
후지사과는 국광(Ralls)과 딜리서스를 교잡하여 육성된 품



(a) A-A section



(b) B-B section



(c) C-C section

**Fig. 3** Distribution of temperature in low temperature storage chamber at setting temperature of -1°C.

종으로서 평균당도는 14~16%정도이고 10월 20일 전후하여 가장 당도가 높다. 그러나 과실은 수확 이후에도 지속적인 호

흡작용을 행하게 됨으로 세포내에 있는 당분 등의 저장양분이 분해되어 당도가 감소한다. 호흡작용은 온도, 습도, 기압 등에 영향을 받는데, 이중 온도가 가장 많은 영향을 미친다. 호흡작용에 의한 부산물로 이산화탄소와 물 그리고 에너지가 발생한다. 이때 발생된 에너지 즉, 호흡열을 식혀주기 위한 기작이 증산작용이다. 이러한 증산작용으로 약 5% 정도 수분 감소가 발생하면 외관 위조(萎凋, wilting)를 인지할 수 있고 (박, 2003), 색택 변화와 함께 상품성이 떨어진다.

그림 4는 당도변화를 Brix Index로 나타낸 것이며, 사과의 초기당도는 거의 비슷한 15~15.4% 수준이었다. 위에서 언급한 바와 같이 저장기간이 길어질수록 과일의 호흡작용에 의해 당도가 감소하였다. 히트펌프 저온저장 사과의 당도는 저장초기 15.4%에서 저장말기 14.3%로 초기에 대해 약 7.1% 감소하였다. 상온저장 사과는 저장 초기 15.4%였으나 저장 종료 시점은 12.2%로 당도가 20.13% 감소하였다. 이처럼 상온저장 사과 보다 저온 저장한 사과의 당도 감소가 낮은 이유는 저온에 의해 호흡작용이 축소되어 과일의 당 소비가 낮아진 것에 기인된다. 또한, 히트펌프 저온저장시스템에서 저장한 사과의 당도가 14.3%인 것은 일반 저온저장고에서 4~5개월 저장한 사과의 당도 14.4%(박, 2003)와 유사함을 보여 주고 있어 저온저장시설로서 활용이 가능한 것으로 판단된다.

**마. 부패율 변화**

그림 5는 사과의 부패율을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 히트펌프 저온저장의 부패율은 완만하게 증가하는 형태를 보이는 반면 상온저장은 한 시점을 기준으로 급격히 상승하는 형태를 보이고 있다.

히트펌프 저온저장의 경우, 저장초기에서 106일 지난 5월 3일까지는 부패과가 발생하지 않다가 128일 이후(5월 24일)

에는 1%가 부패하였으며, 저장 종료 시점인 6월 5일에는 약 2%가 부패하였다.

반면, 상온저장의 경우 저장실험을 시작한지 64일까지는 부패한 사과가 발생하지 않았으나 그 이후부터 부패가 시작되어 85일(4월 12일) 이후에는 급격하게 부패되기 시작했다. 즉, 4월 12일에서 5월 3일까지 22일 동안 약 71%정도의 사과가 부패하여 상온저장의 한계점을 예측할 수 있었다. 따라서 상온저장에서 부패가 일어나는 시기를 기준할 때, 부패과 발생이 저온저장에 비해 약 42일 정도 빨랐다. 또한, 일반저온저장사과의 경우 20주 동안 4.1% 부패율을 나타내고 있어 (박, 2003) 히트펌프 저온저장의 부패율은 일반 저온저장의 부패율의 절반수준인 것으로 나타나 저온저장시설로서 활용이 가능한 것으로 판단된다.

**바. 감모율 변화**

그림 6은 사과의 감모율을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 저장기간이 지남에 따라 감모율이 완만하게 증가하는 곡선을 보이고 있다. 히트펌프 저온저장의 경우 최종감모율은 9.7%이었다. 이것은 일반 저온저장의 경우 3%~7%(권, 2003)정도의 감모율을 보이는 것에 비해 다소 높은 편이었지만, 저온저장실의 습도조절이 미비하였기 때문인 것으로 저온저장실의 습도를 잘 조절해준다면 감모율은 충분히 낮출 수 있을 것으로 판단된다. 또한 상온저장은 최종 감모율이 19.8%로 나타났다.

상온저장의 감모율은 전체적으로 완만한 증가 곡선을 보이는 반면 히트펌프 저온저장의 감모율은 5월 3일부터 6월 5일까지 5.86%에서 9.72%까지 상승하여 160일간의 저장기간중 약 40일 동안의 감모율변화가 전체 저장기간의 약 40%를 차

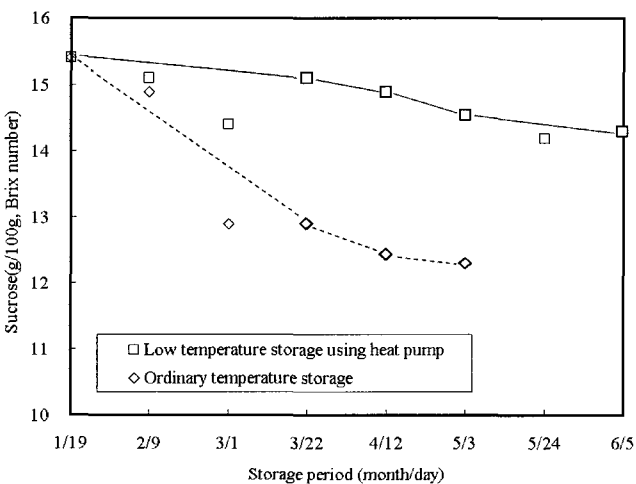


Fig. 4 Sucrose variation of apples for different storage conditions.

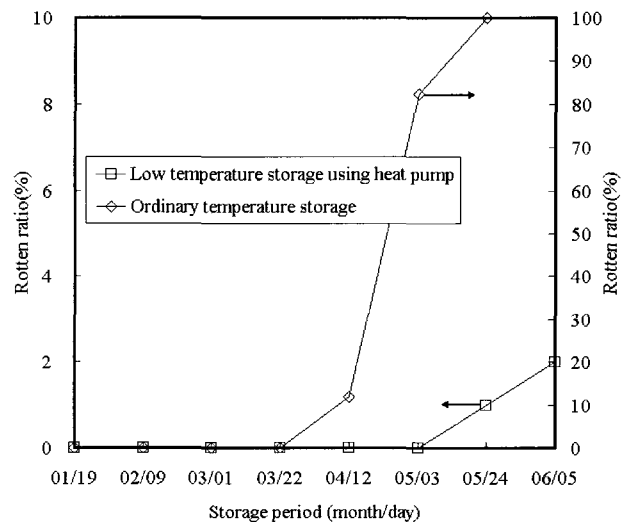


Fig. 5 Rotten ratio variation of apples for different storage conditions.

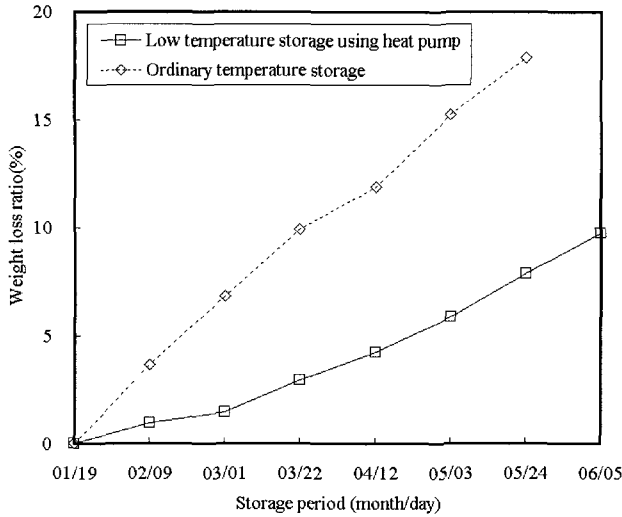


Fig. 6 Weight loss ratio variation of apples for different storage conditions.

지하는 것으로 나타났다. 이는 저온저장실이 소규모이기 때문에 저온저장실 내의 온도가 외기온도의 영향을 다소 받아 겨울철이나 봄철에 비해 감모율이 상승한 것으로 생각된다.

사. 색도 변화 및 내·외형

그림 7은 저장전의 사과와 히트펌프 저온저장시스템에서 저장한 사과의 색도를 나타낸 것이다. 저장 전 사과의 명도는 54.69였으며 히트펌프 저온저장시스템에서 저장한 사과의 명도는 47.71로 약 12.8% 감소하였으며, 적색도를 나타내는 a 값의 경우는 저장전에는 25.21이었으나 저장 종료 시점에는 24.44로 약 3.1% 감소하였다. 또한 L×a 값은 저장전에는 1378.74이었던 것이 저장 종료시점에는 1166.03으로 약 14.4% 감소한 것으로 나타났다. 또한 색도의 t 검정결과, L 값에 대한 저장 전·후의 t 값은 5.587이고 이의 유의 수준은 0.0001이었으며, a 값과 b 값의 t 값은 각각 0.694, 2.448, 이의 유의 수준은 각각 0.4965, 0.0248이었다. 저장 전·후의 명도 L 값과 황색도 b 값은 유의한 것으로, 적색도 a 값은 유의하지 않은 것으로 나타났다.

또한 그림 8에서 보는바와 같이 히트펌프를 이용하여 저장한 사과의 외형과 내부상태는 양호하여 저장전의 그것과 큰 차이를 보이지 않았으며 표피의 상태도 양호한 것으로 나타났다.

4. 결론 및 요약

본 연구는 저온저장시설의 활용도를 증진시키기 위해 냉난방이 가능한 공기 대 공기 히트펌프를 이용하여 장기 저장 품목인 사과를 직접 저장해 봄으로써 본 시스템이 저온저장시

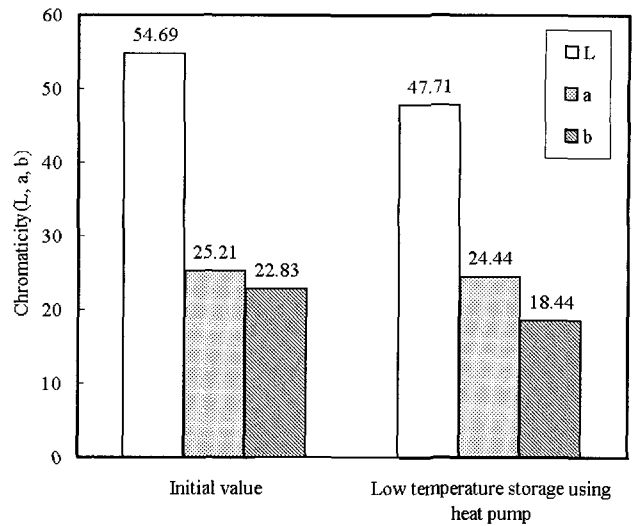


Fig. 7 Surface chromaticity variation of apples for different storage conditions.

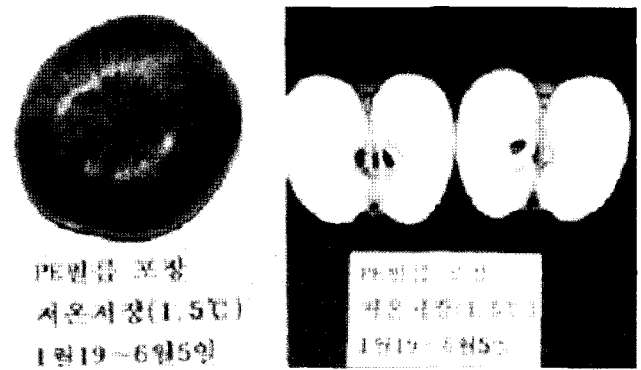


Fig. 8 Internal and external view of apple after low temperature storage using heat pump.

설로서 현실적인 적용가능성을 재고하고, 기초 자료를 제공할 목적으로 수행하였다.

저온저장에 사용한 히트펌프의 냉방성능계수는 최대 1.3에서 최소 1.1수준으로 전체적으로 낮은 수준이었으나 이 수준의 성능계수로도 충분히 저온저장이 가능하였다.

1월~6월까지 사과의 저온저장 기간 중, 외기온도가 약 -13℃에서 29.6℃까지 큰 폭의 변화에도 불구하고 설정온도 1.5℃에 대하여 저온저장실 내의 평균 온도는 1.1℃ 수준을 유지하였다.

히트펌프 저온저장 사과의 당도는 저장초기 15.4에서 저장말기 14.3으로 초기값에 대해 약 7.1% 감소하였고, 상온저장 사과의 당도는 저장 초기 15.4에서 저장말기 12.2까지 감소하여 20.13% 감소하였다. 또한 히트펌프 저온저장 사과의 감모율은 9.7%로 일반 저온저장 사과의 감모율 5%보다 다소 높은 것으로 나타났으며, 저장 전후 사과의 명도(L), 적색도(a), L×a는 각각 약 12.8%, 약 3.1%, 약 14.4% 감소한 것으로 나

타났으며, 색도에 대한 t 검정결과, 저장전·후의 L 값과 b 값은 유의한 것으로, a 값은 유의하지 않은 것으로 나타났다.

1. Chung, H. S., S. K. Chung and J. U. Choi. 1999. Low oxygen CA storage of 'Fuji' apples. Korean J. Food Sci. Technol. 31(5):1275-1282. (In Korean)
2. Hwang, Y. T., S. M. Son, C. Y. Lee and K. D. Moon. 2001. Quality changes of fresh-cut packaged Fuji apples during storage. Korean J. Food Sci. Technol. 33(4):469-473. (In Korean)
3. Kim, B. S., W. O. Kim and D. C. Kim. 1999. Freshness prolongation of 'Tsugaru' apples by press cooling. Korean J. Postharvest Sci. Technol 6(4):365-370. (In Korean)
4. Lee, J. W., S. H. Kim, S. I. Hong, M. C. Jeong, H. W. Park and D. M. Kim. 2003. Internal and external quality of Fuji apples. Korean Journal of Food Preservation 10(1):47-53. (In Korean)
5. Park, H. W. and D. M. Kim. 2000. Effect of function MA packaging film on freshness extension of 'Fuji' apples. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 29(1):80-84. (In Korean)
6. Sauer, H. J. and R. H. Howell. 1983. Heat Pump System. John Willey & Sons.
7. Sung, J. J., H. K. Koh, S. I. Cho and G. M. Yang. 2000. 3-D simulation of air flow in cold storage room for uniform temperature distribution. J. of Biosystems Engineering 25(4): 279-286. (In Korean)
8. Yang, G. M., H. K. Koh and J. H. Hong. 2003a. Development of neuro-fuzzy system for cold storage facility. J. of Biosystems Engineering 28(2):117-126. (In Korean)
9. Yang, G. M., H. K. Koh and J. H. Hong. 2003b. Development of dome-type cold storage facility using 3-D CFD simulation. J. of Biosystems Engineering 28(1):35-44. (In Korean)
10. 大久保増太郎. 1982. 野菜の鮮度保持. (株) 養賢堂. 東京
11. 권현중. 2003. 저장전 보관기간에 따른 후지사과의 저장 한계기. <http://www.iloveapple.co.kr/>
12. 김기세, 송인춘. 1997. 농산물 저온저장고의 냉방부하에 관한 연구. 충남대학교 산업기술연구소 논문집 12(1):17-25.
13. 김병삼, 차환수, 김의웅, 주장환, 김정옥, 이희철, 박영광. 2001. 농산물의 고품질 장기저장을 위한 수확후 건조, 큐어링, 초고속 및 저습 핵심 기계장치 개발. 농림부 최종 보고서.
14. 김윤동. 1990. 공기열원 히트펌프 설비/공조냉동위생 7(1):46-54.
15. 두산기술원. 1996. 국내산 주요 과실류(사과, 배, 단감)의 CA 장기저장 기술 및 비파괴 품질검사법 개발. 과학기술처 최종 보고서.
16. 박영하, 김석우, 김성만, 고정삼, 현명택. 2001. 감귤저장용 저온 저장시설의 냉방시스템 설계와 성능평가를 위한 실증실험. 한국에너지공학회 2001년도 추계학술발표회 논문집 pp.167-176.
17. 박형우. 2003. 사과 고품위 선도 유지용 기능성 MA 포장기술. <http://www.digitalagro.com/>
18. 연규석, 최종대, 김행래, 김희승, 장덕수, 김봉기, 이석남. 1997. 농가용 다목적 저장시설의 개발. 농림수산부 최종 보고서.
19. 이의준. 2000. 에너지 절약형 저온저장 건축환경 설비 시스템 설계 지침. 설비저널 29(7):5-13.