

각종 이젝터를 이용한 진공냉각장치

Vacuum Cooling System by the Various Ejectors



윤 석 훈

S. H. Yoon

- 1954년 8월 22일 생
- 한국해양대학교 조교수
- 고온면의 급냉각 및 각종 열기기의 설계에 관심이 있음.



김 원 념

W. N. Kim

- 1934년 4월 21일 생
- 한국해양대학교 교수
- 냉동설비 및 방식공학 분야에 관심이 있음.



전 현 필

H. P. Jeon

- 1951년 3월 28일 생
- 한국해양대학교 대학원
- 우일상운 상무이사
- 냉동컨테이너선 및 저온 냉동/냉장창고의 운용에 관심이 있음.

Abstract

Recently, outstanding progresses have been made in food industry, in all the processes involved in the conversion of raw materials into food products. This article describes two kinds of coolers for processing uncooked food, namely vacuum coolers capable of rapidly cooling decomposing bacteria down to their critical temperature, and also cooling equipment for fresh vegetables based on the same principle as the vacuum cooler.

1. 서 론

농축산물의 생산, 운반, 저장과정에서 가장 염려되는 것은 선도저하와 부패 및 이로 인한 식중독의 발생이다. 지금까지 이러한 문제들의 해결은 주로 냉장고를 이용하는 유통의 최종단계인 소비자에게만 맡겨져 있었다.

세계무역이 우루과이라운드(Uruguay Round)

에 의한 WTO체제로 변화됨에 따라 취약한 기반을 갖고 있는 우리나라 농업의 경쟁력을 확보하기 위하여는 생산물의 가공처리기술, 생산과 소비와의 양적 시기적인 불균형을 보완하기 위한 저온저장시설과 장거리 해상운송을 위한 냉동컨테이너 및 효율 높은 냉동선박과 유지 보수기술의 개발이 시급히 요구되고 있는 실정이다.

부패하기 쉬운 음식물에 대한 냉동해상운송에

관한 국제협약을 요약하면 다음과 같다. 국제냉동 협회(International Institute of Refrigeration, Paris)에 의하면 쇠고기는 습도 90%, 온도는 $-1.5\sim 0^{\circ}\text{C}$ 에서 저장해야 하며, 해상운송기간은 최장 5주로 규정하고 있다. 미농무성(U. S. Department of Agriculture)의 규정에 의하면 정육은 도살된지 16시간 이내에 $+5^{\circ}\text{C}$ 로 냉각되어야 하며, 미육군 규정에 의하면 육류는 48시간 이내에 육류 중심부 온도가 7°C 가 되어야 한다고 되어 있다. 또한 미국에서 수입하는 농산물은 수입농산물과 함께 들어올지도 모르는 외래 해충을 방지하기 위하여 일정한 온도하에서 규정된 시간동안 정해진 순서에 따라 냉동 또는 냉장처리해야 한다고 규정하고 있다. 또한 유럽연합(EU)에서는 육류의 냉장처리실 온도는 10°C 이하이어야 하며, 냉동은 쇠고기의 경우 고기 중심부의 온도가 7°C 이하가 된 후 시작하여야 하고, 돼지고기는 4°C 이하에서 시작해야 한다고 규정하고 있다. 우리나라의 경우는 장거리운송 등에 관한 특별한 규정이 없이 농림수산부의 축산물 관리법 및 보건복지부의 식품위생법 등의 일반적인 적용을 받을 뿐이다.

2. 사용목적

30°C 를 상회하는 고온다습한 여름철에 가장 염려되는 것은 식품의 부패와, 이로 인한 식중독의 발생이다. 사람들은 옛날부터 생활의 지혜로써 수분을 다량 함유하고 있는 음식물을 가능한 한 오랫동안 보존하기 위하여 상온보다 낮은 온도에서 보관하는 방법을 연구하여 왔다. 가장 간단한 것으로서 냉장고가 있는데, 이는 냉장고에 음식물을 넣은 뒤 음식물과 냉장고내의 주위온도와 온도차에 의하여 음식물의 온도를 낮게 유지하는 것이다. 최근에는 생활환경의 향상에 따라서 농축수산물 및 이들의 가공품에 대한 급속냉각 및 저온유통을 위한 급속냉각장치의 필요성이 더욱 커지고 있다.

전술한 바와 같이 수분을 다량 함유한 식품은 18°C 의 실온에서는 부패속도가 냉각시킨 것에 비하여 매우 빠르기 때문에 이를 방지하기 위하여 낮은 온도로 식품을 보존해야 한다. 이러한 목적으로 이젝터를 이용한 진공냉각장치가 개발되고 있으며,

이러한 장치의 사용목적은 공기중에 부유하는 세균류에 의한 식품오염을 가능한 한 방지하고, 잠근 증식에 의한 식품의 부패속도를 줄이도록 하는 것이다. 따라서 이러한 장치는 멸균기의 기능을 하거나 장기보존을 위한 장치가 아닌 것에 유의할 필요가 있다.

진공냉각장치의 사용목적은 항목별로 열거하면 다음과 같다.

(1) 상온 이하의 날 것은 식품을 7분 정도 이내에 급속히 $5\sim 3^{\circ}\text{C}$ 까지 급속냉각하며, 식품의 내부까지 균일한 온도로의 냉각을 목표로 한다.

(2) 급속냉각이라도 진공냉각탱크 내에서 장기간 저온상태를 유지할 수 있는 것은 아니다.

(3) 야채류 특히 엽채류는 체취한 온도로부터 급속냉각시키므로 인하여 생체활성을 저하시켜서 호흡활동을 억제하여 선도를 유지하도록 한다.

3. 작동원리

본 진공냉각장치는 육류, 생선, 야채 등의 냉각용으로 분류하며, 근본적인 작동원리는 동일하다. 일반적으로 1kg의 물을 증발시키기 위해서는 약 580kcal의 열량이 필요하며, 이 정도의 열을 외부로부터 물에 공급해주면 1kg의 수분이 증발하게 된다. 본 진공냉각장치는 이러한 원리를 이용한 것이다.

지금 밀폐된 진공용기에 온도가 80°C 인 1kg의 온수가 들어있다고 가정하고, 이 온수를 5°C 까지 냉각할 경우를 생각해 보기로 한다.

필요한 제거열량은,

$$1\text{kg} \times (80 - 5)^{\circ}\text{C} = 75\text{kcal}$$

이러한 제거열량을 물의 증발로써 해결한다고 하면, 물 1kg의 증발잠열이 약 580kcal이므로 다음과 같이 된다.

$$1\text{kg} \times \frac{75}{580} = 0.129\text{kg}$$

즉 온도가 80°C 인 물 1kg을 5°C 까지 냉각하기 위해서는 물 자체가 가지고 있는 열량으로부터 75kcal의 열을 제거해야 하며, 이를 위해서는 물 0.129kg을 증발시켜야 한다.

따라서 5°C 상태로 물이 냉각되면 원래 1kg의 물

은 0.871kg으로 감소된다.

이것이 본 진공냉각장치의 원리이며, 물의 온도가 5℃까지 저하되어 수분을 진공증발시키기 위하여는 진공용기와 용기내에 진공을 형성시키기 위한 진공펌프가 필요하게 된다.

4. 냉각장치의 구성

Fig. 1은 칠링유닛(Chilling Unit)를 부착한 진공냉각장치의 개략적인 플로우차트이다. 본 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 워터제트펌프는 진공냉각탱크 내부를 진공으로 만드는 역할을 하며, 진공냉각탱크내의 피냉각물질은 진공냉각탱크내의 진공도에 상응하는 포화온도가 될 때까지 수분이 증발되면서 냉각이 진행된다.

또한 피냉각물질이 정해진 저온에 도달한 상태에서 진공밸브를 닫고 필터를 경유하는 진공파괴밸브(Vacuum Breaker Valve)를 열면, 진공냉각탱크내의 압력이 대기압으로 복귀되어 피냉각물질이 들어 있는 진공냉각탱크를 개방할 수 있다.

진공형성펌프로서는 그림에서 보는 바와 같이

워터제트펌프가 이용되며, 진공냉각탱크내의 압력을 10Torr까지 낮추기 위해서는 워터제트펌프 구동수의 온도를 15℃ 전후까지 냉각시킬 수 있는 칠링유닛을 부착해야 한다. 워터제트펌프는 구동노즐의 출구에서 구동수가 증발해버리면 작동이 불가능해진다. 따라서 잘 설계된 워터이젝터라도 최고의 진공형성압력은 구동수의 온도에 해당되는 진공압력으로 제한된다. 그러므로 낮은 냉각 온도, 즉 높은 진공도가 요구되거나 대기온도가 높은 환경에서의 연속운전을 위하여는 구동수를 냉각시키기 위한 칠링유닛이 필수설비이다.

Fig. 2는 보다 저온냉각, 다시 말하면 고진공에서 냉각하고자 하는 경우의 방식으로 스팀부스터(Steam Booster, Steam Jet Ejector)를 추가한 형식이다. Fig. 1과 같은 장치에서는 칠링유닛에 의하여 워터제트펌프 구동수를 충분히 냉각해도 워터제트펌프의 특성상 10Torr이하까지 진공배기하는 것은 곤란하다. 또한 비록 이것이 가능하더라도 피냉각물질의 온도와 포화온도 사이의 과열도가 적어서 감압증발에 긴 시간이 필요하게 되며, 결국 냉각에 긴 시간이 소요되므로 경제적이지 못

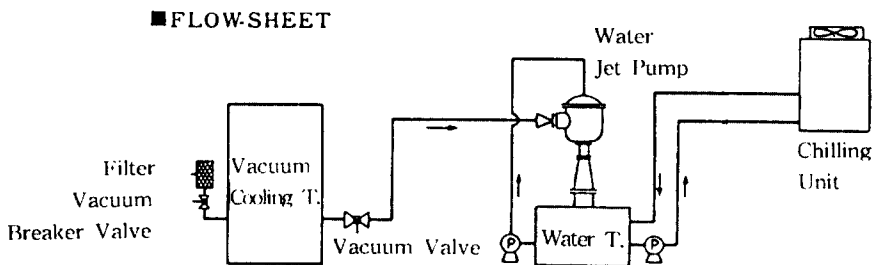


Fig. 1 표준형 칠링유닛 부착방식

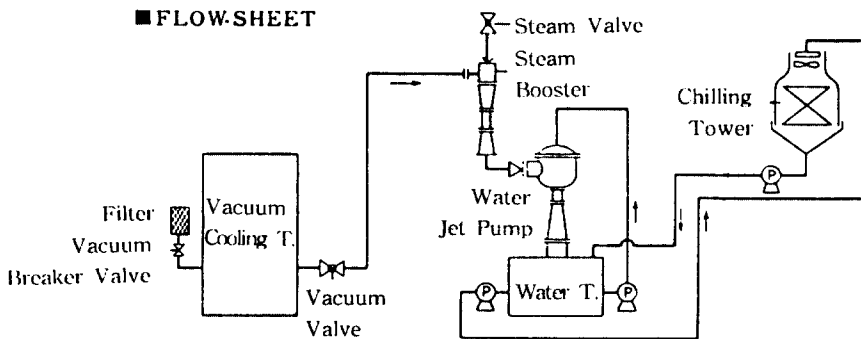


Fig. 2 고진공형 스팀부스터 부착방식

하다. 그러므로 15℃ 이하, 예를 들어 7~8℃까지 냉각하고자 하는 경우에는 10Torr 이하의 진공압력을 형성시키면서 최고의 배기속도상태에서 작동할 수 있는 스팀부스터를 장착해야 한다.

이 냉각장치는 우선 워트제트펌프로 진공냉각 탱크내의 압력이 20~25Torr가 될 때까지 진공 배기하고, 그 후 스팀부스터를 작동시켜 10Torr 이하의 고진공까지 배기시키는 방식이다. 이 방식을 이용하면 짧은 작업시간내에 대량의 피냉각물질을 7~8℃까지 냉각시킬 수 있다.

Fig. 3은 동일한 냉각장치이지만 생선과 야채, 특히 야채류를 대상으로 개발되어진 것이다. 작동 원리는 앞서의 Fig. 1, Fig. 2와 같지만, 진공발생 메커니즘이 다르고 장치가 매우 크다. 농장에서 수확한 야채류는 잘 정리한 다음 운송용 종이상자로 포장하여 진공냉각탱크에 넣어 5℃ 전후까지 급속 냉각시키며, 이렇게 급속냉각된 후에는 냉장컨테이너 등의 보냉고를 이용하여 즉각 시장으로 발송 되도록 되어 있다.

본 장치는 크기가 (2mB×2.5mH×7mL)인 2개의 진공냉각탱크를 갖는 장치로 구성되어 있다. 진공형성을 위해서는 로타리펌프를 이용하는 경우와 스팀이젝터와 워터제트펌프를 조합하여 사용하는 두가지의 경우가 있다. 로타리펌프를 이용하는 경우는 펌프에 물 또는 오일을 봉입하는데, 로타리펌프의 고장을 방지하기 위하여 펌프의 입구

측에 필터링장치가 필요하며 수분의 혼입에 의한 오일의 열화 및 폐수발생이 문제가 될 뿐만 아니라 로타리펌프 자체의 고장이 잦다. 이에 비하여 이젝터를 부착하는 경우에는 위와 같은 단점이 극소화될 수 있는 기술적 장점을 갖고 있다.

5. 주요용도

본 장치는 다음과 같은 식품의 급냉각에 유용하며, 일본의 경우 전국의 중요한 야채 메이커에서 사용되고 있다.

- (1) 야채, 가공식품 : 어묵, 두부, 어패류, 삶은 음식, 튀김류, 통조림, 케익, 만두
- (2) 셀러드, 조리식품 : 포테이토칩, 엷 등의 즐임음식, 쟈
- (3) 쌀 : 밥, 김밥, 주먹밥
- (4) 빵, 과자류 : 고기만두, 야채만두, 핫케익.
- (5) 면류 : 우동, 모밀국수, 짜장, 스파게티
- (6) 야채류 : 양상추, 양배추, 스위트콘, 상치, 아스파라가스
- (7) 육류 : 돼지고기, 쇠고기, 닭고기

위의 식료품 및 가공품중에서 두부, 어묵, 쌀밥 등의 경우는 요리후에 진공냉각을 통하여 저온으로 냉각함으로써 식품의 부패를 방지하기 위함이며, 야채류는 식품의 선도를 유지하면서 저온유통을 하기 위함이고, 육류는 냉동 또는 냉장유통을

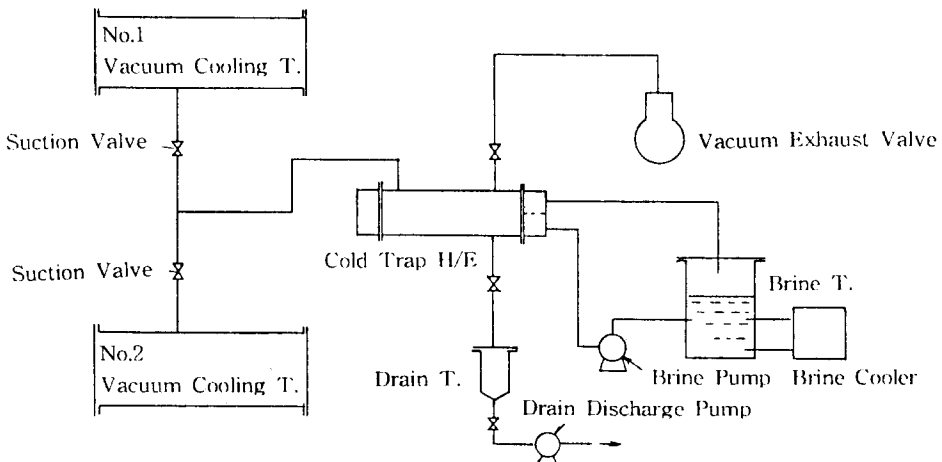


Fig. 3 야채류의 급속냉각장치

위하여, 엷 등은 감압증발을 위하여, 튀김류는 저온상태에서 튀김으로써 가공품의 고품질을 유지하기 위하여 본 장치가 각각 사용된다.

6. 특징 및 표준용량

워터이젝터 및 스팀부스터를 이용한 진공냉각장치가 갖는 기술적 특징을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 냉각시간이 5~20분 정도로 냉동기를 이용하는 경우보다 매우 짧다.
- (2) 진공하에서 냉각하므로 거의 무균냉각에 가깝다.
- (3) 진공증발에 의한 냉각이므로 피냉각물질의 냉각온도분포가 거의 균일하게 된다.
- (4) 진공도를 변화시킴에 따라서 0℃ 이하까지도 임의의 냉동온도를 설정할 수 있다.
- (5) 고온시에 발생하는 식품의 산화나 열화를 방지하여 식품의 질을 높일 수 있다.

(6) 작업능률이 높고, 좁은 장소에서 대량 냉각이 가능하다.

현재 일본에서 개발되어 있는 칠링유니트 부착방식의 표준용량을 요약하면 Table 1 및 Table 2와 같다.

8. 맺 음 말

우루과이라운드 이후 환경오염방지에 세계적인 관심이 집중되고 있으며, 그린라운드(Green Round)의 여파가 각 산업계에 많은 영향을 미치리라 예상된다. 특히 냉동장치에 관하여는 잘 아는 바와 같이 프레온계열 냉매의 사용금지로 흡수식 냉동기 및 심야전력의 효과적 이용기술개발 등이 다각적으로 연구되고 있다. 기존의 냉각장치는 냉동기를 이용함으로써 프레온냉매 사용이라는 기술적 문제에 봉착한다. 그러나 워터제트펌프(Water Jet Pump) 또는 증기이젝터(Steam Jet Ejector)를 이

Table 1 칠링유니트 부착방식

ITEM \ TYPE	NVDC - 20	NVDC - 50	NVDC - 100	NVDC - T100	NVDC - T150
처리용량	20kg/Batch	100kg/Batch	100kg/Batch	100kg/Batch	150kg/Batch
냉각온도	80℃~20℃	80℃~20℃	80℃~20℃	80℃~20℃	80℃~20℃
냉각시간	6min	8min	10min	10min	10min
냉각탱크 크기 (W×L×H)	550×700×280	550×680×700	800×900×700	560×760×1250	560×760×1670
워터제트펌프	SWL - 3	SWL - 3	SWL - 4	SWL - 4	SWL - 6
설비전력 50/60Hz(3φ200V)	5.1/5.7kW	7.1/8.3kW	10.9/12.5kW	10.9/12.5kW	15.1/17.0kW

Table 2 고진공형 스팀부스터 부착방식

TYPE \ ITEM	NVDC - 50S	NVDC - 100S	NVDC - T100S	NVDC - T150S
처리용량	50kg/Batch	50kg/Batch	100kg/Batch	150kg/Batch
냉각온도	90℃~15℃	90℃~15℃	90℃~15℃	90℃~15℃
냉각시간	12min	12min	12min	12min
냉각탱크 크기 (W×L×H)	500×680×700	800×900×700	560×760×1250	560×760×1670
워터제트펌프	SWL - 4	SWL - 6	SWL - 6	SWL - 8
설비전력 50/60Hz(3φ200V)	5.4/5.4kW	8.9/8.9kW	8.9/8.9kW	12.5/12.5kW
증기량(압력5kg/cm ²)	25kg/h	45kg/h	45kg/h	55kg/h

용한 냉각장치는 냉동기가 전혀 필요 없이 대규모 급속냉동이 가능하다.

본 해설기사는 워터이젝터와 스팀이젝터를 진공펌프로 이용하는 진공냉각장치의 원리, 장치의 기본구성 및 적용예 등에 관하여 1993년 일본의 냉동학회지 제68권 793호에 게재된 논문을 알기 쉽게 해설을 덧붙여 번역한 것이다.

이상으로 첨단 기술의 진공냉각장치에 대하여 간략하게 기술하였으며, 앞으로 이러한 장치의 개발에 의하여 보다 위생적이고 신선한 식품을 소비자에게 제공하며, 나아가 농축산농가의 소득을 증대시킬 수 있을 것이다. 따라서 이와 같은 진공냉각장치의 연구개발과 보급이 우리나라에서도 매우 필요할 것으로 생각되며 이에 관한 많은 관심과 노력이 요구된다.

참고문헌

- 1) 安生三雄: 冷凍空調便覽 應用編, 4, p. 433, 日本冷凍協會, 東京 (1981)
- 2) 安生三雄: 食品流通技術, 16(14), pp. 2~10, 流通システム研究センター (1987)
- 3) 小野田明彦: 「食品流通技術ハンドブック」 4-2, p. 270, 食品流通システム協會 (1989)
- 4) 安生三雄: 食品流通技術, 16(14), p. 6, 流通システム研究センター (1987)
- 5) D.W. 에워링턴: 「食品機械裝置」, No. 97, (1977)