

Chapter
02

스마트 공장과 5G 서비스 품질 보장기술

김정윤_한국전자통신연구원 책임연구원
김창기_한국전자통신연구원 책임연구원

I. 서론

5G는 모바일 초광대역 서비스를 포함하여 초연결·초저지연·초신뢰 서비스를 제공할 수 있어서 기존의 이더넷 등 유선 기반으로 구성된 산업용 네트워크를 5G 기반 모바일 네트워크로 대체하고 산업용 통신 서비스의 제공 영역을 특정 사업장에서 전지역으로 확대하는 효과를 얻을 것으로 기대를 받고 있다. 이러한 기술의 발전과 함께 산업 네트워크는 ‘자동화’를 거쳐 최근 “스마트 공장”에 이르기까지 서비스의 완성도와 효율성을 높여가며 진화하고 있다. 특히, 근래에는 산업용 사물인터넷(Industrial IoT: IIoT) 서비스 분야가 확대되고, 각 산업 특성에 따른 서비스별 요구사항은 다양해지고 정밀해짐에 따라 이를 수용하기 위한 인프라 기술의 진화도 함께 요구되고 있다[1].

스마트 공장은 제품의 기획부터 판매까지 모든 생산과정을 정보통신기술로 통합하여 최소 비용과 시간으로 고객 맞춤형 제품을 생산하는 첨단 지능형 공장을 의미한다. 스마트 공장의 대표적인 정보통신 기술인 산업용 유선통신기술은 빠른 전송 속도, 통신 미디어의 호환성, 리니어/링/메시 구조의 토폴로지, 실시간 통신, 고정밀 시간 동기화, 저렴한 케이블과 커넥터, 외장 스위치와 허브 불필요성 그리고 강력한 이중화 기능 등의 장점이 있어서 스마트 공장에서 널리 사용되고 있다.

한편, 유선통신 기술은 많은 케이블이 설치된 공장에서 공간, 설치 및 유지 관리 등의 비용 문제뿐만 아니라, 로봇 등 이동성이 필요한 작업에 방해가 되기도 하고, 생산 공정의 변경과

* 본 내용은 김정윤 책임연구원(☎ 042-860-53118, jykim@etri.re.kr)에게 문의하시기 바랍니다.

** 이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020-0-00974, 고신뢰·저지연 5G+ 코어 네트워크 및 5G-TSN 스위치 기술 개발)

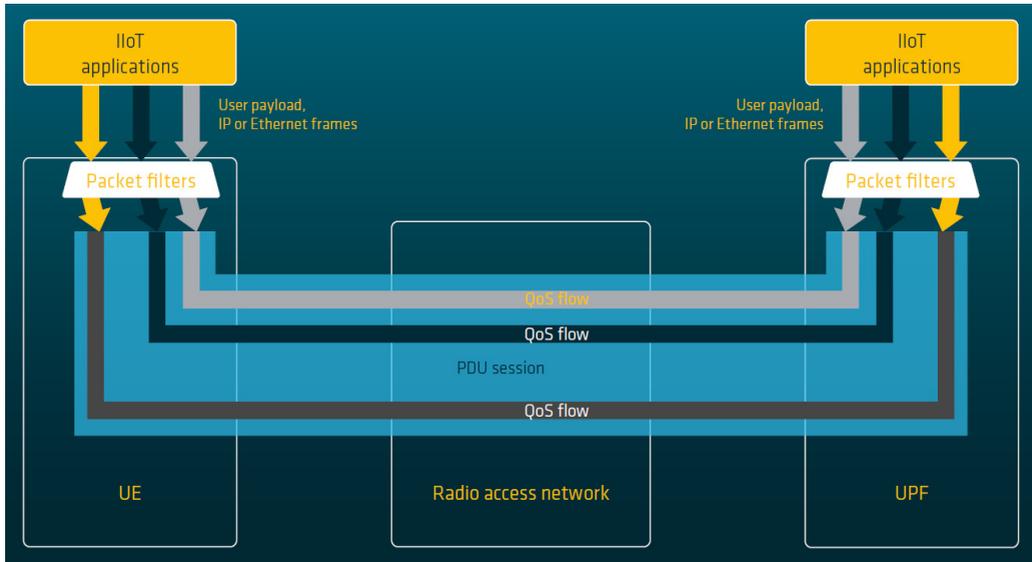
새로운 장비의 도입으로 인해 현장 레이아웃이 변경될 때는 많은 시간과 노력 그리고 비용이 발생한다. 반면에 무선랜 기술 및 4G 기술은 위에서 언급한 유선통신 기술의 한계를 극복할 수 있지만 통신 거리가 짧고, 지연시간이 길어서 로봇이 빠르게 이동하거나 밀리초 단위의 업데이트가 필요한 로봇의 동작에 대한 실시간 제어 및 실시간 데이터 전송에 어려움이 있어서 실제 산업 현장에서는 무선통신의 사용 비율을 매우 낮은 상황이다.

5G 기술은 기존 무선통신이 갖고 있는 전송지연, 통신 안정성 및 품질 그리고 통신 용량/연결기기 수 등의 제한을 해결할 것으로 기대를 받고 있다. 따라서 5G 기반의 스마트 공장은 완전한 무선 네트워킹을 제공하여 새로운 제품을 제공하기 위한 생산 라인의 신속한 재구성을 지원하고, 공장 장치 간의 안전한 가상 네트워킹을 구현하며, 생산 라인 영역/창고 및 파견 영역 전반에 걸쳐 무인차(Automated guided vehicle: AGV) 제어 및 사용이 가능해질 것으로 기대된다.

본 고에서는 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서 논의 중인 5G의 IIoT 관련 표준[2],[3]과 IIoT 서비스 적용을 위한 관련 5G-ACIA(5G Alliance for Connected Industries and Automation) 기술[4]의 동향을 살펴본다. 특히, 5G 산업용 통신 서비스의 대표적인 예로 여겨지는 스마트 공장을 지원하기 위한 5G 서비스 품질 보장기술을 네트워크 슬라이싱, 시민감 네트워킹 그리고 비공용 네트워크 관점에서 소개한다.

II. 5G 서비스 품질

본 장에서는 5G의 서비스 품질(Quality of Service: QoS) 모델의 기본 개념과 기능을 설명한다. [그림 1]은 5G 시스템의 QoS 모델에 대한 상위 수준의 기능을 나타낸 것이다. 5G 시스템에서 QoS의 개념은 특정 연결(connection)과 밀접하게 관련되어 있다. 여기에서 연결은 PDU(Protocol Data Unit) 세션 내의 QoS 플로우를 의미한다. 5G에서 디바이스는 패킷 필터가 설정되는 방식에 따라서 하나 이상의 PDU 세션 내에 다수의 연결을 포함할 수 있다. PDU 세션은 [그림 1]과 같이 사용자 장비(User Equipment: UE)와 사용자 평면 기능(User Plane Function: UPF) 간에 IP 패킷 또는 이더넷 프레임을 전달하는 5G 시스템 내의 논리적 연결이다. 5G 시스템에서 QoS 플로는 스케줄링, 대기열 관리, 속도 형성 등의 측면에서 트래픽을 구별하기 위한 가장 작은 단위로 정의된다. QoS 플로는



〈자료〉 5G-ACIA White Paper, "5G QoS for Industrial Automation," 5G-ACIA, 2021.

[그림 1] 상위 수준의 5G QoS 모델

QoS 속성의 집합으로 그 특징이 구분되며, QoS 속성은 다시 QoS 특성과 QoS 매개변수로 세분화 된다.

스마트 공장에서 사용되는 IloT 애플리케이션은 연결에 필요한 QoS 속성 값을 선택할 수 있다. 이때 5G 시스템은 IloT 애플리케이션이 요청에 대응하여 연결을 설정하고 필요한 QoS를 제공한다. 5G 시스템은 UE 가입 옵션, 구현된 5G 시스템 기능 그리고 네트워크 상태에 따라서 필요한 QoS를 제공할 수 있는지 판단한다.

III. 5G QoS와 네트워크 슬라이싱

5G 기술의 핵심 요소인 네트워크 슬라이싱은 하나의 물리적 네트워크를 특정 네트워크 기능으로 구성된 다수의 논리적 네트워크로 구성할 수 있어서, 높은 유연성의 네트워크를 구성하고 효과적으로 서비스를 제공할 수 있다[5],[6].

네트워크 슬라이싱은 크게 세 가지 관점에서 정의되는데, 예를 들면 우선순위, 과금, 정책 제어, 보안 및 이동성 등 네트워크 기능의 필요 유무에 따라서 네트워크 슬라이싱을 할 수

있다. 또한, 지연, 이동성, 가용성, 안정성 및 데이터 속도 등 성능 요구사항의 차이에 따라서 네트워크 슬라이싱이 가능하다. 마지막으로 네트워크 슬라이싱은 멀티미디어 우선순위 서비스 사용자, 공공 안전 사용자, 기업 고객, 로밍 이용자 또는 모바일 가상 네트워크 사업자 호스팅 등 특정 사용자에게만 서비스를 제공하는 용도로 정의될 수 있다[2].

먼저, 네트워크 슬라이스의 선택 메커니즘에 대한 이해를 돕기 위해 기본적인 용어를 다음과 같이 설명한다. 각 네트워크 슬라이스는 단일 네트워크 슬라이스 선택 지원 정보(Single-NSSAI: S-NSSAI)에 의해 고유하게 식별된다, 여기서 S-NSSAI는 두 개의 필드로 구성되며 먼저 슬라이스 서비스 타입(SST)은 기능 및 서비스 측면에서 네트워크 슬라이스의 예상 동작을 설명하기 위해 3GPP에서 표준화한 값이다. 두 번째 필드인 슬라이스 구별자는 동일한 SST에서 네트워크 슬라이스를 구별하는 것에 사용되며 해당하는 공용 모바일 네트워크(Public Land Mobile Network: PLMN)에서 고유하게 할당된다. 한편, 네트워크 슬라이스 선택 지원 정보(Network Slice Selection Assistance Information: NSSAI)는 S-NSSAI 모음을 표시하는데 사용된다.

네트워크 슬라이스 선택은 단말(UE)이 5G 시스템에 등록할 때 발생한다. 이때 UE는 네트워크 슬라이스 식별자 목록을 제출하여 5G 시스템에 필요한 네트워크 슬라이스를 알린다. UE는 Configured NSSAI(즉, 구성된 S-NSSAI 모음)라고 하는 구성정보에 저장된 S-NSSAI 목록과 UE가 네트워크에서 이전에 수신했던 Allowed NSSAI(허용된 S-NSSAI의 모음)의 S-NSSAI 목록을 생성한다. S-NSSAI는 전역적으로 고유하지 않고 특정 PLMN 내에서만 의미가 있는 값이어서, Configured NSSAI 및 Allowed NSSAI는 항상 PLMN과 연관된다.

5G 네트워크는 UE를 등록할 때, UE가 요청한 네트워크 슬라이스, 사용자를 가입할 때 구성된 네트워크 슬라이스, UE 등록 위치에서 사용 가능한 네트워크 슬라이스, 액세스 타입(3GPP 또는 비3GPP), 그리고 네트워크 구성에 대한 정보를 고려하여 Allowed NSSAI를 UE에 할당한다. UE가 Configured NSSAI를 필수로 가질 필요는 없으며 등록할 때 특정 네트워크 슬라이스 요청을 거부할 수도 있다.

PDU 세션은 특정 네트워크 슬라이스(S-NSSAI) 및 데이터 네트워크 이름(Data Network Name: DNN)에 바인딩이 되지만 네트워크 슬라이스는 여러 PDU 세션 및 DNN을 지원할 수 있다. 결과적으로 UE가 특정 네트워크 타입으로 PLMN에 등록할 때, Allowed NSSAI를

수신하면 허용 네트워크 슬라이스와 관련된 PDU 세션만 설정을 요청할 수 있다. 네트워크는 허용 네트워크 슬라이스와 연관되지 않은 PDU 세션 설정의 요청을 거부한다.

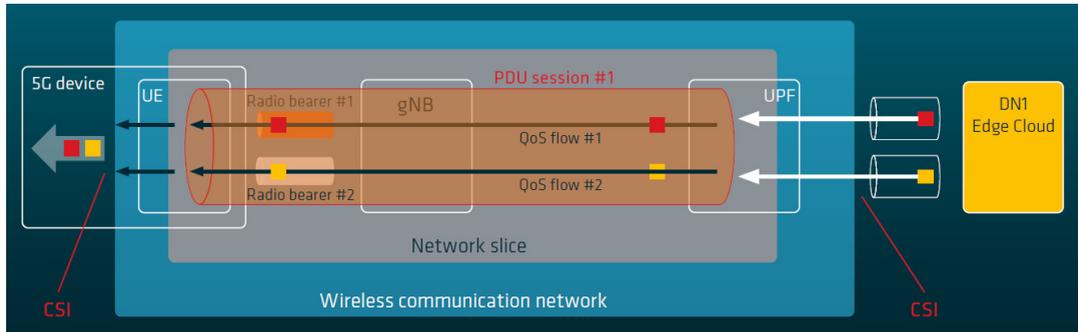
UE는 UE 라우트 선택 정책(UE Route Selection Policy: URSP)에 포함된 네트워크 슬라이스 선택 정책(Network Slice Selection Policy: NSSP)이나 로컬 구성을 참조하여 Allowed NSSAI에서 한 개 S-NSSAI를 선택하여 PDU 세션 설정을 시작한다. 5G 네트워크는 애플리케이션 트래픽과 연관된 PDU 세션, DNN, 네트워크 슬라이스 선택 정책 및 선호하는 액세스 타입을 매핑해야 하는 방법을 지정하는 규칙이 포함된 URSP를 UE에 할당한다.

3GPP 규격은 가입 정보로 정의되는 Subscribed S-NSSAI라고 하는 가입 네트워크 슬라이스를 최대 16개까지 허용한다. 사업자의 정책에 따라 하나 이상의 Subscribed S-NSSAI를 기본 S-NSSAI로 표시할 수 있다. 이 경우, 네트워크는 UE가 등록 요청 메시지에서 S-NSSAI를 네트워크에 전송하지 않는 한 최소한 이 네트워크 슬라이스를 UE에 제공한다.

IIoT의 애플리케이션별 QoS 요구사항과 특정 네트워크 슬라이스 선택 간의 관계는 다음의 예와 같이, 서로 다른 특성을 가진 세 가지 다른 애플리케이션을 지원해야 하는 5G 네트워크의 시나리오를 생각해 볼 수 있다[4].

- 해당 QoS 요구사항을 만족하는 5G TSN(Time Sensitive Networking) 기반의 시민감 애플리케이션
 - 최선형 QoS만 필요한 두 번째 애플리케이션
 - 엄격한 QoS 속성(패킷 지연 및 보장 플로우 비트 전송률)이 필요한 세 번째 애플리케이션
- 상기 세 가지 시나리오는 다음과 같은 절차로 지원할 수 있다.

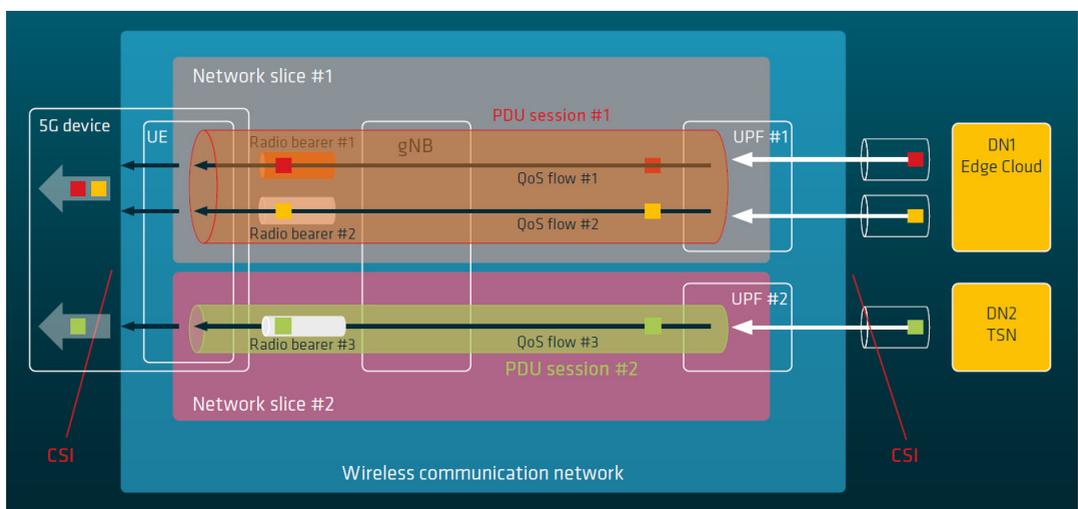
시나리오 1에서 5G 시스템은 단일 네트워크 슬라이스에 UPF, gNB(Next generation NodeB) 및 UE 등 TSN 브리지의 특정 구성요소와 TSN을 지원하지 않지만 최선형 QoS 및 엄격한 QoS를 지원하는 요소를 포함한다. UE는 TSN 트래픽을 위한 것, 최선형 QoS를 위한 것, 엄격한 QoS 속성을 위한 것의 세 가지 다른 PDU 세션을 설정하도록 구성한다. 따라서 모든 PDU 세션은 동일한 슬라이스에서 설정되며, 하 UE는 TSN 및 비 TSN 트래픽을 동시에 지원한다. 한편, UPF는 경우에 따라서 5G TSN 브리지 또는 비 TSN 브리지로 동작할 수 있다. 세 가지 애플리케이션이 모두 다른 DNN에 연결해야 하는 경우가 아니면 세 개의 개별 PDU 세션을 설정할 필요는 없다. [그림 2]에서 한개 PDU 세션은 2개 QoS 플로우와 2개 QoS 프로파일을 동시에 지원하는 경우를 보인 것이다.



〈자료〉 5G-ACIA White Paper, "5G QoS for Industrial Automation," 5G-ACIA, 2021.

[그림 2] 단일 네트워크 슬라이스 내에서 하나의 PDU 세션을 액세스하는 UE 시나리오

시나리오 2에서 5G 시스템은 [그림 3]와 같이 두 개의 네트워크 슬라이스를 포함하며, 네트워크 슬라이스 #2은 TSN 애플리케이션 전용이고 네트워크 슬라이스 #1은 에지 클라우드 애플리케이션 전용이다. UE는 2개의 PDU 세션을 설정하도록 구성되었다. 하나는 네트워크 슬라이스 #2과 연관된 TSN 트래픽용이고 다른 하나는 네트워크 슬라이스 #1과 연관된 것이다. 여기서 QoS 플로우 #1은 최선형 QoS를 지원하고 QoS 플로우 #2는 엄격한 QoS KPI(Key Performance Indicator)를 지원한다. 여기서 네트워크 슬라이스 #1은 최



〈자료〉 5G-ACIA White Paper, "5G QoS for Industrial Automation," 5G-ACIA, 2021.

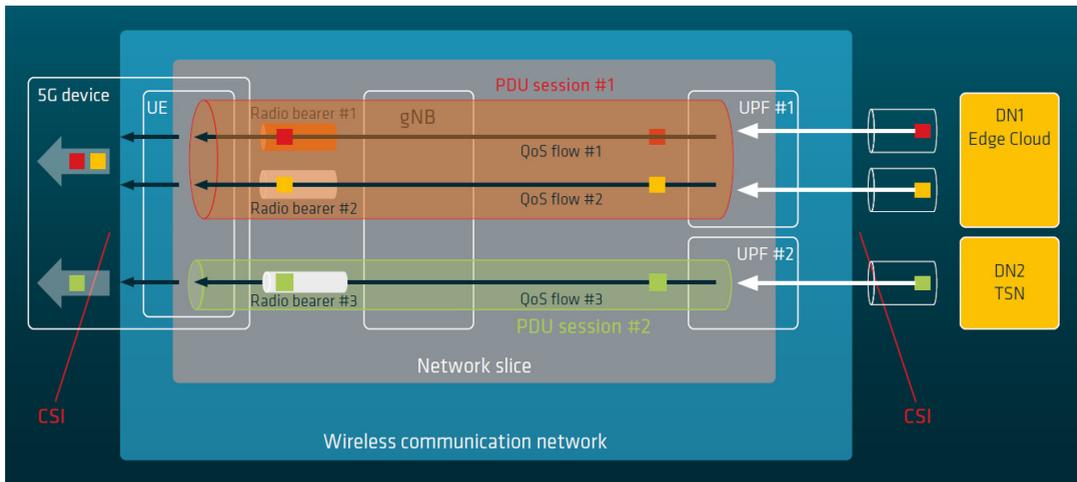
[그림 3] 두 개 네트워크 슬라이스 및 PFU 세션을 액세스하는 UE 시나리오

선형과 엄격한 QoS KPI를 모두 지원하는 것으로 가정한다. 한편, QoS 플로우 #3은 TSN QoS를 지원하는 네트워크 슬라이스 #2에 설정된다.

시나리오 2에서 네트워크 슬라이스 #2은 TSN 애플리케이션을 지원하는 UE에게 제공되는 허용 네트워크 슬라이스 목록에 포함되며, 네트워크 슬라이스 #1은 에지 클라우드 애플리케이션을 지원하는 UE에게 제공되는 허용 네트워크 슬라이스 목록에 포함된다.

특정 애플리케이션의 QoS 요구사항 이외에도 토폴로지 속성, 네트워크 분리, 보안, 네트워크 자원 할당, 특정 네트워크 슬라이스의 사용을 특정 고객으로 제한하는 요구사항 등 여러 요소들이 네트워크 슬라이스를 설계하는데 적용된다.

시나리오 3에서는 URSP 정책을 기반으로 한 UE에 대해 서로 다른 애플리케이션 트래픽 및 PDU 세션을 설정하고 매핑할 수 있다. 이러한 정책은 TSN 애플리케이션의 트래픽을 PDU 세션 #2에 매핑하고 에지 클라우드 트래픽을 PDU 세션 #1에 매핑하는 등의 방식을 규정한다. 5G 시스템이 TSN 트래픽을 검출하면 TSN 트래픽에 대해 구성한 QoS를 적용하고 PDU 세션 #2을 설정한다. [그림 4]와 같이 모든 PDU 세션은 단일 네트워크 슬라이스에 포함된다.



〈자료〉 5G-ACIA White Paper, “5G QoS for Industrial Automation,” 5G-ACIA, 2021.

[그림 4] 단일 네트워크 슬라이스 내부의 두 개 PDU 세션을 액세스하는 UE 시나리오

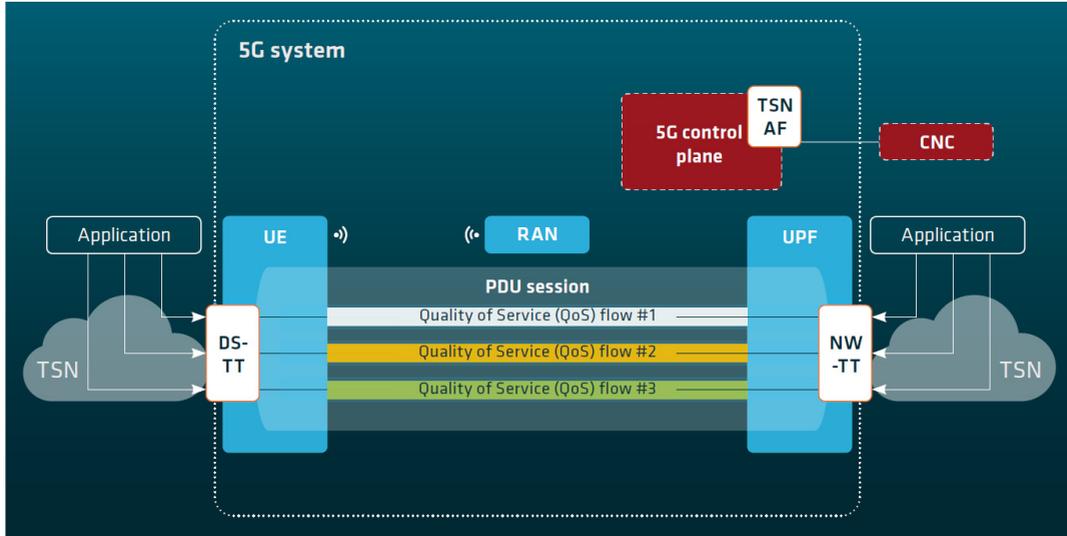
IV. 5G QoS와 시민감 네트워킹

시민감 네트워킹(TSN)은 IEEE에서 결정적이며 안정적인 광대역폭, 저지연 통신을 보장하기 위해 개발한 표준이다. 3GPP에서 TSN에 대한 지원은 Release 16에서 도입되었으며 Release 17에서 확장되었다. 5G 시스템은 IEEE 802.1Qcc의 완전 중앙집중식 TSN 구성 모델을 채택하여 TSN을 통합하였다. 여기서 5G 시스템은 TSN 논리적 브리지처럼 TSN 네트워크와 상호 작용을 한다. 이러한 논리적 TSN 브리지를 5G 시스템 브리지라고도 한다. 여기에는 TSN 네트워크와 상호 작용하기 위한 TSN 변환기(TSN Translator) 기능이 포함된다. TSN 변환기 기능은 다음과 같이 세 개 위치에서 사용할 수 있다[7].

- TSN 응용 기능(Application Function: AF)을 통해 제어 평면에서
- 디바이스 측 TT(Device-Side TSN Translator: DS-TT)를 통해 UE에서
- 네트워크 측 TT(Network-Side TSN Translator: NW-TT)를 통해 UPF(사용자 평면 기능)에서

5G 시스템은 TSN AF를 통해 TSN 애플리케이션(사용자)의 네트워크 자원을 관리하는 중앙집중식 네트워크 구성(Central Network Configuration: CNC) 엔터티와 상호 작용한다. TSN AF와 CNC 간의 인터페이스는 IEEE 802.1Q에서 표준화되었다. 5G 시스템은 포트와 브리지의 이름과 주소, 포트 수, IEEE 802.1AB 링크계층 검색 프로토콜(Link Layer Discovery Protocol: LLDP)과 같은 브리지, 포트 및 토폴로지 정보를 개방하고 TSN AF는 5G 시스템 브리지의 포트 간 최대 지연 보장과 같은 QoS 기능을 개방한다. 5G 시스템 브리지에서 사용하는 포트는 UE 측의 DS-TT 포트 또는 UPF 측의 NW-TT 포트이다. 5G는 또한 트래픽 우선순위를 지정하기 위해 다양한 IEEE 802.1Q 트래픽 클래스 및 IEEE 802.1Q 기반 우선순위 코드 포인트(PCP)를 지원한다. TSN AF를 통해 지원되는 트래픽 클래스도 CNC에게 개방된다.

TSN 트래픽이 5G 시스템 브리지에 도착하면 시스템은 [그림 5]와 같이 해당 PDU 세션의 5G QoS 플로우에 매핑한다. 5G 시스템은 TSN AF를 통해 CNC로부터 TSN 트래픽에 대한 QoS 정보를 수신할 수 있다. TSN AF의 사전 구성된 매핑 테이블은 적절한 5G 시스템 QoS 프로파일을 식별하는 데 사용된다. 수신된 정보를 기반으로 5G 시스템은 각 TSN 스트림에 대해 적절한 QoS 프로파일을 선택하고, 요청된 TSN 스트림을 운반하기 위해 선택한



〈자료〉 5G-ACIA White Paper, "5G QoS for Industrial Automation," 5G-ACIA, 2021.

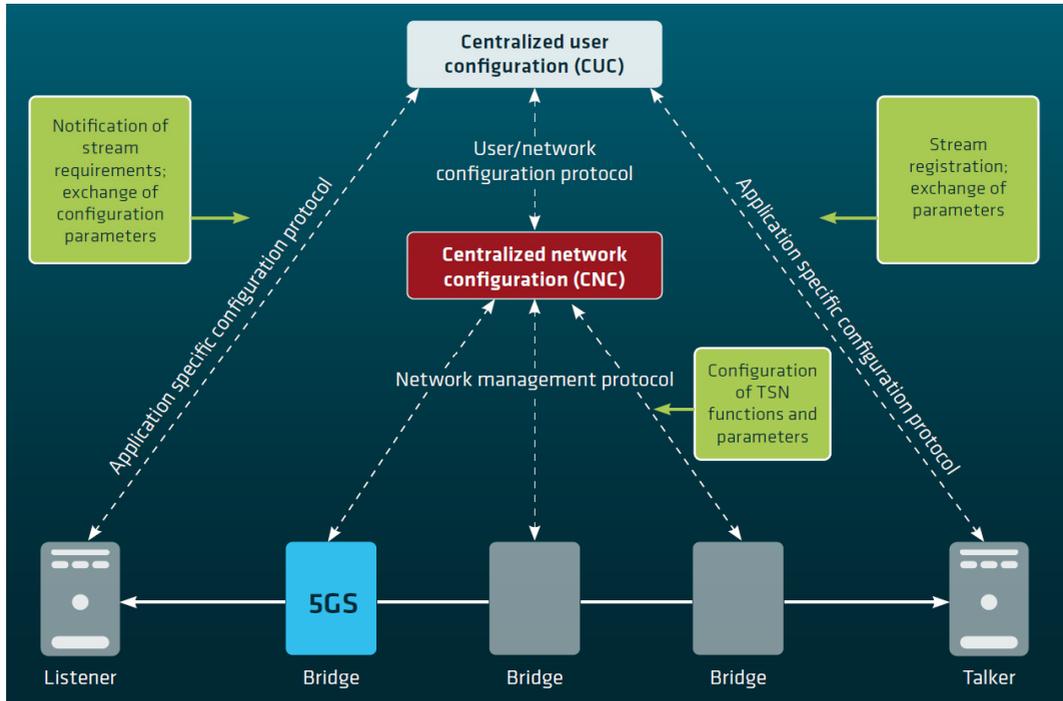
[그림 5] TSN 트래픽과 5G QoS 플로우의 QoS 매핑

QoS 프로파일로 5G QoS 플로우를 설정한다. 주어진 PDU 세션에서 QoS 요구사항이 다른 다양한 TSN 스트림에 대해 여러 5G QoS 플로우를 설정할 수 있다. 5G TSN 브리지 입력에서 패킷 필터에 대한 QoS 및 패킷 검출 규칙을 사용하여 TSN 스트림에 대응하는 5G QoS 플로우를 매핑할 수 있다.

또한, TSN AF는 CNC에서 수신한 스트림별 필터링 및 정책(Per-Stream Filtering and Policy: PSFP) 정보에서 시민감 통신 지원 정보(TSC Assistance Information: TSCAI)를 계산할 수 있다. 그런 다음 이 TSCAI를 5G RAN에 제공하여 주기적이고 결정적인 트래픽 플로우를 보다 효율적으로 스케줄링 할 수 있다.

PSFP 정보는 TSN AF에 의해 TSCAI를 유도하는 데 사용될 수 있으며, TSCAI는 RAN이 TSN 스트림에 대한 효과적인 지원을 제공하기 위해 전송된다. 여기서 TSCAI는 TSN 트래픽의 특성을 설명하는 정보이며 다음과 같이 구성된다.

- 플로우 방향: TSN 플로우(업링크/다운링크) 방향
- 주기성: 두 버스트 데이터 간의 시간 주기
- 버스트 도착 시간: RAN(다운링크) 또는 UE(업링크)의 버스트 데이터 도착 시간
- 생존 시간: 애플리케이션이 버스트 없이 생존할 수 있는 시간



〈자료〉 5G-ACIA White Paper, "5G QoS for Industrial Automation," 5G-ACIA, 2021.

[그림 6] 집중제어 TSN 네트워크의 구성

IEEE 802.1 Qcc 완전 중앙집중식 구성 모델을 기반으로 하는 TSN 네트워크의 예는 [그림 6]과 같다. 중앙집중식 사용자 구성(Centralized user configuration: CUC)은 네트워크에서 애플리케이션의 요구사항을 캡처하여 CNC로 전달한다. CNC는 사전에 네트워크 브리지의 기능과 경계를 파일 디스크립터를 통해 알고 있거나 런타임에 읽을 수 있다. CUC에 표시된 스트림 QoS 요구사항을 충족하기 위해 CNC는 경로, 전송 일정 등을 계산하고, TSN 네트워크에서 선택한 경로를 따라 TSN 브리지를 구성한다. CNC가 생성되면, CUC는 이 사실을 최종 디바이스에게 전달하고 정의한 청취자와 화자 간의 사용자 평면 트래픽 교환을 시작한다.

[그림 6]은 5G-TSN 통합과 관련하여 다른 유선 브리지와 함께 TSN 네트워크의 일부로 역할을 하는 5G 시스템을 나타낸다. 중앙 네트워크 구성(CNC)은 다른 브리지와 유사하게 5G 브리지와 상호 작용한다.

CNC는 브리지(5G 시스템 브리지 포함), 해당 기능 및 네트워크 토폴로지에 대한 정보를

수집한다. 이를 통해 TSN 스트림의 QoS 요구사항을 충족하기 위해 필요한 계산을 수행하고 브리지 및 네트워크 경로를 선택할 수 있다. CNC가 경로 계산과 스케줄링을 마치면 해당 브리지로 구성을 보낸다. 구성에는 IEEE 802.1Qbv에 지정된 대로 트래픽 포워딩 정보, 트래픽 클래스 및 우선순위, 스케줄링 정보, IEEE 802.1Qci에 지정된 PSFP(스트림별 필터링 및 정책) 정보가 포함될 수 있다.

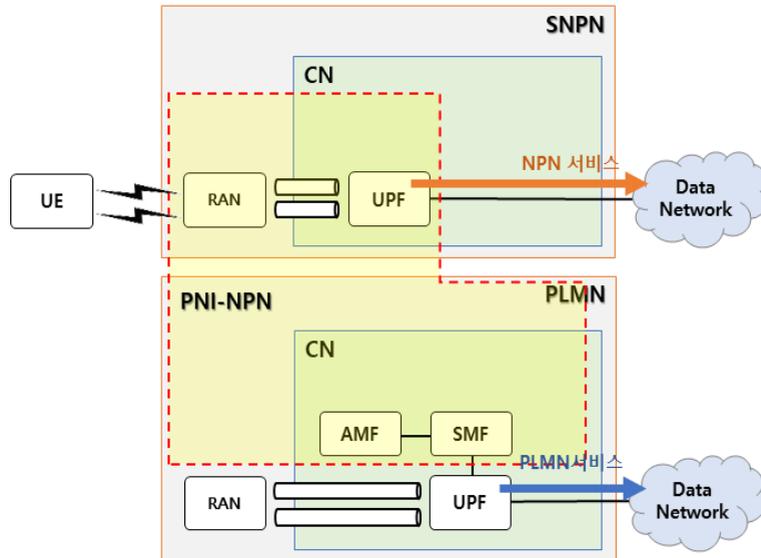
CNC는 TSN AF를 통해 TSN 트래픽을 처리하기 위한 규칙을 제공하고, 5G 시스템은 QoS 플로우를 생성하기 위한 해당 5G QoS 규칙 및 프로파일로 규칙을 변환한다. TSN AF에 의해 사전 구성된 QoS 매핑 테이블은 들어오는 CNC 트래픽 처리에 대한 규칙을 따르는 적절한 5G 시스템 QoS 프로파일을 식별하는 것에 사용된다. 5G 시스템은 이 프로파일을 사용하여 5G 브리지의 수신 포트와 송신 포트 사이에 TSN 트래픽을 전달하기 위한 5G QoS 플로우를 설정한다. UE 및 UPF 측의 패킷 필터를 사용하여 다양한 TSN 스트림을 해당 5G QoS 플로우에 매핑할 수 있다.

TSN AF는 UPF/NW-TT 및 UE/DS-TT 측의 포트에 대한 정보를 가지고 있다. CNC에서 제공하는 PSFP 및 트래픽 전달 정보를 기반으로 TSN AF는 주어진 스트림에 대한 수신 포트와 송신 포트를 식별한다. 업링크 트래픽의 경우 5G 시스템은 CNC에서 제공하는 트래픽 포워딩 정보를 기반으로 트래픽을 적절한 NW-TT 포트에 포워딩한다. 다운링크 트래픽의 경우, TSN AF는 트래픽을 라우팅해야 하는 UE를 식별하기 위해 PDU 세션에서 사용하는 DS-TT MAC 주소를 결정한다.

5G 시스템은 또한 IEEE 802.1Qbv에 정의된 대로 CNC로부터 시간 인식 스케줄링에 대한 구성 정보를 수신할 수 있으며, TSN AF는 이를 DS-TT 및 NW-TT의 관련 송신 포트에 전달할 수 있다. 시간 인식 스케줄링 기능을 사용하려면 IEEE 802.1Qbv에 설명된 보류 및 전달 메커니즘을 지원하기 위해 DS-TT 및 NW-TT 포트가 필요하다.

V. 5G QoS와 비공용 네트워크

비공용 네트워크(NPN)는 사설 사용을 목적으로 폐쇄된 사용자 그룹에게 배포하는 5G 네트워크 시스템이다. IIoT와 관련하여 NPN이 적용되는 여러 시나리오가 있으며, 일반적으로 [그림 7]과 같이 두 가지 유형의 NPN으로 구분할 수 있다[6],[8].



〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성

[그림 7] 비공용 네트워크의 구성

- 독립형 비공용 네트워크(Standalone Non-Public Network: SNPN): PLMN에서 제공하는 기능을 사용하지 비공용 네트워크
- 통합형 비공용 네트워크(PNI-NPN): SNPN과 달리 PLMN에서 제공하는 기능의 전부 또는 일부를 사용하며, 기업과 이동통신사 간의 계약 기반으로 운영됨

SNPN은 특정 그룹 또는 기업이 소유한 RAN, CN을 포함하여 5G 비공용 네트워크를 구축한다. 여기서 5G NPN 서비스는 해당 그룹/기업의 가입자만 전용으로 사용할 수 있다. SNPN은 PLMN 식별자와 사설망 식별자가 결합된 정보로 구분된다. 여기서 PLMN 식별자는 이동통신망을 식별하는 정보이고, 사설망 식별자는 글로벌하게 유일한 값 또는 PLMN 내부에서 유일한 값이다. SNPN을 사용하는 기업은 SNPN 제어 평면과 사용자 평면에 대한 구성, 문제 해결, 성능 모니터링 및 네트워크 유지 관리를 책임진다. 애플리케이션이 네트워크에 액세스하고 필요한 QoS를 요청하려면 5G 시스템에서 UE 가입 및 QoS 프로파일을 구성되어야 한다. 이것은 일반적으로 네트워크 개방 기능(Network Exposure Function: NEF) 등의 표준 인터페이스 또는 비표준 인터페이스를 통해 수행된다. SNPN은 UE 가입 및 서비스 품질 보장 등 여러 네트워크 기능에 대한 제어 권한을 기업에게 부여하여 큰 유연

성을 제공하는 반면에 관리하기가 어려운 단점이 있다.

PNI-NPN는 이동통신사업자가 소유한 RAN, CN에 네트워크 슬라이싱을 적용하여 5G NPN 서비스를 제공한다. PNI-NPN는 S-NSSAI 또는 S-NSSAI/DNN 정보를 참조하여 네트워크 슬라이스를 선택한다. 네트워크 기능은 기업 내 또는 이동통신사의 구내 또는 둘 모두에 배포할 수 있다. 특정 네트워크 기능이 정확하게 배포되는 위치는 지연시간, 개인 정보 보호, 보안 고려 사항에 따라 달라질 수 있다. IIoT 애플리케이션이 네트워크에 액세스하려면 사용하는 5G 호환 UE에 대해 이동통신사로부터 가입을 받아야 한다. PNI-NPN 디바이스는 SNPN과 마찬가지로 NEF 등 표준 인터페이스 또는 비표준 인터페이스를 통해 구성된다. PNI-NPN은 여러 캠퍼스에 배포하는 경우에 더욱 간단하고 비용 효율적인 솔루션일 수 있지만 구성 범위는 더 제한적일 수 있다.

대기업의 경우 여러 캠퍼스를 상호 연결하는 것이 필요할 수 있다. 이 경우 QoS는 이들 캠퍼스를 연결하는 링크와 관련이 있고, 애플리케이션은 각 개별 캠퍼스뿐만 아니라 캠퍼스 간 링크에 대한 QoS 요구사항을 충족해야 한다. SNPN의 경우 기업 자체에서 캠퍼스 간 링크를 구축하거나 서비스 제공업체로부터 회선을 임대하여 모든 QoS 요구사항이 충족되도록 해야 한다. PNI-NPN은 모든 캠퍼스 영역을 포함하므로 동일한 모바일 운영자가 관리할 수 있어서 단일 캠퍼스 내 또는 여러 캠퍼스 간의 연결이 포함되는지 여부에 관계없이 QoS 요구사항을 쉽게 조정할 수 있다.

VI. 결론

본고는 산업 네트워크의 분야별 특성에 적합한 요구사항 분석을 시작으로 5G-TSN 시스템 표준규격을 완료하고, 다양한 시간민감형 통신 서비스 지원을 위해 표준화를 진행 중인 3GPP 규격이 적용되는 사례를 IIoT 애플리케이션 관점에서 살펴보았다.

5G IIoT 기술을 적용한 스마트 공장의 대표적인 사례[9]에서 알 수 있는 바와 같이 IIoT를 통해 각종 생산설비에 지능형 로봇을 적용하여 각 공정 설비에서 발생하는 데이터를 생성, 수집하고 분석 및 기계학습을 통해 공장의 생산량 최대화와 사후 고장 예측 등을 수행할 수 있다. 또한, 생산 라인에서 제품 품질을 측정 및 분석하여 불량품을 자동으로 검출해내거나 기계학습 알고리즘을 통해서 생산 효율성을 향상하는데 기여할 수 있을 것이다.

본 고는 특히 스마트 공장의 IIoT 애플리케이션이 5G 시스템에서 PDU 세션과 QoS 플로우를 설정하는 방법과 TSN 트래픽이 어떻게 5G QoS와 매핑되는지 소개함으로써, 무인 로봇과 같은 단말이 어떻게 5G 서비스를 이용할 수 있는지 알 수 있었다. 이러한 시도는 5G 네트워크뿐만 아니라 5G 단말 개발에 도움이 될 것으로 기대된다. 향후 스마트 공장을 위한 자동화 요구 수준은 서비스 상용화가 보급이 확대됨에 따라서 더 높은 수준을 요구할 것으로 예상된다. 따라서 현재의 5G 기술에 만족하지 않고 5G-Advanced 그리고 6G 기술로 발전하려는 노력은 시장의 요구가 있는 한 계속될 것이다.

● 참고문헌

- [1] 김경수 외, “5G 모바일 네트워크의 Industrial IoT 표준기술 동향,” 한국전자통신연구원, 전자통신동향분석, 제36권 제6호, 2021, pp.13-24.
- [2] 3GPP, Technical Specification 23.501 “System Architecture for the 5G System(5G System); Stage 2,” 3GPP TS 23.501 V.17.1.1, June 2021.
- [3] 3GPP, Technical Specification 23.502 “Procedures for the 5G System(5G system); Stage 2,” 3GPP TS 23.502 V.17.1.0, June 2021.
- [4] 5G-ACIA, “5G QoS for Industrial Automation,” 5G-ACIA White Paper, November 2021.
- [5] GSMA, “Generic Network Slice Template”, GSMA NG.116 version 5.0, June 2021.
- [6] 김정윤, “5G 사설망을 위한 네트워크 슬라이싱 표준기술,” 정보통신기획평가원, 주간기술동향, August 2021, pp.13-28.
- [7] 5G-ACIA, “Integration of 5G with Time-Sensitive Networking for Industrial Communications,” 5G-ACIA White Paper, February 2021.
- [8] 5G-ACIA, “5G Nonpublic Networks for Industrial Scenarios”, 5G-ACIA white paper, July 2021.
- [9] 조영빈, “지능형 사물인터넷 산업 동향,” 정보통신기획평가원, 주간기술동향, November 2021, pp.2-17.