



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년06월11일
 (11) 등록번호 10-1154066
 (24) 등록일자 2012년05월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61F 2/14 (2006.01) **A61F 2/16** (2006.01)
 (21) 출원번호 **10-2007-7015197**
 (22) 출원일자(국제) **2005년12월01일**
 심사청구일자 **2010년02월22일**
 (85) 번역문제출일자 **2007년07월02일**
 (65) 공개번호 **10-2007-0089839**
 (43) 공개일자 **2007년09월03일**
 (86) 국제출원번호 **PCT/US2005/043318**
 (87) 국제공개번호 **WO 2006/060477**
 국제공개일자 **2006년06월08일**
 (30) 우선권주장
 11/000,728 2004년12월01일 미국(US)
 (56) 선행기술조사문헌
 US4504982 A
 WO2004034129 A1
 WO2001089424 A1
 EP0742466 A

(73) 특허권자
알콘, 인코퍼레이티드
 스위스연방 취텐베르그 시이에이취 6331 보쉬 69
 피. 오. 박스 62
 (72) 발명자
심프슨, 마이클
 미국 76012 텍사스 알링톤 워터웨이 코트 3004
 (74) 대리인
남상선

전체 청구항 수 : 총 29 항

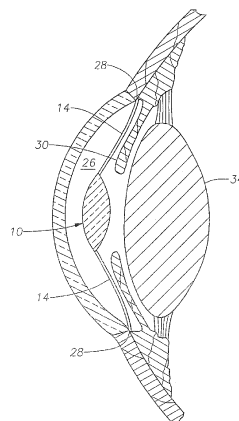
심사관 : 현승훈

(54) 발명의 명칭 대비-강화 비구면 인공 수정체

(57) 요약

본 발명은 하나 이상은 비구면 프로파일을 가지고, 전형적으로 비-제로 원추 상수임을 특징으로 하며, IOL이 이식된 환자의 눈의 수차를 조절하기 위한 전방 및 후방 굴절 표면을 가진 윽터를 포함하는 인공 수정체(IOL)에 관한 것이다. 바람직하게, IOL의 비구면도는 약 0.25 이상의 계산된 변조 전달함수(MTF)임을 특징으로 하는 이미지 대비 및 약 0.75 디오퍼터(D) 이상의 심도를 제공하기 위해 환자 눈의 수차와 함께 협동한다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

전방(anterior) 굴절 표면 및 후방(posterior) 굴절 표면을 가진 옵틱(optic)을 포함하고, 하나 이상의 상기 전방 굴절 표면 또는 상기 후방 굴절 표면이 복합 수정체 및 각막이 4.5 mm에서 5 mm 범위 내의 동공 직경 및 550 nm의 파장에서의 단색광에 대해 0.25 이상의 피크 계산된 변조 전달함수(MTF) 대비(contrast) 및 0.75 디옵터 이상의 심도(depth of field)를 나타내도록 이식되는 인공 수정체(IOL)에서 눈의 수차(aberrations)를 조절하기 위한 비구면 프로파일임을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 눈의 수차는 각막(cornea)의 구형(spherical) 수차를 포함하는 것을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 복합 수정체(combined lens) 및 각막이 밀리미터당 50 라인 페어(line pairs) 및 550 nm의 파장에 대해 0.3 이상인 망막에서의 변조 전달함수(MTF)를 나타냄을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 복합 수정체 및 각막이 밀리미터당 50 라인 페어 및 550 nm의 파장에 대해 0.35 이상인 변조 전달함수(MTF)를 나타냄을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 복합 수정체 및 각막이 50 lp/mm의 공간 주파수, 550 nm의 파장 및 4.5 mm의 동공 크기에서 0.25에서 0.4의 범위 내에서 변조 전달함수(MTF)를 나타냄을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 상기 옵틱이 생체적합성(biocompatible) 소프트 물질로 이루어짐을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 7

제 6 항에 있어서, 상기 옵틱이 소프트 아크릴릭 물질로 이루어지고 0에서 -50의 범위 내에서 비구면 원추 상수(aspherical conic constant)를 나타냄을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 8

제 6 항에 있어서, 상기 옵틱이 하이드로겔(hydrogel)로 이루어지고 0에서 -50의 범위 내에서 비구면 원추 상수를 나타냄을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 9

제 6 항에 있어서, 상기 옵틱이 실리콘으로 이루어지고 0에서 -50의 범위 내에서 비구면 원추 상수를 나타냄을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 10

제 1 항에 있어서, 상기 전방 표면이 곡률반경 R_1 을 가진 추정상의 구형 프로파일(a putative spherical profile)로부터 선택된 편향(deviation)을 나타내는 상기 비구면 프로파일임을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 11

제 10 항에 있어서, 후방 표면이 R_2 의 곡률반경(여기서 R_2 는 R_1 보다 크다)을 가진 구형 프로파일임을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 12

제 11 항에 있어서, 수정체가 하기식으로 정의되는 형상 인자(shape factor) X 를 나타냄을 특징으로 하는 인공 수정체:

$$X = \frac{R_2 + R_1}{R_2 - R_1}$$

여기서, X 는 0에서 +1의 범위 내이다.

청구항 13

제 10 항에 있어서, 후방 표면이 R_2 의 곡률반경(여기서, R_2 는 R_1 보다 크다)을 가진 추정상의 구형 프로파일로부터 선택된 편향을 나타내는 비구면 베이스 프로파일(aspheric base profile)임을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 14

계획된 디옵터 유평티컬 파워(diopter optical power)를 제공하는 굴절 유평티를 포함하고, 환자에게 0.75 이상의 심도를 제공하는 동안, 상기 유평티가 수정체(lens)가 구형 유평티를 가진 실질적으로 동일한 수정체에 관하여 환자의 이미지 대비(image contrast)를 증강하기 위해 이식되어 환자의 눈의 수차를 조절하기 위한 비구면 프로파일을 가진 표면을 가지는 인공 수정체.

청구항 15

제 14 항에 있어서, 이식시 상기 수정체와 환자 눈의 각막의 조합체가 밀리미터당 50 라인 페어 및 실질적으로 550 nm의 단색광(monochromatic) 파장에 대해 0.25 이상인 피크 변조 전달함수(MTF) 대비를 나타냄을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 16

제 14 항에 있어서, 상기 비구면 프로파일이 각막의 구형 수차를 조절하기에 적합함을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 17

제 14 항에 있어서, 비구면 굴절 표면이 상기 수정체의 전방 표면을 포함함을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 18

제 14 항에 있어서, 비구면 굴절 표면이 상기 수정체의 후방 표면을 포함함을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 19

제 14 항에 있어서, 상기 디옵터 유평티컬 파워가 0에서 40의 범위 내임을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 20

전방 표면 및 후방 표면을 가진 유평티(optic)를 포함하고, 하나 이상의 상기 전방 표면 또는 상기 후방 표면이 0.25 이상의 변조 전달함수(MTF) 및 0.75 디옵터 이상의 심도를 특징으로 하는 이미지 대비를 환자에게 제공하기 위해 이식되는 인공 수정체(IOL)에서 눈의 수차를 조절하기 위한 비구면 프로파일을 가짐을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 21

제 20 항에 있어서, 상기 수정체가 환자에게 0.25에서 0.4의 범위 내에서 변조 전달함수(MTF)를 제공함을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 22

제 20 항에 있어서, 상기 수정체가 환자에게 0.75에서 1.5 디옵터의 범위 내의 심도를 제공함을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 23

제 20 항에 있어서, 상기 비구면 프로파일이 각막에 의해 나타나는 수차를 조절함을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 24

제 20 항에 있어서, 상기 비구면 프로파일이 복합 각막(combined cornea) 및 (눈의)수정체(natural lens)에 의해 나타나는 수차를 조절함을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 25

하나 이상의 굴절 표면을 가진 옵틱(optic)을 포함하고, 상기 굴절 표면이 환자의 눈에 이식된 수정체에서 복합 수정체 및 각막이 550 nm의 파장을 가진 단색광에 대해 0.25 이상의 피크 변조 전달함수(MTF) 대비 및 0.75 디옵터 이상의 심도를 나타내도록 선택된 환자의 눈에 의해 나타나는 평균 수차를 조절하기 위한 비구면 부분(aspheric portion)을 가짐을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 26

제 25 항에 있어서, 상기 굴절 표면이 상기 수정체의 전방 표면 또는 후방 표면 중 어느 것이라도 포함함을 특징으로 하는 인공 수정체.

청구항 27

하기의 식에 의해 정의되는 프로파일임을 특징으로 하는 베이스를 가진 하나 이상의 굴절 표면을 포함하는 옵틱을 포함하는 인공 수정체:

$$z = \frac{CR^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + Q)C^2R^2}} + AR^4 + BR^6$$

여기서

z는 표면에 수직인 축(Z)에 평행한 표면의 새그(sag)로 정의되고,

c는 표면의 최고점에서의 곡률로 정의되며,

Q는 원추 계수(conic coefficient)로 정의되고,

R은 표면상의 반경 거리(radial position)로 정의되며,

A는 4차 변형 계수(fourth order deformation coefficient)로 정의되고,

B는 6차 변형 계수로 정의되며,

여기서 Q는 0에서 100의 범위 이내일 수 있으며, A는 -1×10^{-3} 내지 1×10^{-3} 의 범위 내이고, B는 -1×10^{-4} 내지 1×10^{-4} 범위 이내임을 특징으로 한다.

청구항 28

선택된 환자 집단의 눈에 의해 나타나는 수차의 등위면(wavefront) 측정에 근거한 눈의 수차의 모델 평균을 유도하는 것; 및

수정체가 이식된 환자가 0.25 이상의 피크 변조 전달함수(MTF) 및 0.75 디오퍼터 이상의 심도를 특징으로 하는 이미지 대비를 나타내도록 상기 평균 수차를 조절하기 위해 하나 이상의 굴절 표면의 비구면도를 조절하는 것을 포함하는 전방 및 후방 굴절 표면을 가진 인공 수정체를 디자인하는 방법.

청구항 29

전방 굴절 표면 및 후방 굴절 표면을 가진 옵틱을 포함하고, 하나 이상의 상기 전방 굴절 표면 또는 상기 후방 굴절 표면이 두 개의 직교 표면 방향을 따라 서로 다른 유평티컬 파워값을 나타내는 일반적인 원환체 형태, 및

모델 눈에서 계산된 바와 같이 복합 수정체 및 눈이 4.5 mm의 동공 크기 및 550 nm의 단색광 파장에 대해 0.25 이상의 변조 전달함수 및 0.75 D 이상의 심도를 나타내도록 이식되는 인공 수정체(IOL)에서 눈의 수차를 조절하기 위한 하나 이상의 상기 직교 방향에 따른 비구면도를 가짐을 특징으로 하는 인공 수정체.

명세서

기술 분야

[0001] 본원은 2004년 12월 1일 미국 특허법 35 U.S.C. § 120에 근거하여 동시출원(co-pending)된 미국 특허출원 제 11/000,728호에 대한 우선권 주장 출원으로써, 상기 미국 출원의 모든 내용이 여기서 본원의 참고로서 인용된다.

[0002] 본원 발명은 일반적으로 인공 수정체(IOL), 특히 큰 동공 크기를 위해 강화된 시야를 제공하는 렌즈에 관한 것이다

배경 기술

[0003] 인공 수정체는 일상적으로 수정체가 제거될 때 잃은 유평티컬 파워(optical power)를 보상하기 위해 백내장 수술 도중에 환자의 눈에 이식된다. 다른 적용례에서, 인공 수정체는 환자의 눈에 이식될 수 있고, 그것은 눈의 굴절 에러를 보정하기 위한 유평티컬 파워를 제공하기 위해 본래의 수정체를 유지시킨다. 눈의 수차, 및 특히 각막의 수차들은, 일반적으로 전형적인 인공 수정체의 설계에서 무시되었다. 따라서, 이러한 수정체를 가진 환자들은, 특히 낮은 조도 및 큰 동공 크기에서 낮은 이미지 품질로 고생할 수 있다.

[0004] 각막 수차를 보상하기 위한 인공 수정체 역시 알려져 있다. 일반적으로, 이러한 비구면(aspheric) 인공 수정체들은 전체 눈의 수차를 크게 줄이거나, 모두 제거하여 환자의 각막의 비구면도(aspericity)를 보상하기 위해 디자인되었다. 비록 이러한 기술에 근거하여 가공된 인공 수정체들이 보다 나은 이미지 대비를 제공할 수는 있지만, 일반적으로 환자의 심도(depth of field)에서 감소된 결과를 나타낸다.

발명의 상세한 설명

발명의 요약

[0005] 본 발명은 일반적으로 환자의 눈에 이식되어, 특히 눈의 동공이 커지는 조건하에서 시야를 지속적으로 개선할 수 있도록 이미지 대비 및 심도 사이에서 조화를 제공할 수 있는 인공 수정체에 관한 것이다. 특히, 본 발명의 인공 수정체는 특히 큰 동공 크기에 대해 유용한 이미지 대비뿐만 아니라, 적당한 범위에서의 심도를 제공하는 방법으로 수정체의 수차를 눈의 그것들로 결합하여 하나 이상의 굴절 표면에서 비구면의 선택된 정도를 나타낼 수 있다.

[0007] 일 양태에서, 본 발명은 전방 굴절 표면 및 후방 굴절 표면을 가진 옵틱을 포함하는 인공 수정체(IOL)를 제공

하고, 그것은 선택된 유평티컬 파워, 예를 들어, 약 0에서 약 40 디오퍼터(D) 이상의 범위, 일반적으로 약 18에서 약 26 디오퍼터의 범위에 있는 유평티컬 파워를 공동으로 제공한다. 이러한 표면들의 한 면 또는 양면은 피크 변조 전달함수(modulation transfer function, MTF)로 특징지어지는, 밀리미터당 약 50 라인 페어(line pairs) (lp/mm)의 공간 주파수에서 약 0.25 이상의 이미지 대비 및 약 0.75 디오퍼터(D) 이상의 심도를 환자에게 제공하기 위해 이식되는 IOL에서 눈의 수차를 조절하기 위한 비구면 프로파일임을 특징으로 한다. 예를 들어, 이식된 수정체는 약 0.25에서 약 0.4 범위의 MTF 및 약 0.75에서 약 1.5 디오퍼터 범위의 심도를 환자에게 제공할 수 있다. 본 발명의 비구면 수정체는 인공 수정체(pseudophakic) 환자, 즉 (눈의)수정체 대신에 IOL을 가진 환자의 눈의 수차를 조절할 수 있다. 선택적으로, 이러한 수정체들은 수정체(phakic) 환자, 즉 (눈의)수정체에 더하여 IOL을 가진 환자의 눈의 수차를 조절할 수 있다.

[0008] 안과 분야에서 이미 알려져 있는 바와 같이, 변조 전달함수(MTF)는 아래에서 더욱 자세히 설명하는 바와 같이, 광학 시스템, 예를 들어, IOL로 구성되는 시스템 및 IOL로 구성되는 각막 또는 광학 시스템에 의해 나타나는 이미지 대비의 정량적인 측정을 제공한다. 또한, 여기서 교환하여 사용될 수 있는 용어 "심도" 및 "초점심도(depth of focus)"는 수정체의 문맥에서 잘 알려져 있으며 종래 기술분야의 통상의 기술자에 의해 쉽게 이해된다. 본 발명의 설명을 위해 정량적인 측정이 요구되는 한, 본원에서 사용된 상기 용어 "심도" 및 "초점심도"는 상기 시스템의 전-초점(through-focus) 변조 전달함수가 구경, 예를 들어 약 4.5 mm의 동공 크기 및 예를 들어, 약 550 nm의 파장을 가진 빛인 녹색 단색광(monochromatic green light)으로 계산되고/되거나 측정되고, 밀리미터당 약 50 라인 페어(lp/mm)의 공간 주파수에서 약 0.05 이상의 대비를 나타내는 광학 시스템과 연관된 오초점(defocus)의 양에 의해 결정될 수 있다.

[0009] 관련된 양태에서, 전방 표면 또는 후방 표면, 또는 둘 모두의 비구면 프로파일은 복합 수정체 및 각막이 약 4.5 mm에서 약 5 mm의 동공 직경 및 약 550 nm의 파장에서 단색광에 대해 약 50 lp/mm의 공간 주파수에서 약 0.25 이상의 피크 변조 전달함수 대비 및 약 0.75 디오퍼터 이상의 심도를 나타내도록 이식된 IOL에서 눈의 수차를 조절할 수 있다. 예를 들어, 피크 변조 전달함수는 아래에서 더욱 자세하게 논의된 바와 같이 모델 눈(model eye)에서 계산될 수 있다.

[0010] 본 발명에 따른 IOL은 바람직하게 눈에 삽입하기 위해 수정체 보디가 접힐 수 있도록 아크릴릭, 실리콘, 또는 하이드로겔 고분자 물질 및 이와 유사한 물질과 같은 변형될 수 있는 생체적합성 물질을 사용하여 제조될 수 있다. 예를 들어, 유평티크는 아크릴레이트 및 메타크릴레이트의 공중합체로 형성될 수 있다. 이러한 공중합체 조성물의 실례가 되는 예로서, 예를 들어, 미국특허 제5,922,821호[레보우프(Lebouef) 등, "안구 수정체 고분자(Ophthalmic Lens Polymers)," 1999년 7월 13일] 및 미국특허 제6,353,069호[프리먼(freeman) 등, "고굴절지수 안구장치물질(High Refractive Index Ophthalmic Device materials)," 2002년 5월 5일]가 있으며, 둘 모두 여기에서 참조로 된다. 다른 구체예에서, 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA)와 같은 단단한 생체적합성 물질이 사용될 수도 있다.

[0011] 구체예에서, 다른 표면이 곡률반경 R_2 를 가진 구형 프로파일을 가질 수 있는 동안, 표면 중 하나의 비구면 프로파일은 수정체의 광축(optical axis)으로부터의 작은 반경 거리에서 비구면 프로파일과 실질적으로 일치하는 R_1 의 곡률반경을 가진 추정상의 구형 프로파일로부터 선택된 편향(deviation)을 나타낼 수 있다. 선택적으로, 다른 표면 역시 R_2 의 곡률반경을 가진 각각의 추정상의 구형 프로파일로부터의 편향을 나타내는 비구면 프로파일을 가질 수 있다. R_1 및 R_2 의 반경은 수정체가 원하는 유평티컬 파워를 나타내도록 선택된다. 또한, 필요한 경우에는, R_1 및 R_2 는 수정체에 대해 선택된 형상 인자(X)를 주도록 선택될 수 있으며, 그것은 일반적으로 하기의 식에 의해 정의된다:

$$X = \frac{R_2 + R_1}{R_2 - R_1}$$

[0012]

[0013] 관련된 양태에서, IOL의 하나 이상의 굴절 표면은 환자의 눈에 대한 수정체의 이식에서 복합 수정체 및 각막이 550 nm의 파장을 가진 단색광에 대해 약 0.25 이상의 피크 변조 전달함수 대비 및 약 0.75 디오퍼터 이상의 심도를 나타내도록 선택된 환자의 눈에 의해 나타난 조절된 평균 수차에 대한 비구면 부분을 가진다. MTF 및 심도는 예를 들어, 밀리미터당 약 50 라인 페어의 공간 주파수 및 약 4.5 mm의 동공 직경에 대해 계산되거나 측정될 수 있다. 다른 양태에서, 비구면 표면의 프로파일은 하기의 식에 의해 특징지어질 수 있다:

$$z = \frac{CR^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + Q)C^2R^2}} + AR^4 + BR^6 + \text{더 높은 차수항(higher order terms)}$$

[0014]

[0015] 여기서

[0016] z는 표면에 수직인 축(Z)에 평행한 표면의 새그(sag)로 정의되며,

[0017] c는 표면의 최고점에서의 곡률로 정의되며,

[0018] Q는 원추 계수(conic coefficient)로 정의되며,

[0019] R은 표면상의 반경 거리(radial position)로 정의되며

[0020] A는 4차 변형 계수(fourth order deformation coefficient)로 정의되며

[0021] B는 6차 변형 계수로 정의된다.

[0022] 여기서 거리는 밀리미터 단위로 주어진다. 예를 들어, 곡률상수는 밀리미터의 역수 단위로 주어지는 반면, A

는 $\frac{1}{(\text{mm})^3}$ 단위로, B는 $\frac{1}{(\text{mm})^5}$ 로 주어진다.

[0023] 곡률 상수 C는 표면에 대해 선택된 비구면도를 주기 위해 선택되는 원하는 수정체의 옵티컬 파워, 및 비구면 계수 Q, A, 및 B 뿐만 아니라 적용될 수 있는 더 높은 차수항에 근거하여 선택될 수 있다. 아래에서 더욱 자세하게 논의된 바와 같이, 비구면 계수의 선택은 일반적으로 수정체가 제조되는 물질, 수정체의 형상 인자, 및 수정체가 의도한 바에 대한 논의의 수차에 의존할 수 있다. 예를 들어, 아크릴릭 고분자로 형성되는 양면볼록렌즈의 평균 파워(예를 들어, 21 디옵터) 원추 계수는 약 0(제로)에서 약 -100(마이너스 100)의 범위, 또는 -10에서 약 -50의 범위, 또는 약 -15에서 약 -25의 범위 내가 될 수 있고 더 높은 차수 변형 계수 A 및 B는 각각 약 -1×10^{-3} (마이너스 0.001)에서 약 1×10^{-3} (플러스 0.001)의 범위 및 약 -1×10^{-4} (마이너스 0.0001)에서 약 1×10^{-4} (플러스 0.0001)의 범위 내가 될 수 있다. 또한, 많은 구체예에서, 곡률 계수(C)는 약 0.0125에서 약 0.12의 범위, 또는 약 0.025에서 약 0.1의 범위 내가 될 수 있다(상기 곡률은 각각 볼록 또는 오목한 표면에 대해 양 또는 음이 될 수 있다).

[0024] 다른 양태에서, 본 발명은 선택된 환자 집단의 눈에 의해 나타난 수차의 등위면(wave front) 측정에 근거하여 유도된 눈의 수차의 모델 평균을 포함하는 전방 및 후방 굴절 표면을 가진 인공 수정체를 디자인하는 방법(선택적으로 수정체가 계획된 개개의 환자의 수차가 사용될 수 있다), 및 환자에게 이식된 수정체가 약 0.25 이상의 피크 변조 전달함수(MTF) 대비 및 약 0.75 D 이상의 심도임을 특징으로 하는 이미지 대비를 나타내도록 조절된 평균 수차에 대한 하나 이상의 굴절 표면의 비구면도를 조정하는 방법을 제공한다.

[0025] **발명의 상세한 설명**

[0026] 도 1A는 바람직하게는 소프트 아크릴릭 고분자, 실리콘, 또는 하이드로겔과 같은 소프트 생체적합성 물질로 형성되는 옵틱(12)을 가진 본 발명의 한 구체예에 따른 단초점 인공 수정체(10)를 도시한 개략도이다. 대표적인 수정체(10)는 또한 환자의 눈에서 그것의 배치에 대해 빠르게 연장되는 고정 요소 또는 햅틱스(haptics)(14)를 포함한다. 고정 요소(14)는 종래 기술분야의 통상의 기술자들이 쉽게 이해하고 있는 폴리프로필렌, 폴리메틸 메타크릴레이트 및 이와 유사한 물질과 같은 적당한 고분자 물질로 제조될 수 있다. 구체예에서 옵틱 및 고정 요소는 단일 품목 수정체로서 같은 물질로부터 형성된다. 옵틱(12)은 0에서 약 40 디옵터의 범위 및, 좀더 바람직하게는 약 18에서 약 26 디옵터의 범위에서 계획된 옵티컬 파워를 가진 수정체를 협동적으로 제공하기 위해 형성되는 전방 굴절 표면(16) 및 후방 굴절 표면(18)을 포함한다. 비록 다른 구체예들에서 한 표면이 이 축에 대해 거의 비대칭이 될 수 있지만, 이러한 구체예에서, 굴절 표면(16 및 18)은 일반적으로 수정체의 광축(20)에 대해 거의 대칭이다. 또한, 비록 굴절 표면(16 및 18)이 일반적으로 볼록으로 묘사되어 있으나, 한쪽 표면은 일반적으로 오목한 형상을 가질 수 있다. 선택적으로, 표면(16 및 18)은 평볼록(plano-convex) 또는 평오목(plano-concave) 수정체를 제조하기 위해 선택될 수 있다. 따라서, 본 발명에 따른 수정체는 양 또는 음의 계획된 파워를 가질 수 있다. 구체예에서, 수정체는 음의 파워, 예를 들어, 약 -20 D에서 약 -10 D, 또는 -15 D에서 약 -10 D의 범위를 가질 수 있다. 이러한 수정체들은 수정체 환자에게 사용될 수

있다. 좀더 일반적으로, 본 발명의 수정체는 약 -20 D에서 약 +10 D의 범위에서 파워를 가질 수 있다.

[0027] 도 1B는 전방 표면(16)과 광축(20)의 교차와 관련된 반경 거리(r)의 기능으로서 전방 굴절 표면(16)의 베이스 프로파일(22a)을 도시한 개략도이다(도시를 위해 곡률은 지나치게 과장되었다). 이러한 구체예에서, 베이스 프로파일(22a)은 작은 반경 거리에서 비구면 프로파일과 실질적으로 일치하는 곡률반경 R_1 을 가진 추정상의 구형 프로파일(24)로부터 선택된 편향도를 가진 비구면이다. 비록 이러한 대표적인 구체예에서 비구면 전방 표면(16)은 추정상의 구형 프로파일보다 더 평평하지만, 다른 구체예에서 그것은 더할 수 있다. 도 1C에서 개략적으로 도시하는 바와 같이, 후방 표면(18)은 곡률반경 R_2 를 가진 구형 프로파일(22b)를 나타낸다. R_1 및 R_2 의 반경은 일반적으로 원하는 옵티컬 파워 및 원하는 형상 인자를 가진 수정체를 제공하기 위해 선택된다. 다른 구체예에서, 후방 표면은 또한 다른 전방 표면이 구형 및 후방 표면 비구면이 될 수 있는 동안, 비구면 프로파일을 나타낼 수 있다. 바꾸어 말하면, 원하는 비구면도는 단지 하나의 굴절 표면에 대한 비구면 프로파일을 주거나, 두 표면 사이의 전체 비구면 편향을 나눔에 의해 달성될 수 있다.

[0028] 도 1A 및 1B를 다시 참조하면, 많은 구체예에서, 전방 표면(16)의 비구면 프로파일은 환자에게 약 0.75 D를 훨씬 넘는 심도를 제공하는 동안 전방 표면이 비구면 프로파일(22a)이라기 보다는 추정상의 구형 프로파일(24)을 가지는 실질적으로 동일한 수정체에 의해 제공되는 것과 관련되는 환자의 이미지 대비를 강화하기 위해 IOL(10)이 이식된 환자의 눈의 수차를 조절하기 위해 선택된다. 보다 명확하게, 많은 구체예에서, 비구면 프로파일은 복합 수정체 및 각막, 또는 복합 수정체, 각막 및 (눈의)수정체가, 약 550 나노미터의 파장에서 단색광 및 밀리미터당 약 50 라인 페어의 공간 주파수와 측정되거나 계산될 때, 약 4.5 밀리미터에서 약 5 밀리미터의 범위 내에서 동공 직경에 대한 약 0.25 이상의 피크 변조 전달함수(MTF) 대비 및 약 0.75 디오퍼터 이상의 심도를 나타내도록 IOL(10)이 이식된 눈의 수차를 조절한다. 예를 들어, IOL을 가진 환자는 약 0.75에서 약 1.5 D의 범위에서 초점심도를 가지는 동안 약 0.25에서 약 0.4의 범위에서 망막에 피크 MTF 대비를 경험할 수 있다. 이와 같이, 이미지 대비는 유용한 심도를 유지하는 동안 강화된다.

[0029] 본원 발명이 속하는 기술분야의 통상의 기술자에게 이미 알려져 있는 바와 같이, 이미지 대비의 정량적인 측정은 렌즈와 관련된 변조 전달함수(MTF)를 계산 및/또는 측정하여 얻어질 수 있는 렌즈에 의해 제공된다. 일반적으로, 광신호와 관련된 대비 또는 변조, 예를 들어, 이미지화되어지는 물체로부터 발산되거나 이에 의해 반사되거나 그러한 물체의 이미지와 관련된 광 강도 분배의 2차원 패턴은 하기 관계식에 따라 정의될 수 있다:

$$\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

[0030] [0031] 상기 식에서 I_{\max} 및 I_{\min} 은 각각 상기 신호와 관련된 최대 또는 최소 강도로 정의된다. 이러한 대비는 상기 광신호내에 존재하는 각각의 공간주파수에 대해 계산되거나 측정될 수 있다. 그래서 복합 IOL 및 각막과 같은 이미지화 광시스템의 MTF는 물체와 관련된 대비에 관한 상기 광 시스템에 의해 형성되는 물체의 이미지와 관련된 대비의 비율로서 정의될 수 있다. 공지된 바와 같이, 광 시스템과 관련된 MTF는 상기 시스템에 비추어지는 빛의 분배 강도의 공간 주파수에 의존하며, 아울러 상기 비추어지는 빛의 파장에 의해서뿐만 아니라, 조명 조리개의 크기와 같은 다른 인자에 의해서도 영향을 받을 수 있다.

[0032] 많은 구체예에서 본 발명에 따른 IOL은 환자의 이미지 대비를 강화하는데 유용하지만, 일부 구체예에서, 그것은 원래 이미지 대비에서 위치의 적당한 감소를 가진 환자의 심도를 강화하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 고 비구면 평평도(flattening)를 나타내는 각막을 가진 환자는 이미지 대비에 위치의 소량 감소에도 불구하고 환자의 심도를 강화하기 위한 심한 평평도를 부분적으로 보상할 수 있는 본 발명의 한 구체예에 따른 비구면으로부터 이익을 얻을 수 있다.

[0033] 일부 구체예에 있어서, 상기 IOL(10)의 전방 표면(16)의 비구면 프로파일은 광축(20)으로부터 반경 거리(R)의 함수로써, 또는 다른 구체예에 있어서 후방 표면 또는 둘 모두에 대한 함수로써, 하기식을 따르는 것을 특징으로 할 수 있다:

$$z = \frac{CR^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + Q)C^2R^2}} + AR^4 + BR^6 + \text{더 높은 차수항(higher order terms)}$$

[0034]

- [0035] 여기서
- [0036] z는 표면에 수직인 축(Z), 예를 들어 광축에 평행한 표면의 새그(sag)로 정의되며,
- [0037] c는 표면의 최고점에서의 곡률로 정의되며,
- [0038] Q는 원추 계수로 정의되며,
- [0039] R은 표면상의 반경 거리로 정의되며
- [0040] A는 4차 변형 계수로 정의되며
- [0041] B는 6차 변형 계수로 정의된다.
- [0042] 많은 구체예에서, 상기 원추 상수(Q)가 홀로 더 높은 차수의 비구면 상수 A 및 B 및 0으로 정해진 다른 것들을 가진 구형도로부터 원하는 편향을 획득하기 위해 조정될 수 있다. 다른 구체예에서는, 하나 또는 둘 모두의 더 높은 차수의 상수 A 및 B에 더해, 또는 대신에, 상기 원추 상수(Q)는 IOL의 하나 또는 둘 모두의 굴절 표면을 위해 선택된 비구면 프로파일을 제공하기 위해 조정될 수 있다. 더 높은 차수의 비구면 상수들은 렌즈 표면의 주변 영역, 즉 광축으로부터 멀리 떨어져 있는 영역을 재단(tailoring)하는데 특히 유용할 수 있다.
- [0043] 비구면 상수의 선택은 예를 들어, IOL이 이식된 눈의 수차, IOL의 제조 물질, 및 IOL에 의해 제공되는 유틸리티 파워에 의존할 수 있다. 일반적으로, 이러한 상수들은 예를 들어, 실질적으로 심도가 유지되는 동안 이미지 대비가 강화되는 것처럼 IOL이 환자의 이미지 대비 및 심도 사이에서 밸런스를 제공할 수 있도록 선택된다. 예를 들어, 0(심한 구형 수차와 관련된)에서 약 -0.5(비구면 평평도의 높은 Q 레벨과 관련된)의 범위 내에 있는 각막 원추 상수임을 특징으로 하는 각막 비구면도를 나타내는 눈에 이식하기 위한 아크릴릭 고분자 물질로 제조된 IOL의 일부 구체예에서, 상기 관계 내의 수정체의 원추 상수 Q는 약 0에서 약 -50의 범위 이내일 수 있으며, 한편 변형 계수 A 및 B는 각각 약 -1×10^{-3} 내지 약 1×10^{-3} 의 범위내 및 약 -1×10^{-4} 내지 약 1×10^{-4} 범위 이내일 수 있다.
- [0044] 상술한 바와 같이, 한쪽 또는 양쪽 표면의 구형도의 선택은, 적어도 일부분 이상은 수정체의 형상 인자(X)에 의존할 수 있다. 예를 들어, IOL이 약 0에서 약 +1의 범위 내에서 형상 인자를 나타내는 일부 구체예에서, 원추 상수는 약 -50에서 약 0의 범위가 될 수 있다.
- [0045] 본 발명에 따른 IOL은 다양한 서로 다른 용도를 찾을 수 있다. 실시예로서, 환자의 수정체에서 상기 IOL(10)은 도 2에 도시한 바와 같이, 홍채(30)의 각도(28)와 접촉하고 있는 고정 요소(14)의 말단부를 가진 눈의 전방 챔버(26)에서 유틸(12)의 삽입에 의해 눈의 수정체가 유지되는 동안, 환자의 눈에 이식될 수 있다. IOL은 눈의 굴절 결함을 바로잡기 위한 유틸리티 파워를 제공할 수 있다. 앞에서 논의된 바와 같이 원하는 심도를 유지하는 동안 망막, 특히 커다란 동공 크기상에서 이미지 대비를 강화하기 위해 IOL의 전방 표면(16)의 비구면 프로파일은 눈의 전체 수차, 예를 들어, 각막(32) 및 (눈의)수정체(34)의 복합 수차를 조절할 수 있다.
- [0046] 다른 적용에서, 인공 수정체 환자에서, IOL(10)은 백내장 수술 동안 환자의 (눈의)수정체의 제거 후에 환자의 눈에 이식될 수 있다. IOL(10)의 비구면 프로파일은 실질적으로 필드 심도가 유지되는 동안 이미지 대비를 강화하기 위해 각막에 의해 나타나는 수차를 조절할 수 있다. 몇 가지 예에서, 각막은 실질적으로 구형이고, 다른 예들에서 각막이 스스로 어떤 비구면도를 보여줄 수 있는 동안 예를 들어, 사라진 원추 상수임을 특징으로 할 수 있다. IOL(10)의 비구면 프로파일은 이미지 대비도, 또는 심도의 향상을 제공함에 따라 조절될 수 있다. 예를 들어, 몇 가지 예에서, IOL의 비구면 프로파일은 커브가 추정상의 구형 프로파일의 그것보다 더 평평함을 특징으로 할 수 있으며, 한편 다른 예에서는 더하다.
- [0047] 다양한 기술들은 IOL(10)에 대한 필요한 비구면도를 결정하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 한 접근에서, 환자의 눈, 또는 환자의 그룹에 의해 나타나는 수차는 알려진 국소 해부적(topographical) 방법 및 시스템을 사용하여 수술 전에 측정된다. 수정체 눈에 대해, 측정된 수차는 (눈의)수정체 및 각막의 복합 수차에 대응될 수 있으며, 한편 인공 수정체 환자에 대해서는 각막의 그것들에 대응된다. 이러한 한 방법에서, 등위면 눈의 수차는 선택된 측정 평면, 예를 들어, 환자의 눈의 입사 동공(entrance pupil), 및 선택된 파장, 예를 들어, 약 830 nm의 파장에서 측정될 수 있다. 눈의 수차의 측정에 관한 더 자세한 설명은 미국특허 제6,786,603호 및 미국특허출원 제2002/0105617호에서 찾아볼 수 있으며 이 둘은 모두 여기서 참조로 통합된다.
- [0048] 등위면 측정은 눈의 수차를 조절하는데 필요한 IOL의 비구면도의 필요한 레벨을 결정하기 위해 사용될 수 있

다. 예를 들어, IOL의 비구면 프로파일은 등위면 측정으로부터 추론되는 각막의 구형 수차를 감소하기 위해 디자인될 수 있다. IOL의 하나 이상의 비구면 파라미터는 이론적으로 또는 실험적으로 또는 둘 모두로 얻어질 수 있다. 예를 들어, 미국 메사추세츠 리틀레톤의 람다 리서치 코퍼레이션(Lambda Research Corporation of Littleton, Massachusetts, U. S. A)에서 판매하는 OSLO와 같은 빛 추적 프로그램(a ray tracing program)은 하나 이상의 비구면 표면을 가진 IOL 뿐만 아니라 눈 및 등위면 측정으로부터 추론되는 그것의 수차를 설계하는데 사용될 수 있다. IOL의 비구면도는 다음에 원하는 MTF 및 심도를 얻기 위해 예를 들어, 원추 상수 및 가능한 더 높은 차수의 변형 상수의 조절을 통해 조절될 수 있다. 몇 가지 예에서, 선택된 그룹의 환자의 눈에 의해 나타나는 평균 수차는 이러한 수차 평균을 조절하는데 적당한 IOL을 디자인하기 위한 것으로 여겨진다.

[0049] 본 발명에 따른 IOL의 비구면 파라미터는 또한 실험적으로 결정될 수 있다. 예를 들어, IOL은 등위면 측정, 예를 들어, 원추 상수임을 특징으로 하는 각막 수차로부터 추론된 것들에 대응하는 수차를 나타내는 모델 눈에 삽입될 수 있다. 그 후에, 모델 눈의 복합 시스템 및 서로 다른 비구면 프로파일을 가진 인공 수정체에 의해 얻어진 변조 전달함수가 적당한 비구면 프로파일을 선택하기 위해 측정된다.

[0050] 상술한 바와 같이, 몇 가지 예에서, 환자의 집단의 수차는 환자에 의해 나타나는 평균 수차를 조절하기에 적당한 수정체를 디자인하기 위해 측정된다. 예를 들어, 몇 가지 예에서, 각 타입이 선택된 그룹의 환자의 눈에 의해 나타나는 평균 수차를 조절하기 위해 디자인된 둘 이상의 인공 수정체 타입이 제공될 수 있다.

[0051] 이미지 대비 및 심도 사이에 좀더 유용한 밸런스를 제공하기 위한 본 발명에 따른 인공 수정체의 효율을 설명하기 위해 이론적인 빛 추적 계산이 비구면 프로파일 및 일반적인 집단에서 환자에 의해 전형적으로 나타나는 범위 내에서 선택된 각막 수차를 갖기 위한 눈 모델을 가진 본 발명에 따른 IOL의 복합 시스템에 의해 나타나는 변조 전달함수를 결정하기 위해 수행된다. 좀더 명확하게, 아래에 설명한 바와 같이 각각의 이론적 모델 수정체에 대해, 초점심도 뿐만 아니라 밀리미터당 50 라인 페어(lp/mm) 및 약 550 nm의 파장에서 변조 전달함수가 복합 수정체 및 각막에 대해 계산된다. 더하여, 조절에 대응하는 MTF 및 초점심도의 계산은 구형 프로파일, 즉 사라진 원추 상수를 나타내는 IOL을 가진 실질적으로 동일한 IOL에 대해 수행된다. 심도는 MTF 값이 약 0.05로 떨어진 피크 MTF에 대응하는 계획된 초점에 대해 흐리게 된 영상의 양으로써 결정된다.

[0052] 다른 예처럼, 도 3A는 사라진 원추 상수(여기서 조건 A로서 참조된다)를 가진 IOL과 함께 - 0.5(높은 레벨의 비구면 평평도를 나타내는 각막)의 원추 상수를 가진 각막에 대한 전-초점 MTF 플롯(40)을 나타내며, 한편 도 3B는 동일한 각막이지만 2.8(여기서 조건 B로서 참조된다)의 원추 상수와 함께 비구면 전방 표면을 가진 본 발명에 따른 IOL을 가진 각막에 대한 각각의 MTF 플롯(42)을 나타낸다. 플롯(40) 및 (42)의 비교는 비구면 수정체를 가진 각막이 더 낮은 피크 MTF 대비(구형예에 대해 0.86으로 관련되는 비구면 예에 대한 0.41의 MT)를 나타내더라도, 그것이 매우 개선된 심도(구형예에 대한 0.05에 대해 비구면 예에 대해 0.8의 심도)를 나타냄을 보여준다. 따라서, 몇 가지 예에서 IOL의 비구면도는 이미지 대비 내에서 손실의 약간의 감소에서 심도를 강화하기 위해 각막에 의해 나타나는 비구면도를 감소시키기 위해 선택된다.

[0053] 도 4A는 여기서 조건 E로서 참조된 구형 프로파일(즉, 0의 원추 상수)을 가진 IOL과 복합된 구형 각막(심한 구형 수차를 나타내는 각막)에 대한 계산된 조절 전-초점 변조 전달함수 플롯(36)을 나타내며, 한편 도 4B는 조건 D로서 참조된 -6의 원추 상수를 가진 전방 비구면 표면을 가진 본 발명에 따른 IOL과 복합된 동일한 각막에 대한 각각의 전-초점 MTF 플롯(38)을 나타낸다. 플롯(36) 및 (38)의 비교는 실질적으로 초점심도(비구면 수정체에 대한 1.02 디오퍼터의 대응하는 초점심도와 비교되는 구형 수정체에 대한 0.05 MTF 비구면에서의 1.14 디오퍼터의 초점심도)가 유지되는 동안 비구면 수정체의 사용이 약 0.24에서 약 0.4(67% 증가)의 피크 MTF 대비의 증가라는 결과를 낳는다는 것을 보여준다.

[0054] 평균적인 환자는 -0.26의 원추 상수임을 특징으로 하는 비구면도를 가진 각막을 가질 수 있다. 비록 비구면 IOL을 가진 이러한 각막에 대해 계산이 수행되지는 않았지만, 도 5는 상기 조건 B 및 D, 즉 -6의 음의 원추 상수를 가진 비구면 수정체를 가지는 구형 각막 및 2.8의 양의 원추 상수를 가진 비구면 수정체를 가지고 심한 비구면 평평도를 나타내는 각막에 대해 얻어지는 것들과 동등한 피크 MTF를 나타내는 구형 IOL(여기서 조건 C로서 참조된다)을 가진 이러한 각막의 전-초점 MTF 플롯(44)을 보여준다.

[0055] 앞에서 논의된 대표적인 조건 A-E에 대한 데이터를 요약하면, 도 6은 각각 피크 MTF 및 MTF가 0.05 및 0.1(여기서 또한 0.05 또는 0.1 MTF에서 초점심도로 참조된다)의 값을 가지는 디오퍼터(D)에서 오초점을 도시한 세 개의 그래프 (46), (48) 및 (50)을 나타내고 있다. 예를 들어, 이 그래프들은 피크 MTF가 실질적으로 심도가 유지되는 동안, 구형 각막을 가진 눈에 대해 비구면 프로파일을 가진 본 발명에 따른 IOL을 사용함에 의해 증

가되는 것을 보여준다.

[0056] 또다른 구체예에서, 본 발명의 인공 수정체(IOL)는 두 개의 직교하는 표면 방향을 따라 서로 다른 두 개의 윽티컬 파워를 보여주는 하나 이상의 원환체 굴절 표면을 가질 수 있다. 이러한 원환체 IOL은 예를 들어, 난시를 교정하기 위해 사용될 수 있다. 일부 구체예에서, 한 표면은 원환체이고 다른 것은 비원환체이다. 선택된 비구면도는 원환체 표면, 비원환체 표면 또는 둘 모두에 대해 주어질 수 있다. 선택적으로, 두 수정체 표면은 비구면을 나타내는 하나 이상의 원환체가 될 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 원환체 표면은 하나 또는 둘의 두 표면이 직교하는 방향을 따라 비구면도를 나타낼 수 있고, 각각은 다른 방향에 따른 파워와 다른 윽티컬 파워와 관련되며, 수정체 및 눈의 조합은 이식된 수정체가 유용한 이미지 대비뿐만 아니라 다른 구체예들과 관련된 상술한 것들처럼 허용되는 범위 내에서 심도를 제공한다. 예를 들어, 도 7A를 참조로 하면, 둘 중의 한 방향(여기서 x 좌표로 확인되는)에서 선택된 비구면도를 나타내는 원환체 표면은 그것의 최고점에서(즉, 표면과 수정체의 광축의 교점) 중심 곡률 R_1 을 가진 비구면 프로파일(52A) 및 작은 반경 거리에서 실질적으로 비구면 프로파일과 일치하는 추정상의 구형 프로파일(52B)로부터 선택된 편향임을 특징으로 할 수 있다. 도 7B에서 볼 수 있는 바와 같이, 다른 방향을 따라(여기서 y 좌표로 확인되는), 원환체 표면의 프로파일(54A)은 R_1 과는 다른 중심 곡률 R_2 및 작은 반경 거리에서 실질적으로 비구면 프로파일과 일치하는 추정상의 구형 프로파일(52B)로부터 선택된 편향임을 특징으로 할 수 있다.

[0057] 본원 발명이 속하는 기술분야의 통상의 기술자는 본원 발명의 영역을 벗어 나지 않는 범위에서 상기 구체예들에 대한 다양한 변형을 시도할 수 있음을 인정할 것이다.

도면의 간단한 설명

[0058] 도 1A는 비구면 프로파일을 나타내는 전방 표면을 가진 본 발명의 구체예에 따른 인공 수정체를 도시한 개략도이다;

[0059] 도 1B는 추정상의 구형 프로파일로부터 선택적인 편향을 나타낸 도 1A의 IOL의 비구면 전방 표면의 새그 프로파일을 도시한 개략도이다;

[0060] 도 1C는 도 1A의 IOL의 구형 후방 표면의 새그 프로파일을 도시한 개략도이다;

[0061] 도 2는 (눈의)수정체에 첨가한 본 발명의 한 구체예에 따른 IOL을 가진 수정체 눈을 도시한 개략도이다;

[0062] 도 3A는 구형 각막을 가진 눈 및 구형 굴절 표면을 가진 IOL이 복합 시스템에 대해 계산한 이론적 변조 전달함수(MTF)를 도시한 그래프이다;

[0063] 도 3B는 구형 각막을 가진 눈 및 비구면 표면을 가진 본 발명의 구체예에 따른 IOL이 복합 시스템에 대해 계산한 이론적 변조 전달함수(MTF)를 도시한 그래프이다;

[0064] 도 4A는 각막 구형 수차를 나타내는 눈 및 구형 프로파일을 가진 IOL이 복합 시스템에 대해 계산한 이론적 변조 전달함수(MTF)를 도시한 그래프이다;

[0065] 도 4B는 심한 각막 평평도를 나타내는 눈 및 각막에 의해 수차를 조절하기 위한 비구면 표면을 가진 본 발명의 구체예에 따른 IOL이 복합 시스템에 대해 계산한 이론적 변조 전달함수(MTF)를 도시한 그래프이다;

[0066] 도 5는 평균 각막 수차를 나타내는 눈 및 구형 표면을 가진 IOL이 복합 시스템에 대해 계산한 이론적 변조 전달함수(MTF)를 도시한 그래프이다;

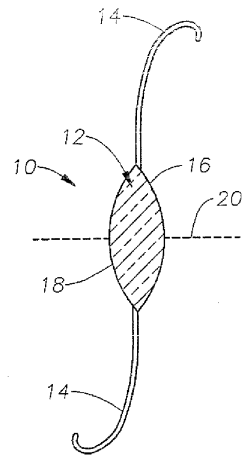
[0067] 도 6은 구형 IOL 및 본 발명에 따른 비구면 IOL과 다양한 눈의 조건에 대해 피크 변조 전달함수 대비 및 심도를 이론적으로 계산하여 도시한 3개의 그래프를 도시한 것이다;

[0068] 도 7A는 추정상의 구형 프로파일에 관련된 본 발명의 한 구체예에 따른 IOL의 원환체 표면의 한 표면 방향에 따른 과장된 비구면 프로파일을 도시한 개략도이며;

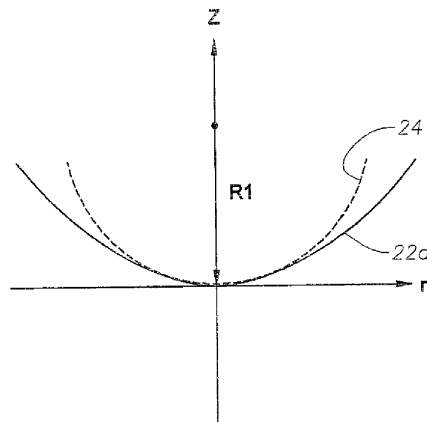
[0069] 도 7B는 추정상의 구형 프로파일에 관련된 도 7A에서 도시한 프로파일과 관련된 원환체 표면의 다른 방향에 따른 과장된 비구면 프로파일을 도시한 개략도이다.

도면

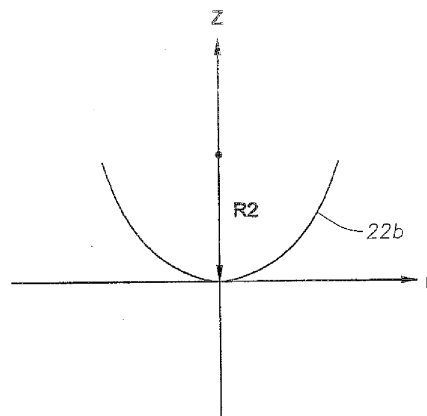
도면1A



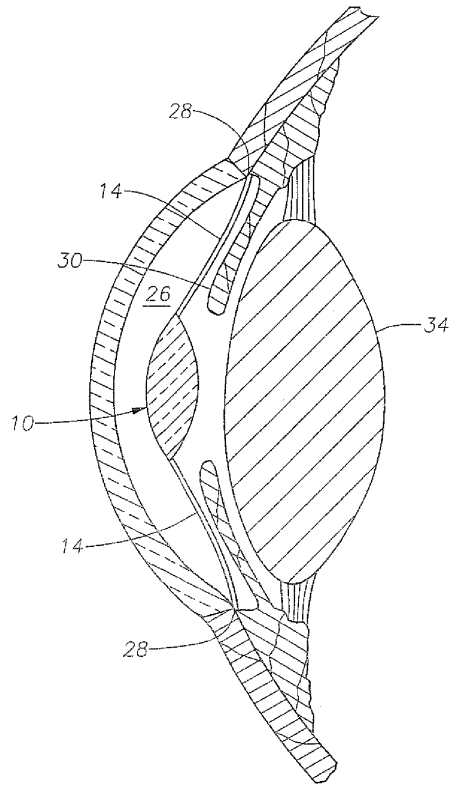
도면1B



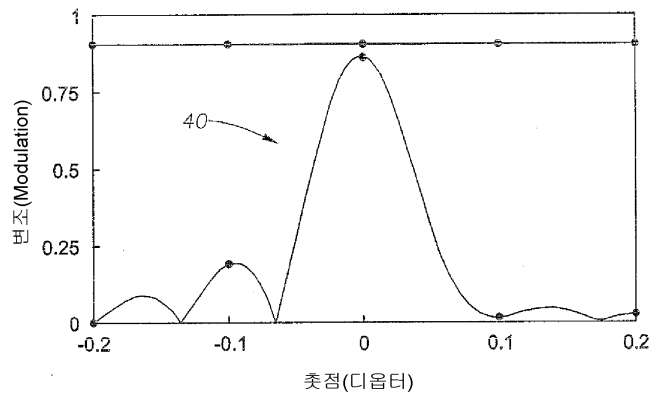
도면1C



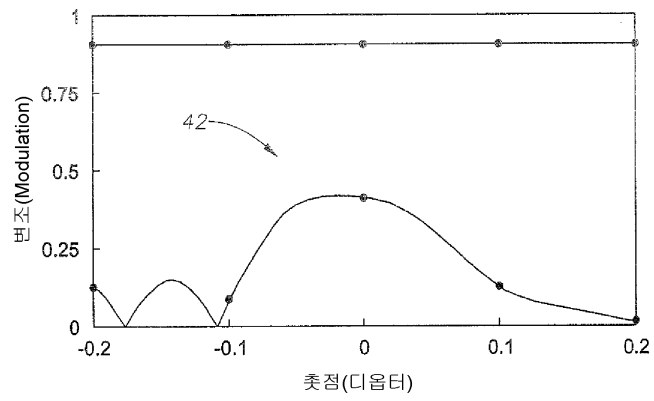
도면2



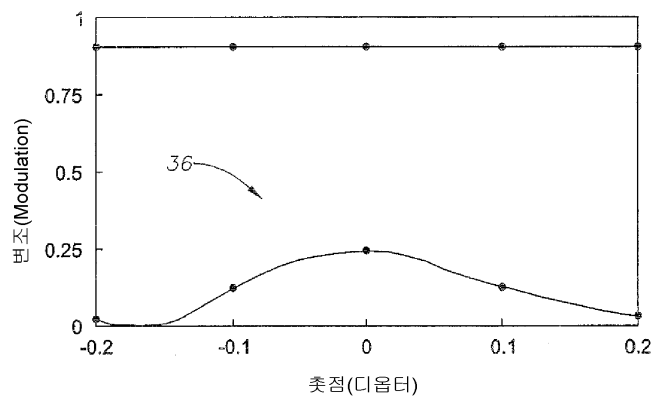
도면3A



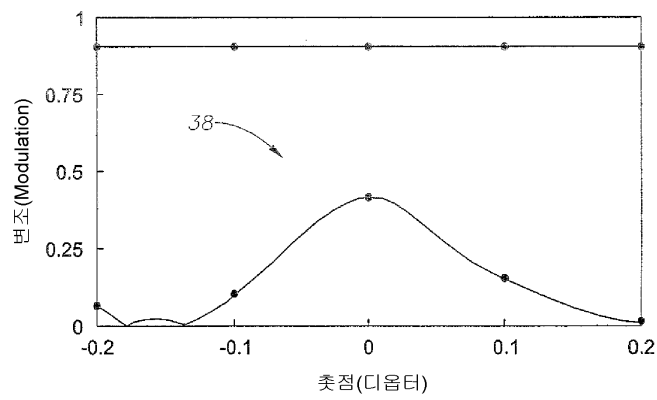
도면3B



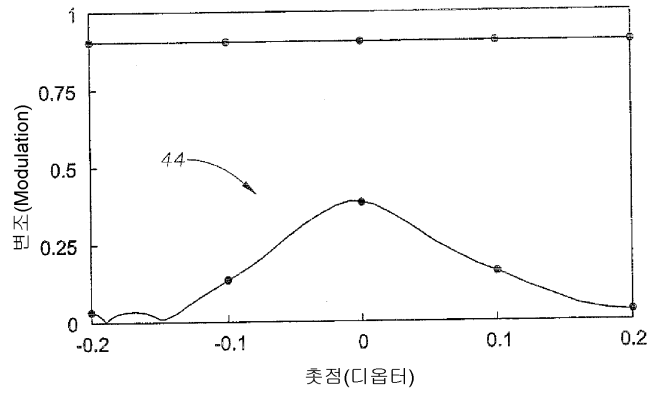
도면4A



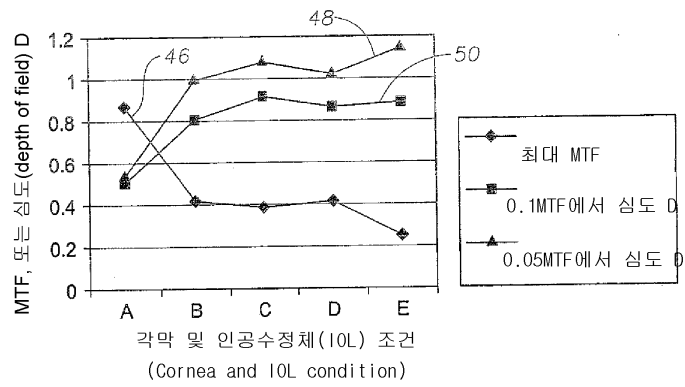
도면4B



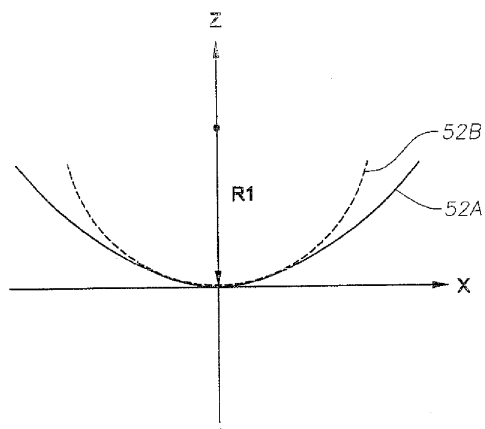
도면5



도면6



도면7A



도면7B

