

스마트공장을 위한 3GPP 표준 현황



박동주_ 5G 버티컬 서비스 프레임워크 프로젝트그룹(SPG35) 부의장,
에릭슨LG Technical Director

1. 머리말

5G로의 진화와 함께 자동차, 공장, 병원, 에너지 등의 산업에 5G를 적용하는 사업의 확대가 기대된다. 산업에 적용되는 5G에서는 일반적으로 센서, 카메라, 자동차, 로봇, 자동화 장비 등 다양한 사물이 무선으로 연결되는 사물 간 통신(IoT, Internet of Things)을 사용한다. 서로 다른 요구사항을 가지는 다양한 산업의 다양한 서비스를 지원하기 위해 이동통신에서는 NB-IoT(Narrowband IoT), CAT-M(Category M) 기반의 LTE-M, LTE, 5G NR 등 다양한 기술을 준비하고 있다. 저지연, 고신뢰 통신을 위해 3GPP에서는 공장 적용에 주안점을 두고 관련 표준을 개발 중이다. 또한 공장을 비롯한 산업 적용에서 사업 지원을 위한 기능으로 에지 컴퓨팅, 슬라이싱, 익스포저가 준비되었다.

본고에서는 산업 적용을 위해 준비된 이동통신 기반 IoT(Cellular IoT)의 현황을 살피고, 특히 공장 적용 유스케이스 중 URLLC(Ultra Reliable Low Latency Communications)를 위해 개발되고 있는 3GPP의 표준 현황을 소개하고 공장에 적용할 수 있

는 사업 지원 기능의 표준 현황을 살펴본다.

2. Cellular IoT 현황

이동통신 기반 IoT 기술은 산업의 적용 분야와 요구 사항 그리고 그에 대응하기 위해 3GPP 표준에서 정의한 기술에 따라 크게 4가지 분류로 나눌 수 있다. Massive IoT, Broadband IoT, Critical IoT 그리고 Industrial Automation IoT이다[1].

Massive IoT는 복잡도가 낮은 대량의 단말을 에너지 효율적으로 연결하는 것을 목적으로 하며, 3GPP에서는 이런 요구를 만족하기 위해 release 13에서 GSM 기반의 EC-GSM-IoT와 LTE 기반의 LTE-M(LTE for machine), NB-IoT를 표준화한 이후 지속적으로 발전시켜 왔다. LTE-M과 NB-IoT는 모두 Massive IoT를 지원하지만 기술적 차이로 인한 특성으로 인해 유스케이스와 사업 방향에 따라 선택적으로 사용될 수 있다. LTE-M과 NB-IoT는 IMT-2020과 3GPP에서 설정한 5G massive MTC 적용 사례에 해당하는 요구사항을 커버리지, 지연시간, 데이터 속도, 배터리 지속 시간, 연결 밀도 측면에서 만

족시키고 있으며, 5G NR과의 효과적인 공존을 고려하여 진화하고 있는 등의 이유로 GSMA를 중심으로 5G 기술의 일부로 인정받고 있다[2].

Broadband IoT는 비교적 높은 전송 속도를 필요로 하면서 광범위한 지역에 서비스를 제공하며 경우에 따라 낮은 전송 지연을 필요로 하는 서비스를 지원하는 목적을 가진다. 다양한 전송 속도와 환경을 지원하고 투자비/운영비 측면에서도 오랫동안 최적화를 수행해 온 LTE는 에너지 효율성을 통한 유효한 수준의 배터리 사용, CA(Carrier aggregation)와 멀티 안테나를 활용한 기가비트 단위의 전송 속도, instant transmission 등의 기술을 활용한 10ms 수준의 낮은 전송 지연 등 다양한 산업 분야에서의 요구사항을 만족시킬 수 있는 준비가 되어 있다. LTE로 대응할 수 없는 수준의 전송속도는 5G NR의 도입을 통해 지원할 수 있다.

Critical IoT는 1ms 수준의 낮은 전송 지연과 99.9999%에 달하는 고수준의 신뢰성(reliability)을 필요로 하는 산업 분야의 서비스를 목적으로 한다. 적용 분야는 전반적으로 5~20ms 수준의 단대단(end-to-end) 전송 지연과 99.9999% 수준의 신뢰성을 요구하는 분야로써 공장 생산 공정에서의 실시간 로봇 제어 등을 예로 들 수 있다. 여기에 대응하기 위한 기술은 5G NR이 준비되어 있으며, release 15 NR에 대한 표준화 과정에서 이런 적용 분야를 지원할 수 있도록 표준화가 진행되었으며, release 16을 통해 이런 URLLC 기술은 더욱 발전하고 있다[3][4]. Ultra-short duration transmission, instant transmission, rapid retransmission protocol, 다양한 pre-emption 및 우선순위 알고리즘 등은 극도로 낮은 지연시간을 제공하기 위해 적용된 기술들이며, 전송 환경이 좋지 않은 상태에서도 일정 수준 이상의 품질을 확보할 수 있는 다양한 신호 전송 형식과

CA나 복수 사이트에서의 복수 연결성 확보를 통한 신호 전송의 다양한 경로를 통한 신뢰성 확보 기술 등이 준비되어 있다. 이러한 기술들은 지연시간, 신뢰성, 신호 커버리지, 주파수 효율성 등에서 장단점이 있으며 사용 목적에 맞게 선택적으로 사용한다. 예를 들면, 극도로 짧은 전송을 지원하는 프레임 구조는 짧은 전송 지연을 제공하지만 신호 커버리지는 낮아진다. 신뢰성 확보를 위한 중복된 신호 전송은 주파수 효율을 낮추고 대용량 전송에 적합하지 않은 특성을 가지는 등 단점을 가진다. 3GPP는 다양한 산업의 다양한 서비스를 5G NR을 통해 지원하면서 각 서비스의 요구사항에 최적화된 네트워크 운용을 위한 여러 가지 방안을 제공하여 이러한 장단점을 서비스별로 최적화할 수 있도록 지원하고 있다.

3GPP release 15에 대한 모의실험을 통한 평가에서 NR 무선전송 기술은 작은 크기의 메시지에 대해 1ms 전송 지연 범위에서 상향 링크와 하향 링크 모두에 대해 99.999%의 신뢰성을 제공할 수 있음을 확인하였다[5]. release 16에서는 Kbps부터 Mbps 수준의 전송 속도와 1~7ms 범위의 전송 지연을 가지는 데이터 전송에 대해 99.9%부터 99.9999%까지의 신뢰도를 제공할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

Industrial Automation IoT는 공장 자동화에서의 한층 강화된 요구사항을 반영하기 위해 시작되었으며 공장 생산 현장뿐 아니라 철도 제어 시스템, 에너지 분야의 발전 및 송전 시스템 등에서도 이와 유사한 요구사항이 있는 것으로 파악되고 있다. Industrial Automation IoT는 Critical IoT가 담당하는 낮은 지연시간, 높은 신뢰도로 대응할 수 없는 범위의 요구사항을 만족하기 위한 기술과 서비스 범위를 지원한다. 공장에서의 경우 낮은 전송 지연 변동성을 통한 안정성, 낮은 손실, 공장 내의 TSN(Time Sensitive Networking)과 5G URLLC 네트워크 간

의 시간 동기화 등을 통한 고도의 신뢰성을 제공할 수 있는 보장된 전송(guaranteed delivery)에 대한 요구를 수용한다. 현재 이런 보장된 전송에 대한 역할은 IEEE와 IETF에 의해 layer 2, 3에서 정의되어 있으며, 5G 네트워크 입장에서 보면 TSN 같은 경우 단대단 URLLC 네트워크의 제어계층 정도로 여겨질 수 있다. TSN과 산업 제어 시스템에는 일반적으로 이더넷(ethernet) 기반의 기술이 사용되고 있다. 따라서 5G를 산업과 밀접하게 성능 열화를 최소화하는 관점에서 NR에서 이더넷에 대한 지원을 제공하는 방안이 필요하다. 이런 NR 위에서의 이더넷 기술은 궁극적으로 TSN과의 밀접함을 위한 기본 전제조건이 될 것이다. 3GPP에서 작업 중인 Industrial Automation IoT 관련 기술은 5G Critical IoT와 산업 현장에서의 요구사항의 차이점을 극복하는 데 집중하고[6] 있으며 실내 측위의 정밀도 향상[7], Ethernet over NR, TSN의 효과적인 지원을 위한 scheduling과 QoS의 adaptation 등이 이에 해당한다[8].

3. 공장 URLLC 지원을 위한 3GPP 표준 현황

3GPP에서는 Release 14 study item으로 다양한 산업의 요구사항을 분석하는 작업을 수행하였다. 대표적인 사례로는 TR22.891로 정리된 새로운 서비스와 시장 그리고 이를 가능하게 하는 기술에 대한 보고서이다. 또한 3GPP에서는 다양한 산업을 지원하기 위해 유스케이스를 eMBB, mMTC, URLLC의 세 개로 분류하였으며, 각 분류에 대한 심도 있는 요구사항 분석을 진행하여 TR22.861(mMTC), TR22.862(URLLC), TR22.863(eMBB)의 보고서를 작성하였다.

Release 15에서는 이 중 특히 자동화를 지원하

기 위한 산업의 통신 요구사항에 대한 연구가 진행되어 TR22.804[9]에 정리되었다. 본 문서에서 자동화가 적용되는 산업은 철도 운송, 빌딩 자동화, 미래의 공장, 헬스케어, 스마트시티, 전기에너지 분배망, 중앙 집중 에너지 생산, 프로그램 제작 및 이벤트 지원을 위한 AV 시스템(PMSE, Programme Making and Special Events), 스마트농장 등으로 분류되었다. 이 중 미래 공장 산업에서는 공장 자동화, 프로세스 자동화, HMI/생산 IT, 물류와 창고, 모니터링과 관리 분야의 응용을 고려하였으며, 유스케이스는 움직임 제어(비실시간 데이터 전송, 산업 이더넷과의 결합 포함), 제어 간 통신, 이동형 제어 패널, 이동형 로봇, 대규모 무선 센서 네트워크, 원격 관리, 가상현실, 프로세스 자동화(폐쇄형 제어, 프로세스 모니터링, 공장자산 관리 포함), 작업장 내 연결, 제조 공장으로의 물류, 광범위한 지역의 제품 관리 및 제어, 메시지 전송에서의 가변 신뢰성, 유연한 모듈 생산 방식, 플러그 앤 프로듀스 기반 현장 설비, Type-a 네트워크와 PLMN 연동, 통신 관리 및 분석 등으로 분류되어 산업 분석, 유스케이스 분석을 거쳐 잠재적인 요구사항을 도출하였다.

유스케이스 분석과 요구사항은 TS22.261[10]을 통해 5G 시스템의 서비스 요구사항으로 정리되었는데, TS22.261에는 네트워크 슬라이싱, 이동성 지원 등의 기능 요구사항뿐 아니라 높은 데이터 전송 속도와 트래픽 밀도의 지원, 낮은 지연시간과 높은 신뢰성의 지원, 고정밀 위치 정보, 위성 통신과의 연동 등에서의 성능 요구사항을 포함하고 있으며, 미래 공장 산업에서의 유스케이스는 낮은 지연과 높은 신뢰성에 대한 요구사항에 많은 영향을 주었다.

낮은 지연과 높은 신뢰성이 필요한 산업과 유스케이스에 대한 분석은 TS22.104[11]에서 5G 사이버 물리 제어 애플리케이션 요구사항(Service

<표 1> Mapping of the considered use cases to application areas

	Factory automation	Process automation	HMI's and Production IT	Logistics and warehousing	Monitoring and maintenance
Motion control	×				
Control - to - control	×			×	
Mobile control panels with safety			×		
Mobile robots	×	×		×	
Massive wireless sensor networks	×	×			×
Remote access and maintenance					×
Augmented reality			×		
Closed-loop process control		×			
Process Monitoring		×			
Plant asset management		×			

requirements for 5G cyber-physical control applications in vertical domains)으로 정리되었다. TS22.104는 공장 생산과 에너지 산업 분야에서의 사이버 물리 제어 분야를 분석하여 유스케이스를 제시하고 이에 필요한 서비스 요구사항을 정리하였다.

자동화에서 사이버 물리 제어는 개방형 순환 제어(open-loop control), 폐쇄형 순환 제어(closed-loop control), 순차 제어(sequence control) 그리고 일괄 제어(batch control) 동작 패턴을 가지고 있다.

산업분야의 자동화에 적용되는 통신은 사이버 물리 제어 서비스를 지원하기 위해 극도의 안정성이 요구되며, 때에 따라 중단 간 지연시간이 극도로 낮게 지원되어야 하며, 이 과정에서 특정한 통신 패턴을 따른다. 가장 전형적인 통신 패턴은 주기적인 결정성 통신(periodic deterministic communication)이며, 이 밖에 비주기적 결정성 통신(a-periodic deterministic communication)과 비결정성 통신(non-deterministic communication)이 있다.

<표 2>는 이 중 주기적인 결정성 통신 서비스 성능 요구사항을 정리한 표 중 일부를 인용한 것이다. 또한 TS22.104에는 미래 공장 산업에서의 응용 예와

유스케이스에 대한 분석을 부록에 포함하고 있어 통신 활용 예를 이해하는 데 많은 도움을 주고 있다.

4. 사업 지원을 위한 코어 네트워크 표준 현황

3GPP는 공장뿐 아니라 다양한 산업의 새로운 사업 모델과 서비스 지원을 위해 코어 네트워크 기능을 향상시켜 왔다. 네트워크 익스포저(Network exposure), 에지 컴퓨팅(edge computing) 그리고 네트워크 슬라이스(network slicing) 등이 이에 해당한다.

기존 이동통신 시스템이 단말에서의 API를 통해 개발자들이 다양한 앱을 개발하고 제공할 수 있게 되면서 스마트폰은 혁신적인 변화를 가져왔다. 이제 5G는 산업에의 적용을 위해 단말에서의 API뿐 아니라 네트워크 자체에서의 API를 통해 이동통신 네트워크를 활용할 수 있도록 기능을 제공하고 있으며, 5G 시스템에서 이를 NEF(Network Exposure Function)로 표준화하였다. NEF는 이벤트 익스포저, PFD 관리, 백그라운드 데이터 전송을 위한 자원 관리, 앱 트리거링 등의 기능이 TS29.122[12]에 정의

<표 2> 주기적인 결정성 통신 서비스 성능 요구사항

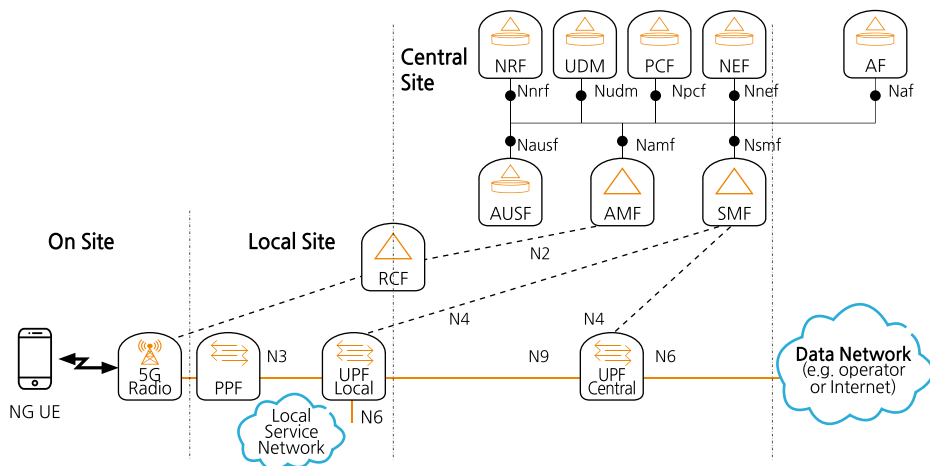
특성 파라미터(characteristic parameter)			영향요소(influence quantity)			
통신 서비스 가용성: 목표치	통신 서비스 신뢰도: 오류와 오류 사이의 평균 시간	단대단 지연시간: 최대치	메시지 크기 [byte]	전송 간격: 목표치	생존시간	기타
99,999% to 99,99999%	~ 10년	< transfer interval value	50	500μs	500μs	움직임 제어
99,999% to 99,99999%	~ 10년	< transfer interval value	20	2ms	2ms	움직임 제어
99,999% to 99,99999%	~ 10년	< transfer interval value	1k	≤ 10ms	10ms	움직임 제어에서 제어간 통신
> 99,999%	~ 10년	< transfer interval value	40 to 250	1ms to 50 ms(note 6,7)	transfer interval value	이동형 로봇
99,999% to 99,99999%	~ 1달	< transfer interval value	40 to 250	4ms to 8ms	transfer interval value	이동형 제어 패널-원격 제어 조립 로봇, 밀링 머신
99,999% to 99,99999%	≥ 1년	< transfer interval value	20	≥ 10ms	0	프로세스 자동화-폐쇄 루프 제어

되어 있으며, AF(Application Function)를 통한 트래픽 라우팅 제어 기능도 NEF의 유스케이스로 볼 수 있으며, 이는 TS29.522[13]에 정의되어 있다. 앞의 2절에서 언급한 것처럼 하나의 공장을 구축하는 데에는 5G NR 기술뿐 아니라 NB-IoT, LTE-M, LTE 등의 기술이 함께 적용되어야 한다. 이런 이유에서 LTE 네트워크에서도 네트워크 익스포저 기능이 필요하였으며, SCEF(Service Capability Exposure Function)라는 이름으로 TS23.682[14]에서 도입되어 Non-IP 데이터의 전송, 단말 이벤트 모니터링, 네트워크 QoS 관리, 앱 요청에 따른 연결 관리 등의 기능이 정의되었다.

에지 컴퓨팅은 공장에서의 저지연 요구사항과 데이터의 공장 내 보안 유지 요구사항 등을 만족시킬 수 있는 공장 구성의 핵심 기술 요소이다. 3GPP에서는 공장 내 사이트(local site)에 UPF를 두고 공장 내 시스템(local service network)을 연결시키는 구조를 취하고 있다. 이는 3GPP에서 정의한 데이터와 컨트롤이 분리된 네트워크 구조이기에 가능한 구조이다.

5G 네트워크 구조에서 정의된 지역 라우팅과 트래픽 스티어링(local routing and traffic steering), 네트워크 내의 복수개 UP(사용자 플레인, User Plane) 중 원하는 UP를 선택할 수 있는 기능, SSC mode를 통해 정의된 다양한 이동성 지원, AF(Application Function)를 통한 트래픽 라우팅 제어 기능과 상기 언급한 네트워크 익스포저 기능에 의해 구현된다. 이와 같은 구조를 통해 3GPP가 5G와 함께 도입한 서비스 기반 네트워크 구조의 유연성과 확장성을 충분히 활용할 수 있으며, 익스포저, 슬라이스 등 기타 사업 지원 기능과도 상호 시너지를 발휘할 수 있다.

네트워크 슬라이스는 사업 목적/고객 목적을 달성하기 위해 필요한 네트워크 자원을 모아 구성된 로지컬 네트워크로써, 네트워크 자원과 기능이 슬라이스 간에 독립적으로 운영되도록 단대단으로 구성된 네트워크를 의미한다. 이를 공장의 경우에 적용해 보면, 이동통신 사업자는 공장과의 계약에 따라 각 공장에서 필요로 하는 기능과 성능을 제공하기 위한 네트워크 슬라이스를 구성하여 서비스를 제공하게



[그림 1] 3GPP에서의 에지 컴퓨팅 구조

된다. 이 과정에는 네트워크 슬라이스를 크게 트래픽 관점, 운영 관점 그리고 사업지원 관점으로 볼 수 있다. 트래픽 관점에서의 표준은 3GPP SA2에서 지연시간, 가용성, 트래픽 독립성 등에 대해 정의하고 있으며, 운영관점에서의 표준은 3GPP SA5에서 독립된 운영, 생성/소멸 등에 관한 표준을 진행한다. 사업지원 관점에서는 공장과의 계약 지원(SLA, Service Level Agreement), 제어와 관리 등에 대한 표준화가 필요하며 일정 부분 OSS/BSS 시스템의 관여가 필요한 부분이 있다. GSMA를 포함한 다양한 단체에서 사업지원을 효과적으로 지원하기 위한 체계를 만들고 있다.

5. 맺음말

초기 5G의 상용화는 AR/VR, 고해상도 비디오 등 주로 사람들을 위한 서비스에 집중되고 있다. 여기에 더하여 5G는 산업의 혁신적인 진화를 촉진하기 위해 개발되었으며, 공장은 국가 경제에서 차지하고 있는 중요성이 큰 만큼 5G 적용에 대한 기대도 크

다. 공장은 물류, 공장 자산 모니터링부터 고정밀 로봇까지 다양한 응용 분야가 함께 어우러지는 장소이며, 3GPP에서는 LTE-M, NB-IoT, LTE 그리고 NR을 다양한 응용을 위해 준비해 두고 있다. 특히 URLLC 적용에 대해서는 사이버 물리 제어 응용의 한 분야로 정의되어 유스케이스와 요구사항이 정리되었다. Release 15 기반의 5G는 상당 부분에서 공장 자동화를 지원할 수 있도록 표준화되었으며, Release 16을 통해 진화는 계속되고 있다. 공장 자동화 시스템과의 연동 그리고 이를 활용한 새로운 사업 모델을 지원하기 위해 네트워크 슬라이싱, 에지 컴퓨팅, 네트워크 익스포저가 코어 네트워크에서 준비되어 있다. 공장에 5G를 적용하기 위한 준비는 갖추어졌다. 어떤 내용이 준비되어 있는지 파악하고 이를 잘 활용해야 할 시점이다. 본고를 통해 5G에서 준비된 내용을 이해하고 활용하는 출발점이 되기를 바란다.

[참고문헌]

- [1] 박동주, 박병성, 'G 네트워크 기술 현황 및 진화 방안', 정보통신기획평가원(IITP) 주간기술동향 1905호, pp14-26, 2019. 7.
- [2] GSMA, 'Mobile IoT in the 5G Future - NB-IoT and LTE-M in

the Context of 5G', GSMA, pp1-12, 2018. 5.

- [3] 3GPP TS22.104, 'Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains', V16.0.0, 2019. 1.
- [4] 3GPP TR 38.824 'Study on physical layer enhancements for NR ultra-reliable and low latency case(URLLC)', V1.0.0, 2018. 10.
- [5] 3GPP R1-1811584 'IMT-2020 self-evaluation: Reliability in NR', Ericsson, 2018. 10.
- [6] 3GPP SP-180321 'New WID on Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains(cyberCAV)', 2018. 6.
- [7] 3GPP SP-170937 'Study on Enhancement to the 5GC Location Services', 2017. 12.
- [8] 3GPP SP-180118 'Study on enhancement of URLLC supporting in 5G', 2018. 3.
- [9] 3GPP TR22.804, 'Study on Communication for Automation in Vertical Domains', 2017. 12.
- [10] 3GPP TS22.261, 'Service requirements for next generation new services and markets', 2018. 12.
- [11] 3GPP TS22.104, 'Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains', 2019. 1.
- [12] 3GPP TS29.122, 'T8 reference point for Northbound APIs', 2018. 6.
- [13] 3GPP TS29.522, 5G System; Network Exposure Function Northbound APIs; Stage 3', 2019. 6.
- [14] 3GPP TS23.682, 'Architecture enhancements to facilitate communications with packet data networks and applications', 2018. 12.