

# Industrial IoT를 위한 5G-TSN 기술 동향

## Research Trend in 5G-TSN for Industrial IoT

김경수 (K.S. Kim, ksjiang@etri.re.kr)  
 강유화 (Y.H. Kang, yhkang@etri.re.kr)  
 김창기 (C.K. Kim, cckim1@etri.re.kr)

초저지연네트워크연구실 선임기술원  
 초저지연네트워크연구실 책임연구원  
 초저지연네트워크연구실 책임연구원/PL

### ABSTRACT

The 5G system standardization body has been developing standard functions to provide ultra-high speed, ultra-high reliability, ultra-low latency, and ultra-connected services. In 3GPP Rel-16, which was recently completed, this system has begun to develop ultra-high reliability and ultra-low latency communication functions to support the vertical industry. It is expected that the trend in the adoption of mobile communication by the vertical industry will continue with the introduction of 5G. In this paper, we present the industrial Internet-of-Things (IIoT) service scenarios and requirements for the adoption of 5G systems by the vertical industry and the related standardization trend at present. In particular, we introduce the 5G time-sensitive networking standard technology, a core technology for realizing 5G-based smart factories, for IIoT services.

**KEYWORDS** 5G 코어, 시민감 네트워킹, 산업네트워크, 산업망 연동장치, Industrial IoT(IIoT), 결정론적 통신

## 1. 서론

이동통신의 역사는 1980년대 아날로그 1G 이후 약 10년 주기로 새로운 세대(Generation)로 거듭하면서 발전되어 왔다. 2019년 이후 현재 전 세계적으로 상용화를 시작으로 서비스 영역을 넓혀가고 있는 5G의 표준은 2015년 ITU-R에서의 비전선포 후 3GPP를 중심으로 2019년 6월 Phase 1 규격

(Rel-15)을 완료하고, 최근 2020년 6월에 Phase 2의 규격(Rel-16) 작업을 완료하였다.

5G는 ITU-R의 3대 사용자 시나리오인 초고속(eMBB: enhanced Mobile Broad Band) 서비스 제공을 시작으로 초고신뢰·저지연 통신(uRLLC: ultra Reliable Low Latency Communications) 및 모든 사물을 연결하는 초연결 통신(mMTC: massive Machine-Type Communications) 서비스를 제공함으로써

\* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2020.J.350504>

\* 본 연구는 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[No. 2020-0-00974-001, 고신뢰·저지연 5G+ 코어 네트워크 및 5G-TSN 스위치 기술 개발].



본 저작물은 공공누리 제4유형

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

©2020 한국전자통신연구원

써 인더스트리 4.0의 핵심 인프라로 진화하고 있다. 이러한 5G 서비스 영역이 종래의 스마트폰 중심의 사람 간 통신에서 타 산업과의 융합을 통한 확장이 가능한 것은 단말에서부터 네트워크까지의 5G 기술의 성능이 다양한 분야의 타 산업에서 고신뢰·저지연·초연결을 요구하는 새로운 어플리케이션과 연계한 비즈니스 모델을 발전시키기에 충분히 성숙되어 있기 때문으로 보인다. 이러한 이동통신의 버티컬 산업(Vertical Industry)으로의 응용 확산 흐름은 5G 이후의 이동통신에서도 지속될 것으로 전망된다.

이에 따라 3GPP에서도 버티컬 산업 도메인의 도전적인 요구사항들을 적극적으로 수용하면서, 통신 인프라의 변화를 통해 산업의 생산성/수익성을 크게 개선할 수 있는 자동화(Automation) 중심의 산업용 사물인터넷(IIoT: Industrial IoT)에 관한 연구가 빠르게 진행되고 있다[1]. 특히, 시장 파급력이 높은 스마트 팩토리, 스마트 그리드, 지능형 교통 시스템과 같은 임무 지향적 산업들은 유선 인프라 수준의 초고신뢰·저지연 통신 성능을 요구하기 때문에 이를 지원하기 위한 새로운 기술들을 Rel-16/17의 표준에 반영하고 있다[1].

본 고에서는 5G의 버티컬 산업으로의 적용을 위해 3GPP에서 논의 중인 IIoT 서비스 시나리오와 요구사항 그리고 현재까지의 표준화 동향을 살펴본다. 특히 5G 기반의 스마트 팩토리를 실현함에 있어 핵심 기술인 5G-TSN(Time-Sensitive Networking) 기술 및 표준화 동향을 3GPP 규격 문서를 중심으로 소개한다.

## II. Industrial IoT 서비스 요구사항

산업 현장에서 분산된 장치들에 대한 감시와 제어를 위한 산업용 통신망인 산업네트워크는 제조

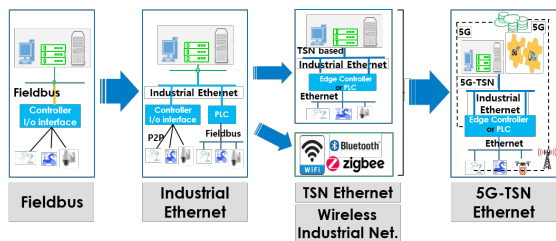
업자들에게는 사업운영과 사업 전체를 근본적으로 재구축할 기회를 제공하게 되어 없어서는 안 되는 필수 요소이다. 이는 산업네트워크의 기술을 통해 데이터를 효율적으로 활용하고, 서로 다른 시스템을 보다 긴밀하게 통합함으로써 운영에 대한 가시성과 통찰력을 높일 수 있기 때문이다.

이러한 산업네트워크는 ‘공장 자동화’를 시작으로 ‘스마트 팩토리’까지 진화해 오면서 물리 계층에서부터 어플리케이션 계층까지 다양한 기술들이 발전을 거듭해 오고 있다. 특히 근래에는 산업용 응용 장비들의 요구사항이 높아짐에 따라 하위 계층의 전송 인프라 기술도 오랫동안 산업네트워크 시장의 주류였던 필드버스 및 산업이더넷 기술을 대체하는 기술들이 출현하고 있다.

### 1. 산업네트워크 기술

점점 더 많은 산업용 장비들이 네트워크에 연결이 되고 있으며 고성능의 네트워킹을 요구하고 있다. 시간에 흐름에 따라 산업현장에서 산업네트워크 기술도 고도화되어 왔고, 현재도 발전을 하고 있다. 그림 1은 산업네트워크의 발전 흐름을 나타낸다.

산업네트워크의 시작은 필드버스(Field Bus) 기술이었다. 오랫동안 시장을 점유해 왔고, 현재도 사



출처 OMDIA, <https://technology.informa.com/620165/industrial-connectivityin-the-era-of-tsn-apl-and-5g>, 허락을 득하여 수정함.

그림 1 산업네트워크 발전

용되고 있다. 하지만 초창기를 지난 이후 단순히 특정 회사에 의해 특정 분야의 산업네트워크에만 적용된 “Closed System”인 필드버스는 호환성의 문제뿐만 아니라 고속의 데이터 전송을 요구하는 산업네트워크에는 한계가 있으므로 “Open System” 및 이더넷(Ethernet) 기반의 고속 데이터 전송이 가능한 산업이더넷 기술이 현재 산업네트워크의 시장을 넓혀가면서 성장하고 있다.

산업이더넷은 세계적 네트워크 표준 기술인 이더넷을 산업 환경에 적합하도록 개선 개발한 것이다. 그동안 이더넷의 실시간성 및 시결정성 등의 문제를 개선하고, 종래의 시장에서 널리 쓰이던 필드버스의 한계점을 극복했다. 빠른 전송 속도와 실시간 제어 기능 및 확정성을 가진 산업이더넷(PROFINET, EtherCAT 등)은 현재 필드버스 만큼이나 다양한 프로토콜이 개발되어 널리 사용되고 있다.

그러나 이러한 산업이더넷도 시간이 지날수록 다양한 각 프로토콜로 개별적으로 진화했으며, 그에 따른 진입장벽도 점차 높아지기 시작했다. 또한 사물인터넷(IoT) 개념이 널리 확산되면서 산업 현장에서는 기존에 단절돼 있던 여러 설비와 시스템을 네트워크로 연결하려는(IIoT, 산업용 사물인터넷) 움직임이 빨라지고 있다. 이때 이들 각 시스템이 지닌 성격에 따라 최적화된 프로토콜이 모두 다르므로 이들을 유기적으로 연결하는 확장성의 문제에 이르게 된다.

산업이더넷의 이러한 문제점을 해결하기 위해 2012년 이후 등장한 IEEE TSN 기술은 기존의 여러 표준이 조합된 하나의 ‘패키지’로, 표준 이더넷을 확장한 대부분의 네트워크 적용 사례를 포괄할 수 있는 차세대 산업용 네트워크 표준으로 불린다. TSN은 OSI 7계층 참조 모델의 데이터 링크 계층(2계층, L2)에 해당하는 이더넷 브릿징, MAC, PHY

기술을 기반으로 근거리망(자동차, 빌딩, 공장, 5G 프론트홀 등)에 저지연 및 저지연 편차, 무손실 등 확정적인 서비스를 제공하기 위한 기능을 명시하고 있다[2,3].

또한 산업현장에서는 또 다른 측면으로 유선의 한계를 넘고자 공장 운영의 효율성 등을 고려한 무선 산업이더넷 기술도 WLAN을 중심으로 Bluetooth, Zigbee 등이 시장을 조금씩 넓혀가고 있다. 이러한 무선 산업이더넷은 산업현장에서 장치 간의 배선을 줄이고 공장의 재배치 등의 유연성은 좋지만, 여전히 성능 및 보안성 한계로 인해 각각 무선 자체기술을 보완하면서 발전하고 있다.

최근 유·무선 산업이더넷 중심의 산업네트워크에 패러다임을 바꾸는 기술이 등장하였다. 3GPP에서 2018년 Rel-16 이후에 5G 기술의 버티컬 영역 확산을 위해 본격적으로 표준화를 추진해 온 5G-TSN 기술이다. 이는 IEEE의 TSN 및 무선 산업이더넷 기술의 장점을 채택하고 발전시켜 산업현장의 요구사항을 모두 만족하게 할 수 있는 5G 기술과 산업네트워크가 융합된 초첨단 5G 시스템 기술이라 할 수 있다.

## 2. 3GPP 5G IIoT 요구사항

3GPP SA1 WG(Working Group)에서는 5G 서비스 및 성능 요구사항에 대해 TS 22.261[4]을 통해 정의하고 있다. 5GS(5G System)의 3대 시나리오 가운데, uRLLC와 mMTC는 다양한 버티컬 도메인에 IIoT 서비스를 지원하기 위한 대표적인 기술로서, 해당 규격에 따르면 버티컬 산업을 위한 IIoT 서비스들은 보다 높은 수준의 uRLLC를 요구하고 있으며, 산업현장 시나리오에 따라 가용성, 신뢰성, 지연시간 및 시간동기화 등 엄격한 성능 요구사항을 정의하고 있다.

또한, 3GPP에서는 버티컬 도메인의 서비스 시나리오에 따른 성능 요구사항 식별을 위해 3가지의 대표적인 트래픽 클래스를 다음과 같이 정의하고 있다.

- 결정론적 주기적 통신(Deterministic Periodic Communication): 전송의 적시성이 엄격하게 요구되는 주기적인 통신
- 결정론적 비주기적 통신(Deterministic Aperiodic Communication): 이벤트 송신 동작과 같은 전송의 적시성은 요구되나 사전 설정된 송신 시간이 없는 비주기적인 통신
- 비결정적 통신(Non-Deterministic Communication): 주기적 비실시간 및 비주기적 비실시간 트래픽을 포함하는 통신

이러한 IIoT 트래픽 클래스 분류와 함께 3GPP SA1 WG에서는 uRLLC를 요구하는 다양한 IIoT 서비스에 대해 좀 더 유연한 접근을 제공하기 위하여 특정 유형의 IIoT 서비스에 특정 KPI(Key Performance Indicator) 셋을 충족할 수 있도록 정의하고 있다. 서비스별 해당 KPI 요구사항은 다음의 규격에서 명시하고 있으며, 이 가운데 TS 22.104에서 기술하고 있는 사이버 물리 제어 어플리케이션 요

구사항에 대한 표준화 작업이 가장 활발하게 진행되고 있다.

- 버티컬 도메인의 사이버 물리 제어 어플리케이션(TS 22.104[5,6])
- V2X(Vehicle to Everything, TS 22.186[7])
- 철도 이동통신(TS 22.289[8])

특히, 상기 기술된 서비스 유형에서 다음의 서비스 시나리오들은 매우 결정론적이고 주기적인 통신이 요구되는 IIoT 서비스이다.

- 모션 제어(motion control)
- 개별 자동화(discrete automation)
- 프로세스 자동화(process automation)
- 배전 자동화(automation for electricity distribution)
- 지능형 전송 시스템의 무선 대로변 인프라
- 원격 제어(remote control)
- 철도 통신(rail communications)

표 1은 앞서 기술한 트래픽 클래스 및 서비스 시나리오를 바탕으로 버티컬 도메인의 사이버 물리 제어 어플리케이션에 대한 미래 공장의 자동화를 만족스럽게 지원하기 위해 제공되는 시나리오

표 1 미래 공장 자동화를 위한 사이버 물리 제어 어플리케이션 성능 요구사항[5]

통신	시나리오	Availability(%)	E2E latency	Transfer interval	Survival time	UE speed	# of UEs
결정론적 주기적	모션 제어	99.9999~99.999999	< transfer interval value	1ms	1ms	≤75km/h	≤50
	C2C 통신	99.9999~99.999999		≤10ms	10ms	stationary	5to10
	모바일 로봇	>99.9999		≤10ms	10ms	≤50km/h	≤100
	유·무선 링크 교체	99.9999~99.999999		≤1ms	3*transfer interval	stationary	2to5
결정론적 비주기적	모바일 로봇-비디오 스트리밍	>99.9999	10ms	-	-	≤50km/h	≤100
	유·무선 링크 교체	99.9999~99.999999	< 1ms	-	-	stationary	2to5
비결정적	모션 제어 - S/W 업데이트	-	-	-	-	≤75km/h	≤100

출처 © 2020. 3GPP™ TSs and TRs are the property of ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA and ITC who jointly own the copyright in them. They are subject to further modifications and are therefore provided to you as is for information purposes only. Further use is strictly prohibited.

별 대표적인 성능 기준을 나타낸다[5]. 5GS에서는 주기성 및 결정론적 여부에 따라 버티컬 시나리오에서 사이버 물리 제어 어플리케이션 요구를 충족하기 위한 다양한 KPI들을 제공한다.

이 가운데에서도 모션 제어(motion control)는 스마트 팩토리에서 사용되는 인쇄 · 공작 · 포장기계와 같은 기계의 이동과 회전 부품들을 제어하는 역할을 담당하여, 모션 컨트롤러, 액추에이터, 센서 등과 같은 공장 요소들과 매우 엄격하고 결정론적인 통신을 수행해야 한다. 표 1에서 3GPP는 모션 제어 시나리오에 대해 1ms의 매우 짧은 전송주기(Transfer interval)와 생존 시간(Survival time)을 바탕으로 매우 엄격한 서비스 가용도(Availability) 및 종단 간 지연(E2E latency) 요구사항을 제시함을 알 수 있다.

TS 22.104에서 제시하는 버티컬 도메인의 사이버 물리 제어 어플리케이션의 또 다른 성능 요구사항은 클럭 동기화 통신 서비스의 제공이다. 클럭 동기화 정밀도는 동기화 마스터와 장치 사이에 정의된다. 5GS는 IEEE 1588v2에 정의된 PTP(Precision Time Protocol) 메시지를 통해 장치 간 정확한 클럭 동기화를 수행해야 하며, IAT(International Atomic Time)와 같은 글로벌 클럭(Global clock)과 TSN과 같은 지역화된 그룹에서 사용하는 워킹 클럭(Working clock)을 지원해야 한다.

5G-TSN 간 클럭 동기화에서 하나의 TSN 도메인은 하나의 워킹 클럭 도메인이라 볼 수 있다. 표준 규격에 따르면 이러한 동기화 도메인에 대하여 Rel-16에서 5GS는 워킹 클럭 도메인을 32개까지 지원하고, UE는 최소 2개의 워킹 클럭 도메인을 동시에 지원하도록 제시하고 있다[6].

이에 비해, Rel-17는 좀 더 확대된 요구사항을 제시한다[5]. 워킹 클럭 도메인을 128개까지 지원하고, UE는 최대 4개까지 동기화 도메인을 지원할

표 2 5G 클럭 동기화 서비스 성능 요구사항[5]

시나리오	장치수	동기화 버짓	서비스 영역
모션 제어 C2C(산업컨트롤러)	>300UEs	≤900ns	≤100m × 100m
C2C(산업컨트롤러)	>300UEs	≤900ns	≤1,000m × 100m
데이터 전송률이 높은 비디오 스트리밍	>10UEs	≤10μs	≤2,500m <sup>2</sup>
AVProd 및 패킷타이밍	>100UEs	≤1μs	≤10km <sup>2</sup>
스마트 그리드 : PMU 간 동기화	>100UEs	≤1μs	<20km <sup>2</sup>
원격수술 및 원격진단	>10UEs	≤50μs	400m

출처 © 2020. 3GPP™ TSs and TRs are the property of ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA and ITC who jointly own the copyright in them. They are subject to further modifications and are therefore provided to you as is for information purposes only. Further use is strictly prohibited.

수 있도록 한다. 워킹 클럭 도메인 내에서 동기화 버짓(Synchronization budget) 900ns를 초과하지 않도록 하며, 통합된 5G/non-3GPP 네트워크에서 동기화 마스터 기능과 동기화 장치 기능의 임의 배치를 지원하고, TSN과 IEEE 802.1AS[9] 메커니즘과 상호운용이 가능한 워킹 클럭 도메인의 병합 및 분리 관리를 지원하는 적절한 수단을 제공해야 한다.

표 2는 Rel-17에서 제시하는 5GS 클럭 동기화 서비스의 성능 요구사항을 나타낸다. 클럭 동기화에 있어서도 스마트 팩토리를 위한 모션 제어 시나리오 및 C2C(Control to Control) 시나리오에서 매우 엄격한 클럭 정확도가 요구됨을 알 수 있다.

### III. 5G-TSN 네트워크 기술 동향

II 장에서 살펴본 바와 같이 3GPP는 다양한 버티컬 산업 도메인의 요구사항을 수용하기 위해, IIoT 서비스별 구체적인 성능 요구사항을 도출하여 표준화를 진행해 오고 있다. 이를 바탕으로 3GPP에서는 실제 5G 시스템이 산업용 네트워크 통합 표



준인 TSN을 수용, 실현하기 위한 Stage2 아키텍처 및 Stage3 표준 문서를 개발 중이다. 최근 3GPP SA2에서는 Rel-16(2020. 6.) 표준화 작업의 완료를 통해, 5G 시스템과 IEEE TSN과의 통합을 위한 5G 시스템 아키텍처 표준(Stage2) 개발을 완료하였으며, Rel-17에서 TSN을 포함한 다양한 고신뢰·초저지연 서비스를 지원하는 추가적인 5G 시스템 기술을 위해 표준 스터디 작업이 활발히 진행 중이다.

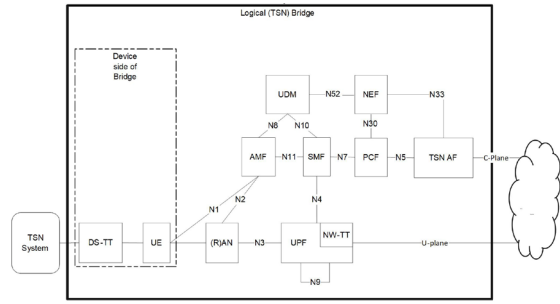
### 1. 3GPP Rel-16

3GPP SA2 WG은 Rel-16에서 이더넷 네트워크 기반 시간민감형 데이터 전송 아키텍처인 IEEE TSN 네트워크에 5GS를 하나의 ‘논리적인’ TSN 브릿지 역할로 정의하였으며, 5G-TSN 간 통합을 위한 5GS 아키텍처 정의, 시간민감형 통신 지원, 브릿지 및 포트 정보관리, TSCAI(TSC Assistance Information) 및 QoS(Quality of Service) 지원 등을 TS 23.501 문서에 기술하고 있다. 관련 세부내용들을 다음에서 살펴본다.

#### 가. TSN 지원 5G 시스템 아키텍처

IEEE TSN 구성모델은 중앙 집중식, 분산형, 하이브리드 3가지로 정의하고 있다[10]. 3GPP Rel-16에서 5G 시스템은 TSN 구성 모델 중 중앙 집중식 모델만을 지원하며, 분산형 모델이나 하이브리드 모델은 지원하지 않는다. 이렇게 구성된 TSN 환경에서 5GS는 TSN 패킷처리를 위하여 스트림별 필터링 및 정책(PSFP: Per-Stream Filtering and Policy)과 스케줄드 트래픽(Scheduled Traffic)을 지원한다[11].

그림 2는 5GS에 시간민감형 통신(TSC: Time Sensitive Communication)을 지원하도록 확장된 아키텍처를 나타낸다. 5GS는 외부 TSN 네트워크와



출처 © 2020. 3GPP™ TSs and TRs are the property of ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA and ITC who jointly own the copyright in them. They are subject to further modifications and are therefore provided to you as is for information purposes only. Further use is strictly prohibited.

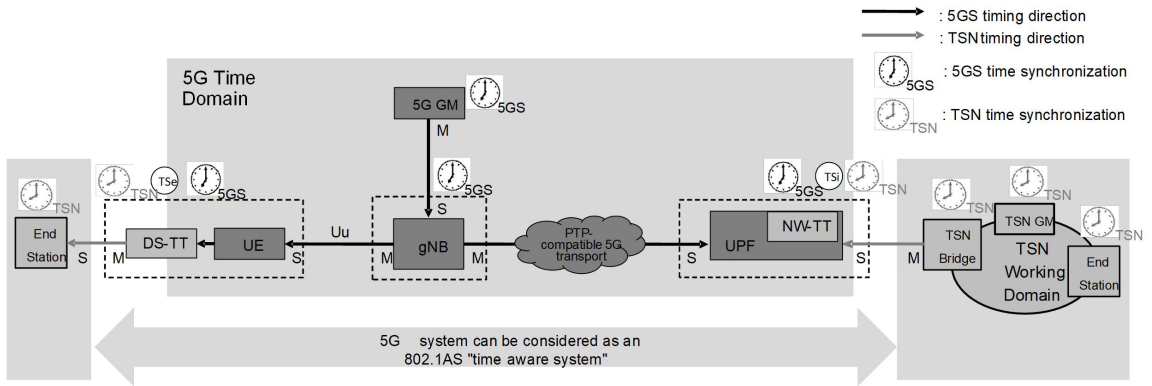
그림 2 TSN 브릿지로 동작하는 5G 시스템 아키텍처[12]

의 통합을 위해 TSN 브릿지로 동작하고 있으며, TSN 네트워크와 통신을 위해 변환기(TTs)를 새롭게 추가하였다. TSN 네트워크와 연동하기 위한 TSN 변환기는 DS-TT(Device-side TSN Translator), NW-TT(Network-side TSN Translator)로 구성되고, 각각의 DS-TT와 NW-TT는 TSN 송신 및 수신 포트를 가진다. 유저 플레인(User plane)에서의 변환기 외에도, 제어 플레인(Control plane)의 TSN AF(Application Function)는 5GS 구성정보들을 CNC(Central Network Controller)로 전달한다.

#### 나. 5G-TSN 간 시간민감형 통신 지원

5GS와 TSN 간 시간민감형 통신 지원을 위해 TSN 브릿지로 동작하는 5GS는 TSN과 시간동기화 기능을 제공해야 한다. TS 23.501에 따르면 5GS는 산업분야 자동화 솔루션들과 시간동기화를 위해 IEEE 802.1AS를 준수하도록 하고 있다.

5GS 내부 네트워크 요소들은[예, UE, gNB, UPF(User Plane Function), NW-TT 및 DS-TT] 5G 내부 시스템 클럭인 5G GM(Grand Master)과 동기화되어야 하며, TSN 기능들과 상호운용을 위해 도입된 TSN 변환기를 통해 위킥 클럭 도메인(TSN



출처 © 2020. 3GPP™ TSNs and TRs are the property of ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA and ITC who jointly own the copyright in them. They are subject to further modifications and are therefore provided to you as is for information purposes only. Further use is strictly prohibited.

그림 3 TSN 시간 동기화를 지원하는 IEEE 802.1AS 호환 5G 시스템 모델[12]

도메인)과도 시간동기화를 수행한다. TSN 변환기 (TTs)는 TSN 도메인과 시간동기화를 위해 (g)PTP 지원, 타임스탬핑, BMCA(Best Master Clock Algorithm), rateRatio 등의 IEEE 802.1AS[9] 관련 기능을 수행한다.

그림 3은 2개의 동기화 시스템(5GS, TSN 도메인)과 TSN GM이 TSN 워킹 도메인에 있을 때 고려되는 마스터(Master), 슬레이브(Slave) 포트 등을 나타낸다. 두 시스템의 동기화 프로세스는 각각 5GS 동기화(NG RAN 동기화[13]) 및 TSN 도메인 동기화(TSN 네트워크 동기화[9]) 기술이 사용되며, 두 동기화 시스템은 서로 독립적으로 동작한다.

5GS의 모든 유저 플레인 노드들은 다음과 같이 내부 클럭을 동기화한다. (1) gNB는 5G GM 클럭으로부터 동기화, (2) UPF/NW-TT는 gNB로부터 PTP 호환 전송 네트워크를 통해 동기화, (3) UE는 gNB로부터 시그널링을[13] 통해 동기화, (4) DS-TT는 연결된 UE와 동기화를 수행한다.

내부 클럭(5G GM)으로 동기화된 5GS는 5G TSN 브릿지로서 TSN 도메인과 시간동기화를 수행한다. 먼저, NW-TT는 TSN 워킹 도메인의

TSN 노드로부터 gPTP 메시지를 수신한 후 (1) 메시지의 TS<sub>i</sub>(ingress timestamp)를 생성하여 Suffix 필드에 추가한다. (2) 누적비율(cumulative rateRatio)을 사용하여 TSN GM 시간으로 표기된 TSN 노드로부터의 링크 지연을 계산하여 CF(correction field)에 추가하고, (3) 다음 링크 지연 계산을 위해 기존 누적비율을 새로운 누적비율로 변경한다. 이렇게 수정된 gPTP 메시지는 PDU(Packet Data Unit) 세션을 통해 UE에게 전달된다.

DS-TT는 UE가 PDU 세션을 통해 수신한 gPTP 메시지를 전달받아, (1) gPTP 메시지에 대한 TS<sub>e</sub>(egress timestamp)를 생성한다. 여기서, TS<sub>i</sub>와 TS<sub>e</sub>의 시간차는 gPTP 메시지가 5G 시간 기준으로 5GS에서 소비된 체류시간(residence time)이다. (2) 메시지 누적비율을 사용하여 5GS에서 소비된 체류시간을 TSN GM 시간으로 변환하여 CF에 추가하고, (3) Suffix 필드에서 TS<sub>i</sub>를 제거한 후 TSN 노드(end station)로 gPTP 메시지를 전달한다.

II 장 2절에서 언급한 바와 같이 Rel-16에서 5GS는 최대 32개의 워킹 클럭 도메인과 연결을 지원한다. TSN 도메인은 고유의 gPTP 메시지에 도메인

을 나타내는 “domainNumber”를 전달하므로 다수의 TSN 클럭 도메인과 연결되어 있어도 해당 클럭 도메인을 구별하여 시간동기화를 지원할 수 있다.

**다. 5G TSN 브릿지 및 포트 정보 관리**

그림 4에서 5GS는 UPF당 하나의 TSN 브릿지 로 동작하며, 5GS TSN 브릿지는 UE-UPF 사이의 유저 플레인 터널을 중심으로 TSN과 연결되는 UPF 측 NW-TT와 UE 측 DS-TT로 구성된다. DS-TT는 TSN 네트워크(TSN 브릿지, End Station)와 특정 UPF/NW-TT 포트당 하나의 PDU 세션으로 연결한다. 하나의 UPF는 다수의 PDU 세션을 수용하고, 브릿지 ID는 TS 23.502에[14] 명시된 UPF ID에 바인딩된다.

TSN AF는 UE/DS-TT 포트와 PDU 세션 간의 바인딩 관계 정보 및 UPF/NW-TT 포트에 대한 정보를 저장한다. TSN AF 관점에서 5G TSN 브릿지는 UPF 내에 단일 NW-TT를 가지며, NW-TT는 트래픽 전달에 사용되는 여러 포트를 가질 수 있다. UE/DS-TT와 UPF/NW-TT의 포트 정보는 SMF(Session Management Function)/PCF(Policy Control Function)를 거쳐 TSN AF로 전달되고, TSN 브릿지 등록 및 변경을 위해 TSN AF에서 CNC로 전달된다.

또한, 5GS TSN 브릿지는 TSN 트래픽 스케줄링을 지원하기 위해 브릿지 정보를 구성하며, 이때 브릿지 정보는 기본정보(브릿지 ID, 이름)와 성능정보(지연, 전달지연(propagation delay), VLAN(Virtual Local Area Network) 구성), 토폴로지, 트래픽 클래스, 포트별 우선순위 및 PSFP 지원을 위한 스트림 파라미터 등으로 구성된다. 구성된 브릿지 정보는 CNC에 전달한다.

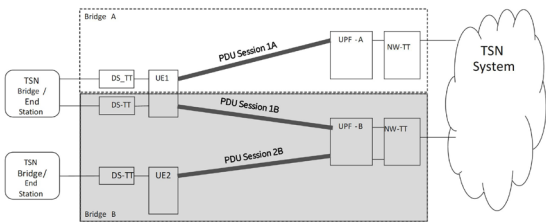
CNC는 논리적인 5GS TSN 브릿지 구성정보를 수신 후 TSN 응용의 요구사항에 맞게 TSN 브릿지 구성 정보를 재구성해서 5GS에 전달한다. 이후 5GS는 TSN으로부터 구성정보(브릿지 ID, 스케줄드 트래픽 구성정보(egress port, 트래픽 클래스 및 우선순위), Chassis ID, 트래픽 포워딩 정보(목적지 MAC 주소, VLAN ID), 포트맵의 포트번호 등)를 수신하며, 수신된 정보를 바탕으로 해당 PDU 세션의 QoS 플로우로 매핑한다.

TSN AF는 포트 및 브릿지 관리정보 교환을 위해 DS-TT/NW-TT와 PMIC(Port Management Information Container)를 통해 포트 관리정보를 교환하며, NW-TT와 BMIC(Bridge Management Information Container)를 통해 브릿지 관리정보를 교환한다.

**라. TSCAI 및 QoS 지원**

5GS TSN 브릿지는 RAN 구간에서 TSC 트래픽 특성에 따라 확정적 QoS를 제공할 수 있도록 하기 위해서 TSC 트래픽의 특성에 TSCAI(TSC Assistance Information)를 구성하여 RAN으로 전송하도록 하고 있다.

TSN AF는 TSN 네트워크로부터 PSFP 파라미터를 획득하여 트래픽의 파라미터(수신 포트, 주기성 및 Burst Arrival Time 등)를 계산하여, TSC Assistance Container 안에 담아 PCF를 통해 SMF로 전달한다.



출처 © 2020. 3GPP™ TSs and TRs are the property of ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA and ITC who jointly own the copyright in them. They are subject to further modifications and are therefore provided to you as is for information purposes only. Further use is strictly prohibited.

그림 4 5GS TSN 브릿지 구성도[12]



표 3 TSCAI[12]

Assistance information	설명
Flow direction	TSC 플로우의 방향(업링크/다운링크)
Periodicity	두 버스트(burst) 데이터 간의 시간 주기
Burst arrival time	RAN(downlink) 또는 UE(uplink) 인터페이스에서 버스트 데이터 도착 시간

출처 © 2020. 3GPP™ TSs and TRs are the property of ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA and ITC who jointly own the copyright in them. They are subject to further modifications and are therefore provided to you as is for information purposes only. Further use is strictly prohibited.

SMF는 PCF가 제공하는 PCC(Policy and Charging Control) 규칙들에 TSC Assistance Container를 바인딩한다. 표 3은 TSN AF로부터 받은 정보를 기반으로 SMF에서 5G RAN으로 제공하는 TSCAI를 나타내며, SMF는 매 QoS Flow 기준 TSCAI를 도출하여 5G RAN으로 전송한다.

시간민감형 통신을 위한 TSC QoS 플로우는 Delay Critical GBR(Guaranteed Bit Rate) 리소스 타입과 TSCAI를 사용하여 QoS 프로파일에 적용된다. TSN AF에서 사용하는 TSN QoS 파라미터는 최소한 다음을 포함해야 한다.

- 트래픽 클래스 및 포트당 우선순위

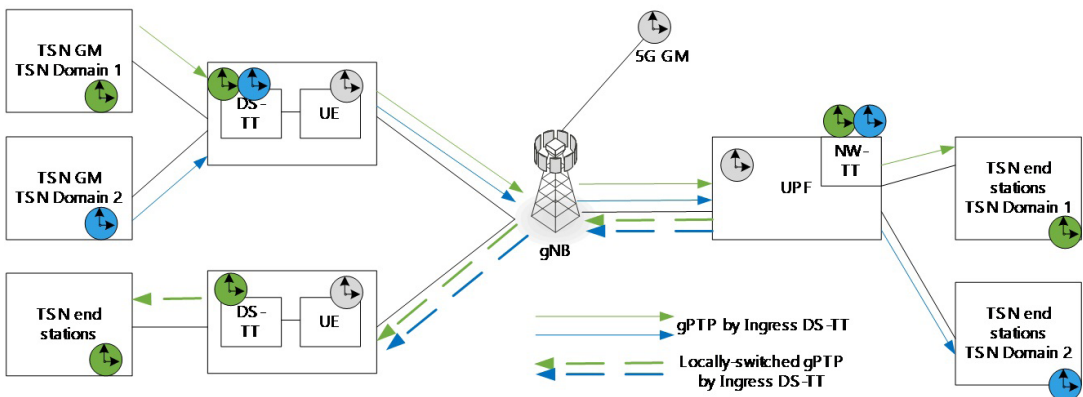
- TSN 스트림의 TSC Burst Size
- 5GS 브릿지 지연 및 트래픽 클래스
- 포트별 전파지연, UE-DS-TT 체류 시간

이렇게 설정된 QoS 프로파일은 TSN 트래픽 전송을 위하여 PDU 세션 내 TSN 트래픽 클래스와 매핑테이블이 구성되어야 한다.

또한 DS-TT 및 NW-TT는 IEEE 802.1Q[11]에서 정의한 홀드 앤 포워드 버퍼링 방식 지원을 통해, PDB(Packet Delay Budget) 기반 QoS를 TSC 트래픽에 사용할 수 있도록 지원한다.

### 2. 3GPP Release 17

3GPP Rel-16에서 개발된 TSN 기술은 uRLLC 기술과 함께 Rel-17에서 FS\_IIoT(TR 23.700-20, Study on enhanced support of Industrial Internet of Things (IIoT) in the 5G System (5GS)) 하나의 스타디아이템으로 표준 개발을 시작하였다. 2020년 6월 현재 약 50% 완성률을 가지며, 앞으로 3GPP SA WG2 8월, 10월 회의를 통해 거의 완성될 것으로



출처 © 2020. 3GPP™ TSs and TRs are the property of ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA and ITC who jointly own the copyright in them. They are subject to further modifications and are therefore provided to you as is for information purposes only. Further use is strictly prohibited.

그림 5 The distribution of UL Time Synchronization Information with the same UPF[15]

예상된다.

FS\_IIoT 표준스터디를 위하여 현재 4개의 주요 키 이슈(Key Issues)가 정의되었다. TR 23.700-20 문서에서는 5개의 키 이슈가 정의되어 있지만, TSN을 위한 Fully distributed configuration 모델은 Rel-17에서는 진행하지 않기로 하였다. 따라서 현재 다음의 4가지 주요 키 이슈가 정의되고, 키 이슈에 대한 여러 솔루션이 제안된 상태이다. 다음에서 각 키 이슈를 설명하고 관련된 솔루션을 살펴본다.

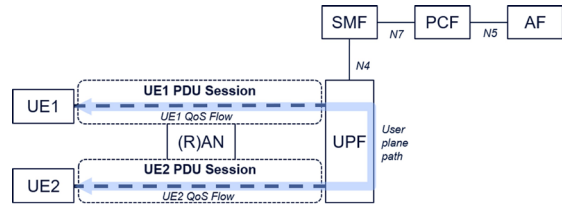
**가. Uplink Time Synchronization**

Rel-16에서는 TSN GM가 데이터 네트워크(DN: Data Network)에 존재하였으나, Rel-17에서는 단말사이드에 있는 TSN GM을 지원하는 시동기(Time Synchronization) 기술을 개발한다.

그림 5는 현재 Uplink 시동기를 위해 제안된 솔루션을 보여준다. TSN 도메인(Domain) 1은 초록색 TSN GM으로 동기화가 이루어지므로, TSN GM에 연결된 UE는 시동기를 위한 메시지를 (1) UPF에 연결된 TSN end stations에 전달할 뿐 아니라, (2) 또 다른 UE에 연결된 TSN end stations에도 전달한다. (1) 전자의 경우는 일반적인 상향(Uplink) 트래픽 처리와 동일하여 UE(NW-TT)가 상향 gPTP 메시지를 생성하여 해당 UPF로 전달하나, (2) 후자의 경우는 UE가 생성한 gPTP 메시지를 또 다른 UE로 전달해야 하므로 새로운 UE to UE 통신을 필요로 한다. 그림에서 녹색 실선으로 표현된 것과 같이 UE to UE 통신 경우에는 TSN GM에 연결된 UE로부터 상향 gPTP 메시지를 받은 UPF가 같은 도메인에 있는 다른 UE로 gPTP 메시지를 전달한다.

**나. UE-UE TSC communication**

UE to UE 통신은 그림 6에서 보는 바와 같이 UE 간의 통신이며, UPF를 통해 통신할 수 있다. UE-



출처 © 2020. 3GPP™ TSs and TRs are the property of ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA and ITC who jointly own the copyright in them. They are subject to further modifications and are therefore provided to you as is for information purposes only. Further use is strictly prohibited.

그림 6 UE-UE TSC communication scenario[15]

UE 통신은 크게 (1) Rel-16 5G LAN의 VN(Virtual Network) 그룹방식을 사용하는 것과 (2) 새로운 방식을 제안하는 2종류로 분류할 수 있다. UE-UE 통신에서는 UE-UPF 간에 서로 다른 PDU 세션을 설정한다.

기존의 VN 그룹 방식을 사용하는 경우에는, 통신하고자 하는 UE(DS-TT)들이 동일한 5G VN에 속하며, SMF는 VN 그룹 정보를 알 수 있다. TSN AF가 트래픽 포워딩 정보를 CNC로부터 받으면, UE-UE 통신을 위한 플로우를 그림 6에서 보이는 2개의 PDU 세션으로 나누어 각각 상향, 하향 스트림이 된다.

TR 23.700-20 문서의 솔루션 2번은 VN 그룹 방식을 사용하지 않는 새로운 방식을 제일 먼저 제안한 것으로, 중앙집중형(Centralized) 구조에서는 CUC(Centralized User Configuration)와 연결된 CNC가 TSN end station과 연결된 5GS 브릿지(Bridge) 포트 정보를 알고 있다. 따라서 CNC는 다음의 정보를 5GS 브릿지로 전달한다.

- TSN QoS와 이그레스(egress) 포트에 대한 트래픽 포워딩 정보
- 인그레스(ingress) 포트에 대한 PFSP 정보

5GS 브릿지는 CNC로부터 받은 정보로 QoS 매

핑 및 각 PDU 세션에 대한 TSCAI 값을 설정한다. UE(DS-TT) - UE(DS-TT) 포트 간의 통신에서 브릿지 지원과 QoS 매핑은 Rel-16 UE(DS-TT), UPF(NW-TT) 포트 간의 통신과는 다르다. AF는 CNC로부터 받은 인그레스, 이그레스 포트 정보의 의해 각 포트에 연결된 2개의 PDU 세션을 연결하고, 각 세션에 대한 TSC QoS 파라미터를 구하여 PCF로 전달한다. 이때 구해진 세션 내 QoS 플로우 각각 상향, 하향에 해당된다. 브릿지 지원은 각 포트의 (UE - DS-TT Residence Time + PDU 세션의 PDB) 값을 계산하여 합한다.

#### 다. Exposure of TSC services

해당 키 이슈는 5GS 네트워크 익스포저 프레임워크(Exposure Framework)를 통해 5GS TSC 서비스를 좀 더 유연하게 제공하고자 한다. 익스포저 프레임워크는 네트워크 능력(Capability)을 제공하고, 어플리케이션이 네트워크로부터 제공받은 서비스에 대한 요구사항을 전달할 수 있게 한다. 따라서 NEF(Network Exposure Function)가 TSC를 지원하기 위해 관련 네트워크 능력을 AF로 제공할 수 있도록, NEF 프레임워크를 향상시키는 것이다.

##### 1) Exposure of deterministic QoS

확정지연 서비스를 요구하는 TSC 서비스를 요구하기 위하여, AF는 지연, 지터 요구사항을 요청하고, 이를 기반으로 PCF가 5GS QoS 파라미터를 설정하도록 한다. 또한, AF는 Rel-16에서 정의된 periodicity, burst size, burst arrival time과 Survival time 을 요청할 수 있다.

TR 23.700-20 문서의 솔루션 5는 Deterministic QoS를 지원하기 위하여, AF는 NEF를 통해 TSC QoS를 요구하고, 이를 위해 트래픽 패턴을 제공한다. 이처럼, AF가 TSC QoS를 요구할 수 있도록,

5GS는 다음의 Deterministic QoS 능력 정보를 제공한다.

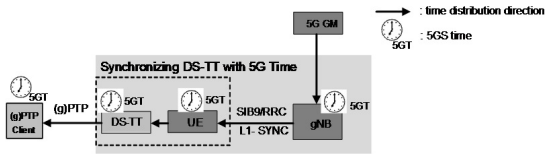
- TSC 지원 5GS
- TSC assistance 정보 제공을 지원하는 5GS
- UE & UPF Hold and Forward Buffers를 지원
- 최소 지원 5GS 지원

##### 2) Exposure of Time Synchronization

AF는 QoS뿐만 아니라 시동기 관련 요구사항 및 관련 정보를 요청할 수 있다. 시동기 서비스를 익스포저하는 키 이슈는 TSN 네트워크와 연결되지 않은 경우와 VIAPA(Video, Imaging and Audio for Professional Applications)를 위한 요구사항도 지원한다. AF는 TSN 도메인 GM, 또는 5G GM을 사용하기 위한 시동기 활성화를 요청할 수 있으며, 이를 먼저 네트워크는 지원하는 동기화 방법을 NEF를 통해 AF로 알려야 한다. 이로써 AF는 시동기 서비스의 활성화/비활성을 요청하거나, 클럭(clock) 도메인과(예, TSN 도메인 GM, 5G GM) 클럭 정확도를 요청할 수 있다. 시동기 서비스는 이더넷 타입 PDU 세션뿐만 아니라 IP PDU 세션도 요청할 수 있다.

동기화를 위한 방법으로는 다음의 4가지를 고려한다.

- (1) 5GS는 (g)PTP 클라이언트로 시간 정보를 전달하는 것으로 Rel-16에서 정의된 방법
- (2) 5GS 시간 소스를 사용하는 방법으로 다음의 3가지로 다시 분류된다.
  - UPF(NW-TT)가 시간 정보를 전달하기 위해 (g)PTP 메시지를 생성
  - 5G-AN이 5G 참조(reference) 시간을 UE에게 제공하여 구현 방식에 따라 UE가 연결된 디바이스나 어플리케이션으로 시간 정보를 제공



출처 © 2020. 3GPP™ TSs and TRs are the property of ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA and ITC who jointly own the copyright in them. They are subject to further modifications and are therefore provided to you as is for information purposes only. Further use is strictly prohibited.

그림 7 DS-TT distributes 5GS time to devices[15]

- UE(DS-TT)가 시간 정보를 전달하기 위해 (g)PTP 메시지를 생성

그림 7은 5G GM을 사용하여 5GS 타임(5GT)을 UE(DS-TT)가 gPTP로 전달하는 예를 보여준다.

TR 23.700-20 솔루션 8에서는 AF가 NEF를 통해 UDM(Unified Data Management)으로 가입자 정보에 다음의 정보를 설정하거나 해제하도록 요청할 수 있다고 소개한다.

- TSN PDU의 S-NSSAI(Single Network Slice Selection Assistance Information), DNN(Data Network Name)
- TSN 도메인
- UL/DL TSN 동기화 method
- 활성화/비활성화

### 라. Survival Time for Deterministic Applications

5GS에서 확정적 어플리케이션을 위하여 서바이벌 타임(Survival Time)을 소개한다. 서바이벌 타임은 주기적이고 확정적인 통신 서비스를 위한 요구사항 중의 하나이다[12]. TR 23.700-20에서 제안된 솔루션으로는 TSN AF에 미리 설정된 서바이벌 타임을 사용하는 방식과 AF 또는 CNC로부터 받은 TSN AF가 서바이벌 타임을 제공하는 2가지

방식이 있다. 하지만, 두 솔루션 모두 PCF가 TSC Assistance Container에 서바이벌 타임을 추가하여 SMF로 전달하고, SMF가 서바이벌 타임을 TSCAI에 추가하여 RAN으로 전달하는 방식은 동일하다.

## IV. 결론

본 고에서는 Industrial IoT를 위한 5G-TSN 기술 및 표준화 동향을 3GPP 표준을 중심으로 살펴보았다. 종래의 유/무선 산업이더넷 중심의 산업네트워크에 5G-TSN 기술의 적용은 종래의 산업네트워크의 패러다임을 바꾸어서 향후 5G 이동통신 기술기반의 산업융합 네트워크 구축과 이를 통한 다양한 버티컬 산업에 혁신적인 서비스 제공의 중심에 5G 기술이 있게 될 것을 암시하고 있다.

이를 위해 3GPP에서는 Rel-15에서 다양한 산업네트워크의 요구사항을 분석하기 시작하여, Rel-16에서는 5G-TSN 시스템 개발을 위한 Stage 2, 3 표준 문서를 완료하였고, 현재 Rel-17에서는 TSN 외 다양한 TSC 서비스 지원을 위한 표준화를 진행 중이다. 향후 머지않아 현재의 표준을 기반으로 실제 산업 현장에서 5G-TSN 기술의 상용화된 완전한 ‘스마트 팩토리’ 현장을 보게 될 것으로 기대된다.

#### 용어해설

**버티컬 도메인** 유사한 제품이나 서비스를 개발, 생산, 제공하는 산업이나 엔터프라이즈 그룹

**시민감형 통신(TSC)** 고신뢰성 및 가용성을 가진 결정론적 통신을 제공하는 통신 서비스

#### 약어 정리

5GS	5G System
AF	Application Function

BMCA	Best Master Clock Algorithm	TSC	Time Sensitive Communication
BMIC	Bridge Management Information Container	TSCAI	TSC Assistance Information
C2C	Control to Control	TSN	Time-Sensitive Networking
CF	Correction Field	UDM	Unified Data Management
CNC	Central Network Controller	UPF	User Plane Function
CUC	Centralized User Configuration	uRLLC	ultra Reliable Low Latency Communications
DN	Data Network	V2X	Vehicle to Everything
DNN	Data Network Name	VIAPA	Video, Imaging and Audio for Professional Applications
DS-TT	Device-Side TSN Translator	VLAN	Virtual Local Area Network
eMBB	Enhanced Mobile Broad Band	VN	Virtual Network
GBR	Guaranteed Bit Rate	WG	Working Group
GM	Grand Master		
IAT	International Atomic Time		
IIoT	Industrial Internet of Things		
KPI	Key Performance Indicator		
mMTC	Massive Machine-Type Communications		
NEF	Network Exposure Function		
NW-TT	Network-side TSN Translator		
OAM	Operations, Administration and Maintenance		
PCC	Policy and Charging Control		
PCF	Policy Control Function		
PDB	Packet Delay Budget		
PDU	Packet Data Unit		
PMIC	Port Management Information Container		
PSFP	Per-Stream Filtering and Policy		
PTP	Precision Time Protocol		
QoS	Quality of Service		
SMF	Session Management Function		
S-NSSAI	Single Network Slice Selection Assistance Information		

**참고문헌**

[1] 김원익 외, “이동통신기반 Industrial IoT기술 동향,” 전자통신 동향분석 제33권 제5호, 2018.

[2] <http://www.epnc.co.kr/news/articleView.html?idxno=95380>

[3] 강태규 외, “제4차 산업혁명 시대를 위한 초저지연 네트워킹 기술 동향,” 전자통신동향분석 제33권 제5호, 2019.

[4] 3GPP TS 22.261, “Service requirements for 5G system(Rel-16),” 2019.

[5] 3GPP TS 22.104, V17.3.0 “Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains: Stage 1(Rel-17),” 2020.

[6] 3GPP TS 22.104, V16.5.0 “Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains: Stage 1(Rel-16),” 2020.

[7] 3GPP TS 22.186, “Enhancement of 3GPP support for V2X scenarios,” 2019.

[8] 3GPP TS 22.289, “Mobile Communication System for Railways,” 2019.

[9] IEEE Std 802.1AS-2016, “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications in Bridged Local Area Networks,” 2011.

[10] IEEE Std 802.1Qcc-2018, “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Bridges and Bridged Networks Amendment 31: Stream Reservation Protocol(SRP) Enhancements and Performance Improvements,” 2018.

[11] IEEE Std 802.1Q-2018, “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Bridges and Bridged Networks,”



- 2018.
- [12] 3GPP TS 23.501, "System Architecture for the 5G System; Stage 2," 2020.
- [13] 3GPP TS 38.331, "NR; Radio Resource Control(RRC); Protocol specification," 2020.
- [14] 3GPP TS 23.502, "Procedures for the 5G System; Stage 2," 2020.
- [15] 3GPP TR 23.700-20, "Study on enhanced support of Industrial Internet of Things(IIoT) in the 5G System(5GS)," 2020. 6.