

가상 시뮬레이션을 이용한 의수 보조 장치 디자인 개발

이지원*, 한지영**, 나동규***, 나건****

홍익대학교 국제디자인전문대학원 디자인학*, 홍익대학교 국제디자인전문대학원 제품디자인**,
홍익대학교 일반대학원 법학과***, 홍익대학교 국제디자인전문대학원 디자인 경영****

Development of Supportive Device Design for Artificial Hand Based on Virtual Simulation

Ji-Won Lee*, Ji-Young Han**, Dong-Kyu Na***, Ken Nah****

Dept. of Design Studies, IDAS, Hongik University*

Dept. of Product Design, IDAS, Hongik-University**

Dept. of Law, Graduate School, Hongik University***

Dept. of Design Management, IDAS, Hongik University****

요 약 본 연구는 4차 산업 혁명 시대의 디자인의 공학기술의 활용의 방법으로 클라우드 플랫폼 내에서 3D 모델 데이터를 바탕으로 한 가상 시뮬레이션을 통한 디자인 개발 및 검증에 관한 연구로서, 클라우드 플랫폼의 공유 데이터와 데이터를 실제와 같이 검증 할 수 있는 가상 시뮬레이션을 통해 만나 본적 없는 타겟의 니즈를 위한 디자인을 개발, 검증 해 보는데 목적이 있다. 연구의 방법으로는 타겟의 니즈 파악을 위해 2차 자료 분석을 하였으며, 인간 공학 데이터 및 타겟의 신체 발달 단계를 위한 문헌 리서치를 진행하였다. 또한 7가지 가상 시뮬레이션의 루프 테스트를 통하여 디자인, 구조, 안전성, 재질, 내구성 등을 검증함으로써 본 연구의 디자인 개발 프로세스가 의미 있는 결과임을 알 수 있었다. 본 연구는 4차 산업 혁명 시대에서 3D 모델 데이터를 바탕으로 한 자동화 공정 시스템의 적용, 가상 물리 기반 시스템의 중요한 요소로 사용될 수 있으며 추가적인 연구를 위한 자료로써 활용 될 수 있을 것이다.

주제어 : 가상시뮬레이션, 디자인프로세스, 4차 산업혁명, 시뮬레이션 테스트, 의수 보조 장치

Abstract This study focuses on design development and verification through virtual simulation based on 3D model data in the cloud platform as a method of utilization of engineering technology of design in the fourth industrial revolution era. The goal of research is to develop and examine a design for the needs of the target that has never been met before through virtual simulations that can be conducted in practice. As a research method, we analyzed secondary data to identify the needs of the target, and did literature research for the ergonomic data and target body development stages. In addition, the design development process of this study was shown meaningful result in design, structure, safety, material, durability through loop test of 7 virtual simulations. This study can be applied to the automated process system based on 3D model data in the 4th industrial revolution era and can be used as an element of the cyber physics system for the additional research.

Key Words : Virtual Simulation, Design Process, 4th Industrial Revolution, Simulation Test, Supportive Device for Artificial Hand

Received 1 September 2017, Revised 29 September 2017
Accepted 20 October 2017, Published 28 October 2017
Corresponding Author: Ken Nah
(Dept. of Design management, IDAS, Hongik University)
Email: knahidas@gmail.com

ISSN: 1738-1916

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

1.1 연구 목적 및 배경

최근 전 세계적인 이슈인 4차 산업혁명은 소프트웨어 기술을 바탕으로 디지털 연결성이 사회를 근본적으로 변화시키고 있다[1]. 그 영향력의 규모와 변화의 속도로 인해 제 4차 산업혁명의 주요기술인 로봇공학, 인공지능(AI), 가상현실(VR), 빅 데이터, 클라우드, 사이버안보, 공유경제, 블록체인등과 기존 서비스 및 시스템의 융합을 통한 청사진들이 제시되고 있다. 가상시뮬레이션은 현실에서의 물리적인 환경을 구성하지 않아도 가상현실에서 시뮬레이션을 통해 사용 환경을 평가할 수 있는 방법이다. 가상시뮬레이션은 다양한 산업 분야에서 다양한 방법으로 확장되어 사용되고 있으며, 가상 시뮬레이션의 가장 큰 이점인 고품질 저가격(High-Quality Low-Cost)과 더불어 다양한 산업과 기업에서의 효율적 대안으로 떠오르고 있다[2]. 특히, 4차 산업 혁명의 가장 특징인 기술 및 서비스의 융합은 가상 시뮬레이션 소프트웨어와 클라우드 컴퓨팅, 협업 플랫폼 등과 함께 콘텐츠들의 데이터가 축적되어 공유된 데이터를 열람하여 수정 및 적용하는 것이 가능해짐에 따라 전 세계적으로 수많은 콘텐츠들이 공유의 장과 범위를 점차 넓혀가고 있다.

디자인적인 측면에서 보았을 때, 가상 시뮬레이션을 통한 협업의 방법은 기존의 디자인 데이터에서 개선되어 집단지성의 창의력이 더해진 콘텐츠로 재생산되고 공유될 수 있을 것이다. 또한 가상 시뮬레이션을 통한 데이터 분석 방법은 실제로 프로토타입 제작을 통한 사용성 테스트를 거치지 않더라도 가상 시뮬레이션 분석을 통해 제품을 생산 할 수 있기 때문에 디자인 프로세스의 단계와 제품 생산 비용을 현저하게 줄여 줄 수 있을 것이다. 또한 가상 시뮬레이션은 데이터를 근간으로 하여 실행되며 해당 디지털 데이터는 시뮬레이션뿐만 아니라 4차 산업 혁명의 소프트웨어, 하드웨어 기술에 대한 응용 자료로 활용이 가능 하게 될 것이기 때문에 가상 시뮬레이션을 통한 디자인 방법은 디자인 방법에 있어 향후 유의미한 영향을 줄 수 있을 것이라 예상된다.

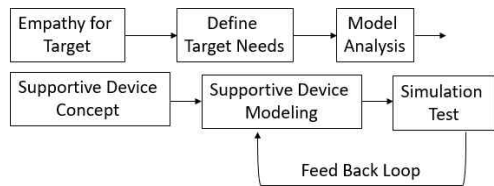
따라서 본 연구에서는 가상 시뮬레이션 테스트와 인체측정 데이터를 바탕으로 디자인 프로세스를 전개하여 보조 3D 모델 디자인을 완성하고 그 유용성과 가능성을 확인하고자 한다. 이를 통해 향후 4차 산업 혁명시대의

다양한 기술적 결합과 더불어 가상 시뮬레이션을 적용한 공학 디자인의 프로세스로서 활용 될 수 있기를 기대 한다.

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구는 클라우드 상에 공유된 모델링 데이터를 수정하여 가상 시뮬레이션 분석으로 보조적인 장치의 개발 가능성을 살펴보는데 의의를 두고 있다.

이를 바탕으로 한 연구의 방법은 문헌 리서치와 2차 자료 분석, 그리고 시뮬레이션 테스트로 이루어져 있다. 먼저, 가상시뮬레이션의 개념과 소프트웨어의 특징 및 프로그램의 상세 기능 요소에 대한 문헌연구를 진행하였다. 그 후, 온라인에서 후원 받고 있는 5세 남아아이를 타겟으로 직접 만날 수 없는 타겟 공감하기 위해 2차 자료인 비디오 리서치 및 분석을 수행하였다. 공감을 통해 타겟에게 필요한 부분에 대해 인사이트를 얻었으며, 타겟이 5세의 어린이라는 것에 착안하여 신체 발달 상황에 대한 문헌리서치를 진행하였다. 본 연구는 기존에 제공되는 모델 데이터를 바탕으로 부가적인 기능을 할 수 있는 보조 장치 디자인에 대한 연구이기 때문에 기존 모델 데이터를 불러와 분석을 한 후 보조 장치의 콘셉트를 발전시켰다. 이를 통하여 의수에 적합한 보조 장치를 3D 모델로 디자인 한 후 마지막으로 제공된 의수모델과 보조 장치를 시뮬레이션을 통한 분석을 통해 디자인의 적합성과 가능성을 확인 해 보고자 한다.



[Fig. 1] Study Flow

본 연구의 범위는 신체적 장애로 의수를 착용하는 5세 아동인 Cam과 대상 아동에 맞는 의수 모델에 한정하였고, 문헌과 2차 자료 리서치를 통한 분석으로 신체적 발달 단계 및 개발 행위인 가위질에 범위를 한정하였다[3]. 또한 실제적 사용성 테스트가 아닌 사용자를 직접 만나지 않고 클라우드 상의 모델을 참고한 보조 장치 디자인으로 가상 시뮬레이션의 물성 및 구조 테스트로 연구의 범위를 설정하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 가상 시뮬레이션의 개념 및 특징

시뮬레이션의 개념은 역사적으로 석기시대 동물의 사냥 전 동물의 뿔과 비슷한 물체를 흉내 내어 사냥 연습을 했던 것에서부터 살펴볼 수 있다[4]. 제 2차 세계대전 중에도 비행 조종사를 가상으로 훈련하였고 오늘날의 로켓 발사 시뮬레이션, 핵실험 시뮬레이션은 저비용 고효율의 대안으로 발전되어가고 있다[4]. 4차 산업혁명의 핵심 기술 중 하나인 VR, AR, 디지털 모델링 방법은 소프트웨어의 발전과 더불어 여러 분야에서 가상 시뮬레이션과 함께 발전 할 가능성이 있다. 실제로 오늘날의 모델링&시뮬레이션 기술은 제조 산업 전체로 확대되고 있으며 글로벌 및 국내 시뮬레이션 시장은 급성장하고 있는 추세이다[5,6].

국립국어원의 표준국어대사전에 따르면, 시뮬레이션(Simulation)의 정의는 “복잡한 문제나 사회 현상 따위를 해석하고 해결하기 위하여 실제와 비슷한 모형을 만들어 모의적으로 실험하여 그 특성을 파악하는 일”이라고 명시되어 있다[7]. 또한 국내 연구에서 시뮬레이션의 정의는 “관심 시스템과 그 시스템의 동작원리를 표현하여 시간 순차적으로 구현하여 나타내는 것”이라고 쓰이고 있다[8]. 국외의 자료인 미국 NSF(National Science Foundation)에 따르면 모델링&시뮬레이션은 공학적 시스템에 대한 모델을 수립하고, 이에 계산과학적인 방법을 이용하여 물리적인 이벤트나 반응을 예측하는 것이라고 말하고 있다[9]. 이와 같이 시뮬레이션이란 실제와 비슷한 모형을 구성하여 계산과학적인 방법으로 실험하여 그 특성을 파악하고 예측하는 일이라고 할 수 있다.

가상 시뮬레이션은 그 특징상 공학 및 과학 분야뿐 아니라 동적 모델을 이용하여 실험하는 여러 분야에 적용될 수 있다는 특징을 가지는데, 시뮬레이션의 장점은 현실 세계의 물리적 모델을 디지털 공간에서 재현하고 그 성능을 예측함으로써, 최적의 의사결정을 내릴 수 있다는 점에 있다[10,11,12]. 특히, 디자인 분야에서는 3D 모델 시뮬레이션의 기반이 되는 모델링데이터는 데이터 공유 소프트웨어의 발달로 각 소프트웨어 서버의 클라우드 상에 공유 될 수 있다. 이러한 데이터의 공유는 기존 데이터들의 수정 과 개선을 통해 새로운 가치를 지닌 제품으로 신속하게 생산 될 수 있을 뿐만 아니라 이러한 제품


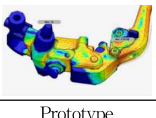
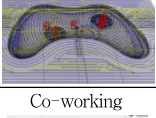

들은 대량 생산이 아닌 개인 맞춤형 상품으로 개발 될 수 있기 때문에 기존의 디자인 프로세스와는 달리 디자인에서 제작까지의 프로세스가 매우 빠르게 진행되며 시뮬레이션을 통한 테스트 및 분석으로 저비용 맞춤형 생산에 가능한 장점이 있다.

2.2 가상 시뮬레이션 소프트웨어

시뮬레이션 소프트웨어는 시뮬레이션이 시스템의 모델을 시뮬레이션하기 때문에 시스템의 모델에 따라서 종류가 다양할 수 있다. 시스템의 모델은 제조공장의 내부 모습, 은행의 업무 과정 등과 같은 모델에서부터 2D, 3D 모델 등 아이디어가 수반된 분야에서 다양하게 찾아볼 수 있다[13,14]. 이러한 시스템 모델은 계획된 것 혹은 계획되지 않은 내용들의 수치적, 통계적 계산 및 분석을 위해 시뮬레이션을 실행 해 보게 된다.

본 연구에서는 클라우드에 상에 공유되어 있는 기존 3D 모델에 착장 할 수 있는 보조적 장치를 디자인 하는 것이기 때문에, 3D 모델링, 3D 모델 데이터 계산 및 역학 분석과 상호 관계성 분석을 지원하는 Autodesk 사의 가상 시뮬레이션 소프트웨어인 Fusion 360 프로그램을 사용 하였다.

<Table 1> The function of Autodesk Fusion 360

	Function	Features
1	3D Modeling 	<ul style="list-style-type: none"> - Free modeling&Sculpting - Solid modeling - Parametric modeling
2	Simulation 	<ul style="list-style-type: none"> - Static Stress - Modal frequencies - Thermal - Thermal Stress - Animation
3	Prototype 	<ul style="list-style-type: none"> - CNC programing - 3D CAM tool - 3D Printing Utility
4	Co-working 	<ul style="list-style-type: none"> - Concurrent design - Real-time check - Tracing, discussion and sharing data - Data search & saving

(Source: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>)

Autodesk사의 Fusion 360은 3D 모델링 프로그램으로 가상 시뮬레이션이 가능하며 클라우드를 기반으로 모델링을 저장하고 공유할 수 있다는 특징을 가지고 있다. Fusion 360의 주요 기능을 살펴보면 크게 모델링, 시뮬레이션, 프로토타입 지원 그리고 협업 및 관리로 나뉘질 수 있다<Table 1>.

Fusion 360으로 아이디어를 솔리드, 매쉬, 프리폼 파라메트릭 모델링으로 구현해 낼 수 있으며 부품 라이브러리 및 콘텐츠가 제공되어 보다 쉽게 3D 모델링이 가능하다. 모델링 설계가 완성되면 구현된 모델링의 구조에 대한 맞춤 및 동작들을 검증하기 위한 렌더링, 애니메이션, 시뮬레이션 테스트를 지원한다. 특히 Fusion 360은 클라우드에서 데이터 저장 및 검색이 가능하여 타인이 공유한 모델링을 저장, 수정 및 게시가 가능하고 클라우드 상에서 여러 명이 동시에 설계할 수 있다는 장점이 있다.

3. 가상 시뮬레이션 분석을 통한 의수 보조 장치 디자인

3.1 타깃 설정 및 분석

본 연구에서는 온라인 SNS(소셜네트워크서비스) 상에서 많은 지지와 후원을 받고 있는 만 5세 남자 어린이를 타깃으로 정하였다. Cam이라는 이름을 가진 그는 2012년 9월 출생으로 만 5세이며 선천성절단장애를 가지고 태어났기 때문에 열 손가락의 길이가 상대적으로 짧아 불편함을 겪고 있다. Cam은 소셜네트워크서비스인 페이스북 북을 통해 일상생활을 동영상으로 기록하고 다른 사람들과 공유하며 많은 지지와 후원을 받고 있다[15].



[Fig. 2] Cam's behavior in daily life
(Source:https://www.facebook.com/pg/CamsStory/videvi/?ref=page_internal)

영상 속 Cam은 손가락이 절단되었기 때문에 과자봉지를 뜯거나, 지퍼를 올리거나 장난감을 집을 사소한 동작을 정확히 수행 하지 못하였다[Fig. 2].

3.2 의수 모델 분석

이에 Autodesk사의 Fusion 360 소프트웨어 클라우드 상의 카테고리인 'Workshops & Event' 저장된 'Raptor Reloaded'라는 모델링 파일은 Cam에게 사용될 수 있는 의수의 모델링으로 모든 사람들에게 공유되며 수정, 개선이 가능하였다[16]. Cam은 이 의수를 3D 프린터로 뽑아 사용하였는데, 다양한 의수 사용 상황에 따라 제약과 한계점이 존재하였다[Fig. 3]. 특히 물건을 집을 때면 고무재질을 의수 손가락 끝에 부착하여 더 나은 사용성으로 보완하고 있었으며 개선의 여지가 남아 있는 모델링으로 볼 수 있었다.



[Fig. 3] Cam's artificial hand
(Source:https://www.facebook.com/pg/CamsStory/videvi/?ref=page_internal)

따라서 Cam이 일상생활을 할 때 의수의 기능을 보다 잘 활용할 수 있도록 해당 의수 모델링을 3D 프린터로 직접 출력하여 조립해 봄으로써 보완점을 분석해 보았다. 제공된 의수 파일은 관절 부분의 이음이 끈과 같은 다른 재료와 결합 하여 움직일 수 있도록 설계 되어 있기 때문에 3D 모델만으로 시뮬레이션을 통하여 동적인 움직임을 확인 하는 것 보다 직접 제작 해 보면서 Cam의 의수 사용 관련 불편사항을 확인 해 보았다.



[Fig. 4] The movement of artificial hand

기본적으로 제공된 의수 디자인은 묶여 있는 끈에 영향을 받아 검지, 중지, 약지와 새끼손가락은 동일하게 동시에 접혔다 펴지는 형태였고, 엄지는 단독으로 접혔다 펴지는 구조로 이루어져 있었다. 접혔다 펴지는 운동은 가능하였지만 각 손가락 사이의 거리가 멀어지는 벌렸다

오므리는 운동은 불가능 하다는 특징을 발견할 수 있었다[Fig. 4].

3.2 타깃 신체 발달 분석에 따른 니즈 파악

Cam의 나이가 만 5세인 것을 고려하였을 때, 이 연령대의 아이들은 신체 인지 및 정서 발달의 단계에서 중요한 시기에 놓여 있다고 할 수 있다. 특히, 만 5세의 어린이에게는 눈과 손의 협응에 사용되는 소근육 운동 기술이 발달하기 때문에 이전에 수행하기 어려웠던 필기구 쥐고 그리기, 신발끈 스스로 묶기, 가위로 오리기, 단추 끼우기 등의 신체 활동 능력을 가지게 된다[17]. 또한 일상생활에서 일어나는 일들에 호기심을 가지며 적극적으로 자신이 해내고자 하는 의지가 강한 편이다. 따라서 본 연구에서는 Cam의 연령대에 맞추어 여러 활동 중 소근육 발달에도 필요하고 호기심을 가지며 놀이로써 가능한 가위질에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다. 연령대별 가위사용은 <Table 2>와 같다[18].

<Table 2> Steps of scissor skill development

Years old	Steps of scissor skill development
Up to 2 years old	Holding a scissor
Up to 2years and 6 months old	Cut papers : Put their fingers in to handle hole and repeat pinch open and pinch close
Up to 3 ~ 3years and 6months old	Cut paper following the trace lines
3years and 6months ~ 4 years old	Cut circle shapes
4 years and 6 months ~ 5years old	Cut rectangular shapes
6years old ~7years old	Cut complex shapes

2세 아이들은 단순 가위 잡기부터 시작하여 3세가 되면 선을 따라 자를 수 있고 5세가 되면 사각형을 자르며 6세 때 복잡한 모양 자르기가 가능하게 된다.

Cam이 보통 아이들과 손의 신체 능력이 같다고 가정하였을 때, 선을 따라 자르는 것과 동그라미 및 사각형 자르기가 가능하여야 한다. 하지만 Cam은 선천성절단장애를 가지고 있어 의수를 낀 채 가위질의 도움을 받아야 한다. 하지만 가위질을 할 때에는 수많은 손 근육들을 사용해야하기 때문에 의수만으로는 불완전한 운동으로 나타난다. 손은 상지 중 가장 작고 복잡한 구조를 가지며

수많은 근육과 신경으로 섬세한 운동이 가능한 신체의 부분이다[19]. 손의 운동으로는 크게 주먹을 꽉 쥐는 Grip동작, 살짝 잡는 Pinch 동작 그리고 물건을 들어올리는 hook 동작으로 볼 수 있는데, 그 중 가위질은 두 손가락을 가위 손잡이에 넣고 아래 손가락으로 가위를 받치는 Pinch동작과 동시에 벌렸다 오므렸다 하는 복합적 손의 운동으로 이루어진다[20,21]. Cam은 손가락이 상대적으로 짧아 원활한 수지운동을 하기에 어려움이 따르기 때문에, 의수 착용 시 Pinch 동작을 포함한 복합적 손의 운동과 맞물려 의수의 역학적 운동 방향이나 각도를 동시에 고려하여 디자인이 도출되어야 한다. 또한 가위질 운동 시 손과 물체 그리고 의수에 작용되는 힘의 크기와 내구성간의 관계를 확인해 보아야 할 것이다. 이를 시뮬레이션 분석으로 검증해보고자 한다.

3.3 보조 장치 디자인 개발

3.3.1 기존 모델링의 동적 구조 분석 및 디자인 요소 파악

본 연구에서는 보조 장치 디자인을 다음과 같이 진행하였다. 첫 번째로, 손의 구조와 가위질의 상관관계를 알아보고 의수를 착용했을 시의 가위질과 일반적인 가위질의 차이점을 비교 분석하여 개선점을 도출하였다. 그 후 개선점들을 반영하여 디자인 고려 요소들을 도출하였고 여러 프로토타이핑을 진행하였다. 또한 가상 시뮬레이션 테스트를 통해 유용성을 검증하고 이전의 프로토타이핑을 수정, 개선하여 최종 결과물을 디자인하였다.

본 연구에서 초점을 맞춘 가위질을 할 때에는 그림 5의 손 해부 단면도와 같이 주로 엄지와 검지의 근육을 이용할 뿐만 아니라 연관된 신경과 근육들도 가위질을 하는데 사용되며 엄지와 검지를 서로 맞닿는 방향으로 굽혔다 펴게 하여 물체를 자를 수 있게 된다.

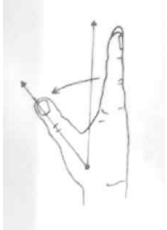


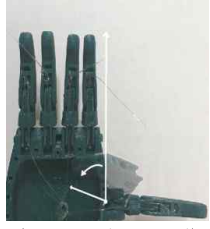


[Fig. 5] Hand grip with scissor(Left), Anatomy of the hand's muscle(Right)

(Source:https://www.dreamstime.com/stock-photo-female-hand-holding-scissors-image805600, https://goo.gl/images/RnCviY)

가위질을 할 때 엄지모음근과 지신근, 골간근 등 수많은 손가락의 근육들과 신경들이 사용되며, 일반적으로 가위질은 적은 힘으로도 효율적인 힘을 내는 지렛대의 원리로 큰 힘을 내지 않아도 가위질이 가능하게 된다 [22]. 하지만 Cam이 착용하는 의수의 경우 앞서 언급한 것과 같이 엄지를 제외한 검지, 중지, 약지 그리고 새끼손가락 4개가 모두 하나로 굽혀지고 펴지는 운동을 하였으며 손가락 하나하나의 개별적인 운동이 불가능하였다. 또한 의수를 착용한 상태로 가위질을 해본 결과, 엄지손가락의 운동이 실제 사람의 엄지와 다른 방향과 각도로 움직이는데, 이는 사람이 가위질을 할 때의 방향과 다르기 때문에 가위의 방향이 어긋나 미끄러지고 가위질 수행에 어려움이 따랐다.

<Table 3> The difference between human hand and artificial hand's movement

	Extension of the thumb	Flexion of the thumb
Human hand	 (Between 0° and -50°)	 (Between 0° and -50°)
Artificial hand	 (Vertically, between 0° and 20°)	 (Between 0° and -80°)

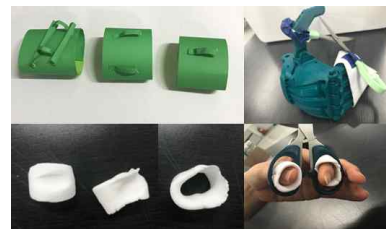
(Source: Bernard Kingston, Muscle Anatomy, Kunja publishing Co., Ltd, pp. 78-85, 2005)

<Table 3>과 같이 실제 사람 엄지의 벌림(Extension)은 3차원 운동으로 약 -50°까지 가능하고 엄지의 굽힘(Flexion)도 약 -50°까지 움직이지만 의수 엄지부분의 펴는 운동은 <Table 3>의 왼쪽 하단 모습과 같이 수직 방향으로 약 20°까지 움직인다[23]. 의수의 엄지손가락의 구조가 절구 관절의 형태가 아닌 경첩관절의 형태로 이루어져 있어 한 방향으로 만의 각 운동이 가능한 것이다.

의수의 엄지손가락 굽힘 운동은 약 0°~80° 까지 움직이게 된다. 굽힘 운동을 할 때에도 의수의 엄지가 절구관절의 형태가 아니기 때문에 하나의 축으로만 움직임을 보이는 특징을 가지고 있다. 의수와 일반 손의 이러한 차이점 때문에 가위질의 방향과 의수의 움직임이 일치하지 않아 쉽게 미끄러지고 가위질의 수행이 불가능한 것을 관찰 할 수 있었다.

또한 손가락 절단 장애에 의한 의수 착용으로 5세 남자아이의 평균 장악력인 약 28kPa(오른손 기준) 크기의 힘을 낼 수는 없지만 가위의 지렛대 원리를 적용하자면 단순히 의수를 굽히고 펴는 움직임으로도 일반적인 가위질이 가능하다는 것을 유추해 볼 수 있다[24]. 이러한 점을 고려하였을 때, 의수에 보조 장치를 디자인함으로써 Cam의 가위질을 도울 수 있다는 점과 상대적으로 약한 Cam의 손 근육과 신경계에 부담이 가지 않고 최소한의 힘을 받을 수 있게 디자인해야 한다는 점을 알 수 있었다.

앞서 분석한 두 가지 사항을 고려하여 일반 종이와 지점토를 사용하여 가능성 있는 디자인 모형을 유추해 내기 위해 간단한 콘셉트 프로토타이핑을 진행하였다. 3D 프린터로 출력한 플라스틱 의수를 이용하여 가위질의 방향과 의수의 운동방향을 비교하며 확인하였다.



[Fig. 5] Concept prototyping

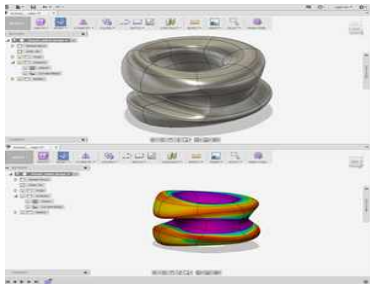
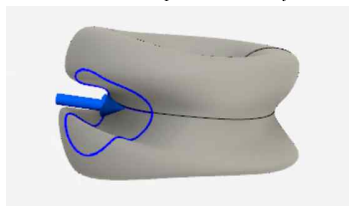
의수의 검지, 중지, 약지 그리고 새끼손가락 4개가 동시에 운동한다는 점을 고려하여 네 손가락 전체를 감싸며 방향에 맞게 가위를 고정해 주는 역할을 하는 보조기기를 구상해보았다. 하지만 기기의 면적이 넓어 불필요한 재료의 사용과 무게감을 일으켜 검지부터 새끼손가락 중 하나의 손가락에 초점을 맞춘 디자인의 방향으로 진행하였다. 여러 디자인의 프로토타이핑을 진행 한 후 가장 가볍고 불편함이 없으며 부담이 덜 가도록 엄지와 검지에 끼워 가위를 고정해주는 형태를 선정하여 앞서 언급한 Fusion 360 소프트웨어를 사용하여 3D모델링을 진


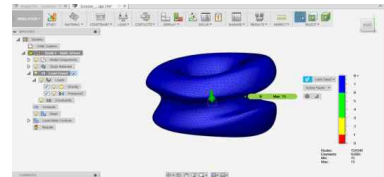
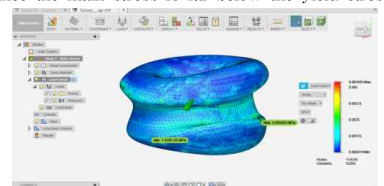
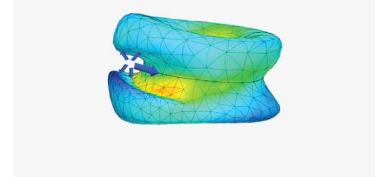
행하였다.

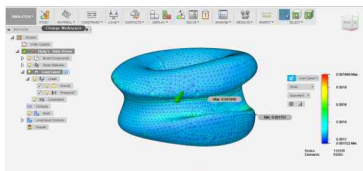
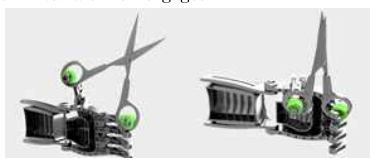
3.3.2 가상 시뮬레이션 테스트를 통한 디자인 검증

전체적인 보조기기의 형태는 가위질의 힘이 고르게 분산될 수 있는 링 형태로 디자인하였으며 디자인한 보조기기를 분석하기 위해 가상 시뮬레이션 테스트를 진행하였다. 본 논문에서는 총 7가지의 시뮬레이션 검증을 진행하였는데, 곡률 분석, 압력 면적 체크, 재질 분석, 안전 계수 분석, Stress 분석, Strain 분석, Joint 분석을 통해 보조기기의 3D모델링의 유용성을 평가하고 지속적으로 모델링을 수정, 개선하였다.

<Table 4> Results of the simulation test analysis

Design verification and validation	
Curvature analysis	<p>1) Purpose: Curvature analysis is performed to eliminate the design model's discontinuity or distorting area.</p> <p>2) Test: By displaying color spectrum, we can gain the curve information.(The type of curvature, Gaussian curvature, the amount of bending and the value of mean curvature, etc.)</p> <p>3) Result: Improving surfaces to have more smoother color bands by correcting any bumps or discontinuities.</p> 
Pressure area check	<p>1) Purpose: Pressure= Force/Area, If the area become more wider, the less pressure could be needed.</p> <p>2) Test: Check the area by adjusting the limit target in the pressure setting.</p> <p>3) Result: Adjust design as grooved curves so to distribute the force as possible as they can.</p> 

Structure verification and validation	
Material analysis	<p>1) Purpose: Determine the appropriacy of the material for the model</p> <p>2) Test: According to the material, check Young's modulus, thermal conductivity, Poisson's ratio, yield strength</p> <p>3) Result: PVC flexible could be applied because permanent deformation occurs when the force is more than 11MPa, which is much bigger than the hand grip strength.</p> 
Safety factor analysis	<p>1) Purpose: Evaluate durability through safety factor analysis</p> <p>2) Test: Identify structural durability through getting the probability of deformation, Safety factor = Material Strength / Actual Stress</p> <p>3) Result: Safety factor= 15, By comparing the right bar and the model's color, we can see the blue region in the model and the bar graph is indicating 15 which is high stable status.(The criteria of safety factor varies from the product, but most of them, over 3 is stable status, the airplane needs over 1.5)</p> 
Stress analysis	<p>1) Purpose: Evaluate structural durability by checking the force acting per unit area</p> <p>2) Test: Von mises stress</p> $\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2}{2} + 3(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zx}^2)}$ <p>3) Result: The structure of designed model is stable since the main stress is far below the yield stress</p>  
Strain analysis	<p>1) Purpose: To measure a change in the length of a material along a particular direction per unit length of the material.</p> <p>2) Test: $\epsilon = \sigma/E$ (σ=stress, ϵ= strain, E=Young's</p>

	<p>Modulus)</p> <p>3) Result: The value of ϵ is positive it indicates elongation of the material and is far from the model's deformation.</p> 
<p>Joint analysis in virtual environment</p>	<p>1) Purpose: To compare the direction of the scissors and the movement of artificial hand and to check the angle of the designed model, scissor and artificial hand</p> <p>2) Test: Set joint conditions considering movements between static parts and moving parts and check the movements of dynamic direction and angle</p> <p>3)Result: Scissors can be easily operated without any discomfort because the movement of scissors and wrists are well engaged.</p> 

첫 번째로, 디자인 측면에서 해당 보조기기를 검증하기 위해 곡률분석과 압력 면적 체크를 시행하였다. 디자인의 불연속성이나 굴곡을 제거하기 위해 해당 소프트웨어의 곡률분석(Curvature analysis) 테스트를 적용하여 수정이 필요한 부분을 파악하고 곡률을 개선하여 곡선 형태를 부드럽게 모델링하였다. 급격하게 색이 달라지는 곳, 움푹 들어간 곳들의 굴곡을 수정하여 전반적으로 색의 띠가 불연속이 되지 않도록 모델링을 개선 할 수 있었다. 또한 가위 질 시 Cam에게 가중되는 힘을 최소화시키기 위해 압력 면적 체크를 시행하여 가위와 보조 기기의 접촉면적을 최대한으로 넓히고 가해지는 힘의 합력이 최소화 될 수 있도록 홈이 파진 곡선 형태의 디자인으로 모델링을 수정하였다.

구조적 내구성 측면에서 디자인을 검증하기 위해 재질분석, 안전계수 분석, Stress분석, Strain 분석, Joint 분석을 실시하였다. 재질 분석을 통해 Cam의 가위질을 돕는 보조기기의 소재는 연질의 성질을 가진 PVC(Polyvinyl chloride)의 플렉서블 플라스틱으로 적용하여 가위질을 할 때 충격을 흡수할 수 있도록 하였고 의수에 작용하는 힘의 크기를 최소화시키고자 하였다. 가상으로 PVC 플렉서블 플라스틱의 재질을 입혀 해당 가위질 보조기기 제품의 특성을 분석해 본 결과 위 보조기기 디자인에 적

용된 PVC 플렉서블 플라스틱 소재는 11Mpa 이상의 힘이 작용하게 되면 제품이 영구 변형 작용을 겪기 시작하는 것으로 나타났다. 또한 Cam이 낼 수 있는 손의 최대 힘은 28kPa(만 5세 남자아이의 평균 장악력 크기)보다 작기 때문에 재질을 입힌 상태에서 중력과 동시에 외부에서 28kPa의 힘을 가해 보았을 때, Safety Factor 분석의 결과 변형이 일어나지 않은 것을 볼 수 있었으며 안전 계수가 15를 나타내며 이는 디자인이 충분한 안전성을 가지고 있다는 것으로 해석될 수 있었다¹⁾. 해당 모델의 재료 강성과 변형률의 관계를 분석한 Stress분석을 통해 주 응력의 최대값이 플렉서블 PVC 플라스틱의 항복 응력에 훨씬 못 미치므로 해당 모델의 구조는 안정하다고 볼 수 있었다. 또한 가위질 할 때 드는 힘을 변수로 넣었을 때 디자인된 보조기기가 굴곡진 모형으로 면적이 넓고 힘의 방향이 분산되어 서로 상쇄되었기 때문에 압력이 줄어들어 더 적은 힘을 받으며 최종적으로 물체에 가해지는 압력의 크기를 줄일 수 있었다. 응력과 변형률에 관련된 Strain 분석 결과 힘이 가해지면 플렉서블 플라스틱 PVC는 미세하게 인장되며 재료의 영구변형을 일으키는 양기 때문에 보조 기기 디자인이 비교적 안정적인 구조라고 해석할 수 있다. 또한 가상공간에서 의수와 가위 그리고 보조기기에 대한 세가지 모델의 위치와 각도를 설정하고 부품간의 결합 조건(Joint)을 부여하여 해당 모델링의 힘의 방향과 의수의 움직임을 확인하였다. 의수의 굽혔다 폈다 하는 운동은 가위질의 방향을 방해하지 않았으며 보조기기를 감싸 고정해주는 디자인으로 가위가 미끄러지지 않고 운동 가능하였다. 결론적으로 가상 시뮬레이션의 소프트웨어를 이용하여 곡면 검사와 재질의 속성 값을 확인하고 응력 테스트를 통해 디자인의 내구성을 확인하였다. 또한 삼차원의 가상공간에서 의수와 가위 그리고 보조기기 모델을 가지고 방향과 각도를 평가하여 정상적으로 가위질이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론 및 제언

4차 산업혁명의 시대에 공장 자동화와 VR, AR 그리

1) 안전계수는 통상적으로 설계자들이 과거의 경험이나 유사한 제품의 안전계수를 근거로 정하는 값이나, 보통 산업 기계 적용 안전율은 3 이상, 항공기는 1.5 이상이면 안전하다고 봄

고 인공지능 기술이 발전함에 따라 제조 산업도 더욱 빠르게 제품을 생산할 수 있게 되었고 그에 따라 가치를 기반으로 한 기술 창의 사회의 기반이 되었다. 본 연구는 가상 시뮬레이션을 직접 디자인 개발에 적용하여 실험하여 검증 해 보는 연구이다. 연구를 통하여 클라우드 플랫폼의 공유 데이터와 데이터를 실제와 같이 검증 할 수 있는 가상 시뮬레이션을 통하여 만나 본적 없는 타겟 니즈를 위한 디자인을 개발, 검증 해 볼 수 있었다.

본 연구는 기존의 연구 자료인 인간공학적 데이터를 활용 하였으며, Autodesk 사의 Fusion 360 소프트웨어를 이용하였다. 가상 시뮬레이션 분석을 통하여 생산 이전의 단계에서 보다 정확한 디자인 설계를 통해 실제 생산 되었을 경우를 예상 해 볼 수 있었으며, 가상 시뮬레이션 테스트 결과 값만으로도 디자인이 유효 할 수 있음을 알 수 있었다. 이를 위한 가상 시뮬레이션 테스트 방법으로 디자인 측면에서 해당 보조기기를 검증하기 위해 곡률분석과 압력 면적 체크를 시행하여 곡률 분석 테스트를 통해 3D 모델링의 곡면을 수정하였고 구조적 측면에서 디자인을 검증하기 위해 재질분석, 안전계수 분석, Stress분석, Strain 분석, Joint 분석으로 안전성과 내구성을 확인하며 수정하는 루프 형태의 디자인 개발 프로세스로 진행되었다.

본 논문에서 가상 시뮬레이션 실험을 통해 얻은 바는 다음과 같다. 만난 적 없는 타겟 대해 가상 시뮬레이션 테스트를 반복적으로 진행하여 사용자에게 저비용 고효율의 가치를 제공할 수 있었다. 직접 만나보지 않고도 시뮬레이션의 역학적 테스트를 통해 유용성을 검증하는 상황에서 사용자에게 편리함을 더하거나 차별적인 경험을 제공하였다. 가상 시뮬레이션을 통해 디자인된 가위질 보조기기는 Cam 이외에도 비슷한 장애를 가진 어린이들에게 사용 가능하며, 가위질 이외에도 상황에 맞는 보완 기기를 같은 방식으로 디자인 한다면 효용이 배로 늘어날 것이다. 플랫폼을 기반으로 가상 시뮬레이션의 가능성은 인공지능과 빅 데이터 기술의 발전에 힘입어 무한히 커질 것으로 예상되며, 또한 기존의 인체공학자료를 데이터화 하여 활용 할 경우, 인공지능을 통한 자동수정 및 맞춤 생산도 가능 할 수 있을 것이라 생각 한다. 또한 가상 시뮬레이션이 이번 연구에서는 간단한 재료의 물성 테스트와 정적 응력 테스트를 통해 해당 모델을 분석하였지만, 4차 산업혁명 시대에서 3D 모델 데이터를 바탕

으로 한 자동화 공정 시스템의 적용, 가상 물리 기반 시스템의 중요한 요소로써 사용 될 수 있기 때문에 추가적인 연구를 위한 자료로써 본 연구가 지니는 광의적 가치가 있다고 하겠다.

REFERENCES

- [1] Klaus Schwab, "The Fourth Industry Revolution", p. 21, Saerounhyunjae, 2016.
- [2] J. W. Hong, "Virtual reality technology trend in medical industry", Weekly ICT Trends IITP, Vol.1, No.1751, pp.2-16, 2016.
- [3] Autodesk Workshop at Hongik University, "Autodesk's Future of making things workshop", Hongik University, IDAS, 2017.06.20.
- [4] E. Y. Yoo, "Medical simulation", Medical course, Korean Medical Association, 2005.
- [5] Myung-Il Kim, "An Analysis and Industrial Classification of Modeling and Simulation Service Industry", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.18, No.3, pp.185-198, 2017.
- [6] Su-Young Pi, Myung-Suk Lee, "Developing a Convergent Class model of Augmented Reality and Art", Journal of Digital Convergence, Vol.14, No.5, pp.85-93, 2016, <http://dx.doi.org/10.14400/JDC2016.14.5.85>
- [7] Simulation, National Institute of the Korean Language, 2017, http://stdweb2.korean.go.kr/search/List_dic.jsp, 2017.07.10.
- [8] Sang-Young Choi, "Introduction to Defense, Modeling and Simulation", pp. 3-6, Book Korea, 2010.
- [9] National Science Foundation(NSF), "Simulation -Based Engineering Science: Revolutionizing Engineering Science Through Simulation", National Science Foundation Blue Ribbon Panel on Simulation-Based Engineering Science Report, 2006.
- [10] Sokolowski, John, and Catherine Banks(Editors), "Principles of Modeling and Simulation: A Multidisciplinary Approach", Wiley, 2008.
- [11] Myung-Il Kim, Sung-Uk Park, and Jae-Sung Kim, "An Economic Ripple Analysis of Domestic

Supercomputing Modeling and Simulation”, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 17, No. 11, pp. 340-347, 2016.

[12] DOI: Yong-Sauk Hau, “IT SMEs’ Product Planning Capability and Manufacturing Capability in the Context of Digital Convergence: The Meditating Impacts of the Product Exterior and Interior Design Capabilities”, Journal of Digital Convergence, Vol.13, No.12, pp55-62, 2015, <http://dx.doi.org/10.14400/JDC.2015.13.12.55>

[13] W.David Kelton, Randall P. Sadowski, David T. Sturrok, “Simulation with ARENA”, pp. 5-12, McGraw-Hill, 2003.

[14] Jeong-Min Ko, “A Study on the Economic Effect of Simulation Golf as the Convergence Industry”, Journal of Digital Convergence, Vol.13, No.4, pp61-68, 2015, <http://dx.doi.org/10.14400/JDC.2015.13.4.61>

[15] A Different Hero-Cam’s Story, Facebook, https://www.facebook.com/pg/CamsStory/videovi/?ref=page_internal, 2017.06.20.

[16] Samples: Workshops and events : Raptor Reloaded, Autodesk Fusion 360, <https://www.autodesk.com/pier-9/residency/projects/e-nable-raptor-reloaded-hand>, 2017. 06.20

[17] M. H. Lee, “Development of the teaching program for infants, The guideline for the parents”, Ministry of Health and Welfare, Korea Institute of Child Care and Education, 2013.

[18] The Korean Society of Occupational Therapy for Child and School, “Child Occupational Therapy”, Gyechuk Munhwasa, 2013.

[19] Kwon MS, Choi IS. “A study on classification of hand shape”, Korean Soc Costume, Vol.55, No.6, pp.11-19, 2005.

[20] Hunter JM, Schneider LH, “Mackin EJ, Callahan AD. Rehabilitation of hand”, pp. 101-132, St.Louis: CV Mosby, 1984.

[21] Lee KS, Woo KJ, Shim JH, Lee GH. “The clinical study of grip and pinch strength in normal korea adult”, Korean Orthop Assoc, Vol.30, No.6, pp.1589-1597, 1995.

[22] P. T. Kim, “The Function and Anatomy of the

Hand”, Kyungpook Univ Press, 2001.

[23] Bernard Kingston, “Muscle Anatomy”, pp. 78-85, Kunja publishing Co., Ltd, 2005.

[24] Hye-Won Oh, “The Standard Value of Hand Grip and Pinch Strength in Preschool and School Age Children”, KSOT, Vol.8, No.1, p. 57, 2000.

이 지 원(Lee, Ji Won)



- 2007년 2월 : 부산대학교 언어정보학과 (문학사), 국제무역학
- 2007년 12월 : Association Business Executives(ABE), UK, Certificate in Human Resources Management 수료
- 2012년 10월 : London Metropolitan University, Sir John Cass Faculty of Art, Architecture & Design , 주얼리 디자인전공(디자인 석사)
- 2014년 2월 ~ 2017년 10월 : 홍익대학교 국제디자인전문대학원, 디자인학 박사 수료
- 관심분야 : 디지털 주얼리, 디지털 디자인, 디자인 경영
- E-Mail : Jiwon.lee1@idas.ac.kr

한 지 영(Han, Ji Young)



- 2016년 2월 : 동국대학교 산업시스템공학과, 디자인 공학(공학사)
- 2016년 3월 ~ 현재: 홍익대학교 국제디자인전문대학원 제품 디자인 전공 석사 과정
- 관심분야 : 디자인 프로세스, 디자인 공학, 인간공학, UI/UX
- E-Mail : hanji0000@naver.com

나 동 규(Na, Dong Kyu)



- 1986년 2월 : 연세대학교 금속공학과 (공학사)
- 1988년 8월 : 연세대학교 금속공학과 (공학석사)
- 1997년 6월 : Northwestern University 재료공학과 (공학박사)
- 2008년 5월 : 프랭클린피어스 법대 (MIP)
- 2013년 3월 ~ 2017년 10월 : 홍익대학교 대학원 법학과 부교수
- 관심분야 : 공학과 법, 지식재산권법과 세법, 기술이전 및 기술 사업화
- E-Mail : dna@hongik.ac.kr

나 건(Nah, Ken)



- 1983년 2월 : 한양대학교 산업공학과 (공학사)
- 1985년 2월 : 한국과학기술원 (KAIST) 산업공학과(공학석사)
- 1996년 5월 : TUFTS University 공업디자인학과(공학박사)
- 2010년 12월 : WDC Seoul 2010 총감독
- 2000년 3월 ~ 2017년 10월 : 홍익대학교 국제디자인전문대학원 교수
- 2009년 1월 ~ 2017년 10월 : Red dot design award&Concept Award 심사위원
- 관심분야 : 디자인 경영, 디자인 프로세스, 인간공학
- E-Mail : knahidas@gmail.com