creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

디자인학 박사 학위논문

마우스를 사례로 손 특성 데이터를 이용한 맞춤형 형태 디자인을 위한 파라메트릭 디자인 도구 제안

Proposal of Parametric Design Tool for Customized Shape Design Using Hand Feature Data with Mouse as an Example

2022 년 8 월

서울대학교 대학원

디자인학부 디자인전공

고 혜 악

마우스를 사례로 손 특성 데이터를 이용한 맞춤형 형태 디자인을 위한 파라메트릭 디자인 도구 제안

지도 교수 정 의 철

이 논문을 디자인학박사 학위논문으로 제출함
2022 년 8 월

서울대학교 대학원
디자인학부 디자인전공
고 혜 악

고혜악의 디자인학 박사 학위논문을 인준함
2022 년 8 월

위 원 장 박 영 목 (인)

부위원장 장 성 연 (인)

위 원 정 의 철 (인)

위 원 연 명 흠 (인)

위 원 이 상 원 (인)

초 록

제 1 차 산업혁명 이후 대량의 기계 생산 제품이 수제품을 대체하였다. 오늘날 우리가 일상생활에서 사용하는 기계 생산 제품은 품질이 좋고 가격이 저렴하지만 우리의 몸에 꼭 맞는 것은 아니다. 3D 프린팅 기술의 발전으로 맞춤형 제품의 가격이 낮아지면서 사용자가 자신의 인체 데이터에 맞는 맞춤형 제품을 사용할 가능성이 높아졌다. 그러나 디자이너 자원만으로는 방대한 양의 맞춤형 수요를 감당하기 어렵다.

본 연구는 컴퓨터 마우스와 같은 다양한 물리적 기기의 맞춤형 형태 디자인을 개발할 수 있는 디자인 툴의 개념과 개발 과정을 설명하였다. 손의 특성 데이터를 활용해 사용자가 잡기 편한 맞춤형 파라미터 기반 Generative Design 툴 개발을 제안하는 것이 본 연구의 목적이다. 연구의 주요 내용으로는 인체 중 손의 특성 데이터를 이용한 파라메트릭 디자인 시스템(parametric design system) 연구와 손가락과 손바닥의 점/선/면 데이터를 측정하고 결합하여 맞춤형 형태를 생성할 수 있는 Arduino+ Grasshopper 툴 개발 연구가 포함된다. 또한 마우스 디자인을 사례로 하여 손으로 쉽게 잡을 수 있고 조작할 수 있는 정밀한 맞춤형 형태 디자인을 제안하고, 반복적인 샘플 시험이 필요한 정교한 모형 설계 과정을 디지털화하여 정밀 모형 디자인 기법을 개선하여 디자인 효율성을 높이고자 하였다.

본 연구에서 제안한 Generative 맞춤형 제품 디자인 툴에는 다음과 같은 몇 가지 특징이 있다. 첫째, 손의 인체 데이터를 형태로 변환하는 방법론에 대해 연구하였다. 본 논문에서는 손의 데이터를 마우스 형태로 변환하는 새로운 방법을 제시하였는데, 이러한 방법을 통해 다른 맞춤형 제품들이 인체 특징 데이터를 더 적합하게 사용할 수 있도록 도움이 되기를 바

란다. 둘째, 손 데이터의 수집 방식에 대해 연구하였다. 본 논문에서는 손과 관련된 다양한 데이터 수집 방식을 제시하였으며, 손 관련 제품의 맞춤형 디자인에 더 많은 근거를 제공할 수 있기를 바란다. 셋째, 본문에서 제안한 맞춤형 Generative Design 플랫폼은 기존의 맞춤형 디자인과 비교해 별도의 측정 인원이 필요하지 않으며, 사용자가 플랫폼을 통해 스스로 측정과 맞춤화 과정을 수행할 수 있다. 또한 물리적인 인터랙티브 방식과 3D 실시간 디스플레이 방식을 통해 보다 편리하게 변경·조절·비교할 수 있으며, 복잡한 곡면의 맞춤형 디자인이 가능하다. 넷째, TUI (Tangible User Interface) 디자인 방식과 동태적 형태 포착(Dynamic Shape Finding) 디자인 방식을 결합하여 사용자가 디자인 과정에 참여하여 보다 직관적이고 능동적으로 맞춤형 디자인을 완성시킬 수 있다. 다섯째, 물리적 인체 데이터 맞춤형 제품 형태를 기반으로 하여 다른 스타일의 형태를 자동으로 생성할 수 있다.

본 연구는 손과 관련된 다양한 제품 디자인과 사용자의 인체 특성을 고려한 제품 디자인 툴 개발에 기여할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 사용자 참여 디자인과 맞춤화 디자인 프로세스에 도움이 되기를 바란다.

주요어 : 인체 특성 데이터, 형태 전환 방법, Generative Design Tool, 맞춤형 형태

학 번 : 2017-37320

목 차

1. 서론 1

1.1 연구 배경 및 목적 1

1.2 연구 내용 및 방법 4

2. 기초 연구 고찰 8

2.1 Generative Design 의 정의 및 현황 8

2.2 Generative Design Tool 활용 프로세스 12

2.3 맞춤형 디자인에 관한 선행 연구 고찰 24

3. 인체 특성 및 맞춤화 디자인 42

3.1 마우스 사례의 맞춤화 디자인에 대한 사용자 조사 42

3.2 인체 특성 데이터 종류와 측정 방법 47

4. 형태 디자인 프로세스 및 도구 분석 50

4.1 인체 특성 Generative Design Process 정의 50

4.2 손 데이터와 마우스 형태의 관계 분석 53

4.2.1 마우스의 종류와 장단점 분석 53

4.2.2 손의 자세가 마우스 형태에 미치는 영향 56

4.2.3 손 데이터 와 마우스 디자인 기준 64

5. 인체 특성 데이터 변환 방법 제안 70

5.1 손 데이터를 형태로 변환하는 방식 70

5.1.1 손의 길이와 너비 값을 마우스의 길이와 너비 값으로 변환 70

5.1.2 손바닥 높이 값을 마우스 높이 값으로 변환 74

5.1.3 손바닥 기울기 각도를 마우스 기울기 각도로 변환 76
5.1.4 손의 굴곡도를 마우스 곡면 형태로 변환 78
5.1.5 손가락 위치를 마우스 버튼 위치로 변환 79
5.1.6 손 압력 값을 곡면 곡률값으로 변환 80
5.1.7 기타 손 데이터 측정 및 형태 변환 방법 82
5.2 손 데이터 측정 방법 및 형태 생성 로직 84
6. 손 인체 특성 측정을 위한 도구 제안 90
6.1 손에 Fit 한 형태를 생성할 수 있는 Arduino+ Grasshopper 도구 개발90
6.2 손 데이터에 Fit 하는 맞춤형 마우스 형태 디자인 97
6.3 인체 데이터 맞춤형 제품 형태를 기반으로 다른 스타일의 형태를 자동으로 생성 114
6.4 Generative 맞춤형 마우스 플랫폼 테스트 119
7. 결론 및 전망 121
참고문헌 129
부록 137
Abstract 144

표 목차

[표 1] Design Model Canvas 6
[표 2] 인체측정방식으로 분류한 맞춤형 디자인 방법에 대한 연구 고찰 39
[표 3] 사용자가 희망하는 편안한 맞춤형 참여 수 45
[표 4] Parameters customers think are important for appearance .. 46
[표 5] 인체특성데이터 종류. 47
[표 6] 마우스 곡면의 형태와 손의 접촉면적 비교. 66
[표 7] Mouse Size Determination Chart (Copyright OHCOW, 2021) 73
[표 8] 형태 생성 단계별로 필요한 손 데이터, Arduino 측정 방법 Grasshopper 형태 생성 로직 84
[표 9] 손에 FIT 한 데이터와 마우스 디자인 및 Grasshopper 형태 변화의 관계 90
[표 10] 마우스의 요구조건에 따라 최적화된 디자인 조합 추천 91
[표 11] 손 데이터에 fit 하는 맞춤화 마우스와 손이 접촉 부분의 형태 디자인 process. 105
[표 12] 플랫폼의 사용자 테스트 및 평가 120

그림 목차

[그림 1] Generative Design 및 관련 기술) 9
[그림 2] 동태적 형태 포착 11
[그림 3] Generative Design 과 전통적 디자인의 차이점) 12
[그림 4] Generative Design process. 15
[그림 5] Generative Design Process 16
[그림 6] Generative Design 의 응용 분야 17
[그림 7] Generative Brand Design 18
[그림 8] Variable 2018 dn&co 18
[그림 9] MYAA Architect 19
[그림 10] 제조업 분야에서의 응용 20
[그림 11] GM engineer Generative Design 21
[그림 12] History Flow, 2003, with Fernanda Viegas 22
[그림 13] Cindermedusae-Marcin(해양생물보호) 23
[그림 14] Method and system for generative design 24
[그림 15] Body Measurement Methods 25
[그림 16] 실리콘 몰드 제작을 통한 인체 국소 3D 형태 획득(사진 출처-SISU·Prosthetic Feet) 27
[그림 17] From 3D body scanning, digital knitting design to 3D digital modeling 28
[그림 18] 애플 사용자 손목 사이즈 측정 스트랩 사이즈 선택 (사진 출처-Apple Inc.) 30

[그림 19] a. AR 방식을 이용한 거리·면적 측정 b. AR 방식 가구 공간 위치 시뮬레이션 c. AR 방식으로 발 길이 측정 (사진 출처- Apple Inc.·IKEA·Nike fit) 31
[그림 20] Interactive and Situated Guidelines to Help Users Design a Personal Desk that Fits Their Bodies) 31
[그림 21] 인체 데이터와 무관한 취향형 맞춤 디자인 (사진 출처- NervousSystem·Nike·BMW·Apple) 33
[그림 22] Usability data acquisition and interface simulation using stereolithography mock-up 34
[그림 23] 사진을 통한 물체 크기 인식 35
[그림 24] 사진을 통한 얼굴 데이터 수집 36
[그림 25] Leapmotion 을 통한 인체 동작 데이터 캡처 37
[그림 26] Slow robots for unobtrusive posture correction 38
[그림 27] 마우스 사용성 설문조사 42
[그림 28] 설문조사 결과 43
[그림 29] 개인 인체 특징 데이터와 주변의 관계. 49
[그림 30] 인체특성 데이터 기반 개인맞춤형 Generative Design Process. 50
[그림 31] 마우스의 종류와 장단점 분석 (사진 출처 - Occupational Health Clinics for Ontario Workers) 54
[그림 32] 수평 쥐기와 세로 쥐기 방식 시 팔뼈의 위치 대비 55
[그림 33] Mouse 잡는 방법) 57
[그림 34] 사용자세가 형태에 미치는 영향) 59
[그림 35] 멀티터치 마우스 탐색 서로 다른 터치 감지 기술, 스타일링, 인터랙티브 기능 60

[그림 36] 마우스 버튼 누르는 자세 60
[그림 37] AZERON Mouse 61
[그 림 38] THE DEVELOPMENT OF A TACTILE MODELING INTERFACE. 62
[그림 39] MIT_Integrating electronic components into deformable objects based on user interaction data. 62
[그 림 40] Inflatable mouse: volume-adjustable mouse with air-pressure-sensitive input and haptic feedback. 64
[그림 41] Ming Kong develops tactile interface to navigate CAD environments 67
[그림 42] Tangible Textural Interface) 68
[그림 43] 곡선 곡률(curvature) 값의 계산방법: 곡선이 직선을 벗어난 정도. 71
[그림 44] 마우스의 길이와 너비는 손의 길이와 너비 비율에 따라 실시간으로 변함 71
[그 림 45] Definition of the 19 feature parameters in cross-parameterization. 72
[그림 46] 중지 손가락 끝에서 손가락 끝(유두골 Capitate Bon,)까지의 거리. 74
[그림 47] Genetic Algorithm 을 이용하여 곡선의 최고점을 계산할 수 있다. 75
[그림 48] 사용자의 손이 평평하고 곧은 상태와 굽은 이완 상태 시의 손끝에서 손목까지의 거리 차 76
[그림 49] 실시간 손 데이터를 이용해 곡선의 곡률 값과 곡률 값의 최고점을 변경하여 곡선의 변형을 제어 77

[그림 50] 손바닥의 경사 각도와 형태의 관계 77
[그림 51] Flex sensor 를 사용해 손의 굴곡도를 Grasshoopper 에서 곡선의 곡률 값으로 변환하고 조절하여 곡선의 변형을 실시간으로 제어 78
[그림 52] 곡면 스트척처 라인의 곡률 값과 형태를 변화시킴으로써 곡면 형태를 변화시킴 78
[그림 53] 역학적 간섭을 이용한 형태 변환 79
[그림 54] 손가락의 압력을 마우스 형태로 변환 81
[그림 55] 손 데이터 측정 방법 및 형태 생성 로직 시스템 구조도 87
[그림 56] 손 중심 경사각도 88
[그림 57] Flex sensor 를 사용해 곡선의 변형을 실시간으로 제어 89
[그림 58] 좌우 버튼의 위치를 조절하는 방법. 89
[그림 59] 프레셔 센서를 통해 손의 압력 제어 형태 구조를 측정 89
[그림 60] 레이저 커팅 측정 플랫폼 계획 93
[그림 61] 손 데이터 수집 플랫폼: 왼쪽은 손 길이와 너비, 오른쪽은 손가락/ 손바닥 위치와 높이를 측정 94
[그림 62] 플랫폼 조립 방법 : buckle 구조 94
[그림 63] 손에 Fit 한 형태를 생성할 수 있는 Arduino+ Grasshopper tool 개발 플랫폼의 실제 조합/ 테스트 과정 95
[그림 64] comparison for injection molding and stereo lithography 96
[그림 65] 사용자의 실제 플랫폼 손 데이터 수집과 형태 디자인 과정 97
[그림 66] 손 데이터 측정 방법 및 형태 생성 로직 시스템 구조도 98
[그림 67] 맞춤형 마우스 형태 99
[그림 68] 맞춤형 마우스 형태 디자인(material rendering) 100
[그림 69] 맞춤형 마우스 형태 디자인 사용 환경 100
[그림 70] 사용자 맞춤형 3D 프린팅 마우스 테스트 모형 101

[그림 71] FPCB 회로기판을 통한 내부 회로기판 조립 102
[그림 72] 레이저 조각 목판 조립식 맞춤형 마우스 102
[그림 73] 레이저 조각 목판 조립도 103
[그림 74] 돌 형태의 맞춤 마우스 Generative Design 104
[그림 75] 3D 프린팅을 통한 사용자 테스트 104
[그림 76] 손 데이터에 Fit 하는 맞춤형 마우스 형태 디자인 1 107
[그림 77] 텐저블 사용자 인터페이스(TUI): 마우스 형태 변화/맞춤화 마우스 케이스 형태 디자인(style2) 107
[그림 78] 맞춤형 마우스 바닥 지지대 108
[그림 79] 생성한 데이터 형태에 기반해 디자이너는 보조 디자인 또는 여러 개의 디자인 방안을 생성해 사용자가 선택할 수 있게 함 108
[그림 80] 맞춤형 마우스 케이스 형태 디자인 108
[그림 81] 맞춤형 마우스 케이스 디자인 프로세스 109
[그림 82] 3D 프린팅을 통한 맞춤형 마우스 케이스와 실제 사용자 테스트(DLP 액체 프린팅-가격 1 만원-2022 년) 110
[그림 83] 사용자 캐릭터별 맞춤형 마우스 111
[그림 84] 사용자 캐릭터별 맞춤형 마우스 사용 효과도 111
[그림 85] 사용자 캐릭터별 맞춤형 마우스 112
[그림 86] 손과 관련된 제품의 테스트 - 맞춤형 컨트롤 스틱 113
[그림 87] 맞춤형 컨트롤 스틱 렌더링 113
[그림 88] 맞춤형 컨트롤 스틱의 사용자 실제 모형 테스트 113
[그림 89] Gene-Regulation for Digital Architecture) 114
[그림 90] Evaluation of a 3D Shape Grammar Implementation-Coca-Cola bottle as an example 115
[그림 91] 기본 형태의 파라미터 변경을 통한 다양한 목표 형태 생성 116

[그림 92] Population and Design History 117
[그림 93] 인체 데이터 맞춤형 제품 형태를 기반으로 다른 스타일의 형태를 자동으로 생성 117
[그림 94] 부피와 무게가 변하지 않도록 설정할 경우 마우스의 바깥 윤곽이 다른 형태로 바뀜 118
[그림 95] Mice 3D Shape Compare Tool) 119

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

생산방식이 발전하면서 기능지상주의, 친환경, 미니멀리즘을 추구하는 기능주의 디자인 방식에 미묘한 변화가 생기기 시작했다. '프리지디티(frigidity)'한 스타일의 디자인과 상류 부유층을 위한 과한 장식 디자인은 제품의 양극단을 이루었다. 바우하우스 스타일이 유행하면서 전 세계 대도시의 건축은 동질화 현상이 심각해져 거의 모두가 '네모난 상자'로 변해버렸다. 제품 분야에서도 특정 기술에 지나치게 의존하거나 특정 스타일을 추구하는 제품, 시장 경쟁에만 부합하는 제품들은 점차 단일화되고 유사해지는 경향을 보이고 있다. 기술의 업데이트는 단계적이어서 일정 기간 기술의 발전이 없을 수 있기 때문에 기술 업데이트에 과도하게 의존하는 제품들이 동일화 되어가는 것이다.[1] 고정된 스타일과 규칙에서 벗어나 사용자의 실제 욕구와 취향을 충족시키는 맞춤형 디자인과 Generative Design 이 바로 제품의 유사성을 피할 방법 중 하나이다.[2]

디자인은 산업혁명 이후 일상 속 물건들이 대량 생산되면서 발전하였다. 최근에는 4 차 산업혁명과 함께 논의되는 3D 프린팅이 과거에는 어려운 형태였던 대량 생산의 가능성을 보여주고 있다. 금형 생산에 한정되어 있

---

[1] 姜冰, 程旭锋, & 郭辉. (2004). 设计是解决产品趋同化问题的重要手段. 中国轻工教育, (3), 12-13.

[2] https://new.qq.com/omn/20220423/20220423A04GUI00.html

던 제품 형태에서 벗어나 디자이너는 자유로운 상상을 할 수 있게 된 것이다.[3)]

현대인의 생활 방식은 갈수록 단순화되고 효율적으로 변하고 있다. 제품 디자인의 조형 표현 역시 단순화되어 노동력, 시간, 생산 원가 절감을 위한 제품 디자인 등에서 나타나고 있다. 이러한 방식과 현상은 모두 제품을 유사하고 단순하게 만든다.[4)] 인간의 삶은 점차 합리화되고 단일화되지만 다양성에 대한 인간의 욕구는 여전히 존재한다.

구입한 신발이나 옷의 크기가 맞지 않거나, 제품의 손잡이가 맞지 않아 불편했던 경험은 누구에게나 있을 것이다. 마우스 디자인만 보아도 노인과 어린이, 남자와 여자, 사무직과 게이머는 사용하는 크기도 습관도 다르므로 자신의 손에 딱 맞는 마우스를 찾기가 생각보다 어렵다. UX(User Experience)를 고려한 GUI 디자인 덕분에 디지털 기기의 소프트웨어는 개인에 맞는 글자 크기나 색상, 소리 등을 조정할 수 있게 되었다. 그러나 하드웨어는 생산기술과 물리적 제약으로 인해 사물에 인간을 맞추도록 보이지 않게 강요 받고 있다. 최근에는 웨어러블 디바이스가 점차 확산되면서, 이러한 불합리함이 더욱 부각되고 있다.

이러한 불합리함을 해결하기 위해 디자인과 생산 프로세스에 사용자를 참여시켜 통합하는 사용자 참여 디자인(co-design)이 갈수록 보편화되고 있으며, 이는 날로 증가하는 개성화 수요에 대응하는 회사들의 유망한 전략이라 할 수 있다.

[3)] 정의철, & 박현미. (2017). 매듭 (Knot) 과 링크 (Link) 이론에 기반한 3D 프린터로 생산할 수 있는 조형물의 원형디자인 모델 제안. 한국과학예술융합학회, 30, 403-413.

[4)] 田中一光たなか いっこう. (2009). 设计的觉醒. 广西师范大学出版社.

현재에도 일부 맞춤형 방법이 있지만 운동선수나 장애인과 같은 특수한 경우를 제외하면 자신의 신체 맞춤형 산업 제품을 사용할 수 있는 사용자는 많지 않다. 전문 제품 디자이너가 개별적으로 맞춤형 제품을 디자인해 주는 경우는 일반적이지 않고, 또한 맞춤형 제품의 제작은 시간과 비용 면에서 비효율적이기 때문이다. 그런데 Generative Design 과 3D 프린팅 기술로 인해 사용자의 인체에 꼭 맞는 제품 디자인을 제공할 수 있는 길이 열렸다. Generative Design 은 사물의 다양한 형태 변형의 가능성을 파라미터(parameter)로 정의하고 탐색하여 대안을 제시하는 효율적인 방법 중 하나이다. Generative Design 에서 사용자의 인체와 관련된 파라미터를 조작하는 주체는 디자이너나 사용자 본인, 그리고 사용자의 파라미터를 학습한 인공지능이 될 수 있다.

Generative Design 은 엔지니어링, 건축, 디자인, Art, 제조업 등의 다양한 분야에서 활발하게 응용되고 있다. 그러나 제품 디자인 분야에서의 응용은 상대적으로 광범위하지 않다. 그 이유는 다음과 같다. 먼저, 3D 프린트 기술의 한계로 대량 생산 비용이 많이 들고, 시간이 오래 걸려 아직 시장 수용도 (Market Acceptance)가 높지 않기 때문이다. 또, 일정한 프로그래밍 사고와 능력이 필요하지만 파라미터와 알고리즘의 조정은 디자이너의 능력 범위 밖이다.

따라서 본 연구는 인체 특성 기반 데이터를 활용하여 개인 맞춤형 제품을 디자인할 수 있는 파라미터 기반 Generative Design Tool 의 제안을 목적으로 하였다. 손가락과 손바닥에 맞출 수 있는 제품 디자인 도구를 사용해 손의 형태와 관련이 많은 마우스를 사례로 개발을 진행하였는데, TUI (Tangible User Interface)의 물리적 인터랙티브 방식을 통해 더욱 직관적이고 간편하게 손의 데이터를 수집하기 위해 Arduino 를 활용하였

다. 또한, Grasshopper 툴을 활용해 수집한 데이터를 통해 맞춤형 형태를 생성할 수 있는 디자인 툴을 개발하였다.

1.2 연구 내용 및 방법

본 연구는 마우스와 같은 다양한 물리적 장비의 맞춤형 형태 디자인을 개발할 수 있는 디자인 도구의 개념과 개발 과정을 설명한다. 개발한 파라미터 기반 Generative Design 도구는 다음과 같은 세 가지 특징을 가지고 있다.

1) TUI 와 인체 데이터를 통해 제품 형태를 더욱 쉽고 정밀하게 조정 할 수 있다.

① 수집한 손 데이터를 특정 형태로 자동 변환하는 방법

② (마우스) 디자인에 필요한 파라미터, 해당 인체 데이터 측정 및 적용 방법

③ 사용자의 요구에 따라 최적의 조합을 추천하고, 표준화된 방법을 결합하여 여러 가지 디자인 방안 생성

2) TUI 조작 행동을 통해 형태 특성을 인식한다.

① 더욱 복잡한 Arduino 의 인터랙션 방식으로 3D 모델 형태를 제어. 다양한 센서를 통한 인체 데이터 수집으로 풍부한 Grasshopper 형태 변화 방식/Parametric/알고리즘에 대응

② 텐저블 사용자 인터페이스(TUI) : 텐저블·접촉식·감각형·실체적·체감적인 디자인 방식

3) 동태적 형태 포착 (Dynamic Shape Finding) 방식을 제품 디자인에 적용한다. Parametric 조정과 형태 변화의 움직임 과정에서 사용자들이 가장 만족하는 순간을 포착하고, 디자인 과정과 결과를 직관적으로 반

영하여 사용자들이 쉽게 자신이 원하는 형태의 제품 디자인을 선택할 수 있게 함

마우스를 맞춤형 연구 대상으로 선택한 이유는 다음과 같다. 첫째, 마우스는 손 데이터와 관련되어 있는데, 손은 인체 중 가장 복잡하고 유연한 부위이다. 이러한 복잡한 손 데이터의 맞춤화 문제를 해결할 수 있다면, 다른 인체 데이터 맞춤화도 비교적 쉽게 적용할 수 있을 것이다. 둘째, 연구의 깊이를 위해 하나의 목표를 선택하여 완수하는데, 본 연구에서 제시한 Generative 시스템은 마우스의 맞춤 디자인만을 위한 것은 아니다. 마우스 맞춤 디자인에 대한 기초 연구가 완료되면, 향후 손과 관련된 다른 제품의 맞춤 디자인 연구도 지속적으로 진행하여 전신 제품 맞춤 디자인으로 확장해 완전한 맞춤 디자인 시스템을 형성하는 것이 최종 목표이다. 셋째, 조사를 통해 마우스는 보편적이지만 해결하지 못한 여러 불편함이 있다는 사실을 알게 되었다. 의류 및 액세서리 등과 같은 제품들은 맞춤 디자인에 대한 접근성이 비교적 좋은데 비해 마우스의 맞춤 디자인은 접근성이 낮을 뿐만 아니라 마우스의 생산에도 문제가 많다. 넷째, 마우스는 부피가 작아 연구와 후기 결과에 따른 3D 프린팅 및 사용자 테스트를 더 빠르고 효율적으로 진행할 수 있다.

주로 사용하는 연구 도구로는 Grasshopper, Rhino, Autodesk Fusion360, Arduino 및 각종 인체 데이터 측정에 필요한 센서 등이 있다.

연구 과정에서는 Generative Design Tool 개발, 파라미터화 모델링, 스마트 하드웨어 개발, 디지털 디자인, 사용자 참여 디자인(co-design), 맞춤형 디자인, 프로토타입 제작, 핸드셋 사용자 인터페이스 디자인(HUI: Handset User Interface), 전문가 평가(expert evaluation), 가용성 테스트(usability testing) 등의 연구 방식을 활용하였다.

본 연구는 '비즈니스 모델 캔버스(Business Model Canvas)[5]'를 기반으로 '디자인 모델 캔버스(Design Model Canvas)' [표 1]를 제시함으로써 더 나은 디자인 제품의 선택과 프로젝트 내용 및 방향을 계획할 수 있도록 하였다.

[표 1] Design Model Canvas

Design Model	내용 설명	
사용자 세분화 User Segment	타깃 유저	사용자 맞춤형 제품(사용이 편리하고 피로가 적은)을 자신의 인체 데이터에 따라 사용하고 싶은 사람
	잠재 유저	· 어떤 제품을 꾸준히 지속적으로 사용하는 사람 · 특수한 경우: 노인, 어린이, 장애인, 운동선수, 게이머 등 · 기존 시장에서 자신에게 맞는 제품을 찾을 수 없는 사람 · 제품 디자이너
가치 주장 Value Propositions	Generative Design Tool을 통해 인체 데이터 수집을 돕고 맞춤형 제품 디자인 서비스를 제공하며 자신에게 맞지 않는 제품을 사용할 때 발생하는 문제를 해결	
채널 Channels	· 물리적 과정 : 5분 이내의 실측 플랫폼을 통해 실시간으로 3D모델을 생성하여 3D 프린팅함 · 온라인 : 주변 전자제품의 센서와 사용자의 자가측정을 통해 데이터를 웹페이지에 입력하여 온라인에서 제품 형태를 생성	
사용자 관계 User Relationships	· 오프라인 셀프측정 · 온라인 셀프서비스 · 공동 창작	
핵심자원 Key Resources	· 디자인에 필요한 파라미터, 해당 인체 데이터 측정 및 적용 방법 · 수집한 데이터를 특정 형태로 자동 변환하는 방법 · 다양한 형태를 생성하고 최적의 조합을 추천	

[5] Barquet, A. P. B., Cunha, V. P., Oliveira, M. G., & Rozenfeld, H. (2011). Business model elements for product-service system. In Functional thinking for value creation (pp. 332-337). Springer, Berlin, Heidelberg.

중요한 파트너 Key Partnerships	· 사용자 · 디자이너: 오픈소스 디자인(Open-source Design)을 통해 디자이너의 협업, 공유, 형태 생성 알고리즘을 개선할 수 있는 플랫폼 제공 · 온라인 모델 전시 플랫폼. · 3D 프린팅 업체, 회로기판 하드웨어 공급업체
비용구조 Cost Structure	· 사용자 : 3D 프린팅 비용, 핵심부품 비용, 운송비 · Generative Design Tool: 플랫폼 제작비, 센서 비용, 온라인 플랫폼 전시 비용

2. 기초 연구 고찰

2.1 Generative Design 의 정의 및 현황

인간과 기계의 관계가 끊임없이 발전함에 따라 디자인 역시 인간과 기계가 협력하는 단체 활동이 되었다. 전통적 디자인은 '디자이너의 창의적 영감+ 컴퓨터 렌더링=도면 속 디자인 방안'이었다. 그러나 새로운 디자인 방안은 컴퓨터와 디자이너가 함께 만들어내는 것으로, '데이터 입력+ 인공지능 알고리즘+ 클라우드 컴퓨팅 능력=데이터베이스 속 수천 가지의 디자인 방안'이다.[6] 새로운 디자인 방식은 시대의 검증을 거치지 않았고, 기존의 전통적 디자인 방식보다 반드시 적합하다고는 할 수 없지만 새로운 길의 모색에 가능성을 열어주었고, 기존의 디자인 방식을 일부 보완하는 효과도 있다.

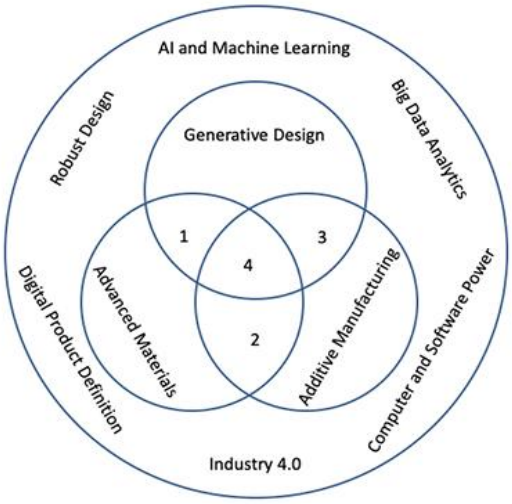
Generative Design 은 모델링 유전자 방법과 규칙 기반 디자인 콘셉트, 디자인 연산을 결합해 변형된 조형을 대량으로 생성하는 디자인 방법이다.[7] Generative Design 은 반복적인 디자인 프로세스(iterative design process)로, 디자이너가 사람이 아닌 테스트 프로그램이나 인공지능일 수도 있는 일종의 디자인의 가능성을 탐색하는 가장 빠른 방법이다.[8]

---

[6] 张越. 衍生式设计: 未来设计制造的中级尝试[J]. 中国信息化, 2016 (9): 71-73.

[7] https://jianyouli.wordpress.com/2012/09/04/%E9%97%9C%E6%96%BC%E8%A1%8D%E7%94%9F%E8%A8%AD%E8%A8%88-workshop/

[8] ENGINEERING.com. "Generative Design: The Road to Production". www.engineering.com. Retrieved 2019-12-05.



[그림 1] Generative Design 및 관련 기술[9)]

Shape 와 Topology optimization 과 같은 Generative Design Tool 은 1990 년에 상업적으로 개발됐지만 전체적으로 봤을 때 성공을 거두지는 못했다. 컴퓨터 운행 속도가 느렸고, 생성된 디자인 결과는 전통적 제조법으로는 제작할 수 없었기 때문이다. 이후 20 년간 컴퓨터 기술과 3D 프린팅 기술이 발전하면서 Generative Design 에 새로운 기회가 주어졌다. [그림 1] 참조.

Generative 기술에 투자하는 기업들은 부품 무게를 줄이고, 디자인 성능을 개선하며, 제작 기간을 최대한 줄여 차세대 고객에게 적합한 신제품을 만들 방법을 모색하고 있다. 이 고객들은 맞춤화와 독특성에 더욱 관심을 가질 것이다.[10)]

Generative Design 에는 다음과 같은 장점이 있다.

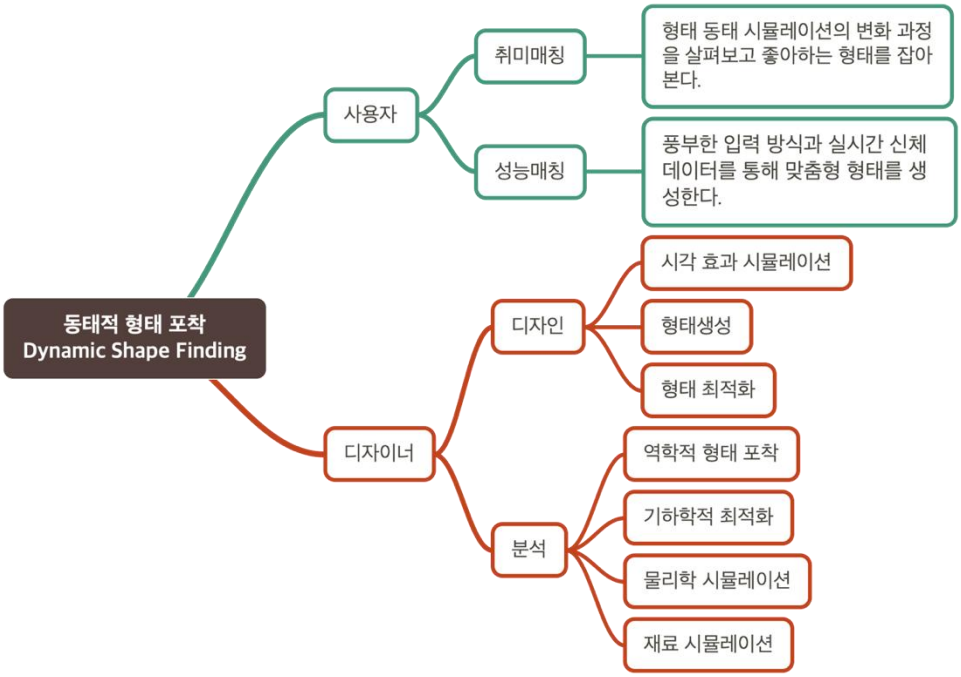
---

9) Keith Meintjes. “Beyond Generative Design”. 2019-03-14.

10) McKnight, M. (2017). Generative Design: What it is? How is it being used? Why it’sa game changer. *KnE Engineering*, *2*(2), 176-181.

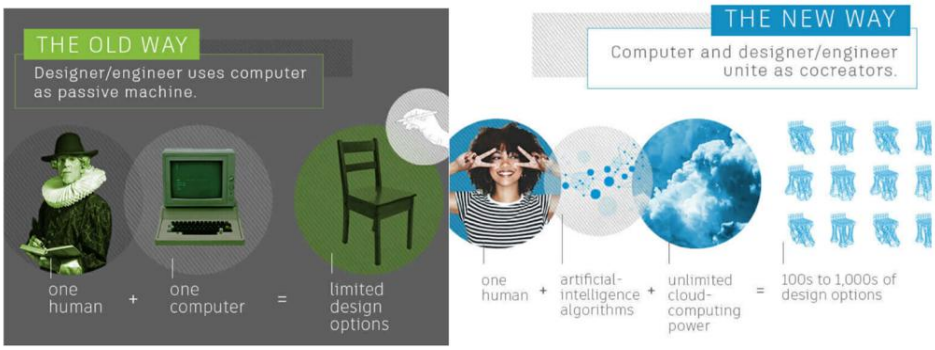
- 개인화(Personalization), 맞춤화(Customization), 독특성(Uniqueness) : 현재의 맞춤형 서비스는 단순하고 간단하여 컬러/사이즈/비품 정도만 선택할 수 있지만, Generative Design 은 더 풍부하고 다양한 맞춤화 서비스를 제공할 수 있다.
- 사용자가 제품의 조형 디자인 과정에 참여할 수 있으며, 제어할 수 있는 범위 내에서 예상을 넘어선 디자인 결과를 가져올 수 있다.
- 제한적인 조건을 통해 다양한 디자인 계획을 세울 수 있다.
- 사용자와 디자이너의 역동적 시뮬레이션 과정에서 적절한 형태를 찾을 수 있다.
- 구조 설계, 재료 활용도, 제조 방법을 최적화할 수 있다.

[그림 2]와 같이 파라메트릭 조정과 형태 변화의 동적인 과정에서 사용자가 가장 만족하는 순간을 포착하고, 디자인 과정과 결과를 직관적으로 반영하며, 사용자들은 더 쉽게 디자인에 참여할 수 있다.



[그림 2] 동태적 형태 포착

[그림 3]과 같이 디자이너들이 다양한 디자인 아이디어를 내지만, 우리는 그 아이디어가 우리와 같은 머리(사고)에서 나왔으며, 같은 논리를 가지고 있다는 사실을 깨닫게 된다. 디자이너가 자신의 논리와 사고를 바꾸려고 노력한다해도 결국 디자인에는 큰 차이가 없다. 우리가 가진 지식 배경 때문에 우리의 논리 구조는 서로 다른 방식으로 생각하는 것을 허락하지 않기 때문이다. 어떤 사람들은 이것이 디자이너가 자신만의 스타일을 만들 수 있는 기회라고 말하기도 한다. 하지만 디자인 결과만 놓고 보면 '스타일링한 디자인' 역시 '지루함'으로 비칠 수도 있다.



[그림 3] Generative Design 과 전통적 디자인의 차이점[11)]

스마트 디자인과 Generative Design 은 디자이너의 '탈스타일링'을 도와 '민주적인 디자인(democratic design)'을 구현할 수 있다. 민주적인 디자인은 스타일이 아닌 문화적, 품질적, 기술적 측면에서 가격을 낮추고 가능한 한 많은 사람과 공유하는 것을 목표로 하는 일종의 휴머니즘이다.[12)] AI 는 민주적 디자인의 모든 파라미터를 최적화하기에 디자인의 결과물이 디자이너 개인의 생각에서만 나오는 것이 아니도록 할 수 있다. 디자인은 디자이너와 같은 생각을 가진 사람들 만을 위한 것이 아니라 좀 더 보편적인 사고 방식이다.

2.2 Generative Design Tool 활용 프로세스

Generative Design Tool 은 서로 다른 단체와 개인이 간접적으로 협력할 수 있는 플랫폼을 제공하고, 파라미터의 변화는 서로 다른 차원(물리적

---

11) https://redshift.autodesk.com/articles/what-is-generative-design

12) https://redshift.autodesk.com/philippe-starck-designs/

크기, 점·선·면 배열, 프로그램 응용, 구체적인 내용 등)에서 발생할 수 있으며, 다차원적인 협력 혁신에 이를 수 있다.

Grasshopper(GH)는 Rhinoceros 3D(CAD application software)[13] 환경에서 동작하는 프로그램 알고리즘으로 모델을 생성하는 플러그인으로, 디자인 전문 파라메트릭 디자인 방향을 위한 엔트리 소프트웨어이다. GH의 가장 큰 특징은 컴퓨터에 기존 모델링 툴보다 더 고급스럽고 복잡한 로직 모델링 명령을 내려 컴퓨터가 작성된 알고리즘에 따라 자동으로 모델링 결과를 생성할 수 있다는 점이다. 모델링 로직 알고리즘을 작성함으로써 기계적인 반복 동작은 컴퓨터의 순환 연산으로 대체될 수 있으며, 디자이너는 디자인 모델에 더욱 풍부한 생성 로직을 삽입할 수 있다. 모델링 속도는 물론 수준도 전통적 작업 모델에 비해 큰 폭으로 향상되었다. 프로그램 로직이 모델링 과정에 연결될 때, Grasshopper 는 파라미터 조절을 통해 모델 형태를 직접 바꿀 수 있다.

Grasshopper 는 최초의 시각화 프로그래밍 인터페이스를 갖춘 소프트웨어 툴이며, Rhino 의 3D 모델링 환경이 지원된다.[14] 이는 많은 사용자들의 투입과 피드백이 있어서 발전할 수 있었던 것이며, 이를 통해 실제 Generative Design 이 대학 실험실과 첨단 제조업체의 연구 실험실에서 세상으로 나올 수 있게 되었다. 새로운 Grasshopper 환경은 스크립트를 배우지 않고도 디자인을 찾을 수 있는 직관적인 방법을 제공한다.[15] Grasshopper 는 다양한 기본 프로그래밍 작업을 수행할 수 있으며 Fusion360 은 구조 최적화에서 장점을 갖고 있다. BIM 의 Dynamo,

---

[13] https://en.wikipedia.org/wiki/Rhinoceros_3D

[14] https://en.wikipedia.org/wiki/Grasshopper_3D#cite_note-16

[15] Novak, J., & Loy, J. (2017). Recoding Product Design Education: Visual Coding for Human Machine Interfaces. KnE Engineering.

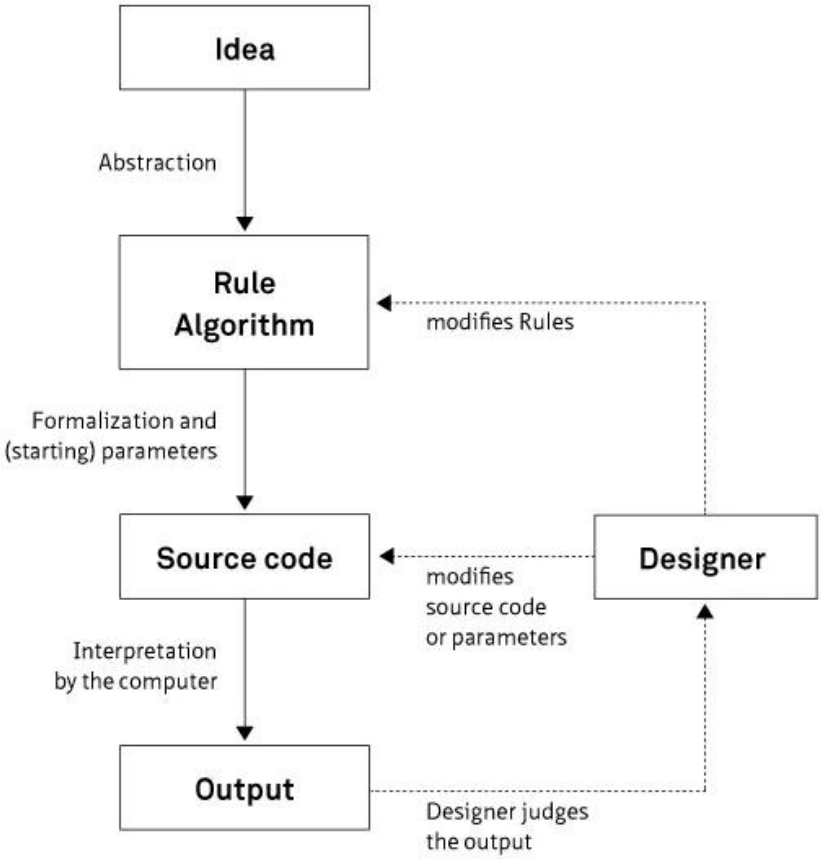
Bentley 플랫폼 하의 Generative Components, GitHub 의 Google Blockly 와 같은 시각화 프로그래밍(Visual Programming Language) 유형의 소프트웨어도 있다.

Rhino 에서 모델링을 할 때 곡선 그리기, 제어점 당기기, 이동하기, 물체 배열 등의 거의 모든 수작업 모델링은 거리와 방향을 정의하는 작업을 반복한다. 프로그램 모델링(파라메트릭 모델링)를 통한 소프트웨어에서는 기존의 수작업 방식 대신 데이터를 입력하고 프로그램을 자동 계산하는 방식으로 이 작업이 수행되기를 바란다.

현재 제품의 Generative Design 은 컴퓨터 보조 디자인 및 프로그래밍 인터페이스를 갖춘 환경(예: Rhino+ Grasshopper)에서 진행되는데, 디자이너는 제품의 가능성과 모든 아이디어를 디지털 모델 및 파라메트릭 명령으로 변환시켜, 최종적으로 하나의 시스템을 획득하게 된다.

프로젝트 드림캐처(Project Dreamcatcher)는 디자이너의 상상 속에서 확립된 문제를 통해 정의되는 목표와 제약조건을 포착하는 Autodesk 의 제품이다. 드림캐처는 디자인의 점, 선, 표면의 정의를 이어받아 디자이너가 시간을 할애해 자신의 창의력을 발휘하고, 목표와 디자인 절충안 및 디자인 외관과 느낌에 대해 집중적으로 생각할 수 있도록 해준다. 이 과정은 결국 디자이너와 프로그램 사이에서 대화가 진행되는 것이다. 드림캐처가 여러 디자인 방안을 생성하면 디자이너가 찾아 출력하고, 제약 조건을 조정하여 프로그램을 가이드하며, 최종 결과가 만족스러울 때까지 과정을 반복한다.[16)]

[16)] Natalia Baklitskaya, MARCH 30, 2016, Generative Design: Optimization and Creativity at their Best. R&D Senior Analyst at Accenture Technology Lab.

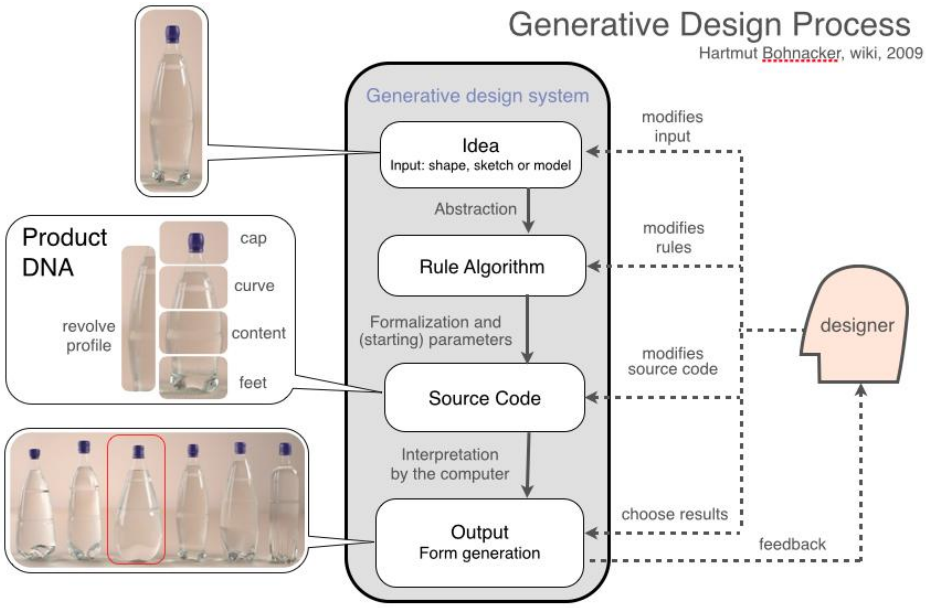


[그림 4] Generative Design process.[17)]

[그림 4]에서 디자이너는 아이디어의 생성과 구체적인 디자인 내용뿐 아니라 알고리즘 규칙의 제정과 생성 결과에 대한 판단 역시 책임진다. 디자이너는 인공지능 디자인과 Computational Design 의 연결 가교로서, 이 디자인 룰은 프로그래머가 아닌 디자이너만이 수행할 수 있기 때문이다.

---

17) Krish, S. (2011). A practical generative design method. Computer-Aided Design, 43(1), 88-100.



[그림 5] Generative Design Process[18)]

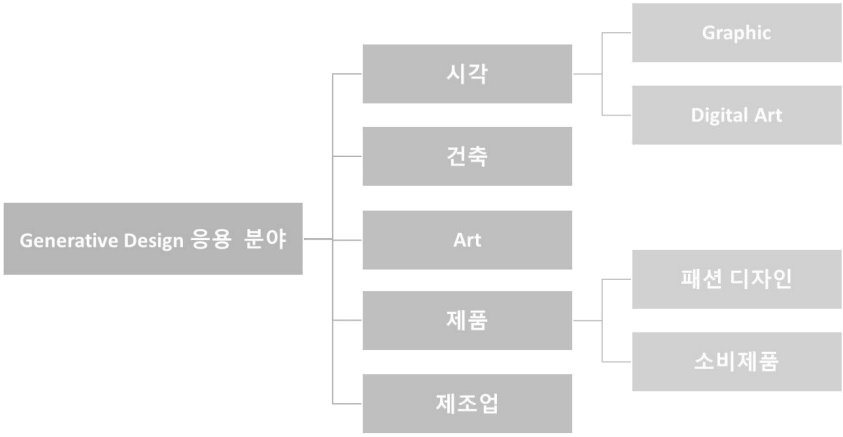
Generative Design 을 통해 제품의 조형 특징과 조형 언어를 이해하고 그 용도의 가능성을 탐색할 수 있다. [그림 5]와 같이 Generative Design 의 병 형태에 대한 탐구 과정을 통해 다양한 스타일 결과를 생성하여 디자이너가 선택할 수 있도록 한다.

Generative Design 은 다양한 디자인과 예술 분야에 활용되고 있다. 다양한 분야에서 활용되는 Generative Design 방법의 특징을 연구하여 인체 특징 데이터 맞춤형 방향에서 강점을 발휘할 수 있을 것으로 기대한다.

[그림 6]과 같이 Generative Design 은 시각/건축/제품/Art/제조업 등의 여러 분야에서 활발하게 응용되고 있다.

---

18) McKnight, M. (2017). Generative Design: What it is? How is it being used? Why it'sa game changer. KnE Engineering, 176-181.

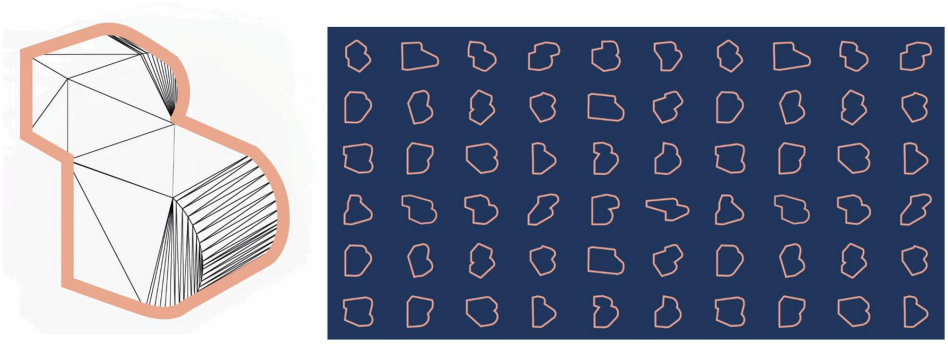


[그림 6] Generative Design 의 응용 분야

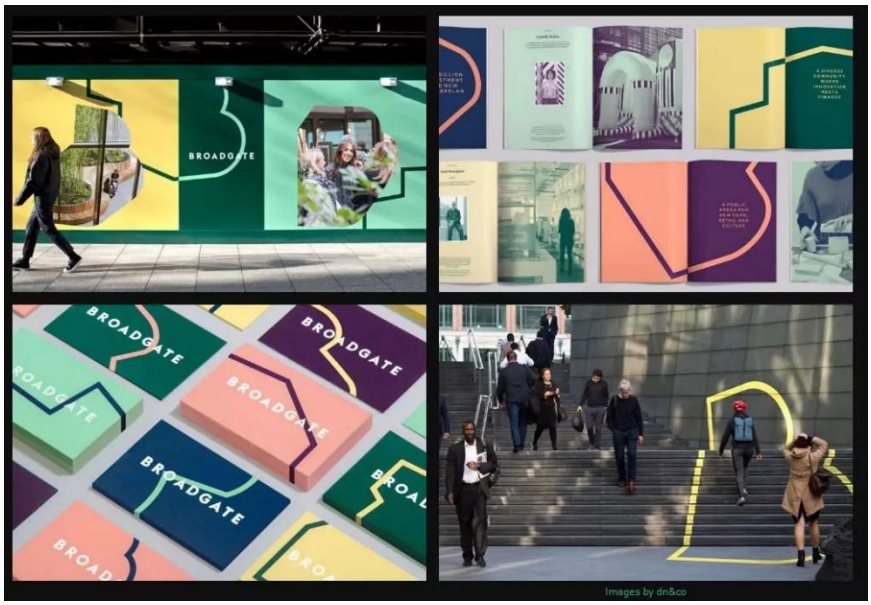
1) 시각 디자인에서의 응용 사례

시각 디자인에서는 Generative Design 방식을 이용하여 다양한 각도, 다양한 실루엣의 로고

], 포스터[그림 8], 명함 및 브랜드 디자인을 자동으로 생성하고 있다. 디자이너는 이중에서 마음에 드는 것을 골라 다시 가공하기만 하면 된다. 디자인 시간이 절약될 뿐 아니라, 더 많은 디자인 선택지를 제공하며, 자칫 소홀할 수 있는 창의적 디자인을 더 많이 제공한다.



[그림 7] Generative Brand Design[19)]



[그림 8] Variable 2018 dn&co[20)]

2) 건축 디자인에서의 응용 사례

---

19) https://www.pinterest.com/ziemelbriezi/dynamic-identity-generative-logos/

20) https://variable.io/broadgate/

디자인 분야에서 대량으로 활용되고 있는 Generative Design 방식은 건축 및 공간 디자인 분야에서 가장 먼저 등장했다. 건축 디자인은 외형, 역학(구조), 열학(HVAC 및 에너지 절약), 광학(조명), 전자(자율제어) 등의 고려해야 할 부분이 많기 때문이다. 이러한 대량의 반복 작업은 수동 계산 보다는 컴퓨터를 사용하는 것이 더 적합하며, 이 역시 Generative Design 의 특징 중 하나이다.[그림 9] 이는 건축 설계사의 작업량을 줄이고, 그들의 디자인 발상의 범위를 넓혀준다. 또한 디자이너가 디자인 아이디어를 제공하고 Generative Design 프레임을 설계하면 Generative Design 은 설정 조건 범위 내에서 정확한 디자인 방안을 제공할 수 있다.

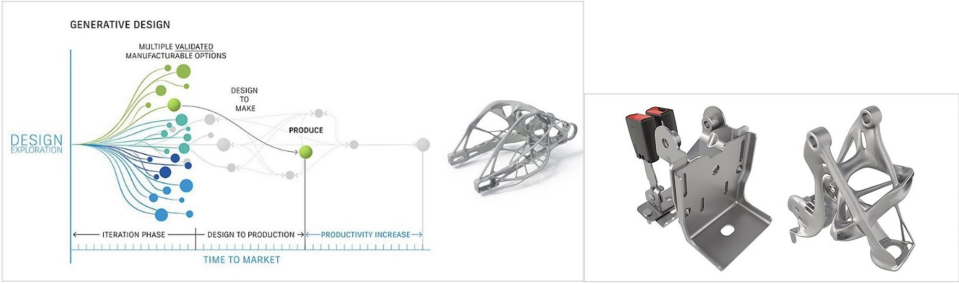
커뮤니티와 도시계획 설계 시에 Generative Design 은 사람에 비해 많은 수의 한정 조건을 처리하기 쉽다. 디자인 후반 단계에서도 디자이너가 디자인 구조와 디테일을 최적화할 수 있도록 돕는다.

[그림 9] MYAA Architect[21)]

[21)] https://www.arcstreet.com/2017/11/the-qatar-faculty-of-islamic-studies-by-myaa-mangera-yvars-architects.html

3) 제조업 분야에서의 응용 사례

제품의 경량화와 재료의 절약, 구조의 견고함에 초점이 맞추어져 있다.



[그림 10] 제조업 분야에서의 응용[22)]

[그림 10]과 같이 Generative Design 은 제조업 분야에서 다음과 같은 장점을 발휘하고 있다.

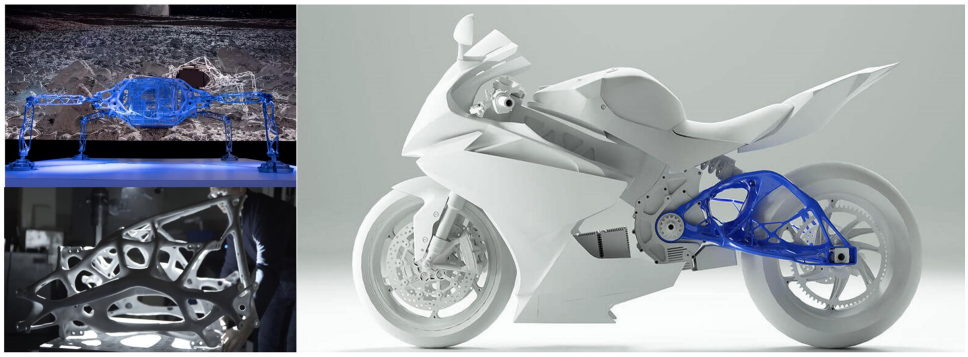
라이트 가중치: 고성능 표준 및 엔지니어링 제약 조건을 유지하면서 질량 및 재료 사용을 최소화한다.

성과 개선: Generative Design 을 사용하여 제품의 내구성을 강화하여 최적화하고 약점을 제거한다.

부분 통합: 여러 구성 요소를 솔리드 부품으로 통합하여 부가가치 제조의 잠재력을 극대화한다.

---

22) Briard, T., Segonds, F., & Zamariola, N. (2020). G-DfAM: a methodological proposal of generative design for additive manufacturing in the automotive industry. International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), 14(3), 875-886.



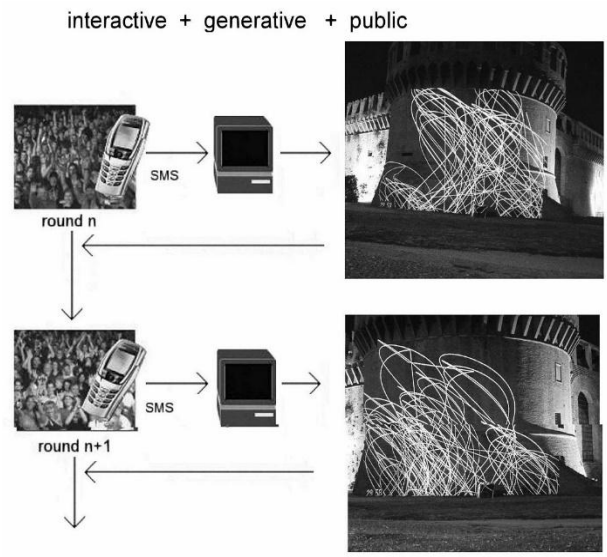
[그림 11] GM engineer Generative Design[23)]

[그림 11]의 GM 엔지니어들은 Generative Design 을 사용하여 안전 벨트 브래킷을 재디자인 하였는데, 단 하나의 부품으로 무게의 40%를 줄였으며, 강도는 20% 향상되었다.

4) 예술 분야에서의 응용 사례

Generative design 을 통해 사회의식을 창조하기도 한다.

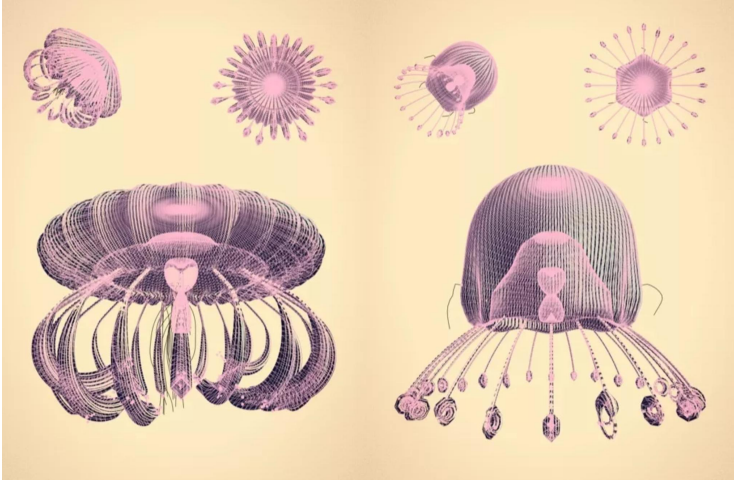
[23)] https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-industry-insights/autodesk-university-generative-additive-manufacturing/



[그림 12] History Flow, 2003, with Fernanda Viegas[24)]

[그림 12]와 같이 아티스트 마우리치오 볼로니니(Maurizio Bolognini)는 2006 년 제너레이티브 아트(Generative Art)를 통해 작품에서 관객과 상호작용하였다. 그는 프로젝터를 설치하고 지나가던 행인의 휴대전화 신호를 포착해 신호를 패턴화하여 벽에 투영했다. 이것은 지나가는 행인들과 함께 만든 작품이다.

24) https://www.wikiwand.com/en/Generative_art



[그림 13] Cindermedusae-Marcin(해양생물보호)[25]

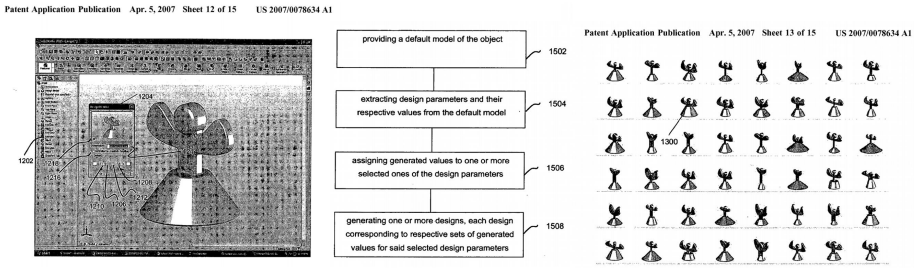
[그림 13]과 같이 아티스트 마르친 이그나치(Marcin Ignac)는 Generative 방식을 통해 다양한 해양생물을 알고리즘으로 생성하였는데, 이 파라미터는 조정 가능하고 랜덤하게 생성될 수 있어 누구나 그의 작품을 통해 자신만의 독특한 해양생물을 만들 수 있다. 그는 제너레이티브 아트를 통해 인간과 해양생물과의 거리를 좁히고, 사회에서 일정한 영향력을 미치며, 사람들은 자신도 모르게 해양생물 보호에 대한 그의 의식을 전달한다.

5) 제품 디자인 분야에서의 응용 사례

[그림 14]와 같이 제품 디자인 분야에서 Generative Design 을 적용하는 것과 시각 분야의 차이점은 하나의 차원이 더 존재한다는 것으로, 기본 파라미터를 변경함으로써 3 차원에서 다른 조형의 변화를 만들어낸다. Generative Design 은 상향 형식으로 되어 있으며, 기본 파라미터에 변화를 줄 경우 3 차원에서 의외의 결과가 나올 수 있다는 사실을 우리 대

[25] https://flowingdata.com/2022/05/24/generative-sea-creatures/

부분은 짐작하지 못할 것이다. 제어 가능한 범위 내의 '의외의 결과'가 바로 Generative Design 의 매력이다.



[그림 14] Method and system for generative design[26)]

2.3 맞춤형 디자인에 관한 선행 연구 고찰

1 차 산업혁명 이전에는 대부분의 제품이 수작업으로 주문 제작되었다. 산업혁명 이후 현재에 이르기까지 기계로 대량 생산한 제품들이 대부분의 수작업 맞춤 제품을 대체하였다. 본 연구에서는 현재도 여전한 다양한 맞춤형 제품에 대한 시장 수요를 고려하여 기존의 인체 특징 데이터와 관련된 맞춤형 방식을 분류하고 장단점을 분석하였다. 그리고 기존의 맞춤형 디자인 방법의 장점을 토대로 부족한 부분을 본 연구 내용과 결합하여 개선하고자 한다.

인체 측정 방법은 다양하다. [그림 15]에서는 인체 특성에 따라 주로 Linear Methods, Multiple Probe Methods, Body Form Methods 로 나

[26)]https://patents.google.com/patent/US7552032B2/en?inventor=Anandasivam+ Krishnapillai&oq=Anandasivam+ Krishnapillai

누고 있다.[27] 측정 방법의 난이도와 정확성을 분석하고 맞춤형 디자인을 접목하여 다음과 같이 분류하여 설명하였다.

	Point	Length	Surface	Shape	Volume
Linear Methods					
Tape Measure		X			
Direct Measure		X			
Proportional Measure		X			
Anthropometer		X			
Calipers		X			
Multiple Probe Methods					
Complex Anthropometer	X	X		X	
Somatography	X	X		X	
Minott Method		X		X	
Planar Method	X	X	X		
CIAM	X	X		X	
Photography	X	X		X	
Body Form Methods					
Draping			X	X	
Casting			X	X	X
Body Scans	X	X	X	X	X

[그림 15] Body Measurement Methods

다음은 기존의 주요 인체 측정 방식으로 분류한 맞춤형 디자인 방법에 관한 연구 고찰이다.

1) 전문 측량사의 인위적 인체 데이터 측정을 통한 맞춤화

이는 현재 맞춤형 제품의 주요 측정 방식이다. 측정한 데이터가 편리하고 정확하다는 장점이 있으며, 복잡한 인체 부위도 인위적으로 측정할 수 있다. 또한 방법이 다양하고 측정 도구를 다양하게 사용할 수 있다. 반면

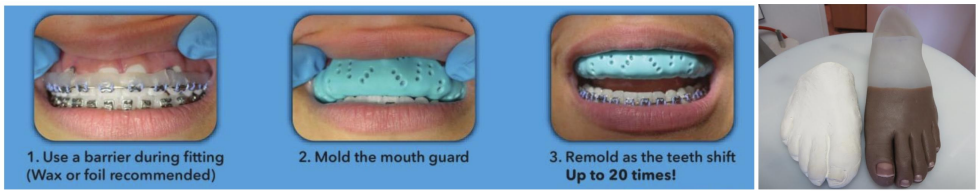
[27] Bye, E., Labat, K. L., & Delong, M. R. (2006). Analysis of body measurement systems for apparel. Clothing and Textiles Research Journal, 24(2), 66-79.

효율이 떨어지고 원가 및 시간 비용이 높아 대량의 사용자 맞춤형 수요는 충족시킬 수 없다는 단점이 있다.

[그림 16]과 같이 래피드 프로토타이핑(Rapid Prototyping, RP) 기술과 리버스 엔지니어링(Reverse Engineering, RE) 등의 제조 방법을 사용해 실리콘 몰드를 제작하여 인체의 국소적인 3D 형태를 얻을 수도 있다.[28] 예를 들어, 운동선수를 위한 맞춤형 운동화에 대한 서비스는 일반인들이 누리기는 어렵다. 그 핵심적인 이유는 인체 데이터 측정 인력과 맞춤형 제품 디자이너 자원이 부족하다는 것이다. 패션 맞춤형 디자인과 달리 Generative 맞춤형 디자인 툴은 별도의 측정 인력 필요 없이 사용자가 플랫폼을 통해 직접 측정을 할 수 있다. 또한 측정하기 어려운 사용 습관이나 개인의 생리적 특성, 반복적인 조정이 필요한 파라미터 역시 플랫폼을 통해 빠르게 수집하고 자유롭게 변경할 수 있다. 본 연구 목적의 관점에서 데이터의 인위적 측정 방법의 편리함과 정확하다는 장점을 활용하여 문자, 이미지 설명과 측정 플랫폼의 TUI를 통해 사용자 스스로 측정 과정을 수행하도록 유도한다. 이는 맞춤화해야 할 중요한 신체 부위와 사용 습관에 대해 사용자 자신이 가장 잘 알고, 부족한 측량 인원을 보충해 대량의 맞춤화 수요를 충족시킬 수 있기 때문이다. 사용자가 스스로 측정하도록 유도하면 사용자의 신체적 특징, 사용습관, 취향에 대해 측정자가 모르는 부족한 부분을 보완할 수 있다. 또한 제품의 업데이트가 빠르게 이루어지고 원가가 낮으며 인체 데이터가 변화하여 재측정 맞춤 제작이 필요한 경우 인위적인 측정보다 속도가 빠르고 원가가 낮다.

---

[28] Singare, S., Wang, W. P., Wang, J., Liu, Y., Li, D., & Lu, B. (2007). An integrated physical and virtual prototyping approach for medical applications. In Virtual and Rapid Manufacturing (pp. 149-153). CRC Press.



[그림 16] 실리콘 몰드 제작을 통한 인체 국소 3D 형태 획득(사진 출처-SISU·Prosthetic Feet)

2) 3D 스캔 인체 데이터를 통한 맞춤형 디자인

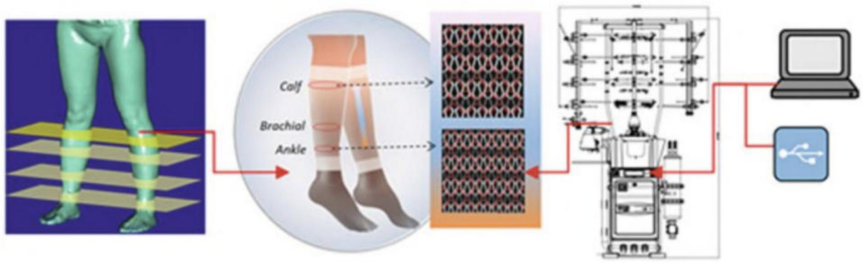
인체 데이터를 3D 로 스캔하게 되면 맞춤형 디자인의 형태가 정확하고 데이터가 풍부해지는 장점이 있다. 그러나 사용 습관, 손의 압력 데이터 등과 같은 동적 데이터는 측정할 수 없다. 사용자는 디자인 과정에 참여할 수 없으며, 본 연구에서 제안한 방식처럼 임의의 디자인 단계를 수시로 변경하고 디자인 결과를 실시간으로 비교할 수도 없다. 광학 계측 기술, 컴퓨터 기술, 영상 처리 기술, 디지털 신호 처리 기술 등을 이용한 3D 인체 표면 실루엣의 비접촉 자동 측정이 필요하다. 기술 난이도와 원가가 높고 보급률이 낮은 반면, 측정자에 대한 기술적 요구가 낮고 사용자의 프라이버시 보호에 유리하다.[29] [그림 17]과 같이 3D 디지털 스캔 후의 모델은 일반적으로 곡면 편집이나 복잡한 변형 조작을 직접 진행할 수 없고, 키 라인 추출을 통해 리모델링을 해야 한다.[30] 현재는 주로 특수복 디자인(항공 우주복, 잠수복), 인체 특수장비(인체 의족, 개인화된 무기와 장비), 에르고노

---

[29] Yu, C. Y., Lo, Y. H., & Chiou, W. K. (2003). The 3D scanner for measuring body surface area: a simplified calculation in the Chinese adult. Applied ergonomics, 34(3), 273-278.

[30] Liu, R., & Xu, B. (2018, June). 3D digital modeling and design of custom-fit functional compression garment. In International Conference on Artificial Intelligence on Textile and Apparel (pp. 161-169). Springer, Cham.

믹스 연구 등의 분야에 활용되고 있다.[31] 모바일 기기 LiDAR 기술의 진보와 보급으로 현재의 아이패드나 아이폰의 LiDAR camera 는 거칠고 부피가 큰 물체를 스캔할 수 있으므로 앞으로 인체 데이터 수집은 더욱 편리해질 것이다. 3D 디지털 스캔을 이용하여 데이터를 수집하면 사용자의 프라이버시를 보호할 수 있다는 장점이 있으며, 본 연구에서 수집한 데이터는 디자이너의 분석과 관찰 없이 직접 디자인된 형태 변환 규칙을 통해 제품 형태로 변환될 수 있다. 대량의 인체 데이터를 맞춤화 했을 때의 사용자의 프라이버시 보호를 충족시키면서 맞춤 디자인의 효율을 높인다. 3D 디지털 스캐닝으로 수집한 인체 모델은 형태 편집이 불가능해 데이터로만 활용될 수 있는 단점을 보완한다. 본 연구에서 제안하는 맞춤형 플랫폼은 인체 데이터를 직접 제품의 형태를 제어하는 핵심 데이터로 변환할 수 있다. 예를 들어 플렉스 센서(flex sensor)를 통해 수집한 손바닥의 굴곡 각도는 마우스 곡면 구조 라인의 곡률값으로 변환된다.



[그림 17] From 3D body scanning, digital knitting design to 3D digital modeling

31) https://baike.baidu.com/item/%E4%BA%BA%E4%BD%93%E4%B8%89%E7%BB%B4%E6%89%AB%E6%8F%8F%E4%BB%AA/10456604?fr=aladdin

의류는 인체 형태에 가깝고, 의류 제품은 본질적으로 인체 특성을 반영해 디자인되기 때문에 인체 모형과 같은 특징을 갖는다. 3D 로 인체를 스캔해 얻은 데이터를 통해 인체 특성을 기반으로 한 모델링은 작은 특징 변화로 몸에 맞는 의류를 생성할 수 있다.[32] 그러나 제품의 형태 특징과 인체 데이터 특징의 차이가 크므로 제품의 형태를 맞춤화하는 과정에는 디자이너가 지정한 형태 변환 규칙이 필요하다. 현재 맞춤형 의류는 주로 수작업으로 제작되는데, 이는 대량으로 생산하려면 생산 라인이 복잡하고 원가가 비교적 높아지기 때문이다. 본 연구는 액체 3D 프린팅, 레이저 조각 목판, 연성회로기판(Flexible Printed Circuit) 등의 기술을 통해 맞춤형 플랫폼을 직접 생산 플랫폼과 연결함으로써 기존 맞춤형 제품의 대량 생산의 효율성을 어느 정도 높이고, 맞춤형의 생산원가를 낮출 수 있다. 맞춤형 의상에 비해 인체 데이터 충족을 바탕으로 제품 형태 파라미터를 변경함으로써 다양한 디자인 스타일을 빠르게 생성할 수 있다.

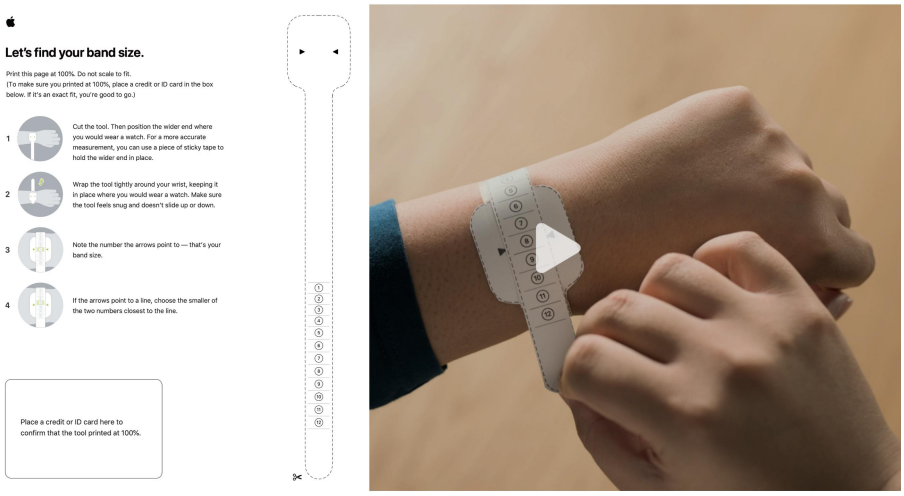
3) 사용자 측정 인체 데이터를 통한 맞춤형 디자인

현재의 온라인 맞춤형 제품 디자인 플랫폼은 사용자가 인체 데이터를 직접 입력하기 때문에 오차가 발생할 수 있다. 데이터를 직접 측정해 간단한 사이즈나 컬러를 맞춤화하는 경우도 있다. 예를 들면, [그림 18]과 같이 애플워치 스트랩, 커스텀 반지, 이케아 커스텀 사이즈 가구 등이 있다. 이 방식은 측정 가능 및 맞춤 디자인 가능 정도는 낮지만 가장 자유로워서 사용자 맞춤 디자인 과정에서 행복도와 제품의 최종 기대치를 높일 수 있다. 적용성뿐만 아니라 제품 사용후 가치와 제품을 아끼는 사용자의 마음도 달라진다. 사용자 스스로 측정할 경우 사용하는 측정 도구와 측정 규격에 따

---

[32] Wang, C. C., Wang, Y., & Yuen, M. M. (2005). Design automation for customized apparel products. Computer-aided design, 37(7), 675-691.

라 측정 오차가 발생할 수 있다. 본 연구에서 제안하는 측정 플랫폼과 시스템은 디자이너가 맞춤형 제품의 특성에 맞게 세심하게 설계한 측정 방식이므로 사용자 측정에 의한 불규칙성과 오류를 줄여 데이터의 정확도를 높인다.

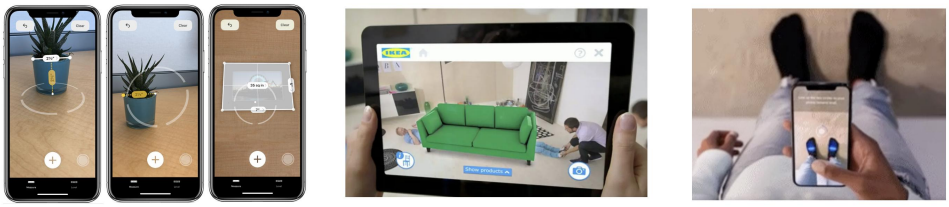


[그림 18] 애플 사용자 손목 사이즈 측정 스트랩 사이즈 선택 (사진 출처- Apple Inc.)

4) VR·AR 을 통한 인체 데이터 측정

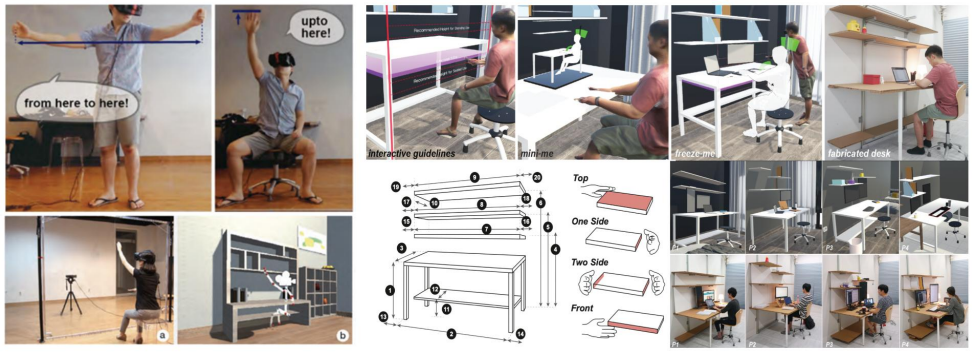
VR 장비를 통해 가상 세계에서 맞춤형 디자인을 진행한다. 장소와 공간의 제약을 받지 않는다는 장점이 있다. 그러나 각 손가락 위치와 압력에 따라 마우스 버튼의 위치, 간격, 면적을 맞춤화하는 등의 세부적인 인체 데이터 맞춤화에는 미흡한 점이 있으며, 물리적 인터랙티브 방식의 리얼리티가 결여되어 있다. 장시간 사용 시 어지럼증이 생겨 노인, 어린이, 장애인 등의 특수 계층은 불편함을 느낄 수 있다. 메타버스(Metaverse) 기술과 체성감각 디바이스(Somatosensory device)의 발전에 따라 가상현실 시뮬레이션 기술은 보완될 것이다. 본 연구는 물리적인 인터랙티브 방식을 3D

모델 실시간 디스플레이 방식에 접목시킴으로써 측정 과정을 보다 직접적이고, 현실적이며, 단순하게 하면서 사용자의 어지럼증을 감소시킬 수 있도록 하였다.



a. b. c.

[그림 19] a. AR 방식을 이용한 거리·면적 측정 b. AR 방식 가구 공간 위치 시뮬레이션 c. AR 방식으로 발 길이 측정 (사진 출처- Apple Inc.·IKEA·Nike fit)



[그림 20] Interactive and Situated Guidelines to Help Users Design a Personal Desk that Fits Their Bodies[33)]

[33)] Lee, B., Shin, J., Bae, H., & Saakes, D. (2018, June). Interactive and Situated Guidelines to Help Users Design a Personal Desk That Fits Their Bodies. In *Proceedings of the 2018 Designing Interactive Systems Conference* (pp. 637-650).

[그림 19]와 같이 실제 물체의 거리·면적, 가구 위치 시뮬레이션, 발 길이 측정 등에 AR 방식을 사용한다. 이는 측정 방법이 간단하고 측정 과정과 결과가 직관적이라는 장점이 있다. 아직까지는 복잡한 아치(arc)나 상세 위치 등의 정보를 측정할 수 없다는 단점이 있다.

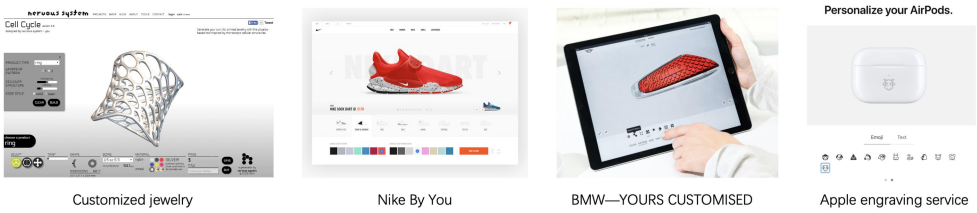
예를 들어, 인체 사이즈에 맞는 맞춤화 작업대는 VR 의 장점을 살려 대형 사이즈의 맞춤형 제품을 가상화한다. 구체적인 사이즈 수치에 해당하는 실제 길이에 익숙하지 않은 사용자는 VR 를 이용하여 실제 인체 사이즈에 대한 시뮬레이션을 통해 책상의 크기를 조정할 수 있다. [그림 20] 과 같이 사용자의 습관과 실제 공간의 크기에 따라 더욱 직관적으로 맞춤화할 수 있다.

5) 인체 데이터와 무관한 취향형 맞춤 디자인

이 디자인은 사용자의 흥미와 기호, 심미나 독특한 취향의 심리를 충족시키기 위한 것이다. 따라서 인체 특징 데이터와의 관계는 크지 않다. 그러나 심리적 성향과는 밀접한 관계가 있다. [그림 21]과 같은 온라인 맞춤 반지는 사용자의 독특한 심리를 충족시키기 위한 것 외에 기념적인 의미도 담고 있다. BMW 의 “Yours Customised” 서비스는 사용자의 심리적 욕구를 충족시키기 위해 사용자가 제품 텍스처 맞춤 과정에 참여한다. 본 연구에서 제안한 Generative Design 플랫폼은 물리적인 인터랙티브 방식으로 빠르고 자유롭게 조작할 수 있으며, 각 맞춤형 파라미터 조정이 가능하다. 다이나믹한 3D 모델을 통해 실시간으로 맞춤 과정을 보여주고, 미세한 다이나믹 조절과 비교 과정에서 자신의 취향을 발견할 수 있다.

건축 분야의 맞춤화는 주로 이용자의 요구, 취향, 주변 환경에 맞게 디자인된다. 소형 제품인 마우스 디자인과는 달리 건물 디자인 맞춤화는 상세한 인체 데이터와는 별로 관계가 없다. 인체와 무관한 취향 맞춤화는 본 연

구의 중점 내용은 아니지만 미국 조지아공과대학교 기계공학대학(George Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology)의 프로젝트팀이 실시한 마우스를 예로 든 사용자 조사를 통해 76%의 형태적 쾌적함 맞춤화 수요 외에 마우스 색상, 패턴, 소재 등의 취향 맞춤화도 사용자에게 필요한 내용임을 알 수 있다.[34] 본 연구에서는 맞춤형 디자인 시스템의 완성도를 위해 추후 온·오프라인 결합 방식을 통해 오프라인 인체 특성 맞춤 디자인 외에 온라인 취향형, 재미형 맞춤 디자인 콘텐츠를 추가할 계획이다. 현재 시장에 나와있는 제품과의 유사성을 어느 정도 완화시킬 수 있으며, 이러한 맞춤형 Generative Design 방법은 저작권법에 어느 정도 영향을 미칠 수 있다. 디자인은 일종의 표현과 과정일 뿐만 아니라 이러한 형태 변환 규칙과 마찬가지로 일종의 합의와 규칙일 수도 있다.



Customized jewelry　Nike By You　BMW—YOURS CUSTOMISED　Apple engraving service

[그림 21] 인체 데이터와 무관한 취향형 맞춤 디자인 (사진 출처-NervousSystem·Nike·BMW·Apple)

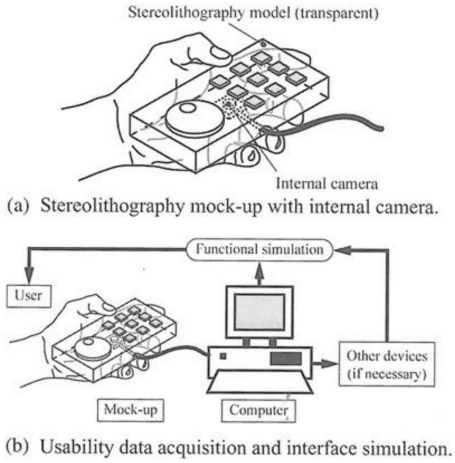
6) 사진 분석을 통한 인체 데이터 획득

---

[34] Zhou, W., Wu, D., Ding, X., & Rosen, D. W. (2010, December). Customer co-design of computer mouse for mass customization without causing mass confusion. In 2010 International Conference on Manufacturing Automation (pp. 8-15). IEEE.

[그림 23]과 같이 출력된 QR 코드 위에 물체를 올려놓음으로써 사진으로 물체의 크기를 인식할 수 있고, 심지어 여러 개의 다른 각도의 사진으로 물체의 3D 모델을 생성할 수도 있다. 그림

[그림 22]와 같이 내부에서 촬영된 물체 표면의 영상을 실시간으로 처리함으로써 조작 데이터(예: 버튼, 다이얼 등의 인터페이스를 사용자가 조작할 때)와 용도(예: 버튼과 다이얼을 조작할 때 어떤 손과 손가락을 사용하는지) 데이터를 얻을 수 있다.[35)]



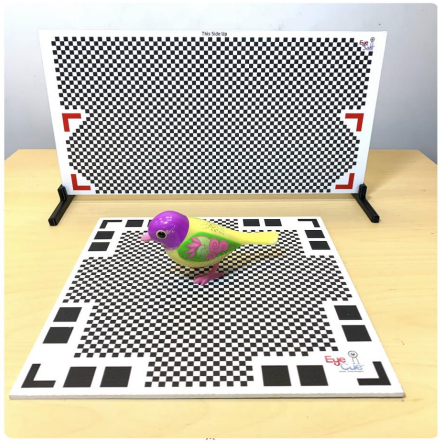
[그림 22] Usability data acquisition and interface simulation using stereolithography mock-up

이러한 방식은 알고리즘에 의존하며, 빅데이터와 비교하여 물체의 크기 등에 관한 정보를 인식하는 경우가 많다. 알고리즘이 성숙하고 데이터베이스가 풍부해지면서 식별 정확도가 높아질수록 속도가 빨라지며,

---

[35)] Murakami, T. (2007). Automatic usability data acquisition and interface simulation using stereolithography mockup and internal video analysis. In Virtual and Rapid Manufacturing (pp. 179-185). CRC Press.

방식도 간편하고, 필요한 장비에 대한 요구도 낮아진다는 장점이 있다. 반면 사이즈, 색상 등의 간단한 정보 식별만 가능해 복잡한 곡면 맞춤 디자인을 하기 어렵다는 단점이 있다.



b

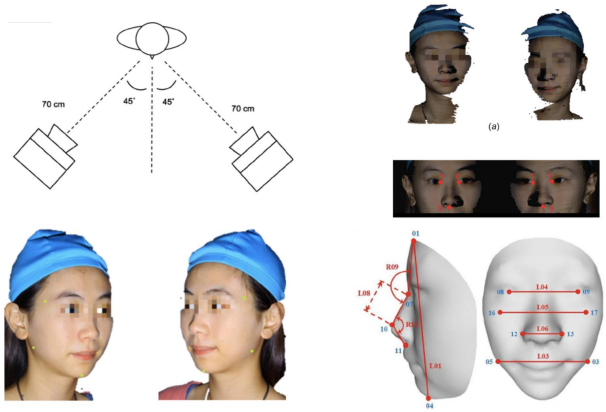
[그림 23] 사진을 통한 물체 크기 인식 [36]

[그림 24]는 사진 속 사람의 얼굴을 알고리즘으로 분석해 얼굴 데이터를 얻은 후 맞춤화된 마스크팩을 디자인하는 예이다.[37] 빅데이터 비교 및 알고리즘 분석을 통해 사진 속 얼굴 데이터를 수집하여 맞춤 디자인하는 제품인 마스크팩은 얼굴 형태와 매우 유사해 별도의 형태 변환 없이 바로 생성할 수 있다. 다만 인체 형태와 차이가 큰 제품은 알고리즘이 수집한 데이터를 형태로 변환하는 절차가 필요하다. 인체 데이터를 제품 형태로 변

[36] https://www.blendernation.com/2012/11/19/mixee-me-3d-printed-characters/

[37] Chu, C. H., & Wang, I. J. (2018). Mass customized design of cosmetic masks using three-dimensional parametric human face models constructed from anthropometric data. Journal of Computing and Information Science in Engineering, 18(3).

환하는 이 단계는 프로그래머가 공동으로 수행할 수 있도록 디자이너가 규칙을 정해야 한다. 본 연구에서는 이 절차에(제 5 장 인체 특성 데이터 변환 방법 제안)대하여 일부 해결 방법을 제시하였다. 예를 들어, 인체의 가로·세로·높이 값, 기울기 각도를 제품의 가로·세로·높이 값, 기울기 각으로 변환하는 방법, 인체의 굴곡도, 압력치를 통해 제품의 표면 형태를 조정하는 방법, 인체의 부피, 피부색, 행동 동작, 피부 전류치 등의 정보를 통해 제품의 형태로 변환하는 규칙과 방법이 있다.



[그림 24] 사진을 통한 얼굴 데이터 수집

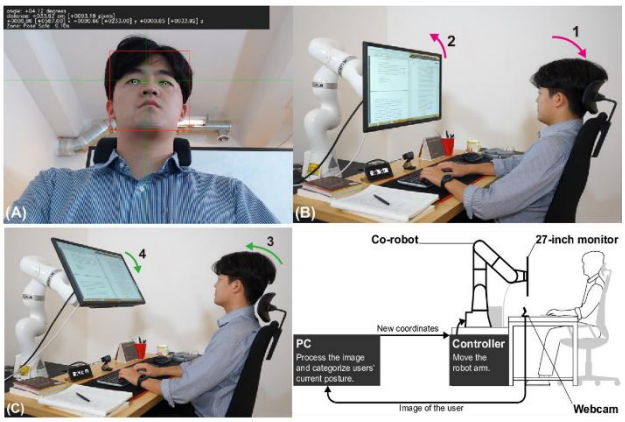
7) 센서를 통한 신체 동작 데이터 포착

다양한 센서를 통해 맞춤형으로 필요한 인체 데이터를 포착한다. 이 방식은 매우 정확하며, 비용 또한 저렴하여 원하는 효과를 얻을 수 있다. 예를 들어 [그림 25]와 같이 립 모션(Leap motion)을 통해 손동작 데이터를 캡처할 수 있으며, 추후에 제품 사용 습관 분석 및 자세 교정이 가능하다. 일부 데이터 수집으로는 완전한 시스템을 형성할 수 없기 때문에 제품의 일부 특징만 맞춤 디자인할 수 있다. 수집한 인체 동작 데이터는 제품 형태로 직접 변환할 수 없다. 본 연구에서 제안하는 맞춤형 플랫폼

은 인체 데이터를 수집하고 센서의 분류와 응용을 통해 점차 완전한 시스템을 형성함으로써 제품의 일부 기능을 맞춤화 할 수 있을 뿐 아니라 사용자가 입력한 직업, 취향, 인체 특징 등의 정보에 따른 스마트 맞춤 조합 추천이 가능해진다. 예를 들어 게이머, 노인을 위한 맞춤형 조합 결과와 디자인 스타일을 추천할 수 있다. 수집한 정적 및 동적 데이터를 본 연구에서 제안한 형태 변환 방법을 통해 3D 제품 형태로 직접 변환하여 사용자에게 가장 빠르고 직접적인 피드백을 줌으로써 맞춤형의 정확성을 높일 수 있다.

[그림 25] Leapmotion 을 통한 인체 동작 데이터 캡처[38)]

38) https://www.researchgate.net/figure/Use-of-the-leap-motion-deviceSource-Leap-motion-28_fig1_336913712



[그림 26] Slow robots for unobtrusive posture correction

[그림 26]을 보면, 시스템은 사용자의 현재 자세를 눈의 중심(A)을 기준으로 파악한다. 사용자가 불균형한 자세(B1)로 앉으면 모니터가 천천히 움직인다(B2). 사용자가 모니터 동작(C3)으로 인해 자세를 교정하면 모니터는 기본 설정(C4)으로 재설정된다.[39]

위의 연구 고찰 주요 내용을 아래 [표 2]로 정리하였다. 본 연구에서는 기존 제품 맞춤형 디자인의 장단점 및 한계점을 보완하는 방법에 대해 설명하였다.

[39] Shin, J. G., Onchi, E., Reyes, M. J., Song, J., Lee, U., Lee, S. H., & Saakes, D. (2019, April). Slow Robots for Unobtrusive Posture Correction. In Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (p. 613). ACM.

[표 2] 인체측정방식으로 분류한 맞춤형 디자인 방법에 대한 연구 고찰

맞춤형 디자인 방법 분류	장점	한계점	Generative Design Tool 의 보완 방법
1) 전문 측량사의 인위적 인체 데이터 측정을 통한 맞춤화	편리하고 정확한 측정, 다양하고 복잡한 인체 부위도 인위적으로 측정 가능	낮은 효율, 높은 가격 및 시간 원가, 대량의 사용자 맞춤형 수요 충족불가	사용자 스스로 측정 가능하며 사용 습관, 반복적인 조정이 필요한 파라미터도 수집 가능
2)3D 스캔 인체 데이터를 통한 맞춤형 디자인	정확한 형태, 풍부한 데이터, 사용자의 프라이버시 보호	동적 데이터 측정 불가, 사용자의 설계 과정 참여 불가, 고장의 장비, 수집한 인체 데이터로 곡면 편집 불가	TUI 방식과 Dynamic Shape Finding 방식을 통해 사용자가 참여 가능, 사용자 직접 디자인 아이디어를 경험 할 수 있음
3) 사용자 측정 인체 데이터를 통한 맞춤형 디자인	편리, 자유, 사용자 참여	데이터 오차가 발생하여 맞춤화 가능 정도가 낮음	완전한 데이터 수집 플랫폼으로 데이터 측정이 정확하고 수정이 편리함
4) VR·AR 을 통한 인체 데이터 측정	장소와 공간의 제약이 없어 커스터마이징 가능성이 높음	물리적 인터랙티브 방식의 리얼리티 결여. 장시간 사용시 어지럼증으로 노인, 어린이, 장애인 등 특수 계층은 불편할 수 있음	물리적 인터랙티브 방식과 실시간 3D 모델 디스플레이 결합
5) 인체 데이터와 무관한 취향형 맞춤 디자인	온라인 맞춤 가능, 자유로운 형식, 생성 방식과 재료에 제약이 없	인체 데이터와 무관하여 사용이 불편할 수 있음	오프라인과 온라인의 결합으로 인체 데이터와 취향을 동시에 만족시키는 맞춤형

	음		
6) 사진 분석을 통한 인체 데이터 획득	단순한 방식과 낮은 설비 요구, 빅데이터 활용	알고리즘에 과의존, 식별가능정보가 적고 정확성이 불확실	그림과 모션 데이터 수집 결합, 디자인 룰을 통한 알고리즘의 부족을 보충
7) 센서를 통한 신체 동작 데이터 포착	저비용, 정밀도, 센서 종류 다양화	완전한 시스템이 없어 일부 데이터만 수집, 부분 기능 맞춤화만 가능	센서의 분류, 응용으로 완전한 시스템을 형성하여 맞춤형 조합 추천, 데이터를 형태로 변환해 사용자에게 빠른 피드백으로 맞춤형 정확성을 높임

본 연구에서는 위와 같은 맞춤형 제품 사례의 장단점을 분석하고 Generative Design 방식을 접목시켜 인체 데이터의 특징에 기반한 맞춤형 제품 형태를 연구하고자 한다. 주로 센서 수집, 이미지 알고리즘 분석 등을 통해 인체 데이터를 수집하고, 서로 다른 인체 데이터의 효과적인 수집 방식을 연구한다. 수집한 데이터를 디자인에 필요한 유형으로 변환하는 방법을 탐색하고, 인체 데이터를 제품 형태로 바꾸는 혁신적 연구를 진행한다. 이 프로세스에는 다양한 알고리즘과 센서 응용이 포함된다. 디자이너의 전문 분야는 아니지만 수집한 디지털 데이터를 형태로 변환하는 과정은 컴퓨터 엔지니어가 단독으로 수행할 수 있는 것이 아니라 디자이너가 반드시 참여해야 하는 절차이다.

제품의 디지털 디자인에는 기하학 모델링(geometry modeling), 운동학 및 동적 시뮬레이션(kinematic and dynamic simulation), 다학제적 커플링(multi-disciplinary coupling), 가상 어셈블리(virtual assembly), 가상현실(VR), 다목적 최적화(multi-objective optimization), HCI 와 같은

고급 디지털 기술을 사용하여 제품 설계 프로세스를 완료하는 것이 포함된다. 맞춤 디자인에 대한 보편적인 정의는 없지만, 기본적인 의미는 맞춤 제품이 사용자의 개별적이고 다양한 요구 사항을 최대한 빠르고 저렴한 비용으로 충족하도록 설계한다는 것이다.[40] 본 연구는 인체 데이터를 제품 형태로 변환하는 방식을 연구하여 제품 맞춤형 인건비를 절감하고, 맞춤형의 효율을 높이는 것을 목적으로 한다.

디지털 인체 모형은 디자인에 필요한 데이터를 대부분 제공할 수 있다. 풍부한 비접촉 측정 기술, 예를 들어 structured light-based cameras, laser scanning, CT scanning 과 같은 기술들의 발전은 이미 성숙한 단계에 있다. 하지만 디자이너가 맞춤형 디자인을 할 때 고정밀 3D 스캐너를 구하기가 쉽지 않다. 이에 비해 디자이너는 인체측정학을 이용해 디자인 데이터를 더 많이 수집하여 인체 측정 데이터베이스에서 데이터를 제공받음으로써 대부분의 사용자의 요구를 충족시키는 제품을 확보할 수 있다.[41] 본 연구의 일부 맞춤형 디자인 규칙은 인체 데이터베이스의 평균 인체 데이터를 이용하여 수집한 맞춤형 사용자의 인체 데이터와 비교하는 것이다. 이 '데이터 차이'를 기존 표준화 제품 디자인에 반영하면 대량 생산품의 초기 맞춤화 수요를 빠르게 충족시킬 수 있다. 기존의 성숙한 인간공학적 디자인 규칙을 이용하여 맞춤형 제품의 형태 변환 규칙을 보완하고 인체 데이터를 형태로 변환하는 방법을 보완한다.

---

[40] Zhang, S., Xu, J., Gou, H., & Tan, J. (2017). A research review on the key technologies of intelligent design for customized products. Engineering, 3(5), 631-640.

[41] Tseng, C. Y., Wang, I. J., & Chu, C. H. (2014, December). Parametric modeling of 3D human faces using anthropometric data. In 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (pp. 491-495). IEEE.

3. 인체 특성 및 맞춤화 디자인

3.1 마우스 사례의 맞춤화 디자인에 대한 사용자 조사

사용자가 참여하는 맞춤화 디자인은 사용자의 욕구를 더욱 충족시키는 것을 목표로 한다. 따라서 제품에 대한 주요 관심사와 컴퓨터 마우스 디자인에 대한 기본 지식을 파악하기 위한 사용자 조사가 필요하다. 그러므로서 효과적이고 사용 가능한 사용자 참여 맞춤화 디자인 도구를 제안하여, 자신의 인체 데이터와 심미적인 컴퓨터 마우스를 손쉽게 맞춤 제작할 수 있다.

[그림 27] 마우스 사용성 설문조사

[그림 27]과 같이이 글은 이용자 30 명을 대상으로 한 설문조사, 또 이용자 10 명을 대상으로 실제 측정, [그림 28]과 같이 그 결과 80%의 사람들이 매일 4~8 시간 동안 마우스를 사용하는 것으로 나타났다. 66.7%의 사람들이 거의 매일 사용하는 마우스 빈도이다. 응답자 중 76%의

사용자가 현재 사용 중인 마우스에 불편함을 느끼는데 그 원인은 일반적인 마우스를 장기간으로 사용하기에는 적합하지 않은 것이다.

[그림 28] 설문조사 결과

미국 조지아 공과대학, 기계공학 대학(George Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology)의 프로젝트팀 또한 같은 조사를 했었다. 프로젝트팀은 설문지를 설계하여 16 개의 문제를 제기하였는데, 이와 같이 3 가지로 나누었다. [표 3] 와 같이 1 부에서는 마우스의 구매 수요에 따라 고객을 세분화한다. 2 부에서는 잠재적 사용자에 대한 맞춤형 마우스 필요 여부를 조사하였고, 세 번째 부분에서는 맞춤화 디자인에 대한 사용자의 주요 관심사와 마우스 디자인에 대한

기본적인 이해도를 파악할 수 있도록 하였다. 조사 결과는 이와 같다. 총 58 명이 조사에 참여했으며, 통계에 따르면 57%가 하루 8 시간 이상 컴퓨터를 사용했고, 26%는 5~8 시간을 들여 마우스 디자인의 잠재적 중요성을 주장하였는데, 무려 93%가 이 결론에 동의했다. 이 외에도 29%는 더욱 다양한 마우스 선택이 필요하다고 답했고, 38%는 시장에서는 원하는 마우스를 찾기가 쉽지 않다고 답했다. 78%는 1 시간 이상 구매 시간을 들여 자신에게 적절한 마우스를 찾고 싶지 않기를 원했으며, 자신의 마우스를 쉽고 편리하게 맞춤화 디자인을 하고 싶다는 응답은 50%에 달했다. 그 중 74%는 1 시간 이내에 맞춤화 디자인 과정은 완료하기를 희망했다. [표 4]와 같이 마우스 커스터마이징이 편안함이라는 응답은 84%, 외관 선택은 36%, 기능 선택은 33%, 그 외 다른 용도는 2%였다. 프로젝트 그룹 조사 결과, 거의 모든 응답자가 마우스를 커스텀하는 방법에 대해 기본적인 이해를 가지고 있는 것으로 나타났다. 컴퓨터 마우스에 맞춤화 디자인을 설 하고, 시장의 요구에 부응할 수 있도록 명확한 방향을 제시할 필요가 있다.[42)]

[42)] Zhou, W., Wu, D., Ding, X., & Rosen, D. W. (2010, December). Customer co-design of computer mouse for mass customization without causing mass confusion. In 2010 International Conference on Manufacturing Automation (pp. 8-15). IEEE.

[표 3] 사용자가 희망하는 편안한 맞춤형 참여 수

Parameters customers want to customize for comfort

客户希望为舒适度定制的参数

사용자가 희망하는 편안한 맞춤형 참여 수 Parameters customers want to customize for comfort 客户希望为舒适度定制的参数	편안함을 개선하기 위해 파라미터를 사용자로 정의하려는 사용자의 비율 Percentage of people would like customize this parameter to improve comfort 想要自定义此参数以提高舒适度的用户百分比
사이즈(마우스의 크기) General dimensions (mouse size) 尺寸（鼠标大小）	55%
상단 쉘의 곡률(손바닥이 마우스에 닿는 부분) Curvature of the top shell (where your palm touch the mouse) 顶部外壳的曲率（手掌接触鼠标的位置）	52%
쥐는 표면의 높이(마우스를 쥐는 위치) Height of the grip surfaces (where you grip the mouse) 抓握表面的高度（抓握鼠标的位置）	34%
쥐는 면의 굴곡 Curvature of the grip surfaces 抓握面的曲率	40%
마우스 버튼의 크기와 형태 Size and shape of the mouse buttons 鼠标按钮的大小和形状	53%
모르겠음 I have no idea what this is about 我不知道这是怎么回事	0%
기타 Other 其他	2%

[표 4] Parameters customers think are important for appearance

파라미터 Parameters 参数	파라미터가 마우스의 모양에 중요하다고 생각하는 사람들의 비율 Percentage of people think this parameter is important to the appearance of mouse 百分比的人认为这个参数对鼠标的外观很重要
표면 색깔 Color of the surfaces 表面颜色	33%
표면 형태 Shape of the surfaces 表面形状	76%
도안 Pattern 图案	36%
재료 Material 材料	36%
기타 Other 其它	0%

3.2 인체 특성 데이터 종류와 측정 방법

다양한 sensor 기술의 빠른 발달로 예전에는 조사를 통해 수작업으로 입력해야 했던 사용 습관이나 취미생활 같은 데이터 수집을 효율적으로 할 수 있게 되었다.

제품을 사용 시 인체의 형태에 최대한 자연스럽게 적합하도록, 인간의 인체와 정신의 능동적 적응을 최소화하여 피로를 감소한다. 따라서, 디자인에서 다양한 인체적 특징 데이터를 고려하여 디자인할 수 있는 근거를 제공할 필요가 있다. 측정, 기록, 활용이 쉬운 주요 데이터를 [표 5]와 같이 정리하였다.

[표 5] 인체특성데이터 종류.

1 생리적 특징 데이터
① 외과 데이터 인체의 부위별 정적 치수, 비율 : 키, 체중 등 인체 자세와 행위 동태 사이즈 : 서기, 앉기, 웅크리기, 뛰기, 걷기, 눕기 등의 자세와 사이즈 동작 및 주파수 : 느림, 빠름, 반복, 주저함 기본 행동 범위 치수 인체 역학 : 악력, 점프력 시야 범위 : 머리 회전 방향, 시선 방향, 근육, 지방, 골격 데이터, 외모, 나이, 성별, 체형, 피부색 등
② 내과 데이터 인체 감지(육각) : 시각, 청각, 후각, 미각, 촉각, 지각 맥박, 혈액형, 혈압, 체온, 호흡, 수면, 소변, 대변 등
2 심리적 특징 데이터
심리 감지(오감) : 존중감, 고귀함, 안도감, 편안함, 즐거움 표정, 희로애락, 취미, 습관

3 사회적 특징 데이터
국가, 지역, 인종, 민족 문화, 직업 등

이러한 인체 특징을 데이터화, 네트워크화하여 역동적인 시스템을 구축하여 빠르고 성숙한 이동설비, 생물 센서, 영상 기술, 소셜 네트워크와 클라우드 계산을 결합해 데이터로 구성된 가상인 개인 인체의 데이터화를 가능한 게 한다.

인체 특징 데이터를 측정하는 주요 방법은 다음과 같다.

① 일반측정 및 관찰법.

② 촬영측정법.

③ 3D 디지털 측정법.

④ AR 측정법.

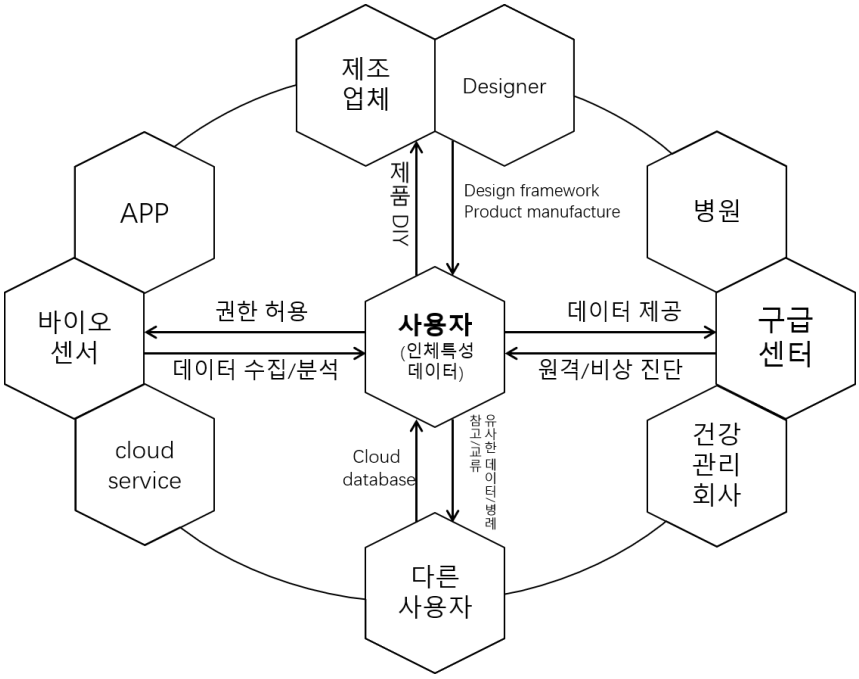
⑤ 생물 센서 측정법.

⑥평균치(Mean)측정법, 반복 측정하여 평균을 구하다.[43] 계산 공식: $\overline{X} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i$ (n 은 측정 횟수, Xi 는 개별 측정 수치)

⑦표준차(Standard Deviation)측정법.[44] 측정 공식: $\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(X_i - \mu)^2}$

[43] Richard Arnold Johnson; Dean W. Wichern. Applied Multivariate Statistical Analysis. Pearson Prentice Hall. 2007 [10 August 2012]. ISBN 978-0-13-187715-3.

[44] Eric W. Weisstein. Distribution Function. MathWorld—A Wolfram Web Resource. [2014-09-30].



[그림 29] 개인 인체 특징 데이터와 주변의 관계.

[그림 29]의 데이터는 건강검진을 위해 단순히 참고만 하는 것이 아니라, 사용자가 사용하는 모든 제품을 개선하여 미래에는 사용자의 주변 제품이 사용자를 위해 디자인될 수 있고, 또한 '개인 맞춤형' 제품으로 생성될 수 있을 것이다. 앞으로 우리 인체 특성 데이터가 더 중요해지고 주변 환경과의 관계가 더 가까워질 것이라고 믿는다. 예를 들어 다가올 Metaverse 세계에서 우리의 생체 데이터와 심리 데이터는 모두 주변 환경과 더 밀접하게 연관되어 다. 이런 데이터를 잘 활용하면 우리의 생활은 더욱 편리해질 것이다.

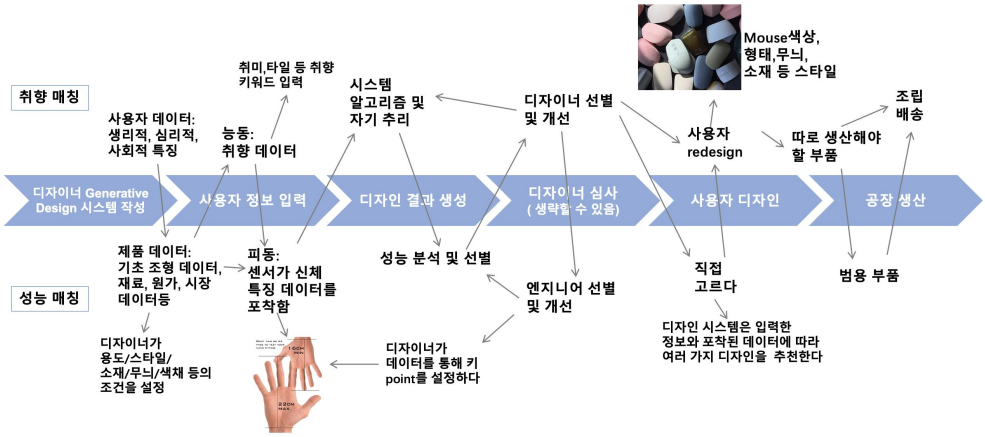
4. 형태 디자인 프로세스 및 도구 분석

4.1 인체 특성 Generative Design Process 정의

제품 형태를 관찰하고 form feature 를 추출하는 방법을 배우고, Rhino 와 Grasshopper 의 작업 환경에서 파라메트릭 변수 아키텍처를 만들고, 나중에 그 아키텍처를 이용하여 창의적이고 차별화된 다양한 형태 variations 를 생성한다.

디자인 개념을 형태 유전자로 전환하고 형태 생성 방식과 파라메트릭 변수를 결정하며 Grasshoper 모델을 만들고 제품 모델을 재생성한다.[45)]

인체 특성 Generative Design Process 정의.



[그림 30] 인체특성 데이터 기반 개인맞춤형 Generative Design Process.

---

45) https://jianyouli.wordpress.com/2012/09/04/%e9%97%9c%e6%96%bc%e8%a1%8d%e7%94%9f%e8%a8%ad%e8%a8%88-workshop/

[그림 30]과 같이 Generative Design Process 의 구체적인 내용은 다음과 같다:

① 디자이너는 제품 데이터(기초 형태 데이터, 시장 데이터, 재료, 원가 등)와 사용자 데이터(생리적, 심리적, 사회적 특징) 등의 구속조건에 따라, 요구사항을 입력하여 디자인 파라메트릭 프로세스를 만들고, 체계적인 Design Process 를 구성한다.

② 사용자는 디자인 시스템을 통하여 주동적으로 디자인 아이디어와 목표를 입력하거나 센서를 통해 디자인 과정에 수요되는 인체 특징 수치를 포획한다.

③ 디자인 시스템은 사용자가 입력하는 정보와 수집한 데이터, 알고리즘과 그 자체의 추리를 사용하여, 수천 가지의 디자인을 생성하는 동시에 각각의 디자인 성능을 분석하여 최적의 몇 가지 디자인 결과를 선별한다.

제너레이티브 디자인 시스템은 마스터 사용자가 공동으로 디자인하는 데 도움이 되는 직관적인 방법을 제공하지만, 클라이언트가 많은 디자인 변수에 직면할 때는 여전히 문제가 발생할 수 있는 가능성이 높다. 따라서 미리 설정된 제품 모델 목록은 사용자의 인체 데이터 또는 사용자의 주관적인 입력을 통해 그들이 가장 중요하게 생각하는 기능을 객관적으로 수정하여 고객이 설계하는 데 도움을 줄 수 있다.[46)]

④ 디자이너/엔지니어가 생성된 디자인 결과를 선별하고 개선한다. 센서 정보 포착이 풍부해짐에 따라, 빅 데이터 환경에서 디자이너는 디자인 시스템을 빠르게 개선할 수 있는 충분한 사용자 피드백이 있을 수 있으며, 이

[46)] Zhou, W., Wu, D., Ding, X., & Rosen, D. W. (2010, December). Customer co-design of computer mouse for mass customization without causing mass confusion. In 2010 International Conference on Manufacturing Automation (pp. 8-15). IEEE.

단계는 더 이상 필요가 없을 것이다. 사용자는 디자인 시스템을 통해 자신이 좋아하는, 자신의 인체 데이터와 일치하는 제품을 직접 출력할 수 있다.

⑤ 사용자는 각자의 취향에 따라 디자인 결과 중에서 자신이 가장 좋아하는 디자인을 고른다. 사용자는 이 디자인 결과를 바탕으로 최대한 디자인 조절을 수행할 수 있으며, 자신의 redesign 을 거쳐, 자신의 인체 데이터와 취향에 맞는 제품을 얻는다.

⑥ 생산공장에서 디자인 결과를 접수하고, 따로 생산해야 하는 부품을 매칭하고,적용 가능한 부품을 신속하게 조립하여, 사용자에게 보낸다.

이 디자인 프로세스에서 디자이너의 역할은 바뀌게 된다. 전통적인 디자인 프로세스에는 디자이너의 경험과 전문지식이 수요되는데, 디자이너는 합리한 기초에서 주로 자신이 좋아하는 디자인 풍격과 사회적으로 인정하는 디자인 풍격을 고려한다. Generative Design 시스템은 사용자의 취향과 인체 특징의 데이터를 통하여 최적의 사용자 데이터 정보와 일치하는 디자인 결과를 생성한다. 이 과정에서 디자이너는 시스템의 디자인와 개선과 최적화를 책임진다.

Generative Design Process 는 기존의 디자인 방법을 대체하는 것이 아니라, 통용화 디자인 시대에 개인화, 개성화에 대한 수요가 있는 사용자들(시장에서 자신에게 맞는 제품을 찾기가 어렵고, 자신에게 맞는 제품을 고르기에, 충분한 정보와 경험, 시간이 없음)에게 하나의 옵션을 제공한다.

이 프로세스는 디자이너에게 또 다른 디자인 탐색 방법을 제공해줄 수 있다. 즉 숫자와 데이터를 통해 특정 형태의 정의하에 대량의 가능성을 신속하게 탐색할 수 있게 한다. 이를 위하여, Rhinoceros+ Grasshopper, 그리고 Arduino 를 활용한 도구 제안을 진행하였다.

4.2 손 데이터와 마우스 형태의 관계 분석

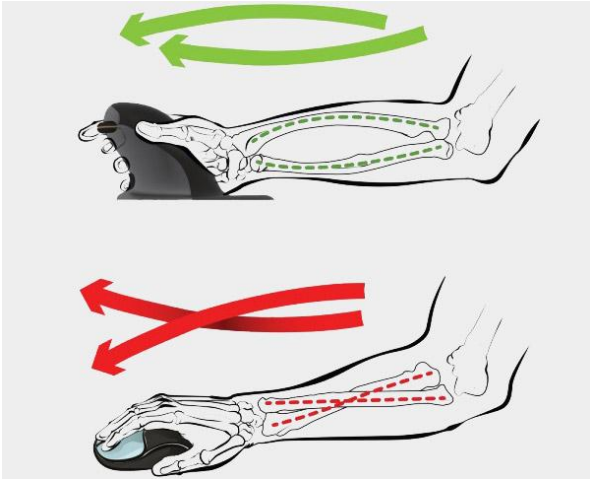
4.2.1 마우스의 종류와 장단점 분석

마우스 제어 컴퓨터 시스템의 첫 공개 시연은 1968 년이다. 버튼이 없는 기계 마우스부터 현재의 인체공학 마우스까지, 마우스는 수차례 반복하여 변화하였다. 사용자의 적응과 작업 효율성 향상, 피로성 감소 등이 주목적이라 할 수 있다. 인체공학(Ergonomics)은 제품에 구체적으로 적용되어, 제품의 설계와 제조 방면에 있어서 인체의 생리적 해부 기능에 따라 완전한 맞춤으로 제작되어, 심신의 건강에 더욱 유익하게 만들 수 있게 되었다. 사람마다 인체 특징 파라미터가 다르기 때문에 실제 인체공학 제품은 사람마다 맞춤 제작해야 한다.

[그림 31] 기존 시장에서 주요한 마우스 종류를 정리하고 그에 맞는 장단점을 분석했다.

[그림 31] 마우스의 종류와 장단점 분석 (사진 출처 - Occupational Health Clinics for Ontario Workers)

마우스의 인체공학적 목적은 마우스를 사용할 때 사용감과 편안함, 사용 습관의 요구사항을 최대한 충족시켜 장시간 사용 시 심신의 피로도를 최소화하고 근육에 손상이 발생하지 않도록 함으로써 사용자의 심신을 최대한 보호하고 작업능률을 높이는 것이다. 예를 들어 중국인은 키와 팔 길이, 손바닥 크기가 키 큰 유럽인에 비해 평균적으로 떨어지기 때문에 미국·유럽 시장에 적합한 키 큰 마우스 제품은 일반적으로 중국인에게 적합하지 않다. 인체공학은 이미 마우스 제품에서 성능 파라미터만큼이나 중요한 지표다.[47)]



[그림 32] 수평 쥐기와 세로 쥐기 방식 시 팔뼈의 위치 대비

인체공학적 마우스는 최적의 편안함을 제공하고 손목터널 증후군, 관절염, 기타 반복적 노손 등의 피해를 피하기 위해 만들어졌다. 자연스러운 손

---

47) Schmid, A. B., Kubler, P. A., Johnston, V., & Coppieters, M. W. (2015). A vertical mouse and ergonomic mouse pads alter wrist position but do not reduce carpal tunnel pressure in patients with carpal tunnel syndrome. Applied ergonomics, 47, 151-156.

위치와 움직임에 적응해 불편함을 줄이자는 취지다. [그림 32]와 같이 전형적인 마우스를 들고 있을 때 팔뚝에 있는 척골과 요골이 교차한다. 일부 설계는 손바닥을 더 수직으로 놓으려고 하는데, 이렇게 하면 뼈가 보다 자연스럽게 평행하게 위치할 수 있기 때문이다[48]. 일부 손목 운동을 제한하고 팔 운동을 권장하는 것은 정확하지 않을 수 있지만 건강 측면에서는 더 최적화되어 있다. 마우스는 엄지손가락에서 반대쪽으로 내려갈 수 있어 손목 회전수를 줄일 수 있다[49].

4.2.2 손의 자세가 마우스 형태에 미치는 영향

1). 마우스의 잡는 방법

마우스 Grip style 은 Claw Grip, Palm Grip, Finger Grip 등 크게 세 가지다. [그림 33]과 같이 많은 사람이 마우스를 사용할 때 마우스 디자인이 부족하여 Claw Grip 에 익숙하지만, 이러한 Claw Grip 은 게이머나 정확한 조작이 잦은 사용자들에게 적합하며, 마우스 손가락이 계속 구부러지고 지지대가 없기 때문에 손가락이 쉽게 손상되고 Finger Grip 도 마찬가지이다. 그래서 인체공학적 마우스는 손바닥과 마우스의 접촉 면적을 넓히는 엎드린 Palm Grip 방식을 권장한다.

---

[48] Hattersley, M. (2010). Mac Secrets (Vol. 150). John Wiley & Sons.

[49] Product Specialists. "Handshoe Mouse (Original)". ergocanada.com.

[그림 33] Mouse 잡는 방법[50)]

손바닥이나 손가락에 따라 마우스 잡는 방법이 달라지고 손과 마우스의 접촉 면적도 달라진다. 사용 목적에 따라서도 마우스 잡는 방법이 달라진다. 장시간 사용해도 지치지 않도록 하기 위해 마우스를 잡는 자세도 마우스 디자인 형태를 결정에 영향을 미친다.

마우스 사용 각도에서 크게 일반적인 수평 방식 사용과 상대적으로 수직 방식 사용으로 구분하기도 한다. 표준 마우스(standard mouse)와 버티컬 마우스(vertical mouse)의 생체역학과 성능을 평가(Methods: muscle activation(electromyography), forearm movements (electrogoniometers), performance (Fitts' Law test) and satisfaction (questionnaire) of 16 subjects were evaluated) 그 결과 수직 마우스를 사용하면 관련 근골격계 질환 위험을 줄이고, 손목 회전(wr

50) Flumini, A., Barca, L., Borghi, A. M., & Pezzulo, G. (2015). How do you hold your mouse? Tracking the compatibility effect between hand posture and stimulus size. *Psychological research*, *79*(6), 928-938.

ist pronation)과 손목 근육 활동(wrist extensor muscle activity)을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 하지만 어느 정도 훈련하고 과정을 익혀야 한다. 하지만 어느 정도의 훈련과 그 과정을 익혀야 한다.[51)]

많은 사용자가 애플리케이션 적용 과정에서 주요 엄지와 약지 컨트롤을 통해 움직인다. 이대로 가면 손목 및 손목터널 근육 피로 문제를 일으키기 쉽고 심하면 근육이 손상되기도 한다. 따라서 손과 마우스의 접촉 면적을 최대한 늘려 엄지손가락과 손목 부분이 없는 기존 마우스의 지지 문제를 개선할 것을 권한다.

2). 마우스 이동 방식

마우스의 이동 방식은 일반적으로 손목 움직임과 팔 움직임 두 가지로 나뉜다. [그림 34]와 같이 손목 이동은 손목을 책상에 놓고 가장자리를 따라 움직이는 것으로, 사용 시 책상 가장자리를 따라 손목에 압박 작용이 있어 손목의 정중신경이 손상되고 손목이 책상에 닿는 부위가 마모되어 손목을 다치거나 손가락이 뻐근해지기 쉽다. 팔뚝을 책상 위에 올려놓고 팔꿈치를 축으로 하는 큰 원주운동을 권장한다. 비록 이러한 운동방식은 손목 운동방식보다는 민첩할 수는 없지만 오래도록 건강을 유지할 수 있다. 특히 장시간 업무를 볼 때 우리는 더욱 건강한 사용방식을 추구해야 한다.

[51)] Quemelo, P. R., & Vieira, E. R. (2013). Biomechanics and performance when using a standard and a vertical computer mouse. Ergonomics, 56(8), 1336-1344.

[그림 34] 사용자세가 형태에 미치는 영향[52)]

마우스를 장시간 사용할 경우 자세는 손과 손목의 건강에도 영향을 미치며 마우스의 형태 디자인에도 영향을 줄 수 있다.

3). 마우스 버튼 누르는 자세

인간은 태생적으로 인체의 가장 민첩한 부분인 손가락을 이용하는 데 능숙하며, 손가락을 이용하여 높은 정밀도로 여러 가지 복잡한 교호 임무를 수행한다. 하지만 기존 컴퓨터 마우스는 이러한 민첩성을 이용해 우리의 손을 화면상의 단일 커서로 줄이는 대신 마우스 버튼을 누르거나 휠을 굴리는 등 비교적 간단한 조작만 가능하게 했다. 마이크로소프트 케임브리지 연구원(Microsoft Research Cambridge)은 다양한 멀티터치 마우스 연구와 테스트를 수행했다. 손가락 버튼과 사용 방식 변경은 마우스의 스타일링과 편안함에 큰 영향을 미쳤다. [그림 35] 참조.

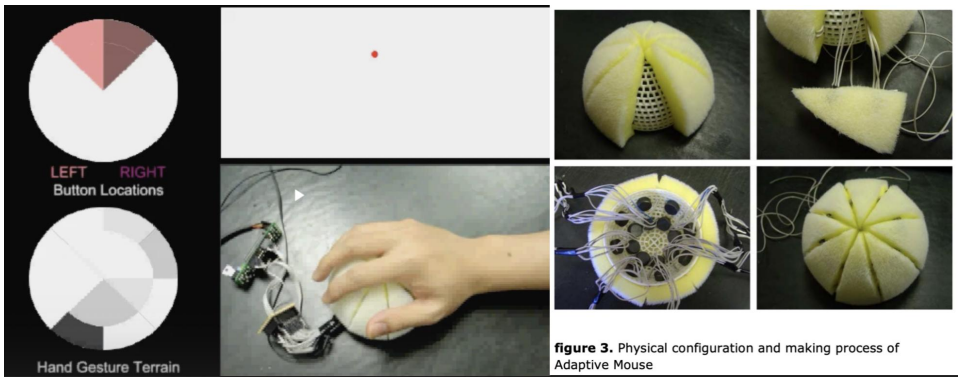
---

52) Gustafsson, E., & Hagberg, M. (2003). Computer mouse use in two different hand positions: exposure, comfort, exertion and productivity. Applied ergonomics, 34(2), 107-113.

[그림 35] 멀티터치 마우스 탐색 서로 다른 터치 감지 기술, 스타일링, 인터랙티브 기능

멀티 터치 마우스는 서로 다른 터치 감지 기술과 스타일링, 인터랙티브 기능을 탐색한다.[53)]

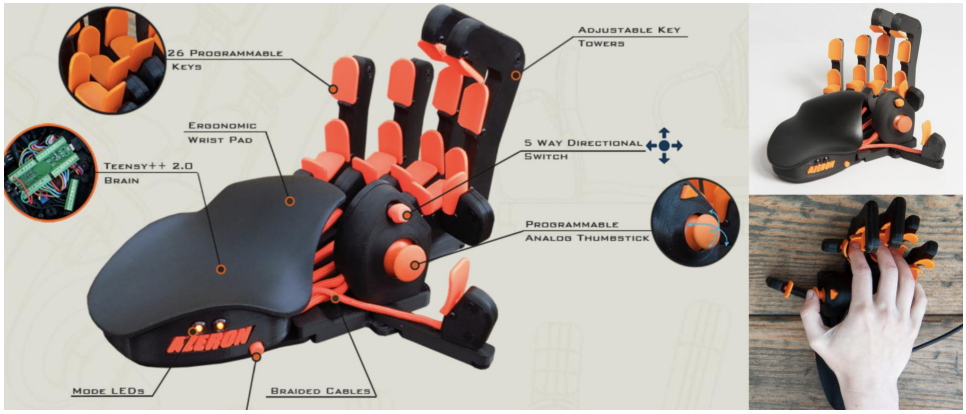
Multi-touch mice explore different touch sensing techniques, form-factors and interactive affordances.



[그림 36] 마우스 버튼 누르는 자세

53) Villar, N., Izadi, S., Rosenfeld, D., Benko, H., Helmes, J., Westhues, J., ... & Chen, B. (2009, October). Mouse 2.0: multi-touch meets the mouse. In Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology (pp. 33-42).

[그림 36]과 같이 이 맞춤형 마우스는 360 도 모두 누를 수 있는 버튼이 있고 센서로 잡는 방향을 자동으로 인식한다. 어떤 각도에서 잡든 좌우 버튼은 자동으로 구분된다.[54]



[그림 37] AZERON Mouse

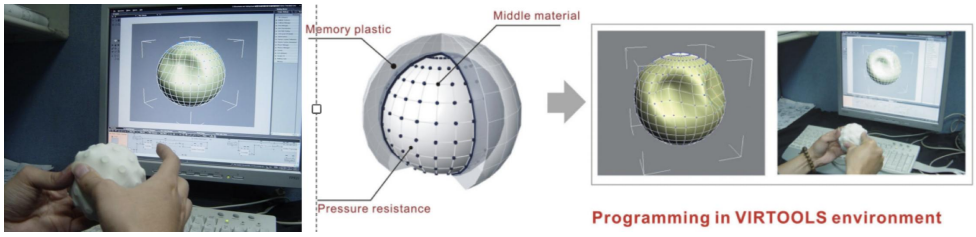
[그림 37]과 같이 이 AZERON 마우스는 버튼 위치와 사이즈, 높이를 임의로 조정할 수 있어 다양한 손가락 위치와 그립 자세에 맞출 수 있다. [55]

Tangible User Interface 스타일 모델링

---

[54] Tang, S. K., & Tang, W. Y. (2010). Adaptive mouse: a deformable computer mouse achieving form-function synchronization. In *CHI'10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 2785-2792).

[55] https://www.azeron.eu/



[그림 38] THE DEVELOPMENT OF A TACTILE MODELING INTERFACE.

[그림 38]과 같이 CAD 시스템을 위한 인간 컴퓨터 상호 작용 개발에 전념하는 연구자들이 더 많아지고 있다. 이러한 연구 결과는 장치가 모델링 프로세스에서 제공할 수 있는 보다 직관적인 제어가 가능할수록 더 창의적인 솔루션을 생성할 수 있음을 나타낸다.[56)]

[그림 39] MIT_Integrating electronic components into deformable objects based on user interaction data.

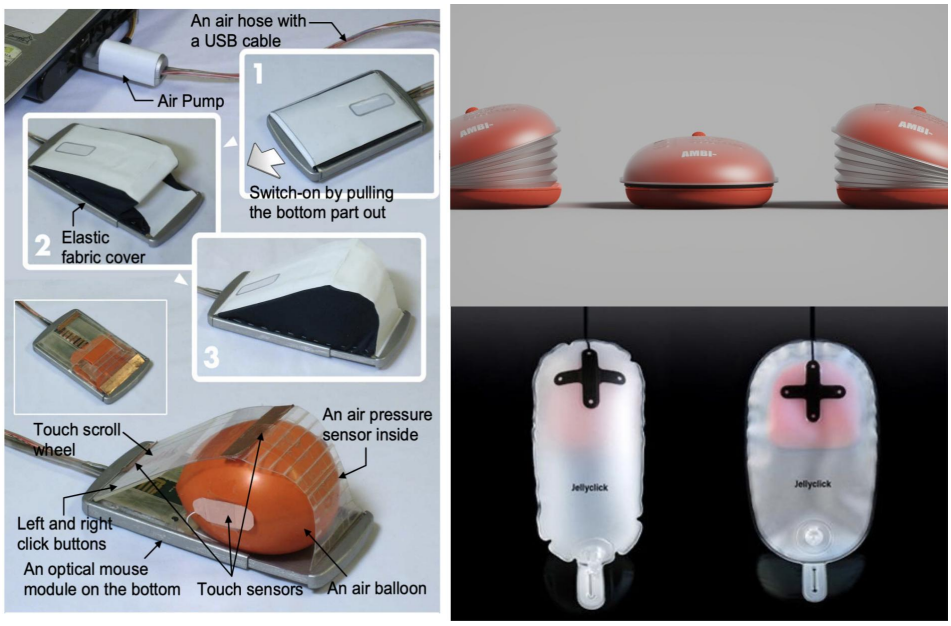
56) WENYEN TANG, S. K. T. (2006). THE DEVELOPMENT OF A TACTILE MODELING INTERFACE.

[그림 39]와 같이 인터랙티브 데이터를 로드하면 손가락 임프린트와 해당하는 힘이 3D 모델에 자동으로 적용되고 요소 분석을 실행하여 응력 분포를 결정한다. 디자인 프로세스 중에 전자 부품의 배치를 최적화하기 위해 사용자가 변형 가능한 장치와 상호 작용하는 방식을 나타내는 제스처 데이터를 활용하는 방법을 시연했다.[57)]

4). 마우스 사용 기울임 각도

인체공학 마우스 기울기는 평균적으로 20°에서 70°도 정도 된다. 이는 대부분 사람이 적응할 수 있는 각도의 범위이다. 그러나 개인마다 적합한 각도가 다르기 때문에 개인마다 가장 편안한 사용 각도를 찾을 수 있도록 도와줄 방안이 필요하다.

[57)] Worgan, P., Reuss, K., & Mueller, S. (2019, March). Integrating electronic components into deformable objects based on user interaction data. In *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction* (pp. 345-350).



[그림 40] Inflatable mouse: volume-adjustable mouse with air-pressure-sensitive input and haptic feedback.

[그림 40]과 같이 마우스에 팽창을 주어 마우스 높이를 기울임 각으로 맞춤화시켜 손바닥 사용 자세에 맞게 조정한다. 사람들의 사용 습관과 사용 목적에 따라 팽창과 방출 등을 통해 맞춤형 효과를 낸다.[58]

4.2.3 손 데이터 와 마우스 디자인 기준

1). 손 데이터 와 마우스 크기

[58] Kim, S., Kim, H., Lee, B., Nam, T. J., & Lee, W. (2008, April). Inflatable mouse: volume-adjustable mouse with air-pressure-sensitive input and haptic feedback. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 211-224).

사용감이 편한 마우스는 손바닥의 크기와 일치하여야 하는데 손바닥이 큰 경우 작은 마우스를 사용하면 사용감이 떨어지며, 마찬가지로 손바닥이 작으면 큰 마우스를 사용해도 사용감이 떨어진다. 인터넷에서 마우스를 구매해보니 자신에게 맞지 않는 마우스가 많은 이유는 옷만큼 다양한 사이즈가 선택할 수 없거나, 소비자들은 구매 전 자신의 손바닥과 적합한지를 모르거나, 어쩌면 소비자가 마우스를 선택할 때 자신의 손바닥 사이즈에 맞춰 선택해야 한다는 사실을 모르고 선택했을 수도 있다. 현재 마우스는 대부분 일반형으로 디자인되어 사용자에게 마우스 크기에 적응하도록 강요하고 있다. 대량생산과 시판의 편의를 도모하는 한편, 보다 효율적이고 친환경적인 설계수요를 해소할 방법이 없기 때문이다.

그래서 본 문항은 사용자의 인체 데이터에 따른 맞춤형 마우스 디자인 시스템 제안을 한다. 자동화, 심플하게 측정하여 많은 사용자가 자신의 손 사이즈를 어떻게 측정해야 할지, 어떤 손 사이즈를 측정해야 할지, 혹은 마우스 사이즈에 맞게 손 사이즈를 맞춰야 할지 모르는 문제를 해결한다.

2). 접촉면적

마우스 사용할 때, 편안한 포인트: 손과의 접촉 면적.

접촉 면적이 클수록 작은 국부(局部)적 힘을 줄여주고 손바닥 전체에 압력을 분산시켜 사용의 편안함을 높일 수 있다.

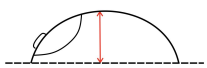
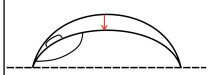
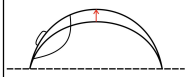
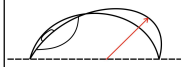
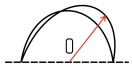
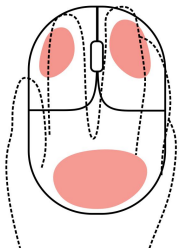
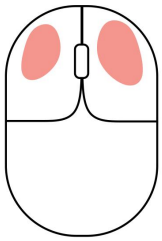
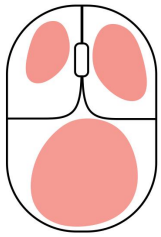
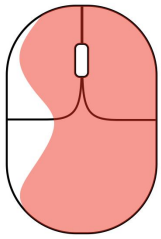
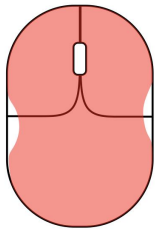
손 크기, 손바닥 곡면, 사용 각도, 사용 습관적으로 맞지 않는 마우스는 손과 마우스의 접촉 면적을 줄여 사용의 편안함을 감소시킨다.

이에 따라 기존 시장 마우스의 적합성 부족에 따른 개선안을 제시한다: 손바닥, 엄지손가락, 새끼손가락, 손목과 마우스의 접촉면적을 늘린다.

측정 단계에서는 현재 가상의 손 모형만으로 역학 시뮬레이션을 통해 접촉 면적 데이터의 크기를 계산할 수 있다. 실제 prototype 단계에서는 온도변색 소재/관찰법/실제 감지법으로 접촉면적 데이터를 얻을 수 있다.

사용자에 따라 손바닥 curvature 와 각도가 달라지는 마우스 면이 손과의 접촉 면적을 크게 늘릴 수 있다. [표 6] 참조.

[표 6] 마우스 곡면의 형태와 손의 접촉면적 비교.

Basic form	Flat form	Fit the palm	Fit the whole palm	Left/right-hand angle adaptation
				
				

3). 마우스 무게

장시간 사용 시 너무 무겁거나 가벼운 마우스도 불편함을 느껴 손이 피로해진다. 어떤 사람들은 마우스를 오래 사용할 때의 피로감을 줄이기 위해 가벼운 마우스를 선호한다. 하지만 무거운 마우스가 더 견고하다는 의견도 있다. 일부 마우스에는 맞춤형 무게가 있다: 마우스 중량을 조정하기

위해 추가로 무게를 늘리거나 줄일 수 있다. 생성형 디자인은 개인 데이터를 통해 마우스 중량을 직접 맞춤화할 수 있으며, 마우스 무게를 일부분으로 치우치지 않고 전체 마우스에 균일하게 배분할 수 있다. 형태나 소재, 각종 펀칭 효과를 맞춤화하는 방식으로 마우스 무게를 맞춤화할 수도 있다. 예를 들어 손의 부피를 측정해 인체 밀도에 따라 손의 무게를 추산해 마우스에 작용하는 손의 압력을 계산하고, 압력을 통해 접촉 면적을 산출할 수 있으며, 접촉 면적을 통해 마우스 표면의 펀칭 형태를 조절해 무게를 조절할 수 있다. 손가락 굵기, 손의 힘으로 마우스 무게를 가늠할 수도 있다.

4). 표면 재질 및 형태

마우스의 표면 재질, 촉감, 표면 형태와 무늬 또한 마우스 선택에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 사용감에 직접적인 영향을 미치기 때문이다. 표면 재질과 형태는 미끄럼 방지와 땀 배출에 영향을 준다. 생성형 디자인은 표면 재질과 형태를 맞춤화할 가능성을 높였다.

[그림 41] Ming Kong develops tactile interface to navigate CAD environments

[그림 41]과 같이 Ming Kong, CAD 환경 탐색을 위한 촉각 인터페이스 개발 : Royal College of Art 졸업생 Ming Kong 은 전도성 재료를 만들

어 디지털 모델 및 파일을 조작하기 위한 햅틱 인터페이스를 만드는 데 사용했다. 그의 Interfacet 프로젝트를 위해 Kong 은 다양한 모양을 형성하여 디지털 모델링을 위한 촉각 인터페이스를 만들 수 있는 탄성 전도성 재료를 개발했다.

[그림 42] Tangible Textural Interface[59)]

CAD 의 혁신 디자인 엔지니어링 수업에 참여했던 이 디자이너는 "이 프로젝트는 근본적인 디자인 질문인 형태와 기능 간의 관계를 재검토하려고 시도하고. 새로운 형태의 언어가 그 자체로 유용한 기술이 될 가능성을 탐구한다"라고 밝혔다. Kong 은 평면 버튼만 사용하여 전자 제품을 위한 인터페이스를 디자인하는 데 아쉬움이 있어 디지털 환경을 탐색하기 위한 3 차원 도구를 만들기로 결정했다.[60)]

---

59) https://www.dezeen.com/2012/06/28/tangible-textural-interface-by-eunhee-jo-at-show-rca-2012/

60) https://www.dezeen.com/2015/06/30/ming-kong-interfacet-haptic-tactile-material-navigate-cad-environments-manipulate-computer-files/

[그림 42]와 같이 TTI(Tangible Textured Interface 의 약자)는 촉각 표면에 내장된 새로운 유형의 사운드 시스템이다. TTI 는 유연하여 사람들이 컨트롤과 표면의 물리적 변형을 통해 물리적으로 접촉하고 반응을 느낄 수 있다. TTI 는 통합된 유연한 표면을 인터페이스 재료로 사용하여 플라스틱 또는 유리에 사용되는 기존 재료의 인터페이스와는 다른 새로운 미적 효과를 가져온다. 기존 2D 인터페이스와 달리 TTI 는 곡선 3D 표면을 가지고 있어 인터페이스 내에서 유연한 모양과 모양을 만들 새로운 가능성을 열어준다.

인터랙티브 표면은 일상적인 물건을 다양하고 흥미롭게 만든다. 반응형 기술은 이제 새로운 기능과 새로운 가능성을 가진 공통 인터페이스를 가능하게 했다. 디자인과 대상을 결합하는 방식에 따라 인터페이스의 역할은 근본적인 변화를 겪고 있다.

5. 인체 특성 데이터 변환 방법 제안

5.1 손 데이터를 형태로 변환하는 방식

본 장에서는 손 데이터를 형태로 변환하는 방식을 정리하였다. 손에서 측정한 점과 선 데이터를 마우스 외형 표면의 곡률 값으로 변환하고, 사용자에게 맞는 표면을 생성하고 제어하는 방법을 탐색하였다.

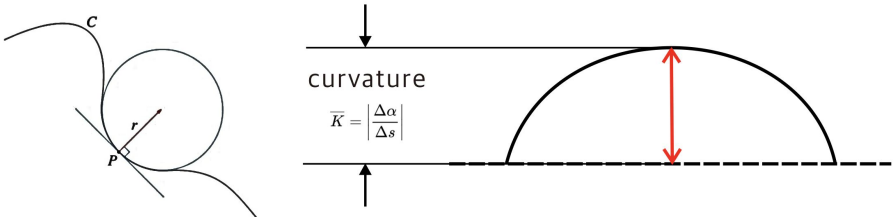
5.1.1 손의 길이와 너비 값을 마우스의 길이와 너비 값으로 변환

손 데이터를 곡선 곡률(curvature)값으로 변환하는 방식

제품의 곡면 형태는 키 라인(Key line)과 스트럭처 라인(Structure line)에 의해 결정되며, 이러한 주요 선들의 굴곡 정도와 추세로 곡률(curvature) 값이 표시된다. 인체 데이터에 맞는 제품의 키 라인과 스트럭처 라인의 곡률 값을 파악하기 위해 다음과 같이 손 데이터를 제품의 곡률 값으로 변환하는 방식을 정리하였다.

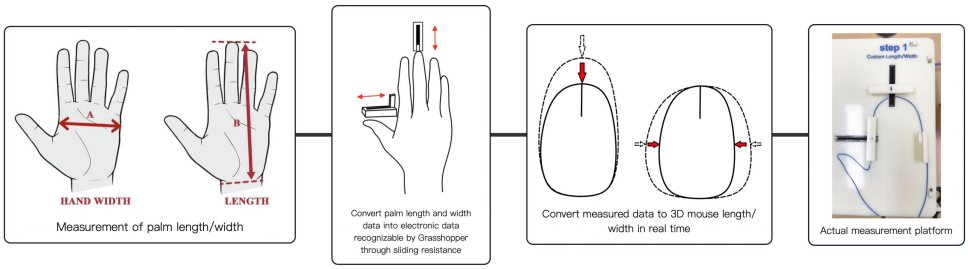
손의 길이와 너비의 변화는 곡선이 직선에서 벗어난 정도로 변환한다.

곡선의 곡률은 곡선이 직선에서 벗어난 정도를 나타낸다. 수학적으로는 곡선이 어느 한 지점에서 휘어지는 정도를 나타내는 수치이다. 곡률이 클수록 곡선의 굴곡 정도가 심하고 선이 직선에서 벗어나는 정도가 크다는 의미이다. [그림 43] 참조.



[그림 43] 곡선 곡률(curvature) 값의 계산방법: 곡선이 직선을 벗어난 정도.

손의 길이와 너비의 수치는 마우스 형태 스트럭처 라인의 곡률 값에 대응한다. 손바닥의 길이와 너비를 마우스 외형의 길이와 너비의 곡선 값을 결정하는 파라미터로 변환한다. 손바닥 길이와 너비가 다른 값을 입력할 경우 길이와 너비가 다른 마우스 3D 형태를 생성한다.



[그림 44] 마우스의 길이와 너비는 손의 길이와 너비 비율에 따라 실시간으로 변함

[그림 44]와 같이 마우스 길이와 너비는 손의 길이와 너비 비율에 따라 실시간으로 변화한다. [그림 45]의 손 크기 파라미터 데이터를 참고하여, 슬라이드 저항을 이용해 집게손가락에서 새끼손가락까지의 거리를 측정하여 손의 너비로 하고, 가운데손가락 끝에서 손목의 첫 번째 손금까지의 거리를 측정하여 손의 길이로 한다. Grasshopper 에서는 손의 너비를 마우스 너비 값으로, 손의 길이를 마우스 길이 값으로 대응하고, Rhino 에서는

실시간으로 손바닥 수치에 따라 3D 마우스 모형의 변화를 보여준다. 3D 디지털 스캔으로 얻은 손 데이터 모델은 곡면 편집 및 데이터 분석에 직접 사용할 수 없으며 3D 곡면을 새롭게 최적화해야 한다. 아래 그림의 손 키포인트 데이터 측정과 빅데이터의 비교를 통해 마우스 디자인에 필요한 핵심 손 정보 데이터를 얻을 수 있다.[61)]

1 Thumb length 1: The distance between the midpoint of the dorsal side of the IP and MCP joints of the thumb (#1)
2 Thumb length 2: The distance between the midpoint of the dorsal side of the MCP and CMC joints of the thumb (#2)
3 Palm width: The distance between the radial and the ulnar points of the palmar crease (#6)
4 Palm length 1: The distance between the midpoint of the distal palmar crease and the midpoint of the wrist crease (#10)
5 Palm length 2: The distance between the midpoint of the proximal crease of the middle finger and the midpoint of the wrist crease (#9)
6 Thumb length 3: The distance between the midpoint of the dorsal side of the MCP joint of the thumb and the midpoint of the scaphoid (#14)
7 Palmar thickness 1: The distance between the dorsal and palmar sides of the midpoint of the head of the 2nd metacarpal bone (#15a–#15b)
8 Palmar thickness 2: The distance between the dorsal and palmar sides of the midpoint of the head of the 3rd metacarpal bone (#16a–#16b)
9 Palmar thickness 3: The distance between the dorsal and palmar sides of the midpoint of the head of the 4th metacarpal bone (#17a–#17b)
10 Palmar thickness 4: The distance between the dorsal and palmar sides of the midpoint of the base of the 2nd metacarpal bone (#18a–#18b)
11 Palmar thickness 5: The distance between the midpoints on the dorsal and palmar sides of the base of the 3st metacarpal bone (#19a–#19b)
12 Palmar thickness 6: The distance between the midpoints on the dorsal and palmar sides of the base of the 4th metacarpal bone (#20a–#20b)
13 Palmar thickness 7: The distance between the midpoints on the dorsal and palmar sides of the trapezium (#21a–#21b)
14 Palmar thickness 8: The distance between the dorsal and palmar side midpoints of the scaphoid (#22a–#22b)
15 Palmar thickness 9: The distance between the midpoints on the dorsal and palmar sides of the triquetrum (#23a–#23b)
16 Thumb length 4: The distance between the midpoint on the dorsal side of the IP joint of the thumb and the midpoint of the CMC joint (#14)
17 Thumb thickness 1: The distance between the dorsal and volar sides of the midpoint of the IP joint of the thumb (#3)
18 Thumb thickness 2: The distance between the dorsal and volar sides of the midpoint of the interphalangeal bone of the thumb (#4)
19 Thumb thickness 3: The distance between the dorsal and volar sides of the midpoint of the MCP joint of the thumb (#5)

[그림 45] Definition of the 19 feature parameters in cross-parameterization.

61) Wang, I. J., Lin, B. S., Wu, C. M., Yeh, C. H., & Hsu, S. T. (2021). A Smart Parametric 3D Printing Hand Assistive Device With a Practical Physically Intervention Feedback Based on the Embedded IMU Sensor. IEEE Access, 9, 140456-140469.

[표 7] Mouse Size Determination Chart (Copyright OHCOW, 2021)

HAND SIZE		CLASSIFICATION	MOUSE SIZE	
Imperial (Inches)	Metric (mm)		Imperial (Inches)	Metric (mm)
< 6.3	< 160	Extra Small (XS)	< 4.4	< 113
6.3 to 6.8	160 to 172.7	Small (S)	4.4	113
6.8 to 7.7	172.8 to 195.7	Medium (M)	4.8	122.5
7.7 to 8.4	195.7 to 213.5	Large (L)	5	127.8
> 8.4	> 213.6	Extra Large (XL)	> 5.0	127.8

- Detail Hand Data : 손바닥의 길이와 너비
- Collected Data : 손바닥의 길이와 너비
- Logic to Create Shape: 손의 크기 변화를 곡선 굴곡도로 변환

손바닥의 길이와 너비의 값은 마우스의 형태 스트럭처 라인 곡률 값에 대응한다. [표 7]과 같이 ISO(the International Organization for Standardization)의 Ergonomics of human-system interaction—Part 410: Design criteria for physical input devices[62]에 따라 손바닥의 길이·너비와 마우스 길이·너비 대조표를 도출할 수 있다. 표의 데이터 환산 비율을 규칙으로 하여 Grasshopper 에 입력한 후 측정된 손길이·너비 데이터에 따라 개인별 맞춤화된 마우스 사이즈를 생성한다. ISO 표준과 대부분의 마우스 제조업체의 비교 데이터를 보면 60%[63]의 규칙을 발견할 수 있다. 즉, 마우스의 길이·너비 크기는 손바닥의 길이·너비 크기의 약 60%와 같다. 그러나 이 규칙이 절대적인 방법은 아니다. 특히 사람마다 마우스 크기와 모양에 대한 선호도가 다르기 때문이다. 그래도 60%의 규칙으로 마우스가 손 크기에 맞지 않는 문제를 피할 수 있기 때문에 이는 안전 확보의 시작점이라 할 수 있다. 만약 그 이상의 맞춤형 마우스 사이즈가 필요하다면, 사

[62] EN ISO 9241-410:2008 - Ergonomics of human-system interaction - Part 410: Design criteria for physical input devices (ISO 9241-410:2008)

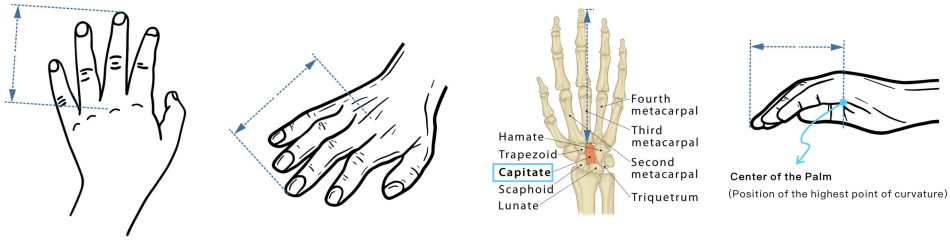
[63] https://voltcave.com/measure-hand-size/

용자는 측정 플랫폼을 통해 자신의 사용 선호도에 따라 60%의 안전하고 합리적인 사이즈 규칙을 바탕으로 스스로 2 차 맞춤 조절을 해야 한다.

5.1.2 손바닥 높이 값을 마우스 높이 값으로 변환

손바닥 중심점/마우스 곡면 최고점(곡선 곡률 값 최고점)의 결정 방식

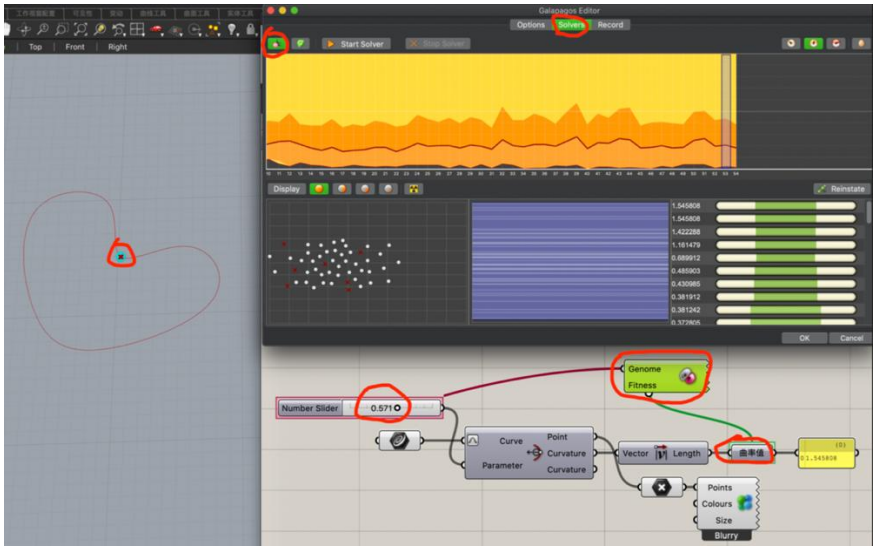
① 가운데손가락 끝에서 손가락 뿌리 말단(유두골, Capitate Bone)까지의 거리를 측정하는 것은 의학도들이 손바닥 중심점을 정확하게 측정하고자 할 때 많이 이용하는 방식이다. 손바닥 중심점의 위치를 통해 마우스 곡면 최고점의 위치를 알 수 있다. 손바닥의 최고점의 위치를 Grasshopper에서 곡선 곡률 값이 가장 큰 점의 위치에 대응시키고, 이 점의 위치 제어를 통해 마우스 최고점의 위치를 실시간으로 제어할 수 있다. [그림 46] 참조.



[그림 46] 중지 손가락 끝에서 손가락 끝(유두골 Capitate Bon,)까지의 거리.
사진 출처:TheSkeletalSystem

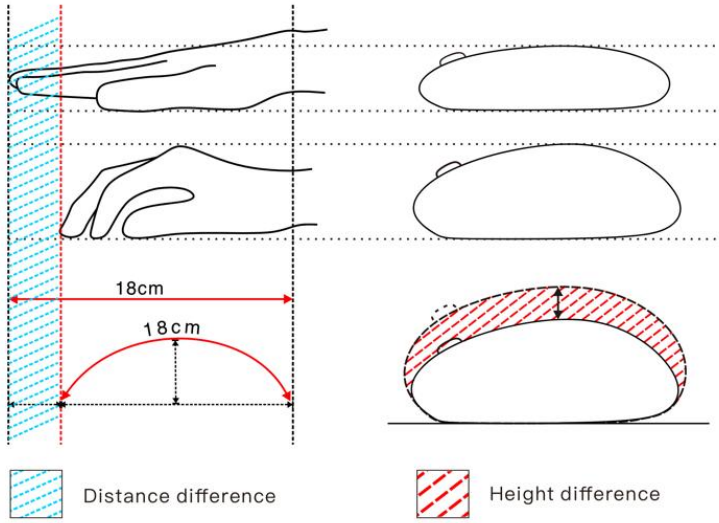
② [그림 47]과 같이 유전 알고리즘(Genetic algorithm)을 이용하여 곡선의 최고점(굽힌 각도가 가장 큰 점)의 위치를 계산할 수 있다. 곡선을 최

대한 많이 등분하여 여러 구간으로 나누고, 곡선 두 단락(3 점) 마다 사이의 끼인 각을 계산하여 최대 끼인 각의 점을 얻으면, 그 점이 바로 곡선 최고점이다.



[그림 47] Genetic Algorithm 을 이용하여 곡선의 최고점을 계산할 수 있다.

사용자의 손이 평평하고 곧은 상태와 굽은 이완 상태 시의 손가락 끝에서 손목까지의 거리 차를 통해 적합한 마우스 크기와 마우스 표면 곡률 값을 구한다.

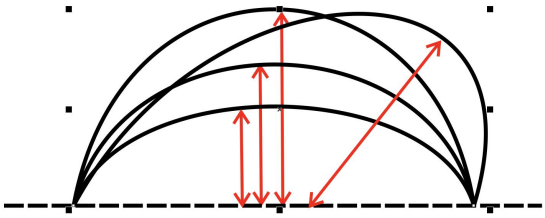


[그림 48] 사용자의 손이 평평하고 곧은 상태와 굽은 이완 상태 시의 손끝에서 손목까지의 거리 차

평평하고 곧은 상태의 손바닥 길이를 통해 마우스의 최대 길이를 알 수 있다. 또한, 굽은 상태의 손끝부터 손목까지의 길이를 통해 마우스의 최소 길이를 알 수 있다. 평평하고 곧은 상태와 굽은 상태일 때의 손끝에서 손목까지의 거리 차이를 통해 마우스의 높이를 알 수 있다. [그림 48] 참조.

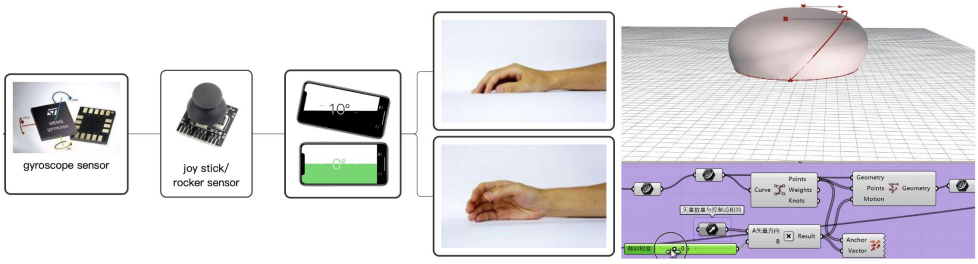
5.1.3 손바닥 기울기 각도를 마우스 기울기 각도로 변환

실시간 손 데이터를 이용하여 곡선의 곡률 값과 곡률 값 최고점을 변경하여 곡선의 변형을 제어한다. [그림 49] 참조.



[그림 49] 실시간 손 데이터를 이용해 곡선의 곡률 값과 곡률 값의 최고점을 변경하여 곡선의 변형을 제어

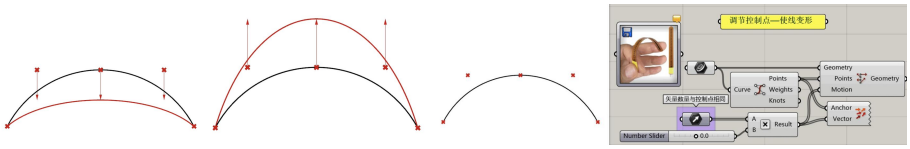
곡선의 핵심 스트럭처 라인의 형태는 곡면의 형태를 결정하고, 곡선의 핵심 스트럭처 라인의 경사 각도는 곡면의 경사 각도를 결정한다. 조이스틱 센서(Joystick sensor)나 틸트 센서(Tilt sensor)를 통해 손바닥 기울기 각도 데이터를 얻는다. 손바닥 경사 각도를 통해 스트럭처 라인의 최고점 위치를 제어하고, 곡면 경사 각도를 조정한다. 여기에서 경사 각도는 사용자의 손이 가장 이완된 상태(손을 오므렸을 때)일 때의 경사 각도를 의미한다. [그림 50] 참조.



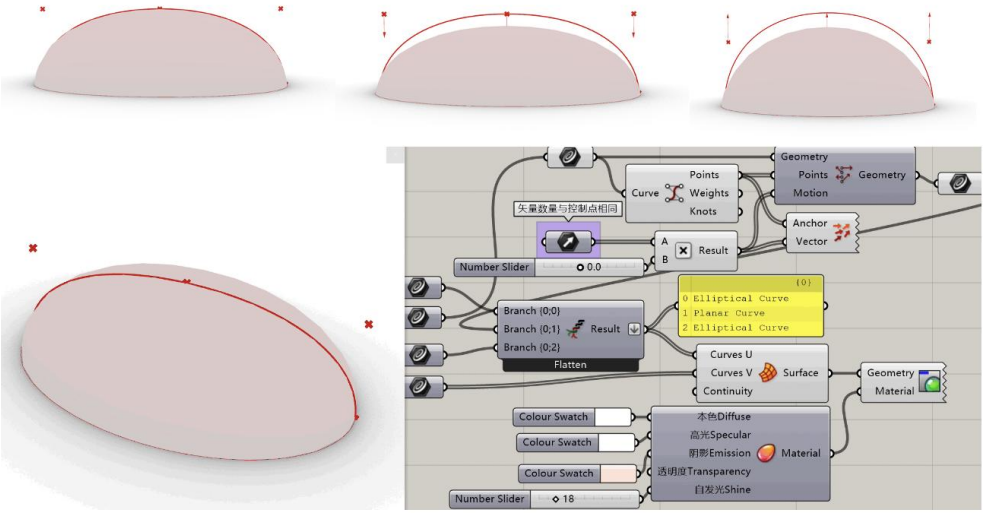
[그림 50] 손바닥의 경사 각도와 형태의 관계

5.1.4 손의 굴곡도를 마우스 곡면 형태로 변환

플렉스 센서(Flex sensor)를 사용해 손의 굴곡도(tortuosity)를 Grasshoopper 에서 곡선의 곡률 값으로 변환하고 조절하여 곡선의 변형을 실시간으로 제어한다. [그림 51] 참조.



[그림 51] Flex sensor 를 사용해 손의 굴곡도를 Grasshoopper 에서 곡선의 곡률 값으로 변환하고 조절하여 곡선의 변형을 실시간으로 제어

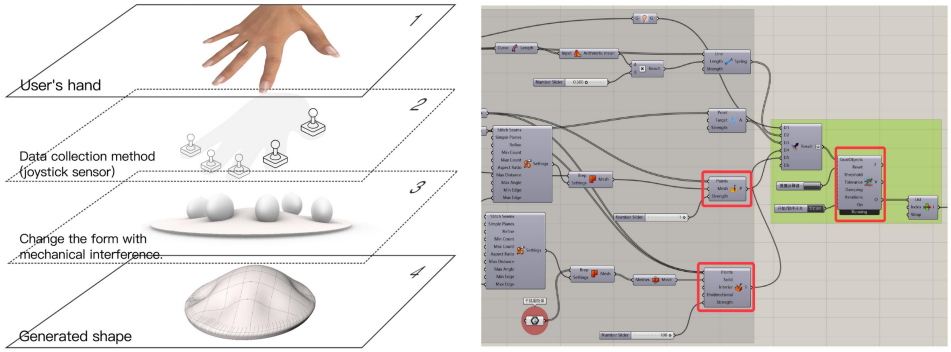


[그림 52] 곡면 스트척처 라인의 곡률 값과 형태를 변화시킴으로써 곡면 형태를 변화시킴

[그림 52]와 같이 곡면 스트럭처 라인의 곡률과 형태를 변화시킴으로써 곡면 형태를 변화시킨다. 마우스 곡면과 손의 접촉 면적을 늘려 편안함을 더한다.

5.1.5 손가락 위치를 마우스 버튼 위치로 변환

역학적 간섭을 이용해 형태를 바꾼다.



[그림 53] 역학적 간섭을 이용한 형태 변환

Kangaroo(역학 계산 소프트웨어)를 사용하여 5 개의 구체가 곡면에 역학적 간섭을 가하도록 한다. 5 개의 구체는 손가락을 의미하고 역학적 간섭은 손가락이 누르는 강도를 의미한다. 조이스틱 센서(Joystick sensor)와 프레셔 센서(Pressure sensor)를 통해 손가락의 3D 공간에서의 위치와 압력 크기를 시뮬레이션한다. 다섯 손가락은 각각 다섯 개의 구체의 길이·너비·높이와 XY 축 위치를 제어하여 구체의 곡면에 대한 간섭을 제어하여 곡면을 움푹 들어가게 할 수 있다. 다섯 개의 구체를 이용해 다섯 손가락의 위치와 압력을 시뮬레이션하고, 역학적 간섭과 역학 부울 연산

(Boolean calculation)을 통해 간섭 후의 형태를 얻는다. 마치 풍선을 힘껏 누른 손의 형태를 기록하는 것과 같다. [그림 53] 참조.

이 방식을 통해 사용자에게 익숙한 손가락 위치를 시뮬레이션하거나 디자이너가 원하는 손가락 위치를 시뮬레이션할 수 있으며, 획득한 위치와 압력 데이터를 통해 역학적 수치로 변환하여 마우스 곡면에 작용시켜 실제 위치와 역학을 시뮬레이션하는 3D 형태를 얻는다. 이 과정에서 디자이너는 수집한 데이터를 구체적인 형태로 바꾸는 규칙 제정자이다.

5.1.6 손 압력 값을 곡면 곡률값으로 변환

손가락의 압력을 형태로 변환시킨다.

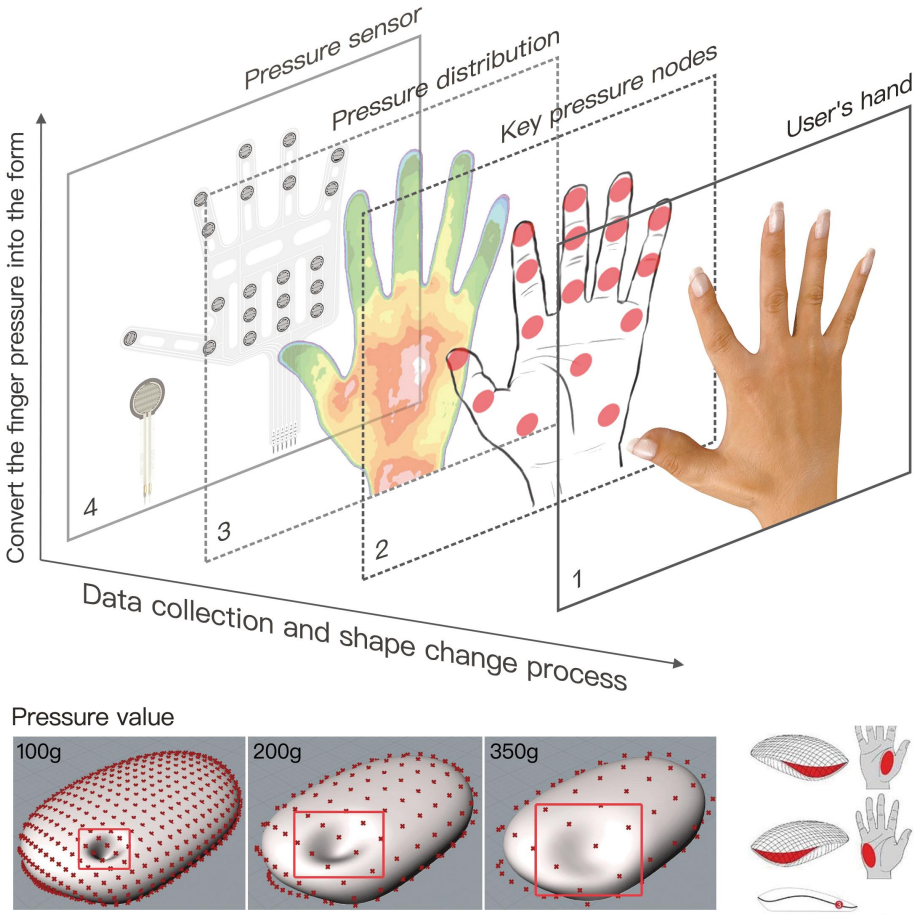
프레셔 센서를 통해 손의 각 부위의 압력 값을 측정하고, 구한 압력 수치는 형태 변화에 영향을 줄 수 있는 핵심 단계에 적용할 수 있다.

다음은 압력 수치가 형태 변화 과정에 어떻게 적용되는지 살펴본다.

① 압력 수치로 마우스 표면 형태의 높낮이에 변화를 주어 마우스 표면과 손의 접촉 면적을 넓히고 압력을 더 큰 접촉면으로 분산시켜 손의 피로를 줄여준다.

② 측정한 압력 값으로 마우스 표면의 형태와 재질을 제어한다. 예를 들어, 압력 값이 크면 표면의 펀칭 된 구멍이 작아져 부드러운 소재를 사용할 수 있다.

③ 압력 값으로 마우스 무게를 맞춤화할 수 있다. 마우스 무게에 대한 요구 사항은 사람마다 다르다.



[그림 54] 손가락의 압력을 마우스 형태로 변환

Rhino 와 Grasshopper 에서 측정한 손의 압력을 실시간으로 형태로 변환하는 과정은 다음과 같다.

마우스 표면 형태에 고밀도의 힘을 받는 시뮬레이션 포인트를 설정하면, 국부 압력이 바뀔 때 힘을 받는 포인트의 밀도와 수량도 실시간으로 바뀐다. Grasshopper 를 통해 힘을 받는 포인트 수와 Rhino 의 형태 제어 포인트 수를 연관시켜 손의 압력이 증가하면 Grasshopper 가 받는 압력센서의 수치가 증가하여 힘을 받는 포인트 수도 상응하여 달라지고, Rhino 의 3D 마우스 형태의 제어 포인트 수도 이에 따라 달라져 형태가 달라지게 된다.

[그림 54]와 같이 같은 면적 안에 분포하는 포인트의 밀도는 손가락 압력의 영향 범위를 결정한다. 압력을 통해 곡면에 구조 포인트의 밀도(곡면 해상도)를 바꿔 움푹 패인 곳의 영향 범위를 바꾼다.

5.1.7 기타 손 데이터 측정 및 형태 변환 방법

사후 측정 플랫폼과 형태 변환 방법이 점차 다양해지면서 손 데이터의 측정은 갈수록 정확해지고, 생성된 맞춤형 형태 또한 실제 손의 인체 데이터에 더욱 가까워진다.

보완적인 데이터 측정 방법과 형태 변환 방법은 다음과 같다.

1) 슬라이드 저항으로 손가락 굵기를 측정한다. 버튼에 필요한 힘의 크기(마이크로 스위치 강도)를 맞춤화할 수 있다. 버튼의 간격과 위치 배치도 제어할 수 있다.
2) 손목의 첫 주름이 잡힐 때까지 수조에 수직으로 손을 담가, 수위 센서를 통해 수위 변화를 측정해 손의 부피를 계산한다. 인체 밀도에 따라 손의 무게와 압력을 계산하면 손바닥과 마우스의 접촉 면적 크기를 가늠할 수 있다. 또한 손 부피에 따라 마우스 무게를 맞춤화할 수 있다. 그리고 마우스와의 접촉 면적에 따라 표면 재질, 무늬, 펀칭 형태를 맞춤화할 수 있다.
3) 수평계와 각도 측정 센서를 통해 손가락 관절의 기울기 각도와 운동 성능을 얻을 수 있다. 이 데이터를 통해 버튼 사용 방식의 맞춤화(Dig grip, Palm grip, Claw grip, Fingertip grip)와 버튼 각도, 사용 습관의 맞춤화가 가능하다.

4) 피부 전류센서(galvanic skin response sensor)를 통해 긴장감이나 손 자세의 편안함을 체크해 근육 손상을 피한다. 마우스 사용 자세가 합리적인지, 맞춤형 형태가 더 편한지 등을 체크할 수 있다.
5) 터치 센서를 통해 손바닥과 마우스 표면의 접촉 위치를 측정한다. 손 장애인의 구체적인 장애 손가락 부위까지 검출해 마우스 형태를 보다 정확하게 맞춤화 할 수 있다.
6) 지문인식 센서를 통해 지문 흑백 패턴을 얻을 수 있다. Grasshopper 를 이용하여 두 지문 선의 평균 피치를 계산하고 손의 거칠기를 추정하여 상응하는 표면의 재질 맞춤화를 진행한다.
7) 컬러 식별 센서를 통해 피부톤을 측정할 수 있다. 피부색에 따라 인종을 추정해 마우스 색상과 사이즈, 맞춤형 성능을 추천한다. 실제 물체의 색상도 직접 식별하여 마우스의 색을 맞춤화 할 수 있다.
8) 카메라를 통해 사용자의 실제 형태를 포착한 후 데이터를 분석하고 활용한다. 손의 정면·측면 사진과 A4 용지를 비교해 대략적인 사이즈를 산출할 수도 있다. 사용자의 프로필 사진이나 원하는 패턴을 인식해 마우스 표면 패턴으로 재미있게 맞춤화 할 수 있다. 이 방식은 온라인 맞춤형 플랫폼 기능을 더욱 풍부하게 할 수 있다.
9) 립 모션을 통해 사용자의 제스처와 손의 키 노드를 포착한다. 손의 키 노드로 대략적인 손 사이즈와 손가락 길이를 추정하여 손 사이즈를 한 단계 더 보정할 수 있다. 캡처한 역동적인 제스처를 패턴으로 변환해 마우스 표면에 맞춤형 패턴으로 활용할 수 있다.

센서 기술이 발전함에 따라 응용할 수 있는 인체 데이터는 갈수록 풍부해지고, 맞춤형 형태도 점점 더 다양하고 정확해질 것이다. 수집한 데

이터를 추가할 때마다 형태 변환 방법과 알고리즘 프로그램 또한 풍부해진다.

5.2 손 데이터 측정 방법 및 형태 생성 로직

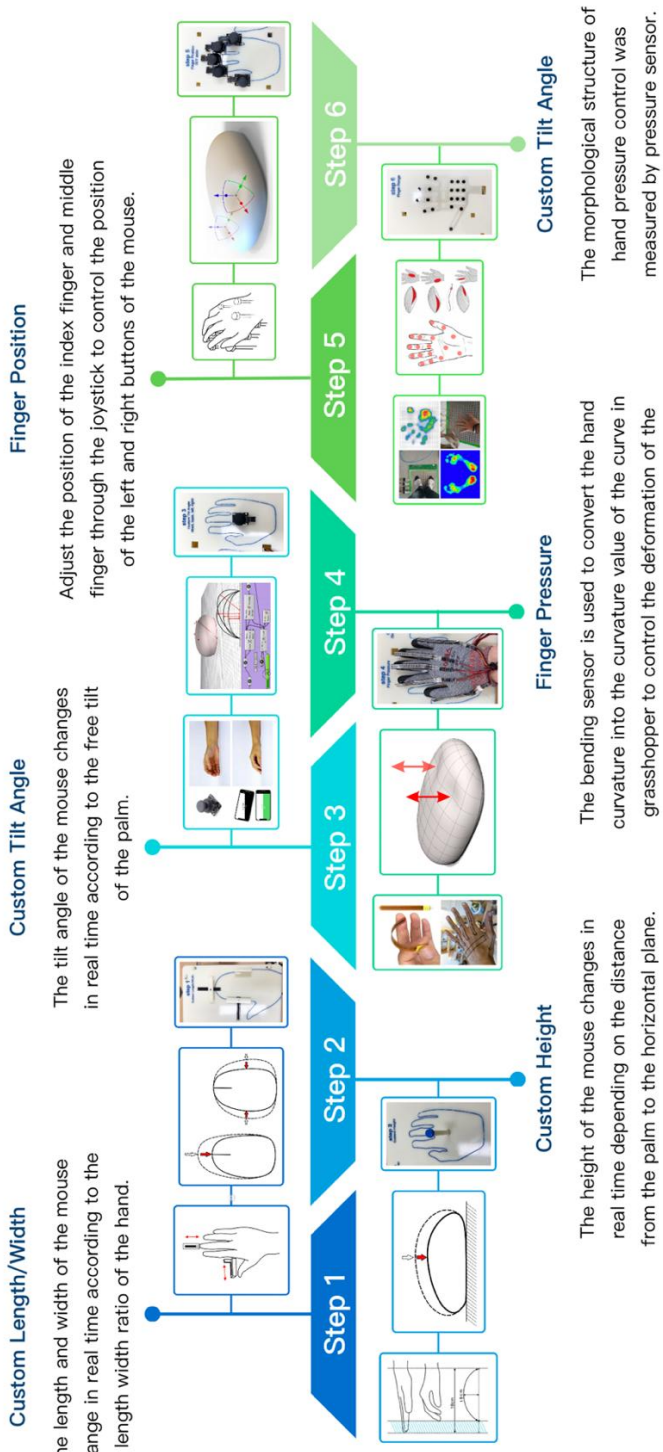
[표 8]에서는 손 데이터 측정 방법과 형태 생성 로직을 정리하였다. 여기에는 형태 생성 단계별로 필요한 손 데이터, Arduino 측정 방법, Grasshopper 형태 생성 로직이 포함된다.

[표 8] 형태 생성 단계별로 필요한 손 데이터, Arduino 측정 방법, Grasshopper 형태 생성 로직

형태 생성 단계	손 데이터를 구체적으로 작성	Arduino 측정 방법	Grasshopper 형태 생성 로직
Step 1 손바닥 길이와 너비 측정	손의 가로세로, 크기 값	① 중지에서손목까지의 거리 측정(슬라이드 저항 2 개) ② 디지털 플랫폼 측정(AR 거리 측정 APP)	슬라이드 저항의 저항 값을 마우스의 가로세로 사이즈 값으로 변환

Step 2 손의 중심점 데이터 가로 세로에 따라 반구 형태를 만들고, 손바닥의 중심점을 측정하여 이 중심점을 곡선의 최고값으로 설정	손의 중심점 위치값	① 중지 끝에서 손가락 뿌리 끝(유두골, Capitate Bone)까지의 거리. ② 적외선 거리 센서:손바닥 중심점 거리 측정	① 실시간 손 데이터를 이용하여 곡선의 곡률 값과 곡률 값의 최고점을 변경하여 곡선의 변형을 제어한다. ② 최적화 알고리즘을 이용하여 곡선의 최고점(굽힌 각도가 가장 큰 점의 위치) 계산 가능
Step 3 손의 중심점 데이터에서 손바닥이 휘는 정도 측정	손의 중심점서 손바닥이 좌우로 휘는 정도 값	① 손이 평평하고 곧은 상태와 굽은 이완 상태 시 손끝에서 손목까지의 거리차를 통해 곡률 값을 얻는다. ② Flex sensor ③ Rocker sensor ④ 수평기를 통해 손바닥이 좌우로 휘는 정도 측정	① 거리차를 통해 합리적인 마우스 크기와 마우스 표면 곡률 값 획득 ② Flex sensor 를 사용하여 손의 굴곡도를 Grasshoopper 에서 곡선의 곡률 값으로 변환하고 조절하여 곡선의 변형을 실시간으로 제어
Step 4. 손가락이 누르거나 꺾이는 데이터로 디테일 보정	손가락의 움직임에 따른 위치값 변화	① 손가락/손바닥의 최적 높이 측정 ② Pressure Sensor ③ ipad 터치 위치로 손가락 위치 측정	높이 데이터를 마우스 곡선의 휨도로 변환

Step 5. 물리성과 디지털화 결합(온라인 맞춤화)		온라인으로 손 데이터 측정 및 업로드	① 온라인으로 마우스 형태 조정 ② 맞춤화 재질(온라인 선택/이미지 업로드), ③ 표면 3D 무늬 맞춤화(이전 내용 결합)



[그림 55] 손 데이터 측정 방법 및 형태 생성 로직 시스템 구조도

[그림 55]와 같이 손 데이터 측정 방법과 형태 생성 로직을 여섯 단계로 정리하였다.

Step 1) 길이&너비 :

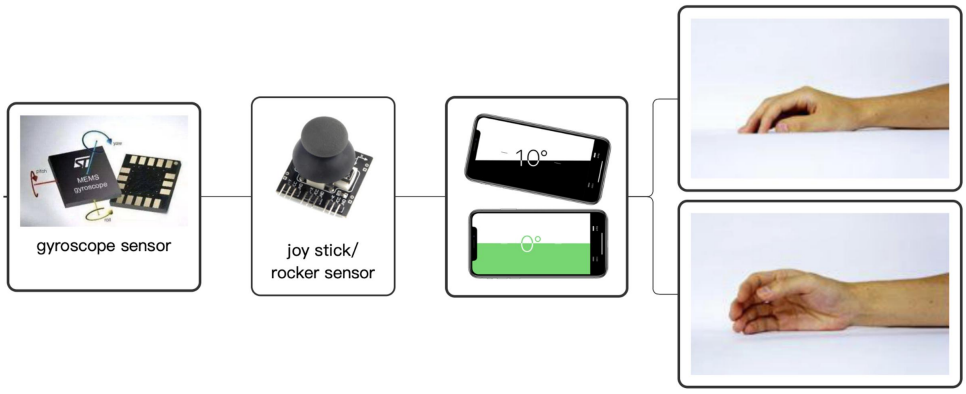
마우스의 길이와 너비는 손의 길이와 너비 비율에 따라 실시간으로 변한다. (슬라이드 저항*2)

Step 2) 높이 :

마우스의 높이는 손바닥에서 수평면까지의 거리에 따라 실시간으로 변한다. (슬라이드 저항*1)

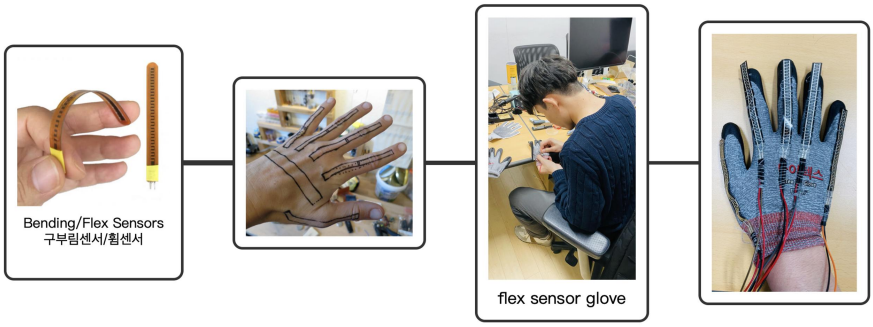
Step 3) 손 중심 경사각도 :

[그림 56]과 같이 마우스의 앞뒤좌우의 경사 각도는 손바닥의 자유 경사에 따라 실시간으로 변한다. (Joystick sensor)



[그림 56] 손 중심 경사각도

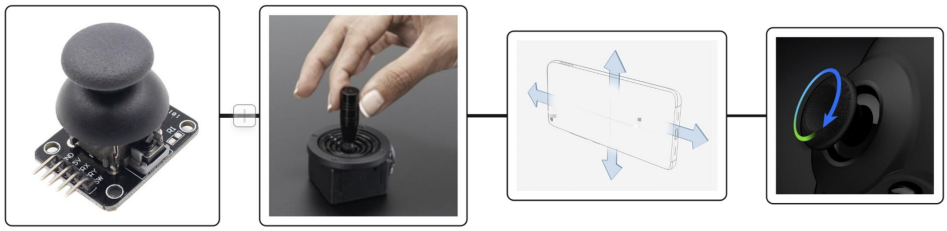
Step 4) 플렉스 센서를 사용해 손의 굴곡도를 Grasshoopper 에서 곡선의 곡률 값으로 변환하고 조절하여 곡선의 변형을 실시간으로 제어한다. [그림 57] 참조.



[그림 57] Flex sensor 를 사용해 곡선의 변형을 실시간으로 제어

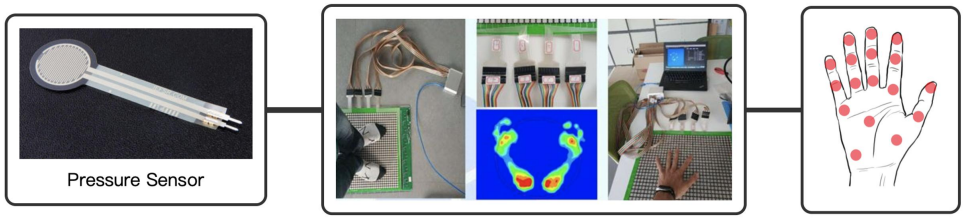
Step 5) LMB & RMB 위치 :

[그림 58]과 같이 조이스틱 센서를 통해 집게손가락과 가운데손가락의 위치를 조절해 좌우 버튼의 위치를 조절한다.



[그림 58] 좌우 버튼의 위치를 조절하는 방법.

Step 6) 프레셔 센서를 통해 손의 압력 제어 형태 구조를 측정한다. [그림 59] 참조.



[그림 59] 프레셔 센서를 통해 손의 압력 제어 형태 구조를 측정

6. 손 인체 특성 측정을 위한 도구 제안

6.1 손에 Fit 한 형태를 생성할 수 있는 Arduino+ Grasshopper 도구 개발

[표 9] 손에 FIT 한 데이터와 마우스 디자인 및 Grasshopper 형태 변화의 관계

손에 FIT 한 데이터		마우스 디자인과의 관계	Grasshopper 형태 변화와의 관계	데이터 수집 Tool
사이즈	size 크기	마우스 크기, 형태	실시간으로 모델 크기 조정 가능	자, 슬라이드 저항,회전 저항(위기),적외선 거리 측정기,초음파 거리 측정기
	굵기/두께 사이즈	마우스 크기		
	살찐 정도 Body Mass Index (지방 함량)	크기, 재료, 무늬/텍스처 디자인		
사용습관	사용 자세	각도, 곡률, 버튼 배치	기울기 및 커브 곡률 조정, 압력 및 서피스 곡률 조정, 실시간 버튼 위치 조정	플렉스 센서, 자이로 센서
	왼손잡이/양손잡이	대칭형, 버튼 배치		
	pressure points	형태, 서피스 곡률, 마우스 베이 디자인, 마우스 패드 디자인, 손목 보호대		
	손의 힘 (손의 힘 크기)	마우스 무게, 버튼 감도		
향후 센서 기술 발전으로 실현할 측정 데이터				
표면피부	손바닥 온도	특수한 병상에 대한 기능,예방,검사 (손은 건강과 질병을 예보,혈산소 검사)	실시간 온도 및 형태	온도, 습도 센서, 지문 인식기, 터치 인식기
	촉감	형태, 기능 : 손 장애 사용자를 위한 디자인		
	손금(Palmprint,지문)	점자 표시 디자인, 사운드 디자인		
	손고치	버튼 소음 감소(정음성),인터랙티브 디자인		
	모발	스트레스 해소, 재미 기능, 강화 재료, 특수 유연 재료		
	혈관, 뉴런 (48 개신경,33 개동맥)	사운드, 화면 표시 알림		
질환	질병	표면 소재, 텍스처, 펀칭, 여름 땀 배출,겨울 보온	충돌역학과 형태 (중력, 압력, 지지력 등)	열 저항, 민감 저항, 레이저 센서, 진동 센서
	손가락 장애 Incomplete	표면 재료, 텍스처, 진동 기능		
	시각장애인	지문 인식, 팜레스트 인식, 표면 재료, 텍스처		
	우울증	형태, 서피스 곡률, 재료, 텍스처,펀칭		
	과도한 스트레스를 받는 사용자	표면 재료,텍스처, 파팅 라인 위치		
	노인	정맥 검사 / 식별 , 산소 건강 검사, 형태 구조는 동맥을 압박하지 않고		
	손 떨림 환자	디더링 방지 디자인		

근육골격	손뼈(29 개)	지탱구조	GH 최적화 알고리즘 및 형태 선택, 운동과 형태	프레셔 센서
	관절(크기,섹션 수)	버튼 밀도와 간격		
	근육 그룹 (인대 123 개,근육 35 개)	버튼 위치 및 방향		
	경혈	마사지, 형태 압박 피하기		
	터치 제스처	터치 제스처 인터랙티브 디자인		
기타데이터	손톱(길이, 네일아트)	마우스 크기	변화하는 점, 선, 면, 체, 군집과 형태 변화	컬러 식별 센서
	인종(5 손가락 비율, 피부색)	마우스 배색과 사이즈		
	유연성	버튼 위치		
	기동성	복잡한 버튼 동작-게이머		
	위생 건강 및 방역(청소)	소재,방수성,탈부착이 용이한 조립,모듈화		

손에 Fit 한 형태를 생성할 수 있는 Arduino+ Grasshopper 도구를 제안한다. 인체 데이터를 Grasshopper 에서 제품 형태를 제어하는 데이터로 전환하는 방식 예를 들면, 손가락과 손바닥의 굽힘 곡선을 제품 형태의 핵심 스트럭처 라인의 곡률로 변환한다. [표 9]에서는 구체적인 손 데이터와 3D 형태 변화와의 상관관계를 나열하였다.

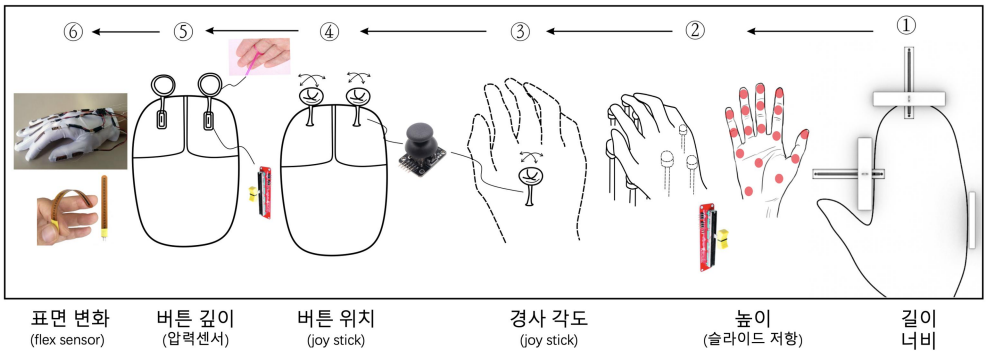
[표 10] 마우스의 요구조건에 따라 최적화된 디자인 조합 추천

사용자 신분	추천한 손에 FIT 데이터	추천한 디자인 요소	생성된 마우스 형태
장애인	1, 8, 9, 21, 22, 23	맞춤화	손 장애에 따른 맞춤화 형태 생성
오피스족/직장인	1, 4, 12, 16, 23, 24, 30	손과 마우스의 최대 접촉 면적을 만들다	손바닥에 밀착된 형태

노인, 아이	1, 4, 14, 20, 24, 25	크기 조절 가능	손 크기에 따라 해당 크기 형태 생성
Gamer	1, 4, 6, 25, 29	맞춤형 멀티 기능 및 특수 기능	맞춤 제작 가능한 기능과 형태
개성화 추구한 사람	5, 4, 16, 26, 27	컬러 소재 패턴 맞춤화	겉면 소재 색상과 결 맞춤화
매장에서 자기에 맞는 마우스를 찾을 수 없는 사람	1, 2, 3, 4, 7, 15, 16, 21, 25	손 종합 데이터에 따라 바로 맞춤화 마우스 생성	쉽고 빠른 과정을 통한 맞춤화 형태생성
손에 FIT 데이터: 1size 크기, 2 굵기/두께 사이즈, 3 살찐정도 BMI-BodyMassIndex (지방 함량), 4 사용 자세, 5 터치 제스처, 6 왼손잡이/양손잡이, 7 pressure points, 8 질병, 9 손가락 장애 Incomplete, 10 장님, 11 우울증 사용자,12 과도한 스트레스를 받는 사용자,13 노인, 14 손 떨림 환자, 15 手손바닥 온도, 16 촉감, 17 손금 (Palmprint , 지문), 18 손고치, 19 모발, 20 혈관, 뉴런 (48 개의 신경 , 33 개의 동맥), 21 손뼈 (29 개), 22 관절 (크기 , 섹션 수), 23 근육 그룹 (인대 123 개 , 근육 35 개), 24 손의 힘 (손의 힘 크기), 26 손톱 (길이 , 네일아트), 27 인종 (5 손가락 비율 , 피부색), 28 유연성, 29 기동성 flexibility, 30 위생 건강 및 방역 (청소)			

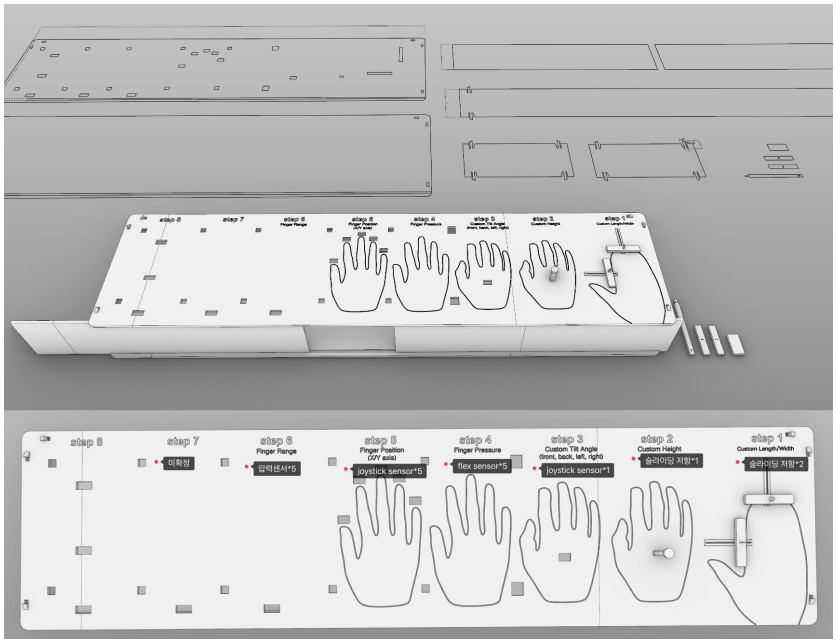
[표 10]과 같이 플랫폼 툴은 사용자의 신분과 사용 목적에 따라 최적화된 디자인 조합을 추천할 수 있다. 예를 들어, 사무직에게는 손이 마우스와

닿을 수 있는 면적을 최대한 늘려 피로를 줄여주고, 게이머들에게는 본인이 원하는 맞춤형 크기, 맞춤형 멀티 버튼, 맞춤형 무게 등의 디자인 요소를 추천한다.

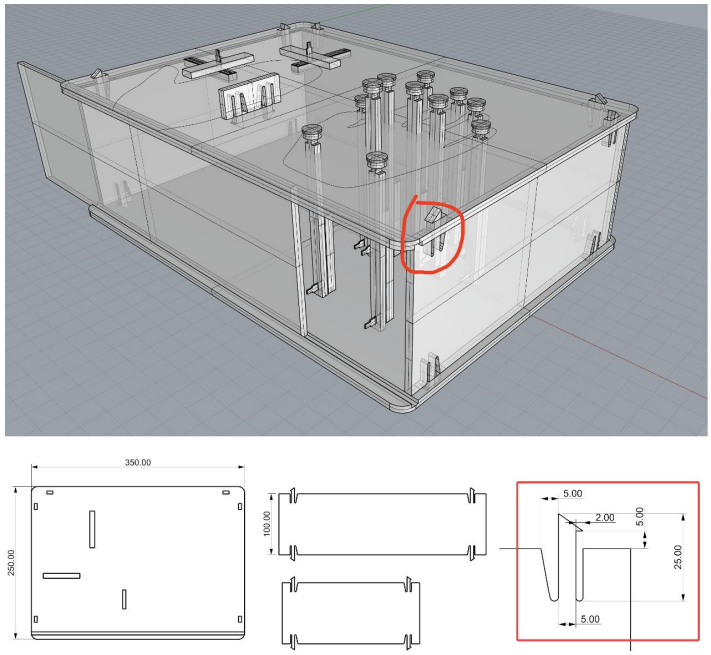


[그림 60] 레이저 커팅 측정 플랫폼 계획

[그림 60]과 같이 손 데이터와 형태의 관계에 따라 실제 손 데이터 측정 플랫폼을 디자인하였다. [그림 61]과 같이 인체 데이터와 형태의 전환 방법에 따라 실시간 3D 모형 시뮬레이션 시스템을 디자인하였으며, 시스템을 측정 플랫폼과 연동하여 측정 사용자는 측정 과정을 실시간으로 볼 수 있는 3D 모형 피드백 정보를 제공한다. 이 측정 플랫폼은 레이저 커팅과 3D 프린팅으로 다양한 센서를 결합한다. [그림 62]는 플랫폼의 구체적인 조합 방법과 구조 세부 사항이다.

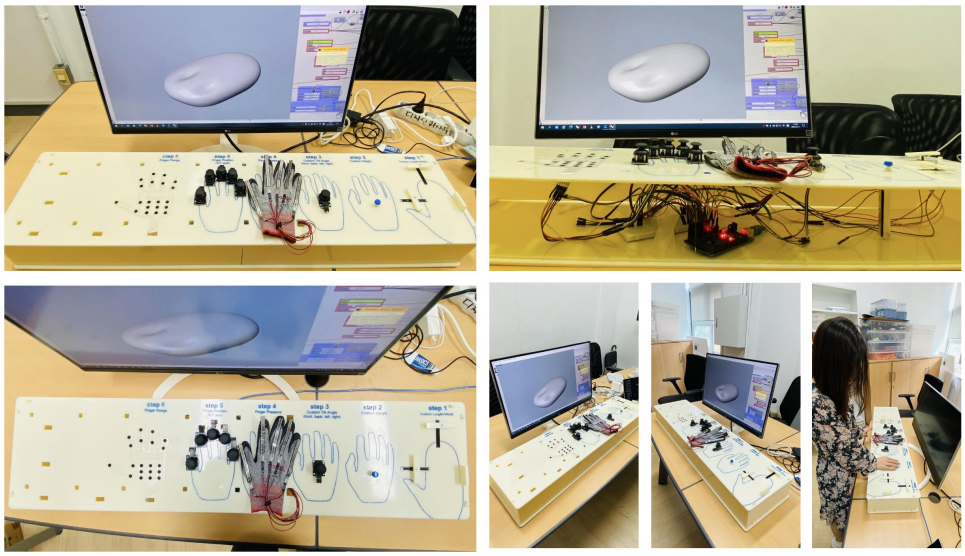


[그림 61] 손 데이터 수집 플랫폼: 왼쪽은 손 길이와 너비, 오른쪽은 손가락/손바닥 위치와 높이를 측정

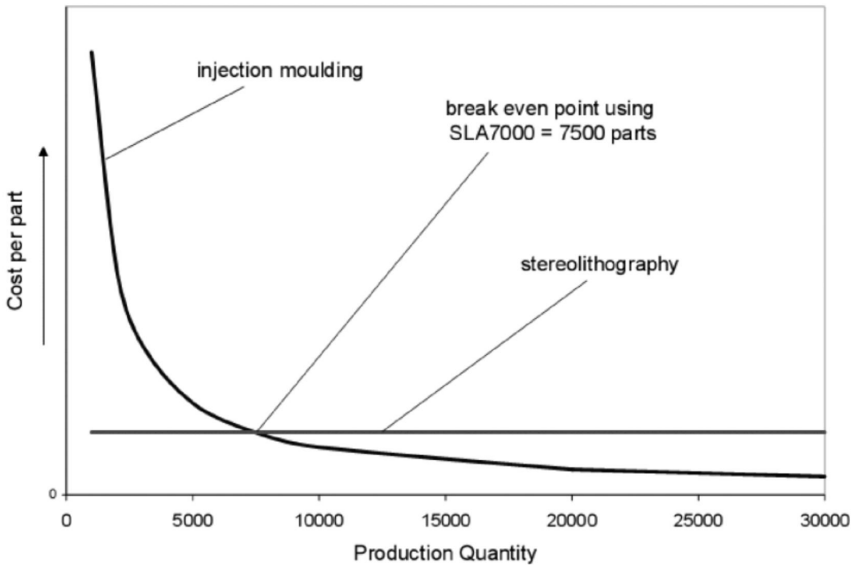


[그림 62] 플랫폼 조립 방법 : buckle 구조

[그림 63]은 플랫폼 샘플의 최종 조립 및 실제 사용자 테스트를 보여준다. 각종 센서와 연결선은 플랫폼 조립 박스 내부에 숨겨져 있다. 사용자는 테스트를 할 때 오른쪽에서 왼쪽으로 6 단계를 거치면 모니터에서 자신의 손 데이터에 맞는 3D 마우스 모형을 실시간으로 볼 수 있다. 테스트 과정은 실시간으로 모형의 변화 과정을 볼 수 있으며, 언제든지 임의의 단계로 되돌아가 재측정 및 원하는 수치를 자발적으로 수정/입력하면 모형은 수집한 정보를 통해 실시간으로 형태를 업데이트할 수 있다.



[그림 63] 손에 Fit 한 형태를 생성할 수 있는 Arduino+ Grasshopper tool 개발 플랫폼의 실제 조합/ 테스트 과정



[그림 64] comparison for injection molding and stereo lithography[64)]

일련의 방식을 통해 맞춤형 제조 생산에 추가로 증가된 원가를 해결한다. 예를 들면, 성숙한 3D 프린팅 기술과 광조형 기술(stereolithography)을 통해 형태 금형 비용을 절감한다. 일반적인 PCB 회로기판이 맞춤형 디자인 수요를 충족시키지 못하는 경우 연성회로기판(Flexible Printed Circuit Board, FPC)을 사용하여 추가로 회로기판을 설계하는 비용을 절감할 수 있다. 유행하는 사용자 디자인 결과와 디자인 스타일을 제품 데이터베이스에 탑재하면, 후속 고객 맞춤형 디자인 스타일에 많은 참고가 될 것이며, 더욱 빠른 선택 경로(사용자가 디자인 스타일을 선택한 후 자신의 인체 데이터만 제공하면 시스템 디자인 스타일을 생성할 수 있고, 또한 자신의 인체 데이터에 완전히 맞는 맞춤형 제품을 생성할 수 있음)를 제공할

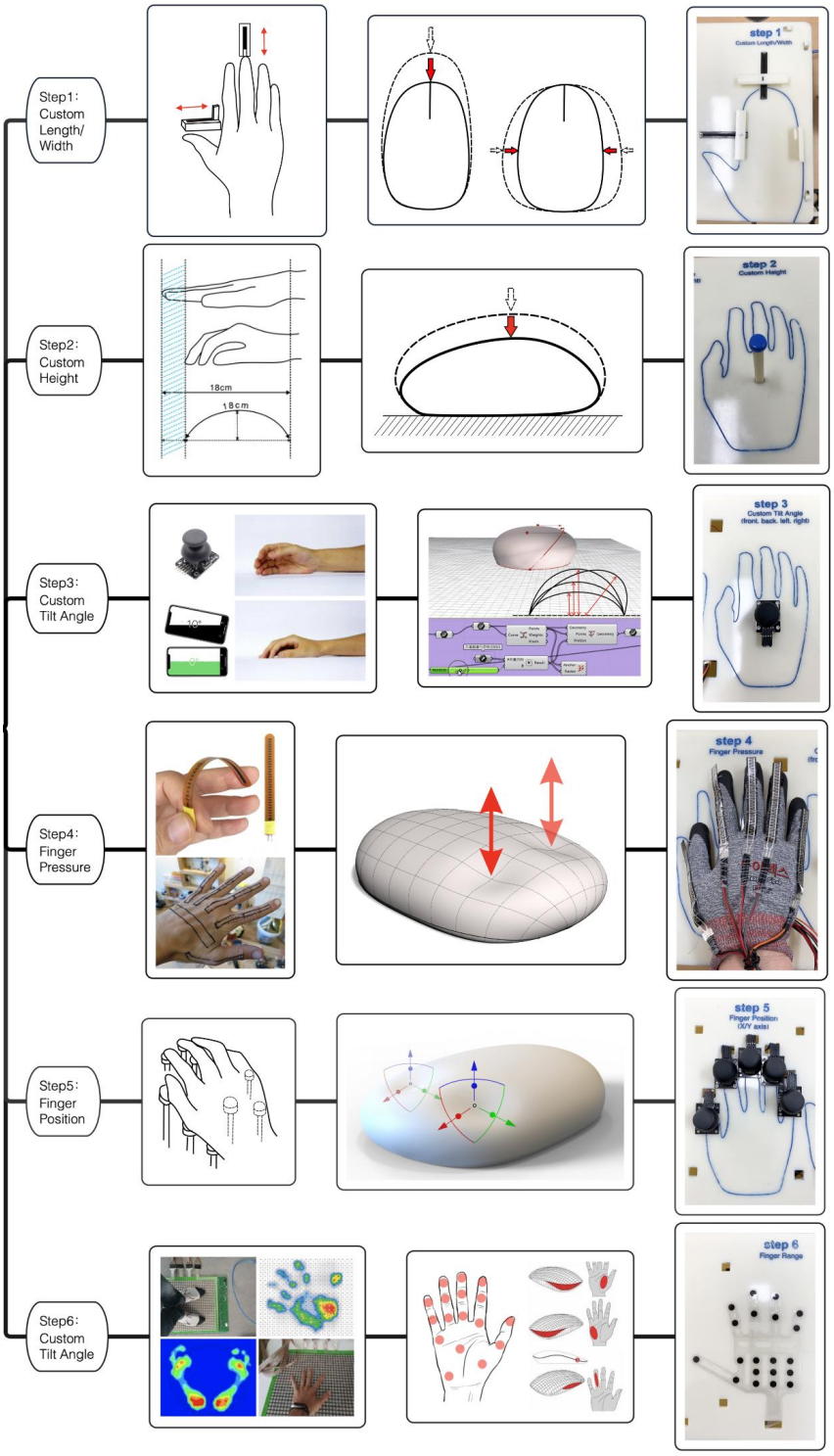
64) https://www.researchgate.net/figure/Cost-comparison-of-SLS-versus-Injection-Molding_fig9_281078350

수 있으며, 같은 디자인 스타일이 일정량에 도달하면 생산 비용도 절감할 수 있다. [그림 64] 참조.

6.2 손 데이터에 Fit 하는 맞춤형 마우스 형태 디자인

[그림 65] 사용자의 실제 플랫폼 손 데이터 수집과 형태 디자인 과정

[그림 65]는 사용자가 진행한 실제 플랫폼 손 데이터 수집과 형태 디자인 과정이다. 그림 [그림 66]은 손 데이터 측정 방법 및 형태 생성 로직 시스템 구조도이다. 모든 과정은 사용자가 데이터를 스스로 입력할 필요 없이 테스트하는 손을 안내에 따라 플랫폼의 해당 위치에 놓으면 3~5 분 만에 사용자의 손 데이터와 사용 습관에 맞는 3D 마우스 형태가 생성될 수 있다.

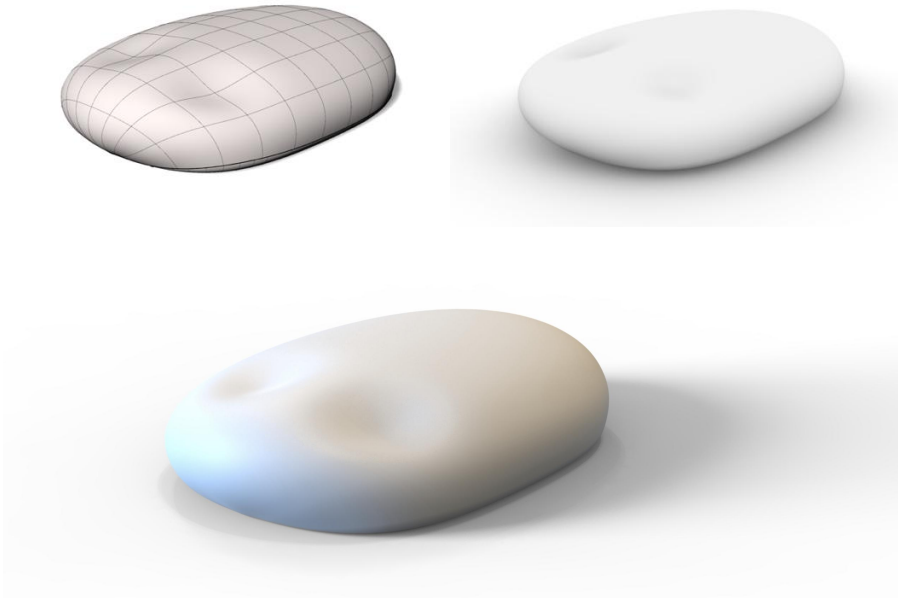


[그림 66] 손 데이터 측정 방법 및 형태 생성 로직 시스템 구조도

실제 손 데이터 수집 프로토타입 플랫폼 테스트를 통해 다음과 같은 디자인 결과가 얻었다.

1) 손 데이터에 Fit 하는 맞춤형 마우스 기초 형태 디자인_style 1

[그림 67]·[그림 68]·[그림 69] 참조.



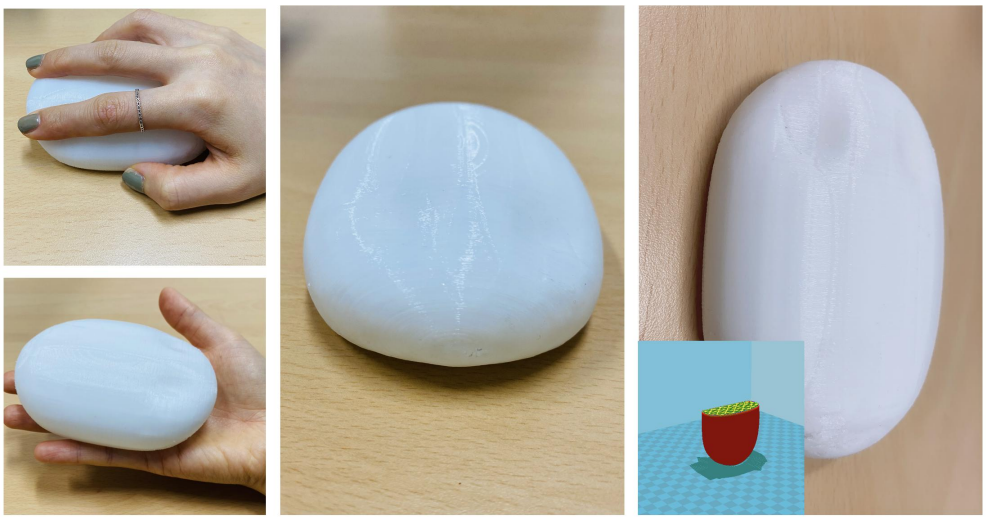
[그림 67] 맞춤형 마우스 형태

[그림 68] 맞춤형 마우스 형태 디자인(material rendering)

[그림 69] 맞춤형 마우스 형태 디자인 사용 환경

[그림 70]은 여성 사용자를 위한 손 데이터 생성에 따른 3D 프린팅 마우스 테스트 모형이다. 사용자 조사에 따르면 평균보다 손의 크기가 작은

것이 문제이고, 손의 길이에 맞춰 시중에 나와 있는 마우스를 선택하면 마우스 너비가 사용자의 사용 습관에 맞지 않았다. 또한 사용자는 평소 네일아트·액세서리(반지) 착용을 선호하기 때문에 해당 위치에 오목한 아치를 만들어 반지와 마우스 표면의 마찰을 줄이면서도 쾌적한 사용에 영향을 주지 않기를 바랐다. 따라서 Generative Design 플랫폼은 사용자의 요구에 맞는 가로와 세로 비율을 생성하고, 지정된 위치에 아치를 생성했다.

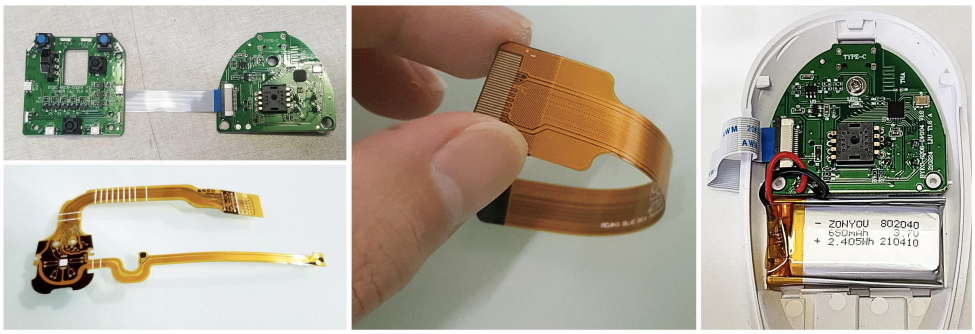


[그림 70] 사용자 맞춤형 3D 프린팅 마우스 테스트 모형

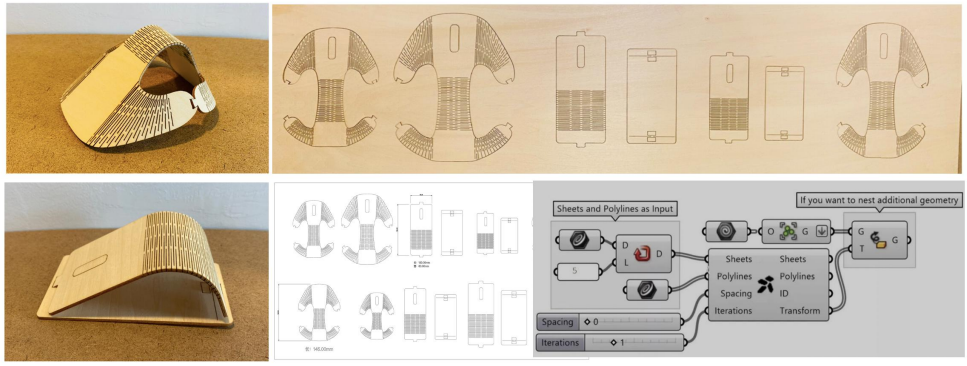
마우스와 손의 접촉 면적을 넓히고 장시간 사용 시 피로감을 줄이기 위해 [표 11]과 같이 마우스 상단과 손이 접촉하는 맞춤형 마우스 상면을 디자인하였다. 손 데이터를 통해 마우스 면의 가로·세로·높이·경사 각도를 조절할 수 있을 뿐 아니라 사용 습관에 따라 손가락 위치 형태도 조절할 수 있다.

2) 실제 생산 및 조립 문제에 관한 연구

일반적인 PCB 회로 기판보다 FPCB 회로기판이 맞춤 형태의 내부 공간에 대한 요구 사항을 충족시키기 쉽다. 그림 [그림 71]과 같이 FPCB 회로기판을 사용하여 다양한 외부 형태의 내부 회로기판 조립 상황을 충족시킨다.



[그림 71] FPCB 회로기판을 통한 내부 회로기판 조립

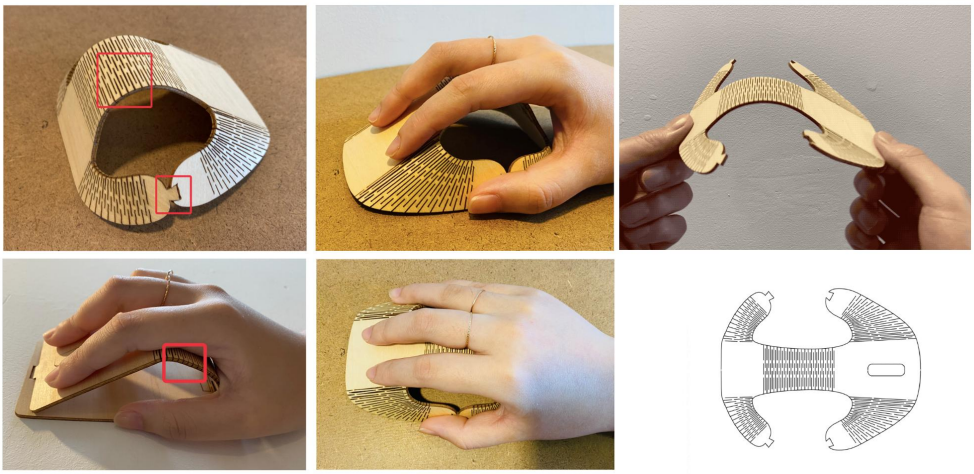


[그림 72] 레이저 조각 목판 조립식 맞춤형 마우스

최종 결과물의 생산 원가와 효율 문제를 해결하기 위해 3D 프린팅 외에도 다양한 생산방식을 시도하였다. 예를 들어, [그림 72]와 같이 목판(2~3mm 피나무 널빤지)을 이용하여 레이저 조각을 진행하였다. 플랫폼

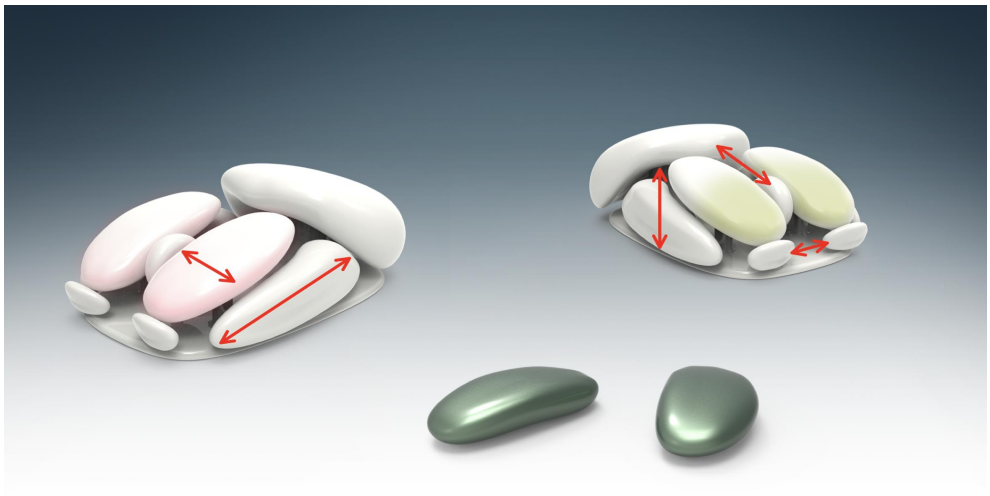
은 최종 공장에서 생산되는 조각에 맞는 도면을 자동으로 생성해 후반 단계 실제 모델 제작의 효율성을 높이고 생산원가를 절감하였다.

[그림 73]과 같이 목판은 유연성이 없어 구부린 위치에 1.25mm 간격의 절단선을 설계하였다. 또한 Generative System 에서 수집한 사용자의 손 데이터에 따라 커브 부분의 커팅 라인의 가로와 세로 사이즈가 자동으로 변경되어 맞춤형 사이즈 요구에 부응할 수 있다. 접을 수 있는 가죽 재질의 Morph 마우스의 특징을 참고해 소재를 목판으로 바꾸고 레이저 조각 방식을 적용하면 원가를 절감하고 대량으로 맞춤화할 수 있다. 조립과 분해가 용이하고 휴대성을 높이기 위해 연결부에는 나무 재질의 특성을 살려 '장부이음(mortise joint)' 방식으로 연결했다.



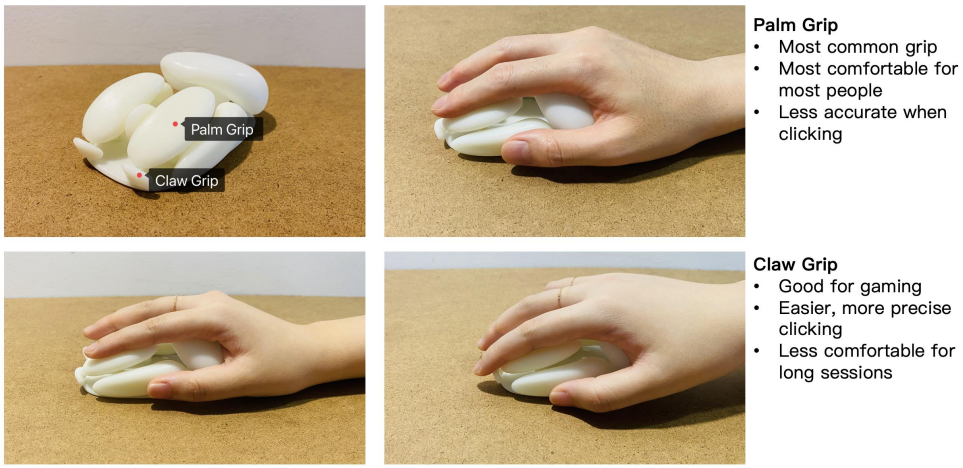
[그림 73] 레이저 조각 목판 조립도

3) 맞춤화 마우스 형태 디자인 - style 2 - 돌 형태의 맞춤 마우스



[그림 74] 돌 형태의 맞춤 마우스 Generative Design

[그림 74]는 돌 형태 맞춤형 마우스의 Generative Design 이다. 각 돌의 크기, 간격, 형태는 손 데이터에 맞춰 조절할 수 있다. 돌 형태를 사용하면 매끄럽고 편안하며 마사지 효과도 있다.



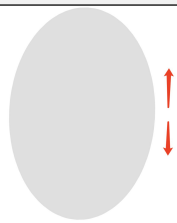
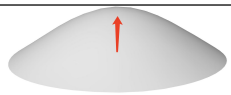
[그림 75] 3D 프린팅을 통한 사용자 테스트

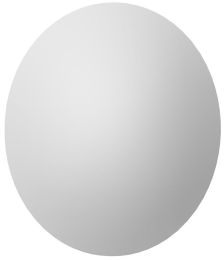
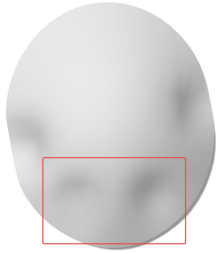
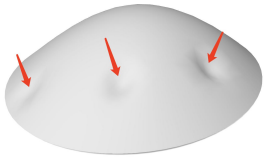
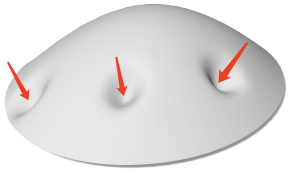
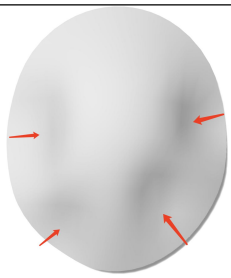
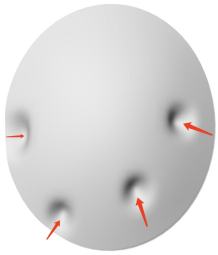
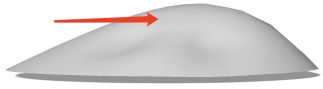
[그림 75]는 3D 프린팅을 통한 사용자 테스트이다. 두 가지 버튼 사용 방식으로 피로를 방지할 수 있으며, 게이머의 다양한 맞춤형 버튼 방식 수요를 충족시킬 수 있다.

4) 맞춤형 마우스 형태 디자인 - style 3

마우스와 손의 접촉 면적을 넓히고, 장시간 사용 시의 피로감을 줄이기 위해 [표 11]과 같이 마우스 상단과 손이 접촉하는 맞춤형 마우스 상면을 설계하였다. 손 데이터를 통해 마우스 면의 가로·세로·높이·경사 각도를 조절할 수 있을 뿐 아니라 사용 습관에 따라 손가락 위치의 형태도 조절할 수 있다.

[표 11] 손 데이터에 fit 하는 맞춤화 마우스와 손이 접촉 부분의 형태 디자인 process.

손의 데이터	조정 과정	모델의 실시간 변화 과정	
손길이	마우스 길이		
손 너비	마우스 너비		
손바닥 높이	마우스 높이		

손바닥 너비	부풀린 범위		
손가락 위치	오목 정도 위치		
손가락 압력	오목 정도 깊이		
손가락 너비	오목 정도 범위		
손 경사각도	마우스 전후좌우 경사각도		

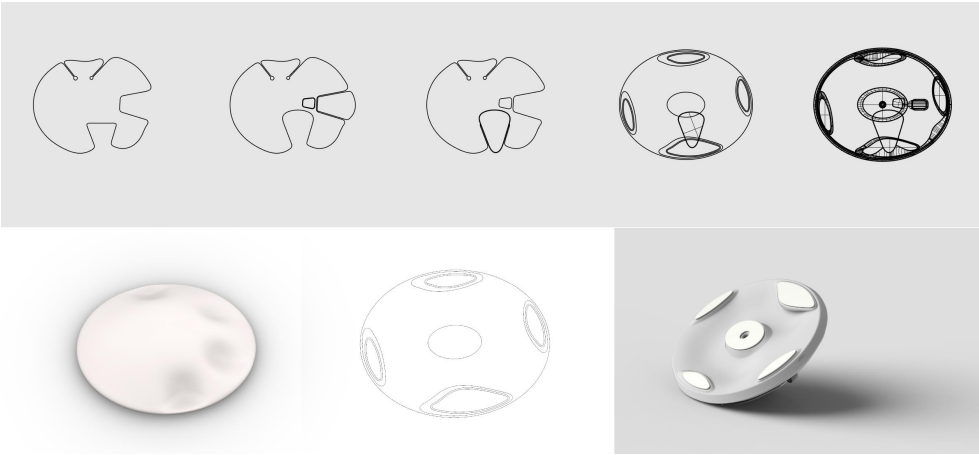
텐저블 사용자 인터페이스(TUI)를 통해 인체 특성 데이터를 이용해 파라메트릭 디자인 중 형태 최적화 체계를 보완한다. 테스트 플랫폼은 각종 센서를 통해 손과 마우스의 접촉 면적을 최대한 늘려 장시간 사용시의 피로감을 줄이도록 설계되었다.

[그림 76]·[그림 77] 참조.

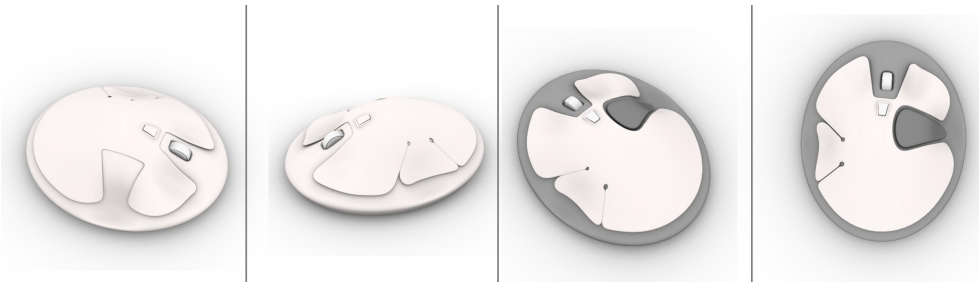
[그림 76] 손 데이터에 Fit 하는 맞춤형 마우스 형태 디자인 1

[그림 77] 텐저블 사용자 인터페이스(TUI): 마우스 형태 변화/맞춤화 마우스 케이스 형태 디자인(style2)

①압력 센서를 통해 손바닥의 각 부위에 가해지는 압력을 표면 굴곡 정도로 변환 ②피부 전류 센서를 통해 표정/감정/신경 활동을 형태를 변환 ③다섯개의 손가락은 플렉스 센서로 표면의 변화 제어 ④크기/볼록 높이/중심 경사 각도 조절 가능



[그림 78] 맞춤형 마우스 바닥 지지대

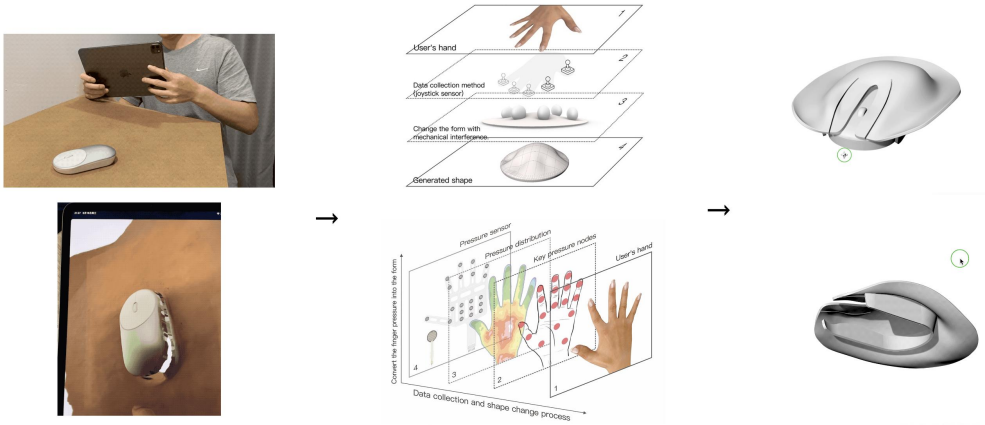


[그림 79] 생성한 데이터 형태에 기반해 디자이너는 보조 디자인 또는 여러 개의 디자인 방안을 생성해 사용자가 선택할 수 있게 함

[그림 80] 맞춤형 마우스 케이스 형태 디자인

손 데이터에 따라 맞춤형 마우스 부품을 생성할 수도 있고, 간편하게 교체할 수 있는 맞춤형·모듈화 마우스 부품을 통해 마우스 바닥 접촉 면적·마우스 무게·마우스 기울기 각도 등 맞춤형 파라미터를 조정할 수도 있다. [그림 78]과 같이 손 압력과 사용 습관에 따라 맞춤형 마우스 케이스와 바닥의 형태 구조를 생성할 수 있다. 앞면이 압력을 받을수록 뒷면의 지지대 면적이 넓어진다. [그림 79]·[그림 80]과 같이 사용자의 기존 마우스 데이터에 따라 맞춤형 마우스 케이스를 생성할 수 있다. 마우스 케이스를 기존 마우스에 씌워 사용하여 마우스 교체 없이도 맞춤형 서비스를 받을 수 있다.

5) 손 데이터에 Fit 하는 맞춤형 마우스 형태 디자인 - style 4 맞춤형 마우스 케이스



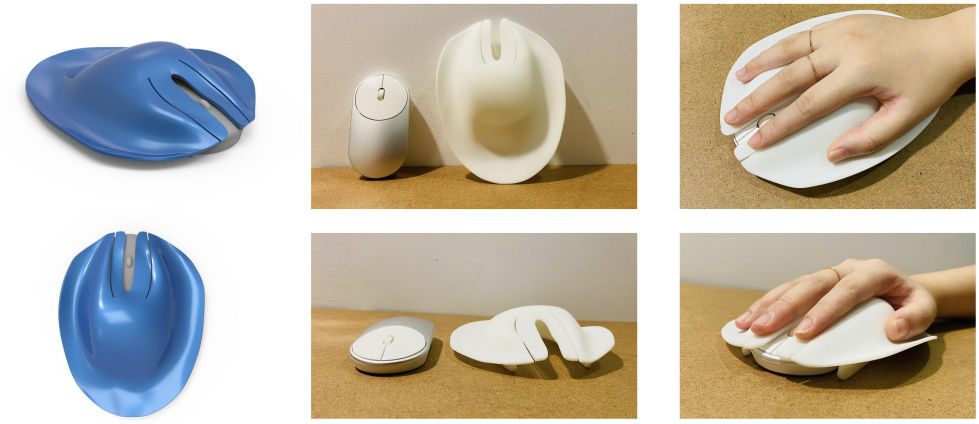
a.마우스 3D 모델 정보 수집 (LiDAR camera)　b.테스트 플랫폼 손 데이터 수집　c.맞춤형 마우스 케이스

[그림 81] 맞춤형 마우스 케이스 디자인 프로세스

그림 [그림 81]은 iPad 의 LiDAR camera 를 통해 실제 마우스를 스캔한 후, 손 데이터를 결합하여 생성한 맞춤형 마우스 케이스이다. 엄지손가

락·새끼손가락·손목에 지지대가 있어 손과 마우스의 접촉 면적을 늘리고 마우스의 장시간 사용으로 인한 피로감을 줄일 수 있다.

[그림 82]는 3D 프린팅을 통한 맞춤형 마우스 케이스와 실제 사용자 테스트 모습이다. 이 3D 프린팅 마우스 케이스의 가격은 1 만원으로 마우스 구입 가격과 비슷하다.



[그림 82] 3D 프린팅을 통한 맞춤형 마우스 케이스와 실제 사용자 테스트
(DLP 액체 프린팅-가격 1 만원-2022 년)

6) 손 데이터에 Fit 하는 맞춤형 마우스 형태 디자인 - style 5 사용자 캐릭터별 맞춤형 마우스

[그림 83] 사용자 캐릭터별 맞춤형 마우스

[그림 83]은 사용자 캐릭터별로 맞춤화된 마우스 디자인이다.

[그림 84] 사용자 캐릭터별 맞춤형 마우스 사용 효과도

[그림 84] 의 가장 왼쪽은 어린이의 손 사이즈에 맞게 생성된 맞춤형 마우스이다. 코로나 19 로 아이들이 온라인 수업을 들으며 마우스를 사용하는 경우가 늘어났다. 왼쪽에서 두 번째는 여성을 위한 좁은 사이즈의 맞춤형 마우스로, 스타일리시한 컬러를 선택할 수도 있다. 오른쪽에서 두 번째는 노인을 위해 잡기 편하고 손 떨림을 방지하며 쉽게 피로하지 않도록 맞

춤형 마우스 케이스를 설계했다. 가장 오른쪽은 장애인을 위한 맞춤형 마우스로, 형태와 버튼 방식을 맞춤화하였다.

[그림 85] 사용자 캐릭터별 맞춤형 마우스

[그림 85]는 장애인을 위해 생성한 두 종류의 맞춤형 마우스이다. 조이스틱 센서와 프레셔 센서의 물리적인 방식으로 구체 모형을 원하는 형태로 압축할 수 있다. 맞춤화 작업 과정에서 손 장애인은 손가락으로 정확하게 조작할 필요 없이 편리하게 맞춤화의 전 과정을 마칠 수 있다.

7) 손과 관련된 제품의 테스트 - 맞춤형 컨트롤 스틱

[그림 86] 손과 관련된 제품의 테스트 - 맞춤형 컨트롤 스틱

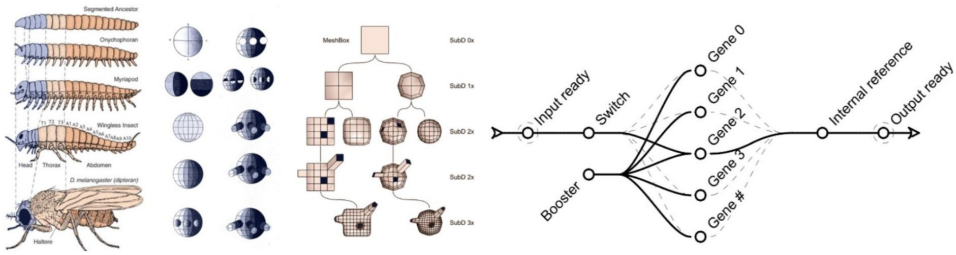
[그림 87] 맞춤형 컨트롤 스틱 렌더링

[그림 88] 맞춤형 컨트롤 스틱의 사용자 실제 모형 테스트

본 연구에서 제안한 Generative 맞춤형 디자인 플랫폼을 다른 손 관련 제품의 테스트에 적용하였다. [그림 86]·[그림 87]은 경사각도, 손잡이 굵기, 버튼의 위치 등을 조절할 수 있는 맞춤형 컨트롤 스틱이고, [그림 88]은 사용자의 실제 모형 테스트 과정이다.

6.3 인체 데이터 맞춤형 제품 형태를 기반으로 다른 스타일의 형태를 자동으로 생성

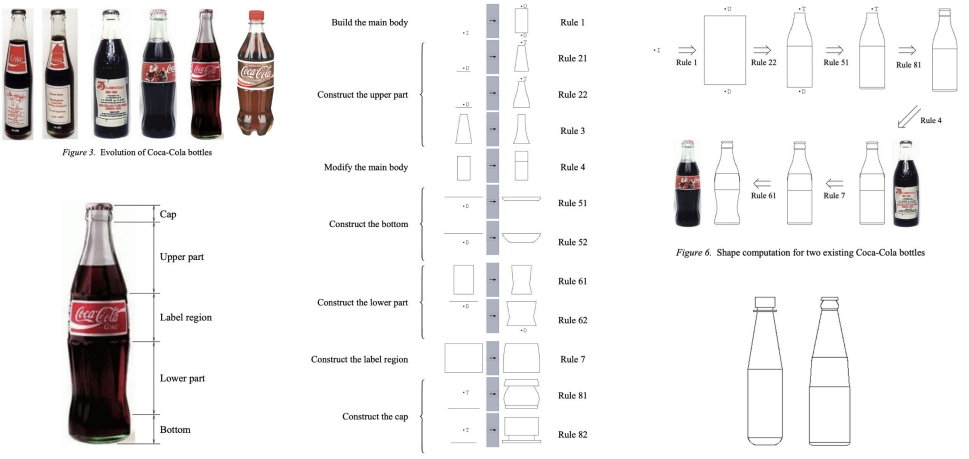
[그림 89]와 같이 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용하여 자연 속 생물 진화 법칙에 따라 다양한 형태를 시뮬레이션하여 이중에서 최상의 형태를 선택할 수 있도록 제안한다. 구체적인 방법은 목표 형태를 여러 부분의 간단한 기본 형태 조합으로 단순화하고, 디자이너는 기본 형태의 파라미터를 추출하여 설정 범위 내에서 기본 형태의 파라미터 조합 변경을 통해 다양한 목표 형태를 생성하는 것이다.



[그림 89] Gene-Regulation for Digital Architecture[65)]

[65)] Navarro-Mateu, D., & Cocho-Bermejo, A. (2019). Evo-devo algorithms: gene-regulation for digital architecture. Biomimetics, 4(3), 58.

다양한 형태를 자동으로 생성하는 또 하나의 방식은 복잡한 목표 형태의 그룹을 여러 개의 간단한 단위 부분으로 단순화하고, 이 단위 형태를 알고리즘을 통해 랜덤으로 파라미터화하여 조정하고, 조정한 각 부분 형태를 새로운 전체제품으로 조합하는 것이다. [그림 90]은 코카콜라 병을 모티브로 한 멀티 생성 사례이다. 기본 형태를 간소화하고, 계산에 편리한 핵심 파라미터를 추출하여, 형태 차별화 연산을 진행한다. 병의 형태를 상·중·하부로 단순화하고, 각 부분의 파라미터를 변경하여 서로 다른 형태의 조합을 실현한다.[66)]



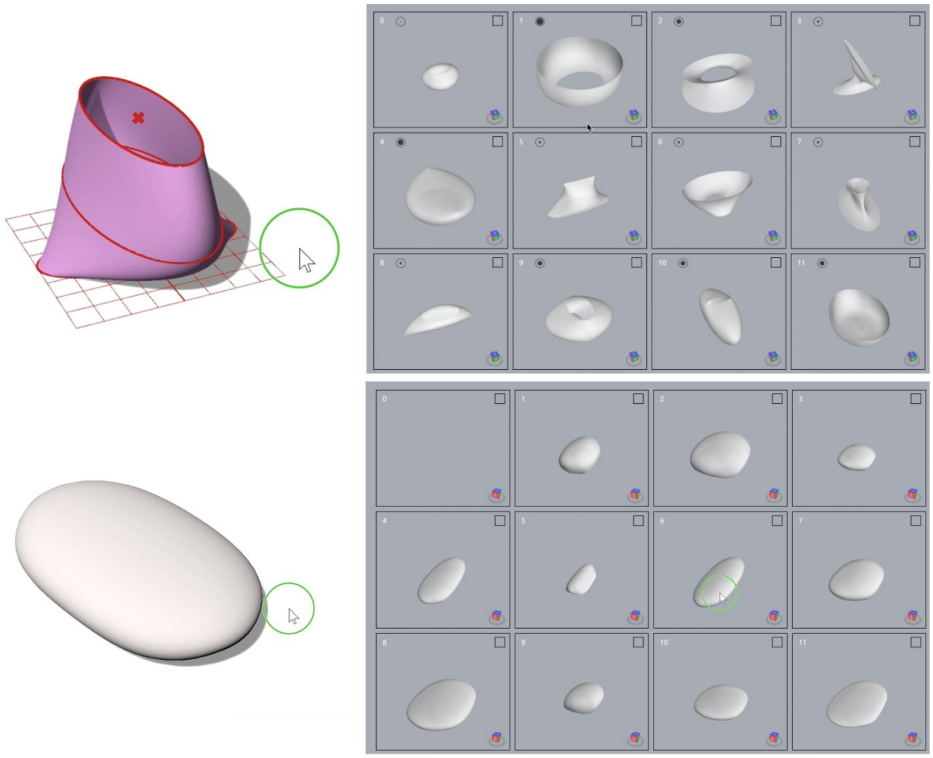
[그림 90] Evaluation of a 3D Shape Grammar Implementation-Coca-Cola bottle as an example

예를 들어, 3 개의 원형 곡선을 통해 원형관 형태를 만들고, 다시 3 개의 원의 지름과 곡률을 각각 변경하여 다양한 조합을 얻어 다양한 형태를 생

---

66) Chau, H. H., Chen, X., McKay, A., & Pennington, A. D. (2004). Evaluation of a 3D shape grammar implementation. In Design computing and cognition'04 (pp. 357-376). Springer, Dordrecht.

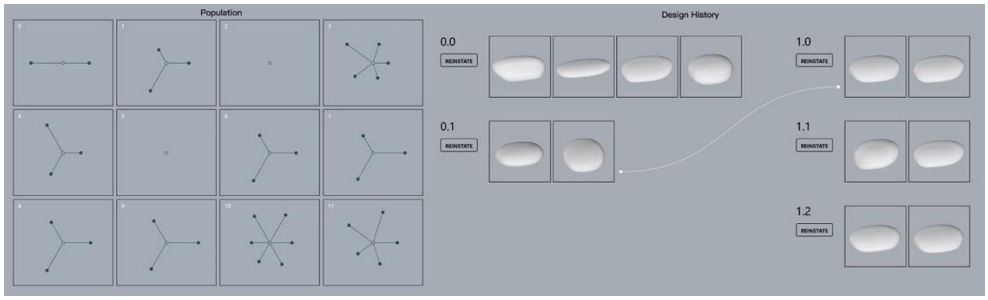
성한다. 생성된 다양한 형태의 결과를 비교하고 관찰하여 추가적인 선택과 조작을 동시에 할 수 있다.



[그림 91] 기본 형태의 파라미터 변경을 통한 다양한 목표 형태 생성

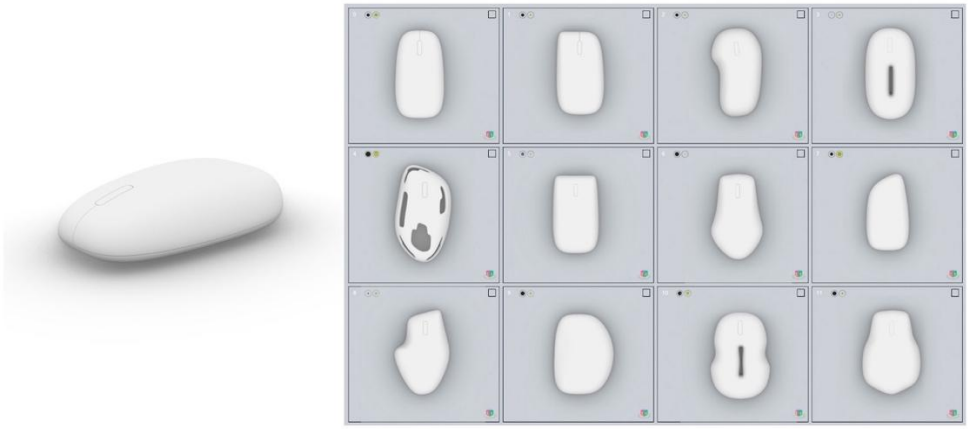
[그림 91] 과 같이 Grasshopper 에서는 Biomorpher 플러그인을 통해 기본 파라미터(곡선율, 가로, 세로, 높이, 기울기 각도)를 변경하여 다양한 형태의 마우스가 생성된다. 또한 생성된 형태 결과 중 원하는 스타일을 선택하여 2 차, 3 차 추가 생성 작업을 통해 자신이 만족할 수 있는 형태를 만들 수 있다.

전체적인 디자인 스타일을 그대로 유지하면서 다양한 변형 형태를 생성할 수 있다.



[그림 92] Population and Design History

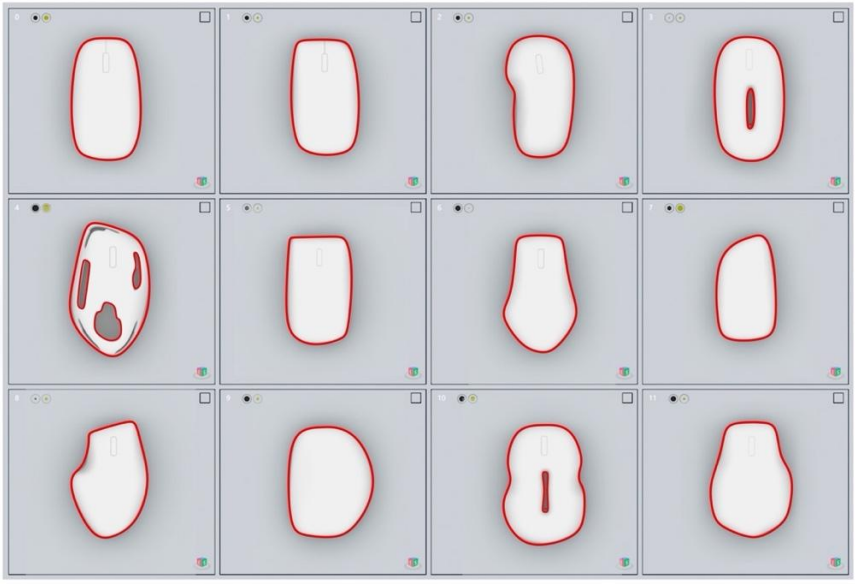
생성된 다양한 형태 중 원하는 형태를 선택하여 다음 단계의 형태 생성을 통해 자신이 만족하는 형태가 될 때까지 진행한다. 디자인 히스토리를 통해 사용자는 단계별로 생성되는 모든 형태를 살펴보고 비교하여 원하는 형태를 선택할 수 있다. 생성된 결과가 마음에 들지 않으면 언제든지 원래대로 돌아가 다시 선택할 수 있다. [그림 92] 참조.



[그림 93] 인체 데이터 맞춤형 제품 형태를 기반으로 다른 스타일의 형태를 자동으로 생성

Generative Design 플랫폼을 통해 손 데이터를 수집하여 자신의 인체 데이터에 맞는 마우스의 기본 형태를 생성한 후, 일부 파라미터를 변경함으로써 사용자가 2 차 선택할 수 있도록 다른 스타일의 형태를 생성한다. [그림 93]의 왼쪽은 플랫폼을 통해 손의 데이터를 수집하여 생성한 마우스의 기본 형태이다. 오른쪽의 16 가지는 일부 파라미터를 변형해 만든 다양한 스타일의 마우스 형태이다. 이중 고정 파라미터는 가로·세로·높이·경사각도·버튼 위치이고, 가변 파라미터는 R 각 원각도·마우스 외측 윤곽·마우스 내측 윤곽·윗부분 면적·부피·무게이다. 가변 파라미터가 많을수록 사용자가 선택할 수 있는 형태 스타일도 많이 생성된다. 예를 들어,

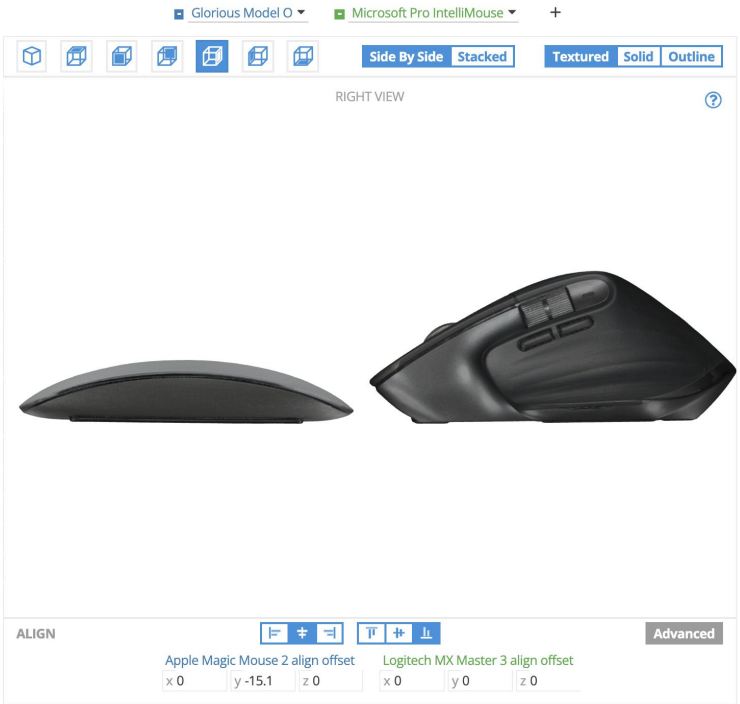
[그림 94]과 같이 부피와 무게가 변하지 않도록 설정할 경우, 마우스의 바깥 윤곽이 다른 형태로 생성되고, 그후에 Rhino 환경에서 Grasshopper를 통해 다양한 마우스 디테일이 추가 생성될 수도 있다.



[그림 94] 부피와 무게가 변하지 않도록 설정할 경우 마우스의 바깥 윤곽이 다른 형태로 바뀜

6.4 Generative 맞춤형 마우스 플랫폼 테스트

Generative 맞춤형 마우스 플랫폼의 개발에서 디자인 사례를 추가하여 이 툴이 사용자 참여 디자인에 활용되어 좋은 디자인 결과물을 만들어낼 수 있음을 알 수 있으며, 더불어 툴의 효율성도 확인할 수 있다.



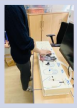
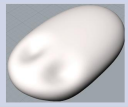
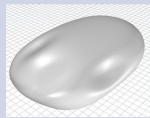
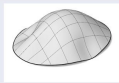
[그림 95] Mice 3D Shape Compare Tool[67)]

어떻게 하면 자신이 사용하는 마우스와 인체 맞춤형 마우스의 크기 및 형태 차이를 보다 명확하게 시각화할 수 있을까? RTINGS 의 3D 마우스 모양 비교 툴을 통해 사용자의 기존 마우스와 지정된 마우스의 모양과 크기를 비교해볼 수 있다. [그림 95]와 같이 사용자는 시장에 출시되어 있는

67) https://voltcave.com/measure-hand-size/

252 개의 기존 마우스와 비교하거나, 자신의 마우스 모델을 업로드하여 모양, 크기, 다양한 각도 등을 비교하면서 마우스의 차이를 확실하게 발견할 수 있다.

[표 12] 플랫폼의 사용자 테스트 및 평가

	사용자 신분	테스트 과정	테스트 결과	평가 및 의견
사용자 1	디자인 학과 대학원생			오른 손만 테스트가 가능함
사용자 2	예술가			맞춤형 디자인이 좋음
사용자 3	연구원			손가락 위치가 맞춤형이어서 좋지만 조정이 불편함
사용자 4	공대 대학원생			모형이 아닌 실제 사용이 필요할 것 같음

[표 12]와 같이 사용자 조사 결과에 따르면 테스트 툴은 개선이 필요하지만, 맞춤형 마우스는 쾌적함 측면에서는 긍정적인 평가를 받은 것으로 나타난다.

7. 결론 및 전망

선행연구와 사용자 설문 조사를 통해 마우스 사용에는 장시간 사용으로 인한 불편함의 문제가 있고, 이에 따라 손에 Fit 한 맞춤형 마우스에 대한 수요가 점차 증가하고 있음을 알 수 있다.

본 연구는 마우스와 같은 다양한 물리적 장비의 맞춤형 형태 디자인을 개발할 수 있는 디자인 도구의 개념과 개발 과정을 설명하고, 마우스의 크기, 표면 형태, 버튼 위치, 디자인 스타일 등의 손 데이터 설계를 통한 맞춤형 마우스 형태를 디자인하였다. 맞춤형 시스템 도구는 손 관련 다른 제품의 맞춤형 디자인에도 적용할 수 있지만, 아직은 미흡한 부분이 있다. 예를 들어, 손 데이터 측정 플랫폼의 인터랙티브 방식은 번거로움이 있으며, Grasshopper 알고리즘은 실시간 3D 모델 시연과 호흡이 맞지 않아 심화 및 개선이 필요하다. 현재는 주로 제품의 물리적 사이즈가 인체 데이터에 맞는 부분적인 맞춤형 수요를 충족시키고 있으며, 후반 단계에서는 제품 디자인 스타일과 같은 풍부한 맞춤형 콘텐츠를 개선해야 한다. 현재의 플랫폼 모델은 작은 사이즈의 사무용 제품의 맞춤형에만 적합하다는 단점이 있다.

향후 이 연구 방향에 맞춰 심도 있게 개선해 나가고자 한다. 그 일환으로 부족한 부분에 대해 다음과 같이 추후 개선 계획을 수립하였다.

①측정 단계의 간소화: 장갑 하나로 측정 절차를 통합하고 간소화한다.

②네트워크 연결: 주변 전자기기(휴대전화/컴퓨터)의 기존 센서로 온라인 맞춤을 가능하게 한다. Grasshopper 온라인 편집 플러그인 Shape Diver 와 온라인 제스처 식별 방법을 사용한다.

③주요 표준 규격의 마우스 회로 기판에 적용하여 실제 조립을 실시한다. (실제 기능 사용 후 평가 및 개선)

④툴을 손에 fit 한 다른 맞춤형 제품에 적용한다. (예: 키보드, 손잡이, 핸들 등)

⑤마우스 디자인 스타일과 CMF 를 맞춤 제작한다.

⑥측정방식을 자동화한다.

⑦제품 세부 사항에 대한 자동화 디자인을 개선한다.

Generative Design 이 사용하는 파라메트릭 모델링 및 스마트 하드웨어 개발은 향후 스마트 시대의 제품 디자인에 필요한 기술과 방법이 될 것이다. Generative Design 을 사용하여 다양한 스타일 변형의 잠재력을 창출하고 주얼리, 3C 제품, 부품과 같은 특정 제품을 디자인한다.

Generative Design 의 다음 단계의 발전은 3D 프린트 기술의 효율과 정확도 향상 및 비용 절감 등의 생산기술의 진보에 달려 있다. Generative Design System 프로세스와 생산 방식을 개선하고, 전통적 생산기술과 결합하여 Generative Design 의 스타일링 강점과 전통적 생산방식의 대량 생산과 높은 효율성을 최대한 활용함과 동시에 컴퓨터 디자인과 수작업 디자인의 각자의 장점을 발휘한다.

현재의 Generative Design 에는 개인화(Personalization), 맞춤화(Customization), 독특성(Uniqueness)등의 장점이 있다. 현재의 맞춤화 서비스(Customization services)는 간단하고 단일하며 색상/사이즈/부품 정도만 선택할 수 있다. 본 연구는 인체 특성 데이터에 기반한 개인 맞춤형 Generative Design Process 를 제시함으로써 변화가 더 크고 풍부한 맞춤화 서비스를 제공할 수 있으며, 사용자가 제품 디자인 과정에 참여하게 할 수 있다. 제한된 조건을 통해 디자이너가 디자인을 탐색할 수 있도록 다양한 디자인 결과물을 생성하고, 사용자에게는 더 많고 유연한 디자인 옵션을 제공할 수 있다.

Generative Design 은 단순히 파라미터로 구성된 소프트웨어를 넘어 데이터와 디자이너가 표현하고 싶은 아이디어를 구현하는 새로운 방법이다. 향후 대량의 센서를 네트워크에 연결하여 사용하게 되면 오프라인에서 데이터 수집과 처리, 디자인 프로세스를 최적화하는 데 더욱 편리할 것이다. 디자이너들은 주기적으로 프로세스를 보완하고, 사용자는 집에서 센서를 통해 디자인에 필요한 데이터(인체 사이즈, 외모 특징, 지문, 목소리, 감정 등)를 포착하여 인터넷에서 디자인 시스템을 통해 자신의 디자인을 진행할 수 있다.

Generative Design 의 발전 문제는 현재의 생산기술에 달려 있다. 전통적 디자인 기술과 생산 공정을 융합함으로써 디자이너, 기업, 소비자를 연계하여 Generative Design 을 시장화하고, 시장화의 지원을 받아 생산 기술의 진보를 촉진할 수 있다.

인터넷 통신 기술의 발전으로 5G 기술은 만물이 서로 연결된다는 개념을 제시하며 사람과 사람 사이의 연계를 사람과 물건, 물건과 물건 사이의 연계까지 확장시켰다. 향후 6G 기술의 발전은 밀집된 센서에서 대량의 감지 정보가 생성될 수 있도록 네트워크 기술 지원을 제공할 것이다. 6G 는 인체와 인터넷, 감정과 촉각의 교류, 촉각 인터넷 등의 분야에서 새로운 응용이 가능할 것으로 보인다. 2G 가 이미지, 3G 가 비디오, 4G 가 라이브 방송, 5G 가 AR/VR 를 도입시켰다면 6G 는 이미지와 영상을 넘어 시각, 촉각, 미각, 감정 등의 지각 서비스를 제공할 것이다. 이러한 환경에서 Generative Design 서비스는 더욱더 활성화될 것이다.

본 연구에서 제안한 Generative 맞춤형 제품 디자인 툴의 특징을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 손의 인체 데이터를 형태로 변환하는 방법론에 대해 연구하였다. 본 논문에서는 손 데이터를 마우스 형태로 변환하는 새로운 방법을 제시하

였는데, 이러한 방법을 통해 다른 맞춤형 제품들이 인체 특징 데이터를 더 적합하게 사용할 수 있도록 도움이 되기를 바란다. 기존의 인체 맞춤형 제품 디자인은 단순한 형태는 맞춤화할 수 있지만, 복잡한 곡면 형태의 인체 데이터 맞춤을 하기에는 미흡한 부분이 있다. 본 연구에서는 더 많은 새로운 형태 변환 방법과 법칙을 제시하여 제품 디테일을 더욱 상세하게 맞춤화할 수 있다. 예를 들면 다음과 같은 형태 변환 방법이 있다.

- 손의 길이·너비 데이터를 마우스의 스트럭처 라인 곡률 값(곡선이 직선에서 벗어나는 정도)으로 변환하는 방식에 의해 마우스 크기를 더 정확하게 조절할 수 있다.
- ISO(the International Organization for Standardization 의 Ergonomics of human-system interaction—Part 410: Design criteria for physical input devices[68])의 기준과 대부분의 마우스 제조사의 데이터를 비교한 결과 마우스의 길이·너비 사이즈가 손바닥의 길이·너비 사이즈의 약 60%에 해당한다는 규칙을 발견했으며, 이 규칙을 바탕으로 맞춤형으로 조절하면 데이터를 보다 정확하게 만들 수 있다.
- 평평하게 곧은 상태와 구부러진 상태일 때 손끝에서 손목까지의 거리 차이를 통해 마우스의 높이를 추정할 수 있다.
- 곡선 굴곡 각도가 가장 큰 점을 유전 알고리즘(genetic algorithm)으로 계산해 마우스 상단 곡면의 최고점에 대응시킴으로써 마우스 상단 곡면의 형태 변화를 제어할 수 있다.

---

[68] EN ISO 9241-410:2008 - Ergonomics of human-system interaction - Part 410: Design criteria for physical input devices (ISO 9241-410:2008)

- 역학적 간섭을 이용해 마우스 형태를 바꿀 수 있다. 5 개의 구체를 이용해 5 개의 손가락의 위치를 시뮬레이션하고, 역학적 간섭과 역학적 부울 연산을 통해 간섭 후의 형태를 얻는다.
- 손가락 압력을 마우스 형태로 바꾸는 방식이다. 마우스 표면 형태에 힘을 받는 시뮬레이션 포인트를 설치하여 국부의 압력이 바뀌면 힘을 받는 시뮬레이션 포인트의 밀도와 수가 실시간으로 바뀌어 마우스 표면 형태 변화를 제어한다.

둘째, 손 인체 데이터 수집 방식에 대해 연구하였다. 본 논문에서는 다양한 손 데이터 수집 방식을 제시하였으며, 손 관련 제품의 맞춤형 디자인에 더 많은 근거를 제공할 수 있기를 바란다. 기존의 맞춤형 제품 플랫폼의 인체 데이터 수집은 인위적인 측정과 3D 스캔으로 이루어졌으며, 개별 데이터 수집 센서는 완전한 시스템이 형성되지 않았다. 본 연구에서는 더 많은 종류의 인체 데이터를 수집하여 분류함으로써 완전한 시스템 플랫폼을 형성하였다. 인체 데이터 수집, 데이터 분석 및 형태 변환, 사용자 상세 형태 맞춤화, 최종 3D 형태 생성 및 생산의 전 과정을 사용자가 독립적으로 수행할 수 있다. 예를 들어 다음과 같은 손 데이터 수집 방식이 있다.

- 슬라이드 저항으로 손바닥 사이즈와 손가락 굵기를 측정한다.
- 조이스틱 센서와 자이로 센서를 통해 손가락 위치와 손바닥 기울기 각도를 측정한다.
- 초음파 거리 센서를 통해 손바닥 높이를 측정한다.
- 피부 전류센서를 통해 긴장감이나 손 자세의 편암함을 체크해 근육 손상을 방지한다.
- 플렉스 센서를 통해 손가락과 손바닥의 굴곡 정도를 측정한다.
- 프레셔 센서를 통해 손가락과 손바닥의 압력값을 측정한다.
- 터치 센서를 통해 손바닥과 마우스 표면의 접촉 위치를 측정한다.

- 수위 센서를 통해 수위 변화를 측정해 손의 부피를 계산한다.
- 수평계와 경사각도 센서를 통해 손가락 관절의 경사 각도와 운동 성능을 얻을 수 있다.
- 컬러 식별 센서를 통해 피부톤을 측정할 수 있다.
- 카메라를 통해 사용자의 실제 형태를 포착해 데이터를 분석하고 활용한다.
- 립 모션을 통해 사용자의 제스처와 손의 핵심 노드를 포착한다.

셋째, 본 연구에서 제안하는 Generative 맞춤형 디자인 툴은 기존의 맞춤형 디자인과 비교하여 다음과 같은 특징을 갖는다.

- 패션 맞춤형 디자인과 달리 Generative 맞춤형 디자인 툴은 별도의 측정 인력 없이 플랫폼을 통해 사용자가 스스로 측정할 수 있다.
- 인체 데이터를 3D 스캔한 맞춤형 디자인은 형태가 정확하고 데이터가 풍부하다는 장점이 있지만, 사용 습관, 손 압력 데이터 등의 동적 데이터는 측정할 수 없다. 사용자가 디자인 과정에 참여할 수 없기 때문에 본 연구에서 제안한 방식과 같이 임의의 디자인 단계를 수시로 변경하고 디자인 결과를 실시간으로 비교할 수도 없다.
- 건축 분야의 맞춤화는 주로 이용자의 요구, 취향, 주변 환경에 맞게 디자인된다. 마우스 디자인과는 달리 건물 디자인의 맞춤화는 상세한 인체 데이터와 관계가 없다.
- VR 를 통해 가상 세계에서 맞춤형 디자인을 진행한다. 장소와 공간의 제약을 받지 않는다는 장점이 있다. 그러나 각각의 손가락 위치와 압력에 따라 마우스 버튼의 위치, 간격, 면적을 맞춤화하는 등의 세부적 인체 데이터 맞춤화에는 미흡한 점이 있다. 물리적 인터랙티브 방식의 리얼리티가 결여되어 있다. 메타버스 기술과 체성감각 디바이스의 발전에 따라 가상현실 시뮬레이션 기술이 보완될 것이다.

- 현재의 온라인 맞춤형 제품 디자인 플랫폼은 주로 사용자가 직접 인체 데이터를 입력하기 때문에 오차가 발생할 수 있다.
- 기존의 인체 데이터 수집 및 맞춤형 디자인은 테이블, 손잡이 등과 같은 대형 사이즈 또는 간단한 제품의 맞춤형 디자인을 충족시킬 수 있다. 그러나 마우스 형태에 같이 작은 사이즈나 세부 디테일의 맞춤화는 아직 미흡한 부분이 있다. 운동선수의 맞춤형 운동화와 같은 제품은 대량의 맞춤화 수요를 감당하기 어렵다.

넷째, TUI 디자인 방식과 동태적 형태 포착 디자인 방식을 결합하여 사용자가 디자인 과정에 참여하여 보다 직관적으로 맞춤형 디자인을 완성시켜 기존의 맞춤형 디자인 과정의 낮은 사용자 참여도를 보완한다. 또한, 잘 설계된 플랫폼을 통해 사용자가 디자인에 참여하는 과정에서 디자이너의 디자인 아이디어를 전달하여 사용자가 더 직접적으로 제품의 디자인 아이디어를 경험할 수 있도록 한다. 기존의 맞춤형에 비해 사용자가 물리적 동작을 통해 디자인 의식을 창조할 수 있다. 맞춤형 디자인 플랫폼은 디자이너와 사용자 간의 소통의 가교 역할을 할 수 있다. 사용자는 잘 설계된 Generative 플랫폼을 통해 실제 체감 형식의 물리적 조작을 할 수 있으며, 파라미터와 형태를 동적으로 변화시키는 과정에서 사용자가 가장 만족하는 순간을 포착하여 디자인 과정과 결과를 직관적으로 보여준다. 예를 들어 사용자는 조이스틱 센서와 프레셔 센서를 통해 실제 손가락 위치와 압력을 물리적 인터랙티브 방식으로 느껴 실시간으로 표시되는 3D 형태를 조정할 수 있다. 기본적인 인체 사이즈 등의 데이터를 충족시키는 맞춤형 형태를 바탕으로 적극적인 사용자 취향 맞춤형 디자인을 진행한다.

다섯째, 본 연구의 제 6 장에서는 여러 시리즈의 Generative 디자인 마우스 스타일을 소개하였다. 물리적 인체 데이터 맞춤형 제품 형태를 기반으로 다른 스타일의 형태를 자동으로 생성하고, 제어 가능한 범위 내에서

다양한 스타일을 자동으로 생성할 수 있다. 시장의 기존 디자인 스타일 역시 플랫폼을 통해 맞춤화할 수 있다. 다음과 같은 Generative 디자인 마우스 스타일을 예로 들 수 있다.

- 매끈한 원형 돌을 바탕으로 한 형태의 맞춤형 마우스 디자인
- 저렴한 가격에 빠른 레이저 조각이 가능한 목판 재질의 맞춤형 마우스. 굽힘과 접음 방식을 통해 다양한 형태의 맞춤형 실현
- 두 가지 버튼 방식(Palm Grip·Claw Grip)이 동시에 있어 게이머의 사용 습관에 맞는 맞춤형 마우스
- 손과의 접촉 면적을 늘려 피로를 예방할 수 있는 맞춤형 마우스 케이스
- 노인을 위해 엄지손가락, 새끼손가락, 손목을 받쳐 손 떨림을 방지하는 맞춤형 마우스 케이스
- 아이, 여성 등의 다양한 특수 캐릭터에 맞는 맞춤형 마우스
- 장애인을 위한 맞춤형 형태와 버튼 방식의 마우스
- 물리적 인체 데이터 맞춤형 제품 형태를 기반으로 다른 스타일의 마우스 윤곽 형태를 자동으로 생성
- 맞춤화 툴을 손과 관련된 다른 제품에 적용한 디자인 결과로 생성한 경사 각도, 핸들 굵기, 버튼 위치 조절이 가능한 맞춤형 컨트롤 스틱

참고문헌

단행본

Tanchev, L. (2007). Virtual and rapid manufacturing: advanced research in virtual and rapid prototyping. CRC Press.

Maeda, J. (2001). Design by numbers. MIT press.

Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2014). Applied multivariate statistical analysis (Vol. 6). London, UK:: Pearson.

Flake, G. W. (2000). The computational beauty of nature: Computer explorations of fractals, chaos, complex systems, and adaptation. MIT press.

Tjalve, E. (2015). A short course in industrial design. Elsevier.

Hanington, B., & Martin, B. (2019). Universal methods of design expanded andrevised: 125 Ways to research complex problems, develop innovative ideas, and design effective solutions. Rockport publishers.

Tanaka ikko. (2009). AWAKENING OF DESIGN 田中, & 一光. . 设 计 的 觉 醒. 桂 林, 广 西 师 范 大 学 出 版 社, 20(09).

Harari, Y. N. (2016). Homo Deus: A brief history of tomorrow. random house.

학술논문

Chung, W. (2009). Cross-functional collaborative prototyping in the front end of the design process. Illinois Institute of Technology.

정의철, 최지민, & 심유리. (2020). 기술 혁신과 인간 욕구 단계에 따른 산업디자인 역할 확장과 진화. 한국디자인포럼, 25(2), 127-138.

Zhou, W., Wu, D., Ding, X., & Rosen, D. W. (2010, December). Customer co-design of computer mouse for mass customization without causing mass confusion. In 2010 International Conference on Manufacturing Automation (pp. 8-15). IEEE.

Krish, S. (2011). A practical generative design method. Computer-Aided Design, 43(1), 88-100.

Villar, N., Izadi, S., Rosenfeld, D., Benko, H., Helmes, J., Westhues, J., ... & Chen, B. (2009, October). Mouse 2.0: multi-touch meets the mouse. In Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology (pp. 33-42).

Kuribara, T., Shizuki, B., & Tanaka, J. (2013). Sinkpad: a malleable mouse pad consisted of an elastic material. In CHI'13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (pp. 1251-1256).

Chu, C. H., Wang, I. J., Sun, J. R., & Liu, C. H. (2022). Customized designs of short thumb orthoses using 3D hand parametric models. Assistive Technology, 34(1), 104-111.

Mistry, P., & Maes, P. (2011). Mouseless: a computer mouse as small as invisible. In CHI'11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (pp. 1099-1104).

정의철, & 박현미. (2017). 매듭 (Knot) 과 링크 (Link) 이론에 기반한 3D 프린터로 생산할 수 있는 조형물의 원형디자인 모델 제안. 한국과학예술융합학회, 30, 403-413.

Tang, S. K., & Tang, W. Y. (2010). Adaptive mouse: a deformable computer mouse achieving form-function synchronization. In CHI'10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (pp. 2785-2792).

Shin, J. G., Onchi, E., Reyes, M. J., Song, J., Lee, U., Lee, S. H., & Saakes, D. (2019, May). Slow robots for unobtrusive posture correction. In Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 1-10).

Lee, B., Cho, M., Min, J., & Saakes, D. (2016, October). Posing and acting as input for personalizing furniture. In Proceedings of the 9th Nordic Conference on Human-Computer Interaction (pp. 1-10).

Osorio, J., Romero, D., & Molina, A. (2013). A modeling approach towards an extended product data model for sustainable mass-customized products. IFAC Proceedings Volumes, 46(9), 579-583.

Horváth, I. (2007). Tangible virtual reality for product design. In Virtual and Rapid Manufacturing (pp. 35-46). CRC Press.

Anderson, F., Grossman, T., & Fitzmaurice, G. (2017, October). Trigger-action-circuits: Leveraging generative design to enable novices to design and build circuitry. In Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (pp. 331-342).

McKnight, M. (2017). Generative Design: What it is? How is it being used? Why it'sa game changer. KnE Engineering, 2(2), 176-181.

Tang, S. K., & Tang, W. Y. (2010). Adaptive mouse: a deformable computer mouse achieving form-function synchronization. In CHI'10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (pp. 2785-2792).

Schweiger, D., Stone, R., & Genschel, U. (2021). Nondominant hand computer mouse training and the bilateral transfer effect to the dominant hand. Scientific Reports, 11(1), 1-10.
Radwan, A., Kallasy, T., Monroe, A., Chrisman, E., & Carpenter, O. (2018). Benefits of alternative computer mouse designs: A systematic review of controlled trials. Cogent Engineering, 5(1), 1521503.

Hedge, A., Feathers, D., & Rollings, K. (2010, September). Ergonomic comparison of slanted and vertical computer mouse designs. In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (Vol. 54, No. 6, pp. 561-565). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

Kong, Y. K., & Lowe, B. D. (2005). Optimal cylindrical handle diameter for grip force tasks. International Journal of Industrial Ergonomics, 35(6), 495-507.

Guerra, R. S., Fonseca, I., Pichel, F., Restivo, M. T., & Amaral, T. F. (2014). Hand length as an alternative measurement of height. European journal of clinical nutrition, 68(2), 229-233.

Easterby, R. (Ed.). (2012). Anthropometry and biomechanics: theory and application (Vol. 16). Springer Science & Business Media.

Kong, Y. K., & Lowe, B. D. (2005). Optimal cylindrical handle diameter for grip force tasks. International Journal of Industrial Ergonomics, 35(6), 495-507.

Dehghan, N., Choobineh, A., Razeghi, M., Hasanzadeh, J., & Irandoost, M. (2013). Designing a new computer mouse and evaluating some of its functional parameters. Journal of research in health sciences, 14(2), 132-135.

Hughes, E. E., & Johnson, P. W. (2012). Children computer mouse use and anthropometry. Work, 41(Supplement 1), 846-850.

Van Niekerk, S. M., Fourie, S. M., & Louw, Q. A. (2015). Postural dynamism during computer mouse and keyboard use: A pilot study. Applied Ergonomics, 50, 170-176.

Aasa, U., Jensen, B. R., Sandfeld, J., Richter, H., Lyskov, E., & Crenshaw, A. G. (2011). The impact of object size and precision demands on fatigue during computer mouse use. Advances in Physiotherapy, 13(3), 118-127.

Freihaut, P., & Göritz, A. S. (2021). Using the computer mouse for stress measurement–An empirical investigation and critical review. International Journal of Human-Computer Studies, 145, 102520.

Freihaut, P., Göritz, A. S., Rockstroh, C., & Blum, J. (2021). Tracking stress via the computer mouse? Promises and challenges of a potential behavioral stress marker. Behavior Research Methods, 53(6), 2281-2301.

Gustafsson, E., & Hagberg, M. (2003). Computer mouse use in two different hand positions: exposure, comfort, exertion and productivity. Applied ergonomics, 34(2), 107-113.

Yang, X. D., Mak, E., McCallum, D., Irani, P., Cao, X., & Izadi, S. (2010, April). LensMouse: augmenting the mouse with an interactive touch display. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 2431-2440).

Cechanowicz, J., Irani, P., & Subramanian, S. (2007, April). Augmenting the mouse with pressure sensitive input. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (pp. 1385-1394).

Graetzel, C., Fong, T., Grange, S., & Baur, C. (2004). A non-contact mouse for surgeon-computer interaction. Technology and Health Care, 12(3), 245-257.

Sun, D., Paredes, P., & Canny, J. (2014, April). MouStress: detecting stress from mouse motion. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (pp. 61-70).

Gao, H., & Jung, E. C. (2022). Parametric Design Tool Development for Custom Shape Design Using Hand Feature Data. International Journal of Asia Digital Art and Design Association, 26(2), 12-20.

Bose, P. (1994). Compositional model-based design: A generative approach to the conceptual design of physical systems.

웹페이지

Eric W. Weisstein. Distribution Function. MathWorld—A Wolfram Web Resource. [2014-09-30]. https://mathworld.wolfram.com/DistributionFunction.html

Celestino Soddu: papers on Generative Design (1991-2011) at http://www.generativedesign.com/papers.html

Anthony Hauck: https://www.linkedin.com/pulse/what-generative-design-anthony-hauck/

http://reneepuusepp.com/what-is-generative-design/

US Patent on Generative Design - "Method and system of automating design" at http://www.google.ch/patents/US20070078634

Meintjes, Keith. ""Generative Design" - What's That? - CIMdata". Retrieved 2018-06-15.

"What is Generative Design | Tools & Software | Autodesk". Retrieved 2018-06-15.

"What is Generative Design?". 2018-04-09. Retrieved 2018-06-15.

"Relational Design Thinking — Design by Ming". designbyming.com. Retrieved 2018-06-15.

ENGINEERING.com. "Generative Design: The Road to Production". www.engineering.com. Retrieved 2018-06-15.

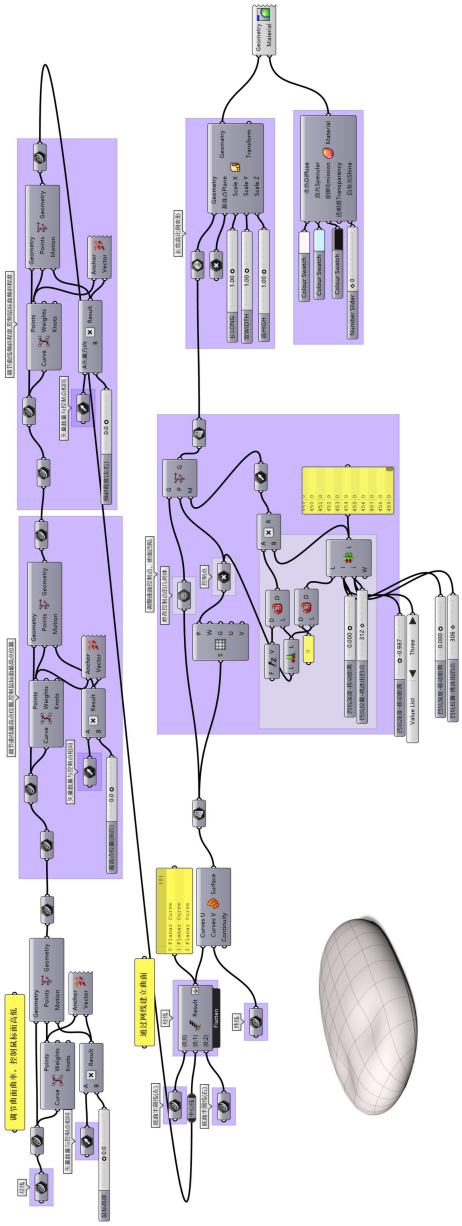
Tangible User Interface - Prototype 'Handy Handle' - Interactive aided design. https://www.instructables.com/id/Handy-Handle-1/

Natalia Baklitskaya, MARCH 30, 2016, Generative Design: Optimization and Creativity at their Best. R&D Senior Analyst at Accenture Technology Lab. https://www.accenture.com/us-en/blogs/blog-generative-design- optimization-creativity-best

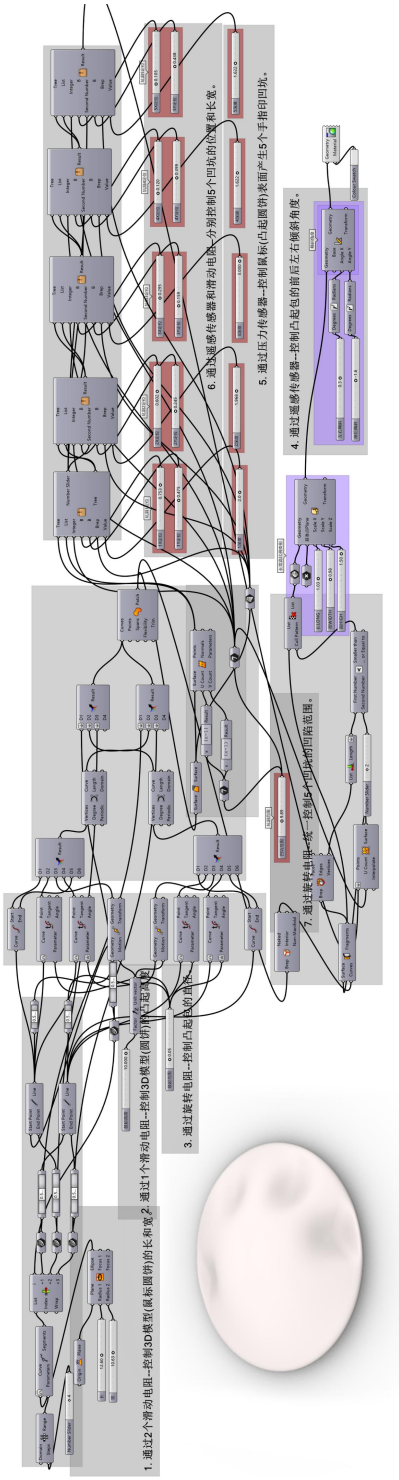
부록

연구 과정에 사용한 Grasshopper 프로그램은 다음과 같다.

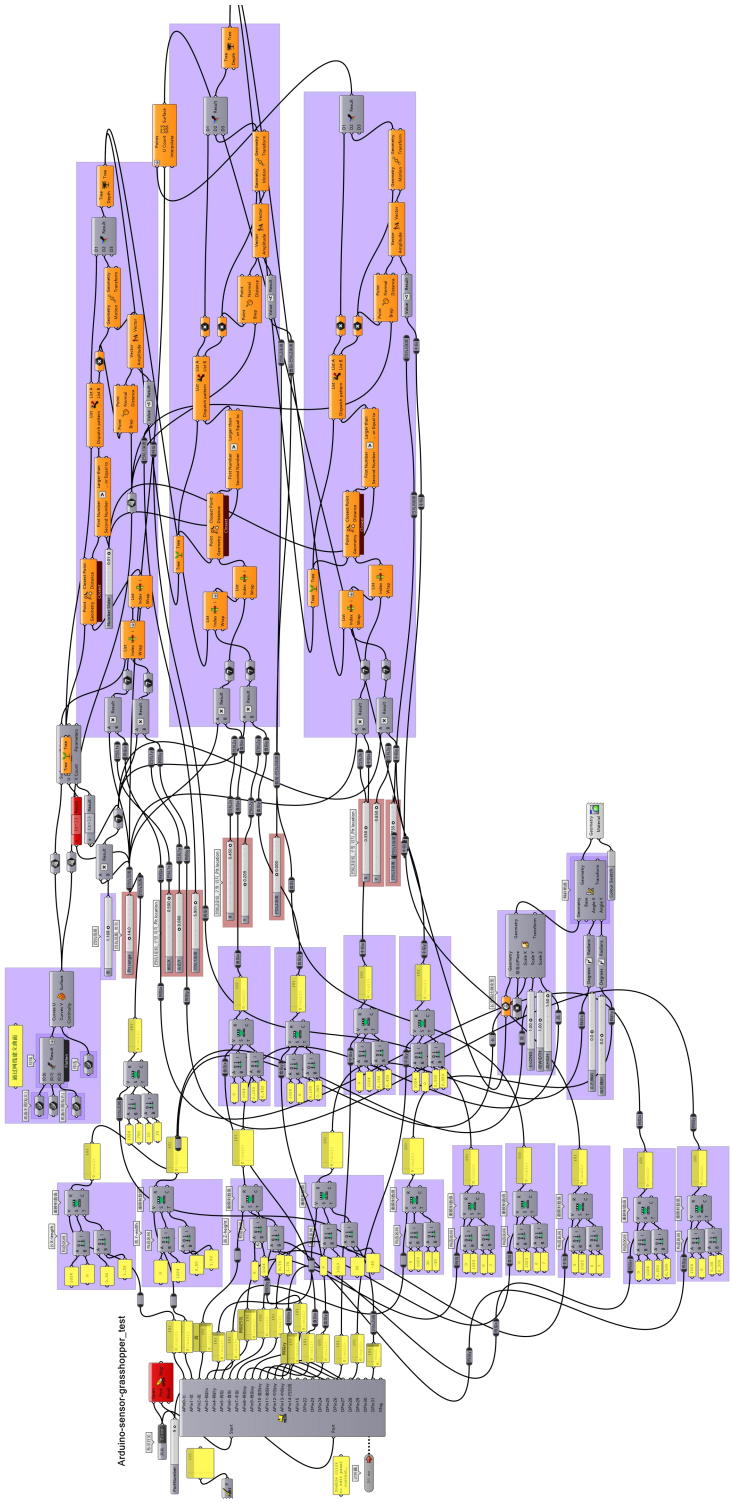
손 데이터에 Fit 하는 맞춤형 마우스 기초 형태 디자인



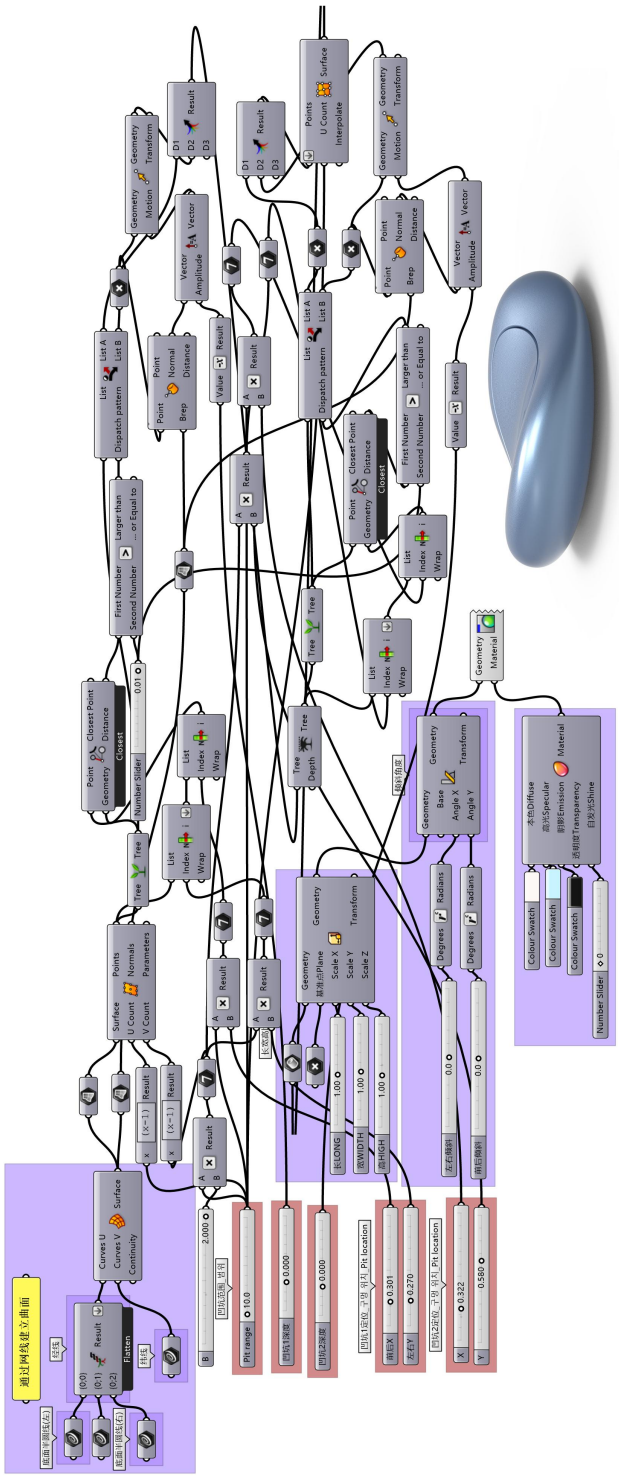
마우스와 손의 접촉 면적을 늘리기 위한 마우스 케이스 맞춤형 디자인



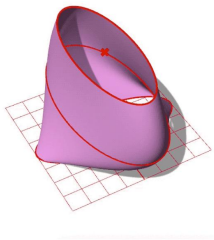
Arduino Mega board · Sensors · Grasshopper Connection test

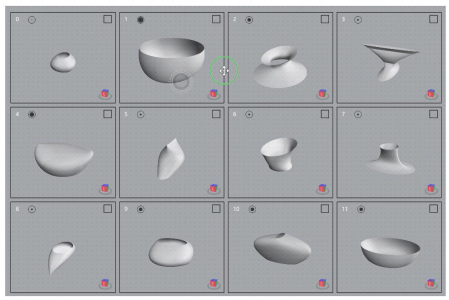


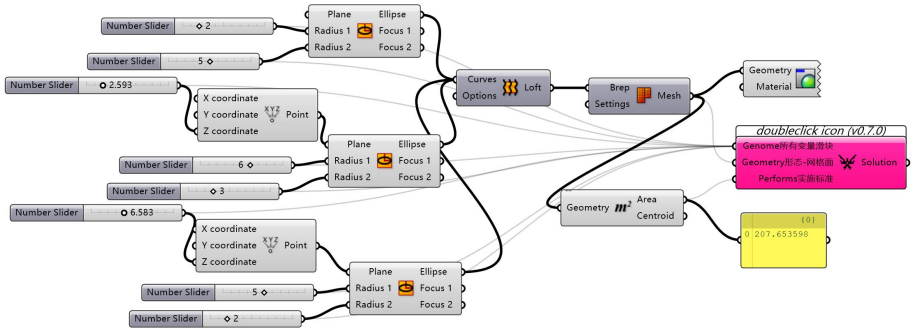
장애인을 위한 맞춤형 마우스



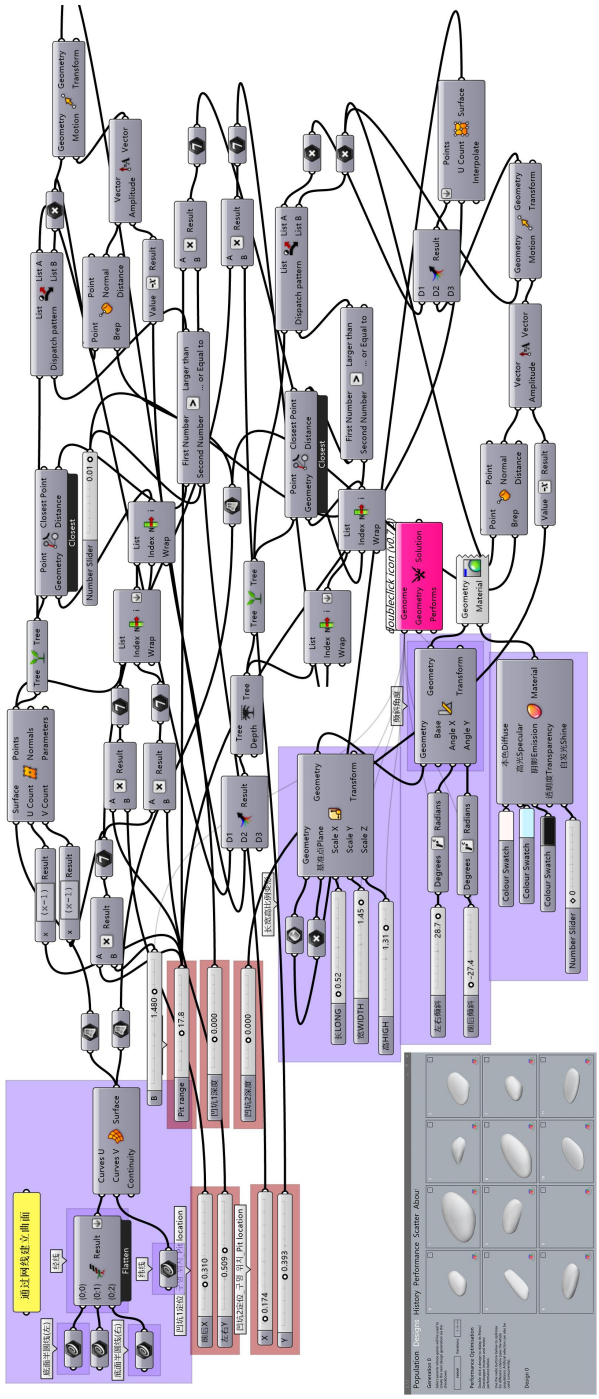
물리적 인체 데이터 맞춤형 제품 형태에 다른 스타일의 형태가 자동으로 생성_3 개의 프로토타입 테스트



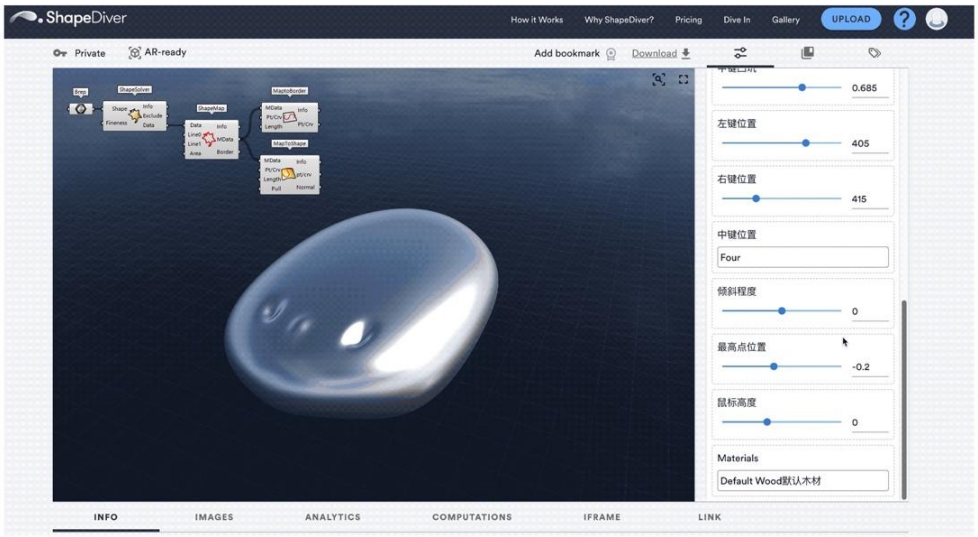




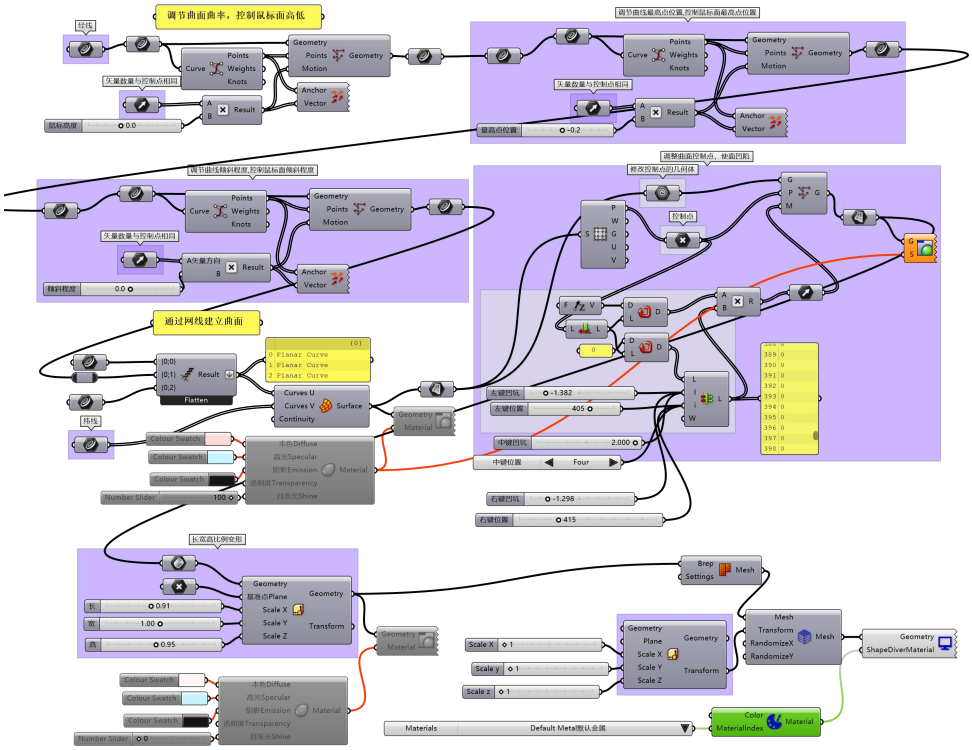
물리적 인체 데이터 맞춤형 제품 형태에 다른 스타일의 형태가 자동으로 생성_다양한 마우스의 기본 형태 테스트



ShapeDiver 를 통한 online 맞춤 조작



https://www.shapediver.com/app/m/6-29



Abstract

Proposal of Parametric Design Tool for Customized Shape Design Using Hand Feature Data with Mouse as an Example

Gao, Huile
Department of Design
The Graduate School
Seoul National University

After the first industrial revolution mass machine production replaced hand-made products, until today we use mass-produced products in our daily life, which are not always exactly suitable for our body, although they are of low price and good quality. the development of 3D printing technology has reduced the price of customized products, and users have a greater possibility to use customized products that fit their body data. This paper describes the concept and development process of a design tool that can develop custom shape designs for various physical devices that interact with people, such as computer mice.

The purpose of the research is to propose a customizable parametric design tool development that can utilize palm feature

data for easy gripping. The main aspects of the research include the following. Research on parametric design system using body feature data (custom shape design system). Combining hand point/line/face data to generate Arduino+Grasshopper tools suitable for hand morphology. Take mouse morphology as the experimental object to design easy to grip, easy to operate, and more precise hand custom morphology design. Digitalize the process of delicate model design that requires repeated sample tests, improve the fine model design method, and increase the design efficiency.

The Generative customizable product design tool developed in this study has several features. First, the study of methods for converting hand feature data into shape. In this paper, a series of new methods for converting hand data into mouse shape are proposed, and it is hoped that these methods can help other customized products to be more in line with body feature data. Second, the study of hand feature data collection methods. This paper proposes a variety of hand data collection methods in the hope that they can provide more basis for hand-related product customization design. Third, compared with the existing customized design, the customized Generative Design Platform proposed in this research does not require a separate measurement personnel, and users can complete the measurement and customization process through the platform on their own initiative. It is also easier to change, adjust, compare, and customize complex surface design through physical interaction and 3D real-time display. Fourthly, the

combination of Tangible User Interface and Dynamic Shape Finding allows users to participate in the design process and complete the customization design more intuitively and actively. Fifth, on the basis of physical body data customization product form, automatically generate different styles of form.

It is expected that this study can provide assistance to hand-related product design and product design considering body feature data. It is also hoped that it will be helpful for user participation in the design and customization design process.

Keywords : Body Feature Data, Shape Transformation Methods, Generative Design Tool, Customized Form

Student Number : 2017-37320