

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2019.5.2.345>

JCCT 2019-5-43

비디오 씨쓰루 HMD 연구 동향과 주요 설계 고려 요소

Research Issues and Major Design Considerations on Video See-through HMDs

이중호

Joong Ho Lee

요약 비디오 씨쓰루 HMD(VSHMD)는 HMD 전면에 장착된 카메라를 통해 실세계 영상을 획득하여 이를 HMD의 디스플레이를 통해 실시간으로 출력하는 장치로서 혼합현실, 증강현실, 가상현실 구현 도구로 활용된다. 최근 카메라 및 디스플레이 기술이 급속히 발전하면서 VSHMD의 성능이 빠르게 향상되고 있으나 아직까지 VSHMD가 갖는 여러 기술적, 인간 요소적 문제들이 해결되지 못하고 있다. 본 논문은 지금까지 수행된 선행 연구 결과들을 시야각(FOV), 디스플레이 해상도, 영상지연, 시점차 등의 주요 설계 요소별로 정리하였다. 그리고 성공적인 VSHMD 개발을 위해 극복해야 할 인간요소 관점의 주요 연구주제들을 조사하였다. 이를 근거로 VSHMD의 설계, 개발 및 VSHMD 응용 서비스를 개발할 때 중요하게 다뤄야 하는 기술적 이슈들을 제시하였다.

주요어 : 헤드마운트 디스플레이, 비디오 씨쓰루, 혼합현실, 증강현실, 가상현실

Abstract The Video See-through HMD(VSHMD) captures real-world view through a camera set mounted in front of the HMD. The VSHMD outputs this visual information in real time through the display in the HMD, which technique can be used as mixed reality, augmented reality, and virtual reality device. Recently, there is growing interest in VSHMD due to the rapid development of camera and display technology. However, VSHMD is still not free from many technical huddles and human factor issues. This paper summarizes the VSHMD related researches so far, presents the major issues to be solved in advance, and suggests design considerations that should be beneficial to VSHMD development, focused on the human factors, that presents solutions to effectively overcome the limitations of VSHMD functionalities in current.

Key words : video See-through HMD; VSHMD; mixed reality; augmented reality; virtual reality

1. 서론

HMD는 착용형 디스플레이 장치로서 단안 혹은 양안의 광학계에 의해 안구 가시거리를 인위적으로 짧게 조정하여 안구 전면에 근접한 디스플레이 이미지를 시청할 수 있도록 한 장치이다. 최근 HMD를 이용한 몰

입형 가상현실 기술이 발전하면서 관련 산업이 빠르게 성장하고 있다. 이러한 HMD 중 사용자 전면의 실세계를 가상현실 정보와 혼합하여 보여주는 See-Through HMD 기술인 VSHMD (Video See-Through HMD)와 OSHMD(Optical See-Through HMD)가 있다. 이들은 혼합현실, 증강현실 기술이 발전함에 따라 교육, 엔터테

*정희원, 와이즈유 영산대학교 지능로봇공학과 조교수
(실감교류인체감응솔루션 연구단 선임연구원, 한국과학기술 연구원 포닥연구원)

접수일: 2019년 1월 16일, 수정완료일: 2019년 2월 14일
게재확정일: 2019년 3월 5일

Received: January 16, 2019 / Revised: February 14, 2019

Accepted: March 05, 2019

*Corresponding Author: 3969@ysu.ac.kr

Dept. of intelligent robotics, WiseU Youngsan Univ, Korea

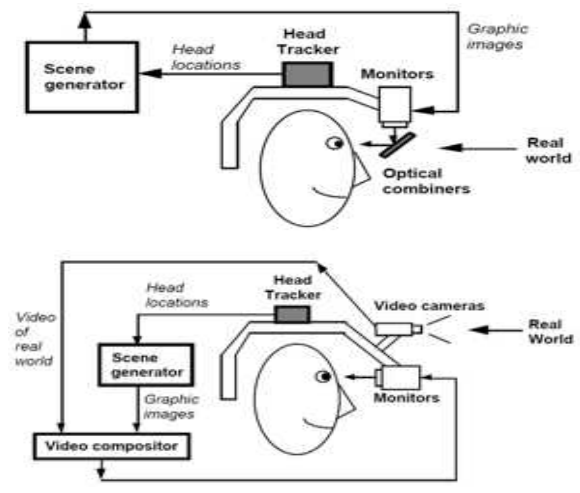
인먼트, 훈련, 의료 서비스 등 다양한 어플리케이션 장기로 활용되고 있다[1][2]. 이들은 실세계와 가상의 환경이 혼합된 세계를 보여주므로 사용자는 실세계와 가상세계를 빠르게 전환하며 여러 공간의 정보들을 제공할 수 있으며, 실세계의 사물 또는 특정 위치에 정합되어 표출된 정보를 통해 다양한 작업을 수행할 수 있다.

그림 1의 개념도에서 보는 바와 같이 OSHMD는 투명한 디스플레이부를 관통하는 실세계 시각정보와 안구 전면에 상을 맺은 가상의 시각정보가 동시에 보이게 하는 것이 특징이고, VSHMD는 카메라를 통해 취득한 실세계 이미지와 가상 이미지가 혼합된 영상이 불투명 디스플레이에 함께 표출되는 것이 특징이다[3][4]. 우선 OSHMD의 경우 실세계를 별다른 처리과정 없이 광학계를 통과해 직접 보게 되므로 해상도 저하가 적다. 따라서 실세계에서 복잡하고 정교한 작업을 수행하는 데에 큰 지장을 주지 않는다. 그러나 넓은 시야각(FOV: Field of View)을 구현하는 것이 어렵고 투영되는 가상정보의 해상도와 질감이 이질적인 문제가 있다. 실세계 이미지와 가상 이미지의 구분이 뚜렷하여 몰입도 높은 혼합현실을 제공하기 어렵다.

VSHMD의 장점은 첫째, 현실 이미지와 가상이미지의 질감 차이가 없다는 점이다. 실세계의 이미지가 디지털로 변환되어 디스플레이를 통해 표출되므로 가상의 정보와 자연스럽게 혼합된다. 일례로 실세계 뷰에서 특정 부위 또는 사물을 복사하여 다른 위치에 붙여 넣을 경우 사용자는 어느 것이 실제 존재하는 것이고 어느 것이 복사된 정보인지 구분하기 어렵다. 이러한 기술의 응용으로서 최근 Diminished Reality라는 기술도 소개되고 있다. Diminished Reality는 VSHMD를 이용해 존재하는 사물을 제거하는 기술로서 사물의 배경 이미지를 추정하여 이를 사물 이미지 위에 덮어 버리는 영상처리 기술이다[6]. 이처럼 VSHMD는 현실세계의 이미지를 자연스럽게 조작, 편집, 증강하는 데에 효과적이다. 둘째, VSHMD는 넓은 시야각을 제공할 수 있다. 최근 등장한 VR용 HMD들이 대부분 110° 이상의 시야각을 제공하므로 이러한 HMD들에 카메라를 장착하여 VSHMD를 구현할 경우 전 시야 범위에 어플리케이션을 가시화한다. 이러한 장점은 뇌성마비 환자 대상 시지각 협응 훈련 시스템이나 색깔 또는 문자의 시지각 능력을 강화하는 수단으로 활용될 수 있다[7].

그러나 VSHMD는 디스플레이 해상도로 인해 실세

계 뷰의 품질이 저하되는 점, 영상 딜레이로 인해 발생하는 불편함, 카메라와 실제 눈의 위치가 달라 발생하는 시점차(VD: Visual Displacement)등의 단점을 가지고 있다. 이외에도 VSHMD는 구현 방식에 따라 극복해야 할 기술적 제약들이 있는데 특히 인간공학적, 심리생리학적 인간요소(휴먼팩터, Human Factor)에 관한 문제를 깊이 있게 살펴봐야 한다. 또한 See-Through HMD 기술이 적용되는 각각의 서비스 분야별 심층 연구가 수행되어야 한다. 본 논문에서는 특히 VSHMD가 해결해야 할 기본적인 주요 문제들을 선행연구 중심으로 종합적으로 살펴보고 중요하게 고려되어야 하는 설계 고려 요소들을 선별하여 소개한다. 이어서 언급된 선행연구들을 근거로 VSHMD의 기술적 문제들을 극복하기 위한 주요 연구 주제들을 제안한다.



OSHMD Video See-Through HMD	<ul style="list-style-type: none"> - 실세계 영상을 반투명 광학계(Optical Combiner)를 통해 직접 주시 - 영상장치(Scene generator)로부터 광학계로 전달된 그래픽 이미지 혼합 - 장) 실세계 시지각 협응 작업능률 높음 - 단) 그래픽이미지 투명도로 인해 밝기 및 명도 떨어짐(가시성 저하) - 단) 이미지의 렌더링 지연으로 인해 빠른 움직임에서 정합 불안정
VSHMD Video See-Through HMD	<ul style="list-style-type: none"> - 실세계 영상을 카메라를 통해 취득한 후 디스플레이 장치로 가시화 - 실세계 이미지와 그래픽 이미지 질감 동일 - 장) 혼합 이미지의 다양한 렌더링 가능 (Diminished Reality 구현등) - 단) 실세계의 해상도가 디스플레이 해상도 수준으로 저하됨 - 단) 디스플레이 지연에 따른 시지각 불편함 - 단) 시점차에 따른 시지각 협응 작업 저하

그림 1. OSHMD와 VSHMD 개념(출처: A survey of Augmented Reality [5]) 및 비교
Figure 1. Comparison of OSHMD and VSHMD

II. 설계 요소별 주요 연구방향

VSHMD에서 중요하게 고려되어야 하는 대표적인 설계요소로는 시야각, 디스플레이 해상도, 영상지연, 시점

차(VD) 등이 있다. 시야각은 HMD를 통해 보여지는 실세계의 이미지의 크기를 결정하는 요소이다. 디스플레이 해상도는 VSHMD를 통해 보여지는 이미지의 화질이다. 영상지연은 실세계가 카메라를 통해 취득되어 디스플레이에 출력되는데 까지 소요되는 시간을 말한다. 시점차는 실제 사용자의 안구가 있는 위치로부터 VSHMD 카메라의 위치까지 떨어진 거리를 말한다. 이들은 VSHMD의 성능에 주된 영향을 미치는 요소들로써 이들의 세부적인 개발동향을 정리하고 연구방향을 제시한다.

1. 시야각(FOV)

HMD에서 시야각은 육안으로 들어오는 이미지의 크기를 일컫는 것으로, 카메라 장치에서는 렌즈가 담아내는 이미지의 입사각을 지칭하는 용어로 동일하게 사용된다. HMD에서 시야각은 사용자가 바라보는 화면의 시야범위를 지칭하는데 디스플레이의 겉보기 크기를 의미한다. 사람이 실세계를 육안으로 보는 시야각은 대략 수평 180°, 수직 135°이나 이는 개인별 차이가 있다. 또한 사람이 어느 정도 지각한 것을 시야범위로 정하느냐에 따라라도 시야각은 달리 규정될 수 있다. 일반적으로 HMD 착용후의 시야각은 육안 시야각보다 작다. 이는 HMD 디스플레이의 크기, 디스플레이 비율, 렌즈의 크기 등에 따라 결정되는데 렌즈가 제공하는 시야범위에 의해 주로 결정된다. 렌즈 시야범위 전체를 디스플레이가 포괄하는 경우 렌즈의 구경이 클수록 시야각은 커진다.

Drapper et al.[8], Moss & Muth[9] 등을 포함한 다수의 연구에서 시야각을 세분화하여 DFOV (Display Field of View)와 GFOV(Geometric Field of View)로 구분하여 사용한다. DFOV는 디스플레이의 물리적 시야각 크기를 의미하며 GFOV는 시야에 들어오는 이미지의 크기를 의미한다. VSHMD의 경우 DFOV는 통상적인 HMD의 시야각을 지칭하는 것이고 GFOV는 HMD에 장착된 씨쓰루 카메라의 화각이다. 이와 같이 시야각을 세분화하여 고려함으로써 현실과 가상세계의 일치감을 분석적으로 검토할 수 있다. 그림 2에서와 같이 만약 GFOV가 DFOV보다 작을 경우 HMD의 영상은 실제보다 크고 가깝게 보이게 된다. 반대로 GFOV가 DFOV보다 클 경우 사물이 작고 멀리 보이게 된다. DFOV와 GFOV의 비율을 이미지 스케일 팩터(Image Scale Factor)라 한다.

VSHMD에서는 원칙적으로 DFOV와 GFOV를 일치시켜 이미지 스케일 팩터가 1이 되도록 하여야 한다. 즉, HMD의 화각과 씨쓰루 카메라의 화각이 일치하여야 한다. 그러나 Ungyeon Yang et al.[12][13] 은 멀티 모달 피드백이 있는 시지각-운동감각 협응 과제(Visuomotor)를 제공하는 가상현실 환경에서 최대 200% 까지 이미지 스케일 팩터를 올려 작업할 수 있음을 실험적으로 밝혔다. 이 경우 사용자는 넓은 시야범위를 이용해 주변 작업 상황을 잘 파악할 수 있다. 그러나 VSHMD 환경에서도 동일한 결과가 나오지에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다. 한편 GFOV가 높은 경우 자기수용감각(Proprioception)의 왜곡이 심해 작업상의 어려움 또는 위험이 발생하거나 현실감이 과도하게 떨어질 수 있다.

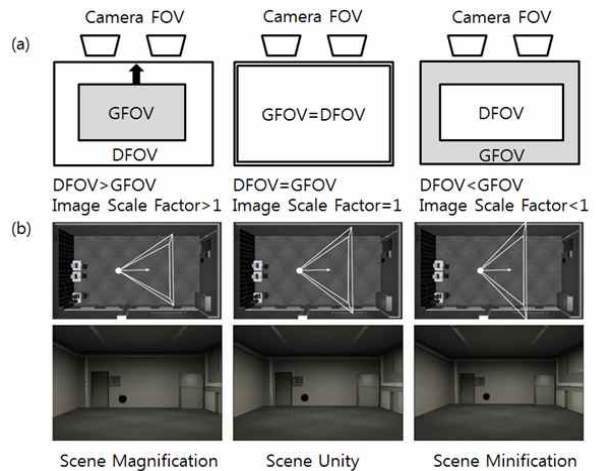


그림 2. DFOV(Display Field of View)와 GFOV(Geometry Field of View)를 Image Scale Factor 관점으로 비교 (출처: Effects of image scale and system time delay on simulator sickness within head-coupled virtual environments [10], Natural perspective projections for head-mounted displays [11])

Figure 1. Difference of DFOV and GFOV in terms of ISF

시야각과 관련한 또 다른 기술적 이슈로는 시야각과 실재감(Presence) 간의 상관관계이다. HMD의 시야각이 넓어질수록 과제 수행도와 실재감(Presence)이 높아지지만 사이버멀미(SS, Simulated Sickness) 또한 높아지면서 신체적 불편함을 유발하는 것으로 알려져 있다[14]. Moss et al. [15]은 특히 이미지 스케일 팩터가 사이버멀미에 미치는 영향을 조사하였다. 실험결과 이들 간의 유의미한 관계는 없지만 주변시야가 제약이 되는 경우에 부분적으로 영향을 준다고 보고한 바 있다. Steinicke, F.

et al.[16]의 연구에서는 HMD의 GFOV를 실세계의 크기보다 50% 더 크게 인지할 수도 있다는 흥미로운 결과를 보고하였다. 피험자로 하여금 가상세계의 이미지를 실제 세계와 동일한 정도로 GFOV를 조절하도록 한 결과 실세계보다 50% 큰 이미지를 동일한 이미지라고 인식하는 피험자도 있었다는 것이다. 또한 넓은 시야각을 제공하더라도 과제 수행, 실재감(Presence), 사이버멀미 등 모든 측면이 다 긍정적일 수는 없다는 결과도 있다[13]. 이러한 선행 연구에 비추어 볼 때, 사용자의 신체, 특히 손을 이용해 작업을 수행하는 시지각-운동감각 협응이 필요한 환경이 아닐 경우에는 이미지 스케일 팩터를 어느 정도 조정하더라도 실재감을 크게 훼손시키지 않을 것으로 예상할 수 있다. 또한 선행 연구들에 따르면 VSHMD 착용 상태에서 머리 움직임이 잦거나 영상의 움직임이 많아 사이버멀미가 쉽게 유발될 수 있는 경우에는 오히려 이미지 스케일 팩터를 낮추고 시야각을 일정 수준 이하로 억제하는 것이 인간요소 관점에서는 이득이 될 수 있음을 시사한다. 물론 이러한 예측은 실제 실험적 연구를 통해 확인, 규명되어야 할 것이다.

한편, HMD를 착용한 상태에서 효과적인 내비게이션에 필요한 최소한의 시야각을 결정하기 위한 연구가 있다. Hassan et al.[17]은 양안-단안, 유채색-무채색의 디스플레이 조건에서 10°, 20°, 40°의 시야각이 주어질 때 걸기 시작한 시간, 목표물로 걸어난 시간, 장애물 횡수 등을 측정하였다. 그 결과로 양안-단안, 유채색-무채색 조건간의 유의미한 차이는 없었으나 시야각과 작업 소요 시간 간의 상관관계가 확인되었다. 효과적인 내비게이션이 가능하기 위해서는 이미지 대비수준이 낮을 때 직경 32.1°의 시야각 이상, 중간 대비수준일 때 18.4° 이상, 그리고 높은 대비수준일 때는 10.9° 이상의 시야각이 필요하다고 보고하였다. 최근 제공되는 110° 수준의 시야각을 제공하는 고해상도 HMD들은 가상현실에서의 내비게이션에 어려움이 없다고 볼 수 있다. 또한 길 찾기에서도 광각의 디스플레이 장치가 큰 도움이 된다는 연구가 있다. Ni et al.[18]은 시야각과 디스플레이 해상도가 길 찾기 과제에 미치는 영향을 평가하기 위하여 대량의 길 안내 정보가 제공되는 Information-Rich Virtual Environment (IRVE)를 고안하고, 디스플레이 크기에 따른 사용자의 길안내 정보 의존도를 비교하였다. 그 결과

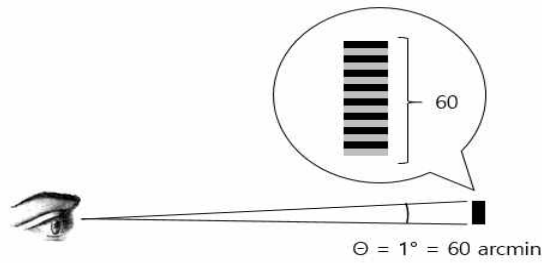
디스플레이의 크기와 해상도가 클수록 외부 길안내 정보에 의존하는 정도가 줄어드는 것을 확인하였다.

마지막으로 시야각은 균형감각 및 사이버멀미와 직접적 상관관계가 있다. Streepey et al.[19]은 자세를 유지하는 발판 위에서 HMD를 통해 가상의 공간을 체험할 때 시야각과 자세 불안정 정도를 비교 평가하였다. 그 결과로 발판을 줄일수록 주변 시야에 더 크게 의존하여 신체 자세의 중심을 잡으려 한다는 것을 확인하였다. 즉, 넓은 시야각의 HMD 착용시 사용자의 자세 안정성은 주변시야에 크게 영향 받게 됨을 의미한다. Duh, et al.[20]은 두 개의 서로 다른 VR 영상을 다양한 시야각 조건에서 제공할 때 피험자가 느끼는 자세 불안정성을 조사하였다. 그 결과 피험자는 시야각이 증가할수록 자세 불안정이 증가하였고 150° ~ 180° 구간에서 현저하게 높은 증가율을 보였다. Lin et al.[14]은 60°, 100°, 140°, 180°의 시야각 조건에서 운전 시뮬레이터를 통해 가상환경을 경험하게 하였다. 실험결과 실재감과 사이버멀미는 정적 상관관계를 보였다. 즉, 실재감이 높을수록 사이버멀미 또한 크게 발생한다는 것이다. 한편 가상환경에 몰입한 정도를 반영하는 즐거움(즉, 과제 몰입도)과 사이버멀미는 부적 상관관계를 보였다. 즉, 사용자가 VR환경에 깊게 몰입하면 할수록 사이버멀미는 줄어들 수 있다. 이 연구에서는 시야각 140°에서 실재감과 사이버멀미 정도차가 가장 적었다. 최근 HMD들이 제공하는 시야각이 110° 근방임을 볼 때 사이버멀미를 줄이기 위해 어느 정도의 실재감 저하를 감수했다고 볼 수 있다. 상기 연구들을 종합해보면, VSHMD 에서도 시야각이 커지면 착용시 몰입성 또한 향상될 것을 기대할 수 있다. 그러나 VSHMD의 시야각과 사이버멀미의 상관관계에 대한 연구는 부족하므로 이를 실험적으로 규명하려는 시도가 필요하다.

2. 디스플레이 해상도(Display Resolution)

HMD의 실재감은 디스플레이 해상도에 크게 영향 받는다. HMD는 그 구조상 디스플레이 면을 확대해 보는 원리이므로 육안으로는 확인하기 어려운 정도의 미세한 디스플레이 픽셀조차도 크게 확대되어 마치 전면에 모기장 같은 촘촘한 그물망이 가리고 있는 듯 보이게 된다. 이를 스크린도어 이펙트(Screen-door Effect)라고 한다 [21]. HMD디스플레이 해상도를 표시하는 단위로는

arcmin per pixel이 대표적이다. 이는 하나의 픽셀이 이루는 시야각을 분단위로 표시한 것으로서, 사용자의 시야각 1도(60분)에 60개의 픽셀이 보이는 것을 1로 정한 값이다. 즉, 1분에 1개의 픽셀이 보인다는 의미인데 이럴 경우 정상 시력을 가진 일반인이 육안으로 실세계를 보는 것에 상응한다. HMD 착용시 주시 대상이 중심 시야에서 5° 멀어지면 해상도가 1/4로 낮아지고 15° 멀어지면 1/7로 낮아진다[22]. HMD는 궁극적으로 1 AMPP (Arcmin Per Pixel)의 해상도를 제공하는 것이 바람직하다. 그러나 이로 인한 그래픽 부하가 과도하게 증가하는 경우 영상 지연 또는 프레임율 저하 등의 문제가 발생할 수 있으므로 이미지 용량을 효과적으로 줄이는 기술들이 필요하다. 주시하는 방향이 자주 바뀌는 경우 해상도를 절반으로 감소시키는 기법 등이 그것이다[23]. 해상도를 감소시키면 디스플레이의 프레임율을 향상시킬 수 있고 결과적으로 시간 지연을 줄일 수 있다.



$$\Theta / 60 \text{ pixel} = 60 \text{ arcmin} / 60 \text{ pixel} = 1 \text{ arcmin per pixel}$$

그림 3. 60개의 픽셀을 1도(60분)의 화각으로 주시할 경우 사용자는 1 AMPP(Arcmin Per Pixel) 해상도로 본다. 이는 일반인이 실제 사물을 보는 시력에 상응한다.
 Figure 3. 60 pixels within 1 degree displays 1 arcmin per pixel, which corresponds normal person's viewing.

현재의 디스플레이 기술로는 1 AMPP의 이미지를 110° 수준의 시야각으로 보이는 것이 어렵다. 만일 110°의 시야각을 제공하는 HMD가 1 AMPP의 해상도를 갖기 위해서는 6,600 개의 픽셀이 정렬된 디스플레이 장치를 탑재해야 한다. 가로 세로 6,600개의 픽셀을 갖는 디스플레이의 화소수는 43,560,000개로서 현재로서는 단일 집적형 디스플레이로 구현하기 어려운 기술이다. 최근 개발되는 디스플레이의 해상도가 4k임을 감안할 때, 2160p(세로 픽셀수) 디스플레이를 적용한 110° 시야각의 HMD는 약 3 AMPP 정도의 해상도를 제공하게 된다. 이와 같이 HMD에 적용하는 디스플레이는 매우 높은

PPI(Pixel Per Inch)를 필요로 한다. 그러나 디스플레이 집적화 기술, 화소수 및 렌더링 부하 등의 이유로 무한정 많은 픽셀을 제공할 수 없다. 그러므로 디스플레이 해상도에 따른 다양한 인간요소 관점의 영향 인자들을 검토하여 현실적으로 가능한 최적의 해상도를 설계해야 한다. 선행 연구들의 결과로 간접적으로 예측해보면 3 AMPP 수준의 해상도는 충분한 VSHMD 서비스를 가능하게 한다. 오쿨러스 리프트, HTC VIVE, 삼성 오딧세이 VR 등 최근 출시된 헤드셋들이 4~6 수준의 AMPP를 제공하고 있음에도 사용자들은 해상도에 대한 불편함을 크게 호소하지 않는다는 점도 이러한 견해를 뒷받침한다.

HMD의 해상도가 가독성에 미치는 영향을 연구한 사례로 읽기 정보의 최소 크기를 실험적으로 조사한 연구들이 있다[24]. 글자 읽기 과제의 경우 화소수가 높아질수록 문자 가독성(legibility)이 높아지나 50cm 떨어진 거리에서 83, 102, 157 ppi 간의 차이는 없었으며 이 거리를 피험자가 가장 선호하였다는 연구가 있다[25]. 125 dpi의 낮은 해상도 조건일 때 높은 해상도 조건(167, 200, 250 dpi) 대비 읽기 속도가 느려졌다는 연구도 있다[26]. 마지막으로, 낮은 HMD 해상도가 사용자의 과제 수행에 미치는 영향을 연구한 사례로 Jaa-Aro, K, M et al.의 연구가 있다[27]. 피험자로 하여금 가상공간에 놓여있는 사물의 거리감을 여러 품질의 해상도 조건에서 판정하게 하는 실험을 수행한 결과, 픽셀의 격자효과를 제거하는 안티앨리어싱(anti-aliasing)이 양안 분리 디스플레이보다 원근감 표현에 더 효과적임을 확인하였다. 아울러 미세한 오프셋(offset)을 통해 저해상도 이미지를 가지고도 이에 상응하는 효과를 얻을 수 있음을 밝혔다. 이는 HMD 디스플레이의 색 표현, 명암, 밝기 등의 속성보다 디스플레이의 픽셀 크기가 원근감에 직접적인 영향을 준다는 의미이다. Chow, Y. W.는 HMD 디스플레이의 영상왜곡과 해상도의 관계를 조사하는 연구를 수행하였다[28]. 640x480의 낮은 해상도 조건과 800x600의 상대적으로 높은 해상도 조건을 비교한 것으로서 피험자로 하여금 HMD 상의 물체까지 거리를 가늠하도록 했다. 실험결과 해상도보다는 시야각이 크게 영향을 주었고, 높은 해상도가 영상왜곡 정도에 미치는 영향이 컸다.

3. 영상지연(Display System Latency/Lag)

지연(Latency/Lag)은 일반적으로 자극(입력)과 반응(출력) 사이의 시간차를 의미하며 대상 시스템에서 원인과 결과 사이의 시간 지연을 의미한다. 가상현실에서는 사용자의 행동과 시스템 반응 사이의 시간 지연 또는 시스템 자극에 반응하는 사용자의 행동이 이루어지는데 까지 소요되는 경과시간을 의미하기도 한다. VSHMD 시스템에서는 그림 4와 같이 실세계 영상이 비디오 이미지로 전환되어 HMD로 출력되는 과정에서 내부 시간지연(Internal Latency)이 발생한다. HMD의 머리 추적 장치로부터 감지된 헤드포지션 정보를 반영한 좌표 계산이 이루어지는 시뮬레이션 과정을 거쳐 렌더링이 되는데 까지 약 3.5ms 에서 7.5ms 정도의 지연이 발생한다. 이는 Mania, K. et al. [29]의 연구에서 제시된 값인데 시스템을 구성하는 모듈들의 성능에 따라 그 측정치는 달라질 수 있다. 그러나 아무리 고성능 처리장치를 사용해도 물리적 영상지연을 완전히 제거할 수는 없다. 또한 혼합 및 증강현실에서 실세계 이미지와 가상 정보를 통합하는 과정에서 상당한 양의 렌더링 시간이 소요됨을 감안할 때 실제 시스템에서 영상지연은 더욱 늘어난다. Mania et al.의 연구에 따르면, 영상지연은 시스템 자체의 시간지연 보다는 다양한 입력 기구, 콘텐츠와 인터랙션에 필요한 연산 과정, 그래픽과 렌더링, 그리고 이들 요소간 데이터 변환 과정에서 주로 발생한다고 밝히고 있다.

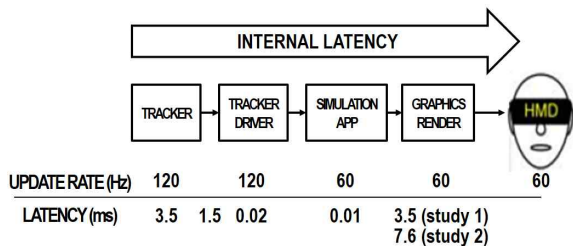


그림 4. HMD 착용시 시스템내 단계별 지연 시간. 출처: Perceptual sensitivity to head tracking latency in virtual environments with varying degrees of scene complexity[29].

Figure 4. Display system latency in each step of signal chain.

일반적으로 영상지연은 통상 20밀리초(msec) 이하가 되어야 자연스럽다고 느낀다. 동적인 영상을 매끄럽게 디스플레이하려면 초당 90장 이상으로 처리해주어야 한다. Regan et al.[30]은 영상지연의 정도에 따른 사용자

지각 수준을 CRT 모니터와 HMD 조건에서 비교 실험하였다. 그 결과 영상지연이 있음을 사용자가 지각하는 수준은 일반 CRT 모니터와 HMD 공히 15ms 수준이었다. Mania et al.[29]의 연구에서도 HMD 착용시 어느 정도 혼란된 참가자는 이미지의 복잡도와 관계없이 15ms의 영상지연을 지각했다. 한편, 감각운동과제에서는 영상지연이 225ms가 되면 과제수행 시간(64%)과 과제수행 에러율(214%)이 증가하였다[31]. 또한 90ms 대비 50ms 지연에서 실제감이 높았고, SS와는 상관성이 없었다[32]. Moss et al[33]은 300ms 정도의 영상지연도 사이버 멀미에 큰 영향을 미치지 않는다고 보고하였다.

4. 시점차(Visual Displacement)

시점차(이하 VD)는 그림 4와 같이 가상의 눈(카메라)과 실제의 눈(안구)의 위치 차이를 의미한다. VSHMD의 카메라는 통상 HMD의 전면부에 장착되므로 실제 안구위치보다 앞쪽에 위치하게 된다. 또한 사용자의 양안 거리는 사람마다 다른데 반해 일반적인 씨스루 스테레오 카메라는 두 카메라간 거리(IOD, inter ocular distance)가 고정되어 있어 사용자의 양안 거리(IPD, inter pupilar distance)와 일치하도록 조정하기 어렵다. 이 외에도 카메라의 종류에 따라서는 상하, 좌우방향으로도 이격이 있을 수 있다. 이로 인해 VSHMD의 DFOV와 GFOV를 일치시킨다 하더라도 원근감 및 시점이 육안 시야와 다르게 된다. 즉, VSHMD 착용시 발생하는 VD는 물리적으로 피하기 어려운 문제가 된다. Sei-Young Kim et al.[34]은 이러한 시점차가 증가할수록 사이버멀미가 증가한다는 사실을 실험적으로 규명하였다. 실세계와 VST 시야간의 불일치로 인해 발생한 시점차는 감각상충(sensory conflict)을 유발하고 이로 인한 시지각 협응이 정상적으로 이루어지지 않아 궁극적으로 사이버멀미를 유발하는 것으로 분석된다. VD가 감각상충을 유발하는 과정은 다음과 같다. 사용자가 전면부에 놓인 사물을 잡으려 할 경우 실제 사물의 위치가 보이는 위치가 달라 손을 뻗어 잡으려 해도 정상적으로 잡지 못하고 주변을 더듬게 된다. 이는 시각적으로 지각되는 위치와 자기수용 감각(proprioception)이 일치하지 않는 데에서 오는 혼란 때문이며, 이는 운동신경이 연합하여 수행하는 모든 시지각-운동감각 협응과제(visuomotor)에서 공히 발생한다. 그러나 인간의 적응

력(adaptation)은 이러한 감각상충이 발생할 경우 새로운 시점에 익숙하도록 자기수용 감각을 계속적으로 조정(rearrangement)한다. 과제 시도가 반복될수록 점차 과제 수행 정확도가 상승하면서 불일치 정도가 감소한다. 문제는 이러한 적응이 이루어지는 과정에서 사용자는 감각 기관의 혼란을 보정하기 위한 반응이 나타나는 데 이것이 사이버멀미의 주요 원인으로 보인다[34].

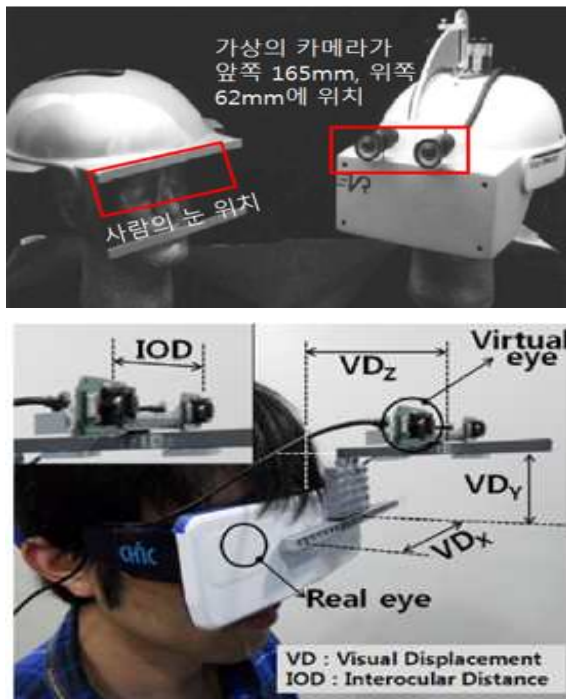


그림 5. VSHMD의 시점차 (출처: Quantification of Adaptation to Virtual-Eye Location In See-Through Head-Mounted Displays[35], A Preliminary Investigation of Human Adaptations for Various Virtual Eyes in Video See-Through HMDs[38])

Figure 5. Visual displacement in VSHMD.

VSHMD의 VD는 과제의 효율성, 사이버멀미 등에 부정적 영향을 미친다. 시점차가 과제 수행도에 미치는 결과들을 정량적으로 조사한 연구로서, Y축 62mm, Z축 165mm의 VD는 초반 시지각-운동감각 협응과제의 정확도를 떨어뜨리지만 10회 시행이라는 짧은 기간 동안 유의할 수준의 적응을 보였다는 연구가 있다[36]. 또 다른 연구로서, Y축 35mm, 70mm와 Z축 130mm, 165mm, 200mm로 이루어진 15가지 조합의 VD(Visual Displacement)에서 Y축 35mm 조건의 경우에는 과제수행 정확도가 낮아지지 않았다[37]. Lee et al.[38]는 X축, Y축, Z축의 16종의 서로 다른 시점차 조건에서 손과 발을 사용하는 시지각-운동감각 협응 과제를 관찰하였는

데 과제수행 정확도 면에서 피험자들은 초반 적응기간이 지난 후 5분 내에 전 조건에서 빠른 적응을 보였다.

III. VSHMD 연구개발 방향

시야각은 실제감 및 사이버멀미와 강한 상관관계를 갖는 것으로 확인되었다. 최근에 출시되는 VR용 HMD들의 경우 110°수준의 시야각을 제공하고 있는데, 일부 제품들은 사용자의 머리움직임 또는 위치 이동시 시야각을 실시간으로 좁히는 가변 시야각 방법을 적용하고 있다. 이는 넓은 시야각으로 야기되는 사이버멀미를 줄이는 효과적인 수단이다. VSHMD에 가변 GFOV를 적용할 경우 상황에 따라 시야범위를 넓힐 수 있는 장점이 있다. 이 경우 사이버멀미 및 시지각-운동감각 협응면에서 문제가 없는지 조사하는 추가 연구가 필요하다.

디스플레이 해상도와 관련해서는 VSHMD 착용시 사용자의 상당 시력이 어느 정도 나오는지 중요하다. 이를 위해 디스플레이 해상도별 문자, 기호, 이미지 가독성을 평가할 필요가 있다. 또한 해상도 저하로 인해 주변시 영역에 대한 시지각 능력이 저하되지 않는지 확인할 필요가 있다. 이는 VSHMD 착용후 특정 작업 수행시 주변의 위험 정보를 즉각적으로 감지할 수 있는지를 확인하기 위한 중요한 연구이다. 이 경우 사용자의 주의를 주변시에 집중시키는 가변 명암 영상처리 기법이 유용할 것으로 기대된다[39].

VSHMD의 영상지연이 가져오는 과제수행 저하, 사이버멀미 등을 실험적으로 조사할 필요가 있다. 선행 연구에서는 다양한 실험조건으로 VR 환경을 구축하였으나 영상이 찌쓰루로 보여지는 경우에는 그 결과가 상이할 수 있는 추가 요인들이 있다. 그러므로 VSHMD 착용조건에서 영상지연이 인간요소에 미치는 영향을 실험적으로 다뤄볼 필요가 있다. 이러한 연구의 결과로 과업별 허용 가능한 VSHMD의 영상지연 정도를 규정하는 개발 가이드라인이 제시될 수 있다.

VSHMD의 시점차를 큰 범위까지 확장하여 적응력의 한계를 조사할 필요가 있다. 어느 정도 이상의 시점차부터는 사용자가 적응을 일으키지 못하여 신체가 이탈된 것으로 지각하게 된다[39]. 이 한계를 제시하여 향후 원격존제, 원격로봇 등을 제어하는 환경에서 제어대상의 구조와 사용자의 자기수용 감각 적응간의 관계를 규명할 수 있다. 특정한 작업조건 및 작업의 난이도별

시점차의 한계치를 찾는 연구를 통해 작업의 능력을 높이고 작업 안전성을 보장할 수 있을 것이다. 또한 VSHMD의 좌우 영상간 거리와 사용자 안간 거리의 불일치로 인해 유발되는 가상 멀미에 대한 연구[40]에 이어 특정 안구운동 패턴과 사이버멀미 간의 상관관계를 탐색하는 실험적 연구도 사이버멀미를 저감시킬 중요한 단서를 제공할 수 있다.

IV. 결론

VSHMD가 극복해야 할 주요 개발 주제들을 선행연구 중심으로 살펴보고, 이들 중 핵심적으로 고려되어야 하는 설계 고려 요소들과 그 특징을 정리하였다. 이를 근거로 VSHMD의 기술적 문제들을 효과적으로 극복하기 위한 해결 방안과 연구 주제들을 제안하였다. 아직까지는 VSHMD 관련 요소 기술의 빠른 발전 속도에 비해 인간요소 측면에서의 실험적 연구가 부족하다. 그러나 가상현실, 증강현실, 혼합현실 서비스 분야의 빠른 발전 추세로 볼 때 이러한 기술적 이슈들은 곧 주요한 연구 주제가 될 것이다. 본 연구에서 제안한 기술적 이슈들은 혼합현실, 증강현실을 구현하기 위해 VSHMD 환경을 고려하고 있는 연구자 및 개발자에게 유용하게 활용될 것이다.

References

- [1] Hughes, C. E., Stapleton, C. B., Hughes, D. E., & Smith, E. M. Mixed reality in education, entertainment, and training. *Ieee Computer Graphics and Applications*, 25(6), pp.24-30. 2005.
- [2] Hyung-Nam Moon, Hee-in Cho, Youngmi Han. Mixed Reality(MR) Technology Trends and Development Prospect, *The Journal of the Convergence Culture Technology (JCCT)*. Vol. 3, No. 3, pp.21-25. 2017.
- [3] Rolland, J. P., Holloway, R. L., & Fuchs, H. A Comparison of Optical and Video See-through Head-Mounted Displays. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 2351, pp.293-307. 1994.
- [4] Rolland, J. P., Barlow, T., Biocca, F. A., & Kancherla, A. Quantification of Adaptation to Virtual-Eye Location In See-Thru Head-Mounted Displays. *Proceeding of the Virtual Reality Annual International Symposium*, pp.56-66. 1995.
- [5] Ronald T. Azuma. A survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6, 4, pp.355-385. 1997.
- [6] Jan Herling, Wolfgang Broll. *PixMix: A real-time approach to high-quality Diminished Reality. Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2012.
- [7] Seong Jae Lee, Se Hyun Oh. Development of Training Instruments on Visual functions using HMD type Display and Investigation of its Demand. *IJACT Vol.6 No.3* 201-210, 2018.
- [8] Draper, M.H., Viirre, E.S., Furness, T. A., & Gawron, V. J. Effects of image scale and system time delay on simulator sickness within head-coupled virtual environments. *Human Factors*, 43, pp.129-146. 2001.
- [9] Moss, J. D., Muth, E.R. Characteristics of Head-Mounted Displays and Their Effects on Simulator Sickness. *Human Factor*, 53, pp.308-319. 2011.
- [10] M.H. Draper, E.S. Viirre, T.A. Furess, V.J. Gawron. Effects of image scale and system time delay on simulator sickness within head-coupled virtual environments. *Human Factors*, 43, pp.131. 2001.
- [11] Steinicke, F., Kuhl, S & Lappe, M. Natural Perspective Projections for Head-Mounted Displays. *IEEE Trans Vis Com. Graph*, 17(7), pp.888-99. 2011.
- [12] Yang, U., & Kim, G. J. Increasing the Effective Egocentric Field of View with Proprioceptive and Tactile Feedback. In *Proc. Of IEEE Virtual Reality*, pp.27-34. 2004.
- [13] Yang, U., & Kim, G. J. Increasing the geometric field of view in head mounted displays through proprioceptive task and multimodal feedback for effective close range interaction, *Behaviour & Information Technology*, Volume 29 - Issue 2. 2010.
- [14] Lin, J. J., Duh, H. B., Parker, D. E., Abi-Rached, H., Furness, T. A. Effects of Field of View on Presence, Enjoyment, Memory, and Simulator Sickness in a Virtual Environment. In *Proc. Of IEEE Virtual Reality*, pp.164-171. 2002.
- [15] Moss, J. D., Austin, J., Salley, J., Coats, J., Muth, E. R. The effects of display delay on simulator sickness. *Displays*, 32, pp.159-168. 2011.
- [16] Steinicke, F., Kuhl, S., Lappe, M., Klaus., H. Natural Perspective Projections for Head-Mounted Displays, *Visualization and Computer Graphics, IEEE*, 17, pp.888-899. 2011.
- [17] Hassan, S. E., Hicks, J. C, Lei H., Turano, K. A. What is the minimum field of view required for efficient navigation? *Vision Research*, 47, pp.2115-2123. 2007.
- [18] Ni, T., Bowman, D. A., & Chen, J. Increased Display Size and Resolution Improve Task Performance in Information-Rich Virtual Environments. *Proceeding of Graphics Interface*,

- pp.139-146. 2006.
- [19] Streepey, J. W., Kenyon, R. V., & Keshner, E. A. Field of View and base of support width influence postural responses to visual stimuli during quiet stance. *Gait Posture*, 25, pp.49-55. 2007.
- [20] Duh, H. B., Lin, J. J., Kenyon, R. V., Parker, D. E., & Furness, T. A. Effects of Field of View on Balance in an Immersive Environment. In *Proc. Of IEEE Virtual Reality*, pp.235-240. 2001.
- [21] P. R. Desai et al. A Review Paper on Oculus Rift-A Virtual Reality Headset, *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*. Volume 13 Number 4. 2014.
- [22] Davson, H. *Physiology of the Eye*, Pergamon, New York. 1990.
- [23] Keller, K., & Colucci, D. Perception in HMDs. What is it in Head Mounted Displays (HMDs) that really make them all so terrible?. *Proc. SPIE, Helmet- and Head-Mounted Displays III*, pp.3362.1998.
- [24] Schiefele, J., Albert, O., Dorr, Kelz, M., Schmidt-Winkel, N. Evaluation of required HMD Resolution and Field of View for a Virtual Cockpit Simulation. Part of the SPIE Conference on Helmet- and Head-Mounted Displays IV, pp.143-154. 1999.
- [25] Wright, S. L., Bailey, I. L., Tuan, K., & Wacker, R. T. Resolution and Legibility: A comparison of TFT LCDs and CRTs. *Journal of the society for Information Display*, 7(4), pp.253-256. 1999.
- [26] Huang, D., Patrick Rau, P., -L., & Liu, Y. Effects of font size, display resolution and task type on reading Chinese fonts from mobile devices. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39, pp.81-89. 2009.
- [27] Jaa-Aro, K., & Kjelldahl, L. Effects of Image Resolution on Depth Perception in Stereo and Non-Stereo Images, Stockholm, Sweden. 1997.
- [28] Yang-Wai Chow, Ronald Pose, Matthew Regan, James Phillips. The effects of Head-Mounted Display Attributes on Human Visual Perception of Region Warping Distortions. *Proc. of Image and Vision Computing New Zealand*, pp.500-505. 2005.
- [29] Mania, K., Adelstein, B. D, Ellis, S. R., & Hill, M. I. Perceptual Sensitivity to Head Tracking Latency in Virtual Environments with Varying Degree of Scene Complexity. *Proceedings of the 1st Symposium on Applied perception in graphics and visualization*, 2004, pp.39-47. 2004.
- [30] Regan, M., Miller, G., Rubin, S., & Kogelnik, C. A real-time low-latency hardware light-field renderer. In *Proc. of ACM SIGGRAPH' 99*, pp.287-290. 1999.
- [31] MacKenzie, I. S., & Ware, C. Lag as a determinant of human performance in interactive systems. *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.488-493. New York: ACM. 1993.
- [32] Meehan, M., Razaque, S., Whitton, M. C., & Brooks Jr, F. P. Effect of Latency on Presence in Stressful Virtual Environments. In *Proc. Of IEEE Virtual Reality*, pp.141. 2003.
- [33] Moss, J. D., Muth, E. R., Tyrrell, R. A., & Stephens, B. R. Perceptual thresholds for display lag in a real visual environment are not affected by field of view or psychophysical technique, *Displays*, 31, pp.143-149. 2010.
- [34] Sei-Young Kim, Joong Ho Lee, Ji Hyung Park. The effects of visual displacement on simulator sickness in video see-through head-mounted displays. *ISWC '14 Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers*, Pages pp.79-82. 2014.
- [35] Rolland, J. P., Barlow, T., Biocca, F. A., & Kancherla, A. Quantification of Adaptation to Virtual-Eye Location In See-Thru Head-Mounted Displays, *Proceeding of the Virtual Reality Annual International Symposium*, pp.56-66. 1995.
- [36] Rolland, J. P., Holloway, R. L., & Fuchs, H. A Comparison of Optical and Video See-through Head-Mounted Displays. *Telem manipulator and Telepresence Technologies*, 2351, pp.293-307. 1994.
- [37] Park, M., Serefoglou, S., Schmidt, L., Radermacher, K., Schlick, C., & Luczak, H. Hand-Eye Coordination Using a Video See-Through Augmented Reality System. *The Ergonomics Open Journal*, pp.46-53. 2008.
- [38] Lee, J. H., Kim, S. Y., Yoon, H. C., Huh, B. K., & Park, J. H. A Preliminary Investigation of Human Adaptations for Various Virtual Eyes in Video See-Through HMDs. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factor in Computing Systems*, pp.309-312. 2013.
- [39] Nattapong P., Fusak C. Contrast Image Enhancement Using Multi-Histogram Equalization. *International Journal of Advanced Culture Technology Vol.3 No.2* pp.161-170. 2015.
- [40] Joong Ho Lee, Sei-Young Kim, Hae Cheol Yoon, Ji Hyung Park. An Empirical Study of Out-of-Body Experience Induced by Horizontal Camera Shift on Video See-through HMD. *PROCEEDINGS OF HCI KOREA, 2014.2*, pp.97-100. 2014.

※ 이 논문은 2018학년도 영산대학교 교내연구비의 지원에 의하여 이루어진 것임