DBpia

論 文

사다리꼴 분포를 갖는 segmented core 단일모드 광섬유의 전파특성에 대한 연구

正會員 金 鍾 壎* 正會員 崔 泰 一* 正會員 崔 炳 河*

A study on the propagation characteristics of a trapezoidal-shaped segmented core single mode fiber

Jeong Geun Kim*, Tae Il Choi*, Byung Ha Choi* *Regular Members*

要 約

본 논문에서는 중심코어가 사다리꼴분포를 갖는 segmented core 단일모드 광섬유의 전파특성을 λ=1.55㎛에서 영분산을 만족하는 조건하에서 상대 굴절율차비의 변화에 대해 이론적으로 조사하였다. 기존의 광섬유(삼각형 굴절율, 이중형 코어)와 곡률손실을 비교한 결과 크게 감소함을 확인하였다. 그리고 코어내의 모드필드의 집속효과가 기존의 사다리꼴 굴절율 광섬유보다 28% 더 향상되었다. 기존의 삼각형 분포를 갖는 segmented core 광섬유와 비교하여 여러 장점들을 제시하였다.

ABSTRACT

In this paper, propagation characteristics of trapezoidal-shaped segmented core single mode fibers is investigated theoretically as a function of relative index difference ratio(=ρ) under the condition of zero dispersion at λ=1.55㎛, and bending loss of trapezoidal-shaped segmented core single mode fiber is greatly decreased less than that of conventional single mode fibers(triangular index, dual shape core). And mode field distribution in core is confined 28% stronger than that of a tapezoidal index fiber. In addition, the advantages of trapezoidal-shaped segmented core fibes are compared with those of conventional triangular-shaped segmented core fibers.

I. 서 론

광통신 시스템의 전송매체인 광섬유의 광전송특성은 두가지 중요한 파라미터인 손실과 분산에 의해 결정되어진다. 영분산 단일모드 광섬유는 동작파장에서 광대역을 얻을 수 있으므로, 중계국간 전송거리를 더 확장할 수 있도록 전송손실을 줄이는데 연구해 왔다. 즉 실리카광섬유의 재료손실이 최소인 파장 1.55㎛에서 저손실과 영분산을 동시에 만족할 수 있도록, 영분산을 만족하는 동작파장을 파장 1.55㎛로 천이하는 dispersion-shifted 광섬유에 대한 많은 연

*仁荷大學校 電子工學科
Dept. of Electronic Engineering, In Ha Univ.
論文番號 : 92-82(接受1991. 11. 19)

www.dbpia.co.kr

구가 진행되어왔다.[1]

초기에는 원하는 파장에서 전송대역을 최대로 하기위해 계단형 분포와 언덕형 분포를 갖는 단일모드 광섬유의 코어반경 및 굴절율차를 조정하는 방법이었고, 그 후에 파장 1.55㎛에서 영분산을 만족하는 삼각형 분포 단일모드 광섬유와 사다리꼴 굴절율 단일모드 광섬유에 대하여 보고 되었다.[2, 3] 앞에서 언급한 단일형 코어를 갖는 광섬유보다 영분산을 만족하는 최적 코어반경이 훨씬 크고, 설계 파라미터(코어반경, 동작파장)의 미소변화에 대한 분산제어성이 더 양호하고, 곡률손실이 훨씬 향상된 임의의 이중형코어(dual shaped core)를 갖는 광섬유가 제시되었다.[4, 5, 6] 그 후에도 분산특성과 손실특성을 개선하기 위하여 복잡한 구조를 갖는 광섬유에 대한 점진적으로 연구가 진행되었다.[7]

삼각형분포를 갖는 segmented core 광섬유는 앞에서 설명한 광섬유들에 있어서, 낮은 차단파장을 동작파장까지 근접시키므로 곡률손실을 개선하기 위한 bend-optmized 광섬유로 보고되었다.[8, 9] 그 결과 차단파장은 크게 증가하였으나 상대굴절율차 △가 0.8%, 0.9%일 때는 영분산을 만족하는 코어반경이 존재하지 않고, 곡률손실에 있어서도 개선되지 않았으나, △=1% 이상일 때 영분산을 만족하고 곡률손실이 약간 개선되었다.[10, 11]

본 논문에서는 동작파장 1.55㎛에서 영분산을 만족하는 코어반경과 차단 파장을 향상시키고, 곡률손실과 splicing손실을 감소시키고, 게르마늄의 도핑에 의한 산란손실을 줄이기 위해, 즉 상대굴절율차을 감소시키기 위해 사다리꼴 분포를 갖는 segmented core 광섬유를 제시하였다. 파장 1.55㎛에서 영분산을 만족하는 조건하에서 △=0.8%, 0.9% 일때, 사다리꼴분포를 갖는 광섬유의 상대굴절율차비(ρ)에 대한 최적 코어반경, 차단파장, MFD(mode field diameter), 임계 곡률반경을 이론적으로 구하였다. 최종적으로 구한 곡률손실과 필드분포에 대한 값을 기존의 광섬유와 비교하여 제시하였다.

Ⅱ. 이 론

사다리꼴 분포를 갖는 segmented core 광섬유의 굴절율 분포는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

그림 1에서 △는 중심코어의 상대굴절율차, △′는 외부코어의 상대굴절율차이고, ρ는 상대굴절율차비로 나타내고, a는 코어반경이고, D_1, D_2, D_3는 코어반경비이다. 이 파라미터들은 다음과 같이 수식으로 표현된다. 그리고 $D_1=0$이면 중심코어가 삼각형분포인 segmented core 광섬유가 된다.[10, 11]

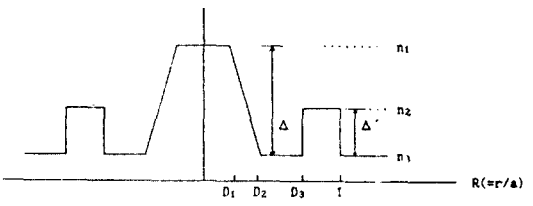

그림 1. 사다리꼴 분포를 갖는 segmented core 광섬유의 굴절율분포

Fig. 1. Refractive index profile of trapezoidal-shaped segmented core fiber.

$$\triangle = (n_1^2 - n_3^2)/2n_1^2$$

$$\triangle' = (n_2^2 - n_3^2)/2n_1^2$$

$$\rho = \triangle'/\triangle = (n_2^2 - n_3^2)/(n_1^2 - n_3^2)$$

$$R = r/a$$

사다리꼴분포를 갖는 segmented core 광섬유의 해석은 스칼라 파동방정식의 해를 구함으로서 이루어진다. 광섬유의 기본모드(LP_{01})에 해당하는 모드필드 $\psi(r)$는 다음과 같은 스칼라 파동방정식으로 나타낼 수 있다.[12]

$$\frac{d^2\psi}{dR^2} + \frac{1}{R}\frac{d\psi}{dR} + V^2(1-B-F(R))\psi(R) = 0 \quad (1)$$

여기서 V는 규격화 주파수이고, B는 규격화전파상수, F(R)은 굴절율분포를 나타내는 함수이다.

$$\begin{aligned} F(R) &= 0 && 0 \le R \le D_1 \\ &= (R-D_1)/(D_2-D_1) && D_1 \le R \le D_2 \\ &= 1 && D_2 \le R \le D_3 \\ &= \rho && D_3 \le R \le 1 \end{aligned} \quad (2)$$

R = 0과 R = 1에서의 경계조건은

$$\left.\frac{d\psi}{dR}\right|_{R=0} = 0$$

www.dbpia.co.kr

$$\frac{1}{\psi}\left.\frac{d\psi}{dR}\right|_{R=1} = -W\frac{K_1(W)}{K_0(W)} \tag{3}$$

이고, 여기서 $W^2 = V^2 - U^2$, $K_n(W)$는 n차 변형 Bessel 함수이다. 식을 간단히 하기 위하여 식 (1), (2)를 Ricatti 변환을 사용하여 1차 미분방정식으로 변형하면[12]

$$G(R) = \frac{1}{\psi}\frac{d\psi}{dR} \tag{4}$$

$$\frac{dG(R)}{dR} = -G^2 - \frac{G}{R} - V^2(1-B-F(R)) \tag{5}$$

G(R)에 대한 경계조건은

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

$$G(R=1) = -W\frac{K_1(W)}{K_0(W)} \tag{6}$$

단일모드의 총분산 D_t는 재료분산과 구조분산의 합으로 다음과 같이 나타낸다.

$$D_t = \frac{\lambda}{c}\frac{d^2N_e}{d\lambda^2} \tag{7}$$

식(6)에서 N_e는 실효굴절률이며, 다음과 같이 나타낸다.

$$N_e = [B(n_1^2 - n_3^2) + n_3^2]^{1/2} \tag{8}$$

Segmented-core 광섬유의 곡률손실(bending loss)은 식(7)에 주어진 임의의 굴절률분포에 대한 곡률손실(bendingloss) 수식을 이용하여 구할 수 있다.[13]

$$\alpha(dB/m) = \frac{\pi^{1/2}A_e^2}{2P}\cdot\frac{a\exp(-4)w^3R/3av^2}{w(wR/a+v^2/2\triangle w)^{1/2}} \tag{9}$$

MFR(mode field radius=spot size)은 다음과 같이 정의되고,[14] 여기서 $\psi(r)$은 기본모드(LP_{01})의 필드분포이고, $\psi(r)$은 스칼라 파동방정식으로 부터 구할 수 있다.

$$W_0 = [2\int_0^r r^3\psi(r)^2\,dr / \int_0^r r\,\psi(r)^2\,dr]^{1/2}$$

스칼라 파동방정식을 경계조건에 따라 4차 Runge-Kutta 방법과 이분법을 사용하여 규격화 전파상수(B)와 실효굴절률(N_e)을 구하여, 식(7)에 대입하여 주어진 파장에서 수치적으로 색분산이 영이 되는 최적설계파라미터(a, ρ, D_1, D_2, D_3, $\triangle$)를 구할 수 있고, 구한 최적 설계파라미터를 식(9)과 식(10)에 적용하여 곡률손실과 스폿사이즈(spot size=W_0)를 구할 수 있다.

Ⅲ. 계산결과 및 검토

사다리꼴분포를 갖는 segmented core 광섬유의 분산특성은 파라미터(a, ρ, λ, D_1, D_2, D_3,$\triangle$)의 값에 의해 좌우된다. 사다리꼴분포를 갖는 segmented-core 형태의 규격화한 내부코어반경비(D_1, D_2, D_3)의 값에 따라 분산특성이 다르게 되므로 최적 파라미터값(D_1, D_2, D_3)을 설정하기 위하여 파장 1.55μm에서 ρ, $\triangle$를 일정하게 놓고, D_1, D_2, D_3를 각각 변화시키면서 영분산을 만족하는 코어반경(=a)를 앞의 Ⅱ절에서 계산할 수 있다. 그 계산결과 가장 큰 코어 반경을 갖는 규격화한 내부코어반경비의 값을 D_1=0.1, D_2=0.5, D_3=0.85로 설정하였다. 설정한 내부코어반경비값을 갖는 사다리꼴 분포를 갖는 segmented core광섬유에 대해 상대 굴절율차비 ρ를 변화시켜

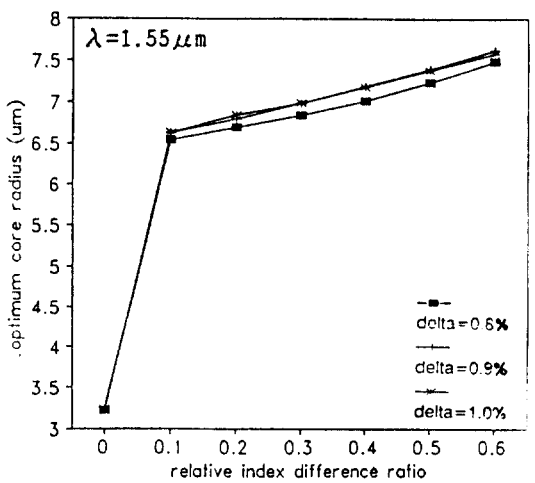

그림 2. 상대 굴절율차비에 대한 최적 코어반경

Fig. 2. Optimum core radius vs. relative index difference ratio of trapezoidal shaped segmented core fibers

www.dbpia.co.kr

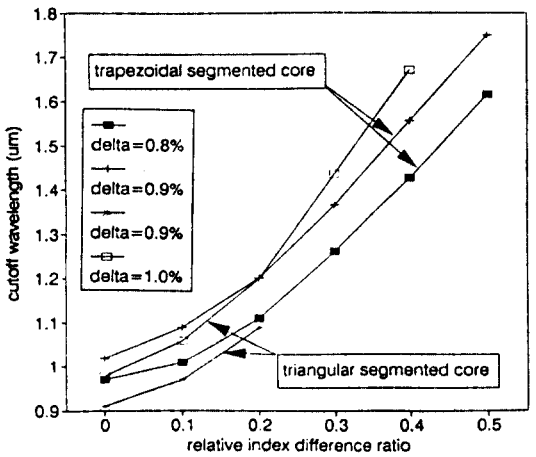

그림 3. 영분산을 만족하는 λ=1.55㎛에서 segmented core 광섬유에 대한 차단파장.

Fig. 3. Cutoff wavelengths of trapezoidal shaped segmented core fibers with zero dispersion at λ =1.55㎛

단일모드 조건하에 영분산을 만족하는 최적코어반경을 그림1과 같이 도시하였다. 중심코어의 상대 굴절율차 △가 0.8%, 0.9%일때 ρ가 0과 0.4사이만 단일모드가 동작할 수 있고, ρ=0.5 이상에서는 영분산을 만족하는 최적 코어반경은 존재하지만 단일모드로서는 동작할 수 없다. △=1.0%일 때는 ρ=0.4 이상에서는 제1고차모드(LP_{11})로 동작되게 된다. 그리고 △가 0.9%에서 1%로 증가해도 최적코어반경은 ρ의 변화에 대해 증가하지 않았다. △가 0.7%일 때는 영분산을 만족하는 코어반경이 존재하지 않았다.

삼각형 분포를 갖는 segmented core 광섬유에서도 제1고차모드(LP_{11})의 차단파장이 장파장쪽으로 증가하였으나, △=1.0%이상일 때만 곡률손실이 약간 개선되었다.[10, 11] λ=1.55㎛에서 △가 0.8%일때 영분산이 존재하지 않았고, △가 0.9%일 때는 ρ가 0.2 까지만 영분산을 만족하였고, △가 1.0% 이상일 때는 영분산을 만족하는 차단파장이 크게 증가하여 곡률손실이 감소되는 효과를 가져왔으나 ρ가 4이상에서는 단일모드(Lp_{01})로 동작할 수 있는 조건을 갖지 못했다. 그에 비하여 중심코어가 사다리꼴분포를 갖는 segmented core 광섬유는 △가 0.8%, 0.9% 일 때 ρ가 증가함에 따라 차단파장이 크게 증가함을 그림 3과 같이 도시하였다. 그러나 ρ가 0.5이상일 때는 단일모드로 동작할 수 없었다. 그러므로 상대 굴절율차비 ρ가 0.4일 때 단일모드로서 동작할 수 있는 가장 큰 코어반경과 큰 차단파장을 갖게된다. 기존의 삼각형 분포를 갖는 segmented core 광섬유와 본 논문에서 제시한 광섬유를 영분산을 만족하는 조건에서 그림 3과 같이 도시하였다. 이 그림에서 본 논문에서 제시한 광섬유가 단일모드 조건하에서 상대굴절율차 △가 0.9%일때 차단파장이 1.545㎛이고, 기존의 광섬유는 △가 1.0%이 때 차단파장이 1.437㎛이므로, 기존의 광섬유보다 더 낮은 상대굴절율차 △에서 더 큰 차단파장을 갖게 되므로 게르마늄 도핑에 의한 산란손실과 곡률손실을 감소시키는 결과를 갖게된다.

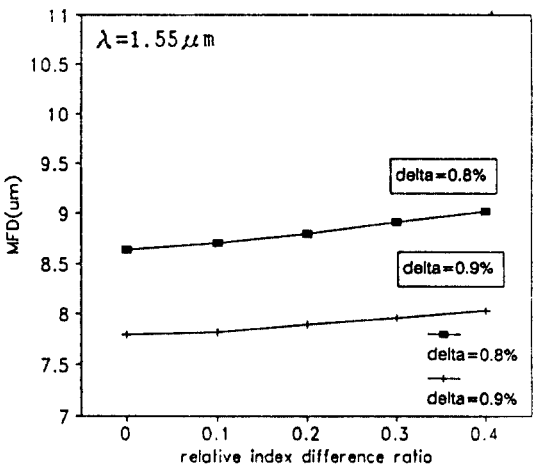

그림 4. 영분산을 만족하는 λ=1.55㎛에서 segmented core 광섬유에 대한 모드필드직경

Fig. 4. MFD of trapezoidal-shaped segmented core fibers with zero dispersion at λ=1.55㎛

그림 4에서는 △가 0.8%, 0.9%일 때 각각 ρ의 변화에 대한 MFD(mode field diameter)를 나타내고 있다. MFD는 상대 굴절율차△가 클수록 감소하고, MFD가 작을 수록 곡률손실은 감소하지만 splicing 손실은 증가하게 된다. 그림 5에서 나타난 사다리꼴 분포를 갖는 segmented core 광섬유는 ρ가 증가함에 따라 MFD는 약간 증가하여, ρ의 변화에 대한 곡률손실 감도가 적음을 알 수 있다. 단일모드 광섬유는 MFD 값에 따라 곡률손실이 크게 좌우된다.[11] 그러므로 △가 0.8%, 0.9%일 때 사다리꼴 분포를 갖는 segmented core 광섬유는 삼각형 분포를 갖는 segmented core 광섬유보다 MFD가 2㎛이상 감소

www.dbpia.co.kr

되었으므로, 곡률손실이 더 감소되는 효과를 갖는다.

그림 5에서는 중심코어가 사다리꼴인 segmented core 광섬유에 대한 곡률반경에 대한 감도를 곡률손실 1dB/m에 해당하는 곡률반경으로 평가하였다. 사다리꼴 분포를 갖는 segmented core 광섬유는 ρ가 0.2 이상일 때 임계곡률반경이 감소하므로 곡률손실이 감소되었다. 그림 5에서 임계곡률반경은 ρ가 증가하고, 중심코어의 상대굴절율차가 클수록 개선됨을 알 수 있었다. 이에 비해 삼각형분포를 갖는 segmented core 광섬유는 Δ가 0.8%, 0.9%일 때는 곡률손실 1dB/m 에 해당하는 곡률반경이 증가하여 오히려 곡률손실이 증가하였다.[11]

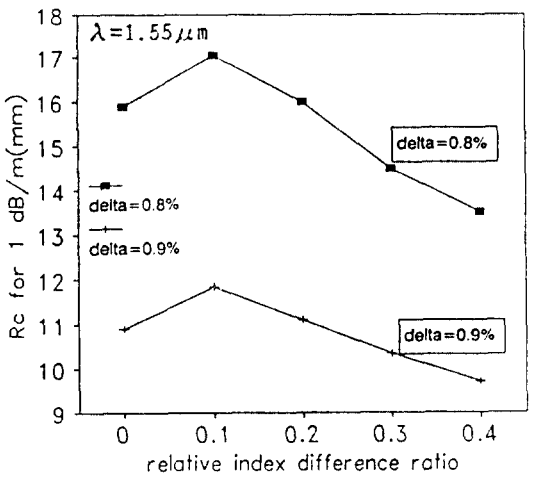

그림 5. segmented core 광섬유의 임계 곡률반경

Fig. 5. critical bending radii of trapezoidal-shaped segmented core fibers

광섬유 케이블을 설계하는데 있어서, 총 전송선로에 대한 총손실을 최소하는 것이 중요하다. 따라서 매크로곡률손실(macrobending loss)을 splicing 손실을 일정하게 놓고서 기존의 광섬유와 비교하였다. 일정한 splicing 손실은 MFD값을 일정한 값으로 유지함으로써 얻어진다. 그림 6에서는 기존의 광섬유중에서 곡률손실특성이 가장 좋은 삼각형 굴절율 광섬유, 이중형코어(DSC) 광섬유와 사다리꼴분포를 갖는 segmented core 광섬유에서 MFD를 각각 8μm, 9μm로 일정하게 놓고 곡률반경에 대한 곡률손실을 비교하였다. 앞에서 언급한 광섬유들의 파라미터는 λ

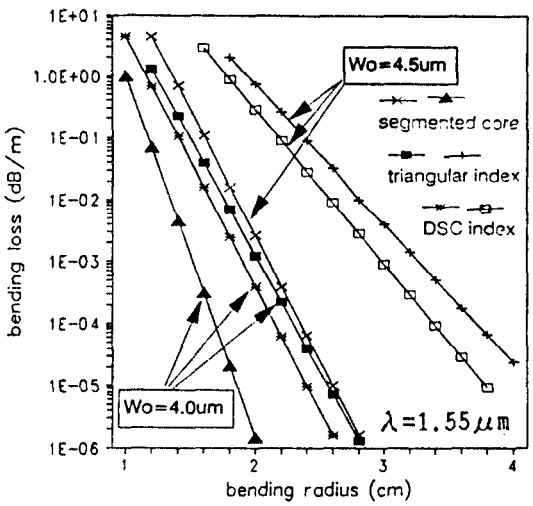

그림 6. 기존의 광섬유와 본 논문에서 제안한 segmented core 광섬유에 대한 매크로곡률손실

Fig. 6. macrobending loss cs. bending radius of conventional fibers and trapezoidal-shaped segmented core fiber

=1.55μm에서 영분산을 만족하도록 선택되었다. 이 광섬유 중에서 사다리꼴분포를 갖는 segmented core 광섬유의 곡률손실이 가장작으며, 곡률반경 2cm에서 MFD(=$2W_o$)가 8μm, 9μm일 때 사다리꼴분포를 갖는 segmented core 광섬유의 곡률손실이 이중형코어(DSC)광섬유보다 각각 1/260, 1/100로 크게 감소됨을 확인하였다. 기존의 광섬유(삼각형굴절율, 이중형 코어)와 본 논문에서 제시한 광섬유의 곡률손실값은 $2W_o$=8μm에서 각각 1.0×10^{-3}, 3.9×10^{-4}, 1.5×10^{-6}(dB/m) $2W_o$=9μm에서 0.734, 0.28, 2.6×10^{-3}(dB/m)이다.

그림 6에서 삼각형 굴절율 광섬유의 곡률손실은 가우시안 굴절율 광섬유와 비슷하므로, 삼각형 굴절율 광섬유만 도시하였고, 이 광섬유에 ring 굴절율분포를 부가했을 때 삼각형분포를 갖는 segmented core 광섬유와 가우시안 분포를 갖는 segmented core 광섬유는 곡률손실특성이 약간 개선되었다.[11] 그러므로 사다리꼴 분포를 갖는 segmented core 광섬유가 삼각형(혹은 가우시안) 분포를 갖는 segmented core 광섬유보다 곡률손실이 더 효율적으로 크게 개선됨을 확인하였다.

그림 7는 MFD(=$2W_o$)=8μm일 때 λ=1.55μm에서

www.dbpia.co.kr

영분산을 만족하는 사다리꼴 굴절율 광섬유와 사다리꼴분포를 갖는 segmented core 광섬유에 대한 기본모드에 대한 필드(field)분포를 나타내고 있다. 이때 사다리꼴 분포를 갖는 segmented core 광섬유의 최적 파라미터는 $D_1=0.1$, $D_2=0.5$, $D_3=0.85$, $\rho=0.4$가 되도록 선택하였다. 그림 7에서 코어내의 모드필드는 본 논문에서 제시한 광섬유의 코어반경이 7.19㎛에서 규격화된 필드값이 0.07이므로 93%의 집속력을 갖고, 기존의 사다리꼴 굴절율 광섬유의 코어반경이 3.23㎛에서 0.35% 이므로 65%의 집속력을 갖는다. 그러므로 집속효과가 28%향상됨으로써 마이크로 곡률손실(microbending)을 감소시킬 수 있을 것이다.

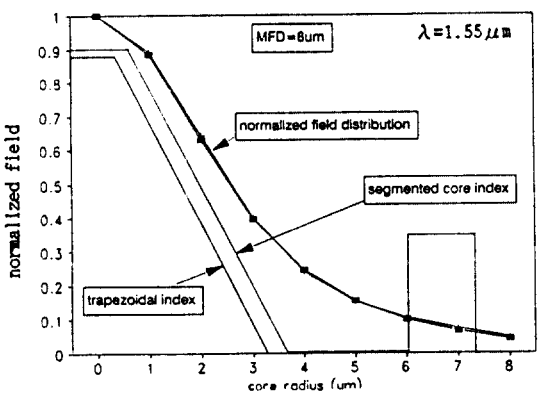

그림 7. 사다리꼴 굴절율 광섬유와 중심코어가 사다리꼴 분포인 segmented core 광섬유의 모드필드분포.

Fig. 7. mode field distribution for trapezoidal index fiber and trapezoidal shaped segmented core fiber at $\lambda=1.55\mu m$

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 중심코어가 사다리꼴 분포인 segmented core 단일모드 광섬유에 대해 $\lambda=1.55\mu m$에서 영분산을 만족하는 여러 파라미터에 대한 전파특성을 조사하였다. 사다리꼴 분포를 갖는 segmented core 광섬유는 영분산을 만족하는 최적 코어반경, 제1고차모드의 차단파장, MFD(mode field diameter), 임계 곡률반경을 상대 굴절율차비 ρ의 함수로서 구하였다.

본 논문에서 제안한 광섬유의 전파특성에 대한 결과를 기존의 광섬유와 비교하여 다음과 같은 장점을 발견하였다. 첫째 Splicing 손실을 일정하게 했을 때, 기존의 광섬유(triangular index, dual shape core)보다 곡률손실이 1/100이하로 크게 감소하였다. 둘째로 중심코어가 삼각형분포를 갖는 segmented core 광섬유보다 작은 상대굴절율차에서 영분산을 만족하는 최적 파라미터를 얻을 수 있으므로, 상대굴절율차의 증가로 인한 산란손실을 감소시키는 효과를 갖는다. 세째로 코어내에 모드필드(field)의 집속효과가 기존의 사다리꼴 굴절율 광섬유보다 28% 향상되므로 곡률손실을 감소시키는 효과를 갖는다. 그러므로 본 논문에서 고찰한 사다리꼴 분포를 갖는 segmented core 단일모드 광섬유는 영분산을 만족하고, 선로손실중에서 중요한 곡률손실이 크게 감소하므로, 대용량 장거리 전송 시스템의 전송선로로 사용하는 데 유용할 것이다.

참 고 문 헌

1. L.G.Cohen, C.Lin, and W.C.French, "Tailoring zero chromatic dispersion into the 1.5um-1.6um low-loss spectral region of single mode fibers," Electron Lett., Vol.15, PP.334-335, 1979
2. Ainslie.B.T, Beales. K.J,Cooper. D.M, Day, M and Rush J.D, "monomode fiber with ultra-low loss and minimum dispersion at 1.55um," Electron Lett., Vol.18, PP.842, 1982
3. M.I.EL-Ashegh and M.Y.EL-Ibiary, "Trapezoidal index single-mode fibers for 1.55um band," J.Lightwave Tech., Vol. LT-5, PP. 255-259, 1987
4. N. Kuwaki, M.ohasi, C.tanaka, N Uesugi, "Dispersion-shifted convexindex single-mode fibers," Electron Lett., Vol.21, PP.1186-1187
5. N.Kuwaki, M.Ohasi, C.Tanaka, N.Uesugi, S. Seikai, and Y.Negishi, "Characteristics of dispersion-shifted dual shape core single mode fibers," J.Lightwave Tech., Vol. LT-5, pp. 792-1987
6. N.Kuwaki, M.Ohasi, C.Tanaka, N.Uesugi, S. Seikai, and Y.Negishi, "Characteristics of dual shape core fiber with an α-index center core," optics letters, Vol.12, No.8, pp.631-633
7. B.James Ainslie and Clive R. Day, "A review

www.dbpia.co.kr

of single mode fibers with modified dispersion characteristics." J. Lightwave Tech., Vol. LT-4, No 8, Aug 1986

8. V.A.Bhagavatula, J.E.Ritter, and D.E. Modavis, "Bend-optimized dispersion-shifted single mode design," J. Lightwave Thecnol., vol.LT-3, pp954-957, 1985

9. J.C.Lapp, V.A.Bahagavatula, A.J.Morrow. Corning Glass Works, "Segmented-core single-mode fiber optimized for bending perforance," OFC 88, WQ16

10. T.D.Croft, J.E.Ritter, and V.A.Bhagavatula, "Low-loss dispersion-shifted single-mode fiber manufatured by the OVD process," J.Lightwave Thecnol., vol, LT-3 pp931-934, 1985

11. R.Yamuchi, M.Miyamato, T.Abiru, K.Nihide, T,Ohashi, O.Fukuda, andK. Inada, "Design and performance of gaussian-profile dispersion-shifted man-ufactured by VAD process," J.Lightwave Thecnol., vol.LT-4,pp997-1003, 1986

12. Enakshi, KhularSharma, Anurag Sharma, and I.C.Goyal, "Propagation characteristics of single mode optical fibers with arbitrary pofile: a simple numerical approch," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-30, PP.1472-1477, Oct.,1982

13. J.Sakai and T.Kimura, "Bending loss of propagation modes in arbitry index profile optical fibers," Appl. Opt., vol.17, pp.1499-1506, 1978

14. K.Pertermann, "Constraints for fundamental-mode spot size for broadband dispersion-compensated single-mode fibers," Lett., 1983, 19, pp712-714

金 鍾 壎(Jeong Geun KIM) 正會員
1959年 9月 22日生
1983年 2月 : 圓光大學校 電子工學科 卒業(工學士)
1989年 2月 : 仁荷大學校 大學院 電子工學科 卒業(工學石士)
現在 : 仁荷大學校 大學院 電子工學科 博士課程

崔 泰 一(Tae Il Choi) 正會員
1957年 7月 5日生
1985年 2月 : 仁荷大學校 電子工學科 卒業(工學士)
1988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

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(工學士)
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

www.dbpia.co.kr