

최근의 농식품 관련 냉동냉장 기술

농식품 분야에서 냉동기술을 적용한 사례와 새로운 기술을 소개한다.

김 병 삼 / 식품냉동 전문위원장
한국식품개발연구원(bskim@kfri.re.kr)

서 언

식품을 상온에 두면 내부에서 일어나는 생물화학적 반응이나 미생물의 증식 등으로 효소적, 미생물적 변질, 변패 등의 손상을 입고 마지막에는 부패되어 불가식품의 상태에 이르게 된다. 인류는 이러한 식품의 품질저하를 방지하기 위하여 고금을 통하여 많은 저장방법을 연구하여 왔다. 그 방법의 하나로 식품을 저온에 저장하는 냉동 저장법이 있으며 이 방법은 식품저장법중 가장 우수하고 현대적인 방법이다.

냉동 저장법이 식품에 응용되기 시작하면서 각국에서는 시장 유통 단계에서 필요한 기술을 도입하여 냉동 식품에 관한 제반 시설의 건설 설비 및 보급이 증가 추세에 있다. 또, 냉동은 식품 저장을 위한 수단 외에 가공 수단으로서 신가공 식품 제조, 동결 건조(freeze drying) 및 동결 저장 기술 등에 적용되기도 한다. 여기서는 농식품분야에 있어서 냉동기술의 적용 사례와 새로운 기술들을 소개하고자 한다.

최근의 식품 냉동 냉장 기술

동결을 이용한 식품 가공

(1) 동결 채소

동결채소 제조 공정의 핵심은 채소의 색소와 영양소 그리고 관능적 품질을 그대로 유지하는데 있다. 따라서 블랜칭(blanching, 데치기) 공정에서 채소에 존재하는 효소들을 불활성화시키고 원래의 색소를

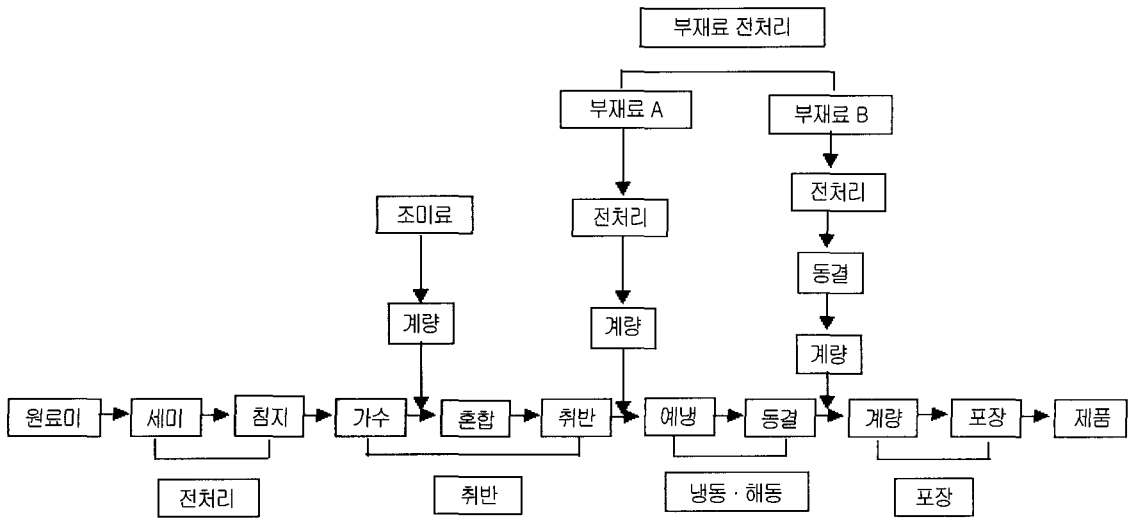
그대로 유지하기 위한 chemical 등이 사용되게 된다. -38℃ 이하로 급속동결함으로서 빙결정의 성장을 억제하면서 동결을 급속히 진행시키고 이어서 -18℃ 이하에 보관하므로써 조직 내의 품질 변화를 정지시킨다. 당근, 마늘, 대파, 딸기 등 거의 모든 채소류가 동결채소로 가공되어지고 있다. 동결상태로 보관할 경우 6개월 이상의 보관이 가능하다.

동결채소를 위한 동결방법에는 ① 유동화식 동결장치와 ② 강제통풍(air-blast)식 동결장치가 사용되는데 전자는 채소를 한 개체씩 개별로 급속동결하는 방법으로 IQF라고 부른다. 여기에는 완두콩류, 각형으로 절단된 당근, 절단 옥수수, 싹양배추 등이 이용된다. 보통 콘베어 벨트 상에 원료를 이송하면서 하부에서 송풍을 하면 원료가 약간 부상하면서 전체로서는 유동화되면서 동결이 된다. 보통 완두콩 같은 경우 3~5분이면 동결이 된다. Air-blast 방식은 -20~40℃의 공기를 2.5~10 m/s로 송풍하여 동결하는 방식이다. 동결시간은 수시간에서 열시간 이상 소요된다. 보통 동결중 건조가 수반되기 때문에 포장 등의 처리가 필요하다. 보통 블랜칭은 90~96℃에서 수분 동안 행한다. 다음은 동결채소 제조 공정의 순서이다.

원료 → 세정 → 조제 → 블랜칭 → 급속냉각 → 탈수
→ 계량/포장 → 급속동결(-38℃) → 보관(-18℃ 이하)

(2) 조리냉동식품

조리냉동식품은 냉동식품의 주류를 이루고 있는데



[그림 1] 냉동 필라프의 제조 공정

냉동만두를 비롯하여 냉동밥, 냉동튀김 형태 등 반제품이나 완제품 형태로 제조되어 가정에서 쉽게 데워서 먹을 수 있게 생산되고 있다. 한 예로 냉동밥의 경우 조리된 다음 급속 냉동시켜 유통된 다음 소비 단계에서 해동, 가열하여 먹도록 되어 있다. 단순한 밥의 동결제품부터 조미처리된 밥(볶음밥 형태)까지 여러 가지가 있으며 그림 1에는 냉동필라프의 제조 공정을 나타내었다.

초저온동결

현재 태평양에서 잡은 참치가 음식점에서 갓 잡은 것처럼 싱싱한 조직감을 유지하는 것은 어획후 바로 처리하여 -70℃ 이하로 급속동결시키기 때문이다. 급속동결에 의해 빙결정의 생성을 최소화시킴으로써 빙결정에 의한 조직 붕괴나 동결변성 등을 최소화시키는 원리이다. 식품중의 성분 변화는 -32℃ 이하에서는 유리수가 거의 동결되고 효소작용도 일어나지 않기 때문에 급속동결후 -32℃ 이하에서 보관하면 장기간이 지나도 거의 싱싱한 상태의 맛과 조직감을 재현할 수 있다. 최근에는 혼합냉매 등을 이용해 -150℃ 이하의 온도까지 급속히 동결시킬 수 있는 초저온 식품동결고 등이 개발되고 있다.

동결분쇄

동결분쇄는 식품공업, 플라스틱 및 고무공업 등에

다양하게 이용되고 있다. 식품산업에서 동결분쇄를 이용하는 이유는 건조 또는 상온분쇄시에 일어나는 발열과 산화에 의한 품질 변화를 최소화하고 물성의 변화와 열에 쉽게 파괴되는 영양분의 손실을 막을 수 있고 지방 함량이 높거나 수분이 많은 식품의 용도 다양화와 당질 및 껌상의 경우 분말화가 어려운 소재일 경우 동결에 의한 분쇄를 하면 쉽게 처리가 가능하기 때문이다. 동결분쇄의 경우는 기술적으로 다음과 같은 제약을 받는데 즉 저온으로 온도를 유지하기 위해서는 액화가스나 액체질소와 같은 냉매의 사용이 필수적이고 분쇄장치의 재질, 장치의 단열, 과도한 설비비 그리고 분쇄 중에도 냉매를 계속 공급하여야 하는 등 운영비 부담 등으로 현재는 고부가가치 제품에만 활용하고 있다. 보통 동결분쇄는 액화가스나 액체질소를 사용하며 동결하면서 분쇄 공정이 바로 이어지는데 피처리물의 중심온도가 -20℃ 이하에서 분쇄를 한다.

동결농축(freezing concentration)

수용액을 어느점 이하로 냉각시키면 염, 향기성분, 당분, 단백질 및 지방을 거의 함유하지 않은 순수한 얼음결정이 형성된다. 따라서 용액으로부터 얼음 결정을 분리하면 고형분 농도가 높은 농축된 용액을 얻을 수 있다. 동결농축은 포도주 또는 맥주의 알코올 함량을 증가시키기 위해 일부 사용되는

데 이 때 알코올과 포도주의 품질에 영향을 미치는 색소 및 향기성분을 제거하지 않고 단지 수분만 일부 제거된다.

동결농축장치는 기본적으로 얼음결정을 생성시키는 결정기(crystallizer)와 액상으로부터 얼음 결정을 분리하는 분리기(separator)로 구성되어 있다.

빙온저장과 파아셜프리징(partial freezing)

보통 과실이나 채소의 초기 동결점은 -0.5°C 부근에서 시작된다. 생명체인 신선한 과실이나 채소류는 수확 후에도 호흡작용 등 생리적인 활동을 계속하게 되는데 온도를 낮춤으로서 이러한 활동을 억제시킬 수 있으며 빙결점 부근까지 저하시키면 대부분의 작용은 정지되게 된다. 즉 저온에 의한 장해를 방지하면서 품질을 최대한 유지시킬 수 있는 저장기술로서 가장 중요한 것은 이 온도대에서 정확하게 온도 제어를 할 수 있어야 한다는 것이다. 일본에서는 배의 저장에 빙온저장을 이용함으로써 당 성분의 분해를 지연시켜 고유의 풍미를 오래동안 유지시키는 시도가 행해졌으며 국내에서는 송이버섯 등의 저장에 활용하기도 한다.

일부 냉장고에 보면 싱싱고라하여 얼듯말듯한 상태를 유지시켜주는 장소가 있는데 우리말로로는 부분동결이라 하여 보통 -3°C 전후에서 식품을 냉장보관하는 기술이 파아셜프리징(partial freezing)이다. 특히 생선이나 육류에 있어서 신선한 맛과 조직감을 그대로 유지시키는데 사용되는 방법이다.

농산물의 저온유통 관련 기술

청과물 유통에 있어서 저온 이용의 필요성

청과물의 수확 후 선도저하의 주 원인이 되고 있는 생리현상인 호흡작용, 갈변현상, 증산작용, 에틸렌의 생합성 등의 반응 속도는 온도에 크게 의존하고 있다. 그 이유는 생체의 반응속도는 효소반응과 연관되어 있고 효소반응은 온도 의존성이기 때문이다. 동결점에서 반응속도가 0에 가까운 것이 온도 상승과 함께 급속히 증가하고 이어 최고점에 달한다. 이 점은 대략 45°C 부근으로 알려지고 있다. 최고점을 넘어서면 이어 효소의 반응속도는 급격히 떨어지게 되고 이어 0에 가깝게 된다. 따라서 청과물의 저장에

있어서도 온도 상승에 따라 모든 생리반응이 촉진되고 이어 품질저하를 초래하고 있다. 그러므로 저온에 의한 선도저하의 억제는 대부분이 효소반응의 속도저하로 설명될 수 있다. 청과물의 선도 유지에 있어서 저온 이용의 효과를 알아보면 다음과 같다.

(1) 온도와 호흡속도 및 에틸렌 생성량

농산물의 유통 온도는 전술한 바와 같이 호흡속도와 에틸렌 생합성 등 각종 대사활동에 영향을 미치며 그 중에서도 신선 청과물의 유통에 있어서는 호흡속도와 에틸렌 생합성에 미치는 영향이 큰 비중을 차지하고 있다. 각종 채소를 수확후 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ 의 일정 온도하에 놓을 때 호흡속도와 에틸렌 생성량을 조사한 결과 호흡속도는 시금치, 가지, 딸기, 양배추, 무, 양파의 모든 채소에서 온도 상승과 함께 증가하였다. 이것은 전술한 효소반응의 온도 의존성과 특히 일치하고 있다. 시금치의 호흡속도가 가장 높고 무, 양파는 낮게 나타나고 있다.

에틸렌 생성량에 대해서는 온도가 0°C 부터 상승하여 서서히 증가하였다. 그러나 가지, 시금치에서는 40°C 에서, 딸기는 30°C 에서 감소하였다. 이는 에틸렌 생합성에 관여하는 에틸렌산화효소가 열에 의해 실패되기 때문으로 설명되고 있다.

(2) 증산작용의 억제

증산은 온도 및 습도에 크게 영향을 받는 것은 잘 알려져 있다. 그러나 어느 일정 온도에서 증산에 직접 영향을 주는 것은 상대습도가 아니라 증기압부족량(vapor pressure deficit)이다. 증기압부족량은 그 공기가 계속 수증기를 함유하여 얻을 수 있는 정도를 나타내는 것으로 mmHg로 나타낸다. 일반적으로 청과물의 세포에 함유된 물의 상대습도는 100%로 보고 있다. 따라서 저장고의 상대습도가 100% 이하이면 증기압 부족이 일어나 증산이 일어난다. 그러나 상대습도는 같아도 온도가 낮게 되면 증기압 부족량이 적어지고 그만큼 증산이 적어진다. 단 청과물의 종류에 따라서는 저온에서 증산억제도는 큰 차이가 있다. 대체로 온도가 10°C 오르면 증기압부족량은 배로 되어 증산 속도도 배로 증가한다. 예를 들어 온도 5°C 와 15°C , 상대습도 90%인 두 조건을 비교할 때 온도가 높은 15°C 에서는 5°C 에 비해 증기압부족

량이 배로 증가하고 따라서 수분 증발도 두배로 빨라진다. 일반적으로 증산은 기공증산(stomatal transpiration)과 표피증산(cuticular transpiration)으로 대별되는데 90% 이상은 기공증산으로 밝혀지고 있다. 기공은 일반적으로 0℃ 근처에서 닫히고 30℃까지 온도가 증가함에 따라 지속적으로 개방된다.

(3) 부패의 억제

청과물을 부패시키는 미생물의 활성도는 온도에 따라서 큰 차이가 있고 저온에서 낮다. 따라서 저온 저장에서는 부패가 억제된다. 그러나 완전히 억제되는 것은 아니며 온도가 다르면 발생하는 병해의 종류가 다르게 되는 경우도 있다. 예를 들면 감귤류를 상온에서 저장하면 푸른 곰팡이, 녹색 곰팡이에 의한 부패가 많지만 저온에서는 흑부병의 비율이 많아진다.

(4) 발아, 발근의 억제

양파나 감자와 같은 근채류의 품질은 발아, 발근에 의해 저하되게 되는데 이러한 근채류는 수확후 일정 기간 동안 휴면을 하게 되고 그 기간이 지나면 싹과 뿌리가 나게 된다. 따라서 휴면을 타파하기 이전에는 상온 저장도 어느 정도는 가능하지만 장기간의 저장은 곤란하다. 이와 같은 것에 대하여 저온은 휴면을 연장시켜 발아, 발근을 지연시키는 작용을 한다.

(5) 온도와 저장성, 최적 저장 온도

온도가 낮을수록 저장성이 좋은 이유는 전술한 바와 같이 여러 원인이 있지만 가장 큰 영향을 미치는 원인으로는 저온에서는 청과물의 호흡작용을 비롯한 대사작용이 억제되어 그 결과 선도 저하가 지연되기 때문으로 알려져 있다.

온도와 채소의 선도 저하의 관계를 조사하기 위해서 각종 채소를 0~30℃의 온도에 저장하여 선도를 관정한 결과, 양배추, 브로콜리, 시금치는 30, 20, 10, 0℃로 온도가 낮은 만큼 선도가 잘 유지되고 특히 0에서는 잘 유지되었다. 한편 오이, 가지, 피망은 30, 20, 10℃로 온도가 낮은 만큼 선도가 잘 유지되었지만 0℃저장에서는 10℃저장보다도 나쁜 결과가 되었다. 그 이유는 저온에 의한 이상 즉, 장해가 발생

하기 때문에 표면이 함몰하여 까맣게 되는 pitting이나 표면의 부패가 나타나기 때문이다(저온장해). 이 결과로부터 오이, 가지, 피망에서는 10℃의 저장이 가장 좋을 수 있다.

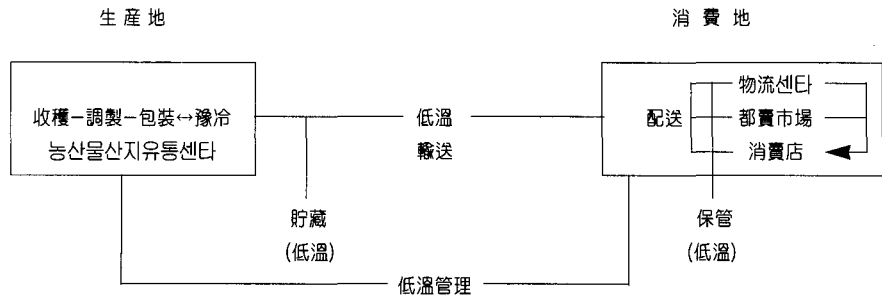
청과물은 장기적으로 보아서 저장을 할 필요가 있는 것도 있지만 품목에 따라서는 극히 짧은 단기간 선도를 유지해야 할 필요가 있는 것도 있다. 따라서 저장이나 선도유지의 필요성은 사회적, 경제적 배경으로부터 결정하여야 하는데 수확후의 품질 혹은 선도를 그대로 유지시킬 수 있는 조건을 찾기는 쉽지 않다. 대부분의 채소, 과실의 최적 저장온도는 0℃ 부근이다. 그러나 오이, 메론, 수박, 호박(이상 박과 식물), 가지, 피망, 토마토(이상 가지과), 오크라는 7~13℃이다. 그 이유는 이들 품목은 저장중에 저온장해가 나타나기 때문이다. 과실에 있어서는 그레이프후르츠, 레몬, 라임, 오렌지, 탄제린, 만다린 등의 감귤류나 파인애플은 저온장해가 있기 때문에 0℃ 부근이 아닌 4~5℃ 이상의 온도대가 최적으로 되어 있다. 또 최적온도는 저장 목표 기간에 따라서 다르게 설정하여야 하는데 보통 자료에서 나타나 있는 저장 적온은 최장기간의 저장을 목표로 한 경우에 있어서의 온도여서 그보다 단기간 저장하여 품질을 유지하려는 경우는 저온장해가 발생할 문제가 없는 경우도 있다. 따라서 그 경우에 저온에서 유통시키는 것은 하등에 차이가 없고 저온장해를 우려할 필요도 없다. 일반적으로 「최적저장온도는 빙결점 직전의 온도로서 단, 저온장해가 일어나지 않는 온도대」로 정의할 수 있다.

농산물의 저온 유통체계(cold-chain system)

저온 유통체계란 전 유통과정을 선도유지에 적합한 온도로 관리하는 한 체계로서 생산 또는 수확에서부터 소비에 이르기까지 지속적으로 적절한 저온을 유지시켜 생산 또는 수확 직후의 품질(신선도) 상태 그대로 소비자에게 공급하는 유통 체계를 말하며, 농산물에 있어서 저온 유통체계는 그림 2와 같다.

(1) 예냉(precooling)이란 ?

청과물의 품질을 유지하기 위하여 수확후 빨리 포장열(field heat)을 제거함으로써 품온을 낮추어 호흡작용을 억제시킬 필요가 있는데 이를 위한 냉각

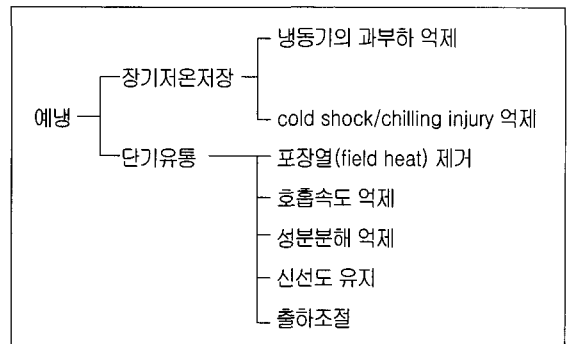


적용 온도 : 0 ~ 15℃

[그림 2] 농산물 저온 유통체계의 모델

<표 1> 상온유통과 저온유통의 선도유지효과 비교

항목	품목	상온 유통	저온 유통
영양성분	시금치	30℃/3일 후 비타민C 85% 손실	예냉후 10℃/21일 후 비타민C 20% 파괴
중량감소	체리	10℃/3일 후 4.4% 감모	0.6℃예냉/3일 후 1.9% 감모
변색	시금치	30℃/3일 후 클로로필 55% 손실	예냉후 10℃/3일 후 클로로필 2% 손실
수송중 손상	딸기	10kg/3단/상온 65% 손상 발생	예냉후 500g 소포장 5% 미만
유통기한	양상치	15℃에서 3일	예냉후 1℃ 보관 35일



[그림 3] 예냉의 목적

작업을 말하며, 저온유통체계의 시발점이다.

(2) 예냉방식의 종류

1) 강제통풍식

- 저온저장조에 비하여 냉각능력과 순환송풍량을 증대시켜 예냉하는 방식
- 간접냉각형태로 냉각속도가 느리고(12~20시간) 냉각불균일이 우려됨.

2) 차압통풍식

- 예냉고 내부에 차압실과 차압팬을 설치하고 냉각능력을 증대시켜 유효냉각공기량을 증가시킴으로서 예냉하는 방식
- 강제대류에 의해 냉각공기가 직접 상자의 통기공을 통해 청과물과 접촉하는 예냉방식으로 냉각속도가 빠르고(2~5시간), 균일한 냉각이 가능함.

3) 진공냉각식

- 공기의 압력이 낮아지면 물의 증발온도가 낮아지는 원리를 이용해 4.5~7.0 Torr의 감압하에서 청과물로부터 수분이 증발할 때 빼앗기는 기화열에 의해 예냉하는 방식
- 진공조, 콜드트랩(냉동시스템), 배기계, 콘트롤시스템으로 구성되었으며 단시간(20~40분)에 냉각이 가능하나 열채류에 제한적으로 사용 가능

4) 수냉식

- 저온(0~4℃)의 냉수를 이용하여 냉각하는 방식으로 보통 세정처리를 겸하여 행하게 되며, 냉각시간이 빠르나 예냉후 탈수처리가 필요함
- 유통시 세정이 필요한 청과물이나 최소가공청과물에 적합함.

5) 빙냉식



- 쇠빙(잘게 부순 얼음)을 청과물 상자에 담아 냉각시키는 방법으로 브로콜리, 대파 등에 주로 적용한다.

실생활과 냉장기술

김치냉장고

김치 냉장고는 겨울철 땅속에 묻어둔 김치의 발효 과정에 IT기술에 접목시켜 재현시킨 것으로 가전 제품 중 가장 성장력이 큰 제품이다. 현재는 김치 냉장고에 쌀 냉장고를 겸비한 제품이나 식혜 등 발효 기능을 갖춘 제품 등 기능이 다양화되고 있다.

와인냉장고

와인 애호가들을 겨냥해 선보인 냉장고다. 와인은 온도와 습도에 민감하기 때문에 특별한 냉장기술이 요구된다. 냉동공조 전문기업인 A사는 저장환경에 따라 맛과 향이 달라지는 와인의 특성을 살리기 위해 특수 압축기를 장착한 와인냉장고를 선보였다. 자체 공기 순환냉각시스템이 신선한 공기를 와인에 안정적으로 공급하고 와인의 외부 온도가 상승하거나 하강할 때는 저장고 안의 냉장 회로가 외부 온도를 스스로 진단해 최적의 온도를 유지시켜 준다. B사는 저장고 내부를 3단으로 분류해 첫칸은 레드와인을 위한 14~16℃의 냉장구역으로 중앙칸은 로즈와인이나 라이트레드와인을 위한 11~13℃ 냉장구역, 그리고 맨 아랫칸의 온도는 6~10℃를 유지해 화이트와인이나 샴페인을 보관할 수 있도록 고안했다. C사는 기존 냉매를 사용하는 압축기를 사용하지 않고 반도체소자를 적용해 진동과 소음을 차단한 와인 냉장고를 내놓았다. 이 제품은 최적의 와인을 만들기 위해 60~80%의 적정 습도를 유지시키고 레드와인, 화이트와인, 스피클링와인 등 와인 형태에 따른 3가지 형식으로 온도범위를 선택해 보관할 수 있게 되어 있다.

반찬냉장고

김치만을 보관하는 김치냉장고에 이어 반찬만을 저장하는 반찬 냉장고가 판매되고 있다. D사는 식탁 위에 여러 번 오르내리는 반찬을 손쉽게 저장할 수 있도록 싱크대 위에 설치할 수 있는 반찬 전용 냉장

고를 출시했다. 주부들의 작업 동선을 줄여주는 것이 특징이다. 반찬만 보관하기 때문에 불쾌한 냄새가 사라져 청결하고 항상 3℃를 유지해 신선감을 준다. 또 간접냉각방식으로 팬을 없애 반찬의 건조와 탈수협상을 최소화했다.

화장품냉장고

온도차에 따른 화장품 성분의 변화를 조사한 결과 적정 온도는 7~12℃이다. 화장품 냉장고는 고가의 민감한 화장품에 대해 내부 온도 편차를 1℃내외로 유지시키고 간접냉각방식에 의한 제습 기능 등을 보유했다.

쌀냉장고

소비자들의 식습관이 고급화되면서 생산지에서부터 쌀을 15℃이하의 저온에 보관하여 쌀의 생리적 활동을 억제시키고 아울러 지방 등 성분 분해를 지연시켜 햅쌀 고유의 풍미를 장기간 유지시키려는 시도가 이어지고 있다. 현재 5℃이온쌀이나 저온보관쌀, 냉각쌀 등 다양한 형태의 저온처리한 쌀이 출하되고 있다. 특히 쌀은 소비자가 구입한 후에도 1개월 이상 상온에서 보관하면서 소비하기 때문에 품질 저하가 크다. 따라서 가정에서도 저온에 보관할 수 있는 쌀 냉장고가 출하되고 있다. 일부 업체에서는 전자냉각을 이용한 제품들이 공급되고 있다.

결 언

냉동기의 발명은 우리 삶의 질을 향상시키는데 가장 중요한 사례 중의 하나이다. 최근 들어서는 환경문제와 에너지 문제를 고려하여 새로운 냉동시스템과 열원의 재활용 기술이 개발되고 있으나 식품과 식자재와 관련하여서는 기본적으로 저온의 적용 없이는 신선도나 식품 자체의 특성을 유지하는데 제한을 받게 되기 때문에 반드시 필요한 기술이다. 오늘날 식품의 경우 가장 중요한 것은 고품질과 함께 안전성이며 이를 확보하기 위해서는 저온에 의한 방법이 가장 효율적이며 이는 냉동냉장기술에 의해서만 이루어질 수 있기 때문이다. 따라서, 그동안 비용 측면에 있어서 제한적으로 사용되기도 하였으나 냉동냉장 기술은 식품 분야에서 끝없이 수요가 증가하고

발전할 것으로 여겨진다.

참고문헌

1. 김정옥, 2000, 2000한국식품연감, 농수축산신문사, pp.497-527.
2. 냉동물제조수산업협동조합, 1994, 냉동식품의 이론과 실제, 유림문화사, pp.21-27.
3. 김동수, 1998, 고품질 식품생산을 위한 냉동분쇄 장치 시스템 및 응용 기술 개발, 한국식품개발연구원.
4. 김병삼, 2002, 농수산물의 냉각, 세정, 살균 전처리 시스템 개발, 한국식품개발연구원.
5. Kazuo Takemura, 2002, Manufacturing technique and subject for frozen cooked rice, 冷凍, 77, p.891. ●*