

현실과 가상현실에서 시야각이 자기중심적 거리지각에 미치는 영향

Effect of Field of View on Egocentric Distance Perception in Real and Virtual Environment

진승재¹ · 김신우² · 이형철^{3†}

Seungjae Jin¹ · Shinwoo Kim² · Hyung-Chul O. Li^{3†}

Abstract

The purpose of the research was to examine the effect of field of view on egocentric distance perception in the real and virtual environment. The replica that mimicked the real environment condition was used to create the virtual environment condition. We manipulated field of view levels equally in both viewing conditions using glasses that limit the field of view in real-world conditions and limiting the field of view in virtual-world conditions in a manner equivalent to real-world conditions via HMD. Eighteen participants observed the target with a limited field of view in a real and virtual environment without head movement. Then, we measured perceived distance using the timed imagined walking method, which measures the time taken by each participant to mentally walk to the target. The target was shown three times at three different distances from the participants: 3, 4, and 5 m. For the analysis, we converted time estimates into distance estimates. Consequently, the estimated distance in the virtual environment condition was less than the estimated distance in the real environment condition. And as the field of view shrank, the estimated distance also decreased. The estimated distance did not vary with field of view levels in real-world conditions. In the virtual environment, the estimated distance decreased as the field of view decreased, whereas in the real environment, the estimated distance increased. The implications of the results and some future research directions are discussed below.

Key words: Virtual Environment, Egocentric Distance Perception, Field of View, Distance Compression, Timed Imagined Walking, Head-Mounted Display (HMD)

요약

본 연구의 목적은 현실, 가상현실에서 시야각 수준을 세분화하여 지각된 거리에 미치는 영향을 규명하는 것이다. 본 연구는 가상현실조건 제시에 현실조건 환경을 모방한 복제품을 사용하여 두 관찰조건을 동등하게 구성하였다. 시야각 조작을 위해 현실조건에서 시야각을 제한하는 안경을 사용하였고, 가상현실조건에서 HMD를 통해 현실과 동등한 방법으로 시야각을 제한함으로써 두 관찰조건에서 시야각 수준을 동일하게 조작하였다. 실험에 참여한 성인 18명은 현실, 가상현실 각 관찰조건에서 머리 움직임을 제한한 후 조건에 따라 상이한 제한된 시야로 대상을 관찰하였다. 이후 참가자들은 정신적으로 대상까지 걷는데 소요된 시간을 측정하는 상상보행 측정방법을 통해 지각된 거리를 보고하였다. 대상은 3 m, 4 m, 5 m 거리에 제시되었으며 각 거리수준마다 3회 반복측정 하였다. 측정된 시간 측정치는 거리로 환산하여 분석에 사용하였다. 실험 결과, 가상현실조건인 거리추정치는 현실조건보다 작았다. 또한 시야각 수준이 감소함에 따라 거리추정치가 감소하였다. 현실조건에서 거리추정치는 시야각 수준에 따라 달라지지

* 이 논문은 2020년도 광운대학교 연구년(이형철)의 지원을 받아 수행된 연구임.

¹ 진승재: 광운대학교 사회과학대학 산업심리학과 석사과정

² 김신우: 광운대학교 사회과학대학 산업심리학과 정교수

^{3†} (교신저자) 이형철: 광운대학교 사회과학대학 산업심리학과 정교수 / E-mail: hyung@kw.ac.kr / TEL: 02-940-5425

않았다. 그러나 가상현실조건에서 거리추정치는 시야각 수준이 감소함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 논의에서 본 실험결과와 시사점, 한계점 및 추후 연구 방향에 대해 제시하였다.

주제어: 가상현실, 자기중심적 거리지각, 시야각, 거리압축, 상상보행, HMD

1. 서론

가상현실은 현실과 다르게 환경을 임의로 통제할 수 있기 때문에 다양한 응용적 가치가 있다. 가상현실이 사용되는 대표적인 분야는 게임, 교육, 영화, 연구 등이다. 가상현실 경험이 유용하기 위해서는 가상현실의 공간감이 현실의 공간감과 유사해야 한다. 만약 가상현실의 공간감이 현실과 상이하다면, 가상환경에서의 경험은 현실과 동떨어져서 타당성이 떨어지기 때문이다. 가상현실의 공간감이 현실과 유사해야 함에도 불구하고, 가상현실 상황에서의 거리지각 연구들은 가상현실을 통해 제시된 거리가 동등한 현실의 거리보다 작게 지각된다고 보고한다(Grechkin et al., 2010; Renner et al., 2013; Willemsen et al., 2009). 이는 깊이의 지표인 거리가 현실에 비해 가상현실에서 상대적으로 짧게 지각됨을 의미한다. 이와 같은 연구결과는 궁극적으로 가상현실의 공간감이 현실에 미치지 못한다는 것을 시사한다.

관찰자와 대상까지의 거리를 뜻하는 자기중심적 거리(egocentric distance)에 대한 측정은 인간의 공간지각 체계를 이해하기 위한 거리지각 연구에서 빈번하게 사용되는 패러다임 중 하나이다. 자기중심적 거리 측정에는 구두추정(verbal estimation), 비-시야 보행(blind walking), 삼각측량보행(triangulated blind walking), 상상보행(timed imagined walking) 등 다양한 측정 방법을 사용할 수 있다. 구두추정은 미터, 센티미터와 같은 거리 단위를 사용하여 지각된 거리를 언어로 보고하는 방식이다. 구두 추정은 측정이 간편하다는 장점이 있지만 사람들이 언어로 거리를 보고하는 과정에 생각보다 익숙하지 않고, 인지적 편향에 영향을 받는다는 한계가 있다. 삼각측량보행은 참가자가 눈을 감은 채로 대상의 위치와 다른 방향으로 일부를 걸은 뒤, 지각된 대상의 위치를 바라보는 방향의 직선과 최초 출발 지점에서 대상을 연결한 직선과 만나는 지점으로부터 최초 출발 지점까지의 거리를 실험자가 측정하여 지각된 거리를 간접적으로 측정하는 방법이다. 삼각측량보행은 제한

된 공간보다 더 큰 거리를 보고할 수 있다는 장점이 있으나, 변산이 크다는 한계가 있다. 비-시야 보행은 눈을 감고 지각된 대상의 위치까지 걷게 함으로써 지각된 거리를 측정하는 방식이다. 비-시야 보행은 행동-기반 측정이라는 특징으로 인하여 인지적 편향의 영향을 덜 받기 때문에 지각된 거리 측정방법 중 가장 타당하다고 알려져 있다. Loomis et al.(1992)은 비-시야 보행을 통해 인간이 현실에서 2~20 m의 거리에 대해 거리추정이 상대적으로 정확하다는 것을 보여주었다. 그러나 동일한 측정방법을 사용해 현실과 가상현실을 비교한 연구들에서 가상현실조건에서의 거리추정치는 현실조건에서의 거리추정치에 비해 상대적으로 작았다(Grechkin et al., 2010; Willemsen et al., 2009). 상상보행은 눈을 감고 대상 자극의 위치까지 정신적으로 걷는 데 소요된 시간에 보행속도를 곱하여 지각된 거리를 추정하는 방식이다(Grechkin et al., 2010; Plumert et al., 2005). 상상보행은 참가자가 지각된 거리를 보고하기 위해 직접 걷지 않기 때문에 실험실의 공간 크기에 따른 제약을 받지 않는다는 장점이 있다. 뿐만 아니라 Plumert et al.(2005)의 연구에서 비-시야 보행과 상상보행 측정방법에 따른 거리추정치 차이는 발견되지 않았다. 이는 상상보행이 비-시야 보행과 더불어 지각된 거리의 적절한 측정 방법이라는 것을 시사한다. 그리고 상상보행을 사용했을 때에도 비-시야 보행과 마찬가지로 가상현실의 거리추정치가 현실의 거리추정치보다 작았다(Grechkin et al., 2010). 이러한 결과들은 측정방법에 관계없이 가상현실의 지각된 거리가 현실에 비해 작고, 두 관찰조건 간에 체계적인 차이가 존재한다는 것을 시사한다.

인간의 왼쪽 동공과 오른쪽 동공 간 거리(interpupillary distance, IPD)는 약 65 mm로 알려져 있다. 따라서 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 맺히는 영상에는 65 mm만큼의 동공 간 거리 차이로 인한 위치 차이가 발생한다. 이처럼 각 눈에 맺히는 영상의 차이를 양안시차(binocular disparity)라고 부르는데, 이는 인간이 입체감을 느끼기 위해 사용하는 중요한 3차원 정보 중 하나이다. 헤드 마운티드

디스플레이(head-mounted display, HMD)는 각 눈에 대응하는 왼쪽 화면과 오른쪽 화면에 양안시차가 반영된 영상을 제시하여 사용자에게 입체감을 제공하는 가상 현실 장비이다. Renner et al.(2013)은 여러 가상현실 거리지각 연구에서 HMD를 통한 거리추정치는 실제 거리에 비해 평균 27%만큼 감소한다고 보고하였다. 실제 거리 대비 가상현실의 거리추정치 감소율은 HMD 종류에 따라 달라졌다(Buck et al., 2018). Buck et al. (2018)의 연구에서 110°로 시야각이 가장 넓었던 Oculus Rift CV1과 Oculus Rift DK2를 사용하여 측정 한 가상현실의 거리추정치는 실제 거리와 가장 유사했다. 반대로 90°, 60°로 가장 시야각이 좁았던 nVis SX111, nVis SX60을 사용하여 측정한 가상현실의 거리추정치는 실제 거리의 약 50% 수준으로 매우 작았다. HMD 간 거리추정치를 비교한 다른 연구들에서도 마찬가지로 시야각이 작은 HMD에서의 거리추정치가 더 작았다(Andrus et al., 2014; Creem-regehr et al., 2015). 이러한 결과는 HMD의 시야각이 좁을수록 지각된 거리가 실제 거리보다 작아진다는 것을 시사한다.

HMD는 장비에 따라 약 50°부터 110°에 이르기까지 다양한 수준의 시야각을 제공한다. 그러나 인간의 일반적인 시야각이 수평 약 190°, 수직 약 120°임을 고려했을 때, 현재까지 개발된 HMD의 시야각은 인간의 시야를 전부 포함하지는 못한다. 시야(visual field)는 대상을 주시할 때 눈을 움직이지 않고 볼 수 있는 범위로, 시야각과 밀접한 상관이 있다. 시야각이 넓을수록 관찰할 수 있는 시야는 넓어지고, 눈에 들어오는 정보의 양은 많아진다. 그와 반대로 시야각이 좁을수록 관찰할 수 있는 시야는 좁아지고, 눈에 들어오는 정보의 양도

적어진다. 현실에서 시야각을 직접 조작한 연구들은 좁아진 시야각으로 인해 시야가 제한된 집단의 거리추정치가 그렇지 않은 집단의 거리추정치에 비해 감소함을 발견하였다(Creem-regehr et al., 2005; Willemsen et al., 2009; Wu et al., 2004). 시야각 조작에 따른 거리추정치의 감소는 현실조건뿐만 아니라 가상현실조건에서도 유사한 패턴으로 관찰되었다. 구체적으로 가상현실에서 HMD의 시야각을 임의로 제한했을 때 거리추정치는 상대적으로 감소하였다(Buck et al., 2018; Jones et al., 2012; Li et al., 2016, 2018). 이러한 결과들은 가상현실의 상대적 거리압축이 HMD의 제한된 시야각에 기인할 수 있다는 것을 암시한다.

가상현실의 거리압축과 관련된 위의 선행연구 결과들을 정리하자면, HMD의 성능에 기인한 시야각이 작을수록 거리추정치가 실제 거리보다 작았으며(Andrus et al., 2014; Buck et al., 2018; Creem-regehr et al., 2015), 현실에서 시야각을 임의로 제한하였을 때 그렇지 않은 조건에 비해 거리추정치가 감소하였고(Creem-regehr et al., 2005; Willemsen et al., 2009; Wu et al., 2004), 가상현실에서 시야각을 임의로 제한하였을 때 도 그렇지 않은 조건에 비해 거리추정치가 감소하였다(Buck et al., 2018; Jones et al., 2012; Li et al., 2016, 2018). 따라서 시야각이 가상현실의 상대적 거리압축 원인이라고 추정할 수 있다.

시야각의 감소는 어떻게 지각된 거리에 영향을 주는 것일까? Wu et al.(2004)은 인간의 시각체계가 정확한 거리판단을 하기 위해 지면 정보를 사용한다고 제안하였다. 이를 도식화한 그림은 Fig. 1에 제시하였다. Wu et al.(2004)의 연구에서 현실조건의 시야각을 21°로 제

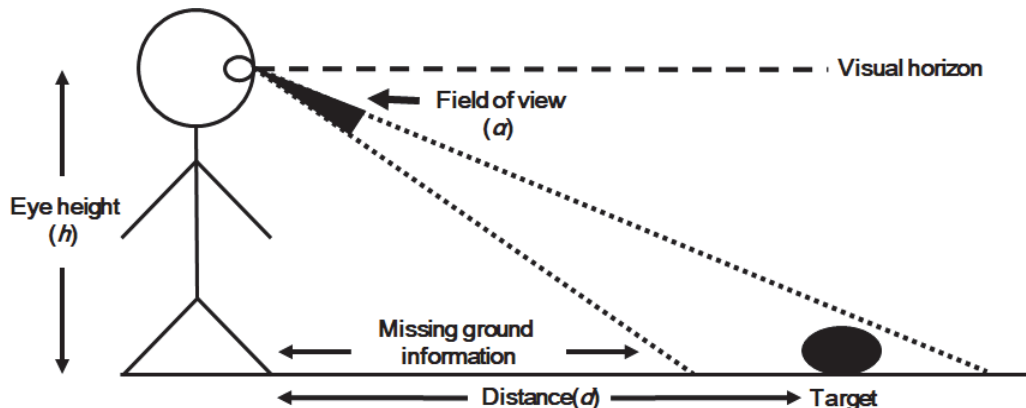


Fig. 1. Illustration of observing target on the ground with limited field of view

한했을 때 거리추정치는 실제 거리보다 작아졌다. 시야각 감소에 따른 거리압축 효과의 메커니즘에 대해 Wu et al.(2004)은 좁은 시야각으로 인해 관찰자와 대상 사이의 공간 정보가 부분적으로 삭제되어 공간이 작아 보이게 되고, 이에 따라 지각된 거리가 작아지는 것이라고 설명한다. 그러나 그의 연구에서 시야각을 21°로 제한하였음에도 불구하고 머리 움직임을 허용하여 참가자의 발부터 대상까지의 지면을 시각적으로 훑을 수 있게 하였을 때의 거리추정치는 실제 거리와 차이가 없었다. 마찬가지로 Creem-regehr et al.(2005)과 Knapp & Loomis(2004)의 연구에서도 시야각 제한에도 불구하고 머리 움직임을 제한하지 않았을 때 거리추정치는 통제조건과 차이가 없었다. 이러한 결과는 시각 체계가 관찰자와 대상 사이의 공간을 시각적으로 훑을 수 있을 때, 지면 정보의 부분들을 통합하여 완전한 지면 표상을 갖게 되어 정확한 거리추정이 가능하게 됨을 시사한다.

이처럼 많은 연구결과들이 제한된 시야각이 가상현실의 상대적 거리압축의 원인임을 제안하고 있다. 그러나 기존의 연구들은 현실과 가상현실에서의 시야각 제한이 거리지각에 미치는 영향을 상이한 측정환경에서 상이한 측정방법을 사용하여 독립적으로 수행하였다. 거리지각에 영향을 미치는 변인에는 시야각 이외에도 측정환경, 구성요인, 측정방법 등 다양한 요인이 있다. 시야각 제한이 현실 및 가상현실에서 거리지각에 미치는 영향을 규명하기 위해서는 시야각 이외의 변인을 통제된 상황에서 시야각을 조작하고 현실과 가상현실에서의 거리지각을 직접 비교할 필요가 있다. 하지만 현실, 가상현실 각 관찰조건에서 시야각 수준에 따른 거리추정치 변화를 직접 비교한 연구는 아직 없다. 본 연구의 목적은 시야각 이외의 변인을 가능한 한 통제하고 시야각 수준을 세분화하여 현실, 가상현실에서 시야각이 자기중심적 거리에 미치는 영향을 검증하는 것이다. 이를 통해 시야각 수준에 따라 지각된 거리가 어떻게 달라지는지, 나아가 시야각 수준이 각 관찰조건에서 동일하게 작용하는지를 살펴보고자 한다. 이를 검증하기 위해 현실, 가상현실 각 관찰조건에서 제한된 시야로 대상을 관찰하고, 눈을 감은 채로 정신적으로 대상까지 걷는다고 상상했을 때 소요되는 시간을 측정하였다. 그리고 측정한 상상보행 소요 시간에 참가자별

보행 속도를 곱하여 거리추정치로 변환하였다. 실험의 각 관찰조건은 동등하게 구성하였으며, 각 관찰조건에서 시야각 수준을 동등한 방법으로 조작하였다. 이를 통해 우리는 시야각 수준이 감소함에 따라 거리추정치가 감소할 것이라고 예상하였다. 또한 선행 연구와 마찬가지로 가상현실조건에서의 거리추정치는 현실에 비해 작을 것이라고 예상하였다.

2. 실험

본 연구의 목적은 현실, 가상현실 각 관찰조건에서 시야각 수준이 거리추정치에 어떻게 영향을 미치는지 검증하는 것이다. 이를 위해 참가자들은 현실조건에서 시야각을 제한하는 안경을 착용한 상태로 제시된 대상을 관찰한 후 상상보행을 수행하였다. 가상현실조건에서는 HMD를 통해 가상현실 및 대상을 관찰한 후 상상보행을 수행하였다. 실험자는 매 시행마다 참가자의 상상보행 소요시간을 측정함으로써 지각된 거리를 추정하였다.

2.1. 방법

2.1.1. 참가자

대학교 학생 및 인터넷을 통해 모집한 총 18명(남 8명)이 자발적으로 실험에 참여하였고, 평균 연령은 27.06세($SD = 6.34$)였다. 참가자들에게는 소정의 실험 참가비를 지급하였다. 나안시력 또는 교정시력 0.6D 이상이고 양안부등으로 깊이를 지각할 수 있는 사람만 실험에 참가할 수 있었다. 무선 점 입체자극을 이용한 입체시 검사(stereopsis test)가 깊이 지각 가능 여부 확인에 사용되었다.

2.1.2. 실험자극 및 측정도구

현실. 현실조건에는 대학교 건물 5층 실험실이 사용되었다. 사무용 파티션으로 공간을 제한한 약 폭 2 m, 깊이 6.5 m, 높이 2.5 m의 만큼의 공간이 실험에 실질적으로 사용되었다. 현실조건에서의 실험 환경은 Fig. 2의 (a)에 제시하였다.

가상현실. 가상현실조건에는 Unreal Engine을 사용해 현실조건에서의 실험실 공간을 복제한 환경(replica)을

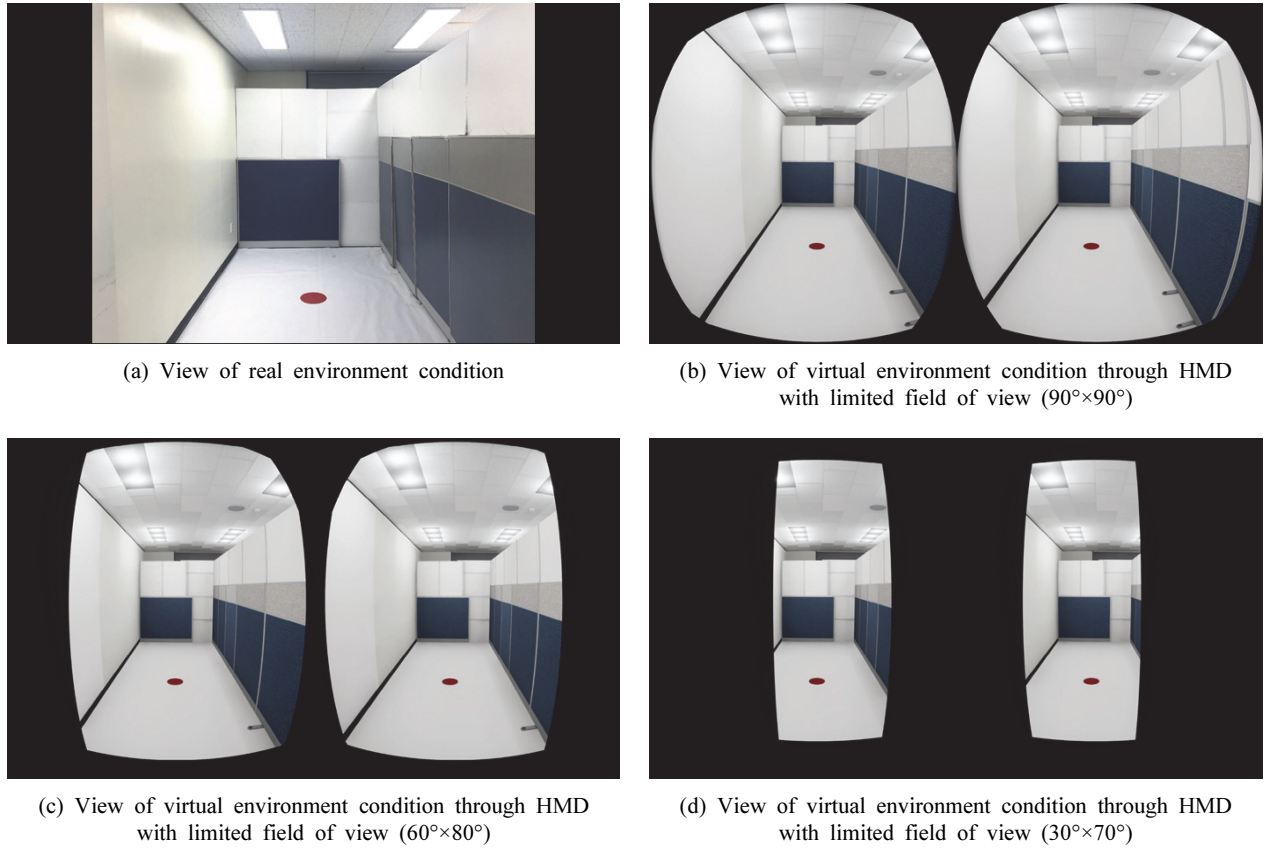


Fig. 2. Views of the participant during experiment in real and virtual environment condition with limited field of view

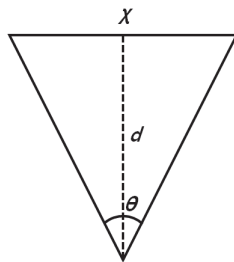


Fig. 3. Illustration of method that calculate slot size to manipulate field of view level

사용하였다. 가상현실조건의 실험 환경은 Fig. 2(b), (c), (d)에 제시하였다.

선행 연구 결과에 의하면 가상현실 장면이 포함하는 시야각(geometric field of view; GFOV)과 HMD가 지원하는 장비의 시야각(display field of view; DFOV)의 일치 여부에 따라서 거리추정치가 달라졌다(Kuhl et al., 2009; Li et al., 2015). 따라서 본 연구에서는 Oculus Rift CV1의 단안 시야각과 Unreal Engine의 시야각을 일치시켜 불일치로 인한 거리추정치가 왜곡될 가능성을 배제하였다.

시야각 조작. 현실조건에서는 하드보드지와 검은

천으로 구성된 외부 빛을 차단하는 안경을 착용하였다. 그리고 안경 정면에 특정한 크기의 구멍을 뚫음으로써 시야각을 제한하였다. 각 실험조건의 시야각 수준을 조작하기 위한 구멍의 크기(x)는 눈부터 구멍까지의 거리(d)와 시야각 각도(θ)에 따라 계산되었다. 구체적인 계산 방법은 식(1)과 Fig. 3에 제시하였다.

$$x = 2(d * \tan(\theta/2)) \quad (1)$$

이를 위해 사전에 성인 8명(남 4명)을 대상으로 눈부터 안경까지의 간격을 조사하였다. 조사 결과 눈과 구멍까지의 거리는 평균 7.75 mm였고, 이에 근거하여 시야각 제한 안경의 구멍 크기를 계산하였다. 또한 현실과 가상현실의 양안 시야각을 동등하게 조작하기 위해 안경 구멍 중심 간 거리는 가상현실과 동일하게 Unreal Engine의 카메라 두 대 간 거리 기본 값인 65 mm로 동일하게 통제하였다. 가상현실의 시야각은 현실과 동등한 방법으로 조작하였다. 구체적으로 HMD 화면에 제시될 영상을 촬영하는 Unreal Engine 카메라 앞에 시야를 제한하는 가림막을 위치시킴으로써 시야각 수준

을 조작하였다. 현실조건에서 시야각을 제한하는 안경을 착용한 모습을 Fig. 4에 제시하였다.

머리 움직임 제한. 참가자들의 머리 움직임을 제한하기 위해 PurePlan사의 넥 서포터 제품을 사용하였다. 넥 서포터는 가슴과 턱에 단단한 플라스틱 지지대를 위치시킴으로써 머리 움직임을 제한하는 기구이다. 참가자들은 넥 서포터를 착용하고 고개는 시각적 수평선에 고정하고, 눈만 움직여 대상을 관찰하였다.

가상현실 장비. Oculus Rift CV1이 가상현실 제시를 위해 사용되었다. CV1은 양쪽에 Pentile OLED 화면이 제시되며, 단안 1080×1200, 양안으로는 2160×1200의 해상도를 지원한다. 주사율은 90 Hz, 무게는 약 470 g이며, 360° 위치추적이 가능하다. CV1의 단안 시야각은 약 90°×90°이며, 양안으로는 약 110°에 이른다.

대상 자극. 대상으로 빨간색 원형 디스크가 사용되었다. 디스크의 지름은 약 25.2 cm였다.

측정 도구. 상상보행에 소요된 시간 측정도구로 초시



Fig. 4. Picture of wearing glasses that limits field of view and neck supporter that limits head movement in real environment

계를 사용하였다. 초시계는 1/100초 단위로 시간을 기록할 수 있는 IWANNA사의 KS-201 모델을 사용하였다.

2.1.3. 실험 설계

본 실험에는 2(관찰조건: 현실, 가상현실) × 3(시야각: 90°×90°, 60°×80°, 30°×70°) × 3(대상 거리: 3 m, 4 m, 5 m) 피험자 내 설계가 사용되었다. Plumert et al.(2005)의 연구에서 참가자들이 현실, 가상현실 중 어떤 관찰조건에 먼저 노출되는지의 순서에 따라 거리추정치가 달라졌다. 따라서 이러한 순서효과(order effect)를 배제하기 위해 라틴 정방형(latin-square design) 설계를 사용해 상쇄균형화(counter-balancing)하였다. 구체적인 실험 조건 제시 순서 및 조합은 Table 1에 제시하였다.

2.1.4. 실험 절차

참가자들은 실험에 대한 간단한 안내를 받은 뒤 실험 동의서를 작성하였다. 이후 참가자들은 HMD를 착용하여 화면이 선명하다고 느낄 때까지 HMD 렌즈 간격을 직접 조절하였다. 조절 완료 후 입체시 검사를 실시해 깊이 지각 가능 여부를 확인하였다. 이후 건물 5층 복도에서 보행 속도를 측정하였다. 보행속도는 출발 지점부터 종료 지점까지의 거리 10 m를 보행에 소요된 시간으로 나누어 계산하였다. 실험자는 종료 지점에 미리 위치하여 참가자가 출발 지점에서 발을 떼는 순간부터 종료 지점에 발이 지나가는 순간까지의 시간을 초시계로 측정하였다. 이 과정을 3번 반복한 평균값을 분석에 사용하였다.

Table 1. The six combinations used in the experiment and order of conditions in each combination

	Latin Square Unit					
	Order 1	Order 2	Order 3	Order 4	Order 5	Order 6
Combination 1	VR 90°×90°	VR 60°×80°	VR 30°×70°	Real 90°×90°	Real 60°×80°	Real 30°×70°
Combination 2	VR 60°×80°	VR 30°×70°	VR 90°×90°	Real 60°×80°	Real 30°×70°	Real 90°×90°
Combination 3	VR 30°×70°	VR 90°×90°	VR 60°×80°	Real 30°×70°	Real 90°×90°	Real 60°×80°
Combination 4	Real 90°×90°	Real 60°×80°	Real 30°×70°	VR 90°×90°	VR 60°×80°	VR 30°×70°
Combination 5	Real 60°×80°	Real 30°×70°	Real 90°×90°	VR 60°×80°	VR 30°×70°	VR 90°×90°
Combination 6	Real 30°×70°	Real 90°×90°	Real 60°×80°	VR 30°×70°	VR 90°×90°	VR 60°×80°

이후 참가자들은 상상보행 과제에 대해 안내받았다. 참가자들은 상상보행 수행 중 청각 자극에 의해 방해받지 않기 위해 이어플러그를 착용하였다. 이후 참가자들은 지정된 위치에 선 후, 고개는 90도로 수평선에 고정된 채 눈만 움직여 바닥에 제시된 대상을 관찰하였다. 참가자들은 대상과 대상 주변 환경을 마치 눈을 감아도 방금 본 환경이 마치 그대로 보이는 것처럼 느껴질 만큼 잘 관찰하도록 지시하였다. 이후 참가자들은 초시계를 건네받고, 사용법을 안내받은 뒤 초시계 사용법을 연습하였다. 이후 참가자들은 눈을 감고, 대상의 위치까지 정신적으로 걷는 것을 상상하도록 지시받았다. 상상보행을 시작할 때 참가자들은 직접 초시계를 작동하고, 정신적으로 대상에 도착했을 때 초시계를 다시 누름으로써 상상보행에 소요된 시간을 보고하였다. 이때 참가자들이 초시계 화면을 직접 보지 않고 실험자에게만 측정된 초시계 화면을 보여주도록 당부하였다. 이는 초시계의 측정치가 기준이 되어 이후의 과제 수행에 있어 인지적 편향이 작동하는 것을 배제하기 위함이었다. 참가자들은 과제에 익숙해지기 위해 실험에 사용된 거리수준과 상이한 3.5 m, 4.5 m, 5.5 m 세 가지 거리수준에 대해 각 2회씩 총 6번의 연습시행을 수행하였다. 연습시행 간 피드백은 제공되지 않았으며, 6번의 연습시행은 분석에 포함되지 않았다.

현실조건에서 참가자들은 이어플러그를 착용하고, 고개를 수평선에 고정시킬 수 있게 목 보호대를 적절하게 착용하였다. 이후 조건에 따라 시야각을 제한하는 안경을 착용하고, 빛 차단 여부를 확인하였다. 그리고 참가자들은 실험자의 안내에 따라 지정된 위치에 섰다. 이때 참가자들에게 특히 발을 포함한 지면 방향으로 고개를 돌리지 않도록 지시하였다. 이후 참가자들은 대상을 관찰한 후 상상보행을 수행하였다. 상상보행을 완료했을 때에도 참가자들은 여전히 눈을 감은 채로 측정치를 실험자에게 보고하였다. 이는 참가자가 실험자의 대상을 각 거리수준에 위치시키는 과정을 보지 않도록 하기 위함이었다. 거리수준은 3 m, 4 m, 5 m에 대해 무선으로 제시되었으며 각 수준마다 3회 반복 측정하였다.

가상현실조건은 HMD를 착용하여 가상현실의 자극을 관찰한다는 점, 관찰 후 손을 들어 실험자에게 신호를 주고 검은 화면이 제시될 때 상상보행을 수행한다는 점을 제외하고 모든 절차가 현실조건과 동일하였다.

검은 화면 제시는 현실조건에서 상상보행 시 눈을 감는 과정을 동등하게 통제하기 위함이었다. 각 관찰조건 사이에 피로를 방지하고자 5분간 쉬는 시간을 부여하였다. 상상보행 측정은 각 관찰조건에서 27회씩, 총 시행 수는 54회였다. 측정을 마친 뒤, 마지막으로 참가자들은 간단한 인구통계학적 설문을 마치고 실험 참가비를 지급받았다. 전체 실험에 평균 50분이 소요되었다.

2.1.5. 분석 방법

본 실험에서는 상상보행에 소요된 시간 측정을 통해 시간 측정치를 획득하였다. 그러나 실험을 통해 궁극적으로 시야각 수준이 지각된 거리에 미치는 영향을 규명하려 하였으므로, 상상보행을 사용해 지각된 거리를 측정된 선행연구들의 패러다임과 같이 시간 측정치를 거리로 환산하였다(Grechkin et al., 2010; Plumert et al., 2005). 구체적으로 상상보행에 소요된 시간측정치(t)에 각 참가자의 보행 속도(s)를 곱하여 거리(d)로 환산하였고, 환산한 거리추정치를 분석에 사용하였다(식 2).

$$d = s \times t \quad (2)$$

관찰조건과 시야각 수준에 따라 거리추정치가 달라지는지 알아보기 위해 관찰조건과 시야각, 대상 거리수준을 참가자 내 변인으로 하는 2(관찰조건: 현실, 가상현실) × 3(시야각 수준: 90°×90°, 60°×80°, 30°×70°) × 3(대상 거리수준: 3 m, 4 m, 5 m) 반복측정변량분석(repeated measures ANOVA)을 실시하였다.

2.2. 결과

실험 결과, 두 명의 참가자가 전체 평균에서 2SD를 벗어나 특이값(outlier)으로 판단하여 분석에서 제외하여 총 16명이 분석에 사용되었다. 전체 평균 거리추정치는 4.98 m로 관찰 거리 평균 4 m에 비해 약 25% 과대추정되었다. 현실조건의 거리추정치는 평균 5.16 m로 약 29% 과대추정되었고, 가상현실조건의 거리추정치는 평균 4.80 m로 약 20% 과대추정되었다. Fig. 5에 실험 전체 결과를 제시하였다.

현실, 가상현실 관찰조건간의 거리추정치를 직접 비교하였을 때, 가상현실조건의 거리추정치는 현실조건

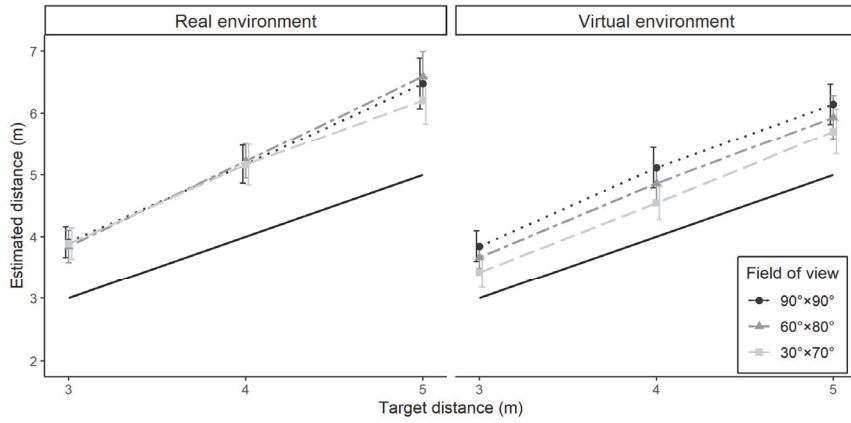


Fig. 5. The total result of the experiment. The solid line represents ideal distance.

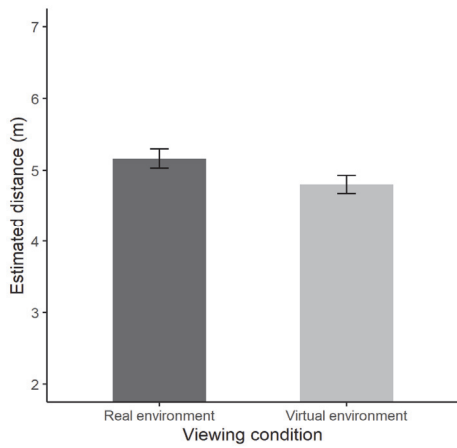


Fig. 6. Estimated distances in real and virtual environment

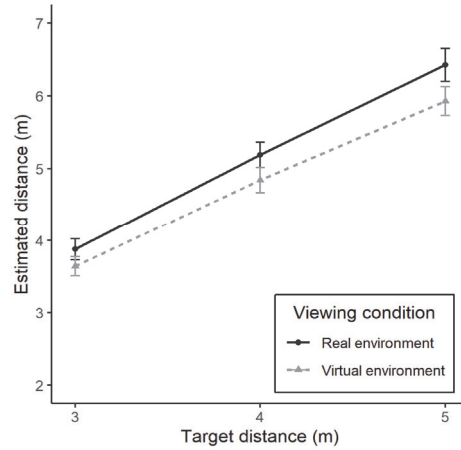


Fig. 8. Estimated distances in real and virtual environment according to target distance

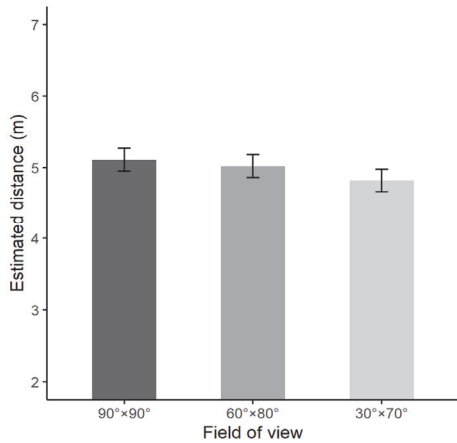


Fig. 7. Estimated distances of each field of view levels

의 거리추정치에 비해 작았다. 분석 결과, 거리추정치에 대한 관찰 조건의 주효과는 통계적으로 유의미하였다, $F(1, 15) = 5.69, p = .030$. 구체적으로 시야각을 두 조건에서 동일하게 통제했음에도 참가자들은 현실조건($M = 5.16, SD = 1.10$)에 비해 가상현실조건($M =$

4.80, $SD = 1.01$)에서 거리를 약 7% 작게 추정하였다. 평균 관찰거리 4 m의 현실조건과 가상현실조건의 거리추정치를 비교한 그래프는 Fig. 6에 제시하였다.

각 시야각 조건에 따른 거리추정치를 직접 비교하였을 때, 시야각이 작아질수록 거리추정치가 감소하였다. 분석 결과, 거리추정치에 대한 시야각 수준의 주효과는 통계적으로 유의미하였다, $F(2, 30) = 4.03, p = .028$. 평균 관찰거리 4 m의 각 시야각 수준에 따른 거리추정치를 나타낸 Fig. 7을 통해 시야각이 작아질수록 거리추정치가 감소하는 경향을 확인할 수 있다.

현실, 가상현실의 두 관찰조건 간 거리추정치 차이는 대상 거리수준이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 거리추정치에 대한 관찰조건, 대상 거리수준의 상호작용효과는 통계적으로 유의미하였다, $F(2, 30) = 6.36, p = .005$. Fig. 8은 거리수준 증가에 따른 관찰조건 간 거리추정치 차이의 증가 경향성을 보여준다. 이

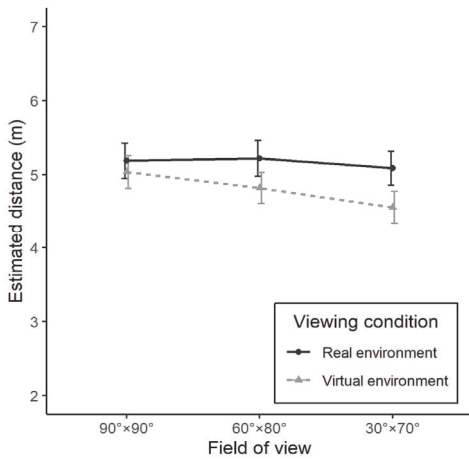


Fig. 9. Estimated distances in real and virtual environment according to field of view levels

러한 경향은 가상현실조건에서 현실조건에 비해 대상 거리수준이 증가함에 따라 거리추정치이 더 많이 압축된다는 것을 보여준다.

Fig. 9는 현실조건, 가상현실조건에서 시야각 수준에 따른 거리추정치 변화 양상을 보여준다. 거리추정치에 대한 관찰조건과 시야각 수준의 상호작용효과는 통계적으로 유의미하지는 않았지만 임계치에 근접한 차이 (marginally significant)를 보였다, $F(2, 30) = 2.23, p = .125$. Fig. 9에서 현실조건의 거리추정치는 시야각 수준에 따라 변하는 경향을 보이지 않았다. 가상현실조건에서 거리추정치는 시야각 수준이 감소함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 따라서 관찰조건, 시야각의 상호작용효과는 유의미하지 않았지만, 관찰조건별로 시야각 수준에 따른 상이한 경향을 확인해보기 위해 단순 주효과 분석(simple effects analysis)을 추가적으로 실시하였다.

분석 결과, 현실조건에서 거리추정치에 대한 시야각 수준의 주효과는 통계적으로 유의미하지 않았다, $F(2, 30) = 0.47, p = .629$. 가상현실조건에서 거리추정치에 대한 시야각 수준의 주효과는 통계적으로 유의미하였다, $F(2, 30) = 6.51, p = .004$. 구체적으로, 가상현실조건에서 참가자들은 시야각이 $90^\circ \times 90^\circ (M = 5.03, SD = 1.15)$ 일 때보다 시야각이 $60^\circ \times 80^\circ (M = 4.82, SD = 1.13)$ 일 때 거리를 더 짧게 보고하였으며, 시야각이 $30^\circ \times 70^\circ (M = 4.55, SD = 1.14)$ 일 때 거리를 가장 짧게 보고하였다.

각 대상 거리수준에 따라 거리추정치를 직접 비교하였을 때, 대상 거리수준이 증가할수록 거리추정치가 증

가하였다. 분석 결과, 거리추정치에 대한 대상 거리수준의 주효과는 통계적으로 유의미하였다, $F(2, 30) = 186.6, p < .001$. 거리추정치에 대한 시야각 수준과 대상 거리수준의 상호작용효과는 통계적으로 유의미하지 않았다, $F(4, 60) = 1.06, p = .387$. 관찰조건, 시야각 수준과 거리수준이 거리추정치에 미치는 삼원상호작용효과도 통계적으로 유의미하지 않았다, $F(4, 60) = 1.03, p = .398$.

3. 논의

본 연구의 목적은 시야각 이외의 변인을 통제하고 현실, 가상현실에서 시야각 수준을 세분화하여 시야각을 제한하는 것이 자기중심적 거리 지각에 미치는 영향을 검증하는 것이다. 연구목적에 따라 몇 가지 구체적인 연구목표를 설정하였다. 첫째, 시야각을 통제된 상태에서 현실, 가상현실 각 관찰조건에서의 거리추정치를 직접적으로 비교하였을 때 가상현실조건에서의 거리추정치가 현실에 비해 더 작은지 확인하고자 하였다. 두 번째로 시야각 수준이 현실, 가상현실 각 관찰조건에서 어떻게 영향을 미치는지 검증함으로써 시야각 수준이 각 관찰조건에서 동일하게 작용하는지를 확인하고자 하였다. 연구목표를 달성하기 위해 현실, 가상현실 각 관찰조건에서 시야각을 제한한 상태로 대상을 관찰하고 상상보행을 통해 지각된 거리를 보고하도록 하였다.

실험 결과, 두 관찰조건에서 시야각 수준을 동일하게 통제했음에도 불구하고 가상현실조건에서의 거리추정치는 현실조건에서의 거리추정치보다 작았다. 구체적으로 가상현실조건에서의 거리추정치는 현실조건에서의 거리추정치에 비해 약 7% 작았다. 이는 가상현실조건에서의 거리추정치가 현실조건에서의 거리추정치보다 작았던 선행연구들과 일치하는 결과이다. Grechkin et al.(2010)의 연구에서 HMD를 통해 현실, 가상현실을 제시했을 때 가상현실조건에서의 거리추정치가 현실조건에서의 거리추정치보다 작았다. Willemsen et al.(2009)의 연구에서 HMD를 통한 가상현실조건에서의 거리추정치는 HMD의 특징들을 동일하게 통제된 모형 HMD를 통한 현실조건에서의 거리추정치보다 작았다. 본 연구에서 우리는 현실과 가상현실을 직접적으로 비교하기 위해 참가자가 동일한 환경을

경험하도록 가상현실 제시에 현실조건을 복제한 환경(replica)을 사용하였고, 각 관찰조건에서 동일한 방법으로 시야각을 제한함으로써 시야각 이외의 변인들을 동등하게 통제하였다. 그럼에도 불구하고 관찰된 관찰조건 간 거리추정치 차이는 연구에서 통제하지 못한 변인이 지각된 거리에 영향을 미쳤을 수 있다는 것을 시사한다. 구체적으로 본 연구의 현실조건에서 착용한 시야각 제한 안경과 가상현실조건에서 착용한 HMD간의 무게 차이, 현실 환경을 동일하게 복제한 가상현실이 결국은 현실이 아니라는 것을 참가자들이 인지하는 점 등이 지각된 거리 압축에 영향을 주었을 가능성이 있다. 추후 연구에서는 현실조건에서 HMD의 크기, 무게 등을 동일하게 통제하여 비교해볼 수 있다. 본 연구 결과는 선행연구와 더불어 시야각 단일요인으로 가상현실의 지각된 거리 압축을 완전히 설명할 수는 없다는 경험적 증거를 제시한다.

또한 시야각 수준이 감소함에 따라 거리추정치가 체계적으로 작아졌다. 관찰조건, 시야각 수준의 상호작용 효과는 통계적으로 유의미하지는 않았지만 임계치에 근접한 차이(marginally significant)를 보였다. 따라서 두 번째 실험목표인 현실, 가상현실 각 관찰조건에서 시야각이 지각된 거리압축에 동일하게 영향을 미치는지 확인하고자 단순 주효과 분석을 실시하였다. 분석 결과, 가상현실조건의 거리추정치는 시야각 수준에 따라 체계적으로 작아지는 경향을 보였다. 이러한 결과는 HMD의 시야각을 임의로 제한했던 연구 결과와 일치한다(Buck et al., 2018; Jones et al., 2012; Li et al., 2016, 2018). 해당 연구들에서 HMD의 시야각을 임의로 제한한 조건은 통제조건에 비해 거리추정치가 감소하였다. 선행연구결과들과 더불어 본 연구 결과는 HMD를 통한 가상현실에서 시야각 수준이 작아짐에 따라 지각된 거리가 작아지고, 궁극적으로 시야각이 가상현실 거리압축의 원인일 수 있음을 시사한다.

하지만 현실조건의 거리추정치는 시야각 수준에 따라 변하지 않았다. 이러한 결과는 현실조건에서 시야각 수준을 감소시켰을 때 거리추정치가 작아졌던 선행연구결과들과 일치하지 않는다(Creem-regehr et al., 2005; Willemsen et al., 2009; Wu et al., 2004). 그러나 선행연구들이 제한한 시야각 수준은 본 연구 현실조건에서 제한한 시야각 수준과 상이하다. Wu et al.(2004)은 현

실조건에서 시야각이 21°로 좁아졌을 때 통제조건에 비해 거리추정치가 감소함을 보여주었다. Creem-regehr et al.(2005)의 연구에서는 현실조건에서 시야각이 수평 42°, 수직 32°로 좁아졌을 때 통제조건에 비해 거리추정치가 감소하였다. Willemsen et al.(2009)의 연구 현실조건에서 시야각이 수평 47°, 수직 38°로 좁아졌을 때 통제조건에 비해 거리추정치가 감소하였다. 본 연구의 현실조건에서 제한한 가장 작은 시야각 수준은 30°×70°였다. 특히 수직 시야각은 70°로, 앞선 선행연구들의 수직 시야각(i.e. 21°, 32°, 38°)에 비해 약 두 배 넓었다. 따라서 본 연구에서 현실조건의 거리추정치가 시야각 수준에 따라 변화하지 않은 결과는 충분한 수직 시야각에 기인했을 수 있다.

본 연구에서 관찰된 현실, 가상현실 각 관찰조건에서 시야각 수준이 거리추정치에 다르게 영향을 미치는 이유에 대해 몇 가지 추론해볼 수 있다. 먼저 앞서 설명한 현실에서 착용한 안경과 상이한 HMD의 무게가 시야각 수준과 상호작용한 결과일 수 있다. 두 번째로 현실 조건과 다르게 가상현실조건에서는 HMD 착용으로 인해 시각적 피로 및 사이버 멀미(cybersickness)가 발생할 수 있다(Choi et al., 2020). 두 관찰조건 간 상이한 시각적 피로도 및 사이버 멀미감이 거리추정에 영향을 미쳤을 수 있다. 세 번째로 가상현실과 다르게 현실에서는 시야각을 제한해도 실제로는 공간이 변하지 않는다는 참가자들의 암묵적인 믿음에 기인할 수 있다. 추후에는 각 관찰조건에서 시야각이 상이하게 영향을 미치는 이유에 대해 연구해볼 수 있다.

본 연구에서 발견한 가상현실조건에서 시야각 수준이 감소함에 따라 거리추정치가 감소한 결과가 수평 시야각 감소에 의한 것인지, 수직 시야각 감소에 의한 것인지는 명확하지 않다. Wu et al.(2004)의 연구에서 현실조건의 수평 시야각 감소가 거리추정치에 미치는 영향은 없었으나, 수직 시야각이 21°로 좁아졌을 때 거리추정치가 감소하였다. 이처럼 본 연구에서 가상현실조건의 시야각 수준 감소에 따른 거리추정치의 감소가 수직 시야각이 10°씩 감소하여 발생한 것인지, 수평 시야각이 30°씩 감소하여 발생한 것인지, 또는 둘 간의 상호작용효과인지 명확하게 알 수 없다. 따라서 미래에는 현실, 가상현실 각 관찰조건에서 수직과 수평 시야각을 분리하여 각각이 거리추정치에 미치는 영향에 대

해 조사해 볼 필요가 있다.

본 연구에서 전체적으로 거리추정치는 실제 거리에 비해 약 25% 과대추정되었다. 이는 가상현실에서 거리를 추정하게 하였을 때 실제 거리보다 압축되었던 선행연구결과들과 상이한 결과이다. 본 연구에서 현실조건의 거리추정치는 실제 거리에 비해 약 29% 과대추정되었고, 가상현실조건의 거리추정치는 실제 거리에 비해 약 20% 과대추정되었다. 두 관찰조건의 거리추정치가 과대추정되었다는 점에서 표면적으로 선행연구결과와 상이하지만, 가상현실조건의 거리추정치가 동등하게 조작한 현실조건의 거리추정치에 비해 유의미하게 압축되어 나타났다는 점에서 선행연구결과와 같은 결과라고 할 수 있다.

본 연구에서 거리추정치가 과대추정된 이유는 두 가지가 있을 수 있다. 먼저 실험 환경 맥락에 기인하였을 수 있다. 환경 맥락을 비교했던 Creem-regehr et al.(2015)의 연구에서 실내 환경에서의 거리추정치는 실외 환경의 거리추정치에 비해 상대적으로 크게 나타났다. 따라서 본 실험이 실내 환경에서 이루어졌다는 점이 과대추정 결과의 일부를 설명할 수도 있다. 그리고 Witt et al.(2007)의 연구에서 거리추정치는 대상과 대상 너머 벽까지의 간격에 따라 달라졌다. 구체적으로 대상과 대상 너머 벽까지의 간격이 좁을 때 간격이 넓을 때보다 거리추정치가 컸다. 특히 이 간격이 좁을 때의 거리추정치는 실제 거리보다 과대추정되었다. 그는 이러한 결과를 에빙하우스 착시(Ebbinghaus illusion)에 기인할 수 있다고 주장한다. 본 연구에서 참가자로부터 5 m 거리에 위치한 대상과 벽까지의 간격은 60 cm가 채 되지 않았다. 따라서 참가자로부터 대상까지의 거리가 대상과 대상 너머 벽 사이의 짧은 거리에 비해 상대적으로 크게 지각되고, 이에 따라 거리추정치가 과대추정되었을 수 있다.

두 번째로 거리에 대한 과대추정은 측정방법의 특성에 기인할 수 있다. 본 연구에서는 상상보행을 지각된 거리 측정방법으로 사용하였다. 상상보행은 참가자가 직접 거리를 걷지 않고, 대상 관찰 후 지각된 거리만큼 정신적으로 걷는 데 소요된 시간을 측정하여 지각된 거리를 추정하는 간접적인 측정방법이다. 일반적으로 사람들은 평상시에 항상 눈을 뜨고 걷는다. 따라서 눈을 감고 걷는 것은 익숙하지 않은 일이고, 심지어 자신의 걸음 속도가 어느 정도인지에 대한 명확한 표상을 갖는

것은 어려운 일이다. Lin et al.(2011)은 간접 비-시야 보행을 통해 가상현실에서의 거리추정치가 본 연구결과와 같이 과대추정됨을 발견하였다. 그는 가상현실조건 거리추정치의 과대추정이 불확실성에 기인할 수 있다고 설명하였다. 참가자들은 자신의 보행 속도에 대한 표상이 정확하지 않기 때문에 대상에 도착했다고 확신할 때까지 걷게 된다는 것이다. 마찬가지로 본 연구에서 참가자들은 자신의 보행 속도에 대한 표상이 안정적이지 않아 정신적으로 확실하게 도착했다고 판단할 때까지 초시계를 누르지 않았을 수 있다. 따라서 미래에는 상상보행이 아닌 다른 측정방법을 통해서도 본 연구와 같은 결과를 재현할 수 있는지 조사할 필요가 있다.

REFERENCES

- Andrus, S. M., Gaylor, G., & Bodenheimer, B. (2014). Distance estimation in virtual environments using different HMDs. *In Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception*, 130-130. DOI: 10.1145/2628257.2628359
- Buck, L. E., Young, M. K., & Bodenheimer, B. (2018). A comparison of distance estimation in hmd-based virtual environments with different hmd-based conditions. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, 15(3), 1-15. DOI: 10.1145/3196885
- Choi, I. B., Park, J. J., Kim, S. W., & Li, H. C. O. (2020). Effect of inconsistency between visually perceived walking speed and physically perceived walking speed on VR sickness in VR-treadmill walking. *Science of Emotion and Sensibility*, 23(3), 79-90. DOI: 10.14695/KJSOS.2020.23.3.79
- Creem-Regehr, S. H., Stefanucci, J. K., Thompson, W. B., Nash, N., & McCardell, M. (2015). Egocentric distance perception in the oculus rift (dk2). *In Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Applied Perception*, 47-50. DOI: 10.1145/2804408.2804422
- Creem-Regehr, S. H., Willemsen, P., Gooch, A. A., & Thompson, W. B. (2005). The influence of restricted viewing conditions on egocentric distance perception:

- Implications for real and virtual indoor environments. *Perception*, 34(2), 191-204. DOI: 10.1068/p5144
- Grechkin, T. Y., Nguyen, T. D., Plumert, J. M., Cremer, J. F., & Kearney, J. K. (2010). How does presentation method and measurement protocol affect distance estimation in real and virtual environments?. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, 7(4), 1-18. DOI: 10.1145/1823738.1823744
- Jones, J. A., Suma, E. A., Krum, D. M., & Bolas, M. (2012). Comparability of narrow and wide field-of-view head-mounted displays for medium-field distance judgments. *In Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception*, 119-119. DOI: 10.1145/2338676.2338701
- Kuhl, S. A., Thompson, W. B., & Creem-Regehr, S. H. (2009). HMD calibration and its effects on distance judgments. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, 6(3), 1-20. DOI: 10.1145/1577755.1577762
- Li, B., Nordman, A., Walker, J., & Kuhl, S. A. (2016). The effects of artificially reduced field of view and peripheral frame stimulation on distance judgments in HMDs. *In Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception*, 53-56. DOI: 10.1145/2931002.2931013
- Li, B., Walker, J., & Kuhl, S. A. (2018). The effects of peripheral vision and light stimulation on distance judgments through hmds. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, 15(2), 1-14. DOI: 10.1145/3165286
- Li, B., Zhang, R., Nordman, A., & Kuhl, S. A. (2015). The effects of minification and display field of view on distance judgments in real and HMD-based environments. *In Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Applied Perception*, 55-58. DOI: 10.1145/2804408.2804427
- Lin, Q., Xie, X., Erdemir, A., Narasimham, G., McNamara, T. P., Rieser, J., & Bodenheimer, B. (2011). Egocentric distance perception in real and HMD-based virtual environments: The effect of limited scanning method. *In Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*, 75-82. DOI: 10.1145/2077451.2077465
- Loomis, J. M., Da Silva, J. A., Fujita, N., & Fukusima, S. S. (1992). Visual space perception and visually directed action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(4), 906-921.
- Plumert, J. M., Kearney, J. K., Cremer, J. F., & Recker, K. (2005). Distance perception in real and virtual environments. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, 2(3), 216-233. DOI: 10.1145/1077399.1077402
- Renner, R. S., Velichkovsky, B. M., & Helmert, J. R. (2013). The perception of egocentric distances in virtual environments-a review. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 46(2), 1-40. DOI: 10.1145/2543581.2543590
- Willemsen, P., Colton, M. B., Creem-Regehr, S. H., & Thompson, W. B. (2009). The effects of head-mounted display mechanical properties and field of view on distance judgments in virtual environments. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, 6(2), 1-14. DOI: 10.1145/1498700.1498702
- Witt, J. K., Stefanucci, J. K., Riener, C. R., & Proffitt, D. R. (2007). Seeing beyond the target: Environmental context affects distance perception. *Perception*, 36(12), 1752-1768. DOI: 10.1068/p5617
- Wu, B., Ooi, T. L., & He, Z. J. (2004). Perceiving distance accurately by a directional process of integrating ground information. *Nature*, 428(6978), 73-77. DOI: 10.1038/nature02350
- 원고접수: 2021.08.19
수정접수: 2021.10.10
게재확정: 2021.10.22