

3D 가상착의 시스템 활용 신축성 원단 물성 및 상반신 자세 요인에 따른 남성 보디수트 상의 의복압 분석

박진아
창원대학교 의류학과 교수

The Analysis of the Clothing Pressure on Men's Bodysuit Tops Using a 3D Virtual Clothing System Considering Stretch Fabric Properties and Arm Posture Factors

Gin Ah Park

Professor, Dept. of Clothing & Textiles, Changwon National University
(received date: 2024. 9. 30, revised date: 2024. 11. 6, accepted date: 2024. 11. 18)

ABSTRACT

This study examined variations in pressure on the male upper body while wearing a bodysuit top made from different stretch fabrics, using a 3D virtual clothing system. The analysis focused on measuring clothing pressure at specific body points across three postures: shoulder at 0° and elbow at 0° (Pose 1), shoulder at 45° and elbow at 0° (Pose 2), and shoulder at 45° and elbow at 90° (Pose 3). The digital fabric properties were characterized by parameters such as stretch stiffness (warp/wefi), shear stiffness, bending stiffness, thickness, and weight. Fifteen measurement points were identified based on the chest, waist, upper arm, elbow, and wrist circumferences. The results indicated that stretch stiffness (wefi) was positively correlated with clothing pressure, whereas bending stiffness (wefi) showed a negative correlation. Shear stiffness and bending stiffness (bias) showed complementary relationships, while stretch stiffness (warp) and bending stiffness (warp) did not exhibit significant correlations with pressure, except at the lateral waist. The analysis also revealed statistically significant differences in pressure across the different postures. In Pose 1, lateral chest pressure was the highest but decreased by 85% in Pose 2 and Pose 3. Posterior chest pressure increased by approximately 10% in Pose 3 due to elbow flexion, while waist pressure decreased by 10-20% in both Pose 2 and Pose 3. Additionally, pressure at the elbow circumference was highest in Pose 3, highlighting the significant impact of elbow flexion on pressure. Wrist pressure also increased by 4-16% in both alternative postures compared to Pose 1.

Key words: 3D virtual clothing system(3D 가상착의 시스템), arm postures(상지 자세), bodysuit(보디수트), clothing pressure(의복압), digital fabric properties(디지털 원단 물성), Korean men in 20s(한국인 20대 남성)

I. 서론

3D 인체 스캐너를 활용한 인체 계측 기술이 의류산업에 도입된 이래 디지털 인체 계측 정보를 활용한 3D 가상착의 시스템은 사용자들의 편리를 제공하는 방향으로 발전해 오고 있다. 디지털 의류생산 기술은 점진적으로 관련 시스템 사이의 상호 호환성을 높이고 있는데 어패럴 패턴 CAD에서 생성한 패턴을 DXF 파일로 전환하여 다른 시스템에서도 활용할 수 있게 된 것을 그 예로 들 수 있다. 어패럴 패턴 CAD와 가상착의 시스템의 호환성을 높임으로써 3D 가상착의 기술은 의류 관련 산업과 학계에서 정착이 용이하게 되었다. 다른 한편으로는 가상착의 시스템 내에 패턴 제도 기능을 사용할 수 있는 모듈을 포함시키는 것과 같은 방식으로 3D 가상착의 시스템의 활용도는 지속적으로 높아지고 있다.

최근에는 의류제품을 개발 및 평가하는 과정에서 3D 가상착의 시스템을 활용하여 의복의 압력 분포, 피트성 등을 정량적으로 평가하는 연구가 수행되고 있으며(Choi & Nam, 2009; Hong, Kim, & Uh, 2015; Kim & Lim, 2022; Kim, Nam, & Kim, 2015; Lagé, Ancutienė, Pukienė, Lapkovska, & Dāboliņa, 2020; Park, 2013), 그 결과를 실제적 의류 평가에 활용하는 가능성을 제안하였다. 치수에 여유량이 부여된 의복의 가상착의 연구에서 디지털 의복압 분포, 압력 정도를 확인하기 위해 디지털 물성 수치를 측정하여 3D 가상착의 시스템에 적용하는 연구들이 후속적으로 진행되고 있고(Kim & Lee, 2023; Kwon, Choi & Kim, 2021) 특히, 밀착형 의류제품의 실제와 가상착의 시 의복압의 비교 연구에서는 압력을 수치로 확인하도록 의복압 분포 표시 기능을 제공하는 3D 가상착의 시스템이 사용되고 있다. 이를 위하여 직물 소재의 물성을 측정한 후 가상착의 시스템에 입력하는 연구 방법을 적용하여 그 효과를 다양하게 검토하고 있는데 이들 연구에 의하면 인체에

밀착하는 의류나 보조기구를 실제 착의한 것과 가상착의한 상황에서 부위에 따른 정밀한 의복압 결과 수치에서는 차이가 있을 수 있음을 보고하였다. 그렇지만 그 변화의 양상은 유사하여 가상착의 시의 의복압 결과를 실제 압력과 일치시키는 조정 과정을 거치거나 의복의 전체 압력을 고려하면서 개발하는 가능성을 함께 제안하고 있다. 이는 실제 산업 현장에서 3D 가상착의 이미지를 활용하여 개발 의류의 외관평가에 활용하고 있는 현황을 고려하거나 밀착형 의류 개발 시에도 의복압 분포를 검토할 때 실제 제작한 샘플 의류를 인체 착의평가하기 전에 동작성능이나 압박감에 대한 전반적 통제와 사전 조율을 거쳐 시행착오와 비용을 줄이면서 의류를 개발할 수 있는 이점을 고려한다면 앞으로도 이 분야에 대한 연구의 필요성은 더욱 높아질 것임을 예측하게 한다.

하지만 3D 가상착의 시스템을 활용하여 의복압을 평가하는 관련 연구들의 제한점은 상대적으로 제한된 소재나 단순한 자세들을 적용함으로써 통제하기 용이한 조건에서 연구를 수행하는 정도에 그치고 있다는 것이다. 이러한 단편적 연구 결과들을 통합하여 고찰함으로써 의복압 데이터를 축적하는 것도 의의가 있을 수 있지만 동일 의복 패턴에 소재를 달리 적용하고 좀 더 다양한 동작을 요인으로 설계할 때 의복압은 어떻게 달라지는지에 대한 심화된 연구도 이제는 연구의 다각화 측면에서 필요할 것으로 본다.

이에 본 연구에서는 3D 가상착의 시스템을 활용하여 한국인 20대 남성의 평균 인체치수 데이터를 적용하여 구축한 남성 아바타에 밀착형 보디수트 상의 착의 시, 신축성 원단 물성 요인을 다양화할 때 아바타 상반신 각 부위에서 의복압의 변화가 있는지를 검토하고 그 양상을 분석하고자 하였다. 그 후 원단 물성 요인에 따른 의복압이 상반신 자세 요인별로도 차이가 있는지 심도 있게 분석한 결과를 제안함으로써 3D 가상착의 시스템을 활용한 의복압 분석 연구의 다양한 가능성을

보이는 것을 목적으로 하였다.

II. 연구방법

1. 아바타 인체 사이즈 측정치 및 실험 자세

연구를 위한 피험자는 한국인 20대 성인 남성을 대상으로, 제8차 한국인 인체치수 조사사업 (Korean Agency for Technology and Standards

[KATS], 2021)에서 제공하는 20대 남성 인체 평균 계측치를 사용하여 CLO, Ver. 7.2 (CLO Virtual Fashion Inc., Korea) 소프트웨어의 남성 아바타 인체 계측치를 조정하여 실험 인체를 구현하였다. 한국인 20대 남성 인체 계측치의 평균과 표준편차 값을 <Table 1>에 제시하였고 구현된 CLO 남성 아바타 이미지는 <Fig. 1>과 같다.

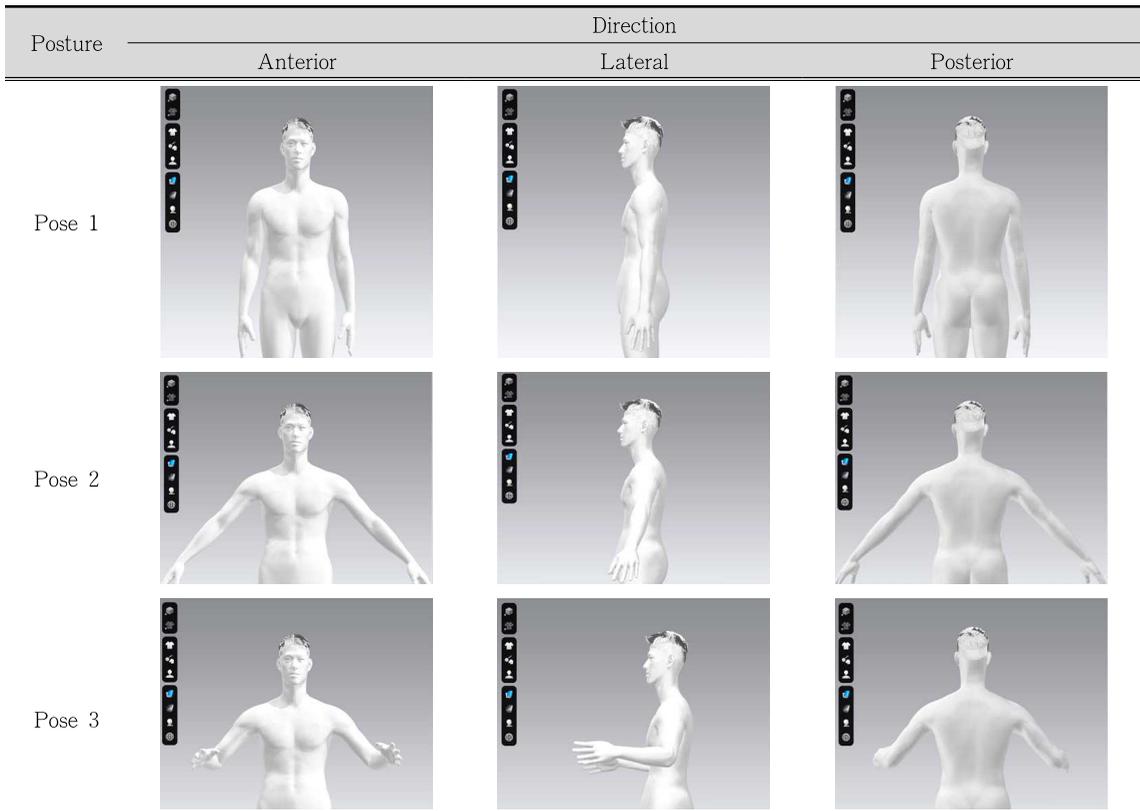
정자세 대비 어깨와 팔꿈치 관절 굴곡 시 의복 압 변화 탐색을 위해 두 팔의 움직임은 일상생활

<Table 1> Average Body Measurements of Korean Men in their 20s for Drafting Bodysuit Top in the Study

Category	Measurement items	Measurements (cm)	
		Mean	SD
Height	Stature	176.00	5.51
	-----		-----
Circumference	Bust circumference	98.66	7.70
	Waist circumference	78.84	8.49
	Hip circumference	93.99	6.30
	Upper arm circumference	35.10	2.89
	Elbow circumference	26.60	1.73
	Wrist circumference	16.90	1.01
	-----		-----
Length	Waist back length	43.09	2.11
	Waist front length	37.38	2.01
	Shoulder length	14.60	1.08
	Posterior shoulder length	44.20	2.31
	Arm length	59.52	2.79



<Fig. 1> Body Images of Avatar Representing Average Korean Men in 20s within the CLO 3D System



〈Fig. 2〉 Experimental Postures

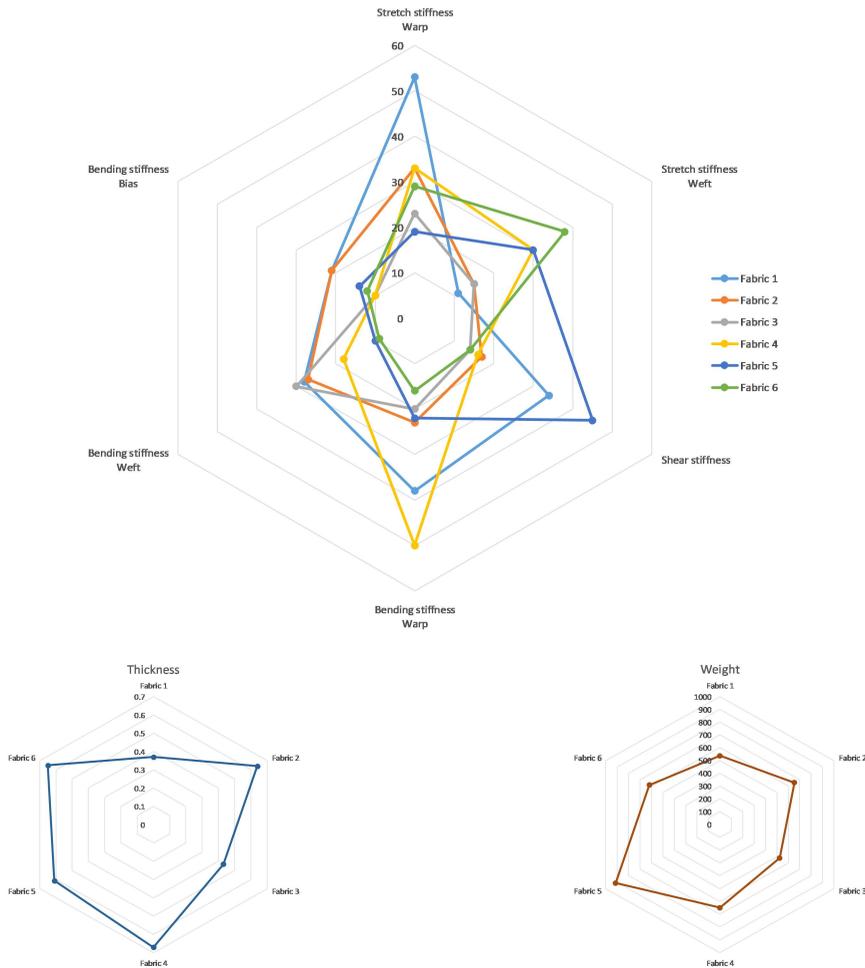
에서 물건을 정리하거나 타월 개기, 종이에 글자 쓰기, 책상에서 컴퓨터 타이핑 작업과 같은 상지의 움직임을 정의하고 그러한 동작의 강도를 평가한 기존 문헌(Bailey, Klaesner, & Lang, 2014)을 참고하여 일반적인 상지 자세 요인을 결정하였다. 이에 좌우 어깨 관절 각도는 45도 몸통 옆으로 띄우는 것으로 하였고, 팔꿈치 관절 각도는 0도, 90도로 구분한 실험 자세로 선정하였다. 따라서 본 연구에서 실험복 의복압 변화 관찰을 위한 자세로 어깨 관절 0도로 자연스럽게 팔을 늘어뜨리고 선 자세(Pose 1), 어깨관절 45도-팔꿈치관절 0도 자세(Pose 2), 어깨관절 45도-팔꿈치관절 90도 자세(Pose 3)로 구분하였다(Fig. 2).

2. 가상착의 실험복 설계

보디수트 상의 제도 방법은 여유량이 부여되지 않은 Armstrong의 보디수트 패턴 제도법(Joseph-Armstrong, Maruzzi, & Hagen, 2010)을 사용하였고, 제도를 위해 적용한 치수 항목은 키, 가슴둘레, 허리둘레, 엉덩이둘레, 위팔둘레, 팔꿈치둘레, 손목둘레, 등길이, 앞중심길이, 어깨길이, 어깨가쪽 사이길이, 팔길이와 같다(Table 1). 보디수트 원형 패턴은 〈Fig. 3(a)〉에서 볼 수 있으며 이를 X축 방향으로 90%로 축소시킨 패턴(Fig. 3(b))을 실험복으로 사용하였다.

<Table 2> Fabric Properties of Experiment Materials Measured by CLO 3D Fabric Kit

Physical properties (unit)	Direction	Experiment fabrics					
		1	2	3	4	5	6
Stretch stiffness (g/s^2)	Warp	53	33	23	33	19	29
	Weft	11	15	15	30	30	38
Shear stiffness (g/s^2)	-	34	17	14	16	45	14
	Warp	38	23	20	50	22	16
Bending stiffness ($g \cdot mm^2/s^2$)	Weft	28	27	30	18	10	9
	Bias	21	21	10	10	14	12
	Thickness (mm)	-	0.37	0.64	0.43	0.67	0.61
Weight(g/m^2)	-	536.7	653.3	523.3	648.3	913.3	618.3



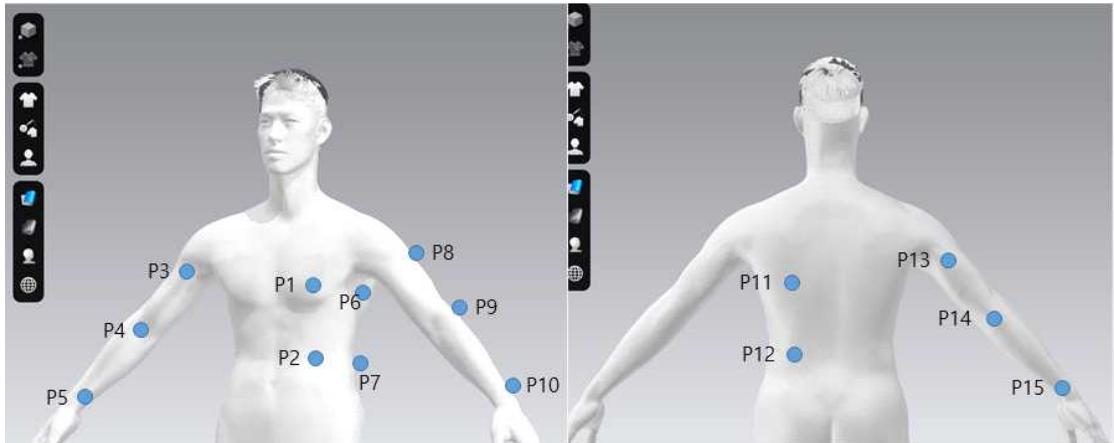
<Fig. 4> Comparison of Digital Fabric Properties for Experimental Fabrics 1 through 6

유연성이 큰 것을 의미한다. 이를 보면 경사방향 인장강도는 Fabric 5>Fabric 3>Fabric 2 & Fabric 4>Fabric 6>Fabric 1의 순으로 신축성이 크고, 위사방향 인장강도는 Fabric 1>Fabric 2 & Fabric 3>Fabric 4 & Fabric 5>Fabric 6의 순으로 신축성이 크다. 전단강도는 Fabric 3 & Fabric 6>Fabric 4>Fabric 2>Fabric 1>Fabric 5의 순으로 유연성이 좋은 특성을 보였다. 경사방향 굽힘강도는 Fabric 6>Fabric 3>Fabric 5>Fabric 2>Fabric 1>Fabric 4의 순으로 유연성이 좋고, 위사방향으로는 Fabric 6>Fabric 5>Fabric 4>Fabric 2>Fabric 1>Fabric 3의 순으로, 바이어스방향으로는 Fabric 3 & Fabric 4>Fabric 6>Fabric 5>Fabric 1 & Fabric 2의 순으로 유연성이 큰 특성을 보인다. 두께는 Fabric 3과 Fabric 1이 0.37~0.43mm로 얇고, Fabric 5, Fabric 2, Fabric 6, Fabric 4가 0.61~0.67mm로 두께가 유사하였다. 무게는 Fabric 5가 913.3g/m²로 가장 무거웠고 나머지 소재들, Fabric 1~Fabric 4, Fabric 6은 523.3~653.3g/m²

로 유사한 무게 분포를 보였다. 이러한 결과를 종합하면 Fabric 3은 다른 소재들에 비해 상대적으로 소재가 가장 가볍고 신축성은 더 큰 것으로, Fabric 5는 가장 무겁고 전단강성은 가장 커서 유연성이 낮은 소재로 이해할 수 있다. Fabric 1은 다른 소재에 비해 경사방향에서 인장강도가 가장 크므로 경사방향 유연성이 낮고 전단강성과 굽힘강성도 크므로 대체로 유연성이 낮을 것으로 예상되었고, Fabric 6은 다른 소재들보다 위사방향의 인장강도가 크므로 위사방향의 유연성이 낮은 소재로 이해할 수 있다.

4. 가상착의 시스템 내 의복압 측정 및 분석

관련 연구(Cho, 2019; Kim, & Baek, 2009)에서 주요하게 보았던 의복압 측정점을 참고하여 실험복 착의 시 의복압 측정 부위를 선정하였다. 이는 아바타 인체에 착의시킨 실험복의 의복구성선, 즉 가슴둘레선, 허리둘레선, 상완둘레선, 팔꿈치둘레선, 손목둘레선을 중심으로 총 5 부위로, 이를



- | | | |
|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| P1: Anterior bust | P6: Lateral bust | P11: Posterior bust |
| P2: Anterior waist | P7: Lateral waist | P12: Posterior waist |
| P3: Anterior upper arm | P8: Lateral upper arm | P13: Posterior upper arm |
| P4: Anterior elbow | P9: Lateral elbow | P14: Posterior elbow |
| P5: Anterior wrist | P10: Lateral wrist | P15: Posterior wrist |

<Fig. 5> Clothing Pressure Measurement Points

좀 더 체계화하여 인체 앞면, 옆면 및 뒷면 방향에서 측정함에 따라 총 15개의 측정점, P1~15를 선정하였고 각 측정점에서 5회씩 의복압을 계측하였다(Fig. 5).

수집된 의복압 자료 분석은 IBM SPSS Statistics for Windows, Ver. 29.0(IBM Corp., USA)을 이용하여 6개 소재별로 인체 자세 3종류의 15개 측정점 간 평균값의 유의한 차이를 보기 위해 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였으며, 사후분석 검정은 Duncan test($p < .05$ 수준)를 수행하였다. 또한 자세별 측정 부위의 의복압과 소재의 디지털 물성값 사이에 영향을 살펴보기 위해 Pearson 상관분석을 실시하였다. 자세별 의복압 변화 양상은 Pose 1 대비 나머지 두 자세, Pose 2와 Pose 3에서의 변화율(%) 분석을 통해 살펴보았다.

III. 결과 및 고찰

1. 소재별 의복압 비교

3D CLO 시스템 내 아바타를 대상으로 6종류의 소재, Fabric 1~Fabric 6을 적용한 실험복 착의 시의 의복압을 자세로 구분한 45개 측정점에서 각 5회씩 측정된 의복압의 기술적 통계량과 소재 종류를 요인으로 ANOVA 분석한 결과와 사후검정 결과를 <Table 3>에 나타내었다. 이를 보면 45개 측정점 모두 원단 간 의복압 평균이 99.9% 수준에서 유의한 차이를 나타내는 것으로 나타났다.

표를 보면 전체 측정점에서 소재 별로 가장 낮은 의복압은 Fabric 3과 Fabric 2에 집중되어 있고(연한 음영으로 표시) 가장 높은 의복압은 Fabric 5와 Fabric 6에 집중되는 것으로(진한 음영으로 표시) 나타났다. Fabric 3과 Fabric 2의 소재 물성특성은 <Table 2>와 <Fig. 4>를 참조할 때,

<Table 3> Results of ANOVA Test on Clothing Pressure by Postures in the Experimental Bodysuits Using Fabrics 1 through 6

(unit: kPa)

Postures	Measurement points	Fabrics												F
		Fabric 1		Fabric 2		Fabric 3		Fabric 4		Fabric 5		Fabric 6		
		Mean	SD	Mean	SD									
Anterior	P1	16.73c	.19	8.35b	.25	6.08a	.06	18.84d	.03	23.08e	.16	32.45f	.66	5010.70***
	P2	9.66c	.58	5.59b	.30	4.72a	.16	14.16d	.31	14.28e	.26	20.24f	.10	1689.74***
	P3	38.46e	.96	14.96b	.70	7.58a	.36	15.81c	.20	47.50f	.47	22.42d	.24	3800.80***
	P4	25.94c	.44	8.52a	.43	10.50b	.23	25.80c	.65	32.18d	.31	51.27e	.41	6585.30***
	P5	33.90b	.32	15.73a	.13	15.43a	.25	49.14c	.33	49.40c	.37	79.70d	.26	36023.23***
Posterior	P6	25.62c	.02	15.31b	.26	4.42a	.16	26.08d	.07	29.81e	.09	49.18f	.32	32744.54***
	P7	32.91e	.20	18.25b	.35	10.34a	.13	21.13c	.11	37.30f	.13	29.81d	.51	6567.85***
	P8	39.64e	.15	14.08b	.10	7.42a	.14	16.36c	.08	42.77f	.42	24.90d	.15	23764.84***
	P9	29.08d	.40	9.79a	.07	10.57b	.14	26.50c	.75	44.99e	.17	55.57f	.49	9953.97***
	P10	36.87c	.30	16.48a	.10	16.84b	.01	48.79d	.05	50.23e	.18	75.25f	.35	59443.89***
Lateral	P11	16.79c	.31	8.75a	.45	9.37b	.10	24.84d	.24	27.50e	.28	41.74f	.29	8773.13***
	P12	12.79b	.11	4.57a	.16	4.51a	.03	14.98d	.04	13.74c	.33	22.96e	.08	9454.83***
	P13	27.34d	.97	13.38b	.81	6.49a	.22	15.25c	.10	33.19e	.37	15.65c	.28	1555.12***
	P14	25.54c	.44	10.15b	.58	8.80a	.39	28.62d	.26	39.00e	1.31	50.81f	.53	2911.57***
	P15	45.89c	.39	18.30b	.44	17.16a	.11	52.72e	.36	51.33d	.04	87.50f	.45	29436.20***

<Table 3> Continue

Postures	Measurement points	Fabrics												F	
		Fabric 1		Fabric 2		Fabric 3		Fabric 4		Fabric 5		Fabric 6			
		Mean	SD												
Posture 1	Anterior	P1	20.06b	.20	6.89a	.07	7.29a	.21	24.37c	.12	26.60d	.55	38.01e	.42	7395.21***
		P2	10.15c	.37	3.79a	.35	4.80b	.14	12.40d	.64	10.65c	.15	22.89e	1.29	591.84***
		P3	22.65d	1.64	10.26b	.29	6.71a	.25	20.56c	.97	40.01f	.36	38.35e	.23	1452.49***
		P4	21.53b	1.27	9.48a	.46	8.48a	.29	28.51c	.51	33.92d	1.15	42.45e	.31	1533.81***
		P5	42.03c	1.11	16.11a	.06	19.24b	.29	57.25d	.13	58.76e	.39	89.44f	.46	13341.39***
	Lateral	P6	18.77c	.55	5.40a	.17	7.01b	.05	24.39d	.44	30.81e	.51	42.03f	1.35	2294.38***
		P7	38.11f	.20	15.05b	.33	8.38a	.14	19.03c	.04	30.77e	.37	27.97d	.54	6077.99***
		P8	26.40b	.60	8.35a	.08	8.48a	.28	26.79b	.07	40.67c	.76	41.53d	.51	5016.85***
		P9	29.81c	.46	14.57b	.37	10.41a	.37	30.05c	1.10	42.69d	.49	44.03e	.11	2980.75***
		P10	34.65c	.24	16.63b	.07	14.62a	.24	46.75d	.94	49.74e	.34	91.59f	.33	19429.65***
Posterior	P11	20.54b	.76	8.74a	.16	8.75a	.05	27.85c	.28	27.87c	.75	40.94d	1.12	1870.89***	
	P12	8.52c	.19	3.78 b	.20	3.35a	.15	12.24d	.18	14.37e	.23	17.56f	.53	2141.66***	
	P13	22.41d	.16	13.44b	.41	7.70a	.07	19.85c	.63	42.49f	1.57	34.36e	.64	1452.07***	
	P14	35.45d	.30	16.72b	.19	8.33a	.28	28.92c	1.60	50.56f	.27	50.01e	.34	3028.46***	
	P15	45.85c	.42	15.53a	.16	17.52b	.20	59.86d	1.06	60.85e	.27	94.37f	.43	16310.91***	
Posture 2	Anterior	P1	16.97b	.39	7.19a	.15	7.36a	.17	22.91c	.35	26.58d	.30	37.73e	.18	9316.77***
		P2	7.45c	.42	3.27a	.10	4.55b	.39	13.60d	.49	13.66d	.09	20.16e	.35	1806.59***
		P3	24.58c	.42	12.82b	.09	5.95a	.80	26.33d	.32	47.86f	.79	28.52e	1.16	2167.46***
		P4	37.57b	.13	15.94a	.89	15.87a	.74	37.66b	.44	49.40c	1.19	62.50d	.68	2963.63***
		P5	34.16c	.49	17.23a	.18	18.22b	.86	52.75d	.43	62.72e	1.09	85.18f	.99	6389.85***
	Lateral	P6	20.41c	.81	6.22a	.66	12.44b	.94	23.49d	.54	29.28e	.34	38.94f	.50	1561.98***
		P7	28.51e	.41	12.62b	.48	8.60a	.56	17.42c	.32	32.74f	.10	25.65d	.58	2352.72***
		P8	26.66b	.81	9.43a	.89	9.20a	.07	27.29b	.82	42.83d	1.04	40.92c	.94	1558.81***
		P9	37.69c	.59	15.70b	.63	11.53a	.78	38.34c	1.32	67.45d	1.86	74.43e	1.96	1932.52***
		P10	33.05b	.62	17.33a	.50	16.67a	1.11	53.11d	.42	48.88c	.20	115.11e	1.32	10457.29***
Posterior	P11	19.13b	.56	9.87a	.62	10.54a	.15	28.45c	.42	29.87d	.75	43.90e	1.18	1800.37***	
	P12	6.41b	.28	3.18a	.18	6.58b	.07	12.27c	.58	13.50d	.19	22.32e	1.44	557.61***	
	P13	29.51e	1.21	12.79b	.58	6.57a	.28	22.41c	.30	49.22f	1.27	24.94d	1.13	1360.18***	
	P14	79.78e	.40	37.21b	.22	23.67a	.35	50.00c	.09	92.02f	.81	63.35d	1.72	5037.73***	
	P15	37.69c	.71	16.45b	.29	14.65a	.10	52.09d	.76	79.17e	.81	96.24f	2.19	4983.95***	

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, Duncan's multiple range test: a<b<c<d<e<f

소재 중에서 위사방향 인장강도가 가장 낮고, 전단강도가 낮고(Fabric 3은 가장 낮은 수치), 위사방향 굽힘강도는 높은 소재였다. Fabric 5와 Fabric 6은 이와 달리 위사방향 인장강도가 가장 높고 위사방향 굽힘강도가 가장 낮게 나타났다. Fabric 5는 특히 무게가 가장 무거운 원단이다.

이들 소재 중 눈에 띄는 경우가 Fabric 1인데, 다른 소재에 비해 경사방향 인장강도와 경사방향 굽힘강도가 가장 높고, 전단강도와 바이어스방향 굽힘강도가 크고 위사방향 인장강도는 가장 낮은 특성을 보였다. 이러한 Fabric 1 소재를 적용한 보디수트의 의복압이 높게 나타난 측정점은 팔을 늘

어뜨린 자세 Pose 1의 앞면 상완둘레(P3), 옆면 허리둘레(P7)와 옆면 상완둘레(P8), 팔 옆으로 45도 각도로 올린 Pose 2의 옆면 허리둘레(P7), 그리고 팔 옆으로 45도 각도로 올리고 팔꿈치 45도 앞으로 구부린 Pose 3의 옆면 허리둘레(P7)와 뒷면 상완둘레(P13), 뒷면 팔꿈치둘레(P14)였다.

이러한 소재에 따른 의복압의 차이를 설명하기 위해 Fabric 1~Fabric 6을 적용한 실험복 착의 시 측정점별로 측정한 모든 의복압과 소재의 물성 사이의 상관관계를 분석한 결과를 <Table 4>에 나타내었다. 이를 보면 경사방향의 인장강도는 옆 허리둘레의 P7 측정점을 제외하고는 모든 측정점과 유의한 상관관계를 보이지 않았고 경사방향의 굽힘강도 역시 모든 측정점의 의복압과 유의한 상관관계를 보이지 않고 있다. 그러나 소재의 다른 물성들, 특히 위사방향의 인장강도와 위사방향의 굽힘강도 물성 요인은 모든 의복압 측정점과 유의한 상관관계가 있는 것(인장강도는 양의 상관관계와 굽힘강도는 음의 상관관계)으로 분석되었다. 전단강도와 바이어스방향의 굽힘강도 물성은 상호 보완적인 형태로 의복압 측정점이 겹치지 않는(전단강도는 P3, P4, P7~P9, P13, P14와 양의 상관관계로, 바이어스방향 굽힘강도는 P1, P2, P4~P6, P10~P12, P15와 음의 상관관계로) 형태로 상관관계를 보였다. 이것을 정리하면 소재의 경사방향의 강도 물성은 길이방향으로 패턴을 축소시키지 않은 보디수트와 같은 의복의 압력에 크게 영향을 미치지 않은 것으로 볼 수 있고 혹시 영향을 미친다면 음의 상관관계를 보일 것을 예측할 수 있다. 그리고 위사방향 인장강도는 클수록 의복압을 높이고 위사방향 굽힘강도는 클수록 의복압을 낮춘다. 전단강도는 증가할수록 의복압이 커지고 바이어스 굽힘강도는 증가할수록 의복압을 낮추는 것으로 보디수트 의복압에 영향을 미치는 결과를 보였다.

다만 그 예외가 옆면 허리둘레 측정점(P7)으로 나타났는데, 이 부위의 의복압은 경사방향 인장강

도와 경사방향 굽힘강도가 증가할 때 의복압도 높아지는 양의 상관관계를 보였다. 이것은 다른 측정점들과는 상반되는 결과로, 본 연구에서 측정한 의복압이 팔을 늘어뜨린 자세와 측면으로 팔을 들어 올린 사선방향 동작의 모든 의복압 측정치를 포함한 것이라는 조건을 고려하면 이해할 수 있을 것이다. 다른 측정점들의 압력은 소재의 경사방향 강도에 영향을 받지 않았지만, 옆 허리둘레 부위는 경사방향 강도가 증가할 때 의복압이 함께 높아지는 형태로 영향을 받은 결과가 사선방향 운동에 옆허리둘레 측정점이 가장 영향을 받는 부위라는 사실을 뒷받침해준다. 또한 인체 상지의 사선방향 동작 경향성은 소재의 바이어스방향 신축성과도 연관이 있을 것으로 예상할 수 있는데, 실제로 바이어스방향 굽힘강도는 다른 부위의 의복압과는 음의 상관관계를 나타내는 반면, 옆면 허리둘레 측정점, P7의 의복압과는 양의 상관관계 결과를 보여줌에 따라 사선방향의 운동성이 의복압에 영향을 미친다는 사실을 한 번 더 확증하고 있다. <Table 3>의 경사방향 인장강도와 경사방향 굽힘강도가 가장 높고, 전단강도와 바이어스방향 굽힘강도가 크고 위사방향 인장강도는 가장 낮은 특성을 보인 Fabric 1 소재를 적용한 보디수트의 의복압이 Pose 1~Pose 3의 P7에서 다른 소재들에 비해 가장 높게 나타난 것도 이러한 관점에서 설명할 수 있다.

따라서 보디수트 의복압 조정 시 압력을 높이기 위해서는 위사방향의 인장강도와 전단강도 물성은 증가시킴으로 의복압을 높이고 위사방향 굽힘강도와 바이어스방향 굽힘강도는 커질수록 압력을 낮추는 기전으로 의복설계에 활용할 수 있다. 이와 함께 사선방향의 동작에는 바이어스방향 굽힘강도가 증가하면 의복압을 높이는 방식으로 상쇄하는 효과도 부여할 수 있음을 함께 고려하며 활용할 수 있을 것이다.

<Table 4> Pearson Correlation Coefficient between Clothing Pressure of Measurement Points and Fabric Physical Properties in the Experimental Bodysuits Using Fabrics 1 through 6 (N=90)

Measurement points	Physical properties								
	Stretch stiffness		Shear stiffness	Bending stiffness			Thickness	Weight	
	Warp	Weft		Warp	Weft	Bias			
Anterior	P1	-.082	.848**	.180	-.044	-.886**	-.300**	.418**	.346**
	P2	-.111	.877**	.024	-.034	-.861**	-.392**	.461**	.255*
	P3	-.064	.485**	.743**	-.025	-.708**	.061	.182	.682**
	P4	-.066	.764**	.220*	-.068	-.819**	-.252*	.338**	.331**
	P5	-.144	.890**	.103	-.053	-.899**	-.380**	.467**	.332**
Lateral	P6	-.072	.818**	.181	-.081	-.862**	-.266*	.392**	.329**
	P7	.284**	.300**	.737**	.068	-.540**	.294**	-.030	.441**
	P8	.004	.564**	.621**	-.002	-.744**	-.024	.166	.541**
	P9	-.127	.737**	.370**	-.128	-.844**	-.184	.336**	.473**
	P10	-.105	.848**	-.026	-.125	-.831**	-.344**	.450**	.208*
Posterior	P11	-.140	.896**	.093	-.046	-.901**	-.383**	.475**	.327**
	P12	-.136	.859**	.087	-.049	-.861**	-.387**	.432**	.297**
	P13	-.061	.423**	.779**	-.008	-.657**	.104	.162	.704**
	P14	.032	.449**	.475**	-.010	-.594**	.024	.158	.421**
	P15	-.103	.852**	.161	-.061	-.884**	-.317**	.423**	.340**

* $p < .05$, ** $p < .01$

2. 자세별 의복압 비교

세부적으로 각 소재에 따라 15개 측정점에서 측정한 의복압이 자세별로 평균값 간에 차이가 있는지 분석하고 그 변화의 양상을 살펴보았다. 3D CLO 시스템 내 아바타가 Fabric 1~Fabric 6을 각각 적용한 실험복 착의 시 15개 측정점에서 측정한 의복압의 기술적 통계량과 자세를 요인으로 한 ANOVA 분석 및 사후검정 결과를 <Table 5>~<Table 10>에 나타내었다. 이는 Fabric 2를 사용한 보디수트의 뒤 상완둘레(P13)와 Fabric 3 적용 보디수트의 앞 허리둘레(P2)에서의 의복압 평균값이 자세별로 유의한 차이가 없는 경우를 제외하고는 모든 측정점에서 자세 간 의복압 평균이 통계적으로 유의한 차이가 있음을 보여준다.

<Table 11>~<Table 16>에는 소재에 따른 실험복의 의복압 측정점 간 관계 고찰을 위한 상관관계 분석 결과를 나타내었다. 우선 Fabric 1을 사용한 실험복 착의 시 15개 측정점에서 측정한 의복압을 나타낸 <Table 5>에서 가슴둘레의 의복압은 정자세인 Pose 1 대비 팔을 옆으로 벌리는 Pose 2의 경우에 앞과 뒤 가슴둘레 부분은 의복압이 높아지고 옆 가슴둘레의 압력은 낮아졌다. Pose 3의 동작과 같이 팔꿈치를 구부리면 앞, 옆 가슴둘레 압력이 분산되고 뒤 가슴둘레 측정점이 영향을 받아 압력이 높아지게 됨을 알 수 있다. 옆 가슴둘레의 의복압은 Pose 2의 압력이 가장 낮고 Pose 3, Pose 1의 순으로 높게 나타났다. 팔을 몸통에 붙이고 내려뜨린 자세가 옆으로 벌린 자세보다 옆가슴둘레 부위의 압력을 높이는 것을 알 수 있다. 허리둘레의 의복압은 앞, 옆, 뒤 방향 모두 Pose 3이 가장 낮게 나타났으며 이것은 팔꿈치를 구부림으로써 팔꿈치둘레의 의복압이 Pose 3에서 앞, 옆, 뒤 방향 모두 가장 높은 결과와 연관이 있다. 이 외에 팔꿈치를 구부리는 자세가 상완둘레 의복압에 영향을 미침으로 Pose 3일 때 가장 압력이 낮게 나타났다.

이러한 자세별 둘레부위의 의복압 변화의 양상

은 <Table 6>~<Table 10>에서 볼 수 있듯이 각각 다른 소재를 사용한 실험복의 경우에서도 유사하게 나타나고 있다. 가슴둘레의 압력은 Pose 1 내에서는 옆 가슴둘레 압력이 가장 높았고, Pose 1 대비 팔을 옆으로 벌리는 Pose 2와 Pose 3의 경우에 가슴둘레 압력이 낮아지게 되었으며 뒤 가슴둘레는 팔꿈치를 구부리는 동작에 영향을 받아 Pose 3에서 압력이 높게 변화되는 양상을 보였다. 허리둘레의 의복압은 앞, 옆, 뒤 방향 모두 Pose 1 대비 Pose 2와 Pose 3의 압력이 낮아졌으며 이것은 팔 들어 올리는 사선방향의 동작이 영향을 미친 것이고, 모든 소재에서 팔꿈치를 구부림으로써 팔꿈치둘레의 의복압은 다른 자세들보다 Pose 3에서 앞, 옆, 뒤 방향 모두 가장 높게 나타났다.

<Table 11>~<Table 16>의 6종류 소재를 각각 적용한 실험복 착용 시의 의복압 측정점 간의 상관분석 결과를 참고하여 이들 자세의 변화가 어떤 영향을 미쳤는지 세부적으로 고찰할 수 있다. Fabric 1 적용 시, 앞 팔꿈치둘레 측정점(P4)의 의복압은 앞 허리둘레점(P2)과 99% 수준에서 유의한 음의 상관관계인 -0.935^{**} 를 나타내었다. 옆 팔꿈치둘레점(P9)의 의복압은 앞 허리둘레점(P2), 옆 허리둘레점(P7), 뒤 허리둘레점(P12)이 각각 -0.910^{**} , -0.791^{**} , -0.796^{**} 의 결과를, 그리고 뒤 팔꿈치둘레점(P14)의 의복압은 앞 허리둘레점(P2), 옆 허리둘레점(P7), 뒤 허리둘레점(P12)과 각각 -0.890^{**} , -0.733^{**} , -0.853^{**} 의 결과를 보임에 따라 팔꿈치둘레의 의복압은 허리둘레의 의복압과 99% 수준에서 유의한 음의 상관관계를 나타내는 것이 검증되었다. 이를 통해 상지 자세에서 팔꿈치를 구부리는 변화는 팔꿈치둘레의 의복압을 높이면서 허리둘레 의복압을 분산시켜 감소시키는 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이러한 결론은 다른 소재를 사용한 의복압의 상관분석 결과에서도 확인된다. Fabric 2, Fabric 4, Fabric 6 소재 적용한 실험복 착용 시, 옆 허리둘레점(P7)과 앞, 옆, 뒤 팔꿈치둘레점(P4, P9, P14)의 의복압이 모두 유의

<Table 5> Descriptive Statistics and Results of ANOVA Test on Clothing Pressure by the Posture of the Experimental Bodysuit Using Fabric 1

(unit: kPa)

Parts	Measurement points	Poses						F	P
		Pose 1		Pose 2		Pose 3			
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
Anterior	P1	16.73 ^a	.19	20.06 ^b	.20	16.97 ^a	.39	220.602	.000***
	P2	9.66 ^b	.58	10.15 ^b	.37	7.45 ^a	.42	48.237	.000***
	P3	38.46 ^c	.96	22.65 ^a	1.64	24.58 ^b	.42	293.902	.000***
	P4	25.94 ^b	.44	21.53 ^a	1.27	37.57 ^c	.13	564.842	.000***
	P5	33.90 ^a	.32	42.03 ^b	1.11	34.16 ^a	.49	203.674	.000***
Lateral	P6	25.62 ^c	.02	18.77 ^a	.55	20.41 ^b	.81	199.058	.000***
	P7	32.91 ^b	.20	38.11 ^c	.20	28.51 ^a	.41	1397.830	.000***
	P8	39.64 ^b	.15	26.40 ^a	.60	26.66 ^a	.81	822.499	.000***
	P9	29.08 ^a	.40	29.81 ^b	.46	37.69 ^c	.59	478.402	.000***
	P10	36.87 ^c	.30	34.65 ^b	.24	33.05 ^a	.62	103.639	.000***
Posterior	P11	16.79 ^a	.31	20.54 ^c	.76	19.13 ^b	.56	53.747	.000***
	P12	12.79 ^c	.11	8.52 ^b	.19	6.41 ^a	.28	1215.853	.000***
	P13	27.34 ^b	.97	22.41 ^a	.16	29.51 ^c	1.21	82.383	.000***
	P14	25.54 ^a	.44	35.45 ^b	.30	79.78 ^c	.40	28438.726	.000***
	P15	45.89 ^b	.39	45.85 ^b	.42	37.69 ^a	.71	403.815	.000***

*** $p < .001$, Duncan's multiple range test: a<b<c

<Table 6> Descriptive Statistics and Results of ANOVA Test on Clothing Pressure by the Posture of the Experimental Bodysuit Using Fabric 2

(unit: kPa)

Parts	Measurement points	Poses						F	P
		Pose 1		Pose 2		Pose 3			
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
Anterior	P1	8.35 ^c	.25	6.89 ^a	.07	7.19 ^b	.15	101.579	.000***
	P2	5.59 ^c	.30	3.79 ^b	.35	3.27 ^a	.10	100.795	.000***
	P3	14.96 ^c	.70	10.26 ^a	.29	12.82 ^b	.09	140.680	.000***
	P4	8.52 ^a	.43	9.48 ^b	.46	15.94 ^c	.89	207.319	.000***
	P5	15.73 ^a	.13	16.11 ^b	.06	17.23 ^c	.18	167.703	.000***
Lateral	P6	15.31 ^c	.26	5.40 ^a	.17	6.22 ^b	.66	859.652	.000***
	P7	18.25 ^c	.35	15.05 ^b	.33	12.62 ^a	.48	260.955	.000***
	P8	14.08 ^c	.10	8.35 ^a	.08	9.43 ^b	.89	171.428	.000***
	P9	9.79 ^a	.07	14.57 ^b	.37	15.70 ^c	.63	273.999	.000***
	P10	16.48 ^a	.10	16.63 ^a	.07	17.33 ^b	.50	11.698	.002***
Posterior	P11	8.75 ^a	.45	8.74 ^a	.16	9.87 ^b	.62	10.340	.002***
	P12	4.57 ^c	.16	3.78 ^b	.20	3.18 ^a	.18	74.136	.000***
	P13	13.38 ^a	.81	13.44 ^a	.41	12.79 ^a	.58	1.671	.229
	P14	10.15 ^a	.58	16.72 ^b	.19	37.21 ^c	.22	7120.032	.000***
	P15	18.30 ^c	.44	15.53 ^a	.16	16.45 ^b	.29	99.913	.000***

** $p < .01$, *** $p < .001$, Duncan's multiple range test: a<b<c

<Table 7> Descriptive Statistics and Results of ANOVA Test on Clothing Pressure by the Posture of the Experimental Bodysuit Using Fabric 3

(unit: kPa)

Parts	Measurement points	Poses						F	P
		Pose 1		Pose 2		Pose 3			
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
Anterior	P1	6.08 ^a	.06	7.29 ^b	.21	7.36 ^b	.17	105.075	.000***
	P2	4.72 ^a	.16	4.80 ^a	.14	4.55 ^a	.39	1,336	.299
	P3	7.58 ^c	.36	6.71 ^b	.25	5.95 ^a	.80	11,990	.001**
	P4	10.50 ^b	.23	8.48 ^a	.29	15.87 ^c	.74	318,694	.000***
	P5	15.43 ^a	.25	19.24 ^c	.29	18.22 ^b	.86	65,817	.000***
Lateral	P6	4.42 ^a	.16	7.01 ^b	.05	12.44 ^c	.94	277,806	.000***
	P7	10.34 ^b	.13	8.38 ^a	.14	8.60 ^a	.56	49,555	.000***
	P8	7.42 ^a	.14	8.48 ^b	.28	9.20 ^c	.07	116,470	.000***
	P9	10.57 ^a	.14	10.41 ^a	.37	11.53 ^b	.78	7,183	.009**
	P10	16.84 ^b	.01	14.62 ^a	.24	16.67 ^b	1.11	17,786	.000***
Posterior	P11	9.37 ^b	.10	8.75 ^a	.05	10.54 ^c	.15	351,307	.000***
	P12	4.51 ^b	.03	3.35 ^a	.15	6.58 ^c	.07	1425,381	.000***
	P13	6.49 ^a	.22	7.70 ^b	.07	6.57 ^a	.28	51,876	.000***
	P14	8.80 ^a	.39	8.33 ^a	.28	23.67 ^b	.35	3243,877	.000***
	P15	17.16 ^b	.11	17.52 ^c	.20	14.65 ^a	.10	568,807	.000***

** $p < .01$, *** $p < .001$, Duncan's multiple range test: a<b<c

<Table 8> Descriptive Statistics and Results of ANOVA Test on Clothing Pressure by the Posture of the Experimental Bodysuit Using Fabric 4

(unit: kPa)

Parts	Measurement points	Poses						F	P
		Pose 1		Pose 2		Pose 3			
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
Anterior	P1	18.84 ^a	.03	24.37 ^c	.12	22.91 ^b	.35	904,250	.000***
	P2	14.16 ^b	.31	12.40 ^a	.64	13.60 ^b	.49	16,404	.000***
	P3	15.81 ^a	.20	20.56 ^b	.97	26.33 ^c	.32	385,396	.000***
	P4	25.80 ^a	.65	28.51 ^b	.51	37.66 ^c	.44	665,632	.000***
	P5	49.14 ^a	.33	57.25 ^c	.13	52.75 ^b	.43	789,050	.000***
Lateral	P6	26.08 ^c	.07	24.39 ^b	.44	23.49 ^a	.54	53,537	.000***
	P7	21.13 ^c	.11	19.03 ^b	.04	17.42 ^a	.32	460,323	.000***
	P8	16.36 ^a	.08	26.79 ^b	.07	27.29 ^b	.82	843,173	.000***
	P9	26.50 ^a	.75	30.05 ^b	1.10	38.34 ^c	1.32	157,607	.000***
	P10	48.79 ^b	.05	46.75 ^a	.94	53.11 ^c	.42	148,454	.000***
Posterior	P11	24.84 ^a	.24	27.85 ^b	.28	28.45 ^c	.42	180,269	.000***
	P12	14.98 ^b	.04	12.24 ^a	.18	12.27 ^a	.58	101,816	.000***
	P13	15.25 ^a	.10	19.85 ^b	.63	22.41 ^c	.30	394,358	.000***
	P14	28.62 ^a	.26	28.92 ^a	1.60	50.00 ^b	.09	858,758	.000***
	P15	52.72 ^a	.36	59.86 ^b	1.06	52.09 ^a	.76	152,476	.000***

*** $p < .001$, Duncan's multiple range test: a<b<c

<Table 9> Descriptive Statistics and Results of ANOVA Test on Clothing Pressure by the Posture of the Experimental Bodysuit Using Fabric 5

(unit: kPa)

Parts	Measurement points	Poses						F	P
		Pose 1		Pose 2		Pose 3			
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
Anterior	P1	23.08 ^a	.16	26.60 ^b	.55	26.58 ^b	.30	145.366	.000 ^{***}
	P2	14.28 ^c	.26	10.65 ^a	.15	13.66 ^b	.09	589.352	.000 ^{***}
	P3	47.50 ^b	.47	40.01 ^a	.36	47.86 ^b	.79	306.391	.000 ^{***}
	P4	32.18 ^a	.31	33.92 ^b	1.15	49.40 ^c	1.19	473.898	.000 ^{***}
	P5	49.40 ^a	.37	58.76 ^b	.39	62.72 ^c	1.09	474.536	.000 ^{***}
Lateral	P6	29.81 ^b	.09	30.81 ^c	.51	29.28 ^a	.34	23.940	.000 ^{***}
	P7	37.30 ^c	.13	30.77 ^a	.37	32.74 ^b	.10	1032.608	.000 ^{***}
	P8	42.77 ^b	.42	40.67 ^a	.76	42.83 ^b	1.04	12.354	.001 ^{**}
	P9	44.99 ^b	.17	42.69 ^a	.49	67.45 ^c	1.86	750.877	.000 ^{***}
	P10	50.23 ^c	.18	49.74 ^b	.34	48.88 ^a	.20	36.993	.000 ^{***}
Posterior	P11	27.50 ^a	.28	27.87 ^a	.75	29.87 ^b	.75	20.272	.000 ^{***}
	P12	13.74 ^a	.33	14.37 ^b	.23	13.50 ^a	.19	15.080	.001 ^{**}
	P13	33.19 ^a	.37	42.49 ^b	1.57	49.22 ^c	1.27	229.944	.000 ^{***}
	P14	39.00 ^a	1.31	50.56 ^b	.27	92.02 ^c	.81	4758.297	.000 ^{***}
	P15	51.33 ^a	.04	60.85 ^b	.27	79.17 ^c	.81	4106.039	.000 ^{***}

** $p < .01$, *** $p < .001$, Duncan's multiple range test: a<b<c

<Table 10> Descriptive Statistics and Results of ANOVA Test on Clothing Pressure by the Posture of the Experimental Bodysuit Using Fabric 6

(unit: kPa)

Parts	Measurement points	Poses						F	P
		Pose 1		Pose 2		Pose 3			
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
Anterior	P1	32.45 ^a	.66	38.01 ^b	.42	37.73 ^b	.18	229.790	.000 ^{***}
	P2	20.24 ^a	.10	22.89 ^b	1.29	20.16 ^a	.35	20.178	.000 ^{***}
	P3	22.42 ^a	.24	38.35 ^c	.23	28.52 ^b	1.16	664.008	.000 ^{***}
	P4	51.27 ^b	.41	42.45 ^a	.31	62.50 ^c	.68	2091.984	.000 ^{***}
	P5	79.70 ^a	.26	89.44 ^c	.46	85.18 ^b	.99	282.071	.000 ^{***}
Lateral	P6	49.18 ^c	.32	42.03 ^b	1.35	38.94 ^a	.50	190.647	.000 ^{***}
	P7	29.81 ^c	.51	27.97 ^b	.54	25.65 ^a	.58	73.294	.000 ^{***}
	P8	24.90 ^a	.15	41.53 ^b	.51	40.92 ^b	.94	1143.805	.000 ^{***}
	P9	55.57 ^b	.49	44.03 ^a	.11	74.43 ^c	1.96	867.505	.000 ^{***}
	P10	75.25 ^a	.35	91.59 ^b	.33	115.11 ^c	1.32	3047.328	.000 ^{***}
Posterior	P11	41.74 ^a	.29	40.94 ^a	1.12	43.90 ^b	1.18	12.854	.001 ^{**}
	P12	22.96 ^b	.08	17.56 ^a	.53	22.32 ^b	1.44	55.586	.000 ^{***}
	P13	15.65 ^a	.28	34.36 ^c	.64	24.94 ^b	1.13	742.844	.000 ^{***}
	P14	50.81 ^a	.53	50.01 ^a	.34	63.35 ^b	1.72	249.494	.000 ^{***}
	P15	87.50 ^a	.45	94.37 ^b	.43	96.24 ^c	2.19	60.975	.000 ^{***}

** $p < .01$, *** $p < .001$, Duncan's multiple range test: a<b<c

한 음의 상관관계가 나타난 것이 이러한 사실을 뒷받침하고 있으며 Fabric 3과 Fabric 5의 상관관계 분석 결과에서도 음의 상관관계를 보인 결과를 참고할 수 있다.

손목둘레의 의복압은 Fabric 1~Fabric 4와같이 위사방향 인장강도 또는 전단강도가 낮음으로 유연한 소재를 사용한 실험복에서 모두 뒤팔꿈치둘레 측정점(P14)과 뒤 손목둘레 측정점(P15)이 음의 상관관계를 나타냄으로써 뒤 팔꿈치의 압력이 증가하면 뒤 손목둘레의 압력이 낮아지는 경향을 보였고, Fabric 5와 Fabric 6처럼 상대적으로 신축성이 낮은 소재를 사용한 경우는 뒤 팔꿈치 압력이 손목둘레 의복압과 함께 증가하는 양의 상관관계를 나타내었다. 이것을 <Fig. 6>의 측정점 별로 실험 자세 간의 의복압 변화율을 보인 것과 함께 살펴보면 Pose 1과 대비하여 팔꿈치를 90도로 구부린 Pose 3의 경우 팔꿈치둘레의 압력이 현저하게 높아졌고, 이때 손목둘레 부위의 압력을 분산시키는 영향을 끼쳐 손목둘레 부위(P5와 P15)의 의복압을 감소시키는 현상으로 이어지고 있다.

그러나 역시 의복에서 열려 있는 구조인 목둘레나 밑단, 소매부리와 같은 부위는 안정적인 압력을 계측하는 데에 어려움이 있으므로 이러한 부위는 압력 계측의 정확성을 높이기 위해 기준점보다 의복의 마진을 더 길게 구성하여 인체에 고정 후 해당 측정점에서 안정적으로 압력을 계측하는 방법을 사용하는 것도 하나의 대안으로 제안할 수 있다.

<Table 11> Pearson Correlation Coefficient between Clothing Pressure Measurement Points in the Experimental Bodysuit Using Fabric 1

Measurement points	Anterior					Lateral					Posterior				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Anterior	P1	1													
	P2	.556*	1												
	P3	-.637*	.209	1											
	P4	-.659*	-.935**	-.130	1										
	P5	.979**	.577*	-.610*	-.687**	1									
Lateral	P6	-.696**	.126	.969**	-.025	-.681**	1								
	P7	.847**	.860**	-.159	-.949**	.862**	-.273	1							
	P8	-.554*	.297	.979**	-.235	-.524*	.955**	-.064	1						
	P9	-.366	-.910**	-.457	.929**	-.392	-.345	-.791**	-.543*	1					
	P10	-.125	.668**	.828**	-.607*	-.110	.775**	.363	.870**	-.831**	1				
Posterior	P11	.776**	.014	-.892**	-.116	.772**	-.893**	.391	-.884**	.230	-.626*	1			
	P12	-.254	.586*	.896**	-.544*	-.225	.827**	.275	.934**	-.796**	.957**	-.719**	1		
	P13	-.898**	-.796**	.309	.852**	-.912**	.397	-.952**	.226	.652**	-.231	-.530*	-.097	1	
	P14	-.281	-.890**	-.545*	.899**	-.313	-.441	-.733**	-.625*	.990**	-.878**	.296	-.853**	.588*	1
	P15	.435	.925**	.399	-.952**	.464	.293	.835**	.479	-.986**	.801**	-.127	.748**	-.713**	-.979**

* $p < .05$, ** $p < .01$

3D 가상착의 시스템 활용 신축성 원단 물성 및 상반신 자세 요인에 따른 남성 보디수트 상의 의복압 분석

<Table 12> Pearson Correlation Coefficient between Clothing Pressure Measurement Points in the Experimental Bodysuit Using Fabric 2

Measurement points	Anterior					Lateral					Posterior				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Anterior	P1	1													
	P2	.880***	1												
	P3	.847***	.667**	1											
	P4	-.410	-.718**	-.059	1										
	P5	-.518**	-.800***	-.180	.983***	1									
Lateral	P6	.957***	.936***	.859***	-.530*	-.633*	1								
	P7	.787**	.934***	.499	-.870***	-.909***	.852***	1							
	P8	.945***	.882***	.888***	-.451	-.563*	.973***	.781**	1						
	P9	-.907***	-.959***	-.699**	.720**	.789***	-.955***	-.958***	-.896***	1					
	P10	-.431	-.629*	-.074	.789***	.742**	-.466	-.781**	-.317	-.688**	1				
Posterior	P11	-.262	-.565*	.095	.796***	.788***	-.367	-.622*	-.282	.498	.581*	1			
	P12	.749**	.915***	.503	-.847***	-.886***	.837***	.950***	.768**	-.920***	-.717**	-.610*	1		
	P13	.034	.317	.013	-.416	-.380	.190	.320	.088	-.271	-.348	-.294	.353	1	
	P14	-.513	-.806***	-.182	.978***	.981***	-.630*	-.920***	-.539*	.798***	.812***	.775**	-.897***	-.457	1
	P15	.944***	.807***	.905***	-.309	-.425	.940***	.683**	.944***	-.844***	-.288	-.162	.702**	-.009	-.040

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

<Table 13> Pearson Correlation Coefficient between Clothing Pressure Measurement Points in the Experimental Bodysuit Using Fabric 3

Measurement points	Anterior					Lateral					Posterior				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Anterior	P1	1													
	P2	-.126	1												
	P3	-.726**	-.152	1											
	P4	.292	-.339	-.598*	1										
	P5	.925**	-.011	-.552*	.006	1									
Lateral	P6	.731**	-.331	-.787**	.807**	.486	1								
	P7	-.953**	.010	.640*	-.162	-.956**	-.602*	1							
	P8	.857**	-.265	-.788**	.607*	.712**	.921**	-.782**	1						
	P9	.268	-.642**	-.207	.673**	.099	.651**	-.121	.568*	1					
	P10	-.468	-.238	.135	.543*	-.697**	.165	.526*	-.156	.294	1				
Posterior	P11	.215	-.448	-.445	.971**	-.078	.768**	-.083	.537*	.740**	.650**	1			
	P12	.200	-.434	-.485	.980**	-.093	.767**	-.050	.529*	.724**	.636*	.990**	1		
	P13	.500	.190	-.102	-.622*	.708**	-.152	-.584*	.157	-.349	-.910**	-.699**	-.695**	1	
	P14	.505	-.399	-.690**	.963**	.219	.931**	-.363	.775**	.721**	.403	.938**	.941**	-.443	1
	P15	-.437	.417	.644**	-.977**	-.143	-.889**	.300	-.709**	-.712**	-.460	-.957**	-.957**	.506	-.990**

* $p < .05$, ** $p < .01$

3D 가상착의 시스템 활용 신축성 원단 물성 및 상반신 자세 요인에 따른 남성 보디수트 상의 의복압 분석

<Table 14> Pearson Correlation Coefficient between Clothing Pressure Measurement Points in the Experimental Bodysuit Using Fabric 4

Measurement points	Anterior					Lateral					Posterior				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Anterior	P1	1													
	P2	-.762**	1												
	P3	.663**	-.233	1											
	P4	.465	.003	.958**	1										
	P5	.941**	-.821**	.391	.156	1									
Lateral	P6	-.759**	.424	-.907**	-.838**	-.551*	1								
	P7	-.757**	.330	-.981**	-.922**	-.506	.930**	1							
	P8	.947**	-.597*	.847**	.700**	.804**	-.901**	-.901**	1						
	P9	.524*	-.067	.970**	.980**	.224	-.830**	-.930**	.748**	1					
	P10	-.046	0.362	.703**	.844**	-.363	-.492	-.597*	.231	.794**	1				
Posterior	P11	.902**	-.534*	.895**	.775**	.724**	-.911**	-.932**	.976**	.803**	.355	1			
	P12	-.935**	.629*	-.799**	-.645**	-.814**	.905**	.869**	-.958**	-.657**	-.183	-.945**	1		
	P13	.804**	-.415	.971**	.885**	.579*	-.954**	-.984**	.938**	.906**	.540*	.957**	-.899**	1	
	P14	.272	.154	.887**	.975**	-.051	-.748**	-.824**	.541*	.937**	.932**	.630*	-.488	.778**	1
	P15	.638*	-.805**	-.106	-.365	.845**	-.082	-.012	.384	-.282	-.750**	.277	-.435	.097	-.546*

* $p < .05$, ** $p < .01$

<Table 15> Pearson Correlation Coefficient between Clothing Pressure Measurement Points in the Experimental Bodysuit Using Fabric 5

Measurement points	Anterior					Lateral					Posterior				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Anterior	P1	1													
	P2	-.620*	1												
	P3	-.470	.963**	1											
	P4	.556*	.265	.443	1										
	P5	.932**	-.377	-.179	.782**	1									
Lateral	P6	.171	-.768**	-.849**	-.599*	-.085	1								
	P7	-.945**	.825**	.697**	-.309	-.821**	-.411	1							
	P8	-.325	.796**	.762**	.369	-.185	-.793**	.572*	1						
	P9	.401	.426	.599*	.977**	.665**	-.731**	-.141	.472	1					
	P10	-.690**	.007	-.192	-.890**	-.865**	.389	.512	-.058	-.832**	1				
Posterior	P11	.527*	.192	.391	.860**	.746**	-.570*	-.309	.259	.850**	-.802**	1			
	P12	.202	-.800**	-.815**	-.545*	-.024	.762**	-.423	-.719**	-.659**	.233	-.472	1		
	P13	.895**	-.243	-.065	.859**	.974**	-.170	-.738**	-.025	.749**	-.881**	.740**	-.148	1	
	P14	.650**	.151	.344	.986**	.849**	-.548*	-.420	.277	.952**	-.917**	.872**	-.460	.907**	1
	P15	.742**	.018	.217	.963**	.911**	-.447	-.536*	.172	.904**	-.926**	.868**	-.362	.950**	.990**

* $p < .05$, ** $p < .01$

3D 가상착의 시스템 활용 신축성 원단 물성 및 상반신 자세 요인에 따른 남성 보디수트 상의 의복압 분석

<Table 16> Pearson Correlation Coefficient between Clothing Pressure Measurement Points in the Experimental Bodysuit Using Fabric 6

Measurement points	Anterior					Lateral					Posterior				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Anterior	P1	1													
	P2	-.431	1												
	P3	.802**	.803**	1											
	P4	.024	-.743**	-.553*	1										
	P5	.890**	.728**	.968**	-.369	1									
Lateral	P6	-.915**	-.196	-.568*	-.350	-.715**	1								
	P7	-.762**	.072	-.315	-.585*	-.474	.931**	1							
	P8	.981**	.452	.805**	.038	.907**	-.930**	-.773**	1						
	P9	.092	-.706**	-.495	.996**	-.310	-.412	-.640*	.105	1					
	P10	.773**	-.116	.281	.641**	.466	-.929**	-.959**	.789**	.692**	1				
Posterior	P11	.147	-.524*	-.291	.803**	-.131	-.471	-.654**	.192	.795**	.636*	1			
	P12	-.582*	-.838**	-.907**	.736**	-.850**	.321	.029	-.587*	.702**	.006	.424	1		
	P13	.875**	.726**	.979**	-.442	.977**	-.669**	-.421	.870**	-.379	.400	-.216	-.878**	1	
	P14	.403	-.467	-.183	.911**	.024	-.677**	-.819**	.427	.936**	.883**	.787**	.440	-.066	1
	P15	.899**	.277	.637*	.255	.781**	-.927**	-.834**	.936**	.307	.871**	.396	-.396	.689**	.605*

* $p < .05$, ** $p < .01$

3. 자세별 의복압 변화율 비교

각 측정점의 압력을 Pose 1 대비 Pose 2와 Pose 3의 자세 간 변화율로 전환하여 <Fig. 6>에 Fabric 1~Fabric 6 각각의 그래프를 중첩하여 나타내었다. 자세 간 의복압 변화율은 소재별 의복압 측정점 간 상관관계 분석 결과 고찰 시 참고할 수 있다. <Table 17>은 전체 의복압의 평균값을 자세별로 ANOVA 분석한 결과이다. 이것은 소재별 의복압 계측치를 모두 합친 평균값을 대상으로 하였으므로 선정된 6종의 신축성 소재들을 사용하여 제작한 밀착형 보디수트 상의 착의 시팔을 옆으로 들어 올리고 팔꿈치를 구부리는 동작 요인을 반영한 의복압 실험의 전반적 흐름을 보는 데에는 도움이 될 것이다. 가슴둘레선의 압력은 옆 가슴

둘레 압력이 Pose 1에 비해 감소하고 있고, 뒤 가슴둘레선의 압력은 Pose 3에서 10% 정도 증가하고 있다. 허리둘레선은 Pose 1에 비해 앞, 옆, 뒤 압력이 모두 감소하고 있으며 변화율은 옆 허리둘레선 측정점이 가장 큰 비율로 감소하고 있다. 상완둘레선은 옆, 뒤 측정점의 압력이 Pose 1과 비교하여 크게 증가하는 것으로 나타났다. 전체 측정점 중에서 주목할 측정점은 앞, 옆, 뒤 팔꿈치둘레선의 P4, P9, P14로 Pose 1 & Pose 2<Pose 3의 순서로 압력이 증가하였는데, 이 역시 팔을 측면으로 들어 올려 팔꿈치 구부리는 것으로 설계된 실험 자세에 의해 팔꿈치둘레의 압력이 뚜렷한 변화의 양상을 나타내는 것이다.

이상과 같은 연구결과와 고찰은 3D 가상착의 기술로 실제인체 치수보다 축소하여 밀착시킨 의

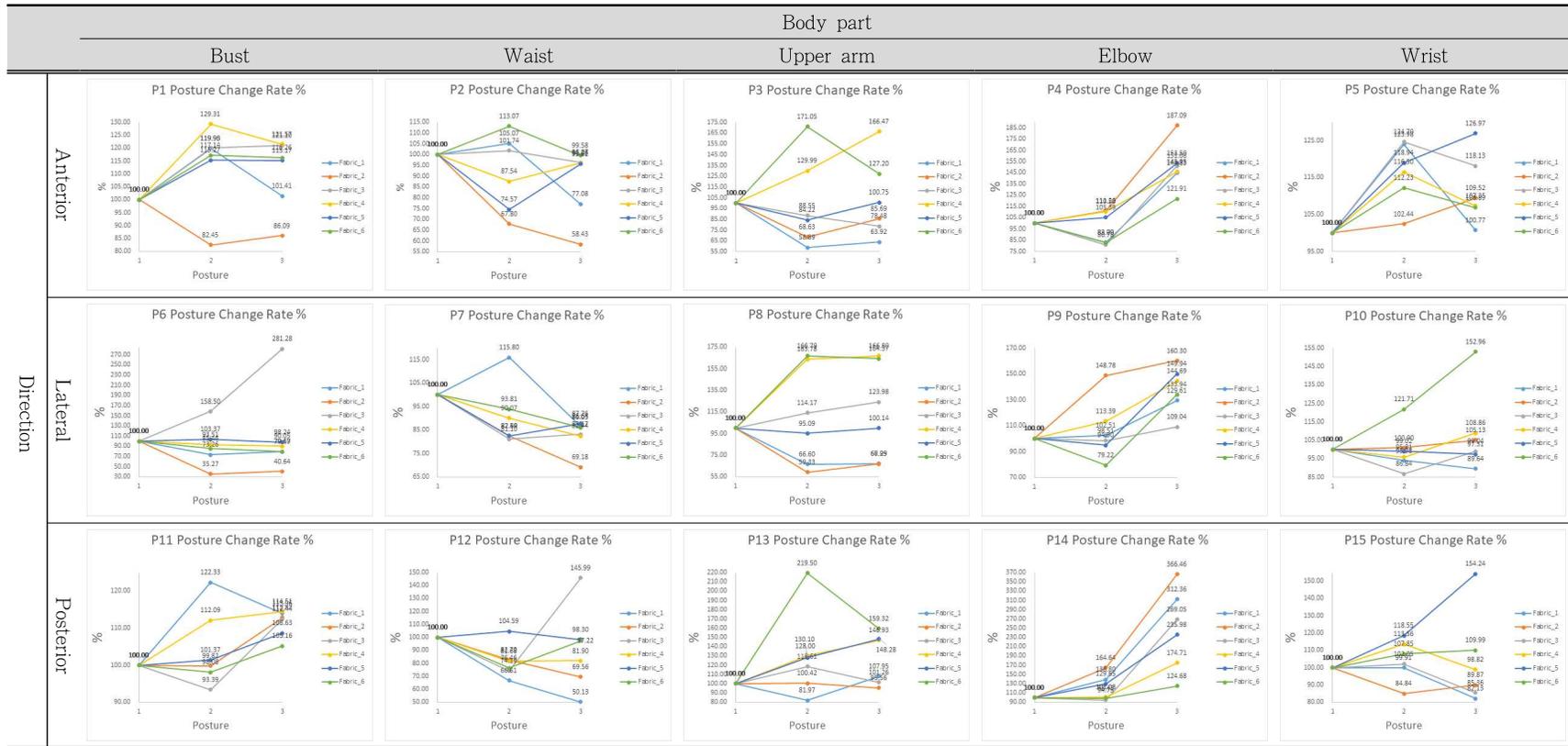
<Table 17> Results of ANOVA Test on Clothing Pressure by the Posture Type Variance in the Experimental Bodysuits Using All Fabrics 1 through 6

(unit: kPa)

Measurement points	Postures									F	P	
	Pose 1			Pose 2			Pose 3					
	Mean	SD	Change %	Mean	SD	Change %	Mean	SD	Change %			
Anterior	P1	17.59	9.02	100.00	20.54	11.14	116.77	19.79	10.98	112.51	.632	.534
	P2	11.44	5.51	100.00	10.78	6.38	94.23	10.45	6.02	91.35	.216	.806
	P3	24.46	14.28	100.00	23.09	12.88	94.40	24.34	13.44	99.51	.094	.911
	P4	25.70 ^a	14.52	100.00	24.06 ^a	12.59	93.62	36.49 ^b	17.10	141.98	6.200	.003**
	P5	40.55	22.65	100.00	47.14	25.58	116.25	45.05	24.91	111.10	.571	.567
Lateral	P6	25.07	13.94	100.00	21.40	13.10	85.36	21.80	10.88	86.96	.754	.474
	P7	24.96	9.40	100.00	23.22	10.22	93.03	20.92	8.84	83.81	1.385	.262
	P8	24.20	13.32	100.00	25.37	13.61	104.83	26.06	13.57	107.69	.146	.865
	P9	29.42 ^a	17.00	100.00	28.59 ^a	12.93	97.18	40.86 ^b	24.04	138.89	4.090	.020*
	P10	40.75	20.85	100.00	42.33	26.23	103.88	47.36	33.93	116.22	.472	.625
Posterior	P11	21.50	11.66	100.00	22.45	11.61	104.42	23.63	12.15	109.91	.244	.784
	P12	12.26	6.48	100.00	9.97	5.36	81.32	10.71	6.42	87.36	1.096	.339
	P13	18.55	9.14	100.00	23.37	12.08	125.98	24.24	13.79	130.67	2.015	.140
	P14	27.15 ^a	15.16	100.00	31.67 ^a	16.00	116.65	57.67 ^b	23.99	212.41	23.008	.000***
	P15	45.48	24.19	100.00	49.00	27.67	107.74	49.38	30.86	108.58	.180	.835

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ Duncan's multiple range test: a < b

3D 가상착의 시스템 활용 신축성 원단 물성 및 상반신 자세 요인에 따른 남성 보디수트 상의 의복압 분석



<Fig. 6> Comparison of Clothing Pressure Change Rate(%) of Pose 2 and Pose 3 for Pose 1 in the Experimental Bodysuit Using Each Fabric 1 through Fabric 6

류의 의복압을 실험하여 섬세하게 분석하는 것이 가능할 것인가 하는 초기 전제를 충족시킴으로써 여유량이 부여된 의류는 물론 밀착형 의류까지 그 성능을 평가하는 데에 3D 가상착의 기술이 유용하게 활용될 수 있음을 제시하고 있다.

IV. 결론 및 제언

본 논문은 3D 가상착의 시스템을 활용하여 신축성 원단 물성 요인을 다양화한 남성용 보디수트 상의를 제작하여 착의할 때, 남성 상반신의 의복압 측정 부위에서 압력의 변화가 있는지를 검토하고 그 양상을 분석하는 것을 목표로 하였다. 그 후 원단 물성 요인에 따른 의복압이 상반신 자세 요인 별로도 차이가 있는지 검증하기 위하여 동작 변화 요인을 반영하여 계측한 의복압의 상관관계 분석한 결과를 고찰함으로써 3D 가상착의 시스템을 활용한 의복압 분석 연구의 다양한 가능성을 보이고자 하였다. 문헌 조사를 통해 한국인 20대 남성의 평균 인체치수 데이터를 적용하여 구축한 남성 아바타에 상반신 인체계측항목 별 치수를 적용한 실험용 보디수트를 실제 들레치수의 90%가 되도록 X축 방향 축소시킨 패턴을 사용하여 가상착의 시스템에서 착의시킨 것이 실험복의 특징이었다. 실험자세는 어깨 관절 0도로 자연스럽게 팔을 늘어뜨리고 선 자세(Pose 1), 어깨관절 45도-팔꿈치관절 0도 자세(Pose 2), 어깨관절 45도-팔꿈치관절 90도 자세(Pose 3)로 구분하였다. 선정된 신축성 소재의 디지털 원단 물성값 입력을 위해 CLO fabric kit를 사용하여 측정된 물성 요인은 경, 위사 방향의 인장강도, 전단강도, 경, 위사, 바이어스방향의 굽힘강도, 두께, 무게와 같다. 아바타 인체에 착의시킨 실험복의 가슴들레선, 허리들레선, 상완들레선, 팔꿈치들레선, 손목들레선을 중심으로 인체 앞면, 옆면 및 뒷면 방향에서 측정함에 따라 총 15개의 측정점이 선정되었고 각 측정점에서 5회씩 계측한 의복압을 소재의 물성 요

인과 자세 요인에 따라 ANOVA 테스트 및 상관 분석한 종합적 결론 및 제언은 다음과 같다.

첫째, 소재의 물성 중 위사방향 인장강도와 위사방향 굽힘강도 물성 요인은 모든 의복압 측정점과 유의한 상관관계, 즉 인장강도는 양의 상관관계로 의복압과 함께 증가하였고 굽힘강도는 음의 상관관계로 강도가 커짐에 따라 의복압은 낮아지는 것으로 분석되었다. 전단강도와 바이어스방향의 굽힘강도 물성은 상호보완적인 형태로 의복압 측정점이 겹치지 않는 형태로, 즉 전단강도는 앞면 상완들레점과 팔꿈치들레점, 옆면 허리들레점과 상완들레점, 팔꿈치들레점, 뒷면 상완들레점과 팔꿈치들레점과 양의 상관관계를, 바이어스방향 굽힘강도는 앞면 가슴들레점과 허리들레점, 팔꿈치들레점, 손목들레점, 옆면 가슴들레점과 손목들레점, 뒷면 가슴들레점과 허리들레점, 손목들레점과 유의한 음의 상관관계를 나타냈다. 경사방향 인장강도와 경사방향 굽힘강도는 옆 허리들레선 측정점을 제외한 모든 측정점의 의복압과 유의한 상관관계를 보이지 않고 있다. 이것을 요약하면 소재의 경사방향의 인장 및 굽힘강도 물성은 길이 방향으로 패턴을 축소시키지 않은 보디수트와 같은 의복의 압력에 크게 영향을 미치지 않은 것으로 볼 수 있고 혹시 영향을 미친다면 음의 상관관계를 보일 것을 예측할 수 있다. 그리고 위사방향 인장강도는 수치가 커질수록 의복압을 높이고 위사방향 굽힘강도는 클수록 의복압을 낮추었다. 전단강도는 수치가 커질수록 의복압을 높였고, 바이어스 굽힘강도는 수치가 커질수록 의복압을 낮추는 것으로 보디수트 상의 의복압에 영향을 미쳤다.

둘째, 자세별 의복압 비교를 통해서도 유의한 분석 결과를 도출하였다. 6종류의 소재를 적용한 밀착형 보디수트 상의 실험복 착의 시 상반신 15개 측정점에서 측정된 의복압의 기술적 통계량과 자세를 요인으로 한 ANOVA 분석 및 사후검정 결과, 원단의 유연성이 좋은 Fabric 2를 적용한 뒤 상완들레점(P13)과 Fabric 3 적용 앞 허리들레

점(P2)을 제외하고는 모든 측정점에서의 자세 간 의복압 평균이 통계적으로 유의한 차이가 있음을 보였다. 가슴둘레의 압력은 Pose 1 내에서는 옆 가슴둘레 압력이 가장 높았고, Pose 1 대비 Pose 2와 Pose 3의 경우에 팔을 옆으로 들어 올리면서 옆 가슴둘레 압력이 85%까지 낮아지게 되었으며 뒤 가슴둘레는 팔꿈치를 구부리는 동작에 영향을 받아 Pose 3의 압력이 10% 정도 증가하는 양상을 보였다. 허리둘레의 의복압은 앞, 옆, 뒤 방향 모두 Pose 1 대비 Pose 2와 Pose 3의 압력이 10~20% 정도 감소하였으며 이것은 팔 들어 올리는 사선방향의 동작이 영향을 미친 것으로 분석되었다. 모든 소재에서 팔꿈치둘레의 의복압은 Pose 3에서 앞, 옆, 뒤 방향 모두 가장 높게 나타났다. 이것은 자세 요인 중 팔꿈치를 구부리는 동작이 영향을 미친 것이다. 소매부리의 압력도 Pose 1 대비 다른 두 자세 모두 평균 4~16% 정도까지 증가하였다. 이러한 결과를 통해 상지 자세 요인이 보디수트 상의 실험복 압력에 영향을 미친 것을 확인할 수 있다. 다만 소매부리 부위와 같은 개구부의 의복압을 보다 정밀하게 측정하는 방법론을 추후 심화시켜야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 3D 가상착의 시스템을 활용하여 한국인 20대 남성의 평균 인체치수를 적용한 아바타를 대상으로 보디수트 상의를 착의하고 의복압을 측정하였으므로 다른 연령대를 위한 의복압으로 일괄 적용하는 데에는 제한이 있을 것이다. 또한 보디수트의 수축율을 둘레치수의 90%로 선정하였으므로 수축율이 달라지는 경우도 추후 연구 범주로 고려할 수 있다. 이와 함께 후속 연구에서는 본 연구 결과를 바탕으로 하의 보디수트 팬츠 의류를 개별 아이템 및 오버롤 타입의 상의와 결합시킨 아이템으로 제작하여 인체의 하반신 영역에서의 의복압을 하반신 별도의 의복압과 오버롤 형태일 때 상반신과 하반신 상호 영향을 받는 의복압의 양상을 함께 비교분석하고자 한다. 소매부리와 마찬가지로 발목 영역에서의 의복압을 안정

적으로 측정하기 위한 방법론을 새롭게 모색하여 연구 결과를 더욱 세심하게 도출할 것도 함께 요구된다. 본 연구와 관련한 연구의 결과들은 궁극적으로 온라인상에서 맞춤형 의복을 개발하는 시스템을 통해 구매자의 인체 사이즈가 반영된 패턴을 생성하는 데에 실제적 원단 물성 파라메트릭 요인 및 라이브러리 자료로 활용할 수 있다. 또한, 의복의 피트성을 빠르고 객관적으로 평가할 수 있는 토대를 구축함으로써 추후 가상착의 의복압 평가 결과를 실제 온라인 의류 쇼핑에 적용하여 AI 시스템의 성능 개선과 사용자 대상 평가 시스템의 상호 통합 과정에 반영하는 방법을 통해 온라인 의류 쇼핑 시스템의 효용성을 개선하는 효과를 기대할 수 있을 것이다.

References

- Bailey, R. R., Klaesner, J. W., & Lang, C. E. (2014). An accelerometry-based methodology for assessment of real-world bilateral upper extremity activity. *PLoS ONE*, *9*(7), e103135. doi:10.1371/journal.pone.0103135
- Cho, S.-H. (2019). Analysis of clothing pressure for commercially customized burn patient's medical compression garments for men in their 20s. *Journal of the Korea Fashion & Costume Design Association*, *21*(4), 55-67. doi:10.30751/kfcda.2019.21.4.55
- Choi, Y. L. & Nam, Y. J. (2009). The qualitative study on the evaluation and the application of 3D scan and virtual try-on technology. *Fashion & Textile Research Journal*, *11*(3), 437-444.
- Hong, E.-H., Kim, K.-A., & Uh, M.-K. (2015). Comparative analysis of pants pattern and virtual appearance evaluation for Men's Single-pleated Pants. *Journal of the Korea Fashion & Costume Design Association*, *17*(1), 105-115.
- Joseph-Armstrong, H., Maruzzi, V. J., & Hagen, K. (2010). *Patternmaking for fashion design* (5th ed.). NJ, U.S.A.: Pearson/Prentice Hall.
- Kim, H. & Lim, H. (2022). A Comparative analysis between real and virtual stretchable tight-fitting clothing distribution of the garment pressure by postures. *International Journal of Costume and Fashion*, *22*(2), 29-43. doi:10.7233/ijcf.2022.22.2.029
- Kim, M. K., Nam, Y. J., & Kim K. S. (2015). A comparative study on fit and appearance for the applicability of mass customization of a 3D virtual

- garment system. *Korean Society of Basic Design & Art*, 16(6), 77-87.
- Kim, N. Y. & Lee, H. (2023). Exploring variables affecting the clothing pressure of compression garment -A comparison of actual garments and virtual garments-. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 47(6), 1080-1095. doi:10.5850/JKST.2023.47.6.1080
- Kim, Y. W. & Baek, Y. J. (2009). Distribution of the garment pressure by postures. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 33(5), 775-781.
- Korean Agency for Technology and Standards [KATS]. (2021). The 8th Size Korea body measurement report [제8차 한국인 인체치수 조사사업 보고서]. Retrieved from <https://sizekorea.kr/human-info/meas-report?measDegree=8>
- Kwon, M. Y., Choi, S., & Kim, J. (2021). Investigation of the body distribution of load pressure and virtual wear design according to the corset type harness. *Journal of the Korea Fashion & Costume Design Association*, 23(3), 1-10. doi:10.30751/kfcda.2021.23.3.1
- Lagè, A., Ancutienė, K., Pukienė, R., Lapkovska, E., & Daboliņa, I. (2020). Comparative study of real and virtual garments appearance and distance ease. *Materials Science-Medžiagotyra*, 26(2), 233-239. doi:10.5755/j01.ms.26.2.22162
- Park, G. A. (2013). The computerized 3-D clothing simulation for the evaluation of men's working pants. *Journal of the Korean Society of Costume*, 63(8), 27-42. doi:10.7233/jksc.2013.63.8.027