

# 후방산란측정법에 의한 OTDR 단방향 광섬유 접속손실 평가방법에 관한 연구

정희원 이병규\*, 오성근\*\*, 최병도\*\*\*, 김문수\*\*\*\*

## A Study on the Evaluation Method of Optical Fiber Splice Losses using OTDR by Uni-Directional Backscattering Measurement

Byung-Gyoo Lee\*, Sung-Geun Oh\*\*, Byung-Do Choi\*\*\*, Moon-Soo Kim\*\*\*\* *Regular Members*

### 요약

본 논문에서는 후방산란법에 의한 광섬유내 후방산란광의 검출 원리 및 접속손실 관계이론을 해석하여, 단방향 후방산란법에 의한 접속손실 보정 원리를 도출하였고, 단방향에서 측정된 접속손실의 보정값의 정확성을 검증하기 위해 실험을 통해 양방향 후방산란법에 의한 평균산술값과의 오차를 비교하였다.

비교실험 결과, 단방향 후방산란법에 의한 보정값이 양방향 후방산란법으로 산출된 평균산술값에 비해 최대  $\pm 0.03\text{dB}$ 의 오차가 있었음을 확인할 수 있었고, 이러한 오차범위는 광펄스시험기(OTDR)의 정확도인  $\pm 0.05 \sim \pm 0.1\text{dB}$ 보다 작은 값으로, 광섬유의 접속손실을 평가하는데 아무런 문제점이 없었다는 것을 확인하였다. 단, 접속손실 평가에 있어서 동일사 제품간에 적용했음을 밝힌다.

### ABSTRACT

In this dissertation through interpreting the detection principle of backscattering light in optical fiber by backscattering method and the theory of connection loss, we induced the correction principle of connection loss according to simplex backscattering method and to verify the accurate of correction value of connection loss measured by simplex backscattering method, we compared it with the arithmetical average value generated by duplex backscattering method through the experiment.

From the comparison analysis, we confirmed the correction values by simplex backscattering method has errors within the range of  $\pm 0.03\text{dB}$  compared with the arithmetical average value by duplex backscattering method and this errors value is lower than that of OTDR,  $\pm 0.05\text{dB} \sim 0.1\text{dB}$ . So it means the errors value has no problem in the evaluation of connection loss of optical fiber. We make clear that the evaluation of connection loss of optical fiber was worked to products of same company.

### I. 서론

광섬유의 접속손실 평가에 가장 많이 적용되고 있는 후방산란법(Backscattering measurement)은 광섬유에 광전력을 입사시키면, 광전력의 일부가 광섬유내에서 산란되는 현상을 이용하여 후방으로 되돌아 오는 광을 검출함으로써 광섬유의 손실을 측정

하는 방법이다. 후방산란법에 의한 광을 검출하는 장비로서 가장 널리 이용되는 것이 OTDR(Optical Time Domain Reflectometer)인데, OTDR에 의해 측정된 값에는 실제 접속손실의 후방산란파형 내에 접속된 두 광섬유의 산란계수차로 인한 후방산란광의 레벨차가 포함되어 있어, 접속점의 손실 평가는 접속부의 후방산란파형을 양방향에서 측정하여

\* 부경대학교 대학원 전자공학과(bklee@kt.co.kr)

\*\* 한국통신 가입자망연구소(skok@kt.co.kr)

\*\*\* 한국통신 부산전화국(hyodo@kt.co.kr)

\*\*\*\* 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부(msk@pknu.ac.kr)

논문번호: 00320-0816, 접수일자: 2000년 8월 16일

평균손실값으로 평가하고 있다<sup>[1,2]</sup>. 이와 같은 방법은 접속점의 양측에서 두 방향으로 측정작업이 이뤄지기 때문에 투입입력과 장비가 2배로 소요되고 작업시간도 상당히 지연되는 등의 문제를 안고 있다.

본 연구는 현행과 동일한 접속손실을 평가할 수 있는 단방향 후방산란법에 의한 광섬유 접속손실 평가방법을 제안하였다. 여기서는 타제작사간 접속시 굴절율(refractive index) 분포가 서로 상이한 점을 고려하여 본 논문에서는 동일 제작사간 접속에 의한 접속손실을 평가하였다.

## II. 양방향 후방산란법에 의한 접속손실 평가방법

광섬유에 광전력을 입사시키면, 광섬유내 코어의 도핑(Doping)물질과 굴절율 분포의 차이 등으로 인해 입사된 광전력 중의 일부가 광섬유내에서 레일리 산란(Rayleigh scattering)과 프레넬 반사(Fresnel reflection)등의 현상으로 사방으로 산란되어지고, 임의 지점에서 사방으로 흩어지는 광 중의 일부는 입사단측으로 되돌아 오는데, 이렇게 후방산란된 광은 출사단측으로 진행되는 광전력의 세기에 비례하게 되며, 후방산란광을 검출하여, 접속점 전후의 후방산란파형 단차를 측정함으로써 손실을 평가하는 방법이 후방산란법이다.

그러나, 현실적으로 광섬유접속에서는 레일레이

Optical Power(dB)

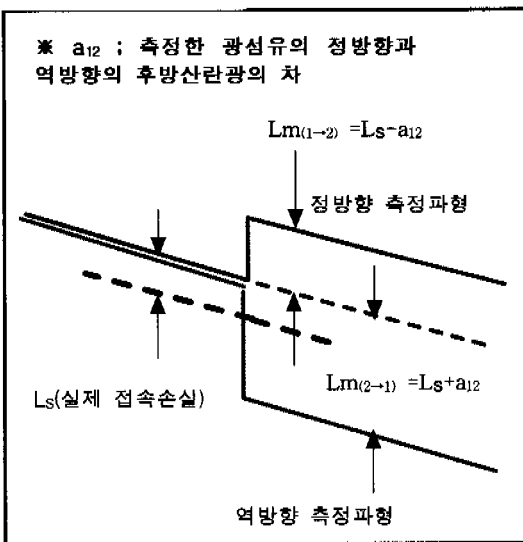


그림 1. 양방향 후방산란법에 의한 접속점의 후방산란 파형

산란에 의한 광산란계수(as), 코어의 굴절율(n), 코어와 클래드의 비굴절율 차(Δ) 등 광섬유의 구조 파라미터들이 동일한 광섬유를 접속하는 것이 아니고, as나 Δ가 미소하게 다른 광섬유를 접속하게 되며, 상호 접속되는 두 광섬유의 as나 Δ가 다르면 입사 광전력에 대한 후방산란되는 광전력의 비가 다르게 되어<sup>[3,4]</sup>, 그림 1에서 처럼 OTDR로 광섬유에 광전력을 입사시키면, 광섬유접속점에서 발생한 편방향 접속손실(L<sub>m</sub>)에는 실제 접속손실(L<sub>s</sub>)과 두 광섬유의 후방산란광의 레벨차(a<sub>12</sub>)가 합쳐져 나타난다.

이와 같이 실제 광섬유접속에서는 두 광섬유가 산란계수의 차로 인해 방향에 따라 접속손실이 다르게 측정되며, OTDR의 편방향 접속손실로는 광섬유접속점의 실제 접속손실이라 할 수 없기 때문에, OTDR로 후방산란파형의 단차를 양방향에서 측정하여, 그들의 평균손실값 (ALs = (L<sub>m(1-2) + L<sub>m(2-1)</sub>) / 2)으로 평가하고 있다.</sub>

## III. 단방향 후방산란법에 의한 광섬유 접속손실 평가방법 이론

OTDR 편방향 접속손실에는 두 광섬유의 후방산란광의 레벨차에 의한 측정오차가 포함되어 있어, 현재까지는 양방향에서 측정된 접속손실들을 이용하여 평균손실값을 산출하고, 이를 적용하고 있는 실정이다. 하지만, 단방향 후방산란법은 한 방향에서 측정된 접속손실에 후방산란을 야기시키는 두 광섬유의 산란계수(as) 및 캡처계수(S, Capture ratio) 등의 차를 보정함으로써 단방향 측정치로부터 실제 접속손실을 추정하는 방법이다<sup>[5,6]</sup>.

### 1. OTDR에 의해 검출되는 광전력

광섬유의 손실특성을 평가하기 위해 OTDR로 광섬유에 광을 입사시키면, 그림 2에서와 같이 광섬유의 코어내를 전반하는 입사단의 광전력 P(x)가 레일레이산란(먼지등 작은 입자에 의한 빛의 반사현상)으로 인해 광섬유의 미소구간 dx에서 산란되는 광전력 중 OTDR쪽으로 진행하여 되돌아오는 광전력은 dP(x) 와 같이 나타낼 수 있다<sup>[5]</sup>.

따라서, 임의의 길이 L을 갖는 광섬유내에서 산란되는 광전력 P(L)은 미소구간에서의 광전력 dP(x)를 L부터 0까지 적분하여 식 (1)과 같이 표현할 수 있다

$$P(L) \propto as S \frac{P_0}{a} * \exp(-2aL) * [\exp(2aW)-1] \quad (1)$$

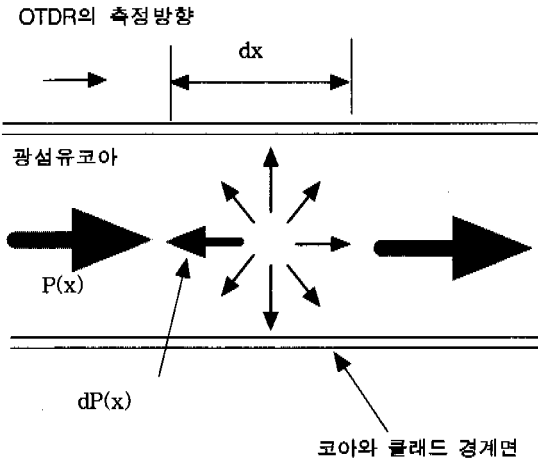


그림 2. 광섬유의 미소구간에서 산란되는 광전력

식 (1)에서  $as$ 는 산란계수,  $P_0$ 는 초기 입사된 광전력,  $a$ 는 광섬유의 손실계수,  $L$ 는 광섬유의 길이(위치),  $S$ 는 광섬유내 산란되는 광전력중 OTDR 쪽으로 진행하여 돌아오는 광전력의 비(캐처계수) 값이고<sup>[7]</sup>,  $W$ 는 입사된 광전력의 펄스폭(half pulse width) 이다.

2. 단방향 후방산란법의 접속손실 보정이론

그림 3과 같이 광섬유 접속점에 OTDR로 광전력을 입사시키면, 접속점 직전의 입사단에서는 식(1)에서 처럼 광섬유내에 전파하는 광전력에 대해 일정한 비율로 후방산란광전력  $P(L_1)$ 이 발생하게 되며, 접속점 직후의 출사단에서 검출되는 후방산란광

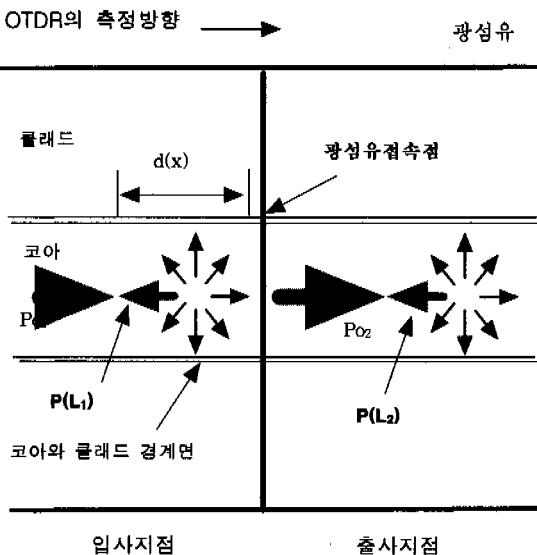


그림 3. 광섬유접속점에서의 산란되는 광전력

전력  $P(L_2)$  에는 식 (2)와 같이 입사단과 출사단의 전력의 차가 포함되어 있다<sup>[5]</sup>.

$$P(L_2) \propto \frac{1}{L_f} 2 * \frac{as_2 S_2 P_0}{a_2} * \exp(-2a_2 L) * [\exp(2a_2 W) - 1] \quad (2)$$

여기서,  $L_f$ 는 광섬유의 입사단과 출사단의 전력비,  $P_0$ 는 초기 입사된 광전력이다. 따라서, 광섬유 접속점의 손실은 접속점 직전과 직후의 입사단 및 출사단측에서 검출되는 각각의 후방산란 광전력들의 비이며, 광섬유내를 왕복하여 측정되는 값으로서 그 값의 1/2이 접속손실이기 때문에, OTDR에서 검출되는 접속손실  $L_m$ 은 식 (3)과 같고<sup>[1]</sup>, 여기서,  $as_1$ 과  $as_2$ 는 입,출사단측 광섬유의 산란계수이고,  $S_1$ 과  $S_2$ 는 입,출사단측의 캐처계수이며,  $a_1$ 과  $a_2$ 는 입,출사단측의 손실계수 이다.

$$L_m(1-2) = 5 \log *$$

$$\frac{as_1 S_1 P_0 / a_1 \exp(-2a_1 L) [\exp(2a_1 W) - 1]}{(1/L_f) 2 * as_2 S_2 P_0 / a_2 \exp(-2a_2 L) [\exp(2a_2 W) - 1]} \quad (3)$$

식 (3)에서의 같이  $L_m(1-2)$  에는 입사단과 출사단의 전력비  $L_f$  이의 두 광섬유의 고유 파라메타들의 상이함으로 인한 후방산란광의 레벨차가 포함되어 있고, 이를 다시 정리하면,  $L_m(1-2)$ 은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L_m(1-2) = 5 \log \frac{as_1 S_1}{a_1 [\exp(2a_1 W) - 1]} + 10 \log L_f -$$

$$5 \log \frac{as_2 S_2}{a_2 [\exp(2a_2 W) - 1]} = 10 \log L_f + 5 \log(as_1 S_1) -$$

$$5 \log(as_2 S_2) + \frac{5 \log [\exp(2a_1 W) - 1]}{5 \log [\exp(2a_2 W) - 1]} \quad (4)$$

그러나, 식 (4)에서의 밑줄 친 부분은 너무 작은 값이기 때문에 무시할 수 있어<sup>[5,6,8]</sup>, 이를 다시 기술하면, 식 (5)와 같이 된다.

$$L_m(1-2) = 5 \log(as_1 S_1) + 10 \log L_f - 5 \log(as_2 S_2) \quad (5)$$

따라서, 식 (5)에서의 같이 접속된 두 광섬유의 후방산란을 야기시키는  $as$  및  $S$ 와 관련된 고유상수 값을 확인할 수 있다면, OTDR에 의해 임의의 방향에서 측정된 편방향 접속손실에 이 상수값들을 보정함으로써 실제 접속손실을 산출할 수 있다. 이때, 광섬유의 파라메타인 고유상수  $F$ 를 이용해 한 방향에서 측정된 편방향 접속손실  $L_m(1-2)$ 을 보정하여

추정한 실제 접속손실 LS는 다음과 같이 산출이 가능하다.

$$LS = L_m(1-2) - F_1 + F_2 \quad (6)$$

여기서, LS는 10logLf에 해당하는 실제 접속손실값이고, F1은 1번 광섬유의 고유상수로서 5log(as1 S1)값, F2는 2번 광섬유의 고유상수로서 5log(as2 S2)값이다.

한편, S는 캡처계수로서  $\propto 1 / (nw)^2$ 이며<sup>[7]</sup>, 광섬유의 고유상수 F를 다시 기술하면,

$$F = 5\log as - 10\log n - 10\log w \quad (7)$$

와 같고, 여기서, 첫항과 두 번째항 5logas-10logn은 광섬유의 굴절율분포에 따른 값 F(Δ, n)으로 각 광섬유 제조회사마다 고유의 값이며, 마지막항 -10logw는 광섬유의 MFD(Mode Field Dia)에 따른 값 F(w)이다. 따라서, Lm(1-2)을 보정하여 추정한 LS는 식 (8)과 같이 산출할 수 있다.

$$LS = L_m(1-2) - F_1(w) + F_2(w) + F_1(\Delta, n) - F_2(\Delta, n) \quad (8)$$

여기서, F1(Δ, n)과 F2(Δ, n)은 1, 2번 광섬유의 굴절율분포에 따른 값이고, F1(w), F2(w)는 1, 2번 광섬유의 MFD에 따른 값으로, 결국, 식 (8)을 근거로 편방향 접속손실 Lm에 두 광섬유가 갖는 고유상수 F(w), F(Δ, n)들을 보정함으로써 실제 접속손실(접속손실 보정값)을 산출할 수 있다.

### 3. 고유상수 산출

현실적으로 그림 4와 같이 광섬유 접속작업시 동일제조 회사간에 작업이 진행되므로 동일회사 제품의 광섬유인 경우에는 광섬유의 코어 도핑에 사용하는 물질이 같고, 굴절율 분포가 같기 때문에 F(Δ, n)의 차이는 0에 가깝다. 따라서, F(w)값 만으로 식 (8)을 이용해 접속손실을 산출해 낼 수가 있다.

보정계수 F(w) 산출에 필요한 MFD는 광섬유 코어의 비원율을 규정하는 구조 파라미터(한국통신의 경우 9.5um±8% 이내)로서 광섬유의 광학적특성을 결정하기 때문에 광섬유제조시 엄격 관리되고 있어, 광섬유제조시 측정된 MFD값을 -10logw(w는 MFD)로 표현함으로써 쉽게 산출할 수 있다.

이상에서, 단방향 후방산란법에 의한 접속손실 보정값의 산출방법을 정리하면 다음과 같다. 동일사(同一社) 광섬유들의 접속에서의 보정값은 OTDR

로 측정된 편방향 접속손실 Lm에 두 광섬유의 MFD만을 보정함으로써 식(9)과 같이 산출할 수 있으며,

$$LS = L_m(1-2) - F_1(w) + F_2(w) \quad (9)$$

여기서, F1(w), F2(w)는 1,2번 광섬유의 MFD에 따른 값으로 각각 -10log w1, -10log w2 와 같이 산출된다.

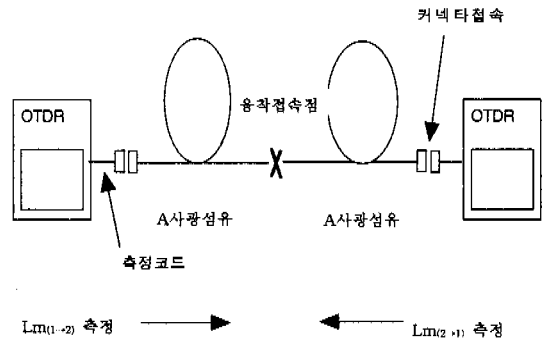


그림 4. OTDR에 의한 편방향 접속손실들의 양방향 측정방법

## IV. 단방향 후방산란법의 실험

후방산란법으로 광섬유의 접속점의 손실을 평가하기 위한 실제 접속손실의 산출에 있어서, 두 광섬유의 산란계수차에 의한 측정오차를 줄이기 위해, 양방향 후방산란법이 평균산술값을 취하는 데 반해, 단방향 후방산란법은 접속손실 보정값을 취한다. 이에 접속손실 보정값의 정확도를 검증하기 위한 평균산술값과의 오차비교 실험을 실시하였다.

### 1. 실험방법

한 쪽 방향에서 측정된 OTDR 편방향 접속손실에 보정계수를 적용하여 접속손실 보정값을 계산한 후, 평균산술값과의 오차범위를 분석하였다. 실험을 위해 시료로 선정된 광섬유는 광섬유제조시 제조회사에 따라 코어 도핑물질과 굴절율분포가 상이할 수 있고, 또한, 제조회사가 동일한 광섬유라도 인출하는 모재(Preform)에 따라 MFD가 다를 수 있어, 실험의 정확도를 높이고자 제조회사별 서로 다른 모재에서 인출한 광섬유를 대상으로 하였고, 광섬유의 평균길이는 1.5km/spool로서 제조회사별 5개씩 총 20개의 샘플을 선정하였다.

실험방법은 동일사 제품별 각각의 광섬유들을 10가지의 수로 4회에 걸쳐 실시하였다. 비교실험은 시

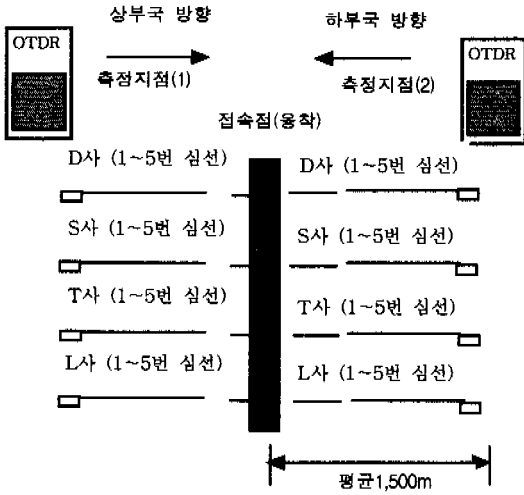


그림 5. 단방향 후방산란법의 검증실험을 위한 시료 광섬유들의 접속

자료 채택된 두섬유를 용착접속(Fusion splicing)한 후, 그림 5에서와 같이 2대의 OTDR로 편방향 접속손실  $L_m$ 을 양방향에서 각각 측정하여 그들의 평균산술값 ALs을 산출하고, 한 쪽 방향에서 측정된 OTDR 편방향 접속손실에 보정계수를 적용하여 보정값을 계산한 후, 오차범위를 분석하였다. 여기서 동일사(同一社) 제품간 만 측정실험한 이유는 각각 회사마다 굴절률 분포(L사=1.4760, T사=1.4850, S사=1.4690, D사=1.4700 : 각 제조사 기준)가 서로 달라 접속이 용이하지 않고 측정시 굴절률 분포의 상이에 따른 손실값이 달라질 수 있어 동일사 제품만을 분석하였다.

## 2. 평균산술값과 접속손실 보정값의 오차비교 실험

단방향 후방산란법에서 필수적인 보정계수  $F(w)$  값은 측정된 광섬유들의 MFD값을  $-10\log w$ 에 대입하여 산출하였고, 그 결과를 표 1에 나타내었다. 동일사 광섬유간의 오차비교 실험에서는 임의의 방향에서 측정된 편방향 접속손실에 두 광섬유의  $F(w)$  값들을 대입, 보정값을 산출하여 평균산술값과 비교 하였다.

### 가. 동일 제조회사의 광섬유접속시 오차 비교

제조회사 D, S, T, L사에 대해 동일사 간에 각각 10회에 걸친 비교실험에 있어서, 동일사간 광섬유접속점에 대해 평균산술값과 보정값으로 각각 산출하여 비교된 값들의 오차를 그림 6에 나타내었다. 실험결과에 따르면, 동일사 광섬유간 접속에서는 두

표 1. 시료 광섬유들의  $F(w)$ 값 산출

제조 회사	광섬유 ID	길이 (m)	MFD (w)	MFD에 따른 값 ( $F(w) = -10\log w$ )
D사	Da	1,620	9.329	-9.698
	Db	1,635	9.330	-9.699
	Dc	1,574	9.433	-9.746
	Dd	1,625	9.482	-9.769
	De	1,574	9.268	-9.670
T사	Ta	1,488	9.455	-9.757
	Tb	1,478	9.500	-9.777
	Tc	1,498	9.495	-9.775
	Td	1,630	9.474	-9.765
	Te	1,488	9.500	-9.777
L사	La	1,620	9.329	-9.698
	Lb	1,635	9.330	-9.699
	Lc	1,837	8.490	-9.289
	Ld	1,625	9.482	-9.769
	Le	1,574	9.268	-9.670
S사	Sa	1,488	9.455	-9.757
	Sb	1,478	9.500	-9.777
	Sc	1,519	9.161	-9.619
	Sd	1,630	9.474	-9.765
	Se	1,488	9.500	-9.777

<주> MFD측정은 광섬유손실분석장비(TK2210)에 의한 측정값(측정파장 1300nm)

광섬유간의  $F(\Delta, n)$ 를 무시하고  $F(w)$ 만 보정하여 산출된 보정값이 평균산술값에 비해 최대  $\pm 0.03\text{dB}$  정도의 오차가 발생하였고, 오차범위가  $\pm 0.01\text{dB}$ 이 아닌 경우는 전체 오차 발생횟수에 대해 73%였다.

## 3. 실험결과에 따른 단방향 후방산란법의 접속손실 보정값의 고찰

실험결과를 정리하면, 동일사간 비교실험에서는 최대  $\pm 0.03\text{dB}$ 의 오차가 발생하였으며, 오차의 분포형태는 두 광섬유의 접속손실을 증가시키는 MFD의 차에 크게 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있었다.

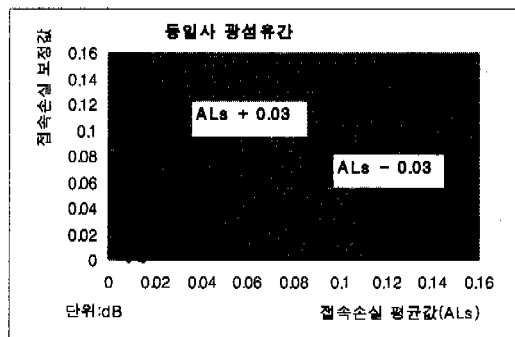


그림 6. 동일 제조회사간의 광섬유접속에서의 오차 비교

결국 실험을 통해, 단방향 후방산란법에 의한 보정값은 평균산술값에 대해 오차범위가 약  $\pm 0.03\text{dB}$  정도로 존재하였고, 이 범위내에서 평균산술값보다 크거나 작게 산출되었음을 알 수 있었다.

그러나, 이 오차는 OTDR이 갖는 정확도 (Accuracy :  $\pm 0.05 \sim \pm 0.1$ )에 비해 작은 값이고, 광전송로구간의 접속점들에 대한 접속손실을 보정값으로 관리할 경우에 발생할 수 있는 최대 누적오차도  $\pm 0.81\text{dB}$ (40km, 접속점 27개소)정도지만, 포아송(Poisson)분포에 의해 임의의 광전송로구간에서 최대누적오차가 일어날 확률은 낮기 때문에 광전송로구간에서 발생할 수 있는 보정값의 오차는 무시할 수 있으며, 실제 광전송로 구간에서 단방향 후방산란법으로 접속점의 실제 접속손실을 평가하더라도 큰 어려움이 없을 것으로 판단된다.

이를 근거로 광케이블시설공사시 광케이블접속작업과 함께 시행하는 단방향 후방산란법에 의한 접속시험은 그림 7과 같은 작업흐름도에 준해 시행할 수 있는데,

- 1) 측정지점에서 접속할 광케이블의 광섬유심선별 MFD를 시험성적서에 의해 확인하여 각각의 MFD를  $F(w)$ 로 변환하고, 2) 광섬유심선 접속작업과 함께 측정지점에서 OTDR로 접속손실을 측정하고, 3) 편방향 접속손실에  $F(w)$ 를 보정하여 보정값을 산출하고, 산출된 보정값을 기준치와 비교하여 재접속여부를 결정함으로써 광케이블 접속현장에서 단방향 후방산란법으로 접속손실을 평가할 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 단방향 후방산란법에 의하여 광섬유의 접속손실을 평가하는 방법에 대하여 제안하였다.

실험결과, 국내에서 제조된 광섬유들간의 접속에 있어서 단방향 후방산란법의 접속손실 보정값은 평균산술값에 비해 최대  $\pm 0.03\text{dB}$ 의 오차가 있었음을 확인할 수 있었고, 이러한 오차범위는 OTDR의 정확도  $\pm 0.05 \sim \pm 0.1\text{dB}$  보다 작은 값이고, 현행 광선로망에서 접속점의 최대값으로 제시하고 있는  $0.4\text{dB}$ /개소에 비교하여 정확도면에서 큰 차이없이 접속손실을 산출할 수 있어 실제 광케이블접속공사시 접속손실 평가에 어려움이 없다고 판단된다.

결론적으로, 연구된 단방향 후방산란법에 의한 광섬유 접속손실 평가방법에서는 종래의 평가방법과

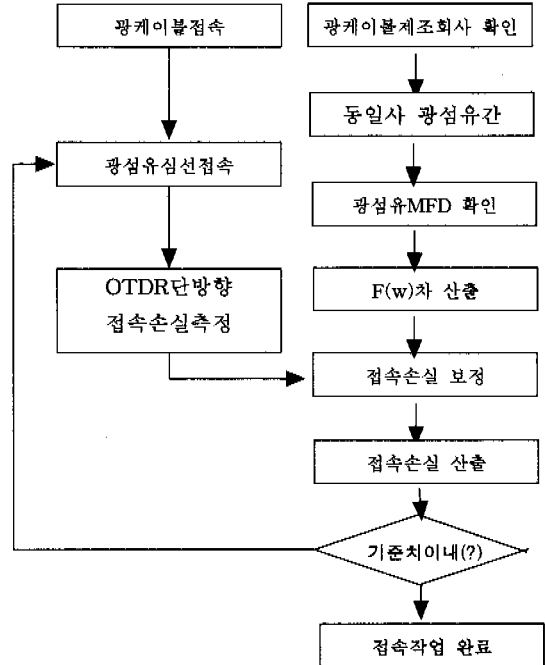


그림 7. 단방향 후방산란법에 의한 접속손실 측정작업 흐름도

동일한 광케이블의 전송품질을 평가할 수 있는 반면에 OTDR 측정작업에 따른 비용을 1/2이상 절감할 수 있어 광케이블설치분야에 있어 큰 효과가 기대된다.

본 연구는 동일사 광섬유간 상관관계에 대해서만 논하였으며, 광통신의 발전추세를 볼 때 타사 광섬유간 평가방법도 연구되어야 할 것으로 본다.

### 참고 문헌

- [1] Bellcore, Optical Time Domain Reflectometers, TA-TSY-000196. October, 1988
- [2] 한국통신, "후방산란법", 표준공법(광케이블시험), 한국통신, 96.2, p5-12~5-21
- [3] Frederick C. Allard, "4.6 Optical Time Domain Reflectometry", FIBER OPTICS HANDBOOK For Engineers and Scientists, McGRAW-Hill PUBLISHING COMPANY, 1990, p4.43~4.48
- [4] 福富秀雄, "後方散亂法による接続損失及び光損失の測定", 光ファイバケーブル, 日本電氣通協會, 1988, p278~280, p189~195
- [5] Duwayne Anderson, "Making True Splice Loss Measurements with OTRDs from One End of the Fiber", NFOEC Proceedings Vol.4, 1995,

p112 7~1138

- [6] Calvin M. Miller, "5.6 Environmental Splice Loss Measurement", "5.7.4 reflections from Splices", Optical Fiber Splices and Connectors, MARCEL DEKKER INC.,1986, p.p. 225-229, p.p. 237-240
- [7] E-G. Neumann, "Attenuation by Rayleigh Scattering", SINGLE-MODE FOIBER Fundamentals, Springer-Verlag Berlin, 1988, p109~111, p348~355
- [8] E. Brinkmeyer, "Backscattering in Single Mode Fiber", Electronics Letter, 24th April 1980, Vol.16, No.9

이 별 규(Byung-Gyoo Lee)

한국통신학회논문지 제25권 제11B권 참조

오 성 근(Sung-Geun Oh)

한국통신학회논문지 제25권 제11B권 참조

최 별 도(Byung-Do Choi)

한국통신학회논문지 제25권 제11B권 참조

김 문 수(Moon-Soo Kim)

한국통신학회논문지 제25권 제11B권 참조