

광단층 촬영을 위한 전광섬유 광지연선로

All-fiber Optical Delay Line for Optical Coherence Tomography

최은서, 나지훈, 유선영, 이병하
 광주과학기술원 정보통신공학과 응용광학실험실
 cesman@gist.ac.kr

OCT (Optical coherence tomography)는 고분해능의 장점⁽¹⁾과 함께 실시간 영상화가 가능해 지면서 다양한 단층 이미징 분야에서의 응용이 증가되고 있는 추세이다. 이러한 OCT의 실시간 영상화를 가능하게 한 것은 고속의 높은 반복률을 가지는 광지연선로의 개발에 따른 것이다. OCT에서의 광지연선로는 샘플 내부의 scanning 깊이와 속도를 결정하는 부분이다. 지금까지 광지연선로에 대한 다양한 방법들과 기술들이 제시되었다. 대부분의 경우가 벌크 광학계를 이용한 시스템이어서 광손실이 크고 광정렬에서의 어려움 등의 문제가 수반되었다. 이러한 문제들을 해결하고자 광섬유 기반의 광지연선로가 제시되었으나 심각한 복굴절을 영향으로 인해 OCT 이미징에서 고스트(ghost)를 야기하였다. 최근에는 회절 격자 기반의 double-pass 방식의 광지연선로가 주로 이용되고 있으며 실시간 이미징을 실현한 바 있다⁽²⁾.

본 논문에서는 OCT를 구성하는데 있어서 광섬유 소자만으로 구성된 광지연선로를 소개하고 이를 이용하여 얻은 OCT 이미지를 소개하고자 한다. 전광섬유(all-fiber) 광지연선로는 두 개의 동일한 chirped fiber Bragg grating(CFBG)과 광섬유 분배기, 광섬유 서큘레이터 등으로 구성되어졌다. 구성된 광섬유 지연선로는 분산 보상이 필요하지 않으며 광경로에서 증폭 기능이 있어서 광섬유 격자를 당긴 길이에 비해서 실제 얻게 되는 광경로 차는 이보다 수십 배 이상 훨씬 크게 된다. 그림 1은 광섬유 지연선로를 이용하여 구성한 OCT 시스템의 개략

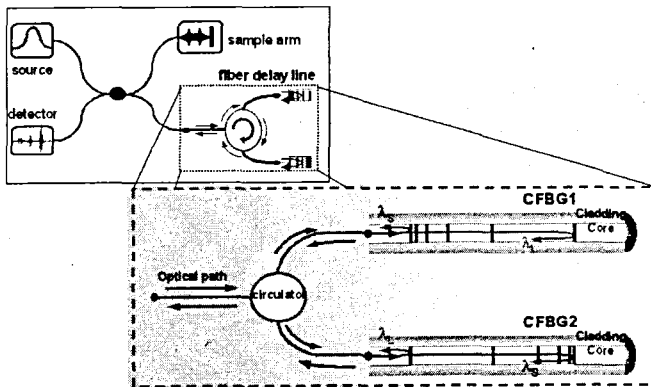


그림 1 광섬유 기반의 OCT 시스템과 전광섬유광지연선로

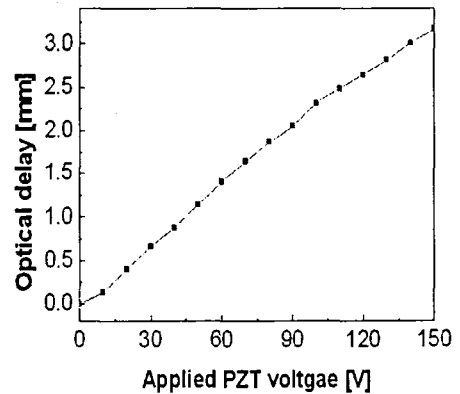


그림 2 광경로의 선형성

도와 광섬유 지연선로의 개략도에 대한 것이다⁽³⁾. 본 시스템에서 광원으로는 1300 nm의 중심파장을 가지고 50 nm 반치폭을 가지는 SLED 광원을 사용하였다. 광섬유 분배기를 통해서 나누어진 빛 중에서 광섬유 광지연선로에 입사한 빛은 그림 1에서 보이듯이 서로 다른 방향으로 연결된 두개의 CFBG를 각각 통과한 뒤 나오게 된다. 이 빛은 샘플단에서 반사된 빛과 만나서 간섭무늬를 만들게 되고 측정단에서 이를 검출하여 전기적인 신호처리를 거친 뒤에 영상으로 재구성되어 샘플내부 정보를 제공하게 된다. 사용한 CFBG는 중심파장이 1300 nm이고 약 45 nm 정도의 반사 반치폭에 걸쳐서 70 % 이상의 균일한 반사도를 가지고 있다. 광섬유를 길이방향으로 당기기 위해 PZT를 이용하였다. 그러나 PZT 만으로는 20 um이상의 길이변화를 줄 수 없으므로 기계적 flexure 구조를 이용하여 PZT에 구동전압을 약 150 V 인가하였을 때 광섬유 길이방향으로 약 100 um정도 늘어나도록

할 수 있었다. 이때 그림 2에서 보듯이 약 3.1 mm 정도의 광경로차를 얻을 수 있었다. 이는 광섬유 광지연선로가 광경로에서 약 31배 정도의 증폭 된 결과이며 이것은 이론적인 계산결과와 잘 일치한다. 또한 구동하는 PZT의 선형적 구동을 개선한다면 그림 2에서 보이는 선형성도 더 향상 될 것으로 보인다. 이렇게 구성된 전광섬유 광지연선로를 이용하여 OCT 영상화에 적용하여 보았다. 본 연구에서 사용한 CFBG들이 완전히 동일하지 못한 관계로 측정된 간섭무늬에서는 분산이 완전히 보상되지 않아 broadening된 간섭무늬를 보이며 약 100 um의 반치폭을 보였다. 이 값은 이론치인 15 um에 비해서 매우 큰 것으로 이를 해결하기 위해서는 동일한 광섬유 격자에 대한 제작에 대한 노력과 분산 기울기의 조절⁽⁴⁾을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 그림 3(a)는 광섬유 지연선로를 이용하여 측정된 간섭무늬를 보여주고 있으며 이를 이용하여 얻은 150 um 두께를 가지는 슬라이드 글라스가 그림 3(b)에서 보여지고 있다. 그림 3(b)에서 보듯이 150 um의 두께를 가지는 슬라이드 글라스의 두 경계면을 확실하게 구분할 수 있었으며 시료의 단면 이미지를 얻는 것이 가능하였다. 또한 생체 샘플인 치아의 단면 이미지와 어류 눈의 각막과 홍채의 OCT 이미지를 통하여 생체 단면 영상화에 있어서도 이번에 구성된 광섬유 광지연 선로가 활용도가 높을 것이라는 것을 확인 할 수 있었다.

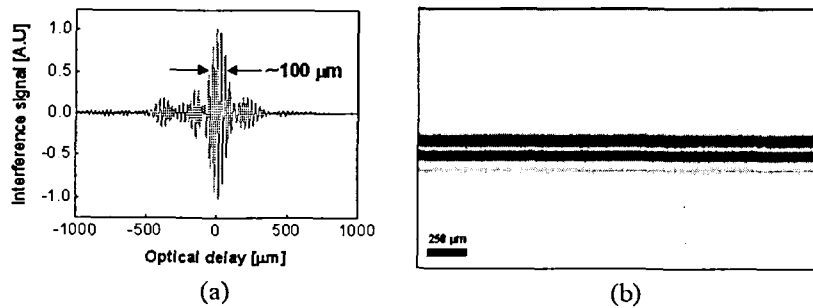


그림 3 (a) 100 um 정도의 반치폭을 가지는 측정된 간섭무늬 신호와 (b) 이를 이용하여 얻은 슬라이드 글라스의 단면 이미지

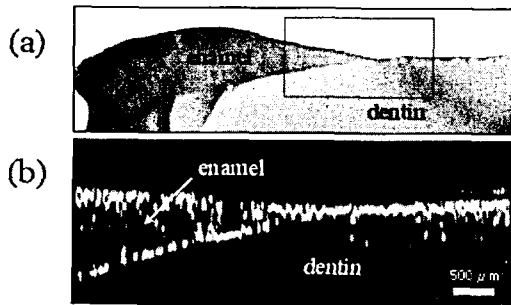


그림 4 (a) 어금니의 실제 단면 모습과 (b) 동일 부분의 OCT 이미지

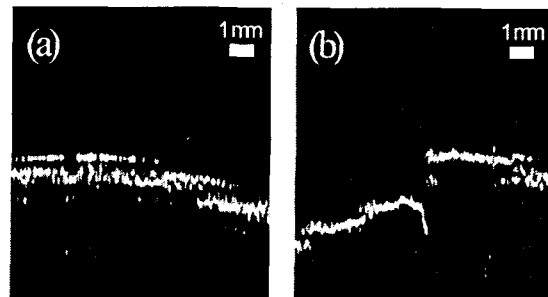


그림 5 (a) 어류의 각막 OCT 이미지 및 (b) 홍채 OCT 이미지

본 연구는 BK-21 사업, ERC, 전력적 국가 연구과제 및 한중국제공동과제의 일부지원으로 수행되었습니다.

1. D. Huang, E. A. and et al., "Optical coherence tomography," Science 254, 1178-1181 (1991).
2. A. M. Rollins and et al., "In vivo video rate optical coherence tomography," Opt. Express 3, 219-229 (1998).
3. B. H. Lee and et al., "Novel Optical Delay Line for Optical coherence Tomography System," Opt. Rev. 10, 572-575 (2003).
4. J. Kim, J. Bae, Y.-G. Han, S. H.Kim, J.-M. Jeong, and S. B. Lee, "Effectively Tunable Dispersion Compensation Based on Chirped Fiber Bragg Gratings Without Central Wavelength Shift," IEEE Photon. Technol. Lett. 16, 849851 (2004)