

## 주 제

## RoF(Radio over Fiber) 기술

ETRI 박종대, 김진태, 주무정

차 례

- I. 서 론
- II. RoF 개념
- III. 프로토타입 시스템
- IV. 기술개발동향 및 응용서비스
- V. 결 론

## I. 서 론

Ubiquitous computing 을 지향하는 정보 사회는 가입자가 언제 어디서나 통신 서비스를 이용 하여 고속으로 정보 교환을 할 수 있는 네트워크 환경을 요구하고 있으며, 이는 광섬유를 이용한 초고속 대용량 광통신 기술과 초고주파 대역의 무선통신 기술의 발전에 힘입어 점차 현실화 되고 있다. 1970년대에 시작된 광통신 기술 연구는 전송 거리의 확대와 초고속 대용량화를 위한 발전을 거듭한 결과, 기간망 분야에서는 테라비트급의 전송 용량과 수천 km 이상의 장거리 전송 기술이 실용화 되었으며, 21세기 들어 모든 가입자의 광대역화(broadband)를 위한 Fiber to the Home(FTTH) 방식의 광가입자망이 본격적으로 구축되기 시작하였다. 한편으로, digital nomad로 표현되는 현대 사회에서 mobile 가입자의 숫자와 사용자당 사용 정보량은 급증하고 있다. 이에 따라, 무선통신 기술은 가입자의 이동성을 안정적으로 보장

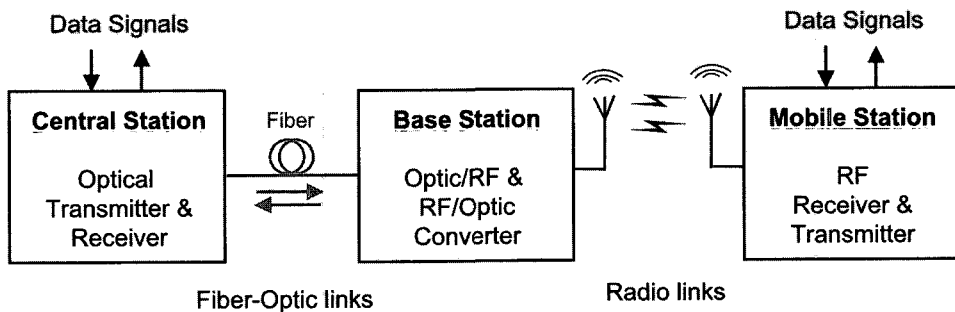
하면서 대용량 전송을 제공하기 위한 방안으로 수많은 기지국의 증설 등 인프라의 확충과 더 넓은 대역폭을 제공할 수 있는 주파수의 확보 및 기술 개발에 집중 투자하고 있다.

초고속 광대역 통신망에서 정보 전달의 고속성, 병렬성, 대용량을 보장하는 광통신 기술과 가입자의 이동성을 보장하는 무선통신 기술이 핵심적인 역할을 담당한다는 점에는 이론의 여지가 없으나, 두 기술은 최근까지 상호 독립적인 기술로 이해되어 all-optical 또는 all-wireless 시스템을 표방하며 경쟁적인 기술 관계로 발전해 왔다. 그러나 최근 들어 마이크로셀 또는 피코셀 등의 세분화된 base station(BS)과 안테나를 경제적으로 구현 할 수 있는 무선 액세스 시스템 수요가 급증하고, optically-fed 무선통신 시스템의 경제적 중요성이 인식되면서 유무선 통합형 통신에 관한 사회적, 경제적요구가 증대되고 있어 90년대 초 microwave-photonics(MWP) 라는 새로운 연구영역이 태동하게 되었다. 기존 무선통신 시스

템인 경우 2GHz 대의 PCS시스템에서의 데이터 전송은 32Kbps로 무선 멀티미디어를 구현하기에는 매우 부족하여, 2Mbps의 데이터 전송 속도를 갖는 제3세대 이동통신인 IMT-2000이 실용화 되고 있다. 그러나 HDTV 등의 초고속 데이터 전송을 위한 차세대 무선 멀티미디어 시스템에서는 최소한 수 백 Mbps의 데이터 전송을 필요로 하고 있다. 이러한 시대적 요구에 부응하기 위해 최근에는 30GHz이상의 millimeterwave-photonics(MMWP)에 관한 연구가 시작되기에 이르렀다. 이러한 RoF(Radio over fiber) 기술은 이동통신망의 경우 BS와 Mobile service switching center 등의 central base station(CBS) 간의 연결을 기존의 동축케이블 망이나 초고주파 발진기 및 modulator 등의 마이크로파 송수신장치를 이용하는 all-wireless 무선통신망 대신에 아날로그 광통신으로 대체하는 fiber-optic wireless 시스템을 목표로 하고 있다. 본 논문에서는 기본적인 RoF 개념을 고찰하고 이에 따른 관련 핵심 기술 개발 동향들을 기술하며, RoF 기술을 WLAN에 응용한 프로토타입 시스템의 평가 결과를 소개한다. 마지막으로 RoF 시스템을 활용한 응용 서비스 및 고려해야 할 점들을 논의한다.

## II. RoF 개념

셀 방식의 무선 네트워크 인프라 구축을 위해서는 수많은 기지국이 필요하다. 지금까지 대부분의 기지국은 base-band로 전송되어 온 디지털 신호를 각각의 기지국에서 무선 신호로 변환하여 송수신하는 구조를 채택하고 있는 바, 가입자 수의 증가와 셀의 세분화에 따른 대용량 기지국의 증설은 비용 및 관리 면에서 큰 부담으로 대두되고 있다. 따라서, 초 광대역 유-무선 통합 네트워크 인프라 구축을 위해서는 무선 집중국 개념의 CS(central station)에서 모든 복잡한 전기적, 광학적 신호 처리 및 제어를 수행하고 소형 기지국 개념의 BS(basestation)는 단순(simple), 저가(low cost), 수동적(passive), 프로토킴과 무관한 분배(distribution) 기능만을 갖는 시스템 구조를 도입하는 것이 투자 및 관리 측면에서 유리하다. RoF의 기본적인 개념은(그림 1)과 같이 광대역, 저 손실의 광통신 기술과 이동성의 장점을 가진 무선통신 기술을 결합한 기술로서, CS에서는 전송 데이터로 변조된 마이크로파 대역의 반송파를 광신호로 변환하여 광섬유를 통해 정보를 전송하는 아날로그 광 링크와 광섬유를 통해 수신된 신호를 무선



(그림 1) Concept of radio over fiber

으로 전달하는 무선 링크로 구성된다[1].

즉, BS와 CS간의 네트워크는 전송 용량이 수십 Tbps에 달하는 광섬유와 광통신 기술을 이용하고, 소형 경량화된 BS와 가입자간의 point-to-multipoint 또는 point-to-point 망은 무선통신을 이용하는 fiber-fed distributed antenna 네트워크 방식으로 마이크로 셀룰러 네트워크를 구현할 수 있다. 각각의 리모트 안테나에서 수신된 RF 신호는 demultiplexing과 signal processing이 이루어지는 CS와 아날로그 광섬유 링크를 통해 전송된다. 각 리모트 안테나는 선형성을 갖는 아날로그 광전/전광 변환기, 증폭기, 안테나의 단순한 구조로 구성되어 있다. 따라서 마이크로셀룰러 안테나측의 단가가 크게 감소하여 저가의 시스템 구축이 가능하며[2], RoF 방식의 시스템이 갖는 장점은 아래와 같다.

- 저 전력 RF 리모트 안테나
- LOS(Line-of-sight) 동작으로 다중경로 (multipath) 영향 감소
- 경제적인 광대역 이동 무선 액세스 가능
- 무선 커버리지 확대와 용량 증가
- 동적 무선자원 configuration과 용량 할당 (capacity allocation)
- 셀 플래닝 문제 경감
- 집중화된 성능 업그레이드 및 적용
- 가입자 장치의 상태 확인 가능성 증대
- 신뢰성 증대 및 유지보수 비용 감소

이러한 RoF 시스템의 구현에 필요한 핵심 기술은 <표 1>과 같이 망, CS, BS, 광링크, 가입자 단말 등 크게 5개 분야로 나눌 수 있다. 앞서 언급한 많은 장 점에도 불구하고 해결해야 할 가장 큰 문제점은 intermodulation distortion과 clipping noise를 야 기시키는 LD(laser diode)의 비선형성이다. 이러한

intermodulation distortion(IMD)과 clipping noise는 신호레벨에 의존한다는 것은 알려진 사실이다[2].

선형성이 우수한 DFB LD를 선별하여 사용할 수 는 있지만, 현재까지는 소자의 가격이 높아 경제적인 시스템 구현에 부담이 된다. 따라서 선형성이 우수하 면서 상대적으로 저가의 광원인 Fabry-Perot이나 VCSEL 등을 이용한 시스템 개발이 중요하다. 또 하 나의 접근 방법은 시스템적으로 신호 레벨을 낮추는 것으로, spread spectrum 기법을 사용하여 LD의 직 접변환 이전에 신호레벨을 낮추어 IMD를 최소화하 는 연구 등이 진행되었다[3].

<표 1> RoF technical issues

Issues	Core Technologies
Network Issues	- Micro/pico cell network architecture - Network management using SNMP - OAM(Fault, maintenance, configuration etc.) - Optical/wireless link protection
Central station	- MAC - Electrical modulation - Optical modulation - Optical carrier generation - Bandwidth allocation - O-E Conversion - WDM interface - Fault detection
Base station	- E-O, O-E Conversion - Nonlinearity during conversion - Microwave device(LNA, PA) - Optical mmwave up/down conversion - Microwave/Mmwave antenna - Packaging - Handling of dynamic range asymmetry
Optical link	- Chromatic Dispersion - Polarization Mode Dispersion - Impact of multi-reflection - Optical noise - SBS, FWM, XPM, SPM - Link budget including splitter loss - Fairness of link budget - Optical performance monitoring - Protection in optical layer
Subscriber	- Microwave/Mmwave antenna - Electrical demodulation - Electrical mmwave up/down conversion

### III. 프로토타입 시스템

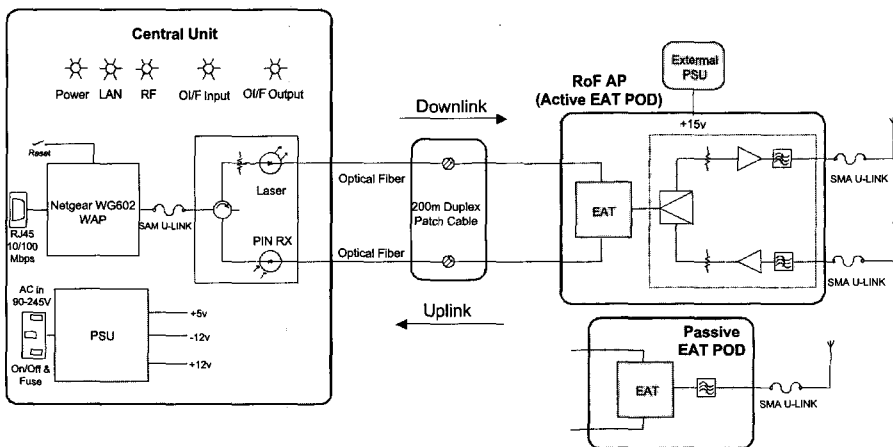
RoF 기술이 적용된 AgilWAVE EAT WLAN Developers Kit(EWDK) 시스템을 대상으로 BcN용 무선 액세스를 활용하기 위한 타당성을 검증하기 위하여 throughput을 포함한 네트워크 성능을 측정하였다. BcN용 RoF 시스템은 동작 주파수와 사용되는 프로토콜에 무관한 단순한 무선 AP로 설계되어야 한다. 이렇게 함으로써 향후 무선 시스템의 기능 및 성능 업그레이드시 추가적인 비용 없이도 고객들의 요구 조건을 만족할 수 있는 최상의 해결책을 제공할 수 있다. 실험에 사용된 시스템 사양과 EAT(electroabsorption transceiver)-based radio over fiber transport 시스템으로 구성된 블록도는 <표 2> 및 <그림 2, 3>과 같다(4, 5, 6).

CU(central unit)는 802.11b/g Access Point(Netgear WG602)가 내장되어 있어 표준 RJ45 커넥터를 통해 네트워크에 접속되어 있다. AP출력인 RF신호는 bi-directional 광전송을 위해 마이크로 서클레이터를 이용해서 송신과 수신신호로 분리되어

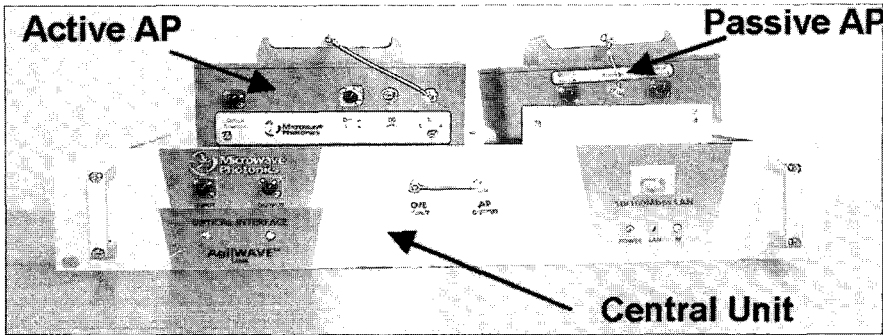
<표 2> RoF system specification

Parameters	Specifications
Network standards	IEEE 802.11b/g
	2,412-2,462GHz (USA)
	2,412-2,472GHz (EU)
Operating channels	11 (USA), 13 (Europe) 14 (Japan)
Access Point	Netgear WG602
PC client device	Netgear WG511
LAN interface	10/100Mbps Ethernet port
PC interface	32-bit Cardbus
No. Antenna PODs	2
Fibres per Antenna POD	2
Channels per antenna POD	1
Transmit Gain (Downlink)	-22 +/-2dB
Receive Gain (Uplink)	-7.5 +/-2dB
Max RF Power output	> -15dBm
Antenna Gain	+8dBi nominal

구성되어 있다. 광송신은 1540nm의 상용 laser transmitter를 사용하여 FC/APC 커넥터를 사용하여 광인터페이스 되어있다. EAT의 downlink는 송신된 RF신호가 EAT에서 수신되어 RF신호로 변환된 후 증폭기, 필터 및 짧은 동축선을 통해 안테나에 전달된다. Uplink는 필터와 증폭기를 거친 신호가 EAM에서 광신호로 변환되어 PIN 광수신기에 입사된다. 이



<그림 2> Block diagram of CU and RoF AP

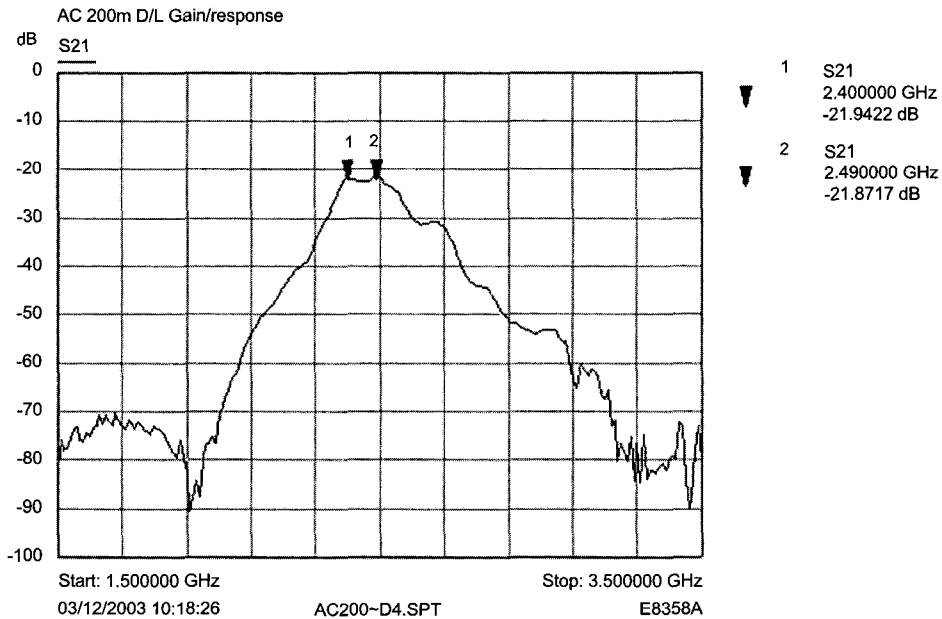


(그림 3) Photograph of prototype EWDK

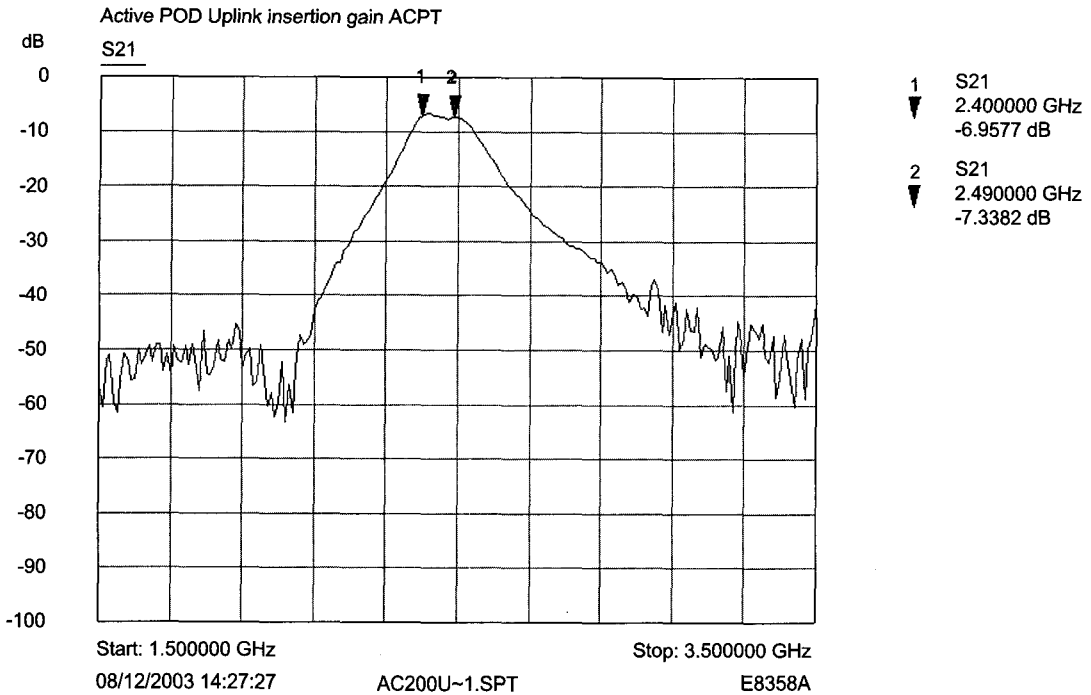
신호가 서큘레이터를 통해 CU에 내장된 AP를 통해 망으로 연결되는 구조를 갖고 있다.

광섬유의 전송 손실은 크지 않으므로 광선로의 길이에 따라 무선 특성이 크게 변동하지는 않지만 타이밍으로 인한 성능 한계가 존재하게 된다. 특히 장거리 광파이버를 사용하는 경우 ACK timeout으로 말

미암아 시스템 전체의 throughput 감쇄를 초래할 수 있다. ACK timeout은 IEEE802.11 표준에도 정해지지 않아 시스템 타입, 칩셋 제조업체에 따라 달라지게 된다. 사용된 AgilWAVE EWDK (802.11b with Netgear WG602 cards)의 최대 도달거리는 실험적으로 801.11b 경우 2.2km, 802.11g인 경우 0.7km



(그림 4) Downlink gain



(그림 5) Uplink gain

정도 이다. (그림 4)와 (그림 5)는 RoF AP 시스템의 특성 중 downlink 및 uplink gain 을 나타낸 것이다.

Downlink는 CU의 O/E입력과 RF downlink커넥

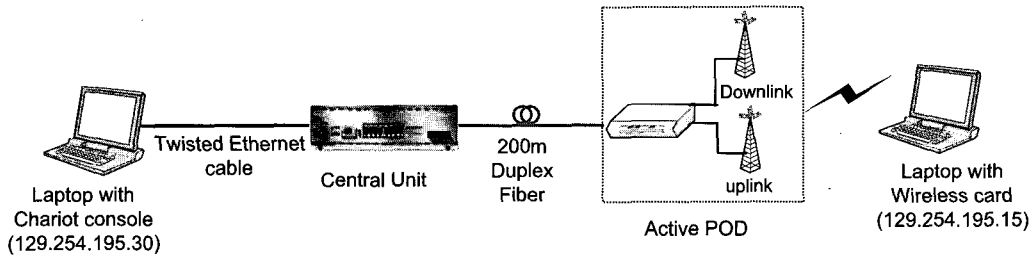
〈표 3〉 RoF AP system summary of results

Parameter	Measurements
Output power, Downlink	>-10dBm 802.11b >-15dBm 802.11g
Downlink Gain	-21.9dB
Downlink IP1dB	+21.2 dBm
Downlink IIP3	+29.15dBm
Downlink Noise Power Output	-149dBm/Hz
Downlink Spurious	<-75dBm
Downlink Harmonics	<-75dBm
Output match on downlink antenna port	<-10dB
Uplink Gain	-7dB
Uplink IP1dB	-14.2dBm
Uplink IIP3	-9.35dBm

터 사이에서 network analyzer로 측정된 결과 약 -21dB 정도이고 uplink는 약 -7dB로 측정되었다. 그리고 〈표 3〉은 CU와 RoF AP사이에 200m의 duplex 광섬유를 연결하여 측정된 전체 RoF AP 시스템의 사양을 나타낸 것이다.

### 3. 1 Network throughput 시험

시스템 성능을 평가하기 위해서 데이터 throughput을 측정하였다. (그림 6)과 같이 network을 구성 하였으며, Net IQ사의 Chariot tool을 사용하여 〈표 4〉의 측정 조건에서 RoF AP와 가입자 단말간 거리에 따른 실제 TCP 데이터 throughput의 변화를 half duplex 및 full duplex로 나누어 측정하였다.



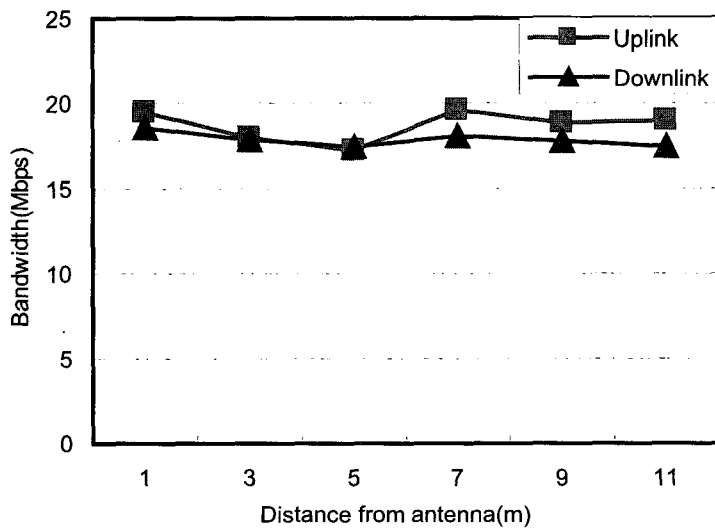
(그림 6) Network throughput test architecture

〈표 4〉 Test conditions of RoF AP system

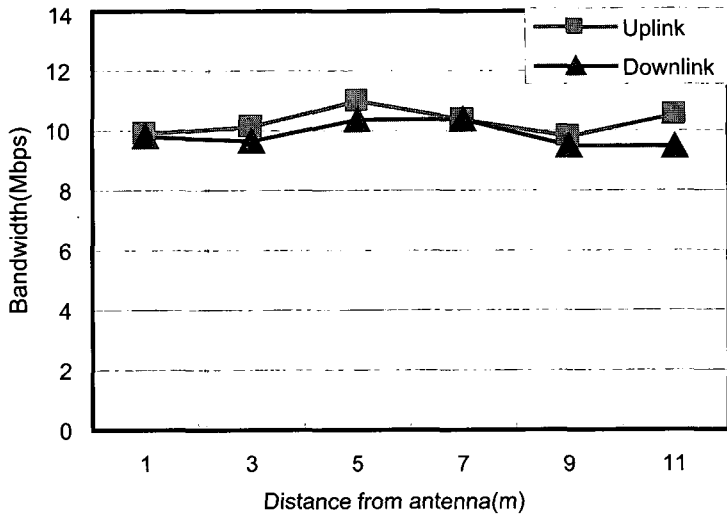
Parameters	Values
Measurement place	Anechoic(30MHz-1GHz) chamber
Measurement tool	Chariot 4.0 (Net IQ corporation)
Client card	Netgear 802.11 b/g client card (WG511)
Measurement data	Throughput, Response time, Jitter (Half and full duplex)
Protocol	TCP
File size	100000 byte
Measurement duration	5 Mins
Wireless coverage	1, 3, 5, 7, 9, 11m
Fiber	200m duplex single mode

Half duplex와 full duplex의 결과가 (그림 7)과 (그림 8)에 각각 나타나 있다. 예상한 것과 같이 uplink와 downlink의 이득차이로 인해 uplink의 throughput이 조금 높게 나타나고 있다.

Bandwidth란 실제적인 payload 데이터의 throughput을 의미하므로 WLAN에서 언급하는 PHY 속도인 최대 54Mbps와는 차이가 있다. 측정 결과 RoF AP를 이용한 프로토타입 시스템의 최대



(그림 7) TCP bandwidth, Half Duplex



(그림 8) TCP bandwidth, Full Duplex

bandwidth는 20Mbps로 나타났다. 이로써 RoF 방식의 AP 구현 가능성은 확인되었지만 실제로 BcN의 무선 액세스망에 적용되기 위해서는 더 높은 bandwidth와 wireless coverage를 갖도록 추가 개발 및 성능 개선이 필요하다.

#### IV. 기술개발 동향 및 응용서비스

##### 4.1 국내 개발 동향

국내에서는 주로 마이크로파 및 밀리미터파 소자

<표 5> 국내 개발 동향

	업체명	상세 규격	비고
국내	NRD Tech	Carrier Frequency : 64~66GHz 대역 Throughput : Half duplex 155Mbps Modulation : ASK BER : $1 \times 10^{-10}$ Wireless range : 2.5Km Transceiver size(without antenna) : 182(H)x221(W)x238(D) mm <sup>3</sup> Interface : IEEE802.3u, 100Base-Tx/Fx, OC-3 Access :Point to point	옥외유선 Backup Link 용으로 응용 (NRD 사용)
	Millisys	Carrier Frequency : 60GHz 대역 Throughput : Full duplex 155Mbps Transceiver size(With antenna) : 25(H)x75(W)x50(D) mm <sup>3</sup> Antenna: 2x2 array patch, 14dBi Wireless range : 20m Access :Point to point	Telematics 응용 및 NICT에 시스템 납품 (OKI와 공동 연구)



(표 6) 국외 개발 동향

	업체명	상세 규격		비고
국 외	NTT	Carrier Frequency : 28GHz PHY : 80Mbps Ethernet : Max. 46Mbps Modulation : 16QAM → QPSK ( 품질 열화시 변조 방식 ) Access : Point to Multipoint Video + Internet service 동시 지원	Carrier Frequency : 60GHz Passive 소자(UTC - PD)로 AP 구현 Throughput : Max. 2.5Gbps Wireless range : ~ 수 mm Access : Point to point	무선을 이용한 광 영역의 확장 및 초단거리 (수 m 이내) 이용 예정
	NICT (CRL)	Inter Vehicle : 60GHz Road to Vehicle : 36 - 37 GHz Hot spot throughput : 1Gbps Modulation : OFDM	Carrier Frequency : 60GHz Modulation : 64QAM/COFDM RF over Fiber Architecture Indoor Video distribution system	Telematics 응용 1998 년 시연 완료 (YRP), Indoor 용으로도 응용 연구
	MP (BT spinout)	E-O, O - E Modulation : Active EAM(LD, PD 기능 동시 수행) / Passive EAM AgilWAVE™ Switch : switched connection between base station and antenna interface In - building & outdoor use		Picocell 용 Distributed Antenna System 응용

를 사용한 트랜시버의 개발에 주력하고 있다. 그리고 ETRI의 기반기술연구소에서는 밀리미터파대 EAM을 개발하여 텔레메틱스 시스템에 적용하기 위한 연구를 수행하고 있고, 텔레메틱스 연구단에서는 60GHz대의 모뎀 개발 연구가 추진되고 있다.

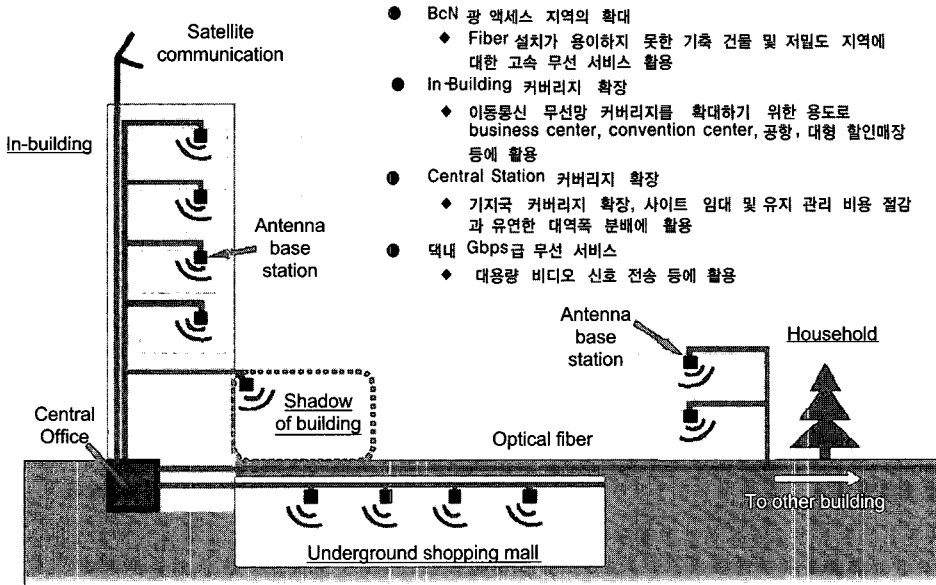
#### 4.2 국외 개발동향

유럽은 1990년대 초부터 RoF 프로젝트를 추진해 왔으며 622Mbps downlink와 40Mbps uplink 전송 능력을 갖는 30GHz 무선포트 및 이를 위한 광소자, 광제어 기술, 통신시스템 기술 개발을 수행하였고, 2001년부터 시작된 OBANET 프로젝트에 의해 40GHz의 밀리미터파 대역에서 최대 155Mbps의 고정 및 이동 광대역 무선 액세스 시스템을 구성하기 위한 광소자, 안테나 및 시스템 기술 개발을 추진하고 있다. 또한, 가장 활발히 RoF 시스템 연구를 진행하고 있는 기관은 일본 NICT(구 CRL)로, ITS 서비스

를 위해 PHS(Personal Handy-phone System: 1.9GHz 대역, 384Kbps 서비스)와 ETC(Electronic Toll Collection : 5.8GHz 대역, 1Mbps 서비스), 방송(1.16GHz)을 하나로 묶어서 밀리미터파로 통합하여 송수신하고 있다. BS와 차량단말 사이에는 36~37GHz의 밀리미터파를 사용하며, 차량 간에는 60GHz의 밀리미터파를 사용하여 서비스를 제공하며 1998년에 시연을 한 바 있다. 또한 NTT는 최근 광케이블이 설치되지 않은 가입자에게 광대역 무선 서비스를 제공하기 위해 RoF기술을 이용하여 광선로 확장용으로도 응용하고 있다.

#### 4.3 응용서비스

RoF는 향후 FTTx 환경에서 광대역 무선 서비스를 제공할 수 있는 대표적인 기술로 인식되고 있으며, 유무선 방송 통신 융합을 통해 수 백 Mbps 이상의 고품질 광대역 무선 서비스를 가입자에게 제공할 수 있

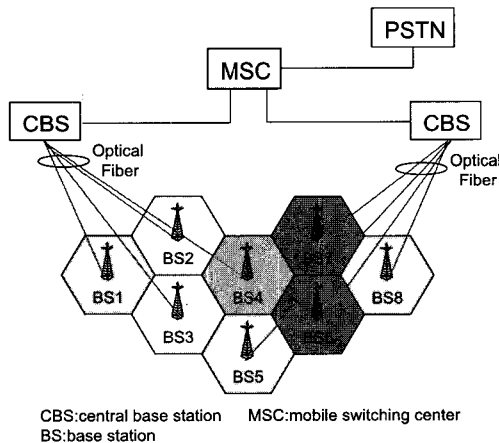


(그림 9) RoF applications

- BcN 광 액세스 지역의 확대
  - ◆ Fiber 설치가 용이하지 못한 기축 건물 및 저밀도 지역에 대한 고속 무선 서비스 활용
- In-Building 커버리지 확장
  - ◆ 이동통신 무선망 커버리지를 확대하기 위한 용도로 business center, convention center, 공항, 대형 할인매장 등에 활용
- Central Station 커버리지 확장
  - ◆ 기지국 커버리지 확장, 사이트 임대 및 유지 관리 비용 절감 과 유연한 대역폭 분배에 활용
- 맥내 Gbps급 무선 서비스
  - ◆ 대용량 비디오 신호 전송 등에 활용

을 것으로 전망된다. 또한, 향후 광대역 이동 멀티미디어 환경에서는 현재보다 수배의 기지국이 추가로 필요할 것으로 예상됨에 따라, 저가의 기지국 설치용 기술로 활용될 것이다. 그리고 RoF 액세스망은 지능

형 광 무선 인터넷 원천 기술이 적용된 광-무선 핵심 프로토콜을 이용하여 RoF 채널 에러 제어 및 자동 복구 기술, IPv6 기반 액세스 제어 및 자동 망 구성 기술 등으로 발전될 전망이다. RoF 기술의 응용은 다



(그림 10) Optical fed remote antenna network for microcellular RoF system

양하며 아래와 같은 분야에 적용될 수 있다.

최근에는 마이크로셀과 마이크로셀을 광선로로 연결하고 무선신호를 광선로를 통해 전송하는 그림과 같이 광선로 마이크로 이동통신(Micro cellular) 시스템이 주목을 받고 있다. 이는 광섬유의 광대역, 저손실 특성과 무선의 용량/coverage 증대 요구에 따른 마이크로 셀룰러 시스템에서 저가의 기지국 구축에 대한 하나의 대안이 될 수 있기 때문이다. 리모트 RF 안테나의 사용은 시스템의 주파수 플랜이나 변조 방식 등이 CS에서 이루어지므로 원격지의 무선 장비의 교체 등이 필요 없다는 장점이 있다. 이러한 시스템은 큰 대역폭의 데이터를 가입자에게 전송하기 위한 마이크로셀이나 피코셀에 사용될 수 있다. 이러한 RoF 시스템은 현재 사무실, 쇼핑센터, 공항 터미널과 같은 건물 내 이동통신의 무선영역 확장에 대규모로 사용될 수 있다[7, 8, 9].

## V. 결론

향후 무선통신 시스템은 여러 개의 단거리시스템(short-range system)에서 대용량 무선 통신 서비스를 가능케 하는 마이크로셀 또는 피코셀 개념으로 발전할 것으로 예상된다. 따라서, 본 논문에서는 Radio over Fiber 기술의 개념을 살펴보고, 2010년까지 500Mbps 이상의 무선서비스를 목표로 하고 있는 BcN 가입자용 무선 액세스 시스템으로의 활용 가능성을 검토하기 위한 프로토타입 RoF WLAN 시스템의 대역폭 측정 결과를 기술하였다. RoF 기본적인 개념은 BS 또는 무선 AP에서 소요되는 모든 신호처리 시스템들이 CS에 위치해 있어 단순화 및 집중화를 추구하는 시스템 구조이다. 결과적으로 무선 분배망 구조의 BS는 단순한 PHY 기능만 수행하도록 구성되어 있어 유지보수 비용 절감 및 가입자 대역폭의 동

적 할당이 쉽게 이루어질 수 있고 주파수와 프로토콜에 무관한 시스템 구축이 가능하여 향후 무선 영역의 확장이나 광대역의 무선신호를 가입자에게 제공할 수 있는 새로운 기술 대안이 될 수 있다. RoF 방식의 network에서는 CS에서 가입자 단말까지의 경로가 transparent 하므로, 실용화를 위해서는 BS/AP 감시 및 망 운용을 위한 별도의 관리 방안이 필요하며, 이는 RoF의 장점인 주파수/프로토콜 독립성에 영향을 주지 않는 방법으로 구현될 수 있어야 한다. 현재 대부분의 연구가 소자 및 초고주파 신호 발생/전송 등에 집중되어 있는바, network 차원의 적용 기술 연구도 보다 활성화 되어야 할 것이다.

## [참고 문헌]

- [1] JD Park, et al, "Throughput measurement of prototype radio over fiber system for BcN wireless access infrastructure" ICACT2005, Vol. 2, pp.1212-1215, 2005
- [2] Cutrer, D.M., et al., "Dynamic Range Requirements for Optical Transmitter in Fiber-fed Microcellular Networks" IEEE Photonic Technology Lett., Vol. 7, No. 5, pp.564-566, 1995
- [3] H.S. Al-Raweshidy, and R. Prasad, "Spread spectrum techniques to improve the performance of radio over fiber for microcellular GSM networks" Wireless personal communications 14, pp. 133-145. 2000
- [4] <http://microwavephotonics.com/>
- [5] 박종대, "Radio-on-Fiber 액세스 시스템 기술" 대한전자공학회지 Vol.30권 제3호, pp.295-

299, 2003

- [6] D. Wake, "Trends and prospects for radio over fiber picocells," International topical meeting on microwave photonics, pp. 21-24, 2002
- [7] Kajiya, S., Ksukamoto, and S. Komaki, "Proposal of Fiber-Optic Radio Highway Networks Using CDMA method," IEICE Trans. On Electronics, Vol. E79-C, No.1, pp. 496-500, 1996
- [8] Koshy, B.J., and P.M. Shankar, "Spread-spectrum Techniques for Fiber-Fed Micro-cellular Networks," IEEE Trans. On Vehicular Technology, Vol., VT-48, No. 3, pp. 847-857, 1999
- [9] Betti, S., et al. "Effect of Semiconductor Laser Intrinsic Dynamic Distortion in Hybrid Fiber-CDMA Cellular Radio Networks" Microwave and optical technology Lett., Vol. 20, No. 3, pp. 207-211, 1999



**박종대**

1987년 영남대학교 전자공학과 (학사)  
 1989년 영남대학교 전자공학과 (석사)  
 1994년 영남대학교 전자공학과 (박사)  
 1995년 ~ 1996년 Toyohashi Univ. of Technology  
 Post-doc.  
 1997년 ~ 현재 한국전자통신연구원 선임연구원



**김진태**

1980년 인하대학교 전자공학과 학사  
 1982년 인하대학교 전자공학과 석사  
 1996년 인하대학교 전자공학과 박사  
 1987년 ~ 1988년 University of Missouri Kansas City  
 방문연구원  
 1979년 ~ 현재 한국전자통신연구원 광대역통합망

연구단 책임연구원

관심분야 : 광대역 네트워크, VoIP, RoF



**주무정**

1980년 연세대학교 이과대학 물리학과 (이학사)  
 1982년 한국과학기술원 물리학과 (이학석사)  
 1985년 한국과학기술원 물리학과 (이학박사)  
 1985년 ~ 1994년 한국전자통신연구원 선임연구원  
 1989년 Heinrich-Hertz-Institut (Berlin) 방문연구원  
 (국제공동연구)

1992년 ~ 1994년 전북대학교 물리학과 겸임교수(연구교수)

1997년 ~ 1998년 한국전자통신연구원 광통신연구실장, 광링크기술팀장

2000년 ~ 2001년 한국전자통신연구원 테라광링크기술팀장

2002년 한국전자통신연구원 광링크기술팀장

2003년 한국전자통신연구원 광통신연구부장

2004년 한국전자통신연구원 광응용기술팀장

1994년 ~ 현재 한국전자통신연구원 책임연구원