

열화상 카메라를 적용한 개인 맞춤형 냉각관리 시스템 Personalized Cooling Management System with Thermal Imaging Camera

이 영 지*, 이 주 현**, 이 승 호*★

Young-Ji Lee*, Joo-Hyun Lee**, Seung-Ho Lee*★

Abstract

In this paper, we propose a personalized cooling management system with thermal imaging camera. The proposed equipment uses a thermal imaging camera to control the amount of cold air and the system according to the difference between the user's skin temperature before and after the procedure. When the skin temperature is abnormally low, the cold air supply is cut off to prevent the possibility of a safety accident. It is economical by replacing the skin temperature sensor with a thermal imaging camera temperature measurement, and it can be visualized because the temperature can be checked with the thermal image. In addition, the proposed equipment improves the sensitivity of the sensor that measures the distance to the skin by calculating the focal length by using a dual laser pointer for the safety of a personalized cooling management system to which a thermal imaging camera is applied. In order to evaluate the performance of the proposed equipment, it was tested in an externally accredited testing institute. The first measured temperature range was $-100^{\circ}\text{C}\sim-160^{\circ}\text{C}$, indicating a wider temperature range than $-150\sim-160^{\circ}\text{C}$ (cryo generation/USA), which is the highest level currently used in the field. In addition, the error was measured to be $\pm 3.2\%\sim\pm 3.5\%$, which showed better results than $\pm 5\%$ (CRYOTOP/China), which is the highest level currently used in the field. The second measured distance accuracy was measured as below $\pm 4.0\%$, which was superior to $\pm 5\%$ (CRYOTOP/China), which is the highest level currently used in the field. Third, the nitrogen consumption was confirmed to be less than 0.15 L/min at the maximum, which was superior to the highest level of 6 L/min(POLAR BEAR/USA) currently used in the field. Therefore, it was determined that the performance of the personalized cooling management system applied with the thermal imaging camera proposed in this paper was excellent.

요 약

본 논문에서는 열화상 카메라를 적용한 개인 맞춤형 냉각관리 시스템을 제안한다. 제안하는 장비는 열화상 카메라를 이용하여 사용자의 진행 전 피부 온도와 진행 후 피부온도의 차이에 따라 냉기 배출량 및 시스템을 제어한다. 피부의 온도가 비정상적으로 낮아지면 냉기공급을 차단하여 안전사고 발생 가능성을 방지한다. 피부 온도 감지센서를 열화상 카메라 온도측정으로 대체하여 경제적이고, 열화상 이미지로 온도를 확인할 수 있으므로 시각화가 가능하다. 또한, 제안하는 장비는 열화상 카메라를 적용한 개인 맞춤형 냉각관리 시스템의 안전을 위해 레이저 포인터를 듀얼로 사용하여 초점 거리를 산출하여 피부와의 거리를 측정하는 센서의 감도를 개선시킨다. 제안된 장비의 성능을 평가하기 위하여 외부공인 시험기관에서 실험하였다. 첫 번째로 측정된 온도 범위는 $100^{\circ}\text{C}\sim-160^{\circ}\text{C}$ 로 측정되어, 현재 현장에서 사용되는 최고 수준인 $-150\sim-160^{\circ}\text{C}$ (cryo generation/미국) 보다 넓은 온도 범위를 나타내었다. 또한 오차는 $\pm 3.2\%\sim\pm 3.5\%$ 로 측정되어 현재 현장에서 사용되는 최고 수준인 $\pm 5\%$ (CRYOTOP/중국) 보다 우수한 결과를 나타내었다. 두 번째로 측정된 거리 정확도는 $\pm 4.0\%$ 이하로 측정되어, 현재 현장에서 사용되는 최고 수준인 $\pm 5\%$ (CRYOTOP/중국) 보다 우수한 결과를 나타내었다. 세 번째로 질소 사용량은 최대 0.15 L/min 미만으로 확인되어, 현재 현장에서 사용되는 최고 수준인 6 L/min(POLAR BEAR/미국) 보다 우수한 결과를 나타내었다. 따라서 본 논문에서 제안한 열화상 카메라를 적용한 개인 맞춤형 냉각관리 시스템의 성능의 우수함이 판별되었다.

Key words : Thermal Imaging Camera, Personalized Cooling Management System, GUI Screen Display, Nitrogen Injection Gun, Distance Measuring Sensor

* Dept. Electronic Engineering, Hanbat National University

** MI INTERNATIONAL INC.

★ Corresponding author

E-mail : shlee@cad.hanbat.ac.kr, Tel : +82-42-821-1137

Manuscript received Nov. 25. 2021, revised Dec. 7. 2021, accepted Dec. 7. 2021.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

현재 냉각요법이 의료분야 및 다이어트 관련 분야에서 널리 활용되고 있다. 국내·외에서의 냉각요법은 의료분야에서는 염증 완화 및 타박상 통증 완화를 목적으로 사용되며, 다이어트 및 뷰티 분야에서는 주름 개선, 체지방 감소 등에서도 적용되고 있다[1, 2]. 개인 맞춤형 냉각관리 시스템은 초저온으로 냉각된 냉기를 피부에 주었을 때, 자가면역기능 중 갈색 지방의 칼로리 소모를 통한 열량을 소비하고 습진, 피부염, 건선 및 건선 관절염을 포함하여 피부 발적을 완화시키고 증상을 억제하는데 도움을 준다[3, 4]. 그러나 개인 맞춤형 냉각관리 시스템은 피부에 직접적으로 냉각된 질소를 분사하므로 동상의 위험이 있으며, 안전사고가 발생할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 열화상 카메라를 적용하여 피부의 온도가 비정상적으로 낮아지면 비상정지모드를 통하여 냉기공급 차단으로 안전사고 발생 가능성을 차단하는 개인 맞춤형 냉각관리 시스템을 제안한다. 냉각효과를 진행하는 피부 부위(얼굴, 배, 관절 등)를 열화상 카메라를 이용하여 진행 전 온도와 진행 후 온도의 차이를 확인하고 피부온도가 내려간 부위는 질소의 배출량을 제어하고, 반대의 경우에는 배출량을 유지하여 동상 등의 안전사고를 방지할 수 있게 된다.

II. 본론

1. 열화상 카메라를 적용한 개인 맞춤형 냉각관리 시스템

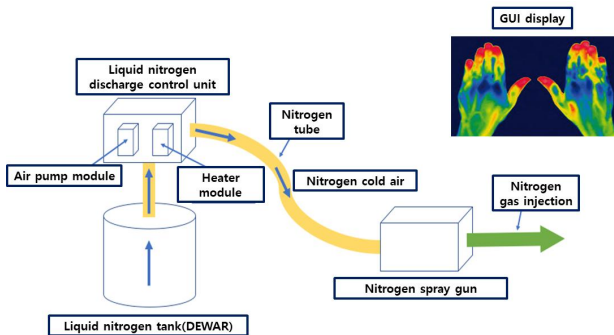


Fig. 1. Personalized Cooling Management System with Thermal Imaging Camera.

그림 1. 열화상 카메라를 적용한 개인 맞춤형 냉각관리 시스템

그림 1은 본 논문에서 제안한 열화상 카메라를 적용한 개인 맞춤형 냉각관리 시스템의 구성도를

나타낸다.

2. 열화상 카메라를 이용한 피부 온도 측정 및 개인 맞춤형 냉각관리 시스템 연동

냉각 효과를 극대화하기 위하여 균일한 냉기를 공급하고, 그림 2와 같이 열화상 카메라를 이용하여 사용자의 피부 온도를 확인한다. 세션 진행 시 사용자의 피부온도를 제어시스템 알고리즘과 동기화시켜 배출되는 냉기 조절, 시스템 자동 차단 등 전반적인 작동을 제어한다. 세션별 피부 부위(얼굴, 배, 관절 등)를 열화상 카메라를 이용하여 진행 전 온도와 진행 후 온도의 차이에 따라 냉기 배출량 및 시스템 제어를 통해 안전사고를 방지한다. 열화상 카메라를 이용한 피부 온도 측정 및 개인 맞춤형 냉각관리 시스템 연동의 운영 흐름도는 다음과 같다.

- ① 세션 진행 전 쿨링을 통해 -100℃의 예비 냉각 진행
- ② 예비냉각 완료 후 세션을 선택하여 냉기의 온도 및 토출시간 확인
- ③ 세션이 진행되면 질소분사 건을 센서를 통해 피부 온도, 거리, 열화상 카메라를 통한 피부 온도 확인, 액체질소 보관용기의 잔량 등의 정보를 확인
- ④ 각종 센서의 측정 결과가 정상일 경우 지속적으로 냉기를 공급하고, 각 센서의 설정 범위 이하로 측정될 경우, 강제 세션 종료를 수행
- ⑤ 각 진행사항 중 비상정지 버튼 또는 운영 프로그램상의 비상정지 입력 신호 시 모든 세션을 종료함

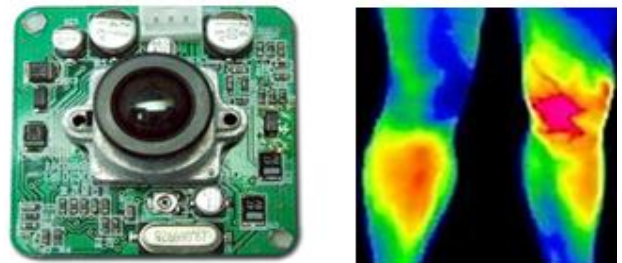


Fig. 2. Thermal Imaging Camera and GUI Screen Display of Skin Temperature Measured by Thermal Imaging Camera Module.

그림 2. 열화상 카메라 모듈과 열화상 카메라로 측정된 피부

3. 거리측정 센서의 정확도를 향상시키기 위한 질소분사 건 설계 및 제작

열화상 카메라를 적용한 개인 맞춤형 냉각관리

시스템의 안전을 위해 사용하는 피부와의 거리를 측정하는 센서의 감도를 개선할 수 있도록 설계를 한다. 레이저 거리측정 센서의 포인터를 듀얼로 사용하여 초점 거리를 산출하여 지정 거리에 대한 정밀도를 향상시킨다. 또한, 사용자가 레이저 포인터를 인식하여 거리를 유지할 수 있도록 설계한다. 그림 3은 거리 측정 센서의 정확도 향상을 위한 질소분사 건 구조도를 나타낸다.

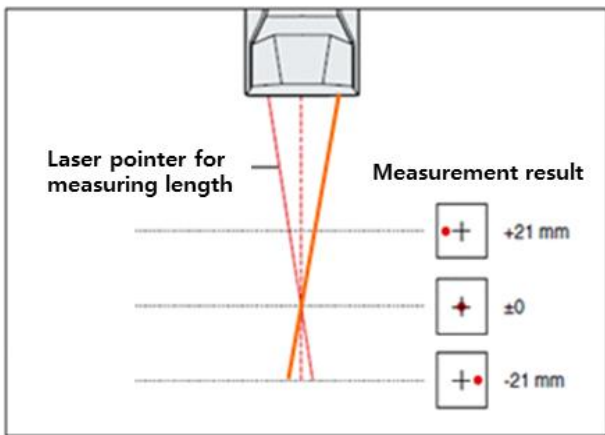


Fig. 3. Structure Diagram of Nitrogen Injection Gun to Improve the Accuracy of the Distance Measuring Sensor.

그림 3. 거리 측정 센서의 정확도 향상을 위한 질소분사 건의 구조도

그림 4는 거리측정 센서의 정확도를 향상시키기 위한 질소분사 건 사진과 GUI 화면 표시를 나타내고 있다.



Fig. 4. Photo of Nitrogen Injection Gun to Improve the Accuracy of the Distance Measuring Sensor and GUI Screen Display.

그림 4. 거리측정 센서의 정확도를 향상시키기 위한 질소분사 건 사진과 GUI 화면 표시

4. 열화상 카메라를 적용한 개인 맞춤형 냉각관리 시스템의 제작

그림 5는 최종 제작된 안전하고 경제적인 열화상 카메라를 적용한 개인 맞춤형 냉각관리 시스템을 나타내고 있다.



Fig. 5. Photo of Personalized Cooling Management System.

그림 5. 개인 맞춤형 냉각관리 시스템의 사진

5. 성능 실험

5.1. 실험 방법

본 논문에서 제안한 열화상 카메라를 적용한 개인 맞춤형 냉각관리 시스템의 성능을 평가하기 위하여, 외부공인 실험기관에서 그림 6과 같이 실험 환경을 구축하여 측정하였다.



5.2. 실험 결과

(1) 측정된 온도 범위와 오차

Table 1. Experimental Results of Temperature Range and Error.

표 1. 온도 범위와 오차의 실험 결과

Set temperature	Standard device measurement					Average value	Error
-100℃	-103.4℃	-103.6℃	-103.4℃	-103.3℃	-103.2℃	-103.4℃	3.4 %
-110℃	-113.8℃	-114.0℃	-113.9℃	-113.8℃	-114.0℃	-113.9℃	3.5 %
-120℃	-124.2℃	124.5℃	-124.1℃	-124.2℃	-124.3℃	-124.3℃	3.5 %
-130℃	-134.6℃	-134.3℃	-134.6℃	-134.5℃	-134.4℃	-134.5℃	3.4 %
-140℃	-144.8℃	-145.0℃	-144.9℃	-144.7℃	-144.6℃	-144.8℃	3.4 %
-150℃	-154.7℃	-154.9℃	-155.1℃	-155.0℃	-154.8℃	-154.9℃	3.3 %
-160℃	-165.2℃	-165.4℃	-165.1℃	-165.0℃	-164.9℃	-165.1℃	3.2 %

질소분사 건의 냉기토출부에서 -100℃는 예냉온도로 설정을 하여 측정하고 -110℃부터 세션의 온도 설정을 통해 -10℃ 간격으로 설정된 온도를 10회 측정한다. 평균 측정값을 1회 측정으로 기록하고 상온으로 회복하는 시간을 두어 5회 반복 측정된 온도 범위는 -100℃~-160℃로 측정되어, 현재 현장에서 사용되는 최고 수준인 -150~-160℃(cryo

generation/미국) 보다 넓은 온도 범위를 나타내었다. 또한, 오차는 $\pm 3.2\% \sim \pm 3.5\%$ 로 측정되어 현재 현장에서 사용되는 최고 수준인 $\pm 5\%$ (CRYOTOP/중국) 보다 우수한 결과를 나타내었다. 표 1은 온도 범위와 오차의 실험 결과를 나타낸다.

(2) 거리 정확도

질소분사 건의 거리센서와 표준 거리 측정기를 동일 선상에 배치하고 측정되는 거리를 기록하여 거리 측정의 정확도를 측정하였다. 10cm~100cm의 거리를 10cm 간격으로 10회 측정기록의 평균을 1회로 기록하고 각 5회씩 반복 측정하여 측정 된 거리 정확도는 $\pm 4.0\%$ 이하로 측정되어, 현재 현장에서 사용되는 최고 수준인 $\pm 5\%$ (CRYOTOP/중국) 보다 우수한 결과를 나타내었다. 표 2는 거리 정확도의 실험 결과를 나타낸다.

Table 2. Experimental Results of Distance Accuracy.
표 2. 거리 정확도의 실험 결과

Distance measurement	Standard device measurement					Average value	Error
	0.9 cm	1.1 cm	1.1 cm	1.0 cm	1.0 cm		
1 cm	0.9 cm	1.1 cm	1.1 cm	1.0 cm	1.0 cm	1 cm	2.0%
10 cm	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm	11 cm	10 cm	2.0%
20 cm	20 cm	21 cm	20 cm	21 cm	21 cm	21 cm	3.0%
30 cm	31 cm	31 cm	30 cm	30 cm	31 cm	31 cm	2.0%
40 cm	41 cm	42 cm	41 cm	41 cm	41 cm	41 cm	3.0%
50 cm	52 cm	51 cm	51 cm	51 cm	52 cm	51 cm	2.8%
60 cm	62 cm	63 cm	62 cm	62 cm	62 cm	62 cm	3.7%
70 cm	73 cm	73 cm	72 cm	72 cm	72 cm	72 cm	3.4%
80 cm	83 cm	83 cm	83 cm	83 cm	83 cm	83 cm	3.8%
90 cm	94 cm	93 cm	94 cm	94 cm	93 cm	94 cm	4.0%
100 cm	104 cm	103 cm	104 cm	105 cm	104 cm	104 cm	4.0%

(3) 질소 사용량

Table 3. Experimental Results of Nitrogen Usage.
표 3. 질소 사용량의 실험 결과

Division	Liquid nitrogen remaining		10 Minutes consumption	Consumption per minute
	Before	After		
1	45.2 L	44.1 L	1.05 L	0.105 L
2	44.1 L	42.9 L	1.26 L	0.126 L
3	42.9 L	41.5 L	1.37 L	0.137 L
4	41.5 L	40.3 L	1.23 L	0.123 L
5	40.3 L	38.9 L	1.41 L	0.141 L
6	38.9 L	37.5 L	1.38 L	0.138 L
7	37.5 L	36.3 L	1.20 L	0.120 L
8	36.3 L	35.0 L	1.26 L	0.126 L
9	35.0 L	33.6 L	1.40 L	0.140 L
10	33.6 L	32.3 L	1.32 L	0.132 L
Maximum			1.41 L	0.141 L

액체질소 보관용기에 액체질소를 100%(40kg)을 충전하고 -130°C 의 냉기를 지속적으로 배출하여 테스트를 수행하였다. 1회 세션(10분) 가동 시 소모

되는 액체질소의 잔량을 측정하여 10회 반복 측정하여 소모되는 액체질소 보관용기의 무게를 측정하여 소모량을 확인한 결과 질소 사용량은 최대 0.15 L/min 미만으로 확인되어, 현재 현장에서 사용되는 최고 수준인 6L/min(POLAR BEAR/미국) 보다 우수한 결과를 나타내었다. 표 3은 질소 사용량의 실험 결과를 나타낸다.

III. 결론

본 논문에서는 열화상 카메라를 사용하여 사용자의 피부 온도를 시인화 하여 확인하고 제어함으로써 동상과 같은 안전사고를 최소화하고 경제성이 높은 열화상 카메라를 적용한 개인 맞춤형 냉각관리 시스템을 제안하였다. 제안된 장비의 성능을 평가하기 위하여 외부시험 공인기관에서 실험한 결과, 온도 범위와 오차, 거리 정확도는 질소 사용량 등이, 현재 현장에서 사용되는 최고 수준보다 우수한 결과를 나타내었다. 따라서 본 논문에서 제안한 열화상 카메라를 적용한 개인 맞춤형 냉각관리 시스템의 성능의 우수함이 판별되었다. 향후 연구 진행방향은 냉각 효과를 활용한 제품군의 KC, CE, FCC 인증을 위한 관련 기술의 확보가 필요하다고 사료된다.

References

[1] HALL, A. FLETCHER. "Advantages and limitations of liquid nitrogen in the therapy of skin lesions," *Archives of dermatology* Vol.82, No.1 pp.9-16, 1960. DOI: 10.1001/archderm.1960.01580010015002

[2] Holt, P. J. A. "Cryotherapy for skin cancer: results over a 5 year period using liquid nitrogen spray cryosurgery," *British Journal of Dermatology*, Vol.119, No.2, pp.231-240, 1988. DOI: 10.1111/j.1365-2133.1988.tb03205.x

[3] Kim, Joo-Ho, Joo-Hyun Lee, and Seung-Ho Lee. "Whole-body Management System using Ultra-Low Temperature Cyclical Cooling Method Combined with IT Technology," *Journal of IKEEE*, Vol.24, No.2, pp.673-676, 2020. DOI: 10.7471/ikeee.2020.24.2.673

[4] Lee, Young-Ji, Joo-Hyun Lee, and Seung-Ho Lee. "Development of Nitrogen Cooling Equipment for Personalized Local Area," *Journal of IKEEE*, Vol.24, No.3, pp.913-916, 2020. DOI: 10.7471/ikeee.2020.24.3.913