

1 core 링형 WDM PON 기반 1Gbps SNMP 지원 광송수신 장치 개발†

(Development of 1Gbps SNMP Optical Transmitter/Receiver System based on 1 Core Ring-type WDM PON)

박 영 호*, 이 소 영**
(Young-Ho Park, So-Young Lee)

요 약 광전송 시스템은 도래하는 유비쿼터스 시대를 위한 통신망의 인프라와 관련된 분야로 메트로망 시장에서 액세스 시장사이의 브리지 역할을 하는 핵심 기술로 기술개발이 시급한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 1 core 링형 WDM PON 기반 1Gbps SNMP 지원 광송수신 장치를 개발한다. 구현한 시스템은 기존의 시스템에 비해 광섬유 사용수를 줄일 뿐만 아니라 여분의 송수신기가 필요 없는 장점이 있다. 또한, 프로토콜에 무관하며 보호절체 시간이 빠르고 파장당 노드수가 많으므로 동일한 파장을 사용하여 더 많은 노드를 수용할 수 있는 확장성이 있다.

핵심주제어 : 광송수신 장치, WDM PON, SNMP

Abstract Optical transmission system related to network infra of ubiquitous is a essential bridge technique between metro network and access point. So, it is need to develop this technique. In this paper, we develop 1Gbps SNMP optical transmitter/receiver system based on 1 core ring-type WDM PON. The developed system can reduce number of optic fiber and doesn't need extra transmitter/receiver. Also, this system can extend nodes owing to many node per wavelength, acts rapidly against security cutting, and acts independent of protocols.

Key Words: Optical transmitter/receiver system, WDM PON, SNMP

1. 서 론

최근 초고속 인터넷의 보급이 증가하면서 최종 사용자의 데이터 전송 대역폭에 대한 욕구가 갈수록 증가하고 있다. 현재 다양한 가입자망 기술이 연구되고 있지만, 향후 본격적으로 서비스될 새롭고 다양화된 기능을 가입자에게 제공하기 위하여 연구가 활발히 이루어지고 있다. 따라서, Wibro

(wireless broadband internet), HSDPA(high-speed downlink packet access) 등 대용량의 무선 패킷 서비스를 위한 기술이 상용화 막바지에 오면서 유무선 통합망에 대한 구체적인 네트워크 천이 작업을 위한 망 연구가 이루어지고 있다[1].

백본망으로부터 메트로망 사이는 long-haul DWDM(dense wavelength division multiplexing) 광전송 기술과 Terabps급 전송 장치들로 인하여 충분한 대역폭을 확보하고 있는 반면 메트로 단에서부터 액세스 단까지는 VDSL(very high bit-rate DSL), PTP(point to point) 메트로이더넷 서비스를 등을 기반으로 겨우 수 Mbps에서 수십 Mbps 정

† 본 논문은 중소기업청 산학협력실 사업 지원에 의하여 연구되었음.

* 상주대학교 전자전기공학부

** (주)싸이버트론 대표이사

도의 전송속도를 지원하고 있다. 이러한 낮은 전송 속도는 이동시에도 최소 10Mbps에서 30Mbps 정도의 대용량의 전송속도를 요구하는 유무선 통합 및 방송통신 융합 서비스를 위해서는 반드시 해결해야 할 과제이다. 특히 도래하는 유비쿼터스 시대를 위한 유무선 통합망 인프라는 사용자들이 이동하면서 실시간 동영상 전송, 대용량 패킷 전송 등을 위하여 안정적이고 신뢰할만한 광통신선로의 확보와 전송기술이 필수적이다. 이러한 기술의 요구는 MSPP(multi service provisioning platform)와 Gigabit 이더넷, fast 이더넷을 중심으로 WDM(wavelength division multiplexing)[2,3], PON(passive optical network) 등을 이용한 광선로 활용을 극대화하는 물론 광파이버 절단시의 문제점을 해결하려는 연구를 활성화 시키고 있다. 이러한 추세에 부응하여 현재 비관리 링형 WDM PON 기술[4,5]과 이더넷 기술을 접목한 제품이 출시되고 있으나 고객의 요구는 세계 표준화된 SNMP(simple network management protocol) 기능탑재와 가장 널리 사용중인 L2 스위치 기능탑재 및 1Gbps급의 전송 속도를 새로이 요구하고 있다. 더욱이 이러한 요구는 메트로망 시장에서 액세스 시장사이의 브리지 역할을 하는 핵심 기술로 새로운 시장 창출을 위한 기술개발이 시급한 실정이다.[6] 본 논문에서는 1 core 링형 WDM PON 기반 1Gbps SNMP 지원 광송수신 장치를 개발한다. 본 논문에서 구현한 시스템은 기존의 시스템에 비해 광섬유 사용수를 줄일 뿐만 아니라 여분의 송수신기가 필요 없는 장점이 있다. 또한, 프로토콜에 무관하며 보호절체 시간이 빠르고 파장당 노드수가 많으므로 동일한 파장을 사용하여 더 많은 노드를 수용할 수 있는 확장성이 있다.

2. 링형 WDM PON시스템

PON이란 광가입자망 구축방식의 하나로 광케이블에 수동분배 광소자를 사용해 하나의 OLT(optical line termination)가 여러 ONU(optical network unit)를 접속할 수 있도록 하는 방식이다. 능동 소자를 사용할 경우에는 전력문제, 방수문제, 온도문제 등이 있어서 케이블 외에 다른 장비들이 필요하다. 특히 PON은 기존의 광접속 방식이 CO

(central office)에서부터 광섬유로 와서 가입자까지 일대일로 연결하는 방식인 반면, CO에서 RT(remote terminal)까지는 1개 광섬유로 전송되어 와서 RT에 있는 수동 광분배소자로 나누어져 각 가입자까지 광섬유로 전송된다. 따라서 CO에서 가입자까지 1대 1로 광케이블을 포설하는 것보다 광케이블 비용을 획기적으로 절감할 수 있다.

PON은 구조적으로 수동 광소자만을 사용하는 point-to-multipoint 구조로 CO의 OLT와 가입자쪽의 ONU사이의 전송을 기본으로 한다. 여기서 CO는 일반적으로 전화국과 같은 접근 망을 메트로 백본과 연결해 줄 수 있는 장비들이 있는 곳이다. ONU는 가입자 유닛으로 응용에 따라 건물 단말(FTTC : fiber-to-the-curb)이나 가정(FTTH : fiber-to-the-home) 등으로 분류할 수 있다.

광가입자 망에 적용할 수 있는 망구조로는 스타형, 버스형, 링형 등의 토폴로지가 가능하다. 이때 광케이블에서 각 망노드로 신호가 분기 결합되는데 이 분기 결합기에 따라서 기능이 크게 달라진다. 광분기 결합기는 크게 빔 분할기, 성형 결합기, WDM MUX/DEMUX, WDM coupler 등이 사용될 수 있다.

(1) 국내·외 관련기술의 현황

국내에서 개발중인 가입자망용 통신시스템은 크게 TDM-PON과 WDM-PON으로 구분할 수 있으며, TDM-PON은 대부분 이더넷 기반의 E-PON이 주류를 이루고 있다. WDM-PON은 DWDM-PON과 CWDM-PON으로 구분할 수 있다. 국내에서 개발중인 가입자망용 통신시스템의 특징과 현황은 표 1과 같다.

E-PON 시스템은 WDM-PON 시스템에 비해 단기적으로 가격 경쟁력이 우수한 반면, 여러 가입자가 시분할을 통해 대역을 할당 받으므로 전송대역이 충분하지 못하며 시간분할 다중화에 필요한 MAC(media access control) 구현 및 고속의 넓은 동작범위를 갖는 버스트모드 수신기가 필요한 문제점이 있다. 또한, 이더넷 프로토콜만을 수용할 수 있어 기존의 통신망과 연동하거나 미래의 진화에 대응하기 어려운 문제점이 있고 성형 구조로 구현되므로 보호절체 기능이 없다.

DWDM-PON은 E-PON에 비해 상대적으로 가

입자 당 대역폭이 넓으며 임의의 프로토콜을 수용할 수 있는 투명성이 있다. 특히, 각 가입자마다 파장으로 구분되는 별도의 채널을 할당하여 가상 point-to-point 구조를 형성하므로 망 운용 및 제어 가 간단하고 높은 프라이버시를 제공하는 장점이 있다. 또한, 순수 국내기술로 개발되고 있으며 세계 시장에서 선도적인 위치를 점하고 있으나 현재 개발중이 DWDM-PON은 전송속도가 100 Mbps이고 보호절체 기능이 없는 문제점이 있다. 기존의 CWDM-PON은 E-PON이나 DWDM-PON에 비해 상대적으로 높은 전송속도를 제공하므로 FTTC나 FTTP 등에 적용할 수 있으며, WDM 전송기술의 모든 장점을 제공한다. 그러나 기존의 CWDM-PON은 성형 구조로 보호절체 기능이 없어 통신시스템의 전송속도가 높아질수록 중요해지는 신뢰성을 보장할 수 없는 문제점이 있다.

<표 1> 국내에서 개발 중인 가입자망 기술 비교

구분	광학부	전송속도	보호절체 기능
E-PON (삼성전자 외 3개사)	- 1550/1310nm 사용 - 16 또는 32 분기	- 하향대역폭: 1Gbps - 가입자당 대역폭 < 60Mbps - 상향대역폭: 30Mbps	없음
DWDM-PON (노베라옵틱스 등)	- C/L band DWDM - 32분기	- 하향대역폭: 100Mbps - 상향대역폭: 100Mbps - 프로토콜 무관	없음
CWDM-PON (파이버피아 등 7개사)	- CWDM(20nm) - 8 또는 16분기	- 하향대역폭: 100Mbps이상 - 상향대역폭: 100Mbps이상 - 프로토콜 무관	없음
환형 CWDM-PON (개발한 방식)	- CWDM(20nm) - 8 분기 (확장가능) - 8 노드	상하향 1Gb/s 이상 대역폭제공/프로토콜 무관	- 1 core 절체 - 시간 < 20ms

본 논문에서 개발하고자 하는 저밀도 파장분할 다중방식 이더넷기반 링형 PON 시스템은 기존의 CWDM-PON처럼 넓은 대역폭을 제공할 수 있으면서도 보호절체 기능을 가지고 있어 망의 신뢰성을 높이도록 구현된다. 특히, 이러한 보호절체 기

능을 통해 기존의 SDH/SONET망보다 가격이 저렴한 이더넷 기반 통신망을 구현하면서도 자동 보호절체를 통한 신뢰성 확보를 가능하도록 한 특징이 있다.

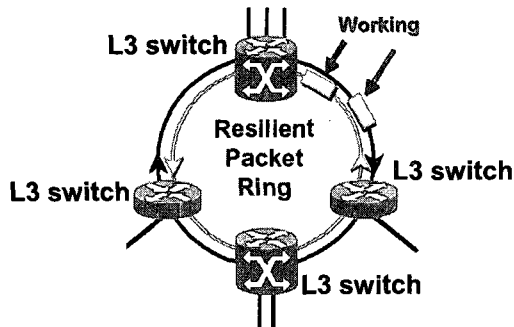
국외에서는 다양한 종류의 능동형 또는 수동형 가입자망 장비들이 있으며 주로 E-PON 기반 시스템이 주류를 이루고 있다. 현재 일본, 미국, 스웨덴, 이탈리아 등의 국가가 적극적으로 FTTH 구축을 위한 계획을 진행하고 있으며 이에 따라 다양한 종류의 가입자망 장비들이 있다. 해외에서 개발 중인 가입자망 시스템의 현황 및 특성을 비교하면 표 2와 같다.

<표 2> 국외에서 개발 중인 가입자망 기술 비교

구분	광학부	전송속도	보호절체 기능
E-PON (Alloptics 외 20여개사)	- 1550/1310nm 사용 - 32분기	- 하향대역폭: 1Gbps - 가입자당 대역폭 < 30 Mbps - 상향대역폭: 30Mbps	없음
CWDM-PON (루슨트 외 10여개사)	- CWDM (20nm) - 16분기	- 하향대역폭: 100Mbps이상 - 상향대역폭: 100Mbps이상 - 프로토콜 무관	없음
RPR,EAPS (시스코 외 5여개사)	- FX transceiver - Tx/Rx 2 port	- 하향대역폭: 100Mbps이상 - 상향대역폭: 100Mbps이상 - 이더넷프로토콜 - 4 core 사용	- 4 core 절체 - 시간 < 50ms
환형 CWDM-PON (Cinea 외 5여개사)	- CWDM (20nm) - 8분기 - 4 노드	- 하향대역폭: 100Mbps이상 - 상향대역폭: 100Mbps이상 - 프로토콜 무관 - 2 core 사용	- 2 core 절체 - 시간 < 수십ms

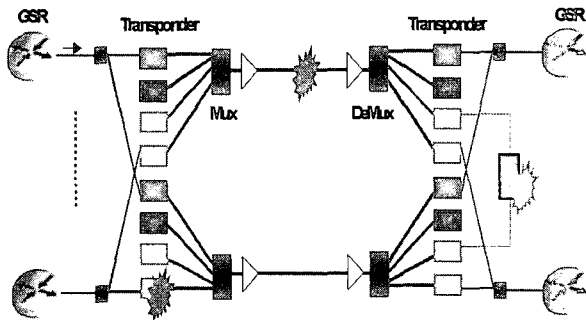
시스코 및 Extreme사의 RPR, EAPS 시스템은 SONET과 유사한 신뢰성을 가지며, L3 스위치 기반 Gigabit 이더넷 링형 네트워크 시스템이다. 즉, 그림 1에 나타난 바와 같이 L3급 스위치를 환형으로 연결하여 구성되며, 항상 반대방향으로 리턴던 시 신호를 전송하게 된다. 이 시스템은 광섬유의 절단시 환형망을 통해 약 50 msec의 시간에 보호

절체 기능을 제공한다. 그러나, 이 시스템을 구현하기 위해서는 4 코어의 광섬유가 필요하며, 여분의 광송수신기 쌍을 사용하여야 한다. 또한, 소프트웨어에 의해 보호절체 기능이 구현되므로 고유한 소프트웨어를 탑재한 자사제품끼리만 호환이 가능하다. 특히, 보호절체가 이더넷 기반에 구현되므로 다양한 프로토콜을 수용할 수 없는 문제점이 있다.



<그림 1> 시스코 및 Extreme사의 RPR, EAPS 시스템

Cinea나 Ericsson 등에서 제공하는 환형 CWDM-PON은 수십 msec이내의 빠른 보호절체 시간을 제공할 수 있지만, 동일한 파장을 사용하여 수용 가능한 노드수가 제한된다. 따라서 통신망의 확장성이 제한되는 문제점이 있으며 그림 2에 나타낸 바와 같이 각 노드사이에는 2개의 광섬유로 연결하여야 하는 문제점이 있다.



<그림 2> Cinea나 Ericsson 등에서 제공하는 기존의 환형 CWDM-PON 구조

환형 CWDM-PON과 본 논문에서 구현한 통신 시스템의 특징을 비교하면 표 3과 같다. 본 논문에서 구현된 시스템은 기존의 시스템에 비해 광섬유 사용수를 줄일 뿐만 아니라 여분의 송수신기가 필

요 없으므로 가격이 저렴한 장점이 있다. 또한, 프로토콜에 무관하며, 보호절체 시간이 빠르고 파장당 노드수가 많으므로 동일한 파장을 사용하여 더 많은 노드를 수용할 수 있는 확장성이 있다.

<표 3> 본 논문에서 구현하고자 하는 환형시스템과 기존 통신시스템과의 비교

구분	RPR,EAPS (시스코 외 5여개사)	환형 CWDM-PON (Cinea 외 5여개사)	환형 CWDM-PON (개발한 방식)
광섬유 코어수	4	2	1
여분의 송수신기	1 쌍	1쌍	없음
수용 프로토콜	이더넷	프로토콜에 무관	프로토콜에 무관
절체시간	50 msec	<수십 msec	<20 msec
파장당 노드수	1 (광섬유 사용수 두배)	0.5	1

(2) 링형 시스템 구성

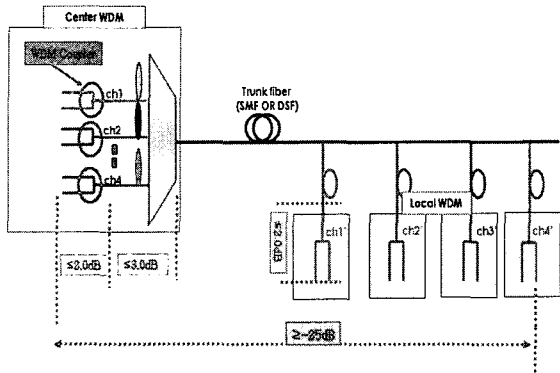
1) 특징

본 링형 WDM PON 기술을 활용한 시스템은 메트로 이더넷 방식을 쉽게 링 구조로 구현할 수 있고 그 결과 회선 절체가 가능하다. 특히, 동일 파장을 같은 파이버에서 양방향으로 전송하게 하여 양단에 있는 광부품의 수요를 최소화 하여 기능을 향상시켰다. 즉, 이더넷 기술을 수용하면서 파이버 망의 외형을 링구조로 하고, 회선 절체가 가능하게 했으며, 논리적 망 운용은 스타 구조로 하게 하여 노드 수가 증가하면서 파생되는 대역폭의 감소를 줄였다. 이러한 모든 장점을 저가격으로 구현할 수 있다는 특징이 있다.

2) 구성

본 시스템은 Layer 2 스위치와 연동되는 COT (central office terminal)장비, CWDM MUX/

DEMUX, 그리고 가입자단의 PC나 노트북에 연결되는 RT(remote terminal)부로 구성되어 있으며, 그림 3에서와 같이 Center WDM부분, CWDM PON기반 MUX/DEMUX부분, CWDM Add/Dropper부분, RT부분으로 구성된다. 실제 CWDM Add/Dropper는 RT내에 삽입되어 일체형으로 시스템을 구성하였다.



<그림 3> 1 core 링형 WDM PON 기반 1Gbps SNMP 지원 광송수신 모듈 구성도

본 시스템은 크게 Center WDM부와 RT부로 구성되며, 각 부분에 대한 역할은 다음과 같다.

Center WDM부

- CWDM 트랜시버 1470~1610nm의 광/전 변환부
- Gigabit 이더넷 신호생성을 위한 O/E 미디어 컨버터부
- CWDM의 다파장 신호의 분과 합과기인 CWDM MUX/DEMUX로 각각 구성됨.

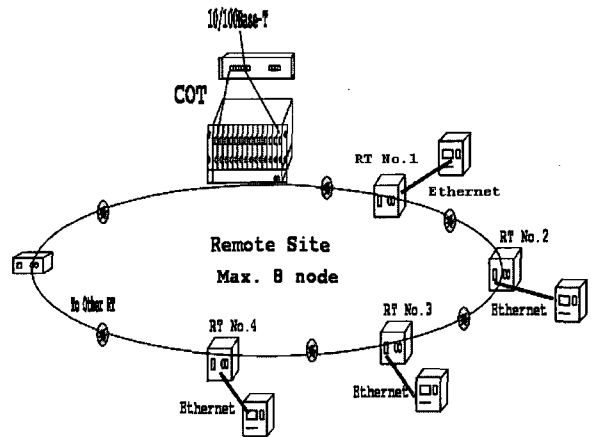
RT부 (CWDM Add/Dropper포함)

- 다 파장이 하나의 광파이버에 전송되어 해당 파장을 선택분리 또는 선택취합하는 광학부
- CWDM 트랜시버를 통한 광/전변환부
- Gigabit 이더넷 신호생성을 위한 O/E 미디어 컨버터부로 각각 구성됨.

3. 1Gbps급 링형 WDM PON 송수신시스템 구현

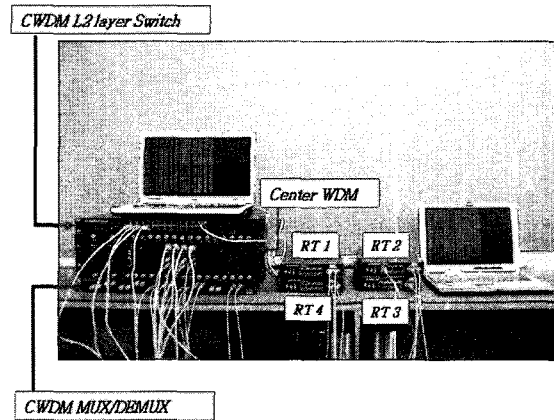
(1) 전체 시스템

버스(혹은 선형)망의 경우는 CO 장치의 유니트 슬롯을 WDM-MUX와 연결하고 MUX의 출력을 각 RT 한 노드의 환형 구조로 연결하여 구성한다. 그림 4는 1 core 링형 WDM PON 기반 1Gbps SNMP 지원 광송수신 장치 전체 시스템 구성을 위한 블록도이다.



<그림 4> 전체 시스템 구성도

실제 제작된 시스템의 실물사진은 그림 5와 같다.



<그림 5> 1 core 링형 WDM PON 기반 1Gbps SNMP 지원 광송수신 장치 실물사진

(2) CWDM MUX/DEMUX부 제작

CWDM 8 채널 MUX/DEMUX는 여러개의 파장을 하나로 합쳐주고, 이를 다시 각각의 파장으로 분리하는 기능을 하며 그림 6은 완성된 외형 및

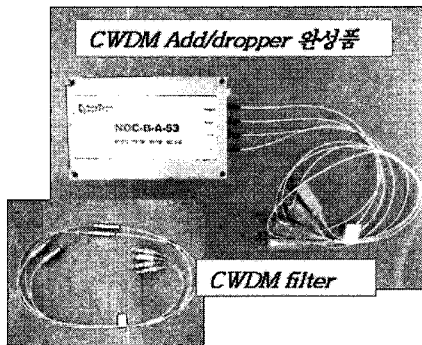
내부 MUX/DEMUX 광학모듈 실물사진을 나타낸다. 실제 CWDM용 광학필터를 연결손실 0.5dB이하로 패키징하고 이를 순차적으로 연결하는 것이 성능에 중요한 요소이다.



<그림 6> 제작된 CWDM MUX/DEMUX부 실물사진

(3) CWDM Add/Dropper부 제작

CWDM PON에 있어서 센터장비로부터 각 노드 단의 RT장비와 양방향 통신을 할 때, 각각 서로 다른 파장이 RT마다 할당되고 이 파장을 분리하여 RT의 광/전 변환부와 연결시키게 된다. 이때 파장을 분리하거나 취합하는 광학기능을 Add/Drop라 하며 이는 CWDM 광학필터를 정밀한 패키징을 통하여 완성된다. 그림 7은 제작된 CWDM Add/Dropper 실물 사진이다.

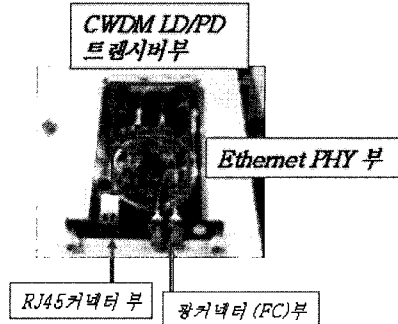


<그림 7> 제작된 CWDM Add/dropper 실물사진.

(4) 광/전 변환 미디어 컨버터부

Layer 2 스위치와 연동하고 광/전 변환된 신호가 Gigabit 이더넷 신호로 변환되는 미디어 컨버터부로서 CWDM LD/PD를 갖는 광트랜시버부와

MII/GMII 인터페이스를 지원하는 PHY부, 그리고 전원인터페이스 및 이더넷 접속부로 구성되며 실물사진은 그림 8과 같다.



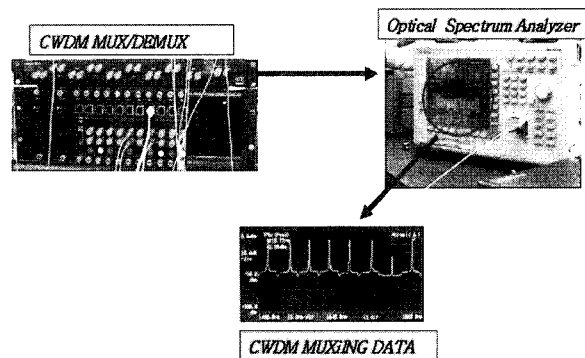
<그림 8> 제작된 광/전 변환 미디어 컨버터부 실물사진

4. 개발한 장치의 특성 분석

(1) 링형 WDM PON 광전송 시스템 광학부 특성 분석

1) CWDM MUX/DEMUX 특성 측정

CWDM MUX/DEMUX는 1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590, 1610nm로 파장 간 간격이 20nm씩 떨어진 8개의 파장을 하나로 합하여 전송하고 이를 다시 20nm의 각 파장별로 분리하는 기능을 갖는 광 부품이다. 그림 9는 CWDM MUX로부터 나오는 출력신호의 측정 결과이다. 그림 9에서 보는 바와 같이 센터장비인 CWDM의 광/전 변환 미디어 컨버터로부터 각 파장에 따라

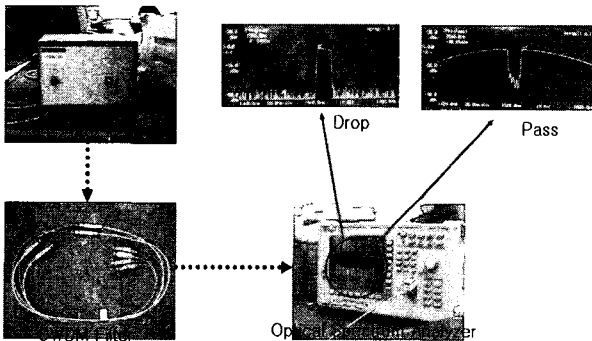


<그림 9> 제작된 CWDM MUX/DEMUX 성능 측정 사진.

광신호로 변환된 8개의 광신호는 해당되는 파장에 따라 CWDM MUX/DEMUX의 각 파장에 해당되는 포트에 연결되어 하나의 출력 광포트로부터 8개의 파장이 합쳐지게 된다. 사용된 계측기는 Anritsu사의 광파장 스펙트럼 분석기를 사용하였다.

2) CWDM Add/Drop 특성 측정

CWDM Add/Drop은 CWDM MUX/DEMUX로부터 8개의 파장이 합쳐져서 전송되는 파장들을 각각 하나의 개별 파장으로 분리하거나 이를 다시 합쳐지도록 하는 광부품이다. 그림 10은 CWDM Add/Drop의 특성측정으로 위하여 백색광원(Anritsu사 White light source)으로부터 나오는 신호를 CWDM Add/Drop용 필터에 입력하여 이를 drop 포트에 출력한 신호를 광스펙트럼 분석기를 이용하여 측정된 결과이다. 측정된 결과에서 해당 파장에 대한 drop 정도가 -14dB 이상이 되는 정상적인 신호 전송이 가능함을 알 수 있었다.



<그림 10> 제작된 CWDM Add/drop 성능 측정 사진

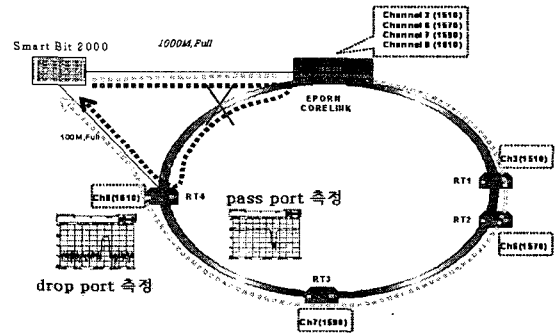
(2) 링형 WDM PON 광전송 시스템 특성 측정

1) L2 스위치 연동 Ping 테스트

Ping 테스트는 가장 기본적인 데이터 전송 확인 방법으로 종단에 있는 두 대의 컴퓨터와 그 사이의 Layer 2 스위치, CWDM MUX/DEMUX, CWDM 광/전 변환 장치, RT를 거쳐 전송되는 데이터 전송 테스트를 하였다. 컴퓨터의 IP 219.253.181.35 로 1518bytes Ping 테스트 (약12시간)를 한 결과 0% 손실을 가짐을 확인하였다.

2) Smartbits 계측기를 이용한 특성 측정

그림 11은 Smartbits를 이용하여 제작된 링형 시스템의 처리량 테스트를 위한 시스템 구성도이며 이중 하나의 노드 단에서 광파이버가 절단되어도 약 20ms이내에 자동 복구가 이루어짐을 확인하였다.



<그림 11> Smartbits를 이용한 자동절체 복구 성능 측정을 위한 구성도

5. 결론

광전송시스템은 도래하는 유비쿼터스 시대를 위한 통신망의 인프라와 관련된 분야로 메트로망시장에서 액세스 시장사이의 브리지 역할을 하는 핵심 기술로 새로운 시장 창출을 위한 기술개발이 시급한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 1 core 링형 WDM PON 기반 1Gbps SNMP 지원 광송수신 장치를 개발하였다. 개발한 광송수신 장치는 CWDM MUX/DEMUX부, CWDM Add/Dropper 부 및 광/전 변환 미디어 컨버터부로 구성된다. 개발한 시스템의 특성 측정을 한 결과 해당 파장에 대한 drop 정도가 -14dB 이상이 되는 정상적인 신호 전송이 가능함을 확인하였으며 1Gbps 절단 시 패킷 손실 테스트 결과로 평균 20ms이내의 전체 시간을 가지면서 정상적인 전송이 가능함을 확인하였다.

개발한 광전송 시스템은 도래하는 유비쿼터스 시대를 위한 통신망의 인프라와 관련된 분야로 유무선 통신 인프라를 통해 관련 산업 분야의 비약적인 기술발전을 초래할 수 있다. 즉, 초고속 통신

망과 광대역 방송 서비스가 가능해짐에 따라 Wibro + WCDMA 유무선 통합 인프라 분야, 이통시장의 전자 상거래 분야, 홈쇼핑, 양방향 TV, 지상파 DMB를 비롯한 방송 및 멀티미디어 분야, 정보가전 분야, 센서네트워크/모바일 단말 분야, 홈 네트워크 분야 등에 기여할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] 박완기, 김대영, "EPON 기반 홈케이트웨이를 이용한 맥내 망에서의 방송통신 융합 서비스," 대한전자공학회논문지TC, 제42권 6호, pp.9-16, 2005년 6월

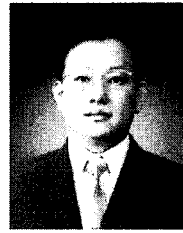
[2] 고제수, 이현재, 이종현, "WDM 광전송 기술," 한국통신학회지, 제19권 3호, pp.123-133, 2002년 3월

[3] F. Shehadegh, R.S. Vodhanel, M. Krain, C. Gibbons, r.E. Wagner, and M. Ali, "Gain-equalized, eight-wavelength WDM optical add-drop multiplexer with an 8-dB dynamic range," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol.7, no 9, pp.1075-1077, Sep.,1995

[4] 이창희, "WDM-PON 기술," 한국통신학회지, 제22권 6호 pp.44-56, 2005년 6월

[5] J.H. Shin, H. Kim, Y. Cho, C.S. Shim, and C.H. Lee, "Demonstartion of self-healing and retrival in a two-fiber bi-directional WDM ring network," *Electron. Lett.*, vol. 37, no.3, pp. 188-190, Feb. 2001

[6] J.W. Park and C.-H. Lee, "Wavelength interleaved bidirectional add/drop amplifier module," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol.12, no 2, pp.326-328, Feb.,2000



박 영 호 (Young-Ho Park)

- 종신회원
- 1989년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1991년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1995년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 상주대학교 전자전기공학부 부교수
- 2003년 8월 ~ 2004년 7월 Oregon State University 방문 교수
- 관심분야: 정보보안, 광통신 등



이 소 영 (So-Young Lee)

- 1989년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1991년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2000년 08월 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 2003년 01월 ~ 현재 (주)사이버트론 대표이사
- 2005년 03월 ~ 현재 경북대학교 겸임 조교수
- 관심분야: 광통신, 신호처리, u-Healthcare 등