

에어로젤 방한 재킷 착용시의 기류 유무에 따른 생리·심리학적
특성 분석김성숙¹ · 손수영² · 김희은³¹경북대학교 의류학과 강사 · ²경북대학교 가정교육과 교수 · ³경북대학교 의류학과 교수/ 경북대학교 장수생활과학연구소 연구원An Analysis of the Physiological and Psychological Responses Elicited When Wearing an
Aerogel Cold Protective Jacket in AirflowSeong-Suk Kim¹ · Su-Young Son² · Hee-Eun Kim³¹Department of Clothing and Textiles, Kyungpook National University, Lecturer; ²Department of Home Economics Education, Kyungpook National University, Professor; ³Department of Clothing and Textiles, Kyungpook National University, Professor / Center for Beautiful Aging, Kyungpook National University, Researcher

HER

Human
Ecology
Research

Abstract

This study evaluated the thermal physiological and psychological responses elicited when wearing cold protective jackets with aerogel fillings in two cold environments, one without air velocities and one with air velocities (2.3 m·s⁻¹), at an air temperature of 10°C. The participants were five healthy young males. Measures were taken of physiological parameters, blood pressure (BP), heart rate (HR), core temperature, oxygen uptake (Vo₂), and microclimate (temperature and humidity). The psychological parameters evaluated were thermal and wetness sensation. No differences were observed in systolic blood pressure, heart rate, and oxygen intake between the conditions. At tympanic temperature, a significant difference was observed between the conditions during exercise ($p < .05$); . A significant difference was observed in the microclimate temperature of the clothing according to the airflow, and temperature changes in the chest and back revealed different patterns. Significant differences were observed in thermal sensation (whole body ($p < .05$), chest ($p < .05$), back ($p < .01$)) between airflow conditions. The results therefore indicate that cold protective jackets with an aerogel filling are suitable for people operating in low-temperature and airflow environments.

Keywords

aerogel filling, cold protective jacket, physiological response, psychological response

Received: March 25, 2024
Revised: April 14, 2024
Accepted: April 16, 2024

Corresponding Author:

Su-Young Son

Department of Home Economics
Education, Kyungpook National
University, 80 Daehak-ro, Buk-gu, Daegu,
41566 South Korea
Tel: +82-53-950-5925
E-mail: sonsy@knu.ac.kr

Hee-Eun Kim

Department of Clothing and Textiles,
Kyungpook National University, 80
Daehak-ro, Buk-gu, Daegu, 41566 South
Korea
Tel: +82-53-950-6224
E-mail: hekim@knu.ac.kr

서론

방한 재킷은 소재의 개발로 인해 해마다 새로운 디자인으로 생산·판매되고 있으며 그 중 패딩 재킷은 대부분 연령의 소비자들이 방한을 위해 착용하고 있다(Kim & Kim, 2017). 의복의 보온력 향상 측면에서 외피 가공보다는 충전재 가공이 더 효과적인 것으로 연구되고 있다(Kim & Choi, 2009). 패딩 재킷의 충전재는 주로 다운과 폴리에스터가 사용되고 있으며, 보온력이 우수한 것은 다운이지만 폴리에스터는 실외 작업자들이 착용하는 방한복을 위한 충전재로 보편적으로 사용되고 있다. 다만, 윤리적 소비 및 동물 복지와 관련하여 인증기준을 만드는 등 노력을 기울이고 있으나 지속 가능한 의생활의 측면에서 구스나 덕 다운의 우모채취나 가공과 관련하여 전세계적으로 윤리적 문제가 제기되고 있는 것과 세탁 및 관리성의 어려움 등이 있어 다운을 대체한 소재의 꾸준한 개발이 필요하다는 주장이 있다(Kwon et al., 2021). 다운의 대체재로 폴리에스터를 사용하는 경우 세탁

용이성은 확보될 수 있으나 다운에 비해 보온력이 낮아 이것이 단점으로 여겨지기도 한다. 기류환경에서 폴리에스터 충전재와 다운 충전재를 비교했을 때는 폴리에스터 방한재킷 착용시 인체에 미치는 한랭부담이 더 크다는 결과가 발표되기도 하였다(Baek et al., 2022).

본 연구에서 주목한 에어로젤 복합재는 기류의 영향력을 적게 받는 방한 재킷 소재가 필요하게 되어 개발되기 시작한 것으로 추운 환경에서는 기류가 인체의 열 손실과 활동 및 착의 조건에 영향을 미치는 중요한 요소가 될 수 있다(Rintamäki & Rissanen, 2006). 에어로젤 복합재는 부직포와 실리카 에어로젤 입자의 복합재로서 열전도성은 낮고 두께는 얇으며(Venkataraman et al., 2016), 단열성이 매우 강하다고 알려져 항공우주·국방·석유 및 가스 가공 산업·건설 분야 등에서 먼저 사용된 소재이다(Pérez, 2012). 시장에 출시된 초기 에어로젤 의복은 캡슐화된 실리카 에어로젤에 부직포가 결합된 형태의 복합재였으나 의복 제작을 위한 재단 및 봉제공정이 불가능하다는 단점이 있었다. 이후 이러한 문제점을 해결하기 위하여 실리카 에어로젤과 고분자 중합체가 결합된 새로운 복합재를 만들어 재단 및 봉제공정이 가능한 에어로젤 의복재료를 사용하고 있다. Jin 등(2020)은 실리카 에어로젤 소재의 무게나 뻣뻣함 등을 개선하여 다겹커튼에 적용하고 이를 통한 통기성과 보온성 개선과 관련하여 연구 결과를 발표하였다. 노동자를 위한 고열 및 화염을 방지하는 보호복, 전기 아크 방전 시의 열 보호복, 위험한 용융 물질에 노출된 상황을 위한 보호복 등의 영역에서 에어로젤의 활용이 기대되고 있으며(Chakraborty et al., 2016), 우주복(Tang et al., 2003), 잠수복(Nuckols et al., 2009), 소방복(Kim et al., 2018) 등의 방호복 분야에서도 에어로젤의 적용 및 활용을 위한 연구가 이루어지고 있다. 또한 에어로젤 융복합으로 얻어지는 초단열성, 초발수, 초경량성, 그리고 강력한 열방호 수준인 준불연 등 성능을 가진 에어로젤은 산업안 전용품 및 군수사업 분야에서 활용되고 있다(Lee, 2023). Du와 Kim (2022)은 에어로젤을 사용한 피복과 관련한 연구 경향을 분석하였는데 발표된 연구들 중 대부분은 에어로젤 소재의 효과에 관한 물성 실험 연구였으므로 인체 착용시 에어로젤 의복의 효과를 검토하는 연구가 필요한 상황이다.

Chen 등(2019)은 겨울철 실내에서 추운환경인 실외로 갑자기 나가게 되면 심정지, 심근경색 등이 증가할 수 있으므로 열환경 변화에 대한 인간의 생리적 반응에 대한 연구 가치를 주장하였으며, Liu 등(2008)은 난방, 냉방, 환기, 공기환경의 연구에서 온열 쾌적성을 위한 생리학적 파라미터의 관찰에 대한 중요성을 강조하는데, 생리학적 파라미터 중에서 심혈관계와 호흡순환계 기능

에 관련한 것으로는 혈압, 심박수, 심부온, 산소섭취량, 의복내기 후 등이 있다.

심혈관계의 위험요인과 유의한 상관관계가 있는 심폐체력은 산소 공급을 위한 중요한 체력요인으로서 심혈관계 질환의 예방에 중요한 역할을 하고 있다(Kemi et al., 2005). 이와 관련하여 혈압을 통한 심폐체력과 심혈관계 위험요인과의 상관관계에 대한 연구(Kang et al., 2009), 신체활동과 심혈관계에 대한 연구(Andersen et al., 2011) 등도 진행되고 있다. 산소섭취량과 관련하여 최대산소섭취량은 호흡순환 기능의 평가뿐만 아니라 장시간의 전신 작업을 수행하는데 필요한 체력 등을 평가하는 정확한 운동강도 지표로 인정되고 있다(Deschenese et al., 2006). 또한, 심박수는 대사율과 깊은 상관관계가 있어 온열감각에 영향을 주는 중요한 요소이며(Choi et al., 2012) 심박수를 통한 심장 자율활동의 변화를 파악하는 것은 작업 피로, 요구되는 작업과 심리적 스트레스의 조정에 대한 신체의 항상성을 교란시키는 부하의 크기에 대한 새로운 시각을 제공할 수 있을 것이다(Kaikkonen et al., 2017). 심박수와 관련한 연구로 마라톤 경주 주자의 심박수(Gronwald et al., 2021), 혈압과 심박수에 대한 운동 처방 효과(Slysz et al., 2016), 소방관의 알람음에 대한 심박수와 자율신경계의 상관관계(MacNeal et al., 2016) 등의 연구가 발표되었다. 의복 착용에 따른 심박수 관련 연구로는 Baek 과 Choi (2008)의 압박웨어 착용 연구 등이 있으나 저온 환경에서 방한 재킷 착용시 기류 유무에 따른 생리·심리학적 파라미터에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 저온 환경에서 에어로젤 충전재로 이루어진 방한 재킷 착용 시의 혈압, 심박수, 심부온, 산소섭취량 및 의복내기후와 같은 생리학적 반응과 주관적 감각과 같은 심리학적 반응을 모니터링하고 기류 유무 조건에서 분석하였다. 이를 통해 에어로젤 충전재 소재가 가지는 기류 환경에서의 효과를 검토하고자 하였다. 이 연구결과는 향후 저온 환경에서 방한 재킷 착용에 따른 생리·심리학적 파라미터의 기초데이터를 제공함과 동시에 극한 상황에서 착용하는 특수 방호복 연구개발 자료로 활용될 수 있을 것이다.

연구 방법

1. 피험자

건강한 성인 남성 5명(나이 22.2 ± 1.8 year, 키 176.8 ± 2.8 cm, 몸무게 62.2 ± 3.8 kg, 체표면적 1.7 ± 0.1 m²)이 피험자

로 참여하였고, 피험자들은 실험 참여 전에 실험내용에 대한 충분한 설명을 듣고 동의한 후 자발적으로 실험에 참여하였다. 피험자는 실험 조건에 맞추어 총 2회의 실험에 참여하였으며, 피험자별 실험시각은 24시간 주기 변동인 일내리듬(Circadian rhythm)의 영향을 최소화하기 위해 동일한 시간대로 설정하였으며 피험자가 1회차 실험을 수행한 이후에는 24시간 이상의 휴식을 취한 후 다음 실험에 참가하도록 하였다. 또, 실험결과에 미치는 영향을 배제하기 위하여 피험자는 실험 참여 일주일 전부터 실험 완료 시까지 과식과 과음을 금하고 실험기간동안 동일한 생활리듬을 취하도록 노력하였다. 본 연구는 학내의 연구윤리위원회의 사전 승인을 받아 2021년 4월 1일에서 4월 30일까지의 기간 동안 실험을 진행하였다(IRB No.2020-0310).

2. 실험 환경과 실험 의복

인공기후실 환경조건은 선행연구를 참고하여 10 ± 0.5 °C, 50 ± 5% R.H.로 설정하였다(Jin et al., 2018). 기류의 유무에 따른 결과 비교를 위해 기류가 없는 실험 조건(N)과 기류(2.3±0.1m/s)가 부여된 실험 조건(W)으로 분류하고 기류는 피험자의 정면 가슴부분을 향하도록 팬을 설치하여 조절하였고 운동시에만 부하하였다. 피험자 5인은 에어로젤 충전재 방한 재킷 기류 유무 조건의 총 2번의 실험에 각각 참여하였으며 실험 순서는 랜덤으로 설정하였다. 착용한 실험 의복은 OROS사에서 판매 중인 제품으로 에어로젤 충전재가 활용된 방한 재킷이며 제품 사진 및 도식화와 물리적 특성은 각각 Figure 1과 Table 1에 나타내었다.

3. 측정 항목과 방법

본 실험에서는 생리학적 지표로 혈압, 심박수, 심부온, 산소섭취량, 의복내기후를 심리학적 지표로 주관적 감각을 측정하였다. 혈압은 전자혈압계(EW 278, Matsushita Electric works Ltd, Japan)를 사용하여 인공기후실 입실 직후에 측정하고 이후 각 실험 단계마다 종료 직전에 한번씩 측정하였다. 심박수는 가슴에 수평으로 부착하는 벨트형 센서를 이용한 심박수 측정 장치(RS800, Polar, Finland)로 연속 측정하여 1분 간격의 평균값을 분석하였

다. 심부온으로는 적외선 체온계(Thermoscan 5, Brown, USA)를 이용하여 실험 시작 지점에서부터 5분 간격으로 고막온을 측정하였다. 산소섭취량은 호흡가스분석기(Quark b², Cosmed Co., Italy)를 이용하여 실험 시작부터 종료까지 110분간 연속 측정하였다. 의복내기후는 가슴과 등에 온습도 센서를 부착하고 데이터 로거(LT-8A and LT-8B, Gram LTD., Japan)에 연결하여 1분 간격으로 측정하였다. 주관적 감각으로는 ASHRAE와 일본공조위생공학회의 온열감, 습윤감 척도를 사용하여 평가하였으며(Tamura, 1985) 피험자가 각 실험 단계 종료 직전에 직접 응답하도록 하였다.

4. 실험 과정

피험자는 23°C의 실온이 유지되는 실험 준비실에 도착하여 안



Figure 1. Experimental clothing.

Table 1. Physical Characteristics of Experimental Clothing

Item	Material			Thick (cm)				Weight (g)			
	Shell	Lining	Filling	Shell	Lining	Filling	Total	Shell	Lining	Filling	Total
Aerogel Jacket	94% Nylon 6% Elastane	92% Polyester 8% Elastane	Aerogel composite	0.1	0.2	0.1	0.4	497	673	210	1380

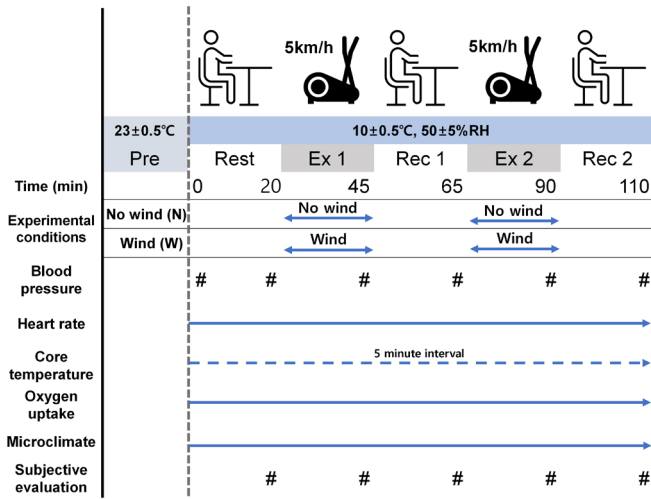


Figure 2. Experimental protocol.

정을 취한 다음 팬티 착용 상태로 몸무게를 측정하였으며, 이후 심박수, 의복내기후 센서를 부착하고 상하의 내의, 바지, 양말의 기본 의복을 착용한 뒤 의자에 앉은 자세로 안정을 취하였다(Pre, 준비기). 실험복인 에어로젤 방한 재킷은 인공기후실 입실 전 기본 의복 위에 착용하였으며 입실 후 산소섭취량 측정용 마스크를 착용하였다. 전체 실험은 입실 후 안정 20분(Rest, 안정기), 첫 번째 운동 25분(Ex 1, 운동기 1), 첫 번째 회복 20분(Rec 1, 회복기 1), 두 번째 운동 25분(Ex 2, 운동기 2)과 두 번째 회복 20분(Rec 2, 회복기 2)의 총 110분으로 구성되어 있다. 운동은 트레드밀(K-750S, KOBE, Korea) 위에서 5km/h 속도의 걷기 수준 운동을 실시하였다(Figure 2 참조).

5. 통계 분석

실험을 통해 얻어진 결과는 SPSS 통계프로그램을 이용하여 평균과 표준편차 등의 기술 통계량을 산출하였으며 기류 유무에 따른 두 조건(W vs. N)의 차이를 알아보기 위해 비모수통계기법을 활용하였다. 결과는 평균과 표준편차로 표기하며, 데이터 분석의 통계적 유의수준은 $p < .05$ 로 하였다.

연구결과 및 고찰

1. 혈압 및 심박수

실험 전 구간에 걸쳐 측정된 혈압을 실험 조건별로 수축기 혈압과 확장기 혈압으로 나누어 Table 2에 정리하였다. 일반적으로

수축기 혈압은 지구력 운동시에 운동강도와 더불어 증가한 심박출량에 비례하는데, 이 증가된 혈압은 혈액을 신속히 혈관으로 밀어내는데 도움이 되며 혈액의 운반과정을 촉진시킨다(Wilmore & Costill, 1997). 본 연구에서 수축기 혈압은 운동기와 휴식기의 실험 구간에 따라 뚜렷한 차이가 있었으나, 확장기 혈압은 실험 구간에 따른 뚜렷한 차이는 없었다. 수축기 혈압은 운동기 1에서 두 조건 모두 가장 높은 값을 보였고 운동기 2에서는 운동기 1보다는 약간 감소한 것을 알 수 있었다. 저온 자극의 초기단계인 운동기 1보다 추위에 노출된 시간이 긴 운동기 2의 혈압이 낮게 나타났는데 이는 피험자가 저온 환경에 적응한 것, 반복된 운동으로 인해 피부 혈류량과 발한량의 증가로 인해 혈관저항이 감소된 것 등이 그 원인이라고 판단된다. 선행연구에 의하면 추운 환경에 노출된 채로 운동할 경우에 혈압이 증가하는 등 심혈관계 위험 가능성이 높아지며(Li et al., 2009), 더운 환경에서는 열 손실로 인해 피부 혈류량 및 발한량이 증가하여 혈관저항이 감소(Kenny & Journeay, 2010)한다고 하였다. 추위에 여러 번 지속적으로 노출이 된다면 떨림(Shivering) 현상이 발생하고 혈관 수축반응이 둔해지는데 이는 인체가 추위에 적응하기 위해 노력한 것으로 볼 수 있다(Li et al., 2009).

기류 유무에 따른 혈압 결과 비교에서는 통계적으로 유의한 차이가 보이지 않았지만 기류가 있는 실험 조건에서 실험 단계별 혈압의 증감 정도가 적었고 혈압이 더 낮은 것이 확인되었는데, 이는 에어로젤 소재가 기류 환경에서 긍정적인 기능을 발휘하는 것을 의미한다. 일반적으로 저온 환경일지라도 운동을 지속한다면 이로 인해 피부 혈류량 및 발한량이 증가하고 심부온과 의복내기후가 상승하게 되며, 이때 방한복 착용이 추가된다면 방한복의 보온력 및 방풍 기능 등으로 인해 착용자에게 생리적·심리적 부담이 늘어날 것으로 예상된다. 특히, 수축기 혈압의 증가는 심혈관 질환 위험도를 예측하는 중요한 지표가 될 수 있으며 (Staessen et al., 2000), 저온 환경에서 급격하게 혈압이 증가하지 않는 것이 생리적으로 유리하다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구 결과에서도 혈압이 크게 상승하지 않았다는 것은 실험에서 착용한 방한 재킷이 저온 환경에서 활동하는 사람들에게 적합하다는 것을 의미할 것이다. 특히 기류가 있는 저온 환경에서 신체활동을 하는 경우, 에어로젤 충전재로 구성된 방한 재킷 착용으로 착용자의 심혈관계 부담 발생을 억제할 수 있을 것으로 여겨진다.

심박수는 전 구간에 걸쳐 기류유무에 따른 현저한 차이가 보이지 않았다. 저온 환경에서의 실험이었으나 운동기에서는 두 조건 모두 유사한 심박수 증가가 있었는데 운동기의 이러한 현상에 대

Table 2. Blood Pressure and Heart Rate according to Experimental Conditions

		Pre	Rest	Ex1	Rec1	Ex2	Rec2
Systolic Blood Pressure (mmHg)	N	119.6±10.6	114.4±9.9	130.0±16.0	112.6±5.9	126.0±5.9	111.4±10.0
	W	114.8±7.3	107.4±10.3	117.6±10.9	109.0±5.4	112.0±4.3	111.0±6.1
Diastolic Blood Pressure (mmHg)	N	74.2±3.7	72.2±0.4	79.2±7.1	72.4±1.5	76.2±5.4	72.0±3.5
	W	73.2±2.7	70.2±3.5	74.4±3.8	70.8±2.2	72.2±0.4	72.0±0.7
Heart rates (bpm)	N	73.0±4.0	85.5±3.7	113.2±9.2	88.9±8.1	115.6±13.3	77.6±9.4
	W	74.0±3.9	88.8±7.24	113.5±6.6	90.7±10.7	110.9±10.1	75.3±9.0

Note. N: no wind condition, W: wind condition.

해 Costill 과 Winrow (1970)는 운동시작 후 생성된 열을 피부에 전달하고 외부로 열을 내보내기 위한 혈액의 재분배와 같은 생리적 반응 때문에 심장으로 돌아오는 혈액량은 감소하고, 이로 인해 1회 심박출량의 감소와 심박수의 증가가 나타난다고 설명하였다. 따라서 본 연구와 같은 저온 환경 실험에서도 운동기의 심박수 상승이 보여진 것이라 사료된다. 심박수는 유산소 능력을 객관적으로 평가하는 지표로 순환기능을 측정하는 가장 보편적이고 일반적인 자료로 활용되는데 (Lee et al., 2019), 방호복과 같이 부피와 무게가 상당한 의복을 착용하면 심박수가 증가하고 이는 착용자에게 생리적·심리적 스트레스를 부하하여 작업 내성을 감소시킬 수 있다고 알려져 있다(Kaywhite et al., 1991).

2. 심부온

심부온으로 측정된 고막온에서는 기류 유무에 따른 유의미한 차이가 보였다(Figure 3 참조). 운동기 1에서는 운동시작과 함께 강제대류 현상으로 고막온의 온도는 일시적으로 하강하였으나 운동기 1의 후반으로 갈수록 회복세를 보였으며 기류 조건에서는 상승도가 상대적으로 완만하여 두 조건 간 고막온 차이가 0.5℃

이상으로 나타났다($p < .1$). 운동기 2에서는 운동시작시의 고막온의 일시적 하강도가 운동기 1에 비해 낮았으며 기류 조건에서는 운동기 2 후반에 회복을 이루지 못하여 기류 유무에 따른 조건 간 유의미한 차이가 있었다($p < .05$).

저온 환경에서 고막온은 운동부하가 있음에도 기류 유무에 따라 유의미하게 차이를 보이는 것을 관찰할 수 있었으나 에어로젤 방한 재킷 착용이 기류 환경에서 생리학적으로 긍정적인 역할을 하는가에 대해서는 고막온을 통한 증명에 어려움이 있었다. 고막온은 외부 환경에 영향을 쉽게 받는 측정 부위이므로 본 연구에서 설명하고 있는 심부온의 변화는 착용한 의복 때문이 아니라 기류에 의한 영향 때문인 것으로 볼 수 있다. Kwon 등(1998)의 연구에서도 기류의 영향으로 심부온 상승이 억제되었으며 이는 본 연구결과와 유사한 것을 알 수 있다. 본 연구에서 심부온으로 측정된 고막온은 사용 용이성 측면에서는 우수하나 안정적인 데이터를 얻기 위해서는 심부온으로 직장온을 측정하는 것이 필요할 것이다.

3. 산소섭취량

실험 전 구간에 걸쳐 측정된 산소섭취량의 변화를 Figure 4에 표시하였다. 산소섭취량 결과에서 조건간 유의미한 차이는 보이지 않았으나 기류가 있는 경우에 운동기 1과 운동기 2에서 산소섭취량이 평균적으로 더 적은 것을 알 수 있었다. 산소섭취량은 호흡 순환기능을 평가하는 지표이면서 정확한 운동강도의 지표로도 알려져 있다. 또한 단위시간에 섭취한 산소를 측정하는 것으로 작업 수행을 위해 필요한 체력적인 요인으로 평가되고 있다(Deschenes et al., 2006). 환경온도가 저하하거나 착용의복의 중량이 증가하게 되면 이로 인해 에너지 소비가 증가하여 신체 기능 저하에 영향을 미치게 되는데(Rintamäki, 2007), 저온 환경이라 하더라도 열 스트레스를 받을 수 있고 운동에 따른 열 생산도 증가할 수 있으므로 의복의 보온성은 환경과 운동 조건을 고려하여

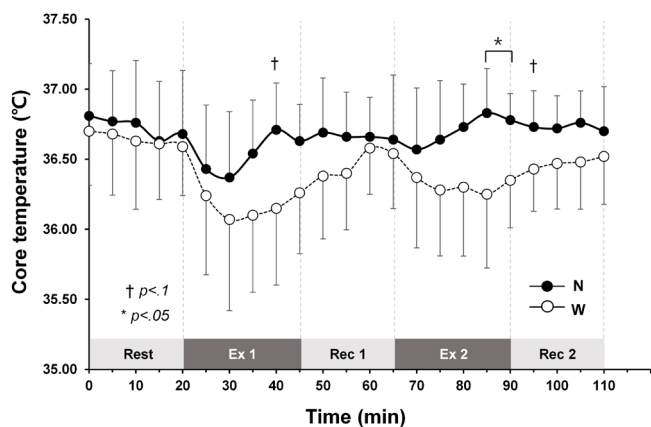


Figure 3. Timecourse of core temperature.

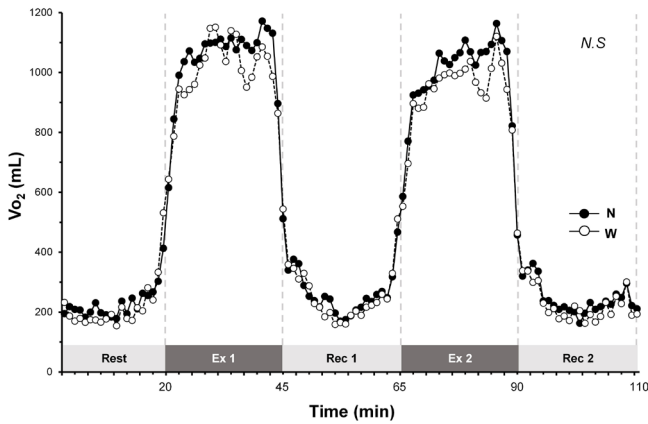


Figure 4. Timecourse of VO_2 .

선택해야 할 것이다(Rintamäki & Rissanen, 2006).

운동기 1과 운동기 2에서 산소섭취량은 기류가 있는 조건에서 더 낮게 나타났는데, 운동으로 인한 심부온과 온열감 상승이 적정량의 기류로 인해 완화되었으므로 산소섭취량이 작아지고 아울러 에너지 소비도 작아진 것으로 생각된다. 이는 기류가 있는 저온 환경에서 운동이나 작업이 지속될 경우 에어로젤 충전재로 구성된 방한 재킷을 착용하는 것이 생리학적으로 효과적인 것임을 나타낸다. 저온 환경에서 기류의 유무와 충전재 종류의 차이를 평가한 선행연구에서는 기류가 있는 경우 산소섭취량이 많았다고하여 (Baek et al., 2022) 본 연구와 상반된 결과를 보였는데 선행연구에서는 운동을 실시하지 않고 앉은 자세로 측정하였기 때문에 이러한 결과 차이가 보였다고 판단된다. 따라서 다양한 착용 환경을 고려한 후속 연구 수행이 요구되는 바이다.

4. 의복내기후

Figure 5는 의복내기후 중 가슴과 등 부위의 의복내온도 변화를 시간 경과에 따라 표시한 것이다. 의복내기후는 착용시 피부와 의복 사이 또는 의복과 의복 사이에 형성된 외부 기후와 다른 국지적 기후로 주로 의복내온도와 의복내습도를 통해 정량화되며, 열 부하의 긍정적인 지표로(Cortili et al., 1996) 인체의 생리적 온열패적성을 판단하는 중요한 기준이다(Lee et al., 2008). 본 연구에서 에어로젤 충전재 방한 재킷 착용에 따른 의복내온도의 변화는 기류의 유무와 상관없이 비슷한 경향을 보였으나, 기류가 있는 경우의 의복내온도는 기류가 없는 경우보다 낮은 경향을 보였다. 가슴 부위에서는 운동기 1 시작부터 조건 간 차이가 급격히 있었으나 피험자 간 편차가 커 유의차는 없었으며, 운동기 1 후반과 휴식기 1 초반부에서만 조건 간 유의미한 온도 차이가 보였다 ($p < .05$). 기류 부하의 경우, 가슴 부위 정면 앞에서 강제 대류를 발생시켰기 때문에 운동기 1의 기류 조건에서 온도 저하가 빠르게 나타난 것으로 보이며 에어로젤 재킷과 기본 의복 사이에 의복내 공간이 존재하여 강제 대류가 원활하게 작용한 것도 의복내온도 감소에 영향을 미쳤다고 할 수 있다. 등 부위의 의복내온도 역시 운동기 1에서는 가슴 부위와 유사한 변화를 보였으나 운동기 2에서는 가슴 부위와 달리 등 부위에서 의복내온도의 급격한 상승이 있었다. 특히 기류가 없는 조건에서는 유의미하게 상승하여 32°C 를 초과하는 값을 보이기도 하였다. 등 부위는 의복내 공간이 적고 반복된 운동 부하로 인해 발생한 열이 축적되어 가슴 부위와는 달리 외부에서 발생하는 기류의 직접적인 영향이 없었으므로 의복내온도 상승이 크게 나타난 것으로 사료된다.

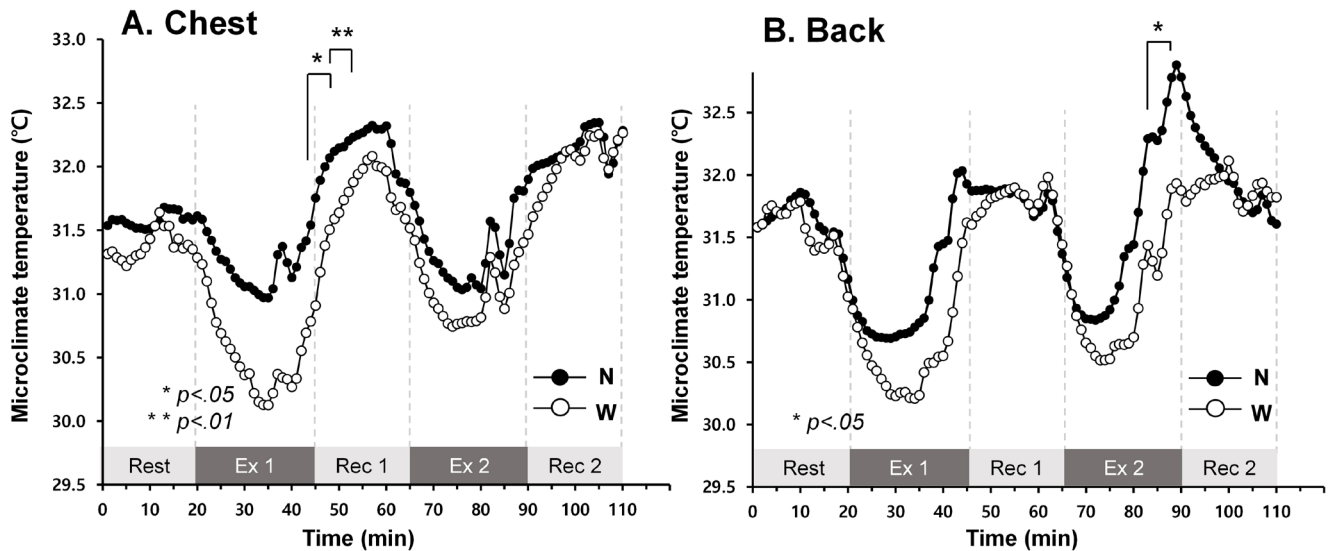


Figure 5. Timecourse of microclimate temperature at chest and back.

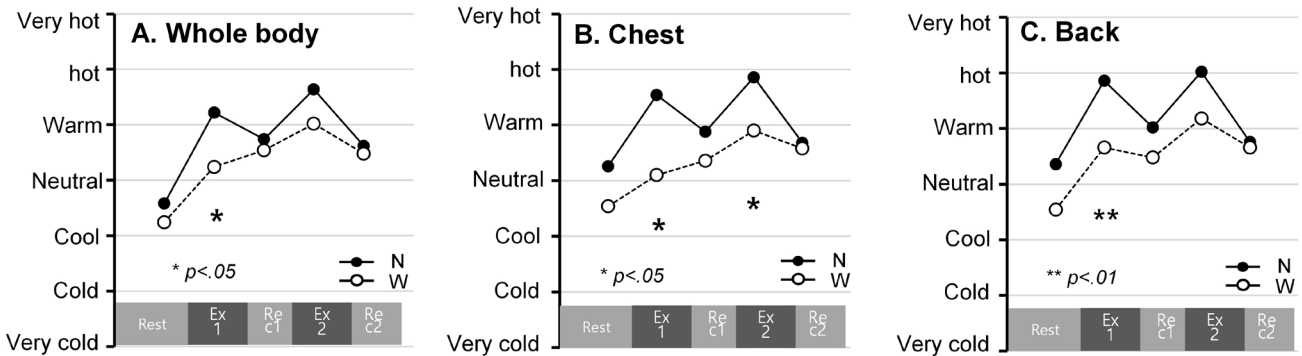


Figure 6. Thermal sensation at whole body, chest, and back.

Lee 등(2019)은 의복내습도는 열전도에 영향을 미치며 의복의 보온성과 관련이 있을 뿐만 아니라, 의복의 최내층 공기의 습도는 체감 온도에도 영향을 미치기 때문에 의복내기후에 있어서 중요한 요소라고 할 수 있다고 하였다. 그러나 본 연구에서 의복내습도는 그림으로 제시하지 않았으나 조건 간에 유의미한 차이는 보이지 않았다. 다만 운동기 2 후반부터는 기류가 없는 경우에 의복내습도가 상승하는 경향을 보였으며 등 부위의 의복내습도가 가슴 부위보다 더 높았다. 이는 등 부위가 의복내 공간이 적고 반복된 운동 부하로 높은 습도가 지속되었으며 외부 기류의 직접적인 영향을 받을 수 없었기 때문으로 여겨지는데, 의복내온도에서도 언급한 바와 같이 등 부위의 공간적·위치적 특성에 기인한다고 설명할 수 있다.

5. 주관적 감각

Figure 6은 주관적 감각 평가의 결과 중 온열감 결과를 나타내고 있다. 그림에서는 전신, 가슴, 등 부위의 온열감을 대표적으로 표시하고 있는데 운동기 1에서는 기류 유무에 따른 유의차가 존재하였다. 기류가 있는 조건에서는 온열감이 중립에 가까운 값을 보여 에어로젤 충전재의 방한 재킷을 착용한 채로 저온의 기류 환경에서 운동을 하는 경우, 외부로부터의 기류는 막아주어 덜 춥고, 내부에서 발산되는 열로 인한 생리적 부하도 적어 덜 덥다고 느끼고 있는 것을 알 수 있었다. 에어로젤 방한 재킷 착용시의 기류 유무에 따른 변화에서 실험 구간별 온열감 차이가 존재하였다. 운동기 1에서는 전신($p < .05$), 가슴($p < .05$), 등($p < .01$) 부위에서 조건 간 유의미한 차이가 보였다. 기류가 있는 조건의 경우, 피험자는 운동기에 기류의 영향으로 덜 덥게 느끼고 회복기에는 기류가 존재하지 않으므로 비슷한 수준으로 회복하는 경향을 보였다. 이러한 결과에서 볼 때 기류가 있는 저온 환경에서 작업을 하는 경우, 에어로젤 충전재로 구성된 방한 재킷을 착용하는 것이

심리적으로도 착용자를 보호해 주는 역할을 할 수 있을 것이다.

습윤감의 경우, 그림으로 제시하지 않았지만 조건 간에 유의미한 차이는 보이지 않았으며 운동강도가 크지 않아 구간별 값의 차이가 명확하게 나타나지 않았다. Filingeri 등(2015)의 연구에 따르면 습윤감은 의복 착용 쾌적감에 영향을 미치는 중요한 요소이지만 인간은 습기를 감지하는 특정 피부 수용체가 없어 주로 피부, 땀, 의복 사이의 상호작용의 촉각에 의존해야 한다고 주장하고 있어 본 실험 조건과 같은 환경에서는 습윤감을 민감하게 평가하는 것이 어려울 것이다.

결론

본 연구에서는 저온 환경에서 에어로젤 충전재로 이루어진 방한 재킷의 기류 유무에 따른 혈압, 심박수, 심부온, 산소섭취량 및 의복내기후와 같은 생리학적 반응과 주관적 감각과 같은 심리학적 반응을 측정하여 기류 환경에서 에어로젤 충전재 방한 재킷 착용의 유효성을 검토하였다. 착용 평가를 통해 얻어진 주요 결과로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

방한 재킷 착용시의 혈압, 심박수, 심부온, 산소섭취량 및 의복내기후 등의 생리학적 파라미터는 기류의 유무에 따라 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 수축기 혈압은 운동기와 휴식기의 실험 구간에 따른 차이는 보였으나 기류 유무에 따른 혈압 결과 비교에서는 통계적으로 유의한 차이가 보이지 않았다. 수축기 혈압은 심혈관 질환 위험도를 예측하는 중요한 지표가 될 수 있고 저온 환경에서 급격하게 혈압이 증가하지 않는 것이 생리적으로 유리하다고 볼 수 있으므로 본 연구에서와 같이 혈압이 크게 상승하지 않았다는 것은 에어로젤 충전재 방한 재킷이 저온 환경 및 기류 환경에서 활동하는 사람들에게 적합하다는 것을 의미할 것이

다. 혈압을 조절할 수 있다면 심혈관계 질환을 예방하는 중요한 방법이 될 수 있을 것이며, 운동 조절뿐만 아니라 의복 조절로도 심혈관계 위험에 대비할 수 있다는 것을 보여주고 있다. 저온 환경이었으나 운동을 실시하는 중에는 기류의 유무와 상관없이 심박수의 증가가 보였으나 조건 간 차이는 보이지 않았다. 심박수는 생리학적 기능을 평가하는 일반적인 측정 항목이며 착용하는 의복에 따라서 증감하기도 하므로 착의 실험에서 모니터링이 필요한 파라미터일 것이다.

심부온으로 측정된 고막온은 저온 환경에서의 운동 중 기류 유무에 따른 조건 간 유의미한 차이가 보였다. 기류에 노출이 시작되는 구간에서 고막온이 하강하고 운동기 후반에서는 어느 정도 회복세를 보이나 기류가 없는 조건에 비해서는 결과값이 낮았다. 다만 고막온은 외부 환경에 영향을 쉽게 받는 부위의 온도이므로 고막온 측정을 통해 에어로젤 방한 재킷의 효과를 증명하기에 어려움이 있어 추후 외부 환경에 영향을 적게 받는 심부온을 측정하여 평가할 필요성이 요구된다.

산소섭취량은 단위시간에 섭취한 산소를 측정하는 것으로 전신적 작업을 수행하는데 필요한 체력적인 요인으로 평가되고 있다. 에어로젤 방한 재킷 착용 시에 기류가 있는 조건에서 산소섭취량이 낮게 나타나 에너지 소비가 적은 것으로 판단할 수 있으며 이는 운동으로 인해 생산된 열이 기류로 인해 원활히 발산되어 산소섭취량에 영향을 미친 것으로 보여진다.

가슴과 등 부위에서 측정된 의복내온도는 기류가 있는 경우에서 더 낮은 결과값을 보였다. 특히 가슴 부위는 기류가 가슴 정면에서 발생한 점, 의복내공간이 존재한 점 등에 영향을 받아 운동기 1에서는 그 차이가 유의미하게 큰 것으로 보여지나 운동기 2에서는 조건 간 차이가 크지 않았다. 등 부위의 의복내온도는 실험 초반인 운동기 1에서는 차이가 없었으나 운동기 2에서는 기류가 없는 경우 유의미하게 상승하였다. 등 부위는 의복내공간이 적고 가슴 부위와는 달리 외부 기류의 직접적인 영향을 받지 못한 것이 그 이유라 여겨진다.

주관적 감각과 같은 심리학적 파라미터에서도 기류 유무에 따른 결과값의 차이가 있었다. 기류가 있는 조건에서는 온열감이 중립에 가까운 값을 보인 반면, 기류가 없는 조건에서는 운동으로 인한 온열감의 유의미한 상승이 나타났다.

본 연구에서 에어로젤에 대한 피복재료학적 접근이 아닌 착용 평가를 실시한 것과 저온환경에서 에어로젤 방한 재킷을 착용하였을 때 기류에 의한 생리학적 부하가 경감된다는 결과를 도출한 것이 본 연구의 학술적 의의라 하겠다. 기류 유무에 따라 유의차

가 나타난다는 것은 저온 환경에서 기류가 발생했을 때 에어로젤 충전재는 방한 재킷에서 긍정적인 역할을 할 것이라는 의미있는 증거를 제공한다. 에어로젤 충전재의 방한 재킷을 착용한 채로 저온의 기류 환경에서 운동을 하는 경우, 외부로부터의 기류는 막아 주어 덜 춥고, 내부에서 발산되는 열로 인한 생리적 부하도 적어 덜 답다고 느낄 수 있을 것이다. 그러므로 저온 환경에서 기류가 발생했을 때 에어로젤 충전재로 구성된 방한 재킷이 착용자의 신체보호에 긍정적인 역할을 할 수 있을 것이다. 저온 환경에서 생리학적 파라미터에는 의복의 보온력보다 운동이 더욱 영향을 미친다는 선행연구(Kim et al., 2010)를 참고하여 본 연구 설계에서 운동부하를 실시하였으나, 향후 피험자의 운동량을 변화시키거나 혹은 실험 자체 조건을 변경하여 저온 환경에 노출되도록 한다면 에어로젤 충전재 방한 재킷의 효과를 다양한 측면에서 분석하여 적용할 수 있을 것이다. 또한, 본 연구에서는 피험자를 5인으로 하여 결과를 분석하였으나 추후 피험자 군을 확대하여 에어로젤 효과를 검토하는 것도 필요할 것이다.

추운 실외 환경 노출과 큰 기류변화는 인간의 생리적 건강에 영향을 미치기 쉬우며, 작업자에게는 작업기능의 손상을 유발하여 안전 및 작업수행에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 저온 환경에서의 체온유지는 건강과 관련하여 매우 중요하며, 체온조절 효율성이 높은 방한 재킷의 개발 및 연구는 지속적으로 이루어져야 할 것이다. 본 연구 결과는 기존 연구 성과에서 얻어진 물리적 특성 연구 결과와 함께 에어로젤 의복 착용 시의 착용자의 생리학적·심리학적 특성을 정량적으로 분석한 데이터를 제공할 수 있으며, 겨울철 야외에서 추위에 노출된 채 근무해야 하는 일반인이나 저온 환경에서 근무해야 하는 특수직업군에 있어서 방한 재킷의 요구 성능을 결정할 때 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

Declaration of Conflicting Interests

The authors declare no conflict of interest with respect to the authorship or publication of this article.

Acknowledgments

This research was supported by Kyungpook National University Research Fund, 2021.

References

- Andersen, L. B., Riddoch, C., Kriemler, S., & Hills, A. (2011). Physical activity and cardiovascular risk factors in children. *British Journal of Sports Medicine*, 45(11), 871-876. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090333>
- Baek, Y. J., Cho, K. Y., Hong, Y. J., & Lee, J. Y. (2022). Which jacket is thermo-physiologically and psychologically warmer between long-padded jackets filled with goose down and polyester in a windy and cold environment?. *Journal of Korean Living Environment System*, 29(1), 16-29. <https://doi.org/10.21086/ksles.2022.2.29.1.16>
- Baek, Y. J., & Choi, J. W. (2008). Determination of the garment pressure level using the elastic bands by human body parts. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 32(10), 1651-1658. <https://doi.org/10.5850/jksct.2008.32.10.1651>
- Chakraborty, S., Pisal, A. A., Kothari, V. K., & Rao, A. V. (2016). Synthesis and characterization of fibre reinforced silica aerogel blankets for thermal protection. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/2495623>
- Chen, X., Xue, P., Gao, L., Du, J., & Liu, J. (2019). Physiological and thermal response to real-life transient conditions during winter in severe cold area. *Building and Environment*, 157, 284-296. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.004>
- Choi, J. H., Loftness, V., & Lee, D. W. (2012). Investigation of the possibility of the use of heart rate as a human factor for thermal sensation models. *Building and Environment*, 50, 165-175. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.009>
- Cortili, G., Mognoni, P., Saibene, F. (1996) Work tolerance and physiological responses to thermal environment wearing protective NBC clothing. *Ergonomics*, 39(4), 620-633. <https://doi.org/10.1080/00140139608964485>
- Costill D. L., & Winrow E. (1970). A comparison of two middle-aged ultramarathon runners. *American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 41(2), 135-193. <https://doi.org/10.1080/10671188.1970.10614963>
- Deschenes, M. R., Hillard, M. N., Wilson, J. A., Dubina, M. I., & Eason, M. K. (2006). Effects of gender on physiological responses during submaximal exercise and recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(7), 1304-1310. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000227316.93351.56>
- Du, Y., & Kim, H. E. (2022). Research trends of the application of aerogel materials in clothing. *Fashion and Textiles*, 9(23), 1-19. <https://doi.org/10.1186/s40691-022-00298-5>
- Filingeri, D., Fournet, D., Hodder, S., & Havenith, G. (2015). Decreasing the tactile interaction between skin, sweat and clothing significantly reduces the perception of wetness independently of the level of physical skin wetness during moderate exercise. *Extreme physiology & Medicine*, 4(1), A76. <https://doi.org/10.1186/2046-7648-4-S1-A76>
- Gronwald, T., Berk, S., Altini, M., Mourot, L., Hoos, O., & Rogers, B. (2021). Real-time estimation of aerobic threshold and exercise intensity distribution using fractal correlation properties of heart rate variability: A single-case field application in a former olympic triathlete. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 668812. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.668812>
- Jin, B. O., Kim, H. K., Ryou, Y. S., Lee, T. S., Kim, Y. H., Oh, S. S., et al. (2020). Analysis of heating characteristics of multi-layered insulation curtain with silica aerogel in greenhouses. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 29(4), 320-325. <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2020.29.4.320>
- Jin, Y. B., Kim, S. M., Han, H. J., Sa, A. N., & Park, C. K. (2018). Study on thermal insulation property of military cold-weather clothing using a thermal manikin. *Textile Science and Engineering*, 55(1), 48-55. <https://doi.org/10.12772/TSE.2018.55.048>
- Kaikkonen, P., Lindholm, H., & Lusa, S. (2017). Physiological load and psychological stress during a 24-hour work shift among Finnish firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 59(1), 41-46. <https://doi.org/10.1097/jom.0000000000000912>
- Kang, H. S., Yoon, S. H., & Cho, J. K. (2009). Low cardiorespiratory fitness is an independent predictor of elevated resting blood pressure in middle-aged Korean women. *Exercise Science*, 18(1), 83-90. <https://doi.org/10.15857/ksep.2009.18.1.83>
- Kaywhite, M., Hodous T. K., & Vercreyssen, M. (1991). Effects of thermal environment and chemical protective clothing on work tolerance, physiological responses, and subjective ratings. *Ergonomics*, 34(4), 445-457. <https://doi.org/10.1080/00140139108967328>
- Kemi, O. J., Haram, P. M., Loennechen, J. P., Osnes, J. B., Skomedal, T., Wisløff, U., & Ellingsen, Ø. (2005). Moderate vs. high exercise intensity: differential effects on aerobic fitness, cardiomyocyte contractility, and endothelial function. *Cardiovascular Research*, 67(1), 161-172. <https://doi.org/10.1016/j.cardiores.2005.03.010>
- Kenny, G. P., & Journeay, W. S. (2010). Human thermoregulation: separating thermal and nonthermal effects on heat loss. *Frontiers in Bioscience*, 15(1), 259-290.
- Kim, H. H., Park, P. K., Kim, Y. S., & Hong, S. T. (2018). Study on the weight reduction of firefighter's protective clothing by using air layer and aerogels. *Korean Institute of Fire Science & Engineering*, 32(1), 81-88. <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2018.32.1.081>
- Kim, J. E., & Kim, E. K. (2017). A study on purchase and wearing condition of outdoor wear among active senior males. *Fashion & Textile Research Journal*, 19(6), 736-748. <https://dx.doi.org/10.5805/SFTI.2017.19.6.736>

- Kim, J. Y., & Choi, J. W. (2009). Efficacy of developed uniform for the workers in freezer storages. *Journal of the Korean Society of Living Environmental System*, 16(6), 648-657.
- Kim, J. Y., Song, M. K., & Kim, H. E. (2010). Physiological responses and subjective sensations by Clo values at -10°C . *Fashion and Textile Research Journal*, 12(4), 531-537.
- Kwon, A., Kato, M., Kawamura, H., Yanai, Y., & Tokura, H. (1998). Physiological significance of hydrophilic and hydrophobic textile materials during intermittent exercise in humans under the influence of warm ambient temperature with and without wind. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78(6), 487-493. <https://doi.org/10.1007/s004210050450>
- Kwon, J. Y., Kim, S. Y., Baek, Y. J., & Lee, J. Y. (2021). Comparison and evaluation of clothing insulation of newly-developed air-filled baffle jackets and down padded jackets. *Fashion & Textile Research Journal*, 23(2), 261-272.
- Lee, B. R. (2023). [Corporate Exploration] Realized the new material of dream, 'Aerogel', Gwangjang Innotek Co., Ltd. *Military Journal*, 2023(3), 76-79.
- Lee, O., Jang, C. Y., & Chung J. W. (2019). Study on development of submaximal treadmill walking test for estimation of maximal oxygen uptake in adults. *Journal of Korean Association of Physical Education and Sports for Girls and Women*, 33(4), 165-176. <https://doi.org/10.16915/jkapesgw.2019.12.33.4.165>
- Li, Y., Alshaer, H., & Fernie, G. (2009). Blood pressure and thermal responses to repeated whole body cold exposure effect of winter clothing. *European Journal of Applied Physiology*, 107, 673-685. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1176-5>
- Liu, W., Lian, Z., & Liu, Y. (2008). Heart rate variability at different thermal comfort levels. *European Journal of Applied Physiology*, 103, 361-366. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0718-6>
- MacNeal, J. J., Cone, D. C., & Wistrom, C. L. (2016). Effect of station-specific alerting and ramp-up tones on firefighters' alarm time heart rates. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13(11), 866-870. <https://doi.org/10.1080/15459624.2016.1183018>
- Nuckols, M. L., Hyde, D. E., Wood-Putnam, J. L., Giblo, J., Caggiano, G. J., Henkener, J. A., & Stinton, B. (2009). *Design and evaluation of cold water diving garments using super-insulating aerogel fabrics*. In Proceedings of the American Academy of Underwater Sciences 28th Symposium, America, 237-244.
- Pérez, O. C. (2012). *The behavior of aerogel blankets as insulation material in external walls at high temperatures* (Unpublished master's thesis). Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
- Rintamäki, H. (2007). Performance and energy expenditure in cold environments. *Alaska Medicine*, 49(2), 245-246.
- Rintamäki, H., & Rissanen, S. (2006). Heat strain in cold. *Industrial Health*, 44(3), 427-432. <https://doi.org/10.2486/indhealth.44.427>
- Slysz, J., Stultz, J., & Burr, J. F. (2016). The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(8), 669-675. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.09.005>
- Staessen, J. A., Gasowski, J., Wang, J. G., Thijs, L., Den Hond, E., Boissel, J. P., et al. (2000). Risks of untreated and treated isolated systolic hypertension in the elderly: Meta-analysis of outcome trials. *The Lancet*, 355(9207), 865-872. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(99\)07330-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(99)07330-4)
- Tamura, M. (1985) *Basic Hygiene Clothing*. Tokyo: Bunka publishing Bureau.
- Tang, H. H., Orndoff, E. S., & Trevino, L. A. (2003). Mechanical properties and durability study of aerogel-base thermal insulation for advanced space suit. *SAE Technical Paper*, 2003-01-2446. <https://doi.org/10.4271/2003-01-2446>
- Venkataraman, M., Mishra, R., Kotresh, T. M., Sakoi, T., & Militky, J. (2016). Effect of compressibility on heat transport phenomena in aerogel-treated nonwoven fabrics. *The Journal of the Textile Institute*, 107(9), 1150-1158. <https://doi.org/10.1080/00405000.2015.1097084>
- Wilmore, J. H., & Costil, D. L. (1997) *Physiology and Sport and Exercise* (H. Kang, K. Kim, T. Kim, H. Kim, K. Chang, J. Jeon, & H. Cho, Trans.). Seoul: Daehan Media.