

광케이블 유지보수를 위한 수동 B-NT1 모듈 개발

함 청 운 · 엄 진 섭*

Development of passive B-NT1 for optical cable maintenance

Chung-woon Ham · Jin-seob Eom*

ABSTRACT

The reference model for UNI (User Network Interface) of B-ISDN is consisted of three function groups(B-NT1, B-NT2 and B-TE). In this study, we constructed passive B-NT1 module which can be utilized for optical link management and repair, one of main functions of B-NT1. For the convenience of installation and management, this module is only consisted of passive optical devices. And at a local exchange center linked with this module, the broken zone of optic link is able to be monitored without interrupting services. In addition, we performed the power burget analysis for the design of efficient optic link including this module.

1. 서 론

광대역 통신망의 가입자 접속을 위한 표준구성은 망에서 가입자 장치에 이르기까지 B-NT1, B-NT2, 그리고 B-TE의 세개의 기능블럭으로 구성되어 있다. 이는 가입자로부터 망에 이르기까지 필요한 기능들의 물리적 측면과 기능적 위치와 각 기능사이의 관계들로부터 결정된 표준모델이다. 이 중에서 광대역 망 종단장치인 B-NT1은

망 단국교환기에 연결되는 가입자장비의 액세스를 제어하는 기능을 담당한다. 이의 주요기능으로는 광전송선로의 종단기능, 물리계층의 선로 유지보수 및 성능감시기능, 그리고 물리계층 OAM 기능 등이 있다. 한편 초기단계의 B-ISDN 진화과정에서 가입자의 광접속을 위해 수동광가입자망(Passive Optical Network)의 구성이 활발히 논의되고 있으며, 이는 망종단장치의 가격감소, 관리의 단순함 및 전력공급의 불필요 등의 장점이 있기 때문이다. 따라서 B-NT1의 기능중 활발히 논의되고 있는 부분중의 하나는 광전송선로에 대한 유지보

강원대학교 전자공학과 석사과정

* 강원대학교 전자공학과 조교수

수 및 감시기능이다. 현재 독일의 Siemens 사에서는 Passive B-NT1이라는 제품을 개발하였으며, 이는 전원의 공급없이 광대역 가입자장치와 공중망사이에 위치하여 광선로절단의 위치를 모니터링하는데 사용된다. 본 연구에서는 B-NT1의 핵심기능중의 하나인 광선로유지, 보수에 사용되는 모듈을 제작하였다. 이 모듈은 설치 및 관리의 효율성을 위하여 수동광소자(Passive Optical Devives)들로만 구성하였으며, 서비스를 중단함이 없이 광선로의 절단여부를 교환단국에서 모니터링할 수 있도록 했다. 즉, Passive B-NT1은 전원공급이 필요없이 광대역가입자 장치와 공중망사이에 위치하며, 그리고 B-NT1과 연결된 공중망 관리측에서는 선로절단이 발생했을 때, 가입자의 책임부분인 가입자단말부터 B-NT1사이에서 발생했는지 아니면 통신망사업자의 책임부분인 B-NT1부터 망 사이에서 발생했는지를 감지할 수 있다. 그림 1에 전체적인 시스템의 구성을 보였다.[1-5]

아울러 성능 및 가격면에서 이러한 Passive B-NT1 시스템을 적절하게 구성하기 위한 link analysis도 수행하였다. 이를 위하여 Optical-Link Power Budget에 관한 분석을 하였다. 수신단에 도달한 광신호의 파워가 링크의 성능이 보장되기 위한 기준에 부합되는지를 시스템을 구성하는 능동 및 수동 광소자의 variation과 tolerance를 고려해서 시스템 성능을 평가

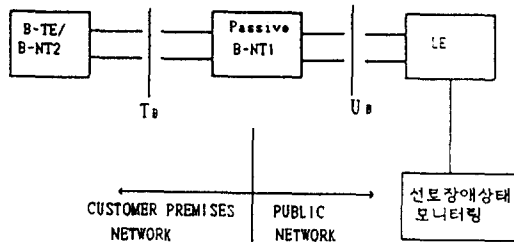


Fig. 1. Basic function construction of passive B-NT1

하는 것을 optical-link power budget이라 일컫는다. 본 연구에서는 optical 링크를 구성하는 송수신 광소자, 수동광부품의 종류와 구성방식에 따라 위의 분석방법을 적용해서 성능을 평가하였고, 광가입자의 분포 및 규모, 정보의 종류등을 고려해서 경제적인 optical link 구성과 송수신 모듈을 제시하였다.[6-10]

2. 수동 B-NT1 모듈 구성 및 설계

2.1 수동 B-NT1 모듈구성

망에서 가입자 장치에 이르기까지는 B-NT1, B-NT2, 그리고 B-TE의 3개의 기능블럭으로 나누어볼 수 있는데, 이중 광대역망 종단장치인 B-NT1은 망단국 교환기에 연결되어 광선로 절단의 위치를 모니터링 하는데 사용될 수 있다.

본 연구에서는 B-NT1의 핵심기능중의 하나인 광선로 유지, 보수에 사용되는 모듈을 Passive 소자로만 구성하였으며, 전체적인 시스템을 그림 3에 보였다. Passive B-NT1은 전원 공급이 필요없이 광대역 가입자 장치와 공중망 사이에 위치한다. B-NT1과 연결된 공중망 장치에서는 선로절단이 발생했을때, 가입자의 책임부분인 단말부터 B-NT1사이(T_B)에서 발생했는지 아니면 통신망사업자의 책임부분인 B-NT1부터 망 사이(U_B)에서 발생했는지를 감지하게 했다. 데이터 전송과 함께 선로절단의 여부를 확인하기 위해 두개의 서로 다른 파장을 사용하였다. 즉, $\lambda_1(1310nm)$ 을 데이터 전송용 신호로 사용하고 $\lambda_2(1550nm)$ 는 절단을 감지하는 신호로 사용했다. Passive B-NT1과 LE(Local Exchange) 사이의 광선로가 절단되었을 경우에는 λ_2 가 전혀 선로모니터용 수신기에서 감지되지 않고, B-TE와 B-NT1에서 선로가 절단되었을 경우 수신기에 감지되는 광파워는 절단된 부분에서 손실된 강도 만큼 감소되어

수신기에서 감지된다. 그리고 선로가 정상 적일 경우는 두 경로를 통하여 오는 광파 위가 합해진 양만큼 수신기에서 감지되어 모니터링 된다. 각각 다르게 수신기에 감 지되는 광의 세기를 전압으로 바꾸어서 비 교기에서 기준전압과 비교함으로써 어느곳 에서 광섬유가 절단되었는지를 경보용 LED를 사용하여 표시하였다. 이를 그림 4 에 블럭다이하그램으로 보였다.

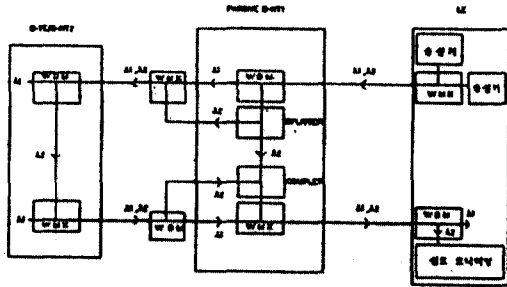


Fig. 2. Passive B-NT1 monitoring circuit diagram for broken zone

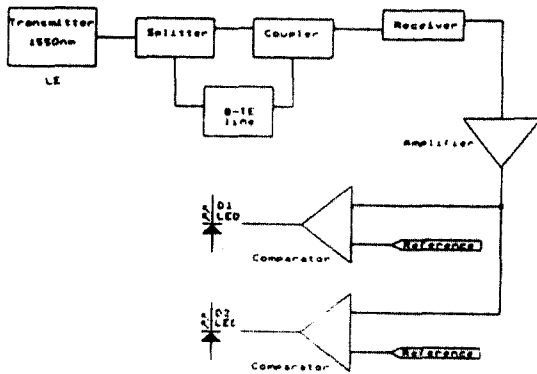


Fig. 3. Monitoring circuit block diagram

선로모니터링하기 위한 신호인1550nm의 송 신기와 고속 데이터를 전송하기위한 1310nm의 송신기를 구동하였고 이신호를 분리, 결합하기 위하여 1310nm, 1550nm용 WDM,WMX를 사용하였다.

2.2 사용된 광소자들의 제반 특성

1) 광송신기 (1310nm)

가. 사용모델 : 1227-Type ASTROTEC (AT&T)

나. 특 징 :

- InGaAsP Laser Diode 내장
- 1.3 μ m 의 발진 파장
- 단일 5V power supply
- 1Mbit/s ~ 650Mbit/s (NRZ) 의 Date rates

--15dBm ~ -8dBm의 평균 광출력

- ECL compatible 입력
- 자동출력 조절장치(APC) 내장
- -40 $^{\circ}$ C ~ +85 $^{\circ}$ C의 동작온도 범위
- 20 pin DIP 형
- SONET compatible
- single-mode fiber pigtail

2) 광수신기

가. 사용모델 : 1310-type ASTROTEC (AT&T)

나. 특성

- 넓은 유동 범위
- 20Mbits/s에서 650 Mbits/s(NRZ) 데이터율 동작 범위
- 1.3 μ m 또는 1.55 μ m 파장에서 동작가능
- Positive ECL-level 출력
- Link-status flag
- 동작 온도범위:-40 $^{\circ}$ C ~ +80 $^{\circ}$ C
- +5V 와 -5V 전원공급

3) 광커플러(fiber optic couplers)

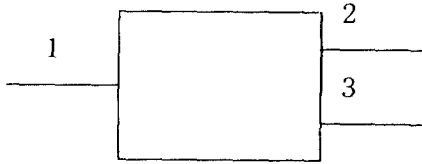
가. 사용모델: SF4-E-1300P(CANSTAR)

나. 특징

- Available from stock
- 파장 : 850,1300,1310,1550nm에서 동작

- 손실이 적음
- 다양한 coupling ratios.
- 양방향성
- Fiber pigtails in protective tubes
- Optional connectorized pigtails

다. 정의



Coupling Ratio :

$$CR = \frac{P3}{P2 + P3} \times 100\%$$

Excess Loss :

$$EL = -10 \log \frac{P2 + P3}{P1}$$

4) 광송신기 (1550nm)

가. 사용모델 : OF4143 1550nm DCPBH laser in DIL package

나. 특징

- 1550nm DCPBH laser diode
- DIL 14 package
- built-in monitor diode
- built-in thermister
- single mode fiber pigtail

5) WDM & WMX

가. 사용모델 :

WDM-1310/1550-E3(CANSTAR)

WMX-1310/1550-E3(CANSTAR)

나. 광성능 규격

- 동작 파장 : 1300nm와 1550nm

또는 1310nm와 1550nm

- Passband : ± 15 nm
- Insertion loss : ≤ 0.5 dB
- Wavelength isolation : ≥ 16.0 dB
- Directivity : ≥ 60.0 dB
- Polarization stability : ≤ 0.1 dB

다. 광섬유

- Mode field diameter(1300nm) : $9.5 \mu\text{m}$
- Cladding : $125 \mu\text{m}$
- Coating : $250 \mu\text{m}$

3. 시스템 파워 버지트 시뮬레이션

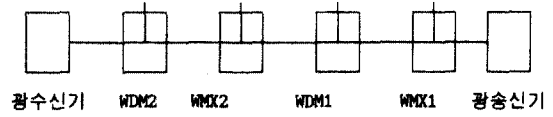
3.1 수동 B-NT1 모듈의 시뮬레이션을 하기 위한 고려 사항

본 실험에서는 WDM을 접목시킨 시스템에서의 파워버지트를 시뮬레이션함으로써 이를 충족시키는 B-NT1을 설계하였다. 본 연구에서는 수동 B-NT1을 구성할 수동 광부품의 종류와 특성을 알아보고 모듈구성에 따른 파워 버지트를 분석한 것이다. 여러가지 구성방법 중에서도 경제적이고 시스템 운영에 가장 효율적인 optical link 구성을 제시하였다. 수동 B-NT1의 핵심기능중의 하나인 광선로유지 및 보수를 위해서는 광수신기에서 감지할 수 있는 충분한 광 power가 필요하다. 따라서 여기에서는 어떻게 모듈들을 배치하고 구동시키는 것이 효율적인가를 알아내는 것이 중요하다. 이 모듈들은 수동광소자만을 이용하여 구성하고 있으므로 최초 광송신기에서 발생하는 Optical power를 수신기에 이르기까지 가장 손실이 적고 경제적으로 이득을 가져올 수 있는 시스템을 구현하였다. 여기서는 3개의 각 경로들을 그림으로 자세히 살펴보고, 각 경로에 대한 총광파워 손실 P_r 를 구해보며 평균 광송신파워 및 광분배기 종류에 따른 감지할 수 있는 최

대거리와 거리에 따른 각 경로의 파워 손실, 그리고 세가지 종류의 광분배기들을 조합해 봄으로써 효과적인 파워 버지트를 수행해보았다. 각 경로에 대해서는 블럭다이아그램과 함께 시뮬레이션 결과값에 따른 여러가지 상황들을 살펴보았다. 이에 따르는 파라미터들은 다음과 같다. 1×2 광분배기의 삽입손실을 L_2 (dB/ea), 2×1 광결합기의 삽입손실을 L_1 (dB/ea), 컨넥터의 손실을 L_{CN} (dB/ea), WDM의 손실을 L_{WDM} , WMX의 손실을 L_{WMX} 라 하고 광섬유의 단위 길이당 광파워 감쇄를 L_f (dB/km)라 하며 광송신기와 광수신기간의 총광파워손실 P_T 는 각 경로에 따라 식(1)-(3)과 같이 표현될 수 있다. 여기에서 사용되는 1×2 광분배기와 2×1 광결합기는 1×2 커플러를 이용한다. 그리고 전송손실은 같다고 본다. 1×2 광분배기 경우의 세가지 종류의 삽입손실을 알아보면, 10% 출력단자를 사용할 때의 삽입손실은 10.9dB ($= -10\log(10/100) + 0.9$)이며, 90% 출력단자를 사용할 때의 삽입손실은 1.36dB ($= -10\log(90/100) + 0.9$)이 된다. 50% 출력단자의 경우는 3.91dB ($= -10\log(50/100) + 0.9$)가 된다. WDM과 WMX의 삽입손실은 소자의 삽입손실중 최대값인 0.5dB를 사용하였다. 컨넥터의 경우는 그 손실 값이 최소인 FC/PC형을 사용 함으로써 0.5dB의 삽입손실을 고려하였고 광섬유 전송손실은 0.36dB/km의 감쇄값으로 고려하였다. 여기서는 3개의 각 경로에 대한 파워손실 P_T 를 구해보았으며, 평균 광송신파워, 광분배기 종류의 조합에 따라서 최적의 시스템 설계를 제시 하였고, 고속 데이터가 전송되는 최대 거리를 시뮬레이션 하였다.

3.2 경로에 따른 파워 버지트

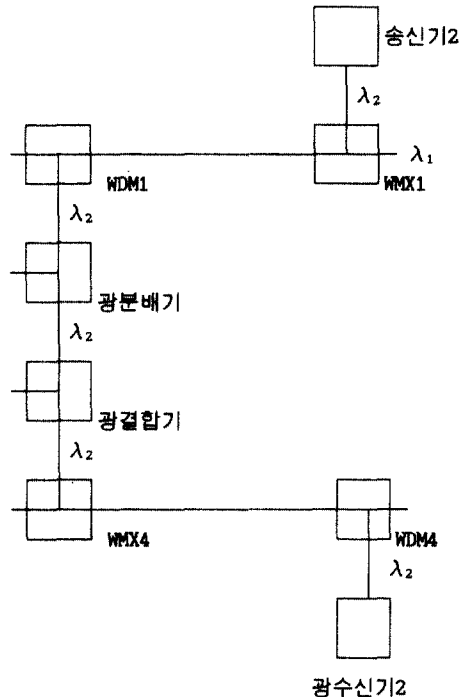
경로1 : 광송신기1-WMX1-WDM1-WMX2-WDM2-광수신기1



경로1은 λ_1 을 파장으로 갖는 고속 데이터가 광송신기1에서 부터 두개의 WDM과 WMX를 거쳐 광수신기로 전송되는 경로를 나타낸다. 이 경로는 교환단국에서 가입자까지의 고속데이터 서비스를 전달하는 경로이며 이경로의 최대 전송거리에 따라서 교환단국과 단말까지의 거리를 제한하는 요소가 된다.

$$P_{T1} = n_{CN}L_{CN} + n_M L_{WMX} + n_D L_{WDM} + l_f L_f \text{ (dB)} \quad (1)$$

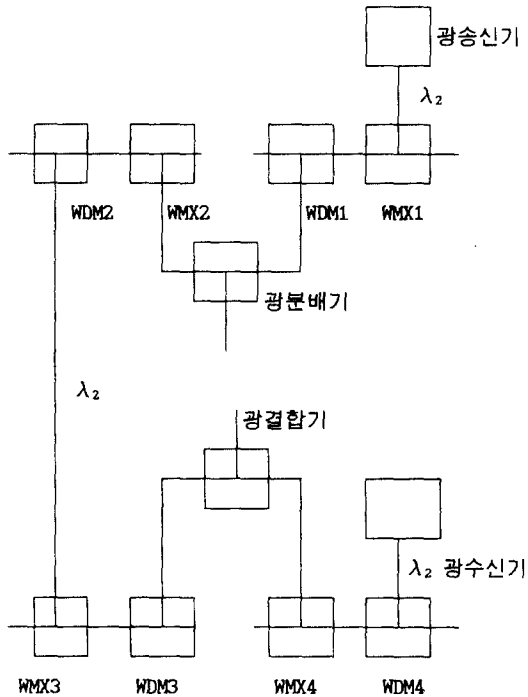
경로2 : 광송신기2-WMX1-WDM1-광분배기-광결합기-WMX2-WDM2-광수신기2



경로2는 수동 B-NT1과 망교환단국장치 (Local Exchange)사이의 광섬유가 정상일 경우 두장치 사이에서 모니터링 파장 λ_2 의 경로를 나타낸다. 광분배기에서 갈라져서 나온 λ_2 신호는 광결합기에서 B-NT2를 경유하여온 또다른 λ_2 신호와 광결합기에서 합쳐지게 된다. 따라서 합쳐진 광파워의 차이를 수신단에서 감지하게 되며 공중망에서 선로가 절단된 경우와 사설망에서 절단된 경우를 모니터링하게 된다.

$$P_{T2} = n_1L_1 + n_2L_2 + n_{cn}L_{cn} + n_M L_{WMX} + n_D L_{WDM} + l_f L_f \text{ (dB)} \quad (2)$$

경로3 : 송신기2-WMX1-WDM1-WMX2-WDM2-WMX3-WDM3-광결합기-WMX4-WDM4-광수신기2



$$P_{T3} = n_1L_1 + n_2L_2 + n_{cn}L_{cn} + n_M L_{WMX} + n_D L_{WDM} + l_f L_f \text{ (dB)} \quad (3)$$

경로3은 망교환 단국장치 (Local Exchange)와 B-NT1까지의 광섬유가 정상이고 B-NT1과 B-NT2까지의 선로가 정상적인 경우 모니터링 파장 λ_2 의 흐름 경로를 나타낸다. 그리고 이때 광수신기에는 경로3의 λ_2 파워와 경로2의 λ_2 파워의 합이 감지되게 된다. 선로절단 모니터링 시스템을 구현할 경우 경로2에서 일어나는 파워의 손실보다는 B-NT2까지 경유하는 경로3에서 발생하는 광파워의 손실이 크게 일어날것이다. 따라서 경로2에 분배되는 광파워를 적절히 작게 하면서 경로3으로 많은 파워를 할당해야 한다.

이때 n_1 은 2×1 광결합기의 수, n_2 는 1×2 광분배기의 수, n_s 는 광스위치의 수, 그리고 n_{cn} 은 사용되는 컨텍터의 수이며, n_M 은 WMX의 수, n_D 는 WDM의 수, l_f 는 가입자망의 길이를 나타낸다. 광송신기의 출력광파워를 P_s 라하고 광수신기의 수신감도를 P_R 라 하면, P_s 와 P_R 그리고 총광파워손실 P_T 간에는 식(4)와 같은 관계가 있다.

$$P_T + M < P_s - P_R \text{ (dB)} \\ \text{or} \\ P_R < P_s - P_T - M \text{ (dB)} \quad (4)$$

이 식에서 M 은 시스템 마진을 나타내는 것으로서, 이것은 시스템의 노화 등에 따른 시스템의 성능 저하 시에도 만족할 만큼의 성능을 가입자에게 제공하기 위하여 사용되며, 6dB가 일반적이고 특별한 경우 8dB까지의 시스템 마진을 요구하기도 한다.

$$P_{T1} = 5 \times 0.5 + 2 \times 0.5 + 2 \times 0.5 + (5+5) \times 0.36 \\ = 8.1 \text{ dB}$$

$$P_{T2} = 1 \times 1.36 + 1 \times 3.91 + 2 \times 0.5 + 2 \times 0.5 + 7 \times 0.5 + (5+5) \times 0.36 \\ = 14.37 \text{ dB}$$

$$\begin{aligned}
 P_{73} &= 1 \times 1.36 + 1 \times 3.91 + 4 \times 0.5 + 4 \times 0.5 + \\
 & 11 \times 0.5 + (5 + 5 + 5 + 5) \times 0.36 \\
 &= 21.97 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

위에서 보는 바와 같이 모든 경로에 대해서 27.0dB보다 작은 것을 알 수 있다. 따라서 파워 버지트를 잘 만족함을 알 수 있다.

3.3 경로에 따른 파워 버지트 시뮬레이션 결과

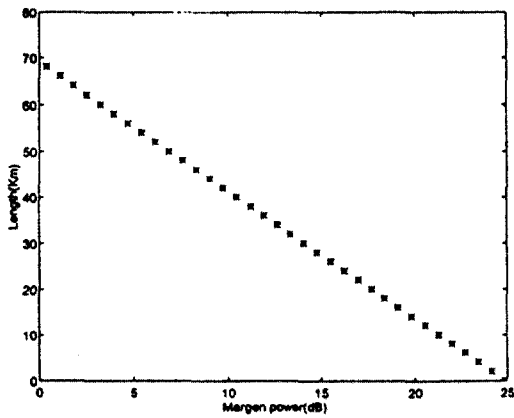


Fig. 4. path1 data transmission maximum length(1mw)

그림 4는 경로1에서 1mw의 파워를 광송신기에서 출력하였을 경우에 수신기에서 데이터를 감지할 수 있는 최대의 거리를 나타내었다. 시스템 마진을 6dB로 고려하였다. 그림에서는 잔여 power(Margin power)가 0dB될때까지 수신이 가능하므로 계산하여 시뮬레이션한 것이다. 잔여 파워로 모니터링 가능한 거리를 시뮬레이션하였는데 이 그림에서 살펴보면 거리를 1km이내로 하였을 경우에는 잔여 파워가 약24dB가 되며 잔여 파워로 최대거리 약 70km정도 까지 데이터 전송이 가능한 것을 알 수 있다.

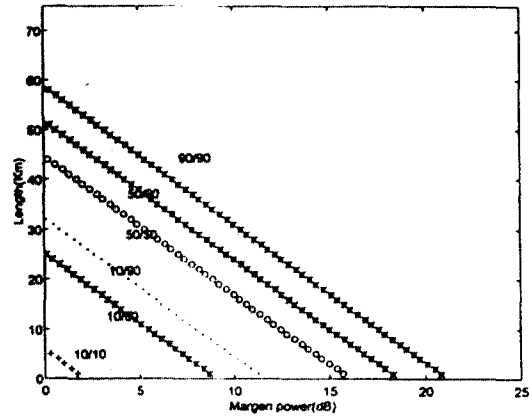


Fig. 5. Power loss of path2 (1mw)

그림 5는 경로2에서 광송신기(λ_2) 파워를 1mw로 출력하여 광결합기와 거리를 변화시키면서 시뮬레이션한 결과를 그림으로 나타낸 것이다. 세가지의 광결합기를 조합하여 시뮬레이션한 바에 따르면 90:90 광결합기 조합을 사용한 경우가 가장 손실이 적어 가장 먼거리까지 모니터링이 가능하지만 이경로는 광파워를 줄이면서 B-NT2까지의 경로로 많은 파워를 할당해야 한다.

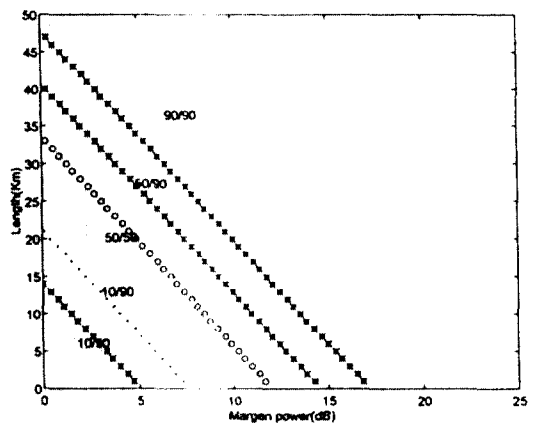


Fig. 6. Power loss of path3 (1mw)

따라서 최소의 광결합기 조합인 10:10 일 때를 주목해야 한다.

그림 6은 경로3에서 광송신기(λ_2) 파워를 1mW로 출력하여 광결합기와 거리를 변화시키면서 시뮬레이션한 결과를 그림으로 나타낸 것이다. 10:10 광결합기조합을 사용했을 경우에는 거의 모니터링을 할 수 없는 것으로 나타났으며 10:50 이상의 결합기를 조합해야 모니터링이 가능한 것으로 나타났다. 약 90:90인 경우에는 약 48km 까지 수신되는 것으로 미루어 교환단국과 가입자까지의 거리를 조정할 수 있게 된다. 따라서 모니터링할 수 있는 거리는 신호가 왕복해야 하는 관계로 약 24km가 되는 것을 그림 7에 보였다.

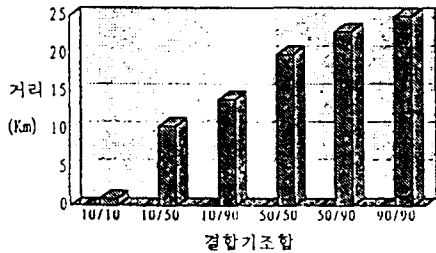


Fig. 7. Maximum length from LE to B-TE

4. 실험 결과

4.1 λ_2 신호를 이용한 선로절단 모니터링

λ_2 (1550nm) 신호는 OF4143 모델을 사용하였다. 약 1mW의 평균 광파워가 출력될 수 있도록 LD를 구동시켰다. 1mW의 광은 전체적인 구성도에서 보였듯이 WMX 소자에 결합되어지고 수동 B-NT1 내의 WDM에 도달하게 되며, 광분배기를 통하여 λ_2 신호가 갈라지게 된다. 이 λ_2 신호의 광파워를 모니터링함으로써 LE 측에서 절단된 것과 B-NT2 측에서 절단된 것을 판별하게 된다. 일단 LE 측에서 절단된 경우에는 포토다이오드에 도달하는 파워가 0W가 되고,

B-NT2 측에서 절단되었을 때는 포토다이오드에 도달하는 파워가 반감된다. 선로가 모두 정상적인 경우에는 두경로를 통과한 광이 검출 되게된다. 이렇게 포토다이오드에서 검출된 전류를 전압으로 변환하고 증폭시켰다. 이 전압을 Comparat or로 비교하여 LED에 연결하였다. 즉 정상적으로 동작하고 있으면 두개의 적색 LED가 모두 Off 상태이므로 정상임을 표시하고, LE와 B-NT1 사이에서 선로가 절단 되었을 경우에는 두개의 LED가 ON이 되어서 이부분이 절단 되었음을 나타내었다. 그리고 B-NT1과 B-NT2 사이에서 선로가 절단되었을 때는 LED중 하나만 ON이 되게 하여 이부분이 절단된 것을 판정하도록 하였다. 이것으로 공중망에서 절단이 되었는지 혹은 사설망에서 절단이 된것인지를 신속하게 알아내게 하였다. 아래 그림은 λ_2 신호를 이용하여 선로절단 모니터링하는 것을 회로도로 보인것이다.

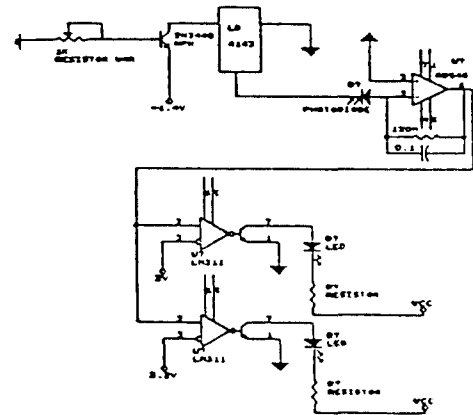


Fig. 8. Detailed monitoring circuit

4.2 λ_1 신호를 이용한 고속데이터 전송

이 연구에서 제안하고자 하는것이 두개의 파장을 WDM과 WMX를 사용하여 고속데이터 전송을 가입자까지 전송하면서 데이터 전송과는 무관하게 선로 절단을 모

니터링하는데 그 목적이 있다고 할 수 있다. 따라서 사설망과 공중망 절단의 여부를 가림과 동시에 1310nm의 λ 신호를 사용하여 가입자까지 데이터 전송을 수행하였다. 이 실험에서 사용한 광송신기는 AT&T의 1227-TYPE ASTROTEC을 사용하였고 수신기로는 1310-TYPE를 사용하였다. 고속 데이터 전송과 수신은 300Mbps 까지 실험하여 성공하였고 그림 9에 보였다.

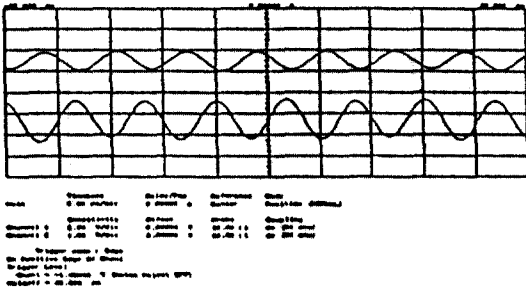


Fig. 9. High speed data service

5. 결 론

광대역통신망의 가입자 접속을 위한 표준구성에서 B-NT1은 망단국 교환기에 연결되는 가입자 장비의 액세스를 담당하는데 이의 주요한 기능인 광선로유지, 보수의 기능을 수행하기 위하여 광결합기, 광분배기, WDM, WMX 등의 수동광소자(Passive Optical Network)로만 구성된 B-NT1 모듈을 구성하였다. 이 모듈은 서비스의 중단 없이 광선로의 절단 위치를 교환 단국에서 모니터링할 수 있도록 함으로써 망의 신뢰도를 향상시키고, 광선로 보수를 용이하게 할 수 있게 하였다. 그리고 1310nm를 이용한 고속 데이터 전송은 300Mbps까지 실험하였고 BER 테스트는 수행하지 못하였다. 망교환단국과 가입자까지 데이터 전송을 수행하면서 동시에 선로를 모니터링할 수 있는 최대거리를 Power budget을 시뮬레이션 해본 결과는 약 24km 정도로 제한되는

것을 알 수 있었다. 그러나 fiber의 연결에서 손실을 최소로 줄이고 손실이 적은 소자를 사용하여 망을 구성한다면 그이상 까지도 모니터링이 가능한 것으로 보인다. 이를 아울러 성능 및 가격면에서 Passive B-NT1 system을 적절하게 구성하기 위한 Link Analysis을 수행하였는데 앞에서 살펴본 듯이 power와 거리에 따라 각 node 사이에 사용되는 components는 구별되어지는데 수십 Km 이내의 비교적 근거리에서는 single mode fiber를 사용할때 LD와 PIN photodiode를 사용하는 것이 효율적인 link 구성임을 알 수 있었다. System 적용시 앞에서 설명한 각 사항들을 고려하면 효율적인 link 구성을 할 수 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] P. Sarti, "Customer Premises Network Aspects", *Integrated Broadband Communications: Views form RACE*, 1991.
- [2] M.H. Reev, S. Horung, P. Jenkins and S. Mallinson, "Design of passive optical networks," *Br. Telecom Technol. J.* vol. 7, no. 2, pp. 89-99, April, 1989.
- [3] H.B.Killen, "Fiber Optic Communications", Prentice-Hall Int., New Jersey, 1991.
- [4] M. H. Reer, S. Hornug, P. Jenkins. and S. Mallinson, "Design of Passive Optical Network," *Br. Telecom Technol. J.* Vol. 7, no. 2, PP. 89-99, April. 1989.

- [5] Gerd Keiser, "Optical Fiber Communication" second edition, McGRAW-HILL, 1991.
- [6] C. Lin, ed., *Optical Technology and Lightwave Communication Systems*, Van Nostrand Reinhold, 1980.
- [7] C.A. Brackett, ed., "Special Issue on Lightwave Systems and Components," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 27, no. 10, October, 1989.
- [8] W.R. Willson, "Stretching the loop fiber budget," *Telephony*, July 8, 1991.
- [9] A.P. McDonna, D.J. McCartney, and D.B. Mortimore, "1.3 μ m bidirectional optical transmission over 31km of installed single-mode fiber using optical couplers," *Electron. Lett.*, vol. 20, no. 18, pp. 722-723, 30th Aug, 1984.
- [10] J. Eom, H.S. Jung, "B-ISDN을 위한 광가입자망에서의 광절체 모듈개발," '94 광자기술 학술회의., pp. 183-184, Oct. 1994.