

스마트 냉각조끼를 이용한 온열질환 예방 체계



이소정

- 2023. 2. 이화여자대학교 의류산업학과(박사)
- 2023-현재, 한국생산기술연구원 소재부품 융합연구부문 박사



임대영

- 2002-현재, 한국생산기술연구원 소재부품 융합연구부문 수석연구원, 스마트텍스트로닉스 센터장

전 세계적으로 기후 상승으로 인한 여름철 폭염의 강도가 점차 증가하고 있다. 이에 두통, 어지러움, 땀, 의식저하, 근육경련 등의 증상을 보이는 열사병, 열탈진, 열경련, 열실신, 열부종 등의 온열질환 발병률이 높아지고 있는데, 올해 여름철 평균 최고기온은 32.4 °C로 1973년 이래 역대 4위를 기록했으며, 5월 20일부터 9월 30일까지 집계된 온열질환자는 2,818명으로 전년 대비 80.2% 증가하였다. 주로 12시~17시의 낮 시간대 실외 활동이나 고령자 중심으로 발병률이 높게 나타났으며, 온열질환으로 인한 사망자의 50%가 고령자에 해당되는 것으로 확인되었다.

정부에서는 폭염으로 인한 건강피해를 최소화 할 수 있도록 폭염 대응 체계 구축 및 시설을 운영하고 있으나, 기후변화에 관한 정부간 협의체 (IPPC)의 6차 시나리오에 따르면 국내의 폭염의 지속 시간 및 강도는 2100년까지 2~6배 증가할 것으로 예측되고 있어 근본적인 대책이 필요한 상황이다. 온열질환은 특히 야외근로자, 고령자 및 만성질환자뿐 아니라 야외작업자와 산업현장 근로자에게 매우 위험하기 때문에 열 피로도 및 열 부하를 경감시키고 체온을 자율적으로 조절하는데, 도움을 줄 수 있는 냉각조끼가 개발되어 시장에 출시되어 있다.

세계적으로 상용화된 냉각조끼는 아이스 팩, 폴리머 젤 또는 파라핀 왁스 등의 상변화 물질이나 냉각액의 증발을 활용하는 수동형 냉각조끼와 공기, 물 등의 냉매를 순환하여 사용하는 능동형 냉각조끼가 있다. 상변화 물질을 이용한 수동형 냉각조끼의 경우 전도에 의해 열손실이 발생되며 냉각효과를 발생시키나 지속시간이 짧으며, 증발식 냉각조끼의 경우 더운 환경에서의 효과가 미비하다. 능동형 냉각조끼 성능 구현 방식은 수냉식 (liquid-cooled)과 공랭식 (air-cooled)으로 구분할 수 있으며, 별도의 충전식 배터리를 사용하여 냉매를 순환시키는 구조로 냉각온도를 조절하거나 냉각 지속시간 측정 등의 기능을 부여하는 것이 불가능하다.

최근 체온이나 심박수 등의 생체신호를 확인하여 온열질환의 전조증상을 분석하고, 이를 기반으로 냉각 온도 및 지속시간을 조절할 수 있는 스마트 냉각조끼를 이용한 온열질환 예방 체계가 한국생산기술연구원이 주관한 행정안전부 재난안전기술개발사업 (2022.4~2023.12)의 일환으로 개발되어 이에 대해 소개하고자 한다.

본 사업을 통해 개발한 스마트 냉각조끼는 사용자 정보 및 생체신호를 실시간으로 모니터링하고 분석하여 온열질환 전조증상 발현 시 경보 및 알람을 통해 휴식을 권장하도록 하며, 위기상황 시 신속한 대응과 조치를 취할 수 있도록 지역공공의료 기관 및 119 응급구조 연계가 가능한 시스템 체계와 연계하여 사용하는 제품이다.

현재 시판 중인 냉각조끼들은 구동 방식에 따라 다양한데, 공랭식, 수냉식, 하이브리드형으로 구분 가능하며, 하이브리드형의 경우는 증발식, PCM, 증발식/PCM의 총 3가지로 알려져 있다.

Table 1. 시판 중인 상용 냉각조끼 분석

Type			
	공랭식	수냉식	하이브리드 (증발식 & PCM)
Brand, Country	TELJIN, Japan	COMPCOOLER, US	INUTEQ, NL
Model No.	TACV.1	COMP-UICS-74QB	Bodycool Hybrid
Cooling system	Buit-in fan	Icepack with water	Evaporative & PCM
Power supply	배터리	배터리	-
Weight	997.9 g	4430.0 g (Icepack 2706.0 g)	1960.0 g (1 PCM 340.0 g)

이 중 3개의 대표 제품을 실제 사용 환경에서의 냉각 지속시간 및 냉각효율을 비교¹⁾해 보면, 냉각조끼 완제품 착용 후 가동하지 않은 상태에서의 열방출 능력은 공랭식이 가장 낮고, 증발식 및 PCM이 가장 높게 나타났다. 공랭식 냉각조끼는 8시간 이상 사용 가능하지만 상대습도 40%의 조건에서 냉각팬 타입의 쿨링시스템이 발한 환경에서 증발열 손실을 가속화하여 141.2 W/m²의 높은 유효냉각능력을 나타내었으나, 상대습도 70% 조건에서는 69.7 W/m²로 유효냉각효율이 저하되는 문제가 있다는 것을 확인하였다. 냉각조끼의 냉각 지속시간은 배터리 (이차전지) 용량에 따라 상이한데, 수냉식 냉각조끼는 두 가지 상대습도 조건에서 모두 120 W/m² 이상의 높은 유효냉각효율을 가지며, 냉각 지속시간은 평균 3시간 정도인 것으로 평가결과가 나왔다. 하이브리드형 냉각조끼 중 증발식의 경우 냉각효율이 거의 없는 것으로 나타났으나 PCM 식과 증발식/PCM의 하이브리드 식은 평균 지속시간은 30분 정도로 확인되었다.

¹⁾본 데이터는 한국생산기술연구원이 주관한 행정안전부 재난안전기술개발사업(2022.4~2023.12)의 일환으로 참여기관인 FITTI시험연구원에서 직접 시험한 결과임

종합적으로 공랭식 냉각조끼는 습도 40%의 조건에서 냉각 성능이 가장 우수하며, 냉각 지속시간이 평균 8시간 이상으로 가장 길었고, 수냉식 냉각조끼는 습도 70% 조건에서 가장 우수한 냉각성능을 나타냈으나 무거우며, 얼음이 녹으면 냉각효과가 급격히 감소하는 것으로 확인되었다.

Table 2. 시판 냉각조끼 종류별 냉각성능 비교

구분	Conditions*	Baseline cooling rate	Cooling rate	Effective cooling rate	Duration of cooling	
		(W/m ²)	(W/m ²)	(W/m ²)	(min)	
공랭식	hot-dry	44.7	185.9	141.2	480	
	hot-humid	27.8	97.5	69.7	480	
수냉식	hot-dry	53.1	178.6	125.5	187	
	hot-humid	28.1	151.3	123.2	194	
하이브리드	증발식	hot-dry	76.6	-	-	0
		hot-humid	40.9	-	-	0
	PCM	hot-dry	71.5	138.8	67.3	23
		hot-humid	38.5	102.5	64.0	33
	증발식/PCM	hot-dry	71.9	136.8	64.9	33
		hot-humid	40.8	110.3	69.4	33

*Hot-dry: 35oC, 40%RH (ASTM F2371에 명시된 조건)

Hot-humid: 35oC, 70%RH (우리나라 여름철 고온다습 기후를 모사한 추가 환경조건)

※냉각효율 시험 방법 : ASTM F2371

※국내 여름철 환경조건 : 온도 35 ± 0.5 °C, 상대습도 40 ± 5 %와 70 ± 5 %, 풍속 0.4 m/s

본 사업을 통해 개발한 스마트 냉각조끼는 인체공학적 측면을 고려하여 발한분포, 피부온, 냉각 타입별 효율성 분석 등 냉각 요소들이 인체에 미치는 메커니즘을 분석하여 제품을 설계하고, 펠티어 소자를 적용한 냉각 팬을 스마트 냉각조끼 허리 아래 부위에 배치하여 척추라인을 따라 차가운 바람이 등 위로 나올 수 있도록 디자인함으로써 냉각 효율을 극대화하도록 디자인한 제품이다. 이 때 펠티어 소자를 적용한 냉각 팬은 냉각조끼내 공기층과 외부공기층간에 수증기압과 온도의 구배를 지속적으로 발생시켜 전도와 증발로 인한 열손실을 유도하여 냉각효율을 상승하도록 개발되었다.

또한 사용자의 생체신호를 수집하고 전달할 수 있는 IoT 센서를 개발하였는데, 이는 심박 및 체온 (피부온)을 1초 간격으



Figure 1. 개발한 스마트 냉각조끼 사진(좌)과 펠티어 소자 기반 냉각팬(우).

로 측정하여 상승이 발생하면 냉각조끼를 구동하고, GIS 서버 모듈을 기반으로 사용자의 위치를 파악하여 온열지수 및 환경 정보를 수집하며, 온열질환 전조증상이 발생하면 응급 알람과 스마트시티 통합관제 플랫폼과 연계 가능한 어플리케이션 (App)을 개발하였다. 이번 사업으로 개발한 제품은 BLE (Bluetooth Low Energy) 기반의 비콘 (Beacon) 기술을 이용하여 스마트 냉각조끼, IoT 센서와 온열질환 전용 App을 연결하여 위험도에 따라 주기적으로 알람을 주어 휴식시간 및 수분 섭취를 유도하도록 개발되었다. 또한 온열질환 전조증상을 예방, 주의, 경고, 응급의 4단계로 나누어 예방 및 주의 단계 시 사용자에게 즉시 알려 휴식 또는 수분을 보충할 수 있도록 알려주며, 경고 단계에서 관제 시스템에 전달하여 사용자를 지속적으로 모니터링 할 수 있도록 안내하는 기능을 가지고 있다. 응급 단계에서는 신속한 대응과 조치를 취할 수 있도록 지역공공의료 기관 및 응급구조를 연계하도록 통합관제 시스템에 연결하도록 구성하였는데, 온열질환 전조증상이 나타나는 위급상황에서 그 성능을 발휘할 것으로 기대된다.

본 사업을 통해 개발한 스마트 냉각조끼는 온열질환 취약 계층인 쪽방촌 고령자, 택배 작업자, 농작업자를 대상으로 올

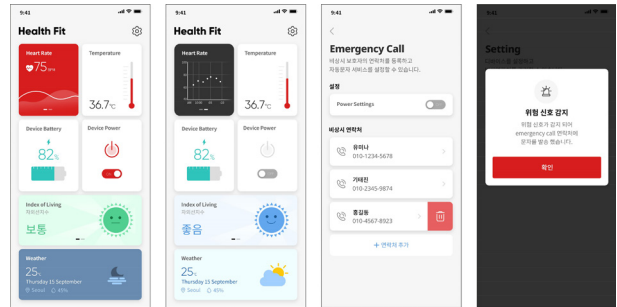


Figure 3. 온열질환 예방용 스마트 냉각조끼 어플리케이션.

여름 시범사업 (필드테스트)을 통해 제품 평가를 완료하고, 참여기관인 (주)비와이엔블랙야크에서 빌리브마이크론(주), (주)제이유엑스와 공동으로 냉각성능을 개선한 제품을 출시하기 위한 준비에 들어갔다.

이번 연구개발을 통해 얻어진 성과를 활용하여 IoT 기반의 스마트 냉각조끼를 이용한 온열질환 예방 응급체계를 구축함으로써, 향후 작업현장 종사자의 온열질환을 예방하고, 온열질환 관련 안전사고 예방을 위한 새로운 맞춤형 생활안전 섬유 제품이 되기를 기대한다.

감사의 글

본 연구개발사업은 행정안전부 국민수요 맞춤형 생활안전 연구개발사업(20018413)의 지원을 받아 수행되었습니다.

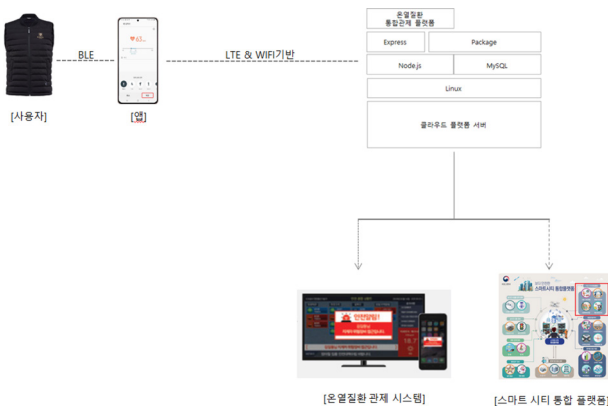


Figure 2. 스마트 냉각조끼를 이용한 온열질환 관제 시스템 구성도(안).