

5G 스몰셀 기술 및 활용 기술 동향

Trends in 5G Small Cell and Application Technology

권동승 (D.S. Kwon, dskwon@etri.re.kr)

지능형스몰셀연구실 책임연구원

나지현 (J.H. Na, jhna@etri.re.kr)

지능형스몰셀연구실 책임연구원/실장

ABSTRACT

5G goes beyond people to serve indoor and outdoor companies and industries, as well as campuses such as halls, industrial complexes, educational institutions, stadiums, dense urban areas, rural areas, and government institutions. Therefore, a new approach to small cells is needed. Accordingly, 3GPP and Small Cell Forum are researching 5G small cell architecture; 3GPP, Small Cell Forum, and 5G Alliance for Connected Industries and Automation are also researching private networks tailored to meet the specific requirements of various companies and local governments. In particular, in the UK, a small cell-based technology is required for realizing the Joint Operator Technical Specifications-Neutral Host In-Building specification to cost-effectively secure indoor coverage. Further, the research on the SON(Self-Organizing Network) technology for small cells in 5G, where commercialization has begun, is required. The 5G-based small cell structure, private network, and Neutral Host In-Building and SON reviewed in this study are at the initial research stages; therefore, additional research is needed to secure the competitiveness of the small cell technology in 5G and Beyond 5G.

KEYWORDS 5G, neutral host in-building, private cellular network, small cell

1. 서론

이동통신은 세대 진화에 따라 새로운 기술이 도입되어 왔으며, 5G에서는 세 가지 무선액세스 기술(eMBB: enhanced Mobile BroadBand, URLLC: Ultra-Reliable and Low-Latency Communication, mMTC: massive Machine Type Communication), 다양한 셀룰라 형태(매크로·마이크로·피코·페토 셀, 클라우드 기지국, 개방형

무선액세스 망)가 공존하는 이기종망(HetNets: Heterogeneous Networks) 구조, 제어와 데이터 평면 분리, 그리고 망 가상화·슬라이싱 기술 등이 도입되었다.

5G에는 기존 세대와 다른 신기술이 도입됨에 따라 일반 사용자뿐만 아니라 버티컬 산업으로 확장될 수 있는 기회를 제공하였다. 이 기회 실현을 위해 3GPP, 스몰셀 포럼, 5G ACIA(Alliance for Connected Industries and Automation)는 5G 스몰셀과 사설 셀

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2022.J.370209>

* 이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[No. 2018-0-01659, 5G NR기반 지능형 오픈 스몰셀 기술 개발].

룰라 네트워크(이하 사설 네트워크), Neutral Host In-Building(NHIB) 규격과 요구사항, 5G의 다양한 유즈 케이스 등을 제시하였다.

따라서 본고에서는 3GPP, 스몰셀 포럼, 5G ACIA, 텔컴에서 제시한 5G 스몰셀 구조에 대하여 기술하고 스몰셀이 활용될 수 있는 사설 네트워크, NHIB, 그리고 스몰셀과 오케스트레이션에 대해 분석 정리한 결과를 제시하고자 한다.

II. 5G 스몰셀 구조

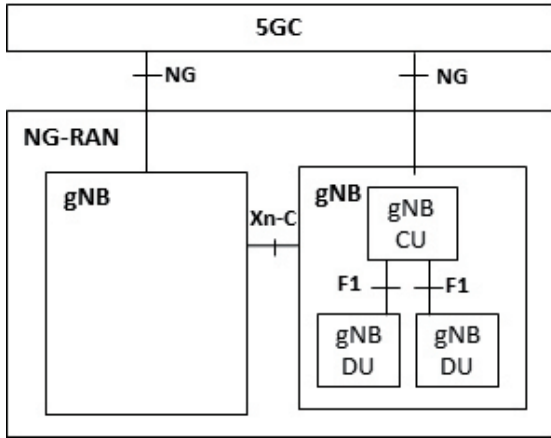
초기 스몰셀은 설치 환경에 관계없이 상당히 유사했으므로 크기, 무게와 출력 전력 면에서 다른 기지국 장비와 쉽게 구별할 수 있었으나, 5G 스몰셀은 다양한 시나리오에 설치될 것이므로 폼팩터와 구조는 매우 다양할 것이다. 따라서 5G 스몰셀에서 상호운용성과 확장성을 위한 핵심 요소인 공통 인터페이스와 디자인 프레임워크, 그리고 폼팩터는 다음 세 가지 추세로 인해 다양화되고 있다. 첫째, 5G부터 공유 주파수대역을 포함한 다양한 주파수대역을 사용하는 기업, 산업체와 정부기관 등에서 이동통신기술을 인간을 대상으로 하는 보편적인 이동통신서비스를 넘어 다양한 목적을 대상으로 하는 차별화된 성능과 폼팩터를 요구하기 시작했다. 둘째, 멀티벤더를 촉진하는 네트워크 가상화 기술은 유즈 케이스에 따라 다양한 방법으로 5G 스몰셀 실현을 가능하게 했다. 셋째, 5G는 고밀도화와 설치 규모를 새로운 수준으로 끌어올릴 수 있으므로 스몰셀 설계가 더욱 다양화될 것이다. 이 장에서는 스몰셀 포럼의 5G 스몰셀 동향으로 설치 시나리오와 스몰셀 구조를 서술하였다[1].

스몰셀 포럼에서는 5G 스몰셀 설치 시나리오로 다음 여섯 가지를 제시하였다. 첫 번째, 플러그 앤-플레이할 수 있는 단일 스몰셀이 적용되는 실내

주거 지역이다. 두 번째, 주로 eMBB의 스몰셀 네트워크가 필요한 실내 기업(사무실, 상업용 건물, 호텔, 의료 등)이다. 세 번째, eMBB, mMTC와 필요시 URLLC, 면허/비면허 대역의 스몰셀 네트워크가 필요한 기업과 산업체의 실내외 사설 네트워크이다. 네 번째, eMBB 스몰셀이 필요한 실내외 공장·산업단지·교육기관·경기장 등 캠퍼스이다. 다섯 번째, eMBB 스몰셀이 필요한 실외의 밀집된 도시이고, 여섯 번째, 높은 이동성과 넓은 커버리지에 필요한 농촌이다. 따라서 5G 스몰셀의 폼팩터, 전력, 크기, 인터페이스와 사양은 유즈 케이스와 설치 시나리오에 따라 달라질 수 있다.

스몰셀 포럼에서 정의한 5G 스몰셀은 3GPP TS38 시리즈 규격을 준수하면서 다음 주요 사항을 권고하고 있다. 4G LTE와 5G NR(New Radio)을 동시에 지원하거나, 4G와 5G 스몰셀이 동일한 네트워크에 별도로 공존할 수 있다. 6GHz 미만과 밀리미터파의 면허 대역, 공유 대역(미국 Citizen Band Radio Service(CBRS) 스펙트럼 등) 또는 비면허 대역(Wi-Fi의 2.4GHz와 5GHz 대역)을 지원할 수 있다. 16×16 MIMO까지 지원하며, 빔포밍과 하이브리드 빔포밍은 밀리미터파 대역에서 지원하고, 다중 사용자 MIMO와 단일 사용자 MIMO를 지원할 수 있다.

그림 1과 같이 5G NodeB인 gNB는 3GPP에서 정의한 NG(Next Generation Interface)를 통해 5G 코어망(5GC: 5th Generation Core network)에 접속된다. 5G gNB의 스몰셀 구조는 전통적인 형태의 gNB와 3GPP 표준 TS38.473에서 규정한 F1 인터페이스로 연결되는 CU(Centralized Unit)와 DU(Distributed Unit)로 구성된 gNB가 있다. 여기서 CU는 SDAP(Service Data Adaptation Protocol), PDCP(Packet Data Convergence Protocol), RRC(Radio Resource Control)를 포함하고, DU는 RLC(Radio Link Control), MAC, 물리계층과 RF를 포함한다.



출처 Reproduced from [1].

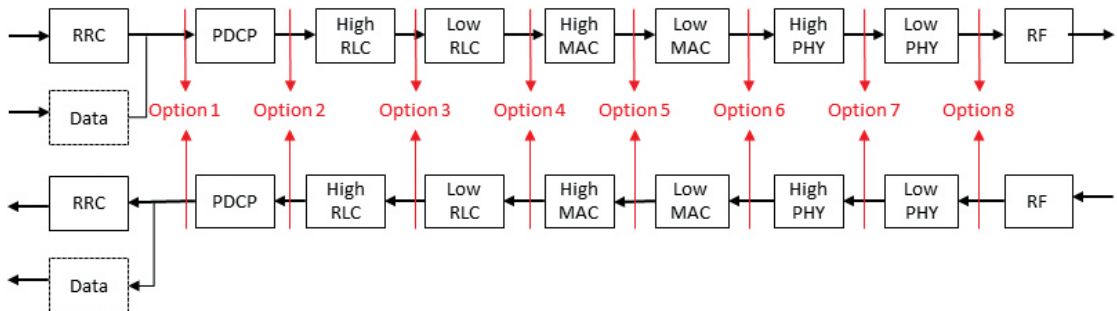
그림 1 3GPP 5G NR 구조(TS 38.300)

5G 스몰셀은 gNB의 모든 기능이 물리적으로 단일 장치에 구현된 전통적인 형태의 통합 스몰셀이거나 그 기능이 두 개 혹은 세 개로 분할된 스몰셀일 수 있다. 두 개로 분할된 스몰셀은 별도의 CU와 DU가 RU(Radio Unit)와 통합된 것과 CU와 DU가 통합된 것과 별도의 RU로 구성된 두 가지 솔루션이 있다. 세 개로 분할된 스몰셀은 CU, DU와 RU의 각각 별개로 존재하는 솔루션을 의미한다. 이 분할된 스몰셀 표준화는 3GPP, 스몰셀 포럼과 O-RAN Alliance에서 진행되고 있다.

통합 스몰셀은 주거 지역, 중소기업, 산업체와 시설 공간에 설치되는 제품으로 통신 프로토콜(1·2·3 계층)과 RF와 안테나가 단일 장치 내에 있는 일체형이지만, 스몰셀 포럼에서 정의한 물리-MAC 계층 간 인터페이스인 FAPI(Functional Application Platform Interface)를 사용하면 다중벤더 솔루션도 가능하다[2].

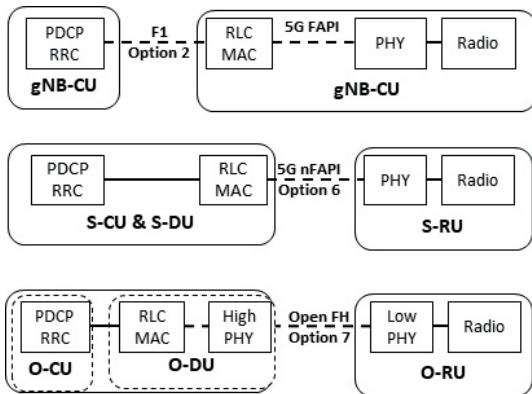
분할된 스몰셀로 구성되는 스몰셀 네트워크(이하 스몰셀 네트워크)는 CU에 복수 개의 DU가 연결되고, DU에도 복수 개의 RU가 연결된 구조를 갖는다. 이 스몰셀 네트워크는 CU를 통한 원격에 있는 RU의 효율적인 제어, 중앙 집중화된 자원 풀링으로 인한 이점, 저복잡도의 RU와 공유된 CU로 인한 잠재적 비용 절감 등의 장점으로 산업체가 선호하는 제품이다.

4G와 5G의 다양한 요구사항을 단일 설계로 수용할 수 없는 것처럼 다양한 네트워크 구조와 사용자 환경을 수용하려면 여러 분할 옵션이 필요하다. 3GPP TS38.801 [3]에서는 그림 2와 같이 분할된 RAN에 대해 여덟 가지 분할 옵션 중 분할 옵션 2, 6과 7은 관련 업계의 표준 인터페이스로 선호되고 있다. 조정과 추가적인 성능 이득을 제공하는 분할 옵션 6, 7과 8은 다른 옵션에 비해 지연 허용



출처 Reproduced from [1].

그림 2 분할된 RAN에서 분할 옵션



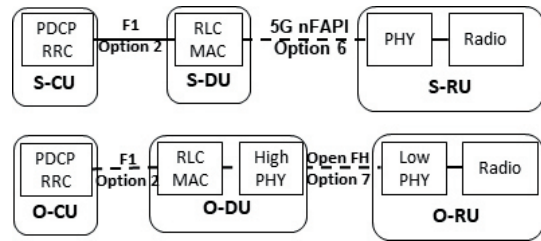
출처 Reproduced from [1].

그림 3 두 개로 분할된 스몰셀 제품

이 적지만, 프론트홀에서 더 넓은 대역폭을 요구한다. 3GPP에서 정의한 분할 옵션 2는 CU와 하나 혹은 복수 개의 DU 간에 F1 인터페이스로서 지연 허용 프론트홀, 낮은 수율과 추가적인 트랜스포트 레벨에서 암호화가 불필요한 특징이 있다. 스몰셀 포럼에서 정의한 분할 옵션 6은 물리계층과 가상화된 MAC 계층 간 open RAN을 위한 nFAPI이다[4]. O-RAN에서 정의한 분할 옵션 7은 FFT/IFFT를 포함한 RU와 FFT/IFFT가 제외된 DU 간 프론트홀 인터페이스인 CPRI를 개선한 eCPRI(enhanced Common Public Radio Interface)이다[5].

두 개로 분할된 스몰셀 제품은 그림 3에 나타내었듯이 3GPP의 분할 옵션 2, 스몰셀 포럼의 분할 옵션 6과 O-RAN의 분할 옵션 7을 채택한 것이다. 세 개로 분할된 스몰셀 제품은 그림 4에 나타내었듯이 3GPP의 분할 옵션 2와 스몰셀 포럼의 분할 옵션 6, 그리고 3GPP의 분할 옵션 2와 O-RAN의 분할 옵션 7 구조를 채택한 것이다.

스몰셀 포럼에서는 상기 분할 옵션들이 어떤 시나리오에 적합한가에 대해 사업자와 산업체를 대상으로 한 설문조사 결과는 다음과 같다. 분할 옵션 2는 과소 평가되었지만, 북미 지역에서는 사설 지역



출처 Reproduced from [1].

그림 4 세 개로 분할된 스몰셀 제품

과 핫스팟의 실내외에서 인기가 있는 것으로 조사되었다. 분할 옵션 6은 실내 기업과 사설망에서 더 많이 사용되는 경향이 있고, 분할 옵션 7은 실외 도시와 시골의 스몰셀 네트워크에서 더 많이 사용되는 경향이 있다. 그리고 분할 옵션 8에 대해서 중국 사업자의 응답이 없어서 과소 평가되었지만, 중국에서는 분할 옵션 8은 실내 기업용으로 인기가 있는 것으로 알려져 있다.

III. 사설 셀룰러 네트워크

이 장에서는 스몰셀이 활용될 수 있는 사설 네트워크에 대해 3GPP, 스몰셀 포럼, 5G ACIA, 그리고 쉘컴 동향을 소개한다.

1. 3GPP 동향

3GPP에서 Non-public Network라 명명된 사설 네트워크는 기업(제조, 공급망, 운송과 에너지)이나 지방 정부의 특정 요구사항(커버리지 보장, 배타적인 용량 보장, 제어를 위한 신뢰성과 지연 최적화 등)에 부합하도록 맞춤 설계된 것으로 상용망과 분리된 전용망이다. 여기서 가입자는 통상의 이동가입자가 아닌 조직적 실체, 즉 적절하게 구성된 사용자로, 센서와 제어망의 사물이거나 직원, 손님, 방문자일 수

있다. 이 사설 네트워크는 완전히 격리된 사설 네트워크, 이동사업자의 네트워크와 통합된 사설 네트워크, 그리고 이동사업자 망을 이용한 로밍의 세 종류가 있다. 이 사설 네트워크의 주요 특징은 다음과 같다.

- 스펙트럼: 이동사업자 면허 대역, 사설 면허 대역, 공유 대역, 비면허 대역
- RAN과 코어망: 전용으로 해당 기업이 운영, 전용으로 서비스 제공자/제3자 운영, 공유로 이동사업자 운영(네트워크 슬라이싱 포함 또는 미포함)
- 설치: 사설 네트워크 사업자가 장비를 구매하여 설치, 사설 사업자와 이동사업자가 하이브리드로 듀얼 설치
- 관리·운영: 기업, 관리 서비스 제공자, 이동사업자

특정 기업을 위해 설계되고 만들어진 사설 네트워크는 상용 이동통신, 유선, Wi-Fi로는 비현실적이거나 불가능한 방법으로 성능과 서비스 제공을 최적화할 수 있으므로 다음의 비즈니스 기회를 제공한다. 그것은 고객에게 유일하고, 비즈니스와 운영 요구사항에 맞게 조정된 맞춤형 서비스 제공, 개인 사용자 트래픽을 고객의 개인 네트워크에 유지함으로써 시큐리티와 개인정보보호, 효율성 향상 혹은 비즈니스 비용 절감, 대기 시간 감소, 백홀 비용 감소이다.

5G를 산업에 적용하기 위한 응용 프로그램과 유즈 케이스에 대한 서비스 요구사항이 서술된 3GPP TS 22.104[6]에서 주요 사항은 다음과 같다. 5G는 공장과 창고 환경에서 서비스 지역당 Wi-Fi와 LTE보다 더 많은 수의 무인 운반차(Automated Guided Vehicle)를 지원할 수 있고, 특히 연료와 케미컬 탱크 등 위험한 화물에 대해서는 비디오로 원격 제어를 하는 응용도 가능하다. 5G가 적용된 일명 데이터 고

글이라는 확장 현실 헤드셋은 복잡한 산업 장비에서 작업하는 유지 보수 엔지니어를 지원하는 원격 전문가, 산업 훈련 시나리오 등에 활용 가능하다. 5G는 Ultra-HD 카메라에서 생성되는 대용량 데이터와 머신 비전이 산업용 IoT의 다양한 분야에 적용할 수 있게 한다. 예를 들어, 금속 피로 또는 제조 결함을 식별하여 고장과 중단을 줄이는 예측적 유지 보수 분야로서 결함을 인식하고 생산라인에 알리는데 필요한 짧은 사이클 시간을 지원할 수 있다. 현재 유선 TDM 네트워크에 의존하는 고전압 배전 그리드는 매우 엄격한 지연과 공급 연속성이 손상되지 않는 99.999%의 신뢰성 요구사항이 있는 부하 제어 시스템에 5G를 적용하면 보다 유연한 통신 시스템으로 오버레이할 수 있는 기회가 제공된다. 산업 환경에서 사용되는 IoT 장치 중에서 장치의 밀도가 높은 환경에서는 5G가 유리할 수 있다. 느리게 이동하며 넓은 지역에 걸쳐 분산될 수 있는 이동식 크레인, 이동식 펌프, 고정식 포털 크레인 등 산업 플랜트의 원격 제어에서도 5G를 적용하면 유리하다.

2. 스몰셀 포럼 동향

스몰셀 포럼에서 조사·분석한 사설 네트워크[7] 설치 시나리오는 지방 정부의 스마트 시티, 운송, 항구, 원격지 산업체(오일, 가스, 광산 등), 공장·온라인 소매업체의 자동화, 경기장, 쇼핑몰·캠퍼스 부지 관리·주차와 방문객 안내, 건강, 모바일 브로드밴드가 필요한 시골 지역이다. 이 중에서 차별화된 시나리오에 대한 시장 동인과 도전 과제는 다음과 같다.

항구에서 요구사항은 연중무휴 365일 커버리지 솔루션 팀의 손쉬운 관리·확장·모니터링, 건강과 안전을 위한 자동화, 최신 디지털 응용을 통합할 수 있는 개방형 플랫폼, 30ms 지연 보장, 전체 모니터링과 제어를 제공하는 사용하기 쉬운 엔터프라이즈

대시보드이다. 설치 예로는 함부르크 항만청, Deutsche Telekom과 Nokia는 유럽의 5G-MoNArch 프로젝트에서 단일 5G 네트워크에서 URLLC, eMBB, mMTC 세 가지 사용 사례 각각에 대해 하나의 네트워크 슬라이스가 생성하는 테스트베드를 설치하였다.

공장·온라인 소매업체의 자동화에서 요구사항은 까다로운 환경에서도 강력한 연결성, 이동성, 정보보호, 높은 연결 밀도, 확장성과 저지연이다. 설치 예로 영국의 온라인 소매업체인 Ocado는 공장 자동화를 위해 5GHz의 비면허 대역에서 세계 최초로 맞춤형 사설 LTE를 개발했다. Ocado는 일주일에 260,000건 이상의 주문 배송 처리에 자동화를 적용하여 비용 절감과 효율성 개선으로 운영 혁신을 했다. Cambridge 컨설팅과 협력하여 모듈식 로봇 그리드 형태의 맞춤형 주문 처리 솔루션을 설계·개발했다. 개발된 사설 LTE 네트워크는 거대한 창고에 있는 수천 대의 로봇 중 하나와 초당 10번의 안정적이고 예측 가능한 통신을 했다.

경기장에서는 상대적으로 짧은 기간 동안 수요가 급증하는 매우 까다로운 환경과 방문자, 직원과 응급 서비스 요구사항을 별도로 고려해야 한다. 설치 예로 2018년 11월 American Tower는 Ruckus와 제휴하여 피닉스의 ISC(International Speedway Corporation)에 새로 개조된 ISM Raceway에서 3.5GHz CBRS 대역 사설 LTE 망을 설치했다. 이 솔루션은 관중석, 캠핑장과 Midway에서 모터 스포츠 애호가들에게 확장된 연결성을 제공한다.

쇼핑몰·캠퍼스 부지 관리·주차와 방문객 안내의 시장 동인은 향상된 방문자 경험, 교통 관리, 부지 보안, 주차와 길 찾기 정보시스템, 보안 기업 통신, 운영 비용 절감이다. 설치 예로 연간 4천만 명의 예상 방문객, 450개 이상의 상점, 서비스와 편의 시설을 보유한 뉴저지의 소매업체와 엔터테인먼트 복합

단지인 American Dream에 JMA Wireless는 시설 운영과 방문객 서비스를 위해 3.5GHz CBRS 대역 사설 LTE 설치를 위해 advanced network services와 제휴했다. 처음에는 야외 공간에서 종합적인 교통 관리, 주차와 길 찾기 서비스를 제공할 것이고, 비디오 카메라, 디지털 디스플레이, 차량 연결, 내부 통신과 시설 운영을 위한 IoT를 포함한 고정과 모바일 장치를 추가할 것이다.

상기의 설치 예를 통해 LTE가 사설 네트워크로서 보안과 규정 준수, 신뢰도와 서비스 품질에 대한 사용자 우려를 해소하였다. 즉 표준과 에코시스템이 완전한 사설 LTE 솔루션으로 설치되었고, 이는 사설 5G 네트워크로 원활하게 진화할 수 있다. 한편, 5G 규격은 가용성, 신뢰성, 지연 시간, 장치 밀도 등에서 더 까다로운 기업의 성능 요구사항을 수용할 수 있다. 구체적으로 이동사업자가 네트워크 슬라이싱을 사용하여 기업에 관리형 사설 5G 네트워크 프로비저닝 제공, 5G의 향상된 QoS로 가입자에게 동시에 다른 QoS 프로파일 제공을 할 수 있다. 그리고 매우 높은 처리량 혹은 매우 짧은 대기 시간이 필요한 경우 mmWave 대역을 사용할 수 있다.

한편 4G에서 5G로 전환은 최근 이슈가 되는 중립 호스트(Neutral Host)와 사설 네트워크 사업자가 이동사업자와 협력·공존할 수 있는 많은 기회를 가져왔고, 완전히 분리된 네트워크 출현을 가져왔다. 이 전환에서 차세대의 완전한 클라우드 네이티브 E2E(Exchange-to-Exchange) 오케스트레이터 구축이 과제이다. 구체적으로는 reactive보다는 proactive에 기반하며 레거시 구조를 갖는 중앙 집중식 운영과 비즈니스 지원 시스템, 5G 망에 걸맞은 데이터 수집과 페루프 결정, 프로세스 자동화와 기계학습 적용, 문제 발생 전 예측 가능성과 예방 부족 등이다.

스몰셀 포럼에서는 진화된 사설 네트워크를 위해 다음 사항을 제시했다. 첫째, 사설 네트워크와 엔터

프라이즈 IT의 통합과 스물셀 네트워크기반 사설 네트워크 구축이다. 둘째, 인더스트리 4.0 요구사항을 충족할 수 있도록 충분히 실용적이고 상업적으로 실용적인 면허 조건으로 완전히 격리된 사설 네트워크를 위한 스펙트럼 할당이 필요하다. 셋째, 많은 수의 사설 네트워크가 원활한 로밍을 할 수 있도록 사설 네트워크의 로밍 표준과 기술 솔루션이 개발되어야 한다. 넷째, 이동사업자와 통합된 사설 네트워크를 위해 다양한 유형의 통합에 대한 모범 사례, 유즈 케이스와 비즈니스 모델을 공유하고, 보안과 서비스 수준에서 원활성을 연구하여 모범 사례를 권장해야 한다.

3. 5G ACIA 동향

인더스트리 4.0은 미래의 스마트 공장에서 유연성, 다용성, 사용성과 효율성 향상을 목표로 하는 차세대 산업혁명으로 IoT와 관련 서비스를 산업과 제조에 통합하고, 전체 가치 사슬과 자동화 피라미드의 모든 계층에 걸쳐 원활한 수직·수평 통합을 제공한다. 연결성은 인더스트리 4.0의 핵심 구성요소로서 기계, 사람과 사물 간 강력하고 광범위한 연결을 제공한다[8].

5G 네트워크는 소비자, 기업과 산업용 IoT 공간에서 상상할 수 있는 거의 모든 응용의 연결 요구사항을 해결할 수 있는 진정한 다중 서비스 네트워크 중 하나이다. 구체적으로 5G 네트워크는 이전 세대에 비해 전례 없는 수준의 유연성을 제공하는 가상화, 네트워크 슬라이싱과 에지 컴퓨팅 기능 덕분에 새로운 서비스의 비용 효율적 전달을 가능하게 한다. 매우 낮은 지연 시간으로 매우 안정적인 통신을 지원하고 IoT 응용을 위한 대규모 연결도 지원하는 5G는 자동차 산업, 의료, 농업, 에너지와 기타 제조 부문을 포함한 많은 수직 영역에서 새로운 사용 사

례를 가능하게 한다. 특히 맞춤형 개별 제조의 경우 5G 사설 네트워크는 안정적인 무선 연결로 생산라인의 유연한 재구성을 가능하게 한다. 5G 사설 네트워크는 일반 대중에게 이동통신서비스를 제공하는 상용 이동통신망과 달리 캠퍼스나 공장과 같이 명확하게 정의된 사용자 조직 또는 조직 그룹에서 다음의 이유로 사용된다[8,9].

- 높은 서비스 품질 요구사항
- 전용 보안 자격증명(Credential)으로 충족되는 높은 보안 요구사항
- 상용 이동통신망의 오작동으로부터 보호, 성능, 보안, 개인정보보호와 안전상의 이유로 다른 네트워크와 격리
- 가용성, 유지 관리와 운영에 대한 책임을 용이하게 식별

5G-ACIA의 주요 관심은 산업용 IoT 시나리오에 적용되는 사설 네트워크로서 상용망과 분리된 독립적인 사설 네트워크와 상용망과 연계된 사설 네트워크 두 종류이다. 사설 네트워크 설치 시 고려사항은 사용 주파수, 사설 네트워크를 소유·운영하는 사람, 사설 네트워크 운영자와 상용망 운영자 간 존재하는 신뢰 수준과 총 소유 비용 측면에서 솔루션 구성 요소의 가용성과 경제성 등이다. 이 고려사항에 준수하여 다음 네 종류의 사설 네트워크 시나리오를 제안했다[10].

첫 번째 사설 네트워크 시나리오는 상용망과 분리된 독립적인 사설 네트워크로서 3GPP의 모든 네트워크 기능이 정의된 지역(예: 공장)의 논리적 경계 내에 존재하며 상용망과 분리되어 전용 네트워크 ID를 가진 네트워크로서 상용망과의 유일한 통신 경로는 방화벽을 통하여 선택적으로 연결하는 것이다. 사설 네트워크의 디바이스가 서비스에 액세스하기 위해 상용망에 직접 가입하거나(이중 가입), 원

하는 경우 선택적 연결을 활용하여 상용망을 통해 사설 네트워크에 액세스할 수 있다. 사설 네트워크 운영자는 하나 이상의 상용망 운영자와 필요시 적절한 기술적 제약을 하는 로밍 계약을 체결할 수 있다.

두 번째 사설 네트워크 시나리오는 상용망과 연계되어 설치되는 사설 네트워크로서 3GPP의 RAN 공유 기술을 이용하여 상용망의 RAN만을 공유하지만 다른 네트워크 기능은 분리된 상태를 유지하는 것이다. 구체적으로 트래픽 부분과 관련된 모든 데이터 흐름은 정의된 지역의 논리적 경계 내에 존재하지만, 상용망 트래픽은 상용망으로 전송된다. 이 사설 네트워크는 전용 네트워크 ID를 가지고 있지만, 상용망 사업자와 RAN 공유 계약을 하고, 방화벽을 통해 사설 네트워크와 상용망 간 선택적 연결이 가능하다.

세 번째 사설 네트워크 시나리오는 상용망과 연계되어 설치되는 사설 네트워크로서 상용망의 RAN을 공유하면서 네트워크 제어 업무를 상용망에서 처리하는 것이다. 하지만, 모든 사설 네트워크의 트래픽 흐름은 정의된 지역의 논리적 경계 내에 유지되는 반면, 상용망 트래픽은 상용망으로 전송된다. 이것은 단일 공유 물리적 인프라 내에서 논리적으로 독립적인 네트워크를 생성하여 구현하는 네트워크 슬라이싱 식별자 혹은 3GPP의 액세스 포인트 이름으로 구현된다. 사설 네트워크는 상용망에 의해 호스팅되며 사설 네트워크의 디바이스는 상용망 가입자이므로, 사설 네트워크의 디바이스는 로밍을 포함하여 상용망과 해당 서비스에 직접 연결할 수 있다.

네 번째 사설 네트워크 시나리오는 상용망에 의해 호스팅되는 사설 네트워크로서 상용망 트래픽과 사설 네트워크 트래픽 모두가 정의된 지역 외부에 있지만, 완전히 다른 네트워크의 일부인 것처럼 취급되는 것이다. 이것은 클라우드 환경에서 네트워

크 기능의 가상화, 네트워크 슬라이싱 또는 액세스 포인트 이름을 통해 실현할 수 있다. 사설 네트워크 가입자는 상용망 가입자이기도 하다. 모든 데이터가 상용망을 통해 라우팅되기 때문에 사설 네트워크와 상용망 운영자 간의 계약에 따라 상용망 서비스에 대한 액세스와 로밍 기능을 쉽게 구현할 수 있다.

4. 쉘컴 동향

쉘컴은 유선과 Wi-Fi 망에서 비실용적이거나 불가능한 방식으로 비즈니스 프로세스를 최적화하고 재정의할 수 있도록 기업 사용자를 위해 특별히 설계·설치된 5G 사설 네트워크, 즉 산업용 IoT를 제안한다[11]. 특히 산업체 사용자의 경우 생산에 중요한 응용 프로그램의 커버리지, 성능과 보안 요구사항을 충족하는 것이다.

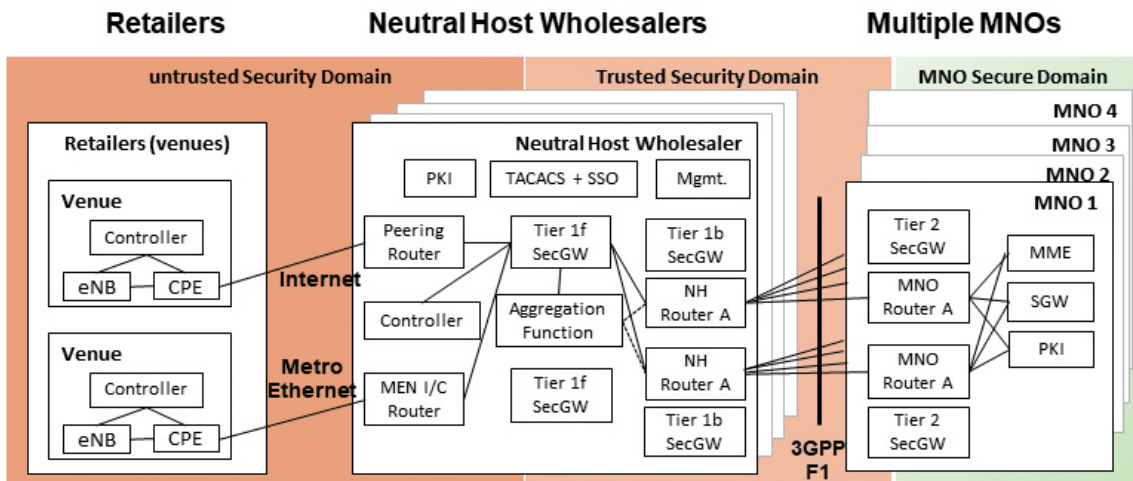
사설 LTE 시스템은 글로벌 LTE 에코시스템을 활용하여 대용량의 표준화된 기술과 네트워크를 설계·설치할 수 있는 확고한 공급업체의 이점을 활용했다. 그러나 가용성, 신뢰성, 지연 시간, 지터, 장치 밀도, 처리량 등에서 더 까다로운 성능 요구사항이 있는 경우에는 LTE로는 어렵고, 5G에는 이 고성능 산업 응용의 요구사항을 더 잘 충족할 수 있도록 무선 도메인과 시스템 구조의 혁신이 포함되어 있다. 무선 영역에서는 유연한 numerology, URLLC, 공간 다이버시티, 포지셔닝, QoS, 스펙트럼 유연성 등이고, 시스템 수준에서는 네트워크 슬라이싱, 향상된 보안, 새로운 인증 방법, 에지 배포, AP 노출 등이다. 현재 5G 사설 네트워크에 대한 시험과 상업적 파일럿이 진행 중이며, 3GPP Rel. 16까지 기능과 에코시스템이 지원된다. 사설 LTE는 5G로 명확하고 확고한 업그레이드 경로가 있는 기술이므로 5G 및/또는 다중 모드 LTE/5G로 업그레이드할 수 있는 공급업체 솔루션이 이제 시장에 출시되고 있다.

5G 사설 네트워크의 주요 동인은 RF 또는 작동 조건이 가혹한 위치 또는 상용망 적용 범위가 제한되거나 존재하지 않는 위치(원격지)까지 커버리지 보장, 첨단 산업체에 매우 중요한 민감 운영 데이터(보안과 데이터의 개인정보보호)를 온프레미스에 보관할 수 있도록 상용망에서 지원되지 않는 구성 적용을 위한 네트워크 제어, 그리고 까다로운 응용 지원을 위한 다양한 성능 프로파일이다. 켈컴이 주장하는 산업용 IoT로서 5G NR의 특징은 다음과 같다.

- 유일한 망 ID를 갖는 사설 네트워크로서 총합되고 독립적인 구조와 끊김 없이 상용망으로 fallback
- 면허, 비면허 그리고 공유 스펙트럼 지원
- 저지연, 초신뢰, 서비스 다중화와 향상된 이동성을 지원하는 URLLC
- 결정적 네트워킹과 디바이스 시각 동기를 위해 TSN(Time Sensitive Network)이 적용된 5G
- 네트워크와 디바이스 기반의 산업용 IoT 수용하는 포지셔닝

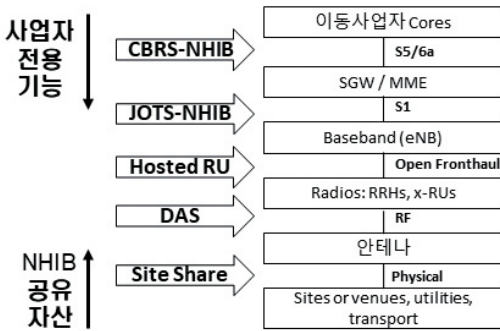
IV. Neutral-Host in-Building 동향

영국의 4개 이동사업자 Telefonica O2, EE, Vodafone과 3UK가 합의한 JOTS-NHIB(Joint Operator Technical Specifications for Neutral Host In-Building)는 건물 내에서 스몰셀을 사용하는 공유 솔루션에 대한 구조, 무선 요구사항과 프로세스(시험과 인수, 동작)에 대한 사양이다. 이는 영국의 중소 규모 사업장에 다중 사업자 서비스를 비용 효율적으로 제공하는 중요한 단계로 선구적인 사업자 간 협약이라 할 수 있다. NHIB는 다음과 같은 특징이 있다. 첫째, RAN 공유에 대한 이동사업자 간 협정으로 비용 절감과 복잡도 감소, 그리고 수용성과 확장성이 향상되어 이동사업자가 더 나은 실내 커버리지를 갖게 한다. 둘째, 국가 인프라로서 NHIB 사양은 이동사업자의 엄격한 보안 요구사항 충족을 위해 신뢰할 수 있는 NHIB 도매업체와 이동사업자 간 연결은 다중 계층의 보호를 위해 3GPP S1 경계에 적용하는 보안 구조이다. 그런데 미국의 CBRS 네트워크 기반



출처 Reproduced from [12].

그림 5 JOTS NHIB 구조



출처 Reproduced from [12].

그림 6 NH 모델과 3GPP 구조의 경계 지점

NHIB는 S5/S6a 경계에서 연결하는 보안 구조이다.

NHIB 구조는 그림 5와 같이 이동사업자 도메인, NHIB 도매업체와 소매업체 도메인으로 구성되며, 이동사업자와 NHIB 도매업체 간에는 신뢰할 수 있는 보안 도메인인 3GPP의 S1 인터페이스로 연결되고, NHIB 도매업체와 소매업체 간에는 신뢰할 수 없는 도메인인 인터넷 혹은 메트로 인터넷으로 연결된다. NHIB에서 RAN은 소매업체 도메인 내에서 통합 eNodeB 또는 DU 및/또는 CU 기능이 분리된 RAN으로 설치될 수 있다. NHIB 사양은 S1을 통해 LTE RAN에 연결되는 이동사업자 코어망을 기반으로 하지만, NSA(Non Standalone)를 포함한 5G NR은 개방형이고 분리된 RAN이므로 이 프레임워크 내에서 연결 가능하다. NHIB는 대부분 RAN에 구매받지 않을 뿐만 아니라 스펙트럼에 구매받지 않으며 공유 스펙트럼을 지원하고 라이선스 면제 또는 라이선스 공유 액세스를 지원 가능하다.

스몰셀 포럼은 이 JOTS-NHIB를 스몰셀 기반의 실현 방안을 제시하였다[12]. 기본적으로 NHIB 모델은 그림 6과 같이 3GPP 구조에서 NHIB 공유 자산과 이동사업자 전용 기능 간의 경계 지점에 따라 다양하다. 첫 번째 모델은 기존 사이트 공유와 DAS(Distributed Antenna System) 모델은 부동산, 수동

구성요소와 전력과 트랜스포트와 같은 유틸리티 호스팅을 기반으로 한다. 두 번째 모델은 기지국 무선부의 능동 구성요소(RRH, RU)를 호스팅하는 디지털 DAS 모델로서, 엄격한 프론트홀 트랜스포트 요구사항이 있고, 이동사업자는 장소 또는 그 근처에 기지국 장비를 설치해야 하며, 실제로 제한된 확장성이 입증되었다. 세 번째 모델은 호스팅된 공유 LTE RAN과 이동사업자의 코어망 간의 S1 경계를 기반으로 한다. 이는 커버리지가 필요한 새로운 장소에 설치할 때마다 이동사업자는 새로운 장비를 설치하고 관리할 필요가 없으므로 비용 절감과 확장성 향상을 도모할 수 있다. 대신에 NHIB는 이동사업자가 제공하는 파라미터로 구성된 공유 스몰셀을 설치해야 한다. 네 번째 모델은 공유 S-GW와 MME(Mobility Management Entity) 기능에서 설정된 공용 S5/S6a 인터페이스를 통해 안전한 이동통신 서비스를 지원하는 미국의 사설 CBRS 네트워크이다.

NHIB에 가상화 기술을 적용하는 방법은 이동사업자가 사이트를 설치할 장소 또는 그 근처에 하드웨어를 설치하는 대신에 컴퓨팅, 메모리 및 트랜스포트를 호스팅하고, 이동사업자가 CU와 DU 기능을 가상화시킨 인스턴스를 설치한다는 것이다. NHIB는 다중 테넌트 RU가 선호하므로 RU와 같은 물리적 기능도 호스팅되어 가상화 네트워크에 액세스할 수 있어야 한다.

V. 스몰셀 SON과 오케스트레이션

5G에서 자동화는 망의 고밀도화, 물리와 가상 요소의 효과적인 오케스트레이션 지원을 위해 반드시 필요하다. 따라서 RAN에서 자가 구성 네트워크(SON: Self-Organizing Network)는 더 광범위한 관리와 오케스트레이션 플랫폼의 일부로 진화되기 위해 중단 간 네트워크까지 확장되고 기계학습을 적용하여

기능 측면에서 향상되어야 한다[13-15].

스몰셀 LTE SON의 자가 구성에는 백홀 구성과 인터페이스 설정을 위한 기본 설정, 자동 인벤토리와 SW 업데이트, 물리적 셀 ID 충돌과 혼동 방지를 위한 자동 물리 셀 ID 할당, 셀 간 핸드오버를 위한 이동 경로를 정의하는 자동 이웃셀 관계가 있다. 스몰셀 LTE SON의 자가 최적화에는 인접 셀 간 부하 균형을 위해 핸드오버 설정값을 조정하는 로드 밸런싱, 핸드오버 성공률이 최대화되도록 설정값을 조정하는 핸드오버 최적화, 액세스 시도가 최소화되도록 설정값을 조정하는 RACH(Random Access Channel) 최적화, 핸드오버 설정값과 인접 목록의 조정으로 빈번한 핸드오버 완화, 신호 품질을 향상하면서 셀 영역을 확장하도록 셀 클러스터 간 자원 재사용을 관리하는 셀 간 간섭 조정, 전체적인 신호 강도와 품질을 향상하는 커버리지와 용량 최적화, 단말의 측정보고인 주행 시험 최소화, 에너지 절약, 포워드 핸드오버가 있다. 스몰셀 LTE SON의 자가 치유에는 인접 셀의 outage를 식별하고 보상하는 셀 outage 검출, 검출된 셀 outage를 자동 복구하는 셀 outage 복구, 국부적인 outage 완화를 위한 인접 셀 전력과 tilt를 조절하는 셀 outage 보상, 성능 저하의 증상을 식별하고 문제를 표시하는 셀 성능 저하 검출, 복구 outage 셀이 다시 작동하면 보상된 인접 셀을 원래 설정으로 되돌리는 셀 outage 보상으로부터 복구가 있다.

LTE SON 기능이 5G NR에 적용되기 위해 개선될 주요 사항은 다음과 같다.

- 5G NR에서 스몰셀 SON의 RAN 파라미터 최적화를 위해 주변의 무선 환경 파악을 위한 망 모니터링 모드
- LTE의 2배인 물리적 셀 ID를 갖는 5G NR은 셀별 참조 신호가 없어서 LTE 방법이 적용할 수 없으므로 물리적 셀 ID 충돌 회피를 위한 새로

운 접근 필요

- 5G NR이 LTE에서 무선액세스 간 자동 이웃 관계를 재사용하지만, 더 우수한 성능을 위한 더 좋은 측정과 보고 과정 필요
- 5G NR에서 셀 간 간섭 조정을 위해 gNB 간 Xn 인터페이스를 정의하였지만, 5G NR의 고밀도화와 인접 셀 간 서브대역 중첩으로 4G의 주파수 재사용 서브대역기반 셀 간 간섭 조정 알고리즘에 대한 새로운 접근 필요
- 셀별 참조 신호가 없고, 6GHz 이상 주파수대역에서 massive MIMO를 지원하는 5G NR에서 LTE의 커버리지와 용량 최적화를 사용할 수 없으므로 새로운 접근 필요
- 5G NR의 XnAP에서 이동성 파라미터(예: 핸드오버 임계값) 최적화 절차가 포함되어 있지 않으므로 핸드오버 최적화에 대한 새로운 접근 필요

SON 기능 간 중첩 문제 해소를 위한 LTE SON 조정과 충돌 해결에는 도메인 전문 지식과 각 기능에 대한 전문 지식이 필요하며, 점점 더 많은 SON 기능 간 충돌로 복잡해지고 있다. 특히 5G에서는 실시간 저지연 데이터와 지연 허용 데이터의 처리와 같은 서로 다른 시간 스케일과 수직적 레벨로 동작하는 다른 페루프 자동화 프로세스가 이슈가 된다. 자동화된 제어 기능 통제 방법으로는 수동 프로그램의 워크플로우 방식, 규칙 혹은 정책 기반 방식, 통계/기계학습/제약조건 최적화 방식, 목표 주도 SON 조정과 충돌 해결이 있다.

복수 공급업체의 SON 지원 LTE 스몰셀과 SON 솔루션 간 호환성 제공을 위해 2015년 스몰셀 포럼에서 발표한 SON API[16]는 하이브리드 SON 구현을 위해 분산 SON(dSON)과 중앙 집중식 SON(cSON) 간의 표준화된 인터페이스이다. LTE SON

API는 일반적인 SON 기능 요구사항 충족을 위해 여러 기능별 절차(dSON 활성화, dSON 비활성화, dSON 구성 및 dSON 파라미터 변경 알림)를 정의하고 있다. 5G SON에서는 새로운 기능별 절차를 지정해야 하고, 또한 다른 기술로 직접 확장할 수 있도록 글로벌 절차(dSON 파라미터 검색, 성능 측정 구성과 보고, REM 구성과 보고, 이벤트 구성과 알림)도 지정해야 한다.

5G 망은 네트워크 함수 가상화와 소프트웨어 정의 네트워크 플랫폼 기반의 네트워크 가상화와 네트워크 슬라이싱을 도입하고 있다. 5G 스몰셀 HetNet에서는 셀의 고밀도화, 물리 및 가상 요소 모두를 관리·조정하는 오케스트레이션이 중요하며, 특히 성능, 효율성과 사용자 요구에 대한 응답성을 최적화하려면 관리와 오케스트레이션이 거의 완전히 자동화되어 종단 간의 모든 자원을 조정해야 한다[17]. 완전한 서비스 수준까지 자동화하기 위해서 서로 다른 오케스트레이터 간, 그리고 가상화 또는 하이브리드 HetNet의 모든 구성 요소 간에 개방형 상호 운용성도 필요하다. 네트워크 슬라이싱 모델은 3GPP23.501에 5G 아키텍처가 있고, 네트워크 슬라이스의 관리와 오케스트레이션 모델은 3GPP28.801에 있으며, 네트워크 자원 모델과 네트워크 슬라이싱에 대한 기본 모델과 절차 정의 3GPP 28.541에 있다. 많은 SON 기능을 네트워크 슬라이스에도 적용할 수 있다고 가정하여, 자동화된 구성, 재구성, 최적화와 치유의 SON 기능은 네트워크 슬라이스 인스턴스로 변환될 수 있고, 네트워크 성능 데이터를 분석하고 이 슬라이스 관리 기능을 구동하는 데 사용할 수 있다. 이 네트워크 슬라이싱에서 과제로는 사용 가능한 대역폭을 민첩하고 안정적이며 공정한 분배, 여러 네트워크 슬라이스가 동일한 물리적 RAN을 사용하는 환경에서 모든 슬라이스의 요구사항을 충족하도록 RAN 파라미터의 구성

하고 관리 등이 있다.

O-RAN에서는 스펙트럼 관리, 이동성 관리 등을 위한 모듈화된 기능과 인터페이스하는 RAN 정보 데이터베이스를 포함하는 개방형 플랫폼과 마이크로 서비스 프레임워크인 RAN 지능형 컨트롤러(RIC: RAN Intelligent Controller)를 개념화하였다. RIC에서는 ‘비실시간’ 및 ‘거의 실시간’ 기능을 논리적 및 물리적으로 분리하고 있다. 실시간에 가까운 시간과 비실시간 사이의 분리는 간단하지 않을 것으로 예상되므로 절충점을 찾아야 한다. 그리고 RIC 프레임워크는 전통적인 SON 프레임워크와 크게 겹치므로, SON의 무선자원관리는 RIC 구조로 점진적으로 이동할 가능성이 있다.

VI. 결론

기존 세대와 차별화된 서비스·기능·성능 요구사항을 충족시키는 5G는 서비스 대상이 사람을 넘어서 실내외 기업과 산업체, 공연장·산업단지·교육기관·경기장 등 캠퍼스, 도심 밀집지역과 농촌지역, 정부 기관 등에 존재하는 모든 사물이 됨에 따라 스몰셀에 대한 새로운 접근이 필요하다. 이에 3GPP와 스몰셀 포럼은 5G 스몰셀 구조 연구가 진행되고 있고, 3GPP, 스몰셀 포럼 그리고 5G ACIA에서는 다양한 기업과 지방 정부의 특정 요구사항에 부합하도록 맞춤 설계된 사설 네트워크 연구도 진행되고 있다. 특히 영국에서 실내 커버리지를 비용·효율적으로 확보하기 위한 JOTS-NHIB 사양을 스몰셀 기반으로 실현하기 위한 기술이 필요하다. 그리고 상용화가 시작된 5G에서 스몰셀을 위한 SON 기술에 대한 연구도 필요하다. 본고에서 검토한 5G 기반 스몰셀 구조, 사설 네트워크, NHIB와 SON은 초기 연구단계라 할 수 있으므로 5G와 B5G에서 스몰셀 기술 경쟁력 확보를 위한 추가 연구가 필요하다.

약어 정리

CBRS	Citizen Broadband Radio Service
cSON	centralized SON
CU	Central Unit
dSON	distributed SON
DU	Digital Unit
FAPI	Functional Application Platform Interface
HetNets	Heterogeneous Networks
NG	Next Generation Interface
NHIB	Neutral Host In-Building
NR	New Radio
RAN	Radio Access Network
RRH	Remote Radio head
RU	Radio Unit
SON	Self-Organizing Network

참고문헌

- [1] Small Cell Forum, "5G small cell architecture and product definitions," Document 238.10.01, July 2020, www.scf.io
- [2] Small Cell Forum, "5G FAPI: PHY API specification," Document 238.10.03, May 2021, www.scf.io
- [3] 3GPP TR 38.801, "Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces," 2017.
- [4] Small Cell Forum, "5G nFAPI specification," Document 225.2.0, May 2021, www.scf.io
- [5] eCPRI Specification, <http://www.cpri.info/>
- [6] 3GPP Specification TS 22.104, "Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains," 2018.
- [7] Small Cell Forum, "Private cellular networks with small cells," Document 235.10.01, Apr. 2020, www.scf.io
- [8] 5G ACIA, "5G for connected industries and automation," 5G ACIA White Paper, Feb. 2019.
- [9] 5G ACIA, "Exposure of 5G capabilities for connected industries and automation applications," 5G ACIA White Paper, May 2020.
- [10] 5G ACIA, "5G non-public networks for industrial scenarios," 5G ACIA White Paper, July 2019.
- [11] Qualcomm, "Private 5G networks for industrial IoT," Qualcomm White Paper, July 2019.
- [12] Small Cell Forum, "Neutral host on JOTS NHIB," Document 250.01.01, www.scf.io
- [13] 권동승, 나지현, "Self-organizing network에서 기계학습 연구동향-I," 전자통신동향분석, 제35권 제4호, 2020, pp. 103-114.
- [14] 권동승, 나지현, "Self-organizing network에서 기계학습 연구동향-II," 전자통신동향분석, 제35권 제4호, 2020년, pp. 115-134.
- [15] 권동승, 나지현, "이동통신망 자가 치유를 위한 기계학습 연구동향," 전자통신동향분석, 제35권 제5호, 2020년, pp. 30-42.
- [16] Small Cell Forum, "SON API for small cells," Document 083.05.01, Mar. 2015, www.scf.io
- [17] Small Cell Forum, "Small cell SON and orchestration from 4G to 5G," Document 233.10.01, Feb. 2020, www.scf.io