

축냉식 냉동탑차 기술 소개

일반적으로 사용되고 있는 엔진구동식 냉동탑차의 단점을 보완·대체하기 위하여 제안된 축냉식 냉동탑차에 대하여 소개하고자 한다.

백종현 · 김선창

일반적으로 냉동탑차는 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, 일본등에서는 냉동탑차에 고내온도유지를 위해 적절한 잠열재를 축냉판 또는 특정형태의 용기에 봉입한 축냉시스템을 장착하여, 야간전기로 냉열을 축적하고 주간에는 별도의 구동원없이 저온상태로 고내 온도를 유지시키는 축냉식 냉동탑차 시스템을 채택하고 있다. 축냉식 냉동탑차의 1일 사이클은 그림 1과 같다.

축냉식 냉동탑차의 가장 큰 특징이자 장점은 엔진구동식 냉동탑차에 비교하여 환경 친화적이라는 점이다. 엔진구동식의 경우 운행외에 소모되어야 할

연료만큼 배기가스에 의한 환경오염이 심각한 정도에 이르고 있어 배기가스 규제에 영향을 받고 있기 때문이다. 이 밖에 축냉식 냉동탑차가 갖는 장점들을 요약하면 다음과 같다.

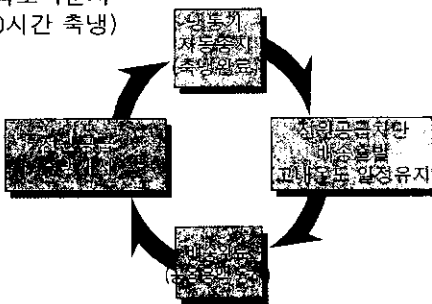
- 고내의 습도가 높게 유지되어 제품의 신선도 유지가 용이
- 물류기지 한곳에 축냉을 위한 중앙냉동장치를 설치하여 운용시에 설비비 감소
- 심야시간에 축열하여 주간에 방열하므로 운전시 연료비 절감
- 운행중에는 냉동장치가 정지되어 있어 운행소음이 없음
- 운전부위감소로 고장 및 손상이 발생할 확률이 많지 않아 수명이 반영구적
- 도어개폐시 외기부하에 의한 고내온도 상승이 설정온도로 신속하게 복귀

축냉판식 냉동탑차의 단점으로는 잠열재(PCM) 및 축냉판 자체 무게에 의한 하중부담(주엔진 구동방식에 비해)과 운행중의 안정성 저하 등을 들 수 있다.

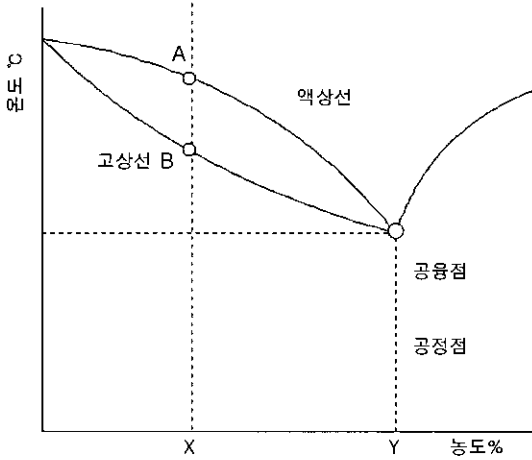
축냉판식 냉동탑차의 중요 기술요소

축냉판식 냉동탑차의 원활한 기능을 수행하기 위해서는 잠열재, 축냉용기, 차체의 단열등 세가지가 각자

■ 냉동판식조작순서 (8시간~10시간 축냉)



[그림 1] 축냉식 냉동탑차의 1일 사이클



[그림 2] 2가지 이상의 혼합물 상태도

의 역할을 충실히 발휘해야 한다.

현재 사용되고 있는 대표적인 잠열제로서 물(H₂O)의 경우 단일(순수)물질이므로 여타 다른 대부분의 단일 물질과 같이 일정한 상변화 온도와 잠열량을 갖고 있으나, 저온잠열재와 같이 두가지 이상의 혼합물질 또는 화합물질로 이루어진 경우에는 물질에 따라 고유의 공용점을 갖는 상변화 상태도를 갖게된다.

그림 2에서 보는바와 같이 순수물질이 아닌 2개 이상의 혼합물에서 어떤 물질의 농도가 Y%일때는 액상선과 고상선이 만나는 점이기 때문에 동결개시와 완료시에 농도 변화 없이 순수물질과 마찬가지로 일정한 온도에서 상변화하는 특성을 갖게된다. 이와 같은 Y%의 용액을 그 물질의 공용용(eutectic solution)이라 하며 그 동결온도를 공용(eutectic point) 또는 공정점(cryohydric point)이라 한다.

이와 같이 2가지 이상의 혼합 또는 화합물로 이루어진 잠열재의 경우, 공용점의 농도를 갖추고 있어야만 단일물질에서와 같이 일정한 상변화온도와 그 온도에서의 잠열량이 보장되어 질 수 있으며, 축냉판식 냉동

탑차에 사용되는 잠열재란 바로 공용액을 의미한다. 대부분의 저온잠열재는 앞에서 설명한 공용점을 갖는 혼합 또는 화합물질이며, 특히 냉동·냉장을 위한 공용액의 적정 상변화온도는 축냉시스템의 방법에 따라 사용온도(고내온도)보다 5℃~10℃정도 낮게 선정되고 있다.

이러한 공용액을 실용화하기 위하여 갖추어야 할 조건을 살펴보면 다음과 같다.

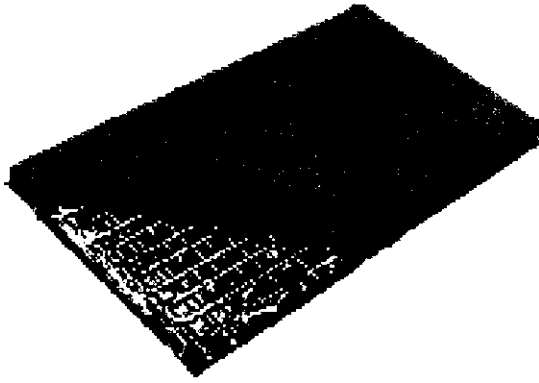
이러한 공용액을 실용화하기 위하여 갖추어야 할 조건을 살펴보면 다음과 같다.

- 과냉각이 작고 사용온도에 적합한 공용점을 가진 용액
- 잠열량 및 기타 물성치가 우수한 용액
- 장기간의 주기적인 동결·해빙과정에서 변형이 없는 물질
- 가격이 저렴하고 독성이 적은 물질
- 부식성이 작고, 화학적으로 안정된 물질

축냉판(냉각판)은 공용용액을 두께 수 cm, 폭 길이를 0.5~2m정도의 얇은 금속용기에 넣어 동결시키기 위한 관형의 금속용기가 외부를 이루고 있으며, 판 내부에는 냉매배관을 설치한 구조가 일반적이다.

냉각판의 외부는 철 또는 알루미늄 재질로 이루어진 셸(shell) 또는 자켓(jacket)이 내부의 코일을 감싸고 있으며, 냉각판을 탑차내에 설치하기 쉽도록 4개 이상의 브라켓이 설치되어 있는 외판은 모두 용접으로 제작되어 있다. 냉각판 내부 공간에는 공용용액이 상변화시 부피팽창을 고려하여 충진되어 있으며, 외부판 및 코일을 지지하고 열전달을 용이하게 하기 위해 내부에는 여러 개의 지지대(spacer)가 설치되어 있다. 또한 내부를 진공상태로 유지하여 코일, 지지대, 외판들이 직접 접촉하므로 열전달 및 체적변화에 의한 피로감을 최소화한다.

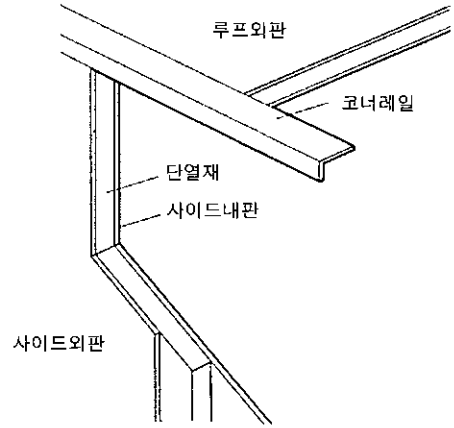
현재 캐나다 및 미국 등에서 제작 판매하고 있는 냉각판의 종류는 다양하다. 가장 먼저 개발된 냉각판(steel plate)은 오랜 기간 사용되어 왔으나 냉각판 중



[그림 3] 냉각판의 절단된 모습 (내부 코일 배치)

량이 무거워 차량의 제품 적재량이 감소되는 단점이 있으며, 그 후 중량 감소 및 열전달을 향상을 위해 압출 알루미늄 냉각판을 적용한 제품이 개발되었다. 또한, 탑차내의 온도조절 및 온도회복의 속도조절을 위하여 팬이 내장된 강제통풍식이 개발되어 축냉식 냉각판의 적용범위가 크게 확대되었다.

그림 3에 냉각판 내부의 코일 배치를 보여주고 있다. 축냉식 냉동탑차의 가장 근본요소가 바로 차체의 단열성능이다. 일반적인 차체의 단열재로는 고밀도 발포우레탄을 사용하고 있으며, 내·외판은 FRP 또는 알루미늄 패널을 채택하고 있다. 요즘 들어서는 FRP 콘테이너를 선호하는 경향이 뚜렷한데, 이는 금속과 달리 부식되지 않고 내구성이 우수하며, 경량으로 중량에 대한 부담이 적고 연비의 경감은 물론 적재효율도 상승하기 때문이다. 또한 일체성형이 가능하므로 견고성은 물론 높은 기밀성을 유지할 수 있다. 특히 외국의 경우 차체 차체를 프레임을 성형하여 일체구조로 고밀도의 우레탄을 발포하여 제작하고 있으나, 국내의 경우에는 우레탄 발포(저밀도가 대부분임)로 판을 제작한 후, 이들 판을 조립하여 차체를 조립하



[그림 4] 축냉식 냉동탑차용 차체단열 구조

로 연결부위 또는 접합부위로부터 심한 열누수 현상이 발생되고 있다. 또한 축냉식 냉동탑차의 경우, 사용분야에 따라 측면개폐도어의 크기 및 위치등을 다양하게 할 수 있으나, 문틀 및 실링(sealing) 부위로부터 역시 심한 열누수 현상이 발생되고 있다.

그림 4에 차체 단열구조를 부여하고 있으며 그림 5에 외국의 냉동탑차의 단열두께를 나타내었다.

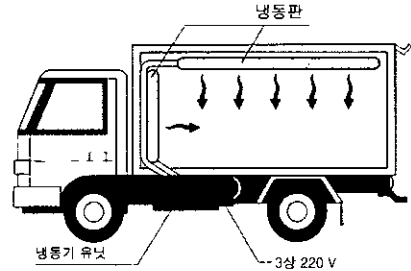
이러한 문제점은 국내의 기술부족보다는 그 동안의 냉동탑차 제작이 원칙으로부터 벗어나 이루어지고 있으며, 제작원가 및 인건비등의 이유로 마무리 작업에 소홀한 것에 더 큰 이유가 있다고 보아야 할 것이다. 외국의 경우 축냉식 냉동탑차의 단열시공은 사용되는 용처 및 적용온도에 따라 단열재의 두께를 선택적으로 적용하여 제작하고 있다.

축냉식 냉동탑차의 기본형식

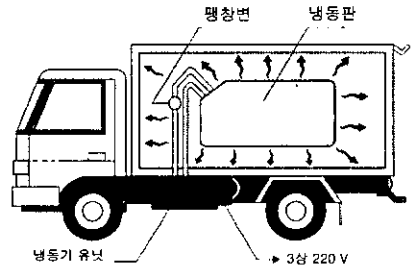
그림 5, 6, 7에 나타난 것처럼 축냉식 냉동탑차의 설계 및 제작에는 기본적으로 천정부착형(ceiling

<표 1> 차체의 단열재 선정

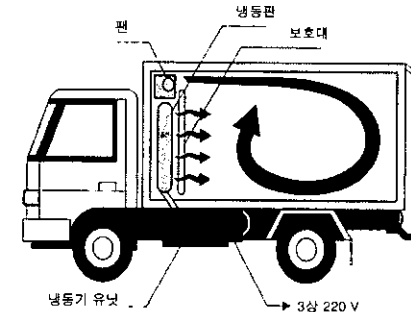
단열재두께(mm)	50	75	100
열통과율(W/m ² ·°C)	0.44	0.35	0.24
[kcal/m ² ·h·°C]	[0.38]	[0.30]	[0.21]
적용고내온도 t(°C)	t ≥ 0	-15 ≤ t ≤ 0	-25 ≤ t ≤ -15



[그림 5] 천장부착형과 전면부착형의 혼합형 냉동탑차



[그림 6] 측면부착형(Side Type) 냉동탑차



[그림 7] 전면부착형(Front Type) 냉동탑차

type), 측면부착형(side type), 전면부착형(front type)타입이 있으며, 이들 타입을 사용하는 목적에 적합하게 혼합하여 제작되는 혼합형까지 네가지로 분류할 수 있다.

천장부착형은 축냉판을 차체의 천정에 부착시켜 자연대류에 의한 냉각효과를 극대화시킨 타입으로 아이스크림 또는 저온의 냉동식품수송에 가장 적합하다. 특히 측벽문(side door)나 작은 창을 자유롭게 부착할 수 있으며, 냉동판이 돌출되지 않아 적재 효율이 높다(천정까지 적재 가능). 사용하는 보판온도는 -20℃ ~ -25℃ 범위가 보편적이며, 현재 가장 많이 선호하고 있는 형식은 천장부착형(CT)에 전면부착형(FT)을 혼합한 형태이다.

측면부착형은 축냉판을 측면벽에 수평으로 부착시키는 타입으로 아이스크림은 물론 냉동·냉장제품까지 대응이 가능하며, 소형차에서 대형차까지 적용용량 역시 가장 자유로운 형태이다. 따라서 적용 온도 역시 -25℃ ~ +5℃로 범위가 넓어 온도설계가 자유롭다. 전면부착형은 축냉판을 차체의 전면벽에 부착하는 타입으로 냉동판의 콤팩트화를 추구할 수 있으며, 적재공간의 효율을 높일 수 있는 구조이다. 각종 냉동·냉장제품의 배송에 적합하며 팬에 의한 강제대류로 고내온도의 회복속도 및 온도제어의 정확성을 향상시킬 수 있다.

위에서 언급한 축냉탑차의 기본형식을 토대로 운송물품 및 유지온도를 기준으로 정리하면 표 2와 같

이 제시할 수 있다. 표 2에서 제시한 적용타입은 일반적인 사항으로 운용방법(고내온도대, 유지시간), 운송물품 및 사용자의 요구조건(일반식과 축냉식 혼용, 고내의 습도조건 등)에 따라 두 가지 타입 이상을 자유롭게 혼용할 수 있다.

〈표 2〉 축냉식 냉동탑차의 타입별 일반적인 적용기준

운 송 물 품	아이스크림	냉동식품	생선어패류	생선야채류	생선과일류	생선육류	유제품	제과류
고내온도 (℃)	-25 ~ -20	-18 ~ -10	0 ~ +3	0 ~ +15	+1 ~ +16	+2 ~ +7	+2 ~ +7	+3 ~ +22
천장부착형 (CT)	●	●						
측면부착형 (ST)	●	●	●	●	●	●	●	●
전면부착형 (FT)				●	●	●	●	●

저온유통산업에 축냉식 냉동탑차가 갖는 의미

현재 국내의 유통산업은 규모면이나 질적인 면에서 모두 괄목할만한 성장세를 유지하고 있으며, 특히 국민생활수준의 향상과 식생활의 서구화로 인하여 인스턴트식품(fast food)류, 육류, 냉동생선류 및 채소류 등의 저온유통(cold chain)이 날로 증가되고 있다. 이에 따라 식품의 장·단거리 운반수단으로 사용되는 냉동차량 및 저온 저장창고, 쇼케이스 등에 관련된 산업 역시 지속적인 성장을 거듭하고 있다. 그러나 양적인 성장에 비하여 질적인 측면의 성장은 상대적으로 왜소하며 그 원인들 중에는 저온유통산업의 구조적인 문제와 인식부족이 크게 자리잡고 있다고 판단된다.

국내 냉동탑차의 대부분은 개인차주 형태로 운영되고 있는데 이는 기업의 초기투자 및 유지관리 측면에서의 경비절감이 가장 큰 이유다. 경제적 논리를 무시할 순 없지만 저온유통의 특성상 제품이 생산단계에서 소비자에 이르기까지 다단계의 유통과정 중 한곳이라도 헛점이 있을 경우 그 전후 단계의

저온유통은 의미가 없기 때문에 체계적이고 확실한 유통과정을 보장할 수 있는 시스템을 채택해야 할 것이다. 또한 개인 또는 기업체 차원에서 냉동탑차 구입비용부담은 냉동탑차의 시세형성을 낮추게 되고 이런 결과로 인해 외형적으로는 외국의 냉동탑차 사양을 갖춘다해도 동일한 단열층 두께에도 불구하고 열손실량이 냉동기의 용량을 훨씬 웃도는 현상이 벌어지기도 한다. 그 결과 제품의 장기보존불능 또는 제품의 변형등 가시적인 형태의 문제점 외에 품질저하라는 세밀한 형태의 문제점도 파생되므로, 선진국형 유통체계와 같이 전자는 물론이고 후자의 문제점까지도 세심하게 해결하는 의미와는 차이가 있는 것이다.

축냉식 냉동탑차는 적용하고자 하는 운송제품의 종류 및 운용시스템에 따라 경제성 및 품질유지면에서 상당한 강점을 가지고 저온유통산업의 한 영역을 확보할 수도 있다. 하지만 축냉식 냉동탑차에 부여하는 더 궁극적인 의미는 새로운 시스템을 맞이하는 저온유통산업에 기존의 고정관념이나 문제점을 인식시키고 새로운 시각과 가능성을 제시하는 계기를 마련하는 것이다. ㉞