(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년06월14일
(11) 등록번호 10-1630260
(24) 등록일자 2016년06월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61F 2/16 (2006.01) *G02C 7/02* (2006.01)
G02C 7/08 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-7003531
(22) 출원일자(국제) 2009년07월15일
심사청구일자 2014년07월09일
(85) 번역문제출일자 2011년02월15일
(65) 공개번호 10-2011-0028397
(43) 공개일자 2011년03월17일
(86) 국제출원번호 PCT/US2009/050731
(87) 국제공개번호 WO 2010/009254
국제공개일자 2010년01월21일
(30) 우선권주장
61/080,790 2008년07월15일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
WO2007067872 A2*
JP2008517731 A*
US20060244904 A1*
EP0367878 A1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
알콘, 인코퍼레이티드
스위스연방 휘넨베르그 시이에이취 6331 보쉬 69 피. 오. 박스 62
(72) 발명자
홍, 신
미국 76135 텍사스 포트 워쓰 알보르 밀 드라이브 5009
카라켈레, 무트루
미국 76132 텍사스 포트 워쓰 글렌 매도우 드라이브 6713
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 남앤드남

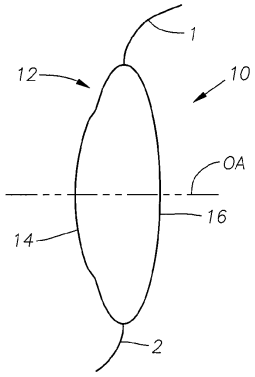
전체 청구항 수 : 총 8 항 심사관 : 이훈재

(54) 발명의 명칭 **동공 역학을 이용함으로써 가조절력을 증가시키기 위한 확장된 초점 심도 [EDOF] 렌즈**

(57) 요 약

하나의 특징으로, 본 발명은 광축을 따라 배치된 전방 표면 및 후방 표면을 갖는 옵틱을 포함하는 안과용 렌즈(예를 들어, IOL)를 제공한다. 하나 이상의 표면(예를 들어, 전방 표면)은 기본 프로파일 및 보조 프로파일의 중첩에 의해 특징되는 프로파일을 갖는다. 보조 프로파일은 내측 영역 및 외측 영역, 및 이들 영역 사이에 하나 또는 그 초과의 전이 영역을 포함할 수 있으며, 전이 영역에 걸친 광로차(즉, 전이 영역의 내측 방사 경계와 외측 방사 경계 간의 광로차)는 디자인 파장(예를 들어, 약 550nm의 파장)의 비정수 분수(예를 들어, 1/2)에 상응한다.

대 표 도 - 도1a



(72) 발명자

창, 시아오시아오

미국 76132 텍사스 포트 워쓰 알라이레 드라이브 5100

최, 명

미국 76016 텍사스 알링턴 모스 드라이브 5900

창, 얀

미국 76109 텍사스 포트 워쓰 유닛 211 벨라이레 드라이브 싸우쓰 4320

심슨, 마이클

미국 76012 텍사스 알링톤 워터웨이 코트 3004

명 세 서

청구범위

청구항 1

광축에 대해 배치된 전방 표면 및 후방 표면을 갖는 옵틱(optic)을 포함하는 안과용 렌즈(ophthalmic lens)로서,

상기 표면 중 하나 이상은 기본 프로파일 및 보조 프로파일의 중첩에 의해 특징되는 프로파일을 가지며, 상기 보조 프로파일은 제 1 굴절 영역, 제 2 굴절 영역 및 이들 사이의 전이 영역을 포함하고,

상기 전이 영역이 내측 영역의 외측 방사 경계로부터 외측 영역의 내측 방사 경계(inner radial boundary)까지 연장되며,

상기 전이 영역이, 디자인 파장(design wavelenth)에서 그 위에 입사되는 광선의 위상이 상기 내측 방사 경계에서 상기 외측 방사 경계로 단조적으로 변환되고, 상기 내측 방사 경계와 상기 외측 방사 경계 사이의 위상 변위가 상기 디자인 파장의 비정수 분수(non-integer fraction)에 상응하도록 구성된 안과용 렌즈.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

제 1항에 있어서, 상기 단조적 변환이 선형 변환에 의해 특징되는 안과용 렌즈.

청구항 5

제 1항에 있어서, 상기 단조적 변환이 하나 또는 그 초과의 정체부에 의해 분리되는 일련의 선형 변환에 의해 특징되는 안과용 렌즈.

청구항 6

제 1항에 있어서, 상기 보조 프로파일을 갖는 표면의 프로파일(Z_{sag})이 하기 관계식에 의해 정의되는 안과용 렌즈.

$$Z_{sag} = Z_{base} + Z_{aux}$$

상기 식에서,

Z_{sag}은 상기 광축으로부터 방사 거리(radial distance)에 따르는 광축에 대한 표면의 새그(sag)를 나타내고,

$$z_{base} = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}} + a_2r^2 + a_4r^4 + a_6r^6 + \ldots,$$

여기서,

r은 광축으로부터의 방사 거리를 나타내고,

c는 표면의 기본 곡률을 나타내고,

κ는 원추 계수를 나타내고,

a_2는 2차 변형 상수(deformation constant)를 나타내고,

a_4는 4차 변형 상수를 나타내고,

a_6은 6차 변형 상수를 나타내고,

$$Z_{aux}=\begin{cases}0, & 0\le r<r_1\\ \dfrac{\Delta}{(r_2-r_1)}(r-r_1), & r_1\le r<r_2\\ \Delta, & r_2<r\end{cases}$$

여기서, r_1은 전이 영역의 내측 방사 경계를 나타내고,

r_2는 전이 영역의 외측 방사 경계(outer radial boundary)를 나타내고,

△는 관계식 $\Delta=\dfrac{\alpha\lambda}{(n_2-n_1)}$ 에 의해 정의되며, 여기서

n_1은 옵틱을 형성하는 재료의 굴절률(index of refraction)을 나타내고,

n_2는 옵틱을 둘러싸는 매체의 굴절률을 나타내고,

λ는 디자인 파장을 나타내고,

a는 비정수 분수를 나타낸다.

청구항 7

제 6항에 있어서, 상기 기본 곡률(c)이 0.0152㎜$^{-1}$ 내지 0.0659㎜$^{-1}$의 범위 내에 있는 안과용 렌즈.

청구항 8

제 6항에 있어서, 상기 원추 계수(k)가 -1162 내지 -19의 범위 내에 있고, α_2가 -0.00032㎜$^{-1}$ 내지 0.0㎜$^{-1}$의 범위 내에 있고, α_4가 0.0 ㎜$^{-3}$ 내지 -0.000053(-5.3x10^{-5})㎜$^{-3}$의 범위 내에 있고, α_6이 0.0 ㎜$^{-5}$ 내지 0.000153(1.53x10^{-4})㎜$^{-5}$의 범위 내에 있는 안과용 렌즈.

청구항 9

제 1항에 있어서, 전이 영역을 갖는 상기 표면이 하기 관계식에 의해 정의된 표면 프로파일(Z_{sag})을 갖는 안과용 렌즈:

$$Z_{sag}=Z_{base}+Z_{aux},$$

상기 식에서,

Z_{sag}는 상기 광축으로부터 방사 거리에 따르는 광축에 대한 표면의 새그를 나타내고,

$$z_{base}=\frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}}+a_2r^2+a_4r^4+a_6r^6+\ldots$$

이고,

r은 광축으로부터의 방사 거리를 나타내고,

c는 표면의 기본 곡률을 나타내고,

κ는 원추 계수를 나타내고,

a_2는 2차 변형 상수를 나타내고,

a_4는 4차 변형 상수를 나타내고,

a_6은 6차 변형 상수를 나타내고,

$$z_{aux}=\begin{cases}0, & 0\le r<r_{1a}\\ \dfrac{\Delta_1}{(r_{1b}-r_{1a})}(r-r_{1a}), & r_{1a}\le r<r_{1b}\\ \Delta_1, & r_{1b}\le r<r_{2a}\\ \Delta_1+\dfrac{(\Delta_2-\Delta_1)}{(r_{2b}-r_{2a})}(r-r_{2a}), & r_{2a}\le r<r_{2b}\\ \Delta_2 & r_{2b}<r\end{cases}$$

여기서, r은 렌즈의 광축으로부터의 방사 거리를 나타내고,

r_{1a}는 보조 프로파일의 전이 영역의 선형인 제 1 선형부의 내측 반경을 나타내고,

r_{1b}는 제 1 선형부의 외측 반경을 나타내고,

r_{2a}는 보조 프로파일의 전이 영역의 선형인 제 2 선형부의 내측 반경을 나타내고,

r_{2b}는 제 2 선형부의 외측 반경을 나타내고, 여기서

각각의 Δ_1 및 Δ_2는 하기 관계식에 따라 정의되며,

$$\Delta_1=\frac{\alpha_1\lambda}{(n_2-n_1)},$$

$$\Delta_2=\frac{\alpha_2\lambda}{(n_2-n_1)},$$

여기서,

n_1은 옵틱을 형성하는 재료의 굴절률을 나타내고,

n_2는 옵틱을 둘러싸는 매체의 굴절률을 나타내고,

λ는 디자인 파장을 나타내고,

a_1는 비정수 분수를 나타내고,

a_2는 비정수 분수를 나타낸다.

청구항 10

제 1항에 있어서, 상기 안과용 렌즈가 IOL을 포함하는 안과용 렌즈.

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

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

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 관련 출원

[0002] 본 출원은 동시 출원된 발명의 명칭이 "토릭 옵틱 및 확장된 초점 심도를 갖는 조절성 IOL"("Accommodative IOL with Toric Optic and Extended Depth of Focus")인 미국 특허 출원에 관한 것이다. 이는 본원에 참고로 통합된다.

배 경 기 술

[0003] 본 발명은 일반적으로 안과용 렌즈(ophthalmic lenses)에 관한 것이며, 더욱 특히 하나 이상의 렌즈 표면 상에 구비된 전이 영역에 걸쳐 조절된 위상 변위(phase shift)의 변동을 통해 강화된 시력을 제공하는 조절성 안구내 렌즈(IOL)에 관한 것이다.

[0004] 안구내 렌즈(IOL)은 일반적으로 수정체를 대체하기 위한 백내장 수술 동안에 환자의 눈에 이식된다. 수정체의 광 파워는 눈의 상이한 거리에서 사물을 보기 위해 조절력을 제공하는 모양체근(ciliary muscle)의 영향 하에서 달라질 수 있다. 그러나, 많은 IOL이 조절력을 제공하지 못하는 단초점 파워를 제공한다. 다초점 IOL은 또한 근거리 광 파워 뿐만 아니라 원거리 광 파워를 제공하여(예를 들어, 회절 구조를 사용함으로써), 소정의 가조절력을 제공한다.

[0005] 그러나, 광범위한 동공 크기에 대해 선명한 광학 이미지를 제공하면서 가조절성 광 파워를 제공할 수 있는 개선된 IOL이 여전히 필요하다. IOL 및 렌즈를 설계함에 있어서, 일반적으로 광학 성능은 소위 "모델-아이(model-eye)"를 사용하는 측정법에 의해 또는 예측 파선 추적법(predictive ray tracing)과 같은 산출법에 의해 측정될 수 있다. 일반적으로, 이러한 측정법 및 산출법은 색수차(chromatic aberration)를 최소화하기 위해 가시 스펙트럼(visible spectrum)의 협소한 선택 영역으로부터의 광에 기초하여 수행된다. 이러한 협소한 영역은 "디자인 파장"으로서 알려져 있다.

발명의 내용

[0006] 요약

[0007] 하나의 특징으로, 본 발명은 광축을 따라 배치된 전방 표면 및 후방 표면을 갖는 옵틱을 포함하는 안과용 렌즈(예를 들어, IOL)를 제공한다. 하나 이상의 표면(예를 들어, 전방 표면)은 기본 프로파일 및 보조 프로파일의 중첩에 의해 특징되는 프로파일을 갖는다. 보조 프로파일은 두개 이상의 영역(예를 들어, 내측 영역 및 외측 영역), 및 이들 영역 사이에 하나 또는 그 초과의 전이 영역을 포함할 수 있으며, 전이 영역에 걸친 광로차(즉, 전이 영역의 내측 방사 경계와 외측 방사 경계 간의 광로차)는 디자인 파장(예를 들어, 약 550nm의 파장)의 비정수 분수(예를 들어, 1/2)에 상응한다.

[0008] 보조 프로파일의 전이 영역은 내측 방사 경계로부터 외측 방사 경계로 연장될 수 있다. 많은 구체예에서, 전이 영역의 내측 방사 경계는 내측 영역의 외측 방사 경계에 상응하고, 전이 영역의 외측 방사 경계는 보조 프로파일의 외측 영역의 내측 방사 경계에 상응한다. 다수의 구체예에서, 전이 영역은 광축으로부터 방사 거리의 증가에 따라 그것의 내측 방사 경계에 대해 광로차를 단조적으로 변환시키기에 적합할 수 있다. 광로차의 단조 변환은 방사 거리에 따라 연속적인 증가 또는 감소에 의해 특징될 수 있으며, 몇몇 경우 변환이 없는 영역(정체 영역)이 개재된다. 예를 들어, 단조 변환은 선형 변환, 또는 하나 또는 그 초과의 정체부에 의해 분리되는 일련의 선형 변환에 의해 특징될 수 있다.

[0009] 몇몇 구체예에서, 기본 프로파일 및 보조 프로파일의 중첩에 의해 형성된 표면의 프로파일(Z_{sag})은 하기 관계식에 의해 정의될 수 있다:

[0010] $$Z_{sag} = Z_{base} + Z_{aux}$$

[0011] 상기 식에서,

[0012] Z_{sag}은 상기 축으로부터 방사 거리(radial distance)에 따르는 광축에 대한 표면의 새그(sag)를 나타내고,

[0013] $$z_{base} = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}} + a_2r^2 + a_4r^4 + a_6r^6 + \ldots,$$

[0014] 여기서,

[0015] r은 광축으로부터의 방사 거리를 나타내고,

[0016] c는 표면의 기본 곡률을 나타내고,

[0017] κ는 원추 계수를 나타내고,

[0018] a_2는 2차 변형 상수(deformation constant)를 나타내고,

[0019] a_4는 4차 변형 상수를 나타내고,

[0020] a_6은 6차 변형 상수를 나타내고,

[0021] $$Z_{aux} = \begin{cases} 0, & 0 \le r < r_1 \\ \frac{\Delta}{(r_2 - r_1)}(r - r_1), & r_1 \le r < r_2 \\ \Delta, & r_2 < r \end{cases}$$

[0022] 여기서, r_1은 전이 영역의 내측 방사 경계(inner radial boundary)를 나타내고,

[0023] r_2는 전이 영역의 외측 방사 경계(outer radial boundary)를 나타내고,

[0024] △는 관계식 $$\Delta = \frac{\alpha\lambda}{(n_2 - n_1)}$$ 에 의해 정의되며, 여기서

[0025] n_1은 옵틱을 형성하는 재료의 굴절률(index of refraction)을 나타내고,

[0026] n_2는 옵틱을 둘러싸는 매체의 굴절률을 나타내고,

[0027] λ는 디자인 파장(예를 들어, 550nm)을 나타내고,

[0028] a는 비정수 분수(예를 들어, 1/2)를 나타낸다.

[0029] 몇몇 다른 구체예에서, 보조 프로파일을 갖는 렌즈 표면의 프로파일(Z_{sag})은 하기 관계식에 의해 정의될 수 있다:

[0030] $$Z_{sag} = Z_{base} + Z_{aux},$$

[0031] 상기 식에서,

[0032] Z_{sag}는 광축으로부터 방사 거리에 따르는 광축에 대한 표면의 새그를 나타내고,

[0033] $$z_{base} = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}} + a_2r^2 + a_4r^4 + a_6r^6 + \ldots$$

[0034] 이고,

[0035] r은 광축으로부터의 방사 거리를 나타내고,

[0036] c는 표면의 기본 곡률을 나타내고,

[0037] κ는 원추 계수를 나타내고,

[0038] a_2는 2차 변형 상수를 나타내고,

[0039] a_4는 4차 변형 상수를 나타내고,

[0040] a_6은 6차 변형 상수를 나타내고,

[0041] $$z_{aux} = \begin{cases} 0, & 0 \le r < r_{1a} \\ \frac{\Delta_1}{(r_{1b} - r_{1a})}(r - r_{1a}), & r_{1a} \le r < r_{1b} \\ \Delta_1, & r_{1b} \le r < r_{2a} \\ \Delta_1 + \frac{(\Delta_2 - \Delta_1)}{(r_{2b} - r_{2a})}(r - r_{2a}), & r_{2a} \le r < r_{2b} \\ \Delta_2 & r_{2b} < r \end{cases}$$

[0042] 여기서, r은 렌즈의 광축으로부터의 방사 거리를 나타내고,

[0043] r_{1a}는 보조 프로파일의 전이 영역의 실질적으로 선형인 제 1 선형부의 내측 반경을 나타내고,

[0044] r_{1b}는 제 1 선형부의 외측 반경을 나타내고,

[0045] r_{2a}는 보조 프로파일의 전이 영역의 실질적으로 선형인 제 2 선형부의 내측 반경을 나타내고,

[0046] r_{2b}는 제 2 선형부의 외측 반경을 나타내고, 여기서

[0047] 각각의 Δ_1 및 Δ_2는 하기 관계식에 따라 정의되며,

$$\Delta_1 = \frac{\alpha_1 \lambda}{(n_2 - n_1)},$$

$$\Delta_2 = \frac{\alpha_2 \lambda}{(n_2 - n_1)},$$

[0048]

[0049] 여기서,

[0050] n_1은 옵틱을 형성하는 재료의 굴절률을 나타내고,

[0051] n_2는 옵틱을 둘러싸는 매체의 굴절률을 나타내고,

[0052] λ는 디자인 파장(예를 들어, 550nm)을 나타내고,

[0053] a_1는 비정수 분수(예를 들어, 1/2)를 나타내고,

[0054] a_2는 비정수 분수(예를 들어, 1/2)를 나타낸다.

[0055] 예를 들어, 상기 관계식에서, 기본 곡률(c)은 약 0.0152㎜$^{-1}$ 내지 약 0.0659㎜$^{-1}$의 범위내에 있을 수 있으며, 원추 계수(κ)는 약 -1162 내지 약 -19의 범위 내에 있을 수 있고, a_2는 약 -0.00032㎜$^{-1}$ 내지 약 0.0㎜$^{-1}$의 범위 내에 있을 수 있고, a_4는 약 0.0 ㎜$^{-3}$ 내지 약 -0.000053(-5.3x10^{-5})㎜$^{-3}$의 범위 내에 있을 수 있고, a_6은 약 0.0 ㎜$^{-5}$ 내지 약 0.000153(1.53X10^{-4})㎜$^{-5}$의 범위 내에 있을 수 있다.

[0056] 또 다른 특징으로, 광축에 대해 배치된 전방 표면 및 후방 표면을 갖는 옵틱을 포함하는 안과용 렌즈(예를 들어, IOL)가 기술된다. 이들 표면 중 하나 이상은 하나 이상의 내측 굴절 영역, 하나 이상의 외측 굴절, 및 내측 영역의 외측 방사 경계로부터 외측 영역의 내측 방사 경계로 연장되는 굴절 전이 영역을 포함한다. 전이 영역은, 디자인 파장(예를 들어, 550nm)에서 그 위에 입사되는 광선의 위상이 상기 내측 방사 경계에서 상기 외측 방사 경계로 단조적으로 변환하여 이들 경계 사이에 상기 디자인 파장의 비정수 분수에 의해 특징되는 위상 변위가 생성되도록 하기에 적합하다. 몇몇 구체예에서, 비정수 분수는 1 미만이고, 다른 경우에는 1 초과이다.

[0057] 몇몇 경우에, 전방 표면 및 후방 표면은 공칭 굴절 광 파워, 예를 들어 약 -15 디옵터 내지 약 +50 디옵터 범위의 파워를 렌즈에 부여하기에 적합한 기본 프로파일을 나타낸다.

[0058] 관련 특징으로, 전이 영역을 갖는 표면은 약 1㎜ 내지 약 5㎜ 범위의 방사 직경을 가질 수 있으며, 전이 영역은 약 0 내지 약 1㎜ 범위의 방사 너비를 갖는 환형 영역의 형태로 존재할 수 있다.

[0059] 또 다른 특징으로, 상기 안과용 렌즈에서, 옵틱은 약 1.5㎜ 내지 약 6㎜ 범위의 구경 크기에 대한 옵틱의 초점면에 대해 비대칭인 쓰루-포커스 변조도 전달 함수(through-focus modulation transfer function)를 나타낸다.

[0060] 또 다른 특징으로, 광축에 대해 배치된 전방 표면 및 후방 표면을 갖는 옵틱을 포함하는 안과용 렌즈(예를 들어, IOL)로서, 각각의 표면이 기본 표면 프로파일을 포함하는 안과용 렌즈가 기술된다. 표면 변동 패턴은 표면 중 하나 이상의 기본 표면 프로파일 상에 중첩되어 내측 표면 영역과 외측 표면 영역 사이에서 연장되는 전이 영역을 형성한다. 전이 영역은 옵틱이 약 1.5㎜ 내지 약 6㎜ 범위의 직경을 갖는 구경을 통해 옵틱 상에 입사되는 광(예를 들어, 디자인 파장(예를 들어, 550nm)을 갖는 광)의 비대칭 쓰루-포커스 변조도 전달 함수를 나타내도록 한다.

[0061] 몇몇 구체예에서, 상기 렌즈는 상기 디자인 파장에 대해 약 1.5㎜ 내지 약 6㎜ 범위의 직경을 갖는 구경을 통해

그 위에 입사되는 광에 대해 약 0.25 디옵터 내지 약 1.75 디옵터 범위의 피사계 심도(depth of field)를 나타낼 수 있다.

[0062] 몇몇 구체예에서, 상기 렌즈는 보다 큰 구경에 대해 비대칭 쓰루-포커스 변조도 전달 함수를 나타내면서 약 2㎜ 미만의 직경을 갖는 구경을 통해 옵틱 상에 입사되는 디자인 파장의 광에 대해 실질적으로 대칭인 쓰루-포커스 변조도 전달 함수를 나타낼 수 있다. 몇몇 구체예에서, 옵틱은 디자인 파장에 대해 약 1.5㎜ 내지 약 6㎜ 범위의 직경을 갖는 구경을 통해 그 위에 입사되는 광에 대해 약 0.25D 내지 약 1.75D 범위의 피사계 심도를 나타낸다.

[0063] 또 다른 특징으로, 본 발명은 전방 표면 및 후방 표면을 갖는 옵틱을 포함하는 안과용 렌즈(예를 들어, IOL)로서, 각각의 표면이 협동하여 공칭 광 파워를 옵틱에 부여하도록 하는 기본 표면 프로파일을 포함하는 안과용 렌즈를 제공한다. 하나 이상의 표면은 그것의 공칭 표면 프로파일에 보조 프로파일을 부가함으로써 형성되는 프로파일을 가지며, 보조 프로파일은 중심 영역, 외측 영역, 및 내측 영역과 외측 영역 사이에서 연장되는 전이 영역에 의해 특징된다. 보조 프로파일은 선택된 범위 내의 크기를 갖는 구경을 통해 옵틱 상에 입사되며 디자인 파장을 갖는 광에 대한 상기 공칭 광 파워와 유효 광 파워 사이에 변위, 예를 들어 약 0.25D 내지 약 1.75D 범위의 변위를 일으키기에 적합하다. 유효 광 파워는 상기 디자인 파장 및 상기 구경에서 옵틱의 쓰루-포커스 변조도 전달 함수의 피크에 의해 특징될 수 있다.

[0064] 관련 특징으로, 상기 렌즈에서 보조 프로파일은 옵틱의 피사계 심도를 증진시키기에 적합하다.

[0065] 또 다른 특징으로, 광축에 대해 배치된 전방 표면 및 후방 표면을 갖는 옵틱을 포함하는 안과용 렌즈(예를 들어, IOL)가 기술된다. 하나 이상의 표면은 하나 이상의 내측 굴절 영역 및 하나 이상의 외측 굴절 영역을 포함하고, 그러한 표면의 프로파일은 내측 영역의 외측 경계로부터 외측 영역의 내측 경계로 입사 광선(예를 들어, 디자인 파장에서의 입사 광선)에 단조적으로 변환하는 위상 변위를 부여하여 디자인 파장(예를 들어, 550㎚)의 비정수 분수인, 두 경계 간의 위상 변위를 제공하도록 구성된다. 몇몇 경우에, 표면 프로파일은 위상 변위가 약 0.75㎜ 내지 약 2.5㎜ 범위의 방사 거리에 대해 일어나도록 구성된다. 추가로, 몇몇 경우에, 위상 변위는 약 0.25D 내지 약 1.75D 범위의 값으로 옵틱에 의해 나타나는 초점 심도를 확장시킬 수 있다.

[0066] 관련 특징으로, 내측 영역의 외측 경계에서 상기 표면의 프로파일의 방사 도함수(radial derivative)는 불연속성을 나타낸다.

[0067] 본 발명은 하기 간략하게 기술되는 도면에 대한 설명과 함께 하기 상세한 설명을 참조하여 보다 잘 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0068] 도 1a는 본 발명의 구체예에 따른 IOL의 개략적인 단면도이다.

도 1b는 도 1a에 도시된 IOL의 전방 표면의 개략적인 평면도이다.

도 2a는 본 발명이 교시에 따라 렌즈 표면 상에 구비된 전이 영역을 통한 본 발명의 일 구체예의 이행에 따른 렌즈의 표면 상에 입사되는 파면에서 유도된 위상 전진을 개략적으로 도시한 것이다.

도 2b는 본 발명이 교시에 따라 렌즈 표면 상에 구비된 전이 영역을 통한 본 발명의 일 구체예의 또 다른 이행에 따른 렌즈의 표면 상에 입사되는 파면에서 유도된 위상 지연을 개략적으로 도시한 것이다.

도 3은 본 발명의 구체예에 따른 렌즈의 적어도 어느 한 표면의 프로파일이 기본 프로파일 및 보조 프로파일의 중첩에 의해 특징될 수 있음을 개략적으로 도시한 것이다.

도 4a 내지 4c는 상이한 동공 크기에 대해 본 발명의 구체예에 따른 가상 렌즈에 대해 계산된 쓰루-포커스(through-focus) MTF 플롯을 나타낸다.

도 5a 내지 5f는 본 발명의 몇몇 구체예에 따른 가상 렌즈에 대해 계산된 쓰루-포커스 MTF 플롯을 나타내며, 각각의 렌즈는 나머지 렌즈의 각각의 광로차(Optical Path Difference(OPD))에 대해 보조 프로파일의 내측 영역과 외측 영역 간에 상이한 OPD를 제공하는 전이 영역을 형성하는 보조 프로파일, 및 기본 프로파일에 의해 특징되는 표면을 갖는다.

도 6은 본 발명의 또 다른 구체예에 따른 IOL의 개략적인 단면도이다.

도 7은 전방 표면의 프로파일이 2-단 전이 영역을 포함하는 보조 프로파일 및 기본 프로파일의 중첩에 의해 특

징될 수 있음을 개략적으로 도시한 것이다.

도 8은 2-단 전이 영역을 갖는 본 발명의 구체예에 따른 가상 렌즈에 대한 계산된 쓰루-포커스 단색(monochromatic) MTF 플롯을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0069] 본 발명은 일반적으로 안과용 렌즈(예컨대, IOL) 및 이러한 렌즈를 사용하는 시력 보정 방법에 관한 것이다. 하기 구체예에서, 본 발명의 다양한 특징에 대한 핵심적인 특성이 안구내 렌즈(IOL)와 관련하여 논의된다. 본 발명의 교시는 또한 콘택트 렌즈와 같은 다른 안과용 렌즈에 적용될 수 있다. 용어 "안구내 렌즈" 및 이의 약어 "IOL"은 본원에서 수정체가 제거되거나 제거되지 않거나 간에 수정체를 교체하거나 다른 식으로 시력을 보강하기 위해 눈의 내부로 이식되는 렌즈를 기술하기 위해 교체가능하게 사용된다. 각막내 렌즈 및 패킥(phakic) 안구내 렌즈는 수정체를 제거하지 않고 눈에 이식될 수 있는 렌즈의 예이다. 다수의 구체예에서, 렌즈는, 작거나 큰 동공 직경에 대해 선명한 이미지 및 중간 동공 직경으로 사물을 보기 위한 가조절력을 제공하도록 렌즈의 옵틱의 내측부와 외측부 간에 선택적으로 광로차를 부여하는 조절된 표면 변조 패턴을 포함할 수 있다.

[0070] 도 1a 및 1b는 광축(OA)에 대해 배치된 전방 표면(14) 및 후방 표면(16)을 갖는 옵틱(12)을 포함하는 본 발명의 일 구체예에 따른 안구내 렌즈(IOL)(10)를 개략적으로 도시한 것이다. 도 1b에 도시된 바와 같이, 전방 표면(14)은 내측 굴절 영역(18), 외측 환형 굴절 영역(20), 및 내측 굴절 영역과 외측 굴절 영역 사이에서 연장되는 환형 전이 영역(22)을 포함한다. 대조적으로, 후방 표면(16)은 완만한 볼록면의 형태이다. 몇몇 구체예에서, 옵틱(12)은 직경(D)이 약 1mm 내지 약 5 mm 범위일 수 있으나, 다른 직경 또한 사용될 수 있다.

[0071] 예시적인 IOL(10)은 또한 눈내 배치를 용이하게 할 수 있는 하나 또는 그 초과의 고정 부재(1 및 2)(예를 들어, 햅틱(haptic))를 포함한다.

[0072] 상기 구체예에서, 전방 표면 및 후방 표면 각각은 볼록 기본 프로파일을 포함하나, 다른 구체예에서 오목 또는 평평한 기본 프로파일이 사용될 수 있다. 후방 표면의 프로파일이 기본 프로파일 만으로 규정되는 반면, 전방 표면의 프로파일은 추가로 하기에서 논의되는 바와 같이, 상기 언급된 내측, 외측 및 전이 영역을 생성하도록 기본 프로파일에 보조 프로파일을 부가함으로써 형성된다. 옵틱을 형성하는 굴절률와 함께 두 표면의 기본 프로파일은 공칭 광 파워를 갖는 옵틱을 제공할 수 있다. 공칭 광 파워는 전방 및 후방 표면에 대해 동일한 기본 프로파일을 갖는 옵틱(12)과 동일한 재료로 형성된 추정되는 옵틱의 단초점 굴절력으로서 규정될 수 있다. 옵틱의 공칭 광 파워는 또한 전방 표면의 중심 영역의 직경 보다 작은 직경을 갖는 작은 구경에 대한 옵틱(12)의 단초점 굴절력으로서 볼 수 있다.

[0073] 전방 표면의 보조 프로파일은, 예를 들어 디자인 파장(예를 들어, 550nm)에서 옵틱에 대해 산출되거나 측정된 쓰루-포커스 변조 전달 함수의 피크의 축 위치에 상응하는 초점 길이에 의해 특징되는 바와 같이 옵틱의 실제 광 파워가 하기 논의되는 바와 같이 렌즈의 공칭 광 파워, 특히 중간 범위의 구경(동공) 크기에 대한 렌즈의 공칭 광 파워로부터 벗어나도록 이러한 공칭 광 파워를 조절할 수 있다. 많은 구체예에서, 광 파워에서의 이러한 변위는 중간 동공 크기에 대한 근시력을 개선시키기 위해 설계된다. 몇몇 경우에, 옵틱의 공칭 광 파워는 약 -15D 내지 약 +50D의 범위, 바람직하게는 약 6D 내지 약 34D의 범위 내에 있을 수 있다. 추가로, 몇몇 경우에, 전방 표면의 보조 프로파일로 인한 옵틱의 공칭 파워로의 변위는 약 0.25D 내지 약 2.5D의 범위 내에 있을 수 있다.

[0074] 계속해서 도 1a 내지 1b와 관련하면, 전이 영역(22)은 내측 방사 경계(IB)(이러한 경우, 내측 굴절 영역(18)의 외측 방사 경계에 상응함)로부터 외측 방사 경계(OB)(이러한 경우, 외측 굴절 영역의 내측 방사 경계에 상응함)으로 방사상 연장되는 환형 영역의 형태로 존재한다. 몇몇 경우에, 어느 하나 또는 둘 모두의 경계가 전방 표면 프로파일에 불연속성(예를 들어, 단)을 포함할 수 있으나, 많은 구체예에서, 전방 표면 프로파일은 경계에서 연속이고, 그렇다고 하더라고, 프로파일의 방사 도함수(radial derivative)(즉, 광축으로부터 방사 거리에 따르는 표면 새그의 변화율)는 각각 경계에서 불연속성을 나타낼 수 있다. 몇몇 경우에, 전이 영역의 환형 폭은 약 0.75 mm 내지 약 2.5 mm의 범위 내에 있을 수 있다. 몇몇 경우에, 전방 표면의 방사 직경에 대한 전이 영역의 환형 폭의 비는 약 0 내지 약 0.2의 범위 내에 있을 수 있다.

[0075] 많은 구체예에서, 전방 표면(14)의 전이 영역(22)은 그 위에 입사하는 광선의 위상이 그것의 내측 경계(IB)로부터 외측 경계(OB)로 단조적으로 변환하도록 맞춰질 수 있다. 즉, 외측 영역과 내측 영역 간의 비-제로(non-zero) 위상 차가 전이 영역에 걸쳐 광축으로부터 방사 직경을 증가시킴에 따라 위상을 점진적으로 증가시키거나 점진적으로 감소시킴으로써 달성될 것이다. 몇몇 경우에, 전이 영역은 위상의 점진적 증가부와 사이에 개재된,

정체부를 포함할 수 있으며, 이때 위상은 실질적으로 일정하게 존재할 수 있다.

[0076] 많은 구체예에서, 전이 영역은, 어느 하나가 전이 영역의 외측 경계에 입사되고, 나머지가 전이 영역의 내측 경계에 입사되는 두개의 평행한 광선 사이의 위상 변위가 디자인 파장(예를 들어, 550nm의 디자인 파장)의 비정수 유리 분수일 수 있도록 구성된다. 예를 들어, 이러한 위상 변위는 하기 관계식에 따라 정의될 수 있다:

$$\text{위상 변위} = \frac{2\pi}{\lambda}\,\mathrm{OPD} \qquad (1A),$$

$$\mathrm{OPD} = (A+B)\lambda \qquad (1B)$$

[0077]

[0078] 상기 식에서,

[0079] A는 정수를 나타내고,

[0080] B는 비정수 유리 분수를 나타내고,

[0081] λ는 디자인 파장(예를 들어, 550nm)를 나타낸다.

[0082] 예를 들어, 전이 영역에 걸친 총 위상 변위는 λ/2, λ/3, 등일 수 있으며, 여기서 λ는 디자인 파장, 예를 들어, 550nm를 나타낸다. 많은 구체예에서, 위상 변위는 어느 한 파장에 상응하는 주기성(periodicity)과 함께 입사되는 광선의 파장의 주기 함수일 수 있다.

[0083] 많은 구체예에서, 전이 영역은 입사되는 광선에 반응하여 옵틱으로부터 나타나는 파면(즉, 옵틱의 후방 표면으로부터 나타나는 파면)에서의 변형을 초래할 수 있으며, 이는 그것의 공칭 파워에 대해 효과적인 포커싱 파워(focusing power)를 변위시킬 수 있다. 또한, 파면의 변형은 하기에 추가로 논의되는 바와 같이, 특히 중간 직경의 구경에 대해 전이 영역을 포함하는 구경 직경에 대한 옵틱의 초점 심도를 증대시킬 수 있다. 예를 들어, 전이 영역은 옵틱의 외측부로부터 나타나는 파면과 내측부로부터 나타나는 파면 사이에 위상 변위를 초래할 수 있다. 이러한 위상 변위는 옵틱이 외측부로부터 나오는 광선이, 옵틱의 내측부로부터 나오는 광선이 초점을 맞추는 위치에서 옵틱의 내측부로부터 나오는 광선을 간섭하도록 초래할 수 있고, 이에 따라 피크 MTF와 관련된 비대칭 MTF(변조도 전달 함수)에 의해 특징되는 것과 같이 증진된 초점 심도가 되게 한다. 용어 "초점 심도" 및 "피사계 심도(depth-of-field)"는 교체가능하게 사용될 수 있으며, 용인할 수 있는 이미지가 분석될 수 있는 사물 공간과 이미지 공간의 거리에 관한 것으로서 당업자들에게 공지되어 있으며, 용이하게 이해된다. 어떠한 추가의 설명이 필요할 수 있다는 점에서, 초점 심도는 3mm 구경 및 녹색 광, 예를 들어, 약 550nm의 파장을 갖는 광으로 측정된 렌즈의 쓰루-포커스 변조도 전달 함수(MTF)의 피크에 대해 디포커스의 양을 나타낼 수 있으며, 여기서 MTF는 약 50 lp/mm의 공간 주파수(spatial frequency)에서 약 15% 이상의 콘트라스트 수준을 나타낸다. 다른 정의들이 또한 적용될 수 있으며, 피사계 심도는 예를 들어, 구경 크기, 이미지를 형성하는 빛의 색채량(chromatic content)을 포함하는 많은 인자들에 의해 영향을 받을 수 있음이 명백하다.

[0084] 추가의 예시로, 도 2a는 표면의 내측부 및 외측부 사이에 전이 영역을 갖는 본 발명의 일 구체예에 따른 IOL의 전방 표면에 의해 생성된 파면의 일부분, 및 그러한 표면 상에 입사되는 파면의 일부분, 및 실제 파면의 RMS(root-mean-square: 제곱평균제곱근) 오차를 최소화하는 기준 구형 파면(spherical wavefront)을 개략적으로 도시한 것이다. 전이 영역은 망막 면 앞(전이 영역의 부재시 IOL의 공칭 초점 면 앞)의 초점 면에서 파면의 수렴을 유도하는 파면의 위상 전진(전이 영역이 없는 추정되는 유사한 표면에 상응하는 것에 대한)을 초래한다. 도 2b는 전이 영역이 망막 면 뒤(전이 영역의 부재시 IOL의 공칭 초점 면 뒤)의 초점 면에서 파면의 수렴을 유도하는 파면의 위상 지연을 초래하는 또 다른 경우를 개략적으로 도시한 것이다.

[0085] 예로서, 이러한 실행예에 있어서, 전방 및/또는 후방 표면의 기본 프로파일은 하기 관계식에 의해 정의될 수 있다:

$$z_{base} = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}} + f(r^2, r^4, r^6, \ldots) \qquad (2)$$

[0086]

[0087] 상기 식에서,

[0088] c는 프로파일의 곡률을 나타내고,

[0089] κ는 원추 계수를 나타내고,

[0090] $f(r^2, r^4, r^6, \ldots)$은 기본 프로파일에 대해 높아지는 차수 기여도(order contribution)를 갖는 함수를 나타낸다. 예를 들어, 함수(f)는 하기 관계식에 의해 정의될 수 있다:

$$f(r^2, r^4, r^6, \ldots) = a_2 r^2 + a_4 r^4 + a_6 r^6 + \ldots \qquad (3)$$

[0091]

[0092] 상기 식에서,

[0093] a_2는 2차 변형 상수를 나타내고,

[0094] a_4는 4차 변형 상수를 나타내고,

[0095] a_6은 6차 변형 상수를 나타낸다. 또한, 추가의 보다 높은 차수 용어가 포함될 수 있다.

[0096] 예를 들어, 몇몇 구체예에서, 파라미터(c)는 약 0.0152 mm^{-1} 내지 약 0.0659 mm^{-1}의 범위 내에 있을 수 있고, 파라미터(κ)는 약 -1162 내지 약 -19의 범위 내에 있을 수 있고, a_2는 약 -0.00032mm^{-1} 내지 약 0.0mm^{-1}의 범위 내에 있을 수 있고, a_4는 약 0.0mm^{-3} 내지 약 -0.000053(-5.3x10^{-5})mm^{-3}의 범위 내에 있을 수 있고, a_6은 약 0.0 mm^{-5} 내지 약 0.000153(1.53x10^{-4})mm^{-5}의 범위 내에 있을 수 있다.

[0097] 예를 들어, 원추 상수(k)에 의해 특징되는 전방 및/또는 후방 기본 프로파일에서 소정의 비구면도(degree of asphericity)의 사용은 큰 구경 크기에 대한 구면 수차 효과(spherical aberration effect)를 개선시킬 수 있다. 큰 구경 크기에 있어서, 이러한 비구면성은 전이 영역의 광 효과를 다소 상쇄시킬 수 있고, 이에 따라 셰이퍼(shaper) MTF를 유도한다. 몇몇 다른 구체예에서, 하나 또는 두 표면 모두의 기본 프로파일은 비점 수차(astigmatic aberration)를 개선시키 위해 토릭일 수 있다(즉, 표면을 따라 두개의 직교 방향을 따라 상이한 곡률 반경을 나타낼 수 있다).

[0098] 상기 주지되는 바와 같이, 이러한 예시적인 구체예에서, 전방 표면(14)의 프로파일은 상기 식(1)에 의해 정의된 프로파일과 같은 기본 프로파일 및 보조 프로파일의 중첩에 의해 정의될 수 있다. 이러한 실행예에 있어서, 보조 프로파일(Z_{aux}) 은 하기 관계식에 의해 정의될 수 있다:

$$Z_{aux} = \begin{cases} 0, & 0 \le r < r_1 \\ \dfrac{\Delta}{(r_2 - r_1)}(r - r_1), & r_1 \le r < r_2 \\ \Delta, & r_2 < r \end{cases} \qquad (4)$$

[0099]

[0100] 상기 식에서,

[0101] r_1은 전이 영역의 내측 방사 경계를 나타내고,

[0102] r_2는 전이 영역의 외측 방사 경계를 나타내고,

[0103] Δ는 하기 관계식

$$\Delta = \frac{\alpha\lambda}{(n_2 - n_1)}, \qquad (5)$$

[0104]

[0105] 에 의해 정의되며, 여기서

[0106] n_1은 옵틱을 형성하는 재료의 굴절률을 나타내고,

[0107] n_2는 옵틱을 둘러싸는 매질의 굴절률을 나타내고,

[0108] λ는 디자인 파장을 나타내고,

[0109] a는 비정수 분수, 예를 들어, ½를 나타낸다.

[0110] 다시 말해, 이러한 구체예에서, 전방 표면의 프로파일(Z_{sag})은 하기에서 정의되고, 도 3에 개략적으로 도시된 바와 같이 기본 프로파일(Z_{base}) 및 보조 프로파일(Z_{aux})의 중첩에 의해 정의된다:

[0111] $$Z_{sag} = Z_{base} + Z_{aux} \qquad (6)$$

[0112] 이러한 구체예에서, 상기 관계식(4) 및 (5)에 의해 정의되는 보조 프로파일은 전이 영역에 걸친 실질적으로 선형인 위상 변위에 의해 특징된다. 더욱 구체적으로 보조 프로파일은 디자인 파장의 비정수 분수에 상응하는 전이 영역의 내측 경계와 외측 경계 간의 광로차에 의해 전이 영역의 내측 경계로부터 외측 경계로 선형으로 증가하는 위상 변위를 제공한다.

[0113] 많은 구체예에서, 상기 렌즈(10)와 같은 본 발명의 교시에 따른 렌즈는 렌즈의 중심 영역의 직경 내에 속하는 작은 동공 직경에 대해(예를 들어, 2㎜의 동공 직경에 대해) 위상 변위에 의해 초래된 광학 효과 없이 단초점 렌즈로서 효과적으로 기능함으로써 우수한 원시력 성능을 제공할 수 있다. 중간 동공 직경에 대해(예를 들어, 약 2㎜ 내지 약 4㎜ 범위의 동공 직경(예를 들어, 약 3㎜의 동공 직경)에 대해), 위상 전위에 의해 초래된 광학 효과(예를 들어, 렌즈에서 나오는 파면에서의 변화)는 근시력 및 중간 시력 기능의 증진을 유도할 수 있다. 큰 동공 직경에 대해(예를 들어, 약 4㎜ 내지 약 5㎜ 범위의 동공 직경에 대해), 렌즈는 또한 위상 변위가 단지 입사광에 노출되는 전방 표면의 작은 부분을 차지하기 때문에 우수한 원시력 성능을 제공할 수 있다.

[0114] 예를 들어, 도 4a 내지 4c는 상이한 동공 크기에 대한 본 발명의 구체예에 따른 가상 렌즈의 광학 성능을 도시한 것이다. 이 렌즈는 상기 관계식(6)에 의해 정의된 전방 표면, 및 원만한 볼록 기본 프로파일(예를 들어, 상기 관계식(2)에 의해 정의된 것)에 의해 특징되는 후방 표면을 갖는 것으로 가정되었다. 추가로, 렌즈는 약 2.2㎜의 직경을 갖는 내측 경계에서 약 2.6㎜의 직경을 갖는 외측 경계에 이르는 전이 영역과 함께 6㎜의 직경을 갖는 것으로 가정되었다. 전방 표면 및 후방 표면의 기본 곡률은 옵틱이 21D의 공칭 광 파워를 제공하도록 선택되었다. 렌즈를 둘러싸는 매질은 약 1.336의 굴절률을 갖는 것으로 가정되었다. 표 1a 내지 1c는 하기에서 렌즈 옵틱의 여러 파라미터 및 렌즈의 전방 및 후방 표면의 여러 파라미터를 기재하고 있다.

[0115] 표 1a

[0116]

옵틱		
중심 두께 (㎜)	직경 (㎜)	굴절률
0.64	6	1.5418

[0117] 표 1b

[0118]

전방 표면							
기본 프로파일					보조 프로파일		
기본 반경 (㎜)	원추 계수 (k)	a_2	a_4	a_6	r1	r2	Δ
18.93	-43.56	0	2.97E-4	-2.3E-5	1.1	1.25	-1.18

[0119] 표 1c

후방 표면				
기본 반경 (mm)	원추 계수 (k)	a_2	a_4	a_6
-20.23	0	0	0	0

[0120]

[0121] 더욱 구체적으로, 각각의 도 4a 내지 4c에서, 하기 변조 주파수에 상응하는 쓰루-포커스 변조도 전달(MTF) 플롯이 제공된다: 25 lp/mm, 50 lp/mm, 75 lp/mm, 및 100 lp/mm. 약 2mm의 동공 크기에 대한 도 4a에 도시된 MTF는 렌즈가 초점 면에 대해 대칭인 약 0.7D의 초점 심도로, 예를 들어, 실외 활동에 대해 우수한 광학 성능을 제공함을 시사한다. 3mm의 동공 직경에 대해, 도 4b에 도시된 각각의 MTF는 네가티브 디포커스 방향으로의 피크 변위로 렌즈의 초점 면에 대해(즉, 제로 디포커스에 대해) 비대칭이다. 이러한 변위는 근시력(예를 들어, 독서)을 도와주는 소정의 가조절력을 제공할 수 있다. 또한, 이러한 MTF는 2mm 동공 직경에 대해 산출된 MTF에 의해 나타난 것보다 큰 폭을 갖는데, 이는 중간 시력에 대한 우수한 성능으로 해석된다. 4mm의 더욱 큰 동공 직경에 대해(도 4c), MTF의 비대칭 및 폭이 3mm 직경에 대해 산출된 것들과 비교하여 감소한다. 이는 낮은 광 조건 하에서, 예를 들어, 야간 운전에 대해 우수한 원시력 성능을 시사한다.

[0122] 위상 변위의 광학 효과는 그 영역과 관련된 다양한 파라미터, 예컨대 방사 범위 및 입사광에 위상 변위를 부여하는 비율을 변화시킴으로써 조절될 수 있다. 예를 들어, 상기 관계식(3)에 의해 정의된 전이 영역은 $\frac{\Delta}{(r_2 - r_1)}$ 에 의해 정의된 기울기를 나타내며, 이는 특히 중간 동공 크기에 대해 그 표면 상에 그러한 전이 영역을 갖는 옵틱의 성능을 조절하도록 변화될 수 있다.

[0123] 예를 들어, 도 5a 내지 5f는 3mm의 동공 크기에서, 그리고 관계식(2)에 의해 정의된 기본 프로파일 및 관계식(4) 및 (5)에 의해 정의된 보조 프로파일의 중첩으로서 도 3에 도시된 표면 프로파일을 나타내는 전방 표면을 갖는 가상 렌즈에 대한 50 lp/mm의 변조 주파수에 대해 산출된 쓰루-포커스 변조도 전달 함수(MTF)를 나타낸 것이다. 옵틱은 1.554의 굴절률을 갖는 재료로 형성된 것으로 가정되었다. 또한, 전방 표면의 기본 곡률 및 후방 표면의 기본 곡률은 옵틱이 약 21D의 공칭 광 타워를 갖도록 선택되었다.

[0124] 전이 영역의 광학 효과가 보다 잘 용이하게 이해될 수 있는 참조를 제공하는 것으로서, 도 5a는 바니싱(vanishing) Δz을 갖는 옵틱, 즉, 본 발명의 교시에 따른 위상 변위가 없는 옵틱에 대한 MTF를 나타낸다. 원만한 전방 및 후방 표면을 갖는 이러한 종래의 옵틱은, 옵틱의 초점 면에 대해 대칭적으로 배치되며 약 0.4D의 초점 심도를 나타내는 MTF 곡선을 나타낸다. 대조적으로, 도 5b는 전방 표면이 약 0.01 mm의 최대 너비(radial extent) 및 Δz=1 마이크론에 의해 특징되는 전이 영역을 포함하는 본 발명의 구체예에 따른 옵틱에 대한 MTF를 도시한 것이다. 도 5b에 도시된 MTF 플롯은 약 1D의 보다 큰 초점 심도를 나타내고 있으며, 이는 옵틱이 개선된 피사계 심도를 제공함을 시사한다. 또한, 그것은 옵틱의 초점 면에 대해 비대칭이다. 실제로, 상기 MTF 플롯의 피크는 그것의 초점 면보다 옵틱에 대해 보다 가깝다. 이는 효과적인 광 파워 증가를 제공하여 근거리 독서를 용이하게 한다.

[0125] Δz = 1.5 마이크론(도 5c)를 제공하도록 전이 영역의 기울기가 커지게 됨에 따라(최대 너비가 0.01mm에서 고정됨), MTF는 추가로 넓어지고(즉, 옵틱이 보다 큰 피사계 초점을 제공한다), 그것의 피크 변위는 옵틱의 초점면보다 옵틱으로부터 더 멀어진다. 도 5d에 도시된 바와 같이, Δz=2.5 마이크론으로 특징되는 전이 영역을 갖는 옵틱에 대한 MTF는 Δz=0을 갖는 옵틱에 대한 도 5a에서 도시된 것과 동일하다.

[0126] 실제로, MTF 패턴은 모든 디자인 파장에 대해 반복된다. 예를 들어, 디자인 파장이 550nm이고, 옵틱이 아크리소프(Acrysof) 물질(2-페닐에틸 아크릴레이트 및 2-페닐에틸 메타크릴레이트의 가교된 코폴리머)로 형성되는 구체예에서, Δz=2.5마이크론이다. 예를 들어, Δz=3.5 마이크론에 상응하는 도 5e에서 도시된 MTF 곡선은 Δz=1.5에 대해 도 5b에 도시된 것과 동일하고, Δz=4 마이크론에 상응하는 도 5f에 도시된 MTF 곡선은 Δz=1.5 마이크론에 상응하는 도 5c에 도시된 MTF 곡선과 동일하다. 상기 관계식(3)에 의해 정의된 Z_{aux}에 대한 Δz에 상응하는 광로차(OPD)는 하기 관계식에 의해 정의될 수 있다:

[0127] $$\text{광로차 } (OPD) = (n_2 - n_1)\Delta Z \qquad (7)$$

[0128] 상기 식에서,

[0129] n_1은 옵틱을 형성하는 재료의 굴절률을 나타내고,

[0130] n_2는 옵틱을 둘러싸는 재료의 굴절률을 나타낸다. 따라서, n_2 = 1.552이고, n_1 = 1.336이고, Δz가 2.5 마이크론인 경우, 1λ에 상응하는 OPD가 약 550nm의 디자인 파장에 대해 달성된다. 다시 말해, 도 5a 내지 5f에 도시된 예시적인 MTF 플롯이 1λ OPD에 상응하는 Δz 변동에 대해 반복된다.

[0131] 본 발명의 교시에 따른 전이 영역은 여러 방법으로 이행될 수 있으며, 관계식(4)에 의해 정의되는 상기 예시적인 영역으로 국한되지 않는다. 또한, 몇몇 구체예에서, 전이 영역이 원만하게 달라지는 표면부를 포함하지만, 다른 경우에서는 하나 또는 그 초과의 단계에 의해 서로 분리된 다수의 표면 세그먼트에 의해 형성될 수 있다.

[0132] 도 6은 전방 표면(28) 및 후방 표면(30)을 갖는 옵틱(26)을 포함하는 본 발명의 또 다른 구체예에 따른 IOL(24)을 개략적으로 도시한 것이다. 이전의 구체예와 유사하게, 전방 표면의 프로파일은 기본 프로파일 및 보조 프로파일, 특히 이전의 구체예와 관련하여 상기 기술된 보조 프로파일과 상이한 보조 프로파일의 중첩에 의해 특징될 수 있다.

[0133] 도 7에 개략적으로 도시된 바와 같이, 상기 IOL(24)의 전방 표면(28)의 프로파일(Z_{sag})은 기본 프로파일(Z_{base}) 및 보조 프로파일(Z_{aux})의 중첩에 의해 형성된다. 더욱 구체적으로, 이러한 실행예에 있어서, 전방 표면(28)의 프로파일은 하기에서 재현되는 상기 관계식(6)에 의해 정의될 수 있다:

[0134] $$Z_{sag} = Z_{base} + Z_{aux}$$

[0135] 상기 식에서,

[0136] 기본 프로파일(Z_{base})은 상기 관계식(2)에 따라 정의될 수 있다. 그러나, 보조 프로파일(Z_{aux})은 하기 관계식(8)에 의해 정의된다:

[0137] $$z_{aux} = \begin{cases} 0, & 0 \le r < r_{1a} \\ \dfrac{\Delta_1}{(r_{1b} - r_{1a})}(r - r_{1a}), & r_{1a} \le r < r_{1b} \\ \Delta_1, & r_{1b} \le r < r_{2a} \\ \Delta_1 + \dfrac{(\Delta_2 - \Delta_1)}{(r_{2b} - r_{2a})}(r - r_{2a}), & r_{2a} \le r < r_{2b} \\ \Delta_2 & r_{2b} < r \end{cases} \quad (8)$$

[0138] 상기 식에서,

[0139] r은 렌즈의 광축의 방사 거리를 나타내고, 파라미터 r_{1a}, r_{1b}, r_{2a}, 및 r_{2b}는 도 7에 도시되어 있으며, 하기와 같이 정의된다:

[0140] r_{1a}는 보조 프로파일의 전이 영역의 실질적으로 선형인 제 1 선형부의 내측 반경을 나타내고,

[0141] r_{1b}는 제 1 선형부의 외측 반경을 나타내고,

[0142] r_{2a}는 보조 프로파일의 전이 영역의 실질적으로 선형인 제 2 선형부의 내측 반경을 나타내고,

[0143] r_{2b}는 제 2 선형부의 외측 반경을 나타내고,

[0144] Δ_1 및 Δ_2는 각각 상기 관계식(8)에 따라 정의될 수 있다.

[0145] 계속해서 도 7과 관련하면, 이 구체예에서, 보조 프로파일(Z_{aux})은 평평한 중심 영역 및 외측 영역(32 및 34), 중심 영역과 외측 영역을 연결하는 2-단 영역(36)을 포함한다. 더욱 구체적으로, 전이 영역(36)은 선형 변화부(36a)를 포함하며, 이는 중심 영역(32)의 외측 방사 경계로부터 정체 영역(36b)(이는 방사 좌표(r_{1a})로부터 또 다른 방사 좌표(r_{1b})로 연장된다)으로 연장된다. 정체 영역(36b)은 계속해서 방사 좌표(r_{1b})로부터 방사 좌표(r_{2a})로 연장되고, 그것이 또 다른 선형 변화부로 연결되고, 이는 방사 좌표(r_{2b})에서 외측 영역(34)으로 방사상 외측으로 연장된다. 전이 영역의 선형 변화부(36a 및 36c)는 유사하거나 상이한 기울기를 가질 수 있다. 많은 실행예에서, 두개의 전이 영역에 걸쳐 제공된 전체 위상 변위는 디자인 파장(예를 들어, 550nm)의 비정수 분수이다.

[0146] 전방 표면(30)의 프로파일은 곡률 반경(c)을 포함하는 여러 파라미터를 적절히 선택함에 의해 Z_{base}에 대한 상기 관계식(2)에 의해 정의될 수 있다. 후방 표면의 기본 프로파일의 반경 곡률과 함께 전방 표면의 기본 프로파일의 반경 곡률, 및 렌즈를 형성하는 물질의 굴절률은, 공칭 굴절 광 파워, 예를 들어, 약 -15D 내지 약 +50D 범위, 또는 약 6D 내지 약 34D 범위, 또는 약 16D 내지 약 25D 범위의 광 파워를 갖는 렌즈를 제공한다.

[0147] 예시된 IOL(24)은 다수의 이점을 제공할 수 있다. 예를 들어, 기능적 근시력 및 중간 시력의 증진에 기여하는 2단 전이 영역의 광학 효과로 작은 동공 크기에 대해 선명한 원시력을 제공할 수 있다. 또한, 많은 실행예에서, IOL은 큰 동공 크기에 대해 우수한 원시력 성능을 제공한다. 예시로서, 도 8은 그 프로파일이 상기 관계식(2)에 의해 정의되고, 보조 프로파일이 상기 관계식(8)에 의해 정의되는 전방 표면을 및 원만한 볼록 후방 표면을 갖는 본 발명의 일 구체예에 따른 가상 옵틱에 대해 산출된 상이한 동공 크기에서의 쓰루-포커스 MTF 플롯을 도시한 것이다. MTF 플롯은 550nm의 파장을 갖는 단색 입사 광선에 대해 계산된 것이다. 하기에서 표 2a 내지 2c는 옵틱의 전방 표면 및 후방 표면의 파라미터를 제공한다.

[0148] 표 2a

옵틱		
중심 두께 (mm)	직경 (mm)	굴절률
0.64	6	1.5418

[0149]

[0150] 표 2b

전방 표면										
기본 프로파일					보조 프로파일					
기본 반경 (mm)	원추 계수	a_2	a_4	a_6	r_{1a} (mm)	r_{1b} (mm)	r_{2a} (mm)	r_{2b} (mm)	Δ_1 (micron)	Δ_2 (micron)
18.93	-43.564	0	2.97E-4	-2.3E-5	1.0	1.01	1.25	1.26	0.67	2.67

[0151]

[0152] 표 2c

후방 표면				
기본 반경 (mm)	원추 계수 (k)	a_2	a_4	a_6
-20.23	0	0	0	0

[0153]

[0154] MTF 플롯은 전방 표면의 중심부 직경과 동일한 약 2mm의 동공 직경에 대해, 옵틱은 단초점 굴절력을 부여하고, 약 0.5D의 비교적 작은 초점 심도(반치폭(full width at half maximum)으로서 정의됨)를 나타냄을 보여준다. 다시 말해, 그것은 우수한 원시력 성능을 제공한다. 약 3mm로 동공 크기가 증가함에 따라, 전이 영역의 광학 효과는 쓰루-포커스 MTF에서 명백하게 된다. 특히, 3-mm MTF는 2-mm MTF보다 상당히 넓으며, 이는 초점 심도에서의 향상을 시사한다.

[0155] 계속해서 도 8과 관련하면, 동공 직경이 심지어 추가로 약 4㎜로 증가함에 따라, 입사 광선은 중심 영역 및 전이 영역 뿐만 아니라 전방 표면의 외측 영역의 일부에 부딪힌다.

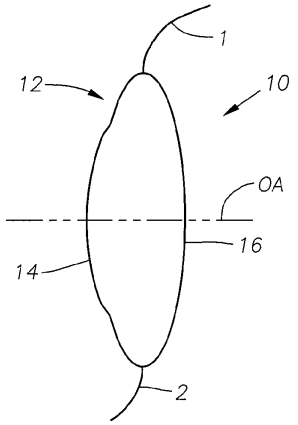
[0156] 본 발명의 IOL을 제조하기 위해 여러 기술 및 재료가 사용될 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 IOL의 옵틱은 다양한 생적합성 폴리머 재료로 형성될 수 있다. 몇몇 적합한 생적합성 재료로는 이로 제한되는 것은 아니지만, 연질 아크릴 폴리머, 하이드로겔, 폴리메틸메타크릴레이트, 폴리설폰, 폴리스티렌, 셀룰로스, 아세테이트 부티레이트, 또는 그 밖의 생적합성 재료가 포함된다. 예를 들어, 일 구체예에서 옵틱은 통상적으로 아크리소프(Acrysof)로서 공지되어 있는 연질 아크릴 폴리머(2-페닐에틸 아크릴레이트와 2-페닐에틸 메타크릴레이트의 가교된 코폴리머)로 형성된다. IOL의 고정 부재(햅틱) 또한 상기 논의된 바와 같은 적합한 생적합성 재료로 형성될 수 있다. 몇몇 경우에, IOL의 옵틱 및 고정화 부재는 일체형 유닛으로서 제조될 수 있고, 다른 경우에는 당해 공지된 기술을 사용하여 개별적으로 형성되거나 함께 결합될 수 있다.

[0157] 캐스팅(casting)과 같은 당해 공지된 여러 제조 기술이 IOL을 제조하는데 사용될 수 있다. 몇몇 경우에, 2007년 12월 21일자 출원되고, 출원 번호 제 11/963,098호를 갖는 계류 중인 특허 출원(발명의 명칭: "Lens Surface With Combined Diffractive, Toric and Aspheric Components")에 기술된 제조 기술이 IOL의 전방 및 후방 표면에 요망되는 프로파일을 부여하는데 사용될 수 있다.

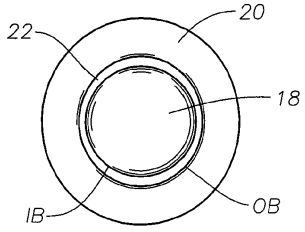
[0158] 당업자들은 본 발명의 범위를 벗어나지 않고 상기 구체예에 대해 다양한 변경이 이루어질 수 있음을 인지할 것이다.

도면

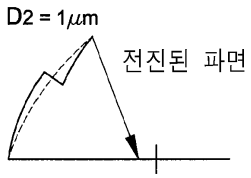
도면1a



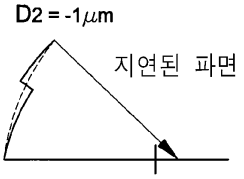
도면1b



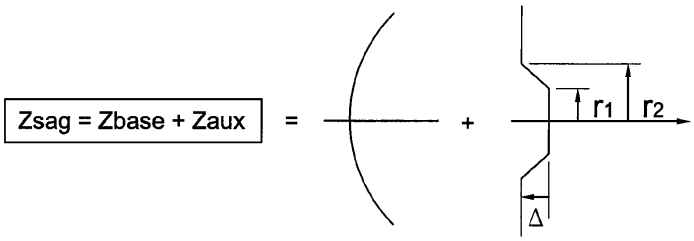
도면2a



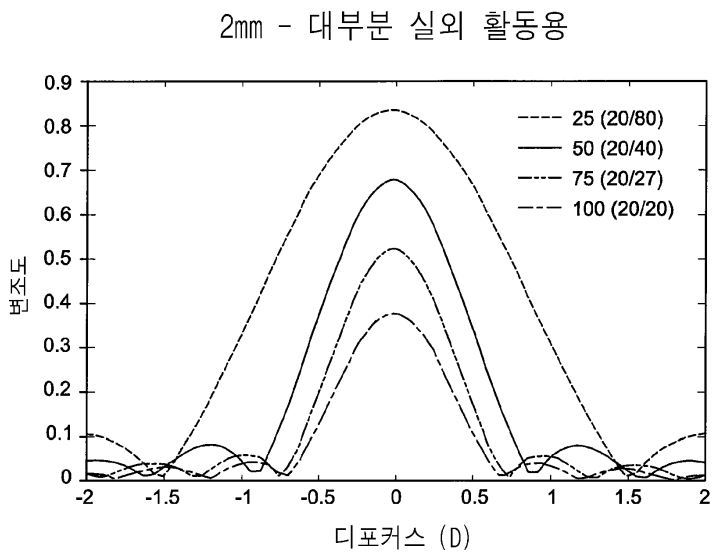
도면2b



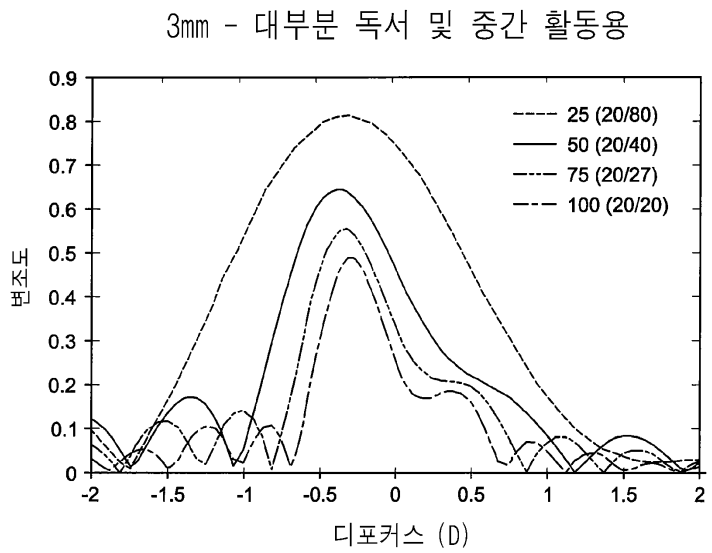
도면3



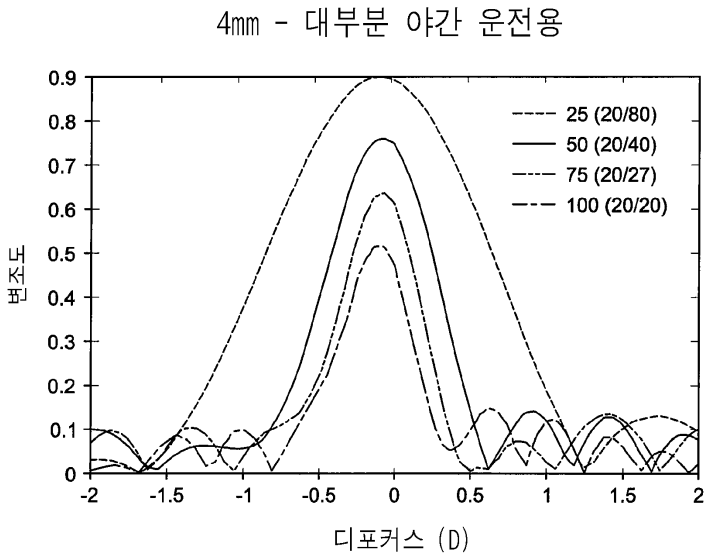
도면4a



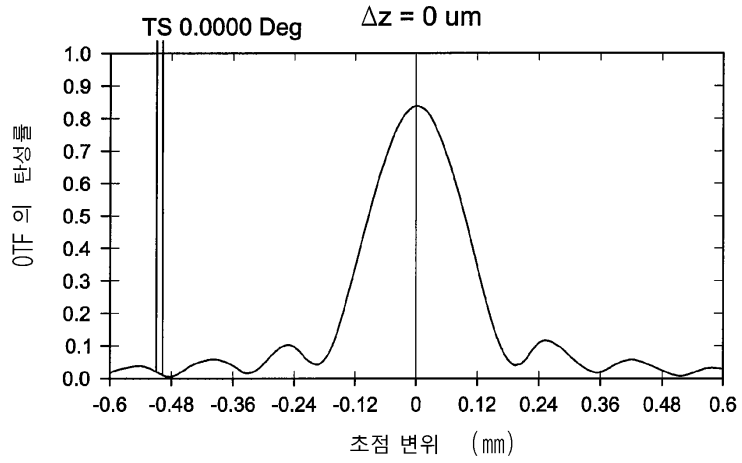
도면4b


3㎜ - 대부분 독서 및 중간 활동용
25 (20/80)
50 (20/40)
75 (20/27)
100 (20/20)
변조도
디포커스 (D)

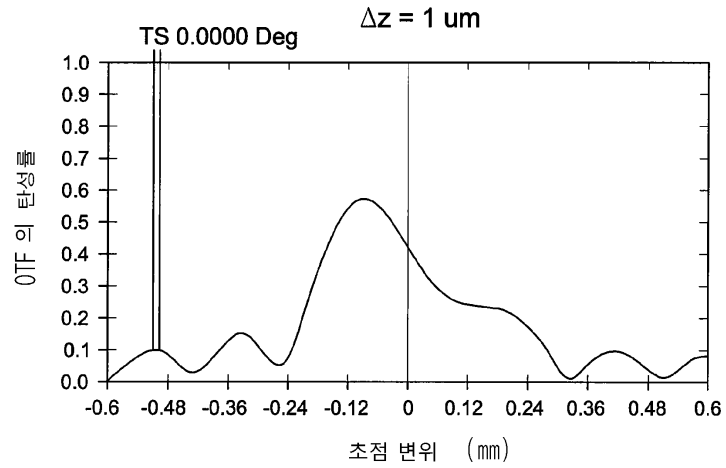
도면4c


4㎜ - 대부분 야간 운전용
25 (20/80)
50 (20/40)
75 (20/27)
100 (20/20)
변조도
디포커스 (D)

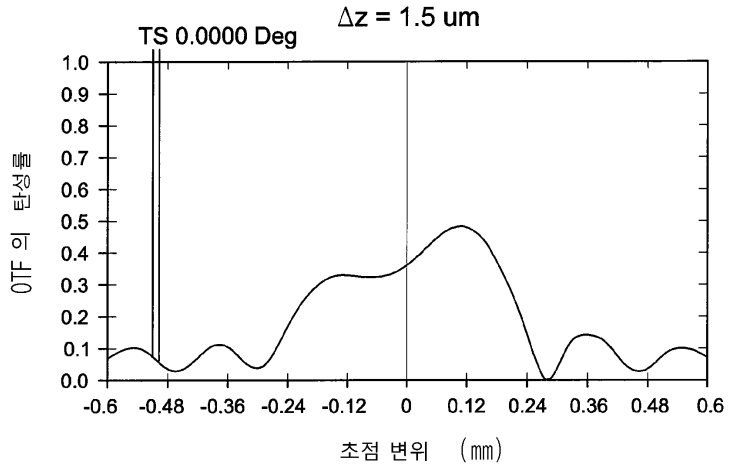
도면5a



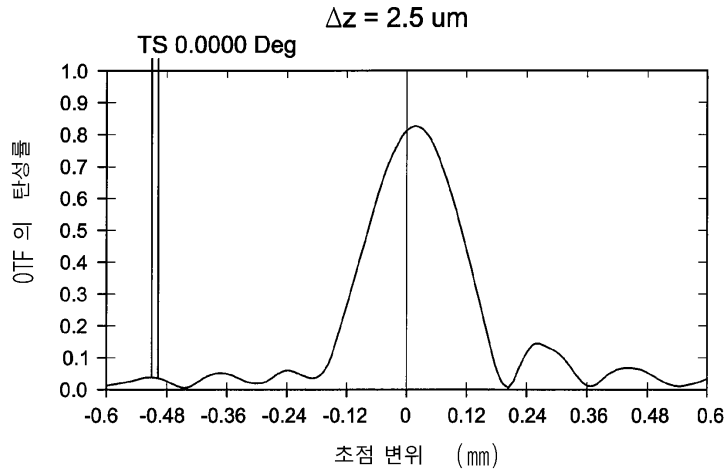
도면5b



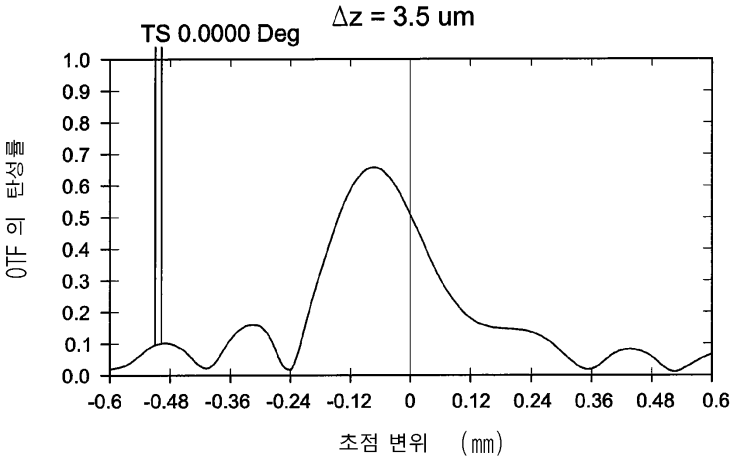
도면5c



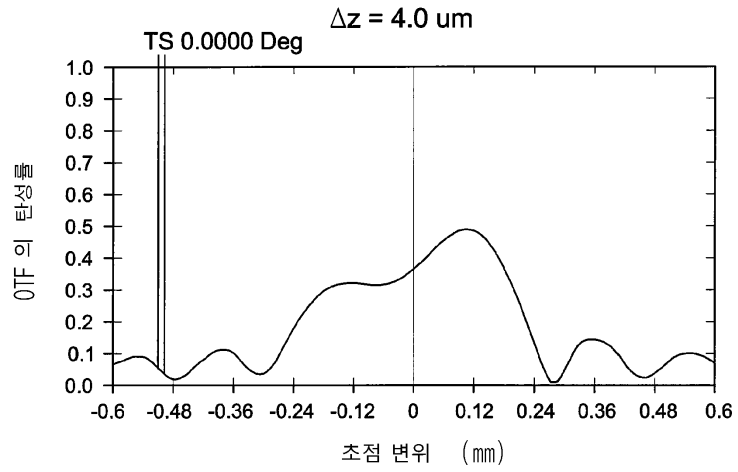
도면5d



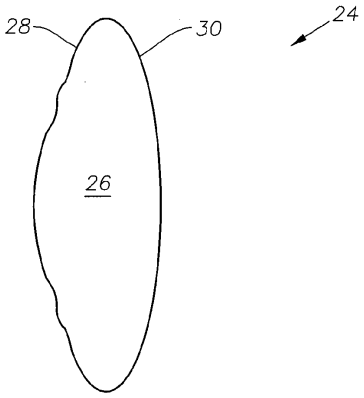
도면5e



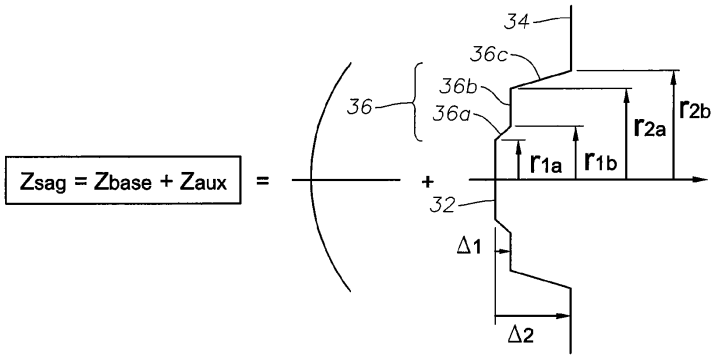
도면5f



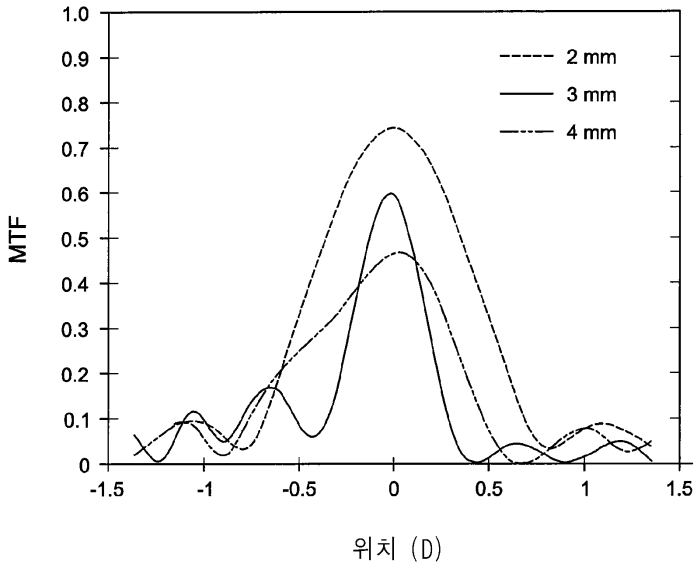
도면6


28
30
24
26

도면7


Zsag = Zbase + Zaux
=
+
34
36c
36b
36a
36
r1a
r1b
r2a
r2b
32
Δ1
Δ2

도면8


1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
MTF
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2 mm
3 mm
4 mm
위치 (D)