

모우드록킹된 광섬유 레이저 자이로스코프의 특성연구*

전민용 · 정호진 · 김병운

한국과학기술원 물리학과

(1994년 1월 17일 받음)

회토류 첨가 광섬유를 이용하여 새로운 형태의 모우드록킹된 광섬유 레이저 자이로스코프를 구현하였다. 이 자이로스코프로부터 짧은 광 펄스의 형태로 출력이 나오며, 자이로스코프가 정지해 있는 경우에는 시간축상에서 펄스들의 간격이 일정하나, 회전을 하면 펄스들의 간격이 변하였다. 이 펄스들의 간격을 시간축 상에서 측정하여 회전을 알 수 있었다. 또한 편광효과에 의한 오차신호를 분석하였고, 이의 효과를 제거하기 위하여 편광기가 도입되어야 함을 알았다.

I. 서 론

회토류 원소가 첨가된 광섬유의 연구는 약 30년 전에 광섬유 레이저에 대한 발표가 있고 부터이다.^[1] 이후 회토류 첨가 광섬유는 통신분야와 센서분야에서 각기 필요로하는 연구목표에 따라 발전되었다. 통신분야에서는 광 증폭기와 짧은 광 펄스를 필요로하여 이에 대한 많은 연구가 이루어졌으며, 센서분야에서는 자이로스코프에 광원으로 이용하거나 광섬유 레이저 등에 대한 여러가지 연구결과들이 많이 발표되었다.^[2,3] 회토류가 첨가된 광섬유 광원은 선폭이 크고, 가간섭 길이가 짧으며, 온도에 따른 파장의 안정성과 높은 출력을 낼 수 있다는 장점을 지니고 있다. 이는 자이로스코프의 광원이 필요로하는 여러조건을 만족시키며, 이를 이용하여 좋은 연구 결과를 얻은 논문도 많이 발표되었다.^[4,6]

본 연구에서는 회토류 원소인 Neodymium(Nd)이 첨가된 광섬유를 이용하여 새로운 형태의 자이로스코프를 구현하여 이의 동작 특성과 편광특성에 대해 논의하였다. 이는 기존의 자이로스코프와는 달리 한쪽에는 회토류 첨가 광섬유에 평면거울을 부착하고, 다른 한쪽에는 Sagnac 간섭계로써 루프거울을 만들어 전체가 레이저 공진기가 되도록 구성되었다.^[7] 기존의 자이로스코프는 연속발전으로 동작하여 복잡한 신호처리를 거쳐 회전을 측정하였는데 반해, 새로운 형태의 자이로스코프 즉, 모우드록킹된 광섬유 레이저 자이로스코프(mode locked fiber laser gyroscope(MLFLG))는 등간격의 짧은 광 펄

스로 출력이 나오며, 이 시스템이 회전을 하면 펄스들의 위치가 이동한다. 따라서 복잡한 신호처리를 거치지 않고 이동된 펄스의 위치를 시간축상에서 바로 읽어 회전을 측정할 수 있다.^[8]

II. 이 론

1. Sagnac 간섭계에서의 반사율

그림 1의 Sagnac 간섭계에서 방향성 결합기의 한쪽 부분에 입사하는 빛의 전기장을 $E_{1i}(t)$ 라 하고, 광섬유 코일을 돌고서 입사한 쪽으로 나오는 빛의 전기장을 $E_{1o}(t)$, 방향성 결합기를 지나 시계방향으로 진행하는 빛의 전기장을 $E_3(t)$, 시계 반대방향으로 진행하는 빛의 전기장을 $E_4(t)$ 라고 하자. 방향성 결합기의 결합계수는 α 이다. 여기서 결합계수는 방향성 결합기의 한 port에서 다른 port로 빛이 전송되는 양이다. 그러면, 그림 1에서 보는 바와 같이 $E_3(t)$ 와 $E_4(t)$ 는

$$\begin{aligned} E_3(t) &= \sqrt{(1-\alpha)} E_{1i}(t) \\ E_4(t) &= i\sqrt{\alpha} E_{1i}(t) \end{aligned} \quad (1)$$

가 된다. 그러면, Sagnac 간섭계를 돌고나온 $E_{3o}(t)$ 와 $E_{4o}(t)$ 는 광섬유 코일 길이 L 을 지나는 동안 위상변화를 겪게 되므로,

$$\begin{aligned} E_{3o} &= E_3(t) e^{i\beta L} = \sqrt{(1-\alpha)} e^{i\beta L} E_{1i}(t) \\ E_{4o} &= E_4(t) e^{i(\beta L - \Delta\phi)} = i\sqrt{\alpha} e^{i(\beta L - \Delta\phi)} E_{1i}(t) \end{aligned} \quad (2)$$

가 된다. 여기서 β 는 $\frac{2\pi n}{\lambda}$ 이고, $\Delta\phi$ 는 서로 역방향으

* 본 연구는 국방과학연구소의 장기 기초 연구(90-1-1)의 연구비 지원으로 수행되었음.

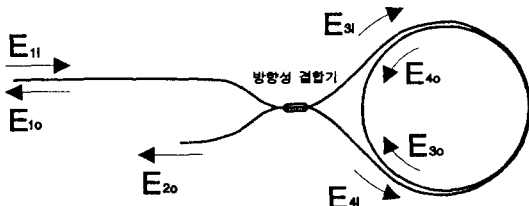


그림 1. Sagnac 간섭계.

로 진행하는 두 빛의 위상차이다. 방향성 결합기의 입력쪽으로 나오는 출력 $E_{10}(t)$ 는 $E_{30}(t)$ 와 $E_{40}(t)$ 의 합으로 나타나므로

$$E_{10}(t) = i\sqrt{\alpha} E_{30}(t) + \sqrt{1-\alpha} E_{40}(t) \\ = i\sqrt{\alpha(1-\alpha)} e^{i\beta L} (1 + e^{i\Delta\phi}) E_{11}(t) \quad (3)$$

가 된다. 따라서, Sagnac 간섭계의 반사율(reflectivity) R 은

$$R = \left| \frac{E_{10}(t)}{E_{11}(t)} \right|^2 \\ = 2\alpha(1-\alpha) |1 + \cos\Delta\phi| \quad (4)$$

가 된다. 광섬유 방향성 결합기의 결합계수가 0.5일때 반사율 R 은 기존의 자이로스코프의 출력과 같다. 즉

$$\frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{1}{2} (1 + \cos\Delta\phi) \quad (5)$$

이다. 여기서 $\Delta\phi$ 를 변조해 주면 식 (4)에서 반사율이 변조되며, 모우드록킹된 짧은 광 펄스의 출력을 다음에 설명한 바와 같이 얻을 수 있다.

2. 기본적인 구성 및 원리

회토류 원소 첨가 광섬유를 광원으로한 모우드록킹된 광섬유 레이저 자이로스코프(mode locked fiber laser gyroscope (MLFLG))의 기본 구성도는 그림 2와 같다.

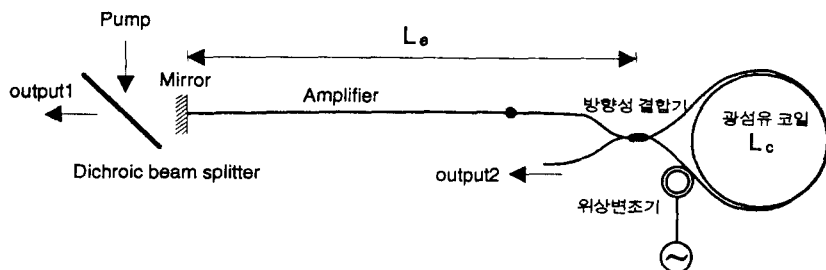


그림 2. 모우드록킹된 광섬유 레이저 자이로스코프의 기본 구성도.

광 증폭기로 사용하는 것은 회토류가 첨가된 광섬유이거나 또는 반도체 증폭기로서 한쪽 끝은 반사형 거울을 붙이고, 다른 한쪽 끝은 기존의 자이로스코프의 광섬유 코일 부분과 연결한다. 이때 한쪽은 평면거울이 되고 다른 한쪽은 Sagnac 간섭계를 돌아서 증폭기쪽으로 되돌아가므로 루프거울이 되어 전체시스템이 레이저 공진기가 된다. 본 논문에서는 증폭기로 회토류가 첨가된 광섬유를 사용한 경우에 대해 연구한 결과를 설명하였다. 평면거울로 사용하는 것은 펄핑 광원과 발진 광원의 파장에 따라 반사율이 다른 선택적 투과성이 있는 이색성 거울(dichroic mirror)이다. 보통 발진파장에 대해 90% 이상 반사율을 갖고, 펄핑광원 파장에서는 80% 이상의 투과율을 갖는다. 그림 2에서 펄핑광이 광섬유 증폭기에 입사되면 이 빛은 광섬유 증폭기를 지나가는 동안 흡수되고 새로운 파장의 빛이 발진된다. 이 발진된 빛은 회전감지계 코일의 방향성 결합기의 한 부분으로 들어간다. 회전감지계 코일 부분의 방향성 결합기를 지나 시계방향과 반시계방향으로 빛이 나뉘며, 회전감지계 코일을 돌아서 다시 방향성 결합기에서 만난다. 이때 만난 두 빛은 방향성 결합기를 지나면서 간섭을 일으키고, 간섭된 빛은 그림 2에서 나타나 있듯이 출력 1(output 1)과 출력 2(output 2)에서 검출할 수 있다.

모우드록킹된 광섬유 레이저 자이로스코프의 원리를 설명하면 다음과 같다. 그림 2에서 전체 시스템은 선형 부분과 Sagnac 간섭계 부분으로 나뉘어 진다. 각각의 길이를 L_r , L_c 라 하자. 전체가 레이저 공진기로 구성되어 있으므로 종모우드 주파수 간격과 같은 free spectral range는 $\Delta f = c/n(2L_r + L_c)$ 이다. 이 주파수로 레이저 공진기의 길이나 손실을 변조해주면 모우드록킹된 펄스를 얻을 수 있다. 여기서는 PZT 실린더를 사용하여 손쉽게 할 수 있는 광섬유의 길이변조를 이용한 광 손실 변조를 고려하자. Sagnac 간섭계 코일 한 쪽 끝에서 위상변조를 해주면 역방향으로 진행하는 두 빛 사이에 위상차이의 변조가 일어난다. 여기서 변조주파수 (f_m)가

$f_m = c/2nL_c$ 이 될 때 이 시스템에 대한 광 손실 변조진폭은 최대가 된다. 이 주파수에서 일어나는 변조는 위상변조(phase modulation)는 없고 순전히 진폭변조(amplitude modulation)이며, 이때 모우드록킹 과정은 간단해진다. 따라서, $\Delta f = f_m$ 인 주파수에서 자이로스코프를 구동하기 위해서는 Sagnac 간섭계 코일 바깥부분, 즉 선형부분이 Sagnac 간섭계 코일길이의 반이 될 때이다. ($L_s = L_c/2$)

위상차 변조신호를 기준으로 펄스가 나오는 위치를 알아보자. 먼저 자이로스코프가 정지상태에 있을때이다. 그림 2에서 처럼 광섬유 코일 한쪽 끝에 위상변조기를 놓고 서로 역방향으로 진행하는 두 빛에 대해 $\phi_0 \cos \omega_m t$ 의 신호로 변조해 주면, 두 빛 사이의 위상차 $\Delta \phi(t)$ 는

$$\begin{aligned} \Delta \phi(t) &= \phi(t) - \phi(t - \tau) \\ &= 2\phi_0 \sin \frac{\omega_m \tau}{2} \sin \omega_m \left(t - \frac{\tau}{2} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

가 된다. 여기서 τ 는 빛이 광섬유 코일을 통과하는데 걸리는 시간이다. 이는 다시

$$\Delta \phi(t) = \phi_m \sin \omega_m t \quad (7)$$

로 쓸 수 있다. 여기서 ϕ_m 은 위상변조진폭(modulation depth)이며, $\phi_m = 2\phi_0 \sin \frac{\omega_m \tau}{2}$ 이다. 그러면 반사율 R 은

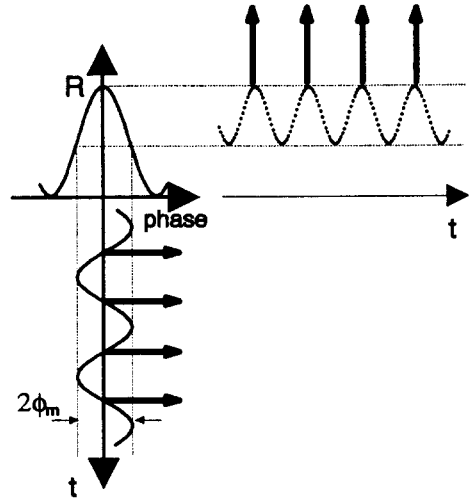
$$\begin{aligned} R &= 2\alpha(1 - \alpha) \{1 + \cos \Delta \phi\} \\ &= 2\alpha(1 - \alpha) \{1 + \cos(\phi_m \sin \omega_m t)\} \end{aligned} \quad (8)$$

와 같이된다. 식 (8)을 보면 시간에 따라서 반사율이 변조됨을 알 수 있다. 이렇게 변조신호를 가해주면 반사율이 최대인 시간에 펄스가 발생하며, 그 조건은 $\cos(\phi_m \sin \omega_m t) = 1$ 일 때이다. 즉,

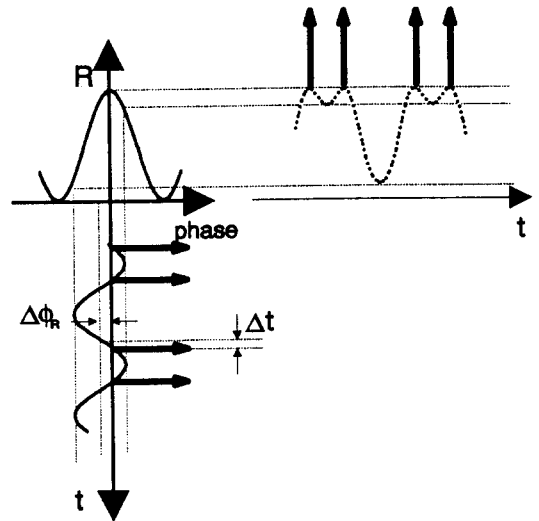
$$\phi_m \sin \omega_m t = 0 \quad (9)$$

이다. 이의 해는 $\phi_m < 2\pi$ 일때, $\omega_m t = 0, \pm \pi, \pm 2\pi, \dots$ 가 되므로, 펄스가 발생하는 위치는 그림 3-a에서 보듯이 위상차 변조신호에 대해 한주기에 두개의 펄스가 발생하며 그 간격은 등간격이 된다. 한편, $\phi_m > 2\pi$ 인 경우는 펄스의 갯수가 증가하여 이의 해석이 복잡해지나, 그 기본원리는 앞의 경우와 비슷하므로 여기서는 이의 논의를 생략하겠다.

자이로스코프가 회전하고 있는 경우를 살펴보자. 이 때는 Sagnac 위상이동 $\Delta \phi_R$ 이 유도되며, 두 빛 사이의 위상차 $\Delta \phi(t)$ 는



(a)



(b)

그림 3. 자이로스코프에서 위상차 변조에 의하여 발생 되는 펄스위치. (a) 정지하고 있는 상태, (b) 회전하고 있는 상태.

$$\Delta \phi(t) = \phi_m \sin \omega_m t - \Delta \phi_R \quad (10)$$

이 되고 식 (4)에서 반사율 R 은

$$R = 2\alpha(1 - \alpha) \{1 + \cos(\phi_m \sin \omega_m t - \Delta \phi_R)\} \quad (11)$$

이 된다. 식 (11)에서 시간에 대해 반사율 R 이 최대가 되는 조건은 $\cos(\phi_m \sin \omega_m t - \Delta \phi_R) = 1$ 일 때이다. 즉,

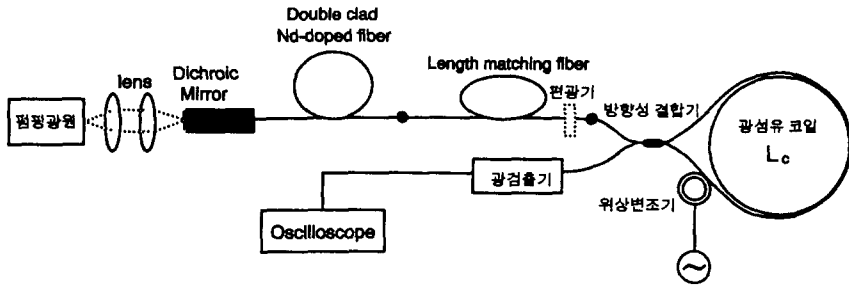


그림 4. 모우드록킹된 광섬유 레이저 자이로스코프의 실험장치도.

$$\begin{aligned} \phi_m \sin \omega_m t - \Delta\phi_R &= 0 \\ \phi_m \sin \omega_m t &= \Delta\phi_R \end{aligned} \quad (12)$$

이 얻어진다. 식 (12)로 부터 펄스가 나오는 시간은

$$\begin{aligned} t &= \frac{1}{\omega_m} \sin^{-1} \left(\frac{\Delta\phi_R}{\phi_m} \right) \\ &= \frac{T}{2\pi} \sin^{-1} \left(\frac{\Delta\phi_R}{\phi_m} \right) \end{aligned} \quad (13)$$

이 된다. 여기서 $T=1/f_m$ 이다. 회전에 의해서 Sagnac 위상이동이 생기면 펄스가 식 (13)에서의 값만큼 이동한다. 따라서 시간 t 를 읽으면 바로 회전률을 알 수 있다. 그림 3-b는 $\Delta\phi_R \neq 0$ 일때 펄스가 발생하는 것을 보여준다.

III. 실험

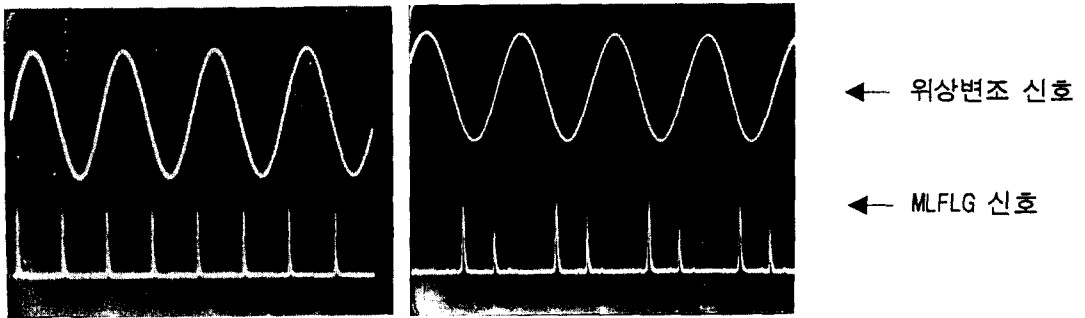
MLFLG의 실험 장치도는 그림 4와 같다. 증폭기로 사용된 것은 double clad Nd-doped fiber^[9]로 길이는 29 m이다. 이 광섬유의 한쪽 끝을 모세관 튜브에 넣고 광섬유 끝을 연마한 후 이색성 거울(dichroic mirror)을 부착하였다. 사용된 이색성 거울은 1.06 μm 에서 99% 반사이고, 0.8 μm 에서는 80% 이상 투과한다. 다른 쪽 끝은 광섬유 자이로스코프의 Sagnac 간섭계의 방향성 결합기 한 쪽과 연결하였다. 그림에서 보는 공진기 길이보정(length matching) 광섬유는 앞 절에서 설명된 것처럼 진폭변조가 많이 일어나도록 광섬유 레이저 공진기의 길이를 보정해 준 것이다. 펄핑광원으로는 고풍출력 레이저 다이오드 어레이(array)를 사용하였다. 이는 인가전류 1A에 500 mW의 출력을 낸다. 회전감지계 코일에 사용된 광섬유는 단일모우드 cut-off 파장이 790 nm이며, 600 m의 길이를 반경이 8 cm, 높이가 10 cm인 원통형 spool에 대칭으로 감았다. 공진기 길이보정 광섬유는 회전감지계 코일에 사용된 광섬유와 동일한 특

성을 가지며, 증폭기부를 포함하여 선형 부분의 길이는 211 m이다. 이때 전체 길이로부터 얻어지는 종모우드 주파수 간격은 195.4 kHz이다. 흡수된 펄핑 출력은 150 mW이고, 레이저의 연속발전 출력은 1.06 μm 에서 3.6 mW였다. 기존의 자이로스코프와 마찬가지로 위상변조기를 광섬유 코일 한쪽 끝에 달아놓았고, 편광조절기는 회전감지계 코일의 안쪽과 바깥부분에 놓았다. 이것을 적당히 조절하여 편광에 의한 특성을 알아볼 수 있다. 방향성 결합기는 용융접합 방식에 의한 것으로 파장 830 nm에서 50 : 50의 결합비를 가지며, 1.06 μm 에서는 결합비가 85 : 15였다. 편광기는 비가역 위상오차를 줄이기 위하여 필요하지만, 여기서는 사용하지 않았다.

IV. 결과 및 분석

1. MLFLG 에서의 출력 특성

Sagnac 간섭계 코일 안쪽에 있는 편광조절기를 적당히 조절하여 광섬유의 편광특성에 의해 발생하는 간섭광의 위상차를 제거하면^[10] 변조신호에 대하여 두개의 펄스가 등간격으로 나타난다. 자이로스코프가 정지상태에 있을 때 펄스가 등간격으로 나타나는 것을 보여주는 결과가 그림 5-a이다. 이때의 위상변조 진폭은 3.12 rad이며, 펄스폭은 약 50 ns이다. 정지상태에 있을 경우 그림 5-a에서 펄스의 위치는 앞의 원리에서 설명된 것처럼 변조신호에 대하여 반사율이 최대인 곳에서 나왔음을 확인할 수 있었다. 그림 5-b는 자이로스코프가 15°/s로 회전하고 있을 때의 오실로스코프상에서의 펄스의 출력이다. 앞의 원리에서 기대된 것처럼 펄스의 두 세트가 서로 반대 방향으로 같은 양 만큼 이동된 것을 볼 수 있다. 이제 여러가지 위상 변조 진폭에 대해 회전률을 바꿔가면서 펄스들의 간격을 측정하였다. 위상변조기에 가해준 전압을 바꿔주면 위상변조 진폭의 값이 달라지며, 전압이 커질수록 위상변조 진폭의 값도 커진다. 그림 6은 위상



(a) 정지상태

(b) 15°/s로 회전할때

그림 5. 모우드록킹된 광섬유 레이저 자이로스코프의 오실로스코프 상에서의 출력. (a) 정지하고 있는 상태, (b) 15°/s로 회전하고 있는 상태.

변조 진폭이 각각 2.8, 4.5, 5.4 rad일때 여러가지 회전률을 주어, 그때의 펄스들의 이동한 시간값을 오실로스코프 상에서 측정된 결과이다. 여기서 위상 변조 진폭은 RF-spectrum Analyzer를 이용하여 f_m 성분과 $2f_m$ 의 성분을 측정해서 얻은 결과이다. 그림에서 점선으로 나타낸 것은 식 (13)을 이용하여 위상변조 진폭의 값을 대입했을 때 얻어낸 이론값이다. 이 그림에서 이론값과 실험값이 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다. Sagnac 간섭계 코일의 바깥부분에 위상변조기를 놓고 변조를 해 주면 위상변조만 일어난다. 이때도 마찬가지로 모우드록킹된 펄스가 나오지만, Sagnac 간섭계 코일이 회전을 해도 펄스들의 위치에는 아무런 영향을 주지 않는다. 한편, 식 (13)에서 나타나 있는 것처럼 펄스의 위치이동은 위상변조 진폭 ϕ_m 과 관계가 있으므로 Sagnac 위상이동을 정확히 측정하기 위해서는 위상변조 진폭을 안정화 시켜줘야 한다.

2. MLFLG에서의 편광 특성

광섬유로 이루어진 Sagnac 간섭계 코일을 진행하는 빛의 편광상태는 주위 섭동에 대하여 민감하게 반응한다. 기존의 자이로스코프에서도 진행하는 빛의 편광 상태가 변하면 비가역 위상오차를 일으킨다. 통신용 광섬유는 편광이 유지되지 않으므로 원하는 편광상태는 편광조절기를 이용하여 맞추어 준다. 이와 마찬가지로 MLFLG에서도 일반 통신용 광섬유로 구성할 경우 편광상태의 변화에 의해 비가역 위상오차가 일어난다. 이때 편광조절기를 적당히 조절하여 비가역 위상오차를 없앨 수 있다.

그림 7-a는 정지상태 있는 MLFLG에서 진행하는 빛의 편광상태가 변하여 원래의 펄스에서 위상 offset이 발생

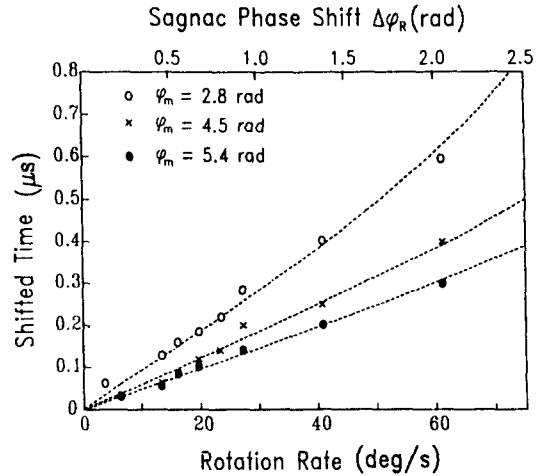
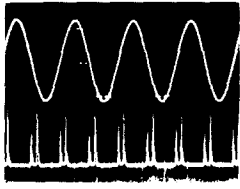
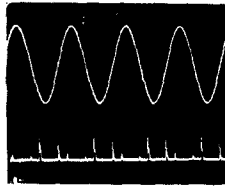


그림 6. 회전률과 펄스의 위치이동 값과의 관계.

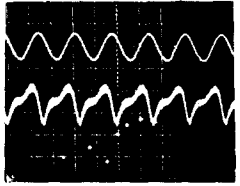
하였으며, 이에 의하여 두개의 펄스로 된것을 보여준다. 이때 갈라진 두개의 펄스는 서로 수직한 편광 성분을 갖는다. 광 검출기 앞에 편광기(analyzer)를 놓고서 펄스의 모양을 관찰하면 이는 쉽게 확인할 수 있다. 편광기의 각도를 돌리면 어떤 각도에서 한 성분은 사라지며, 이때의 모양은 MLFLG가 회전할 때 나타나는 펄스의 모양과 비슷하게 된다.(그림7-b) 이것이 비가역 위상오차라는 사실은 다음과 같은 실험으로 확인된다. 기존의 자이로스코프에서 비가역 위상오차가 발생하면 위상변조 신호와 같은 주파수 성분이 나타난다. 이를 보기 위하여 MLFLG에서 비가역 위상오차가 발생했을때 변조주파수를 195.4 kHz에서 30 kHz로 바꾸어 모우드록킹이 일어나지 않도록 하고 이때의 신호를 오실로스코프로 관찰



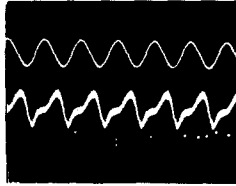
(a) 195.4 kHz
(without analyzer)



(b) 195.4 kHz
(with analyzer)



(c) 30 kHz
(analyzer angle 0)



(d) 30 kHz
(analyzer angle 90)

그림 7. 편광변화에 의하여 나타나는 비가역 위상오차를 오실로스코프 상에서 본 출력. (a) 195.4 kHz에서 편광기가 없을 때, (b) 195.4 kHz에서 편광기가 있을 때, (c) 30 kHz에서 편광기가 0도 위치에 있을 때, (d) 30 kHz에서 편광기가 90도 위치에 있을 때.

하였다. 광 검출기 앞에 편광기(analyzer)를 돌려가면서 나타난 신호가 그림 7-c,d이다. 여기서 그림 7-c와 그림 7-d는 편광기의 각도가 90도 차이가 나며, 따라서 서로 수직한 편광성분임을 알 수 있다. 이 그림에서 위상변조 신호와 같은 주파수 성분이 관찰됨을 볼 수 있다. 이러한 비가역 위상오차를 없애는 방법으로 편광조절기를 사용하거나 편광유지 광섬유로 MLFLG를 구성하고 레이저 공진기내에 편광기를 삽입하여야 한다.

V. 결 론

회토류 첨가 광섬유 광원은 선폭이 넓고 온도에 따른 파장의 안정성이 뛰어나기 때문에 자이로스코프에서 좋

은 광원으로 이용되고 있다. 본 연구에서는 광섬유 광원을 이용하여 종래의 자이로스코프와 전혀 다른 새로운 형태의 자이로스코프를 구현하였다. 이 시스템은 전체가 레이저 공진기로 구성되며, 그 종모우드 간격에 상당하는 변조주파수로 공진기 길이를 변조해 주어 모우드록킹된 짧은 광 펄스들의 출력을 얻어냈다. 자이로스코프가 정지해 있을 때는 펄스들의 간격은 일정하나, 회전을 하면 이 펄스들의 간격이 변함을 보았다. 펄스들의 간격을 시간축 상에서 측정하여 쉽게 회전률을 알 수 있었다. 여러가지 변조 진폭에 대해 회전률을 측정한 결과 이론적인 값과 실험적인 값이 잘 일치함을 알 수 있었다. 또한, 여기서 나타나는 편광효과를 실험 분석하였다. 불필요한 편광 효과를 제거하기 위하여 편광기를 삽입해야 한다는 것을 알았다.

참 고 문 헌

- [1] C. J. Koester and E. Snitzer, *Appl. Opt.*, **3**, 1182 (1964).
- [2] H. K. Kim, S. K. Kim, H. K. Park and B. Y. Kim, *Opt. Lett.*, **18**, 317(1993).
- [3] K. A. Fesler, M. J. F. Digonnet, B. Y. Kim and H. J. Shaw, *Opt. Lett.*, **15**, 1321(1990).
- [4] P. F. Wysocki, M. J. F. Digonnet and B. Y. Kim, *IEEE Photonics Tech. Lett.*, **2**, 178(1990).
- [5] R. P. Moeller and W. K. Burns, *Opt. Lett.*, **16**, 1902(1991).
- [6] I. N. Duling III, W. K. Burns and L. Goldberg, *Opt. Lett.*, **15**, 33(1990).
- [7] D. B. Mortimore, *IEEE J. Lightwave Technol.*, **6**, 1217(1988).
- [8] M. Y. Jeon, H. J. Jeong and B. Y. Kim, *Opt. Lett.*, **18**, 320(1993).
- [9] E. Snitzer, H. Po, F. Hakimi, R. Tumminelli, and B. C. McCollum, in *Digest of Conference on Optical Fiber Sensors* (Optical Society of America, Washington, D. C., 1988), Paper PD 5.
- [10] R. Ulrich, *Opt. Lett.*, **5**, 173 (1980)

Characterization of Mode Locked Fiber Laser Gyroscope

Min Yong Jeon, Ho Jin Jeong and Byoung-Yoon Kim
*Department of Physics, Korea Advanced Institute of
Science and Technology, Taejon 305-701, Korea*

(Received: January 17, 1994)

We demonstrate a novel mode locked fiber laser gyroscope that utilizes a rare-earth doped fiber. The output of the gyroscope is a series of short optical pulses. Without rotation, the optical pulses are equally spaced in the time domain. With rotation, the intervals of the optical pulses changes. By measuring the separation of the optical pulses in time domain, the rotation rate could be obtained. We also discuss the polarization effect that can cause signal errors.