

광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템 기술

1. 서론

최근 고속, 고품질 멀티미디어 서비스의 확산과 스마트폰, 태블릿 PC 등의 모바일 서비스의 증가로 인터넷 데이터 트래픽은 가히 폭발적인 증가 상태이다. 2014년 시스코 백서[1]에 따르면 2013년 ~ 2018년까지 트래픽은 1년에 평균 21%(CAGR: Compound Annual Growth Rate) 증가할 것으로 예측되고, 사이언스 매거진[2]에 의하면 2020년경 광 전송 기술 발전이 트래픽 증가 속도를 따라가지 못하는 '전송용량 부족'(Capacity crunch) 현상이 예측되고 있다.

데이터 트래픽의 폭증과 전송용량 부족으로 통신사업자의 설비 증설이 계속적으로 요구되고 있으나, 망 구축 비용과 운용 비용의 증가로 수익은 정체 내지 감소하는

폭증에 따른 향후 전송 용량 부족 상황이 발생할 것에 대비하여 광 전송 용량 확장을 위한 초고속 광 전송 기술인 Beyond 100G 기술(400G, 1T)과, 공간분할 광전송 등에 관한 연구 개발을 진행하고 있다. 또한 통신사업자의 트래픽 증가 대비 수익의 탈 동조화 현상을 극복하고 투자요인을 제공하기 위해서 새로운 서비스 창출을 통한 수익증대와 더불어 네트워크 CAPEX(Capital Expenditures)/OPEX(Operating Expenditures)를 획기적으로 절감할 수 있는 새로운 네트워크 장비 및 망 구조를 필요로 하고 있다. 이와 함께 클라우드 네트워크 환경으로의 전환이 확대되면서 IDC 내/간 접속에서 요구하는 저지연, 고품질, 확장성 및 자동 장애 복구 등이 보장되는 네트워크 기술과 수요가 증대되고 있다.

본 고에서는 상기 네트워크 현안을 극복하고 문제점에

특집 ■ 광통신

광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템 기술

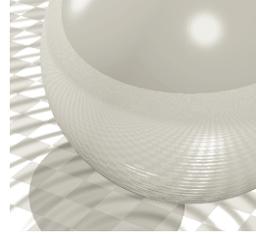
최우영, 김홍주, 김태일, 주범순, 이종현*

'트래픽 증가 대비 수익의 탈 동조화 현상'이 발생하고 있어 통신사업자가 신규 설비 투자를 주저하고 있는 상황이다. 또한 현재의 서비스 사업자 망은 광 전송망, 회선망, 패킷 망이 각각 계층 별로 설치 및 운용되고 있어, 망 관리가 복잡하고, 장비를 설치하는 상면적이 커서, 시설 확장이 용이하지 않으며 네트워크 장비의 소비 전력도 해마다 증가하는 문제점을 내포하고 있다.

이러한 당면 현안들에 대한 해법으로 데이터 트래픽

대응하기 위하여 각 계층별로 개별적으로 설치/운용되고 있는 현 전달망을 광-회선-패킷(L0-L1-L2) 계층 통합 스위칭 시스템을 기반으로 하는 통합 전달망[3] 형태로 전환하고, 다계층 통합 제어 및 관리를 통한 CAPEX/OPEX 절감, 고품질/대용량 전달 성능을 제공할 수 있는 광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템 시스템과 이에 기반한 통합 전달망의 주요 기술과 향후 전망에 대하여 기술하고자 한다.

* 한국전자통신연구원



2. 광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템 기술

가. 기술 개념

광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템은 <그림 1>과 같이 개별적으로 운용되던 광 전송망, 회선 망, 패킷 망을 하나로 통합하기 위하여, 각 계층별 기술을 하나의 시스템에 통합 수용하여 광-회선-패킷 통합 형태로 단순 전달망을 구성하여 운용/관리할 수 있는 시스템으로 정의한다.

광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템은 <그림 2>와 같이 데이터 평면, 제어 및 관리 평면으로 구성된다. 데이터 평면 기술로는 통계적 다중화(statistical multiplexing)로 망 효율성을 증가시키면서 기존 회선에서 제공하던 품질 및 신뢰성을 확보하기 위하여 회선(SONET/SDH) 기반에서 연결지향형 패킷(MPLS-TP: Multi-Protocol Label Switching - Transport Profile)기반으로 전달 방식을 전환하고, 시스템 내에서 MPLS-TP 패킷과 OTN(Optical Transport Network) 회선 데이터를 단일 스위치 패브릭에서 혼용 교환/전달

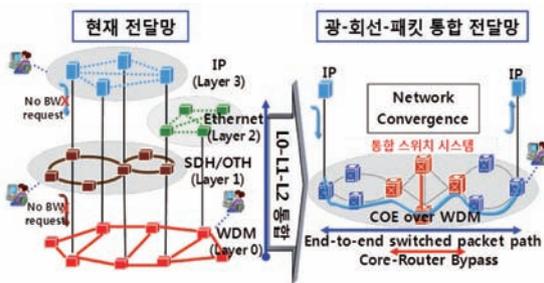


그림 1. 광-회선-패킷 통합 전달망 기술 개념

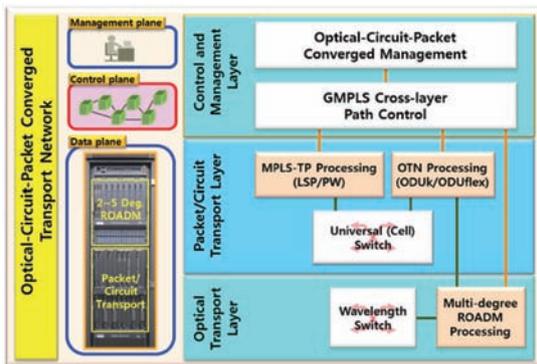


그림 2. 광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템의 주요 구성

을 가능하게 하며, 수용된 데이터들은 ROADM(Re-configurable Optical Add Drop Multiplexer)의 광 채널을 이용하여 전송하는 기술로 구성된다. 제어 및 관리 평면은 ROADM 기반 광 파장 교환/전달 기술, 패킷 및 OTN 단일 스위치 기반의 MPLS-TP/OTN 교환/전달 기술과 각 전달 계층을 통합하여 제어 관리하기 위한 GMPLS(Generalized Multi-Protocol Label Switching) 기반의 통합 제어 관리 기술로 구성된다.

나. 광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템의 주요 개별 기술

(1) MPLS-TP 기반 패킷 교환/전달 기술

패킷 교환/전달 기술은 패킷 기술이 가지는 통계적 다중화의 장점으로 버스트한 특성을 가지는 인터넷 트래픽을 효율적으로 전달함으로써 적은 비용으로 고가의 회선 전달망을 대체할 수 있는 기술이다. 대표적인 패킷 전달 기술인 MPLS-TP 기반 패킷 전달 기술은 패킷 전달 경로의 품질 및 신뢰성을 회선 전달망 수준으로 높이기 위해, MPLS 포워딩 방식을 유지하면서 연결지향형 특성을 제공하고, 기존의 MPLS 기술에 추가적으로 회선에서 요구하는 OAM 및 보호 절체 기능을 부가한 기술이다 [4][5].

MPLS-TP 기술의 표준은 ITU-T와 IETF 표준화 기관과의 의견이 달라 표준화에 지연이 있었으며, ITU-T는 전형적인 전달망 수준의 신뢰성 높은 MPLS-TP 패킷 전달망 기술을 목표로 추진하고 있으며, IETF는 기존 MPLS 기능에 최소한의 수정 및 부가 기능으로 MPLS-TP 패킷 전달망 구현을 목표로 하고 있다. 표준화 추진 현황<그림 3>을 살펴보면 MPLS-TP OAM 방식은 ITU-T의 이더넷 OAM에 기반한 방식과 IETF의 MPLS OAM에 기반한 방식이 2012년 11월 WTSA(World Telecommunication Standardization Assembly)에서 각각 ITU-T 국제 표준 G.8113.1과 G.8113.2로 승인되었으며, MPLS-TP 선형 보호 절체 방식은 APC(Automatic Protection Coordination) 방식이 2014년 7월에 단일 ITU-T 국제 표준 G.8131로 승인되었다. APC 방식은 IETF RFC6378 PSC (Protection State Coordination) 방식의 문제점을 해결하고 ITU-T G.8031 APS (Automatic Protection Switching) 방식

광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템 기술

에 익숙한 기존 전달망 사업자의 요구 사항을 만족하도록 동작을 보완한 것이다[6]. MPLS-TP 링 보호 절체 방식은 ITU-T G.8132로 2016년 말경 표준화 예정이다.

		ITU-T	단일표준	IETF
G.XX	승인	Architecture	G.8110.1	
G.XX	미승인	Interface	G.8112	
		Equipment function block(generic)	G.8121	
		Equipment function block(specific)	G.8121.1	G.8121.1
		OAM	G.8113.1	G.8113.2
		Linear Protection	G.8131	
		Ring Protection	G.8132	
		Equipment management (generic)	G.8151	
		Equipment management (specific)	G.8151.1	G.8151.2
		Management Information	G.8152	
		Terminology	G.8101	
		DCN	G.7712	

그림 3. MPLS-TP 표준화 추진 현황

(2) OTN 기반 회선 교환/전달 기술

OTN 기반 회선 교환/전달 기술은 신호 프로토콜(이더넷, SONET/SDH, Fiber Channel 등)에 무관하게 모든 형태의 클라이언트 신호를 ODUk 기반으로 수용하여 이를 광 채널을 이용하여 효율적으로 전송하기 위한 기술이다. OTN 광 전달 전송 계위는 2000년대 초 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 표준 광 인터페이스(싱글 채널)로 ITU-T G.709에서 표준화가 이루어졌다. 최근에는 저지연 서비스 제공을 위해서 기가비트 이더넷 신호를 직접 수용하기 위한 ODU0 프레임 규격과, 버스트 특성을 가지는 이더넷 데이터를 보다 효과적으로 수용하여 망 효율성을 극대화 시키기 위한 ODUflex($n \times 1,25G$ ($n=1\sim 80$)) 프레임 규격이 표준화 되었으며[7], 망 운용중에 ODUflex 신호의 대역폭을 hitless하게 증감하는 기술 또한 표준화 되었다[8]. OTN 기반 광 전달망은 하나의 광 파장을 구성하는 여러 개의 서브 파장인 ODUk($k=0,1,2,3,4,flex$) 단위로 스위칭이 가능하여 대역폭을 효과적으로 배분할 수 있고 저지연 트래픽 서비스 수용이 가능하다는 장점이 있다[9].

OIF(Optical Interworking Forum)에서는 패킷 셀 기반의 스위치 패브릭을 통해 ODUk 신호를 스위칭할 수

있는 OFP(OTN over Packet Fabric Protocol) 방식을 표준화[10]하여, <그림 4>와 같이 패킷 스위칭과 OTN 스위칭을 패킷 셀 기반 단일 스위치 패브릭에서 교환이 가능하게 하였다.

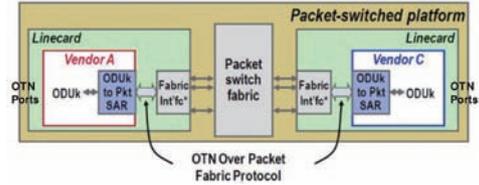


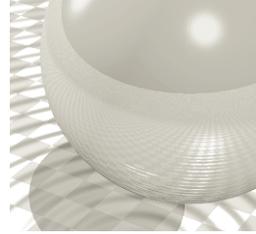
그림 4. OFP 기반 OTN 라인카드 스위칭 구조

(3) ROADM 광 파장 교환/전달 기술

ROADM 광 파장 교환/전달 기술은 광 코어망 전송에 있어서 광 채널의 삽입(add), 추출(drop)을 통하여 경로의 재설정이 가능하며, 광 신호를 전기 신호로 변환하지 않고 처리하는 광 스위치 기술을 이용하고, OTN을 이용하여 광 채널 신호를 전송한다. 손실이 적고 프로세서 제어가 가능한 WSS(Wavelength Selective Switch) 광 스위치 소자가 나오면서 ROADM 구현 및 시장이 활성화 되기 시작하였으며, 최근 광 파장은 100G 광 채널을 수용하는 추세이며 자유도(degree of freedom)는 다방향성(multi-degree) 형태의 광 신호 레벨의 광 분배(cross-connection)가 가능한 구조로 확장되고 있다[11][12].

ROADM은 <그림 5>와 같이 파장과 관계없는 분기/결합(C: Colorless), 방향과 상관없는 채널 연결(D: Directionless), 파장 충돌 없는 채널 연결(C: Contentionless), 향후 가변 대역폭 지원(F: Flexible grid) 기능을 가지게 될 것이며, 기능 조합에 따라 CD/CDC/CDCF ROADM으로 분류할 수 있다.

400G 또는 1T 광 신호를 ROADM에 수용하기 위해서는 새로운 Flexible grid 패턴의 표준화가 필요하며, ITU-T G.694.1에서 12.5GHz Flexible grid 패턴을 제시하고 있다. 400G 광 전송을 위해서는 112G의 DP-QPSK 변조방식으로는 멀티서브캐리어 4개, 224G의 DP-16QAM 변조방식으로는 멀티서브캐리어 2개를 사용하여 전송하여야만 한다. 멀티서브캐리어 방식은 Flexible grid 간격을 12.5GHz의 정수배 내에서 유연하게 할당 가능하도록 하여 50GHz의 고정된 grid를 사용하는



것보다 스펙트럼 효율성을 올려 광 전송 용량을 확장할 수가 있다. 향후 초고속 ROADM 기술은 400G/1T 광채널을 가지는 Flexible grid 기반의 ROADM으로 발전할 것으로 보인다.

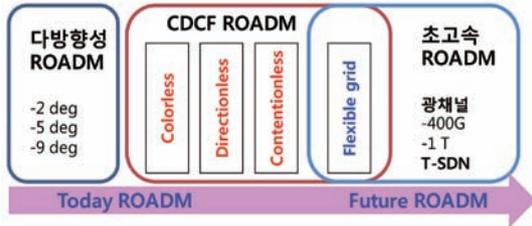


그림 5. ROADM 기능 분류 및 발전 방향

(4) 전달망 제어 평면 기술

전달망 제어 평면 기술은 광, 회선, 패킷 계층으로 구성된 다계층 전달망에서, 상위 계층 서비스를 위한 하위 계층 자원의 자동 할당 및 제어를 하기 위해 GMPLS 기반 통합 제어 기술을 이용한다. GMPLS는 각 레이어의 전달 수단을 라벨로 구분하고 종단간에 라벨 정보로 연결 경로를 관리하는 기술로서 TDM, 광 파장, 이더넷 등 어떠한 종류의 매체에서도 동작할 수 있도록 일반화시킨 제어 평면 프로토콜 기술이다.

광(WDM), 회선(ODUk), 패킷(MPLS-TP) 계층으로 구성된 다계층에서 상위 계층 서비스를 위한 하위 계층 자원의 자동 할당 및 제어를 제공함으로써, 불필요한 사전 프로비저닝을 제거하고 고가의 네트워크 자원 활용률을 극대화할 수 있다. GMPLS 프로토콜을 이용한 다계층 경로 자원 제어 기능은 <그림 6>에서와 같이 노드 내 상위 계층에서 경로 자원 부족 시 하위 계층의 경로 설정 및 경로 자원을 운용하는 레이어 간(cross-layer) 제어 기능, 노드 간 동일 계층 내에서 경로 설정 및 경로 자원을 운영하는 레이어 내(per-layer) 제어 기능으로 구분

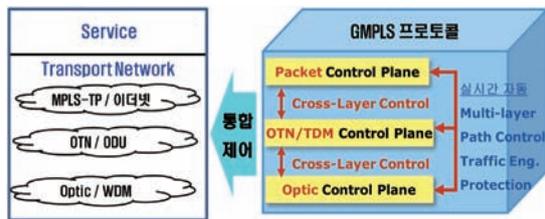


그림 6. GMPLS 기반 제어 평면 기술

한다[13].

현 전달망은 ASON(Automatically Switched Optical Network)/GMPLS 기반 제어 평면으로, 장비 내에 데이터 평면과 제어 평면 프로토콜을 함께 탑재하여 분산 제어하는 구조를 가지고 있다. 새로운 SDN(Software Defined Networking) 기반의 제어 평면은 데이터 평면과 제어 평면을 분리하여 중앙 집중 제어 하는 구조로서, 자원 이용률 극대화, 운용비용 절감, 새로운 서비스 창출에 있어서 장점을 가지게 된다. SDN 적용 단계를 살펴보면 초기에는 데이터 센터 내부 네트워킹을 위해 SDN을 적용하였고, 현재는 데이터 센터 간에 클라우드 네트워킹을 위해 SDN을 적용하고 있다. 조만간 SDN을 전달망으로 확장한 Transport SDN을 데이터 센터 간에 존재하는 전달망에 적용하여 완전한 SDN 기반의 클라우드 네트워크가 구현될 것이다. Transport SDN은 전달망의 자동화/가상화/개방화 기능을 목표로 ITU-T SG15에서 표준화가 결정되어, 전달망에 적용 가능한 SDN 제어 구조 및 요구사항을 규정하고 있다.

3. 향후 전망

광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템 기술의 향후 전망에 대해서 살펴보면, <그림 7>과 같이 개별 기술인 SDH/MSPP(Multi-Service Provisioning Platform) 기술은 점차 축소될 것이고, 이더넷과 새로운 패킷 전달망 기술인 MPLS-TP 기술은 지속적으로 발전해 나갈 것이다. 초고속 광 전송 기술은 100G, 400G, 1T 급으로 광 전송 용량이 계속 확대되어 발전할 것이며, 광 전송 용량을 확장하는 기술로서 편파다중 멀티레벨 번복조 방식, Flexible grid WDM 기술, 공간분할다중 기술 등이 제안되어 활발히 연구개발이 진행되고 있다.

또 다른 한 축의 기술 발전 향후 전망은 현재 이더넷 망, SDH/OTN 망, WDM 망 등으로 계층별로 독립적으로 설치되어 네트워크의 비효율성이 존재하고 있던 것을 레이어0(L0), 레이어1(L1), 레이어2(L2) 기능을 통합한 광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템으로 구현하는 것이다. 이러한 시스템을 전달망에 적용 함으로써 네트워크 현안을 극복하고, CAPEX/OPEX 등의 비용 절감을 추구하는 동시에 단순화된 전달망 구축이 가능하게 된다.

광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템 기술

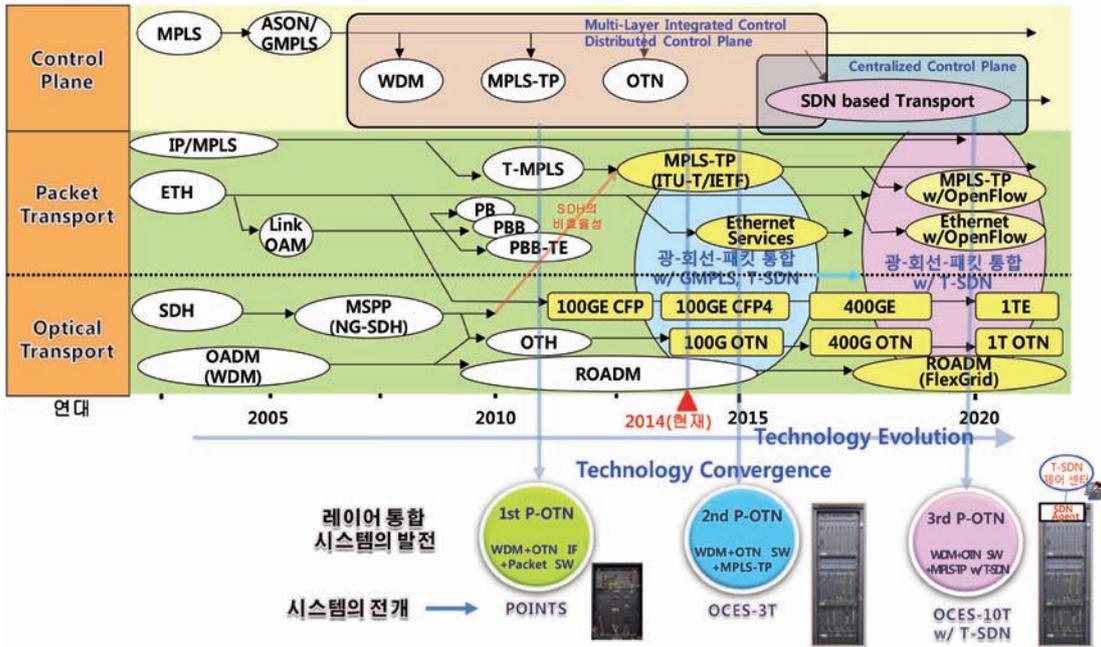


그림 7. 광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템 기술의 향후 전망

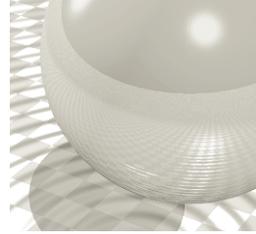
광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템은 수 테라급부터 수십 테라급의 시스템 용량 확장과 Transport SDN 기능이 적용된 통합 전달망 시스템으로 발전할 전망이다.

4. 결론

광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템 기술은 기존 독립적인 광 전송망, 회선 망, 패킷 망 계층을 하나로 통합하는 시스템 기술로서, 트래픽 폭증과 전송 용량 부족을 해결하고, 레이어 통합 제어로 트래픽 종류 및 특성에 최적화된 자원 할당을 통한 장비 설치 및 운용비용 절감, 광/회선 전송 사용 극대화를 통한 소비 전력 감소 등으로 통신사업자의 투자 여건을 우호적으로 조성할 수 있다. 광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템은 각 계층을 통합하여 전달망의 단순화를 이룰 수 있으며, 조만간 Transport SDN 기반의 통합 시스템으로 데이터 센터 간의 전달망에 우선 적용 될 것으로 전망된다.

광-회선-패킷 통합 전달망은 현재 글로벌 초기 시장으로 향후 사업자의 전달망 인프라로서의 역할을 충분히 할 것으로 기대 된다. 또한 대용량 초고속 저지연 서비스 트래픽 처리 기술 확보로 사업자의 전달망 노드 뿐만 아니라 고가용성 데이터센터 연결, 실시간 고신뢰 클라우드 네트워킹, ALL-IP를 위한 패킷 기반 무선백홀, 저비용 저전력 고신뢰 국가 공공망 구축 및 자가망 구축, DELAY-Sensitive 엔터프라이즈 서비스 망 구축을 위한 핵심 시스템 기술이 될 것이다.

향후(2020년경)에는 광 채널당 400G~1테라급 속도, 수십 테라급 용량을 갖는 광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템이 요구되는 바, 현재 대비 10배 이상의 용량을 가지고 기술 한계를 극복하는 신기술을 창출할 수 있어야 한다. 그러므로 지속적이고 발전적 형태로 수십 테라급 광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템 기술의 연구개발이 추진되어야 할 것이며, 미래의 광대역화/통합화(단순화)/지능화 네트워크를 개발하는데 필요한 기반 기술로서 활용할 수 있을 것이다.



참고문헌

- [1] Cisco White Paper, "Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2013-2018," June 2014.
- [2] D. J. Richardson, "Filling the Light Pipe," Science, Vol. 330, pp. 327-328, Oct. 2010.
- [3] 김홍주 외, "광-회선-패킷 통합 전달망 기술동향," 전자통신동향분석 제28권 제6호, 2013. 12, pp.49-62.
- [4] 강태규 외, "캐리어 이더넷 기술 및 표준화 동향," 전자통신동향분석 제24권 제3호, 2009. 6, pp.78-90.
- [5] IETF RFC 5654, "Requirements of an MPLS Transport Profile," Sep. 2009.
- [6] J. Ryoo et al, "MPLS-TP linear protection for ITU-T and IETF," IEEE Commu. Mag., Dec. 2014.
- [7] ITU-T Rec. G.709, "Interfaces for the Optical Transport Network (OTN)," Dec. 2012.
- [8] ITU-T Rec. G.7044, "Hitless adjustment of ODUflex(GFP)," Oct. 2011.
- [9] 신중윤 외, "초광대역 시대를 여는 광전송 기술," 전자통신동향분석 제25권 제6호, 2010. 12, pp.123-135.
- [10] OIF, "OTN Over Packet Fabric Protocol (OFP) Implementation Agreement," IA # OIF-OFP-01.0, Nov. 2011.
- [11] Heavy Reading, "The Need for Next Generation ROADM Network," Sep. 2010.
- [12] ITU-T Rec. G.672, "Characteristics of multi-degree reconfigurable optical add/drop multiplexers," Oct. 2012.
- [13] J. Whitehouse, "Multi-Layer Control Plane," Meta Switch, Ethernet 2011.

약력

최우영



- 2000년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
- 1995년~2000년 LG전선 주임연구원
- 1995년 경북대학교 공학석사

김홍주



- 2014년~현재 코위버㈜ 연구소 기술고문
- 2004년~2014년 한국전자통신연구원 책임연구원
- 2000년~2003년 ㈜텔리언 기술이사
- 1985년~2000년 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1999년 한국과학기술원 공학박사

김태일



- 1983년~현재 한국전자통신연구원 광네트워크제어연구실 실장
- 2008년 충남대학교 이학박사
- 2000년 한남대학교 공학석사
- 1983년 숭실대학교 공학사

주범순



- 1984년~현재 한국전자통신연구원 광전달망시스템연구실 실장
- 1999년 한국과학기술원 공학석사
- 1983년 서울대학교 공학사

이종현



- 1983년~현재 한국전자통신연구원 광인터넷연구부 부장
- 1993년~1995년 정보통신관리단 파견(전송관리역)
- 1993년 성균관대학교 공학박사
- 1983년 성균관대학교 공학석사