

## 진공 예냉장치 내에서의 야채류의 온도 변화 특성에 관한 연구

† 원종호\* · 박상균\*\* · 윤석훈\*\*\* · 오 철\*\*\*\*

\*ABS, \*\*한국해양대학교, \*\*\*,\*\*\*\* 한국해양대학교 기관시스템공학부 교수

### A study on the characteristic of vegetables temperature in the pre-cooling vacuum unit

† Jong-Ho Won\* · Sang-Gyun Park\*\* · Seok-Hoon Yoon\*\*\* · Cheol Oh\*\*\*\*

\* ABS, Busan, Korea

\*\*National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

\*\*\*, \*\*\*\*Division of Marine engineering system, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**요 약** : 진공예냉장치에서 상대습도변화 및 냉각온도변화에 따른 야채류의 온도변화에 대하여 고찰한 논문이다. 실험장치는 진공챔버, 이젝트 펌프, 냉동기장치, 계측장치 및 냉각수 계통으로 구성되어 있다. 실험결과 야채류의 냉각속도는 야채류의 함수율에 크게 의존하고 있으며, 함수율이 높은 야채가 낮은 야채에 비하여 냉각속도가 증가하는 것을 알 수 있다.

**핵심어** : 냉각온도변화, 상대습도, 진공장치, 함수율

**Abstract** : This study is to observe the change of temperature and relative humidity for various vegetables in vacuum precooling system. The materials for experiments were the lettuce, chinese cabbage, pak choi and cabbage. The experimental apparatus was constructed of vacuum chamber, vapor/water separator, water tank, pumps ejecting and cooling water circulation, refrigerator unit, cooling coil for water cooling, Hygrometer and Data logger measuring of the temperature change. The experiments were operated in 20torr and recorded every 3 minutes. It was found that the cooling temperature and speed of vegetables are depending on the percentage of its water content. The more water contains, the faster cooling speed and the lower cooling temperature.

**Key words** : Freshness(신선도), Precooling(예냉), Vacuum(진공), Vacuum precooling system(진공예냉시스템), Vegetable(채소)

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

최근 한미 FTA 협상이 나름대로 성과를 거두며 마무리가 되었다. FTA가 체결되면 대부분 산업에서 관세가 철폐되고 자유롭게 무역할 수 있게 된다. 또한 낮은 관세로 우리 상품이 미국 시장에 수출되기 때문에 일본이나 중국이 미국에 수출한 상품보다 우리나라의 제품이 경쟁력을 가질 수 있으며, 우리 경제와 사회 시스템 전반을 선진화하여 국가 경쟁력을 높일 수 있다. 특히, 경쟁력이 약한 과수, 화훼, 채소 등 원예 농산물 분야가 대표적이다. 과일·채소 중에서도 오렌지, 사과, 복숭아, 포도 등 신선과일의 영향이 크다. 품질 경쟁력 차원에서는 규모가 크다고 해서 반드시 유리한 것이 아니다. 가격 경쟁력은 외국산보다 떨어질 수 있지만 국산은 신선도나 재배기술에서 경쟁 우위에 있다.

외국의 대규모 농가와 경쟁하기 위해서는 생산과 유통을 규

모화하고, 기계화, 시설의 현대화 등을 통해 가격 경쟁력을 확보해야 한다. 또 품질경쟁력과 서비스 경쟁력을 높여 시장 차별화를 이뤄야 한다. 국내외 시장에서의 무한 경쟁 시대에 살아남기 위해서는 경쟁력 제고를 위해서 부단한 노력을 기울이면서 고품질의 농산물을 생산, 유통시켜 국내외 소비자들의 선택을 받는 길만이 최선의 방법일 것이다.

우수 브랜드의 육성, 과수 산업의 체계화, 화훼와 채소류의 수출 품목화로 육성해야 한다는 것이 전문가들의 의견이다. 화훼, 채소류의 경우 수출을 통한 경쟁력 우위 확보를 위해서는 장시간 유통 기간에 따른 신선도 유지가 관건이다.

농산물의 경우 수확 후에도 호흡 작용, 증산작용, 에틸렌 합성 등과 같은 생명 활동을 지속하기 때문에 보관하는 동안에 지속적으로 영양성분의 소실 및 신선도 저하가 수반되게 된다. 식물의 호흡작용은 식물체내의 저장 물질인 전분이 포도당으로 바뀌어 산소와 반응함으로써 이산화탄소, 물 및 열에너지를 발생시키는 화학 반응이다.

† 교신저자 : 원종호(ABS), lng1976@hotmail.com, Tel: 051)415-4871

\*\* 정희원, jajija73@hotmail.com, Tel: 051)415-4871

\*\*\* shyoon@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4288

\*\*\*\* ohcheol@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4268

따라서 호흡작용이 계속되면 체내 저장 물질이 분해 되고 수분이 증산되어 증량이 감소되며 이로 인하여 신선도가 저하 되어 결국에는 부패하게 된다. 농산물의 호흡작용에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 온도 조건이므로 수확 즉시 신속하게 냉각시켜 저온에 저장하는 것이 호흡을 억제하여 신선도를 유지하는데 가장 좋은 방법이다<sup>(1)-(4)</sup>.

이를 위해 예비냉각을 실시하게 되는데 예비냉각이란, 수확 직후 신속하게 냉각함으로써 호흡작용을 억제시키고, 저온 저장 시 수증기압차에 의한 수분 증산을 억제시켜 품질 열화를 방지하고 농산물의 신선도를 오래 유지시키고자 하는 공정을 의미한다.

이론상 절대 진공도 5Torr에 2.2℃로 보관하는 것이 신선도를 유지하기 위한 최적의 온도로 알려져 있다. 또한, 일반적으로 가정용 냉장고, 대형 할인마트의 채소 코너나 선박에서는 신선도의 유지를 위해 4℃에서 보관한다.

농산물은 품목별로 생리적 특성과 냉각 특성 등이 다르고, 예비냉각시설에 대한 적용성에 차이가 있어 품목별로 특성을 고려한 예비냉각처리 기술을 사용하여야 한다. Table 1은 예냉 방식에 따른 각각의 특징을 나타낸다.

본 연구에서는 진공 예비냉각장치가 열채류에 대해 효과적 이므로 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 열채류를 실험 대상으로 정하여, 각각의 열채류가 진공 예비냉각장치에서 온도 변화에 관한 특성을 나타내는지에 대하여 알아보하고자 하였다.

Table 1 Characteristics pre-cooling system

	차 압 통풍식	강 제 통풍식	진공식	수냉식	얼 음 냉각식
냉각시간 (H)	1-10	20-100	0.3-2	0.1-1	0.1-0.3
수분 손실 (%)	0.1-2	0.1-2	2-4	0-0.5	-
오염가능성	낮음	낮음	없음	높음	낮음
설치 비용	낮음	낮음	중간	낮음	높음
에너지 효율	낮음	낮음	높음	높음	낮음

## 2. 실험 방법 및 실험 범위

### 2.1 실험 장치

Fig. 1은 본 실험 장치의 전체 계통도를 나타낸다. 실험 장치는 ①시험부(Test Section), ②습도계, ③기액분리기(Drain separator), ④온도기록계(Data Logger), ⑤이젝터 펌프(Ejector pump), ⑥이젝터 구동용 물탱크, ⑦냉각코일(Cooling Coil), ⑧냉동기(Refrigerator), ⑨브라인 펌프(Brine Pump) ⑩이젝터(Ejector)로 구성되어 있다.

시험부는 3mm 두께의 강판으로 500L× 300H × 500Wmm의 직사각형 용기로서 내부 용적은 0.045m<sup>3</sup>이다. 상대적으로 부피

가 작은 채소류를 실험하므로 일반적으로 유통되는 박스를 기준으로 하였다. 외부에서 내부를 관찰할 수 있는 관찰용 창은 300L × 100Hmm로 진공에서 충분히 견딜 수 있는 15mm의 강화 아크릴로 제작하였다. 또한 내부에는 온도를 측정하기 위하여 열전대를 설치하였으며, 상대습도를 측정하기 위하여 습도계의 센서를 설치하였다.

진공 추기계통은 빠른 시간 내에 소정의 진공으로 도달시키고자 보조용으로 로터리형 진공 펌프를 이용하였다. 이 계통에서는 약 30여분의 실험 시간이 요구되므로 로터리형 진공 펌프만으로도 소정의 압력을 유지할 수 있다. 실제 실험에서 로터리형 진공 펌프가 약 5mmHg로 유지하는데 걸리는 시간은 약 5분 정도였다.

응축 계통은 습증기 상태로 배기되어 기액 분리기 위에 설치된 체크밸브를 통하여, 기체는 배기되고 증기는 응축되어 기액 분리기에서 외기에 의해 응축되도록 하였다. 순환되는 이젝터 작동수의 온도를 낮추기 위하여 물탱크에 냉각기를 설치하여 냉동기와 연결하여 순환수의 온도를 적정 온도로 유지하였다.

측정 장치는 각부의 온도와 상대 습도를 측정하기 위하여 임의 설정 가능한 실시간 간격으로 데이터를 기록하였다.

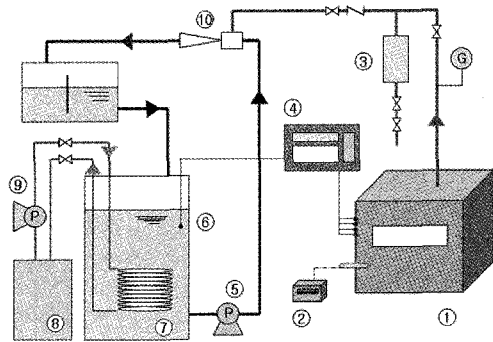


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

### 2.2 냉각 원리

일반적으로 물 1kg을 증발시키기 위해서는 약 580kcal의 열량이 필요하며, 이 정도의 열을 외부로부터 물에 공급해주면 1kg의 수분이 증발함에 따라 증발 시 발생하는 증발잠열을 이용하여 냉각하는 것이 진공 예비 냉각 장치의 원리이다.

예를 들어, 온도 25℃, 비열 0.9kcal/kg·℃인 1kg의 야채를 5℃까지 냉각할 경우,  $Q=mC_p\Delta T$ 에서

$$1 \times 0.9 \times (25 - 5) = 18 [\text{kcal}] \quad (1)$$

이러한 제거 열량을 물의 증발을 이용한다면 물 1kg의 증발 잠열이 585.2kcal 이므로,

$$1 \times 18 / 585.2 = 0.031 [\text{kg}] \quad (2)$$

이다. 즉, 식(1)과 (2)에서 온도가 25℃인 야채 1kg을 5℃까지 냉각하기 위해서는 야채 자체가 가지고 있는 열량으로부터 18kcal의 열을 제거해야 하며, 이를 위해서는 물 0.031kg을 증발시

켜야 한다. 따라서 1kg의 야채가 5℃까지 냉각되면 야채의 증량은 0.969kg으로 감소된다.

이런 원리를 이용하여 냉각을 하는 진공 예비냉각장치는 짧은 시간에 대용량을 균일히 냉각시킬 수 있고, 피 냉각 물질의 온도가 거의 균일하게 된다. 또한, 진공 하에서 냉각하므로 거의 무균 냉각에 가까우며, 호흡 작용을 억제하여 신선도를 유지시키는데 도움을 주는 장점을 갖고 있다. Table 2는<sup>(5)</sup> 각 야채류 및 과일류의 함수율 및 비열을 각각 나타낸다.

2.3 실험방법

기초 데이터를 얻기 위하여 물과 각각의 채소류에 대하여 진공 예비냉각장치 내에서 냉각 온도 변화에 대한 실험을 행하였다.

실험대상의 표면과 중심부, 시험부내의 공간 온도를 측정하기 위해 각각의 위치에 열전대를 설치하였으며, 온도기록계를 이용하여 온도를 기록하였다. 대기온도는 주위의 온도로 표기하였으며, 외부의 영향을 받지 않도록 단열재를 이용하여 충분히 단열하였다. 또한, 시험부내에 습도계를 설치하여 시험부내에서의 상대습도의 변화가 실험대상 및 시험부내의 온도 변화에 주는 영향에 대하여 평가하였다.

실험의 정도를 높이기 위해서는 수확 직후의 농산물에 대한 실험이 행해져야 하나, 본 실험에서는 맛과 영양성분의 변화가 없다는 전제 조건하에 상품으로서 가치가 있는 채소류를 구입하여 실험을 하였다. 실험 시작 개시 후 3분 간격으로 채소의 표면온도, 내부중심온도 및 시험부 내부공간의 상대 습도를 기록하였다. 또한 진공예비냉각장치의 경우 대부분의 냉각시간이 30분 이내인 점을 고려하여 실험시간을 30분으로 하였으며, 실험종료 후, 시험부내를 대기압 상태로 하여 각 부분의 온도를 최종 온도로 하였다. 실험종료 후 실험대상의 무게를 측정하여 증발한 수분의 양을 산출하였다.

Table 2 Comparative of percentage of the water contents and specific heat

	함수량(%)	비열(kcal/kg · °C)
양상추	92	0.94
배 추	92	0.94
청경채	94	0.96
양배추	92	0.94
사 과	84	0.87
오렌지	87	0.90
복숭아	87	0.90

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 양상추의 온도 변화

Fig. 2는 진공도 20mmHg일 때 시간의 경과에 따른 양상추의 온도변화를 나타낸 것이다. 실험 초기 양상추의 온도 변화를

보면, 표면에서의 온도 감소량이 내부에서의 온도 감소량보다 큰 것을 알 수 있다. 이는 상대적으로 표면적/중량비가 큰 표면부에서 냉각이 활발히 일어나기 때문이며, 시험부내의 온도 또한 같은 이유로 실험 초기 급격한 온도 변화를 보였다. 또한, 6분을 기점으로 하여 양상추의 온도가 상승하는 것을 알 수 있는데, 이것은 수분 증발에 의한 냉각보다 외부로부터의 열 침입이 많기 때문이다. 또한 이와 같은 진공도의 경우에 채소의 온도가 21.6℃까지 냉각되어야 하나, 야채류의 수분 함유율이 높아 보다 낮은 온도를 나타내고 있다. 이하 다른 채소의 경우에도 같은 경향을 나타낸다.

Fig. 3은 Fig 2와 같은 조건에서의 시험부내의 상대 습도와 양상추의 온도 변화를 나타낸 것이다. 시험부내의 상대 습도는 일시적으로 감소되나 시간이 경과됨에 따라 증가하며, 이에 따라 양상추의 온도가 낮아짐을 알 수 있다. 이것은 증발된 수분의 증발 잠열로 인하여 냉각이 이뤄지고 있음을 나타낸다. 온도의 변화와 수분의 증발량을 산정하여 보면 다음과 같다.

실험 전, 양상추의 무게는 303g 이었으며, 실험 중 측정된 양상추의 내부 온도는 최고 13.4℃에서 최저 10.7℃까지 2.7℃의 변화폭을 보였다.

이를 바탕으로, 냉각을 위해 제거된 열량과 증발한 수증기량을 식(1)과 (2)를 이용하여 산출하면, 냉각을 위해 제거된 열량은 0.769kcal이며, 수분의 증발량은 0.0013kg 임을 알 수 있다.

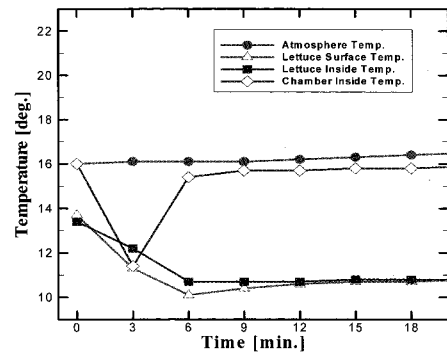


Fig. 2 Temperature characteristics of the lettuce

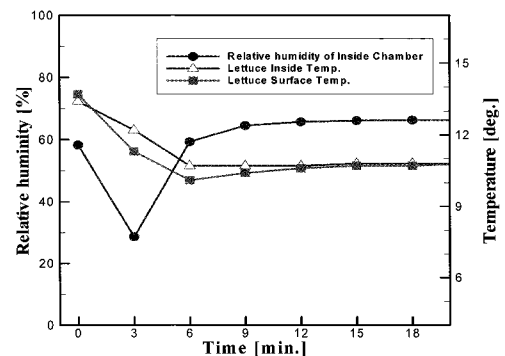


Fig. 3 Relative humidity characteristics of vacuum chamber

### 3.2 배추의 온도 변화

Fig. 4는 진공도 20mmHg일 때 시간의 경과에 따른 배추의 온도 변화를 나타낸 것이다. 실험 초기 배추의 온도 변화를 보면, 앞의 양상추 실험에서와 같이 표면에서의 온도 감소가 내부의 온도 감소보다 더 급격히 이루어지는 것을 알 수 있다. 반면, 일정한 시간이 경과하여도 배추의 온도가 상승하지 않고 계속 냉각 되는데, 이는 표면적/중량비가 큰 표면에서는 냉각작용이 활발하게 일어나는데 반해 작은 내부에서는 잎 부분이 겹쳐져 있는 형상을 하고 있기 때문에 내부의 수분 증발량이 작아 냉각작용이 활발히 일어나지 않기 때문이다. 경과시간 6분이 되는 시점에서 표면은 온도는 낮게 유지되고 있으나, 배추의 중심 온도는 다소 높게 나타나고 있다.

따라서 내부까지의 온도가 낮아지기 위해서는 좀더 시간이 필요한데 이는 외부의 열이 내부로 열전도에 의해서 냉각되기 때문이다.

Fig. 5는 Fig. 4와 같은 조건하에서의 시험부내의 상대습도와 배추의 온도 변화를 나타낸 것이다. Fig. 3과 같이 상대습도가 저하하다가 증가하는 경향을 나타내며, 증발된 수분은 배추의 냉각에 이용되었음을 알 수 있다.

온도의 변화와 수분의 증발량을 산정하여 보면 다음과 같다. 실험 전, 배추의 무게는 230g이었으며, 배추의 내부 온도는 14.4℃에서 10.9℃까지 3.5℃의 변화폭을 보였다. 따라서 냉각을 위해 제거된 열량은 0.757kcal, 증발한 수증기의 양은 0.0013kg 입을 산출할 수 있다.

또한 실험 후 배추의 무게는 227g이므로, 배추를 3.5℃ 냉각시키는데 제거된 실제 열량은 1.756kcal임을 알 수 있다.

### 3.3 청경채의 온도 변화

Fig. 6은 진공도 20mmHg일 때 시간의 경과에 따른 청경채의 온도 변화를 나타낸 것이다. 실험 초기 시험부내 청경채의 온도 변화를 보면, 표면의 온도 변화는 매우 급격하게 일어나는데 반해, 내부의 온도 변화는 완만함을 알 수 있다. 이는 표면의 잎의 형상이 펼쳐져 있는 부분이 많아 표면으로부터의 수분 증발량이 많고 잎의 두께가 다른 채소에 비하여 상대적으로 얇기 때문이라고 생각된다.

Fig. 7은 Fig. 6과 동일한 조건에서의 시험부내의 온도와 상대습도의 변화를 나타낸 것이다. 양상추 및 배추와의 실험과는 달리 시험부내의 상대 습도가 시간의 경과에 따라 일정한 비율로 상승함을 알 수 있다. 이는 청경채가 얇고 수분 함유량이 상대적으로 많기 때문이다.

청경채 온도의 변화와 수분의 증발량을 산정하여 보면 다음과 같다. 실험 전, 청경채의 무게는 40g이었으며, 청경채의 평균 온도는 15.9℃에서 7.4℃까지 8.5℃의 변화폭을 보였다. 따라서 냉각을 위해 제거된 열량은 0.320kcal, 증발한 수증기의 양은 0.0006kg 입을 산출할 수 있다.

반면, 실험 후 청경채의 무게는 39g이었으므로, 배추를 8.5℃ 냉각시키는데 제거된 실제 열량은 0.585kcal 입을 산출할 수 있다.

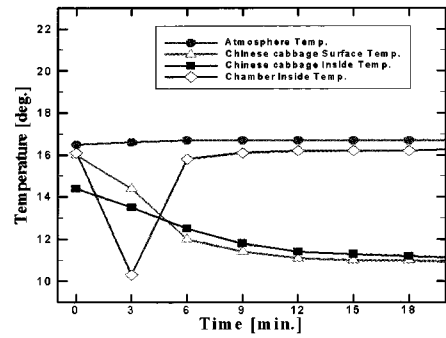


Fig. 4 Temperature characteristics of chinese cabbage

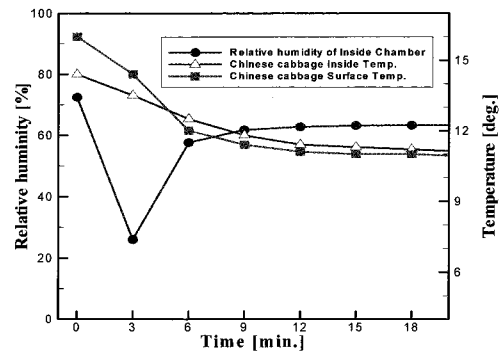


Fig. 5 Relative humidity characteristics of vacuum chamber

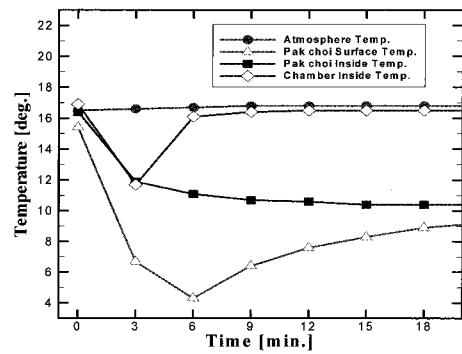


Fig. 6 Temperature characteristics of pak choi

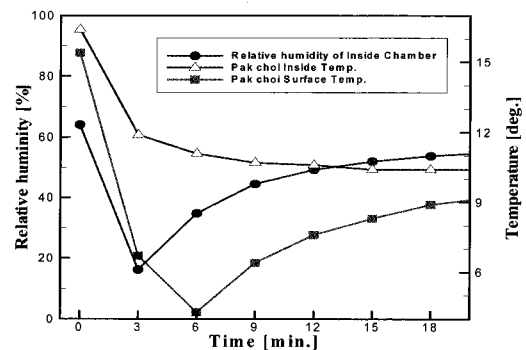


Fig. 7 Relative humidity characteristics of vacuum chamber

### 3.4 양배추의 온도 변화

Fig. 8은 진공도 20mmHg일 때 시간의 경과에 따른 양배추의 온도 변화를 나타낸 것이다. 시간의 경과에 따라 냉각이 이루어

여지다가 9분이 경과된 시점에서는 내부 및 외부온도가 상승함을 알 수 있다. 이는 청경채와는 달리 양배추가 갖고 있는 수분 함유량이 상대적으로 작기 때문에 외부의 침입 열량에 비하여 수분 증발에 의한 증발 잠열이 작기 때문이라고 생각된다.

Fig. 9는 Fig. 8과 동일한 실험 조건에서 양배추의 시험부내의 온도 변화에 따라 시험부내의 상대 습도도 변화를 나타낸다. 앞에 설명한바와 같이 양상추, 청경채와 동일한 경향을 나타낸다.

양배추온도의 변화와 수분의 증발량을 산정하여 보면 다음과 같다. 실험 전, 양배추의 무게는 220g 이었으며, 양배추의 내부 온도는 12℃에서 8.9℃까지 3.1℃의 변화폭을 보였다. 따라서 냉각을 위해 제거된 열량은 0.641kcal, 증발한 수증기의 양은 0.0011kg 임을 산출할 수 있다.

또한 실험 후 양배추의 무게는 217g이었으므로, 양배추를 3.1℃ 냉각 시키는데 제거된 실제 열량은 1.756kcal 임을 알 수 있다.

### 3.5 비교 평가

Table 3은 각각의 실험에 사용된 채소류를 증발한 수증기량 및 상대습도에 따라 비교한 것이다. Fig. 10과 Fig. 11은 각 채소류의 내부 온도와 표면 온도를 나타낸 결과이다.

그림에서 알 수 있듯이 냉각 후 6분 후부터 수분이 적은 채소의 경우는 표면의 온도는 잘 냉각되고 있으나 내부의 온도는 수분이 많은 채소가 더 낮은 온도까지 냉각됨을 알 수 있다.

Table 3 Comparative table of vegetables

	최저온도		제거 열량 (kcal)	냉각 온도 (℃)	수 분 증발량 (kg)	상대 습도 (RH.%)
	내부	표면				
양상추	10.7	10.1	0.769	2.7	0.0013	66.3
배추	11.1	10.9	0.757	3.5	0.0013	63.3
청경채	10.4	4.3	0.320	8.5	0.0006	55.0
양배추	8.9	8.1	0.641	3.1	0.0011	62.5

이는 시간의 경과에 따라 내부의 수분 성분이 증발함에 따라 전체적인 증발 잠열량이 증가하기 때문이다. Fig. 12에서 실험 개시 3분 후 각각의 상대습도는 청경채의 경우가 가장 낮다.

이는 실험 시에 주위의 온도(대기온도)에 대한 영향과 냉각 대상물체의 냉각온도가 낮기 때문에 상대적으로 상대 습도가 낮게 나타남을 알 수 있다.

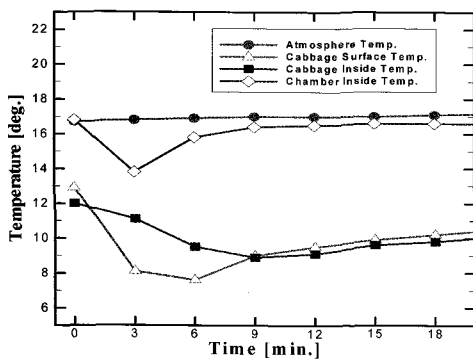


Fig. 8 Temperature characteristics of cabbage

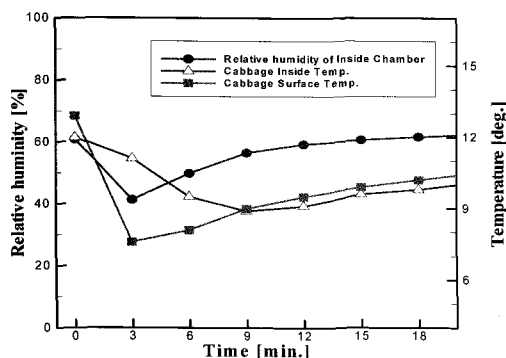


Fig. 9 Relative humidity characteristics of vacuum chamber

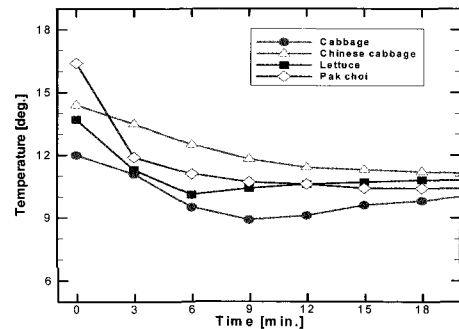


Fig. 10 Comparison of vegetables inside temp.

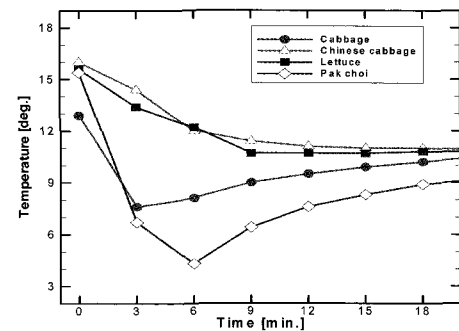


Fig. 11 Comparison of vegetables surface temperature

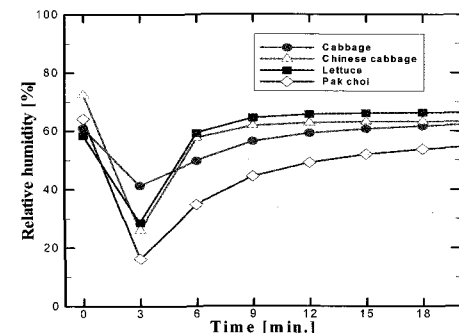


Fig. 12 Comparison of vegetables relative humidity

#### 4. 결 론

진공 예비 냉각장치를 이용하여 채소의 종류에 따른 냉각온도 변화에 대하여 본 실험의 범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 동일한 진공 조건하에서 동일 시간동안 채소류를 냉각시킬 경우 수분을 많이 함유한 채소류의 냉각 속도가 크며, 냉각온도가 낮게 유지되었다.
2. 시험부내 온도와 상대 습도는 실험 초기에 급격히 감소하다가 수분증발에 따라 증가 후 일정하게 유지됨을 알 수 있다.
3. 신선도 및 영양 성분의 유지를 위한 냉각온도에 따른 수분증발량을 산정할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 김원녕, 윤석훈, 전현필(1995), “각종 이젝터를 이용한 진공냉각 장치”, 한국박용기관학회지 제19권 제4호.
- [2] 김경근, 김명환, 박형진(1995), “진공냉각장치와 그 이용”, 한국박용기관학회지 제19권 제4호.
- [3] 김병삼(2002), “빙축열을 이용한 농산물 진공예비냉각 시스템”, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp.930~935.
- [4] 김병삼(2004), “최근의 농식품 관련 냉동냉장 기술”, 대한설비공학회설비저널, 제33권 제7호.
- [5] 일본냉동협회(1994), 냉동공조편람, 제5판 4권, pp.46-47.

---

원고접수일 : 2007년 10월 16일

원고채택일 : 2007년 12월 24일