

論 文

光纖維 코어 Diameter-Variation 測定에 관한 研究

正會員 俞 奉 善* 正會員 李 鎬 俊**
正會員 元 東 豪*** 正會員 朴 炳 哲****

Measurements of Diameter Variation in Optical Fiber-Core.

Bong Sun YOO*, Ho Joon LEE**,

Dong Ho WON***, Byung Chul PARK**** *Regular Members*

要 約 光纖維 内에서 後方散亂을 일으키는 주된 要因은 光纖維 構成物質의 密度 不均一과 코어의 直徑變化에 의해 發生하는 Rayleigh散亂이다. 이 後方散亂에 의해 發生하는 後方散亂 光電力은 optical time domain reflectometer로 檢出할 수 있다. O. T. D. R. 시스템으로 檢出한 後方散亂 光電力은 光纖維 長이에 따른 電力減衰情報과 光纖維 코어의 直徑變化에 관한 情報들을 포함하고 있다. 따라서 本 論文에서는 avalanche photodiode의 飽和狀態를 除去할 수 있는 2×2 fiber directional coupler와 S/N比를 增加시키는 gated integrator와 timing control circuit를 첨가하여 O. T. D. R. 시스템을 構成하였으며, 構成한 O T D R 시스템으로 後方散亂 光電力을 檢出하여 光纖維 内 코어의 直徑變化를 測定하였다.

ABSTRACT The principal reason for the backscattering in an optical fiber is the Rayleigh scattering which is caused by non-uniform density of structure material of an optical fiber and diameter variations of the optical fiber-core along an optical fiber axis. The backscattering signal which is detected by the optical time domain reflectometer system(O. T. D. R.) contains information about both the actual decay of power and the diameter variation along the optical fiber. In this paper, the O. T. D. R. system with 2 × 2 fiber directional coupler, timing control unit and gated integrator is used to measure diameter variations of an optical fiber.

I. 序 論

최근에 널리 使用되고 있는 光纖維의 preform

* , ** , ****成均館大學校 工科大學電子工學科

Dept. of Electronic Engineering, Sung Kyun Kwan
University Seoul 110, Korea.

***成均館大學校 工科大學 情報科學科

Dept. of Information Engineering, Sung Kyun Kwan
University Seoul 110, Korea.

論文番號 : 87-34 (接受 1986. 9. 25)

製造方法으로는 C.V.D. (chemical Vapour Deposition) 方法과 M.C.V.D. (Modified Chemical Vapour Deposition) 方法 그리고 V.A.D. (Vapour Phase Axial Deposition) 方法 들이 있다. 이 方法 들로 만들어진 preform으로부터 光纖維를 製造할 때, 광센서로 光纖維 半徑方向으로 光纖維 直徑을 測定하여 제어하는 速度 (feeding speed) 와 preform으로부터 만들어진 光纖維를 drum에 감는 速度 (drawing speed) 의 差異에 의하여 코어의 直徑은 random하게 變化하며, 이에 의하여 Ray-

leigh 散亂損失에 의한 後方散亂이 일어난다.

1976年 S. D. Personick, M.K. Barnoski 그리고 Yoshito Ueno들은 O.T.D.R.시스템으로 이 後方散亂 光電力을 檢出하여 光纖維를 切斷하지 않고 光纖維의 損失特性, 直徑變化, 그리고 接續部의 位置 등을 測定하였으며,^{(2), (3), (4)} D.Vita와 U.Rossi는 1980年에 實驗用 光纖維의 兩斷面에 光을 入射하여 檢出한 後方散亂 光電力을 서로 比較하여 光電力 減衰情報와 코어의 直徑變化情報를 구별하는 方法을 提示하였다.⁽⁵⁾

本 論文에서는 A.P.D.(Avalanche Photo Diode)의 飽和狀態를 除去할 수 있는 2×2 fiber directional coupler와 A.P.D.의 S/N比를 向上시키는 gated integrator 그리고 gated integrator를 제어하는 timing control circuit로 O.T.D.R. 시스템을 構成하여 實驗用 光纖維, 즉 길이가 520 m, 1050m인 두 G.I.F.(Graded-Index Optical Fiber)의 前斷面에 光을 入射시켜 前斷으로부터 코어의 直徑變化를 직접 測定할 수 있는 方法을 提示하였다.

II. 後方散亂 光電力

波長의 函數인 光纖維 內의 損失은 크게 吸收損失과 散亂損失 그리고 마이크로벤딩 損失 등이 있다.⁽⁷⁾

吸收損失은 재료에 따른 吸收損失과 不純物 이온에 의한 吸收損失 등이 있으며, 이 吸收損失들은 오늘날 대부분의 半導體 光源의 波長領域에서 무시 가능하다.

散亂損失은 Rayleigh 散亂損失과 誘導라만 散亂損失 그리고 誘導브릴루앙 散亂損失 등이 있으며, 이 散亂損失 中 誘導라만 散亂損失과 誘導브릴루앙散亂損失 들은 光電力이 큰 半導體 光源에 의해서만 發生하는 散亂損失들이다.⁽⁸⁾

마이크로벤딩 損失은 光纖維를 케이블링할 때 케이블 內 光纖維의 곡률반경에 의하여 高次 모우드가 leaky mode나 放射 모우드로 coupling되면서 發生하는 損失이다.

고로 低電力 光源과 케이블링하지 않은 光纖維를 사용할 경우, 광섬유 내 손실은 密度 不均一

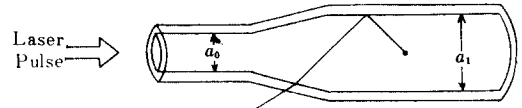


그림 1 팽창 광섬유모양
Expanding Taper.

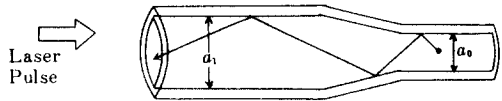


그림 2 수축 광섬유모양
Contracting Taper.

과 광섬유 코어의 直徑變化에 의해 發生하는 Rayleigh散亂損失 만을 考慮하면 된다.

Rayleigh散亂損失은 散亂이 일어나는 지점의 光纖維 코어의 直徑과 密度 不均一에 따라 달라지며, 이 散亂損失 成分 中 入力로 되돌아 오 는 光電力을 後方散亂 光電力이라 한다.

後方散亂 光電力과 코어의 直徑變化와의 關係를 알아보면 다음과 같다.

II - 1. Expanding Taper

그림 1과 같이 光纖維 코어의 直徑이 큰 곳에서 작은 곳으로 ($a_1 \rightarrow a_0$) 高次 모우드가 傳播할 때, 高次 모우드는 leaky 모우드나 放射 모우드로 變換되기 때문에 後方散亂 光電力의 損失이 發生된다.⁽⁹⁾

II - 2. Contracting Taper

그림 2와 같이 光纖維 코어의 直徑이 작은 곳에서 큰 곳으로 ($a_0 \rightarrow a_1$) 高次 모우드가 傳播할 때, 高次 모우드는 低次 모우드로 變換되기 때문에 後方散亂 光電力이 補償된다.⁽⁹⁾

III. 光纖維 코어의 直徑變化

前節의 理論에 의하여 後方散亂 光電力과 光纖維 코어의 直徑變化와의 關係式을 誘導하면 다음과 같다.

코어 중심의 屈折率을 $n_1(z)$, 클래드의 屈折率을 $n_2(z)$ 라 할 때, 코어와 클래드 사이의 比屈折率差 $\Delta(z)$ 는 式(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta(z) = [n_1^2(z) - n_2^2(z)] / 2n_1^2(z) \quad (1)$$

그리고 multimode optical fiber의 refractive index profile $n(z,r)$ 은⁽⁷⁾

$$n(z,r) = \begin{cases} n_1(z) [1 - 2\Delta(z) |r/a(z)|^{2f}]^{1/2} & r \leq a(z) \\ n_2(z) = n_1(z) [1 - 2\Delta(z)]^{1/2} & r > a(z) \end{cases} \quad (2)$$

이다. 여기서 z 는 光纖維 길이이며, r 은 光纖維 半徑 方向의 距離, $a(z)$ 는 光纖維 길이 z 에서의 코어의 半徑, $f(z)$ 는 power law 指數이다.

레이저 다이오드로부터 impulse를 實驗用 光纖維에 入射시킬 때, 코어의 斷面에서 前方으로 傳播하는 impulse의 電力分布는

$$P_f(z,r) = \frac{A^2(z,r)}{A^2(z,o)} P(z,o) \quad (3)$$

이다. 여기서 $A(z,r)$ 은 光纖維 내 임의의 지점 (z,r) 에서의 開口數 (Numerical Aperture), $P(z,o)$ 는 光纖維 길이 z 에서의 光電力이며, 각각 式 (4)와 (5)로 表示할 수 있다.

$$A(z,r) = [n^2(z,r) - n_2^2(z)]^{1/2} \quad (4)$$

$$P(z,o) = P(o,o) \cdot \exp\left[-\int_0^z \alpha_f(z) dz\right] \quad (5)$$

단, $\alpha_f(z)$ 는 前方損失常數이다.

따라서 그림 3 과 같은 미소 體積 $2\pi r dr dz$ 에서 後方으로 傳播되는 電力分布는

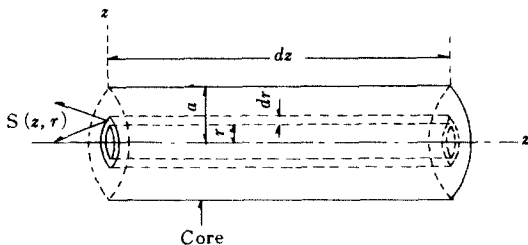


그림 3 광섬유 코어
Optical Fiber-Core.

$$dP_b(z,r) = P_f(z,r) \cdot R(z,r) \cdot S(z,r) \cdot 2\pi r dr dz \quad (6)$$

이며, 여기서 $R(z,r)$ 은 Rayleigh 散亂比率로서⁽⁷⁾ 式(7)과 같이 表示할 수 있다.

$$R(z,r) = R_o \{1 + g \cdot \Delta(z,r)\} \quad (7)$$

R_o : 純粹한 SiO_2 의 Rayleigh 散亂比率

$$R_o = \frac{8}{3} \cdot \frac{\pi^3}{\lambda^4} \cdot n_o^6 \cdot k^2 \cdot \beta_T \cdot K_B \cdot T \quad (8)$$

n_o : SiO_2 의 屈折率

K : 光彈性 係數

β_T : 等溫 壓縮率

K_B : 볼츠만 常數

T : 絕對溫度

g : 光纖維 製造時 사용한 不純物의 密度에 의하여 決定되는 常數

$$\Delta(z,r) = [n^2(z,r) - n_2^2(z)] / 2n^2(z,r) \quad (9)$$

그리고 $S(z,r)$ 은 光纖維내 임의의 지점 (z,r) 에서 Rayleigh 散亂에 의하여 後方으로 光電力이 傳播될 許容 角度,⁽²⁾ 즉 後方 散亂 許用 角度이며

$$\begin{aligned} S(z,r) &= [n^2(z,r) - n_2^2(z)] / 4n^2(z,r) \\ &= A^2(z,r) / 4n^2(z,r) \\ &= \Delta(z,r) / 2 \end{aligned} \quad (10)$$

이다.

따라서 式(6)으로부터 단위 길이당 光纖維의 임의의 길이, z 에서 後方散亂되는 總 光電力은 式 (11)과 같으며

$$\begin{aligned} P_b(z) &= \int_0^{a(z)} dP_b(z,r) / dz \\ &= \int_0^{a(z)} P_f(z,r) \cdot R(z,r) \cdot S(z,r) \cdot 2\pi r dr \end{aligned} \quad (11)$$

式(3)과 (11)로부터 光纖維 길이 z에서 光纖維 앞 단면(z=0)까지 後方散亂되어 돌아오는 後方散亂 光電力은 式(12)와 같다.

$$\begin{aligned}
 P(z) &= P_b(z) \exp\left[-\int_0^z \alpha_b(z) dz\right] \\
 &= P(0,0) \left[\int_0^{\alpha(z)} \frac{A^2(z,r)}{A^2(z,0)} \cdot R(z,r) \cdot \right. \\
 &\quad \left. S(z,r) \cdot 2\pi r dr \right] \cdot \exp\left[-\int_0^z \{\alpha_r(z) + \right. \\
 &\quad \left. \alpha_b(z)\} dz\right] \\
 &= Q(z) \cdot \exp\left[-2 \int_0^z \alpha(z) dz\right] \quad (12)
 \end{aligned}$$

여기서 α_b 는 光纖維의 後方損失常數이며, $\alpha_r(z)$ 와 $\alpha_b(z)$ 는 같으므로 光纖維의 平均損失常數 $\alpha(z)$ 는⁽⁴⁾

$$\alpha(z) = [\alpha_r(z) + \alpha_b(z)] / 2 \quad (13)$$

이다.

또한 式(2), (4), (7), (10), (12)에 의하여 Q(z)는

$$\begin{aligned}
 Q(z) &= \frac{\pi \cdot P(0,0)}{2} \cdot R_0 \cdot \Delta(z) \cdot a^2(z) \cdot \\
 &\quad \frac{f^2(z)}{\{f(z)+1\}\{f(z)+2\}} [1+g \cdot \Delta(z) \cdot \\
 &\quad \frac{3f(z)}{\{3f(z)+2\}}] \\
 &\cong G \cdot a^2(z) \\
 &\cong Q + q(z) \quad (14)
 \end{aligned}$$

이다.

여기서 Q는 光纖維 길이 方向의 임의의 z 지점에서의 後方散亂 光電力 分布 Q(z)의 D.C 成分이며, q(z)는 D.C 成分 Q를 중심으로 주로 a(z)에 따라 변화하는 A.C 成分이다.

光纖維 길이 方向의 임의의 z 지점에서의 q(z)

가 a(z)에 따라 주로 影響을 받는 理由는 임의의 z 지점에 따라 $\Delta(z)$, f(z)는 거의 變化가 없기 때문에, 거리에 따른 變化成分은 무시하고 각각의 平均값으로 대치가 가능하기 때문이다.

따라서 G는 式(15)와 같이 表現할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{\pi \cdot P(0,0)}{2} R_0 \cdot \tilde{\Delta} \cdot \frac{\tilde{f}^2}{(\tilde{f}+1)(\tilde{f}+2)} \\
 &\quad [1+g \cdot \tilde{\Delta} \frac{3\tilde{f}}{(3\tilde{f}+2)}] \quad (15)
 \end{aligned}$$

여기서 $\tilde{\Delta}$, \tilde{f} 는 $\Delta(z)$, f(z) 각각의 平均值이다.

일반적으로 펄스 폭이 W인 경우, 後方散亂 光電力 P(z)은

$$\begin{aligned}
 P(z) &= W \cdot Q(z) \cdot \exp\left[-2 \int_0^z \alpha(z) dz\right] \\
 &= \frac{W \cdot G}{4} \cdot D^2(z) \cdot \exp\left[-2 \int_0^z \alpha(z) dz\right] \\
 &= W \cdot \{Q + q(z)\} \cdot \exp\left[-2 \int_0^z \alpha(z) dz\right] \\
 &= P_{DC} + P_{AC}(z) \quad (16)
 \end{aligned}$$

이다.

여기서 P_{DC} 와 $P_{AC}(z)$ 는 각각 後方散亂 光電力의 D.C 成分과 A.C 成分이다.

따라서 式(14), (15), (16)에 의하여 코어의 直徑變化 D(z)는

$$\begin{aligned}
 D(z) &= 2 \cdot a(z) \\
 &= 2 \cdot \sqrt{\frac{P(z)}{W \cdot G}} \exp\left[2 \int_0^z \alpha(z) dz\right] \\
 &= D + d(z) \quad (17)
 \end{aligned}$$

이다.

여기서 D는 D(z)의 D.C 成分, 즉 光纖維 코어의 直徑이고 d(z)는 D(z)의 A.C 成分, 즉 코어의 直徑變化이다.

式(17)에서 平均損失常數 $\alpha(z)$, W , G 를 임의의 상수값으로 代置하므로써 光纖維 코어의 直徑變化 $d(z)$ 는 式(14)와 (17)에 의하여 後方散亂 光電力 $P(z)$ 에 比例한다는 것을 알 수 있으며, 이 證明을 附錄에 記述하였다.

그러므로 光纖維 前斷에서부터 指數函數 形態로 減少하는 後方散亂 光電力 成分 中 코어의 直徑變化 成分 $|P(z)|$ 의 A.C成分만을 抽出하기 위하여 本 論文에서는 A.C couple한 光 受信機를 利用하여 O.T.D.R. 시스템을 構成하였다.

IV. 시스템 構成 및 實驗結果

本 論文에서는 平均 power profile $f=1.940$ 이고, 길이가 520m, 1050m인 두 종류의 multi-mode graded index optical fiber의 코어 直徑變化를 測定하기 위하여 O.T.D.R. 시스템을 構成하였다.

IV-1. 시스템 Block Diagram.

그림 4는 光纖維를 케이블링할 때 切斷된 곳과 損失係數들을 後方散亂信號로부터 測定할 수 있는 O.T.D.R. 시스템을 응용한 本 論文의 block

diagram이다.

T. T. L. logic으로 構成한 timing control circuit①은 펄스폭 $W=50[\text{ns}]$, 그리고 pulse repetition rate p. r. r. = $7.46[\text{Kpps}]$ 인 레이저 驅動펄스를 만들어 파장 $\lambda=904[\text{nm}]$ 인 SG2002 Ga-As 레이저 다이오드의 驅動回路로 보낸다. 이 制御信號를 받은 레이저 다이오드②는 電氣的 信號를 光信號로 變換하여 광펄스를 내보내기 시작하며, 이 레이저 펄스는 현미경 대물렌즈에 의하여 2×2 fiber directional coupler③에 入射된다. 2×2 fiber directional coupler는 같은 種類의 multi-mode graded index optical fiber 2가락으로 만들어 레이저 다이오드 出力 電力의 반을 實驗用 光纖維에 쉽게 入射시키기 위하여 使用하였을 뿐만 아니라 光纖維에서 發生하는 後方散亂 光電力을 또한 光 受信機에 쉽게 결합시키기 위하여 使用하였다.

光 受信機로는 Hybrid Preamp.를 포함하고 있는 R. C. A. C 30950E Si A. P. D.④와 後方散亂 光電力 成分 中 코어의 直徑變化 成分만을 抽出·增幅하기 위하여 A.C couple한 Amp.⑤를 첨가하여 構成하였다. 이 受信機로 檢出した 信號, 즉 코어의 直徑變化 成分을 보다 正確하게 測定하기

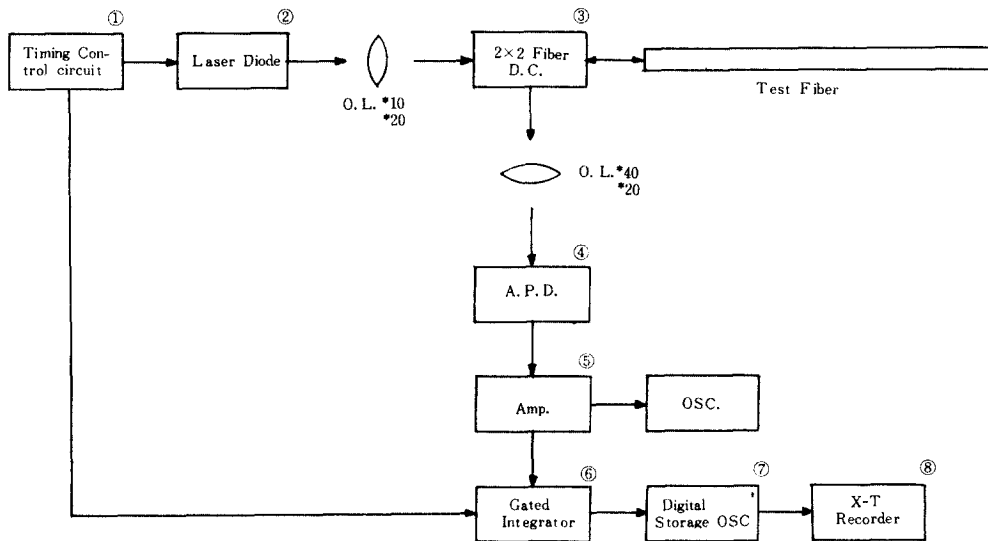


그림 4 시스템 블록도
Block diagram of O.T.D.R. system.

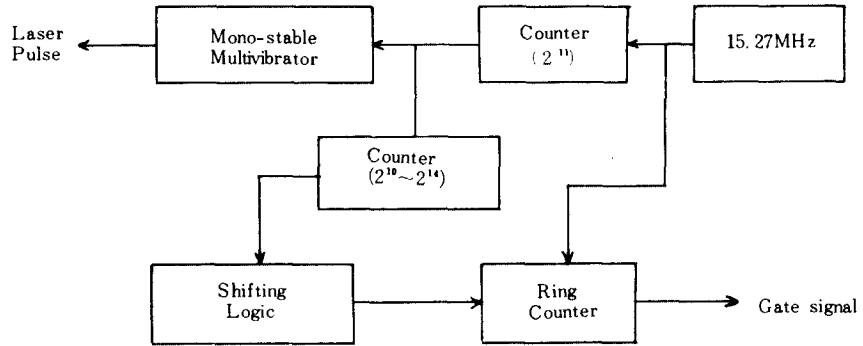


그림 5 제어신호펄스 발생회로의 블록도
Block diagram of timing control circuit.

위하여 timing control circuit로부터 66[ns]의 지연펄스列과 制御信號를 받아 S/N比를 60~80 [dB] 정도 向上시키는 gated integrator ⑥을 使用하였으며, digital storage oscilloscope ⑦은 gated integrator의 出力을 일단 저장한 이후에 X-T recorder ⑧로 보내어 記錄하게끔 하므로써 S/N比가 向上된 信號를 볼 수 있도록 전반적인 O.-T.D.R. 시스템을 構成하였다.

IV - 2 Timing Control Circuit

그림 5은 레이저 다이오드를 驅動시키기 위한 制御信號와 S/N比를 向上시키는 gated integra-

tor를 制御하는 信號를 내보내는 timing control circuit의 block diagram이다.

30.54[MHz]인 水晶發振器의 周波數를 2分周하여 2¹¹counter에 入力시킨다. 이 counter는 2¹¹까지 카운트한 후 monostable 멀티바이브레이터로 入力되어 p.r.r.=7.46[Kpps]이고 펄스幅W=50[ns]인 레이저 다이오드 驅動펄스가 發振하도록 構成하였다.

또한 레이저 다이오드 펄스가 發生할 때마다 gated integrator로 制御信號를 보내어 光纖維의 한 지점에서 2¹⁰~2¹⁴번의 코어 直徑變化 成分을 계속 더하게 하여 S/N比를 向上시키므로써 보다

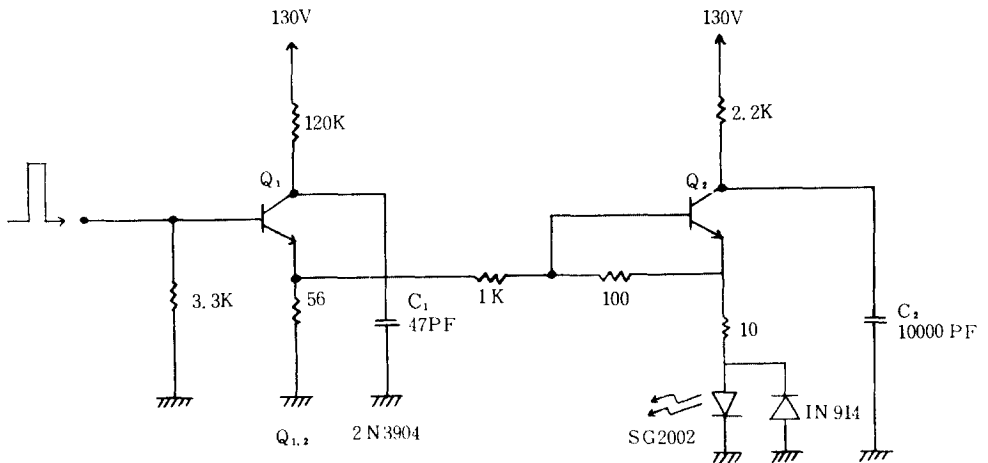


그림 6 L. D. 驅動회로
Driving circuit of laser diode

正確한 情報을 抽出할 수 있게끔 構成하였으며, 레이저 다이오드 펄스를 $2^{10} \sim 2^{14}$ 까지 카운트한 後에는 shifting logic과 ring counter에 의하여 光纖維의 다른 지점, 즉 광섬유 길이 5m 간격으로 移動시키도록 하는 gated integrator의 制御信號를 내보내도록 構成하였다.

IV-3. Laser Diode

光源으로는 波長 $\lambda=904$ [nm], peak forward current $i_{FM}=10$ [A], peak power output $P=9$ [W], 그리고 duty factor가 0.1%인 pulse type SG2002 GaAs 레이저 다이오드를 使用하였으며 驅動回路는 그림 6과 같다.

4-2節에서 言及한 바와 같이 p.r.r=7.46[Kpps], 펄스幅 $W=50$ [ns]인 한 펄스가 timing control circuit에서 Q_1 의 베이스에 入力되면 Q_1 은 道電狀態가 되며, 이때 C_1 은 펄스가 入力되지 않

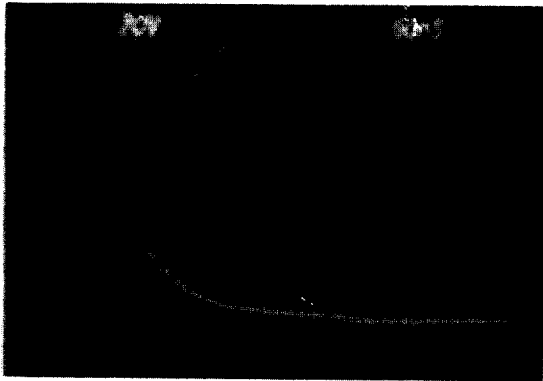


그림 7 SG2002 GaAs L.D. 펄스파형
Pulse waveform of SG 2002 GaAs L.D.

그림 7은 SG2002 GaAs 레이저 다이오드의 펄스波形이다.

IV-4. 2x2 Fiber Directional Coupler

分光器로서 beam splitter대신 A.P.D.의 飽和狀態를 除去할 수 있고, 또 beam splitter와 렌즈 들을 使用하여 O.T.D.R.시스템을 構成하는 것보다 實驗裝置를 간단히 構成할 수 있는 2x2 fiber directional coupler를 다음과 같은 製作過程으로 製作하여 O.T.D.R.시스템을 構成하였다.⁽⁷⁾

① multi-mode graded index optical fiber의 1次 被服을 아세톤으로 녹인다.

② Taper狀態로 만들기 위하여 커플링할 部分을 서서히 열을 加하면서 2가닥의 같은 種類의 光纖維에 張力을 준다.

③ 계속 熱(1050℃ 정도)을 加하면서 커플링할 部分에 50cm~1m정도의 曲率半徑을 준다.

④ 가능한 한, 光纖維 終斷에서의 光電力이 같아질 때까지 계속 熱을 加하면서 張力을 준다.

製作過程時 考慮해야 할 事項으로는 分光比率 (beam-splitting ratio), 低插入 損失 (low insertion loss) 등이 있다.

그림 8은 製作한 2x2 fiber directional coupler의 模樣이며 그림이며, 표 1에는 그 2x2 fiber directional coupler의 特性을 나타내었다.

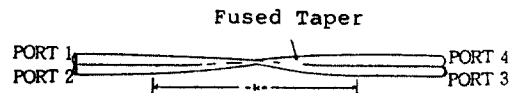


그림 8 2x2 광섬유 커플러의 구조
Schematic of 2x2 fiber directional coupler.

표 1 2x2 광섬유 커플러의 특성
Characteristics of 2x2 fiber directional coupler.

P_1 (mW)	P_3 (mW)	P_4 (mW)	분광비율 (P_4/P_1)	Insertion loss ($10 \log (P_3 + P_4) / P_1$) [dB]
4.98	3.18	1.16	0.23	-0.597

았을 때, 즉 Q_1 이 遮斷狀態일 때 充電되었던 電壓을 Q_1 을 통해서 放電하기 시작한다. 이와 동시에 Q_2 는 導電狀態가 되며, 이때 C_2 는 Q_2 를 통해 放電하기 시작하고 이 電流가 레이저 다이오드의 臨界電流值를 超過할 경우 레이저 다이오드는 發振한다.

IV-5. 光 受信機

光 檢出器로서는 帶域幅이 50[MHz]이고 Hybrid preamplifier를 包含하고 있는 RCA C30950 E Si A.D.P.를 使用하였다.

檢出된 後方散亂 光電力은 光纖維 길이에 따른 電力減衰情報과 코어의 直徑變化情報를 飽和하고

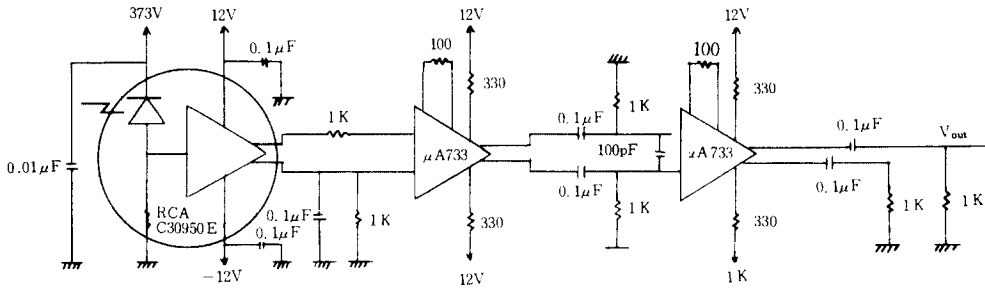


그림 9 광수신기 회로
Circuit of optical receiver.

있다.

따라서 코어의 직경변화에 관한 정보 성분, 즉 후방산란 광電力式(14), (16), (17)에서 $D(z)$ 의 D.C. 성분 D 를除去하여 직접 코어의 직경변화 $d(z)$ 에 의한 A.C 성분 $P_{ac}(z)$ 만을 differential video amplifier인 $\mu A733$ 으로 A.C. couple하여 增幅하였다.

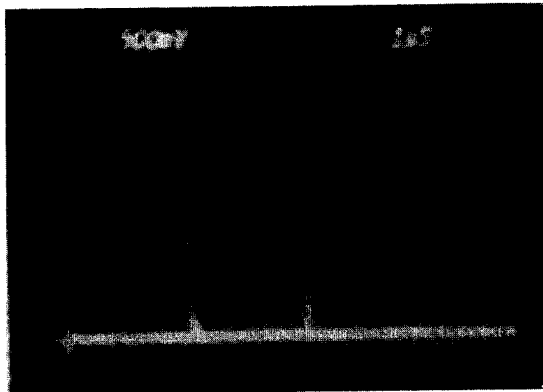
그림 9는 光 受信機의 回路이며, 그림 10은 길이 520m, 1050m인 두 種類의 multi-mode graded index optical fiber의 傳送波形과 後方散亂信號를 光 受信機로 檢出한 結果이다.

그림 10에서 첫번째와 세번째 impulse信號는 光 纖維의 前斷과 終斷에서 Fresnel 反射에 의하여 생긴信號이며, 두번째 impulse信號는 光 纖維 傳送信號이다.

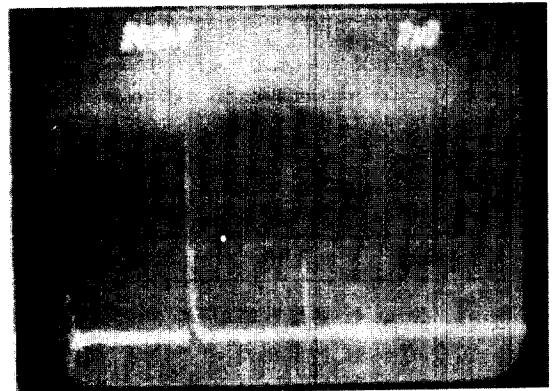
IV - 6. Gated Integrator

그림 10에서 첫번째와 세번째 impulse信號 사이에 存在하는 코어의 직경변화 성분 $P_{ac}(z) \propto q(z) \propto d(z)$ 를 보다 자세하게 測定하기 위하여 timing control circuit로부터 66[ns]의 遲延펄스列과 制御信號를 받아信號 對 雜音比를 60~80[dB] 정도 向上시키는 gated integrator의 block diagram은 그림 11과 같다.

Timing control circuit에서 게이트 펄스가 入力되면 스위치 ①은 단락이 되고 동시에 ②, ③ 스위치는 개방되어 光 受信機 出力信號의 한 부분이 入力되어 積分된다. 이 積分値는 D_1 이나 D_2 와 連結되어 다음 게이트 펄스가 들어오면 이때 入力된 값과 더해져 다시 積分을 반복하게 된다. 게이트 펄스가 入力되지 않을 때는 ②, ③ 스위치



a) 520m 광섬유의 전송 파형과 후방 산란 신호의 파형



b) 1050m 광섬유의 전송 파형과 후방 산란 신호의 파형

그림 10 광섬유의 전송 파형과 후방산란 신호의 파형

Transmission and backscattering signal waveforms of optical fibers (L = 520m, 1050m).

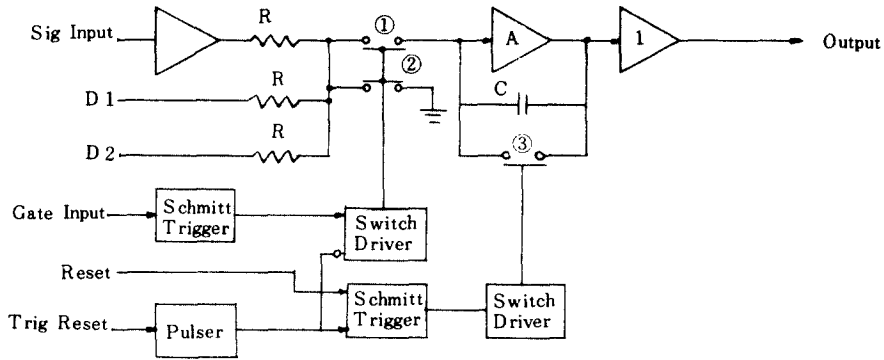


그림 11 Gated integrator의 블럭도
Block diagram of gated integrator.

가 단락되어 積分을 행할 수 없으며, 따라서 적분 값은 다음 펄스가 들어올 때까지 계속 維持된다.

이러한 過程이 光 受信機의 出力信號의 한 지점에서 $2^{10} \sim 2^{14}$ 번 행해진 後 Reset에 의하여 gated integrator의 最終 積分值가 出力됨과 동시에 timing control circuit의 shifting logic에 의하여 光 受信機의 出力信號의 다른 지점으로, 즉 光纖維 길이 5m간격으로 移動하여 위와 같은 過程을 反復하게 된다.

이러한 一連의 過程으로 出力된 波形을 우선 digital storage oscilloscope에 저장한 이후에 X-T recoder로 보내어 코어의 直徑變化分希圖를 볼 수 있게끔 전반적인 O.T.D.R. 시스템을 構成하였다.

X-T recoder의 出力波形 그림 12은 式(16)의 $P_{ac}(z)$ 를 測定한 그림이다.

式(14)와 (17)에서 A, C 값들인 $q(z)$ 의 平均直와 $d(z)$ 의 平均直, 즉 光纖維 길이에 따른 光纖維 코어의 直徑變化에 의해 發生하는 後方散亂 光電力 分希成分 中 A, C成分 $q(z)$ 의 光纖維 전체 길이에 대한 平均直와 코어 直徑變化 成分 $d(z)$ 의 光纖維 전체 길이에 대한 平均直가 "0"이라는 條件下에서 길이의 함수인 $P_{ac}(z)$ 는 光纖維 코어의 直徑變化 $d(z)$ 에 比例한다.

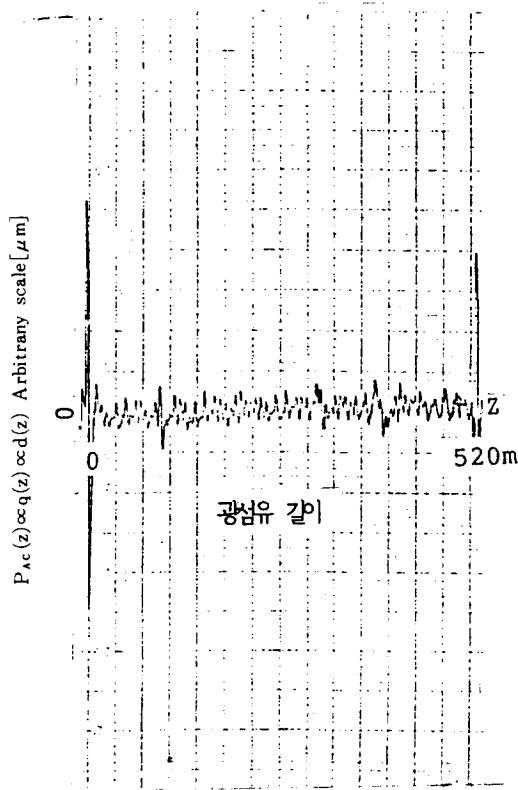
表 2 에는 實驗構成裝備와 實驗特性을 간략하게 나타내었다.

표 2 실험구성 장비 및 특성
Experimental composition equipments and characteristics of O.T.D.R. system.

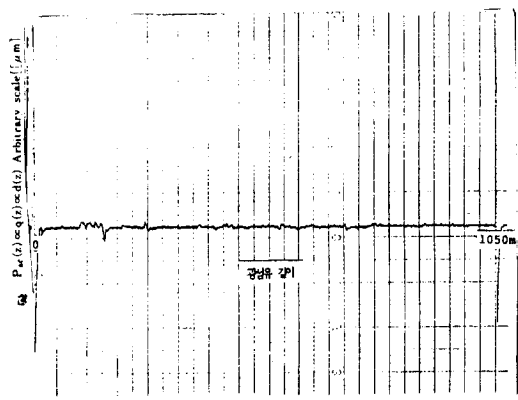
항 목	결 과
측 정 원 리	Backscattering
길 이 오 차	$\pm 3.3m$
Transmitter	Pulsed L. D. (SG2002)
파 장	904 nm
Pulse Width	50 n sec
Pulse repetition rate	7.46 kpps
Receiver	A.P.D (RCA C30950E)
Optics	<ul style="list-style-type: none"> • 대 물 렌즈 • 2 × 2 Fiber Directional Coupler
Power Supply	<ul style="list-style-type: none"> • DC 130V • DC 373V
Optical Accessories	<ul style="list-style-type: none"> • Timing Control Circuit • Gated Integrator

V. 結 論

本 論文에서는 A.P.D.의 飽和狀態를 除去시킬 수 있고 實驗裝置를 보다 간단히 構成할 수 있는 2×2 fiber directional coupler와 레이저 驅動펄스와 制御信號를 만들어 내는 timing control circuit, 그리고 이 timing control circuit로부터 制御信號를 받아 S/N比를 60~80[dB] 向上시킬 수 있는 gated integrator를 利用하여 O.T.D.R. 시



a) 520m 광섬유 내의 코어 직경 변화
Diameter variations in an optical fiber-core(L=520m).



b) 1050m 광섬유 내의 코어 직경 변화
Diameter variations in an optical fiber-core(L=1,050m).

그림12 X-T recorder 출력 파형.
Output waveforms of X-T recorder.

시스템을 구성하였다.

이 O.T.D.R. 시스템으로 길이가 각각 520m, 1050m인 multi-mode graded index optical fiber의 前斷에서부터 코어의 직徑變化를 보다 正確하게 測定할 수 있었으며, 그 結果 실제의 光纖維에서 코어의 直徑變化는 매우 random하다는 事實을 알 수 있었다.

또한 本 論文에서 誘導한 光纖維 코어의 直徑變化式(17)에서 몇 가지 要素들 즉 光纖維 길이 z의 函數들인 $f(z)$, $\Delta(z)$, $\alpha(z)$ 의 값을 實驗用 光纖維들의 平均值로 代置하고, 實驗用 光纖維의 構成物質에 의해서 決定되는 常數 g의 값을 알 수만 있다면, 構成한 O.T.D.R. 시스템에 sample and holder와 A/D converter를 첨가하여 computer와 interface함으로써 光纖維 길이에 따른 코어의 直徑變化值를 매우 正確하게 計算할 수 있으리라 思料된다.

附 錄

式(14), (16), (17)에 의하여

$$Q(z) = Q + q(z) \tag{A-1}$$

$$P(z) = P_{DC} + P_{AC}(z) \tag{A-2}$$

$$D(z) = D + d(z) \tag{A-3}$$

이다.

Amp. ⑤를 A.C couple하여 $P_{AC}(z)$ 만을 檢出한後, S/N比를 增幅시켰으므로 이때 증폭된 信號 $K(z)$ 는 式(14)와 (16)에 의하여 다음과 같이 表現할 수 있다.

$$\begin{aligned} K(z) &= \beta \cdot P_{AC}(z) \\ &= \beta \cdot W \cdot q(z) \exp \left[-2 \int_0^z \alpha(z) dz \right] \\ &\cong \text{Const.} \cdot q(z) \\ &\cong \text{Const.} \cdot |Q(z) - Q| \end{aligned} \tag{A-4}$$

$$\cong \text{Const.} \cdot \frac{G}{4} [D+d(z)]^2 - Q$$

여기서 β 는 S/N比 增幅度이며, Const. 成分中 $\exp[-2 \int_0^z \alpha(z)]$ 는 光纖維의 길이에 따른 平均損失常數로서 길이에 따른 平均損失이 매우 작으므로 ($\alpha(z) \ll 1$) 임의의 常數값으로 代置可能하다.

$q(z)$ 와 $d(z)$ 의 平均值, 즉 光纖維 전체 길이에 대한 平均值가 "O"이라는 條件下에서 (A-4)로부터 다음 條件을 얻을 수 있다.

$$\frac{G}{4} D \cong Q \quad (\text{A-5})$$

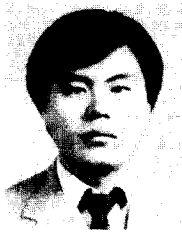
따라서 임의의 光纖維 길이 z 에서의 코어 直徑 變化和 S/N比를 增幅시킨 $K(z)$ 와 關係는 式(A-6)과 같다.

$$\begin{aligned} K(z) &= \beta \cdot P_{AC}(z) \\ &\cong \text{Const.} \cdot q(z) \\ &= \frac{\text{Const.} \cdot G}{4} \{ [D+d(z)]^2 - D^2 \} \quad (\text{A-6}) \\ &\cong \frac{\text{Const.} \cdot G}{4} [2 \cdot D \cdot d(z) + d^2(z)] \\ &\cong \frac{\text{Const.} \cdot D \cdot G}{2} d(z) \quad (d(z) \ll 1) \end{aligned}$$

고로 $P_{AC}(z)$ 와 $d(z)$ 는 서로 比例關係가 있다.

參 考 文 獻

- (1) M. Eriksrud, A. R. Mickerson and T. Anersen Golt, "Backscattering Signatures from Graded Index Fibers with Diameter Variation", *Electronics Letters*, Vol. 17, No. 5, pp. 200~201, 1978.
- (2) S. D. Personick, "Photon Probe-An Optical Fiber Time Domain Reflectometer", *B.S.T.J.*, Vol. 56, No. 3, pp. 355~366, March, 1977.
- (3) M. K. Barnoski and S. M. Jensen, "Fiber Waveguides; a novel Technique for investigating attenuation characteristics" *Applied Optics*, Vol. 15, No. 9, pp. 2112~2115, September, 1976.
- (4) M. K. Barnoski, M. D. Rourke, S. M. Jensen and R. T. Melville, "Optical time domain reflectometer", *Applied Optics*, Vol. 16, No. 9, pp. 2375 - 2379, September, 1977.
- (5) P. DI. VITA and U. Rossi "The backscattering technique; its field of applicability in fiber diagnostics and attenuation measurements", *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 11, pp. 17~22, 1980.
- (6) B. S. Kawasaki and K. O. Hill, "Low-loss access coupler for multimode optical fiber distribution networks", *Applied Optics*, Vol. 16, No. 7, pp. 1794~1795, July, 1977.
- (7) Dietrich Marcuse, "Principles of Optical Fiber Measurements" Academic Press, 1981.
- (8) John. D. Crow, "Power Handling of Glass Fiber Lights", *Applied Optics*, Vol. 13, pp. 467~468, March, 1974.
- (9) A. J. Conduit, D. N. Payne and M. P. Golds, "Optical Fiber Diameter Variation and Their Effect on Backscattering Loss Measurements", *Electronics Letters*, Vol. 17, No. 8, pp. 308~310, April, 1981.
- (10) James R. Andrews, "Inexpensive laser diode pulse generator for optical waveguide studies", *Rev. Sa. Instrum.*, Vol. 45, No. 1, pp. 22~24, January, 1974.
- (11) C. A. Villarruel and R. P. Moeller "Fused Single Mode Access Coupler", *Electronics Letters*, Vol. 17, No. 6, pp. 243~244, March, 1981.
- (12) Richard G. Priest, "Analysis of Fiber Interferometer Utilizing 3x3 Fiber Coupler", *IEEE. Journal of Quantum Electronics*, Vol. QE-18, No. 10, pp. 1601~1603, October, 1982.

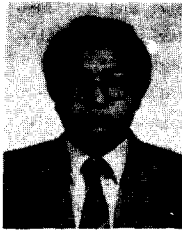


俞 奉 善(Bong Sun YOO) 正會員
 1960年 7月 3日生
 1984年 2月：成均館大學校 電子工學科
 卒業(工學士)
 1986年 2月：成均館大學校 大學院 電子
 工學科 卒業(工碩士)
 1986年 3月～現在：成均館大學校大學院
 電子工學科 博士課程



李 鎬 俊(Ho Joon LEE) 正會員
 1955年 8月 21日生
 1987年 2月：成均館大學校 電子 工學科
 卒業(工學士)
 1980年 2月：成均館大學校 大學院 電子
 工學科 卒業(工碩士)
 1980年 3月～1983年 6月：陸軍士官學校
 電子科專任 講師
 1983年 9月～1987年 2月：成均館大學校
 大學院電子工學科 卒業(工
 博士)

1987年 3月～現在：湖 西大學 通信工學科 助教授



元 東 濠(Dong Ho Won) 正會員
 1949年 9月 23日生
 1976年 2月：成均館大學校 工科學 電
 子工學科 卒業(工學士)
 1978年 2月：成均館大學校 大學院
 電子工學科 卒業(工學碩士)
 1980年 3月：成均館大學校 大學院 電子
 工學科 博士過程 入學
 1978年 3月～1980年 4月：韓國通信技術
 研究所 專任研究員

1985年 9月～1986年 8月：日本 東京工大 客員研究員

1982年 3月～現在：成均館大學校 副教授



朴 炳 哲(Byung Chul PARK) 正會員
 1930年 4月 30日生
 1957年 9月：서울大學校 工科學 通信
 工學科 卒業(工學士)
 1975年 2月：仁荷大學校 大學院 電氣工
 學科 卒業(工學博士)
 1980年 9月：日本東京大學 外國人 研究
 員(1年間) 年
 1972年 3月～現在：成均館大學校 電子
 工學科 教授

1987年 2月～現在：成均館大學校 工科學長