

논문 2000-9-6-03

Sagnac 간섭계를 이용한 광섬유 음향 센서의 동적 범위 향상 기법

남 성 현

A New Technique for Improvement of Dynamic Range in Fiber Optic Acoustic Sensor using Sagnac Interferometers

Sung-Hyun Nam

요 약

Sagnac 간섭계를 이용한 광섬유 음향 센서에서 음향 신호를 간단하면서도 효과적으로 복조할 수 있는 이중 위상 편이 신호처리 기법을 제안하고 실험을 통하여 그 특성을 검증하였다. 이 기법을 사용하여 기존의 $\pi/2$ 위상 바이어스 복조 방식이 갖는 동적 범위의 이론적 한계를 근본적으로 제거하였다. 이 기법은 고주파의 위상 변조를 하지 않으므로 간단한 전자 회로만으로도 음향 신호의 복조가 가능하다. 또한 디지털 신호처리에 적합하며 다른 간섭계에도 적용이 가능하다.

Abstract

A new demodulation technique which can be used for the fiber optic acoustic sensor system using Sagnac interferometer is described. The theoretical limitation in dynamic range of the quadrature demodulation technique can be removed by the proposed BPSK(Binary Phase Shift Keying) demodulation technique. Full demodulation of input acoustic signal is possible with just simple electronics by eliminating the necessity of the high frequency phase modulation. This technique is suitable for digital signal processing of fiber optic sensor systems and can be applicable for other interferometers.

1. 서 론

Sagnac 간섭계를 이용한 광섬유 음향 센서는 1983년에 E.Udd 에 의해 처음 제안되었다.^[1] Sagnac 간섭계를 이용한 광섬유 음향 센서의 원리는 광섬유 루프의 특정 위치에 음향 신호가 도달하게 되면 서로 반대 방향으로 루프 내를 진행하는 빛의 도달 시간의 차이에 의해서 위상 차가 발생하며 그로 인한 간섭 신호가 만들어지게 된다. 이 간섭 신호는 광섬유 루프가 감지한 음향 신호의 정보를 포함하게 되며 적절한 신호처

리를 통하여 음향신호를 복조할 수 있다. 광섬유 음향 센서의 응용이 대부분 Mach-Zehnder 혹은 Michelson 간섭계를 사용하여 개발되어 왔는데 Sagnac 간섭계를 이용할 경우 몇가지 장점을 갖게된다. Sagnac 간섭계에서는 본질적으로 광 경로차가 발생하지 않으므로 광섬유 센서의 주된 잡음 원 중의 하나인 광원에 의한 위상 잡음이 없으며 따라서 광섬유 길이를 정밀하게 조정할 필요가 없게된다. 또한 고주파 신호에 대한 반응도가 높아서 초음파 센서 등의 응용^[2]에 적합하며 수중 음향 센서로서의 응용도 가능하다.^{[3][4]}

Sagnac 간섭계를 이용한 광섬유 음향 센서의 신호처리를 위하여 다양한 방식이 제안되었는데 크게 루프 내에 위상 변조기를 사용하여 변조하는 방법과 3×3 방향성 결합기를 사용하는 방법으로 나눌 수 있다. 위

국방과학연구소 제2체계개발본부 전자기 연구실
(Agency for Defense Development Naval System
Development Center , Electro-magnetic team)
<접수일자 : 2000년 8월 14일>

상 변조기를 사용하는 방법은 광섬유 자이로를 위하여 개발된 것들로 음향 센서에도 적용할 수 있다¹⁵⁾. 그러나 자이로 신호와 음향 신호는 근본적으로 신호의 주파수 대역이 크게 다르므로 정현파 위상 변조시 발생하는 고조파들로 인하여 검출할 수 있는 음향 신호의 주파수 대역이 제한받게 된다. 인접한 고조파들 사이의 주파수 겹침을 피하기 위해서는 위상 변조 주파수는 감지하려는 음향 신호 주파수 대역보다 최소한 2배 이상 이어야 한다. 실제로 신호의 충분한 동적 범위를 확보하기 위해서는 훨씬 높은 주파수에서 위상 변조를 하여야 하며 시분할 다중화된 대규모 센서 시스템에서 사용될 경우 샘플링 속도와 주파수 대역 제한의 문제가 신호처리를 복잡하게 만드는 원인이 된다. 3×3 방향성 결합기를 사용하는 방식은 수동 광학 소자를 사용하여 신호처리에 필요한 서로 $\pi/2$ 위상 지연 관계에 있는 신호들을 손쉽게 얻을 수 있어 실험실 등에서 많이 사용되고 있으나 환경 변화에 의한 3×3 방향성 결합기의 결합 상수 및 가 간섭도 변화에 따라 위상 바이어스 및 비례 인자가 유동하므로 정밀한 신호가 요구되는 응용 분야에는 적합하지 않다¹⁶⁾¹⁷⁾. 또 다른 신호처리 기법으로 위상 변조기를 사용하여 $\pi/2$ 위상 바이어스를 가하여 별도의 신호처리 없이 신호를 검출하는 방식이 제안되었다¹³⁾. 이 기법은 정밀 위상 제어가 가능하므로 3×3 신호처리의 단점을 보완할 수 있으나 Sagnac 간섭계에서만 적용할 수 있으며 큰 입력 신호에 대해서는 신호 왜곡이 일어나므로 넓은 동적 범위를 요구하는 응용에는 적합하지 않다.

본 연구에서는 Sagnac 간섭계를 이용한 광섬유 음향 센서의 신호처리를 위하여 기존 신호처리 방식들의 단점을 보완하는 이중 위상 천이 기법(Binary Phase Shift Keying)이라 불리는 새로운 신호처리 기법을 제안하였다. 이 기법은 Sagnac 루프의 한쪽 끝에 달린 위상 변조기를 사용하여 어느 한 방향으로 진행하는 펄스광에만 0과 $\pi/2$ 크기의 위상을 교대로 변조한다. 이렇게 두 가지 값의 위상 바이어스를 교대로 변조한 후 같은 위상 바이어스를 갖는 신호들로 각각 분리하여 위상 복조에 필요한 신호들을 얻는다. 이 기법을 사용하면 고주파의 위상 변조를 하지 않기 때문에 센서 수가 많은 다중화된 시스템에서도 복잡한 주파수 문제를 일으키지 않으며 넓은 동적 범위를 확보할 수 있는 장점을 갖게 된다. 본 연구에서는 제안된 이중 위상 천이 기법의 특성에 대해서 고찰하고 실험을 통하

여 그 알고리즘을 검증한다.

II. 신호의 왜곡

일반적으로 광섬유 간섭계 출력은 $A + B \cos \phi$ 형태의 전달 함수를 갖게 된다. 따라서 간섭계 출력에 적절한 신호처리를 하여야만 원하는 위상 정보 ϕ 를 얻을 수 있다. 지금까지 광섬유 간섭계 신호처리를 위하여 다양한 기법들이 발표되었는데 가장 단순하면서도 효과적인 방법은 그림 1에서 볼 수 있는 것처럼 광섬유 간섭계에 $\pi/2$ 의 위상 바이어스를 인가하는 것이다.

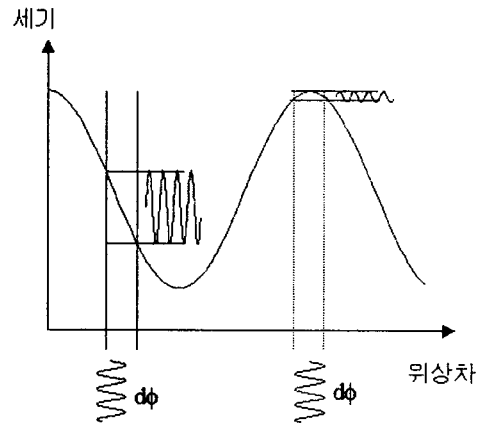


그림 1. 위상 바이어스에 대한 간섭계 출력.

Fig. 1. Output from a interferometer versus phase bias.

Mach-Zehnder 나 Michelson 간섭계를 사용하는 경우는 온도 등의 주변 환경 변화에 의해 위상이 쉽게 유동하므로 적절한 Feedback 회로를 이용하여 위상 바이어스가 일정한 값을 유지하도록 해주어야 한다. 그러나 이러한 방식은 Feedback 회로의 reset 문제와 다중화된 센서 시스템에 적용하기 어렵다는 단점 때문에 실제 시스템에서는 사용되지 않는다¹⁸⁾. Sagnac 간섭계를 사용하는 경우에는 동일한 광 경로를 서로 반대 방향으로 진행하는 두 빛이 간섭하기 때문에 Mach-Zehnder 나 Michelson 간섭계와 같은 위상 유동은 거의 발생하지 않는다. Sagnac 간섭계에서는 보통 광섬유 루프내

의 복굴절의 변화에 의해서 위상 바이어스가 변하게 되는데 광섬유 루프내에 depolarizer 와 위상 변조기를 삽입하여 안정적으로 $\pi/2$ 위상 바이어스를 인가하여 별다른 신호 처리 없이 쉽게 위상 정보를 얻는 방법이 최근에 발표되었다^[3]. 이러한 복조 방식은 Sagnac 간섭계를 사용하는 센서 배열에 적합하다. 하지만 이러한 $\pi/2$ 위상 바이어스 복조 기법으로 얻게 되는 간섭계의 최종 출력 값은 식 (1)에서 볼 수 있는 것처럼 $\sin \phi_0$ 에 비례하므로 입력 신호인 ϕ_0 가 클 경우에는 신호의 왜곡이 발생하게 된다.

$$I = K \cos(\phi_0 - \frac{\pi}{2}) = K \sin \phi_0 \approx K \phi_0 \quad (\phi_0 \ll 1) \quad (1)$$

I : 간섭향의 세기

K : 비례 인자

입력 신호의 크기와 신호 왜곡의 관계를 알아보기 위하여 각주파수가 ω_s 이고 크기가 ϕ_s 인 입력 신호가 들어올 때 간섭계의 출력을 식으로 나타내면 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \phi_0 &= \phi_s \sin \omega_s t \\ I &= A + B \cos(\phi_d + \phi_s \sin \omega_s t) \\ &= A + B \left[J_0(\phi_s) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(\phi_s) \cos(2n \omega_s t) \right] \cos \phi_d \\ &\quad - B \left[2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n-1}(\phi_s) \sin(2n-1) \omega_s t \right] \sin \phi_d \quad (2) \end{aligned}$$

ϕ_0 : 입력 위상

ϕ_d : 위상 바이어스

식 (2) 에서 위상 바이어스 ϕ_d 가 $\pi/2$ 이면 짝수 고조파 성분들은 모두 없어지고 식 (3)과 같이 홀수 고조파 성분들만 남게된다.

$$I = A - 2B \left[J_1(\phi_s) \sin \omega_s t + J_3(\phi_s) \sin 3\omega_s t + J_5(\phi_s) \sin 5\omega_s t + \dots \right] \quad (3)$$

입력 신호의 크기 ϕ_s 의 크기가 커짐에 따라 고조파 성분들의 크기인 $J_{2n-1}(\phi_s)$ 의 기여도도 커지며 신호 왜곡이 일어나게 된다. 보통 신호의 왜곡은 기본 주파수 성분과 고조파 성분들의 합의 비로 표현되는 THD(Total Harmonic Distortion)를 사용하여 나타내는데 신호의 크기 ϕ_s 와 THD 의 관계가 그림 2에 나

타나 있다.

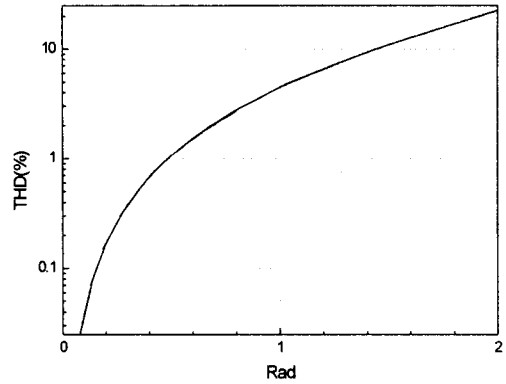


그림 2. 입력 신호 크기와 THD의 관계.

Fig. 2. The amplitude of the input signal versus THD.

보통 음향 센서 시스템의 경우 통상적으로 최대 허용 신호를 THD 1% 에 해당하는 입력 신호의 크기로 설정하는데 $\pi/2$ 위상 바이어스 복조 기법의 경우 최대 허용 신호는 약 0.5 rad 정도이다. 실제 시스템에서는 적용 분야에 따라 수 rad 이상의 신호가 입력되는 경우가 자주 발생하며 따라서 시스템의 동적 범위를 확장하는 것이 매우 중요해진다.

III. 이중 위상 천이 복조 기법

Sagnac 간섭계를 사용하는 음향 센서 시스템의 구성도가 그림 3에 나타나 있다. 광섬유 루프내에 depolarizer 삽입하여 편광 변화에 의한 신호 소멸 현상을 억제한다. 위상 변조기는 Sagnac 루프의 한 쪽 끝에 부착하는데 위상 변조기는 응답 속도가 빠른 집적광학 소자가 적합하다^[3]. 그림 4의 타이밍 도표에서 처럼 간섭계로 입사한 펄스가 반시계 방향으로 진행하면서 위상 변조기를 통과할 때 $\pi/2$ 의 위상 변조를 가한다. 시계 방향으로 진행하는 펄스는 위상 변조기에 도달하였을 때 위상 변조기가 오프 상태라 아무런 위상 변화를 경험하지 못하게 된다. 따라서 간섭계의 출력에는 $\pi/2$ 의 위상 바이어스가 가해지게 된다. 이 때 루프내의 지연 광섬유의 길이를 적절히 조절하여 서로 반대 방향으로 진행하는 광 펄스가 그림 4와 같은 타

이밍을 만족하도록 하여야 한다. 두 번째 펄스가 간섭계에 입사하게 되면 위상 변조기에 아무런 위상 변조 신호도 가지 않는다. 따라서 서로 반대 방향으로 진행하는 두 빛은 간섭하여 0의 위상 바이어스를 갖게 된다.

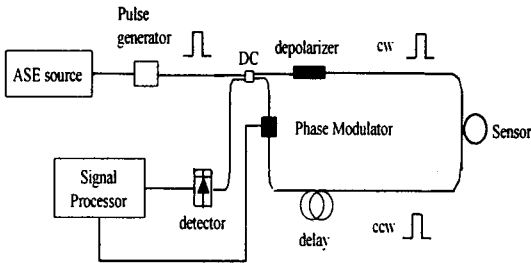


그림 3. Sagnac 간섭계를 이용한 광섬유 음향 센서 구성도.
Fig. 3. Fiber optic acoustic sensor based on Sagnac interferometer.

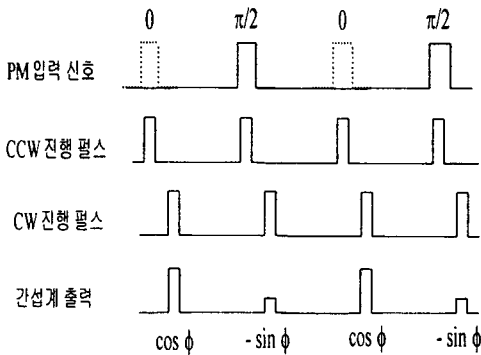


그림 4. 위상 변조 신호의 인가 타이밍 과 간섭계의 출력.

Fig. 4. The diagram of the phase modulation timing and the output from the interferometer; PM: Phase modulator, CW: Clockwise, CCW: Counter clockwise.

즉 이렇게 입력 펄스 열에 교대로 위상 바이어스를 가한 후 출력 펄스 열을 $\pi/2$ 와 0의 위상 바이어스를 갖는 펄스 열들로 각각 분리해 내면 두 개의 신호 흐름이 만들어지게 된다. 이 두 개의 신호들은 서로 $\pi/2$ 의 위상 차를 갖게 된다. 이와 같은 이중 위상 천이 기법의 핵심은 고주파의 위상 변조를 하지 않고 Sagnac 루프로 입사하는 펄스에 교대로 $\pi/2$ 위상 바이어스만을 가함으로써 $\sin \phi_0$ 의 펄스 열 뿐만 아니라 $\cos \phi_0$ 의 펄스 열도 만들어 내는 것이다. 이렇게

서로 $\pi/2$ 위상 지연 관계에 있는 $\sin \phi_0$ 와 $\cos \phi_0$ 의 신호들이 얻어지면 두 신호들을 이용하여 간단한 신호 처리 과정을 거쳐 원하는 위상 정보 ϕ_0 를 찾아낼 수 있다. [9][10]

이 기법의 장점은 $\pi/2$ 위상 바이어스 복조 기법처럼 신호처리의 단순성을 잃지 않으면서도 출력 신호로서 $\sin \phi_0$ 가 아닌 ϕ_0 를 얻는다는 점이다. 즉 최대 허용 신호에 대한 이론적 한계가 근본적으로 없어지게 되는 것이다. 또한 센서의 수가 많은 시분할 다중화된 센서 시스템에 사용될 경우에도 넓은 동적 범위를 확보할 수 있다. 기존의 신호처리 기법들은 3×3 방향성 결합기를 사용하는 방법을 제외하고는 모두 서로 $\pi/2$ 위상 지연 관계에 있는 두 신호를 얻기 위하여 고주파의 위상 변조와 함께 믹싱과 필터링이라는 복잡한 신호처리 과정들을 거쳐야만 한다. 이러한 신호처리의 복잡함 외에도 기존의 신호처리 기법들이 다중화된 센서 시스템에 사용될 경우 위상 변조 신호들의 고주파에 의한 주파수 겹침의 문제가 발생하며 이를 피하기 위해서는 주파수 대역을 제한하여야 한다. 주파수 대역의 제한은 대역 필터의 대역폭에 따라 복조할 수 있는 최대 허용 신호의 크기를 제한하게 된다. 이러한 문제들은 고주파 대역에서 더 좋은 감도를 갖는 Sagnac 간섭계의 장점을 잃게 하는 원인으로 작용하게 된다. 본 논문에서 제안하는 이중 위상 천이 복조 기법은 고주파의 위상 변조가 아닌 위상 바이어스만을 가함으로써 쉽게 $\pi/2$ 위상 지연 관계에 있는 두 신호를 얻을 수 있고 복잡한 주파수 문제를 피할 수 있다. 또한 이중 위상 천이 복조 기법의 장점은 위상 변조기에 의한 $\pi/2$ 위상 변조가 변조하지 않았을 때 대하여 상대적인 값만 유지하면 된다는 점에 있다. 따라서 간섭계에서 위상 유동이 발생하는 경우에도 사용할 수 있으며 Sagnac 간섭계 뿐만이 아니라 환경 변화에 의해 위상 유동이 심한 Mach-Zehnder나 Michelson 간섭계에도 적용할 수 있다. 이 기법을 통하여 신호처리의 단순성을 잃지 않으면서도 넓은 동적 범위를 확보하는 것이 가능하며 다양하게 응용할 수 있다.

IV. 실험 및 고찰

제안된 신호처리 기법의 특성을 검증하기 위한 실험 구성도는 그림 5와 같다.

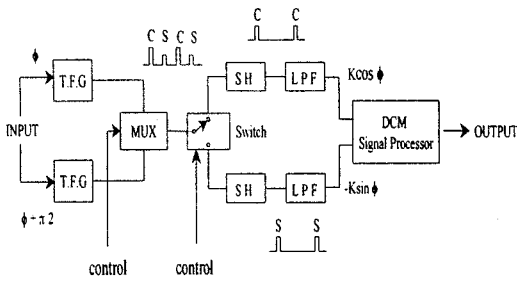


그림 5. 이중 위상 천이 복조 기법의 검증을 위한 실험 구성도.

Fig. 5. Experimental setup for the feasibility of the binary phase shift keying demodulation technique;

T.F.G : Trigonometric Function Generator,
S/H : Sample & Hold, DCM : Differential and Cross Multiply, S:sine, C:cosine.

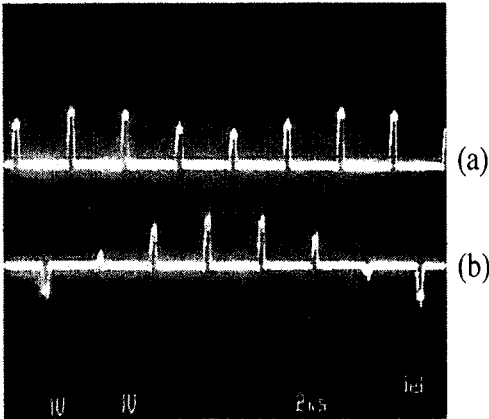


그림 6. 음향 신호가 인가 되었을 때 $\pi/2$ 와 0의 위상 바이어스의 신호들로 분리된 Sagnac 간섭계 출력 펄스열의 특성
(a) : 0의 위상 바이어스를 갖는 출력,
(b) : $\pi/2$ 의 위상 바이어스를 갖는 출력.

Fig. 6. Characteristic of the output pulse trains separated into the quadrature and zero phase biased outputs from the Sagnac interferometer with acoustic signal applied;
(a) : zero phase biased output,
(b) : $\pi/2$ phase biased output.

$\pi/2$ 의 위상 바이어스와 0의 위상 바이어스를 갖는 광섬유 간섭계의 출력 신호를 범용 삼각함수 발생기를

이용하여 구현하였다. Sagnac 간섭계의 출력은 위상 변동이 발생하지 않기 때문에 이렇게 모사된 출력 신호는 실제 간섭계의 출력과 동일하다. 각각의 신호를 MUX를 이용하여 펄스 열로 변환하여 이중 위상 변조를 한 Sagnac 간섭계의 출력 신호를 만들었다. 이 출력 신호들을 아날로그 스위치를 이용하여 각각 $\pi/2$ 와 0의 위상 바이어스를 갖는 두 개의 펄스 열들로 분리하였다.

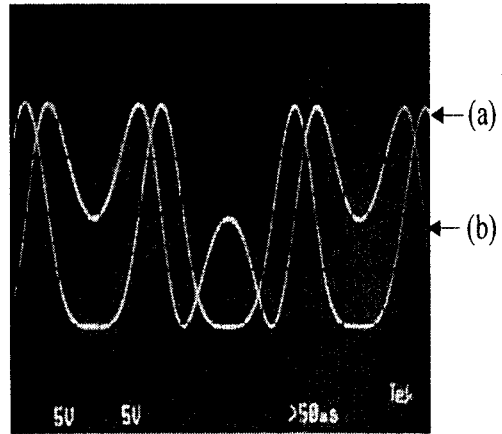


그림 7. 3kHz, 2π rad pk-pk 크기의 음향 신호가 입력되었을 때의 각각의 위상 바이어스에 대한 출력 신호
(a) 위상 바이어스가 0일 때의 출력 신호,
(b) 위상 바이어스가 $\pi/2$ 일 때의 출력 신호.

Fig. 7. Two outputs of the interferometer with 3kHz, 2π rad pk-pk acoustic signal applied;
(a) zero phase biased output,
(b) $\pi/2$ phase biased output.

그림 6은 800kHz의 펄스 반복율을 갖고 펄스 폭 200ns의 펄스가 간섭계에 인입하였을 경우 주파수 40kHz, 크기 1rad의 정현파 형태의 위상 입력에 대한 각각 $\pi/2$ 와 0의 위상 바이어스를 갖는 출력 펄스 열들의 신호를 보여준다. 위상 바이어스가 0일 경우는 간섭계의 출력 변화가 작음을 알 수 있다. 이렇게 두 개의 신호 흐름으로 분리된 서로 $\pi/2$ 위상 지연 관계에 있는 펄스 열들은 샘플/홀드(Sample/Hold) 회로와 저역 통과 필터(LPF) 회로를 거친 후 두 신호로부터 DCM (Differential and Cross Multiply)기법을⁹⁾⁽¹⁰⁾ 사용하여 입력 위상을 복조하였다.

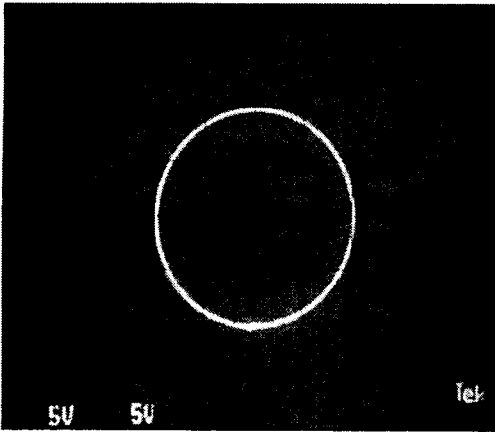


그림 8. $\pi/2$ 위상 지연 관계에 있는 두 신호들로 얻어진 Lissajou 곡선.
 Fig. 8. The Lissajou curve derived from the two outputs (sine and cosine).

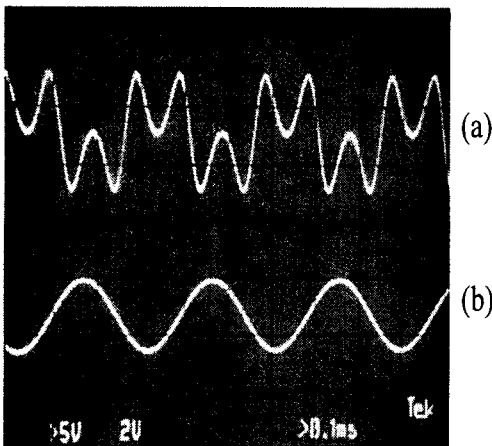


그림 9. 3kHz, 2π rad pk-pk 크기의 음향 신호가 입력되었을 때 $\pi/2$ 위상 바이어스 복조 기법과 BPSK 복조 기법을 사용하여 복조된 출력 신호
 (a) $\pi/2$ 위상 바이어스 복조 기법을 사용한 출력,
 (b) BPSK 복조 기법을 사용한 출력.

Fig. 9. Demodulated outputs using quadrature demodulation technique and BPSK demodulation technique with 3kHz, 2π rad pk-pk acoustic signal applied;
 (a) quadrature demodulation output,
 (b) BPSK demodulation output.

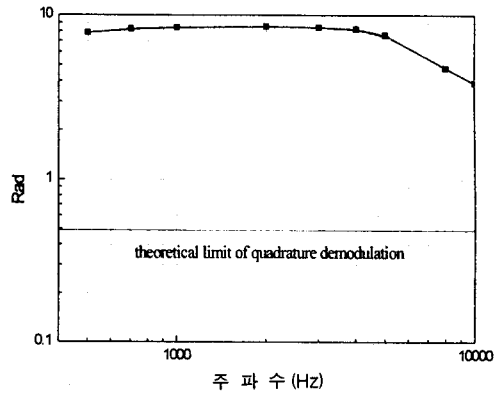


그림 10. 제작된 신호처리기의 주파수에 따른 최대 허용 신호.
 Fig. 10. The maximum acceptable signal amplitude of the demodulator versus frequency.

그림 7과 그림 8은 입력 위상이 주파수 3kHz의 2π rad peak-peak 크기의 정현파 일 때의 두 신호 형태와 Lissajou 곡선을 보여준다. Lissajou 곡선으로부터 두 신호들의 위상 지연이 정확히 $\pi/2$ 관계에 있음을 알 수 있다. 그림 9는 3kHz, 2π rad peak-peak 크기의 위상 입력 신호에 대한 $\sin \phi_0$ 의 출력과 DCM 기법을 사용하여 복조된 ϕ_0 의 출력 신호를 보여준다. 즉 수 rad 정도의 큰 위상 입력 신호가 간섭계에 의해 감지되었을 때 $\sin \phi_0$ 의 출력은 심한 신호 왜곡이 일어나지만 위상 입력 신호인 ϕ_0 를 완전히 복조하였을 때는 신호 왜곡이 전혀 발생하지 않았음을 알 수 있다.

그림 10은 THD 1%를 기준으로 하였을 때 제작된 신호처리기의 각 주파수 별 최대 허용 신호를 나타낸 그래프로 최대 허용 신호의 크기가 단순한 $\pi/2$ 위상 바이어스 복조 기법을 사용했을 때 최대 허용 신호의 이론적 한계치인 -6dB (그림 2) 보다 25dB 가량 증가하였다. 여기서 얻은 최대 허용 신호의 크기는 원리적으로 제한되는 것이 아니라 단지 실험에 사용된 전자 회로의 성능에 의해 제한되는 것이다. 그림 11은 제작된 신호처리기의 잡음 준위를 알아보기 위한 것으로 3kHz의 10mrad 크기의 신호를 인가하였을 때의 스펙트럼이다. 계산된 신호처리기의 잡음 준위는 약 $16 \mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$ 이었다. 잘 설계된 DCM 복조기의 경우 $1\sim 3 \mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$ 정도의 잡음 준위를 얻을 수 있으며

로^{[9][10]} 보다 정밀한 설계에 의해 원하는 측정 대역 내에서 성능을 더 향상시킬 수 있다. 신호처리기는 단지 저가의 전자 부품만을 사용하여 간단히 제작되었으며 잡음 준위로부터 최대 허용 신호까지의 동적 범위는 3kHz에서 약 115dB를 얻었다.

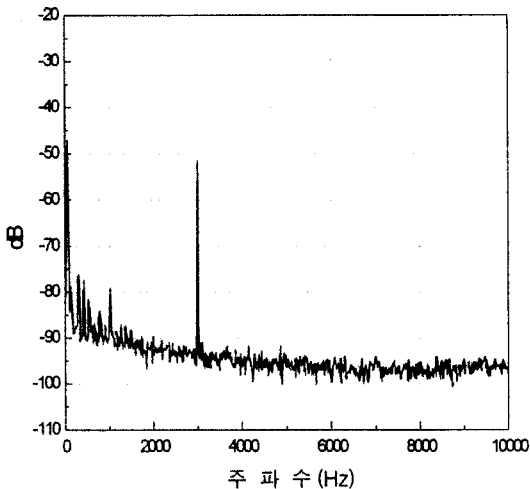


그림 11. 3kHz, 10mrad 크기의 신호를 인가하였을 때 신호처리기의 잡음 준위.

Fig. 11. The noise floor of the demodulator with 3kHz, 10mrad signal applied.

이상과 같은 실험을 통하여 제안된 이중 위상 천이 복조 기법이 $\pi/2$ 위상 바이어스 복조 기법의 동적 범위의 제한을 원리적으로 제거하며 간단한 신호처리 회로만으로 넓은 동적 범위를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그러나 아날로그 전자 회로를 사용하는 신호 처리는 기본적으로 전자 소자의 성능에 의한 한계를 벗어날 수 없으므로 따라서 광섬유 센서의 장점 중의 하나인 넓은 동적 범위를 확보하기 위해서는 디지털 신호 처리가 필수적이다. 제안된 이중 위상 천이 복조 기법은 디지털 신호처리에 매우 적합한 방법으로 역산각함수 연산을 통하여 쉽게 원하는 위상 정보를 찾아낼 수 있다^[11]. 고주파의 위상 변조를 하는 복조 기법이 디지털 신호처리기의 연산 속도에 의해 성능의 제한을 받는 반면 본 연구에서 제안된 방식은 별도의 연산 과정 없이 서로 $\pi/2$ 위상 관계에 있는 신호 성분을 얻을 수 있으므로 그러한 제한을 크게 완화시킬 수 있어 디지털 신호처리를 용이하게 하는 장점이 있다.

V. 결 론

Sagnac 간섭계를 이용한 음향 센서에서 음향 신호를 쉽게 복조할 수 있는 이중 위상 천이 신호처리 기법을 제안하였다. 이 기법은 기존의 $\pi/2$ 위상 바이어스 복조 기법이 갖는 동적 범위의 이론적 한계를 근본적으로 제거하는 것이다. 제안된 신호처리 알고리즘의 유용성을 검증하기 위하여 실험을 통하여 신호처리 회로의 특성을 조사하였다. 사용된 신호처리 회로는 저가의 전자 부품만으로 간단히 구성되었으며 출력 특성은 잡음 준위가 약 $16 \mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$ 이었고 동적 범위가 약 115dB 이었다. 이 값들은 단지 회로 자체의 특성에 의해서만 제한되므로 잘 설계된 회로를 사용하여 성능을 더 향상시킬 수 있다. 이 기법은 고주파 위상 변조를 하지 않아 특히 다중화된 센서 배열의 디지털 신호처리에 적합하며 또한 Sagnac 간섭계 뿐 아니라 Mach-Zehnder나 Michelson 간섭계에도 적용 가능하여 많은 응용 분야에 사용할 수 있다.

VI. 참고 문헌

- [1] E.Udd, "Fiber-optic acoustic sensor based on the Sagnac interferometer", Proc. SPIE Vol. 425, pp.90-95, 1983.
- [2] Sverre Knudsen and Kjell Blotekjaer "Ultrasonic hydrophone using a push-pull transducer in a Sagnac interferometer", Proc. 9th OFS, pp.259-262, 1993.
- [3] 한기호, 이왕주, 김병윤, "광섬유 Sagnac 간섭계 수중음향센서어레이의 특성 조사 및 신호처리", Proc. Photonics Conference '98, pp.119-120, 1998.
- [4] Kjell Krakenes, Kjell Blotekjaer, "Sagnac interferometer for underwater sound detection: noise properties", Opt. Lett., Vol.14, No.20, pp.1152-1154, 1989.
- [5] B.Y.Kim, H.J.Shaw, "Phase-reading all-fiber-optic gyroscope", Opt. Lett., Vol.9, No.8, pp.378-380, 1984.
- [6] A.Dandridge, C.C.Wang, A.B.Tyeten and A.M.Yurek, "Performance of 3×3 couplers in fiber optic sensor systems", Proc. 10th OFS

- pp.549-552, 1994.
- [7] E.Gottwald, J.Pietzsch, "Measurement method for determination of optical phase shifts in 3×3 fiber couplers", *Elec.Lett.*, Vol.24, No.5, pp.265- 266, 1988.
- [8] A.Dandridge, "Fiber optic sensors based on the Mach-Zehnder and Michelson interferometers", 'Fiber optic sensors' edited by E.Udd, Wiley-Interscience, pp.280-284, 1991.
- [9] A.Dandridge, A.B.Tveten, and T.G.Giallorenzi, "Homodyne demodulation scheme for fiber optic sensors using phase generated carrier", *IEEE J.Quantum Electron.*, Vol.QE-18, No.10, pp.1647-1653, 1982.
- [10] K.P.Koo, A.B.Tveten, and A.Dandridge, "Passive stabilization scheme for fiber interferometers using (3×3) fiber directional couplers", *Appl. Phys. Lett.*, Vol.41, No.7. pp. 616-618, 1982.
- [11] I.J.Bush, D.R.Sherman "High performance interferometric demodulation techniques" *SPIE vol.1795 Fiber optics and laser sensors X* , pp.412-420, 1992.

 著 者 紹 介



남 성 현 (南聖炫)

1993 연세대학교 물리학과 졸업
 1995 동대학원 물리학과 졸업(석사)
 1996~현재 국방과학연구소 전자기
 팀 연구원
 주관심분야 : 광섬유 센서 응용, 광
 학 소자