

기화 냉각열 효과를 활용한 온열 질환 예방용 헬멧 디자인 개발 연구

A study on the development of outdoor helmets relieved by Evaporative Cooling effect

김영기*

홍익대학교 기계시스템디자인공학과

Youngki Kim

Dept. of Mechanical and Design Engineering, HIU

김지수*

홍익대학교 산업디자인학과

Jisu Kim

Dept. of Fine Arts Design Industrial Design, HID

정승훈*

홍익대학교 기계시스템디자인공학과

Seunghun Jeong

Dept. of Mechanical and Design Engineering, HIU

소현준*

홍익대학교 기계시스템디자인공학과

Hyeonjoon So

Dept. of Mechanical and Design Engineering, HIU

지해성**

홍익대학교 기계시스템디자인공학과 교수

Haeseong Jee

Professor, Dept. of Mechanical and Design Engineering, HIU

박기철**

홍익대학교 기계시스템디자인공학과 교수

Kicheol Pak

Professor, Dept. of Mechanical and Design Engineering, HIU

* Key words: Heat Illness Prevention, Design Process, Helmet

1. 서론

기후변화로 인한 전 세계적 이상고온 현상이 심화되면서, 야외 근로자들의 온열 질환 위험이 매우 증가하고 있다. 세계보건기구(WHO)에 따르면 매년 약 489,000명이 온열 질환으로 사망하고 있으며, 유엔 기후변화협약은 여름철 평균 기온이 1.5°C에서 2°C까지 상승할 경우 이 수치가 현재의 2배 이상인 약 1,000,000명에 이를 것으로 전망하고 있다.

국제노동기구(ILO)의 보고서는 매년 발생하는 5000만 명의 온열질환자 중 약 45%인 2285만 명이 야외 근로자임을 밝혔다. 이는 야외 근로자들이 폭염에 직접 노출되어 있어 온열 질환에 특히 취약하다는 것을 보여준다. 특히 야외 근로자들이 착용하는 안전 헬멧 내부 온도가 외부 기온보다 약 5°C 더 높아 40-45°C에 달하게 되며, 이로 인해 온열 질환 발생 확률이 60% 증가하는 것으로 나타났다.

온열 질환은 고온 환경에 노출되어 체온 조절 기능이 제대로 작동하지 않아 발생하는 건강 문제로, 개인의 건강과 안전, 그리고 사회경제적 측면에서 다양한 위험성을 내포하고 있다. 체온 상승으로 인한 집중력 저하, 판단력 감소, 근육 경련 등은 작업 효율성과 안전성을 크게 떨어뜨리며, 미국 산업안전보건청(OSHA)의 보고에 따르면 작업장에서의 온열 스트레스로 인한 사고 발생률이 일반적인 상황보다 최대 50% 높아질 수 있다고 한다. 국제노동기구(ILO)의 연구에 따르면, 기후변화로 인한 열 스트레스로 2030년까지 전 세계적으로 연간 2.2% 노동시간 손실이 예상된다¹⁾.

결론적으로, 온열 질환의 위험성은 야외 근로자들에게 더욱 심각하게 나타난다. 건설 현장, 농업, 도로 공사 등 야외에서

장시간 고온에 노출되는 직종의 근로자들은 온열 질환에 가장 취약한 집단이다. 이들은 지속적인 고온 환경에서의 육체노동으로 인해 체온 상승 위험이 크고, 적절한 휴식과 수분 섭취가 어려운 경우가 많아 온열 질환 발생 가능성이 매우 증가한다. 따라서 야외 근로자들의 건강과 안전을 위해서는 온열 질환 예방에 대한 특별한 주의와 대책이 필요하다. 이는 개인적 차원의 예방 수칙 준수뿐만 아니라, 작업 환경 개선, 적절한 휴식 시간 보장, 그리고 효과적인 보호 장비 제공 등 조직적이고 체계적인 접근이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 온열 질환 예방을 위한 대책 중 효과적인 보호 장비에 초점을 맞추고자 한다. 이를 위해 기존 헬멧의 문제점을 개선하고, 야외 근로자들이 더욱 안전하고 쾌적한 환경에서 작업할 수 있도록 돕는 혁신적인 보호 장비인 헬멧을 제안하고자 한다. 새롭게 제안된 헬멧은 기화열 냉각 시스템을 도입하여 헬멧 내부 온도를 낮추고, 온열 질환 발생을 예방하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 야외 근로자들의 건강과 안전을 효과적으로 보호할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구배경 및 콘셉트 도출

2-1. 문제 및 목표 정의

야외 근로자들은 작업 환경과 안전 규정에 따라 다양한 보호 장비를 착용해야 한다²⁾. 이 중 안전모(헬멧)는 대부분의 야외 작업 현장에서 필수적으로 착용해야 하는 핵심 장비로, 낙하물이나 충격으로부터 머리를 보호하는 중요한 역할을 한다. 하지만 헬멧의 착용은 온열 질환과 같은 새로운 문제를 야기할 수 있다.

안전모는 외부의 충격을 막기 위해 밀폐된 구조를 갖추고 있

1) Global regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: A three-stage modelling study, *The Lancet Planetary Health*, PP.e415-e425, 2021.

2) International Labour Organization (ILO), Ensuring safety and health at work in a changing climate, 2024.

3) 산업용 안전모의 충격 흡수 이론, *한국안전학회지(구 한국산업안전학회지)*, PP.37-40, 1991.

는데, 이로 인해 헬멧 내부의 공기 순환이 원활하지 않고, 열이 쉽게 축적된다. 연구에 따르면, 헬멧 내부 온도가 외부 기온보다 크게 높아져 근로자들에게 열 스트레스를 유발할 수 있으며, 이는 근로자의 작업 효율성 저하와 함께 건강에 심각한 위험이 될 수 있다.

이러한 상황에서 안전도는 두 가지 상반된 요구 사항을 충족해야 한다. 하나는 외부충격으로부터 보호하는 기능이고, 다른 하나는 착용자의 체온을 적절히 관리하여 열 스트레스를 줄이는 기능이다. 하지만 현재 시장에서 사용되는 안전모 대부분은 이 두 가지 요구 사항 중 보호 기능에만 집중되어 있다. 이로 인해 근로자들은 보호 기능을 위해 착용하는 헬멧이 오히려 온열 질환을 유발하는 위험에 노출되고 있다.

따라서 본 연구의 목표는 이러한 문제를 해결하고, 헬멧의 기본적인 보호 기능을 유지하면서 동시에 체온 조절에 효과적인 새로운 설계 방안을 제시하는 것이다.

2-2. 안전모의 공학적 데이터 분석

헬멧의 온열 질환 예방 기능을 개선하기 위해, 먼저 기존 헬멧의 문제점을 체계적으로 분석하고 설계 개선 방안을 도출하는 과정이 필요하다. 이를 위해 기획 단계에서 기존 자료를 검토하고, 야외 근로자들의 온열 질환 예방을 위한 방안을 설정했다.

실제 근로자들의 요구를 파악하기 위해 야외 근로자 3명과 관리자 2명을 대상으로 인터뷰를 진행했다. 이를 통해 야외 근로자들이 현장에서 겪는 다양한 어려움을 종합하고, 이를 구조화하기 위해 Object Tree를 작성하였다. 이후 품질기능 전개(QFD)를 통해 기능적 설계 요건과 측정값들을 구체화했다.

[표 1] 디자인 프로세스 과정

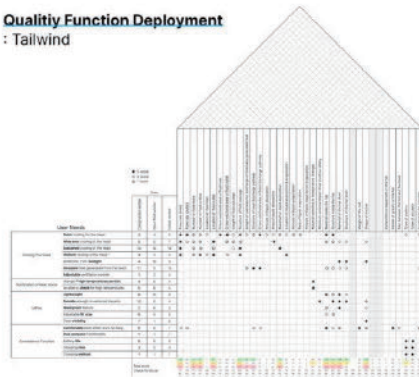
단계	과정
기획	대상자 선정 (Target Selection) 관찰 및 연구 (Observation & Research)
문제점 정의	객체 모델 (Object Tree) 대상자 인터뷰 (Target Interview) 품질기능전개(Quality Function Deployment)
아이디어 구상	어피니티 다이어그램 (Affinity Diagram) 제품 기능 확정 (Functional Definition) 생체모방 (Biomimicry)
아이디어 검증 및 수정	3D 프로토타입 (3D-Prototype) 가설 설정 및 실험 설계 전문가 평가 (Feedback) 측정 및 수정 (Measurement & Concept Refine)

[표 2] QFD 전 사전 인터뷰

인터뷰 대상	직업	주요 요구사항 및 의견
근로자 1	건설 현장 근로자	헬멧을 쓰고 있으면 머리가 너무 금방 뜨거워서 불편하다. 빠르게 머리를 식혀 줄 수 있는 냉각 기능이 필요하다.
근로자 2	농업 근로자	머리 전체가 고르게 시원해졌으면 좋겠다. 한 부분만 시원해지면 머리가 아프다.
근로자 3	건설	온증일 작업해야 할 때, 냉각 기능이

	현장 근로자	지속되어 헬멧 내부가 너무 뜨거워지지 않았으면 좋겠다.
관리 감독자	건설 현장 관리자	근로자들이 헬멧이 걸리거나 머리가 답답해 자주 벗는데, 헬멧이 가볍고 시원하게 유지된다면 착용을 지속할 수 있을 것 같다.
안전 전문가	안전 장비 관리자	헬멧은 야외 작업 시 발생할 수 있는 외부 충격에 충분히 견딜 수 있어야 하며, 그와 동시에 가벼워서 착용자가 부담을 느끼지 않도록 해야 한다.

Quality Function Deployment : Tailwind



[그림 1-1] 품질기능전개 (Quality Function Deployment)

Cooling The Head	Quick cooling for the head.
	Wide area cooling of the head
	Sustained cooling of the head
	Uniform cooling of the head.
	protection from sunlight
Notification of Heat stress	dissipate heat generated from the head.
	Adjustable ventilation system
	change if high temperatures persist.
Safety	be able to check for high temperatures
	Lightweight
	Durable enough to external impacts
	Waterproof feature
	Adjustable fit size
Convenience Function	Clear visibility
	Comfortable even when worn for long
	Dual-purpose functionality
	Battery life
	Charging time
	Charging method

[그림 1-2] 유저 니즈 인터뷰 반영한 QFD 항목

2-3. 콘셉트 도출

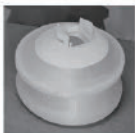
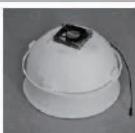
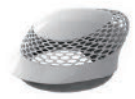
본 연구의 콘셉트 구상 단계에서는 Affinity Diagram을 활용해, 인간이 고온 환경에서 체온을 낮추기 위해 취하는 행동들을 분석했다. 이를 통해 차가운 물체를 대거나 바람을 만들어 내고, 햇빛을 피하는 등의 다양한 행동들이 도출되었다. 특히, 시원한 바람을 찾거나 땀을 증발시키려는 본능적인 행동에 주목하여, 이러한 행동들이 체온 조절에 효과적일 수 있다는 아

이디어를 얻었다. 이 관찰을 바탕으로 공기를 활용한 냉각 방식이 체온을 조절하는 데 효과적이라는 결론을 도출하고, 이를 헬멧 설계에 반영했다.

새 헬멧의 설계에는 헬멧 전면에 있는 통풍구를 통해 바람을 유입시키고, 내부 공기 흐름을 형성하여 땀의 증발을 촉진하는 시스템을 적용했다. 이 과정에서 발생하는 기화열을 통해 두부의 체온을 효과적으로 낮추며 헬멧 내부 온도를 제어할 수 있다. 이러한 냉각 시스템은 다양한 실험을 통해 검증되었고, 헬멧의 실제 냉각 성능을 확인했다.

연구 과정에서는 자연에서의 적응 방식을 참고하여 설계를 발전시켰다. 고온 환경에서도 공기를 효과적으로 냉각시키는 낙타의 코 구조⁴⁾를 모델로 삼아, 헬멧 내부의 공기 흐름을 최적화하고 내부 온도를 자연스럽게 조절할 수 있는 시스템을 설계했다. 이러한 생체 모방(Biomimicry) 기법을 통해, 낙타 코 구조의 냉각 시스템을 헬멧에 적용하여 통풍을 개선하고, 땀의 기화를 촉진해 두부 온도를 낮추는 설계를 완성했다.

[표 3] 추후 설계에 참고할 콘텐츠 정보

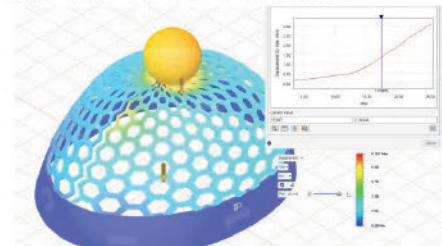
콘텐츠(디자인)	프로토타입	세부정보
낙타 코 구조 활용		- 자연 환기 구조: 낙타 코의 구조를 모방하여 내부 공기 흐름을 형성하고, 체온을 조절. - 기능: 내부 열을 외부로 배출하여 머리의 체온을 낮춤.
흰개미집 통풍 구조		- 환기 및 차광 구조: 흰개미집 구조를 활용하여 자연 환기와 내부 열 조절. 상부에서 열을 배출하고 하부로 차가운 공기 유입. - 특징: 오버행 구조를 추가해 직사광선 차단 효과도 있음.
팬 탑재형 설계		- 공기 순환: 상단에 팬을 탑재하여 공기 흐름을 유도하고 냉각 성능을 향상. - 문제점: 소음 및 진동, 착용자의 불편함 유발. 전력 소모로 인한 추가 비용 문제 존재.
격자형 충격 흡수 구조		- 통기성 강화: 격자형 디자인으로 공기 흐름을 최적화하여 헬멧 내부 온도를 조절. - 충격 흡수 기능: 격자형 구조로 충격을 효과적으로 분산하고 흡수.

연구 초기 단계에서는 낙타 코 구조를 확인하기 위하여 프로토타입을 개발하여 공기 흐름을 유도하고 냉각할 수 있는 확인해 보았다. 공기의 흐름이 자연스럽고 이로 인하여 체온 조절이 가능하다는 것을 확인하였으며, 박스형 구조로 인해 공기 순환이 원활하지 않고 코너 부분에 와류(vortices)가 발생하는 문제가 있어 기대한 만큼의 냉각 효과를 못 얻는다는 것을 알았다. 이를 통해 설계하는 모델에서는 헬멧 전면 통풍구의 면적을 확대하고 각진 부분을 최대한 없애 내부 공기 흐름을 원활하게 만들었다.

다음으로, 자연 환기와 열 조절에 뛰어난 흰개미 집 구조와 오버행 구조를 결합한 프로토타입을 개발하였다. 흰개미 집 구조를 적용해 뜨거운 공기는 상부로 배출하고 차가운 공기를 하부에서 유입하는 자연 환기 시스템을 구현했다. 또한, 오버행 구조를 적용해 직사광선을 차단하고, 차가운 공기를 유입할 수 있는 공간을 확보하여 열 축적을 줄였다. 그러나 초기 실험에서 내부 공기 흐름이 예상보다 원활하지 않아 온도 감소 효과가 충분하지 않았고, 상단 출구로의 유량도 부족했다.

이러한 문제를 해결하기 위해 상단에 팬을 탑재한 프로토타입을 제작하여 공기 흐름을 강제적으로 유도했다. 이를 통해 내부 냉각과 유량 배치를 개선하는 데 성공했으며, 팬 시스템 사용으로 전력 소모, 소음, 진동이 발생하였다. 소음은 착용자에게 지속적인 스트레스를 주었고, 진동은 헬멧의 안전성을 저하했다. 이러한 이유로 추후 설계에서는 팬을 사용하지 않고 공기 흐름을 원활하게 하는 방향으로 고려하게 되었다.

안전에 대해서는 공기 통로가 추가되면서 일반 안전모보다 충격 흡수 측면에서 취약할 수 있다는 문제가 제기되었다. 이를 해결하기 위해 다양한 설계 방안을 고려하였으며, 그중 가장 적합하다고 판단된 것이 Honeycomb(벌집) 구조이다. 이 격자형 충격 흡수 구조는 가벼우면서도 높은 강도를 제공하여 충격을 효과적으로 분산시킬 수 있는 특징을 갖고 있다. 또한, 벌집 모양의 통로는 헬멧 내부의 공기 순환을 더욱 원활하게 하여 냉각 기능과 통풍 성능을 유지할 수 있다. 추후 연구에서는 Honeycomb 구조의 두께, 격자, 셀 크기 등을 최적화하여 안전성을 최대한 높이면서도 헬멧의 경량화 및 통기성을 유지할 수 있는 설계 방안을 구체화할 예정이다.



[그림 2] CFD를 통한 격자형 허니콤 구조의 충격 흡수 분석

4) A camel nose-inspired highly durable anthropomorphic humidity sensor with water source locating capability. *ACS Nano*, PP.13310-13320, 2021.

5) Cooling Strategies in the Biological Systems and Termite Mound: The

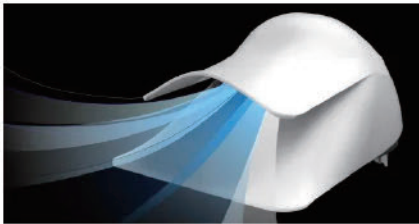
New Paradigm, *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, PP. 65-75, 2018.

6) Passive Cooling Techniques in Historical Building Versus Contemporary Bio Mimic Concepts: An Overview, *American Journal of Applied Sciences*, PP. 100-110, 2021.

2-4. 상세설계

앞서 도출된 개념과 다양한 프로토타입 실험을 바탕으로, 헬멧의 냉각 성능을 극대화하기 위한 구체적인 설계 단계에 진입했다. 본 연구에서는 최적의 냉각 효과를 달성하기 위해 세 가지 핵심 문제를 해결하는 설계 전략을 수립했다.

첫 번째 문제는 헬멧 내부로 바람을 원활하게 유입하는 것이다. 이를 해결하기 위해 새는 헬멧 앞면에 면적 약 5000mm²의 통풍구를 설치했다. 실험 결과, 자연풍 속도 2m/s 환경에서 이 통풍구를 통해 헬멧 내부로 공기가 원활하게 유입되는 것을 확인했다. 또한, 헬멧 아래쪽 채 부분을 사각형으로 설계하여 공기 흐름을 약 30% 증가시켰다. 넓은 채는 오버행 구조와 결합해 햇빛으로 인한 열 축적을 차단하며, 더 넓은 면적으로 바람을 효과적으로 유입할 수 있도록 설계되었다. 이를 통해 직사광선에 의한 내부 온도 상승을 최소화하고 냉각 성능을 향상할 수 있었다.

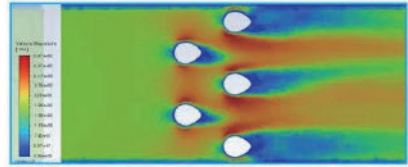


[그림 3] 헬멧의 전방 모습

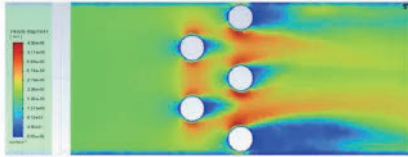
두 번째 문제는 들어온 공기를 어떻게 효과적으로 냉각시키고, 열을 빠르게 배출할 것인가에 대한 것이었다. 낙타의 코 구조를 참고하여 헬멧 내부에 기둥을 배치했는데, 이 기둥은 두 가지 주요 역할을 한다. 먼저, 머리에서 발생한 땀을 흡수한 후 바람이 지나가는 통로에서 이를 증발시켜 냉각 효과를 제공하는 것이다. 이 과정에서 발생하는 기화열은 체온을 낮추고, 헬멧 내부의 온도를 조절하는 데 중요한 역할을 한다.

또한, 기둥은 와류를 발생시켜 공기 흐름을 촉진한다. 와류는 단순한 직선 공기 흐름보다 더 효율적으로 열을 분산시키고, 공기와 헬멧 내부 표면 간의 접촉 면적을 늘려 열전달 계수를 증가시킨다. 이로 인해 내부의 뜨거운 공기가 더 빠르게 외부로 배출되고, 신선한 공기가 내부로 더 잘 유입된다.

CFD(Computational Fluid Dynamics) 분석 결과, 원기둥이 물방울 모양보다 더 효과적으로 와류를 발생시키는 것으로 나타났다. 이는 원기둥의 단순한 구조가 유체 흐름을 방해하지 않으면서도 충분한 와류를 형성할 수 있기 때문이다. 결과적으로, 기둥의 형상은 원기둥으로 결정되었으며, 이는 헬멧 내부에서의 공기 흐름과 냉각 성능을 극대화하는 데 중요한 요소로 작용한다.

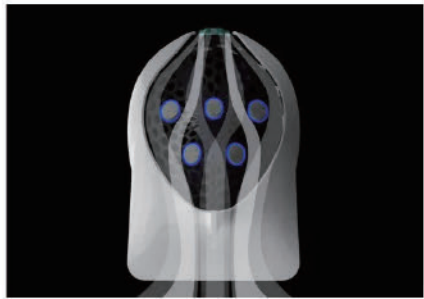


Droplet shape



Cylindrical pillars

[그림 4] CFD를 통한 형상별 와류 발생 비교



[그림 5] 헬멧 내부의 와류 발생을 위한 기둥

세 번째로 해결해야 할 문제는 들어온 바람을 어떻게 효과적으로 배출할 것인가였다. 헬멧은 땀이 많이 발생하는 부위에 집중적으로 바람을 흘려보내, 땀의 기화를 촉진하여 냉각 효과를 극대화하는 것을 목표로 했다. 연구 결과, 땀이 가장 많이 발생하는 부위는 목 뒤와 등 부분임을 확인하였다. 이 부위에서의 냉각이 중요하다고 판단하여, 헬멧의 뒷부분에 공기가 원활하게 순환할 수 있는 꼬리 모양의 통로를 설계하였다.



[그림 6] 헬멧의 후방 모습



[그림 7] 개발한 헬멧의 디자인 및 구성 요소

각 문제점의 해결내용을 적용하여 개발한 헬멧의 각 구성 요소이다. 먼저, 상단의 셸은 베르누이 원리를 적용해 바람을 목 뒷부분으로 유도하며, 각진 부분이 없는 유선형의 꼬리 모양 구조로 공기 흐름을 최적화한다. 그 아래의 격자 층은 머리와 헬멧 사이에 공간을 만들어 통기성과 충격 흡수 기능을 제공한다. 또한, 셸 사이에 있는 원기둥(Vortices Layer)을 통해 와류를 형성하여 대류 순환을 촉진하고, 착용자의 머리에서 나온 땀을 흡수하고 공기 흐름을 이용해 기화시켜 내부 온도를 낮춘다. 마지막으로, 다양한 머리 크기에 맞게 조절 가능한 링 타입의 가죽끈을 통해 착용자에게 편안한 착용감을 제공한다.

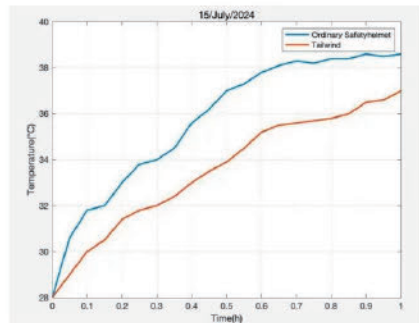


[그림 8] 개발한 헬멧을 착용 시의 공기 흐름

다음으로, 실제 착용 가능한 프로토타입을 3D 프린팅을 통해 제작하고 야외 환경에서의 체온 변화를 확인하기 위한 실험을 진행하였다. 실험은 1시간 동안 야외에서 활동하는 조건에서

진행되었으며, 2분 간격으로 목 뒤쪽의 피부 온도를 측정하여 새의 실효성을 검증하였다.

실험 결과, 새 헬멧을 착용한 근로자의 피부 온도는 일반 헬멧을 착용한 경우보다 2.0°C에서 3.0°C 정도 낮게 유지되었다. 이는 온열 질환 발생 가능성을 약 40% 줄이는 효과를 보였으며, 사망 확률을 약 15% 감소시킬 수 있음을 시사한다.7) 전 세계적으로 매년 발생하는 온열 질환 환자 수가 2,000만 명에 이르는데, 이 헬멧을 도입할 경우 약 7만 5,000명의 생명을 구할 수 있는 제적 효과가 있을 것으로 예상된다.



[그림 9] 시간에 따른 피부 온도 변화 그래프

3. 전문가 평가

헬멧의 실효성을 다각도로 검증하고, 실제 현장에서 적용 가능성은 높이기 위해 전문가 평가를 진행하였다.

평가에는 실제 현업에 종사하는 엔지니어 남성 2명, 디자이너 남성 2명, 건설 현장 관리자 1명, 대학교수 2명이 참여하였다. 그 결과는 표 2에 나타나 있다.

[표 4] 전문가 피드백 결과

직업	성별	피드백
엔지니어	남	현재 야외 근로자에게 열로부터는 안전할 것 같다. 외부충격에 대한 안전에 좀 더 신경 쓰면 좋을 것 같다.
엔지니어	남	외류유동을 이용한 열교환 강화한 점이 인상 깊음. 일반 안전모보다 일적인 측면에서 야외 근로자에게 좋을 것 같다.
산업디자이너	여	물림되는 부분을 탈부착 되는 디자인도 고려하면 좋을 것 같다. 현재 포리처럼 뒤로 빠지는 형태의 디자인은 인상적이다.
산업디자이너	남	낙타의 코 구조를 활용해 온열 질환을 예방하는 헬멧을 설계한 접근방식이 참신함.
건설 현장 관리자	남	건설 현장에서 근로자들의 안전도 착용률이 더위로 인해서 굉장히 낮은 편인데, 새로 인해 착용률이 올라갈 것이 기대된다.

7) 기후요소가 온열질환자 수에 미치는 영향, 기후변화연구, P.205-215. 2016.

전문가들은 새 헬멧의 냉각 기능과 체온 조절 효과를 매우 긍정적으로 평가했다. 특히 낙타 코 구조를 모방한 자연 환기 시스템과 기화열 냉각 시스템의 도입이 혁신적이라는 의견이 많았다. 헬멧 내부의 온도를 효과적으로 낮추면서도 착용감이 우수해, 야외 근로자들이 무더운 환경에서도 안전하게 헬멧을 착용할 수 있다는 점이 큰 장점으로 꼽혔다.

건설 현장 관리자는 새 헬멧이 더운 날씨로 인해 안전도 착용을 피하는 근로자들에게 특히 유용할 것이라고 언급했다. 헬멧의 냉각 기능 덕분에 근로자들의 착용률이 향상될 것으로 예상하며, 이는 작업장의 안전성을 높이는 데 크게 이바지할 수 있을 것이라 평가했다. 실제로, 헬멧의 착용률이 높아지면 근로자들이 낙하물이나 충격으로부터 보호받는 기회가 더 많아지므로 작업 안전성이 강화될 수 있다.

산업디자인자들은 헬멧의 디자인이 기능성과 미학을 잘 결합하고 있다고 평가했다. 특히 헬멧 후면부의 “코리” 형태가 자연스러운 공기 흐름을 유도하여 체온 조절에 도움을 주는 점을 높이 평가했다. 다만, 일부 디자인서는 냉각 기능을 탈부착할 수 있는 옵션을 추가하면 근로자들이 상황에 맞게 헬멧을 조절할 수 있어 더 실용적일 것이라는 의견을 제시했다. 또한, 헬멧의 외부층격에 대한 안전성을 더욱 강화할 필요가 있다는 피드백도 있었다.

기계 엔지니어들은 와류유동을 이용한 열교환 강화 기술을 인상 깊게 평가했다. 헬멧의 공기 흐름이 열을 효과적으로 분산시키고, 이를 통해 일반 헬멧보다 체온 조절에 더 유리하다는 점을 강조했다. 그러나 전력 소모 없이 자연적으로만 냉각 효과를 유지할 수 있는지에 대한 추가 검증이 필요하다는 의견도 있었다. 이는 고온 환경에서 장시간 작업하는 근로자들에게 중요한 요소이므로, 에너지 소비 없이도 안정적인 냉각 기능을 제공할 수 있는 설계가 요구된다고 덧붙였다.

4. 결론

본 연구에서는 야외 근로자들이 온열 질환에 취약하다는 점을 바탕으로, 헬멧 내부의 공기 순환을 개선하고 일전달을 극대화하여 체온을 효과적으로 낮출 수 있는 보호 장비를 제안했다. 새 헬멧은 기화열 냉각 시스템을 적용해 헬멧 내부 온도를 낮추고, 야외 근로자의 작업 효율성과 안전성을 높이기 위한 기술적 대안을 제시했다.

야외 실험 결과, 새 헬멧을 착용한 경우 일반 헬멧보다 피부 온도가 2-3°C 낮아졌으며, 이는 온열 질환 발생 확률을 약 40%, 사망률을 약 15% 감소시키는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 새 헬멧이 온열 질환 예방에 실질적으로 기여할 수 있음을 보여준다.

다만, 연구에는 몇 가지 한계점이 있다. 첫째, 프로토타입이 최종 제품에서 사용될 소재인 폴리카보네이트(PC)가 아닌 폴리락타이드(PLA)로 제작되었기 때문에 실제 환경에서의 성능과 차이가 있을 수 있다. 추후에는 실제 소재로 제작된 프로토타입을 통해 보다 정확한 성능 검증이 필요하다. 둘째, 헬멧 내부의 와류를 발생시키는 원기둥 형상의 최적 치수를 명확히 산출하지 못한 부분이 남아 있어, 이에 관한 추가 연구가 요구된다. 셋째, 체온 저하의 효과를 더욱 정밀하게 측정

하기 위해 열화상 카메라를 사용한 두부 전체의 온도 분포 분석이 필요하다. 이러한 후속 연구를 통해 헬멧의 형상을 개선하고 성능을 수치화할 예정이다.

본 논문은 2024년 홍익대학교 대학혁신지원사업의 지원을 받아 수행된 연구 결과물입니다.

참고문헌

- 성덕현, 김중수. (2015). 오토바이용 쿨 헬멧의 필요성과 구매요인에 관한 조사연구. *한국학술협력진흥원지*, 16(12), 8386-8393.
- 정다운, 임숙향, 김도우, 이우섬. (2016). 기후요소가 온열 질환자수에 미치는 영향. *기후변화연구*, 7(2), 205-215.
- 최용근. (1991). 산업용 안전모의 층격흡수 이론. *한국안전학회지(구 한국산업안전학회지)*, 6(2), 37-40.
- Hassan, A. (2018). Cooling strategies in the biological systems and termite mound: The new paradigm. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 13(19), 65-75.
- Li, C., Liu, J., Peng, H., Sui, Y., Song, J., Liu, Y., Huang, W., Chen, X., Shen, J., Ling, Y., Huang, C., Hong, Y., & Huang, W. (2021). A camel nose-inspired highly durable neuromorphic humidity sensor with water source locating capability. *ACS Nano*, 15(10), 13310-13320. doi:10.1021/acsnano.1c10004.
- Maughan, J. R., & Shirreffs, S. M. (1995). Embedded vortices in internal flow: Heat transfer and pressure loss enhancement. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 16(6), 436-445.
- Thapa, M., Shrestha, R., & Sharma, S. (2021). Passive cooling techniques in historical building versus contemporary bio mimic concepts: An overview. *American Journal of Applied Sciences*, 10(10), 100-110.
- Zhang, Y., Yang, S., & Chen, G. (2017). CFD analysis of heat transfer enhancement in wavy fin heat exchangers with vortex generators. *Journal of Fluids and Structures*, 68, 25-41. doi:10.1016/j.jfluidstructs.2016.11.010.
- Zhao, Q., Guo, Y., Ye, T., Gasparrini, A., Tong, S., Overcenco, A., Li, S., & others. (2021). Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: A three-stage modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 5(7), e415-e425. doi:10.1016/S2542-5196(21)00081-4
- International Labour Organization (ILO). (2024). Ensuring safety and health at work in a changing climate [Web document]. Retrieved from <https://www.ilo.org/publications/ensuring-safety-and-health-work-changing-climate>.