

# 농산물 진공예냉장치 개발

## Development of Vacuum Cooling for Agriculture Products

이원옥\*   윤홍선\*   정 훈\*   이현동\*   조광환\*   이정환\*  
 정회원   정회원   정회원   정회원   정회원   정회원  
 W.O.Lee   H.S.Yun   H.Chung   H.D.Lee   K.H.Cho   K.H.Lee

### 1. 서   론

신선청과물의 선도는 온도, 습도, 가스환경 등에 따라 영향을 받게 되는데 생체반응의 대부분이 효소반응이며 이는 온도에 가장 큰 영향을 받는 것으로서 선도유지 수단으로는 온도조각이 가장 많이 이용되고 있다. 완벽한 온도조각은 대개 저온유통체계(Cold Chain System)로서 대표될 수 있는데 이는 수확 후 바로 예냉하여 저온하에서 전 유통과정이 이루어지는 것으로서 이중 예냉은 청과물의 초기 품질관리에 절대적인 영향을 미치며 특히 진공예냉에 의하면 30여분 정도의 짧은 시간에 품온을 낮출 수 있어 저온유통의 초기 단계에 효과적인 방법으로 사용되고 있다. 따라서 선진외국에서는 진공예냉에 관한 많은 연구가 수행되어 실용화되고 있다. 그러나 우리나라에서는 연구가 초기단계로써 국내실정에 맞는 진공예냉장치의 개발이 필요하다.

따라서 우리 실정에 맞는 진공예냉장치를 개발하기 위하여 2000년도에 진공압력에 따른 작물별 냉각특성과 운전조각에 따른 냉각특성을 구명하는 요인실험 결과를 기초로 입고·예냉·출고까지 전 공정을 자동화하고 진공압력을 작물의 품온에 따라 능동적으로 제어할 수 있으며 진공챔버내에 콜드트랩을 설치하여 냉각효율을 향상시킨 진공예냉장치를 개발하여 고랭지 배추와 느타리버섯, 상추를 대상으로 개발된 시작기의 예냉성능을 평가하고 예냉이 이들 작물에 미치는 영향을 분석하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 시작기 설계

예냉기의 설계를 위하여 표1과 같은 작동조건을 기준으로 냉각부하를 계산하여 냉동기 용량과 콜드트랩 전열면적을 결정하였다.

표1. 시작기 작동조건

예냉물	진공조 크 기 (m)	냉각조건			냉각목표			물 1kg 당 증 발잠열
		콜드트랩 표면온도	고내 온도	1 회 예냉량	초기 품온	목표 품온	예냉 시간	
배 추	2.4×1.5×2.1	-5℃	3℃	600kg	28℃	5℃	25분	597.1kcal

\* 1회 예냉량(배추) : 10kg×6상자×10단×1팔레트 = 600kg

#### (1). 냉동기 및 콜드트랩

진공냉각장치의 냉동기는 콜드트랩 냉각하여 예냉물로부터 수분 증발 촉진시키기 위하여 증발된 수분을 제거하는데 이용되며 예냉물을 직접냉각하지는 않는다. 그러므로 증발된 수분을 응축할 수 있는 냉동기 필요용량을 표1의 작동조건을 고려하여 식 1에 의하여 표2와 같이 산출하였다. 콜드트랩은 진공펌프에 의하여 챔버내 수증기를 효율적으로 제거하기 위하여 야채의 수증기압과 콜드트랩의 수증기압과의 압력구배를 크게하여야 한다. 콜드트랩의 전열면적은 식2에 의하여 표2와 같이 설계하였다

\* 농촌진흥청 농업기계화연구소

$$Q = 1.2 \times (P \times \frac{t_e - t_s}{5.5 \times 100}) \times W \times \frac{1}{t/60} \dots\dots\dots (식1)$$

여기서 Q : 냉각부하(kcal/h), P : 증발잠열(kcal/kg · °C)

t<sub>e</sub> : 냉각물의 초기품온(°C), t<sub>s</sub> : 냉각물의 목표품온(°C)

W : 챔버내 1회 냉각물량(kg), t : 목표예냉시간

$$A = \frac{Q}{\Delta t \times h_o} \dots\dots\dots (식2)$$

여기서 A : 콜드트랩 전열면적(m<sup>2</sup>), Q : 증발기 용량(kcal)

Δt : 콜드트랩 표면온도와 고내온도의 차(°C)

h<sub>o</sub> : 전열계수(400~850)kcal/m<sup>2</sup> · °C · h

표 2. 냉동기 용량 및 콜드트랩 전열면적 설계

설계냉각부하	냉동기	Cold trap
- 43,000 kcal/h	- 압축기 : 18.5kW - 응축기 : 73,564kcal · 응축온도 : 45°C - 증발기 : 43,000kcal · 증발온도 : -10~-5 °C	- 전열 면적 : 8.6m <sup>2</sup> · 전열계수 : 625 kcal/m <sup>2</sup> · °C · h

나. 시작기 제작

본 연구에서 제작한 예냉장치는 진공상태를 이용하여 청과물 주위의 압력을 낮춰 수분 증발을 촉진시키고 이때 빼앗기는 증발잠열에 의하여 품온을 낮추는 원리를 이용한 것으로서 시작기의 구성은 그림1과 같은 구조로 진공탱크, 콜드트랩, 콜드트랩용 냉동기, 진공펌프를 기본원리로 하여 제작하였다.

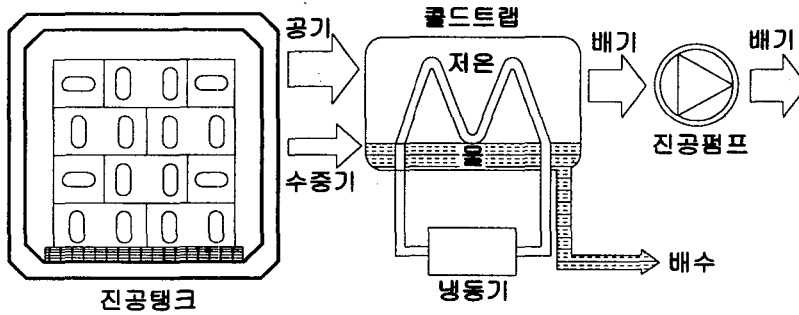


그림 1. 진공예냉장치의 기본 구성도

제작된 시작기의 구조 및 제원을 그림2와 표3에 나타내었다. 시작기는 공급컨베이어, 좌우 자동슬라이딩 문, 진공챔버, 콜드트랩, 콜드트랩용 냉동기, 진공펌프, 자동제어반으로 구성되어 있으며 작동은 각 장치를 개별작동 할 수 있는 수동작동과 PLC에 의한 순차(Sequence)제어를 이용하여 전자동으로 작동될 수 있도록 하고 제어반 조작은 터치스크린을 사용하였다. 시작기의 작동은 팔레트에 적재한 예냉물을 공급컨베이어위에 올려놓고 Auto Start를 작동하면 입구문이 열리고 공급컨베이어가 작동하여 팔레트위의 예냉물을 진공챔버안으로 이동시킨후 다시 입구문이 닫히면 에어실린더가 작동하여 진공챔버를 밀폐시키면 진공펌프와, 냉동기가 순차로 작동하면서 진공챔버내의 진공

을 형성하면서 예냉이 시작된다. 예냉 진행중 챔버내의 습구온도를 측정하여 진공압을 자동 조절하여 예냉물의 품온을 원하는 온도까지 냉각시키면 진공펌프와 냉동기가 작동을 멈추고, 진공챔버내의 진공을 파괴시켜 대기압 상태와 똑같이 유지시킨 후 입구문이 열리고 이송컨베이어가 작동하여 챔버내의 예냉물을 배출하면 예냉이 완료 될 수 있도록 제작하였다.

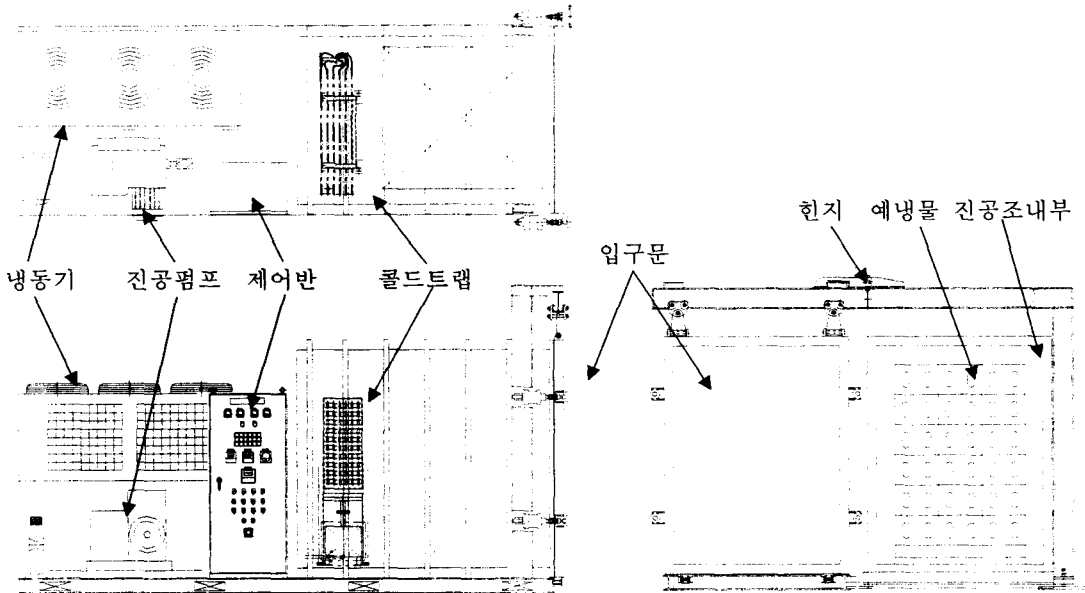


그림 2. 시작기 구조

표 3. 시작기 제원

구 분		제 원	
본 체	형 식	가수·진공냉각식	
	크 기(L×W×H, mm)	5,200×2,100×2,900	
진공챔버	형 식	사각조	
	크 기(L×W×H, mm)	2,400×1,500×2,100	
	최대진공압력	3 Torr	
	예냉물이송	롤 컨베이어	
진공펌프	형 식	유체 회전식 다단펌프	
	용 량	3.75kW	
콜드트랩	형 식	코일 냉각형	
	전열면적	8.6m <sup>2</sup>	
	증발온도	-10~-5℃	
	냉 동 기	43,000kcal/h	
	가수장치	스프레이식, 가수량 : 20ml/hr·kg	
입·출고문	형 식	좌우 자동 슬라이딩	
	동 력	0.2kW, 1/75 브레이크모타	
제 어 반	크 기 (W×L×H, mm)	1,200×600×1,700	
	Touch Screen	CPU	Pentium III 750MHz
		MEMORY	128MB

다. 시험방법

제작된 진공예냉기의 냉각성능을 평가하기 위하여 고랭지 배추, 느타리 버섯, 상추를 대상으로 시험을 실시하였다. 시료는 가락동 시장에서 구입하여 냉각시험을 실시하고 예냉후 진공예냉이 농산물 품질에 미치는 영향을 분석하였다. 작물별 냉각시험에 사용된 포장상자, 상자적재방법, 시료량 등의 조건은 표4와 같다.

표 4. 예냉시험조건

작 물	포장상자			팔레트	상 자 적재방법	시 료 량
	크 기(mm)	중 량	통기공			
느타리 버섯	540×360×90	4kg	개 수 8개 개공율 5%	T11형 (1100×1100mm)	3열×2열 ×10단	240kg (1팔레트)
고랭지 배추	540×360×185	10kg	개 수 3개 개공율 5.0%	"	3열×2열 ×4단	576kg (1팔레트)
상 추	412×275×220	4kg	무개공	"	10상자 ×4단	160kg (1팔레트)

(1). 냉각속도

작물별 냉각속도는 공시재료를 골판지상자에 포장하여 팔레트에 적재한 상태에서 바깥쪽에 적재한 상자, 안쪽에 적재한 상자내의 중앙에 위치한 시료에 T형 열전대를 설치하고, 다점온도 기록계(일본, YOKOGAWA, DR242)를 사용하여 측정하였다. 열전대의 위치는 느타리버섯은 버섯 대에, 고랭지 배추는 밑동 중심부에 상추는 잎 중앙부에 설치하고 냉각속도를 측정하였다.

(2). 예냉효과

예냉효과를 비교하기 위하여 무예냉 상온유통과 예냉후 상온유통조건에서의 각 작물별 품질 변화를 측정하였다. 예냉이 완료된 느타리버섯을 상온에 저장하면서 색도변화와 느타리버섯의 갓 크기 변화를 측정하였다. 색도는 색채색차계(CR- 200, Minolta)를 이용하여 느타리버섯 갓의 L값을 측정하였고, 저장일수에 따라 느타리버섯의 개산정도를 측정하기 위하여 갓의 크기 변화를 측정하였다.

고랭지 배추는 상온에 저장하면서 포장상자에 따라 배추줄기의 절단력 및 배추의 중량 감모율을 측정하였다. 배추 줄기의 절단시험은 인장압축강도시험기(TA-HD2 Texture Analyzer)를 사용하였다. 배추시료는 배추 잎 줄기의 밑에서 1/4 높이가 되는 부위의 중앙부분을 2×3cm가 되도록 면도칼로 잘라내어 사용하였으며 잎의 안쪽 표면이 탐침(probe)에 접촉하도록 하였다. 인장압축강도시험기의 조작조건은 최대하중 8kg, probe speed 0.8mm/sec로 하여 칼날형 탐침으로 3회 이상 반복 시험하여 그 평균치를 사용하였다. 중량 감모율은 예냉 전 초기 값에 대한 중량에서 측정시 중량을 뺀 중량에 대한 백분율(%)로 나타내었다. 상추에서는 고랭지 배추와 같은 방법으로 중량변화를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 냉각성능

작물별 냉각성능은 표5와 같이 느타리버섯이 34.3℃/시간, 고랭지배추가 32.6℃/시간, 상추가 28.5℃/시간으로 나타났다. 느타리버섯의 경우 예냉 전 살수하고 예냉을 실시하여 냉각속도가 높게 나타났으며, 상추의 경우 살수하여도 상추잎이 겹쳐있어 상자안쪽에까지 미치지 못하므로 냉각속도에는 영향을 미치지 못한 것으로 판단되며, 가수에 의한 진공 예냉시험은 급후 대상작물 확대하여 시험할 필요가있다.

표5. 작물별 냉각속도

구 분	품 온(℃)		냉각소요시간(시간)	냉각속도(℃/시간)	비 고
	초 기	종 료			
느타리 버섯	15.2	1.5	0.4	34.3	가 수
고랭지 배추	13.5	3.7	0.3	32.6	무가수
상 추	13.4	2.0	0.4	28.5	가 수

나. 냉각 균일도

폴판지 상자에 포장된 예냉물의 냉각균일도는 그림 3, 그림 4에서와 같이 느타리버섯과 상추에서는 진공압조절을 하지 않아도 균일한 목표품온을 유지할 수 있었으며, 그림 5의 고랭지 배추에서는 냉각 균일도를 높이기 위해 프래시 포인트를 중심으로 습구온도에 따라 진공압을 조절하므로서 균일한 냉각이 가능한 것으로 나타났다.

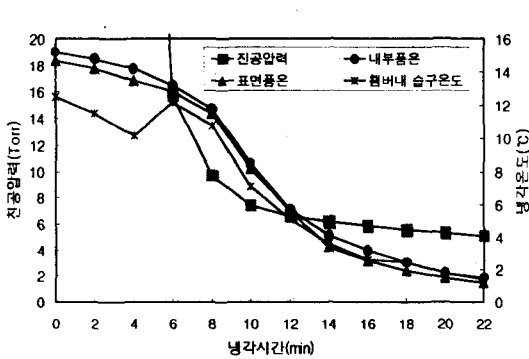


그림 3. 느타리버섯의 냉각균일도

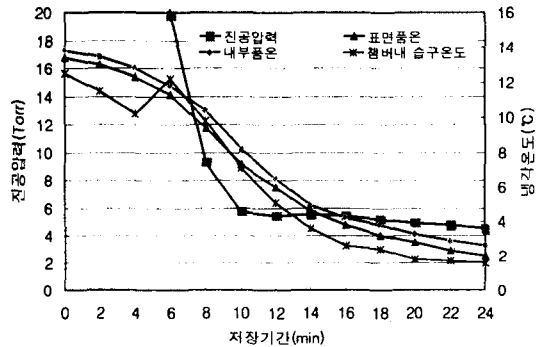


그림 4. 상추의 냉각균일도

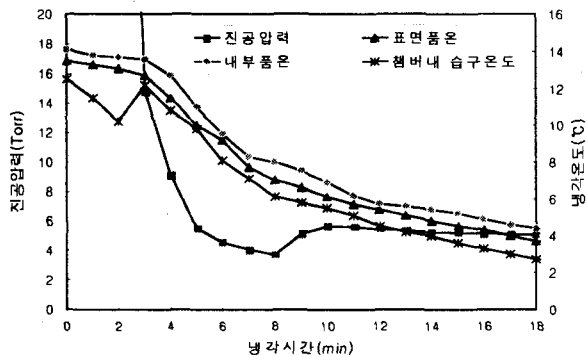


그림 5. 고랭지 배추의 냉각균일도

다. 예냉후 저장중 품질변화

예냉후 상온저장하면서 예냉하지 않은 시료와 작물별로 품질변화를 그림 6 ~그림 9에 나타내었다. 느타리버섯의 갓 색도변화(그림6)는 무예냉 처리하여 상온 저장한 시험구에서는 예냉처리 후 상온저장한 시험구에비하여 저장 4일 후부터 급격히 과피색이 변화하여 외관 신선도가 떨어졌다. 또한 갓의 크기변화에서도(그림7) 무예냉 상온 저장에서는 저장 2일후부터 갓의 크기가 수축되기

시작하였다. 이는 품온상승으로 인하여 갖의 개산 속도가 빨라짐과 동시에 증량감소로 인하여 갖이 수축하면서 외관의 변형이 생기기 시작한 것으로 판단된다. 따라서 예냉후 유통할 경우 예냉하지 않은것에 비하여 품질유지기간을 연장할 수 있는 것으로 판단된다

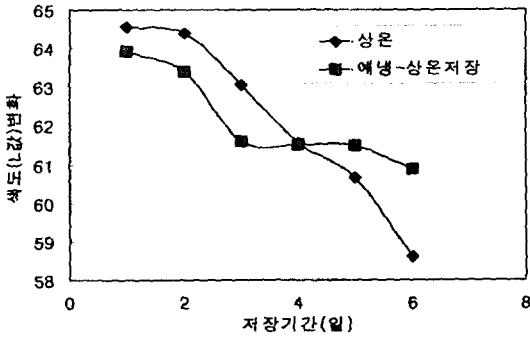


그림 6. 느타리버섯의 색도(L값) 변화

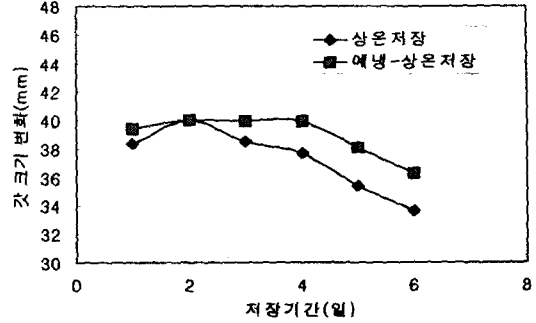
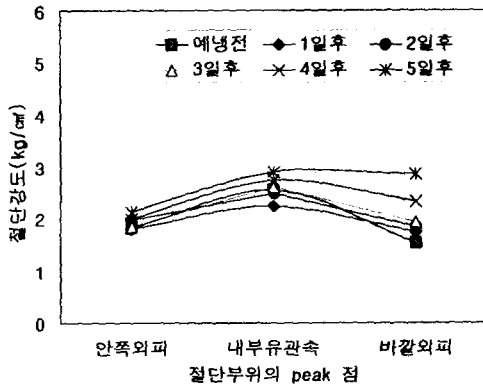


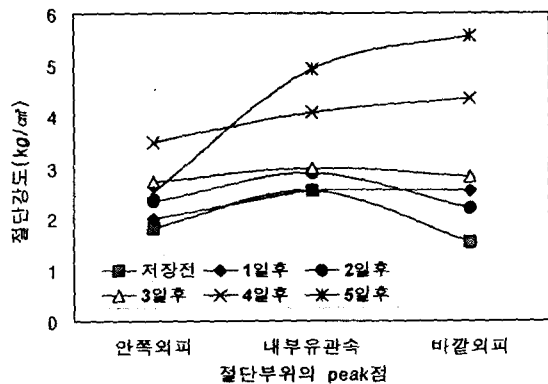
그림 7. 느타리버섯의 갖 크기 변화

고랭지 배추의 잎줄기 부분 절단력을 측정된 결과 그림8에서와 같이 무예냉 상온저장에서는 시간이 경과함에 따라 바깥외피의 절단강도는 급격히 증가하여 예냉하여 저장했을 때에 비하여 배추의 바깥외피의 절단강도가 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 저장기간이 경과함에 따라 주위온도의 상승과 수분증발로 인하여 세포벽의 포개짐에 의한 기하학적 변형으로 판단된다. 그러므로 진공예냉하여 유통할 경우 신선한 상태를 오래 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 9는 상추의 예냉 후 저장중 감모율의 변화를 나타낸 것으로 저장 4일후 예냉처리한 것은 3%로 예냉처리하지 않은 것의 6%에 비하여 낮게 나타났다. 예냉처리한 상추의 경우 예냉처리시 수분이 증발하여 상대적으로 비예냉품에 비하여 증발가능한 수분이 줄어들었고, 초기에 품온을 강하시켜 호흡이 훨씬 억제되어 성분분해가 적게 일어나 결과로 추정된다. 따라서 장기 유통할 경우 예냉처리에 의해 초기 수분을 제거하더라도 오히려 비예냉품에 비하여 총 감모율에 있어서는 유리한 결과를 보여주고 있다.



(예냉후 상온저장)



(무 예냉 상온저장)

그림 8. 고랭지 배추의 줄기절단강도

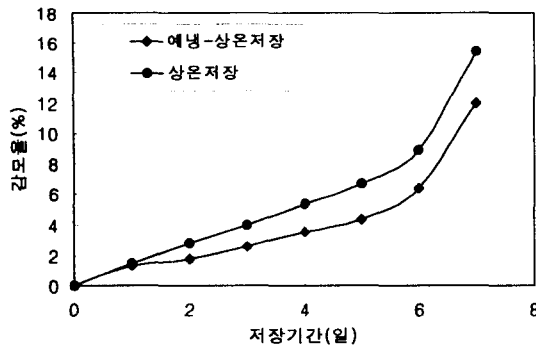


그림 9. 상추의 중량감모율

#### 4. 적 요

입고·예냉·출고까지 전 공정을 자동화하고 진공압력을 작물의 품온에 따라 능동적으로 제어할 수 있고 진공챔버내에 콜드트랩을 설치하여 냉각효율을 향상시킨 진공예냉장치를 개발하여 고랭지 배추와 느타리버섯, 상추를 대상으로 예냉성능을 평가하고 예냉이 이들 작물에 미치는 영향을 분석하였다.

- 가. 새로 개발된 진공식 예냉장치는 공급컨베이어, 좌우 자동 슬라이딩 문, 이송컨베이어, 진공챔버, 진공펌프 콜드트랩, 냉동기로 구성되어 있다. 팔레트를 공급컨베이어에 올려놓고 작동을 시작하면, 입구문이 열리고 팔레트가 진공챔버내로 이송되면, 진공펌프에 의해 진공챔버내의 압력을 떨어뜨리고, 콜드트랩과 냉동기가 작동되어 예냉이 시작된다. 예냉이 완료되면 출구문이 열리고 이송컨베이어가 역회전하여 밖으로 배출되도록 되어있다.
- 나. 제작된 예냉장치의 예냉성능을 평가하기 위하여 느타리버섯, 고랭지 배추, 상추를 대상으로 냉각속도, 냉각균일도, 예냉후 저장중 품질변화시험을 실시하였다.
- 다. 시험결과 냉각소요시간은 느타리 버섯의 경우 초기품온 15.2℃에서 1.5℃까지 냉각시키는데 24분, 고랭지배추는 13.5℃에서 3.7℃까지 냉각시키는데 18분, 상추는 13.4℃에서 2.0℃까지 냉각시키는데 24분 소요되었다. 평균냉각속도는 느타리 버섯이 34.3℃/h, 고랭지배추 32.6℃/h, 상추 28.5℃/h로 나타났다.
- 라. 또한 각층간의 냉각균일도를 알아보기 위하여 포장상자내에서 표면 품온과 내부품온변화를 조사한 결과 차이가 거의 없어 균일한 냉각이 가능하였다.

#### 5. 인용문헌

- 가. 大久保増太郎. 1991. 野菜の鮮度保持 養賢堂. P39~138
- 나. 長谷川良雄. 1991. 低溫流通 システムの現況と課題. 食品加工技術. P39~47
- 다. 岩元陸夫. 1981. 農産物の豫冷と輸送. 農および業園藝 56. P111~118
- 라. Steven A.S. etc. 1980. Evaluating precooling methods for vegrtable packing house operations. Proc. Fla. State Hort. Soc. 101. P175~182
- 마. Henry, F.E. 1980. The effect of certain precooling and storage conditions on the quality of bell pepers. Proc. Fla. State Hort. 93. P314~316
- 바. Karl McDonald, Da-Wen Sun. 2000. Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review. Journal of Food Engineering 45. P55~65
- 사. 김병삼 외 5명. 1995. 진공예냉처리에 의한 양상치의 선도 연장. 한국농화학회지 제38권 제3호. P239~247
- 아. 남궁배 외 4명. 1995. 진공 예냉처리가 포장 저장중 표고버섯의 품질에 미치는 영향. 한국농화학회지 제38권 제4호. P345~352