기 술 특 집

패럴랙스배리어와 렌티큘러 스크린 방식의 3D 디스플레이

이 승 현 (광운대학교 대학원 정보디스플레이학과)

입체감이란, 마치 그 장소에 있는 것 같이 느끼는 것이며, 높은 입체감을 실현하는데 있어서 디스플레이는 필수 불가결한 요소이다. 눈앞에 펼쳐진 입체 영상을 잡으려고 손을 내밀어 버리거나, 전방에서 다가오는 영상을 엉겁결에 피하거나 할 만큼, 입체영상은 종래의 2차원 영상과는 전혀 다른 효과를 가지고 있다. 그러나, 현재의 3D 디스플레이에서는 입체 영상 감상용 안경 같은 장치가 필요하다거나, 정해진 장소에 눈의 위치를 고정해야하는 필요가 있는 등 이래저래 사용하는 방법이 까다롭다고 할 수 있다.

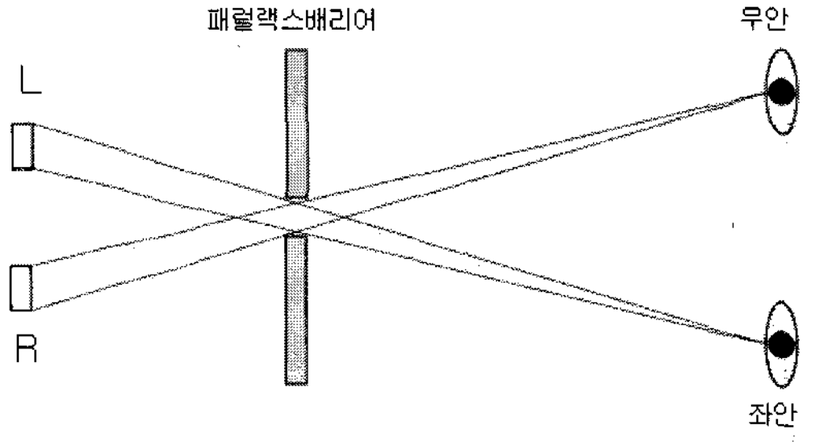
입체 영상을 보기 위해 특별한 안경을 쓴다는 것은 귀찮은 일이다. 특수한 안경을 사용하지 않는 입체 디스플레이를 만드는 것은 입체에 관한 연구를 하는 사람들의 꿈이었으며, 일반적으로 좌우 시차 영상을 분리하여 두 눈으로 볼 수 있도록 패럴렉스배리어나 렌티큘러 스크린 등의 광학 판을 디스플레이 화면의 앞, 또는 뒤에 설치하는 방식을 사용한다. 이들 방식은 일반적으로 유효 시야가 상당히 좁고, 한 사람밖에 이용하지 못했지만 최근 여러 명의 관찰자도 함께 시청할 수 있는 다시점 입체 디스플레이가 발표되는 등 차세대 디스플레이로써 주목을 받고 있다. 여기서는 패럴랙스배리어와 렌티큘러 스크린 방식의 3D 디스플레이 기술에 대해 소개한다.

Ⅰ. 패럴랙스배리어 방식

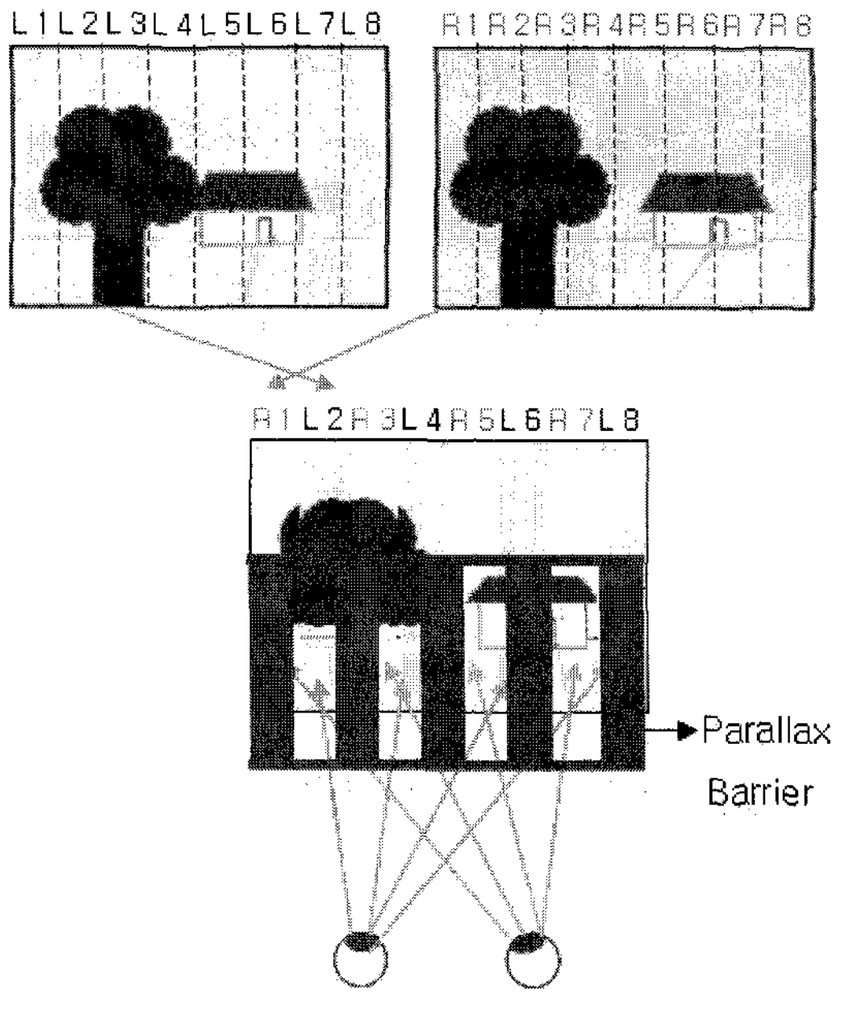
1. 2안식 패럴랙스배리어

패럴랙스배리어 방식이라고 부르는 것은 [그림 1]에서와 같이 슬릿상의 광학적인 배리어에 의해 좌우 영상을 분리하는 방법이다. [그림 1]에서는 작은 구멍 혹은 배리어를 사이에 놓고 2점 좌안영상(L)과 우안영상(R)을 들여다보는 경우를 나타내고 있다. 양안의 위치에서 보면 우안에서는 점 R만을 좌안에서는 점 L만을 볼 수 있다. 또 배리어의 크기를 제한하여 우안에서는 점 L을 볼 수 없도록 한 것은 그림에서 쉽게 이해할 수 있다. 점 L, R을 좌우 영상의 한 화소라고 가정하고 이 위치에 액정등의 평면 디스플레이를 사용하며 슬릿도 한 개가 아니고 등간격의 다수의 슬릿을 가지는 패널을 놓는 것으로 무안경 입체 디스플레이를 만들 수 있다.

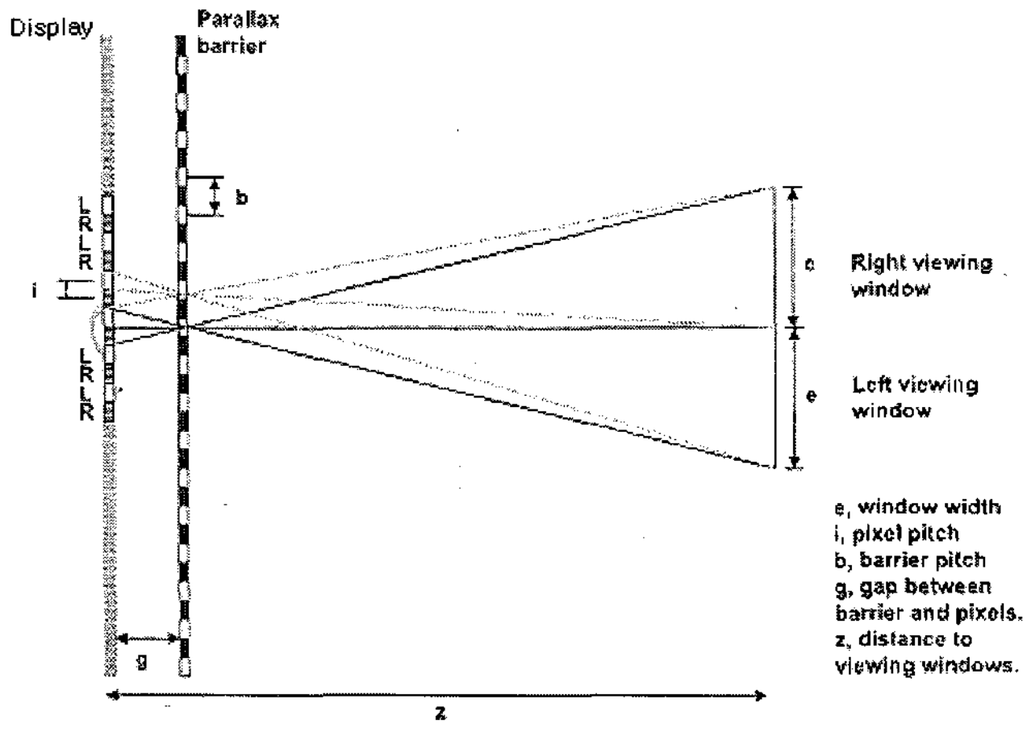
1903년에 미국의 F. E. Ives가 패럴랙스 스테레오그램으로 불리는 입체 영상을 보는 방법을 제안하였다. 이 방법은 [그림 2]에서 볼 수 있듯이 패럴랙스 배리어로 불리는 가느다



[그림 1] 패럴랙스배리어를 이용한 2점 L과 R의 분리



[그림 2] 패럴랙스배리어를 이용한 3D 디스플레이



[그림 3] 패럴랙스배리의 원리

란 슬릿상의 개구부(aperture) 뒤쪽에 적당한 간격을 두고 좌우 2안에 대한 2개의 영상을 교대로 배치하여 특정한 시점에서 이 개구부를 통해 보았을 때 정확하게 분리해서 볼 수 있는 방식이다. 단, 좌우 2안에 대한 영상밖에 표시하고 있지 않기 때문에 시점을 이동해서 자유롭게 볼 수는 없다.

[그림 3]은 2안식 패럴랙스배리어의 원리를 보여주며, 관찰점의 중심선으로 부터 L과 R 픽셀 쌍의 중심에 픽셀과 배리어가 위치함을 알 수 있다. 패럴랙스배리어 피치 b의 설계를 위해 기하학적인 구조를 이용하면 [그림 3]으로부터 식 (1)을 얻을 수 있고, 식 (1)을 정리하면 식 (2)를 얻는다.

$$\frac{b}{z-g}=\frac{2i}{z} \tag{1}$$

$$b=2i\left(\frac{z-g}{z}\right) \tag{2}$$

식 (2)로부터 2안식 디스플레이의 배리어 피치는 디스플레이 픽셀 피치의 2배보다 작음을 알 수 있다. 이와 같이 픽셀과 배리어 피치 간의 작은 차이가 눈과 디스플레이를 통과하는 픽셀 사이의 시청각도 변화를 결정하게 되며, 이를 시점 조절이라고 부른다.

[그림 3]으로부터 최적의 시청거리 z는 식 (3)으로 표시할 수 있고, 이로부터 식 (4)를 얻을 수 있다.

$$\frac{i}{g}=\frac{e}{z-g} \tag{3}$$

$$z=g\left(\frac{e+i}{i}\right) \tag{4}$$

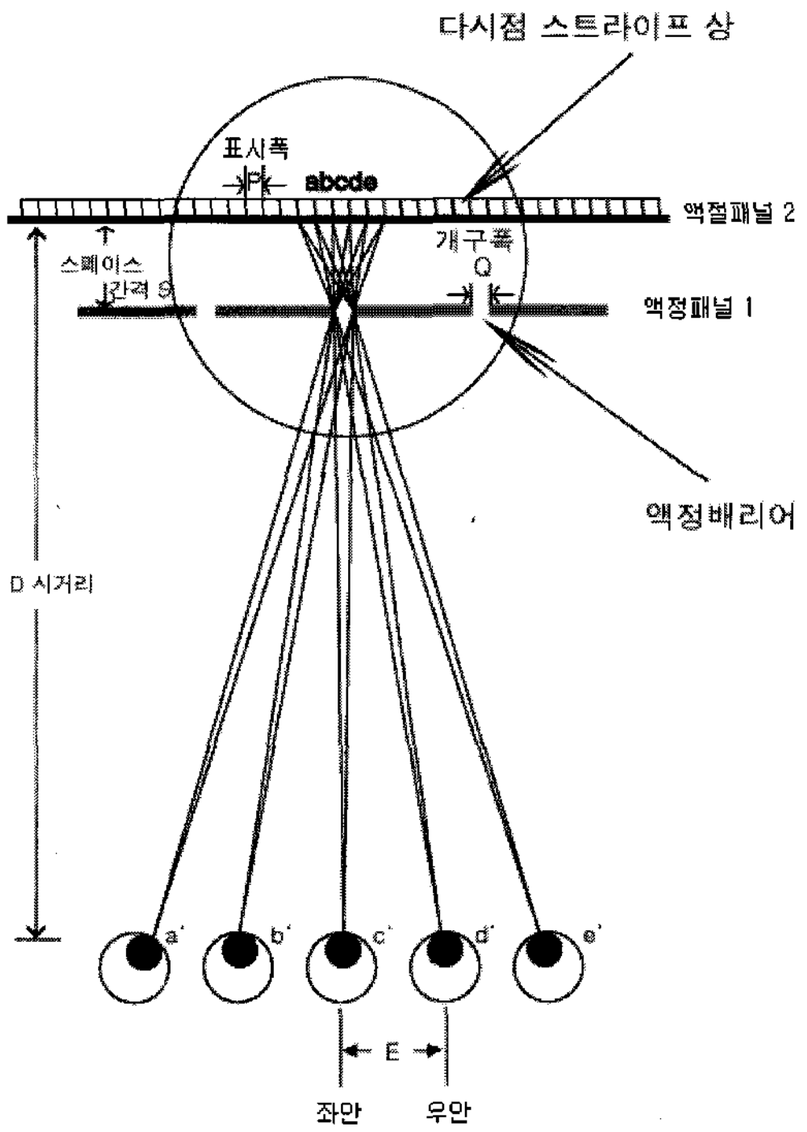
여기서, 두 눈 사이의 간격 e=65mm, 픽셀 피치 i는 디스플레이 제조사에서 결정된 값, 디스플레이와 배리어 사이의 간격 g는 LCD 전면 물질들의 두께로 결정된다. 예를 들면, 픽셀의 간격 i=0.1mm 정도, LCD 전면의 물질과 편광판을 포함하는 간격 g=1.15mm이다. 결과적으로 시청거리를 조절할 수 있는 여유는 거의 없으며, 상용 LCD의 두께를 고려할 때 일반적인 패럴랙스배리어의 최적 시청거리 z=750 mm이다. 최근 출시되고 있는 2D 디스플레이의 두께가 0.4-0.63mm이고, 편광판의 두께가 0.2mm인 경우는 시청거리를 z=390mm 정도로 줄일 수 있다. 이는 2D 디스플레이의 시청 거리가 300-350인 것과 비교될 수 있으며, 시청거리가 짧아짐에 따라 시청 각도가 증가하는 원리를 생각하면 3D 디스플레이의 제작에 가장자리 부분에 대한 손실을 고려해야 한다.

2. 다안식 패럴랙스배리어

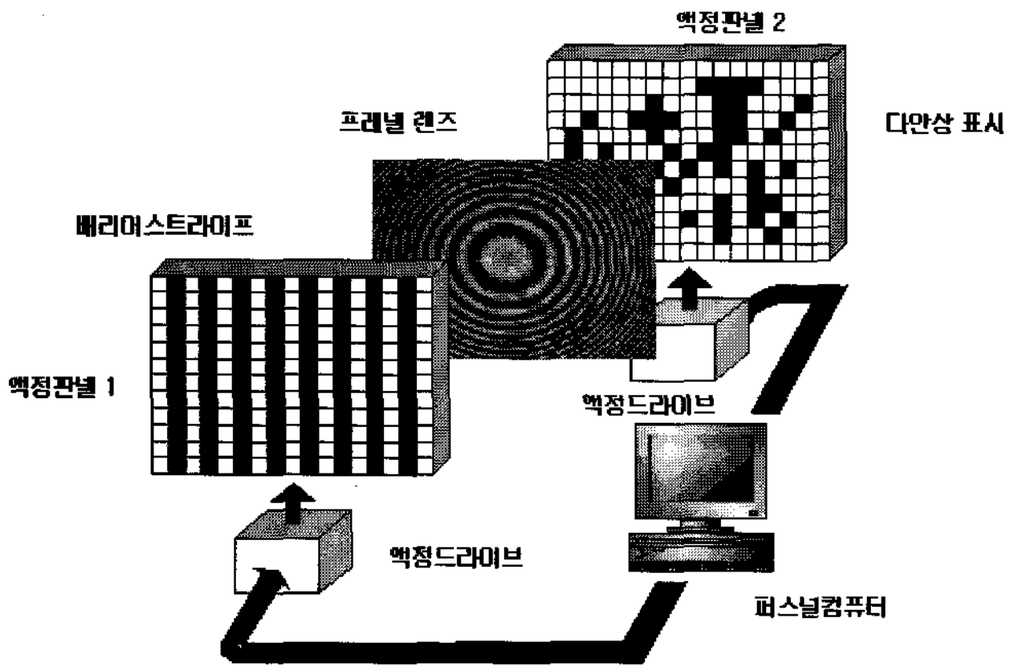
1918년에 미국의 C. W. Kanolt는 시점을 바꾸어도 연속적으로 3차원 영상을 볼 수 있는 패럴랙스 파노라마그램(parallax panoramagram)을 제안하였다. 이 방법은 패럴랙스 배리어의 슬릿 간격을 바꾸어 개구비를 낮추고 그 대신 화상 표시 면에 여러 방향에서 촬영한 다안상을 배치하는 것이다. 최초의 패럴랙스 파노라마그램의 실험은 1928년에 H. E. Ives에 의해 실시되었다. 최근 미국 일리노이대학의 그룹은 CG화상으로 다안상(13시점)을 만들어 스캐너로 컬러 슬라이드 필름에 기록한 다음, 이것은 백라이트로 조명한 밝은 3차원 영상(정지면)을 발표하였다.

일반적으로 패럴랙스배리어 방식은 배리어의 위치나 형상을 바꿀 수 없는 고정식이다. 이것에 대해 배리어의 형상이나 위치를 다이나믹하게 바꿀 수 있는 액정 패럴랙스 배리어 방식이 1992년에 NHK에서 발표되었다. [그림 4]는 5안식 디스플레이의 원리를 보여주고 있다. 두 장의 액정패널을 적층하는 것인데, 한쪽의 액정 패널에 다 방향에서 촬영한 다안 영상을 스트라이프 상에 디스플레이 하고 다른 액정 패널에 슬릿 배리어를 디스플레이 한다. 이 슬릿 배리어를 통해 다시점의 입체영상을 안경 없이 볼 수 있다.

[그림 4]에서 두 장의 액정패널 사이의 간격 S는 다음 식



[그림 4] 5안식 패럴랙스배리어 디스플레이의 원리



[그림 5] 5안식 액정 패럴랙스배리어 방식의 기본 구성

(5)로 나타난다.

$$S = \frac{D}{1+(E/P)} \tag{5}$$

여기서, D는 시점에서 스트라이프 영상까지의 거리, E는 양안 동공간격(약 65mm), P는 스트라이프 영상의 폭이다. 또 슬릿 배리어의 개구폭 Q는 식 (6)과 같이 주어진다.

$$Q = \frac{P}{1-(S/D)} \tag{6}$$

여기서, 개구폭 Q는 LCD의 디스플레이 화소폭 또는 그 정수배의 폭이 된다. 이 경우 한계가 있는 관찰거리 D에서 입체시하기 위해서는 액정패널 2에 디스플레이하는 슬릿배리어의 개구주기가 액정패널 1의 영상주기 보다 다소 크게 할 필요가 있다. 액정 패럴랙스 방식의 기본구성을 [그림 5]에 나타낸다.

이 방식은 액정 패널에서 디스플레이 하는 슬릿 배리어의 형태나 개구비, 위치 등을 3차원 영상의 시점수에 대응해서 자유롭게 바꿀 수 있다. 이로 인해, 2안식에서 다안식까지 임의의 3차원 영상 디스플레이에 대응할 수가 있다. 또, 슬릿배리어의 표시를 하지 않으면 2차원 영상을 해상도의 저하 없이 표시할 수 있기 때문에 현행의 TV방식과 양립성이 있는「벽걸이식」무안경 3차원 TV장치로서도 사용된다. 이 밖에 2차원 영상과 3차원 영상을 같은 화면속에 혼재 표시할 수 있는 특징도 있으며 멀티미디어 대응의 컴퓨터용 3차원 영상 디스플레이로도 사용될 수 있다. 이 방식을 더욱 발전시키면 액정패널에 세로무늬의 1차원 슬릿 배리어 만이 아니고 2차원 격자 형태의 슬릿 배리어를 표시할 수 있다. 이 2차원 격자 형태의 슬릿 배리어 뒤에 수평방향 및 수직방향에 시차를 갖는 다시점 화상을 표시하면 관찰자의 좌우, 상하방향의 시점이동에 대응한 입체화상을 볼 수가 있다.

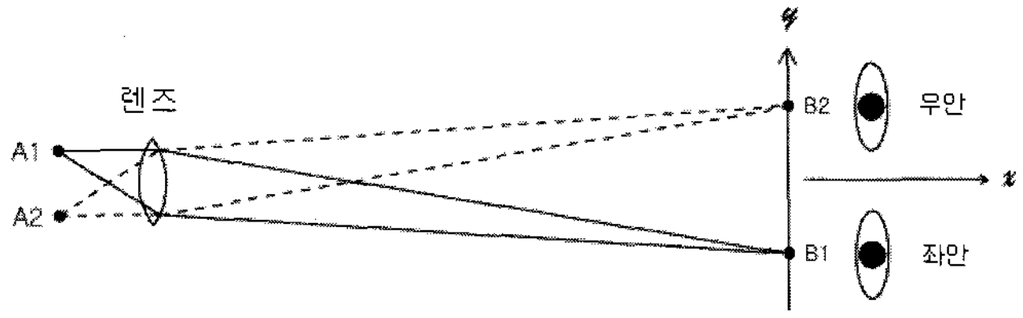
Ⅱ. 렌티큘러 스크린방식

1. 2안식 렌티큘러 스크린

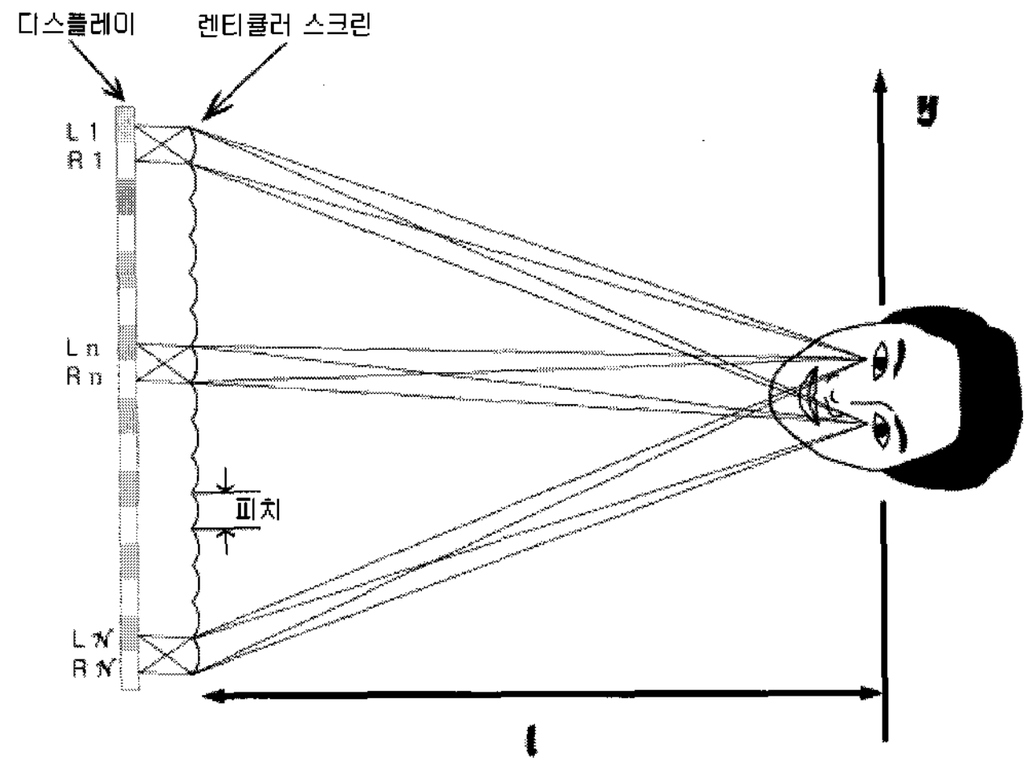
이미 보신 사람이 많을 입체사진의 그림엽서에는 렌티큘라 방식이 사용되고 있다. 렌티큘라 방식의 역사는 오래되어 이미 1932년에 H.E.Ives가 렌티큘라 스테레오의 특허를 취득하고 있다. 그러나, 가공기술이나 재료 기술이 미숙하여 오랫동안 제구실을 못했었다. 그 후 1960년대에 접어들어 정밀가공기술이나 플라스틱 공업, 사진·인쇄 기술 등의 기술이 진보됨에 따라 렌티큘라 영상기술 전반이 현저하게 진보하였다.

렌티큘러로 좌우의 영상을 분리할 수 있는 기본적인 원리를 [그림 6]에서 보여준다. [그림 6](a)는 잘 알려져 있는 렌즈의 집속작용을 나타내는 것으로, x축 상의 점 A부터 나온 빛은 렌즈로 x축 상의 B점에 집속된다. [그림 6](b)와 같이, x축부터 y방향으로 벗어난 점 A1과 A2부터 빛이 나오는 경우를 생각하면, y축 방향의 위쪽으로 벗어난 점 A1으로부터 나오는 빛은 y축 상의 아래쪽으로 벗어난 점 B1에 집속된다. 마찬가지로 A2부터 나온 빛은, y축 상의 B2에 집속될 것이다. B1과 B2의 거리를 사람의 좌우의 눈의 간격(약 65mm)으로 만들고, B1, B2의 위치에 눈을 맞추면,

(a)



(b)



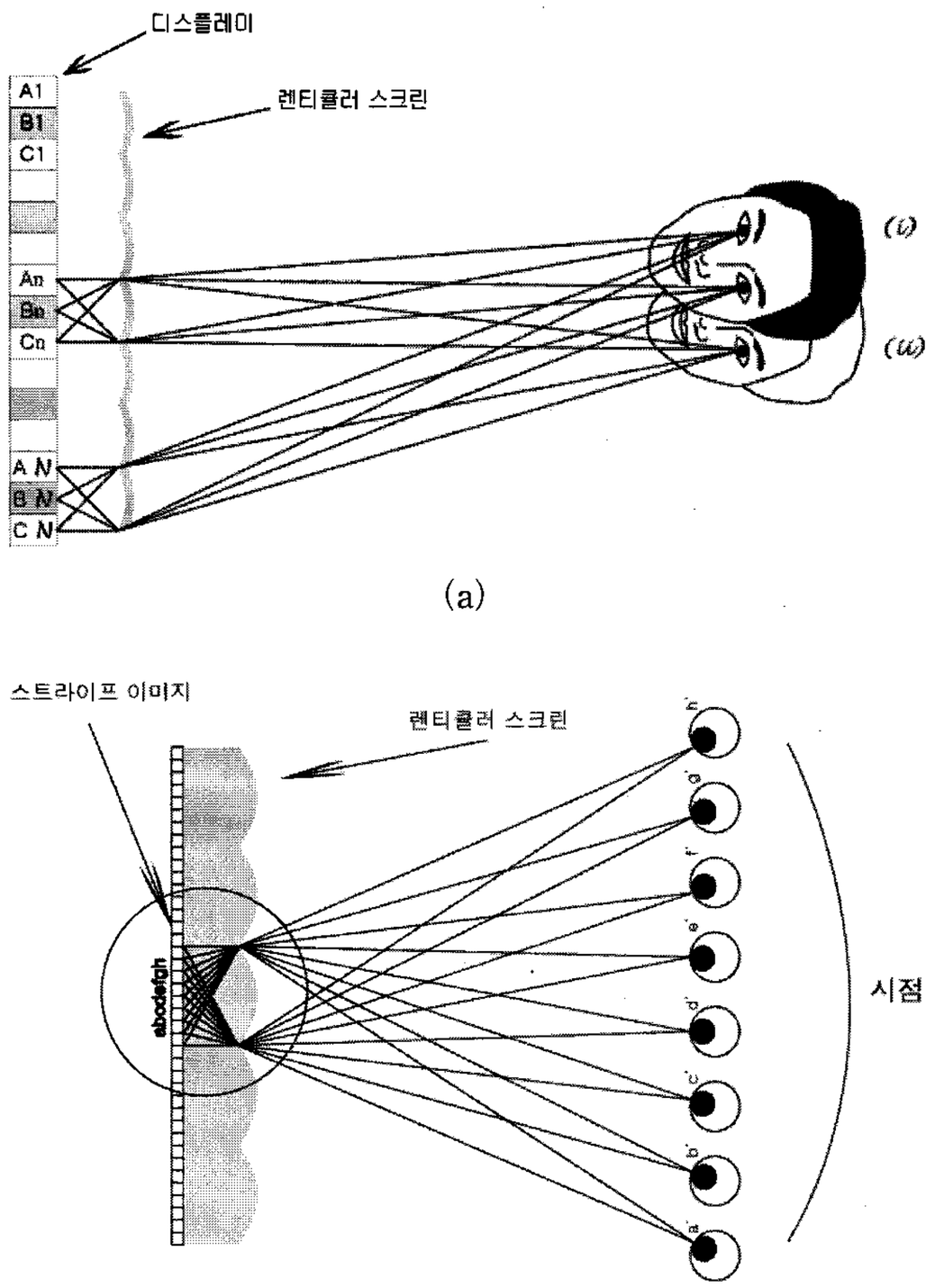
(c)

[그림 6] 렌티큘러 스크린을 이용한 입체 영상 디스플레이의 원리

왼쪽 눈은 A1으로부터의 빛만을 오른쪽은 A2로부터의 빛만을 특수한 안경의 작용을 빌리지 않고 보게 된다. A1, A2의 쌍을 많이 만들고, 렌즈도 반구 실린더형 렌즈를 다수 늘어놓은 형태(렌티큘러 스크린)로 하면, 무안경 입체 디스플레이가 될 수 있다는 것이 바로 상상이 될 것이다.

[그림 6](C)에서, A1, A2와 같은 다수의 페어는 L1, R1..., Ln, Rn...의 다수의 페어가 되어 디스플레이의 화소를 구성한다(L은 왼쪽 눈의 영상을 분할하는 화소, R은 오른쪽 눈의 영상을 분할하는 화소). L1, R1, L2, R2,...는 규칙 바르게 배열되어야 하고, 그 위에 디스플레이 렌즈로써 만들어진 렌티큘러 스크린인 반구 실린더형 렌즈의 피치는, 정확히 L1과 R1, L2와 R2...의 피치와 같게 (L1, R1의 크기의 2배) 배치되어야 한다. 이와 같이 세밀한 공정이 가능한 전자 디스플레이는, LCD, PDP 등과 같이 매트릭스에 화소가 배열된 완전한 평면형 디스플레이(FPD)이어야 한다.

그런데 [그림 6](C)에서 관찰자가 축 상을 이동한 경우는 약한 부정합이 생길 수밖에 없다. 즉, 눈과 눈의 간격에 해당하는 65mm를 이동하면 좌우의 영상이 역전하고 왼쪽 눈에 오른쪽의 영상이 들어온다(역시상태). 조금 더 65mm를 같은 방향으로 이동하면, 또 정상으로 입체가 보이는 영역이 존재한다. 또한 렌티큘러 스크린과 눈의 거리가 변하면, 집속점으로부터 벗어나게 되어 좌우의 영상이 혼재한 "크로스토크" 상태가 된다. 즉, 이 방식은 확실히 안경 없이 입체를 볼 수 있지만, 원리적으로 입체시를 할 수 있는 영역이 제한이 된다는 문제점이 있다.



[그림 7] 다안식 렌티큘러 디스플레이의 원리

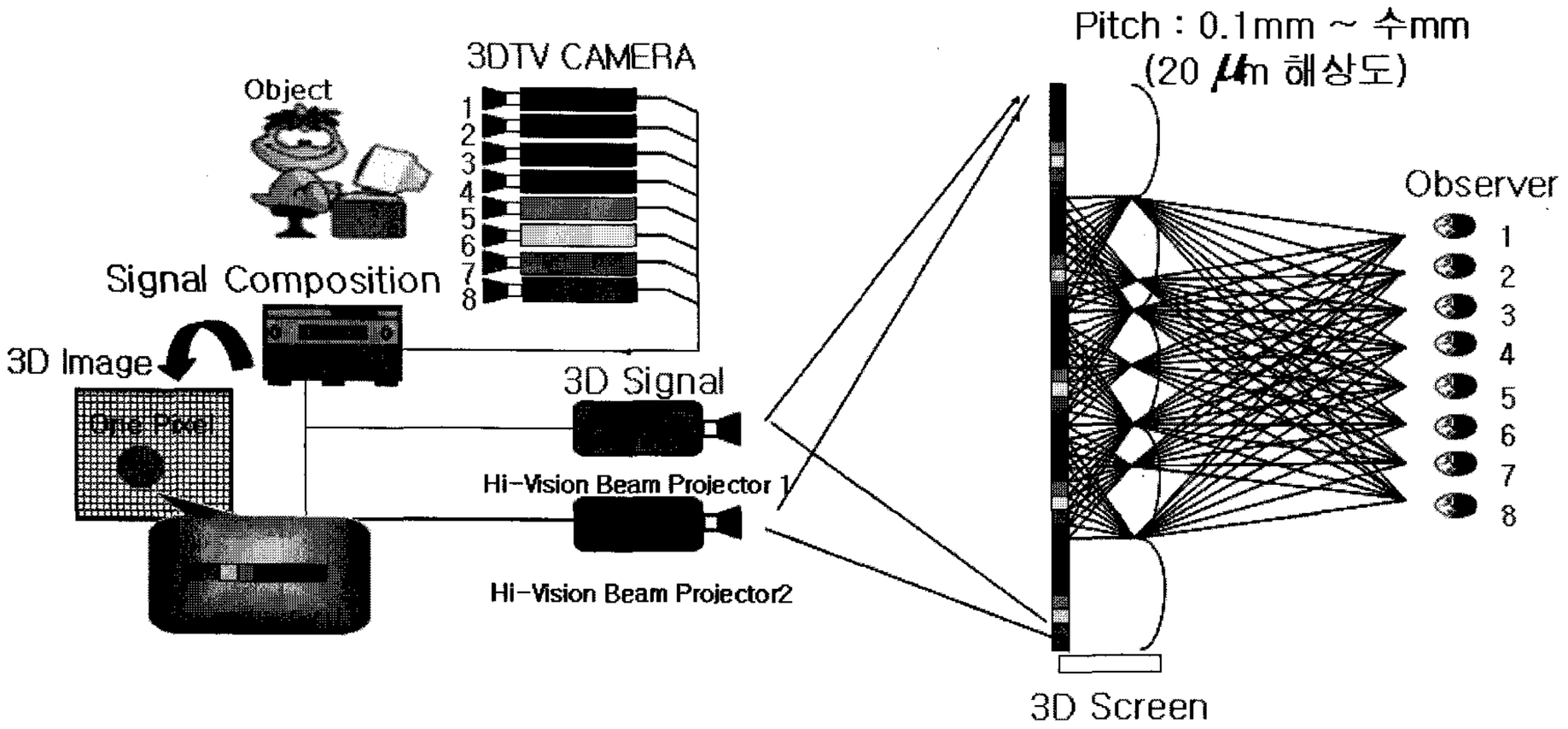
2. 다안식 렌티큘러스크린

현실의 세계는 단지 스테레오 2종류의 정보만이 아니다. 우리는 눈을 2개 밖에 갖고 있지 않지만 얼굴을 움직여서 다른 위치부터 2종류 이상의 정보를 시시각각 입수하고, 관찰물의 보다 현실에 가까운 이미지를 구성하고 있다(다안정보). 두 눈에 따른 정보의 입체 디스플레이는 항상 같은 위치로 부터의 정보를 입수하고 있는 것에 불과하고(이것으로 정확한 정보를 얻을 수 있는 경우도 물론 있다), 가장 큰 문제는 이 입체 디스플레이를 보고 있을 때, 얼굴의 위치를 움직여도 입체 영상은 변하지 않는다는 것이다. 현실의 세계는 그렇지 않다.

다안식 입체 디스플레이의 원리를 [그림 7]에 보여준다. 먼저 2안식과 그림에서 크게 다른 것은 렌티큘러 스크린의 하나의 볼록렌즈에 대응하는 디스플레이의 화소 수가 2개와 3개인 점이다. [그림 7](a)에서는 A1, B1, C1,의 3개 A2, B2, C2,의 3개가 각각 1조로 되어있고 볼록면 하나의 렌티큘러 렌즈 1개에 대응하고 있다. 이 입체 디스플레이는 3안식 입체의 케이스이고, A, B, C의 화소 트리오에 다른 방향부터의 영상정보가 들어가 있다. 관찰자가 렌트큘러 스크린의 앞에서 입체영상을 보면, (i)의 위치에서는 좌안으로 A1, An, AN의 화소군을, 오른쪽눈으로 B1, Bn, BN의 화소군을 보고 있는 경우를 생각한다. 관찰자가 (i)의 위치부터 양안의 간격의 약 65mm 이동하고 (ii)의 위치에 올 때를 생각한다. 그림에서는 왼쪽눈으로 B1, Bn, BN의 화소 군을, 오른쪽 눈으로 C1, Cn, CN의 화소 군을 볼 것이다. 즉 (i)부터 (ii)로 눈을 이동하면 A와 B의 페어의 정보부터, B와 C의 페어의 정보를 보게 된다. 이와 같은 방법으로 3안으로부터 4안, 5안 등으로 늘리면 보다 많은 정보를 가진 입체 영상을 볼 수 있을 것이다.

8안식 렌티큘러 스크린의 경우를 [그림 7](b)에 보여준다. 렌티큘러 스크린의 1개의 볼록렌즈에 a, b, c, d, e, f, g, h의 8개의 영상의 정보가 대응하고 있다. 우측에 관찰자의 눈을 보여준다. 예를 들면 h′g′의 위치에 왼쪽 눈과 오른쪽 눈이 올 때, h와 g의 영상 정보를 본다. 눈의 위치를 순차적으로 변화시키면 이와 같이 서로 다른 8종류의 영상을 볼 수 있다.

[그림 8]에 실제로 8안식의 전자식 디스플레이를 이용한 시스템을 소개한다. 먼저 8대의 카메라를 수평 방향으로 배열하여 물체를 촬영하고, 이들 카메라의 출력 신호를 2대의 하이비젼 LCD 프로젝터에 입력한다. 8대의 카메라 중 1, 3, 5, 7의 카메라의 출력신호는 프로젝트 1에 입력하고 2, 4, 6, 8 카메라의 출력 신호는 프로젝터2에 입력한다. 2대의 프로젝터는 확산 스크린 상에 인터리브(교차로 병렬배치) 형태로 투영된다. 카메라 1, 2, ..., 8과 확산스크린 상의 화소 1, 2, ..., 8은 대응하고 있다. [그림 8]의 확산 스크린 상에 렌



[그림 8] 8안식 렌티큘러 스크린 디스플레이

티큘러 스크린을 붙인다. 투영된 8안의 화소 영상의 8개의 조에 볼록 형태의 렌티큘러의 1피치가 정확히 위치하게 된다. 실제, 50인치의 8안식 무안경 입체 디스플레이가 개발되었다.

다안식 입체의 장점으로 눈의 위치를 바꾸면 계속해서 영상이 바뀌어서 물체를 정면부터 만이 아니고, 측면에 가까운 곳에서도 볼 수 있다. 또 하나의 특징은 관찰자의 위치 제한이 상당히 두드러지게 완화된다는 것이다. 2안 입체의 경우는 전후좌우에 심한 관찰 위치의 제한이 있었다. 좌우방향은 65mm 이동할 때 마다 역 입체시가 있고, 전후방향은 약 20 cm로 입체영역 제한된다. 그러나 8안식 50인치의 입체영상은 전후 방향에서는 스크린부터 5.2m의 위치가 최적 관찰 영역이고, 3.8m부터 8.2m의 범위에서 좌우 방향은 약 10명이 동시에 입체영역을 볼 수 있었다.

이와 같이 다안식 입체영상은, 본격적으로 안경 없는 입체영상으로서의 성능을 만족해 주지만, 앞으로의 과제는 어떻게 이 시스템을 간단히 할 수 있을까 하는 것이다. 이것은 디스플레이로서의 LCD 프로젝터가, 얼마나 보다 고정밀화가 되는지 하는 것과 함께, 다안의 영상 콘텐츠를 얼마나 적절한 가격에 만들 수 있는가에 달려있다. 영상 콘텐츠의 제작은 다시점 카메라 시스템이 얼마나 간단히 되는지와 영상 콘텐츠의 다차원화, CG 제작 등의 방법 개발에 의존하고 있다.

Ⅲ. 결 론

현재까지 연구, 개발되고 있는 여러 가지 방식의 무안경 입체 디스플레이 중 패럴랙스배리어와 렌티큘러 스크린 방식을 간단하게 소개했다. 이외에도 많은 입체 디스플레이가 제안되고 있지만, 어느 방식의 입체 디스플레이가 가장 적합한 것인지에 대한 예측은 어렵다. 입체 디스플레이의 바람직한 발전 방향에 대해 전망해본다.

1. 액정 기술의 발전이 각종 입체 디스플레이를 크게 발전시키고 있다.

2. 편광안경이나 액정 셔터 안경 방식은 기술의 완성도는 높고, 큰 화면에 많은 사람을 대상으로 하는 이벤트 등의 입체에 적당하다.

3. 장착이 번거로운 특수한 안경을 사용하지 않는 패럴랙스배리어나 렌티큘러 스크린 방식의 입체 디스플레이는 비교적 소형으로 개인적 사용의 응용 분야에 적합하다. 2006년 LG와 MBC는 3D DMB를 소개하였으며, 금년에 삼성전자에서는 3D 핸드폰(SCH-B710)을 출시하였다. 소형화에서의 문제는 입체관찰 영역이 협소 하다는 점이다. 입체시 영역을 넓힐 수 있는 기술이 제안 되고 있고 기술적으로 아직 미완성적인 부분이 있지만 앞으로의 발전이 기대된다.

4. 다안식 디스플레이는 안경이 없어도 관찰 영역도 넓지만, 시스템이 크고 가격이 비싸게 된다. 다안식 디스플레이는 필립스를 선두로 최근 국내에서는 LG전자가 다시점 디스플레이를 발표하였다. 입체이므로 커도, 비싸도 좋다고 하는 것은 아마 사용자들로 부터 용이하게 받아들여지지는 않을 것이다. 시스템의 소형화 저가격화가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 김은수, 이승현 "3차원 영상의 기초" 기다리&오옴사, 1998.

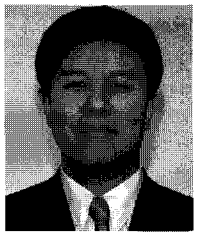
[2] S. Kaplan, Theory of parallax barriers Journal of the SMPTE, vol 59, July 1952.

[3] D. J. Sandin, et al.: Computer-generated barrier-stripe autostereography, Proc. SPIE, p. 1083, 1989.

[4] H. Isono, M. Yasuda and H. Sasazawa, "Autostereoscopic 3D LCD Display using LCD-generated Parallax Barrier", 12th Int. Display Research

Conf., Japan, Display'92, pp. 303-306, 1992.
[5] NHK 技研公開展示資料, pp. 25-26, 1994.
[6] Philips 3D Solutions, 3D Interface Specifications White Paper, Dec. 2006.

저 자 소 개



이 승 현 (李丞玄)

1992년~현재 : 광운대학교 교수, 관심분야 : 3D 디스플레이, 컴퓨터형성홀로그램