

개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장비 개발

Development of Nitrogen Cooling Equipment for Personalized Local Area

이 영 지*, 이 주 현***, 이 승 호**★

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

Abstract

In this paper, we propose the development of nitrogen cooling equipment for personalized local area. The proposed equipment consists of a cold air supply module, a body, and nitrogen injection with the following characteristics. First, it automatically controls the amount and time of cold air supply by utilizing information measuring skin temperature with volumetric temperature sensors, so it can have a competitive edge in function by ensuring complete safety. Second, if the distance measuring sensor is applied to the skin for more than a certain distance, it can block the cold air or control the discharge of nitrogen in conjunction with the control GUI to improve the efficiency of higher cooling therapy while providing safe management. Third, by installing a control module that can control the supply of nitrogen, the cost of maintenance can be minimized by minimizing the loss of nitrogen. Experiments at an external testing agency to evaluate the performance of the proposed equipment showed that the accuracy of the temperature sensor was measured in the range of $\pm 3.8\%$, which is lower than the world's highest level ($\pm 5\%$), with a range of 110°C to -160°C similar to the world's highest level. Distance accuracy was measured in the range of $\pm 3.0\%$, lower than the world's highest level ($\pm 5\%$), and weight accuracy in the range of $\pm 0.1\%$, lower than the world's highest level ($\pm 5\%$). In addition, emission control was measured in four stages, higher than the world's highest level (stage 1) and nitrogen use was measured at 0.8L/min below the world's highest (6L/min). Therefore, the effectiveness of the methods proposed in this paper was demonstrated because they produced the same results as the world's highest levels.

요 약

본 논문에서는 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장비 개발을 제안한다. 제안하는 장비는 크게 냉기공급모듈과 본체, 그리고 질소 분사(건)으로 구성되며, 다음과 같은 특징들을 가진다. 첫 번째로 피부온도 감지센서로 피부온도를 측정된 정보를 활용하여 냉기의 공급량과 시간을 자동으로 제어하므로 완벽한 안전성 확보를 통한 기능상의 경쟁력을 가질 수 있다. 두 번째로 거리측정 센서를 적용함으로써 일정거리 이상 피부에 근접하게 되면, 제어 GUI와 연동하여 냉기를 차단하거나 질소의 배출을 조절하여 보다 높은 냉각 요법의 효율을 높이면서도 안전한 관리가 가능하다. 세 번째로 질소의 공급을 조절할 수 있는 제어모듈을 설치하여 질소의 손실을 최소화하여 유지관리 비용을 최소화할 수 있다. 제안된 장비의 성능을 평가하기 위하여 외부시험기관에서 실험한 결과, 온도센서 정확도는 세계 최고 수준($\pm 5\%$)보다 정확한 $\pm 3.8\%$ 의 범위에서 측정이 되었고, 온도범위는 세계 최고 수준과 비슷한 $110^{\circ}\text{C} \sim -160^{\circ}\text{C}$ 의 범위가 측정되었다. 거리 정확도는 세계 최고 수준($\pm 5\%$)보다 낮은 $\pm 3.0\%$ 의 범위에서 측정이 되었고, 무게 정확도는 세계 최고 수준($\pm 5\%$)보다 정확한 $\pm 0.1\%$ 의 범위에서 측정이 되었다. 또한, 토출 제어는 세계 최고 수준(1단계)보다 높은 4단계가 측정되었고, 질소 사용량은 세계 최고 수준(6L/min) 이하인 0.8L/min 로 측정되었다. 따라서 본 논문에서 제안한 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장비 개발의 성능의 그 효용성이 입증되었다.

Key words : Nitrogen Cooling, Personalized Local Area, Accuracy of Temperature Sensor, Temperature Range, Accuracy of Distance, Accuracy of Weight, Emission Control, Nitrogen Usage

* Dept. Electronics Engineering, Hanbat National University

** Dept. Electronics&Control Engineering, Hanbat National University

*** M1 INTERNATIONAL INC.

★ Corresponding author

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

Manuscript received Sep. 3, 2020, revised Sep. 20, 2020, accepted Sep. 22, 2020.

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

소득수준의 향상과 고령화 사회로의 진입에 따라 젊음을 유지하고자 하는 사회적 욕구 등으로 헬스 및 뷰티 케어 산업의 패러다임이 치료·병원 중심에서 예방·소비자 중심으로 변화하면서 주요 소비산업으로 급부상하고 있다. 냉각요법(Cryotherapy)[1]은 냉기를 국소에 적용하는 치료법으로 의료분야에서 관절염 및 염증완화를 목적으로 활용되고 있으며[2][3], 뷰티분야에서도 주름개선 및 피부탄력, 체지방 감소 등 여러 효과로 활용되고 있다[4]. 국내의 경우 2018년 유명 연예인들이 냉각요법을 체험하고 SNS를 통해 알리면서 냉각요법의 시장 급성장이 예상되고 있으나, 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장비의 냉기를 발생시키는 주 원료인 질소가스는 무색무취로 공기 중 약 78%의 질소가 포함되어 있어 질소가스 자체는 크게 위험하지 않으나, 액화질소 자체의 온도는 영하 196℃로 신체에 직접 닿을 경우 동상의 우려가 있다. 현재 국내·외에서 유통되는 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장비는 안전장치가 제대로 설치되어 있지 않아 사고의 위험성이 높으며, 종종 국내·외에서 동상의 사고가 발생하는 등의 냉각용 냉매인 액화질소 사용의 안전성 문제가 대두되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 피부 온도와 거리를 자동으로 측정하여 냉기의 분출량을 제어함으로써 안전하고 경제적인 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장비 개발을 제안한다.

II. 본론

1. 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장비 구성

개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장비는 크게 냉기공급모듈과 본체+질소분사(건)으로 구성된다.

개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장치는 액체질소 통의 액체질소를 액체질소 토출 제어부를 통하여 제어된 냉기를 공급하고, 냉기는 질소관과 질소분사(건)을 통하여 인체 국소부위에 배출되며, 사용자에게 -100℃~-160℃의 차가운 냉각효과를 제공한다.

2. 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 안전장치

개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 안전장치는 피부 온도 감지센서, 질소분사 거리센서, 컨트롤 버튼, 비상정지 버튼 등으로 구성되어있다. 피부 온도 감지센서는 토출되는 액체질소의 냉기가 피부에 분사될 때, 피부의 온도 변화를 측정하고 피부와의 거리를 측정한다. 적외선 온도 센서는 일정 거리에서 피부의 온도를 측정하며, 피부가 방사하는 열복사를 측정하여 온도를 추론하며, 거리센서는 냉기로 인한 피부의 동

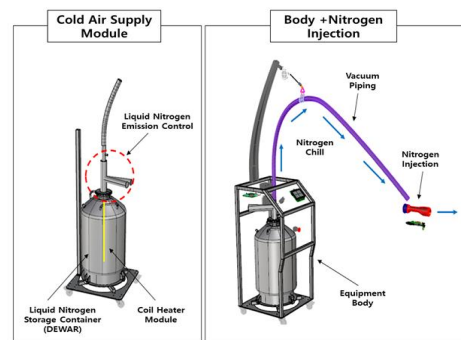


Fig. 1. Configuration Diagram of Nitrogen Cooling Equipment for Personalized Local Area.

그림 1. 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장비 구성도

상을 사전에 방지하기 위해 적용한다. 컨트롤 및 비상정지 버튼은 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장비의 전원공급을 위해 전장부를 구성하고 비상상황 발생시 액체질소의 분사 및 장비의 작동을 전체적으로 중지할 수 있는 기능의 용도로 활용한다.

3. 임베디드 제어 시스템의 제어보드

그림 2의 임베디드 제어 시스템의 제어보드는 주 제어보드, 질소분사(건) 보드, 무게 측정 보드 등으로 구성된다.

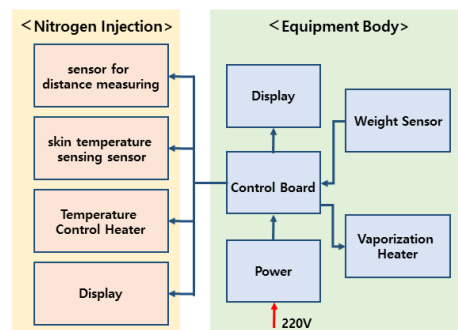


Fig. 2. Configuration Diagram of Embedded Control System.

그림 2. 임베디드 제어 시스템의 구성도

3.1 주 제어보드

주 제어보드는 Cortex-M4의 한 종류인 nrf52833을 사용하고 추후 확장성을 고려해 BLE 기능 지원이 가능하도록 구성하였다. 주위 공기온도와 토출부 기체 질소 온도를 측정하며, 교류 전원의 파형 및 영점 교차 타이밍을 감시한다. 영점 교차 타이밍에 맞추어 교류 전원으로 동작하는 두 종류 히터에 전력을 제어한다. 주기적으로 주변 RS-485 장치들로부터 측정 정보를 수집하며, 모든 주변 장치에 전체 측정 결과 및 상태를 통신한다. 또한, 20 0℃까지 측정이 가능한 K-TYPE 열전쌍을 사용하고 MCU에서 교정표를 통한 온도보정을 적용한다. 그림 3은 주 제어보드의 이미지를 나타낸다.

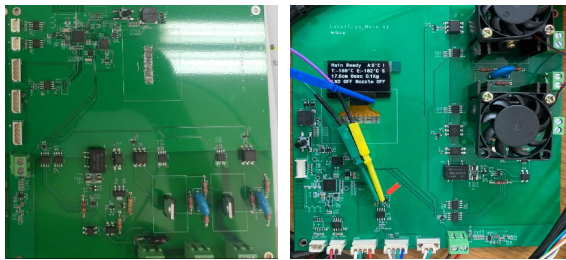


Fig. 3. Image of Main Control Board.
그림 3. 주 제어보드의 이미지

3.2 질소분사(건) 보드

질소분사(건) 보드는 Cortex-M4의 한 종류인 nrf52833을 사용하여 레이저 방식의 거리 센서로부터 거리 값을 측정하며, 적외선 피부온도 센서로부터 피부온도를 측정한다. 현재 거리 및 피부온도를 내장되어 있는 OLED 화면에 표시가 가능하다. 또한, RS-485를 통한 주 제어 보드의 명령에 따라 측정값 및 상태 값을 통신한다. 그림 4는 질소분사(건) 보드의 이미지를 나타낸다.

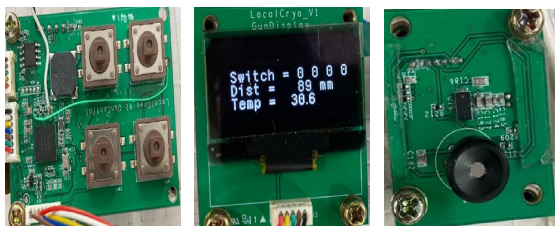


Fig. 4. Image of Nitrogen Injection Board.
그림 4. 질소분사(건) 보드의 이미지

3.3 무게 측정 보드

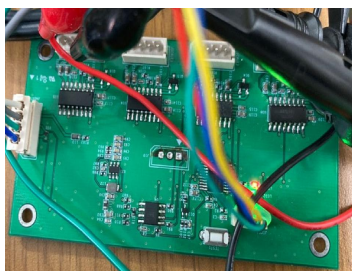


Fig. 5. Image of Weight Measurement Board.
그림 5. 무게 측정 보드의 이미지

무게 측정 보드는 8051의 한 종류인 N76E003을 사용하여 4개의 무게 센서로부터 값을 읽어 보정하며, RS-485를 통한 주 제어보드의 명령에 따라 측정값 및 상태 값을 통신한다. 5V 동작에 필요한 전원은 RS-485를 통해 공급받는다. 그림 5는 무게 측정 보드의 이미지를 나타낸다.

4. 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장치 GUI

개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장치의 GUI는 사용자의 편의성을 위해 GUI에 4개에 세션을 구성하

여 선택을 통해 토출되는 냉기의 온도 및 시간을 확인할 수 있도록 한다. 또한, 세션 진행 시 분사되는 냉기의 온도, 피부의 온도, 피부와의 거리, 설정온도, 액체질소 잔여량, 세션 잔여시간 등을 표시하여 안전하게 운영될 수 있도록 구성한다. 그림 6은 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장치의 GUI를 나타낸다.

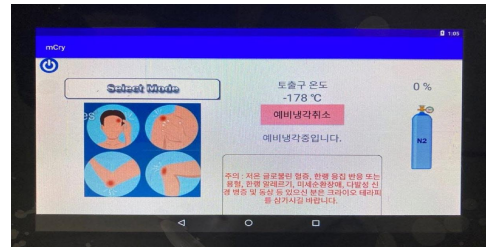


Fig. 6. GUI of Nitrogen Cooling Equipment for Personalized Local Area.
그림 6. 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장치의 GUI

세션을 선택 후 진행하면 진행화면으로 전환되며 진행에 필요한 정보들을 표현하여 안전한 세션 운영을 진행한다. 세션 취소버튼, 질소잔량, 세션 경과시간, 토출구 온도, 피부온도, 피부와의 거리, 목표온도, 주의사항 등을 표시한다. 그림 7은 세션 선택 후 진행되는 GUI를 나타낸다.



Fig. 7. GUI that Proceeds after Session Selection.
그림 7. 세션 선택 후 진행되는 GUI

5. 성능 실험

5.1. 실험 방법

본 논문에서 제안한 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장치의 성능을 평가하기 위하여, 외부실험기관에서 그림 8과 같이 테스트 환경을 구축하여 실험하였다. 온도센서 정확도는 토출 가능한 $-100^{\circ}\text{C} \sim -160^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위 중 -130°C 의 온도 정확도를 반복하여 측정하였다. 온도 범위는 $-110^{\circ}\text{C} \sim -160^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위 중 -10°C 의 간격으로 반복하여 진행하였다. 거리 정확도는 10cm, 15cm, 20cm의 거리를 반복 측정하여 기록하고 측정하였다. 무게 정확도는 20kg의 표준분동을 이용하여 20kg부터 100kg까지의 측정결과를 확인하여 측정하였다. 토출 제어는 액체질소 보관용기의 질소량을 확인하고 1회 세션 10분 진행 시 각 단계별 변화하는 토출량을

측정하여 완전소모까지 반복 측정을 통해 데이터를 확인하였다. 질소 사용량은 액체질소 보관용기에 액체질소를 40kg을 충전하고 -160°C 의 냉기를 지속적으로 배출하여 진행하였다. 그림 9는 실험에 사용된 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장치의 하드웨어 이미지를 나타낸다.



Fig. 8. Test Configuration Environment.
그림 8. 테스트 구성 환경



Fig. 9. Hardware Image.
그림 9. 하드웨어 이미지

5.2. 실험 결과

실험 결과는 표 1과 같이 온도센서 정확도는 세계 최고 수준($\pm 5\%$)보다 낮은 $\pm 3.8\%$ 의 범위에서 측정이 되었고, 온도범위는 세계 최고 수준과 비슷한 $110^{\circ}\text{C} \sim -160^{\circ}\text{C}$ 의 범위가 측정되었다. 거리 정확도는 세계 최고 수준($\pm 5\%$)보다 낮은 $\pm 3.0\%$ 의 범위에서 측정이 되었고, 무게 정확도는 세계 최고 수준($\pm 5\%$)보다 낮은 $\pm 0.1\%$ 의 범위에서 측정이 되었다. 또한, 토출 제어는 세계 최고 수준(1단계)보다 높은 4단계가 측정되었고, 질소 사용량은 세계 최고 수준(6L/min)

Table 1. Experimental Results.

표 1. 실험 결과

Evaluation Item (Performance Specifications)	Unit	Evaluation Result
Accuracy of Temperature Sensor	%	$\pm 3.8\%$
Temperature Range	$^{\circ}\text{C}$	$-110 \sim -160^{\circ}\text{C}$
Accuracy of Distance	%	$\pm 3.0\%$
Accuracy of Weight	%	$\pm 0.1\%$
Emission Control	LV	4LV
Nitrogen Usage	L	0.8 L/min

이하인 0.8L/min로 측정되었다. 따라서 본 논문에서 제안한 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장비 개발의 성능의 그 효용성이 입증되었다. 세계 최고 수준은 외국 기업 제품의 성능을 참조하였다.

III. 결론

본 논문에서는 피부 온도와 거리를 자동으로 측정하여 냉기의 분출량을 제어함으로써 안전하고 경제성이 높은 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장비를 제안하였다. 제안된 장비의 성능을 평가하기 위하여 외부시험기관에서 실험한 결과, 온도센서 정확도는 세계 최고 수준($\pm 5\%$)보다 낮은 $\pm 3.8\%$ 의 범위에서 측정이 되었고, 온도범위는 세계 최고 수준과 비슷한 $110^{\circ}\text{C} \sim -160^{\circ}\text{C}$ 의 범위가 측정되었다. 거리 정확도는 세계 최고 수준($\pm 5\%$)보다 낮은 $\pm 3.0\%$ 의 범위에서 측정이 되었고, 무게 정확도는 세계 최고 수준($\pm 5\%$)보다 낮은 $\pm 0.1\%$ 의 범위에서 측정이 되었다. 또한, 토출 제어는 세계 최고 수준(1단계)보다 높은 4단계가 측정되었고, 질소 사용량은 세계 최고 수준(6L/min) 이하인 0.8L/min로 측정되었다. 따라서 본 논문에서 제안한 개인 맞춤형 국소부위 질소 냉각 장비 개발의 성능의 그 효용성이 입증되었다. 향후 연구 진행방향은 열화상 카메라를 이용하여 피부온도 측정한 후에, 질소 냉각 장비에 연동하는 개발이 필요하다고 사료된다.

References

- [1] 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: 0.7471/ikeee.2020.24.2.673
- [2] Swenson, C., L. Swärd, and J. Karlsson. "Cryotherapy in sports medicine," *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, Vol.6, no.4, pp.193-200, 1996. DOI: 10.1111/j.1600-0838.1996.tb00090.x
- [3] Banfi, Giuseppe, et al. "Whole-body cryotherapy in athletes," *Sports medicine*, Vol.40, No.6, pp.509-517, 2010.
- [4] WESTERLUND, Tarja, et al, "Thermal responses during and after whole-body cryotherapy (-110°C)," *Journal of thermal biology*, vol.28, no.8, pp.601-608, 2003. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2003.08.006