

기술 특 집

집적영상을 이용한 3차원 디스플레이 기술

이병호, 김주환 (서울대학교 전기공학부)

I. 서 론

3차원(3D) 디스플레이 기술은, 기존의 평판 디스플레이 장치가 제공하는 2차원(2D) 영상이 아닌, 3D 공간 상에 물체가 실제로 존재하는 것과 같이 보이도록 3D 입체 영상을 표시하는 기술을 말한다. 이는 현재 제공되는 평면적인 시각 정보의 수준을 한 차원 높여주는 새로운 개념의 실감 영상 기술로서 차세대 디스플레이를 주도하는 큰 축이 될 것이다. 이에 따라 현재 3D TV, 3D monitor 등에 대한 연구가 여러 선진국에서 경쟁적으로 활발히 진행되고 있으며, 최근 들어 국내에서도 이러한 중요성을 인식하고 여러 산업체와 학계를 중심으로 연구를 활발히 진행하고 있다.

3D 입체 영상 디스플레이 기술을 분류하는 방법은 여러 가지가 있으나, 우선 안경 착용 여부에 따라 안경을 쓰는 방식(stereoscopy)과 안경을 쓰지 않는 방식(autostereoscopy)으로 나눌 수 있다. 또 안경을 쓰지 않는 방식은 구현 방법에 따라 양안 시차(binocular disparity)를 이용하는 방식, 체적형 방식(volumetric display), 홀로그래피 방식(holographic display)으로 나눌 수 있다. 안경 착용 방식은 이미 놀이공원 등에서 상용화 되었지만, 사용자에게 불편함을 주기 때문에 현재는 주로 안경을 쓰지 않는 방식이 연구되고 있다.

안경을 쓰지 않는 방식 중 양안 시차 디스플레이 방식은 사람이 3D를 인식하는 대표적인 요인인 양안 시차를 이용하는 방식으로 왼쪽 눈과 오른쪽 눈이 서로 다른 영상을 볼 수 있도록 해서 관찰자가 입체감을 느끼도록 하는 방식이다. 이 방식은 관찰자에게 강한 입체감을 줄 수 있으나, 볼 수 있는 시점이 제한되어 불연속적인 특정 위치에서만 올바른 3D 영상을 관측할 수 있고, 수직 시차를 제공하지 못하는 등의 단점을 가지고 있다. 또한 3D 인식의 다른 요인들을 제공하지 못하기 때문에 눈의 피로 현상을 야기시키는 것도 큰 문제점이다.

한편, 체적형 표시 방식은 실제로 공간상에 체적소(voxel; volume pixel)를 표시하는 방식으로서 최근 여러 기법들이 새로 제안되고 있으나 부피 문제 등 때문에 범용

화는 요원한 상태이다. 또 홀로그래피 방식은 가장 완전한 입체 영상을 재생할 수 있으나 처리해야 할 정보량이 너무 많고 고해상도 실시간 저장 및 재생 매체의 부재로 실용화에는 많은 시간이 걸릴 것으로 보인다.

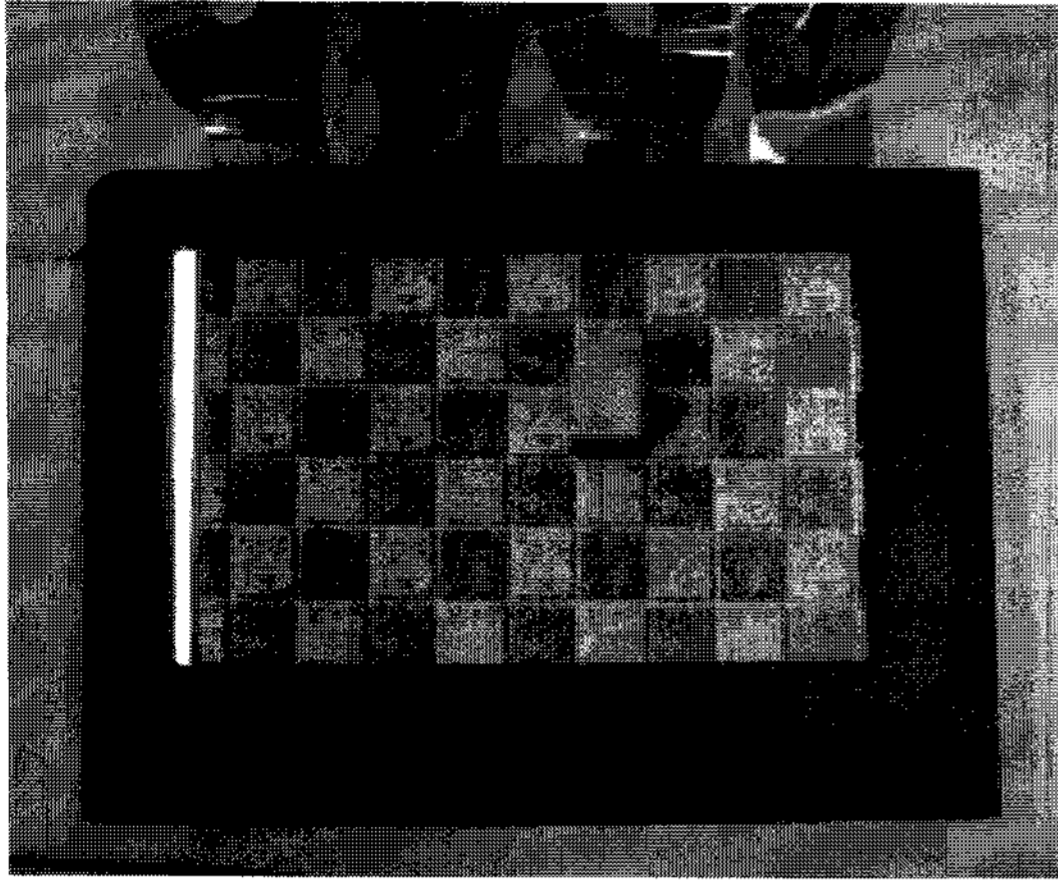
최근 이러한 기존의 입체 영상 디스플레이 기술들의 대안으로 집적영상(integral imaging) 기술이 큰 주목을 받고 있다. 집적영상 기술은 기존의 2D 평면 디스플레이 패널을 이용하므로 다른 방식에 비해서 기존 평면 디스플레이 기술과의 호환성이 좋고, 자연색의 동영상 재생이 가능하기 때문에 완전한 3D 디스플레이 기술로서 발전 가능성을 가지고 있다. 본 고에서는 이러한 집적영상 3D 디스플레이의 원리 및 연구 동향을 소개하고자 한다.

II. 집적영상 3D 디스플레이 기술

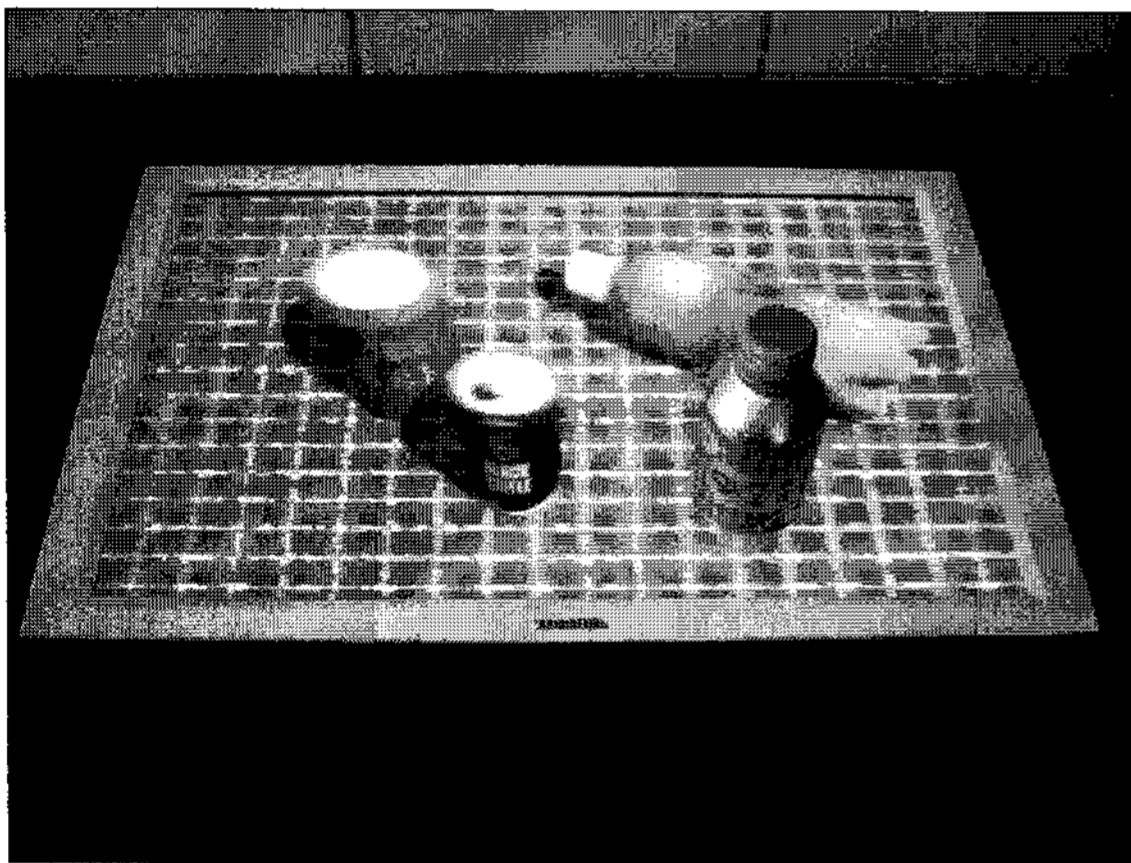
1. 집적영상 기술의 소개

집적영상 방식은 1908년 Lippmann에 의해 처음 제안된 것으로 매우 오래되었다.^[1] 처음 제안되었을 당시에는 렌즈 어레이의 제작상의 어려움과 영상 정보의 실시간 저장 및 재생 장치의 부재로 실제 시스템 구현에 문제가 있어 관심을 끌지 못하였다. 그러나 최근 컴퓨터 그래픽을 통한 기초 영상(elemental images) 생성이나 CCD(charge-coupled device) 및 LCD(liquid crystal display) 등의 전자 소자를 이용한 저장 및 재생이 가능해지면서 다시 주목을 받고 있으며, 현재 우리나라에서는 서울대, 광운대, 강원대가 집적영상 기술을 연구하고 있고, 일본의 NHK 연구소, 미국의 Javidi 교수 그룹(Univ. of Connecticut) 등에서 활발히 연구하고 있다.^[2-7] [그림 1]과 [그림 2]는 각각 Hitachi사와 Toshiba사에서 제작한 집적영상 기술을 이용한 3D 디스플레이이다.

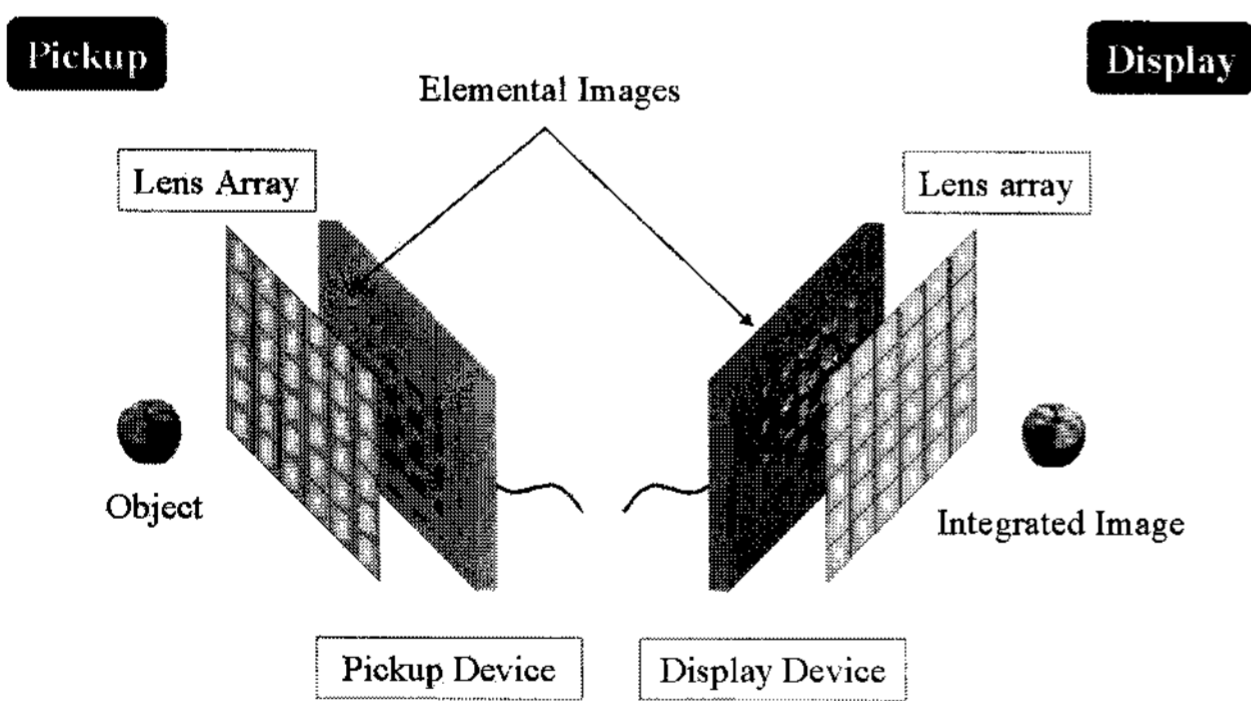
집적영상 방식은 2D 기초 영상 집합으로부터 특정 깊이를 갖는 3D 영상을 일정한 체적내에서 표현하는 방식으로 다른 다시점 양안시차 방식들과 차별화되며 분류에 따라서는 체적형 디스플레이 방식으로 취급되기도 한다.



[그림 1] Hitachi사의 집적 영상 시스템^[8]



[그림 2] Toshiba사의 집적 영상 시스템^[9]



[그림 3] 집적영상의 개념도

집적영상 방식은 [그림 3]과 같이 픽업(pick up)과 재생(디스플레이)의 두 단계로 구성된다. 이 과정에서 잠자리 눈을 모방한 다수의 수직, 수평방향 렌즈로 구성된 렌즈 어레이가 사용된다. 픽업 과정에서는 렌즈 어레이의 렌즈 하나가 카메라와 같은 역할을 하며, 3D 물체를 여러 방향에서 바라본 서로 다른 영상들이 각각의 렌즈를 거쳐 기초 영상 형태로 저장된다. 재생 과정에서는 이들 기초 영상들이 렌즈 어레이를 통하여 원래의 3D 영상으로 집적되게 된다. 픽업

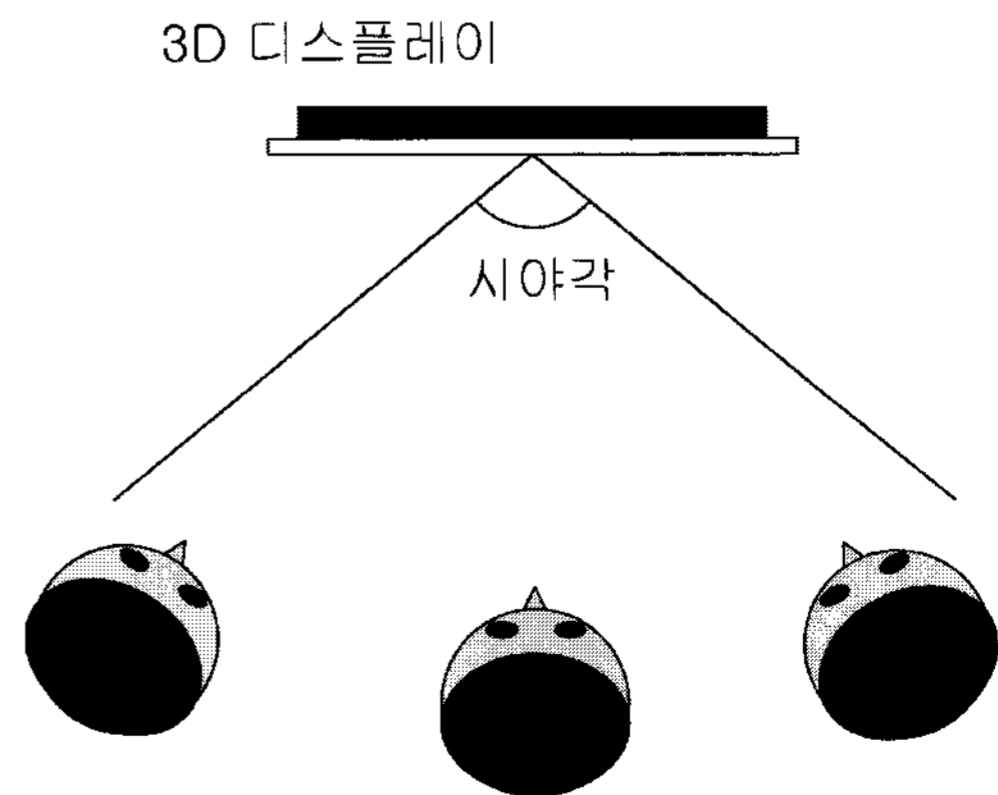
한 기초 영상들이 디스플레이에 이용되기 위해서는 적절한 신호 변환 과정이 필요하다. 집적영상의 주요한 장점은 (1) 입체 영상을 관측하는데 특수안경이나 기타 도구가 필요하지 않고, (2) 일정한 시야각 내에서 거의 연속적인 시점을 제공하며, (3) 수평뿐 아니라 수직 방향 시차도 제공하고, (4) 총 천연색의 실시간 동영상 재생이 가능하며, (5) 기존의 평판 디스플레이와 호환성이 뛰어나다는 점 등이다.

직접 영상 디스플레이 방식은 기존의 양안 시차 디스플레이 방식과는 달리 시점이 고정되어 있지 않고, 수평 및 수직 시차를 제공하기 때문에 여러 명의 관측자가 편안한 자세로 동시에 입체 영상을 관측할 수 있어 입체 TV 등에서의 응용에 적합한 방식이라 생각된다. 하지만 3D 영상을 관측할 수 있는 시야각과, 표현 가능한 3D 영상의 깊이감이 제한되는 문제점이 있어 이를 해결하기 위한 보다 많은 연구가 이루어지고 있다.

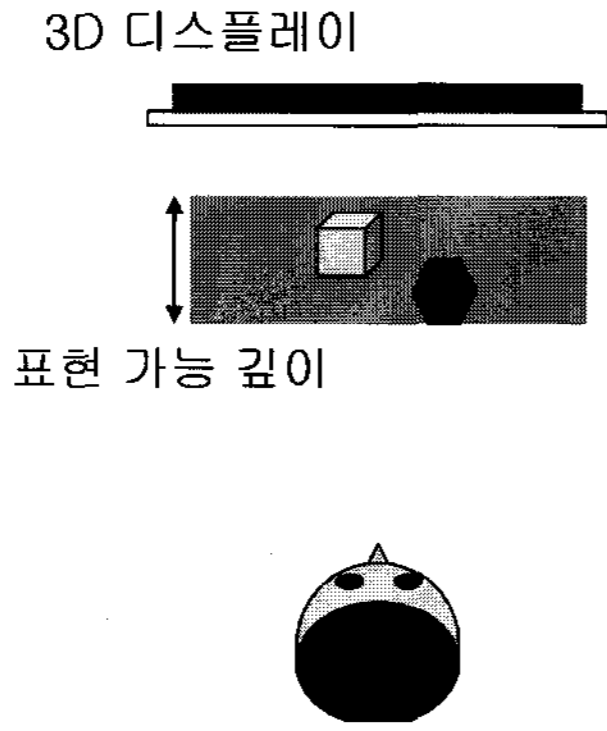
2. 집적영상 시스템의 특성

3D 디스플레이 시스템의 시야 특성으로는 시야각, 표현 가능 깊이, 해상도 등을 꼽을 수 있다. 그리고 다른 디스플레이 시스템과 같이 집적영상 시스템의 시야 특성은 시스템의 구조와 밀접한 관련이 있으며 이들간의 관계에 대하여 다양한 연구가 진행되어 왔다.^[10-15] 여러 시야 특성 중에서 집적영상 시스템에서 가장 중요한 것은 시야각과 표현 가능 깊이이다. 일반적으로 3D 디스플레이에서의 시야각은 3D 디스플레이 시스템의 관찰자가 올바른 영상을 관측하는 최대 각도를 말한다. 그리고 표현 가능 깊이는 3D 디스플레이 시스템이 표현할 수 있는 깊이의 범위를 말한다. [그림 4]와 [그림 5]는 각각 시야각과 표현 가능 깊이의 개념을 나타내고 있다.

집적영상 시스템은 많은 장점에도 불구하고 시야각과 표현 가능 깊이의 범위가 상대적으로 작은 범위로 제한되어 있어 이것이 문제점으로 인식되어 왔다. 따라서 집적영상을 개선시키기 위해서는 이들을 자세히 이해하는 일이 우선되어야 한다. 여기서는 집적영상 시스템의 시야 특성 중 시야각과 표현 가능 깊이에 대한 분석을 살펴보고자 한다.



[그림 4] 3D 디스플레이의 시야각



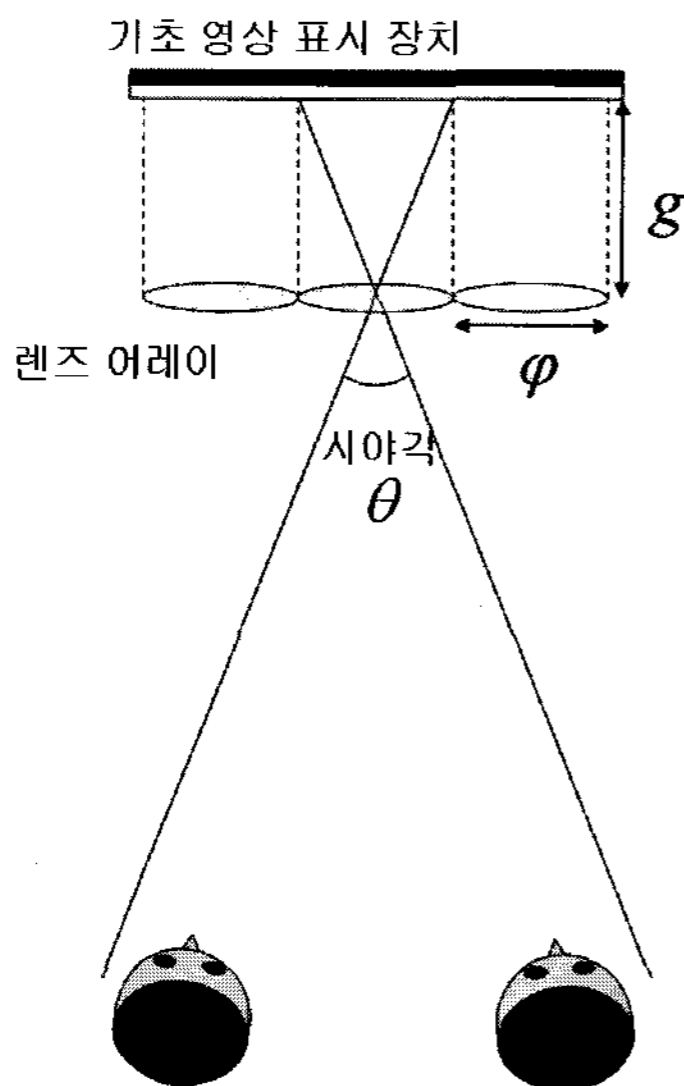
[그림 5] 3D 디스플레이의 표현 가능 깊이

1) 시야각

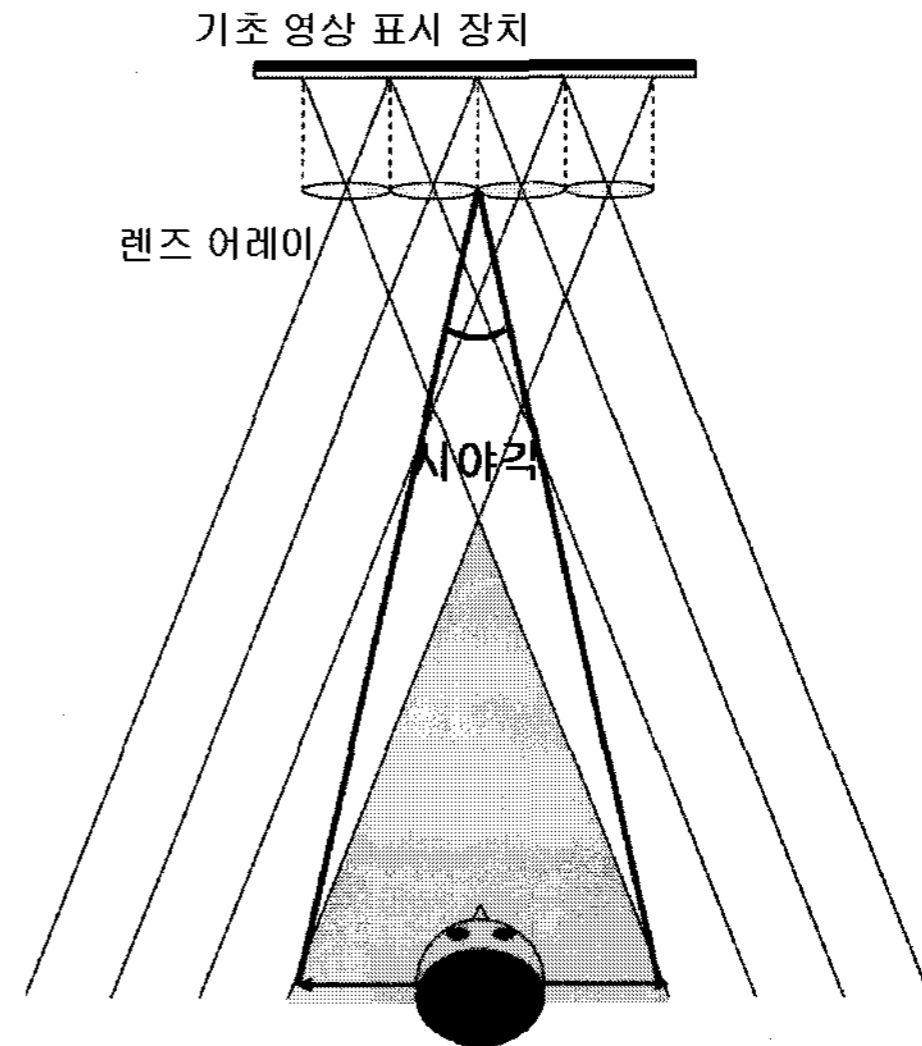
설명된 바와 같이 집적영상 시스템은 기초 영상 표시 장치와 렌즈 어레이로 이루어져 있다. 이때 하나의 기초 렌즈에 대한 시야각은 [그림 6]과 같이 간단하게 표현할 수 있다.

즉, 각 기초 렌즈마다 해당되는 기초 영상 영역이 기초 영상 표시 장치상에 존재한다. 그 영역은 기초 렌즈의 바로 뒤에 위치하며 각 기초 렌즈와 똑같은 크기를 지닌다. [그림 6]에서 각 기초 렌즈의 좌우 경계에서 출발한 점선이 기초 영상 표시 장치와 만나는 지점의 사이에 위치한 디스플레이 패널 영역이 그 기초 렌즈에 해당되는 기초 영상 영역이 된다. 따라서 가운데에 위치한 기초 렌즈에 대한 시야각은 그림에서와 같이 해당 기초 영상 영역의 경계와 기초 렌즈의 중심을 연결한 두 개의 직선이 이루는 각과 일치한다. 이때 그림에서와 같이 시야각을 θ , 기초 렌즈의 크기를 ϕ , 기초 영상 표시 장치와 렌즈 어레이 사이의 간격을 g 라고 하면 다음과 같은 기초 렌즈 하나에 대한 시야각의 수식을 얻을 수 있다.

$$\theta = 2 \arctan\left(\frac{\phi}{2g}\right) \quad (1)$$



[그림 6] 집적영상 시스템의 기초 렌즈 하나에 대한 시야각



[그림 7] 집적영상 시스템의 시야각

한편, 렌즈 어레이에는 여러 개의 기초 렌즈가 있으므로 집적 영상 시스템 전체의 시야각 또는 시야 범위는 [그림 7]과 같이 각 기초 렌즈의 시야각을 모두 고려하여 생각하여야 한다.

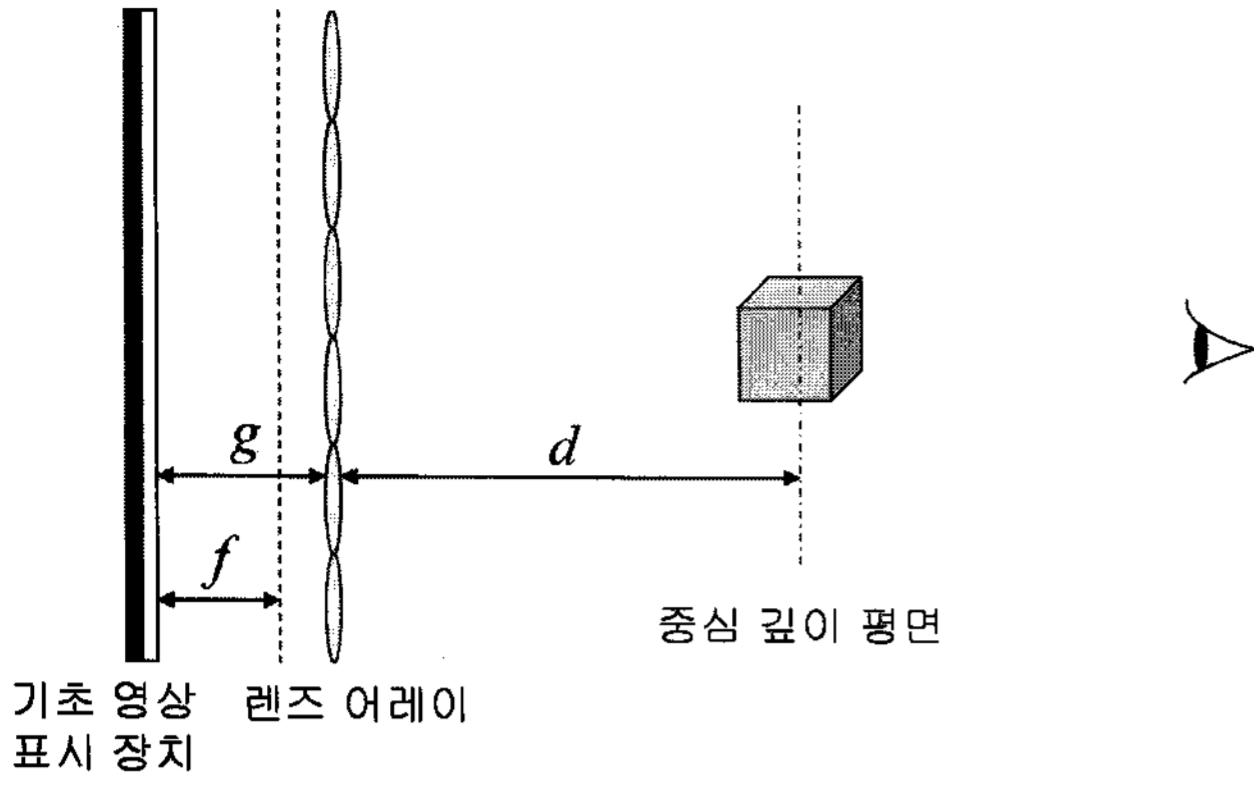
그림은 좌우로 4개의 기초 렌즈로 이루어진 렌즈 어레이를 사용한 집적 영상 시스템에서의 시야각을 나타내고 있다. 각 기초 렌즈마다 허용되는 시야 범위가 있어서 이들의 교집합이 되는 부분에서는 4개의 기초 렌즈를 통한 영상을 모두 올바르게 관찰할 수 있게 된다. 이 영역이 열게 칠해진 영역이며 그림에서의 관찰자는 그 영역의 안에 위치하고 있다. 이때 관찰자와 집적영상 시스템까지의 거리를 고려하여 시스템 전체에 대한 시야각을 찾아낼 수 있으며 이는 그림에서 굵은 직선들 사이의 각도가 된다.

2) 표현 가능 깊이

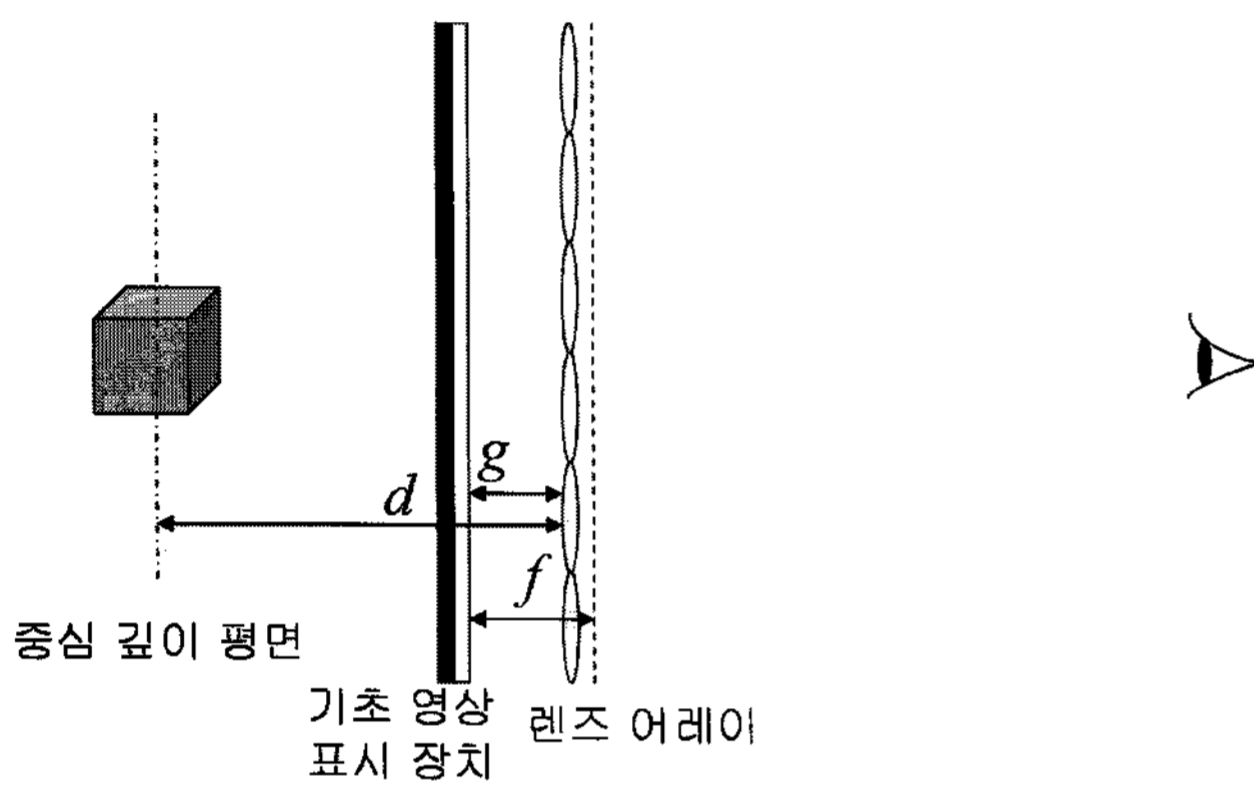
집적영상 시스템은 크게 깊이감 우선 방식과 해상도 우선 방식의 두 가지 방식으로 나눌 수 있다. 각 방식은 깊이감과 해상도의 측면에서 하나의 특성을 희생하여 나머지 하나의 특성을 최대한 극대화한다. 즉, 깊이감 우선 방식에서는 해상도를 희생하여 표현 가능 깊이의 범위가 이론적으로 무한대가 되게 하며 해상도 우선 방식에서는 깊이감을 희생하여 3D 영상의 해상도를 좋게 한다. 이번에는 각 방식에 따라 집적영상 시스템의 구성이 어떻게 달라지는지를 살펴보고자 한다.

해상도 우선 방식에서는 3D 영상의 해상도를 최우선적인 특성으로 보고 시스템을 구성한다. 이 방식에서는 렌즈 어레이와 디스플레이 패널 사이의 간격을 렌즈 어레이의 초점거리와 다르게 하여 각 기초 영상이 렌즈 어레이에 의해 실상 또는 허상으로 결상되도록 한다. [그림 8]과 [그림 9]는 각각 실상과 허상을 표시하는 해상도 우선 방식의 집적영상 시스템을 나타내고 있다.

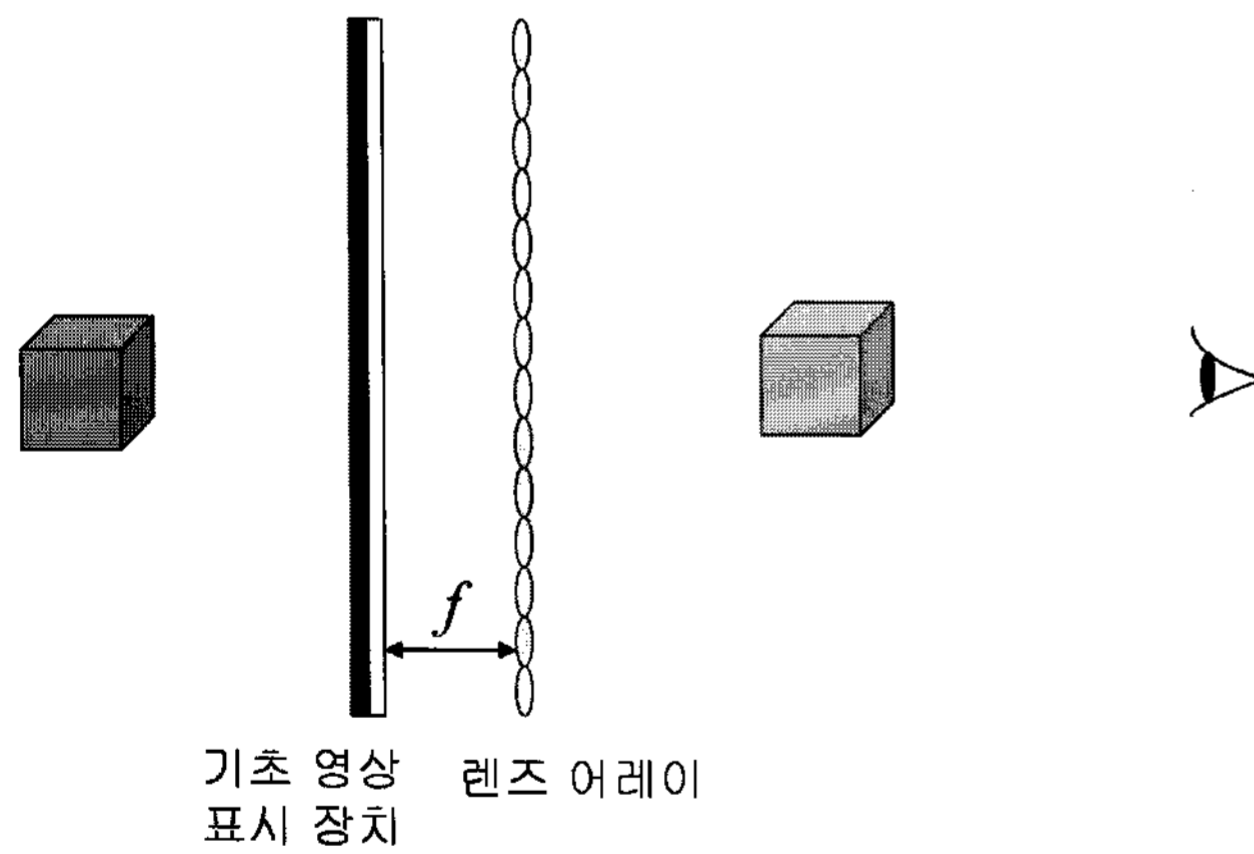
[그림 8]과 [그림 9]에서 말하는 중심 깊이 평면은 렌즈 어레이에 의해 각 기초 영상이 결상되는 평면을 말한다. 각



[그림 8] 실상을 표시하는 해상도 우선 방식의 집적영상 시스템



[그림 9] 허상을 표시하는 해상도 우선 방식의 집적영상 시스템



[그림 10] 깊이감 우선 방식의 집적영상 시스템

기초 렌즈에 의해서는 2D 정보가 표시되지만 각각의 기초 렌즈가 서로 다른 지점을 중심으로 하는 3D 정보를 표시하여 3D 영상으로 인식된다. 이때, 하나의 기초 렌즈에 여러 개의 픽셀의 정보가 표시되므로 3D 영상의 해상도가 렌즈 어레이의 기초 렌즈 개수의 수 배에서 수십 배만큼이 된다. 하지만 이 경우 표현하려는 3D 영상이 중심 깊이 평면에서 일정 거리 이상 떨어지게 되면 영상의 왜곡이 심해지게 된다. 이는 하나하나의 기초렌즈를 통해서 보이는 영상이 결국은 중심 깊이 평면에 결상된 영상이기 때문이다. 각 기초 렌

즈가 표현하고 있는 깊이와 렌즈 어레이 차원에서 표현하려는 깊이 간의 괴리가 심해지면 3D 영상에 왜곡이 생기게 된다. 이로 인해 3D 영상의 표현 가능 깊이 범위에 제약이 생기게 된다.

한편, 깊이감 우선 방식에서는 3D 영상의 깊이감을 최우선적인 특성으로 보고 시스템을 구성하며 [그림 10]에 그 구성이 나타나 있다.

이 방식에서는 렌즈 어레이와 기초 영상 표시 장치 간의 거리를 렌즈 어레이의 초점거리에 고정시킨다. 이 경우에는 각 기초 렌즈에 의해 기초 영상이 결상되는 중심 깊이 평면이 따로 존재하지 않아 깊이감의 제한이 없는 3D 영상을 구현할 수 있다. 즉, 이론적으로는 표현 가능 깊이의 범위가 무한대가 된다. 특히, 해상도 우선 방식의 집적영상 시스템에서는 불가능한 실상과 허상의 동시 표시가 가능하다. 그러나 이 방식을 사용할 경우 기초 렌즈 하나가 후면에 있는 여러 픽셀 중 하나만을 확대하여 표시하게 된다. 따라서 한 시점에서의 3D 영상의 해상도가 기초 렌즈의 개수와 같아져 해상도가 많이 떨어지게 된다. 그러므로 되도록 작은 렌즈들로 구성된 렌즈 어레이를 사용해야 하며 기초 렌즈가 작아진 만큼 그 뒤에 위치하는 기초 영상 표시 장치의 해상도 또한 매우 좋아져야 만족스러운 3D 영상을 관찰할 수 있다.

III. 집적영상 기술 연구 동향

Lippmann에 의해 집적영상의 초기 형태가 제안된 이래 시야 특성을 좋게 하거나 특정한 목적에 맞게 응용을 하기 위해 그 구조를 변화시킨 시스템이 여러 차례 제안되어 왔다. 특히, 앞서 설명한 것과 같이 집적영상 기술의 시야각과 표현 가능 깊이 범위의 제한은 가장 큰 문제로 인식되어 왔으므로 이들을 개선시키는 연구가 가장 많이 이루어졌다. 그리고 대표적인 집적영상 기술의 응용 예로는 2D 디스플레이와 3D 디스플레이 간의 과도기를 이어줄 수 있는 2D/3D 변환 가능 디스플레이에의 응용과 동영상 재생 및 3D 키오스크 개발에 걸맞은 부유형(floating) 디스플레이에의 응용 등이 있다. 여기서는 시야각이 개선된 집적영상 시스템, 표현 가능 깊이가 개선된 집적영상 시스템, 다른 형태로의 응용의 3가지 분야로 나누어 집적영상 기술 연구 동향에 대해 간략히 살펴보고자 한다.

1. 시야각을 개선한 집적영상 시스템

일반적인 집적영상의 시야각은 전술된 바와 같이 렌즈 어레이와 기초 영상 표시 장치간의 거리, 그리고 각 기초 렌즈의 크기와 관련이 있다. 그런데 집적영상 시스템의 구조를 적절히 바꾸거나 시분할 및 공간분할 방식을 사용하여 집적영상 시스템의 시야각을 증가시킬 수 있다. 오래 전에 제시되었고 가장 영향력이 컸던 시야각이 증진된 집적영상 시스템인 integrum, embossed screen을 이용한 집적 영상 시스템, 구부러진 렌즈 어레이와 구부러진 스크린을 이용한 집

적 영상 시스템, 시분할을 통해 시야각이 증진된 집적 영상 시스템을 살펴보겠다.

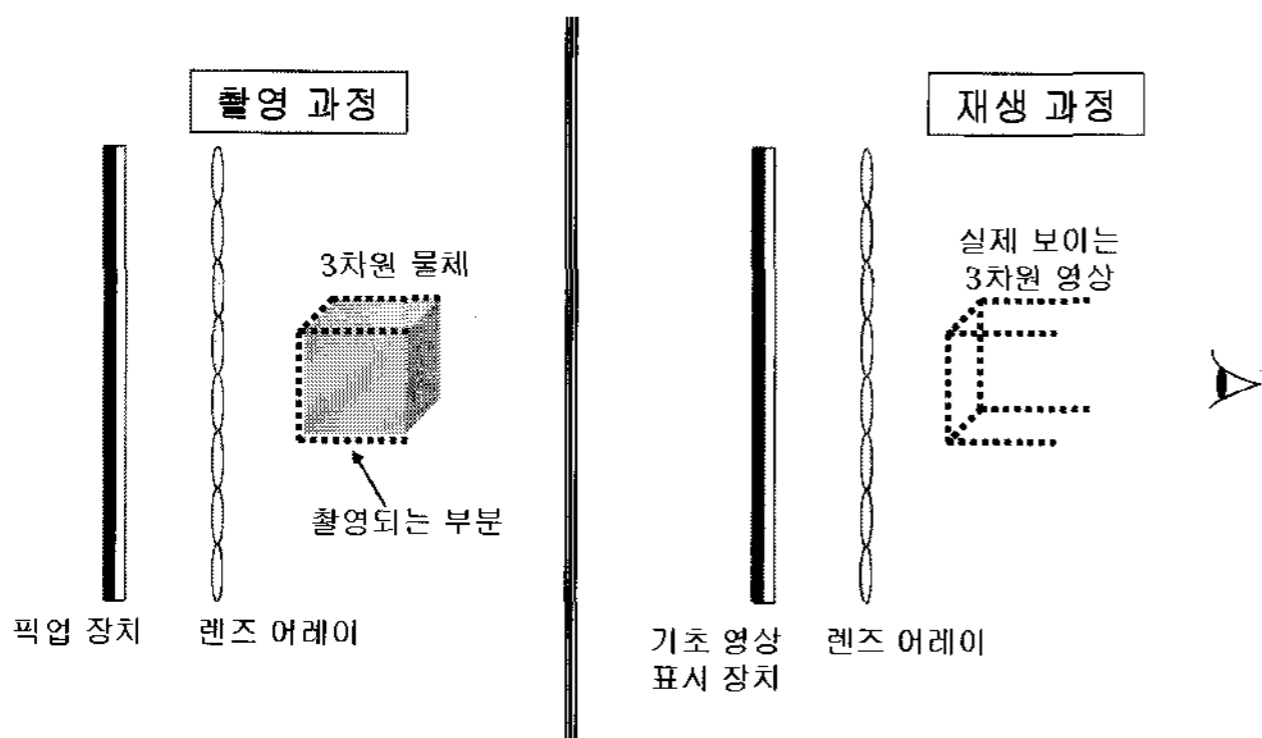
1) Integram

Integram^[16, 17]에서는 집적영상의 기초 영상 촬영 방식의 개선과 함께 구조의 개선을 통해 시야각을 향상시켰다. 기초 영상 촬영 방식의 개선을 이해하기 위해서 잠깐 지면을 할애하여 컴퓨터가 발달하기 이전의 집적영상에 대해 간략히 설명할 필요가 있다.

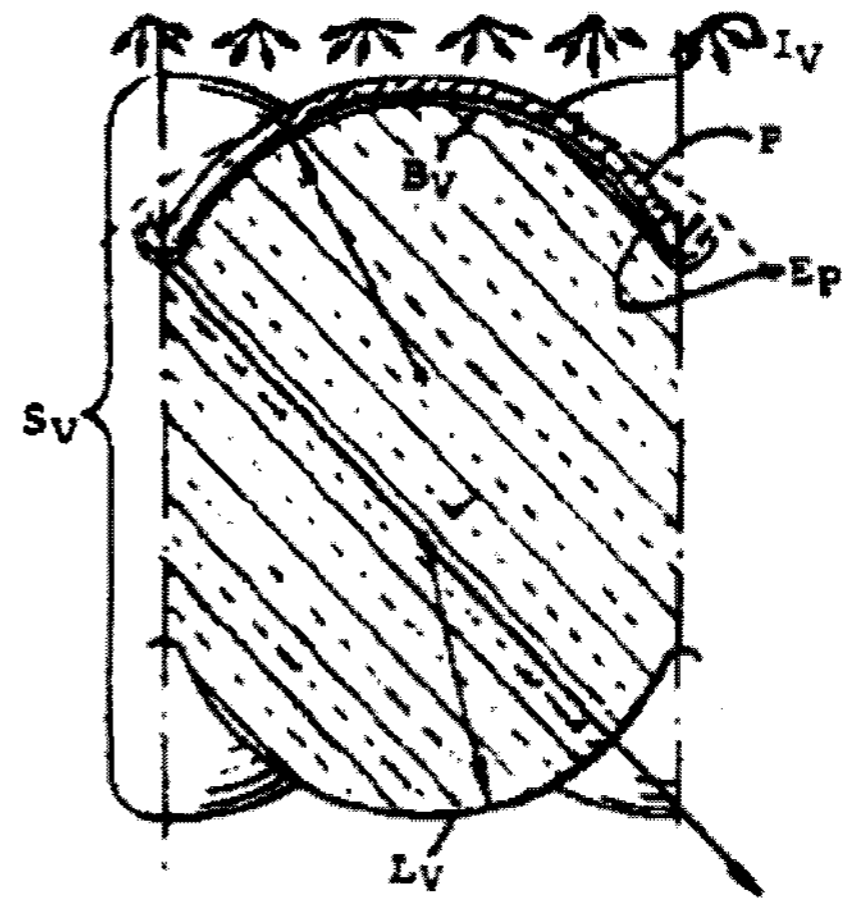
최근에 이르기 전까지는 컴퓨터나 적절한 고해상도 모니터가 없었으므로 집적영상 시스템의 렌즈 어레이 뒤에 위치하는 기초 영상 표시 장치로 정지 화상을 담고 있는 필름이 많이 사용되었다. 그리고 현재와 같은 컴퓨터 그래픽 기술이 없었으므로 실제 상을 촬영하여 기초 영상을 얻어야 했다. 즉, 현재에는 컴퓨터 그래픽 기술을 이용하여 쉽게 극복할 수 있는 문제인 '역입체상(pseudoscopic image) 문제'가 극복해야 할 매우 중요한 문제점 중 하나였다. 이 문제의 원리는 간단한데, [그림 11]과 같이 기초 영상의 촬영 과정에서는 관찰자가 볼 수 없는 뒷면(그림에서 점선으로 표시된 부분)만이 촬영되기 때문이다. 따라서 특별한 처리 없이 영상을 재생하게 되면 그림의 오른쪽에서 보는 바와 같이 물체의 뒷면만이 관찰된다. 사람의 얼굴을 촬영하는 경우를 예로 들면 코와 입술과 볼이 안으로 숙 들어가고 눈두덩이 돌출되는 3D 영상이 만들어지게 된다.

과거에는 이러한 문제를 해결하기 위하여 2단계 집적영상이 사용되었다. 간단히 말해서 실제 영상에서 기초 영상을 얻어내면 역입체상이 형성되므로, 형성된 역입체상에서 다시 한번 기초 영상을 얻어내어 정입체상(orthoscopic)을 형성하는 것이다. 하지만 이미 한번 형성된 역입체상은 제한된 시야각을 가지고 있으므로 다시 형성된 정입체상의 시야각은 역입체상의 시야각보다 작거나 같을 수 밖에 없게 된다. Integram에서는 이러한 문제점을 효율적인 촬영 구조를 제시함으로써 해결하였는데, 자세한 설명은 생략하기로 한다.

얻어낸 넓은 시야각을 갖는 기초 영상은 특수한 구조로 재생 장치에 표시되어 넓은 시야각을 갖는 3D 영상을 만들어 낸다. 이때 재생 장치의 기초 렌즈 하나와 이에 해당하는 기초 영상 영역의 단면은 [그림 12]와 같다.



[그림 11] 역입체상 문제의 원리



[그림 12] Integram 방식의 집적 영상 재생 장치의 단면도^[16, 17]

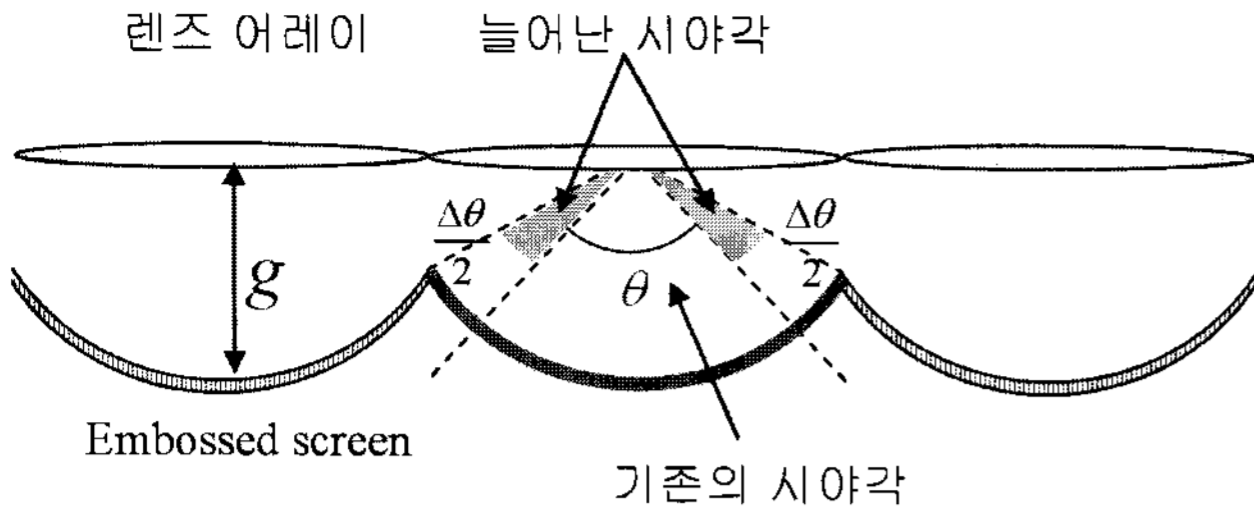


[그림 13] Integram에 의해 재생된 3D 영상^[16]

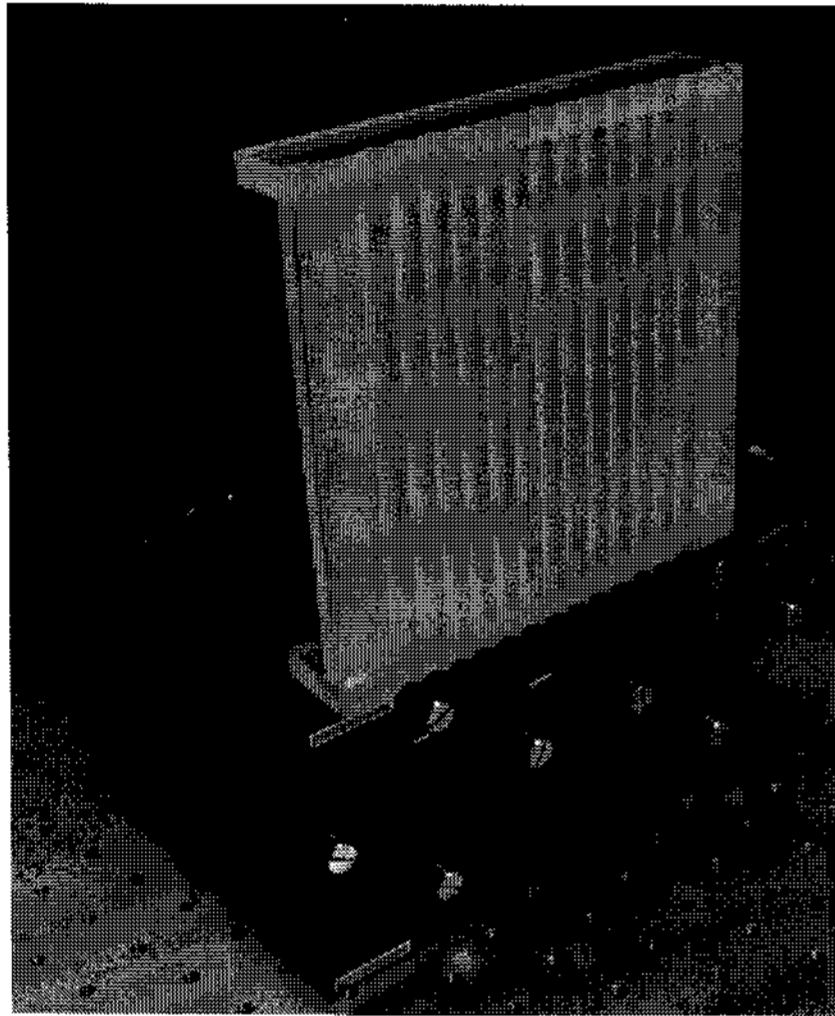
즉, integrum 방식의 하나 하나의 기초 렌즈는 [그림 12]에서 보는 바와 같이 구슬의 가운데 부분처럼 생겼으며 그 한쪽 면([그림 12]의 윗부분에 해당)에 기초 영상이 밀착되어 부착된다. 관찰자는 이 영상을 [그림 12]의 아래쪽에서 바라보게 되는데, [그림 12]에 나타난 왼쪽 위에서 오른쪽 아래를 가로지르는 화살표가 오른쪽 시야각을 나타낸다. 만약, 기존의 방식과 같이 기초 영상을 표시하는 부분이 편평하다면 시야각은 더욱 작을 것이다([그림 6] 참조). [그림 13]은 integrum을 이용하여 제작되었던 집적영상 시스템의 결과 영상이다.

2) Embossed screen을 이용한 집적 영상 시스템

Integram 방식은 필름을 이용하여 제작하기는 용이하나 현대의 디스플레이 패널을 이용하여 제작하기는 어렵다. 따라서 스크린을 엠보싱된 형태로 제작하여 스크린 상에 프로젝터를 이용하여 기초 영상을 쏘아주는 방식의 집적 영상 시스템이 제안된 바 있다.^[18] 이 시스템에서는 [그림 14]에 나타난 것과 같은 굴곡을 스크린의 가로 방향으로 주어 수평 방향의 시야각을 향상시켰다. [그림 15]는 제안된 방식대로 제작된 스크린이다.



[그림 14] Embossed screen을 이용한 집적영상 시스템의 개념도



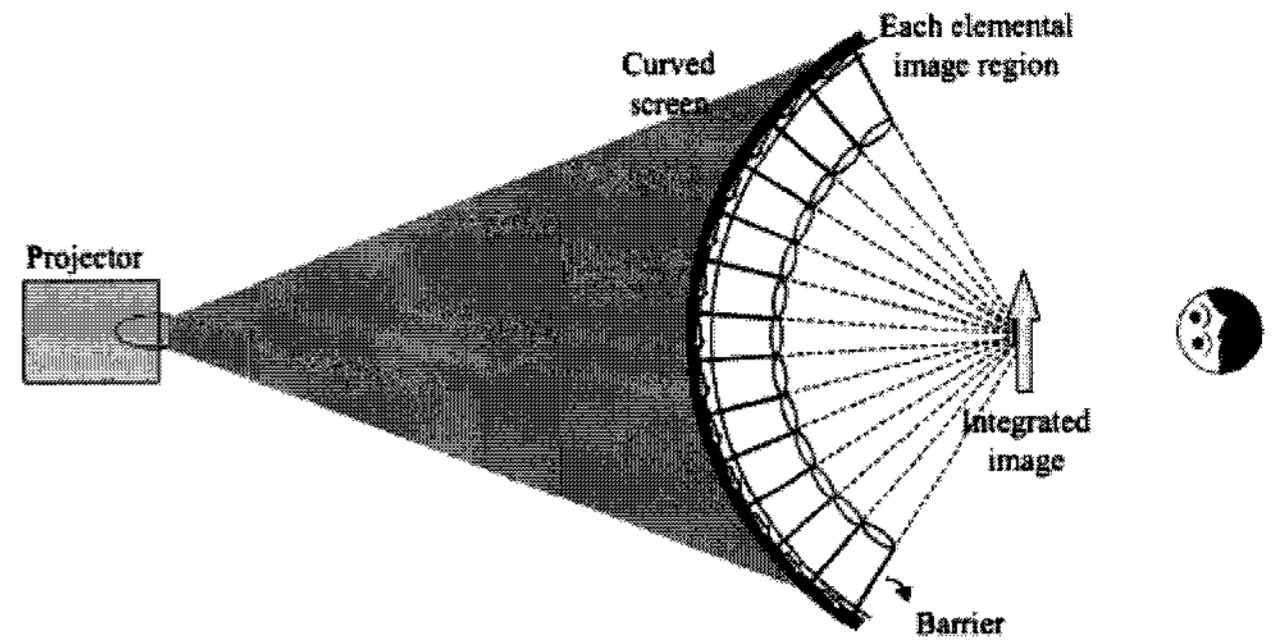
[그림 15] 제작된 embossed screen

3) 구부러진 렌즈 어레이와 구부러진 스크린을 이용한 집적영상 시스템

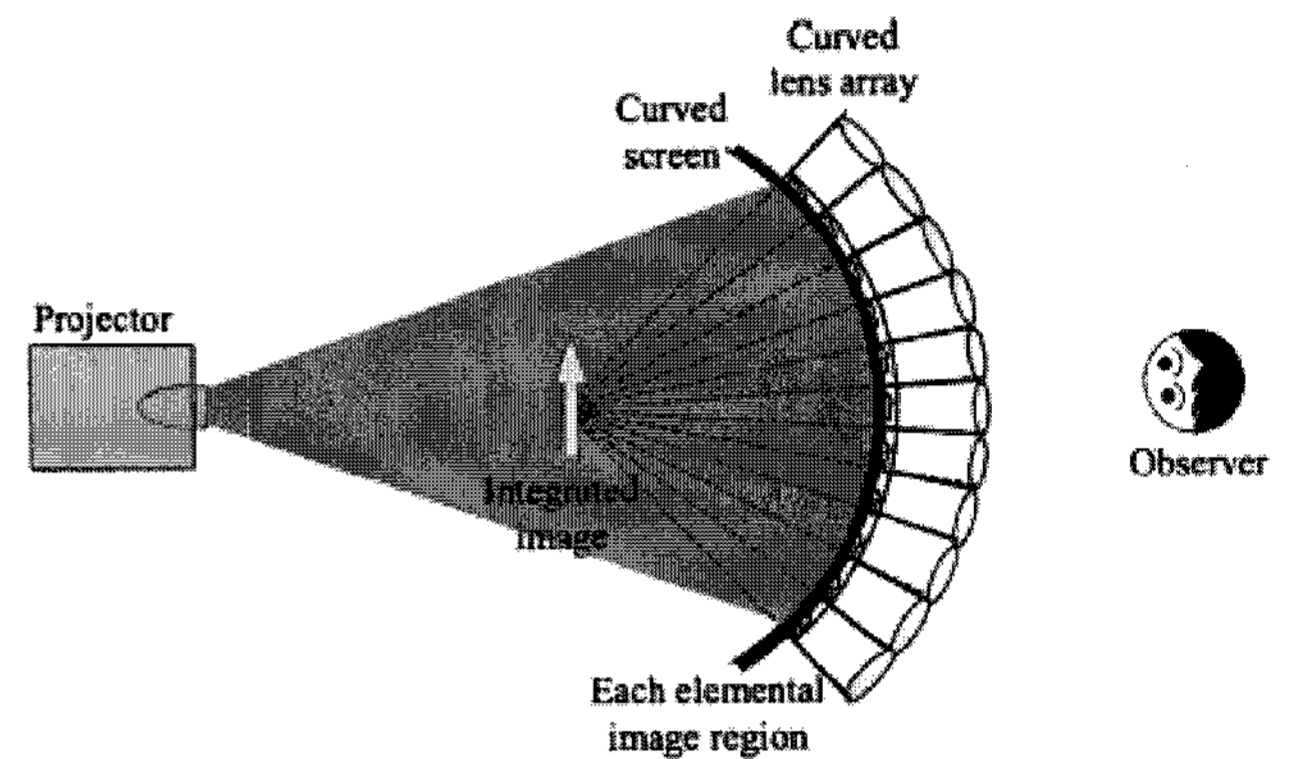
집적영상 시스템의 시야각을 향상시키기 위한 또 다른 방법으로 구부러진 렌즈 어레이와 구부러진 스크린을 사용하는 방식이 있다.^[19, 20] 이는 구부러진 렌즈 어레이와 평면 스크린을 이용하는 방식에서 발전된 것인데, [그림 16]과 같은 구조를 가져서 시야각을 증대시킬 수 있다. 이상적으로는 플렉서블(flexible) 디스플레이 패널이 사용 가능하다면 높은 품질의 3D 영상을 구현할 수 있으리라 기대된다. 가로 축뿐만 아니라 세로 축으로도 구부러진 렌즈와 스크린(구형의 렌즈 어레이와 구형의 스크린)을 사용할 수 있다면 기존의 평면 렌즈 어레이, 평면 스크린을 사용한 시스템보다 가로, 세로 축의 시야각을 동시에 4배 정도 향상시킬 수 있을 것이다. 평면 스크린과 커다란 볼록 렌즈를 이용해 이 효과를 구현할 수도 있다.^[21]

4) 시분할 기법을 이용한 집적영상 시스템

여태까지는 시스템의 구조를 변화시켜 시야각을 늘리는 방법을 살펴보았다. 이번에는 시분할 기법을 이용하여 시야각을 늘리는 방법을 알아보겠다. 시분할 기법의 기본 개념은 [그림 17]에 나타난 두 가지 상태를 반복하는 것이다.^[22] 이 그림은 집적영상 시스템을 위에서 본 것이며 설명의 편의를 위하여 기초 렌즈에 수평방향으로 번호를 매겨놓았다.

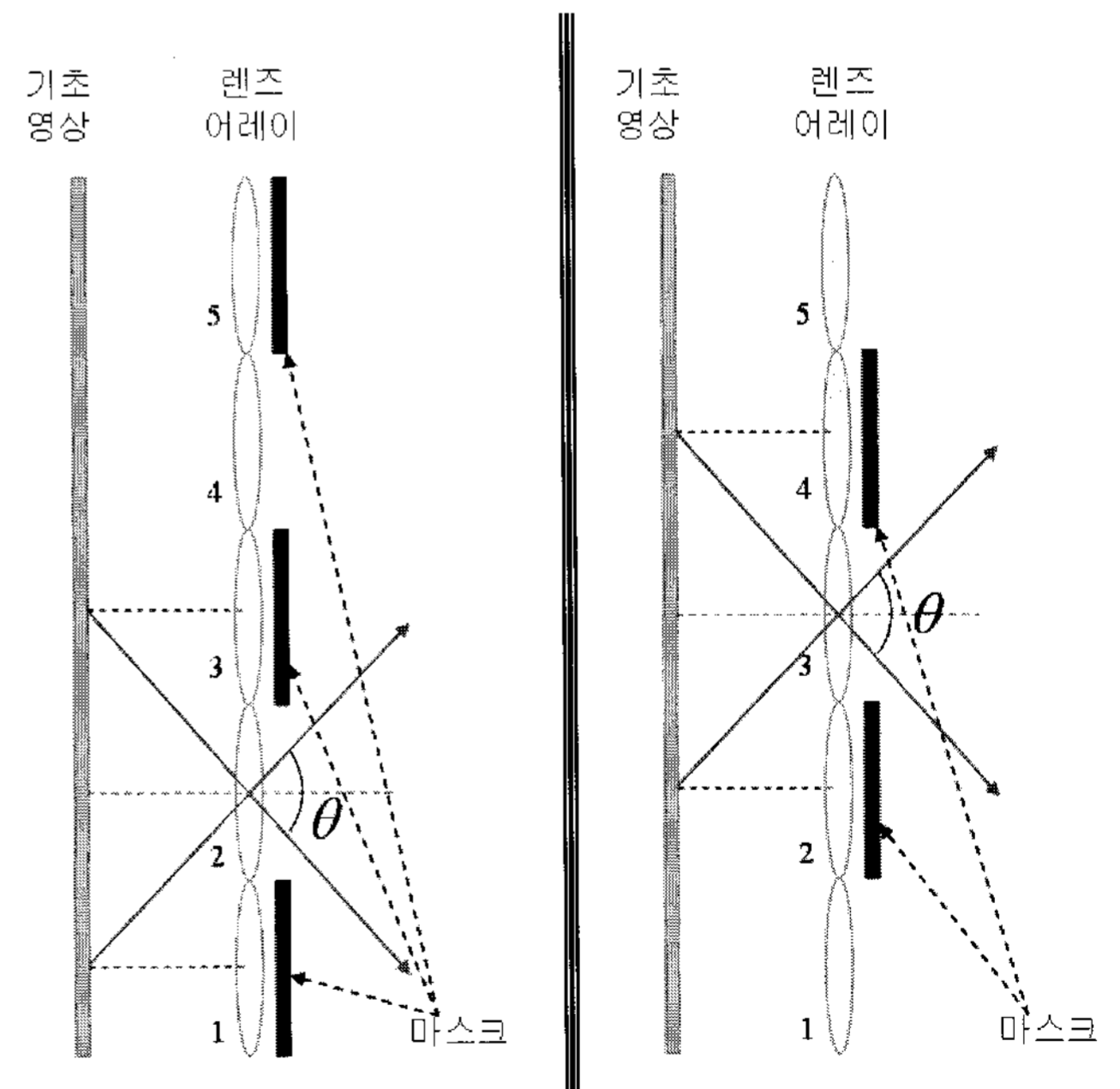


(a) 실상 표시



(b) 허상 표시

[그림 16] 굽은 렌즈 어레이와 굽은 스크린을 사용하여 시야각을 향상시킨 집적영상 시스템.



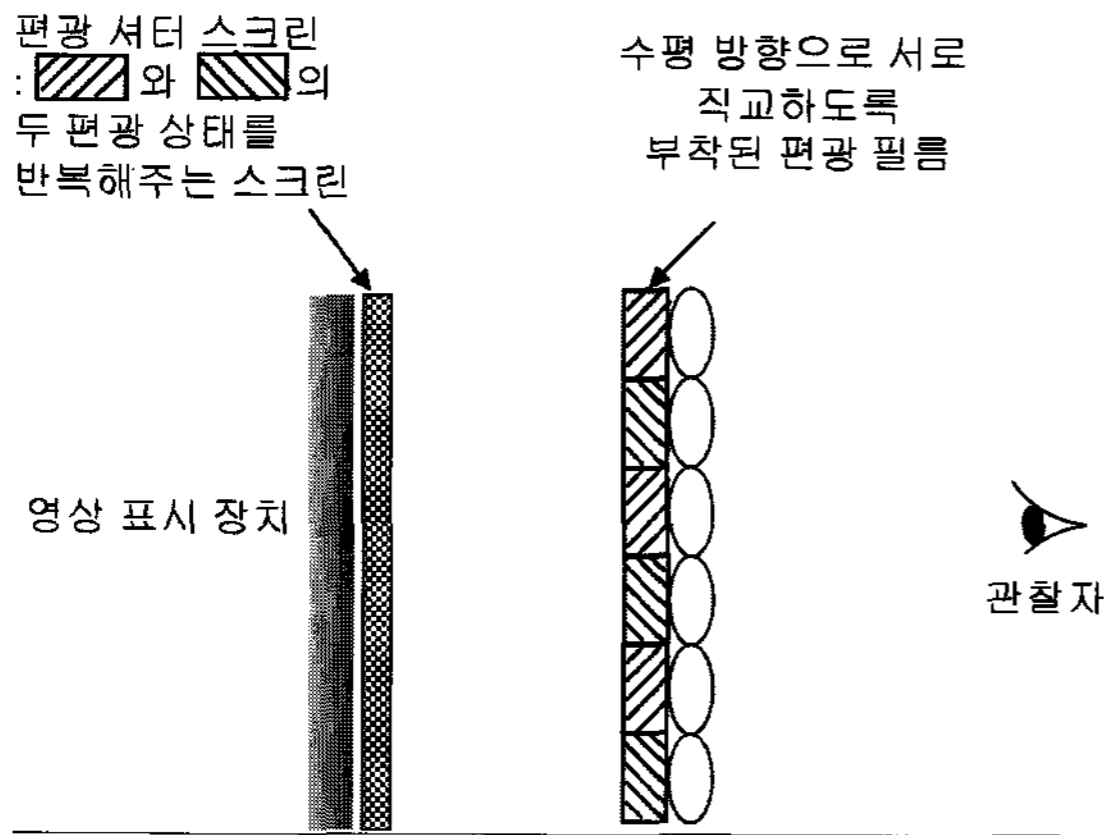
[그림 17] 시분할 기법을 이용한 집적영상 시스템의 원리

마스크를 이용하여 첫 번째 상황에서는 홀수 번째 기초 렌즈들을 가리고 두 번째 상황에서는 짝수 번째 기초 렌즈들을 가린다. 또한, 이와 동기화하여 첫 번째 상황에서는 짝

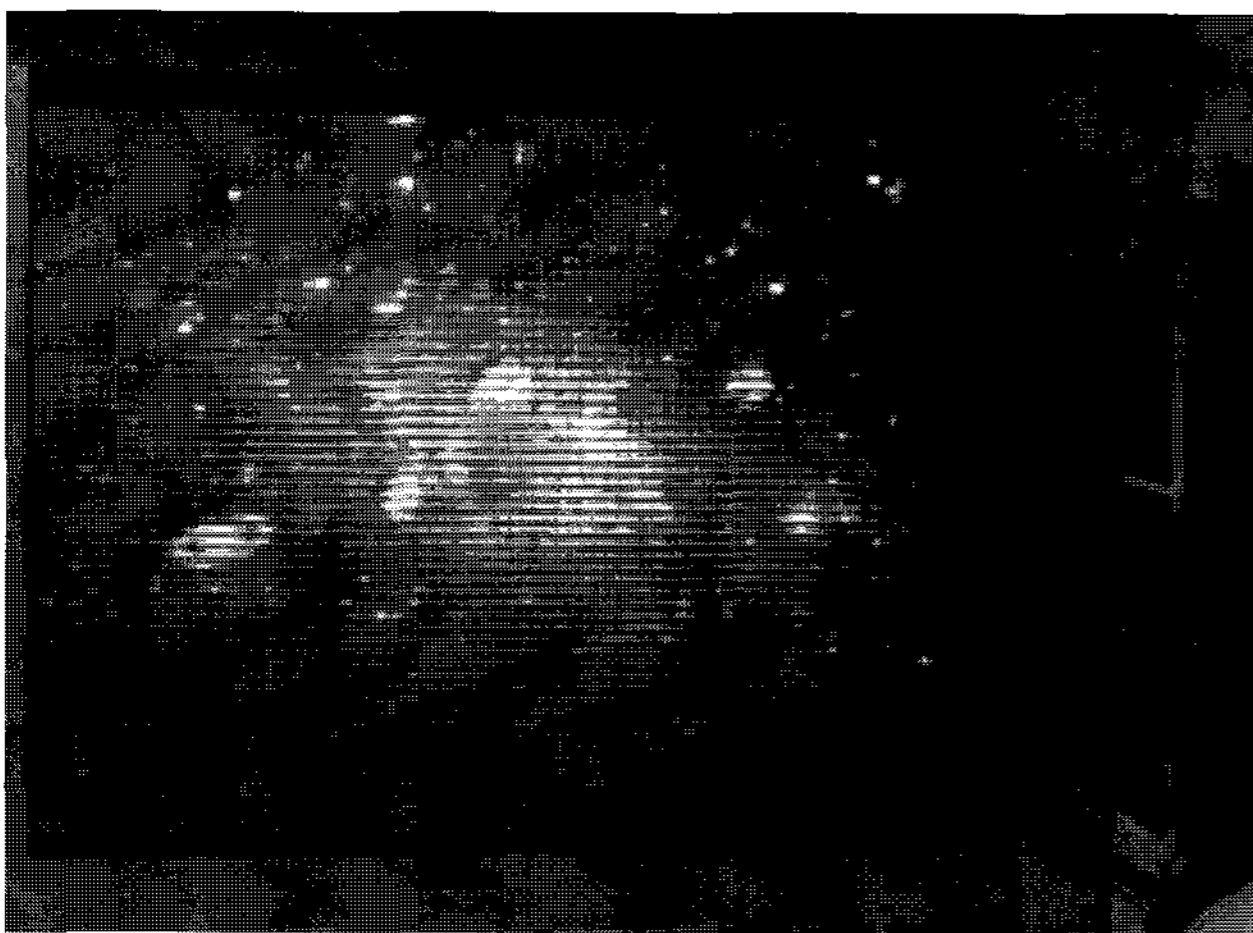
수 번째 기초 렌즈들을 위한 기초 영상들을 영역을 2배 넓게 하여 표시하고 두 번째 상황에서는 홀수 번째 기초 렌즈들을 위한 기초 영상들을 영역을 2배 넓게 하여 표시한다. 이렇게 하면 그림에 표시된 바와 같이 각 렌즈마다 해당되는 기초 영상의 영역이 기존의 경우에 비해 2배씩 넓어져 시야각 또한 넓어진다.

한편, 첫 번째 상황과 두 번째 상황의 반복이 충분한 속도로 이루어지지 않으면 망막에 맺힌 잔상이 사라지는 시간을 따라잡지 못하게 된다. 따라서 마스크의 위치 변경을 기계적으로 처리하는 것은 무척 번거로운 일이다. 이것은 편광을 이용하여 마스크를 형성함으로써 극복할 수 있는데, 그 원리가 [그림 18]에 나타나 있다. 또한, [그림 19]는 이러한 시분할 기법을 이용하여 40인치 대형 집적 영상 시스템^[23]을 제작한 결과 영상이며 [그림 20]은 이 시스템의 구조를 보여준다.

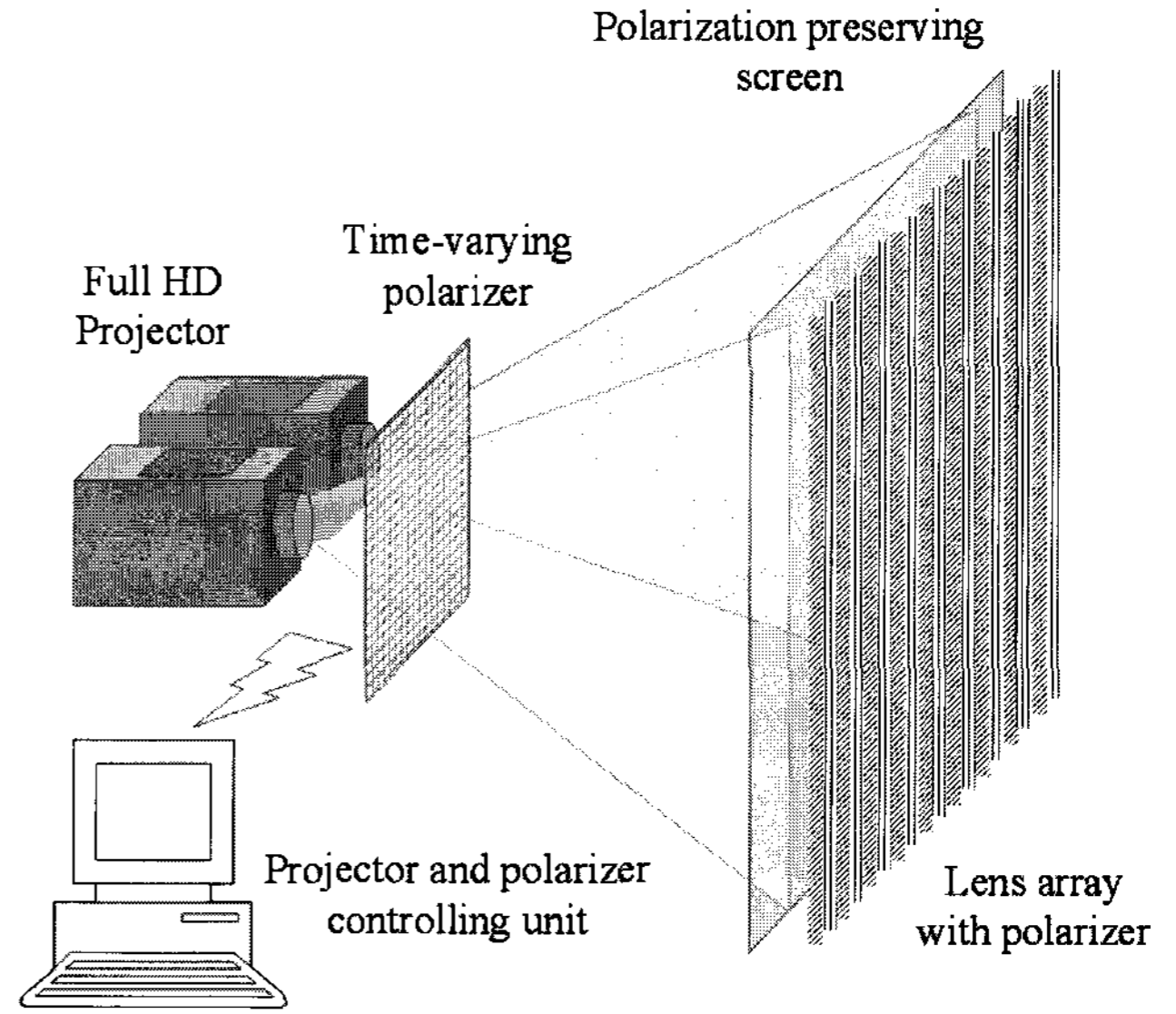
[그림 20]에 나타난 바와 같이 이 시스템에서는 스크린 뒤에 놓인 시변(time-varying) 편광판에서 스크린에 나타나는 영상의 편광을 변화시키면서 이와 동기화된 집적영상을 프로젝터를 통해 쏘아준다. 이때, 영상의 해상도를 극대화 하기 위해 2대의 프로젝터를 동기화하여 사용한다. 그리



[그림 18] 편광 마스크를 이용한 시분할 집적영상 시스템



[그림 19] 시분할 기법을 이용한 40인치 대형 집적 영상 시스템



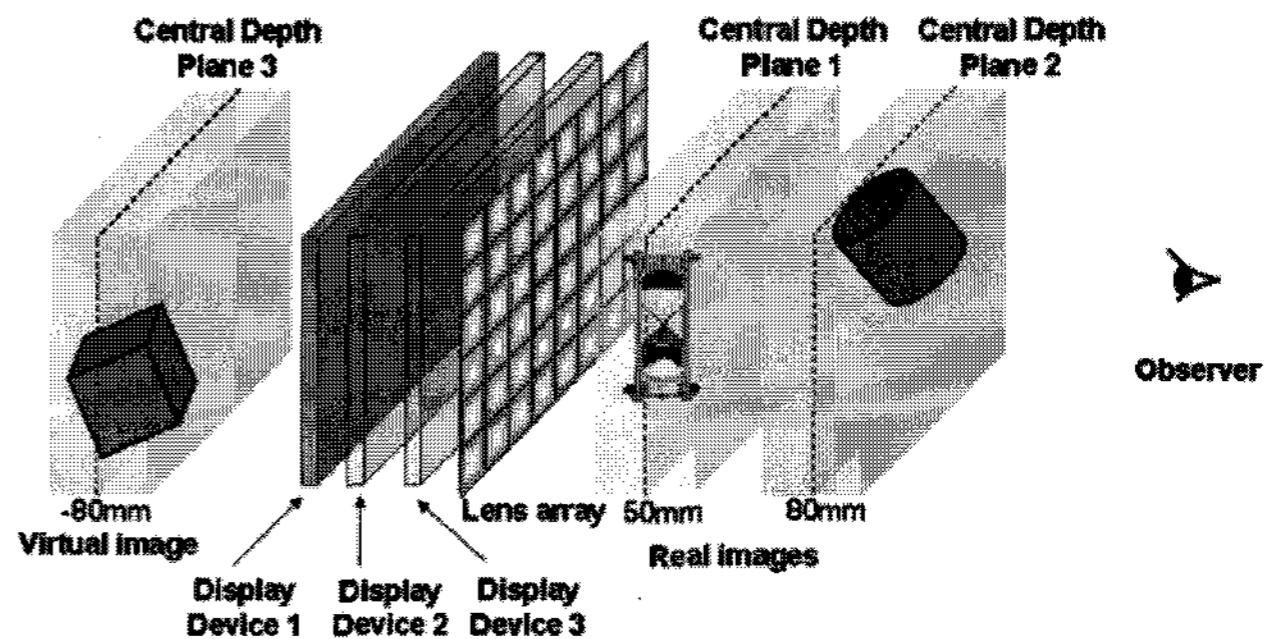
[그림 20] 시분할을 이용한 40인치 집적 영상 시스템의 구조

고 렌즈 어레이 바로 뒷면에 부착된 수평 방향으로 서로 직교하는 편광판이 마스크로 작용하여 시야각이 넓어지게 된다.

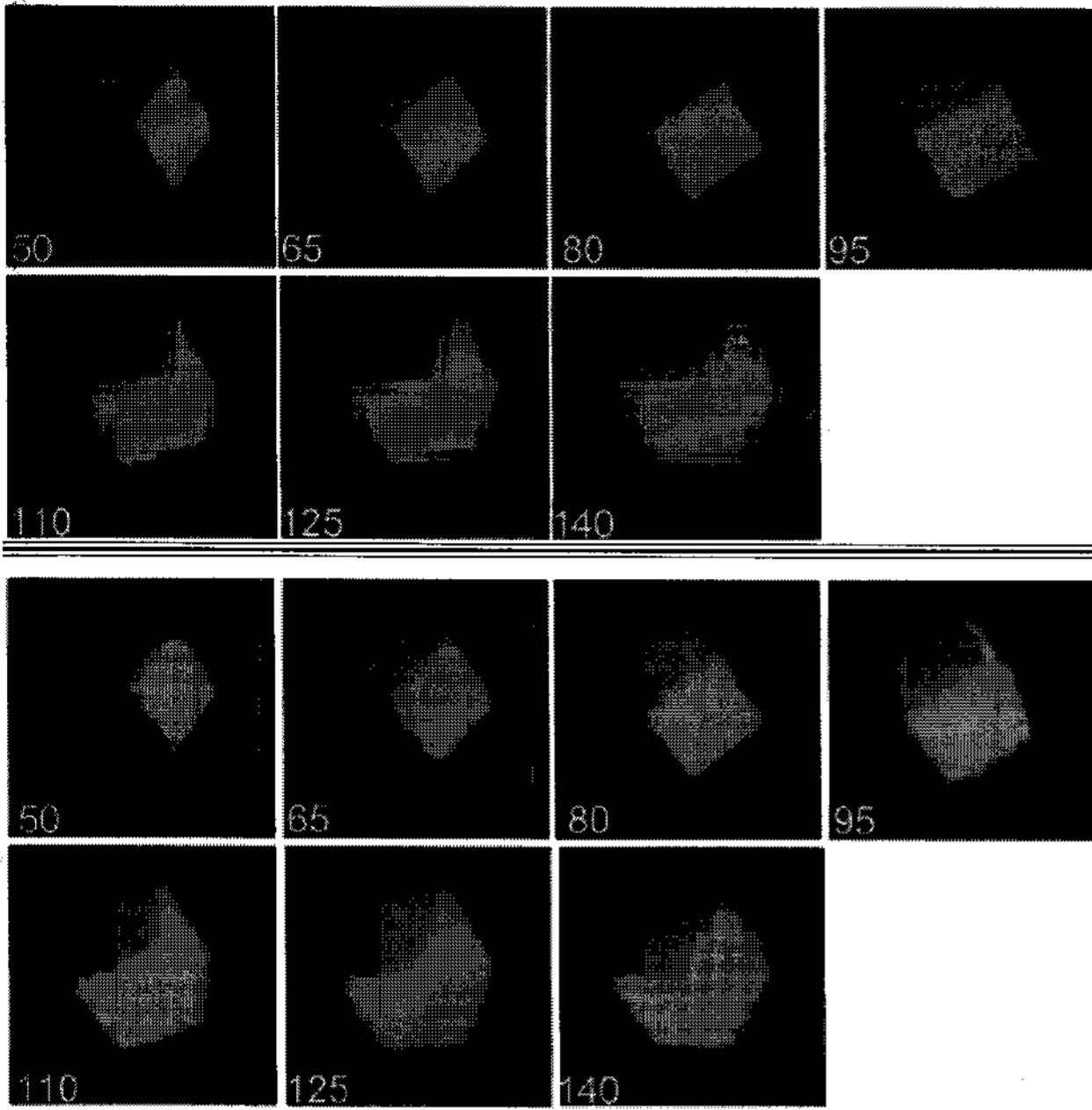
2. 표현 가능 깊이를 개선한 집적영상 시스템

깊이감 우선 방식의 집적영상의 제작 시에는 시야각과 해상도가 가장 주안점이 되고, 해상도 우선 방식의 집적영상을 제작할 때에는 시야각과 함께 표현 가능 깊이가 가장 주안점이 된다. 전술한 바와 같이 해상도 우선 방식의 집적영상 시스템에서는 기초 영상 표시 장치와 렌즈 어레이 사이의 거리에 의해 중심 깊이 평면이 결정된다. 따라서 중심 깊이 평면을 다수 생성하여 표현 가능 깊이 범위를 늘리는 것이 가장 기본적인 접근 방법이다. 여기서는 고분자 분산형 액정 (polymer-dispersed liquid crystal; PDLC)을 이용하여 깊이감을 향상시키는 집적영상 시스템에 대해 살펴본다. 이 기술 외에도 복굴절 물질을 이용한 집적영상 시스템도 있다.^[24]

PDLC를 이용한 시분할 집적영상 시스템은 [그림 21]에서와 같이, 렌즈 어레이 뒤에 여러 장의 PDLC 필름을 놓고 전기신호에 동기화하여 순차적으로 전압을 가하고 동기화된



[그림 21] 고분자 분산형 액정을 이용한 시스템의 구성도



[그림 22] 기존의 집적 영상(위)과 PDLC를 이용한 집적 영상(아래)에 의해 여러 깊이에서 재생된 3D 영상의 비교(숫자는 3D 영상과 렌즈 어레이 사이의 거리를 뜻함. 단위는 mm)

영상신호를 프로젝터로 PDLC 필름에 투상시킨다.^[25]

여기에서 PDLC 필름은 전기신호에 따라 투명해지기도 하고 불투명해지기도 하는 특성을 지닌다. 따라서 프로젝터에서 나오는 영상이 각각 렌즈 어레이와 다른 거리에 있는 특정한 하나의 필름에서만 산란되게 하면 렌즈 어레이와 기초 영상 표시 장치 간의 거리가 여러 개가 되고 중심 깊이 또한 여러 개가 형성된다. 또한 [그림 21]에서 볼 수 있듯이, 허상과 실상을 동시에 표현하는 것도 가능하다. 앞으로 PDLC의 반응속도와 영상의 응답속도가 개선된다면 PDLC의 개수를 늘려 그에 따른 깊이감의 향상도 기대할 수 있다. [그림 22]는 기존의 집적영상 방식에 의해 제작된 여러 깊이에 존재하는 3D 영상과 PDLC를 이용하는 집적영상에 의해 제작된 여러 깊이에 존재하는 3D 영상을 비교한 것이다.

3. 집적영상의 응용

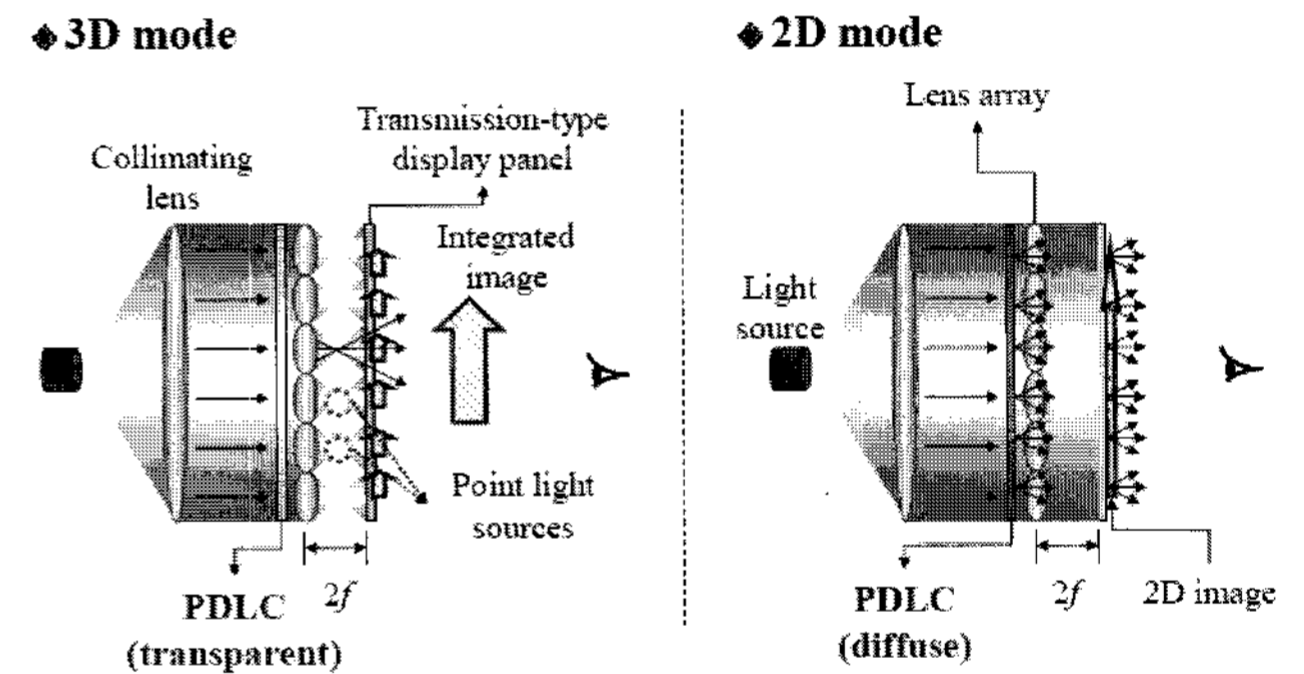
집적영상은 그 장점으로 인해 다양한 응용 분야를 가지게 될 것으로 기대되고 있다. 여기서는 3D/2D 변환 가능 디스플레이와 부유형 디스플레이에 응용된 집적영상 시스템에 대해 살펴보기로 한다.

1) 3D/2D 변환 가능 집적영상 시스템

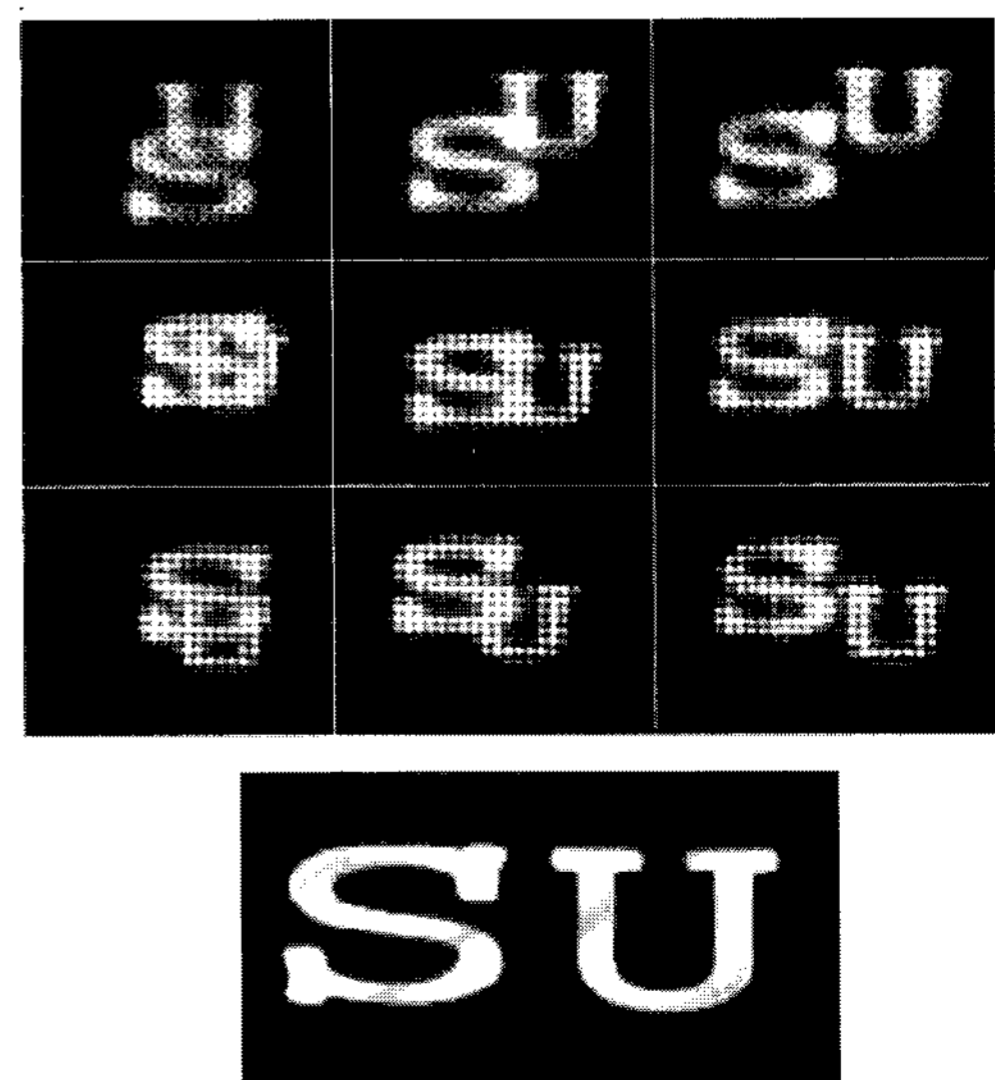
3D/2D 변환 가능 디스플레이는 2D 디스플레이의 시대와 3D 디스플레이 시대를 이어주는 가교의 역할을 할 것으로 기대되고 있다. 이는 3D 디스플레이의 기능만을 갖추어서는 현재로서는 시장 진입이 어렵기 때문이다. 이러한 필요성을 충족시키기 위해 3D/2D 변환 가능 집적 영상 시스템이 제안되었다.^[26-31] 집적영상을 응용한 3D/2D 변환 가능 디스

플레이는 집적영상의 구조와 2D 디스플레이의 구조를 간단하게 오갈 수 있어야 하며 그 구체적인 구조의 일례가 [그림 23]에 나타나 있다. 제일 왼쪽에는 광원이 있으며 여기서 나온 빛은 하나의 볼록 렌즈를 통과하면서 평행광을 형성한다. 이 평행광은 PDLC를 거쳐 렌즈 어레이를 만난다. 이 예시에서는 PDLC의 사용을 통해 3D모드와 2D모드의 변환을 구현하고 있다. PDLC는 전기 신호의 인가 여부에 따라 투명해지기도 하고 빛을 산란시키기도 한다. 이런 특성을 이용하여 3D 모드에서는 PDLC를 투명하게 하여 집적영상 시스템처럼 작동하게 하고 2D 모드에서는 뒤에서 오는 평행광을 PDLC를 이용해 산란시켜 일반적인 면광원을 지닌 2D 디스플레이처럼 작동하게 한다. 이 시스템은 3D 모드에서의 구조가 기존의 집적영상 방식과는 약간 다르게 되어 있으나(기초 영상 표시 장치와 렌즈 어레이의 순서가 뒤바뀜) 깊이감 우선 방식의 집적영상에서와 동일한 원리로 3D 영상을 형성한다. [그림 24]는 이러한 시스템에 의해 재생된 2D 영상과 3D 영상을 보여준다.

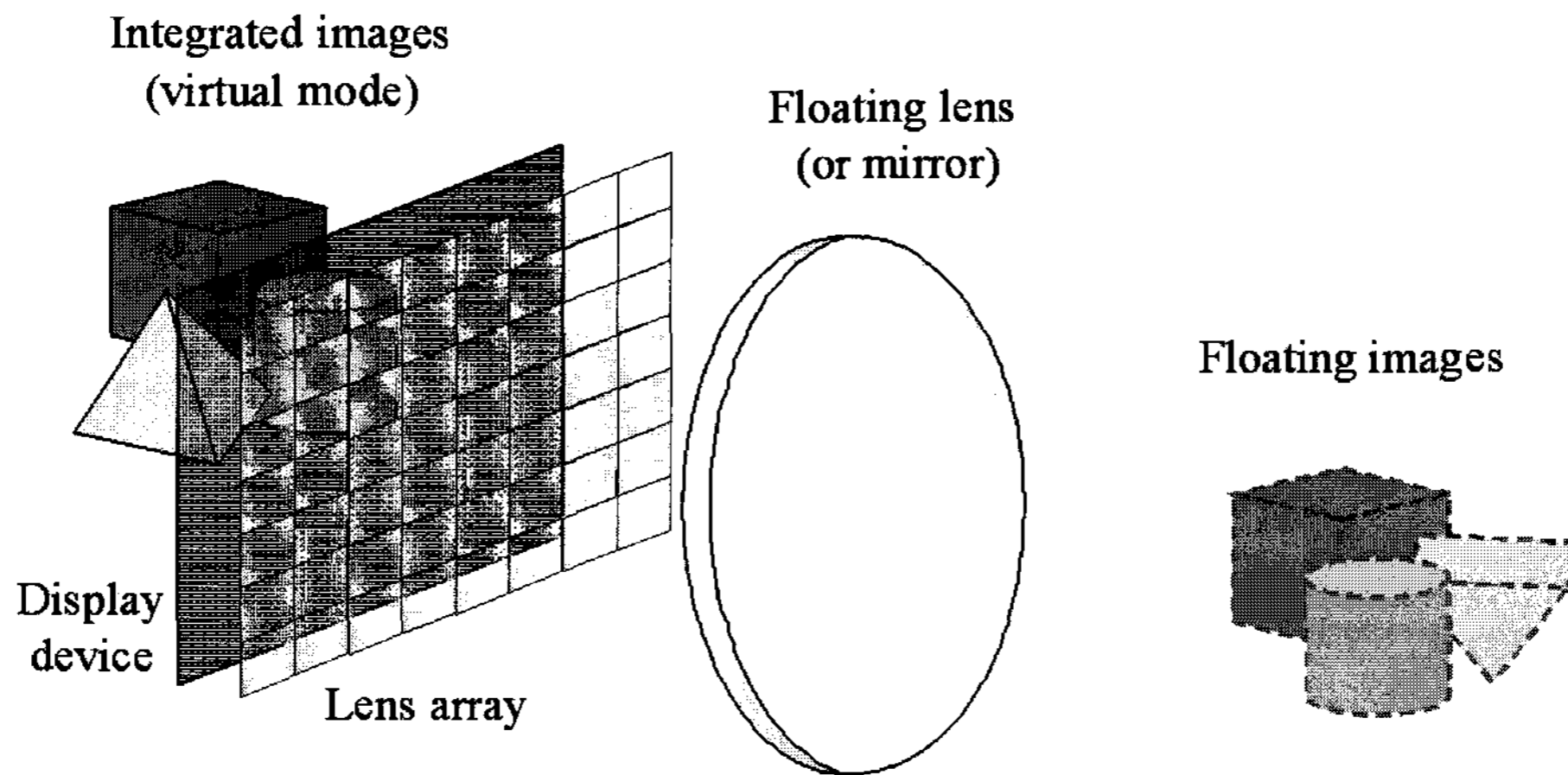
이 밖에도 다양한 방식으로 집적 영상을 이용한 3D/2D 변환 가능 디스플레이가 제안되고 있다.^[27-31]



[그림 23] 3D/2D 변환 가능 디스플레이



[그림 24] 집적영상을 이용한 3D/2D 변환 가능 디스플레이로 재생된 3D 영상(위)과 2D 영상(아래)



[그림 25] 집적 부유형 디스플레이의 구조

2) 집적 부유형 디스플레이

집적 부유형 디스플레이는 부유형 디스플레이와 집적영상 시스템을 접목한 것으로서^[32] [그림 25]에 나타난 구조를 지닌다.

부유형 디스플레이는 하나의 큰 오목 거울이나 볼록 렌즈를 이용한 디스플레이로, 간단한 구조를 가졌으며 큰 깊이감을 제공하여 준다는 장점이 있다. 한편, 집적영상 시스템에서는 부유형 디스플레이에서 제공하는 것과 같은 큰 깊이감을 제공하기가 쉽지 않다. 또한, 부유형 디스플레이로는 동영상을 재생하기가 어렵다. 집적 부유형 디스플레이는 집적 영상으로 재생한 3D 영상을 오목 거울이나 볼록 렌즈를 이용하여 관찰자에게 가까운 실상을 만듦으로써 부유형 디스플레이와 집적 영상의 장점을 모두 가진 3D 영상을 만들어 낼 수 있다.

IV. 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이 집적영상 기술은 많은 장점을 가지고 있으며 제작이 용이하기도 하여 차세대 디스플레이 기술로서 손꼽히고 있다. 또한, 집적영상의 시야 특성상의 문제를 해결하거나 또는 시야 특성을 개선시키는 시스템이 많이 제안되는 등 활발히 연구되고 있다. 게다가 2D 디스플레이의 발전이 계속 되고 있으며 플렉서블 디스플레이 또한 차차 실용화될 것으로 예상되어 다양한 형태의 집적영상의 구현이 가능해질 것으로 예상된다. 최근, 아예 3D 상영을 염두에 두고 제작되고 있는 영화가 증가하고 있는 등의 추세를 볼 때 3D 영상에 대한 수요가 상당히 증가하고 있음을 알 수 있다. 이렇듯, 수요는 충분한 수준에 다다르고 공급에 들어가는 비용 또한 차차 감소하고 있으므로 머지 않아 3D 디스플레이 시장이 형성되리라 본다. 초기에는 수평 방향 시차만을 갖는 3D 디스플레이가 많은 자리를 차지하겠지만, 점차 집적 영상 방식으로 제작된 3D 디스플레이 또한 자신의 자리를 찾아갈 것이다. 집적영상 방식이 우리의 생활에 가깝게 다가올 날을 기대해 본다.

감사의 글

이 연구는 산업자원부의 21세기 프론티어기술개발사업인 차세대정보디스플레이기술개발사업단의 기술개발비(F0004190-2007-23) 지원으로 수행되었습니다.

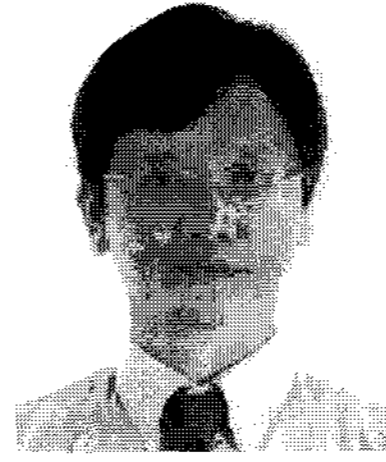
참 고 문 헌

- [1] M.G. Lippmann, "La photographie integrale", Comptes-Rendus, Vol.146, 446-451, 1908.
- [2] F. Okano, H. Hoshino, J. Arai, and I. Yuyama, "Real-time pickup method for a three-dimensional image based on integral photography", Applied Optics, Vol.36, No.7, pp.1598-1603, 1997.
- [3] B. Lee, J.-H. Park, and S.-W. Min, "Three-dimensional display and information processing based on integral imaging", in Digital Holography and Three-Dimensional Display (edited by T.-C. Poon), Springer, New York, USA, 2006, Chapter 12, pp.333-378.
- [4] J.-S. Jang, F. Jin, and B. Javidi, "Three-dimensional integral imaging with large depth of focus using real and virtual image fields", Optics Letters, Vol.28, No.16, pp.1421-1423, 2003.
- [5] J. Arai, M. Kawakita, and F. Okano, "Integral imaging system using an array of planar mirrors", Stereoscopic Displays and Applications XVIII, Electronic Imaging, Proc. SPIE, Vol.6490, paper 649018, San Jose, CA, USA, Jan. 2007.
- [6] D.-C. Hwang, D.-H. Shin, and E.-S. Kim, "Extraction of depth cue of a 3-D object using a computational integral imaging reconstruction

- scheme”, Digital Holography and Three-Dimensional Imaging, Vancouver, Canada, June 2007, paper DTuB8.
- [7] 서장일, 신승호, “3차원 영상 재생을 위한 집적결상법에서 기본영상 재조합을 통한 재생영상의 깊이 변환”, 한국광학회지, 제18권 1호, pp.24-30, 2007.
- [8] T. Koike, M. Oikawa, K. Utsugi, M. Kobayashi, and M. Yamasaki, “Autostereoscopic display with 60 ray directions using LCD with optimized color filter layout”, “Stereoscopic Displays and Applications XVIII, Electronic Imaging, Proc. SPIE, Vol. 6490, paper 64900T, San Jose, CA, USA, Jan. 2007.
- [9] <http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS-EN/20050418/103839/>.
- [10] J.-S. Jang and B. Javidi, “Improved viewing resolution of three-dimensional integral imaging with nonstationary micro-optics”, Optics Letters, Vol. 27, No. 5, pp. 324-326, 2002.
- [11] J.-H. Park, S.-W. Min, S. Jung, and B. Lee, “Analysis of viewing parameters for two display methods based on integral photography”, Applied Optics, Vol. 40, No. 29, pp. 5217-5232, 2001.
- [12] H. Choi, Y. Kim, J.-H. Park, S. Jung, and B. Lee, “Improved analysis on the viewing angle of integral imaging”, Applied Optics, Vol. 44, No. 12, pp. 2311-2317, 2005.
- [13] J. Hong, J.-H. Park, J. Kim, and B. Lee, “Elemental image correction in integral imaging for three-dimensional display”, Proceedings of 2004 IEEE Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting (LEOS 2004), Puerto Rico, USA, paper ML6, pp. 116-117, Nov. 2004.
- [14] S.-W. Min, J. Kim, and B. Lee, “New characteristic equation of three-dimensional integral imaging system and its applications”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, No. 2, pp. L71-L74, 2005.
- [15] C. B. Burckhardt, “Optimum parameters and resolution limitation of integral photography”, Journal of Optical Society of America, Vol. 58, No. 1, pp. 71-76, 1968.
- [16] R. L. de Montebello, “Wide-angle integral photography-The integram system”, in Proc. 1977 SPIE Annual Meeting, San Diego, CA, USA, Aug. 1977, seminar 10, No. 120-08, pp. 73-91.
- [17] R. L. de Montebello, U.S. Patent 3503315, 1970.
- [18] S.-W. Min, J. Kim, and B. Lee, “Wide-viewing projection-type integral imaging system with an embossed screen”, Optics Letters, Vol. 29, No. 20, pp. 2420-2422, 2004.
- [19] Y. Kim, J.-H. Park, H. Choi, S. Jung, S.-W. Min, and B. Lee, “Viewing-angle-enhanced integral imaging system using a curved lens array”, Optics Express, Vol. 12, pp. 421-429, 2004.
- [20] Y. Kim, J.-H. Park, S.-W. Min, S. Jung, H. Choi, and B. Lee, “Wide-viewing-angle integral three-dimensional imaging system by curving a screen and a lens array”, Applied Optics, Vol. 44, pp. 546-552, 2005.
- [21] D.-H. Shin, B. Lee, and E.-S. Kim, “Multidirectional curved integral imaging with large depth by additional use of a large-aperture lens”, Applied Optics, Vol. 45, No. 28, pp. 7375-7381, 2006.
- [22] S. Jung, J.-H. Park, H. Choi, and B. Lee, “Viewing-angle-enhanced integral three-dimensional imaging along all directions without mechanical movement”, Optics Express, Vol. 11, No. 12, pp. 1346-1356, 2003.
- [23] 김주환, 김윤희, 최희진, 조성우, 김영민, 박정현, 박길배, 정재현, 강진모, 이병호, “40인치 집적 영상 시스템의 구현”, 제14회 광전자 및 광통신 학술회의, 논문 TP-66, pp. 212-213, 2007년 5월.
- [24] J.-H. Park, S. Jung, H. Choi, and B. Lee, “Integral imaging with multiple image planes using a uniaxial crystal plate”, Optics Express, Vol. 11, No. 16, pp. 1862-1875, 2003.
- [25] Y. Kim, H. Choi, J. Kim, S.-W. Cho, Y. Kim, G. Park, and B. Lee, “Depth-enhanced integral imaging display system with electrically variable image planes using polymer-dispersed liquid crystal layers”, Applied Optics, Vol. 46, No. 18, pp. 3766-3773, 2007.
- [26] J.-H. Park, H.-R. Kim, Y. Kim, J. Kim, J. Hong, S.-D. Lee, and B. Lee, “Depth-enhanced three-dimensional-two-dimensional convertible display based on modified integral imaging”, Optics Letters, Vol. 29, No. 23, pp. 2734-2736, 2004.
- [27] J.-H. Park, J. Kim, Y. Kim, and B. Lee, “Resolution-enhanced three-dimension/two-dimension convertible display based on integral imaging”, Optics Express, Vol. 13, No. 6, pp. 1875-1884, 2005.
- [28] J.-H. Park, J. Kim, J.-P. Bae, Y. Kim, and B. Lee, “Viewing angle enhancement of three-dimension/two-dimension convertible integral imaging display using double collimated or non-collimated illumination”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, No. 31, pp. L991-L994, 2005.
- [29] H. Choi, J.-H. Park, J. Kim, S.-W. Cho, and B. Lee, “Wide-viewing-angle 3D/2D convertible display system using two display devices and a lens array”, Optics Express, Vol. 13, No. 21, pp. 8424-8432, 2005.

- [30] H. Choi, S.-W. Cho, J. Kim, and B. Lee, "A thin 3D-2D convertible integral imaging system using a pinhole array on a polarizer", *Optics Express*, Vol. 14, No. 12, pp. 5183-5190, 2006.
- [31] S.-W. Cho, J.-H. Park, Y. Kim, H. Choi, J. Kim, and B. Lee, "Convertible two-dimensional-three-dimensional display using an LED array based on modified integral imaging", *Optics Letters*, Vol. 31, No. 19, pp. 2852-2854, 2006.
- [32] S.-W. Min, M. Hahn, J. Kim, and B. Lee, "Three-dimensional electro-floating display system using an integral imaging method", *Optics Express*, Vol. 13, No. 12, pp. 4358-4369, 2005.

저자 소개



이 병 호

1983~1987 : 서울대학교 전자공학과 학사, 1987~1989 : 서울대학교 전자공학과 석사, 1989~1993 : UC Berkeley 전기공학 박사, 1994년 9월부터 서울대학교 전기공학부 근무. 현재 정교수, 2002 : 국제광공학회(SPIE) Fellow, 2005 : 미국광학회(OSA) Fellow, 2006~현재 : 미국광학회 Board of Directors, Awards Committee 위원, 현재 : *Journal of SID*, *Applied Optics*, *Optical Fiber Technology* 편집위원, 한국정보디스플레이 학회 3D 디스플레이 연구회 회장, 기타 : SPIE Engineering, Science and Technology Policy Committee 위원 역임, *Japanese Journal of Applied Physics* 편집위원 역임, 2개 국제학술회의 Co-Chair 역임, 수상 : 제5회 젊은과학자상(2002), 제1회 서울대 신양공학학술상(2005), 한국광학회 학술상(2006)



김 주 환

2000~2004 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 학사, 2004~현재 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사과정, 연구 분야 : 3D 디스플레이 및 3D 영상 신호처리