

냉동탑차의 Thermobank 열저장 매체에 따른 냉각성능 비교

문 제 철, 최 광 일, 오 중 택^{**}, 김 재 훈^{**}

전남대학교대학원 냉동공조공학과, 전남대학교 냉동공조공학과*, (주)제일특장차^{**}

Cooling Characteristics of Refrigerated Vehicles with Heat Storage Materials in Thermobank

Je-Cheol Mun, Kwang-Il Choi, Jong-Taek Oh^{*†}, Jai-Hoon Kim^{**}

Graduate School, Chonnam National University, Yeosu, Chonnam 550-749, Korea

**Department of Refrigeration & Air Conditioning Engineering, Chonnam National University, Yeosu, Chonnam 550-749, Korea*

***JEIL SPV CO., Ltd Namyangju, Kyunggi-Do 472-821, Korea*

ABSTRACT: A experimental study of a high efficiency transport refrigeration system for sliced-raw fish transportation is presented in this paper. The refrigeration system, that is powered by the car engine, is equipped with heat storage for reverse cycle-hot gas defrost; the stored heat is used during defrost cycle of the system. The heat storage has size 400(L) x 350(W) x 250(H) mm and made of fin-tube heat exchanger. System performance and container operating conditions are experimentally investigated and analyzed under cooling and defrosting conditions with heat storage materials. The water is faster about 30% than paraffin in cooling-down time of heat storage materials with load and unload.

Key words: Refrigeration Vehicles(냉동탑차), Heat storage materials(열저장 매체), Thermobank(축열시스템), Hot gas defrost(핫가스제상), Reverse cycle(역사이클),

기 호 설 명

CDT : cooling-down time[min]
 t : time[min]
 T : temperature[K]

1. 서 론

육류, 냉동생선류 및 채소류, 청과물 등에 대한 소비자들의 고품질 욕구가 증가하면서 이들을 생산지로부터 시장이나 소비자에게 운송과 보급을 위한 Cold Chain이 유통산업으로써 질적 및 양적으로 성장해왔다.⁽¹⁾ 현재 식품유통 수송의 대부분은 일반 냉동탑차(main-engine/sub-engin type)로써 차량용 냉동기를 엔진구동원인 디젤연료로 운전하는 방식⁽²⁾으로써 냉동기 구동을 위한 연료 소모와 차량의 낮은 연소효율로 인하여 연료의 과다소비로 많은 에너지가 낭비되고 있다. 일반 냉장시스템을 탑재한 냉동(장)차의 고내온도관리는 써모스타트로 하기 때문에 도로가 좋지 못한 곳에서는 주행중 진동 및 충격에 의해 온도부가

† Corresponding author
 Tel.: +82-61-659-3273; fax: +82-61-659-3279
 E-mail address: ohjt@chonnam.ac.kr

뒤틀리는 등 잘못될 경우 최초 정해진 온도로 고내온도가 조절되지 않아 청과물 등은 냉해 또는 고온에 의해 상품으로서의 가치가 현저히 저하된다. 또한 최근 싱싱회 소비촉진을 위한 보관 및 운송수단으로 냉동(장) 탑차에 대한 관심이 고조되고 있으나 기존의 냉동(장) 탑차는 고내온도 편차가 8℃로써 선도 유지가 가장 중요한 싱싱회 보관 및 수송에는 한계가 있으므로 본 연구에서는 고내온도 편차 폭 및 제상시간 단축을 위해 thermobank를 이용하였다.

따라서 금번 발표에서는 thermobank의 열저장 매체에 따른 냉동탑차의 성능비교에 대한 실험데이터를 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 열저장 장치인 Thermobank를 적용한 냉동사이클의 장치도로써 열저장 매체로는 물과 파라핀을 사용하여 비교하였다. Thermobank 내의 열저장 매체는 압축기를 토출한 고온의 냉매와 열교환을 하며 냉각운전 동안에 열을 저장하고, 그 열은 제상 시 이용하게 된다.

Fig. 1을 간단히 설명하면 냉각운전 동안에 압축기를 토출한 고온의 냉매②가 열저장 장치에 열을 저장하게 되고③, 제상운전 시 고온의 핫가스 냉매가 응축기를 바이패스 하고 ④ 증발기 코일에 착상된 서리를 제거한다. 이때 제상 시 냉매는 저온으로 상변화를 하게 되며, 응축된 냉매액은 열저장 장치로 되돌아와 기상으로 증발한 후 압축기로 흡입되어 재순환하게 된다. Fig. 2는 실험장치인 Fig. 1의 순환을 p-h 선도에 나타낸 것이다.

냉각성능 측정을 위한 냉동탑차는 main-enginetype의 1톤 일반 냉동차량으로 제품의 사양은 Table 1과 같다. 냉동탑차의 탑의 크기는 2700(L)×1500(W)×1400(H)로 기존에 실험실에서 제작하여 사용한 탑⁽²⁾의 크기보다는 조금 작다. 그리고 열저장 장치 내 원활한 열교환과 열저장 장치의 크기를 줄이기 위해서 기존의 실험장치인 2 row × 4 circuit Cooper tube⁽²⁾에서 Fig.3과 같이 Fin-tube로 설계교체 하였다.

400(L)×350(W)×250(H) 크기의 열저장 장치를 기존 실험장치와 동일한 위치에 설치하려고 하였으나 도로교통 기준법에 의해 차량의 높이가 제

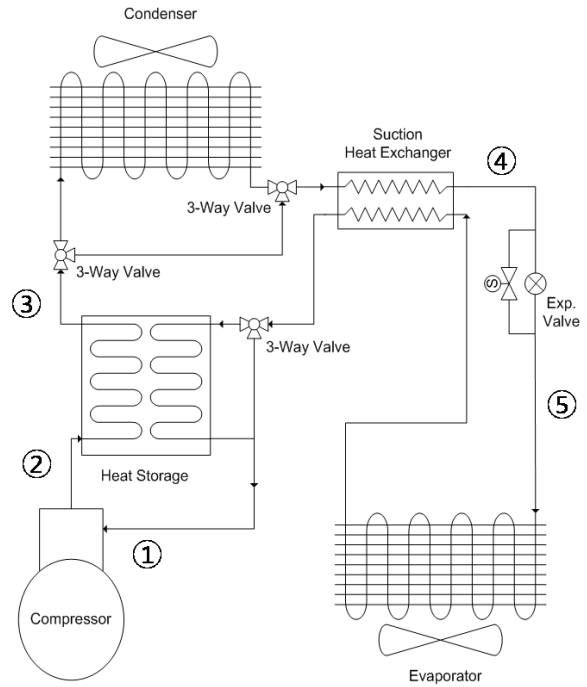


Fig. 1 Schematic of refrigeration system

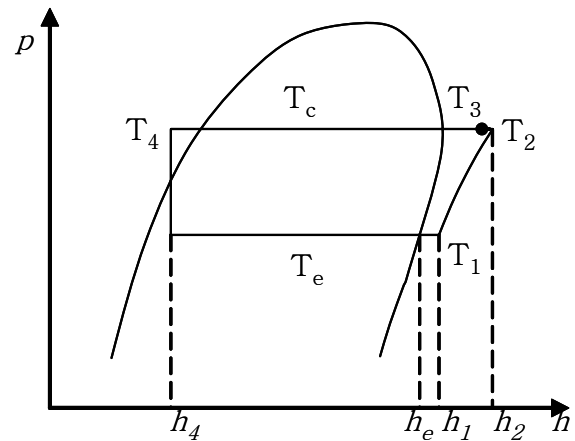


Fig. 2 Simplified p-h diagram of refrigeration cycle.

한되기 때문에 Fig. 4와 같이 냉동탑차의 앞측 응축기 옆에 설치하였다. 그리고 냉동시스템의 사양은 Table 1과 같다.

냉각성능을 측정 비교하기 위하여 냉동탑차 내부에 T-type thermocouple을 부착하고 고내온도를 측정하였고, 온도데이터는 요코가와 MX-100



Fig. 3 Heat storage system



Fig. 4 Refrigerated vehicles of equipped with heat storage

Table 1. System specification

Component	Specification
Compressor	Seltec TM-15HD Nominal 2,000 rpm, Displacement 147 cm ³
Refrigerant	R-404A
Evaporator	Aluminum finned, 6 row, 9.53 mm diameter aluminum tube, total area 8.52 m ² , frontal area 0.172 m ² ; Fan: 2×250 mm diameter, 80 W, 12/24 V, 1,400 m ³ /hr
Condenser	Aluminum finned, 4 row, 9.53 mm diameter Cooper tube, total area 13.635 m ² , frontal area 0.2 m ² ; Fan: 2×250 mm diameter, 80 W, 12/24 V, 1,400 m ³ /hr
Expansion valve	FSE-1/2-C
Heat storage	400×350×250 Fin tube
Heater	5 kw heater element with single fan

데이터 기록계를 사용하여 컴퓨터에 저장하도록 하였다.

실험은 Thermobank의 열저장 매체로 물과 파라핀을 사용하여, 시스템의 냉각능력 및 제상시간을 상호 비교하였다. 두 물질 모두 상변화하는 물질이기는 하지만 Thermobank내의 온도가 100℃ 이하로 유지가 되기 때문에 물의 경우는 상변화를 하지 않고 현열변화에 의한 열저장이 이루어지고, 파라핀은 40℃에서 상변화 하는 물질로 현열과 잠열에 의한 열저장이 이루어진다. 냉각운전 시 냉동탑차의 초기온도부터 설정온도까지 냉각시간을 측정하였으며 측정조건 및 열저장 매체의 물성치를 각각 Table 2와 Table 3에 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

Table 4는 열저장 매체에 따른 냉동탑차의 냉각시간을 비교한 것이다. 부하변동 및 고내온도 변화에 관계없이 열저장매체로 물을 사용했을 때의 냉각시간이 파라핀을 사용했을 때보다 약 30% 정도 단축됐다. 특히 냉동탑차의 고내온도를 -20℃로 일정하게 하고 부하를 주었을 때 열저장 매체 물이 -20℃ 온도로 강하시키는데 122분이 소요되었으나 파라핀은 289분이 소요되어 온도강하 시간이 2배 이상 차이가 있음을 알 수 있었다. 이 경우 물은 Thermobank 내에서 응축열과 열교환시 자연 순환으로 예냉역할을 함으로써 응축기

Table 2. Test Conditions

NO	Test parameter	System configuration		Container set temperature (°C)
1	Cooling-down time	HGD-1	Empty	-20, -10, -5, 0
			Loaded	
		HGD-Paraffin	Empty	
			Loaded	

HGD-1 : Hot gas reverse cycle system with heat storage installed (Water)

HGD-Paraffin : Hot gas reverse cycle system with heat storage installed (Paraffin)

Table 3. Material property

	Paraffin	Water
Heat of transition	189 kJ/kg	-
Specific heat (Solid)	2.4 kJ/kg · K	-
Specific heat (Liquid)	1.8 kJ/kg · K	4.18 kJ/kg · K
Thermal conductivity	0.21 W/m · K	0.58 W/m · K
Density (Solid)	765 kg/m ³	-
Density (Liquid)	910 kg/m ³	1000 kg/m ³
Latent heat	175 kJ/kg	

에서 응축능력이 향상되었기 때문이라고 생각된다. 반면 파라핀의 경우에는 Thermobank 내에서 고체상태로 존재하다가 동일하게 응축열과 열교환을 하지만 열전도도가 물보다 50%정도 낮고 유효해되었을 때에도 순환이 이루어지지 않아서 물보다 예냉능력이 줄어들었기 때문이라고 생각된다. 핫가스 제상에 있어서는 Thermobank의 열저장 매체로 파라핀을 사용했을 때의 제상시간이 물을 사용했을 때보다 20%단축되는 것을 확인할 수 있었다.

열저장 장치를 설치하지 않은 일반 냉동탑차의 고내온도 변화는 차량 냉동기의 ON-OFF 운전에 따라 큰 차이를 나타낸다. Fig. 5는 일반 냉동탑차와 열저장 장치를 적용한 냉동탑차의 고내 온도변

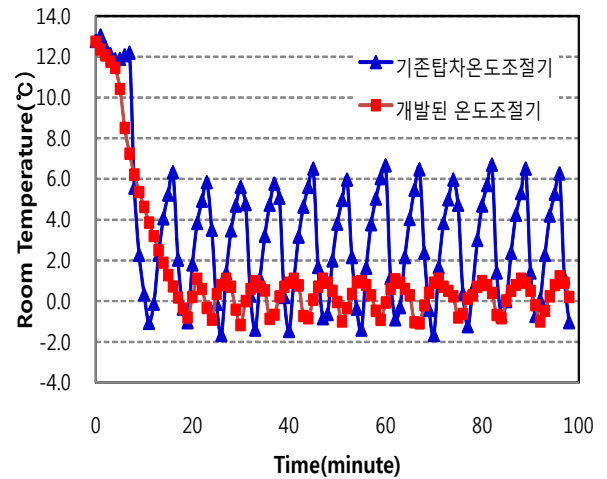


Fig. 5 Container's temperature during operation

화를 비교한 것으로 일반 냉동탑차의 고내온도 편차는 차량냉동기 ON-OFF 운전에 따라 8°C로 변화폭이 상당히 크다. 그러나 열저장 장치를 적용한 냉동탑차의 고내 온도변화는 ±1°C로 좀 더 정밀한 시스템 가동이 가능하다.

4. 결론

식품을 수송하고 있는 냉동(장)탑차에 열저장 시스템인 Thermobank를 설치하여 열저장 매체로 물과 파라핀을 사용했을 때의 냉각성능을 비교하였다. 즉 고내온도를 0°C ~ -20°C까지 변화시키면서 부하의 유무에 따른 온도강하를 측정하였으며, 상대적으로 파라핀보다 열전도도가 우수하고 Thermobank 내에서 자연순환을 할 수 있는 물이 평균 냉각시간을 30% 이상 단축시켰다. 그러나 Thermobank 열저장 장치를 이용한 제상시간은

Table 4. Cooling-down time

Test condition	Container temperature setting[°C]	Cooling-down time (minute)	
		Water	Paraffin
Unload	0	10	13.5
	-5	15	21
	-10	23	33
	-20	58	79
Load	0	15	21
	-5	26	33.5
	-10	39	53.5
	-20	122	289

파라핀이 물보다 20% 정도 단축시켰다. 따라서 기존의 냉동(장)탑차에 Thermobank와 그 열저장 매체로 물을 사용하는 것이 냉각시간의 단축 및 고내온도변화의 폭을 줄임으로써 온도변화에 민감한 싱싱회 수송에 용이하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 이것은 0°C 이상의 냉장수송이나 0°C이하의 냉동수송에 있어서 단축된 냉각시간만큼 냉동기를 가동 하지 않음으로써 그 만큼 에너지를 절약시켜 주게 된다.

후 기

이 논문은 2008년 해양수산부(해양수산개발원) 지원 해양과학기술연구개발과제(No. 20060090) 및 (주)제일특장차 지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. JeCheol Mun, KwangIl-Choi, JongTaek Oh, JaiHoon-Kim, 2009, Cooling Characteristics of Car Refrigeration with Heat Storage, *The 3rd Korean Congress of Refrigeration*. pp.115-118
2. Jonghyeon Peck, Shungsang Park, Younglyoul Kim, Sunchang Kim, 2002, Study on the Performance Characteristics of Mechanical Refrigeration Truck vs. Hold-Over Refrigeration Truck, *Proceedings of the SAREK 2002 Summer Annual Conference*. pp.339-344
3. JeCheol Mun, Ardiyansyah, KwangIl Choi, JongTaek Oh, 2008, Experimental Study of a High Efficiency Transport Refrigeration Container under Cooling and Defrosting Conditions, *Proceedings of the SAREK 2008 Summer Annual Conference*. pp.277-281