

3D 스캐너와 3D 프린터를 활용한 손목보호대 개발

구다솜 · 이정란^{1)†}

부산대학교 의류학과

^{1)부산대학교 의류학과/부산대학교 노인생활환경연구소}

The Development of a Wrist Brace using 3D Scanner and 3D Printer

Da Som Koo and Jeong Ran Lee^{1)†}

Dept. of Clothing & Textiles, Pusan National University; Busan, Korea

<sup>1)Dept. of Clothing & Textiles, Pusan National University/Research Institute of Ecology for the Elderly,
Pusan National University; Busan, Korea</sup>

Abstract : The purpose of this study was to develop a customized wrist brace using 3D scanner and 3D printer. This study included in-depth interviews with people who had wrist pain and ever used wrist braces. The wrist brace has been designed and modeled by the CAD program after 3D scanning the wrist of subjects. Based on the results of the in-depth interviews on wrist brace users and design investigation in the market, a prototype of the wrist brace has been created. The wrist brace does not compress the hand and is easy to put on. In addition, it is adjustable to the wrist of users, allowing them to move his or her wrist without any restrictions. A computer-modeling program produced solid files for the design of the wrist brace after 3D scanning ten subjects' hands. It features a lattice-patterned surface, a velcro adjustment and trimming to smoothen the surface. PLA filaments were used to 3D print the wrist brace. As for the assessment, the wrist brace has been evaluated to be easy to put on and adjust to user's wrist. However, when it comes to appearance and comfortability, it was rated 3.0 or slightly above. This is because 3D printing materials are firm and not flexible compared to other materials such as neoprene or stretchable bands.

Key words : 3D Scanner (3D 스캐너), 3D printer (3D 프린터), wrist brace (손목보호대), modeling (모델링)

1. 서 론

최근 3D 프린터 관련 기술의 원천 특허권이 만료됨에 따라 시장이 더욱 활성화되면서(Jung, 2015), 우리나라도 미래창조과학부와 산업통상자원부가 3D 프린터 산업 발전전략을 공동으로 수립 발표하였다. Kim(2015)은 1986년 처음 발명된 3D 프린터 기술은 신속한 제품생산이 가능하다는 이점 때문에 주로 시제품 제작에 많이 이용되어 왔으며, 근래에는 적용범위가 점차 확대되어 주얼리 디자인, 헬스 케어, 취미, 교육, 예술, 방위, 건축 및 산업 디자인들의 분야에도 적용되고 있다고 하였다. 특히 의료, 패션 등의 분야에서는 개인맞춤에 대한 적용이 가능

하기 때문에 시장성이 매우 우수하다(Lee et al., 2014).

3D 프린팅은 3차원 형상을 2차원 단면 데이터로 분할한 다음 다양한 소재를 적층하여 원하는 형상의 제품을 인쇄하여 내는 방식으로 3D 프린터로 제품을 출력하기 위해서는 모델링이 필수적이다. 먼저 소프트웨어를 통한 모델링 작업으로 데이터를 얻을 수 있으며 다음으로 3D 스캐너를 이용해서 데이터를 얻을 수 있다. 시간과 기술이 요구되는 모델링 작업 대신 스캐너를 활용하면 모델링을 할 필요 없이 실시간으로 3차원 데이터를 얻을 수 있어서 훨씬 간편하며 인체를 스캔하여 데이터를 얻는다면 개인 맞춤형 제품으로 제작이 가능하다.

현재까지 3D 프린팅을 활용한 연구를 분야별로 살펴보면 의료분야에서 인체 스캔 데이터를 사용하여 개인 맞춤형 골반을 제작(Oh, 2014)하거나 3D 프린터를 활용하여 방사선영상 촬영 시 기존 부목보다 우수한 손목부목을 제작한 연구(Seoung, 2015)가 있다. 의류분야의 연구는 액세서리와 맞춤형 제품개발, 인체 스캔데이터를 활용한 연구로 나눌 수 있다. 개인을 위한 맞춤형 제품을 개발한 연구로는 3D 프린터를 이용한 하이힐 디자인연구(Lee & Kim, 2015), 개인맞춤형 안경테 제작 및 조립특성을 평가한 연구(Lee et al., 2014), 여성용 맞춤형 구두

†Corresponding author; Jeong Ran Lee

Tel. +82-51-510-2841, Fax. +82-51-583-5975

E-mail: ljrz@pusan.ac.kr

© 2017 (by) the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

본 논문은 석사학위 청구논문의 일부임.

중창 디자인을 위한 모델링 프로세스 연구(Kim & Jung, 2015)가 있다. 3차원 인체스캔 데이터를 활용한 것으로는 여경의 보호대 디자인을 설계한 연구(Kim & Kim, 2015)가 있으나 전반적으로 3D 프린터를 활용한 의류연구의 다양성은 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 3D 스캐너와 3D 프린터를 활용한 실험적 연구로 손목보호대를 제작하고자 한다. 손목보호대는 3D 프린터로 출력하기에 크기가 적당할 뿐 아니라 일상생활에서 컴퓨터 사용이나 운동 후유증으로 손목에 통증을 호소하는 사람들을 쉽게 찾아볼 수 있어 개인 맞춤형 손목보호대 개발이 필요하다고 생각되기 때문이다. 개발된 손목보호대를 평가함에 있어서는 '모두가 편하게 사용할 수 있는' 디자인을 추구하는 유니버설 디자인(universal design)을 목표로 그 평가원칙에 따라 제품을 평가하여 3D 스캐너와 3D 프린터를 활용한 연구가 의류분야에 적용되는데 기여하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. 손목보호대 착용실태 조사

시판되고 있는 손목보호대에 대한 기능적 만족도와 요구사항에 대해 알기 위해 평소 손목의 사용에 불편함이나 통증을 느끼고 있는 사람을 의도표집하여 심층면접을 시행하였다. 손목보호대의 의학적 요구사항을 위해서는 전문가에게 자문을 구하고 최근에 손목을 다친 경험이 있는 사람들에게 예비조사를 실시하였다. 조사대상은 20~30대로 정하였는데 이는 20~30대가 컴퓨터나 스마트폰의 사용이 많고, 격한 운동을 하거나 손목을 자주 쓰는 직업으로 인하여 손목의 통증이 많을 것이라 예상되었기 때문이다. 또한 이들이 3D 프린터 연구에 대한 호기심도 높아 연구대상으로 더 적합할 것으로 생각되어 20~30대를 대상으로 예비조사 후에 질문항목을 수정, 보완하여 10명을 심층적으로 인터뷰하였다. 인터뷰는 어떤 일을 하고 있는지, 손목이 언제 어떻게 아픈지, 시판되는 손목보호대를 사용했던 경험, 3D 프린터로 제작할 손목보호대에 대한 생각과 그 외에 자유로운 생각을 묻는 항목으로 총 5문항의 질문을 토대로 진행되었다. 시판되는 손목보호대를 착용한 경험에 대한 질문에서는 신축성이 있는 고무 밴드를 통으로 한 번에 착용하는 밴드형, 밴드를 착용한 뒤 벨크로로 압박정도를 다시 조절할 수 있는 밴드와 랩(wrap) 복합형, 네오프렌으로 제작된 손목 보호대의 손목부분에 스테인리스 지지대가 삽입된 스프린트형태 등 3가지로 나누어 과거에 착용해 보았던 제품에 대해서는 경험을, 착용해보지 않은 제품의 경우에는 인터뷰 시 착용한 느낌을 자유롭게 말하였다.

2.2. 손목보호대 제작방법

2.2.1. 3D 스캐닝

본 연구에서는 피험자의 오른쪽 손목 부위를 스캔하기 위하여 비접촉식 스캐너를 사용하였다. 사용된 스캐너는 S사의 제품

으로 물체와 40cm 이상의 거리를 유지하며 스캔하는 핸드형이며 피험자의 손목주위를 360° 회전하면서 스캔이 이루어졌다. 스캐닝은 중복적인 데이터 취득이 가능하나 거리의 유지가 되지 않고 너무 멀거나 짧으면 추적이 유실되어 스캔이 되지 않으므로 주의하여 스캔하였다. 피험자의 손은 차렷 자세에서 손을 편하게 두었을 때의 모양과 같게 하여 엄지를 제외한 나머지 손가락을 모은 뒤 손바닥을 편안하게 등글린 자세를 유지하여 손끝부터 팔꿈치 부분까지 스캔하였고 피험자는 스캔이 끝날 때까지 약 5분정도 상태를 유지하였다. 피험자의 손을 스캔하여 얻은 데이터는 모델링 소프트웨어에서 사용할 수 있도록 솔리드화 시켜야 한다. 따라서 S사의 소프트웨어로 간단한 편집이 가능하며 불필요한 부분을 제거하고 솔리드화를 실시하여 확장자 STL로 파일을 저장했다.

2.2.2. 모델링

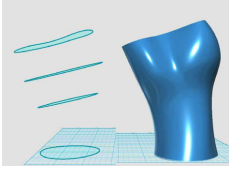
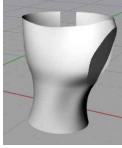
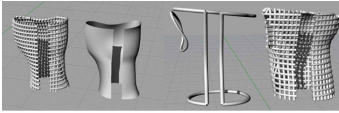
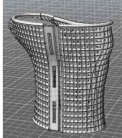
본 연구에서는 손목보호대의 모델링파일을 설계하기 위해 모델링 소프트웨어인 '123D', '캐디안 2015', '라이노 5.0'을 사용하였다. 123D는 스캔한 손목파일을 캐디안 2015와 라이노 5.0에서 작업 가능한 형태의 파일로 변환하기 위하여 사용하였으며 캐디안 2015는 기초적인 작업과 마무리단계 작업에 사용하였고 라이노 5.0은 표면작업에 활용하였다. 위의 모델링 소프트웨어에서 작업 가능한 확장자로는 STL, STEP, SAP 등이 있다.

123D는 세 가지 소프트웨어 중에서 유일하게 STL파일을 열어 작업할 수 있는 소프트웨어로 스캔이 완성된 STL파일을 열어 필요한 부분의 외곽선을 4~5부분에 나누어 추출한 뒤, 스캔한 형상을 본 딴 새로운 솔리드로 재생성하여 STEP확장자로 저장하였다. 123D에서 재생성한 STEP파일을 캐디안 2015에서 열어 표면분리를 한 뒤 엄지손가락이 들어가야 하는 구멍을 만들고 손바닥 부분을 등글게 파주어 착용했을 때 손목보호대가 손바닥을 짓누르지 않도록 하였다. 여밈을 넣을 부분을 만든 뒤, 캐디안 2015에서 작업한 파일을 라이노 5.0에서 불려와 표면위에 겨자형태의 기초선을 설정하였다. 만들어진 기초선을 기준으로 원기둥을 만들어 손목보호대의 형태를 완성하였으며, 마지막으로 캐디안 2015에서 여밈 부분을 모델링하고 본체와 연결시켜 손목보호대 모델링을 완성하였다(Table 1).

2.2.3. 출력

손목보호대 모델링 파일을 출력하기 위해 FDM(fused deposition modeling)방식의 큐비콘 3D 프린터를 사용하였다(Fig. 1). 완성된 모델링 파일을 출력하기 전에 G-코드를 생성하여 프린터가 읽을 수 있는 파일로 변환해 주어야 하는데 본 연구에서는 큐비콘사의 크리에이터 프로그램을 사용하였다. 손목보호대 재료는 현재 개발되어 있는 다양한 3D 프린터의 재료를 탐색하여 인체에 거부감이 적은 재료를 찾는데 주력하였으나 대부분이 플라스틱에 한정되어 있었다. 좀 더 부드럽거나 특수한 재료는 매우 고가일 뿐 아니라 그것을 출력할 수 있는 3D 프린터 또한 매우 고가이거나 국내에서는 찾기 어려운 실

Table 1. Wrist brace modeling sequence

Stage	Sequence	Software	Step-by-step photo
Stage 1	Main curve extraction and solid generation from scan data	123D	
Stage 2	Basic configuration of wrist brace	Cadian	
Stage 3	Surface treatment in lattice form	Rhino	
Stage 4	Create an adjust	Cadian	

정이었다. 따라서 본 연구에서 사용한 재료는 구입 가능한 여러 재료의 특성을 검토하여 인체에 사용하였을 때 딱딱하여 거부감이 들지 않는 PLA(poly lactic acid) 유연한 필라멘트인 Lankeda와 Ninja Flex를 사용하였다(Fig. 2, 3).

1차 모델링과 2차 모델링 결과물 출력은 내부 채움 밀도 50%, 노즐온도 230°C, 히팅베드 40°C에서 지지대를 설정하여 Lankeda 필라멘트로 먼저 출력하였고, 재료에 따른 결과를 비교하기 위하여 같은 설정으로 Ninja Flex로 출력하였다. 또한 지지대의 종류에 따른 결과를 비교하기 위하여 먼저 자동지지대를 단반향성, 모든 부위로 설정하고 바닥보조물을 Brim으로 하여 출력한 후 수동지지대를 엄지구멍부위와 여밈 부분에 설정하여 Lankeda 필라멘트로 출력하였다. 3차 출력을 마친 뒤 지지대를 제거하는 후작업에서 지지대의 밀도를 높게, 지지대 출력 속도를 느리게 하면 지지대 제거가 힘들며 제거 후 손목

보호대 몸체의 외관이 지지분하였으므로 지지대의 밀도를 15%에서 10%로 낮추고 지지대 출력속도를 60mm/s에서 80mm/s높여 손목보호대를 출력하였다. 최종출력물은 3D 프린터의 출력 설정을 노즐온도 220°C, 히팅베드 40°C로 하여 출력하였다.

2.3. 손목보호대 제품착용평가

착용평가는 최종 수정한 모델링으로 설계된 3D 프린터 출력물에 벨크로 여밈을 부착한 손목보호대에 대해 설문조사를 실시하였다. 설문 대상자는 손목에 통증을 느끼고 있는 피험자 10명으로 각각의 손목크기와 형태에 맞는 맞춤형 손목보호대를 제작하고 하루 동안 사용해보도록 한 뒤 사용성을 평가하였다. 설문지는 유니버설 디자인 제품에 사용되는 PPP(product performance program)평가를 기준으로 하고 연구에 필요한 질문을 추가적으로 넣어 완성하였다. PPP평가는 공평한 사용에 대한 배려, 사용상의 유연성확보, 간단하고 직관적인 사용, 정보전달에 대한 배려, 사고와 오조작의 방지, 육체적 부담의 최소화, 적당한 크기와 공간의 확보라는 7가지 원칙으로 구성되어 있으나 평가하려는 제품에 따라 유연하게 적용시킬 수 있다(Nikkei Design, 2007). 본 연구에서는 개발된 손목보호대의 평가에 부적절하다고 생각되는 정보전달에 대한 배려항목을 제외하고 외관과 관리, 기능성 항목을 추가하여 8개 영역에 대해 평가하였다. 설문문항은 총 23항목으로 공평한 사용에 대한 배려 2항목, 사용상의 유연성확보 3항목, 간단하고 직관적인 사용 2항목, 사고와 오조작의 방지 2항목, 육체적 부담의 최소화 3항목, 적당한 크기와 공간의 확보 3항목, 외관과 관리 4항목, 기능성에 대한 항목 4가지로 구성되어있다. 구체적인 평가내용은 Table 7에 제시되어 있다. 평가기준은 ‘충분히 달성되어 있다’ 5점부터 ‘달성하고자 하는 의식이 없으며 매우 불편하다’ 1점으로, 5점 리커트 척도로 평가하였다. 자료 분석은 SPSS 통계 프로그램을 사용하여 평균 및 표준편차를 구하였다.

3. 결과 및 논의

3.1. 손목보호대 착용실태 결과

시판되고 있는 손목보호대에 대한 기능적 만족도와 요구사항에 대해 알기 위해 착용실태를 조사한 결과는 다음과 같다.



Fig. 1. Cubicon single printer.



Fig. 2. Lankeda filament.

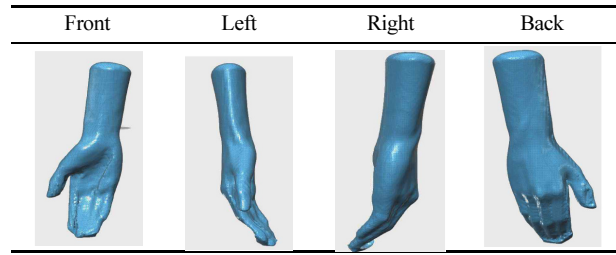


Fig. 3. Ninja Flex filament.

남자 2명 여자 8명 총 10명에게 심층면접을 실시하였으며, 직업은 네일 강사, 바리스타, 바텐더, 요가강사, 피아노연주자 등 평소 생활 중에 손목의 움직임에 통증과 불편함이 있는 사람들이었다. 손목이 언제 아픈가에 대한 항목에 대한 질문에 자고 일어났을 때, 손목에 힘을 주어 운동하거나 큰 무게가 실릴 때로 손목을 많이 사용하고 나서 아프다는 답변이 가장 많았으며 컴퓨터 작업 시 마우스를 쥐거나 휠을 굴릴 때 아프다는 답변과 출산 후 아기를 안을 때라는 의견도 있었다. 시판되는 손목보호대를 밴드형, 밴드와 랩의 결합형, 스프린트형 세 가지로 분류하여 제시한 결과 밴드형 손목 보호대는 ‘두께가 너무 얇은 것 같다’, ‘압박감 때문에 손목을 감싸주긴 하지만 보호되거나 예방이 된다는 느낌은 약하다고 생각한다’는 의견이 있었으며 스프린트형 손목 보호대는 ‘디자인이 투박하고 거추장스럽고 무게가 무겁다’, ‘혼자 착용하는 것이 힘들다’, ‘손목이 고정되어 좋지만 감각하며 일상 활동이 어려워 일을 할 수 없었다’는 답변이 가장 많았다. 손목보호대 중에 가장 긍정적인 의견을 많이 얻은 보호대는 밴드와 랩의 결합형으로 가볍고 착용이 간편하며 압박의 정도를 조절할 수 있기 때문이라고 생각된다. 세 가지 손목보호대의 공통적인 단점으로 ‘물에 젖는 것’, ‘사이즈가 맞지 않는 것’이 있었으며 소수의 의견으로는 ‘엄지와 검지사이가 거친 느낌이 좋지 않았다’가 있었다. 희망하는 손목보호대에 대한 의견으로는 ‘손등을 많이 안 덮고 손목은 많이 덮어주는 디자인이 좋을 것 같다’, ‘액세서리가 될 수 있게 예뻐지면 좋겠다’, ‘열선을 첨가하거나, 스티커 고주파나 한약재를 부착하는 등의 기능이 추가되었으면 좋겠다’ 등이 있었다. 플라스틱이 재료인 3D 프린터로 만들 손목보호대에 대한 의견으로는 ‘딱딱한 재질 때문에 착용감이 불편하며 피부에 닿는 느낌이 별로 좋지 않을 것 같다’는 의견이 있었으며, ‘아픈 정도에 따라 플라스틱의 강도와 보호대의 보호범위를 선택할 수 있으면 좋겠다’ 라는 답변이 있었다.

따라서 이상의 결과를 바탕으로 본 연구에서 제시할 손목보호대는 다음의 사항에 중점을 두었다.

Table 2. Multi-side photo of scanned wrist



- 첫째, 손목보호대 착용 시 지나치게 압박을 주지 않아야 한다.
- 둘째, 혼자 착용하기 편리하도록 손등위에 여밈이 있어야 한다.
- 셋째, 손목이 잘 고정되도록 손등에서부터 손목까지 일체형으로 한다.
- 넷째, 비교적 단단한 출력재료에 유연성을 부여하고, 통기성을 높일 수 있도록 격자구조로 한다.

3.2. 손목보호대 제작 결과

3.2.1. 3D 스캐닝 결과

레이저형 스캐너로 각 피험자의 손목을 스캔하여 3차원 형상의 손목파일을 얻었다. 스캔 후 고형화가 완료된 피험자의 손목은 Table 2와 같으며 프로그램 상에서 3차원 입체형상의 모습으로 360°전 방위로 확인이 가능하다.

3.2.2. 모델링 결과

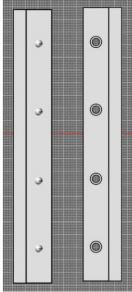
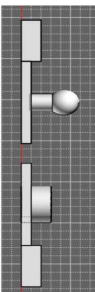
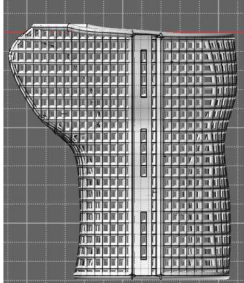
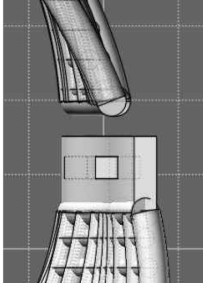
스캔한 손목을 모델링하기에 편리하도록 솔리드파일을 형성하여 손목보호대를 설계하였다. 손목보호대 모델링은 피험자 착용 후 여러 번의 수정을 거쳐 완성하였다(Table 3).

1차 모델링은 기초적인 외관의 모습만 확인하기 위해 솔리드로 변환한 스캔 손목형상에 격자간격을 세로 가로 각 10mm로 설정하고 반지름 1mm의 원기둥을 생성하였으며 외곽과 엄지손가락을 넣는 구멍은 원기둥의 반지름을 2mm로 지정하였다.

Table 3. Result of modeling

Part	Primary	Secondary	Tertiary	Quaternary
Front				
Back				

Table 4. Types of closure

Snap button type		Velcro type	
Front	Side	Front	Side
			

2차 모델링은 1차 모델링보다 구체적인 손목보호대의 형태를 확인 할 수 있도록 세로간격을 6mm, 가로간격을 8mm로 좁혀서 기초선을 생성하였으며 손목을 가로방향으로 좀 더 힘있게 잡아줘야 한다고 판단하여 세로 반지름 1mm, 가로 반지름 1.5mm로 세로보다 가로원기둥의 반지름을 더 두껍게 설정하여 3D프린터로 출력하였다. 손목보호대의 외곽은 1차 모델링과 마찬가지로 반지름 2mm의 원기둥으로 모델링하였다. 손목보호대의 2차 모델링과 동시에 여밈 부분의 모델링을 따로 진행하였으며 손목보호대와 여밈의 모델링을 각각 완성하여 마지막에 결합하였다. 여밈의 1차 모델링으로 반지름 1mm의 원기둥과 반지름 1.5mm의 구를 형성하였으며 반대편에는 구를 넣어 고정할 수 있도록 반지름 1.5mm의 구멍을 뚫은 원형과 반지름 1.5mm의 원형 옆에 반지름 1mm의 원형을 붙여놓은 모양의 단춧구멍 형으로 모델링하였다. 똑딱이형 여밈의 2차 모델링으로 크기를 크게 조정하여 반지름 2mm 원기둥위에 반지름 3mm 구를 올려 똑딱이 형태를 형성하고 반대 여밈 쪽에 반지름 3mm의 구멍을 만들어 완성하였다.

손목보호대의 3차 모델링으로 격자 기초선의 간격을 좁히고 원기둥의 굵기를 늘려 2차 모델링한 출력물보다 안정적이고 지지가 잘 될 수 있도록 모델링하였다. 솔리드의 표면위로 세로는 4mm간격 가로는 6mm간격으로 기초선을 그렸으며 가로방향은 반지름 1.6mm, 세로는 반지름 1.3mm의 크기로 원기둥을 생성하였다. 이때 손바닥 쪽의 세로선 8개는 좀 더 단단하게 손목의 가동범위를 고정할 수 있도록 반지름 1.6mm의 크기로 가로방향의 기초선과 같게 설정하였다. 설계된 손목보호대의 외곽선과 엄지구멍부분은 안정된 형태의 유지를 위해 반지름 2mm로 설정하며 테두리를 생성하였다. 3차 모델링완성하고 예비착의평가를 실시한 결과 3D 프린터로 출력한 여밈의 고정력이 나쁘지 않으나 외관에 튀어나온 부분이 사용 중에 옷이나 다른 물체에 걸리거나 혼자 착용 할 때에 부적절하다고 판단하였다. 본체와 여밈까지 3D 프린터로 출력하는 것 보다 벨크로를 사용하는 것이 실제로 착용할 때 편리하며 안전하다고 사료되어 본체를 출력한 뒤 벨크로를 연결하는 것으로 최종 변경하였다. 벨크로를

연결하기 위해 본체에 벨크로를 끼울 수 있도록 모델링 수정을 하여 출력하고 벨크로는 재봉으로 고정하였다.






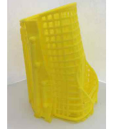

마지막으로 4차 모델링은 격자기초선의 간격을 가로 6mm, 세로 4mm로 설정하였으며 원기둥의 반지름은 가로방향 1.6mm, 세로 1.3mm로 하였다. 외곽을 둘러싼 원기둥의 반지름은 2mm로 정하였고 엄지손가락을 넣는 구멍은 유연한 착용감을 위하여 반지름 1.3mm로 최종 보완하였다. 위의 차례대로 본체 모델링을 완성한 뒤여밈 부분은 따로 모델링하여 결합하였다(Table 4). 여밈은 직사각형 형태로, 벨크로가 통과할 수 있도록 가로 3mm, 세로 23mm의 구멍을 상, 중, 하 위치에 3개로 설정하였다. 본체를 출력한 뒤여밈 구멍에 벨크로를 연결하였으며 개인의 손목형태와 크기에 맞추어 제작된 손목보호대이므로 고정될 수 있을 만큼의 넓이로 벨크로를 재단하여 완성하였다. 마지막으로 스캔한 손목의 실물크기로 모델링하여 출력하고 착용하였는데 손목과 보호대 주위의 여유량이 없어 불편하다는 의견이 있어 1.1배 크기로 확대하여 예비착용 평가하였다. 1.1배는 손목보호대가 손목보다 커 여유부분이 많아져 손목을 고정하는 것이 불가능하다고 판단되어 1.02배, 1.04배 크기로 재 출력하여 예비착의평가를 실시하였다. 여성 착용자는 1.02배가 적당하였으나 남성 착용자는 1.02배로 출력한 출력물은 조금 답답하다는 의견이 있어 남성의 경우 1.04배 크기로 출력하여 평가하였다.

3.2.3. 출력 결과

FDM방식의 3D 프린터와 Lankeda 필라멘트를 사용하여 완성된 손목보호대를 출력하였다. 필라멘트는 투명색, 흰색, 노란색, 빨간색, 검정색 등 5가지가 판매되고 있는데 본 연구에서는 개발한 손목보호대는 사람의 피부색에 가까운 노란색 필라멘트로 선택하여 출력하였다. 파일변환 프로그램은 크리에이터를 사용하였으며 출력 설정은 노즐 온도 220°C, 히팅베드 40°C, 밀도 50%로 설정하였다(Table 5).

먼저 1차 모델링과 2차 모델링 파일을 출력한 결과, 1차 모델링 출력물은 지지대를 제거하는 도중에 본 출력물이 함께 떨어

Table 5. Output progress result

Sequence	1			2		3		4
Content	1st and 2nd modeling outputs			Material comparison with 3rd modeling	Comparison of supports with 3rd modeling		Final output with 4th modeling	
Output setting								
	1st modeling	2nd modeling	Lankeda	NinjaFlex	100% supports	hand operated	Final output	

어지는 등 손목을 지지하기에 구조적으로 부실하였다. 좀 더 조밀하게 모델링하여 출력한 2차 출력물은 손목의 굴곡이 잘 형성되지 못하여 시험 착용하였을 때 불편하다고 판단되었다.

엄지구멍의 구조와, 손목의 굴곡을 다시 형성하여 3차 모델링한 파일은 재료의 비교와 지지대 비교를 위하여 출력하였다. 먼저 Lankeda 필라멘트와 그것보다 유연하고 부드러운 Ninja Flex 필라멘트를 사용하여 어떤 재료가 적합한지 비교하였다. 출력 결과 Ninja Flex가 Lankeda보다 착용감이 부드럽고 유연하여 활동이 편하였지만 손목보호대는 손목을 고정시키는 힘이 불충분하다고 생각되어 Lankeda 필라멘트로 결정하였다. 다음으로 자동지지대와 수동지지대의 차이를 비교하였다. 먼저 자동지지대는 본 출력물을 수직으로 지지하는 지지대로 모든 부위에 끝점연결선으로, 본 출력물의 바닥이 출력 판에 들뜸 없이 출력되도록 도와주는 바닥보조물은 가장 낮은 단계의 Brim으로 설정하여 출력하였다. 지지대가 출력물을 잘 보호해주어 누락되는 부분이 없이 출력이 완성되었으나, 지지대를 제거하는 과정에서 지지대의 밀도가 높고 부피가 커, 제거하면서 본 출력물에 상해를 입히는 경우가 종종 발생되었다. 두 번째로 수동으로 지지해야 할 곳만 지지대를 설정하여 출력하였다. 지지대 설정 장소는 여밈 부분과 엄지구멍 부분이였다. 출력결과 수동지지대는 밀도를 설정할 수 없어 매우 단단하게 출력 되었으며, 본체와 겹치게 출력되는 부분은 제거를 할 수 없어 수동지지대는 설정 하지 않는 것이 좋다고 판단하였다. 여밈 부분을 수정하여 최종 완성한 4차 모델링 파일은 자동 지지대 중에서 최소의 면적을 지지해주는 선택적 부위에 단방향성으로 설정하고 바닥보조물은 제일 낮은 Brim으로 설정하여 출력하였다. 출력시간은 착용자의 손목크기에 따라 다르지만 약 13시간에서 15시간이 걸렸으며 출력 후 작업으로 지지대와 잔여물을 제거하였다. 지지대는 칼을 사용하여 제거하였으며 지지대 제거 후 남은 잔해와 출력 중에 발생한 잔여물은 가위와 사포를 사용하여 제거하였다.

출력이 끝난 손목보호대에 벨크로를 연결하여 사용평가 할 손목보호대를 최종적으로 완성하였다. 벨크로는 폭 25mm를 상중하 3번에 나누어 본체와 연결하였다. 출력물은 재봉비늘이 뚫고 들어갈 수 없을 만큼 두꺼워서 재봉틀을 사용할 수 없으

Table 6. Multi-side photo of finished wrist brace

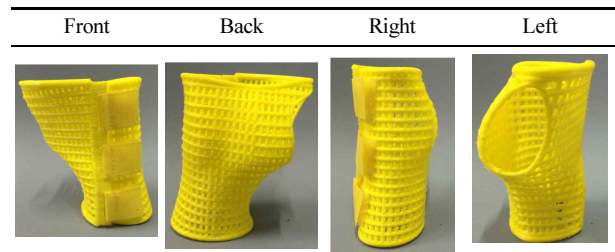


Fig. 4. Figure of wearing the wrist brace.

므로 벨크로의 겹면에서 땀이 눈에 띄지 않도록 손으로 비스듬히 하였다. 예비착의평가 시, 걸림고리 벨크로에 갈고리 벨크로를 자유롭게 부착할 수 있도록 걸림고리 벨크로를 넓게 올려놓았는데, 개인에게 맞추어서 설계한 손목보호대에서 둘레의 조임 유무를 제외하고 위치의 변경은 필요하지 않으며 넓게 부착된 걸림고리 벨크로로 인해 미관상 깨끗하지 않아 보이고 옷에 걸리는 이유 등으로 갈고리 벨크로의 크기에 맞게 3군데로 나누어 따로 부착하여 손목보호대를 완성하였다(Table 6).

3.3. 손목보호대 착용평가 결과

손목통증을 호소하는 10명의 피험자를 선정하여 하루 동안 손목보호대를 사용하게 한 후 제품착용평가를 실시한 결과는

Table 7. Results of wrist brace evaluation

(N=10)

Classification	Evaluation items	M	SD
Equitable use	Don't you feel self-conscious or psychologically insecure when using wrist brace?	3.9	3.7
	Is it a product which you want to use?	3.4	
Flexibility in use	Don't you need to make a difficult gesture or manipulation when you use it?	4.5	4.0
	Is it possible to use it easily with appropriate speed or efficiency?	3.8	
	Can you use it anywhere in your place or time?	3.7	
Simple & intuitive use	Can you simplify the operation sequence without confusing on the operating process?	4.8	4.9
	Can you understand how intuitive it is?	5.0	
Tolerance for error	Is there any risk or incorrect operation?	4.3	4.5
	Is it simple to return when you make a mistake?	4.6	
Low physical effort	Is it inconvenient to wear alone?	4.6	4.3
	Can you wear it with proper force?	4.3	
	Is there anything you don't need to do?	4.1	
Size and space for approach and use	Is the hole in your thumb comfortable and proper?	4.0	3.7
	Is the coverage appropriate for protecting your wrist?	3.8	
	Is it suitable size and form to carry or store?	3.3	
Appearance and management	Do you have a good impression on the color or form of the wrist brace?	2.8	3.0
	Is the size or shape of the grid on the wrist brace appropriate?	3.3	
	Is cleaning and management simple?	3.9	
	Is your skin pleasant to wear?	2.1	
Functionality	Is the support strength of the palm part appropriate?	3.8	3.4
	Is the extent of the wrist movement appropriate?	3.2	
	Do you feel that the combination of the closure and protective guards is strong?	3.2	
	Is the stiffness in the wrist guard appropriate?	3.8	
<i>M</i>		3.8	0.8

Table 7과 같다.

평가점수가 높을수록 제품에 대한 만족도가 높은 것을 의미하는데, 8개 영역의 평가 결과 전체평균은 3.8이었고, 그 가운데 4.0 이상의 평가를 받은 영역이 4개, 4.0 미만인 4개 영역으로 나타났다. 가장 높은 점수는 4.9점으로 ‘간단하고 직관적인 사용’에 관한 것이었다. 이는 혼란 없이 사용법을 쉽게 알 수 있다는 것이며, 다음으로는 ‘사고와 오조작 방지’와 ‘사용하는데 힘이 들지 않음’에 대한 평가 순이었다. 따라서 본 연구에서 개발된 손목보호대는 사용법을 숙지하지 않더라도 누구나 손쉽게 힘들지 않게 사용할 수 있고, 사용법이 간단한 것으로 평가되었다. 어떤 장소에서도 사용할 수 있고, 빨리 조작할 수 있는지를 묻는 ‘사용상의 유연성 확보’ 부분에서는 4.0으로 평가되었다. 이 제품을 다른 사람 의식하지 않고 편하게 사용할 수 있는지에 대한 ‘공평한 사용에 대한 배려’ 부분에서는 3.7, 엄지손가락을 끼우는 공간의 적합도, 손목보호대가 손목을 보호하는 적합도 등을 묻는 ‘적당한 크기와 공간’에 대한 평가도 3.7이었다. 다음으로 손목보호대의 기능성과 관련하여서는 손바닥 부분의 지지강도, 손목보호대의 단단한 정도는 3.8, 손목 움직임의 제한과 여밈과 보호대의 튼튼한 결합에 대해서는 3.2로

기능성 평균 점수는 3.4이었다. 가장 낮은 점수를 받은 영역은 외관과 관리영역으로 3.0이었다. 이 영역에 속하는 항목 4가지 중 ‘세척과 관리가 간단한가’는 3.9로 높은 편이나 ‘제품의 색이나 형태에 저항감이 없고 친근한 인상인가’라는 항목과 ‘피부에 닿는 착용감이 쾌적한가’ 라는 항목의 점수는 각각 2.8점과 2.1점으로 낮은 평가였다. 이것은 시판되고 있는 손목보호대의 재료가 네오프렌이나 신축성 있는 밴드 등의 원단이라는 것에 비해 본 연구에서 사용된 재료가 플라스틱이므로 착용자에게 친근하지 않은 점과 플렉서블 플라스틱의 색상이 다양하지 않아 노란색으로 제작된 손목보호대가 착용자에게 익숙하지 않았기 때문이라고 생각된다. 또한 3D 프린팅의 특성 상 출력 과정에서 지지대를 설치하고 출력 후에 지지대를 물리적으로 제거할 때에 완벽하게 제거하는 것이 한계가 있어 다소 거친 느낌으로 인해 점수가 낮은 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 4차 산업혁명의 주요 분야로 부각되고 있는 3D 프린터를 의류연구에 활용하는데 그 의의를 두고 있다. 3D 프린터

는 개인 맞춤형 제품개발이 가능하다는 장점을 살려 본 연구에서는 손목에 통증이 있는 사람들을 위한 손목보호대를 제작하였다. 이를 위해 손목보호대 착용 경험자를 대상으로 심층면접을 실시하여 손목보호대를 디자인하고, 3D 스캐너로 피험자의 손목을 스캔한 후 캐드 프로그램을 사용하여 손목보호대 모델링을 완성하였다. 완성된 손목보호대 모델링 파일을 3D 프린터로 출력하고 제품평가를 실시하였다. 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 시판 손목 보호대 착용상태와 디자인상태 결과를 참고하여 손목보호대 착용 시 지나치게 압박을 주지 않으면서 혼자 착용하기 편리하도록 손등 위에 여밈을 만들고, 손목이 잘 고정되도록 손등에서부터 손목까지 일체형으로 하되, 플라스틱 재료에 유연성을 부여하고, 통기성을 높일 수 있도록 격자구조로 디자인하였다.

둘째, 피험자 10명의 손목을 스캔한 후, 모델링하기 편리하도록 솔리드파일을 형성하여 손목보호대를 설계하였다. 여밈은 모델링과 출력과정을 거쳐 벨크로를 사용하는 것이 더 적합하다고 판단되었다. 출력 재료로는 Lankeda사의 유연한 PLA 필라멘트를 사용하였으며 출력노출온도 220°C, 히팅베드를 40°C로 설정하여 출력하였다. 지지대는 자동지지대와 바닥보조물을 사용하였으며 출력 후 지지대를 제거하기 위하여 손목보호대를 최대한 부드럽게 연마하였다. 마지막으로 벨크로를 연결하여 손목보호대를 완성하였다.

셋째, 개발된 손목보호대는 유니버설 디자인의 평가원칙을 참고로 하여 평가하였다. 평가결과를 보면 사용법을 숙지하지 않더라도 누구나 손쉽게 사용할 수 있고, 조작법이 간단하여 사용의 편리함에 있어서는 높은 점수로 평가되었다. 하지만 재료의 특성으로 인한 착용감 평가에 있어서는 다소 낮았는데 특히 재료의 색, 플라스틱에 대한 이질감, 출력과정에서 설치한 지지대를 완벽하게 제거하지 못한 점에 의해 평가가 낮아진 것으로 생각된다.

본 연구에서는 구입 가능한 다양한 3D 프린터의 재료를 탐색하여 인체에 거부감이 적은 재료를 찾는데 주력하였으나 대부분이 플라스틱에 한정되어 있었으므로 인체에 쾌적감을 줄 수 있는 소재의 개발이 필요하다고 사료된다. 최근 들어 지지대를 쉽게 제거할 수 있는 방법들이 제시되고 있어, 소비자의 사용목적에 맞는 다양한 재료의 개발 및 공급이 이루어진다면

의류분야에서 3D 프린팅 기술을 활용한 맞춤형 제품개발연구가 더 활성화될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 2015년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2015R1D1A1A09057667).

References

- Jung, K. S. (2015). A study of the effect of 3D printer popularization on the design industry. *Journal of Society of Korea Illusart*, 18(4), 315-323.
- Kim, S. H. (2015). Technology opportunities in 3D printing. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18(1), 11-26.
- Kim, J. H., & Jung, E. C. (2015). Modeling process development for customized Woman midsole design based-on 3D printing technology - Focused on a women in her twenties with 235-240mm foot size - . *Journal of Korea Society of Design Forum*, 46, 267-277.
- Kim, J. H., & Kim, H. S. (2015). Designing of protector utilizing 3D body scanning. *Journal of Korea Society of Design Forum*, 48, 227-236.
- Lee, W. S., & Kim, S. A. (2015). Development of high-heel design applied by FDM three-dimensional printer output. *Journal of Korea Society of Design Forum*, 48, 512-530.
- Lee, J. E., Lim, Y. E., Kim, S. Y., Yu, H. R., Jin, M. H., Kong, W. J., Bae, H. Y., & Park, K. (2014). Development of personalize glasses using 3D printing with evaluation of assembly characteristics. *Proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers, spring Conference, Korea*, pp. 2058-2063.
- Nikkei Design. (2007). *Universal design*. Seoul: Mijinsa.
- Oh, W. K. (2014). Customized model manufacturing for patients with pelvic fracture using FDM 3D printer. *Journal of the Korea Contents Association*, 14(11), 370-377.
- Seoung, Y. H. (2015). A study of 3D printing of self-customization cast by using fused deposition modeling technique of ABS resin. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 16(9), 6019-6026.

(Received 18 May 2017; 1st Revised 16 June 2017;
2nd Revised 20 June 2017; Accepted 25 June 2017)