

◎ 研究論文

## 유제품 수송용 공용냉동판 적용 냉동차량 시스템 연구

유상국\*

## A Study on the refrigeration vehicle system installed eutectic solution plates for milk transportation

S. K. Yun\*

**Key words** : Eutectic solution(공용 용액), Eutectic plate(공용 냉동판), Refrigeration vehicle  
(냉동차량), Milk transportation(유제품 수송)

### Abstract

The objective of this study is to develop the refrigeration vehicle system installed eutectic solution plates which consists of copper tubes carrying the refrigerant between two aluminum plates and the space between the plates filled with eutectic solution. The numerical analysis for the location of plates to get the uniform low temperature distribution in storage space was carried out and the result showed that the top, left-side and right-side walls were the proper places to install plates. For three different concentrations of ethylene glycol solution, the temperature distributions of inside space were measured during the day time of summer and the 21% solution was found to be proper to sustain the temperature of 5~10°C for milk transportation. The result showed that the refrigeration truck installed eutectic plates was very efficient to keep the milk fresh during vehicle transportation.

## 기호설명

Cp : 비열(kJ/kg°C)  
 $g$  : 중력가속도, m/sec<sup>2</sup>  
 $h$  : 엔탈피(kJ/kg)  
 $k$  : 열전도율, kW/m°C  
 $q$  : 열원, kW/m  
 $S$  : 생성항

T	: 온도, $^{\circ}\text{C}$
t	: 시간, sec
u	: 속도, m/s
x	: 수평방향 좌표

그리스문자

$\mu$	: 점성계수, Pa · s
$\rho$	: 밀도, kg/m <sup>3</sup>

\* 한국해양대학교 기계공학부(원고접수일 : 99년 2월)

$$\begin{aligned}\beta &: \text{열팽창계수}, 1/\text{°C} \\ \Gamma &: \text{확산계수}, \text{m}^2/\text{s} \\ v &: \text{동점성계수}, \text{m}^2/\text{s}\end{aligned}$$

## 1. 서 론

국민생활 수준의 향상과 식생활의 서구화로 인하여 인스턴트 식품류, 육류, 냉동 생선류 및 채소류의 저온유통이 날로 증가되고 있으며, 이러한 식품의 장단거리 운송을 위한 냉동기를 탑재한 냉동차량이 널리 사용되고 있다. 냉동차량은 운반중이나 정차 중에도 식품의 환경이 지속적인 저온상태로 유지될 수 있도록 차량의 엔진 동력을 사용하여 냉동기를 가동하는 것과 엔진과 분리된 별도의 냉동기가 장착된 두가지 형태가 있다. 이러한 냉동탑자는 냉동기 구동을 위한 연료소모와 차량엔진의 낮은 연소효율로 인한 연료의 과다 소비로 국가적으로 많은 에너지가 낭비되고 있는 실정이다. 또한 일부 차량들은 운행중 동력저하를 막거나 연료 소비를 줄이기 위하여 냉동기 가동을 중단하고 운행하는 경우가 종종 언론에 보도되고 있으나 현재 국내 여전상 수송 식품의 균일한 온도 유지를 제도적으로 규제하기는 어려운 여건으로 보인다.

이러한 문제들을 근본적으로 해결하고 운송중 식품의 선도를 유지할 수 있는 기술로는 3가지를 들 수 있다. 첫째는 액체질소 이용법으로  $-196\text{ °C}$ 의 액체질소의 혼열과 잠열을 이용하여 운송식품의 온도를 저온으로 유지하는 방법이다.<sup>(1),(2)</sup> 이는 차량에 액체질소 실린더를 장착하고 적재함 내부의 공기를 액체질소와 열교환시키므로써 온도를 낮게 유지하는 방법이다. 이 방법은 균일한 식품온도의 유지가 가능하나 액체질소를 지속적으로 소비하여야 하므로 비용이 많이 소요되는 단점이 있다. 액체 이산화탄소를 이용하는 방법은 2중의 적재함 사이에 고압의 액체 이산화탄소를 주입하여 외부 흡입열을 차단하고 낮은 실내온도를 유지하는 것으로, 이산화탄소는 온도  $-56.6\text{ °C}$ , 압력  $5.28\text{ kg/cm}^2$ 의 삼중점 이상에서 액체상태로 존재하며 외부 침입열량을 흡수하면서 증발가스화 된다. 이 방법도 액체 이산화탄소가 지속적으로 소비되므로 비용소요가 크고, 이산화탄소는 지구 온난

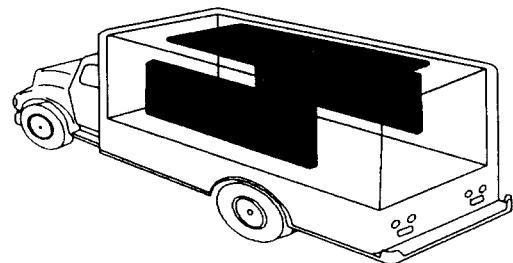


Fig. 1 Refrigeration truck installed eutectic solution plates

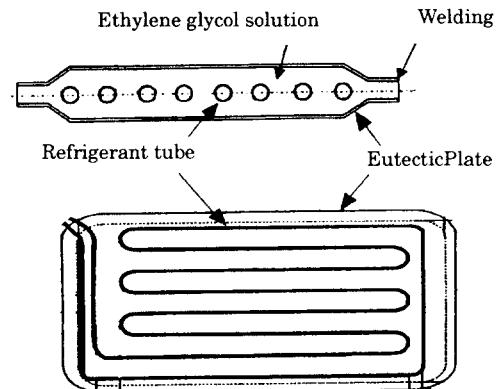


Fig. 2 Schematic diagram of eutectic solution plate

화 규제 대상물질이므로 적용에 문제를 지니고 있다. 세 번째는 본 연구의 공용냉동판을 이용하는 방법으로 차량 냉동기의 동력을 이용하지 않고 냉동판내의 공용잠열체의 상변화 용융열을 이용하는 것이다. 공용냉동차량의 구조는 Fig. 1과 같으며, Fig. 2의 공용냉동판 내부는 공용용액이 채워져 있고 이를 동결시키는 냉매관이 설치되어 있다. 공용 잠열체는 심야전력을 이용하여 냉동기에 의해 식품 출하 지역이나 차고에서 동결되어 고체화된 후, 주간 운행 동안에 식품의 발생열과 외부로부터 침입열을 흡수하여 액체로 상(Phase)이 변하게 된다. 이 과정에서 차량 내부를 저온상태로 유지시키는 방법이다.

이 시스템의 장점으로는 기존 냉동기 탑재 냉동차량의 연료 절감 및 연비 개선으로 에너지 절약을 기할 수 있으며, 냉동판내의 공용 잠열체를 심야전력을 사용하여 동결시키므로 유휴 전력 활용이

가능하고, 운반 식품의 균일한 온도 유지로 식품의 선도 유지가 가능하게 된다. 또한 농수산, 축산물의 유통비용 절감으로 U.R.에 대처할 수 있는 기술이다. 본 연구의 목적은 냉동차량의 공용냉동판 적정 설치위치와 냉동판 내부의 공용매체 농도 변화에 따른 하절기 주간동안 냉동차량 적재함 공간의 열적 해석 및 성능실험을 수행하여, 식품의 선도를 유지할 수 있고 유통업체의 운영 비용을 절감시킬 수 있는 공용냉동판 차량 시스템을 개발, 보급하기 위한 것이다.

## 2. 이론적 해석

### 2.1 공용냉동판 설계

#### 2.1.1 공용매체 선정

공용잠열체 기술은 물에 이물질이 용해, 혼합될 때 빙점강하의 원리를 이용한 것으로서, 식품 종류별 적정 유지 온도를 얻기 위한 공용체의 적정 농도와 용융잠열이 큰 잠열체를 필요로 한다. 공용잠열체의 조건은 단위 질량당 잠열이 크고 적은 농도에도 빙점강하 효과가 높으며 부식성이 없는 것이 적절하다.<sup>(3),(4)</sup> 냉동판에 적용될 공용체는 빙점이 낮고, 주간 12~13시간을 운행할 수 있는 용해열이 큰 잠열체로서 물에 에틸렌글리콜을 혼합 사용하였다. 물의 잠열이 가장 크므로 공용매체중 물의 양이 많을수록 잠열이 커지게 된다.

#### 2.1.2 유제품 적정 운송온도

동결육류와 어류의 차량내 적정 냉동유지 온도는 -15~-18°C로 대부하 식품군에 속하며, 우유 등 중부하 식품은 5~10°C 정도가 적정 수송온도이다.<sup>(5)</sup> 유제품의 수송온도를 유지하기 위한 냉동기 냉매의 증발온도는 -5~-6°C가 된다. 이 온도를 얻기 위한 공용매체인 에틸렌글리콜의 농도를 15%, 17%, 21%로 변화시켜 성능을 실험하였다.

#### 2.1.3 냉동소요부하 및 공용매체량

냉동냉장 식품의 운송은 적재전에 이미 냉동냉장 상태이기 때문에 동결을 위한 열량은 필요하지 않고 운송중 저온을 유지하기 위한 외부 침투열량만을 제거하면 된다. 그 열원으로는 단열된 벽, 천장, 바닥을 통한 냉동공간으로의 외부열의 침입,

차량문의 개폐에 따른 외부 공기의 침입에 의한 열유입, 운송 식품의 호흡열이 있다.<sup>(5)</sup> 운송되는 식품의 종류별 수송차량에 필요한 공용매체량은 부하량에 의해서 결정된다. 식품부하는 1톤 트럭을 대상으로 실험하였다. 안전율은 총 일간부하량에 0.8를 고려하여 7,500 kcal/일로 이때 충진 공용매체량은 95Liter로 하였다.

### 2.2 냉동판 장착 차량내에서 기류와 온도 도분포 전산해석

#### 2.2.1 이론적 고찰

냉동판이 장착된 냉동차량에서는 적재함내 모든 부분의 온도가 균일하여야 하며, 적재함에 보관되어 운송되는 동안 냉동식품에 주는 영향을 최소화하도록 기류 및 온도가 제어되어야 한다. 냉동차량의 최적설계를 위해서는 냉동판의 설치 위치에 따른 적재함 내부의 공기의 유동과 온도분포 그리고 시간에 따른 온도변화를 해석하였다. 냉동차량 적재함 내의 유동 및 자연대류 열전달 현상을 해석하기 위한 지배방정식은 다음과 같다.

#### 연속방정식

$$\frac{\partial(\rho)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

#### 운동량방정식

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \right) - \rho \beta g_i (T_i - T_0) \quad (2)$$

#### 에너지방정식

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i h)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{k}{\rho C_p} \left[ \frac{\partial T}{\partial x_i} \right] \right) + \frac{\dot{q}}{\rho C_p} \quad (3)$$

연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식을 일반식으로 표시하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \Phi) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right) + S \quad (4)$$

여기서 좌변의 첫번째 항은 시간에 따른 물리량의 변화를 나타내고, 두번째 항은 대류항이며, 우변의 첫번째 항은 확산항을 나타내고, S는 생성항

이다.  $\Phi=1$ 인 경우는 연속방정식,  $\Phi=U$ 인 경우는 운동량 방정식,  $\Phi=T$ 인 경우는 에너지 방정식을 나타내고, 생성항  $S$ 는 각각의 지배방정식에 대해서 다른 형태로 표현된다.

유한체적법을 사용하여 검사체적에 대한 지배방정식(4)의 차분방정식을 구하면 다음과 같다.

$$\Phi_p \sum_i (A_i - S_p) = \sum_i (A_i \Phi_i) + S_c \quad (5)$$

차분방정식의 해는 열전달, 상변화 등의 현상을 해석할 수 있는 범용 열유동 해석프로그램으로

FLUENT를 사용하였으며 이는 유한체적법(Finite Volume Method)에 기초를 둔 2차원, 3차원 직교좌표/원통좌표/일반곡선 좌표계에 적용할 수 있는 계산 Code로 수치해법으로서는 SIMPLE과 SIMPLEC을 이용하고 있다. 해의 수렴판정은 속도, 압력, 엔탈피 각각에 대하여 계산 영역 전체의 잔류향의 총합이  $10^{-5}$ 이하가 된 시점으로 하였다. 수렴조건에 이르기까지는 매 시간 간격마다 500~600회의 반복 계산을 하며, 시간간격은 1초로 하였다.

### 2.2.2 전산해석 결과 및 고찰

해석 대상 냉동차량은 Fig. 3의 1톤 냉동차로 탑재된 적재함의 길이는 2,625mm, 높이는 1,320mm, 폭은 1,540mm이며, 계산 격자는 길이 방향(X방향)으로 45개, 높이 방향(Y방향)으로 22개, 폭 방향(Z방향)으로 22개를 설정한다. 장착된 냉동판의 크기는  $1,600 \times 900$  mm이고 두께는 50mm이다.

최적의 냉동판 설치 위치와 개수를 도출하기 위

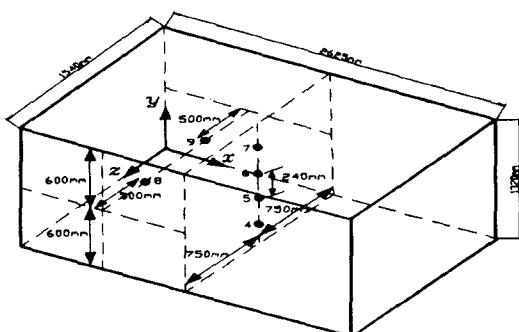


Fig. 3 Temperature measuring points in storage space

하여 총 3개의 공용냉동판의 설치위치를 변경하여 공간내 온도와 속도구배를 해석하였다. 그 각각의 경우는

CASE 1 : 전면 1, 측면 각각 1개

CASE 2 : 상부 1, 측면 각각 1개의 경우를 비교하였다.

적재함을 둘러싸고 있는 단열벽면, 냉동판에서 속도와 온도에 대한 경계조건과 기타 계산조건은 표 1과 같다.

Case 1의 속도장과 온도장에 대한 수치해석의 결과를 보면, Fig. 4는 속도장으로써 전면에 설치된 냉동판 주변의 공기가 냉동판에 의하여 냉각되어, 이 냉각된 공기가 밀도의 증가로 인하여 하강하면서 아래면을 따라 흐르는 반시계 방향의 순환유동을 이루게 된다. 이러한 순환유동은 하부에서 활발하고 상부에서 유체의 흐름은 거의 정지 상태이며, 또한 전체 유동장을 볼 때 유동이 상하로 잘 혼합되지 않는 성층화된 유동장을 보인다. Case 1의 온도분포는 상부에서는 초기온도와 비슷한 상태를 유지하고 있으며, 하부로 가면서 온도가 낮아지는 형태를 띤다. 즉 상부와 하부 사이에 온도의 성층화가 이루어 지며, 이는 유동장에서 고찰한 바와 같이 유동이 상하로 잘 혼합되지 않기 때문이다. 따라서 이러한 냉동판의 배치는 바람직하지 못하다.

Case 2는 Case 1과 달리 전면에 설치된 냉동판을 상부 중앙으로 옮긴 것으로 Fig. 5에서 볼 수 있는 바와 같이 상부에 설치된 냉동판에 의하여 냉각된 공기가 하강하면서 좌·우로 큰 순환유동을 형성하며, 중앙에서 유체의 흐름이 상당히 빠르게 된다. 상부와 하부에 별개의 재순환 유동이 형성되

Table 1. Boundary condition and physical values

Wall condition	Insulation wall
Temperature of eutectic cold plate	$T=255$ K
Initial temperature of storage space	$T_i=308$ K
Physical properties of air	$\rho=f(T)$ , $v=1.75 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ , $C_p=1.004 \text{ kJ/kgK}$ , $k=2.67 \times 10^{-2} \text{ W/mK}$

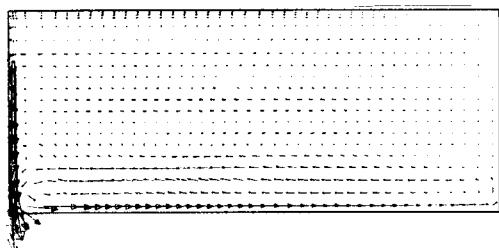


Fig. 4 Velocity vector of case 1

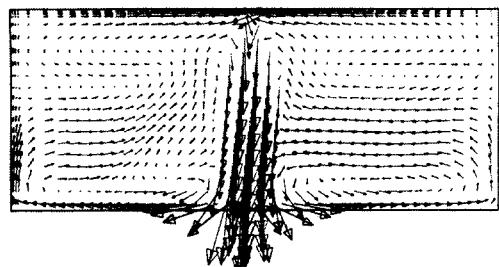


Fig. 5 Velocity vector of case 2

며, 이는 옆면에 설치된 냉동판의 영향 때문이다. Case 2의 온도분포는 냉동판이 설치된 상부와 중앙부를 제외하고 전 단면에 걸쳐서 온도가 균일함을 보인다. 이는 상부 냉동판으로부터의 강력한 하강류에 의해서 뜨거운 공기와 찬공기의 혼합이 활발하게 이루어지기 때문이다.

Fig. 6에서 보는 바와같이 초기의 냉각속도를 보면 Case 2가 빠르고 Case 1의 경우에는 상부와 하부의 공기가 성층화되어 상·하간의 공기의 흐름이 원활하지 못하기 때문에 냉각속도가 느리게 된다. 20분이 지난 후 평균온도는 Case 1이 287 K, Case 2는 284 K로 Case 2의 경우가 보다 낮은 온도로 냉각이 이루어진다. 그러므로 유제품의 적정 운송온도를 위한 냉동판의 배치는 상부 1개, 측면 벽에 각각 1개씩 총 3개로 하였다.

### 3. 실험방법

냉동차량의 성능평가를 위하여 제작한 공용냉동판을 1톤 냉동탑차의 적재함 상부에 1개, 좌우 측에 각 1개씩 총 3개를 장착하였다. 공용냉동판은 가볍고 열전달이 용이한 알루미늄재로 두께는 2mm로 하였으며 냉매관의 간격은 70mm로 하였

다.<sup>[6]~[8]</sup> 우유 등 유제품의 적정 수송온도인 5~10 ℃를 유지하기 위한 공용매체의 적정농도를 구하기 위하여 공용매체로 에틸렌글리콜을 무게비 15%, 17%, 21%로 종류수에 혼합하여 수용액을 제조하였다. 제조된 수용액은 차량에 설치된 공용냉동판 내부에 주입되었으며 차량이 운행되지 않는 심야에 저녁 10시부터 아침 8시까지 심야전력을 사용하여 9~10 시간 동안 1RT급 압축식 냉동기로 동결시켰다. 이 때 냉동기의 냉매는 OS-2가 사용되었고 냉동기와 공용냉동판과의 연결은 탈착이 용이한 쿼커플러(Quick coupler)를 적용하였다. 각 지점의 온도 측정을 위하여 Fig. 3과 같이 실내 각지점과 차량 외벽에 보정된 T형 열전대를 설치하였다. 온도는 데이터처리기를 노트북에 연결하여 기록한 후 분석하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4. 1 공용냉동판 심야 동결실험

Fig. 7은 에틸렌글리콜 농도 21% 공용판의 심야 전력 시간대인 저녁 10시부터 오전 8시까지 냉동기를 이용하여 공용냉동판 내부의 매체를 동결시킬 때 냉동판의 온도변화를 나타낸다. 초기 2시간 동안은 상온의 공용매체가 냉각되기 때문에 냉동판의 온도가 급격히 감소하다가, 이후 매체의 동결온도인 -6℃에서 비교적 균일한 온도가 지속된다. 공용매체가 완전 동결된후에는 냉동판의 온도가 강하되어 아침 8시의 냉동판 표면의 온도는 -10℃~-16.4℃로 과냉상태로 동결됨을 보여준다. 에틸렌글리콜 21%의 동결온도는 -8.1℃로써 3개의 공용냉동판 내부의 공용매체가 완전 동결되어 과냉각 상태인 것을 알 수 있다. 우측판, 상부판, 좌측판 순서로 온도가 높은 것은 심야냉동기의 냉매가 우측판으로 주입되어 상부판을 거쳐 좌측판으로 순환되기 때문이다. 심야 동결작업동안의 기온도는 8월의 기온이 높은 날의 온도로 25~28℃이었다. 실험결과 95liter의 공용매체를 1RT급 OS-2냉동기로 심야 10시간동안 동결시킬 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 8은 심야 동결동안 적재함 내부의 온도변화

로 동결판의 온도가 강하함에 따라 내부공간의 온도도 저하되어 아침 8시의 실내온도는  $-0.4^{\circ}\text{C}$ 가 된다. 심야 동결동안 실내 각 지점별 온도는 모든 지점에서 거의 동일한 값을 갖음을 알 수 있다. 공용냉동판의 주간동안의 냉동기능은 주로 공용매체의 잠열에 의한 것으로 동결과정 동안의 좌·우 냉동판의 과냉각 온도차이는 Fig. 8의 결과와 같이 공간의 온도분포에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

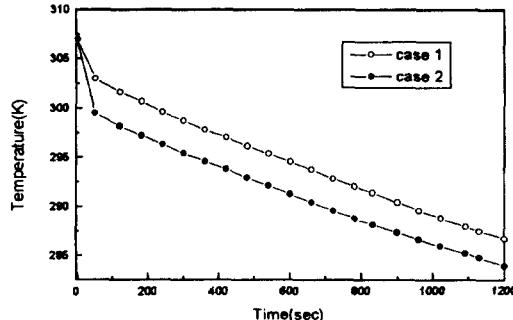


Fig. 6 Average temperature distribution of storage space

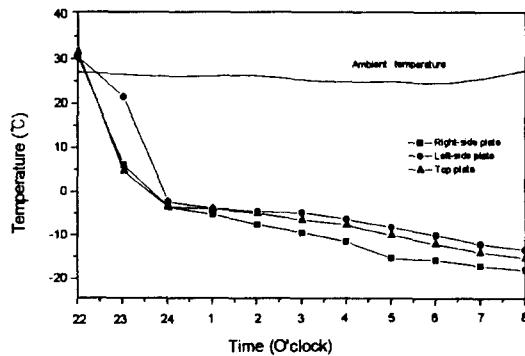


Fig. 7 Surface temperature of eutectic plates during freezing process

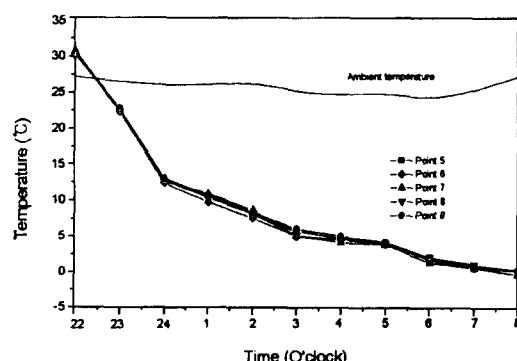


Fig. 8 Temperature distribution of storage space during freezing process

체의 잠열에 의한 것으로 동결과정 동안의 좌·우 냉동판의 과냉각 온도차이는 Fig. 8의 결과와 같이 공간의 온도분포에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

#### 4.2 주간 햇볕에서의 성능실험

주간 성능은 오전 8시부터 오후 5시까지 수행하였으며, 공용냉동판을 동결시킨 후 차량을 햇볕에 위치시켜 시간에 따른 냉동판의 온도분포와 적재함 내부의 온도변화를 측정하였다. Fig. 9는 차량의 열부하를 파악하기 위하여 대기온도  $32^{\circ}\text{C}$  때 냉동차량 외부 알루미늄벽면의 시간에 따른 온도변화를 측정한 것으로 오후 1~2시에 온도가 상승되기 시작하여 3~4시경에는 최고  $53\sim 54^{\circ}\text{C}$ 에 이른다.

Fig. 10은 대기온도가 아침  $28^{\circ}\text{C}$ , 주간  $32^{\circ}\text{C}$ 에서 냉동차량 내부에 설치된 공용냉동판의 공용매체를 심야전력으로 동결시킨 후 오전 8시부터 주간동안 공용냉동판 표면의 온도변화를 나타낸다. 동결판

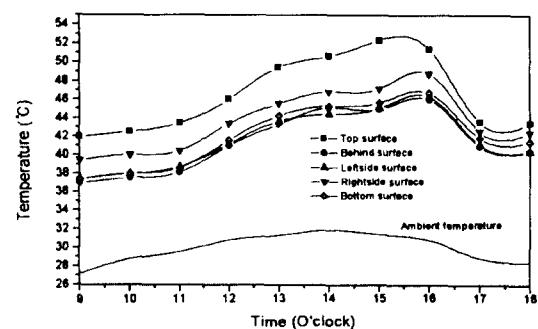


Fig. 9 Surface temperature variation of truck outside-walls during the day time

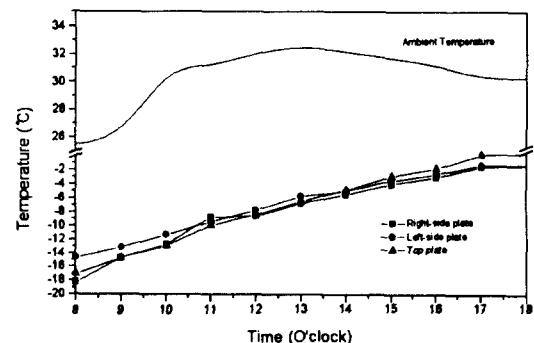


Fig. 10 Surface temperature variation of eutectic plates during the day time

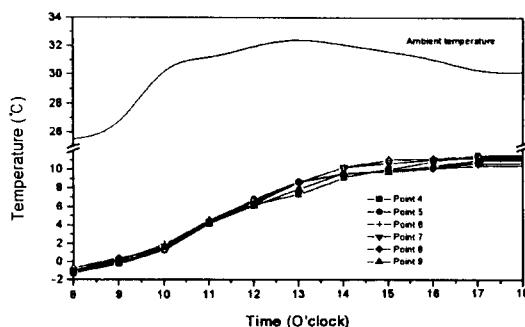


Fig. 11 Temperature distribution of storage space in case of 21% concentration

표면의 온도는 외부의 열유입으로 인하여  $-16^{\circ}\text{C}$ 에서  $-4^{\circ}\text{C}$ 까지 완만하게 상승하고 있다. 이는 공용매체의 상이 고체에서 액체로 변하면서 적재함 내부로 유입된 열을 흡수하기 때문이다. 온도가 극히 높은 1~4시경에도 냉동판의 표면 온도가 큰 변화없이 완만한 증가를 유지하는 것은 공용판 시스템의 외기의 변동에 대한 흡수폭이 크기 때문으로 분석된다.

Fig. 11은 공용매체 농도 21% 때 각 시각에서의 적재함 내부 공간의 온도변화로 오전 8시에는  $-1.0^{\circ}\text{C}$ 로 시작되어 9시에는  $0.3^{\circ}\text{C}$ , 부하가 적은 11시까지  $4.2^{\circ}\text{C}$ 정도가 유지되다가 부하가 증가하는 12시부터 3시에는 온도가 약  $6\sim 9^{\circ}\text{C}$ 로 상승된다. 그 후 부하의 감소에 따라 이 온도는 저녁 9~10시까지 지속된다. 내부 지점별 온도를 보면 공간내 상하의 온도차가 약  $0.5^{\circ}\text{C}$ 로서 균일한 온도를 유지된다. 그러므로 공용냉동판 차량 시스템은 적재함 내부의 온도가 대기온도와 무관하게 비교적 일정한 온도가 유지되므로서 외기온도의 변동에 대한 흡수폭이 크고 적재함 내부의 온도도 균일한 온도분포가 이루어져 식품의 선도 유지에 효과가 큰 것을 알 수 있다.

Fig. 12는 적재함 내부에 설치된 열전대 중 중간부의 열전대 5번의 공용잠열체 농도별 온도변화를 나타낸다. 공용매체의 농도 17%는  $11.2^{\circ}\text{C}$ 이었으며, 21% 때는 최대  $8.9^{\circ}\text{C}$ 로 이 농도가 유제품 수송에 적절한 것으로 판단된다. 공용매체 농도가 큰 21%의 성능실험 결과치는 타 농도에 비교하여 대기의 온도부하가 가장 큰 경우의 결과이다. 또한

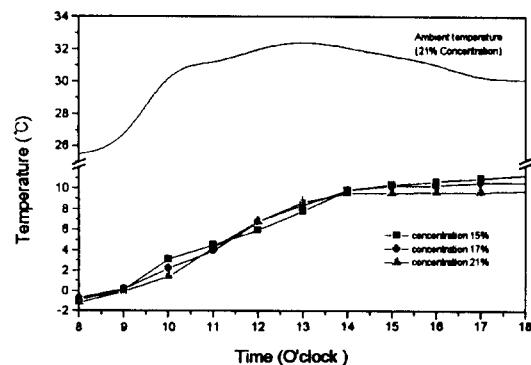


Fig. 12 Comparison of temperature variation of each concentration

유제품의 운송중 선도를 유지하기 위한 공용냉동판의 동결 설정온도는  $-6^{\circ}\text{C}$ 이며 과냉은  $-15^{\circ}\text{C}$ 정도임을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

공용냉동판을 제작하여 냉동차량에 장착한 후 심야전력으로 가동되는 냉동기를 이용하여 공용냉동판내부의 공용잠열체를 동결시켜 주간동안 성능을 실현한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 공용냉동판을 상부에 1개, 측면에 각각 1개씩 설치하여, 적재함 내부를 균일한 저온으로 신속하게 유지할 수 있다.
- 2) 유제품 수송용 공용판 내부 에틸렌글리콜 수용액의 적정농도는 21%가 되며, 공용냉동판 동결 온도는  $-6^{\circ}\text{C}$  그리고 적정 과냉각 온도는  $-15^{\circ}\text{C}$ 이다.
- 3) 하절기 주간의 열부하를 흡수하기 위한 1톤 차량의 공용매체의 적정량은 95Liter이고, 냉동기 용량 1RT급 OS-2냉동기로 심야 10시간동안 동결시킬 수 있다.
- 4) 공용매체를 적용한 냉동차량 시스템은 적재함 내부의 온도를 균일하게 유지하므로 식품의 선도 유지에 효과적인 시스템이다.

#### 참고문헌

1. Althouse A. D., "Modern Refrigeration and Air-conditioning", Goodheart-Willcox Co., pp. 991~

- 992, 1988.
2. Olivo T. C., "Principles of Refrigeration", 3rd Ed., Delmar Publishers Inc., pp. 452~456, 1990.
  3. Stoeker W. F. and Jones J. W., "Refrigeration & Air Conditioning", 2nd Ed., McGraw-Hill, pp. 301~305, 1982.
  4. 윤상국 외, "냉동공학", 문운당, pp. 54~56, 1998.
  5. ASHRAE Fundamental Handbook, Chapter 28, 1997.
  6. Wigley D. A., "Mechanical Properties of Materials at Low Temperatures", Plenum Press, pp. 71 ~76, 1971.
  7. Davis, E. J., and Anderson, G. H., "The Incidence of Nucleate Boiling in Forced Convection Flow", AIChE J., Vol. 12, pp. 774~780, 1966.
  8. Eckert E. R. and Drake R. M., "Analysis of Heat and Mass Transfer", McGraw-Hill, pp. 224, 1972.

## 저자소개



**윤상국(尹相國)**

1955년 10월생, 1977년 성균관대학교 화학공학과 졸업, 1982년 연세대학교 대학원 화학공학과 졸업(석사), 1989년 영국 사우스эм프턴대학교 초저온공학과 졸업(박사), 1993년~현재 한국해양대학교 기계공학부 조교수.