

세포 골격의 시각화 구현을 위한 단일 편광 조정 편광현미경 Single polarization modulation polariscopic microscope for visualization of cytoskeleton

신 인희, Raja S. Duggineni, 안 남희, 신 상모, 김 덕영
광주과학기술원 정보통신공학과
E-mail: ih-shin@gist.ac.kr

Abstract

Single polarization modulation polariscopic microscope for visualization of cytoskeleton was proposed for the first time. Algorithm of the single polarization modulation polariscopic microscope has been explained and accuracy and precision of the single polarization modulation polariscopic microscope have been measured in this paper.

1. 서론

최근 생체 세포 및 조직 등이 이방성의 단백질 구조를 가짐으로써, 고유한 복굴절 특성을 가지고 있음이 보고되고 있으며⁽¹⁻³⁾, 이를 위해, 다양한 형태의 편광현미경이 연구되고 있다. 또한 생체 세포의 복굴절 특성에 관한 연구가 진행됨에 따라, 편광현미경은 세포 골격의 시각화를 위한 중요한 도구로써 주목받고 있다⁽⁴⁻⁷⁾. 본 논문에서는 세포 골격의 시각화 구현을 위한, 높은 정확도 및 정밀도를 갖는 새로운 형태의 편광현미경이 제안된다.

2. 실험

그림 1은 단일 편광 조정 편광현미경의 기본 구성도를 나타내고 있다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 단일 편광 조정 편광현미경은 편광자와 $\lambda/4$ 파장판 및 분석자로 구성되며, 각각의 컴퍼넌트는 z축에 대해 0° , 45° 및 90° 로 배열되고, 편광자의 조정에 따라 그림 2와 같은 광 강도의 변화가 CCD 카메라와 Frame grabber에 의해 획득된다. 획득된 광 강도 표현으로부터, 수식 1과 수식 2와 같은 위상 지연(Phase retardation), δ 및 주축 방향(Principal axis orientation), ϕ 가 결정된다.

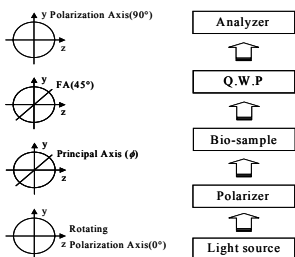


그림 1. 단일 편광 조정 편광현미경의 기본 구성도

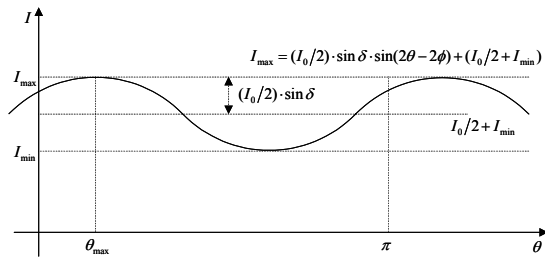


그림 2. 단일 편광 조정 편광현미경에서 획득되는 광 강도

$$\delta = \sin^{-1} \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (1)$$

$$\phi = \theta_{\max} - \pi/4, \quad (2)$$

이러한 방법을 바탕으로, 단일 편광 조정 편광현미경의 정밀도와 정확도가 $\lambda/8$ 파장판을 사용하여

측정되었다. 본 편광현미경의 정밀도와 정확도의 측정을 위해 $\lambda/8$ 파장판의 위상 지연과 주축 방향의 측정이 10차례 반복되었으며, 그림 3 및 4는 10회 반복 측정된 $\lambda/8$ 파장판의 위상 지연과 주축 방향을 나타내고 있다.

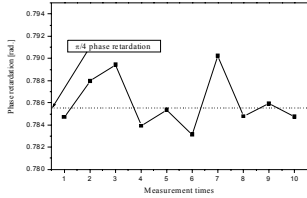


그림 3. $\lambda/8$ 파장판의 위상 지연 분포

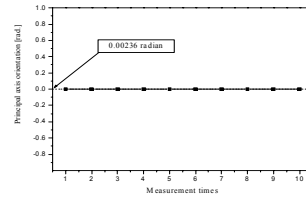


그림 4. $\lambda/8$ 파장판의 주축 방향 분포

3. 실험 결과 및 분석

$\lambda/8$ 파장판을 이용한 단일 편광 조정 편광현미경의 정밀도에 있어서, 위상 지연의 경우 2.38×10^{-3} rad., 주축 방향의 경우 0 rad.의 표준편차를 나타내었으며, 정확도에 있어서는, 위상 지연의 경우 6.4×10^{-4} rad., 주축 방향의 경우 2.36×10^{-3} rad.의 측정오차를 나타내었다. 이로써, 본 논문에서 제안된 단일 편광 조정 편광현미경은 높은 정밀도와 정확도를 갖고, 생체 세포 및 조직의 복굴절 특성 연구 및 세포 골격의 시각화 구현에 있어 중요한 도구로써 사용될 수 있을 것으로 확신된다.

4. 결론

본 논문에서는 생체 표본의 복굴절 특성 연구 및 세포 골격의 시각화 구현을 위한 새로운 방식의 편광현미경 시스템이 제안되었다. 제안된 편광현미경은 편광자, $\lambda/4$ 파장판 및 분석자로 이루어지며, 파장판의 편광 조정에 따른 광 강도의 변화를 분석함으로써 측정 대상의 위상 지연 및 주축 방향을 결정할 수 있었다. 또한 제안된 단일 편광 조정 편광현미경의 정밀도 및 정확도를 $\lambda/8$ 파장판을 이용하여 측정함으로써, 본 편광현미경 시스템이 높은 정밀도와 정확도를 가지며, 생체 표본 및 세포 골격의 시각화 구현에 적용 가능성이 확인되었다.

Acknowledgment

This work was supported by Creative Research Initiatives (3D Nano Optical Imaging Systems Research Group) of MOST/KOSEF

참고문헌

1. M. R. Hee, D. Huang, E. A. Swanson and J. G. Fujimoto, *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 9, 903~908 (1992).
2. M. Ebisawa, Y. Otani and N. Umeda, *Proceeding of SPIE*, Vol. 5462 (2004).
3. K. Schoenenberger, B. W. Colston Jr., D. J. Maitland, L. B. Da Silva and M. J. Everett, *Applied Optics*, Vol. 37, 6026~6036 (1998).
4. R. Oldenbourg and G. Mei, *J. Microscopy*, Vol. 80, 140~147 (1995).
5. S. Yu, Berezchna, I. V. Berezchnyy and M. Takashi, *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 18, 666~672 (2001).
6. J. R. Kuhn, Z. Wu, and M. Poenie, *J. Biophys.*, Vol. 80, 972~985 (2001).
7. R. M. A. Azzam, *Opt. Comm.*, Vol. 25, 137~140 (1978).