논문 2005-42TC-12-8

광대역 무선인터넷 시스템의 수동피코셀 접속 구도

(An Interface Configuration of Passive Integrated Picocell for the Wireless Broadband Internet System)

송 주 빈*, 김 영 일**

(Ju Bin Song and Young-Il Kim)

요 약

본 논문은 휴대인터넷시스템의 수동피코셀 제안과 엑세스포인트와 수동형 피코셀간의 Radio over Fiber(ROF)접속 구도에 대한 것이다. 휴대인터넷시스템(Wibro)은 시속 60km의 중속도의 이동 단말에 50Mbps의 IP 기반 데이터서비스를 제공하는 것이다. 따라서, 서비스를 제공하기 위하여 초기에 셀의 구축비용을 최소화 하는 것이 요구된다. 본 논문은 이러한 요구사항을 만족하는 수동형 피코셀을 제안하고 이의 접속구도에 대하여 제안한 것이다. 기존의 Fabry-Perot(FP) 레이저를 채용하는 ROF 링크의 특성과 수동형Electro-absorption Modulator(EAM)를 이용한 수동형 피코셀의 특성을 측정하여 Wibro시스템에 이의 접속 가능성을 보이고 수동형피코셀의 RF 커버리지를 해석하여 가능성을 검증하였다.

Abstract

This paper presents an interface configuration between the Access Point(AP) of Wibro and Radio Over Fiber(ROF) transceivers for the wireless broadband internet system. The wireless internet could provides 60km/h mobility and 50Mbps IP based data services for each mobile terminal. Thus, low cost of each cell is inevitably required. This paper suggests an interface configuration between AP and Passive Integrated Picocell(PIP) involving ROF links. Characteristics of a typical Fabry-Perot ROF link and a PIP using a passive Electro-Absorption Modulator(EAM) are described and measured for wireless internet applications. In addition, results of RF coverage of a PIP have been shown.

Keywords : Wibro, Radio over Fiber, Passive Integrated Picocell

I. 서 론

Orthogonal Frequency Division Multiple Access(OFDMA)/Time Division Duplex(TDD) 방식을 이용하고 이동환경에서 2.3GHz 대역의 10MHz 대역폭을 사용하여 최대 50Mbps의 초고속 IP 기반 인터넷 데이터 전송이 가능한 무선접속 표준 기술과 초고속 휴대인터넷시스템의 개발이 진행되고 있다[1][2][3]. 실제로 IMT-2000 기지국 시스템보다 기지국 비용이 성능대비 1/10 정도로 저렴하고 패킷 데이터 전송속도가 최대 50Mbps급이며 서비스 비용 또한 IMT-2000보다 저렴하여 인프라 구축비용과 서비스 요금 측면에서 경제적인 휴대인터넷시스템의 개발을 목표로 하고 있다. 이 시스템에서는 시속 60km의 중저속 이동성을 지원하고 무선랜(WLAN)에 비하여 셀 반경이 크며 셀 반경은 최대 1km 정도이다.

본 논문에서는 휴대인터넷시스템의 저렴한 셀 구축을 위하여 100m 정도의 서비스 반경을 지원하는 수동피코셀(PIP) 방식을 제안한다. 특히, 이동성과 고속 데이터 서비스의 성능을 보장하기 위하여 밀도 있는 셀의 구축이 요구되는데 이를 위하여 많은 셀 구축비용이 들게 된다. 이는 저비용 휴대인터넷 서비스의 제공을 위하여 장애가 되는 요소이다. 셀을 구축할 때 기지국을 모두 설치하는 것 보다 분배 안테나 시스템을 이용하면

* 정회원, 경희대학교 전자정보학부
(Kyung Hee University)
** 정회원, 한국전자통신연구원 이동통신연구소
(ETRI)
※ 본 연구는 경희대학교와 한국전자통신연구원의 지원에 의하여 수행되었습니다.
접수일자: 2005년11월30일, 수정완료일: 2005년12월10일

셀의 구축비용이 저렴할 뿐만 아니라 dynamic cell allocation 등의 기술을 적용할 수 있게 되어 효율적으로 서비스를 제공할 수 있게 된다.

또한 본 논문에서는 휴대인터넷시스템의 AP와 PIP의 접속을 위하여 ROF 링크 구도를 제안하였고 이의 적용성을 검증하기 위하여 그 특성을 측정하였다.

Ⅱ. Passive Integrated Picocell 방식 제안

빌딩 내의 셀 커버리지의 구축은 대형 사무실, 역, 공항, 쇼핑센터 등의 밀집된 이동인구 특성을 갖는 지역에서 이동통신 사업자들에 의하여 주도적으로 진행되고 있다. 휴대인터넷의 경우 고속 무선접속의 특성상 양질의 성능을 제공하기 위하여 이러한 셀 커버리지의 구축이 더욱 절실히 필요하다. 셀 커버리지의 확장을 위하여 기지국을 되도록 많이 설치하는 것은 만족할 만한 성능을 사용자에게 제공하지만 설치비용이 많이 든다는 단점이 있다. 따라서 한 개의 기지국을 두고 셀 커버리지를 확장하기 위하여 ROF 링크를 이용한 안테나 분배 시스템을 제안 한다. 이렇게 할 경우 셀 커버리지의 구축 비용을 매우 줄일 수 있을 뿐만 아니라 사용자의 트래픽에 따라서 동적으로 셀을 할당하는 기술을 적용할 수 있어 주파수 자원을 효율적으로 사용할 수 있다. 특히 ROF 링크를 이용한 안테나 분배 시스템은 설치된 링크를 통하여 거의 제한이 없는 광대역의 RF 캐리어의 전송 및 다중 RF 캐리어도 전송이 가능하다는 확장성을 가지고 있다. 기존의 동축선로에 의하여 구축된 RF 링크는 동축선로의 대역 제한 특성과 매우 큰 신호 감쇄로 인하여 마이크로파 캐리어의 전송을 위하여 큰 장애가 될 뿐만 아니라 높은 가격 때문에 설치에 따른 비용이 많이 들고 광대역 RF 전송 및 다중 RF 캐리어의 전송을 하기 어려운 특성을 가지고 있다. 이러한 점 때문에 현재 전 세계적인 안테나 분배 시스템은 2009년에 이르면 약 50% 이상이 ROF 안테나 분배 시스템으로 전환될 것으로 예측되고 있다[4]. ROF 시스템의 경우 광소자들이 매우 작은 잡음과 고주파수에서 왜곡 특성이 좋아야 하는 요구사항이 있다. 상향 및 하향 링크 각각에 이러한 잡음과 왜곡 특성은 중요한 영향을 미친다[5]. 전송된 광대역 잡음은 하향링크에서 다른 이동 단말기에 간섭을 증가 시킨다. 상향 링크에서는 기지국의 수신기의 민감도를 감소한다. 왜곡은 상향 및 하향 링크에서 채널간의 추가적인 간섭을 증가시키는 역할을 한다. 잡음과 왜곡을 포함한 편리한 특성평가지표는

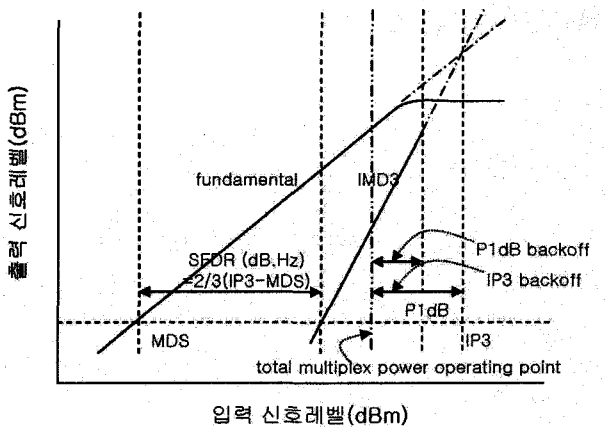

그림 1. SFDR 특성.
Fig. 1. Characteristics of SFDR.

Spectral Free Dynamic Range(SFDR)이다. 이 SFDR 요구사항은 무선통신 시스템에 따라서 다르지만 보통 하향링크 전력, 하향링크 광대역 잡음, 상향링크 잡음지수 및 상향 링크 차단 레벨 등에 따라서 결정된다. 안테나 분배 시스템과 단말간의 최소 결합손실(Minimum Coupling Loss:MCL)은 이러한 파라메터들을 결정하는데 있어서 중요한 값이다. 예를 들어 PCS1900의 경우 빌딩 내의 시스템의 경우 안테나 분배시스템의 안테나에서 단말이 약 2m의 거리에 있을 때 약 44dB의 MCL을 보인다[6]. 44dB의 MCL일 경우 캐리어 하향링크 출력전력 당 8dBm 그리고 하향링크 광대역 잡음 52dBm/200kHz가 최적인 링크 설계가 될 수 있다. 그림 1은 ROF 링크의 입력 전력에 대한 출력 전력과 SFDR 특성을 보인 것이다[7].

SFDR은 간단히 2/3 (IP3-Discernable Signal Power(MDS))로 구할 수 있다. ROF 링크의 동작점은 RF 시스템의 요구 성능 이하로 동작되어야 한다. 보통 링크의 1dB 전력 억압점(P1dB)의 16dB 이하이다. IP3와 P1dB의 차는 보통 13dB이다. 캐리어당 8dBm인 15개의 캐리어가 전송될 경우 안테나에서 전체 출력전력은 20dBm이다. 16dB back-off의 경우 링크의 출력 P1dB는 36dBm가 된다. IP3-P1dB는 13dB이므로 링크의 출력 IP3는 49dBm이 되어야 한다. 출력 잡음 레벨에 의하여 MDS가 주어지는데 이는 -105dBm/Hz(-52dBm/200kHz)가 된다. 그러므로 하향링크의 SFDR은 103dB/Hz이다. 상향링크에 대하여 민감도는 상향 및 하향링크가 균형을 이루도록 하여야 하는데 이 경우 대략 -81dBm이 된다. 캐리어당 간섭의 영향이 9dB이면 입력 잡음 지수는 대략 -143dBm이 된다. 44dB의 MCL을 가정하면 단말기의 차단의 경우를 고려

하여 -14dBm의 입력 P1dB가 요구된다. 따라서 상향링크 입력 IP3는 입력 P1dB보다 대략 13dB 높아 -1dBm이 된다. 따라서 요구되는 SFDR은 95dB.Hz가 된다. 결과적으로 상향링크는 하향링크에 비하여 낮은 요구사항을 가지고 있다. ROF 링크의 성능은 여러 파라메터가 있는데 그중에서 레이저의 선택에 따라서 다음과 같이 달라질 수 있다[6][7].

- ○ Vertical Cavity Surface Emitting Laser(VCSEL) : 주로 850nm 파장에서 동작되는 레이저 들이 일반적이며 다중모드 광섬유가 전송을 위하여 사용된다. 개당 가격이 20달러 수준으로 저렴하므로 저가격 광대역 데이터 및 RF 전송용으로 응용이 시도되고 있다.
- ○ Fabry-Perot(FP) 레이저: 1310nm 또는 1550nm 파장을 발생하는 레이저로서 다중모드를 생성한다. 가격은 VCSEL과 Distributed FeedBack (DFB)레이저의 중간인 50~100달러 수준이다.
- ○ DFB 레이저: 1310nm 또는 1550nm 파장을 발생하며 주로 단일모드를 발생한다. 가격은 200달러에서 규격에 따라 1,000달러가 넘는 것도 있다.

다른 요소들은 패키지 종류, 온도 조절, 광격리도 및 컨넥터 형태 등이다. 가장 좋은 RF 전송 특성을 갖는 것은 온도 조절 기능이 있는 DFB 레이저 인데 SFDR이 보통 120dB.Hz 이다. 그러나 이러한 레이저들은 매우 높은 비용을 수반한다. VCSEL의 경우 현재 실험실에서 약 100dB.Hz인 SFDR 성능을 보인다[7]. 보통 저가격 소자들은 SFDR이 90dB.Hz 이다. FP 레이저는 현재까지 ROF 링크에 주로 사용되어 왔다. 이 경우 반사도를 주의 깊게 고려하여야 한다. 단거리 링크에서 포토다이오드를 잘 선택하면 반사도는 -40dB 정도를 성취할 수 있다. 저가격으로 구성되고 온도조절 기능이 없으며 격리 기능이 없는 FP 레이저를 사용한 ROF 트랜시버를 2GHz 주파수에서 동작할 때 온도가 변화하더라도 SFDR을 규격 이하로 유지하는 특성을 보이므로 저가격의 FP 레이저는 ROF 링크에 적절히 사용될 수 있다.

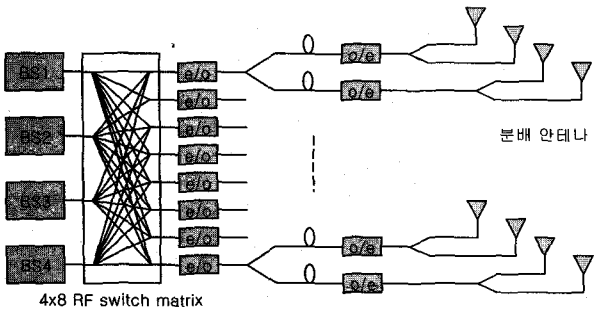

그림 2. 안테나 분배시스템
(4개의 기지국, 32개의 분배 안테나)
Fig. 2. Distributed antenna system.
(4 base stations and 32 distribute antennas)

빌딩내 중계구조의 경우 PIP 방식을 도입할 때 피코셀의 수가 매우 증가하게 되는데 다이나믹 셀 할당을 위하여 안테나 분배시스템이 요구되고 PIP 시스템의 구조도 다이나믹 셀 할당이 가능하도록 수정되어야 한다. 그림2는 안테나 분배시스템의 예를 보인 것이다. 4개의 기지국으로부터 온 입력을 가정한 것이다. 이 4개의 입력은 각각 다른 서비스 또는 망 사업자의 기지국 신호로 구현될 수 있다. 이 기지국 신호는 8개의 광 모듈로 분리 및 결합되어야 한다. 이 광 모듈은 각각 송신 및 수신을 위하여 광섬유와 연결되고 16개의 분배 안테나와 결합된다. 분배 안테나에서는 포토다이오드가 신호를 수신하고 증폭되어 안테나에 RF 신호를 입력하게 되고 단말기로부터 수신된 RF 신호는 RF 커플러를 통하여 ROF 송신 모듈에 입력되고 안테나 분배 중앙시스템으로 전송된다.

결과적으로 본 시스템은 32개의 안테나 분배 구조를 갖는다. 각 안테나는 4개의 기지국에서 전송된 RF 신호를 동시에 발생 가능한 구조가 된다. 각각의 기지국 신호가 다른 기지국으로 간섭 영향을 최소화하기 위하여 결합기와 분배기의 설계가 매우 중요하다. 또한 각 사업자 또는 서비스의 유연한 구축 또는 변경을 위하여 소프트웨어적으로 제어가 가능한 구조를 제안 한다. 이 경우 중앙국에서 다이나믹 셀 할당 기능을 수행할 수 있다. 이를 위하여 소프트웨어에 의하여 제어되는 RF 스위치 매트릭스 구조가 요구된다. 만약 스위치 매트릭스의 격리도가 40~50dB 이면 빌딩 내 환경에서는 스퓨리어스의 문제는 발생하지 않는다고 본다. 4x8 매트릭스의 경우 최소 삽입손실은 15dB를 갖는다. 이 손실은 증폭기에 의하여 보상될 수 있다.

피코셀 구축을 위하여 매우 많은 수의 기지국 시설이

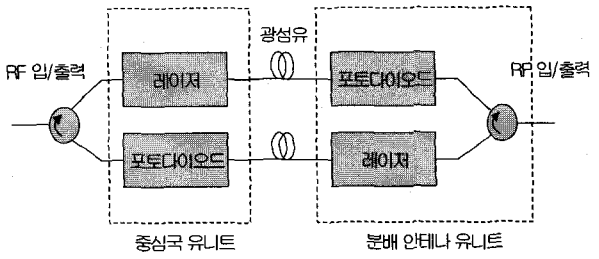

그림 3. 전형적인 ROF 시스템 구조.
Fig. 3. Typical ROF system configuration.

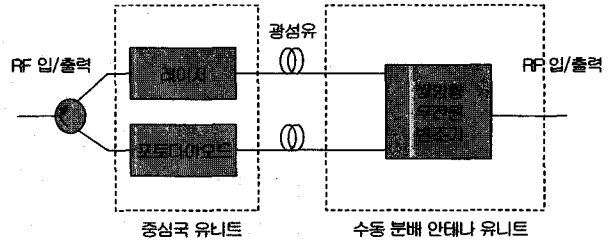

그림 4. 제안된 PIP 구도.
Fig. 4. Proposed PIP configuration.

요구되므로 셀당 구축비용을 감소해야 한다. ROF 기술은 요구되는 높은 RF 캐리어의 전송 및 광대역 특성을 저가격으로 제공할 수 있는 기술이다. 현재 사용되고 있는 전형적인 ROF 시스템의 구조는 그림3과 같다.

주로 트랜시버에 레이저와 포토다이오드가 쌍으로 있어서 송수신 기능을 담당한다. 광대역 전송을 위하여 레이저와 포토다이오드의 비용이 증가한다.

본 논문에서는 셀당 구축비용을 줄이고 광대역의 전송 대역폭을 제공하기 위하여 저가격 고속의 쌍방향 Electro-Absorption Modulator(EAM)를 사용하여 분배 안테나와 연결하는 구조의 PIP를 제안한다. 분배안테나는 이 EAM과 직접 결합됨으로써 전원이 없이 동작하는 간단한 구조가 되며 분배 안테나의 구축 비용이 제공하는 대역폭과 비교할 때 매우 저렴한 특성을 가지고 있다. 이 구조를 그림4에 보였다. EAM은 전원이 없이 광신호를 RF 신호로 그리고 안테나로 부터의 RF 신호를 광신호로 변조하는 양방향 전송능력을 갖는다. 이러한 PIP에 적용될 수동형 양방향의 변조기인 EAM은 종류에 따라서 10GHz 이상의 RF 캐리어의 전송이 가능한 광대역성을 가지고 있다[8][9].

Ⅲ. PIP 접속에 의한 Wibro TDD 가드시간 요구사항

OFDM은 심볼의 길이가 단일 캐리어 시스템 보다 상대적으로 길어짐으로 인하여 다중경로에 의한 영향을 적게 받는 장점을 가지고 있다. 그러나 다중 경로에 의한 성능 열하를 최소화하기 위해 심볼과 심볼 사이에 가드 시간을 두어 다중경로에 의한 Inter Symbol Interference(ISI)를 사전에 최소화 한다. OFDM의 심볼과 심볼 사이에 가드 시간을 결정하고 시스템의 적용을 고려하여 지연을 결정한다. ROF를 사용할 경우 이에 의한 시간 지연을 가드 시간에 고려하여 설계하여야 한다. 기지국 커버리지와 PIP 커버리지의 경계 지역에서

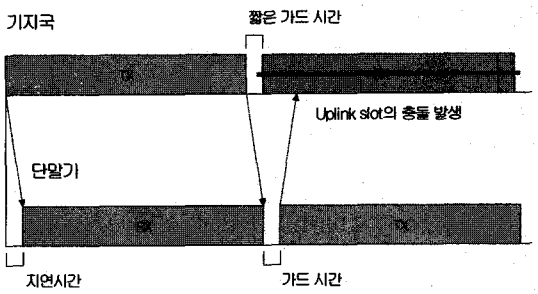

그림 5. TDD 가드 시간이 짧은 경우 프레임의 충돌.
Fig. 5. Frame failure in case of short guard time of TDD.

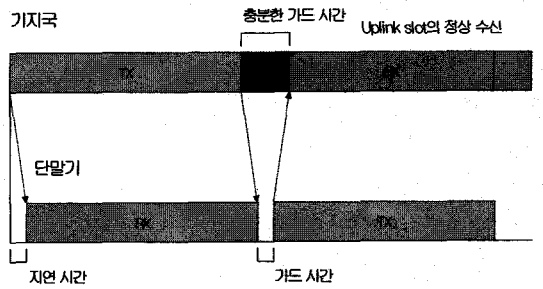

그림 6. TDD의 가드 시간이 충분한 경우상향 및 하향 프레임.
Fig. 6. Up and down link frame in case of enough guard time of TDD.

ROF 링크에 의한 추가적인 시간 지연에 의한 다중 경로 신호는 수신기 성능에 영향을 미친다.

휴대인터넷 시스템의 데이터는 버스트 특성을 가지므로 지연에 민감하지 않다. 그러나 ROF PIP를 사용할 경우 상향링크와 하향링크 TDD 프레인 간의 허용 가능한 가드 시간이 정의 되어야 한다. 그림5는 링크의 지연 시간 및 ROF 링크에 의한 지연 시간을 고려하지 않은 경우에 TDD의 짧은 가드 시간을 사용할 때 상향 링크와 하향 링크의 프레임이 충돌되는 경우를 보인 것이다. 이 경우 TDD의 TX 및 RX의 가드 시간을 충분히 고려하여 설계하여야 하며 이를 위하여 가드 시간에 대한 계산이 요구된다.

그림6은 충분한 TDD 가드 시간을 적용한 결과 단말기의 상향신호가 기지국에 정상적으로 수신되는 것을 보인 것이다. 그림7과 같이 기지국에서 ROF 링크를 거쳐 PIP 안테나의 커버리지 내에 있는 단말을 고려할 때 지연 시간을 계산하여야 한다.

RF 신호의 전파속도가 $3\times10^{8}\,m/\sec$ 일 때 광섬유에서 1km당 지연 시간은 약 1.67 μsec 이다. ROF 트랜시버의 소자에 의한 지연 시간은 약 5 μsec이다. 그림8

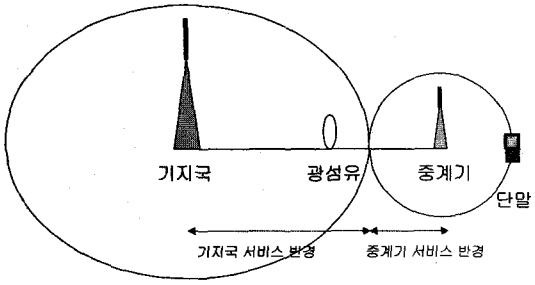

그림 7. ROF 링크 지연 시간 계산을 위한 구도.
Fig. 7. A configuration for delay time measurement of a ROF link.

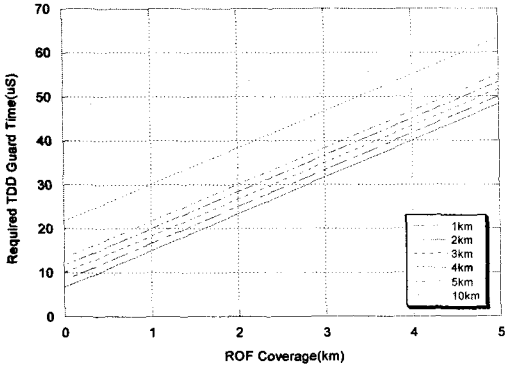

그림 8. 중계 거리에 따른 TDD 가드 시간.
Fig. 8. Required TDD guard time depending on link length.

에서 보는 바와 같이 상향 및 하향링크를 모두 고려하면 중계기에 의한 지연 시간을 보상할 수 있는 가드 시간은 (기지국 서비스 반경 + 중계기 서비스 반경) × 광섬유 1km당 지연 시간 + (2 × 중계기 서비스 반경)/ $3\times10^{8}\,m/\,\mathrm{sec}$ + 중계기 소자의 지연시간으로 계산될 수 있다. 그림8은 기지국 서비스 반경 및 중계기 서비스 반경에 대한 TDD 가드 시간을 계산한 결과를 보인 것이다. 기지국 서비스 반경이 1km이고 중계기의 서비스 반경이 1km일 경우 지연 시간을 고려한 TDD 가드 요구 시간은 약 15 μsec이다. 만약 기지국의 서비스 반경이 5km이고 중계기의 서비스 반경이 1km인 경우 요구되는 TDD 가드 시간은 그림8에서 보는 바와 같이 약 21.69 μsec이다.

Ⅳ. PIP 접속 구도 제안

본 절에서는 휴대 인터넷 RF 신호의 ROF 링크를 통한 기지국의 셀 커버리지를 확장하는 효율적인 방안을 제시한다. Digital over Fiber 구도는 Packet Access Router(PAR)과 기지국간의 1000Base-LX의 Gigabit Ethernet 으로 접속된다[1][2][3]. 이 경우 PAR과 AP 기지국간의 접속 거리에 대한 제약이 거의 없어 광범위한 기지국 셀 구축이 용이하다.

반면에, IF over Fiber 구도는 RF Subsystem (RFS)와 Basic Service Unit(BSU)의 접속을 광중계기에 의하여 수행하는 구도이다. 디지털 IF 신호의 접속 또는 아날로그 IF 신호의 접속이 가능하다. Baseband Processing Contol Unit (BPCU) 모뎀 유니트에서 A/D 유니트와의 접속을 디지털 광전송 장치를 이용하여 중계하는 방안이다. 모뎀부에서 디지털 신호를 디지털 광중계기로 분배 안테나까지 접속하는 구도이다. 이 경우 분배 안테나부의 구조가 복잡해지고 비용이 많이 드는 단점이 있다. 그러나 기지국과 분배 안테나의 거리에 제약이 거의 없다는 장점이 있다. 이러한 구도는 저밀도의 단말기가 존재하는 광범위한 기지국의 셀을 확장하기 위한 구도로 적용될 수 있다. 특히 분배 안테나 시스템에 High Power Amplifier(HPA)가 있어 셀 커버리지의 자유로운 확장이 가능하다. 이 구조는 아날로그 IF over Fiber 구도와 비슷하게 적용될 수 있다. 이 경우 BPCU와 Transmit & Receive Control Unit (TRCU) 간의 아날로그 IF 신호를 광중계에 의하여 접속하는 구도이다.

RF over Fiber 구도는 RF Front End Block (RFEB)와 안테나 간에 ROF를 이용하여 접속하는 구도와 TRCU와 HPA Block(HPAB) 간의 RF 신호를 ROF를 이용하여 접속하는 두 가지 구도가 제안된다. RFEB와 안테나 간의 접속 구도에서 물리적인 제약은 출력 RF 전력에 있다. HPA의 평균 출력 전력 44dBm(25W), 신호 이득 40dB는 ROF 중계기에서 수용할 수 있는 범위를 초과한다. 따라서 이 경우 HPA의 송신 RF 전력을 적은 출력으로 제어하여 분배 안테나에 의하여 빌딩내 피코셀이나 옥외 피코셀을 구축할 경우 적용될 수 있다. 이 경우 능동형 피코셀이 된다. Transmitter Card Block(TRCB)와 HPAB 간의 ROF 접속은 송신 전력 레벨이 4dBm 정도로서 ROF 중계기를 사용할 수 있다. 이 경우 분배 안테나 시스템에 HPAB 및 RFEB부가 포함되어야 한다. 이 경우 역시 능동형 피코셀 구도에 속한다.

○ 능동형 피코셀

능동형 피코셀은 분배 안테나 시스템에 RF 증폭기가 있어 셀의 커버리지를 제어할 뿐만 아니라 광범위한 서비스 반경을 제공하는데 용이하다. 실제 셀 구축에 있어서 적절한 커버리지를 확장하기 위하여 능동형과 수

동형 피코셀을 혼용하여 구축하여야 한다.

○ PIP 구도

AP 기지국과 혼신의 확률이 있거나 빌딩 내에서 좁은 서비스 반경을 제공하고자 할 때 PIP를 적용할 수 있다. PIP의 장점은 분배 안테나 시스템을 구축하는데 배용이 매우 적게 든다는 것이다. ROF를 이용하면 전송 RF 대역에 제한이 없다. 특히 사용자가 밀집되어 있는 장소나 사무실에서는 PIP를 구성하면 밀도 있는 셀을 구축할 수 있고 dynamic cell allocation이 가능하여 접속 용량을 효율적으로 증가할 수 있다.

○ RF switched Distributed Antenna Systems (DAS) 구도

DAS는 현재 70% 이상이 동축케이블에 의하여 구축되어 있다. 동축케이블의 높은 감쇄, 높은 구축 비용 및 고주파 캐리어 전송 특성이 매우 열악한 문제점을 가지고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 ROF DAS는 매년 증가되고 있는 추세이며 2009년에는 전체 DAS의 60% 이상을 차지할 것으로 예측하는 보고가 있다[4]. 집중기지국에서 각 빌딩에 있는 DAS 중심국에 광섬유를 통하여 링크가 연결되고 각 DAS 중심국은 ROF 링크를 통하여 안테나로 분배 된다. 집중기지국에서는 다중 서비스 다중캐리어를 Multiplex(MUX) 및 Demultiplex(DEMUX)하는 RF 스위치가 있다. 옥외에 ROF DAS를 통하여 피코셀을 구축한 구도도 사용될 수 있다. 중심기지국에서 RF 스위치를 통하여 각 DAS 분배 안테나에 다중 서비스 다중 캐리어를 전송하고 dynamic cell allocation이 자유로운 구조적 특징을 가지고 있다.

○ TDD/Wavelength Division Multiplex(WDM)구도

TDD 방식을 이용한 휴대 인터넷의 RFEB 시스템에서 RF 스위치를 통하여 나오는 RF 출력을 피코셀 환경에 적절한 신호 레벨로 감쇄한 후 WDM ROF로 접속하는 구도이다. 이 구도는 TX/RX의 RF 분리가 ROF 링크에서는 WDM방식으로 구현되는 접속 구도이다. TX와 RX 채널이 TDD 방식으로 분리된 것을 ROF 링크에서는 WDM으로 채널을 분리한 것이다.

○ Passive Optical Networks(PON) 접속 구도

WDM-PON의 경우 overlay구조를 이용하여 휴대인터넷을 위한 하나의 파장을 할당하여 가입자에 PIP를 구성하고 연동하는 구도를 적용할 수 있다.

V. PIP 접속을 위한 ROF 링크의 특성 검증

ROF를 이용한 휴대 인터넷 시스템의 AP-ROF 접속 특성을 고찰하기 위하여 ROF 링크의 특성을 측정하였다. 그림9는 ROF 링크의 특성 측정 및 전송실험 구도를 보인 사진이다. 본 실험에서는 FP을 기본으로 전형적인 ROF 링크와 EAM을 이용한 PIP 링크를 사용하였다. 그림10은 FP ROF의 RF 캐리어의 고조파 성분을 측정한 것이다.

그림10에서 보는 바와 같이 FP ROF 트랜시버의 경우 IMD3 성분의 비성형 특성을 링크 설계시 고려해야 함을 알 수 있다. 표1은 FP ROF의 IMD3를 측정한 결과를 보인 것이다. 입력 신호 레벨이 0dBm인 경우 측정된 IMD3는 약 50.3dB이다. FP ROF의 동작 범위인 -5dBm~+5dBm에서 IMD3의 결과를 표1에 보였다.

그림11은 측정된 SFDR 결과를 보인 것이다. ROF의 SFDR은 휴대인터넷용으로 사용하기 위하여 저가격의 소자로 구현이 가능하다. 이러한 저가격의 FP 레이

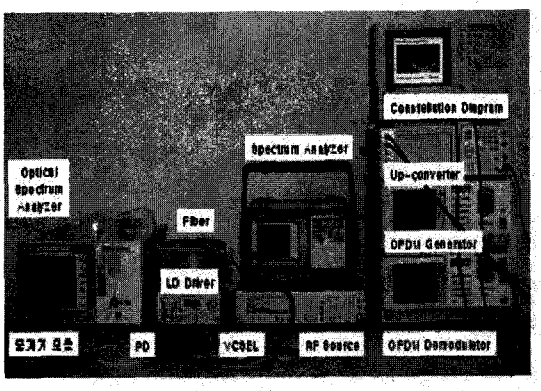

그림 9. ROF 링크 특성 측정 실험 구도.
Fig. 9. Arrangement for testing ROF link characteristics.

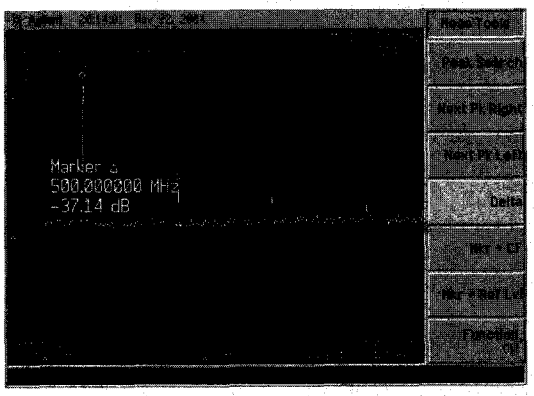

그림 10 측정된 FP ROF 링크의 RF 캐리어 및 고조파 성분.
Fig. 10. Measured carrier and harmonics of a FP ROF link.

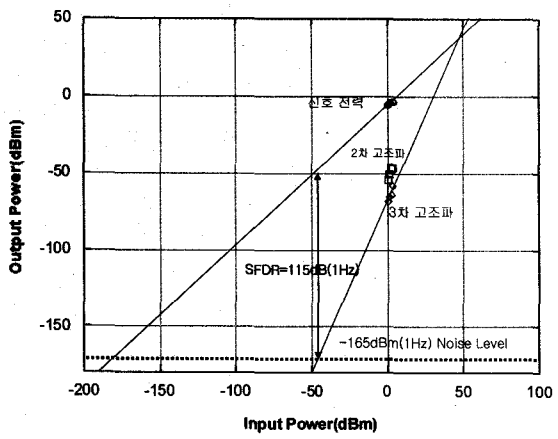

그림 11. FP ROF 링크의 SFDR 특성.
Fig. 11. Measured SFDR characteristics of a FP ROF link.

표 1. 측정된 FP ROF 링크의 IMD3 특성.
Table 1. Measured IMD3 characteristics of a FP ROF link.

입력 신호 레벨 (dBm)	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
IMD3 (dB)	55.7	54.9	54.8	54.1	52.2	50.3	49.7	48.0	47.8	45.3	37.1

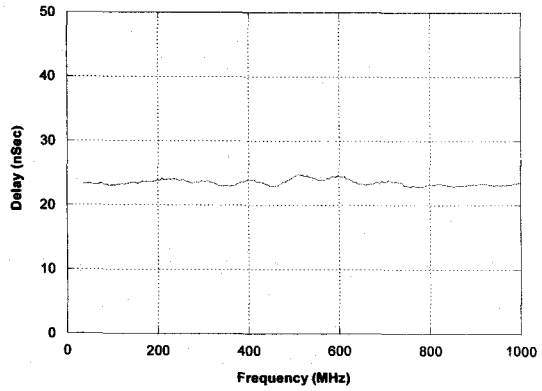

그림 12. FP ROF 트랜시버의 지연시간.
Fig. 12. Measured delay time of a FP ROF transceiver.

저를 사용한 ROF 링크의 측정된 SFDR은 약 115dB.Hz 이다. 이는 휴대인터넷용 전송을 위하여 요구사항을 만족한다.

그림12는 FP ROF 트랜시버의 지연 시간을 측정한 결과이다. ROF 트랜시버 소자에 관한 지연은 24.5nsec 로서 매우 작으며 ROF 중계 시스템을 고려할 때 광섬유의 지연시간이 가드 시간을 설정하는데 중요한 요소

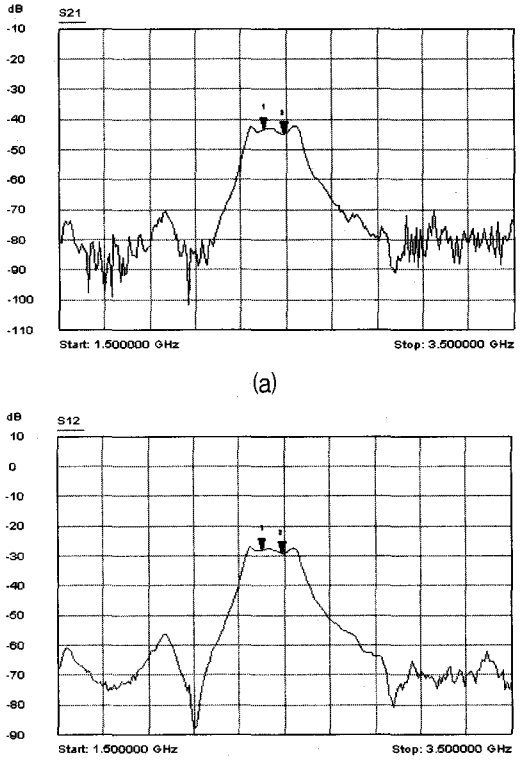

그림 13. EAM PIP 링크의 하향링크(a) 및 상향 링크 (b)의 이득.
Fig. 13. Measured gain of down link (a) and up link(b) for an EAM PIP system.

임을 알 수 있다.

ROF 중계기의 서비스 반경이 2km 이고 기지국의 셀 반경이 3km인 경우 요구되는 TTD 가드 시간은 약 30 μsec로 계산된다. 2.3~2.4GHz 대역의 캐리어 전송을 위하여 요구되는 주파수 응답 특성을 만족하도록 ROF 트랜시버가 설계되어야 한다.

EAM을 이용하여 구현된 PIP용 AP를 이용하여 링크의 성능 및 IP 기반 전송성능 실험을 수행하였다. 능동형 AP는 증폭기 및 Low Noise Amplifier(LNA)가 있으며 수동형 AP는 EAM과 수동필터 및 안테나로 구성된 간단한 구성을 갖는다. 실험에서는 링크의 특성을 검증하고 PIP 시스템의 Wibro 서비스를 위한 적합성을 고찰하였다.

PIP용 AP 안테나의 EIRP는 8dB 이상으로 하였으며 하향링크의 이득은 -44dB이었다. 하향링크의 IP1dB는 +21.7dB이고 하향링크의 잡음전력은 -166dBm/Hz 이하였다. 하향링크의 스퓨리어스는 -75dBm 이하였다. 상향링크의 이득은 -29dB이고 상향링크의 IP1dB는 +6.24dB를 보였다.

그림13은 하향링크 및 상향링크의 이득을 보인 것이

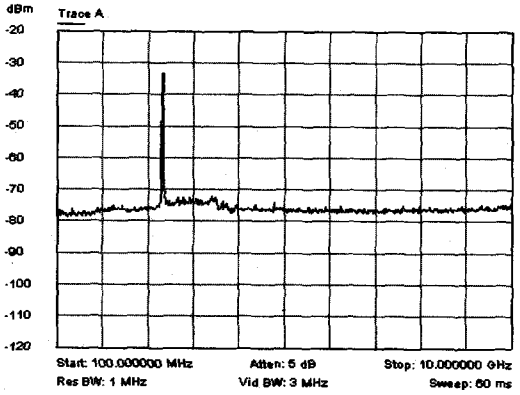

그림 14. 측정된 하향링크의 스퓨리어스 특성.

Fig. 14. Measured spurious characteristics of down link.

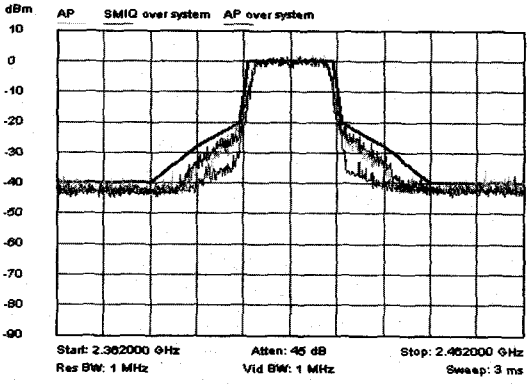

그림 15. 측정된 하향링크의 스펙트럼 마스크 패턴.

Fig. 15. Measured spectrum mask pattern of down link.

다. 휴대인터넷의 주파수인 2.3GHz~2.4GHz 대역을 동작대역으로 하며 하향링크의 이득이 -43dB임을 보인다. 상향링크의 이득은 -28dB임을 볼 수 있다. 그림14는 측정된 하향링크의 스퓨리어스 특성을 보인 것이다. 하향링크 안테나에서 측정된 결과 -75dBm 이하의 스퓨리어스 레벨을 보임을 알 수 있다. 그림15는 하향링크의 스펙트럼 마스크 특성을 보인 것이다. 하향링크 AP의 안테나에서 출력된 RF 신호를 측정한 결과로서 휴대인터넷에서 요구되는 스펙트럼 마스크 요구사항을 만족함을 확인하였다. Full Duplex 방식의 802.11g/b 데이터를 PIP용 AP에서 측정한 결과 5m 거리에서 약 4Mbps의 전송능력을 보였다.

표 2는 본 PIP 커버리지 시뮬레이션에 사용된 전형적인 파라메터들의 값을 보인 것이다. EAM의 파라메터는 PIP를 구성할 수 있는 변조기 중에 하나를 선택하여 그 측정값을 적용한 것이다[9].

광섬유의 삽입이득은 보통 -0.2dB/km를 고려하였다.

표 2. EAM PIP 링크의 모델링 파라메터 값[9]

Table 2. Modeling parameters of EAM PIP link[9].

파라메터	전형적인 값
중심국 레이저 전력	1-20mW
변조기 응답도	0.3A/W
변조기 삽입 이득	0.2
변조기 임피던스	50
변조기 효율	0.5/V
포토다이오드 응답도	1 A/W
포토다이오드 임피던스	50
단방향 광섬유 삽입손실	0.5
경로손실 기울기	43dB/decade
안테나 이득	6dBi
안테나 높이	5m, 1.5m
하향 변조도	0.5
페이드 마진	10dB
캐리어 주파수	2.3GHz
단말기 송신전력	+20dBm
수신기 민감도	-115dBm (144kbps) -110dBm (384kbps) -103dBm(2048kbps)

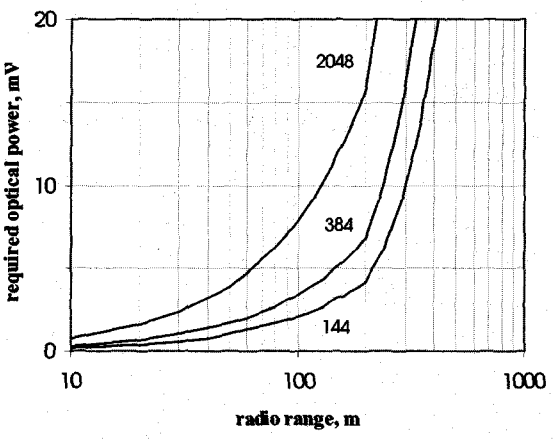

그림 16. 제안된 PIP의 하향링크 RF 커버리지

Fig. 16. Down link RF coverage results of the proposed PIP.

Fresnel 영역을 도시지역의 셀로서 가정할 때 경로손실 기울기는 약 44dB/decade가 된다[17]. 페이드 마진은 약 10dB로 설계 하였다. 안테나의 이득은 약 6dBi를 적용하였으며 하향링크 변조도는 0.5를 적용하였다. 하나 또는 두 개의 캐리어를 갖는다고 가정하였다[9].

그림16은 하향링크의 경우 시뮬레이션 된 RF 커버리지를 전송 데이터의 대역폭에 따라 중심국의 레이저의 전력에 대하여 보인 것이다. 만약 중심국의 레이저 광전력이 10mW인 경우 RF 커버리지는 144kbps 대역폭의 경우 약 300m를 보였다. 전송 대역폭이 2.048Mbps인 경우 약 130m의 RF 커버리지를 보인다.

VI. 결 론

본 논문에서는 시간당 60km의 중저속 이동환경에서 50Mbps 초고속 패킷서비스를 지원하는 2.3GHz 휴대인터넷 시스템의 AP-ROF PIP 접속 구도에 대하여 제안하였다. 특히, 저비용으로 휴대인터넷 시스템의 서비스 반경을 확장하기 위하여 AP와 PIP 간에 ROF 기술을 이용한 안테나 분배 방식에 대하여 제안하고 AP와의 물리계층 접속방식에 대하여 기술하였다. 특히, AP와 ROF 분배 안테나 시스템 간의 접속을 위하여 능동형 피코셀, 수동형 피코셀, RF switched DAS 구도, TDD/WDM 및 PON 접속 구도 등에 대하여 제안 하였다. ROF 링크의 AP 접속 적합성을 검증하기 위하여 ROF 링크의 비선형특성을 측정하였다. TDD 방식의 휴대인터넷 시스템의 경우 ROF를 사용할 경우 지연의 문제로 인한 가드 시간의 설계를 위하여 ROF 송신 및 수신기의 지연 시간을 측정한 결과 약 24.5nsec로서 매우 작은 결과를 얻었다. 따라서 AP와 PIP 분배 안테나 사이트 간의 ROF 링크의 거리가 지연 시간에서 중요한 파라메터가 됨을 확인할 수 있었다. 예측결과 만약 기지국의 서비스 반경이 5km이고 ROF 링크의 서비스 반경이 1km인 경우 요구되는 TDD 가드 시간은 약 21.69 μsec이다. 저가격의 FP 레이저를 사용하는 ROF의 경우 측정된 SFDR이 약 115dB.Hz 임을 보였다. PIP 구성을 위한 EAM 링크의 경우 주파수응답, 특성 비선형 특성 등이 휴대인터넷 서비스를 위하여 적합함을 알 수 있었다. PIP ROF 커버리지 모델링 결과 중심국의 광전력이 10mW이고 데이터 전송속도가 2.048 Mbps인 경우 PIP 피코셀의 경우 RF 커버리지가 약 130m됨을 예측하였다.

참 고 문 헌

[1] 2.3GHz 초고속 휴대 인터넷 시스템 연구개발, 초고속 휴대 인터넷 개발 협의체, 12, 2003.

[2] 2.3GHz 휴대 인터넷 서비스 및 네트워크 요구사항, TTA, 8, 2004.

[3] 2.3GHz 휴대인터넷 서비스 요구사항 및 네트워크 참조모델, TTA, 8, 2004.

[4] In-building wireless systems, ABI Research, 2003.

[5] H. Roussell et al, "Effect of optical feedback on high dynamic range FP laser optical link", IEEE Photon. Tech. Lett., vol.9, pp.106-108, 1998.

[6] D. Wake et al, "Radio over fiber for mobile communications", IEEE MWP2004, pp.157-160, 2004.

[7] C. Carlsson et al, "High performance microwave link using a multimode VCSEL and high bandwidth multimode fiber", IEEE MWP2002, pp.81-84, 2002.

[8] R. Killey, J. B. Song et al, "Multiple quantum well asymmetric FP modulators for microwave photonic applications", IEEE Trans. MTT, vol.49, pp.1888-1893, p.1888-1893, 2001.

[9] D. Wake, "Passive picocell: a new concept in wireless network infrastructure", Electron. Lett. vol.33, pp.404-406, 1997.

저 자 소 개

송 주 빈(정회원)
2001년 University of London, Dept. of Electronic & Electrical Eng., 공학박사.
1992년~1997년 한국전자통신연구원, 선임연구원.
2001년 UCL, Research Fellow.
2002년~2003년 국립한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부, 천임강사.
2003년~현재 경희대학교 전자정보학부, 교수.
<주관심분야 : 통신시스템, Broadband Convergence Communications>

김 영 일(정회원)
1985년 경희대학교 전자공학과 학사.
1988년 경희대학교 전자공학과 공학석사.
1996년 경희대학교 전자공학과 공학박사.
1989년~1988년 삼성전자
1988년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원, 휴대인터넷시스템연구팀(팀장)
1994년 정보통신기술사
1995년 전기통신기술사
<주관심분야 : 이동통신통신>