

## 카메라폰 렌즈의 MTF 측정장치 개발

홍성목 · 조재홍

한남대학교 이과대학 광전자물리학과  
Ⓣ 306-791 대전광역시 대덕구 오정동 133번지

이윤우<sup>†</sup> · 이회윤 · 양호순 · 이인원

한국표준과학연구원 전락기술부 우주광학연구단  
Ⓣ 305-340 대전광역시 유성구 도룡동 1 한국표준과학연구원

허문회

지우기술  
Ⓣ 302-834 대전광역시 서구 만년동 386 골드타워 911호

(2006년 11월 27일 받음, 2007년 1월 30일 수정본 받음)

직경과 초점거리가 수 mm인 카메라폰 렌즈의 성능을 평가하는 변조전달함수(Modulation Transfer Function: MTF) 측정장치를 개발하였다. 전체 측정장치는 물체부, 상분석부, 렌즈 마운터로 구성되며, 물체부는 비축상 측정을 위하여 회전한다. 렌즈의 정밀한 정렬을 위하여 정밀한 수평형 거치대를 제작하였으며 광축 조정과 렌즈의 기울어짐 등의 문제를 매우 효과적으로 개선하였다. 시험렌즈의 초기정렬이 끝나면 자동으로 MTF를 측정하며 측정시간은 10초 이내이다.

주제어 : MTF, Resolving power, Imaging optics

### I. 서 론

광부품과 광학계는 정보/통신 및 반도체산업 등의 핵심요소로 널리 활용되고 있으며 광기술은 이미 일상 깊숙이 침투되어 활용되고 있다. 최근에는 카메라폰이 대중에게 인기를 끌고 있으며 고화소급 카메라에 대한 수요가 계속 증가하고 있다.

VGA(video graphics adapter) 화소급으로 출발한 카메라폰은 현재 2 mega 화소급으로 성능이 향상되었으며 이에 따라 카메라폰 렌즈의 분해능도 높아지고 있다. 그동안 카메라폰에 사용되었던 광학계는 비구면 형상의 플라스틱 렌즈들로 구성되어있었다. 플라스틱은 비구면 형상을 쉽게 구현하고 제품을 대량 생산할 수 있는 장점이 있지만 쉬운 열변형과 복굴절 등의 단점을 가지고 있다.<sup>[1]</sup>

고분해능을 지향하면서 플라스틱 렌즈의 단점을 보완하기 위해서 점차 카메라폰 광학계는 비구면 형상의 플라스틱 렌즈와 광학 유리 렌즈의 조합으로 성능을 향상시키고 있는 추세이다. 아울러 카메라폰 렌즈는 휴대폰 자체의 부피를 줄이기 위해서 작은 구경을 갖게 되고 초점거리도 수 mm 내로 제한받고 있으며 광학 줌 기능 또한 추가되고 있다.

다기능의 고급 광학계인 카메라폰 렌즈는 고급 광학설계와 정밀가공에 의해 만들어지고 있으며, 하루의 생산량도 수십만 개에 이르고 있다. 이처럼 카메라폰에 대한 관련 산업이

급속도로 성장하고 그 기술 또한 고급화하면서 조립 전의 단품들과 조립 후의 카메라폰 모듈에 대한 광학적 성능을 정량적으로 그리고 실시간으로 측정하는 광학적 성능평가 장치가 필요해졌다.

통상적으로 광학부품 평가기술은 제작단계부터 여러 종류의 평가 항목을 측정하며, 이러한 측정 시 측정정밀도를 높이기 위한 다양한 측정기술이 개발되어 왔다.<sup>[2]</sup> 여러 개의 부품으로 구성된 광학계의 경우에는 광학계의 평균적 성능을 보기위해서 광전달함수(optical transfer function: OTF) 측정에 의한 평가방법을 일반적으로 사용한다. 광전달함수는 진폭 부분인 변조전달함수(Modulation Transfer Function: MTF)와 위상부분인 위상전달함수(phase transfer function: PTF)로 구성된다.<sup>[3]</sup> 이중 변조전달함수를 광학계의 성능표현에 주로 이용하며, 여러 가지 변조전달함수의 측정법들이 다양하게 제안되고 있다. 현재는 측정광학계에 의해서 결상된 상을 주사하는 방법을 가장 일반적으로 사용한다.<sup>[4,9]</sup>

본 논문에서는 주사방법을 통해서 빠른 시간 내에 광축 및 비축의 변조전달함수 측정이 가능한 카메라폰 렌즈 MTF 측정장치를 제작하였다. 그리고 mega 화소급의 카메라폰 렌즈의 성능을 평가하였으며 자세한 측정결과를 제시하였다.

### II. 주사형 광전달함수 측정이론

OTF 측정방법들은 크게 주사방법과 간섭계 방법으로 나눌 수 있다. 주사방법은 다시 칼날이나 슬릿 혹은 배열 검출기

<sup>†</sup> E-mail: ywlee@kriss.re.kr

에 의해 핀홀이나 슬릿과 같은 물체의 상을 주사하는 간접주사방법과 주기적인 격자를 사용하여 슬릿의 상을 주사하거나 격자의 상을 슬릿으로 주사하는 직접주사방법으로 구분한다. 간접주사방법은 측정시간이 늦은 단점이 있으나 측정장치의 제작이 비교적 간편하고, 변조전달함수 및 위상전달함수를 동시에 측정할 수 있으며, 측정 정밀도가 높아서 많이 사용하고 있다.<sup>[10]</sup>

사각물체의 강도함수에서 가장자리퍼짐함수(edge spread function: ESF)를 미분하면 다음과 같이 선퍼짐함수(line spread function: LSF)가 된다.

$$L(x_i) = \frac{dE(x_i)}{dx_i} \quad (1)$$

점퍼짐함수(point spread function: PSF)  $|h(x_i, y_i)|^2$ 와 LSF인  $L(x_i)$ 는 다음과 같은 관계를 갖는다.

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

이때 상의 강도분포함수  $i(x_i)$ 는

$$i(x_i) \propto \int_{-\infty}^{\infty} L(x_i - x_0) i_g(x_0) dx_0 \quad (3)$$

이다. 여기서 가우스 상 분포함수는  $i_g(x_0) \equiv \delta(x_0)$ 로 근사할 수 있으며 상의 강도분포가 곧 LSF이다. 일차원 OTF  $O(f_x)$ 는 LSF의 푸리에 변환(Fourier transform) 함수로

$$O(f_x) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} L(x_i) \exp[j 2\pi f_x x_i] dx_i}{\int_{-\infty}^{\infty} L(x_i) dx_i} \quad (4)$$

과 같이 표현할 수 있다. 실제 실험에서는 주사하는 강도분포의 구간이 유한하여 연속적인 푸리에 변환을 할 수 없으므로 표본을 정해야 한다. 표본이론에 의하면 OTF 값을 알고자 하는 공간주파수 간격을  $\delta f_x$  라고 할 때 필요한 주사구간이  $-x$ 부터  $+x$  라고 하면

$$|x| = \frac{1}{\delta f_x} \quad (5)$$

의 관계가 있다. 이때 측정해야 하는 표본간격  $\delta x_i$ 는 측정되어지는 광학계의 한계분해능  $f_{max}$ 에 관계되며

$$\delta x_i = \frac{1}{2f_{max}} \quad (6)$$

이 된다. 이때 주사구간은 주사함수의 변화가 거의 없는 정도까지 넓게 해야만 한다.<sup>[11]</sup>

### III. MTF 성능평가 장치의 제작

OTF 측정은 측정용 물체에 따라서 이 물체의 영상을 푸리에 변환하여 공간주파수를 알 수 있는 간접적 방법과 공간주파수가 새겨져 있는 물체를 사용하는 직접적인 방법으로 구분한다. 직접적인 방법은 눈으로 대략적인 상의 명암을 확인하여 렌즈의 성능을 빠른 시간 내에 확인할 수 있으나, 이 방법은 사람의 주관적인 판단이 개입되기 때문에 신뢰성이 떨어지는 단점이 있다. 그럼에도 불구하고 대부분의 생산현장의 공정상에서는 빠른 측정과 측정의 간편성으로 인해서 이러한 직접적인 방법으로 측정을 한다.

반면에 간접적인 방법은 평가결과가 매우 정확하기 때문에 국제적으로 광학계 평가의 표준적인 방법으로 정착되어 있다. 다만 측정을 할 때 슬릿 등의 퍼짐함수에 대한 푸리에 변환을 해야만 하기 때문에 직접적인 방법에 비해서 상대적으로 측정시간이 더 소요된다. 본 연구를 통해서 제작한 카메라폰 렌즈 성능평가장치는 정확한 정량적 측정에 기본을 두기 위하여 후자인 간접적인 방법을 이용하였다.

카메라폰 렌즈는 구경이 작고 초점거리가 매우 짧고 mega 화소급을 지향하고 있기 때문에 측정장치의 각 부분들도 측정하고자 하는 카메라폰 렌즈의 성능보다 더 좋게 해야 한다. 카메라폰 렌즈의 특수성은 광축정렬과 광학면과의 수평 및 수직도에도 많은 영향을 준다. 즉 짧은 초점거리로 인해서 광축 및 비축 측정 시 긴 초점의 광학계에 비해 오차가 크게 증가할 수 있기 때문이다. 이런 문제점을 감안하여 장치의 제작과정부터 광학정렬을 위해서 잘 정렬된 레이저 광원을 이용하여 각 부분들을 조립하였다.

그림 1은 카메라 폰 렌즈의 MTF 성능평가장치의 전체 사진이다. 이 장치는 그림 1의 왼쪽 상단부인 광원, 물체(슬릿), 시준기, 그리고 물체를 동심원으로 이송하는 물체 이송모터 등으로 구성된 물체부(원형실선), 물체부 바로 아래에 설치된 카메라폰 렌즈를 장착하는 거치대를 포함한 측정광학계(원형점선), 이 측정광학계 아래의 네모상자 안에 있는 이 광학계에 의한 영상을 검출하고 분석하는 영상검출/분석부(원형일점쇄선)로 이루어진다.

카메라폰 MTF 측정장치는 서론에서 설명한 바와 같이 카메라폰 소형 렌즈의 거치대를 수평으로 놓고 모든 광학계를 수직으로 설치했다는 것과 광축 및 비축의 MTF를 모두 측정하기 위하여 물체부를 회전시킬 수 있는 물체 이송모터가 설치된 것이 기존 MTF 장치들과는 다른 특징들이다. 이들 각 부분을 자세히 살펴보면 다음과 같다.

#### 3.1 물체부

그림 2(a)는 물체부의 확대된 사진과 2(b)는 사용한 물체의 자세한 모양들을 보여준다. 물체부는 광원, 물체, 물체를 무한 위치로 보내주는 시준기 그리고 정렬 상태를 확인할 수 있는 대안렌즈와 물체부를 비축으로 돌려주는 회전모터로 구성하였다. 할로겐 램프(PHILIPS사, 14501 DDL(20 V, 150 W, 색온도: 3150))에서 방출된 빛은 직경  $\phi$  10 mm의 광섬유 다발을 통해서 물체를 조명한다.

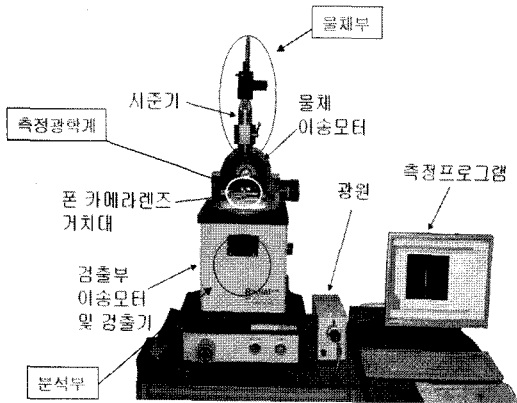
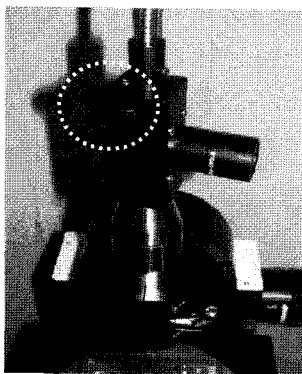


그림 1. 카메라폰 렌즈 변조전달함수 측정 장치.



(a) 물체 선반



(b) 측정에 사용하는 물체의 종류

그림 2. 카메라폰용 MTF 측정장치의 물체부.

측정장치에 사용한 물체는 그림 2(b)에서 보는 것처럼 핀홀(pinhole), 슬릿(slit), 십자형(crossed-slits) 물체를 사용하고 있다. 이 중 주로 사용하는 핀홀은 PSF를 쉽게 측정할 수 있지만 신호가 매우 작아서 신호대 잡음비가 커지는 단점이 있다. 이 핀홀은 직경 20  $\mu\text{m}$ 로 레이저를 사용하여 구멍을 뚫었다. 그리고 일반적으로 광량이 충분한 경우에는 슬릿을 사용하여 한 방향의 LSF도 측정하였다. 이 슬릿은 슬릿폭이 20  $\mu\text{m}$ 이다. 그리고 자오면과 구결면 MTF를 쉽게 측정하기 위하여 가로, 세로 두 방향으로 슬릿을 겹쳐서 만든 십자형 물체도 사용하였다.

유리로 만든 렌즈를 접합하여 유효초점거리(effective focal length: EFL)가 200 mm인 색지움 시준렌즈로 물체부의 물체를 무한 물체로 만들어서 측정하고자 하는 카메라폰 렌즈의 물체가 되도록 하였다. 이때 사용한 시준렌즈는 BK7과 FD4 유리를 사용하여 이중렌즈로 제작하였으며 직경은  $\phi$  40 mm이다.

마지막으로 비축물체를 만들기 위해서 5상 스테핑 회전모

표 5. 시험용 카메라폰 렌즈의 규격

Optical Item	Lens Specification	Comment
TTT(mm)	6.62	
EFL(mm)	4.45	Including IR Filter
F/#	2.8	
BFL(mm)	1.94	Including IR Filter
FOV	66°	@Image Height
Lens Construction	1 Glass 2 Plastic	
MTF	40 %	150 lp/mm (Including IR Filter)
	40 %	
	30 %	
Sensor SPEC.	3.65 $\mu\text{m}$ * 3.65 $\mu\text{m}$	1.3 MEGA MICRON
Entrance Pupil Distance	+1.05 mm	First Surface to EPD

터(Autronics사, A3K-S545)를 사용하여 물체부의 광원과 물체, 그리고 시준기를 동시에 동심원으로 회전시켰다. 즉 회전모터는 물체와 시준기 등이 결합된 경통에 연결되어 경통을 회전시킨다. 이때 회전각도는  $\pm 45^\circ$ 까지이며, 각도 분해능은 0.0004°, 모터가 이송되던 방향을 반대 방향으로 바꿀 때 lead screw의 나사산 사이의 간격에 의해 발생하는 이송오차인 backlash는 0.005°이다.

### 3.2 측정광학계: 카메라폰 렌즈

성능평가장치를 제작한 후에 이 장치의 성능을 검사하기 위하여 국산의 1.3 mega 화소급 카메라폰 렌즈를 사용하였다. 표 1은 시험렌즈의 규격이다. 대다수의 렌즈들은 mega 화소급의 성능을 유지하기 때문에 카메라폰 MTF 성능평가장치를 제작할 때에 이러한 성능의 카메라폰의 MTF도 측정할 수 있도록 하였다. 그림 3은 실험에 사용한 1.3 mega 화소급 카메라폰 렌즈(EFL: 4.45 mm, F/2.8)의 사진이다.

그림 3에서 제시한 카메라폰 렌즈는 그림 4에서 보는 MTF 성능평가장치의 거치대에 올려놓는다. 그림 4에서 보듯이 카메라폰 렌즈는 V형 홈을 갖는 양 고정자로 고정한다. 렌즈를 고정시킨 후 거치대를 360° 회전시키면서 영상을 확인하면 결상지점이 회전하는 것을 볼 수 있는데, 이는 시준기용 렌즈(그림 4의 위쪽 렌즈)의 광축과 카메라 폰을 고정화 회전기체축(카메라폰의 중심축과 일치)이 맞지 않아 생기는 현상이다. 이를 확인한 후, 양쪽을 일치시키기 위해서 거치대에 있는 두 개의 마이크로미터가 부착된 이동장치를 이용하여 회전영상이 한 점으로 모이도록 카메라폰 렌즈를 이송시킨다.

### 3.3. 영상검출/분석부

MTF 측정부는 결상된 상을 확대하기 위한 대물렌즈(NIKON사 (20x, NA 0.35, CF plan))와 이 대물렌즈의 확대된 상을 분석하는 2차원 CCD(charge coupled device) 배열 검출기(TOSHIBA사, VGA IK-53V), 그리고 이들을 이송시키는 선형 모터들로 구성하였다.

본 장치에 사용한 CCD 배열 검출기는 화소가 7.4  $\mu\text{m}$ 로 정사각형 형태로, 분해할 수 있는 한계주파수는 대략 70 lp/mm

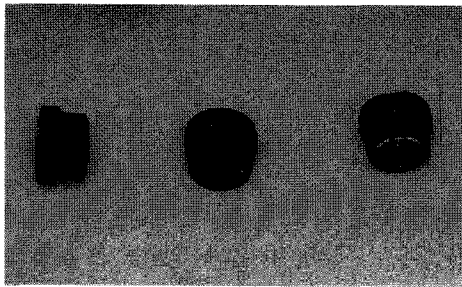


그림 3. 측정에 사용한 mega 급 카메라폰 렌즈.

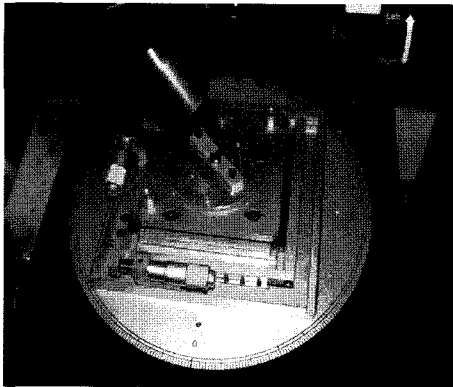


그림 4. 카메라폰 렌즈와 렌즈 거치대.

이다. 따라서 한계주파수 이상의 고주파수에 대한 성능평가를 위해서 측정 렌즈에 의해 결상된 상을 대물렌즈를 사용하여 확대하였다. 또한 대물렌즈는 측정하는 렌즈의 영상을 CCD로 전송하기 위해서 NA(numerical aperture) 값이 0.35 인 것을 사용하였다.

측정장치에 사용한 CCD 배열검출기는 일반적인 CCD 검출기들과는 다른 progressive scan 방식을 사용하며 VGA급의 1/3-inch CCD format으로 659(H) × 494(V) 픽셀로 구성된다. 대물렌즈와 CCD는 NIKON사의 CM-20L 경통에 결합되어 하나의 모듈로 구성되도록 하였다. 이 모듈은 자동초점용 선형모터와 비축 이송용 모터들에 의해서 선형이송이 가능하다.

자동초점 모터(SIGMA KOKI사, SGSP20-35)는 위치정밀도가 0.005 mm 이하, 위치반복도는 0.003 mm 이하, backlash가 0.003 mm 이하인 성능을 가지고 있으며 총 이송거리는 35 mm 이다. 또한 비축이송을 위한 모터들(SIGMA KOKI사, SGSP20-20)은 성능은 같은 반면 이송거리는 20 mm로 자동초점용 선형모터보다 짧다. 그런데 앞의 모터들을 펄스 분할장치를 통해서 이송할 경우 주어진 위치 정밀도를 펄스 개수만큼 높일 수 있다. 이런 장점을 살리기 위해서 각 모터들의 구동용 드라이버로는 펄스분할 방식을 채택한 compact micro-driver(SIGMA KOKI사, SG-55M)를 사용하였다.

#### IV. 측정장치의 구동 프로그램

본 장치를 구동하면서 MTF 측정용 데이터를 취합하여 보

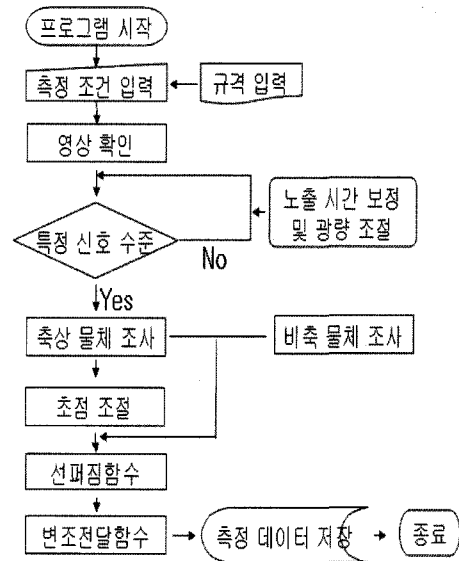


그림 5. 카메라폰 렌즈의 변조전달함수 측정 순서도.

여주는 프로그램은 VB(visual basic)언어로 코딩하였다. 측정 프로그램의 화면은 측정을 위한 조건입력창(Conditions), 영상 확인 및 이송창(Display-Motor), 자동초점창(Auto-Focus), 변조전달함수창(MTF) 등으로 나누어 구성하였다.

‘Conditions’에는 측정에 사용되는 물체 종류, 측정 방향, 측정 렌즈에 대한 제원 등을 입력하는 ‘Initial Condition’과 자동초점 모터의 이송범위, 변조전달함수를 비교하고자 하는 공간주파수, FFT(fast fourier transform)를 위한 데이터 개수를 입력하는 ‘Autofocus Condition’ 그리고 측정하고자 하는 최대 공간주파수, FFT를 위한 데이터 개수를 입력하는 ‘MTF Condition’이 있다. ‘Display-Motor’에서는 물체에 대한 영상과 신호의 확인이 가능하고 각종 모터들의 이송을 제어할 수 있으며 장치의 위치 초기화가 가능하다. 또한 비축 이송 후 영상에 대한 확인도 가능하다.

모든 측정은 그림 5의 측정 순서도에 따라 실행한다. 측정에 필요한 초기조건들을 입력하고 최적의 상점을 찾은 후 MTF를 측정하게 하였다. 최적의 상점을 찾기 위해서는 ‘Autofocus Condition’에서 설정한 이송범위를 4분할하여 자동초점 모터를 움직이게 한다. 그림 6을 통해서 알 수 있듯이, 자동초점이 시작되면 모터의 최초 위치인  $T_0$ 에서 이송범위의 절반에 해당하는  $T_1$ 지점으로 이송되고 MTF를 구하여 표시한다. 이송범위를 4분할한 나머지 4지점인  $T_2, T_3, T_4, T_5$ 에서도  $T_1$ 에서와 같이 반복하여 MTF를 구한다.

그림 6의 화면에 나타난 ‘Max MTF’를 클릭하면  $T_1 \sim T_5$ 를 연결하는 spline line(그림 6의 가는 점선곡선)을 구하고 그 값에서 최대의 위치인  $T_0'$ 로 모터를 이송함으로써 최적의 상점을 찾는다. 최초 시작 위치( $T_0$ )와 다른 부분( $T_0'$ )에 자동초점 모터가 이송되는 이유는 처음 정렬은 사람의 눈에 의지하기 때문이다. 하지만 자동초점 후 다시 자동초점을 할 경우 최적의 위치는 시작 위치와 같아진다( $T_0 = T_0'$ ). 그림 6의  $T_0$ 를 중심으로 좌우 대칭형 곡선이 자동초점 반복 후의 결과이다. 그림을 통해서  $T_0'$ 이  $T_0$ 로 이송 된 것을 알 수 있다.

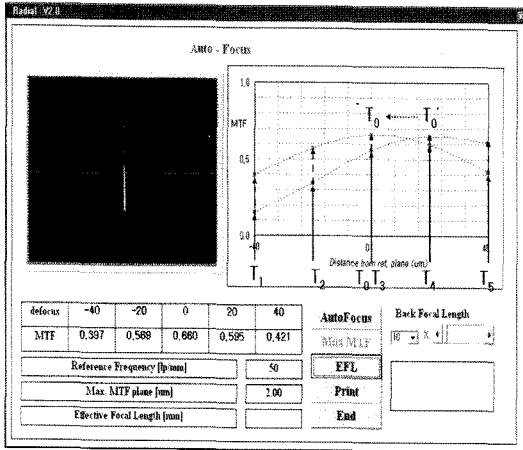


그림 6. 자동초점에 의한 모터의 이송과 변조전달함수 비교.

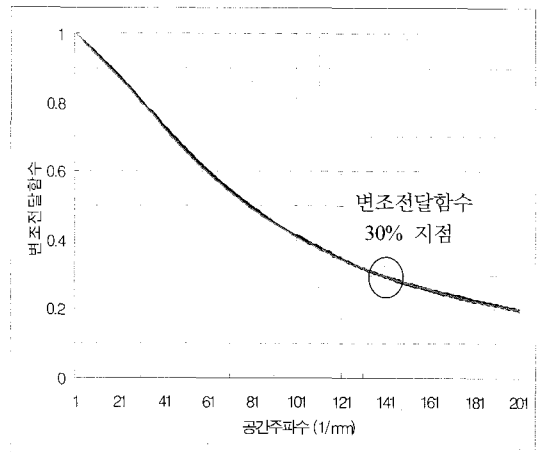


그림 8. 카메라폰 렌즈에 대한 광축 MTF 측정결과.

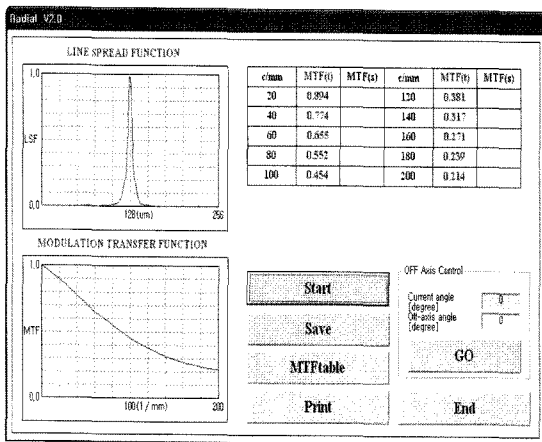


그림 7. 슬릿 물체에 대한 선퍼짐함수와 변조전달함수.

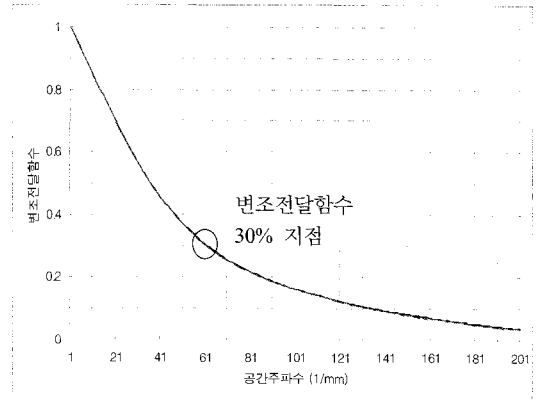


그림 9. 카메라폰 렌즈에 대한 비축 15도에서 측정된 MTF 측정결과.

그림 2(b)에 나온 물체들 중, 실험에서는 슬릿을 우선적으로 사용하였다. 슬릿의 상은 LSF의 형태로 결상을 하고 앞의 식 (4)와 같이 LSF의 푸리에 변환 후 최적화 과정을 거친 값을 나타낸다. 그림 7은 그림 5의 순서도에 따라 측정된 LSF(왼쪽 상단 그래프)와 이로부터 구한 MTF(왼쪽 하단 그래프)의 그래프를 보여준다.

### V. 측정결과

측정 프로그램을 실행하고 초기조건을 입력한 후 영상을 보면서 측정시스템을 정렬한 후에 측정을 시작하였다. 일반적으로 측정렌즈가 사용되는 실제 환경에서는 결상부가 평면이기 때문에 자동초점은 광축에 대해서만 실행한다. 즉, 광축에 대해서 자동초점을 하고 상점을 정하면 결상부의 위치가 고정되는 것이다. 하지만 비축의 경우는 수차의 영향들이 크기 때문에 보통 광축에 비해 최적의 상점은 렌즈 쪽으로 당겨진다. 이 때문에 본 논문에서 제작한 측정장치는 광축에 대해서만 자동초점을 하도록 하였다. 자동초점 후에 광축 MTF를 구한다. 그리고 물체와 측정부를 비축으로 이송하여 비축에 대한 측정을 진행한다. 측정 시간은 물체를 정렬

한 후 광축에 대한 자동초점 후 비축 측정하기까지 10초 이내에 가능하다.

측정용 광학계로는 그림 3에서 보여준 카메라폰 렌즈를 사용하였으며, 모든 측정은 KS 규격에 따라 10번의 반복측정을 하였다. 이렇게 공간주파수 200 lp/mm까지 측정된 MTF 결과는 그림 8에 나와있다. 50 lp/mm의 공간주파수에서 약 0.67, 100 lp/mm의 공간주파수에서는 약 0.42이고, 200 lp/mm의 공간주파수에서는 약 0.20 이었다. 해당 카메라폰 렌즈의 광축 MTF는 그림 8에서 보듯이 135 lp/mm에서 0.3로 측정되었는데, 이는 본 측정 샘플을 제공한 회사의 제원에서 나오는 광축 MTF(주기적인 물체의 결상된 상을 보고 판단한 결과임)인 125 lp/mm보다 좋은 결과이다.

또한 고주파수 영역에서는 MTF가 0.2 %의 오차를 보이고 있음도 확인하였다. 또한 그림 1에서 보여준 비축을 구동하는 회전용 물체이송모터를 이용하여 15°를 이송하여 공간주파수 200 lp/mm까지 측정된 비축 MTF가 그림 9이다. 50 lp/mm에서 약 0.39, 100 lp/mm에서는 0.17, 200 lp/mm에서는 약 0.04의 MTF를 나타내고 있다. 그리고 MTF 0.3에서는 62 lp/mm이다. 그 결과 그림 8과 그림 9를 비교하면 비축 MTF가 광축 MTF에 비해서 성능이 확연히 나빠지는 것을 알 수 있다.

그리고 공간주파수 30 lp/mm ~ 80 lp/mm의 영역에서는 다른 공간주파수 부분에 비해 MTF 측정오차가 0.3 %으로 커지는 것을 확인하였다. 이는 영상평면의 직진도 오차와 물체 이송 모터의 위치 오차에 의한 영향이 더 첨가되었기 때문이다. 하지만 ISO 규격에서 MTF의 허용오차를 2 % 내로 규정하므로 본 측정장치를 사용한 측정오차 0.3 %는 매우 좋은 결과를 알 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 고해상도 카메라폰 렌즈에 대한 MTF 측정 장치를 제작하였다. 제작된 MTF 측정장치는 직경 수 mm인 소형 카메라폰 렌즈의 안정적인 설치를 위해서 광학면에 수직방향으로 구성하였다. 또한 거치대를 회전 할 수 있도록 하여 측정렌즈와 측정장치의 정렬상태를 모니터로 확인 할 수 있다. 거치대 회전 시 영상의 이동이 가장 작은 부분에서 광학계의 광축을 정확히 정렬 할 수 있다. 회전 거치대는 향후 렌즈의 편심을 측정하는데도 이용을 할 수 있으리라 생각한다. 또한 측정장치는 물체부 및 측정부가 하나의 장치 본체에 연결되어 측정을 위한 정렬이 편하다.

측정장치의 모든 구동은 VB(visual basic)언어로 직접 작성한 응용프로그램을 이용하였다. 샘플을 측정하는 동안 영상 검출기의 노출시간을 자동 조절할 수 있게 하였다. 또한 자동초점이 진행될 때 각 지점에서 영상의 변화된 모습을 직접 확인함으로써 실시간 자동초점 여부를 알 수 있다.

본 논문을 통해서 제작된 MTF 측정장치로 샘플용 카메라폰 렌즈들을 측정하였다. 그 결과, MTF의 반복 측정오차가 ISO 규격에서 규정하는 값에 비해 월등히 좋음을 확인하였기 때문에 본 논문에서 제안한 카메라폰용 MTF 측정 장치는 바로 산업계에 적용가능하리라 생각한다. 앞으로는 한 번에 하나의 렌즈 밖에 측정 할 수 없는 본 장비의 단점을 보

완한 대량 측정이 가능하도록 성능을 개선할 예정이다.

## 참고문헌

- [1] Stefan Bäumer, "Handbook of Plastic Optics", (WILEY-VCH, Weinheim, 2005), pp. 7-8.
- [2] Robert E. Fischer, Biljana Tadic-Galeb, "Optical System Design", (McGraw-Hill, New York, 2000), pp. 301-314.
- [3] H. H. Hopkins, "On the diffraction theory of optical images", Proc. Roy. Soc. vol. 217, pp. 428(1953).
- [4] 이윤우, 송재봉, 이회윤, "고해상도 카메라폰 렌즈 실시간 평가기술 지원", (한국표준과학연구원, 대전, 2005).
- [5] 송종섭, 조재홍, 홍성목, 이윤우, "다색광전달함수를 사용한 칼리 LCD 모니터의 광학적 상평가법", 한국광학회지, 16(1), 63-70 (2005).
- [6] 송종섭, 조재홍, 홍성목, 이윤우, 송재봉, "후면투사식 CRT 고화질 텔레비전용 광학엔진의 변조전달함수 측정을 위한 후방검사 변조전달함수 측정법", 한국광학회지, 16(1), 56-62 (2005).
- [7] 이지영, 송종섭, 조재홍, 장수, 임천석, 이윤우, 이인원, "카메라 렌즈 평가용 nodal slide형 실시간 OTF 측정장치", 한국광학회지, 13(2), 92-97 (2002).
- [8] 홍경희, "일차원적 비균일 개구변조가 광학계 MTF에 미치는 영향", 한국광학회지, 9(2), 59-62 (1998).
- [9] Glenn D. Broeman, "Modulation Transfer Function in Optical and Electro-Optical System", (SPIE PRESS, Washington USA, 2001), pp. 85-107.
- [10] ISO 11421:1997(E), "Optics and optical instruments - Accuracy of optical transfer function(OTF) measurement"
- [11] T.L.Williams, *The Optical Transfer Function of Imaging Systems*, (Sira Electro-Optics Ltd, Kent, UK, 1999). pp. 379-403.

## Development of an Equipment for measuring the MTF of Camera Phone Lenses

Sung Mok Hong and Jae Heung Jo

Dept. of Applied Optics and Electromagnetics, Hannam University, Ojung-dong 133, Daejeon 306-791, Rep. of Korea

Yun Woo Lee<sup>†</sup>, Hoi Youn Lee, Ho Soon Yang and In Won Lee

Space Optical Research Center, Korea Research Institute of Standards and Science, P.O. Box 102, Yusong-gu, Daejeon 305-600, Korea

<sup>†</sup>E-mail: ywlee@kriss.re.kr

Moon Whe Hur

#911 9F Gold Tower 386 bunji, Mamyeon-dong, Seo-gu, Deajeon 302-834, Korea

(Received November 27, 2006, Revised manuscript January 30, 2007)

In order to evaluate the performance of phone camera lenses, we have developed equipment for measuring the modulation transfer function(MTF) for small size lenses. The equipment is composed of an image analyzer, object generator, and a lens mount. The object generator is rotated for on and off-axis measurement. The lens mount is of horizontal type and tiltable for precise alignment to the optical axis. After the initial alignment process, the measurement is done within 10 seconds automatically