

측정 방법에 따른 Depressed Inner Cladding 구조의
단일모드 광섬유 차단파장 차이

송 평
대 우 통 신 (주)

Difference of various measurement techniques for cut off wavelength
on Depressed Inner Cladding structure single mode fiber.

Pyong Song
DAEWOO TELECOM CO., LTD.

(Abstract)

Three techniques for measuring the cutoff wavelength of a Depressed Inner Cladding structure single mode fiber are compared for accuracy. The techniques are based upon deducing cutoff wavelength from measured core and NA values of near field and far field patterns respectively, measuring splicing loss sensitivity to transverse offset to get ESI parameters and measuring bending loss characteristics. Deduced cutoff wavelength from core and NA values is longer than the other two values. However, the cutoff wavelength as ESI parameter agrees well with direct measured value of bending loss method.

1. 서론

단일모드 광섬유에는 한개의 모드만이 전송되어야 하므로 코아경이 8 um 정도 되며, 코아와 클래딩 굴절율차(Δ)는 다중모드의 1.36%에 비해 0.35% 정도로 작아야 한다. 그러나 단일모드 광섬유에는 사용파장에 따라 기본모드(또는 최저차모드)인 LP₀₁ 모드(Linear Polarized mode) 외에 한차수 높은 LP₁₁ 모드가 코아 내부로 진행된다.

따라서, 한개의 모드만 진행하는 조건을 만들기 위하여는 LP₁₁ 모드가 코아 내부로 진행되지 않은 가장 짧은 파장 즉 차단파장(λ_{co})을 알아한다. 차단파장은 규격화 진동수(V Value)와 관련하여 광섬유 설계시 중요한 변수가 된다. 즉 Vop(Operating normalized frequency)가 Vco(Cutoff normalized frequency)보다 크면

다음차수 모드가 나타나므로 빛의 분산이 급격히 증가한다. 반대로 Vop가 Vco보다 너무 작으면 구부림이나 미세굴곡영향에 의한 손실이 증가한다. 그러므로 단일모드 광섬유는 Vco와 Vop가 비슷하게 설계되어야 하며 이를 위하여는 차단파장이 정확히 측정되어야 한다.

본 논문에서는 DIC(Depressed Inner Cladding) 구조의 단일모드 광섬유의 경우 Vco 값을 결정하는 차단파장이 측정 방법에 따라 차이남을 서술하였다. 이를 위해, 코아, NA 값을 측정하여 이상적인 Flat cladding step index 구조를 모델로 한 이론식에 대입하여 구한 값, 접속손실을 기준하여 측정 계산한 ESI(Equivalent step index) 값, 구부림 방법으로 직접 측정한 값들이 비교되었다.

2. 본론

가. 이론

1) V Value 와 차단파장 관계

이상적인 flat cladding step index 형 단일모드 광섬유의 경우 규격화 진동수는 다음과 같이 정의된다. [1]

$$Vop = \frac{2\pi a \cdot NA}{\lambda} \tag{1}$$

$$Vco = \frac{2\pi a \cdot NA}{\lambda_{co}} = 2.405$$

- a : 코아 반경
- NA : 개구수
- λ : 사용파장
- λ_{co} : 차단파장

따라서 코아, NA 또는 차단파장 중 어느 두 가지를 측정하면 나머지는 식(1)에 의해 구할수 있다.

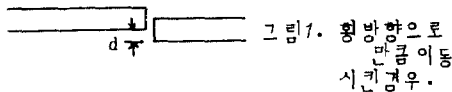
2) ESI 변수로서의 차단파장

LP₀₁ 모드의 필드경(2W₀) 과 코아경(2a)

관계는 $0.8 \leq \lambda / \lambda_{co} \leq 2$ 범위내에서는 가우시안 함수로 최적화 시켜 표현 가능하며, D. Marcuse[2] 는 코아경과 차단파장을 변수로 하여 다음과 같은 실험식을 유도하였다.

$$W_0 = 0.65 + 0.434(\lambda/\lambda_{co})^{3/2} + 0.0149(\lambda/\lambda_{co})^6 \quad \text{식 (2)}$$

그러므로 차단파장 및 모드필드 경을 각각 독립적인 방법으로 추정하여 식(1), (2)에 대입하면 코아 및 NA 를 구할수 있다.



모드필드경 측정시 실제 관찰, 감지하는 형태는 파워이므로, 파워분포를 가우시안 최적화 시키면 코아내부로 전달되는 광파워는 다음

식으로 표현 할수 있다. (그림 1 참조)

$$P(d) = P_0 \exp(-d^2/W^2) \quad \text{식(3)}$$

W : 모드필드 반경
d : 광섬유 횡방향 offset 길이
P₀ : offset 이 0일때 전달되는 파워
P(d) : offset 이 d일때 전달되는 파워

또한 파장에 따른 파워분포를 식(3)에 적용 하면 파장에 따른 모드필드경은 다음식으로 표현된다.

$$P(d, \lambda) = P_0(\lambda) \exp(-d^2/W(\lambda)^2)$$

또는

$$W(\lambda) = d \{ \ln \frac{P_0(\lambda)}{P(d, \lambda)} \}^{-1/2}$$

즉, 전달되는 파워가 zero offset 파워최고치의 1/e 이 되는 W(λ)가 모드필드 반경이 되며, C.A. MILLAR^[3] 에 의하면 이때의 파장을 차단 파장이라 정의한다.

3) 구부림 손실에 의한 차단파장

코아를 통해 전달되는 광파워의 누설은 코아에 의해 구속되는 모드필드가 코아 바깥부분인 클래딩으로 확산되 가는 tunneling effect^[4]

때문이다.

즉, 외부 클래딩과 코아 사이에 외부 클래딩보다 낮은 DIC(Depressed Inner Cladding)층이 있다면 tunneling effect 의 감소로 인한 광섬유 굴곡 손실도 달라진다. 이는 LP₁₁ 모드가 제거 되는 광학적 조건이 변하기 때문이다.

예를들어, DIC 구조의 광섬유 경우 다른 특성은 일정하고 DIC 의 폭이 커지거나 또는 코아내 DIC 굴절을 차가 일정하고 DIC 깊이가 적을수록 굴곡손실(또는 누설손실)은 감소한다.^[5] 한편 flat cladding step index 구조는 tunneling effect 를 감소시켜 주는 DIC 층이 없으므로 같은 구부림 반경조건에서는 구부림 손실이 크다. 그러므로 구부림 반경을 변화시켜 LP₀₁ 모드와 LP₁₁ 모드를 구분하는 구부림 손실측정 방법은 동일한 구부림 반경조건에서는 코아 및 NA 값이 같음에도 불구하고 DIC 구조와 flat cladding step index 구조 광섬유의 차단 파장은 차이가 난다.

구부림손실에 의한 차단파장은 곡률반경 3cm 및 14 cm일때 전달되는 광파워를 각각 P₁, P₂일때 손실 0.1 dB 인 파장을 말한다.

나. 측 정

측정은 사용 파장 1.3 um, MCVD 방식으로 제조된 DIC형 단일모드 광섬유를 사용했다. 코아 및 NA 는 NFFF (near field far field) 방법으로 측정하였으며, 차단파장은 Transverse offset 방법을 이용한 ESI 변수 산출 및 구부림 손실방법을 이용했다.

측정장치는 그림 2, 3, 4 와 같으며 측정 결과는 표 1에 정리하였다.

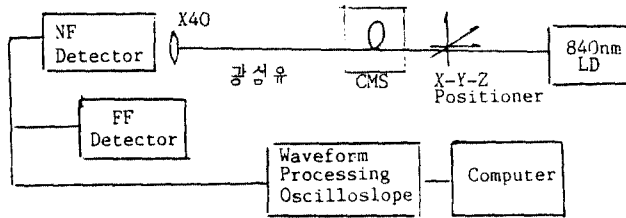


그림 2: NFFF 측정장치
 광섬유로의 입사조건을 최적화시키기 위하여 코아내에 LP₁₁ 모드도 존재할수 있는 840 nm 광원을 이용했다.

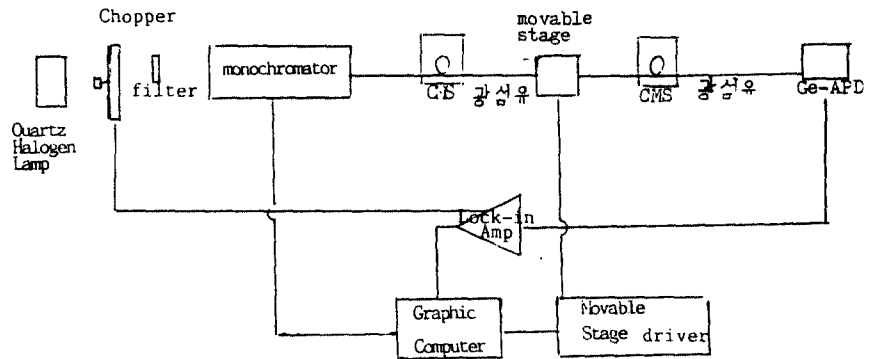


그림 3. Transverse offset/ESI 변수 측정장치

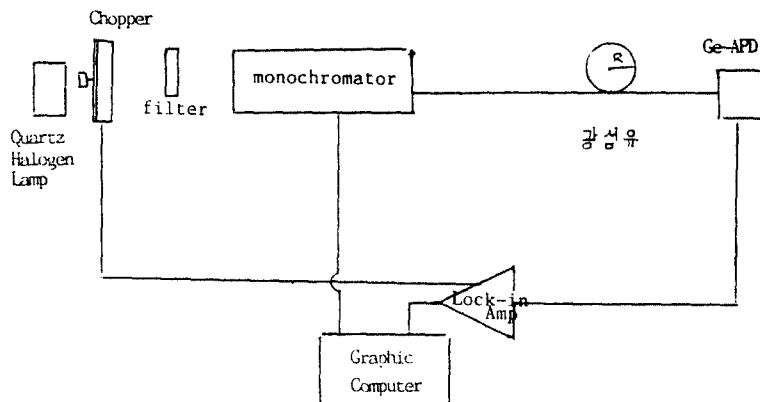


그림 4. 구부림 손실 측정 장치

표 7. 각 축경상별에 따른 차단파장

단위: nm

영역 구분 번호	NAFF 차단파장 $\lambda_{\text{CO-NFFF}}$	ESI 차단파장 $\lambda_{\text{CO-ESI}}$	구부림 손실 차단파장	$(\lambda_{\text{CO-NFFF}} - \lambda_{\text{CO-ESI}})$	$(\lambda_{\text{CO-NFFF}} - \lambda_{\text{CO-bend}})$	$(\lambda_{\text{CO-ESI}} - \lambda_{\text{CO-bend}})$
1	1249	1209	1196	40	53	13
2	1216	1151	1148	65	68	3
3	1260	1225	1188	35	72	37
4	1233	1170	1164	63	69	6
5	1232	1196	1174	36	58	22
6	1275	1221	1206	54	69	15
7	1194	1160	1146	34	48	14
8	1222	1243	1226	21	4	17
9	1209	1212	1194	3	15	18
10	1209	1229	1207	20	2	22
11	1266	1217	1189	49	77	28
12	1265	1212	1198	53	67	14
13	1258	1221	1204	37	54	17
14	1286	1243	1236	43	50	7
15	1211	1259	1225	48	14	34
16	1230	1237	1225	7	5	12
17	1189	1144	1129	45	60	15
18	1220	1199	1177	21	43	22
19	1238	1216	1189	22	49	29
20	1235	1215	1192	20	43	23
21	1233	1215	1188	18	45	27
22	1228	1207	1186	21	42	21
23	1184	1185	1164	1	20	21
24	1246	1203	1195	43	51	8

3. 결론

구부림 손실에 의한 차단파장과 ESI 차단파장은 평균 18 nm 이내에서 서로 일치하나 NAFF 에 NAFF 에 의한 차단파장과 일치하지 않음을 DIC 관찰하였다.

특히 NAFF 차단파장은 항상 크게 산출되었는데 이는 DIC 구조의 코아네 모드구속력이

Flat cladding step index 구조에 비해 크다는 것을 의미한다.

따라서 구부림 손실에 의한 차단파장 측정용 위해서는 광섬유 구조에 따라 적합한 곡률 반경을 찾아야 하며 이는 곡률 반경을 변화시켜가면서 LP₀₁ 모드와 LP₁₁ 모드가 구분되는 축경조건을 찾음으로써 가능하다.

* 참고 문헌

1. Marcuse, D: "PRINCIPLES OF OPTICAL FIBER MEASUREMENTS" ACADEMIC PRESS, PP313 - 322,1981
2. Marcuse, D: 'Loss analysis of single mode fiber splices', Bell syst. Tech. J., Vol156, No 5, PP703- ,1977
3. MILLAR, C.A: 'Direct method of determining equivalent-step-index profiles for monomode fibers',Electron, Lett., Vol 17, PP458-460, 1981.
4. JEUNHOMME, L.B: "SINGLE MODE FIBER OPTICS PRINCIPLES AND APPLICATIONS" MARCEL DEKKER, INC. New York and Basel, PP88 - . 1983.
5. AINSLIE, B. J, BEALES, K. J, DAY, C.R, GIRDLESTONE, H.P and RUSH, J.D 'Transmission properties of depressed cladding monomode fibers', THURSDAY MORNING, THCC 3, 15 APRIL 1982.
6. CCITT,"REPORT OF THE MEETING OF THE WORKING PARTY ON OPTICAL FIBERS" Atlanta, 26-30 March 1984.