Journal of the Korea Fashion & Costume Design Association
Vol. 23 No. 3 (2021) pp. 1-10
http://doi.org/10.30751/kfcda.2021.23.3.1

코르셋 타입 하네스의 신체 하중압력 분포 측정 및 가상착의 적용

권미연 · 최솔아[*] · 김주혜[**†]
한국생산기술연구원 소재부품융합연구부문 연구원 · 한국생산기술연구원 소재부품융합연구부문 연구원[*] · 한국생산기술연구원 소재부품융합연구부문 수석연구원[**†]

Investigation of the body distribution of load pressure and virtual wear design according to the corset type harness

MiYeon Kwon · Sola Choi[*] · Juhea Kim[†]**
Researcher, Material & Component Convergence R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology, Korea ·
Researcher, Material & Component Convergence R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology, Korea[*] ·
Principal Researcher, Material & Component Convergence R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology, Korea[**†]
(2021. 6. 11 접수; 2021. 8. 11 수정; 2021. 8. 24 채택)

Abstract

Harnesses are used in a variety of industries, such as rescue operations, medicine, and entertainment. However, conventional harnesses have problems as they are uncomfortable to wear and causes continuous pain. Therefore, in this study, the load and pressure applied to the body in the flying state when using a conventional harness were measured in real time and the distribution change was observed. Load and pressure were measured using a modified corset harness, a pressure sensor, and a human mannequin to measure the maximum and average pressure on the waist. As a result, it was confirmed that the load concentrated on the waist in the flying state was 104 N, and the pressure was applied to the left and right sides was 800 kPa or greater. The pressure distribution showed a pressure of 3-45 kPa in 73% in all measurable pressures. The results of the load and pressure distribution are presented as basic data for improving the wearability and reducing the discomfort of harnesses in the future, aid in the development of a harnesses that can minimize discomfort for various activities, and increase the concentration on experiential activities. In addition, using the CLO 3D program, which is a 3D virtual wearing system, a harness was put on a virtual model, and the compression level was checked and compared with the actual pressure distribution. As a result of comparing the measured pressure values in the flying state with the clothing pressure wearing the harness in the CLO 3D program, the total pressure value was found to be about 68% of the actual measured value. This helps develop a harness that can minimize discomfort during activities by predicting the load and pressure on the body by first applying new designs to a virtual wearing system during development. These new harness patterns can solve the problems of conventional harnesses.

Key Words: corset type(코르셋 타입), harness(하네스), microgravity(미소중력), load pressure distribution (하중압력분포), virtual wear(가상착의)

† Corresponding author ; Juhea Kim
Tel. +82-31-8040-6221
E-mail : juheakim@kitech.re.kr

※ 본 논문은 한국생산기술연구원 기관주요사업과 경기도기술개발사업 "지능형 전자섬유 기반 스마트 텍스트로닉스 개발(kitech JA-21-0001/kitech IZ-21-0001)"의 지원으로 수행한 연구입니다.

Ⅰ. 서 론

하네스(Harness)는 다양한 형태로 제조되어 안전용, 군사용, 의료용, 엔터테인먼트용 등의 다양한 분야에서 신체를 받쳐주는 제품으로 적용되어 왔다. 하지만 종래의 하네스는 각각 단일의 목적에 맞도록 고정된 형태로 제조되고, 특히 안전한 만을 고려하여 인체에 충격이 가해지지 않는 형태만이 주목되었기 때문에 사용자의 체형에 맞지 않아 착용에 의한 통증 및 착용의 불편함을 초래한다(Novotny et al., 2013; Dongwoo et al., 2019). 또한 기존 하네스는 주로 스트랩이 연결된 형태로 구성되어 있으며 그 디자인에 따라 겨드랑이 및 하복부의 벨트부분, 대퇴 림프절 부분 등이 장시간 착용에 따른 지속적인 압박으로 활동에 제약요소가 되고 있는 실정이다. 결과적으로 외부의 충격이 하중압력 형태로 신체의 특정부부위에 집중되어 피부면의 전단응력에 따른 열상, 찰과상, 피부손상 등의 문제점이 복합적으로 작용하여 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

이런 문제점을 야기하는 하네스에 대한 착용감 향상을 위하여 다양한 평가가 이루어졌으며 1977년에 처음 추락방지 시스템의 최대 저지력과 관련하여 물리적인 분석이 이루어졌다. 신체에 적합한 하네스의 치수 적합성 평가를 위해 미국 군으로부터 파생된 치수 데이터를 기초로 한 연구가 진행되었으며(Bradtmiller et al., 2000), 민간 근로자를 위한 치수 적합성 연구를 위해 Hsiao et al., 2007은 3D 스캐닝을 통하여 적합한 치수 체계를 형성하고자 하였다. 종래의 연구에서 하네스 착용감 평가는 피험자에 하네스 착용 후 3D 스캐너를 이용하여 하네스가 착용된 위치와 각도에 따라 등급을 매겨 치수적합성을 평가하였으며, 시각적인 평가가 아닌 실제적인 불편감을 측정하여 착용감을 평가 할 수 있는 객관적인 데이터 확립이 필요하다.

최근에는 압축 운동복에 대한 생체 역학적 분석이나 치료용 압력범위의 최적화를 파악하기 위해 압력 센서를 이용한 연구가 진행되고 있다(Hafner et al., 2000; Lai & Li 2009; Palya & Kiss, 2020). 이런 압력 센서와 같은 인터페이스 장치는 작고 얇으면서 매우 유연해야 하는 물리적 특성과 0~50 mmHg의 낮은 압력 범위를 감지할 수 있는 민감성과 연속적인 전기적 신호를 나타낼 수 있는 전기적 특성이 요구된다. 또한, 실체의 형상을 왜곡하지 않으면서 신체 윤곽과 일치하게 곡면에서 측정오차가 없고 소재 선택 시 온도와 습기의 영향을 받지 않는 것으로 선정해야 되는 제한조건도 있다(Lai & Li, 2009). 최근 개발된 정전 센서(capacitive sensor)인 Pliance Sensor(Novel GmbH사, 독일)는 피부와 압박의복 또는 붕대 사이의 미세한 계면 압력 적용을 위하여 개발되었으며, 의류에 부착 할 수 있는 전도성 스트랩을 통해 시스템과 연결하여 10 mm의 직경과 1 mm 미만의 얇은 두께(1 mm 미만)를 감지할 수 있도록 설계되었다(Lai & Li 2009). 따라서 단일 센서 또는 다중 센서를 통한 동시 다발적인 측정이 가능하며, 옷과 피부가 접촉되는 경계면 압력을 측정하기 적합한 인터페이스로 사료된다(Lai & Li 2009).

따라서 본 연구에서는 플라잉 상태에서의 하중압력 측정시스템을 개발하여 중력, 압력, 가속도 제어 센서를 탑재하여 실시간으로 체험자의 상태를 모니터링 함으로써 하네스 착용에 따른 하중압력 분포 변화를 관찰하고자 하였다. 또한, 3D 가상착의 시스템인 CLO 3D 프로그램을 이용하여 하네스를 가상모델에게 착의시킨 후 압박도를 확인하여 실제 압력분포와 비교하고자 하였다. 이런 하중 압력분포 측정 결과는 향후 하네스에 대한 착용감과 불편감 개선을 위한 기초자료로 제시하고, 다양한 활동에 대한 착용 시 불편감을 최소화 할 수 있는 하네스를 개발하여 체험활동에 대한 집중도를 높이는데 도움이 되고자 한다.

Ⅱ. 연구방법

1. 코르셋 타입의 하네스

하네스 착용 시 신체에 걸리는 하중압력을 측정하기 위해 가장 일반적으로 사용되고 있는 코르셋 타입(corset type)의 스턴트 하네스

〈Fig. 1〉 Corset type harness

(climbing sutra사, 미국)를 개조하여 사용하였으며, 하네스 착용을 위한 미소중력체험을 장비로는 와이어 플라잉시스템(솔리디어랩, 한국)을 사용하였다. 하네스와 플라잉시스템을 연결하는 체결장치는 특수 제작하여 사용하였다. 기존의 체결장치는 웨빙 스트랩(webbing strap)을 고리(pick point)형태로 만들어 와이어나 카라비너(carebiner)를 연결하여 흔들림과 슬립 등이 있어 착용시 불안요소로 지적되어 본 실험에서는 착용자의 안전과 흔들림 최소화하기 위해 톱니처럼 암수가 맞물리는 형태로 합금강(alloy steel) 금속소재를 사용하여 체결장치를 제작하였다.

2. 압력센서를 이용한 하중압력 측정

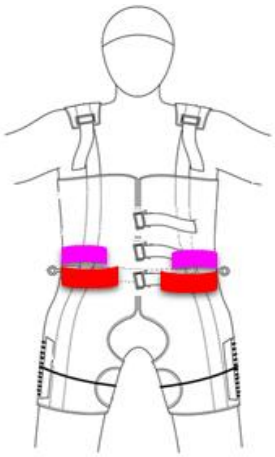
본 실험에 사용된 센서는 하네스 착용에 따른 신체 압박 정도를 객관화된 수치로 나타내기 위해 압력센서를 사용하였으며, Novel GmbH사의 스트랩 센서(strap sensor, 독일)는 압박 정도에 따라 변화되는 전압이 차이를 감지하는 방식으로 자세한 센서에 대한 정보를 〈Table 1〉에 나타내었다. 즉 신체가 느끼는 압박에 대한 정도를 아날로그 신호를 통해 감지한 후 무선 컨트롤러를 통해 컴퓨터로 그 값을 전송하여 압력신호에 대한 분석이 실시간으로 가능하도록 자체 프로그램을 사용하여 측정된 실험값을 분석하였다(Fig. 2).

코르셋 타입의 스턴트 하네스를 마네킹에 착용시킨 후 하네스의 체결장치 부분을 플라잉시스템의 연결부위에 결합한 후 마네킹이 서 있는 상태로 양발이 바닥에 잘 지지한 상태를 보

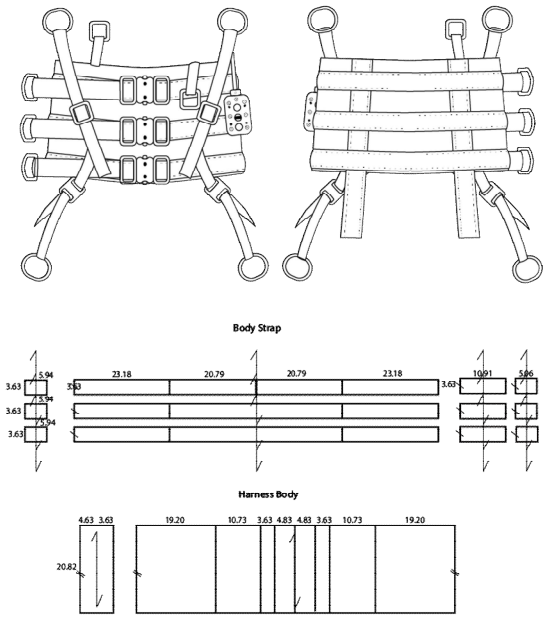
〈Table 1〉 Sensor specification for pressure measurement

Sensor area	Pressure range	Sensitivity	Number of Sensor cell
160 × 40 mm	3 ~ 300 kPa	1 sensor cell/㎠	64 ea

〈Fig. 2〉 Sensor and controller system for pressure measurement



〈Fig. 3〉 Fastening device and sensor attachment position of harness



〈Fig. 4〉 하네스 도식화와 가상 착의에 적용된 패턴

〈Table 2〉 사용된 아바타 치수 (단위: cm)

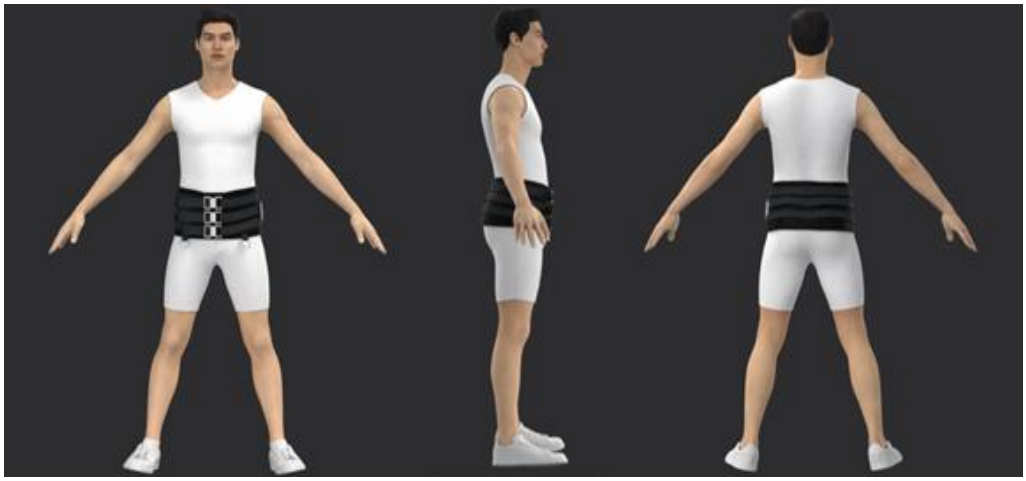
측정항목	치수
키	187.96
가슴둘레	96.52
목둘레	40.96
엉덩이둘레	88.26
어깨너비	40.96
샅높이	86.36
넙다리둘레	55.88

정(calibration)한 후 플라잉 와이어 시스템으로 수직 상승시켜 발이 바닥에서 70 cm 떨어진 상태에서 실험을 실시하였다. 이때 압력 센서의 부착위치는 〈Fig. 3〉에서 보는 것과 같이 하네스 착용시 하중이 제일 집중되는 허리 부분 안쪽에 좌, 우측으로 나누어 부착하였다.

3. CLO 3D 프로그램을 이용한 가상착의 적용

본 연구에 사용된 3차원 가상 착의 디자인은 (주)클로 비주얼 패션의 CLO 3D Modelist ver.6.1. 시스템을 사용하였다. 가상착의 디자인에서 아바타에 적용된 도식화와 패턴은 〈Fig. 4〉와 같으며, 작업한 2D 패턴을 아바타 치수에 맞추어 배치한 후 가상 봉제한 후 시뮬레이션(simulation)을 통해 착장된 핏(fit)을 확인하며 패턴을 수정하였다(Han & Yang, 2021). 가상착의는 프로그램에서 제공하는 아바타 〈Table 2〉를 사용하였으며 아바타에 의상을 착장 시킨 가상착의는 〈Fig. 5〉에 나타냈다.

제작된 가상착의 실험복은 가상착의에 의복압을 나타내어 실제 실험복의 데이터와 비교하였다. 가상착의 의복압은 3차원 가상착의 시뮬레이션에서 아바타에 의상을 착장시켰을 때



〈Fig. 5〉 Corset type harness virtual wear by CLO 3D program

〈Table 3〉 Pressure distribution range of CLO 3D program

	Loading pressure range							
Strain (%)	100	103	106	109	111	114	117	120
Stress (kPa)	0	3	5	10	20	25	30	60

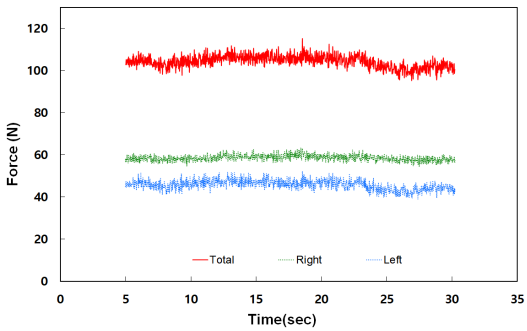
아바타의 면적이나 부피, 움직임에 따라 발생하는 힘의 정도인 의복압으로 표시하여 의복 착용 시 신체 부위별 압박 정도 평가를 위해 사용된다. 색 분포도의 색상 범위는 설정할 수 있는 압박 정도를 0 kPa에서 60 kPa로 설정하였으며, 수치가 0 kPa에 가까울수록 청색 즉, 압박 정도가 적음을 의미하고, 60 kPa의 수치에 가까울수록 적색 즉, 압박 정도가 높다는 의미로 해석 가능하다(Hong et al., 2015). 압력에 따른 색 분포의 색상 범위는 〈Table 3〉에 나타냈다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

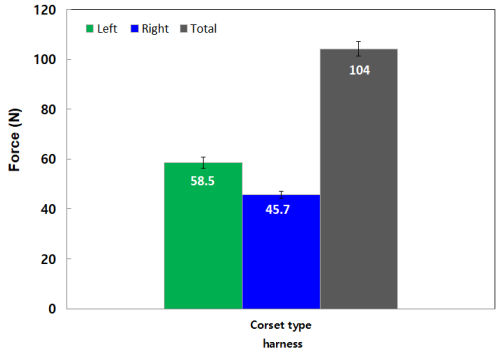
1. 압력센서를 이용한 하네스의 착용압력 분석

하네스가 실제 사용되는 조건에 대한 시뮬레이션을 위해 하네스를 착용한 상태를 모사한 조건에 대한 평균하중 분석결과를 〈Fig. 6〉에 나타내었다. 이 값은 미소중력 체험 시 공중으로 수직 플라잉 되었을 때 부착된 센서를 통해 신체의 무게중심이 앞뒤로 편중되지 않은 상태에서 30 초간 안정화된 하중변화를 측정한 값으로 신체 왼쪽과 오른쪽에 걸리는 하중을 각각의 센서를 통해 측정하였다. 〈Fig. 7〉에서 보는 것과 같이 하네스에 작용하는 총 하중은 약 104 N으로 오른쪽과 왼쪽에 걸리는 하중 차이는 약 12 % 정도 차이를 보였으며 플라잉 시 오른쪽과 왼쪽의 하중분포는 56 대 44로 플라잉 시 와이어가 양쪽에서 동일하게 신체를 수식 상승 시켜준다 하더라도 신체의 균형이 쉽게 흐트러져 왼쪽과 오른쪽의 하중차이가 나타나는 것으로 파악되었다.

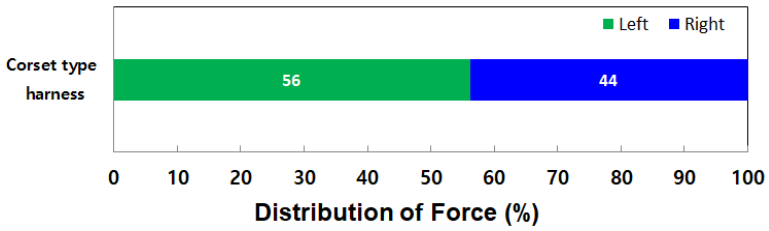
또한 하네스 착용으로 신체에 가해지는 하중을 의복압 측면으로 분석한 결과를 〈Fig. 9〉



〈Fig. 6〉 Loading force on left and right sides of corset type harness



〈Fig. 7〉 Loading force value on left and right sides of corset type harness



〈Fig. 8〉 Loading distribution on left and right sides of corset type harness

〈Table 4〉 Pressure distribution range of Novel program

	Loading pressure range						
Pressure (kPa)							
	3	5	10	20	25	30	60

에 나타내었으며 이는 각 센서의 셀 하나하나에 걸리는 압력을 수치로 나타낸 것으로 이때 압력범위에 따라 색상을 지정하여 표시하였다(Table 4). 사용된 센서의 압력 측정범위를 고려하여 셀에 걸리는 하중압력이 3 kPa 이하일 때는 검정색으로 표시하여 하중에 영향을 받지 않는 부분으로 구분하여 나타내었다. 그 결과 플라잉 상태에서 하네스가 신체에 가하는 의복압은 94개의 셀에서 압력이 측정되었으며 약 73 %에 해당하는 셀들에서 압력이 측정되었다. 구체적으로는 상대적으로 하중이 높았던 왼쪽 센서에서는 75 %의 셀들이 압력 값을 나타냈으며 오른쪽 센서에서는 약간 낮은 72 %의 셀들이 압력 값을 나타내었다(Fig. 10).

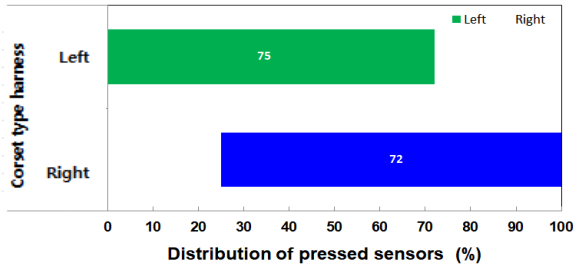
따라서 플라잉 상태에서 하네스 착용으로 인한 하중압력은 〈Fig. 11〉에서 보는 것과 같이 왼쪽과 오른쪽에 모두 800 kPa 이상의 압력이 가해지는 값으로 왼쪽 허리부분의 최고 하중압력은 45 kPa, 오른쪽의 최고 하중압력은 35 kPa을 나타내었다. 이렇게 측정된 하중압력을 3 kPa 이상의 의복압이 측정된 셀의 평균값으로 구분해서 분석해보면 왼쪽과 오른쪽의 의복압 차이가 줄어들면서 평균 약 17~18 kPa의 압력 값을 나타내며, 압력이 측정되지 않은 전체 셀로 분포되었을 때의 평균 압력 값은 약 7~9 kPa의 압력 값으로 분석되었다(Fig. 12).

2. 3차원 가상착의 분석

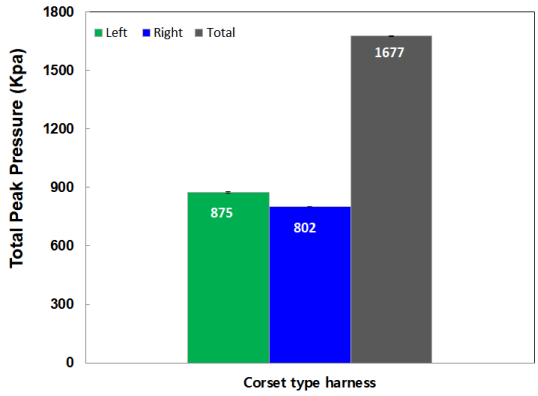
가상 실험복의 3차원 아바타에 착의 후 변형률, 의복압을 〈Fig. 13〉에 나타내었으며, 의복압의 분포도는 앞 뒤 모두 엉덩이 돌출부근인

아래쪽에서 적색 분포를 보이고 허리기준선에 가까워지는 위쪽 부근에서 청색 분포를 나타냈다. 이는 아래쪽 부분이 둘레가 얇은 위쪽 부근에 비해 여유량이 적어져 압박 정도를 많이 받은 것으로 사료된다. 이 결과는 플라잉 상태와 비교하였을 때 엉덩이 돌출부근인 아래쪽에서

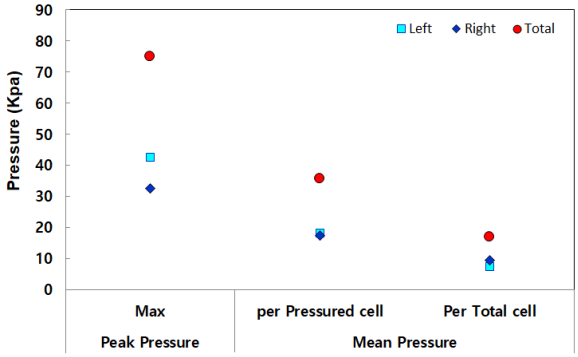
〈Fig. 9〉 Pressured sensor cells on left and right sides of corset type harness



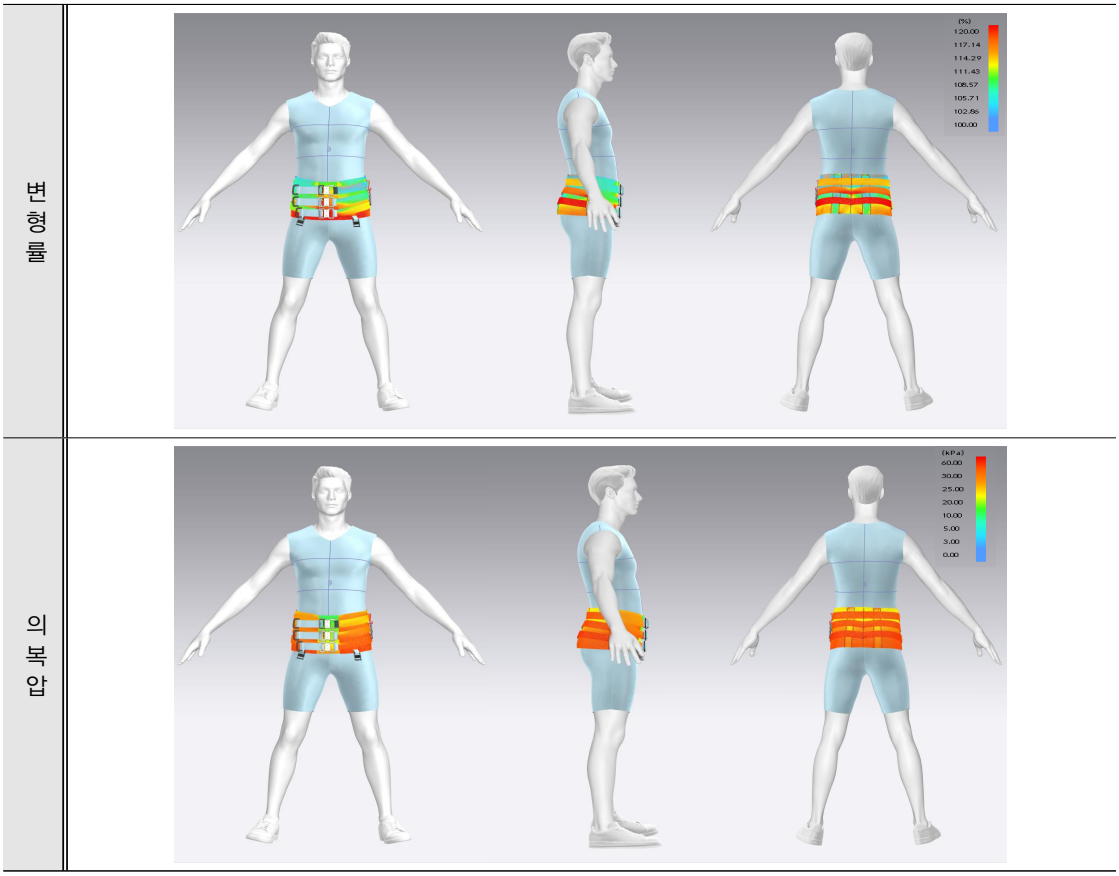
〈Fig. 10〉 Pressured sensors distribution on left and right sides of corset type harness



〈Fig. 11〉 Total peak pressure value on left and right sides of corset type harness



〈Fig. 12〉 Peak and mean pressure on left and right sides of corset type harness



〈Fig.13〉 Virtual wear model of corset type harness by CLO 3D program

〈Table 5〉 Stress data of corset type harness by CLO 3D program (단위: kPa)

	좌				우			
전면	측정위치	벨트		벨트바깥부분	측정위치	벨트		벨트바깥부분
	상	25.22		24.52	상	21.96		26.01
				27.30				28.58
	중	28.13		33.37	중	26.71		33.99
	하	30.10		39.49	하	31.68		39.10
후면	측정위치	허리선 부근	엉덩이 중심부	벨트	측정위치	허리선 부근	엉덩이 중심부	벨트
	상	20.81	20.18	33.43	상	20.52	20.43	32.91
		20.55	20.12			20.59	20.04	
	중	26.85	25.98	37.02	중	26.70	26.68	36.21
	하	33.91	32.66	44.25	하	33.85	32.79	44.03
합계	523.9				522.8			
평균	29.1 (± 6.99)				29.0 (± 7.01)			

상대적으로 높은 압력 분포를 보이고 허리기준선에 가까워질수록 위쪽부근에서 낮은 압력분포를 보이는 경향과 유사하게 나타났다.

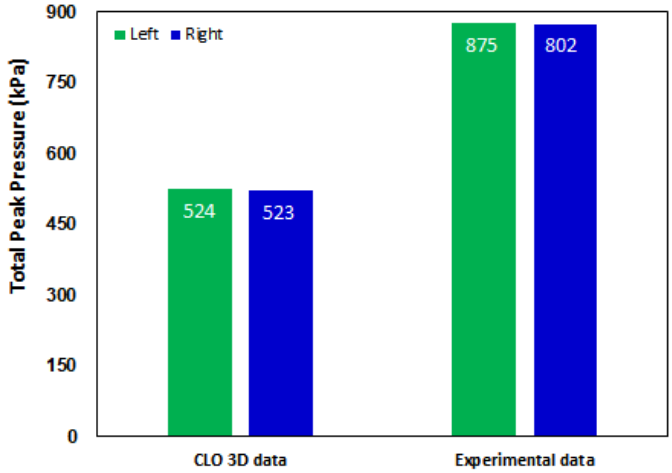
CLO 3D 프로그램에서 측정한 부위별 압력 측정값을 〈Table 5〉에 나타내었다. CLO 3D 프로그램에서 측정한 압력 값은 왼쪽과 오른쪽에 각각 524 kPa, 523 kPa으로 동일한 압력값을 보이는데 비해 플라잉 상태에서의 왼쪽과 오른쪽에 측정된 압력값은 각각 875 kPa, 802 kPa으로 좌측이 약간 높게 측정되었다. 결과적으로 전체 압력 값은 CLO 3D 프로그램이 플라잉 상태의 38% 낮은 값을 보였다(Fig. 14). 이는 플라잉 상태에서 신체가 느끼는 의복압은 착용에 따른 평균 의복압 29 kPa에 플라잉 상태에서의 평균 의복압 18 kPa이 더해서 신체가 느끼는 의복압은 47 kPa에 해당할 것으로 사료된다.

Ⅳ. 결론 및 제언

본 연구에서는 가장 기본적인 하네스인 코르셋 타입 하네스를 착용 시 신체가 느끼는 하중과 압력을 측정하여 플라잉 상태에서의 하중분산 정도를 알아보고자 하였다. 또한 가상착의 시스템인 CLO 3D 프로그램을 이용하여 가상모델에 하네스를 착의시켜 실제 압력분포와 비교하고자 하였다.

그 결과, 플라잉 상태에서 신체에 가해지는 총 하중은 104 N으로 왼쪽에는 59 N, 오른쪽에는 46 N의 하중 값으로 왼쪽과 오른쪽에 걸리는 하중의 비율이 약 12 % 정도 차이가 나는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 압력측면에서는 플라잉 상태에서 3 kPa 이상의 압력이 인식된 셀은 전체 셀의 73 %로 평균 17 kPa 정도의 압력이 허리부분에 분포되는 것을 확인하였다.

가상착의에 의복압을 나타내어 실제 실험복의 시각적인 비교한 결과 엉덩이 돌출부근인 아래쪽에서 상대적으로 높은 압력 분포를 보이고 허리기준선에 가까워질수록 위쪽부근에서 낮은 압력분포를 보이고, 우측에 비해 좌측이 약간 높게 측정되는 경향이 유사하게 나타났다. 또한, CLO 3D 프로그램 데이터와 플라잉 상태에 실제 측정한 값을 비교한 결과 CLO 3D의 전체 압력 값은 플라잉 상태에 실제 눌린 셀의 압력 값의 62 % 수준의 값이 측정되었다. 따라서 가상착의의 압박도는 실제 압력 분포도와 시각적 예측을 위한 자료로 활용 가능하다고 판단되며, 실제 측정값은 가상착의에서 약 1.6배 정도 낮은 값으로 전체 압력 값을 예측할 수 있다고 사료된다.



〈Fig. 14〉 Total peak pressure value on left and right sides of corset type harness by measurement tool

본 연구를 통해 기존 하네스가 가지고 있는 하중 및 압력에 대한 문제점을 파악 할 수 있었으며 나아가 하네스의 착용에 따른 불편감을 최소화 할 수 있는 새로운 하네스의 패턴개발을 위한 데이터베이스를 확보하였다고 판단한다. 또한 다양한 종류의 하네스에 대한 하중 및 압력에 대한 분석의 필요성을 인식하게 된 계기가 되었으며 그에 따른 기존 하네스의 개선점 모색 및 인체공학적인 하네스 패턴 설계 및 개발의 필요성을 인식하게 된 계기가 되기를 기대한다.

참고문헌

Bradtmiller, B., Whitestone, J., Feldstein, J., Hsiao, H., & Snyder, K. (2000). Improving fall protection harness safety: Contributions of 3D scanning. *Proceedings of Scanning,* 117-128.

Dongwoo, N., Miyeon K., Juhea K., Bummo A., (2019). Development of pant-type harness with fabric air-pocket for pain relief. *Applied sciences, 9*(9), 1921.

Hafner, J., Lüthi, W., Hänssle, H., Kammerlander, G., & Burg, G. (2000). Instruction of compression therapy by means of interface pressure measurement. *Dermatologic Surgery, 26*(5), 481-488.

Han, M. J., & Yang, E. K. (2021). Development of Hanbok design using deconstruction fashion features - Focused on the creation of 3D digital fashion design works -. *The Research Journal of the Costume Culture, 29*(1), 65-86.

Hong, E. H., Uh, M. K., & Kim, K. A. (2015). Comparative analysis of the patterns for Men's jean pants by 3D virtual garment simulation evaluation, *Journal of the Korea Fashion & Costume Design Association, 17*(2), 223-237.

Hsiao, H., Whitestone, J., & Kau, T. Y. (2007). Evaluation of fall arrest harness sizing schemes. *Human Factors, 49*(3), 447-464.

Lai, C. H., & Li-Tsang, C. W. (2009). Validation of the Pliance X System in measuring interface pressure generated by pressure garment. *Burns, 35*(6), 845-851.

Novotny, S. C., Perusek, G. P., Rice, A. J., Comstock, B. A., Bansal, A., & Cavanagh, P. R. (2013). A harness for enhanced comfort and loading during treadmill exercise in space. *Acta Astronautica, 89,* 205-214.

Palya, Z., & Kiss, R. M. (2020). Biomechanical analysis of the effect of compression sportswear on running. *Materials Today: Proceedings, 32,* 133-138.