

主題

# 차세대 광-무선 가입자망 연구센터: MMoF 기술 기반 차세대 광-무선 LAN 기술 연구

광주과학기술원 정보통신공학과 교수 송종인

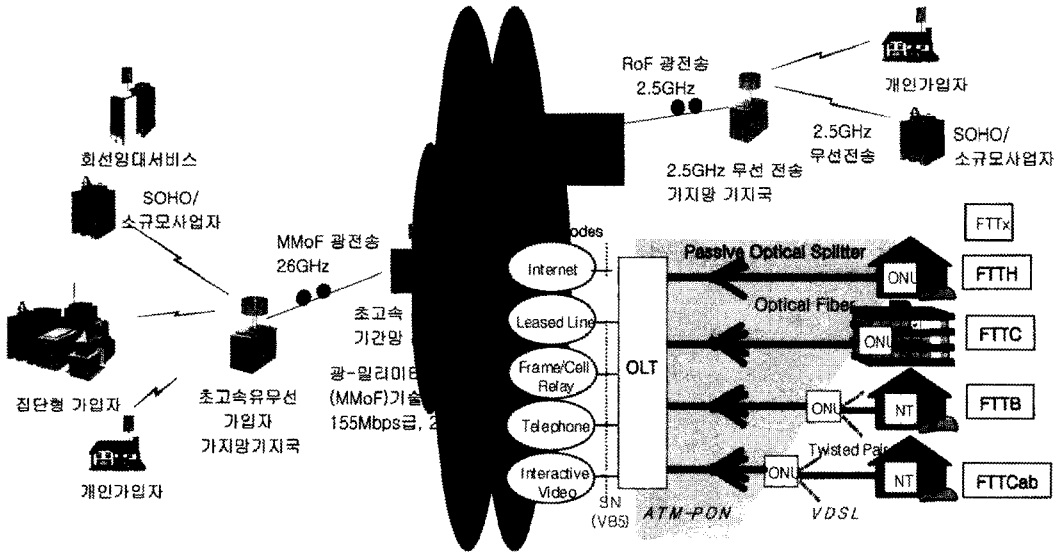
차 례

- I. 센터의 개요
- II. 센터의 연구과제 구성
- III. 센터의 주요 연구 결과
- IV. 센터의 비전

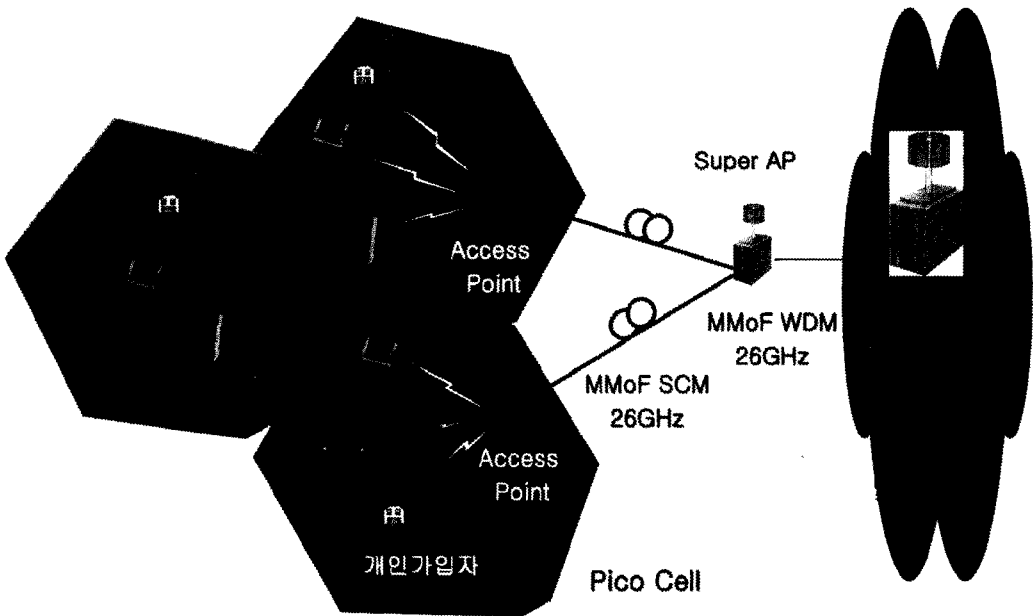
## I. 센터의 개요

광-무선 가입자망기술은 광대역 가입자망 기술의 일종으로 유선 기술인 초고속 광통신 기술과 무선통신 기술을 접목하는 유무선 통합망을 통하여 음성, 데이터, HDTV급 동영상 등을 포함하는 다원 멀티미디어 서비스를 가능하게 하는 기술이다 (그림 1). 차세대 광-무선 가입자망기술의 일종인 MMoF (Millimeter-wave over Fiber) 기술은 Microwave-photonics 기술이라 불리우기도 하며 광기술과 무선기술의 상호 보완적인 장점을 이용하는 기술이다. 초기 단계의 이 기술은 미 국방부에서 군용 항공기 또는 선박에서 대량으로 사용되는 마이크로웨이브 동축케이블을 광섬유로 대체시켜서 경량이고 높은 신뢰도를 갖는 통신시스템의 구축을 위해 응용되었다.

즉 기존에 사용되었던 마이크로웨이브 동축케이블의 비싼 가격, 높은 전송손실, 큰 부피, 제한된 대역폭 등의 단점을 극복하기 위해 마이크로웨이브 신호로 변조된 광 신호를 저가, 저손실, 경량, 광대역의 특성을 갖는 광섬유를 통해 전송하기 위해 이 기술이 응용된 것이다. 이 기술은 그 동안 비약적인 광통신부품 및 마이크로웨이브 또는 밀리미터웨이브 부품의 발전으로 상용화 단계에 있으며, 현재 국내에도 2 GHz 대역의 PCS 광기 지국 시스템으로 응용되고 있다. 유무선 통합 가입자망의 하나인 MMoF 광-무선 LAN 시스템은 개념도(그림 2)에 나타난 바와 같이 마이크로 또는 피코셀 크기의 원격 기지국과 여러 개의 원격 기지국을 지원하는 중앙 기지국으로 이루어져 있다. 이 시스템의 주요 장점은 고 정밀성과 신뢰도를 요하는 장비들을 중앙 기지국에 두고 안테



(그림 1) MMoF 기반의 유무선 통합망의 개념도



(그림 2) MMoF 기반의 광-무선 LAN의 개념도

나 수준인 소형, 경량, 저가의 원격 기지국을 지원할 수 있기 때문에 마이크로 또는 피코셀 구조에서 요구되는 다수의 기지국들의 설치, 확장 및

서비스가 용이하여 경제적이라는 점이다. 현재 PCS 주파수 대역에서 주로 음영지역의 서비스를 위해 활용되고 있는 광기지국 시스템은 밀리미터

웨이브 대역에서 광대역 다윈 멀티미디어서비스를 제공하는 제4세대 멀티미디어 통신에 응용될 때 그 효율성이 극대화 될 수 있으며 현재 미국, 일본, 유럽 등 통신 선진 국가에서 이러한 시스템의 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 특히 유럽연합에서는 RACE (Research into Advanced Communications in Europe), MODAL (Microwave Optical Duplex Antenna Link), 그리고 NEFERTITI (Network of Excellence on broadband FibEr Radio Techniques and its Integration Technologies)와 같은 프로그램을 통하여, MVDS 시스템 이외에도 보행자, 기차 그리고 자동차를 대상으로 하는 광대역 서비스를 위해서 이동 시스템과 고정 방송망 사이의 무선 연결을 목적으로 하는 MBS 시스템이 개발되고 있으며, 그 중심에 MMoF 기술이 사용되고 있다.

광주과학기술원 차세대 광-무선 가입자망 연구 센터(Center for Hybrid Optical Access Network: CHOAN, 센터장: 송종인 정보통신공학과 교수)는 광-무선 가입자망인 MMoF 기반 차세대 광-무선 LAN 시스템을 구성하는 핵심 밀리미터파 광/전 및 전/광 소재, 소자 및 부품 기술, 광-무선 전송 기술, 광-무선 LAN 시스템 기술, 광대역 가입자망 기술의 개발을 통하여 초고속 정보통신망 구축을 위한 핵심기술을 확보하고, 국가적 개발사업의 개발지표 도출을 목표로 경쟁력 있는 산학 협력 연구 과제를 수행하여 국내 관련 산업 기술을 선도하기 위해 설립되었다. CHOAN은 다양한 유무선 방식의 방송, 통신, 컴퓨터망을 통합하는 차세대 통합 정보통신 시스템(Universal Telecommunication System)의 구축을 목표로 MMoF 기반 광-무선 LAN 핵심 원천 기술 개발, 경제적인 망 구축을 위한 망구조 및 광-밀리미터파 링크 등을 포함한 광-무선 LAN 요소기술들의 개발, 그리고 그 결과를 활용하여

광-무선 LAN 테스트베드를 구축하고 서비스 시연을 하며, 21세기 핵심 산업 분야인 정보통신산업의 경제적인 기반구조 (Infrastructure) 구축을 앞당기고, 관련 연구를 통하여 고도로 훈련된 고급 인력을 지속적으로 배출함으로써 국내 산업 구조를 뒷받침하는 것을 목표로 사업을 추진하고 있다.

CHOAN의 연구 개발을 위해 광주과학기술원의 송종인, 송계휴, 장재형, 김용훈 교수와 2인의 연구전담교수, 공동연구기관인 홍익대학교의 이종창, 이호경, 이정해 교수, 조선대학교의 신석주 교수, 박사과정 44명, 석사과정 41명, 참여 기업체인 LG 이노텍(주)의 연구원 16명, 밀리시스(주)의 연구원 3명, 그리고 해외 협력연구기관인 NiCT의 연구원 1명과 Oki의 연구원 1명이 참여하고 있다. 참여 교수들은 광통신 또는 무선통신 시스템, 소자 및 부품 연구 분야의 전문가로서 최근 4년 동안 연평균 연구 업적이 SCI 논문 3.2편(146편), 국제학술대회 발표 7.2건(349편), 특허출원 0.9건(41건) 수준인 매우 우수한 연구 인력이다.

CHOAN은 연구 과제수행의 효율성과 수월성을 유지하기 위해서 국내의 관련 학계 및 연구계와 연구 교류 협력 관계를 유지하고 있으며, 국내외 협력 대학인 KAIST 및 MIT를 포함한 9개 대학, 협력연구기관인 ETRI, Lucent 및 NiCT(구 CRL, Japan)를 포함한 6개 연구소와 함께 관련 분야의 공동연구를 수행하고 있다.

CHOAN은 상기 MMoF기반 광-무선 LAN 시스템 기술의 연구를 통해서 매우 우수한 연구 결과를 도출하였다. ITRC로서 정보통신연구진흥원의 예산 지원을 받은 지난 4년 동안 IEEE Communication Letters 등 146편의 SCI 논문 게재, IEEE WPMC 등 국제 학회에 349편의 논문 발표, 한국통신학회지 및 JCCI 2004등의 국내 저명 논문지/학회에 241편의 논문 발표를 하여

ITRC의 우수성을 국내외에 알렸다. 또한 국내 특허 30(33)편을 출원(등록)하였고 국제특허 11(5)편을 출원(등록)하였으며 시제품 49건 및 소프트웨어 6건을 개발하였다.

이러한 우수한 연구 결과의 산출과 함께 관련 연구/산업계에 대한 지원과 협력이 CHOAN의 주요 사업 목표 중에 하나이며 이를 위하여 CHOAN은 36개의 산업체와 협력관계를 유지하고 있다. 현재까지 산업체에 대한 241건의 기술 상담 및 지도, 18건의 기술 이전, 산업체와 센터 보유 장비의 공동활용 26건 등의 산업체 지원 업무를 수행하였다. 또한 CHOAN은 MMoF기반 광-무선 시스템 기술의 연구를 통하여 광통신 기술과 무선통신 기술에 대한 지식을 겸비하고 현장 적응력이 뛰어난 석사 및 박사급 IT 전문 인력을 각각 63명과 19명을 양성하고 관련 연구계/산업계에 배출하였다. 이와 함께 출원된 특허 25건과 소프트웨어 7건을 기술거래소 또는 대덕 Valley 기술이전 컨소시엄 등의 전문 기술이전 기관에 의뢰하여 관련 기업체 또는 협력 기업체에 기술 이전을 추진하고 있으며, 개발된 시제품 18건 역시 협력 기업을 통해 상업화하는 방안을 모색하고 있다.

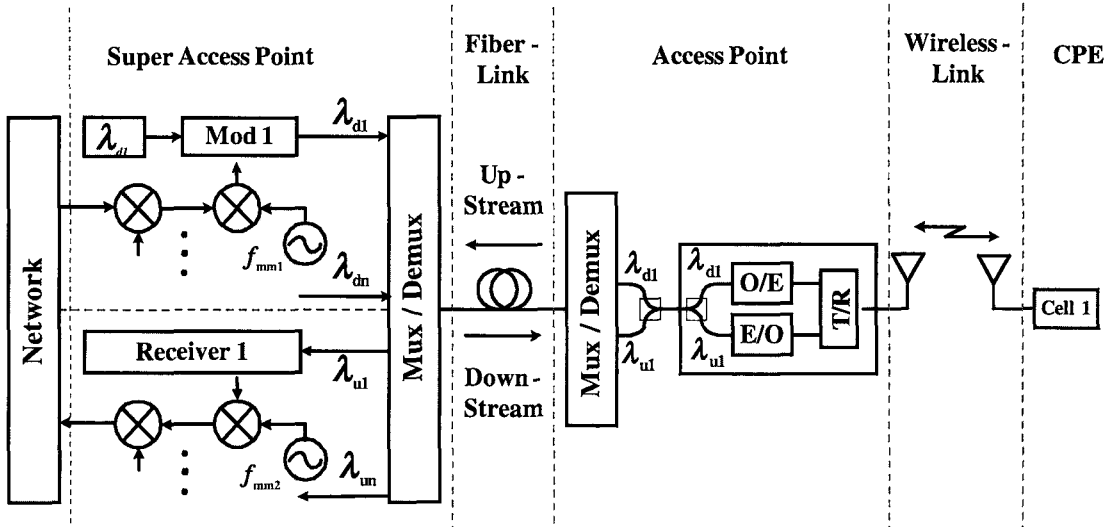
## II. 센터의 연구과제 구성

CHOAN에서는 차세대 광-무선 가입자망 기술로서 MMoF 기반 광-무선 LAN 기술을 연구 개발하고 있으며 모두 3개의 총괄과제를 수행하고 있다.

제1총괄과제(과제명: 광-무선 LAN 서비스 기술 연구, 과제 책임자: 이호경)는 멀티미디어 서비스가 혼재되어 있는 상황에서의 트래픽 분석을 통하여 차세대 광-무선 LAN 시스템에 보다 정확하게 적용할 수 있는 트래픽 엔지니어링 기반

기술의 연구를 수행하고 있다. 이를 위해 정확한 트래픽 특성 분석을 기반으로 효율적인 시스템의 자원 관리 및 QoS 성능 유지를 위한 기술을 제시하며, 더 나아가 MMoF 기술 기반의 광-무선 LAN 시스템에 정의된 전송 특성을 광-무선 인터페이스 상에서 효율적으로 운용하기 위한 적절한 MAC 알고리즘의 구조 등을 연구하고 있다.

제2총괄과제(과제명: 광-무선 LAN 시스템 기술 연구, 과제 책임자: 김용훈)는 MMoF 기반 광-무선 LAN 시스템의 광섬유 특성과 무선 전송 채널을 고려한 End-to-End 모델링 및 성능 분석, 광-무선 접속을 위한 MIMO 안테나 시스템 고속 변복조 및 채널 부호 기술, 그리고 광-무선 LAN 시스템의 H/W의 설계 및 제작 기술을 연구하고 있다. 시스템 성능 분석은 페이딩 환경 하에서 pico 셀 내에서 가입자간의 간섭 및 가입자의 이동성, 그리고 광섬유의 분산과 비선형 특성에 대해 옥내 광-무선 LAN에서의 예러 성능을 살펴보는데 중점을 두고 있다. MIMO 안테나 시스템 고속 변복조 및 채널 부호 기술 연구 분야에서는 일반 공기 중에서 밀리미터파 신호가 겪는 흡수, 분산 굴절의 현상을 분석하고 그에 따른 적합한 전송 방식을 연구 하고 있다. 또한 효율적인 고속 변복조 시스템의 구성을 위해 물리계층(PHY)의 송수신 모듈의 독자적인 설계뿐만 아니라 MAC과 같은 상위 계층과의 수직적인 정합을 목표로 PHY와 MAC의 각각의 전문성이 있는 연구팀들 간의 공동/연계 연구를 수행하고 있다. MMoF 기반 광-무선 LAN 시스템은 그림 3에서 보는 바와 같이 크게 가입자 장치인 Customer Premise Equipment (CPE)와 안테나 기지인 Access Point (AP) 그리고 밀리미터파 변조된 광신호를 전송하는 Super Access Point (SAP)로 구성된다. H/W의 설계 및 제작 기술 연구 분야는 CPE, AP, SAP 각각을 구성하는 밀리미터파 광원 모듈, 변/복조기 모듈, 저잡음/전



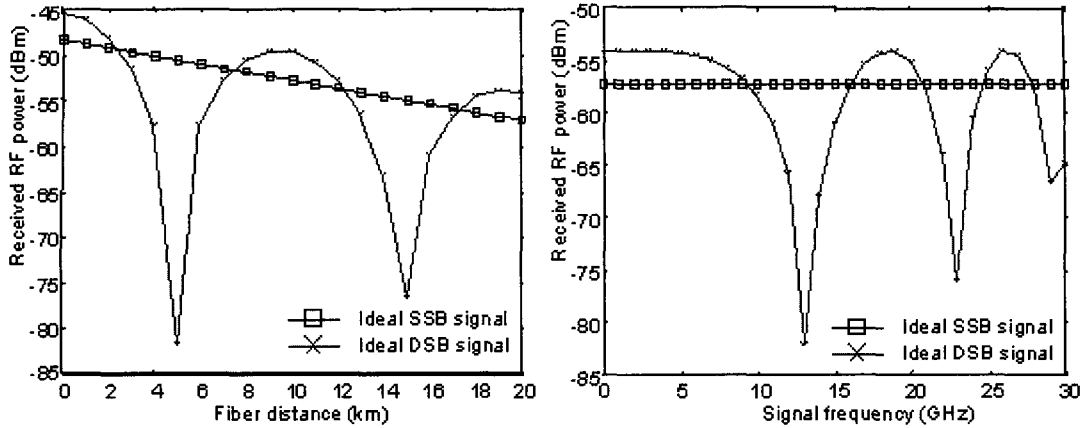
[그림 3] 연구 개발 목표인 광-무선 LAN 시스템의 개략적인 블록도

력 증폭기, 광변조기, 그리고 안테나 등의 설계 및 제작 기술을 연구하고 있다.

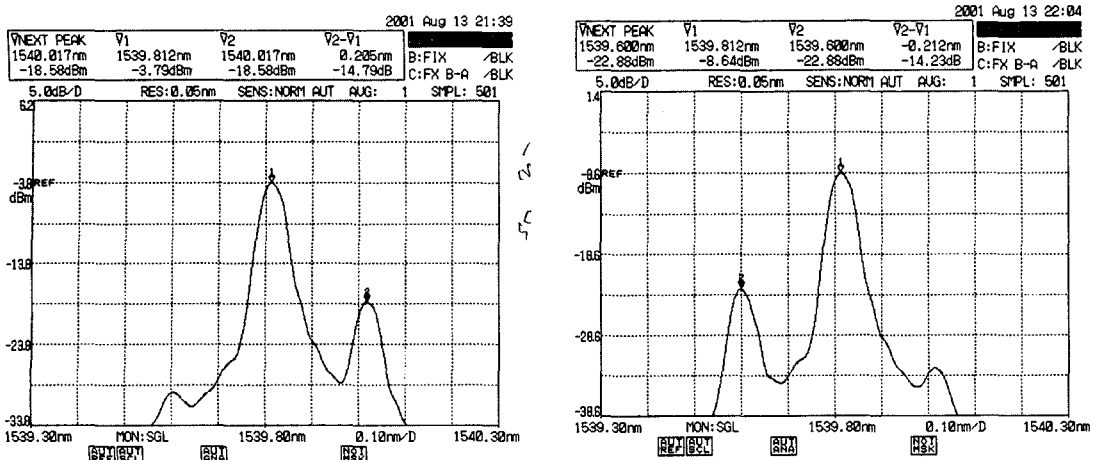
제3총괄과제(과제명: 광-무선 LAN 핵심 소자 및 부품 기술 연구, 과제 책임자: 송종인)는 광-무선 LAN용 광원 기술, 광전 변화 소자 기술 및 광 분배소자 기술을 연구하고 있다. 특히 AP용 밀리미터파 변조 광원을 저가 및 소형으로 개발하기 위해 Negative Dynamic Resistance (NRD) 소자와 Laser Diode (LD)를 단일 집적한 광원기술의 연구를 수행하고 있다. 광전 변환 소자 기술 연구 분야는 밀리미터파 신호를 처리할 수 있는 광대역 특성을 가지며, 광-무선 LAN 시스템의 SNR 특성의 열화를 야기하지 않는 높은 선형성을 가지는 광검출기에 관한 연구를 하고 있다. 광-무선 LAN용 광 분배소자 기술 연구 분야에서는 WDM 방식의 네트워크 구조에서 사용 가능한 Arrayed Waveguide Grating (AWG)에 관한 연구를 하고 있다. 특히 소형화를 통한 높은 수율 향상을 위해서 광 결정구조 혹은 고굴절율 대비 도파관을 이용한 저가의 AWG 및 Optical Add-Drop Multiplexer (OADM) 기술 연

구가 수행중이다.

상기 3개의 총괄과제들은 매우 긴밀한 상호 유기적 관계가 유지되고 있으며, 각 과제의 연구 결과는 MMoF 시스템 기반의 광-무선 LAN 시스템 테스트 베드의 구축을 위해 활용되고 있다. 본 센터에서는 광대역 무선 멀티미디어 서비스의 일종인 26-28 GHz 대역의 B-WLL(Broadband Wireless Local Loop)용 MMoF 테스트 베드의 구축을 추진하고 있으며 제1총괄과제의 경우 광-무선 LAN의 효율적인 서비스를 위한 자원 관리 및 성능 분석, 제2총괄과제의 경우 광-무선 LAN 시스템 및 모듈의 설계, 분석 및 제작, 제3총괄과제의 경우 광-무선 LAN용 핵심 전광, 광전 부품 설계 및 제작에 기여하고 있다. 현재 MMoF 시스템 테스트 베드는 26 GHz 대역의 Down-stream 채널 중에서 광링크 부분이 완성되었고, 성능 평가를 통하여 BPSK (Binary Phase Shift Keying)로 변조된 약 500 Mbps의 디지털 신호 전송이 가능함을 확인하였다. 또한 ITRC-포럼 2004에서는 155 Mbps의 전송률을 가지는 상용 ATM 네트워크와 26 GHz 대역의



(그림 4) 광 섬유유의 색 분산 특성을 고려한 광 SSB와 DSB 신호의 전송 특성



(그림 5) USB 혹은 LSB 신호 성분이 제거된 광 SSB 신호의 광 스펙트럼

down-stream 채널을 통한 광-무선 LAN 테스트 베드간의 연동을 성공적으로 시연하였다. 또한 무선링크 부분을 추가하고 28 GHz 대역의 Up-stream 채널에 대한 설계 및 분석이 진행 중에 있으며, 이것의 구현을 통해 양방향 광대역 무선 멀티미디어 서비스가 가능한 광-무선 LAN 시스템 테스트 베드의 구축이 진행되고 있다.

### III. 센터의 주요 연구 결과

CHOAN의 연구 활동을 통해 개발된 시스템 및 부품 관련 주요 기술을 분야별로 소개하면 다음과 같다.

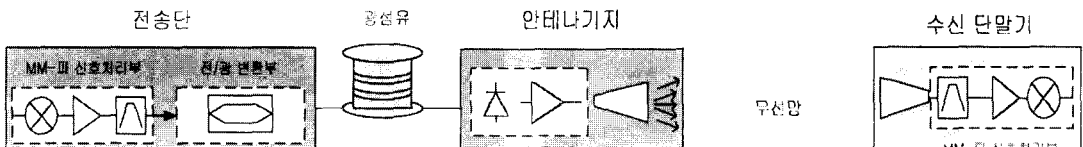
#### 1. 광-무선 LAN 시스템 및 전송 분야

단일 모드 광섬유를 통한 신호 전송 시 고려되어야 할 사항 중 한 가지는 광섬유의 색 분산 특성으로 인한 신호의 왜곡 문제이다. 특히 밀리미터파 대역의 광-무선 신호를 전송할 때 특히 심각한 문제가 발생한다. 이것은 일정한 주파수

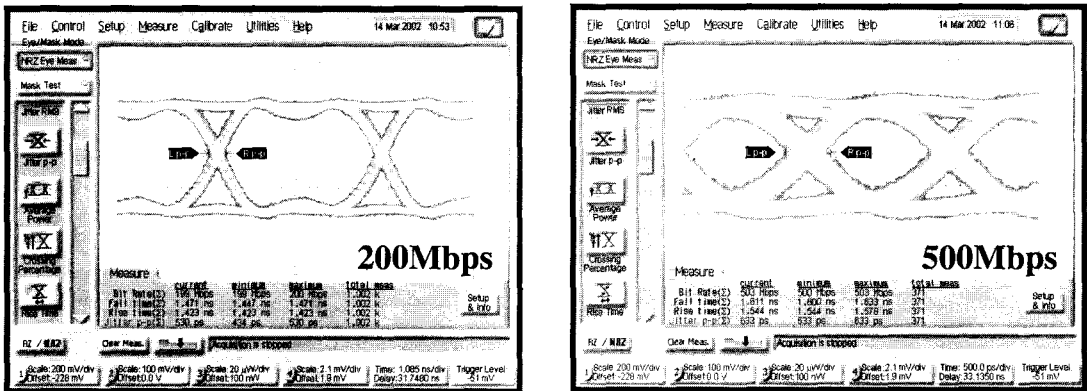
의 신호가 전송된 거리에 따라 수신 파워가 변하거나 혹은 일정한 거리를 전송할 경우 주파수에 따라 수신 파워가 다르다는 것이다 (그림 4). 이러한 문제는 밀리미터파 신호가 DSB(Double side band) 신호의 형태로 광 변조 된 경우, 광 반송파의 USB/LSB (Upper/Lower side band)의 신호 성분간의 광 섬유의 색 분산 특성으로 인한 위상차이가 발생하며, 그 차이는 주파수 혹은 전송 거리에 따라 상쇄 혹은 보강 간섭을 일으키게 된다. 이러한 문제는 USB와 LSB 성분 중 한 성분을 제거함으로써 해결이 가능하다. 이러한 기술을 SSB(Single side band) 광 변조라 하며, 그 전송 특성을 그림 4에서 볼 수 있다. 본 센터에서 보유한 SSB 광 변조 기술은 전기 신호와 변조된 광 신호의 위상이 square관계임을 응용하는 방법으로, 위상 전이기(Phase Shifter)를 이용해 밀리미터파 무선 신호의 위상을 조절한다. 이렇게 위상이 조절된 신호를 Dual Electrode

Mach-Zehnder 변조기(MZM)를 이용해 광 변조하면, 밀리미터파의 신호가 90도와 0도의 관계를 가질 때 MZM 내에서 USB 혹은 LSB의 성분이 상쇄 간섭을 일으키게 된다. 이 방법을 통해서 얻어진 광 SSB 신호의 광 스펙트럼이 그림 5에 나타나있다. 개발된 이 기술은 현재 MMoF 기반 광-무선 LAN 테스트 베드의 구축에 적용이 되어 있다.

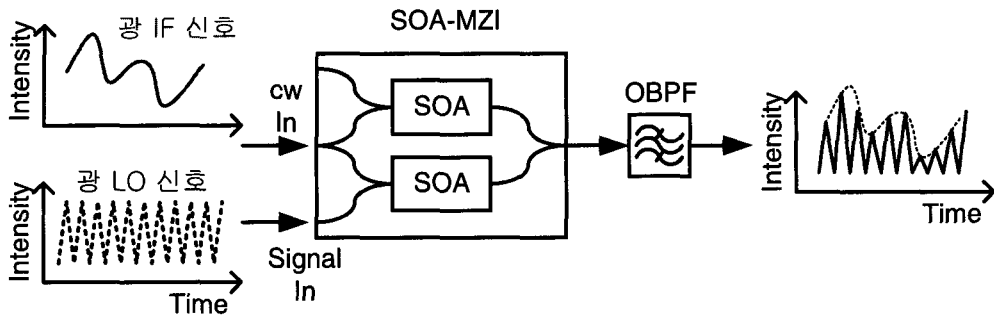
현재까지의 광-무선 LAN 요소기술들의 개발의 결과를 활용하여, MMoF 시스템 테스트 베드는 26 GHz 대역의 Down-stream 채널 중에서 MMoF 기반의 광 링크 부분과 무선용 수신 단말기를 포함하는 유무선 링크가 완성이 되었다. 개발된 MMoF 기반 광-무선 LAN Down-stream 채널 테스트 베드는 크게 전송단, 안테나 기지 그리고 수신 단말기로 구성이 된다. 그림 6은 MMoF 기반 광-무선 LAN 테스트 베드의 개략적인 구성을 보여준다. 전송단은 주어



(그림 6) 제작된 MMoF 시스템 테스트 베드의 개략적인 구성도



(그림 7) 제작된 MMoF 시스템 테스트 베드의 26 GHz 대역의 Down-stream 채널을 통해 수신된 데이터의 Eye-다이아그램



(그림 8) SOA-MZI를 이용한 전광 주파수 상향변환기의 기본적인 동작 원리

진 정보신호를 무선 전송을 위한 신호 처리부와 유선 광 전송을 위한 전광 변환부로 구성이 된다. 밀리미터파 신호 처리부는 다시 주파수 변환을 위한 혼합기와 증폭기로 구성이 된다. 전광 변환부는  $\text{LiNO}_3$ 를 이용한 MZM과 SSB 광 변조를 위한 위상 천이기(Phase Shifter)로 구성이 된다. 이렇게 생성된 광-무선 신호는 광섬유를 통해 안테나 기지로 전송이 된다. 안테나 기지는 광 전변환을 위한 광 검출기, 증폭기 그리고 안테나로 구성이 된다. 특히 광 검출기는 밀리미터대역의 신호를 충분히 검출할 수 있는 대역을 가진다. 마지막으로 수신 단말기는 일반적인 무선통신망의 수신기와 동일한데, 무선 신호의 수신을 위한 안테나와 수신신호의 증폭 및 복조를 위한 저잡음 증폭기와 데이터 복조기로 구성이 된다. 이렇게 구성된 MMoF 기반 광-무선 LAN 테스트 베드를 통해 수신된 데이터의 eye-diagram이 그림 7에 보여진다. 대략 500Mbps의 데이터 신호 전송에 대해서도 깨끗한 파형을 보여준다.

## 2. 광-무선 LAN 핵심 소자/부품 개발 분야

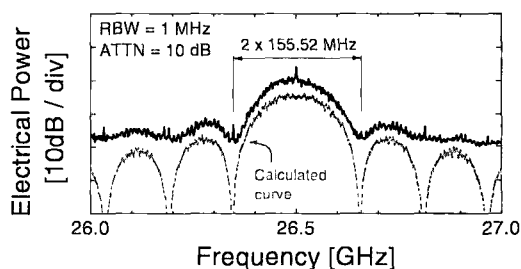
MMoF 기반 광-무선 LAN 시스템의 구축에 있어서, 광-무선 LAN 신호의 생성은 매우 기본적이면서 가장 중요한 부분이라 할 수 있다. 일

반적으로 초고주파 대역에서 사용이 가능한 광 변조기를 사용하는 방법이 이용되어 왔다. 이는 초고주파 전자회로 기술과 고속의 광 변조기 기술을 기반으로 한 것으로 현재까지는 비교적 안정적인 동작이 보장이 된다. 하지만, 전자회로의 특성상 주파수의 한계를 가질 수밖에 없다. 본 센터에서는 전광 신호 처리(All-optical signal processing) 기술을 이용한 밀리미터파 광-무선 신호 생성에 관한 기술을 개발하였다. 전광 신호 처리는 전기 형태가 아닌 광의 형태로 존재하는 입출력 및 제어 신호를 통해 신호를 처리 하는 것으로 광 신호의 특성상 무한히 넓은 처리 대역을 가진다. 이러한 특징을 가지는 개발된 광 반도체 증폭기 Mach Zehnder 간섭계(SOA-MZI)를 이용한 전광 주파수 상향 변조기를 개발하였으며, 광-무선 LAN에 대한 적용을 실험적 검증을 하였다.

그림 8은 SOA-MZI를 이용한 전광 주파수 상향 변환기의 기본적인 동작 원리를 보여준다. 국부 발진(Local Oscillation : LO) 주파수( $f_{LO}$ )의 신호는  $\lambda_{LO}$ 의 파장을 가지는 광 LO 신호에 실려 SOA-MZI의 cw-입력단으로 들어간다. 이 신호는 2등분이 되어 각 각 아래와 위쪽의 SOA에 의해 증폭이 된다. 이때 SOA-MZI의 Signal-입력단으로 들어온  $\lambda_{IF}$ 의 파장을 갖는 광 중간주파수(Intermediate Frequency: IF) 신호가 아래쪽



의 SOA내의 전자 농도를 변화 시키며, 변화된 전자 농도에 의해 SOA내에서 광파의 진행 속도가 변화된다. 이러한 현상을 상호 위상 변조(XPM)이라 하며, 각 SOA로부터 출력된 광 LO 신호는 서로 간의 위상 차이에 따라 보강 혹은 상쇄 간섭을 일으키게 된다. 그 결과 광 LO 신호는 광 IF 신호에 의해서 광량 변조(Intensity Modulation)되어 광-무선 신호를 발생시킨다. 이 SOA-MZI를 이용한 기술은 전광 신호 처리 기술을 통한 장점 뿐 아니라, 큰 변환 이득과 광 분광에 영향을 받지 않는 특징을 보여준다.



(그림 9) 개발된 SOA-MZI 전광 주파수 상향 변환기를 이용해 26.5 GHz 로 상향 변환된 155 Mbps급 DPSK 신호

그림 9는 개발된 SOA-MZI 전광 주파수 상향 변환기를 이용해 26.5 GHz로 상향 변환된 155 Mbps급 DPSK (Differential Phase Shift Keying) 신호의 스펙트럼을 보여준다. 그림에서 보이듯이 계산된 DPSK 신호의 스펙트럼과 비교했을 때에도 깨끗한 신호를 보여준다. 현재 개발된 전광 주파수 상향 변조기는 광-무선 LAN 시스템 적용을 위한 작업이 진행 중이다.

#### IV. 센터의 비전

CHOAN은 차세대 광-무선 가입자망 기술인 MMoF 기반 광-무선 LAN 시스템 기술의 개발

을 통하여 핵심 원천기술 확보, MMoF 광-무선 LAN 시스템 테스트베드 구축, 광대역 무선 멀티미디어 서비스 시연을 추진하고 있으며, 국내 차세대 유무선 통합 정보통신 시스템 (Universal Telecommunication System)의 조기 실현을 도와 대한민국이 21세기 IT 강국으로 확실한 자리매김을 할 수 있는데 기여하기 위하여 관련 기술의 개발과 고급 인력 양성을 위해 지속적으로 노력할 것이다.



#### 송 종 인

1980년 : 서울대학교 전자공학과 학사  
 1982년 : 한국과학기술원 전기공학과 석사  
 1990년 : 콜롬비아 대학교 전기공학과 박사

1990년 ~ 1994년 : Bell Communications Research (Bellcore), 연구원

1994년 ~ 현재 : 광주과학기술원 교수

2001년 ~ 현재 : 차세대 광-무선 가입자망 연구센터 센터장.

<관심분야> 초고속 광-무선 가입자망, 초고속주파 집적 회로, 초고속 광-전/전-광 소자