

공공 와이파이 기술 동향

Trends of Public Wi-Fi Technologies

정희상 [H.S. Chung, hschung@etri.re.kr]	미래이동통신연구본부 책임연구원
김준형 [J.H. Kim, jhkim41jf@etri.re.kr]	미래이동통신연구본부 선임연구원
노고산 [G.S. Noh, gsnoh@etri.re.kr]	미래이동통신연구본부 선임연구원
박주호 [J.H. Park, j.park@etri.re.kr]	미래이동통신연구본부 선임연구원
이정훈 [J.H. Lee, jh.lee@etri.re.kr]	미래이동통신연구본부 선임연구원
이준환 [J.H. Lee, junhwanlee@etri.re.kr]	미래이동통신연구본부 책임연구원
김일규 [I.G. Kim, igkim@etri.re.kr]	미래이동통신연구본부 책임연구원/기술총괄책임자

People usually check their social media, e-mail, and online news on their smartphones using their carrier network. During this process, much of the data traffic is offloaded to ubiquitous Wi-Fi networks. Such offloading will continue to increase rapidly because of flourishing public Wi-Fi networks located around the world. In this technical report, we first investigate domestic public Wi-Fi projects, and followed by foreign projects. In addition, we investigate the Wi-Fi technology evolution that has been standardized in IEEE 802. More and more people are tending to use Wi-Fi, not only at home or work, but also on public transport such as buses and trains. Hence, it is important to come up with ideas that can realize Wi-Fi onboard. The key technologies needed here are related to a mobile wireless backhaul between trains and trackside radio equipment, or between buses and roadside units. Thus, we also investigate the mobile wireless backhaul technologies and their trends.

* DOI: 10.22648/ETRI.2018.J.330507

* 이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임[No. 2018-0-00792, 통신비 부담 경감을 위한 대중교통수단에서의 공공와이파이 체감 품질 개선기술개발].

- I. 서론
- II. 국내 공공 와이파이 현황
- III. 해외 공공 와이파이 현황
- IV. 공공 와이파이 표준 기술 동향
- V. 공공 와이파이를 위한 이동무선백홀 기술 동향
- VI. 결론

1. 서론

공공 와이파이(Public Wi-Fi)는 국내뿐만 아니라 세계 곳곳에서 제공되는 통신 서비스이다. 계층, 지역, 세대 사이의 디지털 정보 격차의 해소, 경제 개발, 공공 안전을 포함한 여러 목적으로 서비스가 이루어진다. 공공 서비스인 만큼 주로 지방 자치단체가 서비스를 제공하되 재원 마련 및 운영 방식에 따라서 몇 가지 비즈니스 모델이 적용된다. 첫째, Public-Private Partnership (PPP) 모델은 공공 기관과 민간 회사가 사업 동반자가 되어 시스템을 설치한다. 공공 기관은 해당 기관 소속의 공공 자산을 서비스에 이용하도록 해주는 대신 민간 회사는 재원을 조달하여 시스템을 설치 및 운영한다. 대표적으로 주목받는 PPP로써 뉴욕시의 LinkNYC 프로젝트를 예로 들 수 있다[1]. 2014년도에 Google, Intersection, Qualcomm 등이 포함된 CityBridge 컨소시엄이 구성되어 기존 공중전화와 와이파이 핫스팟으로 대체하는 사업이 시작되었으며, 10년 동안 2억 달러의 비용이 들어갈 것으로 추산되나 뉴욕시는 비용을 부담하지 않는 구조다. 둘째, Revenue 모델로써 와이파이를 설치하는 대행사가 설치 및 운용 비용을 보전하기 위해서 수익 창출 형태를 사용하는 모델이다. 주문형이나 프리미엄급 서비스와 같이 요금을 청구하는 방법도 있고, 광고 파트너에 광고나 데이터 및 통계를 판매하고 일반에게는 무료로 서비스를 제공하는 방법도 있다. 하지만 최종 사용자가 프리미엄 서비스 요금 지불을 꺼리는 경우가 많아서 성공의 사례가 많지 않은 모델에 해당한다. 셋째, General Fund 모델은 자치 단체가 마련한 기금을 통해서 와이파이 설치 및 서비스를 제공하는 방식이다. 기금의 규모에 의해 서비스 규모가 정해지며, 이러한 모델은 대체로 관광 명소, 상업 지역 위주의 공공 와이파이 서비스를 제공한다. 2012년 미국 산 마테오 카운티에서는 세금을 통해 자금을 조달하여 2017년까지 30개 이상의 장소에 'SMC Public Wi-Fi'라는 명칭의 공공 와이파이

를 제공하고 있다.

초창기 공공 와이파이의 1990년 초반에 등장하였으나 성공적이지 않았다. 심지어 2005~2007년도만 하더라도 시민들의 입장에서 공공 와이파이를 어떻게 사용하는지 알기 어려웠고 사용할 이유도 마땅치 않았다. 여기에 더하여 기술적인 완성도도 낮았다. 1990년에 Metrocom이 샌프란시스코 일부 지역에서 제공하는 와이파이의 속도는 28.8kbps였다. 속도 외에 와이파이 기술을 제한하는 또 한 가지는 주파수였다. 와이파이는 비면허 주파수를 사용하는데, 비면허 주파수를 사용하는 기기는 출력의 제한이 더 엄격한 편이다. 이로 인해 커버리지도 수십 미터 내외로 한정적이어서 사용자에게 넓은 지역에서 편리하게 서비스를 제공하기 어려웠다.

그럼에도 기술 발전이 지속되었고, 2014년도 이르러서는 와이파이 5세대인 802.11ac 표준에 맞춰 Gbps급 속도를 제공할 정도가 되었다. 게다가 2007년 등장한 iPhone으로 인해서 와이파이 기능을 제공하는 이동 기기들이 넘쳐나게 되었다. 이 시기를 기점으로 와이파이는 전세계 보편적인 서비스로 자리잡아가고 있다. 최근 보고된 바에 의하면 2020년이 되면 전세계 인터넷 트래픽의 49%가 와이파이를 통해서 전달될 것으로 예측하고 있다[2].

이에 본고에서는 공공 와이파이 사용 현황과 기술 동향에 대해 살펴보고자 한다. 우선 제 II장과 III장에서 각각 국내와 국외의 공공 와이파이 사업 관련 현황을 조사하였다. 기술적인 측면에서는 둘로 나뉘어서 먼저 제 IV장에서 와이파이 표준 기술의 진화를 살펴본다. 이제는 도서관, 공항, 카페 등의 장소에 머물지 않고 열차, 버스, 비행기 등에서도 사용자들에게 와이파이 서비스를 제공하고 있는데, 이런 경우에는 인터넷망에서 와이파이 액세스 지점까지 광섬유로만 연결할 수 없으므로 이동무선백홀(MWB: Mobile Wireless Backhaul)이 필요하게 된다. 따라서 제 V장에서 이동수단 내에서의 공공 와이파이 서비스를 가능케하는 이동무선백홀의 기

술 동향을 논한다.

II. 국내 공공 와이파이 현황

국내의 공공 와이파이 사업은 주로 정부나 지자체에 의해 주도되었으며, 민간은 정부 주도의 사업에 참여하는 형식으로 진행되고 있다.

1. 공공 와이파이 1.0

국내에서는 2000년대 중반부터 중앙 부처 및 지자체를 중심으로 공영 무선랜 사업이 진행되었다. 방송통신위원회는 2010년 ‘광대역 무선망 발전계획안’을 통해 PPP 모델 기반의 매칭 펀드를 조성하고 공공 와이파이 인프라 구축을 꾀하였다.

이를 이어 미래창조과학부(현, 과학기술정보통신부)는 2014년 국민 누구나 이용 가능한 ‘공공 와이파이’를 현재 2,000개 수준에서 2017년까지 12,000개로 확대하겠다는 계획을 발표하였다. 이를 위해 이동통신사에서 구축한 와이파이 6,000개소를 개방하고 신규로 6,000개소의 와이파이 존을 구축하겠다는 계획을 수립하였다.

이 사업은 전통 시장, 복지 시설 등의 공공장소를 중심으로 진행되어 서민들의 통신비 완화는 물론, 디지털 정보 격차를 줄이고 스마트 서비스 생태계를 확대하는데 소기의 성과를 거둔 것으로 평가된다.

그러나 정부 용역 보고서에 따르면 도서관, 박물관, 관광지 등 공공 와이파이가 필요한 곳은 약 11만 9,000곳에 달하지만, 구축률은 10% 수준에 머무르고 있다. 특히 인구 10만 명당 공공 와이파이가 설치된 장소는 21.9곳으로 싱가포르 46곳, 홍콩 44곳에 비해 낮은 실정이다[3].

2. 공공 와이파이 2.0

현재 정부는 가계 통신비 절감을 위한 방안 가운데 하나로 ‘공공 와이파이 2.0’ 구축 사업을 추진하고 있다.

이 사업은 기존 소외 지역을 중심으로 이루어지던 공공 와이파이 구축 사업을 도심 밀집 지역이나, 도로, 지하철 등 공공 편의 시설 20만 곳에 공공 와이파이를 확대 설치하는 방안을 담고 있다. 특히, 버스 5만 대와 학교 15만 곳에 공공 와이파이를 순차적으로 설치하면 직장인과 학생 1천268만 명이 연간 4천800억~8천500억 원에 이르는 데이터 요금 경감 효과를 누릴 것으로 예측되고 있다. 그 밖에도 ‘공공 와이파이 2.0’에는 예산 증대와 수익형 모델, 성능과 보안성 유지, 유지 보수 체계 확립, 이동통신사들의 와이파이 개방 확대 등 다양한 과제들을 포함하고 있다[4].

가. 버스 공공와이파이

과학기술정보통신부는 2018년 4월, 전국 17개 지자체와 ‘공공 와이파이 확산 협약식’을 맺고 올 9월부터 서울, 부산, 광주 등 전국 16개 지역 시내버스 4,200대에서 공공 와이파이 서비스를 개시하기로 하였다.

버스 공공 와이파이 사업은 총 3단계로 이루어지며, 최종적으로 전국 시내버스 2만 4,000대에 공공 와이파이 접속 장치를 갖추는 사업으로 올 9월 1단계 사업이 시행되게 되는 것이다.

버스 공공 와이파이의 속도는 버스가 80km/h의 속도로 이동할 때 버스당 최소 20Mbps의 속도를 제공하여, 버스 내 승객 10~20여 명이 동시 접속할 때 개인 평균 2Mbps를 제공할 수 있도록 하였다. 이는 동영상 시청시 270p 및 480p에 해당하는 화질의 동영상 시청에 문제가 없는 수준이다[5].

전국에서 운행 중인 시내·외·좌석·고속버스 5만 대에 공공 와이파이를 설치하면 버스로 출퇴근하는 약 637만 명이 연간 3천439억~5천722억 원에 해당하는 요금 절감 혜택을 받을 수 있을 것으로 예측되고 있다[4].

3. 지방 자체 단체 공공 와이파이 사업

지방 자치 단체들 역시 공공 와이파이 구축을 위한 사

업을 추진하고 있다. 대략적인 지자체들의 공공 와이파이 추진 현황은 다음과 같다.

- 서울시: 이동통신 3사와 협력하여 시내 주요 거리, 광장 등 공공시설에 공공 와이파이를 설치. 2018년 1월 기준으로 모두 1만 786개의 공공 와이파이 접속 장치가 설치됨. 2022년까지 향후 5년간 정보 소외계층 이용 시설에 공공 와이파이를 중점 설치하기로 함[6].
- 인천시: 2020년까지 시내버스 1,900대에 버스 공공 와이파이 설치 사업을 추진[7].
- 충청남도: 문화체육관광부와 함께 서산마애삼존불, 부여 서동요테마파크 등 도내 주요 관광지 93곳에 공공 와이파이 구축 사업을 실시[8].
- 전라북도: 한국관광공사, SKT와 협약을 맺고 11개 시군 39개 주요 관광지에 공공 와이파이 구축 사업을 추진[9].

4. 한국 공항 공사

2017년 한국 공항 공사는 기존 김포공항 국제선 등 일부 공항에서만 제공하던 공공 와이파이 서비스를 전국 공항 대합실로 확대 제공하였다. 이를 통해 국내 이동통신 사용이 불가능했던 외국인 및 노트북 등 무선 단말기를 이용하는 공항 이용객의 편의가 크게 향상되며, 공항 이용객의 인터넷 접근성이 크게 향상될 것으로 기대하고 있다[10].

인천국제공항은 42억 원의 예산을 통해 무선 중계기 860여 대를 설치한다고 발표하였다. 인천국제공항은 이미 2010년부터 통신 3사의 지원을 받아 공공 와이파이 서비스를 제공하고 있었으나 최근 평균 접속자 수가 급증함에 따라 기설치된 240여 대 정도의 무선 중계기로는 속도 저하 및 접속 장애 등의 문제가 자주 발생하자 공항 자체 무선 중계기를 설치하여 이와 같은 문제를 해결하고자 하였다. 특히 사용자의 위치 기반 정보와 실시

간 트래픽 정보를 바탕으로 최적의 성능을 제공하는 시스템을 구축하여 무선랜 성능을 기존 대비 2배 이상 향상시켰다고 발표하였다[11].

5. 국세청

국세청은 전국 세무서 민원 봉사실에(140개소) 민원인이 마음껏 이용할 수 있는 ‘국세청 공공 와이파이’ 설치를 완료했다고 발표하였다[12]. 이를 통해 민원인이 대기 시간을 더욱 알차게 활용할 수 있어 만족도가 증대될 것으로 기대하고 있으며, 향후 신설되는 세무서에서도 공공 와이파이 설치를 의무화하였다.

6. 민간 기업

정부의 가계 통신비 절감 정책 기조에 호응하여 이동통신사의 와이파이 개방도 잇따르고 있다. LG유플러스는 이미 2012년 7만여 개의 자사 와이파이를 전면 개방하였고, 2017년 SK텔레콤이 약 8만 개, KT가 10만여 개의 와이파이를 개방하였다[13].

III. 해외 공공 와이파이 현황

해외 공공 와이파이에는 크게 정부 예산 포함과 미포함 사례로 구분할 수 있다. ‘정부 투자’와 ‘정부통신사 매칭 펀드’가 정부 예산 포함 사례에 속하며, ‘통신사 투자’나 ‘공공 와이파이 이용 사업자 부담’ 등은 정부 예산 미포함 사례에 속한다[14].

1. 정부 예산 포함 사례

가. 홍콩

홍콩 공공 와이파이 서비스 명인 ‘GovWiFi’는 정부 투자의 대표 사례이다. 홍콩은 정부정보화책임관실(OGCIO) 주도로 ‘2008 Digital 21 Strategy’하에 2008년 3월 공공 와이파이 사업을 시작하였으며, 2008~

2017년 투입 예산은 총 423억 원이고 이중 300억 원의 정부 부담 금액이 포함되었다. OGCIO는 홍콩 최대의 통신회사인 PCCW를 사업자로 선정하고 공공 와이파이를 구축해 운영과 서비스를 시작했으며 2016년 12월 기준 주요 공원과 정원, 방문자센터, 공공 도서관, 스포츠 경기장, 문화센터, 터미널, 정부기관 건물 등 610곳에서 서비스한다[14].

나. 마카오

마카오 역시 정부 주도로 우편 및 전자통신국에서 2010년 9월 공공 와이파이 서비스인 'FreeWiFi.MO'를 시작했다. 단말 당 하향링크 최대 3Mbps, 상향링크 최대 2Mbps의 속도를 지원하며, 2015년 2월 기준으로 정부기관, 공공시설, 그리고 관광지 위주로 164곳에서 서비스를 제공한다[14].

다. 싱가포르

‘정부-통신사 매칭 펀드’ 사례의 하나인 싱가포르 공공 와이파이 ‘Wireless@SG’은 싱가포르 정보통신발전관리국(IDA)에서 주관하며 3개의 통신 사업자(iCELL Network, QMAX Communications, SingTel)와 협력하여 2006년부터 서비스를 시작하였다. IDA와 통신 3사가 공공 와이파이 구축비 848억 원을 3 대 7 비율로 부담하였으며, 2013년부터 구축과 운영비를 통신사가 부담하고, IDA는 인프라 향상 보조금을 지원한다. 2013년 2개의 사업자(StarHub와 Y5Zone)가 추가된 반면, iCELL은 IDA의 요구사항을 만족하지 못하여 서비스 사업사에서 탈락하였다. 2016년 싱가포르 의회는 단말 당 하향링크 5Mbps, 상향링크 2Mbps를 목표로 하며 20,000개소 이상 지역의 서비스를 목표로 한다고 발표하였다[14].

라. 그 외

위에 언급된 사례 외에도 유럽연합(EU) 역시 최근

EU 통신정책 개혁의 일환인 ‘와이파이4EU’ 계획을 실행한다고 발표하였다. 2년간 1억 2000만 유로(약 1,350억 원)의 자금을 지원해 공원, 도서관, 병원, 지하철, 지역공동체 센터 등 공공시설에 공공 와이파이 구역을 설치한다는 계획으로 EU는 2017년 말부터 공공 와이파이 망 설치를 신청하는 EU 전역 공공시설 6,000~8,000곳에 장비와 설치 비용 일체를 지원한다[15]. 또한 멕시코와 스페인 등에서도 공공 와이파이 사업이 진행 중에 있다[16].

2. 정부 예산 미포함 사례

가. 미국 뉴욕

미국 뉴욕시는 ‘통신사 투자’ 형태로 공공 와이파이를 운영한다. 2014년 뉴욕시는 더 이상 쓸모없어진 공중전화 부스를 철거하면서 새로운 통신시스템으로 LinkNYC 계획을 선보였다. 노후 공중전화 부스를 다기능 키오스크로 바꾸고 태블릿을 설치하면서 인터넷, 전화, 충전 서비스 등을 제공한다. Qualcomm과 광고-제작 기업이 함께한 CityBridge 컨소시엄이 12년간 진행하는 공공 와이파이 LinkNYC 사업은 2,300억 원의 총 구축 예산을 정부 예산 없이 민간 투자를 통해 마련한다. 무료로 인터넷을 제공하는 대신 광고 효과를 노리며 12년간 5억 달러(약 5,580억 원)의 광고 수익이 발생할 것으로 예상된다. 해당 서비스가 시작된 이래 2017년 5월 기준으로 1년 반 동안 1,500만 달러(약 167억 원)의 통신비 절감 효과를 가져온 것으로 나타났다[14], [17].

나. 일본

일본 공공 와이파이의 ‘공공 와이파이 이용 사업자 부담’ 형태로 2013년 통신사업자 NTT 히가시니혼 주도로 공공 와이파이 서비스를 시작했다. 공공 와이파이 서비스는 NTT 히가시니혼이 운영하는 무선 AP(Access Point)인 ‘히카리 스테이션’을 이용하는데 쇼핑물, 음식

점, 관광지 등 민간사업자가 고객이나 관광객에게 공공 와이파이를 서비스하고 이용료를 통신사에 지불한다. 정부가 비용을 들이는 투자는 전혀 없다[14]. 국토교통성(MLIT)에서 주관하며 통신사업자 NTTBP가 제공하는 공공 와이파이 서비스명은 J-C-F Wi-Fi(Japan Connected-Free Wi-Fi)이며, 동경, 요코하마, 홋카이도 등의 86,000개소 이상에서 서비스하며 16개국의 언어를 지원한다. 또한 일본 총무성은 2020년 도쿄올림픽을 위해 방일 외국인들에게 무료로 무선 와이파이 제공을 위해 SAQ(Selectable, Accessible, Quality)2 JAPAN 프로젝트를 공표하였다.

다. 캄보디아

우리나라 기업인 KT는 2018년부터 캄보디아 현지 국영통신사인 텔레콤캄보디아(TC)와 손잡고 젊은이들과 외국인 관광객이 많이 몰리는 프놈펜 훈센공원과 로열펠리스공원에 공공 와이파이망을 구축했다. 말레이시아, 베트남 등 외국 통신사들이 제공하는 LTE 서비스보다 5~7배로 빠른 최대 600Mbps 속도로 서비스된다[18].

IV. 공공 와이파이 표준 기술 동향

와이파이 기술의 표준화는 IEEE 802.11 Working Group(WG) 산하에 진행되며, WG 내에서는 Standing Committee(SC), Task Group(TG), Study Group(SG), 그리고 Ad-hoc Committee(AHC)로 구성된다. 이 중, 실제 표준 개발을 담당하는 곳은 TG이며, 각 TG는 Air Interface, 주파수 대역, 주파수 라이선스, 이동성 지원 여부 등에 따라 다양한 와이파이 표준을 개발하였다. 누구나 접속 가능해야 하는 공공 와이파이의 특성상 최신 와이파이 규격뿐만 아니라 과거 와이파이 규격을 따르는 단말들을 모두 지원해 주어야 한다. 각 TG 별 기술 내용을 아래에 요약한다.

1. 802.11(Legacy)

최초의 와이파이 규격으로써 1997년에 확정되었다. ISM(Industrial Scientific Medical) 대역을 기반으로 하며, 누구나 사용할 수 있는 주파수 대역 특성상 DCF(Distributed Coordinated Function) 이라고 불리는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 기반의 주파수 공유 기술을 적용하였다[19]. 그럼으로써 다수의 사용자들에 대하여 중앙 제어 없이 와이파이 서비스를 가능하게 한다.

세 가지 물리 계층 규격을 정의하였는데 적외선 방식, FHSS(Frequency-Hopping Spread Spectrum), 그리고 DSSS(Direct-Sequence Spread Spectrum)이 그것이다. FHSS와 DSSS 방식은 2.4GHz의 ISM 대역을 지원하며 최대 2Mbps의 속도를 낼 수 있다[20].

2. 802.11a

802.11a 규격은 1999년에 확정되었으며 5GHz ISM 대역을 지원한다. 기존 802.11 Legacy 규격과 동일한 Data link 프로토콜과 프레임 포맷을 사용한다. 그러나 OFDM(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) 기반의 Air Interface를 적용하는 등의 물리 계층 상의 개선이 있었다.

OFDM 적용으로 인하여 규격상 최대 전송 속도 54Mbps 가 지원된다. 또한, 2.4GHz 대역에 비하여 단말 수가 적어서 간섭이 적은 장점이 있으나, 고대역 주파수 사용으로 인한 커버리지 감소가 있다.

3. 802.11b

802.11b 규격은 802.11a 규격과 동시에 표준화가 완료되었지만 상용화는 더 빨리 진행되어서 2000년도 초반에 최초의 상용 제품이 출시되었다. Legacy 규격과 같이 DSSS 방식을 사용하였으며 2.4GHz 대역에서 최대 11Mbps 전송 속도를 지원한다.

4. 802.11g

802.11g 규격은 2003년에 완성되었다. 2.4GHz 대역을 지원하며 OFDM 기술을 기반으로 하여 최대 54Mbps의 전송 속도를 지원한다. 802.11g 단말은 802.11b 단말과 Backward compatibility를 유지한다.

5. 802.11n

2009년에 완성되었으며 물리 계층에서 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 기술을 적용하고 MAC 계층에서 Frame aggregation을 적용하여 전송률을 증대시킨 것이 특징이다. MIMO 동작을 위해서는 AP(Access Point)와 단말에서 다중 안테나가 구성되어야 한다. MIMO 방식으로는 Spatial beamforming, Spatial multiplexing, Spatial diversity 등을 지원한다.

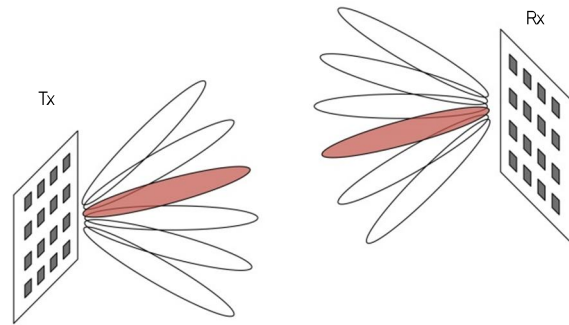
802.11n 기기는 2.4GHz 대역과 5GHz 대역을 모두 지원하며 최대 600Mbps 전송 속도를 낼 수 있다[21].

6. 802.11ac

802.11n을 기반으로 하며 2013년에 표준화가 완료되었다. 5GHz 대역에서 최대 160MHz까지의 광대역 채널을 사용할 수 있게 되었으며 256QAM을 지원하고, 최대 8개의 MIMO stream 및 최대 4명의 MU-MIMO(Multi-User MIMO)를 지원하여 주파수 효율을 대폭 향상시켰다. 그럼으로써 최대 3.466Gbps 전송 속도를 가능하게 한다[22].

7. 802.11ad

60GHz 부근의 밀리미터파 대역을 기반으로 하는 최초의 와이파이 표준이다. 기존 2.4GHz 및 5GHz와 매우 다른 밀리미터파 전파 환경에 대응하는 물리 계층 규격을 가지게 된다. 즉, 좁은 빔폭을 기반으로 운영하는 Beamforming을 적용한다. (그림 1)과 같이 순차적인 빔 스위핑(Sweeping)을 통해 송신빔과 수신빔의 일치시



(그림 1) 밀리미터파 빔포밍

키는 과정을 거쳐서 정밀한 빔포밍을 가능하게 한다.

802.11ad 규격은 최대 7Gbps 전송 속도를 가능하게 하며 전송 방식으로는 Single carrier와 OFDM 방식을 지원한다[23].

8. 802.11af

기존의 TV가 사용하는 주파수 대역 중 지역적 또는 시간적으로 사용하지 않는 대역인 TVWS(TV White Space)를 이용하여 와이파이 서비스를 지원한다. 즉, 다른 와이파이 표준들이 ISM 대역 같은 Unlicensed 대역을 사용하는 것과 달리 802.11af는 Licensed 대역을 인지 무선(Cognitive Radio) 기술을 이용하여 주파수를 재 사용하는 기법이다.

802.11af 표준은 2014년에 완성 되었으며, 특징으로는 대역의 License를 가지고 있는 기존의 TV 및 무선 마이크 등의 기기와의 간섭을 방지하기 위해 Geolocation 데이터베이스를 구축하여 비어있는 대역을 사용하는 것을 특징으로 한다. OFDM 전송을 기반으로 하며 8MHz 대역 채널에서 최대 568.9Mbps 전송 속도를 낼 수 있다[24].

9. 802.11ax HEW(High Efficiency WLAN)

802.11ax 표준은 802.11ac를 기반으로 하며 OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access)와 1024QAM을 적용하여 전송률 극대화를 목적으로 한다.

2.4GHz와 5GHz 대역을 모두 지원한다. OFDMA에 의해 시간-주파수 자원의 최적 할당이 가능하다. 2019년 완성을 목표로 표준화가 진행 중이다.

10. 802.11ay

802.11ay 표준은 802.11ad를 확장하여 전송 속도, 도달 거리, 사용 환경 개선을 목적으로 한다. 즉, Indoor 뿐만 아니라 Outdoor backhaul 등의 목적으로 사용할 수 있도록 한다. Channel bonding, MU-MIMO, 256QAM 등을 지원하여 최대 8.64 GHz 대역에서 최대 전송 속도 176Gbps를 지원하려고 한다. 이러한 고속 링크 전송 속도는 VR(Virtual Reality) 등의 새로운 무선 서비스를 가능하게 한다[25].

V. 공공 와이파이를 위한 이동무선백홀 기술 동향

1. 국내

가. WiBro(Wireless Broadband)

WiBro는 국제 표준인 IEEE 802.16e 규격을 준수하는 기술로 해외에서 Mobile WiMAX로 알려져 있고 IMT-Advanced 요구사항을 만족하도록 지속적으로 진화하여 왔다. 한국 통신사업자 KT와 SKT는 국내 주요 도시의 지하철에 WiBro 백홀 망을 구축하고 차량 내에 WiBro-to-WiFi 변환장치를 설치함으로써 와이파이 서비스를 제공하고 있으나 현재 국내 지하철에서 상용화된 WiBro 백홀망은 최대 20Mbps(평균 10Mbps 이하) 수준의 전송속도를 제공하는 것이 한계이기 때문에 수백 명 이상의 사용자들이 탑승하는 지하철 환경에서는 서비스 품질이 매우 저하되어 만족할만한 서비스를 제공하지 못하고 있는 실정이다[26].

나. LTE

고속철도 KTX의 경우, 서울 지하철과 달리 이동통신

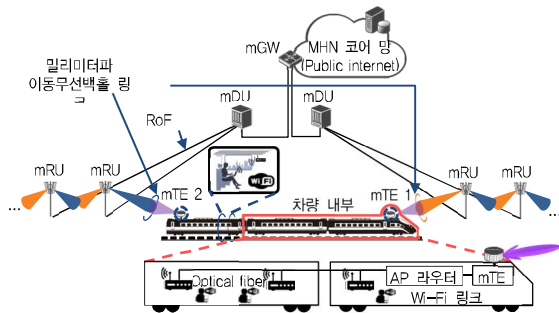
사업자가 국내 커버리지 90% 이상인 세계 최고 수준의 LTE망을 활용하여 객차 내 승객들에게 무료 와이파이 서비스를 제공하고 있다. 서비스 방식은 LTE망의 액세스 링크 대역폭 중 일부를 KTX 내 설치된 릴레이 장치가 접속한 후 내부 승객에는 와이파이로 서비스를 제공하는 형태이다. 하지만 LTE 이동통신망의 무선주파수 자원을 열차 내 일반 사용자와 릴레이 장치가 나누어 사용해야 하므로 사실상 높은 와이파이 서비스 품질을 제공하기는 불가능하여 지하철에서와 마찬가지로 매우 열악한 상황이다.

다. TVWS(TV White Space)

TVWS는 470~698MHz D-TV 대역에서 시간적 및 공간적으로 비어있는 채널을 활용한 비면허 대역 무선 전송방식이다. LTE Wi-Fi 백홀의 경우, 높은 데이터 비용으로 인해 적지 않은 운영비를 감수하여야 하는 반면[27], TVWS는 이와 달리 운영비가 저렴하고 전파의 특성이 1GHz 이상의 대역에 비해 전파 도달 거리가 길고 투과율이 좋기 때문에 이동형 와이파이 서비스뿐만 아니라 공공 안전을 포함한 다양한 영역에 활용 가능하다. 국내 업체 이노넷은 TVWS를 이동형 와이파이의 모바일 백홀로 활용해 시속 68km 주행에서 끊김 없는 동영상 전송 시연을 보여줌으로써 TVWS의 적용 가능성을 시사했다[27]. 하지만 TVWS Master 등 별도의 장비 설치가 필요하기 때문에 전국에 TVWS를 활용한 와이파이 서비스 제공을 위해서는 망 구축비용을 부담해야 하는 단점도 존재한다[28].

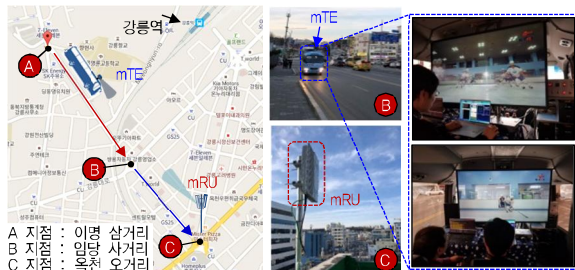
라. MHN(Mobile Hotspot Network)

ETRI에서 개발한 MHN 이동무선백홀 기술은 밀리미터파(10GHz 이상)의 광대역 주파수 스펙트럼을 활용하여 고속 이동환경에서 Gbps 급 데이터 서비스 제공을 가능하게 하는 기술로서, 속도 400km/h 이상에서도 차



(그림 2) MHN 이동무선백홀 시스템

[출처] J. Kim et al., "A Comprehensive Study on mmWave-based Mobile Hotspot Network System for High-Speed Train Communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Early Access.



(그림 3) MHN-E 이동무선백홀 시스템 평창 시연

량 내부 와이파이 서비스를 위한 Gbps 급의 이동무선백홀을 제공한다. MHN 시스템은 (그림 2)에서와 같이 기차선로를 따라 설치된 기지국 무선 유닛 mRU와 기차 앞뒤에 설치된 차량 단말 mTE 간의 이동무선백홀 링크와 차량 내부 와이파이를 이용한 액세스 링크로 이루어진다[29]. ETRI는 자체 개발한 MHN 이동무선백홀 전송 규격을 한국정보통신기술협회(TTA)에 TTA 국내 표준 초안으로 2015년 4월 29일에 제안하였고, TTA 표준화 그룹 WG9061과 PG906의 위원회 의견 수렴 및 검토 후 표준 문서 수정 및 보완 작업 등의 일련의 표준화 절차를 거쳐 2015년 12월 16일 제87차 표준총회에서 최종적으로 국내 표준으로 제정되었다[30]. 2017년 2월에는 상용수준으로 개발한 MHN 상용시제품으로 서울지하철 8호선 5개 역사 구간에서 달리는 지하철 열차를 위한 세계 최초 기가급 이동무선백홀 기술을 시연하였다.

뿐만 아니라, ETRI는 MHN 시스템의 진보된 기술인

〈표 1〉 MHN과 MHN-E 기술 비교

	MHN	MHN-E
중심 주파수	25.3216	25.6432
대역폭	500MHz	1,000MHz
송신 전력	20dBm	20dBm
EIRP	36dBm	36dBm
변조방식	OFDM(QPSK, 16QAM, 64QAM)	OFDM(QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM)
하향링크 전송률	1.25Gbps	5Gbps
상향링크 전송률	200Mbps	400Mbps
하향링크 전송방식	2×2 SFBC	2×2 SFBC/OLSM
상향링크 전송방식	1×2 MRC	1×2 MRC
안테나	Waveguide	Dual-polarized

[출처] J. Kim et al., "A Comprehensive Study on mmWave-based Mobile Hotspot Network System for High-Speed Train Communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Early Access.

MHN-E 시스템을 개발하였고[31], 2018년 2월 21일 (그림 3)에서와 같이 평창올림픽 강릉 홍보관 근처의 율곡로에서 5Gbps급 MHN-E 이동무선백홀 기술을 활용하여 버스 내 초다시점 미디어 전송 서비스를 시연하였다[32]. 〈표 1〉은 MHN 시스템과 MHN-E 시스템의 기술적 차이점을 요약한 것이고 MHN-E 시스템의 가장 큰 특징은 MHN 시스템 대비 확장된 대역폭과 2×2 공간 다중화 MIMO 기술인 OLSM의 도입이다[31].

2. 해외

가. FLUIDITY

Fluidmesh Networks사에서 개발하여 판매 중인 제품 FM4500 MOBI는 자체 기술인 FLUIDITY를 지원함으로써 차량과 열차에 빠르고 안정적인 무선백홀 링크를 제공한다. 본 제품은 차량 내 와이파이 서비스를 위한 무선백홀 뿐만 아니라, 철도 제어 통신(CBTC), Telemetry, 온라인 가상 블랙박스 등 다양한 용도로 활용될 수 있고 이미 수많은 철도 및 운송 관련 인증을 획득하여 미국 및 전 세계 여러 운송 시스템에서 널리 보

〈표 2〉 FM4500 MOBI 기술 개요

동작 주파수 대역폭	4.9, 5.1~5.8GHz 20/40/80MHz
다중안테나 기술	2×2 MIMO
이동 속도 지원	362km/h
변조방식	OFDM(BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM)
전송률	6~866.6Mbps
송신 출력 전력	최대 30dBm
수신 감도	-96dB@6.5Mbps
핸드오버 지원	Make-before-break seamless 핸드오버

급되고 있다[33]. 본 제품은 OFDM 전송 방식을 기반으로 최대 256QAM까지의 변조방식을 지원하고 Make-before-break seamless 핸드오버 방식을 적용하였으며 5GHz 비인가 주파수 대역(5.1~5.8GHz)에서 최대 80MHz까지의 대역폭을 활용함으로써 362km/h로 운행하는 열차당 최대 가용 전송률 500Mbps의 이동무선 백홀 링크를 제공할 수 있다. 〈표 2〉는 FM4500 MOBI 제품에 적용된 주요 기술에 대한 요약이다.

VI. 결론

공공 와이파이의 국내외 사업화 현황과 기술 동향에 대하여 살펴보았다. 국내의 공공 와이파이 사업은 주로 정부나 지자체에 의해 주도되었으며, 민간은 정부 주도의 사업에 참여하는 형식으로 진행되고 있다. 정부 주도의 공공 와이파이는 2000년대 중반에 시작하여 꾸준히 증가세를 유지하고 있으며, 공공장소 위주로 진행하던 것이 최근에는 버스와 같은 대중교통에서도 서비스를 추진하려는 계획이 발표되었다. 지방자치단체나 공기업에서도 이동통신사와 협력하는 방식으로 공공 와이파이 서비스에 가세하고 있어서 전방위적으로 확산되는 추세다. 이동통신사들도 각 사의 가입자에게만 제공했던 서비스의 제한을 없애는 추세다. 국외의 경우에 홍콩, 마카오, 싱가포르, EU 등은 정부 주도의 공공 와이파이

서비스가 이루어지고 있다. 반면에 미국의 경우는 민간 기업이 대부분의 투자를 하는 대신 광고 효과를 얻는 형태의 PPP 모델에 기반하여 공공 와이파이를 늘려가는 모양새다. 일본의 경우에는 2020년 하계 올림픽을 계기로 총무성 주도의 공공 와이파이 사업을 진행하고 있다. 또한, 2013년부터 통신사업자 NTT 히가시니혼 주도로 공공 와이파이 서비스가 이루어지고 있는데, 특히 쇼핑 몰, 음식점, 관광지 등에서 활발한 서비스가 이루어지고 있다. 공공 와이파이 사업은 전세계적으로 번창하고 있으며, 앞으로도 꾸준한 확대가 이루어질 것으로 판단된다.

공공 와이파이의 기술적인 측면은 크게 두 가지로 나누어 살펴보았다. 먼저 최종 사용자가 직접 접속하는 와이파이 AP를 위한 IEEE 802.11 계열의 표준화 기술에 대하여 조사하였다. 최초의 와이파이 표준은 ISM 대역을 기반으로 1997년에 확정된 802.11 표준이었다. CSMA/CA의 개념을 적용하여 다수의 사용자가 사용할 수 있는 방식이었다. 2년 뒤에 확정된 802.11a에서는 OFDM 전송 방식을 도입하였고 전송속도 또한 54Mbps 까지 제공할 수 있도록 하였다. 802.11b, 802.11g를 거쳐서 2009년에 완성된 802.11n에서는 MIMO 기술을 도입하게 되었고, 2.4GHz와 5GHz 주파수를 모두 지원할 경우 600Mbps까지 속도를 높였다. 2013년 표준화 완료된 802.11ac에 이르러 최대 3.466Gbps까지 지원할 수 있게 되었다. 802.11ad는 60GHz 대역 주파수를 사용하기 시작하였으며, 기존 주파수에 비해 매우 다른 특성을 나타내어 beamforming 기술이 도입되었다. 802.11ad의 확장이 진행되고 있으며, 전송 속도, 도달 거리, 사용 환경 개선 등을 통해 Indoor/outdoor backhaul로 사용할 수 있도록 802.11ay의 표준화가 진행 중이다. 802.11ac의 확장도 전송률 극대화 방향으로 추진 중에 있으며, 802.11ax에서 1,024QAM 지원 및 2.4, 5GHz 사용을 추진 중이다. 2019년 완성을 목표로 진행되고 있다.

공공 와이파이의 경우 대부분은 사람이 많이 모이는 장소 위주로 서비스가 되고 있으나, 지하철이나 버스처럼 많은 사람이 타고 이동하는 경우에도 서비스가 진행되고 있고 확장되는 추세다. 이때 필요한 기술이 backhaul 관련 기술이다. 지하철을 예로 들 경우 운행선로 주변에 설치된 지상 기지국 장치는 광섬유를 통해 인터넷망으로 연결이 되어있는데, 달리는 기차 내부의 승객들은 바로 기지국에 접속하는 방식이 아니고 차량에 설치된 Wi-Fi AP에 연결하게 되므로 차량의 AP와 지상의 기지국 구간의 MWB를 구성하는 기술이 필요하다. 이 부분은 IEEE 802.16e 기반의 기술과 LTE 기술이 적용될 수 있고 실제 다수의 국가에서 서비스가 이루어지고 있다. 다만 주파수 대역의 한계로 인해서 대중교통을 이용하는 많은 승객이 서비스를 받기에는 backhaul 용량이 부족하다. 이러한 기술이 셀룰러 이동통신에서 시작한 것인 반면 Fluidmesh는 5GHz 대역에서 OFDM 기술을 기반으로 500Mbps 용량을 제공하는 제품을 제공하고 있다. 한편, 국내에서는 25GHz 주파수의 1GHz 대역을 이용하여 5Gbps 용량을 제공하는 MWB를 개발하고 평창 동계올림픽에서 시연하였다. 이러한 기술이 상용화되면 가정, 직장뿐만 아니라 대중교통 수단으로 이동하는 동안에도 언제 어디서나 높은 품질의 공공 와이파이 서비스를 이용할 수 있을 것이다.

약어 정리

AP	Access Point
LTE	Long Term Evolution
MHN	Mobile Hotspot Network
MHN-E	MHN Enhanced
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
MRC	Maximum-Ratio Combining
mDU	MHN Digital Unit
mGW	MHN Gateway
mRU	MHN Radio Unit
OFDM	Orthogonal Freq. Division Multiplexing

OLSM	Open-Loop Spatial Multiplexing
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
SFBC	Space Frequency Block Coding
TVWS	TV White Space
WiBro	Wireless Broadband

참고문헌

- [1] D. Witkowski et al., "Public Wi-Fi Supercluster Blueprint," *Global City Teams Challenge*, Washington, DC, USA, Aug. 28-29, 2017, pp. 14-18.
- [2] White Paper, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021," Feb. 2017.
- [3] 안호천, "[공공 와이파이 2.0] 공공 와이파이 방향은," 전자신문, 2017. 05. 11.
- [4] 연합뉴스, "공공 와이파이, 버스에 5만대, 학교에 15만대 설치," 2017. 06. 22.
- [5] 안호천, "9월부터 전국 16개 지역 버스에서 공공와이파이 제공...2Mbps 이상 속도로 고화질 동영상 시청 가능," 전자신문, 2018. 04. 01.
- [6] 원낙연, "서울시, 복지 시설 2천 곳에 공공 WiFi 설치한다," 서울&, 2018. 05. 31.
- [7] 장현일, "인천 시내버스에 '와이파이' 2020년까지 1,900대 설치," 서울경제, 2018. 07. 29.
- [8] 유효상, "충남 관광지 93곳에 무료 와이파이 확대...문체부 공모 선정," 뉴시스, 2018. 07. 09.
- [9] 내외뉴스통신, "<전라북도청> 도내관광지 공공와이파이 무료 서비스 본격 추진" 2018. 08. 01.
- [10] 김태형, "한국공항공사, 전국 14개 공항을 와이파이 (Wi-Fi) 메카로!" 글로벌이코노믹, 2017. 06. 09.
- [11] 이경탁, "'느려서 답답' 인천공항 와이파이 속도 빨라진다," 디지털타임스, 2017. 05. 25.
- [12] 이상열, "국세청, 전국 세무서에 무료 와이파이 설치," 한국경제, 2017. 08. 29.
- [13] 안호천, "[이통사 와이파이 개방] 이통사 '와이파이 프리' 대한민국 앞장," 전자신문, 2017. 08. 08.
- [14] 안호천, "[공공와이파이 2.0] 해외 공공와이파이 사례," 전자신문, 2017. 5. 11.
- [15] 강경록, "전국 주요 관광지에 가변 와이파이가 '공짜'," 이데일리, 2017. 8. 29.
- [16] 권동준, "시스코 머라키 '공공 와이파이 속도 문제 개선,' 전자신문, 2016. 11. 7.

- [17] 아시아경제, “美 뉴욕시 무료 와이파이로 통신비 1500만달러 절감,” 2017. 5. 17.
- [18] 안하늘, “KT ‘통신 남방정책’...캄보디아에 첫 공공와이파이,” 동아일보, 2018. 5. 11.
- [19] G. Bianchi, “Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 18, no. 3, Mar. 2000, pp. 535-547.
- [20] IEEE 802.11 Working Group, “Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications,” IEEE 802.11-1997, Nov. 18, 1997.
- [21] IEEE, “Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput,” IEEE 802.11n-2009, Oct. 29, 2009.
- [22] P.C. Jain, “Recent Trends in Next Generation Terabit Ethernet and Gigabit Wireless Local Area Network,” in *Proc. Int. Conf. Signal Process. Commun.*, Noia, India, Dec. 26-28, 2016, pp. 106-110.
- [23] L. Verma, M. Fakharzadeh, and S. Choi, “WiFi on Steroids: 802.11AC and 802.11AD,” *IEEE Wireless Commun.*, vol. 20, no. 6, Dec. 2013, pp. 30-35.
- [24] W. Sun et al., “Wi-Fi Could Be Much More,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 11, Nov. 2014, pp. 22-29.
- [25] E. Cuervo, K. Chintalapudi, and M. Kotaru, “Creating the Perfect Illusion: What will it take to Create Life-Like Virtual Reality Headsets?” in *Proc. HotMobile*, Tempe, AZ, USA, Feb. 12-13, 2018, pp. 7-12.
- [26] 김태환, “SKT ‘지하철 요금제 무료 와이파이 소비자 ‘빨랐다,’” *컨슈머타임스*, 2014. 08. 26.
- [27] 안호천, “TVWS, 이동형 와이파이 모바일 백홀로 활용...운영비 90% 절감 기대,” *전자신문*, 2017. 08. 16.
- [28] 이인철, 나성욱, “이동형 공공와이파이를 위한 LTE-TVWS·MHN 백홀 기술 적용에 관한 연구,” 한국통신학회 2017년도 추계종합학술발표회, 2017. 11.
- [29] S.-W. Choi et al., “Mobile Hotspot Network System for High-Speed Railway Communications Using Millimeter Waves,” *ETRI J.*, vol. 38, no. 6, Dec. 2016, pp. 1052-1063.
- [30] 김일규 외, “모바일 핫스팟을 위한 밀리미터파 이동무선백홀 기술,” *전자통신동향분석*, 제31권 5호, 2016.10, pp. 31-40
- [31] J. Kim et al., “Mobile Hotspot Network Enhancement System for High-Speed Railway Communication,” in *Eur. Conf. Antennas Propag. (EuCAP)*, Paris, France, 2017, pp. 2885-2889.
- [32] D.-S. Cho et al., “Outdoor Demonstration of 5Gbps MHN Enhanced System,” in *Int. Conf. Ubiquitous Future Netw. (ICUFN)*, Prague, Czech Rep., 2018, pp. 1-5.
- [33] fluidmesh, “FM4500MOBI,” Available: <https://www.fluidmesh.com/products/fm4500-mobi/>