

온·습도 센서와 펠티어 소자를 활용한 스마트 헬멧 개발 및 성능 평가

임형섭, 김성운, 오탉훈*, 김윤성**, 김영우**, 한찬호

경북대학교, *계명대학교, **영남대학교

hyungsub1104@gmail.com

Development and Performance Evaluation of Smart Helmets Using Temperature and Humidity Sensors and Peltier Device

Hyungseob Lim, Seongun Kim, Taehun Oh*,

Yunseong Kim**, Youngwoo Kim**, Chanho Han

Kyungpook National Univ., *Keimyung Univ., **Yeungnam Univ.

요 약

본 연구는 고온다습 환경에서 온열질환을 예방하기 위한 불쾌지수 기반 스마트 헬멧을 설계·제작하였다. 제안된 시스템은 온·습도 센서, 펠티어 소자, 제어부, 디스플레이, GUI로 구성되며, 실시간 불쾌지수 계산을 통해 팬 속도를 자동 제어한다. 성능 평가 결과, 팬과 통풍 시트를 함께 적용한 경우 불쾌지수를 가장 빠르게 낮추는 효과를 보였다. 본 시스템은 군사·산업·상업 분야에서의 활용 가능성을 지니며, 향후 전력 효율 개선을 통해 실용성이 더욱 확대될 수 있다.

I. 서 론

최근 15년간 국내 여름철 평균기온은 5.2°C 상승하였으며, 2023년 폭염 일수는 1973년 관측 이래 최다를 기록하는 등 고온 환경이 심화되고 있다. 이로 인해 2020년부터 2023년까지 열사병 등 온열질환자 수는 연평균 23% 증가하였으며, 특히 군·경찰·소방 등 실외 근무자의 비중이 68%로 집계되었다. 이러한 기후 위기는 단순한 건강 문제를 넘어 생명의 위협으로도 다가올 수 있다.[1]

본 프로젝트는 무더운 환경에서 고된 업무를 수행하는 이들이 온열 질환으로 인해 쓰러지거나 사망에 이르는 안타까운 사고를 예방하기 위해, 실질적인 도움이 될 수 있는 제품 개발을 목표로 한다. 이를 위해 실현 가능성, 혁신성, 단기 실현 가능성 등의 요소를 종합적으로 고려하였으며, 그 결과 ‘체온 조절 시스템이 내장된 차세대 헬멧의 개발을 본 프로젝트의 궁극적인 목표로 설정하였다.

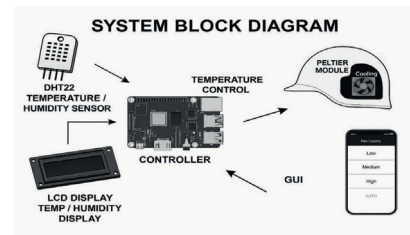
전체 구성은 온습도 센서, 펠티어 소자, 디스플레이, 라즈베리파이, 냉방 팬으로 되어있으며, 이들 부품을 활용하여 헬멧 내부에 냉방 시스템을 구현하였다.[2] 냉방 시스템은 온도와 습도를 모두 반영하는 불쾌지수(Discomfort Index) 공식을 기반으로 설계되었으며, 불쾌지수를 5단계로 구분하고 각 단계에 따라 팬 속도를 제어함으로써 자동 체온 조절 기능을 실현하였다.[3]

II. 본론

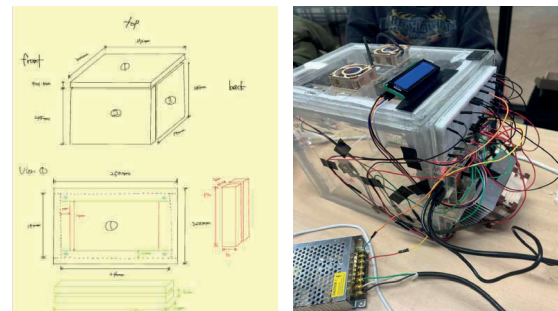
2.1 스마트헬멧설계 및 제작

본 연구에서는 펠티어 소자 기반 능동 냉방 모듈과 다수의 온·습도 센서, 라즈베리파이 제어부 및 디스플레이를 통합한 헬멧을 설계·제작하고, 그 성능을 평가하였다.

본 시스템은 그림 1과 같이 냉방 모듈, 온·습도 센서, 제어부, 디스플레이, 사용자 인터페이스(GUI)로 구성되며, 전체 제어 흐름은 온도 및 습도 측정, 불쾌지수 계산, 팬 속도 조절, 정보 출력의 순으로 진행된다.



[그림 1] 스마트 헬멧 블록 다이어그램



[그림 2] 스마트 헬멧 가상실험

그림 2는 동양인 평균 두상 치수(앞뒤 18.5cm, 좌우 15.0 - 15.5cm, 높이 21.0 - 22.0cm)를 기반으로 설계된 아크릴 프로토타입이다. 각 면에는 지지 기둥을 추가하여 구조 강성을 확보하였다.

온·습도 센서는 이마, 후두부, 정수리, 양측 관자놀이 등 5지점에 부착하였다. Raspberry Pi에서 각 센서값을 받아 불쾌지수를 계산하고, 팬 구동부에 해당 값들을 기반으로 속도 명령을 전송한다. 헬멧 상단에 부착된 소형 디스플레이는 평균 온·습도 및 불쾌지수를 실시간으로 표시하도록 설계되었다.

스마트 헬멧 가상실험 후, 폴페이스 헬멧에 실제 부품을 장착하였다. 헬멧 후두부에는 펠티어소자-팬 복합 모듈을 PlugandPlay 방식으로 설치하였으며, 정수리 부분 팬은 실시간 불쾌지수 연산에 따라 PWM

제어로 속도를 조절한다.



[그림 3] 스마트 헬멧 제작 결과

브레드보드 기반 와이어 연결의 불안정성을 해소하기 위해, 모든 전선 및 부품을 PCB에 납땜하여 고정하였다. 탈부착식 커넥터를 적용하여 모듈 간 교체성을 확보하였으며, 배선 정리를 통해 내부 공간 활용을 최적화하였다.

2.2 성능평가

헬멧의 성능은 불쾌지수를 기준으로 평가하였다. 불쾌지수(DI)는 다음과 같은 식을 따른다.

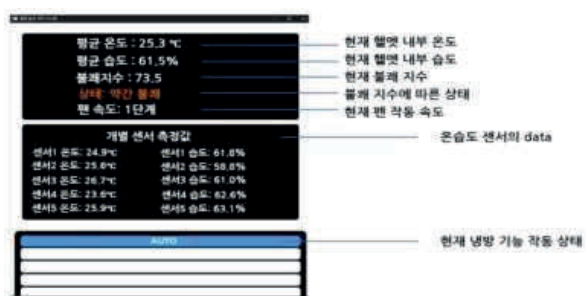
$$DI = \frac{9}{5} T - 0.55(1 - RH) \left(\frac{9}{5} T - 26 \right) + 32$$

T : 기온(℃), RH : 상대습도(%)

단계는 총 5단계로 불쾌지수에 따라 PWM 제어로 팬 속도를 설정하였다.

[표 1] 불쾌지수에 따른 팬 속도

단계	1 (매우 쾌적)	2 (쾌적)	3 (보통)	4 (불쾌)	5 (매우 불쾌)
불쾌지수	~68	68~72	72~78	78~85	85~
PWM 제어 팬 속도	0%	25%	65%	85%	100%



[그림 4] 스마트 헬멧 GUI 구성

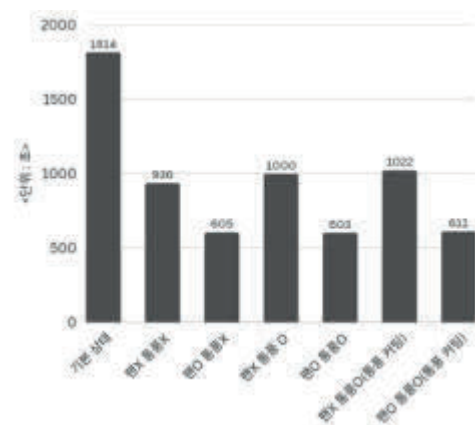
불쾌지수를 기준으로, 팬 세기가 자동적으로 조절하는 AUTO 모드를 설정하였다. 사용자가 팬 세기를 조절할 수 있도록 팬 세기를 5단계부터 1단계까지 나누어, 수동적으로 조절이 가능하도록 구성하였다. 아래 표는 헬멧의 내부 온도, 습도를 기준으로 불쾌지수 단계를 표시하였다. 불쾌지수가 5단계에서 1단계로 떨어지는 시간을 머리 위 팬, 통풍 시트의 유무를 기준으로 가장 빠르게 1단계로 도달하는 시간을 기준으로 평가하였다. 불쾌지수가 95에서 67.9(1단계)로 떨어지는 시간을 총 5번 측정해 평균값을 내어 측정하였다.

팬과 통풍 시트가 모두 존재하는 헬멧이 10분 03초로 가장 빠르게 1단계로 도달하였다. 팬은 존재하지만 통풍시트가 존재하지 않는 헬멧이 근소한 차이로 10분 05초를 기록하며 2위를 차지하였다. 3번째로는 팬과 통풍

시트가 모두 존재하지만 통풍 커팅을 한 것이 10분 11초로 차지하였다. 그 결과, 결과는 팬의 유무에 따라 큰 차이를 보였으며, 통풍 시트는 결과에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단하였다. 결과적으로, 통풍 시트가 있으며, 자르지 않았고, 팬을 가동한 것이 가장 좋은 결과를 보였다.

[표 2] 팬 유무 및 통풍시트 유무에 따른 불쾌지수 변화 시간

팬 유무	통풍 시트 유무	3단계->0단계 시간	기본상태와 시간 차이
X	X	15분 36초	14분 38초
O	X	10분 05초	20분 09초
X	O	16분 40초	13분 34초
O	O	10분 03초	20분 11초
X	O(통풍 커팅)	17분 02초	13분 12초
O	O(통풍 커팅)	10분 11초	20분 03초



[그림 5] 스마트 헬멧 조건별 냉각 성능 비교

2.3 활용방안

본 스마트 헬멧은 오토바이 운전자, 군사 영역, 건설 현장 등 기존에 언급된 분야를 넘어 폭넓은 적용이 기대된다. 군사적으로는 극한 환경에서의 전투 효율성 증대 및 생존을 향상에 기여하고, 산업 현장에서는 건설, 제조, 소방 분야 작업자들의 온열 질환 예방과 작업 능률 향상을 도모할 수 있다. 더 나아가 배달 서비스 종사자나 스포츠 활동 시 개인의 쾌적함을 높여 안전과 활동의 질을 개선하며, 향후 배터리 효율 증대, 방수 기능 추가, 경량화 등의 개선을 통해 더욱 다양한 환경에서 활용될 것으로 예상된다.

III. 결론

본 연구는 실제 착용 가능한 헬멧에 펠티어 소자 기반의 능동 냉방 시스템을 성공적으로 통합하고, 온·습도 센서와 불쾌지수 알고리즘을 활용한 자동 온도 제어 시스템의 효율성을 실험적으로 검증하였다. 팬을 적용했을 때 냉각 시간이 현저하게 단축되었으며, 특히, 팬과 통풍 시트를 함께 사용했을 때 가장 우수한 냉각 성능을 나타내, 헬멧 내부의 온도를 효과적으로 개선할 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 군사, 산업 현장 및 일상생활 등 다양한 분야에서 사용자의 작업 효율성과 안전 증진에 기여할 수 있는 스마트 헬멧 개발의 가능성을 제시한다. 다만, 펠티어 소자의 전력 소모로 인한 배터리 지속 시간의 한계는 명확하며, 향후 저전력 구동 회로 설계, 고효율 배터리 적용, 시스템 경량화 및 소형화, 그리고 다양한 실제 사용 환경을 고려한 내구성과 방수 기능 강화 등 실용성을 높이기 위한 지속적인 연구 개발이 요구된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 「지역혁신중심 대학지원체계(RISE)」 ICT-ABB 사업단의 지원을 받아 작성되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Eldho, Alias Sonnet T., et al. "Design and analysis of a smart-attachment to jacket and helmet used by two-wheeler riders using Peltier-module." *Materials Today: Proceedings* 42 (2021): 862-869.
- [2] C. Y. Kim, S. J. Lee, H. S. Lee, H. S. Jang, & J. K. Park (2011-11-10). A Study on Apparatus for Cooling System using the Peltier effect of Thermoelectric Module. *Proceedings of the KSMPE Conference*, 제주.
- [3] Thom, Earl Crabill. "The discomfort index." *Weatherwise* 12.2 (1959): 57-61.