

강제대류방식 PCM 축냉장고 개발

진 용 호[†], 이 상 렬, 류 인 근, 김 진 홍

(주) 리우스 부설연구소

The Development of a PCM Cold Storage Refrigerator using Forced Convection Method

Young-Ho Jun[†], Sang-Ryoul Lee, In-Keun Ryu, Jin-Hong Kim

ABSTRACT: A cold storage refrigerator using phase change material(PCM) has been developed and its performance test results are provided here. The inner temperature of the refrigerator is controlled with forced convection driven by a fan using a DC battery. At the first, to freeze all the PCM of the ambient temperature by a built-in refrigerating machine, it took about 8 and 10 hours respectively at the refrigerator and the freezer mode. Then, without external power supply, the inner temperature of the cold storage refrigerator has been maintained at $-18\pm 1^{\circ}\text{C}$ during 14 hours at the freezer mode and maintained at $3\pm 3^{\circ}\text{C}$ during 34 hours at the refrigerator mode. Just after the end of its valid usage as a refrigerator or a freezer, it took about 6 hours to refreeze the PCM for its reuse. During the test, the ambient temperature was kept at 30°C .

Key words: Cold storage refrigerator(축냉장고), Forced convection type(강제대류방식), Phase Change Material(PCM, 상변화물질), Performance test(성능시험)

1. 서 론

각종 신선 식품 등을 위한 효과적인 저온유통 시스템을 갖추기 위해서는 많은 투자가 필요하고, 특히 보관 온도대가 다른 복수의 상품을 취급하는 업종에서는 각각의 보관 온도대에 대한 대응으로 고심하고 있다. 적재량을 높이기 위하여 보관 온도대가 다른 상품들을 단일 보관온도로 운송하면 품질이 저하되며, 보존 온도대를 고려하여 품목을 나누어 수송하게 되면 적재량이 떨어져 높은 운송비의 부담을 야기하게 된다. 이

에 적절한 해결방안으로 PCM(Phase Change Material)을 이용한 축냉장고를 제안할 수 있다.

상변화물질(PCM)은 상변화가 진행되는 동안 균일한 상변화 온도를 유지하는 특성이 있다. 이러한 특성을 이용하여, PCM 축냉장고는 일정시간동안 외부전력으로 PCM 축냉제에 냉열을 저장하고 냉동/냉장 물품을 적입하여 차량에 적재한 후에는 전력을 공급하지 않고도 저장된 냉열을 이용하여 물품의 온도를 유지할 수 있는 장치이다. 이러한 축냉장고는 보냉기능을 탑재하지 않은 한 대의 상온 탑차로 냉동, 냉장 및 상온의 상품을 혼재하여 동시 수송할 수 있기 때문에 기존의 유통 시스템이 안고 있는 각종 문제점에 대응하여 저온유통의 효율성을 향상 시킬 수 있다.

현재 일본에서는 도시바, 산요, 다이킨, 내쇼날 등의 대기업을 비롯한 다수의 중소기업들이 축냉

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-273-2151; fax: +82-31-273-2152

E-mail address: jyh@leewoos.com

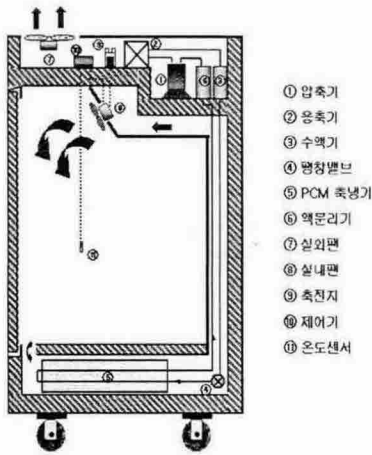


Fig. 1 Schematic of the cold storage refrigerator using forced convection method.

식 냉장고를 상용화하여 공급하고 있으며, 택배 회사를 포함한 여러 운송회사들(야마토 운수, 일본 통운, 우정성 등)이 도입하여 효율적으로 사용하고 있다.

그러나 국내에서는 아직 축냉방식에 대한 이해와 경험부족으로 실제 적용을 위한 관련 자료가 부족하고, 아직 설계 제작 기술도 초기단계이다. 국내 일각에서 축냉방식을 수송시스템에 적용하고자 한 시도⁽¹⁾가 있었으나 제품의 신뢰성 등의 이유로 활성화되지 못하였고, 주로 건물 공조분야를 중심으로 한 축냉설비에의 이용기술로 진행되어 왔다. 이러한 국내 상황에서 본 연구자들은 이미 자연대류식 PCM 축냉장고를 수송겸용으로 개발하여 이의 성능을 입증한 바 있다⁽²⁾.

본 연구에서는 강제대류방식을 적용한 PCM 축냉장고를 개발하고 성능시험을 통한 개발 제품의 유효성을 확인하고자 하였다.

2. PCM 축냉장고의 개요 및 작동원리

2.1 개요

본 개발제품의 강제대류식 축냉장고는 PCM 축냉제와 외부전기로 구동되는 냉동기를 탑재한

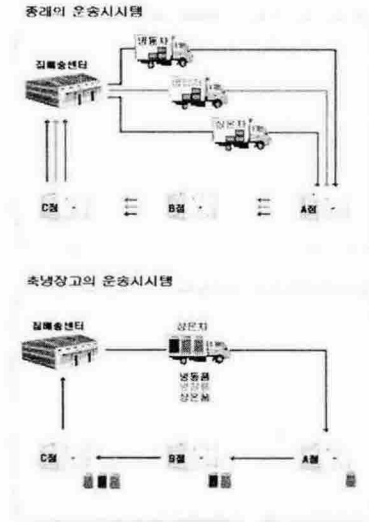


Fig. 2 Comparison of low temperature transportation systems.

보냉상자의 형태로, 일반탑차에 여러 대 적재할 수 있는 적절한 크기로 만들어진다. 탑차에 탑재하기 전에 일정시간(6~12시간) 냉동기를 구동하여 PCM 축냉제에 냉열을 저장하여 두면, 차량에 탑재된 후에는 전원의 공급이 없어도 저장된 냉열을 사용하여 긴 시간(10~30시간)동안 상품의 온도를 필요한 저온상태로 보존할 수 있다.

2.2 작동원리

Fig. 1에 강제대류방식 PCM 축냉장고의 개략도를 나타내었다. 본 장치에 냉동/냉장 화물을 적입한 후, 차량에 적재하여 수송하는 동안에는 냉동기를 사용하지 않고, 축냉기(5)에 축냉되어진 냉열을 이용하여 고내 보관온도를 유지하게 된다. 이때 축냉기의 냉열을 저장실에 보내기 위한 고내덕트를 설치하고 냉기순환용 실내팬(8)을 구비하고 있다. 축전지(9)에 의해 구동되는 실내팬은 제어기(10)로부터 신호를 받아 사용자가 설정한 온도를 유지하기 위하여 축냉기(5)로부터의 냉기를 순환하게 된다. 제어기는 운전자의 설정온도와 고내에 설치한 온도센서(11)의 측정온도를 비교하여 실내팬(8)의 ON/OFF 신호를 결정 송신함으로써 고내 설정온도를 정밀하게 제어

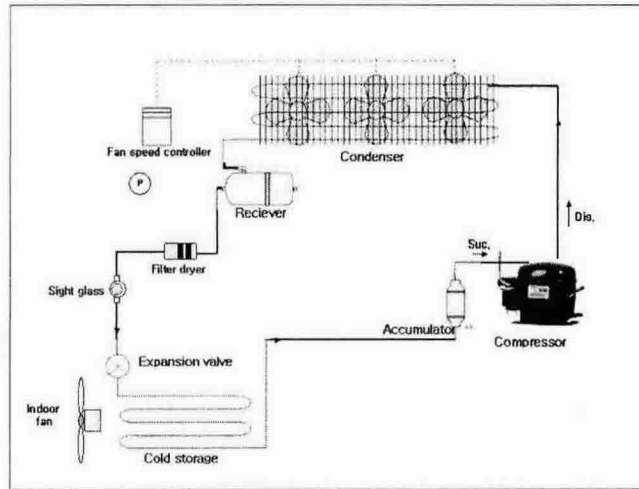


Fig. 3 Schematic of the refrigeration cycle.

한다.

개발된 PCM 축냉장고는 강제대류방식으로 실내팬을 고내 상부에 설치하여 차가운 하부 축냉기의 냉기를 순환시켜 고내를 냉각하는 방식이다.

2.3 PCM 축냉장고의 특징

Fig. 2에서는 기존의 저온유통시스템과 개발된 축냉장고를 이용한 저온유통시스템을 비교하였다. 기존의 냉동탑차 수송방식의 경우, 물품의 보존온도대가 다른 경우에는 동일 배송차라 하더라도 냉동, 냉장 및 상온의 차로 구분하여 운송하기 때문에 적재율의 악화로 운송비가 증가하는 문제점이 야기된다. 그러나 본 축냉장고를 이용하면 일반 상온 탑차에 3온도대인 냉동, 냉장, 상온의 물품을 혼재하여 운송할 수 있어서 적재율을 향상시키고 운송비용을 절감할 수 있게 된다. 또한 하역 후에도 전원만 공급하면 일반 냉장고로 운전되어 보관온도를 유지할 수 있으므로 저온창고가 필요 없게 된다. 한편, 기존 냉동탑차

방식의 경우에는 정차 시에도 냉동기의 운전을 위하여 엔진을 공회전 하여야 하지만, 축냉장고를 이용하면 이러한 엔진의 공회전을 피할 수 있기 때문에 에너지의 효율성을 높일 수 있고 친환경성의 특징이 있다.

3. PCM 축냉장고의 설계

축냉장고는 기본적으로 냉동시스템을 포함한 기계실, 축냉재를 포함한 축냉기 및 물품을 적재할 수 있는 보냉고로 이루어진다. Table 1은 본

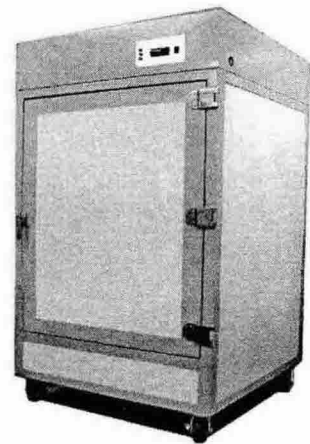


Fig. 4 View of the developed cold storage refrigerator.

Table 1 Specification of the developed cold storage refrigerator.

적재량	냉동	냉장	냉동	냉장	소비 전력
	설정온도	설정온도	보냉시간	보냉시간	
830ℓ	-18℃ 이하	3℃±3℃	14시간	34시간	1100W

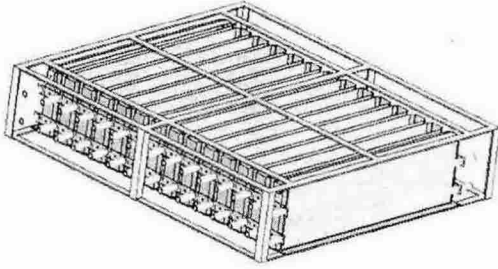


Fig. 5 Schematic of the cold storage module

축냉장고의 개발 사양을 보여준다.

Fig. 3은 강제대류방식 PCM 축냉장고의 냉동 사이클 시스템의 개략도를 보여준다. 냉동 및 냉장 유통의 경우 냉장고 고내 설정온도는 운송 물품에 따라 각각 다를 수 있다. 따라서 본 시스템에서는 적합한 설정온도를 유지하기 위하여 보냉고 상부에 실내팬을 설치하였다.

Fig. 4는 축냉장고의 외관 사진이다. 보냉고의 단열재로는 우레탄폼을 사용하였으며, 단열재의 양편에는 칼라코팅강판을 부착하고 각 모서리는 스테인레스강으로 마감처리 하였다. 본 냉동고는 유효내부용적 830ℓ로 제작하였다.

Fig. 5는 본 개발제품의 하부에 설치되는 축냉기의 개략도 보여준다. 축냉기는 냉장고의 내부에 냉매관을 다열 배치하고, 그 냉매관의 양측에 축냉재 팩을 압착하도록 배치하였다. 축냉판은 그 내부에 설치되는 축냉팩에 의하여 냉매관에 압착된다. 축냉판은 금속판을 절곡하여 제작하였고 축냉재 팩을 냉매관 방향으로 압착하도록 설치된다. 또한 축냉판 사이에 공기유로를 두어 실내팬 작동 시 유동 공기와 열교환이 잘 이루어지도록 설계하였다. 한편, 축냉판의 재질은 예비실험을 수행하여 보다 성능이 우수한 재질로 선정하였다.⁽²⁾

축냉재의 선정은 적용온도에 가장 큰 관계가 있으며, 특히 냉동·냉장을 위한 축냉재의 적정 상변화온도는 시스템의 용도에 따라 사용온도(고내온도)보다 5~10℃정도 낮게 선정되어야 한다. 본 냉동고에 사용될 축냉재는 한 종류의 축냉재로 실내팬을 제어하여 다양한 고내 설정온도를 유지할 수 있어야 한다. 따라서 축냉재의 선정은 가장 낮은 온도에 적용할 수 있도록 상변화온도

가 약 -26℃인 축냉재로 선정하였다.

4. 성능 실험 방법

개발제품의 성능실험은 실외온도 30℃ 부근에서 수행되었으며, 실험과정의 모든 측정 데이터는 실시간으로 컴퓨터에 저장하였다.

성능실험을 위하여 축냉 및 방냉운전 중에 필요한 위치의 약 40개소에 T-type 열전대를 설치하여 10초의 샘플링 주기로 온도를 측정하였다. 시험 중에 전력계를 사용하여 동시에 축냉장고의 소비전력을 측정하였다.

시험과정은 먼저 시험실내 30℃의 외기조건에서 시험기를 운전한다. 축냉운전은 상온에서 냉동기의 가동을 시작하여 PCM의 온도가 -30℃에 도달하면 축냉재의 축냉이 완료된 것으로 하여 냉동사이클의 운전이 자동으로 정지되는데, 이때까지 소요된 시간을 1차 축냉시간으로 한다. -30℃에서 냉동기가 정지된 후에 30℃의 외기조건에 방치하여 개발제품의 보냉 지속시간을 측정한다. 축냉이 완료된 보냉고의 고내온도가 냉동 및 냉장의 유효온도까지 상승하여 더 이상 유지할 수 없는 때를 방냉이 종료된 것으로 하고 이때까지의 지속시간을 1차 방냉시간으로 한다. 고내온도가 유효온도에 도달한 직후 축냉운전을 재가동하고 축냉재 온도가 재차 축냉완료 온도까지 하강하면 기기의 운전이 정지된다. 이렇게 2차 축냉이 완료될 때까지 소요된 시간을 2차 축냉시간으로 한다.

냉동운전에서의 방냉 완료시점은 보냉고의 고내온도가 냉동저장의 유효온도인 -18℃이하로 제어하지 못할 때로 하였고, 냉장의 경우는 6℃로 하였다.

5. 성능 실험 결과

5.1 냉동운전

Fig. 6은 냉동모드로 운전하였을 경우의 고내온도와 축냉재의 온도 및 소비전력변화를 보여준다. 1차 축냉이 시작되었을 때의 실외온도는 30℃, 고내온도는 21.4℃, 축냉재온도는 15.8℃였다. 축냉이 시작된 후 실외온도는 냉동기의 영향을 받아 35℃까지 상승하였다가 점차 안정되어 30.5℃로

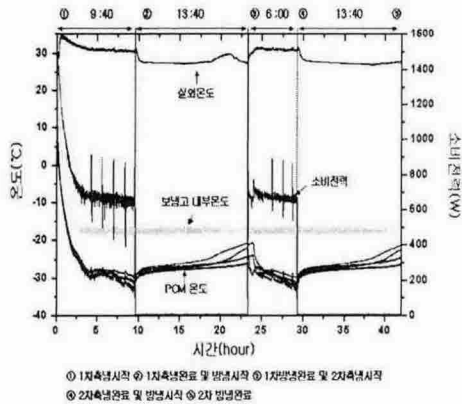


Fig. 6 Performance test data of the cold storage refrigerator during freezer mode operation.

유지되었다. 1차 축냉운전이 시작된 후 고내온도와 축냉재온도는 급격히 감소하였으며, 고내온도는 3시간 후에 -18°C 에 도달하여 일정하게 유지되었다. 축냉재 온도는 4시간 20분 후에 상변화온도(-26°C) 구간에 이르러 2시간 30분 동안 일정한 온도를 유지하였다. 축냉이 시작된 후 9시간 40분 후에 축냉재 온도가 약 -30°C 에 도달하여 축냉이 완료되었다. 소비전력은 축냉이 진행됨에 따라 급격히 감소하였으며, 상변화온도구간부터 700W에서 서서히 감소하기 시작하였다. 1차 축냉운전 중의 평균소비전력은 약 755W였다.

1차축냉이 종료됨과 동시에 방냉이 시작되어 실외온도는 28°C 를 유지하였다. 축냉재 온도는 $-27^{\circ}\text{C} \sim -26^{\circ}\text{C}$ (상변화구간)에서 서서히 증가하였으며 고내온도는 -18°C 를 유지하였다. 1차 방냉을 시작한 후 13시간 40후에 고내온도는 -18°C 를 유지하지 못하고 상승하기 시작하여 방냉이 완료되었다.

1차 방냉완료 후 축냉재온도 -21°C 에서 2차 축냉운전을 시작하여, 축냉재 온도가 -30°C 까지 도달하는데 6시간 소요되었다. 2차 축냉운전 중의 평균소비전력은 약 672W였다.

2차 축냉이 완료된 후 13시간 40분 경과하여 고내온도는 -18°C 보다 상승하기 시작하여 방냉이 완료되었다.

5.2 냉장운전

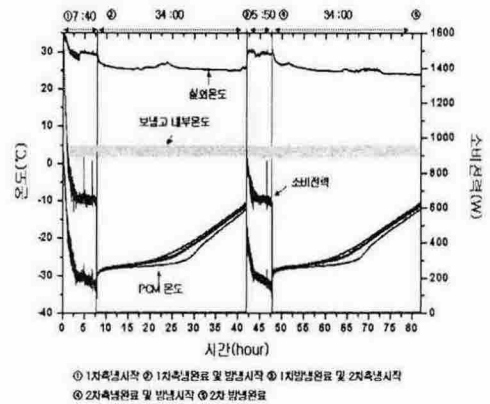


Fig. 7 Performance test data of the cold storage refrigerator during refrigerator mode operation.

Fig. 7은 냉장모드로 운전하였을 경우의 고내온도와 축냉재의 온도 및 소비전력변화를 보여준다. 1차 축냉이 시작되었을 때의 실외온도는 30°C , 고내온도는 16.8°C , 축냉재온도는 15.6°C 였다. 축냉이 시작된 후 실외온도는 냉동기의 영향을 받아 34°C 까지 상승하였다가 점차 안정되어 30°C 로 유지되었다. 1차 축냉운전이 시작된 후 고내온도와 축냉재온도는 급격히 감소하였으며, 고내온도는 50분후에 3°C 에 도달하여 $3^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ 로 유지되었다. 축냉재 온도는 2시간 30분 후에 상변화온도(-26°C) 구간에 이르러 일정한 온도를 유지하였으며, 7시간 40분후에 축냉재 온도가 약 -30°C 에 도달하여 축냉이 완료되었다. 소비전력은 축냉이 진행됨에 따라 급격히 감소하였으며, 상변화온도구간부터 670W에서 서서히 감소하기 시작하였다. 1차 축냉운전 중의 평균소비전력은 약 750W였다.

1차축냉이 종료됨과 동시에 방냉이 시작되어, 축냉재 온도는 $-27^{\circ}\text{C} \sim -26^{\circ}\text{C}$ (상변화구간)에서 서서히 증가하였으며 고내온도는 $3^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ 를 유지하였다. 방냉을 시작하여 34시간 후에 1차 방냉이 완료되었다.

1차 방냉완료 후 축냉재온도 -11°C 에서 2차 축냉운전을 시작하여, 축냉재 온도가 -30°C 까지 도달하는데 5시간 50분 소요되었다. 2차 축냉운전 중의 평균소비전력은 약 680W였다.

2차 축냉이 완료된 후 고내온도는 $3^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ 로

잘 유지되었으며, 34시간 후에 2차 방냉이 완료되었다.

6. 결론

이상과 같이 PCM 축냉장고의 개발에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 초기축냉시간은 냉장의 경우, 축냉완료까지 약 8시간 소요되었고, 냉동의 경우는 약 10시간 소요되어 냉장의 경우보다 축냉시간이 2시간정도 길게 나타났다.
- (2) 보냉운전 시, 냉동의 경우는 약 14시간 동안 냉동보냉 유효온도($-18\pm 1^{\circ}\text{C}$)를 유지하였으며, 냉장의 경우는 약 34시간 동안 보냉고내의 온도가 냉장보냉 유효온도($3\pm 2^{\circ}\text{C}$)를 유지하였다. 이러한 보냉시간은 필요에 따라 축냉제의 충전량을 가감하여 조절할 수 있다.
- (3) 재축냉시간은 축냉완료까지 냉장과 냉동 모두 약 6시간 소요되었다.
- (4) 평균소비전력은 냉동운전 시와 냉장운전 시 약 760W로, 냉장 냉동 모드에 관계없이 거의 일정하게 소비되었다.

이상과 같은 결론으로부터, 본 개발제품의 축냉장고는 저온유통시스템에 유효하게 적용할 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 중소기업청에서 시행한 중소기업기술혁신개발사업에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Peck, J. H., Park, S. S., Kim, Y. L., and Kim, S. C., 2002, Study on the Performance Characteristics of Mechanical Refrigeration Truck vs. Hold-over Refrigeration Truck., Proceedings of the SAREK, pp. 339-344.
2. Lee, S. R., Jun, Y. H., Ryu, I. K., Hwang, K. H., Kim, S. C., and Lee, S. S., 2004, The development of a transportable freezer/refrigerator using cold storage, Report of IETP.