

착용형 개인 냉방시스템 개발

장준영^{1*}

¹계명대학교 연소 및 에너지 실험실

Development of the Wearable Personal Cooling System

Jun-Young Jang^{1*}

¹Laboratory of Combustion and Energy, Keimyung University

요 약 본 논문은 더위나 고온의 환경에서 열적스트레스를 줄이기 위한 착용형 개인 냉방시스템 개발에 관한 것이다. 개인 냉방시스템은 냉매압축 냉동사이클로 작동되는 소형 냉동시스템이 적용되었다. 소형 냉동시스템은 이동과 착용이 가능하도록 소형화와 경량화에 맞게 구성되었다. 증발기는 나일론튜브를 사용하여 조끼 내부에 매립하여 열전도에 의해 신체 열을 저감시키는 직접냉각방식이 적용되었다. 착용형 개인 냉방시스템은 냉방능력은 대략 100W이며 주위온도보다 12~13℃ 정도 낮게 유지되는 성능을 가진다. 착용형 개인 냉방시스템의 무게는 조끼, 케이스, 배터리를 포함하여 약 3kg이다.

Abstract This paper discusses the development of the wearable personal cooling system for reducing thermal stress in hot environment. The personal cooling system is operated with the compact refrigeration system by compressing refrigerant. The compact refrigeration system is applied with the miniaturization and weight reduction for portable and wearable cooling system. The body heat is reduced by heat conduction with evaporator in direct cooling type. The cooling capacity of the wearable personal cooling system is approximately 100W and, the system could maintain the inside temperature of approximately 12-13℃ lower than the ambient temperature. The weight of the wearable cooling system is about 3kg including vest, case, battery and all parts.

Key Words : Wearable, Personal Cooling, Compact Refrigeration System, Direct Cooling Type

기호설명

Q_H	: 응축열량 [W]
Q_L	: 냉방능력(=증발열량) [W]
W	: 컴프레서 일량 [W]
$\dot{m}$	: 냉매유량 [g/s]
h_1, h_2	: 응축기 입구 및 출구의 엔탈피 [kJ/kg]
h_4, h_3	: 증발기 출구 및 입구의 엔탈피 [kJ/kg]
P_C	: 냉동컴프레서 소비전력 [W]
P_T	: 냉동시스템 전체소비전력 [W]
COP	: 냉동시스템 성능계수
EER	: 에너지효율비

1. 서론

여름철 무더위시의 야외 건설현장, 거리청소, 농사일, 외부시설 작업과 용광로, 주물공장 등의 고열발생환경에서 작업하는 작업자에게는 더운 환경은 참기 힘든 일이며 고욕이 아닐 수 없다. 더위나 고온의 환경은 작업자에게 육체적으로 그리고 정신적으로 스트레스를 가해 열사병과 같이 질병으로 건강을 해치고 작업능률저하, 안전사고를 발생시킨다.

실내에서의 활동이나 작업은 주위온도를 알맞게 조절하는 냉방기를 사용함으로 쾌적하고 시원하게 생활이 되지만 실외에서의 냉방기사용은 과도한 에너지를 소비하여 사용이 제한되어서 비현대적인 방법들이 적용되고 있다.

*Corresponding Author : Jun-Young Jang

Tel: +82-16-555-8220 email: jjy@kmu.ac.kr

접수일 12년 03월 29일

수정일 12년 05월 29일

게재확정일 12년 07월 12일

무더운 작업환경에서의 더위를 조금이나마 가시게 할 제품으로 얼음팩을 장착하는 냉각조끼와 팬을 장착하여 바람을 옷으로 불어넣어주는 점퍼제품이 출시되고 있다.

냉각조끼는 얼음팩을 미리 냉동시켜 두었다가 사용해야 하고 얼음이 녹기 때문에 장시간 사용은 불가능하여 불편하다. 또한 얼음팩과 외부공기와의 결로현상으로 이슬이 맺혀 옷이 축축해지므로 불편감이 발생하기도 한다. Choi[1]등은 냉각조끼가 고온환경에서 인체의 부담을 줄이는 효과가 있으나 냉각지속시간과 중량 등의 문제를 보완할 필요가 있음을 제시하였다. 팬이 장착된 점퍼는 바람으로 인해 옷이 부풀어 올라 작업자가 착용하고 작업하기가 불편하다.

최근에 열전소자의 펠티어효과를 이용한 휴대용 냉각 제품들에 대한 특허출원 및 제품개발에 대한 대안들이 제시되고 있으나[2,3] 전력소모가 많고 효율이 낮으며 아직 상품화하는데 있어 기술적 어려움이 많다.

우리가 가정이나 사무실에서 사용하는 에어컨과 같은 냉매압축 냉동시스템은 냉방성능이 우수하고 효율이 높으나[4] 구성된 냉동시스템의 구성요소가 부피가 커고 무게가 무거우며 AC전원방식을 적용하고 있어서 이동이나 휴대용 제품으로 적용하기가 어렵다. 냉매압축 냉동시스템은 냉동컴프레서, 응축기, 팽창밸브, 증발기로 구성되며 지금까지 개발된 구성품들이 가정용이나[5,6] 상업용 위주의 중대형 용량으로 활용된 상태이어서 아직 소형 및 경량의 제품에 그대로 적용하기는 불가능하다.

본 연구에서는 부피와 무게, 전원방식에서 소형화 및 경량화에 어려움이 존재하는 냉매압축 냉동시스템을 이동 및 휴대가 가능한 착용형 냉방시스템으로 개발하여 무더위나 고열환경 작업자의 열적 스트레스를 줄여줌으로써 쾌적한 환경을 제공할 수 있는 개인 냉방시스템으로 활용하고자 한다.

2. 착용형 개인 냉방시스템 설계

2.1 착용형 개인 냉방시스템 설계조건

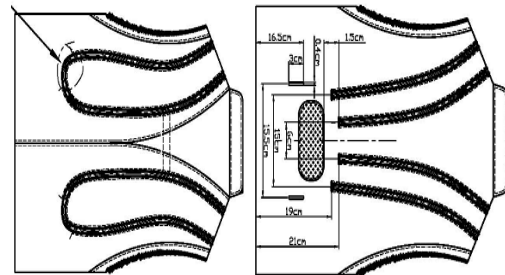
주위 온도 26℃에서 보통의 성인을 기준으로 겉거나 가벼운 노동시에 약 150~200W의 신체 발열이 일어나며 착석의 경우에는 약 80W 정도의 발열이 일어난다[7].

사람마다 더위에 대한 개인적 민감도가 다르고 인체 안전성을 고려하여 개인 냉방시스템은 주위온도보다 약 10~15℃정도 낮게 유지되며 냉방능력은 최대 100W로 설계하였다.

2.2 직접냉각방식 냉방시스템 구성

착용형 개인냉방시스템은 조끼형태의 의복에 냉방시스템을 부착하는 방식이며 직접냉각방식으로 설계되었다. 직접냉각방식은 차가운 냉매가 흐르는 증발기를 냉각을 시키고자하는 물체와 열전도에 의해 열을 흡수하는 방식으로 증발기를 옷에 직접 부착하여 신체 열을 흡수하는 방식이다. 따라서 적용된 증발기는 냉매와 냉동유의 영향이 없으며 냉매가스의 압력에 충분히 견디고 몸에 불편하지 하지 않으면서 옷에 부착되어야 하므로 유연성이 있는 나일론 튜브를 적용하였다.

그림 1은 조끼에 나일론티브를 설치한 모습이다. 조끼는 남자 성인이 착용할 수 있을 사이즈로 설계·제작되었으며 나일론 튜브는 등 뒷면에 부착된 냉동컴프레서와 응축기, 팽창밸브에서 연결되어 두 갈래로 나뉘어져 등 뒤에서 각각 조끼의 좌우로 공급되어 앞쪽으로 넘어온 후 다시 뒤쪽으로 연결된다. 신체방향으로 열전달을 높이기 위해 나일론 튜브는 알루미늄 테이프로 감쌌다. 나일론 튜브와 주위공기와의 결로현상을 줄이기 위해 조끼의 외측은 방수천으로 덧대었으며 심실 테이프(Seam Seal Tape)를 사용하여 조끼 안쪽에 나일론 튜브를 부착하였다.



(Nylon tube as part of evaporator)

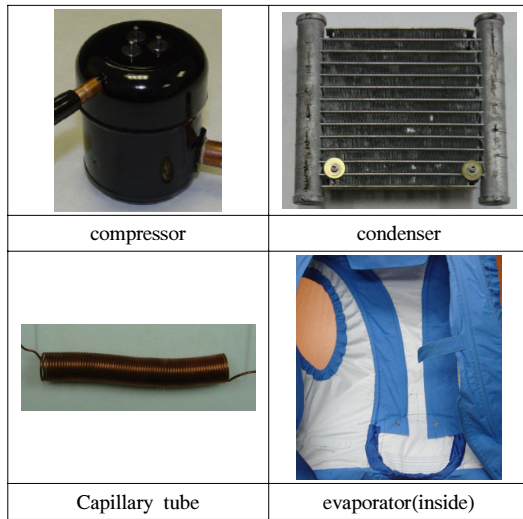
【그림 1】 나일론티브 설치(앞, 뒤)

【Fig. 1】 Nylon tube (front, rear)

그림 2와 표 1은 직접냉각방식 개인 냉방시스템에 적용된 구성품의 모습과 사양을 나타낸 것이다.

직접냉각방식 냉방시스템의 구성품은 나일론 튜브와 롤링피스톤방식의 냉동컴프레서와 응축기, 모세관, 배터리로 구성된다. 냉동컴프레서는 ASPEN사(USA)의 냉동컴프레서를 적용하였다.

냉동컴프레서의 토출용량은 1.4cc이고 정격전압은 DC 24V이나 DC12~30V의 전압으로 작동되어지며 BLDC모터가 내장되어 회전수를 2500~6000rpm으로 조절이 가능하다. 냉동컴프레서의 성능은 응축온도 48.9℃, 증발온도 1.7℃, 회전수 3000rpm조건에서 소비전력 65.8W, 증발열량 125W의 성능을 가진다.

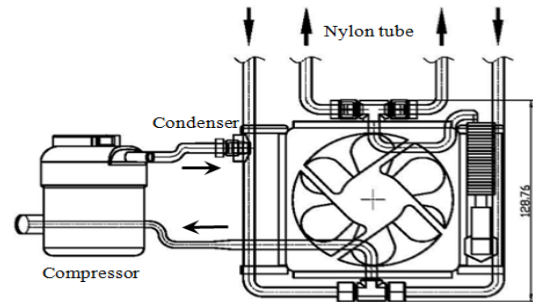


[그림 2] 직접냉각방식 개인 냉방시스템 구성품
[Fig. 2] Component of personal cooling system

[표 1] 개인냉방시스템 사양
[Table 1] Specification of personal cooling system

Compressor	Type	Rolling Piston
	Displacement	1.4cc/rev
	Refrigerant	HFC-134a
	Oil type	POE RL 68H
	Weight	590g
	Size($\phi \times H$)	57×77mm
Condenser	Type	Serpentine
	Material	AL
	Size	120×120×16mm
	Fan	DC 12V, 0.5A
	Fan flow	1.7m ³ /min
Capillary tube	Material	Copper pipe
	Inner Dia.	0.8mm
	Length	3m
Evaporator	Material	Nylon tube
	Inner Dia.	4mm
	Length	4m
Power	Battery	Li-ion
	Voltage	14.8V
	Capacity	5200mAh

응축기는 차량용 평판관 열교환기로 사용되는 제품을 소형화에 맞게 설계 제작하였으며 다수의 경로를 부여하여 serpentine 방식으로 냉매가 순환된다. 응축방식은 응축기 표면에 팬이 부착되어 강제 공냉방식으로 작동된다. 적용된 모세관은 내경 0.8mm, 길이 3m의 동관을 스프링형태로 만들어 사용하였다. 감압의 역할을 수행하는 모세관은 길이에 따라 압력강하가 발생하며 적정의 모세관 길이는 주위온도조건에서 수회 반복시험을 통해 선정하였다. 작동전원은 리튬-이온 배터리(14.7V, 5.2Ah)를 적용하여 이동시 작동에 무리가 없도록 하였다.



[그림 3] 개인 냉방시스템 구성도
[Fig. 3] Schematic diagram of personal cooling system

그림 3은 개인 냉방시스템의 구성도를 나타낸 것이다. 냉동컴프레서에서 압축된 냉매가스는 응축기에서 응축되어지고 모세관에서 감압되어진 후 분지관을 거쳐 나일론 튜브로 공급된다. 나일론 튜브내에서 주위의 열을 흡수한 냉매가스는 다시 분지관을 거쳐 냉동컴프레서로 흡입된다.



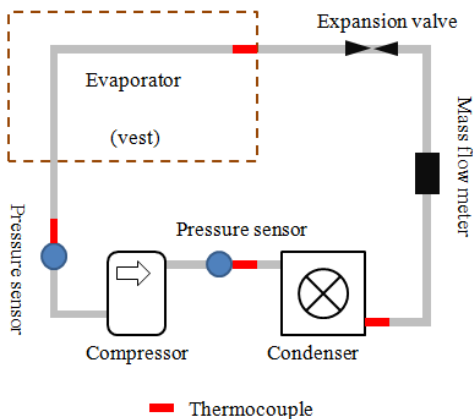
[그림 4] 개인 냉방시스템 모습
[Fig. 4] Shape of personal cooling system

그림 4는 제작된 직접냉각방식 개인 냉방시스템의 모습을 나타낸 것이다. 증발기외에 냉방시스템의 구성품은

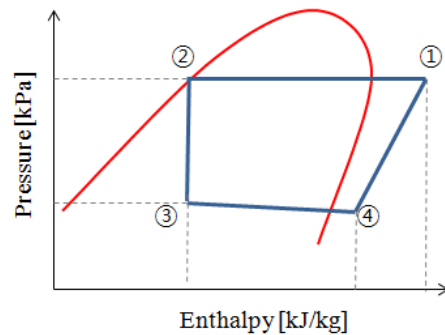
벨트타입으로 만들어진 케이스내에 내장되어 있다. 벨트와 케이스는 목업(mock-up)으로 제작하였다. 벨트 앞쪽에는 작동을 위한 작동스위치가 부착되어 있다. 뒤쪽에는 왼편에 냉동컴프레서가 내장되며 가운데 부분에 응축기와 모세관이 내장되며 오른쪽 부분에 배터리가 장착된다. 배터리는 교환이 가능하도록 착탈방식으로 설계되어 있으며 냉동컴프레서와 응축기가 위치한 부분은 방열을 위해 그릴형태로 설계되었다. 케이스, 배터리, 조끼를 포함하여 냉방시스템의 전체 무게는 약 3.0kg이다.

3. 실험장치 및 방법

직접냉각방식 개인 냉방시스템의 냉방성능을 측정하기 위하여 그림 5와 같이 실험장치를 구성하였다. 그림 4에서 시제작된 조끼 형태로 마네킨에 착용시켜 성능측정에 필요한 센서와 장치를 부착하였다. 냉동컴프레서와 응축기 팬에서 소비되는 전력은 전원공급기를 통해 공급되는 전압과 전류를 측정하였으며 응축기와 팽창밸브인 모세관사이에는 R-134a용 질량유량계가 설치되어 있어 냉매유량을 측정하였다. 냉매의 압력을 측정하기 위하여 냉동컴프레서 흡입구와 토출구에 압력센서(keller, PA-33X)를 설치하여 흡입압력과 토출압력을 측정하였다. 냉방시스템의 온도측정을 위해 T-type열전대를 냉방시스템의 컴프레서 입출구, 응축기 출구, 증발기의 배관에 부착하였으며 단열재를 감싸 외부영향을 최소화하였다. 시험은 건구온도 35℃, 습구온도 24℃, 상대습도 40%인 항온항습기에서 진행하였으며 냉방시스템을 작동시켜 온도와 압력, 전력이 안정화되는 시점부터 데이터를 측정하였다.



[그림 5] 냉방성능 실험장치도
[Fig. 5] Schematic diagram of cooling capacity test



point	Result [P(kPa), T(℃)]
①	P ₁ =1262, T ₁ =74.8
②	T ₂ =46.4
③	T ₃ =2.2
④	P ₄ =250, T ₄ =18.4

[그림 6] 직접냉각방식 냉방시스템 P-h 선도
[Fig. 6] P-h curve of direct cooling system

그림 6은 그림 5와 같은 시험장치를 통해 주위온도 35℃조건에서 측정된 냉방시스템 각 부분의 압력, 온도를 물리에 선도에 나타난 것이다. ①번 위치는 냉동컴프레서 토출구의 압력과 온도를 측정하여 이를 통해 응축압력과 응축온도를 계산하였으며 ②번 위치는 응축기 출구에서의 온도를 측정하여 과냉도를 계산하였다. ③번 위치는 증발기 입구에서의 온도를 측정하였으며 ④번 위치는 냉동컴프레서 흡입구의 압력과 온도를 측정하여 과열도를 계산하였다. 증발온도 2.2℃에 해당하는 증발압력은 316.9kPa이다. 측정된 개인냉방시스템의 전체 소비전력은 99.9W이며, 별도로 냉동컴프레서 전력은 측정하지 않았지만 팬의 소비전력이 약 6W이므로 전체 소비전력에서 이를 제외하면 냉동컴프레서의 전력은 약 94W로 추정된다.

4. 실험결과

Table 2는 그림 6의 온도, 압력 데이터와 질량유량계, 소비전력을 통해 측정된 데이터를 활용하여 응축열량과 냉방능력을 계산하여 개인 냉방장치의 냉각성능을 나타낸 것이다. 응축열량과 냉방능력, 냉동시스템의 성능계수(COP: Coefficient of Performance), 냉방시스템의 효율을 나타내는 에너지 효율비(EER: Energy efficiency ratio)는 다음 식으로 계산된다.

[표 2] 개인 냉방시스템 냉각성능 데이터

[Table 2] Performance data of personal cooling system

Condensing temp. (°C)	48.3
Sub-cooling (°C)	1.9
Condensing heat (W)	120.5
Evaporating temp. (°C)	2.2
Super heat (°C)	16.2
Mass flow (g/s)	0.67
Cooling capacity (W)	99.5
Power (W)	99.9
EER	1
Theoretical work of compressor (W)	21

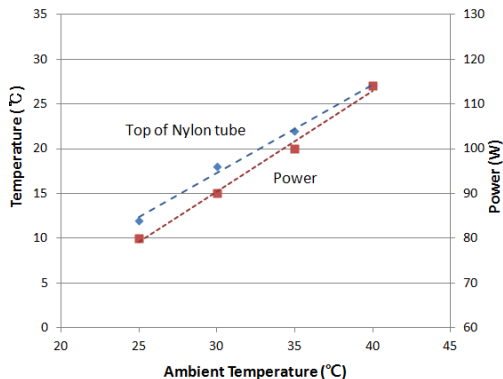
$$Q_H = Q_L + W = \dot{m}(h_1 - h_2) \quad (1)$$

$$Q_L = \dot{m}(h_4 - h_3) \quad (2)$$

$$COP = \frac{Q_L}{P_C} \quad (3)$$

$$EER = \frac{Q_L}{P_T} \quad (4)$$

식 (3)과 (4)에 의해 계산되어진 COP와 EER은 약 1.06과 1이다. 본 실험조건에서의 냉동컴프레서의 이론적 일량이 약 21W이므로 실제 냉동컴프레서의 압축효율은 약 22.3%이다.



[그림 7] 직접냉각방식 개인 냉방시스템 성능
[Fig. 7] Performance of direct cooling system

그림 7은 주위온도 25°C부터 40°C로 변화시키면서 조끼 내부의 나일론 튜브가 부착된 봉제선 상단의 표면온도와 전체 소비전력을 측정하는 것이다. 온도 측정은 T-type 열전대를 이용하였으며 나일론 튜브가 지나가는 4 군데의 온도를 측정하여 평균값으로 나타내었다. 소비전

력은 전원공급기를 통해 측정하였다. 나일론 튜브가 지나가는 부분의 온도는 주위온도와 비교하여 약 12~13°C 정도 낮게 측정되었다. 주위온도 증가에 따라 소비전력은 증가하고 있다. 이는 토출압력증가에 따른 냉동컴프레서의 소비전력이 증가하기 때문이다.

개발된 개인 냉방장치는 이동성과 착용성을 높이기 위해 냉방시스템 및 케이스의 무게를 저감하고 증발관의 배치, 증발기와 주위온도와의 차이에 의해 발생하는 결로 문제 등을 해결하기 위한 추가적인 보완과 개선연구가 필요하다.

5. 결론

무더위시나 고열환경 작업자의 열적 스트레스를 줄이기 위해 냉매압축 냉동시스템을 적용한 착용형 개인 냉방시스템으로 개발하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 착용형 개인 냉방시스템은 이동 및 휴대가 가능한 소형 냉동시스템이 적용되었으며 직접냉각방식으로 개발하였다.
- (2) 착용형 개인 냉방시스템은 조끼형태의 의복에 냉방시스템을 부착한 형태로 냉방시스템의 구성품중 냉동컴프레서와 응축기는 그릴형태로 설계된 케이스내에 설치되며 조끼속에 증발기인 나일론 튜브가 매립되어 열전도에 의해 신체 열을 저감시킨다.
- (3) 착용형 개인 냉방시스템의 전체 무게는 배터리, 케이스, 조끼를 포함하여 약 3.0kg이다. 또한 착용형 개인 냉방시스템의 냉방능력은 약 100W이며 주위온도보다 12~13°C 낮게 유지되는 성능을 확인하였다.

References

- [1] Jeong Wha Choi, Kyoung Sook Hwang, "Effective of Cooling Vest in Hot Environment", Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles, Vol. 25, No. 1, pp. 83-90, 2001.
- [2] Ministry of Education and Technology, "Development of Portable Microclimate Cooling System", Dual Use Technology Report, Ministry of Education and Technology, 2001.
- [3] Sang Kuk Yun, et al., "The Chilly Wind Vest Production which Uses the Thermoelectric Element", Proc. of Conference on the Korean Society of Marine

- Engineering, pp. 403-404, 2008.
- [4] Byung Ok Cho, "Refrigeration Technology Engineering", Cmass, 2010.
- [5] Euisung Jang, et al., "An Experimental Study on the Optimization of the Performance Characteristics of a Refrigeration System Using R-600a and R-134a", Korean Journal of Air-Condition and Refrigeration Engineering, Vol. 22, No. 5, pp. 268-274, 2010.
- [6] Moo Yeon Lee, et al., "A Study on Performance Characteristics of Propane/Isobutane Refrigerant Mixtures in a Domestic Small Multi-Refrigeration System", Trans. of the KSME, Vol. 29, No. 2, pp. 271-278, 2005.
- [7] Chang Soo Kang, et al., "Refrigeration and Air Conditioning Engineering", p. 399, Bosunggak, 2001.

장 준 영(Jun-Young Jang)

[정회원]



- 1999년 2월 : 계명대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 계명대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 2008년 11월 : 전 자화자동차부품지역혁신센터 연구원
- 2008년 12월 ~ 2011년 9월 : 킨텍 연구원

<관심분야>

열유체, 연소, 냉동공조, 신재생에너지, 자동차부품