

## 이중 접합된 광섬유에 있어서 편광모드분산 특성에 관한 연구

이청학\*, 류부형, 김기대, 박대희,  
원광대학교 전기전자공학부, \* 동국대학교 산업안전공학과

### A Study on Polarization Mode Dispersion Properties of Concatenated Optical Fibers

Cheong-hak Lee, Boo-hyung Ryu, Kee-dae Kim, Dae-hee Park,  
Wonkwang University, Dongkuk University.

**Abstract** - The polarization mode dispersion (PMD) that restricts the transmission bandwidth was re-investigated in standard long single mode fiber which optimized at 1.3 $\mu$ m. Although fiber has perfect circular symmetry, each optical fiber has different refractive index profiles. The investigation of PMD with random mode couplings were conducted in three kinds of fiber by the time-domain interferometric method. By using two manufacturing methods, MCVD(Modified Chemical Vapor Deposition) method and VAD(Vapor Phase Axial Deposition) method, the property of mechanical asymmetric lateral pressure, bending and twisting induced polarization mode dispersion were measured. The concatenated optical fibers were compared with other types.

레스는 광섬유가 완전한 원형 대칭일 지라도 편광모드분산의 외적 요인이 되며, 일반적으로 광섬유 제조과정인 드로잉(Drawing) 과정과 케이블화(Cabling) 과정이 편광모드 분산을 일으키는 요인을 제공한다.<sup>(5)</sup> 또한 동일한 제품규격을 가지고 있는 광섬유일지라도 제조공법이 다른 경우 굴절률 형상(Refractive Index Profile)이 다르기 때문에 편광모드분산의 특성이 다르게 나타난다.<sup>(6)(7)</sup>

본 연구에서는 긴 길이의 단일모드 광섬유에서 광대역폭을 제한하는 결정적인 요인으로 작용하는 편광모드분산 특성이 연구되었다. 랜덤 모드 커플링을 가지는 광섬유는 제조 공법에 따라 각각의 굴절률 형상이 다르기 때문에 이를 서로 접속했을 때 편광모드분산 특성에 영향을 준다. 따라서 다른 제조공법을 가진 세 종류의 광섬유에서의 편광모드분산 특성을 시간영역 측정방법인 Interferometric 기술을 사용하여 측정하였으며, 측정을 위하여 MCVD (Modified Chemical Vapor Deposition)법과 VAD(Vapor Phase Axial Deposition)법으로 제조된 광섬유가 사용되었다. 각각의 광섬유에 편광모드분산의 외부적인 요인으로 작용하는 기계적 스트레신 축압과 굽힘 그리고 비틀림을 가하여 편광모드분산 특성을 비교하였고, 두 종류의 광섬유를 접속한 후 각각의 스트레인을 가하였을 때의 편광모드분산의 특성 변화를 측정하여 접속된 광섬유와 단일 광섬유의 편광모드분산 특성을 비교하였다.

## 1. 서 론

국가간 활발한 정보 교류로 인하여 초고속 원거리 통신의 필요성이 대두되고, 광섬유는 정보 전송 매체로서 빛의 전반사를 이용하여 각종 정보를 신속하고 정확하게 전달할 수 있는 특성을 가지고 있다. 광통신 시스템에서 광신호의 감쇠와 왜곡은 광통신의 성능을 제한하고, 이러한 신호의 감쇠와 왜곡의 원인으로는 물질 흡수(Material Absorption), 산란(Scattering), 분산(Dispersion) 등이 있다. 그 중에서 일련의 신호로 전파되는 광 신호들이 광섬유를 따라서 장거리를 지나면 각각의 신호가 변형되고, 폭이 증대되어 그들의 이웃과 서로 겹쳐지게 되는 현상을 분산이라 한다. 이러한 광섬유의 분산특성은 수신기 측에서 검출된 신호의 에러를 증가시킴으로써 광섬유 도파로의 정보 전송 용량을 제한한다.

광섬유에서의 광 대역폭을 제한하는 광섬유의 분산은 모드분산(Modal Dispersion), 재료분산(Material Dispersion), 구조분산(Waveguide Dispersion), 편광모드분산(Polarization mode dispersion : PMD) 등으로 나누어 볼 수 있고, 이 분산들은 모드분산, 재료분산, 구조분산, 편광모드분산의 순서로 상대적인 크기를 가진다. 그러나 최근에 단일모드 광섬유로 정보를 원거리까지 초고속으로 전송시킬 때 편광모드분산이 광섬유의 전송용량을 제한하는 결정적인 요인이 되어 활발한 연구가 이루어지고 있다.<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>

광섬유에서 편광모드분산에 영향을 미치는 요인은 크게 내적 요인과 외적 요인으로 나누어 볼 수 있다. 편광모드 분산에 영향을 미치는 내적 요인은 코어와 클래딩의 비원률과 편심을 그리고 광섬유에서의 밀도 차에 따른 굴절률차 등이 있다. 광섬유에서의 축압(Lateral Pressure), 굽힘(Bending), 비틀림(Twisting) 스트

## 2. 측 정

### 2.1 측정 원리

간섭계를 이용한 편광모드분산의 측정방법은 편광모드 결합(Polarization mode coupling)의 유무에 따라 모드 결합이 없는 편파의존성이 강한 광 부품이나 편광유지광섬유(PMF : Polarization Maintaining Fiber)의 경우와 긴 거리의 광섬유나 편광모드결합이 있는 분산이동광섬유(DSF : Dispersion Shifted Fiber)의 경우로 나누어 볼 수 있다. 편광모드 결합이 없는 경우에는 2개의 피크가 명확하게 나타나기 때문에 두 피크 간 거리의 반값을 취하지만, 모드 결합이 있는 경우에는 다수의 간섭신호가 나타나기 때문에 가우스분포의 표준편차를 사용하도록 제안하고 있다. 그러므로 이 연구에서 사용되어지는 광섬유는 편광모드결합이 존재하기 때문에 가우스분포에 의한 표준편차를 이용하여 분석하였다.

### 2.2 실험 방법 및 구성

편광모드분산측정을 위한 광학 측정 설비는 광대역 광원(IQ2100, EXFO co.)과 마이켈슨 간섭계(Michelson interferometer)를 이용한 편광모드분산 분석기(IQ5500, EXFO co.)로 구성하였다. 실험 장비는 그림 1과 같이 1310nm와 1550nm의 파장을 가지는 광원과 VAD법과 MCVD법으로 제조된 두 종류의 광섬유 그리고 마이켈슨 간섭계로 구성되었다.

### 3. 결과 및 고찰

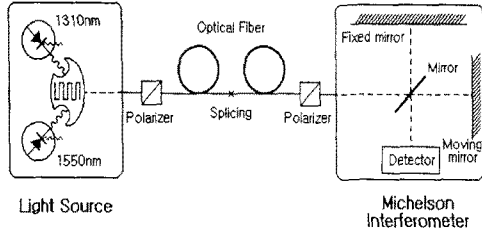


그림 1. 편광모드분산 측정장비 구성도

논문에서 사용한 광섬유는 MCVD (Modified Chemical Vapor Deposition)법으로 제조된 L사 제품과 VAD(Vapour Phase Axial Deposition)법으로 제조된 T사는 아크릴레진으로 250 $\mu$ m 코팅된 케이블화 (Cabling)가 되지 않은 광섬유를 사용하였다. 제조공법 별 광섬유의 특성 값은 표 1.과 같으며, MCVD법과 VAD법의 광섬유는 각각 1746m와 5130m의 길이를 사용하였다.

표 1. 광섬유의 특성 값

특성값	제조 공법	MCVD (L사)	VAD (T사)
코어의 직경 ( $\mu$ m)		8.67	9.13
클래드 직경 ( $\mu$ m)		124	124.79
코어 비원률(%)		1.331	1.059
클래드 비원률(%)		0.209	0.173
손실 (dB/km)	1550nm	0.194	0.267
	1310nm	0.337	0.464
영 분산파장 (nm)		1315.1	1316.2
차단파장 (nm)		1274	1305
코어/클래드 동심오차 ( $\mu$ m)		0.021	0.113

기계적 스트레스인 측압(Lateral Pressure) 조건을 위하여 사포(Sandpaper, 50 $\times$ 50mm #80)를 사용하였고, 사포 사이에 광섬유를 두고 그 위에 0.1~5kg의 무게 추를 올려 측정하였다.

굽힘 측정은 광섬유에 초기 스트레스를 주지 않기 위하여 36~3mm의 직경을 가진 원통을 큰 직경을 가진 것으로부터 작은 것의 순서로 1회의 굽힘을 주어 측정하였고, 굽힘을 가한 후에 광섬유를 원통형 판에 고정시키고, 굽힘을 가한 후에 광섬유를 원통형 판에 고정시키기 위하여 플라스틱 접착제를 사용하여 고정시켰다. 원통형 판에 광섬유를 고정시킬 때에 광섬유에 굽힘 스트레스와 함께 측압이 가해질 수 있는데, 이러한 측압은 광섬유에의 측압 스트레스가 편광모드 분산에 거의 영향을 미치지 않았기 때문에 무시하였다.

마지막으로 비틀림(Twisting) 스트레스를 주기 위하여 광섬유를 1 m의 간격으로 고정시킨 후에 중간부분을 10회에서 100회까지 회전시켜 측정하였다. 광섬유의 고정을 위하여 굽힘 스트레스 측정과 동일한 플라스틱 접착제를 사용하였다. 또한, 비틀림 조건을 주기 위하여 광섬유의 외경과 직경이 비슷한 플라스틱 판에 광섬유를 고정시킨 후 플라스틱에 회전을 주어 편광모드 분산 특성을 측정하였다. 정밀한 측정을 위하여 광섬유의 보빈(Bobbin)에 60g의 일정 장력을 가하여 측정하였다.

그림2는 VAD법으로 제조된 광섬유에 외부적인 스트레스 없이 편광모드분산 값을 정규분포인 가우스(Gaussian) 분포로 나타낸 것이다. 이러한 가우스 분포로부터 편광모드분산 값이 0.05ps, 편광모드분산계수가 0.022ps/ $\sqrt$ km 임을 얻었다.

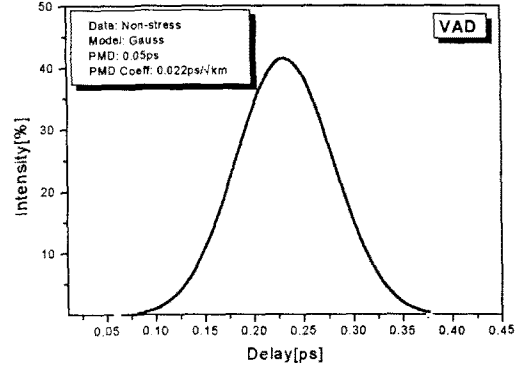


그림 2. VAD법으로 제조된 광섬유의 편광모드분산

그림 3은 MCVD법으로 제조된 광섬유의 편광모드분산 값을 측정한 결과이다. 편광모드분산 값은 0.06ps를 나타내고, 편광모드분산계수는 0.044ps/ $\sqrt$ km가 얻어졌다. 그림 2와 3의 결과로부터 광섬유의 편광모드분산이 MCVD법보다 VAD법이 더 좋은 특성을 보였다.

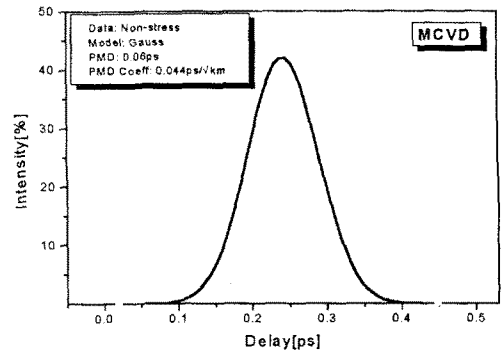


그림 3. MCVD법으로 제조된 광섬유의 편광모드분산

다음에는 VAD법과 MCVD법으로 제조된 광섬유를 접속하여 편광모드분산을 측정하였고, 그림 4는 접합된 광섬유의 편광모드분산 특성이다. 편광모드분산 값이 0.07ps이고, 편광모드분산계수가 VAD법과 MCVD법의 사이 값 0.028ps/ $\sqrt$ km를 얻을 수 있었다.

이와 같은 제조법에 따른 편광모드분산 특성의 차이는 광섬유 코어에서의 굴절률 형상의 차이에 의한 원인으로 예측된다.

MCVD법으로 제조된 광섬유의 측압(Lateral Pressure) 조건 실험에서 0.1kg~5kg 범위의 압력을 가하였을 경우 편광모드분산 특성은 0.045ps/ $\sqrt$ km 이 내에서 큰 변화를 보이지 않았다. VAD법에 의해 제조된 광섬유의 편광모드분산의 측압 의존성의 결과는 편광모드분산 특성이 5kg 이내의 범위에서 0.025ps/ $\sqrt$ km 로 큰 변화를 보이지 않고 있다. 다음에는 MCVD법과

VAD법에 의해 제조된 각각의 광섬유의 접합 후 편광모드분산의 측압의존성을 평가하였을 경우 특성이 0.03ps/√km 이내에서 거의 변화가 없었다.

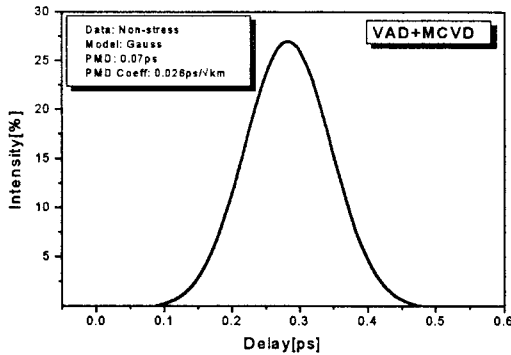


그림 4. MCVD법+VAD법 광섬유의 편광모드분산

이러한 결과는 케이블화(Cabling)나 드로잉(Drawing)과 같은 광섬유의 제조 과정에서 코어나 클래딩에서의 기하학적인 비대칭이나 밀도 차가 광섬유의 편광모드 분산에 큰 영향을 미치지 않음, 제조된 광섬유는 측압에 의한 광섬유 구조의 변형이 발생하지 않기 때문에 편광모드 분산에 영향을 미치지 않았을 것이다.

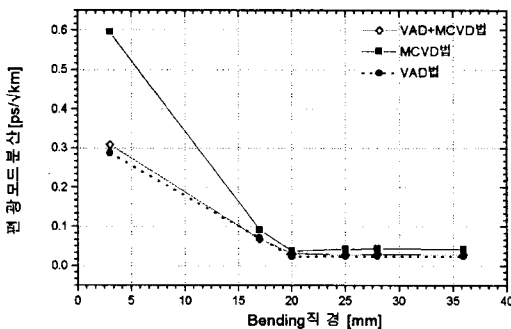


그림 5. 편광모드분산의 굽힘 의존성

그림 5는 편광모드분산의 굽힘 의존성을 나타낸 그림이다. 이러한 결과는 20mm이내의 외부적인 굽힘 스트레스에 의해 광섬유의 기하학적인 구조가 변화하여 외경의 비대칭이 발생하였으며, 굽힘을 받는 광섬유의 내부 측과 외부 측의 밀도 차에 의한 굴절률의 차이가 발생했음을 의미한다. 섬유에서 이러한 굽힘에 의한 굴절률의 차이는 결과적으로 선 복굴절이 발생하여 각 편광들 사이에 위상 차를 가져오게 된다.

그림 6은 비틀림 스트레스를 가하였을 경우, 세 가지 타입의 광섬유의 편광모드분산 특성을 비교한 그림이다. VAD법으로 제조된 광섬유가 90회 이상에서 편광모드분산 특성의 변화를 보이며 MCVD법은 80회 이상에서부터 급격하게 증가하는 경향을 보이고 있다. VAD법으로 제조된 광섬유와 MCVD법으로 제조된 광섬유를 접속하였을 경우에 70회 이상에서 편광모드분산특성의 변화를 관찰할 수 있다.

이러한 결과는 VAD법으로 제조된 광섬유가 90회 이상의 비틀림 스트레스에 의한 굴절률의 변화로 선광성 특성을 갖게 되었고, MCVD법과 두 제조법으로 접속된 광섬유가 각각 80회, 70회 이상에서 선광성(Optical Activity) 특성을 갖게 되었다는 것을 의미한다.

즉, 비틀림 스트레스는 광섬유의 기하학적인 구조에 영향을 주어 횡축과 종축의 굴절률 차에 따른 원 복굴절을 발생시켜 종파와 횡파 사이에 위상 차를 발생시킨다.

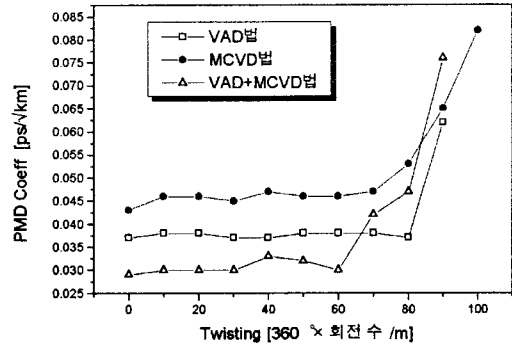


그림 6. 편광모드분산의 비틀림 의존성

#### 4. 결 론

(1) VAD법과 MCVD법으로 제조된 광섬유의 편광모드분산 계수는 각각 0.022ps/√km, 0.044ps/√km를 나타냈으며, 접합 후에는 0.028ps/√km로 측정되었다.

(2) VAD법과 MCVD법에 의해 제조된 광섬유에 5kg까지의 측압을 가한 상태에서 편광모드분산 계수는 각각 0.025ps/√km와 0.044ps/√km로 측정되었으며, 접합 후에는 0.03ps/√km 이내의 값을 유지하였다.

(3) 접합된 광섬유의 편광모드분산에 미치는 굽힘 특성은 20mm이하의 굽힘 직경을 가지는 조건에서 급격하게 증가하는 경향을 보였다.

(4) 광섬유의 비틀림 영향은 제조방법에 따라 VAD법은 90회 이상에서, MCVD법은 80회 이상에서, 두 종류의 광섬유가 접합된 경우에는 70회 이상에서 급격하게 증가하였다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] Masashi Ioki, Terohiko Kudo, Takeshi Ozeki, "Bandwidth limitation due to polarization mode dispersion" OFC '95 Technical Digest, pp.190-192, 1995
- [2] F. Ravet, B. Heens, X. Wang, J-C. Froidure, M. Blondel, "PMD measurements on Single-Mode optical fibre below the interferometer limit" IEEE Lasers and Electro-Optics Society, pp.119-120, 1997
- [3] Yoshihiro Yoshida, Naoki Norimatsu, Haruo Abe, Hitoshi Yamamoto, "Characteristics of optical fiber submarine cables for Long-haul submarine optical amplifier system" International Wire & Cable Symposium Proceedings, pp.402-407, 1994
- [4] J. Power, C. Rochester, P. Worthington, "Next generation of cable designs for optically amplified systems", International Wire & Cable Symposium Proceedings, pp.395-401, 1994
- [5] Joo Seok Kim, "Study on fiber bending and twisting effect on polarization mode dispersion", Master's Degree, p.1-2, 1998
- [6] Gerd Keiser, "Optical Fiber Communications", 2nd ed, McGraw-Hill Inc, p.38-45, 1991
- [7] Henry Zanger, Cynthia Zanger, "Fiber Optics Communication and Other Applications", Collier Macmillan Co, p.46-47, 1991