

무릎 안전성 향상을 위한 컴프레션 의복의 기능적 디자인 영역 선정과 설계법

Selection and Design of Functional Area of Compression Garment for Improvement in Knee Protection

이효정 · 김남임 · 홍경희 · 이예진*
충남대학교 의류학과

Lee, Hyo Jeong · Kim, Nam Yim · Hong, Kyung Hi · Lee, Ye Jin*
Dept. of Clothing & Textiles, Chungnam National University

Abstract

Recently, because the market for compression wear now includes all consumers, not just professionals, various items for recovery after exercising or for enhanced effects from exercise have been introduced. In this research, a systematic and stepwise design process was proposed to develop compression garment that has both functional area and appropriate pressure to protect the knee when exercising. The U-V format functional area that wraps underneath the knee was selected by considering the shape and change in the skin length when bending the knee. After the selection of the functional area, a total of seven knee design areas, including the existing product, were designed to determine the appropriate pressure. After various movements, the compression garment was ranked in terms of support of the knee, level of pressure, discomfort of seam line, and comfort of popliteal; the preferred design was selected using the quad method. Four compression wear garments were produced using two selected preferred designs; the wear evaluation was performed using a seven-point Likert scale. As a result, the optimal reduction rate of the pattern was calculated based on Ziegert and Keil's method. The applied percentage of the fabric stretch at the upper part of the crotch was 66% for the width and 50% for the length; for the lower part of the crotch, only 66% for the width was applied. Moreover, it was determined that the design of the U-V knee protection part was preferred when a 7 mm square was placed at a 1 mm distance because this not only supports the knee but also allows the fabric to accommodate various skin deformations.

Key words: compression garment, functional design, knee protection, 3D skin deformation

I. 서론

최근 스포츠 레저 인구의 급증과 동시에 컴프레션 의복의 고기능성이 알려지면서 주로 스포츠 선수만 착용했던 예전과는 달리 일반 소비자들도 이에 대한 관심이 매우 높아지고 있는 추세이다(“Sudden rise functional performance

wear”, 2012). 따라서 자연스럽게 마켓도 확대되고 있는 실정이며 용품의 다양화와 함께 카테고리별로 전문화된 콘텐츠도 많아지고 있다. 또한 컴프레션 의복 착용 후 생기는 기능적인 효과에 대해 크게 생리적 측면과 운동역학적 측면으로 나누어 광범위하게 효과를 강조하며 마케팅에 활용하고 있다. 생리적 측면에서 컴프레션 의복의 기능

이 논문은 2013년도 정부(지식경제부)의 섬유생활스타트업간협력기술개발사업의 지원을 받아 수행되었음 (과제번호: 2013-1052, 패션스트림)

* Corresponding Author: Lee, Yejin

Tel: 042-821-6824, Fax: 042-821-8887

E-mail: yejin@cnu.ac.kr

© 2015, Korean Association of Human Ecology. All rights reserved.

적인 효과로는 혈류 증가 및 근육의 산소화로 피로도를 감소시켜 운동 후 빠른 회복을 돕는다고 보고하고 있고(Ali et al., 2007; MacRea et al., 2011; Troynikov et al., 2010) 운동역학적 측면에서는 근육의 떨림을 줄임과 동시에 반복적인 점프 파워를 향상시켜 운동 퍼포먼스 효과를 증진시킨다고(Kramer et al., 1996; Kramer et al., 1998) 소개하고 있다. 어느 측면에서든 목적에 맞는 기능을 부여하기 위해 컴프레션 의복은 직물을 통해 인체에 압력을 가해야만 한다(Mac Rae, et al, 2011). 다만 컴프레션 의복의 목적에 따라 부위별 압력 정도를 달리하여야만 그 기능을 극대화 할 수 있기 때문에 부위 선정과 그 부위에 대한 적절한 압력 수준 및 압력 부여 방법은 매우 중요한 변인이 될 수밖에 없다. 왜냐하면 적정 수준의 가압은 지지력과 안전성을 부여할 수 있지만 지나친 가압은 관절의 가동범위 및 운동 능력에 부정적인 영향을 미칠 수 있으며 이는 스포츠 활동 중 부상을 야기시킬 가능성도 생기기 때문이다. 그러므로 컴프레션 의복 설계는 인체 부위에 대한 충분한 이해와 함께 다양한 의복 설계 변인을 고려하여 적정한 압력 수준으로 동작 가동성과 지지가 최적의 조화를 이룰 수 있도록 설계되어야 한다. 이에 더해 적정한 압력 수준을 어떠한 방법으로 부여하여 실현시킬 것인가도 함께 고찰되어야만 한다. 그러나 현재 컴프레션 의복 개발에 대한 국내기술은 초기단계로 해외브랜드에 대한 의존도가 높은 상황이고 마켓도 해외브랜드가 상당 부분 시장을 점유하고 있는 실정이다. 또한 개발되어 있는 컴프레션 의복의 효과에 대해 검증하는 국내·외 연구는 활발히 진행되고 있지만 목적에 따라 컴프레션 의복 설계에 관한 연구는 찾아보기 힘들다.

일반적으로 운동 중 가장 흔하게 부상을 입는 부위는 무릎으로 방향을 전환하거나 점프할 때 전방십자인대 손상 발생률이 매우 높다고 알려져 있다(For et al., 2003; Lim, 2007). 그리고 대중들이 즐겨하는 트레킹, 등산, 조깅, 배드민턴, 자전거 타기 등의 생활 스포츠 활동 시에도 반복적으로 무릎의 굴곡과 신전 혹은 점프가 수반되므로 부상방지를 위한 적극적인 대처가 필요하다. 해부학적으로 무릎은 신체에서 가장 큰 관절 중 하나이며 일상생활 영위를 위해 건강한 무릎은 필수적이다. 이를 위해 무릎보호대가 운동 기능은 발휘하되 비정상적인 움직임을 예방하는 목적으로 고안되었다(Lim, 2007). 흔히 무릎 손상을 예방하거나 손상된 무릎을 보호하고자 할 때 무릎보호대를 착용하는데 이는 운동 시 과도한 굴곡이나 신전으로부터 무릎을 보호하고 무릎 굴곡에 관여하는 햄스트링근, 비

복근의 근활성도를 조절함으로써 무릎에 가해지는 부하를 감소시키는 효과가 있는 것으로 보고되었다(Baker et al., 1987; Branch et al., 1989; Grabiner & Weiker, 1993; Lim et al, 2012; Rink et al, 1989). 하지만 무릎 손상 환자가 아닌 정상인은 무릎보호대를 휴대하거나 착용하는 것이 번거로운 일이며 밴딩 부위의 강한 압박감으로 종종 불편함을 호소하고 있다. 무릎보호대 착용으로 무릎 관절의 지지는 부상방지에는 효과적이지만 착용 쾌적성은 저하시켜 예방차원에서는 활용도가 낮은 것으로 보이며 이러한 문제를 해결하기 위해 다른 유형의 제품으로 인체를 보호하는 것이 필요하다. 최근 Kim과 Hong(2014)은 척추변형으로 인한 요통방지용으로 기존의 자세 교정 보조기구인 허리벨트, 코르셋 등의 단점을 보완하여 착용과 관리가 쉬운 소프트형 의복 형태로 개발한 후 그 효과를 검증한 바 있다.

이에 본 연구에서는 다양한 스포츠 활동 시 발생할 수 있는 부상을 예방할 수 있도록 핵심 관절인 무릎의 안전성에 초점을 둔 스포츠 컴프레션 의복을 개발하고자 하였다. 3차원 피부 길이 변형 분석 및 해부학적 형태를 통해 무릎 골격을 지지하는 기능적 디자인 라인을 선정하고 그 부위에 적정 수준 압력 부여 방법을 검증하여 동작 가동성과 착용 쾌적성이 향상된 최적의 무릎 안전성 컴프레션 의복을 개발하고자 하였다. 단계적이고 체계적인 디자인 프로세스를 거쳐 최종 컴프레션 의복을 어떻게 설계해야 하는지에 대한 방법론에 관한 연구로 의의가 있다고 할 수 있다.

II. 연구 방법 및 절차

1. 무릎 굴곡 동작에 따른 무릎 부위 피부 변형 분석

피부 변형 분석은 SIZE KOREA의 20대 대표치수에 근접한 20대 남성 6인(키: 172.1 ± 1.72 cm, 몸무게: 71.17 ± 7.52 kg, BMI: 24.0 ± 2.72)을 대상으로 [Figure 1]과 같이 무릎 관절 부근에 3cm 간격으로 랜드마크를 표시하고 정자세와 무릎 60도 굴곡 자세를 취한 후 3차원 인체 형상 데이터를 획득하였다(Cygerware, Inc., USA). 랜드마크 표시 간격은 피부 변형 분석에 관한 기존 연구(Lee, 2013; Choi & Hong, 2015)를 참고로 하여 결정하였고, 정자세와 60도 굴곡자세의 3차원 데이터 상에서 3cm간격으로 평면(plane)을 생성하여 둘레방향의 외곽선을 추출하고,

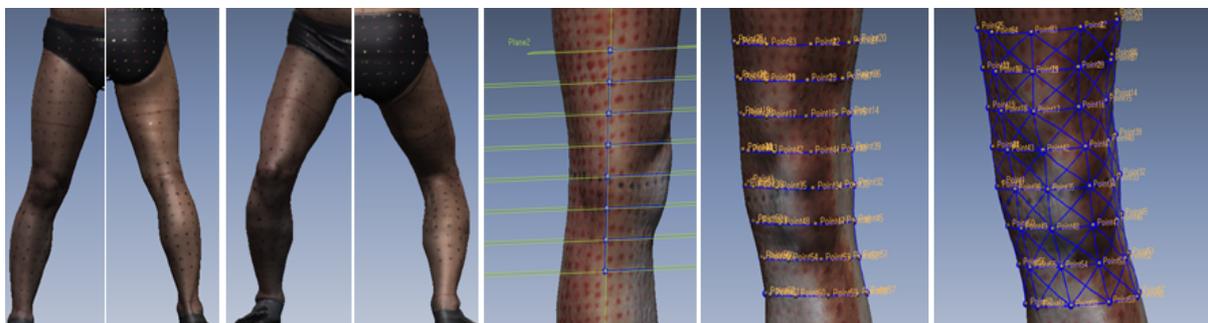
다리 내측과 외측에 수직축의 평면(plane)을 생성해 길이 방향의 외곽선을 추출하였다. 또, 각 둘레방향의 외곽선을 5등분으로 분할할 수 있도록 6개의 레퍼런스 포인트를 생성하고 각각의 포인트를 연결하여 가로, 세로, 45도, 135도 방향으로 연결하여 정자세 시의 길이가 동작 시 얼마나 변하였는지 측정하였다. 동작에 따른 체표면의 길이 변화 분석은 Geomagic Design X(3D systems, USA)를 이용했다. 즉 두 자세에서 길이를 측정한 후 <식 1>을 이용하여 피부 변형을 분석하고 6인의 피험자의 결과를 3차원 인체 맵핑하여 이를 근거로 무릎 지지 기능적 디자인 라인으로 도출하였다.

2. 무릎 지지를 위한 기능적 디자인 영역 선정 및 압력 부여 방법과 착용평가

무릎 부위 지지를 위한 컴프레션 의복 개발 전에 먼저 발목에서부터 무릎 위 15cm까지 커버하는 기본 무릎 토시 형태에 무릎 지지 디자인과 압력 부여 정도를 변인으로 실험복을 제작하였다. 무릎 부위 디자인과 압력 부여 전에 토시형 실험복의 기본 원형 패턴은 Jung과 Hong(2006)의 남성 바디 수트 패턴 개발 연구에서 착용 쾌적감이 우수하다고 보고된 결과를 반영하여 축소 정도를 결정하였다. 구체적으로 Jung과 Hong(2006)은 Zigert & Keil(1988)로 측정된 원단 신장률 수치에 경사방향을 50%, 위사 방향으로 66%를 적용하여 축소한 수트가 착용 쾌적감이 우수하다고 하여 본 연구에서 위사 방향으로는 제시된 수치를 적용해 축소하였고 경사 방향으로는 토시형의 실험복이었기 때문에 축소하지 않았다. 이 때 사용된 소재는 우수한 신

축성과 복원력으로 현재 컴프레션 스포츠웨어용으로 업체에서 많이 사용되고 있는 직물인 트리코트(Tricot; T)였고 일반적인 특성은 <Table 1>에 나타내었다. 기본 토시형의 실험복의 패턴 축소를 결정 한 후 여기에 무릎 부위 지지를 위한 디자인과 소재를 이용한 압력 수준 변인으로 7종의 실험복을 제작하였다<Table 2>. 디자인 변인은 무릎 굴곡 동작 시 피부 길이 변형 맵핑 결과(2종), 기존 판매 제품 응용(1종), 통제 변인(1종)을 사용하여 4가지였다. 기존 판매 제품 응용에 사용된 디자인은 컴프레션 의복 시장 조사 결과 본 연구의 디자인 의도와 유사하게 피부 변형이 큰 무릎 중앙은 가압을 피하고 무릎 주위를 감싸는 형태로 가압한 디자인을 선정하였다. 소재를 이용한 압력 수준은 앞서 언급한 T와 신축성은 비교적 적지만 대신 압박감이 우수한 파워넷(Power net; P)을 이용하였다<Table 1>. 토시형 실험복의 압력 수준은 1단계는 T소재 1겹, 2단계는 T소재 2겹, 3단계는 T소재와 P소재 2겹으로 무릎의 디자인 영역에 압력을 부여하였다. 즉 1단계 압력 수준은 기존 연구(Jung과 Hong, 2006)에서 제안한 패턴 축소율을 적용한 쾌적 수준의 가압이었고 2단계는 동일한 신축성 소재를 두 겹으로 제작해 1단계 보다 좀 더 높은 수준의 가압, 3단계는 압박감이 높은 P소재를 덧댄으로 가장 높은 수준의 가압을 준 것으로 이 중 무릎 지지에 가장 적합한 압력 수준을 탐색하고자 하였다. 다만 압력 수준을 높이기 위해 무릎 디자인 영역의 패턴 축소율을 증가시키는 방법도 있었으나 이럴 경우 옆 패널과 봉제 시 길이 차이로 인한 어려움이 있어 배제하였다.

$$\text{Skin length deformation}(\%) = \frac{|\text{Length of between the landmark during } 60^\circ \text{ knee flexion} - \text{Length of between the landmark during standing}|}{\text{Length of between the landmark during standing}} \times 100 \quad \text{<식 1>}$$

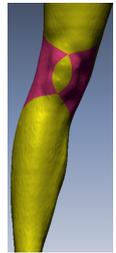
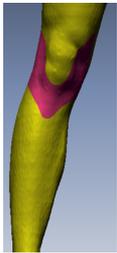
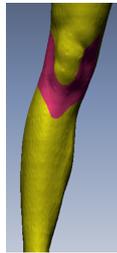
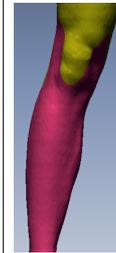
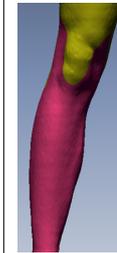
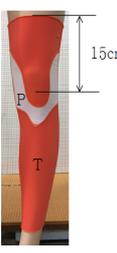


[Figure 1] 3D scan image (left: standing; right: 60° knee flexion) and skin deformation analysis method of knee area

〈Table 1〉 Mechanical properties of fabric

Fabric	% Fabric stretch by Zigert & Keil(1988)	Fiber contents	Thickness
T	Wale 17.5 % Course 24.6 % Bias 22.0 %	Nylon 77.2 %, Polyurethane 22.8 %	0.4 mm
P	Wale 10.0 % Course 11.0 % Bias 18.8 %	Nylon 80.0 %, Polyurethane 20.0 %	0.6 mm

〈Table 2〉 Design and pressure variables for functional design area of the knee

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7	Sample
Design variables								
Pressure level	Level 1	Level 2	Level 3	Level 2	Level 3	Level 2	Level 3	Type 4
Fabric	One layer	Two layers (T+T)	Two layers (T+P)	Two layers (T+T)	Two layers (T+P)	Two layers (T+T)	Two layers (T+P)	

제작된 7종의 토시는 SIZE KOREA 2010의 20대 표준 체형에 근접한 피험자 4인(S1~S4)〈Table 3〉을 대상으로 양쪽 다리에 다른 디자인을 착용시킨 후 ‘앉았다 일어서기 5회’, ‘다리 벌려 쪼그려 앉기 5회’, ‘걷기 3분’, ‘무릎90도로 들어올리기 동작 5회’를 실시하고 ‘동작이 용이한가’, ‘무릎을 잘 지지해주는가’, ‘압력이 적정한가’, ‘봉제선이 거슬리지 않는가’, ‘오금이 편안한가’의 항목에 대해 순위 평가를 실시하였다. 순위 평가는 많은 변인으로 피험자가 선호하는 제품 선택 시 오류 가능성이 있을 때 효율적인 일대비교법인 쿼드 분석(Miller, 2000; Kim, 2004) 방식으로 이루어졌다. 7종의 토시 실험복의 조합은 (1, 2, 3, 5), (1, 2, 4, 7), (1, 4, 5, 6), (1, 3, 6, 7), (3, 4, 5, 7), (2, 3,

4, 6), (2, 5, 6, 7) 이었고 [Figure 2]와 같이 선택된 모든 실험복간 일대비교를 통해 순위가 결정되어졌다. 피험자는 쿼드 조합에 따라 각기 다른 디자인의 토시를 양다리에 착용한 후 문항별 동작 평가를 실시해 순위 평가를 하였으며 한 피험자가 최대 140회 착의평가를 실시하였다. 총합계 점수가 낮을수록 선호도 순위가 높은 것으로 이 결과를 반영하여 최종 컴프레션 실험복을 제작하였다.

3. 컴프레션 의복의 3차원 패턴 설계 및 운동기능성 착용평가

컴프레션 의복의 기본 디자인 라인은 동작 시 의복으로

인한 피부 거슬림을 최소화하기 위해 선행연구(Choi & Hong, 2015; Kim & Hong, 2012)에서 검증된 피부 무변형선을 반영하여 절개선으로 사용하였다. 기본 디자인 라인을 30대 남성 평균 치수의 3차원 인체 데이터 위에 도시하고(geomagic Desine X, 3D systems) 2차원 평면전개 프로그램인 2C-AN프로그램(특허 등록번호 10-2009-0115130)을 이용해 평면화 한 후 Yuka CAD 프로그램(Youth hitch, Japan)으로 원형 패턴을 제작하였다. 컴프레션 의복에 사용된 원단은 토시 제작에 이용된 트리코트(Tricot; T)로 동일하였다. 패턴 축소율은 살 위는 기존 연구에 근거하여 원단 신장률(Zigert & Keil 방법)에서 경사 방향으로 50 %, 위사 방향으로 66 %를, 살 아래는 경사 방향으로 축소하면 동작 시 밑단이 달려 올라가는 현상이 발생할 수 있어 위사 방향으로만 66 %를 적용하였다. 무릎 관절부분의 가압과 지지는 쿼드 분석 창의평가를 통해 채택된 디자인을 사용하였다. 그리고 다시 무릎 부위의 적

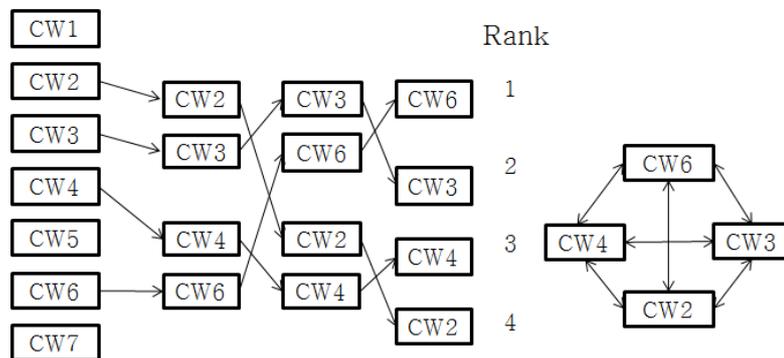
절한 가압 방법 선택을 위해 원단의 2겹과 실리콘 프린팅 방법을 변인으로 사용하였다. 실리콘 프린팅 방법은 7mm 정사각형을 무릎 부위에 일정한 간격으로 공간을 두어 배치하였다. 즉 7mm 정사각형 실리콘 프린팅이 있는 부분은 소재가 신장하는데 제한을 주어 가압 기능을 하도록 하였고 동시에 정사각형 실리콘 사이에 1mm 또는 3mm 간격을 두어 피부의 움직임에 의복이 대응할 수 있도록 설계하였다. 결과적으로 기능적 무릎 디자인 영역에 7mm 정사각형을 1mm간격으로 배치하는 실리콘 프린팅 (SPCG_1), 7mm 정사각형을 3mm간격으로 배치하는 실리콘 프린팅 (SPCG_2), 기능적 무릎 디자인 영역에 원단 2겹(DFCG_1), 무릎 아래 전체 원단 2겹(DFCG_2)으로 4종의 컴프레션 의복을 제작하였다.

제작된 실험복의 의복압 및 운동기능성 착용평가는 피험자 7인(S1~S7)<Table 2>을 대상으로 실시하였다. 압력 측정 도구는 공기주입식 의복압 센서 AMI 3037-2(AMI

<Table 3> Characteristics of subjects wearing test compression wear (units in cm)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Subjects		Size Korea	
								Mean	(S.D.)	Mean	(S.D.)
Stature	178.0	173.0	176.0	180.0	175.0	171.0	170.0	174.7	(3.4)	172.4	(5.6)
Weight	72.0	65.0	70.0	78.0	75.0	71.0	71.0	71.7	(3.8)	72.9	(10.5)
Waist C.	80.6	77.5	78.5	78.0	81.0	82.5	85.0	80.4	(2.5)	83.6	(8.3)
Hip C.	100.5	95.0	96.7	102.0	97.5	98.0	97.2	98.1	(2.2)	94.8	(5.5)
Thigh C.	58.0	59.0	58.0	60.0	60.5	55.5	59.0	58.5	(1.5)	52.5	(4.2)
Knee C.	38.0	35.5	35.7	39.5	38.0	37.0	36.0	37.5	(1.4)	37.3	(2.1)
Ankle C.	26.0	24.2	25.0	27.8	27.0	25.0	26.5	25.9	(1.5)	26.0	(1.3)
Waist H.	105.5	105.0	106.0	113.0	104.5	106.5	106.0	106.6	(2.7)	103.8	(4.2)
Knee H.	49.5	46.0	45.5	51.0	50.0	45.0	48.0	47.8	(2.2)	44.2	(2.6)

C: circumference, H: height



[Figure 2] Quad analysis method

Techno, Korea)를 사용하였으며, 측정 위치는 [Figure 3]과 같이 무릎 중앙(P1), 오금(P2), 정강이(P3), 허벅지-앞(P4), 허벅지-뒤(P5)에서 측정하였다.

실험복의 운동기능성 착용평가도 동일한 피험자 7인(S1~S7)을 대상으로 ‘앉았다 일어서기 5회’, ‘다리 벌려 쪼그려 앉기 5회’, ‘걸기 3분’, ‘뛰기 3분’, ‘40cm 외다리 드롭랜딩 5회’, ‘무릎 90도 들어올리기 동작 5회’를 실시하며 ‘동작이 용이한가’, ‘동작 시 무릎을 지지해주는가(무릎 부위의 충격이 적은가)’, ‘무릎의 압력은 적정한가’, ‘전체적인 압력은 적정한가’, ‘봉제선이 거슬리지 않는가’, ‘오금이 편안한가’의 문항에 대해 리커트 7점 척도(1-전혀 그렇지 않다, 2-약간 그렇지 않다, 3-그렇지 않다, 4-보통이다, 5-그렇다, 6-약간 그렇다, 7-매우 그렇다)로 응답하게 하였으며, 자료의 분석은 SPSS 20.0(IBM)을 이용하여 일원배치분산분석(ANOVA)를 실시하였고 Duncan test로 사후 검증하였다.

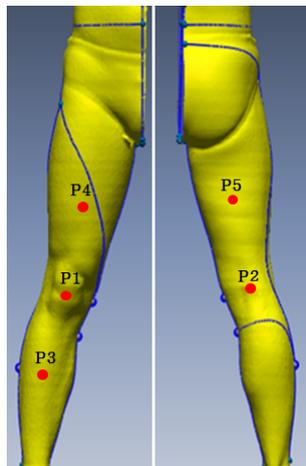
Ⅲ. 연구결과

1. 무릎 굴곡 동작에 따른 무릎 부위 피부 변형 분석 결과

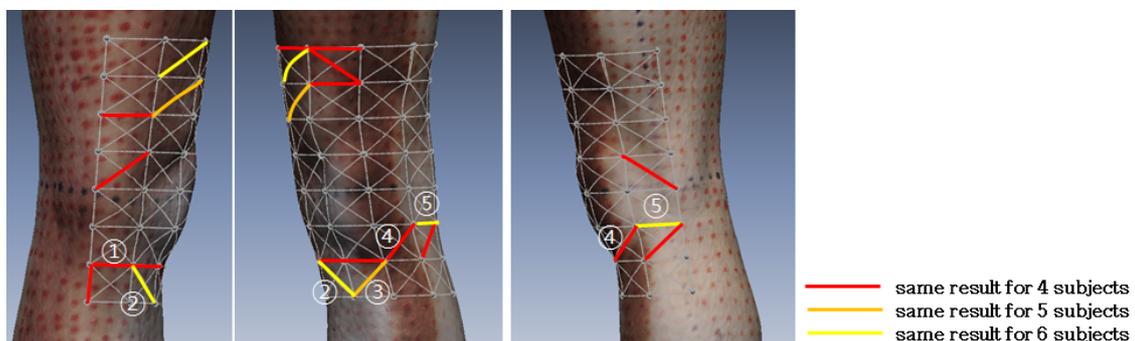
3D 데이터의 동작에 따른 피부 변형률을 분석한 결과를 종합하기 위해서 5%이하로 피부 변형을 나타내는 가로, 세로, 45도, 135도 선을 6명중 4명 이상이 일치하는 선만을 맵핑하였으며, 그 결과는 [Figure 4]와 같다.

2. 무릎 지지를 위한 기능적 디자인 라인 및 영역 선정

디자인 라인으로 도출하기 위해 본 무릎 아래의 V형의 ①번 ~ ⑤번 라인을 채택하여 연결된 선으로 피부 변형을 검증해 보았다. 선정된 V형 전체 길이에 대해 정자세 시와 동작 시의 체표면 길이 변화를 다시 검증해 본 결과는



[Figure 3] Measurement of wearing pressure

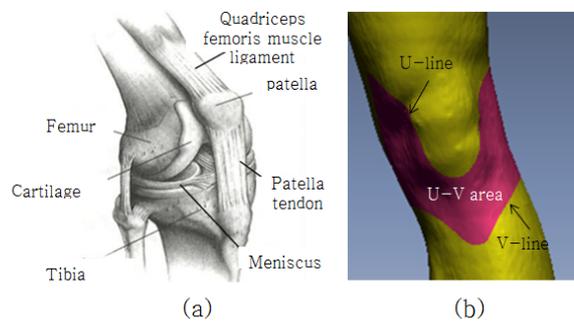


[Figure 4] 3D body mapping of skin deformation

<Table 4>와 같이, 피험자 모두 피부 변형율이 거의 0%로 나타났다. 따라서 피부 거슬림을 최소화 할 수 있도록 선정된 V형 라인을 무릎 보강 시 디자인 라인으로 활용하였다. 그리고 해부학적 측면에서 무릎을 살펴보면 [Figure 5(a)]에서 보는 것처럼 대퇴골과 경골 그리고 슬개골로 이루어져 있으며, 세 개 뼈의 각 끝에는 뼈를 보호하고 뼈와의 마찰을 원활하게 해주는 관절 연골이 존재하였다(The Korean Orthopaedic Association). 이러한 구조적인 특성으로부터 보호하기 위해 대퇴골과 경골을 연결하면서 측면이 보강되도록 무릎 부위 아래를 감싸는 U형으로 기능적 라인을 선정하였다. 최종으로 무릎 지지를 위한 기능적 디자인은 영역은 [Figure 5(b)]와 같다.

3. 무릎 지지를 위한 디자인 영역 검증 및 압력 부여 방법 선정

무릎 지지를 위한 최적의 디자인과 압력 부여 방법 선정을 위한 7종의 토시형 실험복에 대하여 다시 정리하면 다음과 같다. 디자인은 통제 변인(Type 1), 기존 시제품의 디자인(Type 2, 3), 피부변형 맵핑과 해부학적 형상을 고려한 U-V형 디자인(Type 4, 5), U형 디자인(Type 6, 7)이 사용되었다. 일반적으로 컴프레션 웨어 설계 시 차별 압박 부여는 패턴 축소율을 증가시키거나 소재 변경, 프린트, 테이프 등을 덧대는 방법을 사용하고 있다. 본 연구에서 압력 수준 변인 설계는 먼저 소재를 활용하여 1단계(T원단 1겹), 2단계(T원단 2겹), 3단계(T원단 + P원단)로 조절



[Figure 5] Functional design area by anatomy and skin deformation mapping(a: anatomy of knee joint (the Korean orthopaedic association web site), b: functional design area)

<Table 4> Total length of the skin on the design line (units in cm)

		①	②	③	④	⑤	Total skin length (①~⑤)	Skin length differences	Skin length differences rate(%)
s1	Standing posture	3.48	4.87	4.16	4.1	3.8	20.39	0.55	0.02
	Knee flexion (60°)	3.33	4.63	4.22	4.4	4.3	20.94		
s2	Standing posture	3.06	4.43	4.69	4.09	3.47	19.7	0.21	0.01
	Knee flexion (60°)	3.1	4.39	4.8	4.28	3.38	20		
s3	Standing posture	3.01	4.7	4.2	3.68	3.25	19	0.00	0.00
	Knee flexion (60°)	2.74	4.59	4.4	3.86	3.39	19		
s4	Standing posture	3.07	4.25	4.14	3.82	3.14	18.4	0.55	0.03
	Knee flexion (60°)	3.49	4.1	4.24	4.04	3.1	19		
s5	Standing posture	3.57	4.49	4.74	4.16	3.4	20.4	0.21	0.01
	Knee flexion (60°)	3.4	4.62	5.07	4.25	3.23	20.6		
s6	Standing posture	3.27	4.27	4.28	3.97	3.13	18.9	1.16	0.06
	Knee flexion (60°)	3.3	4.1	4.96	4.09	3.63	20.1		

하였다. 단 P원단은 A원단과 봉제해야하기 때문에 P원단 신장율을 반영하여 축소하지 않고 T원단의 패턴과 같은 크기로 사용하였다.

7종의 토시에 대하여 피험자마다 퀴드 분석결과를 더한 순위합(rank sum) 산출결과를 <Table 5>에 정리하였다. 각 평가 항목에 대하여 피험자 4인의 순위합을 모두 합한 결과가 Total rank sum으로 순위합이 낮을수록 긍정적인 평가를 받은 것으로 해석할 수 있다. Type 1은 무릎 부위에 추가적인 가압이 없는 통제 변인으로 전체 순위합이 낮게 나타나 가장 좋은 평가를 받았다. 가장 좋은 평가를 받은 것은 동작 용이성과 봉제선의 거슬림이 없음에서 만족도가 높아 나타난 결과로 생각되며 무릎 지지력에서는 가장 낮은 순위로 이에 대한 효과는 없다고 할 수 있다. 다만 선행 연구를 근거로 결정한 기본 패턴 축소를 기본적으 로 쾌적한 압력 수준임을 다시 한 번 판단할 수 있었다. 무릎 지지에 효과적인 디자인과 압력 수준을 선택하기 위해 Type 1을 배제하고 결과를 살펴보면 Type 4, Type 6, Type 2 순으로 좋은 평가를 받았다. 이 디자인은 피부 변형 맵핑과 해부학적 특성을 반영한 것으로 본 연구에서 무릎 지지를 위한 기능성 디자인 영역 설정 방법이 적합함을 검증해 준다고 할 수 있다. 그리고 피험자들은 전반적으로 가압수준 2단계를 선호하였으며, 무릎의 가압 디자인 방식은 오금의 착용감에도 영향을 미치는 것으로 나타났다. Type 2, 3의 경우 ‘무릎을 지지하는가’에서는 낮은 순위합을 받았으나 그밖에 문항에서 높은 순위합을 보여 총 순위합이 가장 높게 나타났다. 따라서 무릎 지지력이라는 하나의 기능에만 초점을 맞추면 착용자를 만족시킬 수 없고 다

양한 변인을 고려하여 여러 조건이 최적으로 조합되도록 설계하는 것이 중요함을 알 수 있었다. 즉 이는 컴프레션 의복의 차별 가압 디자인 설계 시 착용자들의 쾌적감에 영향을 미치는 다양한 요소를 고려해야 함을 시사한다고 할 수 있다. 이상의 결과를 근거로 본 연구에서는 Type 1을 제외하고 가장 좋은 평가를 받은 Type 4과 Type 6 디자인을 채택하여 컴프레션 의복 실험복 설계 시 활용하였다.

4. 컴프레션 의복 3차원 패턴 설계 및 운동기능성 착용 평가

SIZE KOREA에서 제공하는 30대 남성 평균 치수의 3D 인체 데이터 상에 선행연구(Choi, 2011; Kim & Hong, 2012)의 피부 무변형선을 반영하여 디자인을 도시한 후 [Figure 6(a)] 이를 평면화(2C-AN, Yuka CAD)해 2D 원형 패턴을 완성하였다. 기본 컴프레션 의복에 무릎 보강을 위해 퀴드 착용평가 결과에서 채택된 Type 4와 Type 6 디자인을 적용해 SPCG_1, SPCG_2, DFCG_1, DFCG_2와 같이 [Figure 6(b)~(e)] 실험 컴프레션 의복을 디자인 하였다.

실험복 원단은 토시형 평가에서 결과가 좋았던 T를 사용하였고, 축소는 기존연구 Jeong과 Hong(2010)에 근거하여 2차원 원형 패턴에서 살을 기준으로 위와 아래로 구분하여 산출하였다. 살 위 부분은 경사 방향은 Zigert & Keil(1988)로 측정된 소재 신장율의 50 %를 적용하여 원형 패턴에서 9 % 패턴을 축소, 위사 방향은 소재 신장율의 66 %를 적용하여 원형 패턴에서 16 % 패턴을 축소하였고, 살 아래는 위사 방향으로만 소재 신장율의 66 %를

(Table 5) Rank sum of test results for each design

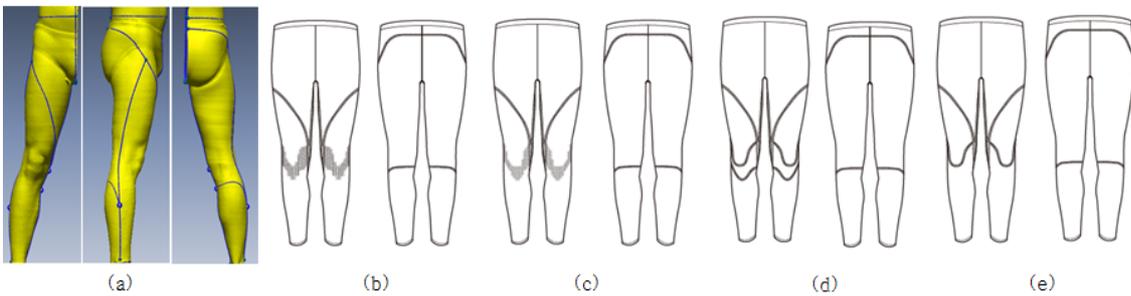
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7
Design variables							
Level of pressure	Level 1	Level 2	Level 3	Level 2	Level 3	Level 2	Level 3
Ease of movement	17	45	55	35	45	27	55
Knee supports	63	27	24	42	32	52	40
Pressure suitability	40	41	51	34	38	39	37
Comfort of sewing line	16	55	63	37	32	28	39
Comfort of popliteal	28	40	55	29	39	36	42
Total rank sum	164	208	248	177	186	182	213

적용하여 원형 패턴에서 16 % 패턴을 축소하였다. 축소 패턴 위에 무릎 보강법은 T소재와 현재 많은 제품에서 사용되고 있는 실리콘 프린팅 중 선호하는 압력부여 방식을 재선정하기 위해 변인을 다음과 같이 하였다. 1mm 간격으로 7mm 정사각형 실리콘 프린팅을 무릎 주위에 U-V형으로 배치(SPCG_1), 3mm간격으로 7mm 정사각형 실리콘 프린팅을 무릎 주위에 U-V형으로 배치(SPCG_2), Type 4토시 제작과 동일한 방식인 U-V형으로 소재 2겹(DFCG_1), Type 6토시 제작과 동일한 방식인 U형으로 무릎아래 전체를 소재 2겹(DFCG_2)으로 총 4벌의 실험복을 제작하였다. 각 실험복의 패턴은 [Figure 7]과 같으며 허리에는 E-band를 넣었고 모든 절개선은 오드랍프로 봉제하였다. 밑단은 두번 접어 박기로 봉제하였다.

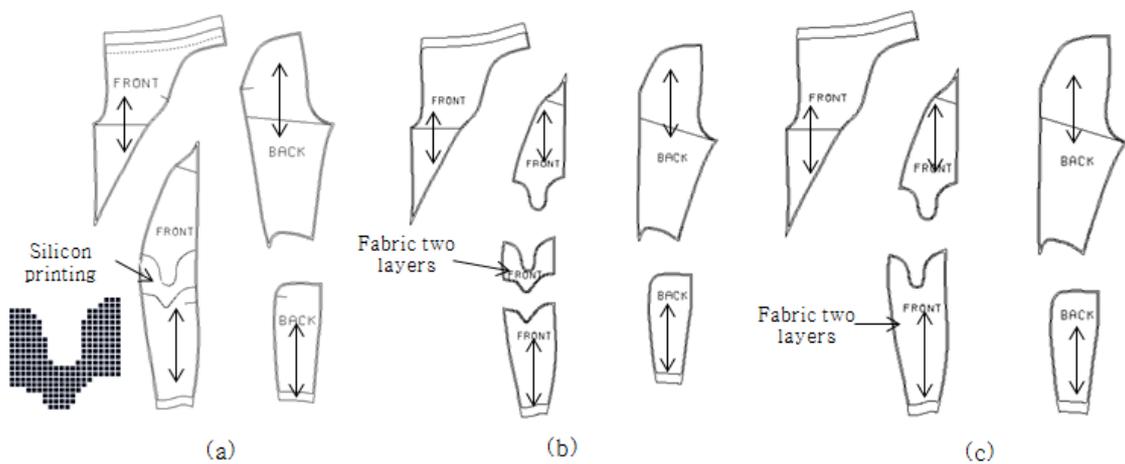
제작된 컴프레션 의복의 의복압 측정 결과는 <Table 6>에 나타내었다. 실험복 간 통계적 유의차는 나타나지

않았으나 뼈가 돌출 되어 있는 무릎과 정강이의 의복압이 다른 부위에 비해 높게 나타났다. 무릎의 의복압은 0.86~1.65 kPa, 정강이는 1.61~2.27 kPa 수준으로 나타났으며 오금은 0.88~0.11 kPa, 허벅지는 0.76~0.97 kPa 수준으로 나타났다. 스포츠용 컴프레션 하의류 쾌적 의복압 수준을 무릎 굽힘 동작에 따라 살펴본 Kim과 Hong(2012)의 연구에서 측정한 결과 허벅지는 0.73~1.32 kPa, 무릎부위 0.54~2.61 kPa 범위가 쾌적 영역 내에 해당한다고 하였다. 본 연구에서 개발된 실험복의 의복압 결과도 선행연구 결과와 유사한 수준으로 나타났다.

컴프레션 의복의 운동기능성 착용 평가 결과는 <Table 7>과 같다. SPCG_1 실험복은 ‘무릎을 지지해주는가’ 문항에서 다른 실험복 보다 유의하게 높게 나타났고(p<.05) SPCG_2 실험복의 경우 SPCG_1보다 실리콘 프린트의 간격을 좀 더 크게 설계하였는데 DFCG_2 실험복과 함께



[Figure 6] Design variables of 3D compression garments
(a: basic design line, b: SPCG_1, c: SPCG_2, d: DFCG_1, e: DFCG_2)



[Figure 7] Patterns for each 3D compression garment design
(a: SPCG_1 & SPCG_2, b: DFCG_1, c: DFCG_2)

낮은 평가 점수를 받은 것으로 보아 피험자들은 실리콘 프린트 간격에 따라 가압 수준을 달리 지각하고 평가함을 알 수 있었다. 본 연구 결과를 통해 무릎 지지를 위한 의복압 정도는 1.65 kPa(SPCG_1) 정도로 유추할 수 있으나 데이터베이스 확보를 위해서는 좀 더 심도있는 연구가 필요하다. 그리고 ‘봉제선이 거슬리지 않는가’ 문항에서는 SPCG_1 실험복과 SPCG_2 실험복이 높은 평가 점수를 받았다($p<.05$). 실험복 SPCG_1, SPCG_2는 실리콘 프린팅법으로 압력을 부여한 실험복으로 봉제선이 없어 이 문항에서 높은 평가를 받은 것으로 판단된다. 되도록 봉제선이 없도록 설계하는 것이 동작 시 보다 편안함을 줄 수 있다고 생각되며 원단위에 이미 사용되고 있는 실리콘 프린팅을 덧대어 의복압을 증가시키는 것은 효율적이나 피부의 변형 정도를 실리콘 프린팅이 따라가지 못하면 동작 시 불편함을 줄 수 있기 때문에 전체적으로 피복하는 것 보다는 간격이 필요함을 확인 할 수 있었다. 결과적으로

SPCG_1 실험복의 무릎지지 디자인과 압력 부여 방법이 착용감 및 동작기능성에서 모두 선호하는 것으로 나타났다. 최적의 무릎지지 기능이 있는 3차원 컴프레션 의복 설계를 위한 디자인 프로세스와 개발 된 의복의 주요 특징을 [Figure 8]에 나타내었다. 7mm 정사각형을 1mm 간격을 열어 배치하여 무릎 지지와 동시에 압력의 기능을 부가하였기 때문에 동작 시 불편함을 최소화시켰다. 즉 피부의 움직임에 의복이 대응할 수 있도록 자유도를 부여한 최적의 디자인이라 할 수 있다. 또한 U-V 형의 디자인 라인은 무릎을 중심으로 위와 아래로 연결해 주면서 무릎 주변의 인대와 건을 감싸고 지지함으로써 무릎의 과도한 외반, 내반, 과신전 등을 방지하여 안전성에 도움을 줄 수 있었다.

〈Table 6〉 Wearing pressure of compression garment (units in kPa)

Position	SPCG_1		SPCG_2		DFCG_1		DFCG_2		F	p
	Mean	(S.D.)	Mean	(S.D.)	Mean	(S.D.)	Mean	(S.D.)		
Knee	1.65	(.77)	1.32	(.75)	.97	(.70)	.86	(.68)	1.490	.248
Popliteal	.96	(.30)	.88	(.40)	.88	(.45)	1.11	(.54)	.383	.766
Shin	1.68	(.51)	1.61	(.42)	2.27	(.50)	1.92	(1.16)	1.044	.395
Thigh-front	.74	(.29)	.70	(.24)	.50	(.20)	.59	(.26)	.554	.652
Thigh-back	.97	(.38)	.76	(.16)	.83	(.34)	.85	(.18)	1.105	.372

〈Table 7〉 Results of wearing test

	SPCG_1		SPCG_2		DFCG_1		DFCG_2		F	p
	Mean	(S.D.)	Mean	(S.D.)	Mean	(S.D.)	Mean	(S.D.)		
Easy movement	5.86	(.90)	5.57	(.53)	5.29	(0.76)	5.29	(.49)	1.100	.368
Knee supports	6.14 ^a	(.90)	4.57 ^b	(1.13)	5.57 ^{ab}	(1.27)	4.57 ^b	(.98)	3.633	.027 [*]
Pressure suitability(knee)	6.00	(.58)	5.00	(1.29)	5.29	(1.70)	4.57	(.53)	1.945	.149
Pressure suitability(total)	6.00	(.58)	5.43	(1.27)	5.14	(1.35)	4.57	(.53)	2.447	.088
Comfort of sewing line	6.14 ^a	(.38)	6.00 ^a	(.58)	4.57 ^b	(1.13)	4.43 ^b	(1.13)	7.625	.001 ^{**}
Comfort of popliteal	5.14	(1.46)	5.14	(1.46)	5.43	(0.98)	5.29	(.49)	.096	.962

a, b: Groups with the same letter have means that are not statistically different by Duncun test, * $p<.05$, ** $p<.1$



[Figure 8] Process and characteristics of the development 3D compression garment

IV. 결론

본 연구에서는 스포츠 활동시 안전성을 향상시킨 스포츠 컴프레션 의복을 개발하기 위해 하지 동작의 핵심을 이루는 무릎 관절 지지를 위한 기능적 디자인 영역 선정과 압력 보강방법을 제안하고 그 효과를 검증하였다. 피부 변형 정도와 해부학적 형상을 고려한 디자인 라인 설정으로 동작 시 봉제선으로 인한 거슬림이 발생하지 않도록 하였고, 무릎 지지로 인한 의복압에 의해 운동 가동성이 방해받지 않도록 설계하였다.

먼저 무릎 관절 부근의 피부변형을 분석하기 위해 30대 남성 2명의 인체의 무릎 부위에 3cm 간격의 점을 찍은 후 정자세와 무릎 60도 굽곡 동작에 대하여 3차원 정보를 획득하였다. 약 3cm 간격의 점을 가로, 세로, 45도, 135도 방향으로 연결하고 정자세와 60도 굽힘 동작 시 길이 변화를 측정해 두 선의 길이 변화가 최소인 선을 연결하여 무릎 부위 피부 무변형선을 추출하고 동시에 대퇴골과 경골을 연결하면서 측면을 보강해 무릎 부위 아래를 감싸 무릎이 보호되도록 U-V형의 디자인 영역을 선정하였다. 다음으로 앞서 선정한 디자인 영역의 적합성을 검증하기 위해 통계 변인과 기존 제품 디자인을 반영시키면서 압력 수준을 달리해 동일한 원단으로 총 7벌의 토시형 실험복을 제작한 후 퀴드법으로 선호도 검사를 실시하였다. U-V형

의 디자인 영역(Type 4)과 U형으로 무릎 아래 전체 디자인 영역(Type 6)을 선호하였고, 선택된 기능적 디자인 영역을 반영시킨 컴프레션 의복개발을 위해 SIZE KOREA 30대 남성 대표체형의 3차원 데이터에 상에서 선택된 디자인 라인을 도시하고 2C-AN 프로그램과 Yuka CAD 프로그램을 사용하여 2차원 기본 원형 패턴을 제작하였다. 기본 원형 패턴에서 축소 정도는 기존 연구에 근거하여 산출하였고 무릎 부위 압력 부여는 원단의 2겹 사용과 실리콘 프린팅 기법을 변인으로 하였다. 즉 1mm 간격으로 7mm 정사각형 실리콘 프린팅 배치(SPCG_1), 3mm간격으로 7mm 정사각형 실리콘 프린팅 배치(SPCG_2), 원단 2겹(DFCG_1), 무릎아래 전체 원단 2겹(DFCG_2)으로 총 4벌의 실험복을 제작 및 평가하였고 실험 결과 SPCG_1 실험복의 의복압은 무릎 1.65 kPa, 오금 0.96 kPa, 허벅지 0.74~0.97 kPa로 나타났다. 착용실험 결과 SPCG_1 실험복이 ‘무릎을 지지해주는가’(6.14점), ‘봉제선이 거슬리지 않는가’(6.14점) 문항에서 가장 우수한 평가를 받았다 ($p<.05$). ‘동작의 용이한가’(5.86점), ‘무릎압력이 적정한가’(6.00점), ‘전체압력이 적정한가’(6.00점) 문항에서도 가장 우수한 평가를 받아 무릎을 적절하게 지지해줌과 동시에 봉제선이 없어 동작 시 거슬림이 없으며 동작의 가동성에 한계를 주지 않았음을 알 수 있었다.

본 연구는 무릎의 안전성이 향상된 컴프레션 의복 개발을 위해 전반적인 단계별 체계적인 디자인 프로세스를 다

루었다. 컴프레션 의복은 특정 기능을 부여하기 위해 매년 처음부터 디자인 영역을 설정하고 차별 압력을 가하는 과정이 있어야만하기 때문에 체계적인 디자인 프로세스를 다룬 것은 의의가 있다고 할 수 있다. 후속연구에서는 개발된 컴프레션 의복의 무릎의 안전성 평가에 관한 객관적인 실험 결과를 통해 검증하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- Ali, A., Creasy, R. H., & Edge, J. A.(2010). Physiological effects of wearing graduated compression stockings during running. *European Journal of Applied Physiology*, 109(6), 1017-1025.
- Baker, B. E., Edward, V., Orthotist, C., Bogosian, S., & Werner, F. W. (1987). A biomechanical study of the static stabilizing effect of knee braces on medial stability, *The American Journal of Sports Medicine*, 15, 566-570.
- Branch, T., Hunter, R., & Donath, M. (1989). Dynamic EMG analysis of anterior cruciate deficient legs with and without bracing during cutting, *Am. J. Sport Med.*, 17, 35-41.
- Choi, J., & Hong, K. (2015). 3D skin length deformation of lower body during knee joint flexion for the practical application of functional sportswear, *Applied Ergonomics*, 48, 186-201.
- Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2003). Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players, *Medicine Science and sports in Exercise*, 35(10), 1745-1750.
- Grabiner, M., & Weiker, G.(1993). Anterior cruciate ligament injury and hamstrings coactivation. *Clin, Biomech.*, 8, 215-248.
- Jeong, Y. H., & Hong, K. (2010). Development of 2D patterns for Cycling Pants using 3D Data of Human Movement and Stretch Fabric, *Korean Journal of Human Ecology*, 19(3), 555-563.
- Kim, J. Y.(2004). Development of an Evaluation Method for Tactile Properties of Sportswear Fabrics Using Quad Analysis, *Textile Science and Engineering*, 41(5), 312-316.
- Kim, N. Y (2012). *Engineering Design of 3D compression suit based on the anatomical nature of moving body*, Chungnam National University, Korea.
- Kim, S. & Hong, K. (2014). Development of compression garment of soft type for orthotherapy on low back pain and the improvement of asymmetric EMG. *Korean Journal of Human Ecology*, 23(4), 665-680.
- Kim, S., & Hong, K. (2012). Engineering design process of tight-fit sportswear using 3D information of dermatomes and skin deformation in dynamic posture, *Korean Journal of Human Ecology*, 21(3), 551-565.
- Choi, J. Y. (2011). *Engineering design of 3D tight-fit garment using skin surface mapping based on the skin deformation of lower body*, Unpublished master thesis, Chungnam National University, Korea.
- Kraemer W. J., Bush, R. U., Newton, N. D., Duncand, J. S., Volekb, C. R., Denegar, P. C., John Johnstone, M. P., & Wayne, J. S. (1996). Influence of Compression Garments on Vertical Jump Performance in NCAA Division I Volleyball Players, *Journal of Strength & Conditioning Research*, 10(3), 180-183.
- Kraemer W. J., Bush, R. U., Newton, N. D., Duncand, J. S., Volekb, C. R., Denegar, P. C., John Johnstone, M. P., & Wayne, J. S. (1998). Influence of a compression garment on repetitive power output production before and after different types of muscle fatigue, *Sports Medicine Training and Rehabilitation*, 8(2), 163-184.
- Kraemer, W. J., Bush, J. A., Bauer, J. A., Triplett-McBride, N. T., Paxton, N. J., Clemson, A., Koziris, L. P., Mangino, L. C., Fry, A. C., & Newton, R. U.(1996). Influence of Compression Garments on Vertical Jump Performance in NCAA Division I Volleyball Players, *Journal of Strength*

- & *Conditioning Research*, 10(3), 180-183.
- Lee, A. R. (2012, November 5). sudden rise functional performance wear. Apparelnews. Retrieved May, 15, http://www.apparelnews.co.kr/2011/pnews.php?table=paper_news&query=view&uid=65884
- Lim, B. O. (2007). . Does a knee brace decrease recurrent anterior cruciate ligament injuries? *Health & Sports Medicine; Official Journal of KACEP*, 9(1), 103-109.
- Lim, B. O. (2007). The effects of knee brace on the knee extensor and valgus moment during the rebound in female highschool basketball player, *The Korean of Physical Education*, 46(4), 509-514.
- Lee, H. R. (2013). Ergonomic design and its 3D pattern development of outdoor pants based on skin deformation in dynamic posture, Unpublished doctoral dissertation, Chungnam National University, Deajeon
- MacRae B. A., Cotter, J. D., & Laing, R. M. (2011). Compression garments and exercise, *Sports Medicine*, 41(10), 815-843.
- Miller R. W. (2002). Subjective property characterization by “Quad” analysis: an efficient method for conducting paired comparisons, *Textile Research Journal*, 72(12), 1041-1051.
- Rink, P. C., Scott, R. A., & Lupo, R. L.(1989). A comparative study of functional bracing in the anterior cruciate deficient knee, *Orthopaedic Review*, 18, 719-727.
- The Korean Orthopaedic Association web site, Health information of orthopaedic - knee joint, Retrieved December, 23, 2014, from http://www.koa.or.kr/info/index_10_5.php
- Troynikove, O., Ashayeri, E., Burton, M., Subic, A. Alam, F., & Marteau, S. (2010). Factors influencing the effectiveness of compression garments used in sports. *The Engineering of Sport 8 - Engineering Emotion*, 2(2), 2823-2829.