(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0060079
(43) 공개일자 2025년05월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 13/00 (2006.01) *G01S 7/481* (2006.01)
G02B 13/18 (2006.01) *G02B 19/00* (2006.01)
G02B 3/00 (2022.01)
(52) CPC특허분류
G02B 13/0015 (2021.01)
G01S 7/4816 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-0109186
(22) 출원일자 2024년08월14일
심사청구일자 2024년08월14일
(30) 우선권주장
1020230143755 2023년10월25일 대한민국(KR)

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
김대유
경기도 과천시 과천대로8길 15, 401동 802호(갈현동, 과천푸르지오라비엔오)
이동진
인천광역시 계양구 황어로115번길 12, 12동 303호(오류동, 신동아아파트)
(74) 대리인
양성보

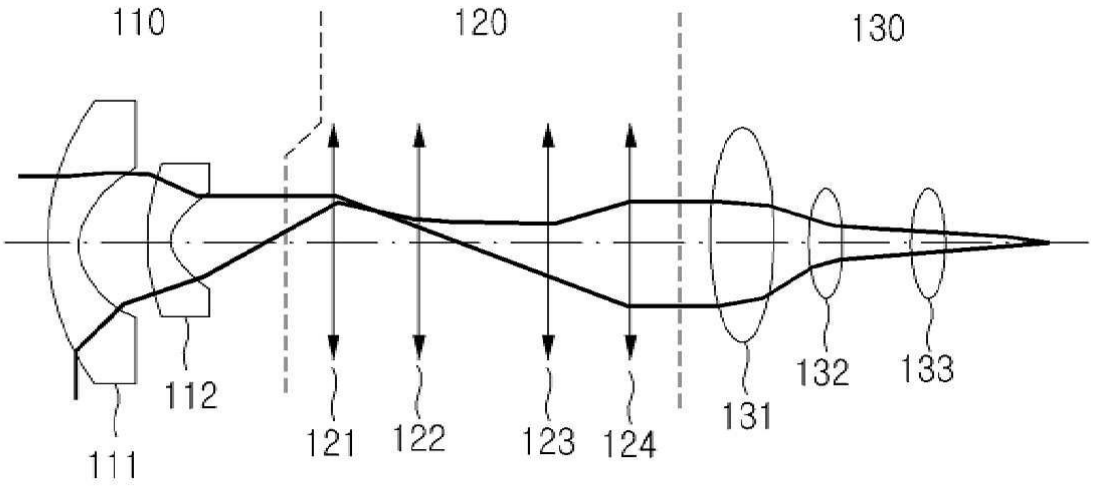
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **라이다 센서의 수신 광학계 적용을 위한 고화각 집광렌즈 모듈**

(57) 요 약

라이다 센서의 수신 광학계 적용을 위한 고화각 집광렌즈 모듈 및 그 동작 방법이 제시된다. 본 발명에서 제안하는 라이다 센서의 수신 광학계 적용을 위한 고화각 집광렌즈 모듈은 180° 이상의 입사각으로 입사된 빛을 미리 정해진 필드각 이내로 압축하는 광각렌즈 모듈부, 상기 미리 정해진 필드각 이내로 압축된 빛을 광축에 평행하도록 평행광을 생성하는 텔레센트릭 렌즈 모듈부 및 상기 평행광을 미리 정해진 크기의 초점에 집속시키기 위한 광결합렌즈 모듈부를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G02B 13/0055 (2021.01)
G02B 13/18 (2013.01)
G02B 19/0047 (2013.01)
G02B 2003/0093 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711183611
과제번호 2023R1A2C1004330
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)
연구과제명 [Ezbaro] 녹내장 진단을 위한 망막신경절세포 영상용 계산적응광학 레이저검안경 시스템 개발
과제수행기관명 인하대학교
연구기간 2024.03.01 ~ 2025.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1345362440
과제번호 2018R1A6A1A03025523
부처명 교육부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 이공학학술연구기반구축
연구과제명 [Ezbaro] 의과학연구소
과제수행기관명 인하대학교
연구기간 2024.03.01 ~ 2025.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

180° 이상의 입사각으로 입사된 빛을 미리 정해진 필드각 이내로 압축하는 광각렌즈 모듈부;

상기 미리 정해진 필드각 이내로 압축된 빛을 광축에 평행하도록 평행광을 생성하는 텔레센트릭 렌즈 모듈부; 및

상기 평행광을 미리 정해진 크기의 초점에 집속시키기 위한 광결합렌즈 모듈부

를 포함하는 집광렌즈 모듈.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 광각렌즈 모듈부는,

제1 광각렌즈 및 제2 광각렌즈를 포함하고,

입사 필드각(ω_0)으로 입사한 빛은 제1 광각렌즈를 통과한 후의 필드각(ω_2)으로 제2 광각렌즈에 입사되고, 제1 광각렌즈 및 제2 광각렌즈 표면에서 만족하는 스넬의 법칙 및 삼각함수 공식을 이용하여 제2 광각렌즈를 통과한 빛의 필드각(ω_4), 상기 입사 필드각(ω_0) 및 상기 제1 광각렌즈를 통과한 후의 필드각(ω_2)에 대한 각 렌즈 곡률반경 사이의 관계식을 구하는

집광렌즈 모듈.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 텔레센트릭 렌즈 모듈부는,

제1 텔레센트릭 렌즈, 제2 텔레센트릭 렌즈, 제3 텔레센트릭 렌즈 및 제4 텔레센트릭 렌즈를 포함하고,

각 렌즈의 광파워 및 렌즈 사이의 거리를 이용하여 가우시안 브래킷을 나타내고, 상기 가우시안 브래킷을 이용하여 텔레센트릭 렌즈 모듈부 전체의 광파워, 앞초점거리(Front Focal Length; FFL) 및 후초점거리(Back Bocal Length; BFL)를 구하며,

상기 미리 정해진 필드각 이내로 압축된 빛의 주광선을 광축에 평행하도록 하기 위해 상기 후초점거리가 최대일 때의 각 텔레센트릭 렌즈의 광파워와 렌즈 사이의 거리를 결정하는

집광렌즈 모듈.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 광결합렌즈 모듈부는,

제1 광결합렌즈, 제2 광결합렌즈 및 제3 광결합렌즈를 포함하고,

상기 텔레센트릭 렌즈 모듈부를 통해 광축과 평행하게 된 주광선이 제1 광결합렌즈, 제2 광결합렌즈 및 제3 광결합렌즈를 통과한 후 지름이 100㎛ 이하인 집속광을 생성하는

집광렌즈 모듈.

청구항 5

광각렌즈 모듈부를 통해 180° 이상의 입사각으로 입사된 빛을 미리 정해진 필드각 이내로 압축하는 단계;

텔레센트릭 렌즈 모듈부를 통해 상기 미리 정해진 필드각 이내로 압축된 빛을 광축에 평행하도록 평행광을 생성하는 단계; 및

광결합렌즈 모듈부를 통해 상기 평행광을 미리 정해진 크기의 초점에 집속시키는 단계

를 포함하는 집광렌즈 모듈의 동작 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 광각렌즈 모듈부를 통해 180° 이상의 입사각으로 입사된 빛을 미리 정해진 필드각 이내로 압축하는 단계는 -상기 광각렌즈 모듈부는 제1 광각렌즈 및 제2 광각렌즈를 포함함-,

입사 필드각(ω_0)으로 입사한 빛은 제1 광각렌즈를 통과한 후의 필드각(ω_2)으로 제2 광각렌즈에 입사되고, 제1 광각렌즈 및 제2 광각렌즈 표면에서 만족하는 스넬의 법칙 및 삼각함수 공식을 이용하여 제2 광각렌즈를 통과한 빛의 필드각(ω_4), 상기 입사 필드각(ω_0) 및 상기 제1 광각렌즈를 통과한 후의 필드각(ω_2)에 대한 각 렌즈 곡률반경 사이의 관계식을 구하는

집광렌즈 모듈의 동작 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 텔레센트릭 렌즈 모듈부를 통해 상기 미리 정해진 필드각 이내로 압축된 빛을 광축에 평행하도록 평행광을 생성하는 단계는 -상기 텔레센트릭 렌즈 모듈부는 제1 텔레센트릭 렌즈, 제2 텔레센트릭 렌즈, 제3 텔레센트릭 렌즈 및 제4 텔레센트릭 렌즈를 포함함-,

각 렌즈의 광파워 및 렌즈 사이의 거리를 이용하여 가우시안 브래킷을 나타내고, 상기 가우시안 브래킷을 이용하여 텔레센트릭 렌즈 모듈부 전체의 광파워, 앞초점거리(Front Focal Length; FFL) 및 후초점거리(Back Bocal Length; BFL)를 구하며,

상기 미리 정해진 필드각 이내로 압축된 빛의 주광선을 광축에 평행하도록 하기 위해 상기 후초점거리가 최대일 때의 각 텔레센트릭 렌즈의 광파워와 렌즈 사이의 거리를 결정하는

집광렌즈 모듈의 동작 방법.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 광결합렌즈 모듈부를 통해 상기 평행광을 미리 정해진 크기의 초점에 집속시키는 단계는 - 상기 광결합렌즈 모듈부는 제1 광결합렌즈, 제2 광결합렌즈 및 제3 광결합렌즈를 포함함-,

상기 텔레센트릭 렌즈 모듈부를 통해 광축과 평행하게 된 주광선이 제1 광결합렌즈, 제2 광결합렌즈 및 제3 광결합렌즈를 통과한 후 지름이 100㎛ 이하인 집속광을 생성하는

집광렌즈 모듈의 동작 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 라이다 센서의 수신 광학계 적용을 위한 고화각 집광렌즈 모듈 및 그 동작 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 라이다(Light Detection And Ranging; LiDAR) 센서는 물체의 거리 및 속도 정보를 정확하게 결정할 수 있어 자율주행 기술 분야에서 큰 관심을 끌고 있다. 기존의 LiDAR 센서는 넓은 시야각(Field-of-View; FOV)으로 주변

물체를 감지하기 위해 기계식 회전자를 사용한다. 그러나, 기계식 회전자는 크기가 크고 비용이 많이 들기 때문에, 소형화된 저비용 라이다 센서에 대한 수요가 증가하고 있다. 고정형(solid-state) 라이다 센서 기술은 기계식 회전자와 같은 부품 없이 주변 환경을 감지할 수 있기에 소형 라이다 기술 분야에서 주목받고 있다. 고정형 라이다 센서는 일반적으로 스캔 방식에 따라 플래시 기반(flash-based) 라이다, MEMS 기반 LiDAR, 광위상배열(Optical Phased Array; OPA) 기반 라이다의 세 가지 유형으로 분류된다. 플래시 기반 및 MEMS 기반 라이다는 확산 렌즈를 사용하여 빛을 공간으로 확산시키므로 광원 출력이 제한되어 시야각이 좁고 탐지 거리가 짧다. 또한, 플래시 기반 및 MEMS 기반 라이다의 이미징 광학 시스템은 확산된 빛을 감지하기 위해 높은 비용이 드는 단광자눈사태다이오드(Single-Photon Avalanche Diode; SPAD) 배열 사용이 필수적이어서 활용성에 제한이 있다. 광위상배열 기반 라이다는 높은 구동 전압을 필요로 하고 시야각에 기술적 한계를 야기한다.

[0003] 현재까지 어안 렌즈와 마이크로렌즈 배열 등을 사용하여 화각 및 광집속을 높이는 다양한 설계 방법이 제안되었지만 180° 이상의 고화각 및 100㎛이내의 초점지름을 동시에 달성하기는 여전히 어려움이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-2290325호(2021.08.10)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 180° 이상으로 입사된 빛을 원하는 필드각 이내로 압축하고, 일정한 필드각 이내로 압축된 빛을 광축에 평행하게 한 후, 평행광을 100 ㎛ 이내의 지름을 갖는 초점에 집속시키기 위한 라이다 센서의 수신 광학계 적용을 위한 고화각 집광렌즈 모듈 및 그 동작 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 라이다 센서의 수신 광학계 적용을 위한 고화각 집광렌즈 모듈은 180° 이상의 입사각으로 입사된 빛을 미리 정해진 필드각 이내로 압축하는 광각렌즈 모듈부, 상기 미리 정해진 필드각 이내로 압축된 빛을 광축에 평행하도록 평행광을 생성하는 텔레센트릭 렌즈 모듈부 및 상기 평행광을 미리 정해진 크기의 초점에 집속시키기 위한 광결합렌즈 모듈부를 포함한다.

[0007] 상기 광각렌즈 모듈부는 제1 광각렌즈 및 제2 광각렌즈를 포함하고, 입사 필드각(ω_0)으로 입사한 빛은 제1 광각렌즈를 통과한 후의 필드각(ω_2)으로 제2 광각렌즈에 입사되고, 제1 광각렌즈 및 제2 광각렌즈 표면에서 만족하는 스넬의 법칙 및 삼각함수 공식을 이용하여 제2 광각렌즈를 통과한 빛의 필드각(ω_4), 상기 입사 필드각(ω_0) 및 상기 제1 광각렌즈를 통과한 후의 필드각(ω_2)에 대한 각 렌즈 곡률반경 사이의 관계식을 구한다.

[0008] 상기 텔레센트릭 렌즈 모듈부는 제1 텔레센트릭 렌즈, 제2 텔레센트릭 렌즈, 제3 텔레센트릭 렌즈 및 제4 텔레센트릭 렌즈를 포함하고, 각 렌즈의 광파워 및 렌즈 사이의 거리를 이용하여 가우시안 브래킷을 나타내고, 상기 가우시안 브래킷을 이용하여 텔레센트릭 렌즈 모듈부 전체의 광파워, 앞초점거리(Front Focal Length; FFL) 및 후초점거리(Back Bocal Length; BFL)를 구하며, 상기 미리 정해진 필드각 이내로 압축된 빛의 주광선을 광축에 평행하도록 하기 위해 상기 후초점거리가 최대일 때의 각 텔레센트릭 렌즈의 광파워와 렌즈 사이의 거리를 결정한다.

[0009] 상기 광결합렌즈 모듈부는 제1 광결합렌즈, 제2 광결합렌즈 및 제3 광결합렌즈를 포함하고, 상기 텔레센트릭 렌즈 모듈부를 통해 광축과 평행하게 된 주광선이 제1 광결합렌즈, 제2 광결합렌즈 및 제3 광결합렌즈를 통과한 후 지름이 100㎛ 이하인 집속광을 생성한다.

[0010] 또 다른 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 라이다 센서의 수신 광학계 적용을 위한 고화각 집광렌즈 모듈의 동작 방법은 광각렌즈 모듈부를 통해 180° 이상의 입사각으로 입사된 빛을 미리 정해진 필드각 이내로 압축하는 단계, 텔레센트릭 렌즈 모듈부를 통해 상기 미리 정해진 필드각 이내로 압축된 빛을 광축에 평행하도록 평행광을 생성하는 단계 및 광결합렌즈 모듈부를 통해 상기 평행광을 미리 정해진 크기의 초점에 집속시키는 단

계를 포함한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 실시예들에 따르면 180° 이상의 화각을 가지며 집속광의 지름이 100 ㎛ 이내인 고화각 집광렌즈 모듈을 제안하여, LiDAR 응용 분야에서의 더 높은 탐지 효율, 더 긴 탐지 거리, 더 넓은 화각을 제공할 수 있다. 본 발명의 실시예들에 따른 고화각 집광렌즈 모듈은 수신 시야각을 효과적으로 확장하고 수신 효율을 향상시켜 LiDAR 시스템의 전체 성능과 실용성을 증대시키는 역할을 수행할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 라이다 센서의 수신 광학계 적용을 위한 고화각 집광렌즈 모듈을 나타내는 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 주광선 기반 추적 기법을 활용한 광각렌즈 모듈부의 설계도를 나타내는 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 광각렌즈 모듈부에서 필드각과 렌즈 곡률 반경 사이의 관계를 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 광각렌즈 모듈부에 대해 LightTools 프로그램의 전산모사 결과를 나타내는 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 광각렌즈 모듈부에 입사한 빛의 입사각도에 대해 광각렌즈 모듈부를 통과한 빛의 굴절각을 나타내는 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 광각렌즈를 통과한 주광선을 광축과 평행하게 만들기 위한 텔레센트릭 렌즈 모듈부의 개략도를 나타내는 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 광각렌즈 모듈부와 텔레센트릭 렌즈 모듈부의 LightTools 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 광각렌즈 모듈부로 입사하는 빛의 각도에 따른 telecentricity를 나타내는 도면이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 라이다 센서의 수신 광학계 적용을 위한 고화각 집광렌즈 모듈부의 동작 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 고화각 집광렌즈 모듈부의 LightTools 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 LightTools 시뮬레이션 결과의 결상면에서 방사조도 분포를 나타내는 도면이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 LightTools 시뮬레이션 결과의 방사조도 프로파일을 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 본 발명의 실시예에 따른 라이다 센서의 수신 광학계 적용을 위한 고화각 집광렌즈 모듈은 180° 이상으로 입사된 빛을 원하는 필드각 이내로 압축하는 광각렌즈 모듈부, 일정한 필드각 이내로 압축된 빛을 광축에 평행하게 하기 위한 텔레센트릭 렌즈 모듈부, 평행광을 100㎛ 이내의 지름을 갖는 초점에 집속시키기 위한 광결합렌즈 모듈부를 포함하여 180° 이상의 화각을 가지며 집속광의 지름이 100㎛ 이하인 고화각 집광렌즈 모듈을 제안한다. 현재의 LiDAR 응용 분야는 더 높은 탐지 효율, 더 긴 탐지 거리, 더 넓은 화각을 요구함에 따라, 본 발명에서 제안하는 고화각 집광렌즈 모듈은 수신 시야각을 효과적으로 확장하고 수신 효율을 향상시켜 LiDAR 시스템의 전체 성능과 실용성을 증대시키는 역할을 수행할 것으로 기대된다. 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0015] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 라이다 센서의 수신 광학계 적용을 위한 고화각 집광렌즈 모듈을 나타내는

도면이다.

[0016] 본 발명의 실시예에 따른 라이다 센서의 수신 광학계 적용을 위한 고화각 집광렌즈 모듈은 광각렌즈 모듈부(110), 텔레센트릭 렌즈 모듈부(120), 광결합 렌즈 모듈부(130)을 포함한다. 본 발명의 실시예에 따른 라이다 센서의 수신 광학계 적용을 위한 고화각 집광렌즈 모듈은 2 매의 음의 메니스커스 렌즈(111, 112)로 구성된 광각렌즈 모듈부와 4 매의 텔레센트릭 렌즈(121, 122, 123, 124), 3 매의 광결합 렌즈(131, 132, 133)로 구성되며 총 9매의 렌즈로 이루어져 있다.

[0017] 본 발명의 실시예에 따르면, 180° 이상의 화각을 가지고 광각렌즈에 입사한 빛은 텔레센트릭 렌즈 모듈부를 거치며 주광선이 광축과 평행하게 되고 광결합렌즈 모듈부를 통과하여 지름이 100 ㎛ 이하로 집속된다.

[0018] 본 발명의 실시예에 따른 광각렌즈 모듈부(110)는 제1 광각렌즈 및 제2 광각렌즈를 포함한다.

[0019] 본 발명의 실시예에 따르면, 입사 필드각(ω_0)으로 입사한 빛은 제1 광각렌즈를 통과한 후의 필드각(ω_2)으로 제2 광각렌즈에 입사되고, 제1 광각렌즈 및 제2 광각렌즈 표면에서 만족하는 스넬의 법칙 및 삼각함수 공식을 이용하여 제2 광각렌즈를 통과한 빛의 필드각(ω_4), 상기 입사 필드각(ω_0) 및 상기 제1 광각렌즈를 통과한 후의 필드각(ω_2)에 대한 각 렌즈 곡률반경 사이의 관계식을 구한다.

[0020] 본 발명의 실시예에 따른 텔레센트릭 렌즈 모듈부(120)는 제1 텔레센트릭 렌즈, 제2 텔레센트릭 렌즈, 제3 텔레센트릭 렌즈 및 제4 텔레센트릭 렌즈를 포함한다.

[0021] 본 발명의 실시예에 따르면, 각 렌즈의 광파워 및 렌즈 사이의 거리를 이용하여 가우시안 브래킷을 나타내고, 상기 가우시안 브래킷을 이용하여 텔레센트릭 렌즈 모듈부 전체의 광파워, 앞초점거리(Front Focal Length; FFL) 및 후초점거리(Back Bocal Length; BFL)를 구한다.

[0022] 본 발명의 실시예에 따르면, 미리 정해진 필드각 이내로 압축된 빛의 주광선을 광축에 평행하도록 하기 위해 상기 후초점거리가 최대일 때의 각 텔레센트릭 렌즈의 광파워와 렌즈 사이의 거리를 결정한다.

[0023] 본 발명의 실시예에 따른 광결합렌즈 모듈부(130)는 제1 광결합렌즈, 제2 광결합렌즈 및 제3 광결합렌즈를 포함한다.

[0024] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 텔레센트릭 렌즈 모듈부를 통해 광축과 평행하게 된 주광선이 제1 광결합렌즈, 제2 광결합렌즈 및 제3 광결합렌즈를 통과한 후 지름이 100㎛ 이하인 집속광을 생성한다.

[0026] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 주광선 기반 추적 기법을 활용한 광각렌즈 모듈부의 설계도를 나타내는 도면이다.

[0027] 도 2를 참조하면, 필드각 ω_0로 입사한 빛은 2 매의 렌즈를 거쳐 진행한다. 이 때, 제1 광각렌즈(210)를 거친 후의 필드각을 ω_2, 제2 광각렌즈(220)를 통과한 빛의 필드각을 ω_4라 하면, 각 렌즈 표면에서 만족하는 스넬의 법칙 및 삼각함수 공식을 이용하여 각 렌즈의 필드각과 렌즈 곡률반경 사이의 관계식을 도출할 수 있다. 아래는 각 렌즈 표면에서 만족하는 스넬의 법칙을 나타낸다.

[0028] $$n_i sin\alpha_{i+1} = n_{i+1} sin\beta_{i+1} \; (for\; i = 1,2,3,4)$$

[0029] 삼각함수 공식으로부터 (i+1)번째 렌즈 표면의 주광선 파라미터는 다음과 같이 계산할 수 있다.

[0030] $$sin\alpha_{i+1} = \frac{\Gamma_{i+1} + d_i - \Gamma_i}{\rho_{i+1}} sin\omega_i + \frac{\rho_i}{\rho_{i+1}} sin\beta_i,$$

[0031] $$\omega_i = \omega_{i-1} + \beta_i - \alpha_i = \omega_0 + \sum_{i=1}^{i} (\beta_i - \alpha_i).$$

[0032] 렌즈 표면을 구면이라고 가정할 경우 제1 광각렌즈(210)의 곡률반경의 비는 아래과 같이 유도된다.

[0033] $$\sin\alpha_2 = \frac{r_2 + d_1 - r_1}{r_2}\sin\omega_1 + \frac{r_1}{r_2}\sin\beta_1,$$

[0034] $$\frac{r_2}{r_1} = f\left(\frac{\omega_2}{\omega_0}\right) \approx \frac{\sin\beta_1 - \sin\omega_1}{\sin\alpha_2 - \sin\ \omega_1} (\because d_1 \lll r_2).$$

[0035] 마찬가지로, 제2 광각렌즈(220)의 곡률반경의 비는 아래와 같이 유도될 수 있다.

[0036] $$\sin\alpha_3 = \frac{r_3 + d_2 - r_2}{r_3}\sin\omega_2 + \frac{r_2}{r_3}\sin\beta_2,$$
$$-\overline{h_3} = r_3\sin(\omega_2 - \alpha_3),$$
$$r_3{}^2 = \left(r_3 + d_2 - s_1 - \frac{\overline{h_3}}{\tan\omega_2}\right)^2 + \left(\overline{h_3}\right)^2,$$
$$\frac{r_4}{r_3} = f\left(\frac{\omega_4}{\omega_2}\right) \approx \frac{sin\,\beta_3 - sin\,\omega_3}{sin\,\alpha_4 - sin\ \omega_3} (\because d_3 \lll r_4).$$

[0038] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 광각렌즈 모듈에서 필드각과 렌즈 곡률 반경 사이의 관계를 나타내는 도면이다.

[0039] 도 3(a)는 제1 광각렌즈의 굴절률이 1.507일 때, k_1(=sineΘ_1)이 0.75에서 0.95로 변화할 때 필드각(ω_2)과 렌즈 곡률 반경 사이의 관계(r_2/r_1)를 나타낸다. 해당 관계식을 통해, 필드각(ω_2)이 40.5° , k_1=0.95 일 때 렌즈 곡률 반경 r_2/r_1의 값을 결정한다.

[0040] 도 3(b)는 제2 광각렌즈의 굴절률이 1.612일 때, k_2(=sineΘ_2)가 0.7에서 0.9로 변화할 때 필드각(ω_4)과 렌즈 곡률 반경 사이의 관계(r_4/r_3)를 나타낸다. 해당 관계식을 통해, 필드각(ω_4)이 15.5° , k_2=0.9 일 때 렌즈 곡률 반경 r_4/r_3의 값을 결정한다. 상기 광각렌즈 모듈 설계를 통해, 필드각(ω_0)이 90° 로 입사한 빛(FoV 180°)은 필드각(ω_4)이 15.5° 로 줄어들고 해당 빛은 뒷단의 텔레센트릭 렌즈 모듈로 입사한다.

[0042] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 광각렌즈 모듈에 대해 LightTools 프로그램의 전산모사 결과를 나타내는 도면이다.

[0043] 도 4를 참조하면, 각 입사광은 0° (빨간색), 30° (검은색), 60° (녹색), 90° (파란색)로 구성하였으며 설계대로 입사광이 굴절됨을 확인할 수 있다.

[0045] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 광각렌즈 모듈에 입사한 빛의 입사각도에 대해 광각렌즈 모듈을 통과한 빛의 굴절각을 나타내는 도면이다.

[0046] 도 5를 참조하면, 입사광이 광각렌즈 모듈에 0° 로 입사할 때 광각렌즈 모듈을 통과한 빛의 굴절각은 광축에 대하여 1.16±0.82° 의 값을 가지며 입사각도가 30° , 60° , 90° 로 증가할 수록 굴절각은 각각 8.42±1.53° , 15.94±2.02° , 19.48±2.83° 로 증가한다.

[0048] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 광각렌즈를 통과한 주광선을 광축과 평행하게 만들기 위한 텔레센트릭 렌즈 모듈의 개략도를 나타내는 도면이다.

[0049] 도 6은 광각렌즈를 통과한 주광선을 광축과 평행하기 만들기 위한 텔레센트릭 렌즈 모듈의 개략도를 나타낸다.

[0050] 본 발명의 실시예에 따르면, 제1 텔레센트릭 렌즈(610), 제2 텔레센트릭 렌즈(620), 제3 텔레센트릭 렌즈(630) 및 제4 텔레센트릭 렌즈(640)의 총 4매로 구성된 텔레센트릭 렌즈 모듈의 경우 가우시안 브래킷은 다음과 같이 각 렌즈의 광파워($\varphi_i, i = 1,2,3,4$) 및 렌즈 사이의 거리($d_j, j = 1,2,3$)로 표현된다.

[0051]
$$\alpha = |d_3, -\varphi_3, d_2, -\varphi_2, d_1, -\varphi_1|,$$
$$\beta = |d_3, -\varphi_3, d_2, -\varphi_2, d_1|,$$
$$\gamma = |-\varphi_4, d_3, -\varphi_3, d_2, -\varphi_2, d_1, -\varphi_1|,$$
$$\delta = |-\varphi_4, d_3, -\varphi_3, d_2, -\varphi_2, d_1|.$$

[0052] 이 때, 렌즈 모듈 전체의 광파워(φ), 앞초점거리(Front Focal Length; FFL), 후초점거리(Back Bocal Length; BFL)는 다음과 같이 표현된다.

[0053]
$$\varphi = -\gamma,\ FFL = \frac{\delta}{\gamma},\ BFL = -\frac{\alpha}{\gamma}.$$

[0054] 상기 텔레센트릭 렌즈 설계의 목표는 주광선을 광축과 평행하게 만드는 것이었으므로 BFL이 최대일 때 각 렌즈의 광 출력과 렌즈 사이의 거리를 결정했다. MATLAB의Quasi-Newton 업데이트 방법을 기반으로 하는 비선형 프로그래밍 함수 fmincon을 사용하여 주어진 제약 조건에 대한 광파워 및 렌즈사이의 거리를 결정하였다.

[0056] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 광각렌즈 모듈과 텔레센트릭 렌즈 모듈의 LightTools 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

[0057] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 광각렌즈 모듈로 입사하는 빛의 각도에 따른 telecentricity를 나타내는 도면이다.

[0058] 입사각이 0° 에서 90° 까지 변화할 때 telecentricity는 2.5° 이내로 유지되었으며, 이는 설계된 렌즈 모듈이 텔레센트릭 조건하에 있음을 나타낸다.

[0060] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 라이다 센서의 수신 광학계 적용을 위한 고화각 집광렌즈 모듈의 동작 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0061] 본 발명의 실시예에 따른 라이다 센서의 수신 광학계 적용을 위한 고화각 집광렌즈 모듈의 동작 방법은 광각렌즈 모듈부를 통해 180° 이상의 입사각으로 입사된 빛을 미리 정해진 필드각 이내로 압축하는 단계(910), 텔레센트릭 렌즈 모듈부를 통해 상기 미리 정해진 필드각 이내로 압축된 빛을 광축에 평행하도록 평행광을 생성하는 단계(920) 및 광결합렌즈 모듈부를 통해 상기 평행광을 미리 정해진 크기의 초점에 집속시키는 단계(930)를 포함한다.

[0062] 단계(910)에서, 광각렌즈 모듈부를 통해 180° 이상의 입사각으로 입사된 빛을 미리 정해진 필드각 이내로 압축한다. 상기 광각렌즈 모듈부는 제1 광각렌즈 및 제2 광각렌즈를 포함한다.

[0063] 본 발명의 실시예에 따르면, 입사 필드각(ω_0)으로 입사한 빛은 제1 광각렌즈를 통과한 후의 필드각(ω_2)으로 제2 광각렌즈에 입사되고, 제1 광각렌즈 및 제2 광각렌즈 표면에서 만족하는 스넬의 법칙 및 삼각함수 공식을 이용하여 제2 광각렌즈를 통과한 빛의 필드각(ω_4), 상기 입사 필드각(ω_0) 및 상기 제1 광각렌즈를 통과한 후의 필드각(ω_2)에 대한 각 렌즈 곡률반경 사이의 관계식을 구한다.

[0064] 단계(920)에서, 텔레센트릭 렌즈 모듈부를 통해 상기 미리 정해진 필드각 이내로 압축된 빛을 광축에 평행하도록 평행광을 생성한다. 상기 텔레센트릭 렌즈 모듈부는 제1 텔레센트릭 렌즈, 제2 텔레센트릭 렌즈, 제3 텔레센트릭 렌즈 및 제4 텔레센트릭 렌즈를 포함한다.

[0065] 본 발명의 실시예에 따르면, 각 렌즈의 광파워 및 렌즈 사이의 거리를 이용하여 가우시안 브래킷을 나타내고, 상기 가우시안 브래킷을 이용하여 텔레센트릭 렌즈 모듈부 전체의 광파워, 앞초점거리(Front Focal Length;

FFL) 및 후초점거리(Back Bocal Length; BFL)를 구한다.

[0066] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 미리 정해진 필드각 이내로 압축된 빛의 주광선을 광축에 평행하도록 하기 위해 상기 후초점거리가 최대일 때의 각 텔레센트릭 렌즈의 광파워와 렌즈 사이의 거리를 결정한다.

[0067] 단계(920)에서, 광결합렌즈 모듈부를 통해 상기 평행광을 미리 정해진 크기의 초점에 집속시킨다. 상기 광결합렌즈 모듈부는 제1 광결합렌즈, 제2 광결합렌즈 및 제3 광결합렌즈를 포함한다.

[0068] 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 텔레센트릭 렌즈 모듈부를 통해 광축과 평행하게 된 주광선이 제1 광결합렌즈, 제2 광결합렌즈 및 제3 광결합렌즈를 통과한 후 지름이 100㎛ 이하인 집속광을 생성한다.

[0070] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 고화각 집광렌즈 모듈의 LightTools 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

[0071] 본 발명의 실시예에 따르면, 시뮬레이션에서는 방사 전력 1W, 반경 0.6mm, 입사각 0°, 30°, 60°, 90°의 디스크 소스를 사용했다. 렌즈모듈의 총 길이는 400mm이다.

[0073] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 LightTools 시뮬레이션 결과의 결상면에서 방사조도 분포를 나타내는 도면이다.

[0074] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 LightTools 시뮬레이션 결과의 방사조도 프로파일을 나타내는 도면이다.

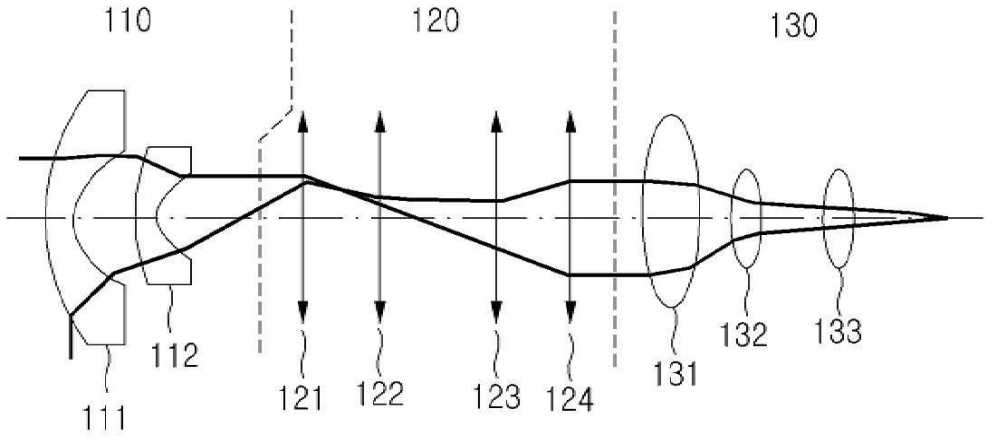
[0075] 도 12는 도 11의 점선(1110)으로 표시된 수평 및 수직 방향에 따른 방사조도 프로파일을 나타낸다. 상기 프로파일의 반치폭(Full Width at Half Maximum; FWHM)은 수평 방향으로 약 49㎛, 수직 방향으로 약 78㎛를 나타내어 다중모드 광섬유의 직경(약 100 ㎛)보다 작게 형성됨을 알 수 있다.

[0077] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

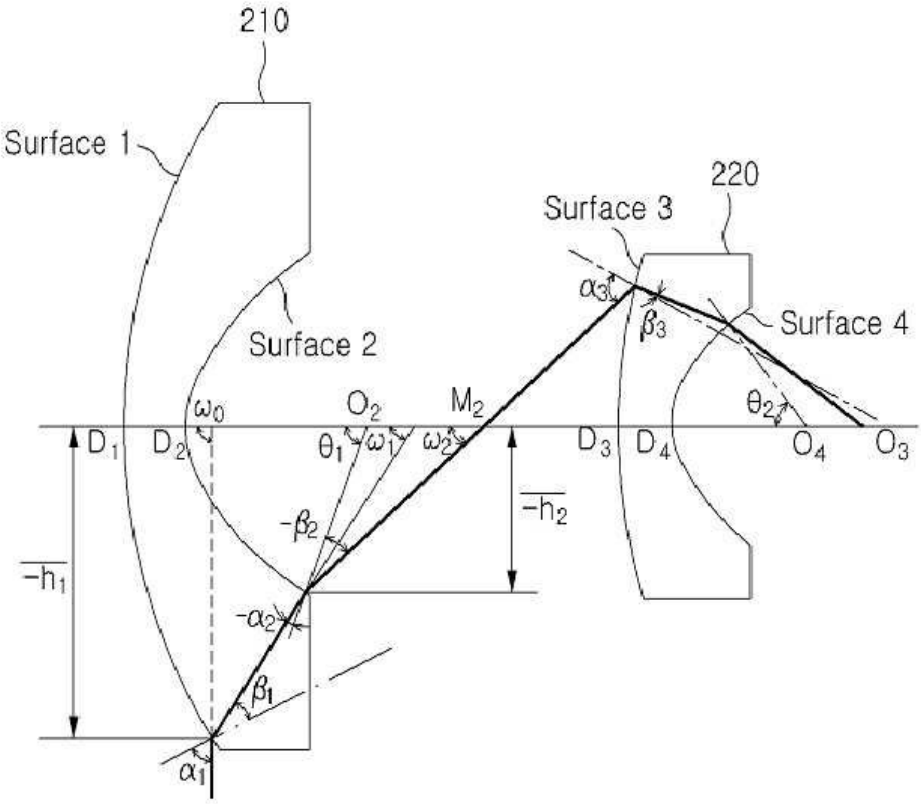
[0078] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

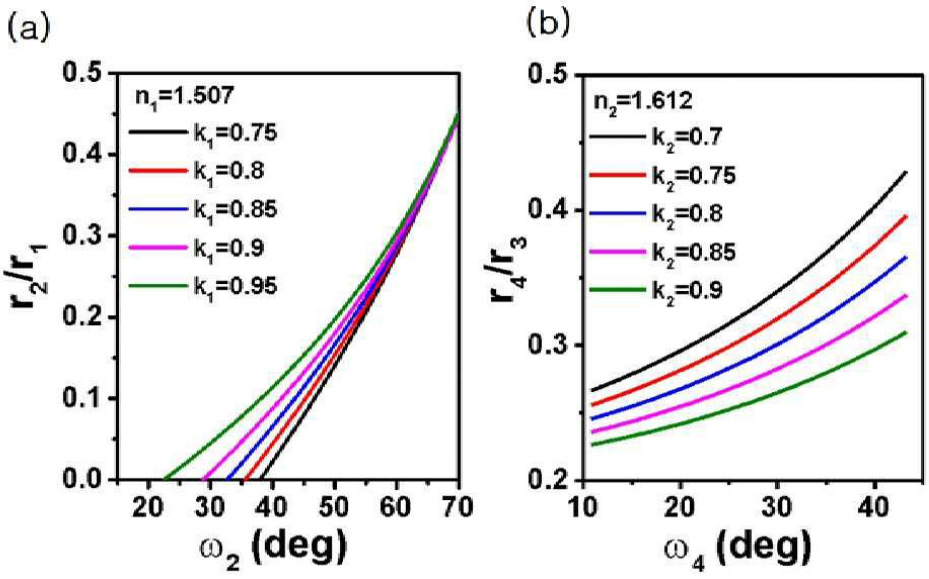
도면1


110
120
130
111
112
121
122
123
124
131
132
133

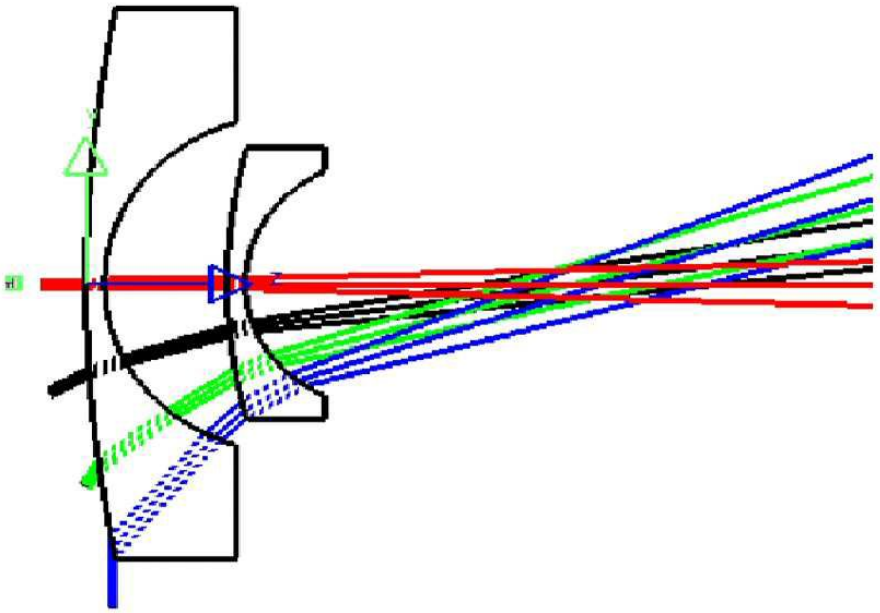
도면2


210
Surface 1
Surface 2
220
Surface 3
Surface 4
ω_0
O_2
M_2
θ_1
ω_1
ω_2
α_3
β_3
θ_2
D_1
D_2
D_3
D_4
O_4
O_3
$-\beta_2$
$-h_2$
$-h_1$
$-\alpha_2$
β_1
α_1

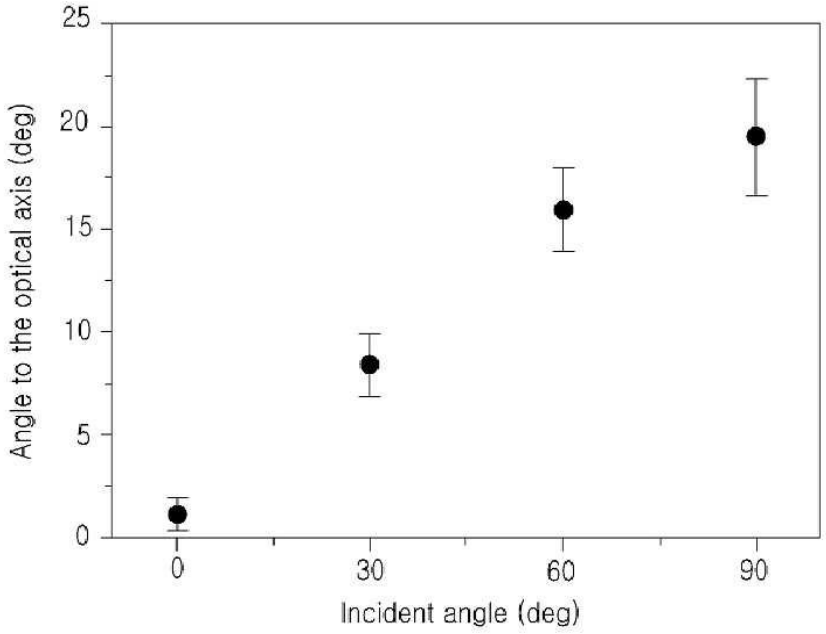
도면3


(a)
n1=1.507
k1=0.75
k1=0.8
k1=0.85
k1=0.9
k1=0.95
r2/r1
ω2 (deg)
(b)
n2=1.612
k2=0.7
k2=0.75
k2=0.8
k2=0.85
k2=0.9
r4/r3
ω4 (deg)

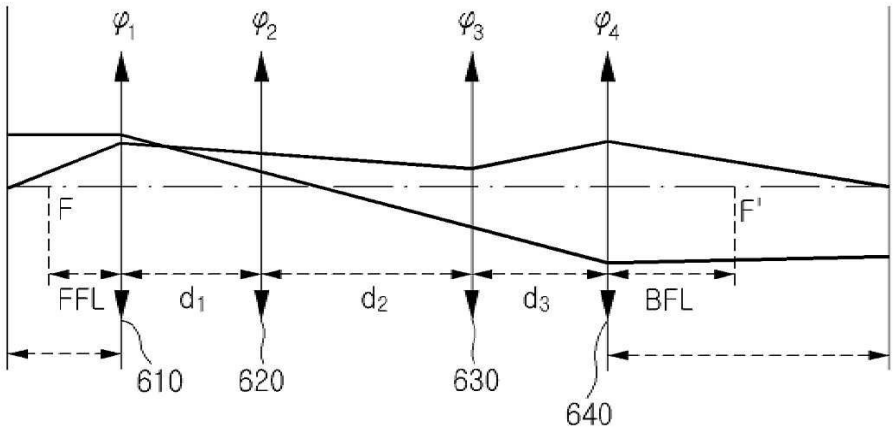
도면4



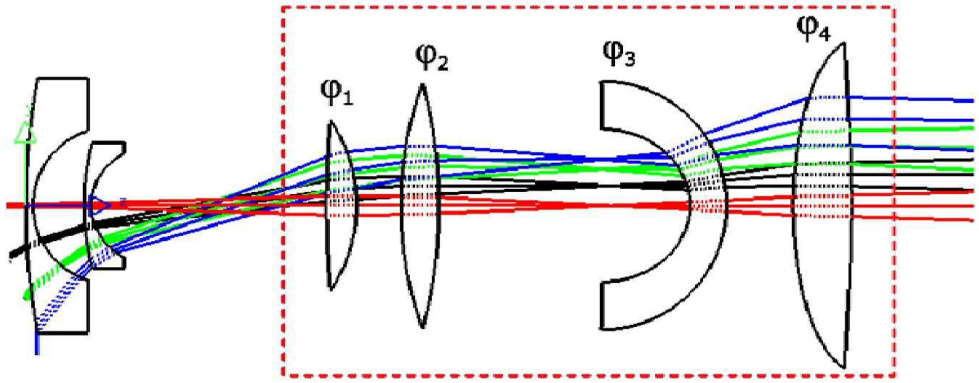
도면5


25
20
15
10
5
0
Angle to the optical axis (deg)
0
30
60
90
Incident angle (deg)

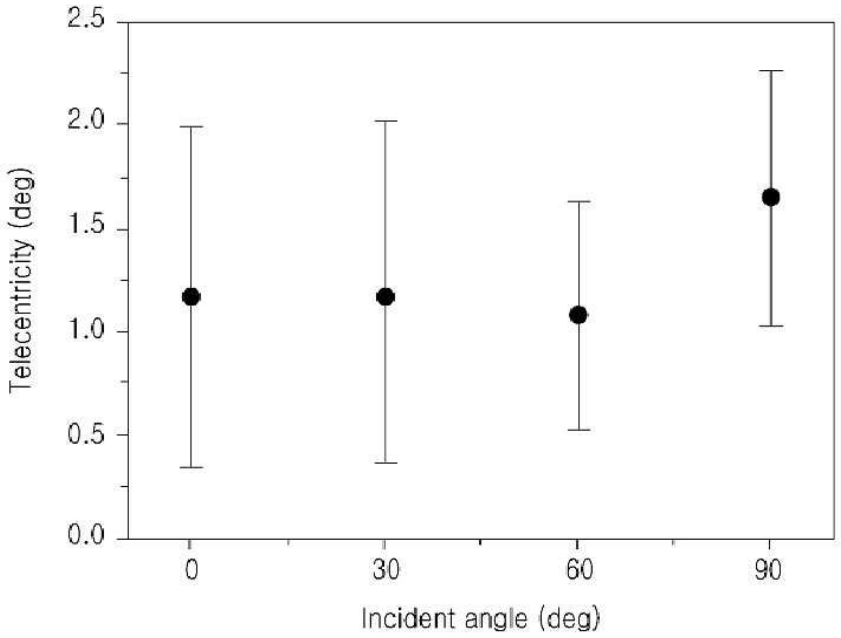
도면6


φ1
φ2
φ3
φ4
F
F'
FFL
d1
d2
d3
BFL
610
620
630
640

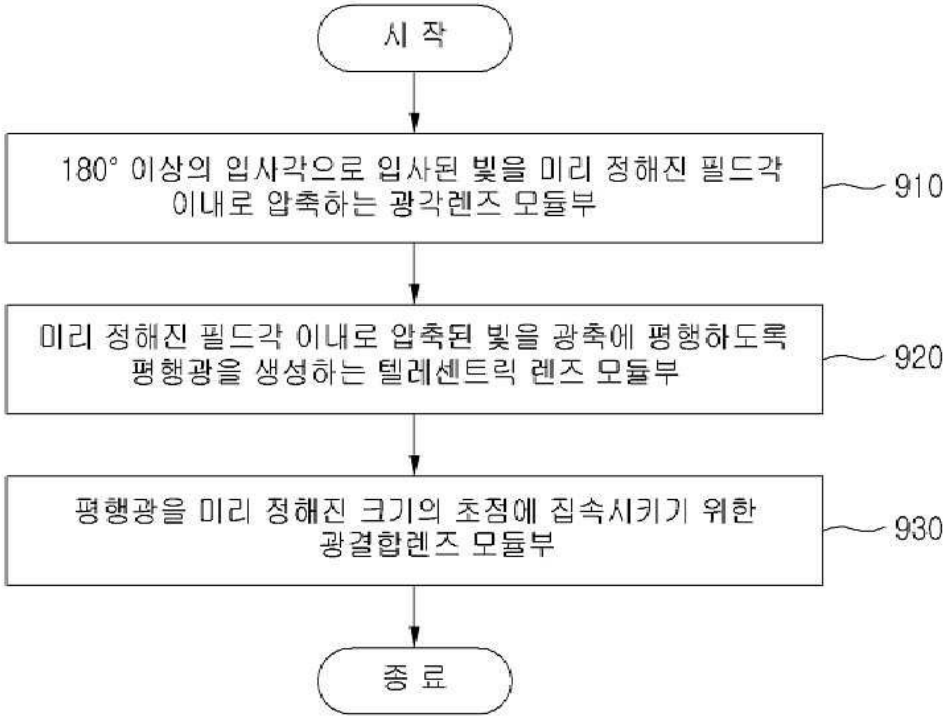
도면7


φ1
φ2
φ3
φ4

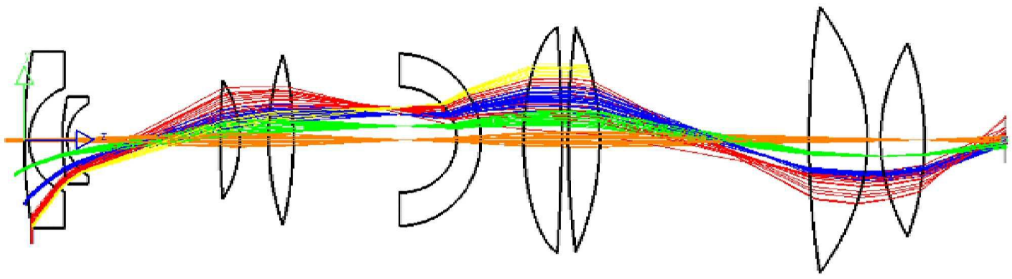
도면8


2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
Telecentricity (deg)
0
30
60
90
Incident angle (deg)

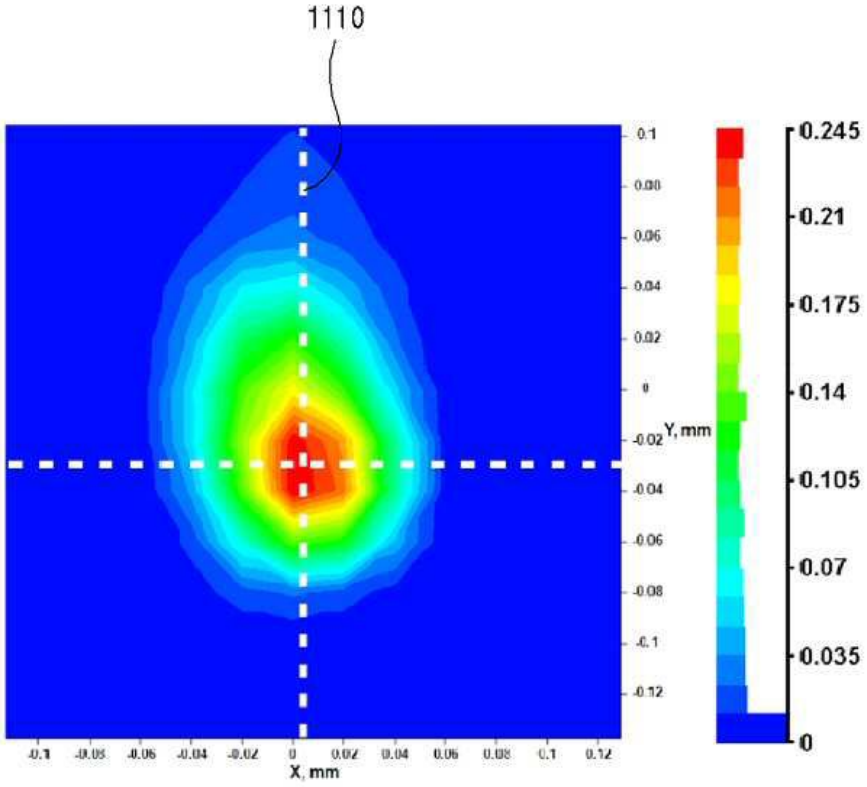
도면9


시 작
180° 이상의 입사각으로 입사된 빛을 미리 정해진 필드각 이내로 압축하는 광각렌즈 모듈부
910
미리 정해진 필드각 이내로 압축된 빛을 광축에 평행하도록 평행광을 생성하는 텔레센트릭 렌즈 모듈부
920
평행광을 미리 정해진 크기의 초점에 집속시키기 위한 광결합렌즈 모듈부
930
종 료

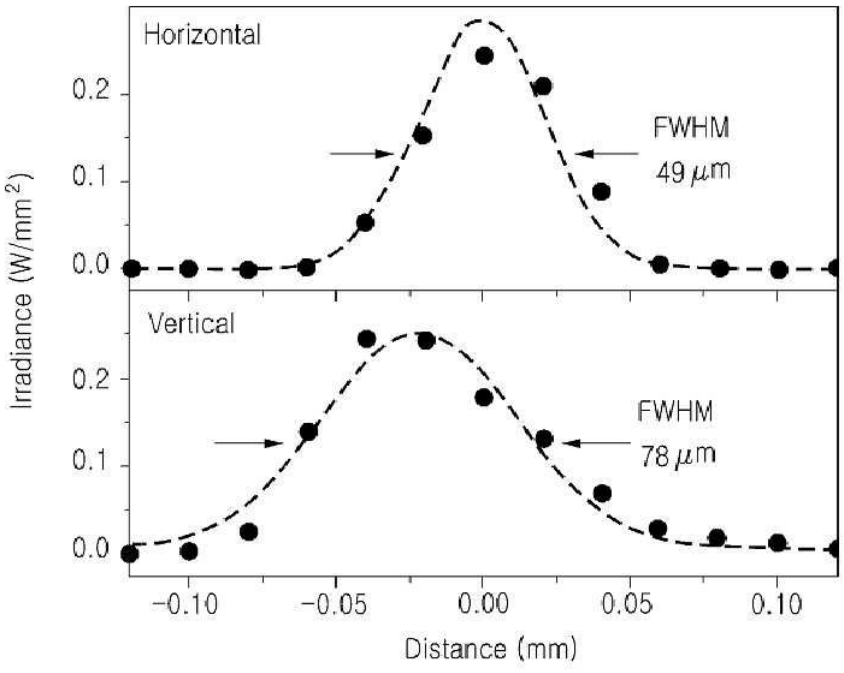
도면10



도면11


1110
0.245
0.21
0.175
0.14
0.105
0.07
0.035
0
Y, mm
X, mm

도면12


Horizontal
FWHM
49 μm
Vertical
FWHM
78 μm
Irradiance (W/mm²)
Distance (mm)
0.0
0.1
0.2
-0.10
-0.05
0.00
0.05
0.10