

論 文

포설된 단일모드 광섬유의 손실특성 측정

正會員 全 永 允* 正會員 朴 載 東* 正會員 李 晚 燮* 正會員 梁 權 湜**

Loss Measurements of Installed Single-Mode Optical Fibers

Young Yun CHUN*, Jae Dong PARK*, Man Seop LEE*, Kwon Sik YANG**

要 約 장거리 국간선로에 포설된 단일모드 광섬유의 샘플집단과 모집단의 손실특성을 측정하였고, 구간(중계)거리분포를 측정분석하였다. 접속손실을 포함한 평균손실은 1300nm와 1550nm에서 각각 $0.55 \pm 0.05\text{dB/Km}$, $0.59 \pm 0.11\text{dB/Km}$ 로써 1550nm 대역의 손실이 크게 나타났다. OTDR에 의한 손실특성 조사결과 1550nm대역의 손실증가 주 요인은 접속지점의 부적절한 여장처리에 따른 것이었다. 그리고 국내 평균중계거리는 $24 \pm 7\text{Km}$ 로써 31Km 이하의 구간거리가 전체의 약 90%를 차지하고 있었다.

ABSTRACT Attenuation losses and repeater spans of single mode optical fibers installed in the long haul optical transmission line were measured and analyzed. The average loss including splicing points was appeared to be $0.55 \pm 0.05\text{dB/Km}$ and $0.59 \pm 0.11\text{dB/Km}$ at 1300nm and 1550nm, respectively, and showed lager value at 1550nm window. The cause of loss increase at 1550nm range from the OTDR measurement was due to the inappropriate treatment of extra length of fiber at the splicing points. And average repeater span of domestic long haul line was $24 \pm 7\text{Km}$ and 90% of total sampled repeater spans was within 31Km.

I. 서 론

단일모드광섬유는 광전송시스템의 고속화와 더불어 국내 국간전송로에 1985년 부터 본격적으로 도입되어, 중심국 이상 상호간의 장거리 광전송로의 대부분을 차지하고 있다. 현재(1990년)까지 국내에는 총연장 4,500Km의 단일모드 광케이블이 포설되어 비동기식 45Mb/s, 90Mb/s 및 565Mb/s 장파장(1300nm 내역) 광전송시스템등이 운용되고 있거나 곧 시설될 예정이며, 90년대 중반에는 서비스의 증가와 대용량화에 대응하기 위하여 동기식 155Mb/s~2.488Gb/s 시스템의 운용이 예상된다. 이러한 대용량 광전송 시스템은 광케이블이 중계기나 광단국 같은 장치

보다 수명이 길기 때문에 이미 포설되어 있는 광케이블을 사용할 것이다. 따라서 광케이블 포설 초기부터 광섬유의 특성을 최대한 사용할 수 있도록 특성의 규격화와 운용종인 광섬유 특성치의 데이터화가 필요하다.

이처럼 포설되어 있는 광섬유를 이용하여 전송용량을 증대하려는 경우 광전송속도를 늘리거나 광섬유 한가닥에 2파장대 이상의 광원을 전송할 수 있는 WDM 시스템을 사용할 수 있다. 전자적 경우 또다른 전송시스템의 개발이 이루어져야 하나 후자는 기존의 시스템에서 광원의 파장만을 바꾸어 간단히 전송용량을 배가할 수 있다. 중계거리(중계기-중계기 또는 중계기-광단국간의 거리를 말하며, 다음부터는 광링크 설계에 의한 중계거리와 구별하기 위하여 실제 운용중인 중계거리를 간단히 구간 또는 구간거리라 한다)를 바꾸지 않고 전송용량을 늘리거나 WDM(Wavelength Division Multiplexer) 시스템을 운용하

*韓國電子通信研究所 光加入者研究室
Optical Subscriber Section, ETRI
**韓國通信 通信網事業本部
Network System Business Group, KT
論文番號 : 91-120 (收受1991. 6. 25)

려면 무엇보다도 포설된 광섬유의 전송특성이 중요하며, 특히 포설 전 후 및 운용중에 변할 수 있는 손실특성이 더욱 중요한 역할을 한다.

국내의 국간용 단일모드 광전송시스템은 1300nm 근방에서 운용되고 있으며, 1300nm 근방의 특성만을 규정하고 있는 단일모드광섬유(CCITT G.652)^{(1),(2)}를 사용하고 있다. 따라서 1300nm 근방이 아닌 광원을 사용하려 할때 사용 중인 광섬유에 대한 1300nm 이외의 파장대 전송 특성을 알아야만 한다. 더구나 전송용량이 증가할수록 더 좋은 손실특성을 가진 광섬유나 보다 작은 구간 총손실이 요구^{(3),(4)}되므로 1300nm 대역의 손실치도 실질적인 값이 측정되어야 한다.

이와 같이 기존의 광케이블을 사용하여 여러 파장대 광전송시스템의 광링크를 설계하고, 이를 경제적으로 운용하려면 포설된 광케이블의 각 파장대의 실제 손실분포가 필요하다. 또한 앞에서 언급한 것과 같이 광전송속도가 고속화되면 저속 광전송시스템에 비하여 중계거리의 감소가 예상되므로 효율적인 국간전송의 설계를 위하여 구간거리분포의 분석이 요구된다. 따라서 이러한 요구에 대응할 수 있도록 먼저 구간에 포설된 광케이블의 일부를 추출(샘플링)하여 3파장대의 손실을 측정하였다. 특히 1500nm의 손실 증가요인을 살펴보기 위하여 OTDR(Optical Time-Domain Reflectometry)를 사용하여, 케이블손실과 접속손실을 측정하였다. 그리고 국내 전구간(모집단)에서 측정된 1300nm 측정결과 및 구간거리 분포를 분석하였다. 이러한 검토 결과로부터 광링크 설계의 통계적 처리를 가능토록하였으며, 고속전송 시스템 및 WDM(또는 low density FDM-Frequency DM)사용 가능성을 살펴 보았다.

II. 측정방법

1. 샘플

샘플측정에 사용된 광케이블은 1986년도에 포설되었고, 국내에서 제조한 것으로써 중계거리

가 16.9Km, 19.4Km, 25.1Km, 29.7Km인 4개의 구간에서 22개 광섬유 샘플을 선택하였다. 이 4구간에서 1300nm와 1550nm 손실특성을 측정하였으며, 850nm는 광원의 출력파워와 수신감도 때문에 처음 두 구간에서만 측정하였다. 또한 OTDR 시험용 샘플은 22개 샘플중 7개만을 사용하여 1300nm와 1550nm 대역의 특성을 조사하였다.

모집단의 1300nm 손실특성과 구간거리 분포 분석에 사용된 샘플은 국내 구간중 92개 구간에 포설되어 운용되고 있지 않는(1987~1988) 광섬유 총 길이 41,207Km였다. 또한 이들 구간의 광케이블은 대부분 약 1Km 단위의 광케이블을 용착접속하여 연결한 것이다.

2. 삽입에 의한 손실측정

광케이블의 손실측정은 일반적으로 컷백(cut-back)방법을 사용하나 케이블 양단에 광커넥터가 달린 경우 OTDR 또는 삽입방법을 사용하고 있다. OTDR은 측정거리의 한계성과 정밀도 때문에 국간의 총손실은 주로 삽입방법을 사용한다. 하지만 광케이블의 접속 손실과 문제점을 찾는에는 OTDR을 이용한다.

3파장대의 샘플측정에 사용된 삽입방법의 구성도는 그림 1과 같으며, 광원의 불안정에 따른 입출력의 측정오차를 줄이기 위하여 장파장대에서 선형특성을 지닌 광섬유 커플러(fiber coupler)를 사용하였다. 그림 1에서 커플러의 port 1은 광원의 입력단이고, port 3은 측정용 광섬유의 입력단이며, port 4는 입사광파워를 측정하기 위한 것이다. 이때 측정된 광섬유의 총손실은

$$LS_1 = P_{out} - P_1 - P_{c2} \text{ (dB)} \quad (1)$$

이며, 여기서 P_{out} 는 샘플을 통과한 광출력 파워이고, P_{c2} 는 사용된 광커넥터(국간용 표준인 bi-conic 형 사용) 손실치이다. P_1 는 입력 광파워로서 다음과 같이 정의 된다.

$$P_1 = P'_1 + P_{at} + P_{ce} \text{ (dB)} \quad (2)$$

P_{dt} 는 검출기 D_1 과 D_2 의 수신감도 차를 보상하기 위한 교정상수, P_{cc} 은 port 3과 4로 출력되는 파장별 광파워를 동일하게 해주는 교정상수이며, P_i 는 교정되기 전의 광커넥터 C_3 를 통과한 광파워이다. 사용된 광커넥터의 손실은 광케이블의 양방향성과 착탈에 의한 오차를 작게하기 위하여 양방향에서 10번 이상 측정하여 그 평균치를 사용하였다.

측정과정은 상부국에서 port 1에 광원을 입사시킨 상태로 커넥터 C_1 을 시험샘플에 연결하고, 커넥터 C_3 에 연결된 광검퍼코드로부터 검출기 D_2 를 통하여 입력(P_i)을 측정한다. 이와 동시에 하부국에서는 출력(P_{out})을 측정한다. 입력파워 P_3 의 크기와 광커넥터 C_1 과 C_3 의 기계적조작등으로 인한 오차를 줄일 수 있도록 샘플당 5번씩 양방향으로 위의 입출력 파워를 측정하였다.

한편 모집단의 측정은 커플러를 사용하지 않고, 하부국에서 출력을 측정한 다음 상부국의 커넥터 C_1 을 풀고 입력을 측정하는 방식으로 한방향에서만 1회 측정하였다.

3. OTDR에 의한 측정법

측정된 샘플집단의 1550nm 손실증가 요인을 찾아 보기 위하여 1300nm와 1550nm의 손실특성

이 동시에 측정 가능한 OTDR를 사용하였다. 각 샘플의 측정 구간은 OTDR의 deadzone과 측정범위를 고려하여 약 1~11Km내로 하여 이 구간 내에서 각 샘플의 손실과 접속손실을 측정하였다. 그리고 구간거리가 모두 OTDR이 측정할 수 있는 범위(dynamic range) 이상이었기 때문에 단방향 특성만을 측정하였다.

Ⅲ. 측정결과 및 검토

1. 샘플측정 결과

그림 2는 파장별 평균손실을 나타낸 것으로 샘플 1~12번까지의 850nm 근방의 손실치는 $1.97 \pm 0.06\text{dB/Km}$ 로써, 이 값은 케이블링되지 않은 광섬유의 손실치와 유사하였다⁽⁵⁾. 따라서 850nm 근방의 손실은 이 광섬유에서 일반적으로 다중모드이기 때문에 케이블링이나 포설후에도 손실 증가가 거의 없었다. 또한 1300nm와 1550nm에서 모든 샘플의 손실은 각각 $0.55 \pm 0.05\text{dB/Km}$, $0.59 \pm 0.11\text{dB/Km}$ 였다⁽⁶⁾. 먼저 1300nm에서는 케이블링 되지 않은 광섬유의 특성에 단위 길이당 접속손실등을 고려하면, 측정결과가 어느 정도 타당함을 알 수 있다. 한편 1550nm 특성은

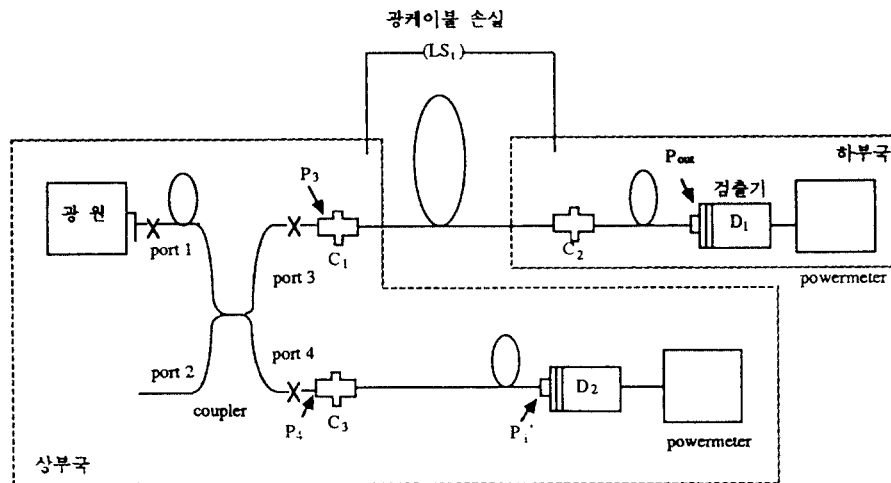


그림 1. 삽입방법 손실 측정장치 구성도.
Fig 1. Loss measurement set up of insertion technique .

케이블링 되지 않은 광섬유의 손실특성(∼0.30dB/Km)에 비하여 매우 클 뿐만아니라 1300nm 손실과 유사하게 나타나고 있다. 이처럼 손실과 손실측정오차(0.11dB/Km)가 큰 것은 케이블링 및 포설 후에 발생된 구부림(micro and macro-bending)등의 요인으로 생각되며, 아래의 OTDR 결과로 부터 확실히 알 수 있을 것이다.

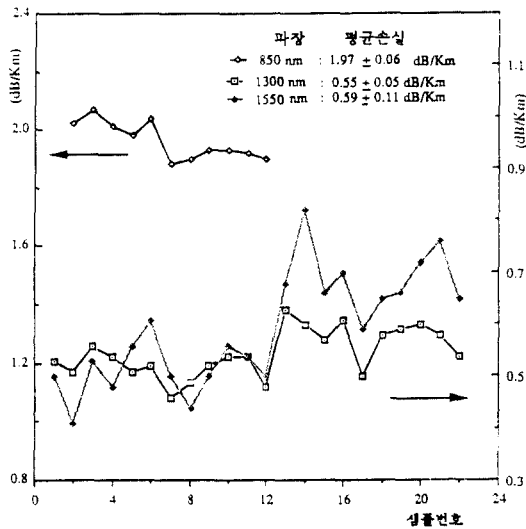


그림 2. 샘플의 손실 측정 결과
Fig 2. Loss measurement results of sampled fibers.

그림 3은 파장별 각 샘플의 총손실에 대한 방향성을 살펴 본 것으로 측정된 값은 하향(상부국 → 하부국) 총손실에 대한 상향(상부국 ← 하부국) 총손실의 상대치이다. 먼저 850nm에서는 최대 3.5dB의 손실차가 있었고, 장파장 대역에서는 최대 2.0~3.0dB의 차이로 나타났다. 이것은 접속지점에서 두 광섬유의 서로 다른 기하구조 특성, 광섬유 매질의 불균일성, 접속부의 여장처리나 보호패 비대칭적인 비틀림, 구부림등에 의한 것으로 볼 수 있을 것이다. 이처럼 방향에 따라 구간 손실의 차가 존재하므로 전송방향의 적절한 선택이 필요한 것으로 보인다.

OTDR에 의한 광섬유 샘플의 평균 손실은 그림 4와 같이 1300nm와 1550nm에서 각각 0.53 ±

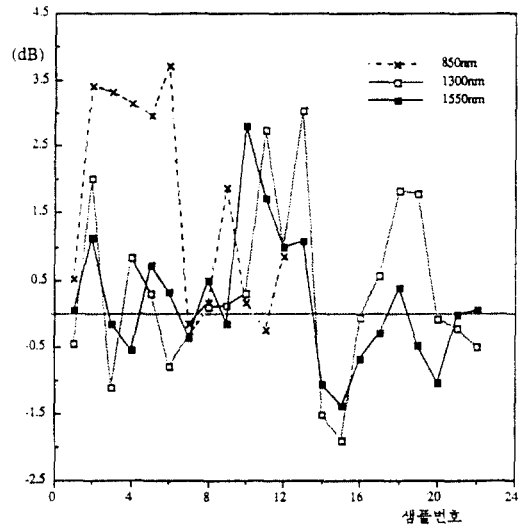


그림 3. 방향에 따른 상대적 손실차
Fig 3. Relative loss differences between two directions.

0.05dB/Km, 0.68 ± 0.12 dB/Km로 나타났으며, 그림 5의 접속손실은 0.24 ± 0.15 dB, 0.36 ± 0.39 dB였다⁽⁷⁾. 여기서 각 샘플의 평균손실과 그 샘플에 대한 접속손실 측정점들은 그림 4.5 처럼 대응되고 이 두 그림에서 볼 수 있듯이 OTDR 방법이 삽입방법 보다도 1550nm 대역에서의 손실이 1300nm 대역에 비하여 크게 나타났고, 또한 접속손실 및 접속손실 산포도 크다. 그림 6은 대표적인 샘플 '9' 광섬유의 7Km지점에서 각 파장대의 접속손실을 비교한 것으로 1550nm 대역의 손실 증가의 주요인은 접속부 보호품의 불균일한 압축, 접속 여장의 작은 구부림(macro-bending)직경과 비틀림에 따른 것임을 알 수 있었다. 다음으로로는 광섬유 자체의 손실 균일성을 유지하고 있는 것으로 보아 케이블링 및 포설 후의 영향에 따른 것도 무시할 수 없는 것으로 판단된다. 따라서 이들은 모두 1550nm 대역의 구부림 특성이 좋지 않고 접속지점의 열악한 여장처리로 발생된 것이기 때문에 앞으로 포설될 광섬유의 1550nm 대역의 특성 규격규정과 보완 및 접속처리부의 개선이 요구된다.

포설된 광케이블의 이 같은 결과로 부터 1550nm 대역에서 저손실 특성을 나타내지 않

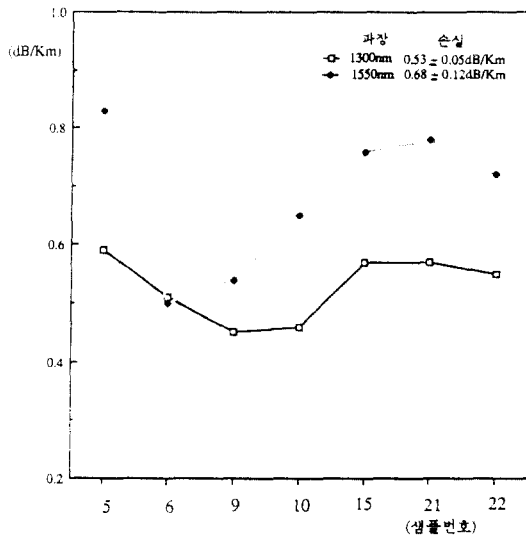


그림 4. OTDR 측정에 의한 평균손실
Fig 4. Average loss by OTDR measurement .

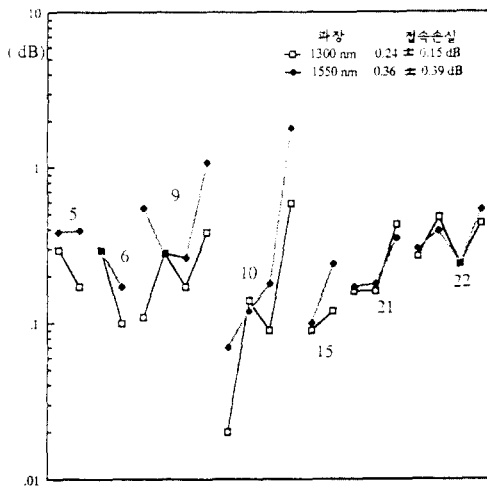
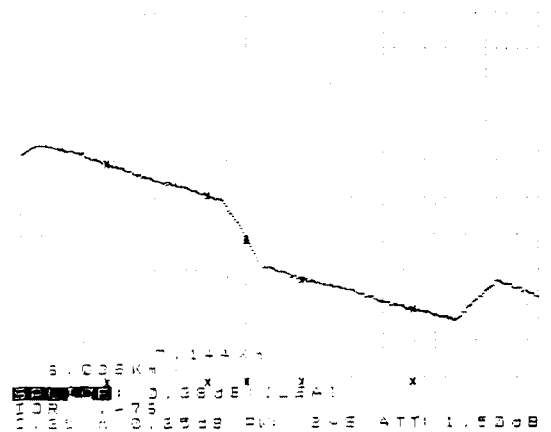
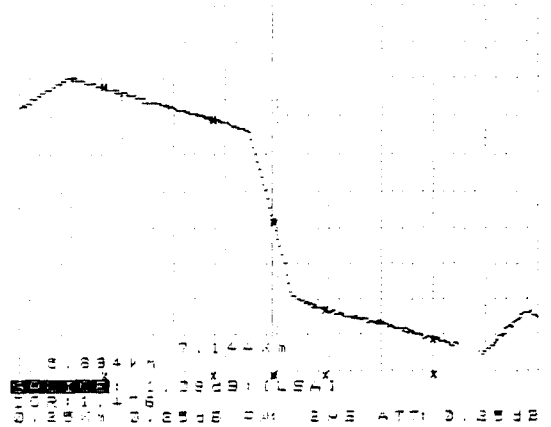


그림 5. OTDR에 의한 접속손실 측정결과
Fig 5. Results of splicing loss measurement using OTDR.

므로 무중계거리를 늘리기 위하여 이 파장대에서 Gbit/s 시스템의 운용은 1300nm에 비하여 큰 장점이 없는 것으로 판단된다. 또한 1550nm 대역의 손실특성의 표준편차가 1300nm 대역에 비하여 큰 것은 각 구간마다 광케이블과 광섬유의 구조에 따라 구부림과 같은 기계적 환경특성 반



(a)1300nm 대역
1300nm window



(b)1550nm 대역
1550nm window

그림 6. 7Km 지점에서 샘플 '9'의 접속손실도
Fig 6. Splicing loss waveforms of sample '9' at 7Km point .

응이 다르기 때문이다. 그래서 비록 구간손실이 작아서 이 파장대의 시스템을 운용한다할지라도 신뢰성에 문제가 될 수도 있을 것이다.

2. 모집단 측정결과

그림 7은 국내 구간중계용 광케이블중 92개 구간의 1300nm 대역에서 각 구간별 광섬유의 단위 길이당 손실 분포를 나타낸 것이다. 41,207Km 전 광섬유의 접속손실을 포함한 평균손실은 $0.55 \pm 0.05\text{dB/Km}$ 이며, 0.4~1.0dB/Km까지의 분

포를 가지고 있었다. 이것은 앞의 샘플 측정결과와 잘 일치하고 있다.

다음으로 그림 8은 각 구간의 총손실의 평균분포를 나타내고 있는데 보는 바와같이 6~23dB의 분포를 가지고 있다. 또한 그림 9는 92개 구간거리의 뜻수와 누적분포를 나타낸 것으로 평균 중계거리 분포는 $24 \pm 7\text{Km}$ 였다. 1σ (표준편차) 허용범위에서 구간분포는 17~31Km로써 전 구간분포의 70%를 포함하고 있으며, 31Km이하는 전체의 약 90%를 차지하고 있다.

3. 검 토

광전송시스템의 중계거리는 광섬유의 손실 또는 색분산에 의하여 제한을 받으나 LD 광원을 사용하는 대부분의 광전송시스템은 손실에 의하여 결정된다⁽⁸⁾. 손실에 의한 광링크 설계는 실제로 광송신기의 출력과 수신기의 수신감도 의해 광선로에 할당할 수 있는 광파워버짓(power budget)과 광섬유의 손실에 의존한다. 이때 광섬유의 손실은 한국통신의 규격에⁽¹⁾ 따라 최악의 경우에 접속손실을 포함하여 0.6dB /Km를 초과하며, 실제 측정된 앞의 결과의 데이터를 사용하

는 통계적 처리방식을 적용하면 광섬유 손실이 0.60dB /Km($0.55 \pm 1\sigma$) 이하가 된다. 후자와 같은 통계적 처리에 의한 중계거리 설정이 보다 경제적이고 실질적인 구간거리 적용이 가능함을 알 수 있을 것이다.

현재 운용중인 광케이블에 565Mb/s 및 2.

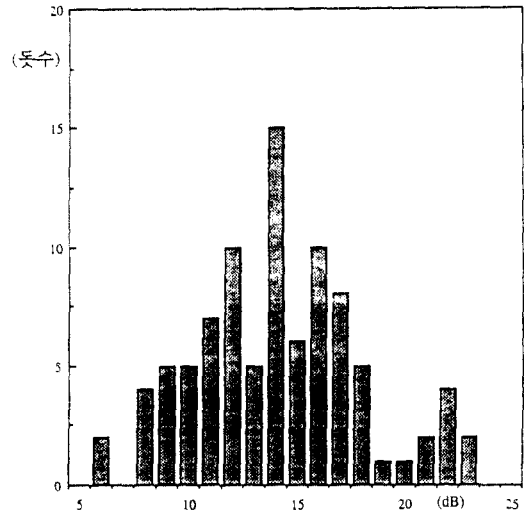


그림 8. 구간 총손실 분포
Fig 8. Histogram of total loss between repeaters.

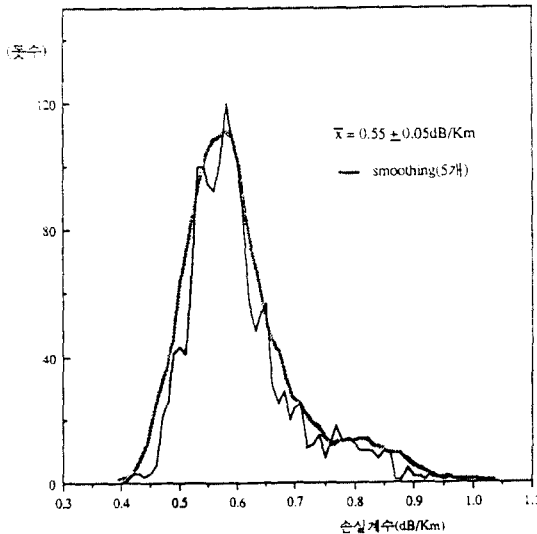


그림 7. 도집단 손실분포
Fig 7. Loss distribution of installed fiber population.

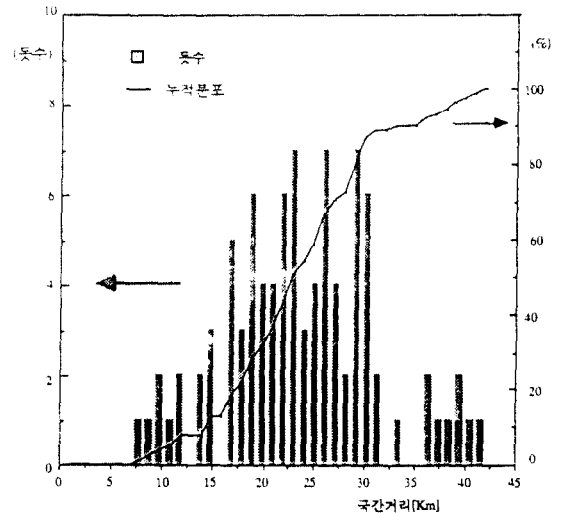


그림 9. 구간거리의 히스토그램 및 누적분포
Fig 9. Histogram and accumulation distribution of repeater spans.

488Gb/s 광전송시스템을 적용 하려는 경우 앞에서 정의한 광케이블의 손실과 광파워버짓에 따라 운용 가능한 최대 무중계거리를 얻을 수 있게 된다. 565Mb/s 광전송시스템의 경우 광케이블에 할당된 총손실이 21.6dB이나⁽⁹⁾ 광케이블의 보수 관련 마진 2.0dB⁽¹⁰⁾를 제외하면 순수한 광케이블 총손실은 19.6dB로써 실제 광케이블의 손실 0.60(0.55 ± 1σ)dB/Km 일때 약 32Km 무중계가 가능함을 알 수 있다. 이 같은 결과로부터 현 565Mb/s 시스템은 국내 구간의 약 90%를 수용할 수 있을 것이다. 32Km 보다 큰 10%의 구간은 송신출력과 수신감도를 특별히 개선한 광송수신기를 사용한다면 모든 구간에서 중계기나 단국위치를 변경하지 않고서도 시스템설계가 가능할 것으로 예상된다.

일반적으로 중계거리를 증가시키기 위하여 1300nm보다 손실이 작게 나타나는 1550nm대역을 사용하나 현재 포설된 광케이블의 손실특성이 앞의 측정결과와 같이 양호하지 않기 때문에 색분산특성이 좋은 1300nm 대역을 사용하는 것이 유리하다. 마찬가지로 2.488Gb/s 광전송시스템을 기존선로에 적용할 경우에도 이같은 적용이 바람직하리라 본다.

한편 1300nm와 1550nm를 동시에 사용하는 WDM 시스템을 앞에서 알 수 있는 바와 같이 단일주파수(Single Longitudinal Mode) 광원용 565Mb/s 시스템의 경우 약 30Km 구간내에서는 운용가능하리라 본다. 하지만 Gb/s 시스템이 보다 짧은 중계거리내에서 운용을 고려할 수 있을 것이다.

앞에서 살펴본바와 같이 광케이블의 손실이 큰 수 밖에 없는 또다른 이유는 케이블 접속조상이 1Km당방으로 외국에 비하여 짧다는 것이다. 즉 미국의 경우는 보통 접속거리가 4.0Km(3.0-5.0)이고, 우리와 상황이 비슷한 이탈리아는 3.0Km, 일본은 2.0-3.0Km에 이르고 있는 실정이다⁽¹¹⁾ 따라서 개소당 허용 접속손실이 0.15dB 인접을 감안할 때, 접속조상을 이들 나라처럼 2~3Km로 한다면 단위길이당 손실을 최대 0.1dB/Km 정도까지 개선 가능할 것이다.

IV. 결 론

삽입손실법으로 측정된 샘플 측정 결과에서 알 수 는 것과 같이 1550nm 손실특성(0.59 ± 0.11dB/Km)이 1300nm(0.55 ± 0.05dB/Km) 보다 약간 좋지 않게 나타났으며, OTDR에 의한 측정 결과는 삽입손실방법 보다 1550nm에서 더 나쁘게 나타났다. 1550nm에서 예상되는 손실 보다 크게된 요인은 접속부의 여장의 구부림 및 응력에 따른 손실 증가와 케이블 포설 전후의 기계적 환경 변화 즉 미소구부림에 따른 증가로 볼 수 있었다. 그리고 850nm 대역에서는 1.97 ± 0.06dB/Km로써 케이블화 전과 유사하였다. 또한 방향별 구간 손실차가 장파장대역에서는 최대 2.03.0dB에 이르고 있어서 적절한 전송방향의 선택이 필요할 것이며, 앞으로 광케이블 포설시 세심한 광섬유의 접속이 요구된다.

1300nm에서 측정된 92개 구간의 모집단 측정값도 샘플 측정 결과와 유사하였고, 32Km이하의 구간거리는 전체의 90%를 차지하고 있었으며, 평균거리는 24 ± 7Km였다. 따라서 이러한 평균 손실값과 더불어 구간 총손실 분포, 구간거리분포등의 통계적 수치와 최악의 경우를 고려한 변수들을 근거로 하여 광전송시스템의 광링크설계가 이루어져야 보다 경제적인 구간선로 운영이 가능하리라 생각된다.

1550nm 대역 손실이 이처럼 1300nm에 비하여 저손실이라는 장점이 없고, 색분산 역시 1300nm 영역 보다 5-10배 이상되므로 선택이 작은 단일주파수 광원을 사용한다하더라도 30Km 이상의 구간전송에는 고속광전송시스템(Gb/s)의 운영이 부적합 하리라 본다. 그러나 565Mb/s 근방의 시스템에서는 1550nm 단일주파수 광원을 사용하는 WDM방식의 적용이 가능할 것으로 여겨진다.

따라서 기존의 광선로를 보다 효율적으로 사용하기 위해서는 좀더 많은 샘플구간을 선택하여 1550nm 대역의 손실특성을 데이터화 할 필요가 있다. 또한 전송 선로손실의 변화와 경년변화등

을 체계적으로 측정하여 광링크설계의 통계적 처리에 사용할 수 있어야 한다.

마지막으로 앞으로 포설되는 광케이블은 이 두 파장대를 모두 사용할 수 있고, 1550nm 대역의 특성을 이용할 수 있도록 이 파장대의 규격화가 선행되어야만 한다. 그리고 광섬유의 고유한 손실 뿐만 아니라 접속손실도 줄일 수 있도록 광섬유 기하구조의 개선과 광케이블 접속조장을 증가시킬 수 있도록 광선로와 포설공법의 개선도 요구된다.

*이 연구는 한국통신의 출연금에 의하여 수행되었다.

참 고 문 헌

1. 한국통신, "케이블, 광섬유(장파장) 규격", 통신 6145-3281-아, 1989.
2. CCITT Blue Book, Vol. III,3, Rec. G.652, 1988.
3. CCITT Blue Book, Vol. III,5, Rec. G.955/6, 1988.
4. CCITT SG XV, "Draft Recommendations G.957-

- Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy", COM XV-R 42-E, Aug. 1990.
5. 전영윤, 박재동, 이종남, "포설된 단일모드 광섬유의 전송특성 측정(part I : 실험실내 측정 결과)", TM89-KET12748, ETRI 기술문서, 1989.
6. 전영윤, 박재동, 이종남, "포설된 단일모드 광섬유의 전송특성 측정(part II : 포설 광케이블의 손실측정 결과)", TM90-KET12898, ETRI 기술문서, 1990.
7. 전영윤, 박재동, 이종남, "포설된 단일모드 광섬유의 전송특성 측정(part III : 포설 광케이블의 OTDR 손실측정 결과)", TM90-KET13044, ETRI 기술문서, 1990.
8. A.P.Mozer, "Optical fiber communication systems and their physical limitation effects", J.Opt. Commun., 7(2), p.42, 1986.
9. 강민호외 다수, "장파장 광통신시스템 개발", ETRI 보고서, 1988 12.
10. A Stevenson, etal, "A 2.4Gbit /s long-reach optical transmission system", Br. Telecom Technol J., 7 (1), p.92, Jan., 1989.
11. SP. Rapporteur for Q.11 /XV, "Summary of responses the second Q.11 /XV questionnaire", COM XV-131-E, CCITT SG XV, Dec., 1990.



全永允(Young Yun CHUN) 正會員
1959년 1월 15일생
1980년 2월 : 전남대학교 물리학과 학사
1983년 2월 : 전남대학교 대학원 물리학과 석사
1983년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구소, 광가입자연구실, 선임연구원



朴載東(Jae Dong PARK) 正會員
1959년 1월 12일생
1982년 2월 : 부산대학교 물리학과 학사
1985년 2월 : 한국과학기술원 물리학과 석사
1985년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구소 광가입자연구실, 선임연구원



李晚叢(Man Seop LEE) 正會員
1952년 12월 25일생
1976년 2월 : 부산대학교 전자공학과 학사
1978년 2월 : 부산대학교 대학원 전자공학과 석사
1991년 2월 : 한국과학기술원 전기및 전자공학박사
1979년~현재 : 한국전자통신연구소 광가입자연구실장



梁權澁(Kwon Shik YANG) 正會員
1941년 1월 31일생
1965년 3월 : 동국대학교 졸업
1966년 12월 : 체신부 공무국 선로과
1971년 9월 : 전기통신연구소 연구부 기술기재과
1973년 7월 ~ 1974년 11월 : 독일 우정청 초청 기술연수
1978년 10월 : 한일간 해저케이블 건설본부 건설과장
1982년 1월 : 한국전자통신공사 모전국 전력유도대책과장
1984년 8월 ~ 1986년 8월 : 미국 AT&T Bell Lab 해저광통신 기술연수
1987년 7월 : 한국통신 통신망사업본부 선로시설부장