

## Spectral-Domain 광 계측을 위한 CCD 이미지 센서 드라이버 제작

### Realization of CCD Image Sensor Driver for Spectral-Domain Optical Measurement System

김 훈 섭\* 이 정 렬\*\* 엄 진 섭\*\*\*  
Kim, Hoon-Sup Lee, Jung-Ryul Eom, Jin-Seob

#### Abstract

This paper presents Spectral-Domain optical measurement system using self-fabricated CCD sensor driver. The light source is a high brightness white LED and the detector is a 2048 array typed CCD image sensor. I have fabricated the CCD sensor driver to generate four pulse signals, which are the CCD-driving pulses. Using this Spectral Domain optical measurement system, the distance value between the reference mirror and the sample mirror can be obtained successfully.

키워드 : 분광 영역 광 계측 시스템, CCD 화상 센서 어레이  
Keywords : *spectral-domain optical measurement system, CCD image sensor array*

#### 1. 서론

광학 응용산업 중 가장 활발한 분야는 레이저 가공과 광 계측이다. 특히 광 계측 기술은 분해능이 우수하여 각종 계측 분야뿐만 아니라 생체조직의 표피 단면 이미지(Optical Coherence Tomography)를 필요로 하는 분야와 지문인식등과 같은 보안 분야, 오염도 등을 측정하는 환경 분야에서도 각광받기 시작하고 있다[1][2].

광 계측 기술은 간섭신호를 얻는 방법에 따라서 크게 Time-Domain(TD) 기술과 Fourier-Domain(FD) 기술로 나뉠 수 있다. TD 기술은 마이켈슨 간섭계의 기준팔 거리를 가변시키는 동안 샘플팔에 존재하는 반사체와의

거리가 서로 일치할 때 얻어지는 간섭신호를 포락선 검파하고 이로부터 피크의 발생시간을 추출함으로써 거리 정보를 얻는 방식이다. 반면에 기준팔이 고정되어 있는 FD 기술은 광 간섭신호를 얻는 방식에 따라 Spectral-Domain(SD) 기술과 Swept-Source(SS) 기술로 구분할 수 있다.

SD 기술은 광대역 스펙트럼 광원과 회절격자, array-photodetector로 고속 분광계를 구성하는 방식이고, SS 기술은 광대역 스펙트럼 광원이 아닌 단일모드로 발진하는 swept laser source와 point photodetector로 분광계를 구성하여 거리정보를 얻는 방식이다.

일반적으로 기준팔을 스캔하여야 하는 TD 방식 보다는 기준팔이 고정된 FD 방식이 더 빠른 측정 속도뿐만 아니라 더 높은 sensitivity를 제공한다[3].

따라서 본 연구에서는 저가의 고회도 백색광 LED광원(사용파장대역 497~622nm)과 상용 CCD

\* 강원대 전자공학과 공학석사  
\*\* 강원대 산학협력중심대학 전담교수, 공학박사  
\*\*\* 강원대 전자공학과 교수, 공학박사

를 이용하여 FD 방식을 적용한 광 계측 기술을 구현하였으며, 이로써 기존의 1300nm대역 FD방식보다 저가이면서도 광원의 광대역성으로 인하여 거리 분해능이 더욱 우수한 시스템을 구현하였다. 특히, 상용 CCD 를 구동하는 회로를 자체 제작해봄으로써 이를 이용한 SD 방식 광 계측 시스템을 구현해 볼 수 있었다.

## 2. 이론적 배경

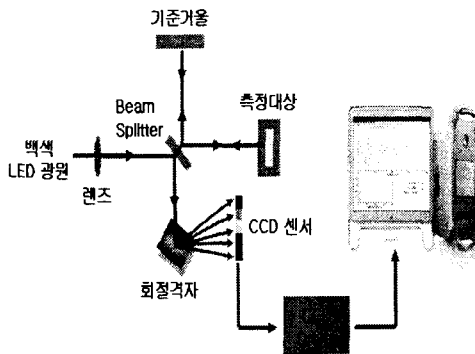


그림 1 SD 방식의 광 계측기 구성도

그림 1에 보여진 광학 셋업인 마이켈슨 간섭계는 두 반사경을 이용하는 간섭계로서 광 계측에서 가장 많이 사용되는 간섭 구조 중 하나이다. 마이켈슨 간섭계로 입사된 광은 광 분배기에서 두 방향으로 분배된다. 그 중 하나는 기준 팔 경로로 입사되어 끝단에 있는 기준 거울을 맞고 반사되어 광 분배기로 되돌아온다. 이 빛은 광 분배기에서 다시 분배되어 그 일부가 회절격자에 도달한다. 그리고 처음에 광 분배기에서 분배된 나머지 광은 샘플 팔 경로로 입사하여 측정대상에서 반사되어 광 분배기로 되돌아온다. 이는 다시 둘로 분배되어 그 일부가 회절격자에 도달한다. 위와 같이 간섭계의 두 경로를 거친 광들은 두 팔간의 경로 차에 의해 위상차가 발생하며 간섭된 빛은 회절격자를 거치며 스펙트럼별로 광 검출기인 CCD Array 상에서 간섭패턴이 검출된다. 이 간섭패턴을 신호처리 하기 위해서 알아야 할 사항이 있다. 만약, Beam Splitter 와 기준거울(Reference) 간 거리 차를  $\Delta_r$ 이라 하면 그림 1의 마이켈슨 간섭계에서의 간섭신호는 식 (1)과 같은 정현파로 주어진다.

$$P_{\text{간섭신호}}(k) = P_{\text{기준팔}}(k) + P_{\text{샘플팔}}(k) + 2\sqrt{P_{\text{기준팔}}(k) \cdot P_{\text{샘플팔}}(k)} \cos(k \cdot 2(\Delta_r)) \quad (1)$$

여기서  $\Delta_r = x_{\text{기준팔}} - x_{\text{샘플팔}}$  반사체 이고, 전파상수

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{c} \text{ 이다.}$$

통신에서  $F(\omega)$ 와  $f(t)$ 가 서로 Fourier Transform pair 관계에 있는 것처럼 위의 식에서  $P_{\text{간섭신호}}(k)$ 와  $p_{\text{간섭신호}}(2\Delta_r)$ 도 서로 Fourier Transform pair 관계에 있다. 따라서  $k$ -domain 상에서의 간섭신호  $P_{\text{간섭신호}}(k)$ 를 inverse Fourier Transform하게 되면  $\Delta_r$ -domain 상에서의 간섭신호  $p_{\text{간섭신호}}(2\Delta_r)$ 를 얻을 수 있으며, 다시  $x_{\text{샘플팔반사체}} = x_{\text{기준팔}} - \Delta_r$ 의 관계로부터 반사체의 정확한 위치를 얻을 수 있다. 그런데 보통 SD-OCT 시스템에서는 간섭신호를  $k$ -domain 상에서 바로 얻기가 어렵다. 일반적으로 SD-OCT에서는 spectrometer 구조를 사용하므로 파장 도메인( $\lambda$ -domain) 상에서 간섭신호가 얻어진다. 따라서 리스케일링(rescaling) 계산과정을 통하여 이를 다시  $k$ -domain 상에서의 간섭신호로 바꾸어야 한다. 그 다음 이를 Inverse Fast Fourier Transform(IFFT)하게 되면 이로부터 거리 차  $\Delta_r$ 을 계산할 수 있다.

만일 샘플팔상에 여러 개의 반사체가 있다면 각 반사체에 대하여 각각 다른 형태의 간섭신호가 서로 중첩된 형태로 파장 도메인 상에서 존재한다. 이를 위에서 설명한 것처럼  $k$ -domain 상으로 다시 rescaling 하면 각 반사체에 대하여 각각 다른 주기의 정현파 간섭신호가 서로 중첩된 형태로 존재한다. 이를 IFFT 하게 되면 각 반사체에 대한 거리 정보를 얻을 수 있다.

## 3. 실험

### 3.1 CCD 이미지 센서 드라이버 제작

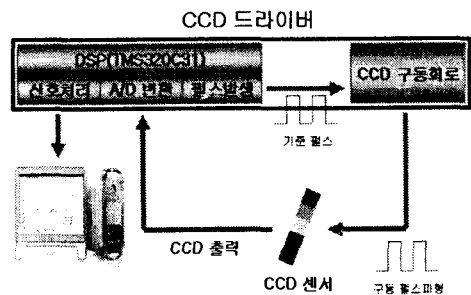


그림 2 CCD 드라이버 구성도

그림 2에 제작한 CCD 드라이버의 구성을 보였 다. DSP 보드로부터는 CCD 센서를 구동하기 위한 2종류의 기준펄스가 출력되며 이 기준펄스들은 CCD 구동회로에 인가된다. CCD 구동회로는 CCD 센서를 작동시키기 위하여 요구되는 4가지 종류의 펄스파형을 생성하며, 이 펄스파형들은 CCD 센서에 인가되어 CCD 센서의 각 어레이에서 측정된

2048개의 스펙트럼 정보를 차례로 출력시킨다. 출력된 2048개의 데이터는 CCD 구동회로에서 다시 레벨교정을 거쳐 DSP로 입력되어 A/D 변환되어 직렬 통신(RS-232C)을 통해, PC로 전송된다.

### 3.2 광 계측 실험

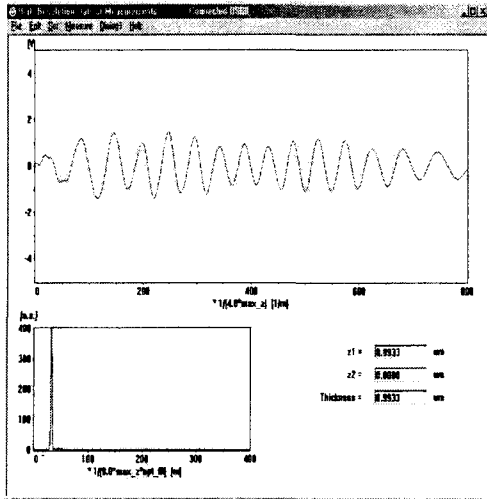


그림 3 반사체가 한 개일 경우

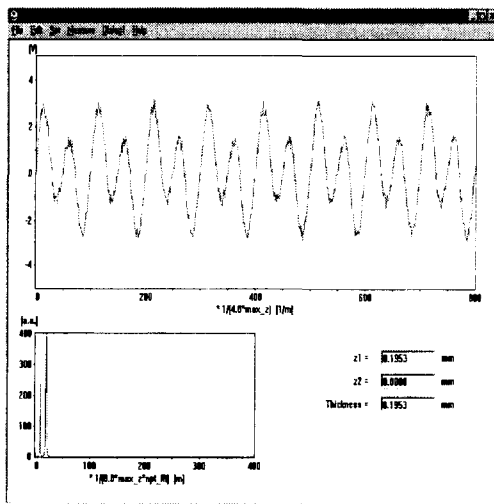


그림 4 반사체가 두 개일 경우

앞서 언급했듯이, PC로 전송된 디지털 값들은 파장 도메인( $\lambda$ -domain)상에서의 간섭신호이다. 따라서 PC에서는 이를 리스케일링(rescaling) 계산과정을 통하여  $k$ -domain상에서의 간섭신호로 바꾸게 되고, 그 다음 이를 Inverse Fast Fourier Transform(IFFT)하게 되어 계측을 할 수 있었다.

그림 3과 그림 4는 반사체가 한 개일 때와 두 개일 때의 경우 광 계측 결과 화면이다. 반사체가 둘 이상일 경우에는 각각의 간섭패턴이 중첩된 형태로 나타남을 확인할 수 있다.

### 3.3 실제 경로차와 측정된 거리 비교

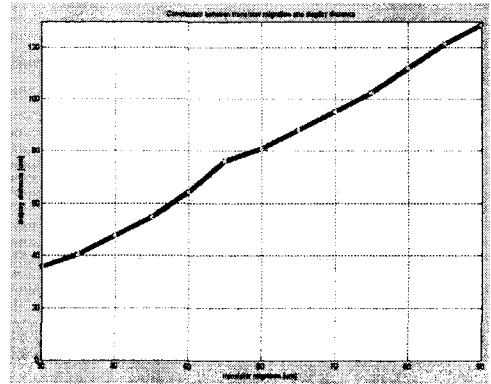


그림 5 측정물체 이동거리와 측정 데이터 비교

그림 5에서 x축은 측정물체에 경로차를 주기위한 실제 이동거리이고, y축은 본 연구에서 구현한 고휘도 백색 LED 및 CCD Array Detector를 사용한 Fourier-Domain 방식의 광 계측 시스템으로 측정된 데이터이다. 시스템에서 구조상의 한계와 측정환경의 영향으로 측정치가 정확하게 일치하고 있지는 않으나 측정 결과치가 선형적으로 변화함을 알 수 있었다.

## 4. 결론

그림 5의 그래프를 통해, 자체 제작한 CCD 드라이버 회로(Clock : 50kHz)가 상용 CCD 드라이버 회로(Clock : 500kHz)를 대체할 만하다는 것을 확인할 수 있다. 이로써 기존의 광 계측 시스템에서는 레이저 다이오드 또는 1300nm 대역의 수퍼 LED 같은 고가의 광원이 사용되어 온 반면, 본 연구에서 구현한 방법은 일반 LED를 사용하여 기존의 방식보다 저가(low cost)이면서도 광원의 광대역성(스펙트럼 폭  $\Delta\lambda = 330\text{nm}$ )으로 인하여 측방향 해상도가 더욱 우수한 시스템을 구현하였다. 그리고 CCD 이미지 센서를 구동하는 회로 역시 상용으로는 수십 만원을 상당하는 가격인 반면, 이를 자체 제작하여, 가격을 크게 낮출 수 있어 가격 대비 면에서도 우수하여, 광 계측 산업의 활발한 육성을 가능케 할 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] P.H. Tomlins & R. K. Wang, Theory, developments and applications of optical coherence tomography. JOURNAL OF PHYSICS, 2005, pp.2519-2535.
- [2] 김철중, "레이저 가공 및 광 계측의 산업적 활용" 한국광학회 하계 학술발표회 논문집, 제12회, pp.96-103, 1995.
- [3] J. F. de Boer, B. Cense, B. H. Park, M. C. Pierce, G. J. Terney and B. E. Bouma, "Improved signal-to-noise ratio in spectral-domain compared with time-domain optical coherence tomography," *Optics Letters*, vol. 28, pp.2067-2069, 2003.
- [4] K. Y. Kim, M. Y. Namgoong, H. S. Kim, J. R. Lee, J. S. Eom, "Optical Measurement System Realization of Fourier-Domain using High brightness White LED and CCD Array Detector" *Photonics Conference 2006*, Vol. 14, pp.56-57, 2006. 11.
- [5] R. A. Leitgeb, C. K. Hitzenberger and A. F. Fercher, "Performance of fourier domain vs. time domain optical coherence tomography," *Optics Express*, vol. 11, pp.889-894, 2003.
- [6] J. F. de Boer, B. Cense, B. H. Park, M. C. Pierce, G. J. Terney and B. E. Bouma, "Improved signal-to-noise ratio in spectral-domain compared with time-domain optical coherence tomography," *Optics Letters*, vol. 28, pp.2067-2069, 2003.