

전도와 회전을 이용한 급속냉각 설계에 관한 연구

The study on the design of rapid cooling system using conduction and revolution

*박준길, 이병수, 정제운, 황윤환, #박종규

J. Park, B. Lee, J. Jung, Y. Hwang and J. Park

창원대학교 기계공학과

Key words : Rapid cooling system, Conduction, Revolution

1. 서론

냉장고를 활용한 냉동기술의 발명이 인류의 식생활에 혁명적인 변화를 가져다 준 것 같이 작은 아이디어 하나가 인류의 편의성을 증대시키는 예가 많다. 현재 사람들에게 필수 가전으로 자리 잡고 있는 냉장고는 많은 양의 음식을 안전하게 원하는 온도로 저장할 수 있는 역할을 하지만 적절한 정도의 온도로 음식이 저장되기 위해서는 시간이 필요하다. 이것은 실생활에서 한여름에 급하게 시원한 음료를 마시고자 할 때 때로는 사람들에게 불편함을 줄 수 있다. 따라서 본 연구에서는 최대한 급속하게 캔 음료를 냉각시켜서 소비자가 편리하게 음료를 마실 수 있는 시스템을 고안하고자 하였다.

그동안 이러한 급속 냉각에 관한 연구는 특히 형식으로 발표된 바 있다[1-3]. 첫째로 가스의 기화현상을 이용한 휴대용 급속 냉각기가 있다[1]. 이것은 인위적 압력을 가해 가스를 기화 시켜 액체나 물체를 냉각시키는 냉각기에 관한 것이다. 냉각 속도가 빠르며 가스의 재충전이 없고 전구나 기타 연료의 사용 없이 인간의 힘만으로 냉각하기에 어디서나 쉽게 사용 할 수 있다. 둘째로 초음파를 이용한 캔 음료 급속 냉각장치를 들 수 있다[2]. 이 장치는 냉장고 바닥에 초음파 진동자를 설치하여 진동자에서 발생한 초음파로 캔 내의 액체를 유동하게 하는 것을 특징으로 한다. 세 번째로 냉장고 바닥에 두 개의 평행한 롤러를 설치하고 롤러의 한쪽 면에 모터를 설치하여 두 개의 롤러를 같은 방향으로 회전하도록 구성된 캔 음료 급속냉각장치를 들 수 있다[3].

본 연구에서의 급속 냉각기는 앞선 급속 냉각 시스템보다 더 간단하면서 빠른 효과를 볼 수 있는 시스템으로 설계하고자 하였다. 먼저 전도와 회전을 이용함으로써 열전달 효율을 극대화하고자 하였다. 이를 위해 냉각기 바닥에 판을 설치하고 열전도가 큰 알루미늄으로 캔을 감싼 뒤 모터로 회전시키도록 구성하였다. 그리고 알루미늄 중간을 비워서 물을 넣고 열리는 방식을 채택하였다. 이러한 장치에 의해 캔 내의 액체는 유동을 일으켜 차가운 캔 몸체와 골고루 접촉함으로써 짧은 시간 내에 캔 내의 액체온도를 떨어뜨릴 수 있게 된다.

2. 설계 및 요소

본 연구에서는 시스템을 간략화 시키고 보다 손쉽게 제작하기 위해서 구동부는 범용으로 널리 쓰이는 AC 모터와 속도제어기를 이용하였고 냉각부는 열전도 효율을 위해 알루미늄으로 제작된 원형 캡형식으로 구성되었다.

2.1 구동부

AC모터는 교류 전원으로 운전되며 생활 주변에서 가장 널리 쓰이는 전동기로서 교류 전동기는 외부 고정자와 내부 회전자로 구성되어 있다. 교류 전동기는 구조가 간단하고 브러시나 정류자와 같은 기계 소모부가 없고, 고속에서 순간 최대 토크를 출력할 수 있어 응답특성이 빠르며 무게 당 토크가 크므로 소형 경량화 할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 직류전동기에 비해 제어 방법이 복잡하다는 단점이 있다.

속도 제어기는 유니트 타입 컨트롤러 (Unit Type Controller)를 사용하였다. 유니트 타입 컨트롤러는 MICOM에 의한 속도제어 회로로 구성되어 있으며, 전면의 속도조절기를 이용하여 ANALOG 신호로 조절할 수 있다. 모터 속도제어기를 이용하면

가 변속 범위는 90~1700rpm으로 광범위하게 변속이 가능하다.

2.2 냉각부 설계

냉각부는 경량성이 좋고 산화에 강한 내식성을 가지고 있으며 제작 가공이 용이하고, 특히 열전기전도성이 좋은 알루미늄을 채택하였다. 알루미늄의 열전달 계수는 철의 5배일 정도로 좋은 특성을 지니고 있다. 냉각부에서는 열전도를 최대화시키기 위해서 캔의 측면을 모두 감쌀 수 있도록 실린더 형으로 설계하였으며 캔과 함께 회전될 수 있도록 설계되었다. 또한 알루미늄과 알루미늄 사이에 물을 주입하고 냉동시킴으로써 얼음으로 인한 냉각효과를 극대화할 수 있었다.

2.3 시스템 레이아웃 및 모델링

Fig 1은 시스템 전체 레이아웃을 보여준다. 본 시스템은 AutoCAD와 Solidworks를 이용하여 설계되었으며 각 부품 간의 간섭을 최소화하고 조립시 문제점을 최소화 시키도록 설계되었다.

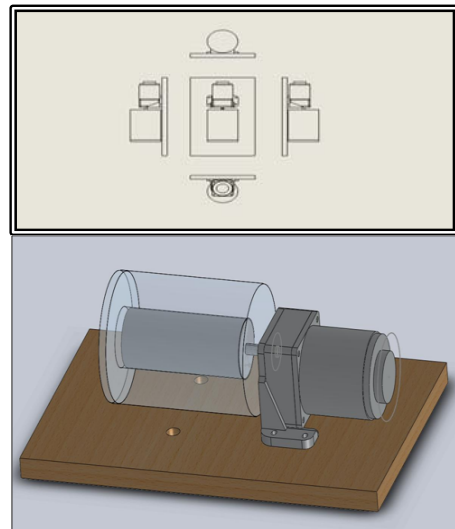


Fig. 1 The layout of the system

당초 1차 설계에서 몇 가지 문제점을 보완하여 Fig.1와 같이 설계하였다. 캔의 회전에서 과도한 마찰열 발생으로 인하여 캔 내부의 온도가 내려가는 것을 방해하기 때문에 2차 설계 모델에서는 캔과 냉매부의 접촉 면적을 최대화, 알루미늄 안에 물을 냉각 시켜 얼음을 놔둠으로써 열전도량과 열전도시간의 최대화, 마지막으로 캔과 냉매의 동시회전으로 마찰의 최소화를 만들어 3가지를 보완하였다.

3.이론 및 해석

알루미늄 캔과 같은 원통의 열전도율 식은 다음과 같다[4].

$$\dot{Q} = -kA \frac{dT}{dr} \quad (1)$$

여기서, L(원통의 길이)는 115mm, k(열전도도)는 204W/m, r1(캔의 반지름)은 26.5mm, r2(냉매부 내벽의 반지름)은 34.5mm, T1(캔의 초기온도)는 294K, T2(캔의 결과온도)는 273K로 대입하여 계산하였다.

$$\dot{Q} = 2\pi Lk \frac{T_1 - T_2}{\ln(r_2/r_1)} \quad (2)$$

(2)의 식을 계산하여 $\dot{Q} = 6146.130$ 라는 결과를 얻었다. 이러한 이론을 기반으로 하여 Solidworks를 이용하여 열 해석을 실시하였다.

Solidworks의 열 해석 중 비정상 해석을 이용하였으며 총시간은 180sec, 증가시간 60sec으로 설정하고 해석을 실시했다.

Table 1. The material properties of the system

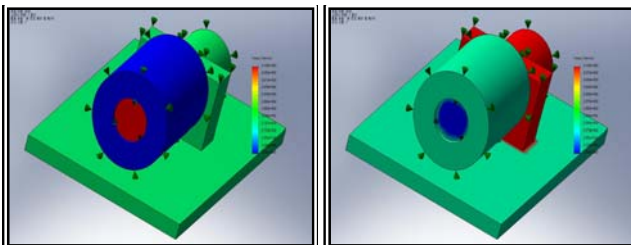
부위	냉매부 외벽	냉매부 내부	알루미늄 캔	모터
재질	6061Alloy	Water	1060Alloy	Aisi316

위의 Table 1과 같이 재질을 설정하고 해석에 필요한 하중/구속 조건을 입력하였다. 하중/구속조건에서 환경 온도와 제품에서 발생하는 대류의 수치를 입력하고 냉각기와 알루미늄 캔 사이에서 일어나는 복사 수치를 입력하였다. 이 때 대류는 대류가 일어나는 대기와 닿은 부위들을 설정하였고, 복사는 냉매부 내벽과 캔 사이의 접촉면에 설정하였다.

Table 2. Loading conditions, constraint and results

하중 / 구속조건					
복사		대류		온도	
환경 온도	복사율	환경 온도	대류 계수	초기 온도	결과 온도
300K	0.79	300K	100 W/mk	294K	284.2K

Table 2와 같은 데이터를 입력하고 Solidworks의 열 해석을 실시한 결과 알루미늄캔의 온도가 9.8℃ 하강하는 것으로 결과값이 도출되었다.



(a) 캔 냉각 전 (b) 캔 냉각 후

Fig. 2 Thermal analysis of the system

4. 실험 계획 및 분석

4.1 실험계획 (Design of Experiments) 및 결과(Result)

상온에서 음료의 온도를 측정 한 뒤 알루미늄 냉각부에 물을 주입하여 냉동실에 넣어 얼음 상태가 되도록 하고 냉각부(알루미늄의 표면)의 온도를 일정하게 맞추기 위해 시간을 정하고 냉각을 시킨다. 준비된 알루미늄 냉각부안에 음료를 넣고 척 나사로 고정을 시킨 후 저온의 온도유지를 위해 냉각부 앞에 있는 뚜껑을 닫아 고정을 시킨다. 열전도율이 높은 알루미늄의 특성을 이용하여 냉각부 안 음료의 온도를 떨어트린다. 200rpm, 400rpm, 580rpm으로 rpm을 나눠 AC모터의 속도를 제어한다. 그리고 시간은 각각 60초, 120초, 180초로 설정해 시간을 측정한다. 이 실험을 통해 전도와 회전을 이용한 온도변화를 확인할 수 있다.

Fig 3에서 나온 실험 결과를 보면 냉동보관보다 온도가 더 많이 떨어짐을 알 수 있다. 즉 상온상태에서 시작하여 180초(3분)의 시간 경과 후 온도는 평균적으로 200rpm은 8℃, 400rpm은 8.3℃, 580rpm은 8.74℃ 강하를 하였다. 효과는 3분일 때 효율이 가장 좋은 것을 확인할 수 있었다.

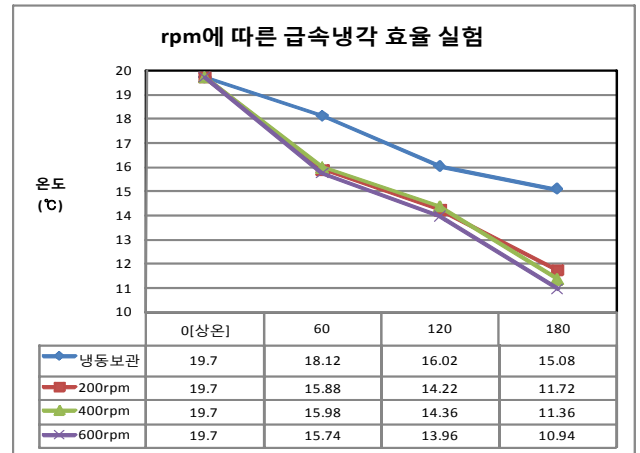


Fig. 3 Experimental results of the fast cooling system

4.2 실험 결론

알루미늄과 캔을 완전 밀착시킴으로서 열의 전도를 극대화시키고, 회전 시 마찰을 최소화 시키고자 캔과 알루미늄을 함께 회전 시켰다. 그렇게 회전시킨 결과 3분 내에 거의 10℃에 가까운 온도를 떨어트릴 수 있었다. 회전수에 따른 열전도율은 회전을 함으로써 캔 안에 있는 음료의 유동으로 인해 냉각된 음료가 안으로 퍼지고 안에 있던 음료가 밖으로 퍼지는 것을 예상하였지만 유동이 움직이게 된다는 것은 에너지를 주어 열을 내는 것과 같은 효과를 내기 때문에 열효율이 떨어지는 것을 알 수가 있었다.

5. 결론

당초에는 알루미늄 접촉 부위를 엠보싱처럼 만들어 척으로 캔을 고정시킨 뒤 캔을 돌려서 냉각 시키려고 하였으나 예상만큼 온도가 떨어지지 않았다. 그 원인을 분석한 결과 알루미늄과 접촉 면적이 적어서 열전도가 크게 이뤄지지 않았고, 캔을 돌림으로서 알루미늄과의 마찰열이 생기는 것을 확인할 수 있었다. 그래서 이 부분을 보완하고자 재설계를 실시하였다. 재설계에서는 알루미늄과 캔을 최대한 밀착시킴으로써 열의 전도를 극대화시키고, 회전 시 마찰을 최소화하기 위해 캔과 알루미늄을 함께 회전 시켰다. 그렇게 회전시킨 결과 3분 안에 거의 10℃에 가까운 온도를 떨어트릴 수 있었다. 열전도와 회전을 이용하여 실생활에 유용한 아이템을 만들고자 했던 나름의 성과를 얻었다. 향후연구에서는 캔 크기의 다양화와 좀 더 빠른 냉각시스템을 설계하고자 한다.

후기

본 연구는 교과부의 동남권 광역 경제 선도 사업 녹색 기술 기반 해양플랜트 인재 양성센터에서 지원되었음.

참고문헌

- 이재립, 정호승, 1997, “휴대용 급속 냉각기(POTABLE RAPID REFRIGERATOR)”, 한국특허정보원, 출원번호 1019970012119
- 노병국의 2인, 2006, “초음파 진동에 의해 발생된 음향유동을 활용한 급속냉각 메카니즘”, 한국소음진동공학회 논문집, 16 권 10호, pp.1057~1067.
- 김태승, 2000, “캔 음료 급속 냉각장치(Hasty cooling construction of can drink)”, 한국특허정보원, 출원번호1020000006789
- 김 유 의 5인 공역, 2006, “열전달”, 한국맥그로힐, pp.129~131, pp. 726~ 750.