

광가입자망 신뢰도 향상을 위한 광절체 접속장치 개발

엄진섭*

Development of Optical Protection Socket for enhanced Reliability in Optical Subscriber Networks

Jinseob Eom*

ABSTRACT

In this paper, an OPS(Optical Protection Socket) unit is designed and prototyped for the application in the optical CPN(Customer Premises Network).

The OPS unit, which plays an important role in the CPN for the enhanced network reliability, is consisted of 1×2 optical fiber splitter, combiner, and 1×1 optical switch to be a hybrid-typed unit. Various considerations, about power burget and optical information loss have given the most practical design for OPS.

From the measurement of the realized OPS unit, it has proved such as the pertinent switching delay time with minimum data loss, the perceptive ability on the ONU degradation, the switching ability on the ONU malfunction.

I. 서론

앞으로 다가올 사회는 정보화 시대로서, 다양한 종류의 정보를 고속으로 전송 처리할 수 있는 고속 통신망 구축을 필요로 하고 있

으며, 이의 한 분야로서 광섬유 전송시스템을 근거로 한 광가입자망(FITL-Fiber In Loop)에 관하여 많은 연구가 이루어져 왔다. 특히 교환단국과 FTTO, FTTC, FTTH 등으로 구분된 수요자 밀집 지역사이의 통신망 구조 및 방식등에 대해서 집중적으로 많은 연구가 진행 되어져 왔다. 한편 수요자택

* 강원대학교 전자공학과 전임강사

간의 망구조에 대해서는 경제적 타당성 및 수요자들이 요구하는 서비스 내용의 상이함 때문에 비교적 주목을 끌지 못했으나, 90년도 후반에 본격화될 광대역 종합정보통신망 진보추세에 비추어 볼 때 가입자택 간의 통신망 구조에 관한 체계적인 연구가 필요하게 되었다. 기술 선진국에서는 이 분야를 CPN (Customer Premises Network)이라 분류하여 본격적인 연구를 진행하고 있으며, CPN구조의 비용 및 구성의 난이도 정도가 앞으로 전개될 광대역 종합정보통신망 구현의 조기 실현 및 성패에 지대한 영향을 미칠 것 이라고 인식하고 있다. CPN이란 가입자택내의 터미널과 공중망 접속 인터페이스 (public network access interface)사이의 망을 가리키는 것으로, CPN의 구성은 star형, bus형, star-bus형, ring형등이 있으며, 본 논문에서 고려한 구조는 ring형에 속한다. 이러한 ring형 CPN은 가입자 밀집 지역단의 ONI(Optical Network Interface)와 각 가입자택 사이의 연결구조에서 upstream은 bus 구조로, downstream은 looped-bus 구조로 형성되며, 한 가입자택의 ONU (Optical Network Unit) 장애시 광신호를 다음 가입자택으로 by-passing 시킬 수 있는 OPS (Optical Protection Socket)가 망의 신뢰도를 보장할 수 있는 중요한 unit로 작용하게 된다. 본 논문에서는 이러한 OPS unit를 실제 시스템 적용시 요구되는 다양한 요구 조건을 고려하여 설계, 제작 하였다. 제안된 OPS unit는 1×2 광섬유 분배기와 결합기, 1×1 광섬유 스위치등을 기본적인 구성요소로 한 Hybrid 형태의 OPS이며, 특히 제어부분 (control part)에 가급적 많은 시스템 요구사항을 수용하여 망의 신뢰도 향상을 중점적으로 고려하였다.

II. OPS의 설계 및 제작

B-ISDN의 진보 추세에 발맞추어 세계 각국이 가입자택 간의 통신망 구조의 중요성을

인식하고 다양한 구조의 CPN 구조를 제안하였으며, 예로써 Bellcore에서 제안한 CPN 구조를 그림1에 나타내었다. 그림에 보인 바와 같이 OPS는 CPN의 신뢰도 보장을 위해 매우 중요한 역할을 담당한다. 본 논문에서는 이러한 OPS unit를 평면 광집적기술 (Planer Optical Integrated Technology)의 전단계로서 광수동소자와 광스위치를 사용하여 구현하였다.

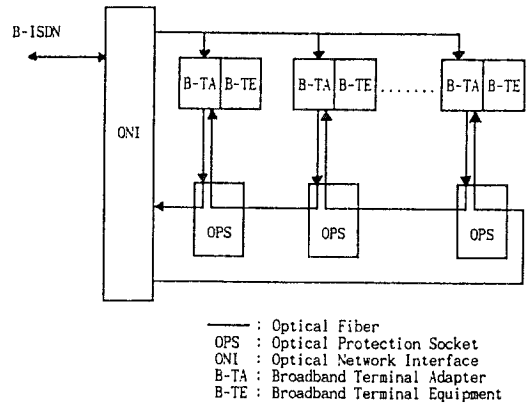


그림 1. Bellcore에서 제안한 CPN 구조

1. OPS의 구성과 동작 원리

제안된 OPS의 구성도를 그림2에 보였다. 1×1 광스위치를 2개 사용하였는데 이는 단순히 ONU (Optical Network unit)가 고장 (power-off)난 경우뿐만 아니라, ONU의 정상동작 복귀시에도 스위칭을 행하기 위함이다. By-passing 과정은 다음과 같다. ONU의 by-passing을 필요로하는 상황 (out of order, power-degradation)을 모니터링 회로에서 감지하면, 광스위치 1에 즉시 +5V를 인가함으로써 광스위치 1을 close시키게 된다. 이때 광천이 시간 (optical transition time)은 2ms보다 적게 되므로, 약 2ms의 지연후에 광스위치 2를 open시키기 위하여 0V를 광스위치 2로 보낸다. 이렇게 함으로써 스위칭 시간동안에 일어날 수 있는 광신호 손실을 최소화 할 수 있다.

광분배기2의 경우에는 광출력 분배율을 1 : 9로 택하였으며, 이것은 ONU의 power-off나 degradation을 감지하기 위해 Controller 부분으로 보내는 광신호를 최소화하고, 가능하면 많은 광출력을 실제 전송로로 분배하기 위한 것이다. 광분배기1의 경우 입력광의 50%를 ONU로 보내게되며 50%는 광스위치1로 보내게된다. 따라서 광스위치1로부터 출력되는 광의 90%가 다음 ONU로 전송되고, 광스위치2로부터 입력되는 광의 90%도 다음 ONU로 전송되는데 이것은 다음 ONU로 전송되는 광출력을 최대로 유지시키기 위함이다.

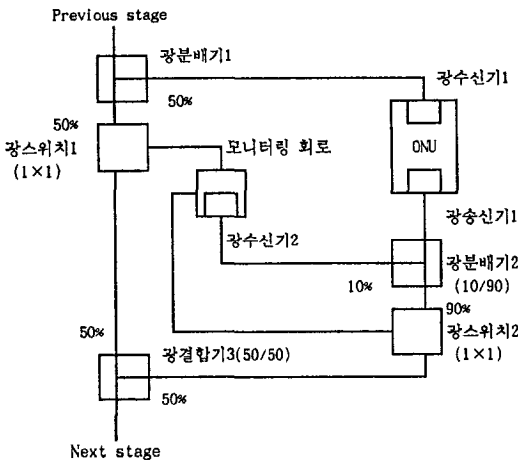


그림 2. OPS 구성도

2. OPS prototype

2.1 수동 광소자의 광학적 특성

OPS의 시스템 버지트(System Budget)를 살펴보기 위해 수동 광소자에 적용되는 광학적 특성들을 간단히 설명하면 다음과 같다.

첫째는 통과대역(Optical Bandpass)으로서 광섬유를 사용하는 광통신 시스템에서는 800nm 영역과 1310nm 영역, 그리고 1550nm 영역이 있다. 광통신 시스템의 진화 전략에 의하면, 대개의 광통신 시스템은 1310nm영역을 우선 기존의 음성을 중심으

로한 서비스에 적용하도록 하고 1550nm 영역과 미사용된 1310nm 영역 근처의 그 외의 부분을 영상 서비스 등의 광대역 통신 서비스를 위해 사용한다. 1310nm영역과 1550nm영역에서 넓은 통과 대역을 요구하는 것은 수동광소자를 이용하여 망을 구성할 때, 보다 경제적으로 송수신단을 도입함으로써 망의 실용화를 촉진시키기 위함이다.

둘째는 삽입손실(Insertion Loss)로서 $M \times N$ 커플러에서 입력단 $i(1 \leq i < M)$ 로 들어가는 광신호의 파워를 P_i 라 하고, 출력단 $j(1 \leq j < N)$ 로 부터 나오는 광파워를 P_j 라 하자. 이때 입력단 i 로부터 출력단 j 로의 커플러를 통한 광신호 전달시의 삽입손실 L_{ij} 는

$$L_{ij} = -10 \log \left(\frac{P_j}{P_i} \right) \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

로써 정의된다. 이때 각 입력단과 출력단 간의 삽입손실 L_{ij} 는 수동광소자가 만족시켜야 하는 통과 대역 중에서 나타내는 삽입손실 값 중의 최대치를 선택하며, 모든 $L_{ij}(1 \leq i < M, 1 \leq j < N)$ 중의 최대치를 L_i 할 때, 이 L_i 를 그 수동광소자의 삽입손실을 대표하는 값으로 한다.

셋째는 방향성(Directivity)으로서 입력단 i 로부터 다른 입력단 $j(i \neq j)$ 로 전달되는 광파워의 비를 나타내는 것으로 식(2)에 나타낸 것과 같다.

$$D_{ij} = -10 \log \left(\frac{P_j}{P_i} \right) \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

이것은 각 입력단간의 crosstalk 특성을 보여주는 것으로서 이 양이 크면 클수록 각 입력단 간의 crosstalk가 적어 신호의 올바른 전달이 쉬워진다. 그리고 모든 입력단 i 에 대하여 D_{ij} 는 50dB 이상일 것이 요구된다.

넷째는 반사율(Reflectance)로서 반사율 R_i 는 입력단 i 로 들어간 광신호가 다시 처음의 입력단 i 로 되돌아 오는 광파워 간의 비로써 정의되며 식(3)과 같다.

$$R_i = 10 \log \left(\frac{P_{iOUT}}{P_i} \right) \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

입력단 i 로 들어간 광신호가 반사되어 광원으로 다시 되돌아감으로 인해 광파워의 발전에 혼란을 일으킬 수 있다. 이 R_i 는 컨넥터로부터 반사되어 오는 광파워의 양은 제외시킨 것으로 가입자 맥내망의 적용시 모든 수동광소자가 -40dB 이하의 반사율을 가져야 한다.

2.2 시스템 버지트 (System Budget)

시스템의 성능을 결정지어 주는 양으로서 그 시스템의 정보 전송 속도와 BER (Bit Error Rate) 등이 있다. 어느 시스템이 이러한 요소들을 만족시키는지 알아보기 위해서는 시스템의 파워 버지트와 상승 시간 버지트 (rising-time budget) 등의 두 가지 관점에서 살펴 보아야 한다. OPS에서의 파워 버지트와 상승 시간 버지트를 고려해 봄으로써 이를 충족시키는 OPS prototype을 설계하였다.

먼저 파워 버지트 (Power Budget)에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

광절체 기술에 필요한 구성 요소 중 광신호의 전송 주에 광파워의 손실을 야기시키는 요소들로는 1×2 커플러 (10, 90%)와 1×1 광스위치, 전송선으로 쓰일 광섬유, 그리고 각소자간의 연결에 쓰일 컨넥터 등이 있다. 1×2 광분배기의 삽입손실을 L_2 (dB/ea), 2×1 광결합기의 삽입손실을 L_1 (dB/ea), 1×1 광스위치의 손실을 L_s (dB/ea), 컨넥터의 손실을 L_{cn} (dB/ea)이라 하고 광섬유의 단위 길이당 광파워 감쇄를 L_r (dB/km)이라 하면 이 커플러를 이용한 OPS의 광송신기와 광수신기간의 총광파워손실 P_T 는 OPS의 각 경로에 따라 식 (5)-(7)과 같이 표현될 수 있다.

경로1 : 전단 광송신기2 → 전단 광분배기2
→ 전단 광스위치2 → 전단 광결합기3

→ 광분배기1 → 광스위치1 → 광결합기3
→ 후단 광분배기1 → 후단 광수신기1

$$P_{T1} = n_1 L_1 + n_2 L_2 + n_s L_s + n_{cn} L_{cn} + l_r L_r \quad (\text{dB}) \quad (5)$$

경로2 : 전단 광송신기2 → 전단 광분배기2
→ 전단 광스위치2 → 전단 광결합기3
→ 광분배기1 → 광수신기1

$$P_{T2} = n_1 L_1 + n_2 L_2 + n_s L_s + n_{cn} L_{cn} + l_r L_r \quad (\text{dB}) \quad (6)$$

경로3 : 광송신기2 → 광커플러2 → 광수신기2

$$P_{T3} = n_2 L_2 + n_{cn} L_{cn} + l_r L_r \quad (\text{dB}) \quad (7)$$

이 때 n_1 은 2×1 광결합기의 수, n_2 는 1×2 광분배기의 수, n_s 는 광스위치의 수, 그리고 n_{cn} 은 사용되는 컨넥터의 수이며, l_r 는 가입자망의 길이를 나타낸다. 광송신기의 출력 광파워를 P_s 라하고 광수신기의 수신감도를 P_R 라 하면, P_s 와 P_R 그리고 총광파워손실 P_T 간에는 식 (8)과 같은 관계가 있다.

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

or

$$P_R < P_s - P_T - M \quad (\text{dB}) \quad (8)$$

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.

이제 설계된 수동 광소자의 광학적 특성치들을 식 (5)-(7)에 적용시켜서 식 (8)을 만족시키는지 살펴보자. 이의 적용에 쓰일 각 구성 요소들의 단위 손실 값들을 Bellcore에서 제시하는 성능 기준 요구치를 사용하였다. 따라서 2×1 광결합기의 경우는 입력 광파워의 90%가 출력되므로 삽입손실은 1.36dB (= -10log (90/100) + 0.9)이다.

1×2 광분배기에서는 10% 출력단자를 사용할 때의 삽입손실은 $10.9\text{dB} (= -10\log(10/100) + 0.9)$ 이며, 90% 출력단자를 사용할 때의 삽입손실은 $1.36\text{dB} (= -10\log(90/100) + 0.9)$ 이 된다.

50% 출력단자의 경우는 $3.91\text{dB} (= -10\log(50/100) + 0.9)$ 가 된다. 광스위치의 삽입손실은 1dB 로 주어지며, 커넥터의 경우는 그 종류별로 삽입손실값이 다른데, 여기서는 그 손실 값이 최소인 FC/PC형을 사용함으로써 한 번의 커넥터 사용시 0.5dB 의 삽입손실을 고려하였다. 또한 광섬유에 대해서는 0.36dB/km 의 감쇄값을 사용하였으며, ONU와 ONU사이의 거리는 100m 로 하였다.

일반적으로 LD에서 발진되어 나온 빛이 pig-tailed 광섬유에 커플링되면 논리적 1에 대한 광파워는 -0dBm 이며, 논리적 0에 대한 광파워는 ER(Extinction Ratio)가 10dB 일 때, -10dBm 이 된다. 그리고 임의의 랜덤 비트 시퀀스(random bit sequence)의 데이터가 전송된다면 논리적 1의 광파워가 나올 확률과 논리적 0의 광파워가 나올 확률이 같으므로 시간 상에서 평균화된 출력 광파워는 $(-0.0\text{dBm} + (-10.0\text{dBm}))/2$ 로 -5dBm 이 된다. 따라서 STM-1급의 속도인 155.52Mb/s 의 랜덤 비트 시퀀스로 변조된 광송신기의 평균출력 광파워를 -5.0dBm 이라 하자. 그리고 155.52Mb/s 까지 수신할 수 있는 광수신기는 일반적으로 -38.0dBm 가량의 수신감도를 갖는다. 따라서 시스템 마진을 6dB 라 할 때 OPS의 3개의 경로 각각에 대한 총파워손실 P_T 는 27.0dB 보다 작아야 한다. 아래에 각각의 경로에 대한 총 파워손실을 계산하였다.

$$P_{T1} = 3 \times 1.36 + 2 \times 3.91 + 2 \times 1 + 8 \times 0.5 + 200 \times 10^{-3} \times 0.36 = 17.97\text{dB}$$

$$P_{T2} = 2 \times 1.36 + 1 \times 3.91 + 1 \times 1 + 5 \times 0.5 + 100 \times 10^{-3} \times 0.36 = 10.17\text{dB}$$

$$P_{T3} = 1 \times 10.9 + 2 \times 0.5 + 10^{-3} \times 0.36 = 11.9\text{dB}$$

위에서 보는 바와 같이 모든 경로에 대해서 27.0dB 보다 작은 것을 알 수 있다. 따라서 제안된 OPS prototype은 파워 버지트를 잘 만족함을 알 수 있다.

그림 3은 단위(km)당 잔여 광출력을 수신기의 수신감도(-38dBm)와 비교하여 시뮬레이션한 결과로써 ONU와 ONU 사이의 최대 길이는 4km 이다.

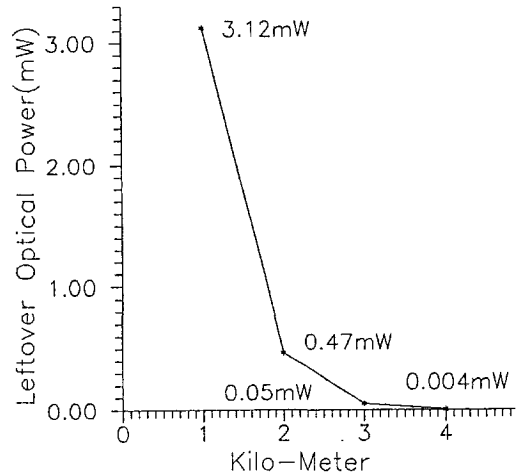


그림 3. ONU간의 길이에 따른 잔여 광파워

이외에 상승시간 버지트(Rising time Budget)에 대해 고려해 본다. 디지털 통신 시스템에 상승시간이란 어느 한 비트의 정보가 논리적 0에서 논리적 1로 바뀔 때 그 높이가 전체 높이의 10%에서 90%까지 변할 때 걸리는 시간을 말한다. OPS에 쓰이는 커플러와 광스위치와 같은 광소자들은 광섬유처럼 dispersion을 가지고 있으나 광섬유 전송선에 비하여 그 크기가 극히 작으므로 이 펄스 정보의 상승시간에 끼치는 효과는 광섬유 전송선에 비하여 극히 미미하다. 시스템의 상승시간 T_{sys} 를 결정해 주는 식을 구하면 식(9)와 같이 된다.

$$T_{sys} = (T_{tx}^2 + (350/Brx)^2 + Dmat^2 \sigma^2 L^2 10^{-6})^{1/2} \text{ [nsec]} \quad (9)$$

이식에서 T_{tx} 는 송신기의 상승시간을 nano-second 단위로 나타낸 것이며, Brx 는 수신기 front-end 대역폭을 MHz 단위로 나타낸 것이다. 그리고 세제항의 σ 는 송신기로부터 나오는 빛의 spectral width를 nano-meter 단위로 나타낸 것이며, $Dmat$ 은 광섬유의 dispersion으로서 그 단위는 [psec/nm, km]가 된다. 마지막으로 L 은 전송선의 길이로서 단위는 km이다. NRZ (Non-return to zero)를 선로 부호로 사용하는 시스템에서 한 비트의 주기를 τ 라하면, 일반적으로 시스템 상승시간 T_{sys} 는 0.7τ 보다 작아야만 신뢰성있는 시스템을 보장할 수 있다. 그러나 식 (9)에서 주된 영향을 미치는 것은 광섬유의 길이이며, OPS에서는 거의 무시할 수 있다. 이로부터 시스템 상승시간 T_{sys} 를 구하면 4.37nsec가 된다. 따라서 NRZ 155.52Mbps 시스템에서는 한 비트의 주기가 6.45nsec이므로 한 비트 주기의 70%인 0.7τ 는 4.51nsec가 되어, 시스템 상승시간 T_{sys} 보다 더 큰 값을 갖는다. 따라서 OPS는 155.52Mbps의 NRZ에 대해 이 소자들을 사용하여 구현할 수 있다.

III. Hybrid OPS 제작 및 실험결과

1. 사용된 광소자의 제반특성 및 모니터링 회로

본 실험에서 사용한 광소자들은 광송신기, 광수신기, 광커플러, 광스위치 등이 있다. 광송신기는 InGaAsP Laser Diode를 내장하고 있으며 1300nm 파장을 발진하는 1227-TYPE ASTROTEC (AT&T)를 사용하였다. 수신기로는 20Mbps/s에서 650Mbps/s 동작범위를 가지고 1300nm와 1550nm에서 동작가능한 1310-TYPE ASTROTEC를 사

용하였다. 광커플러는 온도변화에 안정하며 적은 삽입손실과 양방향성을 갖는 SF4-E-1300P (CANSTAR)를 사용하였다. 광스위치는 센서 스위칭이 가능하고 Back reflection이 -55dB이하인 SW 11A1-10FP를 사용하였다. 모니터링 회로는 ONU의 power off 및 degradation, ONU의 정상동작 복귀 등을 구분하여 감지하고 각각의 경우에 대한 광스위칭을 제어하며, 또한 현재 ONU상태를 LED로 표시한다. 제작한 Hybrid OPS에는 FLAG신호를 보유한 AT&T사의 광수신기 모듈을 사용했다. 그림 4에 이를 이용한 모니터링 회로의 블록 다이어그램을 도시하였다. FLAG 신호는 광수신기가 광신호의 loss를 감지했을 때 3.8V를 출력시키고, 역의 경우에는 3.0V를 출력한다. FLAG 신호와 Reverse FLAG신호는 각각 컴퍼레이터의 비교전압 (Reference voltage (3.5V)과 비교되는데, FLAG신호와 비교될 때는 5V를 출력하고 Reverse FLAG 신호와 비교될 때는 0V를 출력한다. 이 출력은 시상수 $\tau = RC$ 에 의해 Smoothing되는데, Low (0V)에서 High (5V)를 바꿀때, 즉 rising일때 많은 Smoothing을 겪는다. 이 출력은 다시 CMOS의 input으로 입력되어 Low에서 rising time의 90%까지는 High를 출력하고 나머지 부분의 High는 Low로 나타난다.

CMOS의 출력은 High (5.8V)에 4.5mA로 나타나는데, 스위치를 동작시키기 위해 Emitter Follower의 base단으로 입력되어 Saturation 영역에서 동작시켜 Emitter단으로 5V, 45mA의 출력을 얻어낸다. 그러므로 ONU 고장시에 FLAG 신호는 Delay되어 스위치2를 동작시키고 Reverse FLAG는 Delay없이 스위치1을 동작시킨다. ONU가 다시 정상적으로 동작시에는 위에서 설명한 역으로 동작하여 스위칭을 수행한다.

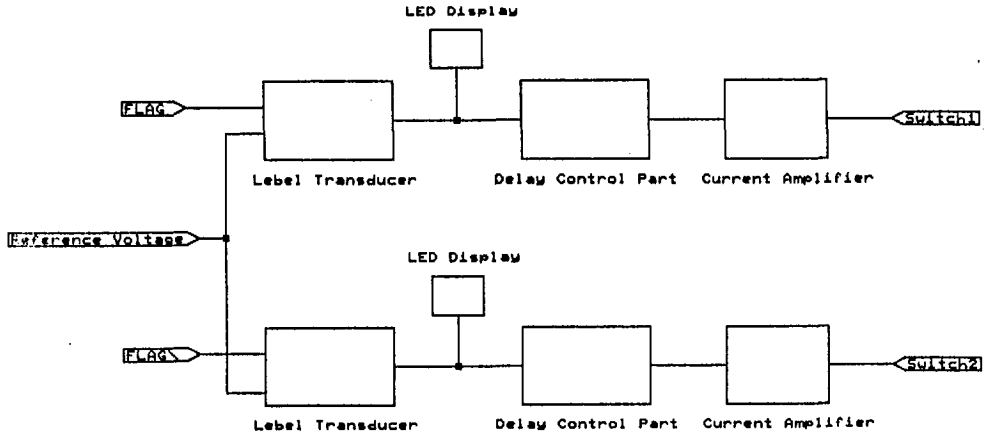


그림 4. 모니터링 회로 블록 다이어그램

2. 실험결과

2.1 스위치 시간지연 (Switching Time Delay)

DC data 전송시 ONU 손상과 복원에 따른 스위칭 시간 지연을 $\tau=RC$ 에 의해 조정할 수 있도록 하였으며, data loss를 최소화한 실험결과를 그림 7에 보인다. 그림 5는 스위칭 시간 지연이 많을 때 생기는 중복 (overlay)을 나타내어 데이터의 충돌상황을 의미하고, 그림 6은 스위칭 시간 지연이 적을 때 생기는 정보손실 (data loss)을 나타낸다. 그림 7은 정보손실과 정보충돌을 최소화한 최적의 스위칭 시간 지연을 나타낸다.

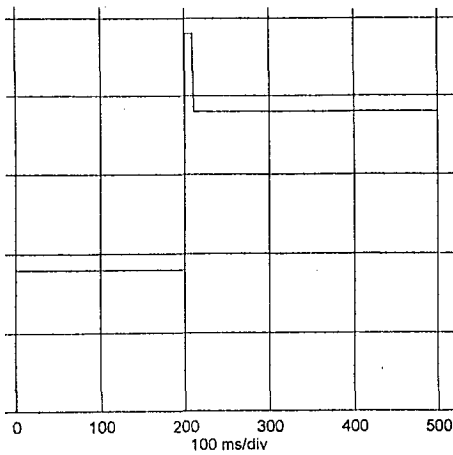


그림 5. Data 중복이 일어나는 지연시간

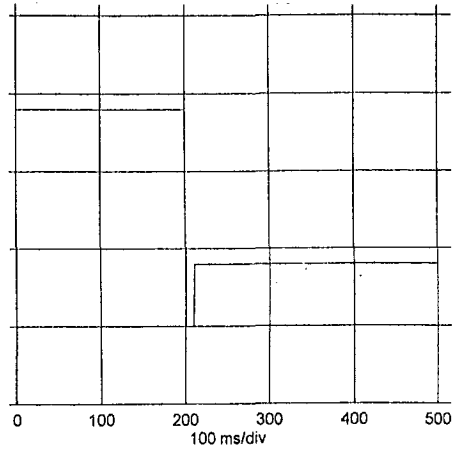


그림 6. Data 손실이 일어나는 지연시간

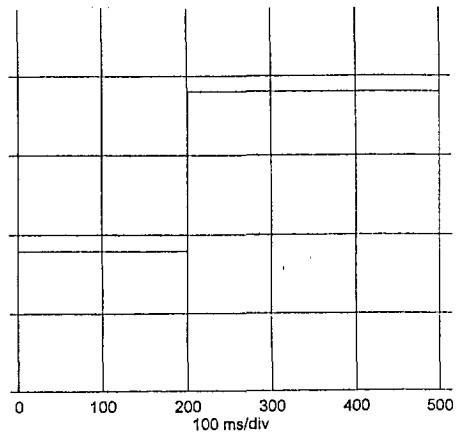


그림 7. 최적 지연시간

IV. 결 론

본 연구에서는 1×2 광 결합기, 분배기, 그리고 1×1 광 스위치등으로 구성된 Hybrid OPS를 설계 및 제작 하였다. 제작된 OPS unit을 사용하여 DC동작 특성을 실험하였고, 스위칭간의 광신호의 손실과 충돌이 최소가 되도록 스위칭 시간을 실험적으로 조정하여 정보 손실을 최소화 하였다. 또한, 실제 시스템 적용시 요구되는 다양한 요구조건들을 고려한 시스템 버지트 (System Budget) 모의 실험을 병행하여 제작된 OPS unit를 실제 CPN에 적용하기 위한 기준을 제시 하였다. 차후 STM-1급 신호와 연동하여 실제 data 전송 상황하에서의 동작 실험을 계획하고 있으며, 제안된 OPS unit가 신뢰성있는 가입자대량 구현을 가속화 시킬 수 있는 건인차 역할을 할 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

1. P. Sarti, "Customer Premises Network Aspects", Integrated Broadband Communications; Views from RACE, 1991.
2. CCITT/SGXVIII, "B-ISDN User-Network Interface Rec. I. 413", R34-E, June 1990.
3. H. B. Killen, Fiber Optic Communications, Prentice-Hall Int., New Jersey, 1991.
4. "Generic Requirements for Fiber Optic Branching Components", Bellcore Technical Advisory, TA-NWT-001209, Issuel, Dec. 1991.
5. 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.
6. Stuart S. Wagner and Howard L. Lemberg, "Technology and system Issues for WDM-Based Fiber Loop Architecture", IEEE J. Lightwave Tech, Vol. 7, no. 11, PP 1759-1768, Nov. 1989.
7. Gerd Keiser, Optical Fiber Communications, second edition, McGRAW-HILL, 1991.