

광섬유를 이용한 170 kV GIS용 전류 측정 장치의 개발

정재용\*, 김덕래\*, 김병태\*, 박정남\*\*, 김영근\*\*, 서정민\*\*, 함길호\*\*  
 \*청주대학교 레이저광정보공학과, \*\*LG 산업

Development of optical current transformer used an optical fiber for 170 kV GIS

J.Y. Jung\*, D.L. Kim\*, B.T. Kim\*, J.N. Park\*\*, Y.G. Kim\*\*, J.M. Seo\*\*, G.H. Ham\*\*  
 \*Dept. of Laser & Optical Information Eng., Chongju Univ. \*\*LG Industrial Systems Co. Ltd.

**Abstract** - 본 논문에서는 광을 이용한 전류 측정 장치의 연구 내용에 대하여 기술하였다. 광을 이용한 전류 측정 장치의 가장 큰 문제점은 감도 저하를 주는 선형 복굴절 양이며, 이러한 선형 복굴절을 줄이는 방법은 광섬유를 비틀어서 선형 복굴절 양에 비해 원형 복굴절의 양을 크게 해주는 방법을 사용하였다. 광섬유를 비틀어서 측정한 결과는 측정 감도가 약 3배의 증가를 보였으며, 측정오차의 경우도 1% 이내의 선형성을 나타내었다. 본 실험의 결과로 광섬유를 비틀는 방법이 광을 이용한 전류 측정 장치의 선형 복굴절을 크게 감소시킬 수 있었으며, 대전류 측정에 측정도를 높일 수 있다고 판단된다.

광섬유를 비틀어 주었다. 출력단의 광 검출기는 전류에 따른 미소한 편광변화에 측정 가능한 감도가 좋고 압전류가 작은 광검출기를 사용하였다. 그림 1과 그림 2가 본 연구에서의 광섬유 전류 측정 장치의 구성도와 전경이다.

1. 서 론

최근 전력 계통의 전압 상승과 측정 정밀도에 대한 요구가 증대됨에 따라 전력 설비의 고장 검출이나 전류 측정 분야에서 기술과 비용 면에서 경쟁력이 있는 광을 이용한 고전압 대전류 측정이 주목받고 있다. 광을 이용하여 전류를 측정하는 방법은 물질에 자장의 방향으로 직선 편광을 전파시키면 편광면이 회전하는 패러데이(Faraday) 효과를 이용한다. 이는 전류에 의해 발생된 자장과 선형 편광된 광자의 상호작용에 의해서 선편광의 편광면이 자장의 크기에 비례해서 회전하는 현상이다.

광을 이용한 전류센서의 문제점은 광섬유의 복굴절 변화와 외부의 온도 변화 및 진동에 의한 센서 감도 변화이다. 이 중에서 광섬유의 선형 복굴절이 가장 큰 문제점이며, 이러한 선형 복굴절은 편광 상태를 변화시켜 전류 측정의 정확도를 떨어뜨리게 되므로 광섬유에 생기는 선형 복굴절의 영향을 제거하는 것이 관건이다.

본 연구에서는 광섬유 전류센서의 복굴절 영향을 최소화시키기 위해 광섬유를 비틀어서 상대적으로 선형 복굴절을 적게 하는 방법과 차후 연구로 반사에 의한 광경로 보정법을 적용하여 두 수직인 편광에 대해 광경로를 보상해 주어 복굴절 영향을 최소화하는 실험을 하였다.

2. 실험 결과 및 분석

2.1 실험 장치 및 구성

본 연구에서는 광원으로는 Verdet 상수와 수명, 부피 및 가격 등을 고려하여 파장이 785 nm인 반도체레이저를 단일모드 광섬유에 pigtail하여 사용하였다. 광학 소자부는 선형 편광을 입사시키기 위해 편광자와 그 외의 광학 소자들로 구성되었으며, 광원의 편광 성분에 영향을 주지 않고 광원과 센서용 광섬유에 광축이 틀어지지 않도록 고정하였다. 센서용 광섬유는 170 kV GIS용 규격으로 제작한 원형틀에 고정식으로 제작하였으며, 광섬유 자체에 내제되어 있는 선형 복굴절을 최소화하기 위해

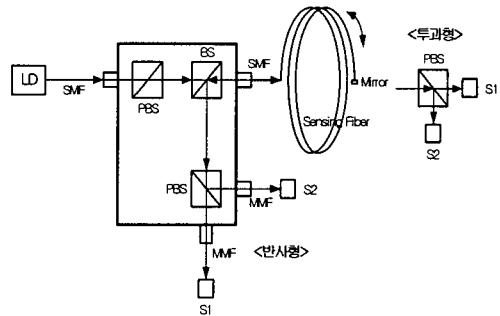


그림 1. 광을 이용한 전류 측정 장치 개략도

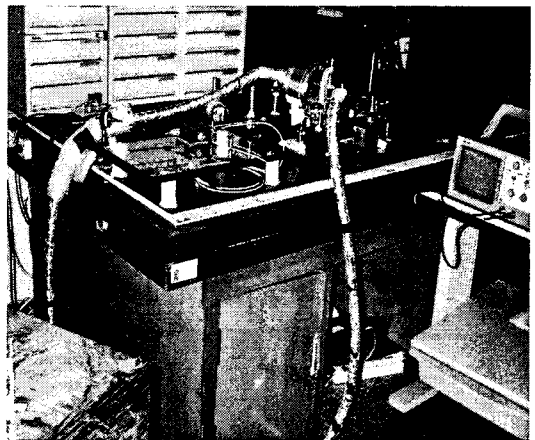


그림2. 실험 장치 전경

2.2 광섬유의 편광 특성 측정

본 연구에서의 가장 중점적인 내용은 센서부인 광섬유에 감도 저하를 주는 선형 복굴절의 영향을 줄이는 것이다. 광섬유는 제작시의 단면의 불균일성과 구부림에 의

한 응력 등이 발생하여 선형 복굴절이 유발된다. 선형 복굴절은 광을 이용한 전류 측정 장비에서 센서의 측정 감도에 큰 영향을 준다. 이러한 선형 복굴절을 보상해 주기 위해 본 실험에서는 광섬유를 비틀어 주어 사용하였다.

광섬유를 비트는 것에 대해 편광 특성 변화를 측정하기 위해 입사되는 출력광을 직선 편광으로 입사시킨 뒤 원형편에 광섬유를 1회 감고, 25회까지 비틀어가며 출력 편광의 변화를 측정하였다. 초기 값은 광섬유가 직선 상태 일 때의 편광비를 기준으로 하였으며, 0의 의미는 광섬유를 비틀지 않고 감기만 한 상태이고, 그에 따른 측정 결과는 그림 3과 같다.

0회(광섬유를 비틀지 않고 감기만 한 상태)에 측정값은 그래프에서 보여 주듯이 직선 상태에서 급격히 증가되었다가 1회 비틀어 주었을 경우 다시 떨어짐을 볼 수 있다. 이는 광섬유를 원형편에 고정하였을 때 구부림으로 인한 선형 복굴절 증가가 원인이라고 보여진다. 또한, 1회 비틀어 주었을 경우 다시 감소되는 것으로 측정되었는데, 이것은 비틀어 줌으로서 구부림에 의한 선형 복굴절 양을 어느 정도 상쇄시키는 것을 암시하고 있다.

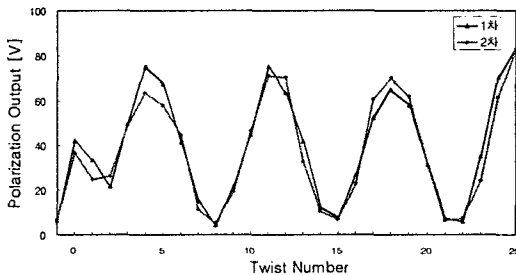


그림 3. 광섬유를 비트는 횟수에 따른 편광 특성 변화

그림의 결과에서 보는 것과 같이 광섬유의 비틀어 주는 것에 따라 출력 편광 변화의 주기성이 나타남을 알 수 있다. 광섬유를 감지 않고 직선 상태로 측정했을 때의 출력 편광 측정값을 기준으로 약 7-8회의 주기성을 보인다. 이러한 주기성에 따라 광섬유를 비틀어 사용함으로써 선형 복굴절의 적절하게 보상하여 출력 시켰다는 것으로 해석할 수 있다.

### 2.3 전류 인가시의 비트는 횟수에 따른 출력 변화

광을 이용한 전류 측정 장치는 패러데이 효과를 이용한 것이다. 이러한 패러데이 효과는 자장에 따라 입사 선형 편광이 회전하는 현상이다. 패러데이 회전각  $\theta_f$ 는 전류가  $n$ 회 감은 광섬유를 지나갈 때 광이 광섬유를 지나간 거리  $l$ , 광섬유의 베르데(Verdet) 상수  $V_c$ 와 자장의 세기  $H$ 에 의해  $\theta_f = n V_c \int H dl = n V_c I$ 로 표현된다. 결과적으로 전류의 세기  $I$ 에 따라 패러데이 회전각  $\theta_f$ 가 얻어지게 된다.

광을 이용한 전류 측정 장비에 전류를 인가하여 측정 실험 결과는 선형 복굴절 양에 따라 측정 감도가 달라지게 되는데 광섬유를 비틀어 줌으로써 광섬유의 선형 복굴절 양을 원형 복굴절에 상대적으로 작게 하여 측정 감도를 높여 줄 수 있다.

그림 4는 광섬유를 비틀어 줌에 따른 출력 변화이다. 이 측정값으로 광섬유에 내재된 선형 복굴절이 광섬유를

비틀어 줌으로써 보상됨을 알 수 있으며, 위의 결과 또

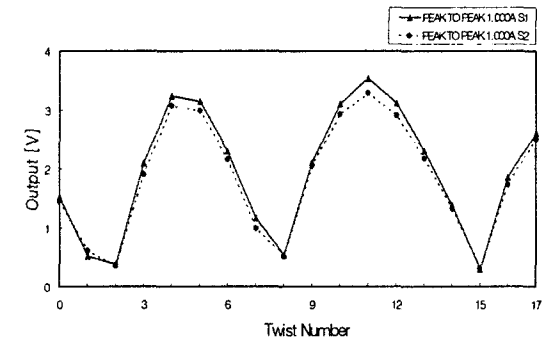


그림 4. 전류 인가 시 비트는 횟수에 따른 출력 변화

### 2.4 광을 이용한 전류 측정 장치의 출력특성

광섬유를 비트는 횟수에 따른 출력 측정 결과 전류 측정의 선형성 오차율의 경우 출력 감도가 좋은 횟수에 대해서 최소  $\pm 0.5\%$ 의 오차율이 측정된 반면에 감도가 좋지 않은 횟수에 대해서는 최대 20%이상의 오차율이 측정되었다.

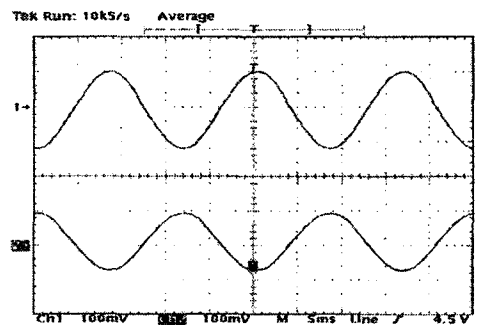


그림 5. 전류 1,000 A 인가시의 출력 파형

그림 5는 가장 측정 감도가 좋은 지점에서 광섬유를 비튼 상태에서 1,000 A 전류 인가시의 출력 파형이며, 그림 6은 0 ~ 1,000 A까지 100 A씩 전류를 인가 시켰을 때 출력 파형에 대한 선형성 결과이다. 선형성 오차율은  $\pm 0.5\%$  이내로 측정되었고, 감도 향상 또한 광섬유를 비틀지 않았을 때와 비틀었을 때를 비교한 결과 약 3배의 출력 감도 향상을 보였다.

비틀어 줌으로써 보상됨을 알 수 있으며, 위의 결과 또

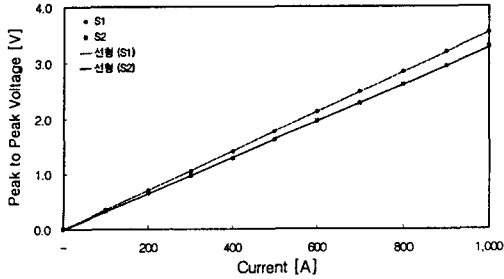


그림 6. 전류 인가에 따른 선형성

선형 복굴절이 커지게 되면 패러데이 회전각이  $\sin c$  함수의 모양으로 줄어들게 되어 전류에 대한 측정 감도를 줄이게 된다. 측정 감도가 가장 좋은 지점은 선형 복굴절이 0이 되는 지점이다. 이에 따라 실험 결과에서 감도 향상과 측정의 선형성은 광섬유를 비틀어 주는 횟수가 선형 복굴절을 적절하게 상쇄시켜 준 상태라고 판단된다.

### 3. 결 론

최근 전력계통의 전압 상승과 측정 정밀도에 대한 요구가 증대됨에 따라 전력 설비의 고장 검출이나 전류 측정 분야에서 기술과 비용 면에서 경쟁력을 갖춘 광을 이용한 고전압 대전류 측정이 주목받고 있다. 이러한 광을 이용한 전류 측정 장치에 가장 중점적인 내용이 선형 복굴절 영향을 줄여주어 감도 증가에 따른 정밀한 측정 시스템의 구축이다. 본 연구에서는 광섬유를 이용한 170 kV GIS용 전류 측정 장치를 개발에 대한 연구를 하였다.

광섬유를 광섬유의 비틀어 주는 것에 따라 출력 편광 변화의 주기적으로 변화함을 확인하였으며, 전류인가 시 광섬유를 비틀어 주는 횟수에 따라 주기적으로 측정 감도가 변화함을 알 수 있었다. 결과적으로 광섬유를 비틀어줌으로써 변화하는 편광에 따라서 측정 감도가 달라짐을 알 수 있으며, 이러한 주기가 선형 복굴절의 영향을 적절하게 보상해준 결과라고 판단된다. 또한 이 결과로 광을 이용한 전류 측정 장치의 센서부인 광섬유에 비트는 횟수를 결정 할 수 있다.

본 연구 결과 위의 방법을 사용하여 약 3배의 측정 감도를 향상 시켰으며 0 A에서 1,000 A까지 선형성 오차가  $\pm 0.5\%$  이내의 선형성을 보여 주었다.

다음 실험으로는 반사경을 사용하여 위상 반전에 대한 선형성 오차율 및 감도 변화를 측정 할 예정이다. 이 실험의 경우 자장의 영향이 배가되므로 이번 연구의 결과보다 더 좋은 결과를 기대해 본다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Huang, Hung-chia, "Microwave approach to highly irregular fiber optics" John Wiley & Son, Inc, pp98-129, 1998
- [2] D.K.Kahaner, "Optical Fiber Sensors (OFS'96)", May 20 - 28, 1996,
- [3] Myung Lae Lee, "Passive and Active Fiber-Optic Current Sensor", Department of Physics. pp5-33, 1998
- [4] Tomasz R. Wolinsky, "Polarization Measurements of Birefringent Fiber Optic Systems", IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Anchorage, pp1129-1132, 2002