論文 96-21-3-25

PON구조의 광가입자망에서 상/하향전송 구현

正會員 김 효 중*, 이 찬 구*,강 성 수*, 이 만 섭*

A realization of up/down-stream transmission on an optical subscriber network with the PON structure

Hyo-Joong Kim*, Chan-goo Lee*, Sung-soo Kang*, Man-seop Lee* *Regular Members*

요 약

PON구조의 광가입자망에서 하나의 광스플릿터 노드(Optical Splitter Node)를 통하여 3 가입자의 패킷데이타를 광송수신하는 구조를 제안하고 이를 구현하였다. PON구조를 사용하기 위해 필요한 기능인 하향신호의 155.52Mb/s 다중/역다중화부, 상향신호의 25.92Mb/s 다중/역다중화부, 프레임 동기화부및 클럭/데이터의 위상정렬부 등을 모두 2개의 CMOS IC에 통합하였다. 상향신호전송을 위하여 TDMA기술을 제시하였고, 상향의 버스트(Burst)신호를 광전송할 때 광송수신기의 APC, AGC 기능에 의한 전송성능의 열화가 관찰되었다. 이를 보완하여 광송신기의 출력이 -17dBm이고 광수신기의 감도가 -34dBm인 광송수신기를 사용하여 SWAN의 PON구조에 요구되는 최소 11.2dB의 Link Budget을 만족시키기에 충분한 17dB의 Link budget을 확보하였다.

Abstract

A structure which transmits and receives 3 subscribers packet data through an optical splitter node in an optical subscriber network of PON was suggested and realized. All the functions which are necessary to use PON structure such as 155.52Mb/s multiplexer/demultiplexer of down-stream signal, 25.92Mb/s multiplexer/demultiplexer of up-stream signal, frame synchronizer, and phaser aligner for aligning phase of the clock and received data have been integrated within 2 ICs using CMOS techonology. TDMA technology was suggested for up-stream transmission. In the optical up-stream transmission of the burst signals transmission quality degradation by APC and AGC of optical tranceiver was observed. By compensating the degradation, more than 17dB of link budget which is enough to satisfy 11.2dB that is required in SWAN of PON architecture has been obtained with optical transceiver whose power and sensitivity are -17dBm and -34dBm respectively.

*한국전자통신연구소 다중전송연구실
論文番號:95389-1109
接受日字:1995년 11월 9일

I. 서 론

대화형 CATV, Video-On-Demand(VOD), 원격교육,

홈쇼핑, 홈뱅킹, 멀티미디어 서비스등 가입자에 대한 다양한 서비스가 급속히 확산되고 있고, 이에 따라 이 서비스들을 수용하기 위한 관련 기술도 급속히 발전을 거듭하고 있다. [1] 이러한 다양한 서비스를 수용하기위한 광대역의 양방향 접속망으로서 다양한 형태의 광가입자망이 연구되고 있으며, 향후 전개될 다양한 형태의 서비스를 고려할 때 광선로의 광대역성 및 무전원 장거리전송의 장점을 이용한 광가입자망의 사용은 상당히 긍정적으로 평가되고 있다. [2]

한 편 국내에서는 종합유선 방송사업이 허가되어 동축케이블을 이용한 CATV서비스를 제공하고 있고, 한국통신에서는 ADSL(Asynchronous Digital Subscriber Line)을 이용하여 VDT(Video Dial Tone)서비스를 시범적으로 운영하고 있다. 이러한 종류의 가입자망은 광가입자망과 비교하여 볼 때 경제적인 측면에서 장점을 가진 것으로 판단되고 있으나 기존의 전화, 영상분배및 양방향 데이타 서비스를 하나의 가입자망 선로에 통합하고 향후 전개될 다양한 서비스 수용에는 전송매체가 지니는 대역폭, 전송성능(Bit Error Rate)및 전송거리에 의한 제약이 예상된다. [3]

한국전자통신 연구소에서는 가입자 까지 광케이블을 제공하고 분배서비스 기능을 가지는 디지탈 광 CATV 시스템을 개발하여 자체시험및 현장시험을 완료하였으며, 단일모드 광섬유를 이용한 광가입자망에서 기존의 시스템 요구사항을 변화시키지 않고, 경제성을 높이기 위한 방법으로서 1:3 PON구조를 이용한 광가입자망을 개발하여 시험중이다. [4-5]

본 논문은 PON(Passive Optical Network)구조를 갖는 광가입자망에서 상향신호의 전송을 가능케하기 위하여 TDMA(Time Division Multiple Access)기술을 이용하하였다. TDMA를 사용시 상향신호의전송을 위해서는 타임슬롯의 할당이 필요하고, 지정된 타임슬롯내에서 신호의 전송이 이루어지므로 상향신호는 패킷형태의 버스트 신호 전송의 형태를 갖게 된다. 이는 전송매체가 광섬유인 경우에 있어서 여타의 매체에서는 발생되지 않았던 새로운 문제를 야기하게 되는데, 본 논문에서는 이의 사용상에 있어서 발생하는 문제들을 밝히고 이를 해결하기위한 방안들에 대하여 논하였다. 또한 PON구조를 사용할 때의 장점과 단점에 대하여 기술적인 면과 경제적인 관점에서 비교하였다.

Ⅱ. TDMA 구현

광가입자망으로서 SWAN(Socio-cultural Wellfare Advanced Network)이라 명명된 광CATV시스템이 개발되어 영상, 전화및 협대역 ISDN 서비스를 하나의 전송로와 단말을 이용하여 서비스가 가능하게 되었다. HE(Head End), CO(Central Office), DC(Distribution Center)및 가입자장치로 구성되는 SWAN의 주요한 특징으로는 FTTH(Fiber To The Home)을 기본개념으로 한 디지탈 광전송으로서 광의 광대역성이라는 장점이외에도 무전원 장거리 전송및 디지탈 전송으로 인한 잡음에 대한 안정성 즉, 일반적인 트리엔 브랜치(Tree and Branch) 구조의 동축전송망의 단점으로 인급되고 있는 능동소자의 사용으로 인해 수반되는 전원공급의 필요성, 주변의 기기로 부터 상향신호에 유입되는 저주파수 대역의 잡음과 여러 가입자로 부터 발생된 잡음이 증폭기를 통과하면서 합쳐지고 증폭되어, 이로 인한 상향신호의 재생의 어려움을 극복할 수 있다. 또한 DC에 논블럭킹 스위칭(Non-blocking switching)기능이 있는 능동형 스타망

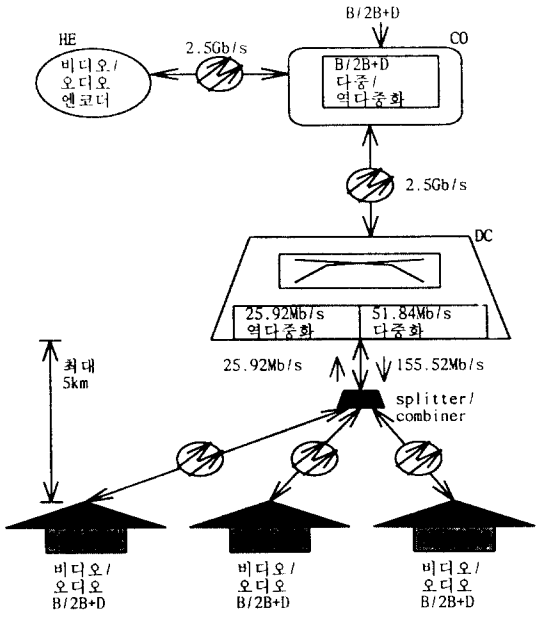


그림 1. 그림 1. 1:3 PON구조의 광가입자망
Fig. 1. Optical access network of 1:3 PON architecture

(Star network)으로서 미래의 광대역 정보통신 서비스망으로서 진화를 용이하도록하였다. [6]

가입자망에서 FTTH구조의 단점으로 언급되고 있는, HFC(Hybrid Fiber Coax), FTTC(Fiber To The Curb)구조에 비해 가입자당 초기 투자비용이 높다는 점을 보완하기 위하여, 광선로의 일부를 공유하고, 광송수신소자의 사용율을 높일 수 있는 PON구조를 이용하였다. [8]

이는 SWAN의 현장시험시의 자료를 기초로 비용을 평가한 결과와 부합되는데, 가입자당 총비용의 약 70% 정도가 가입자접속및 단말장치, 약 21% 정도가 Outside plant, 나머지 약 9% 정도가 전송장치및 비데오 스위치에 소요되는 것으로 분석되었고, 이러한 기초자료를 근거로 하여 볼때 가입자의 비용의 부담을 줄이기 위해서는 전체 비용의 약 91% 정도를 차지하고 있는 가입자 접속및 단말장치와 Outside plant의 비용을 줄이는 것이 보다 효과적일 것이고, 이중에서도 50% 이상의 비용을 차지하고 있는 광전송 관련 소자의 사용을 줄이는 것이 비용절감의 효과과 클 것으로 예상된다. [8]

SWAN에서 한 가입자에게 서비스되는 155.52Mb/s 하향신호에는 DS3급으로 압축된 3개의 영상신호, 음성과 데이타 서비스를 위한 3개의 2.048Mb/s, 가입자의 유지보수와 시그널링(signalling)을 위한 6개의 64Kb/s 신호가 포함될 수 있으므로, 1:3 PON구조를 이용한다면 기존의 1:1 FTTH의 기술을 최대한 사용하고, 하드웨어및 서비스종류의 변동을 최소화하고, 하향신호에 변화를 주지 않고서도, 상향신호만 처리함으로써 3 가입자가 하나의 155.52Mb/s 전송선로를 이용하여 하나씩의 영상 서비스와 다수 개의 음성및 데이타 서비스를 받을 수 있다.

(그림 1)과 같이 DC와 가입자 사이의 최대거리는 5km로 제한되고, 이 사이에 1:3 PON을 채택하여 하향으로는 단일모드 광섬유와 광스플릿터(Optical Splitter)를 이용하여 3가입자가 155.52Mb/s의 신호를 공유하여, 각각 51.84Mb/s의 영상및 전화서비스를 받을 수 있도록하였고, 상향으로는 또 하나의 단일모드 광섬유와 광커플러(Optical Coupler)를 이용하여 25.92Mb/s의 전송로를 공유하여, 각 가입자가 전화 서비스, 영상서비스를 위한 채널선택신호, 가입자의 유지보수 신호를 송신할 수 있도록하였다.

2.1 TDMA 기술의 채용

(그림 1)과 같이 DC와 가입자장치 사이의 신호전송은 기본적으로 44.736Mb/s로 압축된 영상신호와 전화및 유지보수 신호를 서비스받을 수 있어야하고, 이를 위해서 하향으로는 51.84Mb/s의 전송 용량을 가지는 고유의 데이타프레임을 사용하며, 3개의 51.84Mb/s 데이타 프레임을 다중화한 후, 155.52Mb/s의 전송로를 이용하여 각 가입자에게 1개의 51.84Mb/s 데이타 프레임을 제공함으로써, 위의 3가지 서비스를 수용할 수 있도록하며, 상향으로는 이 3가지 서비스를 가입자가 받을 수 있도록 하기위해 필요한 전화신호, 영상채널 선택신호를 송신하게 되는데, 이 때 가입자망이 1:3 PON 구조를 가지는 구조이므로 가입자로 부터 DC로 송신되는 신호는 광커플러에서 3 가입자로 부터의 신호가 모여졌을 때 상호간섭을 받지 않도록하여야하며, 또한 광스플릿터로 부터 가입자장치 사이에서 사용된 광섬유의 길이차에서 기인하는 전송지연차를 충분히 고려하여 가입자 신호간의 충돌이 발생하지않아야 한다.

이러한 상향신호전송의 제약을 극복하기 위하여 TDMA기술을 채용하게 되었다. 일반적으로 사용되는 TDMA기술은 상당히 복잡한 제어프로토콜을 가지고, 또한 복잡한 데이타 프레임 구조를 가지게 된다. [11]

하지만 가입자망에서 PON구조를 채택하게 된 목적이 가입자의 비용부담을 줄이기 위한 것이고, 가입자와 DC 사이의 구조도 1:3 PON 구조의 광섬유를 통한 전송이라는 물리적 제한이 있고, 가능한한 단순한 프로토콜을 사용하여 하드웨어의 사용을 줄이고, 위에서 언급한 3가지 서비스가 가능하도록하며, 동시에 요구되는 전송대역폭을 만족하면 충분할 것이므로 SWAN에서 제시한 가입자망의 물리적 제한 조건을 만족하는 범위에서 사용하기에 가장 간단한 방법을 고려하였다.

하향으로 각 가입자에게 고유의 신호를 사용하여 일정한 간격으로 주기적인 폴링을 하여 가입자가 송신할 시간대(Time Slot)를 할당하여 주므로써 상향으로 송신되는 가입자들의 신호 사이에 충돌이 발생하지 않도록하며, 또한 광스플릿터(광스플릿터와 광커플러는 같은 곳에 위치하는 것으로 가정함)로 부터 가입자들 사이의 거리상의 편차를 충분히 고려한 보

호대역(Guard Band)을 할당하였다.

전송의 측면에서의 전송효율성의 고려는 미흡하나, 하나의 광스플릿터 노드를 사용하는 가입자의 수와 거리를 제한하였고, 한 가입자가 사용할 수 있는 전송 용량의 여유를 확보하기 위하여 2 개의 2.048Mb/s와 2개의 64Kb/s를 수용하고 보호대역을 충분히 확보할 수 있도록 상향신호를 25.92Mb/s로 결정하였다.

상향으로의 전송대역폭은 2개의 2.048Mb/s와 2개의 64kb/s의 신호를 수용하는 용량으로 하였으며, 이외에 12비트의 프레임워드(가입자 식별코드의 기능도 함.)와 6비트의 패리티비트를 오버헤드로서 가지고 있으며, 또한 광스플릿터로 부터 가입자들 사이의 광섬유의 거리 편차를 최대 1.4km(상,하향의 전체적인 거리 편차는 2.8km가 됨)로 제한하여, 이를 위한 보호대역으로 단일모드 광섬유의 전송지연을 고려하여 최소 14uSec를 할당하였다. [12]

위와 같이 전송대역폭을 고려하고, 또한 사용상에 어려움으로 흔히 봉착하게되는 클럭의 생성을 용이하게 하기 위하여 기본 샘플링 주파수인 8kHz의 정수배인 192kHz의 주기를 갖는 프레임구조를 채택하였다. 위의 고려사항을 근거로 하여 채택된 데이타 프레임의 구조는 (그림 2)와 같다.

DC로 부터 한 가입자에게 93.75us의 주기로 상향신호의 타임슬롯을 할당하기 위해 (그림2-a)와 같이 2.048Mb/s의 폴링신호가 보내지고, 각 가입자 사이의 폴링신호의 간격은 31.25us로 하여 모두 3 가입자에게 가입자#1, 가입자#2, 가입자#3에게 순서대로 폴링을 하게 된다.

또한 상향으로는 (그림 2-b)와 같이 12비트의 프레임워드를 프레임헤드로 하여 2개의 2.048Mb/s의 대역을 할당하여 전화및 협대역ISDN(Narrowband Integrated Services Digital Network) 서비스를 수용할 수 있도록하였고, 2개의 64kb/s의 대역을 할당하여 영상채널선택신호및 가입자의 유지보수에 필요한 정보를 보낼 수 있도록하였다. 이외에 패리티체크용 데이타를 실어 수신단에서 전송되어온 신호의 에러유무를 판단할 수 있도록 하였다. 프레임워드는 가입자 마다 고유의 코드를 갖도록하여 DC에서 신호의 발신자를 식별할 수 있도록하였다. 제안된 프레임구조에서의 보호대역은 약15.3uSec로서 제한 요소인 14uSec를 만족하고 있다.

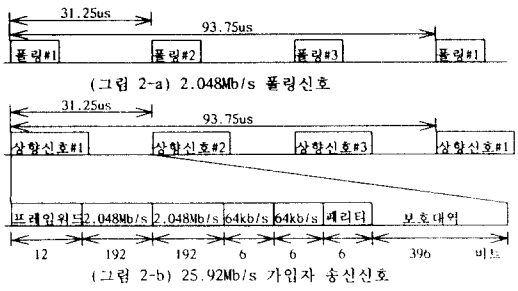


그림 2. 폴링신호및 상향신호 프레임구조
Fig. 2. Frame format of polling and upstream signal

2.2 클럭의 생성

본 구조를 사용하기 위해서 필요한 최소의 클럭은 155.52MHz, 44.736MHz, 2.048MHz의 3종류이다. DC에서는 필요한 클럭을 공급하기 위하여 동기클럭을 발생하는 동기클럭 발생장치로 부터 클럭을 분배받아 사용하였으나, 가입자장치에서는 먼저 수신된 155.52Mb/s의 신호로 부터 클럭을 추출하여 155.52MHz를 생성하고, 이 155.52MHz클럭을 기준으로하여 44.736MHz와 2.048MHz 클럭을 아날로그 PLL (Phase Locked Loop)을 사용하여 생성하였다. 이외에 필요한 51.84MHz는 155.52MHz를 3분주하고, 25.92 MHz는 155.52MHz를 6분주하여 사용하였다. 또한 64kHz는 2.048MHz를 32분주하여 사용하였다.

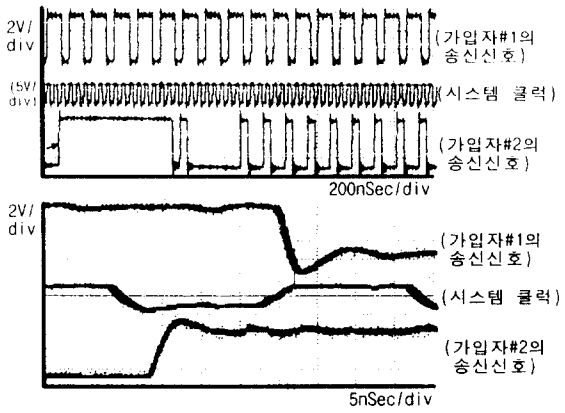


그림 3. 시스템클럭과 가입자신호의 위상변동
Fig. 3. Phase change of system clock and upstream signal

측정한 시스템클럭과 가입자로 부터 수신된 신호 사이의 클럭의 안정도를 파형측정기를 이용하여 축적모드에서 측정하였다. (그림 3)에서와 같이 시스템 클럭과 수신된 가입자신호 사이에는 비교적 무시할 정도의 위상변동만이 관찰되었다. 송신신호1은 가입자#1, 송신신호2는 가입자#2로 부터 올라온 신호를 광수신기로 부터 전기적신호로 변환된 것이며, SYS CLK는 DC의 시스템 클럭이다. (그림 3-b)는 (그림 3-a)를 5nSec/div로 확대한 것으로서, 시스템 클럭의 변동에 대하여 가입자신호가 충분히 연동하고있음을 짐작할 수 있게해준다.

2.3 패킷 데이타의 광전송

TDMA기술을 이용할 경우 가입자장치로 부터 송신되는 신호는 패킷형태의 버스트 신호가 되는데 이 신호를 일반적인 ac 결합(coupled) 광송수신기를 사용하여 광신호로 변환하여 전송할 경우에는

- 광송신기의 APC(Automatic Power Control)기능에 의한 잡음마진의 감소및 보호대역에서의 잡음의 증가및 패킷 데이타 시작점에서의 포화현상 발생
- 광수신기의 AGC(Automatic Gain Control)에 의한 잡음 마진의 감소및 문턱값의 변동과 보호대역에서의 잡음증폭및 패킷 데이타 시작점에서의 포화(Saturation)현상 발생
- 광송수신기 주변회로의 ac 커플링에 의한 문턱값 변동과 같은 몇 가지의 문제점을 유발하게 된다.

광송수신기의 APC, AGC에 의한 패킷 데이타의 열화는 (그림 4)에서와 같이 송신신호와 수신신호를 비교해 보면 재생된 수신신호에는 패킷 데이타가 없는 구간에서도 잡음를 데이타로 재생하는 경우로도 발생하며, 1:1 구조에서 Link budget이 20dB인 광송수신기를 1:3의 PON구조에 사용하였을 때 Link budget이 6dB이하로 성능이 열화되는 것도 관찰되었다. 수신신호는 2 가입자의 신호를 DC에서 광전변환한 것이며, 송신신호는 송신되는 한 가입자신호이다. 수신신호에서 2 가입자신호 사이는 보호대역으로서 실제적으로는 신호가 없는 즉, 디지탈 0를 유지하여야하나 신호의 천이가 발생하지 않은지 약 12us 이후에는 디지털 1로 존재하고 있다. (그림 4-b)는 (그림 4-a)를 10nSec/div로 확대한 것이며, 수신신호에서 지터(Jitter)로 생각되는 신호의 흔들림이 관찰되는데, 이는 약 4~6ns 정도로서 광수신기가 수신되는 신호로 부터 클럭을 추출한 후 재생된 신호를 리타이밍(Retiming)하는 것에서 상당한 부분 영향을 받는 것으로 예측된다. 이러한 수신신호의 흔들림은 클럭추출및 재생신호의 리타이밍기능이 없을 경우에는 (그림 6)에서와 같이 줄어드는 것으로 관찰되었다. 또한 패킷데이타의 시작점에서는 광수신기의 APC 루프게인에 따라 다소의 차이가 있으나 수십 nSec에 해당하는 포화가 발생하여, (그림 5)와 같이 그 구간에서의 데이타의 유실이 발생하였다. 100nSec/div로 확대한 (그림 5-b)에서 송신신호와 수신신호의 헤드의 한 부분에서 관찰된 데이타의 유실은 약80ns로 2비트 정도이다. 이는 패킷신호로 부터 가입자의 고유코드의 인식을 불가능하게 하는 결과를 낳게 되어 데이타의 손실및 복구불능의 심각한 상태를 초래하게 된다. 또한 버스트 데이타를 PCB(Printed Circuit Board) 내에서 뿐만 아니라 광송수신기의 버퍼및 증폭기에 입력시 커플링콘덴서의 용량성 부하에 의한 데이타의 문턱값이 변동하게 되고, 그 결과 재생되는 데이타의 듀티비가 변동하게 되어, 이의 결과로 (그림 4)와 같이 지터가 유발하게 되고 시스템클럭을 이용하여 수신데이타를 처리하는데 있어서 비트에러성능(Bit Error Rate)의 열화를 낳게 된다. (그림 6)의 수신신호에서 일반적으로 기대되는 Eye-패턴이 관찰되지 않으며, 신호듀티의 변동치는 약12ns로서 한 비트(약 39ns)의 약30% 정도이다.

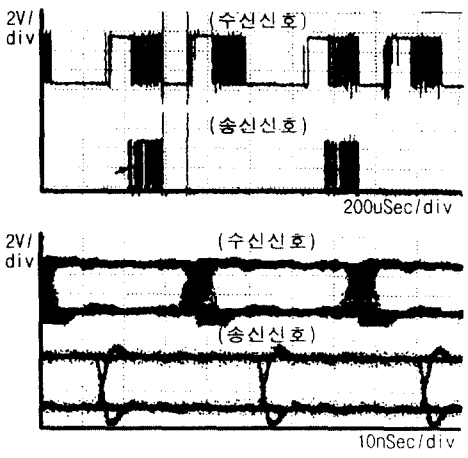


그림 4 수신신호의 잡음생성
Fig. 4. Noise generation of received signal

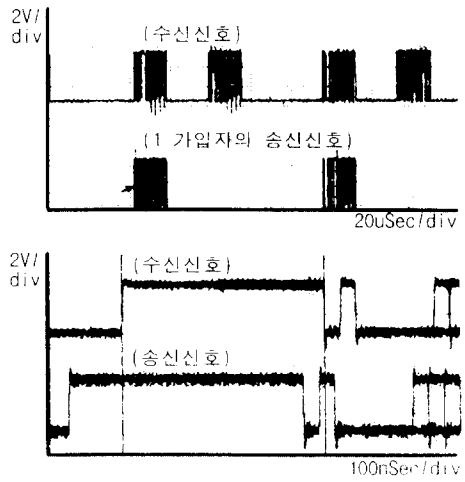


그림 5. 패킷헤드에서의 데이타 유실
Fig. 5. Data loss of packet head

2.4 가입자간의 전송 거리 편차에 의한 광전력 레벨의 변동

PON구조에서 광스플릿터/광커플러로 부터 가입자간의 거리는 전송거리에 있어서 차이를 가지게 되고, 이 거리상의 차이에 기인한 광섬유에서의 광전력 손실치가 다르게 되어 결과적으로 각 가입자장치로 부터 송신되는 광신호의 전력레벨차가 발생하게 된다. 아파트단지와 같은 가입자가 밀집되어있는 지역에서는 그 편차가 무시할 수 있을 정도로 작게 유지될 수 있지만, 일반 주택지나 교외 지역와 같이 가입자가 산재되어있는 지역에서는 이 차이가 무시할 수 없을 정도로 클 것으로 예상되며, 또한 광송신기 마다의 출력레벨의 차이도 여기에 일조할 것으로 생각된다. 전송로의 길이차나 광송신기의 출력레벨의 차로 인한 광전력 레벨의 변동은 인위적으로 정교하게 제어하기 힘든 사항이므로 전송로에서 어느 정도의 여유(Margin)을 가지는가에 대한 조사가 필요할 것이다.

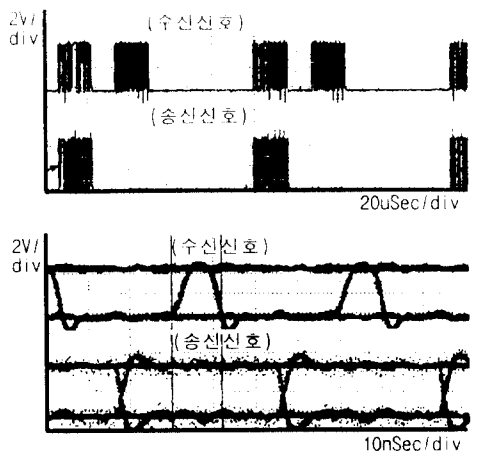


그림 6. 수신신호의 듀티비 변동
Fig. 6. Duty ratio variation of received signal

2.5 패킷신호의 재생

상향신호의 복구를 위해 필요한 클럭을 추출하기 위해 가장 쉽게 생각할 수 있는 방법이 수신되는 패킷신호로 부터 클럭을 추출하는 것이나, 수신 신호가 각기 다른 지연값과 지터값을 함유하고 있으므로, 이 신호로 부터 추출된 클럭에는 (그림 7)과 같이 수신신호에 대한 신호의 흔들림은 약 4ns 정도로 수신신호로 부터의 지터성분이 충분히 제거되지 않은채로 남게 되므로, 다른 방법에 대한 모색이 필요하다.

SWAN이 동기망이고 가입자장치는 수신되는 신호로 부터 추출된 클럭과 PLL기술을 이용하여 생성된 시스템클럭을 사용하므로, DC와 가입자장치 사이에는 시시적으로 동기성이 확보되어 있다고 생각할 수 있으므로 상향신호의 복구를 위해 사용되는 클럭으로서 시스템클럭을 사용하였다. 하지만 이 방법을 사용하기 위해서는 또 다른 고려사항이 발생하게 되는데, 상향으로 송신되는 가입자로 부터의 패킷신호는 그 전송거리의 차이에 의해 각기 다른 지연값을 가지게 되고, 수신신호의 올바른 재생을 위해서는 패킷마다에 포함된 신호지연값을 보정해주기 위한 신호위상조정기가 필요하게 된다.

Ⅲ. TDMA 보완

3.1 광송수신기의 APC/AGC의 영향

광송수신기의 AGC및 APC에 의한 버스트 신호의 열화를 방지하기 위하여 가입자의 패킷데이타의 형태를 (그림 8)과 같이 변형하여, 패킷데이타의 헤드앞에 10비트(약400ns)의 무효데이타(1010.)를 삽입하여 주고, 패킷 데이타의 헤드를 제외한 페이로드(Payload)

및 패리티 데이타에 대하여 2단 스크램블러를 사용하여 혼화시켜줌으로써 가입자에서 발생하는 실제신호가 없더라도 페이로드의 천이수를 증가시켜서 APC 및 AGC로 인한 영향을 감소시키고, 무효데이타에서 신호가 유실되더라도 패킷헤드를 보존하므로써 패킷의 식별이 가능하도록하고, 또한 광수신기에서 전치증폭기(Pre-Amp)에 피크검출기를 삽입하고, 이 피크검출기의 출력을 전치증폭기의 입력단에 부궤환(Negative feedback)을 걸어줌으로써 패킷 데이타의 시작 부위에서 발생하는 수신기의 포화현상에 의한 영향을 줄여주었다. 무효데이타를 삽입함으로써 보호대역이 약 400uSec 감소하였으나, 확보된 보호대역은 약 14.9uSec로서 제한요소인 14uSec를 만족하고 있다.

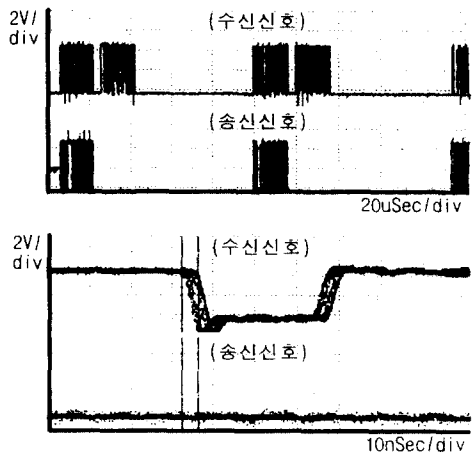


그림 7. 수신신호의 지터
Fig. 7. Jitter of received signal

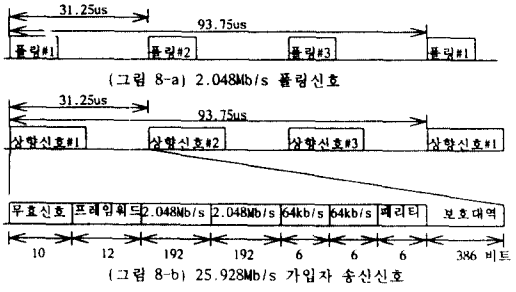


그림 8. 수정된 상향신호 프레임구조
Fig. 8. Modified frame format of upstream signal

광송신기에서는 광송신기의 인에이블(Enable)기능을 이용하여 유효데이타가 없는 구간에서는 광송신기의 APC회로의 동작을 일시 정지시키는 방법으로 문턱값의 변동을 줄였다.

3.2 광송수신기의 커플링

패킷데이타를 전광변환하기위해 광송신및 광수신기와 결합시에 발생하는 ac 결합의 용량성 부하에 의한 광신호의 레벨의 변동과 이로 기인하는 수신단에서의 듀티비의 변화를 줄이기 위하여, 광송신및 수신기의 증폭기 입력단에 직결합(Direct coupling)으로 신호가 입력되도록 수정하였으며, 이로 인하여 잡음마진의 감소로 인해 Link budget이 약 3dB 정도 감소되었다. 하지만 재생데이타의 듀티비의 변화는 ac결합시 (그림 6)과 같이 약 30% 정도이던 것이 직결합후 (그림 9)의 수신신호에서와 같이 듀티비의 변동이 약 4ns 정도로 한 비트인 약 39ns의 약 12% 정도로서 개선된 것이 관찰되었다. 이러한 듀티비의 개선효과가 PON구조의 가입자망에서 충분한 여유를 확보하고 있는지에 대해서 충분한 검토는 없었으나, BER (Bit Error Ratc)시험에서는 어느 정도의 여유를 가지는 것으로 관찰되었다.

3.3 시스템클럭과 패킷데이타의 위상정렬

가입자로 부터 수신되는 패킷 데이타는 시스템클럭을 기준으로 볼 때 신호의 위상및 듀티비가 모두 다르며, 이 데이타를 동기망의 시스템 클럭과 위상일치시켜 데이타를 복구하기 위하여 디지탈 위상정렬기를 (그림 10)과 같이 설계하여 사용하였다. 25.92Mb/s의 신호를 복구하기 위하여 51.84MHz의 시스템클럭을 사용하여 한 데이타 비트에서 4번의 래치(Latch)가 가능하도록 서로 약 90도의 위상차를 가지는 4개의 25.92MHz 클럭을 생성하였다. 4개의 클럭을 이용하여 재생된 4개의 데이타값을 비교하여 데이타의 천이구간을 찾아내고 이중에서 데이타와 클럭의 위상관계가 가장 안정된 클럭으로 재생된 신호를 다시 시스템클럭(기준클럭)으로 리타이밍하는 방법을 사용하였다. 이의 기능을 시험하기 위하여 지연소자를 사용하여 신호와 시스템클럭이 (그림 11)과 같은 위상관계를 갖도록하여 입력한 후, 출력된 신호는 (그림 12)와 같이 시스템클럭에 대하여 비교적 안정된 위상

관계를 가지는 것으로 관찰되었다. (그림 11)과 (그림 12)는 실장시험에서는 입력신호의 위상의 조정이 여의치않아 별도의 시험보드를 사용하여 기능시험을 한 결과의 출력이다.

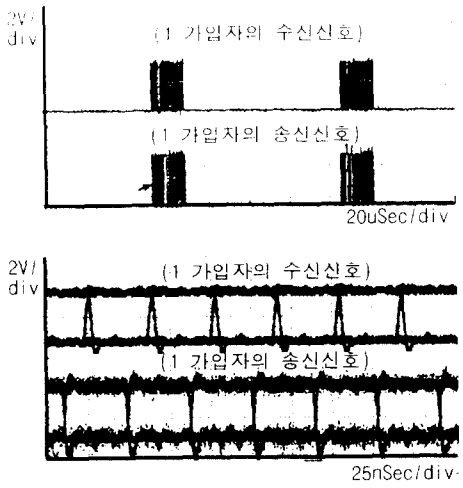


그림 9. 개선된 수신신호의 듀티비 변동
Fig. 9. Improved duty ratio variation of recieved signal

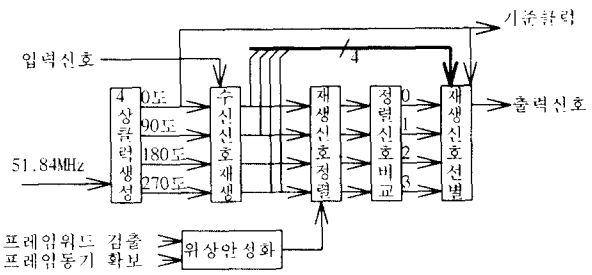


그림 10. 위상정렬기의 H/W 기능도
Fig. 10. H/W block diagram of phase aligner

3.4 광전력레벨의 변동

광전력레벨의 변동에 따른 수신신호의 영향을 관찰하기 위하여 광가입자망의 선로에 광감쇄기를 이용하여, 두 가입자간의 광출력이 최대 약 7dB의 전력차를 가지도록하여, 2 가입자로 부터의 상향신호를 수신단에서 재생한 후 파형측정기와 신호에러측정기를 사용하여 조사한 결과 유의할만한 신호의 변동, 즉 듀티비의 변동및 에러의 증가을 관찰할 수 없었다. PON구조를 사용한 광가입자망에서 가입자간의 거리의 차이에 의한 이론치인 광전력레벨차는 최대 약 1.5dB이고, 광송신기의 규격상 출력의 편차는 최대 약 3dB이므로 이를 위의 실험결과와 비교하면 약 2.5dB의 여유를 가지고 안정된 신호의 전송이 가능할 것으로 생각된다.

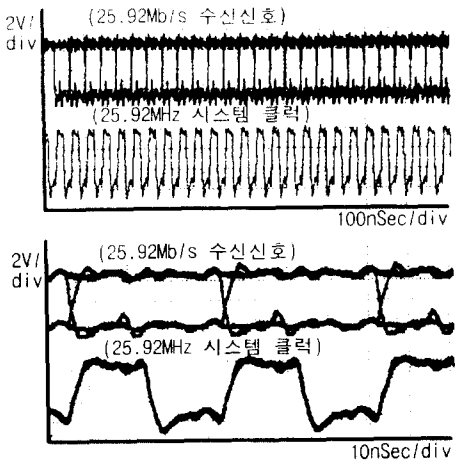


그림 11. 수신신호와 시스템클럭의 위상관계
Fig. 11. Phase relation of received signal and system clock

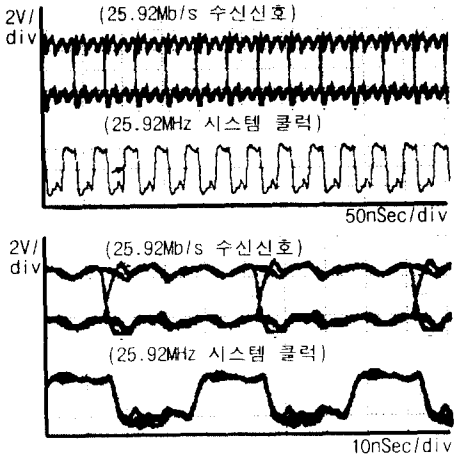


그림 12. 위상정렬된 신호의 위상관계
Fig. 12. Phase relation of phase aligned signal

3.5 PON구조의 시험및 결과

PON구조의 설계의 적합성을 시험하기 위하여 다음의 요소들을 사용및 조사하였다.

- 측정에 사용된 데이타:PRBS PN15 2. 048Mb/s, NRZ TTL
- 광송신기의 출력 측정:-17dBm
- 광수신기의 감도 측정:-34dBm
- Link budget 확보:17dB
- 데이타의 듀티비 확보:+/-12% 이내

여기서 패킷 데이타의 듀티비를 측정하기 위하여 8비트 워드를 스크램블하지않고 재생한 후 측정하였으며, 한 가입자만이 사용중인 선로에 접속되어 있다고 가정하였다. 광송신기의 출력은 광송신모듈 앞에서 측정하였고 콘넥터에 의한 손실은 무시하였으며, 광수신기의 감도는 광송신기와 광수신기 사이에 광감쇄기를 삽입한 후 감쇄량을 조정하면서 BER 측정기에서 에러(Error)가 발생한 감쇄량을 광송신기의 출력에서 뺀 값이다. 실험기자재는 Wandel Goltman사의 휴대용 광전력측정기(Model OLP-25), 감쇄기(Model OLA-25), Textronix사의 Digitizing signal analyzer(Model DSA601A)및 HP사의 Digital transmission analyzer(Model 3784A)를 사용하였다. 광송수신기는 주문사양에 의해 전문제조업체로 부터 구매하여 사용하였실제로 PON구조를 적용한 시험망에서 측정하였을 때의 광스플릿터/광커플러에서 광전력의 감쇄는 이론치에 근접한 6.2dB로 측정되었으며, 접속손실은 0.3dB, 광콘넥터 손실은 0.3dB로 측정되었다. 광선로의 총연장이 2.8km에서 총 감쇄는 11.2dB 이하로 측정되었다.

Ⅳ. 상하향 전송

(그림 13)은 PON기술을 실현하기 위한 기능블럭도를 보여주고 있는데, 이는 모두 2개의 ASIC 칩내에 제작되었으며, 이를 위해서 0.8um CMOS 게이트 어레이를 이용하여 국내에서 제작되었다. 이 때 사용된 소자수는 각각 가입자접속(DC)쪽이 약50,000및 가입자단말(NT)쪽이 약35,000게이트이다.

하향의 51.84Mb/s 프레이머는 폴링신호, 협대역 ISDN신호(2B + D), 전화신호(B), 영상/오디오신호를 묶어 하나의 51.84Mb/s데이터 프레임으로 만들며, 이때 프레임동기를 위한 프레임워드와 채널번호가 부여된다. 이 51.84Mb/s의 신호는 스크램블러를 거친 후 3개를 모아 155.52Mb/s로 다중화된다. 155.52Mb/s의 신호는 전광(E/O)변환되어 3 가입자에게로 광스플릿터를 거쳐 디지탈 광송신된다. 가입자에게 도착된 광신호는 광수신기를 거쳐 광전변환된 후 155.52 Mb/s 역다중화기를 거쳐 3개의 51.84Mb/s신호프레임으로 나뉘어진다. 이 때 광수신기에서는 수신된 신호로 부터 155.52MHz의 클럭을 재생하여 PLL로 보낸다. PLL에서는 155.52MHz에 동기된 시스템 클럭(4.096MHz, 44.736MHz)을 생성하여 공급한다. 이 클럭들을 이용하여 프레임동기, 디스크램블링및 디맵핑이 실시된다.

디맵핑된 신호들 중에서 폴링신호를 이용하여 프레임동기를 거쳐 가입자신호의 전송시간을 할당 받은 후 전화, 협대역ISDN, 채널선택(Signalling)및 유지보수(M&A)신호를 25.92Mb/s 맵퍼에서 프레임화한 후 스크램블러를 거쳐 전광변환된 후 상향으로 전송된다. 이 때 가입자 고유번호도 같이 전송된다. 수신된 가입자 광신호는 광전변환된 후 위상정렬기를 거쳐서 데이터가 복구되고, 프레임동기, 디스크램블링, 25.92Mb/s 디맵퍼를 통해 디맵핑된다.

ASIC칩은 128핀 Power QFP를 팩키쥐로하여 제작되었고, 동작시의 전력소모는 1와트(Watt)미만이다.

Ⅴ. 경제적 관점에서의 고찰

1:3 PON기술을 채용하여 광가입자망에서의 광송수신기의 사용량은 약 2/3 (3 가입자를 서비스하기 위하여 1:1 구조의 광가입자망에서는 DC에 3개의 광송수신기와 가입자당 3개의 광송수신기가 필요하였으나, 1:3 PON을 가입자망에 이용할 경우에는 DC에 1개의 광송수신기만이 필요하므로 총 6개의 광송수신기중 2개의 광송수신기의 절감효과가 있음.), 광섬유의 사용량은 약 8/15 (최대 거리가 5 km로 제한된 광가입자망에서 3 가입자를 서비스하기 위해서는 15km의 광섬유가 필요하나, 1:3 PON 구조를 이용할 경우에는 광스플릿터로 부터 가입자 까지의 거리를 1.4km로 할 경우에 필요한 광섬유는 7.8km가 되므로 7.2km의 절감효과가 있음.)로 감소하였고, 광커플러의 사용량은 2개가 증가하였다.

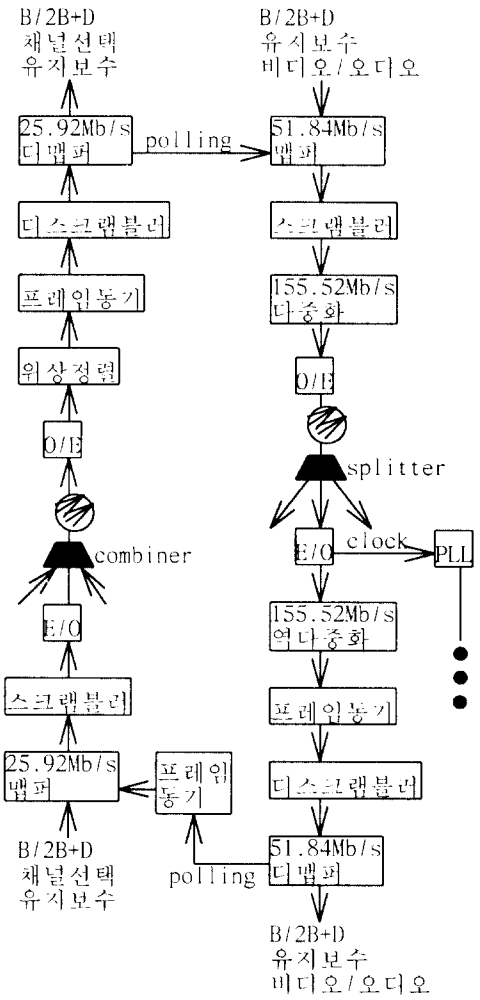


그림 13. PON구조 실현을 위한 H/W 기능도
Fig. 13. H/W block diagram of realizing PON architecture

PON기술을 채용하기 위해 필요한 소자는 155.52 Mb/s 다중/역다중화부, 25.92Mb/s 다중 역다중화부, 프레임 동기화부및 클럭 데이터의 위상정렬부 등을 모두 2개의 IC에 통합함으로써 기존의 한 보드당 3 가입자 서비스에서 한 보드당 9 가입자 서비스가 가능해지므로 가입자접속장치의 크기는 약 1/2, 비용은 가입자접속장치및 단말장치와 outside plant의 비용 절감효과로 약 25%를 줄일 수 있을 것으로 분석되었다. 이것은 아직 동축및 여타의 구리선을 이용한 가입자망에 비해 비용면에서 효과적이라고 단정할 수 없으나, 본 논문의 PON 구조가 SWAN의 주된 서비스가 영상이고, 하향으로의 전송 용량이 155.52Mb/s로 동시에 3개의 영상 밖에 제공할 수 없으므로 1:3 PON 구조를 이용하였으나, 향후 MPEG II와 같은 압축기술을 이용하거나, WDM(Wave Division Multiplex) 또는 보다 고속전송을 이용하여 하향의 전송용량을 늘리므로써 하향 영상 서비스의 수를 늘리고, 레인징(Ranging)기술을 사용하여 보호대역의 크기를 줄이고[9], 다수의 가입자중 선택된 가입자의 신호만을 전송하는 DQDB(Distributed Queue Dul Bus) 와 같은 프로토콜을 사용하여[10], 상향신호의 전송효율을 높이고 1:3 이상의 PON을 채용한다면 기존의 CATV 및 통신서비스를 통합제공하고, 새로운 서비스수용을 위한 광가입자망으로서 충분한 경쟁력을 가질 수 있을 것으로 생각된다.

Ⅵ. 결 론

1:3 PON기술을 사용하여 통신시에 발생되는 상향의 버스트 패킷데이타의 광전송시에 광송수신기의 APC, AGC 기능에 의한 데이타 결정(Decision)회로의 삽음마진이 감소하고, 문턱값의 변동및 수신되는 가입자로 부터의 광전력레벨 차에 의한 전송성능의 열화가 있었다. 이상의 문제를 해결하기의하여 가입자로 부터의 패킷데이타의 헤드 앞에 약 400ns의 무효데이타를 삽입하고 광송수신기의 내부회로를 직결합과 피크검출에 의한 부궤환과 APC제어기능을 삽입함으로써, PON구조에 충분한 Link budget을 확보하였다. 아울러 1:3 PON기술을 채용하므로써 광가입자망에서의 광송수신기의 사용량은 약 2/3, 광심유의 사용량은 약 8/15로 감소하였고, 광커플러의 사용량은 광가입자망의 한 폐회로(Loop)당 2개가 증가하였다.

PON기술을 채용하기 위해 필요한 소자는 155.52 Mb/s 다중 역다중화부, 25.92Mb/s 다중 역다중화부, 프레임 동기화부및 클럭 데이터의 위상정렬부 등을 모두 2개의 IC에 통합함으로써 가입자접속장치의 크기는 약 1/2, 비용은 약 25%를 줄일 수 있을 것으로 분석되었다.

이것은 아직 동축및 여타의 구리선을 이용한 전송에 비해 비용면에서는 효과적이지 못하나, 다양한 서

비스를 수용하는 미래의 가입자망에서 하향전송을 위해 필요한 대역폭은 크게 증가할 것고, 이는 구리선을 이용한 전송의 물리적 한계에 접하게 될것이므로 현재로서는 광가입자망이 구리선을 이용한 가입자망을 대체할 유력한 후보로 생각된다. 따라서 광가입자망에서 가입자당 전송코스트를 줄이기 위해 PON 구조의 사용가능성은 매우 높아질 것으로 생각되며, MPEG II와 같은 압축기술을 이용하여 서비스의 수를 늘릴 수 있다면 1:3 이상의 PON구조를 채택할 수 있을 것이므로, 하나의 전송로로 수용할 수 있는 가입자의 수의 증가가 가능할 것이고, 또한 레인징(Ranging)기술을 이용한다면 보호대역의 크기를 최소한으로 줄일 수 있으므로 전송효율면에서의 효율도 개선되어, 새로운 서비스 수용을 위한 광가입자망으로서 충분한 경쟁력을 가질 수 있을 것으로 생각된다.

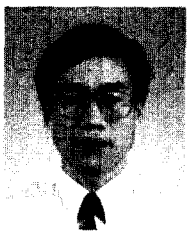
〈감사의 글〉

•본 논문은 KT의 출연금에 의한 광CATV시스템 기술개발과제 수행의 결과임을 밝히며, 아울러 본 연구를 위해 지도와 도움을 아끼지않으신 윤 영훈 선임연구원과 유 강희 책임연구원, 광송수신기의 개발에 적극참여해준 Fujitsu, OCP, NT사에게도 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. DAVIC, "General aspects on requirements of applications and services," DAVIC 1.0 spec. rev3.0, Melbourne 9th meeting, pp. 18-31, 1995. 6.
2. 이만섭외, "광CATV(백조) 시스템 개발현황및 향후 전개방향," 한국통신학회지 제7권 3호, 1990. 8.
3. Frank Koperda etc, "Challenges with transmission of data over CATV network," NCTA technical paper, pp. 373-382, 1995. 5.
4. 김효중외, "PON구조를 갖는 광CATV 가입자 전송에 대한 연구," 한국통신학회 하계종합학술발표회, pp. 433-436, 1993.
5. J. W. Ballance, Dr. J. L. Adams, "Access networks-beyond MANS to solutions compatible with B-ISDN," Int'l conference on integrated broadband services and networks, pp. 58-62, 1990. 10.
6. 국경묵, "ATM공중망 진화방안," 주간기술동향 95-07호(한국전자통신 연구소간), pp. 16-31, 1995. 2.
7. 전영윤외, "광CATV 시스템 현장시험을 위한 가입자 광선로의 구성과 성능시험," 한국통신학회지, 제20권 3호, pp. 619-626, 1995. 3.
8. P. Passeri, etc, "Evolution of the Access Network for Broadband Services in Italy," Proceedings of the ISSLS 96, pp. 287-292, 1996. 2.
9. C. E. Hoppite, etc, "The Provision of Telephony over Passive Optical Networks," British Telecom Technology Journal, Vol 7. No 2, pp. 100-114, 1989. 4.
10. Proposed standard: Distributed Queue Dual Bus (DQDB) Metropolitan Area Network (MAN), IEEE 802. 6.
11. Dr. Kamilo Feher, Digital communications: Satellite/earth station engineering, Prentice Hall Inc., pp. 336-403.
12. Siegfried Geckeler, Optical Fiber Transmission Systems, Artech House Inc., pp. 72-78.

金 孝 重(Hyo-Joong Kim) 정회원
1962年 7月 2日生
1985年 2月 : 경북대학교 전자공학과 졸업(학사)
1984年 12月~1990年 10月 : 삼성전자 반도체 연구소
1990年 11月~현재 : 한국전자통신연구소 연구원



李 燊 求(Chan-Goo Lee) 정회원
1961年 4月 21日生
1983年 2月 : 한국항공대학 항공전자공학과 졸업(학사)
1987年 6月~1993年 6月 : 삼성전자 가전 종합연구소
1993年 7月~현재 : 한국전자통신연구소 선임연구원

강 성 수(Sung-Soo Kang) 정회원
현재 : 한국전자통신연구소 다중전송연구실장

李 萬 燮(Man-Seop Lee) 정회원

1954年 12月 25日生
부산대학교 전자공학과 졸업(학사및 석사)
한국과학기술원 전기및 전자공학과 졸업
한국전자통신연구소 광가입자연구실장
한국전자통신연구소 영상통신연구실장
현재 : 한국전자통신연구소 광대역전송연구부장
45Mb/s, 90Mb/s, 565Mb/s 광전송 시스템 개발
데이타 다중장치 개발
광 CATV 시스템 개발
10Gb/sm 100Gb/s 전송시스템 개발중
BDCS(Broadband Digital Cross-connecting System) 개발중