

## 발전하는 판다형 편광유지 광섬유

설계와 제조 기술에서의 발전은 판다형 편광유지 광섬유(Panda-style polarization-maintaining fibers)를 선형 편광 광섬유 레이저에 뿐만 아니라 광섬유 자이로스코프에도 사용하게 하였다.

20년 이상 오래된 기술임에도 불구하고, 판다형 편광유지(PM) 광섬유는 새로운 인생을 얻고 있다.(판다광섬유는 편광유지와 흡수감소를 나타낸다.)

원래는 원거리통신 산업을 위해 개발되어졌기에, PM 광섬유는 싼 가격, 큰 부피, 높은 재생산성 광섬유에 대한 요구를 충족시켰다. 최근 특수 광섬유 회사들이 광섬유 자이로와 고효율 광섬유 레이저와 같은 다양한 시장을 겨냥한 여러 가지의 상품 개발을 발표했다. 이 기술은 현재 통신 산업 밖으로 새로운 품종의 광섬유 상품으로 적용되고 있는데, 선형편광 광섬유 레이저를 위한 편광 광섬유 설계 뿐만 아니라 광섬유 자이로와 같은 광섬유 센서를 위한 고도 복굴절 광섬유들이 포함된다.

### ◆ 판다PM 광섬유 기술

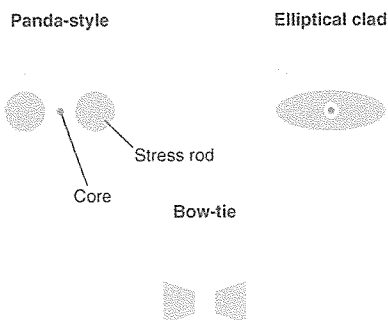
광파는 진행방향과 수직이며 서로 수직인 진동하는 전계와 자계로 정의될 수 있다. 표준 단일모드 광섬유에서는 유도된 빛은 이산적인 파들의 총체로서 진행하는데, 온도, 압력, 그리고 기계적 힘을 포함하는 환경 조건의 변화에 반응하여 그들의 전계와 자계는 불규칙한 방향으로 정렬된다. 광섬유는 결코 완전한 대칭이 아니다. 그래서 진행광은 작지만 중대한 모드 복굴절(modal birefringence)을 겪게 된다. 따라서 표준 단일모드 광섬유는 각 모드가 직교하는 선형편광을 가지는 이중모드 광섬유로 생각될 수 있다. 이 두 모드들의 진행 특성이 매우 비슷하면, 그들 간에 파위를 옮기기 쉬운데, 그것에 의해 유도파의 편광 상태가 바뀐다.

광섬유 자이로스코프와 같은 몇 가지 광섬유기반의 탐지 분야와 결맞음통신(coherent communications)을 포함하는 광신호처리 분야에서는 유도파의 편광상태가 긴 광섬유 길이에 걸쳐 유지되어야 한다. 이에 대해, 응력으로 야기되는 복굴절을 가지는 광섬유가 개발되었는데, 그 광섬유는 하나의 편광 상태만을 지원하거나 혹은 두 개의 모드들이 이산적으로 분리되도록 할 수 있다. 이러한 광섬유에서 복굴절은 광섬유 코어의 양쪽에 보론이 도핑된 응력 영역들을 넣음으로 인해 발생된다.

광섬유의 인출 과정 동안에, 프리폼(광섬유의 초기형태)이 가열되면 이 두 영역들은 열적 평형상태에 있게 된다. 그러나 냉각될 때에는 그들 각각의 열팽창 계수의 차이가 형성된 광섬유 코어를 가로질러 잔류응력 이방

성(residual stress anisotropy)을 만든다. 응력부의 성분, 위치, 그리고 기하형태는 그 광섬유에서의 복굴절을 결정한다. 좀더 명확히는, 유발된 복굴절의 크기는 열팽창 계수의 차이에 비례하고, 응력유발 영역 간의 거리와 영역의 크기에 반비례한다.

지난 20년 동안, 이러한 응력유발 영역의 합성에 영향을 주기 위한 여러 가지의 기술들이 개발되어, 몇 가지 약간 다른 PM광섬유 디자인이 생겼다. 결과적으로, 세 개의 PM광섬유 디자인이 오늘날 일반적으로 사용되는데, 그것은 보우타이(나비넥타이), 판다, 그리고 타원클래드이다.

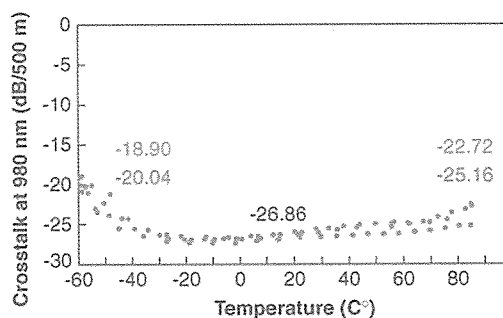


이 세가지 디자인은 제조와 또는 응용의 관점에서 각각 장점들을 가진다. 판다형 광섬유는 그 자체의 고유한 균일성과 재생산성으로 인해 모든 원거리통신 분야에서 오래동안 선호된 기술인 반면에, 매우 높은 복굴절을 필요로 하는 분야에서 요구되는 코어로의 근접과 극도의 응력부 불순물 농축을 얻기가 근본적으로 더 어렵다. 따라서, 매우 최근까지 이 광섬유 디자인은 원거리통신 외의 다른 특수광섬유 분야에서는 이용되지 않았다.

### 광섬유 자이로스코프

광섬유 자이로스코프(FOG) 분야에서는, 극도로 높은 복굴절과 그에 상응하는 짧은 비트 길이(beat length)를 가지는 PM 광섬유를 제조하는 것이 결정적으로 중요하다. 이러한 광섬유는 더 작은 클래딩 직경(원거리 통신에서는 125 $\mu$ m인데 비해 여기서는 80 $\mu$ m)이 요구되어 더욱 작은 응력 영역을 만들어야 하므로 설계가 더욱 까다롭다. 결과적으로, FOG 제조업자들은 보우타이와 타원클래드 광섬유 사이에서 선택할 수밖에 없었으며, 이러한 두가지 디자인 유형에 고유한 균일성의 결핍, 생산의 어려움, 그리고 생산 확장성에서의 어려움을 처리해야만 했다. 성분 분석을 이용함으로써, 누펀(Nufern)은 633nm 파장에서 1.2mm의 비트길이를 갖는 판다형 PM 광섬유를 상업적으로 개발하였다.

판다 구성으로 FOG 사용자는 현저한 이력현상(hysteresis)없이 넓은 동작온도에 걸쳐 뛰어난 광섬유 누화 성능을 얻는다.



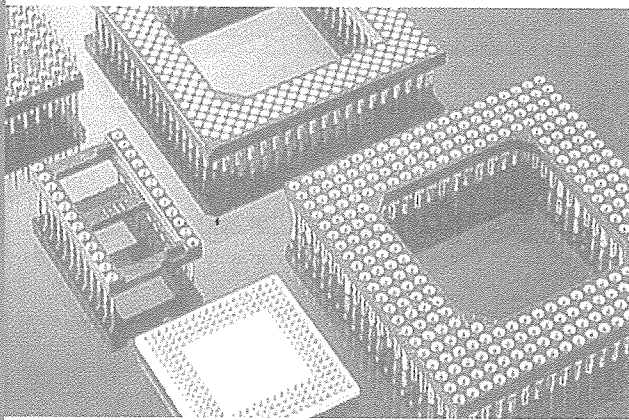
이러한 성능은 높은 복굴절 및 특별한 크기 제어와 함께 고성능 FOG 제조에 결정적으로 중요하다. 자이로 분야를 위한 고성능 판다형 PM 광섬유의 유효성으로 유도 시스템 제조자들은 원거리통신 산업용으로 개발된 싼값의 판다형 PM 부품 세트를 도입하게 되었다. 이러한 접근으로 유도산업(guidance industry)은 더 좋은 성능의

FOG를 더 낮은 가격에 얻고, FOG기반 유도 시스템의 새로운 기회를 열었다.

### ◆ 고출력 광섬유 레이저

광섬유 레이저에서, 편광 상태의 불규칙한 변동은 레이저 출력의 불안정성을 유발한다. 연속파 광섬유 레이저의 진폭과 주파수는 요동을 하게 되고, 펄스 광섬유 레이저의 모드 잠금은 까다로워진다. 따라서 광섬유 레이저나 증폭기는 제한된 편광을 가지는 출력광을 제공해야 한다. 의료, 재료 가공, 그리고 방위 분야와 같은 많은 응용분야들은 출력광의 주파수 천이에 의해 가장 좋게 얻어질 수 있는 특정한 파장의 빛을 요구하거나, 몇 개의 레이저 공진기 출력들의 절맞는 결합에 의해 가장 좋게 얻을 수 있는 출력 파워를 요구한다.

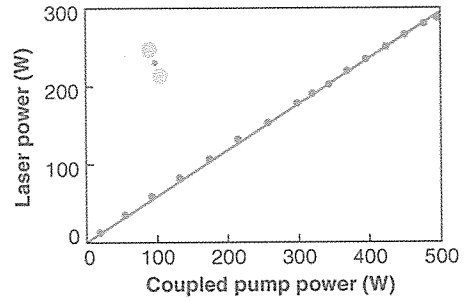
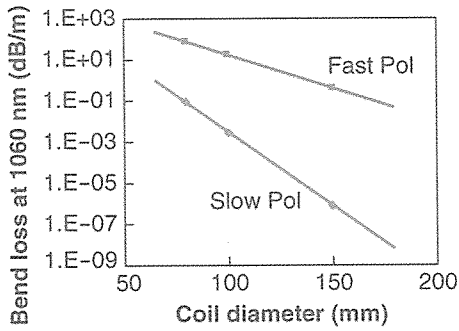
능동도핑광섬유 설계에서의 최근의 많은 기술적 성공들이 연속파 및 펄스와 광섬유 광원의 보고된 출력 파워에서 기하급수적인 증가를 낳게 했지만, 역사적으로 단지 몇 개의 PM 능동도핑 광섬유만이 문헌에 보고되었다. 일반적으로 이러한 광섬유는 낮은 불순물 농도와 혹은 낮은 복굴절을 가졌다.



그러한 광섬유 제조에서의 복잡함은 주로 능동 코어 영역과 응력유발 요소를 증착시켜야 하기 때문에 나타난다. 세 가지 광섬유 유형 중에, 판다형 광섬유는 두개의 구성요소들의 생산이 분리될 수 있다는 것에서 장점을 가진다. 그것들은 두개의 처리단계에서 제조되며 광섬유를 뽑아내기 바로 전에 결합될 수 있다. 그러나 극도로 높은 레이저 파워는 코어와 클래딩의 기하모양이 표준 원거리통신형 PM 광섬유에서와 매우 다른 큰모드면적 이중클래드 광섬유(LMA DCFs : large-mode-area double-clad fibers)에서만 얻어질 수 있다.

LMA DCFs에서, 코어의 큰 직경은 얻을 수 있는 복굴절에 부정적인 영향을 끼친다. 그 결과로서, 수동 PM 광섬유는 수년 동안 상업적으로 구할 수 있었지만, 능동도핑 PM 광섬유는 최근까지 구할 수 없었다. 사실상, 이터븀도핑 PM-DCF를 사용하는 증폭기는 2000년에 처음으로 보고되었다. 만약 PM-LMA DCFs가 편리했다면, 응력 부분의 성분 및 기하모양 설계를 최적화하기 위해 꽤 많은 연구가 수행되었어야 했다. 2003년에, 누펀(Nufem)은 상기의 자세한 실험적 및 이론적 분석의 결과를 발표했다. 그 분석은 응력부 성분과 위치의 주의 깊은 조작을 통해, 약 20 μm의 코어 직경을 가지면서도 여전히 표준 통신형 판다 광섬유와 비슷한 복굴절, 즉 다시 말하면  $3.5 \times 10^{-4}$  이상인 복굴절이 얻어지는 PM-DCFs를 만들 수 있다는 것을 증명하였다.

누펀(Nufem) 연구원들은 응력부 크기와 위치에 대한 그 이상의 최적화를 통해 광섬유가 단순히 선형 편광 상태를 유지하는 양식으로부터 광섬유가 실제로 편광 축들 중의 하나에 대해 큰 손실을 가지는 양식(본질적으로 편광 동작)으로 옮겨갈 수 있다는 것을 발견하였다. 예를 들면, 최적화된 PM 큰 모드면적 이터븀도핑 광섬유에 대한 굵힘 유발 손실이 두개의 편광 축들이 서로 다를 때 발생하는 것이다.



광섬유를 최적에 가까운 직경(약 10cm라고 하자)으로 뿔뿔 말음으로써 빠른 축을 따라 편광된 빛은 많은 손실(약 10dB/km)을 겪고, 다른 나머지 편광은 무시할 만큼 적은 손실(0.1dB/km이하)을 겪는다.

300W의 선형편광된 광섬유 브래그 격자기반의 레이저가 이 기술을 사용하여 매우 높은 경사효율로 시연되었는데, 단순히 최적화된 광섬유의 코일링을 통해서 약 19 dB의 편광 소광율을 나타냈다.

광섬유 레이저에서의 편광 제어가 간소해지면서, 외부 편광 요소에 대한 필요성을 경감 또는 제거하고 이러한 매우 높은 파워 수준에서 조차도 모놀리식 공진기 설계를 가능하게 한다.

<자료제공 : <http://lfw.pennnet.com>>

