

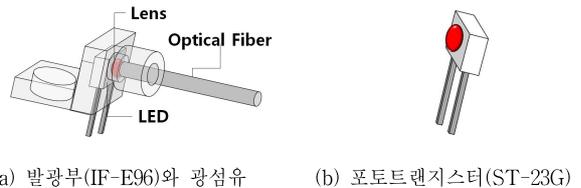
광섬유 종단 각에 따른 각도 측정 기술에 대한 연구

김준식, 김지선, 오한별, 김아희, 고봉준, 이은숙, 신예지, 전재훈\*  
 건국대학교 의료생명대학 의학공학부, BK21 플러스 의공학실용기술연구소

The Study about Angle Measuring Technique According to Optical Fiber Tip Angle

Jun-Sik Kim, Ji-Sun Kim, Han-Byeol Oh, A-Hee Kim, Bong-Jun Goh, Eun-Suk Lee, Ye-Ji Shin, Jae-Hoon Jun\*  
 Department of Biomedical Engineering, BK21 Plus Research Institute of Biomedical Engineering, College of Biomedical & Health Science, Konkuk University

**Abstract** - 본 논문에서는 비교적 가격이 저렴하면서 전자기장의 영향을 적게 받는 광학 소자를 이용하여 각도를 측정하는 연구에 대해 다루고 있다. 보다 측정 범위를 넓히기 위해 빛을 수광하는 포토트랜지스터를 3개 사용하였고, 발광부의 빛을 효과적으로 전달하기 위해 광섬유를 사용하였으며, 이 광섬유의 끝을 여러 각도로 가공하였다. 그 결과 포토트랜지스터를 1개 사용한 경우보다 측정 범위가 넓어지고, 광섬유의 끝을 가공함으로써 측정 신호의 비대칭성과 피크점이 이동하는 것을 확인하였다. 본 연구는 각도 측정을 요하는 다양한 분야에서 활용될 수 있는 측정 기술에 기반이 될 것으로 판단된다.



<그림 1> 실험 재료

1. 서 론

각도 측정은 산업 분야뿐만 아니라 여러 분야에서 중요하게 사용되고 있다. 이에 따라 더 정밀하면서 보다 저렴하고, 간편한 측정법으로 각도 정보를 얻기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존 각도 측정 기술에는 여러 종류가 있지만, 각각 기계적 마모, 측정 방법의 어려움, 공간적 한계 등 한계점을 가지고 있다[1-2]. 본 논문에서는 이러한 기존 측정 기술들의 단점을 극복하여 사용자가 주변 환경과 공간의 제약을 받지 않고, 비교적 쉬운 방법으로 각도를 측정하기 위한 기술을 제시하려 한다. 이러한 장점을 살리기 위해 전자기장의 제약이 작고 부피가 작은 광센서인 포토트랜지스터와 발광부의 빛을 효율적으로 전달하기 위한 광섬유를 사용하였다. 발광부는 광섬유를 마운트 할 수 있는 발광 소자를 사용하여 LED의 빛이 광섬유에 효과적으로 입사시키도록 하였고, 부피가 작아 공간적 제약을 적게 받도록 하였다. 광섬유는 신호와 정보가 내부 반사로 전달되기 때문에 장거리를 큰 손실 없이 전송할 수 있고, 두께가 얇아서 좁은 공간에 적용할 수 있으며, 경우에 따라 여러 개의 광섬유를 겹쳐도 그 두께가 얇다는 점을 들 수 있다. 또한 신호가 전달되는 데에 있어 광섬유 내부는 외부 영향의 간섭이 적기 때문에 왜곡이 적은 장점도 있다. 그렇기 때문에 광섬유는 의료분야, 광통신, 조명장식 등 여러 분야에 사용되고 있다[3]. 이러한 논문에 사용된 재료의 장점들은 연구가 더욱 진행되어 디바이스로 제작되고 특정 분야에 적용되었을 때 장점으로 작용할 것으로 예상된다.

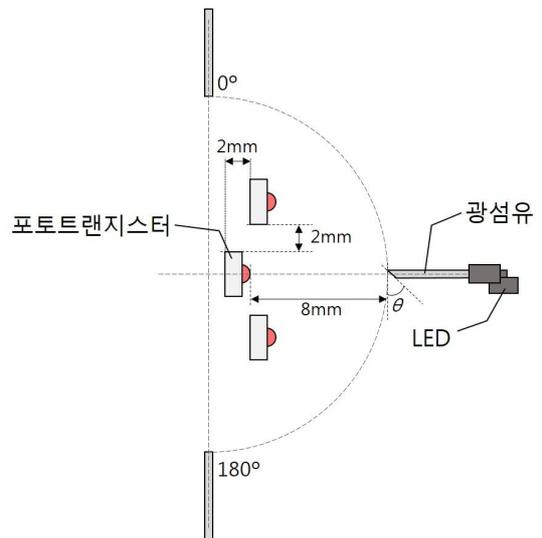
본 연구는 광섬유와 발광부가 수광부 주변을 0도부터 180도까지 원의 궤적을 따라 이동하면서 달라지는 광 신호세기를 수광부가 받아들이고, 이 광 신호 세기 차이를 이용하여 각도를 검출하는 기술에 대한 것이다. 그리고 광섬유의 끝을 가공하여 측정 신호의 비대칭성과 피크점이 이동하는 것으로 빔 형상에 변화를 주었다. 또한 선행 실험 시 포토트랜지스터를 1개를 사용한 경우보다[4] 포토트랜지스터 3개를 사용함으로써 측정 범위를 넓혔다. 이러한 장점들을 이용하여 본 논문에서는 광학적 방법으로 보다 간편하면서 저렴하고 정밀한 각도 측정 기술을 제시하려 한다.

2. 본 론

2.1 실험 재료 및 방법

<그림 1>은 본 실험에 쓰인 실험 재료를 나타낸다. 먼저, <그림 1> (a)는 실험에 쓰인 발광부(IF-E96, Industrial Fiber Optics, USA)와 광섬유(BFL48-600, Thorlabs, Newron, New Jersey)를 나타낸다. 발광부는 최고 파장이 660 nm인 적색 빛의 가시광선으로 눈에 보이기 때문에 실험 과정에서 편의성을 제공하였다. 다음으로 발광부의 빛을 전달하는 광섬유는 멀티모드 광섬유이며, 개구수(N.A., Numerical Aperture)는 0.48이다. 광섬유의 전체 직경은 1000 μm로 매우 얇으며 유연하다. <그림 1> (b)는 포토트랜지스터(ST-23G, Kodenshi copr., Japan)로 감지할 수 있는 파장대는 500 ~ 1050 nm로 최고 파장은 880 nm이다. 이 포토트랜지스터의 수광 파장대는 발광부 빛의 파장대를 포함하기 때문에 실험에 적합하다고 할 수 있다.

<그림 2>는 본 실험 셋업에 대한 개략도이다. 먼저 중심 부분에 포토트랜지스터를 3개를 배치하였다. 3개의 포토트랜지스터 사이 간격은 5 mm로 이격 시켰고, 가운데 포토트랜지스터는 좌, 우 포토트랜지스터보다 2 mm뒤에 위치시켰다. 그리고 광섬유 끝의 각도( $\theta$ )를 0, 10, 20 도로 가공하여 빔의 주방향과 형상에 변화를 주었다. 광섬유가 연결된 발광부는 가운데 포토트랜지스터부터 8 mm 거리를 두고, 0도부터 180도 까지 원 궤도를 따라 움직이고, LED로부터 나오는 빛을 5도 간격으로 포토트랜지스터로 측정하였다. 이렇게 측정 되는 신호는 Labview로 저장하고, MATLAB을 이용하여 분석하였다.

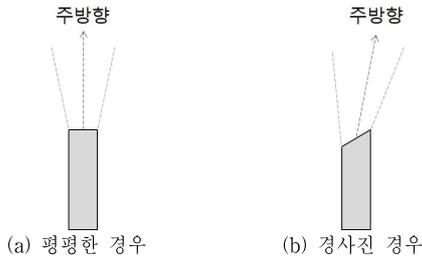


<그림 2> 실험 셋업에 대한 개략도

2.2 실험 이론

<그림 3>은 광섬유 끝을 가공함에 따라 달라지는 빔의 형상을 나타내고 있다. 광섬유에서 빛이 입사, 진행, 방사되는 현상은 Snell's law를 근거로 설명할 수 있다. 빛은 굴절률이 다른 매질로 진행할 때 속도가 달라지면서 진행 방향에 변화가 생긴다. 빛이 다른 매질의 경계면에 입사할 때의 각도를 입사각이라 한다. 입사각이 커지게 되면 특정 각도에서 빛이 다음 매질로 진행하지 못하고 경계면을 따라 진행하는 경우가 나타나는데, 이 각도를 임계각이라 한다. 입사각이 임계각보다 커지게 되면 빛은 다른 매질의 경계면에서 전반사가 일어나게 된다. 광섬유 내부에서는 빛이 이러한 전반사가 일어나면서 진행하게 되는데, 이를 내부 전반사라 한다. 내부전반사로 빛이 진행하기 때문에 손실이 적은 것이

며, 이렇게 진행한 빛은 광섬유의 끝에서 달라지는 굴절률에 따라 방향이 바뀌어 진행하게 된다. 광섬유 끝에서 빛의 주방향과 형상은 끝 면의 각도에 따라 결정되는데, 이를 <그림 3>에서 (a) 평평한 경우, (b) 경사진 경우로 나타내고 있다. 광섬유 끝 면에 각도가 경사지게 되면 경계면의 방향이 달라지면서 굴절되는 방향도 달라져서 광섬유로부터 방사되는 빛의 주방향과 형상이 달라지는 것이다. 이렇게 달라지는 빛 형상은 측정되는 신호의 피크 이동으로 비대칭성을 제공하여 데이터 분석에 이점을 제공할 수 있게 된다.

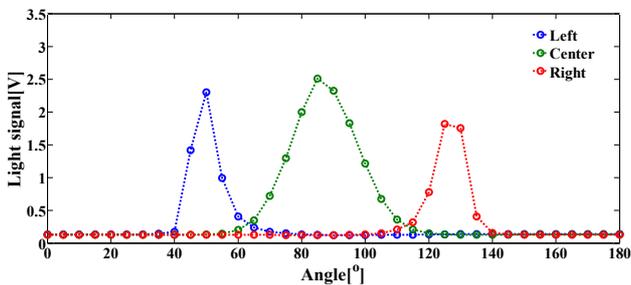


<그림 3> 광섬유 끝의 각도에 따른 빛의 형상

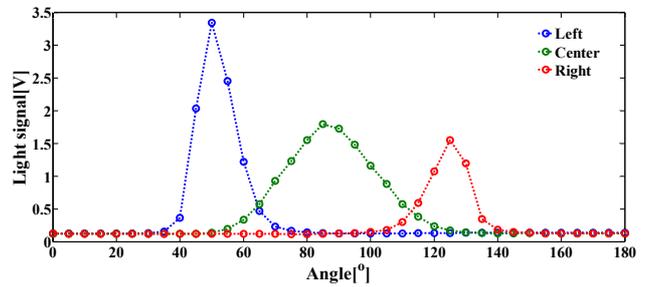
### 2.3 실험 결과

광섬유 끝 각도가 0, 10, 20도 각각의 경우에 3회씩 반복실험을 한 후 평균을 내어 데이터를 수집하였다. <그림 4>는 광섬유 끝 면의 각도 변화에 따른 측정 결과를 나타내고 있다. <그림 4> (a)는 광섬유 끝 각도가 0도로 빛이 좌우 대칭으로 방사되는 경우이다. 이에 따라 가운데 포토트랜지스터는 조금은 치우쳐져 있지만, 좌우 대칭인 가우시안 빔 프로파일을 나타내고 있다. 하지만 왼쪽과 오른쪽 포토트랜지스터의 신호에 차이가 있는데, 이는 셋업 시 정렬의 오차로 사료된다. 3개의 포토트랜지스터로부터 신호가 40도에서 140도까지 측정 되고 있는 것을 알 수 있다. 다음으로 <그림 4> (b), (c)를 보면 광섬유 끝 각도가 10도, 20도로 커짐에 따라 가운데와 오른쪽 포토트랜지스터의 신호의 피크가 감소하고 피크 축이 오른쪽으로 이동하는 비대칭성이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 광섬유의 끝 각도를 가공함에 따라 빛의 주방향이 달라지기 때문이다. 또한, 빛의 퍼지는 정도가 커지기 때문에 신호 밀도가 작아져서 신호의 피크가 줄어드는 것이다. <그림 4> (a), (b), (c)의 왼쪽 포토트랜지스터 신호를 보면 신호의 피크가 커졌다가 줄어드는 것을 알 수 있다. 먼저 신호의 피크가 커지는 것은 광섬유 끝 각도가 변화하면 달라지는 빛의 주방향이 왼쪽 포토트랜지스터로 향하면서 신호가 강하게 측정되었기 때문으로 사료된다. 다음으로 광섬유 끝 각도가 20도인 경우에서 왼쪽 포토트랜지스터 신호가 감소하는 것은 광섬유 끝 각도가 커짐에 따라 가운데, 우측 신호와 마찬가지로 빔 분포 정도가 커져서 신호 밀도가 작아지면서 피크가 줄어들게 된다.

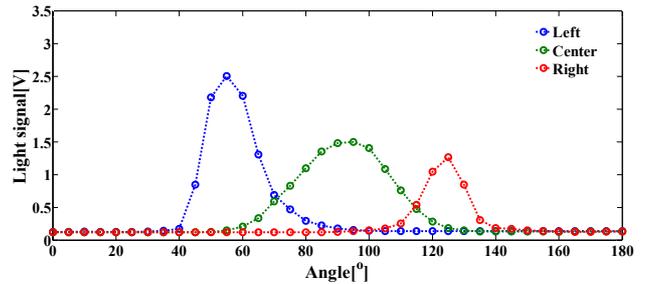
본 실험에서 광섬유 끝 각도가 0, 10, 20도인 경우 모두 약 40도에서 140도의 측정 범위를 보이고 있다. 그러나 각도 별로 포토트랜지스터 간 신호의 크기 차이와 피크이동을 보이고 있다. 각도 검출을 위해서는 해당 각도에서 각도 정보를 구분하기 위한 충분한 신호와 근처 신호들과의 차이(해상도)를 보여야 한다. 이 부분에 대해서는 세 가지 모든 경우에서 적절한 신호의 크기와 해상도를 갖고 있다. 또한, 세 포토트랜지스터의 신호가 만나는 부분에서도 충분한 신호가 측정되어야 해당 각도의 신호를 알 수 있기 때문에 세 포토트랜지스터들의 측정된 신호 사이에 교차하는 부분이 있어야 한다. 이 점은 광섬유 끝 각도가 0도인 경우는 적절하지 않지만, 10도와 20도인 경우에는 적절하다고 판단할 수 있다. 광섬유 끝 각도가 10도와 20도의 차이는 전체적인 신호의 크기로 10도인 경우가 20도인 경우보다 큰 신호를 보여주고 있다. 따라서 비교적 큰 신호를 나타내고 있는 광섬유 끝 각도가 10도인 경우가 20도보다 좋은 경우라고 할 수 있다.



(a) 광섬유 끝 각도 0도



(b) 광섬유 끝 각도 10도



(c) 광섬유 끝 각도 20도

<그림 4> 광섬유 끝 각도에 따른 결과

### 3. 결 론

현재 여러 분야에서 쓰이고 있는 각도 측정 기술에는 기계적 마모, 측정법의 어려움, 비용 등의 한계점이 존재하고 있다. 이 점을 보완하기 위해 본 논문은 광섬유 끝 면의 각도에 따라 달라지는 빛 형상을 이용하여 보다 저렴하고, 정밀하게 쉬운 방법으로 각도를 측정할 수 있는 기술에 대한 연구이다. 광섬유 끝 면 각도를 변화시켜가면서 실험하여, 이에 따라 측정되는 신호의 크기 변화와 비대칭성을 확인하였다. 또한, 포토트랜지스터를 3개를 사용하여, 1개의 포토트랜지스터를 사용한 경우보다 넓은 측정 범위를 확보하였으며, 포토트랜지스터를 본 논문에서 제시한 실험 방법과 같이 위치시킴으로써 신호를 효과적으로 측정할 수 있도록 하였다.

추후 연구로는 본 실험 결과보다 측정 범위를 더 넓힐 수 있는 조건과 수집된 신호를 이용하여 각도 정보를 검출하여 사용자에게 제공할 수 있는 시스템을 구현하도록 연구할 예정이다.

#### 감사의 글

“이 논문은 2014년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (NRF-2014H1C1A1066447).”

“본 연구는 한국연구재단을 통해 미래창조과학부의 미래 유망 융합기술 파이오니어 사업으로부터 지원받아 수행되었습니다(No. 2011-0027920).”

#### [참 고 문 헌]

- [1] Al-Abdulwahab SS, Al-Dosry RD, “Hallux valgus and preferred shoe types among young healthy Saudi Arabian females,” Ann Saudi Med, vol. 20 no. 3-4, pp. 319-321, 2000.
- [2] L. Tesio, M. Monzani, R. Gatti, and F. Franchignoni, “Flexible electro goniometers: kinesiological advantages with respect to potentiometric goniometers,” Clinical Biomechanics, vol. 10, no. 5, pp. 275-277, 1995.
- [3] Yun Liu, WeiPeng, Xinpu Zhang, Siyu Qian, “Optical fiber sensor based on capillary wall for highly-sensitive refractive index measurement,” Optics Communications vol. 319, pp. 106-109, 2014.
- [4] 정구인, 김지선, 이태희, 최주현, 오한별, 김아희, 전재훈, , “광섬유 종단각도 효과를 이용한 관절각 측정”, KIEE, Vol.62, No. 2, pp. 1~5, 2014