

WDM-PON 전송을 이용한 4G 이동통신망 CPRI 링크의 시스템 요구규격 분석

김성만*, 문실구*, 이상수*

Required Specification Analysis of CPRI Link of 4G Mobile Networks for Using WDM-PON Transmission

Sungman Kim*, Sil-Gu Mun*, Sangsoo Lee*

요 약

4G 이동통신 기지국에 있어서 최근에 DU (Digital Unit) 와 RU (Radio Unit) 로 분리되는 형상의 기지국이 많이 등장하고 있다. 본 논문에서는 차세대 4G LTE 및 LTE-Advanced 이동통신망에서 DU 와 RU 사이를 연결하는 CPRI (common public radio interface) 링크에 요구되는 통신망의 규격을 살펴보고 이를 WDM-PON 으로 구현하기 위한 요구규격을 분석하여 본 응용 시장에 뛰어들고자 하는 WDM-PON 시스템의 개발목표를 설정하고자 한다.

Key Words : common public radio interface (CPRI), WDM-PON, LTE, LTE-advanced, 4G mobile networks

ABSTRACT

Recently, base stations composed of digital unit (DU) and radio unit (RU) have been widely used in 4G mobile networks. To connect DU and RU, CPRI (common public radio interface) is usually used as the interface standard. This CPRI link is considered as one of the application markets for WDM-PON. In this paper, we analyzed the required specification of WDM-PON for the CPRI link of the 4G LTE-Advanced base station composed of DU and RU. This analysis is important to set a target goal of the development of WDM-PON system for 4G mobile networks.

I. 서 론

최근 스마트 폰이 널리 보급되고 각종 관련 서비스가 활성화됨에 따라 무선 데이터 전송 요구량이 폭증하고 있다. 이에 따라 기존의 이동통신 기술보다 한층 더 빠른 데이터 전송속도를 자랑하는 LTE (long-term evolution) 기술도 우리나라를 비롯한 전세계적으로 상용서비스가 시작되고 있으며, 국내의 이동통신 서비스 시장은 전세계 기술을 앞서가고

있는 편이다. 한편, ITU-T 는 LTE 기술의 차세대 버전인 LTE-Advanced 기술과 와이브로 기술의 차세대 버전인 Mobile WiMAX evolution 을 차세대 4G 이동통신 표준 기술로 채택한 바가 있다^{1,2)}.

이러한 4G 이동통신 기지국에 있어서 최근에 <그림 1>과 같이 DU (digital unit) 와 RU (radio unit)로 분리된 형상의 기지국이 많이 등장하고 있다. 이렇게 DU 와 RU 로 분리된 형상의 기지국은 전화국사에 DU 를 두고, 설치비용 및 임대비용이 많이 드는 외부

※ 본 연구는 방송통신위원회의 차세대통신네트워크 원천기술개발사업 (KCA-2011-10913-05002) 지원 및 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No.2010-0022318)

◆ 주저자 겸 교신저자 : 경성대학교 전자공학과, sungman@ks.ac.kr, 종신회원

* 한국전자통신연구원

논문번호 : KICS2012-03-121, 접수일자 : 2012년 3월 14일, 최종논문접수일자 : 2012년 5월 31일

에는 최소한의 RF 소자들로 구성된 RU 를 설치하는 형태이다. 이렇게 DU 와 RU 로 분리된 형상의 4G 이동통신 기지국은 다음과 같은 여러 가지 장점을 가진다. 이러한 형상의 기지국은 외부에 설치되는 RU 의 크기가 작아 쉽게 기둥이나 건물 옥상에 설치할 수 있으며, 임대비용이나 외부옥사의 운영비용이 적게 든다. 또한, 서비스 사업자가 자신의 상황에 맞게 DU 와 RU 를 각각 짝을 맞추어 구입할 수 있어 각 사업자나 각 국가의 환경에 맞는 최적화된 DU 및 RU 쌍을 구성할 수도 있다. 또한, 추후에 DU 만을 따로 업그레이드를 하거나, RU 만을 따로 교체할 수도 있어, 교체의 편리성 또한 가질 수 있다고 하겠다. 또한, 여러 대의 RU 가 하나의 DU 에 연결될 수 있어, 하나의 DU 로 여러 셀을 동시에 운영할 수 있는 장점도 가지고 있다.

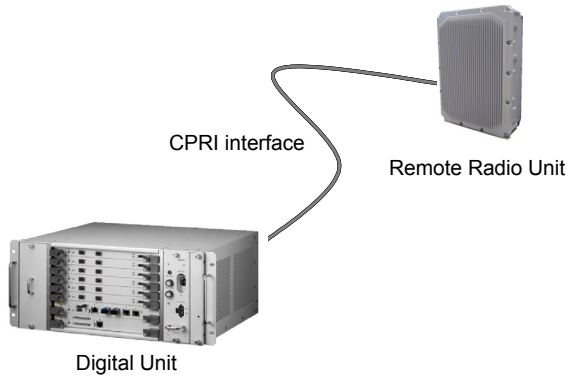


그림 1. DU와 RU로 분리된 형상의 4G 이동통신 기지국
Fig. 1. 4G base station composed of DU and RU

이렇게 DU 과 RU 로 분리된 형상의 4G 이동통신 기지국에서 DU 와 RU 사이를 연결하는 인터페이스로는 CPRI (common public radio interface) 라는 표준이 널리 쓰이고 있다³⁾. 이러한 CPRI 링크에는 전송속도가 수 Gb/s 에 달하는 회선이 여러 개가 필요하고 수 km 이상의 전송거리가 필요하여 광 가입자망 (optical access network) 기술의 한 종류인 WDM-PON (파장분할 다중방식 수동형 광 가입자망, wavelength division multiplexing passive optical network) 시스템의 한 응용시장이 될 수 있을 것으로 전망되고 있다.

광 가입자망 기술 중 가장 진화된 기술로 평가받는 WDM-PON 기술은 전 세계적으로 우리나라가 가장 앞서있는 것으로 평가 받고 있다⁴⁻⁸⁾. 하지만, 현재 WDM-PON 시스템은 높은 가격과 제한된 응용시장으로 인해 상용으로 널리 보급되지는 못하고 있다. 따라서, WDM-PON 시스템의 응용시장을 가입자망 이

외의 영역에서 찾는 일이 WDM-PON 시스템을 개발하는 사람들에게는 매우 중요한 문제이다.

따라서, 본 논문에서는 차세대 4G LTE-Advanced 이동통신 망에서 CPRI 링크에 요구되는 통신 링크의 규격을 살펴보고 이를 WDM-PON 으로 구현하기 위한 요구규격을 분석하여 본 응용 시장에 뛰어들고자 하는 WDM-PON 시스템의 개발목표를 설정하고자 한다.

본 논문의 구성을 설명하면 다음과 같다. 본 논문의 2 장에서는 4G 이동통신망의 구조를 설명하고 여기에서 CPRI 링크에 해당하는 부분에 대해 설명하고, 기존 시스템과의 연동문제에 대해 설명한다. 본 논문의 3 장에서는 CPRI 링크에 필요한 전송속도를 계산하는 방법에 대해 설명하고, 하나의 이동통신 기지국을 위해서 필요한 CPRI 회선 수에 대해서 분석한다. 본 논문의 4 장에서는 현재 서비스를 시작한 LTE 기술의 경우에 이동통신 사업자가 확보하게 될 주파수 대역폭 시나리오에 따라 LTE 서비스를 수용하기 위한 CPRI 전송속도 및 회선 수를 분석하였다. 본 논문의 5 장에서는 향후 서비스를 개시할 LTE-Advanced 서비스의 경우에 이동통신 사업자가 확보하게 될 주파수 대역폭 시나리오에 따라 필요한 CPRI 전송속도 및 회선 수를 분석하였다. 본 논문의 6 장에서는 본 논문에서 가정한 몇 가지 파라미터가 변경되었을 경우에 새로운 결과값을 도출하는 방법에 대해 설명하였다. 본 논문의 7 장에서는 CPRI 링크를 WDM-PON 으로 구현하고자 하는 의의를 설명하고 본 논문의 중요성을 설명하였으며, 본 논문의 전체내용을 요약하였다.

II. 4G 이동통신망의 구조 및 CPRI 링크 구간

대표적인 4G 이동통신 기술인 LTE 이동통신망의 구조를 <그림 2>에 나타내었다⁹⁾. Mobile WiMAX 망의 구조도 이와 비슷한 구조를 가지고 있다 [10]. 4G 이동통신망은 이전의 3세대 이동통신망에 비해서 간략화된 구조를 가지고 있다. 여기에서 기지국에 해당하는 부분은 그림에서 eNodeB 에 해당하는 부분이다. DU-RU 분리형 기지국은 이 eNodeB 를 좀 더 가변적으로 운영할 수 있도록 DU 와 RU 로 분리하여 소형의 RU 를 전화국사에서 수 km 이상으로 외곽으로 설치할 수 있도록 한 기지국이다. 여기에서 CPRI 링크는 이러한 DU 와 RU 를 연결한 부분으로서 <그림 2>에서는 eNodeB 내에서 내부적으로 연결한 링크로 볼 수 있다. 즉, CPRI 링크는 기지국 내부의 링크로 볼 수 있으므로 이를 어떠한 방식으로 구현을 하든

지 전체 이동통신망의 다른 부분에 호환문제나 연동 문제를 발생시키지 않는다.

또한, CPRI 를 WDM-PON 으로 구현한다는 것은 <그림 3>과 같이 정의된 CPRI 프로토콜 계층에서 맨 하위부분인 Optical Transmission 부분이 WDM-PON 의 한 채널로 변경되는 효과만을 가져오게 된다. 따라서, 나머지 프로토콜 계층들은 CPRI 의 표준을 그대로 사용하게 되므로 기존의 이동통신 기지국의 연결 부분에 별도의 변화를 요구하지 않는다.

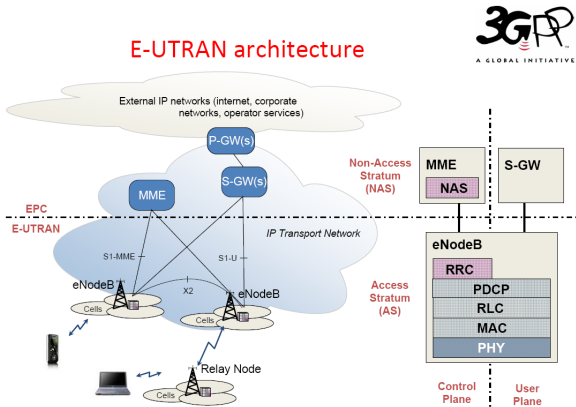


그림 2. LTE 이동통신망의 구조^[9]
Fig. 2. Structure of LTE mobile network^[9]

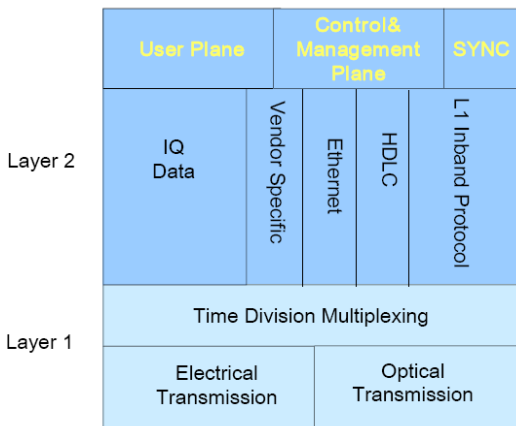


그림 3. CPRI 프로토콜 구조^[3]
Fig. 3. Structure of CPRI protocol^[3]

III. CPRI 링크에 필요한 전송속도 및 회선 수

CPRI 는 이동통신에서 사용되는 변조신호가 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 신호이든지 CDMA (code division multiple access) 신호이든지 관계없이 DU 와 RU 사이를 연결하는 표준으로 사용될 수 있도록 단순히 시간축에서 샘플링

을 하여 그 값을 디지털로 보내는 기술이다. 따라서, 샘플링 속도 및 디지털 양자화 비트수가 정해지면 CPRI 전송속도가 결정되게 된다. 따라서, 실시간으로 사용되는 사용자의 데이터 전송률의 변동과는 상관없이 CPRI 전송 데이터 속도는 일정하다.

현재 국내의 이동통신 사업자가 확보하고 있는 10 MHz 채널 대역폭에서 4 개의 안테나를 사용하는 4x4 MIMO (multiple-input multiple-output) 기술을 사용할 경우 2.5 Gb/s CPRI 인터페이스가 필요하다. 만약, 20 MHz 채널 대역폭에서 차세대 LTE-Advanced 표준인 8x8 MIMO 기술을 사용할 경우에는 10 Gb/s 의 CPRI 전송속도가 필요하다. 이러한 CPRI 링크를 위해 필요한 전송속도를 계산하는 방법을 <표 1>에 나타내었다.

표 1. CPRI 전송속도 계산방법 (20 MHz 의 채널대역폭 및 8x8 MIMO 가정)
Table 1. Calculation of CPRI data rate (assuming 20-MHz channel bandwidth and 8x8 MIMO)

항목	값
채널 대역폭	20 MHz
Sampling Rate*	30.72 MHz
IQ Sample Width*	최대 20 bits (I, Q 각각 20 bits 씩)
안테나 개수	8 개 (8 x 8 MIMO 가정)
필요한 CPRI 전송속도	30.72 MHz * 20 bits * 2 (I & Q) * 8 = 9830 Mb/s (약 10 Gb/s)

*Common Public Radio Interface (CPRI); ver 4.2, 2010.

즉, 20 MHz 채널 대역폭에서 8x8 MIMO 를 구현하는 차세대 LTE-Advanced 시스템에서는 10 Gb/s 의 CPRI 인터페이스가 필요함을 알 수 있다. 하지만, 향후 2~3 년 동안에는 기존에 각 사업자들이 보유하고 있는 채널 대역폭인 10 MHz 에 기존의 4x4 MIMO 기술을 지원하는 LTE 서비스를 사용한다면 2.5 Gb/s CPRI 전송속도만이 필요하게 된다.

이러한 CPRI 전송속도는 한 섹터(sector) 에 해당하는 것으로써, 만약, 3 섹터를 사용하는 기지국 시스템에서는 위에서 구한 CPRI 회선이 3 개가 필요하게 되며, 3 FA (frequency assignment) 3 sector 를 사용하는 경우 위에서 구한 CPRI 회선이 총 9 개가 필요하게 된다. 만약에 상향링크와 하향링크를 동시에 보

내야 하는 FDD 방식이라면 이의 2 배인 18 개의 CPRI 회선이 필요하게 된다. 이렇게 여러 섹터를 사용하는 이동통신 기지국의 모습을 <그림 4> 에 나타내었다.

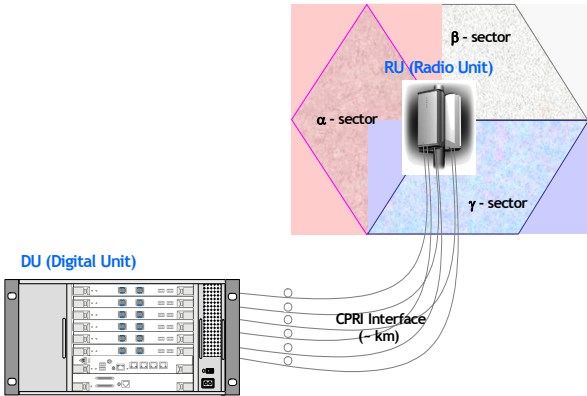


그림 4. 3 개의 섹터를 사용하는 이동통신 기지국
Fig. 4. Base station with 3 sectors

IV. LTE 서비스를 위한 CPRI 전송속도

현재 국내를 비롯하여 전세계적으로 서비스되고 있는 LTE 기술은 Release-9 버전으로 4x4 MIMO 까지 지원하는 기술이다. 국내에서 향후 수년 동안은 LTE 기술로 서비스될 것으로 전망되므로 향후 수년 동안에 요구하게 될 CPRI 링크의 전송속도를 요약하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 에서 알 수 있듯이, 현재 LTE 서비스만을 위해서는 2.5 Gb/s 전송속도의 CPRI 회선이 6 개가 필요하다. 이는 4x4 MIMO 기술, 10 MHz 의 채널대역폭, 3 sector 를 사용하는 기지국을 가정한 것이다. 그리고 실제로 이동통신 망에서는 사고를 대비한 여분의 CPRI 회선이 필요하므로 실제로는 <표 2>에서 나타난 회선 수 보다 여분의 CPRI 회선이 추가적으로 더 필요하다. 또한, <표 2> 에서 시나리오 2 와 시나리오 3 은 이동통신 사업자가 총 20 MHz 의 채널 대역폭을 확보한 경우인데, 시나리오 3 은 이동통신 사업자가 연속해서 20 MHz 주파수를 확보한 경우이고, 시나리오 2 는 이동통신 사업자가 주파수 상에서 연속하지 않은 10 MHz + 10 MHz 채널대역폭을 확보한 경우를 의미한다.

향후 우리나라를 비롯한 여러 국가에서 더 많은 RF 주파수 자원을 이동통신 용도로 변경하려는 움직임이 있어 이동통신 사업자는 향후 더 많은 주파수를 확보

하게 될 것으로 예상된다. 하지만, 2~3 년 이후에는 LTE 기술 대신에 그 다음 버전인 LTE-Advanced 기술을 사용하게 될 것이므로 그 이후의 시나리오는 LTE-Advanced 기술을 사용한 가정을 바탕으로 다음장에서 분석하고자 한다.

표 2. LTE 서비스를 위해 요구되는 CPRI 전송속도
Table 2. CPRI data rate required for LTE service

항목	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3
사업자 확보 대역폭 (DL/UL 중 하나만)	10 MHz	20 MHz	20 MHz
채널 대역폭	10 MHz	10 MHz	20 MHz
요구 CPRI 회선속도 (4 x 4 MIMO 가정)	2.5 Gb/s	2.5 Gb/s	5 Gb/s
기지국 형태	1 FA 3 sector	2 FA 3 sector	1 FA 3 sector
필요 CPRI 회선 (DL/UL Total)	2.5 Gb/s 회선 6 개	2.5 Gb/s 회선 12 개	5 Gb/s 회선 6 개

V. LTE-Advanced 서비스를 위한 CPRI 전송속도

3GPP (3rd Generation Partnership Project) 에 의해 표준화가 이루어지고 있는 LTE 기술은 Release-10 버전의 기술부터 LTE-Advanced 기술로 정의하고 있다. LTE-Advanced 에서는 기존의 LTE 기술과는 달리 8x8 MIMO 기술까지 정의하고 있다 [11]. 따라서, 8x8 MIMO 기술을 지원하기 위해서는 CPRI 링크의 회선 수 또한 늘어나게 된다. 이렇게 LTE-Advanced 을 사용하는 이동통신 서비스에서 사업자가 확보하게 될 주파수 대역폭에 따라 요구하게 되는 CPRI 링크의 전송속도를 정리하면 <표 3>과 같다.

만약 LTE-Advanced 서비스가 시작될 시점에도 국내의 이동통신 사업자가 10 MHz 의 대역폭으로 서비스를 시작한다면 <표 3>의 시나리오 1 과 같이 5 Gb/s 전송속도를 가지는 CPRI 회선이 6 개 이상이 필요할 것이다. 만약, LTE-Advanced 서비스가 시작될 것으로 예상되는 2~3 년 후에 국내의 이동통신 사업자가 20 MHz 의 주파수 대역폭으로 서비스를 시작한다면 그 20 MHz 대역폭이 연속적으로 보유하는지 아니면 연속적이지 않은지에 따라서 시나리오 2 와 시

나리오 3 으로 나뉘게 될 것이다. 만약, 연속한 20 MHz 주파수 대역폭으로 LTE-Advanced 서비스를 시작한다면 시나리오 3 과 같이 10 Gb/s 전송속도의 CPRI 회선이 6 회선 이상 필요하게 될 것이다.

시나리오 4 에서 보였듯이, 이동통신 사업자들이 30 MHz 의 주파수 대역폭으로 LTE-Advanced 서비스를 시작한다면, 5 Gb/s 및 10 Gb/s 전송속도의 CPRI 회선이 각각 6 개씩 필요하게 되어 총 90 Gb/s 의 전송용량이 필요하게 된다. 여기에 여분의 CPRI 회선까지 고려한다면, 총 100 Gb/s 의 전송용량이 필요하게 될 것이다. 따라서, LTE-Advanced 이동통신망의 CPRI 링크를 WDM-PON 으로 구현하고자 한다면 최대 채널당 10 Gb/s 의 전송속도로 10 채널 이상의 WDM-PON 시스템을 구현해야 할 것이다.

표 3. LTE-Advanced 서비스를 위해 요구되는 CPRI 전송속도

Table 3. CPRI data rate required for LTE-Advanced service

항목	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3	시나리오 4
사업자 확보 대역폭 (DL/UL 중 하나만)	10 MHz	20 MHz	20 MHz	30 MHz
채널 대역폭	10 MHz	10 MHz	20 MHz	10+20 MHz
CPRI 회선속도 (8x8 MIMO)	5 Gb/s	5 Gb/s	10 Gb/s	5+10 Gb/s
기지국 형태	1 FA 3 sector	2 FA 3 sector	1 FA 3 sector	2 FA 3 sector
필요 CPRI 회선 (DL/UL Total)	5 Gb/s 회선 6 개	5 Gb/s 회선 12 개	10 Gb/s 회선 6 개	5, 10 Gb/s 각각 6 개

VI. 추가 고려사항

본 논문에서 분석한 CPRI 전송속도 계산법은 각각의 이동통신 기지국 제품이나 이동통신 서비스 회사에 따라 그 결과가 다소 달라질 수도 있다. 예를 들어, 특정 이동통신 기지국 제조회사는 CPRI 링크의 IQ sample width 를 20 bits 가 아닌 다른 값을 사용할 수도 있으며, 이러한 경우에는 <표 1>의 식을 이용하여 새롭게 결과값을 도출할 수 있다. 또한, LTE-Advanced 서비스를 사용한다고 가정하더라도 8x8 MIMO 를 사용하지 않고 4x4 MIMO 만을 사용한다면 요구되는 CPRI 전송속도가 절반으로 줄어들

게 된다. 또한, 전세계적으로 드물기는 하지만, 4 섹터를 이용하는 사업자도 있는데, 이러한 경우에는 3 섹터를 가정한 본 논문의 결과에서 4/3 만큼 증가된 수치의 CPRI 회선수를 요구하게 된다.

VII. 결 론

광 가입자망 기술 중에서 가장 진화된 기술로 평가 받는 WDM-PON 기술은 전 세계적으로 우리나라가 원천기술을 보유하고 있으며, 가장 연구가 활발한 것으로 평가 받고 있다. 하지만, 현재 WDM-PON 시스템은 높은 가격과 제한된 응용시장으로 인해 상업적으로 크게 성공하지는 못하고 있다. 따라서, WDM-PON 시스템의 응용시장을 광 가입자망 이외의 영역에서 찾는 일이 매우 중요하다.

따라서, 본 논문에서는 4G 이동통신 기술인 LTE 및 LTE-Advanced 이동통신 망의 CPRI 링크에서 요구하게 될 전송속도 및 회선 수를 살펴보았으며, 이를 WDM-PON 으로 구현하기 위한 시스템의 요구사항을 살펴보았다. 향후 수년 내의 LTE 서비스를 위해서는 최대 5 Gb/s 전송속도의 CPRI 회선이 6 개 이상 필요할 것으로 전망되며, 수년 이후의 LTE-Advanced 서비스를 위해서는 최대 10 Gb/s 전송속도의 CPRI 회선이 9 개 이상 필요할 것으로 전망된다. 여분의 CPRI 회선을 고려한다면, 이보다 더 많은 용량의 CPRI 회선이 필요할 것으로 생각된다. 결론적으로 향후 수년 내에 CPRI 링크에서 요구하게 될 사양은 총 100 Gb/s 이상의 전송용량을 만족시키는 WDM-PON 시스템을 요구하게 될 것이다.

이와 같이 WDM-PON 시스템을 이동통신 망에 적용하고자 한다면, 본 논문에서 분석한 바와 같이 이동통신의 발전상황을 파악하고 이동통신망의 요구사항을 정확하게 분석하여 각 시점에 적합한 WDM-PON 제품을 출시하는 일이 중요한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Amitava Ghosh, Rapeepat Ratasuk, Bishwarup Mondal, Nitin Managalvedhe, and Tim Thomas, "LTE-advanced: next-generation wireless broadband technology", *IEEE Wireless Communications*, vol.17, no.3, pp.10-22, June 2010.
- [2] Sung-Man Kim, "A Study on the Output

Power Optimization of Mobile WiMAX Base Station”, *Journal of Korea Information and Communications Society*, Vol.35, No.4, pp.341-349, April 2010.

[3] Common Public Radio Interface (CPRI); Interface Specification, ver 4.2, 2010.

[4] Sang-Mook Lee, Sung-Man Kim, Sil-Gu Moon, and Chane-Hee Lee, “Demonstration of Long-reach WDM-PON based on Wavelength-Locked Fabry-Perot Laser Diodes”, *Proc. of Photonics Conference 2005*, paper T1A2, Chungmu, Korea, Nov. 2005.

[5] Chang-Hee Lee, Sang-Mook Lee, Ki-Man Choi, Jung-Hyung Moon, Sil-Gu Mun, Ki-Tae Jeong, Jin Hee Kim, and Byoungwhi Kim, “WDM-PON experiences in Korea”, *Journal of Optical Networking*, vol.6, no.5, pp.451-464, April 2007.

[6] Wooram Lee, Seung-Hyun Cho, Jaedong Park, Bong kyu Kim, and Byoungwhi Kim, “Noise Suppression of Spectrum-Sliced WDM-PON Light Sources Using FP-LD”, *ETRI Journal*, vol.27, no.3, pp.334-336, June 2005.

[7] Han-Hyub Lee, Seung-Hyun Cho, Eun-Gu Lee, and Sang-Soo Lee, “Demonstration of RSOA-Based 20 Gb/s Linear Bus WDM-PON with Simple Optical Add-Drop Node Structure”, *ETRI Journal*, vol.32, no.2, pp.248-254, April 2010.

[8] Hwan Seok Chung, Bong Kyu Kim, and Kwangjoon Kim, “Effects of Upstream Bit Rate on a Wavelength-Remodulated WDM-PON Based on Manchester or Inverse-Return-to-Zero Coding”, *ETRI Journal*, vol.30, no.2, pp.255-260, April 2008.

[9] <http://www.3gpp.org/>

[10] “Mobile WiMAX - Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation”, WiMAX Forum white paper, March 2006.

[11] 3GPP, TR 36.201, v10.0.0, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); LTE physical layer; General description”, 2010.

김 성 만 (Sungman Kim)



1999년 2월 KAIST 전기및전자공학과 학사
 2001년 2월 KAIST 전기및전자공학과 석사
 2006년 2월 KAIST 전기및전자공학과 박사
 2006~2009년 삼성전자 정보통신총괄 책임연구원

2009년 3월~현재 경성대학교 전자공학과 교수
 <관심분야> WDM-PON, 이동통신, LED 무선 광통신, 광통신, 광에너지

문 실 구 (Sil-Gu Mun)



2003년 2월 경북대학교 전자공학과 학사
 2010년 2월 KAIST 전기및전자공학과 박사
 2010년~현재 : ETRI 광인터넷연구부 선임연구원
 <관심분야> 가입자망 전송기술,

WDM-PON

이 상 수 (Sangsoo Lee)



1988년 2월 인하대학교 응용물리학과 학사
 1990년 2월 인하대학교 응용물리학과 석사
 2001년 2월 인하대학교 전자재료공학과 박사
 2001년~현재 ETRI 광인터넷연구부 책임연구원

<관심분야> 가입자망 전송기술, WDM-PON