

웨어러블 근전도 디바이스 결합형 스마트의류 개발 및 성능평가

이소정 · 김혜림 · 정원영[†]

한국생산기술연구원 소재부품융합연구부

Development and Evaluation of Wearable Smart Clothing for Combined EMG Devices

Sojung Lee, Hyelim Kim, and Wonyoung Jeong[†]

Material and Component Convergence R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology, Ansan, Korea

Abstract: Recently, smart wearable products, including electromyography (EMG) measurement devices and clothing, have been developed to monitor users' exercise levels, muscle activation, and muscle balance more effectively during fitness activities. However, technical and socioeconomic barriers, such as flexibility and durability, still pose challenges in terms of comfort, ease of wear, and wearability of smart clothing, which includes devices and circuits. To address these issues, this study developed a wearable EMG device integrated with clothing to collect valid EMG signals from desired muscles while maintaining comfort, functionality, and ease of wear. After deriving a combined structure that could stably position the wearable device within the clothing, a prototype was manufactured and evaluated for fit, compression, comfort, and exercise comfort test by ten participants (height = 176.2 cm, weight = 76.4 kg, chest circumference = 101.2 cm). The study found that the prototype had smaller circumferences around the chest, waist, and abdomen compared to commercial products, resulting in lower ratings for wearing comfort and ease of wear. However, the prototype received high ratings for fitting, pressure, and the exercise comfort test. Valid signals were obtained when the EMG device was combined to the prototype for the rectus femoris muscle, indicating stable positioning of the device during exercise.

Key words: EMG measuring clothing (근전도 측정의류), smart fitness wear (스마트 피트니스웨어), combined device (디바이스 결합형), wear comfort evaluation (착용성 평가), performance evaluation (성능평가)

1. 서 론

근전도는 근육의 수축 시 발생하는 미세한 전기적 신호를 정량적으로 나타낸 값으로 운동량, 근력과 근피로도 등을 측정할 수 있어 최근에는 스포츠 분야로의 활용에 대한 관심이 증가하고 있다(Kim et al., 2013). 건강과 체력에 대한 소비자의 관심이 높아짐에 따라 피트니스 활동을 보다 효과적으로 수행할 수 있도록 의복을 통해 사용자의 심박, 호흡, 체온 등의 생체 신호뿐만 아니라 운동량, 근활성도 및 근 밸런스 등을 실시간으로 모니터링 할 수 있는 근전도 측정 디바이스 및 의류 등의 스마트 웨어러블 제품이 개발되고 있다(Cho & Cho, 2016; Suh & Roh, 2015).

근전도는 바늘전극, 가늘전선 등 삽입전극을 근육에 삽입하는 침습적 방법과 일회용전극, 금속전극 등 표면전극을 피부에

부착하는 비침습적 방법으로 측정할 수 있으며, 일반적으로 동적 근전도는 표면전극을 통해 측정한다(Kim et al., 2013). 근전도 측정의류는 의복 내에 부착된 표면전극이 피부면과 접촉하여 해당부위 표층근육의 활성신호를 측정하여 전극과 피부가 밀착될 수 있도록 컴프레션웨어로 제공된다(Lynn et al., 2018). 대표적인 상용제품으로 미국의 Athos shirt(Athos, USA)와 핀란드의 Mshirt(Myontec, Finland)가 있으며(Fig. 1), 전극부(electrode), 배선부(wire), 모듈(module)로 구성된다(Fig. 2). 전극부를 통해 착용자의 좌우 근육에서 측정된 근전도 신호는 배선을 따라 가슴부위 중앙에 위치한 모듈로 수집되어 분석된 데이터를 모바일 장치로 전달한다. 이러한 근전도 측정의류는 신축성 소재로 설계된 컴프레션웨어 내에 비신축성의 전극, 배선과 모듈의 부착으로 착용의 용이성 뿐 아니라 착용쾌적성, 운동기능성 등을 저해할 수 있다(Dunne, 2010; Fernandez-Carames & Fraga-Lamas, 2018; Lynn et al., 2018). 특히 배선은 안정적인 신호 전달을 위해 저항의 변화를 최소화하는 것이 중요하다. 이에 전극과 모듈을 최단거리로 연결하여 의복의 솔기선을 가로지르며, 착용 시 의복의 신장을 방해하는 요인으로 작용될 수 있다.

전극 일체형의 근전도 측정 디바이스는 배선부가 필요하지 않아 측정하고자 하는 부위에 부착하여 쉽게 사용이 가능한 반

[†]Corresponding author: Wonyoung Jeong

Tel. +82-31-8040-6233

E-mail: wyjeong@kitech.re.kr

©2023 Fashion and Textile Research Journal (FTRJ). 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.

면 사용자가 근육별 전극의 부착 위치에 대한 정보가 없는 경우 정확한 신호 측정이 어려울 수 있다. 이에 각 근육의 정확한 위치에 근전도 측정 디바이스를 부착할 수 있는 결합형 스마트의류의 개발이 필요하다.

장치 및 회로 등이 포함되는 스마트의류는 유연성과 내구성 등의 관점에서 기술적, 사회 경제적인 장벽으로 인해 여전히 고가의 가격, 착용의 용이성, 착용쾌적성 등과 같은 불편사항이 남아있다(Dunne, 2010; Fernandez-Carames & Fraga-Lamas, 2018). 이에 웨어러블 제품은 사용자 중심의 사용성과 착용성을 향상시킬 수 있도록 제품에 대한 개발 및 연구가 진행되고 있다(Fernandez-Carames & Fraga-Lamas, 2018; Kim et al., 2016; Kim et al., 2020; Knight & Baber, 2005). 사용성 및 착용성 평가는 기기와 의류제품에 대하여 의복의 외관 및 착용감, 관리의 용이성과 기기 부착 시의 착용감에 대한 평가 등이

포함된다(Cho & Lee, 2008). 건강기능 스마트의류의 사용성 평가 요인에 대한 연구에서는 운동기능성, 정보와의 상호작용성, 즉시성, 착용 편의성, 외관의 순으로 중요도가 높은 것으로 도출되었다(Yook et al., 2004). Knight and Barber(2005)는 웨어러블 제품의 착용쾌적성 평가는 제품의 크기와 무게, 움직임, 제품의 착용경험 유무에 따라 영향을 받을 수 있으며, 특히 제품의 착용경험이 있는 대상자가 제품의 디자인과 착용감에 대한 효과를 평가하는 것이 정확한 결과 도출을 위해 필요함을 시사하였다.

따라서 본 연구에서는 근전도 측정의류 및 컴프레션웨어를 착용해본 경험이 있는 스포츠 관련 전문가를 대상으로 원하는 근육의 유효한 근전도 신호를 수집하되 착용쾌적성 및 운동기능성, 착용의 용이성 등이 저하되지 않도록 웨어러블 근전도 디바이스 결합형 스마트의류를 개발하고자 한다. 뿐만 아니라 웨어러블 디바이스 결합형 의류의 프로토타입을 개발하고 성능 및 착용쾌적성을 검증하는 연구의 프로세스로 제안하고자 한다(Fig. 3). 첫째, 웨어러블 디바이스의 결합구조를 도출한다. 둘째, 측정하고자 하는 근육을 선정하고 셋째, 도출된 결합구조를 활용하여 결합형 스마트의류를 설계한다. 설계된 프로토타입의 사용성 및 착용성 평가를 위해 첫째, 착용쾌적성과 운동기능성을 평가한다. 본 연구에서는 근전도 측정의류는 신축성 소재를 사용하여 신체에 압박을 가하는 컴프레션웨어로 설계됨에 따라 착용쾌적성과 밀접하게 연관될 수 있어 컴프레션웨어의 착용실태에 대한 분석을 함께 진행하였다. 또한 의복의 밀착성 및 압박감에 대한 주관적 평가를 함께 진행하여 착용쾌적성과의 관련성을 알아보하고자 하였다. 둘째, 웨어러블 근전도 디바이스를 장착하여 측정된 신호의 유효성을 검증하고자 하였다.



Fig. 1. Representative examples of EMG measuring clothing; (a) Athos shirt, www.liveathos.com, (b) Mshirt, www.myontec.com.

2. 연구방법

2.1. 웨어러블 디바이스 결합형 스마트의류 설계 및 제작

2.1.1. 근전도 측정 디바이스

본 연구에서 사용된 근전도 측정 디바이스는 Fitsig(쥘로임시



Fig. 2. Example of the structure of EMG measuring clothing(inside of the Athos shirt); (a) front, (b) back.

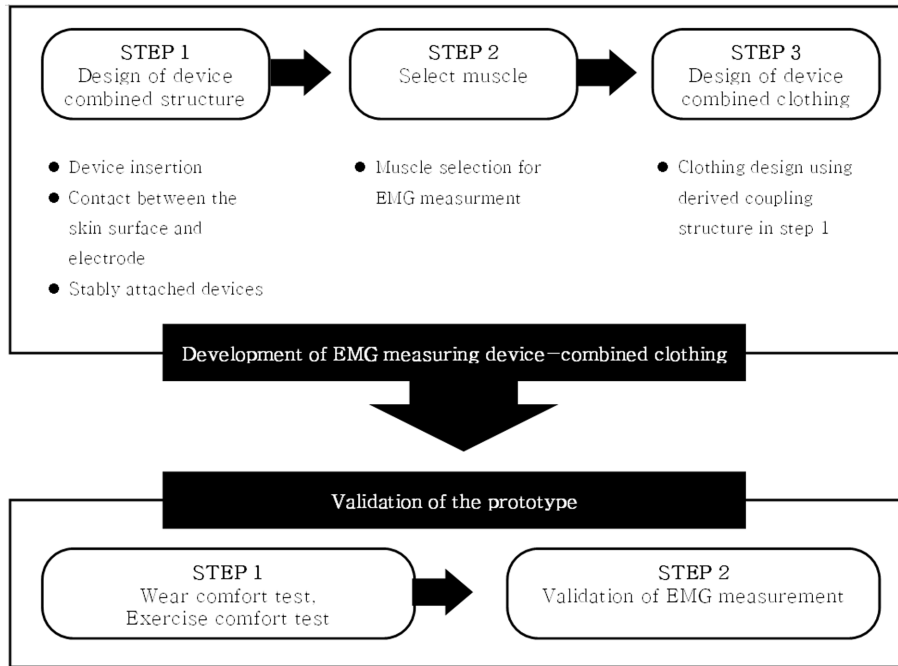


Fig. 3. Schematic diagram of the conceptual framework of the current study.



Fig. 4. Specifications of Fitsig.

스텝, 한국)로 Fig. 4와 같다. 두 개의 전극을 사용하여 대상 근육의 근전도 신호를 측정하고, 자체 개발한 모바일 앱을 통해 실시간으로 운동 피드백의 정보를 제공하는 시스템으로 구성된다. 전극은 의류와의 탈부착 용이성을 높이기 위해 표면전극 중 하나인 지름 20 mm의 금속전극을 사용하였다(Fig. 5).

2.1.2. 근전도 측정 디바이스 체결방안

디바이스를 통해 근전도 신호를 측정하기 위해서는 디바이스의 전극부가 피부표면에 접촉해야 한다. 또한 신호 측정 중



Fig. 5. Metal surface electrode.

에는 디바이스가 피부표면에 접촉상태를 유지해야한다. 이에 본 연구에서 근전도 측정 디바이스의 탈부착이 용이하며, 운동 중 디바이스의 위치가 이동하지 않도록 안정적으로 고정시킬 수 있는 근전도 측정 디바이스 결합형 의류를 개발하고자 하였다. 디바이스의 안정적인 고정을 위해 포켓형태를 기반으로 하는 Fig. 6과 같은 체결방안을 도출하였다. 디바이스 장착 후 신체의 신장과 굴곡이 최대일 수 있는 운동 동작을 수행하였으며, 디바이스의 위치가 변동되지 않음을 확인하였다. 디바이스의 삽입부는 움직임에도 디바이스 및 피부가 외부로 노출되지 않도록 Fig. 6(b)와 같이 디바이스의 체결 위치보다 위로 설계하였으며, 전극부가 피부표면에 접촉될 수 있도록 Fig. 6(c)와 같이 전극 지름(20 mm)크기의 홈을 설계하였다.

2.1.3. 근전도 측정 디바이스 결합형 의류 설계

본 연구에서는 근전도 측정 타겟근육은 웨이트트레이닝 시 남성들이 주로 사용하는 16개의 근육을 대상으로 하였다(Fig. 7). 상반신에 승모근, 삼각근, 이두근, 삼두근, 손목굽힘근, 손목 펴기근, 대흉근, 복직근, 외복사근, 광배근과 척추기립근의 총 11개

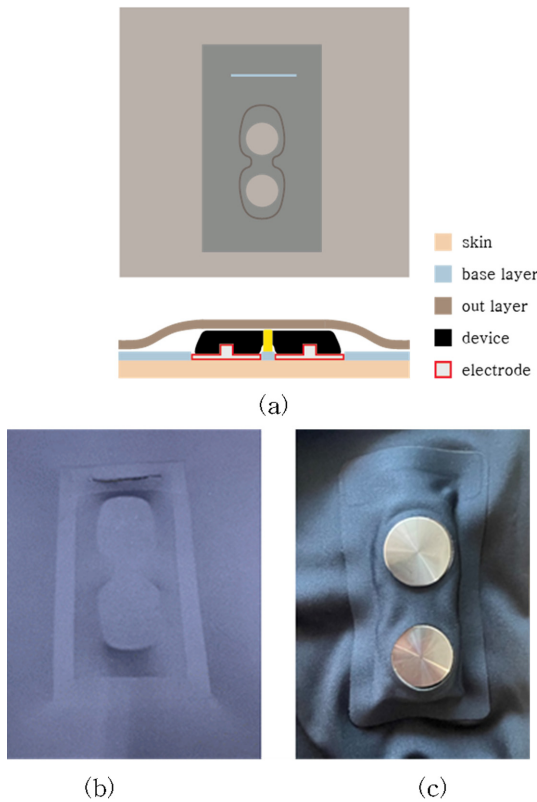


Fig. 6. Pocket type device-combined structure; (a) schematic structure, (b) outside in the device-combined state, (c) inside in the device-combined state.

근육과 하반신에 대둔근, 대퇴직근, 대퇴이두근, 전경골근, 비복근의 총 5개 근육으로 선정하였다.

근전도 측정의류 패턴은 Lee(2022)의 근전도 측정의류 제도 방법에 따라 원형패턴 설계 후 축소 과정을 통해 설계되었다. 원형패턴은 컴프레션웨어 브랜드의 L 사이즈에 대한 권장 인체치수 및 제7차 한국인 인체치수조사 사업의 20~30대 남성의 평균 인체치수를 참고하여 키 176 cm, 가슴둘레 100 cm, 허리둘레 83 cm, 엉덩이둘레 97 cm 사이즈를 적용하여 설계하였다.

신축성 있는 소재를 사용한 의복설계 시 소재의 신장률을 고려하여 패턴을 축소하며, 특히 근전도 측정의류와 같이 안정적인 신호 측정을 위해 신체에 밀착해야하는 스마트의류의 경우 패턴 설계 및 코스 방향으로의 축소율 설정이 중요하다(Jeong & Yang, 2012; Kim, 2001; Lee et al., 2002). 이에 패턴의 축소는 Ziegert & Keil(1988)에 따라 ASTM 2594의 방법으로 측정된 소재의 신장률을 활용하여 패턴을 축소하였다(Equation 1). 적용 축소율은 Lee(2022)의 근전도 측정의류 개발연구에 따라 50%(코스방향)로 선정하였다.

$$\text{Pattern reduction rate } P : (S \times R) / 100 \quad (1)$$

(S: Elongation of fabric, R: Applique reduction rate)

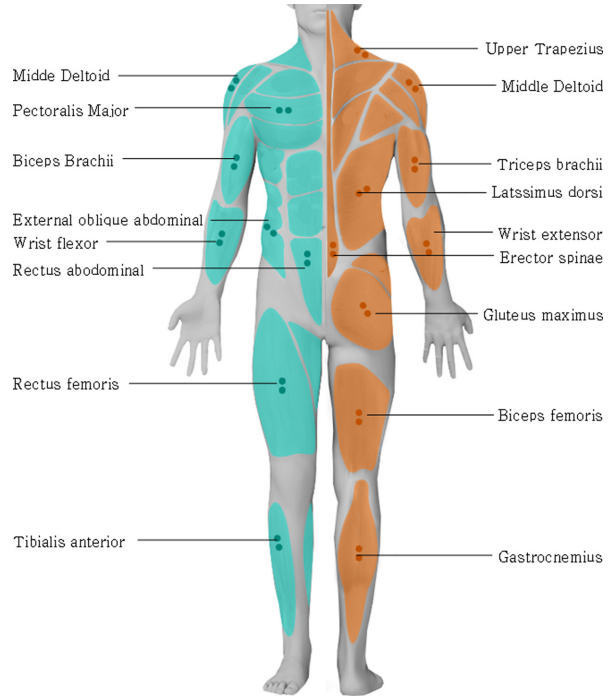


Fig. 7. Target muscle of EMG measuring clothing.

근전도 측정 디바이스 결합형 의류는 타겟근육을 대상으로 디바이스의 위치 및 인체의 굴곡을 고려하여 의복을 디자인하였다. 또한 안정적인 신호 측정을 위해 신체에 밀착되는 컴프레션웨어로 디자인하였으며, 의복의 솔기선으로 인한 압박을 최소화하기 위해 절개라인을 최소화하였다.

2.2. 착용성 평가

연구대상자는 근전도 측정의류 및 컴프레션웨어를 착용해본 경험이 있는 스포츠 관련 전문가를 대상으로 근골격계 이상 질환이 없는 20~30대 남성 10명으로 선정하였으며, 의복 착용을 위해 가슴둘레가 96~104 cm에 해당하는 사람에게 한해 모집하였다. 실험은 2021년 12월 23일부터 2022년 1월 7일까지 고려대학교 세종캠퍼스 휘트니스센터에 진행되었다(P01-202112-13-002).

본 연구에서 설계된 근전도 측정 디바이스 결합형 의류의 착용성 평가는 Knight and Baber(2005)와 Knight et al.(2006)의 연구를 참고하여 착용쾌적성과 운동기능성 평가를 통해 검증하였으며, 신체부위별 밀착성 및 압박감을 평가하도록 하였다. 모든 평가는 21점 척도로 평가하였으며, 한 방향 척도로 점수가 낮을수록 쾌적성 및 운동기능성이 높음을 의미한다. 밀착성 및 압박감은 점수가 높을수록 신체와의 밀착성 및 압박 정도가 큰 것을 의미한다. 프로토타입의 착용성 평가 결과를 비교하기 위해 근전도 측정의류 상용제품을 포함하여 총 두벌의 제품에 대해 진행하였으며(Fig. 8), 상용제품은 프로토타입 설계 치수와 동일한 L 사이즈를 기준으로 하였다. 순서에 따른 결과를 배제하기 위해 제품 착용 순서는 무작위로 진행되었다.

착용감 평가는 연구대상자의 신체치수 측정 및 일반적인



Fig. 8. EMG measuring clothing; (a) development of EMG measuring device-combined clothing, (b) commercial EMG measuring clothing.

특성에 관한 문항 17개, 컴프레션웨어 착용실태에 관한 문항 10개, 착용쾌적성에 관한 문항 7개, 운동기능성에 관한 문항 5개, 부위별 밀착정도에 관한 문항 12개, 그리고 부위별 압박감에 관한 문항 12개에 대해 평가하도록 하였으며, 프로토타입의 착용 의사를 비롯해 디자인 및 기능에 대한 자유로운 의견을 기입하는 문항으로 구성하였다. 수집된 착용감 평가지 자료는 SPSS 21.0 for Windows를 사용하여 기술통계, 비모수 대응표본 t-test를 시행하였다.

2.3. 근전도 신호 측정성능 평가

근전도 측정 디바이스 결합형 의류의 성능 평가는 고려대학교 체육학부 전문가의 입회하에 실시간 근전도 신호분석 소프트웨어(Fitsig, ㈜로임시스템, 한국)를 통해 근전도 측정성능을 검증하였다(Fig. 9). 앞서 선정된 상하체 근육 중 면적이 가장 큰 대퇴직근을 대상으로 근전도 신호를 측정하였다. 레그익스텐션 기구를 사용하여 다음의 두 가지 조건에서 진행하였다.



Fig. 9. Evaluation of EMG measurements.

1) 근전도 측정 디바이스를 프로토타입에 장착하여 근전도 신호를 측정한다. 2) 대퇴직근에 무구속 상태로 일회용전극을 부착하여 근전도 신호를 측정한다. 일회용전극은 Ag/AgCl(은/염화은)의 겔(gel)타입의 전해질로 구성된 습식전극을 사용하였다.

실험 전 레그익스텐션 기구의 사용으로 인한 근육에 부담이 되지 않도록 스트레칭을 실시하였으며, 오른쪽과 왼쪽 각각 7회 실시하여 가장 낮은 측정값과 높은 측정값을 제외한 값의 평균값을 분석에 사용하였다. 두 측정 조건에 따른 오차율 및 정확도는 다음의 수식에 따라 계산하였다(Equation 2, 3).

$$\text{Error rate of EMG measurement } E : 100 \times |(X-Y)/X| \quad (2)$$

(X: EMG measurement of smart clothing,

Y: EMG measurement of disposable electrode)

$$\text{Accuracy of EMG measurement } A : 100-E \quad (3)$$

(E: Error rate of EMG measurement)

3. 결과 및 논의

3.1. 근전도 측정 디바이스 결합형 의류 개발

프로토타입은 포켓형태의 결합구조를 활용하여 Fig. 10과 같이 근전도 측정 디바이스 결합형 의류를 디자인하였으며, Table 1의 소재를 사용하여 제작하였다. 상의에는 승모근, 삼각근, 이두근, 삼두근, 광배근, 대흉근, 척추기립근, 외복사근, 복직근, 굽힘 전완근과 펴기 전완근의 총 11개 근육에 포켓이 설계되었다. 디바이스의 위치 및 인체의 굴곡을 고려하여 의복을 디자인하였으며, 특히 척추기립근의 경우 척추골과 인접한 위치에 부착되어야 하므로 디바이스가 해당 위치에 안정적으로 체결될 수 있도록 하였다. 하의에는 대둔근, 대퇴직근, 대퇴이두근, 전경골근과 비복근의 총 5개 근육에 포켓이 설계되었으며, 전경

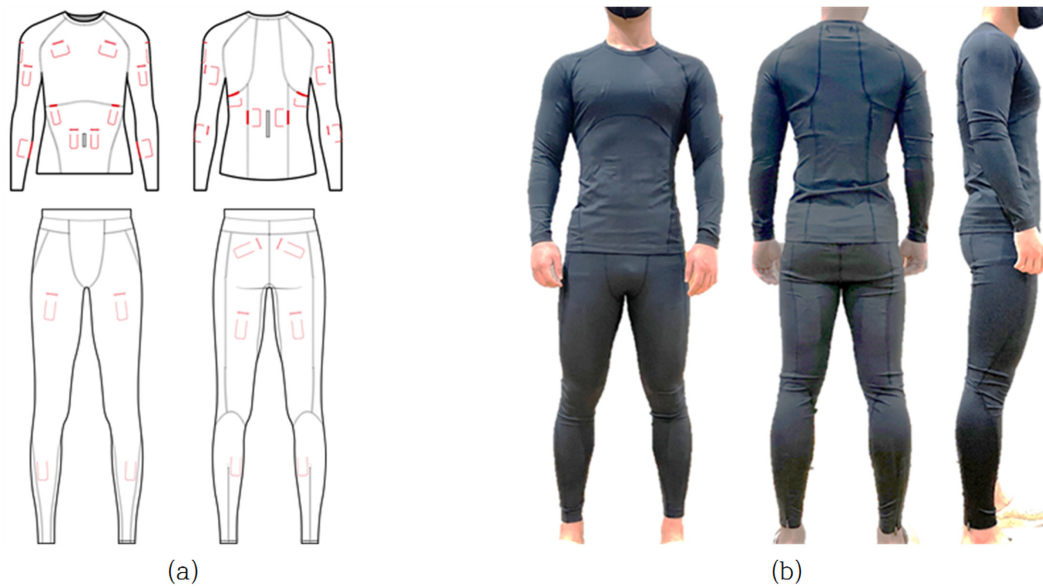


Fig. 10. Prototype of EMG measuring device-combined clothing; (a) flat design, (b) real fitting.

Table 1. Specification of the fabric

Material (Fiber content, %)	Weight (g/m ²)	Thickness (mm)	Density (Wale*Course /5 cm)	Elongation* (%)
Polyester (81.8)	264.7	0.60	158.6 × 126.2	Wale 15 Course 25

*The elongation is measured according to ASTM D2594.

골근 및 비복근은 종아리 중앙에 길게 지퍼를 부착하여 내부 전극 홀을 통해 디바이스를 삽입하도록 하였다.

프로토타입은 소재의 코스방향 신장률 25%(Table 1), 적용 축소율 50%(Lee, 2022)를 적용하여 Equation 1에 따라 산출하였으며, YukaCAD 프로그램의 양측방향 축소 기능을 사용하였다. 이에 Fig. 11의 패턴을 설계하였다.

Table 2에 최종 설계된 프로토타입과 상용제품의 제품치수를 비교하였다. 상용제품은 미국의 Athos 제품으로 미국인 체형으로 설계되어 한국인 20~30대 평균 신체치수를 기반으로 제작된 프로토타입과의 제품치수 비교에 차이가 있는 것으로 나타났다. 상의의 경우 프로토타입의 가슴둘레와 허리둘레가 4.0 cm 더 작고, 밑단둘레가 4.0 cm 정도 큰 것으로 비교되었으며, 소매길이가 2.5 cm 더 길고 위팔둘레가 2.0 cm 가량 더 작은 것으로 나타났다. 밑단둘레의 경우 프로토타입은 엉덩이 둘레 97.0 cm를 기반으로 제도 후 12.5% 축소되어 설계되어 제품치수가 84.0 cm로 측정되었다. 하의는 프로토타입의 경우 발목길이의 레깅스로 제작된 반면 상용제품은 대퇴부의 근육만을 타겟으로 하여 쇼츠로 제작됨에 따라 총길이에서 50.0 cm, 안쪽다리길이에서 48.0 cm의 차이가 나타났다. 허리둘레가 4.0 cm 더 작고, 밑위길이가 전반적으로 2.0 cm 이상 긴 것으로 나타났다.

Table 2. Specification of prototype and commercial product (unit: cm)

	Item	P*	CP**	P-CP
Top	1 Center back length	68.0	68.0	0.0
	2 Chest width	43.0	45.0	-2.0
	3 Wasit width	39.0	41.0	-2.0
	4 Bottom width	42.0	40.0	2.0
	5 Neck width	15.0	14.0	1.0
	6 Front neck drop	7.0	7.0	0.0
	7 Sleeve length	61.5	59.0	2.5
	8 Muscle	16.0	17.0	-1.0
	9 Sleeve opening	9.0	10.0	1.0
Bottom	10 Waist	35.0	37.0	-2.0
	11 Outseam	93.0	43.0	-
	12 Inseam	66.0	18.0	-
	13 Front rise	30.0	27.8	2.2
	14 back rise	35.0	33.0	2.0
	15 Hip	41.0	41.0	0.0
	16 Thigh	23.0	23.0	0.0
	17 Leg opening	11.0	17.5	-

*Prototype, **Commercial product.

3.2. 착용성 평가

3.2.1. 연구대상자의 일반적 특성

본 연구에 참여한 연구대상자 10명의 평균 나이는 27.0 세로 나타났으며, 평균 키는 176.2 cm, 평균 몸무게 76.4 kg, 가슴둘레는 평균 101.2 cm로 나타났다(Table 3). 제7차 한국인인체치수조사 사업의 20~30대 남성의 평균 신체치수와 비교하였을 때 키는 약 3.0 cm 큰 것으로 나타났다. 또한 가슴둘레가 약

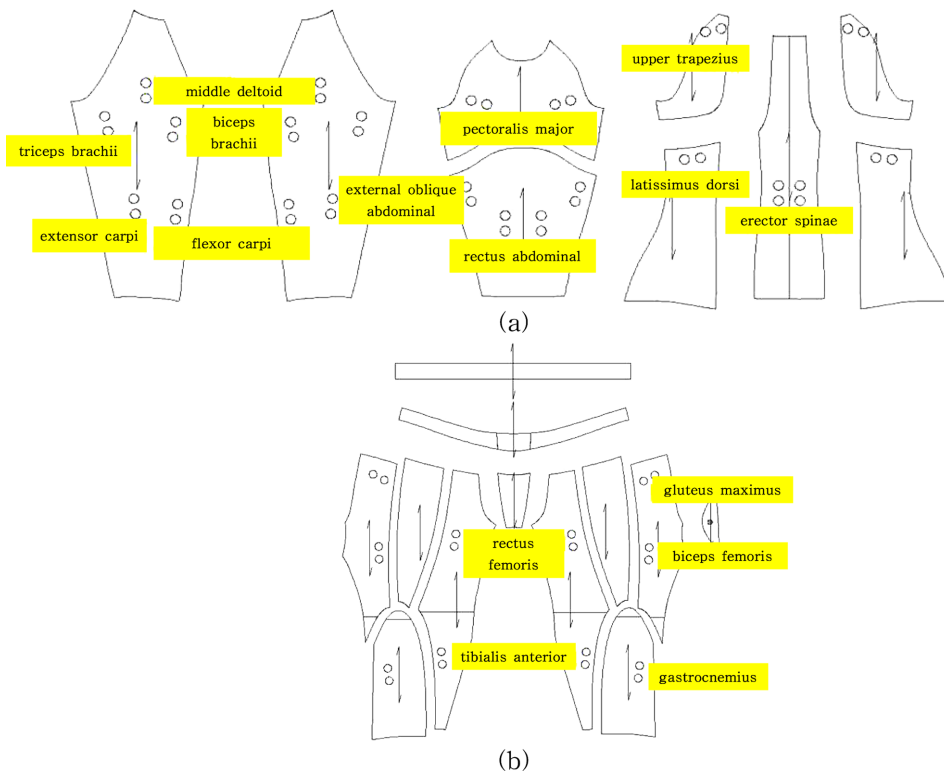


Fig. 11. Pattern of EMG measuring device-combined clothing; (a) top, (b) bottom.

4.0 cm 큰 반면 허리둘레는 약 3.0 cm, 배둘레는 약 2.0 cm 작은 것으로 나타났다.

3.2.2. 컴프레션웨어 착의실태 결과

본 연구 진행 전 근전도 측정의류에 대해 인지하고 있는지에 대해 조사한 결과 연구대상자 10명 중 2명이 근전도 측정의

류의 기능에 대해 ‘들어본적은 있다’고 하였다. 이에 본 제품이 신호 측정을 위해 신체에 밀착되는 컴프레션웨어로 설계됨을 설명한 뒤 컴프레션웨어 착의실태에 대한 평가를 진행하였다.

본 연구에서는 근전도 측정의류 및 컴프레션웨어를 착용해 본 경험이 있는 스포츠 관련 전문가를 대상으로 하였으며, 평소 운동 시 컴프레션웨어의 착용 유무에 대해 ‘착용한다’고 응

Table 3. Characteristics of subjects

Item	Mean(S.D.)	
	Subject (N=10)	20~30's men in 7 th Size Korea (N=1521)
Age(year)	27.0(2.9)	28.0(6.0)
Height(cm)	176.2(6.2)	173.6(5.6)
Weight(kg)	76.4(8.4)	74.0(11.4)
BMI(%)	16.9(4.3)	25.0(3.0)
Chest circumference(cm)	101.2(6.4)	97.4(6.7)
Upper-arm circumference(cm)	32.9(3.7)	31.5(3.1)
Wrist circumference(cm)	17.0(0.8)	16.1(0.8)
Waist circumference(cm)	80.2(7.2)	83.2(9.2)
Abdominal extension circumference(cm)	82.0(6.3)	86.0(8.7)
Hip circumference(cm)	98.3(4.3)	96.6(6.0)
Thigh circumference(cm)	56.8(4.5)	58.0(4.8)
Calf circumference(cm)	38.7(2.4)	38.4(2.9)

Table 4. Wearing conditions of compression wear (N = 5)

Category	Variable	n(%)
Mainly worn size	M	1(20.0)
	L	2(40.0)
	XL	2(40.0)
Total		5(100.0)
Wearing frequency	less than once / week	4(80.0)
	1-2 day / week	1(20.0)
	Total	5(100.0)
Mainly worn design of top	sleeveless	1(20.0)
	short sleeve	1(20.0)
	long sleeve	3(60.0)
Total		5(100.0)
Mainly worn design of bottom	shorts	1(20.0)
	leggings	3(60.0)
	etc	1(20.0)
Total		5(100.0)

Table 5. Pressure level of mainly worn compression wear (N = 5)

Item	Mean(S.D.)	Min	Max
Top	12.0(2.4)	9.0	15.0
Bottom	11.4(2.2)	10.0	15.0

답한 사람이 5명(50%)으로 나타났다. 운동 시 신체에 밀착된 의류를 착용을 선호하는 사람과 선호하지 않는 사람이 같은 비율로 확인되었으며, 이에 컴프레션웨어 착용을 선호하지 않는 대상자로 인해 프로토타입과 상용제품의 착용 쾌적성 평가에 영향을 받을 것으로 생각된다. 컴프레션웨어를 착용할 경우 주로 L 사이즈 또는 XL 사이즈를 착용하는 것으로 나타났으며, 착용 빈도는 주 1회 미만이라고 응답한 사람이 80.0%로 가장 높게 나타났다(Table 4). 착용하는 컴프레션웨어 상의의 형태로는 긴팔이 가장 높은 응답률을 나타냈으며(60.0%), 하의는 발목길이의 레깅스 타입(60.0%)을 가장 많이 착용하는 것으로 나타났다.

Table 5는 주로 착용하는 컴프레션웨어의 압박감에 대한 평가로 점수가 높을수록 압박정도가 큰 것을 의미한다. 상의와 하의 제품 모두 10.0 이상으로 보통 이상의 압박을 느끼는 것으로 나타났다. 상의의 경우 주로 착용하는 컴프레션웨어의 압박정도가 최소 9.0에서 최대 15.0으로 평가되었으며, 하의는 최소 10.0에서 최대 15.0으로 평가되어 컴프레션웨어를 착용하는 사람의 경우 프로토타입과 상용제품의 압박감 정도를 평가하는데 기준이 될 것으로 보이며, 착용경험이 없는 사람과의 압박감 및 밀착정도에 차이가 나타날 것으로 판단된다.

3.2.3. 착용쾌적성 평가결과

착용쾌적성 평가항목은 의복의 착용 시 운동 전후의 쾌적성, 전반적인 쾌적성과 착탈의 용이성으로 구성하였다. 21점 척도로 평가하였으며, 점수가 낮을수록 착용쾌적성이 높게 평가됨을 의미한다. Knight et al.(2006)의 착용성 평가 척도 스케일에 따라 0-4점은 Low, 5-8점은 Moderate, 9-12점은 Large, 13-16점은 Very Large, 17-20점은 Extreme으로 다섯 구간으로 나누어 해석하였다. Low는 매우 쾌적함을 의미하며, Moderate는 착용 가능하나 일부 개선이 필요할 수 있음, Large는 착용 가능하지만 불편하여 개선이 필요함, Very Large는 착용하기 힘들고 불편함, Extreme은 착용하기 어려우며 매우 불편함을 의미한다. 이에 따라 프로토타입과 상용제품의 착용쾌적성 평가 결과를 살펴보면 프로토타입의 운동 전 쾌적성은 평균 9.5 점, 운동 후 쾌적성은 평균 8.5 점, 상용제품은 운동 전 쾌적성 평균 8.6 점, 운동 후 쾌적성 평균 8.8 점으로 두 제품 모두 Large 구간으로 평가되었으며, 이는 두 제품 모두 신체에 밀착되는 형태로 제공됨에 따라 불편함을 느끼는 것으로 확인되었다(Table 6). 전반적인 쾌적성 평가에서는 상용제품이 유의하게 높게 평가되었다. 이는 프로토타입의 설계 치수가 상용제품보다 작게 설계됨에 영향을 받은 것으로 사료된다. 착탈의 용이성 항목에서는 프로토타입이 10.3 점, 상용제품이 8.9 점으로

Table 6. Wear comfort test of prototype and commercial product (N = 5)

Item	Mean(S.D.)		Wilcoxon Z
	Prototype	Commercial product	
Before exercising	9.5(5.8)	8.6(5.3)	- .534
After exercising	8.5(6.9)	8.8(5.4)	- .281
Overall	8.9(5.9)	5.2(4.2)	-1.825*
Easy to wear	10.3(6.3)	8.9(6.5)	-1.605

0: greatly no, 20: greatly yes

평가되었으며, 제품의 밀착정도에 따라 영향을 받았을 것으로 사료된다. 이에 제품과 착용자의 치수의 비교, 밀착성 및 압박감 평가 결과와 관련하여 해석이 필요하다.

3.2.4. 부위별 밀착성 및 압박감에 대한 평가결과

프로토타입과 상용제품을 착용한 뒤 신체 부위별 밀착성 및 압박감에 대해 평가하도록 하였으며, 설계된 제품의 치수와 함께 비교하였다. 각 문항은 21점 척도로 평가되었으며, 점수가 높을수록 밀착성 및 압박감이 높은 것을 의미한다. 상용제품의 하의는 반바지 형태로 종아리 부위는 평가에서 제외하였다. 두 제품과 착용자의 신체치수를 비교한 결과 Table 7과 같이 나타났으며, 특히 상의의 가슴부위와 하의의 엉덩이, 허벅지 부위에서의 밀착성이 높은 것으로 확인되었다. 상의 제품의 경우 프로토타입은 가슴둘레, 허리둘레, 위팔둘레의 여유량이 각 -15.0%, -2.7%, -2.7%로 나타난 반면 상용제품은 -11.0%, 2.2%, 3.3%로 나타나 허리와 위팔부위의 전극이 신체와의 밀착성이 저하되어 해당부위의 안정적인 신호 측정에 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다.

두 제품의 밀착성 및 압박감 평가 결과 Table 7의 여유량과 유사한 경향을 나타내는 것을 확인하였다. 프로토타입이 상용제품에 비해 전반적으로 밀착성이 높은 것으로 평가되었으며, 특히 상의의 가슴부위 밀착성이 유의하게 높게 나타났다(Table 8). 허리 및 배둘레 부위에서는 통계적인 유의성은 나타나지 않았으나 프로토타입의 밀착성이 더 높게 평가되었으며, 이는 상용제품의 가슴둘레 및 허리둘레의 치수가 프로토타입에 비해

Table 7. Comparison of body dimensions of subjects and specification of products (N = 10, unit = cm)

Item	P*	CP**	Subject(C) Mean(S.D.)	Amount of ease(%)	
				(A-C)/C	(B-C)/C
Top	Chest	86.0	90.0	101.2(6.4)	-15.0 -11.1
	Upper-arm	32.0	34.0	32.9(3.7)	-2.7 3.3
	Wrist	18.0	20.0	17.0(0.8)	5.9 17.6
	Waist	78.0	82.0	80.2(7.2)	-2.7 2.2
Bottom	Waist	70.0	74.0	80.2(7.2)	-12.7 -7.7
	Hip	82.0	82.0	98.3(4.3)	-16.6 -16.6
	Thigh	46.0	46.0	56.8(4.5)	-19.0 -19.0

*Prototype, ** Commercial product.

Table 8. Fitted-level of prototype and commercial product

Item	Mean(S.D.)		Wilcoxon Z	
	Prototype	Commercial product		
Top	Chest	15.8(3.9)	11.8(4.1)	2.558*
	Waist	11.8(7.1)	10.5(3.4)	.497
	Abdominal	12.8(7.0)	10.3(4.6)	.837
	Upper arm	14.9(5.2)	12.5(3.8)	1.327
	Wrist	12.6(5.5)	9.3(4.2)	1.239
	Total	15.5(4.8)	11.4(4.1)	1.660
	Bottom	Waist	10.1(6.1)	9.2(6.4)
Abdominal		10.2(7.1)	8.4(5.6)	.602
Hip		12.3(6.1)	13.5(5.2)	-.513
Thigh		14.2(6.3)	15.7(4.2)	-.756
Calf		16.6(3.7)	-	-
Total		14.1(5.4)	13.5(4.0)	.335

0: greatly no, 20: greatly yes, * $p < .05$

Table 9. Pressure level of prototype and commercial product

Item	Mean(S.D.)		Wilcoxon Z	
	Prototype	Commercial product		
Top	Chest	13.7(5.3)	11.8(4.3)	1.406
	Waist	10.0(6.1)	8.4(2.9)	1.477
	Abdominal	10.9(6.2)	8.5(3.3)	.876
	Upper arm	13.4(5.2)	12.9(4.8)	1.068
	Wrist	10.6(4.5)	8.6(4.9)	.314
	Total	13.1(4.2)	11.6(3.5)	1.078
	Bottom	Waist	8.4(6.7)	9.9(5.8)
Abdominal		8.4(7.0)	9.9(5.8)	-.567
Hip		11.0(6.3)	12.7(5.9)	-.684
Thigh		13.0(6.2)	15.7(4.2)	-2.641*
Calf		14.3(5.5)	-	-
Total		14.1(5.4)	13.5(4.0)	-1.259

0: greatly no, 20: greatly yes, * $p < .05$

큰 것에 영향을 받은 것으로 보인다. 하의에서도 프로토타입의 허리둘레가 작게 설계됨에 따라 프로토타입의 허리와 배, 엉덩이 부위의 밀착성이 높은 것으로 나타났다. 반면 압박감의 경우 허벅지둘레에서 상용제품이 높게 평가되었다(Table 9). 이는 상용제품의 하의가 쇼츠형태로 움직임에 따라 밑단이 올라가지 않도록 실리콘 밴딩이 되어있어 영향을 준 것으로 보인다.

종합적으로 프로토타입이 한국인의 20~30대 남성 평균 신체 치수에 기반하여 설계됨에 따라 본 연구에서 모집한 연구대상자의 체형에 상용제품보다 더 밀착됨을 확인하였으며, 이에 부위별 압박감 평가에서도 유사한 경향을 나타내었다. 이에 운동 전 쾌적성과 전반적인 쾌적성, 착탈의 용이성에서 프로토타입에 비해 크게 설계된 상용제품의 평가결과가 높게 나타난 것으로 사료된다. 그러나 근전도 측정의류는 안정적이고 정확한 신

호를 측정하기 위해서는 인체에 밀착되는 것이 중요하다. 이는 안정적인 신호 수집을 위해 인체와의 밀착성을 높일 경우 착용자의 주관적 압박감 및 쾌적성 평가에 부정적인 영향을 받을 수 있음을 확인한 Jeong et al.(2012)의 연구와 유사한 결과로 해석된다.

3.2.5. 운동기능성 평가결과

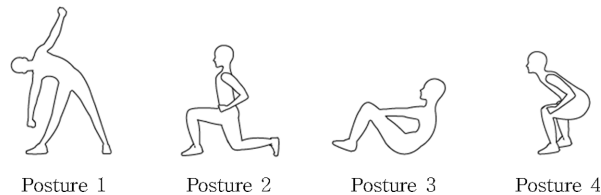
운동기능성은 의복을 착용하고 총 4가지 동작을 각 5회 수행한 뒤 쾌적성에 대해 평가하도록 하였다. 운동기능성을 평가하기 위한 동작은 상체 및 하체의 신장과 굴곡이 최대로 일어날 수 있도록 양 팔을 벌린 상태로 한 쪽 손이 바닥에 닿도록 몸을 늘리는 동작, 스쿼트 동작, 윗몸일으키기 동작, 그리고 런지 동작으로 구성하였다. 각 문항은 21점 척도로 조사하였으며, 점수가 낮을수록 운동기능성이 높은 것을 의미한다. 운동기능성 평가분석 결과 동작 1을 제외한 모든 동작에서 프로토타입의 운동기능성이 더 높게 평가되었다(Table 10). 동작 1의 경우 프로토타입의 밑단둘레가 상용제품에 비해 크게 설계되어 있으며(Table 2), 상용제품의 경우 밑단둘레에 실리콘 밴딩 처리가 되어 움직임에 따라 밑단의 올라감을 방지 또는 신체의 노출이 발생되지 않도록 설계되어있다. 이에 상용제품의 평가결과가 다소 높게 나타난 것으로 사료된다. 프로토타입은 동작 2와 동작 4에서 프로토타입의 운동기능성이 통계적으로 높게 평가되었으며($p < .05$), 3.2 점으로 Low 구간에 해당되어 매우 쾌적하다고 응답한 반면 상용제품은 Moderate 구간에 해당되는 것으로 나타났다. 이는 프로토타입의 밑위길이가 더 길고(Table 2), 허리 및 배부위의 밀착성이 더 높아 하체를 구부리는 동작을 수행하였을 때 착용감이 더 높게 평가된 것으로 보인다. 또한 프로토타입과 상용제품의 허벅지둘레 치수는 동일하나 상용제품 하의 밑단에 부착된 실리콘 밴딩으로 압박감이 더 높게 평가됨에 따라 운동기능성 평가에 영향을 준 것으로 보인다.

착용쾌적성과 신체 부위별 밀착성 및 압박감, 운동기능성을

Table 10. Evaluation of the exercise comfort rate

Item	Mean(S.D.)		Wilcoxon Z
	Prototype	Commercial product	
Posture 1	6.7(5.8)	5.2(4.8)	-.318
Posture 2	3.2(3.3)	7.5(6.1)	-2.492*
Posture 3	3.2(2.9)	4.5(3.7)	-1.581
Posture 4	4.0(4.1)	6.3(5.9)	-1.755*
Total	6.0(6.1)	6.1(3.8)	-.535

0: greatly no, 20: greatly yes, * $p < .05$



종합적으로 분석한 결과 동일한 L 사이즈를 기준으로 하였음에도 상용제품의 가슴, 허리, 배 부위가 프로토타입에 비해 크게 설계되어 있어 착용쾌적성과 착탈의 용이성에서 높게 평가된 반면 밀착성과 압박감, 운동기능성에서는 낮게 평가됨을 확인하였다. 이에 근전도 측정의류는 유효한 신호의 측정이 가능하도록 신체에 밀착하되 착용쾌적성을 저해하지 않는 수준의 의류 설계가 필요하다.

3.2.6. 근전도 디바이스 결합형 스마트의류 착용 및 선호도 조사결과

연구대상자는 프로토타입과 상용제품을 각각 착용하고 모든 평가를 진행한 후 웨어러블 근전도 디바이스 결합형 스마트의류에 대한 착용의사와 디자인 및 기능에 대해 자유롭게 응답하였다. 그 결과 10명 중 6명이 착용의사가 있는 것으로 나타났으며, 근전도를 측정하여 운동을 효과적으로 수행할 수 있어 웨이트트레이닝에 도움이 될 것 같아 착용하고 싶다고 응답하였으며, 근육의 떨림을 잡아주어 운동에 도움이 된다고 하였다. 특히 복부의 밴드가 넓게 설계되어 허리부위를 탄탄하게 잡아주어 편하다고 하였다. 또한 운동 후 땀이 발생하게 되었는데, 상용제품에 비해 땀 흡수와 통기성이 좋아 운동 시 착용할 의사가 있다고 응답하였다. 반면 착용의사가 없는 사람의 경우 신체에 밀착되어 착용하기 불편하며, 웨이트트레이닝 시 근육을 직관적으로 확인하기 어렵다고 응답하였다. 또한 외관상 심미성이 저하되어 착용하기 민망하며, 하의의 경우 반바지를 추가적으로 착용하지 않을 경우 밖에서 착용하지 못하겠다고 응답하였다.

디자인 및 기능과 관련하여 의류의 경량화, 상의 밑단부위의 밀착성 개선 등을 보완점으로 언급하였으며, 상체는 전완근(굽힘 전완근, 펴기 전완근)보다 상완근(이두근, 삼각근, 삼두근)을 타겟으로 운동을 수행하므로 상의의 경우 반팔 디자인의 제품에 대한 개발을 제안하였다.

3.3. 근전도 신호 수집 성능 평가결과

Table 11의 프로토타입과 일회용전극의 두 측정방법간의 근전도 신호 수집 성능 평가결과와 두 측정방법 간의 유의한 차이

Table 11. Result of EMG signal of prototype and disposable electrode unit: kgf, (N = 10)

Item	Mean(S.D.)		Wilcoxon Z
	Prototype	Disposable electrode	
Right	1.54(0.34)	1.54(0.34)	- .051
Left	1.49(0.45)	1.48(0.43)	- .178

Table 12. Error rate and accuracy of EMG signal

Item	Right	Left	Total
Error rate	5.0(2.5)	5.6(3.7)	5.3(3.1)
Accuracy	95.0(2.5)	94.4(3.7)	94.7(3.1)

가 나타나지 않았다($p < .05$). 피부표면에 접촉된 일회용전극을 통해 측정된 신호와 금속전극을 사용하여 근전도 측정 디바이스 결합형 의류를 착용하였을 때 측정된 근전도 신호 수집 성능이 유사한 것으로 나타났다. 이는 디바이스가 운동 중에도 의류 내 안정적으로 위치하여 유효한 근전도 신호를 수집한다는 것을 의미한다. 또한 좌우 대퇴직근의 근전도 신호 수집 오차율 및 정확도를 분석한 결과 오차율은 6% 미만, 정확도는 94% 이상인 것으로 확인되었다(Table 12). 이를 통해 본 연구에서 개발한 프로토타입이 근전도 디바이스와의 결합구조를 통해 유효한 신호의 측정이 가능함을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구에서 근전도 디바이스 결합형 스마트의류를 개발하고자 하였으며, 착용쾌적성 및 운동기능성과 신호측정 성능을 평가를 통해 검증하고자 하였다. 일련의 과정을 통해 착용쾌적성 및 운동기능성이 향상된 디바이스 결합형 의류를 제작하였으며, 유효한 근전도 신호를 측정할 수 있음을 확인하였다. 이에 웨어러블 디바이스 결합형 의류의 프로토타입을 개발하고 사용성 및 착용성을 검증하는 연구의 프로세스로 제안한다.

본 연구에서 근전도 디바이스 결합형 스마트의류를 개발하는데 다음의 요소가 고려되었다. 첫째, 디바이스의 전극부와 피부표면의 접촉, 둘째, 디바이스의 안정적인 고정. 셋째, 탈부착의 용이성. 이에 포켓형태의 결합구조가 도출되었으며, 상체에 승모근, 삼각근, 이두근, 삼두근, 손목굽힘근, 손목펴기근, 대흉근, 복직근, 외복사근, 광배근과 척추기립근의 총 11개 근육과 하체의 대둔근, 대퇴직근, 대퇴이두근, 전경골근, 비복근의 총 5개 근육을 대상으로 프로토타입을 설계하였다. 프로토타입은 디바이스의 위치 및 인체의 굴곡을 고려하여 디자인하였으며, 특히 척추기립근의 디바이스가 안정적으로 위치할 수 있도록 하였다.

제작된 프로토타입은 상용제품과 함께 10명의 연구대상자를 통해 착용쾌적성 및 운동기능성과 제품의 밀착성 및 압박감에 대해 평가하였다. 그 결과 프로토타입이 상용제품에 비해 가슴, 허리, 배 부위의 둘레가 작게 설계되어 착용쾌적성과 착탈의 용이성에서 다소 낮게 평가된 반면 밀착성과 압박감, 운동기능성에서는 높게 평가됨을 확인하였다. 대퇴직근을 대상으로 프로토타입에 근전도 디바이스를 결합하였을 때 유효한 신호를 측정할 수 있음을 확인하였으며, 이는 운동 중에도 디바이스가 안정적으로 해당 근육에 위치하는 것으로 해석된다.

본 연구를 통해 웨어러블 디바이스를 활용하여 결합형 스마트의류를 개발하고 사용성 및 착용성을 검증할 때 필요한 설계 프로세스를 정립하였다. 1) 웨어러블 디바이스의 사용 목적 및 기능에 따라 안정적으로 고정될 수 있도록 결합구조를 도출한다. 2) 웨어러블 디바이스를 적용할 부위를 선정한다. 3) 도출된 결합구조를 활용하여 의복을 설계한다. 4) 설계된 프로토타입의 착용쾌적성 및 운동기능성을 평가한다. 5) 웨어러블 디바이스와 프로토타입을 결합하여 사용성능을 평가한다. 향후 더

많은 연구대상자를 통해 밀착성 및 압박감 평가와 함께 각 부위별 의복압 측정 및 근전도 신호의 측정성능 평가의 진행하는 후속연구가 진행된다면 사용성 및 착용성 평가가 근전도 측정 스마트의류를 설계하는데 표준 평가방법으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 중소벤처기업부 선도연구기관협력기술개발사업 (RS-2022-00143378)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- ‘Athos shirt’. (n. d.). Athos. Retrieved February 10, 2021, from https://shop.liveathos.com/products/athos-mens-shirt?variant=27708026119&utm_source=Facebook&utm_medium=Social&utm_campaign=Facebook%20Shop
- Cho, H., & Cho, S. (2016). A study of sensing locations for self-fitness clothing base on EMG measurement. *Fashion & Textile Research Journal*, 18(6), 755-765. doi:10.14695/KJSOS.2015.18.3.93
- Cho, H., & Lee, J. (2008). The development of sensor based healthcare smart clothing based on usability test. *Science of Emotion and Sensibility*, 11(1), 81-90.
- Dunne, L. (2010). Smart clothing in practice - Key design barriers to commercialization. *Fashion Practice*, 2(1), 41-65. doi:10.2752/175693810X12640026716393
- Fernandez-Carames, T. M., & Fraga-Lamas, P. (2018). Towards the Internet of smart clothing - A review on IoT wearables and garments for creating intelligent connected e-textiles. *Electronics*, 7(12), 405. doi:10.3390/electronics7120405
- Jeong, Y., & Yang, Y. (2012). Development of tight-fitting upper clothing for measuring ECG - A focus on weight reduction rate and subjective assessment. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 36(11), 1174-1185. doi:10.5850/JKSC.2012.36.11.1174
- Kim, E. (2001). A study on the development of patterns for stretch fabric(part 1)-market research of stretch garment for the woman in twenties. *Journal of Human Life Sciences*, 4, 131-142.
- Kim, S., Roh, J. S., & Lee, E. Y. (2016). Development and wearability evaluation of all-fabric integrated smart jacket for a temperature-regulating system based on user experience design. *Fashion & Textile Research Journal*, 18(3), 363-373. doi:10.5805/SFTI.2016.18.3.363
- Kim, S., Lee, S., & Jeong, W. (2020). EMG measurement with textile-based electrodes in different electrode sizes and clothing pressures for smart clothing design optimization. *Polymers*, 12(10), 2406. doi:10.3390/polym12102406
- Kim, T., Kong, S., Kil, S., Park, J., Jeon, H., Song, J., Lee, K., Lim, Y., & C, W. (2013). *근전도 분석 이론 및 적용* [Theory and application of EMG analysis]. Seoul: Hanmi.Medical Publishing Co.
- Knight, J. F., & Baber, C. (2005). A tool to assess the comfort of wearable computers. *Human factors*, 47(1), 77-91. doi:10.1109/ISWC.2002.1167220
- Knight, J. F., Deen-Williams, D., Arvanitis, T. N., Baber, C., Sotiriou, S., Anastopoulou, S., & Gargalakos, M. (2006, October). Assessing the wearability of wearable computers. In *Wearable Computers, 2006 10th IEEE International Symposium*, Montreux, Switzerland. pp. 75-82. doi:10.1109/ISWC.2006.286347
- Lee, J., Choi, H., & Do, W. (2002). Fitness and physical properties in current stretch fabrics for bottoms - focused on the tight skirt. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 26(9), 1467-1477.
- Lee, S. (2022). *Development of EMG electrode position and measuring clothing by using 3D anthropometric data*. Unpublished doctoral dissertation, Ewha Woman's University, Seoul.
- Lynn, S. K., Watkins, C. M., Wong, M. A., Balfany, K., & Feeney, D. F. (2018). Validity and reliability of surface electromyography measurements from a wearable athlete performance system. *Journal of Sports Science & Medicine*, 17(2), 205-215.
- ‘Mshirt’. (n. d.). Myontec. Retrieved February 10, 2021, from <https://www.myontec.com/sports>
- Suh, S. E., & Roh, J. (2015). A study on smart fashion product development trends. *The Research Journal of the Costume Culture*, 23(6), 1097-1115. doi:10.7741/rjcc.2015.23.6.1097
- Yook, H., Jeon, M. H., Oh, C. Y., & Shon, Y. W. (2004). Study on usability evaluation for wearable computer - Evaluation scale for user-centered smart jacket design. *Science of Emotion & Sensibility*, 7(3), 7-13.
- Ziegert, B., & Keil, G. (1988). Stretch fabric interaction with action wearables - Defining a body contouring pattern system. *Clothing and Textiles Research Journal*, 6(4), 54-64. doi:10.1177/0887302X8800600408

(Received March 16, 2023; 1st Revised April 16, 2023;
2nd Revised April 25, 2023; Accepted April 27, 2023)