

PON 시스템 감시 모니터용 PLC 소자

A study on monitor filter PLC monitor device PON system

최영복, 박수진, *고석봉, *이봉영
 KT 미래기술연구소 연구전문그룹, * KT 인프라연구소 FTTH 솔루션개발담당
 (Youngbok Choi, Soojin Park, Seokbong Koh and Bongyoung Lee)

Abstract : In the fibre to the home (FTTH) era, it is expected that broadband network provisioning will require thousands of optical fibres to be accommodated in a central office for optical access networks. An optical fibre line testing system could be used to reduce maintenance costs and improve service availability depending on the PON's element manager capabilities and the maintenance procedures adopted by the network supplier. When monitoring optical fibres transmitting communication lights, a wavelength of 1625 nm is used for maintenance testing. The splitter installed optical filters allow the communication light to pass but that cut off the test light in the front of optical line terminals (OLTs) and optical network terminals (ONTs). In the economic point of view, We design new planer lightwave circuit splitter embedded filter and study it optical property.

Keywords: FTTH, PON, Montor, PLC, Splitter

I. 서론

본 연구에서 제안한 광 선로 감시용 WDM 광 스플리터는 감시 경로를 추가하였으며, 이에 16분기를 고려하여 설계하였다. 이는 Y형 분기형태를 사용함으로 16채널의 경우 이론적인 손실 12dB 이상의 손실을 포함하게 된다. 사용되는 파장은 1310, 1550nm 파장이며 이는 앞서 설명된 필터 설계의 기준을 따라서 설계되었고, 시스템의 감시용으로 1625nm의 파장을 사용한다. 이는 장차 WDM 방식의 PON을 고려한 것이기도 하며 현재의 사용파장을 고려한 것이기도 하다. 따라서 감시용으로 사용되는 파장은 현재 사용되는 파장과 별도로 사용하기 위하여 1625nm를 선택하였다.

II. 본론

가입자망 수동 광 네트워크 (PON)에 사용되는 스플리터의 구조는 광섬유를 이용하여 제작될 경우 8채널 이하에서 경쟁력을 가지지만, 8채널 이상에서는 평면광도파로 (PLC)를 이용하는 것이 유리하다. 그림 1은 16채널 평판형 스플리터 구조를 나타낸 것이다.

그림 2에서 보는 바와 같이 감시용 광의 추가경로의 형성으로 인한 약 10%의 신호 광의 손실을 초래한다. 이는 가입자의 앞단에 동일한 기능을 갖는 필터가 존재하고 그 필터로부터 반사되어 돌아온 감시광이 다시 스플리터에서 반사되어 포트 1로부터 포트 16까지 모두 돌아서 원점으로 되 돌아오는 형태이다. 따라서 전화국에 설치된 OTDR에서는 감시광을 보내고 32개의 반사점 피크를 보이는 결과를 얻게 된다.

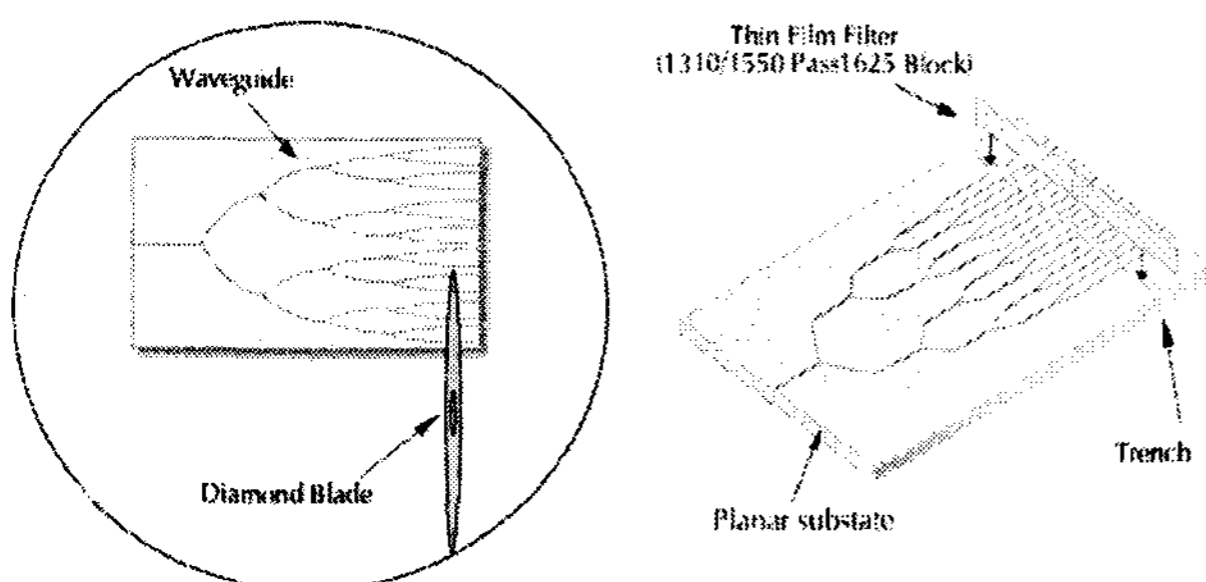


그림 1. PON 구성에 사용되는 스플리터 칩의 구조

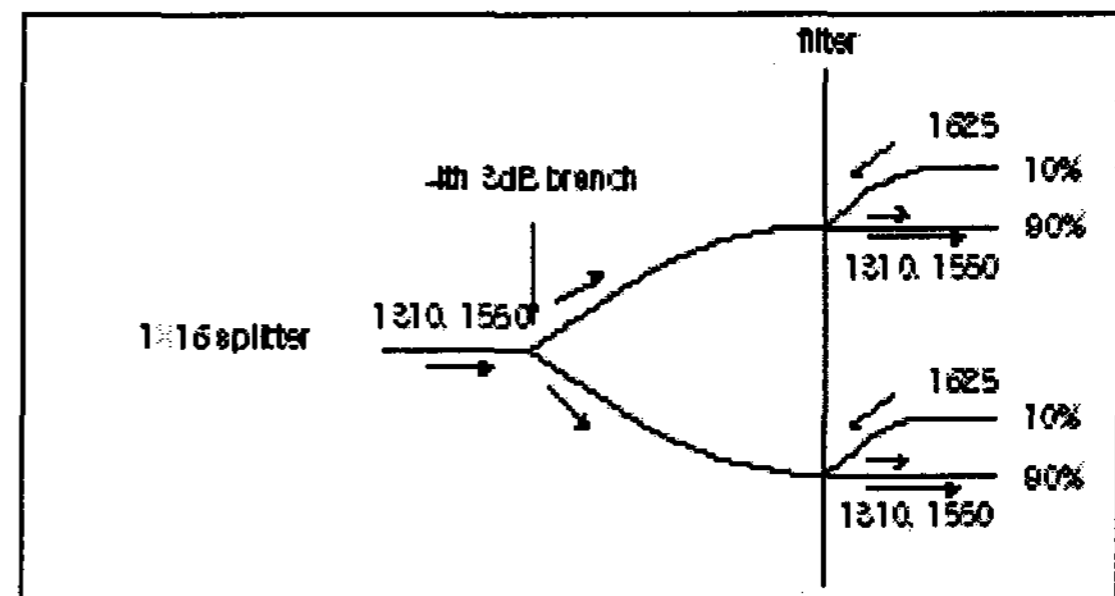


그림 2 감시용 광 스플리터의 구조

그림 2에서 신호 광의 경로는 반사필터를 거쳐 가입자망으로 진행된다. 그러나 신호광의 손실을 고려할 때 감시광의 분기폭을 크게 할 수 없어서 반사되는 광의 각도가 반사효율을 고려한 90도의 각이 형성되지 못하는 단점을 갖게 된다. 이러한 단점은 필터의 제작시 principal angle을 조절하여 어느 정도 보정할 수 있어서 크게 문제는 되지 않지만 가입자망에 사용되는 광부품의 단가를 고려할 때 다소 부담이 되는 가격임에는 틀림없다.

반사를 이용한 감시 광은 필터에서 반사하여 가입자망으로 진행된다. 이 때 신호광의 손실은 필터로 인해 발생하지 않아야 하며 필터의 삽입에 의한 도파로 홈에 의하여도 손실이 발생하지 않아야 한다.

가입자망에서는 기능이 같은 반사용 필터가 있어 감시 광을 다시 스플리터 방향으로 진행하게 한다. 이러한 기능은 가입자의 한 부분에서 처리하면 가능하므로 광섬유 타입의 필터 삽입형으로 제작하였다.

그림 2과 같이 1310, 1550nm를 기준으로 설계되 이는 DWDM, CWDM 등의 망 구성을 고려할 때 범용으로 사용할 수 있는 기준이 된다. 상기한 바와 같이 CWDM은 1270~1610nm의 광섬유 전파장을 이용하므로 이 영역을 제외한 파장을 이용하기 위해서는 1625nm를 사용하게 된다.

필터의 삽입에 의한 손실을 줄이기 위해 제작된 스플리터와 굴절률이 유사한 물질을 사용한다. 굴절률은 $n=1.461$ 정도 되며 사용된 유리기판의 굴절률과 유사한 값이다. 이는 필터의 삽입 시 굴절률 차이로 생기는 반사손실을 고려한 것

으로서 이상적으로는 같은 굴절률 값을 사용하는 것이다.

제작할 필터의 시뮬레이션 결과를 그림 3에 보였다. 3가지 파장에 대한 특성을 만족해야하는 어려움으로 공통되는 반사조건을 고려할 때 반사층의 증착수는 약 150층 정도로 예상되었으며 두께는 20um 정도로 설계되었다.

그림 4는 필터를 삽입할 스플리터의 표면사진으로서 필터의 입사각은 (Angle of incidence) 약 5도로 결정되었다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 도파로의 분기각이 정확히 대칭적이지 못하므로 필터의 효율을 최대한으로 얻을 수 있는 각도이다. 여기에서 전송손실은 (Transmission loss: <math><0.2\text{ dB}</math> at the bands of 1310 +/- 10 nm and 1550 +/- 10 nm)은 그림 3과 같이 예상되었으며 이는 필터 자체만의 파장특성이다. 구별비 (Isolation)는 약 $>25\text{ dB}$ at 1625 nm, $>40\text{ dB}$ at 1650 nm 정도로 예상되며 이 값이 클수록 필터의 효율이 증가하고 신호광과 감시광의 구별이 용이해진다. 또한 감시광의 손실에도 적용되는 값이다. 필터 크기는 면적 1x5 mm, 두께 약 20um이며 삽입시 최대한 적은 폭의 삽입구를 만들고 필터를 삽입하여야 한다. 필터의 두께와 홈의 폭이 차이가 나면 이는 신호광과 감시광의 반사시 손실로 작용하게 된다.

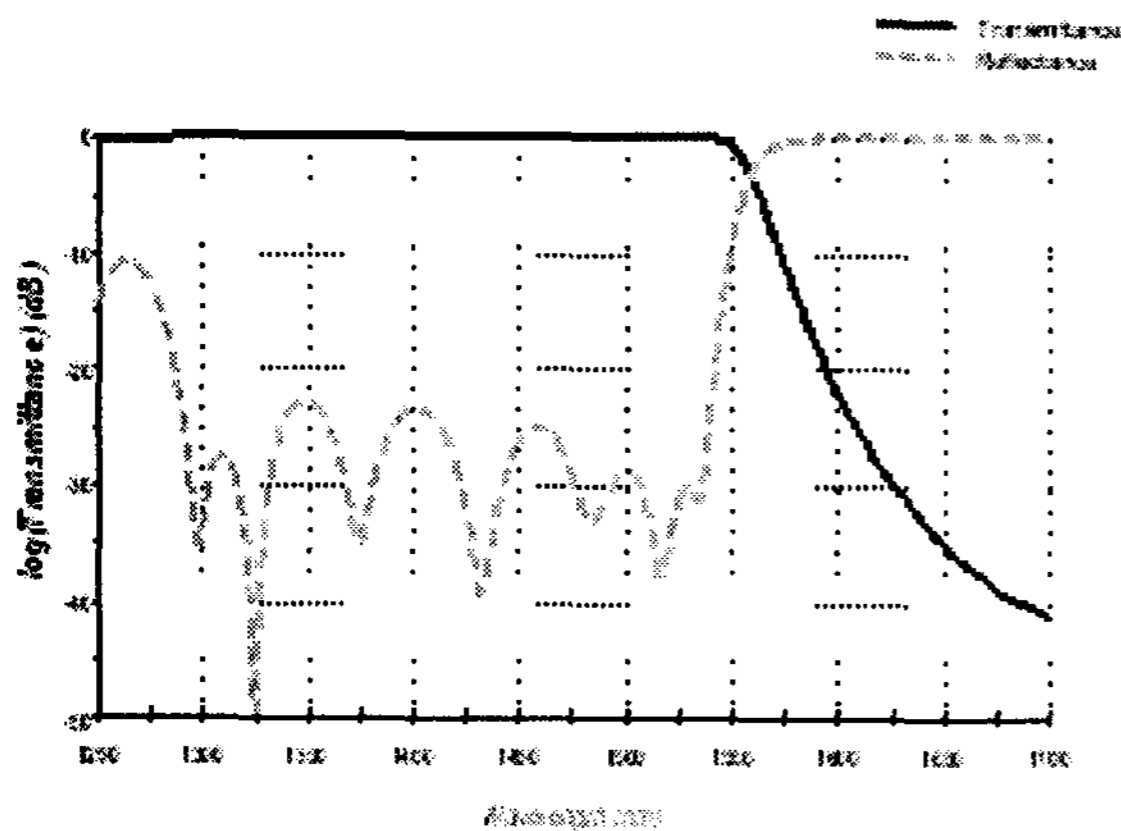


그림 3. 필터의 시뮬레이션 결과

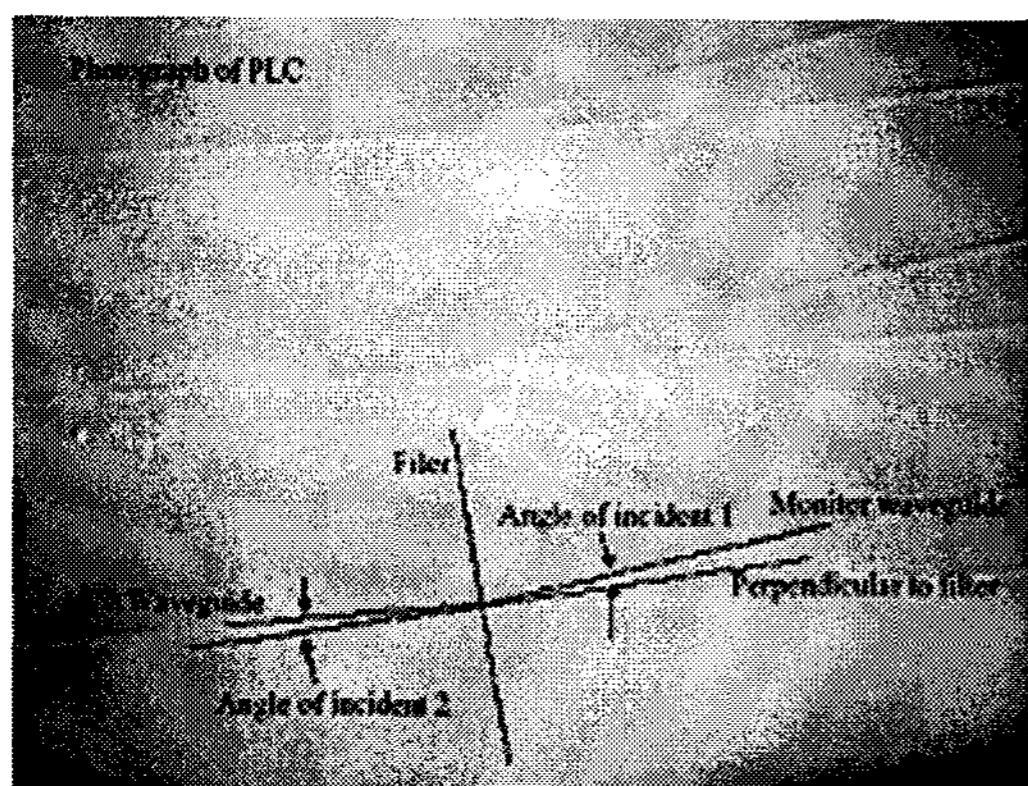


그림 4. 삽입될 필터의 입사각

제작된 필터는 SiO₂, TiO₂를 150층 증착하여 제작한 박막필터로 유리를 기판으로 사용하였다. 이는 일반적인 단파장의 경우 40여 층으로 필터를 제작할 수 있지만 3가지 파장의 공통분모를 가지고 제작하여야 하기 때문에 층수가 증

가한 것이다.

필터의 제작 후 분리를 위해 폴리이미드를 사용하였으며, 일반적으로 기판위에 제작하는 필터는 접착력을 향상하기 위하여 기판의 변형이나 접착력향상 물질을 사용하지만 스플리터의 홈을 파고 삽입하는 박막필터의 경우에는 공정시 필터의 박리를 피하고 제작 후 박막을 분리하는 것을 용이하게 하기위해 폴리이미드 또는 다른 폴리머를 사용한다. 본 필터의 제작에는 박막의 상하에 모두 폴리이미드를 사용하였다. 또한 이는 필터의 휘어짐에도 도움이 되어서 삽입에도 효과적인 것으로 사료된다.

필터의 크기는 스플리터의 크기에 맞게 1x5mm로 절단하였다. 삽입될 스플리터의 칩폭이 5mm 이하이고 홈의 깊이가 200um 이어서 필터의 삽입을 용이하게 1mm 폭으로 제작하였다.

그림 5은 제작된 필터를 OSA(Optical Spectrum Analyzer)을 이용하여 특성을 측정된 결과이다. 감시광의 파장인 1625nm에서 설계치대로 약 25dB 이상을 얻었다. 허나 투과 손실을 보정한 값이므로 약간 줄어든 구별비를 얻게 된다.

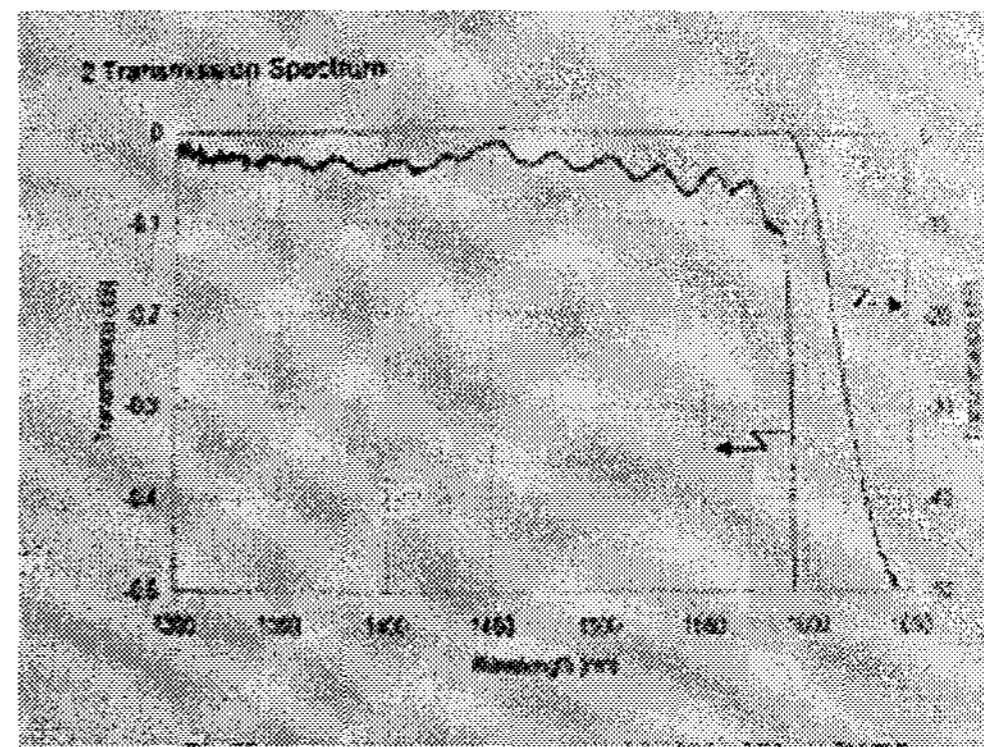


그림 5. 제작된 필터의 특성

홈 가공은 일반적으로 칩의 절단에 사용되는 다이싱 장비 (K&S 984-6)를 이용하여 실시하였으며, 이때 사용된 다이싱 블레이드는 18~70um의 폭을 갖는 것을 사용하였다.

초기실험에서 일반적으로 사용되는 60um 두께의 블레이드를 사용하여 홈을 제작하였을 경우 실제의 홈의 폭은 약 70um이상으로 형성되었다. 이러한 환경에서 10um 두께의 필터를 삽입했을 경우 필터와 도파로사이 간격이 30um이상 이 되므로 손실이 크게 증가를 하였다. 이 때의 삽입손실증가량은 2~5dB 정도의 손실을 나타내었다.

상기와 같은 문제점을 해결하기 위해서 폭이 작은 약 18um 정도 되는 다이싱 블레이드를 사용하여 홈 가공을 실시하였다. 이와 같이 가공된 홈은 두께 약 25um, 깊이 약 200um로 형성되었다. 이와 같은 방법으로 가공된 홈에 필터의 두께가 약 12um정도 되는 삽입하였다. 표 2.7.1은 삽입손실비교를 위하여 일반적인 1550nm 투과필터를 삽입하고 손실을 측정된 결과이다. 이때 삽입전후의 변화는 약 0.2~0.4 dB 정도로 매우 우수한 결과를 나타냈다.

홈 가공시 공정조건에 따라 그 폭의 증가정도가 큰 차이를 보이는 경우가 있었지만, 시제품을 제작하는데 큰 문제가 되지는 않았다. 이와 같은 사항은 양산을 하려고 하는 시점에

서 크게 고려해야 할 사항으로 사료된다.

<표 1> 1550nm 투과 필터를 이용한 결과

포트	삽입 전		삽입 후		차이	
	IL(dB)	PDL(dB)	IL(dB)	PDL(dB)	IL(dB)	PDL(dB)
1	13.28	0.15	13.47	0.12	0.19	-0.03
2	13.16	0.03	13.40	0.06	0.24	0.03
3	13.35	0.29	13.57	0.20	0.22	-0.09
4	13.36	0.21	13.57	0.16	0.21	-0.05
5	13.04	0.16	13.41	0.11	0.37	-0.05
6	13.10	0.08	13.41	0.17	0.31	0.09
7	13.05	0.19	13.35	0.11	0.3	-0.08
8	13.31	0.14	13.41	0.12	0.1	-0.02
9	13.13	0.11	13.39	0.17	0.26	0.06
10	13.17	0.19	13.35	0.20	0.18	0.01
11	13.21	0.15	13.43	0.14	0.22	-0.01
12	13.16	0.14	13.50	0.22	0.34	0.08
13	13.29	0.18	13.67	0.23	0.38	0.05
14	13.27	0.25	13.66	0.29	0.39	0.04
15	13.17	0.05	13.54	0.14	0.37	0.09
16	13.54	0.19	13.60	0.25	0.06	0.06

제작된 필터의 두께가 약 20um이므로 필터의 삽입위치를 정하는 것도 앞절에서 설명된 것처럼 중요한 관건이 된다. 이는 필터의 반사효율을 결정하는 것으로 영향을 미친다. 필터가 삽입될 위치를 그림 6의 중심선에서 왼편과 오른편 그리고 중심선위에 각각 홈을 제작하여 테스트 한 결과 신호광의 진행손실에는 거의 동일한 결과를 얻었으나 1625nm 파장 필터의 반사에는 왼편이 좋은 결과를 얻었다. 이는 중심선을 기준으로 홈을 제작하여도 실제 폭이 25um이므로 설계기준보다 약 12.5um 오른쪽으로 이동한 형태이므로 중심선을 기준으로 왼쪽으로 15um 이동하여 중심위치를 보정하여 홈을 제작하였다.

현미경을 이용하여 필터를 삽입한 후 NTT사에서 제조하는 자외선 경화 에폭시를 이용하여 고정하였다. 이 때 주의할 점은 경화정도가 심한 에폭시는 박막필터에 큰 힘을 가하여 파손시키므로 피하는 것이 좋으며, 점도가 강할 경우에도 필터의 삽입에 방해한다. 그러므로 적당한 점도와 경화특성을 갖는 에폭시를 선택하는 것이 중요하다

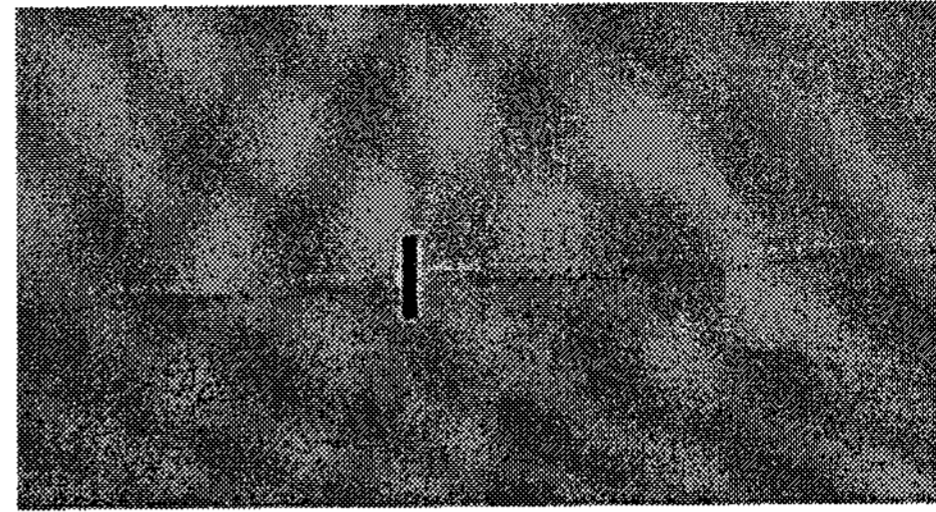


그림 6. 삽입될 필터의 위치

1625nm 파장필터를 감시망에 사용가능한 특성을 보인 것은 중심축에서 입력 측으로 약 15um 이동한 점을 기준으로 삼아 홈을 낸 경우이다. 홈에서 폭이 25um 정도이므로 실제로는 12.5um 정도 다시 보정하여 실제로 빛이 필터에 맞는 점은 원 설계치에서 왼쪽으로 2.5um 정도 이동한 지점이 된다. 결과적으로 설계값과 동일한 특성값을 얻을 수 있었으며, 각과장에 대한 결과는 다음과 같다.

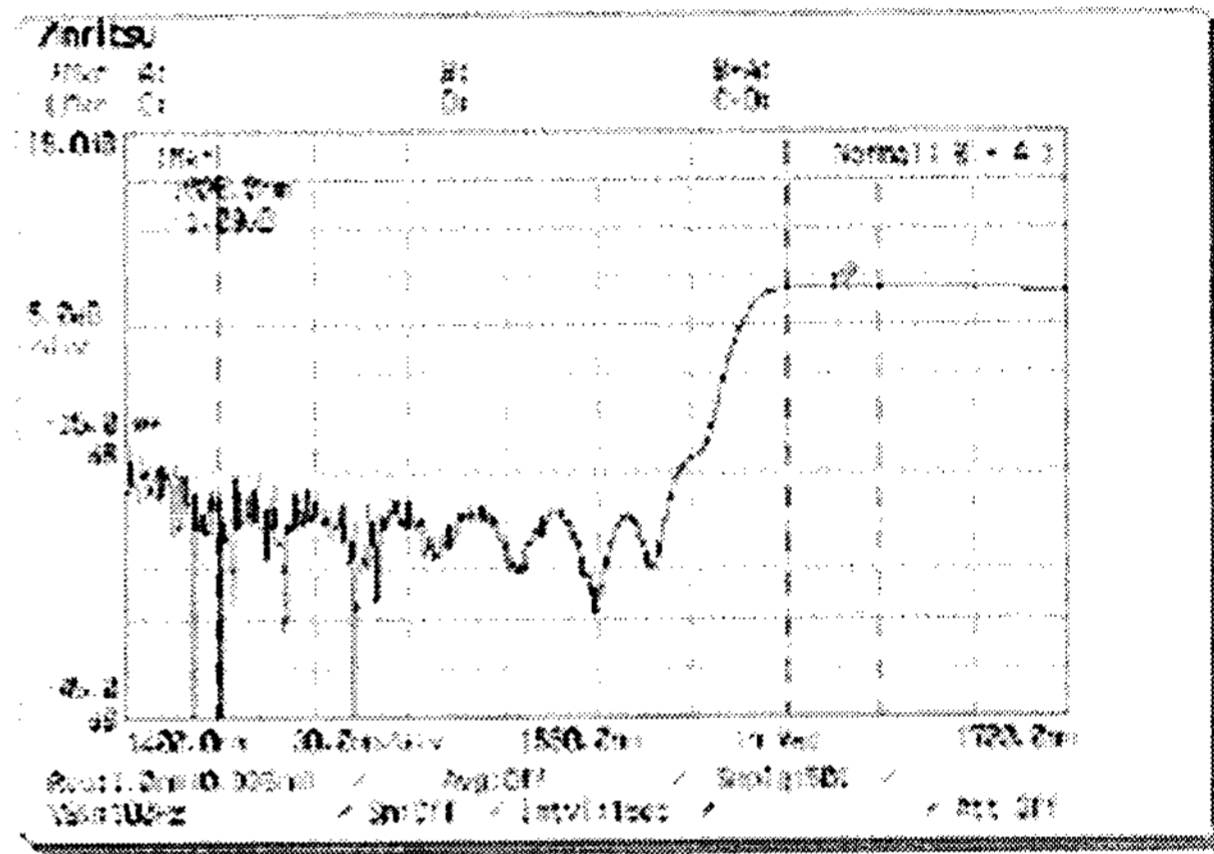


그림 7. 감시용 신호를 입력하였을 때 반사되는 정도

그림 6는 필터삽입 후 1625nm 감시과장에 대한 반사정도를 측정된 결과로써 OTDR에서 입사되는 조건과 같은 조건으로 필터가 삽입된 스플리터에 1625nm 파장을 입력하였다. 결과에서 첫 번째 필터에서 반사되는 정도가 약 1.09dB의 손실을 나타냈다. 이는 커넥터 2개를 포함한 손실 값이므로 소자만의 손실은 약 0.6dB 정도이며, 필터삽입 전에 확인한 필터의 삽입손실 0.2dB를 고려할 경우 반사에 의한 손실은 약 0.4dB 정도로 사료된다.

그림 7은 1625nm 감시용 채널로 반사되어 되돌아오는 광의 세기를 측정된 것이다. 결과에서 약 22dB 정도의 빛이 되돌아오는 것이 측정되었지만, 이 값은 감시용 신호의 검출에 영향을 주지 않는 정도이며, 신호광인 1310, 1550nm 빛과는 약 50dB 정도의 아이솔레이션 값을 얻을 수 있었다.

필터삽입에 의한 손실은 16채널 전체에서 고른 분포를 보였으며, 모든 채널이 1.5dB 이하의 손실값을 나타냈다. 이는 필터 삽입이 균일하게 되었다는 것을 보여주는 것으로 실제로 시스템에 적용하였을 때 반사되는 감시광의 분포를 예측할 수 있는 수치이다. 따라서 전체 시스템에서 16채널을 고려할 때 24dB 정도의 감시신호 손실을 예상할 수 있다.

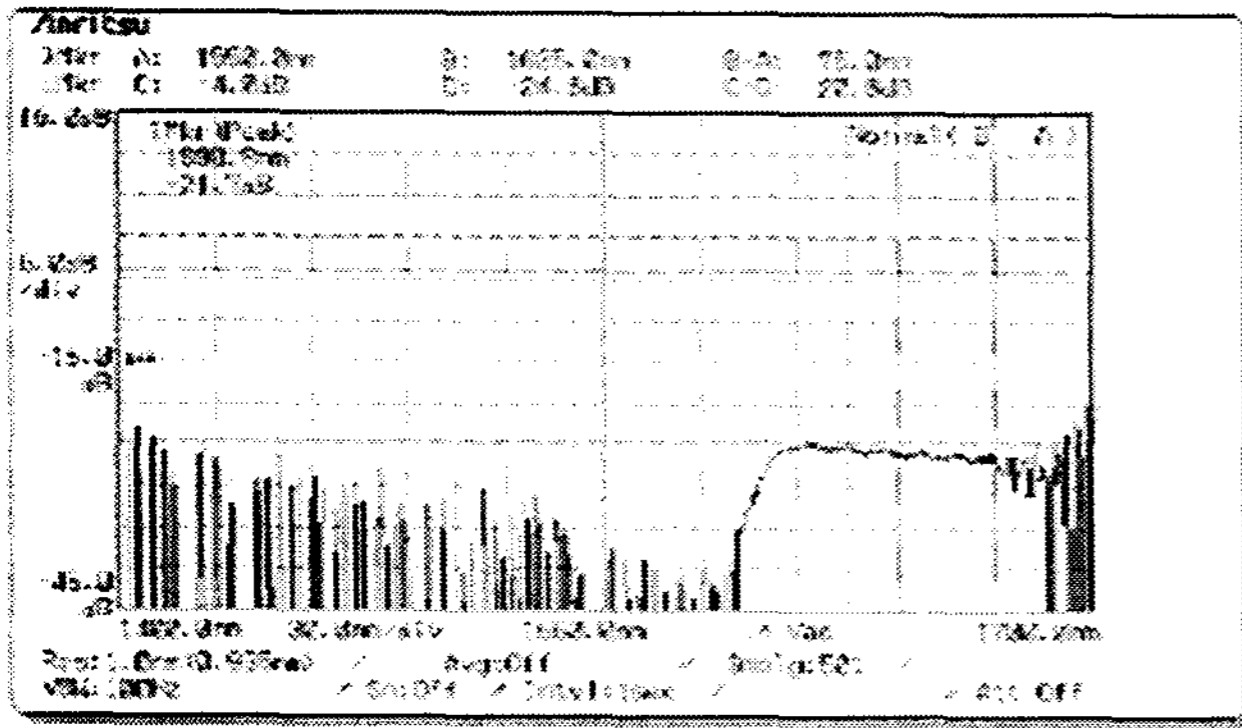


그림 8. 1625nm 감시용 채널로 반사되는 감시용 신호

그림 9은 구성된 감시시스템의 구조이다. 중앙국에서 통신에 사용하는 파장은 1310, 1550nm이고, 감시용 파장으로 1625nm 사용하였다. 이는 앞 절에서 설명한 것처럼 WDM-PON 모니터링 시스템의 확장파장영역의 분리를 위해 각 파장들을 설정하였으며, 하나의 스플리터 칩에 필터를 삽입하여 제작하였고, 그 구성은 그림 9에 나타낸 것과 같다.

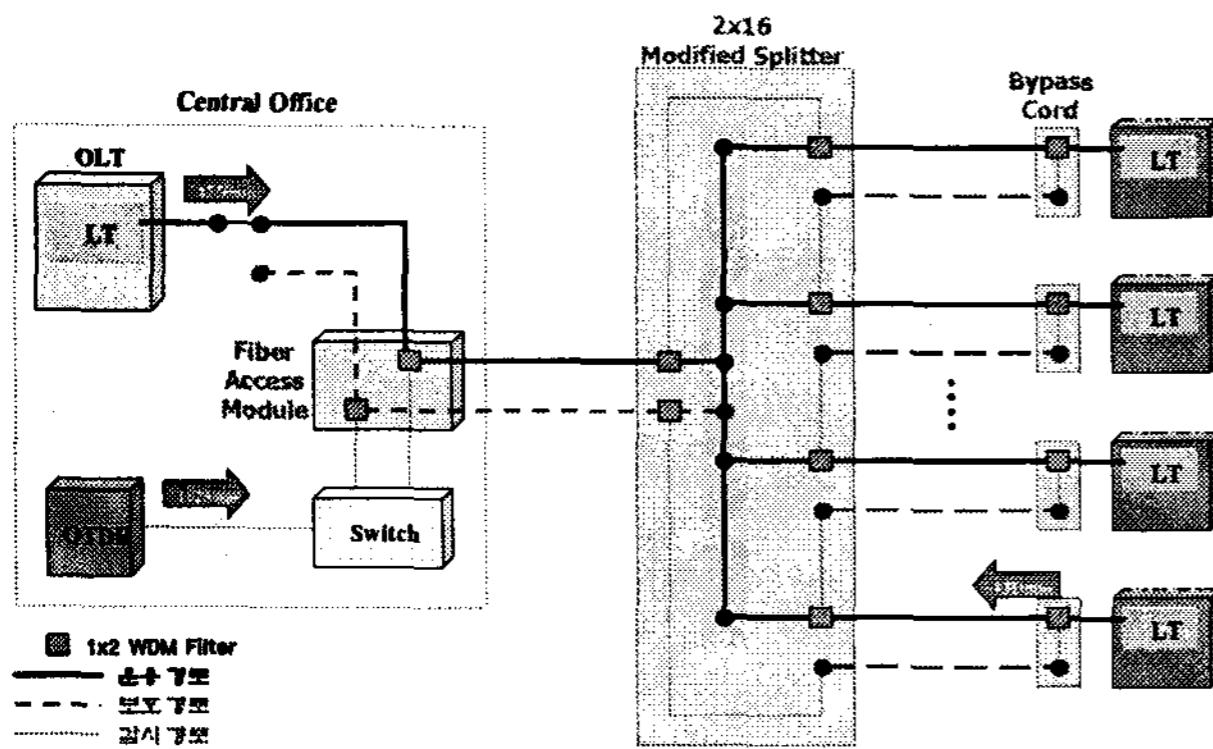


그림 9. 구성된 시스템의 구조

그림 10은 제작한 스플리터에 필터가 삽입하고 후 공정을 거쳐 제작된 모듈을 시스템에 적용한 랙의 모양이다. 그림에서와 같이 신호채널 16개 포트와 감시채널 16개 포트를 합해 총 32포트가 fan-out kit에 연결되어 있고 데이터 신호 입력 포트는 별도로 표시되어있다. 시스템의 측정을 위해 각 포트는 SC/PC 커넥터로 연결되었으며 각 채널은 가입자망으로 연결되는 구조를 갖게 된다.

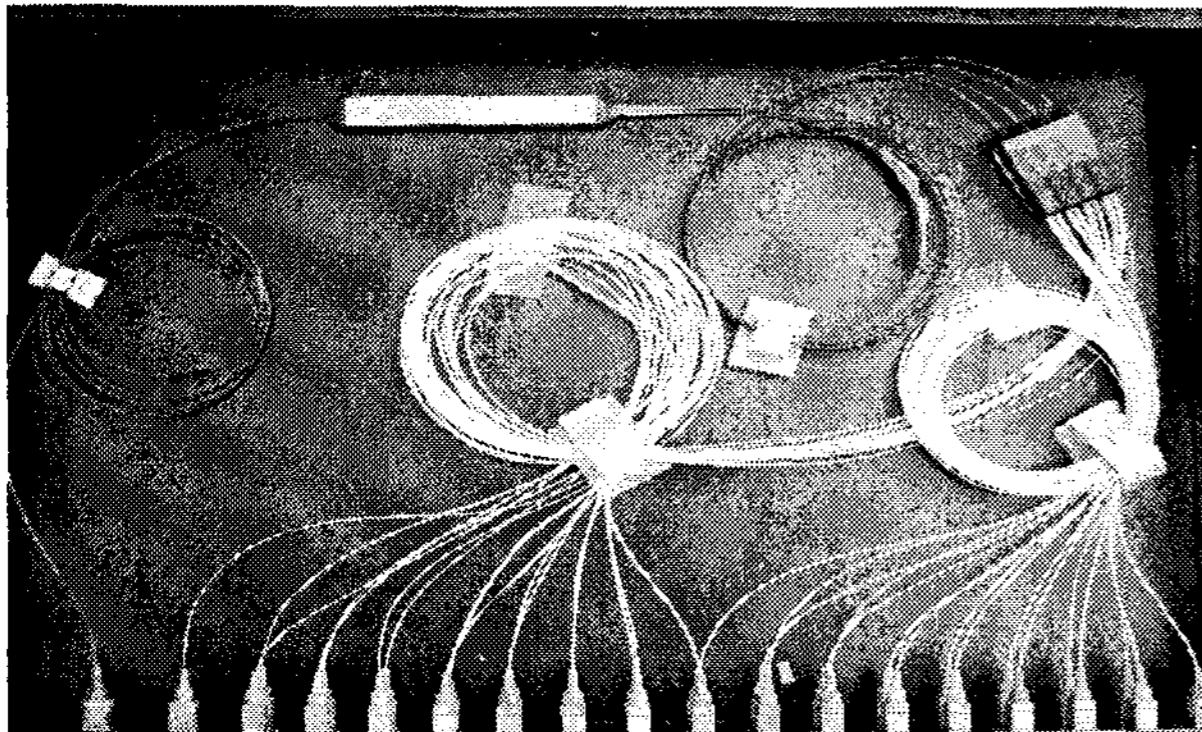


그림 10 제작된 PON 감시용 스플리터 랙

그림 10은 가입자용 바이패스 연결부를 포함하는 사진이다. 그림에서 중간부분이 가입자용 바이패스 연결부이고 하단이 앞에서 설명한 모니터링 시스템의 랙이다.

앞서 설명한 부분이 각각 포함되었으며 임의적으로 가입자망까지의 거리를 100~300m의 간격을 두고 각각 연결하였다. 따라서 시스템 내에서의 신호의 흐름은 감시채널을 통해 OTDR의 신호가 입력되어서 데이터 신호와 합해진 상태로 가입자에게 전달된다.

이 때 감시신호는 가입자의 연결 상태를 확인하고 다시 반사되어서 스플리터로 되돌아오는 구성으로 16채널을 통해 반복된다. 마지막으로 채널을 통과한 감시신호는 다시 중앙국으로 보내지게 되며 OTDR에서는 32개의 반사되는 신호를 추출하여 감시하게 된다.

전체시스템에서 OTDR을 이용한 측정은 양방향에서 실시하였다. 이는 전체적인 광가입자망의 단선에 대비한 조건으로 제안되며 가역적인 결과는 의미가 있는 결과이다.

측정 시스템은 크게 두 가지 타입으로 제작되었다. 첫째는 가입자까지의 거리를 변화하여 루프형태로 되돌아오는 것을 목적으로 제작하였다. 이는 필터의 특성을 파악하는 테스트 베드를 형성하기 위한 목적이 있다. 둘째는 각 가입자의 반사필터를 두어 실제적인 광네트워크의 형성을 모의하였다. 역시 가입자까지의 거리를 100에서 300미터까지 변화시키면서 설정하였다.

그림 11과 12는 스플리터에 삽입된 1625nm 반사필터를 통과하면서 반사된 감시신호의 그래프이다. 결과에서 필터를 통과한 반사 신호를 볼 수 있으며 손실이 상당히 컸다. 즉 시스템에 적용하였을 때 16채널을 거친 감시광의 손실은 약 38dB 정도 이었다. 이는 커넥터 손실을 포함한 것이며 약 0.8dB와 커넥터 양단의 손실 약 0.2dB를 합하여 약 1dB 정도이며 처음 연결을 위해 사용한 5km 광섬유와 가입자망에 연결되는 100m 거리의 총 32채널을 거치면서 추가적인 광섬유 손실 약 6dB를 고려하여 총 38dB 값을 얻었다. 이를 측정하기 위한 OTDR은 하이파워를 가지는 시스템으로 Actemera사의 장비를 사용하였다. 그림에서와 같이 비교적 일정한 손실을 가졌으며 정방향과 역방향 모두 측정 가능하였다. 이는 필터의 모양이 비교적 대칭에 가깝고 가역적인 역방향에서는 약 2dB 정도의 추가손실을 제외하고는 거의 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.

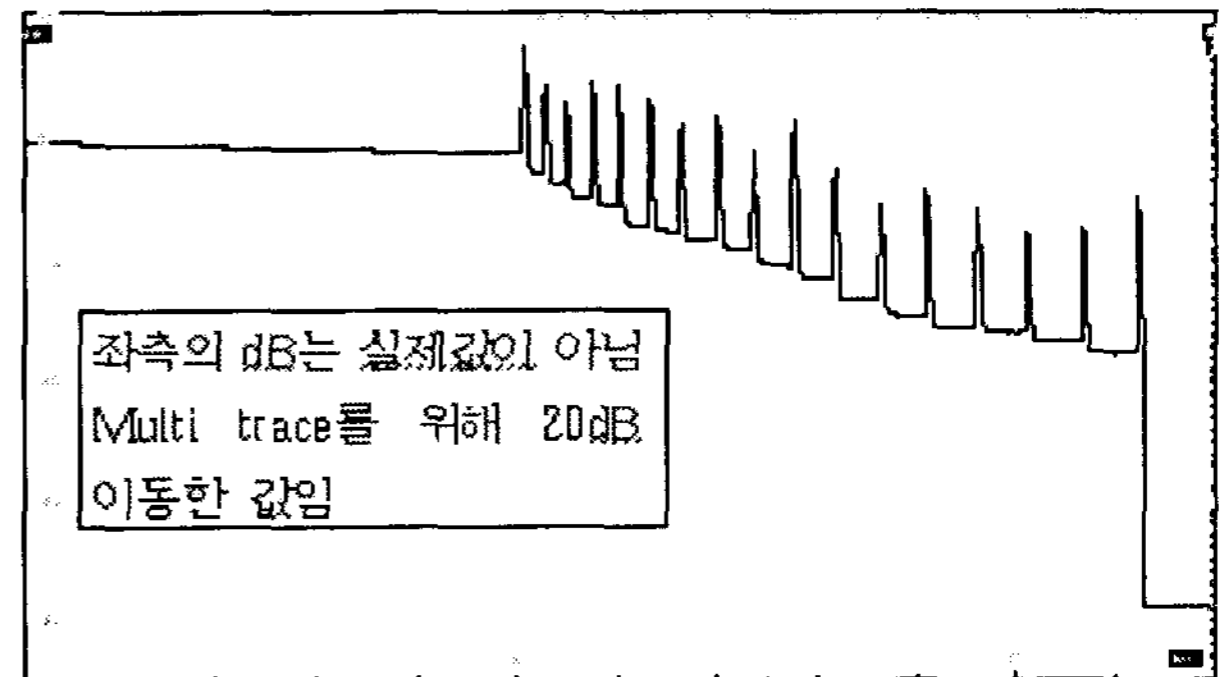


그림 11 OTDR로 측정한 결과(정방향)

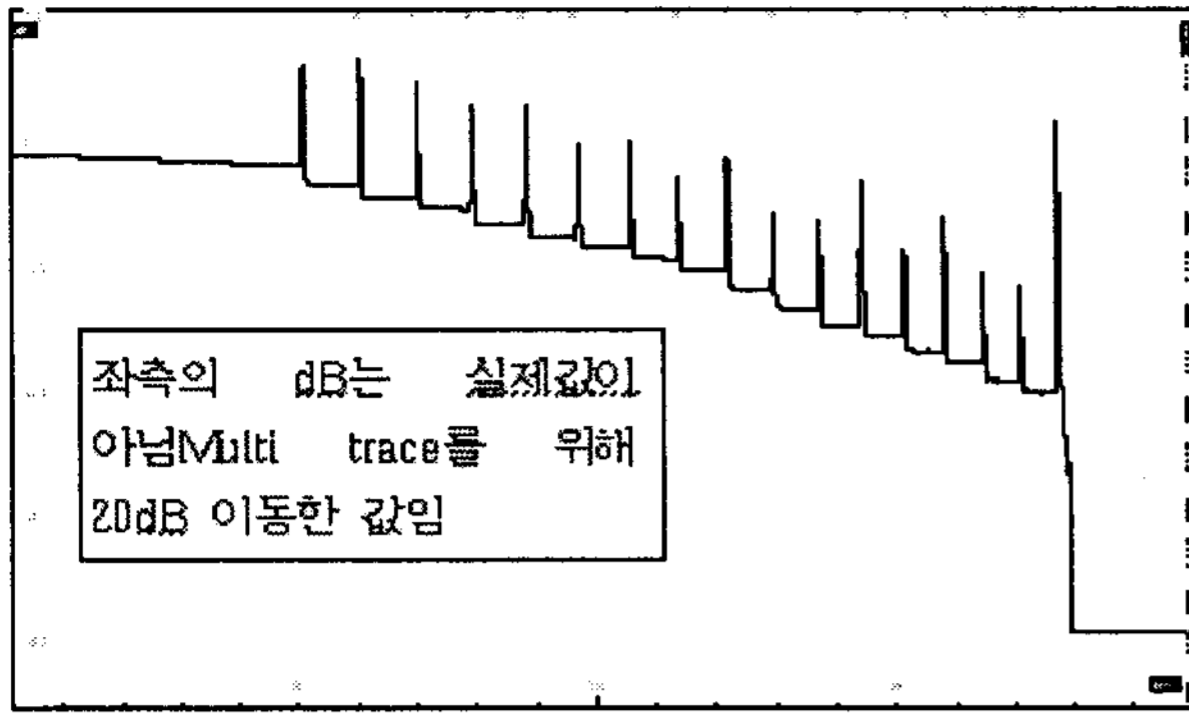


그림 12 OTDR로 측정된 결과(역방향)

III. 결론

시행한 광가입자망 광선로 감시용 PON 광스플리터에 대한 개발에서 감시시스템에 적용한 스플리터 및 필터에 얻은 결과는 다음과 같다.

제작된 필터는 감시 파장인 1625nm에 대한 투과특성은 약 25dB 이상으로 설계와 일치하였으며 두께는 약 12um 정도였다. 필터 삽입 홈의 가공은 약 18um 정도의 다이싱 블레이드를 사용하여 두께 약 25um, 깊이 약 200um의 홈을 형성하였다. 삽입후의 변화는 삽입손실의 변화는 0.4 dB이하로 매우 우수한 결과를 얻었다. 필터의 투과손실은 1625nm 파장에서 0.6dB를 얻었다.

IV. 참고문헌

- 1) 최영복의 optics letter. 평면도파로형 전광증폭기 제작을 위한 Er 이 첨가된 1998-10-16
- 2) 최영복의 한국통신학회지, 평면 도파로형 2 x 32 파장 무의존성 커플러 제작** 1998-08-19
- 3) 최영복의 한국광학회지, 고주파 반응성 스퍼터링법에 의한 SiOxNy 박막의 제작 2000-04-06