

경로길이 불일치 간섭계를 이용한 대구경 광학계의 MTF 측정과 파면오차 검사

송종섭

(주)삼성전기 광사업부 광모듈사업팀 광모듈개발그룹
④ 443-743 경기도 수원시 영통구 매탄3동 314

조재홍[†]

한남대학교 이과대학 광·전자물리학과
④ 306-791 대전광역시 대덕구 오정동 133

이윤우 · 송재봉 · 양호순 · 이인원

한국표준과학연구원 광도영상그룹
④ 305-600 대전광역시 유성구 도룡동 1

(2004년 10월 13일 받음, 2004년 11월 30일 수정본 받음)

기준광과 탐사광의 경로길이가 매우 크게 차이가 나는 경로길이 불일치 간섭계(unequal path interferometer)를 이용한 직경 300 mm 카세그레인 형태의 인공위성 망원경과 같은 대구경 광학계의 변조전달함수(modulation transfer function : MTF)와 파면오차를 동시에 측정하는 방법을 제안하고 이를 실험적으로 확인하였다. 이러한 경로불일치 간섭계를 이용한 측정시스템에서 필요한 평행한 시준광을 만들기 위해서 쌍방향 층밀리기 간섭계를 사용하였으며, 파면오차를 측정하기 위해서 직경 400 mm인 비축 포물경을 사용하는 긴 광경로차의 대구경 피조우 간섭계를 사용하였다. 또한 회전하는 확산판을 이용하여 레이저 광을 부분간섭광으로 바꿈으로써 피조우 간섭계의 파장으로부터 쉽게 MTF를 측정할 수 있었다.

주제어 : large aperture optics, interferometer, MTF, wavefront aberration, collimation.

I. 서 론

일반적으로 결상광학계의 성능과 각종 광학부품들의 질적 평가를 하기 위해서는 광학계 및 광학부품들의 변조전달함수(modulation transfer function : MTF)와 파면오차를 필수적으로 측정하여야 한다.^[1-5] 그러므로 우주망원경과 같은 대구경 광학계를 검사하는 경우에 있어서는 대구경 간섭계와 대구경 MTF 측정장치가 있어야 한다. 하지만 보통 사용하는 간섭계의 구경은 100 mm 또는 150 mm로 대구경 광학계용 간섭계로는 직접 사용이 어렵기 때문에 대구경 간섭계가 필요하며, 또 MTF 측정장치용 대형 시준기(collimator)를 비롯한 여러 측정용 광학부품들도 동시에 커지므로 대구경 광학계용 간섭계와 MTF를 구성하기 위해서는 전체적인 가격이 매우 고가가 된다. 그러므로 대구경 광학계의 성능을 측정하는 간섭계와 MTF 측정장치를 동시에 모두 저렴하고 간단하게 구성하는 것은 쉽지가 않다.

본 논문에서는 측정시 사용하는 광학계의 모든 위치들을 바꾸지 않고 기존의 소형 피조우 간섭계와 직경 400 mm인 비축 포물경만을 사용하여 국내에서 제작한 직경 300 mm 카세그레인 형태의 인공위성 망원경에 사용할 대구경 광학

계의 파면오차와 MTF를 모두 측정할 수 있는 방법을 제안하고 이를 실험적으로 보여주고자 한다. 이를 위해서 먼저 쌍방향 층밀리기 간섭계를 사용하여 비축 포물경을 사용한 평행광을 만들어야 한다.^[6] 그리고 이 시준기와 측정용 광학계의 파면수차를 측정하기 위해서 긴 광경로차를 갖는 경로길이 불일치 간섭계(unequal path interferometer)를 구성하고 정렬하고자 하며, 이 간섭계는 광의 시준화(collimation)와 같은 광학계의 정렬상태를 확인하는 용도로도 사용하고자 한다.^[7,8] 그리고 회전하는 확산판을 이용하여 레이저 광을 부분간섭광으로 바꿈으로써 피조우 간섭계의 파장으로부터 쉽게 MTF를 측정할 수 있다. 이 경우 상면에 2차원 냉각 CCD (charge coupled device)를 사용하는 상분석기(image analyzer)와 실시간용 원도우 상에서 개발한 소프트웨어로 MTF 및 파면오차를 동시에 실시간으로 측정하고자 한다.

II. 변조전달함수의 측정원리

결상광학계의 광전달함수(optical transfer function : OTF)는 점물체가 결상광학계에 의해서 생긴 상에 대한 푸리에 변환 결과이다.^[9] 수직축(y축)에 평행한 슬릿과 같은 매우 좁고 가느다란 선물체에 대해서 결상 광학계의 선확산함수(line spread function : LSF)는 다음과 같이 점확산함수(point spread

[†]E-mail: jhjo@hannam.ac.kr

function : PSF)의 적분으로 구한다.

$$LSF(x) = \int_{-\infty}^{\infty} PSF(x, y) dy \quad (1)$$

1차원의 경우에 있어서 결상광학계의 OTF는 아래와 같이 (1)식의 푸리에 변환으로 주어진다.

$$OTF(f) = \int_{-\infty}^{\infty} LSF(x) \exp(-j2\pi fx) dx \quad (2)$$

이러한 OTF는 MTF와 위상전달함수(phase transfer function : PTF)를 포함한 복소함수로 이들 사이의 관계는 다음과 같다.

$$OTF(f) = MTF(f) \exp[jPTF(f)] \quad (3)$$

특히 MTF는 영의 공간주파수 값에 대해서 규격화하므로 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$MTF(f) = \left| \frac{\int_{-\infty}^{\infty} LSF(x) \exp(-j2\pi fx) dx}{\int_{-\infty}^{\infty} LSF(x) dx} \right| \quad (4)$$

이러한 영의 공간주파수에서의 MTF를 1로 규격화하였기 때문에 MTF에서는 상의 절대적인 세기분포에 대한 정보를 알 수 없고 단지 상의 명암 정도인 콘트라스트(contrast)만을 알 수 있다. 그러므로 MTF는 상의 공간주파수 스펙트럼을 물체의 공간주파수 스펙트럼으로 나눈 값으로 정의 할 수 있으며, 이는 점확산함수의 푸리에 변환과 같다. 또한 MTF는 물체의 각 공간주파수 성분들의 진폭들이 결상광학계의 수차와 화질효과에 의해서 상에서 얼마나 감소되는지를 보여주는 척도이며,^[5] PTF는 결상광학계 때문에 생기는 위상이동의 정도를 나타낸다. 그러므로 광학계의 MTF는 물체의 공간주파수 성분들을 이 광학계가 얼마나 잘 분해해서 상면으로 전달할 수 있는지를 나타내는 기준이 되며 완벽한 분해능을 갖는 공간주파수에서는 이 MTF는 1이 된다. 이러한 MTF의 함수 형태는 파면의 질적 상태, 조명광의 파장, 조명시 사용하는 조리개의 크기와 모양에 강하게 의존한다.^[10]

III. 대구경 광학계의 변조전달함수와 파면오차 측정장치의 구성

결상광학계의 MTF 측정장치에서는 대부분 비가간섭광을 사용하며, 망원경과 같은 대구경 광학계에 대한 검사장치에서는 무한대에 물체를 위치시키기 위해서 대형 시준기가 필요하다. 그림 1은 대구경 광학계의 유한물체 MTF 측정을 위하여 렐레이 렌즈와 2차원 CCD(MicroMax : 782Y)로 구성한 상분석기(그림 1(a))를 사용하거나, 칼날주사장치(knife-edge scanner)와 광증배관(P.M. tube)을 이용한 실험장치(그림 1(b)) 및 파면오차 측정을 위한 기준오목경을 사용한 측정장치(그림 1(c))인 경로길이 불일치 간섭계를 보여준다. 그림에서 보듯이

아래에 놓인 100 mm 피조우(Fizeau) 간섭계(Zygo : Mark IV)의 레이저광으로 시준기(collimator)의 초점면에 위치한 슬릿 물체를 조명하며, 레이저광을 부분가간섭광으로 바꾸기 위하여 슬릿물체와 피조우 간섭계에 설치한 기준파면을 만드는 투과형 기준구 사이에 회전하는 확산판을 설치한다. 이렇게 퍼져나가는 부분가간섭 구면파는 비축 포물경(직경 = 400 mm, f/10) (SORL OAP157-05-15.7Q)으로 확대된 평행광이 된다. 이렇게 평행광으로 시준화된 광속은 검사대상인 직경 300 mm의 카세그레인 망원경쪽으로 보내고 망원경 앞에 놓여있는 정렬용 평면경로의 바깥쪽 일부의 광을 사용한다. 이러한 시험검사할 망원경 광학계를 지나간 광은 그림 1(c)와 같은 망원경의 초점을 공유하는 기준용 오목거울에 의해서 반사하여 피조우 간섭계 쪽으로 되돌아가며, 이 되돌아가는 광에는 시험검사할 망원경 때문에 생기는 수차가 포함되어 있다. 비축 시야각에서의 MTF와 파면오차를 측정하기 위하여 그림에서 보듯이 망원경과 상분석기를 포함한 카메라 벤치 부분을 비축방향으로 회전할 수 있도록 스텝모터로 작동하는 광학대에 올려서 회전시킨다. 이 경우 시험검사할 광학계의 입사동은 극사적으로 회전축상에 놓아야만 한다. 시험검사할 광학계를 지난 초점면의 상을 앞서 설명한 그림 1의 (a)와 (b)의 두 장치로 분석하여 MTF를 측정한다. 그러므로 작은 조리개를 갖는 피조우 간섭계로도 비축 포물경의 직경으로 제한된 직경 400 mm 이하의 광학계에 대한 파면오차 측정을 충분히 측정할 수 있다.

그림 2는 그림 1의 실험장치도에 따라 설치한 측정장치의 사진이다. 실험에 사용한 광원은 피조우 간섭계에 부착된 He-Ne 레이저이며, 본 실험에서 가장 중요한 비축 포물경의 면정밀도는 꼭대기와 바닥(peak to valley : PV)값으로 약 0.05 μm이다. 피조우 간섭계에서 사용한 투과형 기준구의 F-값은 f/7.5이며, 간섭무늬 형태는 자동적으로 기록이 된다. 검사할 광학계의 선확산함수는 칼날 주사장치로 측정하며, 이 칼날

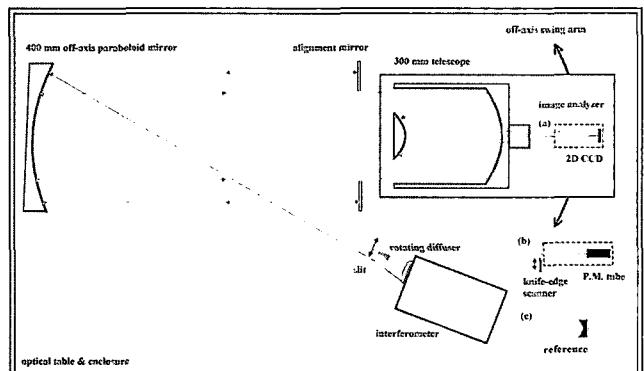


그림 1. 대구경 광학계의 유한물체 MTF측정을 위하여 (a) 렐레이 렌즈와 2차원 CCD(MicroMax : 782Y)로 구성한 상분석기 를 사용하거나 (b) 칼날주사장치(knife-edge scanner)와 광증배관(P.M. tube)을 이용한 실험장치 및 (c) 파면오차 측정을 위한 기준오목경을 사용한 측정장치인 경로길이 불일치 간섭계 실험장치도.

주사장치를 포함한 모든 측정장치는 마이크로 컴퓨터로 조절한다. 또한 지속적으로 시준 정도를 점검하기 위해서 그림 1에서 설명한 시험검사용 광학계 앞에 정렬용 평면경을 설치하였다.

IV. 대구경 광학계의 변조전달함수와 파면오차 측정장치의 정렬 및 보정

그림 1과 그림 2에서 가장 중요하면서도 정밀하게 정렬해야만 하는 부분이 비축 포물경이다. 본 연구실에는 직경 400 mm의 평면경이 없기 때문에 이러한 비축 포물경의 tilt와 defocus를 조절하는데 그림 3에서 보는 자체 제작한 직경 25.4 mm의 작은 구경의 쌍방향 충밀리기 간섭계(bi-directional shearing interferometer)를 사용하였다.^[8] 레이저광이 평행광으로 시준된다면 쌍방향 충밀리기 간섭무늬들은 서로 평행이 된다. 그림 4는 이 쌍방향 충밀리기 간섭계에 의한 직경 400 mm의 비축 포물경의 시준된 결과로 비축 포물경의 중앙 부분과 상하좌우 4군데를 포함한 총 5군데의 충밀리기 간섭무늬를 보여주며, 그림에서 보듯이 5군데 모두에서 간섭무

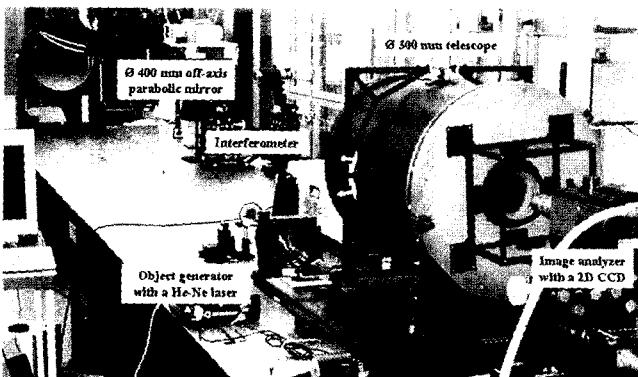


그림 2. 그림 1의 실험장치도에 따라 설치한 직경 300 mm 망원경의 파면오차와 MTF 측정을 위한 측정장치의 사진.

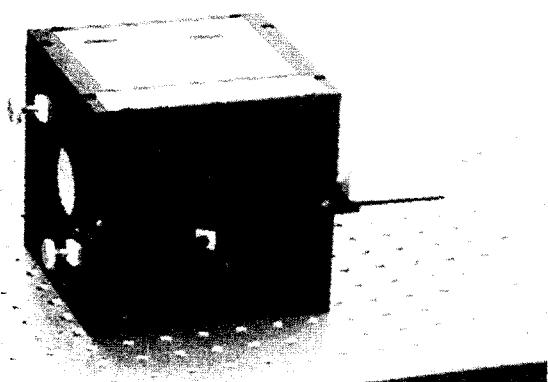


그림 3. 비축 포물경의 시준을 점검하는데 사용한 자체제작한 직경 25.4 mm의 쌍방향 충밀리기 간섭계.

늬의 상하가 서로 완전히 평행이므로 비축 포물경은 완벽한 시준이 이루어졌음을 알 수 있다.

그림 5는 비축 포물경이 시준화되었을 때 구경 300 mm의 평면경과 피조우 간섭계를 이용하여 측정한 비축 포물경 시준기(collimator)의 면상태에 대한 결과이다. 오른쪽 아래부분은 이 측정장치로 측정한 비축 포물경의 간섭무늬를 나타낸 것이며, 이를 이용하여 파장단위로 면형상 오차를 나타낸 것이 오른쪽 위의 그림이며, 왼쪽 위의 사진은 이를 색깔로 해서 평면에 그린 것이다. 그림 2의 실험장치에서 보듯이 긴 광경로차로 인한 시준기의 정렬오차, 광학계의 진동, 광경로상의 공기교란 등과 같은 계통오차(systematic errors)들에 의

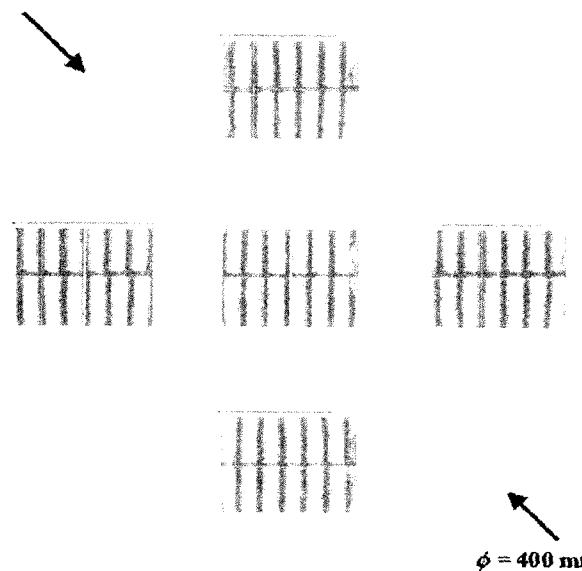


그림 4. 쌍방향 충밀리기 간섭계에 의한 직경 400 mm의 비축 포물경의 시준된 결과로 비축 포물경의 중앙 부분과 상하좌우 4 군데를 포함한 총 5군데의 충밀리기 간섭무늬들.

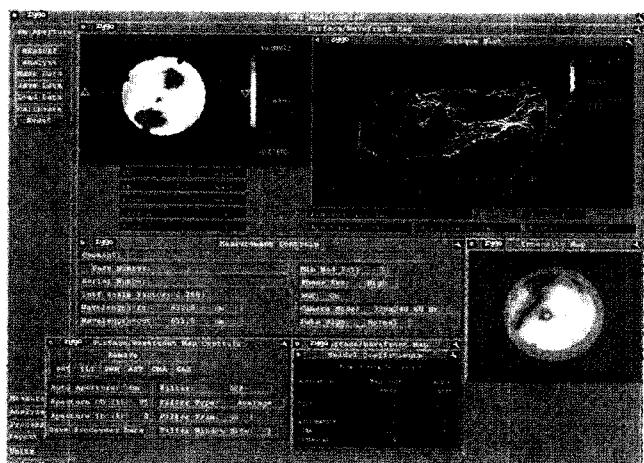


그림 5. 비축 포물경이 시준화되었을 때 구경 300 mm의 평면경과 피조우 간섭계를 이용하여 측정한 비축 포물경 시준기(collimator)의 면형상오차에 대한 결과.

한 오차가 측정된 파면오차에 포함되기 때문에 이 측정된 파면오차에서 검사할 광학계를 제거한 상태에서 측정한 파면수차를 빼야 하는데, 그림 5에서 측정되었듯이 시준기를 통과한 광의 파면이 공기교란과 defocus때문에 생기는 파면수차는 약 0.109λ 이다. 이러한 계통오차 때문에 생긴 파면수차를 보정을 한 후에 표준렌즈(SIRA, 50 mm plano-convex, f/8)를 이용하여 측정장치의 MTF를 분석한다. MTF는 그림 1(a)와 (b)의 장치를 가지고 측정하며, MTF의 오차는 파장 632.8 nm의 광원에 대한 광축상에서 $\pm 2\%$ 이하이다.

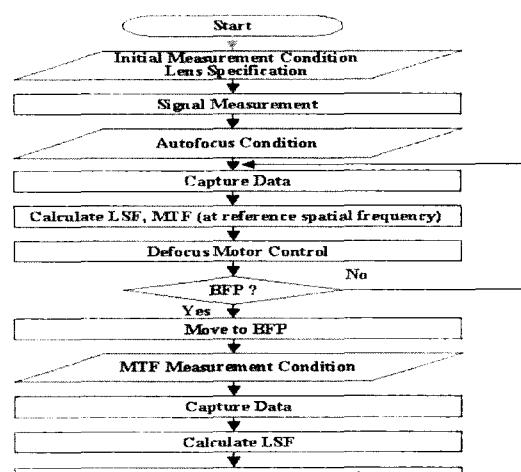
그림 6은 광학검사용 변수들을 쉽게 조절하고 이를 통해 보면서 결과를 쉽게 측정하기 위해서 C언어로 개발한, (a) MTF 측정용 프로그램의 흐름도와, (b) MTF 출력 화면이다. 컴퓨터 모니터 화면에 MTF 측정을 위한 기본적인 기능들, 측정장치의 자동 조절, 검사용 광학계의 각종 제원들, 영상과 데이터 취합조건들, 신호처리 조건들, 측정결과의 그래프 현시 및 수치현시와 같은 것들을 보여준다. 그림 6(b)의 위쪽 원쪽 그래프는 측정한 점확산함수의 결과이며,

위쪽 오른쪽 그래프는 식 (1)~식 (4)을 이용하여 이를 푸리에 변환한 MTF 결과이다. 이 프로그램에서는 이 밖에도 through-focus 결과들과 LSF 결과도 볼 수 있다.

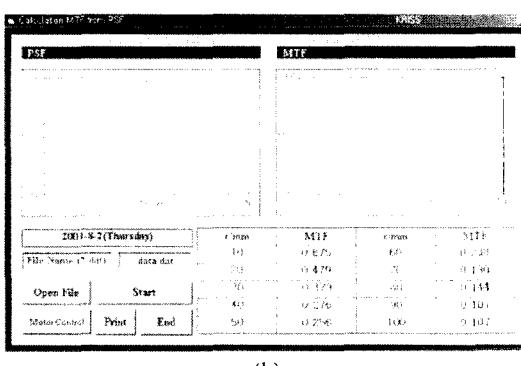
V. 직경 300 mm의 카세그레인형 망원경의 파면오차와 MTF 측정결과

계통오차를 보정하고 모든 측정을 자동화한 경로길이 불일치 간섭계로 국내에서 제작한 직경 300 mm의 카세그레인식 위성용 망원경의 파면오차와 MTF를 측정하였다. 그림 7은 이 망원경의 간섭무늬를 피조우 간섭계로 측정한 간섭무늬(오른쪽 아래)와 망원경의 파면수차를 파장단위의 높이변화로 보여주는 것(위쪽 좌, 우)이다. 이러한 카세그레인식 망원경은 그림 1에서 볼 수 있듯이 쌍곡면의 주경과 부경 및 구면 보정렌즈로 구성되어 있으며 주경과 지지대는 하나의 모듈로 제작되었다. 그림 7에서 보듯이 이 망원경의 파면오차는 면전체에 걸친 RMS(root-mean-square) 값으로 약 $0.137 \mu\text{m}$ 로 측정되었다.

망원경의 MTF를 측정하기 전에 망원경이 장착된 상태에서 정렬을 최적화하기 위하여 시준기의 defocus에 따른 파면오차와 MTF변화정도를 측정하여 가장 정렬이 잘된 상태를 구성하였다. 그림 8은 이러한 상태의 측정장치를 최대한도로 눈으로 잘 정렬한 상태의 위치를 중심으로 상분석기(그림 1(a) 부분) 또는 칼날주사장치(그림 1(b) 부분)의 위치를 앞뒤(앞이 +, 뒤가 -)로 최대 $2000 \mu\text{m}$ 까지 움직이면서 그림 9에서 보여주는 defocus 위치((a)부터 (i)까지)에 따라 측정한 간섭무늬 사진들이다. 그림 8의 결과로부터 구한 파장 632.8 nm에서의 파면오차의 RMS 값의 변화는 그림 9에서 볼 수 있다. 이들 측정치를 연결하는 곡선은 다항식으로 피팅한 결과이다. 최소값은 defocus가 $-500 \mu\text{m}$ 지점에서 있으므로 정렬을 이 지점에 대해서 다시 한다. 같은 지점들에서 시준기의 defocus에 따른 공간주파수 24.7 lp/mm에서의 자오 MTF



(a)



(b)

그림 6. 광학검사용 변수들을 쉽게 조절하고 이를 통해 보면서 결과를 쉽게 측정하기 위해서 C언어로 개발한 (a) MTF 측정용 프로그램의 흐름도, (b) MTF 화면출력.

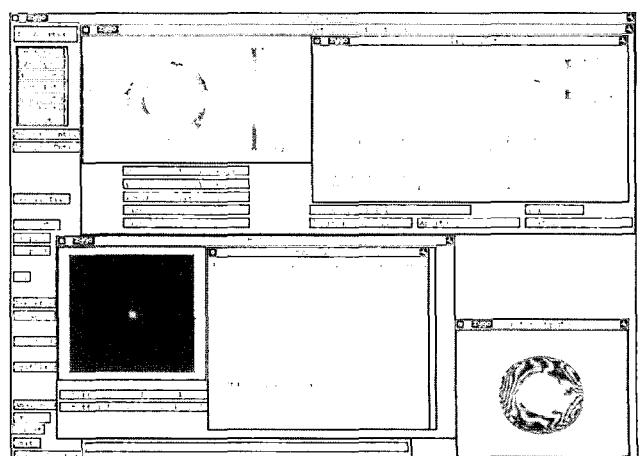


그림 7. 피조우 간섭계에서 측정된 간섭무늬(오른쪽 아래)와 망원경의 파면수차(위쪽 좌, 우).

의 변화를 측정한 결과가 그림 10이다. 여기에서도 곡선은 이를 결과를 다항식으로 피팅결과이다. 그림에서 보듯이 최대 MTF 값은 그림 9와는 약간 다른 defocus가 $-100 \mu\text{m}$ 근처에서 생기는데, 이는 그림 1의 실험장치에서 보듯이 MTF를 측정하는 (a) 또는 (b) 부분들을 간접무늬를 보기 위해서는 (c) 부분으로 교체해야 하는데 이 과정에서 정렬이 미세하게 어긋나기 때문에 추정된다. 이 두 가지 경우를 모두 보아도 본 논문에서 사용한 매우 긴 초점거리(약 4000 mm)를 갖는 시준기의 경우에 있어서는 정렬에 매우 둔감하다는

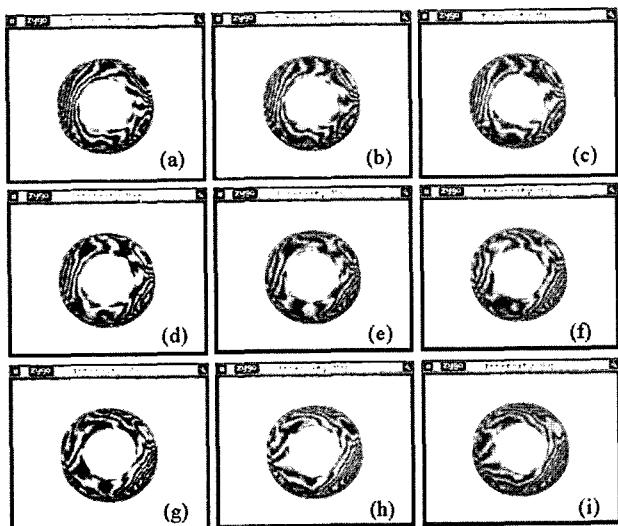


그림 8. 망원경의 MTF를 측정하기 전에 망원경이 장착된 상태에서 정렬을 최적화하기 위하여 시준기의 defocus에 따른 파면오차 측정결과들. 측정장치를 최대한도로 눈으로 잘 정렬한 상태의 위치를 중심으로 상분석기(그림 1(a) 부분) 또는 칼날 주사장치(그림 1(b) 부분)의 위치를 앞뒤(앞이 +, 뒤가 -임)로 최대 $2000 \mu\text{m}$ 까지 움직이면서 여러 defocus 위치((a)부터 (i)까지)들에 따라 측정한 간접무늬 사진들.

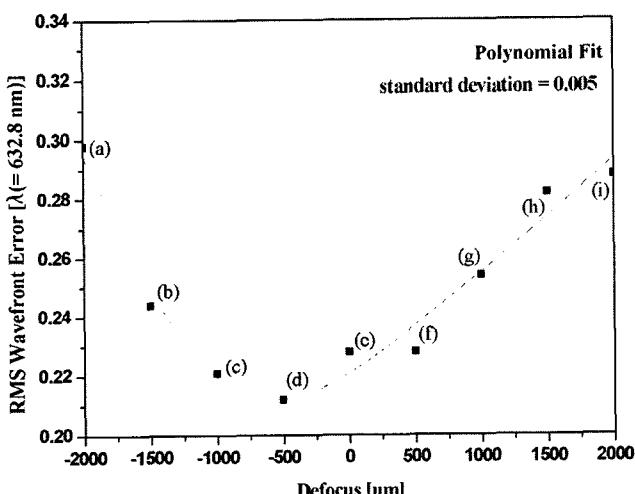


그림 9. 그림 8의 간접무늬들로부터 구한 파장 632.8 nm 에서의 파면오차의 RMS 값의 변화.

것을 알 수 있으며, 간접계를 사용하여 $\pm 100 \mu\text{m}$ 의 defocus로 정밀하게 정렬할 수 있음을 알 수 있다. 이 경우 시준기의 파면오차는 약 $0.02 \mu\text{m}$ (RMS)이다.

그림 8~그림 10의 결과를 이용하여 정렬을 매우 잘 한 경우, 망원경의 초점면에 슬릿물체를 놓은 상태에서 축상 MTF를 측정하여 망원경의 광학적 성능을 평가할 수 있다. 그림 11은 직경 300 mm 카세그레인식 위성용 망원경의 MTF 측

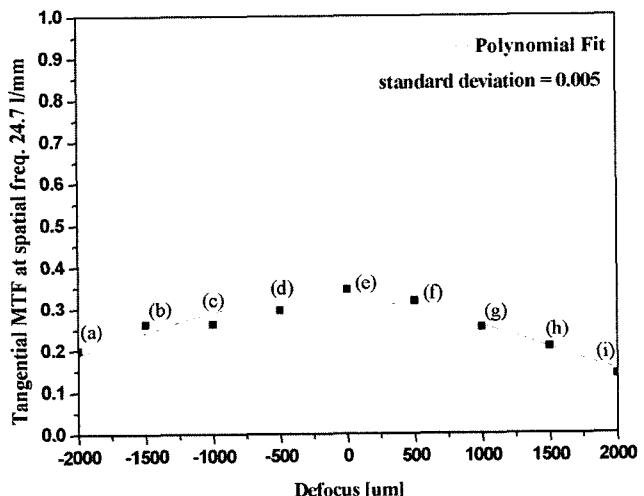


그림 10. 그림 9와 같은 지점들에서 시준기의 defocus에 따른 공간주파수 $24.7 / \text{mm}$ 에서의 자오 MTF 변화.

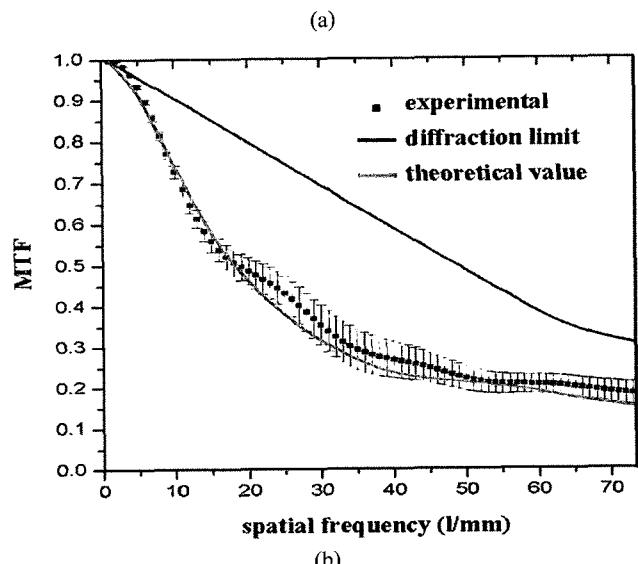
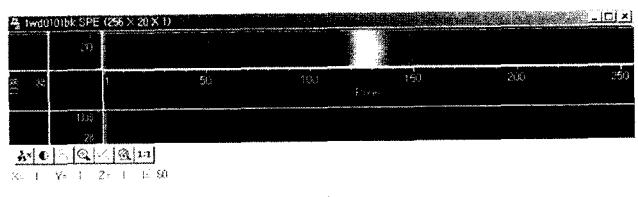


그림 11. 직경 300 mm 카세그레인식 위성용 망원경의 MTF 측정 결과. (a)는 슬릿물체의 상(위 그림)으로 LSF와 이것의 복사조도 분포(아래 그림)이며, (b)는 (a)로부터 구한 MTF 결과.

정 결과로 (a)는 슬릿물체의 상(위 그림)으로 LSF와 이것의 복사조도 분포(아래 그림)이며, (b)는 (a)로부터 구한 MTF 결과이다. 이 그림의 결과는 그림 1의, (a)부분인 상분석기를 사용하여 실시간으로 구한 것이다. 그림에서 보듯이 실험값(사각형 점)은 CCD 카메라의 Nyquist 주파수인 71.4 lp/mm 이하의 공간주파수에서는 망원경 설계시 주어진 이론값(흐린 실선)과 $\pm 3\%$ 이하의 정확도로 일치하며, $\text{MTF} = 0.3$ 에서 공간주파수가 34 lp/mm 로 측정되었다. 그리고 이 측정값은 회절한계로 주어진 MTF(굵은 실선)보다 전 주파수 영역에서 낮게 나왔다.

VI. 결 론

대구경 광학계의 파면오차와 MTF를 측정하기 위해서 직경 400 mm 의 비축 포물경으로 만든 시준기와 상용의 피조우 간섭계를 이용하여 긴 경로차를 갖는 경로길이 불일치 간섭계를 구성하였다. 측정장치의 시준 정도를 검사하기 위해서 쌍방향 충밀리기 간섭계로 시준기를 정밀하게 정렬하고, 계통오차들을 분석하였다. 슬릿물체의 선화산함수를 측정하기 위하여 피조우 간섭계에서 사용하는 레이저광을 부분가간섭관으로 바꾸고자 회전확산판을 사용하였다. 그리고 MTF 측정장치의 자동화를 위하여 렐레이 렌즈와 2차원 CCD를 이용한 실시간 상분석기를 구성하고 MTF 측정용 프로그램을 개발하였다. 이렇게 개발한 측정장치로 국내에서 제작한 직경 300 mm 인 카세그레인식 위성용 망원경의 파면오차와 MTF를 측정한 결과, 실험값은 CCD 카메라의 Nyquist 주파수인 71.4 lp/mm 이하의 공간주파수에서는 망원경 설계시 주어진 이론값과 $\pm 3\%$ 이하의 정확도로 일치하였으며 $\text{MTF} = 0.3$ 에서 공간주파수가 34 lp/mm 로 측정되었다. 앞으로 보

다 직경이 큰 광학계의 파면오차와 MTF를 측정하기 위해서 보다 더 큰 대구경 시준기를 개발하고자 하며, MTF와 파면오차를 동시에 측정하는 장치로 개선하고자 한다.

참고문헌

- [1] Y. S. Kim, "Developing an Optical Testing Method for Space Telescopes", *J. of the Optical Society of Korea*, 5(3), pp. 70-75, 2001.
- [2] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, McGraw-Hill Book Company, San Francisco, 1996.
- [3] T. L. Williams, *The Optical Transfer Function of Imaging Systems*, Sira Electro-Optics Ltd, Kent, UK, 1999.
- [4] K. R. Barnes, M. Sc., *The Optical Transfer Function*, American Elsevier Publishing Company, Inc., New York, 1971.
- [5] D. N. Sitter, J. S. Goddard, and R. K. Ferrell, "Method for the measurement of the modulation transfer function of sampled imaging systems from bar-target patterns", *Applied Optics*, 34(4), pp. 746-751, 1995.
- [6] Y. W. Lee, H. M. Cho, and I. W. Lee, "Half-aperture shearing interferometer for collimation testing", *Opt. Eng.* 32(11), pp. 2837-2840, 1993.
- [7] D. Malacara, *Optical Shop Testing*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1978.
- [8] D. Malacara, M. Servin, Z. Malacara, *Interferogram Analysis for Optical Testing*, Marcel Dekker, Inc., New York, 1998.
- [9] Joseph W. Goodman, "Introduction to Fourier Optics; 2nd ed." (McGRAW-HILL, Singapore, 1996) pp. 137-139.
- [10] 송종섭, 조재홍, 이윤우, 조현모, 이인원, "다색광전달 함수를 사용한 컬러 LCD 모니터의 광학적 상평가법", *한국광학회지*, 제16권 1호 게재예정, 2005.

MTF and wavefront error testing of large aperture optical system using unequal path interferometer

Jong Sup Song

Optical Module R&D Group, Optics Division, Samsung Electro-mechanics Co. Ltd., 443-743, Korea

Jae Heung Jo[†]

Dept. of Physics, Hannam University, Taejon 306-791, Korea

[†] E-mail: jhjo@hannam.ac.kr

Yun Woo Lee, Jae Bong Song, Ho Soon Yang, and In Won Lee

Photometry & Imaging Optics Group, Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon 305-600, Korea

(Received October 13, 2004, Revised manuscript November 13, 2004)

A method for measuring the wavefront error and the modulation transfer function(MTF) of large aperture optics using an unequal path interferometer is presented. A bidirectional shearing interferometer is used for collimation testing of the measurement system. A large aperture Fizeau interferometer with long optical path difference measures the wavefront error of the optics under test by using a $\Phi 400 \text{ mm}$ off-axis parabolic mirror. The MTF is also measured at the wavelength of the interferometer by changing the laser light into partially incoherent light. Test results of a $\Phi 300 \text{ mm}$ Cassegrain type satellite telescope made in Korea are presented.

OCIS Codes : 110.3000, 110. 4850, 120.2880, 120.4630.