

3D 프린팅 기술을 적용한 상지 보조기 제작 방법에 관한 체계적 고찰

최원석*, 김종배**

*연세대학교 대학원 작업치료학과

**연세대학교 보건과학대학 작업치료학과

국문초록

목적: 본 연구에서는 체계적 고찰을 통해 3D 프린팅 기술을 상지보조기 제작에 적용한 사례에 대해 알아보고, 향후 작업치료사가 임상현장에서 상지보조기 제작에 3D 프린팅 기술을 적용할 때 필요한 정보를 정리하여 임상적용에 유용한 기초자료를 제시하고자 한다.

연구방법: 2013년부터 2017년까지의 최근 5년간의 논문을 전자 데이터베이스 RISS, KISS, Scopus, PubMed와 Google Scholar를 사용하여 검색하였다. 검색 키워드로는 “3D Printing AND Orthosis OR Splint OR Brace”을 사용하였다. 검색된 논문은 2차 분류를 거쳐 최종적으로 16개의 논문을 선정하였으며 이를 분석하고 고찰하였다.

결과: 분석대상 논문의 약 80%가 단일대상 실험연구 및 사례연구로 질적수준은 낮은 편이었다. 제작자의 전공을 분석한 결과, 크게 4가지 계열로 구분됐으며, 그 중에서 공학계열이 가장 많았다. 다음으로는 보건계열이 많았으며, 작업치료전공자는 2명이었다. 제작된 상지보조기의 종류는 6가지였으며, 그 중에서 코크 업 보조기와 손가락 보조기가 가장 많이 제작되었다. 제작에 가장 많이 사용된 소재는 플라스틱 소재 중 하나인 ABS수지였다. 분석된 논문에서 사용된 제조공법은 총 4가지가 있었으며, 가장 많이 사용된 제조공법은 FDM방식이다. 상지보조기 제작을 위한 상지 측정방법으로는 3D 스캐너가 가장 많이 사용되었다.

결론: 이번 연구를 통하여 3D 프린팅 기술을 적용한 상지보조기 제작방법에 대해 알 수 있었다. 이를 근거로 작업치료사의 업무범위 중 한가지인 상지보조기 제작에 3D 프린팅 기술을 적용할 수 있는 기초근거를 제공하고, 추후 연구에 대한 방향성을 제시하고자 하였다. 본 연구 결과를 바탕으로 작업치료분야에서 3D 프린팅 기술을 적용한 상지보조기 개발 및 연구가 더욱 활발하게 이루어질 것으로 기대한다.

주제어: 3D 프린팅, 4차 산업혁명, 상지보조기, 체계적 고찰

I. 서론

척수손상, 뇌졸중, 뇌성마비 등과 같은 중추신경계질

환은 다양한 신체장애를 발생시킨다. 특히 근육약화로 나타나는 마비, 강직, 떨림과 같은 운동조절장애는 환자의 신체기능에 장애를 일으키는 주요 원인으로 상지를

ORCID: Choi, Won Seuk, <http://orcid.org/0000-0002-1441-2175>

Corresponding author: Kim, Jong Bae (jongbae@yonsei.ac.kr/Dept. of Occupational Therapy, College of Health Science, Yonsei University)

Received 30 January 2018; Revised version received 20 February 2018; Accepted 04 March 2018

사용하여 수행하는 일상생활활동을 어렵게 만든다(Adrienne & Manigandan, 2011). 이러한 운동조절장애를 갖는 환자들을 위하여 작업치료사들은 치료적·예방적 목적으로 다양한 상지보조기를 제작하여 제공한다(Lannin & Herbert, 2003).

작업치료사의 업무범위 중 하나인 상지보조기 제작 및 훈련은 손상된 상지의 기능적인 사용을 위해 특수한 재료의 플라스틱을 이용하여 설계를 포함한 가공작업을 거쳐 개인에게 적합하도록 만드는 과정과 이를 일상생활에서 적응하여 사용할 수 있도록 주의사항 및 관리방법을 교육하는 활동을 의미한다(정진우, 2008; Cooper, Ohnabe, & Hobson, 2006). 보조기(orthosis)는 신체에 부족한 근육의 힘을 대신하고 뼈를 올바르게 정렬하며 변형을 예방해 주는 것으로 브레이스(brace) 혹은 스플린트(splint)로 불린다(김장환 등, 2012; 홍재관, 2014). 따라서 작업치료사는 일반적으로 손과 상지의 기능적인 사용을 위한 스플린트를 임상 현장에서 수작업으로 제작하고 있다(Jacobs & Austin, 2013).

그러나 수작업으로 스플린트를 제작하다보니 제작자 간 공작물의 완성도 차이가 크고, 이에 따라 만족도가 낮아 환자들은 착용을 기피하고 있는 실정이다(Rahmati, Abbaszadeh, & Farahmand, 2012). 이에 따라 대다수의 환자들은 의지보조기 업체를 통해 맞춤 제작을 하거나, 전문 판매점을 통해 기성품을 구입한다. 하지만 업체를 통한 개인 맞춤 보조기는 가격이 비싸고 제작시간이 오래 걸린다는 단점이 있으며, 기성품은 규격이 한정되어있기 때문에 착용감이 좋지 않고, 일괄제작으로 심미성을 고려하지 못하며, 부피가 크다는 단점이 있다(Kim, 2016).

하지만 3D 프린팅을 이용하여 보조기를 제작 할 경우 앞에서 언급한 문제점을 해결할 수 있을 것이다. 최근 미국, 유럽, 일본 등 제조 산업 선진국을 중심으로 제조업 혁신을 위한 3D프린팅 기반기술 및 응용기술 연구가 활발히 이루어지고 있다(Ahn & Yang 2005). 3D 프린터의 기술적 측면을 의미하는 3D 프린팅 기술(3D printing technology)은 적층가공(additive manufacturing) 방식으로 물체를 조형하는 가공기술이다(Kim, 2014; Yun, 2013). 3D 프린팅으로 제품을 출력하기 위해서는 모델링이 필수적이다. 먼저 CAD소프트웨어를 통한 모델링

작업으로 데이터를 생산할 수 있으며, 다음으로 3D 스캐너를 이용해서 데이터를 얻을 수 있다(Kim & Jung, 2015). 최근 3D 프린팅 관련 기술의 원천 특허권이 만료됨에 따라 시장이 더욱 활성화되면서 최근 항공, 자동차, 조선, 의료, 교육분야 등 다양한 산업분야에서 첨단제조 기술로 떠오르고 있다(Cho, 2015; Jung, 2014).

그 중에서도 개인 맞춤 제작이 필수적인 의료분야에서 많은 응용연구 및 적용 사례가 증가하고 있는 추세인데, 그 이유는 사용자 취향에 맞게 다품종 소량생산 및 개인 맞춤형 제작이 용이하며 복잡한 형상이 완성품으로 제작이 가능하다는 3D 프린팅의 장점 때문이다.(Park, Park, Lee, & Lee 2014; Park, Yim, Yang, & Kim, 2015). 이러한 기술적 특성에 기반을 두어 인공 뼈, 인공 귀, 인공 관절, 인공치아, 치과보형물, 임플란트 등 이식 가능한 생체조직 뿐만 아니라 체외에 착용되는 보조기, 의족, 의수 등 신체 보조·재활기구 제작에 3D 프린팅 기술을 적용 하려는 시도가 이루어지고 있다(Wohlers & Terry, 2016). 대표적인 한 예로 Abby, Richard, Campbell와 Guy(2015)는 상지보조기를 3D 프린팅 기술의 4가지 제조공법으로 제작하여 제작비용과 표면마감 그리고 강도를 비교하는 연구를 하였으며, 보조기 제작에 가장 적합한 3D 프린팅 기술의 제조공법을 제시 하였다. 국내에서도 3D 프린팅 기술을 보조기 제작한 적용한 연구가 진행되고 있다. Heo(2015)는 4명의 의료기사에게 8주간의 3D 모델링 교육과정을 이수하게 하고 5가지의 상지보조기를 3D 프린팅으로 제작하여 인장강도, 비용, 제작시간을 비교하였으며, 3D 프린팅 기술이 보조기 제작에 적용될 수 있는 가능성을 제시하였다. 이러한 연구들은 4차 산업혁명의 선도기술중 한가지인 3D 프린팅 기술의 장점을 보조기 제작에 적용하여, 특정 환자에 적합한 맞춤형 보조기의 제작을 시도한 예로 볼 수 있다.

3D프린팅은 다양한 산업분야에서 활용이 가능하지만, 그 중에서도 의료분야는 가장 효과인 활용분야로 기대되고 있다(Jakab, Damon, Neagu, Kachurin, & Forgacs, 2006; Hockaday et al., 2012). 그 이유는 생명과 관련한 의학기술의 발전뿐만 아니라, 개인의 성향을 반영한 재활 목적의 의료기기나 보조기 제작의 활성화를 이끌어 낼 수 있다는 기대 때문이라고 할 수 있다. 또한, 3D 프린팅 기술의 등장함으로써 환자별 맞춤제작이 저비용에 가

능해지고 치료기간의 단축이 가능하다(Kim, Lee, Kim, Lee, & Han, 2015). 따라서 3D 프린팅이 향후 의료분야의 핵심 서비스 중 하나가 될 가능성이 높다는 전망과 함께, 의료분야에서 큰 성장이 기대되고 있다(Hong, Kim, & Im, 2008). 이러한 기대 속에서 3D 프린팅 기술이 재활치료 분야에서 주목받기 시작했으며, 국내와 해외의 대학과 병원에서 임상적용을 위한 연구 및 실험이 활발하게 진행되고 있다.

이에 본 연구는 2013년 1월부터 2017년 12월까지 최근 5년 동안 발표된 논문들 중에서 3D프린팅 기술을 상지보조기 제작에 적용한 사례에 대해 알아보고, 향후 작업치료분야에서 임상적용을 위한 기초근거를 제공하기 위해 필요한 정보를 정리하고 분석하고자 한다. 이를 통해 작업치료사의 업무범위 중 하나인 상지보조기 제작에 3D 프린팅 기술의 적용하기 위한 기초자료와 방향성을 제시하고자 한다.

조기 제작에 3D 프린팅 기술을 적용한 연구들을 검토하기 위하여 Pubmed, Scopus, RISS, KISS, Google Scholar 데이터베이스를 사용하여 국내와 국외 학술지에 게재된 문헌을 수집하였다. 문헌 검색에 사용한 주요 검색어는 “3D printing AND Orhosis OR Splint OR Brace”을 사용하였다.

2. 논문의 선정기준

본 연구에서 체계적 고찰을 위한 논문을 검색한 결과, 총 16개의 논문이 검색되었다. 각 데이터베이스에서 검색된 총 857개의 문헌 중, 우선적으로 고찰 및 메타분석 논문과 각 데이터베이스간 중복된 논문을 1차적으로 제외 하여, 711개의 논문을 검색하였다. 이후 교신저자와 함께 초록을 검토하였으며, 필요 시 원문확인을 확인하는 방법으로 아래의 배제기준에 따라 2차적으로 제외하여 최종 선정하였다(Figure 1).

II. 연구 방법

1. 연구 대상 및 데이터 수집

본 연구는 2013년 1월부터 2017년 12월까지 상지보

1) 배제기준

- (1) 고찰 및 메타분석 논문
- (2) 상지 이외의 다른 신체 보조기 관련 논문
- (3) 제작방법에 관한 내용이 아닌 논문
- (4) 본문의 내용이 영어가 아닌 논문

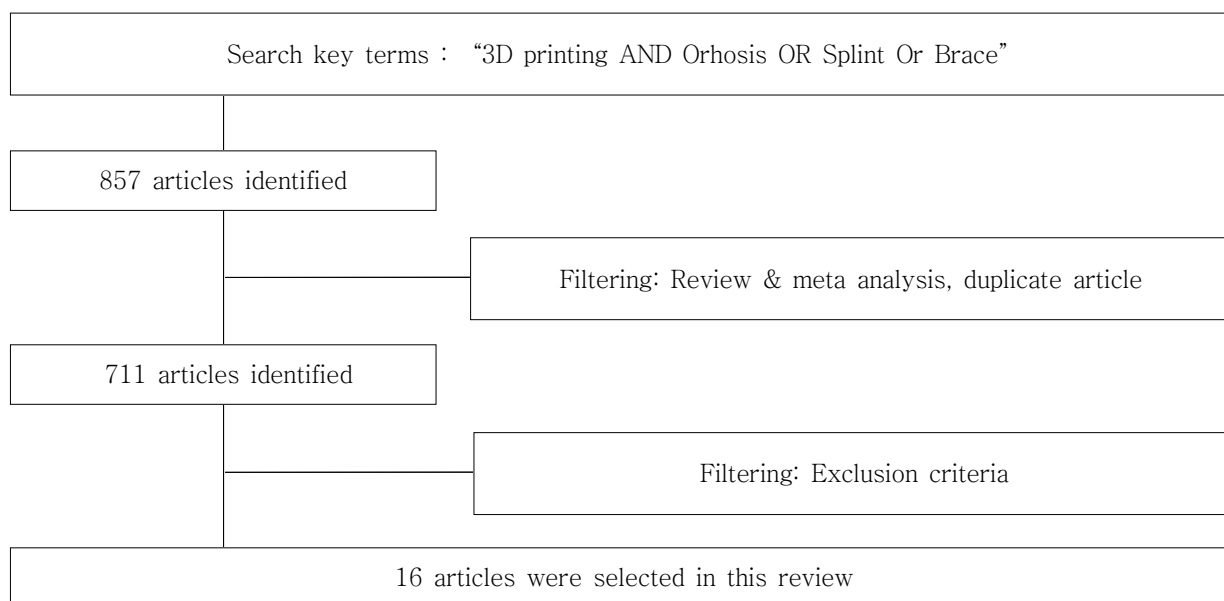


Figure 1. Flow Diagram of Search Process

3. 질적 수준 분석

본 연구에 포함된 연구들의 질적 수준 평가를 위해서 Arbesman, Scheer와 Liberman(2008)에 의해 개발된 총 5단계의 질적 근거 수준 분석모델을 사용하였다. 가장 높은 근거수준인 Level I (체계적 고찰, 메타분석, 무작위대조실험연구), Level II (두 집단 비무작위 연구), Level III (단일 집단 비무작위 연구), Level IV (개별실험 연구, 조사연구), Level V (사례연구)로 연구들을 분류하고 있다.

4. 연구 분석 및 제시방법

본 연구에서는 기준에 의해 최종 선정된 16편의 논문을 분석하여 기술하였다. 먼저 질적 수준 및 동향에 대해 분석하였다. 다음으로 3D 프린팅 기술을 상지보조기 제작에 적용한 방법에 대해 알아보기 위하여 제작자 전공, 제작된 상지보조기의 종류, 사용된 소재, 3D 프린팅 기술의 제조공법을 분석하였다. 그리고 마지막으로 상지보조기 제작을 위한 상지 측정 방법에 대해서 분석하였다.

최종적으로 전체 연구들을 구체적이고 체계적으로 정리하기 위해 저자·연도, 제작자 전공, 제작된 상지보조기 종류, 사용된 소재, 제조공법, 상지측정방법 순으로 Appendix 1에 나열하였다. 분석된 논문은 논문 번호를 통하여 제시하였으며 Appendix 1에서 확인할 수 있다.

1. 분석 대상 연구의 질적 수준 및 동향

분석 대상 논문 총 16편의 질적 수준을 분석한 결과 가장 높은 수준인 I 단계에 해당하는 논문이 1편으로 전체의 6.2%였으며, II단계 수준은 없었다. III단계 수준은 2편으로 전체의 12.5%를 차지하였고, IV단계 수준은 없었다. V단계 수준은 13편으로 전체의 81.2%로 가장 높은 비율을 차지하였다(Table 1). I 단계 수준에서 1편은 무작위 실험-대조군 논문(Randomized Controlled Trial; RCT)이었으며, V단계 수준의 13편은 모두 사례보고(case reports)이었다.

2. 3D 프린팅 기술을 적용한 상지 보조기 제작방법 분석

1) 제작자 전공

3D 프린팅 기술을 상지보조기 제작에 적용한 논문에서 제작자의 전공은 매우 다양했다. 연구에서 밝힌 제작자의 전공은 모두 9종류였으며, 크게 보건, 공학, 의류, 디자인 계열로 분류되었다. 선정된 16편의 논문 중 제작자가 보건계열인 경우는 3편이 있었으며, 작업치료학 전공이 2편(12.7%), 방사선학 전공이 1편(6.2%) 있었다. 공학계열은 11편으로 가장 많았으며, 전공의 종류도 5가지로 다양했다. 그 중에서 기계공학이 전공인 제작자가 7편(43.9%)으로 가장 많았으며, 나머지 공학계열 전공은 각각 1편씩 있었다. 다음으로 의류계열과 디자인계열

Table 1. Level of Quality Each Study

(N=16)

Evidence level	Definition	Frequency (%)
I	Systematic reviews, Meta-analyses, randomized controlled trials	1 (6.2)
II	Two groups non-randomized studies	0 (0.0)
III	One groups non-randomized studies	2 (12.5)
IV	Single subject designs Surveys	0 (0.0)
V	Case reports, narrative literature reviews, Qualitative researches	13 (81.2)
Total		16 (100.0)

이 각각 1편씩 있었다(Table 2).

2) 상지보조기의 종류

연구에서 제작된 상지보조기의 종류는 모두 6종류였으며, 한 연구에서 최소 1개에서 최대 5개의 상지보조기를 제작해서 총 23개의 상지보조기가 제작되었다. 가장 많이 제작된 상지보조기는 코크 업 보조기(cock-up splint)와 손가락 보조기(finger splint)이며, 8개씩 제작되어 각각 34.9%의 가장 높은 비율을 차지하였다. 다음으로 레스팅 핸드 보조기(resting hand splint)와 건틀렛 고정 보조기(gauntlet immobilization splint) 그리고 엄지 맞섬 보조기(thumb opposition splint)가 2개씩 제작되어 각각 8.6%의 비율을 차지하였다. 경직 방지 손 보조기(anti-spasticity hand splint)는 1개가 제작되었다(Table 3).

3) 제작에 사용된 소재

3D 프린팅 기술을 적용한 상지보조기 제작에 사용된

소재의 종류는 모두 8종류였으며, 한 연구에서 최소 1개에서 최대 4개의 소재를 사용하여 상지보조기를 제작하였다. 가장 많이 사용된 소재는 3가지 성분이 합성하여 이루어진 스타이렌수지(styrene resin)의 한 종류인 ABS(Acrylonitrile, poly-Butadiene, Styrene)수지였으며, 9편의 논문에서 사용되어 45%의 가장 높은 비율을 차지하였다. 다음으로 사탕수수과 옥수수에서 추출한 녹말로 구성된 친환경소재인 PLA(Poly Lactic Acid)수지가 4편의 논문에서 사용되어 20%의 비율을 보였다. 다음으로 우레탄 소재로 내구성과 탄성이 강한 TPU(Thermoplastic Polyurethane)가 2편의 논문에서 사용되어 10%의 비율을 차지했다. 나머지 특수합성수지는 각각 1번씩 사용되었다(Table 4).

4) 3D 프린팅 기술의 제조공법

분석된 논문에서 상지보조기 제작을 위해 사용된 3D 프린팅 제조공법은 4가지였으며, 한 연구에서 최대 4가지의 제조공법을 사용하여 상지보조기를 제작하였다. 가

Table 2. Major in Producer

(N=16)

Type of department		n	(%)
Health	Occupational therapy	2	(12.7)
	Radiology	1	(6.2)
Engineering	Mechanical	7	(43.9)
	Biotechnology	1	(6.2)
	Rehabilitation	1	(6.2)
	Medical device	1	(6.2)
	Materials	1	(6.2)
	Industrial	1	(6.2)
Design	Industrial	1	(6.2)
Clothing	Clothing & Textiles	1	(6.2)
Total		16	(100.0)

Table 3. Type of Splint

(N=23)

Type	n	(%)
Cock-up splint	8	(34.9)
finger splint	8	(34.9)
Resting hand splint	2	(8.6)
Gauntlet immobilization splint	2	(8.6)
Thumb opposition splint	2	(8.6)
Anti-spasticity hand splint	1	(4.4)
Total	23	(100.0)

장 많이 사용된 제조공법은 가열된 노즐에 의해 압출되어 층층이(layer by layer) 적층하는 FDM(Fused Deposition Modeling)방식이 16편의 논문에서 사용되어 80%의 높은 비율을 차지하였다. 다음으로 잉크젯 기술을 바탕으로 액체를 분사하는 방법으로 적층하는 Polyjet방식이 2편의 논문에서 사용되었다. 선택적 레이저 소결방식인 SLS(Selective Laser Sintering)와 광

경화성수지 적층방식인 SLA(Stereolithography)는 각각 1번씩 사용되었다(Table 5).

3. 상지 측정 방법

본 연구에서 고찰한 총 16편의 논문을 대상으로 상지 보조기를 3D 프린팅 기술로 제작할 때 사용된 상지 측정

Table 4. Type of Materials (N=20)

Type	n	(%)
ABS	9	(45.0)
PLA	4	(20.0)
TPU	2	(10.0)
Verowhite	1	(5.0)
Tangoplus	1	(5.0)
Accura xtreme	1	(5.0)
Pa200	1	(5.0)
Fullcure	1	(5.0)
Total	20	(100.0)

ABS: Acrylonitrile, poly-Butadiene, Styrene, PLA: Poly Lactic Acid, TPU: Thermoplastic Polyurethane

Table 5. Manufacturing Method of 3D printing (N=20)

Type	n	(%)
FDM	16	(80.0)
Polyjet	2	(10.6)
SLS	1	(5.2)
SLA	1	(5.2)
Total	19	(100.0)

FDM: Fused Deposition Modeling, SLA: Stereolithography, SLS: Selective Laser Sintering

Table 6. Method of Measure Upper Limb (N=16)

Type	n	(%)
3D scanner	13	(82.3)
Length measurement tools	2	(11.8)
MDCT	1	(5.9)
Total	16	(100.0)

MDCT: Multi Detector Computed Tomography

방법에 대해서 분석하였다. 연구에서 사용된 상지 측정 방법은 모두 3가지였다. 가장 많이 사용된 방법은 3D 스캐너를 사용한 상지 촬영방법으로 13편의 논문에서 사용되어 82.3%의 비율을 차지하였다. 다음으로 캘리퍼스, 줄자와 같은 길이측정도구를 사용한 상지의 치수 측정방법이 2편의 논문에서 사용되었다. MDCT(Multi Detector Computed Tomography)을 이용한 신체 촬영방법은 1편의 논문에서 사용되었다(Table 6.)

IV. 고 찰

작업치료사는 클라이언트의 수행패턴과 예측 가능한 위험을 고려하여, 수행영역과 수행요소에 긍정적인 영향을 미칠 수 있는 상지보조기를 개인의 환경 및 습관과 손상된 신체의 형태에 맞추어 제작한다(Adrienne & Maniganda, 2011). 현재까지 상지보조기는 작업치료실에서 수작업으로 제작되고 있지만, 3D 프린팅으로 제작해서 제공할 경우 환자의 성공적인 재활과 사회복귀를 가속화할 수 있다. 또한, 모든 의료기관은 환자의 편안함과 안정성을 위한 고정 장치 또는 보조기를 개선하고 개발할 책임이 있다(Palousek, Rosicky, Koutny, Stoklasek, & Navrat, 2014).

본 연구는 2013년 1월부터 2017년 12월까지 최근 5년 동안 발표된 16편의 논문을 분석하였다. 4차 산업혁명기의 선도기술 중 한가지인 3D 프린팅 기술을 상지보조기 제작에 적용한 연구들에 대하여 체계적 고찰을 시행함으로써 상지보조기의 새로운 제작방법에 대해 소개하고 이를 통해 작업치료 임상현장에서 3D 프린팅 기술을 상지보조기 제작에 적용하기 위한 기초근거와 제작방법에 대한 방향성을 마련하고자 하였다. 분석된 논문은 총 16편으로 질적수준 및 동향, 제작자의 전공, 제작된 보조기의 종류, 사용된 소재, 3D 프린팅 기술의 제조공법, 상지 측정 방법에 대해 분석하고 고찰하였다.

3D 프린팅 기술을 적용하여 상지보조기를 제작한 16편의 질적수준을 분석한 결과, 가장 높은 수준인 I 단계 무작위 실험-대조군 논문은 1편으로 전체의 6.2%였으며, III단계 한 집단 비무작위 논문은 2편으로 전체의 12.5%를 차지하였고, V단계 단일대상연구 및 사례연구

에 해당하는 연구는 13편으로 전체의 81.2%를 차지하여, 전반적인 근거수준은 낮은 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 논문저자의 전공과 관련이 높다고 생각된다. 고찰한 16편의 논문 중에 11편의 논문저자가 공학계열의 전공자로 새로운 제작방법의 개발과 제안이 그들의 학문에서는 높은 수준의 연구 활동이라고 생각된다. 따라서 대부분의 연구가 공학계열에서 진행된 사례연구이기 때문에 질적 수준은 낮지만 앞으로 임상에서 실제 환자를 대상으로 실험연구를 진행하는데 기초근거로 크게 기여할 것으로 판단된다.

다음으로 3D 프린팅 기술을 적용하여 상지보조기를 제작한 제작자의 전공을 분석한 결과, 크게 보건, 공학, 디자인, 의류 계열로 나뉘었다. 그 중에서 공학계열이 11편으로 전체의 약 70%를 차지하여 가장 높은 비율을 보였다. 다음으로 보건계열이 3편으로 많았으며, 작업치료학 전공은 2명, 방사선학 전공은 1명이었다. 디자인계열과 의류계열은 각각 1편씩 있었다. 이러한 현상은 3D 프린팅을 응용한 연구가 기계, 항공, 자동차, 가전 등 공학계열의 산업에서 가장 활발하게 진행되고 있다는 점을 시사한다(박세환, 2014). 이와 같이 다양한 산업분야에서 3D프린팅을 적용한 연구를 진행하는 이유는 3D 프린팅이 가지고 있는 여러 가지의 장점 때문으로 사료된다. 3D 프린팅의 몇 가지 장점을 소개하자면, 먼저 기존의 제조방식에서 필요했던 지그, 패턴, 금형과 같은 생산 도구 없이 컴퓨터만 있으면 누구나 생산 및 제조가 가능하다. 또한, 저렴한 비용으로 소량생산이 가능하고, 절삭가공으로는 불가능했던 복잡한 디자인의 제조가 가능하다. 그리고 실제 사물을 스캔 및 편집하여 정밀한 복제가 가능하다는 점이 대표적인 장점이다(Kim & Na, 2016). 따라서 3D 프린팅 기술은 상업적인 제품의 제조 차원을 넘어 생명공학, 재활공학 등 의료기술과 접목되어 인류의 건강과 생명 유지에 중요한 역할을 담당하게 될 것으로 기대된다.

3D 프린팅으로 제작된 상지보조기의 종류를 분석한 결과, 6종류의 상지보조기가 제작되었으며, 총 23개의 상지보조기가 제작되었다. 가장 많이 제작된 상지보조기는 코크 업 보조기와 손가락 보조기이며, 8개씩 제작되어 각각 34.9%를 차지하였다. 그 다음으로 레스팅 핸드 보조기와 건틀렛 고정 보조기 그리고 엄지 맞섬 보조기가

각각 2개씩 제작되었으며, 경직 방지 손 보조기는 1개가 제작되었다. 이를 분석해보면, 손목과 손가락 관련된 상지보조기가 많이 제작되었는데, 이는 Gerr, Marcus와 Monteilh(2004)와 Kim, Park과 Kim(2010)의 연구에서 이야기하는 컴퓨터와 스마트폰의 보급화로 현대인들 대부분이 하루 종일 이들을 사용하고 있으며, VDT (Video Display Terminal)와 관련된 직업군들이 매년 증가하고 있어 손목과 손가락 부위에 근골격계질환의 발병률도 증가하고 있다는 근거와 맥락을 같이 하고 있다고 볼 수 있다. 이에 따라 많은 연구에서 상지보조기 중에 수요가 높고 처방이 많이 되고 있는 상지보조기를 대상으로 제작을 시도했다고 판단된다.

상지보조기 제작에 사용된 3D 프린팅 기술의 제조공법을 분석해 본 결과 사용된 제조공법은 4가지였으며, ABS와 PLA소재를 사용하는 FDM제조공법이 16편의 논문에서 사용되어 가장 많이 사용되었다. 가장 많이 사용된 소재는 ABS수지로 9편의 논문에서 사용되어 전체의 45%였으며, 다음으로 PLA수지가 4편의 논문에서 사용되어 20%를 차지하였다. 그 뒤로 TPU수지가 2편의 논문에서 사용되었고, 나머지 특수합성수지는 각각 1번씩 사용되었다. 이와 같이 ABS와 PLA수지가 많이 사용된 이유는 비교적 저렴한 가격의 플라스틱 소재이며, 가장 대중화되어있는 3D 프린팅의 FDM제조공법에서 사용되고 있는 소재이기 때문으로 사료된다. 그리고 ABS수지가 PLA수지에 비해 더 많이 제작에 사용된 이유는 PLA에 비해 강도가 높고 수분과 열에 강하기 때문에 인체에 착용하는 보조기 제작에 적합하다고 판단된 것으로 해석할 수 있다(Kang, Lee, & Shin, 2017; Ko & Lee, 2015). 나머지 특수합성수지의 사용빈도가 낮은 이유는 소재의 가격이 비싸고 고가의 3D 프린터에서만 사용이 가능하다는 이유로 사료된다. 이러한 결과는 3D 프린팅 기술의 제조공법과 관련이 높다. 그 이유는 고찰한 16편의 논문에서 고가의 3D 프린터에서 사용되는 제조공법의 횟수가 낮게 나왔기 때문이다. 상지보조기 제작에 사용된 3D 프린팅 기술의 제조공법을 분석해본 결과 사용된 제조공법은 총 4가지였으며, 한 연구에서 4가지의 제조공법을 사용하여 16편의 논문에서 사용된 19개의 제조공법을 확인할 수 있었다. ABS와 PLA소재를 사용하는 FDM제조공법이 16편의 논문에서 사용되어 가장 많

이 사용되었다. 이는 FDM제조공법이 2009년에 원천기술특허가 만료되면서 가장 많은 3D 프린터 업체가 채택한 기술이고, 전 세계적으로 가장 많이 사용되고 있다는 연구와 그 맥락을 함께 하고 있다(Shin, 2015). 다음으로 액상의 소재를 분사하는 방식의 polyjet제조공법이 2편의 논문에서 사용되었고, SLS와 SLA제조공법은 각각 한 번씩 사용되었다. 이는 polyjet과 SLS, SLA제조공법을 사용하는 3D 프린터가 고가의 장비이며, 사용되는 소재 또한 가격이 비싸서 소유하고 있는 학교나 연구소 또는 병원이 많지 않기 때문에 나타난 결과로 볼 수 있다. 하지만 Abby 등(2015)의 연구에서 보조기 제작에 FDM, polyjet, SLA, SLS의 제조공법을 적용해서 비교해본 결과, 보조기 제작에 가장 적합한 제조공법은 SLA이었다. 따라서 SLA제조공법을 적용한 보조기 제작 연구가 앞으로 활발하게 진행될 필요가 있다고 생각되며, 선행 연구에서 문제점으로 지적된 FDM제조공법의 품질향상에 대한 연구도 추가적으로 필요하다고 생각된다.

3D 프린팅으로 상지보조기 제작을 위해 사용된 상지 측정 방법에 대해 분석한 결과, 모두 4가지 방법이 사용되었으며, 이 중에서 3D 스캐너를 사용하여 측정한 방법이 13편의 논문에서 사용되어 82.3%의 가장 높은 비율을 보였다. 이는 3D 스캐닝이 개개인의 신체적 특성에 대한 정보를 신속하고 정확히 측정할 수 있는 방법으로 인체 측정 시 적합하다는 연구와 맥락을 함께 하고 있다(Kim & Nam, 2001). 하지만 3D 스캐너를 사용하여 신체를 측정하기 위해서는 일정 시간 자세를 유지해야 된다는 점에서 실제 환자를 대상으로 사용하기에는 어렵다는 문제점이 3D 스캐너를 사용한 연구에서 공통적으로 제시되고 있다. 따라서 3D 스캐너를 사용하려면 경직이나 마비 혹은 떨림 등이 동반된 신체부위를 바른 자세로 일정시간 유지하는 방법에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다. 다음으로 캘리퍼스, 줄자와 같은 길이측정도구가 2편의 논문에서 사용되었다. 길이측정도구를 사용할 경우에 CAD 소프트웨어에서 측정된 수치를 바탕으로 3D 모델링을 해야 한다. 하지만 신체는 자유곡선의 형태로 오차 없이 측정하기가 어렵기 때문에 낮은 빈도로 사용되었다고 생각된다. 그리고 MDCT는 방사선학 전공자에 의해 1편의 논문에서 사용되었다(Seoung, 2015).

2012년을 기점으로 3D 프린팅 기술이 부상하면서 관련 산업과 연구가 급증하고 있다(Kwak & Park, 2013). 따라서 본 연구는 3D 프린팅 기술을 적용한 상지 보조기 제작방법에 관한 체계적 고찰로 3D 프린팅 기술을 상지보조기 제작에 적용한 16편의 논문을 선정하여 연구의 질적 수준, 제작자의 전공, 제작된 상지보조기의 종류, 사용된 소재와 제조공법 그리고 상지측정방법에 대한 결과를 분석하여 고찰하였다. 이러한 분석결과는 현재까지 진행되었던 연구들의 경향을 파악하고 향후 국내작업치료사가 임상에서 3D 프린팅 기술을 적용하거나 추가적인 연구를 진행할 때 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 본 연구에서 논문 선정 시 모든 3D 프린팅 기술이 적용된 상지보조기에 대한 연구를 포함하였다고 할 수 없기 때문에 제한점이 존재한다. 그리고 대부분의 연구들이 사례보고 연구이며, 대상자 또한 정상인이 대부분이어서 앞으로 연구에서는 상지보조기를 처방받은 대상자를 선정하여 제작해보는 실험연구가 추가적으로 필요할 것으로 생각된다. 또한, 실제 상지보조기를 착용하고 있는 대상자를 선정하여 3D 프린팅 기술로 제작한 상지보조기를 착용해보고 기존의 전통적인 제작방법으로 제작된 상지보조기와 만족도를 비교해보는 연구도 진행되어야 할 필요가 있다.

V. 결 론

본 연구는 16편의 3D 프린팅 기술을 적용한 상지보조기 제작방법에 관한 연구를 분석하여 다음과 같은 결과를 제시하였다. 연구의 질적 수준은 전반적으로 사례연구가 주를 이루고 있었다. 제작자의 전공은 공학계열이 가장 많았으며, 그중에서 기계전공이 가장 많았다. 다음으로 보건계열이 많았으며, 작업치료학 전공자는 2명이 있었다. 제작된 상지보조기의 종류는 6가지가 있었으며 가장 많이 제작된 상지보조기는 코크 업 보조기와 손가락 보조기 이었다. 제작에 사용된 소재는 8가지였지만, 플라스틱 소재인 ABS와 PLA수지가 대부분의 연구에서 사용되었고, 가장 많이 사용된 소재는 ABS수지였다. 제작에 사용된 3D 프린팅 기술의 제조공법은 4가지가 있었으며, 가장 많이 사용된 제조공법은 FDM방식이었다. 상

지보조기 제작을 위한 상지측정방법으로는 3D 스캐너가 가장 많이 사용되었다. 2012년을 기점으로 3D 프린팅 관련된 연구와 산업이 급증하고 있는 것을 고려하였을 때, 앞으로 3D 프린팅 기술을 융합한 연구는 더욱 활발하게 진행될 것으로 기대된다. 4차 산업혁명의 과도기인 현 시점에서 보았을 때, 기술 진보는 직무에 변화를 가져오며 직무 변화를 받아들이는 직종은 업무 생산성이 높아지고 이에 따라 수요도 증가될 것으로 예상된다. 따라서 기술 진보로 일어나는 변화는 일자리가 없어지는 것보다 직무가 변화하는 것이라고 생각된다. 그러므로 작업치료 분야에서도 상지보조기의 품질향상과 발전을 위해 3D 프린팅이라는 새로운 제조방법을 받아들이는다면, 환자의 요구와 만족도를 충족시키는 상지보조기를 제작하는데 기여할 수 있고 이에 따라 성공적인 재활과 사회복귀에 도움이 될 수 있다고 생각한다.

References

- 김장환, 박윤서, 송준찬, 신현석, 장영재와 박근실. (2012). 의지 보조기학. 서울, 대한민국: 탑메디오피아.
- 박세환. (2014). 3D 프린팅 산업동향 분석을 통한 연구 개발정책 연구. 과학기술정책, 24(3/4), 93-104.
- 정진우. (2008). 보조기·의지학. 서울, 대한민국: 대학서림.
- 홍재란. (2014). 스플린트. 서울, 대한민국: 정담미디어.
- Abby, Richard, Campbell, & Guy. (2015). Comparing additive manufacturing technologies for customised wrist splints. *Rapid Prototyping Journal*, 21(3), 230-243. doi:10.1108/RPJ-10-2013-0099
- Adrienne, C., & Maniganda, C. (2011). Inpatient occupational therapists hand-splinting practice for clients with stroke: A cross-sectional survey from Ireland. *Journal of Neurosciences in Rural Practice*, 2, 141 - 149. doi:10.4103/0976-3147.83579
- Ahn, D. G., & Yang, D. Y. (2005). Principle of rapid prototyping and its trends. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 22(10),

- 7-16.
- Arbesman, M., Scheer, J., & Lieberman, D. (2008). Using AOTA's Critically Appraised Topic (CAT) and Critically Appraised Paper (CAP) series to link evidence to practice. *OT Practice*, 13(5), 18 - 22.
- Baronio, G., Harran, S., & Signoroni, A. (2016). A critical analysis of a hand orthosis reverse engineering and 3D printing process. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2016, 1-7. doi:10.1155/2016/8347478
- Cho, S. W. (2015). Application of 3D printing into the surgical field. *Korean Society of Endoscopic and Laparoscopic Surgeons*, 2015, 185-186.
- Choi, B. G., Heo, S. Y., Son, K. T., Lee, S. Y., Na, Y. D., & Rhee, K. M. (2015). 3D printing-based fabrication of orthotic devices using 3D computer-aided design and rapid prototyping. *Journal of Rehabilitation Welfare Engineering and Assistive Technology*, 9, 145-151.
- Cooper, R. A., Ohnabe, H., & Hobson, D. A. (2006). *An introduction to rehabilitation engineering*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Gerr, F., Marcus, M., & Monteilh, C. (2004). Epidemiology of musculoskeletal disorders among computer users: Lesson learned from the role of posture and keyboard use. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(1), 25-31. doi:10.1016/j.jelekin.2003.09.014
- Heo, S. Y. (2015). A study on the case of developing manufacturing techniques for orthosis using 3D printing technology: Focusing on comparative study with using the splint pan. *Disability and Employment*, 25(1), 79-103.
- Hockaday, L. A., Kang, K. H., Colangelo, N. W., Cheung, P. Y. C., Duan, B., Malone, E., ... Butcher, J. T. (2012). Rapid 3D printing of anatomically accurate and mechanically heterogeneous aortic valve hydrogel scaffolds. *Biofabrication*, 4(3), 1-12. doi:10.1088/1758-5082/4/3/035005
- Hong, J. S., Kim, T. K., & Im, D. O. (2008). A study on a long-term demand forecasting and characterization of diffusion process for medical equipments base on diffusion model. *Health Policy and Management*, 18(4), 442-450. doi: 10.4332/KJHPA.2008.18.4.085
- Jacobs, M. A., & Austin, N. M. (2013). *Orthotic intervention for the hand and extremity: Splinting principles and process*. Philadelphia, PL: Lippincott Williams & Willkins.
- Jakab, K. R., Damon, B., Neagu, A., Kachurin, A., & Forgacs, G. (2006). Three-dimensional tissue constructs built by bioprinting. *Biorheology*, 43, 509-513.
- Jung, K. H. (2014). The product design in the study on the application of 3D printing. *Research Bulletin of Package Culture Design*, 39(1), 1-11.
- Kang, Y. G., Lee, T. W., & Shin, G. S. (2017). The influence of experiment variables on 3D printing using ABS resin. *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 16(2), 94-101.
- Kim, G. (2014). 3D printing industry: Technology, market and opportunity. *Business Consulting*, 14(1), 265-285.
- Kim, H., & Jeong, S. W. (2015). Case study: Hybrid model for the customized wrist orthosis using 3D printing. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 29, 5151-5156. doi:10.1007/s12206-015-1115-9
- Kim, H. J., & Na, H. S. (2016). A study on the design characteristics of 3D printing: Focused on the analysis of product cases in fashion related areas. *Journal of the Korea Society of Art and Design*, 19(2), 133-152.
- 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(1), 267-277.
- Kim, K. S., Park, J. K., & Kim, D. S. (2010). Status and characteristics of occurrence of work-related musculoskeletal disorders. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29, 405-422.
- Kim, M. H., & Nam, Y. J. (2001). Development of three dimensional scanner for anthropometric measurement. *Journal of the Engonomics Society of Korea*, 20(3), 77-88.
- Kim, M. K., Lee, J. W., Kim, Y. M., Lee, K. K., & Han, C. H. (2016). Market prediction methodology for a medical 3D printing business: Focusing on dentistry. *Journal of Information Technology Applications and Management*, 23(2), 263-277. doi:10.21219/jitam.2016.23.2.263
- Kim, S. J. (2016). *Effectiveness and satisfaction of 3D printed wrist brace for patients with wrist pain caused by overus*(Master's thesis). Sungkyunkwan University, Seoul.
- Ko, S. J., & Lee, D. H. (2015, November). A study on cutting test and analysis of stiffness to various materials for developing complex 3D printing platform performing laminating and cutting. Paper presented at the 70th annual conference of the Korean society of mechanical engineers, Seoul, Korea.
- Koo, D. S., & Lee, J. R. (2017). The development of a wrist brace using 3D scanner and 3D printer. *Fashion and Textile Research Journal*, 19, 312 - 319. doi:10.5805/SFTI.2017.19.3.312
- Kwak, K. H., & Park, S. W. (2013). Global 3D printer industry technology trends analysis. *Korea Institute and Materials Technology Policy Mechanical Engineering*, 53(10), 58-64.
- Lannin, N. A., & Herbert, R. D. (2003). Is hand splinting effective for adults following stroke? A systematic review and methodological critique of published research. *Clinical Rehabilitation*, 17, 807-816, doi:10.1191/0269215503cr682oa
- Lee, H. B., Park, J. H., Yeon, S. M., Yoon, J. H., Lee, N. K., & Park, S. H. (2015, October). *Fabrication of adaptive structure for rehabilitation using 3D scanning of human body shape*. Paper presented at the annual conference of the Korean society of manufacturing technology engineers, Seoul, Korea.
- Mauren, A. d. S., Cristiane, S., Marcelo, M. P., Joao, A. P. S., & Percy, N. (2017, July). *Proposal of custom made wrist orthoses based on 3D modelling and 3D printing*. Paper presented at the 39th annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society, Seogwipo, Korea. doi:10.1109/EMBC.2017.8037682
- Miguel, F. V., Ana, E. C., & Andres, C. (2017). Low cost digital fabrication approach for thumb orthoses. *Rapid Prototyping Journal*, 23, 1020-1031. doi:10.1108/RPJ-12-2015-0187
- Palousek, D., Rosicky, J., Koutny, D., Stoklasek, P., & Navrat, T. (2014). Pilot study of the wrist orthosis design process, *Rapid Prototyping Journal*, 20(1) 27-32. doi:10.1108/RPJ-03-2012-0027
- Park, C. S., Park, J. H., Lee, H. J., & Na, K. H. (2016, April). *Design and manufacturing of the hand orthosis using 3D printing*. Paper presented at the annual conference of the Korean society of manufacturing technology engineers, Seoul, Korea.
- Park, C. S., Park, J. H., Lee, H. J., Lee, N. K., Park, S. H., & Na, K. H. (2016, November). *Topology optimization and 3D printing manufacturing for the personalized hand orthosis*. Paper presented at the annual conference of the Korean society

- of manufacturing technology engineers, Seoul, Korea.
- Park, S. H., Park, J. H., Lee, H. J., & Lee, N. K. (2014). Current status of biomedical applications using 3D printing technology. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 31, 1067–1076. doi:10.7736/KSPE.2014.31.12.1067
- Park, S. H., Yim, S. G., Yang, S. Y., & Kim, S. H. (2015). 3D printing technology for biomedical applications. *KIC News*, 18(1), 67–78.
- Rahmati, S., Abbaszadeh, F., & Farahmand, F. (2012). An improved methodology for design of custom-made hip prostheses to be fabricated using additive manufacturing technologies. *Rapid Prototyping Journal*, 18, 389–400. doi:10.1108/13552541211250382
- Seoung, Y. H. (2015). 3-dimensional printing for mesh types of short arm cast by using computed tomography. *Journal of the Korea Contents Association*, 15(1), 308–315. doi:10.5392/JKCA.2015.15.01.308
- Shin, S. J., Ahn, C. K., & Park, K. Y. (2017). A case study on the application of new hand splint using 3D printing. *Journal of Convergence for Information Technology*, 7(2), 25–29. doi:10.22156/CS4SMB.2017.7.2.025
- Shin, Y. M., (2015). Types and applications of 3D printers. *Polymer Science and Technology*, 26, 404–409.
- Wohlers, & Terry. (2016). *Wohlers Report 2016*, Fort Collins, CO: Wohler's Associates Inc.
- Wong, J. Y. (2015). On-site 3D printing of functional custom mallet splints for mars analogue crewmembers. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 86, 911–914. doi:10.3357/AMHP.4259.2015
- Yun, S. H. (2013). A study on manufacturing personal ornaments using personal portable 3D printer: Focused on method to use ottchil(Korean lacquer). *Bulletin of Korean Society of Basic Design and Art*, 14, 299–308.

Appendix 1. Summary of Studies on Manufacturing Method for Splint Using 3D Printing

No.	Author (yr)	Design	Major in producer	Type of splint	Type of materials	Manufacturing method	Method of measure
1	Palousek, Rosicky, Koutny, Stoklasek, & Navrat (2014)	Case report	Mechanical engineering	Cock-up splint	ABS	FDM	3D scanner
2	Kim & Jeong (2015)	Case report	Mechanical engineering	Cock-up splint	ABS	Polyjet	3D scanner
3	Abby, Richard, Campbell, & Guy (2015)	Case report	Materials engineering	Cock-up splint	ABS Accura Xtreme Pa200 FullCure	FDM SLA SLS Polyjet	3D scanner
4	Choi, Heo, Son, Lee, Na, & Rhee (2015)	Case report	Rehabilitation engineering	Resting hand splint Gauntlet immobilization splint Finger IP fixation splint Finger immobilization splint	ABS	FDM	3D scanner
5	Heo (2015)	Non-randomized one group studies	Occupational therapy	Resting hand splint Gauntlet immobilization splint Cock-up splint Finger IP fixation splint Finger immobilization splint	ABS	FDM	3D scanner
6	Wong (2015)	Case report	Mechanical engineering	Finger DIP splint	ABS	FDM	Length measurement tools
7	Seoung (2015)	Case report	Radiology	Cock-up splint	PLA	FDM	MDCT
8	Lee, Park, Yeon, Yoon, Lee, & Park (2015)	Case report	Mechanical engineering	Finger DIP splint	Verowhite Tangoplus	FDM	3D scanner

Appendix 1. Summary of Studies on Manufacturing Method for Splint Using 3D Printing(Cont.)

No.	Author (yr)	Design	Major in producer	Type of splint	Type of materials	Manufacturing method	Method of measure
9	Miguel, Ana, & Andres (2017)	Case report	Industrial design	Thumb opposition splint	ABS	FDM	3D scanner
10	Baronio, Harran, & Signoroni (2016)	Case report	Mechanical engineering	Finger abduction splint	ABS	FDM	3D scanner
11	Park, Park, Lee, & Na (2016)	Case report	Mechanical engineering	Finger PIP splint	PLA	FDM	3D scanner
12	Park, Park, Lee, Lee, Park, & Na (2016)	Case report	Mechanical engineering	Finger extension splint (Boutiniere)	ABS	FDM	3D scanner
13	Kim (2016)	RCT	Medical device engineering	Cock-up splint	TPU	FDM	3D scanner
14	Mauren, Cristiane, Marcelo. Joao, & Percy (2017)	Case report	Biotechnology engineering	Cock-up splint	PLA	FDM	3D scanner
15	Koo & Lee (2017)	Non-randomized one group studies	Clothing & Textiles	Cock-up splint	PLA	FDM	3D scanner
16	Shin, Ahn, & Park (2017)	Case report	Occupational therapy	Thumb opposition splint	TPU	FDM	Length measurement tools

ABS: Acrylonitrile, poly-Butadiene, Styrene, DIP: Distal Interphalangeal, FDM: Fused Deposition Modeling, IP: Interphalangeal, MDCIT: Multi Detector
 Computed Tomography, PLA: Poly Lactic Acid, PIP: Proximal Interphalangeal, RCT: Randomized Controlled Trial, SLA: Stereolithography, SLS: Selective
 Laser Sintering, TPU: Thermoplastic Polyurethane

Abstract

A Systematic Review of Manufacturing Method for Splint Using 3D Printing Technology

Choi, Won Seuk*, B.H.Sc., O.T., Kim, Jong Bae**, Ph.D.

*Dept. of Occupational Therapy, Yonsei University Graduate School

**Dept. of Occupational Therapy, College of Health Science, Yonsei University

Objective: The purpose of this study is to investigate the application of 3D printing technology to the upper limb production through a systematic review and to summarize and analyze the necessary information to provide basic basis for future clinical application in the field of occupational therapy.

Methods: For the last five years from 2013 to 2017, the articles were searched using electronic databases RISS, KISS, Scopus, PubMed and Google Scholar. As a search keyword, "3D Printing AND Orthosis OR Splint OR Brace" was used. The searched article were classified through the second classification and finally 16 article were selected and analyzed

Results: About 80% of the article to be analyzed were single-target experimental studies and case studies with lower quality. As a result of analyzing the producers major, it was divided into four major categories. Among them, the engineering department was the most, followed by the health department. Six types of upper splint were manufactured. Cock-up splint and finger splint were made the most. ABS was the most commonly used plastic material. There are four manufacturing methods used in the analyzed article, and the most used manufacturing method is the FDM method. As a method of measurement, 3D scanners were the most popular method to manufactured upper splint.

Conclusion: In this study, we learned how to make upper splint using 3D printing technology. Based on this, I would like to provide basic data for applying 3D printing technology to manufactured the upper splint which is one of the occupational therapist's job scope. I would like to present a direction for future research. Based on the results of this study, it is expected that the development and research of upper splint applying 3D printing technology in occupational therapy field will be more active.

Key words: 3D printing, Fourth industrial revolution, Splint, Systematic review