

논문 2006-43TC-9-19

CATV 용 60GHz 대 RoF 분배시스템

(60GHz Band RoF Transport Distribution System for CATV Application)

박종대*, 장순혁*, 정환석*, 주무정*

(Jong-Dae Park, Sun-Hyok Chang, Hwan-Seok Chung, and Moo-Jung Chu)

요약

WLAN 및 이동통신은 계속해서 많은 서로 다른 표준으로 진화함에 따라 이동통신 사업자는 기술적 경제적 많은 어려움에 직면하고 있다. 따라서 끊임없는 시스템 업그레이드가 필요하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 새로운 접근 방법을 모색하여 그 타당성을 연구하였다. 즉, electro-absorption modulator(EAM) 과 optical single sideband (OSSB)에 기반한 radio over fiber (RoF) 기술을 사용해 저가, 단순, 주파수변화 및 프로토콜 변화가 없는 트랜스패런트한 무선 액세스 망을 구축하여 그 해결책을 제시하였다. 본 논문에서는 프로토타입 CATV 용 60GHz 대 무선 RoF 분배시스템을 구축하여 broadband convergence network (BcN)의 무선 액세스망에 사용가능성을 타진하였다.

Abstract

Mobile operators will face many challenges both economically and technically, as WLAN evolve through a bewildering number of different standards during the coming years. Potentially this will require several upgrades to the mobile infrastructure. A new approach for addressing these challenges is evaluated in this paper. It is based on a radio over fiber (RoF) technology that uses electro-absorption modulator (EAM) and optical single sideband (OSSB) modulation technique and it promises to provide solutions that will be transparent to changes in protocols and frequency of operation as well as reducing radio access infrastructure costs. This paper describes the development of prototype RoF system based on the 60GHz band CATV transport distribution system with EAM and the possibility of radio over fiber technology for use in the broadband convergence network (BcN) wireless access infrastructure.

Keywords : RoF, EAM, 60GHz, Distribution system, BcN

I. 서론

고속 멀티미디어 네트워크 환경으로 변하고 있는 추세에서 현재 네트워크 구조에서 고속 대용량 멀티미디어 서비스를 네트워크 장애 없이 사용자들에게 제공하기 위해서는 새로운 접근법이 연구되어야 한다. 이와 관련하여 광통신과 무선통신이 빠른 속도로 발전하면서 새로운 통신시스템이 많이 만들어지고 있다. 광통신 기술은 고속 디지털 트렁크 전송링크, 광 액세스망 등과

같이 통신 시스템에 큰 영향을 주었고, 무선기술은 디지털 셀룰러, 개인휴대통신 시스템처럼 현재와 같은 이동통신시스템을 탄생시켰다. 이와 같이 두 기술은 독자적으로 성장해왔지만, 앞으로는 두 기술의 융합으로 인한 통합기술로 발전할 전망이다. 그리고 미래의 통신환경은 다수의 단거리시스템(short-range system) 사용으로 대용량의 무선 서비스를 가입자에게 제공할 수 있게 될 것이다. 기술적으로 대역폭에 대한 요구사항이 충족된다면 기지국(base-station) 및 가입자 망의 가격 측면을 고려해야 된다. 이동통신에서 마이크로셀은 이미 인구 밀집지역에 집중적으로 설치되어 있다. 그러나 이들이 광범위하게 사용되지 못하는 이유는 설치 비용이 비

* 정회원, 한국전자통신연구원
(ETRI)

접수일자: 2006년6월22일, 수정완료일: 2006년9월16일

짜기 때문이다. 각 무선 안테나가 포함된 모듈이 고가이고 복잡한 많은 신호처리 회로를 포함하고 있다. 더구나 서로 다른 무선시스템인 경우 독자적인 안테나를 가져야 하는 단점이 있다. 비교적 저렴한 IEEE802.11 계열의 WLAN AP(access point)들이 빌딩 등 구내망에 설치되어 있지만 고대역(high-bandwidth) 및 저가의 액세스망의 관점에서는 아직도 고려해야 될 사항들이 존재하고 있다. 또한 3G base-station에서의 광파이버 네트워크가 현재 설치되고 있다. 이러한 시스템들은 모두 디지털 시스템에 기본을 두고 있다. 무선신호를 전송하기 위한 아날로그 광네트워크를 사용하는 것은 가격 경쟁 측면에서 또 다른 수단을 제공하게 된다. Central office에서 수많은 원거리 안테나지역까지 무선신호를 전송하는 아날로그 광전송 시스템의 장점은 무선 기지국에서 수행되는 모든 신호처리 기능들이 중앙처리국(또는 전화국)에서 수행될 수 있다. 원거리 분배 안테나(Distributed antenna) 지역에서는 단지 전광변환, 필터, 선형 증폭기만으로 구성될 수 있다. 이러한 시스템이 Wireless optic 또는 RoF(radio over fiber)로 알려져 있다^[1-4]. RoF 시스템은 동작 주파수와 사용되는 프로토콜에 무관한 단순한 무선 기지국으로 설계될 수 있어 무선시스템의 기능 및 성능 업그레이드 시 추가적인 비용 없이도 고객들의 요구 조건을 만족할 수 있는 최상의 해결책을 제공할 수 있다^[5].

본 연구에서는 60GHz 캐리어를 사용하여 아날로그/디지털 CATV 신호를 upconversion 한 후 EAM(Electroabsorption modulator)을 사용하여 광변조된 아날로그 광신호를 20Km 길이의 광 파이버를 통해 전송한 후 복조한 CATV 용 60GHz 대 프로토타입 RoF 분배시스템을 구현하여 광신호 및 전기적 신호를 분석하여 향후 Broadband convergence Network(BcN)의 유무선 통합 가입자망의 가능성을 타진하였다.

II. 본 론

1. 프로토타입 RoF 분배 시스템 설계

한정된 전파자원의 효율적 이용에 관한 관심이 증가하여 새로운 주파수 자원 인 밀리미터 대역(30~300GHz)을 이용한 정보통신 서비스 연구 개발이 진행되고 있다. 밀리미터파는 파장이 짧아 각종 소자를 소형 및 경량화 시킬 수 있고, 넓은 대역폭을 이용하여 많은 양의 정보를 수백 Mbps에서 수Gbps급의 빠른 속도로 전송할 수 있고, 직진성이 좋아서 목표물을 추

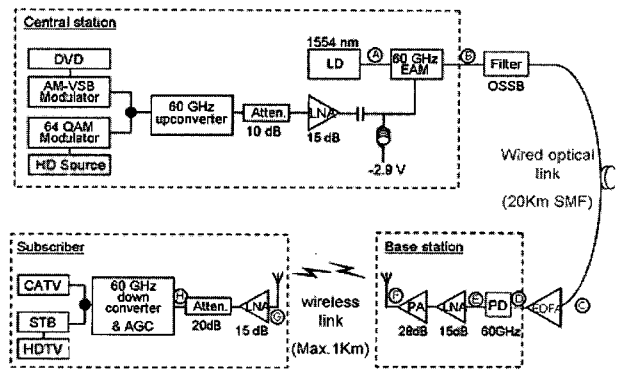


그림 1. 60GHz대 RoF 분배 시스템 구성도
Fig. 1. Experimental system configuration of 60GHz band RoF transport system.

적 및 탐지 시에 높은 해상도와 정밀성을 얻을 수 있다. 이러한 장점이 있는 밀리미터파 대역의 60GHz를 무선 캐리어로 사용하여 광대역 무선서비스가 가능한 유무선 통합시스템을 그림 1과 같이 구축하였다. 시스템 설계의 목적은 멀티서비스 플랫폼을 구축하기 위해 두 종류의 기저대역신호인 아날로그신호(DVD를 통한 아날로그 CATV신호) 와 디지털신호(20Mbps의 MPEG2 MP@HL의 HD 신호)를 동시에 전송하여 제안된 분배시스템을 통해서 멀티서비스 플랫폼의 가능성을 분석하였다.

그림과 같이 아날로그 CATV 신호와 디지털 HD 신호 두 신호를 각각 RF 변조기를 통해 60GHz 대역으로 주파수 변환 후 E/O변환하여 20Km 길이의 SMF(single mode fiber)를 통해 아날로그 광신호가 전달된다. 전달된 광신호는 PD에서 전류신호로 변환한 후 증폭기를 통해 안테나에서 60GHz 캐리어의 무선으로 전송된다. 무선 전송된 신호는 수신단에서 RF 및 IF로 변환한 후 AGC(automatic gain control)한 후 기저대역신호를 추출하게 된다. 디지털 HD신호인 경우 64QAM 변조기를 사용하였으므로 STB(set top box)에서 복조한 후 TV로 수신하게 된다. 또한 아날로그 CATV인 경우는 TV 안테나 입력에 연결하여 수신하도록 하였다.

가. 전기적 신호처리 회로 구성

현재 마이크로스트립 라인, 유전체 도파로 등이 밀리미터파 집적회로에 응용되고 있지만, 마이크로스트립 라인은 밀리미터파 영역에서 사용될 때 전도손실이 증가하고, 유전체 도파로는 직선영역에서의 전도손실은 상당히 작은 값을 가지지만 유전체 도파로의 굽어진 부분이나 불연속적인 부분에서 옆의 라인과의 크로스토크나

부가적인 손실이 발생하는 문제점이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 그림 1의 구성도에서 60GHz 신호처리부분을 평행한 도체판 사이에 유전체가 삽입된 구조로 이루어져 있는 1981년 요네야마 등에 의해서 제안된 비방사성 유전체선로(Non Radiative Dielectric Waveguide:NRD Waveguide)를 사용하여 제작하였다^[6]. 이때 평판 도체판 사이의 간격은 자유공간에서의 파장의 반보다 짧아야 한다. 이러한 비방사성유전체선로의 전송모드는 자계가 유전체의 공기와 경계면에 평행한 LSM 모드와 전계가 평행한 LSE 모드로 크게 구별되며, 두 개의 모드는 모두 비방사성으로 선로 속에서 공존하게 된다.

이렇게 함으로 해서 유전체 도파로의 불연속부나 벤딩(bending)에 의해 발생하는 복사신호를 평행 평판 도파로의 차단 주파수 특성으로 인해 효과적으로 억압할 수 있고, 유전체선로가 갖는 저손실 특성으로 신호를 전송할 수 있어 광대역 및 초고속통신이 가능하다. 그림2에는 본 논문에서 제작된 무선통신송수신기의 개념도가 나타나 있다. 그림에서 나타낸 바와 같이, 제작된 60GHz 무선통신송수신기는 두 개의 평행한 도체판 사이에 사용주파수 60GHz 대역의 파장에 비례하도록 비방사성유전체선로가 각각 송신부회로와 수신부 회로로 배치된다. 이때 평행한 도체판 사이의 간격은 사용주파수의 반파장 이하가 되도록 하였다.

건발진기(Gunn Oscillator), ASK 변조기 (ASK Modulator), 서큘레이터(Circulator) 및 송수신공용 안테나(Antenna)로 구성되어 있는 송신신호는 발진기에서 발진된 신호가 서큘레이터를 통해 ASK 변조기로 전달되어 위상변조신호로 만들어지며, 변조신호는 서큘레이터를 지나 안테나로 전송되어 외부로 송신된다. 또한 안테나를 통해 외부에서 수신되는 신호는 3dB 방향성 결합기의 한 입력단자에 전달되어 배분되고, 국부발진기에 의한 생성된 국부발진신호(LO)가 결합기에서 배분된 신호(RF)와 혼합되어 밸런스믹서에서 중간주파수

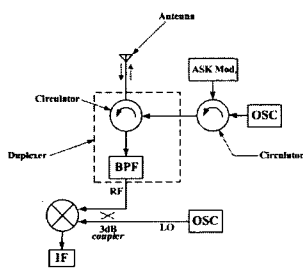


그림 2. 60GHz 대역용 송수신기의 개념도
Fig. 2. 60GHz band Tx/Rx.

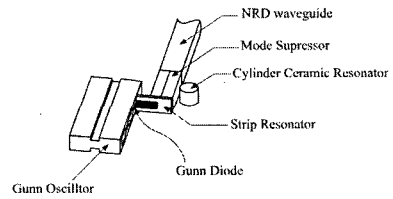


그림 3. 밀리미터파 발진용 건발진기 구조
Fig. 3. Gunn oscillator structure.

(IF)가 된다.

송신시스템에서 가장 중요한 60GHz 상향 주파수 변환기 회로는 건발진기로 그림 3과 같이 제작되었다. 그림에서와 같이 금속판 위에 건다이오드(Gunn Diode)가 장착된 건다이오드 마운트(Gunn Diode Mount)로 구성된다. 이때 건다이오드 마운트에 바이어스 전압을 인가하면 밀리미터파가 발진하게 되며, 발생한 발진신호를 비방사유전체선로로 급전하기 위해서 스트립공진기(Strip Resonator)가 부착되며, 스트립공진기의 길이 변화에 따라 공진주파수를 조절할 수 있다

또한 ASK 변조기는 비방사유전체 선로 사이에 쇼트키 장벽 다이오드마운트가 부착되어 있고, 원안의 쇼트키 장벽 다이오드마운트는 동박이 $\lambda/4$ 초크로 패터닝된 유전체 기판상에 다이오드가 장착된 구조로 제작되었고 서큘레이터는 페라이트 공진기를 중심으로 120° 간격으로 비방사유전체선로가 배치되고, 그 사이에 불필요모드를 제거하는 모드 스프레스를 삽입한 구조로 제작되었다. 송신부 회로에 사용되는 서큘레이터는 발진기에서 발생한 발진신호가 ASK변조기를 통해 위상 변조된 신호로 바뀌어 안테나가 있는 출력포트로 전송되게 한다.

나. 광 신호처리 회로 구성

광원은 1554.5 nm 파장의 DFB-LD를 사용하였으며, 60GHz 대역의 전기신호는 EAM을 이용하여 E/O 변환하였다. EAM은 중심 주파수가 60GHz, 3-dB bandwidth가 ~1.5GHz 정도의 E/O response를 보였다. 변조될 때 신호 왜곡 등을 줄이기 위하여 EAM의 바이어스를 조정하였다. 광파워는 EAM의 입력에서 +9 dBm, 출력에서 -5 dBm으로 측정되었다. EAM에서 변조된 광신호는 SMF 20 km를 통과하여 수신단에 이르게 된다.

사용한 수신 PD (photo-diode)는 Discovery Semiconductor사에서 제작한 광대역(~65GHz) InGaAs PIN 다이오드인 DSC10ER65-39-SC/UPC-V-LB를 사용하여 구현되어 있다^[7]. 사용된 PD는 입력 파워가

+6dBm일 때 3dB bandwidth가 62.6GHz, 1550nm에서 DC responsivity가 0.26 A/W의 값을 가졌다. SMF를 진행한 광신호는 SMF의 광손실 때문에 광파워가 작으므로, PD 앞에서 EDFA를 사용하여 광파워를 증가시켰다. PD의 입력은 SMF의 손실 값과 관계없이 +5.6dBm으로 일정하도록 제어하였다. PD에서 수신된 60 GHz 대역의 신호는 RF 증폭기를 사용하여 증폭시켰다.

III. 측정결과 및 토의

그림 1에 나타난 프로토타입 60GHz RoF 시스템에 대한 성능측정을 위해 각 RF 단에서의 스펙트럼을 측정하였고 광 출력단에서 광 스펙트럼을 측정하였다. 또한 디지털 시스템의 성능을 알기 위해 Agilent사의 E4438C ESG Vector Signal Generator와 89640A vector signal analyzer를 사용하여 EVM(Error vector magnitude)을 측정하였다. 이를 토대로 신호의 SNR(signal to noise ratio) 및 BER(bit error rate)를 계산하여 시스템전체 성능을 측정하였다. 구현된 시스템은 최대 1Km까지 무선전송 가능한 출력파워를 가진 시스템이나 실험실내(무선거리 5m정도)에서 측정된 관계로 송수신 안테나의 각도를 LoS(Line of sight)에서 좌우로 조금 어긋나게 맞춘 상태에서 down converter 앞에서 20dB 감쇄기를 사용하여 측정하였다. 그리고 아날로그 CATV 모듈레이터의 Rf 중심주파수는 76MHz(채널 5번) 이고 디지털 CATV인 64QAM 변조기 중심주파수는 675MHz(채널 104번) 상태에서 측정하였다.

그림 4와 그림 5는 송수신기의 RF 특성을 확인하기 위해 EAM입력, 송신기 출력단 및 수신단 앰프 출력단에서 스펙트럼을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 CATV 신호(76MHz) 및 HD 신호(675MHz)가 60GHz로 upconversion 되어 송수신됨을 확인할 수 있

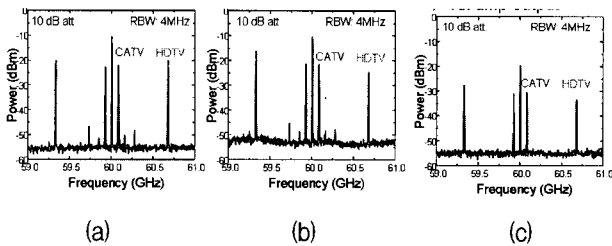


그림 4. 송수신기 RF 스펙트럼 (a) EAM 입력 (b) 송신 안테나 출력 (c) 수신단 앰프 출력
Fig. 4. Transmitter/Receiver RR spectrum (a) At EAM input (b) At the Tx antenna output (c) At Rx amp. output.

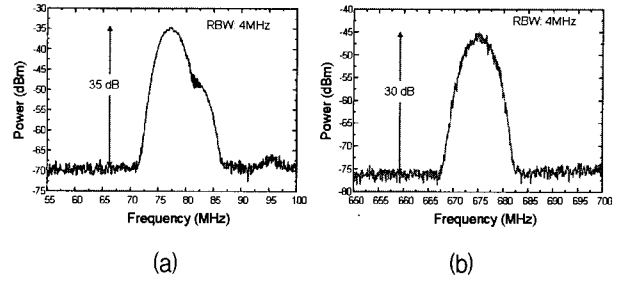


그림 5. 수신단 baseband 신호(a) 복조된 아날로그 CATV신호 (b) 복조된 64QAM 신호(HD 신호)
Fig. 5. Receiver baseband signal (a) received analog CATV signal (b) receiver digital HD signal (64QAM signal).

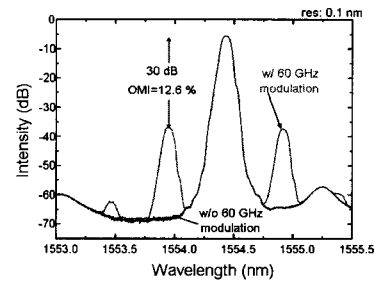


그림 6. 광 스펙트럼 신호
Fig. 6. Optical spectrum.

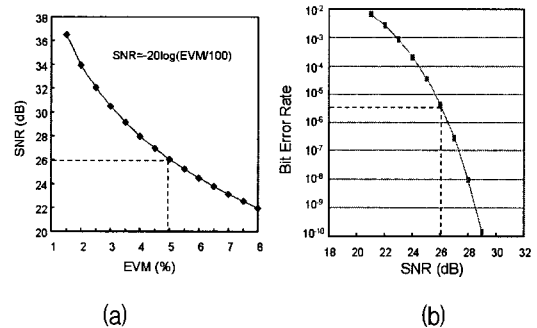


그림 7. EVM, SNR 및 BER (a) EVM과 SNR (b) SNR과 BER
Fig. 7. EVM, SNR and BER (a) EVM and SNR (b) SNR and BER.

다. 그림 6은 1554nm로 구동되는 LD를 사용하여 EAM으로 E/O 변환 했을 때와 하지 않았을 때를 비교한 광 스펙트럼 그림이 나타나 있다.

디지털신호(64QAM 변조된 HD신호)의 전송시스템 성능을 알아보기 위해 EVM을 측정하였다. 그림 8 및 그림 9는 VSA에서 측정된 EVM을 기반으로 하여 SNR을 아래식과 같이 계산하였다. 또한 계산된 SNR을 근거로 하여 시스템의 BER을 구하였다^[8].

$$SNR = -20\log(EVM/100)$$

64QAM modulation 된 신호의 복조는 디지털 셋톱박

스(STB)에서 요구되는 SNR인 27dB이상만 되면 화면에 영상이 나오게 된다. 이때 본 시스템의 BER은 3.8×10^{-6} 정도가 됨을 확인하였다.

그림 8은 EDFA의 입력 파워를 변화시키면서 측정된 EVM, SNR, BER을 나타낸 결과이다. 측정 조건은 EDFA 출력파워를(Pout) 5.6dBm로 고정시키고, Remote base station의 파워 앰프 출력단에서 측정된 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 구축된 시스템에서는 EDFA의 입력 파워를 증가시키면 EVM 값이 낮아져 SNR 및 BER이 좋아짐을 확인할 수 있다. 이것은 EDFA의 이득이 낮아져 발생하는 ASE 잡음이 감소하여 SNR이 증가하기 때문이다. 그림 8은 각각 20Km 광 파이버를 연결한 상태(w/ fiber)와 연결하지 않은 상태(w/o fiber)에서 측정된 결과이다. 광섬유가 수신된 신호의 성능에 미치는 영향은 미미하였으며, 이는 20 km 광섬유의 분산이 RoF 신호에 미치는 영향이 작음을 나타낸다.

RF modulator (64 QAM)의 출력 변화량에 따른 EVM과 BER과의 관계가 그림 9에 나타나 있다. 출력 파워가 4 dBm 이하일 경우 광신호로 변환된 64 QAM 신호의 SNR이 감소되며, 4 dBm 이상으로 증가하면 광변조기에서 발생한 비선형 왜곡현상으로 인해 신호가

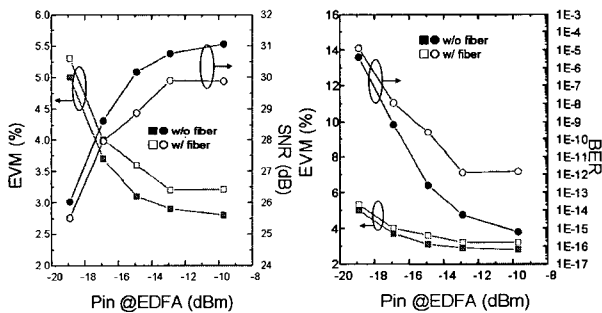


그림 8. EDFA의 입력파워 변화량에 따른 EVM, SNR, BER 변화

Fig. 8. EVM, SNR, BER variations according to EDFA input power.

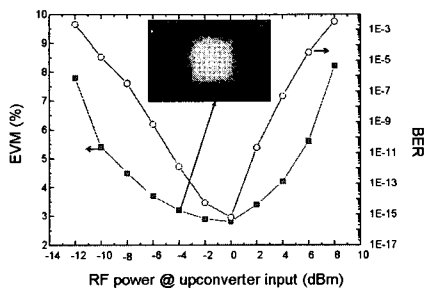


그림 9. 64QAM 변조기의 RF 출력 변화량에 따른 EVM, BER 변화

Fig. 9. EVM and BER variations according to the output power of QAM modulator.

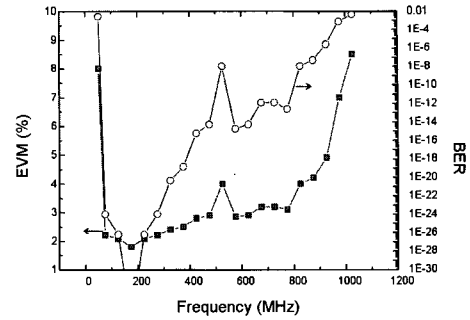


그림 10. 64QAM 변조기의 주파수 변화에 따른 EVM, BER 변화

Fig. 10. EVM and BER variations according to the frequency change of QAM modulator.

열화된다. 따라서 QAM 변조기 출력이 -4dBm일 때 최소의 EVM과 BER를 나타내고 있다

그림 10은 64QAM 변조기의 주파수 변화에 따른 EVM, BER 변화량을 나타내고 있다. 이때 측정조건은 RF power=-8 dBm, Pin_EDFA=-9.7dBm로 고정된 상태에서 측정하였다. 현재 구축되어 있는 EAM의 fractional bandwidth가 1.5GHz로 제작되어 있으므로 60GHz를 중심으로 upper band 구간인 100MHz 부터 800MHz 까지는 양호한 특성을 보이나 그 이외의 주파수 대역에서는 EVM과 BER 특성이 열화됨을 볼 수 있다. 그러나 시스템 설계시 60GHz를 중심주파수로 사용한다면 아날로그 CATV의 대역폭인 47MHz ~ 870MHz의 전체 채널을 사용할 수 있다.

RoF 링크에서 전광 변환 후 광섬유의 분산으로 인해 발생하는 신호의 SNR 저하를 억제하기 위한 OSSB (optical single side band) 필터의 효과를 그림 11과 같이 고찰하였다. 측정은 송신기의 안테나 입력단에서 하였고, 광섬유는 4km SMF를 사용하였다. 분산으로 인한 SNR 저하는 광섬유 길이에 따라 주기적인 특성을

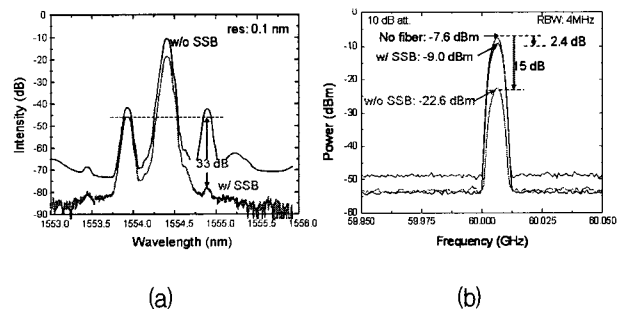


그림 11. 광분산 영향 (a) OSSB유무에 따른 광스펙트럼 (b) OSSB유무에 따른 전기 스펙트럼

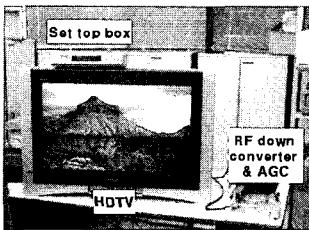
Fig. 11. Effect of optical dispersion (a) Optical spectrum with/without OSSB (b) Electrical spectrum with/without OSSB.

표 1. 전체 시스템의 RF 파워
Table 1. RF power level through system.

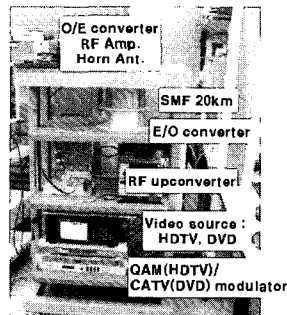
Point (See Fig.1.)	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)
Downstream power (dBm)	+9	-5	-10	+6	-57	0	-45	-29

표 2. 제안된 60GHz RoF 시스템 성능
Table 2. 60GHz RoF system performance.

Items	Performance
Electrical Spectrum	$f_{LO}=60\text{GHz}$, $f_1=76\text{MHz}$, $f_2=675\text{MHz}$
Optical Spectrum	1554nm, 1554.5nm
EVM	64QAM인 경우 4% 미만
CNR	Analog CATV : 35dB 64QAM : 27dB
BER	3.8×10^{-6} 이하
Receive sensitivity	-45dBm
Wireless Throughput	1.5Gbps(Max.)
Optical Fiber Span	20Km
Wireless Distance	1Km (Max.)
CATV Channels	53 Channels (Max.)



(a)



(b)

그림 12. 60GHz RoF NTB (a) 수신단 (b)송신단
Fig. 12. 60GHz RoF NTB (a) Receiver (b) Trasmmitter.

보이며, 4km의 경우 SNR 저하가 크게 발생하는 지점 중 하나이다. 통과 대역 특성이 평탄한 FBG(fiber Bragg Filter)를 사용할 경우, 그림 11 (a)와 같이 한쪽 밴드를 optical 영역에서 33 dB 이상 억제되었다. 이 때, electrical 영역에서 측정된 60GHz 주파수 성분의 크기 저하는 그림 11 (b)와 같이 15dB에서 2.4dB 이하로 감소하였다. 따라서 수신단에서 optical dispersion의 영향으로 영상의 SNR이 낮아져서 신호가 열화되는 현상을 방지할 수 있다.

그리고 표 1에는 본 논문에서 제작된 시스템의 RF 파워 레벨이 그림 1의 각단에서 측정된 결과가 나타나

있고, 표 2는 본 논문에서 제작된 시스템의 전체적인 시스템 성능이 요약되어 있고 마지막으로 그림 12에는 NTB 구축 사진이 나타나 있다.

IV. 결 론

본 논문은 RoF 기술을 BcN의 무선 가입자 망에 적용하기 위해 프로토타입 분산 안테나 시스템을 구현하여 전기적 및 광 특성들을 분석하였다. 본 기술은 무선 안테나 유닛(노드 B 또는 AP)에 포함되어 있던 신호처리 기능을 Central station에 집중시킨 후 아날로그 광 링크로 무선 액세스망을 구현하여 광대역 멀티 서비스를 수용할 수 있는 transparent한 유-무선 통합 전송기술로 본 논문에서는 아날로그 신호(VSB 변조된 CATV 신호) 및 디지털 신호(64 QAM 변조된 HD CATV)를 전송하여 그 가능성을 타진하였다. 본 논문에서 제안된 시스템은 FTTx 환경에서 광대역 무선서비스, 차세대 이동통신(WiBro, 4G) 등에 활용이 가능하다.

감사의 글

본 논문에 사용된 EAM에 도움을 주신 ETRI 김제하 박사님과 NRD Waveguide에 도움을 주신 경성대학교 신천우 교수님께 사의를 표명합니다.

참 고 문 헌

- [1] Cooper, A.J. "Fiber/radio for the provision of cordless/mobile telephony services in the access network", Electron Lett., 26, pp. 2054-2056, 1990.
- [2] Wake, D., Westbrook, L.D., Waker, N.G. and Smith, I.C., "Microwave and millimeterwave radio fiber", BT Technol. J., 11, pp.76-88, 1993.
- [3] D. Wake, D. Johansson and D.F. Moodie, "Passive picocell : a new concept in wireless network infrastructure" Electron Lett., 27, pp. 404-406, 1997.
- [4] D. Polifko and H. Ogawa, "The Merging of Photonic and Microwave Technologies", Microwave Journal arch 1992, pp.75-80.
- [5] Hamed Al-Raweshidy, et al., "Radio over fiber technologies for mobile communications networks, Artech House, pp. 188-194, 2002.
- [6] CW Shin, "Development of 60GHz Millimeter-wave Transmitter Using NRD Guide", 한국통신

학회논문지, v.25 no.7A, pp.1057-1062, 2000.

[7] <http://www.chipsat.com>

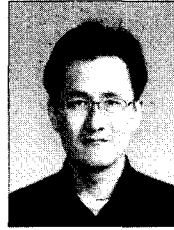
[8] Testing and Troubleshooting Digital RF Communications Receiver Designs, Application note 1314, Agilent technologies

저 자 소 개



박 종 대(정회원)
 1987년 영남대학교
 전자공학과 졸업
 1989년 영남대학교
 전자공학과 석사
 1994년 영남대학교
 전자공학과 박사

1996년 Toyohashi Univ. of Tech. Post-doc
 1997년~현재 한국전자통신연구원 광대역통합망
 연구단 선임연구원
 <주관심분야 : RoF, 집적회로설계>



장 순 혁(정회원)
 1994년 한국과학기술원
 물리학과 졸업
 1996년 한국과학기술원
 물리학과 석사
 2000년 한국과학기술원
 물리학과 박사

2000년 9월~현재 한국전자통신연구원 광대역
 통합망연구단 선임연구원
 <주관심분야 : 광전송, 광증폭기, 광섬유 레이저,
 광섬유 비선형 현상>



정 환 석(정회원)
 2003년 8월 한국과학기술원
 전기전자공학과 박사
 2003년 9월~2004년 2월 한국과학
 기술원 정보전자연구소
 연수연구원
 2004년 3월~2005년 6월 KDDI
 R&D Labs Research
 Engineer

2005년 7월~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 <주관심분야 : ROADM/PXC, 가입자망, 대용량
 데이터
 전송>



주 무 정(정회원)
 1980년 연세대학교 이과대학
 물리학과 (이학사)
 1982년 한국과학기술원
 물리학과 (이학석사)
 1985년 한국과학기술원
 물리학과 (이학박사)

1989년 독일 Heinrich-Hertz-Institut 방문연구원
 1994년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
 <주관심분야: 광증폭 기술, 파장분할 다중화 광통
 신 기술, 비선형 광학>