

초소형 표면형상 측정기를 위한 액정 페브리-페롯 소자

Liquid Crystal Fabry-Perot Device for a Miniatured Surface Profilometer

박창섭¹, 박지섭², 정운상², 김지현², 강신원^{1,2}, 김학린^{1,2*}
¹경북대학교 센서 및 디스플레이공학과, ^{2*} 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
pcseobi@naver.com

1. 서론

현대사회에서 정확한 표면 형상측정은 물건의 생산성과 질을 높일 수 있는 점에서 중요성이 대두되고 있다. 지금까지 개발되어온 광학형 표면형상 측정기의 측정방식은 대표적으로 간섭계를 이용한 방식¹⁾과 동적인 fringe 패턴을 만들어내는 디지털 패턴 프로젝션 방식²⁾을 들 수 있는데, 간섭계를 이용한 방식은 복잡한 광학계를 구성하여야 하며, 격자의 간격이 기계적인 조절로 결정이 되어 정확하고 빠른 표면 측정을 하기에는 많은 어려움을 가진다. 그리고 이를 개선한 동적인 fringe 패턴을 만들어내는 프로젝션 방식은 패턴 밀도의 변화, 동적인 fringe 패턴의 생성 등 많은 초기의 간섭 패턴 방식을 많이 개선하였지만, 디지털 장비 사용함으로써 인한 제한된 환경, 비싼 비용, 소형화된 장비의 부재 등의 단점으로 인한 표면형상장비의 소형화에 많은 어려움을 겪고 있다.

본 연구에서는 기존의 디지털 fringe 패턴 프로젝션 방식에 비해 단일 파장 레이저와 초소형 단일 LC-FP(Liquid Crystal Fabry-Perot) 시편만으로 동적 fringe 패턴이 형성 가능한 방법을 모드 분석을 통한 대상 물체에 맺히는 기준 패턴의 해석을 통해 제안하며, 이전의 방식보다 간단하고 저비용의 측정 장비만으로 제한된 공간에서의 표면 형상 측정이 가능한 초소형 형상측정기술을 제공하고자 한다.

2. 구조 및 원리

제안된 구조에서 동적 간섭 패턴은 단일 광원/단일 광학 시편만으로 이루어지며, 이는 액정이 배

향된 FP 시편 내의 광경로에 따른 공간적 간섭 현상에 의하여 형성된다.

그림 1은 제안된 LC-FP 소자의 구조를 나타낸 도식도이다. 제안된 LC-FP 소자는 수직 배향막, 유전 반사막, ITO 전극 층이 기판으로부터 차례로 형성된 두 기판사이에 음의 유전이방성을 지니는 네마틱 액정을 배향함으로써 구성된다. 제작된 소자의 FP cavity는 15 μm의 액정층과, 700 μm의 glass층으로 이루어지며, $n_o=1.4747$, $n_e=1.5571$ 의 이방성 굴절률을 가지는 네마틱 액정을 이용하였다.

전장의 인가가 없는 LC-FP 소자에 빛을 입사하면 LC-FP 소자는 간섭계 내부의 축성 대칭성을 띤 굴절률 분포에 의하여 동심원 모양의 간섭패턴을 만들어 내게 된다. 여기에 전장을 인가하게 되면, 네마틱 액정의 이방성으로 인해 이상광의 경로가 변하게 되는 반면에 정상광의 경로는 변하지 않는다. 이에 따른 LC FP의 위상지면에 의한 간섭패턴은 다음과 같이 나타낼 수 있다³⁾.

$$\delta = \frac{2\pi d_{lc}}{\lambda} [(n_{eff,r} \cos \phi_{lcr} + n_{eff,t} \cos \phi_{lcl}) + \frac{4\pi d_g n_g}{\lambda} \cos \phi_g] \quad (1)$$

$$\frac{1}{(n_{eff,r,effl})^2} \approx \frac{\cos^2(\theta_{lc} - \phi_{lcr,lcl})}{n_o^2} + \frac{\sin^2(\theta_{lc} - \phi_{lcr,lcl})}{n_e^2} \quad (2)$$

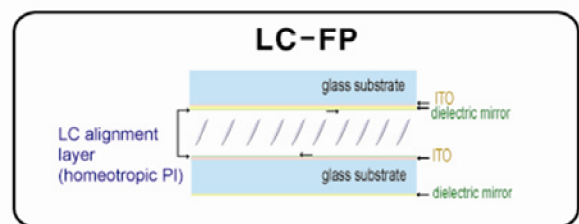


그림 1. 제안된 LC-FP 소자의 구조도

(단, 여기서 δ λ 는 각각 위상지연, 입사파장을 나타내며, $d n_{eff, eff} d_g n_g$ 는 각각 액정층의 두께, 액정의 유효굴절률, 그리고 ITO 유리층의 두께 및 굴절률, $\phi_{lcr, lcl}$, θ_{lc} 는 각각 빛의 입사각, 액정의 편향각을 나타낸다.)

LC-FP 소자는 다른 fringe 패턴을 가지는 소자와 마찬가지로 대상 격자에 맺히는 기준 크기가 정해져야만 측정하고자 하는 대상의 단차 정보를 정확히 알 수가 있다. LC-FP 소자에서 전압 변화에 의해 나타나는 차수 변화를 정리하고, 이 때 나타나는 모드를 분석하면 대상 물체에 맺히는 기준 fringe 패턴의 diameter D_p 은 다음과 같은 수식으로 주어진다.

$$D_p^2 = 4f^2 \frac{n_{eff}(v)n_g[(p-1+e)\lambda + (2d_{lc}\Delta n_{eff})]}{(n_g d_{lc} + n_{eff}(v)d_g)} \quad (3)$$

3. 실험 및 결과

그림 2는 제작된 LC-FP 소자에 빛을 입사하여 CCD로 간섭 패턴을 측정하기 위한 실험 구성도이다. 그림과 같이 레이저 광원에서 나온 빛은 LC-FP 소자로 입사되며, 소자로부터 나온 fringe 패턴은 대상 물체에 맺혀 왜곡된 fringe 패턴을 형성하며 CCD를 통해 컴퓨터로 형상화 된다.

그림 2와 같이 fringe 패턴의 diameter D_p 를 측정된 결과와 위에서 도출한 기준 fringe 패턴 수식을 이용한 simulation 결과의 비교를 그림 3에 나타내었다. 측정된 diameter 결과는 simulation에서 나타난 결과와 거의 동일한 결과를 나타내고 있으며, 위의 결과를 통해 단일 소자와 단일 광원을 이용한 초소형 광학형 표면 형상 측정기의 제작이 가능해 의료영상 분야에 매우 유용하게 적용될 수 있으리라 기대한다.

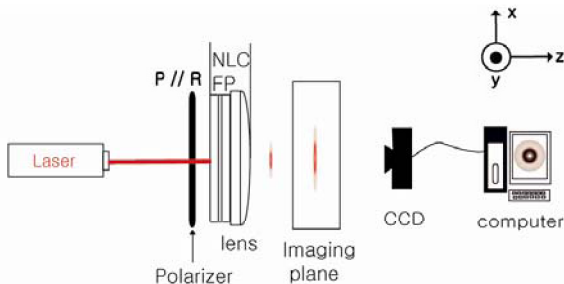


그림 2. LC-FP 소자의 간섭 패턴 측정을 위한 실험 장치도.

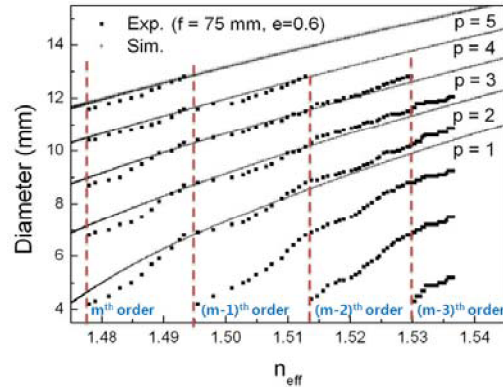


그림 3. 인가된 전압 변화에 따라 변화된 유효 굴절률 변화로 인한 fringe 패턴의 diameter 측정 결과(■)와 simulation 결과(+) 비교

4. 결론

단일 광원, 초소형 단일 전기 광학 시편만으로 동적 fringe 패턴을 형성하여 초소형 표면형상 측정 장치를 구현할 수 있는 LC-FP 소자를 이용한 동적 fringe 패턴 형성기를 제작하였다. 액정의 전기 광학 효과를 이용하여 비교적 낮은 전압만으로도 조밀한 fringe 패턴을 동적으로 제어 가능함을 보였으며, 제안된 소자 및 측정 방식은 향후 초소형 의료용 광학식 표면 형상 측정기를 제작함에 있어서 매우 유용한 방법이 될 수 있으리라 기대한다.

Acknowledgement

본 연구는 교육과학기술부 기초과학연구사업(R11-2008-105-03003-0)에 의해 지원되어 수행되었음. 또한, 지식경제부 지방기술혁신사업(R04-03-01)에 의해 지원되어 수행되었음.

참고문헌

1. Timothy L. Pennignton, "Miniaturized 3-D Mapping System Using a Fiber Optic coupler as a Young's Double Pinhole Interferometer", Ph.D Thesis, 2000.
2. Jan A.N. Buytaert, Joris J.J. Dirckx, "Moire profilometry using liquid crystals for projection and demodulation", *Optics. Express*, 16, 1, 179-193, 2008.
3. Larry R.McAdams, Robert N.McRuer, Joseph W. Goodman, "Oblique-incidence liquid-crystal-tunable etalon" *OPTICS LETTERS*, 16, 11, 864-866, 1991.