JESK J Ergon Soc Korea 2025; 44(4): 437-461
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2025.44.4.437
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Improving Military Gear Design through Comprehensive Usability Evaluation: A Case Study on ROK Army Combat Vests

Jooyeon Lee, Yuhwa Hong, Juyeon Park

Seoul National University, Department of Fashion and Textiles, Seoul, 08826

포괄적 사용성 평가를 통한 인체공학적 군용 장비 디자인 개선: 대한민국 육군 전투조끼 사례 연구

이주연, 홍유화, 박주연

서울대학교 의류학과

Corresponding Author
Juyeon Park
Seoul National University, Department of Fashion and Textiles, Seoul, 08826
Email : juyeon.park@snu.ac.kr

Received : May 27, 2025
Revised : July 22, 2025
Accepted : August 04, 2025

Copyright@2025 by The Human Factors & Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: This study aims to identify ergonomic challenges in Republic of Korea (ROK) Army combat vests through a comprehensive usability evaluation and propose targeted design improvements.

Background: To enhance combat effectiveness and survivability amid declining troop numbers, the ROK Army has promoted the Warrior Platform initiative to modernize individual combat systems. Combat vests with Modular Lightweight Load-carrying Equipment (MOLLE) have been deployed, but issues remain regarding load burden, mobility restriction, and poor ergonomic fit. Prior evaluations have relied heavily on subjective evaluation and lacked scientific criteria. A structured, data-driven evaluation approach is therefore essential to validate usability and inform design optimization.

Method: Three combat vest designs (Designs A – C) were evaluated with four active-duty ROK Army soldiers. The study incorporated a multifaceted evaluation protocol, including design and size analysis, clothing pressure measurement, joint range of motion (ROM) analysis, and a subjective usability survey. Clothing pressure was measured using pneumatic sensors, and joint ROMs were assessed with an IMU-based motion capture system.

Results: The evaluation revealed noticeable differences in neckline configuration, armhole depth, strap placement, waist belt structure, and MOLLE capacity. Design A exhibited the highest pressure at the shoulders and back. Design B demonstrated effective load distribution but restricted lumbar mobility to a degree, due to an added support strap. Design C allowed better mobility but lacked adequate stability. Subjective evaluation aligned with the quantitative findings with participants favoring Design B. Based on the results, improvements were suggested, including refining armhole curves, extending the hemline, and repositioning straps.

Conclusion: The findings highlight how specific design elements impact wearability and mobility, offering evidence-based guidance for selecting and enhancing ROK Army combat vest designs.

Application: The evaluation protocol established in this study can be applied to other

military and performance gears to identify design opportunities and guide future development strategies.

Keywords: Usability evaluation, Combat vest, Clothing pressure, Range of motion, Subjective evaluation

1. Introduction

대한민국 국방부는 인구 감소로 인한 병력 감축 상황에 대응하고 장병 개개인의 생존성과 전투 수행 능력을 향상하기 위해 첨단 기술 기반의 병력 소수정예화를 목표로 국방개혁 2.0을 발표하였다(Lee et al., 2018). 이러한 개혁의 일환으로, 육군은 첨단 전투체계를 구축하기 위해 '워리어플랫폼(Warrior Platform)' 사업을 핵심적으로 추진하고 있다(Roh, 2020). 워리어플랫폼은 3단계에 걸쳐 진행되며, 1단계(2020-2022)는 피복, 장구, 장비 등 전력지원체계 개선을 목표로 하고, 2단계(2022-2025)는 개선된 전투체계의 통합을, 3단계(2025-2026)는 일체형 개인전투체계 완성을 목표로 한다(Gu et al., 2020).

전투조끼는 탄띠, 수통, 야전삽, 탄입대 등의 장비를 휴대하고 탈착할 수 있도록 설계된 군용 장구류이다. 과거에는 속칭 '엑스 반도(X band)'로 불리는 X형 탄띠 벨트형 군장을 사용하였으나, 이는 하중이 허리에 집중되고 동작을 제한한다는 단점이 있었다. 또한 허리 탄띠의 구멍에 클립을 끼워 결속하는 방식으로 장비의 결속 과정이 복잡한 불편함이 존재하였다(Kim, 2014). 오늘날 보급되는 디지털 문양의 전투조끼는 '몰리(Modular Lightweight Load-carrying Equipment, MOLLE)' 시스템이 적용되어 파우치 형태의 장비를 자유롭게 탈착할 수 있으며, 개인장구요대, 구급대, 탄창 기능을 통합하여 휴대성을 높였다(Republic of Korea [ROK] Army, 2021) (Figure 1).

Figure 1. Integrated combat vest and MOLLE system (Original image retrieved from Yonhap News (2016) and rearranged by the first author)

그러나 현용 전투조끼에도 여전히 해결해야 할 문제점이 있다. 대한민국 육군의 '전투장구류 종합 개선안'에 따르면(ROK Army, 2011), 장병의 기동력과 전투 순발력에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 전투하중에 의한 인체 부하는 가장 먼저 해결해야 할 문제이다. 탄약, 대검, 수류탄 등 무거운 장비를 결속하면서 발생하는 하중은 인체에 부담을 유발한다. 또한 착용 시 밀착성이 떨어지는 문제와 조끼의 인체 관절 간섭으로 인한 동작부적합성 문제 역시 해결되어야 한다.

그 동안 대한민국 군은 첨단 무기 전력화에 중점을 두어 상대적으로 장구류의 보급과 발전 속도가 늦어진 경향이 있다(ROK Army, 2011). 특히 피복 및 장구류의 개선은 부대 중심이나 방산업체 주도로 이루어졌으며(Roh, 2020), 과학적 목표보다는 양산, 조달 및 품질 문제를 해결하는 단발성 사업에 치중하여 개인전투체계에 대한 혁신이 이루어지지 못했다고 평가된다(Maeng, 2020). 이에 국내 개인전투체계의 개발은 인체공학적 데이터에 기반한 과학적 이해가 부족한 상태에서 해외의 장비를 모방하는 방식으로 이루어져 왔으며, 이는 실제 국군 장병들의 체형과 국내 장비 운용 맥락이 충분히 반영되지 못한 결과를 가져왔다(Ministry of National Defense, ROK [MND ROK], 2018). 또한, 과학적 지표를 통한 체계적 평가 수단이 부재하여 소규모 부대 평가와 같은 단편적인 평가에 의존하는

실정이었다(Lee et al., 2018).

해외 사례를 살펴보면, 미국의 경우 2010년부터 2016년까지 '넷 워리어(Net Warrior)' 프로젝트를 통해 경량화 된 장비와 스마트폰 기반 기술을 도입하여 전투하중을 줄이면서도 상황 인식 및 상호 운용성을 개선한 개인전투체계를 구축 및 평가하고 실전 배치하였다(U.S. Army Program Executive Office Soldier, n.d.). 프랑스는 1997년 '펠린(Fantassin à Équipements et Liaisons Intégrés, FELIN)' 프로젝트를 실시하여, 보병의 생존성과 기동성을 유지하면서도 정보 수집 및 통신 능력을 향상하는 개인전투체계를 개발하였다(Army Recognition, n.d.). 이 체계는 스마트 헬멧 및 통합 무기 시스템, 네트워크 통신 장비를 결합한 형태로, 2010년부터 실전 배치하였다. 독일은 2004년부터 'idZ-ES (Infanterist der Zukunft - Erweitertes System)' 프로젝트를 통해 인체공학적 보호 장비, 통신 시스템 및 디지털 전장 인식 장치, 무기 시스템 통합을 추진하고 있다(Army Technology, n.d.). 이러한 해외 사례들은 첨단 기술 적용에 따른 무게 증가와 에너지 효율성 문제라는 공통된 과제를 안고 있으나, 체계적인 접근과 과학적 분석 및 평가를 기반으로 개인전투체계를 첨단화 해오고 있다는 점에서 주목할 만하다.

국내에서도 피복 및 장구류의 자체적 개발 및 과학적 평가를 위한 연구들이 수행되어 오고 있으나 해외 사례에 비해 상대적으로 더디게 진행되고 있는 실정이다. 관련된 국내 연구를 살펴보면, Lee (2012)는 국군 훈련동작에 적합한 전투복 상의를 개발하였으며, Han and Han (2019)는 한국 여군을 위한 방한복을 개발하고 전문가 집단의 외관 관능 평가 및 착용자 대상의 치수 및 동작적합성 설문을 통해 평가하였다. 또한, Lee et al. (2012)는 국내 공군의 정비파카를 개발하였으며 착용자에 의한 동작적합성 설문과 고니어미터(goniometer)를 활용한 관절동작범위(Range of Motion, ROM) 측정을 통한 활동성 평가를 진행하였다. Lee (2016)은 대한민국 공군 전투기 조종사 비행복을 개발하고 전문가 관능검사 및 피험자 착용 평가를 통해 동작용이성, 맞음새 적합성, 사용편의성, 심리적 만족성을 평가하였으며, 추가적으로 임무 과업에 소요되는 시간 측정 및 사진 촬영을 통한 ROM 분석 등 정량적 지표를 활용하였다. 이러한 노력은 국군의 장비 사용 맥락과 인체 치수를 반영하여 자체적인 군용 피복 개발 및 보급을 가능하게 했다.

하지만 국내에서 개발된 피복 및 장비에 대한 평가 방식은 착용자의 주관적 평가에 의존하는 경향이 있으며, 고니어미터나 사진 촬영과 같은 수동 측정 장비를 활용한 일부 정량적 평가를 주관적 평가에 병행하는 아쉬움이 존재한다. 반면 MND ROK (2018)의 '전투하중을 고려한 인체공학적 개인군장체계' 연구에서는 한국 군에 적합한 군장 배낭을 개발 및 평가하는데 있어 ROM 측정을 통한 동작간섭 측정, 배낭 압력 측정, 정적 균형 및 사용자에 의한 주관적 피로도 등 다양한 정량적 지표 및 정성적 지표를 결합한 바 있다. 군용 장비의 효과적인 평가를 위해서는 다양한 정량적, 정성적 지표를 포함하는 포괄적인 분석을 수행하는 것이 중요하므로(Lee et al., 2022), 워리어플랫폼의 구현을 위해 인체공학적 설계와 과학적 평가를 바탕으로 첨단 개인전투체계의 개발과 실전 배치가 시급히 이루어져야 한다.

따라서 워리어플랫폼의 성공적 구현을 위해서는 국내 전술 환경에 최적화된 체계적이고 과학적인 분석과 검증 프로토콜이 필요하다. 이에, 본 연구는 대한민국 국방부 육군본부의 연구용역 과제인 '전투조끼 품질 개선을 위한 과학적 실험 연구(Project No. 350-20210009)'의 일환으로 수행되었으며, 국군 전투조끼 디자인의 종합적 평가를 위해 Figure 2에 제시한 프레임워크를 따라 크게 사전연구와 실증연구로 나누어 수행되었다. 사전 연구는 전투조끼 디자인 분석과 사이즈 분석을 포함하였으며, 실증연구에서는 장비하중 분산 평가를 위한 의복압 분석, 간섭 및 동작적합성 평가를 위한 관절 가동 범위(ROM) 평가, 치수적합성, 동작적합성을 포함하는 실제 사용 장병에 의한 주관적 평가가 포함되었다. 또한 이러한 결과를 종합하여 최적 디자인을 선정하고 추가적인 디자인 개선 사항을 제

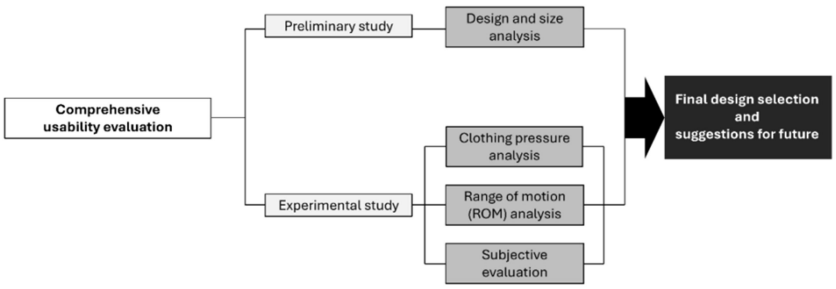


Figure 2. Framework of the study

시하였다. 이러한 결과는 궁극적으로 대한민국 육군의 안전성과 전투력 향상에 기여할 것으로 기대한다.

2. Method

2.1 Preliminary study

2.1.1 Design and size analysis

제품을 구성하는 디자인 요소를 분석하는 것은, 제품의 재설계 비용을 줄이고 최적화하는데 큰 기여를 하는 중요한 작업이다(Belaziz et al., 2000). 따라서 본 연구에서는 한국 육군 전투조끼 디자인에 대해 디자인 요소를 분석하고 차이를 정의함으로써, 추후 실험 결과의 원인을 찾고 개선 디자인 솔루션을 제시하기 위한 기초를 마련하고자 하였다. 이에 우선적으로 평균 사이즈에 해당하는 M 사이즈 전투조끼 디자인 3종(현용 1종, 제안 디자인 2종)에 대하여 조끼의 형태, 사이즈, MOLLE의 개수, 구성품 및 조끼의 무게의 비교를 수행하였다. 제안 디자인 2종은 민간 군수업체에서 1차 디자인 및 실물 제작을 한 것이다.

전투조끼의 형태 분석은 본 연구팀에 의해 수행되었으며, 사이즈의 측정은 평평한 바닥에 형태를 유지하도록 조끼를 펼쳐 놓은 후 줄자를 이용하여 Figure 3에 제시한 항목을 측정하였다. MOLLE는 실제 장비 및 파우치를 결착할 수 있는 완전한 형태를 가진 것에 한하여 개수를 파악하였다. 무게의 측정은 각 전투조끼 자체와 전투조끼에 결속되는 파우치와 장비류의 무게를 개별적으로 측정하여 합산하였다.

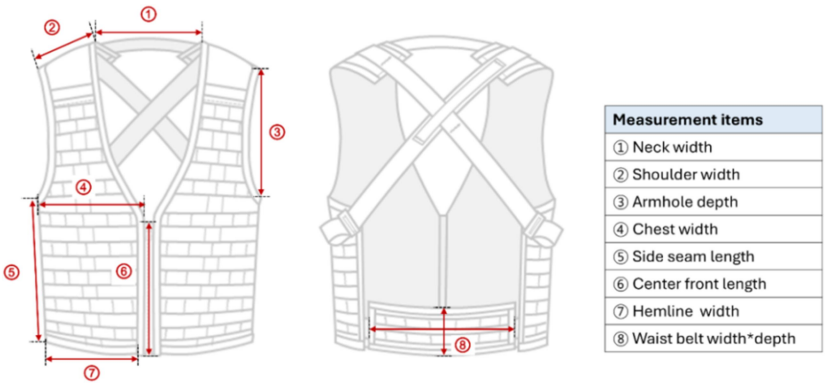


Figure 3. Measurement items for design and size analysis

2.2 Experimental study

2.2.1 Participants

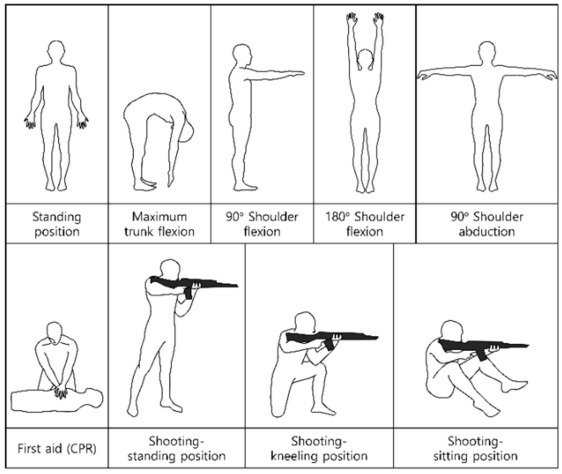
실증실험을 위한 연구참여자의 모집과 실험내용 및 절차는 연구수행기관의 생명윤리위원회의 승인을 받아 진행되었다(IRB No. 2104/003-010). 연구참여자 선정을 위해 국가기술표준원에서 실시한 7차 한국인 인체치수측정사업(Korean Agency for Technology and Standard [KATS], n.d.)인 Size Korea의 데이터베이스를 활용하였다. 이를 기반으로 잠재적 전투조끼 운용자의 군복무 연령에 해당하는 20~24세 남성의 평균 신장(174.2cm)과 표준편차(5.8cm), 평균 가슴둘레(95.6cm)와 표준편차(6.6cm)를 산출하였으며, 상기 데이터에 근거하여 평균 신장 범위에 속하며 전투복 95-173-M 치수를 착용하는 현역 군인을 모집하였다. 연구참여자 모집은 대한민국 육군 수도방위사령부에 협조를 받아 진행되었으며, 최종 4인의 참여자가 모집되었다. 연구참여자의 신체 치수는 Table 1과 같다. 연구참여자 4인은 3개의 전투조끼 디자인에 대하여 13개 자세에 대한 평가에 참여하였으며, 결과적으로 각 측정 지표(의복압, ROM, 주관적 평가) 별로 156개의 data set이 수집되었다. 자세한 참여 과정은 '2.2.2. Procedures'에 기재하였다.

Table 1. Characteristics of study participants

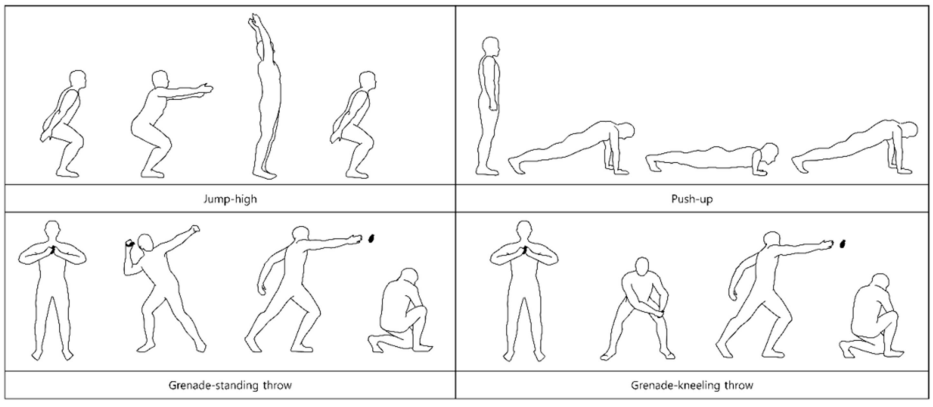
Participants	Height (cm)	Chest circumference (cm)	Uniform size
P1	171.6	92.5	95-173-M
P2	171.6	100.0	95-173-M
P3	174.7	100.8	95-173-M
P4	174.0	96.7	95-173-M

2.2.2 Procedures

연구참여자는 각기 다른 날 총 3회에 걸쳐 실험실을 방문하였으며, 각 방문마다 다른 디자인의 전투조끼를 착용하고 3D 바디 스캐닝, 의복 압력 및 관절동작범위 측정 실험에 참여하였다. 실험 설계에서 전투조끼 디자인의 순서 효과를 제거하기 위해, 각 방문마다 착용한 전투조끼의 디자인은 무작위로 선정되었다. 각 실험은 이전 실험의 잔류 효과를 제거하기 위해 최소 3일간의 간격을 두고 수행



(a)



(b)

Figure 4. Selected postures for experiment: (a) Quasi-dynamic postures, (b) Dynamic postures

되었다. 연구참여자들은 실험 시작 시점으로부터 48시간 내에 무리한 신체 활동, 음주를 제한하고 일상적인 수면 패턴을 유지하도록 권고 받았다.

실증실험에 사용된 동작은 군용 피복 및 장구류 개발과 평가를 다룬 학술 논문, 과년도 군 피복 및 장구류 개선·개발 보고서 자료를 검토하여 선정하였다. 선행연구에서 군용 피복 및 장구류의 평가를 위한 동작은 정지된 상태의 동적 동작(Quasi-dynamic postures)과 연속적인 움직임을 포함하는 동적 동작(Dynamic postures)으로 구분되어 사용되고 있었다. 구체적으로 정지 상태에서의 동적 동작은 각 관절의 굴곡, 신전, 회전, 외전 등 주요 해부학적 움직임을 반영하여 설정하고 있었으며(Jeong, 2014; Lee et al., 2012), 연속적인 동적 동작은 국군 부대 편제에 따라 부대 별로 운용 맥락에 차이가 있기 때문에 기초군사훈련을 기반으로 훈련동작을 선정하고 있었다(Han and Han, 2019; Lee, 2012). 또한 선정된 평가 동작의 타당성 확보를 위해, 선행연구를 참고하여(Lee, 2012; MND ROK, 2018) 군 간부 등 관계자를 대상으로 전문가 면담을 통해 확인 과정을 거쳤다. 본 연구에서는 기동대대 상사 1인을 대상으로 전문가 면담을 진행하였으며 최종적으로 실험 평가를 위한 동작을 확정하였다.

정지 상태에서의 동적 동작은 전투조끼가 착용되는 인체 부위인 몸통 및 어깨부위의 해부학적 움직임을 반영하는 일반동작 5개와 사격 및 구급법 훈련동작 4개를 포함한 총 9개 자세로 구성되었다(Figure 4a). 또한 일련의 연속적인 동작으로써 의미를 갖는 유격 및 수류탄 훈련동작을 포함하는 4개의 동적 동작을 설정하였다(Figure 4b). 따라서 총 13개의 동작이 추출되어 사용성 평가에 적용되었다.

Clothing pressure analysis

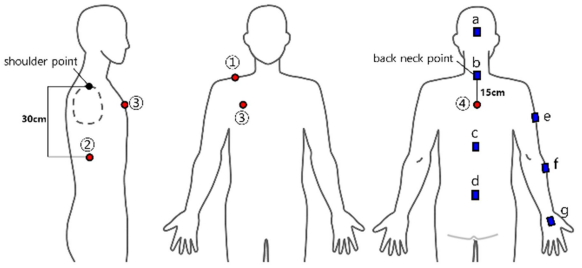
Figure 4a에 제시된 정지 상태에서의 동적 동작에 대하여 전투복과 전투조끼, 장구류 일체를 착용한 상태에서 인체의 각 부위에 가해지는 의복압을 전투조끼 디자인 별로 비교평가 하였다. 의복압의 측정 부위는 평가하고자 하는 의복의 기능적 특성 및 목적성에 따라 이루어진다(Harman et al., 1999; Kim and Baek, 2009). 따라서 본 연구에서는 전투조끼의 형태적 구조를 고려하여 인체와 조끼가 밀착하는 지점에서의 의복압을 측정하고자 하였으며 어깨, 암홀, 가슴, 등의 4개 주요 인체 부위에서 측정하였다(Figure 5).

측정 장비는 에어팩 센서에 공기를 넣어 외부와 연결된 압력 센서에 연결시키는 방식의 접촉 의복압 측정기(AMI-3037, AMI, Japan)가 사용되었다. 본 연구에서 사용한 의복압 측정기는 기준 압력계와의 교정(calibration)을 통해 ±2.2mmHg 수준의 측정 정확도와 ±2.5%% FS (full-scale) 이내의 반복 정밀도(repeatability)를 확보한 것으로 보고된 바 있으며, 비선형성(nonlinearity error) 및 히스테리시스(hysteresis error) 오차는 각각 3% FS 이하로 나타나 정량적 신뢰도가 높은 장비로 평가된다(Nandasiri et al., 2020). 측정 실험에 앞서 사용할 4개의 의복압 센서에 일정한 양의 공기를 주입한 후, 센서의 출력 값을 확인하며 각 센서에 동일한 양의 공기가 주입되었는지 확인하였다. 확인을 마친 후, 일정하게 세팅 된 센서의 상태를 0으로 캘리브레이션 한 후 실험을 진행하였다. 측정은 의복압 센서를 측정 위치의 피부 위에 의료용 테이프를 이용하여 부착한 후, 전투복과 장구 및 파우치 일체를 부착한 전투조끼를 착용하였다. 연구참여자는 알람에 따라 20초간 정지 상태에서의 동적 동작 9개를 각각 수행하였고, 전체 측정값 중 자세가 완료되기 이전 시점의 데이터와 오류 및 결측 데이터를 일부 필터링하여 분석에 활용하였다. 본 연구는 4명의 피험자만을 대상으로 하였으나, 각 피험자당 약 180개 데이터 세트(9개 자세 × 20초 × 1초당 1회 측정)를 확보하였고, 총 약 720개의 데이터 세트(4명 × 180개 데이터 세트)를 수집하여 충분한 데이터를 확보함으로써 제한된 표본 수를 보완하고 통계적 분석의 타당성을 확보할 수 있었다. 데이터 수가 30개 이상($n \geq 30$)이면 "라지(Large)" 샘플 사이즈로 간주되어 정규분포를 따른다고 볼 수 있으므로(Hogg and Tanis, 2001), 전투조끼 디자인에 따른 인체 부위 별 의복압의 차이 분석을 위해 모수 검정인 일원분산분석(One-way ANOVA) 및 사후분석(Scheffe)를 실시하였다. 또한 각 전투조끼 디자인과 자세에 따라 나타난 의복압 데이터를 해석하기 위해, 3D Body Scanner (VITUS, VITRONIC, Germany)를 활용하여 전투조끼 착의 상태에서 자세 별로 스캔한 형상을 시각적으로 분석하였다.

Range of Motion (ROM)

전투복과 전투조끼, 장구류 일체를 착용한 상태의 관절동작범위는 Figure 4B에 제시된 전투조끼 운용 및 훈련 맥락을 대표하는 동적 동작에 대하여 수행되었다. 관절동작범위의 측정에는 IMU (Inertial Measurement Units) 센서 기반의 3D 모션 캡처 시스템(MyoMotion, NORAXON, USA)이 사용되었다. 센서의 부착 위치는 센서와 인체 관절 간의 상관 관계를 분석한 선행연구(Ancans et al., 2021)를 참고하여, 조끼가 착용되는 상반신 및 상지 관절 7곳에 센서를 부착하였다(Figure 5). IMU 센서를 선정한 측정 위치의 피부 위에 의료용 테

이프를 이용하여 부착한 후, 전투복과 장구 및 파우치 일체를 장착한 전투조끼를 착용하였다. 센서간 각도를 통해 경추, 흉추, 요추, 어깨부위의 관절각을 측정하였으며 각 관절 동작의 양상에 대하여 최대 굴곡(maximum flexion), 최대 측면 굴곡(maximum lateral flexion) 각도 값을 추출하였다. 관절동작범위의 측정 목적은 조끼 디자인이 관절 별 운동 범위를 제한하는 정도를 측정하는 것이었기에 각 동작 수행시의 최대 관절각이 분석에 사용되었다. 각 동적 동작은 3회 반복되었으며, 0.5초당 1회 간격으로 관절 각도 데이터를 수집하였다. 수집된 각도 데이터가 동작 당 30개를 초과하므로 정규분포를 가정하였으며(Hogg and Tanis, 2001), 따라서 조끼 디자인에 따른 관절 운동 범위의 차이 비교 분석을 위해 일원분산분석(One-way ANOVA) 및 사후분석(Scheffe)를 실시하였다.



Category	Location	Definitions
Clothing pressure sensors	① Shoulder	The central point of the shoulder slope
	② Armhole	The armhole area of the vest, located 30 cm vertically below the shoulder point
	③ Chest	The point of maximum protrusion on the chest
	④ Back	The point located 15 cm vertically below the back neck point
IMU sensors	a. Head	The most protruding point at the back of the head
	b. Neck	The cervical vertebrae point
	c. Waist	The midpoint between points a and d, located above the thoracic vertebrae
	d. Pelvis	The sacrum point of the pelvis
	e. Upper arm	The most lateral protruding point of the upper arm
	f. Lower arm	The most lateral protruding point of the forearm
	g. Hand	The central point on the back of the hand

Figure 5. Definitions of clothing pressure (red) and ROM (blue) measurement points

Subjective evaluation

실제 사용자에 의한 전투조끼의 주관적 평가는 매 실험이 종료된 후 실시되었으며, 동작적합성 및 치수적합성 평가로 구성되었다. 동작적합성은 실험 연구를 위해 사용된 정적 동작 및 연속적 동적 동작에 대하여 조끼를 착용한 상태에서 동작을 수행하며 움직임이기 편안한 정도를 7-point Likert scale(1: 매우 불편함, 4: 보통, 7: 매우 편함)로 응답하도록 하였다. 치수적합성은 조끼 착용 후 목, 가슴, 겨드랑이, 허리둘레와 어깨너비, 앞품, 뒷품, 옷길이 및 전반적인 치수에 대하여 응답하도록 하였다. 피험자는 스스로 조끼에 장구 및 파우치를 결속하고 거울을 보며 충분히 관찰한 뒤 7-point Likert scale(1: 매우 작음, 4: 알맞음, 7: 매우 큼)로 치수적합성을 응답하였다. 또한 각 조끼 디자인의 동작 및 치수적합성에 대한 의견을 자유롭게 제시하도록 요청하였으며, 연구진들은 이를 기록하여 분석에 활용하였다. 초당 수회 측정되었던 앞선 정량적 지표들(의복압, ROM)과 달리, 주관적 평가의 응답 수가 제한적이므로 분석에는 비모수 통계를 수행하였다. 3종의 전투조끼 디자인에 따른 주관적 평가 점수의 차이를 평가하기 위해, 세 그룹 이상의 독립적인 표본들이 동일한 분포를 갖는지 검정하는 비모수 통계 기법인 Kruskal-Wallis test를 수행하였다. 또한 통계적 차이가 유의미한 항목에 대하여 사후검증을 위해 Mann-Whitney *U* test를 통해 각 조끼 디자인을 쌍 별 사후비교 하였다. 통계 결과의 유의성은 95% 신뢰도를 기준으로 분석하였다.

2.3 Final design selection

분석 결과를 유기적으로 종합하고 최적의 전투조끼 디자인을 도출하기 위해 4개의 평가 지표(디자인 및 사이즈 분석, 의복압 분석, 관절가동범위 분석, 주관적 평가)를 기준으로 전투조끼 디자인 3종을 비교하고, 그 결과를 매핑(mapping)하여 각 항목에서 가장 우수

한 성능을 보인 디자인을 시각적으로 도식화하였다. 이를 통해 각 평가 지표 별 디자인 간 성능 차이를 명확하게 비교하고, 데이터 기반의 최적 전투조끼 디자인을 도출하였다.

3. Results

3.1 Results of the preliminary study

3.1.1 Combat vest design and size

전투조끼 디자인 3종의 형태를 나타내는 도식화를 Figure 6에 제시하였다. 기본적으로 모든 전투조끼는 앞면에서 지퍼를 이용하여 체결하도록 구성되어 있으며, 뒷면은 뚫린 구조로 등끈 및 요대(waist belt)가 앞면과 연결된다. 또한 조끼의 전체 겉면에 칸칸이 장비 파우치를 체결할 수 있는 MOLLE 시스템이 배치되어 있다. 구체적으로 각 디자인을 현재 보급되어 있는 디자인 A(Figure 6a)와 비교하여 살펴보면, 조끼 앞면의 경우 디자인 B(Figure 6b)는 디자인 A와 거의 유사한 V형 네크라인을 가지고 있으며 디자인 C(Figure 6c)는 디자인 A와 비교하여 네크라인이 깊으며 U형에 가깝다. 조끼 뒷면의 경우 디자인 A는 X형 등끈인 반면, 제안된 디자인 B와 C는 모두 H형 등끈으로 구성되어 있다. 특히 디자인 B의 경우 등끈과 요대 사이에 수평의 지지끈이 추가된 것이 특징적이었다. 디자인 A의 요대는 등끈과 동일한 끈에 요대가 부착된 형태의 디자인이며, 디자인 B, C의 경우 요대를 몰리 시스템을 이용하여 조끼의 앞면과 결착하는 형식으로 구성되어 있었다. 조끼의 옆면 소매 진동(armhole)은 디자인 A를 기준으로 디자인 B는 얕은 소매 진동을, 디자인 B는 깊은 소매 진동과 이로 인해 조끼 옆선이 짧은 특징을 가지고 있다.

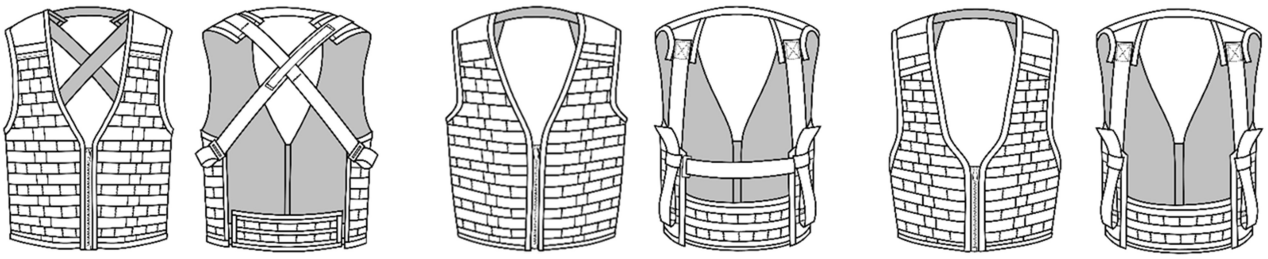


Figure 6. Technical drawings of combat vests: (a) Design A, (b) Design B, (c) Design C (Modified from ROK Army (2021) and illustrated by the first author)

Figure 3에 제시한 측정법에 따라 각 전투조끼 디자인의 사이즈를 측정한 결과는 Table 2와 같다. 목너비(neck width)는 디자인 C에서 가장 넓게 나타났으며, 나머지 두 디자인에서는 동일했다. 어깨너비(shoulder width)는 디자인 A에서 가장 넓었으며, 이후 디자인 B, C 순으로 나타났다. 소매 진동깊이(armhole depth)는 디자인 C에서 가장 깊었으며, 디자인 B가 가장 얕은 형태로 구성되어 있었다. 옆선길이(side seam length)는 디자인 C가 다른 디자인보다 약 100mm 가량 작게 나타났는데, 이는 조끼 전체 길이를 유지하며 소매 진동을 다른 디자인보다 깊게 구성함에 따라 옆선길이가 상대적으로 짧아진 것이었다. 앞품(chest width)은 디자인 A, B, C 순으로 크게 나타났는데, 디자인 C가 다른 디자인과 비교하여 상대적으로 좁게 구성되어 있었다. 앞중심길이(center front length)는 디자인 C에서 가장 짧게 나타났으며 나머지 디자인에서는 동일하였다. 밑단 품(hemline width)은 디자인 A에서 가장 작았으며, 나머지 디자인에서는 동일하였다. 요대 너비*깊이(waist belt width*depth)는 디자인 A에서 가장 작고 나머지 디자인은 동일하였는데, 디자인 A의 경우 요대가 조끼와 겹치는 부분 없이 끈에 달린 형태로 구성된 반면, 나머지 두 디자인은 요대가 허리의 옆면을 둘러싸며 조끼의 앞면과 일부 겹쳐지는 형태로 구성되어 있었다.

Table 2. Size analysis results by combat vest design (unit: mm)

Measurement items	Design A	Design B	Design C
Neck width (mm)	170	170	205
Shoulder width (mm)	120	110	100
Armhole depth (mm)	350	320	380
Side seam length (mm)	240	240	140
Chest width (mm)	335	330	285
Center front length (mm)	250	250	245
Hemline width (mm)	335	340	340
Waist belt width*depth (mm)	260*115	520*110	520*110
Number of MOLLE attachments (count)	100	104	71

Figure 7에 조끼 디자인 별 MOLLE 위치 및 개수를 제시하였다. 조끼 디자인 전반에 걸쳐 디자인 A는 100개, 디자인 B는 104개, 디자인 C는 91개의 MOLLE로 구성되어 있었다. 그러나 디자인 B, C의 뒷부분(back) 요대에 위치한 MOLLE는 요대 사이즈 조절을 위한 용도이므로 제외하고 조끼 몸판(left, right) 좌우의 MOLLE의 개수만 고려하면 디자인 A 90개, 디자인 B 84개, 디자인 C 71개 순으로 MOLLE

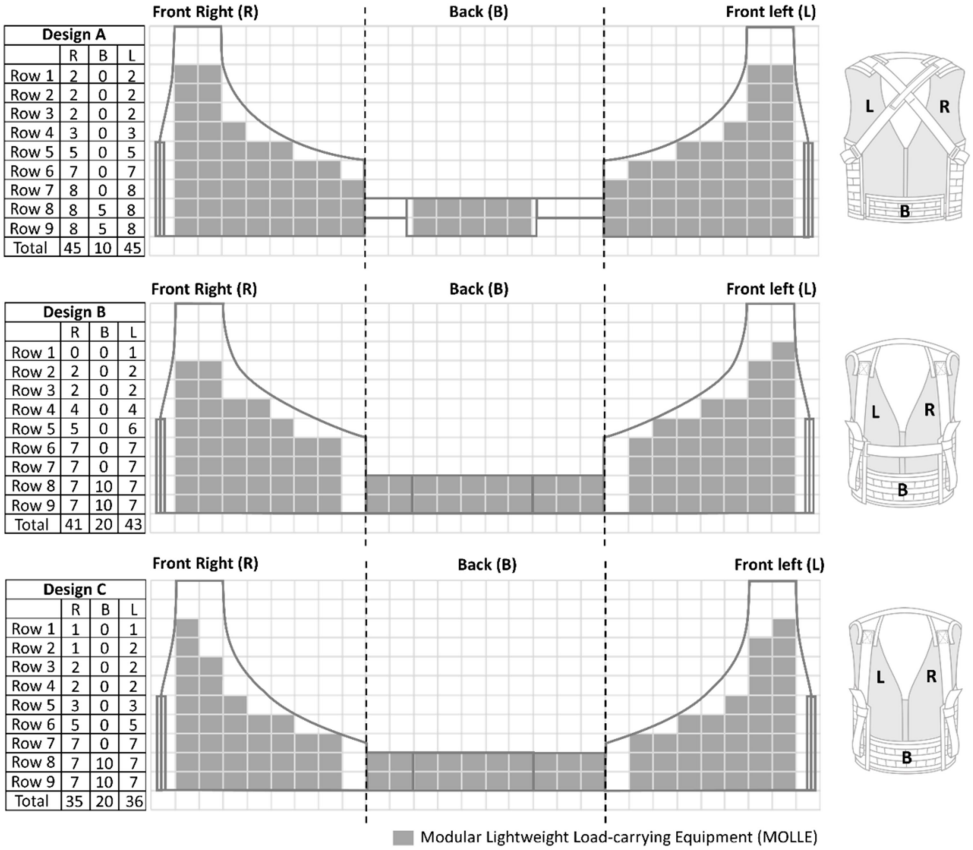


Figure 7. Comparison of MOLLE placement and quantity across combat vest designs

공간이 있는 것으로 나타났다. 디자인 A는 다른 디자인보다 조끼의 앞품이 넓어 MOLLE 장착 수가 더 많은 것으로 사료되며, 디자인 C는 다른 디자인보다 앞품과 옆선길이가 작고 소매 진동이 깊은 특성으로 상대적으로 MOLLE를 구성할 공간이 부족했던 것으로 사료된다.

조끼 디자인 별 무게를 비교하기 위해 전투조끼에 부착되는 장구류 및 장구류 파우치의 구성을 파악하였으며(Figure 8), 조끼 단품과 파우치 및 장비류를 포함한 무게를 측정하였다(Table 3, 4). 조끼 단품 및 장구류 포함하는 통합 전투조끼 시스템(total combat vest system)의 무게는 디자인 B가 약 4,809g으로 가장 무거웠으며 이후 디자인 A 4,779g, C 4,729g 순으로 나타났으나 그 차이는 30~80g으로 크지 않았다. 디자인 B의 조끼 무게가 높게 나타난 것은 추가 등부위 지지끈 및 넓은 요대의 규격 때문인 것으로 사료되었으며, 디자인 C는 이와 반대로 깊은 소매 진동으로 인해 조끼의 앞면 면적이 작고 이로 인해 MOLLE 개수 또한 작은 것에서 기인한 것으로 사료된다.

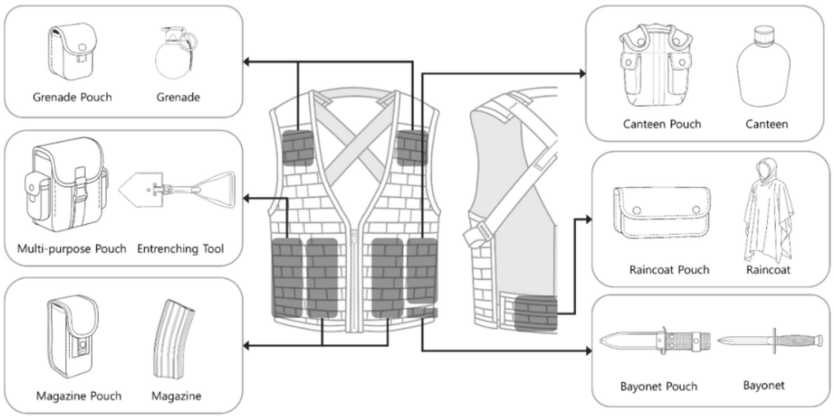


Figure 8. Total combat vest system with modular pouches and equipment attachments

Table 3. Weight of pouches and equipment (unit: g)

Category	Items	Pouch weight	Equipment weight	Total (pouch + equipment)
Pouch and equipment	Multi-purpose	204	1,296	1,500
	Grenade (2 pcs)	98	532	630
	Canteen	98	167	265
	Raincoat	91	594	685
	Magazine (2 pcs)	228	220	448
	Bayonet	223	217	440
	Total	942	3,026	3,968

Table 4. Weight of total combat vest system (unit: g)

Design	Vest weight	Pouch + equipment weight	Total combat vest system weight
Design A	811	3,968	4,779
Design B	841	3,968	4,809
Design C	761	3,968	4,729

장구류 결속의 측면에서 봤을 때, MOLLE의 개수가 많을수록 장구류를 많이 결속하거나 혹은 개인의 체형 및 선호에 맞게 위치를 조절할 수 있는 장점이 있다. 따라서 장구류 결속의 측면에서는 디자인 A와 B가 유리한 디자인으로 사료된다. 그러나 각 디자인의 사이즈, 몰리 수, 무게 등의 특징들과 인체의 상호작용에 대하여 후에 이루어지는 실증연구의 결과와 종합하여 해석해야 할 것으로 사료되었다.

3.2 Results of the experimental study

3.2.1 Clothing pressure

각 전투조끼 디자인에 따른 9개의 각 정지 상태에서의 동적 동작의 의복압 차이는 Figure 9과 같으며, 사후분석(Scheffe) 결과를 Table 5

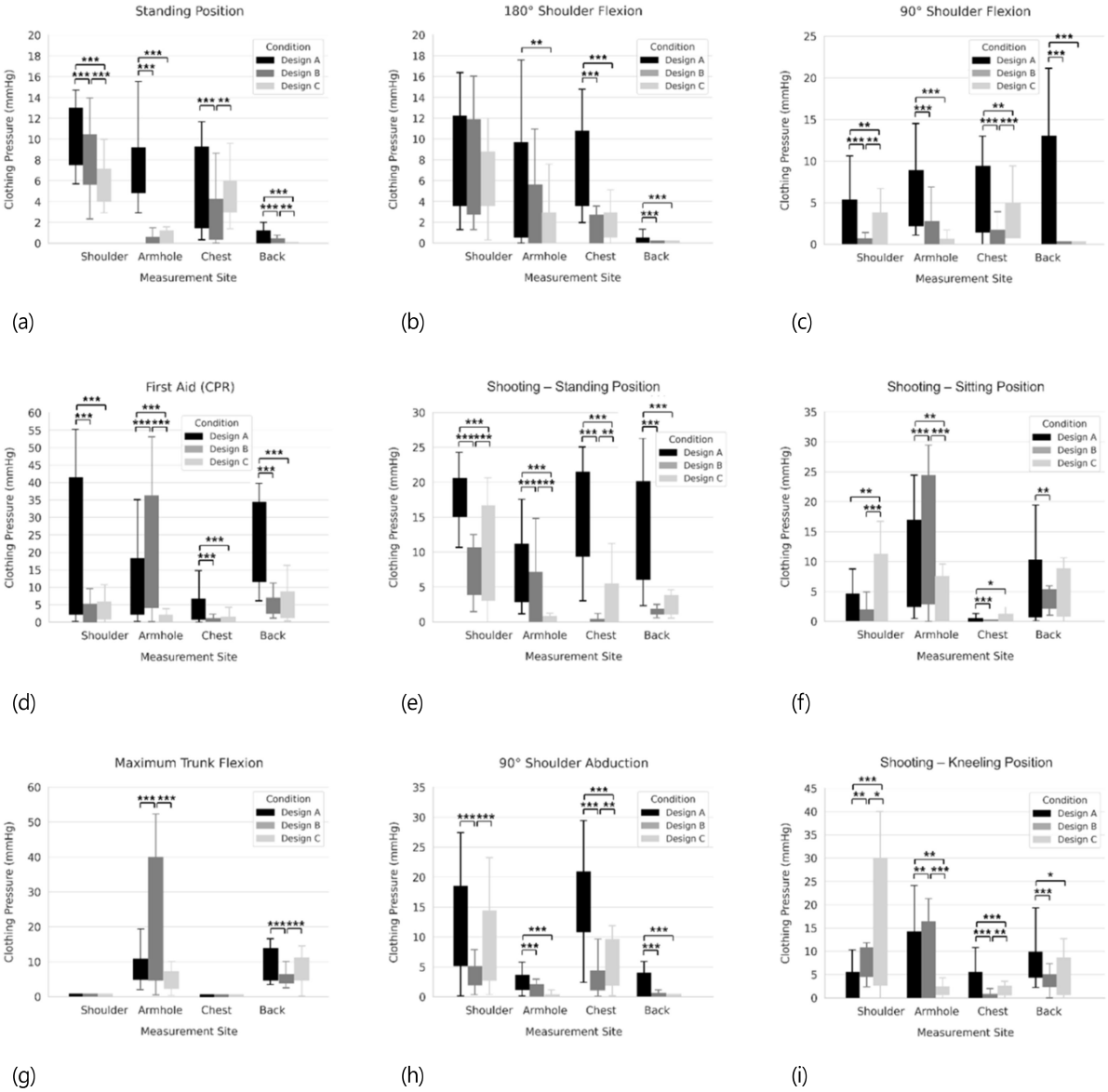


Figure 9. Results of clothing pressure analysis at quasi-dynamic postures (*p<0.5, **p<0.01, ***p<0.001)

Table 5. ANOVA and Scheffe post hoc test results for differences between vest designs

Posture	Site	Group comparison	△	95% CI	*p*	ANOVA (*F*)	Posture	Site	Group comparison	△	95% CI	*p*	ANOVA (*F*)
Standing position	Shoulder	Design A * Design B	2.893***	[1.66, 4.12]	0.000	162.618*** (*p*=0.000)	Shooting -standing position	Shoulder	Design A * Design B	10.218***	[8.02, 12.41]	0.000	162.618*** (*p*=0.000)
		Design B * Design C	2.118***	[0.88, 3.34]	0.000				Design B * Design C	-4.423***	[-6.61, -2.22]	0.000	
		Design C * Design A	-5.011***	[-6.24, -3.78]	0.000				Design C * Design A	-5.795***	[-7.98, -3.61]	0.000	
	Armhole	Design A * Design B	6.854***	[6.07, 7.63]	0.000	41.355*** (*p*=0.000)		Armhole	Design A * Design B	2.826***	[1.03, 4.61]	0.000	41.355*** (*p*=0.000)
		Design B * Design C	-0.196	[-0.97, 0.58]	0.918				Design B * Design C	3.419***	[1.62, 5.21]	0.000	
		Design C * Design A	-6.658***	[-7.43, -5.88]	0.000				Design C * Design A	-6.246***	[-8.03, -4.45]	0.000	
	Chest	Design A * Design B	2.387***	[1.06, 3.70]	0.000	227.778*** (*p*=0.000)		Chest	Design A * Design B	16.068***	[13.94, 18.19]	0.000	227.778*** (*p*=0.000)
		Design B * Design C	-1.722**	[-3.04, -0.40]	0.004				Design B * Design C	-3.190**	[-5.31, -1.06]	0.001	
		Design C * Design A	-0.664	[-1.98, 0.65]	0.573				Design C * Design A	-12.878***	[-15.00, -10.75]	0.000	
	Back	Design A * Design B	0.473***	[0.29, 0.65]	0.000	184.935*** (*p*=0.000)		Back	Design A * Design B	15.064***	[12.94, 17.18]	0.000	184.935*** (*p*=0.000)
		Design B * Design C	0.258**	[0.07, 0.43]	0.001				Design B * Design C	-1.327	[-3.44, 0.79]	0.377	
		Design C * Design A	-0.731***	[-0.91, -0.55]	0.000				Design C * Design A	-13.737***	[-15.85, -11.61]	0.000	
180° Shoulder flexion	Shoulder	Design A * Design B	1.207	[-0.75, 3.16]	0.392	37.594*** (*p*=0.000)	Shooting -sitting position	Shoulder	Design A * Design B	1.578	[-0.20, 3.36]	0.106	22.503*** (*p*=0.000)
		Design B * Design C	0.598	[-1.36, 2.55]	0.864				Design B * Design C	-3.981***	[-5.76, -2.19]	0.000	
		Design C * Design A	-1.806	[-3.76, 0.15]	0.084				Design C * Design A	2.403**	[0.61, 4.18]	0.003	
	Armhole	Design A * Design B	1.544	[-0.62, 3.71]	0.263	6.180*** (*p*=0.000)		Armhole	Design A * Design B	-5.334***	[-8.72, -1.94]	0.000	40.289*** (*p*=0.000)
		Design B * Design C	1.71	[-0.45, 3.88]	0.180				Design B * Design C	10.412***	[7.02, 13.80]	0.000	
		Design C * Design A	-3.258**	[-5.43, -1.08]	0.001				Design C * Design A	-5.078**	[-8.47, -1.68]	0.001	
	Chest	Design A * Design B	6.376***	[5.21, 7.53]	0.000	121.477*** (*p*=0.000)		Chest	Design A * Design B	1.407***	[0.51, 2.30]	0.000	8.828*** (*p*=0.000)
		Design B * Design C	-0.446	[-1.60, 0.71]	0.760				Design B * Design C	-0.500	[-1.39, 0.39]	0.479	
		Design C * Design A	-5.930***	[-7.09, -4.76]	0.000				Design C * Design A	-0.906*	[-1.80, -0.01]	0.045	

Table 5. ANOVA and Scheffe post hoc test results for differences between vest designs (Continued)

Posture	Site	Group comparison	△	95% CI	*p*	ANOVA (*F*)	Posture	Site	Group comparison	△	95% CI	*p*	ANOVA (*F*)
180° Shoulder flexion	Back	Design A * Design B	0.169***	[0.07, 0.26]	0.000	17.243*** (*p*=0.000)	Shooting -sitting position	Back	Design A * Design B	3.005**	[0.97, 5.03]	0.001	6.260*** (*p*=0.000)
		Design B * Design C	0.038	[-0.05, 0.13]	0.725				Design B * Design C	-1.950	[-3.98, 0.08]	0.066	
		Design C * Design A	-0.208***	[-0.30, -0.11]	0.000				Design C * Design A	-1.055	[-3.08, 0.97]	0.545	
90° Shoulder flexion	Shoulder	Design A * Design B	2.250***	[1.38, 3.11]	0.000	29.394*** (*p*=0.000)	Shooting -kneeling position	Shoulder	Design A * Design B	-6.245**	[-10.52, -4.25]	0.001	27.902 (*p*=0.000)
		Design B * Design C	-1.161**	[-2.02, -0.30]	0.003				Design B * Design C	-4.385*	[-8.66, -0.10]	0.042	
		Design C * Design A	-1.088**	[-1.94, -0.22]	0.006				Design C * Design A	10.631***	[6.35, 14.90]	0.000	
	Armhole	Design A * Design B	4.151***	[3.02, 5.27]	0.000	71.815*** (*p*=0.000)		Armhole	Design A * Design B	-4.252**	[-7.24, -1.26]	0.001	29.318 (*p*=0.000)
		Design B * Design C	0.940	[-0.18, 2.06]	0.137				Design B * Design C	8.652***	[5.66, 11.64]	0.000	
		Design C * Design A	-5.091***	[-6.21, -3.97]	0.000				Design C * Design A	-4.400**	[-7.39, -1.40]	0.001	
	Chest	Design A * Design B	4.068***	[2.74, 5.38]	0.000	41.368 (*p*=0.000)		Chest	Design A * Design B	2.833***	[1.84, 3.82]	0.000	29.318 (*p*=0.000)
		Design B * Design C	-2.071***	[-3.39, -0.75]	0.000				Design B * Design C	-1.293**	[-2.28, -0.30]	0.004	
		Design C * Design A	-5.930***	[-3.31, -0.67]	0.001				Design C * Design A	-1.539***	[-2.52, -0.55]	0.000	
	Back	Design A * Design B	0.169***	[0.07, 0.26]	0.000	17.243 (*p*=0.000)		Back	Design A * Design B	3.893***	[1.93, 5.85]	0.000	15.550 (*p*=0.000)
		Design B * Design C	0.038	[-0.05, 0.13]	0.725				Design B * Design C	-1.596	[-3.55, 0.36]	0.157	
		Design C * Design A	-0.208***	[-0.30, -0.11]	0.000				Design C * Design A	-2.297*	[-4.25, -0.33]	0.014	
First aid	Shoulder	Design A * Design B	14.435***	[9.03, 19.84]	0.000	31.070 (*p*=0.000)	Maximum trunk flexion	Shoulder	Design A * Design B	0.187	[-0.21, 0.58]	0.629	0.916 (*p*=0.434)
		Design B * Design C	-0.870	[-6.27, 4.53]	0.977				Design B * Design C	-0.157	[-0.55, 0.24]	0.745	
		Design C * Design A	-13.565***	[-18.97, -8.15]	0.000				Design C * Design A	-0.029	[-0.42, 0.36]	0.998	
	Armhole	Design A * Design B	-11.162***	[-16.11, -6.20]	0.000	57.856 (*p*=0.000)		Armhole	Design A * Design B	-16.785***	[-21.35, -12.21]	0.000	77.788*** (*p*=0.000)
		Design B * Design C	19.841***	[14.88, 24.79]	0.000				Design B * Design C	20.083***	[15.51, 24.65]	0.000	
		Design C * Design A	-8.679***	[-13.63, -3.72]	0.000				Design C * Design A	-3.297	[-7.86, 1.27]	0.251	

Table 5. ANOVA and Scheffe post hoc test results for differences between vest designs (Continued)

Posture	Site	Group comparison	△	95% CI	*p*	ANOVA (*F*)	Posture	Site	Group comparison	△	95% CI	*p*	ANOVA (*F*)
First aid	Chest	Design A * Design B	-0.644	[-1.86, 0.58]	0.534	32.222 (*p*=0.000)	Maximum trunk flexion	Chest	Design A * Design B	0.498	[0.12, 0.87]	0.071	0.971 (*p*=0.132)
		Design B * Design C	-3.020***	[-4.24, -1.79]	0.000				Design B * Design C	-0.017	[-0.39, 0.36]	0.999	
		Design C * Design A	19.641***	[16.37, 22.90]	0.000				Design C * Design A	-0.481	[-0.85, -0.10]	0.066	
	Back	Design A * Design B	19.641***	[16.37, 22.90]	0.000	129.387 (*p*=0.000)		Back	Design A * Design B	4.008***	[2.38, 5.62]	0.000	37.575 (*p*=0.000)
		Design B * Design C	-1.303	[-4.56, 1.95]	0.738				Design B * Design C	-3.909***	[-5.52, -2.28]	0.000	
		Design C * Design A	-18.338***	[-21.60, -17.21]	0.000				Design C * Design A	-0.099	[-1.71, 1.52]	0.999	
90° Shoulder abduction	Shoulder	Design A * Design B	7.105***	[4.06, 10.14]	0.000	42.225 (*p*=0.000)							
		Design B * Design C	-5.389***	[-8.43, -2.34]	0.000								
		Design C * Design A	-1.715	[-4.75, 1.32]	0.472								
	Armhole	Design A * Design B	1.957***	[1.24, 2.67]	0.000	45.541 (*p*=0.000)							
		Design B * Design C	0.595	[-0.11, 1.31]	0.141								
		Design C * Design A	-2.553***	[-3.26, -1.83]	0.000								
	Chest	Design A * Design B	12.297***	[10.15, 14.43]	0.000	138.153 (*p*=0.000)							
		Design B * Design C	-2.917***	[-5.05, -0.77]	0.002								
		Design C * Design A	-9.380***	[-11.51, -7.25]	0.000								
	Back	Design A * Design B	1.619***	[1.06, 2.16]	0.000	39.924 (*p*=0.000)							
		Design B * Design C	0.110	[-0.43, 0.6]	0.956								
		Design C * Design A	-1.729***	[-2.27, -1.18]	0.000								

에 제시하였다. 전투조끼 디자인 별로 나타난 특징을 살펴보면, 현용 디자인 A의 경우, 다른 두 종의 조끼에 비해, standing position, 90° 및 180° shoulder flexion, shooting-standing position과 같은 기립자세에서 전반적인 의복압이 크게 나타나는 경향이 있었다. 자세별로 구체적으로 살펴보면, standing position에서는 가슴를 제외한 모든 측정 부위에서 디자인 A가 디자인 B와 C보다 높은 의복압을 나타내었으며(p<0.001) (Figure 9a), 180° shoulder flexion에서는 어깨와 소매 진동을 제외한 모든 측정 부위에서 디자인 B와 C보다 높

은 의복압을 나타내었다(p<0.001) (Figure 9b). 90° shoulder flexion에서는 모든 부위에서 디자인 A가 B, C보다 높은 의복압을 나타내었다(p<0.01) (Figure 9c). 또한 90° shoulder abduction 자세의 경우 어깨를 제외한 모든 측정 부위에서 디자인 B, C보다 높은 의복압을 나타내었다(p<0.001) (Figure 9h). First aid (CRP)의 경우 소매 진동을 제외한 부위에서 나머지 디자인과 비교하여 높은 의복압을 나타내었는데(p<0.001) (Figure 9d), 특히 어깨와 등 부위에서 다른 디자인과 비교하여 상당히 높은 의복압이 관찰되었다. Shooting-standing position의 경우 모든 측정 부위에서 디자인 A의 의복 압력이 다른 디자인과 비교하여 유의미하게 높게 나타나며(p<0.001) (Figure 9e), 특히 어깨, 가슴, 등 부위에서 두드러졌다. 이 외에도 shooting-sitting position (Figure 9f)과 maximum trunk flexion (Figure 9g)을 제외한 모든 자세에서 등 의복압은 디자인 A가 나머지 디자인과 비교하여 큰 것으로 나타났다(p<0.050). 이러한 경향이 특히 두드러지게 나타난 shooting-standing position의 3D 인체 스캔 형상을 시각적으로 분석한 결과, 디자인 A의 X형 등끈이 팔을 앞으로 뻗는 자세에서 등 눌림을 유발함을 확인하였으며, 이로 인해 전반적으로 몸통부가 조이는 현상을 확인할 수 있었다(Figure 10a).

디자인 B의 경우 90° shoulder flexion, shooting-standing position과 같이 서서 팔을 앞으로 뻗는 자세에서 디자인 A및 C와 비교하여 낮은 어깨 의복압을 나타내는 경향을 보였다(p<0.010) (Figure 9a, 9e). 반면에 first aid (CPR), shooting-sitting position, maximum trunk flexion과 같이 몸통 관절이 굴곡되는 자세에서는 다른 디자인보다 소매 진동 부위에 높은 의복압을 나타내었다(p<0.010) (Figure 9d, 9f, 9g). 이처럼 팔을 앞으로 뻗는 자세에서 어깨에 가해지는 압력이 상대적으로 낮게 나타난 것은 디자인 B의 등 부위의 추가 지지끈과 좁고 높은 진동 구조가 어깨에 가해지는 조끼 하중의 분산에 도움을 준 것으로 사료된다(Figure 10b). 그러나 이러한 소매 진동 구조는 상체를 굽히는 자세에서 높은 압력을 유발한 것으로 보인다. 마지막으로 디자인 C의 경우 대부분의 자세에서 전반적으로 다른 디자인과 비교하여 낮은 의복압의 경향을 보였으나, 어깨를 추켜올려 총기를 견착하는 shooting- sitting position, shooting-kneeling position 자세에서 나머지 디자인과 비교하여 유의미하게 높은 어깨 의복압을 나타내었다(p<0.050) (Figure 9f, 9i). Shooting-kneeling position의 3D 인체 스캔 형상을 시각적으로 분석한 결과, 디자인 A와 B의 경우 등끈의 중심 위치와 조끼의 어깨 위치가 동일 선상에 있지 않아 등끈으로 인한 압력 분산이 이루어지는 것으로 사료된다. 반면 디자인 C 경우 등끈의 중심 위치와 조끼의 어깨 위치가 동일 선상에 놓이며, 추가 지지끈이 없어 어깨에 하중이 집중된 것으로 사료된다(Figure 10c).

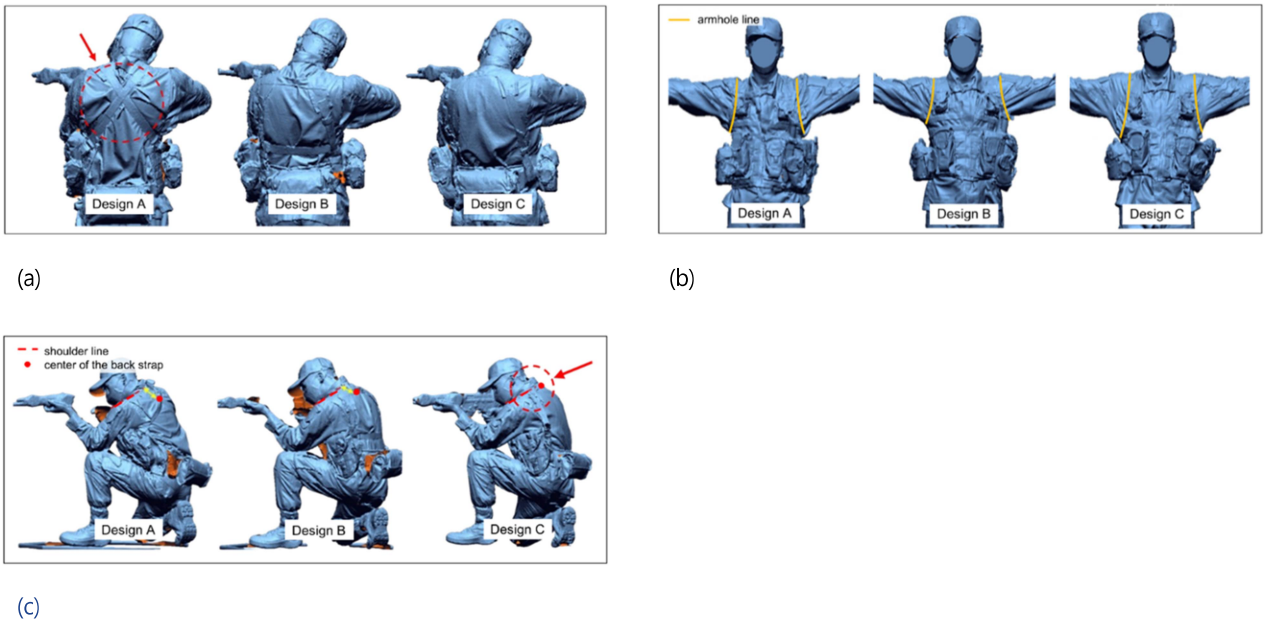


Figure 10. Cross-design comparisons of combat vests in 3D scan images

9개 자세를 종합한 부위 별 의복압의 평균값 그래프를 Figure 11에 제시하였다. 전체 자세를 통틀어 보았을 때 모든 측정 부위에서 디자인 간 의복압의 유의차가 나타났다(p<0.010). 특히 소매 진동을 제외한 모든 측정 부위에서 디자인 A의 의복압이 다른 두 디자

인과 비교하여 높게 나타났으며(p<.0.010), 반면에 디자인 C는 어깨부위를 제외한 모든 측정 부위에서 다른 두 디자인과 비교하여 낮은 의복압을 나타내었다(p<0.05). 따라서 의복압의 측면에서는 디자인 B와 C가 더 적합한 것으로 판단되며, 각각 디자인 B의 소매 진동 의복압과 디자인 C의 어깨 의복압의 완화를 위한 디자인 개선이 필요할 것으로 사료되었다.

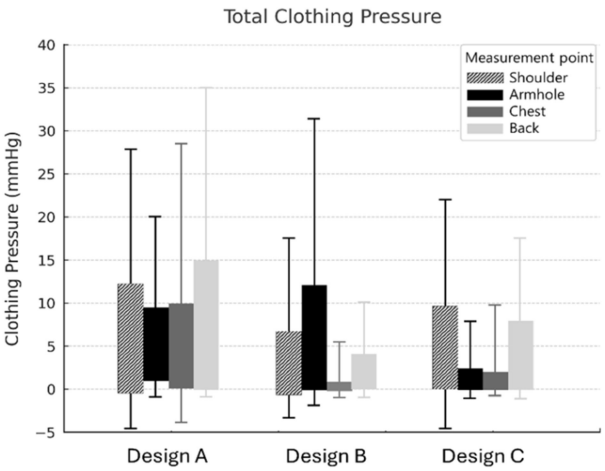


Figure 11. Results of clothing pressure analysis for all static postures

3.2.2 Range of Motion (ROM)

4개의 각 연속적인 동적 자세에서 전투조끼 디자인에 따른 ROM의 차이를 분석하였다(Figure 12).

각 전투조끼 디자인 별로 ROM에 나타난 특징을 살펴보면, 디자인 A의 경우 모든 자세에서 공통적으로 디자인 C보다 maximum lateral thoracic flexion 값이 유의미하게 크게 나타났다(p<0.050). 반면에 push-up (Figure 12a) 자세에서 디자인 B와 C보다 유의미하게 작은 maximum thoracic flexion 값을 나타내었다(p<0.010). 수류탄 자세인 grenade-standing throw와 grenade-kneeling throw에서는 디자인 B와 비교하여 유의미하게 작은 maximum thoracic flexion을 나타냈으며(p<0.05), 디자인 C와는 유의미한 차이를 나타내지 않았다(Figure 12b, 12c).

디자인 B의 경우 모든 자세에서 다른 디자인들과 비교하여 작은 maximum lumbar flexion의 경향을 보였다. 예를 들면, maximum lumbar flexion은 jump-high 자세에서 디자인 B가 A보다 유의미하게 작게 나타냈으며(p<0.010) (Figure 12d), push-up 자세에서는 디자인 B가 디자인 A와 C보다 각각 p<0.500, p<0.010 수준에서 작은 값을 나타내었다(Figure 12a). 수류탄 자세인 grenade-standing throw와 grenade-kneeling throw에서는 디자인 B가 보다 작은 값을 나타내었다(p<0.500) (Figure 12b, 12c). 디자인 C는 모든 자세에서 디자인 A와 비교하여 낮은 maximum lateral thoracic flexion을 보인 것 외에도 push-up 자세에서 디자인 B보다 높은 maximum lumbar flexion 값을 나타내었다(p<0.010) (Figure 12a).

이상의 결과를 종합하면, 각 조끼가 가지는 디자인 특성에 따라 유리하거나 불리한한 관절 운동이 상이하였다. 디자인 A의 경우 X형 등끈 배치로 인해 몸통 측면의 구속이 적어 몸통을 좌우로 굴곡하는 maximum lateral thoracic flexion 동작의 제한이 비교적 적은 것으로 사료된다. 디자인 B의 경우 H형 등끈과 함께 아래 허리에 추가 지지끈이 구성되어 있는데, 이로 인해 요추 부위 전후 굴곡을 의미하는 maximum lumbar flexion이 제한된 것으로 사료된다. 디자인 C는 디자인 B와 동일한 H형 등끈에 추가 지지끈이 없어 디자인 B보다 개방된 구조를 가지고 있다. 이에 따라 몸통을 굴곡하는 push-up 자세에서 디자인 B보다 요추의 전후 방향 굴곡을 의미하는 maximum lumbar flexion이 유리했던 것으로 사료된다.

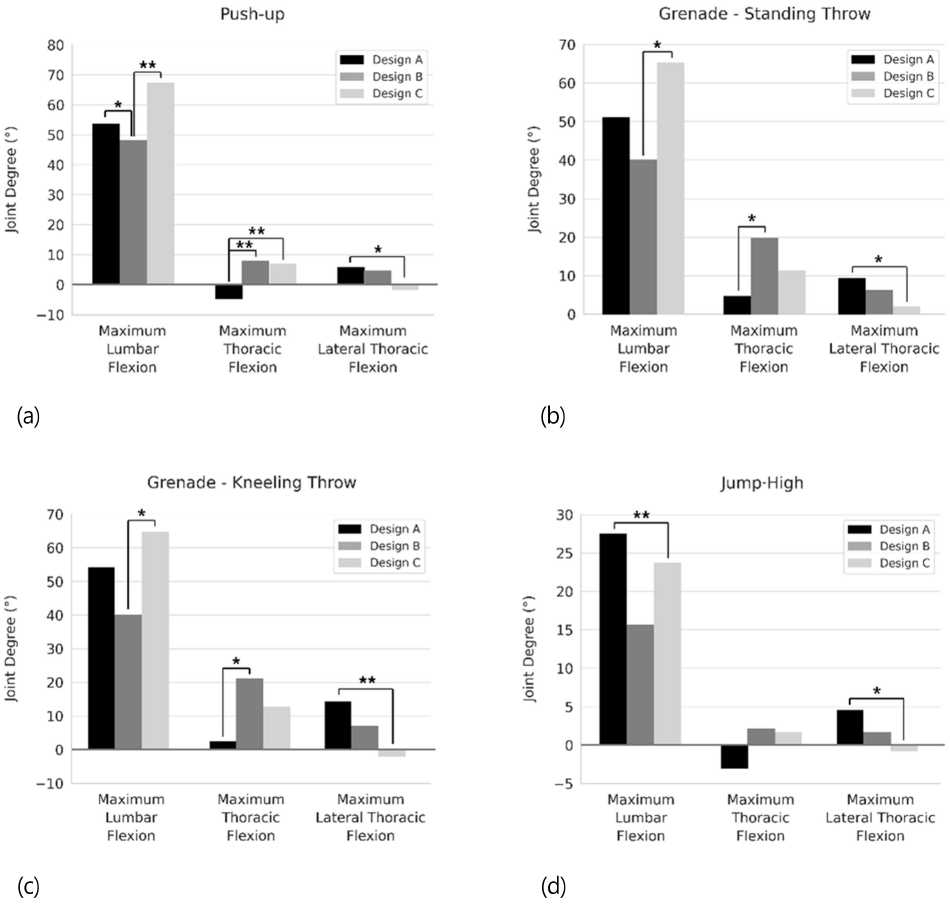


Figure 12. Results of Range of Motion (ROM) (*p<0.5, **p<0.01)

3.2.3 Subjective evaluation

실험에 참여한 4명의 연구참여자를 대상으로 동작적합성과 치수적합성을 포함하는 주관적 평가를 진행하였다.

동작적합성에 대한 주관적 평가 응답의 평균 값을 Table 6에 제시하였다. Kruskal-Wallis test 결과 정지 자세의 동적 동작(quasi-dynamic postures)와 연속적인 동적 동작(dynamic postures) 각각에 대해서는 디자인 간 유의미한 차이가 발견되지 않았다(p>0.050). 반면 정지 상태의 동적 동작과 연속적인 동적 동작 모두를 포함하는 전반적 동작적합성의 종합 점수(overall total)에는 디자인 간 유의미한 차이가 존재하였으며(p<0.050), 사후분석을 통해 구체적인 차이를 확인하기 위해 Mann-Whitney U test를 이용하여 쌍 별 비교를 실시한 결과 디자인 B (mean 6.25, SD 1.19)가 A (mean 5.81, SD1.22)와 비교하여 유의미하게 큰 점수를 나타내었다(p=0.014). 반면 나머지 디자인 간에는 유의미한 차이가 나타나지 않았다(Table 7).

동작 구분에 따라 살펴보면, 정지 상태에서의 동적 동작에서의 동작적합성 종합 점수는 Kruskal-Wallis test 결과 디자인에 따른 유의미한 차이가 발견되지 않았으며(p=0.110), 해당하는 각 동작의 동작적합성 역시 디자인에 따른 차이가 발견되지 않았다. 연속적인 동적 동작에서의 동작적합성 종합 점수 역시 디자인에 따른 차이가 발견되지 않았으며(p=0.163), 각 동작의 동작적합성 점수 역시 디자인에 따른 차이가 발견되지 않았다.

이상의 결과를 정리하면, 종합 점수를 기준으로 비교해 보았을 때, 디자인 B가 디자인 A와 비교하여 높은 동작적합성 점수를 나타내

는 것을 알 수 있으며, 디자인 C와의 비교는 통계적으로 유의하지 않았다.

Table 6. Subjective evaluation at dynamic postures (mean ± S.D) (1 = very uncomfortable, 4 = neutral, 7 = very comfortable)

Type	Posture	Design A	Design B	Design C
Quasi-dynamic posture	Standing position	6.00±0.82	5.67±1.26	6.50±0.58
	Maximum trunk flexion	6.25±0.96	5.33±1.71	6.25±1.50
	90° Shoulder flexion	6.75±0.50	7.00±0.00	6.00±1.15
	180° Shoulder flexion	5.75±0.96	6.67±0.58	5.75±0.96
	90° Shoulder abduction	7.00±0.00	7.00±0.00	6.25±0.50
	First aid (CPR)	5.25±1.50	5.67±2.00	6.50±1.00
	Shooting-standing position	5.50±1.73	5.67±1.41	6.75±0.50
	Shooting-kneeling position	5.50±0.58	5.67±2.00	6.75±0.50
	Shooting-sitting position	4.75±1.50	6.00±0.96	6.25±0.96
	Sub total	5.86±1.24	6.19±1.29	6.33±0.99
Dynamic posture	Jump-high	5.25±0.96	5.67±1.41	5.50±1.29
	Push-up	5.25±0.96	7.00±1.00	5.50±1.91
	Grenade-standing throw	6.75±0.50	6.33±1.00	6.00±1.41
	Grenade-kneeling throw	5.00±1.73	6.33±1.00	5.75±1.50
	Sub total	5.69±1.21	6.38±0.87	5.69±1.43
Overall Total		**5.81±1.22**	**6.25±1.19**	**6.13±1.12**

Table 7. Post-hoc comparison results using the Mann-Whitney *U* test for overall total (quasi-dynamic + dynamic Postures)

	Design	N	Mean rank	Sum of mean ranks	U	Z	*p*
Overall total (Quasi-dynamic + Dynamic posture)	Design A	52	45.73	2378.00	1000.00	-2.462	**0.014**
	Design B	52	59.27	3082.00			
	Design B	52	54.78	2848.50	1233.50	-0.866	0.386
	Design C	52	50.22	2611.50			
	Design A	52	48.13	2502.50	1124.50	-1.567	0.117
	Design C	52	56.88	2957.50			

전투조끼 디자인의 치수적합성 평가는 조끼의 전반적인 사이즈에 대해 7점 척도(1 = very small, 4 = appropriate, 7 = very large)로 실시되었으며 주관적 평가 응답의 평균 값을 Table 8에 제시하였다.

Kruskal-Wallis test 결과, 세 디자인의 치수적합성 점수에 대한 종합 점수(overall total)에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(p< 0.050). 구체적으로 조끼 간 차이를 살펴보기 위해 Mann-Whitney *U* test를 추가수행 하였다. 그 결과, 디자인 A와 B간 차이는 통계적으로 유의하지 않았으며(p=0.586), 디자인 A와 C, 디자인 B와 C간 차이는 p<0.050 수준에서 유의한 차이를 나타냈다. 즉, 디자인 A, B

와 비교하여 C가 약간 큰 맞음새를 가지는 것으로 나타났다(Table 9).

각 항목 별로 Kruskal-Wallis test를 실시한 결과 디자인에 따라 평균 점수에 유의미한 차이를 보인 항목은 전반적인 사이즈(Holistic size)였으며(p<0.050), 나머지 항목은 디자인에 따라 유의미한 차이를 나타내지 않았다(p>0.050). Mann-Whitney U test를 추가 수행한 결과, 디자인 A와 B간의 점수 차이는 유의미하지 않았으며(p=1.000), 디자인 A와 C, 디자인 B와 C간의 차이는 p<0.050 수준에서 유의한 차이를 나타냈다(Table 9).

Table 8. Subjective evaluation of fit suitability (mean ± S.D) (1 = very small, 4 = appropriate, 7 = very large)

Posture	Design A	Design B	Design C
Neck circumference	3.75±0.50	3.75±0.50	4.75±0.96
Chest circumference	4.00±0.82	4.50±0.58	6.00±1.15
Armhole circumference	4.50±0.58	4.00±0.82	5.75±1.15
Waist circumference	4.25±0.05	4.00±0.00	4.00±0.00
Shoulder width	4.25±1.26	4.00±0.82	4.00±0.00
Chest width	4.50±0.58	4.25±0.50	4.33±0.50
Back width	4.25±0.96	5.00±1.63	4.50±0.58
Total length	4.25±0.50	3.75±0.50	4.00±0.50
Holistic size	3.75±0.50	4.00±0.50	5.25±0.50
Overall total	4.17±0.70	4.11±1.17	4.64±0.64

Table 9. Post-hoc comparison results using the Mann-Whitney U test for fit suitability

	Design	N	Mean rank	Sum of mean ranks	U	Z	p
Holistic size	Design A	4	4.50	18.00	8.00	0.000	1.000
	Design B	4	4.50	18.00			
	Design B	4	2.50	10.00	0.00	-2.428	0.015
	Design C	4	6.50	26.00			
	Design A	4	2.50	10.00	0.00	-2.428	0.029
	Design C	4	6.50	26.00			
Overall total	Design A	108	37.68	1356.50	605.00	-0.545	0.586
	Design B	108	35.32	1271.50			
	Design B	108	30.89	1112.00	446.00	-2.541	0.011
	Design C	108	42.11	1516.00			
	Design A	108	31.88	1147.50	481.50	-2.084	0.037
	Design C	108	41.13	1480.50			

각 전투조끼 디자인에 대한 피험자들의 자유로운 의견을 수집하였으며, 디자인 별 언급된 불편사항은 다음과 같다. 첫째로, 디자인 A는 X형 등끈이 연결된 옆목, 겨드랑이 부위의 조임 현상이 있으며 요대 자체가 조끼에 결속되지 않고 끈으로 결속되게 구성되어

있어 우의 파우치 결착 시 흔들림이 심해 동작에 불편함이 있다고 보고되었다. 둘째로, 디자인 B의 H형 등끈 및 추가 지지끈은 장비의 흔들림을 감소시켜 동작 시 편안하였으나, 동시에 지지끈으로 인해 배와 허리부위에 조임이 생겨 불편함을 유발한다고 보고되었다. 또한 얕은 소매 진동로 인해 팔에 꼭 맞아 장구류의 흔들림이 감소하는 이점이 있으나 동시에 여유가 없어 동작 시 불편함을 유발한다고 보고되었다. 마지막으로 디자인 C는 H형 등끈이 뒷품에 영향을 주지 않아 몸통 움직임을 구속하지 않는다고 보고되었다. 그러나 장구류가 고정이 되지 않아 흔들림으로 인해 어깨의 하중이 크게 느껴지며 동작에 따라 조끼가 앞뒤로 쏠리는 불편사항이 보고되었다.

이상의 결과를 비교하면 정적 및 동적 동작을 종합한 전반적인 동작적합성은 디자인 B가 A보다 우수하며, 치수적합성은 디자인 C가 나머지 디자인보다 약간 큰 것으로 평가되었다. 따라서 동작적합성, 치수적합성을 종합한 주관적 평가에서 가장 유리한 디자인은 B일 것으로 사료되며 추가가 지지끈과 얕은 암홀로 인한 압박 등 언급된 불편사항에 대한 추가 개선이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

3.3 Final design selection and future improvements

4개의 각 평가 지표 결과를 매핑하여 Table 10, Figure 13에 제시하였다. 각 분석의 결론에 따라 디자인 및 사이즈 분석에서는 결속공간이 많았던 디자인 A와 B가 선정되었으며 의복압 분석에서는 상대적으로 의복압이 낮았던 디자인 B와 C가 선정되었다. 관절동작범위는 디자인 특성에 따라 유리한 동작과 불리한 동작이 상이하여 디자인 A, B, C 모두 체크하였으며, 주관적 평가의 경우 동작적합성 및 사이즈적합성을 모두 고려하여 디자인 A와 B를 선정하였다. 그 결과 분석 결과를 종합하였을 때 4개 평가 지표 모두에서 적정 이상의 평가를 받은 디자인 B가 가장 적합한 디자인인 것으로 나타났다.

Table 10. Summary of evaluation results by design and metric

Phase	Preliminary	Experimental			Overall
Usability evaluation type	Design and size analysis	Clothing pressure analysis	Range of motion (ROM) analysis	Subjective evaluation	
Design A	O	△	O	△	Good
Design B	**O**	**O**	**O**	**O**	**Excellent**
Design C	△	O	O	△	Good

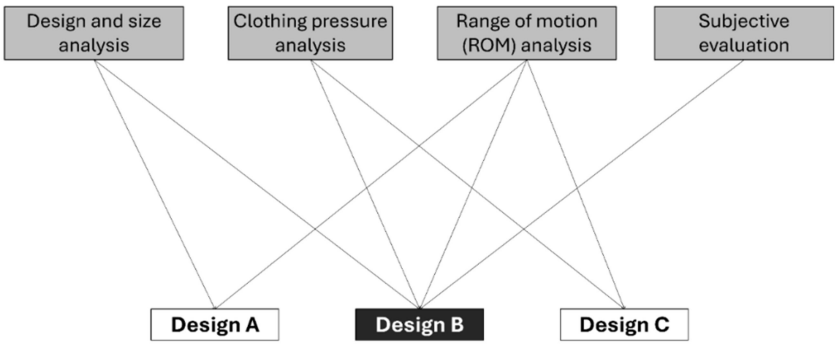


Figure 13. Mapping of evaluation metrics to optimal designs

포괄적인 사용성 평가 결과에 기반하여 디자인 및 사이즈, 의복압, 관절가동범위, 주관적 평가에서 고르게 높은 평가를 받은 디자인 B가 최종 디자인으로 선정되었다. 최적의 디자인을 위해 추가 개선사항을 Figure 14와 같이 제안하였다. 첫째, 소매 진동의 경우 본래의

깊이를 유지하되, 곡률을 더 깊은 형태로 수정하는 것을 제안하였다. 이는 의복압 분석에서 디자인 B의 진동 부위 압력이 상대적으로 높았던 것과 관련되며, 주관적 평가의 자유로운 의견 수집에서 소매 진동으로 인한 압박이 보고되었기 때문이다. 디자인 B의 얕은 소매 진동 깊이는 조끼가 인체와 밀착하는데 도움을 주어 동적 자세 수행 시 동작적합성 점수를 나타내었기 때문에 유지하도록 하였다. 둘째, 밑단의 길이를 연장하여 전체 총 길이가 연장되도록 하였는데, 이는 치수적합성에서 디자인 B의 총 길이에 대한 평가가 짧다고 응답된 것에 대응하는 개선사항이다. 또한, 디자인 B는 추가 등 지지끈이 존재하며 동일한 H형 등끈에 추가 등 지지끈이 없는 디자인 C와 비교하여 높은 동적 자세 동작적합성 점수 및 낮은 어깨부위 의복압이 특징적이었다. 이는 등 지지끈이 조끼의 흔들림을 잡아주고 하중을 분산시킨 결과로 사료된다. 그러나 추가 등 지지끈은 요추부를 가로지르는 구조로 상대적으로 낮은 maximum lumbar flexion의 결과로 이어졌다. 따라서 추가 등 지지끈의 위치를 위쪽으로 조정할 것을 제안하며 신축성 소재를 사용하여 인체의 압박을 최소화하며 지지력을 제공하도록 제안하였다. 마지막으로 요대의 경우 밑단 길이 조정과 함께 위치가 아래로 조정되었으며, MOLLE를 이용하여 연결하는 구조를 유지하였다.

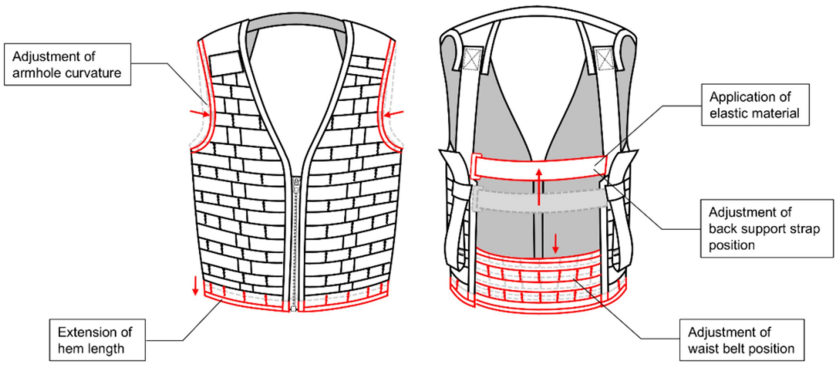


Figure 14. Suggestions for design improvements of Design B

4. Discussion

4.1 Key findings and practical implications

본 연구는 대한민국 육군 전투조끼 디자인 3종을 대상으로 디자인 및 사이즈 분석, 의복압 분석, 관절 가동 범위 분석, 주관적 평가를 포함한 포괄적인 사용성 평가를 수행하였다. 기존의 군 피복 및 장구류 연구가 착용자의 주관적 평가에 의존하거나 일부 정량적 측정을 병행하는 수준에 그쳤던 한계를 보완하고자 하였으며(Han and Han, 2019; Lee, 2012), 본 연구는 다양한 정량적·정성적 지표를 결합한 체계적인 사용성 평가 방법을 적용함으로써 전투조끼 인체공학적 설계의 최적화 방향을 제시하고자 하였다.

군 전문가 자문, 기존 보고서 및 선행연구를 기반으로 총 13개(정적 9개, 연속 4개)의 동작을 선정하여 전투조끼에 대한 동작 기반 평가를 수행하였다. 이를 통해 의복압, 관절 가동 범위(ROM), 주관적 평가 등을 결합한 정량·정성 지표 기반의 다면적 분석이 가능하였다. 이와 같은 통합적 접근은 단기간 실험에서도 다양한 착용성 요소를 효과적으로 분석하는 데에 유효함을 확인할 수 있었다.

연구 결과, 전투조끼의 몸판 형태, 지지끈의 구조, MOLLE 시스템의 구성 등이 착용자의 움직임과 하중 분산에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 전투조끼가 단순한 장비 결속 수단을 넘어, 군인의 생존성과 전투 수행 능력에 직접적인 영향을 미친다는 점에서 중요한 시사점을 제공한다(Knapik et al., 2004). 따라서 향후 전투조끼 설계 시에는 모듈화 기능뿐 아니라 착용자의 동작 자유도 확보, 하중 분산, 압박감 완화 등이 필수적인 고려 요소가 되어야 할 것이다. 본 연구는 이와 같은 인체공학적 기준을 기반으로 실제 군 환경에 적합한 장비 설계 방향을 제시하였다는 점에서 실질적인 기여를 한다.

4.2 Limitations and future research

그러나 본 연구는 통제된 실내 환경에서 수행된 실험으로, 실제 작전 환경에서의 복합적 조건을 완전히 반영하지는 못했다. 전장 환경에서는 반복적이고 예측 불가능한 동작, 장시간 착용에 따른 누적 피로, 전술 기동성 저하 등의 요소가 존재하며, 이는 조끼의 기능성 평가에 중요한 영향을 미칠 수 있다. 또한 본 연구는 특정 동작을 중심으로 수행되었기 때문에, 과업 기반 관점에서 실제 전장 환경에서의 과업 시간, 장소, 활동 유형 등을 반영한 보다 종합적인 사용 맥락 분석이 추가적으로 요구된다. 향후 연구에서는 다양한 전술 과업 시나리오에 대한 분석과 재현을 기반으로 한 실증적 성능 검증이 필요하며, 이는 전투조끼의 설계가 실제 작전 수행에 미치는 영향을 보다 현실적으로 평가하는 데 기여할 수 있을 것이다.

또한, 본 연구는 평균 신체 치수(20-24세, M 사이즈)를 가진 4명의 현역 남성 군인을 대상으로 수행되었다. 제한된 피험자 수와 표준화된 체형에 기반한 분석이라는 점에서 일반화에는 한계가 존재한다. 그러나 실험 설계를 정교하게 구성하고 반복 측정을 수행했으며, 다양한 정량·정성 지표를 종합적으로 수집함으로써 정보 가치 측면에서는 일정 수준의 타당성을 확보하였다. 선행연구에서도 연구 대상이 고도로 특수하거나 조건이 제한적인 경우, 소규모 표본이라도 충분한 결론 도출이 가능하다고 보고된 바 있다(Bacchetti, 2013; Lakens, 2022; Yang and Berdine, 2023).

그럼에도 불구하고, 실제 군 복무 환경에서는 다양한 연령대, 체형, 성별의 장병들이 존재하므로 보다 포괄적인 사용자 데이터를 바탕으로 한 후속 연구가 요구된다. 특히 본 연구는 M 사이즈 남성 기준의 조끼만 평가하였기 때문에, 타 사이즈의 조끼나 체형이 다른 사용자에게서는 착용성, 압박감, 기동성 측면에서 상이한 결과가 나타날 가능성이 존재한다. 따라서 향후 연구에서는 성별, 사이즈, 체형군을 대표할 수 있는 다양한 사용자 집단을 포함하여, 동일한 조끼 디자인이 사용자 조건에 따라 어떤 차이를 유발하는지를 비교 분석할 필요가 있다. 이와 같은 접근은 전투조끼 설계에 있어 유연한 착용성 제공 및 사용자 맞춤화(personalization), 성별 형평성(gender equality) 확보 등 다층적 가치를 달성하는 데 중요한 기반이 될 수 있다.

5. Conclusion

제한점에도 불구하고, 본 연구는 국내 전투조끼 설계 개선을 위한 객관적인 데이터를 제공함으로써, 향후 군용 장비의 인체공학적 설계 및 사용성 평가 기준을 확립하는 데 기여할 수 있다. 특히, 연구에서 개발한 평가 프로토콜은 전투조끼 뿐만 아니라 방탄복, 전술 배낭, 헬멧 등 다양한 군용 장비의 평가 및 개선에도 적용될 수 있다. 더 나아가, 본 연구의 접근법은 군사 피복 및 장구류 뿐만 아니라 스마트 웨어러블 장비의 평가에도 적용될 수 있는 확장성을 지닌다. 향후 연구에서는 이를 고려하여, 다양한 보호 장비의 설계 개선와 성능 평가를 위한 통합적인 연구가 이루어지길 기대한다.

Acknowledgement

This work was funded by grants from the Republic of Korea Army (Project No. 350-20210009).

References

Ancans, A., Greitans, M., Cacus, R., Banga, B. and Rozentals, A., Wearable sensor clothing for body movement measurement during physical activities in healthcare. *Sensors*, 21(6), 2068, 2021. doi:10.3390/s21062068

Army Recognition, FELIN Sagem France – Future infantry soldier system, *Army Recognition*, https://armyrecognition.com/military-products/army/weapons/field-equipment/felin-sagem-france-uk (retrieved August 7, 2025).

Army Technology. Infanterist der Zukunft (IdZ) – Future soldier system, Germany. *Army Technology*. https://www.army-technology.com/projects/idz/?cf-view (retrieved February 10, 2025).

Bacchetti, P., Small sample size is not the real problem. *Nature Reviews Neuroscience*, 14(8), 585-585, 2013. doi:10.1038/nrn3475-c3

Belaziz, M., Bouras, A. and Brun, J.M., Morphological analysis for product design. *Computer-Aided Design*, 32(5-6), 377-388, 2000. doi:10.1016/S0010-4485(00)00019-1

Gu, S.H., Song, S.H., Kim, Y.H. and Lee, H.C., Research on ballistic testing methods for Warrior Platform body armor. *Conference of the Korean Society for Quality Management*, 99, 2020.

Han, H. and Han, H., Development and evaluation of ergonomic patterns for Korean female soldier's winter jacket. *Fashion and Textile Research Journal*, 21(6), 776-788, 2019. doi:10.5805/SFTI.2019.21.6.776

Harman, E., Frykman, P., Pandorf, C., Tharion, W. and Mello, R., Physiological, biomechanical, and maximal performance comparisons of female soldiers carrying loads using prototype US Marine Corps Modular Lightweight Load-Carrying Equipment (MOLLE) with Interceptor body armor and US Army All-Purpose Lightweight Individual Carrying Equipment (ALICE) with PASGT body armor. U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine Technical Report No. T00-6, 1999.

Hogg, R.V. and Tanis, E.A., *Probability and statistical inference (7th ed.)*. Prentice Hall, 2001.

Jeong, M.A., *Development of a pattern for military winter uniform tops considering size and motion appropriateness*, Doctoral dissertation, Seoul National University, 2014.

Knapik, J.J., Reynolds, K.L. and Harman, E., Soldier load carriage: historical, physiological, biomechanical, and medical aspects, *Military Medicine*, 169(1), 45-56, 2004. doi:10.7205/MILMED.169.1.45

Korean Agency for Technology and Standards, The 7th Size Korea human body survey. Size Korea. https://sizekorea.kr/human-info/meas-report?measDegree=7 (retrieved February 10, 2025).

Kim, M.W., Ministry of national defense significantly enhances the quality of military uniforms and gear: Boosting combat effectiveness and soldier satisfaction, *Defense & Technology*, 421, 14-15, 2014. https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE02370520 (retrieved February 10, 2024).

Kim, Y.W. and Baek, Y.J., Distribution of the garment pressure by posture. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 33(5), 775-781, 2009.

Lakens, D., Sample size justification. *Collabra: Psychology*, 8(1), 33267, 2022. doi:10.1525/collabra.33267

Lee, A.L., *Development of a ROKAF fighter pilot's fight duty uniform*, Doctoral dissertation, Seoul National University, 2016.

Lee, S.J., Choi, Y.L. and Nam, Y.J., Development and evaluation of air force mechanic parka to enhance the functions and insulation. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 14(2), 294-303, 2012. doi:10.5805/KSCI.2012.14.2.294

Lee, J., Lee, J.H., Kang, Y., Lee, S., Kim, S., Moon, J., Kim, S., Park, J., Lee, J., Liang, X. and Yun, M.H., Usability Evaluation Indices for Military Gears: Based on Context of Use and Physical Load by Body Parts, *Proceedings of the 2018 Fall Conference of ESK*, pp. 289, Gyeongju, Republic of Korea. 2018.

Lee, J., Hong, Y. and Park, J., "Proposing a Direction for Comprehensive Wearability Assessment of Military Personal Protective Equipment (PPE): A Systematic Review Approach", *Proceedings of the 2022 International Textile and Apparel Association*, pp. 1-3, Denver, CO. 2022.

Lee, J.H., *Development of evaluation standards and a pattern for combat uniforms according to combat training motions*, Doctoral dissertation, Seoul National University, 2012.

Maeng, S.Y., Discussing the warrior platform: The current status and challenges of the warrior platform, *the Republic of Korea Defense Daily*, https://kookbang.dema.mil.kr/newsWeb/20200117/1/ATCE_CTGR_0020050017/view.do (retrieved February 10, 2024).

Ministry of National Defense, Republic of Korea, *Development of Ergonomic Individual Soldier Load Systems Considering Combat Loads, Seoul*, Republic of Korea, Ministry of National Defense, 2018.

Nandasiri, G.K., Shahidi, A.M. and Dias, T., Study of three interface pressure measurement systems used in the treatment of venous disease. *Sensors*, 20(20), 5777, 2020. doi:10.3390/s20205777

Republic of Korea Army. Future army warriors of 2025: How individual combat systems will evolve, *Republic of Korea Army*. 2011. https://army.mil.kr (retrieved February 10, 2024).

Republic of Korea Army, *Quality Improvement of Combat Vest: A Scientific Experimental Study*, Report No. 11-9810001-000119-01, Gyeryong-si, Republic of Korea, Republic of Korea Army, 2021.

Roh, Y., A study on the promotion of warrior platform and future development plan, *Military Development and Research*, 14(1), 95-146, 2020.

U.S. Army Program Executive Office Soldier. Net Warrior. *PEO Soldier*. https://www.peosoldier.army.mil/Equipment/Equipment-Portfolio/Project-Manager-Soldier-Warrior-Portfolio/Nett-Warrior/ (retrieved February 10, 2025).

Yang, S. and Berdine, G., "Small" sample size. *The Southwest Respiratory and Critical Care Chronicles*, 11(49), 52-55, 2023. doi: 10.12746/swrccc.v11i49.1251

Yonhap News. Soldiers to wear cool 'digital short-sleeve shirts' from July, *Yonhap News*, www.yna.co.kr/view/AKR20160311164451014 (retrieved February 10, 2025).

Author listings

Jooyeon Lee: cm0639@snu.ac.kr
Highest degree: Ph.D, Department of Fashion and Textiles, Seoul National University
Position title: Postdoctoral Researcher
Areas of interest: Design Process Models, Human-Centered Design, and Ergonomic Development of Wearable Products

Yuhwa Hong: yh_hong@snu.ac.kr
Highest degree: Ph.D, Department of Fashion and Textiles, Seoul National University

Position title: Postdoctoral Researcher
Areas of interest: Functional Clothing, Wearable Robots, and Human-Centered Design

Juyeon Park: juyeon.park@snu.ac.kr
Highest degree: Ph.D, Department of Design, Housing, & Apparel, University of Minnesota Twin Cities
Position title: Professor
Areas of interest: Ergonomic Development of Wearable Products, Dynamic Anthropometry, and Usability Evaluation