

Time Prism을 이용한 초고속 광지연

황대석^{*} · 이영우^{*}

^{*}목원대학교

Ultrafast Optical Delay using by Time Prism

Daeseok Hwang^{*} · Young-Woo Lee^{*}

^{*}Mokwon University

E-mail : ywlee@mokwon.ac.kr

요 약

본 논문에서는 Time Prism을 이용한 초고속 광지연을 위한 시스템을 구성하고 그 성능을 분석하였다. 초고속 광지연을 위해 구성된 시스템은 1310nm의 15ps 펄스폭을 갖는 펄스 레이저와 광위상 변조기를 사용하여 구성하였다. 구성된 광지연 시스템은 광섬유형태로 매우 안정되며, 광위상변조기 변조 신호의 변화를 통해 지연 시간의 조정이 가능하였다.

키워드

Ultrafast Optical Delay, Time Prism

1. 서 론

광을 이용한 다양한 분야의 계측에서 광지연단은 필수적인 기술 중 하나이다. 특히 고속 계측을 위해서는 고속 광지연단이 필수적으로, 고속 지연과 더불어 고해상도 및 지연시간의 가변성도 요구되는 추세이다. 현재 가장 빠른 광 스캔 방식으로는 약 1MHz의 검출율을 갖는 음향-광 변조기를 이용한 지연단이 있다[1,2]. 다른 검출 방법으로는 Grating을 기반으로 하고있는 검출 방식으로 약 1kHz 정도의 검출율을 갖는 방식이 있다 [3-6]. 표 1에 현재 사용되는 기계적 방식 지연단의 속도를 보인다.

일반적으로 광계측에 사용되는 광지연단은 그림 1과 같은 공간설계 형태로 각각 광원, 측정단, 지연단, 검출단으로 구성된다. 현재 기계적 방법의 지연단의 경우 작동 부위에서 외부 환경의 영향을 받게 되고, 기계 부품의 유지 보수가 필요하며, 저속의 검출 속도로 인해 빠른 검출이 어려운 단점이 있다.

본 논문에서는 기존의 기계적 검출 방식을 탈피하여 안정적이고 기계적 유지 보수가 필요 없으며 고속 검출이 가능한 광학적 방법인 Time Prism을 이용한 광섬유 형태의 초고속 광 지연단을 제안한다.

표 1 기계적 지연단의 측정 속도

Delay Method	Scan Speed	Repetition Rate
Stage	160mm/s	N/A
Galvanometer with Reflector	30cm/s	100Hz
Rotation Mirror(Cube)	20m/s	400Hz
Fiber Wrapped PZT	3m/s	1200Hz
Galvanometer with Grating	6m/s	2000Hz

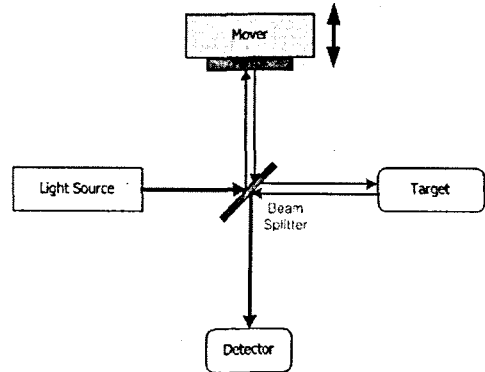


그림 1 광계측을 위한 기본적인 공간설계

II. 본 론

(1) Time Prism에 의한 시간지연

Time Prism은 전기-광 변조기에 인가된 전기장에 의해 주파수 천이가 발생하게 된다. 지연단으로 사용된 전기-광 변조기에서 광 위상은 식 (1)과 같다.

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

f_m : 변조 주파수

V : 위상변조기의 peak to peak 전압

V_{π} : 위상변조기의 π 위상 변조를 위한 전압

전기-광 변조기에 입사된 광주파수의 변화율은 식 (2)와 같이 변화된다.

$$\Delta\omega = \frac{d\phi}{dt} = \pi^2 (V/V_{\pi}) f_m \quad (2)$$

전기-광 변조기를 거친 광의 파장은 식 (3)과 같이 천이된다.

$$\Delta\lambda = \left(\frac{\lambda^2}{2\pi c} \right) \Delta\omega = \left(\frac{\lambda^2 \pi^2}{2\pi c} \right) \left(\frac{V f_m}{V_{\pi}} \right) \quad (3)$$

이는 프리즘의 입사각의 변화에 의한 광파장 천이와 유사하게 광-전기 변조기의 변조 전압의 조절에 의해 광파장이 천이됨을 알 수 있다.

천이된 파장은 분산 광섬유를 이용해 식 (4)와 같이 광지연을 얻어낼 수 있게 된다.

$$\Delta\tau = \Delta\lambda D = \pi \frac{\lambda^2}{2c} \frac{V}{V_{\pi}} f_m D \quad (4)$$

(2) Time Prism을 이용한 시스템 구성 및 실험

그림 2는 Time Prism을 이용한 초고속 광지연을 위한 실험장치도이다. 사용된 광원은 파장 1310nm, 펄스폭 15ps, 10GHz의 반복율을 갖는 Calmar Optcom사의 초고속 광원이 사용되었으며 전기-광 변조기로 Sumitomo사의 T.PM 1.3-10-P-FN 위상변조기가 사용됐다. 시간 지연을 위한 분산 광섬유로는 Fibercore사의 HT1250T ($D=1.6\text{ps/m}$)를 50m사용하였다.

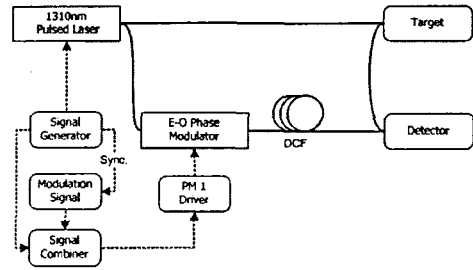


그림 2 Time Prism을 이용한 초고속 광지연 시스템의 구성도

레이저광원 및 전기-광 변조기의 신호 주파수로 10GHz의 전기 신호를 인가하고, 변조주파수로 500MHz의 신호를 인가하였다.

그림 3은 위상 변조기에 변조 전압 입력에 대한 주파수 천이를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯 최고 변조입력을 인가하였을 때 이론적인 계산으로 32GHz의 주파수 천이를 얻을 수 있다.

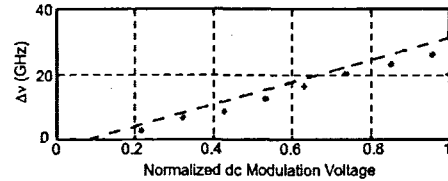


그림 3 변조 전압 입력에 대한 광 주파수 천이

그림 4는 그림 3과 관련하여 주파수 천이에 대한 시간 지연을 보여준다. 그림 4에서 최고 변조 전압을 인하였을 때 20ps의 시간 지연을 얻을 수 있으며, 실제적으로 변조 전압을 조정함에 따라 지연시간은 임의로 조정 가능하다.

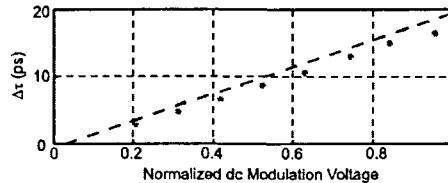


그림 4 변조 전압 입력에 대한 시간 지연

광지연시 입사된 광펄스는 분산 광섬유를 거치면서 펄스폭이 넓어지게 된다. 초기 입사된 펄스가 펄스폭 T_0 , 광강도 $1/e$ 의 가우시안 펄스일때 펄스폭이 넓어지는 값은 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma = \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda^2 D}{2\pi \cdot 2T_0^2} \right)^2} \quad (5)$$

식 (5)에서 펄스의 넓어짐은 전기-광 변조기의 펄스폭을 제한하는데, 이러한 제한점을 찾기위해 입력펄스에 대한 출력펄스의 지연시간에 대한 펄스폭이 넓어지는 비율을 식(6)을 사용하여 계산하였다.

$$R = \pi^2 \frac{V}{V_\pi} \frac{\beta}{\sqrt{\ln 2}} \left\{ 1 + 2\pi^2 \frac{V}{V_\pi} \frac{f_m}{f_0} \right\}^{-1} \quad (6)$$

β_2 : GVD에 대한 비선형 계수

그림 5는 각각의 입력 펄스폭에 대한 시간지연 대 펄스폭의 비율을 나타낸것이다. 일반적으로 광은 광섬유 매질에서 중심파장 1310nm일때 분산이 "0"이지만 실험에 사용된 광섬유는 광지연을 위해 1.6ps/m를 갖는다. 그림 6에서 보이듯 광펄스가 ps급의 펄스폭을 갖는 경우 지연에 대한 펄스폭의 변화율이 작아 ps급의 펄스에 대해 빠른 광지연을 얻을 수 있다.

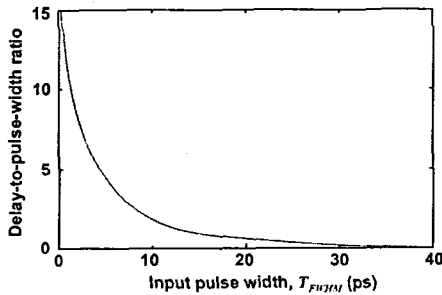


그림 5 입력 펄스폭에 대한 출력 펄스의 광지연과 펄스폭과의 상관 관계

III. 결 론

광을 이용한 고속 광계측을 위해 기존의 기계적 방식의 지연단을 배제한 광학적 방식의 초고속 광지연단을 구성하고 초고속 광지연에 대한 시스템을 구성하고 실험 하였다. 구성된 광지연 실험 장치는 광섬유형태로 기존의 기계적 방식을 이용한 지연단에 비해 안정된 성능을 갖으며, 실험 결과 변조 전압의 조절에 의해 지연시간의 미세 조절이 가능하였으며, 최대 20ps의 광지연 시간을 얻었다.

참고문헌

- [1] W. Yang, D. Keusters, D. Goswami, and W. S. Warren, *Opt. Lett.* 23, 1843 (1998)
- [2] R. Piyaket, S. Hunter, J. E. Ford, and S. Esener, *Appl. Opt.* 34, 1445 (1995)
- [3] A. M. Rollins, M. D. Kulkarni, S. Yazdanfar, R. Ung-arunyawee, and J. A. Izatt, *Opt. Express* 3, 219 (1998)
- [4] G. J. Tearney, B. E. Bouma, and J. G. Fujimoto, *Opt. Lett.* 22 1811 (1997)
- [5] X. Liu, M. J. Cobb, and X. Li, *Opt. Lett.* 29, 80 (2004)
- [6] A. L. Oldenburg, J. J. Reynolds, D. K. Marks, and S. A. Boppart, *Appl. Opt.* 42, 4606 (2003)

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성 사업의 연구결과로 수행되었음.