(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년10월30일
(11) 등록번호 10-2171529
(24) 등록일자 2020년10월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61F 2/16 (2006.01) *A61L 27/14* (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61F 2/1602 (2013.01)
A61F 2/1613 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7004513(분할)
(22) 출원일자(국제) 2015년09월08일
심사청구일자 2020년02월17일
(85) 번역문제출일자 2020년02월17일
(65) 공개번호 10-2020-0019786
(43) 공개일자 2020년02월24일
(62) 원출원 특허 10-2017-7008995
원출원일자(국제) 2015년09월08일
심사청구일자 2017년11월20일
(86) 국제출원번호 PCT/US2015/048961
(87) 국제공개번호 WO 2016/040331
국제공개일자 2016년03월17일
(30) 우선권주장
62/048,135 2014년09월09일 미국(US)
(뒷면에 계속)
(56) 선행기술조사문헌
KR101248488 B1
WO2008080464 A1
US20100057202 A1
JP2001235712 A

(73) 특허권자
스타 서지컬 컴퍼니
미국, 캘리포니아 91016, 몬로비아, 워커 애비뉴 1911
(72) 발명자
핀토 칸디도 디오니시오
미국 캘리포니아 92016, 몬로비아, 워커 애비뉴 1911
페이 콘스탄체 엘리자베스
미국 캘리포니아 92016, 몬로비아, 워커 애비뉴 1911
(74) 대리인
박원미

전체 청구항 수 : 총 19 항 심사관 : 이훈재

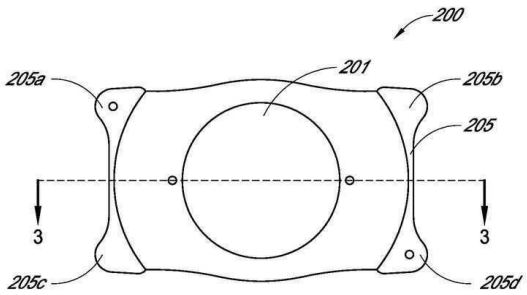
(54) 발명의 명칭 **확장된 피사계 심도 및 향상된 원거리 시력의 안과용 임플란트**

(57) 요 약

인간 눈에 이식되도록 구성된 렌즈는, 투명 물질을 포함하는 광학부를 포함할 수 있다. 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 가질 수 있다. 상기 전방 표면은 볼록이고 상기 후방 표면은 오목이어서 상기 광학부는 메니스커스 형상이다. 볼록 전방 표면 및 오목 후방 표면 각각은 표면 정점을 가질 수 있다. 상기 광학부는 상기 표면 정

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도2



점을 지나는 광학축을 가질 수 있으며 상기 광학축을 따라 약 100 내지 700 마이크로미터 사이의 두께를 가진다. 본원에 따른 렌즈는 또한 눈에 이식될 때 상기 광학부를 눈에 고정시키기 위하여 상기 광학부의 주위에 배치되는 햅틱을 또한 포함할 수 있다. 상기 전방 및 후방 표면은 비구면을 포함할 수 있다.

(52) CPC특허분류
A61F 2/164 (2015.04)
A61F 2/1643 (2015.04)
A61L 27/14 (2013.01)
A61F 2002/1681 (2013.01)

(30) 우선권주장
62/048,705 2014년09월10일 미국(US)
62/149,481 2015년04월17일 미국(US)

명 세 서

청구범위

청구항 1

변형된 모노비전을 제공하기 위해서 대상체의 제 1 및 제 2 눈 각각에 이식되도록 구성되는, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈로서,

상기 제 1 렌즈는 양의 피사계 심도를 갖도록 구성되며, 상기 제 1 렌즈는 투명한 물질을 포함하는 광학부(optic)을 포함하며, 상기 제 1 렌즈의 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 가지며, 상기 전방 표면은 비구면 표면을 포함하며,

상기 제 1 렌즈의 상기 전방 및 후방 표면은, 상기 제 1 렌즈의 상기 광학부가 구경이 4 내지 6 밀리미터 크기인 모델 눈에 삽입될 때, 0 내지 2.0 디옵터(D) 또는 0 내지 2.5 디옵터(D)의 범위내에서 최소 90%의 피사체 양안전도에 대해 밀리미터 당 100라인에서 0.1 및 0.4 사이의 평균 MTF(modulation transfer function) 수치를 제공하도록 성형되며,

상기 제 1 렌즈의 상기 평균 MTF 수치는, 축의 피사체에 대한 명순응 시감도 함수(photopic luminosity function)에 의해 가중된 400 내지 700 nm의 파장에 걸쳐 적분된 밀리미터 당 100 라인에서의 MTF 수치를 포함하며,

상기 제 2 렌즈는 음의 피사계 심도를 갖도록 구성되며, 상기 제 2 렌즈는 투명한 물질을 포함하는 광학부를 포함하며, 상기 제 2 렌즈의 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 가지며, 상기 전방 표면은 비구면을 포함하며,

상기 제 2 렌즈의 상기 전방 및 후방 표면은, 상기 제 2 렌즈의 상기 광학부가 구경이 4 내지 6 밀리미터 크기인 모델 눈에 삽입될 때, -2.0 내지 0 D 또는 -2.5 내지 0 D 범위내에서 최소 90%의 피사체 양안전도에 대해 밀리미터 당 100라인에서 0.1 및 0.4 사이의 평균 MTF 수치를 제공하도록 성형되며,

상기 제 2 렌즈의 상기 평균 MTF 수치는, 축의 피사체에 대한 명순응 시감도 함수에 의해 가중된 400 내지 700 nm의 파장에 걸쳐 적분된 밀리미터 당 100 라인에서의 MTF 수치를 포함하며,

그 결과 상기 제 1 및 제 2 렌즈가 각각 대상체의 제 1 및 제 2 눈에 삽입될 때, 상기 제 1 렌즈의 상기 양의 피사계 심도는 상기 대상체에게 근거리 피사체의 방향으로 확장된 피사계 심도를 제공하고, 그리고 상기 제 2 렌즈의 상기 음의 피사계 심도는 상기 대상체에게 보다 원거리의 피사체의 방향으로 확장된 피사계 심도를 제공하는 것인, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 및 제 2 렌즈에 의해 제공되는 총 피사계 심도는 상기 제 1 렌즈 또는 상기 제 2 렌즈 단독에 의해 제공되는 피사계 심도 보다 큰 것인, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 모델 눈은 Liou-Brennan 모델 눈, Badal 모델 눈, Arizona 모델 눈, 및 Indiana 모델 눈으로 구성되는 군으로부터 선택되는 것인, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 또는 상기 제 2 렌즈의 상기 MTF 수치는 상기 제 1 렌즈 또는 상기 제 2 렌즈의 상기 광학부가 상기 모델 눈에 유수정체 배치(phakic configuration)로 삽입될 때 제공되는 것인, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 또는 상기 제 2 렌즈의 상기 MTF 수치는 상기 제 1 렌즈 또는 상기 제 2 렌즈의 상기 광학부가 상기 모델 눈에 무수정체 배치(aphakic configuration)로 삽입될 때 제공되는 것인, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

하나 이상의 상기 제 1 렌즈 및 상기 제 2 렌즈는 햅틱부 (haptic portion)를 포함하는 것인, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 또는 상기 제 2 렌즈의 상기 광학부는 광학축을 가지며, 그리고 상기 광학축을 따라 100 내지 700 마이크로미터 사이의 두께를 갖는, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 또는 상기 제 2 렌즈의 상기 광학부는 광학축을 가지며, 그리고 상기 광학축을 따라 700 마이크로미터 내지 4 밀리미터 사이의 두께를 갖는, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 또는 상기 제 2 렌즈의 상기 광학부는 상기 광학축을 따라 700 마이크로미터 내지 2 밀리미터 사이의 두께를 갖는, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 구경 크기는 6 밀리미터인, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 구경 크기는 4 밀리미터인, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈의 상기 전방 및 후방 표면은 0 내지 2.0 D 또는 0 내지 2.5 D의 범위내에서 최소 95%의 피사체 양안전도에 대해 밀리미터 당 100라인에서 0.1 및 0.4 사이의 평균 MTF 수치를 제공하도록 성형되는 것인, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 렌즈의 상기 전방 및 후방 표면은 -2.0 내지 0 D 또는 -2.5 내지 0 D의 범위내에서 최소 95%의 피사체 양안전도에 대해 밀리미터 당 100라인에서 0.1 및 0.4 사이의 평균 MTF 수치를 제공하도록 성형되는 것인, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 14

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈의 상기 전방 및 후방 표면은 상기 광학부가 구경이 4 내지 6 밀리미터 크기인 모델 눈에 삽입될 때, 0 내지 2.0 D 또는 0 내지 2.5 D의 범위내에서 최소 90%의 피사체 양안전도에 대해 상역전이 없는 MTF를 제공하도록 성형되는 것인, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈의 상기 전방 및 후방 표면은 상기 광학부가 구경이 4 내지 6 밀리미터 크기인 모델 눈에 삽입될 때, 0 내지 2.0 D 또는 0 내지 2.5 D의 범위내에서 최소 95%의 피사체 양안전도에 대해 상역전이 없는 MTF를 제공하도록 성형되는 것인, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 16

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 렌즈의 상기 전방 및 후방 표면은 상기 광학부가 구경이 4 내지 6 밀리미터 크기인 모델 눈에 삽입될 때, -2.0 내지 0 D 또는 -2.5 내지 0 D의 범위내에서 최소 90%의 피사체 양안전도에 대해 상역전이 없는 MTF를 제공하도록 성형되는 것인, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 제 2 렌즈의 상기 전방 및 후방 표면은 상기 광학부가 구경이 4 내지 6 밀리미터 크기인 모델 눈에 삽입될 때, -2.0 내지 0 D 또는 -2.5 내지 0 D의 범위내에서 최소 95%의 피사체 양안전도에 대해 상역전이 없는 MTF를 제공하도록 성형되는 것인, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

청구항 18

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈는 상기 대상체의 우세안(dominant eye)에 이식되도록 구성되고 (adapted to), 상기 제 2 렌즈는 상기 대상체의 비-우세안에 이식되도록 구성되는(adapted to), 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의

렌즈.

청구항 19

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈는 원거리 시력을 교정하도록 구성되며, 상기 제 2 렌즈는 근거리 시력을 교정하도록 구성되는 것인, 제 1 및 제 2 렌즈로 구성되는 한 쌍의 렌즈.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본원은 눈 임플란트, 예를 들면 확장된 피사계 심도를 갖는 눈 임플란트에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 도 1은 인간 눈의 개략도이다. 도 1에 나타난 바와 같이, 인간 눈 100에는 각막 110, 홍채 115, 자연 수정체 120, 및 망막 130이 포함되어 있다. 빛은 눈 100으로 들어가 각막 110을 통해 동공으로 향하는데, 동공은 홍채 115의 중심에 있는 구멍(opening)이다. 홍채 115 및 동공은 눈 100으로 들어가는 빛의 양을 조절하는 것을 돕는다. 밝은 조명 조건에서, 홍채 115는 동공을 닫아 빛을 적게 들어오게 하고, 반면 어두운 조명 조건에서는, 홍채 115는 동공을 열어 더 많은 빛이 들어오게 한다. 홍채 115의 후방에 자연 수정체 렌즈 120이 있다. 각막 110 및 수정체 120은 빛을 굴절시켜 망막을 향해 초점을 맞춘다. 시력(visual acuity) 20/20인 눈 100에서, 수정체 렌즈 120은 빛이 눈 뒤에 있는 망막 130에 초점을 맞추도록 한다. 망막 130은 빛을 감지하여 전기적 펄스(electrical impulse)를 만들고, 이는 시신경 140을 통해 뇌로 전달된다. 눈이 빛에 제대로 초점을 맞추지 못할 때, 교정 및/또는 인공 렌즈가 사용되어 왔다.

미국 공개특허공보 제2010/0087921호는 안과용 비구면 회절 렌즈를 기술한다. 예를 들면 전방 표면 및 후방 표면을 갖는 광학부를 포함하는 다초점 인공수정체 (IOL)가 개시되며, 상기 전방 표면 및 후방 표면 중 적어도 하나는 비구면 기저 프로파일을 포함하며, 그 일부에는 복수의 회절 구역이 배치되어 원거리 초점 및 근거리 초점을 생성한다.

[0003] 인용에 의해 본 명세서에 포함되는, 본원이 우선권을 주장하는 출원

[0004] 본 출원은 각각 2014년 9월 9일, 2014년 9월 10일 및 2015년 4월 17일에 출원된, 미국 가출원 No. 62/048135, No. 62/048705, 및 No. 62/149481에 대하여 우선권을 주장한다. 상기 각 앞선 출원의 내용은 본 참조에 의해 그 전문이 본 명세서에 포함됨을 명시적으로 밝혀둔다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본원은 과제의 해결 수단에 기재된 것과 같은 렌즈를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 본원에 기재된 일 실시예는 인간 눈에 이식되도록 구성된 렌즈를 포함한다. 상기 렌즈는 투명 물질을 포함하는 광학부(optic)을 포함할 수 있다. 상기 렌즈는 또한, 눈 안에 이식될 때 눈에 광학부를 고정시키기 위해 광학부 주변에 배치되는 햅틱부(haptic portion)을 포함할 수 있다. 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 포함할 수 있다. 상기 전방 표면은 볼록이고 상기 후방 표면은 오목이어서, 상기 광학부는 메니스커스(meniscus) 형상일 수 있다. 상기 볼록 전방 표면 및 오목 후방 표면 각각은 표면 정점(surface vertex)을 가질 수 있다. 상기 광학부는 상기 표면 정점을 지나는 광학축(optical axis)을 가질 수 있다. 다양한 실시예에서, 광학축에 따른 두께는 약 100-700마이크로미터(또는 이들 범위내 어느 수치에 의해 형성되는 모든 범위) 사이일 수 있다. 또한, 상기 전방 및 후방 표면은 비구면을 포함할 수 있다.

[0007] 본원에 기재된 일 실시예는 인간 눈에 이식되도록 구성된 렌즈를 포함할 수 있다. 상기 렌즈는 투명 물질을 포함하는 광학부를 포함할 수 있다. 상기 렌즈는 또한 눈 안에 이식될 때 눈에 광학부를 고정시키기 위하여 상기 광학부과 관련하여 배치되는 최소 하나의 햅틱을 포함할 수 있다. 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 가질 수 있다. 상기 전방 표면은 볼록이고 상기 후방 표면은 오목이어서 상기 광학부는 메니스커스 형상일 수 있다. 볼록 전방 표면 및 오목 전방 표면은 각각 표면 정점을 가질 수 있다. 상기 광학부는 상기 표면 정점을 지나는 광학축을 가질 수 있다. 다양한 실시예에서, 상기 전방 및 후방 표면은 비구면을 포함할 수 있다. 상기 전방 표면은, 광학축으로부터의 방사상 거리의 비구면 고차 함수를 포함하는 섭동(perturbation)에 의한 코닉 또는 이중 코닉 오프셋을 포함하는 비구면 형상을 가질 수 있다.

[0008] 이러한 몇몇 실시예에서, 비구면 고차함수는 최소 하나의 짝수항, $a_{2n}r^{2n}$을 포함할 수 있는데, 상기에서 n은 정수이고 a_{2n}는 계수이며 r은 광학축으로부터의 방사상 거리이다. 예를 들어, 비구면 고차 함수는 2차 항, a_2r^2을 포함할 수 있으며, 상기에서 a_2는 계수이고 r은 광학축으로부터의 방사상 거리이다. 또다른 예에서, 상기 비구면 고차 함수는 4차 항, a_4r^4을 포함할 수 있으며, 상기에서 a_4는 계수이고 r은 광학축으로부터의 방사상 거리이다. 상기 비구면 고차 함수는 6차 항, a_6r^6을 포함할 수 있으며, 상기에서 a_6는 계수이고 r은 광학축으로부터의 방사상 거리이다. 나아가, 상기 비구면 고차 함수는 8차 항, a_8r^8을 포함할 수 있으며, 상기에서 a_8는 계수이고 r은 광학축으로부터의 방사상 거리이다. 렌즈에 대한 일 실시예에서, 상기 광학부는 약 100-700 마이크론(또는 이 범위 내의 임의의 수치에 의해 정의되는 임의의 범위)사이의 광학축에 다른 두께를 가질 수 있다. 다양한 실시예에서, 전방 표면은 섭동에 의한 이중 코닉 오프셋을 포함하는 비구면 형상을 가진다.

[0009] 본원에 기재된 일 실시예는 인간 눈에 이식되도록 구성된 렌즈를 포함한다. 상기 렌즈는 투명 물질을 포함하는 광학부를 포함할 수 있다. 상기 렌즈는 또한 눈 안에 이식될 때 눈에 있는 광학부과 관련하여 배치되는 최소 하나의 햅틱을 포함할 수 있다. 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 가질 수 있다. 상기 전방 표면은 볼록이고 상기 후방 표면은 오목이어서 상기 광학부는 메니스커스 형상일 수 있다. 볼록 전방 표면 및 오목 후방 표면은 각각 표면 정점을 가질 수 있다. 상기 광학부는 표면 정점을 통과하는 광학축을 가질 수 있다. 다양한 실시예에서, 상기 전방 및 후방 표면은 비구면을 포함할 수 있다. 후방 표면은, 광학축으로부터의 방사상 거리에 대한 비구면 고차 함수를 포함하는 섭동에 의한 코닉 또는 이중 코닉 오프셋을 포함하는 비구면 형상을 가질 수 있다. 다양한 실시예에서, 후방 표면은 섭동에 의한 이중 코닉 오프셋을 포함하는 비구면을 가진다.

[0010] 본원에 기재된 일 실시예는 인간 눈에 이식되도록 구성된 렌즈를 포함한다. 상기 렌즈는 투명 물질을 포함하는 광학부를 포함할 수 있다. 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 가질 수 있다. 상기 전방 표면은 비구면을 포함할 수 있다. 상기 전방 및 후방 표면은 또한, 구경(aperture) 크기가 2 내지 6 밀리미터, 3 내지 6 밀리미터, 또는 4 내지 6 밀리미터 크기 (예를 들어, 구경 크기는 2 mm, 3 mm, 4 mm, 6 mm, 이들 범위내의 임의의 수치, 또는 이러한 수치에 의해 정의되는 임의의 범위일 수 있다.)의 인간 눈에 광학부를 삽입할 때, 0 내지 2.5 디옵터(D)의 범위 내 최소 90%의 피사체 양안전도(vergence)에 대해 밀리미터 당 100라인의 0.1 및 0.4 사이의 평균 MTF(modulation transfer function) 수치를 제공하도록 성형될 수 있다. 상기 평균 MTF 수치는, 축의 피사체에 대해 명순응 광도 함수(photopic luminosity function)에 의해 가중된 약 400 내지 700 nm의 파장에 걸쳐 적분된 밀리미터 당 100 라인에서의 MTF 수치를 포함할 수 있다.

[0011] 다양한 실시예에서, 인간 눈은 수정체 렌즈를 포함하며, 광학부가 수정체 렌즈의 전방에 삽입될 때 평균 MTF 수치가 제공된다. 다양한 다른 실시예에서, 인간 눈에서 수정체 렌즈가 제거되고, 수정체 렌즈의 위치에 광학부가 삽입될 때 MTF 수치가 제공된다. 상기 렌즈는 추가로 햅틱 부(haptic portion)을 포함할 수 있다. 또한, 상기 광학부는 광 축 및, 약 100-700 마이크론(또는 이 범위의 임의의 수치에 의해 정의되는 임의의 범위) 사이의 광학축을 통과하는 두께를 가질 수 있다.

[0012] 본원에 기재된 일 실시예는 인간 눈에 이식되도록 구성된 렌즈를 포함한다. 상기 렌즈는 투명 물질을 포함하는 광학부를 포함할 수 있다. 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 가질 수 있다. 상기 전방 표면은 비-구면 표면을 포함할 수 있다. 상기 전방 및 후방 표면 역시, 구경이 2 내지 6 밀리미터, 3 내지 6 밀리미터, 또는 4 내지 6 밀리미터 크기(예를 들어, 구경 크기는 2 mm, 3 mm, 4 mm, 6 mm, 이들 범위내 임의의 수치, 또는 이러한 수치에 의해 정의되는 임의의 범위 일 수 있다)인 모델 눈에 광학부를 삽입할 때, 0 내지 2.5 디옵터(D)의 범위 내에서 최소 90%의 피사체 양안전도에 대해 밀리미터 당 100라인의 0.1 및 0.4 사이의 평균 MTF(modulation

transfer function) 수치를 제공하도록 성형될 수 있다. 상기 평균 MTF 수치는, 축의 피사체에 대해 명순응 광도 함수(photopic luminosity function)에 의해 가중된 약 400 내지 700 nm 파장에 걸쳐 적분된, 밀리미터 당 100라인의 MTF 수치를 포함할 수 있다.

[0013] 상기 모델 눈은 Liou-Brennan 모델 눈을 포함할 수 있다. 또한 상기 모델 눈은 Badal 모델 눈을 포함할 수 있다. 추가로 상기 모델 눈은 Arizona 모델 눈 또는 Indiana 모델 눈을 포함할 수 있다. 기타 표준화된 또는 동등한 모델 눈이 사용될 수 있다.

[0014] 몇몇 실시예에서, 유수정체 배치(phakic configuration)로 모델 눈에 상기 광학부가 삽입될 때 상기 MTF 수치가 제공될 수 있다. 몇몇 다른 실시예에서, 무수정체 배치(aphakic configuration)로 모델 눈에 상기 광학부가 삽입될 때 상기 MTF 수치가 제공될 수 있다. 상기 렌즈는 나아가 햅틱부를 추가로 포함할 수 있다. 나아가, 상기 광학부는 광학축 및, 약 100-700 마이크론(또는 이 범위 내 임의의 수치에 의해 정의되는 임의의 범위) 사이의 광학축을 통과하는 두께를 가질 수 있다.

[0015] 본원에 기재된 일 실시예는 인간 눈에 이식되도록 구성된 렌즈를 포함한다. 상기 렌즈는 투명 렌즈를 포함하는 광학부를 포함할 수 있다. 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면 및 출사동(exit pupil)을 가질 수 있다. 상기 전방 표면은 비구면을 포함할 수 있다. 0 내지 2.5 디옵터(D)의 피사체 양안전도에 대해 상기 광학부의 출사동에서 파면에 대해 $\Phi(r) = a + br^2 + cr^4 + dr^6 + er^8$ 로 특징지어지는 반지름 (radial power) 승수 프로파일을 제공하도록 전방 및 후방 표면이 성형될 수 있으며, 상기에서 r은 전방 및 후방 표면에서 표면 정점을 통과하여 확장되는 광학축으로부터의 방사상 거리이고 a, b, c, d, 및 e는 계수이다.

[0016] 본원에 기재된 일 실시예는 인간 눈에 이식되도록 구성된 렌즈를 포함한다. 상기 렌즈는 투명물질을 포함하는 광학부를 포함할 수 있다. 상기 렌즈는 또한, 눈 안에 이식될 때 광학부가 고정되게 하기 위하여 광학부과 관련하여 배치되는 최소 하나의 햅틱을 포함할 수 있다. 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 포함할 수 있다. 전방 표면 및 후방 표면 각각은 표면 정점을 가질 수 있다. 상기 광학부는 표면 정점을 통과하는 광학축을 가질 수 있다. 광학축에 따른 두께는 약 100-400 마이크로미터(또는 이 범위 내 임이의 수치에 의해 정의되는 임의의 범위) 사이일 수 있다. 또한, 전방 및 후방 표면 중 최소 하나의 표면은 비구면을 포함할 수 있다. 몇몇 실시예에서, 상기 전방 표면은 볼록일 수 있다. 또한, 상기 후방 표면은 오목일 수 있다.

[0017] 본원에 기재된 일 실시예는 인간 눈에 이식되도록 구성된 렌즈를 포함한다. 상기 렌즈는 투명 물질을 포함하는 광학부를 포함할 수 있다. 상기 렌즈는 또한, 눈 안에 이식될 때 눈에 상기 광학부가 고정되게 하기 위하여 광학부과 관련하여 배치되는 최소 하나의 햅틱을 포함할 수 있다. 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 포함할 수 있다. 전방 표면 및 후방 표면 각각은 표면 정점을 가질 수 있다. 상기 광학부는 표면 정점을 통과하는 광학축을 가질 수 있다. 최소 하나의 전방 및 후방 표면은, 광학축으로부터의 방사상 거리에 대한 비구면 고차 함수를 포함하는 섭동을 함유하는 비구면을 포함할 수 있고, 최소 하나의 표면은 이중 코닉을 포함하는 비구면 형상 가질 수 있다. 몇몇 실시예에서, 상기 전방 표면은 볼록일 수 있다. 또한 상기 후방 표면은 오목일 수 있다.

[0018] 본원에 기재된 일 실시예는 인간 눈에 이식되도록 구성된 렌즈를 포함한다. 상기 렌즈는 투명 물질을 포함하는 광학부를 포함할 수 있다. 상기 렌즈는 또한, 눈 안에 이식될 때 눈에 상기 광학부가 고정되게 하기 위하여 광학부과 관련하여 배치되는 햅틱 부분을 포함할 수 있다. 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 포함할 수 있다. 상기 전방 표면 및 후방 표면 각각은 표면 정점을 가질 수 있다. 상기 광학부는 표면 정점을 통과하는 광학축을 가질 수 있다. 두께는 광학축에 따라 약 100-700마이크로미터(또는 이 범위에 있는 임의의 수치에 의해 정의되는 임의의 범위) 사이 일 수 있다. 또한, 전방 및 후방 표면은 비구면을 포함할 수 있다.

[0019] 본원에 기재된 일 실시예는 인간 눈에 이식되도록 구성된 렌즈를 포함한다. 상기 렌즈는 투명 물질을 함유하는 광학부를 포함할 수 있다. 상기 렌즈는 또한, 눈 안에 이식될 때 눈에 광학부가 고정되게 하기 위하여 광학부과 관련하여 배치되는 최소 하나의 햅틱을 포함할 수 있다. 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 포함할 수 있다. 전방 표면 및 후방 표면 각각은 표면 정점을 가질 수 있다. 상기 광학부는 표면 정점을 통과하는 광학축을 가질 수 있다. 최소 하나의 전방 및 후방 표면은, 광학축으로부터의 방사상 거리의 비구면 고차 함수를 포함하는 섭동에 의한, 코닉 또는 이중 코닉 오프셋을 포함하는 비구면을 포함할 수 있다.

[0020] 본원에 기재된, 투명 물질을 포함하는 렌즈에 대한 다양한 실시예에서, 투명물질에는 콜라머가 포함될 수 있다. 상기 투명물질에는 실리콘, 아크릴, 또는 하이드로겔을 포함할 수 있다. 상기 투명 물질은 소수성 또는 친수성 물질을 포함할 수 있다.

[0021] 본원에 기재된 렌즈에 대한 다양한 실시예에서, 전방 표면은 회전 대칭(rotationally symmetric)일 수 있다. 상기 전방 표면은 코닉 또는 이중 코닉 항(term)을 포함하는 형상을 가질 수 있다. 상기 전방 표면은 코닉 또는 이중 코닉 항 및 비구면 고차 섭동 항을 포함하는 형상을 가질 수 있다. 렌즈에 대한 몇몇 실시예에서, 후방 표면은 코닉 또는 이중 코닉 항을 포함하는 형상을 가질 수 있다. 상기 코닉 또는 이중 코닉 항은 제로보다 더 큰 크기를 가지는 코닉 상수를 가질 수 있다. 예를 들어, 코닉 또는 이중 코닉 항은 최소 1의 크기를 가지는 코닉 상수를 가질 수 있다. 또다른 예로서, 상기 코닉 또는 이중 코닉 항은 최소 10의 크기를 가지는 코닉 상수를 가질 수 있다.

[0022] 본원에 기재된 렌즈에 대한 다양한 실시예에서, 전방 표면은 회전 비대칭(rotationally asymmetric)일 수 있다. 상기 전방 표면은 광학부의 광학축에 따라 상이한 방향에 따라 상이한 곡률(curvature)을 가질 수 있다. 예를 들어, 전방 표면은 상기 광학부의 광학축을 통과하는 직각 방향에 따라 상이한 곡률을 가질 수 있다. 전방 표면의 모형은 이중 코닉 항을 포함할 수 있다. 이중 코닉 항은 제로 보다 큰 크기를 가지는 코닉 상수를 가질 수 있다. 예를 들어, 이중 코닉 항은 최소 1의 크기를 가지는 코닉 상수를 가질 수 있다. 또다른 예에서, 코닉 또는 이중 코닉 항은 최소 10의 크기를 가지는 코닉 상수를 가질 수 있다. 본원에 기재된 렌즈의 다양한 실시예에서, 상기 광학부는 광학축을 따라 100-400 마이크로미터 사이의 두께를 가질 수 있다. 예를 들어 광학축에 따른 두께는 100-300 마이크로미터 사이, 100-200 마이크로미터 사이, 200-300 마이크로미터 사이, 300-400 마이크로미터 사이, 또는 이들 범위의 임의의 수치에 의해 정의되는 임의의 범위일 수 있다.

[0023] 본원에 기재된 렌즈의 다양한 실시예에서, 상기 전방 및 후방 표면은, 구경이 2 내지 6 밀리미터, 3 내지 6 밀리미터, 또는 4 내지 6 밀리미터 크기(예를 들어, 구경 크기는 2 ㎜, 3 ㎜, 4 ㎜, 6 ㎜, 이들 범위내 임의의 수치, 또는 이러한 수치에 의해 정의되는 임의의 범위)인 모델 눈에 상기 광학부를 삽입할 때, 0 내지 2.5 디옵터(D)의 범위 내에서 최소 90%의 피사체 양안전도에 대해 밀리미터 당 100 라인에서 0.1 및 0.4 사이의 평균 MTF 수치를 제공하도록 성형될 수 있다. 상기 평균 MTF 수치는, 축의 피사체에 대해 명순응 광도 함수에 의해 가중된 약 400 내지 700 ㎚ 파장에 걸쳐 적분된, 밀리미터 당 100라인의 MTF 수치를 포함할 수 있다. 상기 모델 눈은 Liou-Brennan 모델 눈, Badal 모델 눈, Arizona 모델 눈, Indiana 모델 눈, 또는 기타 표준화되거나 동등한 모델 눈을 포함할 수 있다.

[0024] 이러한 몇몇 실시예에서, 상기 렌즈의 전방 및 후방 표면은, 0 내지 2.5 디옵터(D)의 범위 내 최소 95% 또는 98%의 피사체 양안전도에 대해 밀리미터 당 100라인에서 0.1 내지 0.4 사이의 평균 MTF 수치를 제공하도록 성형될 수 있다.

[0025] 본원에 기재된 렌즈의 다양한 실시예에서, 상기 광학부가 모델 눈에 삽입될 때 0 내지 2.5 디옵터(D)의 범위 내 최소 90%의 피사체 양안전도에 대해 상역전 (phase reversal)이 없는 MTF를 제공하도록 전방 및 후방 표면을 성형할 수 있다. 이러한 몇몇 실시예에서, 상기 광학부가 모델 눈에 삽입될 때 0 내지 2.5 디옵터(D)의 범위 내 최소 95%, 98%, 99% 또는 100%의 피사체 양안전도에 대해 상역전 (phase reversal) 없는 MTF를 제공하도록 전방 및 후방 표면을 성형할 수 있다.

[0026] 본원에 기재된 렌즈의 다양한 실시예에서, 전방 표면은 0 내지 1 ㎜ 사이, 1×10^{-6} 내지 1×10^{-3} ㎜ 사이, 또는 5×10^{-6} 내지 5×10^{-4} ㎜사이의 곡률 반경을 가질 수 있다. 전방 표면은 -1×10^{6} 내지 -100 또는 -3×10^{5} 내지 -2×10^{5} 사이의 코닉 상수를 가질 수 있다. 상기 후방 표면은 0 내지 20 ㎜ 사이의 곡률 반경, R_y를 가질 수 있다. 상기 후방 표면은 0 내지 20 ㎜사이의 곡률 반경, R_x를 가질 수 있다. 상기 후방 표면은 -20 내지 20 ㎜의 코닉 상수, k_y를 가질 수 있다. 상기 후방 표면은 -25 내지 0 ㎜의 코닉 상수, k_x를 가질 수 있다.

[0027] 본원에 기재된 렌즈의 몇몇 실시예에서, 상기 렌즈는 눈의 자연 렌즈 전방에 위치하도록 구성될 수 있다. 상기 렌즈의 몇몇 실시예에서, 상기 렌즈는 캡슐 백에 위치하도록 구성될 수 있다.

[0028] 본원의 일 실시예에는 상기 렌즈에 대한 실시예 중 어느 하나의 렌즈를 이식하는 방법을 포함한다. 상기 방법은 눈 조직에 구멍(opening)를 형성하는 것과 눈의 자연렌즈 전방에 상기 렌즈를 삽입하는 것을 포함한다. 본원에 기재된 일 실시예에는 눈 조직에 구멍를 형성하는 것과 캡슐 백에 상기 렌즈를 삽입하는 것을 포함한다.

[0029] 본원에 기재된 상기 렌즈의 다양한 실시예에서, 상기 광학부는 광학축을 따라 약 700 마이크론 - 4 밀리미터 사이의 두께를 가질 수 있다. 예를 들어 상기 광학축을 따라 두께는 약 700 마이크론 - 3 밀리미터 사이, 약 700 마이크론 - 2 밀리미터 사이, 약 700 마이크론 - 1 밀리미터 사이, 또는 이들 범위 내 임의의 수치에 의해 정의

되는 임의의 범위 일 수 있다.

[0030] 본원에 기재된 일 실시예에는 인간 눈의 좌 및 우의 한 쌍에 이식되도록 구성된 한 쌍의 렌즈를 포함한다. 상기 한 쌍의 렌즈은 제 1 렌즈를 포함한다. 상기 제 1 렌즈는 투명 물질을 포함하는 광학부를 포함할 수 있다. 상기 제 1 렌즈의 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 가질 수 있다. 상기 전방 표면은 비구면을 포함할 수 있다. 상기 제 1 렌즈의 전방 및 후방 표면은, 구경이 2 내지 6 밀리미터, 3 내지 6 밀리미터, 또는 4 내지 6 밀리미터 크기 (예를 들어, 구경 크기는 2 mm, 3 mm, 4 mm, 6 mm, 이들 범위 내 임의의 수치, 또는 이러한 수치에 의해 정의되는 임의의 범위)인 모델 눈에 상기 제 1 렌즈의 광학부를 삽입할 때, 0 내지 2.0 디옵터 또는 0 내지 2.5 디옵터(D)의 범위 내 최소 90%의 피사체 양안전도에 대해 밀리미터 당 100라인에서 0.1 및 0.4 사이의 평균 MTF 수치를 제공하도록 성형될 수 있다. 상기 제 1 렌즈의 평균 MTF 수치는 축 피사체에 대한 명순응 시감도 함수에 의해 가중된 약 400 내지 700 nm 파장에 걸쳐 적분된, 밀리미터 당 100라인의 MTF 수치를 포함할 수 있다.

[0031] 상기 한 쌍의 렌즈은 또한 제 2 렌즈를 포함할 수 있다. 상기 제 2 렌즈는 투명 물질을 포함하는 광학부를 포함할 수 있다. 상기 제 2 렌즈의 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 가질 수 있다. 상기 전방 표면은 비구면을 포함할 수 있다. 상기 제 2 렌즈의 전방 및 후방 표면이, 구경이 2 내지 6 밀리미터, 3 내지 6 밀리미터, 또는 4 내지 6 밀리미터 크기(예를 들어, 구경 크기는 2 mm, 3 mm, 4 mm, 6 mm, 이들 범위 내 임의의 수치, 또는 이러한 수치에 의해 정의되는 임의의 범위)인 모델 눈에 상기 제 2 렌즈의 광학부를 삽입할 때, -2.0 내지 0 디옵터 또는 -2.5 내지 0 디옵터(D)의 범위 내에서 최소 90%의 피사체 양안전도에 대해 밀리미터 당 100라인의 0.1 및 0.4 사이의 평균 MTF 수치를 제공하도록 성형될 수 있다. 상기 제 2 렌즈의 평균 MTF 수치는 축 피사체에 대한 명순응 시감도 함수에 의해 가중된 약 400 내지 700 nm 파장에 걸쳐 적분된, 밀리미터 당 100라인의 MTF 수치를 포함할 수 있다.

[0032] 상기 모델 눈은 Liou-Brennan 모델 눈을 포함할 수 있다. 또는 상기 모델 눈은 Badal 모델 눈을 포함할 수 있다. 추가로 상기 모델 눈은 Arizona 모델 눈 또는 Indiana 모델 눈을 포함할 수 있다. 다른 표준화된 또는 동등한 모델 눈이 사용될 수 있다.

[0033] 한 쌍의 렌즈에 대한 다양한 실시예에서, 상기 제 1 또는 제 2 렌즈의 MTF 수치는, 상기 제 1 또는 제 2 렌즈의 광학부가 유수정체 배치로 모델 눈에 삽입될 때 제공될 수 있다. 다양한 다른 실시예에서, 상기 제 1 또는 제 2 렌즈의 광학부가 무수정체 배치로 모델 눈에 삽입될 때, 상기 제 1 또는 제 2 렌즈의 MTF 수치가 제공될 수 있다.

[0034] 한 쌍의 렌즈에 대한 다양한 실시예에서, 상기 제 1 또는 제 2 렌즈는 햅틱부를 추가로 포함할 수 있다. 상기 제 1 또는 제 2 렌즈의 광학부는 광학축 및, 약 100-700 마이크론 사이인 광학축을 지나는 두께를 가질 수 있다. 다른 실시예에서, 상기 제 1 또는 제 2 렌즈의 광학부는 광학축 및, 약 700 마이크론 - 4 밀리미터사이인 광학축을 지나는 두께를 가질 수 있다. 이러한 몇몇 실시예에서, 상기 광학축을 지나는 두께는 약 700 마이크론 - 3 밀리미터, 약 700 마이크론 - 2 밀리미터, 약 700 마이크론 - 1 밀리미터, 또는 이들 범위내 임의의 수치에 의해 정의되는 임의의 범위에 일 수 있다.

[0035] 한 쌍의 렌즈에 대한 다양한 실시예에서, 0 내지 2.5 디옵터 범위 내 최소 95% 또는 98%의 피사체 양안전도에 대해 밀리미터당 100라인의 0.1 및 0.4 사이인 평균 MTF 수치를 제공하도록 제 1 렌즈의 전방 및 후방 표면이 성형될 수 있다.

[0036] 한 쌍의 렌즈에 대한 다양한 실시예에서, -2.5 내지 0 디옵터 범위 내 최소 95% 또는 98%의 피사체 양안전도에 대해 밀리미터당 100라인의 0.1 및 0.4 사이인 평균 MTF 수치를 제공하도록 제 2 렌즈의 전방 및 후방 표면이 성형될 수 있다.

[0037] 상기 한 쌍의 렌즈의 다양한 실시예에서, 상기 광학부가 모델 눈에 삽입될 때 0 내지 2.5 디옵터 범위 내에서 최소 90%, 95%, 98%, 99% 또는 100%의 피사체 양안전도에 대해 상역전 없는 MTF를 제공하도록 제 1 렌즈의 전방 및 후방 표면이 성형될 수 있다.

[0038] 상기 한 쌍의 렌즈의 다양한 실시예에서, 상기 광학부가 모델 눈에 삽입될 때 -2.5 내지 0 디옵터 범위 내 최소 90%, 95%, 98%, 99% 또는 100%의 피사체 양안전도에 대해 상역전 없는 MTF를 제공하도록 제 2 렌즈의 전방 및 후방 표면이 성형될 수 있다.

[0039] 본원에 기재된 일 실시예는 인간 눈에 이식되도록 구성된 렌즈를 포함한다. 상기 렌즈는 투명 물질을 함유하는 광학부를 포함한다. 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 가질 수 있다. 전방 표면 및 후방 표면 각각은 표면 정점을 가질 수 있다. 상기 광학부는 표면 정점을 지나는 광학축을 가질 수 있다. 최소 하나의 전방 및 후방

표면은 제 1 부 (portion) 및 제 2 부를 가지는 표면을 포함한다. 제 1 부는 광학축을 중심으로 중앙에 배치될 수 있다. 제 2 부는 제 1 부를 둘러쌀 수 있고 제 1 부와 상이한 표면 프로파일을 가질 수 있다. 제 1 부는 확장된 피사계 심도를 제공하도록 구성될 수 있다. 제 2 부는 제 1 부와 비교하여 향상된 원거리 시력 품질 매트릭(enhanced vision quality metric at distance)을 제공하도록 구성될 수 있다.

[0040] 이러한 몇몇 실시예에서, 원거리(distance)에는 무한대에서 2미터 사이의 피사체가 포함될 수 있거나 또는 원거리는 0 D 양안전도가 포함될 수 있다. 상기 렌즈의 다양한 실시예에서, 상기 렌즈는 추가로 제 2 부를 둘러싸는 제 3 부를 포함할 수 있다. 제 3 부는 제 2 부와 상이한 표면 프로파일을 가질 수 있다. 몇몇 실시예에서, 제 3 부는 제 1 부와 유사한 표면 프로파일을 가질 수 있다. 제 2 부는 제 3 부와 비교하여 향상된 원거리 시력 품질 매트릭을 제공하도록 구성될 수 있다. 예를 들어 향상된 원거리 시력 품질 매트릭은 MTF(modulation transfer function), 대비 감도(contrast sensitivity), 이들에서 유도된 것(derivation), 또는 이들의 조합일 수 있다. 몇몇 실시예에서, 제 1 부는, 광학축으로부터의 방사상 거리의 비구면 고차 함수를 포함하는 엔벨로프로부터의 섭동에 의해 오프셋되는 코닉, 이중 코닉, 또는 이중-비구면 엔벨로프를 포함하는 형상을 가질 수 있다.

[0041] 본원에 기재된 일 실시예는 인간 눈에 이식되도록 구성된 렌즈를 포함한다. 상기 렌즈는 투명 물질을 포함하는 광학부를 포함할 수 있다. 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 가질 수 있다. 전방 표면 및 후방 표면 각각은 표면 정점을 가질 수 있다. 상기 광학부는 표면 정점을 통과하는 광학축을 가질 수 있다. 최소 하나의 전방 및 후방 표면은 제 1 부 및 제 2 부를 가지는 표면을 포함할 수 있다. 제 1 부는 광학축으로부터의 방사상 거리의 비구면 고차 함수를 포함하는 엔벨로프로부터의 섭동에 의해 오프셋되는 코닉, 이중 코닉, 또는 이중-비구면 엔벨로프를 포함하는 형상을 가질 수 있다. 제 2 부는 광학축으로부터의 방사상 거리의 비구면 고차 함수를 포함하는 엔벨로프와 관련하여 섭동에 의해 오프셋되지 않는 코닉, 이중 코닉, 또는 이중-비구면 엔벨로프를 포함하는 형상을 가질 수 있다.

[0042] 상기 렌즈의 다양한 실시예에서, 제 1 부는 광학축을 중심으로 중앙에 배치될 수 있다. 제 2 부는 상기 제 1 부를 둘러쌀 수 있다. 몇몇 실시예에서, 상기 렌즈는 제 2 부를 둘러싸는 제 3 부를 포함할 수 있다. 제 3 부는 광학축으로부터의 방사상 거리의 비구면 고차 함수를 포함하는 엔벨로프로부터의 섭동에 의해 오프셋되는 코닉, 이중 코닉, 또는 이중-비구면 엔벨로프를 포함하는 형상을 가질 수 있다. 이러한 몇몇 실시예에서, 제 3 부는 제 1 부와 실질적으로 유사한, 광학축으로부터의 방사상 거리의 비구면 고차 함수를 포함하는 엔벨로프에 대하여 엔벨로프로부터의 섭동에 의해 오프셋되는 코닉, 이중 코닉, 또는 이중-비구면 엔벨로프를 가질 수 있다.

[0043] 본원에 기재된 일 실시예는 인간 눈에 이식되도록 구성된 렌즈를 포함한다. 상기 렌즈는 투명 물질을 포함하는 광학부를 포함한다. 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 가질 수 있다. 전방 표면 및 후방 표면 각각은 표면 정점을 가질 수 있다. 상기 광학부는 표면 정점을 통과하는 광학축을 가질 수 있다. 최소 하나의 전방 및 후방 표면은 제 1 부 및 제 2 부를 가지는 표면을 포함할 수 있다. 제 1 부는 광학축을 중심으로 중앙에 배치될 수 있다. 제 2 부는 제 1 부를 둘러쌀 수 있다. 제 1 부는 확장된 피사계 심도를 제공하는, 제 2 부보다 고차의 구면 수차 제어를 가질 수 있다.

[0044] 다양한 실시예에서, 상기 렌즈는 제 2 부를 둘러싸는 제 3 부를 포함할 수 있다. 제 3 부는 확장된 피사계 심도를 제공하는, 제 2 부보다 고차의 구면 수차 제어를 가질 수 있다. 제 3 부는 제 1 부와 실질적으로 동일한 구면 수차 제어를 가질 수 있다. 제 1 부는, 광학축으로부터의 방사상 거리의 비구면 고차 함수를 포함하는 엔벨로프로부터의 섭동에 의해 오프셋되는 코닉, 이중 코닉, 또는 이중-비구면 엔벨로프를 포함하는 형상을 가질 수 있다.

[0045] 제 3 부를 가지는 렌즈에 대한 다양한 실시예에서, 제 3 부는, 광학축으로부터의 방사상 거리의 비구면 고차 함수를 포함하는 엔벨로프로부터의 섭동에 의해 오프셋되는 코닉, 이중 코닉, 또는 이중-비구면 엔벨로프를 포함하는 형상을 가질 수 있다.

[0046] 광학축으로부터의 방사상 거리의 비구면 고차 함수를 포함하는 엔벨로프로부터의 섭동에 의해 오프셋되는 코닉, 이중 코닉, 또는 이중-비구면 엔벨로프를 포함하는 형상을 가지는 렌즈에 대한 다양한 실시예에서, 비구면 고차 함수는 최소 하나의 짝수 항, $a_{2n}r^{2n}$을 포함할 수 있으며, 상기에서 n은 정수이고 a_{2n}는 계수이며 r은 광학축으로부터의 방사상 거리이다. 예를 들어, 비구면 고차 함수는 2차 항, a_2r^2을 포함할 수 있으며, 상기에서 a_2는 계수이며 r은 광학축으로부터의 방사상 거리이다. 또다른 예에서, 비구면 고차 함수는 4차 항, a_4r^4을 포함할 수 있

으며, 상기에서 a_4는 계수이며 r은 광학축으로부터의 방사상 거리이다. 비구면 고차 함수는 또한 6차 항, a_6r^6을 포함할 수 있으며, 상기에서 a_6는 계수이며 r은 광학축으로부터의 방사상 거리이다. 또한, 비구면 고차 함수는 8차 항, a_8r^8을 포함할 수 있으며, 상기에서 a_8는 계수이며 r은 광학축으로부터의 방사상 거리이다.

[0047] 제 1 부 및 제 2 부를 가지는 렌즈에 대한 다양한 실시예에서, 상기 렌즈는 추가로 제 1 부 및 제 2 부 사이에 불연속성 없는 매끄러운 전이를 제공하는 전이 부분을 포함할 수 있다. 상기 전이 부분은 약 0.1 - 1 ㎜ 범위에서 내경 및 외경 사이에 거리를 가질 수 있다. 제 1 부는 약 2.5 - 4.5 ㎜의 범위에서 최대 횡단면 지름을 가질 수 있다. 예를 들어 제 1 부는 약 3.75 ㎜의 최대 횡단면 지름을 가질 수 있다. 제 2 부는 약 1 - 3.5 ㎜의 범위에서 내경 및 외경 사이에 거리를 가질 수 있다. 몇몇 실시예에서, 제 2 부는 약 0.25 - 1.5 ㎜의 범위에서 내경 및 외경 사이에 거리를 가질 수 있다.

[0048] 렌즈의 다양한 실시예에서, 상기 광학부는 광학축을 따라 약 100- 700 마이크론의 범위(또는 이 범위의 수치 중 어느 것에 의해 형성되는 모든 범위)의 두께를 가질 수 있다. 또한, 상기 광학부는 광학축을 따라 약 700 마이크론 내지 4 밀리미터의 범위(또는 이 범위에 있는 수치 중 어느 것에 의해 형성된 모든 범위)의 두께를 가질 수 있다. 다양한 실시예에서, 상기 렌즈는 또한, 눈에 이식될 때 눈에 광학부를 고정시키기 위하여 상기 광학부과 관련하여 배치되는 최소 하나의 햅틱을 포함할 수 있다. 몇몇 실시예에서, 상기 전방 표면은 제 1 부 및 제 2 부를 가지는 표면을 포함할 수 있다. 전방 표면은 이중 코닉 엔벨로프를 가지는 형상을 포함할 수 있다.

[0049] 본원에 기재된 일 실시예는 인간 눈에 이식되도록 구성된 렌즈가 포함된다. 상기 렌즈는 투명 물질을 포함하는 광학부를 포함할 수 있다. 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 가질 수 있다. 전방 표면 및 후방 표면 각각은 표면 정점을 가질 수 있다. 상기 광학부는 표면 정점을 지나는 광학축을 가질 수 있다. 최소 하나의 전방 및 후방 표면은 제 1 부 및 제 2 부를 가지는 표면을 포함할 수 있다. 제 1 부는 광학축을 중심으로 중앙에 배치될 수 있다. 제 2 부는 제 1 부를 둘러쌀 수 있다. 제 1 부는 확장된 피사계 심도를 제공하기 위하여 구성될 수 있다. 제 2 부는 단초점 거리 포커싱을 제공하도록 구성될 수 있다.

[0050] 이러한 몇몇 실시예에서, 상기 렌즈는 추가로 제 2 부를 둘러싸는 제 3 부를 포함할 수 있다. 제 3 부는 확장된 피사계 심도를 제공하도록 구성될 수 있다. 제 1 부는, 광학축으로부터의 방사상 거리의 비구면 고차 함수를 포함하는 엔벨로프로부터의 섭동에 의해 오프셋되는 코닉, 이중 코닉, 또는 이중-비구면 엔벨로프를 포함하는 형상을 가질 수 있다. 또한, 제 3 부는, 광학축으로부터의 방사상 거리의 비구면 고차 함수를 포함하는 엔벨로프로부터의 섭동에 의해 오프셋되는 코닉, 이중 코닉, 또는 이중-비구면 엔벨로프를 포함하는 형상을 가질 수 있다.

[0051] 제 1 부 및 제 2 부를 가지는 렌즈에 대한 다양한 실시예에서, 제 1 부 및 제 2 부 각각은 커즈틱(caustic)을 가질 수 있다. 제 2 부는 코닉 상수를 가져, 제 2 부의 커즈틱이 제 1 부의 커즈틱과 매끄럽게 혼화되도록 할 수 있다. 몇몇 실시예에서, 상기 제 2 부의 커즈틱은, 상기 제 2 부가 구면을 포함하는 것 보다 상기 제 1 부의 커즈틱과 더 매끄럽게 혼화한다. 제 3 부를 가지는 렌즈의 다양한 실시예에서, 제 2 부 및 제 3 부는 커즈틱을 가질 수 있다. 제 2 부는 코닉 상수를 가져, 제 2 부분의 커즈틱이 제 3 부분의 커즈틱과 매끄럽게 혼화한다. 몇몇 실시예에서, 상기 제 2 부의 커즈틱은, 상기 제 2 부가 구면을 포함하는 것 보다 상기 제 3 부의 커즈틱과 더 매끄럽게 혼화한다.

[0052] 제 1 부 및 제 2 부를 가지는 렌즈에 대한 일 실시예에서, 전방 표면은 볼록이다. 후방 표면은 오목이다. 예를 들어, 전방 표면은 볼록이고 후방 표면은 오목이어서 상기 광학부가 메니스커스 형상일 수 있다. 다양한 다른 실시예에서, 전방 표면은 볼록이다. 몇몇 실시예에서, 전방 표면은 오목일 수 있다. 또한, 제 1 부 및 제 2 부를 가지는 렌즈의 다양한 실시예에서, 제 2 부는, 광학축으로부터의 방사상 거리의 비구면 고차 함수를 포함하는 엔벨로프의 섭동에 의해 오프셋되지 않는 코닉, 이중 코닉, 또는 이중-비구면 엔벨로프를 포함하는 형상을 가질 수 있다.

발명의 효과

[0053] 본원에 따른 인간 눈에 이식되도록 구성된 렌즈는, 투명 물질을 포함하는 광학부를 포함할 수 있다. 상기 광학부는 전방 표면 및 후방 표면을 가질 수 있다. 상기 전방 표면은 볼록이고 상기 후방 표면은 오목이어서 상기 광학부는 메니스커스 형상이다. 볼록 전방 표면 및 오목 후방 표면 각각은 표면 정점을 가질 수 있다. 상기 광학부는 상기 표면 정점을 지나는 광학축을 가질 수 있으며 상기 광학축을 따라 약 100 내지 700 마이크로미터 사이의 두께를 가진다. 본원에 따른 렌즈는 또한 눈에 이식될 때 상기 광학부를 눈에 고정시키기 위하여 상기

광학부의 주위에 배치되는 햅틱을 또한 포함할 수 있다. 상기 전방 및 후방 표면은 비구면을 포함할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0054] 도 1은 인간 눈을 개략적으로 도시한 것이다.

도 2는 본원의 일 실시예에 따른 렌즈 예이다.

도 3A는 본원의 일 실시예에 따른, 눈에 이식된 예시적 렌즈 200의 초음파 사진이다. 도 3B는 도 2에 기재된 예시적 렌즈의 측 단면도이다.

도 4는 도 2에 기재된 예시적 렌즈의 광학부가 측 단면도이다.

도 5A는 예시적 양성 메니스커스(meniscus) 광학부의 개략도이다.

도 5B는 예시적 음성 메니스커스 광학부의 개략도이다.

도 6A는 피사체 공간에서의 피사계 심도(depth of field) 및 화상(이미지) 공간에서의 초점 심도(depth of focus)를 도시적으로 나타낸 것이다.

도 6B는 커즈틱이미지(image caustic) 및 착란원(circle of confusion)을 도시적으로 나타낸 것이다.

도 6C는 표준 구면 렌즈(standard spherical lens) 및 최적화된 과초점 눈에 대한 디포커스(defocus) 커브를 도식화하여 나타낸 것이다.

도 6D는 본원의 일 실시예에 따른 렌즈를 평가하고 디자인하기 위한 예시적 모델을 도식적으로 나타낸 것이다.

도 7A-7B는 확장된 피사체 심도(EDOF : extended depth of field)를 제공하도록 구성되는 제 1 부 (portion), 및 향상된 원거리 시력을 제공하도록 구성되는 제 2 부를 갖는 일 예의 광학부의 전방 표면 및/또는 후방 표면을 도식적으로 나타낸 것이다.

도 8A-8B는 확장된 피사체 심도(EDOF)를 제공하도록 구성되는 제 1 부, 및 향상된 원거리 시력을 제공하도록 구성되는 제 2 부를 갖는 또다른 예의 광학부의 전방 표면 및/또는 후방 표면을 도식적으로 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0055] 근시(myopia=nearsightedness), 원시(hyperopia=farsightedness) 및 난시와 같은 시력 문제는 안경 및 콘택트 렌즈를 사용하여 교정해왔다. 안경 및 콘택트렌즈의 불편함의 문제를 해결하고자 라식(LASIK =laser assisted *in-situ* keratomileusis)과 같은 외과적 기술이 더 흔히 사용되고 있다. 라식에서는 기저조직에 접근하고자 각막에서의 플랩(flap)을 자르기 위하여, 그리고 각막의 형상을 변형시키기 위하여 레이저가 사용된다. 또한, 수정체 주머니내에 인공수정체를 배치하는 방식으로 자연 수정체를 인공 수정체로 교체하는 IOL(IntraOcular lens, 인공수정체)을 이용한 근시 및 백내장(눈의 자연 수정체의 흐려짐) 치료가 수행되었다.

[0056] 시력의 불편함을 치료하기 위한 또다른 해법은 눈의 자연 수정체를 제거하지 않는 유수정체 IOL (phakic IOL)을 사용하는 것이다. 유수정체 IOL은 자연 수정체 렌즈를 제거하지 않고 이식된 투명 렌즈이다. 따라서 각막 및 수정체와 함께 유수정체 IOL은 광 굴절력을 제공하여 피사체의 상이 망막에 맺히게 한다 (반대로, 자연 수정체를 제거하는 수정체대체 IOL (pseudophakic IOL)은 자연 수정체 렌즈를 대체하기 위해, 예를 들어 상기한 바와 같이 백내장을 치료하기 위하여 흐려진 자연수정체를 제거한 후에, 눈 내에 이식되는 렌즈이다). 유수정체 IOL 이식는, 안구류 및 콘택트렌즈의 불편함을 없애기 위하여, 난시 뿐만 아니라 근시와 난시를 교정하기 위하여 사용된다. 또한 눈의 광학부를 자연상태로 되돌리거나 또는 변화하는 시력 교정 또는 개선의 필요성에 대응하기 위해, 유수정체 IOL은 제거되거나 교체될 수 있다.

[0057] 나이가 들면서 노안이 생기는데(가까운 피사체에 초점을 맞출 수 없음), 이는 가까운 피사체를 더이상 볼 수 없을 때 상실된 굴절력을 제공하기 위하여 독서안경을 사용하여 해결한다. 근거리 시야 및 원거리 시야를 개별적으로 초점을 맞추게 하는 다초점 콘택트 렌즈 및 IOL 역시 사용되어 왔는데, 이는 대비 감도(contrast sensitivity)가 상실되고, 환자의 시야에 동측 고스트 이미지(ghost image)가 존재하여 제한적 해결방안이다.

[0058] 본원의 일 실시예에서는, 이에 제한되는 것은 아니지만, 근시, 원시, 난시, 백내장, 및/또는 노안이, 확장된 피사체 심도 및 향상된 시력을 가지도록 시력을 교정하는데 사용되는 안과용 임플란트가 제공된다. 다양한 실시예에서, 안과용 임플란트는 환자, 예를 들어 인간 눈 안으로 이식하도록 구성된 렌즈를 포함한다. 이러한 렌즈는

특히 노안 및 중년 인구에서 발병되는 노안을 치료하는데 유용하다.

[0059] 본원의 일 실시예는 각막 110 및 홍채 115 사이와 같이, 자연 수정체 120의 앞에 이식될 수 있는 유수정체 렌즈(phakic lens) 임플란트를 포함한다. 다른 실시예는 홍채 115 및 수정체 120 사이에 배치되는 것으로 구성된다. 몇몇 실시예는 근시, 원시, 난시, 및/또는 노안을 치료하는데 사용되는 렌즈를 포함한다.

[0060] 또다른 실시예에는 눈 안, 예를 들어 수정체 120을 제거한 후에, 캡슐 백 내에 이식되는 수정체대체 렌즈(pseudophakic lens)를 포함한다. 상기한 바와 같이, 수정체대체 렌즈는 굴절교정을 제공할 뿐만 아니라 백내장을 치료하기 위하여 사용될 수 있다.

[0061] 도 2는 본원에 기재된 다양한 실시예에 따른 렌즈 200의 예 이다. 상기 렌즈 200은 광학 존(optical zone) 또는 광학부 (optic) 201을 포함할 수 이다. 광학부 201은 렌즈 200으로 받는 빛을 전송하거나, 예를 들어 굴절시켜, 초점을 맞춘다. 본 명세서에 상세하게 기재된 바와 같이, 광학부 201은, 빛을 굴절시키거나 초점을 맞추고 피사계 심도 및 시력을 증가시키도록 설계된 광학부 201의 하나 이상의 표면의 표면 형상을 포함할 수 있다. 예를 들어, 몇몇 실시예에서, 광범위한 피사체 양안전도(vergence)(최소 약 0 내지 약 2.5 디옵터 범위내 양안전도, 몇몇 임플란트에서는 최소 약 0 디옵터 내지 약 1.8, 1.9, 2.0, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6., 2.7, 2.8, 2.9, 또는 3.0 디옵터 또는 가능하면 최소 약 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 또는 0.7 디옵터 내지 최소 약 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 내지 3.0 디옵터)에 대해, 높은 시력, 예를 들어 20/20 시력이 되도록하기 위해, 광학부 201이 지속적으로 망막상에 빛이 초점을 맞춰 피사계 심도를 증가시키도록, 광학부 201 표면의 표면 형상이 설계될 수 있다. 추가로, 몇몇 실시예에서, 광학부 201 표면의 표면 형상은 고스트 이미지를 감소시키기 위하여 실질적으로 유사한 규모로 그리고 실질적으로 동측(coaxial)이 되도록 설계될 수 있다.

[0062] 도 2에 나타난 바와 같이, 예시적 렌즈 200 은 또한 햅틱(haptic) 205를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예에서, 햅틱 205에는 렌즈를 내부에 안정화시키고 눈에 렌즈 200을 부착하기 위한 하나 이상의 햅틱 또는 햅틱 부분 205a, 205b, 205c, 및 205d를 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 2에서, 눈 안에 이식 될 때 눈 안에 광학부 201을 부착시키기 위하여 광학부 201 주변에 햅틱 부분 205a, 205b, 205c, 및 205d을 배치한다. 다양한 실시예에서, 캡슐 주머니(capsulary bag) 바깥, 예를 들어 유수정체 IOL 설계처럼 자연 렌즈를 향하여 이식 되도록 렌즈 및 특히 햅틱이 구성될수 있다. 상기한 바와 같이, 유수정체 IOL 임플란트는 홍채 및 자연 렌즈 사이에 이식되도록 구성될 수 있다. 따라서, 일 실시예에서, 햅틱 부분 205a-205d 사이의 접촉 포인트 위치의 전방 위치에 눈의 중심 광학축을 따라 햅틱 201이 배치되도록 햅틱 205가 볼트(vault)될 수 있다. 이러한 배치에 의해 유수정체 눈에서 광학부 201 및 자연 렌즈 사이의 클리어런스(clearance)가 증가되는데, 이로 인해 눈이 적응할 때 자연 렌즈가 조절(flex)된다. 몇몇 경우에, 햅틱 205는, 이식될 때 자연 렌즈의 전방 표면 및 광학부 201의 후방 표면 사이의 접촉이 감소되고, 최소화되거나 금지되도록 최소의 클리어런스를 자연 렌즈에게 제공하도록 구성된다. 몇몇 물질의 경우, 자연 렌즈의 전방 표면 및 광학부 21 사이의 접촉이 허용된다. 몇몇 실시예에서, 동공 건너편 또는 홍채 115의 구멍에 렌즈 200을 이식할 수 있으며, 그 위치에 있을 때 햅틱 부분 205a, 205b, 205c, 및 205d가 홍채 115 아래에 위치할 수 있다. 비록 도 2에 나타난 햅틱 205는 확장된 코너 부분 형상의 네 개의 햅틱 부 205a, 205b, 205c, 및 205d를 포함하지만, 햅틱 또는 햅틱 부의 형상, 크기, 및 수는 특별히 제한되지는 않는다.

[0063] 다양한 이식에서, 예를 들어, 자연 렌즈를 제거한 후에 캡슐 백 내에 이식되도록 렌즈가 구성된다. 이러한 수정체대체 렌즈는 이식 이후에 캡슐 백 내에서 안전한 위치와 방향을 갖도록 하는데 적합한 형상, 크기 및/또는 수의 햅틱을 가질 수 있다. 도 3A는 눈에 이식된, 본원의 일 실시예에 따른 예시적 렌즈 200의 초음파 사진이다.

[0064] 광학부 201은 투명 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 투명 물질은 콜라겐 코폴리머 물질, 하이드로겔, 실리콘, 및/또는 아크릴을 포함할 수 있다. 몇몇 실시예에서, 투명물질은 소수성 물질을 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 투명 물질은 친수성 물질을 포함할 수 있다. 알려진 또는 아직 개발중인 기타 물질이 광학부 201로 사용될 수 있다.

[0065] 일 실시예에서 광학부 201은 특히 예를 들어 캘리포니아 몬로비아(Monrovia)에 있는 STAAR® Surgical Company 사의 Collamer® IOL에 사용된 물질과 유사한 물질인 콜라겐 코폴리머 물질을 포함할 수 있다. 콜라겐 코폴리머 물질의 예에는 하이드록시에틸 메타크릴레이트(HEMA)/생체적합성 폴리머 물질에 근거한 포르신(porcine)-콜라겐이 있다. 콜라겐 코폴리머 물질이 인간 수정체의 것과 유사한 특징을 가질 수 있으므로, 본원에 기재된 렌즈의 일 실시예는 자연 렌즈와 광학적으로 유사하게 작용할 수 있다. 예를 들어, 몇몇 실시예에서, 항-반사 성질 및 약 40%의 물 함량으로 인해, 콜라겐 코폴리머 물질로 만들어진 렌즈 200은 자연 인간 수정체와 유사하게 빛을 전송할 수 있다. 다른 물질로 만들어진 렌즈와 비교하여, 눈 안에 빛을 덜 반사시켜, 더 선명하고 더 분명한 시

력이 생기게 하고, 눈부심, 후광 또는 열악한 야간 시력 발생빈도를 더 적게 한다.

[0066] 콜라겐 코폴리머 물질로 만들어진 렌즈 200에 대한 몇몇 실시예에서, 렌즈 200은 유연하여, 눈에 쉽게 이식되도록 한다. 또한, 콜라겐 코폴리머 물질은 콜라겐으로 만들어지기 때문에, 다양한 실시예에서 렌즈 200은 눈과 생체적합성을 가진다. 몇몇 실시예에서, 렌즈 200은 눈에서 자연적으로 발견되는 물질인 피브로넥틴을 부착시킬 수 있다. 피브로넥틴 층이 렌즈 200 주위에 형성되어, 렌즈 200에 백혈구가 부착되는 것을 저해할 수 있다. 피브로넥틴 코팅은 렌즈 200이 외부 물질로 인식되지 않도록 도울 수 있다. 또한, 렌즈 200이 함유하는 콜라겐처럼, 다양한 실시예에서 렌즈 200은 약간의 음전하를 가질 수 있다. 눈에 있는 단백질 역시 음전하를 가지므로, 이 두 개의 음전하 힘이 렌즈 200의 경계를 따라 서로 만남에 따라, 전하 척력(repulsion)이 렌즈 200으로부터 단백질을 밀어내는 것을 도울 수 있다. 이와 같이, 상기 렌즈 200은 자연적으로 스스로 깨끗하고 클리어하게 유지할 수 있다.

[0067] 또한, 몇몇 실시예에서, 렌즈 200은 자외선 차단제를 함유할 수 있다. 이러한 차단제는 해로운 UVA 및 UVB선이 눈으로 들어가는 것을 방지할 수 있다. 따라서, 일 실시예에서 UV와 관련된 눈 질환 발생이 방지될 수 있다.

[0068] 몇몇 실시예에서, 햅틱 205(또는 하나 이상의 햅틱 부 205a, 205b, 205c, 및 205d)은 또한 광학부 201과 같은 물질로 만들 수 있다. 예를 들어, 햅틱 205는 콜라겐 코폴리머, 하이드로겔, 실리콘, 및/또는 아크릴로 만들어질 수 있다. 몇몇 실시예에서, 햅틱 205는 소수성 물질을 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 햅틱 205는 친수성 물질을 포함할 수 있다. 알려진 또는 아직 개발중인 물질이 또한 햅틱 205에 사용될 수 있다.

[0069] 렌즈 200은 다이아몬드 튜닝, 몰딩, 또는 당해 기술분야에서 알려지거나 아직 개발 중인 다른 기술을 사용하여 제조될 수 있다. 콜라겐 코폴리머 물질로 제조된 렌즈 200의 몇몇 실시예에서, 렌즈 200은 건조 상태로 가공된 후, 렌즈 200을 안정화시키기 위해 수화시킬 수 있다. 다른 물질에 대해서도 역시 유사한 방법이 적용될 수 있다.

[0070] 도 3B는 도 2에 나타난 렌즈 200 예의 측 단면도이고; 도 4는 렌즈 200의 광학부 201의 측 단면도이다. 광학부 201은 전방 표면 201a 및 후방 표면 201b를 가지고 있다. 광학부 201은 또한 렌즈의 광학축이 통과하는 중심 및 광학축(optical axis)을 따라 중심에서의 두께 T_c 를 가진다. 광학축은 전방 및 후방 표면 201a, 201b의 표면 정점을 통과한다. 광학부 201의 정확한 크기는 환자의 동공 크기, 렌즈 200의 물질 및 환자의 처방에 따라 좌우된다. 몇몇 실시예에서, 예를 들어, 유수정체 렌즈에 대해, 광학부 201의 중심 T_c 에서의 두께는 상대적으로 ?게 만들 수 있다. 예를 들어, 광학부 201의 중심에서의 두께는 약 100 내지 약 700 마이크로미터, 약 100 내지 약 600 마이크로미터, 약 100 내지 약 500 마이크로미터, 약 100 내지 약 400 마이크로미터, 약 100 내지 약 300 마이크로미터, 약 100 내지 약 200 마이크로미터일 수 있으며, 렌즈 200은 환자 및 다른 이들에게 비교적 눈에 띄지 않을 수 있다. 더 ?은 렌즈는 또한 눈 조직, 예를 들어 각막을 통과하여 렌즈를 삽입하는 과정을 간단하게 한다. 예를 들어, 상기 광학부는 약 110, 115, 120, 130, 140, 또는 150 내지 약 200, 300, 또는 400 마이크로미터, 상기 임의의 수치 사이의 임의의 수치, 또는 상기 임의의 수치에 의해 정의되는 임의의 범위의 수치를 가진다. 광학부 201의 중심 T_c에서의 두께는 따라서 상기에 기재된 임의의 수치 사이의 임의의 두께일 수 있으며, 예를 들어 하기의 임의의 수치 사이의 범위에 있는 두께일 수 있다: 100 마이크로미터, 110 마이크로미터, 115 마이크로미터, 120 마이크로미터, 130 마이크로미터, 140 마이크로미터, 150 마이크로미터, 200 마이크로미터, 250 마이크로미터, 300 마이크로미터, 350 마이크로미터, 400 마이크로미터, 450 마이크로미터, 500 마이크로미터, 550 마이크로미터, 600 마이크로미터, 650 마이크로미터, 또는 700 마이크로미터.

[0071] 다른 몇몇 실시예에서, 렌즈 201이 자연 수정체를 대체하는 수정체대체 렌즈에서, 광학부 201의 중심 Tc에서의 두께는 유수정체 (phakic) 렌즈의 두께, 예를 들어, 약 700 마이크로미터 내지 약 4 ㎜, 약 700 마이크로미터 내지 약 3 ㎜, 약 700 마이크로미터 내지 약 2 ㎜, 약 700 마이크로미터 내지 약 1 ㎜, 이러한 범위 사이에 있는 임의의 수치, 또는 이러한 범위에 있는 임의의 수치에 의해 정의되는 임의의 범위보다 더 두꺼울 수 있다. 예를 들어, 광학부 201의 중심 Tc에서의 두께는 약 700 마이크로미터, 약 800 마이크로미터, 약 900 마이크로미터, 약 1 밀리미터, 약 1.5 밀리미터, 약 2 밀리미터, 약 2.5 밀리미터, 약 3 밀리미터, 약 3.5 밀리미터, 또는 약 4 밀리미터, 또는 이들 사이의 범위일 수 있다. 그러나 수정체대체 렌즈라 할지라도, 렌즈는 더 작은 두께 Tc, 예를 들어 약 300 마이크로미터 내지 700 마이크로미터사이의 두께, 예를 들어 300 마이크로미터, 400 마이크로미터, 500 마이크로미터, 600 마이크로 미터, 또는 700 마이크로미터 사이의 두께 또는 300 내지 400 마이크로미터, 400 내지 500 마이크로미터, 500 내지 600 마이크로미터와 같이 이들 사이의 모든 범위내 두께를 적용시킬 수 있다.

[0072] 본원에 기재된 일 실시예에 따라, 전방 표면 201a는 볼록(convex)이고 후방 표변 201b는 오목(concave)이어서, 광학부 201이 메니스커스(meniscus) 형상이다. 도 5A 및 도5B는 메니스커스 형상의 광학부 201의 측 면단도의 예이다. 메니스커스 형상의 광학부 201이, 예를 들어 유수정체 렌즈에 사용될 때, 매우 이로울 수 있다. 예를 들어, 홍채 뒤(또는 후방) 및 자연 렌즈의 앞(또는 전방)에 이식될 때, 볼록인 광학부 201의 전방 표면 201a는 표면 201a에 인접한 홍채의 채핑(chaffing) 방지를 도울 수 있고, 오목인 광학부 201a의 후방 표면 201b는 표면 201b에 인접한 자연 렌즈가 손상을 입어, 이것이 백내장이 될 수도 있는 것과 같은 손상을 방지하는 것을 도울 수 있다.

[0073] 메니스커스 형상의 광학부는 양성 또는 음성일 수 있다. 도 5A에 나타난 바와 같이, 양성 메니스커스 광학부 301에서 오목 표면 301b보다 볼록 표면 301a가 더 가파른 곡선을 가지고 있고, 가장자리 Te 보다 중심 Tc(광학축을 통과하는 곳)에서의 두께가 더 크다. 반대로, 도 5B에 나타난 바와 같이, 음성 메니스커스 광학부 401에서는 볼록 표면 401a보다 오목 표면 401b가 더 가파른 곡선을 가지고 있고, 중심 Tc 보다 가장자리 Te 에서의 두께가 더 크다. 일 실시예에서, 양성 메니스커스 광학부는 원시를 치료하는 데 사용될 수 있으며, 반면 다른 실시예에서, 음성 메니스커스 광학부는 근시를 치료하는데 사용될 수 있다.

[0074] 다양한 실시예에서, 광학부 201은 메니스커스 형상이 아니다. 예를 들어, 일 실시예에서 전방 표면 201a는 실질적으로 평편하며 후방 표면 201b는 오목이어서, 광학부 201은 평면-오목(plano-concave)이다. 다른 실시예에서, 전방 표면 201a 및 후방 표면 201b는 오목이어서 광학부 201은 이중 오목(biconcave)이다. 또다른 실시예에서 전방 표면 201a는 볼록이고 후방 표면 201b는 실질적으로 편평하여서 광학부 201은 평면-오목(plano-convex)이다. 또다른 실시예에서, 전방 표면 201a 및 후방 표면 201b 둘다 볼록이어서 광학부 201은 양면볼록(biconvex)이다.

[0075] 일 실시예에서, 광학부 201의 전방 표면 201a 및/또는 후방표면 201b는 비구면(aspheric) 표면을 포함할 수 있다. 예를 들어, 광학부 201의 전방 표면 201a 및/또는 후방 표면 201b는 구(sphere)의 일 부분이 아닌 표면 형상을 포함할 수 있다. 다양한 실시예에서, 전방 표면 201a 및/또는 후방 표면 201b는 회전 대칭(rotationally symmetric)일 수 있다. 예를 들어, 비구면의 표면 프로파일 또는 새그(sag)가 최소의 코닉 항을 포함할 수 있다. 코닉 항은 하기와 같이 기재될 수 있다:

[0076]
$$Z = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}}, \quad (1)$$

[0077] 상기에서 c는 표면의 곡률(curvature)(또는 반지름의 역수), k 는 코닉 상수(conic constant)이며, 그리고 r은 볼록 표면으로부터의 방사상 거리(radial distance)이다.

[0078] 일 실시예에서, 비구면 형상은, 예를 들어, 표면 정점으로부터의 방사상 거리에 대한 고차 함수를 포함하는 섭동(perturbation)에 의한 코닉 오프셋을 포함할 수 있다. 따라서, 비구면 형상의 새그는 코닉 항 및 표면 정점으로부터의 방사상 거리의 고차 함수를 포함할 수 있다. 고차 함수는 코닉 항에서의 비구면 섭동으로 기재될 수 있다. 일 실시예에서, 고차 함수는, n이 정수, a_{2n}은 계수이고 r은 표면정점으로부터의 방사거리인, 최소 하나의 짝수 차수 항 $a_{2n}r^{2n}$을 포함할 수 있다. 예를 들어, 비구면은 코닉 항 및 짝수-제곱 다항식(예를 들어, 짝수 비구면) 항을 사용하여 기재될 수 있다:

[0079]
$$z(r) = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}} + a_2r^2 + a_4r^4 + a_6r^6 + a_8r^8 + \cdots \quad . \quad (2)$$

[0080] 방적식 (2)에서 볼 수 있는 바와 같이, 고차 함수는 최소 하나의 2차항(a_2r^2), 4차(a_4r^4)항, 6차항(a_6r^6), 및/또는 8차항(a_8r^8)을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 고차 함수는 하나 이상의 홀수차 항을 포함할 수 있다. 예를 들어, 고차 함수는 오로지 하나의 홀수차 항을 포함하거나 또는 짝수 및 홀수 차 항의 조합을 포함할 수 있다.

[0081] 방정식 (2)에 나타난 바와 같이, 표면 형상은 코닉 상수 k에 따라 좌우될 수 있다. 만일 코닉 상수 k = 0 이라면, 상기 표면은 구면이다. 따라서, 일 실시에에서 k 는 최소 제로 크기를 가지므로, $|k| \geq 0$이다. 다른 실시예에서, k 는 제로보다 큰 크기를 가지므로, $|k| > 0$이다. 다른 다양한 실시예에서, k 는 최소 1의 크기를 가

지므로, |k| ≥ 1이다. 다른 실시예에서, |k| ≥ 2, |k| ≥ 3, |k| ≥ 5, |k| ≥ 7, 또는 |k| ≥ 10이다. 예를 들어, k ≤ -1, k ≤ -2, k ≤ -3, k ≤ -5, k ≤ -7, k ≤ -10이다. 따라서, 다양한 실시예에서, 표면은 쌍곡선 형상이다. 그러나 일 실시예에서, 코닉 상수의 크기는 1보다 적을 수 있으며, 예를 들어, 0 ≤ |k| ≤ 1 이다.

[0082] 다양한 실시예에서, 전방 표면 201a 및/또는 후방 표면 201b는 회전 비대칭(rotationally non-symmmetric)일 수 있고 상기 201의 중심 및/또는 광학축을 따른 상이한 방향으로 상이한 곡률을 가질 수 있다. 예를 들어, 전방 표면 201a 및/또는 후방 표면 201b는 광학부 201의 중심을 따라 서로 직각 방향으로 상이한 곡률을 가질 수 있다. 이러한 일 실시예는 난시를 치료하는데 잇점을 가질 수 있는데, 이는 상이한 방향(매리디안)에 따라 교정이 바람직할 수 있기 때문이다.

[0083] 몇몇 실시예에서, 회전 비대칭 표면의 새그는 최소 하나의 이중 코닉 항을 포함할 수 있다. 이중 코닉 표면은 x 및 y 방향으로 상이한 반지름 및 코닉 상수 k를 가진 도넛형(toroidal) 표면과 유사할 수 있다. 이중 코닉 항은 하기와 같이 기재될 수 있다:

$$Z = \frac{c_x x^2 + c_y y^2}{1 + \sqrt{1-(1+k_x)c_x^2 x^2 - (1+k_y)c_y^2 y^2}},$$

[0084] (3)

[0085] 상기에서 c_x는 x 방향에서의 표면의 곡률(또는 x 방향에서 반지름의 역수)이며, c_y는 y 방향에서의 표면의 곡률(또는 y 방향에서 반지름의 역수)이며 반면 k_x는 x 방향에 대한 코닉상수이고, k_y는 y 방향에 대한 코닉상수이다.

[0086] 몇몇 실시예에서, 비구면 형상에는 표면 정점으로부터의 방사상 거리의 고차 함수를 포함하는 섭동에 의한 이중 코닉 오프셋이 포함될 수 있다. 따라서, 방정식 (2)와 유사하게, 비구면 형상의 새그에는 이중 코닉 항 및 고차 함수가 포함될 수 있다. 고차 함수에는 최소 하나의 짝수 항, 예를 들어 2차항(a_2r^2), 4차항(a_4r^4), 6차항(a_6r^6), 및/또는 8차항(a_8r^8)이 포함될 수 있다. 예를 들어, 방정식 (2)와 유사하게, 고차 함수는 $a_2r^2+a_4r^4+a_6r^6+a_8r^8+$ …일 수 있다.

[0087] 몇몇 실시예에서, 고차 함수는 하나 이상의 홀수 항을 포함할 수 있다. 예를들어 고차 함수는 홀수 항만을 또는 짝수 및 홀수항의 조합을 포함할 수 있다.

[0088] 따라서, 본원에 기재된 바와 같이, 광학부 201의 전방 표면 201a 및/또는 후방표면 201b는 코닉 항(고차 함수 존재 또는 부존재) 또는 이중 코닉 항(고차함수 존재 또는 부존재)을 포함하는 형상을 가질 수 있다.

[0089] 노안 및/또는 난시에 대한 시력 교정에 대한 하나의 예에는, 둘다 비구면을 함유하는 전방 표면 201a 및 후방 표면 201b이 포함된다. 전방 표면 201a의 비구면에는 2차, 4차, 6차, 및 8차항을 포함하는 섭동에 의한 코닉 항 오프셋을 포함하는 형상을 가지고; 후방 표면 201b의 비구면은 이중 코닉 항을 포함하는 형상을 가진다. 비구면 전방 표면 201a 예의 새그는 하기와 같이 주어질 수 있다:

$$z(r) = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}} + a_2r^2 + a_4r^4 + a_6r^6 + a_8r^8.$$

[0090] (4)

[0091] 또한, 후방 표면 201b 예의 새그는 이중 코닉일 수 있고, 하기와 같이 주어질 수 있다:

$$z = \frac{c_x x^2 + c_y y^2}{1 + \sqrt{1-(1+k_x)c_x^2 x^2 - (1+k_y)c_y^2 y^2}},$$

[0092] (5)

[0093] 상기는 방정식 (3)과 유사하다. 이러한 렌즈의 예는, 비록 이에 제한되지는 않지만, 메니스커스 렌즈일 수 있다.

[0094] 다른 예도 가능하다. 일 실시예에서,광학부 201의 특정 형상(예를 들어, 전방 표면의 곡률, 후방 표면의 곡률, 코닉 상수, 고차 함수의 계수, 등)은 환자의 처방에 따라 좌우될 수 있다.

[0095] 일례로서, 0 내지 2D 실린더, 0 내지 3D 실린더, 또는 0 내지 4D 실린더를 가진 약 -18 D 내지 약 6 D 구면 사이의 명목상의 렌즈 굴절력(dioptric power)를 가진 렌즈에 있어서, 하기 예의 설계 파라미터가 일 실시예에 사용될 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 전방 표면의 반지름 R(예를 들어, 곡률의 역수)는 약 -100 mm 내지 약 100 mm, 약 -50 mm 내지 50 mm, -10 mm 내지 10 mm, 또는 약 -5 mm 내지 약 5 mm사이일 수 있다. 일 실시예에서, 전방 표면의 반지름은 약 -1 mm 내지 약 1 mm 또는 0 내지 1 mm 사이 일 수 있다. 예를 들어, 전방 표면의 반지름은 0 내지 약 1×10^{-2} mm사이, 약 1×10^{-7} mm 내지 약 5×10^{-3} mm사이, 약 1×10^{-6} mm 내지 약 1×10^{-3} mm사이, 또는 약 5×10^{-6} mm 내지 약 5×10^{-4} mm일 수 있다.

[0096] 본원에 기재된 바와 같이, 다양한 실시예에서, 전방 표면의 k 는 $|k| > 0$ 와 같이 제로보다 더 큰 크기일 수 있다. 몇몇 실시예에서, $|k| \geq 1$와 같이 k 는 최소 1의 크기를 가질 수 있다. 몇몇 실시예에서, $|k| \geq 2$, $|k| \geq 3$, $|k| \geq 5$, $|k| \geq 7$, 또는 $|k| \geq 10$ 이다. 예를 들어, $k \leq -1$, $k \leq -2$, $k \leq -3$, $k \leq -5$, $k \leq -7$, $k \leq -10$ 이다. 몇몇 실시예에서, $k \ll -10$ 이다. 예를 들어, 일 실시예에서, k 는 약 -1×10^{6} 내지 -100 사이, 약 -5×10^{5} 내지 약 -5×10^{4}사이, 또는 약 -3×10^{5} 내지 약 -2×10^{5} 사이 일 수 있다.

[0097] 따라서, 다양한 실시예에서, 전방 표면의 코닉 상수 및 전방 표면 곡률 반경의 비율의 크기는 10^{4} 및 10^{14} 사이, 10^{6} 및 10^{12} 사이, 10^{8} 및 10^{11} 사이, 10^{9} 및 10^{11} 사이, 10^{8} 및 10^{10}사이, 10^{9} 및 10^{10}사이 일 수 있다.

[0098] 다양한 실시예에서 전방 표면의 2차 항에 대한 계수 a_2는 0 내지 1 사이일 수 있다. 예를 들어, a_2 는 0 내지 약 0.5 사이, 0.001 내지 약 0.3 사이, 또는 약 0.005 내지 약 0.2 일 수 있다.

[0099] 다양한 실시예에서 전방 표면의 4차 항에 대한 계수 a_4는 약 -1 내지 0 사이일 수 있다. 예를 들어, a_4 는 약 -0.1 내지 0 사이, 약 -0.05 내지 약 -1×10^{-4}사이, 또는 약 -0.01 내지 약 -1×10^{-3}사이 일 수 있다.

[0100] 다양한 실시예에서 전방 표면의 6차 항에 대한 계수 a_6는 0 내지 약 1 사이일 수 있다. 예를 들어, a_6 는 0 내지 약 0.1 사이, 0 내지 약 0.01, 또는 약 0.0001 내지 약 0.001일 수 있다.

[0101] 또한, 다양한 실시예에서 전방 표면의 8차 항에 대한 계수 a_8는 약 -1 내지 0 사이일 수 있다. 예를 들어, a_8 는 약 -0.001 내지 0 사이, 약 -0.005 내지 0 사이, 또는 약 -0.0001 내지 0 사이일 수 있다.

[0102] 나아가, 0 내지 약 2 D 실린더, 0 내지 약 3 D 실린더, 또는 0 내지 약 4 D 실린더를 가진 약 -18 D 내지 약 6 D 구면의 명목상 렌즈 굴절력을 가진 렌즈에 있어서, 후방 표면에 대해 하기 예의 설계 파라미터가 일 실시예에 사용될 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. y 방향에서의 후방 표면의 반지름 R_y(예를 들어, y 방향에서의 곡률의 역수)은 0 내지 약 20 mm일 수 있다. 예를 들어, 후방 표면의 반지름 R_y는 0 내지 약 15mm 사이, 약 2 mm 내지 약 13 mm 사이, 또는 약 3 mm 내지 약 14 mm 사이, 또는 약 4 mm 내지 약 10 mm 사이일 수 있다.

[0103] 다양한 실시예에서, 후방 표면의 k_y 는 약 -20 내지 약 20 사이, 약 -18 내지 약 15 사이, 또는 약 -15 내지 약 5 사이일 수 있다. 몇몇 이러한 실시예에서, 후방 표면의 k_y는 필수적으로 최소 1의 크기를 가지는 것은 아니다. 예를 들어, k_y 는 약 -1 내지 약 1 사이일 수 있다. 다양한 실시예에서 $|k_y|$는 제로보다 크다.

[0104] x 방향에서의 후방 표면의 반지름 R_x(예를 들어, x 방향에서의 곡률의 역수)은 0 내지 약 20 mm일 수 있다. 예를 들어, 후방 표면의 반지름은 0 내지 약 15 mm 사이, 0 내지 약 12 mm 사이, 또는 0 내지 약 10 mm 사이일 수 있다.

[0105] 다양한 실시예에서, 후방 표면의 k_x 는 약 -25 내지 0 사이, 약 -20 내지 0 사이, 약 -18 내지 0 사이, 약 -17.5 내지 0 사이, 또는 약 -15.5 내지 0 사이일 수 있다. 다양한 실시예에서 $|k_x|$는 제로보다 크다.

[0106] 비록 상기에 기재된 명목상의 렌즈 굴절력을 가진 렌즈에 대한 R, k, a_2, a_4, a_6, 및 a_8의 설계 파라미터 예가 전방 표면에 대해 주어지고, R_y, k_y, R_x, 및 k_x의 설계 파라미터 예가 후방 표면에 대해 주어지더라도, R, k, a_2, a_4, a_6, 및 a_8에 대한 수치 범위가 후방 표면에 대해 사용될 수 있고, R_y, k_y, R_x, 및 k_x에 대한 수치 범위가 전방 표면에 대해 사용될 수 있다. 부가적으로, 비록 전방 표면에는 더 고차의 비구면 섭동 항(예를 들어, a_2, a_4,

a_6, 및 a_8)이 포함되었지만, 전방 표면 대신 후방 표면에 또는 전방 및 후방 표면 둘다에 더 고차의 비구면 섭동항(예를 들어, a_2, a_4, a_6, 및 a_8)이 사용될 수 있다. 이들 범위 내의 수치 중 하나 이상의 어느 것라도 이들 설계 중 모든 것에 사용될 수 있다.

[0107] 나아가, 본원에 기재된 바와 같이, 다양한 실시예의 특정 형상이 피사계 심도를 증가시키기 위하여 그리고 시력(visual acuity)을 증가시키기 위하여 설계될 수 있다. 도 6A에 나타난 바와 같이, 피사계 심도는, 초점에 있는 것으로 보이는 피사체 공간에서의 피사체 앞 및 뒤에서의 거리로 기재될 수 있다. 초점 심도(depth of focus)는, 이미지가 초점에 남아있게 되는 이미지 공간에서 렌즈 뒤에 얼만큼의 거리로 존재하는지에 대한 측정으로 기재될 수 있다. 피사계 심도를 증가시키기 위하여, 광학부 201의 전방 표면 201a의 표면 형상 및/또는 후방 표면 201b의 표면 형상은 광범위한 피사체 양안전도에 대한 것일 수 있고, 광선은 망막 상에 초점을 맞추거나 거기에 충분히 가깝다. 시력을 증가시키고 고스트를 감소시키기 위하여, 광학부 201의 전방 201a의 표면 형상 및/또는 후방 표면 201b의 표면 형상은 또한, 축 상 피사체(on-axis object)에 대한 이미지가 실질적으로 축상에 있고 서로 유사한 크기인 것일 수 있다.

[0108] 이러한 일 실시예에서, 비록 이러한 범위가 더 크거나 더 작을 수 있지만, 이미지 커즈틱(image caustic)은 약 0 내지 약 2.5 디옵터 또는 그 이상 범위의 양안전도에 대해 형상화한 것일 수 있다. 도 6 B에 나타난 바와 같이, 일 실시예에서, 이미지 커즈틱은 광선의 그리드(grid)에 의해 만들어진 엔벨로프(envelope)으로 기재될 수 있고, 착란원(circle of confusion)은, 점 원(point source)를 이미징할때 완전한 초점에 이르지 못하고 렌즈에서부터의 광선의 코닉(cone)에 의해 야기되는 광 스팟으로 기재될 수 있다. 따라서 이미지 커즈틱은, 착란원이 광학축에 따른 세로 방향의 범위에 대해 유사한 크기를 가져 실질적으로 안정하고 상대적으로 작은 것으로 묘사될 수 있다. 디자인에서는 같은 세로 위치에서 광학축에 따른 착란원의 크기를 희생시켜, 다른 세로 위치에서 광학축에 따른 착란원이 더 커지는 것을 허용하여, 최종적으로 세로 범위 이상의 유사한 크기를 가지는 광학축에 따른 착란원을 제공하도록 한다.

[0109] 일 실시예에서, 전방 표면 201a의 표면 형상 및/또는 후방 표면 201b의 표면 형상은, 이미지 커즈틱이 눈의 과초점 면 주변에 생기도록 만들 수 있다. 몇몇 실시예에서, 과초점 거리는, 최대로 허용가능한 착란원을 무한대로 둘 수 있는 초점 거리, 또는 가장 큰 피사계 심도를 만들어내는 초점 거리로 기재될 수 있다. 따라서, 일 실시예에서, 피사계 심도를 증가시키기 위하여, 광학부 201의 전방 표면 201a의 표면 형상 및/또는 후방 표면 201b의 표면 형상은 광선이 과초점 거리를 재-초점시키는 것일 수 있다.

[0110] 다양한 실시예에서 광학부 201의 전방 표면 201a의 표면 형상 및/또는 후방 표면 201b의 표면 형상은 렌즈의 디포커스(defocus) 커브를 사용하여 평가하고 설계할 수 있다. 디포커스 커브는, 서로 다른 버전의 기능으로써, 대비(contrast)와 같은 망막 이미지 품질 파라미터의 반응을 묘사할 수 있다. 무한대의 피사체는 0 디옵터(Diopter) 버전을 가진다. 도 6C는 표준 구면 렌즈 및 최적화된 과초점 눈에 대한 디포커스 커브를 나타낸다. 도면에 나타난 바와 같이, 비록 대비는 감소할 수 있지만 (AUC(area under the curve)의 보존으로 인함), 최적화된 과초점 눈은 다양한 버전에 대해 안정되거나 실질적으로 안정한(예를 들어, 유사하거나 또는 실질적으로 변하지 않는) 대비를 가진다.

[0111] 일 실시예에서, 광학부 201의 전방 표면 201a의 표면 형상 및/또는 후방 표면 201b의 표면 형상은 BCDVA(Best Corrected Distance Visual Acuity)조건에서와 같이 Liou-Brennan 모델을 사용하여 평가하거나/또는 설계할 수 있다. 도 6D는 Liou-Brennan 모델의 눈에 모델링된 본원에 기재된 일 실시예에 따른 유수정체 렌즈 예를 도식화한 것이다. 도 6D에 나타난 바와 같이, 렌즈 200은 상기 모델에서 홍채 515 및 자연 수정체 520의 앞쪽 사이에 위치시킬 수 있다. 또한 도 6D에 나타난 바와 같이, 상기 모델은 눈 500에 들어온 광선을 자극하여 각막 510, 렌즈 200, 및 자연 수정체 렌즈 520을 통해 들어가서 망막 530 쪽으로 향하도록 할 수 있다. 상기 모델은 약 400 나노미터 내지 약 700나노미터 사이 범위의 다색 파장(polychromatic wavelength)에 사용될 수 있다. 상기 모델은 또한 이중-기울기 지수 렌즈 프로파일을 가지고 사용될 수 있다(예를 들어, 난시 모델에 대해). 본원의 일 실시예에 따른 수정체대체 렌즈(Pseudophakic lens)는, "자연" 수정체 렌즈 520 자리에 렌즈가 배치된 Liou-Brennan 모델 눈으로 모델링될 수도 있다.

[0112] 당해 기술 분야에 알려지거나 아직 개발 중인 다른 모델도 또한 사용될 수 있다. 예를 들어, 광학부 201의 전방 표면 201a의 표면 형상 및/또는 후방 표면 201b의 표면 형상 또한 Badal 모델 눈, Arizona 모델 눈(University of Arizona model), Indiana 모델 눈 (Indiana University model), ISO 모델 눈, 또는 다른 표준화되거나 동등한 모델 눈을 사용하여 평가되거나/또는 설계될 수 있다. 또한, 당해 기술 분야에 알려지거나 또는 아직 개발 중인 광선 추적(ray tracing) 및/또는 설계 소프트웨어를 사용하여 자극이 주어질 수 있다. 소프트웨어에 대한

한 예로, Zemax, LLC(in Redmond, Washington)에 의한 Zemax 설계 소프트웨어가 일 실시예에서 사용될 수 있다. 예를 들어, 자연 렌즈 전방에 IOL 를 두는 것과 같이, 주변 환경에 대한 물리적 제약이 유수정체 렌즈 설계에 있어 시뮬레이션을 수행하는 것이 유용하다. 이러한 시뮬레이션은 최적화된 메리트 함수에서 서로 상이한 양안전도로부터의 기여가 포함된 다수의 양안전도에 대한 성능(예를 들어, 동공 전체를 가로지르는 RMS 파면 오류)을 동시에 평가할 수 있다. 다수의 파면은 따라서 일체로 평가되어, 광학축에 따른 위치 범위를 통해 실질적으로 유사한 크기의 착란원을 제공하는 균형잡힌 설계를 하게 된다. 상이한 양안전도에 대해 동공 크기를 다양하게 하는 것 또한 적용될 수 있다.

[0113] 일 실시예에서, 광학부 201의 전방 표면 201a의 표면 형상 및/또는 후방 표면 201b의 표면 형상은 이롭게 평가되고 설계되어, 가시 파장에 대해, 축 상(on-axis) 피사체로부터의 빛이, 최소 약 0 디옵터 내지 약 2.5 디옵터 범위 내에서 실질적으로 축 상에, 실질적으로 유사한 크기로, 그리고 실질적으로 망막상에 초점 맞추어진다. 망막 부근의 광학축에 따라 상이한 세로 위치에 대해 실질적으로 유사한 크기의 커즈틱의 횡단면을 얻기 위하여 상이한 차수의 구면 수차(spherical aberration)를 조절함으로써(예를 들어, 방정식 (2)에서 고차의 비구면 항을 수정할 수 있는), 그리고 난시 환자를 치료하기 위하여 필요할 때에는 원환체(toric) 밸런싱(toric balancing)과 보정을 포함시킴으로써(예를 들어, 방정식 (3)에서 이중 코닉 항), 렌즈 200의 반지름 승수(radial power) 프로파일은 하기와 같이 기재될 수 있다:

[0114] $$\Phi(r) = a + br^2 + cr^4 + dr^6 + er^8, \qquad (6)$$

[0115] 상기에서 *a, b, c, d,* 및 *e* 는 실수이다. 또한, 다양한 실시예에서 광학부 201의 전방 표면 201a의 표면 형상 및/또는 후방 표면 201b의 표면 형상은 Stiles-Crawford 효과를 설명하기 위하여 평가되고 설계될 수 있다. 나아가, 표면 형상은 또한 조도(illumination) 및/또는 피사체 양안전도를 변화시킨 동공 크기를 고려하여 설계될 수 있다.

[0116] 렌즈 200의 성능을 기술하기 위하여, MTF(modulation transfer function)가 일 실시예에 사용될 수 있다. 예를 들어, 특정 해상도에서 피사체로부터 이미지로 대비(contrast)를 옮기는 렌즈 200의 성능을 MTF로 기재할 수 있다. 렌즈 200에 대한 다양한 실시예에서, 광학부 201을 눈에 삽입할 때, 최소 약 0 디옵터 내지 약 2.0, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 또는 2.5 디옵터(또는 약 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 3.0까지)범위 내 최소 약 90%, 최소 약 95%, 최소 약 97%, 최소 약 98%, 또는 최소 약 99%의 피사체 양안전도에 대해, 공간 프리퀀시 밀리미터 당 약 100개 라인에서 약 0.1 내지 약 0.4 사이(예를 들어, 20/20 비전)에 있는, 약 400 나노미터 내지 약 700 나노미터(명순응, 암순응 및/또는 중간순응 분포로 가중된)의 범위 사이의 파장에 대해 MTF 수치를 제공하도록 전방 표면 201a 및 후방 표면 201b을 성형할 수 있다. 예를 들어, 눈은 최소 약 2 밀리미터, 최소 약 3 밀리미터, 최소 약 4 밀리미터, 예를 들어 2 내지 6 밀리미터, 3 내지 6 밀리미터, 또는 4 내지 6 밀리미터의 구경 지름을 가지는 인간 눈 일 수 있다. MTF 수치는 따라서 0.1, 0.2, 0.3, 또는 0.4 또는 이들 중 어느 범위내 일 수 있다. 추가로, 다양한 구현예에서, 상기 광학부가 2 내지 6 밀리미터, 3 내지 6 밀리미터, 또는 4 내지 6 밀리미터의 크기의 구경을 가지는 모델 눈으로 삽입될 때, 약 0 D 내지 약 2.5 D(또는 대안적으로 0 내지 2.0, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 또는 3.0 디옵터) 범위 내 최소 90%, 95%, 또는 97%, 또는 98% 이하, 99% 이하, 또는 100% 이하의 피사체 양안전도에 대해 역상이 부존재하는 MTF를 제공하도록 전방 및 후방 표면이 성형될 수 있다. 몇몇 실시예에서, 인간 눈에 수정체 렌즈가 있는 경우에, 광학부 201이 수정체 렌즈의 전방에 삽입되어 이러한 MTF 수치가 제공될 수 있다. 다른 실시예에서, 인간 눈에 수정체 렌즈가 배제되는 경우, 광학부 201이 수정체 렌즈 대신에 삽입되어 이러한 MTF 수치가 제공될 수 있다. MTF 수치는 평균 MTF 수치를 포함할 수 있으며, 명순응, 암순응, 중간순응 분포 또는 이들의 조합 중 임의의 것에 의해 가중되는 파장의 범위에 걸쳐 적분을 해서 계산될 수 있다.

[0117] 다른 예로서, 눈은, 인간 눈 그 자체에 반대되도록 인간 눈을 모델화시킨 모델 눈(예를 들어, Liou-Brennan, Badal, Arizona, Indiana, ISO model eye, 또는 다른 표준화 또는 동등한 모델 눈) 일 수 있다. 예를 들어, 몇몇 실시예에서 모델눈은 또한 Liou-Brennan 모델 눈을 포함할 수 있다. 몇몇 실시예에서, 광학부 201이 유수정체 배치로 모델 눈에 삽입될 때 이러한 MTF 수치가 제공될 수 있다. 다른 실시예에서 광학부 201이 수정체대체 배치로 삽입될 때 이러한 MTF 수치가 제공될 수 있다.

[0118] 본원에 기재된 다양한 구현예에는 눈, 예를 들어 각막의 후방에 이식될 수 있는 단일 굴절 렌즈가 포함된다. 일 구현예에서 굴절 렌즈는 홍채와 자연 렌즈 사이에 이식되도록 구성된다. 다른 구현예에서, 굴절 렌즈는, 자연 렌즈를 제거한 후 캡슐 백에 이식되도록 구성된다. 다양한 구현예에서, 굴절 렌즈는 회절 렌즈가 아니며 이의 표면에 회절 격자(diffraction grating)가 없다. 다양한 구현예에서, 굴절 렌즈는 별개의 구분되는 간격으로 분

리된 초점을 가지지 않는다. 예를 들어, 통상의 다초점 렌즈와 같이, 빛이 실질적으로 적게 초점 맞추어지는 부위과 서로 간격을 두고 떨어져서 위치하는, 렌즈의 광학축을 따라 빛의 초점이 맞춰지는 곳에 별개 초점을 만들어내지 않도록, 전방 및 후방 표면이 성형될 수 있다. 이러한 별개의 초점이 존재하는 다초점 설계에는, 광학축상의 서로 다른 위치에 존재하는, 집중된 에너지 피크 또는 에너지 밀도의 피크가 다수 존재한다.

[0119] 본원에 개시된 사항은 외과적 레이저 또는 독서용 안경을 필요로 하지 않는 노안의 초기 발병 및 진행 동안에 필요한 치료와 같이 다양하게 적용될 수 있다. 구현예에는 중간 시야(intermediate viewing) 뿐만 아니라 약 2.0 D의 근거리 시야를 제공할 수 있다. 5.0 ㎜의 구경에 대해 2 D 를 넘는 범위에 대한 피사계 심도가 제공될 수 있다.

[0120] 변형 또는 조정된 모노비전 솔루션을 제공하기 위하여 다양한 실시예가 적용될 수 있다. 예를 들어, 0 내지 2.0 D 이상의 또는 0 내지 2.5 D이상의 피사체 양안전도에 대해 확장된 피사계 심도를 가진 제 1 렌즈, 및 -2.0 내지 0D 이상 또는 -2.5 내지 0D 이상의 피사체 양안전도에 대해 확장된 피사계 심도를 가진 제 2 렌즈가 제공될 수 있다. 이들 각각의 렌즈는 환자의 우세안(dominant) 또는 비-우세안에 각각 이식될 수 있다. 그러고나면 왼쪽 및 오른쪽 눈 각각에 대해 서로 다른 확장된 피사계 심도를 가지도록 환자에게 제공될 수 있다. 그러나 총 피사계심도는 제 1 또는 제 2 렌즈에 따른 어느 것에 의해 제공되는 것보다 더 클 수 있다. 이러한 렌즈의 설계 디테일은 달리 지시되지 않다면 상기에 기재된 것에 유사할 수 있다.

[0121] 본원에 기재된 바와 같이, 다양한 실시예에는 확장된 피사계 심도를 지닌 렌즈를 포함할 수 있다. 예를 들어, 본원에 기재된 렌즈 200을 기준으로(예를 들어 도 2-4에 나타난 바와 같이), 렌즈 200은, 피사계 심도를 증가시키도록 설계된 형상을 가진 전방 표면 201a 및/또는 후방 표면 201b를 가진 광학부 201을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 광학부의 전방 표면 및/또는 후방 표면은 또한 원거리 시력을 향상시키지만(예를 들어, 원거리 시력을 증가시킴) 여전히 확장된 피사계 심도를 제공하도록 설계된 부분(portion)을 포함할 수 있다.

[0122] 도 7A-7B는 이러한 광학부의 전방 표면 및/또는 후방 표면 예에 대한 도면이다. 전방 표면 및 후방 표면은 표면 정점(vertex)를 가질 수 있다. 상기 광학부는 상기 표면 정점을 통과하는 광학축을 가질 수 있다. 예로든 광학부 700 의 전방 표면 및/또는 후방 표면은 제 1 부 701 및 제 2 부 702를 가진 표면을 포함할 수 있다. 제 1 부 701은 확장된 피사계 심도를 제공하도록 구성될 수 있고 제 2 부 702는 단초점 거리 교정 및 포커싱을 제공하도록 구성될 수 있다. 도 6C에 나타난 디포커스(defocus) 커브를 참조하여, 제 1 부 701은 "이상적인" 과초점 디포커스 커브 것과 형상이 유사한 디포커스 커브를 가질 수 있고, 제 2 부 702는 표준 구면(단초점) 렌즈의 것과 형상이 유사한 디포커스 커브를 가질 수 있다. 따라서 제 1 부 701은 확장된 피사계 심도를 제공하도록 구성될 수 있고, 두 번째 부분 702는 향상된 원거리 시력 또는 원거리 시야를 제공하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 확장된 피사계 심도를 제공하도록 구성된 제 1 부 701은 초점 전반(예를 들어, 멀거나 가까운, 중간, 근처)을 통해 제 2 부 7002와 거의 동등한, 또는 최소 그 이상을 제공할 수 있는 반면, 제 2 부 702는 제 1 부 701과 비교하여 향상된 원거리 시력 품질 매트릭(metric)을 제공할 수 있다. 향상된 시력 품질 매트릭은 원거리(예를 들어 0.0 D의 또는 이에 가까운) 피사체에 대한 성능 지수(figure of merit)일 수 있다. 무한대와 2 미터 사이(예를 들어, 무한대에서 2 미터, 무한대에서 3 미터, 무한대에서 4미터, 무한대에서 5미터, 무한대에서 6미터, 무한대에서 7미터, 무한대에서 8미터, 무한대에서 9미터, 무한대에서 10미터, 또는 상기 범위 사이의 임의의 범위)의 피사체가 원거리로 고려될 수 있다. 성능 지수는 MTF(modulation transfer function), 대비 민감도(contrast sensitivity), 대비(contrast), 이로부터 유도된 것, 또는 이들의 조합일 수 있다. 기타 메트릭이 또한 거리 초점(렌즈의 원거리 도수(base power) 또는 표시된 도수에 상응하는) 또는 먼 피사체 대한 이미지 품질을 특징화하는데 사용될 수 있다. 몇몇 경우에, 향상된 시력 품질 매트릭은 제 1 부 701에 대한 것보다 제 2 부 702에 대한 것이 더 높은 수치일 수 있다.

[0123] 도 7B는 제 2 부 702를 통과하는 광선(ray)이 원거리 시야 초점에 어떻게 초점을 맞추는지를 나타낸 것이다(상기에 설명한 바와 같이, 이 원거리 시야 초점은 렌즈의 원거리 도수 (base power), 표시된 도수, 또는 원거리 도수 (distance power) 상응한다). 대조적으로, 먼(0), 중간(1) 또는 가까운(2) 평면에서의 단일의 날카로운 초점으로 인해 확장된 피사계 심도를 제공하는 것과는 반대로, 제 1 부 701을 통과하는 광선은 먼 초점(0), 중간(1), 및 가까운(2) 초점을 통해 거의 일정한 지름의 커즈틱(caustic)을 형성한다.

[0124] 도 7A-7B에 나타난 바와 같이, 제 1 부 701은 광학부 700 내 중심에 배치될 수 있다. 몇몇 경우에, 제 1 부는 광을 중심으로 중앙에 배치될 수 있다. 제 1 부 701은 약 2.5-4.5 ㎜(예를 들어, 2.5 ㎜, 2.75 ㎜, 3.0 ㎜, 3.25 ㎜, 3.5 ㎜, 3.75 ㎜, 4.0 ㎜, 4.25 ㎜, 4.5 ㎜, 또는 이들 임의의 크기 간의 임의의 범위)의 범위에서 최대 횡단면 지름을 가질 수 있다. 더 크거나 더 작은 크기 역시 가능할 수 있다. 제 1 부 701은, 확장된 피사

계 심도를 제공하기 위한 광학부 201과 관련하여 본원에 기재된 바와 같은 표면 프로파일을 가지고 있다. 예를 들어, 제 1 부 701은 확장된 피사계 심도를 제공하기 위하여 구면 수차(spherical aberration)를 도입할 수 있다. 이러한 몇몇 실시예에서, 본원에 기재된 바와 같이, 제 1 부 701은, 광학축으로부터 방사상 거리의 비구면 고차 함수를 포함하는 엔벨로프의 섭동에 의해 오프셋되는 코닉형 또는 이중 코닉 엔벨로프를 포함하는 형상을 가질 수 있다. 방정식 (2)는 코닉항 및 짝수 승수 다항식 항(even-powered polynomial term)을 사용한 예시 형상을 기술한다. 다른 예시 및 조합이 가능하다. 예를 들어, 제 1 부 701은 이중-비구면 엔벨로프를 포함하는 형상을 가지고 있다. 이중-비구면 엔벨로프는 두 개의 직각 방향의 두 개의 비구면 횡단면을 포함할 수 있다. 몇몇 경우에, 광학축으로부터의 방사상 거리에 대한 비구면 고차 함수를 포함하는 섭동에 의해 오프셋되는 이중-비구면 엔벨로프가 될 수 있다.

[0125] 제 2 부 702는 제 1 부 701을 둘러쌀 수 있다. 제 2 부 702는 제 1 부 701에서부터 광학부 700의 끝까지 확장할 수 있다. 따라서, 몇몇 실시예에서, 제 2 부 702의 폭은, 제 1 부 701의 바깥 주변(outer periphery)에서 광학부 700의 가장자리 사이의 거리일 수 있다. 예를 들어 제 2 부 702는 약 1.0 - 3.5 mm(예를 들어, 1.0 mm, 1.25 mm, 1.5 mm, 1.75 mm, 2.0 mm, 2.25 mm, 2.5 mm, 2.75 mm, 3.0 mm, 3.25 mm, 3.5 mm, 또는 이들 임의의 크기 사이의 임의의 범위)의 범위에서 폭(예를 들어, 내부 및 외부 반지름 사이의 거리)을 가질 수 있다. 이들 범위 밖의 크기 역시 가능하다.

[0126] 제 2 부 702는 제 1 부 701과는 다른 표면 프로파일을 가질 수 있다. 제 1 부 701은, 확장된 피사계 심도를 제공하는, 제 2 부 702보다 더 고차의 구면 수차 제어를 가질 수 있다. 몇몇 경우에, 제 2 부 702는, 확장된 피사계 심도를 제공하는 구면 수차 제어를 실질적으로 가지지 않거나 또는 최소의 수차 제어를 가질 수 있다. 예를 들어, 제 2 부 702는, 광학축으로부터의 방사상 거리에 대한 비구면 고차 함수를 포함하는 섭동에 의해 오프셋되지 않는 코닉, 이중 코닉, 또는 이중-비구면 엔벨로프를 포함하는 형상을 가질 수 있다. 몇몇 경우에, 제 2 부는 구면인 형상을 가질 수 있다.

[0127] 제 2 부 702는 시스템의 주변 광선(the marginal ray)을 더 잘 조절하도록 하여, 제 2 부를 지나 전파되는 더 많은 퍼센트의 광선이 망막에 강하게 초점을 맞추도록 함으로써, 제 1 부와 비교하여, 무한대 같은 원거리 피사체에 대해 다른 매트릭으로 측정된 바와 같이 증가된 콘트라스트 또는 향상된 시력을 제공하게 된다(예를 들어, 약 +6 D 내지 -18 D의 표시 도수 또는 원거리 도수). 이것은 원거리일때 더 정교하게 초점을 맞추도록 하지만 (원거리 피사체에 대해 원거리 평면상에 더 작은 스팟이 가능하도록), 그러나 여전히 제 1 부 701에 의한 확장된 피사계 심도를 제공한다. 따라서 제 2 부 702는 원거리-반응성 비전 품질(responsivity distance vision quality)을 증가시켜, 원거리 피사체의 초점을 맞추는 것을 더 향상시킬 수 있다. 이러한 향상된 원거리 시력은 환자의 뇌가 선호하는 "양성" 매트릭, 예를 들어 CS(contrast sensitivity)가 증가하는 것으로 인지될 수 있다.

[0128] 또한, 제 1 부 701은 확장된 피사계 심도를 제공하는 것으로 구성되므로, 일정 범위의 초점에 걸쳐 (또는 일정 범위의 피사체 거리에 대해), 제 2 부 702와 거의-비슷한 시력, 또는 최소한 좀더 나은 시력을 제공할 수 있다. 먼 지점, 중간 지점, 및 가까운 지점에서의 점 크기, 렌즈의 파면, 및 질(예를 들어, MTF 또는 CS 와 같은 성능 지수 (figure of merit) 로 측정되는 바와 같은)은 실질적으로 유사하다. 그러나,이러한 속성이 표준 계측(standard metrology)을 사용하여 렌즈의 파워를 평가하는데에 어려움이 있게 한다. 고전적 가우스 계측 방법(classical Gaussian metrology methods)을 이용한 환자의 수술후 임상 평가는 어려울 수 있다. 임의의 초점(focal point) 갯수로 표시될 수 있고 이 것이 유효한 원거리 도수 (예를 들면 원거리 또는 표시된 도수)인 것으로 될 수 있다. 일 실시예에서, 원거리 초점 위치까지 주변 광선 링을 보내는 제 2 부 702는 원거리 도수에 상응하는 보다 근접한 측정을 반복적으로 제공할 수 있다. 마찬가지로, 제 2 부 702는 이식된 또는 이식되지 않은 렌즈의 고전적 원거리 도수를 결정함에 있어 잇점을 제공할 수 있으며, 업계 표준 계측 방법(industry standard metrology method)을 사용하여 렌즈의 굴절력(power)을 정확하게 측정할 수 있는데 도움이 될 수 있다. 따라서, 본원에 기재된 일 실시예는, 이에 제한되는 것은 아니지만, 음의 굴절능 (negative powered), 양의 굴절능(positive-powered), 원환체, 또는 이들의 조합을 포함하는 확장된 피사계 심도를 갖는 렌즈를 표준화된 방법으로 측정하는 것을 가능하게 할 수 있다.

[0129] 본원에 기재된 다양한 실시예에서, 제 1 부 701은, 이식된 눈의 출사동 근처 각 지점에서 전체 파면의 균형을 맞추기 위하여 상이한 차수의 구면 수차, 및 코닉, 이중 코닉, 또는 이중-비구면 베이스 곡선의 사용을 가능하게 하며, 제 2 부 702는 원거리 시야 및/또는 단초점 원거리 포커싱을 향상시키며, 표준 계측법의 사용을 가능하게 한다.

[0130] 다양한 실시예에서, 광학부 700의 전방 표면 및/또는 후방 표면은 기타 부(portion)을 포함할 수 있다. 예를 들

어, 광학부 700의 전방 표면 및/또는 후방 표면은 제 1 부 701 및 제 2 부 702 사이에 불연속성없이 매끄럽게 전이시키게 하는 전이 부분(나타나있지 않음)을 추가로 포함할 수 있다. 전이부분은 추가의 최적화된 파면을 또한 허용한다. 몇몇 실시예에서, 전이 부분은 약 0 내지 1 mm(예를 들어, 0 mm, 0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm, 0.4 mm, 0.5 mm, 0.6 mm, 0.7 mm, 0.8 mm, 0.9 mm, 1.0 mm, 또는 이들 임의의 크기 사이의 임의의 범위) 범위 내에서 일정 폭(예를 들어, 내부 반경 및 외부 반경 사이의 거리)을 가질 수 있다. 이들 범위에 벗어난 수치 역시 가능하다. 몇몇 경우에, 제 1 부 701 및 제 2 부 702의 곡률사이의 전이는, 전이 영역이 필요없을 만큼 충분히 매끄러울 수 있다.

[0131] 도 8A-8B는, 확장된 피사계 심도를 제공하도록 구성된 제 1 부 및 향상된 원거리 시력을 제공하기 위하여 구성된 제 2 부를 가지는 광학부의 전방 표면 및/또는 후방 표면의 또다른 예에 대한 도면이다. 이 예에서, 도 7A-7B에서와 같이, 광학부 700의 전방 표면 및/또는 후방 표면은 제 1 부 701 및 제 2 부 702를 포함할 수 있다. 도 8A-8B에 나타난 바와 같이, 광학부 700의 전방 표면 및/또는 후방 표면은 또한 제 2 부 702로 둘러싸인 제 3 부 703을 포함할 수 있다. 이러한 몇몇 실시예에서, 제 1 부 701은 약 2.5 - 4.5 mm (예를 들어, 2.5 mm, 2.75 mm, 3.0 mm, 3.25 mm, 3.5 mm, 3.75 mm, 4.0 mm, 4.25 mm, 4.5 mm, 또는 이들 임의의 크기 사이의 임의의 범위)의 범위에서 최대의 횡단면 지름을 가질 수 있다. 제 2 부 702는 약 0.25 - 1.5 mm(예를 들어, 0.25 mm, 0.5 mm, 0.75 mm, 1.0 mm, 1.25 mm, 1.5 mm, 또는 임의의 상기 수치 간의 임의의 범위)의 범위에서 내부 반경 및 외부 반경 사이에 일정 폭을 가지는 고리(annulus)로 묘사될 수 있다. 나아가, 제 3 부 703은 제 2 부 702에서부터 광학부 700의 끝까지 확장시킬 수 있다. 따라서, 몇몇 실시예에서, 제 3 부 703의 폭은 제 2 부 702의 바깥 주변(outer periphery) 및 광학부 700의 가장자리 사이 거리일 수 있다. 예를 들어, 제 3 부 703은 약 0.5 - 3.5 mm(예를 들어, 0.5 mm, 0.75 mm, 1.0 mm, 1.25 mm, 1.5 mm, 1.75 mm, 2.0 mm, 2.25 mm, 2.5 mm, 2.75 mm, 3.0 mm, 3.5 mm, 또는 임의의 상기 수치 간의 임의의 범위)의 범위에서 일정 폭(예를 들어, 내부 반경 및 외부 반경 사이 거리)을 가질 수 있다. 이들 범위를 벗어나는 수치 또한 가능하다.

[0132] 도 8B는 광선(ray)이 제 2 부 702를 어떻게 통과하여 원거리 비전 포커스(0으로 라벨됨)에 초점을 맞추는지를 도식화한 것이다. 반대로, 제 1 부 701 및 제 3 부 703을 통과하여 지나는 광선은 먼 초점(0), 중간 초점(1), 및 가까운 초점(2)를 연속으로 통과함으로써 확장된 피사계 심도를 제공한다. 상기에 기재된 바와 같이, 제 1 부 701 및 제 3 부 703을 통과하는 광선은 먼 면(0), 중간 면(1), 및 가까운 면(2)에 거의 일정한 횡단 또는 빔 지름을 가지는 커즈틱(caustic)을 형성한다. 상기 빔 지름은, 그러나, 제 2 부 702를 유일하게 통과하여 전파된 광선에 의하여 형성된 먼(far) 이미지 평면(0)에서의 초점 스팟(focus spot)의 크기보다 잠정적으로 더 클 수 있다.

[0133] 제 3 부 703은 제 2 부 프로파일 702과는 상이한 표면 프로파일을 가질 수 있다. 예를 들어, 제 3 부 703은 제 2 부 702보다 고차의, 확장된 피사계 심도를 제공하는 구면 수차 제어(spherical aberration control)을 가질 수 있다. 몇몇 예에서, 제 3 부 703은, 광학축으로부터의 방사상 거리에 대한 비구면 고차 함수를 포함하는 섭동에 의해 오프셋되는 코닉, 이중 코닉, 또는 이중-비구면 엔벨로프를 포함하는 형상을 가질 수 있다.

[0134] 일 실시예에서, 제 3 부 703은 제 1 부 701과 실질적으로 동일한 구면 수차 제어 및/또는 유사한 표면 프로파일을 가질 수 있다. 예를 들어, 제 3 부 703은, 광학축으로부터의 방사상 거리에 대한 비구면 고차 함수를 포함하는 엔벨로프의 섭동에 의해 오프셋되는, 제 1 부와 실질적으로 동일한 코닉, 이중 코닉, 또는 이중-비구면 엔벨로프를 가질 수 있다.

[0135] 본원에 기재된 바와 같이, 제 1 부 701 및/또는 제 3 부 703은, 광학축으로부터의 방사상 거리의 비구면 고차 함수를 포함하는 섭동에 의해 오프셋되는 코닉형, 이중 코닉형, 이중-비구면 엔벨로프를 포함하는 형상을 가질 수 있다. 다양한 실시예에서, 비구면 고차 함수는 최소 하나의 짝수 항, $a_{2n}r^{2n}$을 포함할 수 있으며, 상기에서 n은 정수이고 a_{2n}는 계수이며 r은 광학축으로부터의 반지름이다. 예를 들어, 비구면 고차 함수는 2차 항, a_2r^2을 포함할 수 있으며, 상기에서 a_2는 계수이고 r은 광학축으로부터의 반지름이다. 비구면 고차 함수는 4차 항, a_4r^4을 포함할 수 있으며, 상기에서 a_4는 계수이고 r은 광학축으로부터의 방사상 거리이다. 비구면 고차 함수는 또한 6차 항, a_6r^6을 포함할 수 있으며, 상기에서 a_6는 계수이고 r은 광학축으로부터의 방사상 거리이다. 비구면 고차 함수는 나아가 8차 항, a_8r^8을 포함할 수 있으며, 상기에서 a_8는 계수이고 r은 광학축으로부터의 방사상 거리이다. 비구면 고차 함수에는 이들 고차 항 및 가능한 더 높은 차수 항의 조합을 포함할 수 있다.

[0136] 다양한 실시예에서, 광학부 700의 전방 표면 및/또는 후방 표면은, 제 2 부 702 및 제 3 부 703 사이에 불연속성 없는 매끄러운 전이를 제공하는 전이 부분(나타나 있지 않음)을 더 포함할 수 있다. 전이 부분은 또한 추가 파면 최적화를 허용할 수 있다. 몇몇 실시예에서, 전이부분은 약 0 내지 1 ㎜(예를 들어, 0 ㎜, 0.1 ㎜, 0.2 ㎜, 0.3 ㎜, 0.4 ㎜, 0.5 ㎜, 0.6 ㎜, 0.7 ㎜, 0.8 ㎜, 0.9 ㎜, 1.0 ㎜, 또는 임의의 상기 수치사이의 임의의 범위) 범위에서 폭(내부 반경 및 외부 반경 사이)을 가질 수 있다. 이들 범위 외의 차원 또한 가능하다. 몇몇 경우에, 제 2 부 702 및 제 3 부 703의 곡률 사이의 전이는 어떠한 전이 영역도 필요하지 않을 만큼 충분히 매끄러울 수 있다.

[0137] 몇몇 실시예에서, 제 2 부 702의 커즈틱(caustic)은 제 1 부 701의 커즈틱 및/또는 제 3 부분 703의 커즈틱과 함께 매끄럽게 혼화되도록(또는 더 매끄러운 전이를 제공하도록) 형상이 만들어질 수 있다. 예를 들어, 도 8B에 나타난 바와 같이, 제 2 부 702의 낮은 커즈틱 엔벨로프는 제 3 부 703의 더 낮은 커즈틱 엔벨로프과 매끄럽게 혼화되지 않을 수 있다(예를 들어, 커즈틱의 교차점 근처의 불연속성을 참조하라). 따라서, 몇몇 실시예에서, 더 매끄러운 커즈틱 전이를 제공하기 위하여, 제 2 부 702의 코닉, 이중 코닉, 또는 이중-비구면 엔벨로프의 코닉 상수는 제 1 부 701의 커즈틱 및/또는 제 3 부 703의 커즈틱을 더 매끄럽게 혼화하도록 할 수 있다(예를 들어, 제 1 부 701의 광선 엔벨로프와 더 단단히 맞추거나/또는 제 3 부 703의 광선 엔벨로프과 더 타이트하게 맞추기 위하여). 예를 들어, 몇몇 실시예에서, 제 2 부 702는 코닉 상수를 가져서, 제 2 부 702의 커즈틱이, 제 2 부가 구면 표면을 포함할 때보다 더 매끄럽게 제 1 부 701의 커즈틱과 혼화된다. 나아가, 몇몇 실시예에서 제 2 부 702는 코닉 상수를 가져서, 제 2 부 702의 커즈틱이, 제 2 부가 구면 표면을 포함할 때보다 더 매끄럽게 제 3 부 703의 커즈틱과 혼화된다. 더 매끄러운 커즈틱 전이를 가짐으로써, 외과 수술에서 임플란트를 배치할 때 약간의 오정렬이 환자의 시력에서 티가 덜 나게 만드는 효과를 만들도록 기대할 수 있다. 또한, 더 매끄러운 커즈틱 전이와 함께, 겹쳐진 고스팅(superimposed ghosting) 은 잠재적으로 감소될 수 있다.

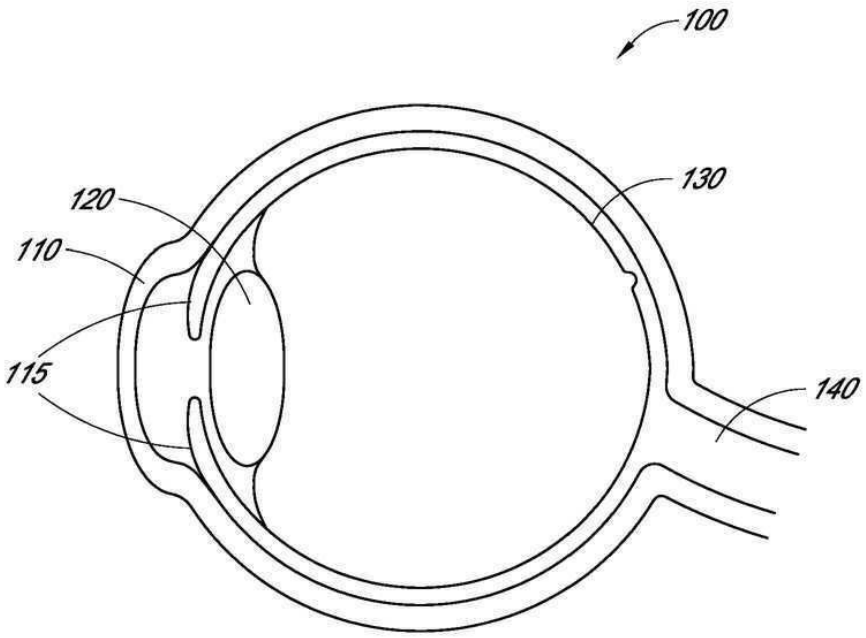
[0138] 본원에 기재된 광학부 201과 관련되어 개시된 다양한 내용은 도 7A-8B의 다양한 실시예에 역시 적용될 수 있다. 예를 들어, 도 7A-8B의 일 실시예는 본원에 기재된 유수정체 또는 수정체대체 렌즈 이식에 사용될 수 있다. 유수정체 렌즈 이식에 사용된 실시예에서, 광학부 700은 약 100-700 마이크로미터, 약 100 내지 약 600 마이크로미터, 약 100 내지 약 500 마이크로미터, 약 100 내지 약 400 마이크로미터, 약 100 내지 약 300 마이크로미터, 또는 약 100 내지 약 200 마이크로미터(예를 들어, 100 마이크로미터, 200 마이크로미터, 300 마이크로미터, 400 마이크로미터, 500 마이크로미터, 600 마이크로미터, 700 마이크로미터, 이들 범위 사이에 이는 모든 수, 또는 이들 수치에 의해 만들어진 모든 범위)의 광학축에 따른 두께를 가질 수 있다. 수정체대체 렌즈 이식에 대한 실시예에서 상기 광학축에 따른 두께는 약 700 마이크로미터 내지 약 4 ㎜, 약 700 마이크로미터 내지 약 3 ㎜, 약 700 마이크로미터 내지 약 2 ㎜, 약 700 마이크로미터 내지 약 1 ㎜, 이들 범위 사이의 모든 수치, 또는 이들 범위 내 임의의 수치에 의해 만들어진 모든 범위일 수 있다. 또다른 실시예로서, 도 7A-8B의 다양한 실시예는, 그 안에 이식된 눈에 있는 광학부 700을 부착시키기 위한 광학부 700과 관련하여, 적어도 하나의 햅틱이 배치된 렌즈에 사용될 수 있다. 나아가, 몇몇 경우에, 제 1 부 701은 광학부의 전방 표면에 있을 수 있고 제 2 부 702는 광학부의 후방 표면에 있을 수 있다. 마찬가지로, 몇몇 경우에, 제 1 부 701은 광학부의 후방 표면에 있을 수 있고, 제 2 부 702는 광학부의 전방 표면에 있을 수 있다.

[0139] 본원에 기재된 용어 "약" 및 "실질적으로"는 기술된 양과 동등하거나 근접한 양을 나타낸다(예를 들어, 여전히 바람직한 기능을 수행하거나 또는 바람직한 결과를 성취하게 하는 양). 예를 들어, 달리 언급되지 않는 한, 용어 "약" 및 "실질적으로"는 기술된 양의 10% 이내(예를 들어, 이상 또는 이하), 5% 이내(예를 들어, 이상 또는 이하), 1% 이내(예를 들어, 이상 또는 이하), 0.1% 이내(예를 들어, 이상 또는 이하), 0.01% 이내(예를 들어, 이상 또는 이하)를 나타낸 수 있다.

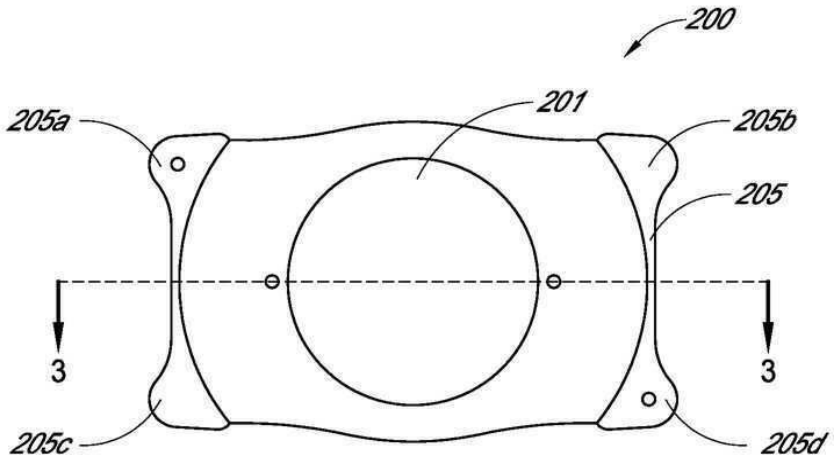
[0140] 본 발명의 다양한 실시예가 본원에 기재된다. 비록 본 발명이 본 명세서 실시예를 참조하여 기술되어 있지만, 이러한 기술은 본 발명에 대한 예시이며 이에 제한되지 않는다. 당업자는 다양한 변형 및 개량을 할 수 있으며 이는 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

도면

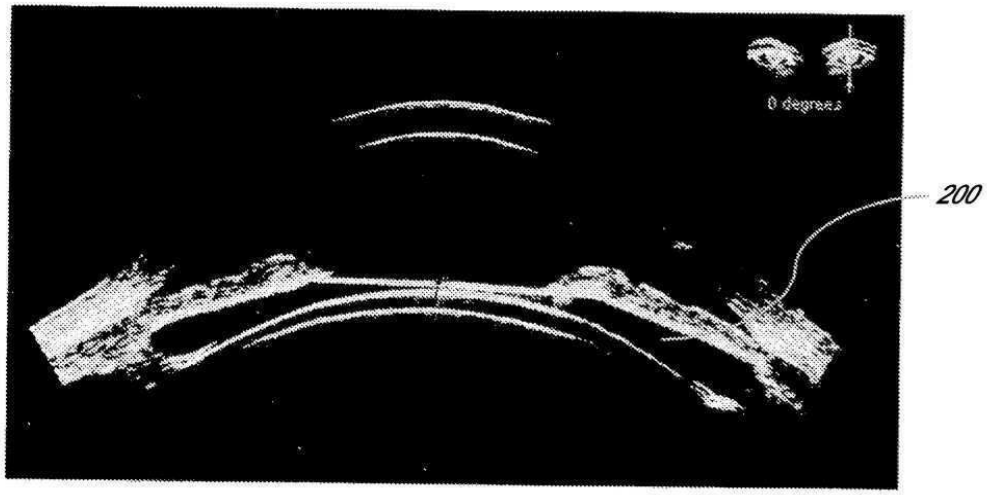
도면1



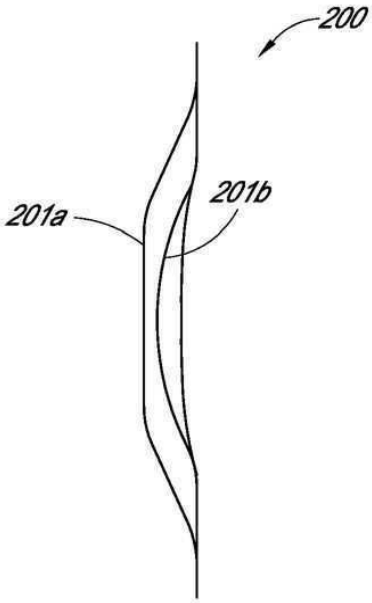
도면2



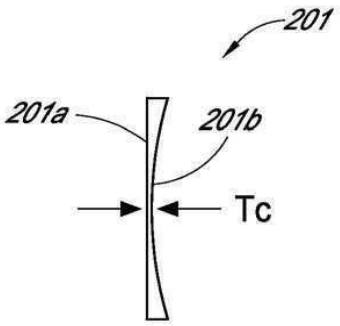
도면3a



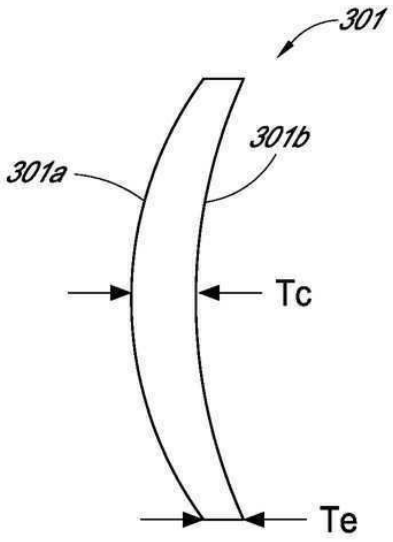
도면3b



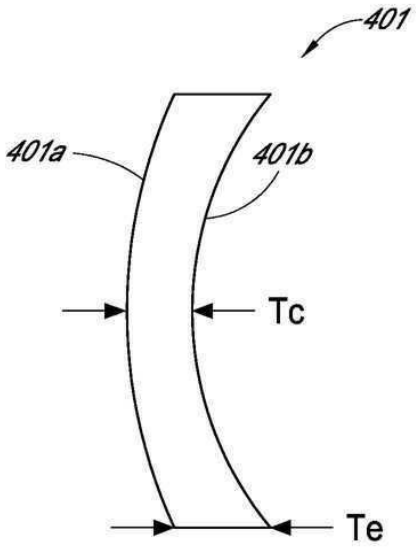
도면4



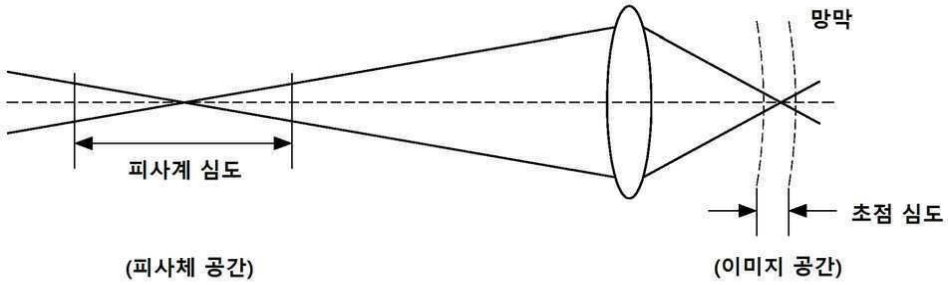
도면5a



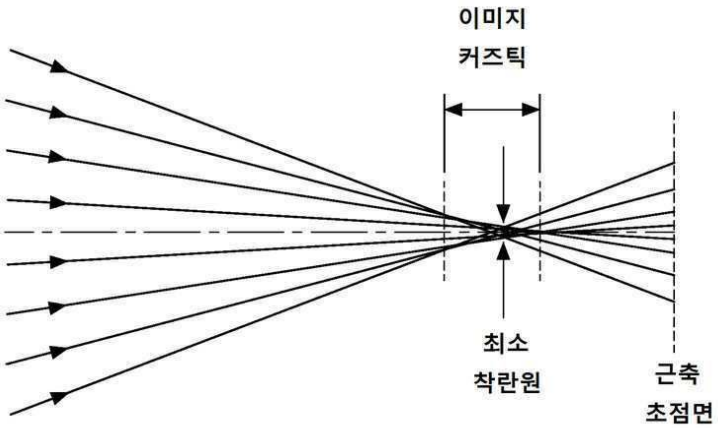
도면5b



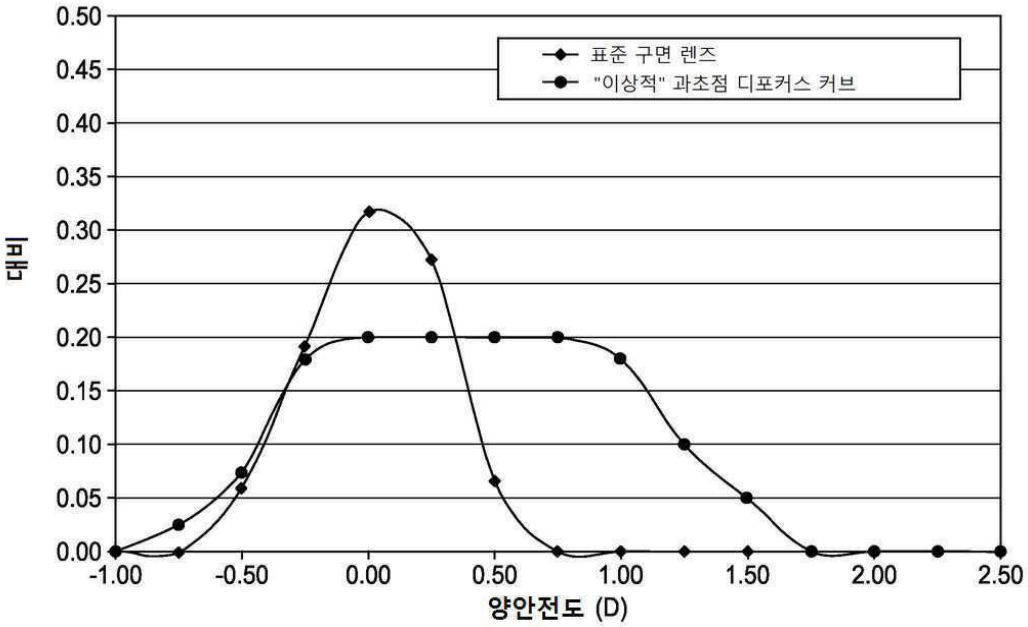
도면6a



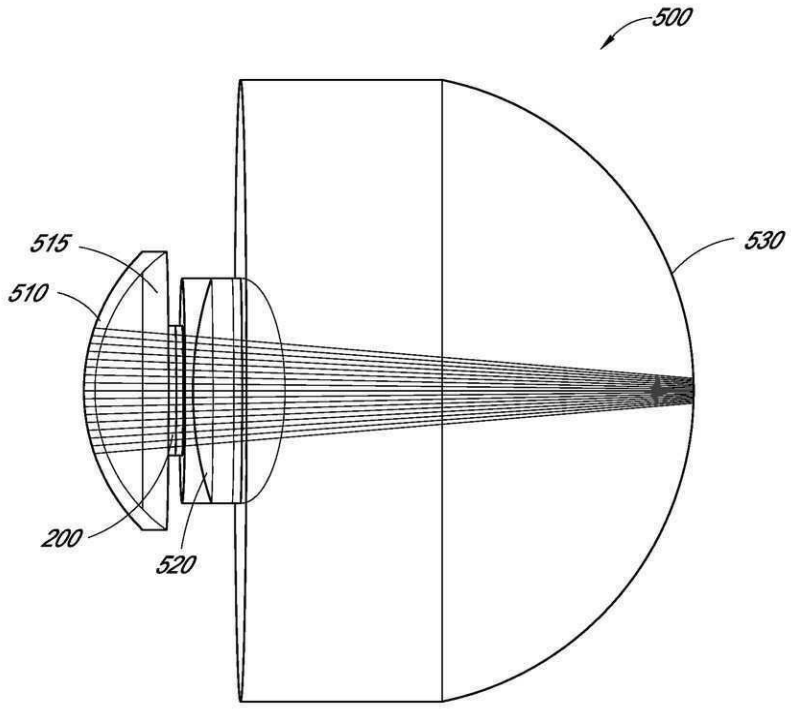
도면6b



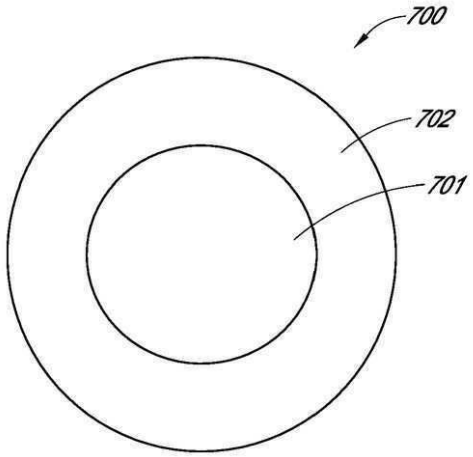
도면6c


0.50
0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
대비
-1.00
-0.50
0.00
0.50
1.00
1.50
2.00
2.50
양안전도 (D)
표준 구면 렌즈
"이상적" 과초점 디포커스 커브

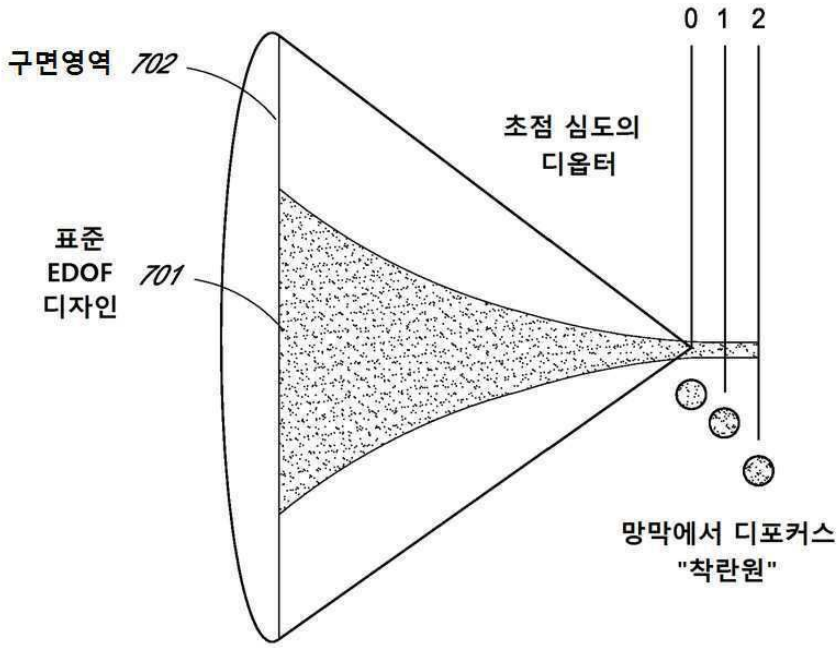
도면6d


500
515
510
530
200
520

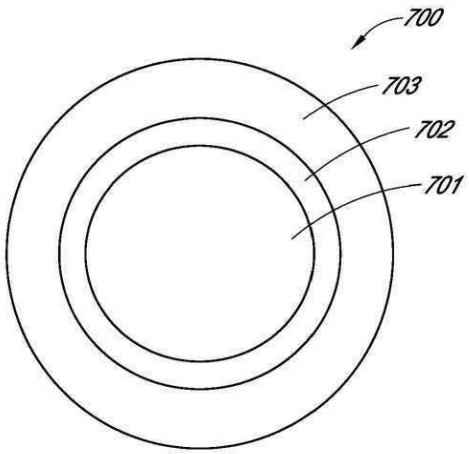
도면7a


700
702
701

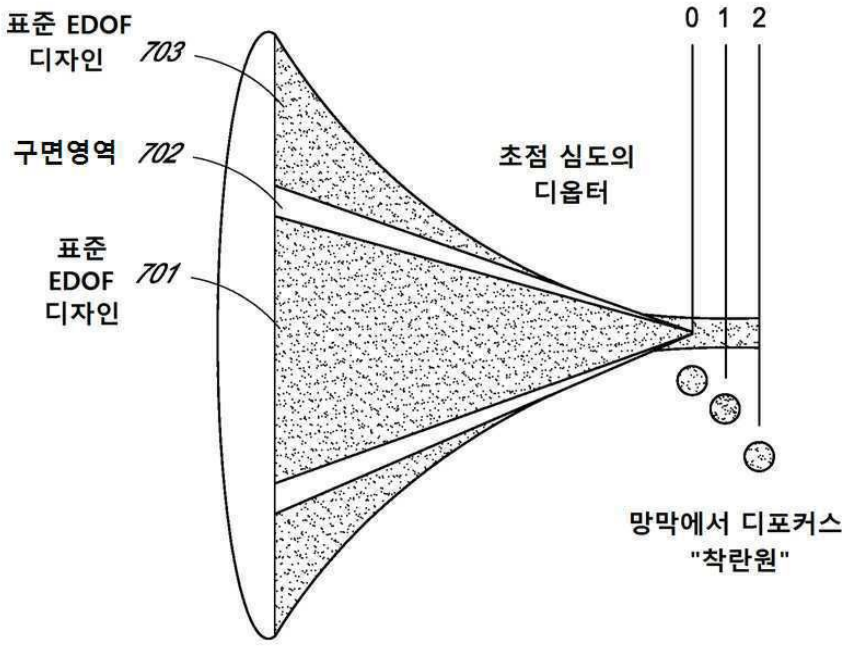
도면7b


0 1 2
구면영역 702
초점 심도의
디옵터
표준
EDOF
디자인
701
망막에서 디포커스
"착란원"

도면8a


700
703
702
701

도면8b


표준 EDOF
디자인
703
구면영역
702
표준
EDOF
디자인
701
0 1 2
초점 심도의
디옵터
망막에서 디포커스
"착란원"