

염수 축냉이 김치냉장고의 성능에 미치는 영향

길 복 임, 최 은 수*†

안양대학교 식품영양학과, *명지대학교 기계공학과

A Study on the Effects of the Cold Heat Storage with Salt Water on the Performance of a Kimchi Refrigerator

Bogim Gil, Eunsoo Choi*†

Department of Food and Nutrition, Anyang University, Anyang 430-714, Korea

*Department of Mechanical Engineering, Myongji University, Yongin 449-728, Korea

(Received October 20, 2010; revision received November 25, 2010)

ABSTRACT: The objective of the present study is to reveal the effects of a phase-change material on the performance of a Kimchi refrigerator. Two-percent salt water, of which melting temperature was -1.1°C , was used for the phase-change material. The salt water was packed in silicon cases and inserted between Kimchi container and the copper pipe of the evaporator. The maximum and minimum temperatures of the inner wall of the Kimchi container without salt-water pack were -0.2°C and -8.9°C , which were remarkably improved by using the salt-water packs, resulting -0.5°C and -1.9°C . This shows a useful application of using phase-change materials for accurate temperature controls.

Key words: Kimchi Refrigerator(김치냉장고), Salt water(염수), Phase-change material(상변화물질)

1. 서 론

미국에서 Carrier가 에어컨을 발명한 것은 미국 냉동학사에 커다란 역사적 사건으로서 이로 인하여 우리 인류의 생활환경이 획기적으로 변하였으며, 에어컨이 없는 여름을 생각할 수조차 없게 되었다. 우리나라에서 김치냉장고의 발명은 우리 냉동학사에서 획기적인 일이었다. 예전에는 초겨울에 대량의 배추로 김장을 하여 땅에 거대한 김장독을 묻는 일이 연중행사이었으나, 지금은 연중 수시로 김치를 만들어 김치냉장고에서 발효, 숙성 및 저장을 하게 되어 초겨울에 김장을 하는 규모가 크게 줄어들었으며, 김장을 해서도 땅에 묻기 보다는 김치냉장고

를 이용하는 경우가 많아졌다. 김치냉장고 발명 이전의 생활과 이후의 생활을 비교해 보면 김치냉장고의 발명이 우리 생활에 얼마나 큰 영향을 끼쳤는지 알 수 있으며, 기계 분야에서 일하는 우리가 먼저 이 대단한 발명을 기념하여야 한다고 생각한다.

김치 냉장고의 원리를 간단히 설명하면 냉동기의 냉각과 전기가열기의 가열을 적절히 조절하여 온도를 적당하게 잘 유지시키는 것이라 할 수 있다. Fig. 1은 본 실험에 사용된 김치냉장고의 외관 사진을 나타내고 있다. 사진에는 김치냉장고의 상부에 두 개의 문이 보이고 이 문 아래에 두꺼운 알루미늄 재질로 된 김치저장용기가 각각 하나씩 들어있다. 김치냉장고 측면의 강판과 단열재를 제거하면 김치저장용기 외부 모습을 볼 수 있는데, Fig. 2는 그 중 하나의 설계 도면을 보인 것이다. 김치저장용기 상부에 보이는 관은 증발기의 동관이며, 하부에 여러 개의 점선으로 보이는 것이 전기가열선이다. 일반

† Corresponding author

Tel.: +82-31-330-6429; fax: +82-31-321-4959

E-mail address: choies@mju.ac.kr

적으로 저장용기의 온도조절 목표는 0~-2℃인데, 이보다 저장용기의 온도가 낮으면 전열선에 전기가 흘러 열을 가하고, 온도가 높으면 동관에 냉매가 흘러 냉매의 증발에 의해 냉각된다.

김치를 가장 맛있게 저장하는 조건은 김치가 약간 얼듯 말듯 한 상태로 보관되었을 때라고들 하는데, 이는 김치냉장고의 온도 조절의 편차가 적어야 함을 의미하는 것이다. 그러나 기존의 김치냉장고는 냉각할 시의 냉매증발 온도가 김치 저장온도에 비하여 지나치게 낮음으로 인하여, 비록 김치저장용기를 구성하는 알루미늄의 두께가 두껍지만, 실제 김치저장용기 벽면의 온도 변화 편차가 매우 클 것으로 예상할 수 있다.

본 연구에서는 증발기의 동관과 김치저장용기 사

이에 염수(소금물)팩을 두어 동관 내로 냉매가 흐르면서 증발하더라도 김치저장용기를 직접 냉각하지 않고, 먼저 염수가 얼면서 냉열이 저장되고, 염수 얼음에 의해 용기가 냉각되도록 하여 김치저장용기의 온도편차를 줄여 보고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 김치냉장고

실험에 사용된 김치냉장고는 국내에서 생산된 M사 모델 MDH-1565로서 그 외관은 Fig. 1의 사진과 같다. 230W의 압축기를 사용하고 127W의 전열기를 사용한다. 유효내용적은 156.0L이다. 냉매는 R-134a를 사용하고, 적정 냉매 충전량은 110g이다.

2.2 축냉제의 선택 및 응고온도 측정 실험

상변화물질이 상변화를 할 경우에 잠열(latent heat)을 수반하며, 상변화가 진행되는 동안 균일한 상변화 온도를 유지하게 된다. 상변화물질에 관한 연구는 크게 축열에 관한 연구⁽¹⁾와 상변화물질 슬러리(phase-change material slurry)에 관한 연구⁽²⁻⁴⁾로 분류할 수 있다. 축열에 관한 연구는 상변화물질이 유동이 없는 상태에서 상변화 시에 수반되는 열적 특성에 관한 연구로서 물을 상변화물질로 사용한 빙축열에 관한 연구가 주류를 이루고 있으며, 상변화물질 슬러리에 관한 연구는 상변화물질을 미세한 입자 형태로 제작하여 운반 유체 속에 균질하게 분산시킨 후, 관내를 유동시킬 경우에 발생하는 잠열에 의한 열적 특성과 상변화 입자 주위에서 발생하는 열전달 특성 및 유동적 특성에 관한 연구이다.

본 연구에서는 물(약국에서 구입한 증류수)에 소량의 염화나트륨(소금)을 녹인 염수를 축냉제로 사용하였다. 첨가된 염화나트륨은 물의 빙점을 강하시키며, 빙점 강하 정도는 첨가된 염화나트륨의 양에 따라 결정된다. 따라서 첨가되는 염화나트륨의 양을 질량비로 0~5%까지 변화시키며 응고온도를 측정하는 실험을 수행하였다.

실험 방법은 Fig. 3(a)와 같이 농도가 0~5%인 염수를 시약병에 일정량씩 각각 넣고, 시약병 내부 중앙에 열전대를 설치하여, 이를 Fig. 3(b)와 같이 항온 순환 수조에 설치하였다. 항온 순환 수조에는 에틸렌글리콜 수용액(빙점 : -28℃)이 채워져 있으며,



Fig. 1 Photograph of the Kimchi refrigerator used in this study.

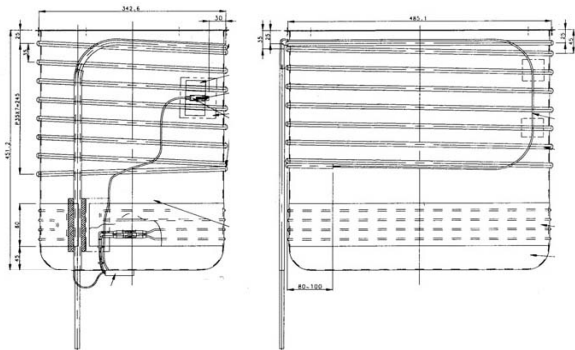


Fig. 2 Schematic diagram of the Aluminum Kimchi container.

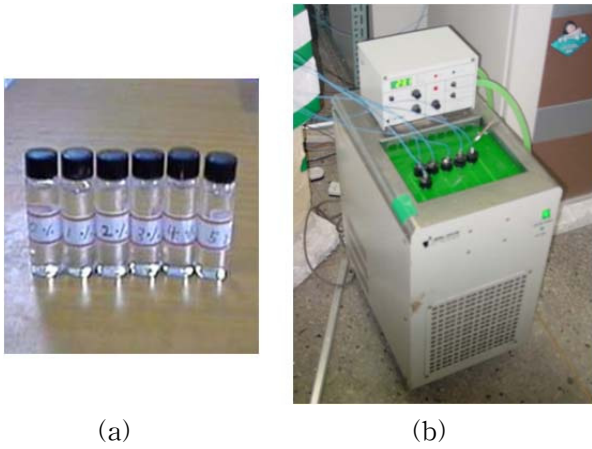


Fig. 3 (a) Sample bottles containing salt water of various concentrations, (b) Constant-temperature circulating water bath having sample bottles inside.

항온 순환 수조 내부에 장착된 냉각 장치와 순환 펌프를 작동시켜 에틸렌글리콜 수용액의 온도를 낮추어 시약병의 염수를 냉각시킨다. 열전대는 데이터 로거(일본 요코가와 회사의 모델 DA-100)에 연결하여 실시간으로 온도를 측정하였다. 염수의 온도를 -20°C 까지 서서히 냉각시키면서 2초 간격으로 염수의 온도를 측정하였다.⁽⁵⁾

2.3 실리콘 축냉팩의 제작

증발기 동관과 알루미늄 김치저장 용기 사이에 설치할 축냉팩을, 처음에는 복합재료를 사용하여 만들었으나, 재질이 딱딱하고 접촉마찰계수가 너무 커서, 실리콘을 사용하기로 하였다. 실리콘은 신축성이 뛰어나고 부드러운 동관 및 김치저장용기에 잘 밀착되어 접촉마찰계수를 줄일 수 있었으며, 축냉재의 응고 및 용융에 따른 부피 변화에도 전혀 손상되지 않았다.

Fig. 4(a)와 같은 실리콘 및 경화제를 일정 혼합비로 섞은 후, 아크릴로 만든 틀(Fig. 4(b))에 부어 장시간 기다려, Fig. 4(c)와 같은 경화된 실리콘 팩을 얻었다. 이와 같은 작업은 Fig. 5와 같은 진공 챔버 내에서 이루어져야 기포가 없는 깨끗한 팩을 얻을 수 있었다. 제작된 실리콘 축냉팩은 가로, 세로 및 두께가 각각 15, 30 및 1.5 cm이며, 축냉팩에는 380 g의 축냉재(염수)를 각각 채우고 밀봉시켜 사용하였다.

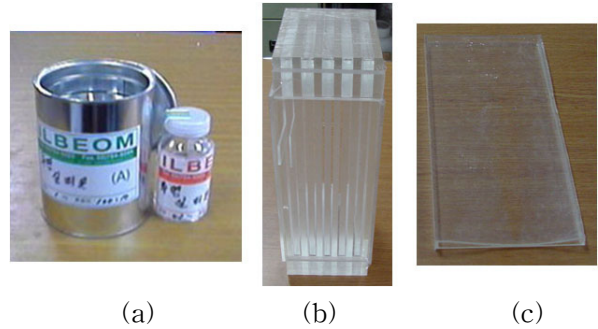


Fig. 4 (a) Silicon and hardener, (b) mold, (c) Silicon pack.

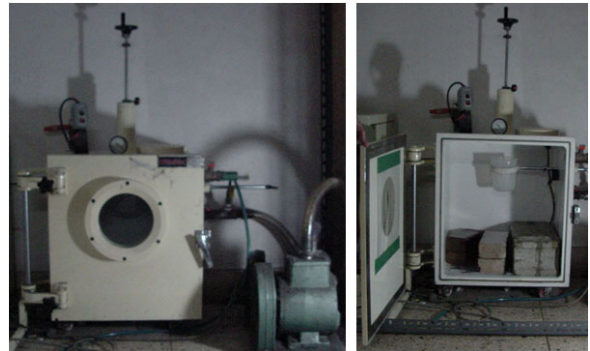


Fig. 5 Photographs of the vacuum chamber.

2.4 김치냉장고에 축냉팩의 설치

Fig. 1의 김치냉장고 상부의 문을 제거하고 외장 강철 및 단열재를 제거하면 증발기의 동관이 감긴 알루미늄 김치저장고가 나타난다. 냉매를 제거하고, 동관을 절단한 후, 앞에서 제작한 염수 축냉팩 7개를 김치저장고 외부에 부착한다. 축냉팩 외부에 새로운 동관을 감아 냉동시스템에 은납땀한 후의 모습이 Fig. 6(a)에 나타나 있다. Fig. 6(a)의 동관배열

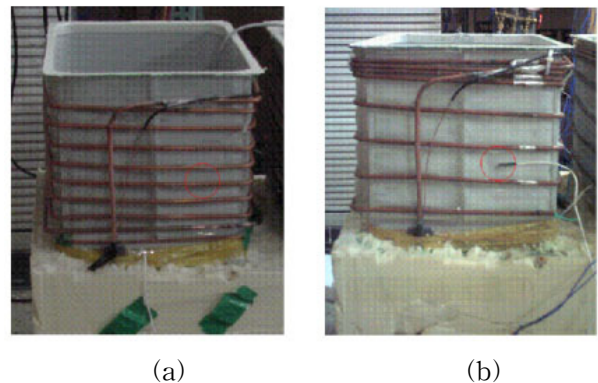


Fig. 6. Photographs of the cooling coils; (a) refrigerator A, (b) refrigerator B

은 김치냉장고 원래의 모습이나, 예비 실험을 통하여 관찰하여 본 바에 의하면, 축냉팩의 효과를 살리기 위해서는 좀 더 상부에 동관을 밀집시키는 것이 좋은 것으로 보여 Fig. 6(b)와 같이 동관 배열을 바꾸었다. Fig. 6(a)와 같이 실험한 경우에는 염수의 얼음이 동관부근에만 생겨 상부에는 얼음이 생기지 못하였다. 김치냉장고의 취약점이 문 부근으로서, 김치가 시어지기 시작하는 부분이다. 축냉팩을 설치하고 Fig. 6(a)와 같이 동관을 그대로 배열하면 이 문제가 더욱 심화되는 결과가 되기 때문에 본 실험에서는 Fig. 6(b)와 같이 동관을 배열하였다. 그 결과 상부에도 얼음이 잘 얼고 축냉팩 내부에서 수직 방향으로 대류가 잘 일어나 전체적으로 얼음이 잘 생기는 것을 관찰할 수 있었다.

냉동시스템을 진공으로 한 후 적정 냉매를 전자저울을 이용하여 주입하였다. 강철 외장을 다시 설치하고 강철 외장과 증발기 동관 사이의 공간을 발포 스티로폼으로 채워 단열하였다. 여기에 문을 다시 설치하면 Fig. 1과 같은 외관이 되었다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 염수의 농도에 따른 응고 온도

축냉팩에 봉입할 염수의 적정 염수 농도를 정하기 위한, 염수 응고 온도 측정 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.⁽⁵⁾ 0%의 염수(순수한 물-검정색마크)를 냉각하면, 온도가 -4℃ 이하까지 서서히 내려가다가, 갑자기 0℃로 올라가 완전히 응고될 때까지 0℃를 유지하다가, 응고가 완결되면 다시 온도가 내려간다. 이는 -4℃ 이하까지 과냉각을 유지하다가 응고가 시작되면 잠열에 의해 응고온도인 0℃까지 올라가고, 이후 응고가 완전히 끝날 때까지 0℃를 유지하는 것이다. 응고가 시작되기 전의 최저 온도를 과냉각이라 하고, 응고가 시작된 후부터 응고가 끝날 때까지 유지되는 온도(0℃)를 응고온도라 한다. 용융의 경우에는 과냉각과 유사한 현상이 일어나지 않고 응고온도에서 곧 용융이 일어난다. 염수의 농도가 커지면 과냉각이 더 심해지고, 응고온도가 낮아지는 경향이 있으며 이를 Table 1에 나타내었다.

앞에서 말한 바와 같이 김치의 보관은 약간 얼듯, 말 듯한 온도에서 유지되는 것이 가장 좋다고 알려져 있고, 또 염수와 김치저장용기 사이의 열전달을 위한 온도차를 고려하여 염수의 농도는 2%가 가장

Table 1 The freezing temperature and supercooling of salt water

Fraction (%)	Supercooling (℃)	Freezing temperature(℃)
1	-6.1	-0.5
2	-7.0	-1.1
3	-7.4	-1.6
4	-7.7	-2.1
5	-7.7	-2.6

적당해 보인다. 따라서 축냉팩에 담겨진 염수는 2%로 결정하였다.

2%의 염수를 축냉제로 사용할 경우 냉매 증발온도가 -7.0℃ 이하이면 과냉각을 걱정할 필요가 없는 바, 실제로 증발기의 증발 온도는 이보다 훨씬 낮을 것으로 생각되므로 과냉각으로 인한 문제는 없어 보인다. 2% 염수의 응고온도는 -1.1℃이다.

3.2 김치저장용기의 온도 분포

Fig. 7은 김치저장용기의 내벽 온도 및 내부 공기 온도를 측정하기 위하여 열전대를 설치한 것을 나타낸 것이다. 김치저장용기의 내벽을 따라 5 cm 간격으로 T_{iw1} 에서 T_{iw9} 까지 9개의 열전대를 설치하였는데, T_{iw1} 은 최상부에서 2.5 cm 위치에, 그리고 T_{iw9} 은 바닥에서 2.5 cm 위치에 설치하였다. 김치저장용기의 내부 공기온도를 측정하기 위하여 김치저장용기의 중심에 수직방향으로 지지대를 설치하여 T_{is1} 에서 T_{is9} 까지 9개의 열전대를 설치하였다,

Fig. 8은 수직 방향으로 김치저장용기 내벽온도를 나타낸 것으로서, (a)는 축냉팩을 설치하지 않은

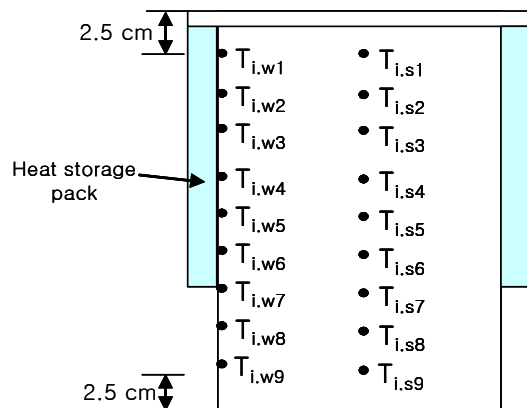


Fig. 7 Schematic diagram for installation position of thermocouple.

원래의 김치냉장고의 경우이며, (b)는 축냉팩을 설치한 경우이다. 밝은색과 어두운색으로 나타난 막대 그래프는 저장고 내벽의 각각의 위치에서의 최고 및 최저 온도를 나타낸 것이다. 가로축의 1, 2, 3 등은 T_{iw1} , T_{iw2} , T_{iw3} 등을 나타낸다. 원제품 내벽의 온도 분포는 저장고 내벽의 중앙을 기준으로 상부와 하단부가 대칭의 형태로 나타났으며, 증발기 동관의 영향을 직접적으로 받아 최고 -0.2°C 에서 최저 -8.9°C 사이에 분포하고 상하 위치에 따라 큰 차이를 보이고 있다. 반면에 축냉팩을 설치한 김치냉장고의 경우는 저장고의 수직 방향으로의 위치에 관계없이 고른 온도 분포를 나타내며, 최고 -0.5°C 에서 최저 -1.9°C 사이로 나타났다. 따라서 최고 및 최저 온도차가 원제품의 경우는 8.7°C , 실험용 김치냉장고의 경우는 1.4°C 로 나타나 온도 변화 폭이 원제품에 비해 평균 84% 감소한 것으로 나타났다. 이는 증발기와 저장고 외벽 사이에 축냉팩이 설치되어 있어 축냉제의 영향으로 인해 고른 온도 분포를 나타내기 때문이다. T_{iw7} , T_{iw8} , T_{iw9} 의 온도는 상대적으로 다른 위치에 비해 높게 나타났으며, 이는 축

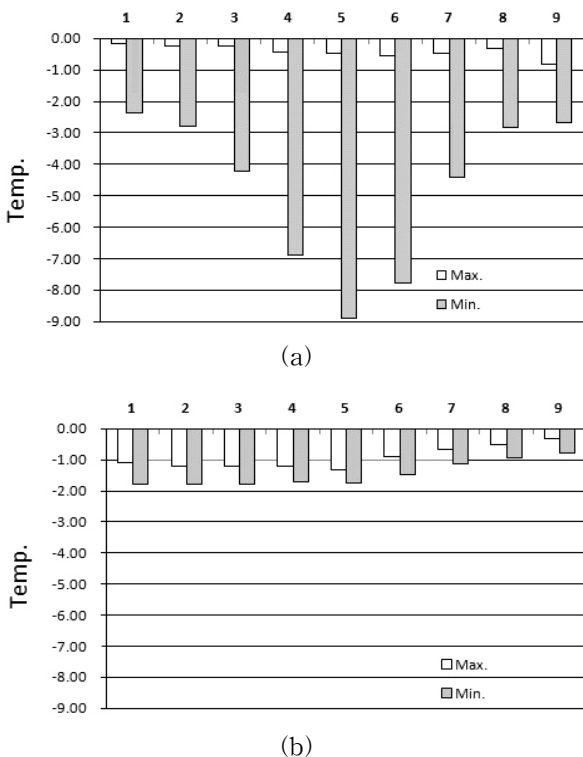


Fig. 8 Temperature distribution of Inner wall; (a) The existing kimchi refrigerator, (b) The kimchi refrigerator with cold storage packs.

냉팩이 T_{iw6} 까지만 설치되어 밑부분에는 축냉팩의 직접적인 영향을 받지 못했기 때문이다. 반면에 김치저장용기 내부의 공기 온도 분포는 김치저장용기 내벽 온도분포만큼 큰 차이를 보이지 않았다. 원제품의 온도 변화 범위는 최고 -0.5°C 에서 최저 -2.9°C 사이로 나타난 반면에, 축냉팩을 설치한 경우는 최고 -0.5°C 에서 최저 -2.2°C 사이로 나타났다.⁽⁵⁾ 여기서 실험실의 실내온도는 대체로 $25\sim 26^{\circ}\text{C}$ 로 유지되었다.

3.3 압축기 작동주기, 작동시간 및 소비전력

Fig. 9는 정상 상태에서 원제품과 축냉팩을 설치한 김치냉장고의 시간에 따른 압축기 작동 모습을 보인 것이다. 가장 위의 그래프는 원 김치냉장고의 경우로서 압축기가 자주 작동하는 것을 볼 수 있고, 그 아래의 그래프는 축냉팩을 설치한 경우로서 압축기 작동 빈도가 줄어든 반면에 작동되었을 때 위의 경우보다 더 오래 작동하는 것을 볼 수 있다. 축냉팩으로 인하여 단열층이 얇아진 것을 고려하여 축냉팩을 설치한 김치냉장고 외부에 5 cm 두께의 스티로폼으로 단열하였을 경우의 압축기 작동 모습을 도시한 것이 가장 아래의 그래프이다.

소비 전력은 축냉팩이 설치된 김치냉장고의 경우에 원제품에 비해 6.0% 증가하였고, 외부에 추가 단열을 한 경우엔 3.7% 증가로 줄어들었다.⁽⁶⁾ 압축기가 처음 작동하게 되면, 순간적으로 과부하가 걸려 큰 폭으로 증가 하나 이는 전체 소비 전력에 비해 미소하다고 고려되어 본 연구에서는 무시하였다. 김치냉장고의 단열 상태가 압축기의 작동주기

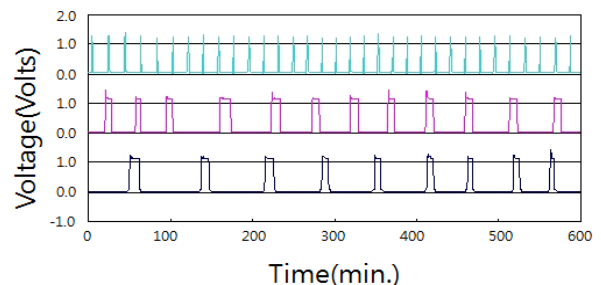


Fig. 9 On-off timings of compressor; upper curve is for original refrigerator, middle one is for refrigerator with cold storage packs and lower one is for refrigerator with packs and additional insulation.

와 시간 및 소비 전력에 어느 정도의 영향을 미치는 것을 볼 수 있었다.

4. 결 론

축냉제인 염수를 채울 팩을 실리콘으로 제작하여, 이를 김치냉장고의 증발기 동관 및 김치저장용기의 외벽 사이에 설치하여 다음의 결과를 얻었다.

(1) 염화나트륨의 첨가 농도는 김치냉장고의 제어온도를 고려하여, 2%가 적당한 것으로 보이며 이때의 응고온도가 -1.1°C 이었다.

(2) 축냉팩을 설치함으로 인하여 압축기의 작동 주기는 길어졌으나 한 주기에서 작동시간은 길어졌다. 소비전력은 축냉팩을 설치함으로 인하여 6.0% 증가하였으나, 추가의 단열을 하면 3.7% 증가로 감소하였다.

(3) 김치저장용기의 수직 방향으로의 내벽 온도 변화 범위는 최고 -0.5°C 에서 최저 -1.9°C 로서 원제품에 비하여 84% 감소하였으며, 이는 축냉팩의 가장 큰 효과라 할 수 있다.

참고문헌

1. Kauranen, P., Peippo, K. and Lund, P. D., 1991, An organic PCM storage system with adjustable melting temperature, *J. Solar Energy*, Vol. 46, pp. 275-278.
2. Choi, E. Y. I. and Lorsch, H. G., 1994, Forced convection heat transfer with phase 'change' material slurries : turbulent flow in a circular tube, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 37, pp. 207-215.
3. Choi, E., 1998, Formation of a paraffin slurry and its convective heat transfer in a circular pipe, *Korean Journal of Mech. Eng.*, Vol. 22, No. 1, pp. 50-60.
4. Inaba, H., 1997, Current status of research on functionally thermal fluid—new challenge in advanced thermal energy storage and thermal energy transportation—*Experimental Heat Transfer, Fluids Mechanics and Thermodynamics*.
5. Choi, E., Jung, D., Park, I., Nam, K. and Choi, B. 2004, A study on characteristics of refrigeration system with phase change material as 2nd refrigerants, *SAREK 2004 Summer conference*, pp. 536-540.
6. Kim, J., Han, M. and Choi, E., 2005, Development of Kimchi refrigerator with heat storage, *SAREK 2005 Summer conference*, pp. 327-331.