

카메라 렌즈 평가용으로 제작된 nodal slide식 실시간 OTF 측정 장치

이지영 · 송종섭 · 조재홍[†] · 장 수 · 임천석

한남대학교 자연과학부 광 · 전자물리학 전공

⑨ 306-791 대전광역시 대덕구 오정동 133번지

이윤우 · 이인원

한국표준과학연구원 광도 · 영상 그룹

⑨ 305-340 대전광역시 유성구 도룡동 1번지

(2002년 1월 22일 받음, 2002년 3월 25일 수정본 받음)

카메라 렌즈와 같이 상면이 평면인 광학계의 축상 및 비축상의 OTF를 실시간으로 측정 할 수 있는 nodal slide식 실시간 OTF 측정 장치를 제작하였다. 비축 물체를 측정하기 위하여 nodal slide와 T-bar를 사용하고, 실시간 측정을 위하여 화소 간격이 가로 9.9 μm 와 세로 9.6 μm 인 2차원 CCD(charge coupled device)를 사용하며, 초점 길이 300 mm의 시준 렌즈를 사용하여 장치를 소형화하였다. 그리고 F/8, 초점 길이 50 mm인 SIRA사의 표준 렌즈를 이용하여 측정 장치의 정확도를 평가하고 보정하였다. 본 장치의 신뢰도를 위하여 시야각이 10.6°이고, 초점 길이가 25.0 mm인 CCTV & VIDEO 렌즈(JAPAN, AVENIR-SE 2514)의 MTF를 측정하여 카메라 벤취(bench)형 OTF 측정 장치로부터 구한 MTF 값들과 상호 비교한 결과 대부분의 공간주파수에서 4% 이내로 일치하였다.

주제어 : Optical transfer function, Nodal slide type, Eraluation of camera lens, Real time Measurement of OTF.

I. 서 론

각종 카메라, 망원경, 현미경 등의 결상 광학계는 굴절능, 초점 길이, 분해능, 배율, 각종 수차, 간섭 무늬 등을 측정하여 그 성능을 평가 할 수 있다. 이러한 광학계의 성능을 정확히 평가하기 위하여 여러 측정 방법 및 장치들이 개발되어왔다. 이 중에서 디옵터 미터(diopter meter)는 결상 광학계의 굴절 능을 측정하는데 사용하며, 카메라형 광학대와 nodal slide법을 이용하여 광학계의 초점 길이를 측정하는데 주로 사용하고 있다. 이밖에도 간섭계를 사용하여 광학계의 수차를 측정하고 분석하기도 한다. 특히 광학계의 결상 능력, 즉 분해능을 평가하는 방법으로 MTF(modulation transfer function) 측정법이 지금까지 주로 사용되어 왔다.^[1]

OTF(optical transfer function) 측정법은 결상 광학계의 성능을 종합적으로 평가하는 방법 중에 현재 세계적으로 가장 많이 사용되며, 객관적이고 효과적인 방법으로 인정되고 있다. 광학계의 OTF는 일반적으로 복소함수로 표현된다. 그 힘수의 진폭 항을 MTF, 그리고 그 위상항을 PTF(phase transfer function)라고 한다. 광학계의 MTF는 각각의 공간주파수에서 상의 contrast와 물체의 contrast의 비로 그 물리적인 의미를 가지고 있다. 회전 대칭성을 가지고 있는 광학계에서의 PTF는 무시 할 정도로 작으므로 MTF만 측정한다. 일반적인 OTF 측정 방법은 사인형 격자(sinoidal grating)를 사용하는 광학적 Fourier 변환 방법, 전기적 필터를 사용하여 비사인형 격자(nonsinusoidal grating)를 사용하는 광전자광학적 Fourier 변환

방법, 그리고 점, 슬릿 또는 칼날의 상을 전자 필터로 주사 해석하는 전기적 Fourier 변환 방법순으로 발전하였다.^[2] 이 중에서 가장 최근에 개발된 전기적 Fourier 변환 방법은 실험적 데이터 처리 문제 및 전기적 잡음 문제 등이 잘 해결되어 OTF 측정 오차 한계가 2%미만까지 줄어들었다.^[3]

그러나 OTF 측정에 사용되는 전기적 Fourier 변환 방법인 칼날 주사법은 넓은 공간을 필요로하고 측정 시간이 늦고 제작이 어렵다는 문제가 있다. 그러므로 생산 현장에서는 정밀도는 다소 낮더라도 사용하기 편리하며 저가인 OTF 장치가 필요하다.

본 논문에서는 카메라 렌즈와 같이 평면인 상면을 갖는 광학계의 축상 및 비축상의 OTF를 실시간으로 측정 할 수 있는 nodal slide식 OTF 측정 장치를 제작하고자 한다. 실시간 측정을 위하여 화소 간격이 가로 9.9 μm 와 세로 9.6 μm 의 2차원 CCD(charge coupled device) 카메라를 사용한다. 그리고 비축 물체를 측정하기 위하여 nodal slide와 T-bar를 사용하고, 장치의 소형화를 위하여 초점 길이 300 mm의 시준 렌즈를 사용하였다. 그리고 SIRA사의 표준 렌즈(F/8, 초점 길이 50 mm)를 이용하여 측정 장치의 정확도를 평가하고 보정하고자 한다. 본 장치의 신뢰도를 위하여 시야각이 10.6°이고, 초점 길이가 25.0 mm인 CCTV & VIDEO LENS(JAPAN, AVENIR-SE 2514)의 MTF를 측정하여 카메라 벤취형 OTF 측정 장치로부터 구한 MTF 값들과 상호 비교하고자 한다.

II. Nodal slide와 T-bar를 이용한 비축 물체의 MTF 측정법

MTF는 상의 공간주파수 스펙트럼과 가우스상의 공간주파수

[†]E-mail: jhjo@mail.hannam.ac.kr

스펙트럼의 비이며, 상의 선명도(contrast)를 물체의 선명도(contrast)로 나누어준 값이다. 이를 다음과 같이 표현할 수 있다.^[1,4]

$$MTF = \frac{IMAGE\ CONTRAST}{OBJECTIVE\ CONTRAST} \quad (1)$$

$$CONTRAST = \frac{I_{MAX} - I_{MIN}}{I_{MAX} + I_{MIN}} \quad (2)$$

실험에 사용된 물체로 매우 좁은 슬릿(slit)을 사용할 경우 $I_g(x_o, y_o)$ 의 분포는 OTF를 측정하고자 하는 과정에 비해 매우 좁게되어 1차원적인 선 물체로 근사할 수 있게 된다. 따라서 선화산함수(LSF) $L(x_i)$ 는

$$L(x_i) = \int_{-\infty}^{\infty} |h(x_i, y_i)|^2 dy_i \quad (3)$$

으로 정의 된다. 이 (3)식을 Fourier 변환한 후, 공간주파수 0에서의 Fourier 변환 값으로 규격화 하면 OTF 값이 되며, 이 값의 크기가 MTF로 (1)식과 (2)식의 의미를 갖는다.

그림 1(a)는 초점 거리가 f 인 광학계에 축상으로 평행광을 조명할 때 생기는 상의 MTF 값을 측정하는 방법이다. 또한 그림 1(b)처럼 비축상 MTF 측정을 위해서는 렌즈계의 특이점 중에 제2마디점(N')을 이용한다. 그림 1(b)는 렌즈의 제2마디점을 중심으로 렌즈를 회전 시켰을 때, 그 주광선의 방향이 항상 일정함을 보여준다. 마디점은 광축에 수직인 회전축을 가지고 있는 광학계의 지지대인 nodal slide를 이용하여 찾을 수 있다. Nodal slide의 회전축에 제 2 마디점을 위치시키면 렌즈를 회전시켜도 광축에 초점이 맞는다. 하지만 제 2 마디점을 중심으로 nodal slide를 θ 만큼 회전하게 되면, 그림 1(b)에서

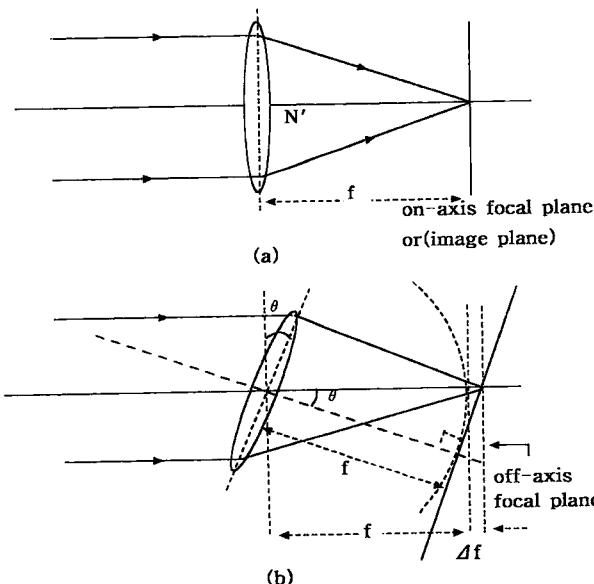


그림 1. nodal slide의 구조 (a) 축상에서의 nodal point : 초점 길이 f 인 광학계에서의 제 2 마디점(N') (b) 비축상에서의 nodal slide : 초점 길이 f 인 광학계를 θ 만큼 회전시킬 때 Δf 의 상면 이동이 생긴다.

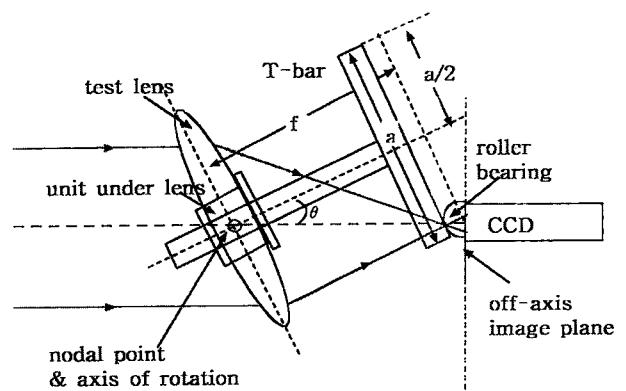


그림 2. T-bar를 이용한 nodal slide : 광학계의 제 2 마디점을 중심으로 θ 만큼 회전시킬 때 생긴 상면 이동을 보정하기 위해 베어링과 T-bar를 사용하여 상분석부분이 항상 축상에 위치하도록 한다.

처럼 상면은 Δf 만큼 이동하게 된다. 만약 비축 물체에 대해 평면인 상면을 갖는 광학계의 성능을 nodal slide를 이용하여 평가하고자 한다면, Δf 만큼 상면을 이동시켜야만 한다.^[6]

그림 1(b)에서 나타나는 Δf 만큼의 상면 이동을 보정하기 위해서 그림 2와 같은 T-bar를 사용한다. 광학계가 제 2 마디점을 중심으로 θ 만큼 회전하였을 때 생기는 상면의 위치 이동량(Δf)은 T-bar가 같은 각도로 회전하였을 때 생기는 축상에서의 이동량과 같아진다.^[6]

광학계를 회전 시킬 때 측정 가능한 최대 화각은 다음과 같이 결정된다.

$$\tan \theta = \frac{(a/2)}{f}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{(a/2)}{f} \quad (4)$$

여기에서 a 는 그림 2에서 보듯이 T-bar의 머리부분의 길이를 나타낸다. (4)식에서처럼 측정할 수 있는 최대 화각은 초점거리 f 와 T-bar의 머리 부분의 길이로 결정된다.

III. 측정 장치 제작

본 실험에서는 상면이 평면인 광학계를 측정하기 위하여 그림 3과 같이 nodal slide식 실시간 OTF 측정 장치를 구성하였다. 이 장치는 그림 3에서 보듯이 광원과 물체가 있는 물체부, 측정하고자 하는 광학계와 nodal slide가 있는 testing lens부, 광학계에 의해 결상된상을 분석하는 상분석부로 구성되어 있다. 150 W의 텅스텐 할로겐 램프(PHILIPS, 14501 DDI)에서 나오는 광을 550 nm에서 최대 투과율을 갖는 간섭 필터를 이용하여 단색광을 만들고 슬릿폭이 15 μm인 단일 슬릿과 시준 렌즈를 이용하여 무한광을 만들었다. 여기서 사용된 시준 렌즈는 시스템의 길이를 최소화하기 위해 300 mm의 초점거리를 갖는 이중 렌즈로 구성하였다. Testing lens부는 360° 회전 및 x, y축으로 15 mm까지 이동할 수 있도록 제작된 측정 광학계를 지지하는 nodal slide가 주요 부분이다. 그

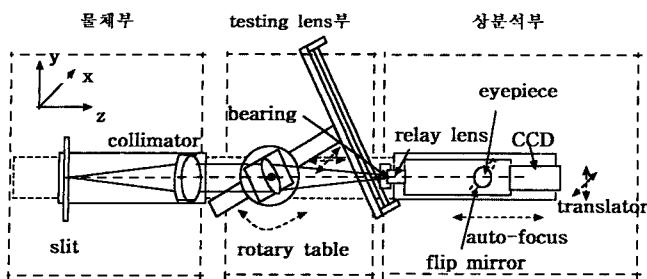


그림 3. nodal slide식 OTF 측정 장치의 구성도 : nodal slide식 OTF 측정 장치는 물체부, testing lens부 그리고 상분석부로 구성되어 있다. testing lens부와 상분석부는 베어링으로 연결되어 있다.

리고 rotator 위에 광학계가 θ 로 회전할 때 생기는 이동량(Δf) 만큼 상분석부를 축상으로 이동하기 위한 T-bar(머리 부분은 150 mm, 몸통 부분은 200 mm)를 장착하여 광학계를 회전 할 때 T-bar도 함께 회전할 수 있도록 제작하였다. 상분석부는 측정 광학계에 의해 맷힌상을 40배의 relay 렌즈(현미경 대물 렌즈로: edmende scientific, NA 0.65)를 사용해서 상을 확대 하여 활상 면적이 6.55 mm×4.87 mm인 CCD 카메라(삼성, BW-360ED)로 전송하였다. 상의 정보는 CCD 카메라와 연결된 모니터와 컴퓨터로 실시간으로 관측 및 분석 할 수 있다. 최상의 상면을 찾기 위해서 상분석부분에 스텝핑 모터(stepping motor: ORIENTAL, PX244-04A)를 이용한 z축 translator를 장착하여 컴퓨터로 제어할 수 있게 하였다. Relay 렌즈와 CCD 카메라사이에 플립 미러(flip mirror)와 대안 렌즈(eyepiece)를 설치하여 상을 보면서 측정하고자 하는 렌즈의 마디점을 쉽게 찾을 수 있도록 하였다. 상분석부는 x, y, z축으로 15 mm씩 이동이 가능하다. 그리고 비축 물체에 대한 OTF 측정시 상분석부가 평면으로 된 상면에 위치하도록 하기 위하여 베어링을 사용하여 T-bar와 상분석부를 연결하였다.

그림 4는 그림 3의 구성도를 이용하여 제작한 OTF 측정 장치이다.

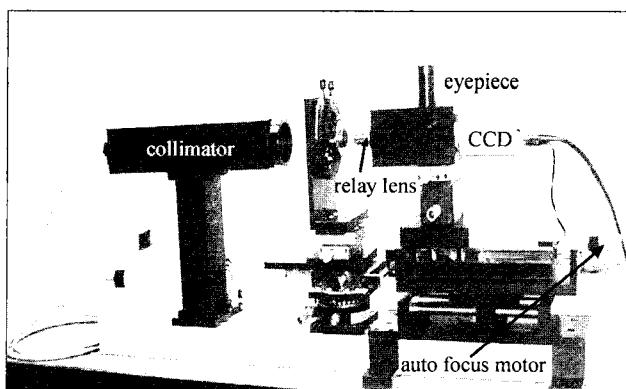


그림 4. 제작한 nodal slide식 OTF 측정 장치 : testing lens부는 rotator와 T-bar가 함께 움직일 수 있도록 연결하였고, 상분석부의 하단부는 T-bar가 회전할 때 상분석부가 잘 움직일 수 있도록 레일을 사용하였다.

IV. 측정 장치 보정 및 성능 평가

MTF 측정 장치를 구성하고 있는 물체(슬릿 혹은 핀홀), 시준렌즈, 현미경 대물렌즈 그리고 CCD 카메라는 측정하고자 하는 광학계의 MTF에 영향을 준다. 따라서 측정하고자 하는 광학계의 MTF를 구하기 위해서는 각각의 MTF들에 대한 보정이 필요하다. 그러므로 측정하고자 하는 광학계의 MTF는 (5)식과 같이 구할 수 있다.

$$MTF_{test\ lens} = \frac{MTF_{system}}{MTF_{slit} \cdot MTF_{collimator} \cdot MTF_{objective} \cdot MTF_{CCD}} \quad (5)$$

그림 5는 표준 렌즈에 대해 SIRA 사에서 제시한 MTF 값과 보정후 nodal slide 식 OTF 측정 장치로 측정한 MTF 값을 비교한 결과이다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 본 연구에서 nodal slide 식 OTF 측정 장치를 이용하여 측정한 표준 렌즈의 MTF 값이 SIRA 사에서 제시한 MTF 값과 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 그리고 시야각 10.6°, F/8, 그리고 초점 길

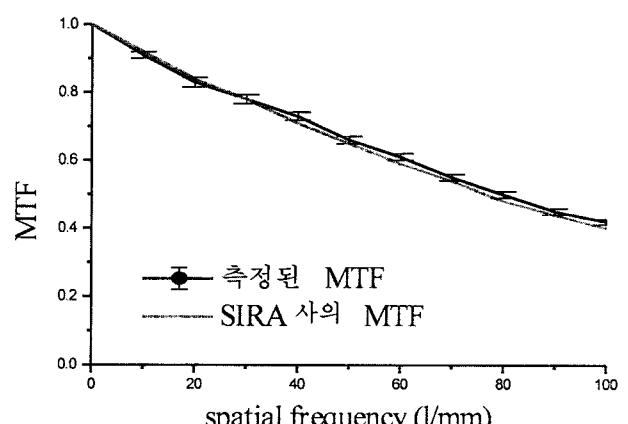


그림 5. SIRA사 표준 렌즈에 대한 MTF 비교 : nodal slide식 OTF 측정 장치에 의한 MTF 측정치와 SIRA사에서 제시한 MTF 값을 공간주파수(가로축) 별로 비교한 그래프이다.

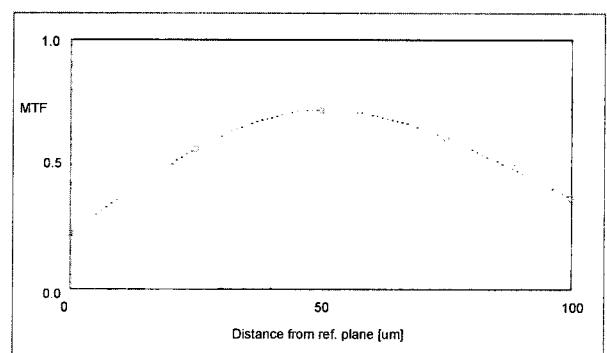


그림 6. 스텝핑 모터(stepping motor)가 장착된 z축 translator를 이용하여 광학계의 상면을 미세 이동하면서 이동 거리(가로축) 별로 측정한 MTF 값(세로축)의 변화량을 나타낸 그 래프이다.

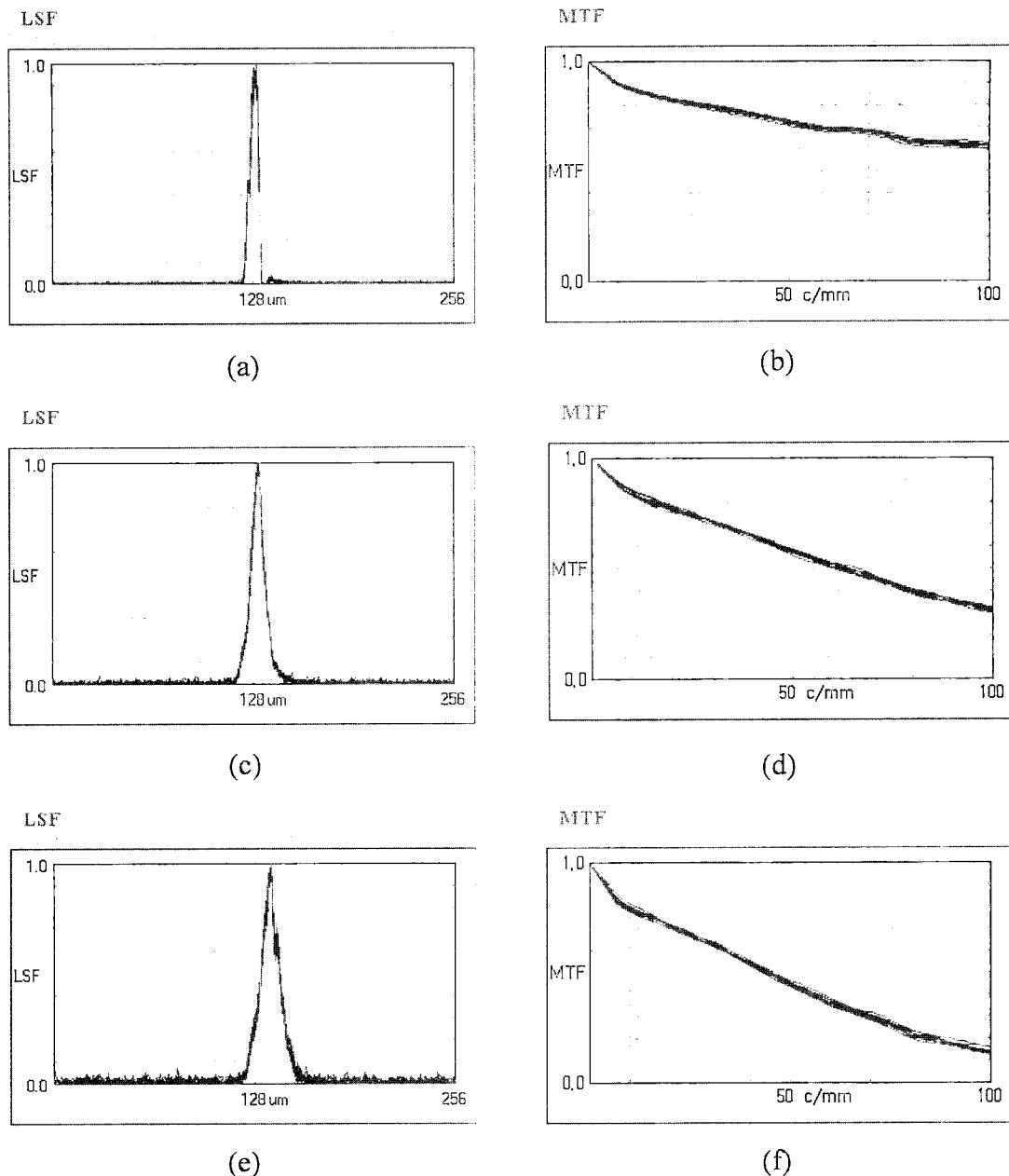


그림 7. nodal slide식 OTF 측정 장치로 측정하고자 하는 광학계의 자오면(tangential)을 축상 및 비축상에서의 측정치를 10번 겹쳐서 나타낸 그래프들이다. (a) 0°에서의 LSF (b) 0°에서의 MTF (c) 5.3°에서의 LSF (d) 5.3°에서의 MTF (e) 7.42°에서의 LSF (f) 7.42°에서의 MTF : (a), (c), (e)에서 가로축은 CCD 카메라를 통하여 얻은 주사거리이고 세로축은 LSF이다. (b), (d), (f)에서 가로축은 공간주파수이고 세로축은 MTF이다.

이 25 mm인 CCTV & VIDEO 렌즈(JAPAN, AVENIR-SE 2514)를 카메라 벤취형 OTF 측정 장치와 nodal slide식 OTF 측정 장치로 공간주파수 0~100 line/mm 영역에서 MTF 값을 비교 측정하였다. 또한 무한 물체에 대한 축상 및 비축상(0.5 field(5.3°), 0.7 field(7.42°))에서 측정하였다. 측정 가능한 최대 각(한쪽 방향으로 회전시킬 수 있는 최대 각)은 측정하고자 하는 광학계의 초점 길이가 25 mm이므로 (4)식에 의해서 θ 는 16.7°가 된다.

그림 6은 translator를 이용하여 광학계의 상면을 미세 이동

하면서 측정한 MTF 변화량이다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 기준 공간주파수 30 line/mm에서 최대의 MTF 값의 최적 상면(무한 물체에서는 초점면임)을 가리킨다. 그러나 가장 좋은 초점면을 찾기 위해서는 설계치가 주어지지 않을 경우, 기준 공간주파수는 MTF 값을 측정하고, 그 값이 0.5~0.7 정도되는 입의의 한 공간 주파수로 잡는다. 그리고 그 기준 공간 주파수에서 초점 종이동에 따른 MTF 변화를 측정한다. 본 실험에서는 MTF 값이 0.7인 30 line/mm를 기준 공간주파수로 선택하였다. translator를 앞·뒤로 25 μm씩 전체 100 μm 이동

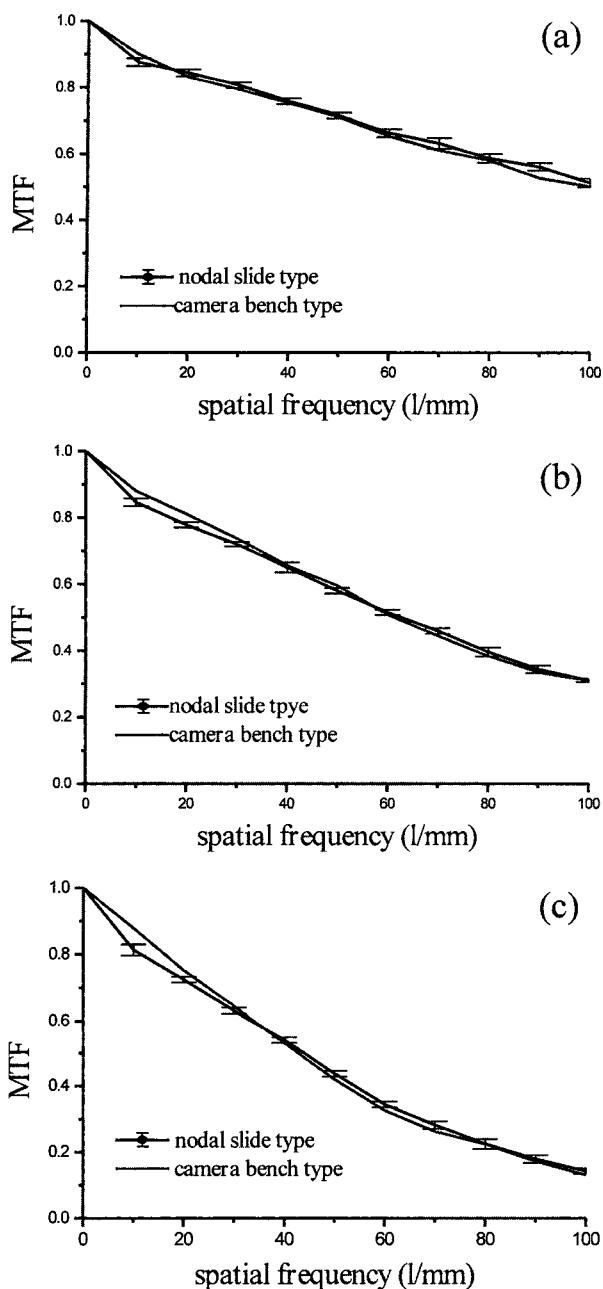


그림 8. nodal slide식 OTF 측정 장치로 10번 측정치의 평균 MTF 값과 카메라 벤취형 OTF 측정 장치로 측정한 MTF 값의 비교 그래프로 가로축은 0~100 line/mm의 공간주파수를 나타내고 서로축을 MTF를 나타낸 것이다. (a)는 축상(0°)에서의 MTF 비교 (b)는 5.3°(0.5 field)에서의 MTF 비교 (c)는 7.42°(0.7 field)에서의 MTF 비교.

하면서 기준 공간 주파수에서의 MTF 값을 비교하여 가장 좋은 위치로 상분석부를 이동시켰다. 이 위치에서 축상 및 비축상의 MTF 값을 측정하였다. 동일한 거리에서 이동 간격이 작을수록 정확한 위치를 찾을 수 있지만 측정 시간이 길어지기 때문에 생산 현장에서의 사용이 부적합하다. 이러한 이유로 전체 영역을 5번 이동하면서 측정할 수 있도록 하였다.

그림 7은 nodal slide 식 OTF 측정 장치로 위에서 설명한

광학계의 자오(tangential)면을 측정한 MTF 값들이다. 그림 7(a), (c), (e)는 (3)식에 따라 축상 및 비축상의 5.3°, 7.42°에서 각각 측정한 LSF로 10번 겹쳐서 측정한 결과이다. 그리고 최종적인 MTF 값들은 이론에서 설명한 바와 같이 그림 7(a), (c), (e)를 Fourier 변환 시키고 이를 규격화하여 얻는데, 그 결과가 각각 그림 7(b), (d), (f)이다. 이로부터 비축으로 갈수록 LSF의 반지폭은 점점 넓어지는 것을 알 수 있으며, 이는 광학계에 의해서 발생하는 비점 수차와 코마를 비롯한 총체적인 수차값의 영향으로 상이 퍼지기 때문이다. 그리고 이 LSF 값으로부터 구한 MTF 값(그림 7(b), (d), (f))도 수차로 인하여 비축으로 갈수록 높은 공간주파수에서 더욱 더 작아진다.

그림 8는 카메라 벤취형 OTF 측정 장치로 1번 측정한 MTF 값과 nodal slide식 OTF 측정 장치로 10번 측정한 MTF 값을 평균한 것으로 축상 및 비축상(5.3°, 7.42°)에서 각각 비교한 그래프들이다. 표준 측정 장비인 카메라 벤취형 OTF 측정 장치는 이미 측정 오차 한계가 2%라고 공인 되어있기 때문에 MTF 그래프에 따로 표시하지 않는다. 그림 8(a)는 축상에 대한 MTF 값을 비교한 그래프로서, 두 장비에 의한 값이 높은 공간 주파수에서 3%미만의 차이를 보인다. 그림 8(b)는 5.3°(0.5 field)에 대한 MTF 값을 비교한 그래프이고, 비교 결과 낮은 공간 주파수에서 차이가 있다. 그림 8(c)는 7.42°(0.7 field)에 대한 MTF 값을 비교한 그래프이다. 여기에서 30 line/mm이하에서 두 장치에서 측정한 MTF 값이 5~6%의 차이가 생기는데, 이 이유는 비축으로 회전하면서 T-bar에 의해 상분석부가 레일을 따라 움직일 때 레일 베어링의 유격 때문에 발생하는 장치의 기계적인 불안정과 nodal point 찾을 때의 부정확성 때문이다. 그리고 그림 8(b), (c)에서 보듯이 화각이 커질수록 저주파수 영역에서 그 차이가 커지는데, 이도 위와 같은 원인 때문이다. 그림 8(a), (b), (c)는 부분적인 공간주파수 영역에서는 약간의 차이는 있지만 카메라 벤취형 OTF 측정 장치로 측정한 MTF 값이 nodal slide식 OTF 측정 장치로 측정한 MTF 값의 표준 편차(4%)이내에 속하는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

T-bar와 nodal slide를 제작하여 무한 비축 물체에 대한 MTF 측정이 가능하게 하였다. 또한 T-bar와 상분석장치를 bearing으로 연결하여 비축 물체에 대한 MTF 측정 시 T-bar를 따라 상분석장치가 광축과 평행하게 이동하도록 하였고, CCD 카메라를 장착하여 실시간 측정을 가능하게 하였다. 그리고 플립 미러와 대안 렌즈를 사용하여 측정 광학계의 마디점을 쉽게 찾을 수 있게 하였다.

이렇게 제작한 MTF 측정 장치는 F/8, 초점거리가 50 mm인 SIRA 사의 표준 렌즈를 사용하여 보정한 결과 nodal slide식 OTF 측정 장치로 측정한 MTF 값은 0~100 line/mm 영역내에서 SIRA 사에서 제시한 MTF 값의 4%의 측정 오차 범위 내에 속하는 것을 알 수 있다. 또한 MTF 측정 장치의 성능을 평가하기 위해서 F/8, 초점 길이가 25.0 mm인 CCTV & VIDEO 렌즈를 카메라 벤취형 OTF 측정 장치와 nodal slide

식 OTF 측정 장치로 무한 물체에 대해 축상 및 비축상(5.3°, 7.42°)에서의 MTF 값을 측정하여 비교하였다. 공간 주파수가 0~100 line/mm인 영역에서 nodal slide식 OTF 측정 장치로 측정한 MTF 값은 카메라 벤취형 OTF 측정 장치로 측정한 MTF 값의 4%의 측정 오차 범위내에 속하는 것을 알 수 있다.

측정 결과 차이를 보이고 있는데 그 이유는 상분석부를 앞·뒤로 이동하도록하는 레일부분에 장착된 배어링에 유격이 있어서 T-bar를 이동시키는 거리만큼 상분석부 이동이 이루어지지 않기 때문이다. 이 부분을 레일이 아닌 LM 가이드를 사용하면 그 차이를 줄일 수 있고, 또한 nodal point를 찾을 때 발생하는 부정확성을 보정하기 위해서 이를 정량화하여 자동화할 필요가 있다고 생각된다.

참고문헌

- [1] 한국표준과학연구원, KRASS-98-104-MO.
- [2] N. F. Borrelli, R. H. Bellman, J. A. Durbin, and W. Lama, *Applied Optics*, vol. 30, pp. 3633-3639, 1991.
- [3] 조현모, 이윤우, 이희윤, 이인원, “비축상 OTF의 정밀측정,” *한국광학회지*, 제2권 3호, pp. 121-125, 1991.
- [4] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics* (McGRAW-HILL, New York, 1996), pp. 135-160.
- [5] 이상수, *波動光學* (교학연구사, 서울, 1999), pp. 162-177.
- [6] D. Malacara, *Optical Shop Testing* (John Wiley and Sons, New York, 1992), pp. 67-68, 420-421, 735.
- [7] T. L. Williams, *The Optical Transfer Function of Imaging System* (Sira Electro-Optics Ltd., Kent, 1999), pp. 142-145.

Real-time optical transfer function measuring system with on- and off-axis nodal slide bench type for evaluating the camera lens

Ji Young Lee, Jong Sup Song, Jae Heung Jo[†], Soo Chang, and Cheon Seog Rim

Applied Optics and Electromagnetics, School of Natural Sciences, Hannam University, Taejon 306-791, KOREA

[†]E-mail: jhjo@mail.hannam.ac.kr

Yun Woo Lee and In Won Lee

Photometry and Imaging Optics, Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon 305-340, KOREA

(Received January 22, 2002 ; revised manuscript received March 25, 2002)

A real-time OTF (optical transfer function) measuring system with on- and off-axis nodal slide bench type for the camera lens is fabricated and evaluated. It consists of a nodal slide bench including a T-bar for the OTF measurement of an off-axis object, two dimensional CCD (charge coupled device) with pixel of 9.9 μm × 9.6 μm for real-time OTF measurement, and a collimating lens of focal length of 300 mm for the optimization of this system. The OTF system is corrected by using the OTF of a SIRA lens of f-number of F/8 and focal length 50 mm. In order to confirm the reliability of the OTF system, two MTFs (modulus transfer functions) of CCTV & VIDEO lens (JAPAN, AVENIR-SE 2514) of focal length of 25 mm and field of view 10.6° are measured by the camera bench type OTF system of reference OTF system and the nodal slide bench type OTF system and compared with each other. As a result, these two values are agree well with each other within 4 % from 0 lp/mm to 100 lp/mm.

Classification codes : SM.040, SM.030.