

열전도성 플라스틱을 이용한 김치냉장고용 열교환기에 관한 연구

강태호* · 박재홍† · 백정용* · 권용하* · 김인관** · 김영수*** · 신대식****

(원고접수일 : 2005년 1월 26일, 심사완료일 : 2005년 3월 31일)

Research on the Heat Exchanger for Kimchi Refrigerator Using Thermal Conductive Plastic

Tae-Ho Kang* · Jae-Hong Park† · Jong-Yong Baek* · Yong-Ha Kwon* · In-Kwan Kim** ·
Young-Soo Kim*** · Dae-Sik Sin****

Abstract : The kimchi refrigerator is the electric home appliance which is used for the maturing and preserving of the kimchi in domestic and foreign market. The kimchi refrigerator is composed in 3 main parts as insulation, kimchi container, machinery room. The heat exchanger of kimchi refrigerator is made of aluminum and the other parts are made of steel and polymer. Also, kimchi refrigerator is expensive and heavy as compared with same class of refrigerator until now. In the present study, the possibility to replace heat exchanger from aluminum to thermal conductive plastic was analyzed and experimented. The thermal conductive plastic has 10~100 times heat conductivity than that of normal plastic. It is known that heat transfer process is dependent not only conduction but convection or radiation. Thermal conductivity of the applied material in this research is over than 2 W/mK, thermal conductivity doesn't play a vital role on heat transfer. In this study, temperature is the most important parameter on the kimchi refrigerator and the temperature of kimchi refrigerator's heat exchanger was measured and compared with the temperature calibrated by CFD analysis on the inside wall of the kimchi refrigerator. It is important to keep constantly the inside temperature of the Kimchi refrigerator. Besides numerical analyses for the new thermal conductive plastic for heat exchanger were executed with the various height of evaporation tube. A series of experiments were conducted to compare the performance of the two heat exchanger made of aluminum and thermal conductive plastic at the same condition and certified the possibility of the thermal conductive plastic. According to these results, it was confirmed that the conventional aluminium heat exchanger can be replaced by thermal conductive plastic successfully.

Key words : Kimchi refrigerator(김치냉장고), Kimchi keeper(김치보관용기), Thermal conductive plastic(열전도성 플라스틱)

† 책임저자(부경대학교 대학원 냉동공조공학과), E-mail : parksonforever@hanmail.net, Tel : 051)620-1503

* 부경대학교 대학원 냉동공조공학과

** 부경대학교 RRC

*** 부경대학교 기계공학부

**** 삼성전자(주)

기호설명

C	: 비열 [J/kg · K]
Gr	: Grashof수
g	: 중력가속도 [m/s ²]
h	: 열전달계수 [W/m ² · K]
k	: 열전도도 [W/m · K]
L	: 길이 [m]
q	: 열유속 [W/m ²]
Ra	: Rayleigh수
Re	: Reynolds수
T	: 온도 [K]
u, v	: 속도 [m/s]

그리스 문자

α	: 열확산율 [m ² /s]
β	: 열팽창계수 [m ³ /K]
μ	: 점성계수 [kg/m · s]
ρ	: 밀도 [kg/m ³]

1. 서 론

김치가 익는 데에는 원료성분의 삼투작용, 미생물의 발효작용, 저장온도 등이 많은 영향을 미친다. 이 때 소금과 부재료에 의한 용해 성분이 많아 삼투압의 차이가 클수록, 또 온도가 높을수록 빨리 익는다. 김치냉장고는 이런 김치만을 위한 냉장고로서 김치의 맛을 유지시키면서 장기간 보관하는 것을 목적으로 하여 100% 국내기술로 제작된 가전제품이다. 김치냉장고의 냉각방식은 열교환기에 의해 냉각된 공기가 자연대류를 일으키면서 김치보관고를 냉각시키는 방식이다^[1].

현재의 김치냉장고 제작방식은 동으로 된 증발관과 알루미늄으로 된 열교환기를 따로 만들어 열교환기 주위로 증발관을 배열하는 방식으로, 이는 접촉부의 저항 및 열손실이 발생할 수 있고 제작비도 이중으로 들어가는 문제점이 있다. 이로 인해 생산비용이 높아져 김치냉장고는 동급 용량의 냉장고와 비교할 때 2~3배 정도 가격이 높다.

열전도성 플라스틱은 일반 플라스틱이 가지고 있는 뛰어난 성형성과 경제성을 가짐과 동시에 우수한 열전달 능력을 가진 물질이다. 열전도성 플라스틱의 열전도도(2~20 W/m · K)는 일반적인 플라스틱의 열전도도(0.2 W/m · K)의 10~100배 정도로 열전달에 있어 많은 가능성을 가진 소재이다^[2].

이에 본 연구는 알루미늄보다 가볍고, 부식성이 덜한 열전도성 플라스틱을 이용하여 기존의 알루미늄 열교환기와 동등한 성능을 가지는 김치냉장고용 열교환기를 개발하고자 하는 목적으로 실시되었다. 기존의 알루미늄으로 제작되던 김치냉장고용 열교환기를 열전도성 플라스틱으로 대체하기 위해서, 알루미늄 열교환기의 내벽 온도를 측정하여 그 결과를 FLUENT로 사용해 얻은 수치해석 결과와 비교·검토하고, 알루미늄과 열전도성 플라스틱 열교환기에 대한 수치해석을 실시하여, 그 내부 온도를 비교함으로써 열교환기의 대체 가능성을 확인하고 실제 적용품의 성능을 비교하였다. 또한 이는 직접냉각방식을 사용하는 쌀냉장고, 화장품냉장고 등에도 적용할 수 있다.

2. 기초이론

2.1 열전도성 플라스틱의 알루미늄 대체 가능성

현재 김치냉장고의 열교환기를 알루미늄에서 열전도성 플라스틱으로 대체하기 위해서 간단한 1차원 열전도 모델을 Fig. 1과 같이 가정하면,

전도에 의한 열유속 q [W/m²]는 아래의 식으로 계산되어진다.

$$q = \frac{k}{L} \times (T_{out} - T_{in}) \quad (1)$$

여기서, k 는 열전도도 [W/m · K], L 은 두께 [m], T_{out} 은 외기온도 [°C], T_{in} 은 실내온도 [°C]이다.

알루미늄과 열전도성 플라스틱의 경우에 대하여 $q = 50$ [W/m²]인 경우를 가정하여, 식 (1)을 사용하여 실내온도를 계산해보면,

알루미늄의 경우

$$50 = \frac{205}{0.002} \times (25 - T_{in})$$

$$T_{in} = 24.99 \text{ centigrade}$$

열전도성 플라스틱의 경우

$$50 = \frac{2}{0.002} \times (25 - T_{in})$$

$$T_{in} = 24.95 \text{ centigrade}$$

위의 결과와 같이 비록 알루미늄과 열전도성 플라스틱의 열전도도는 약 100배의 차이가 나지만 전도에 의한 실제 온도에는 0.04°C 밖에 차이가 나지 않는다는 것을 알 수 있다. 또한 열전도도가 2 W/m·K 이상의 경우에 열전달은 전도보다는 주로 대류에 의해 영향을 받는다는 것이 알려져 있다^{[2]-[3]}.

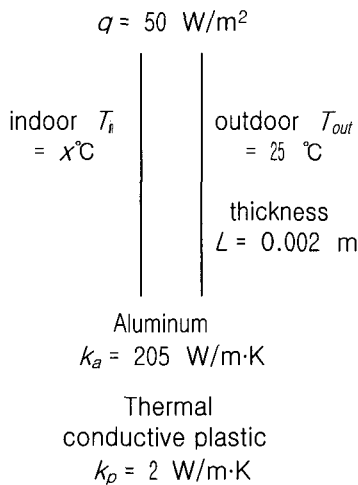


Fig. 1 Thermal conduction model

2.2 열전도성 플라스틱의 조성

열전도성 플라스틱은 기존의 플라스틱에 열전도 특성을 부여하기 위해서 첨가제로 세라믹을 40~50% (volume) 또는 20wt% 첨가하여 제작된다. 그리고 강도를 유지하기 위해서 유리섬유(glass fiber) 10~20% (volume) 또는 30wt% 첨가한다. 그 외에 착색제, 열안정제와 같은 각종 첨가제와 베이스(base) 수지를 블렌딩(blending)하여 열전도성 플라스틱을 제조한다^[4].

Table 1은 본 연구에서 사용된 열전도성 플라스틱의 조성 및 물성치를 나타내고 있다.

Table 1 Thermal conductive plastic composition and properties

Resin	PBT
Inorganic filler	20wt%
Glass fiber	30wt%
Thermal conductivity (W/m·K)	2
Specific gravity	1.8
Tensile stress (kg/cm ²)	750

3. 김치냉장고의 내벽온도 측정

김치냉장고의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 김치냉장고는 크게 단열재와 김치보관고, 그리고 기기실로 나눌 수 있다. 단열재는 우레탄 폼(urethane form)으로 열교환기를 둘러싸고 밀착되어 있으며, 열교환기의 위에는 상부덮개가 있어 냉기를 단속하게 된다. 열교환기는 알루미늄으로 제작되어 있으며 외부에는 냉각을 위한 동으로 된 증발관과 김치 숙성을 위한 열선이 감겨져 있다. 증발관은 열교환기의 바닥으로부터 260 mm 높이에서부터 45 mm 간격으로 4열 그리고 상부에는 2 mm 간격으로 3열, 총 7열로 감겨져 있다. 그리고 용접에 의해 고정된 것이 아니기 때문에 접촉 면적을 크게 하기 위해서 증발관을 가공해 증발관은 타원형의 모양을 이룬다. 그리고 열교환기의 아랫 부분에는 김치의 숙성을 위한 열선이 감겨져 있으며, 김치냉장고의 하부에는 냉동을 위한 압축기, 응축기 등이 있는 기기실이 있다.

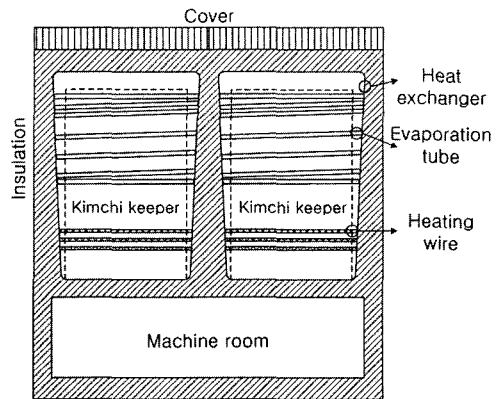


Fig. 2 Schematic of the kimchi refrigerator

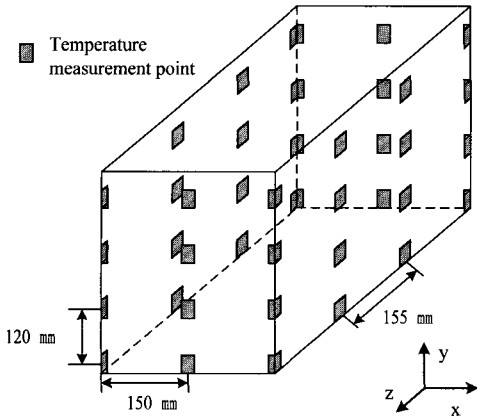


Fig. 3 Temperature measurement positions at heat exchanger of kimchi refrigerator

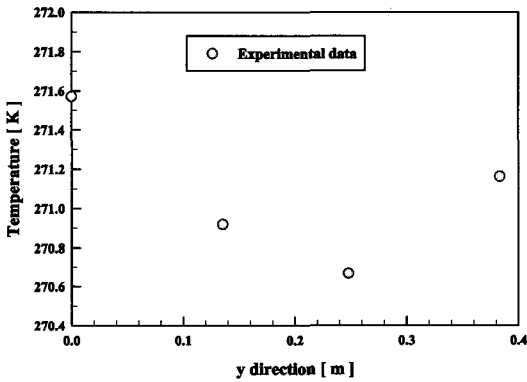


Fig. 4 Temperatures at heat exchanger of kimchi refrigerator

실제 김치냉장고의 열교환기 내벽 온도를 측정하기 위해서 Fig. 3과 같이 40개 지점에서 온도를 측정하였다. 그리고 동일 높이 10개소의 온도를 시간 평균한 값을 각 지점의 온도로 사용하였다.

온도측정은 보정된 T-type 열전대를 사용하였으며, 측정데이터는 실시간으로 PC로 전송, 처리하였다.

Fig. 4는 전술한 지점에서 구한 실제 온도들을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 김치냉장고의 하부온도가 가장 높고, 증발관이 감기기 시작하는 부분의 온도가 가장 낮은 것을 알 수 있다. 그러나 전체적인 온도차는 1°C 이내로 아주 안정되어 있음을 알 수 있다.

4. 수치해석

4.1 지배방정식

대류유동에서의 부력의 영향은 Grashof수와 Reynolds수의 비로써 측정할 수 있다.

$$\frac{Gr}{Re^2} = \frac{\Delta \rho g h}{\rho u^2} \quad (2)$$

이 수가 1에 접근하거나 초과할 때는 유동에 대한 큰 부력의 영향이 기대되고, 반대로 이 수가 아주 작을 때는 부력은 무시될 수 있다. 순수한 자연대류에서 부력에 의해 야기된 유동의 크기는 Rayleigh수에 의해 측정된다.

$$Ra = g \beta \Delta T L^3 \frac{\rho}{\mu a} \quad (3)$$

여기서 β 는 열팽창 계수 [1/K], a 는 열확산성 [m^2/s]로써 각각 다음과 같다.

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T} \quad (4)$$

$$a = \frac{k}{\rho c_p} \quad (5)$$

많은 자연대류 유동에서 부시네스크 모델(Boussinesq model)을 사용함으로써 유체의 밀도를 온도의 함수로 정한 것보다 더 빠르게 수렴할 수 있다. 이 모델은 운동량 방정식에서의 부력항을 제외하고는 모든 알려진 방정식에서의 밀도를 일정한 값으로 취급한다^[5].

$$(\rho - \rho_0)g \cong -\rho_0 \beta (T - T_0)g \quad (6)$$

여기서 ρ_0 는 유체의 밀도(일정), T_0 는 기준 온도, 그리고 β 는 열팽창계수다. 식 (6)은 부력항으로부터 ρ 를 계산하기 위해서 부시네스크 근사 $\rho = \rho_0(1 - \beta \Delta T)$ 를 사용함으로써 얻어진다.

연속 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = 0 \quad (7)$$

운동량 방정식

자연대류에서 Navier-Stokes 방정식에 부시네스크 근사를 사용하면 다음과 같은 식이 나타난다.

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (8)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g(\rho_o - \rho) \quad (9)$$

여기서 u 와 v 는 공기의 속도, p 는 압력이며 ρ , μ 및 g 는 공기의 밀도, 점성계수, 중력가속도를 나타낸다. 공기유동의 속도 및 온도차가 크지 않기 때문에 부력항은 부시네스크 근사를 이용하였다.

에너지 방정식

$$\rho C \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (10)$$

4.2 경계조건

해석모델은 전술한 Fig. 2와 같으며 해석격자는 Fig. 5와 같다. 수치해석을 위해 기기실을 제외한 김치냉장고 내부만을 2차원으로 단순화시키고, 열교환기와 증발관, 단열재 그리고 김치보관고만을 고려하였으며, 김치냉장고는 좌우 대칭이므로 한쪽만을 해석하였다. 김치보관고 내부(김치)는 2.5%의 유동이 없는 소금물로 가정하였다. 본 해석에서는 증발관과 열교환기 사이의 접촉면을 4 mm로 일정하게 접촉한다고 가정하였다. 계산의 정확도를 높이기 위해서 열교환기에서 증발관이 감겨있는 부분은 정렬격자를 사용하여 다른 곳보다 조밀하게 격자를 분포시켰다. 계산에 사용된 격자의 개수는 약 13만 개다.

Table 2는 해석에 필요한 물성치를 나타내고 있으며, Table 3에는 본 수치해석의 경계조건을 나타내고 있다. 우선 기존의 김치냉장고에 대한 수

치해석(CASE 1)을 실시하여 실제 실험에서 구한 온도데이터와 비교하여 본 연구의 신뢰성을 확보하고자 하였다.

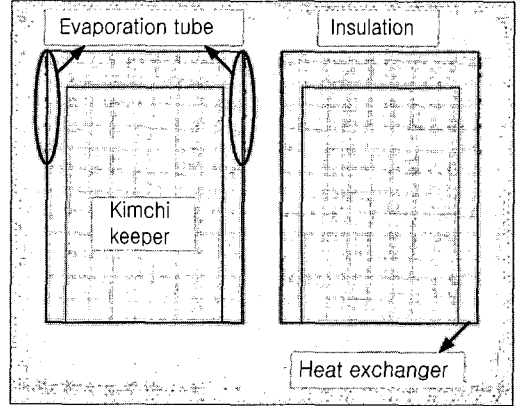


Fig. 5 Grid configuration of the kimchi refrigerator

Table 2 Material properties

Material	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m·K)
Air 0°C (1 atm)	1.2874	1006.08	0.002267
Heat exchanger (Thermal plastic)	1190	1500	2
Insulation (Urethane form)	38	1590	0.021
Kimchi Keeper (Plastic)	1190	1500	0.2
Kimchi (Salt water)	1155.1	33.85	0.454

Table 3 Boundary conditions

CASE 1	Boundary conditions
evaporating tube	-2.5°C
outside air temperature	30°C

4.3 기존 김치냉장고의 수치해석 결과

기존의 알루미늄 열교환기를 사용하는 김치냉장고에 대한 온도분포 및 속도분포를 Fig. 6과 7에 나타내었다. 알루미늄은 열전도도가 뛰어나기 때

문에 증발관을 통해 열교환기로 전달된 냉기가 공기층 전체에 걸쳐서 고루 분포되고 있는 것을 알 수 있다. 유동분포도 공기층 전체에서 활발히 이루어지고 있는 것을 알 수 있다.

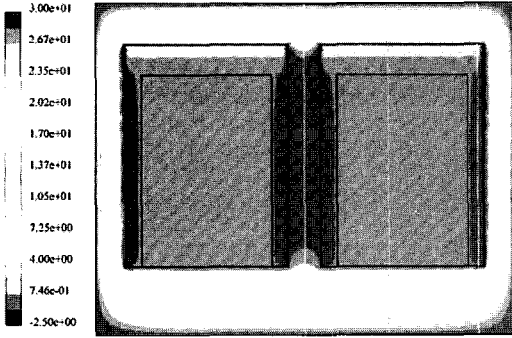


Fig. 6 Contours of static temperature of aluminum heat exchanger

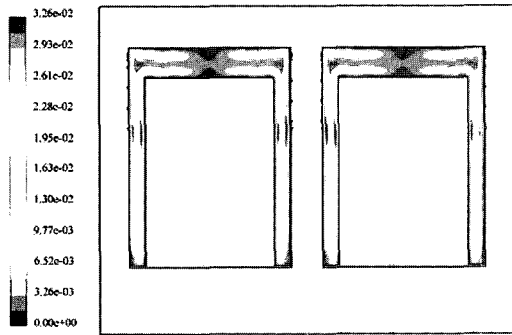


Fig. 7 Contours of velocity magnitude of aluminum heat exchanger

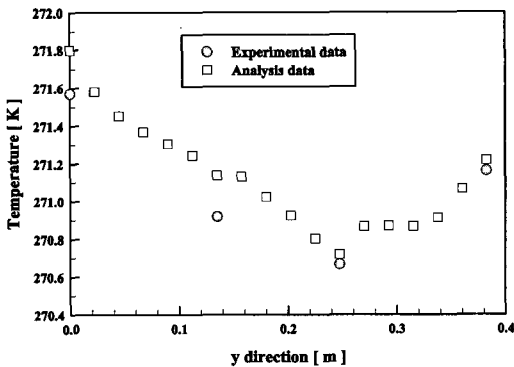


Fig. 8 Comparison experiment data with analysis data

Fig. 8에서는 실제 김치냉장고의 열교환기 내벽 온도(Fig. 4)와 해석결과에서 구한 내벽온도를 비교하고 있다. 그림에서 보면 열교환기 하부에서는 0.2℃ 정도의 온도차를 보이지만, 증발관이 감기기 시작하는 부분과 열교환기 상부에서는 측정결과와 해석결과가 잘 일치하고 있다. 이 결과로 본 수치 해석은 신뢰할 수 있다고 할 수 있다.

김치냉장고의 열교환기를 알루미늄에서 열전도성 플라스틱으로 대체할 경우 얇은 두께 방향으로의 열전달에는 문제가 없지만, 길이방향으로는 열전도도의 차이에 의해 열전달량의 차이가 생길 것으로 생각되어진다. 이에 김치냉장고의 열교환기를 열전도성 플라스틱으로 대체할 경우 증발관의 위치를 재조정할 필요가 있으며, 본 연구에서는 증발관의 위치를 전체적으로 23 mm, 45 mm 하향 조정하였다. 그리고 Table 3에 기존의 알루미늄 열교환기와 비교해서 각 CASE별 조건의 변화를 나타내었다.

Table 3 Comparison of boundary conditions in each CASE

	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
Position of evaporating tube	conventional	conventional	downward 23 mm	downward 45 mm
Material of heat exchanger	Al	Thermal conductive plastic		

4.4 증발관 위치에 따른 수치해석 결과

본 해석에서는 동일 해석모델에서의 증발관의 위치를 변화시켜가며 3가지 경우에 대한 해석을 수행하였으며, 열전도성 플라스틱으로 대체된 열교환기와 보관용기 사이의 공기층에서 발생하는 자연대류 열전달과 온도, 유동 분포를 살펴보았다. 데이터 취득은 Fig. 9에 나타난 x = 65.5, 73, 80.5 mm 지점에서 온도 및 속도분포를 구하였다.

4.4.1 공기층 온도분포

Fig. 10은 각 CASE별 x = 65.5, 73, 80.5 mm에서의 온도분포를 비교해서 나타내고 있다.

Fig. 10의 CASE 2~4는 열전도성 플라스틱 열

교환기의 경우로서 CASE 1과 비교해 볼 때 알루미늄과 열전도성 플라스틱의 열전도도 차이로 인해서 하부와 상부의 온도가 약간의 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 알루미늄보다 열전도도가 낮은 열전도성 플라스틱의 특성상 냉기가 아래까지 충분히 전달되지 못하였기 때문인 것으로 판단된다. 또한 CASE 3, 4는 증발관의 위치를 CASE 1보다 각각 23 mm, 45 mm 하향 조정해준 경우로서 공기층 하부에서는 냉기가 일정부분 하향되는 반면에 공기층 상부의 온도가 높아지고 있는 것을 알 수 있다. 증발관의 위치를 전체적으로 하향조정한 CASE 4의 경우가 공기층 상부에서 가장 높은 온도를 나타내고 있으며, 기존의 CASE

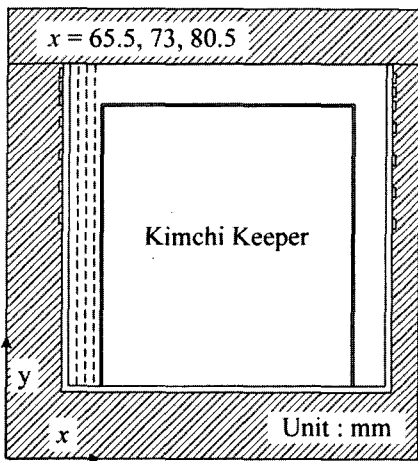


Fig. 9 Temperature and velocity measurement positions at heat exchanger of kimchi refrigerator

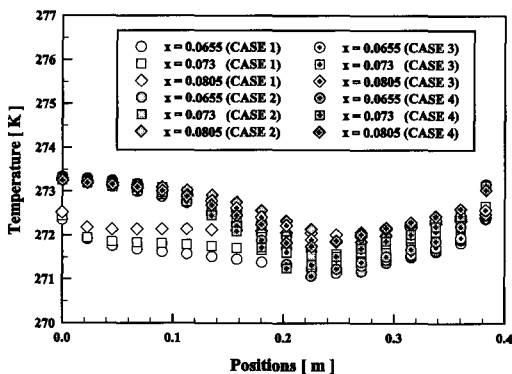


Fig. 10 Air temperature distributions of each CASE

1의 경우가 전체적으로 가장 높은 온도분포를 나타내고 있다. 그러나 열전도성 플라스틱 열교환기 경우에는 온도분포가 모든 CASE에 대해 유사하기 때문에 증발관의 위치 변경은 그다지 큰 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있다.

4.4.2 공기층 속도분포

Fig. 11은 각 CASE별 $x = 65.5, 73, 80.5$ mm에서의 속도분포를 비교하고 있다.

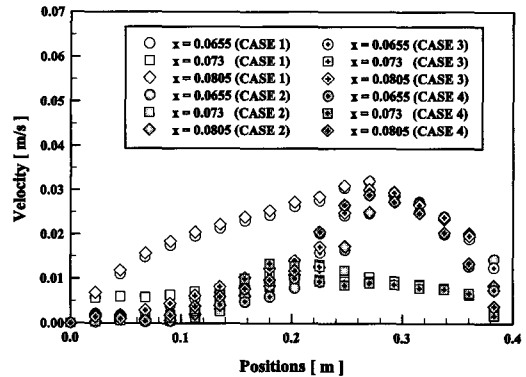


Fig. 11 Air velocity distributions of each CASE

Fig. 11의 x 방향의 각 CASE별 속도분포를 살펴보면 온도분포 결과와 마찬가지로 CASE 1의 경우가 CASE 2 ~ 4에 비해 전체적으로 공기층에서의 유동이 가장 활발히 일어나는 것을 알 수 있다. CASE 2 ~ 4의 경우는 열전도성 플라스틱의 열전도도가 낮기 때문에 열교환기 하부까지 냉기가 충분히 전달되지 않아 공기층의 상부에서의 공기유동은 알루미늄과 거의 차이가 없으나 공기층 하부에서는 유동이 거의 없는 것을 알 수 있다. 이는 온도분포 결과에서와 마찬가지로 열전도성 플라스틱의 열전도도가 알루미늄에 비해 낮기 때문에 길이가 길어지는 y 방향으로 전달되는 열전달량의 차이 때문인 것으로 판단된다. 그러나 열전도성 플라스틱 열교환기 경우만을 살펴본다면 모든 CASE에 대해 속도분포가 유사하기 때문에 온도분포 결과에서와 마찬가지로 증발관의 위치 변경은 그다지 큰 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있다.

4.4.3 열교환기 내벽 온도분포

각 CASE별 해석결과 중 열교환기 내벽 온도분포를 Fig. 12에 나타내었다. 열교환기의 내벽온도는 실제 김치냉장고의 보관에 가장 중요한 요소이다. 열전도성 플라스틱의 경우 알루미늄에 비해 상대적으로 낮은 열전도도로 인해 열교환기 하부에서의 온도가 알루미늄에 비해 1°C 정도 높게 나타났다.

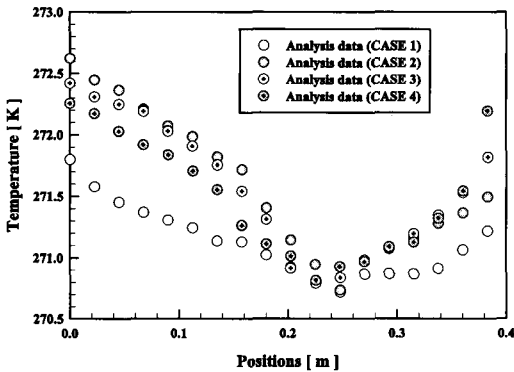


Fig. 12 Inner wall temperature of heat exchanger of each CASE

공기층에서의 온도분포와 마찬가지로 증발관의 높이를 전체적으로 하향 조정해준 CASE 3, 4의 경우와 기존의 위치인 CASE 2를 비교해 볼 때, 증발관의 높이 변경에 따라 CASE 3, 4의 경우 열교환기의 하부에서는 CASE 2에 비해 온도가 다소 낮아지지만 열교환기 상부에서는 온도가 높아지는 것을 알 수 있다. 이는 증발관으로부터의 거리와 열전도성 플라스틱의 낮은 열전도도에 따른 전열량의 차이 때문인 것으로 사료된다. 그러나 열교환기 전체적으로 볼 때는 그 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 이에 작업공정의 변화를 주지 않는 기존의 증발관 위치가 최적인 것으로 판단된다.

각 CASE별 김치보관고 내의 평균온도를 Table 4에 나타내었다. 김치냉장고의 열교환기 재질을 알루미늄에서 열전도성 플라스틱으로 대체해도 알루미늄과 열전도성 플라스틱 열교환기의 김치보관고 내 온도차는 최대 약 0.3°C이며, 각 CASE별 김치보관고 내 온도는 모두 김치를 장기간 보관할 수 있는 온도인 0±0.5°C의 범위에 포함된다.

Table 4 Average temperature at kimchi keeper of each case

	Average temperature in the kimchi keeper (K)
CASE 1	272.67
CASE 2	272.99
CASE 3	272.98
CASE 4	272.99

이상의 결과로 김치냉장고용 열교환기를 기존의 알루미늄에서 열전도성 플라스틱으로 대체 가능함과 이에 따른 증발관의 위치를 변경할 필요가 없음을 알 수 있다.

5. 열전도성 플라스틱 김치냉장고의 성능 검토

열전도성 플라스틱 열교환기를 적용한 김치냉장고를 제작해서 그 성능을 기존의 알루미늄 열교환기와 비교해 보았다. Fig. 13의 왼쪽 김치보관고는 열전도성 플라스틱 열교환기를 사용한 것이고, 오른쪽 김치보관고는 기존의 알루미늄 열교환기를 사용한 것이다. 제작되어진 김치냉장고를 연속운전하였으며, 열교환기 내벽의 온도와 김치보관용기내의 온도를 Fig. 14와 15에 각각 나타내었다.

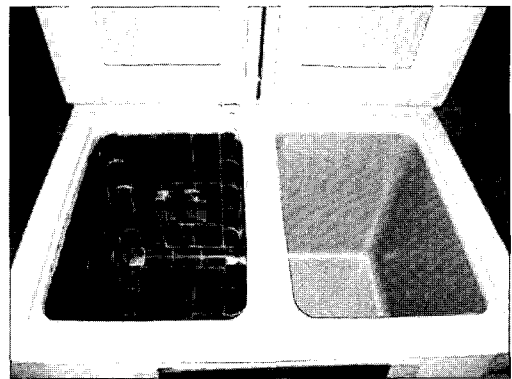


Fig. 13 Experimental kimchi refrigerator

온도측정 지점은 높이를 4등분해서 아래 1/4지점과 위 1/4지점에서 측정하였다. Fig. 14를 보면 열전도도의 차이로 인한 전열량의 차이로 인해서

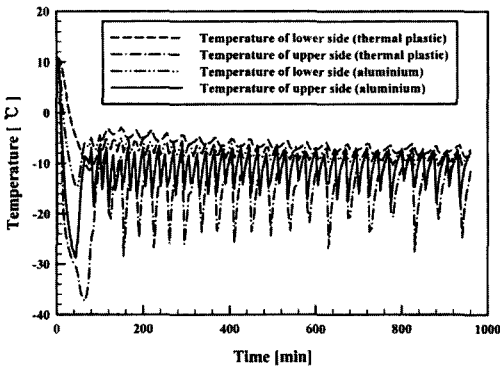


Fig. 14 Comparison of temperature at heat exchanger inner wall

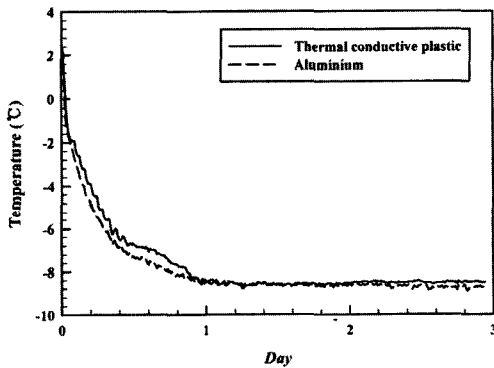


Fig. 15 Comparison of temperature at kimchi keeper

열전도성 플라스틱의 온도분포가 알루미늄 열교환기의 온도분포보다 그 차이가 큼을 알 수 있다. 이는 열전도성 플라스틱의 열전도도가 낮기 때문에 측정지점에서 냉기가 집중되었기 때문인 것으로 사료된다. 또한 열전도성 플라스틱의 열용량이 알루미늄에 비해 크기 때문에 냉동사이클에 따른 반응주기가 알루미늄에 비해 약 2배 정도 느린 것을 알 수 있다.

Fig. 15는 각 열교환기 적용시의 김치보관용기 내부의 온도를 나타내고 있다. 알루미늄과 열전도성 플라스틱 모두 김치보관용기에서는 초기에는 급격한 온도 감소를 보이다가 서서히 완만한 냉각을 나타내고 있다. 또한 초기에는 두 열교환기 사이에 온도차가 존재하였으나, 약 24시간 이후 동일온도에 도달하는 것을 알 수 있다. 이는 열교환기의 내벽에서의 온도는 열교환기 재질에 따라 차

이가 생기지만, 김치보관용기의 냉각에는 자연대류가 관여함에 따라 전도에 의한 영향보다는 대류의 영향이 더 큰 것임을 알 수 있다.

이상의 결과를 고려해 보면, 김치냉장고의 열교환기를 알루미늄에서 열전도성 플라스틱으로 대체하더라도 그 성능은 기존의 김치냉장고와 크게 차이가 나지 않을 것이며, 길이 방향으로의 열전달량에 차이가 있어 최초 가동시간은 오래 걸리더라도 일단 정상상태에 도달하게 되면 김치의 보관 및 숙성에는 기존의 김치냉장고와 차이가 없을 것으로 판단된다.

6. 결 론

열전도성 플라스틱을 이용한 신형 김치냉장고용 열교환기 개발에 관한 연구를 통해서 얻은 결론은 아래와 같다.

(1) 실제 온도 측정 결과와 수치해석 결과를 비교하여, 기존의 김치냉장고의 열교환기를 알루미늄에서 열전도성 플라스틱으로의 대체가 가능함을 알았다.

(2) 열교환기를 알루미늄에서 열전도성 플라스틱으로 대체하였을 경우, 열교환기의 상부(증발관이 감기는 부분)에서의 온도는 큰 차이가 없었으나, 열교환기 하부에서는 상대적으로 낮은 열전도도에 의해 온도가 약 1°C 정도 차이가 나타났다.

(3) 열교환기를 열전도성 플라스틱으로 교체하더라도 김치보관고 내의 온도는 알루미늄일 경우와 약 0.3°C 정도의 온도차를 보이며 이는 충분히 김치를 보관하기에 적절한 온도 범위에 속한다.

(4) 김치냉장고의 열교환기를 알루미늄에서 열전도성 플라스틱으로 대체시 길이 방향으로의 열전달량에 차이가 있어 최초 가동시까지의 시간은 오래 걸리지만, 정상상태에 도달하면 성능의 차이는 크지 않으며, 이는 보관을 주로 하는 김치냉장고의 특성에 잘 부합한다.

후 기

본 연구는 부경대학교 RRC 친환경 첨단 에너지기계 연구센터와 삼성전자(주)의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 윤준원, “김치냉장고 내의 유동 및 열전달 특성에 관한 수치해석,” 설비공학논문집, 제15권, 제12호, pp. 1078-1087
- [2] LG화학 기술자료, “열전도성 플라스틱 물성표,” 2002.
- [3] 이승현, “엔지니어링 플라스틱에서의 열전도성,” polymer 저널, pp. 7-11, 2004.
- [4] 한국플라스틱기술정보센터, “플라스틱가공 기술편람,” pp. 32-50, 1996.
- [5] FLUENT Inc., “Fluent User’s Guide,” 1998.



권용하 (權容廈)

1978년 1월생, 2002년 부경대학교 냉동공조공학과 졸업(공학사), 2004년 동 대학 대학원 냉동공조공학과 졸업(공학석사), 현 동 대학 대학원 냉동공조공학과 박사과정.



김영수 (金永守)

1957년 11월생, 1979년 부산대학교 기계공학과 졸업(공학사), 1981년 서울대학교 대학원 기계설계공학과 졸업(공학석사), 1994년 CANADA CONCORDIA UNIV. 대학원 기계공학과 졸업(공학박사), 현 부경대학교 기계공학부 정교수.

저자 소개



강태호 (康太豪)

1973년 7월생, 1999년 부경대학교 기계설계학과 졸업(공학사), 2001년 동 대학 대학원 냉동공조공학과 졸업(공학석사), 현 동 대학 대학원 냉동공조공학과 박사과정.



김인관 (金仁官)

1967년 12월생, 1994년, 부경대학교 금형공학과 졸업(공학사), 1996년 동 대학 대학원 금형공학과 졸업(공학석사), 2004년 동 대학 대학원 냉동공조공학과 졸업(공학박사), 현 부경대학교 친환경첨단에너지기계연구센터 전임강사.



박재홍 (朴載弘)

1975년 2월생, 1999년 부경대학교 냉동공조공학과 졸업(공학사), 2001년 동 대학 대학원 냉동공조공학과 졸업(공학석사), 2005년 동 대학 대학원 냉동공조공학과 졸업(공학박사), 현 부경대학교 공학연구원 산업과학기술연구소 특별연구원.



신대식 (申大植)

1966년 1월생, 1990~1996년 국방과학연구소 근무, 1998년 공학박사학위 취득, 1998~2000년 포항공과대학 Post-doc/ 계약교수, 2000년~현 삼성전자 근무.



백정용 (白丁龍)

1977년 10월생, 2003년 부경대학교 냉동공조공학과 졸업(공학사), 2005년 동 대학 대학원 냉동공조공학과 졸업(공학석사).