

論 文

이중형코어를 갖는 W형 단일모드 광섬유의
전파특성에 대한 연구

正會員 金 鉉 燮* 正會員 李 大 炯* 正會員 崔 炳 河*

A Study on the Propagation Characteristics of
W-type Single Mode Fiber with Dual Shape CoreJeong Geun KIM*, Dae Hyung LEE*, Byung Ha CHOI* *Regular Members*

要 約 본 논문에서는 이중형 코어(Dual Shape Core)를 갖는 W형 단일모드 광섬유의 전파특성을 이론적으로 조사하였다. 스칼라 근사화방법을 이용하여 넓은 파장범위에서 저분산을 갖는 이중형 코어 W형 단일모드 광섬유의 설계변수를 계산하였다. 그 계산결과를 단일형코어를 갖는 기존의 W형 광섬유와 비교하였을때 보다 큰 코어반경을 갖고, 코어내에 모드필드의 집중효과가 보다 큼을 확인하였다.

ABSTRACT In this paper, propagation characteristics of W-type single mode fiber with dual shape core is investigated theoretically. Design parameters of DSC(dual shape core) W-type single mode fiber with very low dispersion over a wide wavelength range are computed using scalar approximation. The results have larger core radius and stronger confinement for mode field distribution in core than conventional W-type fiber with single shape core.

I. 서 론

단일모드광섬유는 저손실 및 광대역폭등 우수한 특성으로 인하여 고속전송 및 장거리 광통신 시스템의 전송매체로 사용되고 있다. 실리카 단일모드 광섬유의 재료손실은 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서 0.2dB/km 이하로 최저손실을 갖는다.⁽¹⁾ 장파장

광통신의 첫번째 저손실 파장인 $1.3\mu\text{m}$ 근처에서 광통신시스템을 성공적으로 사용하였고, 그 후에 중계국간 전송거리를 확장시키고, 보다 빠른 정보전달속도를 얻기위하여 영분산을 만족하는 동작파장을 최저감쇄파장인 $1.55\mu\text{m}$ 에 일치시키기 위하여 여러가지 굴절률 형태가 제시되었다.⁽²⁾ 그리고 정보전송용량을 증가시키기 위하여 1개의 광섬유에 여러파장을 동시에 사용하는 파장 분할 다중화(WDM) 통신방식의 연구가 요구된다. 이 방식에서는 넓은 파장범위에서 저손실 및 높은 대역폭을 가지는 광섬유가 필요

*仁荷大學校 電子工學科
Dept. of Electronic Eng., Inha Univ.
論文番號 : 91 - 6 (接受1990. 10. 21)

하다. 즉 이러한 특성을 갖기 위해 광섬유의 전송손실이 낮은 장파상태에서 저분산값을 갖는 dispersion flattened 광섬유로서 step index W형 광섬유를 1974년에 처음으로 제안하였다.⁽⁹⁾ 그 후 1980년대 중반에 기존의 step index W형 단일모드 광섬유보다 더 큰 코어반경과 큰 모드집속효과를 갖는 graded index W형 단일모드 광섬유와 triangular index W형 단일모드 광섬유가 제시되었다.⁽¹⁰⁾ 최근에 이러한 W형 광섬유는 단일모드 광섬유보다 더 큰 코어반경과 코어내에 모드 field의 큰 집속력과 넓은 파장범위에서 저분산을 가지므로, splicing 손실과 microbending 손실을 감소시키고, 광케이블의 회전을 증진하지 않고 정보전송용량을 증가시킬 수 있는 장점을 가지고 있으며, 가입자망에 유용한 전송매체로 사용될 수 있기 때문에 많은 관심이 집중되고 있다. 최근에 단일 주파수(single frequency) 레이저와 협대역 필터 기술의 발전으로 인해, 파장범위 1nm에서 수십개의 파장채널을 동시에 전송할 수 있게 되었다.

본 논문에서는 이중형코어(dual shape core) 구조와 W형 구조의 각각의 장점을 착안하여 이중형 코어를 갖는 W형 단일모드 광섬유를 제안하여 여러 파라미터의 변화에 대한 분산특성과 기본모드 차단파장을 이론적으로 조사하였다. 단일모드 광섬유의 색분산은 재료분산과 구조분산의 합으로 나타낼 수 있다. 재료분산은 Semeller 수식에 의해 결정되고, Sharma et al.⁽¹¹⁾에 의해 제시된 Scalar파동방정식을 4차 Runge Kutta 방법과 반분법을 사용함으로써 규격화 전파상수를 계산하여 구조분산을 결정하였다. 그리고 유효굴절률 n_0 와 외부크래딩 굴절률 n_3 를 함께 놓음으로서 기본모드 차단파장을 결정하고, 파장 1.55 μ m에서 모드 field 분포를 계산하였다. 그 계산된 결과를 기존의 Triangular index W형 광섬유⁽⁹⁾와 비교하여 큰코어반경, 더 많은 채널용량과 코어내에 모드의 집속력이 큼을 확인하였다.

II. 이 론

본 연구에서 제안한 이중형 코어(dual shape core)를 갖는 W형 단일모드 광섬유의 굴절률 분포는 식(1)과 그림1로 나타내고 있다.

$$\begin{aligned}
 n^2(R) &= n_1^2 & , R \leq D_1 \\
 &= n_1^2 - (n_1^2 - n_2^2) \rho_1 \left(\frac{R - D_1}{D_2 - D_1} \right)^\alpha & , D_1 \leq R \leq D_2 \\
 &= n_1^2 - (n_1^2 - n_2^2) \rho_1 = n_2^2 & , D_2 \leq R \leq 1 \\
 &= n_1^2 - (n_1^2 - n_4^2) \rho = n_4^2 & , 1 \leq R \leq C \\
 &= n_3^2 & , R > C
 \end{aligned} \tag{1}$$

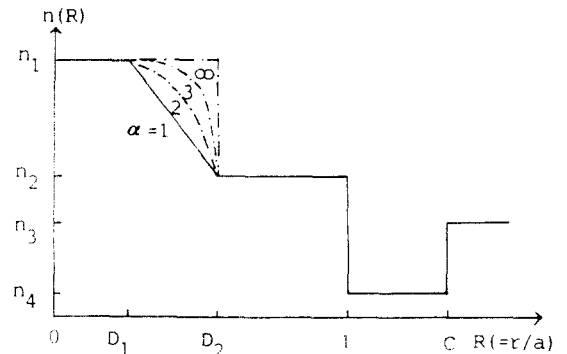


그림 1. 이중형코어 W형 광섬유의 굴절률 분포
Fig. 1. Index profiles of the dual shape core W type fiber

그림 1과 식(1)에서 a 는 코어반경, b 는 내부크래딩 반경이고 D_1 과 D_2 는 이중형코어 모양을 결정하는 변수이고, C 는 내부크래딩 반경비이다. 그리고 n_1, n_2, n_3, n_4 는 각각 중심코어, 외부코어, 외부크래딩, 내부크래딩의 굴절률이며 α 는 임의의 수로서 중심코어의 굴절률분포를 나타낸다. ρ 는 외부크래딩과 내부크래딩의 상대굴절률 차이이고, ρ_1 은 외부크래딩과 외부코어의 상대굴절률차 비로서 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R &= r/a, C = b/a \\
 \Delta_1 &= \frac{n_1^2 - n_3^2}{2n_1^2} \simeq \frac{n_1 - n_3}{n_1}, \Delta_2 = \frac{n_1^2 - n_4^2}{2n_1^2} \simeq \frac{n_1 - n_4}{n_1} \\
 \Delta_3 &= \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \simeq \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \rho_1 = \frac{\Delta_3}{\Delta_1}, \rho = \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -G_2 - \frac{G}{R} - V^2(1-B-\rho_1), \quad D_2 \leq R \leq 1 \\
 &= -G^2 - \frac{G}{R} - V^2(1-B-\rho), \quad 1 \leq R \leq C
 \end{aligned} \quad (6)$$

이중형 코어를 갖는 W형 광섬유의 기본모드 (HE₁₁)에 대한 모드프로파일 $\psi(R)$ 은 다음의 파동방정식을 만족한다.

$$\begin{aligned}
 \frac{d^2\psi}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{d\psi}{dR} + V^2(1-B)\psi(R) &= 0, R \leq D_1 \\
 \frac{d^2\psi}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{d\psi}{dR} + V^2(1-B-\rho_1(\frac{R-D_1}{D_2-D_1})^\alpha)\psi(R) &= 0, D_1 \leq R \leq D_2 \\
 \frac{d^2\psi}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{d\psi}{dR} + V^2(1-B-\rho_1)\psi(R) &= 0, D_1 \leq R \leq 1 \\
 \frac{d^2\psi}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{d\psi}{dR} + V^2(1-B-\rho)\psi(R) &= 0, 1 \leq R \leq C
 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 V는 규격화 주파수이고, B는 규격화 전파상수이다. R=0과 R=C에서 $\psi(R)$ 에 대한 경계조건은

$$\begin{aligned}
 \left. \frac{d\psi}{dR} \right|_{R=0} &= 0 \\
 \left. \frac{1}{\psi} \frac{d\psi}{dR} \right|_{R=C} &= -W \frac{K_1(WC)}{K_0(WC)}
 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $W^2 = V^2 - U^2$, $K_n(\chi)$ 는 n차 변형 Bessel 함수이다. 식(3), (4)를 간단히 하기 위해서 Ricatti 변환에 의해 1차 미분방정식으로 변형하면

$$G(R) = \frac{1}{\psi} \frac{d\psi}{dR} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dG}{dR} &= -G^2 - \frac{G}{R} - V^2(1-B), \quad R \leq D_1 \\
 &= -G^2 - \frac{G}{R} - V^2(1-B-\rho_1(\frac{R-D_1}{D_2-D_1})^\alpha), \quad D_1 \leq R \leq D_2
 \end{aligned}$$

G(R)에 대한 경계조건은

$$G(R=0) = 0$$

$$G(R=C) = -W \frac{K_1(WC)}{K_0(WC)} \quad (7)$$

단일모드 광섬유의 총분산 D_t는 다음과 같이 나타낼 수 있다.⁶⁾

$$D_t = \frac{1}{L} \frac{d\tau}{d\lambda} = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2n_e}{d\lambda^2} \quad (8)$$

여기서 L은 광섬유길이이고, 규격화 전파상수 B는 4차 Runge Kutta법과 반복법을 이용하여 식(6), (7)을 해석함으로써 구해진다. 계산된 B를 총분산식(8)에 대입하여 분산특성을 파장의 함수로서 계산할 수 있다.

기본모드의 차단파장은 광섬유의 유효굴절률 n_e를 외부크래닝의 굴절률 n₃과 같게 놓음으로써 구해진다.⁶⁾ 즉 동작파장을 차단파장 근처에서 사용할 때 모드field분포가 크래닝쪽으로 퍼져나가기 때문에 광손실이 생기게 되므로, 차단파장을 동작파장보다 훨씬 크게 되면 코어내에 모드field 분포의 집중효과가 커지게 때문에 광손실을 줄일 수 있다.

III. 계산결과 및 검토

이중형코어 W형 단일모드 광섬유의 분산특성은 설계 파라미터(a,c,α,ρ,ρ₁,Δ₁)의 값에 의해 좌우되므로, 이러한 파라미터의 변화에 분산특성이 어떻게 변화하는 것을 아는 것이 중요하다. 이러한 변화의 결과에서 광섬유에 대한 최적

파라미터를 결정할 수 있다. 다른 파라미터는 고정해 놓고 한 파라미터의 변화에 대한 색분산값을 파장의 함수로서 도시하였다. 그림 2는 중심코어 부분이 계단형이고, $D_1=D_2=0.3$ 일때 3개의 코어반경에 대한 색분산값을 파장의 함수로서 나타내고 있다. 이 그림에서는 코어반경이 $7.4\mu\text{m}$ 이상일때 두파장에서 영분산값이 얻어짐을 알 수 있고, 코어반경이 증가할수록 영분산 파장사이의 폭은 증가하지만, 이 범위에서 최고 분산값도 증가함을 알 수 있다. 기본모드(HE_{11}) 차단파장은 코어반경이 클수록 증가하였다.

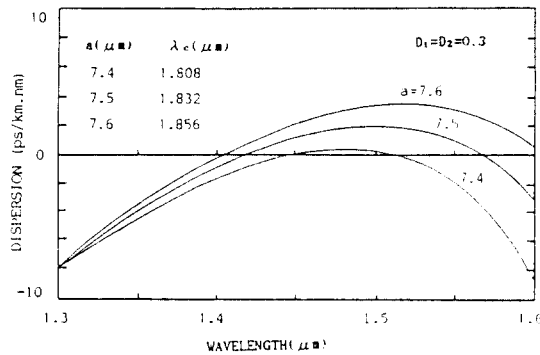


그림 2. a의 변화에 대한 이중형 코어(DSC) W형 광섬유의 총분산 변화
Fig.2. Relationship between wavelength and total dispersion for different values of core radius a ($\Delta_1=0.35\%$, $\rho=1.6$, $C=1.2$, $\alpha=2$)

단일모드 광섬유는 코어반경을 크게 하면 접속 및 제조가 용이하게 되고, splicing 손실을 줄일 수 있는 장점을 갖도록, 본 논문에서는 설계변수 $\alpha=2$, $D_1=0.2$, $D_2=0.3$, $\Delta_1=0.35\%$, $\rho_1=1.0$ 을 일정하게 고정해놓고, 나머지 설계변수(a,c, ρ)를 변화시켜 분산특성을 나타내고 있다. 그림 3은 설계변수(c=1.2, $\rho=1.6$)를 일정하게 놓았을 때, 코어반경의 변화에 대한 색분산값을 파장의 함수로서 계산하였다. 코어반경 a가 $8.1\mu\text{m}$ 이상일때 두개의 영분산 파장이 존재하였다. 그리고 영분산 파장사이에 최고분산값은 $a=8.1\mu\text{m}$ 일 때, 1ps/km.nm 이하이고, $a=8.15\mu\text{m}$ 일 때, 1.5ps/km.nm 이고, $a=8.2\mu\text{m}$ 일 때는 2ps/km.nm 보다 약간 큼을 알 수 있다. 그 반면에 영분산 파장범위는 증가하였다. 최고분산값이 작아질수록 영분산 파장범위가 넓을 수록 WDM 통신방식에 사용될 수 있는 최적파라미터가 된다. 예를들면 광통신시스템에서 요구되는 분산값의 허용오차가 $\pm 2\text{ps/km.nm}$ 일 때 최적코어반경은 $8.15\mu\text{m}$ 임을 알 수 있다. 기본모드 차단파장은 코어반경이 증가할수록 증가하였다.

km.nm 보다 약간 큼을 알 수 있다. 그 반면에 영분산 파장범위는 증가하였다. 최고분산값이 작아질수록 영분산 파장범위가 넓을 수록 WDM 통신방식에 사용될 수 있는 최적파라미터가 된다. 예를들면 광통신시스템에서 요구되는 분산값의 허용오차가 $\pm 2\text{ps/km.nm}$ 일 때 최적코어반경은 $8.15\mu\text{m}$ 임을 알 수 있다. 기본모드 차단파장은 코어반경이 증가할수록 증가하였다.

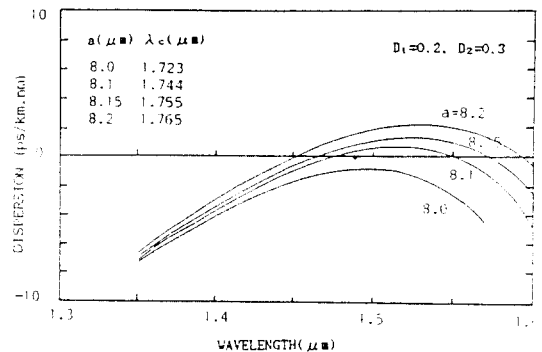


그림 3. a의 변화에 대한 이중형 코어(DSC) W형 광섬유의 총분산 변화($\Delta_1=0.35\%$, $\rho=1.6$, $C=1.2$, $\alpha=2$)
Fig. 3. Relationship between wavelength and total dispersion for different values of a ($\Delta_1=0.35\%$, $\rho=1.6$, $C=1.2$, $\alpha=2$)

그림 4는 그림 3과 같은 조건에서 여러가지 c의 값에 대한 분산특성을 나타내고 있다. c가

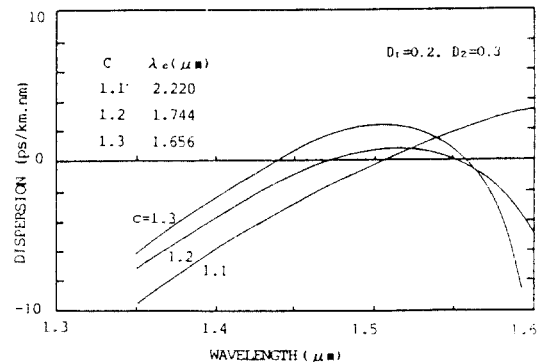


그림 4. C의 변화에 대한 이중형 코어(DSC) W형 광섬유의 총분산 변화
Fig. 4. Relationship between wavelength and total dispersion for different values of c ($\Delta_1=0.35\%$, $a=8.1$, $\rho=1.6$, $\alpha=2$)

1.2이상일때 두개의 영분산파장이 존재하고, c 가 증가할수록 영분산 파장사이의 범위가 증가하면서 최고분산값도 증가하였다. 그반면에 차단파장은 c 가 증가할수록 감소된다. 그림5는 α 의 값에 대한 분산특성을 나타내고 있다. α 가 2일때 최적임을 알 수 있다.

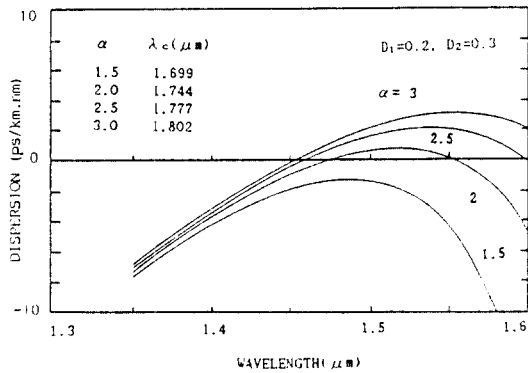


그림 5. α 의 변화에 대한 이중형 코어(DSC) W형 광섬유의 총분산 변화
 Fig. 5. Relationship between wavelength and total dispersion for different values of α ($\Delta_1=0.35\%$, $a=8.1$, $\rho=1.6$, $C=2$)

그림 6도 같은 조건에서 상대굴절율차비 ρ 의 변화에 대한 색분산값을 나타내고 있다. 모든 ρ 값에서 두개의 영분산파장이 존재하고, ρ 의 값이 작을수록 저분산을 갖는 파장범위가 장파장

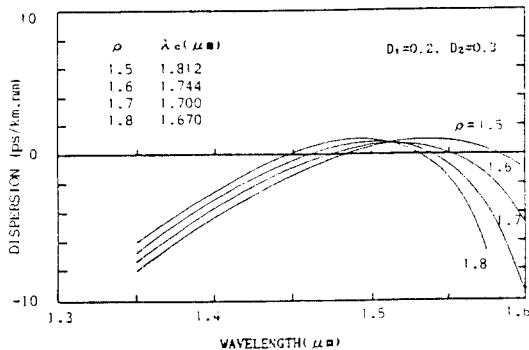


그림 6. ρ 의 변화에 대한 이중형 코어(DSC) W형 광섬유의 총분산 변화
 Fig. 6. Relationship between wavelength and total dispersion for different values of ρ ($\Delta_1=0.35\%$, $a=8.1$, $C=1.2$, $\alpha=2$)

쪽으로 천이되었다. 여기서 ρ 가 1.6일때 저분산을 갖는 파장범위가 장파장쪽으로 천이되고 최고분산값이 작기때문에 적절한 파라미터임을 알 수 있다. 기본모드 차단파장은 ρ 가 작을수록 증가하였다. 그림 3,4,5,6에서 광섬유의 최적설계변수는 $\alpha=2$, $c=1.2$, $a=8.15\mu\text{m}$, $\rho=1.6$ 임을 알 수 있고, 상대굴절율차비 Δ_1 은 기존의 triangular-index W형 광섬유와 똑같이 0.35%으로 선택하였다.⁽⁵⁾

본 논문에서 제안한 이중형코어를 갖는 W형 단일모드 광섬유와 기존의 W형 단일모드 광섬유 중에서 가장 큰 코어반경을 갖는 triangular-index W형 단일모드 광섬유를 비교하기 위하여, 같은 파라미터 조건에서 $\pm 2\text{ps/km.nm}$ 를 얻을 수 있도록 최적 코어반경을 그림 7에 도시하였다. 기존의 W형 광섬유는 $c=1.1$ 일 때 파장범위 1.35-1.53 μm 에서 코어반경은 7.4 μm 이고, 본 논문에서 제안한 W형 광섬유는 $c=1.2$ 일 때 1.43-1.58 μm 범위에서 코어반경이 8.15 μm 가 된다. 코어반경이 크므로 접속 및 제조하기가 용이하게

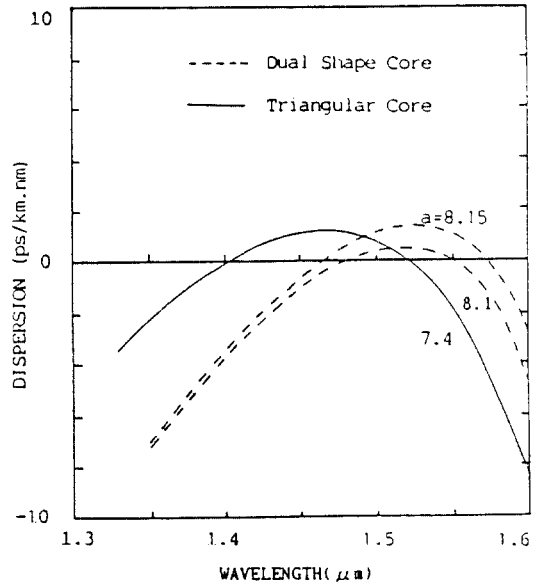


그림 7. DSC W형 광섬유가 triangular-index W형 광섬유에 대한 총분산 변화
 Fig. 7. Relationship between wavelength and total dispersion for optimum core radius at DSC W-type and triangular-index W-type fibers ($\Delta_1=0.35\%$, $\rho=1.6$)

되고, 기존의 W형 광섬유와 비슷한 저분산 파장 범위를 광섬유의 최적감쇄 파장영역인 $1.5\mu\text{m} - 1.6\mu\text{m}$ 쪽으로 더 이동하였으므로, 이 파장영역을 동작파장으로 사용함으로써 광섬유의 재료손실을 줄일 수 있고, 이 파장범위가 OH기의 흡수 손실이 가장 높은 파장 $1.38\mu\text{m}$ 부근을 포함하지 않기 때문에 실질적으로 더 낮은 손실에서 더 많은 채널용량을 증가시킬 수 있다.

그림 8에서 기본모드의 모드필드분포를 그림 7과 같은 변수에서 기존의 W형 광섬유와 비교하여 도시하였다. 본 논문에서 제안한 이중형코어를 갖는 W형 광섬유가 기존의 triangular index W형 광섬유보다 코어내에 모드필드의 집중력이 약한 것으로, 큰 코어반경을 가지므로 bending 손실을 감소시키고, 제조 및 접속이 용이하게 될 것이다.

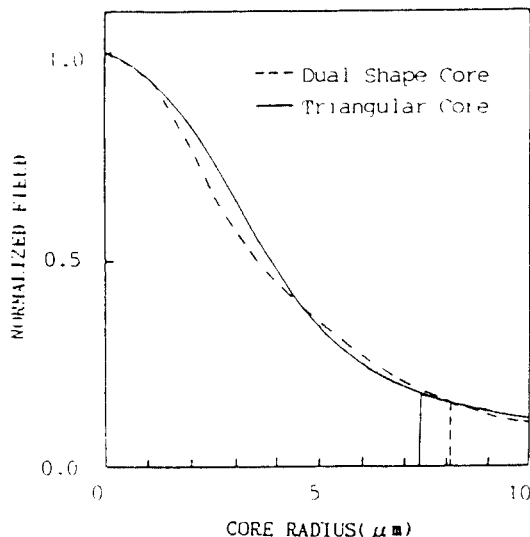


그림 8. 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서 모드필드 분포
 Fig. 8. Mode field distribution for DSC(dual shape core) W type and triangular index W type single mode fibers at $\lambda=1.55\mu\text{m}$

IV. 결 론

본 논문에서 이중형코어(dual shape core)를

갖는 W형 단일모드 광섬유를 새로이 제안하여 여러 설계변수의 변화에 대해 대역폭을 결정하는 분산특성과 기본모드 차단파장과 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서 모드필드분포를 계산한 결과 최적설계 변수는 $\alpha=2$, $c=1.2$, $a=8.5\mu\text{m}$, $\rho=1.6$ 임을 알 수 있었다. 본 논문에서 제안한 광섬유의 전파특성에 대한 결과를 기존의 Triangular index W형 광섬유와 비교하여 다음과 같은 장점을 발견하였다. 첫째 저분산값을 갖는 넓은 파장범위가 광섬유의 최적감쇄 파장영역인 $1.5\mu\text{m} - 1.6\mu\text{m}$ 쪽으로 기존의 W형 광섬유보다 더 이동되었으므로, 이 파장영역을 동작파장으로 사용할 수 있어 손실을 줄일 수 있고, WDM통신방식을 사용할 수 있다. 그리고, OH기 흡수손실이 가장 큰 파장 $1.38\mu\text{m}$ 근처를 포함하지 않으므로서 더 넓은 파장범위를 사용할 수 있으므로 실질적으로 저손실 파장영역에서 더 많은 채널용량을 사용할 수 있다. 둘째로 기존의 W형 광섬유보다 큰 코어반경을 가지므로 제조 및 접속을 용이하게 한다. 셋째로 코어내에 모드집중력이 약하므로 bending손실을 줄일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. T.Miya, Y.Terunuma, T.Hosaka, and T.Miyashita, "Ultimate low loss single mode fiber at $1.55\mu\text{m}$," Electron. Lett., vol.15, Lett.,Vol.15, pp.106-108, 1979.
2. B.James Ainslie and Clive R.Day, "A review of single mode fibers with modified dispersion characteristics," J.Lightwave tech., vol.1, No.8, Aug. 1986.
3. S.Kawakami and S.Nishida, "Characteristics of a doubly clad optical fiber with a low-index inner cladding," IEEE J. Quantum Electron., vol. QE 10, pp.879-887, 1974.
4. Mishra P.K., and Goyall, C, "Single mode graded core W type fibers with low dispersion over a wide spectral range," Opt. commun., Vol.49, pp.396-397, 1984.
5. K.B. Chung, and S.S. Choi, "Propagation characteristics of a triangular index doubly clad monomode fiber," Electron. Lett., Vol.21, No.7, 1985, pp.271-273.

6. E.K. Sharma, A.Sharma, and I.C.Goyal, "Propagation characteristics of single-mode optical fibers with arbitrary index profiles: A simple numerical approach," IEEE J.Quantum Electron, vol. QE-18, pp.1484-1489, 1982.
7. U.C. Paek, G.E. Peterson, and A.Carnevale, "Dispersionless single-mode lightguide with α index profiles," Bell Syst. Tech.J, Vol.60, pp.583-598, 1981.
8. M.Monerie, "Fundamental-mode cutoff in depressed inner cladding fibers," Electron. Lett., vol.18, pp.642-644, 1982.
9. Bruce E. Briley, An introduction to fiber optics system design, elsevier, pp.40,1988.



金 鏗 瑾 (Jeong Geun KIM) 正會員
1983年 2月 : 圓光大學校 電子工學科 卒業
1989年 2月 : 仁荷大學校 大學院 電子工學科 卒業 (工學碩士)
現在 : 仁荷大學校 大學院 電子工學科 博士課程 在學中



李 大 炯 (Dae Hyung LEE) 正會員
1983年 2月 : 仁荷大學校 電子工學科 卒業
1986年 8月 : 仁荷大學校 大學院 電子工學科 卒業 (工學碩士)
現在 : 仁荷大學校 大學院 電子工學科 博士課程 在學中



崔 炳 河 (Byung Ha CHOI) 正會員
1936年 12月 3日生
1960年 2月 : 仁荷大學校 電氣工學科 卒業
1962年 2月 : 仁荷大學校 大學院 電氣工學科 卒業 (工學碩士)
1975年 : 仁荷大學校 大學院 電氣工學科 卒業 (工學博士)
現在 : 仁荷大學校 電子工學科 教授