

單一 모드 光纖維 接續損失 評價方法에 關한 研究

正會員 金 鍾 元*

Evaluation Method of Splicing Loss for Single Mode Optical Fiber

Jong Won Kim* *Regular Member*

要 約

光纖維가 가지고 있는 損失 特性 中 接續損失값 評價方法을 測定 分析 하였다.

現在 長波長用 單一모드 光纖維 接續損失 測定은 Cut-Back 方法과 後方散亂 損失 測定方法으로 施行 하고 있다. 이 두 方法을 使用하여 얻어진 測定값을 比較해 본 結果 OTDR에 의한 接續損失評價 方法은 兩 方向에서 測定된 값을 算術 平均으로 計算하여야 한다. 이 結果는 理論的인 計算값과 一致함을 보여주고 있으며 또한 接續될 두 光纖維의 後方 散亂 係數값 差에 의하여 發生됨을 보여준다. 따라서 光케이블 施設時 데이터 管理運營 側面에서 確實한 適用이 期待된다.

ABSTRACT

The evaluation methods of the splicing loss in attenuation characteristics of optical fiber were measured and analyzed presently, the splicing loss of single mode optical fiber is measured by the cut-back technique and the backscattering technique. Comparing the splicing loss measured by above two technique, evaluation method of splicing loss measured by backscattering technique (OTDR) shall be calculated by the numerical mean in both directions. This average value is same as theoretical expression. And the splicing loss is occurred due to difference of the backscattering coefficient in the spliced fibers. Thus, this analysis of the splicing loss is certainly applied in installation of the optical fiber cables for management of the data.

1. 序 論

21世紀 現代 情報 通信 文化의 主役을 이루어 놓은

光通信의 技術 및 擴充은 國內, 外的으로 보다 活用 範圍를 크게하여 光케이블, 光시스템 및 光素子에 이르기까지 모두 第2의 跳躍을 이루어 놓았으며 이제는 앞으로 展開될 未來通信 事業에 요구될 各種 情報 시스템의 慾求를 充足시키기 위하여 多方面 實用化를 計劃하고 있다.⁽¹⁾ 이를 위해 先行될 일은 光纖維

* 浦成通信建設(株)
論文番號: 93-84

케이블의 施設 確保이며 이러한 施設確保는 光纖維 케이블이 가지고 있는 輕量, 少徑 및 기타 廣帶域性을 考慮하여 여러가지 側面에서 開發되어야 한다. 또한 施設時 必修의으로 要求되는 光纖維 接續 技術은 多量모드(Multi-Mode) 光纖維 및 單一모드(Single-Mode) 光纖維 開發과 함께 여러形態의 接續方法을 開發⁽³⁾⁽⁴⁾ 이부분 역시 눈부신 發展을 이룩해 놓았다.

現在 國內에서 光纖維 接續損失 規格은 韓國通信 및 韓國電力公社 모두 0.15dB미만으로 규정하고 있지만 이값은 앞으로 0.05dB까지의 管理도 計劃中에 있을 程度로 높은 수준에 와있다.

하지만 이러한 施設要求와 함께 並行되어야할 問題點은 發生된 接續損失의 評價 方法의 檢討가 先行되어야 하며 評價方法이 提示된 文獻은 發見하지 못하였다. 多量모드 및 單一모드 光纖維 接續에 있어, 接續損失을 誘發시키는 要因은 모드 필드徑(MFD)의 不一致, 比屈折率(Δn)差, 코아 非圓率差 等 光纖維 파라메타(Parameter)에 의한 固有損失 要因과 接續될 두 光纖維의 斷面 不良, 軸整列 等 接續技術에 의한 附加損失로서 發生하고 있다.⁽⁶⁾

이중 固有損失要因에 의해 發生되는 接續損失과 관련하여 評價方法에 있어 많은 問題點이 檢討되고 있다. 그중 MFD差에 의해 發生되는 接續損失을 OTDR로⁽⁷⁾ 測定시 測定方向에 따른 接續損失 差異값에 대한 理論의 解析과 實驗值를 分析, 그 內容을 研究調查 하고자 한다.

II. 接續損失의 評價 方法

接續損失에 관한 測定方法은 現在 後方散亂法에 의한 測定과 接續시 使用되는 接續機 內에서의 클래딩 모드 散亂 파워를 利用하여 計算하는 簡易方法과⁽⁵⁾ 그밖의 精密한 測定을 위한 Cut-Back 方法이 使用되고 있으나 OTDR에 의한 測定方法을 除外한 나머지 두方法 中 前者는 正確性 缺如된 問題點을 가지고 있으며 後者는 實際 施設된 光케이블에서는 適用이 어려운 短點을 가지고 있다.

따라서 接續損失 測定은 現在 OTDR(Optical Time Domain Reflectometer)에 의한 測定에 依存하고 있다.

1. 後方散亂法에 의한 損失 測定

光纖維 損失 및 接續損失을 測定하기 위해 使用되는 後方散亂法은 빛이 유리내에서 進行할때 發生되

는 Rayleigh 後方散亂 파워를 OTDR을 利用하여 損失을 測定하는 方法으로 光纖維내 두 地點 사이의 後方散亂 레벨差를 式(1)의 計算式을 利用 그림1과 같이 損失을 測定하게 된다.

$$\alpha_0 = \frac{(\sum_{i=1}^n Li) (\sum_{i=1}^n Pi) - n(\sum_{i=1}^n LiPi)}{n(\sum_{i=1}^n Li^2) - (\sum_{i=1}^n Li)^2} \text{ [dB/Km]} \quad (1)$$

여기서

$$Pi : 5 \log \{S10^{2\alpha_0(L-Li)/10} + Ni\} \text{ [dB]}$$

α_0 : 實際 光纖維 損失 [dB/Km]

L : 光纖維 길이 [Km]

$$Li : \frac{L}{n-1} (i-1) \text{ [Km]}$$

n : 샘플링 데이터數

S : $Li = L$ 에서의 後方散亂 信號振幅

Ni : i地點에서의 雜音 振幅이다.

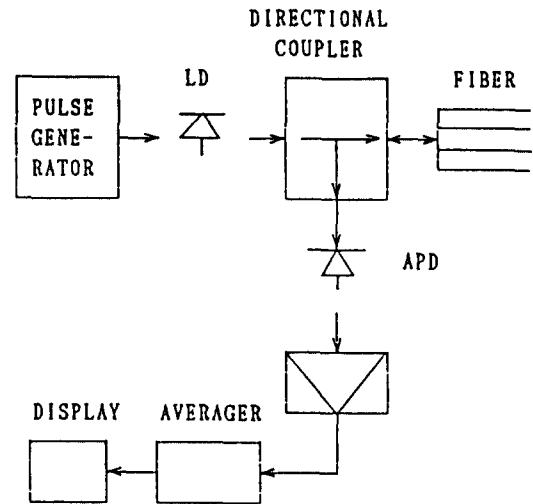


그림 1. OTDR 블럭圖
Fig. 1. OTDR block diagram

2. OTDR 測定에 의한 接續損失의 理論的 解析

두개의 光纖維가 接續된 接續 地點에서의 光과파워 現象은 그림2와 같다.

따라서 接續 地點의 實質的인 接續 損失은 다음式으로 나타난다.

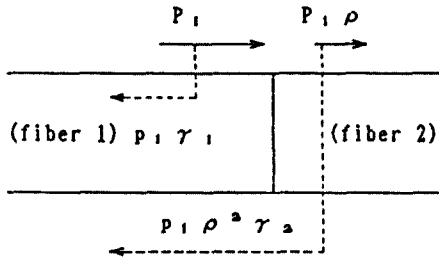


그림 2. 두개의 光纖維 接續地點에서의 光과워 現象
Fig. 2. Optical power phenomenon in splicing point

P_1 : 光과워
 ρ : 接續地點에서의 傳送係數
 r : 後方散亂係數

$$L_o = -10 \log \frac{P_1 \rho}{P_1} = 10 \log \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

그림2에서 後方散亂方法에 의해 測定된 接續損失은 光펄스가 光纖維1에서 光纖維2로 傳送될때 다음式으로 나타난다.

$$\begin{aligned} L_{L \rightarrow R} &= \frac{1}{2} \times \left(-10 \log \frac{P_1 \rho^2 \gamma_2}{P_1 \gamma_1} \right) \\ &= 10 \log \frac{1}{\rho} - 5 \log \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \end{aligned} \quad (3)$$

마찬가지로 光펄스가 光纖維 2에서 光纖維1로 傳送될 때에 接續損失은 다음式으로 된다.

$$\begin{aligned} L_{R \rightarrow L} &= \frac{1}{2} \times \left(-10 \log \frac{P_1 \rho^2 \gamma_1}{P_1 \gamma_2} \right) \\ &= 10 \log \frac{1}{\rho} - 5 \log \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \\ &= 10 \log \frac{1}{\rho} + 5 \log \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \end{aligned} \quad (4)$$

式(3), 式(4)는 다음式으로 바꾸어 쓸 수 있다.

$$L_{L \rightarrow R} = L_o - \Delta L_r \quad (5)$$

$$L_{R \rightarrow L} = L_o + \Delta L_r \quad (6)$$

$$\text{여기서 } \Delta L_r = 5 \log \frac{\gamma_2}{\gamma_1} = 5 \log \frac{\alpha_{R2} \Delta_2}{\alpha_{R1} \Delta_1}$$

式(5)와 式(6)으로 부터 OTDR로 測定한 實際的인 接

續損失값 L_o 는 다음式과 같다.

$$L_o = \frac{1}{2} (L_{L \rightarrow R} + L_{R \rightarrow L}) \quad (7)$$

여기서 $r_2 > r_1$ 이면 ΔL_r 값은 +이며 이경우 L_r 은 (-) 값을 가지며 L_r 은 實際 接續損失값 L_o 보다 큰 값이 된다.

이경우 (-)接續損失값은 OTDR상에 다음과 같이 나타난다.

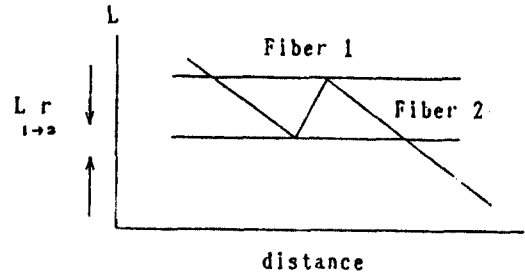


그림 3. OTDR 測定에 의한 接續損失
Fig. 3. Splicing loss by OTDR measurement

Ⅲ. 光과파라메타에 의한 接續損失

固有接續損失의 發生 要因은 光과파라메타에 의한 不一致 즉, MFD(MODE Field Diameter), Δn , 코아 非圓率, 클래딩徑(Cladding Diameter) 및 屈折率 Profile 差等에 의한 要因을 가지고 있으며 이중 單一 모드 光纖維에서는 MFD 不一致에 의한 接續損失 發生이 가장 큰것으로 나타나 있다.⁽¹⁰⁾

1. MFD差에 의한 理論的 接續損失

서로 다른 MFD差에 의한 光纖維 接續損失은 接續될 光纖維의 Spot Size의 差에 의해 發生된다. 이때의 光傳送係數 T_o 는 다음과 같이 表現된다.

$$T_o = \left(\frac{2w_1 w_2}{w_1^2 + w_2^2} \right)^2 \quad (8)$$

w_1, w_2 : 接續될 光纖維의 Spot Size임.

그러므로 光纖維 接續損失은 式(9)로서 나타낼수 있다.

$$\alpha_o = -10 \log \left(\frac{2w_1 w_2}{w_1^2 + w_2^2} \right)^2 \quad [\text{dB}] \quad (9)$$

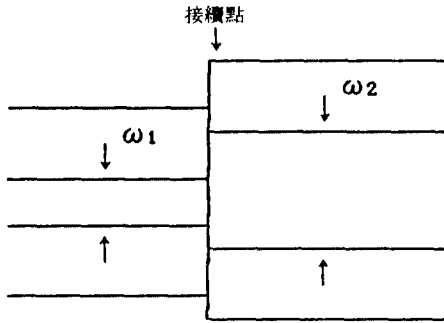


그림 4. MFD 差에 의한 接續點
Fig. 4. Splicing point on MFD differences

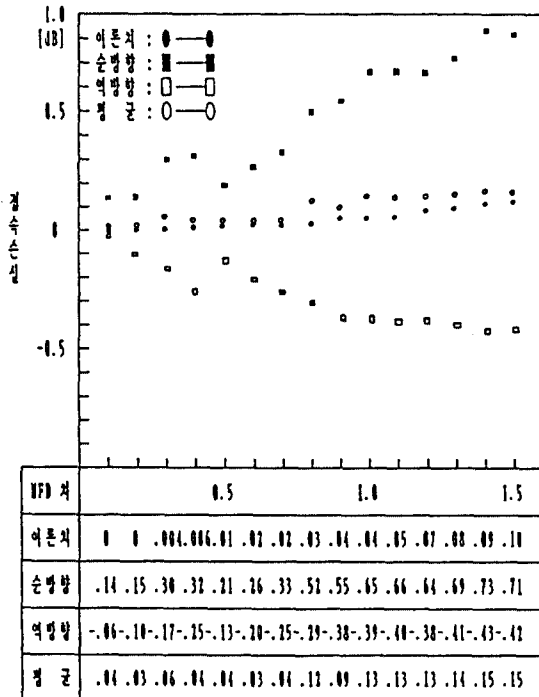
2. MFD 差에 따른 接續損失 實驗 데이터

MFD 差에 의한 接續 損失 값의 實際 實驗 測定을 위해 MFD 差가 0.1에서 1.5까지의 차이를 갖는 光纖 維를 Sampling하여 接續을 實施하였으며 測定은 OTDR로 順方向, 逆方向 각각의 값을 記錄하였다.

그결과 表1에 나타난 바와 같이 OTDR에 의한 한

表 1. MFD 差에 의한 接續손실

Table 1. splice Loss of MFD differences



방향 測定 값은 方向에 따라 陰(-)의 값의 發生과 함께 MFD 差가 클수록 그 값이 매우 컸으며 理論值 값과는 相異한 內容을 가졌다. 그러나 平均 값은 理論值 附近에 形成되어 理論值와 매우 비슷한 結果를 얻을 수 있었다.

3. 測定方法에 따른 接續損失 값 比較 分析

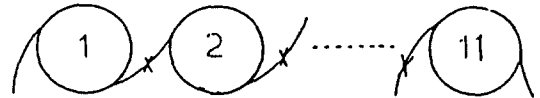
接續損失의 正確한 評價를 위하여 임의의 光纖維 모 集團을 Sampling하여 接續을 實行한 다음 OTDR 測定 方向에 따른 값과 理論的 計算值, 그리고 Cut-Back 測定에 의한 값과의 差異를 比較, 分析하여 그 結果를 調査하였다.

3-1. 使用 光纖維 DATA

表 2. 使用된 光纖維 데이터

Table 2. The Data of used optical fibers

接續點	M.F.D.	Cladding 徑	분 산
1 × 2	9.72 × 9.75	124.97 × 124.92	2.74 × 2.76
2 × 3	9.87 × 10.25	125.41 × 125.84	2.46 × 2.66
3 × 4	10.25 × 9.91	125.18 × 125.52	2.66 × 2.31
4 × 5	9.92 × 10.03	125.53 × 125.64	2.31 × 2.62
5 × 6	10.24 × 10.35	125.04 × 125.03	2.62 × 2.38
6 × 7	10.37 × 9.99	126.27 × 125.48	2.38 × 2.11
7 × 8	9.722 × 9.63	126.29 × 124.70	2.11 × 2.69
8 × 9	9.61 × 10.01	125.16 × 125.38	2.69 × 2.51
9 × 10	10.04 × 10.36	126.12 × 26.44	2.51 × 2.80
10 × 11	10.33 × 9.93	125.52 × 125.31	2.80 × 2.57
평균 값	10.01	125.49	2.52



3-2. OTDR/CUT-BACK 測定 값 比較

表 3. OTDR/Cut-Back 測定값 比較

Table. 3. Comparison of Measurements by OTDR/Cut-Back

드럼 No	접속점	접속손실(OTDR)1.3 μ m			Cut-Back 접속손실 (1.3 μ m)	MFD A/B	MFD차	Clad경 A/B	Dispersion A/B	길이 (순방향) (역방향)	비 고
		순방향	역방향	평균							
1×2	S1 청×등	0.188	0.055	0.12	0.11	9.72	0.03	124.97	2.74	1,704	*총길이 18,735m
						9.75		124.92	2.46	17,031	
2×3	S2 등×녹	0.235	-0.141	0.05	0.06	9.87	0.38	125.41	2.46	3,480	
						10.25		125.84	2.66	15,335	
3×4	S3 녹×적	-0.021	0.241	0.11	0.13	10.25	0.34	125.18	2.66	5,112	
						9.91		125.52	2.31	13,631	
4×5	S4 적×황	0.200	0.154	0.18	0.11	9.92	0.11	125.53	2.31	6,816	
						10.03		125.64	2.62	11,927	
5×6	S5 황×자	0.263	-0.050	0.11	0.07	10.24	0.11	125.04	2.62	8,520	
						10.35		125.03	2.38	10,223	
6×7	S6 자×흑	-0.022	0.302	0.14	0.12	10.37	0.38	126.27	2.38	10,223	
						9.99		125.48	2.11	8,520	
7×8	S7 흑×백	-0.108	0.027	0.04	0.03	9.72	0.09	126.29	2.11	11,927	
						9.63		124.70	2.69	6,816	
8×9	S8 백×회	0.338	0.020	0.18	0.14	9.61	0.4	125.16	2.69	13,631	
						10.01		125.38	2.51	5,112	
9×10	S9 회×연청	0.206	-0.019	0.09	0.10	10.04	0.32	126.12	2.51	15,335	
						10.36		126.44	2.80	3,408	
10×11	S10 연청×연등	-0.050	0.265	0.10	0.10	10.33	0.41	125.52	2.80	17,031	
						9.92		125.31	2.57	1,704	
평균값	X	0.123	0.085	0.14	0.097	10.01	0.26	125.49	2.52	18,735	
편 차	$\sigma X(Sx)$	0.157	0.148	0.04	0.034						

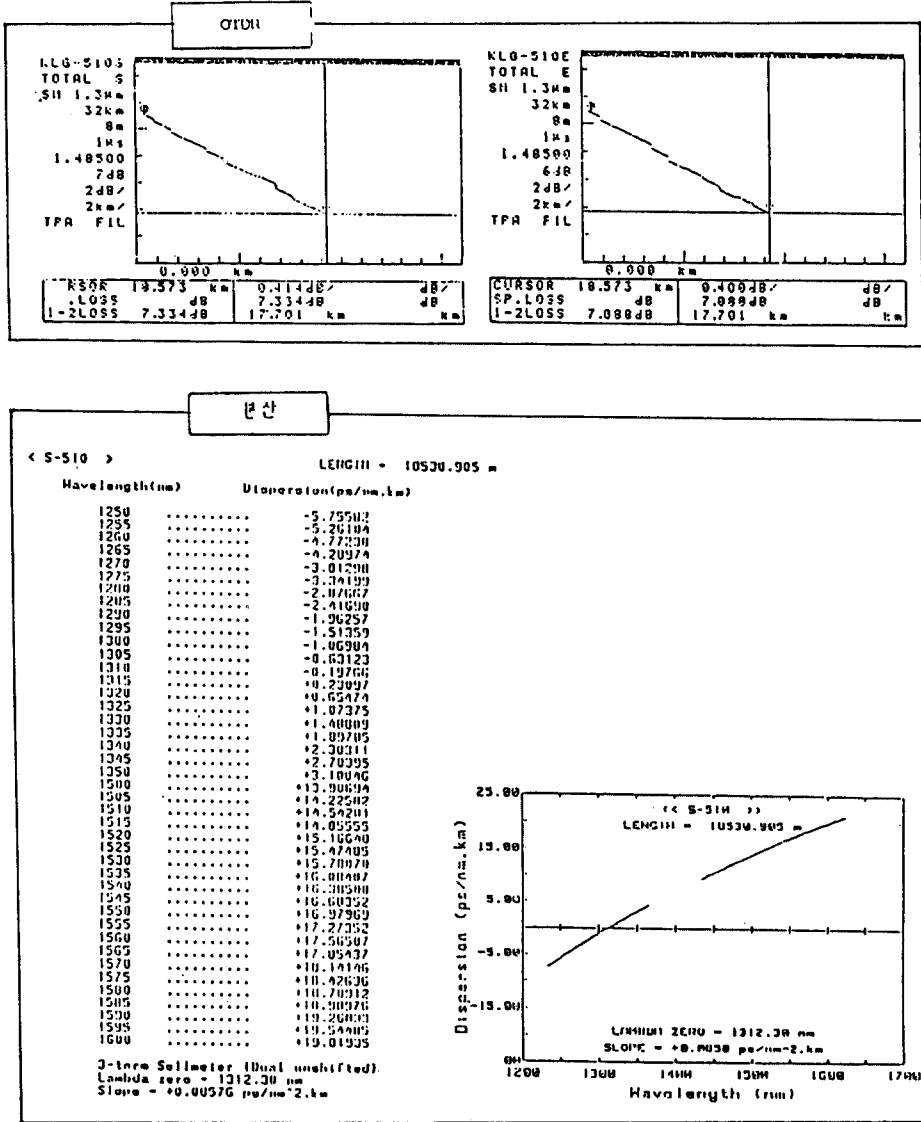
表 4. 測定結果

Table. 4. Results of measurement

항 목		OTDR			CUT-BACK	비 고	
		순방향	역방향	평균값			
접속후	dB	7.690	7.430	7.560	7.500	길이 : 18.7km	
총손실	dB/km	0.414	0.400	0.407	0.400		접속개소 : 20개소
접속 총손실 (dB)	산술값	1.230	0.850	1.040	0.970		
	절대값	1.630	1.270	1.450	0.970		
케이블 손실	산술값	dB	6.460	6.580	6.520	6.530	케이블 손실 = 접속후 총손실 - 접속 총손실
		dB/km	0.347	0.349	0.348	0.351	
	절대값	dB	6.060	6.160	6.110	6.530	
		dB/km	0.326	0.331	0.328	0.351	
실제 케이블 손실		0.35 dB/km					
접속후 분산값		2.41 ps/nm·km					

그림 1. 使用된 光纖維의 OTDR 데이터 및 分散 데이터

Table 5. Used in Table 3. OTDR Data & Dispersion Data



3-3. 測定結果

實驗 內容에서 본 바와 같이 光과라메타에 의한 接續損失은 MFD差에 의한 影響이 가장 크며 接續損失 測定時 OTDR에 의한 測定은 兩方向 測定後 算術 平均값으로 計算되어야만 Cut-Back으로 測定된 값과 一致함을 알 수 있으며, 單方向 測定값은 相當한 差

異가 있는 것으로 나타난다. 測定 結果(표4, 표5)에서 보는 바와 같이 接續에 의해 發生된 接續損失값을 케이블 接續前, 後 데이터와 比較 分析한 結果 OTDR 測定값은 兩方向 算術 平均된 값으로 計算되어야 함을 알 수 있다.

IV. 結 論

接續地點 發生되는 接續損失값의 正確한 評價는 光傳送 시스템에서의 運用 損失 및 環境要因에 의한 接續點의 信賴性 側面에서도 매우 重要한 內容이된다. 따라서 現在 國內外的으로 光케이블 施設時 使用되고 있는 後方散亂法에 의한 接續損失測定은 單方向에 의해 나타난 測定값은 參考值에 不過하며 實際 接續損失값은 兩方向 測定에 의한 算術 平均값으로 算出되어야 한다. 그리고 이값은 본 研究 課程을 통해 Cut-Back 測定 方法에 의한 結果와 同一함을 證明하게 되었다.

이것은 서로다른 光과라메타를 갖는 光纖維의 結合地點에서 後方散亂된 光펄스는 OTDR의 測定 方向에 따라 서로 相異한 解析을 하기 때문이다. 또한, 이러한 現象은 光纖維 製造工法中 MCVD(Modified Chemical Vapor Deposition) 法⁽⁸⁾에 의해 製造된 光纖維와 VAD(Vapor Axial Deposition) 法⁽⁹⁾에 의해 製造된 光纖維 特性에 따라 약간의 差異를 가지고 있으며 이 要因은 앞으로 좀더 깊은 研究가 要求된다.

本 論文은 備成通信建設(株)에서 支援한 研究費에 의해 研究 되었음

參 考 文 獻

1. M. KATO, M. TAKANO: "Optical Fiber Network Will Soon Reach Homes" "NIKKEI ELECTRONICS ASIA" December 1992
2. H. FUKUTOMI: "Optical Fiber Cable" THE TELECOMMUNICATIONS ASSOCIATION 1986 PP64-94
3. 渡部和雄, 吉家秀可: シソク "ルモート" 光フマイハ "用多芯一括融着接續裝置" 住友電氣 第134號 1989
4. T. WATANABE, K. OSAKA, T. YANAGI, Y. ISHIGURO, Y. ASANO: "Mass Fusion Splicing of hermetically coated optical fiber ribbon" IWCS 1990
5. N. HAKAMATA, S. SUZUKI, Y. USUI, T. KAKII: "Development of splicing machine with an application of a cladding modes-scattered power monitoring system" SUITOMO ELECTRIC TECHNICAL REVIEW, No. 25

1986

6. HANS DAMSGAARD, ÖLB HANSEN: "Factory Spliced Fiber" IWCS 1990
7. T. Horiguchi, M. TOKUDA: "Optical Time Domain Reflectometer for single-mode fibers" THE TRANSACTIONS OF THE IECE OF JAPAN Vol. E67 No.9 1984
8. A. HORDVIK, G. NAKKEN: "A method for reducing the conicalness of the core diameter in preforms made by the MCVD process" The European conference on optical communication 1981
9. T. KUWAHARA, M. WATANABE, S. SUZUKI: "Refractive index profile formation mechanism on VAD fiber" 7th European Conference on optical communication 1981
10. N. KUWAKI, M. OHASHI, C. TANAKA, N. UESURI, "Evaluation for The Definition And Measurement Condition of Mode Field Diameter" MTT Electrical Communication Laboratories.



金鍾元(Jong Won Kim) 정희원

1952年 4月 6日生

1981年 2月: 嶺南大學校 工科大學
電子工學科 卒業(工學士)

1984年 8月: 嶺南大學校 大學院
電子工學科 卒業(工學碩士)

1991年 2月: 嶺南大學校 大學院 電子工學科 博士 課程 修了
1981년 9月~1988年 8月: 永進專門大學 電子通信科 講師
吳 兼任教授

1986年 3月~1987年 8月: 嶺南專門大學 電子科 講師

1987年 9月~1988年 8月: 慶南大學校 工科大學 電子工學科 講師

1992年 3月~1992年 8月: 大田實業專門大學 電子計算機科 講師

1992年 9月~1993年 2月: 嶺南大學校 工科大學 電子工學科 講師

1979年 1月~1988年 4月: 興光 通信工社 專務

1988年 4月~現在: 備成通信建設(株) 代表理事 副社長