(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년01월26일
(11) 등록번호 10-2207298
(24) 등록일자 2021년01월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04N 13/30 (2020.01) *G02B 27/01* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04N 13/30 (2018.05)
G02B 27/0101 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-7010915
(22) 출원일자(국제) 2013년10월17일
심사청구일자 2018년09월11일
(85) 번역문제출일자 2015년04월27일
(65) 공개번호 10-2015-0070195
(43) 공개일자 2015년06월24일
(86) 국제출원번호 PCT/US2013/065422
(87) 국제공개번호 WO 2014/062912
국제공개일자 2014년04월24일
(30) 우선권주장
61/795,500 2012년10월18일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2001147400 A*
US20110075257 A1*
US20120081800 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
더 아리조나 보드 오브 리전츠 온 비핼프 오브 더 유니버시티 오브 아리조나
미국 아리조나주 85701 투산 220 웨스트 6번 스트리트 4층
(72) 발명자
후아 홍
미국 아리조나주 85718 투손 노스 캄포 아비에토 5956
후 신다
미국 아리조나주 85711 투손 아파트먼트 616 노스 아카디아 애비뉴 250
(74) 대리인
김태홍, 김진회

전체 청구항 수 : 총 15 항 심사관 : 김혜린

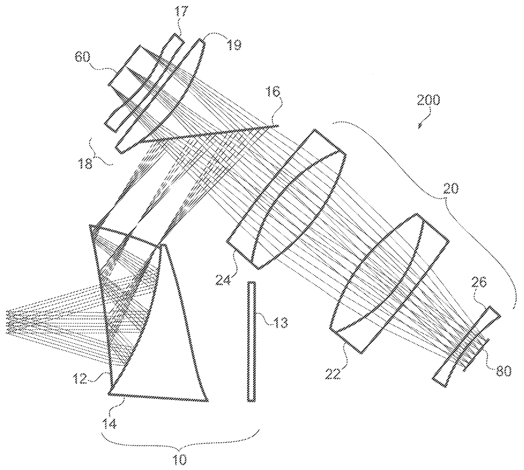
(54) 발명의 명칭 **어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 입체적 디스플레이**

(57) 요 약

본 발명은 일반적으로 입체적 디스플레이에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 그러나 배타적인 것은 아닌, 어드레스 가능 포커스 큐(focus cues)를 갖는 입체적 디스플레이에 관한 것이다. 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 입체적 디스플레이는, 사용자에게 디스플레이를 위한 가상 이미지를 제공하기 위한 마이크로디스플레이; 가변 광출

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도3b



력을 제공하도록 구성된 반사형 능동 광학 소자; 마이크로디스플레이와 능동 광학 소자 사이에 광학 경로를 따라 배치된 릴레이 렌즈로서, 상기 릴레이 렌즈는 마이크로디스플레이 및 능동 광학 소자가 릴레이 렌즈의 켤레면(conjugate planes)에 배치되도록 이들 사이에 위치되는 것인, 릴레이 렌즈; 능동 광학 소자로부터의 광 방사선을 수신하기 위한 방향에서 마이크로디스플레이와 능동 광학 소자 사이에 광학 경로를 따라 배치된 빔 스플리터; 및 가상 디스플레이 경로를 제공하기 위해 빔 스플리터로부터의 광 방사선을 수신하여 시스템의 사출 동공에 수신된 방사선을 반사하도록 구성된 선택된 표면을 포함하는 투과(see-through) 접안 렌즈로서, 상기 선택된 표면은 또한, 투과 광학 경로를 제공하기 위해 마이크로디스플레이 이외의 소스로부터 광 방사선을 수신하여 이러한 광 방사선을 사출 동공에 투과시키도록 구성되는 것인, 투과 접안 렌즈를 포함한다.

(52) CPC특허분류
G02B 2027/011 (2013.01)
G02B 2027/0134 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템에 있어서,

사용자에게 디스플레이를 위한 가상 이미지를 제공하기 위한 마이크로디스플레이;

가변 광출력을 제공하도록 구성된 반사형 능동 광학 소자;

상기 마이크로디스플레이와 상기 능동 광학 소자 사이에 광학 경로를 따라 배치된 초점 거리 f_1을 갖는 릴레이 렌즈로서, 상기 릴레이 렌즈는, 상기 마이크로디스플레이 및 상기 능동 광학 소자가 상기 릴레이 렌즈의 켤레면(conjugate planes)에 배치되도록 이들 사이에 위치되는 것인, 릴레이 렌즈;

상기 능동 광학 소자로부터의 광 방사선을 수신하기 위한 방향에서 상기 마이크로디스플레이와 상기 능동 광학 소자 사이에 상기 광학 경로를 따라 배치된 빔 스플리터; 및

가상 디스플레이 경로를 제공하기 위해 상기 빔 스플리터로부터의 광 방사선을 수신하여 상기 가상 디스플레이 시스템의 사출 동공에 상기 수신된 방사선을 반사하도록 구성된 선택된 표면을 포함하는 초점 거리 f_{eye}를 갖는 투과(see-through) 접안 렌즈로서, 상기 선택된 표면은 또한, 투과 광학 경로를 제공하기 위해 상기 마이크로디스플레이 이외의 소스로부터 광 방사선을 수신하여 이러한 광 방사선을 상기 사출 동공에 전송시키도록 구성되는 것인, 투과 접안 렌즈

를 포함하고,

사출 동공(Dxp)의 크기와 반사형 능동 광학 소자(D_{DMMD})의 크기 간의 비율은

$$D_{XP} = \frac{D_{DMMD}}{f_1/f_{eye}}$$

인 것인 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 접안 렌즈는 자유형 프리즘 모양을 포함하는 것인, 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 접안 렌즈는 상기 빔 스플리터로부터의 광 방사선을 수신 및 굴절시키도록 구성된 제 1 표면, 및 상기 제 1 표면으로부터의 굴절된 광 방사선을 수신하도록 구성된 제 2 표면을 포함하고, 상기 제 2 표면은 상기 접안 렌즈의 상기 선택된 표면에 상기 광 방사선을 반사하도록 구성되는 것인, 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템.

청구항 4

제 3 항에 있어서, 상기 제 2 표면은 상기 광 방사선을 내부 전반사하도록 구성되는 것인, 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 접안 렌즈의 표면들 중 하나 이상은 회전 비대칭 표면을 포함하는 것인, 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 투과 광학 경로를 따라 배치되고, 상기 접안 렌즈의 상기 선택된 표면에 인접하게 접안 렌즈 보상기를 포함하는 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 디스플레이의 배율을 제공하도록 구성된 상기 마이크로디스플레이에 인접하게 배치된 시야 렌즈를 포함하는 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템.

청구항 8

제 7 항에 있어서, 상기 시야 렌즈는 비구면 표면 및 회절 광학 특징을 포함하는 것인, 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템.

청구항 9

제 1 항에 있어서, 상기 릴레이 렌즈 및 상기 능동 광학 소자는 폴디드 더블 텔레센트릭 시스템(folded, doubly telecentric system)을 제공하도록 구성되는 것인, 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템.

청구항 10

어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템에 있어서,

사용자에게 디스플레이를 위한 가상 이미지를 제공하기 위한 마이크로디스플레이;

상기 마이크로디스플레이로부터의 광 방사선을 상기 가상 디스플레이 시스템의 사출 동공에 반사하도록 구성된 반사형 광학 소자를 포함하는 접안 렌즈;

가변 광출력을 제공하도록 구성된 굴절형 능동 광학 소자를 포함하는 텔레센트릭 릴레이 렌즈로서, 상기 텔레센트릭 릴레이 렌즈는 상기 마이크로디스플레이로부터의 이미지를 상기 접안 렌즈에 중계하기 위해 상기 마이크로디스플레이와 상기 접안 렌즈 사이에 광학 경로를 따라 배치되고, 상기 텔레센트릭 릴레이 렌즈는 이들 사이에 위치하는 상기 능동 광학 소자와 함께 상기 광학 경로를 따라 배치된 제 1 및 제 2 렌즈 그룹을 포함하는 것인, 상기 텔레센트릭 릴레이 렌즈; 및

상기 마이크로디스플레이와 상기 접안 렌즈 사이에 상기 광학 경로를 따라 배치된 빔 스플리터로서, 상기 빔 스플리터는 투과 광학 경로를 제공하기 위해 상기 마이크로디스플레이 이외의 소스로부터 광 방사선을 수신하여 상기 사출 동공에 전송시키도록 구성되는 것인, 빔 스플리터

를 포함하는 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템.

청구항 11

제 10 항에 있어서, 상기 접안 렌즈는 구면 거울을 포함하는 것인, 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템.

청구항 12

제 10 항에 있어서, 상기 능동 광학 소자는 시스템 정지(system stop)를 포함하는 것인, 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템.

청구항 13

제 10 항에 있어서, 상기 가상 디스플레이 시스템은 상기 마이크로디스플레이에서의 텔레센트릭인 것인, 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템.

청구항 14

제 10 항에 있어서, 상기 가상 디스플레이 시스템은 3보다 작은 f-넘버를 포함하는 것인, 어드레스 가능 포커스

큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템.

청구항 15

제 10 항에 있어서, 상기 릴레이 렌즈는 회절 광학 소자를 포함하는 것인, 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 관련 출원

[0002] 본 출원은 2012년 10월 18일자에 출원된 미국 가특허 출원 제61/795,500호의 우선권을 주장하며, 출원(들)의 전체 내용은 참조에 의해 본원에 통합된다.

[0003] 정부 라이센스 권한

[0004] 본 발명은 NSF에 의해 수여된 IIS0915035 하에서 정부 지원으로 만들어졌다. 정부는 본 발명에 특정 권리를 갖는다.

[0005] 기술분야

[0006] 본 발명은 일반적으로 입체적 디스플레이에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 그러나 배타적인 것은 아닌, 어드레스 가능 포커스 큐(focus cues)를 갖는 입체적 디스플레이에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0007] 종래의 입체적 3D 디스플레이는 양안 시차에 기초하여 깊이의 환상을 생성하여, 보는 사람에게 고정된 거리에서 한 쌍의 2D 관점 이미지로부터 3D 장면을 렌더링한다. 그러므로, 종래의 입체적 디스플레이는 조절 및 수렴 큐(accommodation and convergence cue)의 이상한 디커플링을 강요하고, 이는 지각된 깊이의 왜곡, 복시 시야, 시각적 불편함 및 피로와 같은, 입체적 디스플레이의 다양한 시각적 결함에 기여할 수 있다. 체적형 디스플레이, 홀로그래픽 디스플레이, 및 다초점면 디스플레이를 포함하는 종래의 입체적 디스플레이의 단점을 극복할 수 있는 많은 방식들이 제안되었다. 그러나, 기본적인 조절-수렴 문제를 해결하고, 또한 고화질로 그리고 플리커 없는 속도로 큰 체적의 연속적 3D 장면을 렌더링하는 광학적 투과(optical see-through) 입체적 디스플레이를 개발하기 위한 필요성이 존재한다.

[0008] 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 입체적 디스플레이는, 가상 3D 객체를 위해 정확한 또는 거의 정확한 포커스 큐를 렌더링하는 능력을 제공하여 기본적인 조절-수렴 문제를 해결하는 가장 유망한 방식 중 하나이다. 통상적인 입체적 디스플레이와 달리, 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 입체적 디스플레이는 보는 사람의 관심 영역에 따라 능동 광학 소자를 통해 가상 디스플레이의 초점 거리를 동적으로 변화시키거나, 또는 다초점 디스플레이 모드로서 알려진 보는 사람의 관심 영역을 추적할 필요가 없는 플리커 없는 속도로 다수의 초점면을 나타내는 능력을 가능하게 한다. 예를 들어, 다초점면 디스플레이는 시축을 따라 다수의 신중하게 배치된 이산 초점 거리에서 2D 관점 이미지를 나타낸다. 도 1에 도시된 바와 같이, 이러한 이산 초점면은 다수의 구역으로 3D 장면 체적을 샘플링하고, 구역 내의 객체는 인접한 초점면의 대응하는 쌍에 의해 렌더링된다. 그러므로, 다초점면 디스플레이는 상이한 깊이에서 가상 객체를 위해 정확하거나 거의 정확한 포커스 큐를 렌더링할 수 있다. 홀로그래픽 디스플레이 및 체적형 디스플레이와 같은 다시점 디스플레이와 달리, 다초점면 디스플레이는 고정 시점 디스플레이이다. 보는 위치를 제한함으로써, 다초점면 디스플레이 시스템은 오직 소스의 시점만을 디스플레이할 필요가 있다. 또한 다초점면 디스플레이가 종래의 2D 디스플레이에 시차, 폐색 및 관점을 보존하는 것뿐만 아니라, 정반사 및 음영과 같은 보기 의존성 조명 효과를 렌더링할 수 있다. 실제로, 다초점면 디스플레이의 구현은 두 가지 카테고리로 분류될 수 있다. 즉, 공간적 다중화 또는 시간적 다중화로 분류될 수 있다. 공간적 다중화 시스템에서, 다초점 능력은 다수의 2D 디스플레이를 적층함으로써 달성된다. 대안적이고 더욱 정확한 시간 다중화 시스템에서, 단일 2D 디스플레이로부터의 이미지의 초점 거리는 다수의 초점면을 렌더링하는 프레임과 동기하여 능동 광학 소자에 의해 빠르게 스위칭된다. 일반적으로, 다초점면 디스플레이는 광학 레이아웃에 대한 큰 변화 없이 가변 초점 모드의 이용으로 용이하게 적응될 수 있다.

[0009] 게다가, 공유된 미국 특허 출원 공개공보 제2011/0075257호에 반영된 바와 같이, 헤드-마운트(head-mount)될 수 있고 개선된 깊이 지각을 위해 어드레스 가능 초점면을 갖지만, 실질적으로 기존의 방법보다 작은 계산 능력을

요구하는 입체적 디스플레이의 분야가 요즘 진행하고 있으며, 이 특허 출원의 내용은 참조에 의해 본 명세서에 통합된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 그러나, 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 입체적 디스플레이에 향상된 이미지 성능을 제공할 수 있는 광학 이미징 시스템에 대한 필요성이 여전히 존재한다.

과제의 해결 수단

[0011] 일 양태에서, 본 발명은 사용자에게 디스플레이를 위한 가상 이미지를 제공하기 위한 마이크로디스플레이를 포함하는 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템을 제공할 수 있다. 가변 광출력을 제공하도록 구성된 반사형 능동 광학 소자가 또한 제공될 수 있다. 릴레이 렌즈가 마이크로디스플레이와 능동 광학 소자 사이에 광학 경로를 따라 배치될 수 있고, 릴레이 렌즈는 마이크로디스플레이 및 능동 광학 소자가 릴레이 렌즈의 켤레면(conjugate planes)에 배치되도록 이들 사이에 위치된다. 빔 스플리터가 능동 광학 소자로부터의 광 방사선을 수신하기 위한 방향에서 마이크로디스플레이와 능동 광학 소자 사이에 광학 경로를 따라 배치될 수 있다. 게다가, 가상 디스플레이 경로를 제공하기 위해 빔 스플리터로부터의 광 방사선을 수신하여 시스템의 사출동공에 수신된 방사선을 반사하도록 구성된 선택된 표면을 포함하는 투과(see-through) 접안 렌즈가 제공될 수 있다. 선택된 표면은 또한, 투과 광학 경로를 제공하기 위해 마이크로디스플레이 이외의 소스(예컨대, 실세계)로부터 광 방사선을 수신하여 이러한 광 방사선을 사출 동공에 투과시키도록 구성될 수 있다. 접안 렌즈는 자유형 프리즘 모양을 포함할 수 있고, 특히, 빔 스플리터로부터의 광 방사선을 수신 및 굴절시키도록 구성된 제 1 표면, 및 제 1 표면으로부터의 굴절된 광 방사선을 수신하도록 구성된 제 2 표면을 포함할 수 있고, 제 2 표면은 접안 렌즈의 선택된 표면에 광 방사선을 반사하도록 구성된다. 제 2 표면은 광 방사선을 내부 전반사하도록 구성될 수 있고, 접안 렌즈의 표면들 중 하나 이상은 회전 비대칭 표면을 포함할 수 있다.

[0012] 다른 양태에서, 본 발명은 사용자에게 디스플레이를 위한 가상 이미지를 제공하기 위한 마이크로디스플레이, 및 마이크로디스플레이로부터의 광 방사선을 시스템의 사출 동공에 반사하도록 구성된 반사형 광학 소자를 포함하는 접안 렌즈를 포함하는 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 가상 디스플레이 시스템을 제공할 수 있다. 가변 광출력을 제공하도록 구성된 굴절형 능동 광학 소자를 포함하는 릴레이 렌즈가 마이크로디스플레이로부터의 이미지를 접안 렌즈에 중계하기 위해 마이크로디스플레이와 접안 렌즈 사이에 광학 경로를 따라 배치될 수 있다. 릴레이 렌즈는 제 1 및 제 2 렌즈 그룹 사이에 위치하는 능동 광학 소자와 함께 광학 경로를 따라 배치된 제 1 및 제 2 렌즈 그룹을 포함할 수 있다. 게다가, 빔 스플리터가 마이크로디스플레이와 접안 렌즈 사이에 광학 경로를 따라 배치될 수 있고, 빔 스플리터는 투과 광학 경로를 제공하기 위해 마이크로디스플레이 이외의 소스(예컨대, 실세계)로부터 광 방사선을 수신하여 사출 동공에 투과시키도록 구성된다. 접안 렌즈는 구면 거울을 포함할 수 있고, 시스템은 마이크로디스플레이에서의 텔레센트릭일 수 있다. 시스템은 또한 3보다 작은 f-넘버를 가질 수 있다.

발명의 효과

[0013] 본 발명에 따르면, 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 입체적 디스플레이를 제공하는 것이 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0014] 전술한 본 발명의 개요 및 후술하는 본 발명의 예시적인 실시예들의 상세한 설명은 첨부 도면과 함께 읽을 경우에 더 잘 이해될 것이다.

도 1은 보는 사람에 관하여 다수의 초점면으로 렌더링되는 3D 객체를 개략적으로 나타낸다.

도 2는 본 발명에 따라 예시적인 디스플레이 시스템의 펼쳐진 광학 경로를 개략적으로 나타낸다.

도 3a는 본 발명에 따라 예시적인 디스플레이 시스템의 가상 디스플레이 광학의 2D 레이아웃을 개략적으로 나타낸다.

도 3b는 단일항(singlet)보다는 두 개의 광학 소자를 포함하는 시야 렌즈를 갖는 도 3a의 예시적이 디스플레이 시스템의 2D 레이아웃을 개략적으로 나타낸다.

도 3c는 투과 광학 경로를 도시하는 도 3a 및 도 3b의 자유형 접안 렌즈 및 보상기를 개략적으로 나타낸다.

도 3d는 투과 광학 경로 및 디스플레이 경로 양자 모두를 도시하는 도 3a 및 도 3b의 자유형 접안 렌즈 및 보상기를 개략적으로 나타낸다.

도 4a 내지 도 4e는 도 3b의 가상 디스플레이 시스템에 대한 디스플레이 경로를 통해 다색 MTF를 나타낸다.

도 4f는 도 3b의 가상 디스플레이 시스템에 대한 디스플레이 경로를 통해 왜곡 격자를 나타낸다.

도 5a 내지 도 5e는 도 3b의 가상 디스플레이 시스템에 대한 투과 경로를 통해 다색 MTF를 나타낸다.

도 5f는 도 3b의 가상 디스플레이 시스템에 대한 투과 경로를 통해 왜곡 격자를 나타낸다.

도 6a는 도 3b의 디스플레이 시스템의 릴레이 광학을 갖는 자유형 접안 렌즈의 3D 레이아웃을 개략적으로 나타낸다.

도 6b는 도 6a의 디스플레이 시스템의 조립된 자유형 접안 렌즈 및 보상기의 3D 솔리드워크 모델(Solidworks model)을 개략적으로 나타낸다.

도 7a는 도 3b의 설계에 따라 만들어진 프로토타입의 접안 렌즈를 통해 캡처된, 3 디옵터 깊이 및 40도 관측 시야의 깊이 융합 6 초점면 3D 장면을 나타낸다.

도 7b 및 도 7c는 도 3b의 설계에 따라 만들어진 프로토타입의 2 m 및 30 cm에서 포커싱된 카메라에 의해 캡처된 6 초점면 3D 장면을 각각 나타낸다.

도 8a는 1.2D 및 1.8D에서 각각 배치된 두 개의 초점면 및 1:1의 휘도비를 갖는 이중 초점면 디스플레이에서 조절 함수으로서 망막 이미지 MTF를 나타낸다.

도 8b는 상이한 공간 주파수에 대한 콘트라스트 변화도를 도시하는 조절 함수으로서 망막 이미지 콘트라스트를 나타낸다.

도 9a 및 도 9b는 초점면 분리가 증가하는 경우와 눈의 동공 크기가 증가하는 경우에 전이점의 공간 주파수가 감소하는 것을 각각 나타낸다.

도 10a 및 도 10b는 본 발명에 따라 추가의 예시적인 디스플레이 시스템의 가상 디스플레이 광학의 2D 레이아웃 및 3D 레이아웃을 각각 개략적으로 나타낸다.

도 11은 광학 디스플레이 조명 경로와 함께 도 10a의 릴레이 렌즈 그룹의 소자 설명 및 2D 레이아웃을 개략적으로 나타낸다.

도 12a 및 도 12b는 도 10a 및 도 11의 시스템의 다색 MTF 및 필드 커브를 각각 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 이제 도면들을 참조하면, 비슷한 요소들은 내내 비슷하게 넘버링되고, 본 발명의 일 양태에 따라, 도 2는 어드레스 가능 포커스 큐를 갖는 깊이 융합 다초점면 입체적 디스플레이에 고화질을 제공하는데 특히 적합한 예시적인 광학 시스템의 일차 펼쳐진 광학 경로를 개략적으로 나타낸다. 도 3a 및 도 3b는 도 2의 레이아웃에 따라 특정 설계를 개략적으로 나타내고, 도 3a는 단일 시야 렌즈(18)를 갖는 제 1 광학 시스템(100)을 포함하고, 도 3b는 2 소자(17, 19) 시야 렌즈(18)를 갖는 대안 시스템(200)을 포함한다. (단일 보는 사람의 눈에 대한 단일 세트의 광학을 나타냈지만, 최종 입체적 디바이스에서, 두 세트의 광학이 각 눈마다 하나씩 제공될 것임을 이해한다.)

[0016] 설계의 관련 특징은 디지털 마이크로 거울 장치(digital micro-mirror device; DMD)(60)와 같은 마이크로디스플레이로부터 접안 렌즈(12)의 전면으로 이미지를 중계하는 릴레이 렌즈 그룹(20)의 포함이다. 릴레이 렌즈 그룹(20)은 도 2의 변형 가능 박막 거울 장치(80)와 같은 반사형 능동 광학 소자 및 종래의 비변형 렌즈(21)를 포함할 수 있다. 릴레이 렌즈(21)는 도 3a, 도 3b에서 한 쌍의 더블렛(22, 24) 및 렌즈(26)를 포함할 수 있다. 변형 가능 박막 거울 장치(deformable membrane mirror device; DMMD)(80)는 릴레이 렌즈(21)의 초점면에 배치될 수 있어 시스템 정지(system stop)의 역할을 할 수 있다. 도 2의 렌즈(21)[또는 도 3a, 도 3b의 렌즈(22, 24, 26)] 및 DMMD(80)는 함께 깊이 융합 다초점면 입체적 디스플레이에 특히 적합한 폴디드 더블 텔레센트릭 시스템을 제공할 수 있다. 더블 텔레센트릭 릴레이(20)를 설계하는 것의 장점은, DMMD(80) 상의 광출력(optical power)의 변화가 이미지 배율을 변화시키지 않고 중간 이미지의 위치만을 변화시키므로, 시스템의 관측 시야 및

시야 공간에서의 각도 분해능이 일정하게 유지되고, 다수의 초점면 상의 대응 픽셀들이 서로 일대일로 중첩된다는 것이다. 따라서, 도 3a 및 도 3b의 설계는 상이한 이미지 배율로 인한 오정렬된 다수의 초점 이미지를 달리 보정할 필요 없이 깊이, 융합 기술에 매우 적합하다. 이러한 이점은 포커스 큐 및 조절 범위의 분석에 의해 더 욱 이해될 수 있다.

[0017] 시스템이 렌더링할 수 있는 3D 체적의 깊이 범위를 의미하는 포커스 큐 또는 조절 범위, $\Delta D_{accommodation}$는 다음과 같이 결정된다.

[0018]

$$\Delta D_{accommodation} = \frac{\Phi_{eye}^2}{\Phi_1^2} \times \Delta\Phi_{DMMD}$$

[0019] Φ_{eye}는 접안 렌즈(12)의 전력이고, Φ_1은 릴레이 렌즈(21)의 전력이며, $\Delta\Phi_{DMMD}$는 변형 가능 거울(80)이 변경될 수 있는 전력의 범위를 나타낸다. 상기 수학식은 릴레이 렌즈(20)의 초점 거리와 접안 렌즈(12) 사이의 관계를 제공한다. 일단 원하는 조절 범위가 결정되면, 접안 렌즈(12)가 사출 동공을 형성하기 위해 시스템 정지, 즉, DMMD(80)에 중계할 것이기 때문에, 사출 동공(Dxp)의 크기와 DMMD(80)의 크기 간의 비율이 고정된다.

[0020]

$$D_{XP} = \frac{D_{DMMD}}{f_1/f_{eye}}$$

[0021] 폴더형 더블 텔레센트릭 릴레이 설계의 한가지 단점은, 이것이 DMD 디스플레이(60)의 이미지에 어떠한 배율도 제공하지 않는다는 것이다. 그러므로, 원하는 시스템 관측 시야를 얻기 위해서, 시야 렌즈(18)가 DMD 디스플레이(60)의 전면에 추가되어 이미지를 확대할 수 있다. [DMD 디스플레이(60)는 발광형 디스플레이일 수 있고, 또는 조명 경로를 통해 조명되는 반사형 디스플레이일 수 있다.] 시야 렌즈(18)에 의해 도입된 배율은 다음과 같다.

[0022]

$$m = \frac{1}{\frac{z_0}{f_{field}} - 1}$$

[0023] 그럼 다음, 시스템의 절반의 관측 시야는 다음과 같다.

[0024]

$$HFOV = \frac{y'_{DMD}}{f_{eye}} = \frac{y_{DMD} \times m}{f_{eye}}$$

[0025] 설계 목표, 장치 사양 및 기계적 고려 사항에 기초하여, 표 1은 도 3a 및 도 3b의 설계를 위한 일차 시스템 사양을 나열한다.

표 1

[0026]

마이크로디스플레이	0.7” DMD, XGA 해상도, 14 ㎛ 픽셀
변형 가능 거울 초점 범위	0 ~ 1.2 디옵터
조절 범위	0 ~ 3 디옵터
관측 시야	40° (32.5° H x 24.5° V)
릴레이 렌즈 초점 거리, f_1	43.9 mm
접안 렌즈 초점 거리, f_{eye}	27.8 mm
사출 동공 지름	6 mm

[0027] 가상 디스플레이를 위한 일차 시스템 사양

[0028] *자유형 접안 렌즈 및 보상기*

[0029] 시스템(100, 200)의 광 투과 능력은 가상 디스플레이 광학[예컨대, DMD(60), 시야 렌즈(18), 릴레이 렌즈 그룹

(20)]을 비켜 접기 위해 빔 스플리터를 이용함으로써 실현될 수 있다. 그러나, 짧은 초점 거리를 갖는 본 설계의 접안 렌즈(12)를 고려하면, 종래에는 시스템을 설계하는 것이 매우 어려웠다.

[0030] 즉각적인 예시적인 설계에서, 더욱 정확한 해결책이 추구되었다. 도 3c 및 도 3d에 도시된 바와 같이, 접안 렌즈(12)는 쐐기 모양의 자유형 플라스틱 렌즈로 설계되었다. 자유형 플리즘 접안 렌즈(12)는 S1, S2 및 S3로 각각 표시된 세 개의 회전 비대칭 표면을 포함할 수 있다. 도 3d의 가상 디스플레이 경로를 고려하면, 디스플레이(60)의 중간 이미지로부터의 광선이 먼저 표면(S3)에 의해 굴절된다. 표면(S1) 및 표면(S2)에 의한 두 번의 연이은 반사 이후에, 광선은 표면(S1)을 통해 투과되어 시스템의 사출 (눈) 동공에 도달한다. 표면(S1)은 표면(S1) 상에 반사되는 모든 광선에 대한 내부 전반사의 조건을 만족시키는 것이 바람직하다. 접안 렌즈(12)의 표면(S2)은 광학 투과 능력을 용이하게 하기 위해서 하프 미러(half mirror)로 코팅될 수 있다. 도 3c에서 두 개의 조각(12, 14)이 함께 결합되는 경우, 두 개의 회전 비대칭 표면들(S2 및 S4)을 포함할 수 있는 자유형 보상기(14)가 실세계 장면으로부터의 광선에 도입된 수차 및 왜곡을 보상하기 위해 접안 렌즈(12)에 접합될 수 있다. 게다가, 선택적인 원통 렌즈(13)가 투과 경로에 대한 수차 및 왜곡을 최소화하는 것을 돕기 위해 자유형 보상기(14)에 포함될 수 있다.

[0031] 원하는 광학 성능을 달성하기 위해, MTF 값이 전체 이미지 선명도를 평가하기 위해 선택되었다. 가상 디스플레이 시스템(100)은 접안 렌즈(12)로부터 뒤로 디스플레이(60)까지 설계되었기 때문에, 목표는 14 ㎛의 픽셀 크기에 대한 차단 주파수인 36 lp/mm의 공간 주파수에서 디스플레이(60) 상에 20 %이상의 MTF 값을 갖는 것이다. 인간의 눈은 1 arcmin의 각도 분해능이 있다. 그러므로, 보상기(14)는 실세계 장면의 저하를 최소화하기 위해 30 사이클/도에서의 MTF 값이 0.2보다 크도록 최적화되었다. 시스템(100, 200)의 또 다른 중요한 광학 성능 계수는 이미지 왜곡이었다. 종래의 시스템에서, 왜곡은 규칙적이어서 전자적으로 또는 계산적으로 용이하게 보상될 수 있다. 그러나, 축외 자유형 광학을 갖는 시스템에서, 왜곡은 매우 크고 불규칙적일 수 있다. 그러므로, 시스템(100, 200)의 설계는 전체 FOV에 걸쳐 샘플링된 왜곡을 타이트하게 제한해야 한다. 왜곡은 투과 광학 경로에 특히 중요한데, 왜냐하면 그것이 투과 보기를 통해 본 객체의 크기 및 형상을 변경시킬 수 있어, 3D 지각에 크게 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

[0032] *설계 및 최적화 절차*

[0033] 시스템(100, 200)의 설계는 두 단계, 즉, 가상 디스플레이 경로 및 광학 투과 경로를 포함한다. 가상 디스플레이 경로의 경우, 자유형 접안 렌즈(12)가 CodeV에서 릴레이 렌즈(20) 및 시야 렌즈(18)와 함께 설치되었고, 함께 최적화되었다. 디스플레이 성능은 40도의 FOV에 걸치고 3 디옵터의 원하는 조절 범위에 걸쳐 샘플링된 필드에 대해 균형이 유지되었다. 가상 디스플레이 최적화가 완료된 이후에, 자유형 접안 렌즈(12)는 단독으로 보상기(14)와 설치되고, 보상기의 후면(S4)은 투과 성능을 위해 최적화되었다. 투과 성능은 60도의 관측 시야에 대해 최적화되면서 중앙 40도를 강조하였다. 시스템 성능이 개선됨에 따라 자유형 표면의 가변 표면 계수의 수를 점진적으로 증가시킴으로써 점진적 최적화 전략이 두 단계에서 모두 채택되었다.

[0034] 최종 설계에서, 자유형 접안 렌즈 및 보상기 표면(S1, S2, S3, S4)은 10차의 XY 다항식으로 기술되었고, PMMA을 중심으로 하는 단일 점 다이아몬드로 프로토타입된다. 도 3b의 시스템(200)에서, 시야 렌즈 소자 중 하나, 소자(17)가 최적화되었고, 회절 광학 특징이 부가되어 자유형 접안 렌즈(12)에 의해 도입된 색수차를 보정하였다. 다른 모든 렌즈(19, 22, 24, 26)는 모두 프로토타이핑 비용을 줄이기 위해 표준 재고(off-the-shelf) 컴포넌트이다.

[0035] 3 mm 동공으로 평가된 가상 디스플레이의 다색 MTF 값은, 도 4a 내지 도 4e에서, 0.5의 중앙 시야 값을 갖는 40도의 관측 시야에 걸쳐 36 lp/mm에서 0.2보다 크다. 가상 디스플레이는 또한 도 4f에서 최소 왜곡을 도시한다. 3 mm 동공으로 평가된 투과 광학 경로의 다색 MTF 값은, 도 5a 내지 도 5e에서, 40 도의 관측 시야에 걸쳐 30 사이클/도에서 0.4보다 크다. 투과 장면의 왜곡은 또한 도 5f에서 아주 잘 보정되었다. 도 3b의 특정 설계에 대한 처방이 다음과 같이 제공된다.

[0036] *가상 디스플레이 경로에 대한 시스템 처방*

[0037] 표 2에서, 표면 #2-#4는 자유형 접안 렌즈(12)를 지정한다. 표면 #2 및 #4는 동일한 물리적 표면을 나타내고, 또한 접안 렌즈 표면(S1)으로 표시된다. 표면 #3은 또한 접안 렌즈 표면(S2)으로 표시되고, 표면 #5는 또한 접안 렌즈 표면(S3)으로 표시된다. 표면 #8-#15 및 표면 #17-#24는 이중 경로로 모델링된 동일한 그룹의 릴레이 렌즈(22, 24, 26)이다. 변형 가능 거울(80)은 표면 #16에서 모델링된다. 표면 #25-#26은 45도의 빔 스플리터(16)을 모델링한다. 표면 #27-#28은 시야 렌즈 소자(19)를 나타내고, 표면 #29-#30은 시야 렌즈 소자(17)를 나

타낸다.

표 2

[0038]

도면에서 이용되는 요소 번호	표면 번호	표면 유형	R 반경	두께	물질	굴절 모드
	1 (Stop)	Sphere	Infinity	0.000		Refract
12, S1	2	XY Poly	-185.496	0.000	PMMA	Refract
12, S2	3	XY Poly	-67.446	0.000	PMMA	Reflect
12, S1	4	XY Poly	-185.496	0.000	PMMA	Reflect
12, S3	5	XY Poly	-830.046	0.000		Refract
	6	Sphere	Infinity	0.000		Refract
	7	Sphere	Infinity	53.933		Refract
24	8	Sphere	435.850	4.000	NSF10	Refract
	9	Sphere	36.730	12.070	NBAF10	Refract
	10	Sphere	-53.760	18.079		Refract
22	11	Sphere	53.760	12.070	NBAF10	Refract
	12	Sphere	-36.730	4.000	NSF10	Refract
	13	Sphere	-435.850	19.826		Refract
26	14	Sphere	Infinity	2.000	NBK7	Refract
	15	Sphere	38.900	3.502		Refract
80	16	Sphere	-4000.000	-3.502		Reflect
26	17	Sphere	38.900	-2.000	NBK7	Refract
	18	Sphere	Infinity	-19.826		Refract
22	19	Sphere	-435.850	-4.000	NSF10	Refract
	20	Sphere	-36.730	-12.070	NBAF10	Refract
	21	Sphere	53.760	-18.079		Refract
24	22	Sphere	-53.760	-12.070	NBAF10	Refract
	23	Sphere	36.730	-4.000	NSF10	Refract
	24	Sphere	435.850	-23.000		Refract
16	25	Sphere	Infinity	-1.600	471400.6541	Refract
	26	Sphere	Infinity	-10.513		Refract
19	27	Sphere	-46.700	-6.500	NBK7	Refract
	28	Sphere	Infinity	-1.896		Refract
17	29	Asphere	-102.223	-2.800	PMMA	Refract
	30	Asphere	-61.641	-7.655		Refract

[0039] 가상 디스플레이 경로에 대한 시스템 처방

[0040] *광학 투과 경로에 대한 시스템 처방*

[0041] 표 3에서, 표면 #2 및 #3은 접안 렌즈 표면(S1 및 S3)이고, 가상 디스플레이 경로의 경우와 같이 모델링된다. 표면 #4 및 #5는 자유형 보상기(14)를 지정한다. 표면 #4는 표면 #3[접안 렌즈 표면 (S3)]의 정확한 복제이다.

표 3

[0042]

도면에서 이용되는 요소 번호	표면 번호	표면 유형	Y 반경	X 반경	두께	물질	굴절 모드
	1 (Stop)	Sphere	Infinity	Infinity	0.000		Refract
12, S1	2	XY Poly	-185.496	-185.496	0.000	PMMA	Refract
12, S3	3	XY Poly	-67.446	-67.446	0.000	PMMA	Refract
14, S2	4	XY Poly	-67.446	-67.446	0.000	PMMA	Refract
14, S4	5	XY Poly	-87.790	-87.790	10.000		Refract
13	6	Cylindrical	Infinity	-103.400	6.5	NBK7	Refract
13	7	Sphere	Infinity	Infinity	0.000		Refract

[0043] 투과 경로에 대한 시스템 처방

[0044] 시스템 처방 표, 예컨대, 표 2 또는 표 3에서 이용되는 바와 같이, 용어 "XY Poly"는 수학식으로 표현날 수 있는 표면을 나타낸다.

[0045]

$$z = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^{66} C_j x^m y^n \qquad j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} + 1$$

[0046] 여기서 z는 로컬 x, y, z 좌표 시스템의 z 축을 따라 측정된 자유형 표면의 새그(sag)이고, c는 정점 곡률(CUY)이고, r은 반경 거리이고, k는 코닉 상수이며, C_j는 $x^m y^m$에 대한 계수이다. 표에서 용어 "Asphere"는 수학식으로 표현될 수 있는 비구면 표면을 나타낸다.

[0047]

$$z = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}} + Ar^4 + Br^6 + Cr^8 + Dr^{10} + Er^{12}$$

[0048] 여기서 z는 로컬 x, y, z 좌표 시스템의 z 축을 따라 측정된 표면의 새그이고, c는 정점 곡률이고, r은 반경 거리이고, k는 코닉 상수이며, A 내지 E는 각각 4차, 6차, 8차, 10차 및 12차 변형 계수이다.

표 4

Y 반경	-1.854965E+02	X**2 * Y**5	-1.505674E-10
코닉 상수	-2.497467E+01	X * Y**6	0.000000E+00
X	0.000000E+00	Y**7	-4.419392E-11
Y	0.000000E+00	X**8	4.236650E-10
X**2	-2.331157E-03	X**7 * Y	0.000000E+00
X * Y	0.000000E+00	X**6 * Y**2	-1.079269E-10
Y**2	6.691726E-04	X**5 * Y**3	0.000000E+00
X**3	0.000000E+00	X**4 * Y**4	-1.678245E-10
X**2 * Y	-1.066279E-04	X**3 * Y**5	0.000000E+00
X Y**2	0.000000E+00	X**2 * Y**6	2.198604E-12
Y**3	-2.956368E-05	X * Y**7	0.000000E+00
X**4	-1.554280E-06	Y**8	-2.415118E-12
X**3 * Y	0.000000E+00	X**9	0.000000E+00
X**2 * Y**2	1.107189E-06	X**8 * Y	4.113054E-12
X * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**2	0.000000E+00
Y**4	1.579876E-07	X**6 * Y**3	-1.805964E-12
X**5	0.000000E+00	X**5 * Y**4	0.000000E+00
X**4 * Y	1.789364E-07	X**4 * Y**5	9.480632E-13
X**3 * Y**2	0.000000E+00	X**3 * Y**6	0.000000E+00
X**2 * Y**3	-2.609879E-07	X**2 * Y**7	2.891726E-13
X * Y**4	0.000000E+00	X * Y**8	0.000000E+00
Y**5	-6.129549E-10	Y**9	-2.962804E-14
X**6	-3.316779E-08	X**10	-6.030361E-13
X**5 * Y	0.000000E+00	X**9 * Y	0.000000E+00
X**4 * Y**2	9.498635E-09	X**8 * Y**2	-7.368710E-13
X**3 * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**3	0.000000E+00
X**2 * Y**4	9.042084E-09	X**6 * Y**4	9.567750E-13
X * Y**5	0.000000E+00	X**5 * Y**5	0.000000E+00
Y**6	-4.013470E-10	X**4 * Y**6	4.280494E-14
X**7	0.000000E+00	X**3 * Y**7	0.000000E+00
X**6 * Y	-8.112755E-10	X**2 * Y**8	-7.143578E-15
X**5 * Y**2	0.000000E+00	X * Y**9	0.000000E+00
X**4 * Y**3	1.251040E-09	Y**10	3.858414E-15
X**3 * Y**4	0.000000E+00	N-반경	1.000000E+00

[0049]

[0050] 표 2의 표면 #2 및 #4의 광학 표면 처방

표 5

Y DECENTER	Z DECENTER	ALPHA TILT
6.775E+00	2.773E+01	7.711E+00

[0051]

[0052] 표 2의 표면 #1에 관하여, 표 2의 표면 #2 및 #4의 분산

표 6

[0053]

Y 반경	-6.744597E+01	X**2 * Y**5	-3.464751E-11
코닉 상수	-1.258507E+00	X * Y**6	0.000000E+00
X	0.000000E+00	Y**7	-8.246179E-12
Y	0.000000E+00	X**8	-2.087865E-11
X**2	-1.300207E-03	X**7 * Y	0.000000E+00
X * Y	0.000000E+00	X**6 * Y**2	2.845323E-11
Y**2	4.658585E-04	X**5 * Y**3	0.000000E+00
X**3	0.000000E+00	X**4 * Y**4	-5.043398E-12
X**2 * Y	-1.758475E-05	X**3 * Y**5	0.000000E+00
X Y**2	0.000000E+00	X**2 * Y**6	2.142939E-14
Y**3	-1.684923E-06	X * Y**7	0.000000E+00
X**4	-1.463720E-06	Y**8	1.607499E-12
X**3 * Y	0.000000E+00	X**9	0.000000E+00
X**2 * Y**2	-1.108359E-06	X**8 * Y	-1.922597E-12
X * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**2	0.000000E+00
Y**4	-1.098749E-07	X**6 * Y**3	1.100072E-13
X**5	0.000000E+00	X**5 * Y**4	0.000000E+00
X**4 * Y	-7.146353E-08	X**4 * Y**5	-4.806130E-14
X**3 * Y**2	0.000000E+00	X**3 * Y**6	0.000000E+00
X**2 * Y**3	-1.150619E-08	X**2 * Y**7	-2.913177E-14
X * Y**4	0.000000E+00	X * Y**8	0.000000E+00
Y**5	5.911371E-09	Y**9	9.703717E-14
X**6	-5.406591E-10	X**10	2.032150E-13
X**5 * Y	0.000000E+00	X**9 * Y	0.000000E+00
X**4 * Y**2	-1.767107E-09	X**8 * Y**2	-1.037107E-13
X**3 * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**3	0.000000E+00
X**2 * Y**4	-7.415334E-10	X**6 * Y**4	3.602862E-14
X * Y**5	0.000000E+00	X**5 * Y**5	0.000000E+00
Y**6	-5.442400E-10	X**4 * Y**6	-8.831469E-15
X**7	0.000000E+00	X**3 * Y**7	0.000000E+00
X**6 * Y	6.463414E-10	X**2 * Y**8	2.178095E-15
X**5 * Y**2	0.000000E+00	X * Y**9	0.000000E+00
X**4 * Y**3	1.421597E-10	Y**10	1.784074E-15
X**3 * Y**4	0.000000E+00	N-반경	1.000000E+00

[0054] 표 2의 표면 #3의 광학 표면 처방

표 7

[0055]

Y DECENTER	Z DECENTER	ALPHA TILT
1.329E+01	4.321E+01	-8.856E+00

[0056] 표 2의 표면 #1에 관하여, 표 2의 표면 #3의 분산

표 8

[0057]

Y 반경	-8.300457E+02	X**2 * Y**5	4.051880E-08
코닉 상수	-9.675799E+00	X * Y**6	0.000000E+00
X	0.000000E+00	Y**7	-3.973293E-09
Y	0.000000E+00	X**8	-1.881791E-10
X**2	-1.798206E-04	X**7 * Y	0.000000E+00
X * Y	0.000000E+00	X**6 * Y**2	5.519986E-09
Y**2	-2.606383E-03	X**5 * Y**3	0.000000E+00
X**3	0.000000E+00	X**4 * Y**4	3.822268E-09
X**2 * Y	-7.767146E-05	X**3 * Y**5	0.000000E+00
X Y**2	0.000000E+00	X**2 * Y**6	-3.024448E-09
Y**3	-8.958581E-05	X * Y**7	0.000000E+00
X**4	1.978414E-05	Y**8	2.673713E-11
X**3 * Y	0.000000E+00	X**9	0.000000E+00
X**2 * Y**2	2.081156E-05	X**8 * Y	1.006915E-10
X * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**2	0.000000E+00
Y**4	-1.073001E-06	X**6 * Y**3	-2.945084E-10
X**5	0.000000E+00	X**5 * Y**4	0.000000E+00
X**4 * Y	2.585164E-07	X**4 * Y**5	5.958040E-10
X**3 * Y**2	0.000000E+00	X**3 * Y**6	0.000000E+00
X**2 * Y**3	-2.752516E-06	X**2 * Y**7	-3.211903E-10
X * Y**4	0.000000E+00	X * Y**8	0.000000E+00
Y**5	-1.470053E-06	Y**9	2.296303E-11
X**6	-1.116386E-07	X**10	5.221834E-12
X**5 * Y	0.000000E+00	X**9 * Y	0.000000E+00
X**4 * Y**2	-3.501439E-07	X**8 * Y**2	1.135044E-11
X**3 * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**3	0.000000E+00
X**2 * Y**4	1.324057E-07	X**6 * Y**4	-1.050621E-10
X * Y**5	0.000000E+00	X**5 * Y**5	0.000000E+00
Y**6	-9.038017E-08	X**4 * Y**6	5.624902E-11
X**7	0.000000E+00	X**3 * Y**7	0.000000E+00
X**6 * Y	3.397174E-10	X**2 * Y**8	5.369592E-12
X**5 * Y**2	0.000000E+00	X * Y**9	0.000000E+00
X**4 * Y**3	-1.873966E-08	Y**10	2.497657E-12
X**3 * Y**4	0.000000E+00	N-반경	1.000000E+00

[0058] 표 2의 표면 #5의 광학 표면 처방

표 9

[0059]

Y DECENTER	Z DECENTER	ALPHA TILT
.427E+01	3.347E+01	7.230E+01

[0060] 표 2의 표면 #1에 관하여, 표 2의 표면 #5의 분산

[0061] 제 2 시야 렌즈 소자(17)의 처방으로 돌아가면, 시야 렌즈 소자(17)의 모든 표면은 비구면 표면이다. 부가적으로, 시야 렌즈 소자(17)의 표면(#29)(표 2)은 다음 수학식에 따라 표현될 수 있는 키노폼(kinoform) 회절 광학

특징을 갖는다.

[0062] $$\phi = Ar^2 + Br^4 + Cr^6 + Dr^8 + Er^{10}$$

[0063] 여기서, Φ는 회절 소자의 위상 함수이고, r은 반경 거리이며, A 내지 E는 각각 4차, 6차, 8차, 10차 및 12차 위상 계수이다. 제 2 시야 렌즈 소자(17)의 표면 처방은 표 10 내지 표 12에 제공된다.

표 10

[0064]

Y 반경	1.022230E+02
코닉 상수(K)	1.091191E+01
4차 계수(A)	4.372314E-06
6차 계수(B)	-6.940740E-08
8차 계수(C)	8.588869E-11
10차 계수(D)	2.348571E-14
12차 계수(E)	-1.463306E-16

[0065] 표 2의 표면 #29의 표면 처방

표 11

[0066]

구성 파장 (nm)	525
R**2 (HCO C1)	-1.295858E-03
R**4 (HCO C2)	-3.879339E-07
R**6 (HCO C3)	8.494999E-09
R**8 (HCO C4)	-1.771348E-13
R**10 (HCO C5)	-3.584229E-15

[0067] 표 2의 표면 #29에 대한 회절 광학 소자 위상 데이터

표 12

[0068]

Y 반경	6.164108E+01
코닉 상수(K)	9.828641E+00
4차 계수(A)	5.898651E-05
6차 계수(B)	-2.951081E-07
8차 계수(C)	-3.440910E-10
10차 계수(D)	1.785109E-13
12차 계수(E)	2.803121E-15

[0069] 표 2의 표면 #30의 표면 처방

표 13

[0070]

Y 반경	-8.779024E+01	X**2 * Y**5	-8.011955E-11
코닉 상수	-7.055198E+00	X * Y**6	0.000000E+00
X	0.000000E+00	Y**7	3.606142E-11
Y	0.000000E+00	X**8	3.208020E-11
X**2	-3.191225E-03	X**7 * Y	0.000000E+00
X * Y	0.000000E+00	X**6 * Y**2	-2.180416E-11
Y**2	4.331992E-03	X**5 * Y**3	0.000000E+00
X**3	0.000000E+00	X**4 * Y**4	-3.616135E-11
X**2 * Y	-9.609025E-05	X**3 * Y**5	0.000000E+00
X Y**2	0.000000E+00	X**2 * Y**6	-5.893434E-12
Y**3	-2.432809E-05	X * Y**7	0.000000E+00
X**4	-2.955089E-06	Y**8	3.081069E-12
X**3 * Y	0.000000E+00	X**9	0.000000E+00
X**2 * Y**2	2.096887E-07	X**8 * Y	1.267096E-12
X * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**2	0.000000E+00
Y**4	-9.184356E-07	X**6 * Y**3	-1.848104E-12
X**5	0.000000E+00	X**5 * Y**4	0.000000E+00
X**4 * Y	3.707556E-08	X**4 * Y**5	5.208420E-14
X**3 * Y**2	0.000000E+00	X**3 * Y**6	0.000000E+00
X**2 * Y**3	-1.535357E-07	X**2 * Y**7	1.198597E-13
X * Y**4	0.000000E+00	X * Y**8	0.000000E+00
Y**5	-1.445904E-08	Y**9	-6.834914E-14
X**6	-4.440851E-09	X**10	-1.706677E-14
X**5 * Y	0.000000E+00	X**9 * Y	0.000000E+00
X**4 * Y**2	1.686424E-09	X**8 * Y**2	-1.614840E-14
X**3 * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**3	0.000000E+00
X**2 * Y**4	6.770909E-09	X**6 * Y**4	8.739087E-14
X * Y**5	0.000000E+00	X**5 * Y**5	0.000000E+00
Y**6	-3.713094E-10	X**4 * Y**6	3.940903E-15
X**7	0.000000E+00	X**3 * Y**7	0.000000E+00
X**6 * Y	-1.316067E-10	X**2 * Y**8	5.435162E-15
X**5 * Y**2	0.000000E+00	X * Y**9	0.000000E+00
X**4 * Y**3	7.924387E-10	Y**10	-2.259169E-15
X**3 * Y**4	0.000000E+00	N-반경	1.000000E+00

[0071] 표 3의 표면 #5의 광학 표면 처방

표 14

[0072]

Y DECENTER	Z DECENTER	ALPHA TILT
3.358E+00	4.900E+01	6.765E+00

[0073] 표 3의 표면 #1에 관하여 표면 #5의 분산

[0074] *원통 렌즈 없는 대안적인 예시적인 설계*

[0075] 상기 도 3a 및 도 3b의 설계에서, 선택적인 원통 렌즈(13)가 수차 및 왜곡을 최소화하는 것을 돕기 위해 자유형 보상기(14)에 포함되었다. 원통 렌즈(13)가 없는 대안적인 설계가 또한 제공되는데, 여기서 가상 디스플레이 경로는 도 3b 및 표 2에 도시된 것과 동일하다. 원통 렌즈(13)의 부재시에 투과 경로의 나머지 표면들 사이의 유일한 차이점은 접안 렌즈/보상기 표면(S2)(표 3의 광학 투과 경로의 표면 #5)이다. 표 15에서, 표면 #2 및 #3은 접안 렌즈 표면(S1 및 S3)이고, 가상 디스플레이 경로의 경우와 같이 모델링된다. 표면 #4 및 #5는 자유형 보상기(14)를 기술한다. 표면(#4)은 표면(#3)의 정확한 복제이다.

표 15

[0076]

	표면 유형	Y 반경	X 반경	두께	물질	굴절 모드
Object	Sphere	Infinity	Infinity	-666.700		Refract
1 (Stop)	Sphere	Infinity	Infinity	0.000		Refract
2	XY Polynomial	-185.496	-185.496	0.000	PMMA	Refract
3	XY Polynomial	-67.446	-67.446	0.000	PMMA	Refract
4	XY Polynomial	-67.446	-67.446	0.000	PMMA	Refract
5	XY Polynomial	-492.346	-492.346	0.000		Refract
Image	Sphere	Infinity	Infinity	0.000		Refract

[0077] 원통 렌즈 없는 대안적인 접안 렌즈 광학 처방

표 16

[0078]

Y 반경	-4.923462E+02	X**2 * Y**5	-1.476237E-10
코닉 상수	3.982960E+00	X * Y**6	0.000000E+00
X	0.000000E+00	Y**7	2.044705E-11
Y	0.000000E+00	X**8	2.971746E-11
X**2	-3.001720E-03	X**7 * Y	0.000000E+00
X * Y	0.000000E+00	X**6 * Y**2	-6.199724E-12
Y**2	-5.233825E-04	X**5 * Y**3	0.000000E+00
X**3	0.000000E+00	X**4 * Y**4	-2.279723E-11
X**2 * Y	-6.009699E-05	X**3 * Y**5	0.000000E+00
X Y**2	0.000000E+00	X**2 * Y**6	-1.041364E-12
Y**3	-2.244921E-05	X * Y**7	0.000000E+00
X**4	-6.379076E-07	Y**8	1.125487E-12
X**3 * Y	0.000000E+00	X**9	0.000000E+00
X**2 * Y**2	2.968752E-06	X**8 * Y	1.210373E-12
X * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**2	0.000000E+00
Y**4	3.771516E-07	X**6 * Y**3	-1.331110E-12
X**5	0.000000E+00	X**5 * Y**4	0.000000E+00
X**4 * Y	5.359865E-08	X**4 * Y**5	-9.781602E-14
X**3 * Y**2	0.000000E+00	X**3 * Y**6	0.000000E+00
X**2 * Y**3	-1.965407E-07	X**2 * Y**7	4.515428E-13
X * Y**4	0.000000E+00	X * Y**8	0.000000E+00
Y**5	-7.301859E-09	Y**9	-5.050786E-14
X**6	-6.841269E-09	X**10	-1.058279E-14
X**5 * Y	0.000000E+00	X**9 * Y	0.000000E+00
X**4 * Y**2	-2.507411E-09	X**8 * Y**2	-2.975833E-14
X**3 * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**3	0.000000E+00
X**2 * Y**4	4.627014E-10	X**6 * Y**4	6.309574E-14
X * Y**5	0.000000E+00	X**5 * Y**5	0.000000E+00
Y**6	-4.841692E-10	X**4 * Y**6	-1.214005E-15
X**7	0.000000E+00	X**3 * Y**7	0.000000E+00
X**6 * Y	-3.343485E-10	X**2 * Y**8	1.180350E-14
X**5 * Y**2	0.000000E+00	X * Y**9	0.000000E+00
X**4 * Y**3	7.999315E-10	Y**10	-5.938353E-16
X**3 * Y**4	0.000000E+00	N-반경	1.000000E+00

[0079] 표 15의 표면 #5의 광학 표면 처방

표 17

[0080]

Y DECENTER	Z DECENTER	ALPHA TILT
4.618E+00	4.853E+01	7.007E+00

[0081] 표 15의 표면 #1에 관하여, 표 15의 표면 #5의 분산

[0082] *도 3b의 시스템의 프로토타입*

[0083] 도 3b의 다초점면 디스플레이 시스템(200)의 프로토타입은 표준 제고 렌즈 및 맞춤형 광학으로 만들어졌고, 이의 3D 뷰가 도 6a, 도 6b에 제공된다. 시스템(200)은 보는 사람의 머리와의 충돌을 피하기 위해 접혔다. 맞춤형 전자 장치가 또한 개발되어 DMD(60)(LUXBEAM® 4500, VISITECH, Drammen, Norway), LED(도시되지 않음)의 조명, 및 변형 가능 거울(80)(OKO® Technologies MMDM10-1-focus, Flexible Optical B.V., Rijswijk, Netherlands)의 초점면 스위칭을 통해 디스플레이 이미지를 제어 및 동기화하였다.

[0084] 0에서 2.5 디옵터로 모두 연장된 그린 바닥 격자 및 기울어진 평면 객체로 구성된 연속적인 3D 장면이 렌더링되었다. 장면은 타겟의 깊이 값에 기초하여 3 디옵터, 2.4 디옵터, 1.8 디옵터, 1.2 디옵터, 0.6 디옵터 및 0 디옵터에 위치하는 6개의 초점면 상으로 분해되었고, 깊치 융합 기술이 이용되어 부드러운 연속체로 6 초점면을 혼합하였다. 전체 3D 장면은 대략 60 Hz에서 리프레시되었으므로, 플리커는 보이지 않았다. 도 7a는 시스템을 통해 보여지는 바와 같은 실제 6개의 초점면 장면을 도시하고, 이미지는 선명하고 매우 낮은 왜곡을 갖는다. 특별한 알고리즘 없이, 일정한 관측 시야 설계로 인해 상이한 초점면 상의 픽셀들을 오버랩하고 매끄럽게 융합한다. 게다가, 얕은 심도를 갖는 카메라 렌즈를 이용하였고 수동으로 장면의 상이한 부분에서 포커싱되었다. 도 7b에서, 해상도 타겟이 뒷벽 상에 디스플레이되었고, 카메라는 대략 2 m에서 포커싱되었다. 바닥 격자의 근단은 초점이 벗어났고, 로고는 물론 후면 격자는 선명하게 초점이 맞았다. 도 7c에서, 해상도 타겟이 전면 초점면 상에 디스플레이되었고, 카메라는 30 cm에서 포커싱되었고, 이제 가까운 장면이 초점에 맞았으며, 후면 상의 내용은 흐릿해졌다. 따라서, 프로토타입은 플리커가 없는 속도로 고품질, 고해상도 컬러 이미지의 6개 이상의 초점면을 렌더링 할 수 있는 것으로 입증되었다. 또한, 증가된 실제 상황 적용에 대해 매우 양호한 광학 투과 성능을 가지고, 높은 깊이 지각 정확도, 높은 입체시, 및 낮은 사용자의 피로를 제공할 잠재력을 갖는다.

[0085] *대안적인 예시적 가변 렌즈*

[0086] 다른 양태에서, 본 발명은 실리콘 액정 표시 장치(Liquid Crystal on Silicon; LCOS) 및 강유전성 액정 표시 장치(Ferroelectric Liquid Crystal On Silicon; FLCoS), 및 고속 능동 굴절 광학 소자, 예컨대, 전기 가변 렌즈(380)와 같은 고속 디스플레이 기술을 결합하는 예시적인 다초점면 디스플레이 시스템(300)을 제공한다. 특정 설계는 0.8 "WXGA LCOS/FLCoS 디스플레이(360)와 10 mm 구경의 전기 가변 렌즈(380)(Optotune EL-10-30, Optotune AG, Dietikon, Switzerland)에 기초한다. 광출력의 변화를 생성하기 위해 전류가 가변 렌즈(380)를 통해 흐르는 경우, 가변 렌즈(380)는 모양을 변경한다. 옵토튠(Optotune) 렌즈(380)는 대략 2.5 ms의 응답 시간을 가지므로, 잠재적으로 다초점면 디스플레이에 이용될 수 있다.

표 18

[0087]

마이크로디스플레이	0.8” LOCOS/FLCOS, WXGA, 14 ㎛ 픽셀
가변 렌즈	10 mm 구경, 12 디옵터 초점 범위
가상 디스플레이 관측 시야	50° (43.6° H x 26.4° V)
동공 크기	10 mm
눈 간격	20 mm(낮은 프로파일 안경을 조절함)
이미지 품질(DMD 공간)	36 lp/mm에서 MTF > 0.2(5 mm 동공)
이미지 왜곡	< 2.0 %
가상 이미지 거리	33 cm ~ 무한
f-넘버	2.2

[0088] 가변 렌즈 시스템을 위한 설계 사양

[0089] 설계의 최종 레이아웃은 도 10a 내지 도 11에 도시된다. 릴레이 렌즈 그룹(렌즈 302, 304, 306, 380, 308, 310)은 구면 거울(318)에 이미지를 중계하고, 이 구면 거울(318)은 접안 렌즈의 역할을 하여 사용자에게 가상 이미지를 형성한다. 선택적으로, 거울(318)은 비구면일 수 있다. 빔 스플리터(316)가 투과 능력을 가능하게 하기 위해 이용된다. 가변 렌즈(380)는 시스템 정지를 제공할 수 있고, 시스템은 LCOS/FLCoS의 요건으로 인해 마이크로디스플레이(360)에 텔레센트릭될 수 있다. 충분한 공간이 또한 도 11에서 조명 빔 스플리터(317)에 제공된다. 시스템(300)의 처방이 표 19 내지 표 26에 제공된다. [표 19에서, 표면 #9-#12는 옵토튠 전기 가변 렌즈(380)를 모델링한다.] 시스템의 성능이 도 12a, 도 12b에 나타난다.

표 19

도면에서 이용되는 요소 번호	표면 번호	표면 유형	Y 반경	두께	물질	굴절 모드
	1 (Stop)	Sphere	Infinity	44.000		Refract
	2	Sphere	Infinity	-24.000		Reflect
318	3	Sphere	68.000	34.000		Reflect
316	4	Sphere	Infinity	17.371		Refract
310	5	Asphere	-23.777	6.000	PMMA	Refract
	6	Asphere	363.193	0.100		Refract
308	7	Sphere	39.587	6.000	NSF11	Refract
	8	Sphere	-119.109	4.385		Refract
380	9	Sphere	Infinity	0.500	BK7	Refract
380	10	Sphere	Infinity	4.377		Refract
380	11	Sphere	30.270	2.023	'OL1024'	Refract
380	12	Sphere	Infinity	0.500	BK7	Refract
	13	Sphere	Infinity	3.724		Refract
306	14	Asphere	-24.004	5.999	Polystyrene	Refract
	15	Asphere	27.079	0.251		Refract
304	16	Sphere	38.710	5.944	Zeonex ZE48R	Refract
	17	Sphere	-21.557	5.631		Refract
302	18	Asphere	33.959	9.698	Zeonex ZE48R	Refract
	19	Asphere	-21.555	29.000		Refract

[0090]

[0091] 가변 렌즈 시스템 처방

표 20

Y 반경	-23.777
코닉 상수(K)	2.040996E+00
4차 계수(A)	1.385342E-04
6차 계수(B)	-1.022594E-06
8차 계수(C)	8.784855E-09
10차 계수(D)	-2.891372E-11

[0092]

[0093] 표 19의 표면 #5의 표면 처방

표 21

Y 반경	363.193
코닉 상수(K)	-1.060606E+01
4차 계수(A)	6.247531E-05
6차 계수(B)	-8.622953E-07
8차 계수(C)	9.037984E-09
10차 계수(D)	-4.513968E-11

[0094]

[0095] 표 19의 표면 #6의 표면 처방

표 22

Y 반경	-24.004
코닉 상수(K)	2.609562E+00
4차 계수(A)	-1.053175E-04
6차 계수(B)	3.126004E-07
8차 계수(C)	-2.716200E-08
10차 계수(D)	2.112687E-10

[0096]

[0097] 표 19의 표면 #14의 표면 처방

표 23

Y 반경	27.079
코닉 상수(K)	-6.178694E+00
4차 계수(A)	-1.075797E-05
6차 계수(B)	-1.383769E-07
8차 계수(C)	4.641779E-10
10차 계수(D)	9.831856E-13

[0098]

[0099] 표 19의 표면 #15의 표면 처방

표 24

구성 파장 (nm)	589
R**2 (HCO C1)	-1.543448E-03
R**4 (HCO C2)	7.864956E-06
R**6 (HCO C3)	-1.080042E-07
R**8 (HCO C4)	1.272753E-09
R**10 (HCO C5)	-5.114979E-12

[0100]

[0101] 표 19의 표면 #16의 표면 처방

표 25

Y 반경	33.959
코닉 상수(K)	2.310849E+00
4차 계수(A)	4.222932E-06
6차 계수(B)	-2.501786E-08
8차 계수(C)	3.154900E-11
10차 계수(D)	2.517705E-13

[0102]

[0103] 표 19의 표면 #18의 표면 처방

표 26

Y 반경	-21.555
코닉 상수(K)	-1.347355E+00
4차 계수(A)	1.944341E-05
6차 계수(B)	3.600425E-08
8차 계수(C)	-1.998220E-11
10차 계수(D)	6.798072E-13

[0104]

[0105] 표 19의 표면 #19의 표면 처방

[0106] *전체 설계 고려 사항*

[0107] 다른 양태에서, 본 발명은 깊이 융합 디스플레이(depth-fused display; DFD) 시스템 설계 파라미터를 결정하기 위한 새로운 기준에 관한 것이다. DFD 디스플레이의 융합된 픽셀의 광학 품질은 망막 이미지의 점 퍼짐 함수(point spread function; PSF)에 의해, 또는 등가적으로, 변조 전달 함수(modulation transfer function; MTF)에 의해 수량화되고, 이는 망막 이미지의 콘트라스트 변조 대 3D 디스플레이 상의 사인곡선적 객체의 콘트라스트 변조의 비율로 특징지어 진다. 예를 들어, 눈이 렌더링 깊이(z)에서 조절될 때, z_1 및 z_2에 각각 위치하는 한 쌍의 인접한 초점면 상의 두 개의 픽셀에 의한 융합 픽셀의 PSF(PSF_{12})는 다음과 같이 전면 픽셀 및 후면 픽셀로부터 PSF들의 가중 합으로서 기술될 수 있다:

수학식 1

$$PSF_{12}(z) = w_1(z)\frac{PSF_1(z,z_1)}{\iint_{x,y} PSF_1(z,z_1)dxdy} + w_2(z)\frac{PSF_2(z,z_2)}{\iint_{x,y} PSF_2(z,z_2)dxdy}$$

[0108]

[0109] 여기서, $PSF_1(z,z_1)$ 및 $PSF_2(z,z_2)$는 눈이 거리(z)에서 조절될 때의 전면 픽셀 및 후면 픽셀의 점 퍼짐 함수이다. 수학식 1에서의 PSF는 전면 픽셀 및 후면 픽셀은 가중 합을 계산하기 전에 동일한 휘도를 갖도록 정규화된다. w_1 및 w_2는 전면 픽셀 및 후면 픽셀의 휘도를 변조하는 깊이 가중 융합 함수이고, 시뮬레이트되는 깊이가 변경되는 경우 융합된 이미지의 전체 휘도가 동일하게 유지되도록 통상적으로 $w_1(z) + w_2(z) = 1$이 시행된다. 그런 다음, 디스플레이의 MTF가 $PSF_{12}(z)$의 푸리에 변환을 통해 계산될 수 있다.

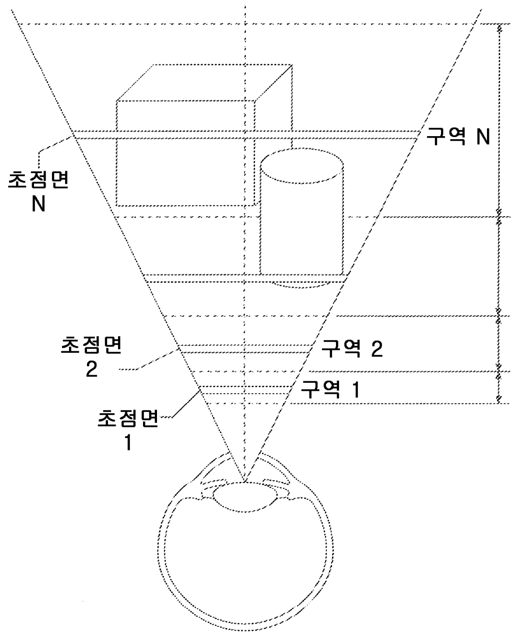
[0110] 이중 초점면 DFD 디스플레이의 시뮬레이션된 망막 이미지의 MTF 플롯의 예가 도 8a에 도시된다. 시뮬레이션에서, 두 초점면이 1.2 디옵터 및 1.8 디옵터에 각각 배치되었고, 두 초점면 간의 휘도 비는 1:1이었고, 이는 융합된 픽셀이 전면 초점면 및 후면 초점면의 굴절 광학 중간점에서, 즉, 1.5 디옵터에서 시뮬레이션되었음을 나타낸다. 깊이 융합의 효과에 집중하기 위해, 3mm 동공을 갖는 눈 모델이 선택되었고, 잔여 수차 모두는 제거되었다. 도 8a는 눈이 두 개의 초점면 사이의 다양한 위치에서 조절함에 따라 망막 이미지의 MTF가 변경되는 방법을 도시한다. 도 8b는 상이한 공간 주파수에 대한 눈 조절 거리의 함수로서의 콘트라스트 변화도를 도시하고, 각각의 주파수에 대한 피크 콘트라스트는 검은색 정사각형 마커로 표시되었다. 대략 17 사이클/도(cycles/degree; cpd)의 전이 주파수가 플롯에서 관찰된다. 이 전이 주파수 아래에서, 망막 이미지의 MTF는 1.5 디옵터의 굴절 광학 중간점에서 극대화되고, 이는 이중 초점면 시스템의 1:1 휘도 비에 의한 시뮬레이션된 깊이이다. 더욱이, 눈이 원거리 초점면 또는 근거리 초점면 중 어느 하나로부터 시뮬레이션된 깊이에 다가가기 때문에, MTF 값은 매끄럽게 증가하여, 눈 조절을 구동하는데 요구되는 적절한 콘트라스트 변화도를 제공한다. 그러나, 17 cpd보다 큰 주파수의 경우, 눈이 물리적 초점면에서 또는 그 근처에서 조절될 때, 융합된 픽셀의 콘트라스트는 항상 최고이고, 이는 콘트라스트 변화도가 시뮬레이션된 픽셀 깊이로부터 멀리 조절을 구동하는 경향이 있어 충돌 조절 큐를 생성한다는 것을 의미한다.

[0111] 도 9a, 도 9b는 전이 주파수가 초점면 분리의 함수로서 그리고 동공 크기의 함수로서 변화하는 방법을 나타낸다. 도 9a는 3 mm 눈 동공을 가정하고, 도 9b는 0.6 디옵터의 일정한 초점면 분리를 가정한다. 결과는, 초점면 분리가 작고 원하는 눈 동공 크기가 작을수록, 전이점이 있는 주파수가 더욱 높아진다는 것을 시사한다. 그러므로, DFD 디스플레이를 설계하는 중요한 기준은, 보는 사람에게 충돌 조절 큐를 제시하는 것을 피하기 위해서 콘트라스트 변화도가 시스템의 차단 주파수보다 크도록 초점면 분리 및 디스플레이의 작동 동공 크기가 결정되어야 한다는 것이다. 예를 들어, 인접한 초점면 사이의 0.6 디옵터 분리는 각 픽셀 당 1.8 arc 분의 각도 분해능(대략 17 cdp의 공간 주파수) 및 10 cd/㎡보다 큰 휘도를 제공하는 DFD 디스플레이에 적합한 것으로 간주될 수 있다. 10 cd/㎡ 디스플레이 휘도의 시뮬레이션은 대략 3 mm 동공 지름으로 이어진다. 0.45 디옵터 간격 또는 이하의 간격이 픽셀 당 1 arc 분(즉, 30 cdp)의 각도 분해능을 제공하는 디스플레이에 요구될 것이다. 픽셀당 각도 분해능이 작거나 이미지 밝기가 낮을 수록, 요구되는 초점면 분리가 작아질 것이다.

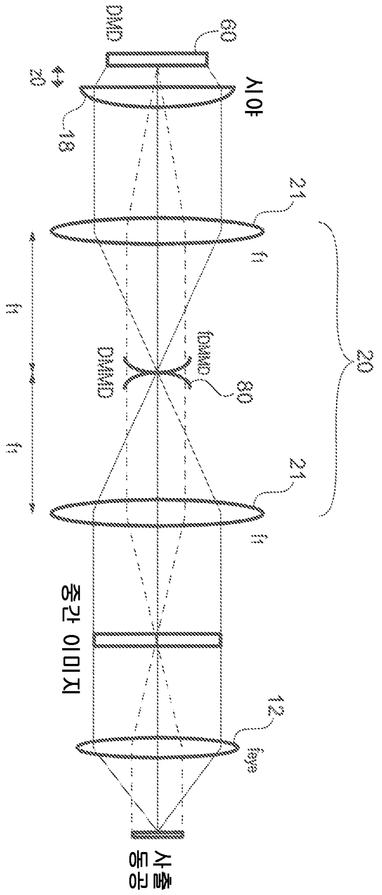
[0112] 본 발명의 전술한 이점뿐만 아니라 기타 이점은 전술한 상세한 설명으로부터 당업자에게 명백해질 것이다. 따라서, 당업자라면, 본 발명의 광의의 발명적 개념으로부터 벗어나지 않고 전술한 실시예들에 대해 변경 또는 수정이 이루어질 수 있다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명은 본 명세서에 기재한 특정 실시예에 한정되는 것이 아니라, 청구 범위에 기재된 바와 같은 본 발명의 범위 및 사상 내에 포함되는 모든 변형 또는 수정을 포함함을 이해해야 할 것이다.

도면

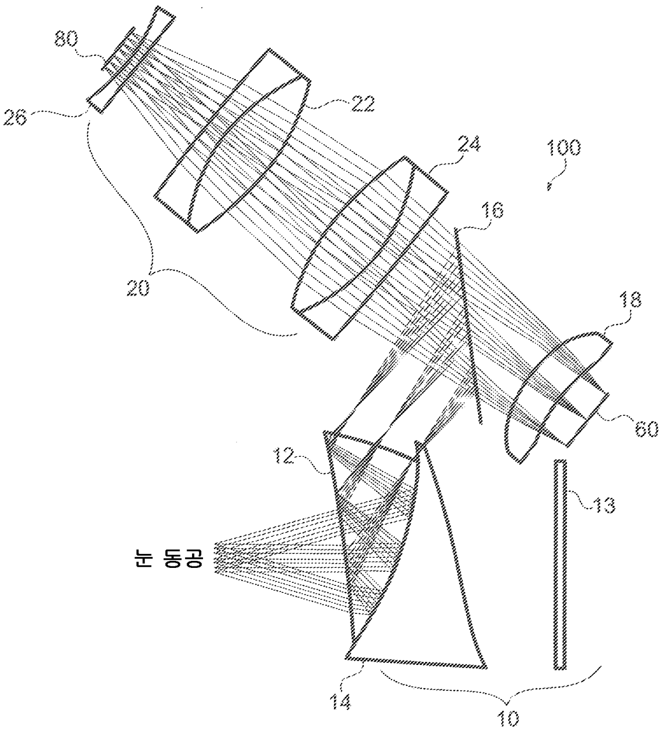
도면1



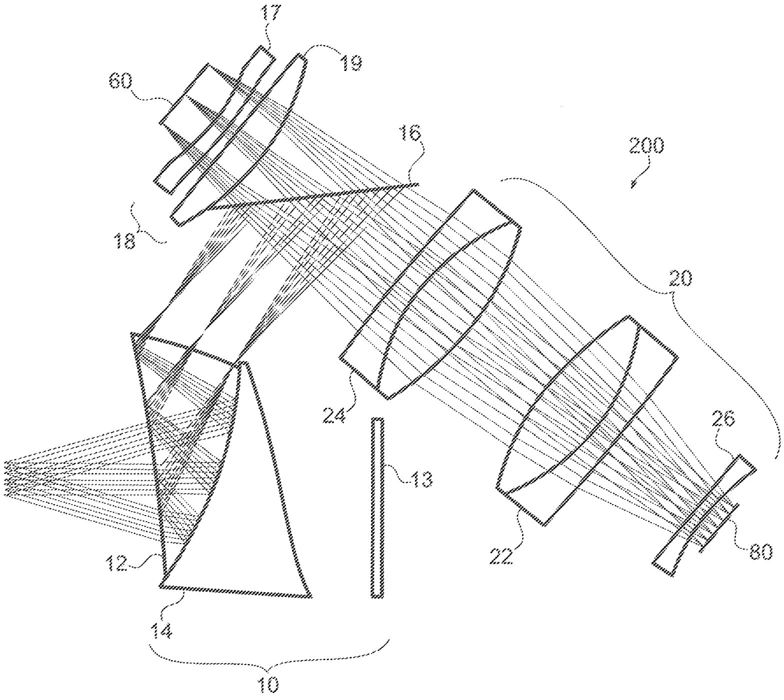
도면2



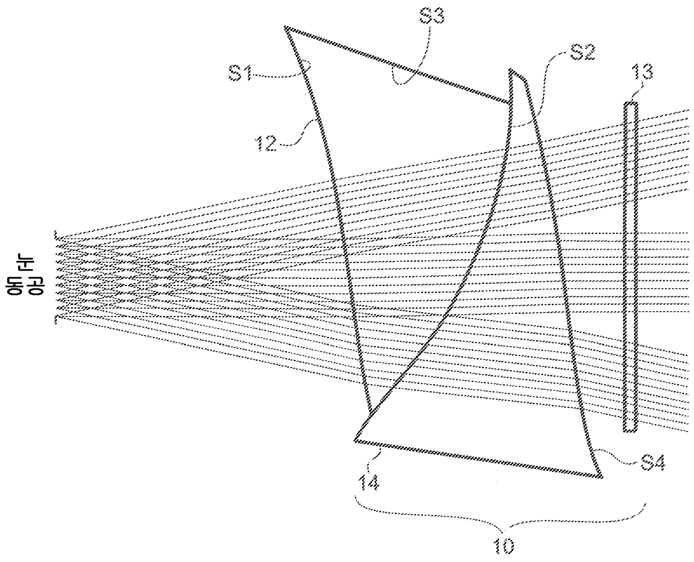
도면3a


80
26
22
24
100
16
20
18
60
12
13
눈 동공
14
10

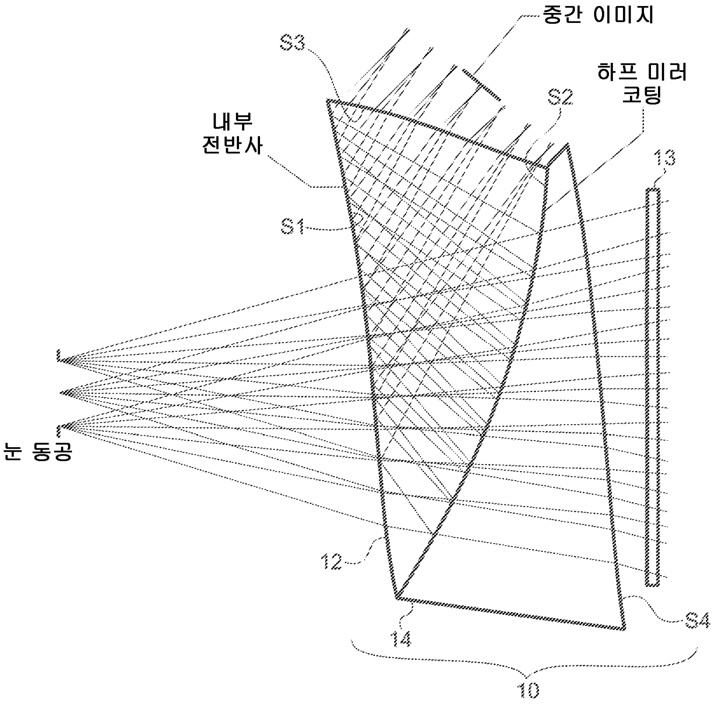
도면3b


17
19
60
16
200
18
20
26
24
13
12
22
80
14
10

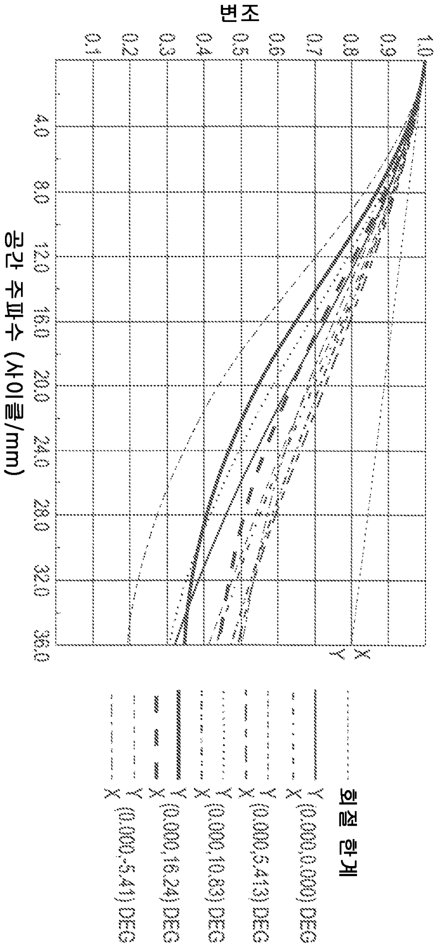
도면3c


S3
S2
S1
13
12
눈
동공
S4
14
10

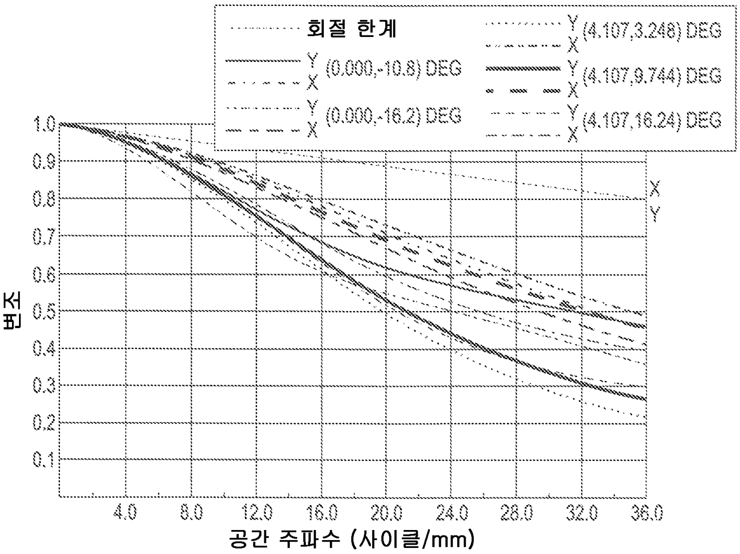
도면3d


중간 이미지
하프 미러
코팅
S3
S2
내부
전반사
13
S1
눈 동공
12
S4
14
10

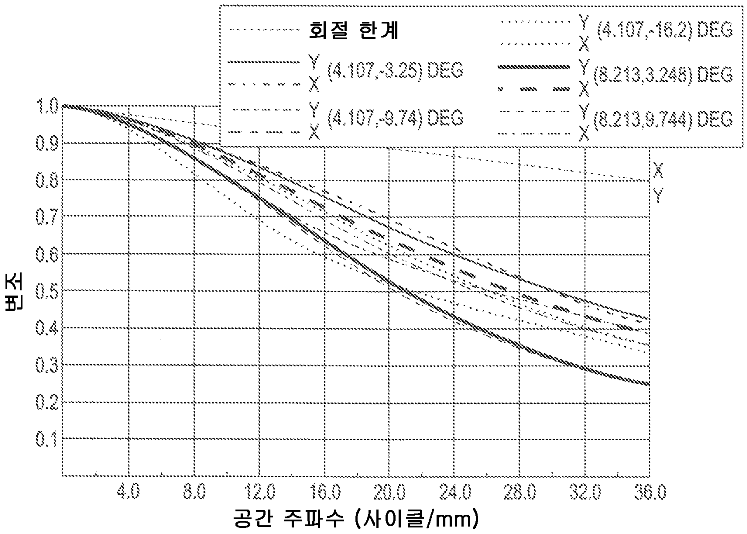
도면4a


변조
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
4.0
8.0
12.0
16.0
20.0
24.0
28.0
32.0
36.0
공간 주파수 (사이클/mm)
회절 한계
Y (0.000,0.000) DEG
X
Y (0.000,5.413) DEG
X
Y (0.000,10.83) DEG
X
Y (0.000,16.24) DEG
X
Y (0.000,-5.41) DEG
X

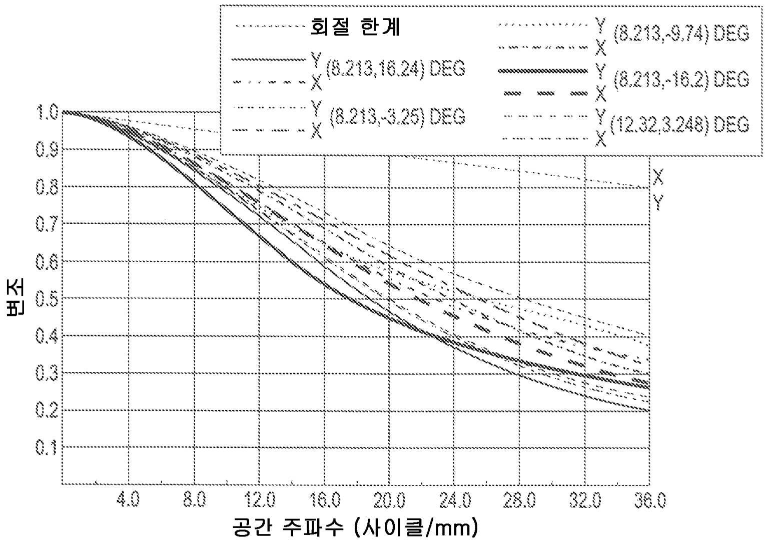
도면4b


회절 한계
Y (0.000,-10.8) DEG
X
Y (0.000,-16.2) DEG
X
Y (4.107,3.248) DEG
X
Y (4.107,9.744) DEG
X
Y (4.107,16.24) DEG
X
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
변조
4.0
8.0
12.0
16.0
20.0
24.0
28.0
32.0
36.0
공간 주파수 (사이클/mm)

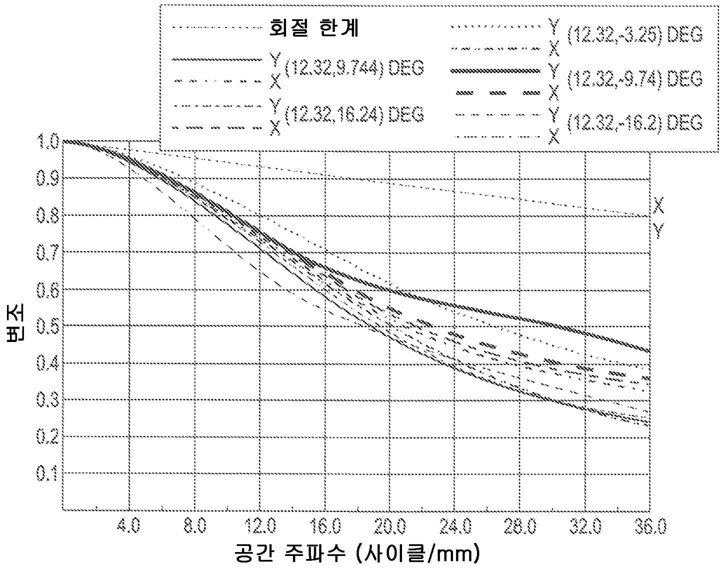
도면4c


회절 한계
Y (4.107,-3.25) DEG X
Y (4.107,-9.74) DEG X
Y (4.107,-16.2) DEG X
Y (8.213,3.248) DEG X
Y (8.213,9.744) DEG X
X
Y
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
변조
4.0
8.0
12.0
16.0
20.0
24.0
28.0
32.0
36.0
공간 주파수 (사이클/mm)

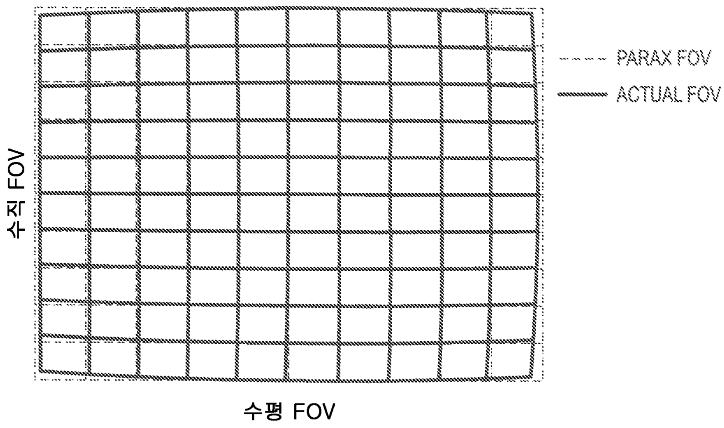
도면4d


회절 한계
Y (8.213,16.24) DEG X
Y (8.213,-3.25) DEG X
Y (8.213,-9.74) DEG X
Y (8.213,-16.2) DEG X
Y (12.32,3.248) DEG X
X
Y
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
변조
4.0
8.0
12.0
16.0
20.0
24.0
28.0
32.0
36.0
공간 주파수 (사이클/mm)

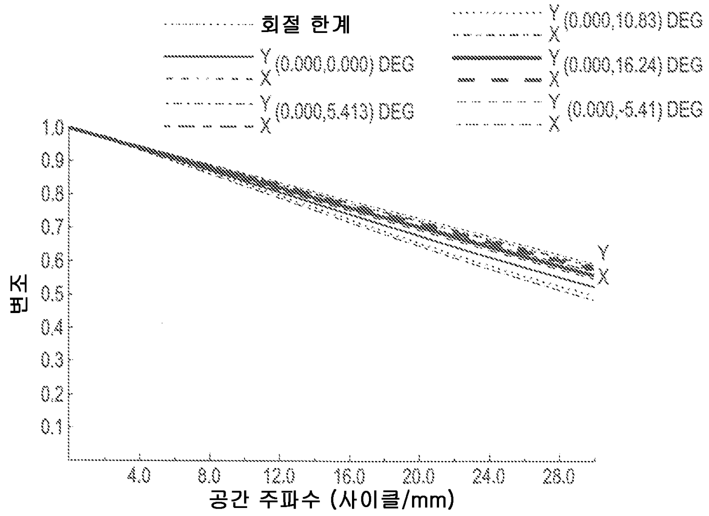
도면4e



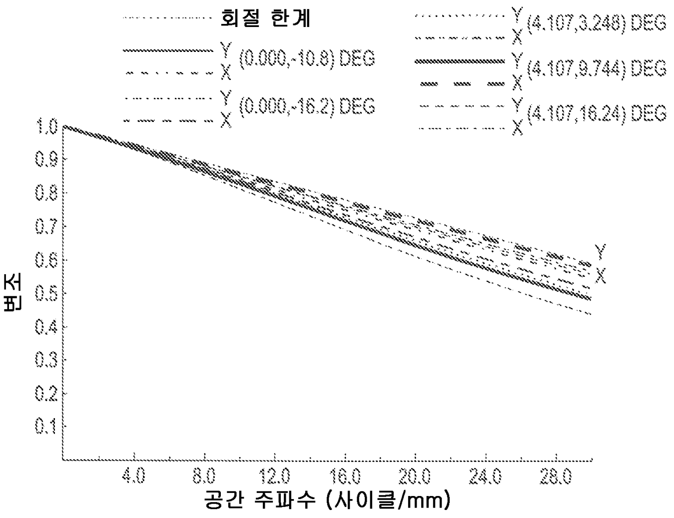
도면4f



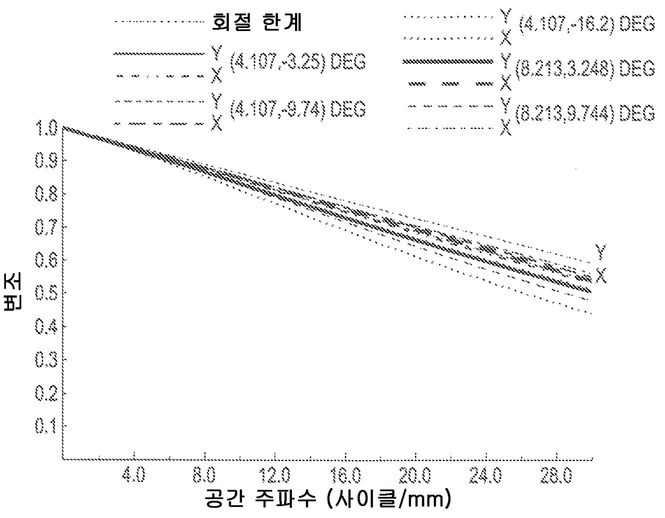
도면5a



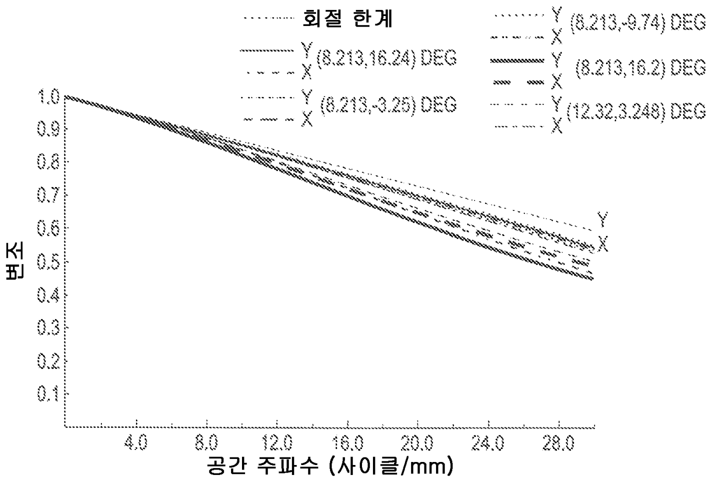
도면5b



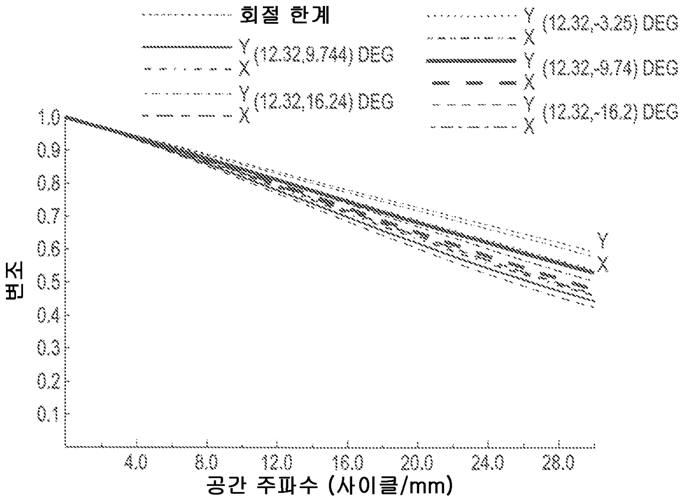
도면5c



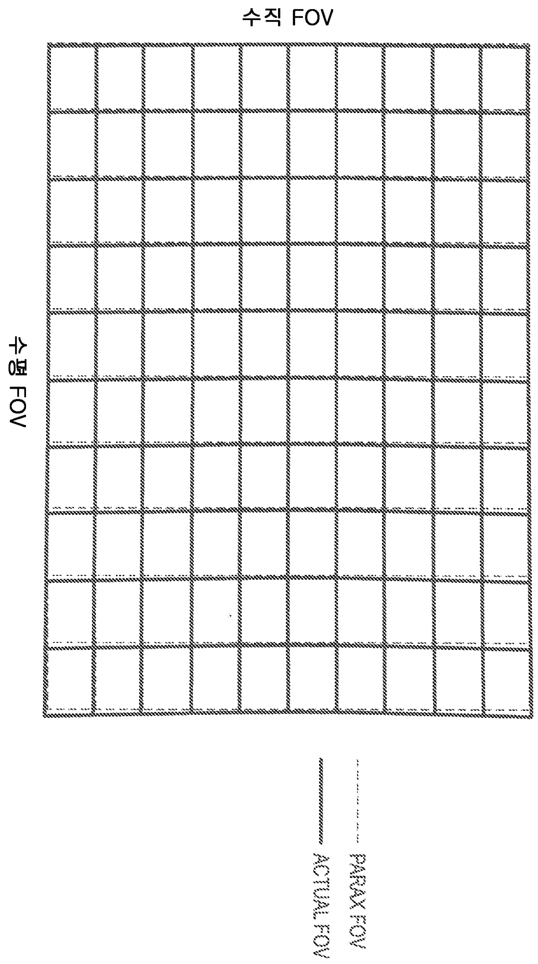
도면5d



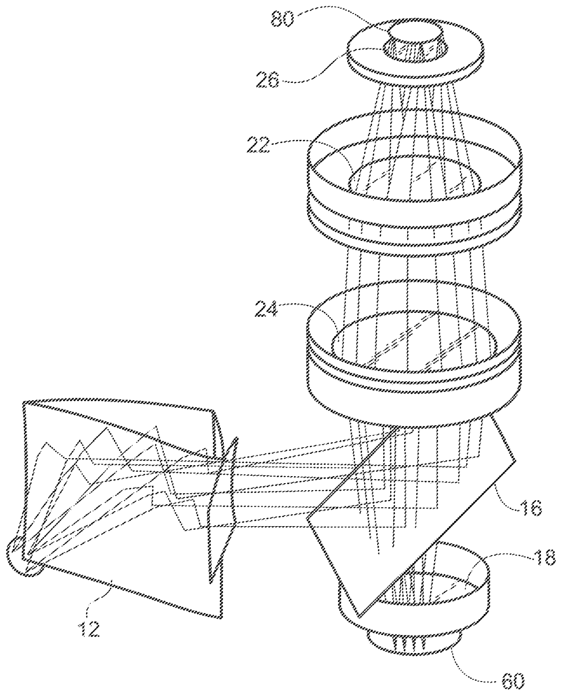
도면5e


회절 한계
Y (12.32,9.744) DEG
X
Y (12.32,16.24) DEG
X
Y (12.32,-3.25) DEG
X
Y (12.32,-9.74) DEG
X
Y (12.32,-16.2) DEG
X
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
변조
Y
X
4.0
8.0
12.0
16.0
20.0
24.0
28.0
공간 주파수 (사이클/mm)

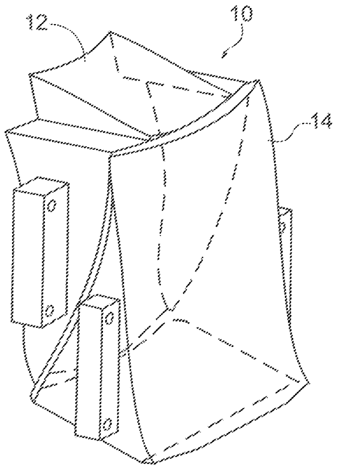
도면5f


수직 FOV
수평 FOV
PARAX FOV
ACTUAL FOV

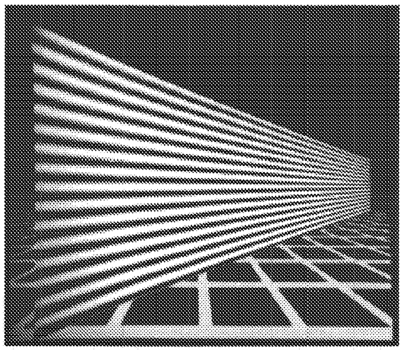
도면6a



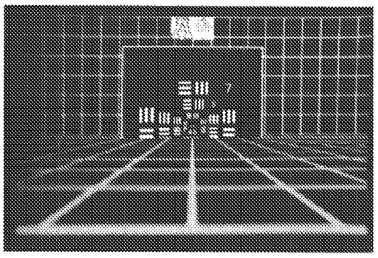
도면6b



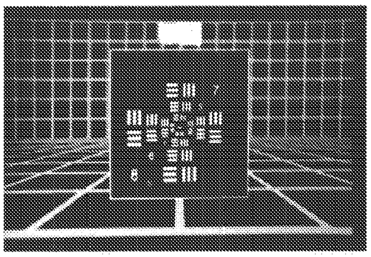
도면7a



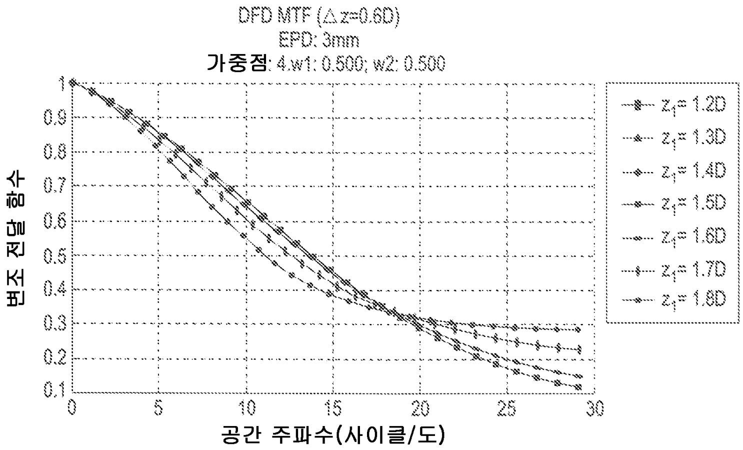
도면7b



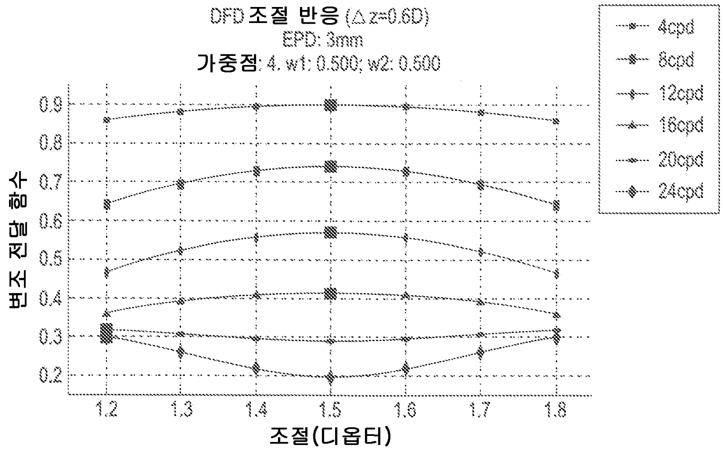
도면7c



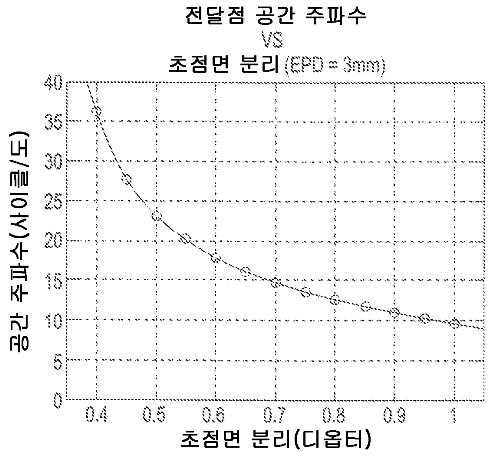
도면8a



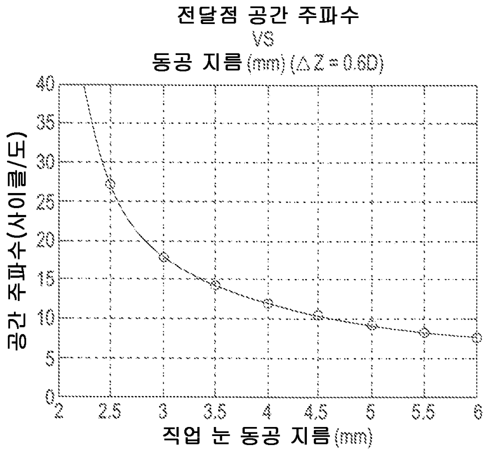
도면8b



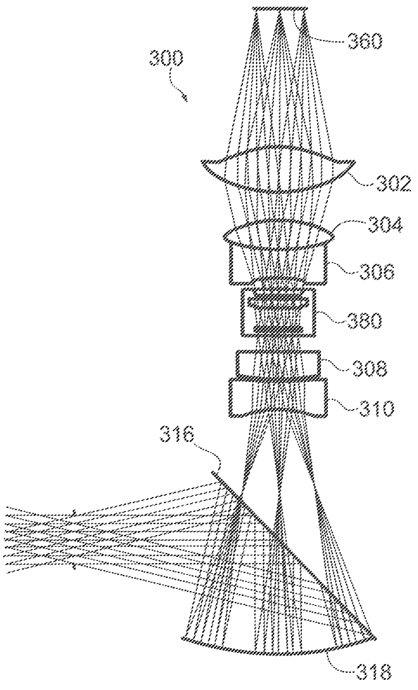
도면9a



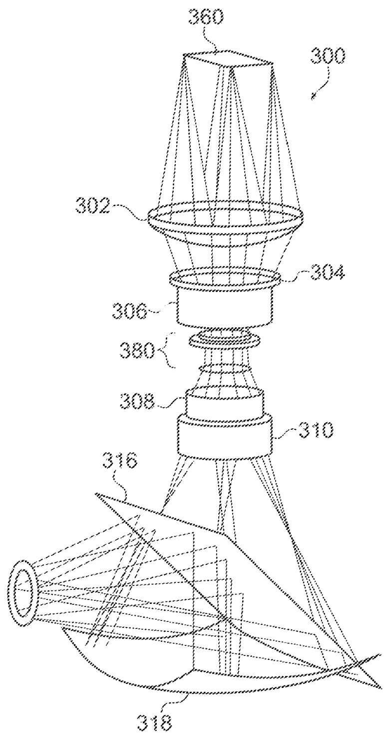
도면9b



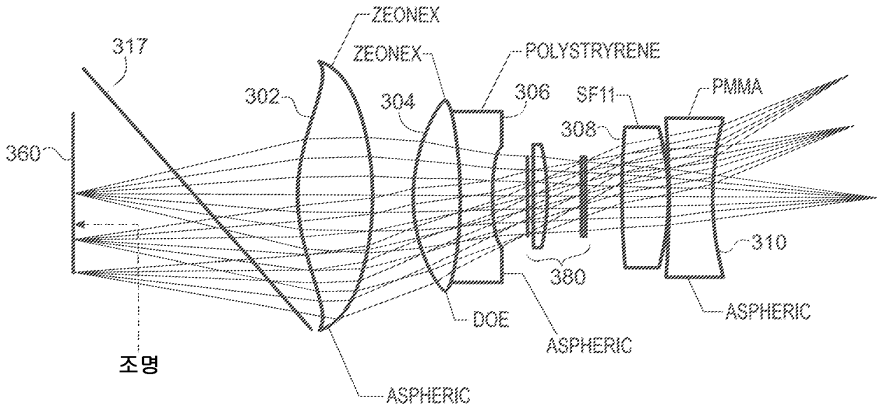
도면10a



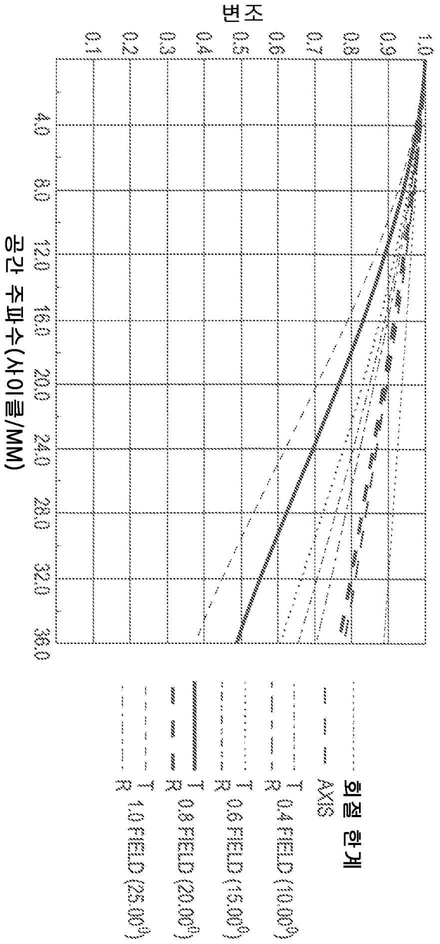
도면10b


360
300
302
304
306
380
308
310
316
318

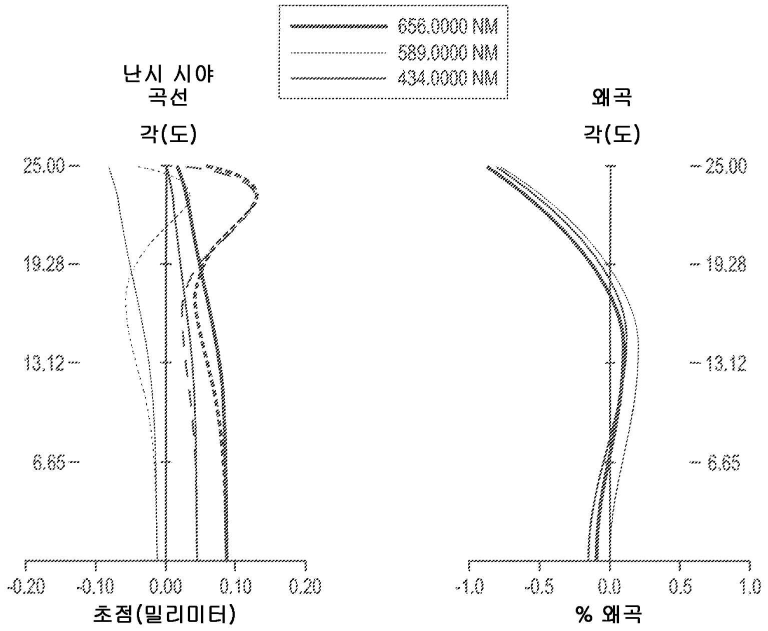
도면11


ZEONEX
317
ZEONEX
POLYSTRYRENE
302
304
306
SF11
PMMA
360
308
310
380
DOE
ASPHERIC
ASPHERIC
조명
ASPHERIC

도면12a


변조
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
4.0
8.0
12.0
16.0
20.0
24.0
28.0
32.0
36.0
공간 주파수(사이클/MM)
회절 한계
AXIS
T
R 0.4 FIELD (10.00°)
T
R 0.6 FIELD (15.00°)
T
R 0.8 FIELD (20.00°)
T
R 1.0 FIELD (25.00°)

도면12b


656.0000 NM
589.0000 NM
434.0000 NM
난시 시야
곡선
각(도)
25.00
19.28
13.12
6.65
-0.20
-0.10
0.00
0.10
0.20
초점(밀리미터)
왜곡
각(도)
25.00
19.28
13.12
6.65
-1.0
-0.5
0.0
0.5
1.0
% 왜곡