

## 감귤저장용 저온저장시설의 냉방시스템 설계와 성능평가를 위한 실증실험

박영하, 김석우\*, 김성만\*, 고정삼\*\*, 현명택\*\*, 최동호\*\*\*

제주관광대학, 제주대학교 대학원\*, 제주대학교\*\*, 대구가톨릭대학교\*\*\*

### An Experimental Analysis for Design and Performance Estimate of Cooling System in the Cool Storage System of Citrus

Young-Ha Park, Seok-Woo Kim, Sung-Man Kim

Jeong-Sam Koh, Myung-Taek Hyun, Dong-Ho Choi

#### 1. 서론

제주도는 1차 산업에 종사하는 인구가 30% 정도로서 가까운 기간 내에 다른 산업으로 전환할 수 있는 가능성이 적으며, 특히 제주농업에서 감귤농업이 차지하는 비중은 50%에 이르러 감귤산업은 제주농업의 절대적인 비중을 차지하고 있으므로 감귤산업 육성에 전력을 기울여야 할 실정이다. 따라서 감귤산업의 안정적인 육성을 위해 우선적으로 해결해야 할 문제는 감귤의 생산량 조정과 처리방안이다<sup>(1)</sup>. 제주도의 감귤재배면적은 25,800 ha이고 연평균 60만 톤 정도가 생산되고 있으며<sup>(2)</sup> 3~5년 이내 연평균 생산량은 60~70만 톤에서 안정될 것으로 추정된다. 감귤소비는 한국이 1인당 14.9 kg으로서<sup>(3)</sup> 일본의 6.6 kg에 비해 매우 높은 편으로 향후 감귤 소비량은 현재보다 감소할 것으로 추정되어, 이에 대한 종합적인 처리대책의 수립이 절실히 요구되고 있다. 이에 따라 감귤산업 육성을 위해 생산적 측면과 더불어 수확 후 관리기술 개발로 유통체제를 개선하고 물량조절을 통한 가격안정을 이룰 수 있는 저온저장 기술의 확립과 실용화는 중요한 연구과제이다.

본 연구는 기존의 감귤 저온저장 시설의 효율적 이용뿐만 아니라 상온저장 시설을 저온저장으로 전환시킬 경우 에너지절약형 저온저장고 모델을 설정함으로써 감귤을 보다 효율적으로 저장하는 방법을 제시하고자 한다.

#### 2. 실험장치

##### 2.1 저온저장고

실험용 저온저장고는 현재 사용되고 있는 상온저장고를 저온저장고로 전환하여 사용할 목적으로, 지금까지 제주도에서 보급해온 상온저장고의 표준형식을 모델로 하여 에월읍 용흥리에 신축하였다.

[그림 1]과 같이 건축물의 사양은 15,320 mm x 5,860 mm x 3,900 mm(가로 x 세로 x 높이)로 약 20평 규모이며, 감귤저장을 준비하고 출입문 개폐시 열손실을 최소화하기 위한 준비실과 실험을 위한 저온저장 시설로 구분하였다. 준비실은 4,200 mm x 5,860 mm x 3,900 mm(가로 x 세로 x 높이)이며, 저온저장 시설은 5,560 mm x 5,860 mm x 3,200 mm(가로 x 세로 x 높이)이므로 저장고를 1, 2호실로 구분하여 각각 제어할 수 있게 하였다.

## 2.2 냉동기계 설비

[그림 2]는 저온저장고에 설치한 냉동기계 설비의 전체적인 개요를 나타낸 것으로 냉각기, 응축기, 제상기, 압축기 및 기타부속기기로 구성되어 있다. 기종은 반밀폐 단단압축식 PA-Type으로 공냉식이다.

실험에 사용된 냉각기(Unit cooler)의 모델은 KUC-M030(220V, 3-phase)으로 저온저장고 1, 2호실에 각각 두 대를 설치하였다. 그 형상은 [그림 3]과 같고, [표 1]은 냉각기의 제품치수를, [표 2]는 냉각기 성능을 나타낸 것이다.

[표 1] 냉각기의 제품치수

L(mm)	W(mm)	H(mm)	앵커치수		배관구경(Φ)		
			A(mm)	B(mm)	입구(mm)	출구(mm)	드레인
1100	962	345	930	1,022	15.88	25.88	25A

[표 2] 냉각기의 성능

	고내온도(℃)	회피치(mm)	전열면적(m <sup>2</sup> )	열용량(kcal/h)			팬과 모터 팬경×kW×P×EA	풍량(cmm)	제상히타(kW×EA)
				온도차 15℃	온도차 10℃	온도차 7℃			
H	+14~+18	4.5	34.46	12,891	7,245	3,694	Φ500×0.2×8×1	56	0.4×8
M	+4~+8	6.5	24.96	9,660	5,457	2,805			

제상장치는 냉각기마다 2개소씩 0.4kW 용량의 전기제상방식을 채택하였으며, 설정온도보다 저장고 온도가 떨어진 경우 온도 조절을 위하여 0.6kW 히터를 냉각기의 앞과 뒤에 각각 세 개씩 부착하여 저장 물품의 냉해를 예방할 수 있도록 하였다.

응축기는 CU-PA050 기종(220V, 3 phase)으로 용량은 5RT로 하였으며, 기계 성능 및 사양은 [표 3]에 나타내었다.

[표 3] 응축기의 성능 및 사양

기종	응축열량(kcal/h)	전열면적(m <sup>2</sup> )	접속관경(Φ)		팬과 모터(Φ×kW×P×EA)	풍량(cmm)	외형치수(L×W×H)	앵커치수(L''×W'')
			입구	출구				
CU-PA050	16,600	43	22.22	15.88	400×0.1×6×2	90	1,180×548×1,600	950×596

## 2.3 콘트롤박스(Control box)

준비실에 저온저장고 1, 2호실 제어를 위한 콘트롤 박스를 별도로 설치하여 온도와 습도, 급기 및 배기 속도, 가습 및 제상을 제어할 수 있도록 하였다.

이때 저온저장고 1, 2호실의 전원을 분리하여 전력량을 각각 측정하였고, 냉동기의 대수제어를 위해 전자밸브를 수동으로 조작할 수 있도록 하였다.

## 2.4 환기장치

감귤을 장시간 저장하게 되면 호흡작용에 의한 호흡열이 발생하고, 이로 인해 실내공기가 혼탁해진다. 최적의 환경조건을 유지하기 위해 신선외기를 저장고 내로 도입할 필요가 있다.

저장고 1호실에는 팬의 속도조절이 가능한 소형 시로코팬 DS-250(220V, 단상, 최대풍량

25 m<sup>3</sup>/min)을 설치하고 직경 200 mm의 PVC 관에 50 cm 간격으로 직경 100 mm의 환기구  
를 뚫어 도입된 신선외기의 공기분포가 저장고내에서 균일하게 분포할 수 있도록 설계하였  
다.

저장고 2호실에는 공기를 환기시켰을 때와 외기를 차단하여 저장고를 가동시켰을 때의 실  
내 온열환경과 신선외기 도입에 따른 경제성을 비교, 분석하기 위해 실내에 신선외기  
도입용 덕트시설을 하지 않았다.

### 2.5 가습장치

저장고 1, 2호실 모두 초음파가습기를 설치하여 저장고 내의 습도조절을 할 수 있도록 하  
였으며, 더불어 매일 30분씩 4차례 제습이 이루어지도록 설정하였다.

### 3. 실험방법 및 조건

저장고내의 온도분포와 습도 측정은 T-type(오차범위  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ) 열전대와 Delta OHM사의  
HD8508TO 상대습도계를 사용하였으며 복사온도 측정을 위해 각 실 중앙에 흑구온도계를  
설치하였다. 저장고 1, 2호실의 온도분포 측정을 위해 [그림 4]와 같이 열전대를 48개씩 직  
육면체의 격자 모양으로 설치하였다.

수평위치별 측정점은 각 저장고 내에 설치된 두 대 냉각기의 중심점을 잡은 후 이들을 2  
등분하여 3지점의 위치를 선정하였다. 수직방향으로는 길이 5.86 m를 4등분하여 한 평면의  
측정점을 12개가 되도록 하였다. 수직으로는 바닥에서 20 cm 되는 지점을 기준으로 1m간격  
으로 4개의 지점을 선정하였다. 흑구온도계는 각 저장고의 중앙부에서 바닥으로부터 1m와  
2m 되는 지점에 설치하였다.

취출구 두 지점과 흡입구 한 지점에 각각 열전대를 설치하여 취출 및 흡입온도를 측정할  
수 있도록 하였다. 특히 신선외기 도입을 위한 환기장치가 설치된 1호실은 급기 및 배기온  
도를 측정하기 위해 급기관과 배기관에 각각 열전대를 설치하였다. 저장고와 접해있는 준비  
실은 바닥으로부터 1m, 2m 및 3m 되는 지점에서 온도를 측정하였고, 외기온도 측정을 위  
해 저장고 외부의 두 지점에 열전대를 각각 설치하였다.

습도측정은 저장고 1, 2호실 및 외기온도 측정장소에 각각 상대습도계를 설치하였다. 저장  
고 내의 상대습도계는 냉각기의 취출냉풍과 가습기에 의한 영향을 최소화하기 위해 두 대의  
냉각기 사이에 설치하였다. 습도센서 회로는 노이즈 방지를 고려하여 설계하였다. 측정된 데  
이터들은 Data Logger(Data-scan 7327, Datascan사)를 통해 컴퓨터에 저장되었다. 저장고의  
전력량 분석은 MACH 30 전력량계(Ducati사)를 사용하였다.

실험은 먼저 환기장치가 되어있는 1호실 송풍구의 흡입 및 배출구를 막아 외기의 유입을  
막고 1, 2호실의 온도 및 습도조건을 동일하게 설정한 후 24시간 가동시킨 후 저장고의 냉  
각효과를 비교, 평가하였다.

저장고의 실내설정온도에 따른 온도분포 및 전력소비량을 산출하기 위해, 실내설정온도와  
온도편차를 변수로 하여 24시간 동안 취득한 데이터를 분석하였다. 이때 실험조건은 온도편  
차  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 인 경우 실내설정온도는  $1^{\circ}\text{C}$ 부터  $9^{\circ}\text{C}$ 까지 변화시켰고, 설정온도  $4^{\circ}\text{C}$ 인 경우 온도편  
차를  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 로 변화를 주었다.

또한 환기시간 및 환기간격을 변화시키면서 환기를 하지 않은 조건과의 결과를 비교, 분  
석 하였다. 실험조건은 하루 24시간을 기준으로 환기팬 작동회수 4회 10분씩 환기(6시간간  
격), 환기팬 작동회수 4회 20분씩 환기(4시간간격), 환기팬 작동회수 6회 10분씩 환기(6시간  
간격), 환기팬 작동회수 6회 20분씩 환기(4시간간격)하는 조건으로 설정하였으며, 이 경우  
실내설정온도는  $4^{\circ}\text{C}$ , 온도편차는  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 로 하였다.

저온저장고의 감광 저장효과를 알아보기 위한 실험으로, 제주도 서귀포시 토평동에 소재

한 과수원에서 3월경 수확한 직경 77~85mm의 청견(Kiyomi tangor, *Citrus unshiu* × *sinensis*)을 내부용량이 26 l 인 플라스틱 컨테이너에 감귤을 12 kg 정도씩 담아 시료로 사용하였다.

저장효과 평가는 감귤의 부패율, 무게손실량, 가용성고형물, 산 함량, pH, 경도 및 파괴수분율에 대하여 제주도농업기술원과 실험용 저온저장고를 각각 비교하여 분석하였다.

감귤의 부패율은 저장고에 적재된 위치에서 상, 중, 하 3곳에서 부패과를 조사하고, 총 과실수로 나누어 백분율로 환산하여 누계로 나타내었으며, 무게손실량의 평가도 부패율 조사와 마찬가지로 3 곳을 정하고 10개 과실의 초기 무게를 측정하여 시기별 손실량을 백분율로 환산하였다.

과즙의 가용성고형물은 감귤을 박피하여 착즙한 다음 Abbe 굴절당도계 (Attago, 일본)를 사용하여 측정하였으며, 산 함량은 0.1 N NaOH 용액으로 정량한 다음 구연산으로 환산하였다.<sup>(5)</sup> 이들 측정값은 3회 측정 후 평균값으로 나타내었다.

총당은 0.1N HCl로 가수분해하여 여과한 여액을 Somogyi-Nelson 변법<sup>(6)</sup>으로 정량하였다. 비타민 C는 시료 10 g을 5% metaphosphoric acid 50 ml를 가한 후 마쇄하여 감압여과하고, 찌꺼기는 소량의 물로 세척하여 추가로 추출한 후 100 ml로 하여 hydrazine비색법에 준하여 분석하였다<sup>(7)</sup>.

#### 4. 실험결과

[그림 5]는 저장고 1, 2호실을 같은 조건으로 가동시킨 후 냉각효과를 비교한 것이다. 설정온도 3℃인 경우 온도편차 ±2℃의 범위 내에서 거의 동일한 경향의 온도분포를 나타내었다. 이것은 각 저장실에 설치된 냉각기의 능력에 차이가 없고 냉매의 유량분배가 잘 이루어졌다고 판단할 수 있다.

[표 4]는 온도편차를 ±2℃로 고정시키고 냉각기 1대만 가동시키면서 설정온도 변화에 따른 전력소비량을 평가한 것이다.

[표 4] 실내설정온도에 따른 전력 소비량

온도편차	습도	제습	제상	일시	설정온도	저장고	전력소비량
±2℃	85% (편차5%)	30분 (4회/1일)	20분 (4회/1일)	6. 25	1℃	1호실	59 kW
				6. 18	2℃	1호실	58 kW
				6. 14	3℃	2호실	57 kW
				6. 18	4℃	2호실	49 kW
				6. 19	5℃	1호실	41 kW
				6. 19	6℃	2호실	33 kW
				6. 23	7℃	1호실	40 kW
				6. 23	8℃	2호실	32 kW
				6. 25	9℃	2호실	27 kW

실험결과 설정온도가 높을수록 전력 소비량이 적고 설정온도가 낮을수록 전력 소비량이 크다는 것을 알 수 있었으며, 특히 설정온도 1℃에서 3℃까지는 비슷한 값의 전력량을 나타내었으나, 4℃ 이후부터는 전력량이 크게 감소하는 경향을 알 수 있었다.

[그림 6, 7]은 온도편차 ±2℃로 설정한 상태에서 실내설정온도가 각각 1℃와 9℃인 경우 저장고 상층부를 기준으로 온도분포의 변화를 나타낸 것이다. 냉동기를 가동시키고 1시간 정도 지난 후 정상상태에 도달하였고 각 지점에서 일정한 온도를 나타냄으로써 저장고 내 온열환경은 정상상태에 도달된 것으로 판단된다. 그림에서 설정온도와 주어진 온도편차에서 제어가 잘 되는 것을 알 수 있으며, 주기적으로 급격한 온도상승이 일어나는 것은 제상기능이 정상적으로 작동하였다는 것을 보여준다.

[표 5]는 설정온도 4℃인 경우 냉각기를 1대만 가동시키면서 온도편차에 따른 전력소비량을 요약한 것이다. 설정온도가 동일한 경우 온도편차를 크게 할수록 전력소비량이 적어지는 것을 알 수 있었다. 따라서 감귤의 저장성을 떨어뜨리지 않는 범위에서 온도편차를 크게 하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

[표 5] 온도편차에 따른 전력소비량

설정온도	습도	제습	제상	일시	온도편차	저장고	전력량
4℃	85% (편차5%)	30분 (4회/1일)	20분 (4회/1일)	7.04	±1℃	1호실	53 kw
				6.18	±2℃	2호실	49 kw
				7.05	±3℃	1호실	41 kw

[표 6]은 설정온도 4℃, 설정온도에 대한 온도편차 ±1℃인 경우 냉각기 1대를 가동시키면서 환기조건에 따른 전력소비량이다. 이때 급·배기는 동시에 수행하였다. 실험결과 환기시간이 길고 환기횟수가 많을수록 전력소비량이 많음을 알 수 있었으나, 동일조건에서 환기를 시키지 않은 경우와 전력소비량의 차이는 1kW로서 큰 차이를 나타내지 않았다. 이것은 시설비의 부담이 없으면 환기를 시킴으로써 저장고 내의 공기를 보다 신선하게 유지시킬 수 있을 것으로 기대되나 이에 관한 보다 많은 검토가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

[표 6] 환기시간에 따른 전력소비량

설정온도	온도편차	습도	제습	제상	일시	실험조건	저장고	전력량
4℃	±1℃	85% (편차5%)	30분 (4회/1일)	20분 (4회/1일)	7.06	급·배기 10분 4회/1일	1호실	54 kW
					7.10	급·배기 10분 6회/1일	1호실	65 kW
					7.13	급·배기 20분 4회/1일	1호실	69 kW
					7.12	급·배기 20분 6회/1일	1호실	77 kW

[그림 8~11]은 환기량 및 환기시간에 따른 저장고 상층부 중앙지점을 기준으로 온도분포를 나타낸 것이다. 그림으로부터 환기에 의한 영향으로 온도상승 시간이 보다 크게 일어나는 것을 알 수 있으며, 환기시간을 제상시간에 맞춰하면 보다 안정적인 온도분포를 가질 수 있음을 확인할 수 있었다.

저온저장한 감귤의 부패율은 [그림 12]에서 보는 바와 같이 초기 2개월 동안 습도조절의 어려움으로 실험용 저장고가 상대적으로 부패율의 증가가 있었지만, 이후 3개월 동안 부패율은 1% 이하를 유지하면서 양호한 저장상태를 보여주었다.

[그림 13]은 중량감소의 변화를 비교하여 나타낸 것이다. 두 저장고에서 비슷한 경향으로 저장기간이 길어질수록 1개월에 약 1.4%의 중량감소가 발생하였다.

감귤품질에 큰 영향을 주는 가용성고형물(당도)과 산 함량의 변화를 [그림 14, 15]에 두 저장고를 비교하여 나타내었다. 가용성고형물은 시간의 경과에 따라 일시 증가하였다가 감소하는 경향을 보였다. 그 원인은 저장고 내부가 다소 건조한 상태에서 증산작용에 의해 과즙이 농축되는 경향으로 인해 당도가 증가하였다가 저장기간이 길어질수록 감귤의 호흡작용에 의해 점차 감소하였다고 판단되며, 산함량은 저장기간이 길어질수록 호흡작용에 의해 빠르게 감소하는 경향을 보였다. 본 실험을 통하여 두 저장고 사이의 성분함량의 변화는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며 지속적인 실험을 통하여 보다 좋은 저장효과를 얻을 수 있

는 에너지 절약형 저온저장고를 설계할 수 있을 것으로 기대한다.

## 5. 결론

저온저장고는 감귤뿐만 아니라 농산물 등을 신선하게 저장할 목적으로 전국에 약 1,500개소, 25만평에 달하고 있으며, 앞으로도 그 수요는 더욱 증가될 것으로 예상된다.

본 실험은 기존 상온저장 시설을 저온저장 시설로 전환시키거나 또는 신축하는 경우 보다 에너지를 절약하면서 그 저장효과를 극대화할 수 있는 모델을 설정하기 위해 수행하였으며 그 동안의 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 온도편차를 고정시키고 설정온도를 변화시키며 전력소비량을 측정했을 때, 설정온도가 높을수록 경제적이었고, 설정온도 4℃ 이후에서는 전력소비량이 크게 감소하는 경향을 보였다.

2) 온도편차를 크게 취할수록 전력소비량이 감소하여 경제적인 운전을 할 수가 있기 때문에 농산물의 저장상태를 유지시킬 수 있는 조건에서 적절한 온도편차를 설정할 필요가 있었다.

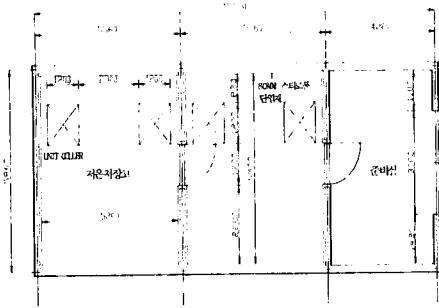
3) 환기시간이 많고 환기횟수가 많을수록 전력소비량이 많았다. 다만 동일조건에서 환기를 시킨 경우와 그렇지 않은 경우에 대해서는 보다 많은 실험이 요구되었다.

4) 실험용으로 제작된 저온저장고와 기존의 저온저장고를 부패율, 중량감소, 가용성고형물, 산 함량에 대해 시간의 경과에 따라 저장효과를 비교 분석한 결과 충분한 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단되었다.

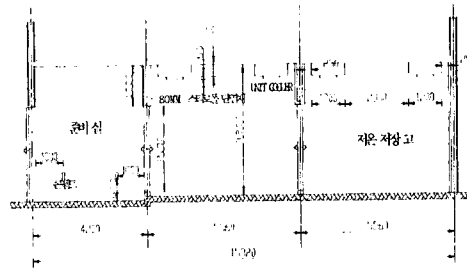
기존에 설치된 많은 상온저장고를 저온저장 시설로 전환시켜 사용하는 방법이 감귤의 신선도유지와 물량조절 기능을 위해 불가피한 현실에서 이에 따른 기술적 및 경제적인 측면에서 지속적인 검토가 요구된다.

## 6. 참고문헌

1. 고정삼, 강영주, 감귤가공, 제주대학교 출판부(1998)
2. 농협 제주지역본부, 감귤유통처리실태분석, 각년도
3. 박병원, 과수산업 육성정책, 21세기를 향한 제주감귤산업의 새로운 방향 모색을 위한 심포지움, 제주도의회(1998)
4. 제주도, 주요행정총람, 각년도
5. 小原哲二郎 編, 食品分析ハンドブック, 建帛社(1973)
6. Hatanaka, C. and Y. Kobara, Determination of glucose by a modified Somogyi-Nelson method, *Agric. Biol. Chem.*, 44, 2943-2949(1980)
7. 주현규 외, 식품분석법, p. 409, 학문사(1995)

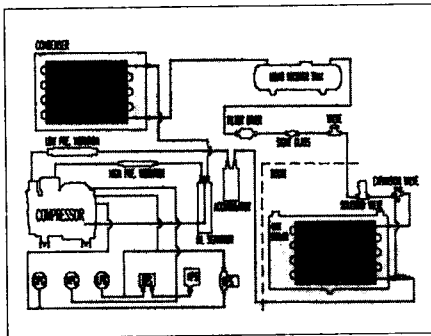


(a) 저온저장고 평면도

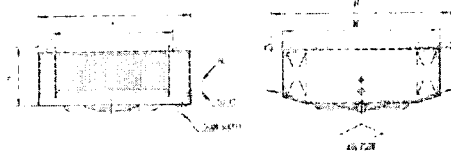


(b) 저온저장고 단면도

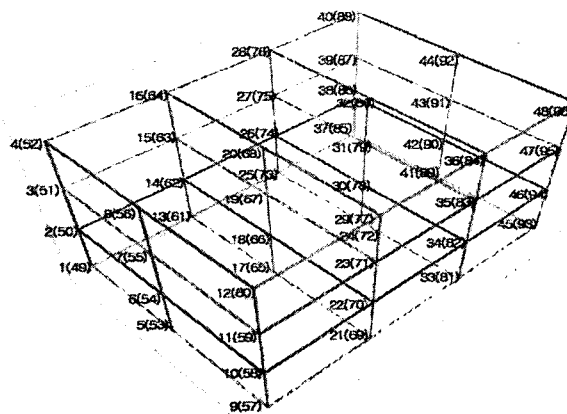
[그림 1] 저온저장고 설계도면



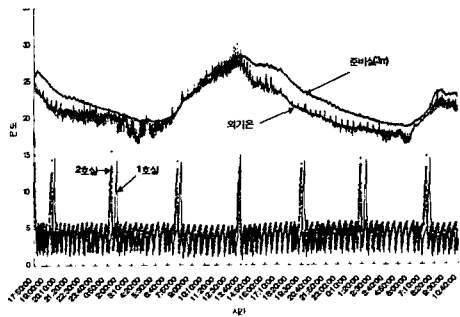
[그림 2] 냉동 기계설비 회로도



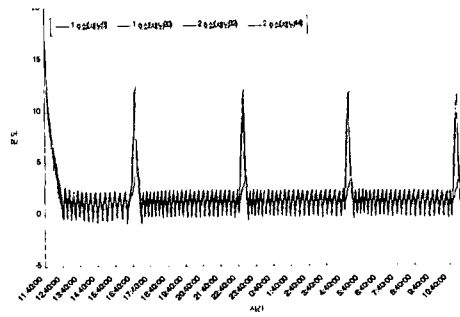
[그림 3] 냉각기 도면



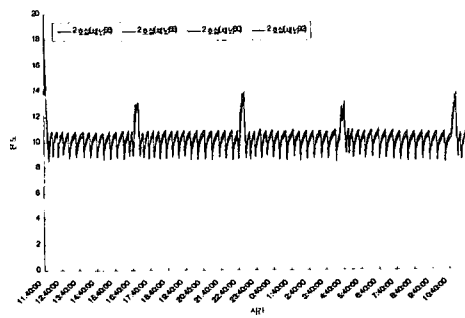
[그림 4] 저온저장고 온도센서 설치 위치



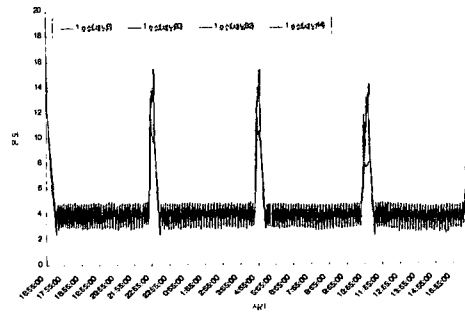
[그림 5] 저장고 1, 2호실의 온도비교  
(설정온도 3℃, 온도편차 ±2℃)



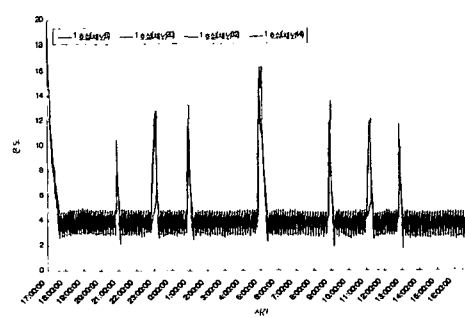
[그림 6] 설정온도 1℃, 온도편차 ±2℃ 인 경우 위치별 온도변화



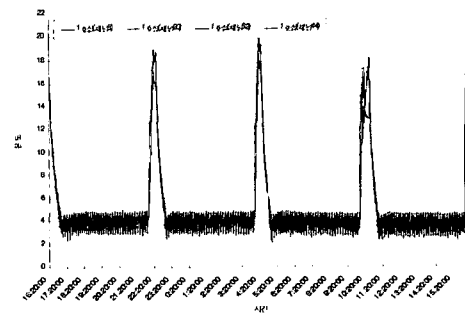
[그림 7] 설정온도 9℃, 온도편차 ±2℃ 인 경우 위치별 온도변화



[그림 8] 환기에 따른 온도변화  
급·배기 10분씩, 4회환기/1일

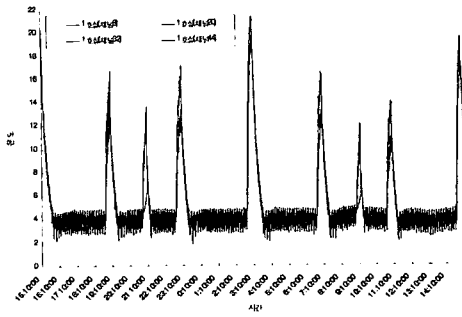


[그림 9] 환기에 따른 온도변화  
급·배기 10분씩, 6회환기/1일

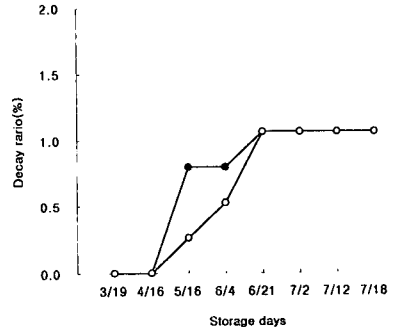


[그림 10] 환기에 따른 온도변화  
급·배기 20분씩, 4회환기/1일

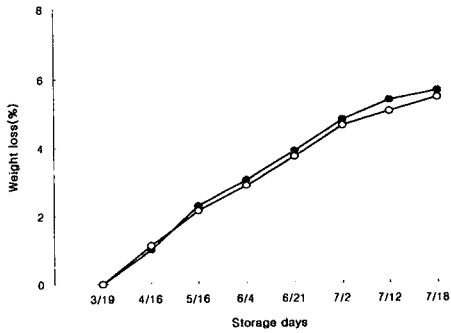




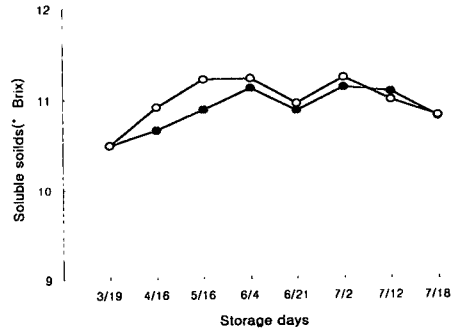
[그림 11] 환기에 따른 온도변화  
급·배기 20분씩, 6회환기/1일



[그림 12] 감귤 저장시간에 따른 부패율 변화  
○-○농업기술원저장고, ●-●실험용저장고



[그림 13] 감귤 저장시간에 따른 중량감소  
○-○농업기술원저장고, ●-●실험용저장고



[그림 14] 저장시간에 따른 가용성고형물 변화  
○-○농업기술원저장고, ●-●실험용저장고



[그림 15] 감귤 저장시간에 따른 산함량 변화  
○-○농업기술원저장고, ●-●실험용저장고