



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년03월25일
(11) 등록번호 10-2786693
(24) 등록일자 2025년03월21일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02C 7/04 (2006.01) G02C 11/04 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G02C 7/04 (2013.01)
G02C 11/04 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2021-7006230
- (22) 출원일자(국제) 2019년07월26일
심사청구일자 2022년07월25일
- (85) 번역문제출일자 2021년02월26일
- (65) 공개번호 10-2021-0032529
- (43) 공개일자 2021년03월24일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2019/043692
- (87) 국제공개번호 WO 2020/028177
국제공개일자 2020년02월06일
- (30) 우선권주장
62/711,909 2018년07월30일 미국(US)
62/843,426 2019년05월04일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2006292883 A*
US20180017814 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
어큐셀라 인코포레이티드
미국 98101-4174 워싱턴주 시애틀 유니버시티 스트리트 600 스위트 2900
- (72) 발명자
위스 비트
스위스 4704 니더비프 힌터가쎄 30
페르 장-노엘
스위스 2000 노이샤텔 세망 드 몽-리앙 2
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 13 항

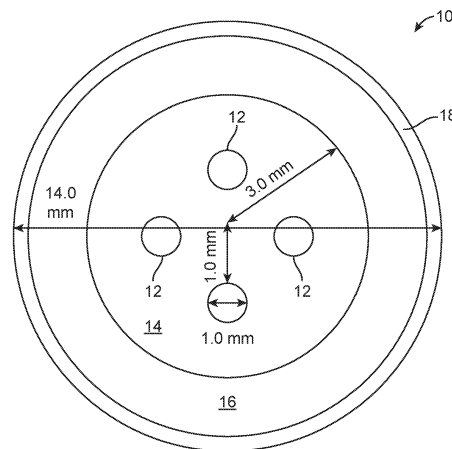
심사관 : 장준영

(54) 발명의 명칭 근시 진행을 감소시키기 위한 전자 콘택트 렌즈의 광학 설계

(57) 요약

소프트 콘택트 렌즈는 복수의 광학 요소에 결합된 복수의 광원을 포함한다. 복수의 광원 및 복수의 광학 요소는 소프트 콘택트 렌즈 재료에 내장된다. 상기 복수의 광학 요소는 각각, 착용자의 주변 망막 앞에 초점이 맞춰진 이미지를 생성한다. 일부 실시예에서, 각각의 이미지는 일 위치에서 주변 망막 앞의 일 거리에 초점이 맞춰지며, 각각의 이미지는 초점 심도 및 공간 해상도를 포함한다. 초점 심도가 상기 거리 미만일 수 있으며, 공간 해상도가 상기 위치에서 주변 망막의 공간 해상도보다 클 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G02C 2202/24 (2013.01)

(72) 발명자

노로나 글렌

미국 98101-4174 워싱턴주 시애틀 유니버시티 스트리트 600 스위트 2900 어큐셀라 인코포레이티드 내

하로우드 카림

스위스 1527 빌너브 세망 드 라 쿠바 12

소베 줄리앙

스위스 2503 비엘 뮐레펠트베그 22

베른하르트 한스

스위스 3098 슐리에른 바흐텔렌라인 20

오겐푸스 크리스티안

스위스 3250 리스 스티그림마트슈트라쎬 2

굽타 아미타바

미국 24018 버지니아주 로아노크 팍스 덴 로드 5322

쿠보타 료

미국 98101-4174 워싱턴주 시애틀 유니버시티 스트리트 600 스위트 2900 어큐셀라 인코포레이티드 내

명세서

청구범위

청구항 1

망막을 갖는 눈의 근시를 치료하기 위한 전자 렌즈로서,

복수의 광원;

망막 전방에 복수의 이미지를 투사하여 눈의 근시 진행을 감소시키기 위해 상기 복수의 광원에 결합된 복수의 투사 광학 장치;

사용자 입력을 수신하도록 구성되는 센서; 및

상기 센서로부터의 수신된 상기 사용자 입력에 응답하여, 투사된 상기 복수의 이미지의 강도를 제어하도록 구성되는 프로세서

를 포함하고,

상기 복수의 투사 광학 장치는 각각, 광 가이드를 포함하고, 상기 광 가이드는 상기 광 가이드의 단부에 미러 및 렌즈를 포함하여, 광의 초점을 맞추고, 광 경로의 길이를 증가시키며, 이미지 배율을 감소시키고, 망막 전방의 상기 복수의 이미지의 해상도를 증가시키는 것인 전자 렌즈.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 복수의 투사 광학 장치는, 눈의 중심좌에 대해 15° 내지 30° 범위 이내의 편심도로 눈의 망막의 복수의 외부 영역에 상기 복수의 광원의 복수의 이미지를 투사하도록 배치되는 것인 전자 렌즈.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 복수의 투사 광학 장치는 각각, 망막 표면에 대해 근시적으로 디포커스된 이미지를 투사하도록 배치되며, 상기 디포커스의 양은 2.0 D 내지 5.0 D의 범위 이내인 것인 전자 렌즈.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 복수의 투사 광학 장치는 각각, 상기 전자 렌즈의 중심으로부터 1.5 mm 내지 5.0 mm에 위치하며, 선택적으로 복수의 투사 광학 장치는 원의 원주를 따라 위치하는 것인 전자 렌즈.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 복수의 투사 광학 장치는 망막 표면의 전방에 복수의 이미지를 투사하기 위해 상기 복수의 광원에 광학적으로 결합된 복수의 이미지 형성 광학 장치를 포함하는 것인 전자 렌즈.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 복수의 광원 각각의 직경은 26 미크론을 초과하지 않는 것인 전자 렌즈.

청구항 7

제5항에 있어서, 상기 복수의 이미지 형성 광학 장치는 각각, 1.5 mm 내지 200 미크론 범위 이내의 직경을 가지는 것인 전자 렌즈.

청구항 8

제5항에 있어서, 복수의 이미지 형성 광학 장치는 각각, 비구면이며 이미지 수차에 대해 교정되는 것인 전자 렌즈.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 복수의 이미지 형성 광학 장치는 각각, 중심와로부터 15° 내지 30° 범위 이내의 그리고 선택적으로 중심와로부터 25° 내지 30° 범위 이내의 편심도로 망막의 외부 부분 전방에 이미지를 형성하는 것인 전자 렌즈.

청구항 10

제8항에 있어서, 상기 복수의 이미지 형성 광학 장치는 각각, 25 내지 100의 범위 이내의 이미지 배율로 망막 전방에 이미지를 생성하는 것인 전자 렌즈.

청구항 11

제5항에 있어서, 상기 복수의 투사 광학 장치는 각각, 망막 전방에 이미지를 형성하도록 구성된 시준 광학 장치를 포함하는 이미지 형성 광학 장치를 포함하는 것인 전자 렌즈.

청구항 12

제5항에 있어서, 상기 복수의 투사 광학 장치는 각각, 시준 광학 장치 및 이미지 형성 광학 장치 모두로서 기능하는 단일 렌즈를 포함하는 것인 전자 렌즈.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 복수의 투사 광학 장치는 각각, 30° 이하의 편심도로 망막의 외부 부분 전방에 이미지를 생성하는 것인 전자 렌즈.

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

- 청구항 24
- 삭제
- 청구항 25
- 삭제
- 청구항 26
- 삭제
- 청구항 27
- 삭제
- 청구항 28
- 삭제
- 청구항 29
- 삭제
- 청구항 30
- 삭제
- 청구항 31
- 삭제
- 청구항 32
- 삭제
- 청구항 33
- 삭제
- 청구항 34
- 삭제
- 청구항 35
- 삭제
- 청구항 36
- 삭제
- 청구항 37
- 삭제
- 청구항 38
- 삭제
- 청구항 39
- 삭제

- 청구항 40
- 삭제
- 청구항 41
- 삭제
- 청구항 42
- 삭제
- 청구항 43
- 삭제
- 청구항 44
- 삭제
- 청구항 45
- 삭제
- 청구항 46
- 삭제
- 청구항 47
- 삭제
- 청구항 48
- 삭제
- 청구항 49
- 삭제
- 청구항 50
- 삭제
- 청구항 51
- 삭제
- 청구항 52
- 삭제
- 청구항 53
- 삭제
- 청구항 54
- 삭제
- 청구항 55
- 삭제

청구항 56

삭제

청구항 57

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] **관련 출원**

[0002] 본 출원은, 35 U.S.C. § 119(e)에 의거, 2018년 7월 30일에 출원된, "ELECTRONIC CONTACT LENS TO DECREASE MYOPIA PROGRESSION"를 명칭으로 하는 미국 가출원 제62/711,909호와, 2019년 5월 4일에 출원된, "OPTICAL DESIGNS OF ELECTRONIC CONTACT LENS TO DECREASE MYOPIA PROGRESSION"를 명칭으로 하는 미국 가출원 제 62/843,426호의 이득을 청구하며, 이들 가출원의 개시 내용이 전체적으로 참조로서 인용된다.

배경 기술

[0003] 근시(myopia 또는 near-sightedness)는 멀리 있는 객체의 초점이 망막의 전방에 맺히는 굴절 오류이다. 이것은 눈의 축방향 길이와 관련이 있을 수 있다. 일반적으로, 눈의 축방향 길이가 1.0 mm 증가하면, 근시 2.5 디옵터 ("D")가 증가한 것에 해당한다.

[0004] 안경 렌즈, 콘택트 렌즈 및 굴절 수술이 근시와 같은 눈의 굴절 오류를 치료하는 데 사용될 수 있다. 이러한 접근법은, 근시 치료에는 효과적일 수 있지만, 눈이 계속해서 축방향으로 성장할 수도 있어, 근시량이 계속 증가한다. 상대적으로 높은 근시 유병률로 인해 축방향 성장의 근본적인 메커니즘과 축방향 성장의 가능한 치료 방안의 개발을 이해하기 위한 연구가 촉진되어 왔다.

[0005] 근시의 원인은 유전적인 것으로 알려져 있지만, 유전적 요인만으로는 근시 발생의 급격한 증가가 설명될 수 없다; 오히려, 근시의 원인을 단순히, 변화된 환경 조건, 특히, 장거리에서 단거리로의 그리고 개방 공간에서 폐쇄 공간으로의 시각적 습관의 이행에 적응하는 시각 시스템의 놀라운 능력으로서 해석하여야 한다.

[0006] 축방향 길이 성장과 관련된 근시를 치료하기 위해 약학적 치료가 제안되었지만, 적어도 일부 경우에는 이러한 치료의 결과가 이상적인 수준에 못 미칠 수 있다. 아트로핀 및 기타 무스카린 제제가 근시 진행을 늦출 수는 있지만, 치료 후 반동 효과 및 장기간에 걸친 치료와 관련된 단기적인 및 장기적인 부작용에 대한 우려가 있을 수 있어, 이러한 약물의 광범위한 사용은 지양되었을 수도 있다.

[0007] 일부 연구는 근시 진행에 있어서 망막 디포커스의 역할을 시사한다. 동물 연구에 따르면, 굴절 발달 및 축방향 성장이 눈의 효과적인 굴절 상태와 관련된 시각적 피드백에 의해 조절될 수 있다. 본 개시와 관련된 작업은 망막 주변의 시각 신호가 중심 시력과 무관한 방식으로 안구 형상 및 축방향 길이에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

[0008] 본 개시와 관련된 작업은 눈이 근시가 될수록 망막 쉘이 더 비구면이 됨을 시사한다. 눈이 근시이며 전통적인 교정 하에서의 망막 상의 이미지 쉘(image shell)의 예가 Cooper, J의 "A Review of Current Concepts of the Etiology and Treatment of Myopia" Eye & Contact Lens, 2018; 44: 231 페이지에 설명되어 있다. 전통적인 구면 렌즈를 사용하면, 근시성 눈의 주변 비구면 망막이 망막 뒤에 초점이 맞춰진 광을 수신하는 반면 광은 망막 중앙에 초점이 맞춰져, 축방향 길이가 충분하지 않은 눈과 유사하게, 주변 광이 망막 뒤에 초점이 맞춰지기 때문에 성장 신호를 촉발할 수 있다. 종래의 구면 또는 원환 렌즈(예를 들어, 콘택트 렌즈 또는 안경 렌즈)는 일반적으로, 근시를 더 심화시키는 망막으로의 성장 신호를 중지시키는 굴절 교정에 필요한 최적의 형상과 일치하는 이미지 쉘을 생성할 수 없다. 한 가지 접근법으로서, 비구면 망막의 주변 영역에 광의 초점을 맞추는 비구면 렌즈가 제공되어 왔다.

[0009] 적어도 일부 경우에는 근시 진행을 방지하기 위한 이전의 굴절 교정 장치의 결과가 이상적인 수준에 못 미칠 수도 있다. 주변 망막에 적절하게 초점을 맞추기 위한 굴절 교정은 고도의 비구면 광학 장치로 생성될 수 있는 고도의 비구면 이미지 쉘을 필요로 할 수 있다. 불행히도, 이러한 비구면 광학 장치는 상당한 수차가 있는 중앙 이미지를 생성하여, 적어도 일부 경우에는 착용자의 원거리 시력을 손상시켜 착용자의 시력을 저하시킬 수

있다. 중앙 시력에 대한 큰 수차 없이 원거리 시력을 제공하기 위하여 비구면 계수의 양을 약 2 D 이하로 제한하는 접근법이 있긴 하지만, 비구면 계수의 양에 대한 이러한 제한은 또한 망막의 주변 부분에 대한 교정량을 제한할 수 있어, 어떤 경우에는 이상적이지 않은 치료로 이어질 수 있다.

[0010] 동물 모델의 연구뿐만 아니라 임상 연구에서 시사한 바와 같이, 망막은 "플러스 블러(plus blur)"와 "마이너스 블러(minus blur)"를 구분할 수 있으며, 또는 이미지 블러가 원시성인지 근시성인지에 따라 종방향 색수차의 기호가 반대가 되기 때문에, 가능하게는 가이드로서 종방향 색수차를 이용함으로써 근시성 디포커스로 인한 이미지 블러와 원시성 디포커스로 인한 이미지 블러를 구분할 수 있다. 그러나, 이전의 임상 접근법은 적어도 일부 예에서는 근시 진행을 감소시키기 위해 색수차를 적절하게 다루지 않았을 수도 있다.

[0011] 이 때문에, 효과적인 주변 원시성 디포커스를 제공하면서 젊은 착용자들의 편안함과 성능에 대한 기대를 충족시킬 수 있는 근시 진행을 감소시키기 위한 새로운 접근법이 필요하다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0012] 일부 실시예에서, 콘택트 렌즈는 광원(30) 및 적절한 해상도, 초점 심도 또는 회절 중 하나 이상을 이용하여 망막의 앞에 이미지를 형성하기 위한 광학 장치를 포함한다. 망막의 일 영역의 앞에 형성된 이미지는 상기 영역에서의 망막의 해상도보다 더 정교한 해상도를 포함할 수도 있다. 광 빔이 망막의 해당 위치보다 더 정교한 해상도로 망막의 외부 부분에 빛을 비추도록 눈의 광축선에 대해 각도를 이루며 망막 영역으로 보내질 수 있다. 초점 심도는 망막 상에서 이미지의 적절한 양의 블러링이 발생하는 상태로 망막에 빛을 비추도록 구성될 수 있으며, 스포트의 회절이 망막의 해상도보다 더 정교한 해상도를 망막 앞에 형성된 이미지에 제공하도록 적절한 크기로 형성될 수 있다.

[0013] 일부 실시예에 따라, 소프트 콘택트 렌즈는 콘택트 렌즈의 중심으로부터 멀리 떨어져 콘택트 렌즈의 주변을 향해 위치한 마이크로 디스플레이를 포함하며, 각각의 마이크로 디스플레이는 마이크로 디스플레이의 후방에 위치한 마이크로 렌즈 어레이에 결합된다. 마이크로 디스플레이는 OLED(유기 발광 다이오드) 또는 마이크로 LED 어레이를 포함할 수도 있다. 마이크로 디스플레이로부터의 광을 효과적으로 수집하며 광을 시준하며 및/또는 광이 입사 동공으로 투사되기 전에 광을 수렴하기 위해 마이크로 렌즈가 디스플레이와 광학적으로 결합될 수 있다. 이러한 디스플레이에 의해 생성된 가상 이미지가 근시적으로 디포커싱될 수 있으며, 4개의 섹터(비강 하부, 비강 상부, 측두 하부 및 측두 상부)와 같은 망막 상의 복수의 영역에 대칭적으로 배치될 수 있다. 마이크로 디스플레이는 1.5 mm 내지 4.0 mm의, 바람직하게는 2.5 mm 내지 3.5 mm의 범위 이내의 거리만큼 렌즈의 광학 중심으로부터 멀리 위치할 수 있다. 콘택트 렌즈의 중앙 광학 구역은 착용자를 가능한 한 정시안에 가깝게 만들도록 구성될 수 있으며, 직경이 3.0 mm 내지 5.0 mm의 범위 이내일 수도 있다. 각각의 마이크로 디스플레이는 원형 또는 아치형과 같은 적절한 형상의 망막 이미지를 중심좌에 20° 내지 60°의 각도에 생성할 수 있다. 일부 실시예에서, 망막 이미지는 15° 내지 40°의 범위 이내의, 예를 들어 20° 내지 30°의 범위 이내의 편심도로 주변 망막에 형성된다. 콘택트 렌즈는 플라스틱이나 다른 성분과 같은 재료의 가요성 투명 시트 상에 마이크로 디스플레이가 장착된 전자 제어 시스템을 포함할 수도 있다.

[0014] 일부 실시예에서, 마이크로 디스플레이(12)는 2.0 마이크로미터(미크론) 내지 5.0 미크론의 범위 이내의 픽셀 크기와 2.0 미크론 내지 10.0 미크론의 범위의 피치를 갖는 OLED를 포함할 수도 있다. 일부 실시예에서, 콘택트 렌즈에 내장된 마이크로 디스플레이는 그 앞에 눈을 향해 배치된 박막과 같은 객체에 빛을 비추는 마이크로 LED를 포함한다. 마이크로 디스플레이는 다색성 또는 단색성의 마이크로 디스플레이를 포함할 수도 있다. 다색성 이미지가, RGB 디스플레이를 형성하도록 어레이로 구성된, 상이한 색상의 OLED 또는 마이크로 LED의 RGB 픽셀에 의해 형성될 수 있다. 일부 실시예에서, 축방향 길이의 변화 자극용 파장은 약 450 nm 내지 약 560 nm의 범위 이내이며, 다른 파장이 사용될 수도 있지만, 눈의 간체 자극의 피크 파장인 500 nm 부근일 수 있다.

[0015] 일부 실시예에서, 광학 구성은 시준 렌즈, 미러, 광 가이드, 도파관 또는 홀로그램 미러 중 하나 이상을 포함하는 광 처리 구조에 결합된 하나 이상의 광원을 포함한다. 광 처리 구조는, 이미지의 초점이 망막 표면 앞에 있도록, 주변 망막 앞에 광원의 이미지를 투사하도록 하나 이상의 광원의 이미지를 형성한다. 일부 실시예에서, 광학 구성은 콘택트 렌즈의 전방 표면에 또는 그 부근에 배치되며, 콘택트 렌즈에 의해 마이크로 디스플레이로부터의 광선이 초점이 맞춰진다. 콘택트 렌즈는 착용자에게 굴절 교정을 제공하도록 구성될 수 있으며, 디스플레이 광학 장치는 추가 초점을 제공하여 망막 상에 마이크로 디스플레이의 디포커싱된 이미지를 제공하도록 구성될 수 있다. 일부 실시예에서, 디포커싱의 양은 약 2.00 디오퍼(D) 내지 6.00 D의 범위 이내이며, 2.0 D 내

지 4.0 D의 범위 이내일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016]

본 개시의 특징, 장점 및 원리가 예시적인 실시예를 설명하는 아래의 상세한 설명 및 첨부 도면을 참조하여 더 잘 이해될 것이다.

도 1은 일부 실시예에 따라, 소프트 콘택트 렌즈를 보여준다.

도 2a는 일부 실시예에 따라, 착용자의 망막 주변에 근시성 디포커스를 갖는 이미지를 투사하기 위해 마이크로 렌즈 어레이와 광학적으로 결합된, 소프트 콘택트 렌즈의 내부 표면에 장착된 OLED 마이크로 디스플레이를 보여준다.

도 2b는 일부 실시예에 따라, 복수의 광원 및 광학 장치 및 관련 회로를 포함하는 소프트 콘택트 렌즈를 보여준다.

도 2c는 도 2b에서와 같은 콘택트 렌즈의 구성요소의 기능의 기계적 통합을 보여준다.

도 3은 일부 실시예에 따라, 2개의 미러를 사용하여 광 경로를 접음으로써 광 경로 길이가 증가되는 광학 구성을 보여준다.

도 4는 일부 실시예에 따라, 유 브렌난(Liu Brennan) 눈 모델이 망막 이미지를 계산하는 데 사용된, 도 3에 도시된 광학 구성의 광선 추적 시뮬레이션을 보여준다.

도 5의 A 및 B는 도 3의 광학 구성에 의해 생성된 망막 이미지 품질의 분석을 보여준다.

도 6은 도 3에 도시된 광학 구성의 초점 심도 분석을 보여준다.

도 7은 도 6의 분석을 위한 MTF를 보여준다.

도 8a 및 도 8b는 일부 실시예에 따라, 망막에 광의 초점을 맞추는 렌즈를 포함하는 광학 구성을 보여준다.

도 9는 일부 실시예에 따라, 도 8 및 도 8b에 도시된 광학 구성에 의해 생성된 망막 이미지 품질의 분석을 보여준다.

도 10은 도 8a 및 도 8b에 도시된 광학 구성의 초점 심도 분석을 보여준다.

도 11a 및 도 11b는 일부 실시예에 따라, 광 경로 길이를 증가시키기 위한 광 파이프를 보여준다.

도 12는 일부 실시예에 따라, 내장된 광원, 광학 장치 및 전자 장치를 포함하는 소프트 콘택트 렌즈를 보여준다.

도 13은 일부 실시예에 따라, 미세 광원과 마이크로 광학 장치의 조합에 의해 형성된 주변 망막 이미지의 광선 추적 시뮬레이션을 보여준다.

도 14는 일부 실시예에 따라, 4개의 시뮬레이션된 객체 지점을 포함하는 광원에 대한 광선 추적을 사용하여 이미지 품질을 시뮬레이션하는 데 사용되는 4개의 객체 지점을 보여준다.

도 15는 일부 실시예에 따라, 모든 객체 지점의 변조 전달 함수(MTF)가 실질적으로 일정한, 반사 광학 장치에 의해 생성된 주변 이미지의 품질을 보여준다.

도 16은 일부 실시예에 따라, 반사 광학 장치에 의해 형성된 주변 이미지의 초점 심도를 보여준다.

도 17은 일부 실시예에 따라, 반사 광학 설계용의 근시성 디포커스의 크기 함수로서 단일 공간 주파수(mm 당 20/200 또는 10 라인 쌍 "lp/mm" 또는 10 arc min))에서의 MTF의 크기 변화에 의해 측정되는 바와 같은, 반사 광학 장치에 의해 형성된 주변 망막 이미지의 이미지 해상도에 대한 근시성 블러 효과를 보여준다.

도 18은 일부 실시예에 따라, 도 14에 도시된 4개의 객체 지점에 대해 굴절 광학 장치에 의해 형성된 망막 이미지의 MTF 플롯을 보여준다.

도 19는 일부 실시예에 따라, 굴절 광학 장치에 의해 형성된 이미지의 초점 심도를 보여준다.

도 20은 일부 실시예에 따라, 근시성 디포커스의 함수로서 단일 공간 주파수(20/200 또는 10 lp/mm, 또는 10 arc min)에 대해 계산된 MTF를 보여준다.

도 21은 일부 실시예에 따라, 비대칭 수차를 나타내는 시상면과 접선면 사이에 실질적인 이미지 품질 차이가 존재하는 아주 작은 광 가이드를 포함하는 실시예에 대한 도 14의 4개의 객체 지점의 MTF 플롯을 보여준다.

도 22는 일부 실시예에 따라, 광 가이드 광학 장치에 의해 투사된 주변 망막 이미지의 초점 심도를 보여준다.

도 23은 광 가이드가 있는 실시예에 대한 망막 상의 주변 이미지의 근시성 디포커스의 크기에 대해 플롯으로 나타내어진 단일 공간 주파수(20/200)에서의 MTF 플롯을 보여준다.

도 24는 일부 실시예에 따라, 굴절 광학 장치, 반사 광학 장치 및 광 가이드 광학 장치를 포함하는 3개의 투사 시스템에 의해 발생된 주변 이미지의 초점 심도 비교를 보여준다.

도 25는 일부 실시예에 따라, 반사 광학 설계에 의해 발생된 망막 이미지의 초점 심도를 보여준다.

도 26은 일부 실시예에 따라, 도 25의 반사 광학 설계에 의해 생성된 주변 이미지에 대한 근시성 디포커스의 크기에 대해 플롯으로 나타내어진 단일 공간 주파수에서의 MTF 값을 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 일부 실시예에 따르면, 소프트 콘택트 렌즈는, 각각 그 전방에 눈측으로 마이크로 렌즈 어레이가 형성되는 주변 마이크로 디스플레이를 포함한다. 마이크로 디스플레이는 OLED(유기 발광 다이오드) 또는 마이크로 LED 어레이를 포함할 수도 있다. 이들 디스플레이에 의해 방출된 광은 전형적으로 램버시안(Lambertian)이다. 마이크로 렌즈 어레이는, 디스플레이와 광학적으로 결합될 수 있으므로, 마이크로 디스플레이로부터 광을 효과적으로 추출할 수 있으며, 광을 시준할 수 있으며, 광이 입사 동공으로 투사되기 전에 광의 초점을 맞출 수 있다. 이러한 디스플레이에 의해 생성된 가상 이미지는 근시적으로 디포커싱될 것이며, 일부 실시예에서, 4개의 섹터(비강 하부, 비강 상부, 측두 하부 및 측두 상부)에 대칭적으로 배치될 것이다. 일부 실시예에서, 마이크로 디스플레이는 1.5 mm 내지 4.0 mm, 바람직하게는 2.5 mm 내지 3.5 mm의 범위 이내의 거리만큼 렌즈의 광학 중심으로부터 멀리 위치할 것이다. 콘택트 렌즈의 중앙 광학 구역은 착용자를 가능한 한 정시안에 가깝게 만들도록 선택될 수 있으며, 직경이 3.0 mm 내지 5.0 mm의 범위 이내일 수도 있다. 일부 실시예에서, 각각의 마이크로 디스플레이는 원형, 직사각형 또는 아치형 형상일 것이며, 각각 0.01 mm² 내지 8.0 mm²의 범위, 예컨대 0.04 mm² 내지 8.0 mm²의 범위, 예컨대 1 mm² 내지 8.0 mm²의 범위 또는 바람직하게는 1.0 mm² 내지 4.0 mm²의 범위 이내의 면적을 가질 것이다. 일부 실시예에서, 복수의 마이크로 디스플레이는 각각, 본 명세서에 설명된 바와 같은 치수 및 형상을 갖는 광원, 후방 평면 및 관련 전자 장치를 포함한다. 콘택트 렌즈는 가요성 투명 플라스틱 시트에 장착된 마이크로 디스플레이뿐만 아니라 전자 제어 시스템을 구비할 것이다. 전자 시스템은 ASIC 또는 마이크로 컨트롤러, 충전식 리튬 이온 고상 배터리, 전압 램핑 모듈(예컨대, 벽 부스트 컨버터), 플래시 메모리 및 EEPROM, 무선 충전을 제공하는 RFID 모듈 또는 콘택트 렌즈의 가장자리를 따라 방사상으로 바람직하게 배치된 안테나 및 이들의 조합을 포함할 수도 있다. 콘택트 렌즈는 연성 하이드로겔 또는 실리콘 하이드로겔 재료와 같은 생체 적합성 재료를 포함하며, 콘택트 렌즈로서 눈에 지속적으로 착용하는 것과 호환 가능한 것으로 입증된 임의의 재료 조성물을 포함할 수도 있다.

[0018] 일부 실시예에서, 가상 이미지는 근시성 디포커스와 동등하게 주변 망막으로부터 목표 거리에 초점이 맞춰진다. 이러한 이미지를 형성하는 광선이 외부 환경에서 오는 것이 아니라 마이크로 디스플레이 자체에서 발생하므로, 마이크로 렌즈 어레이의 광학 장치가 마이크로 디스플레이에서 방출되는 광선을 처리하도록 단독으로 설계될 수 있다. 이러한 각각의 마이크로 디스플레이 및 마이크로 렌즈 어레이의 면적이 작기 때문에, 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 실제 이미지의 차폐율이 작다.

[0019] 본 명세서에 설명된 장치에 의하면, 각각의 간병인이 개별 환자에 대해 이러한 파라미터를 설정하고, 테스트한 다음, 환자 반응을 관찰한 것을 기반으로 바람직한 치료 파라미터를 개선하도록 하는 데 상당한 유연성을 제공할 수 있다.

[0020] 일부 실시예는 직경이 14.0 mm이며 가장자리 구역이 1.0 mm이며 주변 구역(16)의 내경이 6.0 mm이며 외경이 12.0 mm인 콘택트 렌즈를 포함한다. 렌즈의 전체 직경은 13.0 mm 내지 14.5 mm, 바람직하게는 13.5 mm 내지 14.5 mm의 범위에 있을 수도 있다. 중앙 광학 구역(14)은 모든 조명 조건 하에서 모든 착용자의 동공을 덮도록 설계되며, 따라서, 5.0 mm 내지 8.0 mm의 범위의 직경을 갖추어야 한다. 주변 구역 또는 혼합 구역은 주로, 우수한 중심화와 최소의 탈중심화를 포함하여 각막에 잘 맞도록 설계된다. 중앙 광학 구역(14)은 착용자에게 정시안 교정을 제공하도록 설계되며, 구면 및 난시 교정이 모두 제공될 수도 있다(도 1). 본 명세서에 개시된 실

시예에 따른 통합에 적합한 콘택트 렌즈 설계가 Douthwaite, D.A.의 "Contact lens optics and lens design" (제3판, 2006; ISBN 978-0-7506-88-79-6; Butterworth-Heinemann)에 설명되어 있다.

- [0021] 일부 실시예에서, 콘택트 렌즈의 내부 표면에는 동일한 크기의 마이크로 렌즈 어레이와 눈측에서 결합된 4개의 마이크로 디스플레이로 이루어진 세트가 내장된다. 마이크로 렌즈 어레이의 기능은 마이크로 디스플레이에 의해 방출되는 광을 모으고, 광을 시준한 다음, 눈 앞에 있도록 설계된 초점에 광의 초점을 맞춰 원시성 디오프커스를 제공하는 것이다. 마이크로 디스플레이는 다양한 방식으로 크기가 조정될 수 있으며, 일부 실시예에서, 이러한 각각의 마이크로 디스플레이의 면적이 약 0.04 mm² 내지 2 mm², 예를 들어, 1 mm² 내지 2 mm²에 불과하므로, 이러한 디스플레이는 콘택트 렌즈 광학 장치의 1% 미만을 차지한다. 각각의 디스플레이는 이러한 각각의 마이크로 디스플레이의 초점에서 비교적 밝은 이미지를 형성하기에 매우 충분한 약 30 cd/m² 내지 50 cd/m² 이상의 조명을 발생시킨다. 초점이 맞춰진 이미지는 주변 망막의 앞 대략 1.5 mm 내지 2.5 mm에 나타날 것이다. 이것은 이미지가 약 2.0 D 내지 5.0 D, 예를 들어, 2.0 D 내지 4.0 D, 또는 바람직하게는, 예를 들어, 2.5 D 내지 3.5 D 만큼 근시성이 되도록 설계될 것이기 때문이다.
- [0022] 일부 실시예에서, 마이크로 디스플레이는 2.0 미크론 내지 10.0 미크론 범위의 피치를 갖는 2.0-5.0 미크론의 픽셀 크기를 갖는 OLED일 수도 있다. 일부 실시예에서, 본 명세서에 설명된 바와 같이 콘택트 렌즈에 내장된 마이크로 디스플레이는 그 앞에 눈측에 배치된 박막과 같은 객체에 빛을 비추는 마이크로 LED로 구성될 것이다. 마이크로 디스플레이는 다색성이거나 단색성일 수도 있다. 다색성 이미지는 RGB 디스플레이를 형성하도록 어레이로 구성된 다양한 색상의 OLED 또는 마이크로 LED의 RGB 픽셀에 의해 형성된다. 주변 망막에 투사된 원시성 또는 근시성 이미지의 축방향 길이 변경의 과장 의존성에 대한 데이터가 부족하다. 다른 과장이 사용될 수도 있지만, 축방향 길이 변화 자극용으로 바람직한 과장은 눈의 간체 자극 피크 과장인 500 nm이다.
- [0023] 치료적 이점을 제공하기 위한 망막의 외부 위치 상에서의 조명의 양 및 위치가 본 명세서에 개시된 교시에 따라 과도한 실험 없이 당업자에 의해 결정될 수 있다. 주변 자극의 길이와 지속 시간은 동물 모델에서 사용 가능한 임상전 데이터를 기반으로 결정, 예를 들어, 최적화될 수 있다. 예를 들어, 일부 연구는 동물 모델에서의 축방향 길이의 변화가, 부과된 디오프커스의 동일한 지속 시간의 단일 지속 시간보다 우선적으로, 디오프커스 자극을 반복적으로 인가하여 획득될 수 있음을 시사한다. 본 명세서에 개시된 실시예에 따른 통합에 적합한 축방향 길이의 조명 변화에 관한 정보를 갖는 연구의 예는 다음을 포함한다: Wallman, J. 등의 "Homeostatis of eye growth and the question of myopia" Neuron, 2004; 43: 447 페이지; Benavente-Perez, A 등의 "Axial Eye Growth and Refractive Error Development Can Be Modified by Exposing the Peripheral Retina to Relative Myopic or Hyperopic Defocus"(IOVS 2014; 55; 6767 페이지); 및 Hammond, D.S. 등의 "Dynamics of active emmetropisation in young chicks-influence of sign and magnitude of imposed defocus"(안과 생리 광학지 2013; 33: 215-222 페이지).
- [0024] 본 개시와 관련된 작업은 주변 근시성 디오프커스의 적용 기간 및 분포가 개인의 생리와 망막의 정확한 형상에 따라 좌우됨을 시사한다. 일 실시예는 마이크로 디스플레이의 작동을 제어하는 재프로그래밍 가능한 MCU 또는 ASIC 및 치료 전반에 걸쳐 간병인에 의한 치료 기간 및 주기성의 조절을 가능하게 하는 실시간 클럭(clock)을 포함한다. 이 실시예는 또한, 간병인이 야행성 자극(짧은 맥박의 지속 또는 반복 시퀀스)이 특정 개인에 대해 효능이 있는지 여부를 테스트할 수 있도록 한다.
- [0025] 일부 실시예에서, 전자 구성요소가 기상 증착 또는 3D 프린팅 공정에 의해 상호 연결부 및 전기적 버스가 증착되는 가요성 박막 상에 배치된다. 일부 실시예에서, 전자 장치 및 마이크로 디스플레이는, 스위스 Neuchatel에 위치한 기업인 Coat-X에 의해 개발된 총 두께가 5 미크론 내지 10 미크론인 파랄린 C 및 SiOx 필름 적층체와 같은, 얇은 배리어 필름의 가요성 적층체로 추가로 코팅된다.
- [0026] 장치의 일부 실시예는 각각, 원형 또는 아치형 형상의, 1개 내지 8개의 마이크로 디스플레이로 이루어진 세트를 배치하며, 이들 마이크로 디스플레이는 모두 렌즈의 광학 중심으로부터 동일한 거리에서 콘택트 렌즈의 내부 표면에 방사상으로 배치된다. 일 실시예에서, 마이크로 디스플레이가 단색성일 수도 있다. 다른 실시예에서는, 마이크로 디스플레이가 백색광을 출력하도록 설계될 수도 있다. 제3 실시예에서는, 마이크로 디스플레이가 망막 감도에 일치하는 조명을 출력하도록 설계될 수도 있다. 이들 마이크로 디스플레이는 재프로그래밍 가능한 마이크로 컨트롤러(MCU) 또는 ASIC에 의해 작동 및 제어된다.
- [0027] 일부 실시예에서, 콘택트 렌즈는 수면 중에 착용되며, 마이크로 디스플레이는 착용자가 수면 중일 때만 작동하도록 프로그래밍된다. 축방향 길이 감소에 대한 이러한 프로그래밍된 자극은 독서 및 컴퓨터 작업을 포함한 일상 활동을 최소한도로만 방해할 것이다. 콘택트 렌즈는 낮 시간의 활동 중에는 제거될 수도 있으며 잠들기 직

전에 각막 상에 끼워진다. 기타 다른 실시예는 기타 다른 프로그래밍 알고리즘, 예를 들어, 주간 및 야간 자극의 조합을 활용할 수도 있다.

[0028] 일부 실시예에서, 콘택트 렌즈가 렌즈를 소독 및 세척하거나 충전할 필요가 없는 1일 사용 가능한 일회용 렌즈일 수도 있다. 다른 실시예는 교체 양식이 계획되어 있는 콘택트 렌즈로 구성된다.

[0029] 일부 실시예에서, 각각의 마이크로 디스플레이(1 mm 내지 4 mm)는 약 10 마이크로 와트의 전기 에너지를 소비할 것이다. 이러한 실시예에서, 4개의 마이크로 디스플레이 세트가 2 시간의 작동 동안 시간 당 약 125 마이크로 와트의 전기를 사용할 수도 있으므로, 이 설계에 대한 총 일일 에너지 소비는 시간 당 0.2 밀리 와트가 될 것으로 예상된다. 일부 실시예에서, 각각의 마이크로 디스플레이는 약 0.04 mm 내지 4 mm의 범위 이내의 단면적을 포함하며, 약 10 마이크로 와트의 전기 에너지를 소비한다. 일부 실시예에서, 전력이 충전식 고상 리튬 이온 배터리에 의해 공급된다. Cymbet Corporation에서 판매하는 베어 다이 고상 충전식 리튬 이온 배터리가 렌즈의 전자 장치와 동일한 가요성 기관에 배치될 수도 있다. 예를 들어, 50 uAH 충전식 리튬 이온 고체 필름 배터리의 치수는 5.7×6.1 mm×0.200 mm(Cymbet Corporation CBC050)이다. 일부 실시예에서, 배터리는 콘택트 렌즈를 안정화하기에 충분한 질량을 포함한다. 예를 들어, 중력으로 렌즈를 안정화하기 위해 배터리가 렌즈의 더 낮은 위치에 위치할 수 있다. 더 낮게 위치한 배터리는 착용자가 눈을 깜박일 때 회전하는 바와 같은 회전 운동을 감소시키기에 충분한 질량을 포함할 수도 있다.

[0030] 일부 실시예에서, 전자 콘택트 렌즈는, 중심에서 우수한 시력을 유지하면서, 망막 주변에 2.0 D 내지 5.0 D의 근시적으로 디포커스된 이미지를 투사한다.

[0031] 일부 실시예에서, 전자 소프트 콘택트 렌즈는 렌즈 광학 장치의 주변에 내장된 미세 광원 및 미소 규모의 광학 장치를 포함한다. 콘택트 렌즈 광학 장치는 외부 광원이 근시적으로 디포커스된 망막의 외부 부분에 이미지를 투사하는 동안 중앙 망막에서 뛰어난 시력을 제공하도록 설계될 수 있다. 일부 실시예에서, 광원은 마이크로 디스플레이를 포함한다. 일부 실시예에서, 망막의 전방에 형성된 외부 이미지는 망막이 전방으로 이동하도록 자극을 가하여, 축방향 길이를 감소시키고 유리 체강이 깊어지도록 할 수도 있다. 일부 실시예에서, 콘택트 렌즈는 렌즈를 착용하고 있는 눈의 근시 진행을 감소시키며, 근시 진행을 실질적으로 중지하며, 또는 근시를 반전시키는 것 중 하나 이상을 달성하도록 구성된다. 일부 실시예에서, 콘택트 렌즈가 착용 기간이 연장되어, 예를 들어, 한 달에 한 번 교체되도록 구성될 수 있다. 콘택트 렌즈는, 예를 들어, 일주일에 한 번이나 3 개월에 한 번과 같이 더 자주 또는 덜 자주 교체될 수 있다. 일부 실시예에서, 콘택트 렌즈는 다른 연령의 사람들보다 근시 진행의 위험이 더 클 수 있는 10대 및 젊은 성인이 착용하도록 설계된다.

[0032] 일부 실시예에서, 주변 이미지의 근시성 디포커스의 양은 약 2.0 D 내지 약 5.0 D, 예를 들어, 약 2.5 D 내지 약 5 D의 범위 이내에 있다. 본 명세서에 개시된 교시에 기초하여, 당업자는 적절한 양의 디포커스, 조명 강도 및 조명 시간을 결정하기 위한 임상 연구와 같은 연구를 수행할 수 있다. 일부 실시예에서, 디포커스의 양, 망막 조명의 망막 위치 또는 조명 시간 중 하나 이상이, 예를 들어, 개별 환자의 생리적 특성에 응답하여 개인 별로 맞춤화될 수 있다. 치료 기간은 1년 내지 3년의 범위 이내, 예컨대 약 2년일 수 있다. 일부 실시예에서, 약 10개의 렌즈 내지 약 40개의 렌즈, 예를 들어, 약 10개의 렌즈 내지 약 30개의 렌즈의 범위 이내의 다수의 렌즈를 이용하여 치료가 수행된다. 중앙 렌즈 광학 장치를 포함하는 광학 구역(14)의 처방이 치료 중에 시간에 따라 변경될 수도 있으며, 콘택트 렌즈의 처방이 적절하다면 변경될 수 있다. 본 명세서에 개시된 바와 같은 콘택트 렌즈는 이후 필요에 따라, 예를 들어, 근시가 다시 진행되면 착용될 수도 있다.

[0033] 전자 콘택트 렌즈는 착용자의 굴절 오류를 교정하기 위해 다양한 방식으로 구성될 수 있다. 일부 실시예에서, 콘택트 렌즈는 콘택트 렌즈의 광학 구역(14)의 주변부 근처에서 광을 방출하는 복수의 마이크로 디스플레이, 광원에서 나오는 광선을 수집, 시준하며 초점을 맞추기 위한 복수의 마이크로 광학 장치, 광원에 전력을 제공하는 소형 충전식 고상 배터리(예를 들어, 리튬 이온 고상 배터리), 배터리를 충전하기 위해 무선으로 전력을 수신하는 안테나, 및 작동 및 제어 기능을 제어하는 마이크로 컨트롤러, 및 데이터 또는 소프트웨어 명령어를 저장하는 메모리를 포함한다.

[0034] 일부 실시예에서, 외부 이미지는, 예를 들어, 중심와에 대해 약 20° 내지 약 30°의 편심도 범위 이내의 황반 외측에 위치한 주변 이미지를 포함한다.

[0035] 콘택트 렌즈는 복수의 광원(예를 들어, 현미경 광원)으로부터 광을 수집하며 망막의 주변 부분 전방과 같은 망막의 외부 부분에 이미지를 형성하기 위한 마이크로 광학 장치와 같은 복수의 광학 장치로 다양한 방식으로 구성될 수 있다. 일부 실시예에서, 복수의 광학 장치는 광 파이프 및 미러, 예를 들어, 현미경 미러와 같은 반사

구성요소 중 하나 이상을 포함한다.

- [0036] 본 명세서에 설명된 바와 같은 장치는 근시와 같은 굴절 오류의 진행을 치료하는 데 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, 각각의 간병인은 개별 환자에 대한 파라미터를 설정하고, 테스트한 다음, 환자의 반응을 관찰한 것을 기반으로 바람직한 치료 파라미터를 개선하는 데 있어서 상당한 유연성을 갖는다.
- [0037] 일부 실시예에서, 콘택트 렌즈의 굴절 특성의 광학 설계는 실질적으로 변경되지 않으며 다양한 방식으로 구성될 수 있다. 예를 들어, 콘택트 렌즈의 중앙 광학 구역(14)이, 굴절 오류의 진행을 감소시키도록, 콘택트 렌즈 광학 장치의 이미지 쉘 전방인 망막 주변에 이미지를 제공하면서 중심와에서의 원거리 이미지의 최상의 교정을 위해 최적화될 수 있다. 일부 실시예에서, 광원은 광학 표면의 2 mm 이하의 표면적을 포함할 수도 있으며, 굴절 오류를 교정하기 위한 광학 표면의 크기는 시력에 대한 광원의 영향을 감소시킬 수 있는 약 25 mm 내지 약 50 mm의 범위 이내일 수 있다. 주위 조명 수준과 독립적으로 제공될 수 있는 주변 이미지의 강도 및 광원의 강도가, 적절한 전력의 광원을 선택함으로써, 몇 배의 크기에 걸쳐 조정될 수 있다. 소프트 콘택트 렌즈는 착용자 또는 건강 관리 제공자로부터의 입력에 대한 적절한 양의 조명 반응을 제공하도록 구성될 수 있다.
- [0038] 도 1은 콘택트 렌즈(10)에 내장된 마이크로 디스플레이(12)를 보여준다. 소프트 콘택트 렌즈(10)는, 예컨대 20/20 이상의 시력으로 착용자에게 원거리 시력 교정을 제공하도록 구성된 광학 구역(14)을 포함한다. 마이크로 디스플레이(12)는 본 명세서에 설명된 바와 같이 망막의 주변 부분의 앞에 이미지를 제공하도록 구성될 수 있다. 이 구성에 의하면 사용자가 본 명세서에 설명된 바와 같이 망막의 앞에 초점이 맞춰진 이미지로부터 치료를 받는 동안 우수한 시력을 가질 수 있다.
- [0039] 마이크로 디스플레이(12)는 그 전방의 눈축에 배치된 박막과 같은 객체에 빛을 비추는 마이크로 LED를 포함할 수도 있다. 이러한 마이크로 디스플레이(12)에 의해 방출된 광은 램버시안일 수 있으며, 망막을 향해 광 빔을 보내기 위한 렌즈와 같은 광학 요소로 보내질 수 있다. 콘택트 렌즈(10)는 눈에 배치하기에 적합한 직경을 포함한다. 예를 들어, 콘택트 렌즈(10)는 약 10 mm 내지 15 mm의 범위 이내의, 예를 들어, 14.0 mm의 직경을 포함할 수도 있다. 콘택트 렌즈(10)는 복수의 내장형 마이크로 디스플레이(12)를 포함할 수도 있다. 복수의 마이크로 디스플레이(12)는 각각, 마이크로 디스플레이(12)에 의해 방출된 광을 수집하고 특정 편심도에서 착용자의 망막 상에 또는 그 앞에 이미지를 투사하는 광학 구성에 광학적으로 결합될 수 있다. 각각의 디스플레이(12)는 약 1 cd/m² 내지 약 50 cd/m²의 범위 이내의 조명을 발생시킬 수 있다. 조명의 양은 이들 각각의 마이크로 디스플레이(12)의 초점에서 비교적 밝은 이미지를 형성하기에 충분할 수 있다.
- [0040] 일부 실시예에서, 조도량은 조명의 명소시 및 암소시 레벨과 간체 및 추체의 중간 감도 레벨 사이의 중간이다. 바람직한 조명의 양은 동공 평면에서 약 0.1 cd/m² 내지 약 10 cd/m², 바람직하게는 0.5 cd/m² 내지 5 cd/m²의 범위 이내일 수 있다. 이 조도량은, 예를 들어, 달빛과 실내 조명 사이의 광량에 해당할 수도 있다. 일부 실시예에서, 조명의 양은 암소시 시력에 해당한다.
- [0041] 일부 실시예에서, 마이크로 디스플레이(12)가 상이한 파장의 광으로 구성된 다색성 광을 방출하는 광원을 포함할 수 있다. 기타 다른 실시예에서, 광원이 단색성 광을 방출한다. 다른 실시예에서는, 광원이 단색성 광을 방출한다. 일부 실시예에서, 단색성 조명의 파장은 500 nm 내지 560 nm, 바람직하게는 500 nm 내지 530 nm, 더욱 바람직하게는 500 nm 내지 510 nm의 범위일 수 있다.
- [0042] 일부 실시예에서, 다색성 광원은 주변 망막에 색채 신호를 제공한다. 색채 신호가 음의 색수차를 포함할 수도 있다. 일부 실시예에서, 다색성 광 빔이 망막의 전방에 초점이 맞춰지며, 여기서, 다색성 광 빔은 색수차로 망막에 빛을 비추도록 이미지 평면(35) 또는 초점 평면 이전의 양의 색수차 및 이미지 평면(35) 또는 초점 평면 이후의 음의 색수차를 포함한다.
- [0043] 다색성 조명이 다양한 방식으로 구성될 수 있긴 하지만, 일부 실시예에서는, 다색성 조명이 적색 조명, 청색 조명 및 녹색 조명을 포함하며, 다른 파장의 광이 사용될 수도 있다.
- [0044] 일부 실시예에서, 투사된 이미지는, 약 2.0 D 내지 4.0 D, 바람직하게는 2.5 D 내지 3.5 D만큼 근시성이 되도록 설계될 것이기 때문에, 주변 망막 전방에서 대략 1.5 mm 내지 약 2.5 mm에 나타난다. 일반적으로, 망막 앞 1 mm는 약 2.5 D의 근시, 예를 들어, 약 2.7 D의 근시에 해당한다.
- [0045] 맥락막의 두꺼워지거나 얇아짐을 통한 축방향 길이 변화의 주변 자극에 대한 이러한 접근법은 눈(11)의 축방향 길이 변화를 자극하는 데 국소적으로 원시성 또는 근시성 디오프커스를 적용한 효능을 반복적으로 확인하여 얻은 관찰 결과를 기반으로 할 수 있다. 주변 자극의 길이 및 기간은 당업자에게 알려진 바와 같이 동물 모델에서 이용 가능한 임상전 데이터에 기초할 수 있다. 예를 들어, 축방향 길이의 변화율이, 부과된 디오프커스의 동일한

지속 시간의 단일 지속 시간보다 우선적으로, 디포커스 자극을 반복적으로 인가하여 획득될 수 있다.

- [0046] 일부 실시예에서, 주변 근시성 디포커스의 적용 기간 및 분포는 개인의 생리 및 망막의 형상에 따라 달라진다. 일부 실시예에서, 콘택트 렌즈(10)는 마이크로 디스플레이(12)의 작동을 제어하기 위한 마이크로 컨트롤러 유닛(MCU) 또는 주문형 집적 회로(ASIC)와 같은 프로그램 가능 프로세서를 포함한다. 콘택트 렌즈(10)는 간병인이 치료 기간과 주기성을 조정하도록 하기 위한 실시간 클록을 포함할 수도 있으며, 치료 기간과 주기성이 치료 내내 제공될 수도 있다. 일부 실시예에서, 간병인은 야행성 자극(짧은 맥박의 지속 또는 반복 시퀀스)이 특정 개인에 대해 효능이 있는지 여부를 테스트한다.
- [0047] 도 2a는 착용자의 망막 주변에 근시성 디포커스를 갖는 이미지를 투사하기 위해 마이크로 렌즈 어레이와 광학적으로 결합된 소프트 콘택트 렌즈(10)의 내부 표면에 장착된 OLED 마이크로 디스플레이(12)를 보여준다.
- [0048] 도 2b는 일부 실시예에 따라, 복수의 광원 및 광학 장치 및 관련 회로를 포함하는 소프트 콘택트 렌즈(10)를 보여준다. 콘택트 렌즈(10)는 복수의 투사 유닛(18)을 포함한다. 복수의 투사 유닛(18)은 각각, 광원 및 본 명세서에 설명된 바와 같이 망막의 전방에 광의 초점을 맞추기 위한 하나 이상의 광학 장치를 포함한다. 광학 장치는 각각, 미러, 복수의 미러, 렌즈, 복수의 렌즈, 회절 광학 장치, 프레넬 렌즈, 광 파이프 또는 도파관 중 하나 이상을 포함할 수도 있다. 콘택트 렌즈(10)는 배터리(20) 및 센서(22)를 포함할 수도 있다. 콘택트 렌즈(10)는 가요성 인쇄 회로 기판(PCB)(24)을 포함할 수도 있으며, 프로세서가 PCB(24)에 장착될 수 있다. 프로세서가 PCB(24)에 장착되어 센서(22) 및 복수의 광원(30)에 결합될 수 있다. 소프트 콘택트 렌즈(10)는 또한, 콘택트 렌즈(10)를 유도 충전하기 위한 무선 통신 회로 및 안테나를 포함할 수도 있다. 배터리(20)가 참조된 것만, 콘택트 렌즈(10)가 임의의 적절한 에너지 저장 장치를 포함할 수도 있다. 소프트 콘택트 렌즈(10)는 하이드로겔과 같은 임의의 적절한 재료로 구성된 렌즈 몸체를 포함할 수도 있다. 하이드로겔은 소프트 콘택트 렌즈(10)의 구성요소를 캡슐화할 수 있다.
- [0049] 프로세서는 복수의 광원(30)으로 망막에 빛을 비추기 위한 명령어로 구성될 수 있다. 프로세서가, 예를 들어, 무선 통신 회로를 통해 수신된 명령어로 다양한 방식으로 프로그래밍될 수 있다. 프로세서는 사용자 모바일 장치에 대한 명령어를 수신할 수 있다.
- [0050] 사용자가 콘택트 렌즈(10)를 제어할 수 있도록 센서(22)가 프로세서에 결합될 수 있다. 예를 들어, 센서(22)는 눈꺼풀의 압력과 같은 압력에 반응하도록 구성될 수 있다. 프로세서가 센서(22)에 연결되어 사용자 명령을 검출할 수 있다.
- [0051] 전자 제어 시스템은 ASIC 또는 마이크로 컨트롤러와 같은 프로세서, 충전식 리튬 이온 고상 배터리, 전압 램핑 모듈(예를 들어, 벅 부스트 컨버터), 플래시 메모리 및 EEPROM, 무선 충전을 제공하기 위한 RFID 모듈, 또는 바람직하게는 콘택트 렌즈(10)의 가장자리 근처에 방사상으로 배치된 안테나 및 이들의 임의의 조합을 포함할 수도 있다. 콘택트 렌즈(10)는 연성 하이드로겔 또는 실리콘 하이드로겔 재료와 같은 생체 적합성 재료를 포함할 수도 있으며, 콘택트 렌즈(10)로서 눈(11)에 대한 지속적인 착용과 호환 가능한 것으로 입증된 임의의 재료 조성물을 포함할 수도 있다.
- [0052] 도 2c는 도 2b에서와 같은 콘택트 렌즈(10)의 구성요소의 기능의 기계적 통합을 보여준다. 이러한 구성요소는 PCB(24)로 지원될 수 있다. 예를 들어, 배터리(20)와 같은 전원이 PCB(24)에 장착되어 다른 구성요소에 결합되어 전원 기능(21)을 제공할 수 있다. 센서(22)가 활성화 기능(23)을 제공하도록 구성될 수 있다. 센서(22)가 PCB(24)에 장착된 프로세서에 결합되어 콘택트 렌즈(10)의 제어 기능(25)을 제공할 수 있다. 제어 기능(25)은 광 강도 설정(27) 및 전등 스위치(29)를 포함할 수도 있다. 프로세서가, 예를 들어, 센서(22)로부터의 신호 코딩 시퀀스와 함께, 센서(22)로부터의 강도 증가, 강도 감소, 또는 온/오프 신호에 대응하는 센서(22)로부터의 신호를 검출하도록 구성될 수 있다. 프로세서는 광원(30) 및 광학 장치(32)를 포함할 수 있는 광 투사 유닛(18)에 결합되어 투사 기능(31)을 제공한다. 예를 들어, 프로세서가 복수의 광원(30)에 결합되어 센서(22)에 대한 사용자 입력에 응답하여 각각의 광원(30)을 제어할 수 있다.
- [0053] 일부 실시예에서, 광학 구성(32)은, 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이, 편심 망막 이미지를 형성하기 위하여, 마이크로 디스플레이(12)에 의해 방출된 광을 수집한 다음 광 빔을 눈(11)의 동공으로 보내도록 구성된 복수의 미러를 포함한다. 미러가 광 빔을 시준하거나, 광 빔의 초점을 망막(33)에 맞추도록 적절한 이항 운동으로 광 빔을 망막(33)을 향해 보낼 수도 있다.
- [0054] 광학 구성의 사양은 표 1에 나타낸 바와 같다.

표 1

도 3에 도시된 광학 구성의 기본 광학 파라미터		
특성	값(반사 설계)	값(단일 렌즈 설계)
광원의 크기	10 마이크로	10 마이크로
광학 장치의 직경	1.1 mm	0.292 mm
콘택트 렌즈의 중앙으로부터의 광원의 탈중심화	1.75 mm	1.75 mm
파장	507 nm	507 nm
광학 장치의 두께	300 마이크로	250 마이크로
망막 이미지 위치	27°의 편심도	27°의 편심도
망막 이미지의 크기	200 마이크로	1100 마이크로

[0055]

도 3에 도시된 광학 구성에 대해 시뮬레이션된 이미지 크기와 27°의 편심도에서의 망막 해상도 비교는 이 편심도에서 주변 망막(33)이 이 이미지를 인식할 수 있음을 보여준다.

[0057]

일부 실시예에서, 광학 구성의 3개의 성능 속성은 다음 중 하나 이상을 포함한다:

[0058]

1. 이미지 해상도를 제어하는 이미지 배율

[0059]

2. 광학 구성의 광학 경로 길이에 의해 제어되는 초점 심도

[0060]

3. 에어리(Airy) 직경으로 측정된 바와 같은 회절

[0061]

도 3에 도시된 미러 어셈블리는 1 D 미만의 초점 심도를 달성하여, 2.0 D 내지 4.0 D의 적용 디포커스가 특정 편심도(20° 내지 30°)에서 주변 망막(33)에 의해 명확하게 인식될 수 있도록 한다.

[0062]

일부 실시예에서, 망막(33)의 앞에 초점이 맞춰진 이미지의 스폿 크기는 망막(33)의 해상도보다 더 미세한 해상도를 포함한다. 망막 해상도는 일반적으로, 편심도의 함수에 따라 감소한다. 예를 들어, 0°의 편심 각도에서, 망막 해상도는 약 10 마이크로미터이다. 5°의 편심 각도에서, 망막 해상도는 약 30 마이크로미터이다. 20°의 편심도에서, 해상도는 약 100 마이크로미터이며, 30°에서, 망막 해상도는 약 150 마이크로미터이다.

[0063]

도 5의 A 및 B는 도 3의 광학 구성에 의해 생성된 망막 이미지 품질의 분석을 보여준다. 4개의 광원(30) 중 3개에 의해 형성된 이미지를 시뮬레이션하였다. 측두 지점은 비강 지점과 대칭이기 때문에 생략하였다. 분석 결과는 이미지 품질이 27°의 편심도에서 망막(33)의 해상력을 초과함을 보여준다. 도 3의 미러 어셈블리에 의해 생성된 망막 이미지의 변조 전달 함수는 회절 제한적이며, 이것은 본 실시예에 따라, 배치된 광학 요소의 수차가 이미지 품질의 현저한 저하를 야기하지 않고 있음을 나타낸다. 또한, 광학 장치의 공간 해상도는 선호 이미지 위치에서의 망막(33)의 해상도를 초과한다.

[0064]

도 6은 도 3에 도시된 광학 구성의 초점 심도 분석을 보여준다. 망막(33)으로부터의 거리의 각각의 밀리미터는 2.7 D의 디포커스를 나타낸다. 이 분석은 초점 심도가 충분히 작아, 이미지의 입사 지점(27°의 편심도)에서 망막(33)이 0.5 mm(1.35 D)의 디포커스를 인지할 수 있음을 보여준다. 초점 심도는 자극 빔의 유효 경로 길이에 따라 다르다.

[0065]

도 7은 디포커스에 대한 MTF 값의 플롯을 보여주며, 각각의 광원(객체)에 의해 생성된 이미지의 초점 심도를 보여준다.

[0066]

제2 실시예는, 도 8a 및 도 8b에 도시된 바와 같이, 광원(30)과 광학적으로 결합된 수렴 또는 시준 렌즈를 포함하는 광학 장치(32)를 포함한다. 이 구성에서, 단일 렌즈를 포함할 수도 있는 렌즈(34)는 자극원으로부터 출력된 광을 시준하며 콘택트 렌즈(10)를 통해 각막(37)으로 광을 보내도록 사용된다. 시준 렌즈(34)의 효과는 굴절률에 따라 다르며, 렌즈 재료와 기관으로서 기능하는 콘택트 렌즈(10)의 재료 사이의 굴절률이 실질적으로 차이가 나도록 충분히 높아야 한다. 이 예에서, 내장된 렌즈(34)의 굴절률을 2.02(예를 들어, 란타넘 플루오로 실리케이트 유리 LaSF5의 굴절률)로 가정하였지만, 기타 다른 재료가 사용될 수도 있다.

[0067]

도 8a 및 도 8b의 실시예의 광학적 성능이 도 9 및 도 10에 도시되어 있다. 4개의 광원(30) 중 3개에 의해 형성된 이미지를 시뮬레이션하였다. 측두 지점은 비강 지점과 대칭이기 때문에 생략하였다. 망막(33)으로부터 거리의 각각의 밀리미터는 2.7 D의 디포커스를 나타낸다. 이 분석은 초점 심도가 1 D보다 훨씬 높기 때문에,

이미지의 입사 지점(27°의 편심도)에서 망막(33)이 0.5 mm(1.35 D)의 디포커스에 의해 유발된 이미지 블러를 인지할 수 없을 수도 있음을 보여준다.

- [0068] 분석 결과는 이미지 품질이 27°의 편심도에서 망막(33)의 해상력을 초과함을 보여준다. 이 경우, 따라서, 단일 렌즈 설계의 광 경로 길이가 훨씬 짧으므로 이미지 배율이 상당히 높다(반사형 설계에 대한 20×에 비해 110×). 50% 대비(OTF의 계수)에서 공간 주파수 해상도는, 반사형 설계에 대한 50 lp/mm에 비해, 밀리미터 당 약 15 라인 쌍("lp/mm")으로 더 낮다. 도 10에 도시된 바와 같이, 안구 수차를 포함한 안구 광학 장치를 시뮬레이션하는 유 브렌난 눈모델을 다시 사용하여 이 실시예에 대해 초점 심도를 추정하였다. 초점 심도가 1.0 D보다 크며, 이것은 디포커스의 기능으로서의 이미지 해상도의 변화가 주변 망막(33)에 의해 쉽게 인지되지 않을 수도 있음을 나타내는 데, 이것은 특히, 본 명세서에 설명된 바와 같이 주로 간체로부터 유도된 편심도(20° 내지 30°)에서의 망막(33)의 해상도 능력이 상대적으로 열악하기 때문이다.
- [0069] 제3 실시예는, 도 11a 및 도 11b에 도시된 바와 같이, 광학 경로 길이를 증가시키기 위해 광 파이프(36)를 포함한다. 광 파이프(36)는 이미지 배율 및 망막 이미지 크기를 감소시키기 위해 증가된 광학 경로 길이를 제공할 수 있다. 그러나, 초점 심도가 상대적으로 크며, 해상도가 상대적으로 거칠다(50% MTF에서 15 lp/mm).
- [0070] 포인트 소스가 있는 마이크로 렌즈 어레이의 사용, 더 얇은 렌즈를 사용하기 위한 회절 광학 장치의 사용, 단일 포인트 소스 및 광학 처리 유닛을 사용한 다중 망막 이미지의 발생을 포함하여 많은 기타 다른 광학 구성이 고려될 수도 있다. 모든 경우에, 위에 나열된 세 가지 특성이 특정 설계의 적합성을 평가하기 위해 매트릭스로서 사용될 수도 있다.
- [0071] 본 명세서에 개시된 각각의 실시예는 본 명세서에 개시된 임의의 하나 이상의 기타 다른 실시예와 조합될 수 있으며, 당업자라면 이러한 많은 조합이 본 개시의 범위 내에 있음을 인식할 것이다.
- [0072] 현재 개시된 방법 및 장치는 다음 중 하나 이상과 같은 많은 유형의 렌즈와의 조합에 매우 적합하다: 스마트 콘택트 렌즈, 안테나와 센서가 있는 콘택트 렌즈, 맥박 산소 측정기가 통합된 콘택트 렌즈, 위상 지도 디스플레이가 있는 콘택트 렌즈, 전기 광학 콘택트 렌즈, 가요성 컨덕터가 있는 콘택트 렌즈, 자율 시선 추적 콘택트 렌즈, 전기 변색성 콘택트 렌즈, 동적 회절 액정 렌즈, 자동 조절 렌즈, 프로그래밍 가능한 위상 지도가 있는 이미지 디스플레이 렌즈, 눈물 활성화 마이크로 배터리가 있는 렌즈, 눈물 막 감지 콘택트 렌즈, 다색 LED 어레이가 있는 렌즈, 정전 용량 감지 기능이 있는 콘택트 렌즈, 눈꺼풀과 안과 장치의 겹침을 검출하는 렌즈, 활성화 조절 기능이 있는 렌즈, 전기 화학 센서가 있는 렌즈, 효소 및 센서가 있는 렌즈, 동적 시야 변조가 포함된 렌즈, 피루빈산염 측정용 렌즈, 요소 측정용 렌즈, 포도당 측정용 렌즈, 누액 전도도 센서가 있는 렌즈, 위상 지도가 있는 근안 디스플레이를 갖춘 렌즈, 또는 전기 화학 센서 칩이 있는 렌즈.
- [0073] 소프트 콘택트 렌즈(10)가 도 12에 도시되어 있다. 이 콘택트 렌즈(10)는 내장된 전자 장치 및 광학 장치를 포함하는 베이스 또는 캐리어 콘택트 렌즈를 포함한다. 베이스 소프트 콘택트 렌즈(10)는 지속적인 착용을 위해 편안하게 설계된 하이드로겔 또는 실리콘 하이드로겔 폴리머와 같은 생체 적합성 재료로 형성된다. 일부 실시예에서, 콘택트 렌즈(10)는 6 mm 내지 9 mm의 범위, 예를 들어, 7.0 mm 내지 8.0 mm의 범위 이내의 직경의 중앙 광학 구역(14)을 구비한다. 중앙 광학 구역(14)은 2.5 mm 내지 3.0 mm의 범위의 폭의 주변 구역(16)과 같은 외부 환형 구역에 의해 둘러싸여 있다. 외부 환형 구역은 0.5 mm 내지 1.0 mm의 범위 이내의 폭의 최외각 가장자리 구역(18)에 의해 둘러싸여 있다. 광학 구역(14)은 굴절 교정을 제공하도록 구성되며, 예를 들어, 설계상 구형, 원환체 또는 다초점일 수 있다. 광학 구역(14) 주변의 외부 환형 구역은 각막 곡률에 맞도록 구성되며, 병진 및 회전 안정성을 위한 회전 안정화 구역을 포함할 수도 있는 한편, 깜박임 후에 눈(11) 상에서의 콘택트 렌즈(10)의 움직임을 허용할 수 있다. 가장자리 구역(18)은 0.05 mm 내지 0.15 mm의 범위 이내의 두께를 포함할 수도 있으며, 단부가 썩기 형상일 수도 있다. 소프트 콘택트 렌즈(10)의 전체 직경은 12.5 mm 내지 15.0 mm의 범위, 예를 들어, 13.5 mm 내지 14.8 mm의 범위 이내일 수 있다.
- [0074] 내장된 광원(30) 및 전자 장치는 바람직하게는, 도 12에 도시된 바와 같이, 콘택트 렌즈(10)의 외부 환형 구역에 위치한다. 중앙 광학 구역(14)은, 바람직하게는, 일부 실시예에 따라, 중심와 또는 황반 시력의 품질을 손상시키지 않기 위해 전자 장치 및 광원(30)이 없다. 일부 실시예에서, 가장자리 구역(18)은 각막 표면과의 접촉을 유지하고 편안함을 제공하기 위해 회로를 포함하지 않는다.
- [0075] 광원은 콘택트 렌즈에 다양한 방식으로 배열될 수 있다. 예를 들어, 광원은 중앙 광학 구역 주위에 실질적으로 연속적인 링으로 배열될 수 있다. 일부 실시예에서, 복수의 광원 및 복수의 광학 장치(예를 들어, 렌즈, 미러 또는 광 가이드)가 함께 결합되어 연속적인 조명 링을 형성한다.

- [0076] 도 12의 콘택트 렌즈(10)는 모든 전자 및 광학 구성요소가 배치된 투명 필름이 내장된 높은 산소 투과성을 갖는 연성 생체 적합성 폴리머로 구성된 몸체로 구성된다. 이 투명 필름은 투명 인쇄 회로 기관("PCB")의 기관을 포함할 수도 있다. PCB의 두께는 약 5 마이크론 내지 50 마이크론의 범위 내에 있을 수 있으며, 전자 장치의 배치를 위해 PCB 기관의 양면을 활용하기 위해 복수의 필름 층을 포함할 수도 있다. PCB 기관은, 예를 들어 약 7.5 mm 내지 약 10.0 mm의 범위, 예를 들어 약 8.0 mm 내지 약 9.5 mm의 범위 이내의 곡률로 베이스 콘택트 렌즈(10)의 기하학적 구조에 일치하도록 만곡될 수 있다. PCB 기관은 적절한 산소 투과성을 갖도록 구성될 수 있다. 일부 실시예에서, PCB는 PCB를 통한 산소, 수액, 영양분 및 이산화탄소의 투과성을 개선하기 위해 친공된다. 일부 실시예에서, PCB는, 예를 들어 약 1 MPa 내지 약 50 MPa의 범위 이내의 낮은 인장 계수를 갖지만, 예를 들어, 더 단단한 필름이 또한 사용될 수도 있다. 일부 실시예에서, 투명한 가요성 PCB 기관용으로 바람직한 재료는 액체 또는 용액으로부터 주조된 폴리이미드를 포함하며, 편평한 기관에서 스펀 주조하는 경우 폴리아믹산의 형태일 수도 있으며, 후속적으로 열 경화되어 Kapton™과 같은 폴리이미드를 형성할 수도 있다.
- [0077] 콘택트 렌즈(10)는 도 12에 도시된 하나 이상의 구성요소를 포함할 수도 있다. 도 12에 도시된 전자 시스템의 구조는 버스에 장착된 복수의 광원(30), 전력 및 데이터 관리 시스템을 포함하는 마이크로 컨트롤러(38), 온보드 메모리 및 RFID 모듈, 물리적 또는 생리적 트리거를 검출하며 광원(30)의 ON 또는 OFF 신호를 발행하도록 설계된 센서, 데이터 및 전력 전송을 위해 단일 또는 다중 주파수 대역에서 작동하는 무선 전력 수신기로도 기능하는 데이터의 무선 교환을 위한 안테나(41) 및 충전식 고상 리튬 이온 배터리(20)를 포함한다. 일부 실시예에서, 마이크로 컨트롤러(38)는 주문형 집적 회로("ASIC")를 포함한다. 복수의 광원(30)은 본 명세서에 설명된 바와 같이 미세 광원(30)을 포함할 수도 있다.
- [0078] 광원(30)은 중심으로부터 1.5 mm 내지 5.0 mm 범위의 직경 둘레를 따라 위치할 수 있다.
- [0079] 도 13은 주변 망막(33)과 같은 망막(33)의 외부 영역에 형성된 광원(30)의 이미지의 광선 추적 분석을 보여준다. 이 시뮬레이션에서, 전방 챔버 깊이를 인간 피험자의 경우 전형적으로 2.9 mm와 5.0 mm 사이의 일반적으로 4.1 mm로 가정하며, 축방향 깊이를 25.0 mm로 가정하였으며, 콘택트 렌즈(10)는 각막에 위치한다. 미세 광원(30)은 콘택트 렌즈(10)의 중심으로부터 1.9 mm 떨어진 곳에 배치되어, 직경 3.8 mm의 중앙 광학 구역(14)이 투명한 상태로 남겨진다.
- [0080] 다시 도 12 및 도 13을 참조하면, 광원(30)과 마이크로 렌즈와 같은 렌즈의 조합을 사용하여 광을 망막(33)의 외부 영역으로 보낼 수 있다. 마이크로 렌즈는 광원(30)에 의해 방출된 광을 수집하도록 구성될 수 있다. 수집된 광은 시준되거나 초점이 맞춰지며 눈(11)의 동공으로 보내지는 것 중 하나 이상의 방식으로 처리될 수 있다. 일부 실시예에서, 투사 시스템은 마이크로 광원(30)과 이미지 형성 광학 장치(32)의 조합을 포함한다.
- [0081] 광원(30)은 유기 발광 다이오드(OLED), 양자점 발광 다이오드(QLED), 투명 발광 다이오드(TOLED), 무기 발광 다이오드(i-LED) 또는 CRT 디스플레이 중 하나 이상을 포함할 수도 있다. 광원(30)은 투명하거나 불투명한 기관 상에 배치된 하나 이상의 픽셀을 포함할 수도 있다. 광원(30)은, 예를 들어, 수동 매트릭스 또는 능동 매트릭스와 같은 하나 이상의 디스플레이 구성요소를 포함할 수도 있다. 일부 실시예에서, 개별 픽셀의 크기는 1 마이크론 내지 10 마이크론의 범위, 예를 들어, 2 마이크론 내지 5 마이크론의 범위 내에 있다. 복수의 픽셀 각각의 밝기는, ON 상태에서, 500 니트(Cd/m²) 이상, 5000 니트 이상 또는 10,000 내지 25,000 니트의 범위 이내일 수 있다.
- [0082] 망막(33)의 해상력은 중심와에서 가장 높다. 건강한 젊은 사람은 스넬렌(Snellen) 용어로 20/12에 해당하는 0.6 arc min의 각방향 해상도를 가질 수 있다. 해상도 능력은 전형적으로, 25°의 편심도에서 20/200(10 arc min)으로 감소한다. 이 편심도에서는 추체가 거의 없으며 간체 개수도 상당히 감소한다.
- [0083] 일부 실시예에서, 이미지 전달 시스템은 망막 이미지 해상도 수준과 같거나 그 이상의 이미지 해상도를 제공한다. 일부 실시예에서, 투사된 이미지 해상도가 이미지의 위치에서 망막(33)의 해상도 능력을 초과하면 추가 이익을 기대할 수 없다. 일부 실시예에서, 따라서, 망막 주변에서의 이미지의 스폿 크기는 150 마이크론 이하이다.
- [0084] 광원(30)에서 방출되는 광의 파장은 다양한 방식으로 구성될 수 있다. 광원(30)에 의해 방출되는 광의 파장은 본 개시에 따른 임상 연구에 의해 결정될 수 있다. 일부 실시예에서, 광원(30)의 파장은 원하는 편심도에서의 망막 광 수용체의 피크 감도에 해당하는, 예를 들어, 피크 감도와 실질적으로 일치하는 광을 포함한다. 일부 실시예에서, 광은 간체가 우세한 20° 내지 30°의 편심도에서 투사되며, 광원으로부터의 광은 약 420 nm 내지 600 nm, 예를 들어 약 490 nm 내지 530 nm의 범위 이내의, 예를 들어, 약 500 nm 내지 520 nm, 예를 들어 약 502 nm 내지 512 nm의 범위의 파장을 포함한다. 본 명세서에 개시된 일부 파장 시뮬레이션에서는 507 nm 광이

입력 파장 파라미터로 사용된다. 본 명세서에 개시된 광학 설계는, 투사 유닛을 포함하는 재료의 색 분산으로 인해 최적화된 설계 파라미터의 정확한 결과가 파장에 따라 변경될 수도 있긴 하지만, 모든 파장에 적용 가능하다.

- [0085] 본 개시와 관련된 작업은 2개의 설계 제약이 아래의 실시예 중 일부에서 설계 입력 파라미터의 선택에 영향을 미칠 수도 있음을 시사한다.
- [0086] 파라미터는 다음과 같다:
- [0087] 1. 렌즈 두께가 너무 크지 않으면서 콘택트 렌즈(10)에 내장될 수 있도록 하는 투사 유닛(18)의 치수. 일부 실시예에서, 외부 환형 구역의 최대 렌즈 두께는 400 마이크로미터이며, 이것은 굴절 교정을 위한 현재의 소프트 콘택트 렌즈와 일치한다.
- [0088] 2. 미세 광원(30)과 화상 형성 시스템 사이의 광학 경로 길이. 이것은 에어리 디스크 직경으로서 정량화될 수 있는 회절로 인한 이미지 배율 및 이미지 블러의 크기 제어와 관련이 있다. 이미지 배율은 이미지 투사 유닛의 초점 거리 대 눈(11)의 초점 거리의 비율에 의해 주어지며, 일반적으로, 1차 추정치에 대해 17 mm로 가정된다. 일부 실시예에서, 이것은 개개인의 눈에 특화되어 있다. 일부 실시예에서, 에어리 디스크 직경($2.44 \times \lambda$ (마이크론 단위) $\times f/\#$)은 이미지 위치에서 망막 해상도 한계 이하이다. 예를 들어, 25°의 편심도에서 최소 스폿 크기는 150 마이크로미터므로, 에어리 디스크 직경은 150 마이크로미터를 초과하지 않아야 하며 150 마이크로미터보다 작을 수 있다. 눈(11)의 초점 거리가 고정되어 있기 때문에, 투사 광학 장치의 조리개는 임의의 파장에서 에어리 디스크 직경을 제어한다.
- [0089] 일부 실시예에서, 수집 광학 장치 및 광원(30)의 에어리 디스크 및 본 명세서에 설명된 바와 같은 관련 이미지의 크기는 망막 이미지 해상도와 관련되어 있다. 예를 들어, 30°, 25°, 20°, 15° 및 10°에서 에어리 디스크 크기는 각각, 약 150 마이크로미터("마이크론", " μm "), 약 125 μm , 약 100 μm , 약 75 μm 및 약 60 μm 이하일 수도 있다.
- [0090] 이미지 형성 시스템은 회절 광학 요소, 프레넬 렌즈, 굴절 광학 장치 또는 반사 광학 장치를 포함하지만 이것으로 제한되지 않는 다양한 방식으로 구성될 수 있다.
- [0091] 아래의 시뮬레이션은 본 명세서에 개시된 일부 실시예에 따른 광학 결과를 제공한다.

표 2

[0092]

제2 광학 시뮬레이션의 입력 파라미터	
광학 구성요소 또는 특성	값
광원의 크기	10 마이크로미터
광 투사 유닛의 최대 두께	300 마이크로미터
망막 주변 상의 이미지 위치	중심좌에 대해 27° 편심도
투사 유닛의 직경	1.1 mm
광학 설계	비구면 8차, 4차 제르니케 다항식
콘택트 렌즈의 중심과 광 투사 유닛 사이의 오프셋	1.75 mm
광의 파장	507 nm

[0093] 일부 실시예에서, 전체 이미지로 덮인 면적은, 바람직하게는, 모든 광원에 대해 5° 내지 10° × 30° 내지 45°, 또는 150° 내지 450°²이거나, 면적이 약 3.0 mm² 내지 6.0 mm²인 아치형 세그먼트이다. 일부 실시예에서, 콘택트 렌즈(10)의 각각의 사분면에 있는 4개의 이러한 광원(30)은 최적의 신경 자극을 위한 4개의 이러한 주변 이미지를 망막(33)에 전달한다. 이미지 전달 시스템의 제2 시뮬레이션에 따른 실시예가 도 3에 도시되어 있다. 이 실시예에서, 볼록한 마이크로 미러(26) 및 오목한 마이크로 미러(28)로 이루어진 시스템이 사용되어 광학 경로 길이를 증가시키며 이에 의해 주변 망막 이미지의 이미지 배율을 증가시킨다. 도 4는 이 실시예에 대한 눈(11)을 통한 주변 이미지의 광 경로를 보여준다. 광원(30)의 직경이 10 μm 이며 두께가 100 μm 라고 가정하여 예시적인 광원(30)이 정의될 수 있다. 도 14에 도시된 바와 같이, 이미지 품질을 시뮬레이션하기 위해 4개의 객체 지점(40)이 지정될 수 있다. 도 14를 참조하면, 시뮬레이션된 광원(30)은 10 μm 의 점선 원으로 도시되며, 시뮬레이션된 객체 지점(40)은 더 작은 원 및 각각의 더 작은 원의 중심 지점을 포함한다. 표 2는 시뮬레이션의 입력 파라미터를 보여준다.

- [0094] 시뮬레이션의 출력은 다음과 같다: 이미지 배율 및 크기, 이미지 품질 및 초점 심도. 모든 바람직한 실시예를 시뮬레이션하기 위해 동일한 입력 및 출력 파라미터를 사용하였다. 제1 바람직한 실시예의 이미지 크기는 200 마이크로미터이며, 이미지 배율은 20X인 것으로 밝혀졌다. 이미지 품질 시뮬레이션 결과가 이러한 시뮬레이션에 대한 도 15에 도시되어 있다. 모든 MTF 플롯은 사실상 일치한다. MTF 플롯은 주변 이미지의 해상도가 이 편심도에 서 망막 해상도의 한계보다 훨씬 우수하다는 것을 나타낸다.
- [0095] 주변 이미지의 초점 깊이를 또한 제2 시뮬레이션에서 반사 광학 장치에 대해 시뮬레이션하였으며, 도 16에 도시되어 있다. 일부 실시예에서, 이미지는 망막 앞의 2.0 mm의 거리에 최적으로 형성되어, 망막(33) 상에서 근시적으로 디포커스된다. 일부 실시예에서, 이 근시성 디포커스에 의해 유도된 블러가 초점 심도의 효과를 극복하므로, 망막(33)이 흐릿한 이미지를 인지하여 전방으로 이동하기 위한 신경 자극을 인지하여, 눈(11)의 축 방향 깊이를 감소시킨다. 일부 실시예에서, 신경 자극은 눈(11)의 축방향 성장을 감소시키기에 충분하다.
- [0096] 도 17은 제2 시뮬레이션에 대해 특정 공간 주파수(20/200 또는 10 arc min)에 대해 도시된 대비 손실 또는 시뮬레이션된 MTF 플롯의 계수의 형태로 근시성 디포커스로 인한 이미지 블러 효과를 보여준다. 도 16에 도시된 스폿 크기의 증가는 근시성 디포커스 크기의 함수로서 MTF 플롯의 크기 손실에 반영되며 이와 일치한다. 제2 시뮬레이션은 투사 유닛의 초점 길이가 0.85 mm이며 이미지 크기가 200 마이크로미터이고 이미지 배율이 20X인 것을 나타낸다. 에어리 디스크 직경은 8.9 마이크로미터로 계산되는 반면, 롤리(Raleigh) 기준은 10.9 마이크로미터이다.
- [0097] 다시 도 10a 및 도 1을 참조하면, 광원(30)으로부터의 광을 수집하여 광을 망막(33)을 향해 보내는 렌즈와 눈(11)을 따른 광의 경로를 각각 보여준다. 일부 실시예에서, 광원(30)은 최종적으로 주변 망막(33)의 전방에 투사되는 광을 대략적으로 시준하는 굴절 렌즈를 향하여, 주변 이미지의 근시성 디포커스를 생성한다. 굴절 렌즈를 참조하긴 하지만 회절 광학 장치 및 구배율(GRIN) 렌즈와 같은 기타 다른 렌즈가 사용될 수 있다. 표 3은 주변 이미지의 제3 시뮬레이션에 사용된 굴절 렌즈의 설계 파라미터를 보여준다.

표 3

제3 시뮬레이션의 설계 입력 파라미터	
렌즈 파라미터	값
광원의 직경	10 마이크로미터
시뮬레이션에 사용되는 파장	507 nm
광학 장치의 직경	292 마이크로미터
광학 장치의 두께	250 마이크로미터
마이크로 렌즈의 굴절률	2.2
망막 상의 이미지 위치	27° 편심도
투사 광학 장치의 두께	350 마이크로미터
콘택트 렌즈의 중심으로부터의 광원의 거리	1.75 mm
시준 렌즈 설계	14차 비구면

- [0099] 이러한 시뮬레이션의 결과는 이미지 배율이 110이며 이미지 크기가 1100 마이크로미터인 것을 보여준다. MTF 플롯은 도 14에 도시된 4개의 객체 지점(40)에 대해 도 18에 도시된다. 높은 공간 주파수에서의 MTF 플롯의 크기는 반사 광학 장치에서보다 상당히 낮다. MTF 플롯은 이미지 해상도가 27°의 편심도의 이미지에 적합하다는 것을 보여준다. 제2 바람직한 실시예의 광학 설계는, 도 19에 도시된 바와 같이, 훨씬 더 큰 초점 심도를 유도한다. 이것은 일부 실시예에서, 제1 및 제2 시뮬레이션에 따라 반사 광학 장치에 대해 효과적인 이미지 블러가 2 D 내지 5 D의 범위의 근시성 디포커스에 대해 훨씬 적다는 것을 의미한다. 증가된 초점 심도가 도 20에 도시된 MTF 플롯에 반영되어, 도 3 및 도 4에 도시된 반사 광학 구성에 비해 근시성 디포커스의 크기에 덜 좌우될 수도 있다.
- [0100] 제3 광학 시뮬레이션은 굴절 광학 장치가 허용 가능한 이미지 크기와 이미지 배율 및 초점 심도로 주변 망막 이미지를 성공적으로 투사할 수도 있음을 보여준다. 이미지 크기, 배율 및 초점 심도가 제2 시뮬레이션의 반사 구성보다 다소 클 수도 있다.
- [0101] 높은 공간 주파수(50 lp/mm 이상)에서의 MTF 값이 반사 설계보다 굴절 광학 장치 설계에서 더 낮지만, 높은 공간 주파수에서의 이미지 품질이 시력 감소로 인해 망막 이미지의 주변 위치에서 다소 덜 관련성이 있을 수 있다. 제3 시뮬레이션은 투사 유닛의 초점 길이가 0.15 mm이며 이미지 크기가 1100 마이크로미터이고 이미지 배율이 110X인 것을 나타낸다. 에어리 디스크 직경은 36.7 마이크로미터로 계산되는 반면, 롤리 기준은 44.8 마이크로미터이다.

[0102] 광 가이드를 보여주는 도 11a 및 도 11b를 다시 참조하면, 광 가이드, 미러 및 렌즈를 포함하는 이 구성에 대해 제4 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션된 실시예에서, 포커싱 렌즈는 광 파이프의 단부(출구 조리개)에 위치한다. 일부 실시예에서, 광 파이프는 광의 초점을 맞추기 위해 단부에 곡선형 렌즈 표면을 포함한다. 이 광 파이프 실시예에서, 투사 광학 장치는 미러와 렌즈를 포함하는 광 가이드를 포함한다.

[0103] 일부 실시예에서, 광원(30)은, 예를 들어, 주변 근처의 콘택트 렌즈(10)의 외부 부분에 배치되며, 광원으로부터의 광이 광을 수집하며 눈(11)을 향해 광을 편향시켜 본 명세서에 설명된 바와 같이 근시성 디포커스를 갖는 주변 망막(33)의 전방에 이미지를 생성하는 미러로 안내된다. 일부 실시예에서, 광 가이드의 기능은 이미지 배율을 감소시키고 망막(33)의 전방에 형성된 이미지의 해상도를 증가시키도록 광 경로의 길이를 증가시키는 것이다.

표 4

[0104]

제4 시뮬레이션에 대한 입력으로서 사용된 렌즈 파라미터	
광학 특성 또는 파라미터	값
광원 직경	10 마이크로
시뮬레이션 파장	510 nm
광 가이드 길이	2.7 mm
투사 광학 장치 재료의 굴절률	2.2
미러 직경	400 마이크로
콘택트 렌즈 중심에 대한 광학 장치의 분산	1.75 mm
광학 장치 두께	290 마이크로
이미지 위치	심와에 대한 25° 편심도
광학 설계 및 이미지 시뮬레이션	비구면 6차, 제르니케 3차

[0105] 표 4는 광 가이드 실시예에 의해 형성된 주변 망막 이미지 품질의 제4 시뮬레이션에 사용된 투사 시스템의 특성을 나타낸다. 이미지 배율은 140 마이크로미터의 이미지 크기로 14였다. 이러한 시뮬레이션은 이미지 배율이 허용 가능하며 초점 심도가 굴절 광학 장치만큼 크지 않고 반사 광학 장치만큼 크지 않은 것을 나타낸다. 제4 시뮬레이션은 투사 유닛의 초점 길이가 1.21 mm이며 이미지 크기가 140 마이크로미터이고 배율이 14X인 것을 나타낸다. 에어리 디스크 직경은 34.8 마이크로미터로 계산되는 반면, 롤리(Raleigh) 기준은 42.6 마이크로미터이다.

[0106] 세 가지 해당 구성에 대한 제2, 제3 및 제4 시뮬레이션의 세 가지 결과를 그 크기, 근시성 디포커스의 크기의 함수로서 디포커싱된 이미지의 선명도 구배를 각각 정의하여 생성된 초점 심도 및 빔 직경의 관점에서 서로 비교하였다. 결과에서 보여주듯이, 도 24에 도시된 바와 같이, 반사 광학 장치를 포함하는 제2 시뮬레이션이 최고의 선명도 구배를 갖는 반면, 굴절 광학 장치를 포함하는 실시예는 가장 작은 선명도 구배를 가지며, 광 가이드 기반 투사 유닛이 제한된 선명도 구배를 제공한다. 이러한 접근법은 각각, 본 명세서에 개시된 교시에 따라 축방향 길이 성장을 감소시키도록 구성될 수 있다.

[0107] 3개의 실시예는 또한 표 5에 도시된 바와 같이 광학 장치의 직경 측면에서 상당히 상이하다.

표 5

[0108]

세 가지 시뮬레이션에 사용된 광학 직경	
구성	광학 직경
반사 광학 장치	1.1 mm
굴절 광학 장치	0.3 mm
광 가이드 광학 장치	0.4 mm

[0109] 반사 광학 장치 및 광원(30)이 다양한 방식으로 구성될 수 있으며, 본 명세서에 개시된 교시에 따라 적절한 구성을 결정하기 위해 추가 시뮬레이션이 수행될 수 있다. 예를 들어, 도 14에 도시된 중심 객체 지점의 선명도는 신경 자극에 대한 기여도가 제한되기 쉽기 때문에 무시될 수 있다. 이러한 시뮬레이션 및 최적화는 투사 유닛의 직경 및 그 두께의 감소를 허용할 수 있으며, 이것은 본 명세서에 설명된 바와 같이 착용자에게 높은 수준의 편안함을 제공하는 콘택트 렌즈(10)에 시스템이 내장되는 경우 도움이 될 수 있다. 제5 시뮬레이션에 대한 설계 입력 파라미터가 표 6에 표시되어 있다. 결과는 이미지 배율을 25로 증가시킬 수 있어, 10 마이크로미터 소스에 대해 250 마이크로미터의 이미지 크기를 제공하며, 이러한 크기는 본 명세서에 개시된 실시예에 따라 망막(33) 전방의

주변 이미지에 대해 허용 가능함을 보여준다. 이러한 제4 이미지 시뮬레이션의 출력도 도 25 및 도 26에 도시되어 있다. 근시성 디포커스 크기의 함수로서 단일 공간 주파수에서의 이미지 스폿 크기 또는 MTF의 변화인 선명도 구배는 투사 시스템의 감소된 크기를 제공하면서 여전히 상당히 수용 가능하다.

- [0110] 본 명세서에 상세히 설명된 바와 같이, 본 명세서에 설명된 및/또는 예시된 컴퓨팅 장치 및 시스템은 본 명세서에 설명된 모듈 내부에 포함된 것과 같은 컴퓨터 판독 가능 명령어를 실행할 수 있는 임의의 유형 또는 형태의 컴퓨팅 장치 또는 시스템을 광범위하게 나타낸다. 가장 기본적인 구성에서, 이들 컴퓨팅 장치(들)는 각각, 적어도 하나의 메모리 장치 및 적어도 하나의 물리적 프로세서를 포함할 수도 있다.
- [0111] 본 명세서에서 사용되는 바와 같은 용어 "메모리" 또는 "메모리 장치"는 일반적으로, 데이터 및/또는 컴퓨터 판독 가능 명령어를 저장할 수 있는 임의의 유형 또는 형태의 휘발성 또는 비휘발성 저장 장치 또는 매체를 나타낸다. 일 예에서, 메모리 장치는 본 명세서에 설명된 모듈 중 하나 이상을 저장, 적재 및/또는 유지할 수 있다. 메모리 장치의 예로는 랜덤 액세스 메모리(RAM), 판독 전용 기억소자(ROM), 플래시 메모리, 하드 디스크 드라이브(HDD), 솔리드 스테이트 드라이브(SSD), 광학 디스크 드라이브, 캐시, 이들의 하나 이상의 변형 또는 조합, 또는 임의의 다른 적절한 저장 메모리를 포함하지만 이에 국한되지 않는다.
- [0112] 또한, 본 명세서에서 사용되는 바와 같은 "프로세서" 또는 "물리적 프로세서"라는 용어는 일반적으로, 컴퓨터 판독 가능 명령어를 해석 및/또는 실행할 수 있는 하드웨어 구현 처리 유닛의 임의의 유형 또는 형태를 지칭한다. 일 예에서, 물리적 프로세서는 전술한 메모리 장치에 저장된 하나 이상의 모듈에 접근하며 및/또는 모듈을 수정할 수도 있다. 물리적 프로세서의 예는 마이크로 프로세서, 마이크로 컨트롤러, 중앙 처리 장치(CPU), 소프트웨어 프로세서를 구현하는 필드 프로그램 가능 게이트 어레이(FPGA), 주문형 집적 회로(ASIC), 이들 중 하나 이상의 일부, 이들 중 하나 이상의 변형 또는 조합, 또는 임의의 다른 적절한 물리적 프로세서를 포함하지만 이것으로 국한되지 않는다.
- [0113] 별도의 요소로 예시되었지만, 본 명세서에서 설명 및/또는 예시된 방법 단계는 단일 용례의 일부를 나타낼 수도 있다. 또한, 일부 실시예에서 이러한 단계 중 하나 이상은, 컴퓨팅 장치에 의해 실행되는 경우, 컴퓨팅 장치 방법 단계와 같은 하나 이상의 작업을 수행하게 할 수도 있는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션 또는 프로그램을 나타내거나 이에 대응할 수도 있다.
- [0114] 또한, 본 명세서에 설명된 하나 이상의 장치는 데이터, 물리적 장치, 및/또는 물리적 장치의 표현을 한 형태에서 다른 형태로 변환할 수도 있다. 예를 들어, 본 명세서에 언급된 장치 중 하나 이상은 변환할 샘플의 이미지 데이터를 수신하고, 이미지 데이터를 변환하고, 변환 결과를 출력하여 3D 공정을 결정하고, 변환 결과를 사용하여 3D 공정을 수행하며, 변환 결과를 저장하여 샘플의 출력 이미지를 생성할 수도 있다. 추가로 또는 대안으로서, 본 명세서에 언급된 모듈 중 하나 이상은, 컴퓨팅 장치에서 실행하며, 컴퓨팅 장치에 데이터를 저장하며 및/또는 컴퓨팅 장치와 상호 작용함으로써, 프로세서, 휘발성 메모리, 비휘발성 메모리 및/또는 물리적 컴퓨팅 장치의 임의의 다른 부분을 한 형태의 컴퓨팅 장치에서 다른 형태의 컴퓨팅 장치로 변환할 수도 있다.
- [0115] 본 명세서에서 사용되는 바와 같은 용어 "컴퓨터 판독 가능 매체"는 일반적으로, 컴퓨터 판독 가능 명령어를 저장하거나 전달할 수 있는 임의의 형태의 장치, 캐리어 또는 매체를 지칭한다. 컴퓨터 판독 가능 매체의 예는 반송파와 같은 전송 유형 매체 및 자기 저장 매체(예를 들어, 하드 디스크 드라이브, 테이프 드라이브 및 플로피 디스크)와 같은 비일시적 유형 매체, 광학 저장 매체(예를 들어, 콤팩트 디스크(CD), 디지털 비디오 디스크(DVD) 및 블루-레이 디스크), 전자 저장 매체(예를 들어, 솔리드 스테이트 드라이브 및 플래시 미디어) 및 기타 배포 시스템을 포함하지만 이것으로 국한되지 않는다.
- [0116] 당업자라면 본 명세서에 개시된 임의의 공정 또는 방법이 다양한 방식으로 수정될 수 있음을 인식할 것이다. 본 명세서에 설명 및/또는 예시된 공정 파라미터 및 단계의 순서는 단지 예로서 제공된 것이며 원하는 대로 변경될 수 있다. 예를 들어, 본 명세서에 예시 및/또는 설명된 단계가 특정 순서로 도시되거나 논의될 수도 있지만, 이들 단계가 반드시 예시되거나 논의된 순서로 수행될 필요는 없다.
- [0117] 본 명세서에 설명 및/또는 예시된 다양한 예시적인 방법이 또한, 본 명세서에 설명되거나 예시된 단계 중 하나 이상을 생략할 수도 있으며, 또는 개시된 단계 외에 추가 단계를 포함할 수도 있다. 또한, 본 명세서에 개시된 임의의 방법의 단계는 본 명세서에 개시된 바와 같은 임의의 다른 방법 중 임의의 하나 이상의 단계와 조합될 수 있다.
- [0118] 달리 명시되지 않는 한, 명세서 및 청구 범위에 사용된 바와 같은 "연결된" 및 "결합된"(및 그 파생어)이라는 용어는 직접 및 간접(즉, 다른 요소 또는 구성요소를 통해) 연결을 허용하는 것으로 해석되어야 한다. 또한,

명세서 및 청구 범위에서 사용되는 바와 같은 용어 하나("a" 또는 "an")는 "적어도 하나(at least one of)"를 의미하는 것으로 해석되어야 한다. 마지막으로, 사용의 용이성을 위해, 명세서 및 청구 범위에서 사용되는 바와 같은 용어 "포함하는(including)" 및 "구비하는(having)"(및 그 파생어)은 "포함하는(comprising)"이라는 단어와 상호 교환 가능하며 동일한 의미를 가져야 한다.

- [0119] 본 명세서에 개시된 바와 같은 프로세서는 본 명세서에 개시된 바와 같은 임의의 방법의 임의의 하나 이상의 단계를 수행하기 위한 명령어로 구성될 수 있다.
- [0120] 용어 "제1", "제2", "제3" 등이 본 명세서에서 이벤트의 임의의 특정 순서 또는 순차를 지칭하지 않고 다양한 층, 요소, 구성요소, 영역 또는 섹션을 설명하기 위해 사용될 수도 있음을 이해할 것이다. 이러한 용어는 단순히 하나의 층, 요소, 구성요소, 영역 또는 섹션을 다른 층, 요소, 구성요소, 영역 또는 섹션과 구별하는 데 사용된다. 본 명세서에 설명된 바와 같은 제1 층, 요소, 구성요소, 영역 또는 섹션은 본 개시의 교시를 벗어나지 않고 제2 층, 요소, 구성요소, 영역 또는 섹션으로서 지칭될 수 있다.
- [0121] 본 명세서에서 사용되는 바와 같은 용어 "또는"은 대안 및 조합으로 항목을 지칭하기 위해 포괄적으로 사용된다.
- [0122] 본 명세서에 개시된 각각의 실시예는 본 명세서에 개시된 임의의 하나 이상의 기타 다른 실시예와 조합될 수 있으며, 당업자라면 이러한 많은 조합이 본 개시의 범위 내에 있음을 인식할 것이다.
- [0123] 본 개시는 아래의 번호가 매겨진 항을 포함한다:
- [0124] 1항. 망막을 갖는 눈의 근시를 치료하기 위한 전자 콘택트 렌즈로서, 복수의 광원; 및 망막 전방에 복수의 이미지를 투사하여 눈의 근시 진행을 감소시키기 위해 복수의 광원에 결합된 복수의 투사 광학 장치를 포함하는 전자 콘택트 렌즈.
- [0125] 2항. 1항에 있어서, 상기 렌즈가 근시를 반전시키도록 구성되는 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0126] 3항. 1항에 있어서, 상기 복수의 투사 광학 장치는 눈의 중심축에 대해 15° 내지 30°의 범위 이내의 편심도로 눈의 망막의 복수의 외부 영역에 복수의 광원의 복수의 이미지를 투사하도록 배치되는 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0127] 4항. 1항에 있어서, 상기 복수의 투사 광학 장치는 각각, 망막 표면에 대해 근시적으로 디포커스된 이미지를 투사하도록 배치되며, 상기 디포커스의 양은 2.0 D 내지 5.0 D의 범위 이내인 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0128] 5항. 1항에 있어서, 상기 복수의 투사 광학 장치는 각각, 상기 콘택트 렌즈의 중심으로부터 1.5 mm 내지 5.0 mm에 위치하며, 선택적으로 복수의 투사 광학 장치가 원의 원주를 따라 위치하는 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0129] 6항. 1항에 있어서, 상기 복수의 투사 광학 장치는 망막 표면의 전방에 복수의 이미지를 투사하기 위해 상기 복수의 광원에 광학적으로 결합된 복수의 이미지 형성 광학 장치를 포함하는 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0130] 7항. 6항에 있어서, 상기 복수의 광원은 각각, 26 마이크론을 초과하지 않으며 선택적으로 10 마이크론 이하인 최대가로 거리를 가지며, 선택적으로 상기 최대 가로 거리는 직경을 포함하는 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0131] 8항. 6항에 있어서, 복수의 투사 광학 장치는 각각, 미러, 렌즈 또는 광 가이드 중 하나 이상을 포함하는 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0132] 9항. 8항에 있어서, 복수의 이미지 형성 광학 장치는 각각, 회절 소자, 프레넬 렌즈 또는 복합 가버 렌즈 중 하나 이상을 포함하는 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0133] 10항. 8항에 있어서, 상기 복수의 이미지 형성 광학 장치는 각각, 1.5 mm 내지 200 마이크론의 범위 이내의 최대가로 거리를 가지며, 선택적으로 상기 최대 가로 거리는 직경을 포함하는 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0134] 11항. 8항에 있어서, 복수의 이미지 형성 광학 장치는 각각, 비구면이며 이미지 수차에 대해 교정되는 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0135] 12항. 8항에 있어서, 복수의 이미지 형성 광학 장치는 각각 볼록 미러 및 오목 미러의 조합을 포함하는 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0136] 13항. 11항에 있어서, 상기 복수의 이미지 형성 광학 장치는 각각, 중심축으로부터 15° 내지 30°의 범위 이내의 그리고 선택적으로 중심축으로부터 25° 내지 30° 범위 이내의 편심도로 망막의 외부 부분 전방에 이미지를 형성하는 것인 전자 콘택트 렌즈.

- [0137] 14항. 11항에 있어서, 상기 복수의 이미지 형성 광학 장치는 각각, 25 내지 100의 범위 이내의 이미지 배율로 망막 전방에 이미지를 생성하는 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0138] 15항. 1항에 있어서, 망막 외부 부분 전방의 이미지는 10 lp/mm의 공간 주파수에서 0.75 이상의 그리고 50 lp/mm의 공간 주파수에서 0.40 이상의 변조 전달 함수 크기를 포함하는 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0139] 16항. 8항에 있어서, 복수의 투사 광학 장치는 각각, 망막 전방에 이미지를 형성하도록 구성된 시준 광학 장치를 포함하는 이미지 형성 광학 장치를 포함하는 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0140] 17항. 8항에 있어서, 상기 투사 광학 장치는 시준 광학 장치 및 이미지 형성 광학 장치 모두로서 기능하는 단일 렌즈를 포함하는 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0141] 18항. 8항에 있어서, 상기 투사 광학 장치는 편심도가 30° 이하이며 초점 심도가 1.0 D 이하인 망막의 외부 부분 전방에 이미지를 생성하는 이미지 형성 광학 장치를 포함하는 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0142] 19항. 17항에 있어서, 상기 광학 장치는 30° 이하의 편심도로 망막의 외부 부분 전방에 이미지를 생성하며, 상기 이미지의 변조 전달 함수는 1.0 디오퍼터의 디포커스에 대해 최소 0.1 단위만큼 감소하는 것인 전자 콘택트 렌즈.
- [0143] 20항. 복수의 광학 요소에 결합된 복수의 광원을 포함하며, 복수의 광원 및 복수의 광학 요소가 소프트 콘택트 렌즈 재료에 내장되어 있으며, 상기 복수의 광학 요소는 각각, 착용자의 주변 망막 앞에 초점이 맞춰진 이미지를 생성하는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0144] 21항. 20항에 있어서, 복수의 광원이 복수의 마이크로 디스플레이를 포함하는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0145] 22항. 20항에 있어서, 복수의 광원이 복수의 발광 다이오드(LED)를 포함하는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0146] 23항. 20항에 있어서, 상기 복수의 광학 요소는 각각, 대응하는 마이크로 디스플레이에 의해 방출된 광을 시준하며 결과적인 광 빔을 눈의 동공으로 보내는 미러 어셈블리를 포함하며, 상기 광 빔은 망막의 앞에 주변 이미지를 형성하도록 초점이 맞춰지는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0147] 24항. 20항에 있어서, 상기 복수의 광학 요소는 각각, 대응하는 마이크로 디스플레이에 의해 방출된 광을 수신하며 결과적인 광 빔을 눈의 동공으로 보내는 렌즈를 포함하며, 상기 광 빔은 망막의 앞에 이미지를 형성하도록 초점이 맞춰지는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0148] 25항. 20항에 있어서, 상기 복수의 광원은 다색성 조명을 발생시키며, 선택적으로 복수의 광원은 다색성 조명을 발생시키는 복수의 마이크로 디스플레이를 포함하는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0149] 26항. 20항에 있어서, 상기 이미지는 망막 앞에서 약 0.5 mm 내지 2.0 mm인 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0150] 27항. 20항에 있어서, 상기 이미지는 적어도 30 lp/mm의 해상도를 갖는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0151] 28항. 20항에 있어서, 상기 이미지는 적어도 100X 이하의 배율을 갖는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0152] 29항. 20항에 있어서, 상기 이미지는 2.5 디오퍼터 이하의 초점 심도를 가지며, 선택적으로 상기 초점 심도는 약 0.9 mm 이하인 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0153] 30항. 20항에 있어서, 상기 이미지는 약 15° 내지 약 45° 의 범위 이내의 편심도로 투사되는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0154] 31항. 30항에 있어서, 상기 범위가 약 25° 내지 약 30° 인 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0155] 32항. 20항에 있어서, 상기 마이크로 디스플레이는 약 0.1 cd/m² 내지 10 cd/m²의 범위 이내의 조도로 동공에 빛을 비추는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0156] 33항. 20항에 있어서, 이미지는 일 위치에서 주변 망막 앞의 일 거리에 초점이 맞춰지며, 이미지는 초점 심도와 공간 해상도를 포함하며, 초점 심도는 상기 거리 미만이며, 공간 해상도는 상기 위치에서 주변 망막의 공간 해상도보다 큰 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0157] 34항. 20항에 있어서, 콘택트 렌즈가 착용자의 눈에 배치되었을 때 착용자로부터 입력을 수신하는 센서를 추가로 포함하는 소프트 콘택트 렌즈.
- [0158] 35항. 20항 내지 34항 중 어느 한 항에 있어서, 복수의 광원의 조명을 제어하기 위해 복수의 광원에 결합된 프

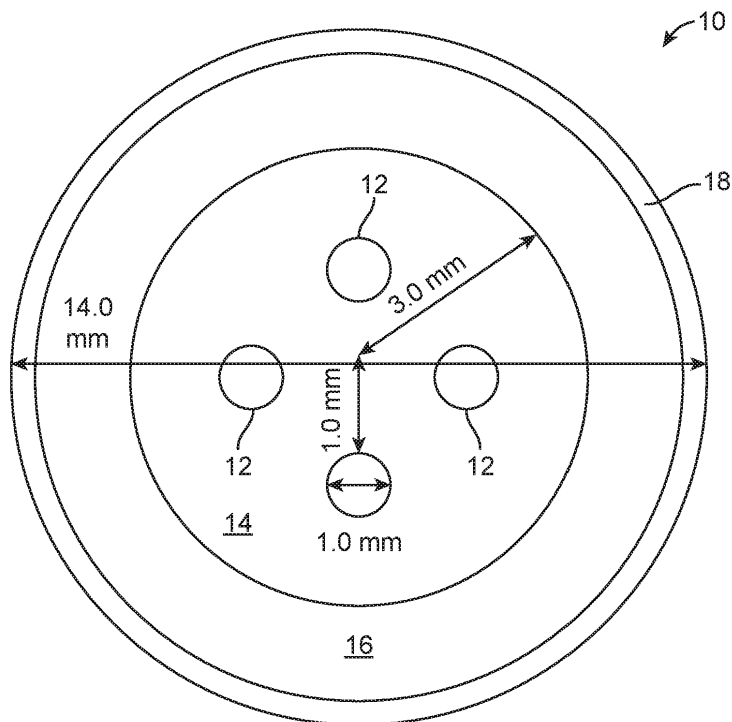
로세서를 추가로 포함하는 소프트 콘택트 렌즈.

- [0159] 36항. 20항 내지 35항 중 어느 한 항에 있어서, 복수의 광원의 조명을 제어하기 위해 복수의 광원에 작동 가능하게 결합된 무선 통신 회로를 추가로 포함하는 소프트 콘택트 렌즈.
- [0160] 37항. 20항 내지 36항 중 어느 한 항에 있어서, 착용자가 복수의 광원의 조명을 제어하도록 모바일 장치에 작동 가능하게 결합된 무선 통신 회로를 추가로 포함하는 소프트 콘택트 렌즈.
- [0161] 38항. 20항 내지 37항 중 어느 한 항에 있어서, 건강 관리 제공자가 복수의 광원의 조명 사이클 및 강도를 프로그래밍하도록 프로세서에 작동 가능하게 결합된 무선 통신 회로를 추가로 포함하는 소프트 콘택트 렌즈.
- [0162] 39항. 적어도 하나의 마이크로 디스플레이가 내장된 소프트 콘택트 렌즈로서, 상기 마이크로 디스플레이는 착용자의 주변 망막 앞에 초점이 맞춰진 이미지를 생성하는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0163] 40항. 39항에 있어서, 상기 렌즈는 착용자의 굴절 오류에 대해 최상의 굴절 교정을 제공하는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0164] 41항. 39항에 있어서, 상기 마이크로 디스플레이는 상기 렌즈의 광학 중심으로부터 약 2.5 mm 내지 약 5.0 mm만큼 변위되는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0165] 42항. 39항에 있어서, 상기 렌즈의 원호를 따라 균일하게 배치된 4개 내지 8개의 마이크로 디스플레이로 이루어진 세트를 포함하며, 각각의 마이크로 디스플레이가 상기 렌즈의 광학 중심으로부터 동일하게 변위되는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0166] 43. 39항에 있어서, 상기 이미지는 망막 앞 0.5 mm 내지 2.5 mm에 초점이 맞춰지는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0167] 44항. 39항에 있어서, 상기 이미지는 착용자의 중심와에서 최상의 초점에 대해 근시적으로 1.0 D 내지 3.0 D에 초점이 맞춰지는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0168] 45항. 39항에 있어서, 상기 렌즈는 적어도 하나의 마이크로 디스플레이, ASIC, 전압 램프, 충전식 배터리, 무선 수신기 및 송신기, 플래시 메모리 및 비휘발성 메모리를 포함하는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0169] 46항. 39항에 있어서, 상기 마이크로 디스플레이는 마이크로 OLED인 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0170] 47항. 39항에 있어서, 상기 마이크로 디스플레이는 마이크로 LED인 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0171] 48항. 39항에 있어서, 상기 마이크로 디스플레이는 마이크로 렌즈 어레이에 광학적으로 결합되는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0172] 49항. 39항 또는 45항에 있어서, 상기 어레이는 1 mm² 내지 8 mm² 그리고 선택적으로 1 mm² 내지 8 mm²의 범위의 치수를 갖는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0173] 50항. 39항에 있어서, 제1 항의 상기 이미지의 지속 시간은 렌즈가 눈에 있을 때 프로그램 가능한 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0174] 51항. 47항에 있어서, 상기 이미지는 하루에 약 1 시간 내지 약 12 시간 동안 연속적으로 투사되는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0175] 52항. 47항에 있어서, 상기 이미지는 하루에 1 시간 내지 12 시간 범위의 총 투사 지속 시간으로 하루에 여러번 간헐적으로 투사되는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0176] 53항. 39항에 있어서, 상기 이미지는 착용자가 수면중일 때 투사되는 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0177] 54항. 39항에 있어서, 상기 이미지는 바람직하게는 500 nm에서 단색성인 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0178] 55항. 39항에 있어서, 상기 이미지는 바람직하게는 가시 광선에 대한 망막 응답과 일치하는 파장 분포를 갖는 다색성인 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0179] 56항. 39항에 있어서, 상기 렌즈가 매일 사용하는 일회용 양식인 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0180] 57항. 39항에 있어서, 상기 렌즈가 계획된 교체 양식인 것인 소프트 콘택트 렌즈.
- [0181] 본 발명의 바람직한 실시예가 본 명세서에 도시 및 설명되었지만, 당업자라면 이러한 실시예가 단지 예시로서 제공됨을 명백히 알 수 있을 것이다. 본 발명이 명세서 내에 제공된 특정 예에 의해 제한되는 것으로 의도되지

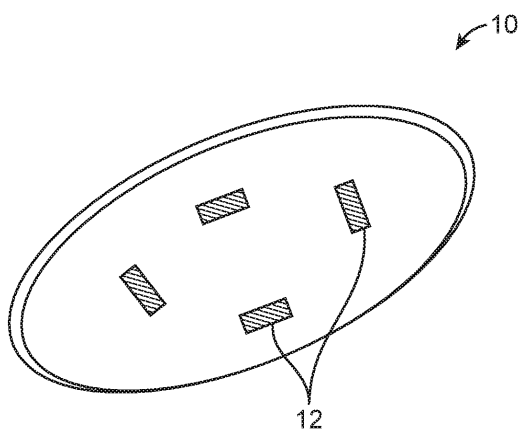
않는다. 본 발명이 전술한 명세서를 참조하여 설명되었지만, 본 명세서의 실시예의 설명 및 예시는 제한적인 의미로 해석되는 것을 의미하지 않는다. 이제 본 발명을 벗어나지 않고 다양한 변형, 변경 및 대체가 당업자에 의해 이루어질 것이다. 또한, 본 발명의 모든 양태는 다양한 조건 및 변수에 좌우되는 본 명세서에 기재된 특정 묘사, 구성 또는 상대적 비율로 제한되지 않는다는 것을 이해하여야 한다. 본 명세서에 설명된 본 발명의 실시예에 대한 다양한 대안이 본 발명을 실시하는 데 사용될 수도 있음을 이해하여야 한다. 따라서, 본 발명은 또한 그러한 대안, 수정, 변경 또는 등가물을 포함할 것으로 예상된다. 아래의 청구 범위는 본 발명의 범위를 정의한 것이며, 이러한 청구 범위 및 그 등가물 이내의 방법 및 구조가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 의도된다.

도면

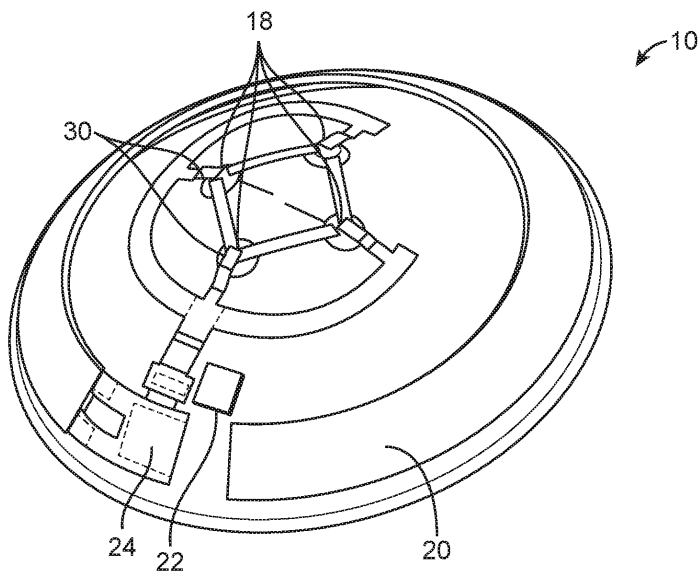
도면1



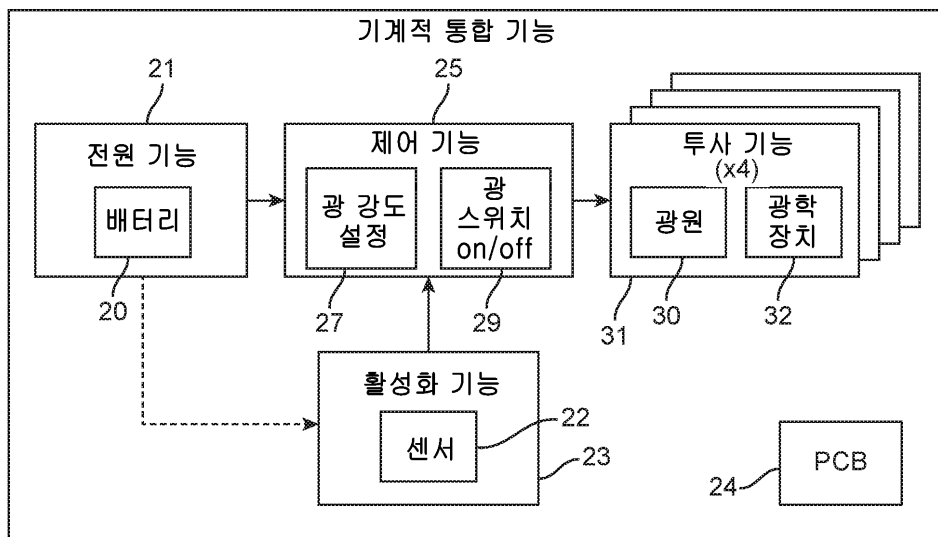
도면2a



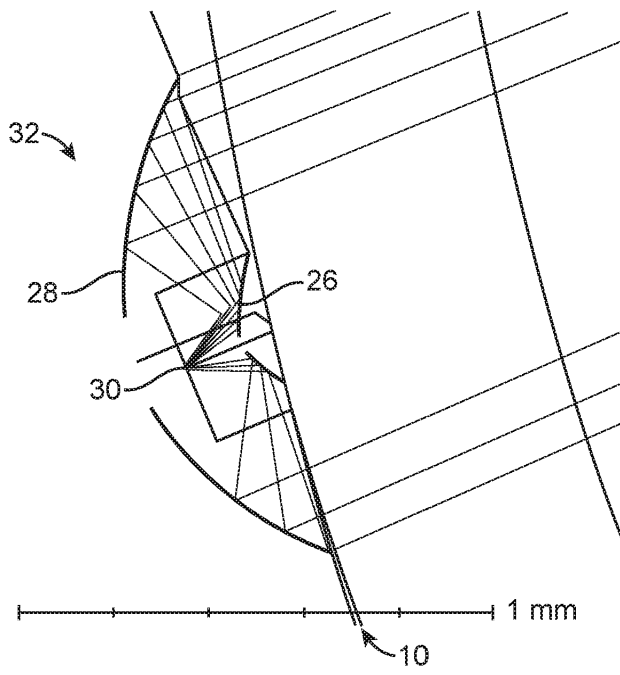
도면2b



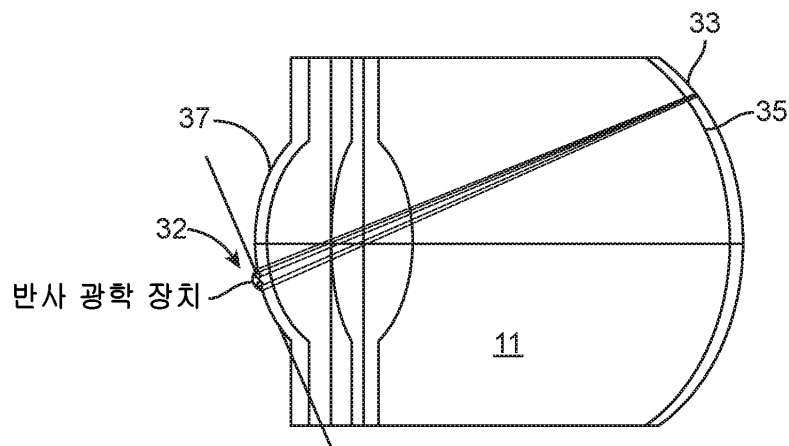
도면2c



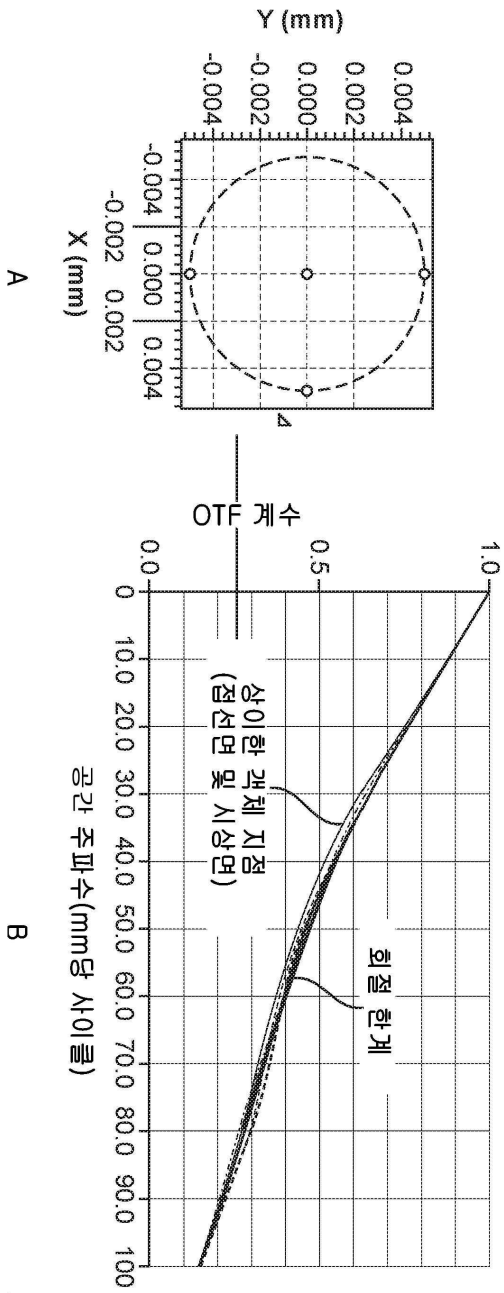
도면3



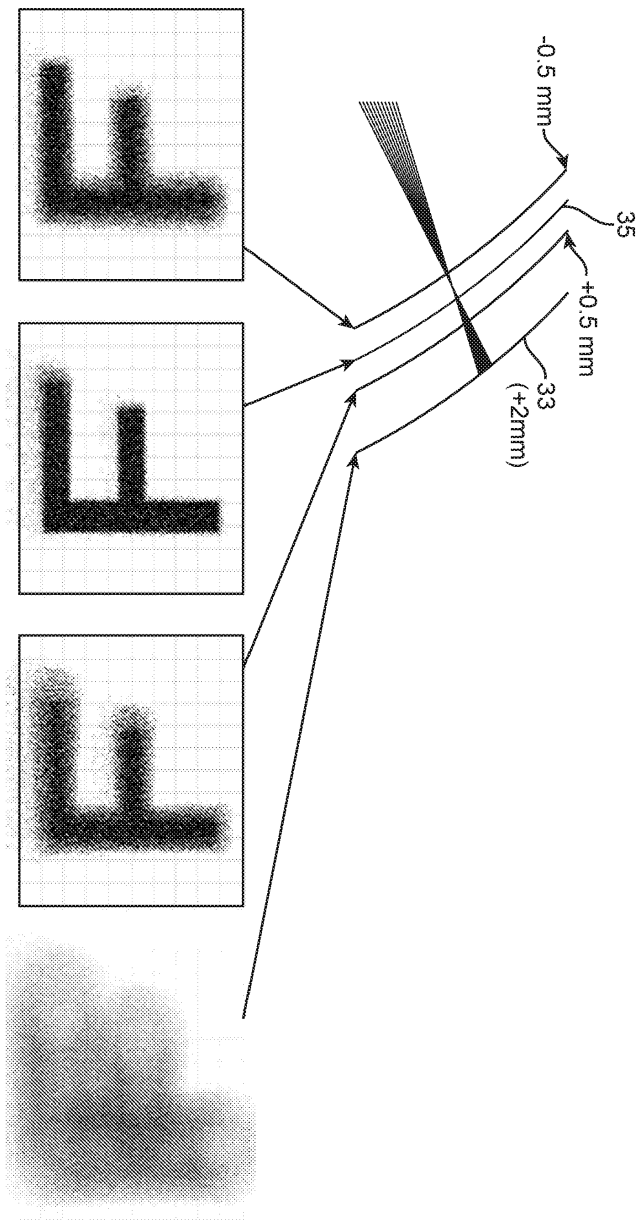
도면4



도면5

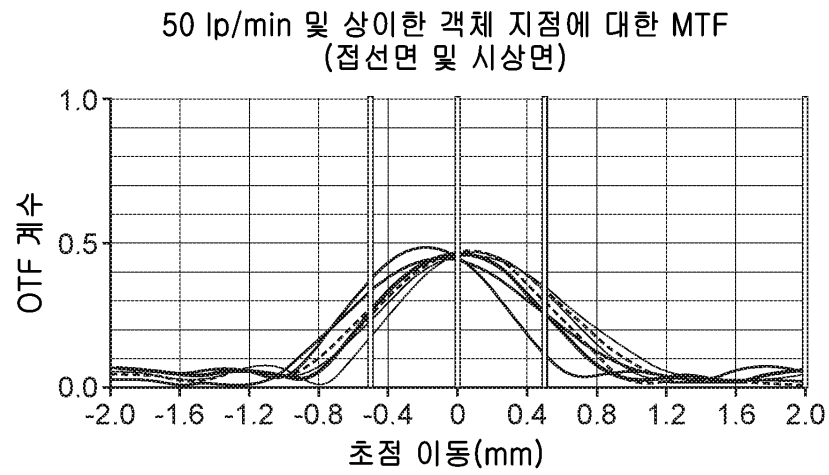


도면6

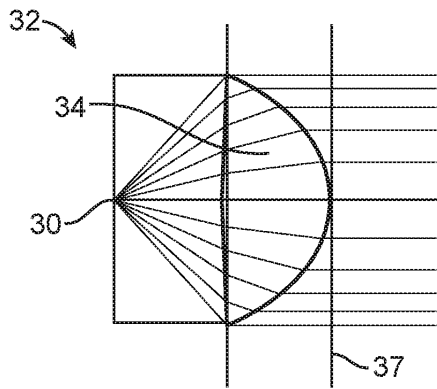


초점 심도

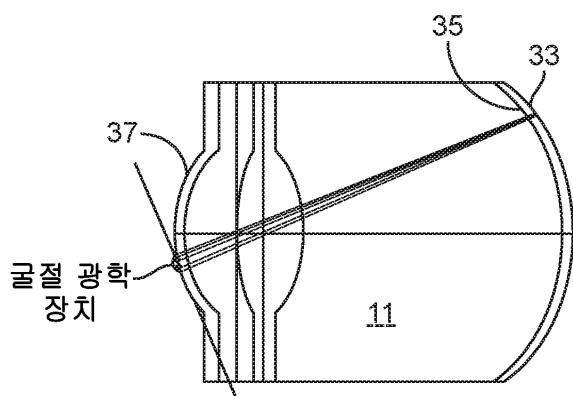
도면7



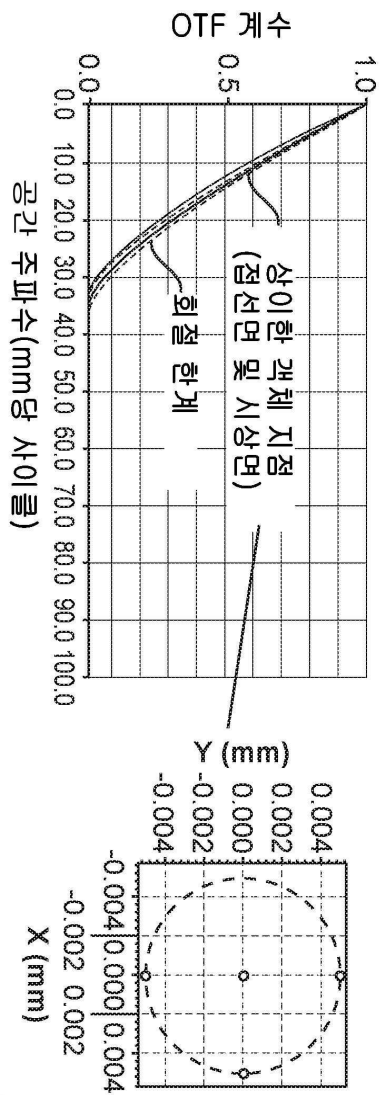
도면8a



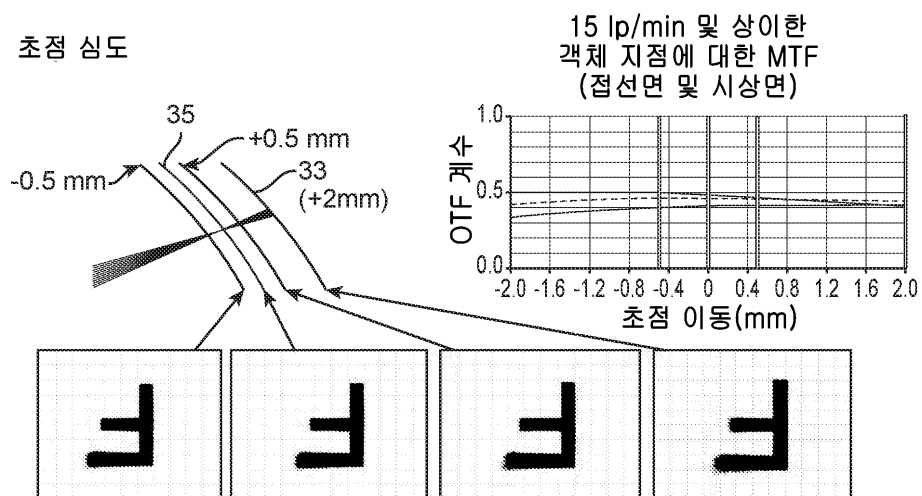
도면8b



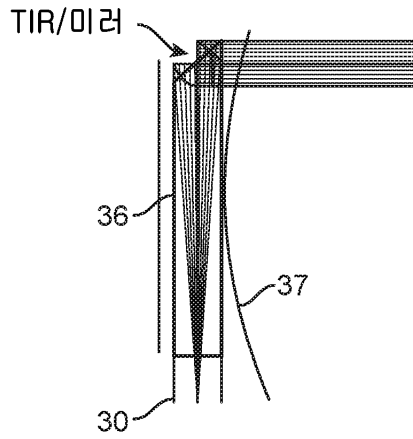
도면9



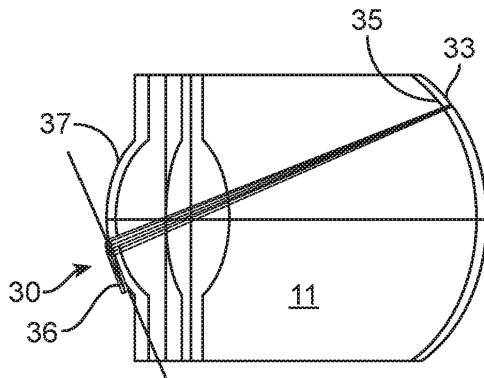
도면10



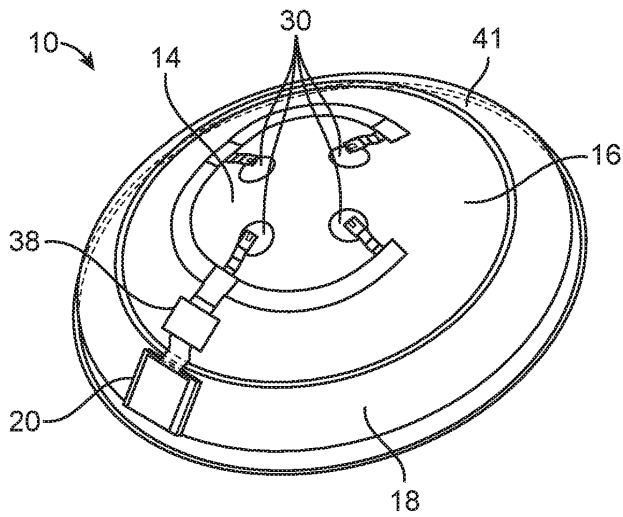
도면11a



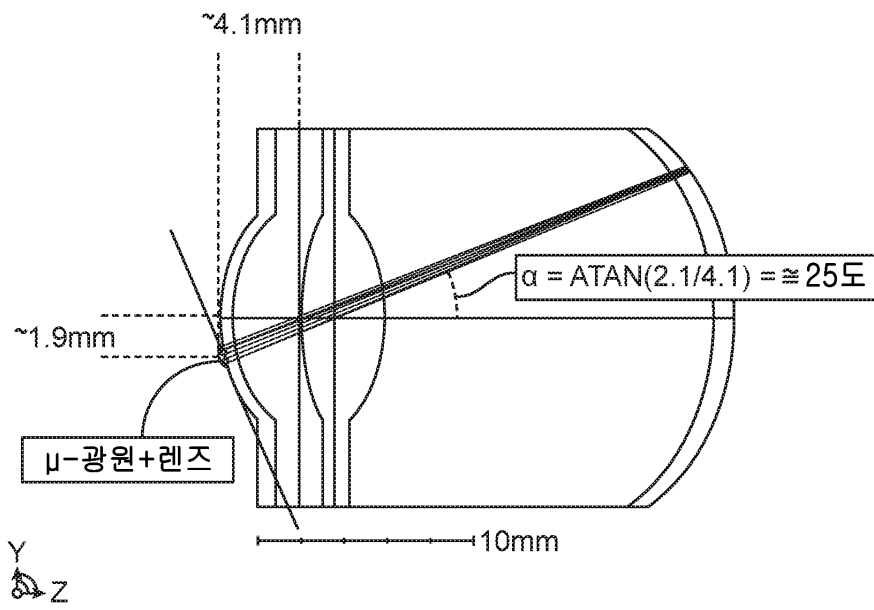
도면11b



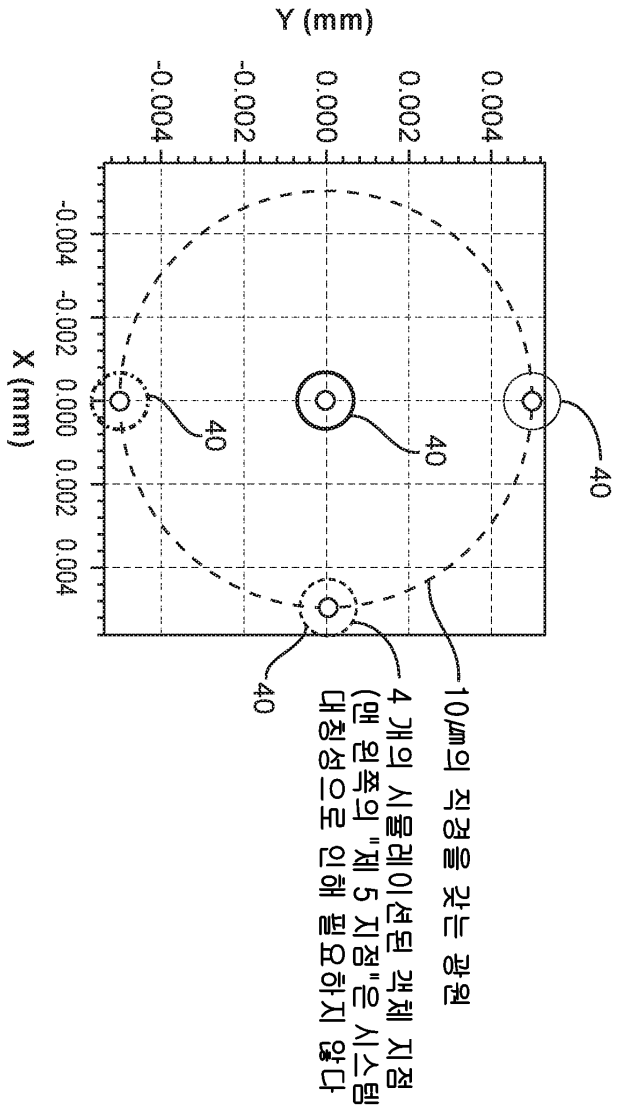
도면12



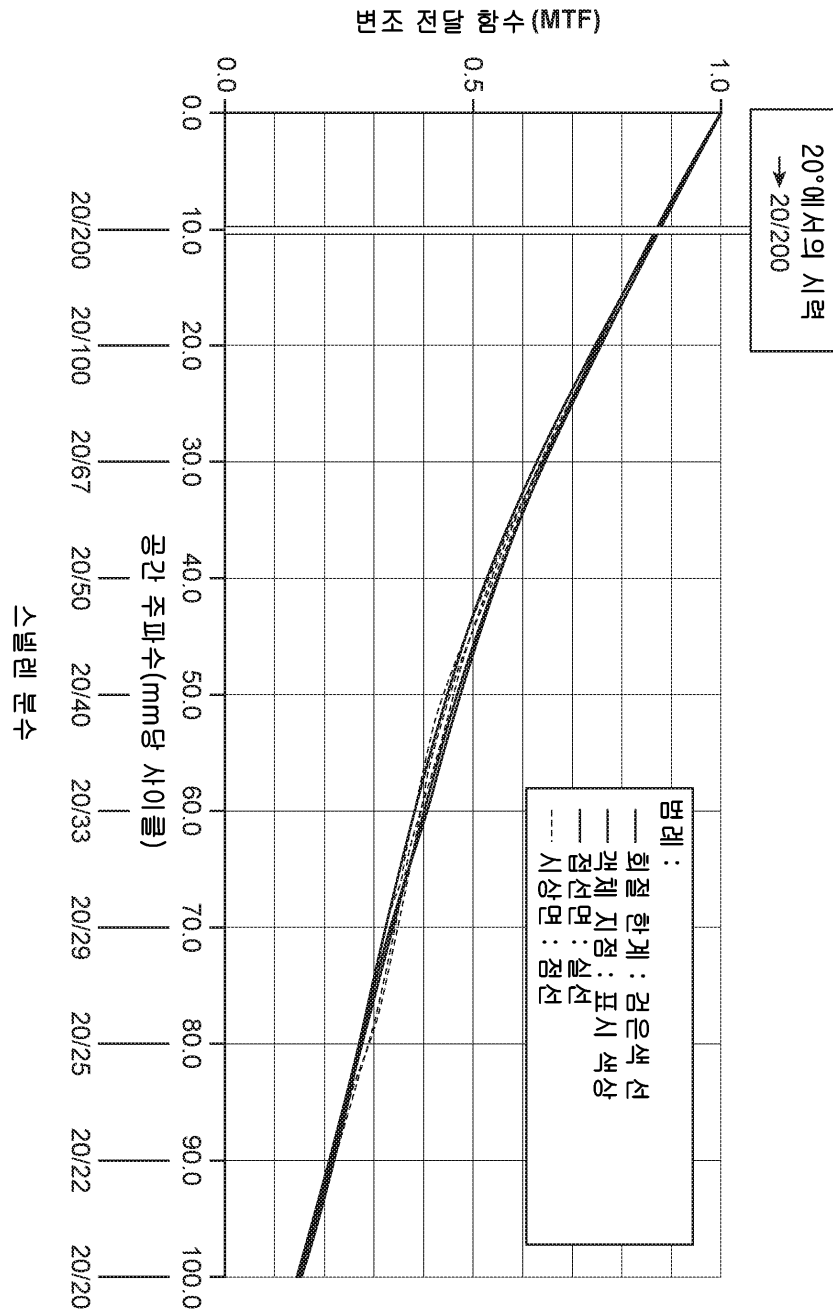
도면13



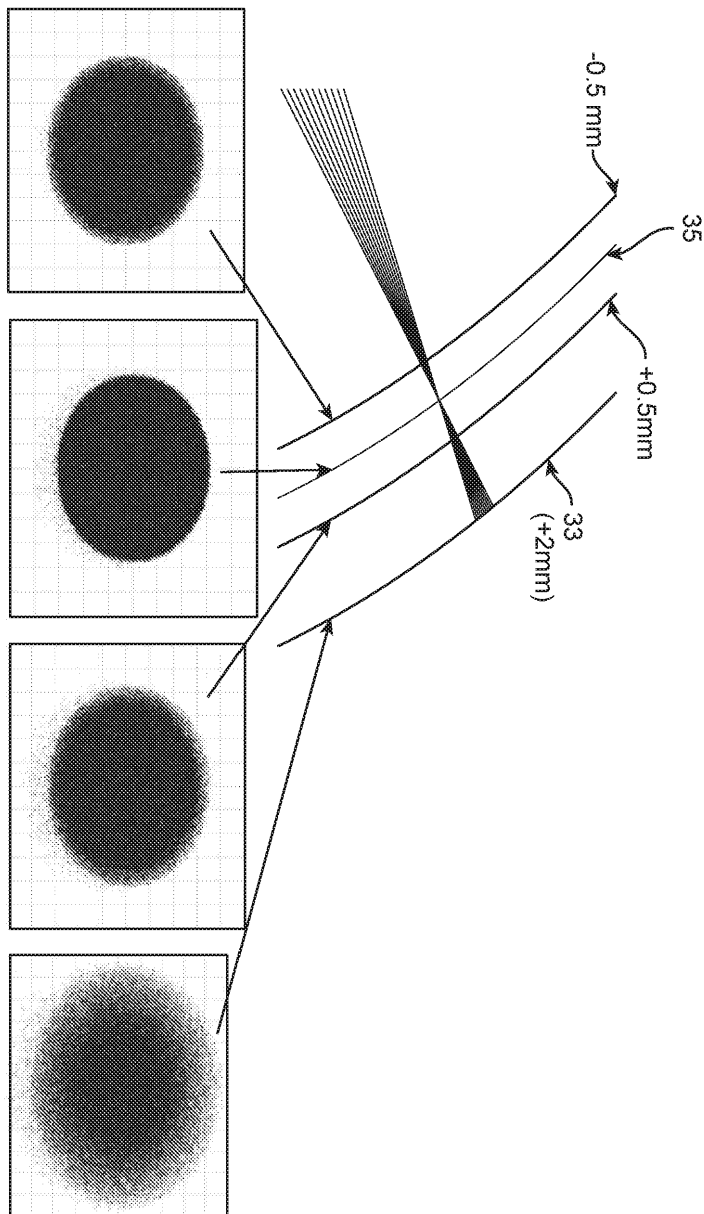
도면14



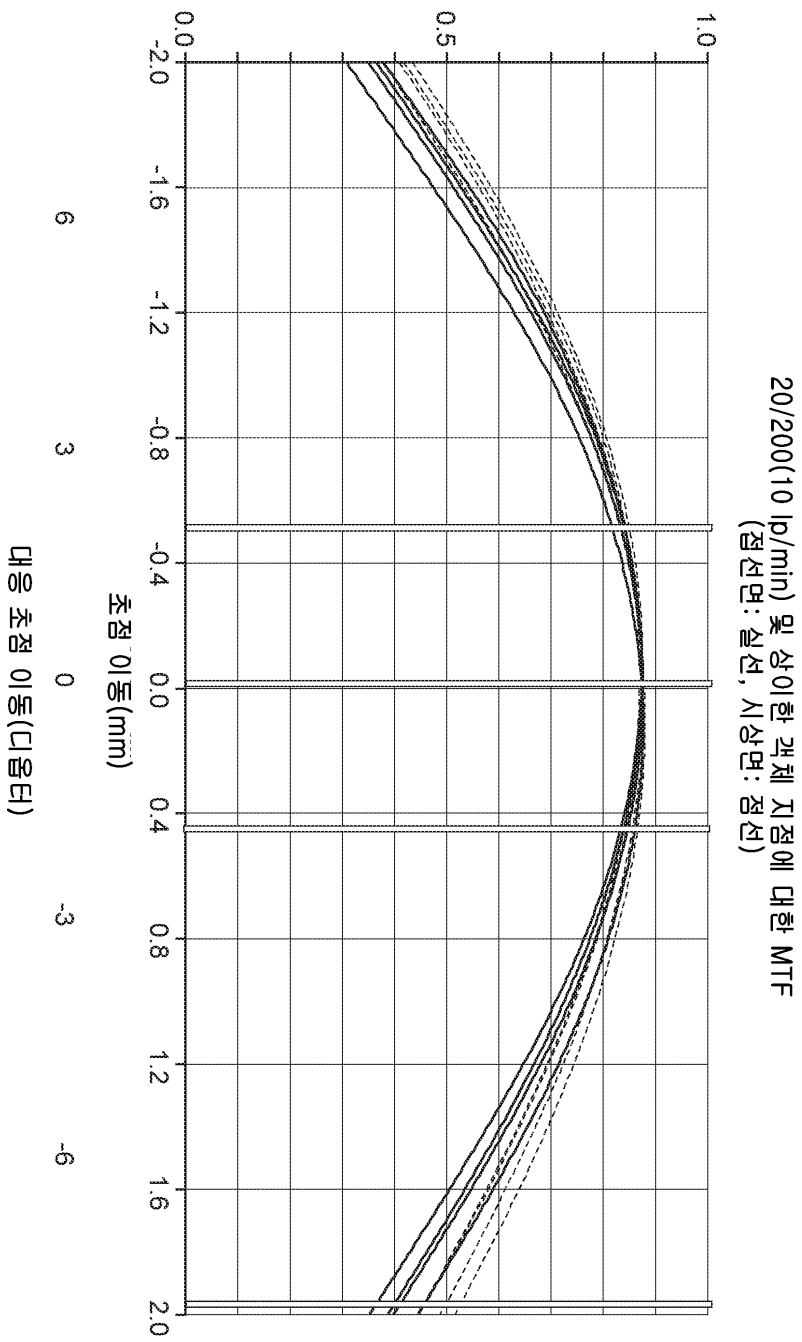
도면15



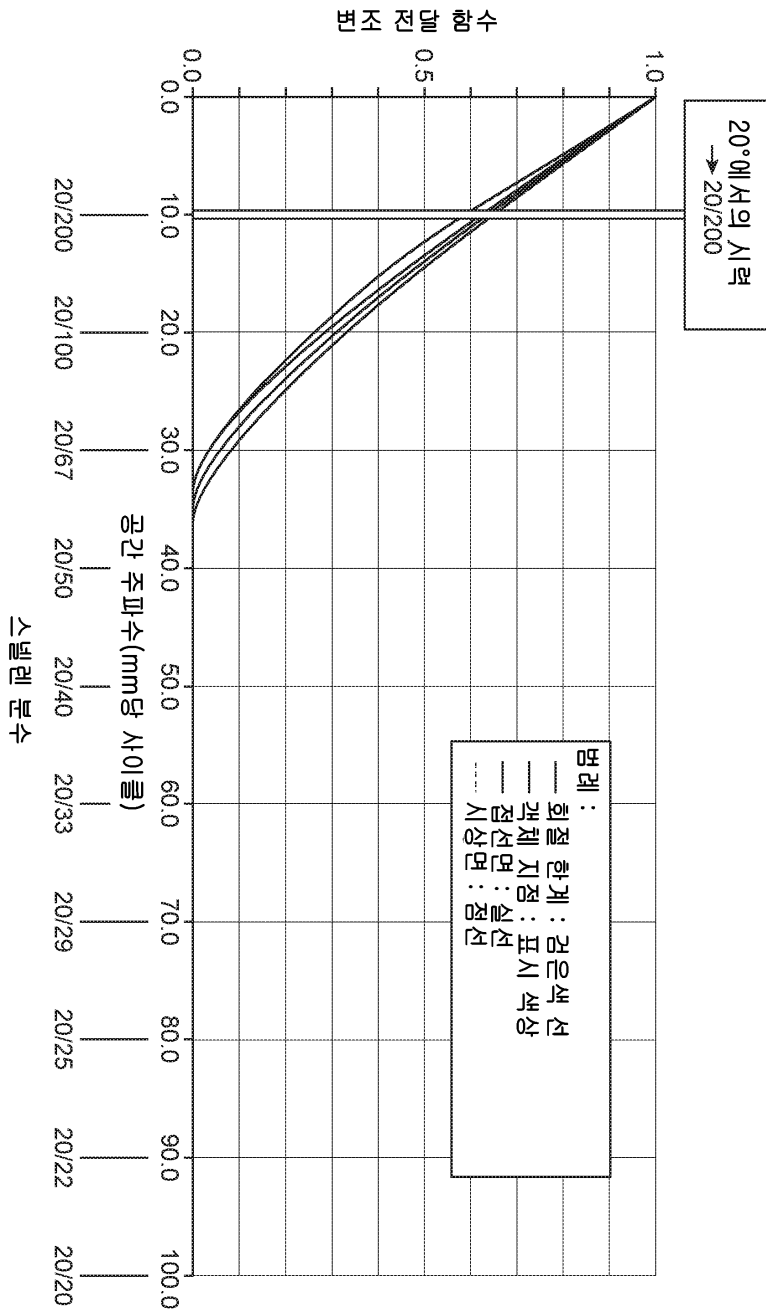
도면16



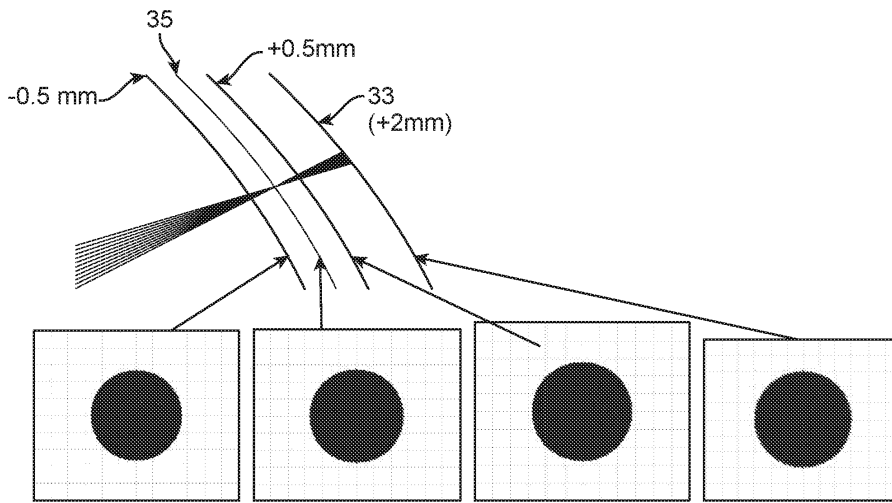
도면17



도면18

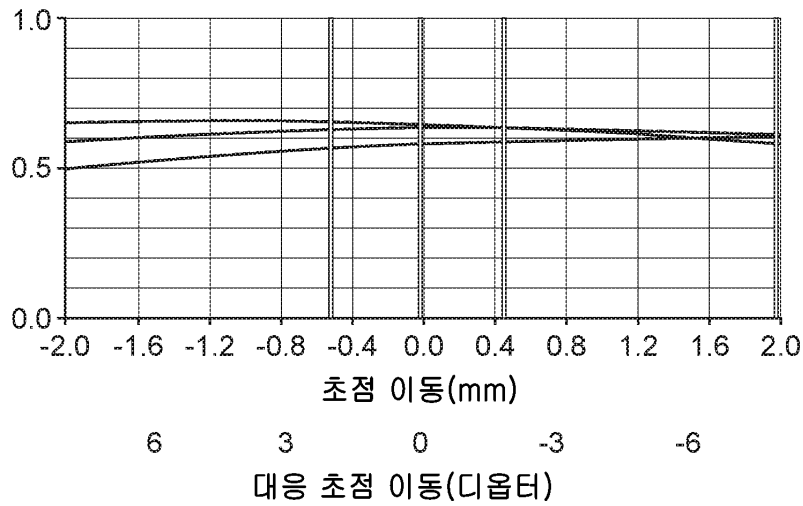


도면19

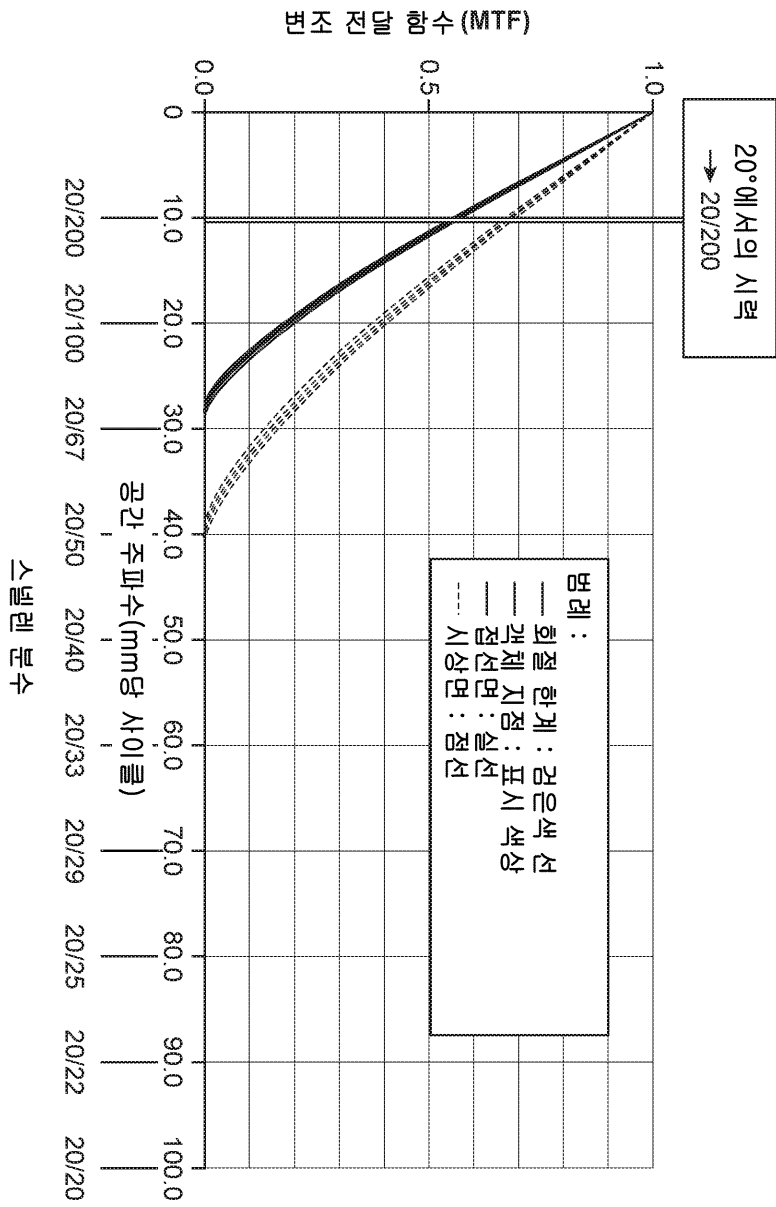


도면20

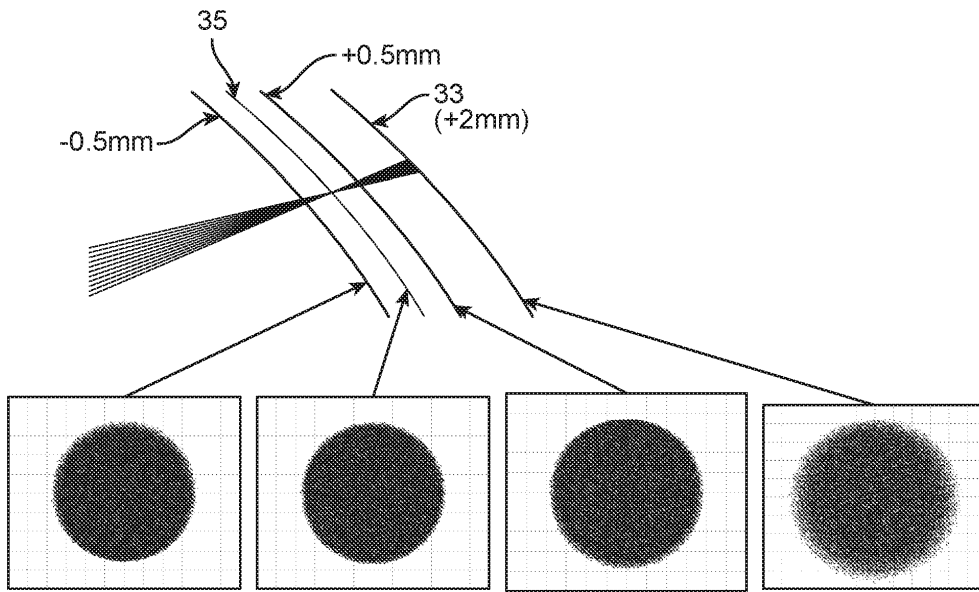
20/200(10 lp/min) 및 상이한 객체 지점에 대한 MTF
(접선면: 실선, 시상면: 점선)



도면21

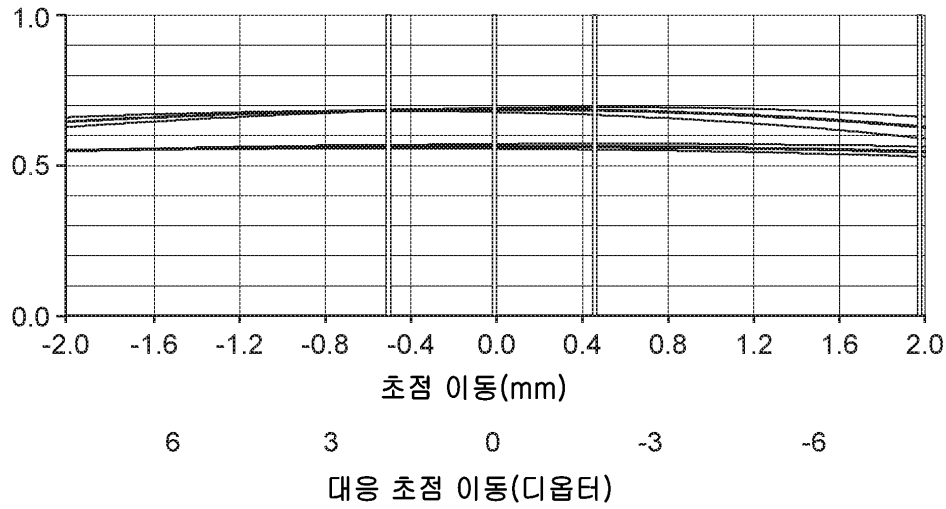


도면22

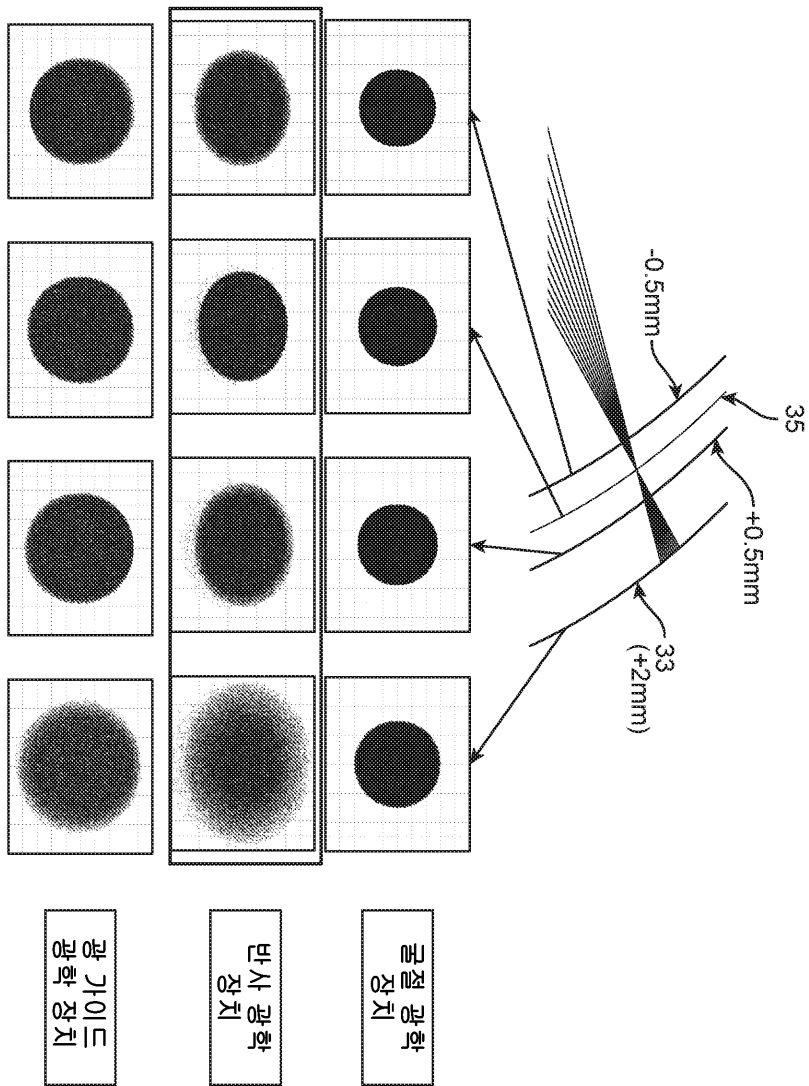


도면23

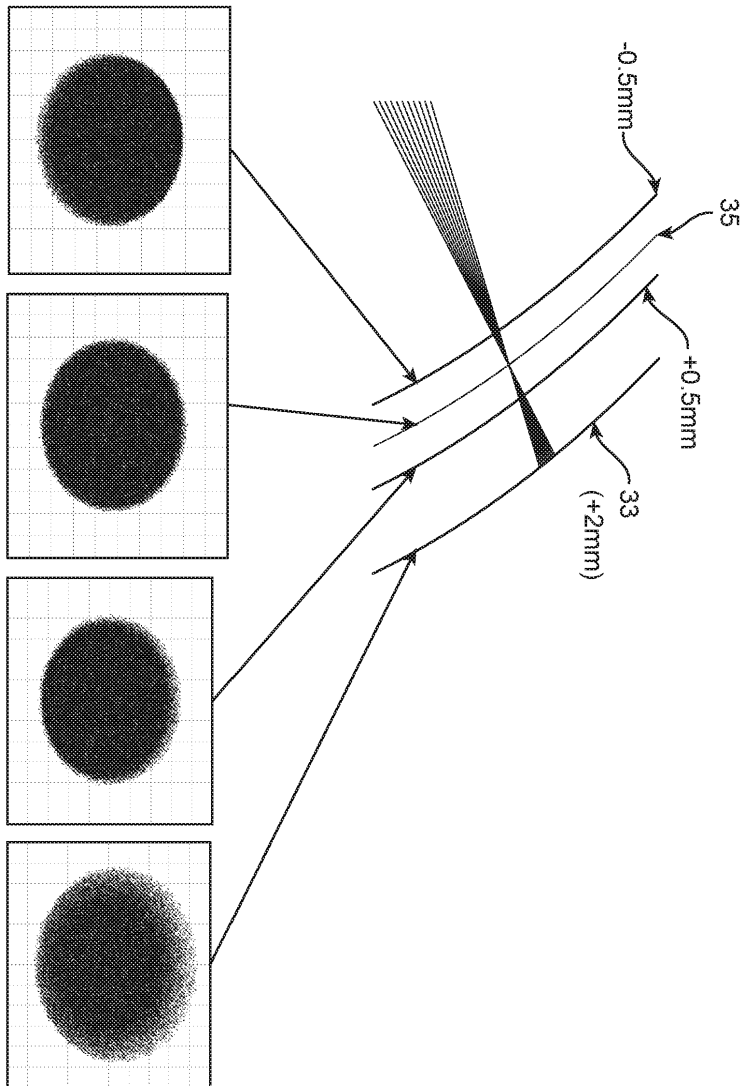
20/200(10 lp/min) 및 상이한 객체 지점에 대한 MTF
(접선면: 실선, 시상면: 점선)



도면24



도면25



도면26

