

집적 부양 기술을 이용한 3차원 디스플레이 시스템

송병섭 · 민성욱 (경희대학교 정보디스플레이학과)

1. 3차원 디스플레이 시스템의 정의와 분류

현실세계의 시각정보를 그대로 모방하고자 하는 인간의 욕구는 선사시대의 벽화 이래로 지속적으로 진화되어 왔고, 특히 최근 들어 정보 통신 기술의 발달과 더불어 궁극의 전달 효과를 갖는 3차원 디스플레이 시스템에 관한 연구가 활발하게 진행 중이다. 인간이 3차원을 인식하는 인지 요소는 크게 심리적인 요소와 생리적인 요소가 있다. 3차원 디스플레이 시스템이란 이러한 인지 요소 중 생리적 인지 요소에 호소하여 입체 영상을 표시하는 디스플레이 장치이다. 현재까지 개발된 3차원 디스플레이 시스템은 사용하는 인지요소에 따라 분류할 수 있는데, 스테레오스코픽(stereoscopic) 방식은 이중 양안시차를 이용하는 방식이다. 양안 시차란 인간의 두 눈이 약 6[cm] 간격을 가지고 물체를 관찰하기 때문에 발생하는 것으로, 관찰자의 뇌는 오른쪽 눈과 왼쪽 눈에서 전달되는 영상의 시차를 이용하여 물체의 거리와 입체감을 파악한다. 관찰자의 오른쪽 눈과 왼쪽 눈에 물체의 3차원 위치를 가정하고 그에 상응한 서로 다른 영상 정보를 제공하게 되면 관찰자는 지정된 위치에 그 물체가 있다고 느끼게 된다. 스테레오스코픽 방식 시스템은 이 점을 이용하여 디스플레이에서 관찰자의 양쪽 눈

에 다른 영상 정보를 제공함으로써 관찰자가 미리 지정된 공간에 물체가 3차원 영상을 볼 수 있도록 표현하는 시스템으로 보조 안경의 사용여부에 따라 다시 안경식과 무안경식으로 나뉜다.

안경식 스테레오스코픽 방식은 특수 제작된 안경을 이용하여 디스플레이에서 나오는 좌안 영상과 우안 영상을 선별하여 받아들이는 방식으로 특수 안경에는 보색을 이용한 아나그라프(anagraph)용 안경, 편광을 이용한 편광 안경, 시간차를 이용한 액정 셔터 안경 등이 있다. 안경식 스테레오스코픽 방식은 가격이 싸고 제작, 구현이 쉽다는 장점을 지녀 테마파크의 입체 영화관이나 게임기 등으로 사용된다. 하지만 안경을 쓰는 것에서 생기는 불편함과 시청하기 위해서 준비 과정이 필요하다는 단점이 있고, 좌우 영상이 뇌에 전달되어 3차원 영상으로 구현되면서 생기는 오차 등은 두통을 유발하는 등 기술적인 한계도 발견되었다.

이에 반해 무안경식 스테레오스코픽 방식은 기존의 안경식에서 단점으로 지적되던 특수 안경 대신 디스플레이 앞에 특수한 광학 장치들을 설치하여 나오는 좌안 영상과 우안 영상을 원하는 위치에 전달하는 방식으로 기존의 발전된 기술로도 적절한 해상도와 화질을 갖는 3차원 영상 구현이 가능하다는 강점을 지니고 있어 현재 가장 활발하게 연구되고 있는 주제이

다. 무안경식 방식은 사용하는 광학 장치의 종류에 따라 렌티큘러 렌즈(lenticular lens), 시차 장벽(parallax barrier), 홀로그래픽 광학 소자(holographic optical elements, HOE), 렌즈 어레이(lens array) 등을 이용하는 시스템으로 분류할 수 있다.

부피 표현(volumetric) 방식은 인간의 눈의 잔상 효과를 이용하여 물체의 단면을 빠르게 연속적으로 제공함으로써 일정 공간에 3차원 영상을 구현하는 방식이다. 부피표현 방식의 디스플레이 장치들은 공간 상에 일정한 좌표를 지니는 2차원 화소(pixel)의 대응 개념인 공간 화소(voxel)를 가지게 되고 깊이감 뿐만 아니라 연속적인 시차를 구현할 수 있다. 이 방식의 디스플레이 장치들은 회전 스크린 등의 투영장치나 특수 표현 매체를 이용함으로써 구현할 수 있으며, 이들 매체의 종류에 따라 가변 초점 거울(varifocal mirror) 디스플레이 장치, 회전 스크린(spinning screen) 디스플레이 장치, 광 교차(crossed beam) 디스플레이 장치 등으로 나눌 수 있다. 부피표현 방식은 다양한 각도에서 관찰이 가능한 3차원 영상을 구현할 수 있다는 장점이 있지만, 표시 매체가 기계적인 움직임을 필요로 하거나 고가이고, 영상의 크기가 매체의 크기에 제한을 받으며, 고화질의 영상을 다양한 시점으로 표시하기 위해서는 지나치게 많은 정보량을 필요로 한다는 단점 때문에 아직까지 상용화에는 한계가 있다.

홀로그래픽(holographic) 방식은 물체의 표면에 반사되는 빛의 밝기정보와 위상 정보를 통해 물체가 3차원으로 표현된다는 점에 착안하여 물체에서 반사되는 빛을 위상정보와 함께 저장하였다가 저장하는 기술이다. 이 기술은 앞서 소개한 방식과는 달리 인간의 인지요소나 잔상효과 어느 것에도 기인하지 않고 완벽하게 3차원 영상을 구현해낸다는 특징을 가진다. 현재 홀로그래픽 기술은 거의 레이저와 같은 가간섭성(coherent)을 갖는 빛의 간섭효과를 이용하고 있

기 때문에 홀로그래픽 방식의 디스플레이 장치들도 많은 경우 레이저를 이용하고 있다. 아직까지는 레이저의 관찰 특성이 좋지 않고 이를 이용해 원하는 것을 표시하기 위해서는 엄청난 정보량이 수반되어야 하기 때문에 바로 관찰할 수 있는 총천연색 동영상 홀로그래픽 시스템을 개발하는데 한계가 있다. 현재 실용화된 홀로그램은 레인보우 홀로그램, 립만 홀로그램 등 홀로그램 사진과 그 응용 기술 등이 있다.

2. 집적 부양 기술

본 논문은 무안경식 스테레오스코픽 방식의 하나인 집적 부양 시스템(integral floating system)에 관한 것으로, 집적 부양 시스템은 집적 영상 기술과 부양 기술을 합친 기술로서 2차원 디스플레이에서 나오는 2차원 기초 영상을 렌즈 어레이의 성질을 이용하여 3차원 영상으로 변환하고 이를 다시 부양하여 3차원 영상의 입체감을 증강시키는 시스템이다. 집적 부양 시스템은 특수 안경 등 보조 장치가 필요 없다는 무안경식 시스템의 장점에 집적 영상 시스템의 한계인 입체 영상의 좁은 시야각과 제한된 표현 깊이 등의 관찰 특성 개선을 더한 시스템이다.

2.1 집적 영상 시스템

집적 영상 시스템(integral imaging system)은 1908년 프랑스의 물리학자 G. Lippmann에 의해 사진술의 형태로 처음 제안되었으며, 이후 지속적으로 연구되다 1990년대 후반 고해상도 촬영소자와 디스플레이 소자의 개발과 더불어 동영상이 가능한 3차원 디스플레이 시스템으로 본격적으로 연구되기 시작하였다. 그림 1은 집적 영상 시스템의 개념도이다.

집적 영상 시스템의 주요 특징은 (1) 특수 안경 등 보조 기구 없이 입체 영상을 관측할 수 있고, (2) 일정한 시야각 내에서 연속적인 시차를 제공하며, (3)

수평 뿐 아니라 수직 방향 시차도 제공하고, (4) 총 천연색 입체 영상을 표시할 수 있다는 점이다. 반면 (1) 입체 영상의 해상도가 2차원 화질에 비해 심하게 저하되고, (2) 시차의 왜곡 없이 입체 영상을 관찰 할 수 있는 시야영역이 제한되며, (3) 입체 영상의 두께 표현이 일정한 정도로 제한되는 등의 단점을 지니고 있어 이를 개선하기 위한 연구가 현재 활발하게 진행 중이다.

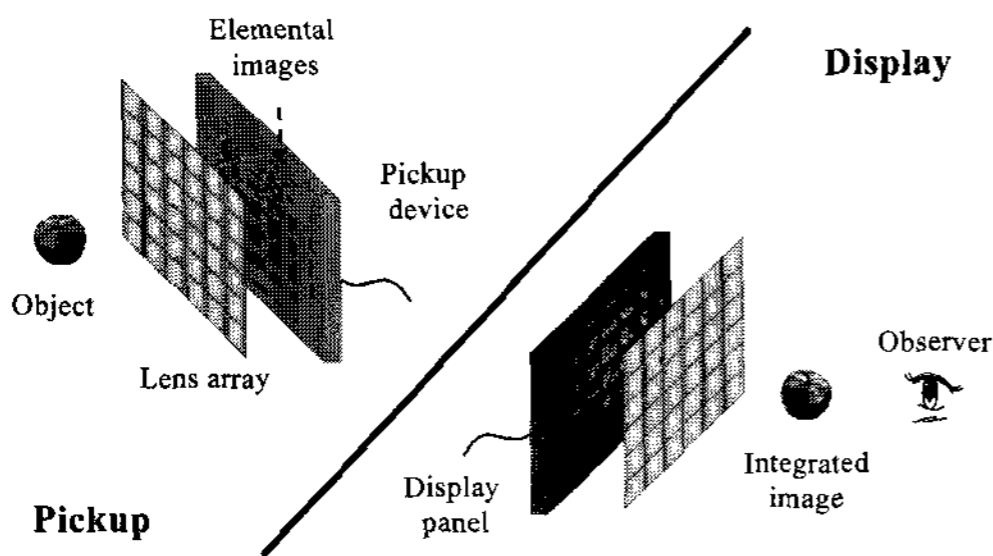


그림 1. 집적 영상 시스템의 개념도

2.2 전자-부양 (Electro-floating) 시스템

부양 시스템(floating system)은 3차원 대상물을 부양 렌즈(floating lens) 이용하여 이미지로 투영시키면서 입체감을 증가시키는 시스템이다. 다시 말해 부양 시스템은 어떠한 장치적 작용으로 3차원 영상을 만드는 것이 아니고, 단지 영상을 관찰자에게 가깝게 전달하여 입체감을 증가시키는 시스템이기 때문에 대상물에 위치에 2차원 디스플레이를 설치할 경우 관찰자에게 가까운 공간상에 2차원 영상 표시하게 될 뿐 진정한 의미의 3차원 디스플레이 시스템을 구현할 수는 없다. 전자-부양 시스템은 대상으로 3차원 영상을 이용하여 동영상 가능한 부양형 3차원 디스플레이 시스템을 만드는 것으로 대상 영상이 부피 표현적 특성을 가지고 있어야 올바른 3차원 영상 표시가 가능하다. 그림 2는 부양 시스템의 기본 개념도를 나타낸 그림이다. 그림 2에서처럼 특정 물체 앞에 부양 렌즈

를 놓고 반대편에서 관찰자가 부양 렌즈 쪽을 바라볼 때, 물체가 부양 렌즈 앞 특정 위치에 띄워져 있는 부양 이미지(floating image)를 관측할 수 있다. 이때 이미지는 부양 렌즈의 초점거리와 원래 물체의 위치에 따라 위치가 결정되고 부양 렌즈의 결상 현상에 의해 그림 2에서 나타난 것처럼 원래 물체의 방향에서 180[°] 회전되어 나타난다. 이러한 현상은 그림 2(b)에서처럼 전자-부양 시스템에서는 영상을 미리 180[°] 회전시키면 간단히 해결할 수 있다. 이러한 부양 시스템의 부양 렌즈는 같은 초점거리를 갖는 오목 거울로 대체될 수 있다.

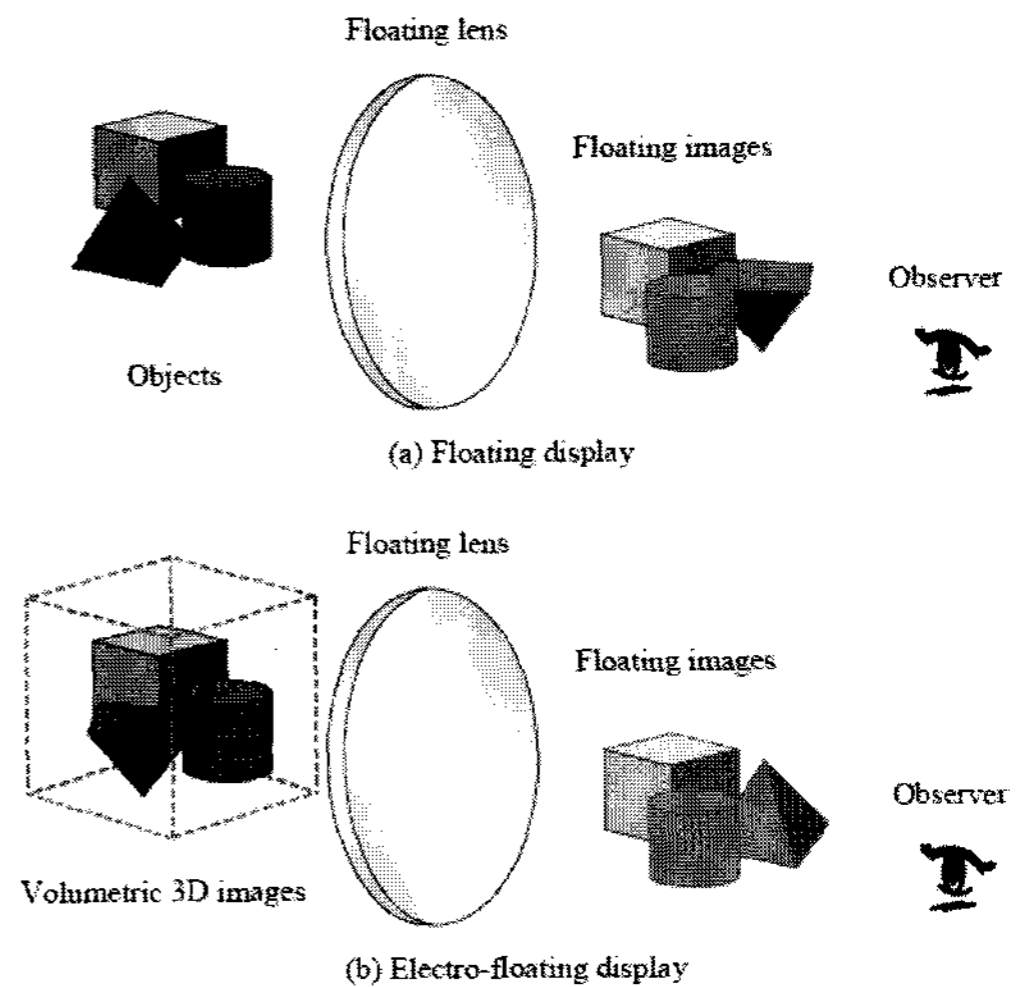


그림 2. 부양 시스템의 기본 개념도

부양 시스템의 시야 특성에서 중요한 관찰 요소로는 관찰자의 관측 가능 범위를 결정하는 시야각과 부양 이미지의 크기를 결정하는 확대능(magnification factor)이 있다. 그림 3는 부양 시스템의 시야각 특성을 보여주고 있는 그림이다. 그림 3에서 시야각은 이미지를 매우 작은 크기라고 가정할 때, Ω_1 로 표시된다. 이 때 시야각은 부양 렌즈와 부양 이미지 간의 거리, L_1 과 부양 렌즈의 직경, ω 에 의해서 결정된다. 하지만 이 가정을 토대로 실제로 관찰할 경우,

특집 : 3차원 디스플레이

그림 5에서와 같이 바깥쪽으로 관찰할수록 관찰자는 물체의 부분적인 부분만 볼 수 있게 된다. 결국 관찰자가 물체를 온전하게 보기 위해서는 부양 이미지의 크기, s_{fl} 를 고려해 생각해야 한다. 그렇게 부양 이미지의 크기까지 고려해서 나온 시야각의 크기는 그림 5에서 Ω_{fl_whole} 로 표시하고 있다. Ω_{fl_whole} 의 관계식은 다음과 같다.

$$\Omega_{fl_whole} = 2 \arctan \left(\frac{w - s_{fl}}{2L_{fl}} \right) \quad (1)$$

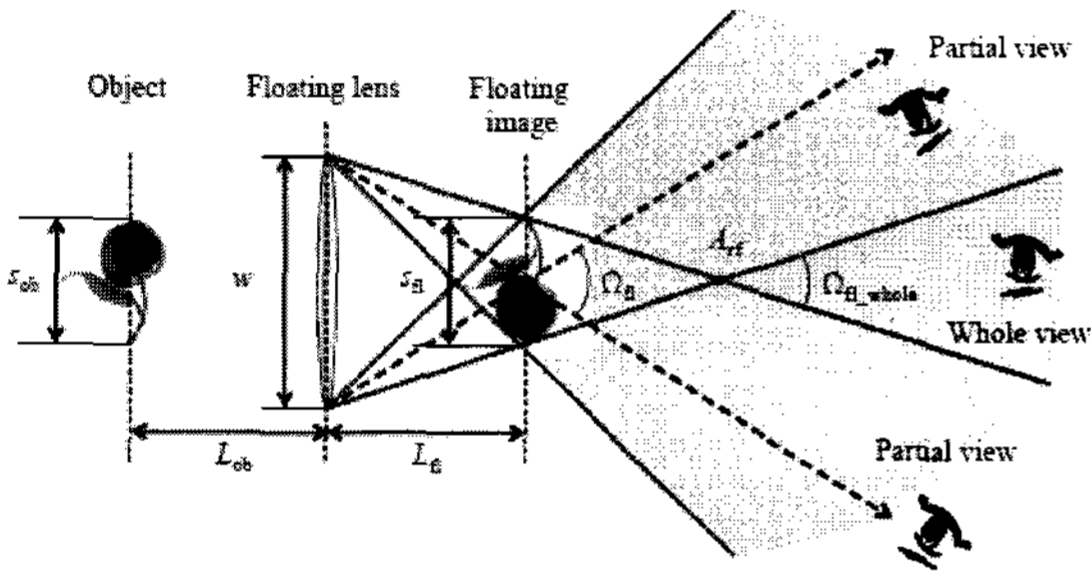


그림 3. 부양 시스템의 시야각 도식

확대능은 부양 렌즈에 들어오는 물체의 실제 크기에 대비하여 부양 렌즈 앞에 생기는 물체의 이미지의 크기가 늘어나거나 줄어드는 비율로서 그림 3의 M_{fl} 에 해당한다. 확대능은 물체와 부양 렌즈 사이의 거리, L_{ob} 에 대비한 부양 렌즈와 부양이미지 사이의 거리로 바꿀 수 있으며, 관계식은 다음과 같이 나타난다.

$$M_{fl} = \frac{s_{fl}}{s_{ob}} = \frac{L_{fl}}{L_{ob}} = \left| \frac{f_{fl}}{L_{ob} - f_{fl}} \right| = \left| \frac{L_{fl} - f_{fl}}{f_{fl}} \right| \quad (2)$$

부양 이미지의 깊이 방향 배치는 실물들 간의 관계와 동일하기 때문에 깊이 역전 현상이 나타나지는 않지만, 깊이 방향으로의 배율이 위치에 따라 바뀌기 때문에 부양 이미지들 사이의 간격은 실물 사이의 간격

과는 다소 차이가 생길 수 있다는 점은 영상 제작 시 고려해야 한다.

2.3 집적 부양 시스템

집적 부양 시스템은 간단하게 말해 집적 영상 시스템에서 나오는 3차원 집적 영상을 전자-부양 시스템의 대상 영상으로 사용하는 시스템이다. 앞에서 언급한 것 처럼 집적 영상 시스템은 무안경식 스테레오스코픽 방식의 3차원 디스플레이 시스템이지만 표시되는 집적 영상이 부피 표현적 특성을 갖기 때문에 부양 시스템의 대상 이미지로 사용될 수 있다. 이 경우 집적 영상은 그 시야각과 깊이감등의 관찰 특성이 크게 개선된다. 그림 4는 집적 부양 시스템의 구조이다.

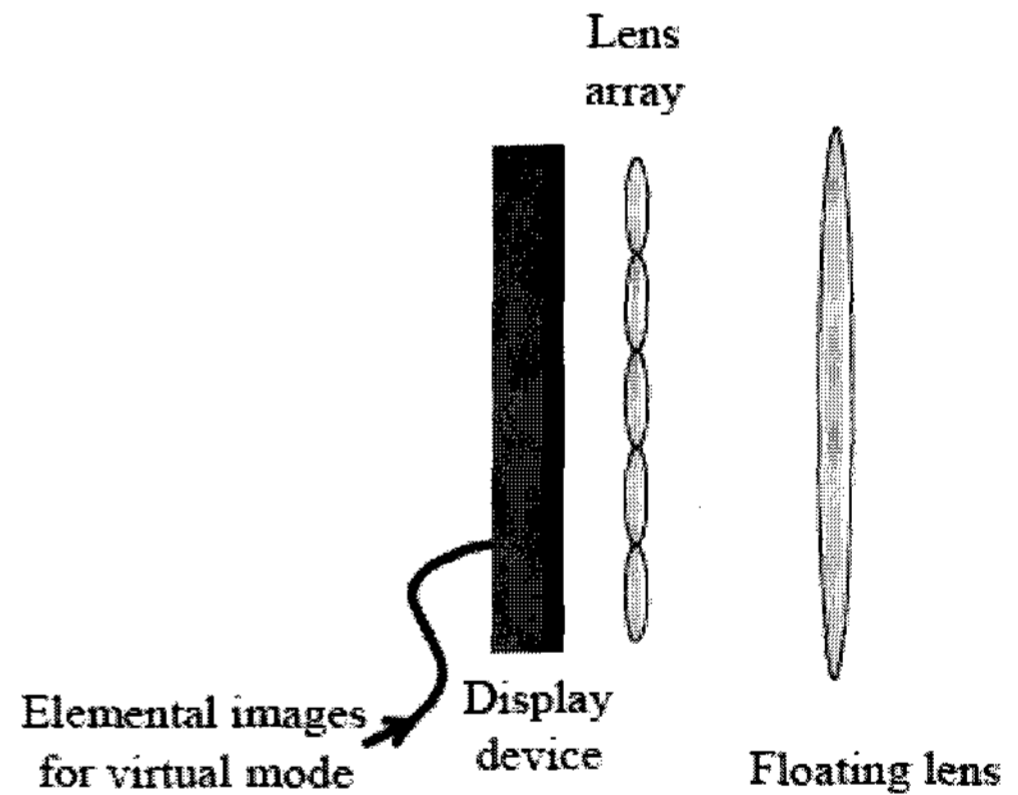


그림 4. 집적 부양 시스템

집적 부양 시스템은 기초 영상을 표시할 디스플레이 시스템과 집적을 위한 렌즈 어레이, 그리고 부양 렌즈로 구성된다. 일반적으로 집적 부양 시스템에 사용되는 집적 영상 시스템은 렌즈 어레이와 디스플레이 장치 간의 간격을 가상 영역을 표시할 수 있도록 렌즈 어레이의 초점거리 보다 짧게 맞춰 놓는다. 이것은 가상 영역의 집적 영상이 상대적으로 시야각이 넓고 해상도가 좋은 반면, 깊이감이 떨어지기 때문에 깊

이감을 크게 보상할 수 있는 부양 시스템에 적합하기 때문이다.

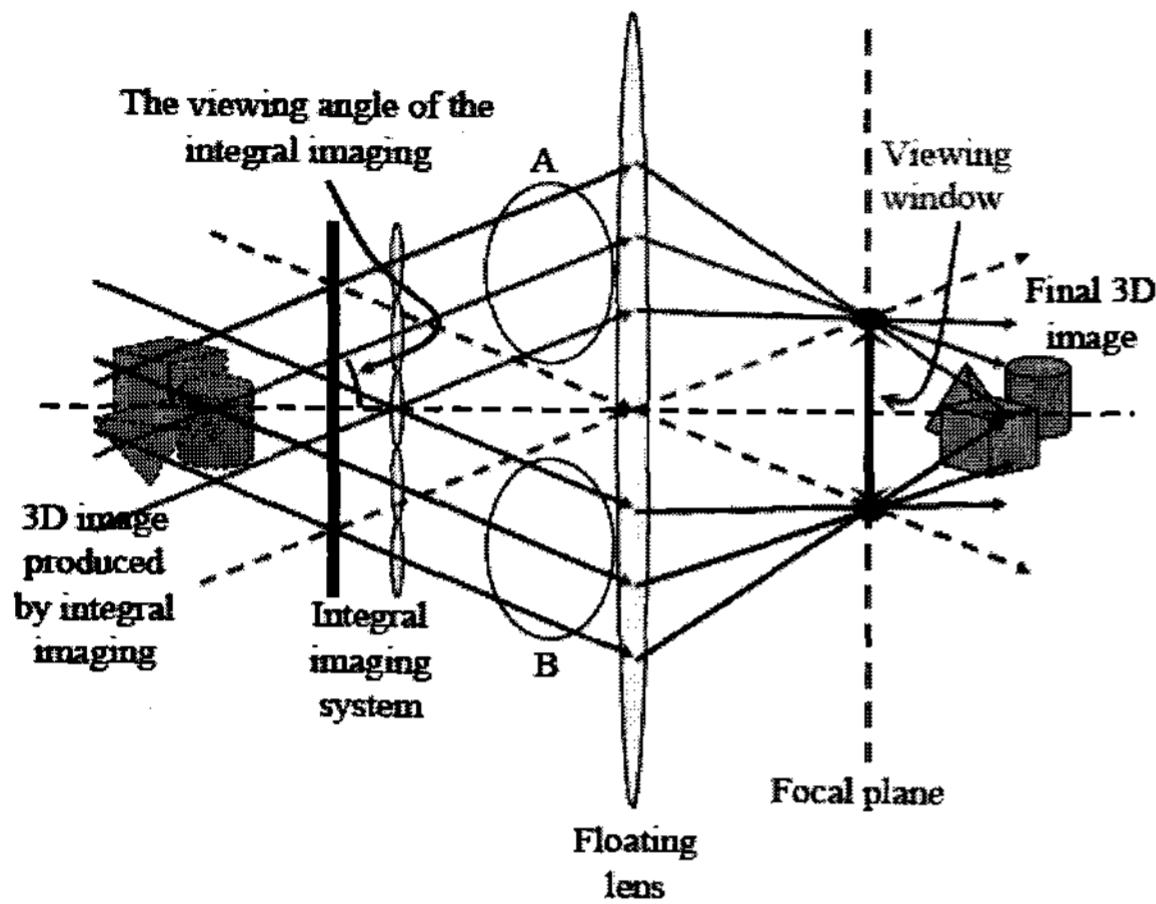


그림 5. 집적 부양 시스템의 시야창(viewing window)

집적 부양 시스템의 관찰 특성은 부양 시스템과 집적 영상 시스템의 관찰 특성들에 기인할 뿐 아니라 시야창(viewing window) 등 특유의 관찰 특성을 갖는다. 시야창은 부양 시스템의 대상인 집적 영상이 일정한 각도 안에서만 부피 표현의 특성을 지니는 시야각을 갖기 때문에 발생하는 특성으로 그림 5에서처럼 일정한 각도의 영상이 부양 렌즈를 통과하게 되면 공간적으로 일정한 범위 안에서 표시되게 된다. 이 공간적인 범위를 시야창으로 정의하며 시야창은 일반적으로 부양 렌즈의 초점위치에 위치하며 크기가 부양 렌즈의 초점거리에 비례한다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 렌즈 어레이를 통해 평행하게 나가는 빛은 부양 렌즈에 의해 굴절되면서 한 점으로 모이게 된다. 여기서 보조선은 렌즈 어레이에서 기초렌즈의 이미지가 주위 렌즈에 영향을 받지 않고 온전하게 구현되는 최대각을 갖는 선이다. 따라서 반복현상으로 왜곡되지 않은 영상은 부양 렌즈 앞에서 보조선들이 만나는 점 사이에서 표시되며, 이 영역이 시야창의 영역이다. 집적 부양 시스템에서 부양 렌즈와 이미지 사이의 거리가

렌즈의 초점거리보다 길어야 하기 때문에 이미지는 시야창 앞에 만들어진다. 그림 6은 시야창과 이미지 사이에 거리에 의해 발생하는 시야 제한에 대한 그림이다. 관찰자는 시야창을 통해서 이미지를 보아야 하기 때문에 그림 6에서 볼 수 있듯이 관찰자의 시야에 제한을 가져온다. 관찰자가 관측가능지역(viewing region) 밖에서 이미지를 바라볼 경우, 이미지가 온전하게 시야창을 통해서 볼 수 없게 되어 이미지의 일부분만 관측된다.

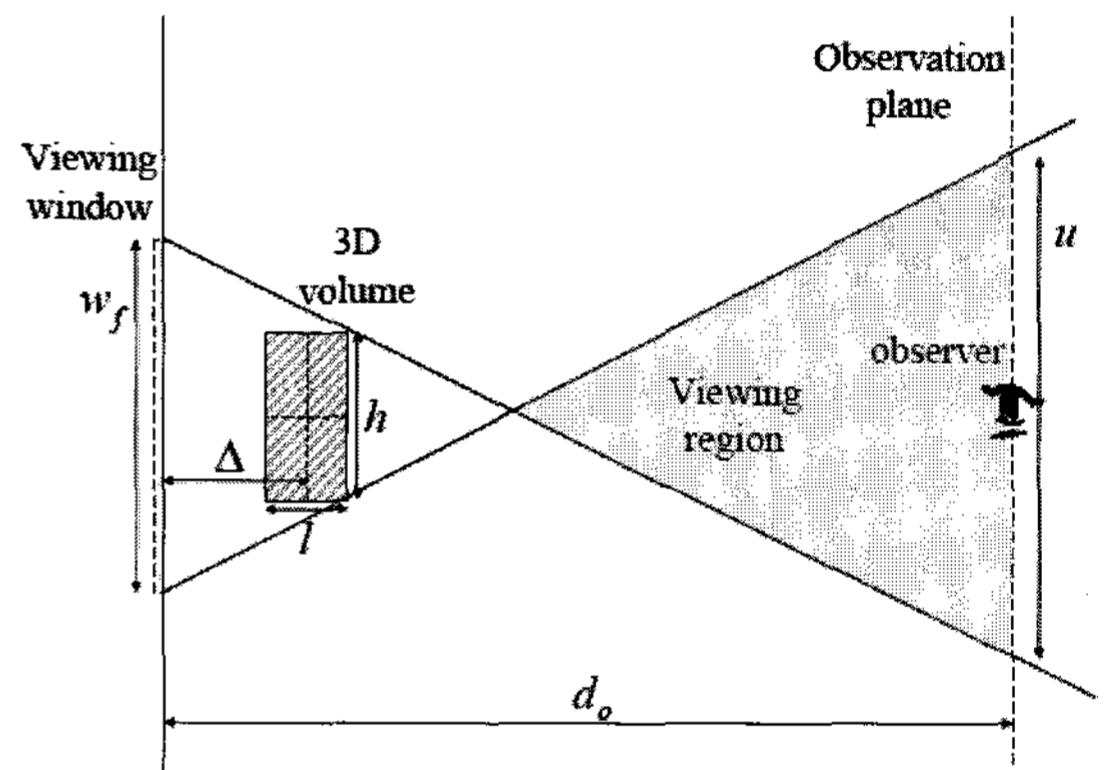


그림 6. 시야창과 이미지 사이의 거리에 따른 시야각 제한

이와 같은 문제점은 결국 이미지가 시야창과 관측자 사이에 있기 때문에 발생한다. 따라서 이미지와 시야창 사이의 거리 관계를 재조정하면 관측가능지역을 넓힐 수 있다는 계산이 나온다. 이미지의 위치를 옮기기 위해서는 부양 렌즈를 더욱 두꺼운 것을 사용해야 하거나 이미지의 크기나 해상도가 바뀌게 되는 문제점이 발생하게 되므로 이미지의 위치는 고정하고 시야창의 위치를 좀 더 이미지와 가깝게 옮긴다면 관찰자의 관측가능지역은 더욱 늘어날 수 있다. 그림 8에 나타난 관측가능지역 u 에 관한 관계식은 다음과 같다.

$$u = (w_f - h) \frac{d_o}{\Delta + \frac{l}{2}} + w_f \quad (3)$$

특집 : 3차원 디스플레이

여기에서 h 는 이미지의 높이, l 은 이미지의 두께, Δ 는 이미지와 시야창 간의 거리, d_0 는 시야창과 관찰자 사이의 거리를 의미한다. 앞에서 언급한 대로, 시야창은 평행하게 입사된 빛들이 부양 렌즈를 통해 모이는 영역을 의미한다. 이는 부양 렌즈에 입사하는 빛의 경로를 바꾼다면 시야창이 생성되는 영역을 바꿀 수 있다는 것을 의미한다. 그림 7에서 볼 수 있듯, 집적 영상 시스템에서 가상의 B와 C 영역에서 빛이 출발하는 것처럼 설계하고 이들 빛은 부양렌즈에 평행하지 않게 입사한다. 이 빛들이 부양렌즈를 통해 굴절되어 다시 모였을 때, 평행하게 입사되는 빛들과는 다른 곳에서 시야창을 형성하게 된다. 이러한 방식으로 시야창을 옮기게 되면 시야창을 이미지와 가까운 거리로 이동할 수 있게 되어 관찰자는 이미지를 보다 넓은 지역에서 관찰할 수 있게 된다.

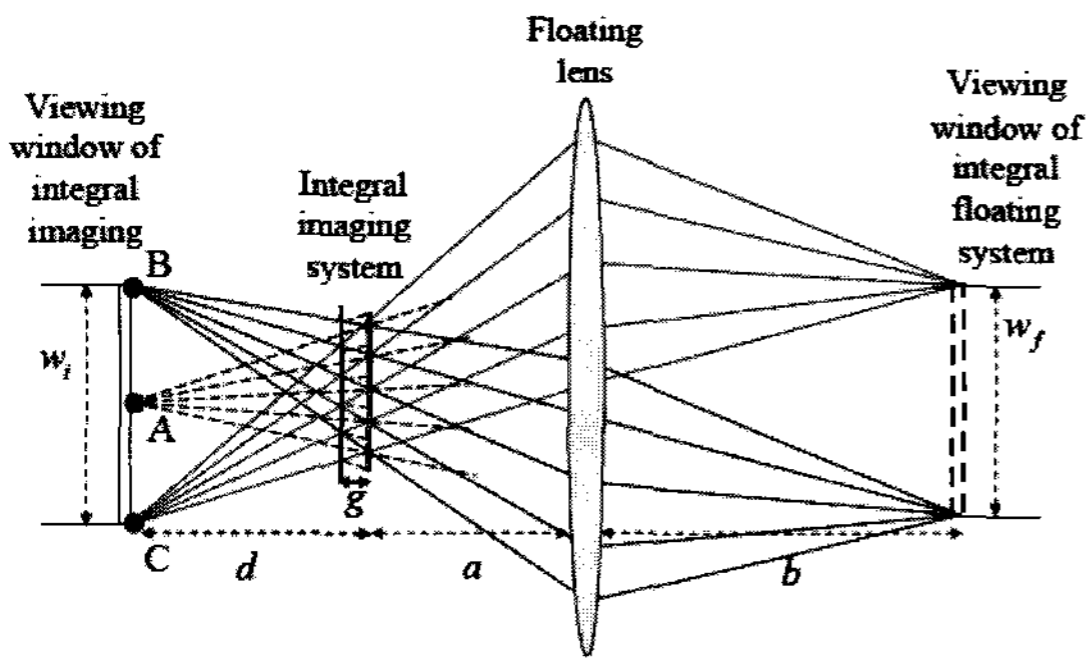


그림 7. 전자-부양형 집적 영상 시스템에서 시야창 형성도식

시야창의 크기를 늘리는 것 또한 관측가능지역을 넓히는 방법이 된다. 시야창의 크기가 커지게 되면 그만큼 관찰자가 시야창을 관측하기 수월해지고 이미지 대비 시야창의 크기가 커질수록 시야창과 이미지 사이의 거리에 따른 시야각 제한이 줄어들게 된다. 그림 9에서 시야창의 크기는 부양렌즈와 부양렌즈 이미지와의 거리 b 와 렌즈 어레이와 부양렌즈 사이의 거리 a , 부양렌즈의 초점거리 f_f , 부양렌즈의 직경 ϕ 에 따

라 결정된다. 시야창의 크기 w_f 의 관계식은 다음과 같다.

$$w_f = \phi \frac{bf_f - a(b - f_f)}{ff_f} \quad (4)$$

집적 부양 시스템의 시야 특성에서 관찰가능지역 범위를 설정하는 것 이외에 중요한 관찰 요소로 이미지 두께가 있다. 집적 부양 이미지는 집적 영상된 이미지의 깊이가 부양렌즈에 의해 증폭되는 형태이기 때문에 집적 영상 이미지의 한계 이미지 깊이와 중앙 깊이 평면의 거리에 의해서 결정된다. 그림 8을 보면 렌즈 어레이 왼쪽에 있는 세 점에서 초록색 점이 중앙 깊이 평면을 의미하고, 빨간색과 파란색 점은 한계 깊이 평면을 나타내는 것으로서 빨간색 점부터 파란색 점까지의 거리는 집적 영상 이미지의 두께, Δz_m 을 나타낸다. 집적 부양 이미지의 두께는 Δt_{fl} 로 표현되며 그 관계식은 식 (5)와 같다. 부양 집적 이미지의 두께는 중앙 깊이 평면에 대한 확대능 M 과 부양렌즈의 초점거리, 집적 영상 이미지의 두께 영향을 받는다.

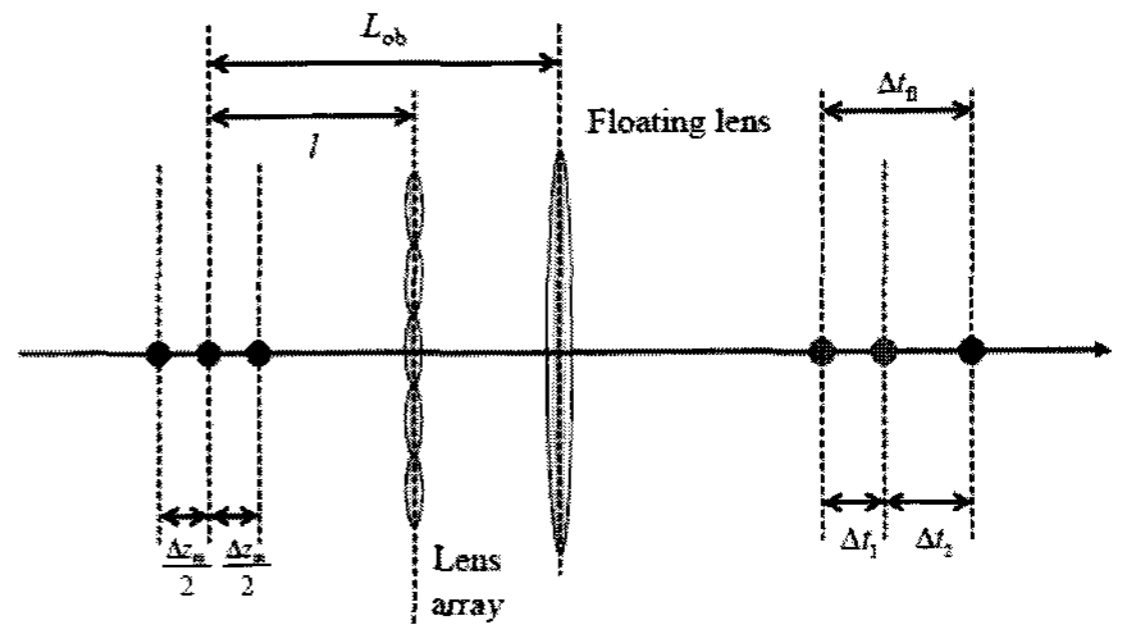


그림 8. 부양 집적 이미지의 두께

$$\Delta t_{fl} = \frac{\Delta z_m}{\left(\frac{1}{M}\right)^2 - \left(\frac{\Delta z_m}{2f_{fl}}\right)^2} \quad (5)$$

4. 결 론

본 논문에서는 이제까지 개발된 3차원 디스플레이 기술에 대해 간략히 소개하고 무안경식 스테레오스코픽 방식의 응용 기술 중 하나인 집적 부양 방식에 대해 설명하였다. 집적 부양 방식은 부양 시스템과 집적 영상 시스템을 조합한 기술로 기존의 집적 영상 시스템에서 제공되는 3차원 영상의 관찰 특성을 크게 개선한 것을 특징으로 하고, 시야창 등의 고유한 관찰 특성을 갖는다. 집적 부양 시스템은 향후 지속적인 연구가 진행될 것이고, 3차원 TV 등 3차원 디스플레이 응용 전 분야에서 중요한 역할을 할 것으로 기대되어 진다.

◇ 저 자 소 개 ◇



송병섭

2008년 2월 경희대학교 정보디스플레이학과 학사 졸업. 2008년 3월~현재 경희대학교 정보디스플레이 대학원 석사과정.

관심 분야 : 3차원 디스플레이 등 응용 광학 분야



민성욱

1995년 2월 서울대학교 전기공학과 학사 졸업. 1997년 2월 서울대학교 전기공학부 졸업(석사). 2004년 8월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 졸업(박사).

2004년 10월~2005년 11월 한국정보통신대학교 디지털 미디어 연구소 연구교수. 2005년 12월~2007년 8월 Virginia Tech 박사후 연구원. 2007년 9월~현재 경희대학교 정보디스플레이학과 전임강사.

연구 분야 : 집적 영상기술을 기반으로한 3차원 디스플레이 응용기술과 응용 광학 분야