
진공장치를 이용한 농산물의 예냉특성에 관한 실험적 연구

박영승* · 이정혜** · 김성규*** · 김정근***

An Experimental study on the Pre-cooling Characteristics of Agricultural
Products Using the Vacuum equipment

Yong-Sung Park · Jung-Hye Lee** · Seong-Gyu Kim*** · Kyung-Kun Kim****

Abstract

To maintain the freshness of agricultural products, because of stand away between produced and consumer, we need refrigeration system that can supply to consumer at cold chain as soon as gathering at the place of production.

General refrigeration system consist of refrigeration chamber or low temperature store. But the vacuum technology to cool down the products have the merits its rapid cooling down interval and saved refrigerator system.

Pre-cooling system suggest possibility get low pre-cooled temperature, suitable for fishes, meat, vegetables, fruit etc. Pre-cooling system have the advantage in quality maintenance through rapid refrigeration of ferment directly generate heat. Vacuum precool system's principle is that water saturated temperature is lowered according to the vacuum pressure established in the storage chamber, the temperature of products will be lowered consequently, due to the latent heat of evaporation of stored products. To established appropriate vacuum In vacuum stored chamber, The rotary type vacuum pump was used to established the desired vacuum pressure in the stored chamber, then water-driven gas suction ejector was used to maintain its vacuum. As the results, cabbage took about 60 minutes to reach from 23.2°C to 4.5°C at 5mmHg abs.

Key words : Vacuum(진공), Pre-cooling(예냉), Saturated temperature(포화온도), Vacuum pump
(진공펌프), Water-driven gas suction ejector(수구동 공기흡입 이젝터)

* 한국해양대학교 대학원 기관공학과

** 한국해양대학교 대학원 냉동공조공학과

*** 한국해양대학교 기관시스템공학부

1. 서 론

우리나라는 현재 1980년대에 비하여 농어가 수는 거의 비슷하지만, 농·수산업에 종사하는 인구수가 감소하고 고령화되는 실정이며, 또한 대외적으로는 WTO체제의 출범에 따른 농수산업의 대외 개방에 의하여 농어촌 제품이 품질과 가격의 경쟁이라는 이중고를 겪고 있다. 이와 같이 열악한 농수산업 분야의 환경을 개선하기 위해서는, 수확량 증산을 위한 품종개량, 영농의 기계화, 생산물의 저장과 가공 등의 기계화를 통하여 선진 영농국가와의 경쟁력을 확보해야 한다. 특히 농·수·임·축산물의 생산지는 소비지와 멀리 떨어져 있으므로 제품의 신선도를 유지하기 위해서는, 수확 후 빠른 시간내에 냉각을 현지에서 행하여 저온유통으로 소비자에게 공급할 수 있는 냉장설비가 필요하다.

식품 및 농·축·수산물을 냉각하기 위한 냉각 장치의 기술적 발전추이는 차압통풍 냉각장치 → 강제통풍 냉각장치 → 냉수 냉각장치 → 저온진공 냉각장치의 순서로 발전하게 되며 냉장 대상물에 의해서도 냉각방식이 달라지게 된다.

농·축·수산물의 생산지는 일반적으로 소비지역으로부터 멀리 떨어져 있는 경우 대부분이므로 제품의 유통물량 조절과 신선도를 유지하기 위해서 대형의 냉장차나 대형저장창고를 통하여 유통된다. 따라서 농·축·수·임산물의 생산(채취) 후 유통과정을 통하여 소비자의 손에 들어가기까지 장기간의 유통과정으로 인해 제품의 신선도가 저하되는 것은 필연적인 문제이다. 이를 해결하기 위해서는 제품의 생산(채취)후 급속 냉각 과정을 통하여 제품의 온도와 습도를 조절해야하나, 현재 주로 사용되고 있는 방식은 냉동기를 이용한 강제통풍 냉각방식으로 이는 냉각과정이 4~5시간이 소요되며, 내부로부터 표

면으로의 전도열전달 의한 열효율의 저하, 표면에서 수분의 과다증발 현상 등에 의한 신선도에 미치는 악영향이 크다.

산지에서 수확한 배추, 상추 등의 채소류, 수출을 위한 화훼 및 농장에서 수확된 과일, 녹즙 및 우유 등은 수확 직후 유통을 위한 예냉을 해야 신선도가 유지된다. 보통 사람들은 냉각을 하기 위하여서는 냉동실이나 저온창고가 있어야 가능하다고 생각한다. 하지만 냉동기 없이 진공기술만으로도 급속한 저온화가 가능하여 냉각시킬 수 있다.

진공 예냉장치의 원리는 압력이 진공영역으로 낮아짐에 따라서 물의 포화온도가 낮아져 식품이 갖고 있는 수분의 증발을 유도하여 식품의 온도를 낮추는 것으로 진공용기내의 온도와 진공압력의 상관관계를 이용하고, 진공용기 내부의 시료의 겉과 안쪽 중앙의 온도를 측정하면서 진공압력을 제어하는 것이다. 이 장치는 진공상태에서 운전하므로 비교적 낮은 예냉온도를 얻는 것이 가능하고, 어류, 육류, 야채, 과일, 화훼 등의 예냉에 적합하며, 특히 발효하며 열을 발생하는 식품의 경우 빠른 예냉으로 인하여 품질 유지면에서 이점이 있다. 이 장치의 주요한 장점을 요약하면 다음과 같다.

- 가. 식품의 냉각속도가 비교적 빠르다. 이것은 진공압력하에서 수분이 증발하기 때문에 비응축성 가스량이 최소가 되고 높은 열전달계수가 얻어진다.
- 나. 식품의 내부와 외부의 냉각속도가 거의 비슷하다.
- 다. 운전 중 진공용기 내에는 포화수증기로 충만하게 되고, 식품의 건조로 인한 무게 감소율이 매우 작다.
- 라. 냉매를 이용하지 않으므로 자연 친화적이다.
- 마. 운전비용이 염가이다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 연구에 이용되어진 실험장치의 전체 계통도는 Fig. 1과 같으며, 실험장치는 크게 식품의 예냉이 이루어지는 진공용기계통, 진공용기 내부를 소정의 진공압력으로 유지하기 위한 진공추기계통, 각 부의 온도, 압력 등을 실시간 계측을 위한 온라인 측정계통 등으로 구성되어 있다.

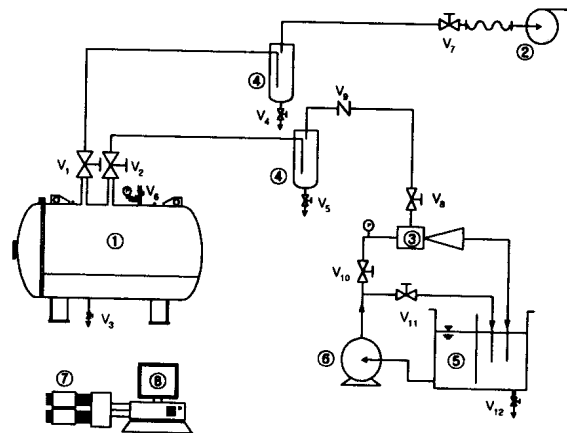
먼저 예냉이 이루어지는 진공용기는 크기가 $\varnothing 1,000 \times 1,220$ L mm인 원통형의 용기로 내부용적은 0.88m^3 이며, 젖은 시료의 경우 드레인을 진공용기 아랫부분에 모이도록 하였고, 실험중 진공용기 내부의 상태를 살펴보기 위하여 $\varnothing 200$ 의 관찰창을 설치하였다. 진공추기계통의 경우 실험 초기에는 로터리형 진공펌프를 이용하여 소정의 압력까지 구동하였고, 그 후 수구동 기계흡입 이젝터를 이용하여 진공압력이 유지되도록 하여, 예냉시 식품에서 발생하는 불용축 가스 및 각각의 용접부, 각종 밸브 등을 통하여 외부에서 유입되는 공기 등을 배기하였다. 온라인 측정계통은 시료 및 각 계통의 온도와 진공용기내의 압력을 데이터 집록장치에 연결하여 실시간으로 계측, 기록되도록 컴퓨터에 연결하였다.

진공상태에서의 예냉에 관련한 자료를 수집하기 위한 기초실험으로는 Fig. 1과 유사한 실험장치를 이용하여, 우리 주위에 있는 물로 실험하였고, 본 실험에서는 시중에서 구입하기 손쉬운 콩나물과 배추를 이용하여 실험하였다. 예냉 실험시 식품의 탈수 현상에 의한 품질의 변화를 막고, 처음 온도를 상온으로 만들기 위해 대기에 어느정도 방치하였으며, 실험전 미리 측정한 만큼의 무게를 맞추기 위하여 스프레이기를 이용하여 충분한 수분을 공급하였다. 진공용기내 진공압력을 5mmHg로 일정하게 유지하도록 하

였으며, 식품의 온도계측을 위하여 C-A Type의 열전대를 이용하였다. 온도계측에 있어서는 콩나물의 경우 콩나물의 줄기 안쪽에 열전대를 꽂아 온도를 계측하였고, 배추의 경우에는 Fig. 2에서와 같이 온도측정 위치를 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 T_1 은 배추의 중심 부위의 온도이며, T_2 는 중심부와 표면의 정 중앙부분의 온도이며, T_3 는 배추의 표면에 최대한 가까운 온도를 측정하도록 하였다.

용기내의 진공압력을 5mmHg abs.로 일정하게 유지하면서 콩나물 및 배추에 대하여 각각 실험을 하였으며, 이때의 시간-온도 예냉곡선을 검토하였다.

실험의 범위를 도표로 정리하면 Table 1과 같다.



- ① Vacuum chamber
- ② Rotary type oil vacuum pump
- ③ Water jet air ejector
- ④ Vapor/water separator
- ⑤ Water tank ⑥ Ejector pump
- ⑦ Data logger ⑧ Personal computer

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

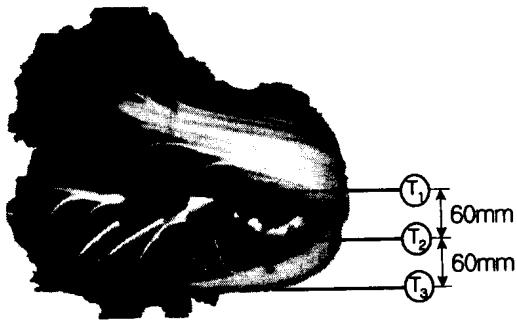


Fig. 2 Position of temperature measurement

Table 1. Experimental parameter

Pressure	5 mmHg abs.
Saturated temperature	1.6 °C
Material	Water, Sprouted beans, Cabbage

3. 실험결과 및 고찰

3.1 진공장치의 무부하 추기특성

진공예냉 및 해동에 있어서 예냉 및 해동을 결정하는 중요한 인자는 진공용기내의 진공압력이며, 진공압력에 따라서 포화온도가 결정되며, 결국 포화온도와 피예냉물 및 해동물 내부로의 열전도 속도에 의하여 예냉 및 해동속도가 결정된다. 본 실험에서는 진공추기장치로서 수구동 기체흡입 이젝터와 로터리형 진공펌프를 사용하였다. 주 진공추기 장치는 수구동 기체흡입 이젝터 시스템으로서, 이와 같은 이젝터 진공추기시스템은 현장 적용시 고장이 없어 매우 유용하게 사용된다.

실험장치내를 소정의 진공압력으로 유지시키기 위해 이젝터만을 사용할 경우 진공압력 도달 시간이 많이 소요되므로 실험 초기에는 이젝터

와 피스톤형 진공펌프를 동시에 사용했다. Fig. 3에서 보는바와 같이 실험초기 이젝터만을 사용할 경우 5mmHg abs.의 진공압력을 형성하기 위해서는 약 150 분 정도가 소요되었으며, 이젝터와 피스톤형 진공펌프를 동시에 사용할 경우에는 약 30 분 정도가 소요되었다. 그래서, 예냉 및 해동시간의 단축을 위해 실험초기에는 이젝터와 피스톤형 진공펌프를 동시에 사용하여 실험하였으며, 이후 소정의 진공압력 5mmHg abs.가 형성되면, 이젝터만을 사용하여 진공압력을 유지하였다. 이젝터의 용량을 크게 선정하면 로터리형 진공펌프를 사용할 필요가 없으나 그럴 경우 기타 실험장치의 전체적인 용량이 커지기 때문에 본 실험에서는 2가지를 조합하여 실험하였다. 그림에서 보는바와 같이 2가지를 동시에 사용할 경우 로터리형 펌프만을 사용할 때와 큰 차이를 나타내고 있지 않는데 이것은 이젝터를 최소한의 용량으로 소정의 진공압력을 유지하기 위해서만 사용되어 지므로 초기에는 2가지를 동시에 사용할 때와 피스톤형 진공펌프만을 사용할 경우에 대해서 큰 차이를 나타내지 않았다.

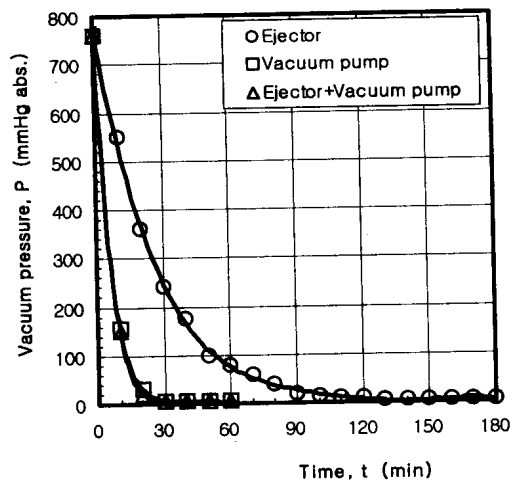


Fig. 3 Vacuum pumping characteristic curves

3.2 진공예냉 실험결과

일반적으로 예냉 과정은 흔히 냉동기 시스템을 이용해야만 한다고 인식되어 있다. 그러나, 이러한 냉동기 시스템에 의한 예냉 방법은 식품의 겉과 속의 온도를 동시에 낮출 수는 없다. 설정 온도를 똑같이 낮출 수 있다하더라도 부속장치가 과다하게 설치되거나 또는 많은 시간이 필요하게 된다. 그러나, 본 실험장치에서와 같이 수구동 공기흡입 이젝터를 이용한 예냉을 하면 겉과 속의 온도를 동시에 낮출 수 있다.

Table 2. Data of vacuum pre-cooling

Material	Weight		Saturated temp. [°C]	Initial temp. [°C]	Final temp. [°C]	Time [min]
	Initial	Final				
	[kg]					
Water	1,000	984	1.6	20.3	1.2	30
Cabbage	1,846	1,810	1.6	23.2	4.5	60
Sprouted beans	1,106	1,084	1.6	17.9	1.0	60

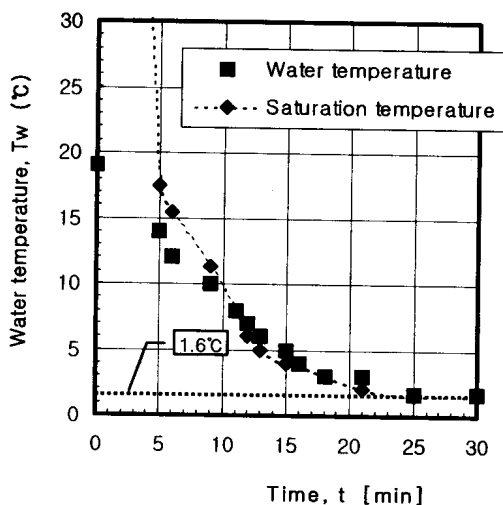


Fig. 4 Pre-cooling curve of water

물과 배추, 콩나물을 예냉하여 본 결과를 Table 2에 나타내었는데, 표에서 알 수 있는 바와 같이, 시료의 무게 변화, 예냉온도(중발온도), 시료의 초기온도(온도는 시료의 정 중앙부의 온도를 측정), 예냉후의 온도, 예냉에 필요한 시간을 알 수 있었다. Fig. 4에서와 같이 무게 1,000g의 물을 예냉하였을 때 초기온도가 20.3°C에서 1.2°C까지 도달하는데 30분이 소요되었음을 알 수 있었다.

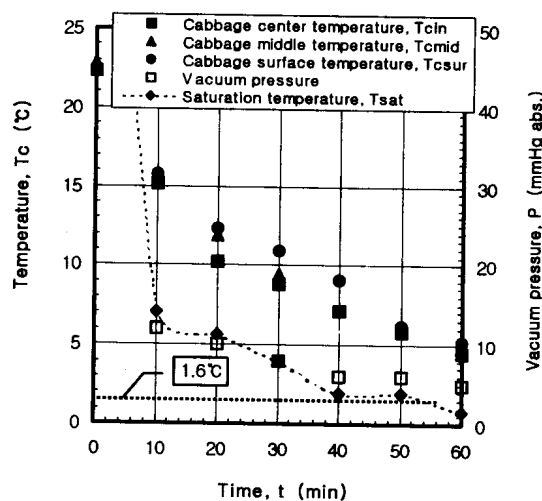


Fig. 5 Pre-cooling curve of cabbage

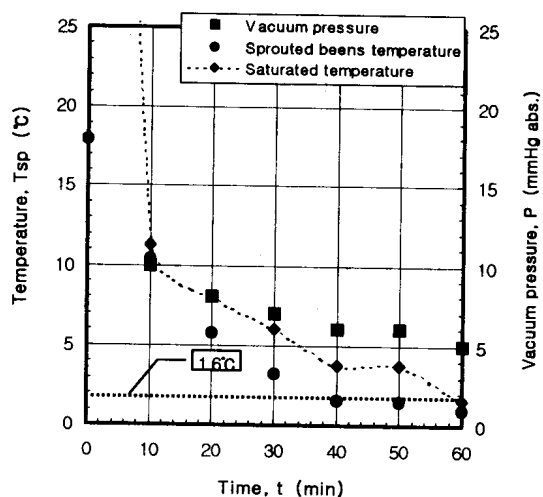


Fig. 6 Pre-cooling curve of sprouted beans

Table 2에서 나타난 바와 같이, 배추에 대하여 진공압력 5mmHg abs.을 유지하여 예냉한 결과 배추의 가장 두꺼운 부분의 중심온도인 측정위치 T₁의 온도가 23.2°C에서 4.5°C까지 하강하는데 60분이 소요되었으며, 측정위치 T₁, T₂, T₃에서의 온도 변화는 Fig. 5에 나타내었다. T₁, T₂, T₃의 온도변화를 살펴보면 시간에 따라 T₁, T₂, T₃의 온도가 거의 동일하게 하강하는 것을 알 수 있다. 또한 무게 변화에 있어 실험전과 비교하여 36g이 줄어든 것을 확인하였으며, 이는 배추 표면의 수분이 약 2%가량만이 증발하고, 시료 자체의 상태에는 변화가 거의 없음을 나타낸다.

마찬가지로 콩나물의 경우 Fig. 6에서 보는 바와 같이 진공압력 5mmHg abs.을 유지하여 예냉한 결과 콩나물의 온도가 17.9°C에서 1.0°C까지 하강하는데 60분이 소요되었으며, 25분만에 콩나물의 온도가 5°C이하로 내려갔음을 알 수 있다. 또한 무게 변화에 있어 실험전과 비교하여 22g이 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 식품의 예냉에 있어서 콩나물, 배추를 대상으로 진공장치를 이용한 예냉방법에 대하여 전열공학적인 측면에서 기초적 연구를 수행하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 실험을 통하여 진공예냉장치를 설계하기 위한 정량적인 설계 데이터를 습득하였으며, 콩나물과 배추의 진공예냉을 통하여 설계·제작한 수구동 액체이젝터를 이용한 진공예냉장치의 성능을 확인하였다.
- (2) 진공압력 5mmHg abs., 무게 1,846g인 배

추를 23.2°C에서 4.5°C까지 예냉하는데 60분이 소요되며, 무게감소는 36g이었으며, 이때의 무게감소율은 1.9% 이었으며, 배추의 결과 속의 온도가 동시에 떨어짐을 알았다.

- (3) 진공압력 5mmHg abs., 무게 1,106g인 콩나물을 17.9°C에서 1.0°C까지 예냉하는데 60분이 소요되며, 무게감소는 22g 이었으며, 이때의 무게감소율은 1.9% 이었음을 알았다.

앞으로 육고기 뿐만 아니라 버섯, 수산물, 음식물이 숙성하면서 내부에서 발열하는 발효식품인 김치, 젓갈류 등을 대상으로 하여 예냉실험을 수행할 예정이며, 기존의 대중적인 냉매를 이용한 냉장시스템과 비교, 분석하여 진공예냉시스템과의 경제성을 평가할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 김병삼 ; “농산물의 예냉 및 저온저장”, 한국식품개발연구원 보고서, pp.13~17(1995)
- [2] 김성규, 김원녕, 김경석, 최순열, 전현필 ; “농축산물의 저장 및 유통을 위한 감압증발 급냉각시스템에 관한 연구”, 한국박용기관학회지, 21권 1호, pp.26~36(1997.2)
- [3] 安生三雄 ; “野菜の 豫冷装置”, 冷凍空調装置の 設計例, 日本冷凍協會, pp.174~183
- [4] 日本真空協會關西支部 ; “알기쉬운 真空技術”, 세화(1994.11.)
- [5] 우자원 역 ; “알기쉬운 식품분석화학”, 광문각(2001.3.)
- [6] 日本機械學會; “JSME STEAM TABLES”, 도서출판 신기술(1997.2.)