

## Gyroscope용 광대역폭 Erbium 첨가 광섬유 광원의 구성과 특성 측정

임 경 아

고등기술연구원 전자통신연구실

진영준 · 박희갑\*

전북대학교 물리학과

(1997년 2월 5일 받음)

Erbium 첨가 광섬유를 이용하여 광섬유 자이로스코프용 광대역폭 광원을 구성하였다. 광원의 구성방식을 달리하며 펌프 power에 따른 광원의 출력 power, 파장선폭, 중심파장을 측정하여 방식간에 이를 비교하였다. 시도된 4가지의 구성방식 중에서 'double pass' 방식의 경우에 25 mW의 비교적 낮은 펌핑(파장 1.48  $\mu\text{m}$ )으로 5.5 mW의 가장 큰 출력 power를 얻었으며, 충분히 펌핑하는 경우에 펌프 power 변화에 대한 중심파장 변화율이 거의 0에 가까운 안정된 특성을 얻을 수 있었다. 'Amplifier/source' 방식은 광원의 출력은 가장 작았으나, 자이로 검출기에 입사되는 power 면에서 다른 방식에 비해 최소한 100배 이상 큰 결과를 얻었다. 광원으로서의 귀환 수준이 증가함에 따라 파장선폭은 증가했으나 출력 power는 감소했으며 귀환수준 변화에 따른 중심파장의 변화가 크게 나타나서 귀환광이 자이로의 scale factor에 큰 영향을 미칠 것임을 예측할 수 있었다.

### I. 서 론

광섬유 자이로스코프(FOG : Fiber-Optic Gyroscope)는 20여 년 전에 처음 제안된 이후<sup>[1]</sup> 현재에 이르기까지 이에 관해 많은 연구가 이루어져 왔으며<sup>[2,3]</sup> 국방 응용분야에서 실용화가 진행되고 있다. 회전감지용 센서인 자이로를 광섬유를 사용하여 제작하는 경우, 기계식이나 링 레이저식 자이로에 비해 소형이면서 견고하고 수명이 길 뿐만 아니라 저가생산의 가능성이 있다는 장점을 갖는다. 이제까지 FOG의 실용화 연구는 주로 중급감도(0.1~10 deg/h) 및 저가시장을 목표로 진행되어 왔다. 그러나 최근에 광원기술의 급격한 발전에 힘입어 고급 관성항법용으로도 쓰일 수 있는 가능성이 보이면서 이에 관한 연구가 관심을 모으고 있다.<sup>[4]</sup>

관성항법용 자이로에서는 회전속도의 측정감도와 함께 안정도가 매우 중요한 특성이 된다. 자이로가 고도의 안정성을 유지하는데 있어서 중요한 관건은 광원의 안정된 특성이다. 특히 광원의 중심파장이 자이로의 동작상태나 외부환경의 변화에도 불구하고 변함이 없어야 자이로의 scale factor가 일정하게 유지될 수 있다. 장거리 관성항법용 FOG가 허용하는 광원의 중심파장 변화는 1 ppm 이내인 것으로 알려져 있다.<sup>[1]</sup>

그런데 기존의 FOG에서 광원으로 주로 쓰이고 있는 SLD (superluminescent diode)와 같은 반도체 광원은 온도변화에 대한 중심파장 변화가 대개 수백 ppm/°C 정도이다. 따라서 동작 중에 1 ppm 이내로 안정시키기 위해서는 매우 엄격한 온도조절이 필요한데 이는 현실적으로 거의 불가능하다. 이와 비교하여, 희토류 원소가 첨가된 광섬유에서 방출되는 자연 방출광은 중심파장의 온도특성이 수 ppm/°C 정도로 매우 안

정된 특성을 나타내므로<sup>[4]</sup> 관성항법용 FOG의 광원으로서 매우 유망한 가능성을 보여주고 있다. 이밖에도 관성항법용 FOG의 광원은 Rayleigh 후방산란과 Kerr 효과로 인한 위상오차를 제거하기 위해 최소한 10 nm 이상의 가능한 넓은 파장선폭을 가져야하고, 자이로의 신호처리와 광잡음 소거가 용이하도록 수 mW 이상의 출력을 내는 것이 바람직하다. 또한 군용의 경우에는 UV나 방사능에 노출되는 경우에도 손실이 커지지 않도록 가능한 장파장 영역의 광원이 필요하다.

이러한 요구특성들을 두루 충족시킬 수 있는 광원방식으로 대두되고 있는 것이 erbium이 첨가된 광섬유(EDF : erbium-doped fiber)를 이용하는 방식이다. EDF 광원은 silica 광섬유의 최저손실 파장대역인 1.55  $\mu\text{m}$  파장대역의 빛을 방출하며, 위의 요구특성을 모두 만족시킬 수 있는 잠재력을 가지고 있어서 이를 이용한 superfluorescent fiber source(SFS)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[4,5]</sup>

한편, 이러한 EDF 광원을 자이로에 응용하는데 중요한 고려사항 중의 하나는 귀환광 효과<sup>[6]</sup>이다. EDF 광원은 광섬유 형태이므로 자이로 광섬유에 높은 효율로 빛을 결합시킬 수 있는 장점이 있는 반면에, 자이로로부터 광원으로 귀환(feedback)되는 빛도 역시 높은 효율로 결합되므로 이러한 귀환광에 의한 광원 특성의 교란효과도 반도체 광원에 비해 크게 나타난다. 귀환광을 차단하기 위하여 광 isolator를 사용할 수도 있겠으나 수십 nm의 넓은 파장대역에 걸쳐 높은 isolation을 유지할 수 있는 광섬유 pigtail된 isolator가 고가인 점을 고려할 때 경제성면에서 가급적 사용하지 않는 것이 바람직하다. 광원의 구성방식에 따라서는 구조적으로 isolation을 시킬 수 없는 경우도 있는데 특히 이러한 경우에 귀환광에 의한 광원의 특성변화를 이해하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 EDF를 사용하여 여러 가지 방식으로 FOG

\*e-mail address : hgpark@phyO.chonbuk.ac.kr

용 광원을 구성하고, 각 구성방식 별로 광원의 특성을 측정하여 비교함으로써 자이로의 응용분야에 따른 적당한 광원 구성방식의 선택에 기본자료로 삼고자 하였다. 또한 광 isolator를 사용하지 않는 가장 단순한 구성방식인 'single pass' 방식에 대하여 귀환광의 세기를 변화시키면서 광원의 특성변화를 측정하고 논의하였다.

## II. 실험 방법

### 2.1. 광원 구성방식

본 연구에서는 EDF를 사용하여 4가지의 서로 다른 방식으로 광원을 구성하여 그 특성을 측정한 결과를 비교하였다. 이 논문의 연구에서 시도한 광원 구성방식의 개념도는 그림 1과 같다. 그림 1(a)는 가장 단순한 형태로서, 펌프광원으로부터의 빛이 WDM(wavelength division multiplexer)을 통해 EDF내로 입사되어 erbium 이온을 여기시키고, 여기된 erbium 이온이 다시 안정상태로 천이하면서 자연방출광을 발생시킨다. 이 자연방출광이 EDF를 따라 양방향으로 진행하면서 증폭되어 ASE(amplified spontaneous emission)의 형태로 EDF의 양 끝단으로 방출된다. 펌프광의 진행방향과 같은 방향의 출력

을 전방출력, 반대 방향의 출력을 후방출력이라 하자. 그림 1(a)에서는 후방 ASE 광이 자이로의 광원으로 쓰이게 되며, 자연방출광이 EDF를 한 번 지나면서 증폭되므로 본 논문에서는 'single pass' 방식이라 부르기로 한다. 이 방식에서는 자이로 신호광의 일부가 EDF로 귀환된다. 여기에 광원과 자이로 사이에 광 isolator를 삽입하여 EDF로의 귀환광을 제거한 방식이 그림 1(b)의 'isolated single pass' 방식이다. 따라서 이 두 방식을 비교해 봄으로써 귀환광이 출력 power와 스펙트럼 특성에 미치는 영향을 알 수 있다. 그림 1(c)의 'double pass' 방식에서는 EDF의 끝 단면에 거울을 부착하여 반대 방향으로 진행되는 자연방출광도 반사후 다시 EDF를 거쳐 증폭된 후 자이로 코일로 입사되도록 하였다. 이 경우 자이로 coil로부터 귀환된 광에 의해 광원이 레이저로 발진하는 것을 막기 위해 광 isolator를 사용하였다. 마지막으로 그림 1(d)는 'amplifier/source' 방식인데 EDF를 광원겸 광증폭기로 사용하는 방식이다. 즉, 자이로로부터 되돌아오는 신호광이 다시 광원으로 입사되어 EDF를 반대 방향으로 진행하는 동안 증폭되는 방식으로 EDF의 끝단에 놓인 검출기가 증폭된 신호광을 검출하게 된다. 이 방식은 신호광이 EDF를 역방향으로 진행해야 하므로 광 isolator를 사용할 수 없는 구조적인 특징을 가지고 있다. 그림에서 EDF 끝단의 사선은 단면 반사광이 EDF 내로 다시 유입되지 않도록 경사지게 연마된 것임을 나타낸다.

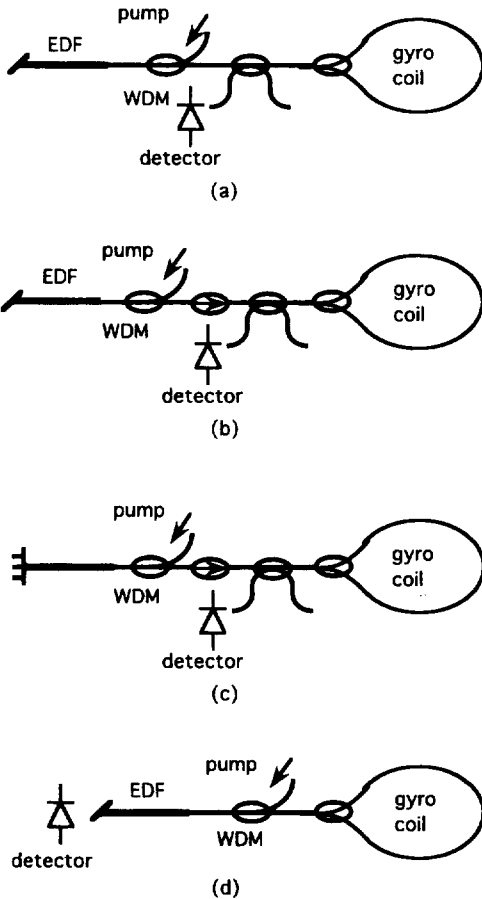


그림 1. 자이로스코프용 광섬유 광원의 구성방식 (a) 'single pass' configuration (b) 'isolated single pass' configuration (c) 'double pass' configuration (d) 'amplifier/source' configuration.

### 2.2. 특성 측정항목

광원 특성의 측정항목은 출력 power, 중심파장( $\bar{\lambda}$ ), 그리고 파장선폭( $\Delta\lambda$ )이며, 앞에서 언급한 여러 가지 광원 구성방식에 대하여 펌프 power와 귀환수준(feedback level)을 변화시키며 위 항목의 특성변화를 측정하였다. 여기서 귀환수준은 출력 광 power에 대한 귀환광 power의 비율을 의미한다. 그런데 erbium 이온의 관련 에너지 준위가 glass host 내에서 Stark 효과에 의해 여러개의 미세준위로 분리되어 있기 때문에<sup>[10]</sup> EDF로부터 방출되는 빛의 스펙트럼 모양이 단순하지 않다. 따라서 광원의 중심파장과 파장선폭을 spectral power density  $P(\lambda)$ 를 이용하여 각각 식 (1) 및 식 (2)와 같이 정의하고<sup>[4]</sup>, 실험에서  $\lambda = 1.5 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 인 구간에 대해서 0.2 nm 간격으로  $P(\lambda)$ 를 측정하여 이로부터 중심파장과 파장선폭을 계산하였다. ( $\lambda$ 는 진공중에서의 빛의 파장)

$$\bar{\lambda} = \frac{\int P(\lambda) \cdot \lambda d\lambda}{\int P(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

$$\Delta\lambda = \frac{[\int P(\lambda) d\lambda]^2}{\int P^2(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

### 2.3. 광원 구성방식간 특성 비교측정

광원특성 측정을 위한 실험장치의 구성은 그림 2와 같다. 실험에 사용된 EDF는 미국 AT&T사에서 제조된 것으로 1.53  $\mu\text{m}$ 와 1.55  $\mu\text{m}$  파장에서의 흡수율이 각각 2.2 dB/m와 1.7 dB/m이고, Er과 Al이 함께 첨가되었다. Er 첨가밀도는 약 300 ppm 정도로 추정되며 사용된 길이는 35 m이다. 또한 LP<sub>11</sub> 모

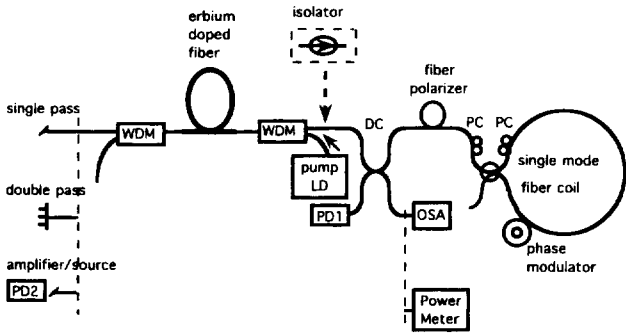


그림 2. 자이로용 광원 특성 측정 장치 구성도(PC : polarization controller, OSA : optical spectrum analyzer, DC : directional coupler, WDM : wavelength division multiplexer, LD : laser diode, PD : photodiode)

우드의 차단파장(cutoff wavelength)이  $1.02 \mu\text{m}$ 이며 코어와 클래딩 사이의 굴절률 차이는 0.023이다. 펌프용 광원으로는  $1.48 \mu\text{m}$  파장의 InGaAsP LD를 사용하였으며, WDM을 통해 펌프광을 EDF에 입사시켰다. EDF의 반대쪽 끝에는 잔여 펌프광을 거르기 위하여 또 다른 WDM을 두었다. EDF광원을 실제 자이로에 연결하였는데 자이로의 회전감지용 루프는 3.4 km의 통신용 단일모드 광섬유로 구성하였고 루프 내외의 편광조절기를 조절하여 루프로부터의 반사가 최대가 되도록 하였다. 또한 루프내의 한쪽 끝에서 위상변조를 했는데 변조진폭은 귀환광에 의한 EDF 광원의 특성변화를 억제할 수 있도록  $\phi_m = 2.4 \text{ rad}$ 로 하였으며<sup>[11]</sup> 자이로가 회전하지 않는 상태에서 실험을 진행하였다. 광원과 자이로 루프 사이에 방향성 광섬유결합기(directional fiber coupler)를 두어 출력광 power와 스펙트럼, 그리고 검출기에 입사되는 광 power를 측정하였다. 'Amplifier/source' 방식의 경우에는 원칙적으로 방향성 결합기를 필요로 하지 않지만 광원 특성의 모니터를 위해 90 : 10인 것을 사용하였으며 다른 3가지 방식의 경우에는 50 : 50인 것을 사용하였다. 이때 방향성 결합기 입사단에서의 평균 귀환 수준은 'amplifier/source' 방식의 경우에 약 -13 dB, 다른 방식의 경우에 약 -16 dB였다. 'Isolated single pass'와 'double pass' 방식의 경우에 광섬유 pigtail된 광 isolator를 넣어 실험하였다.

### 2.4. 귀환효과 측정

EDF로부터 자이로로 입사된 ASE 광은 위상변조를 겪은 후 회전에 대한 정보를 싣고 EDF로 귀환되는데 귀환광은 본래 EDF 광원의 출력과 스펙트럼에 영향을 주게 된다. 이러한 귀환광은 자이로의 회전에 따라 귀환광의 세기가 변화하는 준 dc 성분과 위상변조로 인한 ac 성분으로 구성된다. 이 중에서 고속으로 변조된 ac 귀환성분은 EDF 이득의 느린 동특성으로 인하여 EDF의 이득 특성에 큰 영향을 미치지 않으며<sup>[12]</sup> 귀환광으로 인한 광원의 특성 변화는 주로 dc 성분이 그 원인이 된다.<sup>[11,12]</sup> 따라서 본 실험에서는 dc 귀환광 세기 변화에 따른 광원의 특성변화를 측정하였다.

그림 3은 EDF 광원의 귀환광 효과를 측정하기 위한 측정장치 구성도이다. 후방출력을 광원으로 사용하는 것으로 가정하였다. 정밀한 측정을 위하여 전방출력 쪽에는 광 isolator를

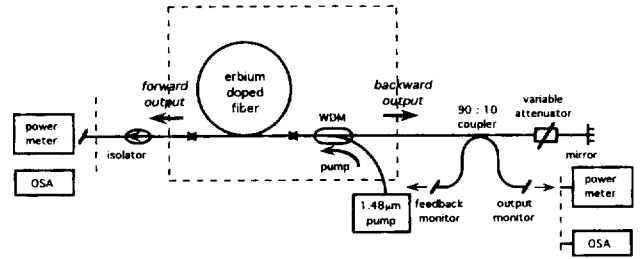


그림 3. 귀환효과 측정 실험 장치 구성도.

두어 단면 반사 또는 산란으로 인한 귀환광을 차단하였고, 후방출력 쪽에 반사경을 두어 EDF에서 나온 빛의 일부가 다시 EDF내로 귀환되도록 하였다. 귀환광 세기는 EDF와 반사경의 사이에 가변 광감쇠기(variable attenuator)를 두어 조절하였다. 후방출력광 power와 스펙트럼의 특성은 그림 3에서 90 : 10 방향성 광섬유결합기의 'output monitor' 단에서 측정하였으며, 귀환광 power를 90 : 10 결합기의 'feedback monitor' 단에서 측정하여 두 power의 비로부터 귀환수준을 결정하였다.

### III. 실험결과

앞에서 설명한 4가지의 광원 구성방식에 대하여 펌프 power를 변화시키며 광원의 출력광 power를 측정하여 그 결과를 그림 4에 나타내었다. 출력광 power는 그림 2의 90 : 10 광섬유 결합기의 출력단(power meter단)에서 측정한 값을 결합기 손실을 고려하여 결합기로 입사하는 power로 환산한 값이다. 출력광 power의 크기는 'double pass'의 경우에 25 mW의 펌프 power에서 5.5 mW로 가장 컸으며, 다음으로 'isolated single pass', 'single pass' 그리고 'amplifier/source'의 순으로 나타났다. 전반적으로 광원과 자이로가 isolation된 경우에 출력이 컸으며, 귀환광이 상당히 존재하는 'single pass'와 'amplifier/source'의 경우에 출력이 작음을 볼 수 있다. 이는 귀환광이 출력과 반대방향으로 EDF를 따라 진행하면서 EDF의 이득을 포화시키기 때문인 것으로 풀이된다. 또한 'single pass'의 경우에는 자이로 신호를 검출하기 위해 50 : 50 결합기가 사용

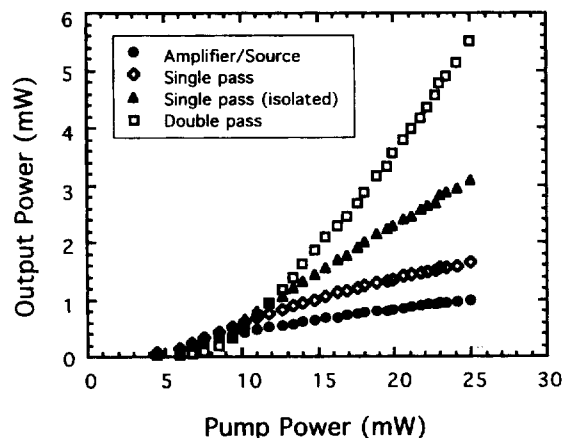


그림 4. 펌프광 power에 대한 출력광 power 변화.

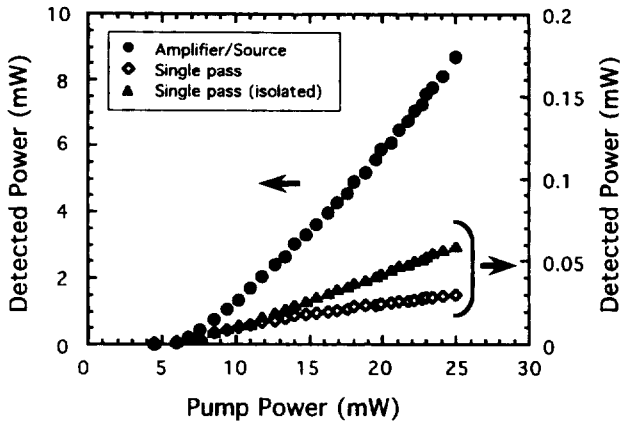


그림 5. 펌프광 power에 대한 검출기 입사 power 변화.

되었으므로 'amplifier/source'의 경우보다 광원으로의 귀환광 세기가 작아 상대적으로 더 큰 출력을 나타내었다.

그림 5는 각 광원방식에 대하여 자이로의 신호광 검출기의 위치에서 power meter를 사용하여 검출광 power를 측정한 결과이다. 'amplifier/source'의 경우에는 25 mW의 펌프광 power에 대하여 8.5 mW로서 다른 방식과 비교하여 최소한 100배 이상의 큰 신호광 power가 자이로 검출기로 입사됨을 볼 수 있다. 그러나 'amplifier/source'의 경우에 검출광 power가 모두 회진신호 성분은 아닌 것으로 나타났다. ASE광 출력은 EDF의 양방향으로 나오는데, 이 중에서 펌프광과 같은 방향으로 진행되는 전방 ASE는 amplifier/source 방식의 경우에 자이로를 거치지 않고 직접 검출기로 입사되므로 일종의 바탕잡음에 해당한다. 이러한 잡음성분의 ASE는 자이로로부터 귀환되는 신호광의 세기가 작을수록(자이로의 손실이 클수록) 더욱 크게 나타났다. 본 실험의 조건하에서는 바탕 잡음광 power가 전체 검출광 power의 5% 정도로 나타났으며, 자이로 광섬유에 구부림을 주어 자이로의 손실을 약 10 dB 증가시킨 경우에는 14% 수준까지 증가하였다.

그림 6은 출력광의 파장선폭을 펌프광 power에 대하여 측정한 결과이다. 전반적으로 펌프 power가 증가할수록 파장선폭이 감소하였으며, 어느 수준 이상의 펌프 power에 대해서

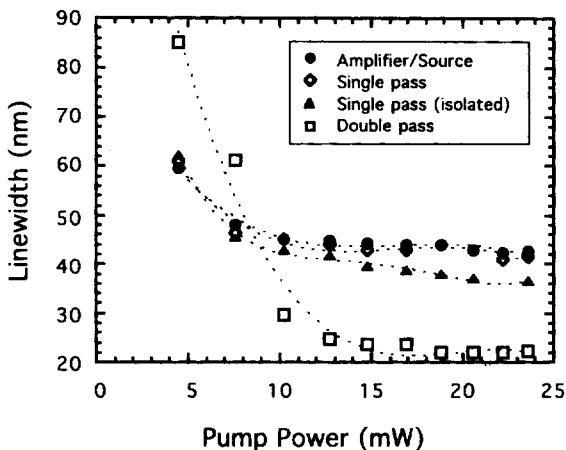


그림 6. 펌프광 power에 대한 파장선폭의 변화.

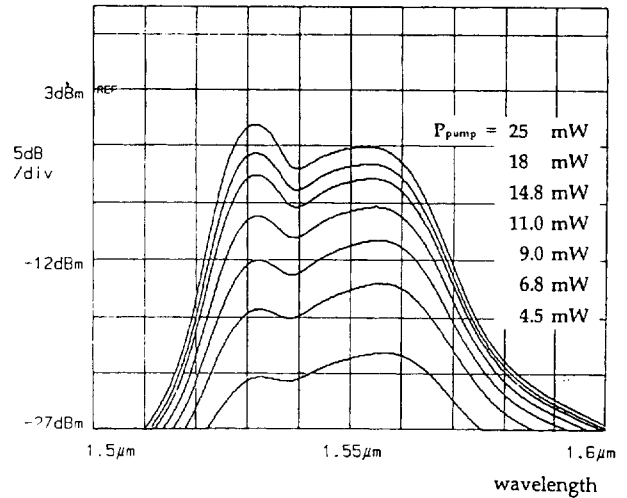


그림 7. 펌프광 power 변화에 따른 광원 출력 스펙트럼의 변화.

는 파장선폭에 큰 변화가 없었다. 방식별로 비교할 때 파장선폭의 크기는 대체로 출력광 power 크기 순서의 역순으로 나타났다. 15 mW 이상의 펌프 power에 대하여 'double pass'의 경우에 약 20 nm 수준, 다른 3가지 방식의 경우에 40 nm 전후의 값을 얻었는데 이는 모두 자이로용 광원의 요구특성에 부합되는 것이다. 따라서 파장선폭면에서 'double pass'가 다소 불리하나 광원이 레이저로 발진하지 않는 한 어떠한 방식을 택하든지 큰 문제가 되지 않음을 알 수 있다.

그림 7은 'isolated single pass'의 경우에 펌프 power 변화에 따른 출력광 스펙트럼의 변화를 나타낸 것이다(수직축이 log scale임에 유의). 펌프 power가 작은 경우에는 장파장 영역에서 최대 power를 가지나 펌프 power가 증가함에 따라 최대점이 단파장 영역으로 이동함을 볼 수 있다. Erbium에서 방출 및 흡수 단면적(emission/absorption cross-section)이 최대인 파장은 1.53 μm 부근이지만 펌핑이 충분하지 않은 경우에는 단파장대에서 흡수가 상대적으로 커서 실질적으로 장파장 영역에서 최대 이득을 가지기 때문이다.<sup>[13]</sup> 펌프 power 변화에 의해 peak 파장이 옮겨감에 따라 식 (1)에 의해 정의된 중심 파장도 상당히 변화할 것임을 알 수 있다.

각 구성방식에 대하여 펌프 power를 변화시키며 중심파장을 측정된 결과를 그림 8에 나타내었다. 본 실험에서 사용한 펌프 LD의 power 범위(25 mW 이하)내에서는 펌프 power가 증가함에 따라 중심파장이 감소하였다. 그림 8의 fitting된 곡선들로부터 중심파장의 펌프 power에 대한 변화율을 계산한 결과, 'single pass'의 경우에 20 mW의 펌프 power에서 약 0.2 nm/mW 정도로 가장 크고 'double pass'의 경우에 거의 0에 가까운 변화율을 보였으며 나머지 두 방식의 경우 대략 0.1 nm/mW 수준 또는 그 이하로 나타났다. 중심파장 변화율 0.1 nm/mW는 중심파장을 1 ppm 이내로 안정시키고자 하는 경우에 펌프 power의 장단기적 요동(fluctuation)이 0.015 mW 이내가 되도록 제어해야 함을 의미한다. 그런데 펌프 power 변화 외에 다른 요인들도 중심파장 변화에 기여하므로 펌프 power는 이보다 충분히 안정되어야 하는데 현실적으로 어려움이 있다. 따라서 'double pass'외의 다른 방식의 경우에 중심

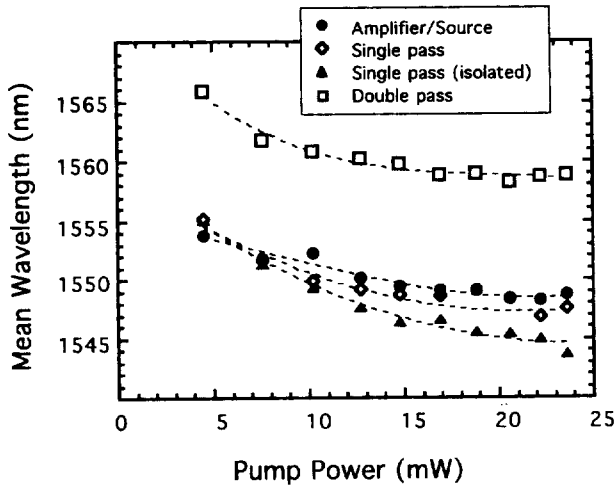


그림 8. 펌프 power에 대한 중심파장의 변화.

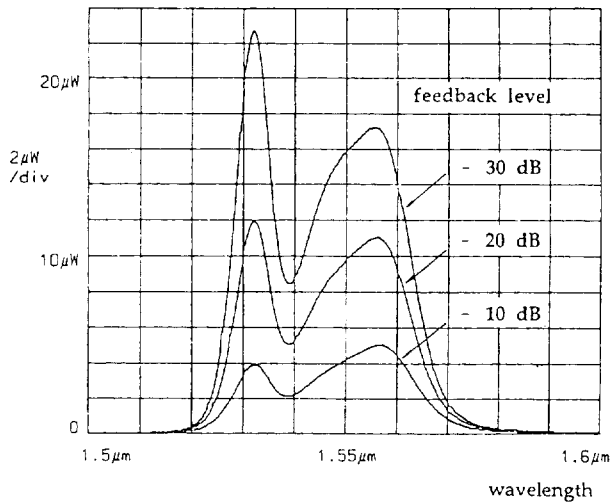


그림 9. 귀환수준에 따른 후방출력광 스펙트럼의 변화.

파장의 안정을 위해서는 EDF의 길이등 다른 변수들과 동작조건 최적화를 통하여 개선이 이루어져야 할 것으로 보인다.

다음은 귀환수준에 따른 광원의 특성변화를 보기 위하여 그림 3의 실험장치에서 가변 광감쇄기로 귀환수준을 변화시키며 출력광(후방 ASE) 스펙트럼을 측정하였다. 그림 9는 펌프 power가 18 mW이고 귀환수준이 -10, -20, -30 dB인 경우에 출력광 스펙트럼의 변화를 측정한 결과이다(수직축은 linear scale 임에 유의). 귀환수준이 -30 dB에서 -10 dB로 증가함에 따라 파장대역 전체에 걸쳐 출력이 감소했으며, 특히 단파장 peak가 장파장 peak 보다 더욱 크게 감소하여 중심파장이 장파장쪽으로 이동함을 볼 수 있다.

펌프 power가 18 mW인 경우에 귀환수준을 변화시키며 출력 power와 파장선폭을 측정하여 그림 10에 나타내었다. 귀환수준이 증가함에 따라 출력 power가 감소하였다. 광 isolator를 사용하여 귀환광을 차단하는 경우에 귀환수준은 -40 dB 이하가 되는데 귀환수준이 -10 dB인 경우와 비교할 때 출력 power의 비는 대략 4:1 가량이 된다. 또한 귀환수준 -20 dB에서 출력 power의 변화율이 -0.18 mW/dB로 나타났다. 실

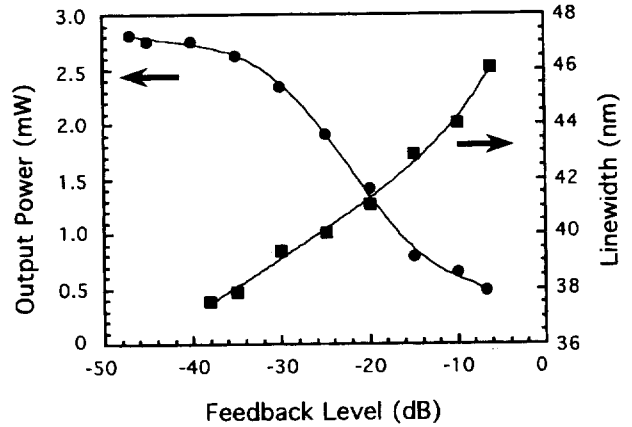


그림 10. 귀환수준에 대한 후방출력광 power와 파장선폭의 변화.

제 자이로에서 위상변조진폭을 1.8 rad으로 하는 경우에 귀환광의 평균 power는 회전속도에 따라 대략  $\pm 1.5$  dB 범위 내에서 변동한다(위상변조진폭에 따라 귀환수준의 변동범위가 달라짐). 이는 만일 isolator를 사용하지 않는 경우에 -20 dB의 평균 귀환수준에서 자이로가 동작하는 경우를 가정하면 동작중에 광원의 출력 power가 회전속도에 따라 최대  $\pm 0.24$  mW 까지 변화한다는 의미를 가진다. 이처럼 회전속도에 따라 광원의 출력 power가 변화하면 자이로의 출력신호가 왜곡될 수 있다. 한편, 귀환수준이 증가함에 따라 귀환광과 같은 방향인 전방출력이 증가하였는데, 이는 귀환광이 EDF 증폭기의 입력으로 작용하여 EDF를 따라 진행하면서 증폭되기 때문이다. 전방출력이 증가하면 반전밀도가 감소하고 이에 따라 전방출력과 반전밀도를 공유하는 후방출력이 감소하는 것으로 그림 10의 결과를 이해할 수 있다.

파장선폭도 귀환수준에 따라 그림 10과 같이 변화하였다. 귀환수준이 낮은 경우(-40 dB)에는 37 nm 정도의 선폭을 나타냈으나 귀환수준이 높아짐에 따라 선폭이 증가하였다. 그림 10의 결과로부터 출력광 power와 파장선폭은 상보관계에 있음을 알 수 있다. 또한 중심파장을 귀환수준에 대해 측정하여 그림 11에 나타내었다. 중심파장은 귀환수준이 높아짐에 따라 장파장쪽으로 이동하였는데, 중심파장의 변화율은 귀환

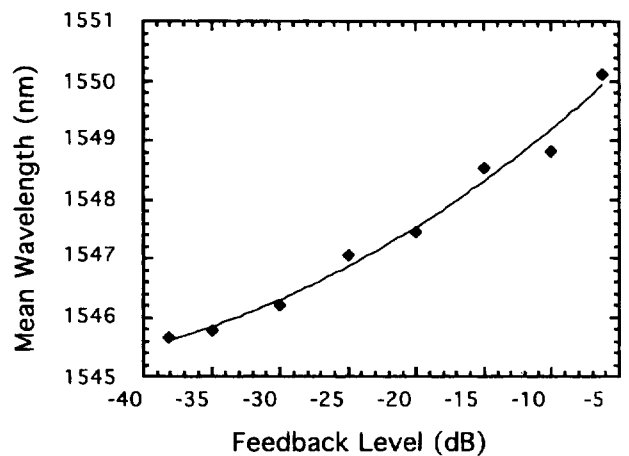


그림 11. 귀환 수준에 대한 중심파장의 변화.

수준 -20 dB에서 0.11 nm/dB로 나타났다. 이러한 변화율은 앞에서와 같은  $\pm 1.5$  dB의 귀환수준 변화에 대해 대략  $\pm 100$  ppm 이상의 중심파장 변화를 의미하는 것으로서 귀환광이 자이로의 scale factor 안정성에 매우 큰 영향을 미칠 것임을 이로부터 예측할 수 있다.

#### IV. 결 론

EDF를 이용하여 광섬유 자이로스코프용 광원을 구성하였다. 4가지의 광원 구성방식에 대하여 광원의 출력광 power, 파장선폭 및 중심파장을 펌프 power의 함수로 측정하고 방식간에 그 결과를 비교하였다. 'Single pass' 방식은 네 가지 방식 중 가장 간단하고 적은 비용으로 구성할 수 있으며 파장선폭이 넓은 장점을 갖는 반면, 비교적 출력 power가 작고 귀환광 효과에 의해 영향을 받는다는 단점을 가짐을 알 수 있었다. 'Isolated single pass'는 귀환광으로 인한 효과를 제거하여 안정된 광원을 구성할 수 있었으며 중간 크기의 출력 power와 파장선폭 특성을 나타냈다. 'Double pass'의 경우는 자연방출광이 EDF를 한번 더 지나면서 증폭이 되므로 이들 방식들 중 가장 큰 출력 power를 나타냈는데 25 mW(1.48  $\mu$ m 파장)의 비교적 낮은 펌프 power로 5.5 mW의 출력을 얻었다. 또한, 펌프 power에 대한 중심파장의 변화율도 충분한 펌핑이 이루어지는 경우에 다른 방식에 비해 매우 작았다. 반면에, 이 방식에서는 레이저로의 발진을 막기 위해 광 isolator를 반드시 사용해야 했으며 파장선폭이 다른 방식에 비해 절반수준으로 좁았다. 'Amplifier/source' 방식은 광원의 출력이 네 가지 방식 중 가장 작았으나 자이로 검출기에 입사되는 power면에서는 다른 방식에 비해 최소한 100배 이상의 큰 검출광 power를 얻을 수 있었다.

귀환광이 광원의 특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 귀환광의 세기를 변화시키면서 광원의 출력 power와 스펙트럼 특성을 측정한 결과 귀환광의 세기에 따라 이들 특성이 변화함을 알 수 있었다. 귀환수준이 증가함에 따라 파장선폭은 증가했으나 출력 power는 감소했으며 중심파장의 변화가 크게 나타났다. 일반적으로 자이로의 회전속도가 변화하면 귀환광의 평균 power 수준이 변화하는데 이에 따라 자이로의 성능이 제약되지 않기 위해서는 이러한 귀환광 효과가 제거되어야 한다. 특히 구조적으로 광 isolator를 사용할 수 없는 'amplifier/source' 방식은 귀환광 효과에 가장 민감한데 이와 관련하여 최근 귀환광 효과의 해석에 관한 연구가 이루어진 바 있다.<sup>[14]</sup>

이상 열거된 각 방식들의 특징을 고려하여 광섬유 자이로의 응용분야와 요구성능 및 비용수준에 따라 광원의 구성방

식이 선택되어야 할 것이다. 본 실험에서 측정된 광원의 특성 중 출력 power와 파장선폭은 자이로의 요구특성을 충분히 만족하였다. 중심파장의 안정성은 구성방식에 따라 다소 미흡한데 이는 EDF 길이가 35 m인 경우에 대해서만 실험된 점을 감안할 때, EDF 길이가 달라지면 광원의 특성도 달라질 것으로 예상된다. 본 연구에서는 EDF의 길이를 고정하고 각 방식의 특성결과를 비교하였으므로 각 방식의 최적상태간의 비교라고는 할 수 없다. 따라서 각 방식별로 EDF의 최적화가 따로 존재할 수 있을 것이다. 현재 각각의 구성방식에 대해서 EDF 길이에 관련된 광원 특성 연구와 이를 통한 광원의 최적화가 진행중에 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학기술원 전자광학특화연구센터를 통한 국방과학연구소의 연구비지원으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] V. Vali and R. W. Shorthill, *Appl. Opt.* **15**, 1099 (1976).
- [2] R. A. Bergh, H. C. Lefevre, and H. J. Shaw, *J. Lightwave Technol.* **2**, 91 (1984).
- [3] S. Ezekiel, S. P. Smith, and F. Zarinetchi, in *Optical Fiber Rotation Sensing*, W. K. Burns ed. San Diego, Academic Press (1994).
- [4] D. C. Hall, W. K. Burns, and R. P. Moeller, *J. Lightwave Technol.* **13**, 1452 (1995).
- [5] K. Iwatsuki, *IEEE Photon Tech. Lett.* **2**, 237 (1990).
- [6] H. Fevrier, J. F. Marcerou, P. Bousselet, J. Auge, and M. Jurczykzy, *Electron. Lett.* **27**, 261 (1990).
- [7] D. C. Hall and W. K. Burns, *Electron. Lett.* **30**, 653 (1990).
- [8] P. F. Wysocki, M. J. F. Dignonnet, B. Y. Kim, and H. J. Shaw, *J. Lightwave Technol.* **12**, 550 (1994).
- [9] R. P. Moeller, W. K. Burns, and N. J. Frigo, *J. Lightwave Technol.* **7**, 262 (1989).
- [10] E. Desurvire and J. R. Simpson, *Opt. Lett.* **15**, 547 (1990).
- [11] 박희갑, 김병윤, *한국광학회지*, **6**, 70 (1995).
- [12] E. Desurvire, C. R. Giles, and J. R. Simpson, *J. Lightwave Technol.* **7**, 2095 (1989).
- [13] E. Desurvire and J. R. Simpson, *J. Lightwave Technol.* **7**, 835 (1989).
- [14] Hee Gap Park, Kyoung Ah Lim, Young-Jun Chin, and Byoung Yoon Kim, to be published in *J. Lightwave Technol.*

## Construction and characterization of broadband erbium-doped fiber sources for gyroscope

Kyoung Ah Lim

*Institute for Advanced Engineering, Communication & Electronics Lab,  
Yongin P.O.BOX 25, Kyonggi-do, 449-800 Korea*

Young-Jun Chin and Hee Gap Park

*Department of Physics, Chonbuk National University Chonju, 561-756 Korea*

(Received : February 5, 1997)

Broadband sources for fiber-optic gyroscope were constructed using erbium-doped fibers. Output power, linewidth, and mean wavelength were measured and compared between four different source configurations. Among them, double pass configuration exhibited the highest output power, as high as 5.5 mW with 25 mW pumping at 1.48  $\mu\text{m}$  wavelength. It also showed nearly zero sensitivity of mean wavelength for the variation of pump power when a sufficient pumping was provided. Amplifier/source configuration resulted in the highest detected power(power received by the gyro detector) that is more than 100 times larger than those of the other configurations, though it was the lowest in terms of source output power. As the feedback level increased, the source power decreased while the linewidth increased, and mean wavelength varied significantly which would affect the scale factor of the gyroscope.