(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0011288
(43) 공개일자 2017년02월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 17/06 (2006.01) *G02B 23/10* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02B 17/0663 (2013.01)
G02B 23/10 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0103663
(22) 출원일자 2015년07월22일
심사청구일자 2015년07월22일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
재단법인 다차원 스마트 아이티 융합시스템 연구단
대전광역시 유성구 대학로 291 , 한국과학기술원 김병호 아이티 융합빌딩 312호(구성동)
(72) 발명자
박수종
서울특별시 서초구 서초중앙로 200, 15동 807호(서초동, 삼풍아파트)
장승혁
서울특별시 강남구 삼성로64길 40, 1102호(대치동, 하이캐슬)
김상혁
경기도 성남시 분당구 동판교로 156, 913동 304호(삼평동, 봇들마을9단지금호어울림아파트)
(74) 대리인
김연권

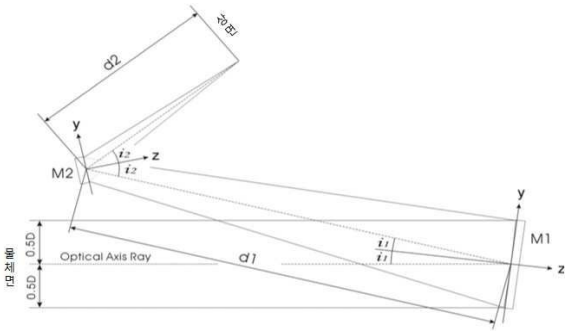
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 **비축 반사 광학계 장치**

(57) 요 약

본 발명은 선형 비점수차(linear astigmatism)가 제거된 상태에서 유효 초점거리 대 구경의 비율에 대응하는 광학 설계치가 결정되고, 상기 광학 설계치에 기초하여 비축(off-axis) 배치 관계가 형성된 비축 반사 광학계 장치를 개시한다.

대 표 도 - 도5



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 20140960
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 우주핵심기술개발사업
연구과제명 우주 적외선 관측을 위한 알루미늄 비축 반사망원경의 시험모델 개발
기 여 율 1/1
주관기관 경희대학교 산학협력단
연구기간 2014.07.01 ~ 2019.06.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

선형 비점수차(linear astigmatism)가 제거된 상태에서 유효 초점거리 대 구경의 비율에 대응하는 광학 설계치가 결정되고, 상기 광학 설계치에 기초하여 비축(off-axis) 배치 관계가 형성된 비축 반사 광학계 장치에 있어서,

상기 구경이 D이고, 상기 유효 초점거리 대 구경의 비율이 8인 경우, 상기 광학 설계치는 6D의 초점거리와 상기 D 의 구경을 갖는 제1 미러로부터 제2 미러까지 이르는 거리 d_1이 4.5D이고, 상기 제2 미러로부터 상면까지 이르는 거리 d_2가 2D이며, 물체면에서 상기 제1 미러로 입사되는 광선의 입사각 i_1이 7°이고, 상기 제1 미러에서 상기 제2 미러로 입사되는 광선의 입사각 i_2가 26.1574°인 것을 특징으로 하는 비축 반사 광학계 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 미러 및 상기 제2 미러에 대한 자율곡면 형상 파라미터에 기초하여 코마 수차(coma aberration)가 제거된 것을 특징으로 하는 비축 반사 광학계 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 자율곡면 형상 파라미터는 [수식 3] 및 [수식 4]에 의해 결정된 것을 특징으로 하는 비축 반사 광학계 장치.

[수식 3]

$$Z_{M1} = k[-4.1980e^{-4}\cdot(x/k)^2 - 4.1356e^{-4}\cdot(y/k)^2 - 4.2634e^{-8}\cdot(x/k)^2(y/k) - 4.2000e^{-8}\cdot(y/k)^3 + 2.8358^{e-11}\cdot(x/k)^4 + 5.2131e^{-11}\cdot(x/k)^2(y/k)^2 + 2.3231e^{-11}\cdot(y/k)^4 - 2.6060e^{-15}\cdot(x/k)^4(y/k) - 1.3862e^{-14}\cdot(x/k)^2(y/k)^3 - 6.3612e^{-15}\cdot(y/k)^5 - 5.1723e^{-16}\cdot(x/k)^6 - 2.2134e^{-15}\cdot(x/k)^4(y/k)^2 - 2.1250e^{-15}\cdot(x/k)^2(y/k)^4 - 4.5443e^{-16}\cdot(y/k)^6]$$

[수식 4]

$$Z_{M2} = k[-4.6421e^{-4}\cdot(x/k)^2 - 3.7399e^{-4}\cdot(y/k)^2 - 1.1937e^{-6}\cdot(x/k)^2(y/k) - 9.6175e^{-7}\cdot(y/k)^3 + 1.1763e^{-8}\cdot(x/k)^4 + 1.5858e^{-8}\cdot(x/k)^2(y/k)^2 + 5.1350e^{-9}\cdot(y/k)^4 + 7.6559e^{-11}\cdot(x/k)^4(y/k) + 1.0670e^{-10}\cdot(x/k)^2(y/k)^3 + 4.1328e^{-11}\cdot(y/k)^5 - 1.3190e^{-12}\cdot(x/k)^6 - 4.1816e^{-12}\cdot(x/k)^4(y/k)^2 - 2.8931e^{-12}\cdot(x/k)^2(y/k)^4 - 3.3615e^{-13}\cdot(y/k)^6]$$

(여기서, Z_{M1}은 상기 제1 미러에 대한 자율곡면 형상 파라미터, Z_{M2}은 상기 제2 미러에 대한 자율곡면 형상 파라미터, x는 새지털(sagittal) 면에서 나란한 축을 따르는 자율곡면으로부터의 거리, y는 탄젠셜(tangential) 면에서 나란한 축을 따르는 자율곡면으로부터의 거리, k는 D/100mm임)

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제1 미러는 오목 미러이고, 상기 제2 미러는 볼록 미러인 것을 특징으로 하는 비축 반사 광학계 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제1 미러 및 상기 제2 미러는 비구면 미러인 것을 특징으로 하는 비축 반사 광학계 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 비축 반사 광학계 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 유효 초점거리 대 구경의 비율에 대응하는 광학 설계치에 기초하여 비축 배치 관계가 형성되는 비축 반사 광학계 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 인공위성에 탑재되는 우주 망원경은 인공위성 발사시 충격을 견딜 수 있는 구조로 이루어져야 하고, 굴절 광학계 망원경 또는 반사 광학계 망원경(예를 들어, 카세그레인 기반의 반사 망원경)일 수 있다.

[0003] 한편, 굴절 광학계 망원경은 우수한 광학 성능을 가지고 있지만, 렌즈의 재질과 크기에 제한이 있어서, 우주 망원경에 적합하지 않을 수 있다.

[0004] 또한, 우주 망원경으로 가장 널리 사용되는 반사 광학계 망원경은 주 반사경 앞에 볼록 미러인 부경이 위치하기 때문에, 부경과 부경 지지대에 의한 입사 빛이 회절 및 산란될 수 있고, 선명한 상을 만드는데 제약이 발생될 수 있으며, 부경을 고정시키는데 제약이 발생될 수 있다.

[0005] 이에 새로운 대안으로, 비축 반사 광학계 장치(예를 들어, 비축 카세그레인 망원경)는 우주 망원경으로 적합할 수 있다.

[0006] 또한, 비축 반사 광학계 장치는 부경에 의한 열복사 잡음이 없기 때문에 적외선 망원경으로 적합할 수 있고, 반사경을 알루미늄의 재질로 제조되는 경우, 반사경을 견고하게 고정시킬 수 있어 군사용 적외선 망원경으로 적합할 수 있다.

[0007] 또한, 비축 반사 광학계 장치는 부경에 의한 산란광이 없기 때문에 천문학 연구를 위한 천체 망원경으로 적합할 수 있다. 예를 들어, 천체 망원경은 태양 관측에 사용되는 코로나그라프 망원경으로 적합할 수 있고, 외계 행성 찾는데 사용되는 코로나그라프 망원경으로 적합할 수 있다.

[0008] 또한, 소형 반사경을 대량으로 제조할 수 있는 경우, 비축 반사 광학계 장치는 경통의 구조가 간단해지고, 낮은 단가로 보급될 수 있기 때문에 아마추어용 소형 망원경으로 적합할 수 있다.

[0009] 따라서, 비축 반사 광학계 장치는 전술한 다양한 분야 또는 이를 응용한 분야에서 널리 사용될 수 있다.

[0010] 하지만, 비축 반사 광학계 장치는 광학계의 중심축과 시야의 중심축이 일치하지 않아 발생되는 선형 비점수차(linear astigmatism)가 존재할 수 있고, 중심축의 거리 또는 물체에 대한 광선이 모아지지 않음에 따라 발생되는 코마 수차(coma aberration)가 존재할 수 있다.

[0011] 종래에는 Zemax, CodeV 등의 렌즈 설계 소프트웨어를 사용한 수치적인 최적화를 통하여 선형 비점수차를 제거하였지만, 선형 비점수차를 일부만 제거되었고, 완전히 제거할 수 없었다.

[0012] 또한, 종래에는 관계식 또는 방정식을 통하여 코마 수차를 제거하였지만, 최적화된 파라미터를 산출하는데 어려움이 존재하였다.

선행기술문헌

특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) 한국 공개특허 제20110063686호(2011.06.13), "렌즈 설계 단순화 공정"

(특허문헌 0002) 한국 공개특허 제20070115739호(2007.12.06), "지문 인식을 이용한 차량의 통합 설정 제어 장치 및 그 방법"

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 본 발명은 유효 초점거리 대 구경의 비율에 대응하는 광학 설계치에 기초하여 비축 배치 관계가 형성된 비축 반사 광학계 장치를 제공한다.

[0015] 본 발명은 반사경에 대한 자율곡면 형상 파라미터에 기초하여 코마 수차를 효율적으로 제거된 비축 반사 광학계 장치를 제공한다.

과제의 해결 수단

[0016] 본 발명의 실시예에 따른 비축 반사 광학계 장치는 선형 비점수차(linear astigmatism)가 제거된 상태에서 유효 초점거리 대 구경의 비율에 대응하는 광학 설계치가 결정되고, 상기 광학 설계치에 기초하여 비축(off-axis) 배치 관계가 형성된다.

[0017] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 비축 반사 광학계 장치는 상기 구경이 D이고, 상기 유효 초점거리 대 구경의 비율이 8인 경우, 상기 광학 설계치는 6D의 초점거리와 상기 D 의 구경을 갖는 제1 미러로부터 제2 미러까지 이르는 거리 d_1이 4.5D이고, 상기 제2 미러로부터 상면까지 이르는 거리 d_2가 2D이며, 물체면에서 상기 제1 미러로 입사되는 광선의 입사각 i_1이 7°이고, 상기 제1 미러에서 상기 제2 미러로 입사되는 광선의 입사각 i_2가 26.1574°인 것을 특징으로 한다.

[0018] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 비축 반사 광학계 장치는 상기 제1 미러 및 상기 제2 미러에 대한 자율곡면 형상 파라미터에 기초하여 코마 수차(coma aberration)가 제거된 것을 특징으로 할 수 있다.

[0019] 상기 자율곡면 형상 파라미터는 [수식 3] 및 [수식 4]에 의해 결정된 것을 특징으로 할 수 있다.

[0020] [수식 3]

[0021] $$Z_{M1} = k[-4.1980e^{-4}\cdot(x/k)^2 - 4.1356e^{-4}\cdot(y/k)^2 - 4.2634e^{-8}\cdot(x/k)^2(y/k) - 4.2000e^{-8}\cdot(y/k)^3 + 2.8358^{e-11}\cdot(x/k)^4 + 5.2131e^{-11}\cdot(x/k)^2(y/k)^2 + 2.3231e^{-11}\cdot(y/k)^4 - 2.6060e^{-15}\cdot(x/k)^4(y/k) - 1.3862e^{-14}\cdot(x/k)^2(y/k)^3 - 6.3612e^{-15}\cdot(y/k)^5 - 5.1723e^{-16}\cdot(x/k)^6 - 2.2134e^{-15}\cdot(x/k)^4(y/k)^2 - 2.1250e^{-15}\cdot(x/k)^2(y/k)^4 - 4.5443e^{-16}\cdot(y/k)^6]$$

[0022] [수식 4]

[0023] $$Z^{M2} = k[-4.6421e^{-4}\cdot(x/k)^2 - 3.7399e^{-4}\cdot(y/k)^2 - 1.1937e^{-6}\cdot(x/k)^2(y/k) - 9.6175e^{-7}\cdot(y/k)^3 + 1.1763e^{-8}\cdot(x/k)^4 + 1.5858e^{-8}\cdot(x/k)^2(y/k)^2 + 5.1350e^{-9}\cdot(y/k)^4 + 7.6559e^{-11}\cdot(x/k)^4(y/k) + 1.0670e^{-10}\cdot(x/k)^2(y/k)^3 + 4.1328e^{-11}\cdot(y/k)^5 - 1.3190e^{-12}\cdot(x/k)^6 - 4.1816e^{-12}\cdot(x/k)^4(y/k)^2 - 2.8931e^{-12}\cdot(x/k)^2(y/k)^4 - 3.3615e^{-13}\cdot(y/k)^6]$$ (여기서, Z_{M1}은 상기 제1 미러에 대한 자율곡면 형상 파라미터, Z_{M2}은 상기 제2 미러에 대한 자율곡면 형상 파라미터, x는 새지털(sagittal) 면에서 나란한 축을 따르는 자율곡면으로부터의 거리, y는 탄젠셜(tangential) 면에서 나란한 축을 따르는 자율곡면으로부터의 거리, k는 D/100mm임)

[0024] 상기 제1 미러는 오목 미러이고, 상기 제2 미러는 볼록 미러인 것을 특징으로 할 수 있고, 상기 제1 미러 및 상기 제2 미러는 비구면 미러인 것을 특징으로 할 수 있다.

발명의 효과

[0025] 본 발명은 유효 초점거리 대 구경의 비율에 대응하는 광학 설계치에 기초하여 비축 배치 관계가 형성된 비축 반사 광학계 장치를 제공할 수 있다.

[0026] 본 발명은 반사경에 대한 자율곡면 형상 파라미터에 기초하여 코마 수차를 효율적으로 제거된 비축 반사 광학계 장치를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 비축 반사 광학계 장치의 광경로를 도시한 예이다.

도 2는 비축 자율곡면 상에서 상면 기울어짐과 선형 비점수차를 도시한 예이다.

도 3은 선형 비점수차가 제거된 비축 반사 광학계 장치의 단면을 도시한 예이다.

도 4a는 도 3의 선형 비점수차가 제거된 비축 반사 광학계 장치에서 초점 시프트에 따른 빔 스폿 변화를 도시한 예이다.

도 4b는 축상 광학계 장치에서 초점 시프트에 따른 빗 스폿 변화를 도시한 예이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 비축 반사 광학계 장치를 도시한 것이다.

도 6a는 선형 비점수차만 제거된 구경 100㎜, 유효 초점거리 대 구경의 비율이 8인 비축 반사 광학계 장치에서 초점 시프트에 따른 빗 스폿 변화를 도시한 예이다.

도 6b는 도 5의 선형 비점수차 및 코마 수차가 제거된 구경 100㎜, 유효 초점거리 대 구경의 비율이 8인 비축 반사 광학계 장치에서 초점 시프트에 따른 빗 스폿 변화를 도시한 예이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0029] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0030] 한편, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고, 본 명세서에서 사용되는 용어(terminology)들은 본 발명의 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0031] 도 1은 비축 반사 광학계 장치의 광경로를 도시한 예이고, 도 2는 비축 자율곡면 상에서 상면 기울어짐과 선형 비점수차를 도시한 예이다.

[0032] 광학계 장치에서 수차는 반사경의 중심을 지나는 광선(주광선)과 주변을 지나가는 광선(주변 광선)의 경로 차이(OPL)에 대한 다항식 상에서 표현될 수 있다.

[0033] 도 1을 참조하면, 비축 반사 광학계 장치에서 반사경(MIRROR)은 축대칭 광학계 장치와 다르게 축대칭성이 존재하지 않는다.

[0034] 또한, 축대칭 광학계 장치에서 OPL은 낮은 차수가 3차항인 반면, 비축 반사 광학계 장치에서 OPL은 낮은 차수가 하기 [수식 1]과 같이 2차항이다.

[0035] [수식 1]

[0036] $$OPL = \ell + \ell' = s + s' + A_1 x^2 + A_1' y^2 + A_2 x^3 + A_2' xy^2 + O(4)$$

[0037] 여기서, ℓ 은 물체면에서 반사경까지의 광경로를 나타내고, ℓ' 는 반사경으로부터 상면까지의 광경로를 나타내며, s 및 s' 는 각각 이상적인 반사경에서의 물체면에서의 반사경까지의 광경로와, 반사경으로부터 상면까지의 광경로를 나타내고, x는 새지털(sagittal) 면에서 나란한 축을 따르는 자율곡면으로부터의 거리를 나타내며, y는 탄젠셜(tangential) 면에서 나란한 축을 따르는 자율곡면으로부터의 거리를 나타매고, A_i(i=1,2,3)는 각 다

항식의 계수를 나타내며, O(4)는 4차 다항식 이상을 나타낸다.

[0038] 비축 반사 광학계 장치에서 OPL의 2차항($A_1x^2 + A_1'y^2$)은 상면의 기울어짐 및 중심축과 시야의 중심축이 일치하지 않아 발생되는 선형 비점수차(linear astigmatism)를 나타낸다.

[0039] 또한, 비축 반사 광학계 장치에서 OPL의 $A_2x^3 + A_2'xy^2$ 는 중심축의 거리 또는 물체에 대한 광선이 모아지지 않음에 따라 발생되는 코마 수차(coma aberration)를 나타낸다.

[0040] 도 2를 참조하면, 선형 비점수차는 일반적인 자이델 수차(siedel aberration)보다 1차수가 낮기 때문에 비축 반사 광학계 장치의 반사경에서 가장 치명적인 수차이고, 시야를 확하기 위해 반드시 제거되어야 한다.

[0041] 여기서, 선형 비점수차는 초점을 공유하는 2개의 반사경으로 이루어진 비축 반사 광학계 장치에서 하기 [수식 2]를 만족함으로써 제거될 수 있다.

[0042] [수식 2]

[0043] $$\frac{\ell_m}{R_m}\sin 2\theta_m = \frac{\ell_s}{R_s}\sin 2\theta_s$$

[0044] 여기서, R은 반사경을 포함하는 모경의 중심 곡률, I는 초점과 반사경의 거리, θ는 중심광선의 입사각, m은 주경, s는 부경을 의미한다.

[0045] 도 3은 선형 비점수차가 제거된 비축 반사 광학계 장치의 단면을 도시한 예이고, 도 4a는 도 3의 선형 비점수차가 제거된 비축 반사 광학계 장치에서 초점 시프트에 따른 빔 스폿 변화를 도시한 예이며, 도 4b는 축상 광학계 장치에서 초점 시프트에 따른 빗 스폿 변화를 도시한 예이다.

[0046] 도 4a 및 도 4b를 참조하면, 비축 반사 광학계 장치는 선형 비점수차가 제거되어 축상 광학계 장치와의 동등한 광학 성능을 유지할 수 있다. 이하, 도 5를 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 비축 반사 광학계 장치를 상세히 설명하기로 한다.

[0047] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 비축 반사 광학계 장치를 도시한 것이다.

[0048] 도 5를 참조하면, 비축 반사 광학계 장치는 제1 미러(M1) 및 제2 미러(M2)를 포함한다.

[0049] 제1 미러(M1)는 오목 미러이고, 제2 미러(M2)는 볼록 미러인 것을 특징으로 할 수 있다. 또한, 제1 미러(M1) 및 제2 미러(M2)는 비구면 미러인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0050] 비축 반사 광학계 장치는 선형 비점수차(linear astigmatism)가 제거된 상태에서 유효 초점거리 대 구경의 비율에 대응하는 광학 설계치가 결정되고, 상기 광학 설계치에 기초하여 비축(off-axis) 배치 관계가 형성된다.

[0051] 여기서, 구경은 제1 미러(M1)의 직경을 의미하고, 유효 초점거리 대 구경의 비율은 물체면으로부터 미러 표면에 도달한 밝기의 전달비를 상대적으로 나타내는 것을 의미한다.

[0052] 본 발명의 일측에 따르면, 비축 반사 광학계 장치는 제1 미러(M1) 및 제2 미러(M2) 뿐만 아니라 추가적인 미러가 더 포함될 수 있고, 추가적인 미러는 제1 미러(M1) 및 제2 미러(M2)의 비축 배치 관계에 대응하여 마련될 수 있다.

[0053] 구경이 D이고, 유효 초점거리 대 구경의 비율이 8인 경우, 광학 설계치는 6D의 초점거리와 D 의 구경을 갖는 제1 미러로부터 제2 미러까지 이르는 거리 d_1이 4.5D이고, 제2 미러로부터 상면까지 이르는 거리 d_2가 2D이며, 물체면에서 제1 미러로 입사되는 광선의 입사각 i_1이 7°이고, 제1 미러에서 제2 미러로 입사되는 광선의 입사각 i_2가 26.1574°인 것을 특징으로 한다.

[0054] 예를 들어, 구경 D가 100mm인 경우, 광학 설계치는 600mm의 초점거리와 100mm의 구경을 갖는 제1 미러(M1)로부터 제2 미러(M2)까지 이르는 거리 d_1이 450mm이고, 제2 미러(M2)로부터 상면까지 이르는 거리 d_2가 200mm이며, 물체면에서 제1 미러(M1)로 입사되는 광선의 입사각 i_1이 7°이고, 제1 미러(M1)에서 제2 미러(M2)로 입사되는 광선의 입사각 i_2가 26.1574°인 것을 특징으로 한다.

[0055] 실시예에 따르면, 비축 반사 광학계 장치는 유효 초점거리 대 구경의 비율 8에 대응하는 광학 설계치가 전술한 바와 같이 결정되기 때문에, 다양한 유효 초점거리 대 구경의 비율에 대응하는 광학 설계치가 결정되고, 다양한 비축 배치 관계가 형성될 수 있다.

[0056] 실시예에 따르면, 비축 반사 광학계 장치는 제1 미러(M1) 및 제2 미러(M2)에 대한 자율곡면 형상 파라미터에 기초하여 코마 수차(coma aberration)가 제거된 것을 특징으로 할 수 있다.

[0057] 자율곡면 형상 파라미터는 [수식 3] 및 [수식 4]에 의해 결정될 수 있다.

[0058] [수식 3]

[0059] $$Z_{M1} = k[-4.1980e^{-4}\cdot(x/k)^2 - 4.1356e^{-4}\cdot(y/k)^2 - 4.2634e^{-8}\cdot(x/k)^2(y/k) - 4.2000e^{-8}\cdot(y/k)^3 + 2.8358^{e-11}\cdot(x/k)^4 + 5.2131e^{-11}\cdot(x/k)^2(y/k)^2 + 2.3231e^{-11}\cdot(y/k)^4 - 2.6060e^{-15}\cdot(x/k)^4(y/k) - 1.3862e^{-14}\cdot(x/k)^2(y/k)^3 - 6.3612e^{-15}\cdot(y/k)^5 - 5.1723e^{-16}\cdot(x/k)^6 - 2.2134e^{-15}\cdot(x/k)^4(y/k)^2 - 2.1250e^{-15}\cdot(x/k)^2(y/k)^4 - 4.5443e^{-16}\cdot(y/k)^6]$$

[0060] [수식 4]

[0061] $$Z_{M2} = k[-4.6421e^{-4}\cdot(x/k)^2 - 3.7399e^{-4}\cdot(y/k)^2 - 1.1937e^{-6}\cdot(x/k)^2(y/k) - 9.6175e^{-7}\cdot(y/k)^3 + 1.1763e^{-8}\cdot(x/k)^4 + 1.5858e^{-8}\cdot(x/k)^2(y/k)^2 + 5.1350e^{-9}\cdot(y/k)^4 + 7.6559e^{-11}\cdot(x/k)^4(y/k) + 1.0670e^{-10}\cdot(x/k)^2(y/k)^3 + 4.1328e^{-11}\cdot(y/k)^5 - 1.3190e^{-12}\cdot(x/k)^6 - 4.1816e^{-12}\cdot(x/k)^4(y/k)^2 - 2.8931e^{-12}\cdot(x/k)^2(y/k)^4 - 3.3615e^{-13}\cdot(y/k)^6]$$

[0062] 여기서, Z_{M1}은 상기 제1 미러에 대한 자율곡면 형상 파라미터, Z_{M2}은 제2 미러에 대한 자율곡면 형상 파라미터, x는 새지털(sagittal) 면에서 나란한 축을 따르는 자율곡면으로부터의 거리, y는 탄젠셜(tangential) 면에서 나란한 축을 따르는 자율곡면으로부터의 거리, k는 D/100mm이다.

[0063] 보다 상세하게는, Z_{M1}은 제1 미러의 중심 광선이 닿는 위치(정점)로부터 높이일 수 있고, Z_{M2}은 제2 미러의 중심 광선이 닿는 위치로부터 높이일 수 있다.

[0064] [수식 3] 및 [수식 4]를 정리하면, 자율곡면 형상 파라미터는 [수식 5]로 나타낼 수 있고, [표 1]로 나타낼 수 있다.

[0065] [수식 5]

[0066] $$Z = \sum k\ a(i, j)(x/k)^i(y/k)^j$$

[0067] [표 1]

	M1	M2
a(2,0)	-4.1330E-04	-4.8421E-04
a(0,2)	-4.1356E-01	-3.7399E-01
a(2,1)	-4.2634E-08	-1.1937E-06
a(0,3)	-4.2000E-08	-9.6175E-07
a(4,0)	+2.8358E-11	+1.1763E-08
a(2,2)	+5.2131E-11	+1.5358E-08
a(0,4)	+2.3231E-11	+5.1350E-09
a(4,1)	2.6060E 15	7.6559E 11
a(2,3)	-1.3862E-14	+1.0870E-10
a(0,5)	-6.3612E-15	+4.1320E-11
a(6,0)	-5.1723E-16	-1.3190E-12
a(4,2)	-2.2134E-15	-4.1316E-12
a(2,4)	-2.1250E-15	-2.8931E-12
a(0,6)	-4.5443E-16	-3.3315E-13

[0068]

[0069] [수식 5]에서 a는 다항식의 계수이고, i 및 j는 인덱스이며, [표 1]에서 표시되지 않은 계수는 모두 0이다.

[0070] 도 6a는 선형 비점수차만 제거된 구경 100㎜, 유효 초점거리 대 구경의 비율이 8인 비축 반사 광학계 장치에서 초점 시프트에 따른 빗 스폿 변화를 도시한 예이고, 도 6b는 도 5의 선형 비점수차 및 코마 수차가 제거된 구경 100㎜, 유효 초점거리 대 구경의 비율이 8인 비축 반사 광학계 장치에서 초점 시프트에 따른 빗 스폿 변화를 도시한 예이다.

[0071] 본 발명의 실시예에 따른 비축 반사 광학계 장치는 선형 비점수차만 제거되는 경우, 도 6a에 도시된 바와 같이, 코마 수차를 포함하는 광학 특성을 가질 수 있다.

[0072] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 비축 반사 광학계 장치는 자율곡면 형상 파라미터에 기초하여 코마 수차를 제거되는 경우, 도 6b에 도시된 바와 같이, 선형 비점수차 및 코마 수차가 제거된 우수한 광학 특성을 가질 수 있다.

[0073] 본 발명의 실시예에 따른 비축 반사 광학계 장치는 우주 망원경, 적외선 망원경, 천체 망원경, 아마추어용 소형 망원경 및 이를 응용한 다양한 망원경으로 사용될 수 있고, 이에 한정하지 않는다.

[0074] 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.

[0075]

[0076] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

[0077] M1: 제1 미러

M2: 제2 미러

D: 제1 미러의 구경

d_1: 제1 미러로부터 제2 미러까지 이르는 거리

d_2: 제2 미러로부터 상면까지 이르는 거리

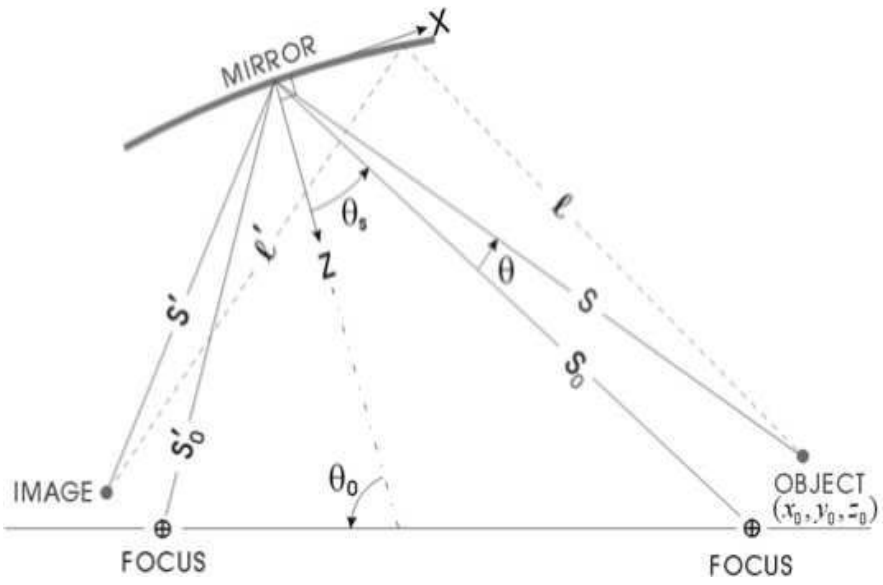
i_1: 물체면에서 제1 미러로 입사되는 광선의 입사각

i_2: 제1 미러에서 제2 미러로 입사되는 광선의 입사각

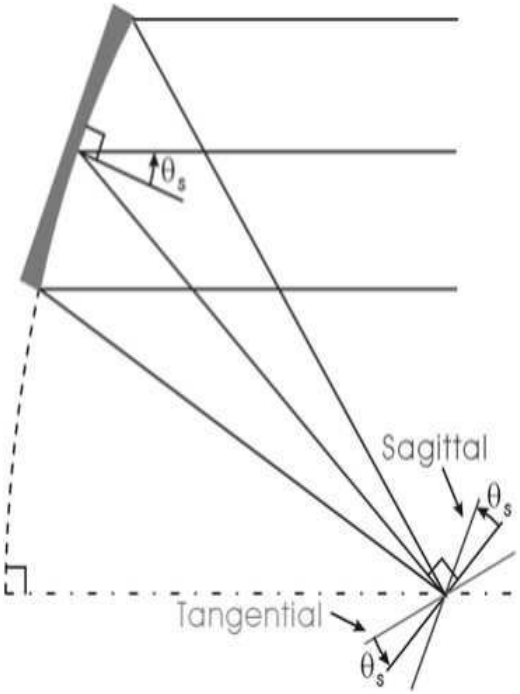
Z: 자율곡면 형상 파라미터

도면

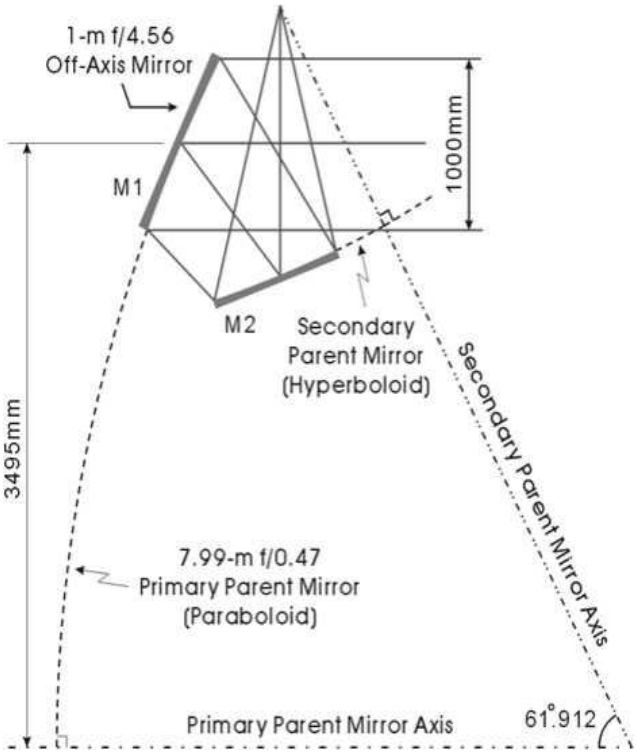
도면1



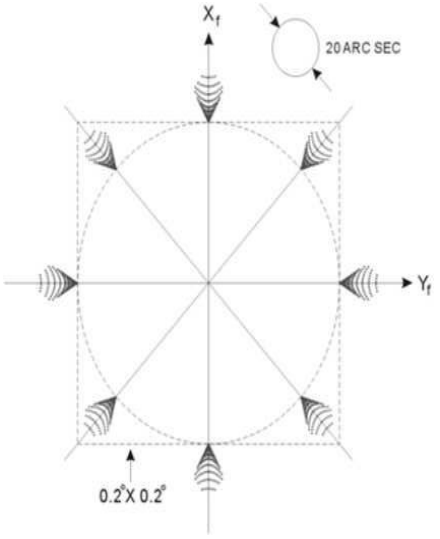
도면2


θs
Sagittal
θs
Tangential
θs

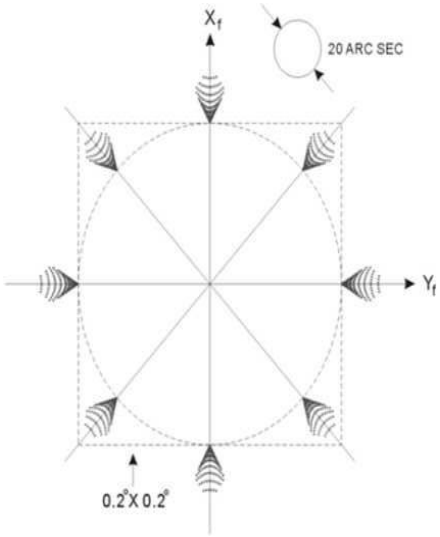
도면3


1-m f/4.56
Off-Axis Mirror
M1
1000mm
M2
Secondary
Parent Mirror
(Hyperboloid)
Secondary Parent Mirror Axis
3495mm
7.99-m f/0.47
Primary Parent Mirror
(Paraboloid)
Primary Parent Mirror Axis
61°.912

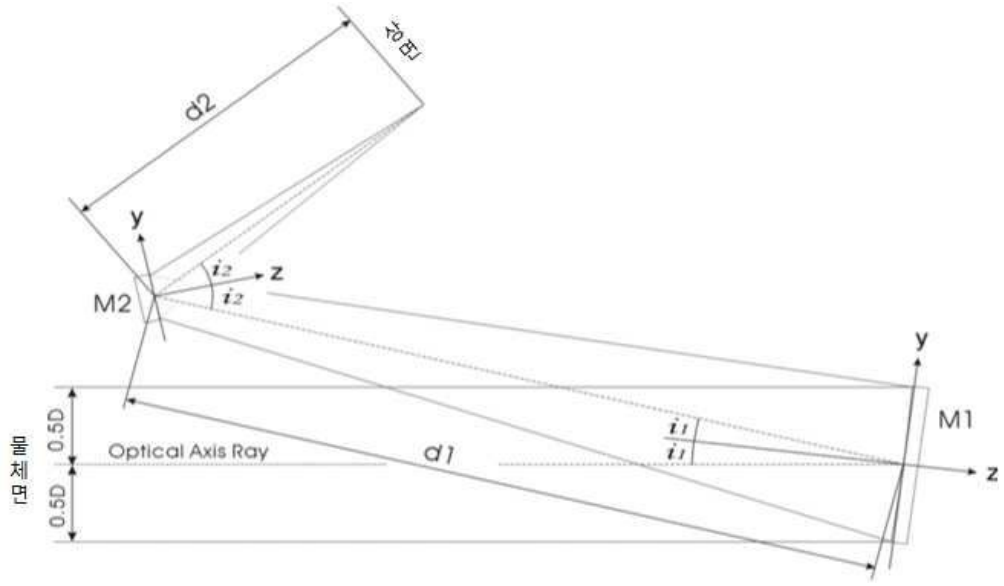
도면4a



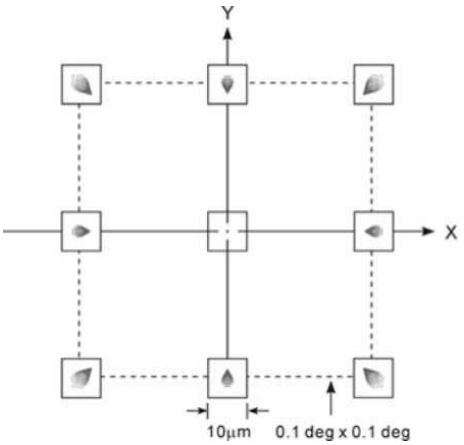
도면4b



도면5



도면6a



도면6b

