

패럴랙스배리어와 렌티큘러 스크린을 이용한 3D 디스플레이

이 승 현 (광운대학교 대학원 정보디스플레이학과)

I. 서 론

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. 안경을 착용하는 방식은 주로 극장 등의 여러 사람이 동시에 관람할 때 사용하게 되며, 무안경 방식은 안경을 착용하지 않는 대신 여러 사람이 동시에 관람하는 것이 어려워 대부분 모바일 휴대장치, 컴퓨터 모니터 등 혼자 사용하는 디스플레이 장치에 많이 사용 되고 있다.

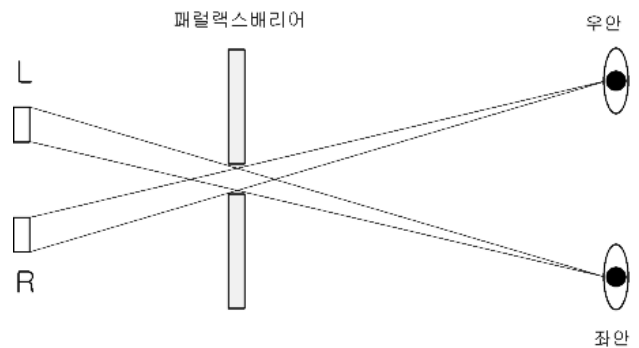
무안경 디스플레이 장치로는 제작이 간편하면서 구현이 쉬운 패럴랙스배리어 방식과 렌티큘러 스크린 방식이 주로 사용되고 있다. 이 두 방법은 패럴랙스배리어나 렌티큘러 스크린 같은 광학 판을 디스플레이 화면의 앞, 또는 뒤에 설치하여 사용한다. 이들 방식은 일반적으로 유효 시야가 상당히 좁고, 한 사람 밖에 이용하지 못했지만 최근 여러 명의 관찰자도 함께 시청할 수 있는 다시점 입체 디스플레이가 발표되는 등 차세대 디스플레이로써 주목을 받고 있다. 여기서는 패럴랙스배리어와 렌티큘러 스크린 방식의 3D 디스플레이 기술에 대해 소개한다.

II. 패럴랙스배리어 방식

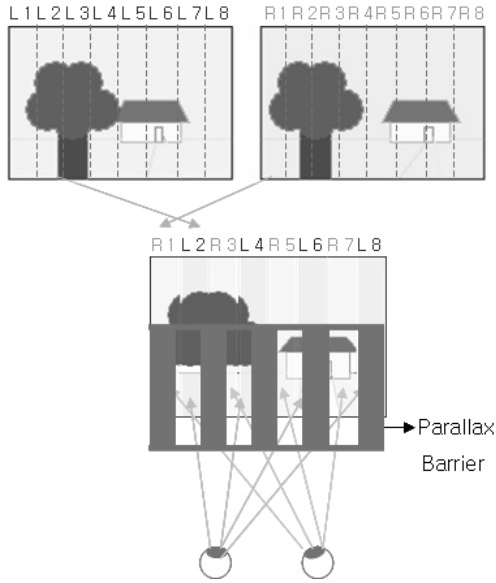
1. 2시점 패럴랙스배리어 방식

패럴랙스배리어 방식이라고 부르는 것은 [그림 1]에서와 같이 슬릿 상의 광학적인 배리어에 의해 좌우 영상을 분리 하는 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 액정 등의 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 방법



[그림 1] 패럴랙스배리어를 이용한 2점 L과 R의 분리



[그림 2] 패럴랙스배리어를 이용한 3D 디스플레이

은 [그림 2]에서 볼 수 있듯이 패럴랙스 배리어로 불리는 가느다란 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 영상 밖에 표시하고 있지 않기 때문에 시점을 이동해서 자유롭게 볼 수는 없다.

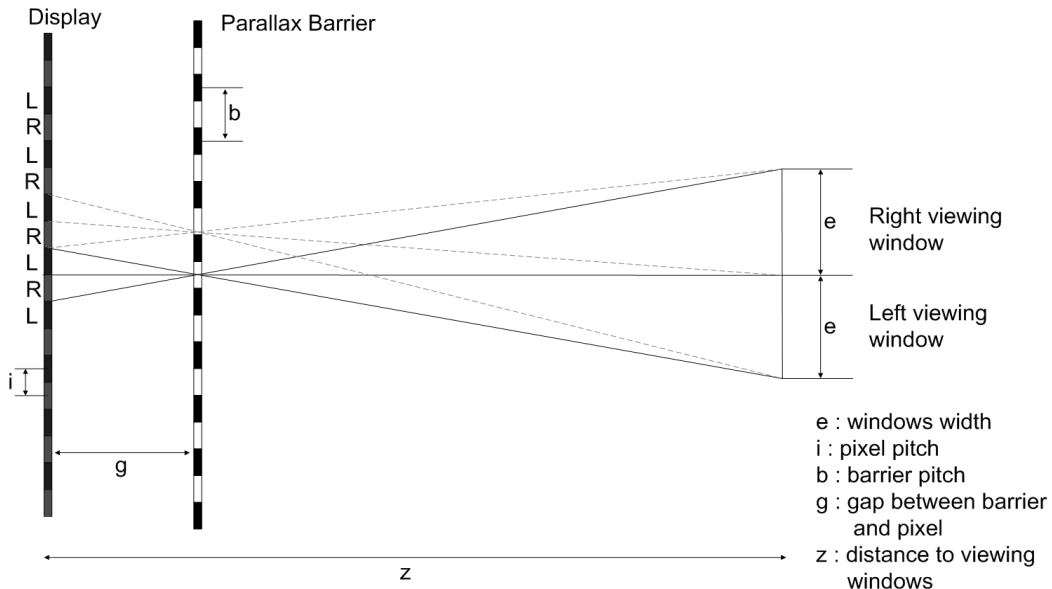
[그림 3]에서 보여 지는 변수들을 이용하여 패럴랙스배리어를 설계 하게 된다. [그림 3]에서 e 는 시청 가능 영역을, z 는 디스플레이와 시청자와의 거리, g 는 패럴랙스배리어와 디스플레이의 간격, i 는 디스플레이 장치의 픽셀크기, b 는 패럴랙스배리어와 개구부가 쌍을 이루고 있는 크기를 뜻하고, b 는 $2i$ 와 대응되게 된다. 여기서 정해진 값은 i 이고, 나머지 값들에 의해서 b 가 정해지게 되는데, 우리가 [그림 3]에서 언급자 하는 변수의 값은 b 이다. 이 변수들의 기하학적 구조를 이용하여 식(1)이 도출 되고, 이 식을 정리하여 식(2)를 얻는다.

$$\frac{b}{z-g} = \frac{2i}{z} \quad (1)$$

$$b = \frac{2i(z-g)}{z} \quad (2)$$

최적의 시청거리 z 를 얻기 위하여 식(3)으로부터 식(4)를 얻을 수 있다.

$$\frac{i}{g} = \frac{e}{z-g} \quad (3)$$



[그림 3] 패럴랙스배리어 설계시 사용되는 변수

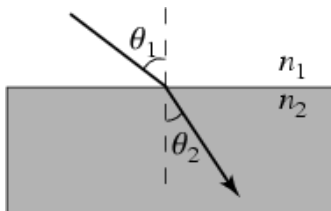
$$z = g \left(\frac{e+i}{i} \right) \quad (4)$$

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

위 식대로 설계를 하면 가끔은 패럴랙스배리어가 정확하게 설계가 될 때도 있지만, 대부분의 경우 그렇지 않다는 것을 알 수 있는데, 이는 LCD 패널을 구성하고 있는 유리의 굴절률을 고려하지 않았기 때문에 발생하게 된다. 따라서 위 식(4)에 굴절률을 고려한 패럴랙스배리어를 설계하기 위하여 스넬의 법칙(Snell's Law)인 식(5)를 이용할 수 있다. [그림 4]는 스넬의 법칙 개념도이다.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (5)$$

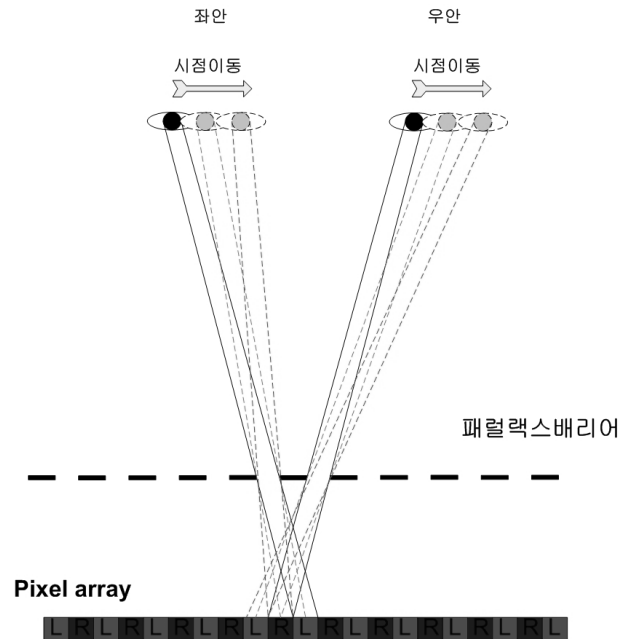
식(5)에서 n 은 매질을 나타내는데, n_1 은 LCD패널, n_2 는 패럴랙스배리어부터 시야까지의 공간을 나타낸다. 식(5)를 식(1)에 적용하여 식(6)을 얻는다.



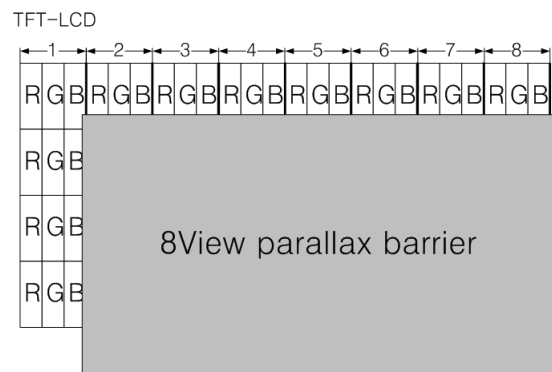
[그림 4] 스넬의 법칙 개념도

$$n_1 \sin \left(\frac{b}{z-g} \right) = n_2 \sin \left(\frac{2i}{z} \right) \quad (6)$$

식(6)에서 n_1, n_2 에 각각 LCD 패널과 공기중의 굴절률을 대입하여 계산을 하게 되면 굴절률까지 고려한 패럴랙스배리어를 설계 할 수 있게 된다. 패럴랙스배리어의 가장 큰 단점은 정해진 위치에서만 시청이 가능하다는 것이다. [그림 5]에서와 같이 관찰자가 좌-우로 이동을 하여 관찰 가능 영역을 벗어나게 되면 좌우 영상이 반전되어 시야에 맞지 않게 된다. 가장 왼쪽 위치가 초기 위치이고, 점차 오른



[그림 5] 시점 이동에 따른 영상 변화



[그림 6] 일반적인 8시점 패럴랙스배리어 방식의 영상배치 원리

쪽으로 시점이 이동 한다고 가정 해보자. 처음 위치에서 가운데 위치로 이동 했을 때, 좌우 영상이 각각 절반씩 보이게 되기 때문에 올바른 영상이 보이지 않고 두 영상이 중첩이 되어 보이게 된다. 다음 오른쪽 끝 위치로 이동 했을 때는 좌우 영상이 완전히 반전된 것을 볼 수 있다. 이와 같이 패럴랙스배리어는 위치 고정형이란 단점을 가지고 있다.

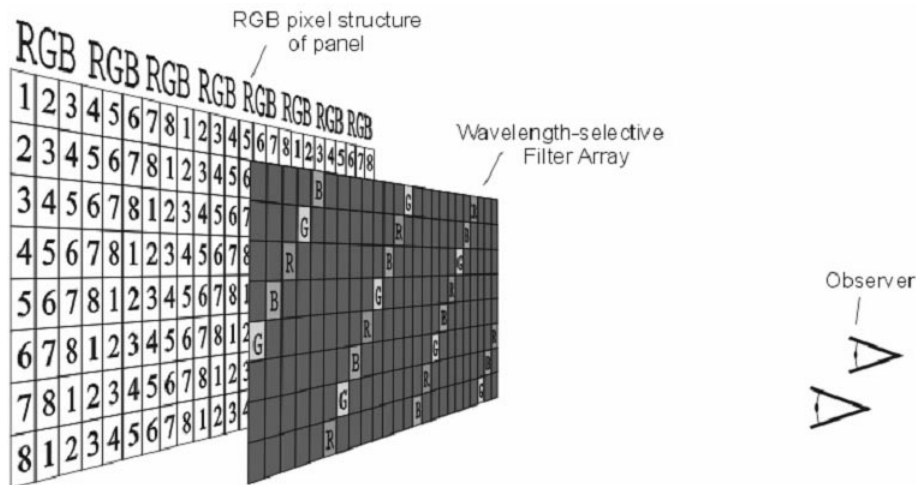
이러한 단점을 보완하는 방법으로 사용자의 시점을 추적하여 소프트웨어적으로 영상을 변환시키는 방법인 시점 추적형 영상절환 시스템이 있고, 하드웨어적인 처리 방법으로는 가변형 패럴랙스배리어 방식이 있다. 또, 여러 명이 관찰이 가능한 다시점 패럴랙스배리어방식도 발표되고 있다.

2. 다시점 패럴랙스배리어 방식

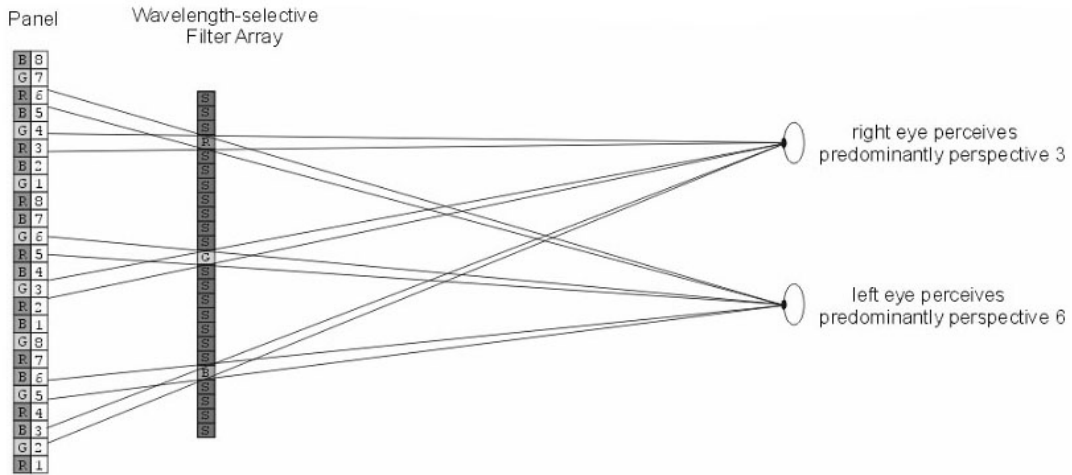
현실의 세계는 단지 스테레오 2 종류의 정보만이 아니다. 우리는 눈을 2개 밖에 갖고 있지 않지만 얼굴을 움직여서 다른 위치부터 2 종류 이상의 정보를 시시각각 입수하고, 관찰물의 보다 현실에 가까운 이미지를 구성하고 있다. 두 눈에 따른 정보의 입체 디스플레이는 항상 같은 위치로 부터의 정보를 입수하고 있는 것에 불과하다. 가장 큰 문제는 이 입체 디스플레이를 보고 있을 때, 얼굴의 위치를 움직여도 입체 영상은 변하지 않는다는 것이다. 현실의 세계는 그렇지 않다.

다시점 디스플레이 방식을 이용하면 보다 자연스러운 입체 영상을 관찰할 수 있다. 그러나 다시점 디스플레이의 경우 해상도 저하라는 단점이 수반되게 된다. 2D 디스플레이의 경우엔 좌/우 안에 같은 영상이 보여 지지만, 2시점 입체 디스플레이의 경우엔 좌/우안에 각각 다른 영상이 보여 지기 때문에 디스플레이의 수평 해상도가 반으로 줄어든다. 또한 [그림 6]과 같은 8시점 디스플레이의 경우엔 8개의 픽셀 중 7개의 픽셀은 패럴랙스배리어에 의해서 가려지게 되고 1 픽셀의 영상만 관찰자가 관찰 할 수 있게 된다. 결국 수평 해상도가 1/8로 줄어들게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 고안된 다시점 디스플레이가 WSFA(Wavelength-Selective Filter Array) 방식이다.

기존의 입체 디스플레이 장치는 수직해상도가 동일하게 유지 되면서 수평해상도는 반 이상으로 줄어들게 되는데, WSFA 방식은 수직해상도를 감소시키면서 수평해상도를 보상해주는 방법을 이용하고 있다. 이 스텝 배리어의 기본 원리는 [그림 7]과 같이 FPD의 전면부에 WSFA가 배치되는데, 기존의 다시점 패럴랙스배리어는 직선형인 반면에 WSFA는 사선으로 영상이 형성 되며 계단 형태를 이루어 구성된다. [그림 7]에서 관찰자의 한 시야에 5번 영상이 관찰되는 모습을 나타내는데, 화면 전체에서 관찰자의 한 시야에는 5번 영상만 관찰된다. 이러한 방법으로 다른 눈에는 5번이 아닌 다른 영상이 보여 지게 되어 입체영상을 관찰 할 수 있게 된다. 또한 관찰자가 좌측



[그림 7] 8시점 스텝 배리어 방식의 영상배치 원리

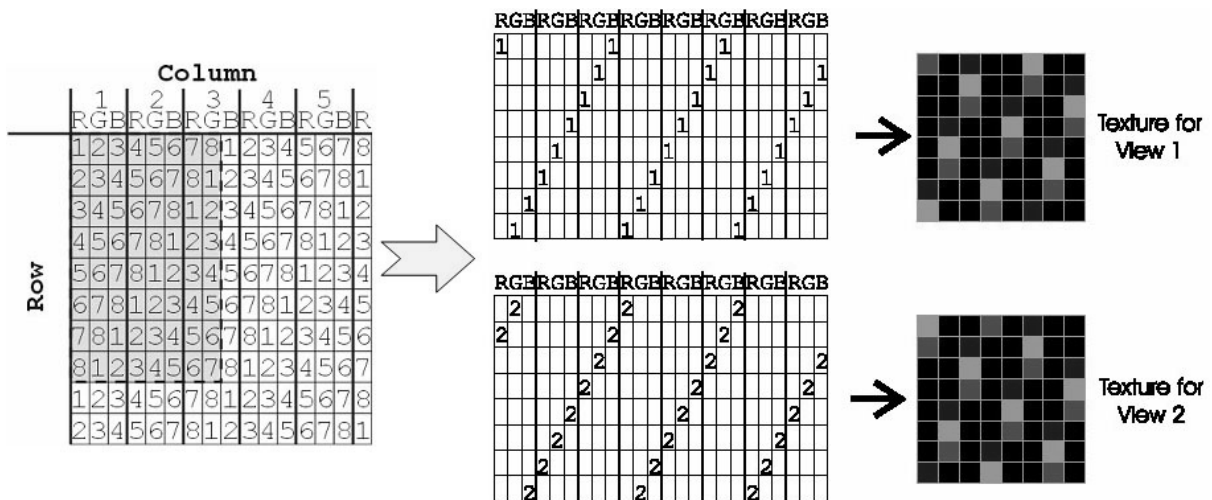


[그림 8] 입체의 위치에서 좌·우의 눈에 보이는 영상

으로 이동하게 되면 5번 영상이 보였던 시야에 4-3-2... 순으로 영상이 바뀌어 관찰되게 되고 반대로 우측으로 이동하게 되면 6-7-8... 순으로 영상이 바뀌어 관찰 되어 시점이 여러 개인 다시점 디스플레이를 구성할 수 있게 된다. [그림 8]에서 좌안에는 6번 영상이, 우안에는 3번영상이 보여 지게 되어 입체 영상을 관찰 할 수 있게 된다. 이 역시 관찰자가 좌측으로 한 시점만큼 이동하면 좌안에는 7번, 우안에는 4번 영상이 관찰되게 된다.

[그림 9]는 FPD의 RGB 영상이 3D 디스플레이의 한 픽셀 영상으로 구성되는 것을 보여준다. 3번 칼럼(column)에 1번 영상이 1열(row)에 Blue, 2열에 Green, 3열에 Red가 보

이게 되어 1개의 픽셀을 구성하게 된다. 2번 영상은 3칼럼에 2, 3, 4열에 각각 Blue, Green, Red가 보이게 되어 1개의 픽셀을 구성하게 된다. 이러한 방법으로 1~3칼럼, 1~3열에서 1~8번 영상이 각각 1개의 픽셀을 구성하게 된다. 이는 평면 영상에 비해 수직해상도와 수평해상도가 각각 약 1/3로 줄어든다는 것을 보여준다. 기존의 다시점 패럴랙스 배리어 방식에서 1~8번 영상을 각각 1 픽셀씩 구성을 하기 위해서는 8칼럼으로 구성이 되어 수평해상도가 1/8로 줄어들지만, 수직 해상도는 줄어들지 않는다는 것을 알 수 있다.



[그림 9] WSFA 방식 디스플레이의 픽셀 구성

Ⅲ. 렌티큘러 스크린 방식

1. 2시점 렌티큘러 스크린 방식

렌티큘러 방식의 역사는 오래되어 이미 1932년에 H.E.Ives가 렌티큘러 스테레오의 특허를 취득하였지만 가공기술이나 재료 기술이 미숙하여 오랫동안 활성화되지 못하였다. 그 후 1960년대에 접어들어 정밀가공기술이나 플라스틱 공업, 사진·인쇄 기술 등의 기술이 진보됨에 따라 렌티큘러 영상기술 전반이 현저하게 진보하였다.

렌티큘러로 좌우의 영상을 분리 할 수 있는 기본적인 원리를 [그림 10]에서 보여준다. [그림 10(a)]는 잘 알려져 있는 렌즈의 집속작용을 나타내는 것으로, x축 상의 점 A

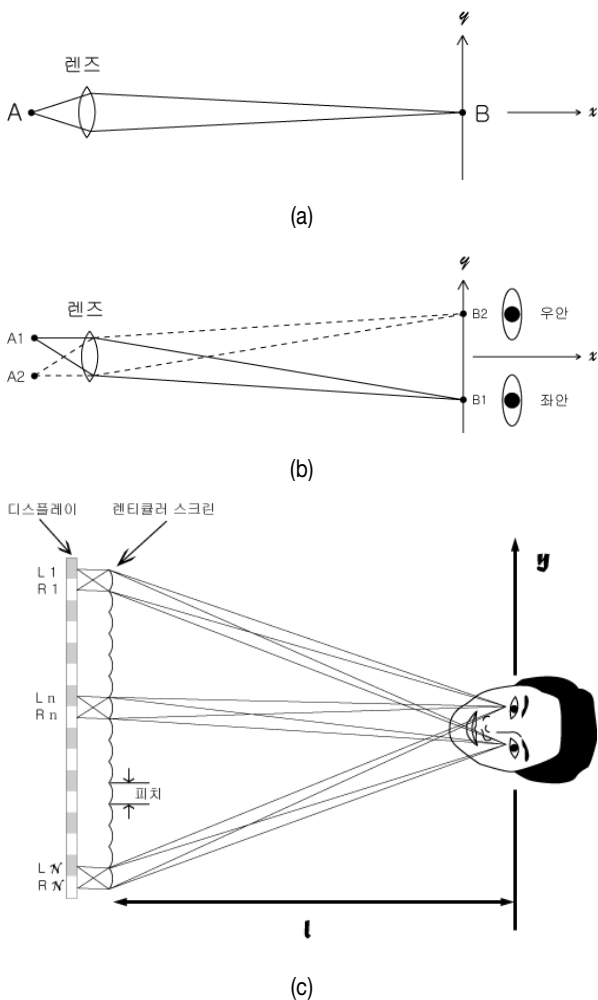
부터 나온 빛은 렌즈로 x축 상의 B점에 집속된다. [그림 10(b)]와 같이, x축부터 y방향으로 벗어난 점 A1과 A2부터 빛이 나오는 경우를 생각하면, y축 방향의 위쪽으로 벗어난 점 A1으로부터 나오는 빛은 y축 상의 아래쪽으로 벗어난 점 B1에 집속된다. 마찬가지로 A2부터 나온 빛은, y축 상의 B2에 집속될 것이다. B1과 B2의 거리를 사람의 좌우의 눈의 간격(약 65mm)으로 만들고, B1, B2의 위치에 눈을 맞추면, 왼쪽 눈은 A1 으로부터의 빛만을 오른쪽은 A2로부터의 빛만을 특수한 안경의 작용을 빌리지 않고 보게 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 10(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, PDP등과 같이 매트릭스에 화소가 배열된 완전한 평면형 디스플레이(FPD)이어야 한다.

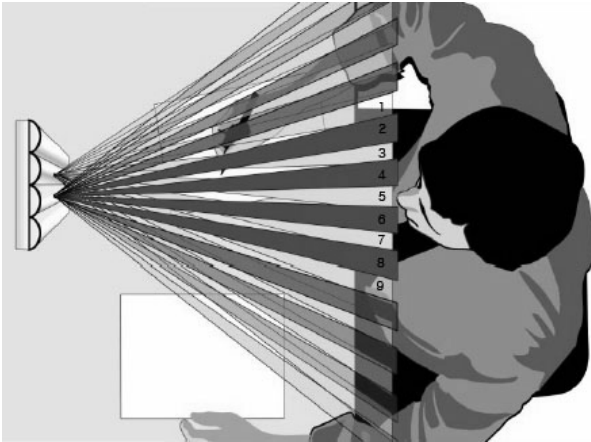
그런데 그림10(c)에서 관찰자가 축 상을 이동한 경우는 약한 부정합이 생길 수밖에 없다. 즉, 눈과 눈의 간격에 해당하는 65mm를 이동하면 좌우의 영상이 역전하고 왼쪽 눈에 오른쪽의 영상이 들어온다. 조금 더 65mm를 같은 방향으로 이동하면, 또 정상으로 입체가 보이는 영역이 존재한다. 또한 렌티큘러 스크린과 눈의 거리가 변하면, 집속 점으로부터 벗어나게 되어 좌우의 영상이 혼재한 “크로스토크” 상태가 된다. 즉, 이 방식은 확실히 안경 없이 입체를 볼 수 있지만, 원리적으로 입체시를 할 수 있는 영역이 제한이 된다는 문제점이 있다.

2. 다시점 렌티큘러 스크린 방식

지금까지 세계 여러 기관에서 다시점 렌티큘러 디스플



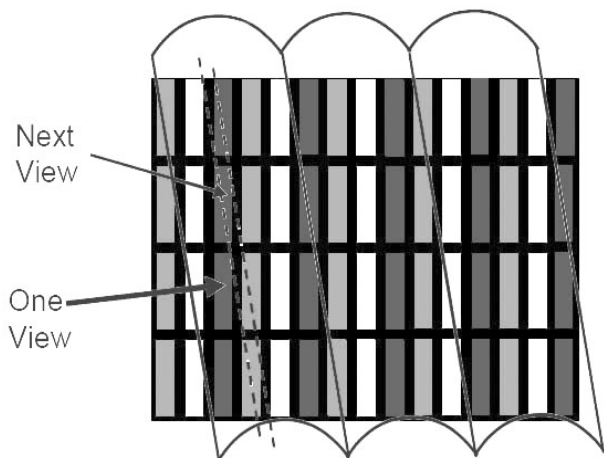
[그림 10] 렌티큘러 스크린을 이용한 입체 영상 디스플레이의 원리



[그림 11] 9사선형 렌티큘러 디스플레이에서 각 시점의 구성

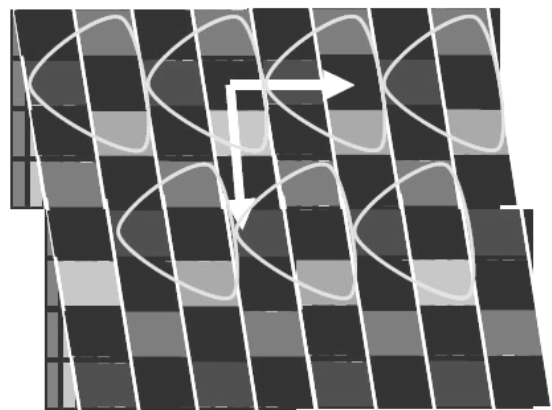
레이를 출시하였지만 다시점 렌티큘러 디스플레이 역시 수평 해상도가 줄어드는 단점을 극복할 수 없었다. 9시점 렌티큘러 디스플레이 장치는 무려 1/9로 수평해상도가 줄어들기 때문에 아무리 대화면이라 하더라도 전체 해상도는 1/9로 줄어들게 된다. 이러한 문제로 다시점 렌티큘러 디스플레이는 시청자들에게 깨끗한 영상을 제공하기가 힘들었다.

필립스사에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 사선형 렌티큘러 시트를 장착한 다시점 디스플레이를 출시했다. 사선형 렌티큘러 디스플레이는 FPD의 전면부에 사선형 렌티큘러 시트를 부착하여 제작되는데 9시점 렌티큘러 스크린의 경우 [그림 11]과 같은 형태로 각 시점들이 구성이 된다.

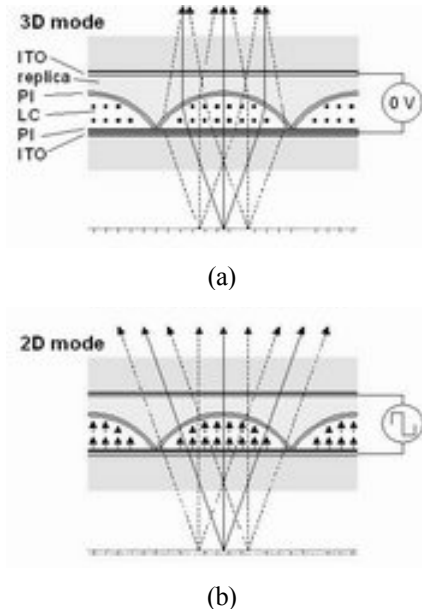


[그림 12] 렌티큘러 스크린과 FPD의 배치

[그림 12]에서와 같이 렌티큘러 시트는 FPD의 픽셀 배열 방향보다 약간 틀어져 있고, 2개 곡면의 렌티큘러 시트는 9개의 서브-픽셀(sub-pixel)에 대응하게 되어 결과적으로 3개의 픽셀에 9개의 영상이 나열 된다. [그림 12]에서 첫 번째 시점과 다음 시점으로 표시되어 있는 점선은 2개의 시점에서 보이는 영상을 나타내고 있다. 첫 번째 시점 위치에서는 두 번째 열의 Blue영상, 네 번째 열의 Red영상이 보이게 된다. 또한, 두 번째 렌티큘러 렌즈의 첫 번째 시점 위치에서 세 번째 열의 Green 영상이 보이게 되어 두 개의 렌티큘러 렌즈를 통해 1개의 픽셀이 구성이 되는 것이다. 다음 시점의 위치에서는 첫 번째 열의 Blue영상, 세 번째 열의 Red영상이 보이게 된다. 이렇게 각 시점은 렌티큘러 스크린의 방향과 평행한 시점 라인들이 존재하게 되고, 각 시점 라인들에서는 위에서 아랫방향으로 R-G-B가 순서대로 보이게 된다. [그림 13]에서 각 렌티큘러 시트 라인에서 순서대로 R-G-B가 보이는 것을 알 수 있다. 이 시스템의 1개 시트에서 순서대로 표시되는 RGB는 1개의 픽셀로 구성이 되지 않고, [그림 13]의 작은 삼각형처럼 구성이 된다. 한 시점이 [그림 13]의 삼각형처럼 구성 되지만, 그 다음 시점에서는 검은색으로 표시되어 있는 부분이 RGB가 표시되어 삼각형의 방향이 바뀌어 구성이 된다. [그림 13]에서 1개의 픽셀을 표현 할 때, TFT-LCD의 3X3 픽셀 중 3개의 서브픽셀 만을 사용하게 된다. 다시 말해서, 2개의 시트 즉 3개의 행과 3개의 열이 9시점의 영상을 표시하게 되어 수평, 수직 방향으로



[그림 13] 사선형 렌티큘러 3D 디스플레이의 픽셀 형성



[그림 14] 능동형 렌티큘러 렌즈의 원리

각각 1/3의 해상도가 감소하는 것을 알 수 있다.

최근에는 액정 능동형 렌티큘러 렌즈 방식을 사용하여 2D/3D를 겸용으로 사용할 수 있는 방식이 발표되었다. [그림 14]에서와 같이 능동형 렌티큘러 렌즈는 마이크로 렌즈 모양의 PI로 구성된 투명한 틀 안에 액정이 채워져 있고 외부에는 전압이 가해진 상태의 액정분자와 동일한 굴절률을 갖는 물질로 이루어진 replica로 구성되어 있다. 이 구조의 마이크로 렌즈 상하에는 ITO 전극이 위치하여 전압을 인가할 수 있도록 하였다.

전압이 인가되지 않는 3D 모드에서는 내부의 액정 분자와 외부의 replica 사이에 굴절률 차이가 발생하게 되어 렌티큘러 렌즈를 통과하는 효과를 나타낸다. 반면, ITO 전압이 인가되는 2D 모드에서는 액정의 상태가 변화하여 외부의 replica와 동일한 굴절률을 갖게 되고 입력된 빛을 그대로 통과시키게 된다. 필립스사는 렌티큘러 방식의 2D/3D 겸용 디스플레이 분야에서 최고의 기술을 보유하고 있다.

IV. 결 론

현재까지 연구, 개발되고 있는 여러 가지 방식의 무안경 입체 디스플레이 중 패럴랙스배리어와 렌티큘러 스크린 방식을 소개하였다. 이외에도 많은 입체 디스플레이가

제안되고 있지만, 어느 방식의 입체 디스플레이가 가장 적합한 것 인지에 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 적합하다.
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, 2007년에 삼성전자는 3D 핸드폰(SCH-B710)을 출시하였다. 2009년에는 일본에서도 다시 3D 핸드폰을 출시하였다. 소형화에서의 문제는 입체관찰 영역이 협소하다는 점이다. 입체시 영역을 넓힐 수 있는 기술이 제안되고 있고 기술적으로 아직 미완성적인 부분이 있지만 앞으로의 발전이 기대된다.
4. 다안식 디스플레이는 안경이 없어도 관찰 영역도 넓지만, 시스템이 크고 가격이 비싸기 때문에 시장성은 떨어진다. 다안식 디스플레이는 필립스를 선두로 최근 국내에서는 LG전자가 다시점 디스플레이를 발표하였다. 입체이므로 커도, 비싸도 좋다고 하는 것은 아마 사용자들로부터 용이하게 받아들여지지 않을 것이다. 시스템의 저가격화가 필요하다.

참고문헌

- [1] 김은수, 이승현 "3차원 영상의 기초" 기다리&오음사, 1998.
- [2] S. Kaplan, Theory of parallax barriers Journal of the SMPTE, vo1 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.
- [7] 이승현, 위성민, “가변형 패럴랙스배리어를 이용한 무안경 디스플레이 시스템”, 한국광학회지, vol.19, no.2, pp.95-102, 2008.

저 자 약 력

이 승 현 (李丞玄)



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