

생물광자 영상장치를 위한 렌즈 설계

Lens design for biophoton imaging system.

이승호, 양준모, 이창훈, 심성보*, 김재순*, 소광섭

서울대학교 자연과학대학 물리학과 한의학 물리 연구실, NAMO 연구실*

seunghoyi@phy.snu.ac.kr

생물체에서 나오는 초미약 광자인 생물광자가 1930년대 러시아의 알렉산드 구르비치(1)에 의해서 처음 보고된 후, 1980년대 광전자 증배관(PMT)이 도입됨에 따라 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 생물광자는 200 - 800 nm의 파장대에 있으며, 세기는 대략 10^{-16} W/cm² 정도 된다고 알려져 있다. 이 생물광자의 기원에 대해서는 대략 두 가지 가설 즉, DNA의 변형과정에서 발생한다는 설과⁽²⁾ 활성산소(ROS)에 의한다는 설이⁽³⁾ 제시되고 있다. 그러나 생물광자가 생물이나 생체조직의 상태를 반영할거라는 관점에서 두 가설 모두 일치하고 있다. 현재까지 살아 있는 세포들, 조직, 인간을 대상으로 한 많은 생물광자 실험들이 행해졌는데, 실험시 주로 PMT가 광자검출기로 사용되어 왔다. PMT는 미약광 측정용으로는 적합하지만 전체 생물광자 파장 대역을 고려하면 좁은 스펙트럼 응답 영역을 가지고 있다는 단점이 있다. 또한 대부분의 경우 PMT는 생물에서 나오는 생물광자의 총량을 측정하는데 주로 사용되므로 생물광자의 2차원 분포를 얻기에는 부적합하다.

본 연구에서, 우리는 PMT의 단점을 극복하기 위해서 CCD를 사용한 2차원 생물광자 영상 장치를 제작하였다. 전체 생물광자 대역에서 빛을 검출할 수 있는 고감도 CCD를 검출기로 사용하였으며, 집광 효율을 높이기 위해서 렌즈를 자체 설계하였다. 400 nm 이하의 빛을 투과시키기 위하여 Silica 렌즈를 사용하였으며, 렌즈면에서 발생하는 반사를 줄이기 위해 4개의 렌즈를 사용하였다. 또한 대물렌즈에 도달하는 빛의 양을 증가시키기 위해 초점거리를 100 mm로 설정하였다. 사진기에 사용된 CCD chip의 크기는 8.2 x 8.2 mm²로 Image field는 chip 전체 영역을 사용할 수 있는 크기인 +/- 6 mm로 정했으며 자세한 사항은 Table 1에 나와 있다. Simulation 결과 모서리에서 Image 왜곡이 보이거나 무시할 수준이었다. Simulation에 의해서 선정된 surface data (Table 2)에 가장 근접한 상용렌즈를 사용하여 실제 렌즈계를 제작하였다. 렌즈의 성능을 확인하기 위해 약한 빛을 조사하면서 나뭇잎의 영상을 얻었다. 초점 거리를 변화 시키면서 얻은 영상을 토대로 실제 사용가능한 초점 심도를 구했는데, 3 mm 정도로 생물광자 실험에 적합함을 확인할 수 있었다.

참고논문

1. A. G. Gurvich, "Ueber den Begriff des embryonalen Feldes", Arch. Entw. Mech. Org. 51, 383-415 (1922).
2. F. A. Popp, et. al. "Biophoton emission, new evidence for coherence and DNA as source", Cell Biophysics. 6, 33-52 (1984).
3. M. Kobayashi, et. al. "Two-dimensional photon counting imaging and spatiotemporal characterization of ultraweak photon emission from a rat's brain in vivo", J. of Neuroscience Methods 93, 163-168 (1999).

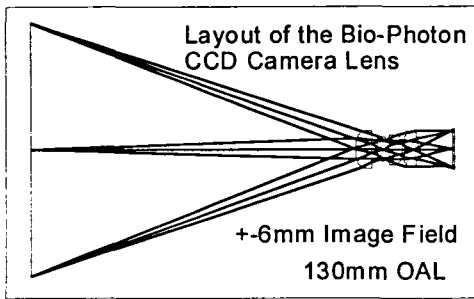


그림 1. 생물광자 촬영용 전체 렌즈계

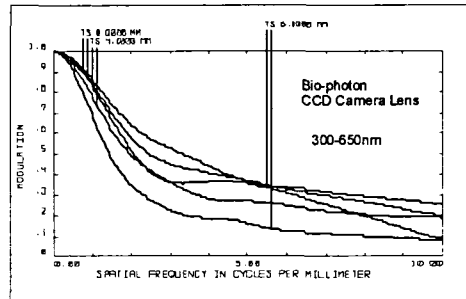


그림 2. MTF curve

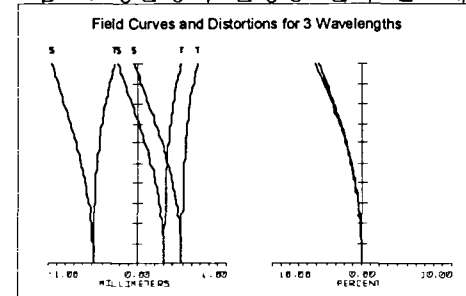


그림 3. 상면 만곡과 왜곡

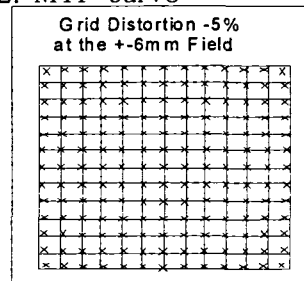


그림 4. Distortion map

General		Elements (Surfaces)	4(8)
		Stop Surface	No 4
		Field Angle	+/- 20.4
		Spectrum	300-650nm
		Material	Silica (1,4623)
Paraxial	Infinite Conjugate	EFL (500nm)	14.65mm
		F/#	2.27
	Finite Conjugate	Objective Distance	100mm
		Magnification	-0.15
		Image Space F/#	2.06
		Image Height	6mm

표 1. System prescription data for CCD camera lens assembly

Surface	Radius	Thickness	Glass	Diameter
OBJECT	Infinity	100		80.38
1	12.9	4.9	SILICA	11.65
2	Infinity	1.58		8.91
3	-20.9	2	SILICA	7.35
STOP	20.9	1.52		5.81
5	Infinity	3.9	SILICA	7.09
6	-10.3	0.5		9.09
7	19.7	4.9	SILICA	10.40
8	-19.7	10.98		11.09
9	Infinity	-0.3		12.40
IMAGE	Infinity			12.10

표 2. Surface data for the lens assembly (unit : mm)

