

## 편광의존손실 측정용 표준물질의 제작과 특성

### Fabrication and Characterization of Reference Materials for Polarization Dependent Loss

김승관, 박승남

한국표준과학연구원 기반표준부 온도광도그룹

skkfiber@kriss.re.kr

편광의존손실 (Polarization Dependent Loss, PDL)은 광소자로 입력되는 광신호의 편광 상태에 따라 광소자의 투과율 (또는 삽입손실)이 달라지기 때문에 나타나는 물리량으로서, 이는 광통신 시스템과 같이 다수의 광소자를 사용하는 광학계에서 장기적 출력 안정도를 떨어뜨리고, 신호 대 잡음비를 감소시킬 뿐만 아니라, 광섬유의 편광모드분산과 결합하여 광학계의 성능을 떨어뜨리는 요인이 된다. 따라서 광소자의 PDL을 가능한 낮추는 것이 중요하며 이를 위해 정확한 PDL의 측정이 필요하다. PDL은 입력 편광에 따른 최대 투과율과 최소 투과율의 비로써 정의하게 되는데, 측정에는 polarization scanning (PS) 방법과 Mueller 방법이 대표적으로 많이 사용되고 있다. 우리는 PS 방법을 사용하여 표준 측정 장치를 구축하고 측정 불확도를 평가하여 국가 표준을 확립하고 있다<sup>(1)</sup>.

PDL 측정 표준을 유지, 향상시키고 이를 관련 연구기관과 산업체에 전파하고 보급하기 위해서는 PDL 인증표준물질이 필요하다. PDL 표준물질은 삽입손실이 작고, PDL 1 dB 이하의 범위에서 측정값의 반복성과 재현성이 우수하고, 온도 및 습도의 변화에 대하여 측정값이 크게 변하지 않는 특성을 가지고 있어야 한다.

본 연구에서 우리는 PDL 표준물질로서 PDL의 발생 원리가 광섬유와 금속 경계면에서의 모드 결합을 이용하는 것을 제작해 보았다. 표면 플라즈몬 광섬유 편광기<sup>(2)</sup>에서와 같이 단일모드 광섬유의 측면을 연마한 후 그 위에 금속을 얹어 광섬유의 도파 모드를 금속과 상호작용할 수 있도록 만들어 주면, 금속 경계면에서 TM 모드로의 결합이 TE 모드보다 많이 이루어져 손실이 증가하므로 PDL이 나타나게 된다. 광섬유 코어가 금속 경계면에 가까울수록 모드 결합이 커지므로 PDL도 증가할 것임을 정성적으로 예측할 수 있다. 광섬유 코어의 연마 표면에 근접한 정도는 굴절률이 광섬유의 유효굴절률보다 큰 IMO (index matching oil)를 연마 표면에 떨어뜨림으로써 나타난 손실의 변화 (ODL, oil drop loss)를 통하여 정량적으로 알 수 있다.

우리는 Corning사의 SMF-28 단일모드 광섬유를 사용하였으며 6개의 서로 다른 연마 정도를 갖는 샘플을 준비하였다. 굴절률 ( $n_d$ ) 1.464인 IMO를 사용하여 1550 nm에서의 ODL을 측정한 결과, 각각 1.0 dB, 2.0 dB, 3.2 dB, 4.0 dB, 6.1 dB, 10.1 dB를 얻었다. ODL이 작은 순서대로 RM-1부터 RM-6까지로 명명하였다. 연마된 광섬유 표면에 은을 2000 Å 정도 코팅하고 그 위에 SiO<sub>2</sub> 보호막을 입혀 산화가 방지되도록 하였다. 코팅이 끝난 샘플은 양쪽에 FC/UPC 광커넥터를 연결하여 PDL을 측정할 수 있도록 하였다.

상용 PDL 측정기 (PDL2000, FiberPro, Inc.)를 사용하여 측정한 표준물질의 PDL과 삽입손실(IL, Insertion Loss)은 그림 1과 같다. 여기서 PDL은 측정기에 내장된 광원의 파장 1548 nm에서 측정한 결과이며, 다른 측정 조건의 변화 없이 같은 조건에서 반복 측정하여 평균한 결과이다. 예상대로 연마를

많이 할수록 비례하여 PDL이 커짐을 분명히 볼 수 있다. ODL 3.2 dB인 RM-3의 경우 삽입손실이 커진 것은 광커넥터의 손실 때문으로 보인다. 그림 2는 RM-2에 대하여 장시간 온도변화에 노출시킨 상태에서 PDL의 변화를 관측한 것인데, 온도에 의한 의존성은 거의 나타나지 않음을 볼 수 있다.

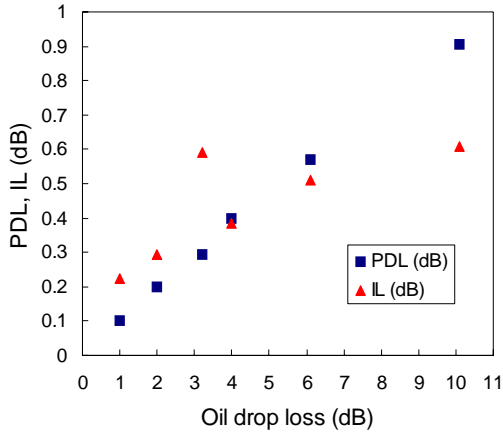


그림 1. ODL에 따른 PDL과 IL.

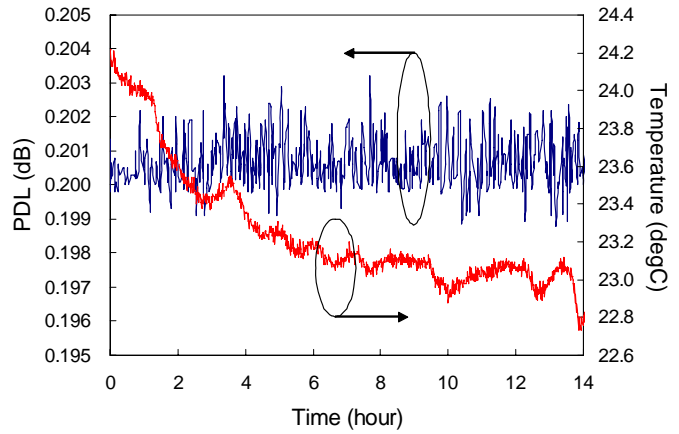


그림 2. RM-2의 온도변화와 PDL.

표준물질의 정확한 PDL 값은 표준 측정 장치<sup>(1)</sup>를 사용하여 측정하였다. 광원의 파장을 1520 nm 부터 1620 nm 까지 5 nm 간격으로 변화시키면서 각 파장별로 10회 이상 PDL을 반복 측정하여 평균과 표준불확도를 산출하였다. 여기에 측정 장치가 가지는 불확도 요인인 광원의 편광도, 광원의 안정도, 편광조절기와 광파워미터의 자체 PDL에 의한 표준불확도를 기존 실험 결과로부터 산출하였다. 또한 입출력 광커넥터에서 발생한 PDL이 CRM의 PDL과 광파워미터의 PDL과 결합함으로써 입출력 광섬유의 상태에 따라 서로 다른 PDL 값을 주는 요인이 됨을 관측하였는데, 이를 불확도 성분내 포함시키기 위해 우리는 입력 광섬유와 출력 광섬유의 상태를 각각 5회 이상 바꾸어 측정하고 이로부터 표준불확도를 산출하였다. 여기에 간섭에 의한 영향과 파장 불확도에 의한 영향을 포함시키기 위하여 각 파장별로  $\pm 1$  nm 범위에서 0.2 nm 간격으로 파장을 변화시켜 PDL의 변화를 측정하였다. 이러한 불확도 성분별 표준 불확도로부터 합성표준불확도  $u_c$ 를 산출하고 유효자유도에 의한 포함인자를 곱하여 확장불확도  $U$ 를 얻었다. 표 1은 1550 nm에서의 측정 결과를 요약한 것이다.

여기서 제작된 표준물질은 패키징 및 인증절차를 거친 후 연구기관과 산업체에 국가 측정표준을 전파하기 위한 인증표준물질로 활용될 예정이다.

표 1. PDL 표준물질의 측정값 및 불확도.

	RM-1	RM-2	RM-3	RM-4	RM-5	RM-6
Mean PDL (dB)	0.083	0.205	0.306	0.392	0.585	0.886
$u_c$ (dB)	0.006	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004
$U$ (dB)	0.013	0.008	0.008	0.010	0.008	0.009

1. 김승관, 박승남, “편광의손실 측정의 불확도 분석,” 제13회 광전자 및 광통신 학술회의 (COOC 2006), F2B4, 280-281.
2. 김진하, 김병윤, “표면 플라즈몬 광섬유 편광기의 제작 및 특성 조사,” 한국광학회지 제5권, 제2호, 311-318 (1994).