

석사학위논문

가상현실에서의 미술 활동을 위한
사용자 인터페이스 연구

2021년

한 성 대 학 교 대 학 원

I T 융 합 공 학 과

I T 융 합 공 학 전 공

김 지 은

석사학위논문
지도교수 이지은

가상현실에서의 미술 활동을 위한 사용자 인터페이스 연구

User interface study for art activities in virtual
reality

2020년 12월 일

한성대학교 대학원

IT융합공학과

IT융합공학전공

김 지 은

석사학위논문
지도교수 이지은

가상현실에서의 미술 활동을 위한 사용자 인터페이스 연구

User interface study for art activities in virtual
reality

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2020년 12월 일

한성대학교 대학원

IT융합공학과

IT융합공학전공

김 지 은

김지은의 공학 석사학위 논문을 인준함

2020년 12월 일

심사위원장 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

국 문 초 록

가상현실에서의 미술 활동을 위한 사용자 인터페이스 연구

한 성 대 학 교 대 학 원

I T 융 합 공 학 과

I T 융 합 공 학 전 공

김 지 은

본 논문에서는 가상현실에서의 미술 활동을 위한 사용자 인터페이스로 3차원 드로잉에 대한 피드백과 3차원 색상 선택기를 연구하였다.

가상현실에서 3차원 드로잉을 할 때, 위치 입력의 정확성을 높이기 위한 피드백을 설계하고 그 성능을 측정하여 제공된 피드백이 사용자의 정확한 위치 입력에 도움이 되는지 확인하고자 한다. 주어진 선 모델을 따라 그리는 실험을 통해 사용자의 위치 입력 오차를 측정하고 그 오차에 따라 세 단계의 시각, 청각, 촉각의 단일 피드백을 제공하여 어떤 피드백이 가장 효과적인지를 분석하였다. 위치 입력의 정확도를 분석한 결과, 피드백을 통해 특정 크기 이상의 입력 오류를 감소시킬 수 있었으며 청각 피드백에 비해 시각 피드백과 촉각 피드백이 효과적이었다.

가상현실이라는 3차원 공간에서 기존의 2차원 색상 선택기가 아닌 3차원 색 공간 모델에 기반한 3차원 색상 선택기를 구현하여 사용하고자 한다. 구현한 3차원 색상 선택기의 성능을 확인하기 위하여 2차원 색상 선택기를 구현

하고 실험을 통해 3차원 색상 선택기의 성능을 분석하였다. 무작위로 주어진 색과 같은 색을 찾아 선택하는 실험에서의 색상 오차의 평균은 HSV 컬러 모델의 2차원 색상 선택기, RGB 컬러 모델의 3차원 색상 선택기, RGB 컬러 모델의 2차원 색상 선택기 그리고 HSV 컬러 모델의 3차원 색상 선택기 순으로 크게 나타났으며 이를 통해 3차원 색상 선택기 사용의 가능성을 확인하였다.

가상현실에서의 미술 활동을 위한 사용자 인터페이스 연구를 통해서 실감 체험이 가능한 가상현실에서의 다중 감각 피드백의 중요성과 효과를 확인하였고, 3차원 인터랙션이 가능한 가상현실에서의 효과적이고 자연스러운 3차원 인터랙션 및 인터페이스 설계의 중요성과 유용성을 확인하였다.

【주요어】 가상현실, 3차원 드로잉, 시각 피드백, 청각 피드백, 촉각 피드백, 3차원 색상 선택기.

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 가상현실	1
제 2 절 가상현실에서의 미술 활동	2
제 3 절 연구 목적	3
1) 가상현실의 드로잉	3
2) 가상현실의 색상 선택기	4
제 4 절 논문 구성	5
제 2 장 관련 연구	6
제 1 절 가상현실에서의 3차원 드로잉	6
1) 가상현실의 깊이감	6
2) 사용자 입력에 대한 피드백 생성	6
3) 가상현실 드로잉	7
제 2 절 가상현실에서의 3차원 색상 선택기	8
1) 색 공간	8
2) 컬러 모델	9
3) 색상 선택기	11
제 3 장 가상현실에서의 3차원 드로잉	16
제 1 절 개요	16
제 2 절 가상현실 3차원 드로잉 시스템	16
제 3 절 3차원 드로잉을 위한 피드백 설계	18
제 4 절 실험 방법	21
제 5 절 드로잉 오차 측정 및 오차 거리의 계산	21
제 6 절 실험 결과	23

제 4 장 가상현실에서 3차원 색상 선택기	28
제 1 절 2차원 색상 선택기	28
1) RGB 2차원 색상 선택기	28
2) HSV 2차원 색상 선택기	29
제 2 절 3차원 색상 선택기	29
1) RGB 3차원 색상 선택기	30
2) HSV 3차원 색상 선택기	30
제 3 절 실험 방법	31
제 4 절 색 공간에 따른 색 변환	32
제 5 절 실험 결과	33
제 5 장 결 론	40
참 고 문 헌	42
ABSTRACT	48

표 목 차

[표 3-1] 오차 단계 및 피드백 설계	19
[표 3-2] 오차 거리와 상대 빈도의 곱을 계산한 예시	22
[표 3-3] 모델별 모든 실험 참가자의 평균 오차 거리	26
[표 4-1] 임의로 생성한 오차의 색 비교	36

그 림 목 차

[그림 1-1] Tilt Brush에서 다양한 브러시를 사용한 3차원 드로잉	3
[그림 1-2] 한붓그리기로 세모를 그렸을 때의 앞과 옆에서 바라본 경우	4
[그림 1-3] Tilt Brush에서 제공하는 색상 선택기	5
[그림 2-1] RGB Cube 모델	9
[그림 2-2] HSV 색 공간 원뿔 모형	10
[그림 2-3] Windows 그림판의 색 편집	12
[그림 2-4] Adobe Photoshop의 색상 선택기	12
[그림 2-5] (가) Tilt Brush, (나) PAINT VR 그리고 (다) Color VR의 색상 선택기	13
[그림 2-6] CavePainting의 3차원 색상 선택기	14
[그림 2-7] 3차원 색상 선택기의 RGB 색상 큐브 및 색상 팔레트	15
[그림 3-1] 3차원 드로잉 시스템	17
[그림 3-2] 실험에서 사용한 깊이감이 없는 선 모델	17
[그림 3-3] 실험에서 사용한 깊이감이 있는 선 모델	18
[그림 3-4] (가) 오차 1단계, (나) 오차 2단계 그리고 (다) 오차 3단계 에서의 시각적 피드백 구현	19
[그림 3-5] 청각 피드백 구현	20
[그림 3-6] 촉각 피드백 구현	20
[그림 3-7] Arbitrary line 1 모델을 그릴 때의 모든 실험 참가자의 단계별 오차 비율의 평균 그래프	23
[그림 3-8] 한 실험 참가자의 모든 선 모델에 대한 단계별 오차 비율의 평균 그래프	24
[그림 3-9] 모든 모델의 실험 참가자별 평균 오차 거리의 평균 그래프	24
[그림 3-10] 모든 실험 참가자의 모델별 평균 오차 거리의 평균 그래프 ..	25
[그림 4-1] RGB 2차원 색상 선택기	28
[그림 4-2] HSV 2차원 색상 선택기	29
[그림 4-3] RGB 3차원 색상 선택기	30
[그림 4-4] HSV 3차원 색상 선택기	31

[그림 4-5] RGB 2차원 색상 선택기(왼쪽)와 RGB 3차원 색상 선택기 (오른쪽)로 초록 계열의 색상을 선택하는 실험 화면	32
[그림 4-6] 한 실험 참가자의 RGB 2차원 색상 선택기로 각각의 색을 찾아 선택했을 때의 색상 오차 그래프	34
[그림 4-7] 한 실험 참가자의 RGB 2차원 색상 선택기로 각각의 색을 찾아 선택하는데 걸린 시간 그래프	34
[그림 4-8] 색상 선택기별 모든 실험 참가자의 색상 오차의 평균 그래프	35
[그림 4-9] 색상 선택기별 모든 실험 참가자의 색을 찾아 선택하는데 걸린 시간의 평균 그래프	37
[그림 4-10] 실험 참가자별 모든 색상 선택기의 색상 오차의 평균 그래프	38
[그림 4-11] 실험 참가자 4명의 색상 선택기별 색상 오차 평균 그래프 ...	39

제 1 장 서론

제 1 절 가상현실

가상현실(virtual reality; VR)은 컴퓨터로 구현한 가상환경 안에서 사용자의 오감 정보를 통해 사용자에게 실재감과 몰입감을 느끼게 해주며 현실에서 실제로 경험하기 어려운 상황들을 실감적으로 체험할 수 있게 하는 기술이다. 4차 산업혁명의 기반 기술인 가상현실, 증강현실(augmented reality; AR), 혼합현실(mixed reality; MR)의 기술 발달과 시장에 대한 기대로 시장이 지속적으로 변하고 있다. 최근 가상현실 분야는 정보통신기술(information & communication technology; ICT)의 발전과 콘텐츠 제작 환경의 변화, 5G 보급과 더불어 스마트폰을 대체할 새로운 플랫폼으로 관심을 받고 있으며, 원격협업과 소통을 현실과 유사하게 진행하는 것이 가능하기에 COVID-19로 인한 비대면 시대가 도래함에 따라 새로운 플랫폼으로 부상하고 있다(강준모와 이은민, 2020). 또한, 디바이스의 진화와 글로벌 기업 및 연구 그룹들의 차세대 컴퓨팅 플랫폼 구현을 위한 HMD(head-mounted display) 기술에 연구개발 투자 등으로 급성장하고 있다(한국전자통신연구원, 2016; 이민식과 김광섭, 2017).

가상현실 기술은 사용자의 몰입 경험을 향상시키고 가상 멀미를 최소화할 수 있도록 디스플레이 기술과 트래킹 기술을 중심으로 연구개발이 진행되고 있다(임상우와 서경원, 2018). VIVE, Oculus 등 가상현실 장비들의 기술이 발전하면서 사용자의 신체 일부를 트래킹하여 가상 공간 안에 실시간으로 사용자의 움직임을 반영하는 등의 다양하고 복잡한 활동들이 가능해지고 있다.

정보통신산업진흥원의 ‘2017 국외 디지털콘텐츠 시장조사’ 보고서에 따르면 AR/VR 기술 고도화, 기업의 투자 강화, 생태계 활성화, 디바이스 가격 인하, 콘텐츠 증가로 인한 소비자 수용성 증가로 인해 향후 5년간 연평균 95.6%씩 고속 성장하며 2021년에 1,089억 달러로 확대될 전망이다(정보통신산업진흥원, 2017). 가상현실, 증강현실 그리고 혼합현실은 시간과 공간을 넘

나들며 현실에서 일어날 수 없는 일이나 실제로 겪으면 위험한 일, 또는 비용 문제로 포기해야 했던 많은 일을 가능하게 한다. 이러한 가상현실의 가치들을 실현하려면 기술 자체에 관한 연구도 중요하지만, 가상현실에서의 다양한 체험 활동을 위해 다양한 관점에서 시도를 계속해야 하며, 실제와 유사한 체험을 할 수 있도록 가상현실 시스템을 발전시키는 것이 중요하다.

최근 가상현실은 교육, 운동, 의료, 예술, 게임, 마케팅, 국방, 산업 등 다양한 분야에서 활용되며, 그에 따른 다양한 콘텐츠들이 연구되어 개발되고 있다. 가까운 미래에 체험의 많은 부분을 가상환경에서 하게 될 것이다. 일반인들이 즐기는 가상현실 프로그램이 아직은 게임에 집중되어 있으나, 교육, 여가, 운동, 취미 등의 분야에서 높은 수준의 가상현실 시스템들이 개발된다면, 사용자가 폭발적으로 늘어날 것으로 예측된다.

제 2 절 가상현실에서의 미술 활동

Google의 Tilt Brush(Tilt Brush by Google, 2016)에 관한 관심이 예술 분야에서 늘고 있으며 자유롭게 3차원 모델링을 할 수 있어서 4차 산업혁명의 첨단 기술 중에서 미술교육에 가장 영향을 줄 수 있는 기술의 하나가 될 것으로 전망된다(이경아, 2017). 기존의 하드웨어가 갖춰져 있는 미술교육은 아날로그 하드웨어를 기반으로 디지털 콘텐츠를 입히는 AR 몰입형 학습이 효과적일 것이다(이현지와 김원섭, 2020). 따라서 가상현실과 증강현실에서의 미술과 관련한 연구도 점차 중요해질 것으로 기대된다.

미술 활동을 위한 가상현실 애플리케이션으로 Google의 Tilt Brush가 대표적이다. Tilt Brush는 2014년에 Skillman과 Hackett에 의해 개발되었으며, Google에 인수되어 2016년에 정식으로 출시되었다. 룸-스케일(room-scale) 가상현실 애플리케이션이며 사용자는 다양한 브러시들을 사용하여 3차원 공간에서 자유롭게 그리기를 할 수 있다. PAINT VR(PAINT VR by COSKAMI LLC, 2017)은 다양한 브러시를 사용하여 가상현실에서 드로잉하는 애플리케이션으로 2017년에 출시되었다. Colory VR(Colory VR by LUCID LAYERS, 2020)도 3차원 드로잉 애플리케이션으로 여러 도구를 사

용하여 3차원 개체를 모델링 할 수 있으며 2020년에 출시되었다.

제 3 절 연구 목적

1) 가상현실의 드로잉

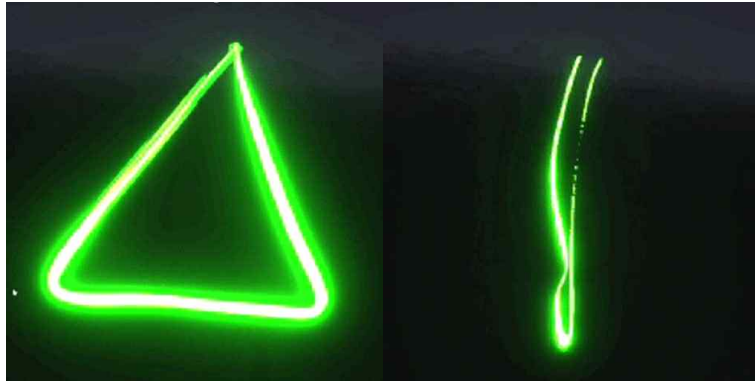
가상현실에서 3차원 드로잉을 하는 애플리케이션들은 3차원 움직임 정보를 핸드-헬드 컨트롤러(hand-held controller)로 입력받아 [그림 1-1]과 같이 3차원 가상 공간에 스트로크로 재현해 낸다. 사용자는 종이나 컴퓨터의 그림판과 같은 2차원 공간에 입력하는 것과 다르게 3차원 공간에서 스트로크 입력을 해야 한다.



[그림 1-1] Tilt Brush에서 다양한 브러시를 사용한
3차원 드로잉

이 경우 수평(좌우), 수직(상하) 그리고 깊이(전후)를 동시에 구분하여야 한다. 3차원 공간에서 깊이 정보를 입력하는 것은 현실 세계에서도 경험하기 어려운 것으로 사용자 대부분이 어려움을 느낀다. 예를 들어, [그림 1-2]와 같이 세모를 한붓그리기 하였을 때, 시작점과 끝점의 깊이를 맞추기가 어려워서 한붓그리기를 마친 후 시선을 다르게 해서 보면 깊이가 맞지 않는 경우가 많다. 시작점과 끝점뿐만 아니라 전체적으로 선들이 휘어있는 것을 확인할 수

있다.

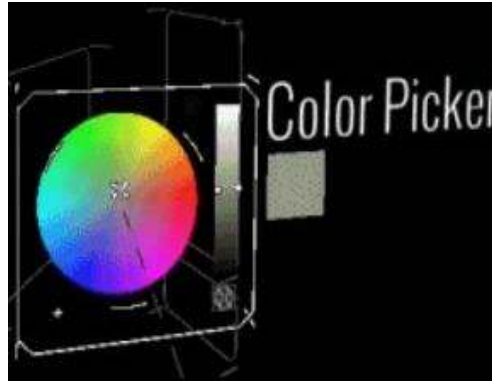


[그림 1-2] 한붓그리기로 세모를 그렸을 때의 앞과
옆에서 바라본 경우

본 논문에서는 3차원 가상 공간에서 드로잉 시, 사용자가 올바른 위치를 입력할 수 있도록 위치 입력에 대한 피드백을 설계하고 이를 통해 사용자의 올바른 위치 입력에 도움이 되는지 성능을 측정하여 확인하고자 한다. 또한, 피드백의 형태에 따른 효과를 비교하기 위해 시각, 청각, 촉각의 단일 피드백을 제공하고, 가장 효과적인 피드백이 무엇인지 분석하고자 한다.

2) 가상현실의 색상 선택기

드로잉 방법이나 브러시 모양 등의 다양한 드로잉 기술이 개발되어 가상 현실에서의 다양한 드로잉이 가능하게 되었다. 드로잉 시 다양한 색 표현을 위한 색상 선택기 인터페이스는 필수 요소이다. [그림 1-3]과 같이 3차원 가상현실 애플리케이션에서 사용되고 있는 색상 선택기는 2차원 컴퓨터 작업에서 색을 선택할 때 사용되는 색상 선택기와 유사하다. 본 논문에서는 많은 3차원 페인팅 애플리케이션과 드로잉 연구에서 주로 사용되고 있는 2차원 색상 선택기에 주목하였다.



[그림 1-3] Tilt Brush에서 제공하는
색상 선택기(Tilt Brush, Google)

3차원 공간이라는 가상현실의 장점을 살려 2차원 색상 선택기가 아닌 3차원 색상 선택기를 사용하기 위해 3차원 색 공간에 기반한 3차원 색상 선택기를 제안하고자 한다. 최소 두 번 이상의 클릭으로 색을 선택하던 2차원 색상 선택기의 인터페이스를 개선하여 한 번의 클릭으로 색을 선택할 수 있는 3차원 색상 선택기를 구상하고 구현하였다. 또한, 기존의 2차원 색상 선택기와의 비교를 통해 3차원 색상 선택기의 성능을 확인하고자 한다.

제 4 절 논문 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 가상현실에서의 드로잉과 색상 선택기에 관련된 연구들을 소개한다. 3장에서는 가상현실 드로잉에서의 위치 정보를 통한 피드백을 설계하는 방법을 제안하고, 피드백을 활용한 사용자의 그리기 결과의 오차를 비교한 실험 결과를 보고한다. 4장에서는 기존의 2차원 색상 선택기와 3차원 색상 선택기를 설계 및 구현하고 2차원 색상 선택기와 3차원 색상 선택기로 색을 선택한 결과의 색상 오차를 비교하여 분석한 실험 결과를 보고한다. 마지막으로 5장에서 결론을 제시한다.

제 2 장 관련 연구

제 1 절 가상현실에서의 3차원 드로잉

1) 가상현실의 깊이감

가상현실에서의 깊이감은 현실을 묘사하는 것처럼 사실적인 표현을 하여 사용자가 몰입하는 데 중요하지만, 현실을 재현한 것을 디스플레이를 통해 보게 되므로 두 눈의 수렴과 조절에 불일치가 발생하여 사용자의 시각 피로도는 증가하게 된다(이혜진과 정동훈, 2019). 정밀히 설계되지 않은 입체 화면의 경우, 오히려 사용자의 시지각에 불편을 초래할 수 있으며 개인의 우세 눈(eye dominance), 시력(visual acuity), 동공 사이 거리(interpupillary distance) 등 정확한 깊이감 지각을 위해 고려해야 할 변인을 충분히 반영하는 것이 중요하다(장은희 등, 2018).

가상현실 콘텐츠에는 주로 시각, 청각, 촉각의 감각이 사용되고 시각은 콘텐츠 대부분에서 확인할 수 있었으며, 촉각을 통하여 깊이감, 공간감을 느낄 수 있었다(차은지와 한정엽, 2016). 선 원근법과 공기 원근법이 깊이감 지각 반응에는 차이가 있으나 안구 운동 반응에는 영향을 주지 않은 것으로 나타났다(윤재화와 조광수, 2017). AR 기반 제품 디자인의 환경에서의 감각형 객체를 디자인하여 가상 객체의 촉감을 느끼게 하고 다차원 피드백(시각, 청각, 촉각)을 구현한 시스템을 시연한 결과, 몰입감 향상 방법들의 유용성에 대해 긍정적인 평가를 받았다(하태진 등, 2007).

2) 사용자 입력에 대한 피드백 생성

다양한 피드백은 사용자 경험을 높이기(Garcia, A. S., et al, 2009) 운동, 예술, 치료 등 다양한 분야에서 피드백에 관한 연구가 진행되고 있다.

터치스크린에서 펜을 이용하여 그리기 과제 수행 시 청각 피드백을 통해 더 높은 사용자의 만족감을 얻었고(노진우와 한광희, 2014), 터치스크린 휴대 전화를 사용하여 청각과 촉각 피드백을 실험한 결과, 청각 피드백이 촉각 피드백보다 더 도움이 된다는 결과가 나타났다(김영일 등, 2008). 공간에서 스케치할 때 음향 반향판의 피드백을 통해 깊이 방향 오차를 줄여 모델과의 일치도를 증가시켰다(최상민 등, 2009).

가상현실에서 시각, 청각, 촉각 피드백을 제공한 여러 연구도 존재한다. 가상현실에서 고관절 운동 동작 수행 시 시각 피드백의 제공으로 동작 오차가 유의하게 감소한 연구(김정진 등, 2011)와 가상환경에서 악기 연주 시 제공되어 사용자들의 긍정적인 반응과 사용자가 입력에 대한 확신을 줄 수 있음을 확인한 연구(고인석 등, 2018) 그리고 가상환경에서 사용자에게 거리 정보를 제공하여 사용자 인터페이스(user interface; UI) 조작을 실험할 때 햅틱 피드백의 감각 치환을 통해 고유감각과 시각 정보의 불일치를 일정 부분 해소한 연구(손형기 등, 2018) 등이 있다.

햅틱과 사운드 피드백이 깊이 정보를 보충하여 사용자의 위치 인식에 큰 도움이 된다는 연구 결과(김승찬 등, 2007)를 통하여 본 논문의 실험에서도 긍정적인 효과를 보여줄 것으로 예상된다.

3) 가상현실 드로잉

가상현실에서의 드로잉 애플리케이션에는 Tilt Brush, PAINT VR 그리고 Colory VR 등이 있으며 이 외에도 다양하게 연구개발이 진행되고 있다. 이와 같은 애플리케이션들을 활용한 예술도 나오고 있다. 국내 최초 VR 아티스트 염동균 작가의 가상현실 기술과 예술을 결합시킨 형태의 공연인 VR 드로잉 퍼포먼스를 예로 들 수 있는데, VR 드로잉 퍼포먼스는 아티스트의 시점을 공유한 대형 스크린을 통해 다양한 퍼포먼스와 색다른 볼거리를 제공한다(김상민, 2018).

가상현실과 증강현실에서의 드로잉에 관한 연구는 많이 이뤄지고 있다. 자유형 표면 모델링을 위한 새로운 프레임 워크인 SurfaceBrush(Rosales, E., et

al, 2019)는 가상현실에서 스케치할 때, 사용자가 의도한 매니폴드가 없는 형태의 3차원 표면으로 변환하는 표면 처리 방법을 제안하였다. 연필 및 종이와 유사한 방식으로 태블릿 PC와 일반 용지를 사용한 3차원 스케치 인터페이스인 Napkin Sketch(Xin, M., et al, 2008)는 핸드-헬드 혼합현실 기술을 사용하여 3차원 스케치를 하는데 투영 3차원 스케치를 기반으로 3차원 표현을 만들고 스케치에서의 획에 내재된 기하학적 관계를 활용하는 기술을 사용한다. 카멜레온(김현철 등, 2019)은 양손 그리기와 렌더 모드 트랜지션(render mode transition)을 구현한 비전문가용 VR 드로잉 애플리케이션이다. 스마트폰과 트래킹되는 펜을 가지고 스케치를 하여 객체를 생성하는 증강현실 기반 3차원 스케치 시스템(김준한 등, 2019)도 있다.

제 2 절 가상현실에서의 3차원 색상 선택기

1) 색 공간

가) 아이작 뉴턴 (Isaac Newton)

아이작 뉴턴은 프리즘에 빛을 통과시키면 빨간색부터 보라색으로 분해되고 이렇게 분해된 색들을 렌즈에 통과시키면 다시 백색광으로 변한다는 사실을 발견하였다. 이러한 사실을 통해 색들을 구분하고 컬러 휠을 만드는 원에 배치하였는데 이것이 오늘날 일반적으로 사용되는 색상환의 기초이다.

나) 먼셀 (Albert H. Munsell)

먼셀 색 체계는 20세기 초에 미국의 화가 앨버트 헨리 먼셀이 고안한 색 체계이다. 색상, 채도, 명도의 3가지 독립변수로 구성되어 이를 통해 색을 나타내는 색 공간이다. 색상(hue)은 색상환의 방향, 채도(chroma)는 원의 반지름, 명도(value)는 수직축의 높이로 표현된다.

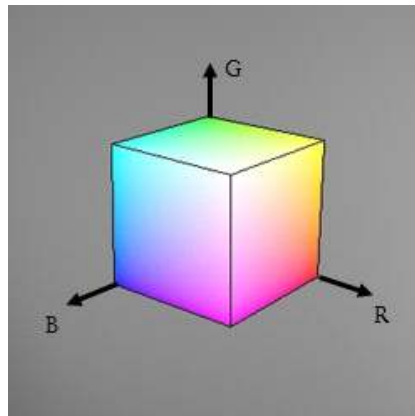
다) CIE 1931 색 공간 (CIE 1931 color space)

국제조명위원회(CIE)는 색 공간을 인간의 색채 인지 연구를 통해 수학적으로 정의하였다. CIE 1931 색 공간은 수학적으로 정의된 최초의 색 공간 중 하나이며 1931년에 제정되었다. CIE RGB 색 공간을 기반으로 CIE XYZ 색 공간이 만들어졌으며 XYZ는 빨강(red), 초록(green), 파랑(blue)과 비슷하다.

2) 컬러 모델

가) RGB (Red Green Blue)

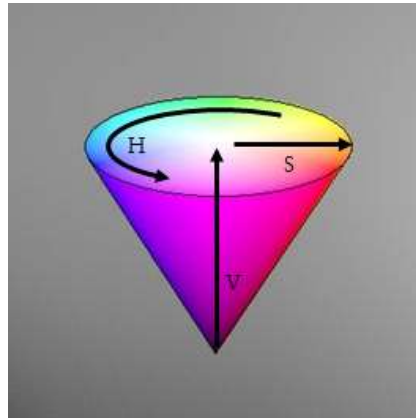
RGB 컬러 모델은 컴퓨터 모니터에서 색을 조절하기 위한 가장 기초적인 방법이다(홍석일, 1998). [그림 2-1]은 RGB Cube 모델로 8개의 꼭짓점에 빨강, 초록, 파랑, 자홍(magenta), 노랑(yellow), 녹청(cyan), 하양(white) 그리고 검정(black)이 있고 모든 색의 길이가 1인 정육면체이다. 보색은 정육면체의 중심을 기준으로 마주 보고 있는 색이며, 자홍, 노랑, 녹청은 빨강, 초록, 파랑의 합성으로 표시한다. RGB 모델은 빛의 삼원색인 빨강, 초록, 파랑을 이용하여 다른 색을 표현하는 방식으로 빛을 합성할수록 밝아져 가산 모델이라고도 한다.



[그림 2-1] RGB Cube 모델

나) HSV (Hue Saturation Value)

HSV 컬러 모델은 색상(hue), 채도(saturation) 그리고 명도(value)를 사용하여 색을 구성하는 방식이다. 전통적으로 물감의 여러 색을 혼합하고 다시 여기에 흰색이나 검은색을 섞어 색을 만드는 혼합 방식과 유사하며 예술가나 디자이너들이 쉽게 조정할 수 있는 방식이다(신내경과 신재희, 1998). [그림 2-2]와 같이 색상(H)은 원의 각도로 표현되어 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 의 범위를 갖고 0° 와 360° 는 빨간색을 나타낸다. 채도(S)는 원의 반지름으로 표현되며 채도가 높을수록 맑고 다른 색을 섞을수록 채도가 낮아져 색이 탁해진다. 명도(V)는 원뿔의 높이로 표현되어 검은색을 0%, 흰색을 100%로 하였을 때의 밝기 정도를 나타낸다. 비슷한 모델로는 HSL (hue, saturation, lightness), HSI(hue, saturation, intensity) 등이 있다.



[그림 2-2] HSV 색 공간 원뿔 모형

다) CMYK (Cyan Magenta Yellow and Key(Black))

CMYK 색 모형은 빛이 물체의 표면에서 반사되었을 때의 색에 관한 것으로 녹청, 자홍, 노랑, 검정을 원색으로 한다. 녹청, 자홍, 노랑의 합성으로 빨강, 초록, 파랑을 표시한다. 가산 모델과 반대로 녹청, 자홍, 노랑에서 색을

빠면서 색을 표현하기 때문에 섞을수록 어두워져 감산 모델이라고도 한다. RGB나 HSV보다 표현 가능한 색이 적고 주로 인쇄에 사용된다.

라) YUV와 YIQ

YUV 모델은 텔레비전의 컬러와 흑백의 호환을 위해 발명되었고 기존에 존재하던 흑백 신호에 UV 신호를 추가한 방법으로 명도(Y)와 2개의 색상 정보(U, V)로 표현한다. YIQ 모델은 미국과 한국 등에서 사용하는 텔레비전 표준인 NTSC(national television system committee) 방식으로 색의 민감도를 U와 V가 아닌 I(주황-파랑 범위)와 Q(자주-초록 범위)로 나타낸다.

마) CIE L^*a^*b

CIE 컬러 맵에서의 거리는 실제로 인식된 색의 차이를 의미하는 것이 아니다. 따라서 CIE를 변형하여 컬러 맵에서의 거리가 실제 인식된 색의 차이에 정비례하도록 한 것이 CIE L^*a^*b 모델이다. 사람의 지각 능력을 반영하여 인지 컬러 모델이라고 한다. L^* 은 명도, a^* 는 초록과 빨강 사이의 세기 그리고 b^* 는 파랑과 노랑 사이의 세기를 나타낸다.

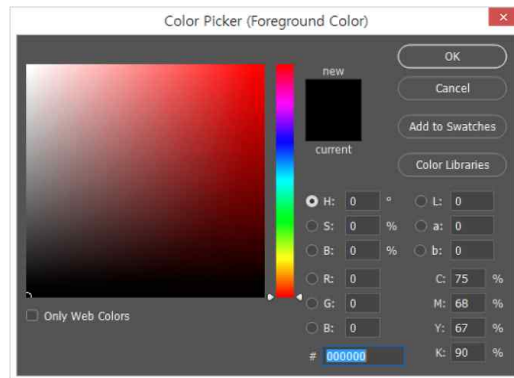
3) 색상 선택기

컴퓨터 작업에서 색을 선택할 때 사용되는 색상 선택기는 프로그램마다 다양한 인터페이스가 존재한다. 주로 원하는 색을 자유롭게 선택하는 HSV 색 공간의 색상 휠이나 정해진 색을 선택할 수 있는 색상 팔레트로 구성되어 있고 사용자가 원하는 색을 정확하게 입력할 수 있는 색상 코드 입력 칸이 존재하기도 한다. Windows 그림판(MSPaint by Microsoft)의 색상 선택기는 [그림 2-3]과 같이 좌측에는 색상 팔레트가 존재하고 우측에는 색상을 선택하는 부분과 밝기를 조절하는 슬라이더가 있으며 색 표현법에 따른 색상 코드값을 입력할 수 있는 텍스트 상자가 존재한다.



[그림 2-3] Windows 그림판의 색 편집 (MSPaint, Microsoft)

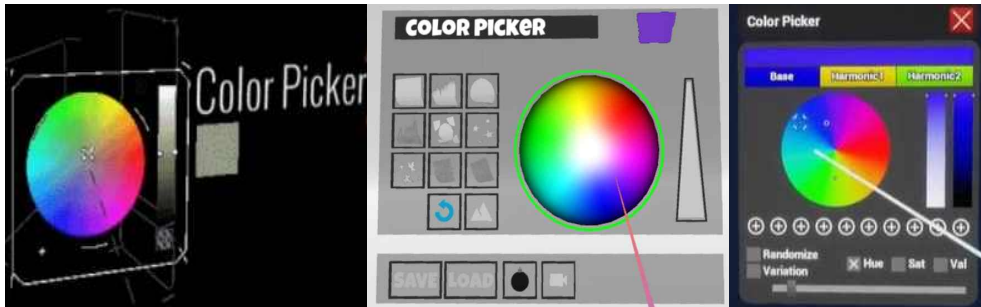
Adobe Photoshop(Adobe Photoshop by Adobe)의 색상 선택기는 [그림 2-4]와 같이 좌측에 HSV 색 공간의 명도와 채도를 조절하는 부분과 색상을 조절하는 슬라이더가 있고 우측에 색 표현법에 따른 색상 코드값을 입력할 수 있는 텍스트 상자가 존재한다.



[그림 2-4] Adobe Photoshop의 색상 선택기 (Adobe Photoshop, Adobe)

컴퓨터에서 사용하고 있는 이러한 색상 선택기들은 3차원 가상현실 콘텐츠에서도 계속 사용되고 있다. [그림 2-5]와 같이 3차원 드로잉 애플리케이션인 Tilt Brush, PAINT VR, Color VR의 색상 선택기를 보면 2차원 색상

선택기를 그대로 3차원 공간으로 가져와 사용하고 있는 것을 확인할 수 있다.



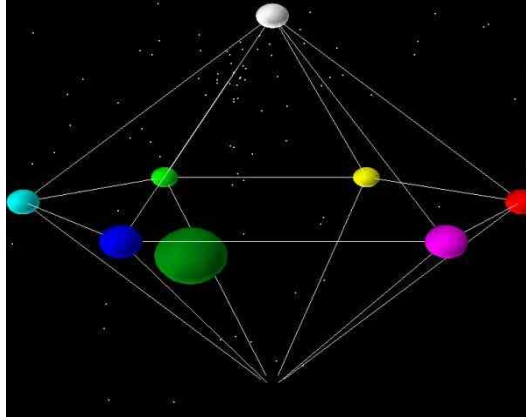
(가)

(나)

(다)

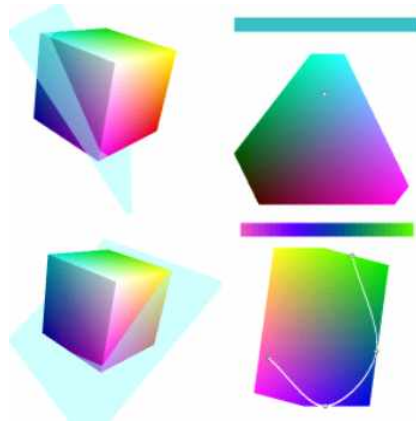
[그림 2-5] (가) Tilt Brush, (나) PAINT VR 그리고 (다) Colory VR의 색상 선택기(Tilt Brush, Google; PAINT VR, COSKAMI LLC; Colory VR, LUCID LAYERS)

3차원 공간에서 3차원 색상 선택기를 사용한 연구가 아예 없지는 않다. CavePainting(Keefe, D. F., et al, 2001)에서는 3차원 공간에서 드로잉을 할 때 [그림 2-6]과 같이 HSL 컬러 모델의 바이콘(bicone) 모양으로 생긴 3차원 색상 선택기를 사용한다. 이 3차원 색상 선택기는 투명하며 색을 표시하기 위한 구들이 존재한다. 빨강, 초록, 파랑, 자홍, 노랑, 녹색, 하양 그리고 검정을 8개의 꼭짓점에 HSL 컬러 모델에 맞게 표시하며 사용자가 선택한 색은 해당 위치에 큰 구로 표시한다. 내부가 비어 있어서 사용자가 선택하고 있는 색을 편하게 확인할 수 있지만, 각각의 꼭짓점에 표시된 8개의 색으로만 색의 변화를 생각해야 하므로 원하는 색의 위치를 바로 알아차리기에는 어려움이 있다.



[그림 2-6] CavePainting의 3차원 색상 선택기 (Keefe, D. F., et al, 2001)

앞의 3차원 색상 선택기와는 다르게 색으로 둘러싸인 3차원 색상 선택기가 있다. [그림 2-7]과 같이 3차원 색상 공간을 탐색하기 위해 반투명 평면을 사용하여 잘라낸 슬라이스를 색상 팔레트로 사용하고 사용자가 색상 팔레트에서 보간 경로를 변경할 수 있는 3차원 색상 선택기이다(Wu, Y., & Takatsuka, M., 2005). 이 3차원 색상 선택기는 원하는 색의 근처를 직관적으로 확인할 수 있고 단면 슬라이스를 통해 내부의 색들을 확인할 수 있지만, 일반 컴퓨터용으로 개발되어 마우스와 같은 2차원 인터페이스 도구만 사용할 수 있어, 3차원이라는 장점을 충분히 활용할 수 없었다.



[그림 2-7] 3차원 색상 선택기의 RGB
색상 큐브 및 색상 팔레트 (Wu, Y., &
Takatsuka, M., 2005)

색을 선택하고 작업하는 방법은 수년 동안 거의 변함없이 사용되고 있지만(Meier, B. J., et al, 2004), 색상 선택기 인터페이스의 연구는 다양한 주제로 진행되고 있다.

Color Builder(Shugrina, M., et al, 2019)는 사용자가 색상 견본을 만들고 재배열하는 등 직접 조작하여 색상 테마를 만들 수 있는 새로운 인터페이스이다. Sandnes, F. E.와 Zhao, A.의 연구에 의하면 WCAG2.0(Web Content Accessibility Guidelines)에서 디자이너가 충분한 대비를 포함하는 색상 쌍을 선택할 수 있도록 허용하여 대비 제약을 주요 디자인 단계에 통합하는 새로운 색상 선택 방식을 제안하고(Sandnes, F. E., & Zhao, A., 2015a), WCAG2.0에서 디자이너가 충분한 대비를 나타내는 색상 조합을 선택하는 데 도움이 되는 색상 선택 도구를 제공하였다(Sandnes, F. E., & Zhao, A., 2015b).

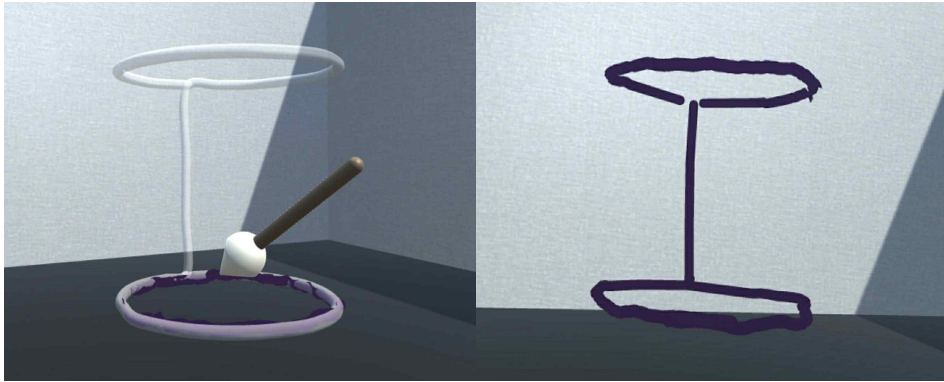
제 3 장 가상현실에서의 3차원 드로잉

제 1 절 개요

본 논문에서는 3차원 드로잉을 할 때 정확한 위치 입력을 위한 피드백의 효과를 검증하고자 시험 시스템인 가상현실 3차원 드로잉 시스템을 개발하였다. 사용자가 입력해야 할 정확한 위치 정보는 예제 선 모델로 주어지고 사용자는 가상현실 장치인 핸드-헬드 컨트롤러를 이용하여 주어진 선을 최대한 정확하게 따라 그린다. 컨트롤러의 위치 추적을 통해 주어진 선 모델과의 오차 거리를 계산하고 사용자가 오류를 인지하는 데 도움이 되도록 다양한 종류의 피드백을 제공하였다. 사용자에게 제공되는 피드백은 시각, 청각, 촉각의 형태이다. 피드백이 제공되지 않는 경우와 시각, 청각, 촉각의 단일 피드백이 제공되는 경우를 비교하여 피드백의 제공 여부와 피드백의 형태에 따른 효과를 분석한다.

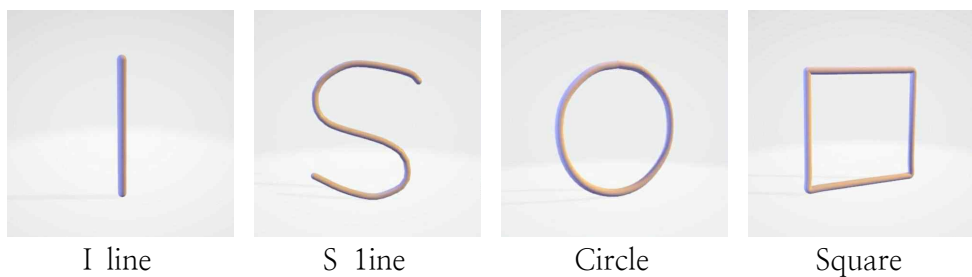
제 2 절 가상현실 3차원 드로잉 시스템

가상현실 3차원 드로잉 시스템은 사용자가 가상현실에서 선 따라 그리기를 수행할 수 있는 시스템이다. 사용자는 컨트롤러를 이용하여 가상현실에서 예제로 주어진 선 모델을 그대로 따라 그린다. [그림 3-1]과 같이 컨트롤러는 가상현실에서 빛의 형태로 보이며 컨트롤러를 통해 입력된 위치의 값들을 연결하여 선으로 보여준다.

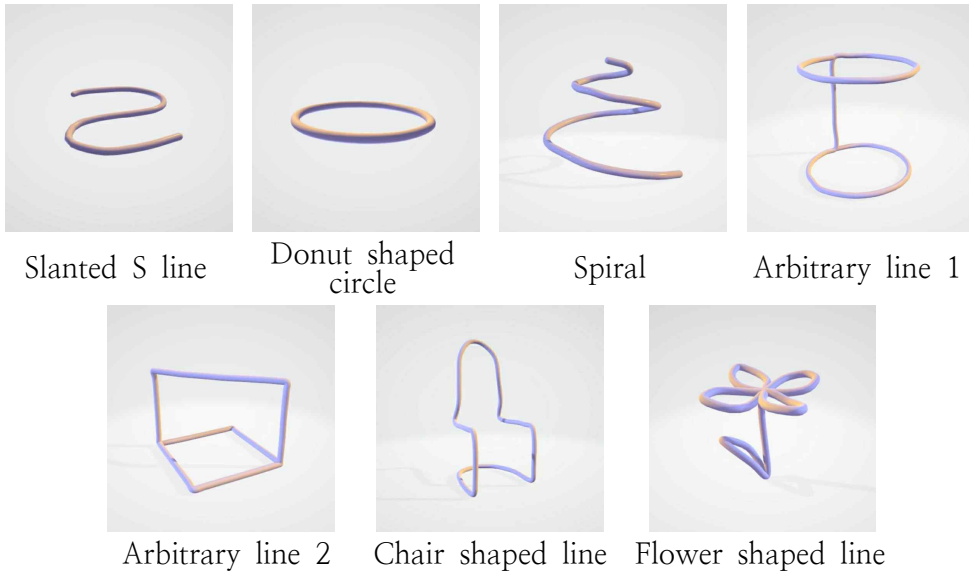


[그림 3-1] 3차원 드로잉 시스템

사용자에게 주어지는 선 모델은 깊이감이 없는 모델과 깊이감이 있는 모델로 분류된다. [그림 3-2]와 같이 깊이감이 없는 모델은 2차원적인 느낌으로 직선, S선, 원형 모양의 선, 사각형 모양의 선이 있으며, [그림 3-3]과 같이 깊이감이 있는 모델은 3차원적인 느낌으로 나선과 불규칙 형태의 선들이 있다. 깊이감이 없는 모델을 따라 그리는 것은 현실에서 종이나 캔버스 등의 2차원 공간에 그리는 것과 유사하지만, 깊이감이 있는 모델을 따라 그리는 것은 3차원 깊이 입력이 필요하여 정확한 위치 입력이 어렵다.



[그림 3-2] 실험에서 사용한 깊이감이 없는 선 모델



[그림 3-3] 실험에서 사용한 깊이감이 있는 선 모델

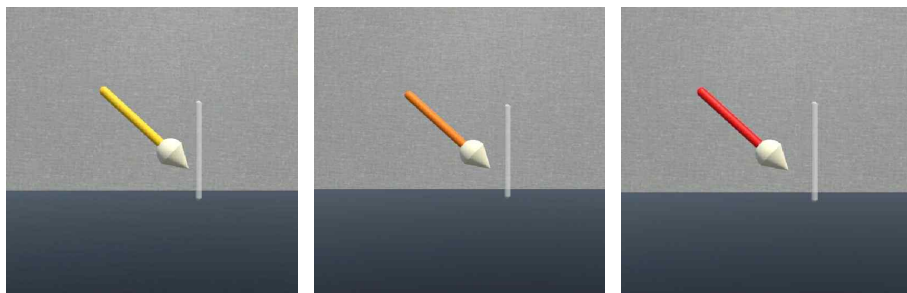
제 3 절 3차원 드로잉을 위한 피드백 설계

본 연구에서는 사용자가 선 모델을 최대한 정확하게 따라 그릴 수 있도록 시각, 청각, 촉각 방식의 단일 피드백을 설계하고 제공한다. 사용자가 높은 정확도로 선 모델을 따라 그리고 있다면 피드백의 제공이 필요하지 않지만 그렇지 못한 경우에는 사용자가 상황을 인지할 수 있도록 피드백을 제공하여 도와준다. 주어진 선 모델과 사용자가 그리는 선과의 거리로 드로잉의 오차를 판단한다. 주어진 선 모델과 사용자가 그리는 선 사이의 거리가 멀수록 드로잉의 오차가 커진다. 드로잉의 오차에 따라 피드백의 강도를 다르게 제공하기 위해 오차의 범위를 3단계로 구분하였다. 따라서 주어진 선 모델과 사용자가 그리는 선의 위치를 비교하여, 드로잉의 오차를 단계별로 구분하고 그에 따라 사용자에게 제공되는 피드백의 강도를 다르게 제공한다. [표 3-1]은 오차 거리에 따른 오차 단계를 3단계로 구분하고 단계별로 구현된 시각, 청각, 촉각 피드백의 설계를 요약한 것이다.

[표 3-1] 오차 단계 및 피드백 설계

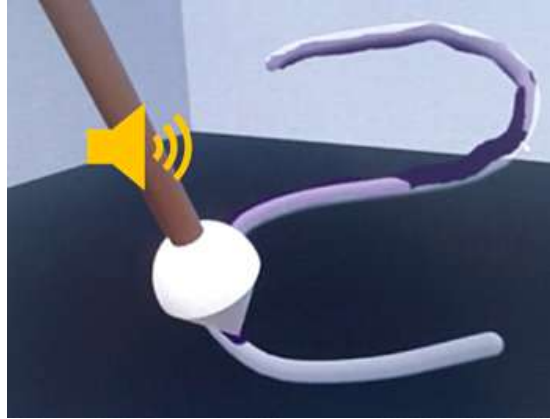
Error level		level 1	level 2	level 3
Error distance ε (cm)		$0.5 \leq \varepsilon < 1.5$	$1.5 \leq \varepsilon < 3.0$	$3.0 \leq \varepsilon < 5.0$
Category	Target	Output		
Visual feedback	Color of brush handle	yellow	orange	red
Auditory feedback	Sound tempo	slow	moderate	fast
Haptic feedback	Intensity of vibration	weak	moderate	strong

시각 피드백은 붓 핸들의 색을 다르게 표시하여 사용자가 스스로 오차의 정도를 인지할 수 있도록 한다. [그림 3-4]는 오차 단계에 따른 붓 핸들의 색을 보여준다. 3단계로 구분된 드로잉 오차에 따라 붓 핸들의 색이 노랑, 주황, 빨강으로 표시된다.



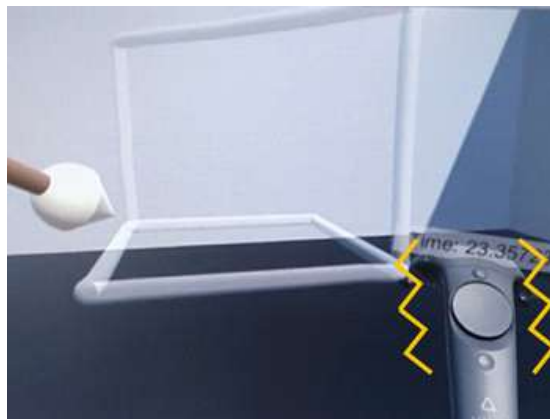
(가) (나) (다)
[그림 3-4] (가) 오차 1단계, (나) 오차 2단계 그리고 (다) 오차 3단계에서의 시각적 피드백 구현

청각 피드백은 [그림 3-5]와 같이 한 가지 소리의 빠르기를 조절하여 사용자가 스스로 오차의 정도를 인지할 수 있도록 한다. 3단계로 구분된 드로잉 오차에 따라 느린 속도, 중간 속도, 빠른 속도로 소리가 출력된다.



[그림 3-5] 청각 피드백 구현

마지막으로 촉각 피드백은 진동의 세기를 다르게 출력하여 사용자가 스스로 오차의 정도를 인지할 수 있도록 도와준다. 가상현실 장비인 컨트롤러의 진동 기능을 사용하고 진동의 주파수와 진폭의 값을 변경하여 진동의 세기를 다르게 출력하였다. 드로잉을 하는 손에 진동을 출력한다면 흔들림으로 인해 드로잉에 방해가 될 수 있으므로 [그림 3-6]과 같이 드로잉을 하지 않는 손의 컨트롤러에 진동을 출력한다. 3단계로 구분된 드로잉 오차에 따라 약한 진동, 중간 진동, 강한 진동을 제공하였다.



[그림 3-6] 촉각 피드백 구현

제 4 절 실험 방법

본 시스템은 Unity 3D 2018.3.1.f1 엔진과 SteamVR 플러그인을 통합하여 개발하였다. 가상현실 장비로 HTC Vive Pro를 사용하여 실험 참가자는 HMD를 머리에 착용하고 컨트롤러를 양손에 쥔 상태로 실험에 참여하였다. [그림 3-2]와 [그림 3-3]의 11가지 선 모델을 제공하였으며, 성인 4명(남: 2명, 여: 2명)을 대상으로 실험을 수행하였다. 실험 참가자는 본 시스템의 드로잉에 적응하기 위해서 1분 정도 자유롭게 드로잉을 하였다. 실험은 한붓그리기로, 한 번 그린 선은 다시 수정할 수 없으며 드로잉 시간에 제약은 없으나 피드백에 따른 시간을 비교하기 위해서 드로잉 시간을 측정하였다.

시각, 청각, 촉각 중에서 어떤 피드백이 더 효과적인지 확인하기 위해 시각, 청각, 촉각을 단일 피드백으로 제공하였다. 실험 참가자가 선 그리기를 반복할수록 선 모델과 3차원 드로잉에 익숙해지는 것을 감안하여 많은 수의 선 모델을 준비하고 피드백의 제공 순서를 무작위로 정하였다. 피드백에 따른 드로잉 오차를 비교, 분석하여 어떤 피드백이 가장 효과적인지를 평가하였다.

실험 참가자는 피드백을 제공받으며 가상환경에 놓인 선 모델들을 따라 그린다. 피드백 제공 여부에 따른 효과를 확인하기 위해, 피드백이 없는 상태로 11가지 선 모델을 따라 그리는 것으로 실험을 시작한다. 이후에는 피드백 형태에 따른 차이를 확인하기 위해 무작위로 정해진 시각, 청각, 촉각의 단일 피드백을 받으며 앞선 실험과 동일한 실험을 진행한다. 따라서 실험 참가자는 피드백이 제공되지 않은 경우와 시각, 청각, 촉각의 단일 피드백이 제공되는 경우에 선 모델을 11개씩 그리게 된다. 실험에 걸린 평균 소요 시간은 10분 정도였으며, 실험이 끝난 후에는 모든 실험 참가자에게 가장 어려웠던 선 모델과 피드백에 대한 의견을 질문하였다.

제 5 절 드로잉 오차 측정 및 오차 거리의 계산

본 3차원 드로잉 시스템은 매 프레임마다 실험 참가자의 드로잉 오차를 3단계로 측정한다. 즉, 실험 참가자가 드로잉하는 동안 측정된 총 프레임 수는

드로잉 오차를 측정한 횟수이다. 총 프레임 수는 똑같은 실험 참가자가 똑같은 모델을 따라 그리는 경우에도 매번 다르게 측정된다. 따라서 피드백에 따른 효과를 비교하는 데 필요한 단계별 오차 비율은 단계별 오차의 검출 횟수를 총 프레임 수로 나누어 정규화하였다. 단계별 오차의 검출 횟수는 빈도(frequency)이고 이를 총 프레임 수로 나눈 값인 단계별 오차 비율은 상대 빈도(relative frequency)이다.

단계별 오차 거리는 [표 3-1]에서 3단계로 구분한 오차 ε 범위의 중간값으로 1단계는 1cm, 2단계는 2.25cm 그리고 3단계는 4cm이며 이 값을 단계별 오차 비율과 곱하여 프레임별 평균 오차 거리를 계산한다. [표 3-2]는 총 프레임의 수가 100일 때, 오차를 측정하여 단계별 오차의 검출 횟수(frequency of error level), 단계별 오차 비율인 상대 빈도(relative frequency of error level) 그리고 오차 거리와 상대 빈도의 곱을 계산한 예시이다. 프레임별 평균 오차 거리(mean error distance)는 마지막 열의 값들의 합인 0.3475cm이며 이 과정을 식으로 표현하면 다음과 같다.

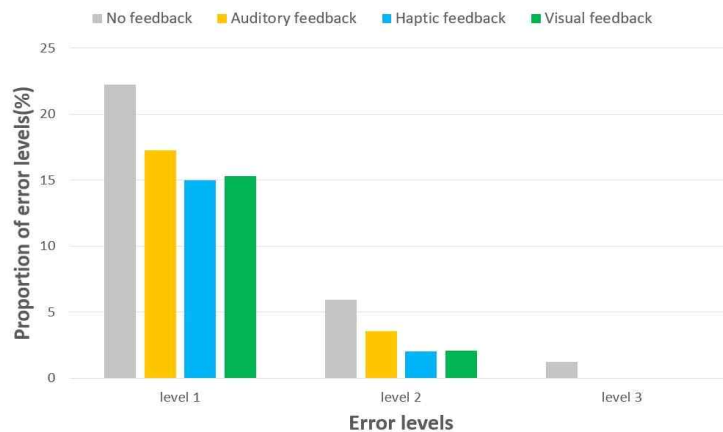
$$\text{mean error distance} = \sum_{i=1}^3 e_i p_i$$

[표 3-2] 오차 거리와 상대 빈도의 곱을 계산한 예시

	Error distance ε (cm)	Frequency of error level	Relative frequency of error level	Product of e_i and p_i
Symbol	e_i	f_i	$p_i=f_i/N$	$e_i \times p_i$
No error	0	75	0.75	0.0000
Level 1	1.00	20	0.20	0.2000
Level 2	2.25	3	0.03	0.0675
Level 3	4.00	2	0.02	0.0800
Total		$N=100$	1.00	0.3475

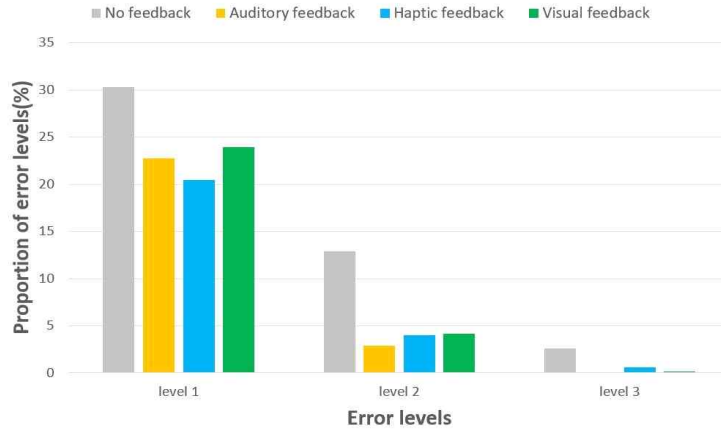
제 6 절 실험 결과

모든 실험 참가자의 선 모델 각각에 대한 단계별 오차 비율의 평균을 계산한 결과, 모델 대부분에서 피드백이 제공된 경우가 피드백이 제공되지 않은 경우보다 2단계와 3단계의 오차 검출 비율이 낮아졌다. [그림 3-7]은 [그림 3-3]의 Arbitrary line 1 모델을 따라 그렸을 때의 모든 실험 참가자의 단계별 오차 비율의 평균 그래프이다. 1단계와 2단계의 오차 비율은 피드백이 제공되지 않았을 때가 가장 높으며, 시각, 청각, 촉각 피드백이 제공되었을 때는 비슷한 결과를 보여준다. 또한, 3단계의 오차 비율은 피드백이 제공되지 않은 경우에만 검출되었다.



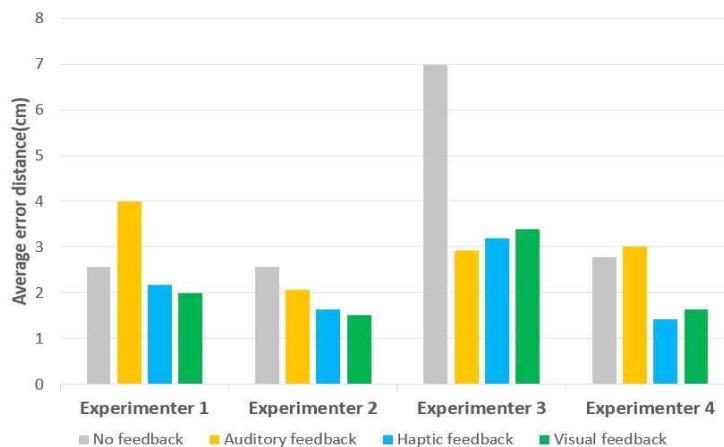
[그림 3-7] Arbitrary line 1 모델을 그릴 때의 모든 실험 참가자의 단계별 오차 비율의 평균 그래프

[그림 3-8]은 한 실험 참가자의 선 모델 전체에 대한 단계별 오차 비율의 평균 그래프이다. 피드백이 제공되지 않았을 때의 오차 검출 비율은 모든 단계에서 높게 측정되었으며 시각, 청각, 촉각 피드백은 단계별 오차 검출 비율이 비슷하게 측정되었다.



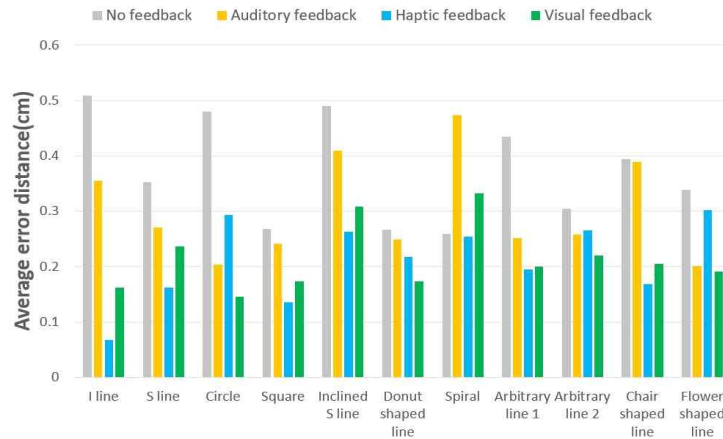
[그림 3-8] 한 실험 참가자의 모든 선 모델에 대한 단계별 오차 비율의 평균 그래프

[그림 3-9]는 실험 참가자별로 모든 모델의 오차 거리의 평균을 계산한 그래프이다. 청각 피드백이 제공되었을 경우의 오차 거리의 평균이 피드백이 제공되지 않았을 경우보다 더 높게 측정된 실험 참가자가 존재하지만, 촉각 피드백과 시각 피드백이 제공되었을 경우가 피드백이 제공되지 않았을 경우보다 오차 거리의 평균이 낮아졌음을 모든 실험 참가자에게서 확인할 수 있다.



[그림 3-9] 모든 모델의 실험 참가자별 평균 오차 거리의 평균 그래프

[그림 3-10]은 모델별로 모든 사용자의 평균 오차 거리를 계산한 그래프이다. 피드백이 제공된 경우, 모델 대부분에서 평균 오차 거리가 많이 감소하였다.



[그림 3-10] 모든 실험 참가자의 모델별 평균 오차 거리의 평균 그래프

[표 3-3]은 평균 오차 거리를 수치로 정리한 것이다. 피드백이 제공되지 않은 경우를 기준으로 평균 오차 거리가 청각 피드백은 80.63%, 촉각 피드백은 56.75% 그리고 시각 피드백은 57.29%로 감소한 것을 확인할 수 있다. 따라서 피드백이 제공되지 않았을 때보다, 피드백이 제공되었을 때의 드로잉 오차가 감소하였다. 실험 참가자의 3차원 위치 입력의 정확도는 피드백이 제공되지 않았을 때보다 청각, 촉각, 시각 피드백이 제공되었을 때가 각각 24.04%, 76.24%, 74.46% 향상되었다.

[표 3-3] 모델별 모든 실험 참가자의 평균 오차 거리
(단위: cm)

	No feedback	Auditory feedback	Haptic feedback	Visual feedback
I line	0.51	0.35	0.07	0.16
S line	0.35	0.27	0.16	0.24
Circle	0.48	0.20	0.29	0.15
Square	0.27	0.24	0.14	0.17
Slanted S line	0.49	0.41	0.26	0.31
Donut shaped circle	0.27	0.25	0.22	0.17
Spiral	0.26	0.47	0.25	0.33
Arbitrary line 1	0.43	0.25	0.20	0.20
Arbitrary line 2	0.30	0.26	0.27	0.22
Chair shaped line	0.39	0.39	0.17	0.20
Flower shaped line	0.34	0.20	0.30	0.19
Average error distance	0.37	0.30	0.21	0.21
Error distance reduction (%)	100.00	80.63	56.75	57.29

[그림 3-3]의 Spiral 모델의 경우, 청각 피드백과 시각 피드백의 평균 오차 거리가 피드백이 제공되지 않은 경우보다도 크다. 실험 결과를 상세히 관찰한 결과, 4명의 실험 참가자 중 3명의 실험 참가자는 피드백이 제공된 경우의 오차 거리가 피드백이 제공되지 않은 경우보다 작았으나, 한 명의 실험 참가자는 피드백이 제공된 경우에도 상당히 큰 오차를 발생시켰다. Spiral 모델은 깊이 값이 계속 변하는 곡선으로 해당 실험 참가자는 [그림 3-3]의 Chair shaped line 모델에서도 다른 실험 참가자보다 상대적으로 큰 드로잉 오차를 발생시켰다. 이는 실험 참가자 개인의 특성에 기인한 것으로 유추할 수 있지만, 실험 참가자의 수가 충분하지 못한 근본적인 문제가 있음을 확인

하고 향후 충분한 수의 실험 참가자를 대상으로 실험을 수행하여 통계적으로 유의미한 결과를 도출할 필요가 있다고 생각한다.

실험 참가자들은 본 실험의 목적이 주어진 선 모델을 가능한 한 정확하게 따라 그리는 것임을 알고 있었으나 피드백이 제공되지 않았을 때는 오차의 발생을 정확히 인지하지 못하여 피드백이 제공되었을 때보다 상대적으로 드로잉을 빠르게 완료하였다. 반면 피드백이 제공된 경우에는 실험 참가자가 오차의 발생을 인지하여 오차를 줄이기 위해 노력하기 때문에 드로잉 시간이 대체로 증가하였고, 이는 피드백 제공의 효과에 부합하는 결과이다.

가장 어려웠던 선 모델로는 3명의 실험 참가자가 [그림 3-3]의 Flower shaped line 모델을 선택하였고, 1명의 실험 참가자는 [그림 3-3]의 Chair shaped line 모델을 선택하였다. 실험에서 제공된 피드백에 대한 반응은 실험 참가자 대부분이 비슷하였다. 시각 피드백은 편안한 느낌으로 드로잉에 방해가 되지 않았으며, 촉각 피드백은 피드백 강도에 따라 드로잉의 오차 정도를 잘 인지할 수 있었고 마지막으로 청각 피드백은 시끄러운 소리가 오히려 드로잉에 방해가 되었다고 답변하였다.

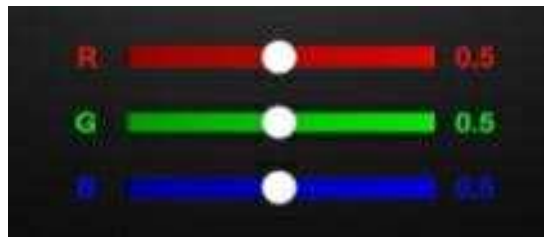
제 4 장 가상현실에서의 3차원 색상 선택기

제 1 절 2차원 색상 선택기

색상 선택기는 컴퓨터 프로그램마다 인터페이스가 달라서 다양하게 존재하지만, 일반적으로 2차원 HSV 색상 선택기, 색상 팔레트 그리고 RGB 슬라이더를 생각할 수 있다. 많은 디자인 응용 프로그램에서 주로 사용하는 4가지의 색상 선택 인터페이스의 선호도를 측정하였을 때 RGB 컬러 모델과 HSV 컬러 모델의 색상 선택 인터페이스가 사용자의 선호도가 높았다(Brathovde, K., et al, 2019). 따라서 본 논문에서는 3차원 색상 선택기의 성능 확인을 위한 비교 대상으로 RGB 컬러 모델과 HSV 컬러 모델 기반의 2차원 색상 선택기를 구현하였다.

1) RGB 2차원 색상 선택기

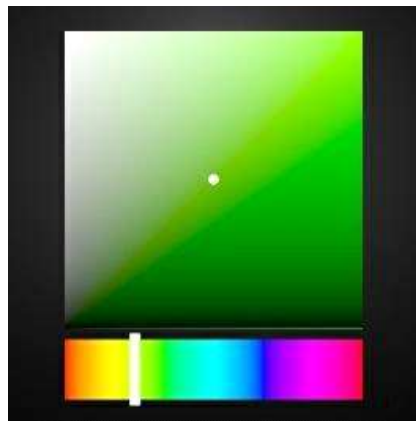
RGB 컬러 모델을 기반으로 구현한 2차원 색상 선택기는 [그림 4-1]과 같이 R, G, B의 값을 입력받을 수 있는 3개의 슬라이더로 구성되어 있다. R, G, B의 값을 각각의 슬라이더로 입력받아 색을 표시해준다. 슬라이더는 0부터 1 사이의 값을 가지며 가장 왼쪽에서의 값이 0이다. 이 색상 선택기를 사용하는 방법은 컨트롤러를 사용하여 3개의 슬라이더(R, G, B)의 값을 조절하면 된다.



[그림 4-1] RGB 2차원 색상 선택기

2) HSV 2차원 색상 선택기

HSV 컬러 모델을 기반으로 구현한 2차원 색상 선택기는 Adobe Photoshop의 색상 선택기와 유사하게 구현하였다. [그림 4-2]와 같이 채도와 명도 값을 조절하는 2차원 정사각형과 색상 값을 조절하는 2차원 직사각형으로 구성되어 있다. 위쪽의 2차원 정사각형에서 선택한 채도와 명도 값과 아래쪽의 2차원 직사각형에서 선택한 색상 값을 통해 색을 계산하여 표시해준다. 이 색상 선택기를 사용하는 방법은 컨트롤러를 사용하여 채도와 명도를 조절하는 포인터와 색상을 조절하는 포인터를 움직이면 된다.



[그림 4-2] HSV 2차원 색상 선택기

제 2 절 3차원 색상 선택기

앞에서 구현한 2차원 색상 선택기와 같은 색 체계를 기반으로 하는 2가지의 3차원 색상 선택기를 구현하였다. 본 연구에서 구현한 3차원 색상 선택기는 RGB 색 공간과 HSV 색 공간을 그대로 색상 선택기의 모양으로 사용한다.

1) RGB 3차원 색상 선택기

RGB Cube 모델을 구현하여 3차원 색상 선택기로 사용하였다. [그림 4-3]과 같이 RGB Cube 모델은 정육면체 모양으로 X, Y, Z축을 각각 R, G, B로 사용한다. 한 변의 길이가 1인 정육면체로 이루어진 공간에는 0부터 1 사이의 R, G, B의 값으로 표현된 색들이 존재하므로 그 공간의 좌표가 곧 색이 된다. 따라서 이 색상 선택기를 사용하는 방법은 컨트롤러를 잡은 손으로 직접 RGB Cube 모델의 내부인 3차원 공간 속을 움직이면 된다.



[그림 4-3] RGB 3차원 색상 선택기

2) HSV 3차원 색상 선택기

HSV Cone 모델을 구현하여 3차원 색상 선택기로 사용하였다. [그림 4-4]와 같이 HSV Cone 모델은 원뿔 모양으로 원의 각도는 색상을 나타내고 원의 반지름은 채도를 나타내고 원뿔의 높이는 명도를 나타낸다. 따라서 원둘레에는 원의 각도에 따라 지정된 색상이 나타나고, 원의 중심에 가까울수록 채도가 낮아져 색이 탁해지며, 원뿔의 꼭짓점으로 내려갈수록 명도가 낮아져 색이 어두워진다. 원뿔로 이루어진 공간은 HSV 색 공간이므로 그 공간의 좌

표를 통해 색을 계산한다. 따라서 이 색상 선택기를 사용하는 방법은 컨트롤러를 잡은 손으로 직접 HSV Cone 모델의 내부인 3차원 공간 속을 움직이면 된다.



[그림 4-4] HSV 3차원 색상 선택기

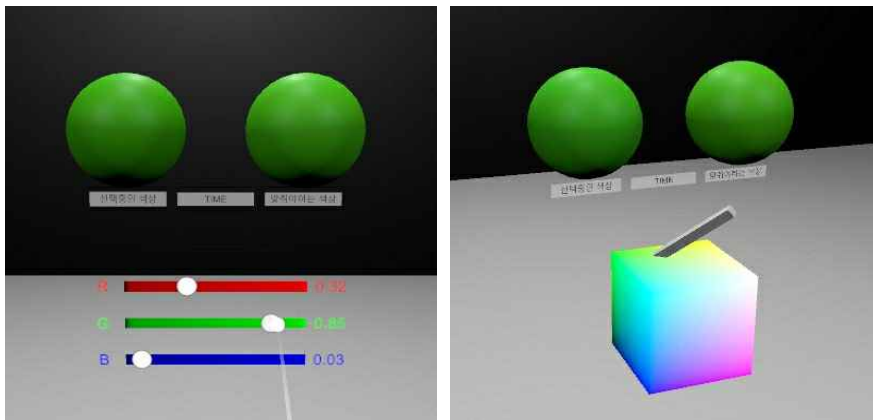
제 3 절 실험 방법

본 실험 환경은 Unity 3D 2019.4.6f1 엔진과 SteamVR 플러그인을 통합하여 개발하였다. 가상현실 장비로 HTC Vive Pro를 사용하여 실험 참가자는 정해진 공간 안에서 머리에 HMD를 착용하고 한 손에 컨트롤러를 잡고 실험에 참여하였다. 성인 8명(남: 5명, 여: 3명)을 대상으로 똑같은 색을 찾아 선택하는 실험을 수행하였다. 실험 참가자는 실험을 시작하기 전에 RGB 컬러 모델과 HSV 컬러 모델에 대한 간단한 설명을 듣고 본 실험에 제공되는 색상 선택기들을 사용하여 색을 찾는 방법에 대하여 설명을 들은 후에 실험에 참여하였다. 또한, 주어진 색상 선택기마다 첫 번째 선택은 실습으로 진행하였다.

3차원 색상 선택기의 성능을 알아보기 위하여 RGB 컬러 모델과 HSV 컬러 모델을 기반으로 구현한 2가지의 2차원 색상 선택기와 RGB 색 공간과 HSV 색 공간을 그대로 디자인하여 구현한 2가지의 3차원 색상 선택기로 실험

험을 진행하였다.

사용자는 [그림 4-5]와 같이 가상현실 공간에서 주어진 색상 선택기를 사용하여 무작위로 주어지는 색과 가장 비슷한 색을 선택한다. 사용자는 컨트롤러를 사용하여 색상 선택기를 조작하고 원하는 색을 찾아 선택한다. 색상 선택기마다 사용자가 색을 선택하는 데 걸린 시간을 비교하기 위하여 시간에 제약을 두지 않고 사용자가 주어진 색을 찾아서 선택하기까지의 시간을 측정하였다.



[그림 4-5] RGB 2차원 색상 선택기(왼쪽)와 RGB 3차원 색상 선택기(오른쪽)로 초록 계열의 색을 선택하는 실험 화면

실험에 사용되는 색상 선택기는 RGB 2차원 색상 선택기, HSV 2차원 색상 선택기, RGB 3차원 색상 선택기 그리고 HSV 3차원 색상 선택기 순으로 제공되었다. 사용자는 주어진 색상 선택기마다 8번씩 색상을 선택하여 총 32 번의 색을 선택하였다.

제 4 절 색 공간에 따른 색 변환

Unity 3D 2019.4.6.f1 엔진에서 사용하는 색상 함수는 0에서 1 사이의 값을 R, G, B값으로 입력받는다. RGB 3차원 색상 선택기는 X, Y, Z축을 R,

G, B로 사용하도록 구현하였다. 따라서 정육면체로 이루어진 RGB cube 모델의 내부 공간에는 0부터 1 사이의 R, G, B의 값으로 표현된 색들이 존재하므로 사용자가 사용하고 있는 컨트롤러를 통하여 입력되는 좌표 값을 색상 값으로 입력한다.

HSV 3차원 색상 선택기는 HSV 색 공간의 값들로 이루어진 원뿔 모형의 색상 선택기이다. 사용자가 선택한 색을 표현하고 비교하기 위해서는 RGB 색 공간의 값으로 변환하는 과정이 필요하며 변환식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 C &= V \times S \\
 X &= C(1 - |2L - 1|) \times S \\
 (R', G', B') &= \begin{cases} (C, X, 0), & 0^\circ \leq H < 60^\circ \\ (X, C, 0), & 60^\circ \leq H < 120^\circ \\ (0, C, X), & 120^\circ \leq H < 180^\circ \\ (0, X, C), & 180^\circ \leq H < 240^\circ \\ (X, 0, C), & 240^\circ \leq H < 300^\circ \\ (C, 0, X), & 300^\circ \leq H < 360^\circ \end{cases} \\
 m &= V - C \\
 (R, G, B) &= (R' + m, G' + m, B' + m)
 \end{aligned}$$

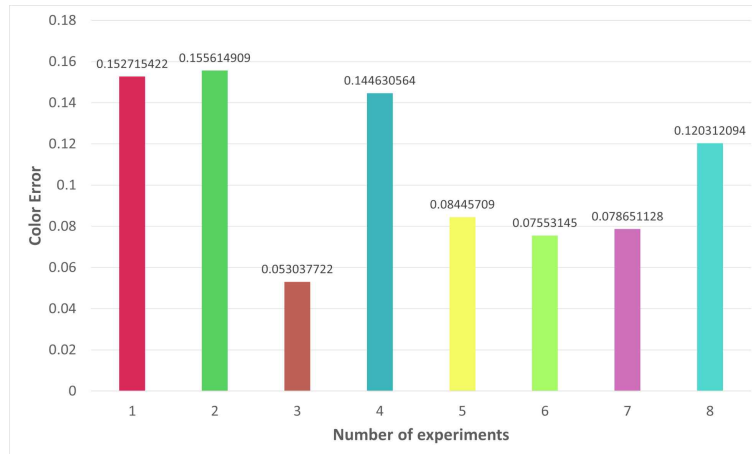
제 5 절 실험 결과

사용자는 무작위로 주어진 색과 최대한 똑같은 색을 찾아 선택한다. 사용자가 선택한 색과 무작위로 주어진 색의 R, G, B값을 비교하여 오류를 분석하였다. 색상 선택 시의 색상 오차는 두 색의 각각의 R, G, B값의 거리를 구하여 비교 분석하였으며 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

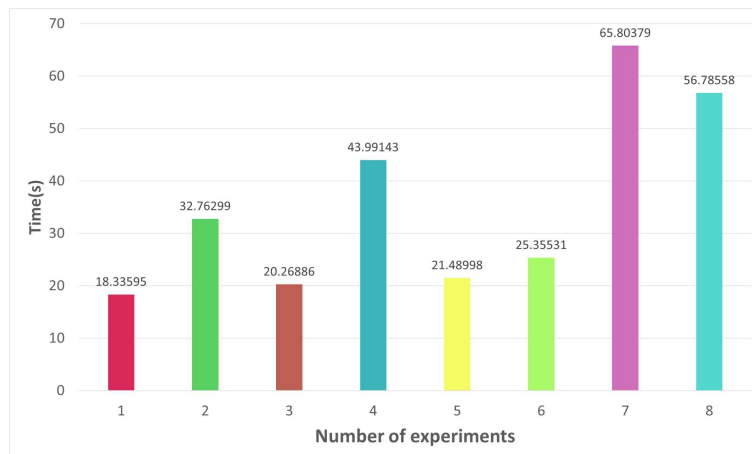
$$Error = \sqrt{(R_1 - R_2)^2 + (G_1 - G_2)^2 + (B_1 - B_2)^2}$$

[그림 4-6]과 [그림 4-7]은 RGB 2차원 색상 선택기로 색을 찾아 선택하는 실험을 진행하였을 때의 한 사용자의 실험 결과이다. [그림 4-6]에서 1번째 실험을 보면 오차가 약 0.153으로 큰 편에 속하며 3번째 실험의 오차는

약 0.053으로 작은 편에 속하나 [그림 4-7]에서 1번째와 3번째 실험을 보면 색을 찾아 선택하는데 걸린 시간은 약 18.34초, 20.27초로 비슷하게 걸린 것을 확인할 수 있다. 따라서 색상 오차와 색을 선택하는데 걸리는 시간의 상관성이 관찰되지 않음을 확인할 수 있다. 선택하는 시간이 오래 걸려도 오차가 클 수도 있고 반대로 작을 수도 있다.



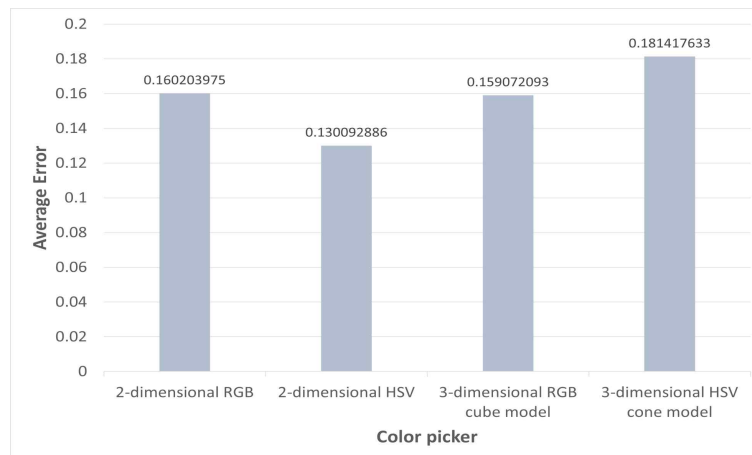
[그림 4-6] 한 실험 참가자의 RGB 2차원 색상 선택기로 각각의 색을 찾아 선택했을 때의 색상 오차 그래프



[그림 4-7] 한 실험 참가자의 RGB 2차원 색상 선택기로 각각의 색을 찾아 선택하는데 걸린 시간 그래프

실제로 실험할 때 실험 참가자들은 무작위로 주어진 색과 비슷한 색의 근처에 접근하기까지가 오래 걸리기도 하였으나 비슷한 색의 근처에 빠르게 접근한 후에 두 색의 차이를 줄이기 위해 더 시간을 투자하는 모습을 확인할 수 있었다. 또한, 실험 참가자의 4가지 색상 선택기의 평균 시간을 비교했을 때 대부분 시간이 비슷하게 측정되었다. 실험 참가자의 실험 패턴은 비슷하므로 눈에 띄게 오래 걸린 색상 선택기가 있다면 사용에 어려움을 느낀 색상 선택기라고 생각할 수 있을 것이다.

[그림 4-8]은 무작위로 주어진 색과 사용자가 선택한 색의 오차값들을 각각의 색상 선택기마다 모든 실험 참가자들의 평균을 계산하여 그래프로 표현한 것이다. 색상 오차의 평균값은 HSV 2차원 색상 선택기, RGB 3차원 색상 선택기, RGB 2차원 색상 선택기 그리고 HSV 3차원 색상 선택기 순으로 크게 나타난 것을 확인할 수 있다.



[그림 4-8] 색상 선택기별 모든 실험 참가자의 색상 오차의 평균 그래프

4가지 색상 선택기 중에서 일상에서 가장 많이 접하는 HSV 2차원 색상 선택기를 사용했을 경우의 색상 오차는 약 0.13으로 가장 작았고 HSV 3차원 색상 선택기를 사용했을 경우의 색상 오차는 약 0.181로 가장 컸다. RGB 3차원 색상 선택기의 색상 오차는 RGB 2차원 색상 선택기의 색상 오차보다 약 0.001 더 작게 측정되었다.

[표 4-1]은 색상 오차의 수치에 따른 차이를 색으로 비교하기 위해 색상, 채도, 명도 축으로 임의의 오차를 생성하였을 때의 색을 보여주는 표이다. 색상 축으로 생성한 색들을 비교해보면 차이를 거의 느낄 수 없다는 것을 확인할 수 있다. 명도 축으로 생성한 색들도 비슷해 보이나 기준 색과 제일 큰 오차인 0.2에서의 색을 비교하면 밝기의 차이를 조금 확인할 수 있다. 마지막으로 채도 축으로 생성한 색들을 비교해보면 채도의 차이가 명도 축보다 조금 더 가까운 오차에서 느껴졌다.

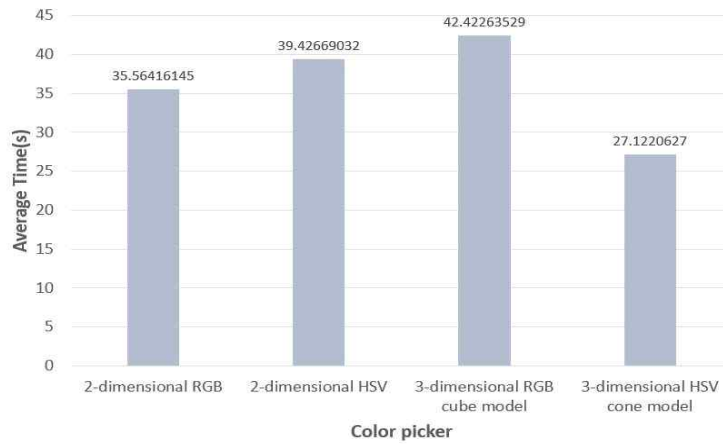
[그림 4-8]에서 HSV 2차원 색상 선택기를 사용하였을 때의 색상 오차의 평균은 약 0.13, RGB 2차원 색상 선택기와 RGB 3차원 색상 선택기를 사용하였을 때의 색상 오차는 약 0.16 그리고 HSV 3차원 색상 선택기를 사용하였을 때의 색상 오차는 약 0.18이었다. 이 값들을 [표 4-1]에서 확인하면 기준으로부터 0.13까지는 색의 차이가 거의 느껴지지 않으며 0.16은 색상과 명도 축에서는 거의 비슷하고 채도 축에서는 색상과 명도보다는 색의 차이가 조금 더 느껴진다. 기준과 0.18만큼의 오차를 가진 색을 비교했을 때는 0.16보다 전반적으로 조금 더 차이가 느껴지지만, 채도 축보다 색상과 명도 축으로의 비교가 더 작게 느껴지는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 비교, 분석을 통해 4가지 색상 선택기의 성능 차이가 약소하다는 것을 확인할 수 있었다.

[표 4-1] 임의로 생성한 오차의 색 비교

색상 오차	-0.2	-0.18	-0.16	-0.14	-0.12	기준	+0.12	+0.14	+0.16	+0.18	+0.2
색상 축으로 오차 생성											
채도 축으로 오차 생성											
명도 축으로 오차 생성											

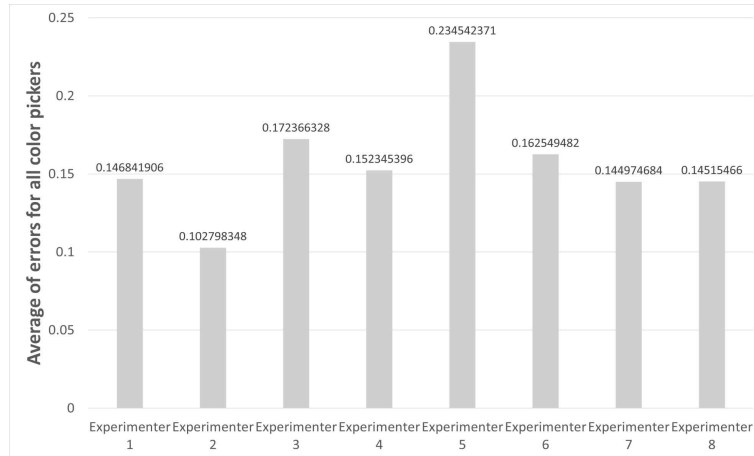
[그림 4-9]는 사용자가 색을 선택할 때까지 걸린 시간을 측정한 값들을 각각의 색상 선택기마다 모든 실험 참가자들의 평균을 계산하여 그래프로 표현한 것이다. 측정된 시간의 평균값은 HSV 3차원 색상 선택기, RGB 2차원 색상 선택기, HSV 2차원 색상 선택기 그리고 RGB 3차원 색상 선택기 순으

로 크게 나타난 것을 확인할 수 있다.



[그림 4-9] 색상 선택기별 모든 실험 참가자의 색을 찾아 선택하는데 걸린 시간의 평균 그래프

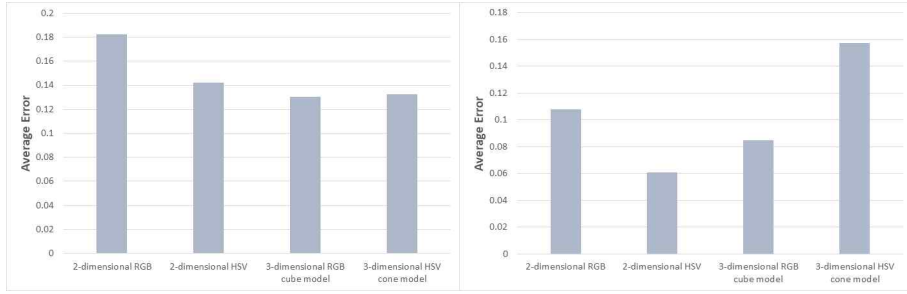
무작위로 주어진 색을 보고 느끼는 정도가 실험 참가자마다 다르므로 실험 참가자들의 색상 오차의 평균이 다양하게 측정되었다. [그림 4-10]을 보면 실험 참가자들의 모든 색상 선택기의 평균 색상 오차는 대부분 비슷하게 측정되었지만 2번과 5번 실험 참가자처럼 다른 실험 참가자보다 색상 오차가 낮거나 높은 실험 참가자도 존재하였다.



[그림 4-10] 실험 참가자별 모든 색상 선택기의 색상 오차의 평균 그래프

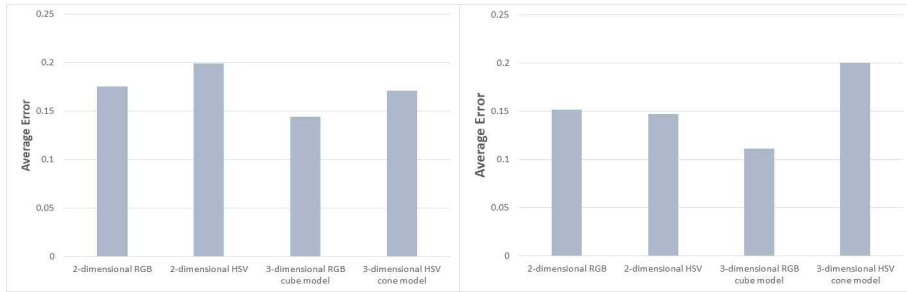
[그림 4-8]의 색상 선택기별 모든 실험 참가자의 색상 오차의 평균 그래프를 보면 HSV 3차원 색상 선택기의 색상 오차의 평균이 가장 크지만 모든 실험 참가자의 색상 오차의 평균이 가장 높게 측정된 것은 아니다. [그림 4-11]의 (가) 그래프를 보면 RGB 2차원 색상 선택기보다 나머지 3개의 색상 선택기의 색상 오차 평균이 낮고 비슷하게 나타났다. [그림 4-11]의 (나) 그래프는 RGB 컬러 모델에서는 3차원 색상 선택기가, HSV 컬러 모델에서는 2차원 색상 선택기의 색상 오차 평균이 낮게 나타났다. [그림 4-11]의 (다) 그래프는 2차원 색상 선택기보다 3차원 색상 선택기의 색상 오차 평균이 낮게 나타나고 RGB 컬러 모델과 HSV 컬러 모델 간의 그래프의 모양이 2차원과 3차원 색상 선택기에서 비슷하게 보였다. 마지막으로 [그림 4-11]의 (라) 그래프에서는 색상 오차가 2개의 2차원 색상 선택기에서는 비슷하게 나타났지만 2개의 3차원 색상 선택기에서는 많은 차이가 나타났다.

비록 모든 실험 참가자의 HSV 3차원 색상 선택기의 색상 오차의 평균이 가장 크게 측정되었지만, [그림 4-11]의 (나)와 (라)처럼 다른 색상 선택기보다 색상 오차가 크게 나타난 결과가 있어서 HSV 3차원 색상 선택기를 더 연구하고 부가적인 기능들을 추가한다면 더 나은 색상 선택기를 개발할 수 있을 것으로 기대한다.



(가)

(나)



(다)

(라)

[그림 4-11] 실험 참가자 4명의 색상 선택기별 색상 오차 평균 그래프

실험 참가자들은 실험 시작 전에 컬러 모델에 관한 간단한 설명을 들었지만, 실험을 시작하고 직접 색을 찾아볼 때는 감이 오지 않아 색을 맞추기 위해 초반에는 조작을 많이 하였다. 2차원 색상 선택기를 사용했을 때는 한 두 번의 실험으로 색상 선택기의 작동을 이해했지만 3차원 색상 선택기를 사용했을 때는 조금 더 걸렸다. 또한, 실험 참가자들은 기존의 2차원 색상 선택기와 다른 모양의 3차원 색상 선택기를 사용하여 색을 선택하는 것은 처음 접하는 일이어서 어색하고 부자연스러워하였다. 3차원 색상 선택기들은 3차원 모델로 구현되어 있어서 조작에 있어서 깊이감이 필요한데 이 깊이감의 조작을 어려워하는 실험 참가자도 존재하였다. 하지만 실험에 사용한 3차원 색상 선택기는 기존의 색 체계를 기반으로 구현한 모델이라서 2차원 색상 선택기와 색을 선택하는 방식만 다른 것이기에 실험 참가자들은 실험을 진행할수록 색을 찾는 방법을 이해하였다.

제 5 장 결론

본 연구에서는 가상환경에서의 미술 활동을 위한 사용자 인터페이스를 연구하고 구현하였다. 미술 활동을 위한 사용자 인터페이스는 다양하고 많지만, 그중에서 2가지를 연구하였다. 첫 번째로는 가상환경에서 사용자가 원하는 위치에 정확히 3차원 드로잉을 할 수 있도록 도와줄 시각, 청각, 촉각 피드백을 설계하고 그 성능을 비교하였다. 두 번째로는 가상환경에서 색 공간에 기반한 3차원 색상 선택기를 설계 및 구현하고 기존의 2차원 색상 선택기와 비교하여 3차원 색상 선택기의 성능을 확인하였다.

첫 번째 연구에서는 가상현실에서 정확한 위치에 3차원 드로잉을 하기 위하여 피드백을 설계하고 실험을 통해 피드백의 효과를 분석하였다. 피드백을 제공한 경우의 드로잉 오차가 피드백이 제공되지 않은 경우보다 20~43% 정도 감소하였고 이를 통해 피드백의 효과를 확인하였다. 피드백의 형태에 따라서는 청각 피드백보다 시각과 촉각 피드백의 효과가 우수하였다. 촉각 피드백은 예상과 다르게 드로잉에 방해가 되지 않고 오류를 인지하는 데 도움을 주어 어느 정도의 효과를 보였고 청각 피드백은 소리의 발생이 사용자의 집중력을 방해하여 시각 피드백과 촉각 피드백에 비해 낮은 효과를 보였다. 청각 피드백은 더 좋은 피드백 효과를 얻을 수 있도록 소리의 음색이나 다른 방법을 통해 개선할 필요가 있다. 이 연구를 통해서 실감 체험이 가능한 가상현실에서 다중 감각 피드백의 중요성과 효과를 확인하였다.

두 번째 연구에서는 RGB Cube 모델과 HSV Cone 모델을 그대로 도입하여 3차원 색상 선택기를 구현하였다. 3차원 색상 선택기의 성능을 확인하기 위하여 기존의 2차원 색상 선택기인 RGB 컬러 모델과 HSV 컬러 모델 기반의 색상 선택기를 구현하고 최대한 같은 색을 찾아 선택하는 실험을 진행하였다. 본 연구에서 구현한 3차원 색상 선택기들을 사용했을 때의 색상 오차와 기존의 2차원 색상 선택기들을 사용했을 때의 색상 오차가 비슷한 결과를 보여 가상현실에서의 3차원 색상 선택기를 사용하는 것에 대한 가능성을 확인

하였다. 이 연구를 통해 3차원 인터랙션이 가능한 가상현실에서 효과적이고 자연스러운 3차원 인터랙션 및 인터페이스 설계의 중요성과 유용성을 확인하였다.

향후 연구에서는 미술 활동을 위한 가상현실 기반의 다양한 사용자 인터페이스 연구를 위하여 단일 양식 피드백을 결합한 다중 양식 피드백을 연구하고 가상현실에서 사용할 수 있는 3차원 인터페이스를 개발할 예정이다. 이를 통해 효과적인 3차원 인터랙션과 가상현실에서의 미술 활동에 도움이 될 것으로 기대한다. 이 외에도 가상현실 기반의 다양한 3차원 인터페이스의 연구를 지속해 나갈 계획이다.

참 고 문 헌

1. 국내문헌

- 강준모, 이은민. (2020). 『포스트 코로나 시대의 핵심기술: VR/AR 산업과 규제 이슈』. 서울: 정보통신정책연구원.
- 고인석, 조성원, 박채용, 최승문. (2018). VBand: 햅틱 피드백과 악기 메타포가 가미된 가상 현실 기반 밴드 합주 시스템의 구현. 『한국HCI학회 학술대회』, 2018(1), 324-328.
- 김승찬, 양태현, 권동수. (2007). 햅틱/사운드 그리드를 이용한 3차원 가상 환경 내의 위치 정보 인식 향상. 『한국HCI학회 학술대회』, 2007(2), 447-454.
- 김영일, 김세미, 민영삼. (2008). 터치스크린 휴대폰 사용 환경을 고려한 소리, 진동 피드백 연구. 『한국HCI학회 학술대회』, 2008(2), 130-134.
- 김정진, 김유신, 김도형, 박천수, 윤범철. (2011). 가상현실에서 시각적 피드백 유,무에 따른 고관절 운동 동작 오차 수준 비교. 『한국사회체육학회지』, 45(2), 947-953.
- 김준한, 한제완, 최수미. (2019). 증강현실에서 펜을 이용한 3차원 스케치. 『한국정보과학회 학술발표논문집』, 2019(6), 2034-2036.
- 김지은, 박우희, 이지은. (2020). 가상현실에서의 3차원 드로잉을 위한 피드백 설계 및 효과 분석. 『컴퓨터그래픽스학회논문지』, 26(3), 69-77.
- 김현철, 김나연, 권성혜. (2019). VR 드로잉 애플리케이션 : 카멜레온. 『한국 HCI학회 학술대회』, 2019(1), 1323-1325.
- 노진우, 한광희. (2014). 터치스크린에서 펜을 이용해 필기 시 청각 피드백의 효과. 『한국HCI학회 학술대회』, 2014(2), 1143-1146.
- 손형기, 길현재, 황인옥, 김진용. (2018). 거리에 따른 촉각 정보를 이용한 손

- 가락 기반 가상현실 상호작용. 『한국HCI학회 학술대회』, 2018(1), 270-274.
- 신내경, 신재희. (1998). 컴퓨터 그래픽스에서의 색상체계에 관한 연구. 『커뮤니케이션 디자인학연구』, 2, 95-110.
- 윤재화, 조광수. (2017). 3D GUI의 깊이감 지각에 영향을 미치는 시각적 요인 분석 및 사용성 평가. 『한국HCI학회 학술대회』, 2017(2), 113-116.
- 이경아. (2017). 4차 산업혁명의 관점으로 본 미술교육 전망. 『美術教育論叢』, 31(4), 31-56.
- 이민식, 김광섭. (2017). 가상·증강현실(VR·AR) 산업의 부상과 경쟁력 확보 방안. 『산은조사월보』, 743, 70-95.
- 이현지, 김원섭. (2020). 가상현실 기술 융합 기반의 국내 교육 사례 분석 및 콘텐츠 유형 분류 - 중학 교육을 중심으로 -. 『한국과학예술융합학회』, 38(3), 237-252.
- 이혜진, 정동훈. (2019). 가상현실 영상의 깊이감이 사용자의 지각된 특성, 프레즌스, 피로도에 미치는 영향. 『한국방송학보』, 33(2), 184-216.
- 임상우, 서경원. (2018). AR/VR 기술. 『KISTEP 기술동향브리프』, 2018(9), 1-27.
- 장은희, 서대일, 김현택, 유병현. (2018). 사이버멀미 통합 모델: 가상현실 사용자의 불편감 현상 연구. 『정보과학회논문지』, 45(3), 251-279.
- 정보통신산업진흥원. (2017). 『2017년도 국외 디지털콘텐츠 시장조사』. 서울: 정보통신산업진흥원.
- 차은지, 한정엽. (2016). 오감형 가상현실 콘텐츠 사례연구. 『한국공간디자인학회논문집』, 11(5), 9-17.
- 최상민, 김학수, 채영호. (2009). 가상 공간 개념 스케치를 위한 음향 반향을 포함하는 새로운 곡선 모델링 도구. 『멀티미디어학회논문지』, 12(2),

281-289.

하태진, 김영미, 류제하, 우운택. (2007). 증강현실 기반 제품 디자인의 몰입
감 향상 기법. 『전자공학회논문지-CI』, 44(2), 37-46.

한국전자통신연구원. (2016). 『VR/AR 착용형 디스플레이 기술동향』. 서울:
한국전자통신연구원

홍석일. (1998). 컴퓨터 그래픽스의 색상체계에 관한 연구. 『디자인학연구』,
11(1), 229-236.

인터넷 사이트

김상민. (2018). 국내 최초 VR 아티스트 염동균 작가의 VR 아트 드로잉 퍼
포먼스 ‘주목’, 미래한국신문, [http://www.futurekorea.co.kr/news/art
icleView.html?idxno=108352](http://www.futurekorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=108352).

2. 국외문헌

- Brathovde, K., Farner, M. B., Brun, F. K., & Sandnes, F. E. (2019). Effectiveness of Color-Picking Interfaces among NonDesigners. In Proceedings of the 16th International Conference on Cooperative Design, Visualization and Engineering (CDVE), 181–189.
- García, A. S., Molina, J. P., González, P., Martínez, D., & Martínez, J. (2009). A study of multimodal feedback to support collaborative manipulation tasks in virtual worlds. in Proceedings of the 16th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST), 259–260.
- Keefe, D. F., Feliz, D. A., Moscovich, T., Laidlaw, D. H. & LaViola, J. J. (2001). CavePainting: A Fully Immersive 3D Artistic Medium and Interactive Experience. in Proceedings of the 2001 symposium on Interactive 3D graphics (I3D), 85–93.
- Meier, B. J., Spalter, A. M., & Karelitz, D. B. (2004). Interactive color palette tools. IEEE Computer Graphics and Applications, 24(3), 64–72.
- Rosales, E., Rodriguez, J., & Sheffer, A. (2019). SurfaceBrush: From Virtual Reality Drawings to Manifold Surfaces. ACM Transaction on Graphics, 38(4), 1–15.
- Sandnes, F. E., & Zhao, A. (2015). A Contrast Colour Selection Scheme for WCAG2.0-compliant Web Designs based on HSV-half-planes. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 1233–1237.
- Sandnes, F. E., & Zhao, A. (2015). An interactive color picker that

- ensures WCAG2.0 compliant color contrast levels. *Procedia Computer Science*, 67, 87–94.
- Shugrina, M., Zhang, W., Chevalier, F., Fidler, S., & Singh, K. (2019). Color Builder: A Direct Manipulation Interface for Versatile Color Theme Authoring. in *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–12.
- Son, K. H., Oh, S. Y., Kim, Y., Choi, H., Bae, S. H., & Hwang, G. (2015). Color Sommelier: Interactive Color Recommendation System Based on Community-Generated Color Palettes. In *Adjunct Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software & Technology (UIST)*, 95–96.
- Wu, Y., & Takatsuka, M. (2005). Three Dimensional Colour Pickers. in *proceedings of the 2005 Asia-Pacific symposium on Information visualisation (APVis)*, 45, 107–114.
- Xin, M., Sharlin, E., & Sousa, M. C. (2008). Napkin sketch-handheld mixed reality 3D sketching. In *Proceedings of the 2008 ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST)*, 223–226.

인터넷 사이트

- Adobe Photoshop. (1990). Adobe, <https://www.adobe.com/kr/products/photoshop.html/>.
- Colory VR. (2020). LUCID LAYERS, <http://www.colory.de/>.
- MSPaint. (1985). Microsoft, <https://www.microsoft.com/ko-kr/>.

Paint VR. (2017). COSKAMI LLC, <https://www.facebook.com/PAINTinVR/>.

Tilt Brush. (2016). Google, <https://www.tiltbrush.com/>.

ABSTRACT

User interface study for art activities in virtual reality

Kim, Ji-Eun

Major in IT Convergence Engineering

Dept. of IT Convergence Engineering

The Graduate School

Hansung University

This paper studied the 3-dimensional color picker and the feedback on 3-dimensional drawing as a user interface for art activities in virtual reality.

The first topic suggests an effective way to provide feedback on the user's 3-dimensional drawing in virtual reality, and measures its performance to see if providing feedback helps the user enter the exact position. The error of the position entered by the user is measured through an experiment that follows a given line model. According to the measured error, a single feedback of visual, auditory, and haptic was provided in three stages, and which feedback was most effective was analyzed. As a result of analyzing the accuracy of position input, providing feedback could reduce input errors of a certain size or more, and visual feedback and haptic feedback were more effective than

auditory feedback.

The second theme is to use a 3-dimensional color picker implemented in the form of a color space model in a 3-dimensional space of virtual reality. To check the performance of the 3-dimensional color picker, an experiment was conducted to pick the same color as the given color using the 2-dimensional color picker and the 3-dimensional color picker, and the performance was analyzed. As a result of the experiment, the average of color errors was large in the order of HSV 2-dimensional color picker, RGB 3-dimensional color picker, RGB 2-dimensional color picker, and HSV 3-dimensional color picker.

Through the study of user interface for art activities in virtual reality, the importance and usefulness of multi-sensory feedback in virtual reality, where realistic experiences are possible, were confirmed. In addition, the importance and usefulness of effective and natural 3-dimensional interaction and interface design in virtual reality, where 3-dimensional interaction is possible, were confirmed.

【Keywords】 Virtual reality, 3-dimensional drawing, Visual feedback, Auditory feedback, Haptic feedback, 3-dimensional color picker.