

Erbium 첨가 광섬유 광원을 사용하는 자이로스코프에서 광원 과잉잡음 소거에 의한 측정감도 개선

Sensitivity improvement of fiber-optic gyroscope with erbium-doped fiber source by source excess noise subtraction

진영준*, 박태용, 김택중, 박희갑*

전북대학교 물리학과

*hgpark@phy0.chonbuk.ac.kr

Abstract

In the fiber-optic gyroscope employing the erbium-doped fiber source, the source excess noise was subtracted through a signal processing to improve the gyroscope sensitivity. As the result, we obtained the improvement of 14 dB (electrical) at the proper frequency, which was measured from the noise floor spectrum. In addition, the random walk coefficient in the gyro output was reduced by about factor of three.

1. 서론

광섬유 자이로스코프(이하 줄여서 자이로라 함)는 Sagnac 간섭계의 원리를 이용한 광섬유 센서로서, 미사일의 자세제어나 인공위성, 비행기, 선박, 잠수함등의 항법장치에 사용되고 있다. 자이로에서 중요한 특성인 회전속도의 측정감도는 신호대 잡음비(SNR)와 밀접한 관련이 있는데, 신호처리과정에서 광원의 과잉잡음(excess noise)을 줄여줌으로서 자이로 신호의 SNR과 회전속도의 측정감도를 향상시킬 수 있다.^[1] 이러한 광원의 과잉잡음은 주로 여러 파장성분간의 맥놀이때문에 기인하는 것으로 광원의 파장선평에 반비례하는데, 적절한 신호처리를 통해 자이로 출력 신호에 포함된 과잉잡음을 상쇄시키는 연구가 진행되어 왔다.^[2,3]

이 논문에서는 erbium 첨가 광섬유를 광원으로 하는 자이로스코프에서 전기적 신호처리를 통해 출력단에서 광원의 과잉잡음을 소거하는 실험을 수행하였다. 종래의 방식^[2]은 신호처리를 위해 자이로 loop 길이와 같은 길이의 별도의 지연 광섬유가 반드시 필요하나, 이 논문의 방법은 자이로를 적정 주파수(proper frequency)로 변조하는 방식으로 지연 광섬유 없이도 가능한 방법이다.

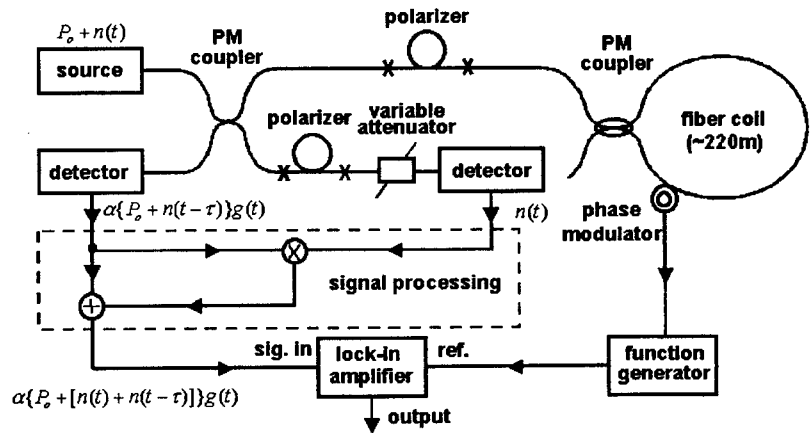


그림 1. 실험장치의 구성

2. 실험 방법

광원잡음 소거를 위한 실험장치 구성과 동작원리를 그림 1에 나타내었다. Erbium 첨가 광섬유로 광원을 구성하였으며, 광섬유 루프는 편광유지 광섬유로 구성하였다. 루프의 길이와 직경은 각각 220 m와 18.4 cm이고, 광섬유 결합기는 모두 50:50 편광유지 광섬유 결합기를 사용하였다. 자이로 출력 신호광과 광원 출력을 각각의 광검출기로 검출하였으며, 광원 출력과 자이로 출력 신호광의 크기는 각각 40 mW와 780 μW였다. 또한, 광원 출력을 검출하는 광검출기 앞단에 편광기를 두어 광원 출력과 자이로 출력 신호의 편광상태가 일치하도록 하였다. 편광기와 광검출기 사이에 있는

* 진영준 : 한국과학기술원 전자광학특화연구센터 (CEO)에서 전북대 기초과학연구소로 파견

단에 편광기를 두어 광원 출력과 자이로 출력 신호의 편광상태가 일치하도록 하였다. 편광기와 광검출기 사이에 있는 광감쇄기는 광원 출력의 검출광 세기를 조절해주는 역할을 한다. 자이로 출력 신호에 광원의 잡음성분을 곱한 후, 이 곱한 신호를 다시 자이로 출력 신호광에 더해줌으로써, 적정 주파수 성분의 광원의 과잉잡음이 최소가 되도록 해주었다. 이를 위해 자이로의 변조 주파수를 적정 주파수인 455 kHz로 가해주었고, 위상차 변조 진폭은 0.7 rad였다.

3. 실험 결과

자이로에 위상변조를 하지 않은 경우에 대해서, 자이로 출력단에서의 noise floor를 스펙트럼 분석기로 측정하여 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 2-(a)는 광검출기에서 나온 광원의 과잉 잡음을 소거하기 전의 자이로 출력을 측정한 결과이고, 2-(b)는 신호처리를 거쳐 과잉 잡음을 소거한 자이로 출력을 측정한 결과이다. 그림 2를 보면 신호처리를 거쳐서 과잉잡음을 소거한 자이로 출력 신호광이 455 kHz의 적정 주파수에서 과잉잡음을 소거하지 않은 경우에 비해서 잡음이 14 dB가 감소하였다.

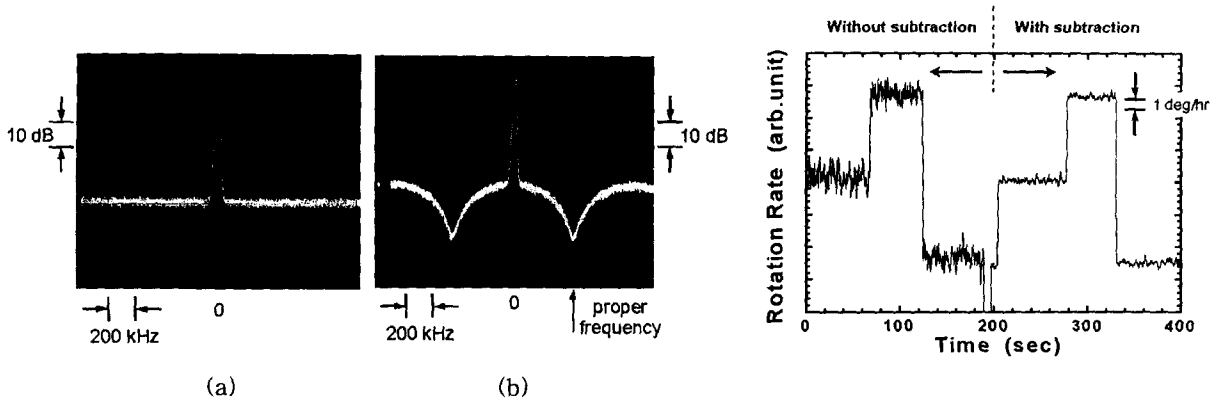


그림 2. 자이로 출력의 잡음 스펙트럼 : (a) 광원의 과잉잡음 소거전, (b) 광원의 과잉잡음 소거후

그림 3. 광원의 과잉 잡음 소거하기 전과 소거한 후의 회전에 따른 자이로 출력 신호광

그림 3은 자이로를 적정 주파수로 변조하고, 지구자전 속도로 양방향 회전시키면서 적정 주파수 성분의 자이로 출력 신호광을 Lock-in amplifier로 측정한 결과이다. 이때, Lock-in amplifier의 시간상수는 0.2 초였고, 자이로 출력 신호광의 random walk 계수가 과잉잡음을 소거하기 전에는 $6.0 \times 10^{-5} \text{ deg}/\sqrt{hr}$ 에서 소거한 후에는 $1.8 \times 10^{-5} \text{ deg}/\sqrt{hr}$ 로 과잉 잡음을 소거하기 전에 비해서 대략 1/3정도로 감소하였다.

4. 결론

Erbium 첨가 광섬유를 광원으로 하는 자이로스코프에서 자이로 출력신호를 직접 검출한 광원잡음과 전기적 신호처리함으로써 자이로 출력단에서 광원의 과잉잡음을 소거하였다. 자이로를 변조하지 않은 경우에 대해서 자이로 출력의 잡음 스펙트럼을 측정한 결과 적정 주파수에서 잡음이 14 dB 감소하였다. 또한, 자이로를 적정 주파수로 변조해 주고, 회전에 따른 적정 주파수 성분의 자이로 출력 신호광을 측정한 결과 random walk 계수는 1/3 정도로 감소하였다.

감사의 글 : 본 연구는 한국과학기술원 전자광학특화연구센터와 광전자연구센터의 지원으로 이루어졌습니다.

【참고문헌】

[1] P. R. Morkel, R. I. Laming, D. N. Payne, *Electron. Lett.*, **26**, p. 96, 1990.
 [2] R. P. Moller and W. K. Burns, *Optics Lett.*, **16**, p. 1902, 1991.
 [3] I. Kim, *Ph. D. thesis*, Texas A&M University, 1995.

