

고효율 냉동 컨테이너의 냉각 및 제상 실험

문 제 철, ARDIYANSYAH, 최 광 일, 오 종 택[†]

전남대학교대학원 냉동공조공학과, 전남대학교 냉동공조공학과^{*},

Experimental Study of a High Efficiency Transport Refrigeration Container under Cooling and Defrosting Conditions

Je-Cheol Mun, ARDIYANSYAH, Kwang-Il Choi, Jong-Taek Oh[†]

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

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

ABSTRACT: This paper presents the development of a high efficiency transport refrigeration system for sliced-raw fish transportation. The refrigeration system is equipped with heat storage for reverse cycle-hot gas defrost (the stored heat is used during defrost cycle of the system). System performance and container operating conditions are analyzed during experimental investigation on a 3,225 x 1,740 x 1,640 mm full-scale refrigerated container under cooling and defrosting conditions. The prototype system indicates better performance in terms of shorter cooling-down time, shorter defrost time and smaller fluctuations of refrigerated container's temperature.

Key words: Heat storage(열저장), Hot gas defrost(핫가스제상), Reverse cycle(역사이클), Refrigerated container(냉동컨테이너)

기 호 설 명

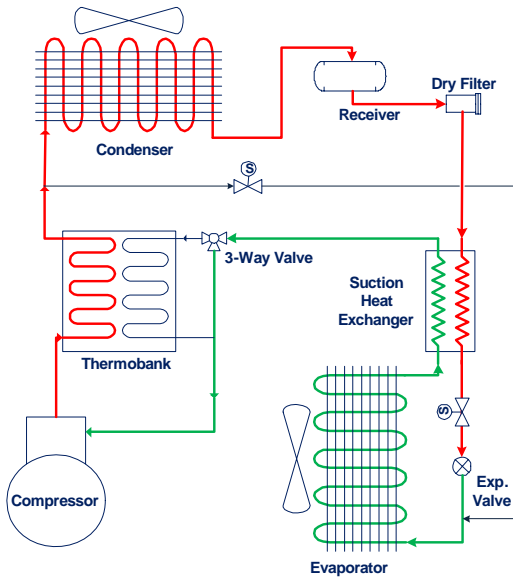
- CDT : cooling-down time[min]
- t : time[min]
- T : temperature[K]
- UA : container's heat transfer constant [W/°C]

1. 서 론

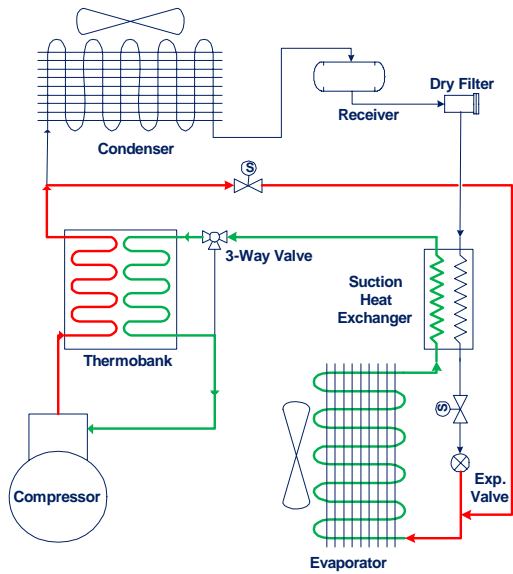
싱싱회 수송은 냉장시스템을 갖춘 육상수송으로 생산지부터 시장이나 소비자에게 운송되는 저온유통(Cold Chain)의 중요한 일부분이 되고 있다. 세계적으로 여러 가지 제품의 수송 중에 냉장 육상수송 차량이 100만대 이상이다.⁽¹⁾ 냉장 수송의 성능과 효율 향상은 수송되는 제품의 품질을 좋게 유지하고 에너지 절약 및 환경에 미치는 영향을 최소화와 함께 수행되어야 할 것이다.

그동안의 많은 연구들은 시스템의 성능과 에너지 효율을 증대시키기 위한 것이 대부분이었다.⁽²⁻³⁾ 그러나 한 가지 고려할 사항은 서리의 생성이 냉동능력과 시스템의 성능을 감소시킨다는 것이

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



(a) Cooling operation



(b) Defrost operation

Fig. 1. Schematic of a refrigeration system equipped with heat storage

다. 실제로 적상 운전 시 냉각능력과 시스템 성능 계수가 20~30% 감소한다.⁽⁴⁾ 이러한 문제를 해결하기 위해서는 제상을 주기적으로 실시해야만 한다. 제상방법 중 하나인 역사이클-핫가스 제상은 산업용 냉동에서 많이 이용되고 있다.^(5~7) 핫가스 제상은 제상운전을 하는 동안 증발기 핀과 코일에 생성된 서리를 녹이는데 heater를 사용하지 않으므로 냉장된 컨테이너의 온도는 설정온도보다 상승하게 된다. 따라서 싱싱회를 신선하게 유지하기 위



Photo 1 Prototype unit under experimental test.

해서는 설정온도 내에서 냉장 컨테이너의 온도를 유지하는 것이 필수적이다.

본 연구의 목적은 냉장 컨테이너의 여러 가지 조작 변수에 따라 냉각 및 제상 조건을 분석하고, 최적 제상시기와 제상시간을 얻기 위한 실험을 하였으며 그 결과를 발표하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 열저장을 사용한 냉동 시스템의 장치도이다. 열저장 재료로는 물을 사용하였다. 제상 과정 동안 압축기에서 토출된 냉매 핫가스가 열저장 장치를 (응축기는 바이패스) 거치면서 증발기 코일에 착상된 서리를 제상시키게 된다. 제상시 냉매는 저온으로 상변화를 하게 되며, 응축된 냉매액은 열저장 장치로 되돌아와 기상으로 증발한 후 압축기로 흡입되어 재순환하게 된다.

Photo 1과 같이 냉동탑차의 컨테이너에 냉동시스템을 설치하여 실험을 실시하였다. 컨테이너 크기는 322×1740×1640으로 1톤 냉동탑차에 사용되는 크기와 동일하다. 이 시스템의 동작은 별도로 설계된 microprocessor 컨트롤러에 의해 전자밸브, 시간, 컨테이너 박스 설정온도 등에 따라 작동된다. 열누설과 냉각능력 테스트 동안에 온도센서의 위치 설정과 온도측정은 ARI 1110-2006⁽⁸⁾에 기술된 수송냉동의 calibrated-box 방법에 근거하여 이루어졌다. 온도데이터는 요코가와 MX-100

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	2 row × 4 circuit Cooper tube immersed in 50 L of water
Heater	5 kw heater element with single fan

Table 2. Test conditions

NO	Test parameter	System configuration		Container set temperature (°C)
1	Cooling capacity	HGD-1	ARI1110	-10, -5, 0
2	Cooling-down time	HGD-0	Empty	-20, -10, -5, 0
			Loaded	
		HGD-1	Empty	
			Loaded	
3	Defrost period	HGD-0	Empty	-10
		HGD-1		
4	Defrost time	HGD-0		
		HGD-1		
		Off-cycle defrost		

HGD-0 : Hot gas reverse cycle system without heat storage installed

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

데이터 기록계를 사용해서 기록하였으며, 시스템의 사양은 Table 1과 같다.

실험용 컨테이너 시스템의 냉각 및 제상 조건을 종래의 것과 비교하였으며, 시험조건을 Table 2에 나타내었다. 냉각운전 시 컨테이너의 초기 온도부터 설정 온도까지 온도변화 및 냉각시간을 측정하였다. 증발기에서 핀 코일의 착상과정과 공기속도 변화를 함께 측정하였다. 착상과정 및 서리 두께 측정을 위해 비디오카메라를 이용하였으며 동영상 및 스틸화면을 동시에 컴퓨터에 저장하였다. 그리고 Solomat vane-type anemometer (vane-type 풍속계)를 이용하여 증발기 토출 공기 속도를 측정하였다.

제상시험에서는 제상 시기와 제상 시간을 비교하였다. 착상으로 인해 시스템성능이 감소하게 되면 시스템 성능 향상을 위해 제상운전이 필요하기 때문에 그때를 제상시기로 하였고, 본 연구에서는 제상시기를 증발기의 풍속이 초기 풍속보다 50% 감소할 때까지로 결정하고, 제상시간은 핀코일 증발기를 모니터링 하면서 착상이 완전히 제거될 때까지로 하였다.

제상운전 조건으로는 열저장을 이용한 핫가스 제상 시스템과 열저장이 없는 핫가스 제상, off 제상을 비교 분석하였다. 핫가스를 이용한 제상운전은 제상 시 증발기의 토출 온도가 10°C 증가할 때 수동으로 정지시켰다.

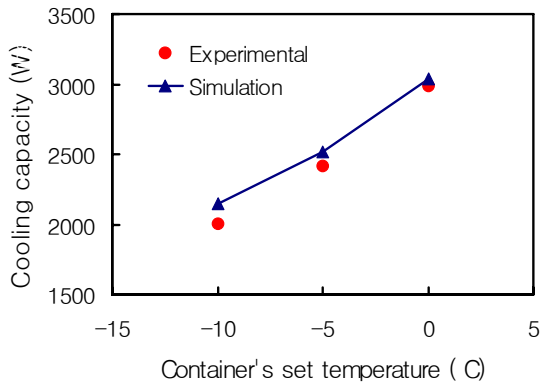


Fig. 2 Cooling capacity of the transport refrigeration system

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 냉각능력 실험데이터와 시뮬레이션 결과⁽³⁾를 비교한 것이다. 시뮬레이션은 컨테이너의 주위 공기로 인한 열 누설 및 전기히터를 이용한 열공급도 포함시켰다. 열 누설 테스트는 컨테이너의 주위온도 15°C에서 열전달 상수 UA⁽⁹⁾값 14.39 W/°C를 얻기 위해서 냉각능력 시험 이전에 실행하였다. 그림에서 알 수 있듯이 컨테이너의 설정온도가 증가할수록 냉각능력이 증가하고 있다. 또한 컨테이너의 설정온도가 증가함에 따라 증발온도도 상승하게 된다. 이것은 컨테이너의 실내온도와 냉매온도차가 감소하여 증발기내에서 증발하는 냉매량이 증가하게 되고 결국 냉매의 단위 질량당 냉동효과가 증가한다.⁽¹⁰⁾

각 조건에서 측정된 냉각시간을 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 알 수 있듯이 열저장을 이용한 냉동시스템의 냉각시간이 평균 30%이상 단

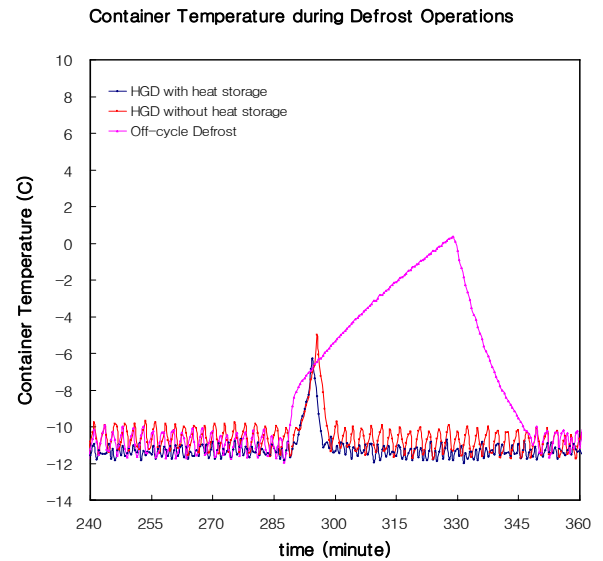


Fig. 3 Container's temperature during defrost operation

축되었다. 이것은 냉각운전 시 열저장 공간이 예비충족으로서 열저장이 없는 전형적인 냉각시스템과 비교할 경우 시스템의 응축능력이 향상되었기 때문이다. 그리고 증발온도가 상승하면 시스템의 냉동능력이 증가하게 된다.

Fig. 3은 각 시스템의 제상운전 시 컨테이너의 평균 온도변화를 나타낸 것이다. 제상운전 시기는 착상에 의한 공기 풍속이 50% 감소했을 때이며 앞에서 나타낸 바와 같다. 제상운전을 결정하기 전에 육안으로도 증발기의 핀-코일에 완전한 착상이 된 것을 확인하였다.

제상 시 컨테이너의 온도변화는 핫가스를 이용한 제상운전이 off 제상운전보다 작게 나타났다. 또한 핫가스를 이용한 제상운전이 off 제상운전보다 제상시간이 단축되었다.

Table 3 Cooling-down time

Test condition	Container temperature setting[°C]	Cooling-down time (minute)	
		HGD-1	HGD-0
Unload	0	7	10
	-5	10	15
	-10	19	23
	-20	42	58
Load	0	7	15
	-5	10.5	26
	-10	28	39
	-20	108	122

열저장을 이용했을 때와 하지 않았을 때의 핫가스제상 시간은 각각 4분과 5분으로써 열저장을 이용한 것이 그렇지 않은 것 보다 제상시간이 약 20% 단축되었다. 제상종료 시는 증발기의 핀 및 튜브의 적상이 완전히 제거 된 것을 확인하였다. off 제상은 40분이 소요되었으며 열저장이용 제상 시간의 10배나 되었다. 그러므로 시스템의 제상 방법에 따라서 컨테이너의 온도상승을 억제시키고 제상시간을 단축시킬 수 있다.

4. 결 론

싱싱회 수송을 위한 고효율 냉동 수송시스템 개발을 위해 1차 실험을 행하였다. 본 시스템은 핫가스 제상시간 단축, 제상시 컨테이너 온도 상승억제 및 에너지 절약을 위해 열저장시스템을 이용하였다.(열저장고에 저장된 열은 시스템의 제상 시 사용된다.) 개발된 시스템이 열저장이 없는 전형적인 핫가스 제상 사이클 및 off 제상 사이클과 비교했을 때 냉각시간과 제상 시간이 짧고, 또한 제상 시 컨테이너의 온도변동 폭이 작았다.

후 기

이 논문은 2007년 해양수산부(해양수산개발원) 지원 해양과학기술연구개발과제(No. 20060090) 및 (주)제일특장차 지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. IIR, 2006, Refrigeration Drives Sustainable Development, Report Card of IIR

2. Jolly, P.G., Tso, C.P., Wong, Y.W. and Ng, A.M., 2000, Simulation and Measurement on the Full Load Performance of Refrigeration System in a Shipping Container, *Int. J. of Refrigeration* Vol.23, pp.112-126

3. Ardiyansyah, K.I. Choi, J.T. Oh, H.K. Oh, 2007, Modelling of a High Efficiency Refrigeration System with Heat Storage for Reverse Cycle Hot Gas Defrost, *Int. J. of Air Conditioning and Refrigeration* Vol.15, No.4, pp.175-179.

4. O'Neal D.L., Peterson K.T., Anad N.K., Schliesing J.S., 1989, Refrigeration System Dynamics during the Reverse Cycle Defrost, *AHRAE Trans.* Vol.95, pp.689-698.

5. Hoffenbecker, N., Klein, S.A., Reindl, D.T., 2005, Hot Gas Defrost Model Development and Validation, *Int. J. of Refrigeration* Vol.28, pp.605-615.

6. Cho, Honghyun, Yongchan Kim, Inkyu Jang, 2005, Performance of a Showcase Refrigeration System with Multi-evaporator during on-off cycling and Hot-gas bypass Defrost, *Energy* Vol.30, pp.1915-1930.

7. Krakow, K.I., S. Lin, L. Yan, 1993, An Idealized Model of Reversed-Cycle Hot Gas Defrosting, *ASHRAE Trans.* Vol.99 No.2, pp.317-337.

8. ARI, 2006, Performance Rating of Mechanical Transport Refrigeration Units-Standard 1110, ARI, USA

9. Incropera, Frank. P. and David P. DeWitt, 1990, Fundamental of Heat and Mass Transfer 3rd, Wiley and Son, Singapore.

10. Dossat, R.J., T.J. Horan, 2002, Principles of Refrigeration 5th Ed., Prentice Hall, New Jersey