

# 2021 OECD-NIA 연구결과보고서

미래네트워크를 위한 다음 단계 컨버전스



2021년 12월

# 미래 네트워크를 위한 다음 단계 컨버전스

2021 OECD-NIA 보고서

작성자:

Alexia González Fanfalone: [Alexia.gonzalezfanfalone@oecd.org](mailto:Alexia.gonzalezfanfalone@oecd.org)

오성탁: [Seongtak.oh@oecd.org](mailto:Seongtak.oh@oecd.org)

Maximilian Reisch: [Maximilian.reisch@oecd.org](mailto:Maximilian.reisch@oecd.org)

Verena Weber: [Verena.weber@oecd.org](mailto:Verena.weber@oecd.org)

**NIA** 한국지능정보사회진흥원



# 목차

<b>미래 네트워크를 위한 다음 단계 컨버전스</b>	<b>3</b>
서론: 고품질 연결성의 중요성	3
OECD 회원국과 한국의 고용량 광대역망 현황	4
OECD 지역의 고용량 유선 네트워크	4
<b>OECD 회원국 내 동향으로 알아보는 미래의 네트워크</b>	<b>8</b>
네트워크의 가상화 및 개방성 지향	8
네트워크용 AI, 클라우드, 엣지 솔루션	11
<b>유·무선 네트워크 컨버전스</b>	<b>13</b>
광섬유와 5G 시너지	14
유·무선 컨버전스 동태에서 Wi-Fi 6의 역할	15
<b>OECD와 한국의 미래 네트워크 사례 연구</b>	<b>18</b>
OECD 회원국과 지역의 사례 연구	18
한국의 디지털 뉴딜과 5G+ 전략	24
<b>비욤드 eMBB(초광대역 이동통신): 5G 산업 사용 사례</b>	<b>26</b>
OECD 회원국의 B2B 적용 사례	26
최초의 5G 단독모드 상용화 및/또는 네트워크 슬라이싱 경험	30
<b>미래 네트워크를 위한 정책과 규제 방안</b>	<b>32</b>
고용량 유무선망 설치를 촉진하기 위한 정책과 규정	32
광대역 가용성 및 성능에 관한 자세한 데이터(granular data) 사용	36
<b>차세대 광대역 사용 사례 육성을 위한 파트너십</b>	<b>38</b>
통신사업자와 클라우드 서비스 제공자 간의 파트너십	38
새로운 비즈니스 모델 구현을 위한 업계 참여자와의 파트너십	40
<b>결론</b>	<b>41</b>
<b>참고문헌</b>	<b>42</b>
그림 1 2020년 12월 OECD 기술별 유선 광대역 가입자 수	4
그림 2 총 유선 광대역 중 광섬유 연결 비율(2020년 12월)	5
그림 3 한국 상용 5G 가입자 수(2019년 4월~2021년 10월)	6
그림 4 2020년말 한국 5G 및 LTE 서비스 NIA 품질평가	7
글상자 1 보잉고, 5G용 연결 솔루션 보완을 위해 미국 내 이동통신 사업자와 파트너십 체결	17



## 미래 네트워크를 위한 다음 단계 컨버전스

### 서론: 고품질 연결성의 중요성

경제 전 부분에 퍼져 있는 애플리케이션과 더불어 사물인터넷과 인공지능의 이면에서 연결성을 담당하는 고용량 광대역망은 증가하는 디지털 전환의 수요를 지원하기 위해 빠르게 진화하고 있다. 게다가 “원격” 경제로 점점 이동하면서 누구에게나 고품질 연결성을 보장하는 것이 필수가 되었다.

현재 광대역망과 AI, 클라우드, 엣지 솔루션의 컨버전스는 한층 유연하고 비용 효율적인 네트워크 배포 솔루션이 필요해지면서 이에 발맞춰 빠르게 발전하고 있다. 5G의 상용 배포가 OECD 회원국 전반에 걸쳐 계속 확대되면서 새로운 비즈니스 모델이 특히 B2B 영역에서 등장할 가능성이 높다. 예를 들어 건강, 에너지, 광업, 로봇 공학, 자동차 같은 다양한 분야의 애플리케이션은 독립형(SA) 5G 배포가 시작되면 더욱 널리 보급될 수 있다.

한국은 연결성 측면에서 유구한 OECD의 리더 국가이며, 독자적인 강점 즉 고품질 광대역망을 활용하여 디지털 전환의 기회와 도전을 모두 감싸 안을 수 있다. 한국은 수년에 걸쳐 여러 가지 ICT와 광대역 계획을 실행하면서 정책적으로 일치단결하여 노력한 결과 연결성 확장에 성공했다. 그런데도 한국은 연결성이 디지털 전환(또는 4차 산업 혁명)의 근본적인 기동이며 누구나 고품질 광대역 서비스에 접근할 수 있게 하려면 끊임없이 노력하는 수밖에 없다는 것을 인식하고 안주하지 않았다. 따라서 한국은 지속적으로 고품질 통신 기반시설을 활용하고 다음 단계의 컨버전스(융복합)를 준비해야 한다.

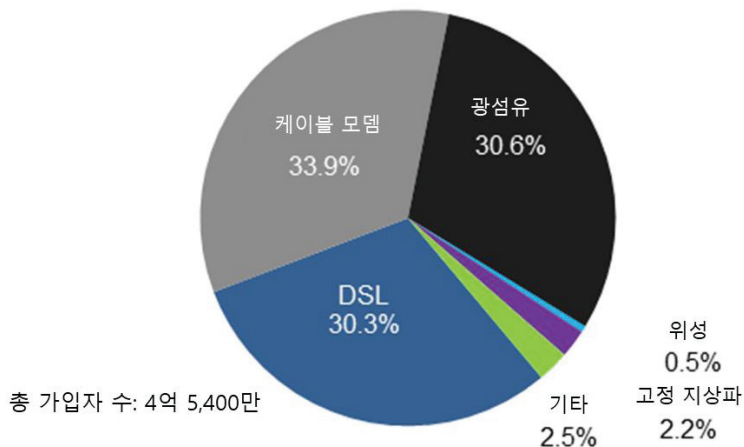
본 보고서는 초고용량 유선 광대역망을 포함하여 OECD 회원국 내 광대역망의 다음 단계 컨버전스와 5G 특화망과 같은 모바일 네트워크의 차세대 진화 현황을 조사한다. 이 보고서는 미래 네트워크가 형성되는 지평선에서 기술 동향을 제시한다. 예를 들어 네트워크 가상화와 개방성을 향한 움직임, 네트워크 내 AI 시스템 사용, 클라우드와 엣지 솔루션(예: 다원 접속 엣지 컴퓨팅)을 두고 통신 사업자와 클라우드 공급자 사이에서 떠오르고 있는 새로운 동업관계를 탐색한다. SA-5G 배포에 대한 B2B 사례와 경험 및 처음으로 경험하는 네트워크 슬라이싱도 다룬다. 마지막으로 차세대 광대역 서비스를 위한 파트너십 같은 미래 네트워크 육성 정책 및 규제 조치에 관해 설명한다.

## OECD 회원국과 한국의 고용량 광대역망 현황

### OECD 지역의 고용량 유선 네트워크

광섬유는 지난 10년(2010년~2020년) 동안 OECD 회원국에서 가장 빠르게 성장한 유선 광대역 기술이었다. 이때 광섬유는 9.5%의 일정한 연간 성장률(즉, 연평균 성장률, CAGR)을 보였지만, DSL은 동기간 연간 -6%로 계속 감소했다(OECD, 2021[1]). OECD 회원국 내 유선 광대역 가입자 수에서 광섬유의 점유율은 10년 전 12%에서 2020년 말 30.6%로 증가하여 비디오 스트리밍 서비스와 홈 커넥트 기기 등 고대역폭 온라인 활동이 가능하게 되었다. 2020년 12월 OECD 지역에서 DSL은 총 유선 광대역 가입자 수의 30.3%를 차지한 반면 고정 무선 접속(FWA)은 2.2%, 위성 초고속 인터넷은 0.5%였다(그림 1).

그림 1 2020년 12월 OECD 기술별 유선 광대역 가입자 수



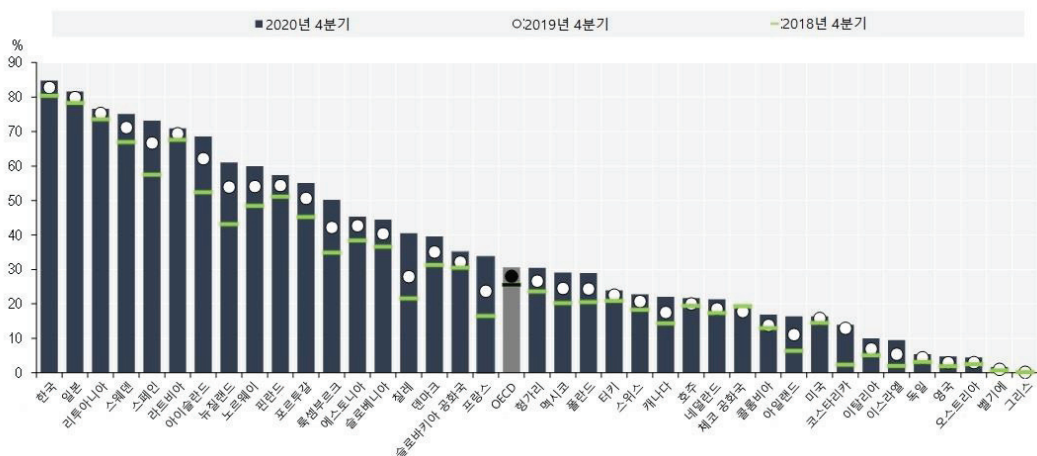
참고: 광섬유 가입자 수 데이터에 FTTH, FTTP, FTTB는 포함하고 FTTC, FTTN은 제외한다. 고정 지상

출처: OECD(2021), OECD 광대역 포털, <https://www.oecd.org/sti/broadband/broadband-statistics/>(데이터베이스)

광섬유가 광대역 연결의 주류를 차지하는 OECD 회원국이 늘어나고 있다(그림 2). 2020년 12월 기준 고속 광섬유가 유선 광대역 연결의 50% 이상을 차지하는 OECD 회원국은 12개이다. 이 중 6개국(한국, 일본, 리투아니아, 스웨덴, 스페인, 라트비아)은 총 유선 광대역 가입자 수의 70% 이상이 광섬유를 사용하고 있다. 2020년 12월 기준 한국은 전체 유선 광대역 연결 중 광섬유 비율이 OECD 회원국 중 1위(84.8%, OECD 평균 30.6%)이다.



그림 2 총 유선 광대역 중 광섬유 연결 비율(2020년 12월)



참고: 정의: 광섬유 가입자 수 데이터에 FTTH, FTTP, FTTB는 포함하고 FTTC, FTTN은 제외한다.

Source: OECD (2021[1]), "OECD 광대역 포털", <https://www.oecd.org/sti/broadband/broadband-statistics/>, (2021년 12월 1일 접속).

네트워크에 배치된 광섬유가 늘어나면 전반적인 접속 기술에서 속도가 상당히 증가한다. 디지털 전환으로 인한 데이터 트래픽 증가에 대처하기 위해 강력한 광섬유 백홀(backhaul) 기반시설에 의존하는 5G 네트워크의 핵심이기도 하다. 나아가 코로나19 유행으로 네트워크 심부에 광섬유 배치를 늘리고 xDSL 기술을 단계적으로 제거해야 대칭 속도가 빨라지는 것을 알게 되었다(OECD, 2020[2]).

전 OECD 회원국의 네트워크에서 광섬유가 차지하는 비중이 커지면서 기가비트 인터넷을 상용 제공(즉 1Gbps 광고 속도 이상)하는 통신범위를 확장하는 회원국과 통신회사가 늘어나고 10Gbps 광대역의 상용화가 프랑스, 한국, 일본, 스웨덴, 스위스에서 최초로 시작되었다(OECD, 2020[2]). 한국에서는 통신 범위가 넓은 1Gbps가 이미 다양하게 상용화되어 있다. 2017년 4분기 1Gbps 인터넷 통신 범위는 도시 가구의 98.51%, 농촌 가구의 97.42%를 차지했다. 뿐만 아니라 한국 통신업체는 2018년 10Gbps의 상용화를 시작했다.

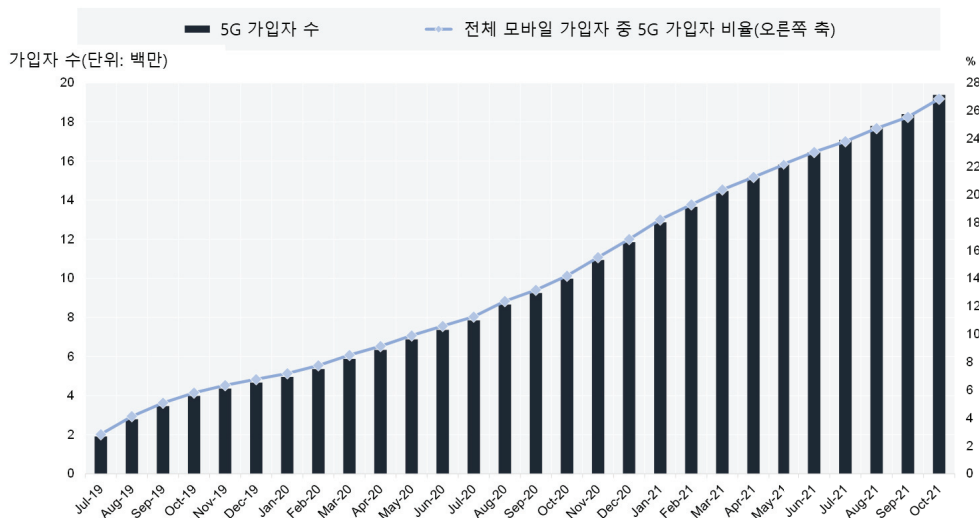
#### OECD 회원국 내 5G 상용 배포

제5세대 이동 통신망인 5G는 초고신뢰·저지연 통신(URLLC)뿐만 아니라 초광대역 이동통신(eMBB), 대규모 사물 통신(mMTC)을 지원하도록 설계된 네트워크이다. 향상된 처리 능력과 결합하여 빨라진 데이터 전송 속도, 낮은 대기 시간을 제공할 수 있는 잠재력이 있다. 5G로 추후 다양한 품질 기능의 서비스와 개체가 동일 네트워크(예: 네트워크 슬라이싱)에 제공될 수 있다(OECD, 2019[3]).

OECD 회원국은 5G 상용 배치에서 상당한 진전을 이루었다. 2021년 12월이 되자 5G 상용 서비스는 OECD 38개 회원국 중 33개국에서 FWA(고정무선접속)와 모바일 배포 모두 사용할 수 있었다. 통신사 대부분이 네트워크를 확장하는 추세에 따라 OECD 회원국 내 5G의 통신 범위는 지속적으로 넓어지고 있다. 상용 5G 서비스의 대부분은 현재 eMBB에서 5G NSA(비 독립형 5세대 이동통신)를 기반으로 기존에 배포되어 있는 4G 핵심 망에 의존한 채 5G NR(New Radio)에서 5G NSA 표준을 사용한다.

2019년 4월 한국은 OECD 회원국 중 최초로 상용 5G망을 출시하고 가장 넓은 통신 범위를 달성했다. 2021년 10월 말, MSIT의 보고에 따르면 전체 모바일 가입자 수의 26.9%에 해당하는 1,938만 명이 5G에 가입했다(그림 3). 5G가 일으키는 변혁은 5G 이동통신 단독모드(SA)로 시작될 가능성이 높다. 5G SA는 경제 전반에 생산성 효과를 가져올 수 있는 네트워크 슬라이싱 구현에 유리하다 (OECD, 2020[2]). 2021년 7월 15일, KT는 한국 최초의 상용 5G SA 네트워크 출시를 선언했다(Mobile World Live, 2021[4]). 나머지 두 통신사는 가까운 시일 내에 5G SA 네트워크를 구축할 계획이다.

그림 3 한국 상용 5G 가입자 수(2019년 4월~2021년 10월)



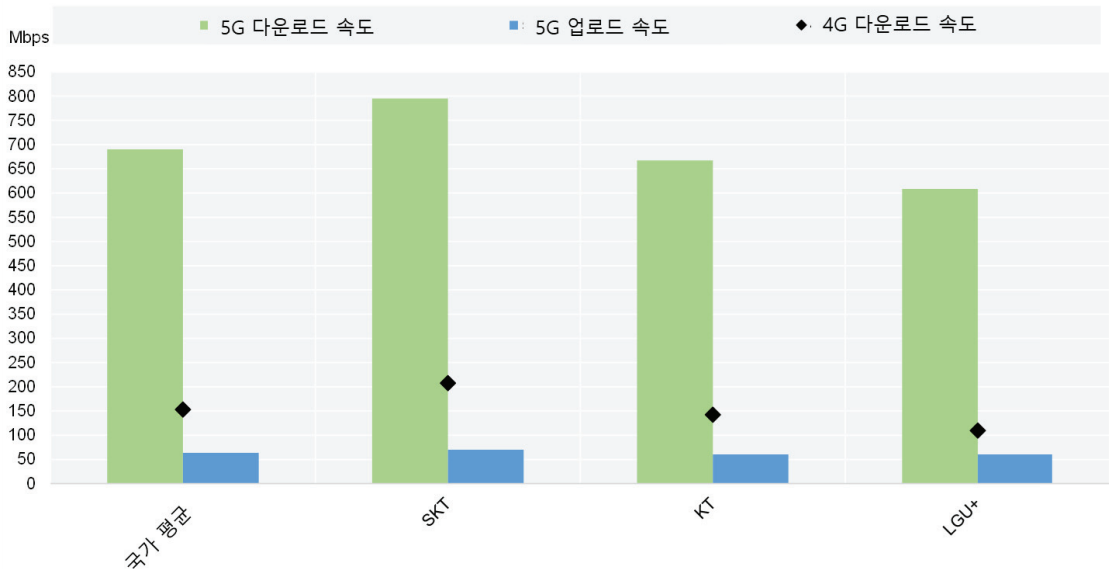
참고: 한국에서 5G 상용 서비스는 2019년 4월 출시됐다.

출처: 과학기술정보통신부, 2021년 11월.

광대역망 성능의 품질 측정은 OECD 통신 규제 기관의 주요한 정책적 고려 사항이다. 한국 정부는 한국지능정보사회진흥원(NIA)이 현장에서 측정한 값으로 광대역 공급업체의 품질을 점검하고 결과물을 다듬어 공개한다. 진흥원의 최근 발표에 따르면 2020년 말 국내 5G 가입자가 경험한 평균 다운로드 속도는 690.47 Mbps, 전국 업로드 사용자 경험 평균 속도는 63.42Mbps였다. 다른 OECD 회원국의 모바일 환경에서 볼 수 있는 추세, 즉 모바일 광대역

연결에서 다운로드와 업로드 속도의 비대칭과 유사하다. 2020년 말 한국내 4G 가입자가 경험한 전국 평균 다운로드 속도는 153.1Mbps였다. 즉, 2020년 한국에서 5G 사용자가 경험한 속도는 4G와 비교하여 4.5배 빨랐다(그림 4).

그림 4 2020년말 한국 5G및 LTE 서비스 NIA 품질평가



출처: 한국지능정보사회진흥원(NIA), "2020년 통신서비스 품질 평가 보고서", 2021년 7월

통신업체가 5G를 고정 무선 접속(FWA) 솔루션 기반 유선 광대역의 대안으로 제공하는 OECD 회원국도 있다(예: 호주, 콜롬비아, 이탈리아, 스위스, 미국).<sup>1</sup> 예를 들어 호주 옵투스(Optus)는 호주 내 일부 지역을 선정해 고정 무선 5G 서비스를 제공하며, 스위스 선라이즈(Sunrise)는 느린 고정 광대역 회선을 교체할 수 있는 Home 5G를 제공한다. 미국에서도 버라이즌(Verizon)이 2021년 12월 기준 62개 도시에서 "5G Home"을 제공하면서 비슷한 흐름을 찾아볼 수 있다(Verizon, 2021[5]). 이탈리아 파스트웹(FastWeb)은 5G FWA 상용 서비스를 50개 도시에서 시작했고, 2021년에 500개 도시로 서비스 범위를 확장할 계획이다(FierceWireless, 2020[6]). GSMA에 따르면 2020 말 이동 통신 부문의 약 절반이 4G FWA 서비스를 출시했으며, 2021년 1월 기준 전 세계에 출시된 135건의 상용 5G 중 약 40%가 FWA 서비스를 포함한다(GSMA Intelligence, 2021[7]). 그런데도 특히 이런 성격의 5G 배포에서는 최종 사용자의 영역으로 한 층 더 확장하기 위해 점점 고용량 광섬유 백홀 연결이 필요할 것이다(OECD, 2020[2]).

현재로서는 5G 기반 무선 솔루션 포함 FWA 솔루션이 어느 정도 가능해야 FTTH 같은 유선 광대역 기술의 실행 가능한 대안을 제공할 수 있는 지에 대한 답을 구하고 있다. 대다수의 OECD 회원국이 현재 유무선 통신 서비스를 대체재가 아니라 보완책으로 생각하고 있지만, 4G 대비 5G의 잠재적 이점으로 5G FWA 네트워크가 머지않아 무선 광대역 서비스와 경쟁할 수

있다고 여기는 산업 전문가가 많다(OECD, 2019[3]). 전문가가 보기에 FWA는 경우에 따라서 농촌 지역의 연결성 격차 해소에 유리할 수 있다. 하지만 5G FWA가 단시일 내에 유선 광대역 서비스와 경쟁할 수 있을지에 대해 회의적인 전문가도 있다. 즉, 5G를 배포하려면 광섬유가 네트워크 심부에까지 도입되어야 하고, 농촌 지역의 경우 아직까지 타워와 셀 기지국이 부족하여 한층 높은 스펙트럼 대역을 사용할 만큼 네트워크가 밀집되어 있지 않다. 따라서 OECD 회원국 내 일부 도시 지역에 5G FWA가 제공되고 있는 것은 사실이지만, 그 자체를 유선 광대역 기술의 대안(또는 대체)로 고려하는 것은 시기상조이다.

## OECD 회원국 내 동향으로 알아보는 미래의 네트워크

### 네트워크의 가상화 및 개방성 지향

#### *네트워크 가상화*

넓은 의미에서 네트워크 가상화는 한때 하드웨어에 의존했던 네트워크를 소프트웨어 기반 네트워크로 바꾸는 것이다. 네트워크 가상화는 다수의 물리적 네트워크를 하나의 가상 소프트웨어 기반 네트워크로 결합하거나 하나의 물리적 네트워크를 별도로 분리된 독립 가상 네트워크로 나누는 것이다(VMware, 2021[8]).

통신 서비스 제공업체는 대부분 일종의 네트워크 기능 가상화(NFV)를 이용한다(RedHat, 2021[9]). NFV는 NAT(네트워크 주소 변환), 방화벽, 침입 탐지, DNS(도메인 이름 서비스), 캐싱 같은 네트워크 기능을 분리하여 소프트웨어에서 실행할 수 있게 한다(OECD, 2019[3]).<sup>2</sup> 네트워크 기능을 가상화하면 공통 풀(pool)을 사용할 수 있으므로 리소스를 한층 효율적으로 사용할 수 있고 수요가 변하면 조정할 수도 있다(ETSI, 2014[10]). 따라서 네트워크 가상화를 도입하면 유연성이 더해지고 특히 RAN(무선접속망)에서 다양한 사용 사례를 수용할 능력이 향상된다는 점에서 운영자에게 유리하다. 다양한 네트워크 기능 영역에서 혁신을 촉진할 수 있다.

NFV를 보완하는 소프트웨어 정의 네트워크(SDN)는 네트워크 내 제어 평면을 사용자 평면("포워딩" 또는 데이터 평면)과 분리한다(SDxCentral, 2016[11]).<sup>3</sup> 즉, SDN은 스위칭과 같은 네트워크 기능을 하드웨어에서 소프트웨어 계층으로 전달한다. 예를 들어, 전송 네트워크를 위한 소프트웨어 정의 네트워크를 사용하면 VPN(가상 사설 통신망)을 구성할 수 있다. SDN은 SDN 제어기라고 하는 하나의 제어 패널이 전체 네트워크 정책을 관리하고 정의할 수 있기 때문에 자동화를 도입했다. 제어를 중앙 집중화하면 네트워크 전체의 소프트웨어 업데이트와 정책 변경을 자동화하여 운영 비용을 절감할 수 있다. 종합해보면, NFV는 네트워크의 다양한 구성요소를 가상화하고 SDN은 네트워크 제어를 중앙 집중화한다.

또한 NFV와 SDN은 클라우드 아키텍처를 보완하며 점점 더 복잡하게 엮이고 있다. SDN은 클라우드 기반 인프라를 관리하고 전체 네트워크에 유용한 가시성과 자동화를 제공하며, 심지어 하이브리드 클라우드 환경과 그로 인해 퍼블릭과 프라이빗 클라우드가 모두 포함된 네트워크에서도 제공 가능하다. NFV 기반시설은 클라우드에 호스팅할 수 있으며 클라우드

네이티브 소프트웨어를 사용할 수 있다.<sup>4</sup> “클라우드 네이티브”는 “클라우드 지향 비즈니스 모델을 지원하기 위해 클라우드의 가능성을 일관되고 안정적이며 대규모로 완전히 활용하는 아키텍처와 기술”을 묘사하는 용어이다(Ericsson, 2021[12]).

#### *모바일 네트워크 “개방성” 증가: 가상화 및/또는 개방형 RAN 인터페이스*

무선 모바일 네트워크는 크게 코어 네트워크, 전송 네트워크(즉, 백홀), 무선 접속 네트워크(RAN), 사용자 단말장치로 구성된다. 코어는 백홀을 통해 접속 네트워크로 연결하고 RAN은 스펙트럼을 통해 사용자 단말 장치에 연결한다.

이전 모바일 세대의 RAN은 단일 벤더(및 독점 솔루션)가 제공하는 “모놀리식(단일형)”구성이었지만, 이제는 가상화와 개방형 인터페이스를 통해 RAN의 하드웨어와 소프트웨어 요소를 분리할 수 있다. 이전 모바일 세대의 모놀리식 RAN 기지국의 기본 요소는 통합 중앙 장치(CU)와 배포 장치(DU)로 구성된 기저대역 장치(BBU)으로 구성되며, 이는 “프론트홀”이라는 것을 통해 원격 무선 신호 처리 장치(RU)로 연결된다.<sup>5</sup> RU는 무선 인터페이스(예: 하드웨어)에서 모든 무선 신호를 수신 및 전송하는 안테나로 구성되며, 기저대역 장치는 이러한 신호를 처리하고 백홀을 통해 핵심망으로 통신 인터페이스를 제공하는 디지털 모듈로 구성된다(즉, BBU는 소프트웨어와 하드웨어를 모두 포함한다).

5G 표준 Release 15(즉, 3GPP 표준 규격 TS 38.401)에서는 BBU를 CU와 DU로 분할 또는 분해할 가능성이 있다. (ETSI, 2018[13]). 이렇게 되면 운영자는 다양한 사용 사례(예: 저지연 사례)에 맞춘 배포를 계획할 때 여러 물리적 사이트에 RAN 기능을 유연하게 배치할 수 있다.

간단히 말해, 최근 업계는 “모놀리식 RAN” 구성에서 가상화 및/또는 개방형 RAN 인터페이스가 결합된 세분화된 RAN(즉, 개방형 가상 RAN)으로 이동하고 있다. 이러한 동향을 뒷받침하는 근거는 네트워크 내 유연성 향상, 네트워크 관리와 배포 모두에서 비용 효율성 개선, 현재 수직적으로 통합되고 집중된 시장 부문인 한층 다양화된 네트워크 장비 생태계의 개발을 통한 혁신 향상이다.

가상화된 RAN은 BBU(즉, CU와 DU) 용 가상 기능이 있는 소프트웨어 요소를 하드웨어와 분리한다. 가상 RAN(vRAN)과 개방형 RAN 솔루션 양 쪽 모두에서 RAN의 기능적 분할이 있다. 즉, 무선 기능과 기저대역 기능이 분리되고, 이는 다시 추가 “미드홀” 인터페이스가 필요한 배포 장치와 중앙 처리장치로 분리된다(즉, 3GPP F1 인터페이스).

개방형 RAN은 주로 여러 RAN 모듈 간 “개방형” 인터페이스를 가리키며, 비독점 인터페이스와 함께 소프트웨어 구성요소에서 하드웨어를 분리하여 RAN 부분을 가상화한 것을 포함할 수도 있다. 따라서 가상화와 개방형 인터페이스를 사용하는 개방형 RAN 시스템도 있지만, 그렇다고 모든 개방형 RAN 시스템이 가상화되는 것은 아니다. 가상 RAN(vRAN)과 개방형 RAN은 프론트홀 인터페이스가 독점형(vRAN의 경우)이거나 개방형(개방형 RAN의 경우)이라는 점에서 크게 다르다.

원칙적으로 개방형 RAN을 사용하면 통신 사업자가 네트워크 장비 모듈을 선택할 수 있고, 모듈 간의 개방형(즉, 비독점) 상호 운용 가능 인터페이스를 통해 목적에 따라 여러 벤더를 “믹스 앤 매치”할 수도 있다. 따라서 개방형 RAN은 기술이 아니라 모바일 네트워크 아키텍처에서 일어나는 지속적인 변화로 개방형 인터페이스 및 업계에서 개발한 사양을 기반으로 벤더 중립적 하드웨어와 소프트웨어 정의 기술로 구현할 수 있다(Mavenir, 2021[14]).

한편, 개방형 RAN은 장비 벤더 생태계의 혁신과 다양화를 촉진할 수 있으며, 이어서 이 집중된 시장 부문에서 경쟁을 촉진할 수 있다. 반면 해당 생태계가 복잡해지면서 ISP나 시스템 통합 사업자(SI)에게 새로운 기술이 필요하게 될 지도 모른다.

최근 몇 년 간 업계는 공동으로 개방형 RAN 아키텍처 모델을 홍보했다. 예를 들어, 2016년 여러 기업이 공동 출범한 텔레콤 인프라 프로젝트(TIP)는 “기업과 조직이 협력하여 개방형이고 세분화된 표준 기반 기술 솔루션의 개발과 배포를 가속화하는 글로벌 커뮤니티”다(Telecom Infra Project, n.d.[15]). 2018년에는 글로벌 운영자들이 개방형 무선접속망 국제표준화기구(O-RAN 얼라이언스)를 설립하여 개방형 RAN 규격을 홍보하고 벤더 상호 운용성을 강화했다(O-RAN Alliance, n.d.[16]). 2020년 2월 TIP와 O-RAN 얼라이언스는 상호 운용 가능한 개방형 RAN 솔루션 개발에 협력하기로 합의했다고 발표했다. 2020년 5월 여러 주요 글로벌 기업이 모여 “무선 접속 네트워크(RAN)에 개방적이고 상호 운용 가능한 솔루션 채택을 앞당기는 정책을 추진하는” 오픈랜 정책 협의체를 구성하였다(Open RAN Policy Coalition, n.d.[17]).

O-RAN 얼라이언스는 개방형 RAN 규격 홍보에 힘썼다. O-RAN 얼라이언스의 정의에 따르면 개방형 RAN은 “AI 기반 무선 제어가 내장된 개방형 하드웨어와 클라우드에 가상 RAN을 구축하기 위한 기반”이다(O-RAN Alliance, n.d.[16]). 그러나 일부 이해관계자는 O-RAN 얼라이언스가 3GPP 같은 “개방형” 표준 설정 프로세스에 따라 운영되지 않는다는 우려를 표했다. 즉, 규격 설정에 관련된 구성원만 이 프로세스를 면밀히 조사할 수 있는 가시성과 능력을 갖고 있으므로 다른 이해관계자 집단에는 개방되지 않는다는 뜻이다(European

Commission, 2021[18]; LightReading, 2021[19]).<sup>6</sup> 개방형 표준 설정 프로세스로 전환하면 모든 이해관계자가 개방형 RAN 규격 설계에 참여할 수 있다.

## 네트워크용 AI, 클라우드, 엣지 솔루션

### 네트워크 내 AI와 ML 사용

인공 지능(AI)은 공공 서비스 전달을 포함하여 전 부문(예: 에너지, 운송, 통신 부문)에서 효과성과 효율성 향상을 약속한다. AI를 현명하게 적용하면 교육, 공공, 안전, 건강 같은 분야에서 웰빙을 개선할 수 있다. 2019년 OECD 이사회는 정부 및 기타 행위자가 신뢰할 수 있는 AI를 향한 인간 중심 접근법을 설계하는데 초점을 맞춘 원칙을 작성하는 “OECD AI 권고안”[OECD/LEGAL/0449]을 채택했다.<sup>7</sup> 연결 제공자는 AI 시스템을 사용하면 통신 네트워크 운영 및 관리 방법을 재창조하여 성능을 개선할 수 있다.

네트워크 내 기계학습과 자동화를 포함하여 유·무선 광대역망에 AI 시스템을 구현하면 여러 가지 이점이 생긴다. 통신 서비스 제공업체는 네트워크 운영 성능과 안정성을 개선하고, 사고 예방 및 예측 유지 보수에 기여하고, 디지털 보안을 강화하고, 고객 행동과 수요 분석을 용이하게 할 수 있다. 에너지 소비를 더욱 줄이고 네트워크 사고 상태를 방지하여 네트워크 안정성이나 가용성을 높일 수 있다. 결과적으로 AI를 사용하면 운영 비용이 줄어든다. 또한 운영자는 OECD 회원국 사이에 중요한 사안인 네트워크 지속가능성을 높이기 위해 AI를 채택할 수 있다.

모바일 네트워크와 관련하여, 5G 네트워크에 AI 시스템을 사용하면 전반적인 네트워크 성능과 안정성이 개선되고, 네트워크 슬라이싱과 연결된 네트워크 관리가 간단해지며, 네트워크 용량 최적화 및 디지털 보안 기능 개선에 도움이 되고, 모바일 안테나의 에너지 소비를 최적화할 수 있다. 예를 들어, AI는 모바일 네트워크를 위한 새로운 개방형 벤더 생태계(예: 가상 개방형 RAN) 개발에 도움이 된다. 농촌 지역이 넓은 OECD 회원국에서는 지리적 환경이 통신 네트워크 유지와 운영에 어쩔 수 없는 장벽이 될 수 있다. 네트워크 운영 관리(예측 유지보수 포함)를 자동화하는 AI 기술과 더불어 소프트웨어를 통한 네트워크 업데이트를 허용하는 네트워크 가상화는 5G 망의 운영 및 유지보수 비용을 낮추는 열쇠가 될 수 있다. 따라서 AI를 네트워크에 사용해 얻을 수 있는 추가적인 이점은 네트워크 운영 비용을 낮추어 연결 격차를 해소하는 것이다.

2021년 7월 보다폰(Vodafone)과 노키아(Nokia)는 새로운 기계 학습(ML) 시스템 도입을 발표했다. “이상 징후 탐지 서비스(ADS)”는 모바일 네트워크 이상 현상을 재빨리 감지하여 보다폰의 고객이 영향을 입기 전에 바로잡을 수 있다. 보다폰은 ML 시스템이 비정상적인 모바일 네트워크 문제와 용량 요구사항의 80%를 감지하고 해결할 수 있을 것으로 기대한다. 해당 솔루션은 구글 클라우드에서 실행되며 보다폰의 분석 플랫폼으로 데이터를 스트리밍하여 다중 벤더 환경의 다양한 지점에서 총계 네트워크 데이터를 한 번에 분석할 수 있다. 이를 통해

ML 시스템은 데이터에서 패턴을 감지하고 네트워크 동작을 분류하여 이상 징후를 찾을 수 있다. 이상징후 탐지 서비스는 노키아 클라우드와 네트워크 서비스 상의 서비스로 제공된다(Vodafone, 2021[20]).

장비 벤더와 운영자는 비용과 지속가능성을 이유로 네트워크 성능에 영향을 주지 않으면서 네트워크의 에너지 효율성을 개선하는 새로운 방법을 모색하고 있다. 그런 의미에서 AI는 네트워크 에너지 소비 비용을 줄이는 데 기여한다. 에릭슨(Ericsson)은 네트워크 관리를 위해 AI와 ML 사용을 고심한다. 에릭슨은 포르투갈의 보다폰 네트워크 셀 기지국에서 ML과 AI를 시험하면서 MIMO(다중입출력) 에너지 관리를 자동화했다. 기계 학습 알고리즘은 네트워크 전체의 에너지를 절약하기 위해 장치가 활성화되지 않으면 “MIMO 절전 모드”를 사용하여 사용자 트래픽을 관찰, 예측, 응답하도록 개발되었다. 그 결과 네트워크 성능에 영향을 미치지 않으면서 최대 14%의 에너지가 절감되었다. 따라서 국제적인 수준으로 자동화를 사용하여 셀 기지국 별로 에너지 효율성을 조정하면 보다폰의 입장에서 상당한 비용 절감은 물론 환경에 긍정적 영향을 미칠 수 있다(Ericsson, 2019[21]).

#### *네트워크에 클라우드 서비스 통합*

클라우드 컴퓨팅은 “관리 노력이 적게 들면서 유연하고 탄력적이며 온디맨드 방식으로 접근할 수 있는 컴퓨팅 리소스 집합에 기반한 컴퓨팅 서비스용 서비스 모델”로 이해할 수 있다(OECD, 2014[22]). 최근 수년 간 클라우드 기술은 효율성 향상을 목표로 발전했으며, 다양한 정도의 기능을 갖춘 여러 유형의 가상화를 도입할 수 있게 되었다(Ofcom, 2021[23]). 가상화는 클라우드 컴퓨팅 이면의 근본 기술로 컴퓨트 리소스의 효율성을 높일 수 있다(Armbrust et al., 2009[24]).

클라우드 기술은 네트워크 전체에서 늘어나는 데이터 전송 요건을 충족하는 핵심 성공 요인(enabler)으로 간주된다. 네트워크에서 클라우드 처리, 스토리지, 컴퓨팅 리소스 활용의 편익을 오랫동안 인식해 온 운영자는 이제 자신의 클라우드 전략이 미래의 요구 사항을 얼마나 잘 지원하는지 따져보고 있다. 또한 사용 사례에 따라 다양한 클라우드 모델 적용을 모색할지도 모른다. 후자는 이러한 모델의 복잡한 오케스트레이션을 수반할 수 있다. 동시에 클라우드 서비스 제공업체는 자체 통신 인프라 구축에 투자하고 있다. 향후 클라우드와 콘텐츠 제공업체 같은 가치 사슬에서 신규 주체의 중요성이 커지면 경쟁과 규제가 영향을 받을 수 있다.

현재 통신 부문은 사설, 공공, 하이브리드 클라우드 모델 같은 여러 가지 클라우드 모델을 사용한다.<sup>8</sup> 다양한 고객이 대개 공공 클라우드 서비스를 공유하는 반면 사설 클라우드는 특정 고객을 위해 설계되었고 고객의 사이트나 클라우드 제공자의 데이터센터에서 관리할 수 있다. 하이브리드 클라우드 모델은 사설과 공공 클라우드 인프라를 모두 사용한다(OECD, 2014[22]).

#### *엣지로 이동*

“전통적인” 또는 중앙 집중식 클라우드 플랫폼과 함께 클라우드 공급자가 엣지 컴퓨팅 솔루션을 지향하는 추세도 있다. 엣지 컴퓨팅은 정보처리(즉, 콘텐츠, 컴퓨트, 스토리지 자원)를 사용자가



집중된 곳에 더 가깝게 배치하는 것을 목표로 하는 일련의 아키텍처와 분산된 컴퓨팅 기술을 가리키는 광범위한 용어이다(Ofcom, 2021[23]; Akamai, 2020[25]). 또한 기존 클라우드 인프라(대규모, 지역 데이터 센터)가 엣지와 병합되어 “클라우드-엣지 연속체(continuum)”라고도 부르는 것을 형성하는 경향이 있다(Ofcom, 2021[23]).

네트워크 대기 시간을 줄이고 전반적인 네트워크 성능을 향상시키기 위해 발전된 5G 기술은 다중 접속 엣지 컴퓨팅(MEC)이다. MEC는 사용자에게 콘텐츠 전달 개선을 목표로 하는 컴퓨팅 아키텍처이다. 트래픽과 서비스 컴퓨팅을 중앙 집중식 클라우드에서 네트워크 엣지로 이동하고 사용자 가까이 보내서 “애플리케이션 개발자와 콘텐츠 제공자에게 클라우드 컴퓨팅 능력과 IT 서비스 환경을 네트워크 엣지에서 제공(ETSI, 2020[26])”한다.

MEC를 사용하는 운영자는 RAN 엣지를 승인된 제3자에게 개방할 수 있으므로 기업 대 기업(B2B)과 기업 대 소비자(B2C) 양쪽에 혁신적 애플리케이션을 배포할 수 있기 때문에 새로운 비즈니스 모델이 가능하다. 예를 들어, 2020년 12월 버라이즌 비즈니스(Verizon Business)와 딜로이트(Deloitte)는 함께 5G와 MEC를 사용하는 리테일 플랫폼을 시작했다. 이 애플리케이션은 인벤토리와 고객 서비스 개선 및 판매 극대화를 겨냥한 상품 전시 최적화를 목표로 삼았다. 버라이즌은 5G 네트워크로 비디오 카메라와 IoT 센서에서 데이터를 수집하고 MEC 플랫폼으로 AI를 활용하여 데이터를 분석한다. 버라이즌은 현재 두 가지 5G-MEC 솔루션을 보유하고 있다. 아마존 웹 서비스(AWS)와 동업 관계를 맺고 사용하는 퍼블릭 클라우드와 딜로이트 프로젝트에서 사용하는 “5G-MEC 프라이빗 솔루션”이다(FierceWireless, 2021[27]).

5G-MEC를 사용하는 혁신 비즈니스 모델로 보다폰 독일(Vodafone Germany)의 실험도 있다. 2021년 6월 히어(Here Technologies), 포르쉐(Porsche), 보다폰은 독일 알덴호벤(Aldenhoven) 소재 보다폰의 5G 모빌리티 랩에서 5G와 고정밀 위치 추적 기능을 갖춘 MEC 사용을 실험했다. 목표는 미래의 교통 안전 개선이었다. 플랫폼은 AI와 정밀 매핑 기술로 구동되는 카메라와 센서를 이용한다. 이후 데이터는 보다폰의 5G 네트워크를 매개로 MEC를 이용해 네트워크 엣지에서 처리된다(Vodafone, 2021[28]).

## 유·무선 네트워크 컨버전스

모바일 네트워크는 유선 코어 망에서 유선 네트워크의 확장을 담당하고 있다. 스몰셀을 연결할 만큼 속도와 용량을 늘리기 위해 유선 망에 광섬유를 추가로 배치하는 일이 점점 중요해지고 있기 때문에 이러한 추세는 5G에서 더욱 선명해지고 있다(“네트워크 고밀도화”) 유선 망은 특히 무선 스펙트럼이 부족한 곳에서 증가하는 무선망 수요를 “앞장서서 처리하는” 역할을 효과적으로 수행할 수 있다(OECD, 2019[3]).

핵심 유·무선 통신 인프라의 상호 보완성은 두 가지 주요 추세를 반영한다. 첫째, 5G 배포에 필연적인 네트워크 밀도화를 이루려면 스몰셀을 사용자 가까이 설치해 망 속도와 용량을

늘려야 한다. 셀에는 백홀 연결이 필요한데, 현재 주로 유선(광섬유)으로 연결되고 무선 밀리미터파 연결은 비중이 낮다. 하지만 백홀에는 광섬유가 필요한 지점이 있으며, 광섬유가 모바일 네트워크 심부에 배치되면 해당 네트워크의 용량이 증가한다. 따라서 5G 망 확장(모바일 셀룰러 또는 FWA 접속)은 광섬유 배치의 정도와 속도에 영향을 받을 수 있다. 둘째, 모바일 셀룰러 데이터 트래픽은 IoT 애플리케이션과 AI 시스템의 확산과 더불어 디지털 전환으로 데이터 요구가 늘어나 기하급수적으로 증가할 것으로 예상된다. 모바일 트래픽이 유선 Wi-Fi 네트워크로 오프로드되므로 유선 네트워크는 모바일 네트워크의 “부하”를 완화한다.

## 광섬유와 5G 시너지

FTTH와 5G 통합 네트워크는 배포 비용을 상당히 아낄 수 있다. 유럽 내 광가입자 망 위원회(FTTH Council Europe) 연구에 따르면 최적화된 미래에 경쟁력을 갖춘 광섬유 통합 광섬유-5G 네트워크를 구상하고 배포하면 5G용 광섬유 백홀 배치 비용의 약 74%를 절약할 수 있다. 이미 설치된 FTTH 네트워크의 경우 5G 준비를 위한 추가 투자는 약 5.6%이다(FTTH Council Europe, 2020[29]).

통합 모바일-광섬유 네트워크를 향한 움직임의 예는 영국의 비티(BT)이다. 비티는 2015년 이동통신 사업자 EE를 인수한 유선 광대역 사업자이다. 2021년 7월 발표한 계획에 따르면 BT는 모바일, Wi-Fi, 광섬유 인프라를 결합하여 전국에 5G를 제공하는 영국 최초 완전 통합 네트워크를 만든다. 또한 퍼블릭 클라우드 제공자에 의존하는 대신 자체 분산 네트워크 클라우드 인프라를 사용하기로 했다(FierceWireless, 2021[30]).

개방접속형의 지역 광섬유 망은 광섬유 배치, 5G 네트워크, IoT 서비스 간 시너지 효과를 내는 스마트 시티 애플리케이션의 성공 요인(enabler)이 될 수 있다. 예를 들어, 싱가포르의 IoT 플랫폼과 더불어 국가 개방형 접속 도매방식 광대역망을 활용해 스마트 시티 IoT 애플리케이션의 개발을 강화했다. 2017년 싱가포르 정부기술청(GovTech)은 스마트 네이션 센서 플랫폼이라는 전국 센서 네트워크를 출범시켰는데, 이는 “스마트 솔루션 창조를 위해 분석할 수 있는 필수 데이터를 센서로 수집하는 통합 전국 플랫폼”이다(Smart Nation Singapore, 2021[31]). 프로젝트의 첫 번째 단계에서 기술청은 다른 공공 기관과 협력하여 공공 장소용 보안 카메라, 환경 센서, 연결성 인프라를 배포했다. 육상교통청(LTA)과도 협력하여 가로등 기둥 인프라를 여러 IoT 시험에 활용했고 (Computer Weekly, 2018[32]), 센서와 IoT 기술 스택(SIoT)을 신설하여 새로운 스마트 시티 애플리케이션을 만들고자 하는 개발자의 작업을 용이하게 했다. SIOT는 “범정부적(WOG) IoT 인프라”의 설계와 구현을 지원하는 역량 강화 센터 역할을 한다(GovTech, 2021[33]). 스마트 네이션 센서 플랫폼의 스마트 시티 애플리케이션으로는 건물 누수를 감지하는 스마트 미터(2018), 임대 단지 거주 노인을 위한 개인 알림 버튼(2021), 대기질과 강우량 데이터를 수집하기 위해 가로등에 연결된 스마트 센서(2019) 등이 있다(Smart Nation Singapore, 2021[31]).

## 유 무선 컨버전스 역학에서 Wi-Fi 6의 역할

넓은 의미에서 Wi-Fi는 무선 근거리 통신망(LAN) 기술을 가리킨다.<sup>9</sup> Wi-Fi는 인가가 필요 없는(비인가) 스펙트럼을 사용하며 주로 실내용이다. 예를 들어 기업용 근거리망뿐만 아니라 주거용으로도 쓸 수 있다. 또한 여러 국가에서 Wi-Fi 네트워크 핫스팟은 실외를 비롯 공공 건물과 대중 교통에서 보편적으로 사용된다. 2019년은 Wi-Fi 표준 20주년이다. Wi-Fi 얼라이언스(Wi-Fi alliance) 회원은 Wi-Fi가 성공한 원인으로 표준 개발에 적극적인 커뮤니티, 비인가 스펙트럼 사용, 편의성과 사용 용이성, 5G 등 여러 연결 솔루션을 보완하는 비용 효율적인 솔루션을 꼽았다(Wi-Fi Alliance, 2019[34]).

2019년이 되자 Wi-Fi 장비 제조업체는 더 빠르고(예: 1.2-4.8Gbps), 장치 밀도는 더 높고, 대기 시간은 짧은 6세대 Wi-Fi 표준(Wi-Fi 6)을 출시하기 시작했다. 통상적으로 Wi-Fi는 2.4GHz 및 5GHz 스펙트럼 대역에서 비인가 스펙트럼을 사용했다. Wi-Fi 6 표준과 함께 Wi-Fi 6E라는 6GHz 스펙트럼 대역에서 작동하는 차세대 장치가 도입되고 있다.

Wi-Fi 6 생태계의 번영 여부는 Wi-Fi 6을 지원하는 단말 장치의 숫자뿐만 아니라 해당 국가에서 6GHz 대역의 일부가 비인가 용도로 할당되었는지에 크게 좌우된다. 영국은 이미 2020년에 6GHz 대역의 하부를 승인했으며(Ofcom, 2020[35]), 기업은 Wi-Fi 6와 6E의 상용화 전략을 시행했다. 예를 들어, 2021년 1월 삼성은 Wi-Fi 6을 지원하는 스마트폰을 최초로 출시했다(Samsung, 2021[36]). 2018년 8월 10일, 여러 기업(예: 브로드콤, 시스코, 페이스북)이 텔레콤 인프라 프로젝트(TIP)의 일환으로 “개방형 자동 주파수 조정(Open AFC) 소프트웨어 그룹”을 결성했다. 그룹의 목표는 6GHz 스펙트럼을 사용할 수 있는 Wi-Fi 장치를 하루 빨리 상용화하는 것이다(BusinessWire, 2021[37]).

Wi-Fi 6E 생태계 혁신의 일환으로 네트워크 슬라이싱을 통해 5G가 약속한 것처럼 사용자에게 필요한 용량을 기반으로 대역폭이 우선 지정될 수 있다(FierceWireless, 2021[38]). Wi-Fi 6과 더불어 MEC를 사용하는 것도 핵심 요소가 될 것이며 사용 사례나 애플리케이션(예: 산업용 IoT)에 따라 달라질 것이다.

다수의 Wi-Fi 생태계 이해관계자는 LAN 네트워크 내 장치의 혼잡과 접속 지점의 잠재적 간섭을 처리하는 방법을 현안으로 언급했다. 하지만 Wi-Fi 관리 플랫폼이 등장했다. 예를 들어 플룸(Plume)은 Wi-Fi용 클라우드 기반 플랫폼을 제공하고 AI로 각 가정 내 장치 사용과 간섭을 파악하여 트래픽을 최적화한다(BusinessWire, 2021[39]).

산업용 애플리케이션을 위한 사설 5G망이 관심을 모으면서 Wi-Fi가 5G의 보완 솔루션인지 아니면 대체 솔루션인지 의문이 들 수 있다. Wi-Fi 6은 무엇보다 트래픽 스티어링(steering)처럼 셀룰러와 유사한 기능을 제공한다. 그러나 일부 이해관계자의 주장에 따르면 5G 사설망이 산업용 애플리케이션에 Wi-Fi보다 적합한 까닭은 5G의 안정성, 보안 기능 및 접속 지점 간 간섭이 Wi-Fi보다 잠재적으로 적다는 점이다(FierceWireless, 2021[38]).

Wi-Fi와 사설 5G망이 가진 이점은 애플리케이션에 따라 다를 수 있다. 하지만 기술 혼합이 필요하다는 관점에 대부분 동의한다. 즉, 이러한 네트워크는 상호 보완적인 연결 솔루션을 제공한다(Intel, 2021[40]). 예를 들어 한국의 모바일 업체는 다중 경로 TCP를 활용하여<sup>10</sup> 스마트폰에서 Wi-Fi와 셀룰러(4G 및 5G) 인터페이스를 동시에 사용할 수 있게 한다(Tessares, 2020[41]).<sup>11</sup> Wi-Fi 생태계의 상호 운용성 촉진을 위한 산업 협회인 무선 광대역 연합(Wireless Broadband Alliance)이 실시한 설문 조사 결과는 2023년 말이 되면 셀룰러와 Wi-Fi 망의 통합이 개인, 도시, 산업용 IoT 배포의 대부분을 차지할 것이라고 강조했다(6G World, 2021[42]).

또한 더 높은 스펙트럼 주파수 대역을 사용하는 5G 배포가 증가함에 따라 Wi-Fi 연결 솔루션도 중요해질 수 있다. OECD 지역 사업자는 주로 중저역 스펙트럼(예: 700MHz 및 3.5GHz 주파수 대역)에 의존하여 5G 상용망을 구축하지만, 호주, 일본, 미국 등에서는 밀리미터파(mmWave) 스펙트럼을 사용하여 상용망을 배포하기 시작한 사업자도 있다. 밀리미터파는 장애물로 인한 감쇠에 취약하고 벽을 뚫고 실내에 도달하기 어려울 수 있으므로 5G 모바일 네트워크에 사용하려면 이러한 주요 기술적 문제를 극복해야 한다(Agnoletto et al., 2021[43]). 실내 네트워크 통신범위를 해결하려면 보완적 연결 솔루션을 사용해야 할 수도 있다.

따라서 Wi-Fi와 5G 연결 솔루션이 결합된 이중 네트워크 접근 방식은 이미 일부 국가에서 특히 공항이나 스포츠 경기장 같은 고밀도 연결 장치가 있는 위치에서 사용하고 있다. 예를 들어, 미국에서 밀리미터파 스펙트럼을 사용하여 5G 망을 배포한 이동 통신 사업자는 실내와 밀집된 공공 장소용 연결 솔루션 전문 중립 호스트와 파트너십을 체결했다. 보잉고(Boingo) 같은 미국 내 중립 호스트는 “오로지 공유를 목적으로 하는 통합 기술 플랫폼 구축 및 운영 서비스 제공자”이다(Lähteenmäki, 2021[44]). 일반적으로 제삼자 통신사업자에 서비스를 제공하는 도매 수준으로 운영한다(글상자 1).

### 글상자 1 보잉고, 5G용 연결 솔루션 보안을 위해 미국 내 이동통신 사업자와 파트너십 체결

보잉고(Boingo)는 주로 사람이 밀집된 실내 장소(예: 공항, 교통 허브, 캠퍼스, 스포츠 경기장 등)를 대상으로 제3자(사업자, 사설망)에게 무선 네트워크 솔루션을 제공하는 “중립 호스트” 접근방식을 채택한 미국 기업이다. 솔루션으로는 건물 내 셀룰러 통신범위를 넓히는 셀룰러 분산 안테나 시스템(DAS), 스몰셀 배치, Wi-Fi, 5G 등이 있다.

2019년 버라이즌은 보잉고와 제휴를 맺고 “분산 안테나 시스템(DAS), 스몰셀, Wi-Fi” 부문에서 보잉고가 쌓은 경험을 활용하여 5G 서비스를 실내와 공공 장소로 확장했다(The Verge, 2019[45]). 스몰셀과 분산 안테나 시스템(DAS) 네트워크는 모바일 타워를 보강하기 위해 미국 전역의 도시에 배포되고 있다.

2020년 보잉고는 3.5Ghz 대역을 온디맨드로 동적 할당하는 민간 광대역 무선서비스(CBRS) 스펙트럼을 사용하는 중립 호스트 파트너로서 5G 배포에 밀리미터파 연결을 촉진하기 위해 미국 내 3개 무선 통신 사업자와 파트너십을 맺었다(Boingo, 2021[46]).

2021년 7월 보잉고가 에이티엔티(AT&T)와 맺은 계약에 따르면 에이티엔티는 보잉고의 전문적인 분산 안테나 시스템(DAS)과 Wi-Fi를 활용하여 에이티엔티 네트워크에서 미국 12개 공항으로 밀리미터파 5G 연결을 제공하기로 하였다(Fierce Wireless, 2021[47]).

밀리미터파 5G와 Wi-Fi 연결 솔루션의 유사성에 관한 질문도 제기된다. 한 연구에서 오픈시그널(Opensignal)은 미국 내 밀리미터파 5G(즉, 28GHz와 39GHz 대역)가 테스트한 공공 Wi-Fi보다 30배가량 빠르지만, 이 스펙트럼 대역의 전파 기능을 참작할 때 도달 범위는 비슷하다는 것을 밝혔다(Opensignal, 2021[48]). 그러나 공공 Wi-Fi는 셀룰러 연결과 관련하여 약간의 차이점이 있어 부분적으로는 다운로드 속도가 낮다는 점도 언급했다.<sup>12</sup>

향후 중요한 문제는 연결성 솔루션의 공존뿐만 아니라 솔루션의 공동 통합을 보장하는 방법이다. 즉, 보완 솔루션이 제공하는 시너지 효과를 탐색하고 다양한 네트워크 솔루션이 원활하게 작동하는 방법으로 파트너십 관리가 필요할 수 있다. 상호 운용성 질문을 던져야 하고, 장치간 “개방형” 로밍 가능성도 중요하다.

## OECD와 한국의 미래 네트워크 사례 연구

### OECD 회원국과 지역의 사례 연구

#### *OECD 회원국 중 광섬유 전환을 촉진하는 국가*

"원격 경제"의 가속화로 경제 회복에 연결성이 점점 중요해지면서, OECD 회원국의 최근 경제 회복 패키지과 2021년 예산안에는 계층을 막론하고 전체 인구가 고품질 광대역에 접속할 수 있게 하는 방안이 포함되어 있다(예: 캐나다, 유럽 연합, 프랑스, 한국, 스페인, 미국, 영국). 경제 회복 패키지 내에 광섬유와 5G 배포 향상을 위한 자금을 할당한 정부도 있다.

예를 들어, 프랑스 정부는 2020년 9월 경기 부양책인 프랑스 경제 복구 계획(France Relance)을 선보였다. 2020년에 시작하여 2022년까지 이어진다. 1,000억 유로(미화 1,140억 달러)의 예산 중 40%를 EU 경제회복 및 복원력 강화 지원(EU Recovery and Resilience Facility)에서 자금을 조달하며 목표는 "프랑스 경제 재건"이다. 재건 계획의 주요 측면으로 2025년까지 프랑스 전 영토에서 고용량 광섬유 네트워크 통신 범위를 확장하는 목표가 있다("초고속 프랑스 계획(Poursuite du plan France Très Haut Débit)" (Gouvernement de France, 2020, p.267[49]). 2021년 1월 프랑스 정부는 광섬유 배치를 촉진하기 위해 5억 7000만 유로(미화 6억 5000만 달러) 상당의 기금을 발표했으며, 목표 달성을 위해 2020년에 이미 2억 4000만 유로(미화 2억 7400만 달러)를 투자했다(Gouvernement de France, 2021[50]).<sup>13</sup>

유사하게, 2021년 3월 영국 정부는 50억 파운드(미화 64억 1000만 달러)를 가지고 '프로젝트 기가비트(Project Gigabit)'를 시작했다.<sup>14</sup> 목표는 2025년까지 기가비트 광대역 통신범위를 국내 85%로 넓히는 것이다(UK Government, 2021[51]). 2021년 8월 2일 영국 정부는 해당 인프라 구상의 범위를 확장하고 전국 220만 개소를 광대역으로 업그레이드하기로 하였다(UK Government, 2021[52]). "프로젝트 기가비트"의 목표는 민간 부문 투자를 보완하고 사업자가 광섬유 통신범위를 확장하도록 유인책을 제공하는 것이다. 영국 정부가 밝힌 바에 따르면, 2021년 3월 발표 이후 다수의 통신 인프라 제공자가 자금을 확보했고 향후 수년 간 네트워크 업그레이드 계획을 가속화했다(예: 오픈리치, 버진미디어 O2). 예를 들어, 오픈리치(Openreach)는 2021년 5월 광섬유 배치 목표를 2026년까지 2,000만 가구에서 2,500만 가구로 늘리겠다고 발표했다(FierceTelecom, 2021[53]). 영국 정부는 이러한 상업적 투자로 국토의 약 60%가 2021년 말이면 기가비트 속도로 접속할 수 있고 2025년 목표를 순조롭게 달성할 것으로 예상한다(UK Department for Digital Culture Media & Sport, 2021[54]).

광섬유 설치를 촉진하기 위해 규제 기관은 네트워크 투자를 장려하는 동시에 경쟁을 보호하는 방법을 찾고 있다. 일부 OECD 회원국은 광섬유 활성화를 위해 인프라 기반 경쟁을 촉진한다. 비대칭 도매 액세스 규제책을 채택한 국가도 있고 지리적 세분화를 기반으로 광섬유 도매 제품의 대칭 규제를 적용한 국가도 있다. 예를 들어 포르투갈은 초기에는 덕트, 폴, 건물 내 배선에 대한 액세스 규제에만 중점을 두어, 이후 단계에서 상당한 시장 지배력(SMP) 보유자를

대상으로 광섬유에 대한 비대칭 액세스 규제를 고려했다. 스페인은 초기 단계로 7년간 덕트 관련 액세스만 규제하다가 2016년 경쟁 지역 대 비경쟁 지역의 지리적 세분화를 기반으로 광섬유 도매 액세스 규제를 적용했다(Godlovitch et al., 2019[55]). 2021년 10월, 스페인 통신 규제 기관인 CNMC는 경쟁력이 있는 것으로 간주되는 지방 자치 단체 대상 규제 완화책으로 2015년에 제정한 광섬유 도매 액세스 규칙을 갱신했다. CNMC는 2016년에 이미 스페인 지방 자치 단체 66개소를 광섬유 액세스 측면에서 경쟁력이 있다고 분류했으므로 규제 대상이 아니었다. 이 숫자는 2021년 696개로 증가했으며 국가 인구의 70%에 해당한다(Telecoms.com, 2021[56]). 스페인과 포르투갈은 모두 최근 수년 동안 FTTH(덕내 광가입자 망) 활성화에 큰 성공을 거두었다. 2020년 12월 기준 스페인과 포르투갈 전체 유선 광대역에서 광섬유 연결 비율은 각각 73%와 55%였다(OECD, 2021[1]).

영국 오프컴(커뮤니케이션청)은 오픈리치가 기존 구리 망을 폐기하도록 지원하고 일부 지역에서 광섬유 액세스 도매 규제책을 유지하는 동시에 FTTP(부지 내 광가입자 망) 네트워크 경쟁이 효율적인 지역의 규제 완화로 광섬유 확장을 촉진하려 한다(Ofcom, 2020[57]). 처음에 영국 규제당국은 인프라 경쟁 가능성에 따라 국토를 지리적 영역으로 분할할 계획이었다. 2018년 오프컴은 잠재적 경쟁 영역을 구별하는 것이 너무 복잡하다고 판단하여 최대 40Mbps 속도 가격 상한선과 더불어 FTTC(연석 내 광가입자 망)와 VULA(가상 세분 가입자망 접근)를 대상으로 비티/오픈리치에 도매 규제책을 적용하는 속도 계층 솔루션을 선택했다. 2020년 오프컴은 2012~2026 도매 유선 시장 검토(Ofcom, 2020[58])를 위한 공개 협의를 따르기로 하였고, 2021년 3월 광섬유 도매 액세스에 대한 최종 결정을 발표했다(Ofcom, 2021[59]).<sup>15</sup> 이렇게 결정하면서 오프컴은 오픈리치가 기존 구리망을 폐기하도록 지원하고 일부 지역에서 VULA 규제 유지를 고려하면서 동시에 FTTP 네트워크의 경쟁이 효율적이라고 판별된 지역의 규제를 완화하여 광섬유 확장을 촉진하려 한다(Ofcom, 2021[59]).

### 지방자치단체 광섬유 네트워크

OECD 회원국 중 일부에서는 종종 기존 네트워크 사업자가 공동체에 과소 투자한 것을 감지하고 이에 대응하여 지역이나 지자체, 공동체의 주도로 농촌 내 광섬유 네트워크를 개발하여 성공한 사례가 있다. 특히, 지역과 지자체 광섬유 네트워크의 최근 동향을 살펴보면 도매 광섬유를 공공시설로 간주하는 도시와 지역이 OECD 전체에 존재함을 알 수 있다.<sup>16</sup>

지역과 지자체 광섬유 네트워크는 개방형 액세스 다크 파이버 네트워크로 설계할 수 있다. 잘 설계되고 관리된다면, 즉 해당 네트워크가 투명하고 비차별적인 방식으로 공정하고 합리적인 조건 하에 도매 용량을 제공한다면 이 모델은 소매 수준에서 경쟁과 혁신을 가능하게 한다. 개방형 액세스 광섬유 네트워크는 수많은 개체와 장치를 고용량 네트워크에 연결해야 하는 스마트 시티로의 전환도 촉진할 수 있다.

지역 개방형 액세스 광섬유 네트워크는 현재 OECD 지역에서 개발 중이다. 예를 들어, 브뤼셀 지역은 지금까지 지역과 지방 공공 기관에서만 사용했던 광범위한 광섬유망에 의존했지만, 이제

상용으로 개방하고 용량의 80%를 임대할 계획이다(Samian, 2021[60]). 콜롬비아에서는 사모펀드 회사인 KKR이 발표한 텔레포니카 콜롬비아(Telefónica Colombia)와의 계약에 따르면 텔레포니카의 기존 망에 기반한 개방형 액세스 광섬유 네트워크를 구축하고 KKR이 대주주가 된다(Telefónica, 2021[61]; La República, 2021[62]). 여기서 그치지 않고 브라질에서는 CDPQ(Telefónica, 2021[63]), 독일에서는 알리안츠(Telefónica, 2020[64])와 비슷한 파트너십을 맺어 오픈 도매 기업을 이용해 광섬유를 구축한다. 미국에서는 캘리포니아와 버지니아 주지사가 각 주에서 광대역 확장을 위해 총 67억 달러의 예산을 배정했다(FierceTelecom, 2021[65]). 캘리포니아 주의회는 주 전역에 개방형 액세스 광섬유 네트워크 설치를 승인하고 미화 32억 3,000만 달러를 제공하는 한편 개방형 액세스 네트워크를 보완하기 위해 라스트 마일에 20억 달러를 추가로 할당했다. 주 전역의 개방형 액세스 광섬유 네트워크는 모든 ISP에 대해 “중간 마일” 기능을 목표로 하며 초기에는 주거용 액세스로 25Mbps의 다운로드 속도와 3Mbps의 업로드 속도가 나오지 않는 지역을 대상으로 한다(ArsTechnica, 2021[66]).

스웨덴의 경우 통신 시장 자유화 이후 지자체 네트워크가 국내에 널리 보급되었다(OECD, 2015[67]). 스웨덴 지자체는 통신 시장 자유화에 따라 1990년대 중반 자체 광섬유 네트워크를 구축하기 시작했다(OECD, 2018[68]). 몇 년 지나지 않아 해당 네트워크는 가정과 기업에 서비스를 제공하고 기지국을 연결하며 지자체 전체로 통신범위를 넓혔다. 스웨덴 지자체 네트워크 대부분은 건물 내 또는 닙내 광가입자 망(FTTB/FTTH)을 기반으로 소매 “운영자” 중립 네트워크 인프라를 제공한다. 즉, 차별 없이 소매업체에 도매 액세스를 제공하는 물리적 인프라 제공자 역할을 담당하는 개방형 네트워크에 기반 비즈니스 모델이다(OECD, 2018[68]). 이는 도소매 시장 모두에 존재하는 완전히 수직으로 통합된 통신 사업자에 기반 여러 비즈니스 모델과 대조를 이루어 “개방형” 지자체 네트워크라는 개념으로 이어졌다(OECD, 2015[67]).

핀란드의 서넷(Sunet)도 개방형 액세스 네트워크다. 서넷은 핀란드 서부 시골의 55개 마을을 연결하는 지자체 소유 비영리 광섬유망이다. 다양한 민간 부문 서비스 제공자가 이용하여 소비자에게 연결 패키지를 제공한다. 하지만 액세스에 대한 과금 없이 망 유지관리를 위한 고정 요금을 소비자에게 청구한다. 따라서 서비스 제공자의 진입 장벽이 낮아지고 경쟁은 확대된다. (FTTH Council, 2013[69]).

아이슬란드에서는 아이슬란드 수도의 지자체 정부 소유인 영리 공공시설 네트워크인 레이카비크 에너지(Reykjavik Energy)가 레이카비크 광섬유 네트워크를 개발했다. 공공시설 네트워크는 광섬유 연결 외에도 전기, 물, 폐수 처리 서비스를 제공한다. 수도에서 시작되었지만 이웃 지역을 넘어 계속 확장하고 있다. 도매 개방형 액세스 모델로 가입자는 받을 수 있는 소매 서비스를 보고 여러 제공자 중에서 선택할 수 있다. 지자체 소유 네트워크 구축이 민간 부문 투자를 억제하지는 않았다. 아이슬란드의 주요 통신 기업은 레이카비크 광섬유 네트워크와 경쟁하면서 계속해서 자체 망을 보유하고 구축한다. 서로 토목 작업을 하다가 분쟁을 일으키지 않도록 지자체 네트워크와 기존 통신사는 2018년 “중복 포설 금지(dig once)” 협력에 합의했다. 따라서 둘 중 누구라도 새로이 광케이블을 설치할 때마다 트랜치에 두 개의 독립적인 라인을



동시에 설치하여 땅을 두 번 파는 일이 없게 된다(Iceland Competition Authority, 2018[70]). 두 네트워크를 합치면 12만 가구 이상 즉 아이슬란드 가구의 82%가 연결된다.

#### OECD 회원국 내 5G와 개방형 RAN 개발

모바일 통신 측면에서 OECD 회원국은 여러 가지 개방형 RAN 구상을 개발했다. 예를 들어, 일본 엔티티 도코모(NTT DoCoMo)는 12개 기업과 파트너십을 맺고 5G 개방형 RAN 생태계를 구축하여 전 세계적에서 개방형 RAN을 가속화하고 다른 운영자를 위해 개방형 RAN 솔루션을 상용화하고 관리한다고 발표했다. 또한 2022년 상용화를 목표로 개방형 RAN을 구동하기 위한 vRAN 솔루션을 개발할 계획이며, 2021년 6월에는 "5G 개방형 RAN 생태계" 백서를 발표했다(NTT DoCoMo, 2021[71]). 2020년 4월, 원래 전자 상거래 업체인 라쿠텐 모바일(Rakuten Mobile)은 가상 클라우드 네이티브 개방형 RAN 네트워크를 통해 "그린필드" 네트워크(즉, 이전에 존재하지 않았던 네트워크 설치 및 구성)로서 일본 모바일 시장에 진출했다. 2021년 8월에는 독일 모바일 시장 신생 업체인 1&1과 계약을 맺고 1&1의 개방형 RAN 네트워크를 설계·구축·운영하고 1&1에 클라우드 네이티브 모바일 통신 플랫폼에 대한 액세스를 제공하기로 하였다. 1&1의 CEO인 랄프 돔머무트(Ralph Dommermuth)는 최초의 완전 가상 개방형 RAN 네트워크를 제조자 독립형으로 설치했다고 주장한다(Handelsblatt, 2021[72]; RCRWireless, 2021[73]).

미연방통신위원회(FCC)는 2021년 3월 조사고시(Notice Of Inquiry: NOI)를 공표하고 개방형 RAN 구상에 관한 의견을 구했다. 위원회는 개방형 RAN의 대규모 설치에 필요한 단계에 관한 공개 협의에 참여했고, 개방형 가상 RAN이 제시하는 기회와 잠재적 도전에 관한 공식 토론을 시작했다(FCC, 2021[74]). 협의 끝에 두 운영자가 공급업체 다양성과 개방형 인터페이스에 관한 광범위한 개방형 RAN 원칙에 지지를 표명했다. 하지만 동시에 기존 네트워크에서 개방형 RAN의 구현 여부에 대해서는 우려를 내비쳤다. 결론적으로 개방형 RAN의 시기, 구현, 설치에 정부 명령과 달리 시장 주도적이어야 한다고 언급했다(Sharkey, Hunter and Wiecxorek, 2021[75]; Johnson and Fetchko, 2021[76]). 한 운영자는 개방형 RAN "그린필드" 설치는 가능하지만 기존 네트워크에 설치하는 것이 더 어려울 수 있다고 전망했다(Sharkey, Hunter and Wiecxorek, 2021[75]).

미국 모바일 시장에 새로이 진출한 디시(Dish)는<sup>17</sup> 2021년 말까지 주요 도시에서 5G 개방형 "그린필드" 설치를 시작할 계획이다(Baumgartner, 2021[77]). 버라이즌은 에릭슨, 삼성, 노키아 같은 자사 하드웨어 공급업체가 2021년부터 개방형 RAN 호환 장비를 네트워크에 공급하기 시작할 것이라고 말했다. 버라이즌은 공급받은 네트워크 장비를 가지고 보유하고 있는 밀리미터파와 C-대역(3.7GHz) 스펙트럼 및 미화 100억 달러의 추가 투자를 통해 향후 3년 동안 5G 네트워크를 구축할 계획이다(Dano, 2021[78]).

유럽에도 업계 관계자와 국가가 내놓은 여러 가지 개방형 RAN 구상이 있다. 2021년 1월 유럽의 도이치 텔레콤(Deutsche Telekom), 오렌지(Orange), 텔레포니카(Telefónica), 보다폰이

양해각서(MOU)를 체결하고, "5G 시대를 맞아 한층 민첩하고 유연한 모바일 네트워크를 구축하기 위해 새로운 개방형 가상 아키텍처, 소프트웨어, 하드웨어를 활용"하는 개방형 RAN 솔루션을 유럽에서 구현 및 배포하기로 약속했다(Deutsche Telekom et al., 2021[79]). 독일 정부는 마지막 경기 부양 패키지에서 개방형 RAN 기술에 20억 유로(미화 22억 8000만 달러)를 할당했다. 여기에는 5G 네트워크 구축을 위한 2억 5,000만 유로(미화 2억 8,540만 달러), 6G 연구를 위한 2억 3,700만 유로(미화 2억 7,055만 달러), 개방형 RAN 생태계 강화를 위한 3억 유로(미화 3억 4,247만 달러)가 포함된다(Handelsblatt, 2021[80]; TechTimes, 2021[81]).<sup>18</sup> 도이치 텔레콤은 2021년 6월 노이브란덴부르크(Neubrandenburg)에서 대량 다중입력 다중출력(Massive MIMO) 무선 장치로 개방형 RAN의 라이브 설치를 시작했다고 발표했다 (Deutsche Telekom, 2021[82]).

영국은 관련 우선 조치 시행을 위해 2억 5,000만 파운드(3억 4,960만 달러)를 제공하는 "5G 공급망 다양화 전략"의 핵심으로 개방형 RAN을 적극 추진하고 있다(UK Government, 2020[83]).<sup>19</sup> 2021년 4월 영국 디지털문화미디어체육부(DCMS)는 공급망 다각화 전략의 맥락에서 정부에 보내는 조사 결과와 권고안을 요약한 "통신 다각화 태스크포스" 보고서를 발표했다.(UK Department for Digital Culture Media & Sport, 2021[84]). 2021년 7월, 영국 정부는 태스크포스 보고서와 권장안에 응답하며 이미 취한 조치와 향후 계획된 조치를 설명했다(UK Government, 2021[85]). 예를 들어, DCMS는 개방형 RAN의 기술적 과제 해결이 목표인 프로젝트에 최대 3천만 파운드(미화 4,195만 달러)<sup>20</sup>를 투자할 미래 RAN 경쟁(FRANC)을 출범했다(UK Department for Digital Culture Media & Sport, 2021[86]). FRANC는 다른 두 개의 개방형 RAN 프로젝트인 SmartRAN 개방형 네트워크 상호 운용성 센터(SONIC) 및 NeutrORAN과 더불어 개방형 RAN 연구개발(R&D)을 지원하는 장기 프로그램의 일부이다. 소닉 랩스(SONIC Labs)는 오픈컴과 디지털 캐터펄트(Digital Catapult: 첨단 디지털 기술의 조기 채택을 앞당기는 기관) 간의 공동 프로그램이다. 2021년 6월에 출범했으며, 개방형 RAN을 시작으로 다중 벤더 개방형에 세분화되고 소프트웨어 중심인 네트워크 제품과 서비스에 중점을 두고 통신 공급망 내 새로운 서비스의 출현 촉진을 목표로 한다. 소닉 네트워크는 기술 테스트와 결합 및 개방형 RAN이 영국에 제공할 편익 파악을 위해 다른 공급자와 힘을 합쳐 영국 전역의 여러 지역에 설치되었다(UK Government, 2021[87]).

라틴 아메리카 내 개방형 RAN의 최초 사례로 콜롬비아 이동통신 사업자인 티고 콜롬비아(Tigo Colombia)는 패럴렐 와이어리스(Parallel Wireless)와 힘을 합쳐 O-RAN 호환 아키텍처를 사용하여 국내 시골 지역에 4G 서비스를 배포한다. 초기 계획은 362개 사이트를 티고 콜롬비아 망에 연결하는 것이다. 배포 제1단계는 2022년 3월까지 완료될 예정이다(Fierce Wireless, 2021[88]).

### *"비욘드 5G (5G 다음 세대)" 구상*

네트워크 산업과 기술 커뮤니티는 여러 국가 및 조직과 함께 "비욘드 5G 모바일 기술"에 관한 작업을 시작했다. ITU-R 작업반 D는 2021년 "2030년 이후 IMT 비전"에 관한 작업을

시작했다(ITU, 2021[89]). 정부, 산업, 연구 구상은 5G를 넘어 통신 네트워크 컨버전스의 다음 단계에 대한 비전을 형성할 수 있는 소수의 국가에서 진행되고 있다. 즉, 중국, 유럽 연합, 핀란드, 독일, 일본, 한국, 영국, 미국이 구상을 진행하고 있다.

유럽 연합을 살펴보면, 2021년 7월 유럽연합 집행위원회는 2021~2027년의 장기 예산 기간 동안 9억 유로(미화 10억 2700만 달러)를 공공 R&D에 투자하는 6G 스마트 네트워크와 서비스 공동 사업(6G Smart Networks and Services Joint Undertaking)의 전략적 유럽 파트너십에 관한 법안을 채택했다<sup>21</sup> (European Commission, 2021[90]). 서비스 공동 사업은 연구와 혁신을 위한 유럽 연합의 핵심 자금 조달 프로그램인 "Horizon Europe"에 따른 6G 기술 연구 활동 및 CEF(Connecting Europe Facility)디지털과 기타 프로그램 하의 5G 배포 구상을 조정할 것이다(European Commission, 2021[91]) "비욘드 5G" 구상은 핀란드와 독일 같은 유럽 연합 회원국에서도 실시한다. 핀란드 오울루(Oulu) 대학교는 5G 기술 확립을 마무리하고 6G를 구현하는 데 필요한 신기술 개발을 돕기 위해 "6G 플래그십" 프로젝트를 만들었다(University of Oulu, 2021[92]). 핀란드 6G 플래그십 연구 프로그램도 일본 총무성(MIC)의 '비욘드 5G 추진 컨소시엄'과 양해각서(MOU)를 체결했다(NikkeiAsia, 2021[93]). 이와 유사하게 독일 정부는 6G 중심 미래 통신 기술 혁신 생태계 기반 조성을 목표로 2025년까지 6G 기술 연구에 최대 7억 유로(7억9900만 달러)를 지원할 계획이다(RCR Wireless, 2021[94]).

영국은 서리 대학교(University of Surrey)의 6GIC 프로젝트로 6G 연구를 시작했다(5GIC, 2020[95]). 6GIC는 비욘드 5G 기술 비전에 다양한 측면이 포함되지만 기후 변화, 전염병 통제, 경제 성장과 같은 주요 사회적 난제를 해결하는 혁신 서비스를 지원해야 한다고 생각한다(TechRadar, 2020[96]). 또한 미국과 영국은 2021년 6G를 비롯한 핵심 분야 파트너십으로 과학 기술 분야의 양국 관계를 강화하고 디지털 기술 표준에 한층 협력하기로 합의했다(LightReading, 2021[97]).

일본은 6G 연구·개발을 위한 여러 가지 프로젝트를 운영한다. 총무성은 R&D 전략, 표준화 전략, 국제 확장 전략을 포함하는 "비욘드 5G 추진 전략: 6G를 향한 로드맵"을 시작했다.(MIC, 2020[98]). 2020년 12월에는 '비욘드 5G 추진 전략' 추진을 위해 '비욘드 5G 추진 컨소시엄'을 구성했다. 또한 미국과 45억 달러의 공동 자금(즉, 양국이 각각 미화 25억 달러와 20억 달러 투자)으로 "비욘드 5G" 기술 연구·개발에 협력하는 협정을 체결했다(TelecomTV, 2021[99]). 이 외에도 일본 업계가 6G에 적극적이다. 통신 사업자인 KDDI는 6G 사용 사례에 대한 6G 백서를 발간했고(KDDI, 2021[100]), NTT와 후지쯔는 6G로 전략적 제휴를 맺었다. 세 기업은 IOWN(혁신적인 광학 무선 네트워크) 개념을 지원하는 다양한 파트너와 전 세계적인 협력을 바란다<sup>22</sup> (NTT and Fujitsu, 2021[101]). 뿐만 아니라 소프트뱅크는 2021년 7월 6G 컨셉 노트를 발표했다(SoftBank, 2021[102]).

상기 언급한 일본, 영국 같은 국가와 6G에 관해 협력하는 것 외에도 미국이 자체적으로 보유하고 있는 6G 구상도 있다. 2019년 미연방통신위원회(FCC)는 기업이 비욘드 5G 기술을 위해 잠재적인 신제품과 서비스를 테스트하고 검증할 수 있도록 95GHz~3THz까지 광범위한 주파수 영역을 10년 면허와 함께 개방했다(FCC, 2019[103]). 또한 2021년 7월 처음으로 제출된

"6G 태스크포스" 법안은 FCC가 6G 기술 설계와 배포 방식 조사용 "6G 태스크포스"를 구성하게 한다(Congress.gov, 2021[104]). 이 외에도 미국 통신산업은 북미 6G 로드맵을 위해 넥스트 G 얼라이언스(Next G Alliance)를 설립했다. 넥스트 G 얼라이언스에서 에이티엔티와 에릭슨의 경영진이 전체 구성원 집단의 의장을 맡고, 노키아, 에이티엔티, 브이엠웨어(VMware) 대표는 운영집단의 공동 의장이 되어 북미 내 주요 R&D 요구사항을 파악한다(ATIS, 2021[105]). 마지막으로, 텍사스 대학교 오스틴 캠퍼스는 고급 감지, 위치, 기계 학습 능력과 테라헤르츠 대역 연구에 중점을 둔 6G 연구 센터를 설립했다(FierceWireless, 2021[106]).

한국도 '비욘드 5G' 구상에 참여하고 있다. 2020년 9월 과학기술정보통신부(MSIT)는 차세대 6G R&D 프로젝트를 수립했다. 2021년 6월에는 "6G R&D 실행계획"에 2,200억 원(미화 1억 9,600만 달러)의 투자를 발표했다<sup>23</sup>(KoreaTechToday, 2021[107]). "6G R&D 실행계획"은 6G 기술의 글로벌 리더가 되기 위한 세부 실행 계획으로 1) 차세대 핵심 원천기술 확보 2) 국제표준 및 특허권 확보 3) 6G 연구 및 산업기반 마련을 제시한다. 과기정통부는 실행 계획을 통해 통합 지상·위성 네트워크를 포함한 6G 핵심 기술을 개발할 것이라고 밝혔다. 또한 6G 네트워크 개발의 일환으로 14개의 LEO 통신 위성도 발사할 계획이다. 한국은 2031년까지 새로운 LEO 위성 네트워크 테스트를 목표로 한다(Ministry of Science and ICT, 2021[108]). 2021년 8월 LG전자와 한국과학기술원(KAIST)이 공동으로 설립한 LG-KAIST 6G 연구센터는 빔포밍(전파를 한 곳에 모아 집중 전송하는 기술)이 테라헤르츠 스펙트럼 대역에서 작동해 6G 적합성을 입증했다고 주장했다(Aju Business Daily, 2021[109]).

## 한국의 디지털 뉴딜과 5G+ 전략

한국 정부는 2020년 7월 "뉴딜"을 출범하고 2025년까지 경제 회복을 촉진한다. 한국판 뉴딜("대한민국 대전환 국가전략")은 디지털 정책을 지속가능성과 함께 두 개의 주요 기둥으로 설정하며, 여기에서 연결성이 중요한 역할을 담당한다. 디지털 구성요소는 "DNA(데이터 네트워크 인공지능) 인프라 기반 디지털 전환의 중심인 스마트 국가"에 중점을 둔다. 즉, 5G와 AI를 경제 전 부문에 통합하고 산업의 디지털 전환을 촉진하는 프로젝트를 제안한다(Ministry of Economy and Finance of Korea, 2020[110]).

정부는 시행 1년 만에 디지털 뉴딜의 결과와 주요 성과를 발표했다. 이와 함께 "디지털 뉴딜 2.0"이 갈 길을 발표하며 주요 정책 방향을 제시했다. 디지털 뉴딜 2.0은 디지털 기술과 녹색 에너지 사업에 중점을 둔 미화 1,910억 달러 상당의 경기 부양 패키지를 포함한다(Ministry of Economy and Finance, 2021[111]).

디지털 뉴딜의 일환으로, 통신 부문의 주요 정책 방향은 국내 5G망 설치를 앞당겨 산업에 응용하여 경제적 사회적 영향을 높이는 것이다(Ministry of Science and ICT, 2021[112]). 한국은 5G 네트워크를 산업용으로 활용하고 B2B 5G 비즈니스 모델을 확대할 계획이다. 2021년 말을 목표로 전용 사설 5G망 구축을 촉진한다. 2022년 초까지 새로운 대역을 할당하는 것이 하나의 이정표가 될 것이다.

정부는 5G 사설망 활성화를 위해 2021년 9월 시행 로드맵과 함께 “5G 융합서비스 확산 전략”을 발표했다. 해당 전략은 한국이 “세계 최초 5G 상용화”를 넘어 “세계 최고 5G+ 강국”으로 도약한다는 명확한 목표를 분명히 한다(Ministry of Science and Technology, 2021[113]). 제안된 이행 로드맵은 아래와 같다.

1. 스마트 팩토리, 디지털 헬스케어, 스마트시티 애플리케이션, 완전자율주행차 등 일상생활을 위한 융복합 서비스를 육성한다.
2. ‘한국형 5G PPP’구축으로 민간의 적극적인 참여를 유도한다.
3. 2022년 초까지 스펙트럼을 할당하여 민간 부문의 투자를 늘리고 다양한 서비스와 애플리케이션을 제공할 수 있는 전용 사설 5G망을 활성화한다.
4. 5G 네트워크 기반 정부 업무 환경을 조성한다.
5. 국내 기업의 단말장치, 통신장비, 소프트웨어 개발의 경쟁력을 높여 탄탄한 산업기반을 조성한다.
6. 3GPP 등 표준 제정 과정에 적극 참여하여 글로벌 5G+ 리더십을 확보에 주력한다.

#### *한국의 사설 5G망(특화망) 정책*

2021년 1월 과기정통부는 “사설 5G망 구축계획”을 발표했다. 해당 계획은 사설망의 개념과 3가지 주요 운영 모델의 개요, 국내 동향 조사, 사설 5G망 구축을 원하는 통신사업자와 기타 기업(예: 산업체)의 설문 조사를 담았다. 설문조사 응답에 따라 사설 5G망 구축과 운영을 통신사업자만이 아니라 이른바 ‘사설 5G망 사업자’까지 확대했다(MSIT, 2021[114]).

해당 계획의 세 가지 지주는 1) 생태계 내 다양한 참여자를 확보하여 경쟁력 있는 사설 5G망을 갖춘 시장 활성화 2) 사설 5G망 주파수 할당 3) 공공사업과 민간사업 연계로 사설 5G망 수요 창출이다.

목표는 사설 5G망을 설치하려는 이해관계자에게 충분한 밀리미터파 스펙트럼(28GHz 대역 600MHz 폭)을 제공하는 것이다. 이에 더해 지역 차원에서 6GHz 이하 주파수를 공유하여 B2B 비즈니스 모델에 대한 추가 주파수를 확보하려 한다. 기업이 자체망을 설치하려는 경우 “특화” 주파수 할당 절차를 통해 주파수 자원에 접근할 수 있다. 기업이 통신사업자에 등록하면 사설망은 사업자의 허가된 주파수를 통해 주파수 자원에 접근할 수 있다. 지역 사업자에게 주파수를 공급하기 위해 지역별 구분과 할당 절차, 가격 산정, 간섭 개선 방안 등 세부적인 공급 방안을 마련하고 있다.

과기정통부는 신 비즈니스 모델을 육성하기 위해 여러 가지를 시험하고 시범 사업을 추진한다. 예를 들어, 과기정통부는 새로운 비즈니스 모델을 발견하고 실행을 테스트하기 위해 항구, 국방 같은 공공 부문에서 사설 5G망의 사용을 촉진하고 있다. 또한 사설 5G망 장비를 검토하고 테스트를 진행한다. 과기정통부는 핵심장비기기 경쟁력을 강화할 수 있는 단말제조 생태계 구축과 연구개발 확대를 지원해 B2B 단말장치 개발에도 박차를 가한다.

2021년 6월 "사설 5G망 구축계획"의 후속 조치로 "사설 5G망 주파수 할당 계획"을 발표했다. 공청회를 거쳐 수립된 세부 정책 방안을 제시하고 사설 5G망에 적합한 주파수 할당을 목표로 한다. 약속한 전략에 따르면 정부는 자격 기준에 맞춘 심사를 거쳐 기업에 주파수를 할당할 계획이다. 사설 5G망 주파수 할당 관련 자격 기준은 새롭게 정의하고 간소화하였다. 주파수 비용은 기업에 과도한 부담을 주지 않는 선에서 산정한다. 사설 5G망을 구축하려는 기업은 주파수를 할당받은 다음 라디오를 송출할 수 있다(MSIT, 2021[115]).

과기정통부는 2021년 10월 사설 5G망 구축과 운영 방법 관련 정보를 제공하는 "사설 5G망 지침"을 발표했다. 지침에 따라 기업은 사설망 구축 여부를 독립적으로 평가하고 필요한 경우 자체 특화망 구축을 계획할 수 있다. 이 외에도 주파수 할당 절차와 보고 의무 같은 관리 절차 관련 정보도 제공한다(KCA, 2021[116]).

## 비온드 eMBB(초광대역 이동통신): 5G 산업 사용 사례

### OECD 회원국의 B2B 적용 사례

일부 회원국은 특정 대역에서 로컬 사용을 위해 주파수를 개방하는 과정을 시작했으며, 이로 인해 사설 5G망 설치가 가능하다(Kavanagh, 2020[117]). 사설 5G망은 주로 스마트 공장과 같은 B2B 사용 사례를 위한 것이다.

#### 프랑스

프랑스 알셉(통신방송규제기관: ARCEP)은 2~600MHz 대역 주파수를 대도시 기업에 제공했다. 주파수는 2019년 5월에 열린 포털을 통해 부여된다. 예를 들어, 공항 운영자인 에이디피 그룹(ADP Group)과 자회사 허브원(Hub One)은 10년 기간으로 4G와 5G 라이선스를 받았다(European 5G Observatory, 2020[118]). 허브원은 에이디피 그룹과 에어 프랑스(Air France)를 대신하여 망을 관리하고 설정한다. 에릭슨은 파리 샤를드골 공항, 파리 오를리 공항, 파리 르부르제 공항이 통신범위인 모바일 사설망을 구축하고 허브원이 국가정보시스템안전원(ANSSI)의 신규 보안 의무를 준수할 수 있도록 선택되었다(Ericsson, 2020[119]).

#### 독일

독일 통신 규제 기관(Bundesnetzagentur: BNetzA)은 3.7~3.8GHz 대역에서 100MHz를 산업용으로 특별 할당하여 지역 캠퍼스 라이선스를 위해 쓸 수 있게 했다. 2021년 9월까지 사설 5G망 설치 신청자에게 148개의 라이선스를 부여했는데, 이는 2020년 9월의 74개와 비교해 거의 두 배에 달한다(Bundesnetzagentur, 2021[120]).

비엠더블유(BMW), 포르쉐, 메르세데스-벤츠(Mercedes Benz) 등 자동차 제조업체도 로컬 라이선스를 받았다. 예를 들어, 텔레포니카는 메르세데스-벤츠와 협력하여 2020년 9월 4일 독일 진델핑겐(Sindelfingen)에 "팩토리 56(Factory 56)"이라는 5G 자동차 공장을 열었다. 공장은 5G WLAN 망으로 완전히 디지털화되었다(Daimler, 2020[121]). 보다는폰은 에릭슨과 손잡고 독일의 전기 자동차 회사인 이고(e.GO)에 사설망을 구축했다. 모바일 네트워크 슬라이싱으로 이고의 '인더스트리 4.0' 공장에 스펙트럼 조각을 할당하여 중요한 제조 과정의 간섭을 방지한다. 암호화로 통신을 보장한다. 이고 공장은 다중 액세스 엣지 컴퓨팅(MEC)도 사용한다(IoT Automotive News, 2020[122]).

독일 로컬 캠퍼스 라이선스의 최초 신청자는 루프트한자(Lufthansa)였다. 2020년 2월 보다는폰 독일과 루프트한자는 독일 함부르크의 8,500m<sup>2</sup> 항공기 격납고에 자립형 기술 기반 사설 5G망을 설치했다. 첫 번째 응용 프로그램은 가상현실(VR)과 증강현실(AR)을 사용하여 빈 항공기 동체에 있는 계획된 객실 장비 및 기타 최종 장치의 CAD(컴퓨터 지원 설계) 데이터를 태블릿에 시각화한다. 루프트한자는 데이터 전체가 격납고 자체 내에서 처리되는 동안 네트워크에서 CAD 데이터 전송이 매우 까다로운데, 이제는 네트워크의 업로드와 다운로드 요건을 변경할 수 있다고 강조했다(Telecoms.com, 2020[123]).

독일의 한 연구 사례도 사설 5G망의 개방형 RAN 사용 가능성을 보여준다. 프라운호퍼 집적회로연구소(Fraunhofer IIS)는 BNetzA가 부여한 지역 주파수 라이선스를 사용하여 에를랑겐(Erlangen)과 뉘른베르크(Nuremberg)에 있는 자체 사이트에 O-RAN 얼라이언스의 규격을 기반으로 사설 5G망을 구축하고 있다(Counterpoint, 2020[124]). 사설 5G망 솔루션의 경우, 노키아와 에릭슨은 "자체 클라우드 RAN 기반 분리 솔루션을 출시하여 O-RAN 기반 시스템과 경쟁을 목표"하고 있다(Counterpoint, 2020[124]).

## 일본

일본 총무성(MIC)은 2019년 12월부터 28.2~28.3GHz 대역의 로컬 5G망 구축 신청을 받았다. 이어 2020년 12월에는 4.6~4.9GHz, 28.3~29.1GHz 대역의 로컬 5G 라이선스 신청을 요청했다. 2021년 10월까지 66개의 라이선스를 주로 제조 산업, 연구 기관, 정보 기술 서비스 기업, 케이블 광대역 사업자, 국가 및 지방 정부가 받았다(MIC, 2021[125]).

후지쯔는 가장 먼저 로컬 5G 라이선스를 획득한 기업이다. 획득한 라이선스는 2020년 3월 자사 공장에서 상용으로 사용하기 시작했다(Fujitsu, 2020[126]). 5G는 공장 내 무인 운반 차량(AGVs) 운행 및 엣지 컴퓨팅 환경을 이용해 4K 이미지 전송하여 제품과 작업 절차를 실시간 분석 및 검토하는데 사용한다. 이 외에도 로컬 5G망을 사용하여 공장, 농업, 헬스케어 같은 다양한 분야에 종사하는 타 기업에 서비스를 제공한다(Fujitsu, 2021[127]).

2020년 2월 도쿄대학교와 엔티티 이스트(NTT East)가 공동으로 '로컬 5G 오픈 랩'을 설립했다(the University of Tokyo, 2019[128]). 해당 랩은 로컬 5G망의 사용 사례를 만들어 여러



기업에 테스트베드를 제공한다. 도쿄 시정부도 도쿄대학교 및 엔티티 이스트와 협력하여 중소기업에 로컬 5G 테스트베드를 제공하는 'DX 프로모션 센터'를 설립했다.

엔티티 이스트는 2021년 7월 개최된 도쿄 올림픽과 장애인 올림픽에서 미디어 기업을 위한 로컬 5G망을 시험했다. 경기장에서 미디어 기업에 로컬 5G망을 제공하고, 망을 이용해 경기장에서 프레스 센터로 이미지를 빠르게 전송할 수 있었다(NTT East, 2021[129]).

이 외에도 총무성은 2021년 8월 로컬 5G망 시범사업 공개 입찰을 실시했다. 총무성은 주로 농업, 헬스케어, 관광, 스마트 공장, 인프라, 교통, 방재 분야에서 26개의 사용 사례를 수집했다. 예를 들어, 선정된 회사 중 스미토모(Sumitomo)는 도큐 전철, 후지쓰와 함께 철도 산업에서 사설 5G 시스템 사용을 시험할 예정이다. 즉, 열차와 역 승강장에서 촬영한 고해상도 4K 영상을 사설 5G망으로 전송하고 AI 시스템으로 분석해 철도 순찰과 신호 시스템의 효율성을 높인다(Sumitomo, 2021[130]).

## 한국

한국 통신사업자 LG유플러스(LG U+)는 디지털 뉴딜 구상에 참여해 스마트공장, 스마트항만, 스마트시티 등 다양한 5G 활용 사례를 연구하고 있다. 스마트공장과 관련해서는 타 기업과 협력하여 산업현장의 안전성을 개선하고 중소기업의 경쟁력을 높인다. 마찬가지로 LG유플러스는 2020년 스마트공장에 5G 연결성 솔루션을 적용하여 사전 유지관리, 이미지 분석, 제품 하자 자동 감지 등으로 효율성과 생산성을 더했다. 2021년에는 배전반 온도 분석과 배출 농도 추정을 통한 산업재해 예방을 목표로 5G 연결성 솔루션을 화학산업 현장으로 확대했다. 스마트항만과 관련해서는 보안 강화를 목표로 자동화를 구현해 항만 경쟁력을 높이고 있다. 예를 들어 2023년 광양에 스마트항만 테스트베드 구축을 목표로 하고 있다. 항만에 원격 제어 크레인과 물류 안전 솔루션을 도입하여 충돌을 지양한다. 실시간 영상은 LG유플러스가 5G-MEC로 자체 저지연 비디오 전송 솔루션을 구현하는 데 중요한 역할을 할 것이다.

통신사업자인 KT도 5G의 잠재력을 최대한 활용하기 위해 여러 가지 방법을 모색하고 있다. 산업자동화, 스마트항만 등의 분야에서 5G 응용 방법을 발굴하는 것 외에도 정부와 공조해 공무원을 위한 5G 전국망 구축을 추진하고 있다. 5G 전국망은 유선 근거리 통신망(LAN)을 5G 무선랜 망으로 전환하여 건물 내가 아닌 전국적인 '5G 무선 사무실' 구현이 목표다. 5G 무선랜 망은 보안 터널링으로 안전한 5G 작업 환경을 제공하는 정부모바일게이트웨이(GMG) 기술 기반으로 정부 장치에 고정 IP 주소를 할당하고 승인된 사람과 기기만 접속이 허가되는 기제를 사용한다. 한국은 2022년 5G 국가망 구축에 착수해 2025년 사업을 마무리할 예정이다.

한국 통신사업자인 SK텔레콤(SKT)도 B2B 5G 애플리케이션 분야에 진출했다. 자체 5G망에서 실행되는 구독 기반 스마트공장 서비스를 도입하여 현지 제조 업체에 맞춤형 빅 데이터 분석을 제공한다. 더구나 SK텔레콤은 클라우드 기반 메타트론 그랜드뷰 서비스를 6개월 동안 무료로 제공한다. SKT의 그랜드뷰 서비스는 중소 제조업체에 스마트공장 기능을 저렴하게 제공하여 자동화를 촉진하고 운영 효율성을 개선한다. 고객을 위해 스마트공장 운영 교육을 마련하고 IoT



단말기도 설치해 준다(Mobile World Live, 2020[131]). 이 외에도 서비스형 MEC, 즉 MECaaS 개념을 개발하여 엣지 특화 서비스의 성능과 생산성 개선을 노린다. MECaaS는 API 서비스를 개선하고 AI 시스템의 대기 시간을 줄이며 양자 암호화 및 동형 암호화를 통해 매우 민감한 데이터의 보안을 높이는 데 유용하다.

## 미국

미국에 산업용 애플리케이션이 포함된 사설 5G망의 예시도 있다. 예를 들어 텍사스 루이스빌 소재 에릭슨은 사설 5G망을 위해 공장에 배치한 것과 동일한 장비를 생산한다. 에릭슨은 공장에서 다양한 기술 사용 사례를 개발했다. 한 가지는 창고나 생산 환경에서 흔히 볼 수 있는 자율 이동 로봇을 연결하는 것이다. 에릭슨은 모바일 로봇 제조업체와 협력하여 로봇 자체에 5G를 연결하여 해당 사용 사례를 계속 개발·채택할 수 있는 방법을 모색한다. 공장에 배치된 기술로 에릭슨은 센서나 센서 데이터를 운영에 통합하는 방법을 이해할 수 있고 케이블을 포설하거나 Wi-Fi 핫스팟을 추가할 필요가 없다(RCR Wireless News, 2021[132]). 공장에 통합된 5G 관련 개선 사항 덕분에 에릭슨의 생산성이 크게 향상될 것으로 추정한다(예: 직원당 생산이 2.2배 더 높음)(Ericsson, 2021[133]). 결론적으로, 퀄컴(Qualcomm)이 위탁한 보고서에 따르면 5G를 미국 제조업에 통합하면 생산성이 20~30% 향상될 수 있다(Accenture, 2021[134]).

버라이즌은 노스캐롤라이나주 히커리(Hickory) 소재 코닝(Corning)의 광섬유 케이블 제조 시설에 “울트라 와이드밴드” 5G 서비스(즉 밀리미터파 주파수 5G)를 설치했다. 코닝은 버라이즌의 5G 기술을 사용하여 세계에서 가장 큰 광섬유 케이블 제조 시설에서 5G가 공장 자동화 및 품질 모니터링 같은 기능을 어떻게 향상시킬 수 있는지 시험하려 한다. 양사는 또한 새로운 5G 기반 솔루션을 공동 혁신하려 한다. 버라이즌과 코닝의 엔지니어는 공장에서 5G를 사용하여 기계끼리 거의 실시간 통신하게 하는 고속 데이터 수집을 수행하고 5G에 연결된 카메라를 사용하여 무선으로 재고를 추적 및 검사하는 방법을 탐구하려 한다(Verizon, 2019[135]).

버라이즌은 또한 미라마 해병대 항공기지(캘리포니아주 샌디에이고 소재)와 협력하여 군과 기타 미 국방부(DoD) 기관이 사설 5G망을 사용하여 통신에서 기지 보안에 이르기까지 다양한 영역에서 작전을 혁신할 수 있는 방법을 모색한다. 미라마는 버라이즌의 5G “울트라 와이드밴드” 서비스에 접근할 수 있는 최초의 미군 기지로 “국방부와 상업 파트너 간의 협업을 촉진하는 5G 리빙랩” 역할을 할 것이다. 해병대 항공기지에 설치된 라이브 5G를 이용해 한층 잘 보호되고 회복력이 있으며 완전 자동 운송으로 지원되는 미래 스마트 기지 구축에 5G의 역할을 시험하는 것이 목표이다(Verizon, 2020[136]).

자동차 산업을 위한 스마트 공장과 관련하여 GM은 2020년 11월 20일 디트로이트에서 버라이즌의 “UWB 5G 기술” 기반 전용5G망 사용하는 “팩토리 제로(Factory Zero)”를 시작했다. GM은 “5G망이 로봇 공학, 센서, 무인 운반 차량(AGVs) 같은 공장 내 다양한 커넥티드 기계와 장치를 운영할 수 있는 빠르고 안정적인 네트워크를 제공할 것”으로 기대한다(GM Authority

Blog, 2020[137]). 즉, GM은 센서, 로봇, AGV 같은 5G 기반 커넥티드 장치가 공장에 중요한 품질 및 보안 편익을 제공할 것으로 기대한다(GM, 2021[138]).

## 최초의 5G 단독모드(사설망) 상용화 및/또는 네트워크 슬라이싱 경험

### 5G 단독모드 상용화

초기 단계에서 5G는 가상 및 증강 현실 애플리케이션 같은 애플리케이션에 강화된 속도와 용량을 부여하여 eMBB(향상된 광대역 이동 통신)를 제공하기 위해 무선 접속망에 설치된다. 그러나 두 번째 단계에서 5G 핵심망이 도입되면 여러 부문에서 맞춤형 비즈니스 애플리케이션이 가능해진다. 결과적으로 5G망 구축의 두 번째 단계는 URLLC(초고신뢰·저지연 통신)와 mMTC(대규모 사물 통신)에도 중점을 둔다.<sup>24</sup> 주요 기능 중 하나인 네트워크 슬라이싱을 사용하면 혁신적인 AI 및 IoT 비즈니스 모델을 포함하여 경제의 모든 부문에서 다양한 사용 사례 및 애플리케이션에 맞춤형 연결성을 허용할 수 있다.

5G의 이러한 혁신적 측면은 5G 이동통신 “단독모드(SA)”로 시작될 가능성이 높다. 5G 비단독 모드(NSA)와 5G 단독 모드(SA)의 차이점이라면 NSA는 현재 4G 핵심망을 사용하여 구축되는 반면 SA는 완전히 새로운 망을 전체적으로 배포해야 한다. 즉, 5G SA는 5G(즉, 5G 핵심망: 5GC)를 위한 3GPP 핵심망 아키텍처와 5G 무선 인터페이스(즉, New Radio: NR)를 모두 사용한다.

GSA(세계이동통신공급자협회) 보고서에 따르면, 2021년 전 세계 400개 통신사가 일반적인 5G에 투자하는 것과 대조적으로 38개국 68개 통신사가 공공 5G SA망(시험판 및 계획되거나 실제 설치된 것 모두 포함)에 투자했다(GSA, 2021[139]). 2021년 7월, GSMA는 무선망 사업자(MNO)의 38%가 5G SA의 출시와 설치 계획을 발표했다고 보고했다(GSMA Intelligence, 2021[140]).

OECD 회원국 내 5G SA망 설치 관련 발전한 부분이 있다. 예를 들어, 호주 텔스트라(Telstra)는 일단 적절한 장치가 충분히 출시되면 5G SA 트래픽 처리를 목표로 클라우드 네이티브 5G 핵심망(5GC)에 연결하여 5G RAN(무선접속망) 범위를 업그레이드할 것이라고 발표했다(RCR Wireless, 2021[141]; GSA, 2021[139]).

핀란드에서 텔리아(Telia)는 노키아를 파트너로 2021년 11월 북유럽 및 발트해 연안 국가 최초로 상용화된 5G SA 코어망을 출시했다. 네트워크 슬라이싱을 사용하며 핀란드 내 20개 지역에서 시작되었다(Telia, 2021[142]). 노키아는 현재 덴마크, 에스토니아, 리투아니아, 노르웨이, 스웨덴에서 텔리아용 5G SA 코어망 출시를 준비 중이다(Nokia, 2021[143]).

독일에서 보다폰은 2021년 11월 5G SA가 활성화된 지역을 넓혔다고(즉, 3,500만 명) 발표했다. 2022년에 6천만 명을 연결하고 2023년에는 전체를 SA망 통신범위에 넣는 것을 목표로하며, 에너지 소비도 40% 절약할 것으로 기대하고 있다(Vodafone DE, 2021[144]).

미국에서는 T-모바일(T-Mobile)이 2020년 8월 600MHz를 사용하여 5G SA를 전국에 설치하기 시작했다(Telecoms, 2020[145]). 비슷한 움직임으로 버라이즌과 에이티엔티는 2022년 설치 계획인 5G SA 핵심망을 시험 중이다(FierceWireless, 2021[146]).

영국에서 보다폰은 2020년 7월 코번트리 대학교(Coventry University)에서 애초에 가상 현실 기반 간호사 교육훈련용이었던 5G SA를 설치했다(RCRWireless, 2020[147]). 2021년 6월이 되자 런던, 맨체스터, 카디프에서 5G SA 상용 시범 프로그램을 시작했다(Vodafone UK, 2021[148]).

비 OECD 회원국에서도 5G SA가 출시된 예가 있다. 예를 들어 싱가포르 싱텔(Singtel)은 2021년 5월 5G SA망을 시작했다(Singtel, 2021[149]). 싱가포르의 3개 네트워크 운용사업자(싱텔, 스타허브, M1)는 각각 5G 서비스를 출시했다. 중국에서는 3사(차이나 모바일, 차이나 유니콤, 차이나 텔레콤) 모두 5G SA망을 출시했다. 차이나 모바일은 단독모드 서비스를 지원하기 위해 40만 개의 기지국을 설치하거나 업그레이드했으며, 차이나 텔레콤은 300개 이상의 도시에서 5G SA 서비스 출시 계획을 발표했다(GSA, 2021[139]).

5G SA 망 설치를 가능하게 하는 요소는 DSS(동적 스펙트럼 공유)라고 하는 기능으로 사업자가 4G와 5G 트래픽 간의 스펙트럼 균형을 실시간으로 조정하여 스펙트럼 리파밍의 필요성을 제거하는 데 유용한 도구이다. 즉, DSS는 5G가 4G와 동일한 스펙트럼 대역에서 동시에 실행되도록 하며 "사내(intra-operator)" 유형의 스펙트럼 공유로 간주될 수 있다.<sup>25</sup> 운영자가 망의 조건과 트래픽 요구 사항에 맞게 사용자/장치 간 주파수 자원을 동적으로 관리할 수 있기 때문이다(RSPG, 2021[150]). 예를 들어, 버라이즌은 미국에서 2020년 10월 DSS 기술을 사용하여 2억 명을 대상으로 하는 새로운 "전국" 5G 서비스를 활성화했다고 발표했다(Comms Update, 2020[151]).

### 네트워크 슬라이싱

5G는 사용 측면에서 매우 다양한 시나리오를 수용할 것이다. 따라서 망 아키텍처는 유연하게 이러한 요구를 충족해야 한다. 유연성을 기르기 위해 사용하는 방법이 네트워크 슬라이싱이다. 여러 "가상" 레이어 또는 슬라이스를 이용해 하나의 물리적 네트워크가 다양한 애플리케이션을 수용할 수 있는 능력을 뜻한다. 예를 들어, 산업용 사용자는 비상망이 아닌 다른 것을 요구할 수 있다. 이로써 다양한 애플리케이션이 각자 다른 망 요구 사항을 갖는 혁신적인 IoT 및/또는 AI 비즈니스 모델을 위한 길을 닦을 수 있다.

네트워크 슬라이싱의 주요 이점은 운영자가 특정 사용 사례에 필요한 망 자원을 할당하여 망에서 실행되는 다양한 애플리케이션에 대해 구체적인 품질 기능을 제공할 수 있으며, 어떤 경우에는 효율성을 높이고 비용을 절감할 수 있다. 한편, 네트워크 슬라이싱 구현에는 난제도 따른다. 즉, RAN 기반도 없지는 않지만, 네트워크 슬라이싱은 일반적으로 망의 핵심부에 적용된다. 따라서 상호 운용성을 시험 및 보장해야 하며 실제로 네트워크 슬라이싱을 구현하려면 업계의 합의가 필요하다.

OECD 지역에서 네트워크 슬라이싱이 시험되고 설치가 계획되었다. 오스트리아에서는 A1 사업자인 노키아와 철도망 제공자인 ÖBB가 A1의 기존 4G 핵심망에서 네트워크 슬라이싱을 시도했다. 해당 파일럿은 ÖBB의 제어 센터와 견인 차량 간의 실시간 데이터 전송 전용 슬라이스 테스트로 구성되었다(OBB, 2020[152]). 프랑스에서는 오렌지와 노키아가 2021년 6월 프랑스 르 보드레이(Le Vaudreuil) 소재 슈나이더 일렉트릭(Schneider Electric) 공장에 네트워크 슬라이싱과 결합된 4G/5G 사설망을 설치한다고 발표했다(Orange, 2021[153]).

네트워크 슬라이싱을 사용하는 자립형 5G 설치로 부문을 막론하고 광범위한 애플리케이션이 가능해진다. 전력 부문에서 네트워크 슬라이싱과 5G SA 관련 최근 예시는 보다폰 영국이 2021년 7월에 발표한 영국 최대 전력망 사업자 영국 파워 네트워크(UK Power Networks)와의 파트너십이다. 양사는 실시간 전력망 관리를 위해 “콘스텔레이션(Constellation)”<sup>26</sup>이라는 “스마트 변전소” 사업을 시험하고 있다. 전력망의 전압을 변환하는 변전소는 보다폰 5G SA망의 고도로 안전한 전용 슬라이스를 통해 서로 통신한다. 이 솔루션을 영국 전역에 적용하면 2050년까지 63~702톤의 CO<sub>2</sub>를 감축할 수 있으며, 이는 런던에서 뉴욕까지 38,607회 왕복 항공으로 배출하는 CO<sub>2</sub>량과 같다.(Vodafone, 2021[154]).

독일에서는 에릭슨, 도이치 텔레콤, 삼성이 5G 클라우드 코어와 5G RAN을 포함하는 “세계 최초의 5G 엔드 투 엔드”(즉, 5G SA) 네트워크 슬라이싱 시험이라 주장하는 시범 프로그램을 2021년 6월에 완료했다. 3사가 최적화한 2개의 슬라이스는 클라우드 가상 현실 게임용과 향상된 모바일 광대역용이다(Ericsson, 2021[155]).

미국에서 버라이즌이 기대하는 바에 따르면 5G SA가 네트워크 슬라이싱과 결합하여 대역폭은 높이고 대기 시간은 낮춘다는 점을 고려했을 때, 5G SA를 설치하면 여러 가지 새로운 애플리케이션(예: IoT, AR, VR, 혼합 현실 애플리케이션 등)을 상용화할 수 있다(Mobile World Live, 2020[156]).

## 미래 네트워크를 위한 정책과 규제 방안

### 고용량 유무선망 설치를 촉진하기 위한 정책과 규정

본 하위 항목은 고용량 유무선망의 설치를 촉진하기 위한 정책의 간략한 개요를 제공한다. OECD 회원국은 망 출시를 용이하게 하는 조치를 통해 차세대 유무선망을 촉진하기 위한 정책과 규정을 마련했다. 광케이블 포설을 촉진하는 유인책을 제공하기 위해 도매 규제 조치를 채택하거나 레거시 네트워크를 폐쇄하기 위해 규제 기본법을 손질하여 차세대 망으로의 전환을 가속화할 방법을 모색하는 회원국도 있다. 이 외에도 효율적인 스펙트럼 관리는 자원을 최대한 활용하고 고용량 무선망을 육성하기 위한 핵심 정책이다. 마지막으로, OECD 전역의 정책 입안자는 광대역 성능을 사용자(소비자, 기업)에게 알리는 데 지대한 관심을 보이며, 공공 기관은 광대역망 품질 데이터 게시 회수를 점점 늘리면서 사용자에게 투명성을 보장하는 혁신적인 기술을 추구한다.

### 증가하는 인프라 공유 협정

품질 높은 망에 대한 요구가 증가하면서 차세대 광대역망 구축 비용 절감을 위해 사업자 간 인프라 공유 계약이 증가하고 있다. 이러한 인프라 공유 계약은 때로 네트워크와 스펙트럼 공유의 수준이 높아지면서(즉, 수동 인프라 공유 계약이 아니라 네트워크 능동층 계약) 그 성격이 변화하게 되어 새로운 경쟁과 규제 문제를 일으킨다.

인프라 공유 계약은 수동적 인프라 공유(예: 마스트, 타워, 사이트 등)이거나 능동적 모바일 인프라 공유 계약이다(예: 무선접속망[RAN] 공유, 로밍, 소프트웨어 요소 등).<sup>27</sup> 대부분의 OECD 회원국은 장점이 단점보다 크다면, 즉 공유가 경쟁에 해롭지 않다는 전제 하에 인프라 공유를 권장한다.

과거 OECD 회원국에서는 수동적 인프라 공유가 적극적인 형태의 공유보다 더 일반적이었다. 그러나 무선접속망(RAN) 공유 계약과 같은 적극적인 공유 형태의 예시가 증가하고 있다. 예를 들어, 프랑스 부이그 텔레콤(Bouygues Telecom)과 SFR는 RAN 공유 계약을 맺었다. 스위스에서는 선라이즈(Sunrise)와 솔트(Salt)가 정해진 장소에 한해 RAN 공유 계약을 맺었다. 포르투갈에서는 보다폰 포르투갈과 NOS가 2020년 10월 인구 밀도가 낮은 지역은 RAN 공유 계약을 맺었고, 인구 밀도가 높은 지역에서는 수동적으로 인프라를 공유하기로 하였다(Vodafone Portugal, 2020[157]).

OECD 회원국에서는 광케이블 포설 비용을 줄이기 위한 유선망 공유 계약도 증가 추세다. 예를 들어, 2020년 12월 슬로바키아의 두 사업자(슬로박 텔레콤, 오렌지 슬로벤스코)는 "GPON 기술"<sup>28</sup>을 이용하여 광케이블망을 공유하는 계약에 서명했다(Orange Sk, 2020[158]).

### 네트워크 롤아웃 촉진과 배포 비용 절감

성공 가능한 국내 환경은 투자 유치에 큰 역할을 하며 망 구축 비용을 절감하면 투자를 유인할 수 있다. 따라서, 광대역 배포의 장벽을 줄여 통신사업자의 투자가 쉬워지는 정책은 통신망 확장과 업그레이드의 핵심적인 동인이 된다(OECD, 2021[159]).

통행권에 합리적으로 접근할 수 있으면 토목 공사 비용을 줄일 수 있으므로 차세대 망, 특히 광섬유의 출시를 촉진하는 데 중요한 원동력이 될 수 있다. 또한 정보와 공공 자산에 대한 액세스 증가는 광대역 배포에 결정적 역할을 한다. 예를 들어, 모바일 인프라의 설치 과정에서 타워 구축 위치를 결정하고 획득하는 데 많은 시간을 할애할 수 있다. 이 과정을 용이하게 하려면 국가는 공공 자산에 관한 정보의 투명성과 접근을 높일 수 있다. 또한, 다수의 OECD 회원국은 비광대역 인프라 사업(예: 공공시설, 가로등 제공자, 고속도로/도로 건설)을 활용하고 광대역망 배치 비용을 줄이기 위해 "중복 포설 금지(dig once)" 정책에 주목했다.

### 공동 투자 구상

광대역망 공동 투자나 공동 배포 정책을 시행하는 OECD 회원국이 늘어나고 있다. 예를 들어, 유럽 연합 전자통신규범(EECC)은 운영자가 관련 계약을 체결하면 완화된 규제를 적용하여 새로운 광통신망에 공동 투자를 유인한다.<sup>29</sup> 예를 들어, 호주 엔비엔 코(NBN Co)는 45억 호주 달러(미화 30억9,000만 달러)의 투자 패키지로 더 많은 광섬유를 네트워크 심부에 심을 계획이다.<sup>30</sup> 주, 테리토리, 지방 의회와 공동 투자 기회를 모색하여 호주 전역에 240곳의 비즈니스 광통신 구역(지역 센터의 85개소 포함)을 신설하면 지방과 외딴 지역의 가정과 사무실도 엔비엔의 고속 광대역 서비스에 접근할 수 있게 된다. 2023년 말까지 약 800만 건물(호주 가정과 기업의 최대 75%)을 대상으로 고정 무선이나 위성에서 기가비트 속도의 유선으로 서비스를 업그레이드하는 것도 사업에 포함된다.

모바일 망 간의 공동 배포 구상도 증가한다. 포르투갈에서는 최근 몇 년 동안 공동 투자 계약이 이어졌다(예: 이동 통신 사업자 NOS, 옴티머스와 보다폰 또는 MEO와 보다폰). 리투아니아와 라트비아에서는 MNO인 텔레2(Tele2)와 바이트 라트비아(Bite Latvija)가 2019년 6월 양국 5G의 공동 RAN에 공동 투자 및 배포 계획이 포함된 망 공유 계약에 서명했다(Tele2, 2019[160]). 덴마크에서는 MNO인 텔레노어(Telenor)와 텔리아가 2021년 4월 합작법인 '티티엔(TTN)' 명의로 5G 경매에 공동 입찰서를 제출했으며, 양사는 노키아와 손잡고 공동5G망 구축을 계획하고 있다(Nokia, 2021[161]).

### 백홀 연결 액세스 확장

5G뿐만 아니라 어떤 기술이든 속도를 높이려면 비즈니스 위치나 주거지에 관계없이 광섬유 백홀이 최종 사용자와 가까워야 한다. 백홀과 백본 연결성 개선 정책을 채택한 OECD 회원국도 있다.

한국의 규정에 따르면 네트워크 사업자는 투자 인센티브를 유지하면서 백홀 포함 광섬유를 공유해야 한다. 영국 정부는 “미래 통신 인프라 검토”에서 필수 모바일 인프라를 비롯 주거용과 사업용 광대역 사용을 위해 오픈리치의 덕트와 폴(즉, 비티의 실물 인프라 기업)에 “무제한 접근”을 허용하는 등의 조치를 마련했다(United Kingdom Department for Digital, Culture, Media and Sport, 2018[162]). 아일랜드 통신 규제 기관(ComReg)은 상당한 시장 지배력(SMP)이 있는 운영자에게 특정 상황에서 다크 파이버에 대한 액세스 권한을 부여했다. 스웨덴에서 상당한 시장 지배력(SMP)을 가진 텔리아는 한 운영자의 공동 배치 장비와 운영자 자체망으로의 전송을 위해 연결된 50km 이내의 지점 사이에 있는 백홀 연결에 대한 액세스를 제공해야 한다(이른바 백홀 연결)(PTS, 2019[163]).<sup>31</sup>

### 망 업그레이드 유인책 제공이 목적인 도매 접근 규제책

OECD 회원국은 광대역 개발 장려와 경쟁 양성을 위해 여러 방안을 채택했다. 인프라 경쟁 촉진뿐만 아니라 소매 수준(예: 망의 라스트 마일이나 액세스 부분)에서 경쟁 활성화를 위해

규제/비규제 도매 액세스로 공통 도매 인프라를 조성한다. 인프라 경쟁이 충분하지 않은 경우 지속적인 규제 개입이나 감독이 필요할 수도 있다. OECD 회원국 내 통합된 현행 사업자가 도매 규제 조치의 대상이었거나 대부분 여전히 대상인 이유이다(OECD, 2021[164]).

### 효율적인 스펙트럼 관리 촉진

스펙트럼은 Wi-Fi에서 레이더, 위성에서 모바일, 오디오, 방송에 이르기까지 모든 무선 통신의 핵심 자산이다. 차세대 모바일 망 같은 다양한 서비스와 애플리케이션이 적시에 사용할 수 있어야 한다(OECD, 2019[3]). 따라서 효율적인 스펙트럼 관리, 즉 스펙트럼 계획, 전체 사용 수요와 사용자 사이 균형, 효율적인 할당과 효과적인 배분은 증가하는 통신망 수요 대응과 연결성 격차 해소의 핵심이다.

스펙트럼 계획 및 할당과 관련하여 OECD 회원국은 IMT-2020(5G)을 위한 추가 스펙트럼 자원 할당이 논의될 2023년 세계 전파통신 회의(WRC-23)를 준비하고 있다. 글로벌 차원에서 스펙트럼을 조화시키는 것은 바람직한 장기 목표로 스펙트럼의 유연한 사용 같은 다른 목표와 균형을 이루어 망 배치와 장치 제조를 위한 규모의 경제를 개선할 잠재력이 있다(OECD, 2014[165]).

잘 설계된 스펙트럼 할당 절차는 법적 확신을 제공해 장기 투자를 촉진한다. 경매 같은 시장 기제는 스펙트럼 할당을 위한 OECD 회원국의 모범 사례다. OECD 회원국은 갈수록 인허가 절차에 여러 정책 목표를 통합하려 하기에(예: 경쟁 강화, 농촌 및 오지의 모바일 망 통신범위 확대를 위한 유인책 제공 등) 절차 설계가 본질적으로 중요해지고 있다. 최근 수년 간 OECD 회원국에서 이루어진 다수의 경매에는 통신범위 보장 의무를 비롯하여 시장 경쟁 촉진 수단(예: 신규 진입자 우선권 부여, 스펙트럼 상한선, 모바일 가상망 사업자[MVNO] 호스팅 약속 등)이 포함되었다.

인가가 필요 없는(비인가) 스펙트럼은 진입 가격이 부착되지 않은 시장 할당 기제이기도 하지만 오히려 대개 표준을 기반으로 당국이 설정한 공유 사용의 조건이기도 하다. 이러한 접근 방식은 Wi-Fi 네트워크 용 SRD(광범위 및 단거리 장치)와 접속 장비 같은 여러 비용 효율적인 애플리케이션에 대한 장점을 입증했다(OECD, 2014[165]). 또한 사회적 목적을 가진 운영자가 마주한 진입 장벽을 낮출 수도 있다(APC, 2019[166]). 비인가 스펙트럼은 Wi-Fi 6이 더 많이 보급된 OECD 회원국에서 두각을 나타낼 수 있다.

OECD 회원국은 신흥 기술과 진화하는 시장 환경에 맞게 스펙트럼을 관리하는 혁신적인 접근 방식을 모색하고 있다. 예를 들어, 새로운 형태의 스펙트럼 공유, 지방과 국가의 요구를 충족하는 라이선스의 유연성, 스펙트럼 2차 시장, 동적 스펙트럼 할당 등이 있다. 마지막으로 무선 혁신을 지원하기 위한 조치를 취하는 국가도 있다(예: 스펙트럼 사용이 장기화되기 전 먼저 혁신에 사용할 수 있도록 조치).



### 레거시 네트워크 폐쇄를 위한 규제 기본법 조정

다수의 OECD 회원국은 구리 유선망 같은 레거시 네트워크와 서비스의 폐쇄 노력이 가시화하자 진화하는 네트워크의 특성에 발맞춰 규제 기본법을 조정해야 했다. 품질 좋은 연결망에 대한 요구를 충족하려면 통신 부문에 관련된 수많은 참여자 및 이해관계자와 더불어 모든 주요 행위자 간의 협력이 필요하다. 특히 모바일 레거시 네트워크(예: 4G와 5G용 2G망 또는 3G망)를 단계적으로 폐지할 때 이러한 협력이 필요하며, 이는 이전 세대 네트워크에서 실행되는 IoT 장치와 시스템뿐만 아니라 도매 제안에 영향을 주는 유선망(구리를 광섬유로 전환)에도 작용한다. 레거시 네트워크의 단계적 폐지를 결정할 때는 사업자, 해당 망 사용자, 정부 간의 요구사항을 살펴봐야 한다.

콜롬비아에서 2020년 1월에 있었던 700MHz 대역 스펙트럼 경매에는 구체적인 의무가 포함되어, 낙찰자는 자사가 이미 통신 서비스를 제공 중인 인구 10만 명 미만의 모든 지자체에서 2G망과 3G망을 단계적으로 폐지해야 한다. 멕시코는 통신 부문의 “우세한” 경제 주체(즉, 상당한 시장 지배력을 가진 참가자와 유사한 개념)에게 비대칭 규제를 부과하며, 이에 따라 해당 주체는 자체 레거시 망을 광섬유로 전환하고 경쟁 사업자에게 도매 서비스에 대한 무차별 접근을 제공해야 한다. 영국 통신 규제 기관인 오프콤은 FTTP(구내 광가입자망) 설치, 즉 자국에서 “완전 광섬유 광대역(full-fiber broadband)”이라고 부르는 망에 대한 투자를 장려하는 규제 방식의 필요성에 주목했다. 2020년 1월에 발표한 변경 사항으로 FTTP가 설치되는 곳마다 구리 제품에 대한 규정이 제거된다는 내용이 있다. 이해관계자가 FTTP 솔루션에 더 많이 투자하도록 장려하기 위한 대책이다(Ofcom, 2020[167]).

## 광대역 가용성 및 성능에 관한 자세한 데이터(granular data) 사용

### 광대역 지도

가정에서 정보 기반 선택을 하려면 가용한 유선 광대역 서비스와 광고 속도에 관한 자세한 데이터가 필요하다. 전 세계 규제기관은 소비자가 사는 동네의 속도(및/또는 기술)별 유선 광대역 서비스에 관한 지식을 얻고 지역 내 최고 서비스를 선택할 수 있도록 광대역 지도를 개선하기 위해 수년 간 노력했다.

OECD 광대역 포털은 OECD 38개 회원국 중 30개국의 국가 광대역 지도에 대한 링크를 제공한다. 지도를 살펴보면 어떤 기술이 광대역 접속에 사용되는지, 서비스 제공자의 이름(해당 국가에 상세한 양방향 지도가 구축된 경우)과 더불어 본인의 위치에서 제공받을 수 있는 속도는 얼마인지 알 수 있다. 예를 들어 스웨덴 피티에스(PTS)는 특정 위치에서 서비스를 제공하는 모든 운영자가 집계한 사용 가능한 속도별 상세한 광대역 통신범위 지도를 제공한다(<http://bredbandskartan.pts.se/>). 스위스의 브로드밴드 아틀라스(Broadband Atlas)는 규제 기관인 오프콤에서 받은 정보로 스위스 연방에서 관리하는 대화형 애플리케이션이다([www.atlaslargebande.ch](http://www.atlaslargebande.ch)). 18개의 레이어로 구성되며, 그 중 15개는 유선망



통신범위(기술 및 속도별)를 설명하고 3개는 5G 통신범위 포함 모바일 네트워크의 가용성(기술별)을 보여준다(Swiss Confederation, 2021[168]). 공급자 간의 경쟁을 한 차원 높이기 위해 통신 서비스 공급자별로 데이터를 게시하도록 선택할 수 있는 국가도 있다.

OECD 회원국은 이러한 광대역 지도 개선 노력도 강화하고 있다. 특히 서비스가 부족한 지역의 연결 격차를 해소하기 위한 기금 할당에 지도가 영향을 미칠 경우는 더욱 집중한다. 예를 들어, 미국 의회는 2020년에 "광대역 배치 정확도와 기술 가용성(DATA) 법"을 통과시키며 FCC에 광대역 지도 개선을 지시했다. FCC는 광대역 지도의 정확성 개선을 목표로 인프라 법안(미화 650억 달러)을 통해 2021년에 할당될 광대역 기금을 기대하며 2021년 2월 "광대역 데이터 태스크포스"를 출범했다. 태스크포스의 목표는 "자세한 데이터를 수집하고 광대역 가용성을 보여주는 한층 정확한 지도를 개발하기 위해 기관 간 노력을 주도"하는 것이다.(FCC, 2021[169]).<sup>32</sup>

#### *광대역 성능에 영향을 줄 수 있는 기본 도매 인프라 지도 제작*

일부 OECD 회원국은 통신 서비스 제공자가 사용할 수 있는 "인프라 지도"를 제공해 백본과 백홀 연결의 구체적인 위치와 기타 유형의 도매 인프라에 대한 정보에 접근할 수 있다(예: 오스트리아, 콜롬비아, 독일, 그리스, 한국, 프랑스). 대부분의 규제 기관은 이 도매 기반 시설 정보를 웹사이트에 공개하지 않지만, 데이터는 시장 내 운영자나 기타 이해 관계자라면 요청 시 사용할 수 있다. 라트비아 같은 국가는 국가지원사업에 배치된 광섬유망 인프라 정보에 제3자가 비차별적으로 접근할 수 있도록 하거나 도매 참조 제안을 통해 상당한 시장 지배력(SMP)을 가진 참여자에게 부과되는 사전 비대칭 규정의 일환으로 접근할 수 있게 한다.

한편, 프랑스는 2017년 말 공개 웹사이트인 [cartefibre.arcep.fr](http://cartefibre.arcep.fr)을 열어 소비자, 운영자, 전 부문 이해관계자가 FTTH의 배치를 눈으로 확인할 수 있다. 2018년에는 더욱 강화되어 지리적 세분화에 따른 광섬유에 관한 대칭 규정의 일부인 광섬유 "공동 투자" 액세스 포인트("상호화" 지점)와 같은 계층이 다양한 인프라가 추가되었다. 분기마다 업데이트되면서 1) 소비자에게 해당 지역에서 사용 가능한 광섬유 서비스를 알리고 2) 운영자의 투자 약속을 모니터링하는 두 가지 목적을 추구한다. 2020년 4월 알셉(Arcep)은 "나의 인터넷 연결(Ma connexion Internet)"이라는 도구의 베타 버전을 출시하여 사용자는 본인의 주소 근처에 있는 액세스 기술과 더불어 속도 등급별 다양한 제공업체의 서비스를 파악할 수 있다(Arcep, 2020[170]).

#### *광대역 성능 개선을 위한 데이터 기반 규정*

일부 규제 기관은 "클라우드 소싱" 같은 혁신적인 접근 방식을 사용하고 있으며 광대역망의 품질과 통신범위를 측정하기 위해 화이트박스를 사용하여 자원 봉사 테스트를 실시하고 있다(예: 호주, 오스트리아, 벨기에, 캐나다, 체코 공화국, 프랑스, 독일, 그리스, 이탈리아, 리투아니아, 룩셈부르크, 노르웨이, 슬로바키아 공화국, 슬로베니아, 영국, 미국). 예를 들어, 프랑스는 "클라우드소싱" 기술을 사용하여 유선 광대역 연결에 대한 서비스 품질 테스트를 진행한다. 이 기술은 품질 측정에 영향을 줄 수 있는 여러 기술적 기능을 제어하는 셋톱 박스에 설치된

API(응용프로그램 프로토콜 인터페이스)로 보완된다. 2018년 규제기관은 사업체와 함께 셋톱 박스에 설치된 API를 구축했고, 규제 결정은 2019년 10월 채택되었다. 영국 오프컴은 2008년부터 기술 파트너인 샘노우즈(SamKnows)에 의지하고 있다. 샘노우즈는 하드웨어 모니터링 장치를 광대역 라우터(예: 화이트박스)에 연결하는 영국인 패널을 구성한다. 패널을 통해 다양한 서비스가 제공하는 광대역 성능을 측정하고 기술, 공급자, 제안, 거주 지역, 서비스 사용 시기 등의 요소에 따라 성능이 어떻게 달라지는지 평가할 수 있다.(Ofcom, 2021[171]). 샘노우즈의 라우터는 영국에서 서비스 품질(예: 속도, 지터, 대기 시간, 패킷 손실)과 경험 품질 측정법(예: 넷플릭스 비디오 스트리밍 성능 테스트)을 시험하기 위해 사용한다(Ofcom, 2021[172]). 마찬가지로 미국 FCC는 2011년부터 샘노우즈와 협력하여 자발적인 QoS 측정 프로그램을 운영하고 있으며 매년 보고서를 발간한다(FCC, 2021[173]). "미국 광대역 측정(Measuring Broadband America)"라고 부르는 사업으로 2021년 1월 10번째 연례 보고서를 발표했다(FCC, 2021[174]). 호주경쟁소비자위원회(ACCC)도 비슷한 방식으로 샘노우즈와 협력하여 인터넷 성능을 측정하는 사업을 시작했다. 발간하는 보고서는 엔비엔 코의 광대역 성능(평균 네트워크 정체와 네트워크 가용성 포함)에 관한 측정 기준을 제시하고 분기별로 소비자에게 공개한다.(ACCC, 2021[175]).

실제 광대역 성능에 대한 "현장" 측정을 자체적으로 수행하는 국가도 있다. 한국 정부는 한국지능정보사회진흥원(NIA)을 통해 광대역 공급자의 품질을 점검하고 결과물을 다듬어 공개한다. NIA는 광고된 속도와 사용자가 경험하는 실제 속도를 대조하고자 유무선 광대역의 품질 측정에 상당한 노력을 기울였다. NIA의 통신서비스 품질 평가는 1999년 유선전화, 2G 모바일 음성 서비스, 유선 광대역 부문에서 처음으로 실시됐다. 이제는 LTE, 5G, 기가비트 유선 인터넷 등 다양한 서비스를 아우른다. 한국에서 실시하는 네트워크 품질 측정은 차량으로 품질을 "현장에서" 측정해야 하고 전국을 정밀하게 샘플링할 기술이 필요하기 때문에 다소 복잡한 작업이다. NIA에 따르면 서비스 품질 평가 결과를 발표할 때마다 사업자가 네트워크 품질을 높였기 때문에 광대역 개발에 크게 기여했다. 그 외에도 객관적이고 양질의 통신서비스 정보를 사용자에게 제공하여 사업자 선택에 참고할 수 있게 되어 경쟁을 높이는 데도 기여하고 있다.

## 차세대 광대역 사용 사례 육성을 위한 파트너십

### 통신사업자와 클라우드 서비스 제공자 간의 파트너십

현재 주요 클라우드 제공자는 통신서비스 제공자와 파트너십을 체결하여 엣지와 의 거리를 좁히려 한다. 동시에 5G로의 진화에 발맞춰 사업자는 네트워크에서 클라우드 기능을 강화하여 속도와 지연 시간 개선 방법을 모색하고 있다.

아직 초기 단계이지만 다양한 접근 방식으로 네트워크에서 클라우드를 사용하고 있다. 일부 사업자는 현재 자체 클라우드 솔루션을 개발 중이다. 클라우드 제공자와 파트너십을 맺기도 한다.

비티(BT)는 2021년 출시를 목표로 세계적인 수준의 자체 “BT 네트워크 클라우드”를 개발중인 사업자이다(FierceTelecom, 2020[176]). 2020년 9월 텔레포니카 독일은 특히 AWS 및 에릭슨과의 협업에서 산업별 사용 사례를 위해 5G 핵심망과 네트워크 기능을 클라우드에서 구축할 계획을 발표했다(SDxCentral, 2020[177]).<sup>33</sup>

여러 주요 클라우드 제공업체가 통신 부문에 특화된 클라우드 서비스를 설계하고 있다. 마이크로소프트도 그 중 하나로 유무선망 소프트웨어 개발 영국 기업인 메타스위치(Metaswitch)와 운영자를 위한 가상 클라우드 네이티브 모바일 네트워크 솔루션 전문 기업인 어펌드 네트워크스(Affirmed Networks) 인수를 수단으로 삼고 있다(FierceTelecom, 2020[178]; FierceWireless, 2020[179]). 2021년 7월, 에이티엔티와 마이크로소프트는 마이크로소프트 애저(Microsoft Azure)가 에이티엔티의 네트워크 클라우드 플랫폼 기술을 인수한다고 발표했다. 마이크로소프트는 운영자용 마이크로소프트 애저 클라우드 플랫폼을 통해 에이티엔티 네트워크 컴퓨팅 기능(즉, 워크로드)을 지원하고 에이티엔티를 위해 확장된 컴퓨팅과 스토리지 기능을 개발할 것이다. 에이티엔티의 생산성, 비용 효율성을 높이고 대규모 네트워크 서비스 제공에 집중하는 것이 목표이다. 그 대가로 마이크로소프트는 에이티엔티가 제3자 고객용 클라우드 애플리케이션 운영에 사용하는 기술인 에이티엔티 네트워크 클라우드 플랫폼 및 마이크로소프트의 “운영자를 위한 애저” 통신 사업자 서비스에 정보를 제공하는 에이티엔티의 기술 전문성을 획득한다(AT&T, 2021[180]; Microsoft, 2021[181]).

아마존 웹 서비스(AWS)는 2019년부터 엣지 컴퓨팅을 위한 “AWS 웨이브랜스”를 제공하며, 여기에는 자체 5G망 엣지에 있는 통신 서비스 제공자의 데이터센터 내 AWS 컴퓨팅·스토리지 서비스가 포함된다(AWS, 2020[182]). AWS는 버라이즌, 보다폰, KDDI, SK텔레콤 같은 회사와 파트너십을 체결했다(Telecompaper, 2020[183]). 텔스트라 또한 AWS와 “차별화된 다중 접속망 엣지 컴퓨팅 탐색”, 즉 AWS의 엣지 컴퓨팅 솔루션을 텔스트라의 네트워크에 통합하기 위한 양해각서(MOU)를 체결했다(Telstra, 2021[184]). 미국 디시(DISH)와 아마존 웹 서비스(AWS)는 2021년 4월 디시의 “자립형 클라우드 기반 5G 개방형 무선접속망(O-RAN)”을 배포하기 위한 전략적 협력안을 발표했다. 디시는 5G망 구축을 위해 AWS를 클라우드 제공업체로 선택했다(Amazon, 2021[185])

구글 클라우드(Google Cloud) 또한 통신 서비스 제공자에게 클라우드와 엣지 컴퓨팅 솔루션을 공급한다. 2020년 구글 클라우드는 “개방형 하이브리드 멀티 클라우드 애플리케이션 플랫폼”을 통해 엣지에 통신망 워크로드를 전달하는 플랫폼인 “안토스 포 텔레콤(Anthos for Telecom)”을 발표했다. 통신 서비스 제공자가 애플리케이션을 갱신하고 다수의 “클라우드”에 새로운 애플리케이션을 구축할 수 있는 유연성을 허용하는 플랫폼이다. 또한 “가상 사설 클라우드”는 구글의 자체 망 인프라를 사용하여 사설망이 공공 인터넷을 우회할 수 있다(Google, 2021[186]). 구글 클라우드는 인텔(Intel)과 협력하여 다수의 클라우드와 엣지 위치에서 5G 운영자를 위한 클라우드 아키텍처를 개발하고(FierceWireless, 2021[187]), 2020년 3월에는 에이티엔티와 기업용 엣지 컴퓨팅 솔루션을 위한 파트너십을 체결했다(FierceTelecom, 2020[188]). 2021년 5월 보다폰과 구글 클라우드는 파트너십을 발표하고 대용량 데이터를 전 세계 어디서든 처리하고

다양한 시스템에서 클라우드로 이동할 수 있는 추가 기능을 갖춘 새로운 통합 데이터 플랫폼을 6년 간 공동개발하기로 하였다(Vodafone, 2021[189]).

## 새로운 비즈니스 모델 구현을 위한 업계 참여자와의 파트너십

### 산업 애플리케이션용 5G 연결 솔루션 구현을 위한 파트너십

다양한 산업에서 B2B 솔루션을 구현하기 위해 업계 참여자와 운영자 간의 파트너십이 확산되고 있다. 스마트 항만은 B2B 솔루션이 OECD 지역에서 성공적으로 배포 및 시험되었음을 알려주는 사용 사례이다. 스페인에서는 에이피엠 터미널(APM Terminals), 모바일 월드 캐피탈 바르셀로나(Mobile World Capital Barcelona), 텔레포니카 스페인(Telefónica Spain)이 2021년 3월 제휴를 맺고 5G 커넥티드 크레인, 차량, 사람을 이용하여 항구의 보안을 개선하는 시범 프로그램을 진행했다(APM Terminals, 2021[190]). 벨기에에서는 프록시무스(Proximus)와 엔트윙프항이 엔트윙프항의 디지털 전환용 사설 5G망 개발을 위한 양해각서(MOU)를 2020년 체결했다. 항구 보안 강화용 VR 및 AR 솔루션을 비롯하여 커넥티드 해상 운송과 스마트항만 애플리케이션이 포함된다(Proximus, 2020[191]). 2019년에는 함부르크 항만청, 도이치 텔레콤, 노키아는 80km<sup>2</sup>에 달하는 독일 최대 항구의 5G 연결성 솔루션을 위한 협력을 맺고 네트워크 슬라이싱, eMBB, URLLC를 시험했다(Deutsche Telekom, 2019[192]; GSA, 2020[193]).

유사하게, 5G 연결성은 광업의 안전성과 생산성을 높이는 애플리케이션을 개선할 수 있다. 광업에 IoT와 5G를 사용하면 새로운 비즈니스 기회와 광업 부문을 전환할 수 있는 혁신이 생긴다. 예를 들어, 환기 시스템과 록볼트(rock bolt)에 내장된 센서, 재고의 "스마트" 관리, 예방적 유지보수는 모두 IoT를 광산의 안전과 생산성을 높일 수 있는 영역에 적용하는 사례이다(OECD, 2019[3]). 해당되는 최근 사례는 핀란드의 라플란드 금광에 사설 5G망을 구축하려 2021년 11월 말에 체결된 노키아-텔리아-아그니코 이글 핀란드(Agnico Eagle Finland) 파트너십이다(TechRadar, 2021[194]).

### 커넥티드 자동차 모빌리티를 위한 국가 간 파트너십(5G 회랑)

업계 참여자와 통신 서비스 제공자 사이를 넘어서 국가 간에도 5G 활성화를 위한 새로운 파트너십이 형성되고 있다. 유럽 연합에서 찾을 수 있는 분명한 예시는 5G 회랑(즉, 고속도로)으로, 5G를 이용할 잠재력이 다분한 완전자율주행차로 미래를 대비하기 위해 다수의 유럽 국가가 협력한다(OECD, 2019[3]).

2021년 10월 기준, 유럽 연합의 27개 회원국 중 17개국이 참여하여 커넥티드 자동차 모빌리티에 대한 5G 실시간 테스트를 진행하기 위해 12개의 "디지털 국경 간 회랑"을 세웠다(European Commission, 2021[195]). 한 가지 예는 2018년 5월 그리스, 불가리아, 세르비아가 서명한 회랑으로, 5G 기술을 사용하여 서유럽에 커넥티드 자동차 차량 테스트를 제공할 실험적인 국경 간 발칸 회랑이다. 최근에 맺은 협정으로는 5G 연결성을 기반으로 원격 조종 도로와 해상 운송을 위한 스페인과 프랑스 간 "피게레스-페르피냥(Figueres-Perpignan)"

회랑 및 항만(벨기에)과 플리싱언(Missingen, 네덜란드) 사이 국경 간 협정이 있다(European Commission, 2021[195]).

## 결론

AI 시스템과 IoT의 성장은 디지털 혁신의 경계를 넓히고 있다. 차세대 광대역망은 경제의 모든 부문에서 응용 프로그램과 함께 디지털 변환의 기본이 되는 연결망으로 빠르게 자리를 잡아가고 있다(예: 스마트 병원, 자율주행차량, 완전한 커넥티드 공장을 위한 저지연·고용량 네트워크의 필요성). 한국 정부는 2020년 7월 경제 회복을 위한 “한국판 뉴딜”에 반영한 대로 성공적인 디지털 경제 전환에 연결성이 차지하는 중요성을 이해하고 있다. 연결성은 한국판 뉴딜 디지털 부문의 정 중앙에 배치되었다.

본 보고서는 OECD 회원국과 한국에서 광대역망 컨버전스의 다음 단계를 탐색하고 OECD 전역과 한국의 고용량 광대역망 배치 현황을 제시하며 시작했다. 광대역망 컨버전스의 다음 단계에 영향을 미치는 주요 기술 동향인 1) 가상화로 이동 2) 클라우드 서비스의 네트워크 통합 3) 네트워크 내 증가된 AI 시스템 사용 4) 네트워크 개방성 증가를 향후 배포의 의미와 더불어 탐색했다. 이어서 고용량 유선망, 5G, Wi-Fi 간 새로운 역학 관계가 등장하면서 유무선 연결 솔루션의 컨버전스와 보완성에 관해 논의했다. 또한 OECD와 한국의 미래 네트워크 국가 사례 연구를 제시했다. 즉, 최초의 자립형 5G 구축 경험과 더불어 OECD 전체에서 5G 산업용 애플리케이션(B2B) 사례를 제시했다. 마지막으로 고용량 광대역망 배포를 촉진하기 위해 현재 시행 중인 주요 규제 및 정책 조치에 대한 개요를 제공하고 연결성 생태계에 새로이 등장한 파트너십에 대해 논의했다.



- ATIS (2021), ATIS' Next G Alliance Announces Leadership; Starts Work on North American 6G Roadmap - ATIS, <https://www.atis.org/press-releases/atis-next-g-alliance-announces-leadership-starts-work-on-north-american-6g-roadmap/> (accessed on 9?August?2021). [105]
- AWS (2020), AWS Wavelength - Amazon Web Services, <https://aws.amazon.com/wavelength/> (accessed on 22?October?2021). [182]
- Baumgartner,?J. (2021), Dish to launch 5G in 'major' city by end of Q3 | Light Reading, <https://www.lightreading.com/open-ran/dish-to-launch-5g-in-major-city-by-end-of-q3-/d/d-id/767565> (accessed on 9?August?2021). [77]
- Boingo (2021), "5G & CBRS - Boingo Wireless, Inc.", <https://www.boingo.com/5g/>. [46]
- Bundesnetzagentur (2021), ?ersicht der Zuteilungsinhaber f? Frequenzzuteilungen f? lokale Frequenznutzungen im Frequenzbereich 3.700-3.800 MHz, [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/LokaleNetze/Zuteilungsinhaber3,7GHz.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=13](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/LokaleNetze/Zuteilungsinhaber3,7GHz.pdf?__blob=publicationFile&v=13) (accessed on 7?October?2021). [120]
- BusinessWire (2021), Broadcom, Cisco and Facebook Bring Software Group Together Under TIP to Expand on 6 GHz Wi-Fi | Business Wire, <https://www.businesswire.com/news/home/20210810005242/en/Broadcom-Cisco-and-Facebook-Bring-Software-Group-Together-Under-TIP-to-Expand-on-6-GHz-Wi-Fi> (accessed on 12?August?2021). [37]
- BusinessWire (2021), Over 20 Leading Wi-Fi 6 CPEs Debut on OpenSync, <https://www.businesswire.com/news/home/20210209005278/en/Over-20-Leading-Wi-Fi-6-CPEs-Debut-on-OpenSync>. [39]
- Comms Update (2020), Verizon launches 'nationwide' 5G via DSS; extends mmWave 5G to 55 cities, <https://www.commsupdate.com/articles/2020/10/14/verizon-launches-nationwide-5g-via-dss-extends-mmwave-5g-to-55-cities> (accessed on 5?August?2021). [151]
- Computer Weekly (2018), "Singapore government outlines its approach to IoT", <https://www.computerweekly.com/news/252437239/Singapore-government-outlines-its-approach-to-IoT>. [32]
- Congress.gov (2021), H.R.4045 - FUTURE Networks Act, <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/4045/text?r=67&s=1> (accessed on 26?October?2021). [104]
- Counterpoint (2020), "First O-RAN Private Network in Germany?", <https://www.counterpointresearch.com/o-ran-private-networks/> (accessed on 14?December?2020). [124]
- Daimler (2020), With its Factory 56, Mercedes-Benz is presenting the future of production | Daimler > Innovation > Digitalisation > Industry 4.0, <https://www.daimler.com/innovation/digitalisation/industry-4-0/opening-factory-56.html> (accessed on 14?December?2020). [121]
- Dano,?M. (2021), Verizon to start deploying open RAN gear this year | Light Reading, <https://www.lightreading.com/open-ran/verizon-to-start-deploying-open-ran-gear-this-year/d/d-id/768021> (accessed on 9?August?2021). [78]
- Deutsche Telekom (2021), Telekom switches on O-RAN Town in Neubrandenburg | Deutsche Telekom, <https://www.telekom.com/en/media/media-information/archive/telekom-switches-on-o-ran-town-in-neubrandenburg-630566> (accessed on 9?August?2021). [82]



- Deutsche Telekom (2019), Port of Hamburg is ready for 5G, Press Release, 6 November 2019, <https://www.telekom.com/en/media/media-information/archive/port-of-hamburg-is-ready-for-5g-574536>. [192]
- Deutsche Telekom et al. (2021), "Memorandum of Understanding on the Implementation of OPEN RAN based Networks in Europe". [79]
- Ericsson (2021), Ericsson in world-first 5G network slicing trial with Deutsche Telekom and Samsung, <https://www.ericsson.com/en/news/3/2021/ericsson-in-world-first-5g-network-slicing-trial-with-deutsche-telekom-and-samsung> (accessed on 9?August?2021). [155]
- Ericsson (2021), Ericsson USA 5G Smart Factory, <https://www.ericsson.com/en/about-us/company-facts/ericsson-worldwide/united-states/5g-smart-factory> (accessed on 6?December?2021). [133]
- Ericsson (2021), What is cloud native and its role in telecom? - Ericsson, <https://www.ericsson.com/en/cloud-native> (accessed on 9?August?2021). [12]
- Ericsson (2020), Ericsson to deploy private mobile network at Paris Airports for Groupe ADP, Hub One and Air France, <https://www.ericsson.com/en/news/2020/7/ericsson-private-network-to-serve-paris-airports> (accessed on 7?October?2021). [119]
- Ericsson (2019), Automating MIMO - MIMO Machine Learning - Ericsson, <https://www.ericsson.com/en/cases/2019/augmenting-mimo-energy-management-with-machine-learning-and-ai> (accessed on 3?August?2021). [21]
- ETSI (2020), "ETSI - ETSI Unveils First Cloud-Native VNF Management Specifications", <https://www.etsi.org/newsroom/press-releases/1849-2020-11-etsi-unveils-first-cloud-native-vnf-management-specifications>. [201]
- ETSI (2020), "ETSI - Multi-access Edge Computing - Standards for MEC", <https://www.etsi.org/technologies/multi-access-edge-computing> (accessed on 8?September?2021). [26]
- ETSI (2018), 5G Release-15: NG-RAN Architecture description (3GPP TS 38.401 version 15.2.0 Release 15), <https://portal.etsi.org/TB/ETSIDeliverableStatus.aspx> (accessed on 19?February?2021). [13]
- ETSI (2014), "GS NFV 002 - V1.2.1 - Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework". [10]
- European 5G Observatory (2020), 5G private licences spectrum in Europe, <https://5gobservatory.eu/5g-private-licences-spectrum-in-europe/> (accessed on 7?October?2021). [118]
- European Commission (2021), "5G Observatory: Quarterly Report 13, up to October 2021", [https://5gobservatory.eu/wp-content/uploads/2021/11/5G-Obs-PhaseIII\\_Quarterly-report-13\\_final-version-11112021.pdf](https://5gobservatory.eu/wp-content/uploads/2021/11/5G-Obs-PhaseIII_Quarterly-report-13_final-version-11112021.pdf). [195]
- European Commission (2021), "Commission publishes study for the future 5G supply ecosystem in Europe | Shaping Europe's digital future", <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/commission-publishes-study-future-5g-supply-ecosystem-europe> (accessed on 2?November?2021). [18]
- European Commission (2021), EU to set up new European Partnerships and invest nearly €10 billion for the green and digital transition, [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_21\\_702](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_702) (accessed on 26?October?2021). [91]



- European Commission (2021), Europe puts forward proposal for Joint Undertaking on Smart Networks and Services towards 6G | Shaping Europe's digital future, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/europe-puts-forward-proposal-joint-undertaking-smart-networks-and-services-towards-6g> (accessed on 9?August?2021). [90]
- FCC (2021), FCC Launches New Mobile Broadband Map | Federal Communications Commission, <https://www.fcc.gov/document/fcc-launches-new-mobile-broadband-map> (accessed on 6?December?2021). [203]
- FCC (2021), FCC Seeks Comment on Open Radio Access Networks | Federal Communications Commission, <https://www.fcc.gov/document/fcc-seeks-comment-open-radio-access-networks-0> (accessed on 4?August?2021). [74]
- FCC (2021), Measuring Broadband America | Federal Communications Commission, <https://www.fcc.gov/general/measuring-broadband-america> (accessed on 11?August?2021). [173]
- FCC (2021), Measuring Fixed Broadband - Tenth Report | Federal Communications Commission, <https://www.fcc.gov/reports-research/reports/measuring-broadband-america/measuring-fixed-broadband-tenth-report> (accessed on 10?August?2021). [174]
- FCC (2021), Rosenworcel Establishes Broadband Data Task Force | Federal Communications Commission, <https://www.fcc.gov/document/rosenworcel-establishes-broadband-data-task-force> (accessed on 10?August?2021). [169]
- FCC (2019), FCC Takes Steps to Open Spectrum Horizons for New Services and Technologies, <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-356588A1.pdf?fbclid=IwAR1CajvelOUHmbAqOPJO-AKFBuG2vVSyQuiBIASxd2towVTGG7q9nATMCM> (accessed on 9?August?2021). [103]
- Fierce Wireless (2021), "Boingo to equip 12 airports with AT&T's mmWave 5G | FierceWireless", <https://www.fiercewireless.com/wireless/boingo-to-equip-12-airports-at-t-s-mmwave-5g>. [47]
- Fierce Wireless (2021), Millicom to deploy O-RAN with Parallel Wireless in Latin America, <https://www.fiercewireless.com/operators/millicom-to-deploy-o-ran-parallel-wireless-latin-america> (accessed on 21?October?2021). [88]
- FierceTelecom (2021), California, Virginia allocate \$6.7 billion for broadband, Fierce Telecom, 22 July 2021, [https://www.fiercetelecom.com/telecom/california-virginia-allocate-6-7-billion-for-broadband?utm\\_medium=nl&utm\\_source=internal&mrkid=154180467&mkt\\_tok=Mjk0LU1RRi0wNTYAAAF-c32PubWAI6mc8lo\\_d9vmanH5P9mylaiBUtLjDgWnBdWk38IEazgqBVGHXLuElftyAFVNBwyCmQFrDEGWxFtN](https://www.fiercetelecom.com/telecom/california-virginia-allocate-6-7-billion-for-broadband?utm_medium=nl&utm_source=internal&mrkid=154180467&mkt_tok=Mjk0LU1RRi0wNTYAAAF-c32PubWAI6mc8lo_d9vmanH5P9mylaiBUtLjDgWnBdWk38IEazgqBVGHXLuElftyAFVNBwyCmQFrDEGWxFtN). [65]
- FierceTelecom (2021), U.K.'s Project Gigabit targets broadband upgrades for 2.2M | FierceTelecom, [https://www.fiercetelecom.com/telecom/u-k-s-project-gigabit-targets-broadband-upgrades-for-2-2m?utm\\_medium=nl&utm\\_source=internal&mrkid=154180467&mkt\\_tok=Mjk0LU1RRi0wNTYAAAF-q\\_cVvw4HzT05kPkkUMADD0lqXJGW0mUuA7-wWiHvChowHq6SjN8rVVDuqOm6mXfh8Wb-mD0oFKmVUrfRXI9BEUr6-NDftx6Tkbpj2DTeuQoT8EPvg0](https://www.fiercetelecom.com/telecom/u-k-s-project-gigabit-targets-broadband-upgrades-for-2-2m?utm_medium=nl&utm_source=internal&mrkid=154180467&mkt_tok=Mjk0LU1RRi0wNTYAAAF-q_cVvw4HzT05kPkkUMADD0lqXJGW0mUuA7-wWiHvChowHq6SjN8rVVDuqOm6mXfh8Wb-mD0oFKmVUrfRXI9BEUr6-NDftx6Tkbpj2DTeuQoT8EPvg0) (accessed on 4?August?2021). [53]
- FierceTelecom (2020), AT&T and Google Cloud forge 5G edge compute partnership for enterprises | FierceTelecom, <https://www.fiercetelecom.com/telecom/at-t-and-google-cloud-forge-5g-edge-compute-partnership-for-enterprises> (accessed on 9?August?2021). [188]
- FierceTelecom (2020), BT preps its network cloud for global deployment next year | FierceTelecom, <https://www.fiercetelecom.com/telecom/bt-preps-its-network-cloud-for-global-deployment-next-year> (accessed on 9?August?2021). [176]

- FierceTelecom (2020), Microsoft buys Metaswitch, advancing its telecom ambitions | FierceTelecom, <https://www.fiercetelecom.com/telecom/microsoft-buys-metaswitch-advancing-its-telecom-ambitions> (accessed on 9?August?2021). [178]
- FierceWireless (2021), AT&T, Samsung, Qualcomm help launch 6G research center at University of Texas | FierceWireless, <https://www.fiercewireless.com/tech/at-t-samsung-qualcomm-help-launch-6g-research-center-at-university-texas> (accessed on 9?August?2021). [106]
- FierceWireless (2021), BT lays out ambitious 5G plans for EE in U.K. | FierceWireless, <https://www.fiercewireless.com/operators/bt-lays-out-ambitious-5g-plans-for-ee-u-k> (accessed on 9?August?2021). [30]
- FierceWireless (2021), Google Cloud, Intel target 5G, edge strategies for telcos | FierceWireless, [https://www.fiercewireless.com/5g/google-cloud-intel-target-5g-edge-strategies-for-telcos?mkt\\_tok=eyJpIjoiTkRfMU1qazFZV00wWmpBeSIsInQiOiJHNGdSVnZ0YTlIXC9rSytlekM0THlrcE1WMEZhUTREtENqV05yUzB0ZlBec1daYmM1REJkRlQzSmIBRTNkQlB2eElyMFNFRUZ2M3BBdG9iUVJvRW9sa3UrUXdDYnZ3UFpxa25yWVZUdmFLTFZUdzRGSEVWcDFZZzM2enhYSWhTK21DZDN4em1TTVNwSml2Sm9CeFRVZTdRPT0ifQ%3D%3D&mrkid=154180467](https://www.fiercewireless.com/5g/google-cloud-intel-target-5g-edge-strategies-for-telcos?mkt_tok=eyJpIjoiTkRfMU1qazFZV00wWmpBeSIsInQiOiJHNGdSVnZ0YTlIXC9rSytlekM0THlrcE1WMEZhUTREtENqV05yUzB0ZlBec1daYmM1REJkRlQzSmIBRTNkQlB2eElyMFNFRUZ2M3BBdG9iUVJvRW9sa3UrUXdDYnZ3UFpxa25yWVZUdmFLTFZUdzRGSEVWcDFZZzM2enhYSWhTK21DZDN4em1TTVNwSml2Sm9CeFRVZTdRPT0ifQ%3D%3D&mrkid=154180467) (accessed on 9?August?2021). [187]
- FierceWireless (2021), How's 5G standalone doing in the U.S., 26 October 2021, <https://www.fiercewireless.com/operators/how-s-5g-standalone-doing-u-s>. [146]
- FierceWireless (2021), Verizon, Deloitte pursue 5G edge compute for retail | FierceWireless, [https://www.fiercewireless.com/5g/verizon-deloitte-pursue-5g-edge-compute-for-retail?mkt\\_tok=eyJpIjoiTm1NME5XTTRPVFF5WVdFMClSnQiOiJQYm9nekF3QmtCSXl1bU8wYkpBbFZuTzAyeTUzZDVzSEwrTXI2a0lqT1RsWWdWd21MNis1T2UzNVRDWEVJVfJscGpjMDd2V0RiTjBua3R0MUJtTVdCS2VNbXpUUTR0dWhzb1wvVEI4MUf3bVNxTWRRWSm9YNFIMVGtDaUFvNjY4NE9JY24xZHg2U3BKOgNUd2V4bjNHQVdBPT0ifQ%3D%3D&mrkid=154180467](https://www.fiercewireless.com/5g/verizon-deloitte-pursue-5g-edge-compute-for-retail?mkt_tok=eyJpIjoiTm1NME5XTTRPVFF5WVdFMClSnQiOiJQYm9nekF3QmtCSXl1bU8wYkpBbFZuTzAyeTUzZDVzSEwrTXI2a0lqT1RsWWdWd21MNis1T2UzNVRDWEVJVfJscGpjMDd2V0RiTjBua3R0MUJtTVdCS2VNbXpUUTR0dWhzb1wvVEI4MUf3bVNxTWRRWSm9YNFIMVGtDaUFvNjY4NE9JY24xZHg2U3BKOgNUd2V4bjNHQVdBPT0ifQ%3D%3D&mrkid=154180467) (accessed on 19?February?2021). [27]
- FierceWireless (2021), Wi-Fi advances mean more choices for enterprise, [https://www.fiercewireless.com/wireless/wi-fi-advances-mean-more-choices-for-enterprise?mkt\\_tok=eyJpIjoiTm1NME5XTTRPVFF5WVdFMClSnQiOiJQYm9nekF3QmtCSXl1bU8wYkpBbFZuTzAyeTUzZDVzSEwrTXI2a0lqT1RsWWdWd21MNis1T2UzNVRDWEVJVfJscGpjMDd2V0RiTjBua3R0MUJtTVdCS2VNbXpUUTR0dWhzb1wvVEI4MUf3bVNxTWRRWSm9YNFIMVGtDaUFvNjY4NE9JY24xZHg2U3BKOgNUd2V4bjNHQVdBPT0ifQ%3D%3D&mrkid=154180467](https://www.fiercewireless.com/wireless/wi-fi-advances-mean-more-choices-for-enterprise?mkt_tok=eyJpIjoiTm1NME5XTTRPVFF5WVdFMClSnQiOiJQYm9nekF3QmtCSXl1bU8wYkpBbFZuTzAyeTUzZDVzSEwrTXI2a0lqT1RsWWdWd21MNis1T2UzNVRDWEVJVfJscGpjMDd2V0RiTjBua3R0MUJtTVdCS2VNbXpUUTR0dWhzb1wvVEI4MUf3bVNxTWRRWSm9YNFIMVGtDaUFvNjY4NE9JY24xZHg2U3BKOgNUd2V4bjNHQVdBPT0ifQ%3D%3D&mrkid=154180467). [38]
- FierceWireless (2020), Microsoft to acquire Affirmed Networks | FierceWireless, <https://www.fiercewireless.com/wireless/microsoft-to-acquire-affirmed-networks> (accessed on 9?August?2021). [179]
- FierceWireless (2020), Qualcomm powers FastWeb's 5G fixed wireless CPE in Italy | FierceWireless, <https://www.fiercewireless.com/5g/qualcomm-powering-fastweb-s-5g-fixed-wireless-cpe-italy> (accessed on 5?August?2021). [6]
- FTTH Council (2013), Fibre in Rural Finland, <http://www.ftthcouncil.eu>. [69]
- FTTH Council Europe (2020), Fibre for 5G: the story of convergence, <https://www.ftthcouncil.eu/documents/Fibre%20for%205G%20the%20story%20of%20convergence%20-%202nd%20study%20presented%20at%20the%20FTTH%20Conference%202020.pdf>. [29]
- Fujitsu (2021), Fujitsu Launches Private 5G Network to Realize 'Smart Factory' at its Oyama Plant, <https://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2021/0330-01.html>. [127]
- Fujitsu (2020), Fujitsu Launches Japan's First Commercial Private 5G Network, <https://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2020/0327-01.html>. [126]

- Global Data (2020), Telcos begin standalone 5G deployment to unlock true 5G potential, says GlobalData, <https://www.globaldata.com/telcos-begin-standalone-5g-deployment-unlock-true-5g-potential-says-globaldata/> (accessed on 19?February?2021). [199]
- GM (2021), Factory ZERO, Our First Fully Dedicated EV Assembly Plant, <https://www.gm.com/stories/factory-zero-first-dedicated-ev-plant> (accessed on 6?December?2021). [138]
- GM Authority Blog (2020), “GM Factory Zero Plant To Run On 5G Network | GM Authority”, <https://gmauthority.com/blog/2020/11/gm-factory-zero-plant-the-first-u-s-auto-plant-to-install-5g-technology/> (accessed on 14?December?2020). [137]
- Godlovitch, I. et al. (2019), Prospective competition and deregulation An analysis of European approaches to regulating full fibre for BT With contributions from, WIK-Consult. [55]
- Google (2021), Google Cloud: Telecommunications Solutions, <https://cloud.google.com/solutions/telecommunications>. [186]
- Gouvernement de France (2021), 570 millions d’euros pour généraliser la fibre optique | Gouvernement.fr, <https://www.gouvernement.fr/570-millions-d-euros-pour-generaliser-la-fibre-optique> (accessed on 18?February?2021). [50]
- Gouvernement de France (2020), France Relance, [https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions\\_services/plan-de-relande/annexe-fiche-mesures.pdf](https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/plan-de-relande/annexe-fiche-mesures.pdf). [49]
- GovTech (2021), “Sensors and Internet of Things”, <https://www.tech.gov.sg/capability-centre-siot>. [33]
- GSA (2021), 5G Standalone 2021 - Member Report - GSA, <https://gsacom.com/paper/5g-standalone-2021-member-report/> (accessed on 5?August?2021). [139]
- GSA (2020), 5G Smart Sea Port: Hamburg Authority – Nokia White Paper, <https://gsacom.com/paper/5g-smart-sea-port-hamburg-authority-nokia-white-paper/>. [193]
- GSMA Intelligence (2021), 5G fixed wireless: a renewed playbook, <https://data.gsmainelligence.com/research/research/research-2021/5g-fixed-wireless-a-renewed-playbook> (accessed on 5?August?2021). [7]
- GSMA Intelligence (2021), 5G SA networks are going global, ready to become mainstream, <https://data.gsmainelligence.com/research/research/research-2021/5g-sa-networks-are-going-global-ready-to-become-mainstream> (accessed on 5?August?2021). [140]
- Handelsblatt (2021), Interview with United Internet boss: 1 & 1 build “real 5G”, <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/ralph-dommermuth-united-internet-chef-gibt-kampfansage-an-die-telekom-wir-bauen-echtes-5g/27479632.html> (accessed on 2?September?2021). [72]
- Handelsblatt (2021), Open RAN: Germany is funding network technology with 2 billion euros, <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/open-ran-geheimpapier-milliarden-fuer-neue-mobilfunktechnik-sollen-abhaengigkeit-von-huawei-verringern/26830274.html?ticket=ST-3408972-bfvN7qFRO5iegJZXnnZE-ap6> (accessed on 9?August?2021). [80]
- Iceland Competition Authority (2018), The Competition Authority authorizes M?a ehf. and Gagnaveita Reykjav?ur ehf. to have specific co-operation on the laying of fiber optic cables | News | The Icelandic Competition Authority, <https://en.samkeppni.is/published-content/news/nr/3076> (accessed on 26?August?2020). [70]
- Intel (2021), 5G vs. Wi-Fi 6: A Powerful Combination for Wireless, <https://www.intel.com/content/www/us/en/wireless-network/5g-technology/5g-vs-wifi.html>. [40]



- MIC (2020), "Beyond 5G Promotion Strategy Roundtable Recommendations", [98]  
[http://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/joho\\_tsusin/eng/presentation/pdf/Beyond\\_5G\\_Promotion\\_Strategy\\_Roundtable\\_Recommendations.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/eng/presentation/pdf/Beyond_5G_Promotion_Strategy_Roundtable_Recommendations.pdf) (accessed on 9?August?2021).
- Microsoft (2021), AT&T to run its mobility network on Microsoft's Azure for Operators cloud, [181]  
 delivering cost-efficient 5G services at scale – Stories,  
<https://news.microsoft.com/2021/06/30/att-to-run-its-mobility-network-on-microsofts-azure-for-operators-cloud-delivering-cost-efficient-5g-services-at-scale/> (accessed on 9?August?2021).
- Ministry of Economy and Finance (2021), Government Announces Korean New Deal 2.0, [111]  
<https://english.moef.go.kr/pc/selectTbPressCenterDtl.do?boardCd=N0001&seq=5173>  
 (accessed on 25?October?2021).
- Ministry of Economy and Finance of Korea (2020), Government releases an English Booklet of [110]  
 the New Deal,  
<https://english.moef.go.kr/pc/selectTbPressCenterDtl.do?boardCd=N0001&seq=4948>.
- Ministry of Science and ICT (2021), 6G, Korea takes lead once again, [108]  
<https://english.msit.go.kr/eng/bbs/view.do?sCode=eng&mld=4&mPid=2&pageIndex=&bbsSeqNo=42&nttSeqNo=515&searchOpt=ALL&searchTxt> (accessed on 2021?October?06).
- Ministry of Science and ICT (2021), Digital New Deal Harness the Winds of Change, Bringing [112]  
 Innovation!,  
<https://english.msit.go.kr/eng/bbs/view.do?sCode=eng&mld=4&mPid=2&pageIndex=3&bbsSeqNo=42&nttSeqNo=527&searchOpt=ALL&searchTxt=> (accessed on 25?October?2021).
- Ministry of Science and Technology (2021), To ensure a successful implementation of the Digital [113]  
 New Deal MSIT announces "5G+ Convergence Diffusion Strategy",  
<https://english.msit.go.kr/eng/bbs/view.do?sCode=eng&mld=4&m%20Pid=2%20&pageIndex=&bbsSeqNo=42&nttSeqNo=533&searchOpt=ALL&searchTxt> (accessed on 25?October?2021).
- Mobile World Live (2021), AWS, Mavenir forge cloud pact - Mobile World Live, [204]  
<https://www.mobileworldlive.com/featured-content/top-three/aws-mavenir> (accessed on 6?December?2021).
- Mobile World Live (2021), KT claims SA 5G milestone - Mobile World Live, [4]  
[https://www.mobileworldlive.com/asia/asia-news/kt-claims-sa-5g-milestone?ID=a6g1r000000xNauAAE&JobID=815332&utm\\_source=sfmc&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=MWL\\_20210715&utm\\_content=https%3a%2f%2fwww.mobileworldlive.com%2fasia%2fasia-news%2ftkt-claims-sa-5g-milestone](https://www.mobileworldlive.com/asia/asia-news/kt-claims-sa-5g-milestone?ID=a6g1r000000xNauAAE&JobID=815332&utm_source=sfmc&utm_medium=email&utm_campaign=MWL_20210715&utm_content=https%3a%2f%2fwww.mobileworldlive.com%2fasia%2fasia-news%2ftkt-claims-sa-5g-milestone) (accessed on 15?July?2021).
- Mobile World Live (2020), SKT makes smart factory play, [131]  
<https://www.mobileworldlive.com/featured-content/home-banner/skt-makes-smart-factory-play>  
 (accessed on 6?December?2021).
- Mobile World Live (2020), Verizon progresses towards 5G SA core switch - Mobile World Live, [156]  
<https://www.mobileworldlive.com/featured-content/home-banner/verizon-progresses-towards-5g-sa-core-switch> (accessed on 11?August?2021).
- MSIT (2021), 5G Private Network Frequency Supply, [115]  
<https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mld=113&mPid=112&pageIndex=1&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3180422&searchOpt=ALL&searchTxt=%ED%8A%B9%ED%99%94%EB%A7%9D> (accessed on 6?December?2021).
- MSIT (2021), 5G Private Network Policy Plan, [114]  
<https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mld=113&mPid=112&pageIndex=1&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3179846&searchOpt=ALL&searchTxt=%ED%8A%B9%ED%99%94%EB%A7%9D> (accessed on 6?December?2021).
- NikkeiAsia (2021), Japan teams up with Finland on 6G development - Nikkei Asia, [93]  
<https://asia.nikkei.com/Business/Telecommunication/Japan-teams-up-with-Finland-on-6G-development> (accessed on 9?August?2021).

- Nokia (2021), Nokia accelerates Telenor and Telia joint 5G network rollout in Denmark | Nokia, [161]  
<https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2021/06/17/nokia-accelerates-telenor-and-telia-joint-5g-network-rollout-in-denmark/> (accessed on 11?August?2021).
- Nokia (2021), “Nokia deploys its 5G Standalone Core for Telia in Finland”, [143]  
<https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2021/11/10/nokia-deploys-its-5g-standalone-core-for-telia-in-finland/#:~:text=Espoo%2C%20Finland%20%E2%80%93%20Nokia%20today%20announced,readily%20monetize%20its%20network%20assets.>
- NTT (2021), IOWN | Projects | About NTT | NTT, <https://group.ntt/en/group/projects/iown.html> [202]  
 (accessed on 6?December?2021).
- NTT and Fujitsu (2021), NTT and Fujitsu Embark on Strategic Alliance to Drive “Realization of Sustainable Digital Society” : Fujitsu Global, Press Release, NTT Corporation, Fujitsu Limited, [101]  
 Tokyo, April 26, 2021,  
<https://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2021/0426-01.html>  
 (accessed on 6?September?2021).
- NTT DoCoMo (2021), “5G Open RAN Ecosystem Whitepaper”, [71]  
[https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper\\_5g\\_open\\_ran/ORE\\_C\\_WP.pdf](https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_5g_open_ran/ORE_C_WP.pdf) (accessed on 6?September?2021).
- NTT East (2021), Service Effectiveness Test on Press operations utilizing Local 5G Access [129]  
 Network during the Olympic and Paralympic Games Tokyo 2020,  
[https://www.ntt-east.co.jp/en/release/detail/20210622\\_01.html](https://www.ntt-east.co.jp/en/release/detail/20210622_01.html).
- OBB (2020), A1, ?B and Nokia are piloting network slicing in the existing A1 network - ?B-Presse, [152]  
<https://presse.oebb.at/de/presseinformationen/20200721-a1-oebb-und-nokia-pilotieren-netzwerk-slicing-im-bestehenden-a1-netz> (accessed on 9?August?2021).
- OECD (2021), “Bridging connectivity divides”, OECD Digital Economy Papers, No.?315, OECD [159]  
 Publishing, Paris, <https://dx.doi.org/10.1787/e38f5db7-en>.
- OECD (2021), “Emerging trends in communication market competition”, OECD Digital Economy [164]  
 Papers, No.?316, OECD Publishing, Paris, <https://dx.doi.org/10.1787/4ad9d924-en>.
- OECD (2021), OECD Broadband Portal, [1]  
<https://www.oecd.org/sti/broadband/broadband-statistics/> (accessed on 14?October?2021).
- OECD (2020), OECD Digital Economy Outlook 2020, OECD Publishing, Paris, [2]  
<https://dx.doi.org/10.1787/bb167041-en>.
- OECD (2019), “The road to 5G networks: Experience to date and future developments”, OECD [3]  
 Digital Economy Papers, No.?284, OECD Publishing, Paris,  
<https://dx.doi.org/10.1787/2f880843-en>.
- OECD (2018), OECD Reviews of Digital Transformation: Going Digital in Sweden, OECD [68]  
 Reviews of Digital Transformation, OECD Publishing, Paris,  
<https://dx.doi.org/10.1787/9789264302259-en>.
- OECD (2015), “Development of High-speed Networks and the Role of Municipal Networks”, [67]  
 OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No.?26, OECD Publishing, Paris,  
<http://dx.doi.org/10.1787/5jrql7rvns3-en>.
- OECD (2015), “Development of High-speed Networks and the Role of Municipal Networks”, [205]  
 OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, Organisation for Economic  
 Co-Operation and Development (OECD), <http://dx.doi.org/10.1787/5jrql7rvns3-en>.
- OECD (2014), “Cloud Computing: The Concept, Impacts and the Role of Government Policy”, [22]  
 OECD Digital Economy Papers, No.?240, OECD Publishing, Paris,  
<https://dx.doi.org/10.1787/5jxzf4lcc7f5-en>.
- OECD (2014), “New Approaches to Spectrum Management”, OECD Digital Economy Papers, [165]  
 No.?235, OECD Publishing, Paris, <https://dx.doi.org/10.1787/5jz44fnq066c-en>.



- Ofcom (2021), Internet Futures: Spotlight on the technologies which may shape the Internet of the future, Ofcom, 20 July 2021, [https://www.ofcom.org.uk/\\_data/assets/pdf\\_file/0013/222205/internet-futures.pdf](https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0013/222205/internet-futures.pdf). [23]
- Ofcom (2021), Statement: Promoting investment and competition in fibre networks – Wholesale Fixed Telecoms Market Review 2021-26 – Ofcom, <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/2021-26-wholesale-fixed-telecoms-market-review> (accessed on 11?August?2021). [59]
- Ofcom (2021), “Technical Annex: UK Home Broadband Performance”. [172]
- Ofcom (2021), UK home broadband performance, measurement period November 2020 - Ofcom, <https://www.ofcom.org.uk/research-and-data/telecoms-research/broadband-research/broadband-speeds/uk-home-broadband-performance-nov-2020> (accessed on 10?August?2021). [171]
- Ofcom (2020), “Improving spectrum access for Wi-Fi”. [35]
- Ofcom (2020), Promoting competition and investment in fibre networks: Wholesale Fixed Telecoms Market Review 2021-26. [58]
- Ofcom (2020), “Supercharging investment in fibre broadband”, Press release, Ofcom, London, <https://www.ofcom.org.uk/about-ofcom/latest/features-and-news/supercharging-investment-in-fibre-broadband> (accessed on 30?July?2020). [167]
- Ofcom (2020), Wholesale Fixed Telecoms Market Review 2021-26: further consultation on certain proposed remedies. [57]
- Open RAN Policy Coalition (n.d.), About Us - Open RAN Policy Coalition, <https://www.openranpolicy.org/about-us/> (accessed on 9?August?2021). [17]
- Opensignal (2021), mmWave 5G is almost thirty times faster than public Wifi, but with similar reach | Opensignal, <https://www.opensignal.com/2021/03/31/mmwave-5g-is-almost-thirty-times-faster-than-public-wifi-but-with-similar-reach> (accessed on 5?August?2021). [48]
- Optus (2019), 5G Home Broadband Plan, <https://www.optus.com.au/for-you/broadband-nbn/5g-home-broadband/5g-home-broadband-plan#emailDetails>. [197]
- O-RAN Alliance (n.d.), O-RAN ALLIANCE, <https://www.o-ran.org/> (accessed on 14?November?2021). [16]
- Orange (2021), Orange and Nokia deploy the first Industry 4.0 4G/5G private network with network slicing in French factory | Orange Com, <https://www.orange.com/en/newsroom/press-releases/2021/orange-and-nokia-deploy-first-industry-40-4g5g-private-network-network> (accessed on 9?August?2021). [153]
- Orange Sk (2020), Orange and Telekom will use a new model of cooperation Orange, <https://www.orange.sk/orange-slovensko/novinky-tlacove-spravy/clanok/orange-a-telekom-bu-du-vyuzivat-novy-model-spoluprace> (accessed on 18?February?2021). [158]
- Proximus (2020), Proximus and Port of Antwerp are preparing for the port's digital transformation by developing a private 5G network, Press Release, 5 February 2021, <https://www.proximus.com/news/2020/20200205-Proximus-and-Port-of-Antwerp-are-preparing-for-the-port-s-digital-transformation-by-developing-a-private-5G-network-.html>. [191]
- PTS (2019), PTS decisions on Markets 3a (duct access, copper LLU/SLU, fibre unbundling, backhaul) and 3b (deregulated), <http://t-regs.com.web.cloud.telenet.be/index.php/2015/02/19/sweden-pts-decisions-on-markets-3a-duct-access/>. [163]

- RCR Wireless (2021), German government announces financing for '6G' technologies - RCR Wireless News, <https://www.rcrwireless.com/20210412/network-infrastructure/german-government-announce-s-financing-for-6g-technologies> (accessed on 9?August?2021). [94]
- RCR Wireless (2021), Telstra reaches 75% of Australia's population with 5G, <https://www.rcrwireless.com/20210629/5g/telstra-reaches-75-australia-population-5g> (accessed on 5?August?2021). [141]
- RCR Wireless News (2021), Ericsson puts 5G to work in its Texas factory, <https://www.rcrwireless.com/20210413/5g/ericsson-puts-5g-to-work-in-its-texas-factory> (accessed on 3?December?2021). [132]
- RCRWireless (2021), German telco 1&1 selects Rakuten for O-RAN deployment, [https://www.rcrwireless.com/20210805/open\\_ran/germa-telco-selects-rakuten-oran-deployme](https://www.rcrwireless.com/20210805/open_ran/germa-telco-selects-rakuten-oran-deployme) nt (accessed on 9?August?2021). [73]
- RCRWireless (2020), Vodafone UK showcases SA 5G network, <https://www.rcrwireless.com/20200705/5g/vodafone-uk-showcases-sa-5g-network> (accessed on 19?February?2021). [147]
- RedHat (2021), What is network virtualization, <https://www.redhat.com/en/topics/virtualization/what-is-network-virtualization> (accessed on 9?August?2021). [9]
- RSPG (2021), RSPG Report on Spectrum Sharing: A forward-looking survey, Radio Spectrum Policy Group, European Commission, Brussels, 10 February 2021, [https://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2021/02/RSPG21-016final\\_RSPG\\_Report\\_on\\_Spectrum\\_Sharing.pdf](https://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2021/02/RSPG21-016final_RSPG_Report_on_Spectrum_Sharing.pdf). [150]
- Samian,?M. (2021), Bruxelles va commercialiser son r?eau de fibre optique | L'Echo, L'Echo, <https://www.lecho.be/economie-politique/belgique/bruxelles/bruxelles-va-commercialiser-son-reseau-de-fibre-optique/10279597.html> (accessed on 18?February?2021). [60]
- Samsung (2021), Enjoy faster connectivity with Wi-Fi 6E and Intelligent Wi-Fi | Samsung LEVANT, <https://www.samsung.com/levant/support/mobile-devices/enjoy-faster-connectivity-with-wi-fi-6-e-and-intelligent-wi-fi/> (accessed on 10?August?2021). [36]
- SDxCentral (2020), Telef?ica Germany Taps AWS for 5G Core Virtualization - SDxCentral, <https://www.sdxcentral.com/articles/news/telefonica-germany-taps-aws-for-5g-core-virtualizati> on/2020/09/ (accessed on 9?August?2021). [177]
- SDxCentral (2016), What's Software-Defined Networking (SDN)? - SDxCentral, <https://www.sdxcentral.com/networking/sdn/definitions/what-the-definition-of-software-defined-networking-sdn/> (accessed on 11?August?2021). [11]
- Sharkey,?S., J.?Hunter and C.?Wiecxorek (2021), Comments of T-Mobile USA: In the matter of Promoting the Deployment of 5G Open Radio Access Networks, <https://ecfsapi.fcc.gov/file/104280435523172/T-Mobile%20Comments%20on%20Open%20RAN%20NOI.pdf> (accessed on 9?August?2021). [75]
- Singtel (2021), Singtel first in Singapore to launch 5G Standalone network, News Release, 25 May 2021, <https://www.singtel.com/about-us/media-centre/news-releases/singtel-first-in-singapore-to-launch-5g-standalone-network>. [149]
- Smart Nation Singapore (2021), "Smart Nation Sensor Platform: Using Data to Build a Better Future", <https://www.smartnation.gov.sg/initiatives/strategic-national-projects/smart-nation-sensor-platform>. [31]



- SoftBank (2021), SoftBank Corp. Unveils 6G Concept | Press Releases | News | About Us | SoftBank, [https://www.softbank.jp/en/corp/news/press/sbkk/2021/20210714\\_01/](https://www.softbank.jp/en/corp/news/press/sbkk/2021/20210714_01/) (accessed on 6?September?2021). [102]
- Sumitomo (2021), Sumitomo, Tokyu Railways, and Fujitsu Conduct Demonstration Experiment on the Use of Private 5G Systems in the Railway Industry, <https://www.sumitomocorp.com/en/jp/news/release/2021/group/15020>. [130]
- Swiss Confederation (2021), Maps of Switzerland: Broadband Map, [https://map.geo.admin.ch/?lang=en&topic=nga&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-grau&catalogNodes=15066,15041,15042,327&layers=ch.bakom.mobilnetz-5g&layers\\_opacity=0.75&E=2643054.67&N=1196867.12&zoom=1](https://map.geo.admin.ch/?lang=en&topic=nga&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-grau&catalogNodes=15066,15041,15042,327&layers=ch.bakom.mobilnetz-5g&layers_opacity=0.75&E=2643054.67&N=1196867.12&zoom=1) (accessed on 11?August?2021). [168]
- TechRadar (2021), Nokia builds private 5G network in a Lapland goldmine, 29 November 2021, <https://www.techradar.com/news/nokia-builds-private-5g-network-in-a-lapland-goldmine>. [194]
- TechRadar (2020), University of Surrey kicks off 6G research with 6GIC launch | TechRadar, <https://www.techradar.com/news/university-of-surrey-kicks-off-6g-research-with-6gic-launch> (accessed on 9?August?2021). [96]
- TechTimes (2021), Germany's €300 Million Open RAN Push Sets Tone for European Debate | Tech Times, <https://www.techtimes.com/articles/257325/20210222/germany-s-%E2%82%AC300-million-open-ran-push-sets-tone-for-european-debate.htm> (accessed on 9?August?2021). [81]
- Tele2 (2019), Tele2 and Bite sign agreement to share networks in Latvia and Lithuania - Tele2, <https://www.tele2.com/media/news/2019/tele2-and-bite-sign-agreement-to-share-networks-in-latvia-and-lithuania/> (accessed on 11?August?2021). [160]
- Telecom Infra Project (n.d.), Telecom Infra Project | Global Community Connectivity collaboration, <https://telecominfraproject.com/> (accessed on 9?August?2021). [15]
- Telecompaper (2020), "AWS unveils AWS Wavelength for 5G edge computing, new partnerships with Verizon, Vodafone, KDDI, SK Telecom - Telecompaper", <https://www.telecompaper.com/news/aws-unveils-aws-wavelength-for-5g-edge-computing-new-partnerships-with-verizon-vodafone-kddi-sk-telecom--1318580> (accessed on 14?November?2020). [183]
- Telecoms (2020), T-Mobile US claims world first for 5G standalone deployment – Telecoms.com, <https://telecoms.com/505901/t-mobile-us-claims-world-first-for-5g-standalone-deployment/> (accessed on 19?February?2021). [145]
- Telecoms.com (2021), Spain looks ahead to lifting all fibre access rules, <https://telecoms.com/511797/spain-looks-ahead-to-lifting-all-fibre-access-rules/>. [56]
- Telecoms.com (2020), Vodafone Germany and Lufthansa go private for 5G, <https://telecoms.com/502761/vodafone-germany-and-lufthansa-go-private-for-5g/> (accessed on 7?October?2021). [123]
- TelecomTV (2021), US and Japan team on Open RAN, 6G R&D | TelecomTV, <https://www.telecomtv.com/content/6g/us-and-japan-team-on-open-ran-6g-r-d-41290/> (accessed on 9?August?2021). [99]
- Telefónica (2021), Telefónica Colombia and KKR announce leading company for FTTH deployment | News Detail | News | Press Office | Telefónica, <https://www.telefonica.com/en/web/press-office/-/telefonica-colombia-and-kkr-announce-leading-company-for-ftth-deployment> (accessed on 4?November?2021). [61]
- Telefónica (2021), Telefónica, Telefónica Brasil and CDPQ create Fibrasil, a neutral fibre wholesale network provider in Brazil | News Detail | News | Press Office | Telefónica, <https://www.telefonica.com/en/web/press-office/-/telefonica-telefonica-brasil-and-cdpq-create-fibrasil-a-neutral-fibre-wholesale-network-provider-in-brazil> (accessed on 4?November?2021). [63]

- Telefonica (2020), Telefonica and Allianz create a partnership to deploy fibre in Germany through an open wholesale company | News Detail | News | Press Office | Telefonica, <https://www.telefonica.com/en/web/press-office/-/telefonica-and-allianz-create-a-partnership-to-deploy-fibre-in-germany-through-an-open-wholesale-company> (accessed on 4 November 2021). [64]
- Telia (2021), "Telia Company Launches 5G SA Core Network in Finland: The first commercially available 5G SA Network in the Nordic and Baltic Region", <https://www.teliacompany.com/en/news/press-releases/2021/11/telia-company-launches-5g-sa-core-network-in-finland--the-first-commercially-available-5g-sa-network-in-the-nordic-and-baltic-region/>. [142]
- Telstra (2021), We're pushing closer to the edge with AWS, <https://exchange.telstra.com.au/were-pushing-closer-to-the-edge-with-aws/> (accessed on 19 February 2021). [184]
- Tessares (2020), Important Milestone for Multipath TCP - Tessares, <https://www.tessares.net/important-milestone-for-multipath-tcp/> (accessed on 11 August 2021). [41]
- the University of Tokyo (2019), Establishment of Japan's first industry-university joint project "Local 5G Open Lab" by the University of Tokyo and NTT East, <https://www.iii.u-tokyo.ac.jp/news/2019101810756>. [128]
- The Verge (2019), "Verizon just announced a partnership with Boingo to solve its biggest 5G problem" - The Verge, <https://www.theverge.com/2019/8/22/20827985/verizon-5g-indoor-boingo-partnership-problem-solution-phoenix>. [45]
- UK Department for Digital Culture Media & Sport (2021), New £30 million competition to make UK a pioneer in building 5G networks - GOV.UK, <https://www.gov.uk/government/news/new-30-million-competition-to-make-uk-a-pioneer-in-building-5g-networks> (accessed on 9 August 2021). [86]
- UK Department for Digital Culture Media & Sport (2021), Project Gigabit Delivery Plan Summer Update, [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/1007788/Project\\_Gigabit\\_Summer\\_Update\\_Accessible\\_PDF\\_2\\_Aug\\_2021\\_1\\_.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1007788/Project_Gigabit_Summer_Update_Accessible_PDF_2_Aug_2021_1_.pdf) (accessed on 4 August 2021). [54]
- UK Department for Digital Culture Media & Sport (2021), Telecoms Diversification Taskforce: findings and report - GOV.UK, <https://www.gov.uk/government/publications/telecoms-diversification-taskforce-findings-and-report> (accessed on 9 August 2021). [84]
- UK Government (2021), Government launches new £5bn 'Project Gigabit' - GOV.UK, <https://www.gov.uk/government/news/government-launches-new-5bn-project-gigabit> (accessed on 4 August 2021). [51]
- UK Government (2021), Government response to the Telecoms Diversification Taskforce - GOV.UK, <https://www.gov.uk/government/publications/government-response-to-the-telecoms-diversification-taskforce> (accessed on 9 August 2021). [85]
- UK Government (2021), New high-tech 5G lab to boost network security and resilience - GOV.UK, <https://www.gov.uk/government/news/new-high-tech-5g-lab-to-boost-network-security-and-resilience> (accessed on 4 November 2021). [87]

- UK Government (2021), Two million rural homes and businesses to benefit in ?5 billion broadband upgrade - GOV.UK, <https://www.gov.uk/government/news/two-million-rural-homes-and-businesses-to-benefit-in-5-billion-broadband-upgrade> (accessed on 4?August?2021). [52]
- UK Government (2020), 5G Supply Chain Diversification Strategy - GOV.UK, <https://www.gov.uk/government/publications/5g-supply-chain-diversification-strategy/5g-supply-chain-diversification-strategy> (accessed on 9?August?2021). [83]
- United Kingdom Department for Digital, Culture, Media and Sport (2018), Future Telecoms Infrastructure Review - GOV.UK, <https://www.gov.uk/government/publications/future-telecoms-infrastructure-review> (accessed on 16?April?2019). [162]
- University of Oulu (2021), 6G Flagship. Vision for 2030, <https://www.oulu.fi/6gflagship/inbrief> (accessed on 26?October?2021). [92]
- Verizon (2021), Verizon 5G Internet coming to more ho-ho-homes & businesses, Press Release, 2 December 2021, <https://www.verizon.com/about/news/verizon-5g-internet-coming-homes-businesses>. [5]
- Verizon (2020), MCAS Miramar is the first U.S. military base to test Verizon 5G Ultra Wideband service, <https://www.verizon.com/about/news/mcas-miramar-test-verizon-5g> (accessed on 3?December?2021). [136]
- Verizon (2019), Verizon 5G Home Internet | Verizon, <https://www.verizonwireless.com/5g/home/> (accessed on 21?October?2019). [198]
- Verizon (2019), Verizon and Corning co-innovating with 5G to create factory of the future, <https://www.verizon.com/about/news/verizon-corning-co-innovating-5g> (accessed on 3?December?2021). [135]
- VMware (2021), What is Network Virtualization? | VMware Glossary, <https://www.vmware.com/topics/glossary/content/network-virtualization> (accessed on 9?August?2021). [8]
- Vodafone (2021), Vodafone and Google Cloud to develop industry-first global data platform, <https://www.vodafone.com/news/press-release/vodafone-google-cloud-industry-first-global-data-platform> (accessed on 9?August?2021). [189]
- Vodafone (2021), Vodafone And Nokia Develop Machine Learning System To Detect Mobile Network Anomalies, <https://www.vodafone.com/news/press-release/vodafone-nokia-partnership> (accessed on 9?August?2021). [20]
- Vodafone (2021), Vodafone partners with HERE and Porsche on traffic safety system, <https://www.vodafone.com/news/technology/traffic-safety-system> (accessed on 9?August?2021). [28]
- Vodafone (2021), World first: UK Power Networks to use Vodafone 5G in smart substations, [https://newscentre.vodafone.co.uk/press-release/5g-for-uk-power-networks-world-first-smart-substation-trial/?utm\\_source=ukpn](https://newscentre.vodafone.co.uk/press-release/5g-for-uk-power-networks-world-first-smart-substation-trial/?utm_source=ukpn)Andrea (accessed on 28?July?2021). [154]
- Vodafone DE (2021), Network expansion: Vodafone activates large areas of 5G standalone, <https://www.vodafone.de/newsroom/netz/vodafone-startet-umruestung-zum-modernsten-5g-netz-europas/> (accessed on 4?November?2021). [144]
- Vodafone Portugal (2020), Vodafone Portugal and NOS sign a historic agreement for sharing infrastructure and mobile network development - Vodafone Portugal, <https://www.vodafone.pt/en/press-releases/2020/10/vodafone-portugal-and-nos-sign-a-historic-agreement-for-sharing-infrastructure-and-mobile-network-development.html> (accessed on 11?August?2021). [157]

Vodafone UK (2021), Vodafone in 5G Standalone commercial pilot in London, Manchester, Cardiff, <https://newscentre.vodafone.co.uk/our-network/vodafone-launches-5g-standalone-commercial-pilot-in-london-manchester-and-cardiff/> (accessed on 5?August?2021).

Wi-Fi Alliance (2019), Twenty years of Wi-Fi, <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/20-years-of-wi-fi>. [34]

1 LTE 망 기반 FWA 서비스도 일부 시장에서 널리 사용되었다(예: 오스트리아, 라트비아).

2 가상 네트워크 기능(VNF)은 방화벽, 라우팅, 부하 균형, 트래픽 관리 같은 기존 비 가상 네트워크의 네트워크 기능을 구현하는 소프트웨어 애플리케이션이다(ETSI, 2014[10]).

3 제어 평면은 패킷(데이터)이 한 지점에서 다른 지점으로 전송되는 방식을 결정하는 반면 포워딩 평면은 실제로 데이터를 보내거나 “포워딩”한다.

4 가상 네트워크 기능(또는 VNF)은 하드웨어 네트워킹 인프라에 기반한 하나 이상의 가상 머신(VM)에서 실행되는 네트워크 기능을 소프트웨어로 구현하는 것이다. ETSI는 2020년 11월 클라우드 네이티브 VNF 관리를 위한 첫 번째 사양을 발표했다. 클라우드 네이티브 NFV 소프트웨어는 처음부터 클라우드 네이티브 원칙을 사용하여 설계 및 관리되는 소프트웨어이다(ETSI, 2020[201]). 해당 원칙의 예를 들면 VM이 아닌 컨테이너에서 “마이크로 서비스” 실행, 쿠버네티스(Kubernetes) 같은 컨테이너 오케스트레이션 시스템 보유, 클라우드 네이티브 오케스트레이션 패러다임 사용 등이 있다.

5 RU(원격 무선 처리장치)는 RRH(원격 무선 장비)라고도 한다.

6 유럽연합 집행위원회(European Commission)가 5G 시장의 시장 동향과 발전 가능성에 대해 발표한 연구에는 O-RAN 얼라이언스가 규격을 설정하는 과정이 다음과 같이 명시되어 있다.

“벤더 대표자는 ORAN이 3GPP와 경쟁관계가 아니며 오픈 소스 기반 표준이나 규격의 구현에 더 많은 책임을 져야 한다고 생각한다. O-RAN 얼라이언스의 거버넌스는 언급한 MoU에 간략하게 설명되어 있다. 그러나 거버넌스 섹션을 살펴봐도 투명성, 개방성, 공정성과 합의, 효과성과 관련성, 일관성을 보장하고 개발도상국의 우려를 해결하기 위한 국제 기준, 가이드, 권고안의 개발을 위한 6대 원칙을 준수하는지 여부는 보이지 않는다. 구체적으로 살펴보면, 공개된 정보[<https://www.o-ran.org/membership-info>] 및 EU 규정 NO 1025/2012에 따라 적용되는 WTO 규칙 전문가와의 인터뷰를 바탕으로 다음과 같은 결론을 내렸다. 첫째, 투명성 측면에서 모든 필수 정보는 이해 당사자 전체가 쉽게 접근할 수 있어야 하는데, O-RAN 규격은 홈페이지에서 접근할 수 없는 등 부분적으로만 충족된다. 둘째, 표준 제정 과정에서 창립 위원은 기여자와 비교해 접근할 수 있는 정보가 더 많았으므로 전 단계에서 절차가 무차별적으로 공개되었다고 볼 수 없다. 셋째, 관심있는 기여자라면 규격의 정교화에 기여할 기회가 있었다지만, 창립 위원은 제안서 차단에 필요한 25% 이상의 소수이므로 특권이 있다. 전반적으로, O-RAN 얼라이언스가 다양한 WTO 기준을 준수한다고 확신하는 구성원이 있지만 여전히 증거는 없다. 결과적으로 독립적인 평가가 필요하지만, 해당 프로젝트 환경에서는 실현될 수 없다(European Commission, 2021[18]).

7 OECD의 법률 문서로, 회원국이 공통으로 바라는 바를 표시한 원칙이다.

8 클라우드 컴퓨팅을 언급할 때는 클라우드가 배포 범위가 조직 내인지 아니면 더 넓은지 정의하는 것도 도움이 된다. 네 가지 주요 배포 모델은 1) 프라이빗 클라우드 2) 퍼블릭 클라우드 3) 커뮤니티 클라우드 4) 하이브리드 클라우드로 구분할 수 있다.

9 통신용 IEEE 802.11 표준을 사용한다.

10 다중 경로 TCP는 대부분의 인터넷 응용 프로그램이 사용하는 TCP(전송 제어 프로토콜)의 확장이다.

11 3GPP는 5G 장치가 5G와 Wi-Fi를 효율적으로 결합할 수 있도록 하는 ATSSS(접속 트래픽 스티어링, 스위칭, 스피리팅) 기능의 핵심 구성 요소로 다중 경로 TCP를 선택했다(Tessares, 2020[41]).

12 오픈시그널의 연구에 따르면 공공 Wi-Fi는 셀룰러와 몇 가지 차이점이 있어서 사용해 보면 셀룰러나 다른 유형의 Wi-Fi(가정 및 사무실)에 비해 느리다. 예를 들어, 공공 Wi-Fi는 여러 커넥션과 공유되는 비인가 스펙트럼을 사용하여 간섭이 일어날 수 있지만, 5G나 4G는 이동통신사별로 인가된 전용 무선 스펙트럼을 사용한다. 또한 공공 Wi-Fi는 사용자가 유선 광대역 커넥션을 공유하고 연결되게 하는 “추가 기능”이기 때문에 유선망의 속도에 의존하지만, 셀룰러 통신사는 대개 백홀 커넥션을 각 기지국에 업그레이드한다. 마지막으로 공공 Wi-Fi는 대개 “무료”로 제공되므로 접속 지점을 업그레이드할 유인책이 부족하여 고품질 접속 지점이 충분하지 않을 수 있다(Opensignal, 2021[48]).

13 환율은 2020년 OECD.stat의 0.876 EUR/USD이다.

14 위와 같음.

15 이전에 오프컴은 비즈니스 연결 시장(즉 전용선, 다크 파이버 등)과 주거 중심 도매 로컬 액세스 시장에 대한 개별 검토를 주로 3년마다 실행했다. 이에 비해 새로운 FTMR(유선 텔레콤 시장 검토)은 두 시장을 통합하고 기간도 5년(2021년~2026년)으로 늘렸다.

16 지자체 네트워크는 고속망으로 어떤 유형이든 대중이 참여한 지방 정부, 공공 기관, 공익 사업체, 조직, 협동 조합이 완전히 또는 부분적으로 촉진하거나 구축, 운영 또는 자금을 지원한다(OECD, 2015[205]).

17 디시(Dish)는 스프린트와 티-모바일(Sprint/T-Mobile) 합병으로 인한 규제책의 일환으로 스펙트럼과 기지국을 인수했다.

18 환율은 2020년 OECD.stat의 0.876 EUR/USD이다.

19 환율은 2021년 2분기 OECD.stat의 0.715 EUR/USD이다.

20 위와 같음.

21 환율은 2020년 OECD.stat의 0.876 EUR/USD이다.

22 NTT가 주창하는 IOWN(혁신적인 광학 무선 네트워크) 개념은 광섬유 중심 혁신 기술을 사용하여 고속, 고용량 통신과 방대한 컴퓨팅 자원을 제공할 수 있는 네트워크와 정보 처리 인프라이다. 2024년 규격 확정과 2030년 출시를 목표로 연구개발에 착수했다(NTT, 2021[202]).

23 환율은 2021년 2분기 OECD.stat의 1121.405 KRW/USD이다.

<sup>24</sup> 2015년 ITU는 IMT-2020(즉, “5G”)의 바람직한 기능에 관한 “비전”을 발표했다. EMBB(초광대역 이동통신), URLLC(초고신뢰·저지연 통신), mMTC(대규모 사물 통신)라는 세 가지 주요 사용 사례 시나리오를 통해 이전 IMT 보다 유연하고 안정적이며 안전하도록 설정된 것이다.

<sup>25</sup> 유럽 라디오 스펙트럼 정책 그룹(RSPG)에 따르면(2021[150]), “DSS는 ‘사내(intra-operator)’ 스펙트럼 공유 기술로 시간과 공간에 맞게 사용자/장치 간 주파수 자원 할당을 동적으로 관리할 수 있다. 망의 조건과 트래픽 요구 사항에 기반하여 사업자의 다양한 무선 접속 기술(예: LTE, 5G NR)을 사용한다.”

<sup>26</sup> “변전소”는 에너지를 전환하는 과정인 발전, 송전, 배전 시스템에 속한다.

<sup>27</sup> 수동적 인프라 공유는 둘 이상의 사업자가 개별 망의 수동적 요소(예: 마스트, 타워, 사이트 등)를 공동으로 사용하는 것이며, 능동적 인프라 공유는 백홀이나 심지어 사업자 개별로 할당된 주파수 자원 같은 네트워크의 능동적 요소를 공동 사용하는 것이다(예: 무선접속망[RAN] 공유, 로밍, 소프트웨어 요소 등).

<sup>28</sup> GPON(기가비트 수동 광 가입자망) 기술은 가정에 광통신망을 제공한다. GPON은 광통신분배망에서 사용자의 수동 분배기를 사용하는 지점 대 다지점 간 접속망으로 공급자가 보유한 하나의 피딩 파이버 연결로 다수의 가정/사무실을 연결한다.

<sup>29</sup> 즉 EECC는 상당한 시장 지배력(SMP)을 가진 사업자가 최종 사용자의 구내나 기지국까지 광케이블로 구성된 신규 망을 설치할 때 공동 투자 제안을 허용한다. EECC 하에 모든 VHCN(초고용량네트워크)이 공동 투자 대상이 되는 것은 아니다. 자격을 얻으려면 최종 사용자 구내나 기지국까지 광섬유로 이루어져야 한다.

<sup>30</sup> 환율은 2020년 OECD.stat의 1.454 AUS/USD이다.

<sup>31</sup> 상당한 시장 지배력을 가진 운영자는 주로 광섬유 기반 네트워크 인프라(다크 파이버)에 대한 액세스를 제공하여 백홀 연결을 보장해야 한다. 대안으로 상당한 시장 지배력을 가진 운영자는 도매 구매 사업자의 요청에 따라 광파장이나 디지털 연결 용량을 제공하여 백홀 연결을 보장할 수도 있다. 출처: PTS, 시장 결정 3a, 2015-02-19.

<sup>32</sup> 2021년 전반기가 되자 FCC는 몇 가지 이정표에 도달했다. 2021년 8월 6일 주요 이동통신사업자가 자발적으로 제공한 데이터를 기반으로 모바일 통신범위와 가용성을 보여주는 새로운 지도를 선보였으며, 이를 이용하여 FCC가 광대역 지도를 개선하기 위해 개발한 표준화된 기준을 공개적으로 시험할 수 있다(FCC, 2021[203]).

<sup>33</sup> 2021년 5월 AWS는 클라우드 기반 5G 솔루션을 제공하기 위해 마베니어(Mavenir)와 파트너십을 체결했다. 특히 마베니어/AWS는 “오케스트레이션과 관측 가능성(Observability)을 위한 AL/ML 솔루션과 더불어 핵심망과 RAN 고객을 위한 음성 및 메시징 서비스를 제공”할 계획이다(Mobile World Live, 2021[204]).