

기능성 의복의 효율성 평가를 위한 과학적 접근

이예진[†]

충남대학교 의류학과

Evaluating the Effectiveness of Functional Apparel: A Scientific Approach

Yejin Lee[†]

Dept. of Clothing and Textiles, Chungnam National University, Daejeon, Korea

Abstract: Functional apparel is designed to fulfill specific purposes, requiring comprehensive scientific validation to ensure performance. Developing a robust experimental protocol is essential, addressing key variables such as environmental conditions, participant controls, and garment modifications. Important considerations include the conditions under which evaluations are conducted, the critical elements in production, and whether standardized static methods can adequately interpret dynamic states. Additional concerns involve the garment's performance when layered, optimal approaches for measuring human responses, and appropriate statistical analyses for experimental results. Standardized techniques often fail to replicate real-world functionality, underscoring the need for innovative methodologies that align with consumer expectations. Functional apparel assessments frequently prioritize material properties or localized impacts, but understanding systemic effects requires integrating psychological and physiological studies. The development process demands advanced materials tailored to diverse user needs, designs adaptable to varying conditions, and scientifically rigorous evaluation frameworks to ensure reliability and effectiveness. Moreover, achieving optimal functionality entails balancing environmental adaptability and user-specific requirements while addressing challenges such as comfort, durability, and performance consistency. These efforts contribute to creating apparel that meets the complex demands of diverse activities and settings. Advancing functional apparel research requires interdisciplinary collaboration and continuous refinement of testing methodologies, paving the way for innovative solutions that align with evolving consumer needs and technological advancements.

Key words: functional apparel(기능성 의복), effectiveness(효율성), scientific approaches(과학적 접근), experimental protocol(실험 프로토콜)

1. 서 론

인간은 더위와 추위, 위해한 환경으로부터 보호받기 위해, 신체적 단점을 보완하기 위해, 수행하는 업무의 효율성을 향상시키기 위해 등 여러 목적으로 의복을 착용한다. 특히, 기능성 의복은 생리기능 활성화, 동작용이, 체온유지, 체형 맞춤, 쾌적한 감각, 심리적 만족 등에 초점을 맞추는 것이 중요하다. 따라서 기능성 의복 개발자는 각각의 목적에 부합되도록 의복을 디자인하고, 완성된 제품의 성능을 적절하게 평가할 수 있는 과학적 검증방법이 필요하다. 일반적으로 기능성 의복의 목표 성능의 검증을 위해서는 다음과 같은 항목을 고려 할 수 있다.

- 어떤 조건에서 평가를 진행할 것인가?
- 의복제작 스트림에서 어떤 요소가 가장 중요한가?
- 정적 상태의 표준화된 방법의 평가로 동적 상태까지 해석이 가능한가?
- 효과가 검증된 의복이 겹쳐 입게 되면, 그 성능을 그대로 유지할까?
- 인체의 반응을 어느 부위에서 어떤 방법으로 측정하는 것이 가장 효과적일까?
- 실험 결과는 어떤 통계 분석이 가장 적합한 것일까?

위에 언급한 항목이 중요한 이유를 하나씩 구체적으로 살펴보면, 첫째, 기능성 의복 성능은 외부 환경과 인체 조건에 따라 달라 질 수가 있다. 따라서 노출 환경과 인체 조건을 조율한 뒤에 실험을 진행해야한다. 다시 말해, 변별력 향상을 위한 실험 프로토콜이 매우 중요하다. 둘째, 기능성 의복 제작 스트림에서 가장 중요한 단계가 무엇인지 결정하고, 검증을 원하지 않는 요소는 최대한 통제할 때, 기능성 의복 성능의 차별성을 극대화할 수 있다. 셋째, 표준 평가는 일반적으로 정적인 상태에서 진행하는데 반해, 실제 착용감은 동적 상태와 밀접한 관

[†]Corresponding author: Lee, Yejin
Tel. +82-42-821-6824, Fax. +82-42-821-8887
E-mail: yejin@cnu.ac.kr

©2024 The Korean Fashion and Textile Research Journal(KFTRJ). This is an open access journal. Articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

련이 있다. 그러므로 표준 평가로 개발한 기능성 의복의 성능 확인이 가능한지, 표준 평가를 기반으로 동적 상태까지 확대한 해석에 무리가 없는지 판단해야만 한다. 또는 표준 평가의 결과를 그대로 사용하지 않고, 동적 상태를 유지할 수 있는 데이터를 추출하는 방법의 활용이 필요할 수 있다. 넷째, 기능성 의복을 겹쳐서 착용하는 조건일 때는 기능성 의복 자체의 평가뿐 아니라, 그 안에 착용한 피부와 1층 의복 사이, 2층 의복과 3층 의복 사이 등의 미세기후 측정도 함께 되어야만 성능검증 해석이 용이하다. 다섯째, 개발된 기능성 의복의 효과를 어떤 변인으로 평가할 것인지 결정하는 것이 중요하다. 즉, 부분과 전체 중 어느 반응을 보는 것이 기능성 의복 효과를 잘 드러내는지 추측해야 한다. 마지막으로 기능성 의복 성능의 종합적인 결론이 가능한 통계 방법을 사용했는지 확인하고, 통합적 해석이 가능한 종합 지수가 있는지 찾아볼 필요가 있다. 혹은 연구자가 새로운 종합 지수 개발에 도전해도 된다.

본문에서는 앞서 언급한 기능성 의복의 성능 검증을 위한 항목에 대해 특정한 목적을 위해 개발된 기능성 의복 중 컴프레션웨어의 평가 사례를 바탕으로 점검해보고자 한다.

2. 스쿼트 보조용 컴프레션웨어 평가

스쿼트를 시작하는 비숙련자는 주로 무릎이 안으로 모이거나, 바깥으로 돌아가는 등 본인의 의도대로 하지로 움직임을 수행하기 어려운 상황이 자주 발생하게 된다. 이러한 현상을 기능성 의복을 통해 바른 자세로 가이드 할 수 있도록 디자인하고, 그 효과를 검증해보고자 하였다(Kang & Lee, 2024). 개발된 기능성 의복은 무릎을 안쪽으로 돌릴 수 있도록 엉덩관절의

안쪽돌림에 작용하도록 하거나, 무릎을 바깥으로 돌릴 수 있도록 엉덩관절의 가쪽돌림에 작용하도록 관련 근육 부위에 장력을 통해 잡아당겨지도록 디자인하였다. 실험 의복은 총 5벌로, 순서 효과가 없도록 5×5 라틴 스퀘어 방법(latin square method)으로 피험자에게 착용시켰다. 이 기능성 의복의 디자인 초점은 하지의 정렬방향이므로, 어떤 조건에서 어떤 방법으로 평가를 진행할 것인가는 다음과 같이 선택하였다. 즉, 3축 가속도와 각속도 센서(Noraxon Inc., USA)를 통해 골반 기울임 각도(Fig. 1(a)), 엉덩관절 모음·벌림 각도(Fig. 1(b))와 돌림 각도(Fig. 1(c)), 넙다리뼈와 정강뼈 돌림 각도(Fig. 1(d)) 변화를 분석하였다. 따라서 센서는 엉덩뼈 능선 위치 뒤허리 중심(S1), 양쪽 외측 넙다리(S2, S3), 양쪽 외측 종아리 (S4, S5)에 부착하였다. 센서 S1으로 골반 기울임 각도, S1-S2와 S1-S3으로 엉덩관절 모음·벌림 각도와 돌림 각도, S2, S3로 넙다리뼈 돌림 각도, S4, S5로 정강뼈 돌림 각도를 파악하였다. 여기서 골반 기울임 각도는 스쿼트의 자세를 확인할 수 있는 통합된 전체 값이고, 나머지 항목은 부위별 부분적인 변화를 파악할 수 있는 값이다.

또한, 스쿼트 자세는 종류가 다양하므로 개발된 컴프레션웨어의 효율성 확인에 유용하도록 비숙련자에게 적합하면서, 하지의 정렬을 쉽게 파악할 수 있는 장점이 있는 오버헤드 스쿼트(Clark, 2017/2018)로 설정하였다. 피험자는 몸통을 내려 무릎 각도가 약 90도에 가까워지도록 굽힌 뒤 다시 일어서는 자세를 15회 반복하도록 하였고, 모든 데이터를 획득하였다. 반복되는 스쿼트 수행 동안, 통계적으로 정규성을 확인하여, 이에 만족하는 총 15회 중 6~12회에 해당하는 7구간을 추출한 후 무릎관절의 굽힘 각도가 약 90도가 되었을 때, 측정값들을 비교하였다. 이와 같은 데이터는 피험자간 차이에 의해 결과 해

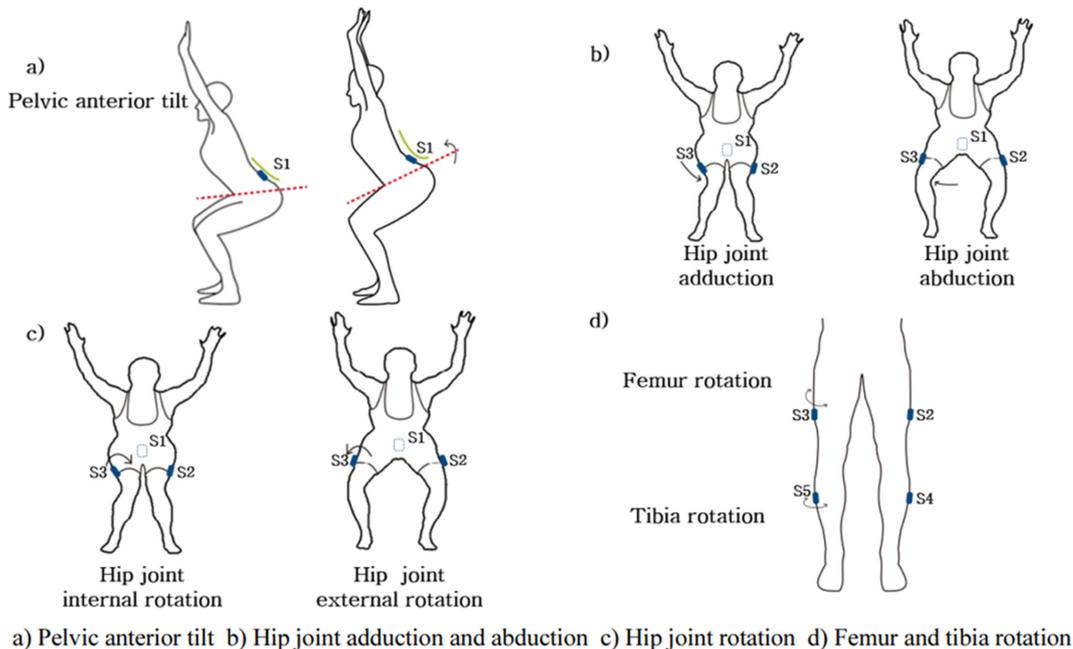


Fig. 1. Attachment location of inertial measurement unit sensor and measurement position. (Kang & Lee, 2024)

석이 문제가 생기지 않도록 반복측정 분산분석(two-way repeated measures ANOVA)을 실시하였다. 뿐만 아니라, 분석 전에는 스쿼트 순서에 따른 주효과, 스쿼트 순서와 레깅스 종류에 따른 상호 작용 효과가 나타나지 않는지도 확인하여 원하는 결과를 얻을 수 있도록 하였다.

3. 안정성 부여 컴프레션웨어 평가

컴프레션웨어가 생리적 기능 향상과 운동 능력 측면에서 효과적이라는 점은 이미 잘 알려져 있으며, 다양한 선행 연구를 통해 검증되었다(Ali et al., 2007; Born et al., 2014; Bringard et al., 2006; Doan et al., 2003; MacRae et al., 2011; Scanlan et al., 2008; Troynikov et al., 2010). 반면, 스포츠 활동 중 불가피하게 발생할 수 있는 부상이나 상해를 예방하여 선수의 경제·심리적 부담을 경감할 수 있도록 도와주는 컴프레션웨어 개발은 의미가 있음에도 불구하고, 운동 능력 향상에 목적을 둔 컴프레션웨어에 비해 상대적으로 선행 연구가 적은 실정이다. 특히, 착지는 일반적인 스포츠 동작에서 매우 빈번하게 발생하고(Kellis & Kouvelioti, 2009), 이때, 인체에 가해지는 내·외적인 충격의 양이 크기 때문에 부상으로 연결될 가능성이 많다고 보고되고 있다(Dufek & Bates, 1990; Olsen et al., 2004). 인체는 착지 시 지면반력을 발생시켜 하지 관절에서 충격을 최소화시키고 흡수하므로(Coventry et al, 2006; Dufek & Bates, 1990), 이 충격을 제어하기 위해서는 관련된 근육과 관절에 가해지는 역학적인 힘을 분산시키는 것이 중요하다(Yeow et al., 2011; Zhang et al., 2000). 이에, 하지 무릎관절에 초점을 두고, 무릎관절의 신전근인 대퇴사두근과 굴곡근인 햄스트링의 근력을 강화시켜(Boling et al., 2006; Noehren et al., 2012) 안정성을 부여하고자 패턴 축소율, 가압 위치, 가압 방법을 부위별로 차별화하여 컴프레션웨어 3종(가압 작음, 가압 중간, 가압 큼)을 설계하고, 그 효과를 확인하고자 하였다. 이 역시, 어떤 조건에서 평가를 진행하여 안정성의 효율성을 검증할 것인지를 결정이 필요하다. 따라서 한쪽다리 드롭 랜딩 동작을 실시하고(Fig. 2), 충격충량은 지면반력으로, 부분 효과는 엉덩이, 무릎, 발목관절의 각속도(angular velocity; AV)와 가동 범위(range of motion; ROM), 허벅지와 무릎의 흔들림으로 확인하였다. 분석은 분할배치법(single split plot design)을 사용하였고, 종합적 고찰은 단위가 다른 모든 데이터를 표준화하여 살펴보았다.

부분 효과 중 각속도는 가압 수준이 중간인 컴프레션웨어에서 착지 시 엉덩관절과 무릎관절에서 통계적으로 유의하게 큰 효과를 확인하였다. 가동 범위 역시, 가압 수준이 중간인 컴프레션웨어가 엉덩관절에서 가장 컸다. 반면, 흔들림은 x, y, z 위치 변위의 차이값(최대값-최소값)으로 정의하고, 허벅지 중양과 무릎 외측에서 공중 구간과 착지 구간으로 나누어 분석하였는데, 컴프레션웨어에 따른 유의차가 없었다. 전체 효과는 지면반력 중 수직 힘(peak vertical ground reaction force; Peak_GRE)과 무릎 피크 모멘트(knee joint peak moment; Peak_Moment)로



Fig. 2. Single-leg drop landing from 40cm height with three trials. (Lee et al., 2016)

확인하였다. 착지 시 발생된 수직 힘은 컴프레션웨어간 차이가 나타나지 않았으나, 무릎 피크 모멘트는 가압 수준이 중간인 컴프레션웨어에서 뚜렷하게 감소하였다. 피험자간 지면반력 값의 표준화는 몸무게에 대응하여 계산하였다.

한편, Fig. 3과 같이 단위가 다르게 획득된 데이터는 모두 평균값으로부터 얼마큼 크고 작은지 Z점수로 표준화하여 개발된 컴프레션웨어의 종합적인 고찰을 시도하였다. 가압 수준이 중간인 컴프레션웨어는 엉덩관절(Z-hip_AV)과 무릎관절(Z-knee_AV)의 각속도가 유의미하게 증가하였고, 엉덩관절(Z-hip_ROM)의 가동 범위도 증가시켰다. 각속도의 증가는 착지 시 지면반력의 충격력을 빠르고 효율적으로 흡수하며(McCaw & Cerullo, 1999), 관절의 굴곡 움직임의 증가 역시, 충격을 흡수하고 분산시킬 수 있으므로(Gardner et al., 2012; Yeow et al., 2011) 안전성의 측면에서 가압 수준이 중간인 컴프레션웨어가 긍정적인 영향을 미쳤음을 알 수 있다. 그러나 수직 힘 값(Z-Peak_GRF)은 차이가 없었고, 무릎 피크 모멘트(Z-Peak_Moment)는 가압 수준이 중간인 컴프레션웨어에서 유의미하게 감소시켜 무릎관절 부하 감소로 안전성에 긍정적인 영향을 미침을 확인하였다. 따라서 전체충량인 지면반력이 개발한 컴프레션웨어의 인체에 가해지는 충격을 측정할 수 있는 직접적인 변인이지만, 이것만으로 검증하기에는 부족함을 알 수 있었다.

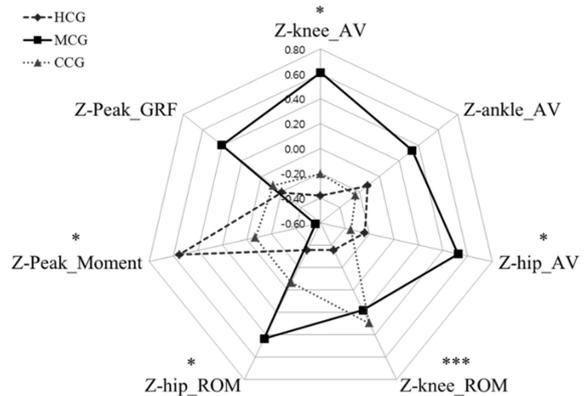


Fig. 3. Data standardization, HCG. (High Compression Garment); MCG(moderate Compression Garment); CCG(Control low Compression Garment). (Lee et al., 2016)

즉, 전체총량과 함께 부분 평가가 이루어져야 명확한 해석이 가능함을 시사하는 결과였다. 다시 말해, 관절의 굴곡 움직임이나 관절의 각속도 등의 복합적인 분석으로 충격 에너지 흡수를 간접적으로 이해할 수 있었다. 또한, 표준화된 Z점수를 통해, 가압 수준이 크면, 관절 움직임을 구속해 가동성을 제한할 수 있는 가능성도 파악하였고, 무릎 피크 모멘트를 유의하게 증가시키는 것도 알 수 있었다. 이는 강한 근수축력이 필요하다는 것을 의미하므로 허벅지 근육의 활동을 증가시킨 것으로 추정할 수 있다(Cho et al., 2011). 따라서 가압 수준이 큰 컴프레션웨어는 근육의 능력을 최대한 발휘시킬 수 있는 가능성을 있으므로 착지 동작이 수반되지 않는 사이클링, 인라인 스케이트 등의 운동에 착용하는 것이 적합하다고 제안할 수 있었다. 이러한 종합 고찰을 통해 기능성 의복이 모든 조건에 부합되는 것이 아니며, 목적에 따라 설계가 달라져야 함을 알 수 있었다.

물론, 평가 조건과 방법을 효율적으로 선택하여 개발한 기능성 의복을 검증하려고 하였지만, 단순한 드롭 랜딩 시의 효과이므로 다양한 필드 테스트에 의한 추가적인 확대 확인도 필요하다고 판단된다.

4. 컴프레션웨어의 동적 생리적 평가

일반적으로 기능성 의복 평가 시 생리적 요인 중 뇌파를 이용하여 정서 및 감정 변화를 분석함으로써 의복의 효율성을 해석하려는 사례가 점차 증가하고 있는 추세이다. 그러나 대부분의 연구가 정적인 상태에서 이루어지고 있어, 과연 운동 중의 결과와도 일치하는지 확인을 시도한 연구가 소개되었다(Choi et al., 2014). 일반 루즈 핏의 반팔, 반바지(BS)와 2종(CS, WCS)의 컴프레션웨어에 대해 안정 시, 걷기 운동 중, 걷기 운동 후

Table 1. Representative brain mapping depending on type of compression wear during walking (Choi et al., 2014)

Independent variable	Color range	Condition		
		BS	CS	WCS
Relative beta power spectrum				
Relative high beta power spectrum				
Ratio of alpha to high beta				
Ratio of (SMR-mid beta) to theta				
Spectral edge frequency 95%				

Table 2. Analysis index of EEG (Lee & Lee, 2021)

Abbreviation	Full terminology	Frequency range
RT	Relative theta power spectrum	(4~8Hz) / (4~50Hz)
RA	Relative alpha power spectrum	(8~13Hz) / (4~50Hz)
RB	Relative beta power spectrum	(13~30Hz) / (4~50Hz)
RG	Relative gamma power spectrum	(30~50Hz) / (4~50Hz)
RFA	Relative fast alpha power spectrum	(11~13Hz) / (4~50Hz)
RSA	Relative slow alpha power spectrum	(8~11Hz) / (4~50Hz)
RLB	Relative low beta power spectrum	(12~15Hz) / (4~50Hz)
RMB	Relative mid beta power spectrum	(15~20Hz) / (4~50Hz)
RHB	Relative high beta power spectrum	(20~30Hz) / (4~50Hz)
RST	Ratio of SMR to theta	(12~15Hz) / (4~8Hz)
RMT	Ratio of mid beta to theta	(15~20Hz) / (4~8Hz)
RSMT	Ratio of (SMR-mid beta) to theta	(12~20Hz) / (4~8Hz)
RAHB	Ratio of alpha to high beta	(8~13Hz) / (20~30Hz)

뇌파 변화를 비교하였다. 결과적으로 안정 시의 정적 상태보다 걷기 운동 시의 동적 상태에서 대뇌피질 활성도가 높아져 컴프레션웨어 간의 차이가 명확히 나타났다. 즉, 운동 시 컴프레션웨어가 상대베타파(relative beta power spectrum)와 집중(ratio of (SMR-mid beta) to theta) 및 인지부하도(spectral edge frequency)를 증가시켰고, 루즈 핏의 일반 운동복은 이완수준(ratio of alpha to high beta)을 증가시켰다(Table 1). 이러한 신경 생리 신호 측정할 때는 시각적 효과나 소음이 영향을 줄 수 있기 때문에 동적 측정에서도 동일하게 확인이 필요하고, 운동 초기에 잡파가 유입되지 않도록 운동 속도는 예비실험을 통해 결정하는 것이 중요하다. 그리고 전극부착 위치는 10-20 시스템(Jasper, 1958)을 참고하여 좌우반구의 전두엽, 측두엽, 후두엽을 대표하는 위치를 선정하고, 기준전극(reference electrode)과 접지전극(ground electrode)은 양측 귓볼 뒤에 부착하는 것이 일반적이다. 측정된 뇌전도 아날로그 신호는 샘플링 주파수 250Hz로 표본화한 후 24비트의 디지털 신호로 변환하여 관심 주파수 대역을 필터링하고, 각 주파수 영역별로 뇌파리듬 데이터를 작성한다. 뇌파분석 지표는 파장별로 Table 2와 같이 RT, RA, RB, RG, RFA, RSA, RLB, RMB, RHB, RST, RMT, RSMT, RAHB로 정의된다. 피험자간 차이를 없애기 위해 실험 뇌파에서 배경뇌파의 값을 뺀 후 분석하는 것이 필요하다. 또한, 뇌파의 신뢰도를 높이기 위해 눈 깜빡임이나 주변 환경에 의한 잡음의 혼입 가능성이 높은 파형을 제거하기 위해 분석 헤르쯔(Hz) 구간만 추출해야만 한다. 위와 같이 실험 조건만 잘 통제된다면, 정적 상태보다 동적 상태에서의 평가는 보다 의미가 있음을 확인할 수 있었다.

5. 기능성 의복 평가의 변별력 증대

개발된 기능성 의복의 효과를 정확하게 검증하기 위해서는, 우선적으로 적절한 실험 디자인과 통계분석이 중요하다. 이를

통해, 원하는 주요 변인의 효과를 더욱 민감하게 측정할 수 있기 때문이다. 일반적으로 기능성 의복의 착용 실험은 사람을 대상으로 하기 때문에 실험 방법이 단순하지 않고, 시간도 많이 소요된다. 이러한 제약으로 인해 오차를 줄이기 위해 샘플의 수를 크게 늘리는 것은 어렵다. 따라서 주요 변인을 명확히 결정하고, 해당 변인의 효과를 정밀하게 측정하고자, 통제를 이용하여 불필요한 분산을 전체분산에서 분리하는 방법이 필요하다. 기능성 의복에 사용된 소재 물성 변인에 내재된 오차를 고려하는 것 이외에도 피험자마다 나타날 수 있는 인체의 생리학적 심리적 특성에 따른 오차도 가능한 한 제거해야 한다. 이를 통해 기능성 의복 요인에 대한 1차적 분석이 가능해진다. 다시 말해, 실험 재료의 분산을 충분히 고려하지 않고 모든 변인을 한꺼번에 취급하면, 변인의 차이에 따른 오차가 증가하여 실험의 정확도가 저하될 수 있다.

그리고 실험 계획은 문제를 정의하고, 목적을 진술한 후 인자에 맞추어 실험 디자인과 반복 실험 수를 결정한다. 실험 계획의 기본 원리는 첫째, 랜덤화(randomization)로 실험 순서를 무작위로 결정하여 선택된 인자 외에 기타 원인들이 실험에 영향을 미치는 것을 방지한다. 둘째, 반복(replication)으로 인자의 동일한 수준 하에서 실험을 두 번 이상 수행하여 반복에 의해 실험 오차 추정으로 통계적으로 의미 있는 차이인지 판단한다. 셋째, 블록화(blocking)로 실험 전체를 동질적인 여러 블록으로 나누어서 블록 내에서 인자 효과를 분석한다.

다음으로 실험 디자인의 예로는 블록 디자인(block design), 스플릿 플롯 디자인(split plot design), 라틴 스퀘어 디자인(latin square design), 쿼드 디자인(quad design) 등이 있다. 블록 디자인은 종속변인의 전체 변화에서 종속변수에 영향을 미치는 외생변수의 효과를 제거하여 순수한 실험 처리 변수의 효과를 측정할 수 있게 설계된 것이다. 스플릿 플롯 디자인은 실험 순서가 완전히 랜덤하지 않고, 몇 단계에 걸쳐 단계별로 랜덤화하는 실험 계획법이다. 라틴 스퀘어 디자인은 독립변인의

수가 많고, 수준이 많을 경우, 모든 가능한 조합에 의해 만들어지는 실험조건이 수가 많아져 부담이 될 때 사용하는 디자인이다. 다만, 퀴드 디자인은 두 개씩 비교하는 것으로 피험자가 비교적 쉽게 평가를 할 수 있으나, 평가 횟수가 지나치게 많아질 수 있으므로 주의가 필요하다.

분석 방법으로는 동일 피험자가 실험의복을 2종류 착용해보고 비교했을 때는 대응표본 t검정(paired t-test), 3종류 이상을 착용하고 비교했을 때는 반복측정 분산분석(repeated measurement ANOVA)이 적합하다. 피험자는 피험자마다 평가에 대한 기준이 다를 수 있어 피험자간 차이보다 평가하고자 하는 기능성의복간 차이의 변별력을 높일 수 있는 방법이 필요하고, 이런 경우, 분산분석 중 단일 분할 설계법(single split plot)을 이용하기를 추천한다. 이는 기능성 의복 종류의 주효과나 기능성 의복 착용 순서와 기능성 의복 종류의 상호작용 효과가 기능성 의복 착용 순서 보다 더 의미 있게 추정되는 장점이 있다. 또한, 비모수 통계법을 이용하여 정성적으로 검토하면, 일반 통계법으로 유의차가 없었던 것에서도 유의차를 발견할 수 있는 장점이 존재한다.

6. 결 론

기능성 의복 개발자는 목적에 부합되는 의복 디자인과 함께 완성된 제품의 성능을 과학적 평가하여 검증해야만 하고, 이를 위해서 평가 조건, 평가 요소, 평가 방법, 평가 측정 부위, 평가 해석 등을 잘 정비해야만 한다. 무엇보다 기능성 의복 검증 시 목적에 맞는 실험 프로토콜 즉, 실험 환경 조건, 피험자 통제, 평가 의복 변인 처리 등의 선정이 우선 되어야 한다. 또한, 표준화된 측정법만으로는 실제 상황에서의 기능성과 쾌적성을 충분히 예측하기 어려우므로, 새로운 방법론을 지속적으로 고안하고, 소비자를 위한 종합적 평가 지수를 마련하는 것은 의미가 있을 것이다. 기능성 의복 평가는 소재나 국부적인 효과 실험도 기본적으로 실시해야하는 것이 맞지만, 전체 시스템에서의 기능성 의복 효과를 알기 위해서는 심리 혹은 생리 실험을 실시하는 것도 필수적이라 할 수 있다. 다만, 심리 혹은 생리 실험은 실험 디자인이 통계분석보다 더 선행되어야만, 유의미한 결과를 얻을 수 있다. 계획이 잘 된 심리 반응은 단순한 기계가 측정하지 못하는 통합적인 반응을 더욱 예민하게 평가할 수 있는 특징이 있다. 그러므로 일반인을 피험자로 하여 선호도를 평가할 때는 심리 혹은 생리 실험과 함께 객관적인 실험을 병행하면, 더욱 유의미한 결과를 도출할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라, 실험 환경 조건을 바꾸어가면서 정적인 실험과 동적인 실험까지 진행하기를 권장한다. 다양한 환경과 인체 활동 조건에서 전반적으로 우수한 기능성 의복을 찾는 것은 쉬운 일이 아니며, 타겟 대상별, 용도별 맞춤형으로 기능성 소재 및 의복을 설계하고, 이에 맞는 적절한 평가 방법을 선택하거나 개발해 평가하는 것이 효율성 검증에 기본적으로 중요하다고 생각된다.

References

- Ali, A., Caine, M. P., & Snow, B. G. (2007). Graduated compression stockings: Physiological and perceptual response during and after exercise. *Journal of Sports Science*, 25(4), 413-419. doi:10.1080/02640410600718376
- Boling, M. C., Bolgla, L. A., Mattacola, C. G., Uhl, T. L., & Hosey, R. G. (2006). Outcomes of a weight-bearing rehabilitation program for patients diagnosed with patellofemoral pain syndrome. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 87(11), 1428-1435. doi:10.1016/j.apmr.2006.07.264
- Born, D. P., Holmberg, H. C., Goernert, F., & Sperlich, B. (2014). A novel compression garment with adhesive silicone stripes improves repeated sprint performance - a multi-experimental approach on the underlying mechanisms. *BMC sports science, medicine & rehabilitation*, 6, 21. doi:10.1186/2052-1847-6-21
- Bringard, A., Denis, R., Belluye, N., & Perrey, S. (2006). Effects of compression tights on calf muscle oxygenation and venous pooling during quiet resting in supine and standing positions. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 46(4), 548-554.
- Cho, J. H., Kim, K. H., Moon, G. S., & Lee, S. C. (2011). The differences in patellofemoral compression force with different height. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21(3), 335-343. doi:10.5103/KJSB.2011.21.3.335
- Choi, J., Kim, N., Wu, Y., & Hong, K. (2014). Effects of 3D Compression Suits on EEG Analysis during and after Walking. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 38(4), 440-454. doi:10.5850/jksct.2014.38.4.440
- Clark, M. A., Lucett, S. C., McGill, E., Montel, I., & Sutton, B. (2018). *NASM Essentials of personal fitness training* (6th ed.) (J. Kang, H. Kim, K. Kim, K. Kim, D. H. Kim, S.-T. Kim, J.-C. Kim, C. G. Kim, C. Kim, H.-S. Kim, S. J. Do, Y. C. Park, I.-B. Park, J.-S. Park, N.-Y. Ahn, Y.-D. Ahn, G.-H. An, W. S. Eom, C.-H. Lee, & ... J. Hong Trans.). Seoul: Hanmi medical Publishing Company. (Original work published 2017)
- Coventry, E., O'Connor, K. M., Hart, B. A., Earl, J. E., & Ebersole, K. T. (2006). The effect of lower extremity fatigue on shock attenuation during single-leg landing. *Clinical biomechanics*, 21(10), 1090-1097. doi:10.1016/j.clinbiomech.2006.07.004
- Doan, B. K., Kwon, Y. H., Newton, R. U., Shim, J., Popper, E. M., Rogers, R. A., Bolt, L. R., Robertson, M., & Kraemer, W. (2003). Evaluation of a lower-body compression garment. *Journal of Sports Science*, 21(8), 601-610. doi:10.1080/0264041031000101971
- Dufek, J. S., & Bates, B. T. (1990). The evaluation and prediction of impact forces during landings. *Medicine and science in sports and exercise*, 22(3), 370-377.
- Gardner, J. K., McCaw, S. T., Laudner, K. G., Smith, P. J., & Stafford, L. N. (2012). Effect of ankle braces on lower extremity joint energetics in single-leg landings. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(6), 1116-1122. doi:10.1249/MSS.0b013e318240d564
- Jasper, H. H. (1958). The ten-twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10(2), 371-375.
- Kang, J., & Lee, Y. (2024) Development of Functional Leggings to Guide Squat Posture for Unskilled Women. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 48(5), 991-1005. doi:10.5850/JKSCCT.2024.48.5.991

- Kellis, E., & Kouvelioti, V. (2009). Agonist versus antagonist muscle fatigue effects on thigh muscle activity and vertical ground reaction during drop landing. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 19(1), 55-64. doi:10.1016/j.jelekin.2007.08.002
- Lee, H., Hong, K., & Lee, Y. (2016). Compression pants with differential pressurization: Kinetic and kinematical effects on stability. *Textile Research Journal*, 87(13), 1554-1564. doi:10.1177/0040517516657056
- Lee, O., & Lee, L. (2021). Electrophysiological assessment of cushions as attachment objects. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 33(6), 953-965. doi:10.1108/IJCST-07-2020-0111
- MacRae, B. A., Cotter, J. D., & Laing, R. M. (2011). Compression garments and exercise. *Sports Medicine*, 41(10), 815-843. doi:10.2165/11591420-000000000-00000
- McCaw, S. T., & Cerullo, J. F. (1999). Prophylactic ankle stabilizers affect ankle joint kinematics during drop landings. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(5), 702-707. doi:10.1097/00005768-199905000-00013
- Noehren, B., Pohl, M. B., Sanchez, Z., Cunningham, T., & Lattermann, C. (2012). Proximal and distal kinematics in female runners with patellofemoral pain. *Clinical biomechanics*, 27(4), 366-371. doi:10.1016/j.clinbiomech.2011.10.005
- Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *The American journal of sports medicine*, 32(4), 1002-1012. doi:10.1177/0363546503261724
- Scanlan, A. T., Dascombe, B. J., Reaburn, P. R., & Osborne, M. (2008). The Effects of Wearing Lower-Body Compression Garments During Endurance Cycling. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(4), 424-438. doi:10.1123/ijspp.3.4.424
- Troynikov, O., Ashayeri, E., Burton, M., Subic, A., Alam, F., & Marteau, S. (2010). Factors influencing the effectiveness of compression garments used in sports. *Procedia Engineering*, 2(2), 2823-2829. doi:10.1016/J.PROENG.2010.04.073
- Yeow, C. H., Lee, P. V. S., & Goh, J. C. H. (2011) An investigation of lower extremity energy dissipation strategies during single-leg and double-leg landing based on sagittal and frontal plane biomechanics. *Human Movement Science*, 30(3), 624-635. doi:10.1016/j.humov.2010.11.010
- Zhang, S. N., Bates, B. T., & Dufek, J. S. (2000). Contributions of lower extremity joints to energy dissipation during landings. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(4), 812-819. doi:10.1097/00005768-200004000-00014

(Received November 29, 2024; 1st Revised December 4, 2024;
Accepted December 9, 2024)