



콜드체인시스템에서의 저온 PCM(잠열재) 적용사례 및 이용가능성

백 종 현 / 한국생산기술연구원 에너지설비기술지원센터 수석 연구원

1. 서론

현재 국내의 유통산업은 규모면이나 질적인 면에서 모두 괄목할만한 성장세를 유지하고 있다.

특히 국민생활수준의 향상과 식생활의 서구화로 인하여 인스턴트식품(Fast Food)류, 육류, 냉동생선류 및 채소류, 과일류등의 저온유통이 날로 증가되고 있으며, 이에 따라 식품의 장·단거리 운반수단으로 사용되는 냉동차량 및 냉동·냉장용 저온저장창고, 쇼케이스, 소포장용 냉동 BOX 등에 관련된 산업 역시 지속적인 성장을 거듭하고 있다.

그러나 유통산업의 외형적인 성장과는 달리

콜드체인시스템은 이를 따라가지 못하고 있으며, 저온유통의 고리가 부분적 또는 상당부분 단락된 상태로 소비자 단계에서 접할 수 있는 쇼케이스나 업소용 냉동·냉장고등에 치중되어 있어 선진국형의 콜드체인시스템과는 격차가 있다.

또한 냉동·냉장창고 및 수·배송용 냉동차등 설비가 갖추어진 경우에도 운영비 문제로 유지 온도를 지키지 않는 경우가 발생되고, 보다 근본적으로는 양질의 저온유통시스템을 통하여 공급된 물건이 그렇지 않은 물건과 비교하여 차별화될 수 있는 제도가 없어 가격 차이에 의한 투자동기가 유발되지 않고 있다.

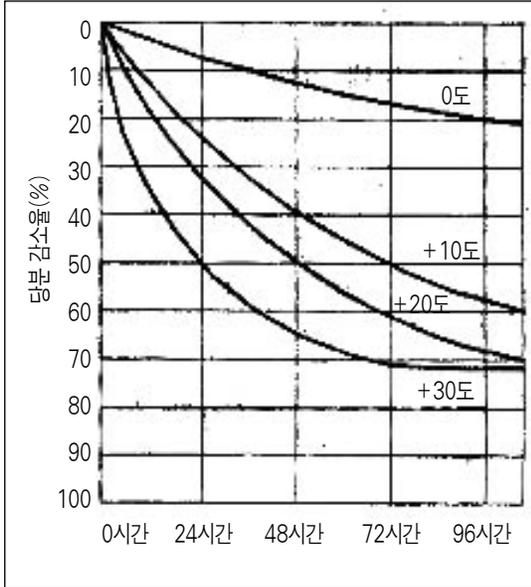
저온유통에 가장 민감한 농산물의 경우 (그림

[표 1] 콜드체인 시스템의 선도 유지 효과

항 목	품 목	상온 유통	콜드체인 시스템
영양성분	시금치	30℃/3일 후 비타민C 85% 손실	10℃ 예냉 후 21일 비타민C 20%파괴
중량 감소	체리	10℃/3일 후 4.4% 감모	0.6℃ 예냉 후 3일 1.9% 감모
변색	시금치	30℃/3일 후 클로로필 55% 손실	10℃ 예냉 후 3일 클로로필 2% 손실
수송중 손상	딸기	10kg/3단/상온 65% 손상과 발생	500g 소포장 예냉 후 5% 미만
유통기한	양상추	15℃에서 3일	1℃ 예냉후 보관 35일



[그림 1] 수확 후 옥수수 보관온도와 당분 감소량



1)과 [표 1]에서 보는 바와 같이 풋 옥수수의 경우 호흡량이 많아 수확후 상온에서 하루가 지나면 당분이 절반으로 줄어들음을 나타내고 있으며, 저온유통에 의한 신선도 및 영양분의 보존효과는 보편적인 의식을 뛰어넘고 있다.

따라서 국내 저온유통시장이 유통단계별로 분리되어 상호 유기적인 연계성이 성립되지 못하고, 단계별 중복투자에 의해 발생하는 고비용의 설비비 문제를 해결할 수 있는 저온유통시스템 구축이 시급하다.

본 원고에서는 냉동·냉장식품(특히 농수축산물 및 가공식품)의 유통 여건 변화와 WTO 체제하의 시장개방에 따라 현재의 미약한 콜드체인시스템의 경쟁력을 확보함과 아울러 국내의 복합적인 요인에 의해 도입단계를 극복하지 못하는 시점에서 시장원리와 합리적인 정책방

안을 토대로 국내 실정에 효과적인 대안 중의 하나로서 콜드체인시스템에서의 잠열재(PCM) 이용기술을 검토하고, 부분적인 적용사례를 소개하였다.

1. 콜드체인시스템(저온유통시스템)과 잠열재(PCM)

1-1. 콜드체인시스템

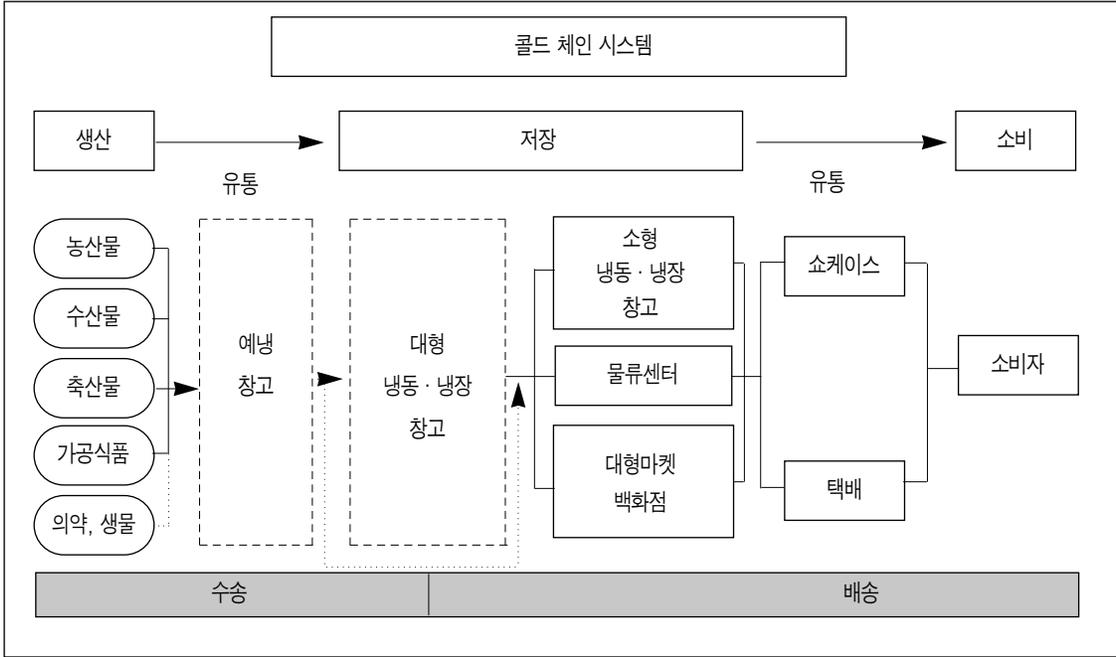
콜드체인시스템은 [그림 2]에서 보는 바와 같이 상온보다 낮은 온도로 유지되어야 할 대상을 생산단계에서부터 소비자에 이르기까지 지속적으로 적절한 온도로 유지시켜 생산 당시의 품질상태 그대로 소비자에게 공급하는 유통체계 시스템을 의미하는 것으로, 여기서 대상물이란 구체적으로 농·수산물, 화훼, 가공식품, 의약품 등을 의미한다.

콜드체인시스템의 본질적인 목적은 이들 대상을 적정온도하에서 일정하게 유지함으로써 생물학적 반응을 적절히 억제하여 대상물의 신선도 및 본질적 가치를 연장시키는 것을 포함한다.

농·수산물(화훼포함)과 각종 가공식품이 대표적인 대상물로서 국민경제의 발전과 더불어 소비자의 소비성향이 고급화·다양화되면서 식품의 신선도와 안정성을 중시하는 소비자의 선호도 변화를 고려해 볼 때, 앞으로 양질의 콜드체인시스템 구축은 필수적이라고 사료된다.

특히 저온유통에 가장 민감한 농산물의 경우 저온유통에 의한 신선도 및 영양분의 보존효과는 보편적인 의식을 뛰어넘는 수준이다.

[그림 2] 콜드체인시스템의 개념



1-2. 콜드체인시스템과 잠열재(PCM)

잠열재 또는 PCM(Phase Change Material; 상변화 물질)로서 일반적으로 쉽게 접할 수 있는 것은 물(H₂O)이다.

[그림 3]에서 보는바와 같이 물에서 얼음 또는 얼음에서 물로 상변화시에 자체에서 보유한 잠열(80kcal/kg)을 방출할 때까지 0℃의 온도를 일정시간 유지하게 된다.

이때 방출 또는 흡수되는 잠열의 양은 매우 큰 편이어서 특정한 용도에 이용할 수 있으며, 대표적인 이용사례로는 빙축열 냉방시스템을 예로 들 수 있다.

한편, [그림 3]에서 보듯이 보냉 또는 보온용 PCM은 얼음과 같은 특성을 갖고 있으나 상변화온도가 영상 또는 영하로 유지되므로 사용하

고자 하는 온도에 알맞은 PCM을 사용할 경우, 효과적인 이용이 가능하다.

일반적으로 콜드체인시스템에서 특히 고려되어야 하는 항목으로서 다음과 같은 조건을 들 수 있다.

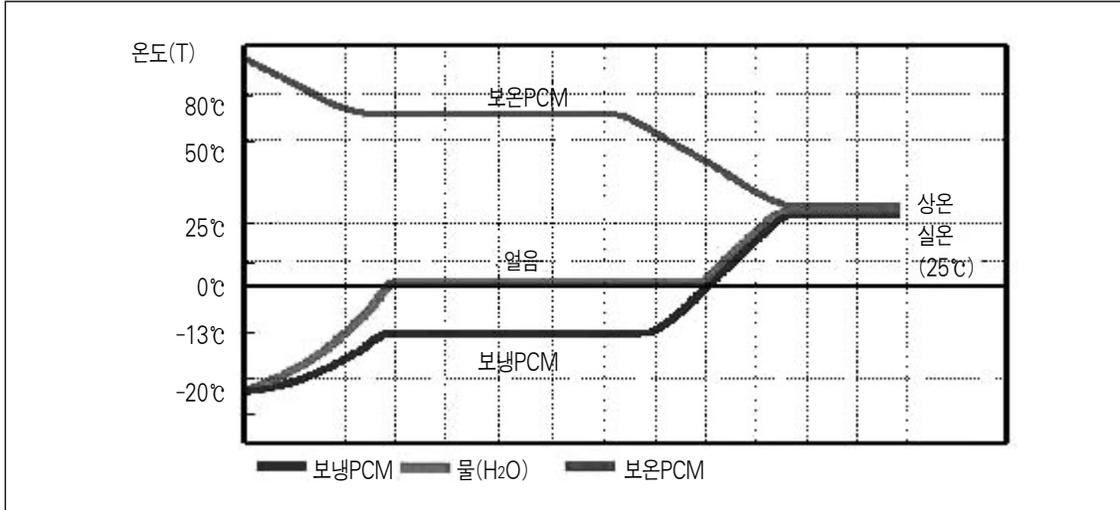
- 온도의 변화가 최소화될 수 있는 보관조건을 충족하여야 한다.
- 물품의 적재와 하역과정에서 온도변화의 위험성을 최소화하여야 한다.
- 보관/저장고의 단열이 매우 중요한 요소이다.
- 유통 제품마다 필요로 하는 온도조건이 상이하다.

저온 PCM이 가지고 있는 두가지의 중요한 특성은 일정한 상변화온도를 갖는다는 것과 냉



특 집

[그림 3] PCM의 해빙 또는 동결 특성 그래프



동기에 의해 축냉과정이 완료된 후 특정시간 동안 열흡수와 동시에 보냉유지가 가능하다는 것이다.

이러한 특성은 콜드체인시스템에 요구되는 특성과 많은 공통점이 있어 적절한 시스템 설계로 효과적인 콜드체인시스템 구성이 가능하리라 판단된다.

이용하고자 하는 저온 PCM의 선정은 적용온도에 가장 큰 관계가 있으며, 특히 냉동·냉장을 위한 PCM의 적정 상변화온도는 축열시스템의 방법 및 단열, 열교환면적등에 따라 차이가 있지만, 일반적으로 사용온도(고내온도)보다 5°C ~ 7°C 정도 낮게 선정되어야 한다.

참고로 저온창고의 냉장실 급별 및 유통과정

[표 2] 냉장실 급별 보관온도 및 PCM 적용 온도

냉장실 급별	보관온도	PCM 상변화 온도
C1급	+10°C~-2°C	0°C, -5°C
C2급	-2°C~-10°C	-10°C, -15°C
C3급	-10°C~-20°C	-15°C, -25°C

[표 3] 유통물품의 품목별 적용기준(일반적)

운송물품	아이스크림	냉동 식품	생선 어패류	생선 야채류	생선 과일류	생선 육류	유제품	제과류
고내온도(°C)	-25~-20	-18~-10	0~+3	0~+15	+1~+16	+2~+7	+2~+10	+3~+22
PCM 상변화 온도(°C)	-30~-25	-23~-15	-5~0	-5~+10	-5~+10	-3~+0	-3~+0	-3~+15

시 품목별 보관온도와 이에 대응하는 저온잠열재의 적정한 상변화 온도 선정 예를 [표 2]와 [표 3]에 나타내었다.

2. 저온유통시스템에서의 PCM 이용기술 적용 및 검토사례

1. 냉동, 냉장탑차

일반적으로 냉동차는 탑재된 냉동기의 동력원을 2.5톤급 용량을 기준으로 소형인 경우 주엔진으로부터 취득하고 있으며, 대형인 경우에는 별도의 보조엔진을 사용하고 있다. 이와는 별도로 운송품목 또는 운영시스템에 따라 유럽, 미국, 일본 등에서는 냉동탑차에 고내온도유지를 위해 적절한 잠열재를 축냉판 또는 특정형태의 용기에 봉입한 축냉시스템을 장착하여, 야간전

기로 냉동기를 이용하여 냉열을 축적하고 주간에는 별도의 구동원없이 저온상태로 고내 온도를 유지시키며 배송하는 축냉식 냉동탑차 시스템을 채택하고 있다.

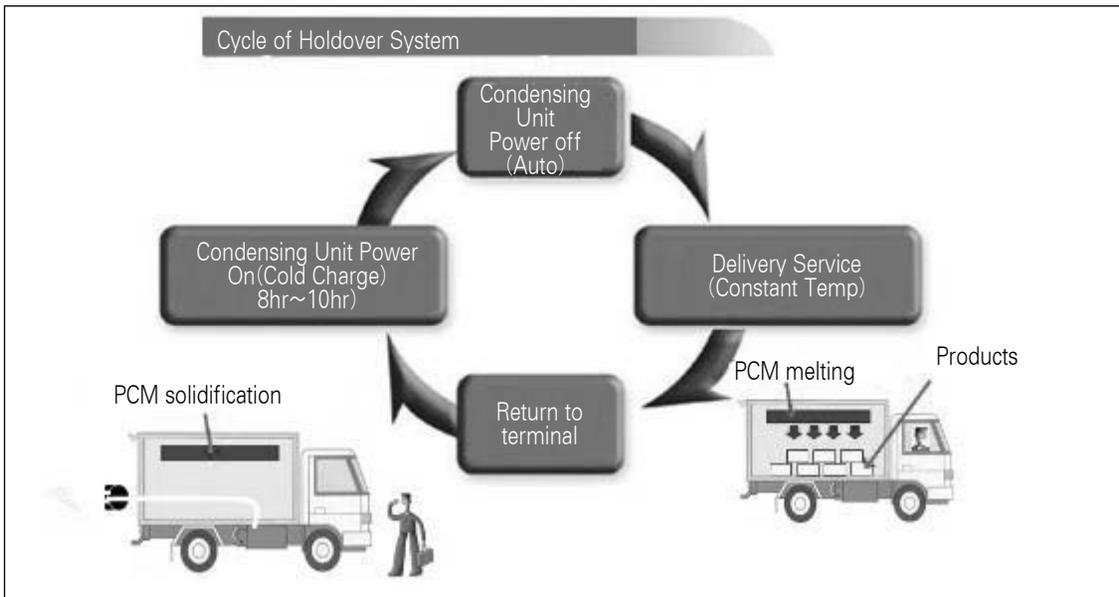
축냉식 냉동탑차의 가장 큰 특징이자 장점은 엔진구동식 냉동탑차에 비교하여 환경 친화적이라는 점이다.

엔진구동식의 경우 운행외에 소모되어야할 연료만큼 배기가스에 의한 환경오염이 심각한 정도에 이르고 있어 배기가스 규제에 영향을 받고 있기 때문이다.

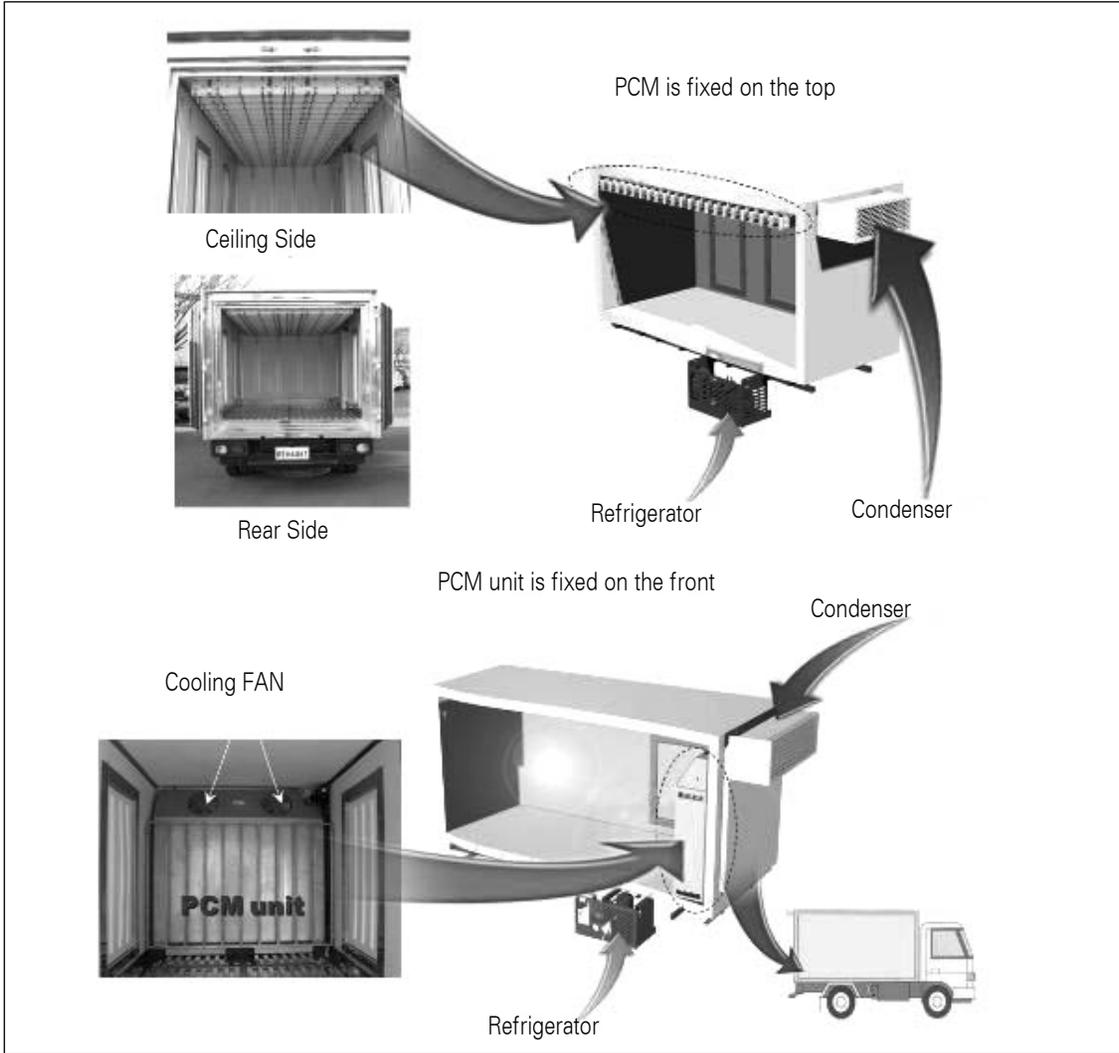
이 밖에 축냉식 냉동탑차가 갖는 장점들을 요약하면 다음과 같다.

- 고내의 습도가 높게 유지되어 제품의 신선도 유지가 용이

[그림 4] 축냉식 냉동탑차의 1일 사이클



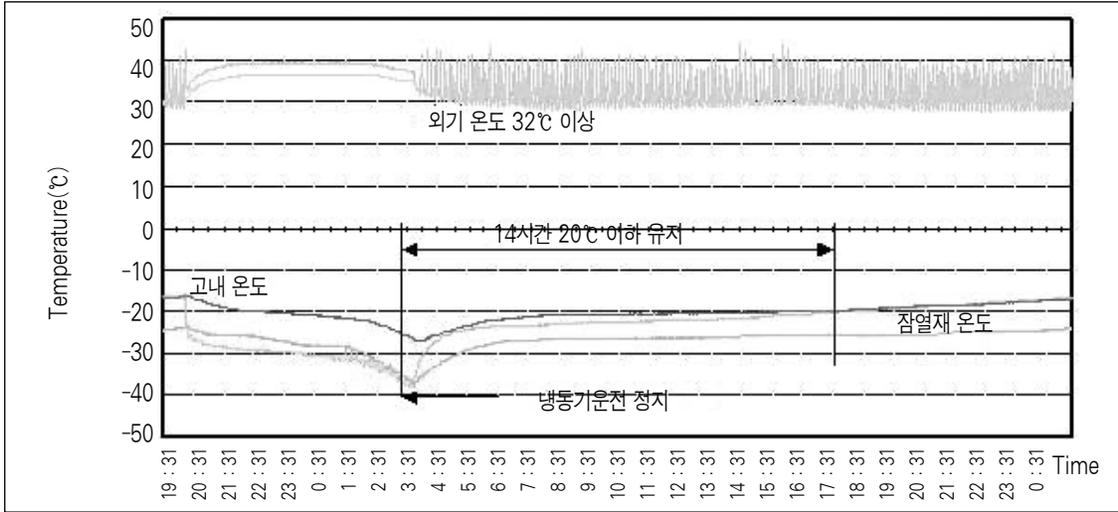
[그림 5] 자연대류 냉각방식(상), 강제대류 냉각방식(하)



- 물류기지 한곳에 축냉을 위한 중앙냉동장치를 설치하여 운용시에 설비비 감소
- 야간에 축열하여 주간에 방열하므로 운전시 연료비 절감
- 운행중에는 냉동장치가 정지되어 있어 운행 소음이 없음

- 운전부위감소로 고장 및 손상이 발생할 확률이 많지 않아 수명이 반영구적
- 도어개폐시 외기부하에 의한 고내온도 상승이 설정온도로 신속하게 복귀
- 축냉식 냉동탑차의 단점으로는 잠열재(PCM) 및 축냉모듈 자체 무게에 의한 하중부담(주엔진

[그림 6] 축냉식 냉동차의 온도유지 특성 그래프(폴리우레탄 두께 100mm)



구동방식에 비해)과 설정온도조절 폭의 제한 등을 들 수 있으며 원활한 기능을 수행하기 위해서는 잠열재, 축냉모듈, 차체의 단열 등 세 가지가 각자의 역할을 충실히 발휘해야 한다. 본 적용사례에서는 [그림 5]에서 보는 바와 같이 축냉모듈을 차체의 천정부분에 장착한 자연대류 냉각방식과 차고내 전방에 캐비닛형태의 케이스 내부에 장착하고 팬으로 냉기를 불어내는 강제대류 냉각방식을 보여주고 있다.

축냉식 냉동차의 가장 근본요소가 바로 차체의 단열성능이다.

특히 외국의 경우 차체 자체를 프레임을 성형하여 일체구조로 고밀도의 우레탄을 발포하여 제작하고 있으나, 국내의 경우에는 우레탄 발포(저밀도가 대부분임)로 판을 제작한 후, 이들 판을 조립하여 차체를 조립하므로 연결부위 또는 접합부위로부터 심한 열누수 현상이 발생되고 있다. 또한 축냉식 냉동차의 경우, 사용분야에

따라 측면개폐도어의 크기 및 위치 등을 다양하게 할 수 있으나, 문틀 및 실링(sealing) 부위로부터 역시 심한 열누수 현상이 발생되고 있음을 확인할 수 있었다.

본 적용사례에서는 차량의 단열재로 발포된 우레탄 판넬을 사용하였으며, 연결부위 및 열누수현상이 심한 부분에 세심한 작업을 수행하였다.

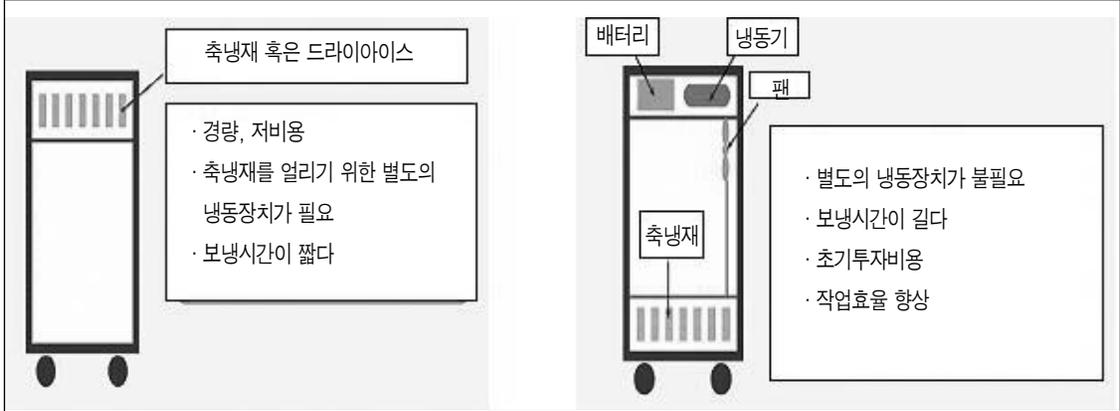
[그림 6]은 제작된 축냉식 냉동차의 축냉 및 보냉유지시의 온도특성 그래프이다. 잠열재의 상변화온도는 -26°C 이고 축냉시 냉동기의 운전시간은 7시간 정도이며, 냉동기 정지 후 -20°C 이하에서 고내온도가 유지되는 시간은 14시간이다.

2-2 냉동, 냉장고 / 냉동, 냉장박스

보냉상태의 유지가 필요한 물품을 수송하는 방식으로는 냉동탑차를 이용하는 방식과, 개별



[그림 7] 수동형 및 능동형 이동식 냉동박스(CRB) 비교



식 냉동/냉장고를 활용하는 방식이 있다.

냉동탑차를 이용하는 방식은 동일한 보냉조건의 제품만은 수송할 수밖에 없기 때문에, 보냉조건이 상이한 물품을 한 대의 냉동트럭으로 운송하지 못하고 동일한 배송처에 3 대의 운송차량(상온용 트럭, 냉장용 트럭, 냉동용 트럭)을 독립적으로 운행해야 하므로 화물의 적재효율 저하와 높은 운송비의 부담은 물론이고, 나아가 에너지 낭비 및 교통혼잡의 요인으로까지 확대되는 문제점이 있을 수 있다.

이에 반하여, 개별 냉동/냉장고를 이용한 수송 방식의 경우에는, 냉동/냉장/상온의 상품을 각 개별 냉동/냉장고에 적재할 수 있기 때문에, 보냉기능이 없는 한 대의 보통트럭으로도 보냉조건이 상이한 물품을 동시에 수송할 수 있을 뿐만 아니라, 물류 배송의 효율성을 극대화할 수 있으며, 적재 및 하역과정에서 상품의 외기 노출을 차단할 수 있어 신선도 유지 및 위생적 운송이 가능하게 된다.

최근에는 보냉 조건이 상이한 개별 축냉식 저

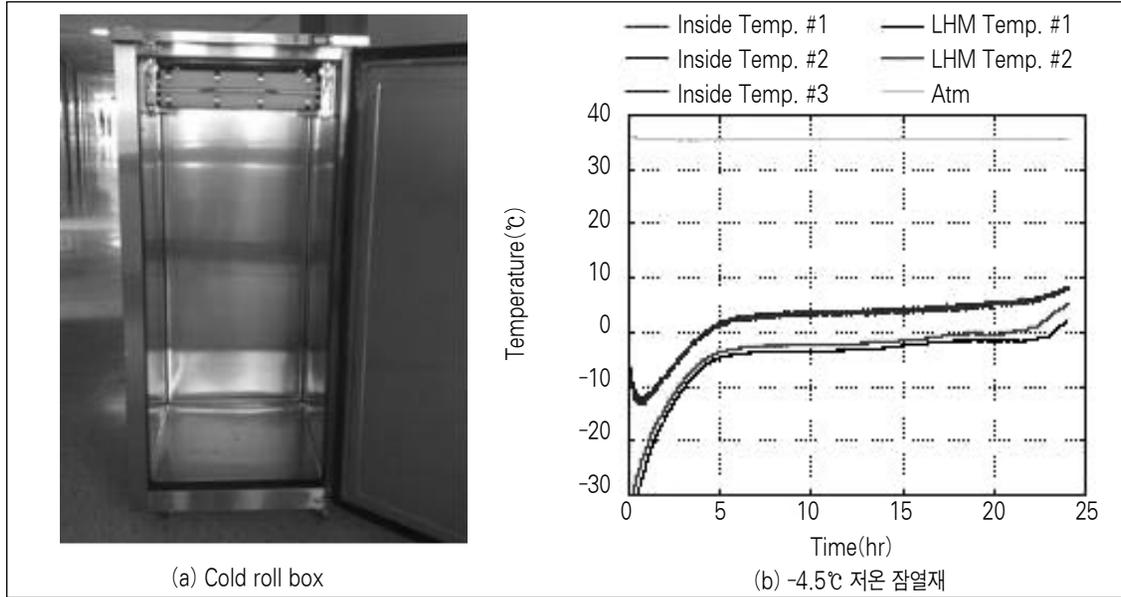
장고를 이용하여 한 대의 트럭으로 수송하는 방식에 관심이 대두되고 있는데, 이와 같은 개별 축냉식 저장고는 새로운 축냉제의 개발 및 저장고의 구조에 대하여 다양한 연구가 진행되고 있다.

[그림 7]에서 보는 바와 같이 이동식 냉동고에는 이미 얼려진 축냉 잠열재를 단열 처리된 박스 안에 충전하여 이동시간 동안 보냉효과를 유지하는 수동형 이동식 냉동박스와 박스내부에 냉동유닛이 추가 설치되어 장시간 대기시에도 적용이 가능한 능동형 이동식 냉동박스로 구분된다.

일본에서 이미 저온유통에 사용되고 있는 방식으로 가까운 시일내에 국내에서도 도입이 이루어 질 것으로 기대된다.

[그림 8]은 제작된 CRB(Cold Roll Box) 사진으로 내부크기는 610mm×630mm×1430mm이다. 상부에 축냉모듈을 수납할 수 있는 공간이 설치되어 있으며, 하부에 물품을 적재할 수 있도록 설계·제작되었다.

[그림 8] 제작된 냉동박스(CRB) 및 보냉유지 특성그래프



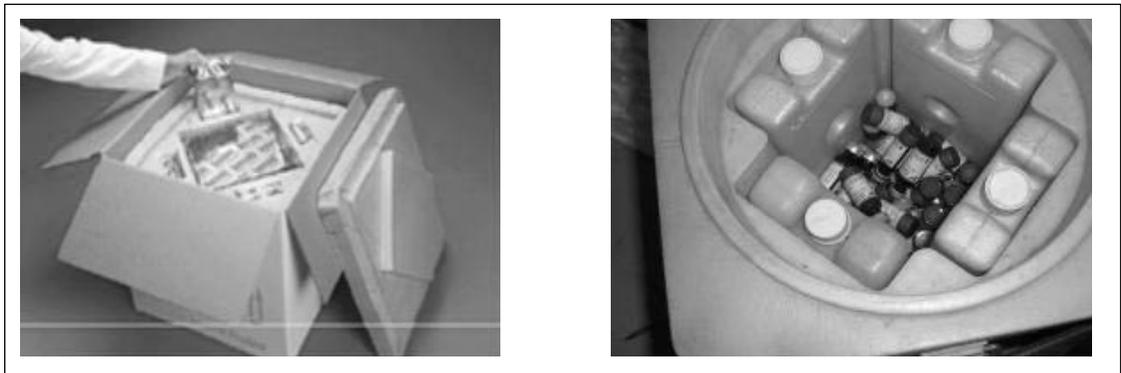
축냉모듈은 총 7set로 약 14kg의 저온 잠열재 (상변화온도 · 4.5℃)를 충전하여 박스 내부온도를 5℃ 이하에서 20시간 이상 유지하는 것을 확인하였다.

그 밖에도 최근에는 의약 및 바이오 물품은 물

론 소포장단위의 택배용 식품을 이송하기 위한 소포장단위의 냉동 · 냉장박스 형태의 운송수단이 보급, 확산되고 있다.

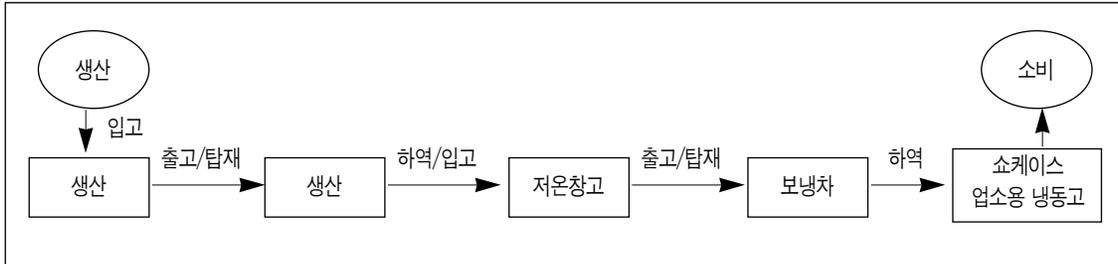
용도에 맞는 단열소재를 채택하고 내부에는 적정한 온도대의 잠열재를 삽입하여 허용 저장

[그림 9] 의학 · 바이오 제품 운송용 아이스박스

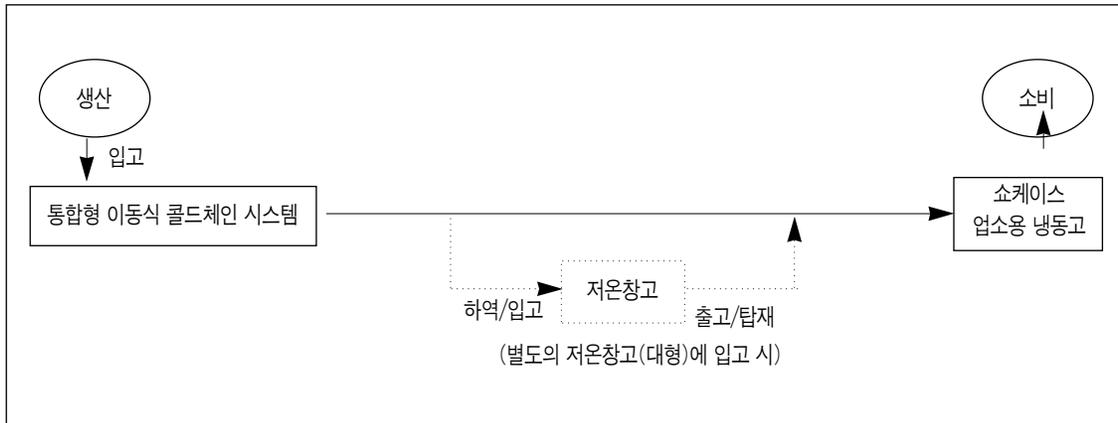




[그림 10] 현재의 저온유통 단계



[그림 11] 통합형 이동식 콜드체인 시스템의 저온 유통 단계



온도를 유지하면서 짧게는 수시간에서 길게는 120시간까지 운송·보관이 가능하며, 포장용기의 종류에 따라 일회용 또는 장기간 재사용이 가능한 제품들이 출시되고 있다.

2-3. 저온/냉동창고

저온 잠열재의 또 다른 장점은 일정한 온도유지를 위한 냉동기제어방식을 간편하게 할 수 있으며, 정확한 온도유지를 구현할 수 있다는 장점이다.

특히 냉매 또는 브라인 냉각방식에서 유닛쿨러를 제어하여 온도조절을 수행하는 것과 비교

하여 냉동기의 on/off 횟수를 줄여 시스템의 안정성 및 내구성을 확보할 수 있고 보다 정확한 온도유지가 매우 용이하며, 고내공기와 열교환기의 온도차를 줄임으로써 제품의 건조현상도 줄일 수 있다.

이 밖에도 심야전기 또는 경부하 시간대의 저렴한 전력을 이용하여 주간시간대의 부하를 감당할 경우, 운영비의 대폭적인 절감도 기대할 수 있다. 하지만, 냉동기의 효율 및 PCM의 장점을 살리기 위해서는 기존 만액식 방식의 천정형 헤어-핀-코일 형태의 시스템으로 적용해야 하는 한계점도 가지고 있다.

3. 통합형 콜드체인시스템의 제안

현재까지 정부에서도 수년전부터 농수산물 유통혁신을 위해 생산지 위주의 유통시설 개선사업에 지속적인 지원을 해오고 있으나 다품종 소량생산지, 또는 소품종 집중생산지 등에 따라 출하시기 및 물량에 따른 산지의 다양한 요구 및 유통특성을 수용하지 못하는 설비로 인해 가동률이 저조한 편이며, 수송, 배송 및 도매시장의 콜드체인 시스템기반은 매우 취약하다.

이는 저온유통이라는 큰 범위에서 체계적인 개발을 수행하지 못하고 단품성격의 설비 자체를 위주로 개발하고자 하였으며, 따라서 전체 콜드체인시스템 상 이전 단계 또는 이후 단계와의 호환성(규격, 수배송간의 불편 등) 결여, 또는 국내 유통특성을 살리지 못하는 설비개발 등으로 인하여 장비의 효율적 운영 및 가동률이 떨어지고 이는 곧 운영비과다에 의한 가동중단 사태 등으로 이어지고 있다.

따라서 본 고에서 제안하는 통합형 이동식 콜드체인 시스템은 상기에서 언급한 축냉식 냉동탑차와 냉동고의 개념을 혼합하여 규격화된 컨테이너형의 시스템으로 필요에 따라 예냉창고, 냉동차(차량에 탑재), 보관창고 기능을 하나로 통합한 개념이다.

생산에서 소비에 이르기까지 중간단계 없이 일정온도로 유지할 수 있으며, 시스템의 규격 표준화로 유통량에 맞는 용량을 선정하여 운용함으로써 생산물량에 따른 신속적인 대응과 더불어 이동이 가능하므로 장비의 효율성을 극대화 할 수 있다.

특히 이러한 시스템의 효과적인 운용을 위해

서는 전문 저온물류 유통회사가 설립되고, 물류망의 네트워크가 이루어져야 할 것이다.

II. 맺음말

콜드체인시스템 분야에서 저온 잠열재를 이용 기술은 적용하고자 하는 운송제품의 종류 및 운송시스템에 따라 경제성 및 품질유지면에서 상당한 강점을 가지고 저온유통산업의 한 영역을 확보할 수도 있다.

하지만 상기 시스템에 부여하는 더 궁극적인 의미는 새로운 시스템을 맞이하는 저온유통산업에 기존의 고정관념이나 문제점을 인식시키고 새로운 시각과 가능성을 제시하는 계기를 마련하는 것이다. 

독 자 결 령 모 집

월간 포장계는 독자여러분들의 의견을 수용하기 위해 다양한 의견의 독자결럼을 모집합니다.

어떠한 의견이라도 좋습니다.

포장인의 독설을 펼칠 지면을 할애하니 많은 참여 기다립니다.

필자는 밝히지 않겠습니다.

월간 포장계 편집실

TEL : (02)2026-8655~9

E-mail : kopac@chollian.net