

광위상변조기를 이용한 광섬유형태의 고속 광간섭계

황대석, 이영우

목원대학교 정보전자영상공학부

All-fibered high speed optical interferometer using optical phase modulator

Daeseok Hwang, Young-Woo Lee

Division of Information Electronics and Imaging Engineering, Mokwon University

Abstract - 광간섭계는 물체의 기하학적 구조 및 의료영상계측등 다양한 분야의 광계측에서 매우 일반적으로 사용된다. 이러한 광간섭계에서 광지연단은 측정대상의 기준을 위해 사용되고, 광간섭계의 계측속도는 광지연단에 의해 제한된다. 본 논문에서는 고속 광지연단을 위해 기존의 기계적 방식을 배제하고, 광학적 방식의 광간섭계를 구성하였다. 고속 광간섭계의 구성은 1304nm의 10GHz 광원을 이용하였으며, 광지연단으로 광위상변조기와 광섬유를 이용하여 안정적이고 고속의 광간섭계를 구성하였다. 구성된 광간섭계는 광위상변조기의 변조전압, 변조주파수에 의해 광지연시간을 가변할 수 있으며, 10MHz 반복율에 대해 11ps의 광지연시간을 얻을 수 있었다.

1. 서 론

최근 광을 이용한 다양한 분야의 계측에서 광간섭계는 필수적인 기술로, 특히 광도량학이나, 의용계측 분야에서 고속 계측을 위한 고속 광지연 및 반복율 등이 요구되는 추세이다. 광간섭계에서 광지연단은 측정대상의 기준을 위해 사용되고, 광간섭계의 계측속도는 광지연단에 의해 결정된다.

일반적인 광지연단은 거울이 장착된 스테이지나 회전거울 방식의 기계적 지연단이 사용된다. 이러한 기계적 방식의 광지연단의 경우 검출 속도는 40mm/s에 30Hz정도이다[1]. 기계적 광지연단을 매우 간단한 구조를 갖으며 가간섭 길이가 긴 장점이 있으나 검출 속도가 느린 단점이 있다. 검출 속도가 느린 단점을 보완하기 위해 Galvanometer, Fiber를 감은 PZT 등의 방식 또한 사용되고 있다.

기계적 광지연단의 느린 검출 속도를 보완해 고속 검출 속도, 고반복율을 갖는 고속 계측을 위한 퓨리에 영역의 광지연단 기법들이 개발되고 있다. 대표적인 방법으로는 그레이팅을 이용한 고속 광지연단으로 광의 위상과 군속도 지연율의 제어를 이용하는 방식으로 2kHz 반복율에서 최고 검출 깊이는 3nm가 보고된 바 있다[3-6]. 그러나 이러한 방식들은 낮은 위상 지연 및 불안정한 도플러 천이동의 단점이 보고되어 있다[7].

본 논문에서는 기존의 기계적 방식 지연단의 단점인 저속의 검출 속도를 개선하여 고속동작이 가능하며, 동작 위치에서 외부 환경에 의한 영향을 최소화하여 안정적이고, 기계적 지연단과 달리 기계부품의 유지 보수가 불필요한 고속 검출이 가능하도록 광위상변조기를 광지연단에 적용한 전(全)광섬유 형태의 고속 광간섭계를 제안한다.

2. 본 론

2.1 광위상변조기를 이용한 광지연단의 이론

광위상변조기에 입사된 광은 인가된 전기장에 의해 주파수천이가 발생하게 된다. 광위상변조기에서 광위상은 광위상변조기에 인가된 변조전압 및 변조주파수에 대해 식 (1)과 같이 변화한다.

$$\phi = \frac{V}{2V_\pi} \sin(2\pi f_m t) \approx \pi^2 \frac{V}{V_\pi} f_m t \quad (1)$$

 f_m : 변조 주파수 V : 위상변조기의 peak to peak 전압 V_π : 위상변조기의 π 위상 변조를 위한 전압

또한 광파장은 식 (2)와 같이 광위상변조기에서 천이된다.

$$\Delta\lambda = \left(\frac{\lambda^2}{2\pi c} \right) \Delta\omega = \left(\frac{\lambda^2 \pi^2}{2\pi c} \right) \left(\frac{Vf_m}{V_\pi} \right) \quad (2)$$

이는 프리즘의 입사각의 변화에 의한 광파장 천이와 유사하게 광위상변조기의 변조 전압의 조정에 의해 광파장이 천이됨을 알 수 있다.

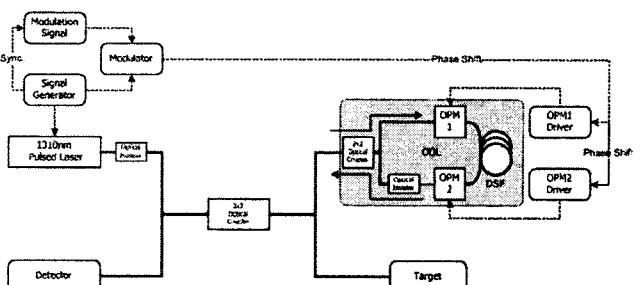
천이된 파장은 식 (3)과 같이 분산값을 갖는 광섬유를 이용해 광지연을 일어낼 수 있게 된다.

$$\Delta r = \Delta\lambda D = \pi \frac{\lambda^2}{2c} \frac{V}{V_\pi} f_m D \quad (3)$$

여기에서 광지연시간의 결정은 파장천이도, 광섬유 지연양, 광위상변조기 전압, 변조전압등에 의해 결정된다.

2.2 광위상변조기를 이용한 고속 광간섭계 시스템 구성

그림 1은 광위상변조기를 이용한 고속간섭계의 실험장치도이다. 실험에 사용된 광원은 파장 1304nm, 필스폭 30ps, 10GHz의 반복율을 갖는 초고속 광원(Calmar Optcom, GSL-01FFM-JU11)을 사용하였다. 초고속광원에서 발생된 펄스열은 광결합기에서 Target단과 광지연단으로 분리된다. 광지연단(ODL)의 광위상변조기(OPM)로 Sumitomo사의 T.PM 1.3-10-P-FN 위상변조기를 사용하였다. 광지연단에서 각각의 광위상변조기1(OPM1)과 광위상변조기2(OPM2)는 각각 π 만큼의 위상차를 갖고 위상변조드라이버(1310SZ-EVB, Inphi Co.)에 의해 변조된다.

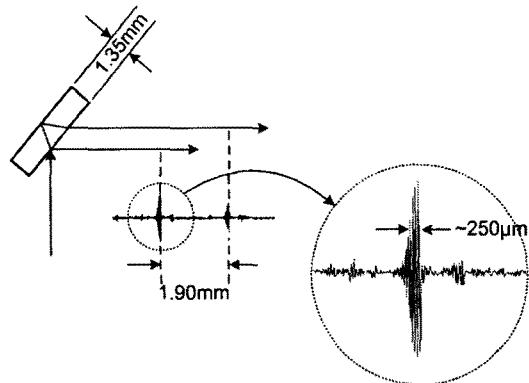
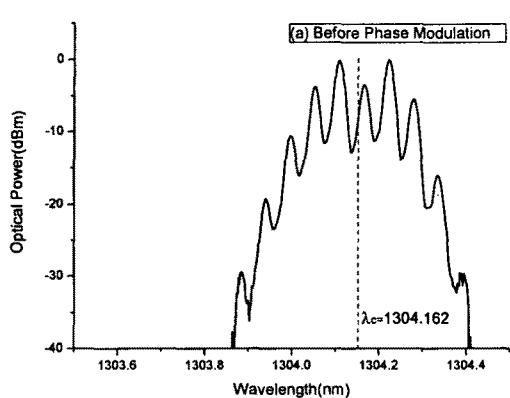


<그림 1> 광위상변조기를 이용한 초고속 광지연 시스템의 구성도

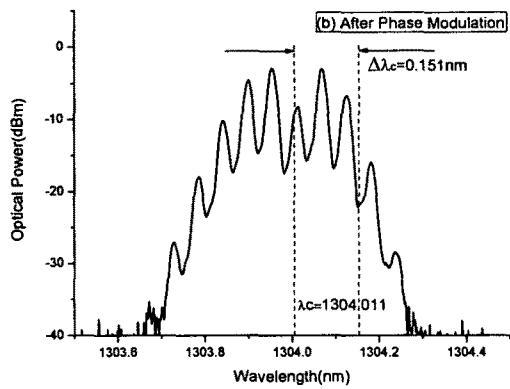
2.3 광위상변조기를 이용한 고속 광간섭계 실험

레이저광원 및 광위상변조기의 신호 주파수로 10GHz의 전기신호를 인가하고, 변조주파수로 10MHz의 신호를 인가하였다.

광위상변조기에 입사되며 전 광과 입사된 후 천이된 광의 스펙트럼을 그림 2에 보인다.

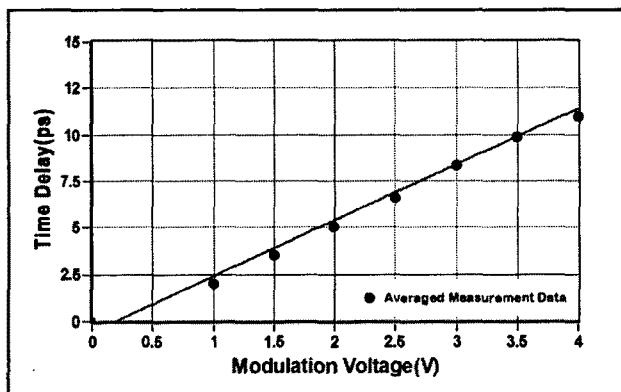


<그림 4> 유리판 측정에 의한 간섭신호



<그림 2> 광위상변조기에 의한 광전이 스펙트럼
(a) 광위상변조기에 입사된 광스펙트럼
(b) 광위상변조기를 거친후 광스펙트럼

그림 3은 주파수 천이에 대한 시간 지연을 보여준다. 그림 3에서 최고 변조 전압을 인하였을 때 11ps의 시간 지연을 얻을 수 있으며, 실제적으로 변조 전압을 조정함에 따라 지연시간은 임의로 조정 가능하다.



<그림 3> 변조 전압 입력에 대한 시간 지연

그림 4는 광위상변조기를 이용한 광간섭계에서 획득한 간섭신호이다. 간섭신호를 얻기 위해 1.35mm 두께의 유리판에 45°각도로 입사하여 측정하였다. 간섭신호의 FWHM은 약 250μm이다.

3. 결 론

본 논문에서는 기존의 기계적 방식 지연단을 대신하여 광위상변조기를 광지연단을 적용한 고속 광간섭계를 제안하였다. 이를 위해 기존의 기계적 방식의 지연단을 배제한 광위상변조기를 이용한 광지연단을 구성하였고, 고속 광간섭계에 대한 시스템 실험 하였다. 실험 장치는 중심파장 1310nm, 반복율 10GHz의 초고속 광원, 위상변조기를 사용하여 구성하였다. 구성된 광간섭계는 광섬유형태로 기존의 기계적 방식 지연단의 경우 검출 속도가 느리며, 외부 환경에 민감하며, 또한 기계 부품의 유지 보수가 필요한데 반에 광위상변조기를 적용한 광간섭계의 경우 고속의 검출 및 지연시간의 가변이 매우 용이한 장점이 있다. 실험 결과 변조 전압의 조정에 의해 지연시간의 조정이 가능하며, 최대 11ps의 광지연 시간을 얻었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Y. Pan, E. Lankenau, J. Welzel, R. Birngruber, and R. Engelhardt, "Optical coherence-gated imaging of biological tissues," IEEE J. Select. Topics Quantum Electron., vol. 2, pp. 1029 - 1034 (1996).
- [2] A. M. Rollins, M. D. Kulkarni, S. Yazdanfar, R. Ung-arunyawee, and J. A. Izatt, "In vivo video rate optical coherence tomography", Opt. Express 3, pp. 219-229 (1998)
- [3] G. J. Tearney, B. E. Bouma, and J. G. Fujimoto, "High-speed phase and group-delay scanning with a grating-based phase control delay line", Opt. Lett. 22, pp. 1811-1813 (1997)
- [4] X. Liu, M. J. Cobb, and X. Li, "Rapid scanning all-reflective optical delay line for real-time optical coherence tomography", Opt. Lett. 29, pp. 80-82 (2004)
- [5] A. L. Oldenburg, J. J. Reynolds, D. K. Marks, and S. A. Boppart, "Fast-Fourier-Domain Delay Line for in vivo Optical Coherence Tomography with a Polygonal Scanner", Appl. Opt. 42, pp. 4606-4611 (2003)
- [6] G. J. Tearney, B. E. Bouma, and J. G. Fujimoto, "High-speed phase- and group-delay scanning with a grating-based phase control delay line," Opt. Lett. 22, pp. 1811-1813 (1997).

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.