

특집논문-06-11-4-06

# 투시형 두부 장착형 디스플레이방식의 다초점 3차원 디스플레이

김 동 옥<sup>a)</sup>, 윤 선 규<sup>b)</sup>, 김 성 규<sup>a)†</sup>

## Multi-focus 3D display of see-through Head-Mounted Display type

Dong-Wook Kim<sup>a)</sup>, Seon-Kyu Yoon<sup>b)</sup>, Sung-Kyu Kim<sup>a)†</sup>

### 요 약

투시형 두부 장착형 디스플레이(HMD) 방식의 3차원 디스플레이는 스테레오스코픽 디스플레이에 의한 가상의 3차원 데이터와 실제 장면을 동시에 볼 수 있는 장점(MR-Mixed Reality)이 있다. 그러나 장시간 사용 시 눈의 피로현상이 발생한다. 또한 가상 데이터의 고정된 초점으로 인한 비초점화 현상이 발생한다. 이것의 중요한 요인 중 하나가 눈의 초점조절 능력 불만족이다. 이것의 해결방법으로 투시형 HMD에 초점조절 가능 3차원 디스플레이(다초점 3차원 디스플레이) 기술의 적용을 제안하였다. 결과적으로, 단안에서 현실세계의 물체에 대한 초점조절과 다초점에 의한 가상데이터의 초점조절이 일치함을 확인하였다.

### Abstract

See-through HMD type 3D display can provide an advantage of us seeing virtual 3D data used stereoscopic display simultaneously with real object(MR-Mixed Reality). But, when user sees stereoscopic display for a long time, not only eye fatigue phenomenon happens but also de-focus phenomenon of data happens by fixed focal point of virtual data. Dissatisfaction of focus adjustment of eye can be considered as the important reason of this phenomenon. In this paper, We proposed an application of multi-focus in see-through HMD as a solution of this problem. As a result, we confirmed that the focus adjustment coincide between the object of real world and the virtual data by multi-focus in monocular condition.

Keywords : See-through HMD, MR(Mixed-Reality), Monocular, Multi-focus, Eye fatigue

## I. 서 론

투시형 HMD 방식의 3차원 디스플레이는 가상의 3차원 데이터와 실제의 장면을 동시에 볼 수 있다. 이러한 형태의 표현 방법을 MR(Mixed Reality)<sup>[1]</sup>이라고 부른다. 이러한 투시형 형태의 MR 구현 3차원 HMD는 실제 장면과 가상의 3차원 화면을 동시에 구현한다. 즉, 현실세계에 가상의

3차원 데이터를 추가로 제공함으로써 다양한 부가적 표현이 가능한 장점을 가지고 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 장시간 사용할 경우 눈의 피로현상이 발생하게 된다. 눈의 피로현상을 일으키는 여러 가지의 문제 중에서 눈의 초점조절 능력 불만족이 원인이 된다는 것이 최근 관심사로 떠오르고 있다.<sup>[2, 3]</sup> 이러한 초점조절 능력 불만족은 ‘양안의 수렴작용과 단안의 초점조절 사이의 불일치’에 따른 것이다.

이런 초점조절 불만족의 해결방법으로 제시되고 있는 것이 초점조절 가능 3차원 디스플레이(다초점 3차원 디스플

a) 한국과학기술연구원 영상미디어연구센터  
Imaging Media Research Center, Korea Institute of Science and Technology  
b) 제주대학교 물리학과  
Department of Physics, Cheju National University  
† 교신저자 : 김성규(kkk@kist.re.kr)

레이)이다.<sup>[4, 5]</sup> 초점조절 가능 3차원 디스플레이는 스테레오스코픽 디스플레이에서 초점조절 불만족으로 발생하는 눈의 피로감을 제거하고, 눈의 피로현상 및 수렴작용과 초점조절 작용 불일치 사이의 관련성을 검증하기 위한 방법이다.

이런 초점조절 가능 3차원 디스플레이에서의 초점조절 작용은 미세한 깊이변화에 대해서도 초점면 형성을 가능하게 하므로 다초점을 구성할 수 있고, 이러한 다초점은 관찰자가 단안에서 3차원 효과를 느낄 수 있는 하나의 요소가 된다<sup>[6]</sup>.

또한 초점조절 가능 3차원 디스플레이는 일반적인 투시형 HMD에서 또 하나의 단점으로 지적되고 있는 현실세계의 물체와 가상데이터 사이의 분리현상을 해결할 수 있다. 관찰자의 눈의 초점은 능동적으로 계속 변하지만 가상데이터는 고정된 초점을 가지고 있으므로 가상세계와 현실세계의 물체들이 분리되는 현상이 발생된다. 이것은 가상데이터의 비초점화 현상으로 가상정보를 효과적으로 볼 수 없음을 의미한다. 기존에 이 문제의 해결방법으로 제시되었던 Maxwellian view<sup>[7]</sup>의 원리를 이용한 monocular retinal projection display는 긴 초점깊이를 가진 가상데이터를 제공하여 가상데이터의 비초점화 현상을 보완하였지만 다른 깊이의 초점이 자연스럽게 맺어지지 않는 현상이 발생한다. 그리고 그 정보는 단안에서 2차원으로 한정되어 있는 단점이 있다.<sup>[8]</sup> 그러므로 초점조절 가능 3차원 디스플레이를 기존의 단안용 투시형 HMD에 적용할 경우 2차원의 가상데이터뿐만 아니라 다초점에 의한 3차원 가상데이터에서도 3차원 효과를 느낄 수 있어 더 많은 정보를 제공할 수 있고, 가상데이터의 비초점화 현상을 제거할 수 있다.

본 논문에서는 초점조절 현상으로 인한 가상 3차원의 영상효과를 제공할 수 있는 단안용 투시형 HMD 방식의 다초점 3차원 디스플레이를 개발하였고 실제물체와 깊이가 같게 설계된 가상데이터의 초점조절 결과를 비교함으로써 그 가능성을 확인하였다.

본 논문은 이론부분에서 눈의 초점조절 작용과 수렴작용의 불일치 현상과 눈의 초점조절의 원리에 대하여 언급하고 실험부분에서는 실험의 방법 및 광학설계를 제시하

였고, 결과에서는 실험의 결과 및 기존 디스플레이와의 차이를 비교하였으며 마지막으로 실험에 대한 결론을 밝혔다.

## II. 이 론

### 1. 양안의 수렴작용의 단안의 초점조절 사이의 불일치

사람이 시각적으로 입체감을 느끼는 요인은 여러 가지가 있다. 그 요인들은 크게 양안에 의한 것과 단안에 의한 것 두 가지로 나눌 수가 있다. 양안에 의한 요인은 양안시차(binocular disparity)와 양안의 수렴(convergence)이고, 단안에 의한 요인은 초점조절(accommodation)과 운동시차(motion parallax)등이 있다.

일반적인 스테레오스코픽 디스플레이는 이중에서 양안에서 발생하는 양안시차와 양안의 수렴을 통해 입체감을 느낄 수 있는 디스플레이이다. 하지만 이 방식은 각각의 눈의 초점과 양안의 수렴하는 위치가 일치하지 않아 눈의 피로감을 느끼게 된다. 그림 1은 일반적인 스테레오스코픽 디스플레이에서의 눈의 피로현상이 발생하는 원인을 보여주고 있다. 관찰자는 2차원 영상을 제공하는 디스플레이 면에 각각의 눈의 초점을 맞추고 있지만 두 눈이 수렴하면서 두

Display (stereo)

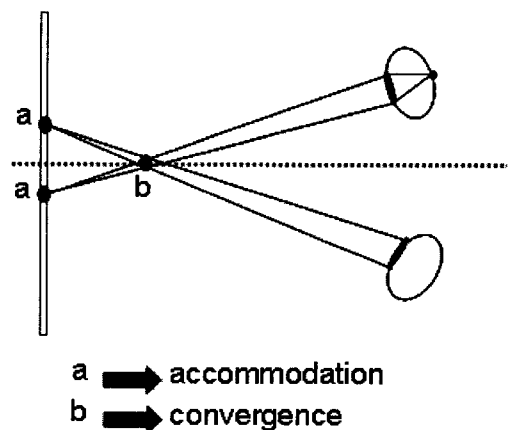


그림 1. 초점조절과 수렴작용의 불일치

Fig 1. Discord between accommodation and convergence

개의 이미지가 융합되어 입체감을 느낄 수 있는 위치는 디스플레이 면이 아닌 관찰자와 디스플레이 면 사이의 수렴점이다. 이 때, 디스플레이 면은 각각의 눈에 영상을 제공하는 가장 자연스러운 초점 깊이이다. 만약 관찰자가 임의로 초점을 수렴점으로 옮긴다면 2차원 영상을 제공하는 디스플레이 면에 정확히 초점이 맺히지 않아 수렴점에서는 영상이 선명하지 않고 흐려지는 비초점화 현상이 발생한다. 이것이 ‘양안의 수렴작용과 단안의 초점조절 사이의 불일치’이다. 이러한 현상은 눈에 부담으로 작용되어 장시간 사용 시 눈의 피로현상 원인이 된다.

## 2. 초점조절의 원리

눈의 동공 크기는 개인차가 있지만 대략 2~8mm 이내이고 주위의 밝기에 의하여 크기는 조절된다. 만약, 눈의 동공의 크기 내에 최소 2개의 시차영상을 제공한다면 주시하고자 하는 깊이에 초점을 맞출 수 있을 것이다. 이것은 수정체의 두께 조절 작용에 의한 초점조절이 가능하기 때문이다.

눈의 초점조절의 작용의 원리를 그림 2에 표시하였다. 각각의 점광원에서 출발한 빛을 간단하게 세 개의 점선들과 실선들로 표시하였다. 이 점선들과 실선들은 눈의 동공 앞의 각기 다른 위치에 도달하게 된다. 이 선들은 수정체를 통과하면서 수렴하게 된다. 만약 관찰자가 가까이에 있는 점광원 1에 초점을 맞출 경우 수정체는 두꺼워져 망막에 정확히 상이 맺히게 되고, 반면 눈에서 멀리 있는 점광원 2에 초점을 맞출 경우 수정체가 얇아져서 망막에 상을 맺히게 한다. 하지만 각각의 경우에 다른 위치에 있는 점광원들은 정확히 상이 맺혀지지 않으므로 상이 흐려지게 된다.

이 때, 각각의 세 선들 사이에는 점광원 1,2의 공간상의 위치에 따라 미세하게 다른 시차가 존재하게 된다. 이 시차를 이용한 시차영상을 제작하여 눈의 동공 앞에 각각의 위치에 제공하여 준다면 우리는 앞서 언급한 시차영상을 이용한 초점조절 결과를 얻을 수 있는 것이다. 그림 2에서는 간단히 3개의 수평시차 영상만을 표시했지만 실제 본 논문에서는 4개의 수평시차 영상을 사용하여 실험하였

고 그에 대한 결과를 나타내었다. 또한 본 논문의 실험보다 더 많은 수평시차 영상 및 수직시차 영상을 관찰자의 동공에 제공한다면 관찰자 눈의 움직임에 대한 자유도는 커지고 관찰자는 더욱 자연스러운 입체영상을 관찰할 수 있게 된다.

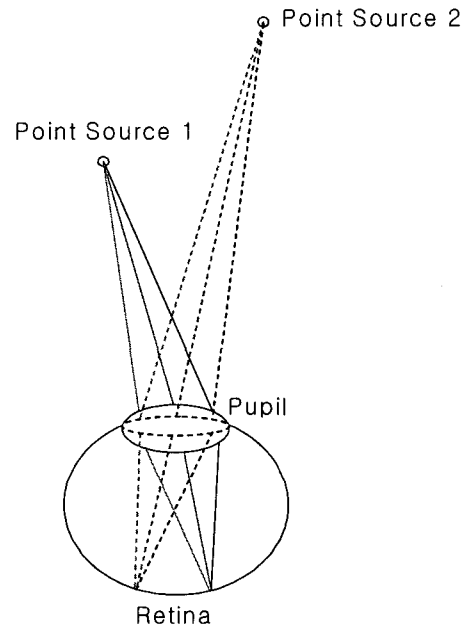


그림 2. 초점조절의 조건  
Fig. 2. Condition of focus adjustment

## Ⅲ. 실험

### 1. 광학 설계

그림 3은 실험의 개략도이다. 실험에서는 광원으로 적색 파장(최고 파장 601nm, 주파장 610nm)영역의 4개의 LED를 사용하였다. LED간의 간격은 2.21mm이다. 또한 영상 제공소자로는 DMD(Digital Micro-mirror Device)를 사용하였다. DMD는 컴퓨터에서 제공된 4개의 시차영상들을 순차적으로 표시하게 되고 DMD에서의 출력신호는 ring counter 회로를 통하여 4개의 LED가 각각의 시차영상들과 동기 되어지도록 설계되었다. 이 때, DMD는 600Hz로 동

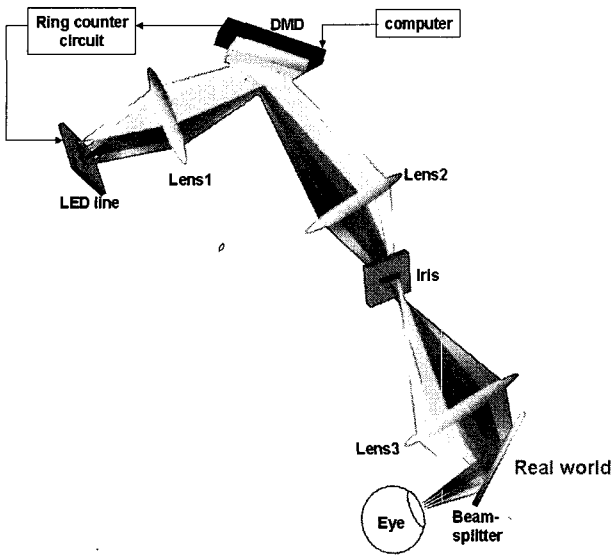


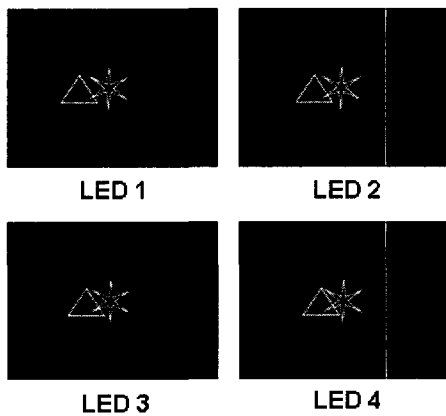
그림 3. 실험의 개략도  
Fig. 3. Experimental setup

작한다. 각각의 LED에서 발광된 빛들은 초점거리 100mm인 렌즈 1을 지나면서 평행광이 되어 DMD에 입사하게 된다. 이 때, DMD에서 제공된 영상을 포함하여 반사된 빛은 초점거리 110mm인 렌즈 2를 통과하여 공간상의 각기 다른 곳에 수렴되게 된다. 이 때, 조리개를 통하여 수렴된 각각의 빛의 0차광만을 통과시키게 된다. 조리개를 통과한 빛

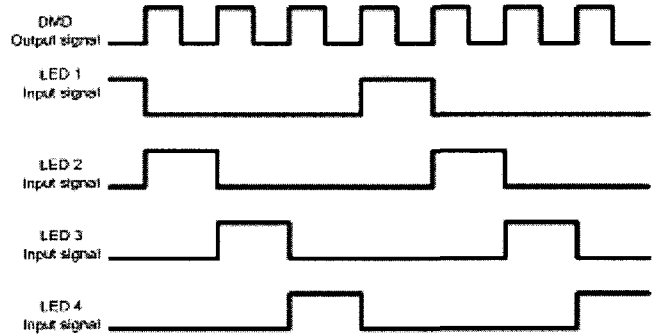
은 다시 렌즈 3(렌즈사의 거리가 38mm이고 초점거리 150mm인 2개의 렌즈군)을 통과하여 눈의 동공 앞의 각기 다른 위치에 수렴 된 후 관찰자의 눈에 입사하게 된다. 이 때, 렌즈 3과 관찰자의 눈 사이에 beam splitter를 놓아 실제 공간상의 물체들도 관찰자가 관찰할 수 있도록 하였다. 이 결과를 초점조절이 가능한 비디오 카메라를 통해 관찰하게 된다. 각 컴포넌트간의 거리는 DMD부터 렌즈 2까지는 160mm, 렌즈 2부터 조리개까지의 거리는 110mm, 조리개부터 렌즈 3의 거리까지는 290mm이고 렌즈 3부터 카메라 또는 눈까지의 거리는 90mm이다.

## 2. LED와 DMD의 동기

본 시스템의 가장 중요한 부분은 광원소자인 4개의 LED line과 영상제공소자인 DMD를 통한 4개의 시차영상의 동기이다. 간단한 ring counter 회로를 이용하여 동기회로를 구성하였다. 그림 4는 제공된 시차영상과 LED와의 동기신호를 나타낸 것이다. (a)는 각각의 LED가 표현하게 되는 DMD에 제공된 시차영상들이다. 제공된 시차영상의 시차는 각각 1.6mm이다. 작은 시차 때문에 각 시차영상들 간의 다른 깊이를 표현하는 물체(삼각형과 별)의 위치변화는 적게 나타난다. (b)는 DMD의 출력신호와 ring counter회로



(a) DMD에 제공된 시차영상  
(a) Parallax images provided in DMD



(b) DMD의 출력신호와 각 LED의 입력신호  
(b) Output signal of DMD and input signal of each LED

그림 4. 시차영상과 동기신호  
Fig. 4. Parallax images and sync signal

에 의하여 4개의 LED에 제공되는 4개의 입력신호를 나타낸 것이다. (a)의 각각의 영상은 순차적으로 LED와 동기되어 있음을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 과

본 실험에서는 기존의 투시형 HMD에서 가상데이터의 고정된 초점으로 인한 문제점으로 알려진 3차원 영상의 장시간 사용 시에 발생하는 눈의 피로현상과 관찰자의 주시 깊이가 능동적으로 변함에 의해 발생하는 가상데이터의 비초점화 현상을 제거하고자 하였다. 그 방법으로 다초점 3차원 디스플레이를 투시형 HMD방식에 적용하였다. 또한 기존의 단안용 다초점 3차원 디스플레이에서 일정 깊이에 설계된 가상데이터들이 실제 측정 시 추출된 깊이가 다른 현상을 단안시차의 간격 조절 및 광학시스템의 조율을 통하여 개선하였다.

실험에서는 그림 4의 (a)의 4개의 시차영상을 이용하여 가상데이터의 실험 결과를 얻었다. 시차영상에서 삼각형은 관찰자 앞 0.3m 깊이에 위치하고 있으며 별은 관찰자 앞 1.3m에 위치하도록 설계되었다. 또한 그림 5는 실제공간상에 위치하게 될 물체이다. 이 물체는 크기가 같은 표지(가로\*세로, 7.5cm \* 7.5cm)에 물체가 위치하게 될 거리인 0.3m와 1.3m를 표시하고 있다. 그러므로 가상물체와 실제물체는 같은 깊이를 표현하고 있음을 알려준다.

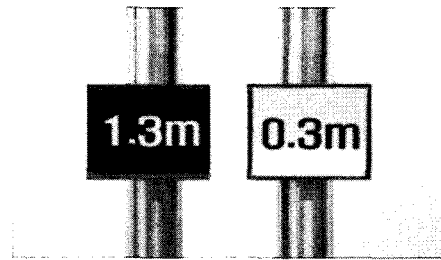
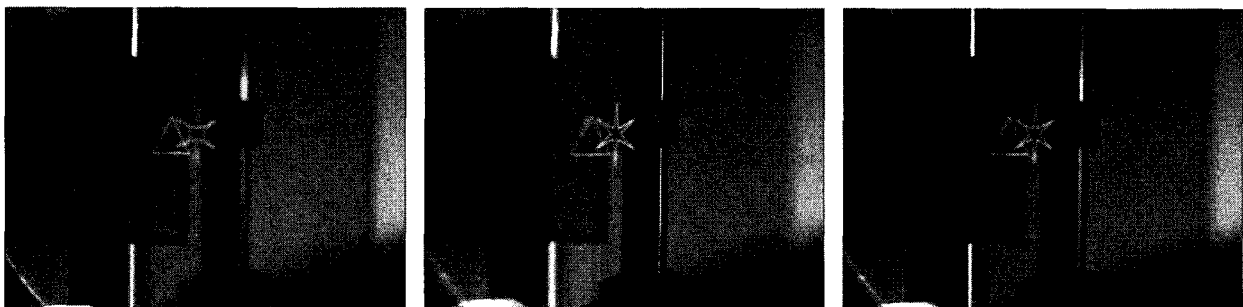


그림 5. 실제공간의 거리표지 물체  
Fig. 5. Distance sign of real world

그림 6은 비디오 카메라를 통하여 수동으로 초점거리를 변화시켜가면서 촬영한 영상들이다. 각각의 영상들에서 거리표지는 카메라에서 상대적으로 가까운 0.3m 표지가 크고 상대적으로 먼 1.3m 표지가 작게 나타남으로서 두 표지가 카메라에서 다른 깊이 0.3m, 1.3m에 위치해 있음을 나타내고 있다. (a)는 카메라의 초점거리 약 0.3m일 때의 경우로서 실제 물체인 0.3m 표지에 초점이 맞추어져 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 DMD에서 제공된 가상데이터 중 0.3m에 설계된 삼각형이 선명하게 초점이 맞춰져 있음을 확인할 수 있다. 반면 1.3m에 설계된 별은 흐려져 있음을 확인할 수 있다. 이것은 자연스러운 비초점화 현상이다. (b)는 카메라의 초점거리를 약 1.3m에 맞추었을 경우를 나타낸 것이다. 이 경우에는 뒤쪽에 있는 1.3m의 표지에 정확히 초점이 맞추어지고 앞의 0.3m 표지는 흐려짐을 볼 수 있다. 가상데이터도 1.3m에 있는 별은 초점이 맞아 선명하게 보이고 0.3m에 있는 삼각형은 흐려짐을 확인할 수 있다. 하지



(a) 약 0.3m에 초점을 맞추었을 경우  
(a) Focus on 0.3m

(b) 약 1.3m에 초점을 맞추었을 경우  
(b) Focus on 1.3m

(c) 약 0.5m에 초점을 맞추었을 경우  
(c) Focus on 0.5m

그림 6. 초점 조절의 실험 결과  
Fig. 6. Experimental result of focus adjustment

만 본 시스템은 수평시차만을 제공하므로 삼각형에서 수평 부분인 밑변은 피로현상이 나타나지 않았다. 위의 두 결과는 카메라나 관찰자의 주시 깊이에 따라 초점조절이 가능함을 나타내고 있다. 그러므로 3차원 영상을 느낄 수 있는 효과중 하나인 초점조절로 입체감을 느낄 수 있다. 또한 (c)는 카메라의 초점거리를 0.3m~1.3m 사이인 약 0.5m에 맞추었을 경우이다. 이 경우 삼각형과 별 모두 (a),(b) 경우보다 흐려짐은 덜 하지만 두 물체 모두 흐려짐 현상이 나타난다. 이 경우는 카메라의 초점이 0.5m에 맞추어져 있기 때문에 삼각형과 별 모두 초점이 맞지 않았고, 카메라의 초점이 두 물체의 중간에 있기 때문에 앞의 두 영상의 비초점화 현상보다는 흐려짐의 정도가 작게 나타난 것이다. 이것은 0.3m, 1.3m 뿐만 아니라 모든 구간에서 초점조절이 가능함을 나타내고 있는 것이다. 그러므로 본 시스템은 모든 깊이에서 가상데이터의 초점조절이 가능함을 확인할 수 있다.

위의 다초점 투시형 HMD의 결과를 기존의 투시형 HMD방식들과 비교하여 보았다.

표 1은 단안용 투시형 HMD의 문제점 및 각 방식에 따른 문제점 개선 여부를 나타내고 있다. 일반 투시형 HMD에서 문제가 되고 있는 비초점화 현상은 retinal projection display와 다초점 투시형 HMD 모두 해결 가능하다. 그러나 다초점 투시형 HMD는 관찰자가 선택한 깊이의 초점조절이 가능하고 단안에서의 초점조절 기능에 따른 입체감을 느낄 수도 있다.

표 1. 단안용 투시형 HMD의 문제점 및 개선 여부  
Table 1. Problems and its improvement check sheet of see-through HMD in monocular system

방식 \ 문제점	비초점화 현상의 해결	선택 깊이의 초점조절	단안 입체감
일반 투시형 HMD	불가능	불가능	불가능
retinal projection display	가능	불가능	불가능
다초점 투시형 HMD	가능	가능	가능

표 2는 단안용 투시형 HMD를 양안에 적용하였을 때 스테레오스코픽 디스플레이에 의한 눈의 피로현상 문제의 해결 가능성을 보여주고 있다. 기존의 일반 투시형 HMD는 각각의 눈에 하나의 시차영상을 제공함으로써 ‘양안의 수

표 2. 양안용 투시형 HMD에서의 눈의 피로현상 해결 가능성  
Table 2. Solvability of eye fatigue phenomenon of see-through HMD in binocular system

방식 \ 문제점	눈의 피로현상 문제 해결
일반 투시형 HMD	불가능
retinal projection display	가능성 있음
다초점 투시형 HMD	가능성 있음

렴작용과 단안의 초점조절의 불일치’로 인한 눈의 피로현상이 발생한다. 이에 반하여 retinal projection display는 가상데이터의 긴 초점거리로 인하여 문제의 해결 가능성이 있다. 하지만 retinal projection display는 실제현실과 같이 관찰자가 주시하는 깊이가 아닌 곳에서 가상데이터의 자연스러운 흐려짐이 나타나지 않는 부자연스러운 현상이 발생하며, 영상이 관찰자의 동공에 정확히 입사하여야 하기 때문에 눈의 자유도에 제한도 받는다. 그러나 본 논문의 시스템인 다초점 투시형 HMD는 단안에 여러 개의 시차영상 제공으로 인한 초점조절이 가능한 방식으로 눈의 피로현상 해결의 가능성뿐만 아니라 관찰자의 주시 깊이가 아닌 곳에서의 가상데이터의 자연스러운 흐려짐으로 실제현실과 유사한 현상을 나타낼 수 있고, 또한 많은 시차영상을 관찰자의 동공 앞에 각기 다른 위치에 제공하므로 관찰자 눈의 자유도가 크다는 장점을 가지고 있다.

위의 비교분석에서 다초점 투시형 HMD는 기존 투시형 HMD방식보다 많은 장점을 가지고 있음을 본 실험 결과로서 확인할 수 있다.

## V. 결론

본 실험에서 우리는 관찰자의 동공 안에 여러 개의 시차영상을 제공함으로써 관찰자의 능동적 주시깊이에 의한 초점조절이 가능한 다초점 3차원 디스플레이 시스템을 단안용 투시형 HMD에 적용하였다. 그 결과, 단안에서도 초점조절에 의해 형성된 다초점으로 3차원 효과를 느낄 수 있었다. 또한 기존의 투시형 HMD에서 가상데이터의 고정된 초점으로 인하여 발생한 가상데이터의 비초점화 현상으로 가상

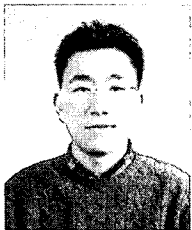
정보가 소실되는 문제도 해결하였고, 관찰자가 선택한 깊이의 초점조절도 가능하게 하였으며, 눈의 피로현상도 제거 혹은 완화시킬 수 있는 가능성을 확인하였다. 그러므로 이 결과를 양안용의 실제의 투시형 HMD에 적용할 경우 기존의 양안용 투시형 HMD에서 가상의 3차원 영상을 장시간 사용시 '양안의 수렴 작용과 단안의 초점조절 사이의 불일치'로 인하여 발생하는 눈의 피로감을 본 시스템의 다초점 구현을 통하여 제거 혹은 완화시킬 수 있을 것이다. 그러므로 본 시스템의 양안 적용에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] B.Javidi, F. Okano, Three-Dimensional Television, Video and Display Technologies, Springer, Germany, pp. 67-68, 2002.

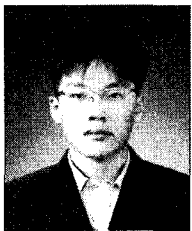
[2] 奥山文雄, 村松知幸, 所敬, “調節・輻輳・瞳孔の同時測定”, 日本眼光學會會誌, pp. 80-84, 1985.  
 [3] 奥山文雄, 八名和夫, 池田貴司, 小山田健二, “立體映像による眼のピント調節と輻輳”, テレビジョン學會技術報告, vol. 20, no. 24, pp. 13-18, 1996.  
 [4] S.-K. Kim, D.-W. Kim, M.-C. Park, J.-Y. Son, and T. Honda, "Development of the 2nd generation of HMD type multi-focus 3D display system", Proc. SPIE, Volume 6016, pp. P-1 ~ P-11, Nov. 2005.  
 [5] D.-W. Kim, T.-K. Lim, Y.-M. Kwon, S.-K. Kim, "Development of a time multiplexed HMD type multi-focus 3D display system", IMID 2006, Daegu, pp. 1314, Aug. 2006.  
 [6] T. Okosh, Three-Dimensional Imaging Techniques, Academic press, New York, pp. 49, 1976.  
 [7] G. Westheimer, "The maxwellian view" Vision Res. vol. 6, no.6, pp. 669, Dec. 1966.  
 [8] T. Ando, K. Yamasaki, M. Okamoto, T. Matsumoto, E. Shimizu, "Retinal projection display using holographic optical optical element" Proc. SPIE, vol. 3956, pp. 211, Mar. 2000.

저 자 소 개



김 동 옥

- 2003년 : 강원대학교 물리학과 학사
- 2005년 : 고려대학교 물리학과 석사
- 2005년 ~ 현재 : 한국과학기술연구원 학생연구원
- 2005년 ~ 현재 : 고려대학교 물리학과 박사과정
- 주관심분야 : Multi-focus display system, Digital holography



윤 선 규

- 2004년 : 제주대학교 물리학과 학사
- 2005년 ~ 현재 : 제주대학교 물리학과 석사과정
- 주관심분야 : Digital holography, Multi-focus display system



김 성 규

- 1989년 : 고려대학교 물리학과 학사
- 1991년 : 고려대학교 물리학과 석사
- 2000년 : 고려대학교 물리학과 박사
- 1999년 ~ 2001년 : Telecommunications Advancement Organization, Japan(PostDoc)
- 2001년 ~ 현재 : 한국과학기술연구원 영상미디어연구센터 선임연구원
- 주관심분야 : Multi-focus display system, Digital holography, Floating image system