

論 文

광섬유 다중통신 시스템을 위한 각도분할방식

準會員 許 善 宗* 正會員 金 成 一** 正會員 朴 漢 奎***

Angular Division Multiplexing for Multichannel
Optical Fiber Communication Systems

Sun Jong HEO, Sung Il KIM and Han Kyu PARK, Regular Members

要 約 본 논문에서는 비교적 짧은 계단형 멀티모우드 광섬유를 이용하여 여러 정보의 채널을 전송하는 광멀티플렉싱 기술인 각도분할방식(ADM: Angular Division Multiplexing)에 대해 논하였다. 평면파 입력에 대한 광섬유 내의 모우드 결합과 출력 파워 분포가 계산되었으며 시스템의 혼신도 결정이 제시되었다. 모우드 결합 하에서 광섬유의 길이와 입력조건에 따른 펄스폭이 평면 도파관과 광섬유에 대해 비교, 계산되었다. NA(Numerical Aperture) 아래의 입력각에 대한 각도폭은 입력각이 클수록 줄어들었으며 출력은 입력각에 따라 집중된 형태로 나타났으며 이는 ADM시스템의 중요한 요인이 되었다.

ABSTRACT In this paper, angular division multiplexing of the optical multiplexing technique for transmitting several channels using a relatively short step-index fiber is described. Mode coupling and the output power distribution in the fiber for the plane wave excitations is calculated and the crosstalk level determination of the system is proposed. In the presence of the mode coupling, the pulse width in terms of the fiber's length and input condition is calculated in the slab waveguide and the fiber. For the input angles ($<$ numerical aperture), the angular width is reduced. The far-field output pattern has the form of a ring with power concentrated at the input angle and is proven to be an important factor of the ADM systems.

1. 서 론

광섬유 통신의 대역폭의 한계는 광섬유를 통과하는 펄스의 시간적인 확산에 의해 결정된다. 멀티모우드 계단형 광섬유에서의 확산의 주 원인은 모우드 확산(Modal Dispersion)이다⁽¹⁾. 즉 광섬유 내를 서로 다른 축각(Axial Angle)을 가지고 진행되는 빛의 광 경로의 차이이다.

이상적인 광섬유의 경우 축각이 보존되므로 모

든 구동가능한 모우드들 중 일부를 독립된 채널로 할당할 수 있다. 따라서 ADM시스템은 하나의 광섬유로 여러 채널을 전송할 수 있다. 또한 각 채널은 모든 모우드들이 구동되는 종래의 방식보다 적은 모우드를 구동하므로 모우드 확산이 줄어든다. 이로써 각 채널의 대역폭은 증가하게 된다.

그러나 ADM시스템의 채널의 수, 채널 간의 혼신도, 대역폭은 광섬유의 모우드 결합으로 제한받는다⁽²⁾. 모우드 결합은 코어-클래딩 경계면의 불균일성, 코어의 굴절률의 불균일성, 광섬유 케이블의 벤딩 등으로 인한 광섬유 내의 모우드간의 전력의 이동으로 광섬유의 임펄스 반응을 줄이기도 하며 손실을 증대시키는 등 광섬유 통신의 중요한 요인이 된다⁽³⁾. ADM시스템에서 모우드 결합은 각 채널의 각도 분산을 유도하며 주어

* ** 延世大學校工科大學電子工學科

Dept. of Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul, 120 Korea.

** 柳韓工業專門大學電子工學科

Dept. of Electronic, Yoohan Technical Junior College, Bucheon-Shi 150-71, Korea

論文番號 : 83-23 (接受1983. 11. 29.)

진 혼신도에 대해 채널의 수를 제한하며 각 채널의 퍼스폭을 결정한다.

1971년, Marcuse는 각 모드에 의해 전송되는 전력에 대한 전력결합 방정식을 거리와 시간의 함수로 나타냈으며⁽⁴⁾ 결합상수를 코어-클래딩 경계면의 스펙트럼과 관련시켰다⁽⁵⁾. 또한 1972년, Gloge는 모드에 대한 전력을 축과 거리의 함수로 간략화된 편미분 방정식을 발표했으며⁽²⁾ 1973년 시간관련함수를 포함시켰다⁽³⁾.

본 논문에서는 Gloge의 시간불변함수를 바탕으로 모드 결합하에서 입력조건에 따른 출력 전력 분포와 시간 평균법에 의한 대역폭을 구하고자 한다.

2. 광섬유의 모드 출력분포

2.1 광섬유의 모드 결합

원통형 광섬유의 경우 모드의 전계분포는 Bessel함수적으로 나타나며 weakly guiding의 경우 횡파수(transverse wave number) u 는 Bessel함수의 q 번째 근에 의해 결정되는 축퇴 모드($HE_{l+1,q}$ 와 $EH_{l-1,q}$)로 특성화된다⁽¹⁾.

$$J_l(ua) = 0 \quad (1)$$

단, l 은 방위상수(azimuthal number), a 는 코어의 반지름이다.

멀티모드의 경우 위 식의 근은

$$u = \frac{\pi}{a} \left(q + \frac{l}{2} \right) \quad (2)$$

로 근사된다. 광섬유에서 양자수(l, q)로 구분된 모드는

$$l + 2q = m \quad (3)$$

로 평면 도파관의 모드 m 과 같은 복합 모드와 같은 특성을 갖게 된다⁽²⁾. 또한

$$\theta_m = \frac{\lambda m}{4an} \quad (4)$$

의 축각을 갖는다(λ : 진공중 파장).

코어-클래딩 경계면에서의 축각의 보준으로 θ_0 로 입사한 평면파는 $2\theta_0$ 의 각을 갖는 출력원추를 형성한다. 이상적인 광섬유의 경우 각도분할 가능한 채널수는

$$N = \frac{\theta_c}{\Delta\theta} \quad (5)$$

이다. θ_c 는 광섬유의 전반사 임계각이며 $\Delta\theta$ 는 인접 모드 그룹 간의 분리각으로

$$\Delta\theta = \theta_{m+1} - \theta_m = \frac{\lambda}{4a} \quad (6)$$

이다.

그러나 실제의 ADM시스템의 채널수는 광섬유의 모드 결합으로 제한을 받는다. 계단형 광섬유에서 모드의 길이에 따른 파워의 변화 dp_m 은⁽⁴⁾

$$\frac{dp_m}{dz} = -\alpha_m P_m + \sum_{n=1}^M d_{mn} (P_n - P_m) \quad (7)$$

로 첫 항은 코어 내의 손실과 클래딩으로의 산란으로 인한 손실의 항이며 둘째 항은 모드 결합으로 인한 항이다. M 은 식(3)을 만족하는 복합 모드의 총수이며 α_m 은 모드 m 의 손실계수, d_{mn} 은 모드 그룹 m 과 n 의 결합상수이다.

ADM시스템에서 모드 결합이 인접 모드간에 일어난다고 가정하면 식(7)은

$$\frac{\partial P(\theta, z)}{\partial z} = -\Lambda\theta^2 P + \frac{D}{\theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\theta \frac{\partial P}{\partial \theta} \right) \quad (8)$$

로 근사된다⁽²⁾. Λ 는 $\alpha(\theta) = \alpha_0 + \Lambda\theta^2 + \dots$ 의 2차항의 계수로, 코어-클래딩 경계면에서의 전력 밀도는 횡파수 u 의 제곱에 비례하므로 중요한 계수가 된다⁽¹⁾($D = d_0 (\lambda/4an)^2$).

식(8)은 Laguerre Polynomial의 형태의 해가 얻어진다. $P(\theta, z)$ 를 변수 분리시키면

$$P(\theta, z) = Q(\theta) \cdot \exp(-\gamma z) \quad (9)$$

이다(γ 는 정지 상태의 전력 손실상수이다). 또한

$$Q(\theta) = G(x) \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}x\right) \quad (10)$$

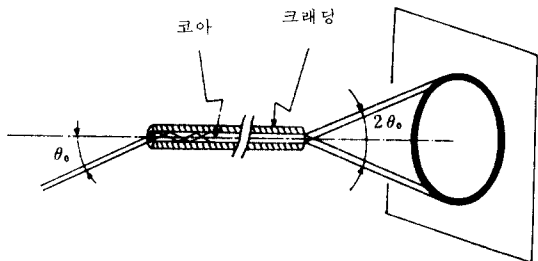


그림 1 평면파 입력에 대한 출력환영
Output "Ring" pattern due to plane-wave excitation.

이며, $x = (A/D)^{\frac{1}{2}} \theta^2$ 이다. 식(8)에 대입하면

$$x \frac{d^2 G}{dx^2} + (1-x) \frac{dG}{dx} + \frac{1}{2} \left[\frac{r}{2(A/D)^{\frac{1}{2}}} - 1 \right] G = 0 \quad (11)$$

로 Laguerre 형태이다. 해는

$$G(x) = L_n(x) \quad (12)$$

이며

$$\gamma_n = 2(2n+1)(A/D)^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

으로

$$P(\theta, z) = \sum_{n=0}^{\infty} K_n L_n(x) \exp\left(-\frac{1}{2}x\right) \cdot \exp(-\gamma_n z) \quad (14)$$

의 최종해가 얻어진다. K_n 은 입력조건에 따른 상수이다.

Gloge는 광섬유축을 중심으로 가우시안 형태의 입력의 경우를 고찰했다²⁾. 본 논문에서는 입력각이 θ_0 인 평면파 입력에 대해 고찰한다($x_0 = (A/D)^{\frac{1}{2}} \theta_0^2$). 즉 입력각도분포 $P(x, 0)$ 는 Dirac delta 함수이다. 또한

$$\int_0^{\infty} L_n(x) L_m(x) \exp(-x) dx = \begin{cases} 0 & m \neq n \\ n! & m = n \end{cases} \quad (15)$$

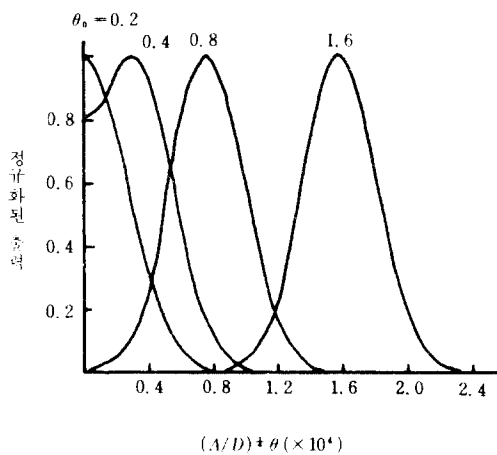


그림 2 $bz = 10^{-7}$ 의 고정된 거리에서 여러 입력각도에 따른 정규화된 출력 파워 분포 전력
Normalised output power distribution for some input angles at a normalized length of $bz = 10^{-7}$.

의 적교성을 이용하고

$$\sum_{n=0}^{\infty} L_n(x) L_m(x) z^n = (1-z)^{-1} \cdot \exp\left[-\frac{z(x+y)}{(1-z)}\right] I_0\left[\frac{2(xyz)^{\frac{1}{2}}}{(1-z)}\right] \quad (16)$$

의 등식을 이용하면 (I_0 는 0차의 modified Bessel 함수) 출력 전력 분포는

$$P(x, z) = \exp\left[-\left(\frac{x_0+x}{2}\right)\left(\frac{1+\exp(-bz)}{1-\exp(-bz)}\right)\right] \times \left[\frac{\exp\left(-\frac{1}{2}bz\right)}{1-\exp(-bz)}\right] I_0\left[\frac{(4x_0x)^{\frac{1}{2}}\exp\left(-\frac{1}{2}bz\right)}{1-\exp(-bz)}\right] \quad (17)$$

이며 ($b = 4(A/D)^{\frac{1}{2}}$, $x_0 = (A/D)^{\frac{1}{2}} \theta_0^2$).

그림 2에서 한 입력각에서 출력형태는 입력각에 전력이 응집된 상태가 된다. 그러나 θ_0 가 줄어든다면 확산하므로 전력이 증가하게 되며 결국 광섬유를 사라지게 된다. 그림 3에서 짧은 거리에 대한 출력분포는 확률적으로 각도분산이 적으나 거리가 증가하면 각도분산은 증가하여 낮은 모드수의 집합의 증가, 결국 광섬유를 사라진다.

이 단장을 ADM 시스템의 중요한 제한요소로 작용한다. 모든이 집합은 거리의 함수로 주어질 때 빛의 손실도에 대해 시스템의 채널의 수가 결정된다. 독립된 입력 채널에 대해 출력현은 분명히 분리 가능해야 된다.

2.2 ADM 시스템의 혼신도

서로 다른 입사각을 갖는 N 개의 평면파 입력

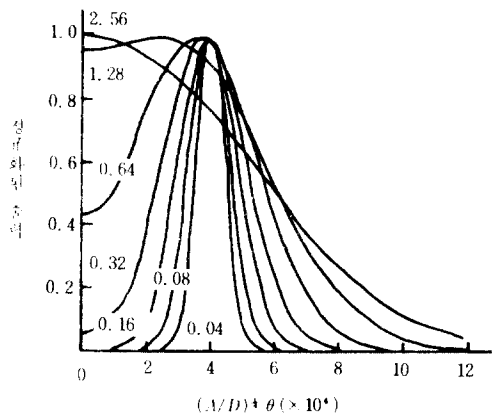


그림 3 $(A/D)^{\frac{1}{2}} \theta_0 = 4 \times 10^4$ 의 고정된 입력각에 대한 거리에 따른 출력 파워 분포
Normalized output power distribution for some length at a fixed input angle of $(A/D)^{\frac{1}{2}} \theta_0 = 4 \times 10^4$.

에 대해 i 채널의 광신호를 검출하면 ($2\Delta\theta_a$ 의 각도검출)

$$E_i(z) = \int_{\theta_a^i - \Delta\theta_a}^{\theta_a^i + \Delta\theta_a} E_i(\theta, z) d\theta \quad (18)$$

의 신호가 얻어진다 [$E_i(\theta, z) = \theta P_i(\theta, z)$, θ_m^i 는 $E_i(\theta, z)$ 가 최대가 되는 각]. 이 검출기에 검출되는 인접 채널의 광신호는 혼신호 E_{cvi} 이며 이때 혼신도는

$$\text{Crosstalk} = 10 \log_{10} \sum_{j \neq i}^N \frac{E_{cvi}}{E_i} \quad (19)$$

이다. 그림 4는 결합 상수 D 와 거리 z 의 함수로 된 혼신도이다.

3. 도파관의 임펄스 반응

3.1 평면 도파관의 임펄스 반응

트랙 q 를 진행하는 광자의 도파관 진행속도는

$$V_q = V_0 \cos \theta_q \quad (20)$$

이다 (V_0 : 코어 중심축으로 진행하는 광자의 속도, θ_q : 트랙 q 의 추가). 이 광자는 일정거리를 진행한 후 이웃 트랙으로 산란하고 새로운 속도로 진행한 후 재 산란 과정을 반복한다. 모든 트랙의 결합의 확률을 알면 임펄스 반응을 구할 수 있으나 이는 불가능하므로 평균 시간법을 도입하여 계산한다.

한 트랙으로 진행하는 모든 광자들을 하나의 합성광자로 대치하면(이 합성광자의 거리 z 의 전송시간은 이 트랙의 모든 광자들의 평균시간과

같음) 거리 $z + \Delta z$ 에서의 트랙 q 의 진행평균 시간 $\bar{t}_{q,n}$ 는

$$\begin{aligned} \bar{t}_{q,n+1} = & \frac{1}{E_{q,n}} \{ (\bar{t}E)_{q,n} (1 - d_q - d_{q-1}) \\ & + (\bar{t}E)_{q+1,n} d_q + (\bar{t}E)_{q-1,n} d_{q+1} \} \\ & + \frac{\Delta z}{V_q} \end{aligned} \quad (21)$$

이며 초기조건은

$$\bar{t}_{q,0} = 0 \quad (22)$$

이다. 멀티모우드 근사를 이용하면

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial z} [E(\theta, z) \bar{t}(\theta, z)] = & D \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} [E(\theta, z) \bar{t}(\theta, z)] \\ & + \frac{E(\theta, z)}{V(\theta)} \end{aligned} \quad (23)$$

$$\bar{t}(\theta, 0) = 0 \quad (24)$$

로 근사된다. 이 방정식을 θ 에 대해 푸리에 변환하고 z 에 대해 미분 방정식을 풀어 역변환을 하면

$$\begin{aligned} E(\theta, z) \bar{t}(\theta, z) = & \frac{1}{[4\pi D]^{\frac{1}{2}}} \int_0^z \frac{dz'}{[z-z']^{\frac{1}{2}}} \\ & \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{(\theta-n)^2}{4D(z-z')}\right] \\ & \frac{E(n, z')}{V(n)} dn \end{aligned} \quad (25)$$

이 된다. 이 때 $E(\theta, z)$ 를

$$E(\theta, z) = \frac{1}{\sqrt{\pi} (4Dz + \sigma_0^2)^{\frac{1}{2}}} \exp\left\{-\frac{(\theta - \theta_0)^2}{4Dz + \sigma_0^2}\right\} \quad (26)$$

의 형태라고 가정하고 (θ_0 : 입사각, σ_0 : 입사 비임의 각도분산) 작은 각에 대해

$$1/V(\theta) = \frac{(1 + \theta^2/2)}{V_0} \quad (27)$$

로 근사하면⁽³⁾

$$\begin{aligned} \bar{t}(\theta, z) = & \frac{z}{V_0} + \frac{z^2 2D^2}{V_0^2 r^4} \left\{ (r^2 + 2\theta\theta_0) \right. \\ & \left. \left(\frac{1}{6} z + \frac{1}{2} z \frac{\sigma_0^2}{4D} \right) + \theta^2 \left(\frac{1}{3} z^2 + \frac{1}{2} z \frac{\sigma_0^2}{2D} \right) \right. \\ & \left. + \frac{1}{4} \frac{\sigma_0^2}{4D^2} \right\} + \theta_0^2 \frac{1}{3} z^2 \end{aligned} \quad (28)$$

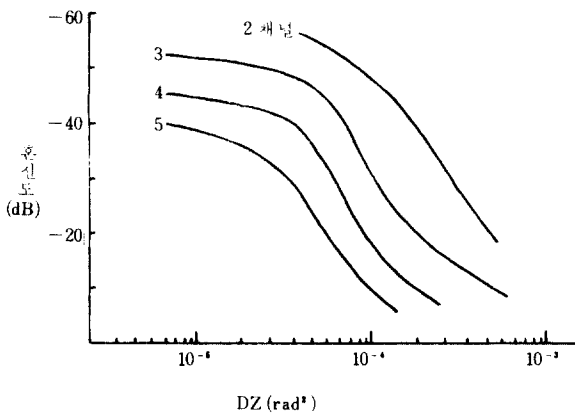


그림 4 혼신도 (2~5 채널)
Crosstalk (2~5 channels).

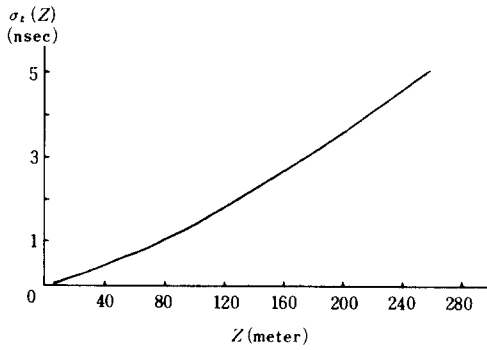


그림 5 거리에 따르는 펄스폭
Pulse width due to length.

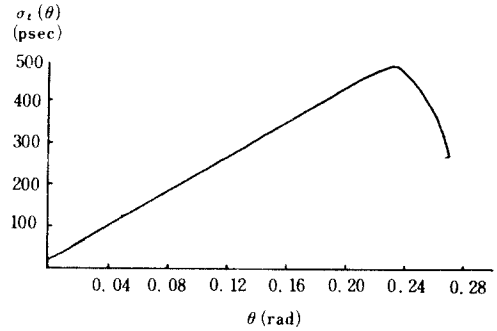


그림 6 평면파 입력에 대한 펄스폭
Pulse width due to plane-wave excitation.

이 된다 ($r \equiv 2Dz + \sigma_0^2/2$). 평면파 입력의 경우 ($\sigma_0 = 0$), 위 식은

$$\bar{t}(\theta, z) = \frac{z}{V_0} \left\{ 1 + \frac{1}{6} [Dz + \theta\theta_0 + \theta^2 + \theta_0^2] \right\} ; \sigma_0 = 0 \quad (29)$$

로 간략화된다.

식(26)의 전력 분포와 식(28)의 해로 입력 펄스에 대한 평균도착시간 $\langle \bar{t}(z) \rangle$ 와 펄스의 폭 $\sigma_t(z)$ 는 각각

$$\langle \bar{t}(z) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \bar{t}(\theta, z) E(\theta, z) d\theta \quad (30)$$

$$\sigma_t(z) = \int_{-\infty}^{\infty} [\bar{t}(\theta, z) - \langle \bar{t}(z) \rangle]^2 E(\theta, z) d\theta \quad (31)$$

RMS 펄스폭 σ_t 는 $\langle \theta \rangle = \theta_0$, $\langle \theta^2 \rangle = \sigma^2 + \theta_0^2$ 을 이용

$$\sigma_t(z, \sigma_0, \theta_0) = \frac{z}{V_0} \frac{2D^2}{\gamma^2} [V^2 + 4VW\theta_0 + W^2(2\gamma^2 + 4\theta_0^2)]^{\frac{1}{2}} \quad (32)$$

($V \equiv (z^2/3 + z\sigma_0^2/4D)\theta_0$; $W \equiv z^2/3 + z\sigma_0^2/4D + \sigma_0^2/$

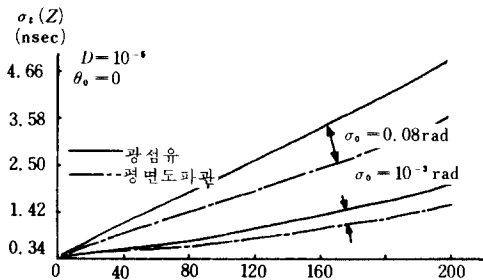


그림 7 거리에 따르는 펄스폭 (a) 평균 시간법에 의한 계산, (b) Gloge 방법에 의한 계산

Pulse width due to length (a) calculation by the "average-time" model (b) calculation from Gloge's equation.

$16D^2$)이 된다. 위 식에서 펄스폭은 도파관의 길이 z 와 입사 비임의 각도분산 σ_0 와 경사각 θ_0 의 함수이다. 그림 5는 짧은 거리에 대한 펄스폭을 도시했다.

평면파 입력에 대한 펄스폭은

$$\sigma_t(z) = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{z}{V_0} (Dz)^{\frac{1}{2}} \theta_0 \left[1 + \frac{4}{9} \frac{Dz}{\theta_0} \right]^{\frac{1}{2}} ; \sigma_0 = 0 \quad (33)$$

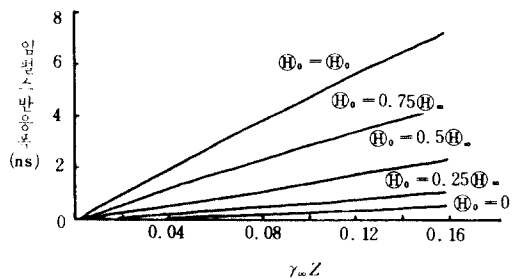
으로 그림 6에 도시되어 있다. ADM 시스템의 경우 입사각에 따른 대역폭은 입사각의 함수로, 낮은 모우드의 채널이 높은 모우드의 채널보다 높다.

3-2 광섬유 내의 임펄스 반응

광섬유에 대한 시간평균 모델은 평면 도파관의 경우와 마찬가지로 멀티모우드 근사에 의해

$$\frac{\partial}{\partial z} [\epsilon(\theta, z) \bar{t}(\theta, z)] = \frac{D}{\theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left[\theta \frac{\partial}{\partial \theta} (\epsilon(\theta, z) t(\theta, z)) \right] + \frac{\epsilon(\theta, z)}{V(\theta)} \quad (34)$$

$$\bar{t}(\theta, 0) = 0 \quad (35)$$



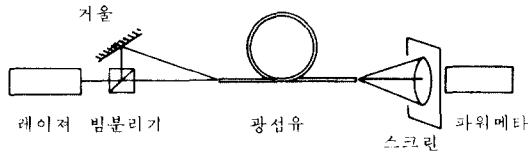


그림 8 실험장치의 개략도
Schematic of experimental arrangement.

이 된다. 광섬유의 경우 트랙 q 에서 한 모드에 의해 전송되는 전력은 $\epsilon q_n \equiv E_{q+n}/q$ 이다. 위 식들의 해는 수치적인 방법으로 Rousseau와 Jeunhomme이 계산한 방법과¹⁶⁾ Gloge의 시간관련 함수의 해¹³⁾에 의해 구할 수 있다. 시간 평균법에 의한 임펄스 반응은 평면 도파관과 비슷하며 그림 7에 입력에 따르는 펄스폭이 도시되어 있다. 짧은 거리에 대한 펄스폭은 입사각의 분산에 영향을 받으며 이는 광섬유를 이용한 ADM시스템의 특징이다.

4. 실험 및 고찰

레이저에서 나오는 비임을 비임 스프리터로 분리시킨 후 임의의 각도로 광섬유에 입사시켰다. 10m길이의 광섬유에 입사각 $\theta_0 = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$ 의 평면파에 대해 측정하였으며 (†) 0° 와 10° 의 경우와 4° 와 10° 의 각도 멀티플렉싱에 대한 출력 비임을 측정하였다. $\theta_0 = 0^\circ$ 에 대한 출력 전력 분포는 가우시안 형태에 가까운 디스크형이며 이는 모우드 결합으로 $\theta_0 = 3^\circ$ 까지 형태가 유지되었다. 4° 에서 환이 나타났으며 입사각이 증가할수록 각도분산이 줄어들었다. 임계각에서 전력의 손실로 밝기가 줄어들었다.

고차 모우드에 대한 적은 환의 각도 분산으로 고차 모우드에서의 채널은 ADM시스템의 혼신도

(주) ANDO AQ-1111

표 1 측정된 출력 파워 분포
Experimental output power distribution.

광섬유 거리	1 m			10m		
	nW	nW	nW	nW	nW	nW
단 위	0°	5°	10°	0°	5°	10°
0°	260	0.97	0.098	170	0.42	0.098
1°	244	1.67	0.101	163.2	0.98	0.098
2°	241	4.54	0.206	165.7	3.313	0.109
3°	197.6	5.18	0.22	147.9	7.28	0.116
4°	135	50.68	0.23	90.1	42.5	0.175
5°	55.2	57.62	0.622	27.0	47.1	0.24
6°	14.3	10.14	0.493	13.2	46.75	0.55
7°	9.1	9.22	5.79	7.30	13.16	1.09
8°	8.06	9.10	16.23	5.1	9.776	4.03
9°	4.94	2.47	21.47	5.95	2.726	12.26
10°	4.42	0.46	19.75	2.21	0.471	14.61
11°	2.34	1.04	1.54	2.04	1.176	13.45
12°	1.43	0.75	0.98	1.02	0.611	7.01
13°	1.03	0.37	0.43	0.97	0.376	1.75
14°	0.99	0.22	0.02	0.90	0.106	0.61
15°	0.99	0.20	0.28	0.86	0.10	0.233
16°	0.01	0.17	0.11	0.54	0.09	0.089
17°		0.101	0.09	0.37		0.063
18°		0.1				

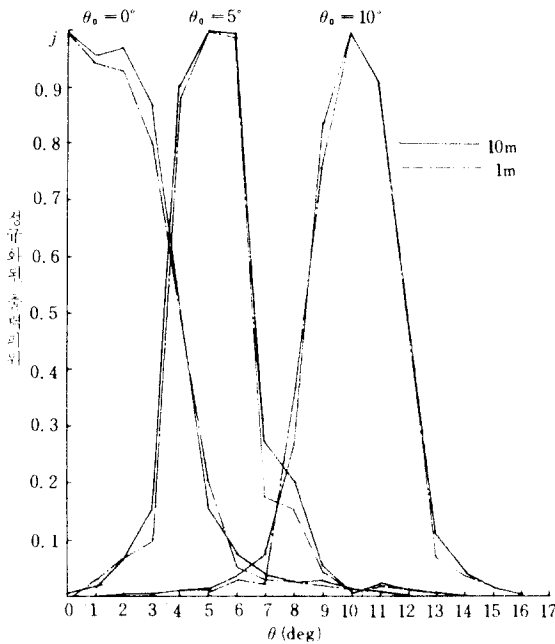


그림9 정격화된 출력 전력 분포
Normalized output power distribution.

를 완화시킨다. 또한 3°미만의 입사각에 대해서 2개 이상의 채널을 할당할 수 없으며 낮은 모드에서의 혼신도는 중요한 제한요인이 되었다.

본 실험에서는 ADM시스템의 채널의 분리도를 수치적으로 추정할 수 있었으나 광섬유의 모드 결합상수의 비이상성으로 비교적 큰 각도분산이 일어났다. 두 채널의 경우 입사각 사이의 공간대역 혼신도는 양호했으며 출력 전력의 최대

치에 대해 7dB의 혼신도를 얻을 수 있었다. 이는 검출기의 과장영역의 광대성으로 인한 오차로 보일 수 있다.

광섬유의 개선으로 결합계수를 저하시키면 ADM시스템의 양호함 특성을 얻을 수 있다.

3. 결 론

중해의 비교적 저렴한 제단형 멀티모우드 광섬유를 이용하여 단거리의 통신에 대해 여러 채널의 전송을 위한 각도분할방식이 제안되었으며 실험적으로 증명되었다.

$\theta_0 = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$ 의 경면과 입력에 대해 광섬유 출력분리는 멀티모우드 광섬유의 경우에 대해 7dB의 분리도를 채널을 독립시킬 수 있었다.

광섬유의 모드 결합은 ADM시스템의 채널의 수, 혼신도, 대역폭 등에 중요한 제한요인이 됨이 증명되었으며 이는 이론적으로 코어-클래딩 경계면의 불균일성, 코어-출력부의 불균일성 등의 광섬유의 개선으로 결합상수를 저하시킬 수 있다.

ADM시스템은 기존의 파장분할방식(WDM:wavelength division multiplexing)과 함께 단거리 대량 정보전송에 기여하게 될 것이다.

參 考 文 獻

- (1) D. Gloge, "Weakly guiding fibers," Appl. Opt., vol. 10, pp. 2252-2258, 1971.
- (2) D. Gloge, "Optical power flow in multimode fiber," Bell Syst. Tech. J., vol. 51, pp. 1767-1783, 1972.
- (3) D. Gloge, "Impulse response of clad optical multimode fibers," Bell Syst. Tech. J., pp. 801-816, 1973.

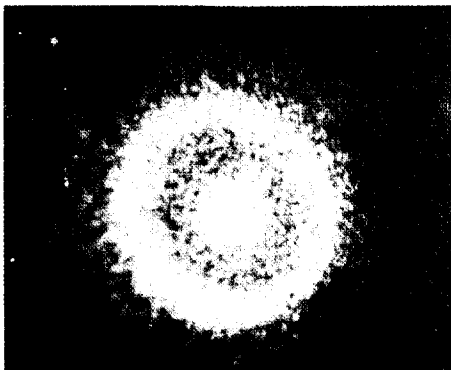


그림10 $\theta_0 = 0^\circ$ 와 10° 에 대한 출력분포
Output distribution for $\theta_0 = 0^\circ$ and 10° .

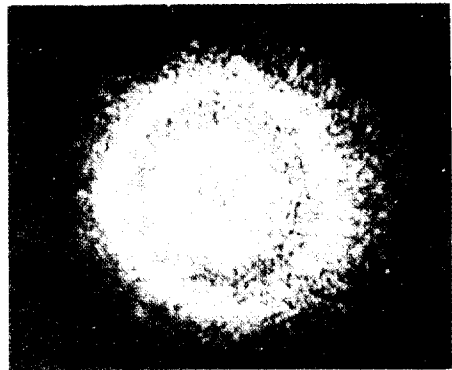


그림11 $\theta_0 = 4^\circ$ 와 10° 에 대한 출력분포
Output distribution for $\theta_0 = 4^\circ$ and 10° .

(4) D. Marcuse, "Derivation of coupled power equations," Bell Syst. Tech. J., vol. 51, pp. 229-237, 1972.
 (5) D. Marcuse, "Pulse propagation in multimode dielectric waveguides," Bell Syst. Tech. J., vol. 51, pp. 1199-1232,

1972.
 (6) M. Rousseau and L. Jeunhomme, "Numerical solution of the coupled power equation in step-index optical fibders," IEE-EE Trans. MTT., vol. MTT-25, pp. 577-585, 1977.



許善宗 (Sun Jong HEO) 正會員
 1959年 3月23日生
 1982年 2月: 延世大學校電子工學科卒業
 1984年 2月: 延世大學校大學院卒業豫定
 (工學碩士)
 1983年12月~現在: 삼성중체통신(株)
 勤務(研究員)



金成一 (Sung Il KIM) 正會員
 1954年 9月1日生
 1973年 3月~1977年 2月: 延世大學校電
 子工學科卒業
 1978年 3月~1980年 2月: 延世大學校大
 學院電子工學
 科從業(工學
 碩士)

1981年 3月~現在: 延世大學校大學院電
 子工學科卒業豫定
 1976年11月~1979年10月: 韓國電子技術研究所半導體開發部研
 究員
 1980年 3月~現在: 柳韓工業專門大學電子工學科助教授
 1982年 9月~1983年 2月: 英國 North-east London Polytechnic
 研修教育



朴漢奎 (Han Kyu PARK) 正會員
 1941年 6月21日生
 1964年 2月: 延世大學校電氣工學科卒業
 1968年 2月: 延世大學校大學院電氣工學
 科卒業(工學碩士)
 1973年: 佛蘭克 加里 대학교 (프랑크푸르트
 학교) 博士課程修了 (DEA)
 1975年: 佛蘭克 加里 대학 (ph. D)
 1976年~現在: 延世大學校工科大学電子
 工學科教授