

[Original Article]

## A study of making a dress form for women using a 3D printer

Seol Young Oh<sup>†</sup>

Schools of Fashion, Hansung University, Korea

### 3D 프린터를 이용한 여성용 인대 제작 연구

오 설 영<sup>†</sup>

한성대학교 패션학부

#### Abstract

In the Korean fashion industry, 3D printing systems are considered as new technology and a new opportunity. With 3D printers, consumers can be manufacturers and individuals can develop businesses with little upfront capital. In this study, a dress form for the typical Korean women's body shape was developed using 3D technology (3D scanning, 3D modeling, and 3D printing). Ten women with apparel sizes 85-91-160 were selected from 3D body-scan data collected by SizeKorea of 201 women aged 25 to 34 (2010). First, 15 horizontal cross-sections were collected from the 3D scan data of the 10 subjects. Then, inside lines of those cross-sections were drawn at 15-degree intervals, and the lengths were measured. The average of the inside lines was connected to the internal spline curve, and the curves were used as the average cross-sections. The average torso body and the dress form of Korean women were developed into a 3D solid model using a 3D CAD program (Solidworks 2012). An output mockup was printed by the FDM type's 3D printing system (Bonbot 1200, Bonbot 3-H4) using PLA material. The dimensions comparing the 3D solid modeling to the 3D printed mockup of the dress form were measured, and minor differences were between 0.00cm and 0.40cm. In the future, 3D printing systems are expected to be in use for various personalized dress forms.

*Keywords: 3D printing(3D 프린팅), 3D scanning(3D 스캐닝), 3D modeling(3D 모델링), dress form(인대)*

Received September 18, 2016

Accepted November 17, 2016

<sup>†</sup>Corresponding author  
(snowbelloh@gmail.com)

ORCID

Seol Young Oh  
<http://orcid.org/0000-0002-4648-6080>

## I. Introduction

2D 프린터는 x축과 y축으로 움직이는 노즐에서 잉크를 분사하여 그림이나 글을 2차원 평면인 종이 위에 출력하지만, 3D 프린터는 x축, y축, z축으로 움직이는 노즐에서 다양한 재료를 사출하여 디지털 도면을 3차원 입체 형상으로 출력한다("3D printer", n.d.; Oh, Suh, & Kim, 2016). 이러한 3D 프린팅 기술은 획일화된 대량 생산 방식에서 벗어나 맞춤형 소량 생산을 가능하게 하기 때문에 소비문화와 산업

환경을 바꾸는 새로운 제조혁명의 수단으로 평가받고 있다(Jin, 2015). 가트너(Gartner Group)는 세계 최대 규모의 전자제품박람회인 ‘CES 2016’에서 웨어러블 기기, 드론, 스마트시티, 3D 프린터를 4가지 미래형 아이템으로 선정하였으며, 2013년 6만 1,661대 규모였던 3D 프린터 시장이 2020년에는 241만 7천대 규모까지 성장할 것으로 전망하였다(Kim, 2016; Oak, 2016).

과거 낮은 임금을 찾아 저임금 국가로 생산기지를 이전했던 글로벌 생산업체들도 개발도상국들의 치솟는 인건비를 맞추는 대신 3D 프린터 기술에 눈을 돌려 기술개발에 자본을 투자하고 있다. 미국, 중국, 유럽 등에서는 이미 3D 프린터로 시제품뿐만 아니라, 최종 생산품까지 생산하고 있다. 그러나 우리나라의 3D 프린터 산업은 아직 초기단계로, 수십 년 전부터 3D프린터 기술을 개발해 온 미국, 유럽 등과 비교해 기술 격차가 현격하다. 중국은 대형 출력물 분야, 일본은 개인 맞춤 서비스 분야, 미국은 산업 분야에 주력하며 성장하고 있다. 우리나라의 3D프린터 산업도 이러한 전략적 접근과 국가적 지원이 필요하다(Jung, 2016; Kim, 2016).

3D 프린팅 시스템은 제조업의 패러다임을 ‘생산→유통→소비’ 단계에서 ‘소비→생산→유통’의 단계로 바꾸고 있다(Jin, 2015). 3D 프린터를 사용하면 개인 맞춤형 제품 설계 및 디자인 변형이 쉽고, 온라인 기반의 제품주문과 생산유통이 가능하기 때문에, 빠르게 변화하며 개성과 다양성을 추구하는 패션산업 분야에 적합하다(Kim & Kang, 2015). 또한 최소 주문량 제한이 없고, 주문 후 제작하기 때문에 재고를 미리 확보할 필요가 없다. 따라서 소자본 신진 디자이너들의 창업에 유리하며, 향후 원단 및 부자재를 원하는 대로 자유로이 제작하는 단계까지 3D 프린터가 상용화된다면 1인 패션 제조 기업 시대가 가능해질 것이다(Kim, H. E., 2015).

국내 인대 제조업체의 경우, 인대 제작에 필요한 부위별 인체 치수 및 체형 분석에 대한 충분한 정보를 가지고 있지 못하기 때문에 실제 인체의 형태를 반영하지 못한 채 시각적으로 보기 좋은 형태 위주로 인대를 제작하고 있다. 시판 인대의 경우, 부위별 치수는 한국 여성의 평균 치수와 비슷하더라도 부위별 수평단면의 편평률은 실제 인체 형태와 차이가 있다. 또한 제조사마다 사용하는 호수 및 치수체계가 달라,

인대를 구매하여 사용하는 소비자들이 혼동을 겪고 있는 실정이다(Song, Choi, & Lee, 2004). 기존의 인대 제작 방식에서는 금형을 사용하기 때문에, 한번 인대의 모형을 결정하면 재수정이 어렵고, 맞춤형 인대의 제작이나 특수 인대의 제작 시 비용과 시간이 많이 소요되었다. 그러나 3D 프린팅 시스템의 장점을 활용하면 저비용으로 맞춤형 인대 제작이 가능하다.

본 연구에서는 3D 테크놀로지를 활용하여 한국 성인여성의 체형에 맞는 여성용 인대를 개발하고자 하였다. 이를 위해 제6차 한국인 인체치수 조사사업(SizeKorea, 2010)에서 수집한 3D 인체 스캔 데이터를 활용하여 성인여성의 신체 치수를 파악하고, 3D CAD 프로그램을 사용하여 한국인의 체형에 맞는 여성용 인대를 3D 모델링하고, 3D 프린터로 출력하여 최종 인대를 제작하였다. 3D 프린터를 사용하면 최소 주문량의 제한이 없고 금형 제작 없이 바로 제품 생산이 가능하기 때문에, 주문자의 목적에 맞춘 다양한 맞춤형 인대를 저렴하게 공급하여 보다 많은 소비자들에게 더 나은 의복 맞춤새를 제공할 수 있다. 3D 인체 스캔 데이터 가공, 3D 솔리드 모델링, 3D 프린팅의 단계로 진행된 본 연구의 인대 제작 방법은 표준사이즈의 기성복 인대뿐만 아니라, 동적 자세를 반영한 특수복 인대, 플러스 사이즈나 브띠 사이즈와 같은 다양한 체형을 위한 체형별 인대 제작에도 활용 가능할 것이다.

## II. Background

3D 프린팅 시스템에서 소비자는 제품의 생산자와 디자인콘텐츠의 창작자 역할을 동시에 할 수 있다(Jin, 2015). 3D 프린터는 생산자 중심에서 소비자 중심으로 시장구조를 이동시켜, 소비자들은 개인의 취향이 반영된 맞춤주문이 가능해지고, 생산자들은 생산 라인의 구축에 드는 공간과 비용을 줄일 수 있으며, 디자이너들은 기존의 생산 공정으로는 제작할 수 없던 창의적 디자인들을 시도해 볼 수 있다(Kim, J. H., 2015). 과거의 대량생산과 달리 생산라인 설비나 금형제작을 위한 초기 비용이 필요하지 않기 때문에 3D 프린팅 시스템은 소량생산 위주의 맞춤제조 및 1인 창업기업에 유리하다(Pack, 2015).

3D 프린터는 출력 방식에 따라 SLS(Selective Laser

Sintering), SLA(Stereo Lithography Apparatus), FDM (Fused Deposition Modeling) 방식 등으로, 용도에 따라 산업용, 전문가용, 개인용 프린터로 분류할 수 있다. SLS 방식은 선택적 레이저 소결 방식으로, 분말 형태의 재료에 고강도 레이저를 가하여 분체 입자 간에 결합을 일으켜 단단하게 응고시켜 형상을 조형한다. 사용가능한 소재의 종류가 다양하여 복잡한 형상의 구현이 자유롭다. SLA 방식은 빛에 반응하는 액체 재료를 자외선 레이저를 쏘아 급속 경화시켜 얇은 막을 한층씩 형성하는 방식으로, 플라스틱 원료를 주로 사용한다. FDM 방식은 열가소성 플라스틱 재료를 가열된 노즐을 통해 용융 압출하여 한 층씩 쌓아가며 조형하는 방식으로, ABS, PLA 소재를 주로 사용한다 (Lee, 2014; Lee, Cho, & Noh, 2014).

현재 시판 중인 산업용 3D 프린터는 SLS 및 SLA 방식을 적용하여 출력물의 완성도 정확도는 높지만, 프린터 기기의 가격이 사양에 따라 수 천 만원에서 수 억 원에 이르기까지 높게 형성되어 있고, 사출재료 또한 고가이다. 도입 및 유지를 위한 비용 부담이 크기 때문에 1인 창업기업 및 소규모 업체에게 산업용 3D 프린팅 시스템은 진입장벽이 너무 높다. 반면, FDM 방식을 적용하는 개인용 데스크톱 3D 프린터는 출력 표면이 고르지 못해 정확도가 떨어지고 출력속도가 느리지만, 관련 기술에 대한 특허가 만료되어 공개된 오픈소스를 자유롭게 사용할 수 있기 때문에 프린터의 가격이 100만 원~1천만 원대로 저렴하다(Jin, 2015). 전체 3D 프린터 시장의 73.4%는 FDM 방식으로, 현재 3D 프린터 시장의 성장은 FDM 방식의 보급형 3D 프린터가 이끌고 있다(Lee & Lee, 2016). 보급형 FDM 프린터는 1개의 노즐로 100mm×100mm×100mm 사이즈의 모델을 출력하는데 평균적으로 4~6시간이 소요되기 때문에, 여러 개의 제품을 출력하려면 다수의 기기를 동시에 사용하여 출력시간을 줄여야 한다. 이러한 출력시간과 출력사이즈의 한계 때문에 FDM 방식은 대량생산 제품보다는 맞춤형 제품이나 시제품 제작에 적합하다. FDM 방식의 보급형 프린터는 적은 비용으로 개인이 직접 제품을 설계하고 생산할 수 있는 기반을 제공하여 생산자와 소비자의 경계가 사라지고, 누구나 제품을 생산할 수 있는 프로슈머(prosumer)의 시대를 열었다(Pack, 2015).

3D 프린팅 시스템은 가방, 신발, 액세서리, 의류

부자재 등의 의류산업분야에 적용될 수 있을 뿐만 아니라, 기존의 기술로는 제작이 불가능했던 복잡한 입체구조의 창의적 패션디자인 영역에도 새로운 길을 제시한다(Lee & Lee, 2016). 의류 제작 분야에서 3D 테크놀로지는 3D 인체 스캐닝, 3D 디자인 및 모델링, 3D 프린팅 제품생산으로 나눌 수 있다(Oh et al, 2016). 3D 테크놀로지를 사용하면, 인체의 형상을 3D 스캔하고, 이를 기초로 3D 디자인과 3D 패턴을 제작하며, 3D 프린팅하면 고객 맞춤형 의상 제작이 가능하다. 특히 인체에 밀착되고 봉제선이 없는 컴프레션웨어 아이템의 경우, 3D 프린팅을 사용하면 솔기선이 없는 무봉제 의류로 맞춤 제작할 수 있다. 그러나 보급형 프린터의 경우 출력 크기를 결정하는 빌트 플랫폼이 작기 때문에, 체표면 전체를 감싸는 크기의 옷을 한번의 출력으로 제작할 수가 없어 여러 조각으로 분할 출력한 후 각각의 조각들을 연결하여 완성해야 한다. 무봉제 맞춤형 의류의 3D 프린팅 상용화까지는 아직 해결해야 할 기술적 문제들이 남아있다(Kim, H. E., 2015).

의류학 분야에서 3D 프린팅 기술을 적용한 연구는 많지 않다. 지금까지 의복구성분야에서 3D 프린팅 기술은 주로 인대 제작 분야에서 적용되었다. 3D 테크놀로지를 활용한 여성용 인대 개발에 대한 선행연구를 살펴보면 다음과 같다. 산업자원부(Korean Agency for Technology and Standards [KATS], 2005a)에서는 Adult용 여성복 인대를 개발하기 위해 제5차 Size Korea에서 수집한 35~49세 여성의 3차원 인체 스캔 데이터 중 66 사이즈에 속하며, 바른 자세를 가진 피험자 5명을 선정하였다. 이들의 3차원 인체 스캔 데이터에서 19개의 수평단면과 2개의 수직단면을 부위별로 추출한 후, 수평단면도를 5~10° 간격으로 나누어 부위별 길이의 평균을 구한 다음, 이를 spline 곡선으로 연결하여 평균 단면도와 평균 와이어 프레임 제작하였다. 앞서 선정된 5명의 피험자들 중에서 가장 자세가 좋은 체형을 가진 최종 1명을 인대 제작을 위한 대표체형 가상모델로 최종 선정하고, 선정된 가상모델의 3D 인체 스캔 형상을 평균 와이어 프레임에 맞춰 변형하여 중년여성용 인대를 3D 모델링하였다. 완성된 3D 모델은 Stratasys사의 3D 프린터인 FDM Titan System을 이용하여 ABS 소재로 최종 출력되었다.

Choi and Nam(2008)은 제5차 Size Korea에서 수집한 25~34세 여성의 3차원 인체 형상 데이터를 분

석하여 성인여성을 4개의 체형유형으로 분류하고, 체형별 대표체형을 1명씩 선정하였다. 선정된 대표체형 모델의 3차원 인체 스캔 형상에서 10mm 간격으로 수평단면 곡선들을 채취하였으며, 10mm 두께의 스티로폼 보드를 수평단면 곡선을 따라 HCM-2S 열선커터기로 재단한 후, 이를 조합하여 25~34세 성인 여성의 체형별 인대를 제작하였다.

Kim and Choi(2010)는 실버여성의 3차원 인체 스캔 형상을 3D 몰핑(Morphing)하여 평균모델을 생성한 후, RP(Rapid Prototyping) 시스템을 사용하여 체형별 인대를 제작하였다. 이를 위해 제5차 Size Korea에서 수집한 60~79세 여성의 3차원 인체 형상 데이터를 분석하여 실버여성의 체형유형을 2개로 분류한 후, 각 체형별 대표 체형을 3명씩 선정하였다. 선정된 3명의 대표 체형 모델의 3차원 인체 형상 데이터들은 Rapidform 2006 프로그램의 폴리곤 몰핑(Polygon Morphing) 기능을 사용하여 평균 3D 형상으로 모델링되었으며, FDM Maxum 3D 프린터를 사용하여 ABS 소재의 인대를 제작하였다.

Park(2015)은 패션모델의 3차원 인체 형상을 반영한 토르소인대를 RP 시스템으로 개발하였다. 이를 위해 여성 패션모델 5명을 3차원 인체 스캐너로 촬영한 후 Rapidform XOS로 3D 스캔 형상에서 부위별 단면을 채취하였으며, AutoCAD 프로그램으로 이를 중합하여 평균단면을 형성한 후 패션모델의 가상인체 형상을 3D 모델링하였다. 형성된 인대 모델은 3D 프린팅 시스템을 사용하여 프로토타입 형태로 출력한 후, 몰딩방법을 사용하여 강화플라스틱 소재로 대량생산용 플라스틱 인대의 기본틀을 제작하였다. 완성된 대량생산용 플라스틱 인대 틀 위에 충전재를 붙이고, 리넨 소재의 커버로 감싸 입체재단의 핀 작업이 가능하도록 하였다.

3D 프린팅 시스템을 사용하여 여성용 인대를 제작한 기존의 선행연구들은 인대 모델링에 사용된 3D 인체 스캔 데이터가 최소 1명에서 최대 5명으로 구성되었다. 샘플 수가 적을수록 피험자 고유의 체형특성이 인대의 형상에 반영될 가능성이 높다. 피험자 특성이 표준 인대의 제작에 미치는 영향을 줄이기 위해서는, 3D 인체 스캔 형상 수집의 피험자수를 좀 더 확대할 필요가 있을 것으로 생각된다.

현재 시판 중인 국내 인대들은 한국인의 자세 및

체형 특징을 인대 형상에 제대로 반영하지 못하고 있으며, 제조사마다 호수 및 치수체계도 서로 다르다. Song(2004)에 따르면, 국내 의류업체에서 가장 많이 사용하는 국산 브랜드 인대는 섬유강화플라스틱(Fiber Reinforced Plastics; FRP)으로 제작된 A사의 제품으로 핀 작업이 불가능하여 샘플가봉용으로만 사용하고 있으며, 입체패턴설계가 필요할 경우에는 국내 브랜드의 제품이 아닌 고가의 수입브랜드 인대에 의존하고 있다. 입체패턴설계가 가능한 인대 중 가장 널리 알려진 국산브랜드 D사의 인대는 치수 정확도가 떨어져 교습용으로 사용되고 있으며, 수입 인대의 경우, 한국인의 체형에 적합하지 않아 국내 체형을 반영한 인대 개발이 필요한 실정이다.

기존의 인대 제작 방식에서는 형태를 한번 결정하면 수정 작업이 어렵고, 목업(Mockup)과 금형 제작에 많은 시간과 비용을 지불해야 하기 때문에 맞춤 사이즈의 인대나 특수 용도의 인대 제작이 어려웠다. 그러나 주문자 맞춤형 생산에 적합한 3D 프린팅 시스템을 활용하면, 소규모 인대 제조업체에서도 다양한 맞춤형 인대를 제작할 수 있게 되어 국내 인대 제조 산업이 활발하게 성장할 수 있을 것으로 기대된다.

### III. Methods

#### 1. Subjects

여성의 결혼과 출산 연령이 늦어지면서 여성복 브랜드들의 타겟 연령 구분은 모호해지고 있다. 2015/2016 패션 시장 분석에 따르면 여성복 시장에서 가장 구매력이 큰 연령집단은 30~34세(14.0%)이며(Samsung designnet, 2016), 이들은 20대의 감성을 가지고 제품을 소비한다. 20대를 타겟으로 표방하는 영캐릭터 브랜드들의 주고객층은 30대 미시족으로, 이들의 구매율이 전체 매출의 40%가 넘는다(Kim, 2007). 본 연구에서는 여성복 시장에서 인구 비율과 의복구매력이 높은 연령층인 만 25세 이상 만 34세 이하의 성인여성을 대상으로, 이들의 체형 특성을 반영한 여성용 인대를 개발하고자 하였다. 이를 위해 제6차 한국인 인체 치수 조사 사업(SizeKorea, 2010)에서 수집한 만 25세 이상 만 34세 이하 성인 여성의 3차원 인체 형상 데이터( $n=201$ 개) 중에서, 동일한 기성복 사이즈를 입는 보통체형 피험자 10명을 선정하고, 이들의 3차

원 인체 형상을 분석하였다.

한국 성인 여성복 사이즈 규격(KS K 0051 2009)에 따르면, 보통체형(N체형) 성인여성의 평균 신체 치수는 젓가슴둘레 85.5cm, 허리둘레 71.6cm, 엉덩이둘레 91.3cm, 키 157.8cm이며, 성인여성의 피트성이 있는 상의 중에서 보통체형 사용자 분포율은 82-88-155, 85-91-155, 82-88-160, 85-91-160의 4개 사이즈 구간이 가장 높다. 본 연구에서는 사용자 분포율이 높은 4개의 사이즈 중, KS K 0051에서 제시한 보통체형 성인 여성의 평균 신체 치수를 포함하고 있는 85-91-160 사이즈를 피험자 수집 구간으로 선정하였다. 이 사이즈 구간은 제6차 SizeKorea에서 수집한 만 25세 이상 만 34세 이하 성인 여성( $n=201$ 명)의 3차원 인체 측정 평균인 젓가슴둘레 86.2cm, 허리둘레 70.4cm, 엉덩이둘레 92.2cm, 키 161.3cm를 포함하고 있었다(Table 1).

KS 규격에서 제시하는 의류 사이즈의 편차는 가슴둘레, 허리둘레, 엉덩이둘레의 경우  $\pm 1.5$ cm, 키는  $\pm 2.5$

cm이지만, 제6차 SizeKorea의 3차원 인체 형상 데이터에서 만 25~34세 여성 201명 중, 젓가슴둘레 83.5~86.5cm, 허리둘레 68.5~71.5cm, 엉덩이둘레 89.5~92.5cm, 키 157.5~162.5cm의 구간에 모두 속하는 피험자는 3명에 불과하였다. 따라서 본 연구에서는 피험자 선정을 위한 사이즈 구간을 기존의 KS 의류 사이즈 편차보다  $\pm 1$ cm 넓은 젓가슴둘레 82.5~87.5cm, 허리둘레 67.5~72.5cm, 엉덩이둘레 88.5~93.5cm, 키 156.5~163.5cm로 확대하였다. 그 결과, 선정된 사이즈 구간에 속하는 피험자는 총 13명이었으며, 이중 3차원 인체 스캔 형상이 좌우 대칭을 이루는 10명의 피험자를 최종 연구대상으로 선정하였다.

본 연구에서 선정한 85-91-160 사이즈의 피험자( $n=10$ 명)와 제6차 SizeKorea에서 만 25~34세의 여성( $n=201$ 명), 여성복 사이즈 규격(KS K 0051 2009)의 보통체형(N체형) 여성에서 부위별 평균 치수는 <Table 1>과 같다.

<Table 1> 3D body measurements of subjects

(Unit: cm)

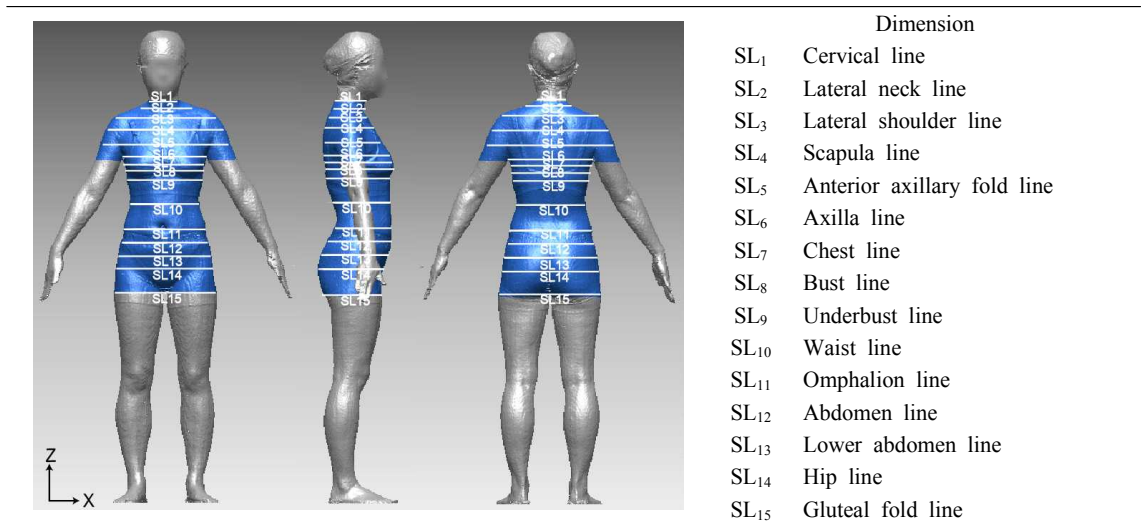
3D body dimension	Subjects of apparel size 85-91-160 (n=10)		Ages 25-34 of SizeKorea2010 (n=201)		N type of KS K 0051 2009	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Stature	160.6	2.4	161.3	5.1	157.8	4.6
Neck base circumference	37.4	1.7	37.2	1.9	37.1	2.0
Chest circumference	85.8	1.7	87.9	5.4	84.7	4.3
Bust circumference	84.1	1.6	86.2	6.6	85.5	4.7
Underbust circumference	74.8	1.6	74.7	5.4	74.5	4.3
Waist circumference	68.9	1.1	70.4	6.6	71.6	6.0
Hip circumference	91.4	1.2	92.2	5.2	91.3	4.3
Front interseam fold length	33.3	1.9	33.4	2.0	32.3	1.8
Back interseam fold length	33.4	1.5	33.5	1.8	36.7	2.2
Scye depth	15.9	1.2	16.5	1.6	-	-
Neck point to breast point length	25.0	1.6	25.4	2.0	26.0	2.1
Waist front length	33.6	1.9	32.9	1.9	-	-
Waist back length	37.5	1.5	37.7	1.8	38.3	2.1
Waist to hip length	21.8	1.9	22.2	1.8	-	-
Shoulder length	12.4	0.9	12.6	0.9	12.6	1.1
Arm length	52.3	2.0	52.8	2.3	52.9	2.2
Drop(hip-bust circumference)	6.3	1.5	6.0	4.8	5.8	1.8
Weight(kg)	53.7	1.6	55.1	7.3	55.0	6.0
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	21.2	0.8	21.6	2.7	-	-

2. 3D body scan data processing

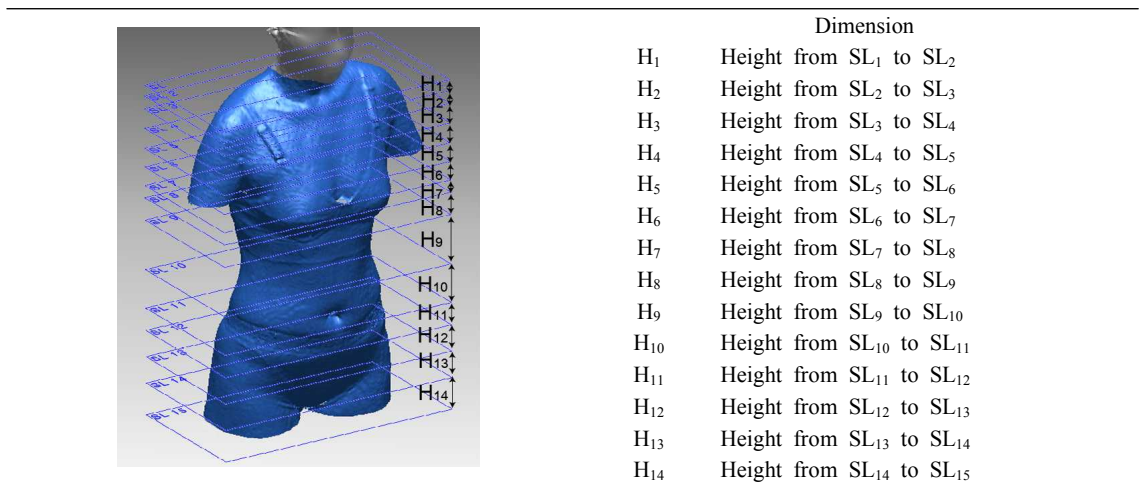
Rapidform 2004 프로그램을 사용하여, 만 25~34세의 보통체형 피험자(n=10)의 3차원 인체 스캔 형상에서 XY 평면방향의 15개 수평단면을 추출하였다. 수평단면도 추출을 위한 기준점과 항목은 국가기술표준원의 표준인체측정법 정의를 따랐다(KATS, 2005b). 15개의 수평단면도는 목뒤점(Slicing Line 1, SL<sub>1</sub>), 목옆점(Slicing Line 2, SL<sub>2</sub>), 어깨점(Slicing Line 3, SL<sub>3</sub>), 견갑골(Slicing Line 4, SL<sub>4</sub>), 겨드랑앞접힘점(Slicing Line 5, SL<sub>5</sub>), 겨드랑점(Slicing Line 6, SL<sub>6</sub>), 가슴둘레

선(Slicing Line 7, SL<sub>7</sub>), 젖가슴둘레선(Slicing Line 8, SL<sub>8</sub>), 밑가슴둘레선(Slicing Line 9, SL<sub>9</sub>), 허리둘레선(Slicing Line 10, SL<sub>10</sub>), 배꼽둘레선(Slicing Line 11, SL<sub>11</sub>), 배둘레선(Slicing Line 12, SL<sub>12</sub>), 아랫배둘레선(Slicing Line 13, SL<sub>13</sub>), 엉덩이둘레출점(Slicing Line 14, SL<sub>14</sub>), 볼기고랑점(Slicing Line 15, SL<sub>15</sub>)을 지나는 수평면을 기준으로 <Fig. 1>과 같이 추출하였다.

<Fig. 1>에서 추출한 15개의 수평단면 평면 사이의 높이를 측정하였다(Fig. 2). 측정된 평면의 평균 높이를 Solidworks® 2012 소프트웨어에서 로프트피처의



<Fig. 1> Cross-sections in a 3D body scan data



<Fig. 2> Heights among the 15 transverse planes

스케치를 제도하기 위한 참조평면들 사이의 거리 값으로 사용되었다.

15개 수평단면의 중심점(O)과 수평단면도의 각도별 내부선길이(L0°~L180°)는 Autodesk사의 AutoCAD® 2011 프로그램을 사용하여 제도되고 측정되었다.

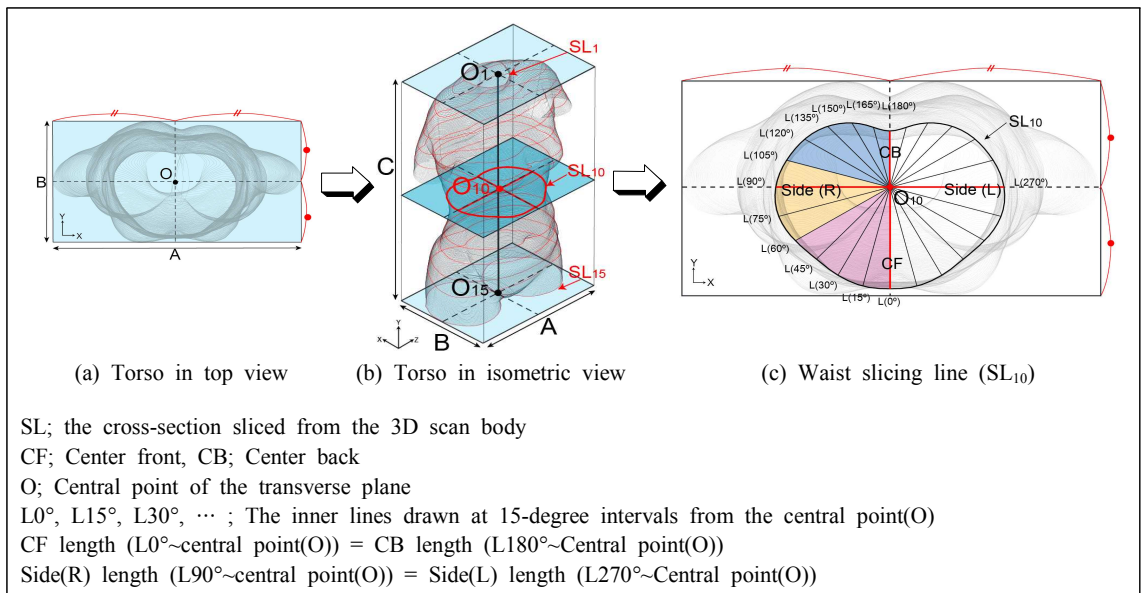
수평단면의 중심점(O) 위치는 다음과 같이 설정하였다. 제일 먼저 토르소의 부피에 맞춰 직육면체(ABC)를 그리고, 직육면체 ABC의 가로(A)와 세로(B)를 각각 이등분한 직선들의 교점을 수평단면평면의 중심점(O)으로 정하였다(Fig. 3의 a). 그 다음, 토르소를 감싸는 직육면체의 윗면(SL<sub>1</sub>)에 그려진 중심점(O<sub>1</sub>)과 직육면체의 밑면(SL<sub>15</sub>)에 그려진 중심점(O<sub>15</sub>)을 연결하였다. 두 중심점을 연결한 직선(O<sub>1</sub>O<sub>15</sub>)은 토르소 내부의 수직중심선에 해당하며, 이 직선은 직육면체의 모서리(C)와 평행을 이루었다(Fig. 3의 b).

피험자들의 평균 수평단면도를 구하기 위해, <Fig. 3>의 c와 같이 중심점(O)에서 수평단면도의 외곽선을 향해 15° 각도의 내부선 L0°, L15°, L30°, L45°, L60°, L75°, L90°, L105°, L120°, L135°, L150°, L165°, L180°를 만들었다. L0°부터 L180°까지의 13개 내부선 길이를 각각 측정한 후 평균값을 구하였으며, 평균 내부선을 그리고, 스플라인 곡선으로 연결하여 피험자들의 평균 수평단면도를 부위별로 완성하였다.

### 3. 3D modeling and 3D printing

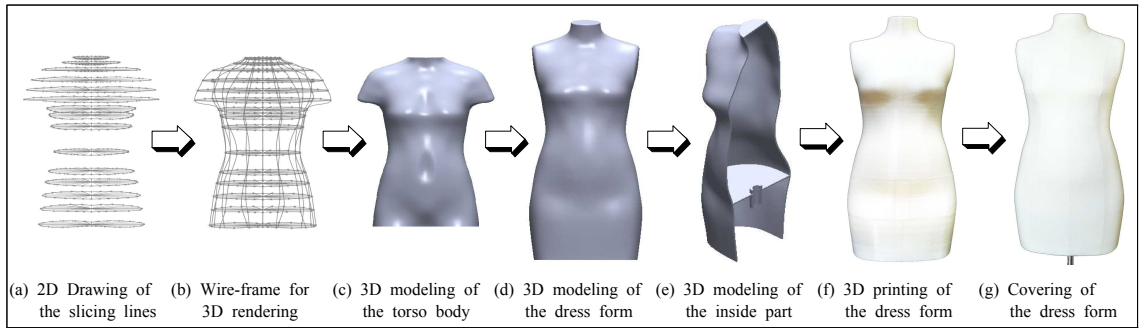
부위별 평균 수평단면 길이를 사용하여 표준체형 여성의 평균 토르소 바디와 인대를 3D 모델링하고, 3D 프린터로 출력하였다(Fig. 4). 평균 토르소 바디와 인대의 3D 솔리드 모델링에는 Dassault Systemes사의 3D CAD인 Solidworks® 2012 소프트웨어가 사용되었다. <Fig. 3>에서 제도한 평균 수평단면도 곡선들을 15개의 부위별 참조평면 위에 그린 후(Fig. 4의 a), 각각의 수평단면도들에서 동일한 각도에 해당하는 끝점들을 스플라인 곡선으로 연결하여 세로방향의 와이어프레임을 제도하였다(Fig. 4의 b). 평균 수평단면도 곡선은 Solidworks 프로그램에서 3D 모델링을 위한 스케치로, 수평단면도들을 연결한 와이어프레임은 로프트 피치의 안내곡선으로 사용하여, 평균 토르소 바디의 3D 솔리드 모델을 완성하였다(Fig. 4의 c).

인대의 3D 모델링은 평균 토르소 바디를 피팅과 입체패턴설계에 적합하게 수정하였다. <Fig. 4>의 c의 평균 토르소 바디에서 드러난 인체의 굴곡을 단순화시켰으며, 암플레이트를 만들고, 이를 경계로 윗팔 형상을 제거하였다. 또한 칼라가 있는 상의 작업이 가능하도록 평균 토르소 바디의 목뒤점(SL<sub>1</sub>) 위쪽으로 네크밴드(SL<sub>0</sub>)를 추가하였으며, 살 아래로 내려가는 상의 및 스커트의 작업을 위해 볼기고랑점(SL<sub>15</sub>) 아



<Fig. 3> Measurements of the 15 cross-sections





<Fig. 4> 3D modeling and 3D printing process of a dress form

래쪽으로 인대밑단선(SL<sub>16</sub>)을 추가하였다(Fig. 4의 d). 토르소 바디 내부에는 중심선(O<sub>1</sub>O<sub>15</sub>)을 따라 인대의 지지대를 고정할 밀판을 내부에 만들어 여성용 인대의 3D 모델링을 완성하였다(Fig. 4의 e).

3D 프린팅은 FDM 출력방식의 보급형 3D 프린터인 Bonbot3-H4와 Bonbot1200을 사용하여 PLA 소재로 진행되었다. 본 연구에서 사용한 FDM 방식의 보급형 3D 프린터는 적은 비용으로 개인이 직접 제품을 설계하고 생산할 수 있는 기반을 제공하여 맞춤형 제품이나 시제품의 제작에 유용하다. 인대의 3D 모델은 3D 프린터의 빌트 플랫폼 사이즈에 맞춰 15개의 조각으로 분할 출력하였으며, 출력된 각각의 조각들을 연결하여 3D 프린팅 인대를 완성하였다(Fig. 4의 f).

사출재료인 PLA는 재질이 단단하여 인대 표면에 핀을 꽂는 입체패턴설계가 불가능하기 때문에, 3D 프린터로 출력한 인대의 PLA 표면을 2mm 두께의 부직포 패드로 1차 감싼 후, 스팬 저지 소재의 직물커버로 2차 감싸 연구용 인대를 최종 완성하였다(Fig. 4의 g).

## IV. Results and Discussion

### 1. Analysis of the 3D body's cross-sections

보통체형 여성 10명의 3차원 인체 스캔 데이터로부터 추출한 15개 부위의 수평단면도에서 중심점(O)을 기준으로 15°로 나눈 내부선의 길이를 측정하고, 평균을 구하였다(Table 2, Fig. 5).

수평단면도 내부선의 평균값으로 피험자들의 3차원 체형특징을 살펴본 결과, 어깨점(SL<sub>3</sub>)에서 겨드랑점(SL<sub>6</sub>)에 이르는 어깨부위의 수평단면도는 토르소의 측면부위인 L75°, L90°, L105°가 긴 경향을 보였으

며, 가슴둘레선(SL<sub>7</sub>)에서 젖가슴둘레선(SL<sub>8</sub>)에 이르는 부위의 수평단면도에서는 유방돌출부인 L30°, L45°, L60°가 긴 경향을 보였다.

수평단면도의 앞중심(L0°)과 뒤중심(L180°) 길이는, 겨드랑점(SL<sub>6</sub>)과 엉덩이돌출점(SL<sub>14</sub>)을 기준으로 토르소의 위쪽 부분, 중간 부분, 아래쪽 부분이 각각 다른 경향을 보였다. 겨드랑점 수평단면선(SL<sub>6</sub>)과 엉덩이돌출점 수평단면선(SL<sub>14</sub>)은 앞중심(L0°)과 뒤중심(L180°) 길이가 거의 같게 나타나, 중심점들(O<sub>6</sub>, O<sub>13</sub>)이 각각 토르소의 가운데에 위치하고 있음을 확인할 수 있었다. 반면, 겨드랑점 수평단면선(SL<sub>6</sub>)을 기준으로, 토르소의 윗부분에 해당하는 목뒤점(SL<sub>1</sub>)에서 겨드랑앞점(SL<sub>5</sub>)까지의 수평단면도들의 내부선은 앞중심(L0°)보다 뒤중심(L180°)이 길게 나타나, 측면에서 보았을 때 토르소의 어깨 윗부분이 몸체 뒤쪽으로 쏠려 있었다. 토르소의 중간 부분에 해당하는 가슴둘레선(SL<sub>7</sub>)에서 아랫배둘레선(SL<sub>13</sub>)까지의 수평단면도 평균은 앞중심(L0°)보다 뒤중심(L180°)이 짧아, 토르소가 몸체 앞쪽으로 향하고 있었다. 또한, 엉덩이돌출점(SL<sub>14</sub>)을 기준으로 토르소의 아래쪽인 볼기고랑점의 수평단면도(SL<sub>15</sub>)는 앞중심(L0°)보다 뒤중심(L180°)이 길게 나타나, 측면에서 보았을 때 토르소 아래쪽이 뒤쪽으로 쏠려 있었다.

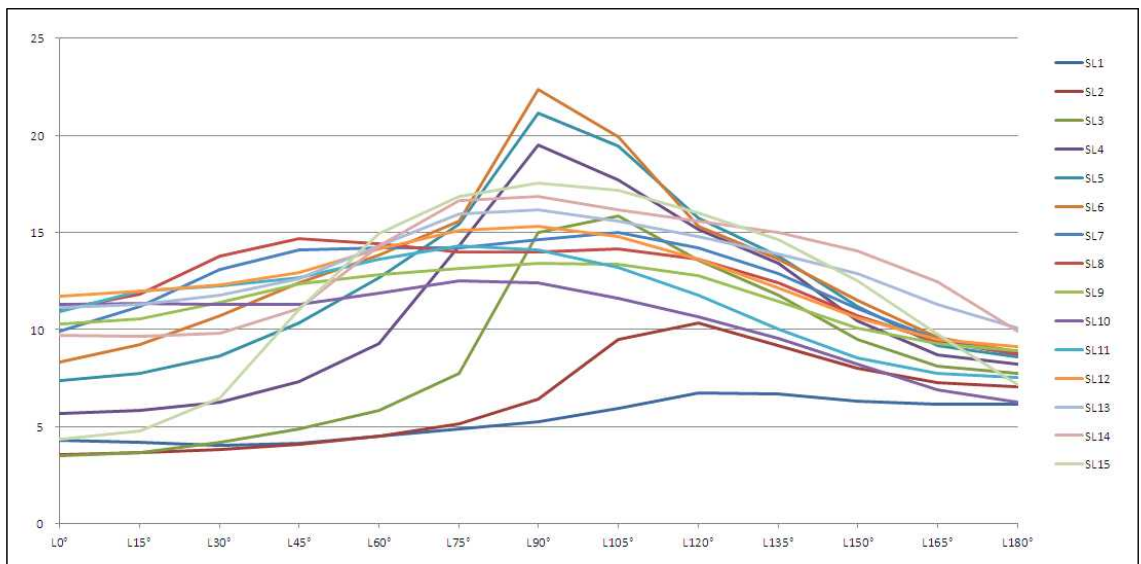
이를 종합하면, 보통체형 여성의 측면 체형은 부위별 수평단면선의 중심점이 몸체의 가운데에 위치한 곧은 자세가 아니라, 겨드랑이부터 엉덩이까지의 토르소 중간 부분이 몸판 앞으로 쏠려있는, 허리와 배를 앞으로 내민 체형임을 알 수 있다. 본 연구에서 파악한 성인 여성의 측면자세는, 판매되고 있는 여성용 인대의 측면 실루엣과 차이가 있었다. 시판용



<Table 2> Measurements of the cross-section lines (N=10)

(Unit: cm)

No	Dimension	Front					Side			Back				
		L0°	L15°	L30°	L45°	L60°	L75°	L90°	L105°	L120°	L135°	L150°	L165°	L180°
SL <sub>1</sub>	Cervicale line	4.29	4.18	4.05	4.16	4.50	4.86	5.26	5.95	6.73	6.68	6.33	6.18	6.18
SL <sub>2</sub>	Lateral neck line	3.58	3.64	3.82	4.09	4.51	5.15	6.42	9.49	10.36	9.17	7.99	7.27	7.08
SL <sub>3</sub>	Lateral shoulder line	3.52	3.69	4.17	4.86	5.82	7.76	14.99	15.84	13.57	11.76	9.49	8.11	7.72
SL <sub>4</sub>	Scapula line	5.67	5.83	6.27	7.31	9.26	14.30	19.49	17.72	15.16	13.44	10.44	8.68	8.22
SL <sub>5</sub>	Anterior Axillary line	7.40	7.73	8.65	10.34	12.65	15.43	21.17	19.43	15.73	13.80	11.19	9.17	8.59
SL <sub>6</sub>	Axilla line	8.35	9.25	10.73	12.39	13.83	15.57	22.35	19.94	15.34	13.63	11.52	9.58	8.84
SL <sub>7</sub>	Chest line	9.94	11.18	13.11	14.11	14.22	14.20	14.63	14.98	14.22	12.90	11.09	9.50	8.68
SL <sub>8</sub>	Bust line	11.05	11.83	13.81	14.66	14.41	13.99	14.02	14.18	13.63	12.41	10.73	9.40	8.75
SL <sub>9</sub>	Underbust line	10.31	10.55	11.39	12.37	12.81	13.16	13.40	13.37	12.78	11.48	10.06	9.27	8.93
SL <sub>10</sub>	Waist line	11.27	11.35	11.27	11.29	11.86	12.49	12.39	11.60	10.67	9.55	8.24	6.88	6.24
SL <sub>11</sub>	Omphalion line	10.95	11.96	12.25	12.68	13.63	14.29	14.10	13.22	11.76	10.01	8.56	7.76	7.51
SL <sub>12</sub>	Abdomen line	11.73	11.96	12.30	12.95	14.15	15.09	15.32	14.80	13.63	12.16	10.59	9.51	9.12
SL <sub>13</sub>	Lower abdomen line	11.13	11.29	11.75	12.63	14.34	15.94	16.18	15.61	14.78	13.91	12.87	11.31	10.08
SL <sub>14</sub>	Hip line	9.68	9.66	9.79	11.09	14.29	16.67	16.84	16.16	15.57	15.01	14.07	12.48	9.93
SL <sub>15</sub>	Gluteal fold line	4.38	4.76	6.46	11.03	14.96	16.85	17.52	17.19	16.01	14.65	12.50	9.78	7.18



<Fig. 5> Comparisons of the cross-section lines

인대의 경우, 부위별 수평단면도의 중심이 몸판의 가운데에 놓여있기 때문에, 어깨, 허리, 배, 엉덩이가 모두 관계 서 있는 미적으로 보기 좋은 바른 자세의 형태로 제작된다. 그러나 본 연구에서는 미적인 요소보다 한국 여성의 실제 체형 특징을 우선으

로 고려하였다. 그 결과, 3D 인체 스캔 데이터에서 직접 추출한 평균 수평단면선을 이용하여 제작한 한국 여성의 평균 토르소 모델은 어깨가 뒤로 젖혀졌으며, 허리와 배를 앞으로 나온 반신 체형으로 3D 모델링되었다.

<Table 3> Heights among the 15 horizontal cross-sections  
(Unit: cm)

	Dimension	Mean	SD
H <sub>1</sub>	Height from SL <sub>1</sub> to SL <sub>2</sub>	2.08	0.39
H <sub>2</sub>	Height from SL <sub>2</sub> to SL <sub>3</sub>	2.48	0.42
H <sub>3</sub>	Height from SL <sub>3</sub> to SL <sub>4</sub>	3.80	0.42
H <sub>4</sub>	Height from SL <sub>4</sub> to SL <sub>5</sub>	3.80	0.44
H <sub>5</sub>	Height from SL <sub>5</sub> to SL <sub>6</sub>	3.60	0.27
H <sub>6</sub>	Height from SL <sub>6</sub> to SL <sub>7</sub>	3.58	0.35
H <sub>7</sub>	Height from SL <sub>7</sub> to SL <sub>8</sub>	2.35	0.75
H <sub>8</sub>	Height from SL <sub>8</sub> to SL <sub>9</sub>	4.30	0.61
H <sub>9</sub>	Height from SL <sub>9</sub> to SL <sub>10</sub>	9.53	1.80
H <sub>10</sub>	Height from SL <sub>10</sub> to SL <sub>11</sub>	7.40	1.46
H <sub>11</sub>	Height from SL <sub>11</sub> to SL <sub>12</sub>	4.30	1.71
H <sub>12</sub>	Height from SL <sub>12</sub> to SL <sub>13</sub>	5.05	1.24
H <sub>13</sub>	Height from SL <sub>13</sub> to SL <sub>14</sub>	5.10	1.24
H <sub>14</sub>	Height from SL <sub>14</sub> to SL <sub>15</sub>	6.08	1.85

보통체형 여성 10명의 3차원 인체 스캔 데이터로부터 추출한 15개 부위의 수평단면 사이의 높이를 측정하고 평균을 구하였다(Table 3). 측정한 수평단면사이의 평균 높이를 사용하여, Solidworks® 2012 소프트웨어에서 부위별 참조평면을 만들었다.

## 2. 2D Drawing and 3D modeling for a average torso body

형성된 15개의 참조평면위에 Table 2에서 측정한 수평단면도의 각도별 평균 내부선(L0°~L180°) 치수를 제도한 후, 각 직선의 끝점을 스플라인 곡선으로 연결하여 15개 부위별 평균 수평단면도 곡선을 <Fig. 6>과 같이 완성하였다. 완성한 부위별 평균 수평단면선들은 3D 로프트피쳐 형성을 위한 스케치 곡선으로 사용하였다.

부위별 평균 수평단면선들을 스케치 곡선으로 사용하여 3D 로프트피쳐로 제작된 평균 토르소 바디의 3D 솔리드 모델링은 <Fig. 7>과 같다. 완성된 평균 토르소 바디에는 어깨끝점(SL<sub>3</sub>)에서 겨드랑점(SL<sub>6</sub>) 사이에 윗팔 부위의 3D 형상이 모델링되었는데, 인대의 경우 암플레이트(Arm Plate)를 경계로 팔 부분이 제거되어 있기 때문에 본 연구에서는 평균 토르소 바디에 <Fig. 7>의 (d)와 같이 인대용 암플레이트가 들어

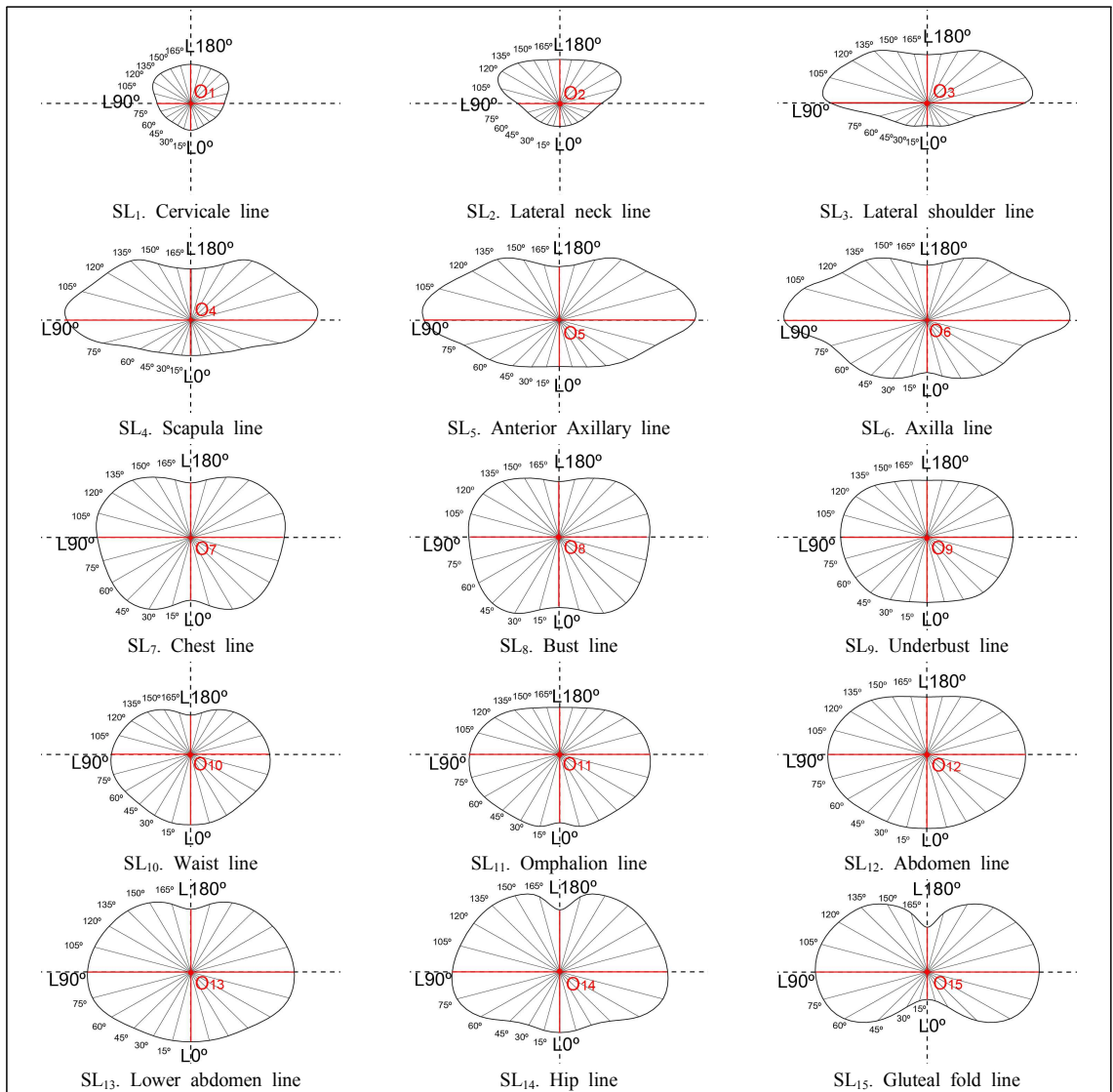
갈 참조평면을 추가하였다. 암플레이트 참조평면은 평균 토르소 바디의 어깨끝점, 겨드랑앞접힘점, 겨드랑점을 연결한 평면으로 정의하였다.

## 3. 2D Drawing and 3D modeling for a dress form

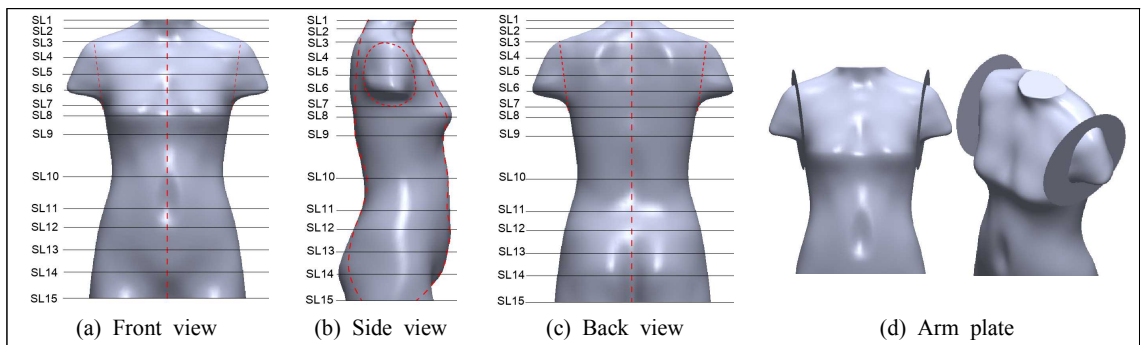
<Fig. 7>의 평균 토르소 바디는 인체의 굴곡을 그대로 반영하여 3D 모델링되었다. 가슴과 영치뼈 사이에 골이 움푹 들어가 있고, 배꼽부위가 함몰되었으며, 체간부가 끝나고 하지가 시작되는 살 끝부위에 치골뼈의 굴곡이 그대로 드러난 상태로 3D 형상화되었다.

의류제품의 피팅과 입체패턴의 설계가 가능한 인대를 개발하기 위해 평균 토르소 바디에서 만들어진 인체 굴곡 부위를 완만한 곡선으로 수정하여 인대용 수평단면도를 제작하였다. 평균 토르소 바디의 수평단면도 곡선(Fig. 6)에서 수정된 인대용 수평단면도는 <Fig. 8>과 같다. 평균 토르소 바디의 견갑골(SL<sub>4</sub>), 겨드랑앞접힘점(SL<sub>5</sub>), 겨드랑점(SL<sub>6</sub>) 부위의 단면곡선은 암플레이트 평면을 경계로 윗팔이 지나는 부분(L°~L120°)의 3D 솔리드 모델을 제거하였으며, 잘려나간 암플레이트의 모서리는 부드러운 곡선으로 수정하였다. 겨드랑점(SL<sub>6</sub>), 가슴둘레선(SL<sub>7</sub>)을 지나는 수평단면선들은 가슴골의 굴곡부위(L0°~L30°)를, 허리둘레선(SL<sub>10</sub>)을 지나는 수평단면선은 척추뼈의 굴곡부위(L150°~L180°)를 각각 완만한 곡선으로 수정하였다. 배꼽둘레선(SL<sub>11</sub>)을 지나는 수평단면선은 배꼽의 함몰부위(L0°~L15°)를, 아랫배둘레선(SL<sub>13</sub>)과 엉덩이돌출점(SL<sub>14</sub>)을 지나는 수평단면선들은 엉덩이골(L165°~L180°)과 치골의 굴곡(L15°~L60°)을, 볼기고랑점(SL<sub>15</sub>)을 지나는 수평단면선은 두덩뼈 앞면굴곡(L0°~L60°)과 뒷면굴곡(L160°~L180°)을 완만한 곡선으로 수정하였다.

인대의 3D 모델링에는 평균 토르소 바디에는 없던 넥밴드(Neck band)를 지나는 수평단면도(SL<sub>0</sub>)와 인대 밑단선을 지나는 수평단면도(SL<sub>16</sub>)를 추가하였다. 칼라가 있는 상의의 피팅이 가능하도록 토르소 바디의 목뒤점(SL<sub>1</sub>)에서 위쪽으로 5cm 올라간 곳에 참조평면을 새로 만든 후, 반지름 4.5cm의 원형을 제도하여 넥밴드 수평단면도(SL<sub>0</sub>)를 만들었으며, 인대의 로프트피쳐 형성 후 목앞점 쪽으로 2cm 내린 사선 평면을 따라 경사를 만들어 인대의 넥밴드 모델링을



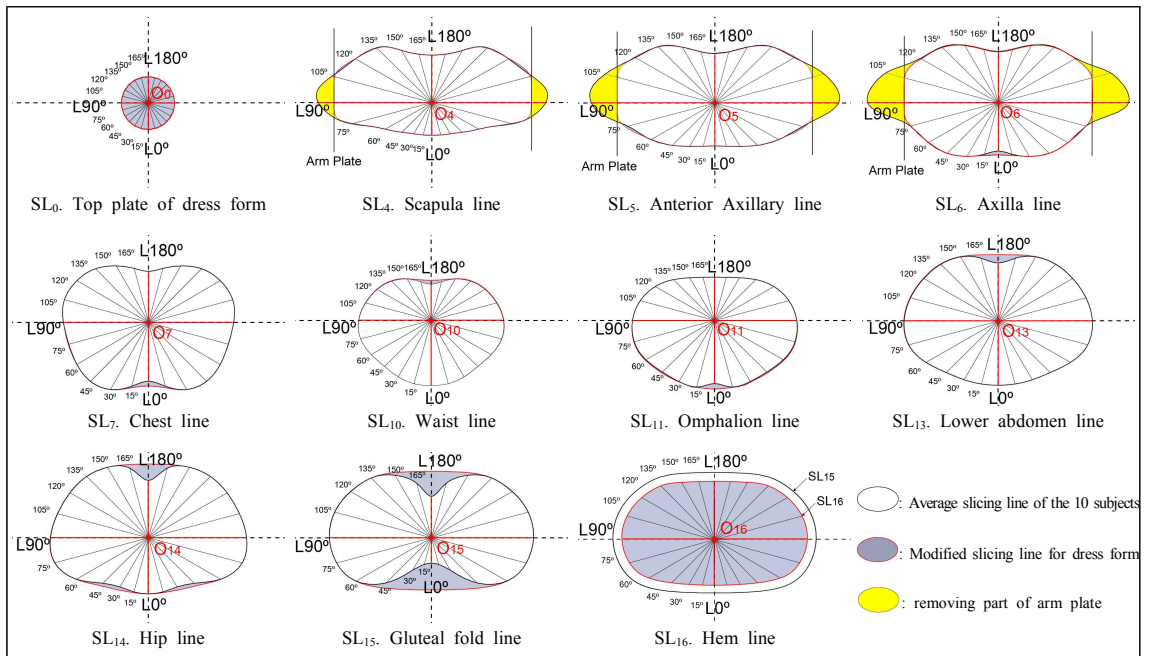
<Fig. 6> 2D drawing of a average torso body



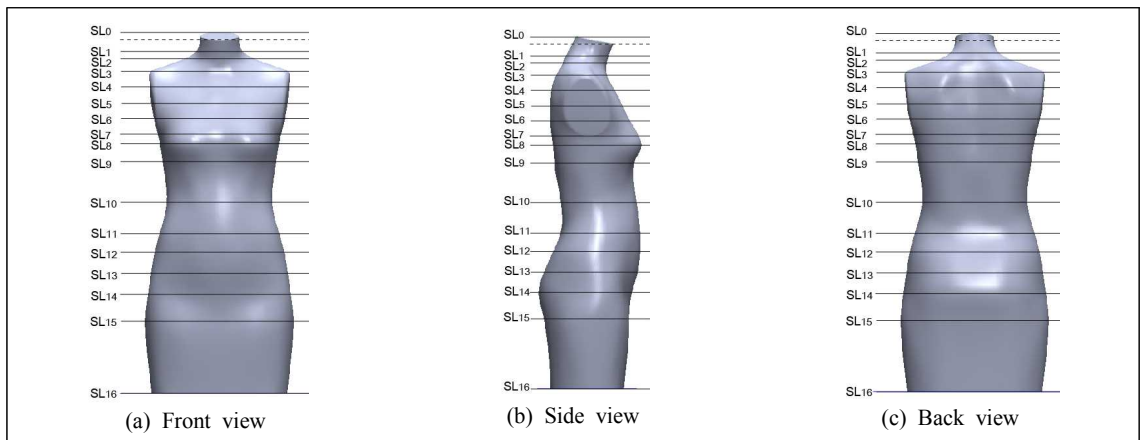
<Fig. 7> 3D modeling of a average torso body

최종 완성하였다. 또한 골반을 덮는 상의 및 스커트의 작업을 위해 볼기고랑점(SL<sub>15</sub>) 아래쪽으로 17cm 내려간 곳에 참조평면을 만들고, 인대의 밑단선을 지나는 수평단면도(SL<sub>16</sub>)를 제도하였다. 엉덩이 아래에서 부터 완만하게 좁아지는 형태를 만들기 위해, 볼기고랑점(SL<sub>15</sub>) 수평단면도에서 안쪽으로 1.5cm 들어간 오프셋 곡선으로 인대 밑단선 수평단면도(SL<sub>16</sub>)를 제도하였다.

<Fig. 8>에서 수정하지 않은 목뒤점(SL<sub>1</sub>), 목옆점(SL<sub>2</sub>), 어깨점(SL<sub>3</sub>), 젖가슴둘레선(SL<sub>8</sub>), 밑가슴둘레선(SL<sub>9</sub>), 배둘레선(SL<sub>12</sub>)을 각각 지나는 수평단면도는 인체의 굴곡이 완만하여 인대 제작 시 별도의 수정이 필요하지 않은 부위였다. 이들 6개 부위는 <Fig. 6>에서 제시한 수평단면도의 곡선 그대로 인대의 3D 로프트 피쳐의 스케치 곡선으로 사용하였으며, 그 외의 부위인 넥밴드(SL<sub>0</sub>), 견갑골(SL<sub>4</sub>), 겨드랑이접힘점(SL<sub>5</sub>),



<Fig. 8> 2D Drawing of a dress form



<Fig. 9> 3D modeling of a dress form

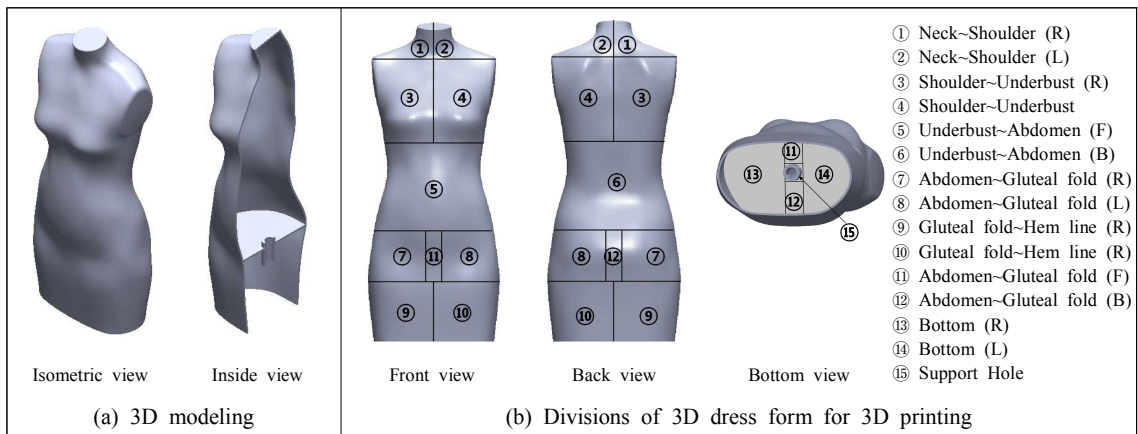
겨드랑짐(SL<sub>6</sub>), 가슴둘레선(SL<sub>7</sub>), 허리둘레선(SL<sub>10</sub>), 배꼽둘레선(SL<sub>11</sub>), 아랫배둘레선(SL<sub>13</sub>), 엉덩이둘레선(SL<sub>14</sub>), 볼기고랑짐(SL<sub>15</sub>), 인대밑단선(SL<sub>16</sub>)을 지나는 수평단면도는 <Fig. 8>에서 수정한 곡선들을 스케치 곡선으로 사용하여 인대의 3D 솔리드 모델링을 완성하였다(Fig. 9).

**4. 3D printed dress form**

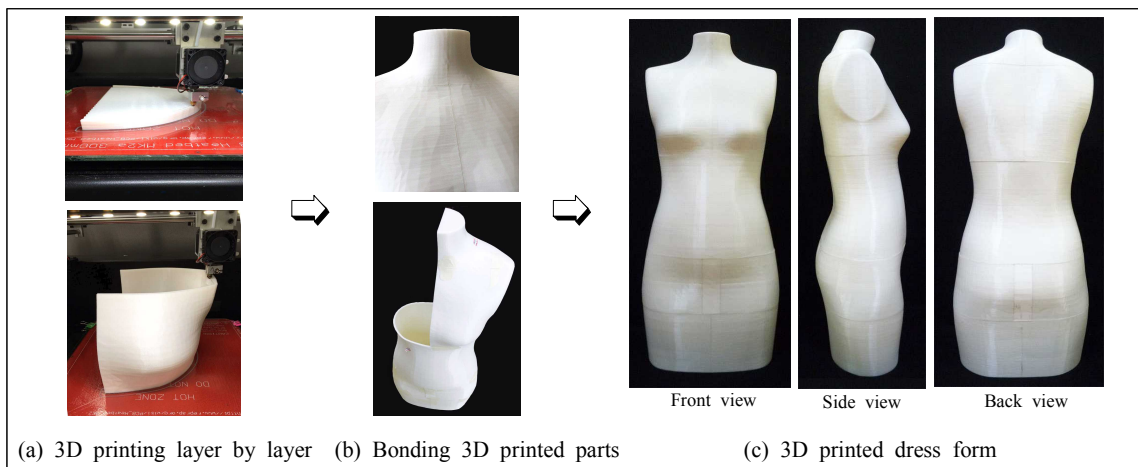
목뒤점을 지나는 수평단면도의 중심점(O<sub>1</sub>)과 살끝점을 지나는 수평단면도의 중심점(O<sub>15</sub>)을 연결한 직선을 따라 인대의 지지대가 통과할 수 있는 밀판과 지지대 홀(Support Hole)을 3D 인대의 내부에 만들었다(Fig. 10의 a). 완성된 3D 인대 모델링은 FDM 출력 방식의 보급형 3D 프린터인 Bonbot3-H4와 Bonbot1200

기종을 사용하여 PLA 소재로 출력하였다. 산업용 3D 프린터가 아닌 보급형 프린터의 경우, 빌트 플랫폼의 크기에 제한이 있기 때문에, 출력할 모델의 크기가 큰 경우 여러 조각으로 분할하여 출력하게 된다. 본 연구에서 사용한 3D 프린터의 빌트 플랫폼 사이즈는 300×300×400mm(Bonbot3-H4), 200×200×300mm(Bonbot1200)이었기 때문에, 완성된 3D 인대 모델링 데이터는 300×300×400mm보다 작은 조각들로 분할한 후 출력하였다. 분할 경계선은 출력조각의 수를 최소로 만들면서 젓가슴둘레선, 허리둘레선, 엉덩이둘레선과 같은 의복제작의 기준선은 피하여 설정하였으며, 총 15개의 조각으로 분리되었다(Fig. 10의 b).

빌트 플랫폼 사이즈에 맞춰 15개의 조각으로 분할



<Fig. 10> Divisions of a dress form for 3D printing



<Fig. 11> 3D printing process of a dress form

된 3D 인대를 3D 프린팅하였다. 인대의 3D 프린팅 과정은 <Fig. 11>과 같다. 3D 프린터에서 발생하는 진동에 의한 출력 오차를 방지하고, 안정적인 출력물을 얻기 위해 출력물의 기저부에 바닥면(Raft)을 출력한 후, 3D 모델의 단면을 한 겹씩 적층하여 모형을 출력하였다. 출력이 완료되면 불필요한 바닥면을 제거하고, 분할 출력된 각 부분의 조각들을 하나로 연결하였다. 조각의 연결을 위해 표면의 거친 부분을 연마하여 매끄럽게 정리하였으며, 분할된 조각들이 연결되는 경계선에 일반 목공용 접착제를 사용하여 하나씩 연결하였다.

SLS 방식이나 SLA 방식에 비해 FDM 방식의 3D 프린터는 치수의 안정성이 떨어진다. FDM 방식은 고온에서 용융된 필라멘트가 노즐을 통해 분사되면서 입체 형상을 조형하는데, 사출 후 외부의 낮은 온도에 의해 수축이 발생할 수 있기 때문에 치수 안정성에 대한 점검이 필요하다. ABS 소재의 경우, PLA 소재보다 수축이 더욱 심하기 때문에 별도의 히팅베드를 사용한다. 본 연구에서는 PLA 소재로 출력된 인대의 치수안정성을 검토하기 위해, Solidworks® 2012 소프트웨어에서 작업한 여성용 인대의 3D 모델링 형상의 치수와 Bonbot3-H4와 Bonbot1200 3D 프린터로 출력한 인대의 실측 치수를 비교하였다(Table 4). 측정결과, 3D 모델링 형상의 치수와 FDM 방식의 보급형 프린터로 출력한 PLA 인대의 실측 치수는 부위별로 0~0.4cm 범위내의 차이를 보였다. 결과적으로 3D

CAD로 설계한 3D 모델링 데이터와 3D 프린팅된 출력물 사이의 치수 오차가  $\pm 0.5\text{cm}$ 를 넘지 않는 것으로 나타났다. 본 연구에서 측정된 3D 모델링 데이터의 치수는 3D CAD 프로그램인 Solidworks에서 3차원 측정된 것이었으며, 3D 프린터로 출력한 인대의 부위별 치수는 줄자를 사용하여 직접 측정한 것이었다. 이러한 측정방법의 차이는 3D 프린팅 출력물의 치수 안정성 검증에 한계점으로 작용한다. 3D 프린터를 사용한 인대 제작의 상용화를 위해서는 보다 정밀한 치수 안정성의 검증이 필요하며, 후속연구에서는 완성된 3D 프린팅 결과물을 3D 스캐너로 촬영하여 3D 형상 데이터로 변환한 후, 3D CAD 프로그램에서 데이터의 부위별 치수를 측정하여 검증할 필요가 있다.

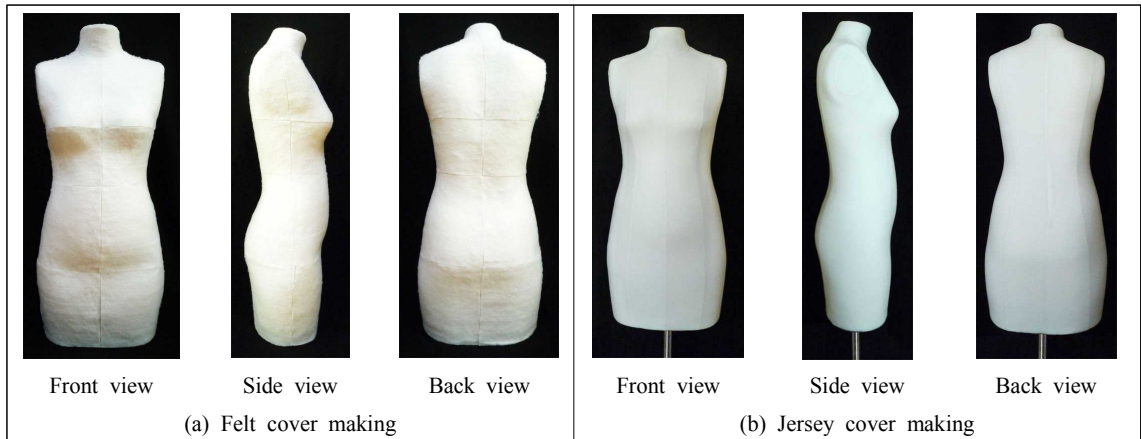
PLA 소재는 단단한 재질이기에 때문에, 표면에 핀을 꽂을 수 없다. 따라서 핀 작업이 가능하도록 쿠션감이 있는 2mm두께의 부직포 패드로 커버를 제작하여 인대의 PLA 표면을 1차로 감쌌으며(Fig. 12의 a), 그 위에 스판 저지 소재의 직물 커버로 표면을 2차로 감싸 피팅과 입체패턴 설계가 모두 가능한 연구용 인대를 최종 완성하였다(Fig. 12의 b). 3D 프린팅 인대에 2mm 패드 커버를 씌운 후, 부위에 따라 0~1.5cm의 치수 증가가 일어났다(Table 5). 덧붙인 패드 두께에 의한 치수증가는 길이 방향보다는 둘레 방향에서 주로 발생하였다. 본 연구에서는 2mm의 패드를 사용하여 커버를 제작하였으나, 쿠션감을 위해 이보다 더 두꺼운 충전재를 인대 커버로 사용하게 된다면 본 연구에서 나타난 것보다 더 큰 둘레치수의 증가가 발생할 것으로 예상된다. 따라서 인대에 충전재나 쿠션커버를 두껍게 덧씌울 경우, 3D 모델링 단계에서 둘레 치수를 미리 줄일 필요가 있을 것으로 생각된다.

3D 프린팅 인대에 2mm 패드 커버를 씌워 입체패턴설계가 가능하도록 제작한 연구용 인대와 국내 브랜드 D사, 미국 브랜드 W사의 인대 치수를 비교하였다. 본 연구에서 제작한 연구용 인대의 젓가슴둘레 치수는 85.3cm로, 이에 대응되는 시판 인대의 사이즈는 국내 D사의 경우 젓가슴둘레 치수가 86cm인 8호였으며, 미국 W사의 경우 젓가슴둘레 치수가 87.5cm인 Missy-8호였다. 연구용 인대와 시판 인대의 부위별 치수를 비교한 결과, 앞중심길이, 뒤중심길이, 엉덩이길이는 연구용 인대가 시판 인대에 비해 짧았으며, 목둘레, 허리둘레, 엉덩이둘레는 연구용 인대가

<Table 4> Comparison of measurements; 3D modeling and 3D printing (Unit: cm)

No	Dimension	3D modeling data	3D printed dress form
1	Neck base circumference	37.2	37.5
2	Chest circumference	84.7	84.5
3	Bust circumference	84.0	84.0
4	Underbust circumference	75.8	75.5
5	Waist circumference	68.9	69.0
6	Hip circumference	90.9	91.0
7	Waist front length	33.7	33.5
8	Waist back length	36.4	36.0
9	Waist to hip length	22.3	22.0
10	Shoulder length	12.1	11.8





<Fig. 12> Cover making for a 3D printed dress form

<Table 5> Comparison of measurements; 3 types of dress forms

(Unit: cm)

No	Dimension	3D printed dress form with a 2mm pad cover	Domestic Brand D (8 size)	Foreign Brand W (Missy-8 size)
1	Neck base circumference	37.5	35.0	35.0
2	Chest circumference	86.0	87.0	86.5
3	Bust circumference	85.3	86.0	87.5
4	Underbust circumference	77.0	78.0	74.0
5	Waist circumference	70.2	62.0	63.5
6	Hip circumference	92.1	90.0	91.5
7	Waist front length	33.6	34.0	36.0
8	Waist back length	36.2	40.0	42.5
9	Waist to hip length	22.0	20.0	20.5
10	Shoulder length	12.0	11.5	12.5
11	Drop (hip - bust)	6.8	4.0	4.0
12	Drop (hip - waist)	21.9	28.0	28.0

시판 인대보다 길었다. 특히 허리둘레 항목에서 연구용 인대와 시판 인대간의 차이가 두드러졌다. KS K 0051에 따르면 엉덩이둘레와 젖가슴둘레 치수 차이인 드롭은 보통체형의 경우 3~9cm 이내이며, 엉덩이둘레와 허리둘레 치수 차이인 하드롭은 보통체형의 경우 14~22cm 이내이다. 본 연구에서 제작한 연구용 바디와 2종의 시판 바디는 드롭의 경우 모두 보통체형에 해당하였지만, 하드롭의 경우에는 연구용 인대는 21.9cm로 보통체형에 해당하였고, 시판 인대의 경우는 28.0cm로 허리가 가는 체형에 해당하였다. 기존 시판 인대의 경우, 미적인 요소를 중시하여 보통여성

의 체형을 제대로 반영하지 않고, 허리를 실제보다 가늘게 제작하고 있음을 알 수 있었다(Table 5).

### V. Conclusion

3D 프린팅 시스템은 개인이 제품을 직접 설계하고, 생산하며, 소비하는 기반을 만들어, 생산자 중심에서 소비자 중심으로 제조업의 패러다임을 변화시키고 있다. 3D 프린터는 온라인 기반의 제품주문과 생산유통에 적합한 방식으로, 주문 전 제품의 재고를 비축할 필요가 없고, 생산라인의 구축에 필요한 비용



과 공간을 줄일 수 있기 때문에 경제적이다. 특히 보급형 3D 프린터는 저렴한 가격과 손쉬운 사용법으로 소자본 창업자에게 진입 장벽이 낮으며, 개인 맞춤형 제품 설계와 소량 시제품 생산에 적합하기 때문에 빠르게 변화하며, 개성과 다양성을 추구하는 패션산업 분야에 적용된다면 첨단 IT기술과 창의적 콘텐츠가 만나 시너지 효과를 기대할 수 있다.

본 연구는 3D 인체 스캐닝, 3D 솔리드 모델링, 3D 프린팅 시스템의 3D 테크놀로지를 사용하여 한국 성인 여성의 체형에 맞는 여성용 인대를 제작하였다. 3D 프린팅 여성용 인대의 제작과정과 결과는 다음과 같다.

1. 피험자 선정; 제6차 한국인 인체 치수 조사 사업에서 수집한 만 25~34세 성인 여성의 3차원 인체 스캔 데이터에서 85-91-160 사이즈의 보통체형(N체형) 피험자 10명을 선정하고, 이들의 3차원 인체 형상을 분석하였다.

2. 수평단면도 추출; 표준체형 피험자들의 3D 인체 스캔 데이터에서 목뒤점, 목앞점, 어깨점, 견갑골, 겨드랑이앞점, 겨드랑이점, 가슴둘레선, 젖가슴둘레선, 밑가슴둘레선, 허리둘레선, 배꼽둘레선, 배둘레선, 아랫배둘레선, 엉덩이둘레선, 볼기고랑점을 지나는 15개 주요부위의 수평단면도를 추출하였다.

3. 수평단면도 분석; 부위별 수평단면도의 내부에 15도 간격의 직선을 그린 후 길이를 측정하였다. 측정결과, 겨드랑이부터 엉덩이사이의 수평단면도의 경우 앞중심쪽 내부선길이가 뒤중심쪽 내부선 길이보다 길게 나타나, 보통체형 여성의 측면 체형은 허리와 배를 앞으로 내민 경향을 알 수 있었다.

4. 토르소의 3D 모델링; 수평단면도의 각도별 평균값들을 스플라인 곡선으로 연결하여 부위별 평균단면도를 제도하고, 이를 3D CAD의 스케치 곡선으로 사용하여, 평균 토르소 바디의 3D 솔리드 모델을 완성하였다. 완성된 평균 토르소 바디의 3D 형상은 기존의 인대들과 차이를 보였다. 기존 인대의 경우, 부위별 수평단면도의 중심이 몸통의 가운데에 있어 미적으로 균형 잡힌 바른 자세이나, 3D 인체 스캔 데이터에서 추출한 수평단면선으로 3D 모델링한 한국 여성의 평균 토르소는 어깨가 뒤로 젖혀졌으며, 허리와 배가 앞으로 나온 반신 체형의 경향을 보였다.

5. 인대의 3D 모델링; 평균 토르소 바디의 굴곡 부위를 완만한 곡선으로 수정하여 인대용 수평단면도

를 제작하였다. 암플레이트 평면을 경계로 윗팔이 지나는 형상을 제거하였으며, 네크밴드를 추가하고 토르소의 길이를 연장하였다.

6. 인대의 3D 프린팅; 3D 솔리드 모델링한 인대는 FDM 방식의 3D 프린터를 사용하여 PLA 소재로 출력되었다. 출력된 인대 표면 위에 부직포 패드로 커버를 씌워 표준체형 여성을 위한 연구용 인대를 최종 완성하였다.

본 연구는 고가의 산업용 3D 프린터가 아닌 보급형 3D 프린터를 사용한 인대 제작 방법을 모색함으로써, 소규모 패션업체 및 스타트업 기업에게 3D 프린터의 진입장벽을 낮추는데 기여하고자 하였다. 본 연구에서 사용한 3D 테크놀로지를 사용한 인대 제작 과정은 3D CAD program에서 3D 솔리드 모델의 부위별 치수 수정이 가능하여 특정 사이즈를 변형한 맞춤형 인대로 리모델링할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 3D 프린팅 인대 제작 방법은 고객의 수요를 반영한 개인 맞춤형 인대 제작에 적용가능하다. 특정 자세를 취하고 있는 자세별 인대, 아동 및 청소년용 바디, 실버용 바디와 같은 연령별 인대, 플러스 사이즈나 뽀뽀 사이즈와 같은 체형별 인대와 같이 다양한 맞춤형 인대 분야에서 향후 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## References

- 3D printer. (n.d). In *Doopedia*. Retrieved June 5, 2016, from <http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1978613&cid=40942&categoryId=32374>
- Choi, Y.-L., & Nam, Y.-J. (2008). A study of methodology developing reconstructed body using styrofoam boards. *Fashion & Textile Research Journal*, 10(5), 713-720.
- Jin, S.-Y. (2015). *A study on the development of the model of design-business using 3D printing*. Unpublished doctoral dissertation, Konkuk University, Seoul, Korea.
- Jung, H. S. (2016, June 23). 앞선 美·獨 쫓는 中... 3D프린터 ‘깁’ 한국: 급성장하는 3D프린터 시장의 미래 [China chase the advance of United States and Germany... 3D printer ‘stuck’ Korea:

- The future of the rapidly growing market for 3D printers]. *Kookmin Ilbo*. Retrieved July 3, 2016, from <http://news.kmib.co.kr/article/view.asp?arcid=0923571863&code=11151400&cp=nv>
- Kim, H. E. (2015). The research into the changes of fashion industry according to the development of 3D printing technology. *Journal of the Korean Society of Fashion Design*, 15(4), 17-33. doi:10.18652/2015.15.4.2
- Kim, H. J. (2007, April 7). 여성복, 브랜드연령 타켓 갈수록 모호 [Women's wear, targeted ages are increasingly vague]. *Korea Textile News*, Retrieved July 22, 2016, from [http://www.ktnews.com/sub/view.php?cd\\_cate=A011&cd\\_news=57366](http://www.ktnews.com/sub/view.php?cd_cate=A011&cd_news=57366)
- Kim, H.-S., & Kang, I.-A. (2015). Study on status of utilizing 3D printing in fashion field. *Journal of the Korea Fashion & Costume Design Association*, 17(2), 125-143.
- Kim, J. H. (2015). *Development of foot-measuring toolkit and modeling process for designing customized round toe midsole with 3D printing technology*. Unpublished master's thesis, Yonsei University, Seoul, Korea.
- Kim, S.-A., & Choi, H.-S. (2010). Development of dress forms for the aged women based on their body shapes applying 3D body scan data. *The Research Journal of the Costume Culture*, 18(1), 80-92.
- Kim, T. H. (2016, May 18). 3D 프린터로 주택 만드는 중국... 한국은 '제자리걸음' [China created a house using 3D printer... South Korea is 'standstill']. *The Hankyung Business*, Retrieved June 29, 2016, from [http://magazine.hankyung.com/business/apps/news?popup=0&nid=01&c1=1001&nkey=2016051601068000051&mode=sub\\_view](http://magazine.hankyung.com/business/apps/news?popup=0&nid=01&c1=1001&nkey=2016051601068000051&mode=sub_view)
- Korean Agency for Technology and Standards. (2005a). *3차원 인체형상을 이용한 여자 다기능성 의복생산용 바디개발 보고서* [Development of multifunctional women's dress form using 3D human body shape]. Gwacheon: Korean Agency for Technology and Standards.
- Korean Agency for Technology and Standards. (2005b). *KS K 0051;2009 Sizing systems for female adult's garments*. Gwacheon: Korean Agency for Technology and Standards.
- Lee, D. J. (2014). 성장하는 3D프린팅 시장, 어떻게 진입할 것인가? [How can enter the growing 3d-printing market?]. *Trade Brief*, 84, 1-12.
- Lee, J. S., & Lee, J. J. (2016). A study on the development of fashion design based on FDM 3D printing. *Journal of the Korean Society of Fashion Design*, 16(1), 101-115. doi:10.18652/2016.16.1.7
- Lee, W. M., Cho, S. I., & Noh, S. H. (2014). *Solid-works 2014 basic for engineer & 3D printing*. Seoul: Mechapia.
- Oak, C. (2016, January 10). CES서 가장 크게 성장할 미래 아이템은...3D프린터 1위 [CES selected the 3D printer as the most significant future growth item]. *The Yonhap News*. Retrieved June 1, 2016, from <http://www.yonhapnews.co.kr/bulletin/2016/01/08/0200000000AKR20160108203100003.HTML?input=1195m>
- Oh, S.-Y., Suh, D.-A., & Kim, H.-G. (2016). Last design for men's shoes using 3D foot scanner and 3D printer. *The Journal of the Korea Contents Association*, 16(2), 186-199. doi:10.5392/JKCA.2016.16.02.186
- Pack, B. S. (2015). *The study about the development of efficient multi-module 3D printer design*. Unpublished master's thesis, Hongik University, Seoul, Korea.
- Park, G. A. (2015). The analysis on the torso type dress form developed through the 3-D virtual body modeling of the Korean female fashion models. *Journal of the Korean Society of Costume*, 65(2), 157-175. doi:10.7233/jksc.2015.65.2.157
- Samsungdesignnet. (2016, January 26). 15/16 패션 시장 분석 [15/16 Fashion Market Analysis]. *Samsungdesignnet*, Retrieved July 22, 2016, from [http://www.samsungdesign.net/Market/MarketReport/content.asp?an=40200&conn\\_seq=003&glChk=&block=&page=&cnt=&keyword=](http://www.samsungdesign.net/Market/MarketReport/content.asp?an=40200&conn_seq=003&glChk=&block=&page=&cnt=&keyword=)

Song, H.-K. (2004). *The comparison of shape in dress form and the human body, using a 3-D whole body scanner*. Unpublished master's thesis, Ewha Womans University, Seoul, Korea.

Song, H.-K., Choi, H.-S., & Lee, K.-M. (2004). A

study on the comparison of direct anthropometric measurement between dress form and the human body: Focused on the 18-24 year-old target brands and 25-29 year-old target brands. *Journal of the Korean Society of Costume*, 54(7), 1-14.