

## 광영상진단기를 위한 광지연선로

### Optical Delay Lines for Optical Coherent Tomography

이 병하

광주과학기술원, 정보통신공학과

leebh@kjist.ac.kr

광영상진단기 또는 OCT (Optical Coherent Tomography)란 백색광 간섭계의 일종으로 광대역 광원을 사용하여 생체 내부의 구조를 2-D 또는 3-D로 영상화하는 시스템을 지칭한다. 백색광 간섭계[1]는 이미 잘 알려진 분야이나 이를 이용한 영상기는 최근에 들어 활발히 연구되고 있다. 그 원리를 간단히 살펴보면 파장  $\lambda_1$ 을 갖는 광파로 Michelson 간섭계를 구성하면 두 광경로간의 광학거리 차에 따라 정상파 형태를 갖는 광세기가 출력으로 검출되는데 여기서 정상파의 주기는 입사광의 파장과 같다. 이때 파장  $\lambda_2$ 를 갖는 다른 광파를 동시에 간섭계에 넣어주면 주기  $\lambda_1$ 과  $\lambda_2$ 의 정상파 출력의 합으로 최종출력이 주어지는데 두 정상파는 그 주기가 서로 다르기 때문에 서로 간의 위상차에 따라 최종출력이 달라진다. 그러나 간섭계의 광경로차가 같을 경우에는 파장에 관계없이 최대 출력을 얻게 된다. 같은 방법으로 하나의 간섭계에 여러 파장의 광파를 동시에 넣어 주면 광경로차가 같을 경우에 최대 값을 갖고 경로차가 달라질수록 급격히 감소하는 출력을 얻는다. 이때 넣어주는 광파의 파장이 많을수록 더욱 급히 감소하게 된다. 즉 사용하는 광원의 파장대역이 넓을수록 (궁극적으로는 백색광) 간섭계의 두 광경로가 일치하는 점을 비교적 정확히 찾을 수 있게된다.

생체를 구성하는 조직은 빛에 대하여 산란과 흡수가 강하나 일반적으로 어느 정도의 투과성을 가지고 있다. 근 적외선을 사용할 경우 조직에 따라 다르나 약 5mm 정도의 투과가 가능하다. 그러므로 생체 내부에 조사된 빛은 조직을 구성하는 각 경계면에서 미약하나마 반사가 이루어져 입사된 곳으로 다시 되돌아 나올 수 있다. 이때 생체 내부에서 반사되어 나온 빛의 경로를 하나의 축으로 하고 위치를 알 수 있는 반사거울을 다른 하나의 축으로 하는 간섭계를 구성하여 주면 생체의 1-D 영상을 얻게된다. 즉 반사 거울의 위치를 가변하면 거울의 위치가 생체조직의 각 반사면의 위치와 일치할 때 강한 간섭계 출력을 얻는다. 또한 각 출력 피크의 값으로부터 경계면의 반사율을 구할 수 있다. 생체에 조사하는 빛을 횡방향으로 스캔하여 주면 2-D 또는 3-D의 영상 취득이 가능해진다.

광영상진단기의 깊이 방향에 대한 해상도는 사용하는 광원의 파장대역에 의하여 주로 결정되나 영상 취득 속도는 광경로차를 조절하여 주는 광경로지연기 (optical delay line)에 의하여 대부분 결정된다. 지금까지 다양한 방법의 광경로지연기가 연구되고 사용되었지만[2] 본 논문에서는 주로 사용되는 회전 육면체 (Rotating Cube or RC) 방법[3]과 회절격자 방법[4]을 소개하고 이의 대안으로서 처핑된 광섬유격자(Chirped Fiber Bragg Grating or CFBG)를 이용하는 방법을 제안한다.

회전 육면체를 사용하는 광경로 지연기의 원리는 그림 1에 나타낸 바와 같이 Corner Cube와 비슷하다. 직각을 이루는 두 반사체 중 하나의 반사체에 입사된 빛은 두 반사체에서 차례로 반사되어 입사된 빛과 같은 방향으로, 평행하나 일치하지 않는, 나가게 된다. 반사되어 나가는 빛의 경로에 반사 거울을 설치하여 원래의 입사된 점으로 되돌려 주는데 이 때 되돌아 나온 빛이 겪는 광학거리는 입사각에 관계하게 되어 육면체를 돌려주면 광경로지연거리의 변화를 얻을 수 있다. 96 Hz로 회전하는 25 mm 크기의 육면체를 사용하여 21.3m/s, 384 Hz의 축방향 스캔을 한 결과가 보고되었다 [3].

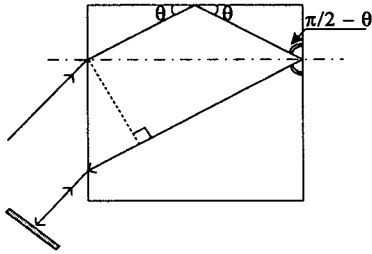


그림 1. 회전 육면체 방법

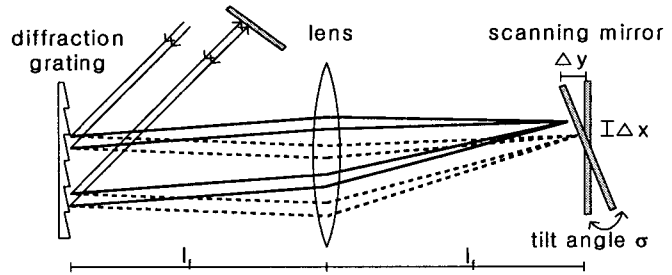


그림 2. 회절격자 방법

회전 육면체 방법을 포함한 종래의 방법이 주로 빛의 위상지연(phase delay)을 이용하였던 것과는 달리 회절격자를 사용하는 광경로지연기는 군지연(group delay)을 이용한다. 색분산(chromatic dispersion)이 없는 매질에서는 위상지연과 군지연이 일치하지만 외부에서 강한 분산을 갖는 소자를 넣어 주면 두 분산 값이 달라지게 된다. 회절격자와 resonant scanner를 그림 2와 같이 사용하여 4 kHz의 축방향 스캔을 얻은 결과가 보고되었다 [4].

위에 언급된 방법들은 고속의 축방향 스캔을 위하여 주로 사용되나 광섬유 밖으로 빛이 나와야 한다는 치명적인 결함이 있다. 이를 해결하기 위하여 CFBG를 사용하고자 한다. CFBG에 입사된 다파장의 빛은 각각의 파장성분이 CFBG의 각기 다른 점에서 반사된다. 두 개의 동일한 CFBG를 그림 3과 같이 서로 반대로 연결하여 주면 각 파장에 따른 광경로 차가 서로 상쇄된다. 그러나 하나의 CFBG에 스트레인을 가해주면 다시 광경로 차가 생성되는데 이는 CFBG의 처핑률에 따라 CFBG를 당겨준 길이보다 많게는 100배 이상의 유효 길이 변화를 야기한다. 즉, 큰 광경로 차를 광섬유 내에서 얻을 수 있다.

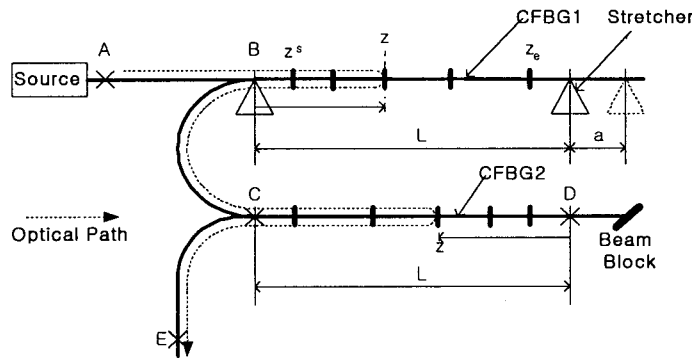


그림 3. 처핑된 광섬유격자를 이용한 방법

요약하면 광영상진단기의 핵심은 광지연선로인데 이는 bulk optics를 사용하지 않고 광섬유 소자만으로도 구현이 가능하다.

본 연구는 산업기반기술개발사업(GI01610)과 광주과학기술원의 ERC, BK-21 사업의 일부 지원금에 의한 것입니다.

1. P.A. Flournoy et. al., Appl. Opt., 11(9), pp. 1907-1915. (1972).
2. J.M. Schmitt et. al., IEEE J. Selected Topics in Quant. Electron., 5(4), pp. 1205-1215 (1999).
3. J. Ballif et. al., Opt. Lett., 22(11), pp. 757-759 (1997).
4. A.M. Rollins et. al., Opt. Express, 3(6), pp. 219-229 (1998).