

Development of Super Wide Field Microscope Objective Lens

SeongMin Lee, KwangJin Lee, DeaYong Kim, SangHyun Lee, JinHo Jung
(475 Ami-ri), 186-40 Sina-ro, Bubal-eup, Icheon-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea
Tel : 82-31-636-9732, sales@prooptics.co.kr, www.prooptics.co.kr

ABSTRACT

5배 광시야 고분해 현미경 대물렌즈를 설계/제작하였다. 초점거리 200mm인 Tube Lens를 적용시 통상의 현미경은 Image circle size가 24mm인데 반하여 43.27mm 가 되도록 설계 제작하였다. 이는 Full Frame Image sensor (Image Format 24mm X 36mm)를 사용하여 산업용 검사 계측 장치에 사용하기 적합하게 하기 위함이다. 즉 기존의 5배 대물렌즈의 Field of View는 4.8mm임에 반하여 개발되어진 렌즈는 8.65mm이다. 한편 기존에 제작되어왔던 5배 대물렌즈의 NA는 보통은 0.15이고 High NA인 경우에 0.21임에 반하여 당 연구팀에 의하여 개발되어진 대물렌즈의 NA는 0.3이다. 이는 가시광선 영역에서 1um을 분해할 수 있다는 의미이다.

12k 5um, 16k 3.5nm line CCD를 사용하는 것에 대비하여 초점거리 300mm인 Tube Lens를 동시에 개발하여 현미경 광학계를 완성하였다.

추가로 5배 대물렌즈와 동일한 이미지센서를 사용하고 기존의 대물렌즈보다 분해능이 우수한 1배 및 2배 현미경 대물렌즈도 개발하였다.

Keywords : Super Wide Field, High NA, Microscope Objective Lens, Full Frame, 16k 3.5um Line CCD

REFERENCE

1. 프로옵틱스, “1um 분해 산업용 초광각 현미경 모듈 최종보고서”. 2019. 10.
2. 이승민. “Slanted Edge MTF를 이용한 현미경 대물렌즈의 초정밀조립에 대한 연구”. 충북대학교 석사학위논문 (2019).
3. 프로옵틱스, “광시야현미경 대물렌즈 및 영상 모듈 개발 1차년도 진도 보고서” 2021. 6.
4. https://www.youtube.com/watch?v=l6Jn_fwESU

1. INTRODUCTION

산업기술의 발달과 함께 각종 디스플레이소자 및 이미지센서, 전자회소 등에 사용되는 선폭과 크기는 미세화가 가속화 되고 이에 따라 산업용 카메라의 화소 수도 기하급수적으로 늘어나고 있다. 이러한 흐름에 부합하여 미세패턴을 검사하는 광학계에는 보다 넓은 면적을 보다 정밀하게 결상하는 검사 광학계의 개발에 대한 요구가 가속화되고 있다.

결상광학계는 크게 두 가지로 구분되는데, 정밀결상 만을 목적으로하는 ①일체형 결상광학계와 결상 광학계 내부에 조명계 및 AF광학계를 넣을 수 있는 구조인 ②현미경광학계로 구분된다. 현미경 광학계는 현미경 대물렌즈와 이미징용으로 사용되는 Tube Lens를 각각 설계/제작하고 결합하여 사용하기 위하여 중간에 평행광 구간을 두고 이 구간에서는 수차 역시 완벽하게 보정이 되도록 설계 제작하며 이 평행광 구간에 조명 및 AF 광학계로 분기하기 위한 BS 등을 삽입하는 구조를 취하고 있다.

당 연구는 현미경 광학계를 개발함에 있어서 ① 물체 분해능은 1um (기존 대물렌즈보다 분해능이 1.4배 선명하고) ② 이미지 서클사이즈가 43.27mm [기존의 1.8배] 이면서 ③ 중심과 주변에서 동일한 분해능을 갖는 5배 현미경 대물렌즈 및 이를 수용하는 Tube Lens를 개발함을 목표로 한다

2. 설계 및 제작 기술

2-1. 설계

- 최종 목표 : 1 μ m 분해 산업용 초광각 현미경 대물렌즈 및 AOI 시스템 개발
(f=40mm 대물렌즈 및 f=200/300mm Tube Lens 개발, 동축조명)
- 대물렌즈 Field of View : \pm 6.2도
 - 이미지 서클사이즈:
43.2mm(Tube Lens f=200mm, 24mm x 36mm Area Camera)
63.9mm(Tube Lens f=300mm, 12k5um Line CCD Camera)
 - 분해능 : 1 μ m (중심과 주변에서 동일한 분해능)

가. 현미경 대물렌즈 및 Tube lens(f200) 설계 및 공차 분석

표 2-1. 다양한 구조 및 렌즈구성으로 대물렌즈 설계를 진행

구분	총렌즈 매수	구면	하이브리드	비구면
렌즈구성 I	12	12	-	-
렌즈구성 II	10	8	2	-
렌즈구성 III	10	8	-	2
렌즈구성 IV	12	11	-	1



Fig. 2-1. 4가지 기초 설계와 양품률.

나. 재질변경에 따른 대물렌즈 성능보정 진행([] → 최적화)

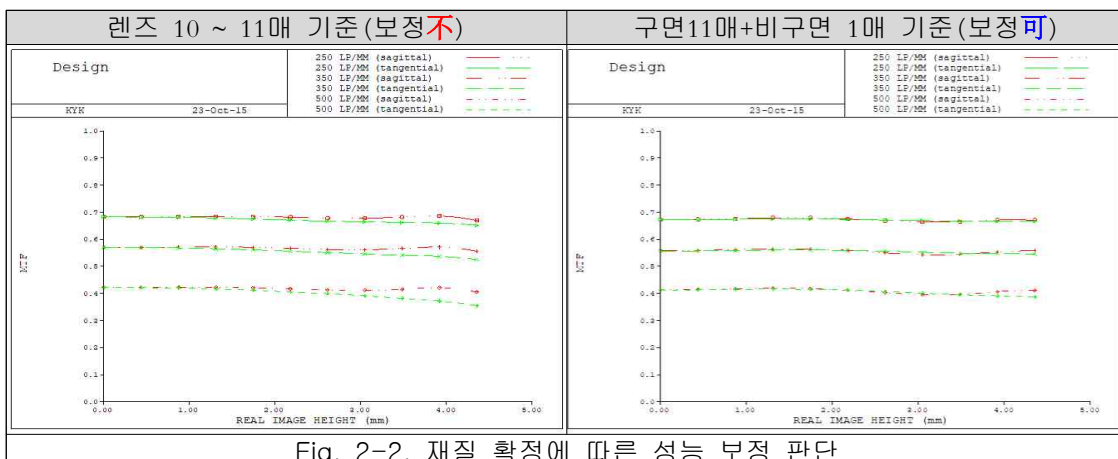


Fig. 2-2. 재질 확정에 따른 성능 보정 판단

다. 다양한 대물렌즈 공차 분석

Tilt	10"	Tilt	10"
Decenter	5 μ m	Decenter	5 μ m
Thickness	$\pm 20\mu$ m	Thickness	$\pm 5\mu$ m

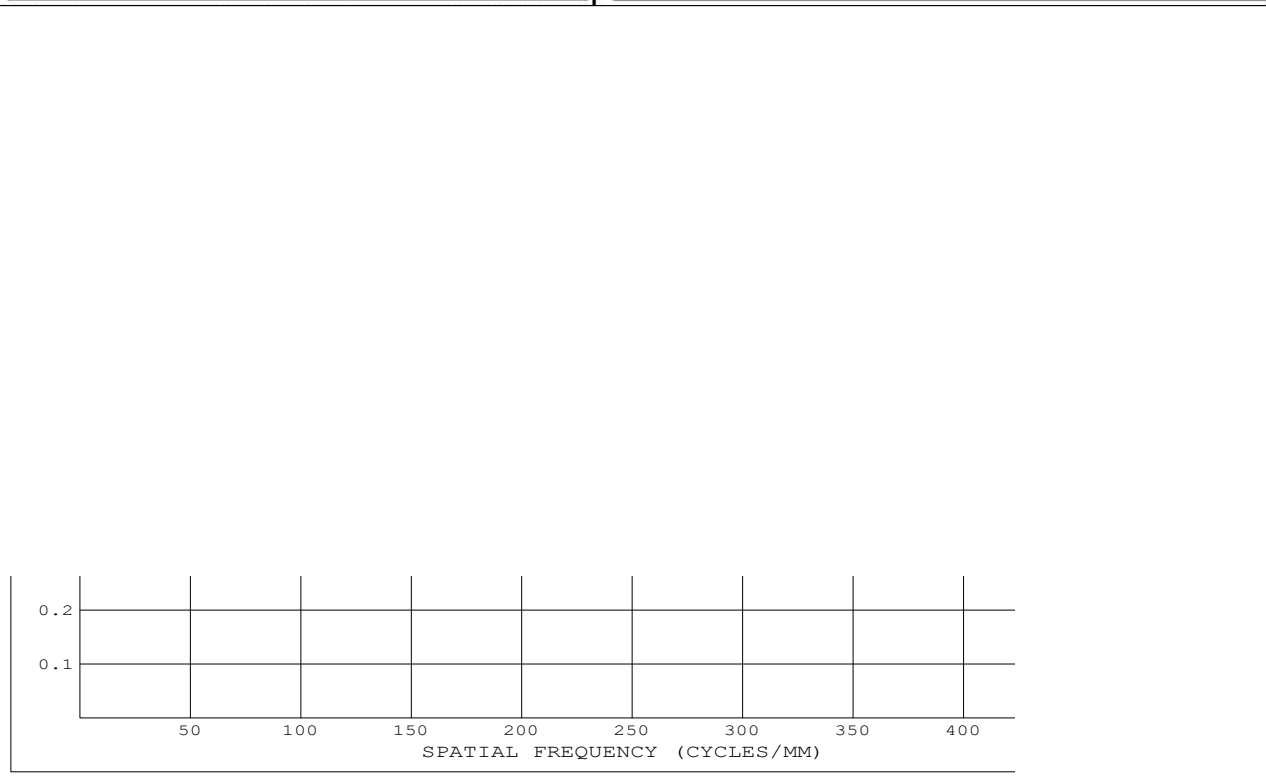
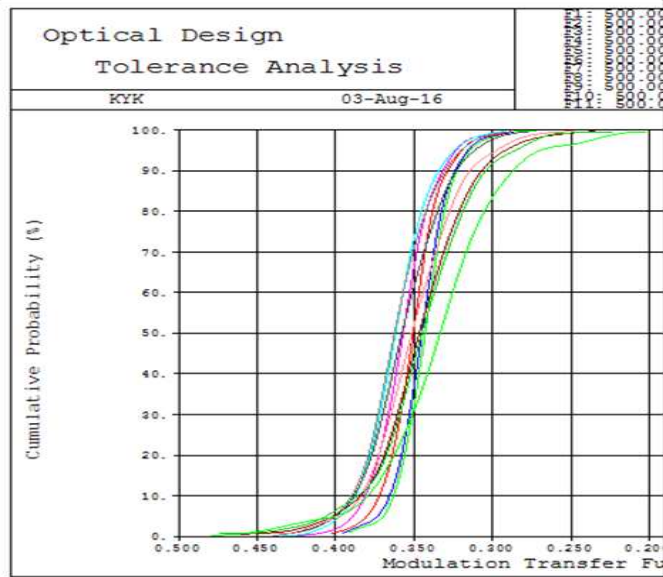
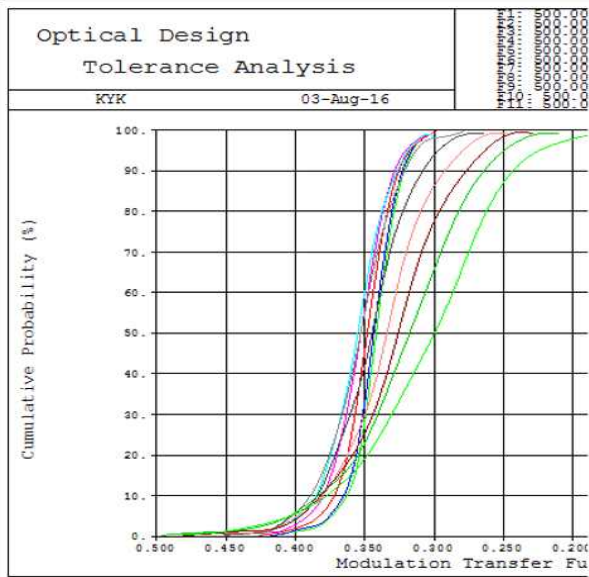


Fig. 2-3. 공차에 따른 양품을 판단.

라. f=200mm Tube렌즈 설계 및 공차 분석

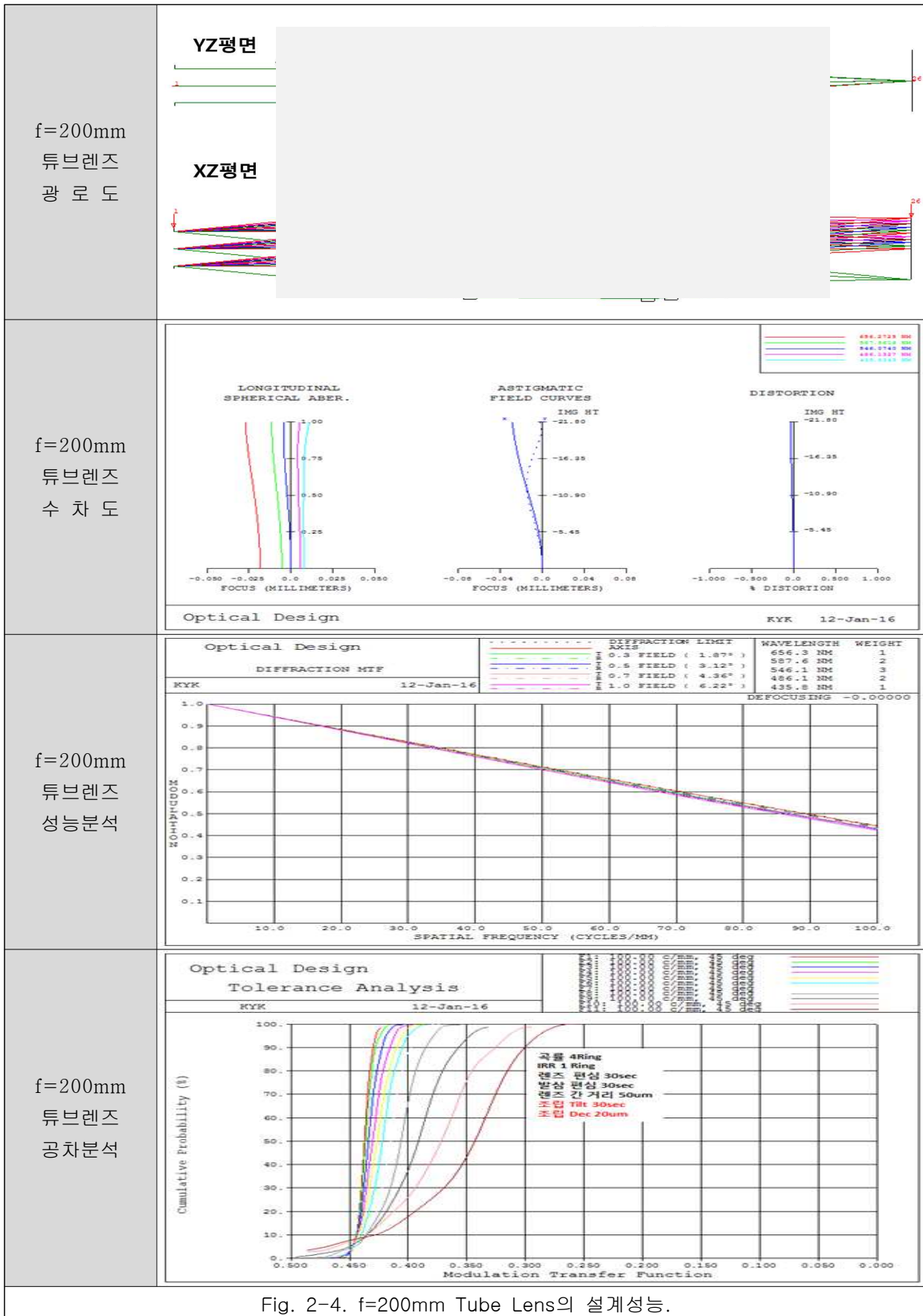


Fig. 2-4. f=200mm Tube Lens의 설계성능.

2-2. 제작 기술

제작에 사용된 핵심 기술 및 간략한 설명은 아래와 같으나 상세한 설명은 기술보안상 생략하고자 한다.

- 제작오차에 따른 양품률을 고려한 광학 설계
- 내면반사 최소화 기구설계
- 무편심 접합기술 : 렌즈 접합시 접합 편심을 5초 이내로 접합하는 기술
- 초저 반사 코팅 : 사용되는 렌즈의 모든 면을 평균 0.2% 이하로 무반사코팅하는 기술
- 무편심 Mounted Lens 제작 기술 : 기구물로 마운트 된 각 렌즈의 편심을 5초이내로 제작하는 기술
- 초정밀 적층 조립 기술 : 마운트된 렌즈를 편심이 없도록 적층하는 기술
- 잔류오차 보정 조립 기술 : 적층된 마운트 렌즈의 잔류 오차를 보정하는 기술

3. 잔류오차 보상조립 및 성능 평가

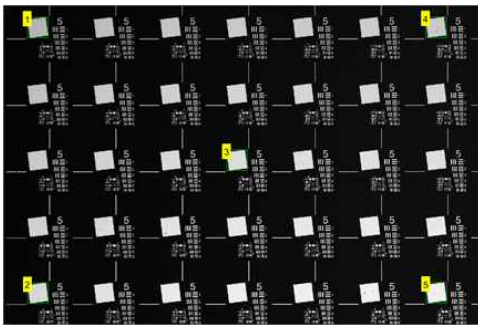


Fig. 3-1. Slanted MTF의 측정.

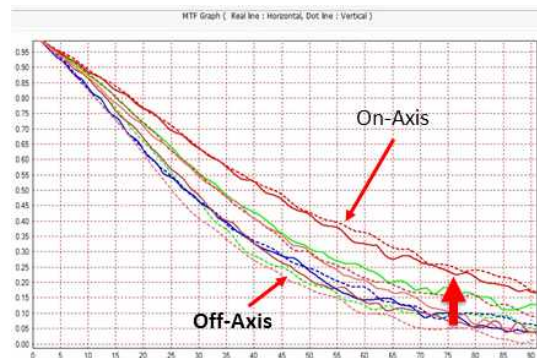


Fig. 3-2. 무편심조립된 광학계의 잔류오차.

무편심 적층 조립을 하고 난 후에 성능을 측정하여 보면 중심과 주변에서 MTF성능의 불균형이 발생하게 된다. 당 연구에서는 이미지센서를 이용한 Slanted MTF 측정 방법으로 측정하였다.

상기 그림 3-1은 이미지 센서에 결상된 표판의 영상을 보이고 있고 중심과 주변 총 5곳의 MTF를 계산한 결과 그림 3-2와 같이 측정되었다.

우측 그림에서는 5곳의 수직/수평 MTF, 총 10개의 MTF 곡선을 보이고 있는데, 중심에 비하여 주변부의 MTF가 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 아무리 편심의 최소화하여 부품을 제작하고 적층조립을 하여도 누적된 잔류 오차로 인하여 성능이 저하되어 나타나는 현상이다.

이제 설계시 설정한 보상자를 이용하여 성능 보상을 실시하여 아래 그림 3-3의 우측과 같이 중심과 주변의 MTF가 거의 동일한 결과를 얻었다. 그림 3-3은 당 연구에서 제작된 2개의 5배 현미경 광학계 샘플에 대하여 공인인증기관(한국표준과학연구원)에서 측정한 MTF값(좌측 및 중앙)과 당사의 방법(Slanted MTF)으로 측정한 값(우측)이 거의 동일함을 보이는 그림으로 당 연구진에서 개발한 Slanted MTF측정 방법은 이미지센서를 이용하여 중심과 주변의 MTF를 동시에 실시간으로 측정(분당 2회이상)함에도 불구하고 초정밀하게 측정하는 방법과 동일한 성능을 나타냄을 보이고 있다.

* 표준연구원의 MTF측정은 현미경을 이용하여 PSF를 확대결상한 후 측정하는 방법으로 초정밀한 반면 시간이 오래 걸리기 때문에 중심부만 측정 하였음

그림 3-4는 중심과 주변에 다수의 이미지 센서를 이용하여 USAF 1951 Chart의 결상 성능을 분석하는 방법으로 당 연구에 의하여 제작된 렌즈에서는 9G1E(0.976um)가 중심 및 주변 Full Field에서 선명하게 보이는 반면 기성품은 중심에서는 8G6E(1.096um)가 보이지만 주변부에서는 많은 차이가 있음을 알 수 있다.

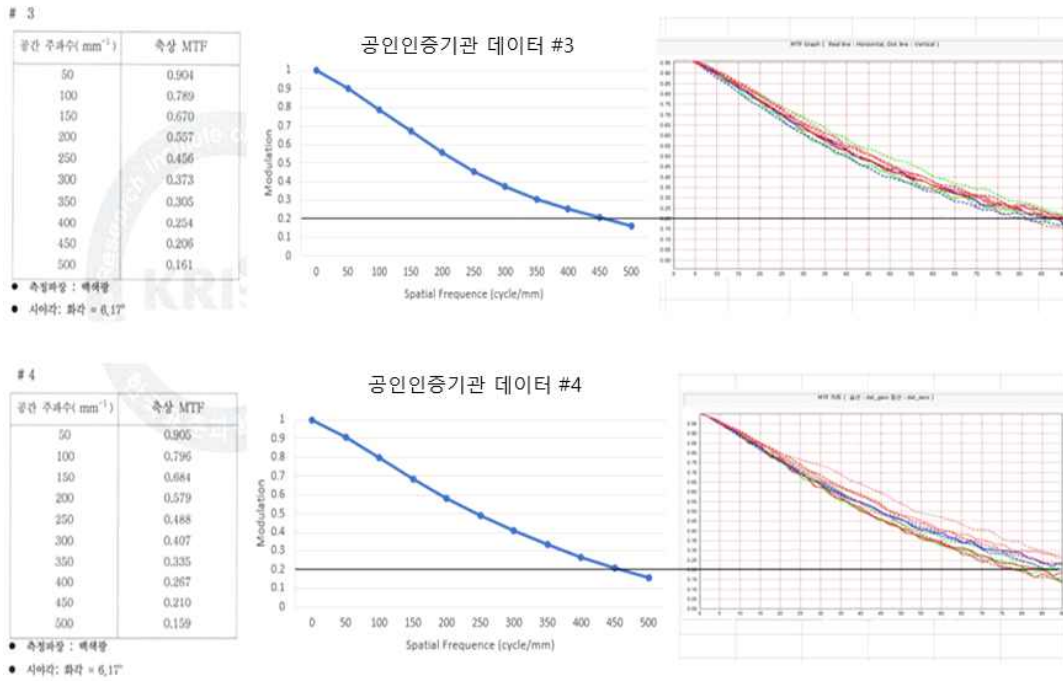


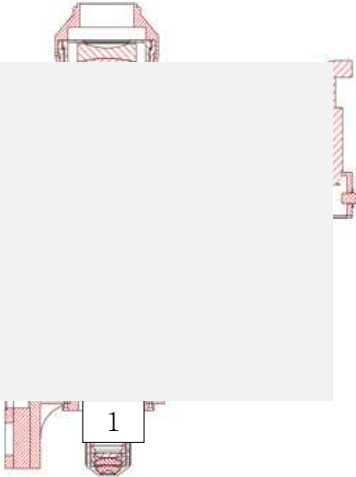
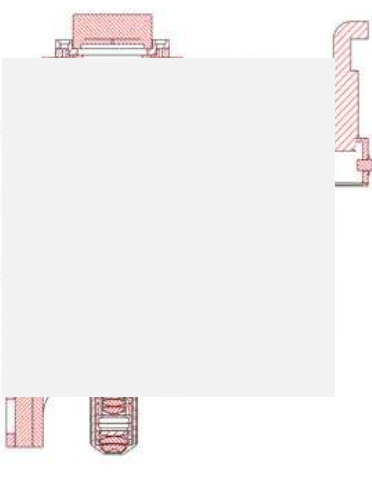
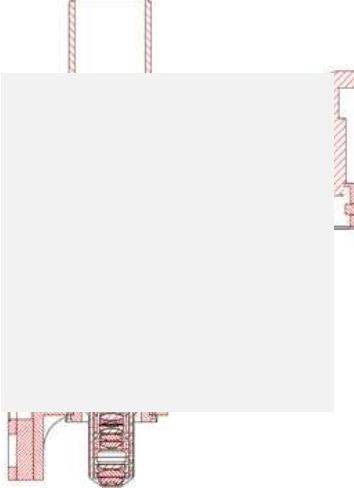
Fig. 3-3. MTF 성능 graph

Parameter	Wide Angle Objective 5x	Other 5x	Remarks
Center			8G6E : 456.1lp/mm 1.096um 9G1E : 512lp/mm 0.976um
0.5 Field (FOV : 4.4mm)			
0.75 Field (FOV : 6.6mm)			
Full Field (FOV : 8.7mm)			

그림 3-4. 5배 광학계의 USAF 1951 분해능 표판 결상 영상

4. Application

- 5배 광모듈 사진 및 구조 설명

Sensor Size 43mm	61.4mm (12K 5um)	82mm (16K 5um)
		
1 : Wide Angle Objective Lens 2: F200 Tube Lens 3. Coaxial Illumination Module	2-1: F297 Tube Lens	2-2 : F377 Tube Lens

- Ref. 4(동영상 자료) : https://www.youtube.com/watch?v=l6Jn_fwESU

5. 1x 대물렌즈 개발

그림 5-1에서는 1배 대물렌즈의 광로도를, 그림 6-2에서는 Tube Lens의 광로도를 그림 6-3에서는 제작되어진 현미경 광학계(1배 대물렌즈 + Tube Lens)의 MTF 성능을 보이고 있다.

표 5-1에서는 제작되어진 1배 현미경 광학계의 사양을 보이고 있다.



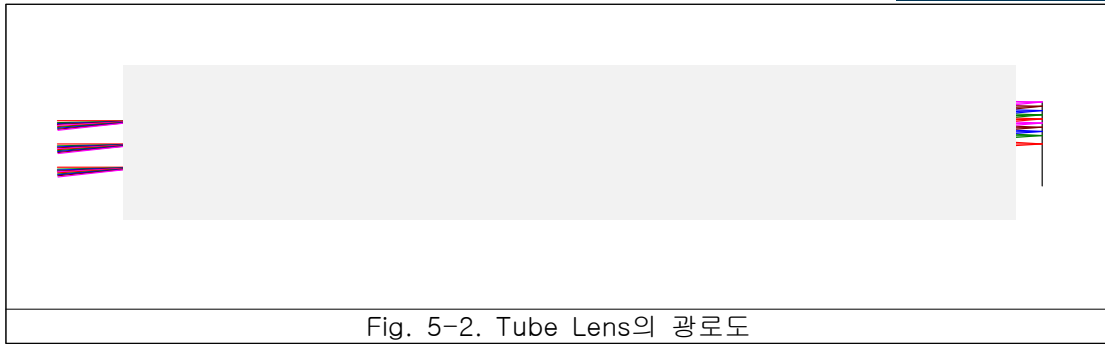


Fig. 5-2. Tube Lens의 광로도

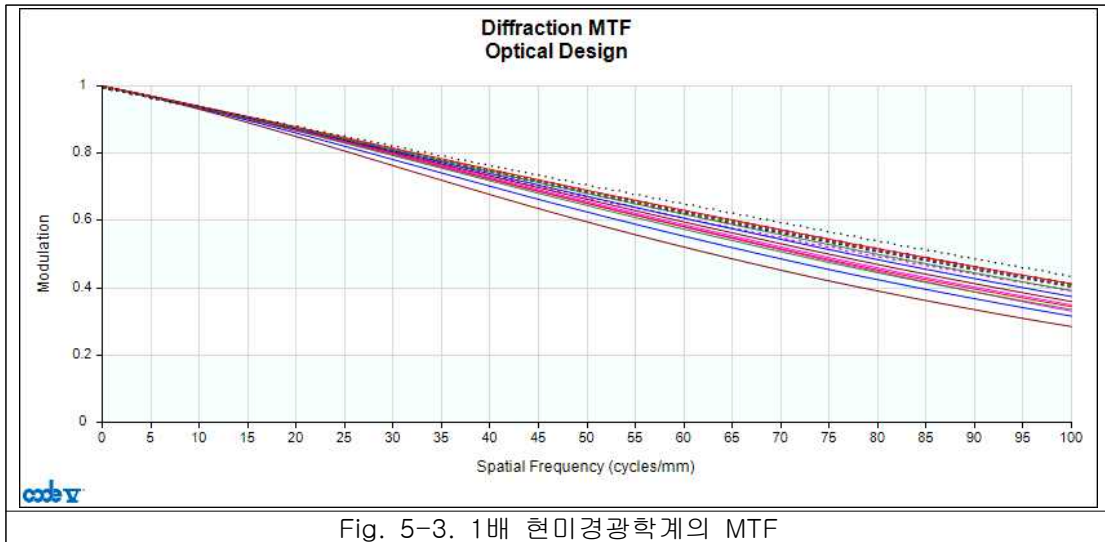


Fig. 5-3. 1배 현미경광학계의 MTF

Table 5-1. 1X Wide Angle Objective Lens 사양	
구 분	1X Wide Angle Objective 사양
Numerical Aperture, NA	0.06
Working Distance, WD(mm)	30
초점 거리(mm)	200
Resoution (um)	5.4
Depth Of Focus(um)	90
Field Of View(mm)	43

6. 2x 대물렌즈 개발

그림 6-1에서는 2배 대물렌즈의 광로도를, 그림 6-2에서는 제작 되어진 현미경 광학계(2배 대물렌즈 + Tube Lens)의 MTF 성능을 보이고 있다.

표 6-1에서는 제작되어진 2배 현미경 광학계의 사양을 보이고 있다.

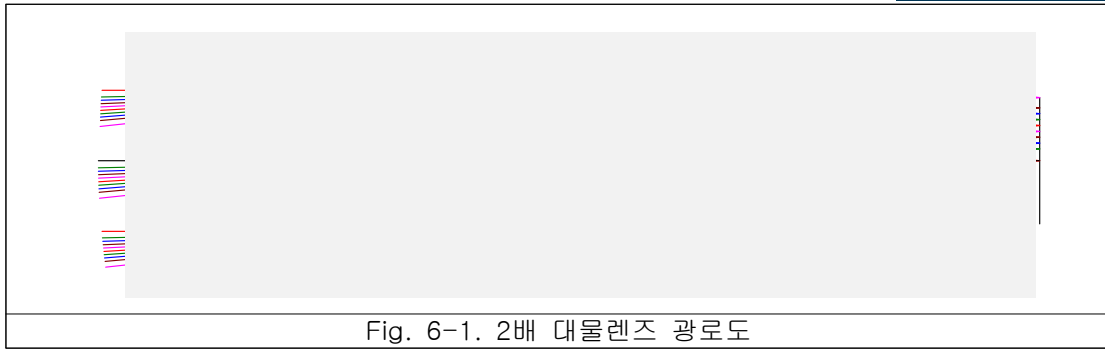


Fig. 6-1. 2배 대물렌즈 광로도

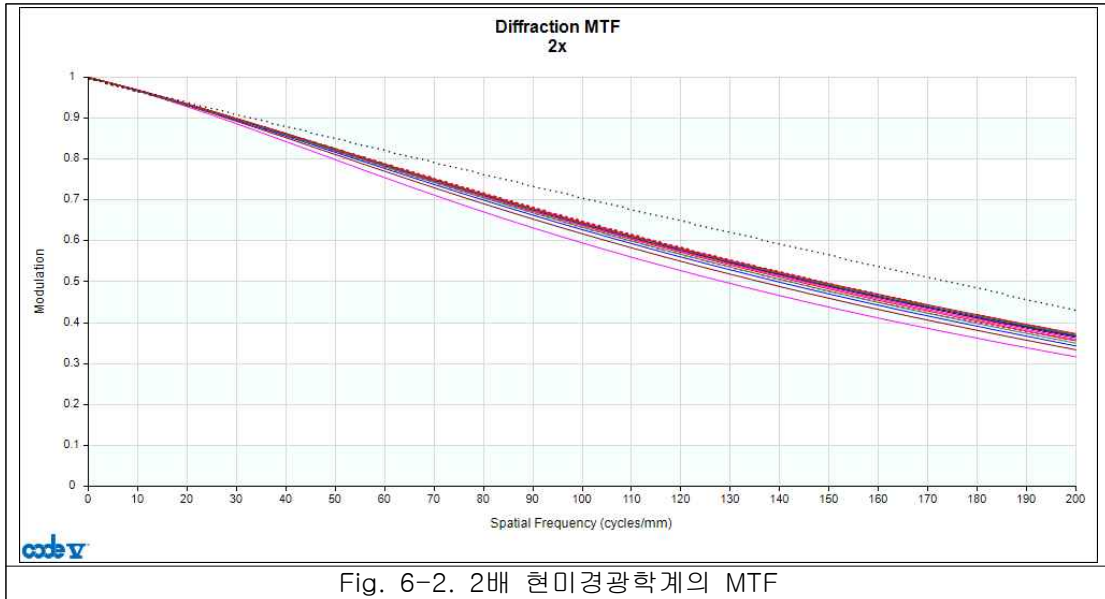


Fig. 6-2. 2배 현미경광학계의 MTF

Table 6-1. 2X Wide Angle Objective Lens 사양	
구 분	2X Wide Angle Objective 사양
Numerical Aperture, NA	0.12
Working Distance, WD(mm)	30
초점 거리(mm)	100
Resoution (um)	2.7
Depth Of Focus(um)	22.5
Field Of View(mm)	21.5

6. CONCLUSION

기존의 대물렌즈보다 화각이 1.8배이고 분해능이 우수한 현미경 대물렌즈와 각 Tube Lens를 개발하였다. 이 현미경광학계는 OLED Micro-LED 및 미세화소용 이미지센서의 검사공정등에 적용되어 보다 넓은 면적을, 보다 정밀하게 검사하여 검사 시간을 획기적으로 단축 시킬수 있을 것이다. 제작되어진 광학계의 spec은 아래와 같다

6-1. 5x Wide Angle Lens System

구 분		Spec
사용목적		Inspection
광 원		435~650nm
Detector		43mm @ F200mm Tube Lens 61.4mm @ F297mm Tube Lens 82mm @ F377mm Tube Lens
Object FOV		Dia 8.7mm
시스템 배율		5X @ F200mm Tube Lens 7.42x @ F297mm Tube Lens 9.42x @ F377mm Tube Lens
Object NA		0.3
Working Distance		6.49mm
TTL		573.51mm
성능	Resolution (MTF)	1um (0.3 @ 500lp/mm)
	Dist	< 0.01%
조명		동축 조명, 비축 조명 가능
Option		Auto Focus 모듈 장착 가능

6-2. 1x Wide Angle Lens System

구 분		Spec
사용목적		Inspection
광 원		435~650nm
Detector		43mm @ F200mm Tube Lens
Object FOV		Dia 43mm
시스템 배율		1X @ F200mm Tube Lens
Object NA		0.06
Working Distance		30mm
TTL		590mm
성능	Resolution (MTF)	5um (0.3 @ 100lp/mm)
	Dist	< 0.02%
조명		동축 조명, 비축 조명 가능
Option		Auto Focus 모듈 장착 가능

6-3. 2배 광학계

구 분	Spec
사용목적	Inspection
광 원	435~650nm
Detector	21.5mm @ F200mm Tube Lens
Object FOV	Dia 43mm
시스템 배율	2X@ F200mm Tube Lens
Object NA	0.12
Working Distance	30mm
TTL	590mm
성능	Resolution (MTF) (0.3 @ 200lp/mm)
	Dist < 0.02%
조명	동축 조명, 비축 조명 가능
Option	Auto Focus 모듈 장착 가능