

렌티큘러 렌즈를 이용한 입체영상 시스템의 광학적 특성 분석*

이봉렬 · 이연호

성균관대학교 공과대학 전자공학과

김 상 국

한국과학기술연구원 응용광학실

(1995년 11월 9일 받음)

렌티큘러 렌즈를 이용한 2안용 입체영상 시스템에서 렌티큘러 렌즈와 관찰자와의 거리 및 렌티큘러 렌즈의 주기를 변화시키면서 입체영상 시스템의 광학적 특성을 컴퓨터를 이용하여 모의실험을 하였다. 모의실험결과에 의하면 렌즈로부터 관찰자까지의 거리가 가까워짐에 따라서 렌즈의 주기가 주어진 LCD 화소의 주기보다 작아져야 한다는 사실을 보여준다. 또한 어떤 일정한 조건하에서 오른쪽 눈에서의 화상과 왼쪽 눈에서의 화상이 공간적으로 비교적 균일하게 분포한다는 것을 알 수 있다. 그러나 이 경우 시스템의 잡음도 공간적으로 균일하게 분포되고, 또한 렌즈로부터 관찰자까지의 거리가 멀어질수록 그 잡음의 크기가 커진다는 것을 알 수 있다.

I. 서 론

입체영상을 표시할 수 있는 시스템에 대한 요구는 많은 분야에서 매우 절실하게 요구되어지고 있다. 이러한 것 들로는 의학계의 영상시스템, 경찰시스템, 관측 및 측정 시스템, 오락을 위한 영상시스템, 그리고 로봇 조작을 위한 영상시스템 등이 있다^[1]. 이러한 입체영상 시스템에 대한 요구는 입체영상이 2차원의 영상에 비하여 자연스 러울 뿐만 아니라 관찰자에게 새로운 물체에 대한 인식을 보다 용이하게 하여 주기 때문이다^[2,3,4]. 일반적으로 인 간이 3차원의 물체를 인식하는데는 수평적으로 일정한 거리에 위치하고 있는 두 눈에 입사하는 화상들이 서로 다름으로 인하여 발생하는 물체에 대한 깊이감, 두 눈 동자를 움직여서 물체의 한 지점에 초점을 모을 수 있는 수렴능력, 그리고 눈의 수정체를 조절하여 서로 다른 위치에 존재하는 화상평면들을 인식할 수 있는 능력들을 필요로 한다^[1]. 이상적인 입체영상 시스템은 이러한 것 들뿐만 아니라 좌우 혹은 아래위를 둘러 볼 수 있도록 설계되어야 한다.

그러나 지금까지 엄밀한 의미의 입체영상 시스템이 개발되어 상업용으로 이용되고 있지는 못하고 있다. 따 라서 유사입체영상 시스템 혹은 stereoscopic 입체영상 시스템에 대한 연구가 매우 활발하게 이루어지고 있다. 유사입체영상 시스템은 컴퓨터 그래픽의 shading, 그림자 효과, texture gradation, 광선추적 rendering 등을 이용 하여 2차원의 스크린에 3차원의 물체를 표시하는 방법 이다. Stereoscopic 입체영상 시스템은 관찰자의 왼쪽과 오른쪽 눈에 비치게 되는 2개의 2차원 화상을 하나의 2차원 스크린에 동시에 표시한 다음 일정한 방법에 의 하여 그들을 분리하여 관찰자의 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 각각 입사시켜서 관찰자가 입체감을 느끼도록 하여준다. 이 경우 두개의 화상을 분리하는 방법에 따라서 autostereoscopic 혹은 non-autostereoscopic 시스템으로 불린다. Non-autostereoscopic 입체영상 시스템에는 편광, anaglygh, 광서터, chromostereoscopic, 프리즘, Pulfrich 효과 들이 사용되고, autostereoscopic 입체영상에는 stereogram, 렌티큘러 렌즈, parallax barrier, scanning slit 등이 사용된다. 그러나 non-autostereoscopic 입체영상 시스 템은 관찰자에게 눈의 피로를 발생시키고 또한 관찰자가 특수한 안경을 착용하여야 하므로 불편함과 부자연스러 움을 발생시킨다. 반면에 autostereoscopic 입체영상 시

*본 연구는 한국과학기술연구원 KIST-2000 위탁과제(V 00045-H020)의 일환으로 수행되었습니다.

시스템은 관찰자가 직접적으로 스크린을 주시하게 되어 이와 같은 단점이 사라지기 때문에 지금까지 많은 연구가 행하여지고 있다⁵⁾. Autostereoscopic 입체영상 시스템 중에서 특히 렌티큘러 렌즈를 이용한 방법은 다른 방법에 대하여 화면이 밝기 때문에 지금까지 매우 깊이 있게 연구되어지고 있다. 이러한 렌티큘러 시스템은 LCD 위에 원통렌즈가 횡으로 배열되어 있는 렌티큘러 판이 부착되어 있는 구조를 이루고 있다. 이때 하나의 렌티큘러 렌즈는 두개의 LCD 기본소자 열을 포함하게 되고 이때 이들 두개의 기본소자에서 나온 빛을 분리하여 각각 관찰자의 왼쪽과 오른쪽 눈에 입사시켜 준다.

본 논문에서는 주어진 렌티큘러 입체영상 시스템에 대한 컴퓨터 모의실험을 실시하여 관찰자의 양쪽 눈에 비치게 되는 화상의 밝기가 LCD 기본소자의 위치에 따라 어떻게 변하는지를 계산하고 이들이 시스템의 여러 변수와 어떠한 관계를 가지고 있는 지를 계산한다.

II. 렌티큘러 입체영상 시스템의 동작원리

그림 1은 2개의 카메라가 이용되는 2안 방식의 렌티큘러 입체영상 시스템을 나타내고 있다³⁾. 이 그림에서 두개의 카메라는 각각 관찰자의 왼쪽 눈과 오른쪽 눈을 대치한다고 가정하므로, 두 카메라 사이의 거리는 보통 사람들의 양눈사이의 거리인 65mm로 주어지고 두개의 카메라는 한 조가 되어 이동하면서, 마치 관찰자의 머리가 이동하는 것과 같이, 물체에 대한 화상을 기록하게 된다. 만약에 하나의 3차원 물체가 주어졌다고 가정하면 두개의 카메라는 서로 다른 각도에서 그 물체를 쳐다보게되어 두개의 카메라는 서로 다른 화상을 기록하게 된다. 이것은 관찰자가 어떤 3차원의 물체를 쳐다볼 때에 그 관찰자의 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 비치는 화상이 서로 다르므로 인하여 3차원의 물체를 인식하게 되는 원리를 이용한 것이다.

이렇게 왼쪽 카메라와 오른쪽 카메라에 기록된 서로 다른 두개의 화상은 그림 1에서처럼 다중화기를 통하여 하나의 LCD 위에 겹쳐져서 동시에 표시된다⁶⁾. 이 경우 LCD 위의 기본소자(element)들은 좌우의 2개가 한쌍이 되어 하나의 화소(Pixel)를 나타낸다. 즉 주어진 한 쌍의 LCD 기본소자 중에서 하나는 왼쪽 눈에 비치게되는 화상을 표시하여주는 기본 화소이고, 또다른 하나는 오른쪽 눈에 비치게되는 화상을 표시하여주는 기본 화소를 나타낸다. 이러한 기본소자들은 LCD 위에 2차원적으로 배열되어지는데 일반적으로 홀수 번째의 LCD 기본소자 열들은 오른쪽 눈에 대한 2차원의 화상을 표시하여 주고

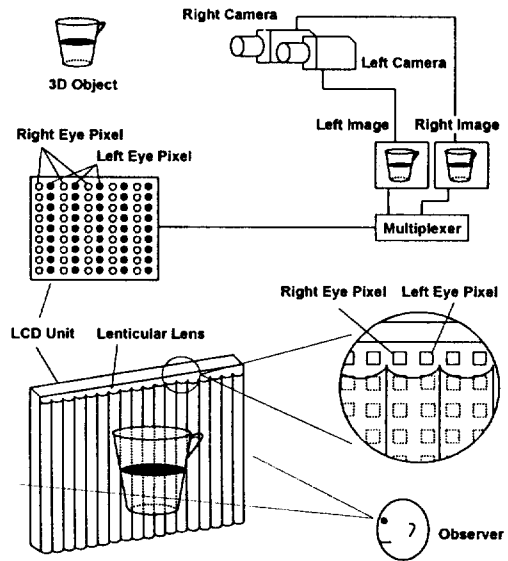


그림 1. 2안 방식의 렌티큘러 입체영상 시스템의 배열.

짝수 번째의 LCD 기본소자열들은 왼쪽 눈에 대한 2차원의 화상을 표시하여 준다. 그 다음, 이러한 LCD 위에 그림 1에서와 같이 렌티큘러 렌즈로 불리는 원통렌즈가 주기적으로 위치하게 된다. 이 경우 대략적으로 렌티큘러 렌즈의 주기는 LCD 기본소자 주기의 두배가 되어 하나의 렌티큘러 렌즈가 한 쌍의 LCD 기본소자를 포함하도록 되어 있다. 그리하여 하나의 렌티큘러 렌즈는 그것에 포함된 2개의 LCD 기본소자들을 서로 분리하여 그들을 LCD로부터 일정한 거리에 떨어져서 위치하고 있는 관찰자의 오른쪽 눈과 왼쪽 눈으로 각각 투사하여 준다. 그러므로 관찰자의 오른쪽 눈은 홀수 번째의 LCD 기본소자들만을 바라보게되어 하나의 2차원 화상을 바라보게 되고 왼쪽 눈은 짝수 번째의 LCD 기본소자들만을 바라보게 되어 또 다른 2차원의 화상을 바라보게 된다. 그러면 앞에서 설명한 이유들로 인하여 관찰자는 3차원의 물체를 인식하게 된다.

III. 유한광선추적법

유한광선추적법에서는 광선이 전달, 굴절 혹은 반사를 하는 경우 광학시스템내의 주어진 광학면(평면 혹은 곡면)에서의 광선의 위치와 진행 방향을 수학적으로 계산한다. 전달에서는 주어진 광학면과 또 다른 광학면사이에서의 광선의 진행을 계산하고, 굴절 및 반사에서는 주어진 광학면에 도달한 광선의 굴절 및 반사를 계산

한다. 일반적으로 광학면은 광학시스템내의 서로 다른 매질의 경계면을 의미한다. 예를 들면 렌즈의 표면은 곡면으로 이루어진 하나의 광학면이다. 그러나 같은 매질 내에서 우리는 임의로 광학면을 정의할 수 있다. 예를 들면 렌즈의 접평면은 우리가 임의로 정의한 광학면이라고 말할 수 있다.

j번째 광학평면에서 (j+1)번째 광학평면으로의 광선의 전달은 j번째 광학평면에서의 광선의 좌표와 방향코사인을 이용하여 계산한다. 주어진 광학시스템내의 광학면들은 물체평면을 영번째 광학면으로 정한다음 광선이 통과하는 순서에 따라 광학면의 번호를 부여한다. 그 다음 주어진 j번째 광학평면에서 (j+1)번째 광학곡면으로의 전달은 우선 (j+1)번째 광학곡면의 접평면을 구하여 j번째 광학평면과 접평면사이의 전달을 계산하고 이어서 접평면과 (j+1)번째 광학곡면사이의 전달을 계산한다.

주어진 광학면에서의 굴절은 입사하는 광선의 방향코사인을 이용하여 주어진 광학면의 법선에 대한 광선의 입사각을 구하고, 그 다음에 Snell's law를 이용하여 굴절각을 구한다. 그 다음 굴절각을 다시 광선의 방향코사인으로 변환하여 이후의 광선추적에 이용한다.

본 논문의 2안방식의 렌티큘러 입체영상 시스템은 물체(LCD의 기본소자), 렌티큘러 렌즈, 그리고 관찰자의 눈으로 구성되어 있다. 먼저 LCD 기본소자의 한 지점에서 출발하는 광선의 위치와 방향코사인을 결정한다. 그 다음 렌티큘러 렌즈의 첫 번째 곡면까지의 전달을 계산하고 그 다음 굴절 및 두 번째 렌즈곡면까지의 전달을 계산한다. 그 다음 두 번째 렌즈곡면에서의 굴절과 관찰자의 눈까지의 전달을 계산한다. 그 다음 관찰자의 동공에 입사하는 광선의 개수를 세어 관찰자의 눈에 비치는 주어진 물체(LCD 기본소자)의 밝기를 계산한다.

IV. 컴퓨터 모의실험

앞에서 설명한 렌티큘러 입체영상 시스템은 많은 변수들을 포함하고 있다. 즉 LCD 기본소자들의 크기 및 주기, 렌티큘러 렌즈의 주기, 두께 및 초점거리 그리고 LCD로부터 관찰자까지의 거리 및 관찰자의 수평이동 등이 그것이다. 이러한 변수들을 변화시키면서 관찰자의 눈에 입체영상이 어떻게 비치는지를 실험하는 것은 매우 어렵다. 그 이유중의 하나는 LCD와 렌티큘러 렌즈를 서로 다른 변수에 따라서 제작하는 경우 비용이 많이 들뿐만 아니라 시간이 많이 걸리기 때문이다. 그리하여 이러한 입체영상 시스템에 대한 컴퓨터 시뮬레이션이

필요하다.

본 논문에서는 LCD의 기본소자들이 X방향으로 1차원으로 배열되어 있고, 또한 그것에 해당하는 렌티큘러 렌즈들이 X방향으로 1차원으로 배열되어 있다고 가정하고 후 유한광선추적법^[7-12]을 이용하여 LCD에 의하여 표시되는 2개의 1차원 화상들이 각각 관찰자의 오른쪽 눈과 왼쪽 눈에 어떻게 입사하는지를 모의실험한다. 본 모의 실험에서는 그림 2에서처럼 201개의 렌티큘러 렌즈가 X 축으로 배열되어 있고 각각의 렌티큘러 렌즈에 한 쌍의 LCD 기본소자가 포함되어 있다고 가정한다. 이 경우 LCD 기본소자의 주기는 330 μm 이고 LCD 기본소자의 크기는 300 μm 로 가정한다. 그러므로 이 경우 LCD 기본소자들 사이의 간격은 30 μm 로 주어진다. 렌티큘러 렌즈는 굴절률이 1.6인 물질로 만들어져있고 한쪽 면은 평면으로서 LCD의 기본소자들과 맞닿아 있고 다른쪽 면은 곡률 반지름이 1.25 mm로 제작되어 있다고 가정한다. 이 경우 렌티큘러 렌즈의 한쪽 평면으로부터 다른 쪽 곡면까지의 거리는 1.5 mm로 가정하고, 인접하는 2개의 렌티큘러 렌즈들은 서로 맞닿아 있어서 그들 사이의 간격은 영으로 가정한다. 렌티큘러 렌즈의 주기는 우선 0.66 mm로 가정하고 이후에 그 값을 변화시키면서 모의실험을 실시한다. 관찰자의 두눈 사이의 거리는 일반적으로 65 mm로 주어지지만 본 모의실험에서는 그 대칭성을 이용하기 위하여 짝수인 66 mm로 가정한다.

이러한 시스템의 변수들이 주어지면 우리는 다음과 같은 절차에 의하여 모의실험을 실시한다. 첫째로, 주어진 하나의 렌티큘러 렌즈와 그것에 포함된 LCD 기본소자 한 쌍에 대하여 광선추적을 다음과 같이 실시한다. 즉, 하나의 LCD 기본소자(예를 들면 왼쪽의 LCD 소자)를 20등분하여 21개의 점으로 표시한 후 그들 각각의 점에서 11개의 광선들이 부채꼴로 펼쳐져서 렌티큘러 렌즈에 입사한다고 가정한다. 이 경우 인접한 광선들 사이의 각도는 LCD 소자에서 바라본 렌티큘러 렌즈의 시야(field of view)의 1/10에 해당하는 각도로 주어진다 고 가정한다. 일반적으로 LCD의 발광소자는 그 세기의 분포가 Lambertian을 이룬다고 가정할 수 있으므로 부채꼴로 펼쳐져서 진행되는 각각의 광선들과 그들이 광학축과 이루는 각의 코사인을 가중치로 가정한다. 그 다음, 위에서 설명한 왼쪽의 LCD 소자로부터 출발하는 231개의 광선들을 각각 추적하여 그들이 관찰자의 왼쪽 눈에 도달하는지를 검사한다. 이 경우 관찰자의 동공의 크기를 5 mm로 가정하여 이 동공 안으로 들어오는 광선들이 관찰자의 눈에 도달하는 광선들이라고 가정한다. 그리하여 왼쪽 눈에 도달하는 광선들의 가중치를 모두 더하여

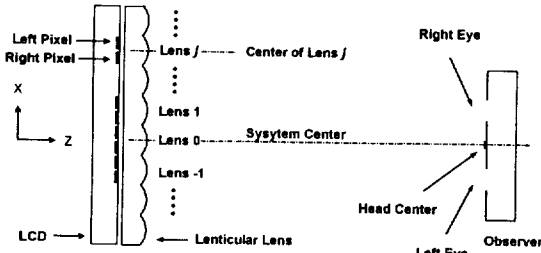


그림 2. 모의실험에 사용된 렌티큘러 입체영상 시스템의 배열.

이 값을 주어진 LCD 소자로부터 왼쪽 눈에 도달하는 빛의 세기로 가정한다. 이 경우 하나의 LCD 소자로부터 출발하는 231개의 광선들은 주어진 렌티큘러 렌즈의 서로 다른 지점을 통과하여 진행하지만, 관찰자는 LCD로부터 Z축을 따라 멀리 떨어져 위치하여 있다고 가정하므로, 관찰자는 주어진 렌티큘러 렌즈의 세밀한 구조를 파악하지 못하고 단지 하나의 화소, 즉 점원으로 인식한다고 가정하여 하나의 LCD 소자로부터 왼쪽 눈에 도달한 빛의 세기를 하나의 렌티큘러 렌즈로부터 관찰자의 왼쪽 눈에 도달한 빛의 세기로 가정한다. 그 다음 비슷한 방법으로 앞에서 언급한 왼쪽눈 LCD 소자로부터 관찰자의 오른쪽 눈에 입사하는 광선들을 추적하여 왼쪽눈 화소로부터 관찰자의 오른쪽 눈에 입사하는 빛의 세기를 계산한다. 이 경우 왼쪽 화소로부터 출발하여 관찰자의 오른쪽눈으로 입사하는 빛의 세기는 입체영상의 형성을 방해하므로 잡음(cross talk)으로 정의한다. 그 다음 주어진 렌티큘러 렌즈에 포함된 오른쪽눈 LCD 소자로부터 관찰자의 오른쪽 눈과 왼쪽 눈에 입사하는 광선들을 각각 추적하여 오른쪽눈 화소에서 관찰자의 오른쪽 눈으로 입사하는 빛의 세기와 오른쪽눈 화소에서 관찰자의 왼쪽 눈으로 입사하는 잡음(cross talk)을 계산한다. 그 다음 이러한 광선추적을 201개의 렌티큘러 렌즈 전체에 대하여 실시하여 관찰자의 왼쪽 눈에 보이는 1차원의 화상과 관찰자의 오른쪽 눈에 보이는 1차원 화상을 구하고, 또한 각각의 눈에 비치는 잡음(cross talk)을 렌티큘러 렌즈의 위치에 대한 함수로 계산한다.

그림 2는 광선추적을 위하여 대략적으로 그려진 렌티큘러 입체영상 시스템을 보여준다. 하나의 LCD 기본소자를 출발한 광선은 렌티큘러 렌즈의 첫번째 평면에서 굴절하여 입사하여 굴절률이 1.6으로 주어지는 렌티큘러를 통과한 후 다시 곡률이 1.25 mm로 주어지는 렌티큘러 렌즈의 두번째 곡면에서 굴절한다. 그 다음 공기를 통하여 진행한 광선은 관찰자의 눈으로 입사하게 된다.

이 경우 관찰자는 LCD로부터 멀리 떨어져 있다고 가정하므로 관찰자는 주어진 하나의 렌티큘러 렌즈의 세밀한 구조를 인식하지 못하고 하나의 렌티큘러 렌즈를 단지 하나의 점원으로 인식한다고 가정한다. 이러한 가정 하에서는 렌티큘러 렌즈에 존재하는 수차에 무관하게 단지 주어진 렌티큘러 렌즈로부터 주어진 관찰자의 눈으로 광선이 입사하는지 그렇지 않은지를 추적하여 관찰자의 눈에 비치는 화소의 밝기를 계산한다.

LCD는 그 제작과정상 기본소자들 사이에 간격(dead space)이 존재하게 된다. 이러한 간격은 렌티큘러 입체영상 시스템에서 매우 중요한 역할을 하게 된다. 즉 인접한 LCD의 두 기본소자들이 각각 분리되어 관찰자의 왼쪽과 오른쪽 눈으로 투사될 때 이러한 간격은 그 기본소자들 사이의 분리를 더욱 확실하게 하여주는 역할을 한다. 그러나 이러한 LCD 기본소자 쌍들이 1차원으로 (일반적으로 2차원이지만 본 모의실험에서는 1차원으로 가정) 여러개 분포되어 있을 경우 LCD의 가장 자리에 위치하는 LCD 기본소자 쌍들은 이러한 간격에도 불구하고 관찰자의 두 눈으로 완벽하게 분리되어 투사되지 못한다. 그리하여 본 모의실험에서는 이러한 현상을 앞에서 설명한 것과 같이 잡음(cross talk)으로 처리하였다. 즉 관찰자의 왼쪽(오른쪽) 눈으로 입사하여야 할 광선이 관찰자의 오른쪽(왼쪽) 눈으로 입사하는 경우 이러한 화소들은 입체영상의 질을 저하시키는 잡음(cross talk)으로 정의하여 계산하였다.

V. 결과 및 분석

앞에서 설명한 절차에 의하여 모의실험을 실시하여 우리는 다음과 같은 모의실험결과들을 얻었다. 우선 이러한 모의실험에서 렌티큘러 렌즈의 두께는 1.5 mm, 주기는 0.66 mm, 그리고 렌즈 곡률은 1.25 mm로 가정하고 LCD와 렌티큘러 렌즈가 매우 가까이 접하여 있다고 가정하여 LCD의 기본소자들과 첫번째 렌즈 표면과의 거리가 영으로 주어진다고 가정하였다. 또한 X축으로 나열되어 있는 402개의 1차원의 LCD 소자들은 그 밝기가 일정하다고 가정하였다.

그림 3에서는 이러한 값들이 주어질 때 렌티큘러 렌즈와 관찰자와의 거리가 각각 300 mm, 500 mm, 700 mm로 주어질 때의 모의실험결과를 나타내고 있다. 이들 그림에서 횡축은 렌티큘러 시스템의 중심으로부터 주어진 어떤 렌즈까지의 X방향으로의 거리를 mm단위로 표시한 것을 나타내고 종축은 관찰자의 눈에 비친 각각의 화소의 빛의 세기를 나타낸다. 다시 말하여 렌티큘러

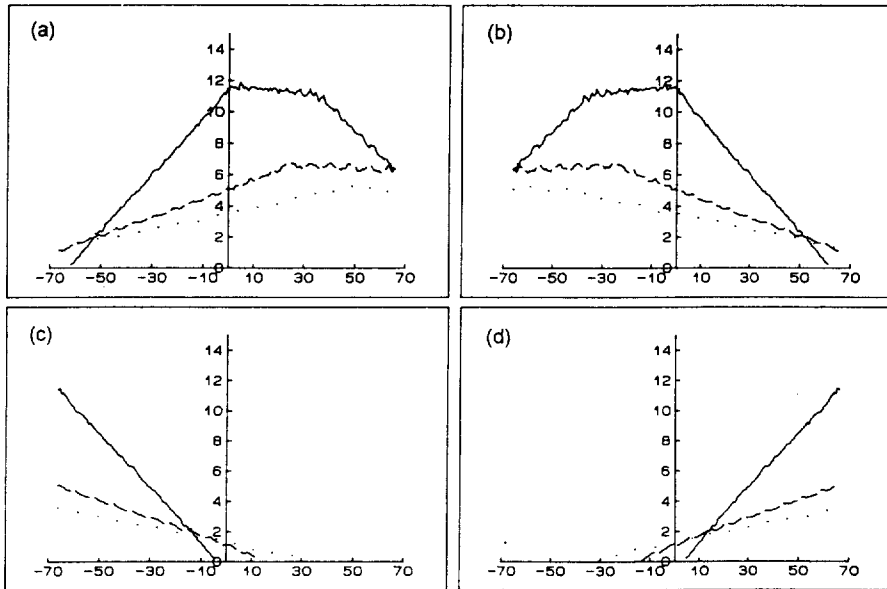


그림 3. 렌즈의 주기가 0.66 mm이고 렌티큘러 렌즈로부터 관찰자까지의 거리가 각각 300 mm(실선), 500 mm(실점선), 700 mm(점선)로 주어질 경우 관찰자의 양쪽 눈에 비치는 2개의 1차원 화상(a, b)과 2개의 잡음(c, d)을 화소위치의 함수로 표시.

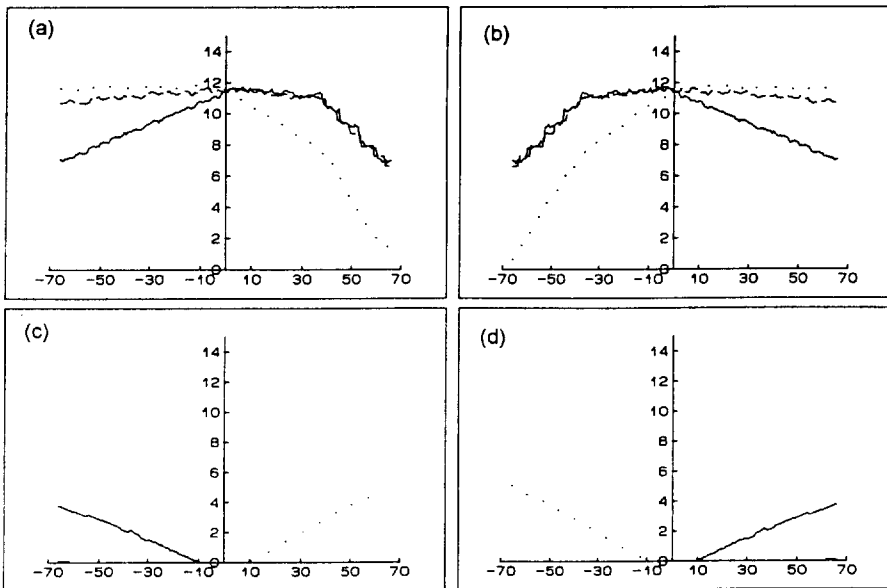


그림 4. 렌티큘러 렌즈로부터 관찰자까지의 거리가 300 mm로 고정되어 있고 렌즈의 주기가 각각 0.6587 mm(실선), 0.658 mm(실점선), 0.657 mm(점선)로 주어질 경우 관찰자의 양쪽 눈에 비치는 2개의 1차원 화상과 2개의 잡음을 표시.

렌즈의 주기가 0.66 mm로 주어진다고 가정하였으므로 원점을 중심으로 X축으로 0.66 mm 씩 이동할 때마다 하나의 화소가 존재한다. 이들 그림들은 각각 4개의 작은

그림들로 이루어져 있는데 그림 (a)는 관찰자의 왼쪽 눈에 비치는 왼쪽 화소들의 세기를 화소위치의 함수로 표시한 것으로 왼쪽 눈에 비치는 왼쪽 화소들에 의한

1차원 화상을 나타내고, 그림 (b)는 관찰자의 오른쪽 눈에 비치는 오른쪽 화소들의 세기를 화소위치의 함수로 표시한 것으로 오른쪽 눈에 비치는 오른쪽 화소들에 의한

1차원 화상을 나타낸다. 그 다음, 그림 (c)는 관찰자의 왼쪽 눈에 비치는 오른쪽 화소들의 세기를 화소위치의 함수로 표시한 것으로 왼쪽 눈에 비치는 오른쪽 화소들에

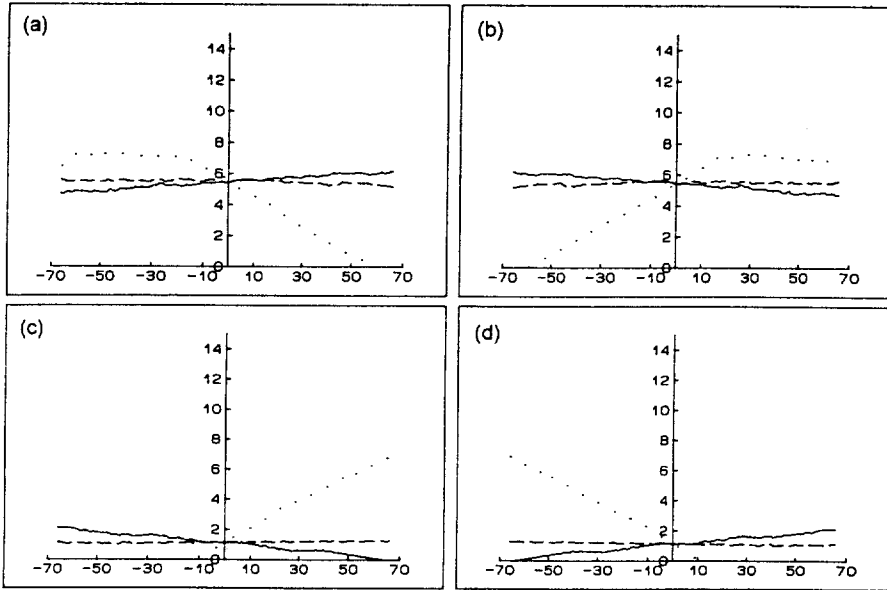


그림 5. 렌터쿨러 렌즈로부터 관찰자까지의 거리가 500 mm로 고정되어 있고 렌즈의 주기가 각각 0.659 mm(실선), 0.65875 mm(실점선), 0.657 mm(점선)로 주어질 경우 관찰자의 양쪽 눈에 비치는 2개의 1차원 화상과 2개의 잡음을 표시.

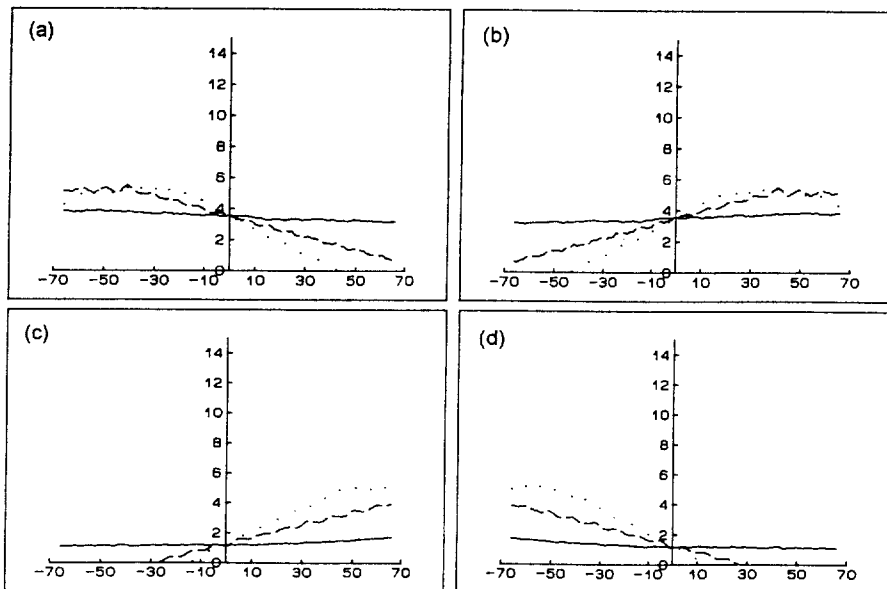


그림 6. 렌터쿨러 렌즈로부터 관찰자까지의 거리가 700 mm로 고정되어 있고 렌즈의 주기가 각각 0.659 mm(실선), 0.658 mm(실점선), 0.657 mm(점선)로 주어질 경우 관찰자의 양쪽 눈에 비치는 2개의 1차원 화상과 2개의 잡음을 표시.

의한 1차원 화상을 나타내고, 그림 (d)는 관찰자의 오른쪽 눈에 비치는 왼쪽 화소들의 세기를 화소위치의 함수로 표시한 것으로 오른쪽 눈에 비치는 왼쪽 화소들에 의한 1차원 화상을 나타낸다. 다시 말하여 이들 두개의 그림은 관찰자의 눈에 입사되어 관찰자가 입체영상을 관찰하는데 방해가 하게 되므로 주어진 입체영상 시스템에서의 잡음을 의미한다.

그림 4는 렌티큘러 렌즈와 관찰자와의 거리가 300 mm로 고정되어 있을 때 렌즈의 주기가 각각 0.6587 mm, 0.658 mm, 0.657 mm로 주어질 때의 모의실험결과를 나타낸다. 그림 (c), (d)에서 실점선은 잡음이 매우 작아서 수평축과 거의 일치하고 있기 때문에 표시되지 않은 것처럼 보인다. 또한, 그림 5는 렌티큘러 렌즈와 관찰자와의 거리가 500 mm로 고정되어 있고 렌즈의 주기가 각각 0.659 mm, 0.65875 mm, 0.657 mm로 주어질 때의 모의실험결과를 보여준다. 여기에서 등간격 값인 0.658 mm 대신에 0.65875 mm를 사용한 것은 빛의 분포가 균일하게 나타나는 렌즈의 주기를 찾다보니 0.65875 mm의 값을 얻게 되었다. 비슷한 방법으로 그림 6은 렌티큘러 렌즈와 관찰자와의 거리가 700 mm로 고정되어 있고 렌즈의 주기가 각각 0.659 mm, 0.658 mm, 0.657 mm로 주어질 때의 모의실험결과들을 나타낸다.

이들 그림에서 우리는 다음과 같은 사실들을 알 수 있다. 즉, 렌즈로부터 관찰자까지의 거리가 주어지면 관찰자의 눈에 비치는 입체영상은 렌티큘러 렌즈의 주기를 변화시킴으로써 최적화할 수 있다. 이들 모의실험의 결과들은 렌즈로부터 관찰자까지의 거리가 가까워짐에 따라서 렌즈의 주기가 주어진 LCD 기본소자들의 주기보다 작아져야 한다는 사실을 보여준다. 이러한 조건이 만족 되면 우리의 모의실험결과는 오른쪽 눈에서의 화상과

왼쪽 눈에서의 화상이 공간적으로 비교적 균일하게 분포됨을 보여준다. (그림 4의 실점선, 그림 5의 실점선, 그림 6의 실선 참조). 그러나 이 경우 시스템의 잡음도 공간적으로 균일하게 분포되고 렌즈로부터 관찰자까지의 거리가 멀어질수록 그 잡음의 크기가 커진다는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] M. McCormick and N. Davies, *Physics World*, June 42(1992).
- [2] S. Ichinose, N. Tetsutani, M. Ishibashi, *SID 89 Digest*, 188(1989).
- [3] K. Akiyama, N. Tetsutani, M. Ishibashi, S. Ichinose, and H. Yasuda, *IEEE Journal on Selected Areas in communication* 9, 555(1991).
- [4] N. Tetsutani and F. Kishino, *SPIE* 1988, 18(1993).
- [5] D. Takemori, K. Kanatani, S. Kishimoto, S. Yoshii, H. Kanayama, *SID 95 Digest*, 55(1995).
- [6] H. Isono, M. Yasuda, D. Takemori, H. Kanayama, C. Yamada, K. Chiba, *Proc. of Euro Display*, 93 (SID), Sep. 407(1993).
- [7] 이상수, *기하광학*, 교학연구소, 서울(1985).
- [8] M. V. Klein and T.E Furtak, *Optics*, 2nd Ed, John Wiley & Sons, New York, 1986.
- [9] W. J. Smith, *Modern Optical Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1990.
- [10] R. Kingslake, *Lens Design Fundamental*, Academic Press, San Diego, 1978.
- [11] R. E. Hopkins and R. Hanau, *Geometrical Optics*, MIL-HDBK-141.
- [12] R. E. Hopkins, *Optical Design*, MIL-HDBK-141.

Optical Characteristics of a Lenticular Autostereoscopic Display System

Bong-Ryeol Lee and Yeon-Ho Lee

Electronics Department, Sung Kyun Kwan University, Suwon 440-746, Korea

Sang-Kuk Kim

Applied Optics Lab., Korea Institute of Science and Technology,

P.O. Box 131, Cheong Ryang, 130-650, Korea

(Received: November 9, 1995)

We perform computer simulations of a lenticular autostereoscopic display system and obtain two one-dimensional intensity distributions seen by the left and right eyes of the observer, respectively. Our result shows that the lens period should be smaller than the LCD pixel period as the observer moves closer to the system. We obtain the values of the system parameters for which the intensity distributions are uniform across the lenticular lens array. We also obtain the system crosstalks which represent the right pixel image seen by the left eye and the left pixel image seen by the right eye. Our simulation also shows that the crosstalk increases as the observer moves away from the lenticular system.