

An Efficient PDU Session Management for On-demand Network Slicing in 5G Networks

Jae-Hyun Kim*

*Associate Professor, Dept. of Digital ICT Engineering, Gyeongbuk National University, Andong, Korea

[Abstract]

In this study, we propose an efficient PDU session management for on-demand network slicing in 5G networks to support the PDU session continuity of a specific service. The main idea is to keep establishing an Always-on PDU session for a specific service to provide service continuity. If a slice deregistration inactivity timer associated with an On-demand S-NSSAI is running in a UE and 5G network and an Always-on PDU session needs to be established for a delay sensitive service, the proposed scheme reduces the delay for the delay sensitive service by stopping the slice deregistration inactivity timer associated with the On-demand S-NSSAI and promptly establishing the Always-on PDU session. Through simulation, we show that the proposed session management scheme minimizes the service delay of delay sensitive applications and unnecessary signaling overhead compared to existing 3GPP operations.

▶ **Key words:** PDU Session, S-NSSAI, Network Slicing, 5G, 3GPP

[요 약]

본 논문에서는 특정 서비스의 PDU 세션 연속성을 지원하기 위해서 5G 네트워크에서 주문형 네트워크 슬라이싱을 위한 효율적인 PDU 세션 관리를 제안한다. 제안하는 기법의 핵심 사항은 서비스 연속성을 제공하기 위해서 특정 서비스를 위한 항상-온 PDU 세션을 계속 설정할 수 있는 것이다. 만약 단말과 5G 네트워크상에 주문형 S-NSSAI와 연관된 슬라이스 해지 비활동 타이머가 동작하고 있고 지연 민감 서비스를 위한 항상-온 PDU 세션이 설정될 필요가 있는 경우, 제안하는 기법은 주문형 S-NSSAI와 연관된 슬라이스 해지 비활동 타이머를 중지시키고 신속하게 항상-온 PDU 세션을 설정하는 방식이다. 시뮬레이션을 통해서 제안하는 세션 관리 기법이 기존의 3GPP 동작 방식에 비교하여 지연 민감 응용들의 서비스 지연 및 불필요한 시그널링 오버헤드를 최소화할 수 있음을 확인하였다.

▶ **주제어:** PDU 세션, S-NSSAI, 네트워크 슬라이싱, 5G, 3GPP

-
- First Author: Jae-Hyun Kim, Corresponding Author: Jae-Hyun Kim
 - Jae-Hyun Kim (jaekim@anu.ac.kr), Dept. of Digital ICT Engineering, Gyeongbuk National University
 - Received: 2026. 07. 01, Revised: 2026. 07. 15, Accepted: 2026. 07. 31.

I. Introduction

5G 이동통신 시스템은 초연결성, 초고속, 초신뢰저지연의 핵심 기술 기반으로 다양한 버티컬 서비스 요구사항을 충족시킬 수 있는 기본 인프라 네트워크를 제공한다. 네트워크 슬라이싱(Network Slicing)은 5G 이동통신 시스템에서 가장 중요한 요소 기술로써 가상화(Virtualization) 및 SDN(Software Defined Network)을 기반으로 네트워크를 논리적으로 분리 관리 운영하는 기술이다 [1-6].

네트워크 슬라이싱은 하나의 물리적인 네트워크를 여러 개의 논리적인 가상의 네트워크로 나누는 것을 의미한다. 클라우드 컴퓨팅과 가상화 기술을 바탕으로 사용자 요구 변화에 따라서 공유된 물리적 네트워크 자원들은 동적으로 그리고 효과적으로 논리적 네트워크 슬라이스들에 할당될 수 있다 [7-11].

현재 3GPP(3rd Generation Partnership Project) 규격에는 항상-온 PDU 세션(Always-on PDU(Protocol Data Unit) Session) 설정 시 관련 네트워크 슬라이싱이 주문형 S-NSSAI 기반인 경우, 주문형 S-NSSAI와 슬라이스 해제 비활성 타이머가 만료됨에 따라서 주문형 S-NSSAI가 삭제되어 항상-온 PDU 세션이 해제되게 된다. 이렇게 함으로써 항상-온 PDU 세션에 기반한 데이터 서비스가 중단되며, 재개하기까지 비효율적인 세션 재연결 소요 시간으로 인한 서비스 연속성을 악화시키게 된다. 또한, 비효율적인 세션 재연결에 따른 시그널링 오버헤드가 발생한다. 본 논문에서는 이러한 비효율적인 동작에 대한 개선된 항상-온 PDU 세션 관리 방안을 제안하여 서비스 연속성 향상 및 시그널링 오버헤드 최소화를 성취하고자 한다.

본 논문에서는 먼저, 3GPP 5G 네트워크에서의 네트워크 슬라이싱 기술을 소개하고, 주문형 네트워크 슬라이싱의 개념 및 문제점을 살펴본다. 이후, 효율적인 주문형 네트워크 슬라이싱 제어를 위한 개선된 세션 관리 방안을 제안하고 그 성능을 비교하여 살펴본다. 마지막으로, 향후 5G 네트워크에서 다양한 구성 시나리오 상황을 고려한 최적화된 네트워크 슬라이싱 세션 관리 기법의 개선 방향에 대해서 고찰해본다.

II. Preliminaries

1. Related works

1.1 Network Slicing in 3GPP 5G Networks

3GPP 5G 네트워크에서 네트워크 슬라이싱은 S-NSSAI(Single Network Slice Selection Assistance Information) 기반으로 동작한다. S-NSSAI는 3GPP 5G 네트워크에서 네트워크 슬라이스를 구분하는 정보이다. S-NSSAI는 하나의 SST(Slice/Service type)와 하나의 SD(Slice Differentiator)로 구성된다. SST는 서비스 특성을 고려한 네트워크 슬라이스 동작을 의미하며, SD는 같은 SST의 네트워크 슬라이스들을 구분할 수 있는 보조 정보이다 [12-15]. 예를 들면 같은 V2X(Vehicle to Everything) SST를 갖는 네트워크 슬라이스가 두 개 있을 때 이 두 개의 네트워크 슬라이스를 기아자동차와 현대자동차로 구분할 때 SD 정보를 사용하여 구별할 수 있다. 더불어, SST는 필수적으로 사용되는 네트워크 슬라이스 정보이나 SD는 선택적으로 사용될 수 있다. NSSAI(Network Slice Selection Assistance Information)는 여러 개의 S-NSSAI 정보 모음을 의미한다. 표 1은 현재 3GPP 표준에서 정의한 SST 값을 보여주고 있다.

Table 1. Standardized SST values in 3GPP 5G Networks

Slice/Service type	SST value	Characteristics
eMBB	1	Slice for 5G enhanced Mobile Broadband
URLLC	2	Slice for Ultra-Reliable Low Latency Communications
mIoT	3	Slice for massive IoT
V2X	4	Slice for V2X services
HMTC	5	Slice for High-Performance Machine-Type Communications
HDLLC	6	Slice for High Data rate and Low Latency Communications
GBRSS	7	Slice for Guaranteed Bit Rate Streaming Service

그림 1은 3GPP 5G 네트워크에서의 네트워크 슬라이싱 구조를 보여준다 [14].

NSSAAF(Network Slice-specific and SNPN Authentication and Authorization Function)는 네트워크 슬라이스 관련 인증 및 권한 부여를 담당하는 네트워크 엔티티(Entity)이다. NSSF(Network Slice Selection Function)는 네트워크 슬라이스 사용 선택을 담당하는 네

트위크 엔티티이다. AUSF(Authentication Server Function)는 단말의 인증을 담당하는 네트워크 엔티티이다. UDM(Unified Data Management)은 가입자 정보 등이 저장된 데이터베이스 서버 관련 네트워크 엔티티이다.

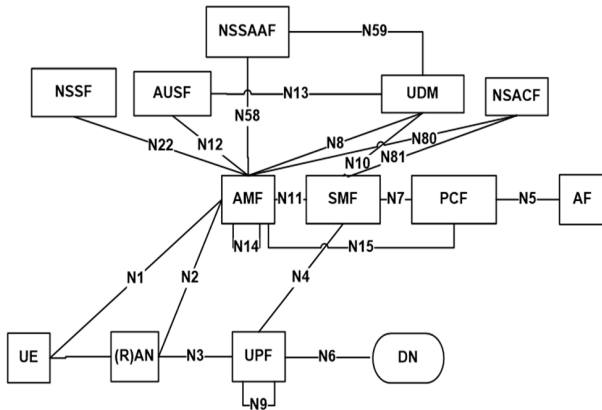


Fig. 1. Network Slicing Architecture in 3GPP 5G Networks

NSACF(Network Slice Admission Control Function)는 네트워크 슬라이스 사용 제한 제어를 담당하는 네트워크 엔티티이다. AMF(Access and Mobility Management Function)와 SMF(Session Management Function)는 단말에 S-NSSAI, NSSAI 등의 정보를 제공 및 처리 제어하는 네트워크 엔티티이다. PCF(Policy Control Function)는 이동통신 사업자 정책 관리 제어를 담당하는 네트워크 엔티티이다. AF(Application Function)는 5G 핵심 망과 외부 응용을 연결해주는 역할을 하는 네트워크 엔티티이다. UE(User Equipment)는 단말을 의미하며, (R)AN(Radio Access Network)는 기지국을 포함하는 무선망, UPF(User Plane Function)는 데이터 전송을 DN(Data Network)에 전달 혹은 수신하여 단말에 전달하는 역할을 담당하는 네트워크 엔티티이다 [14-15].

또한, NSSAI와 S-NSSAI는 여러 가지 형태로 3GPP 5G 핵심망 및 단말에서 사용될 수 있으며, 표2에서 정리되어 보여주고 있다. 우선, 설정 NSSAI(A configured NSSAI)는 이동통신망에서 제공되어 단말에 설정된 NSSAI를 의미한다. 기본 설정 NSSAI(A default configured NSSAI)는 가입자 이동통신망에서 제공되어 단말에게 기본값으로 설정된 NSSAI를 의미한다. 요청 NSSAI(A requested NSSAI)는 단말에 네트워크에 사용 요청을 하는 NSSAI를 의미하며, 허용 NSSAI(An allowed NSSAI)는 네트워크가 단말에 사용 허락을 하는 NSSAI를 의미한다. 부분 허용 NSSAI(A partially allowed NSSAI)는 현재 등록 지역의 일부 TAs(Tracking Areas)에서만

사용이 가능하게 한 NSSAI를 의미하며 대체 S-NSSAI(An alternative S-NSSAI)는 이용할 수 없거나 혼잡상황에서 대체하는 S-NSSAI를 의미한다. 마지막으로, 주문형 S-NSSAI(An on-demand S-NSSAI)는 단말이 필요할 때 특정 S-NSSAI의 사용을 네트워크에 요청하는 S-NSSAI를 의미하고, 거절 NSSAI(A rejected NSSAI)는 네트워크가 단말이 요청한 NSSAI를 사용 거절한 NSSAI를 의미한다 [14-17].

Table 2. Identification and Selection of a Network Slice in 3GPP 5G System

Identification and Selection of a Network Slice	Meaning
A configured NSSAI	a NSSAI provided and configured to a UE by the serving PLMN
A default configured NSSAI	a NSSAI provided and configured to a UE by the home PLMN
A requested NSSAI	a NSSAI for a 5G network when a UE makes a connection request to the 5G network for a specific network slice
An allowed NSSAI	a NSSAI used by a UE when the 5G network allows the UE to connect to a specific network slice
A partially allowed NSSAI	the S-NSSAI values the UE could use in the serving PLMN in some of TAs (Tracking Areas) in the current registration area
An alternative S-NSSAI	a compatible S-NSSAI for an S-NSSAI in the allowed NSSAI that the AMF uses to replace an S-NSSAI when the S-NSSAI is not available or congested
An on-demand S-NSSAI	an S-NSSAI included in the configured NSSAI that the UE supporting network slice usage control is allowed to request only when this S-NSSAI is used by the UE to establish a PDU session for user data transmission
A rejected NSSAI	a NSSAI not used by a UE when the 5G network rejects the UE to connect to a specific network slice

1.2 On-demand Network Slicing

주문형 네트워크 슬라이싱(On-demand Network Slicing)이란 필요한 시점에 동적으로 네트워크 슬라이싱을 할당 사용하는 것을 의미한다 [12-14].

5G 이동통신 네트워크에서 네트워크 슬라이스 사용 제어(network slice usage control)는 단말이 허가된 특정 네트워크 슬라이스만 사용하도록 제어하는 것을 의미한다. 이때 특정 네트워크 슬라이스는 주문형 S-NSSAI(on-demand S-NSSAI) 사용을 의미하며, 주문형 S-NSSAI는 단말이 필요할 때 특정 S-NSSAI의 사용을 네트워크에 요청하는 메커니즘이다 [12-14].

한편, 항상-온 PDU 세션 (Always-on PDU(Protocol Data Unit) Session)은 시간 민감형 통신(TSC; Time-Sensitive Communication) 및 시간 민감형 네트워크(TSN; Time-Sensitive Network)와 같은 초저지연 신뢰성 통신(URLLC; Ultra-Reliable and Low Latency Communication) 서비스 제공을 위해서 한번 설정되면 (즉, 유휴 모드(CM-IDLE; Connection Management-IDLE mode)에서 연결 모드(CM-CONNECTED; Connection Management-CONNECTED mode) 상태로 전환될 때마다) 사용자 평면 자원이 활성화되어야만 한다 [12-17]. 즉, 세션이 해제되기 전까지 항상 활성화가 유지되어야 하는 중요한 PDU 세션이다. 다음 장에서 주문형 네트워크 슬라이싱에서 항상-온 PDU 세션을 사용하는 경우 세션이 해제가 발생할 수 있다. 이렇게 항상-온 PDU 세션이 중간에 해제가 되는 경우 초저지연 신뢰성 통신 응용의 QoS(Quality of Service)에 심각한 저하를 초래하는 문제가 발생할 수 있다.

III. The Proposed Scheme

전술하였듯이, 3GPP 5G 네트워크의 주문형 네트워크 슬라이싱에서 항상-온 PDU 세션을 사용하는 경우 세션이 해제가 발생할 수 있다. 현재 3GPP 기술 규격에는 단말과 5G 네트워크가 주문형 네트워크 슬라이싱을 지원하는 경우 항상-온 PDU 세션을 사용했을 때 PDU 세션이 해제되는 상황에 대한 동작에 대해서 불명확하다. 다음 장에서는 이러한 문제점을 분석 고찰해보고, 해결 방안 및 제안하는 ESMONS(Efficient PDU Session Management for On-demand Network Slicing) 방법에 대해서 살펴본다.

1. Problem statement

5G 네트워크 및 단말이 네트워크 슬라이스 사용 제어를 지원하는 경우, 단말은 주문형 S-NSSAI(on-demand S-NSSAI)를 NAS(Non-Access-Stratum) 등록 요청(Registration request) 메시지의 요청 NSSAI에 포함하여 네트워크에 요청할 수 있다. 주문형 S-NSSAI란 네트

워크 슬라이스 사용 제어를 지원하는 단말이 특정 데이터 전송을 위하여 PDU 세션을 설정하기 위해서 사용하고자는 S-NSSAI를 의미하며, 네트워크 슬라이스 사용 제어를 지원하는 네트워크는 단말이 요청한 주문형 S-NSSAI를 NAS 등록 수락(Registration Accept) 메시지에 포함하여 제공하며, 주문형 S-NSSAI를 모니터링 관리하게 된다. 이때, 추가로 슬라이스 해제 비활성 타이머(slice deregistration inactivity timer)를 포함하여 단말에 제공할 수 있으며, 단말은 네트워크로부터 받은 슬라이스 해제 비활성 타이머값으로 슬라이스 해제 비활성 타이머를 동작시킨다. 슬라이스 해제 비활성 타이머가 만료되면, 단말은 자체적으로 상기 주문형 S-NSSAI를 허용 NSSAI로부터 제거한다. 네트워크도 자체적으로 상기 주문형 S-NSSAI를 제거하여 NAS 설정 업데이트 명령(configuration update command) 메시지를 통하여 업데이트된 허용 NSSAI 정보를 단말에 제공 업데이트한다.

하지만, 현재 3GPP 규격에는 항상-온 PDU 세션 설정 시 관련 네트워크 슬라이싱이 주문형 S-NSSAI 기반인 경우, 어떻게 단말과 네트워크가 동작해야 할지 불명확하다. 구체적으로, 이러한 상황에서 항상-온 PDU 세션 및 슬라이스 해제 비활성 타이머에 대해서 어떻게 처리할지에 대해서 3GPP 기술 규격에 명확히 정의되어 있지 않다. 따라서, 다음과 같은 문제 시나리오가 발생한다.

1) 5G 시스템상의 단말과 네트워크는 네트워크 슬라이스 사용 제어를 지원한다. 단말은 NAS 등록 요청 메시지를 통해서 네트워크에 주문형 S-NSSAI를 요청하고 등록 수락 메시지 혹은 설정 업데이트 명령 메시지를 통해서 주문형 S-NSSAI 및 슬라이스 해제 비활성 타이머를 함께 네트워크로부터 받게 된다. 이때, 주문형 S-NSSAI를 요청하기 위해서 네트워크 슬라이스 사용 제어 지원(network slice usage control supported) 정보를 NAS 등록 요청 메시지에 5GMM(5G Mobility Management) 능력(capability) 정보요소(IE; Information Element)에 포함하여 네트워크에 전송된다. 네트워크 슬라이스 사용 제어 지원 정보를 받은 네트워크는 단말에 NAS 등록 허락 메시지의 주문형 NSSAI(on-demand NSSAI) 정보요소에 주문형 S-NSSAI 및 슬라이스 해제 비활성 타이머 값을 포함하여 단말에 제공한다.

2) 단말은 특정 데이터 서비스를 받기 위해서 네트워크로부터 받은 주문형 S-NSSAI 관련 항상-온 PDU 세션 설정 절차를 수행하여 항상-온 PDU 세션을 설정한다. 이때, 단말은 NAS PDU 세션 설정(PDU Session Establishment) 요청 메시지에 주문형 S-NSSAI 관련 항

시-온 PDU 세션 설정 요청을 위해서 항상-온 PDU 세션 요청 정보(Always-on PDU session requested)를 정보 요소에 포함하여 네트워크에 전송한다. 네트워크는 단말에 NAS PDU 세션 수락 메시지에 항상-온 PDU 세션 인디케이션 정보요소에 항상-온 PDU 세션 요구됨(Always-on PDU session required) 정보를 포함하여 단말에 제공한다. 더불어 네트워크로부터 받은 슬라이스 해제 비활성 타이머를 동작시킨다. 또한 네트워크도 슬라이스 해제 비활성 타이머를 동작시키며, 단말의 네트워크 슬라이스 사용을 관찰한다.

한편, 단말 NAS PDU 세션 설정 메시지는 네트워크 AMF 엔티티가 수신하여 Nsmf_PDUSession_CreateSMContext 요청 메시지에 담겨서 PDU 세션 설정 관리를 담당하는 네트워크 SMF 엔티티에 전송하게 되며, SMF는 관련 처리를 수행하고 단말에 NAS PDU 세션 수락 메시지를 전송하게 되는데, 이 NAS PDU 세션 수락 메시지는 Nsmf_PDUSession_CreateSMContext 응답 메시지에 담겨서 AMF에 전송하게 되고 AMF는 여기서 NAS PDU 세션 수락 메시지를 단말에 전송하게 된다.

3) 네트워크도 슬라이스 해제 비활성 타이머가 만료되면, 단말과 네트워크는 주문형 S-NSSAI 정보를 허용 NSSAI 리스트 상에서 자체적으로 제거하고 업데이트된 허용 NSSAI 정보를 서로 주고받아서 업데이트한다. 이때 업데이트된 주문형 S-NSSAI 관련 허용 NSSAI 정보는 NAS 설정 업데이트 명령(Configuration Update Command) 메시지에 포함하여 업데이트된다. 하지만, 이렇게 되면, 주문형 S-NSSAI 기반 항상-온 PDU 세션도 해제가 비활성화 된다.

만약, 슬라이스 해제 비활성 타이머가 만료됨과 상관없이 항상-온 PDU 세션을 유지하고 싶은 경우에는 현재 3GPP 기술 규격에는 처리 방안이 기술되어 있지 않다. 만약, 네트워크도 슬라이스 해제 비활성 타이머가 만료됨에 따라서, 주문형 S-NSSAI가 삭제되 항상-온 PDU 세션이 해제되어 비활성화된 후, 업데이트된 허용 NSSAI 정보에 기반하여 다시 항상-온 PDU 세션을 설정하는 경우, 항상-온 PDU 세션에 기반한 데이터 서비스가 중단되며, 재개하기까지 비효율적인 세션 재연결 소요 시간으로 인한 서비스 연속성을 악화시키게 된다. 또한, 비효율적인 세션 재연결에 따른 시그널링 오버헤드가 발생한다. 따라서, 불필요한 시그널링 오버헤드 야기 및 항상-온 PDU 세션 기반 서비스 연속성을 보장할 수가 없으며, 결론적으로 상당히 비효율적이고 서비스 QoS 보장을 못 하게 된다.

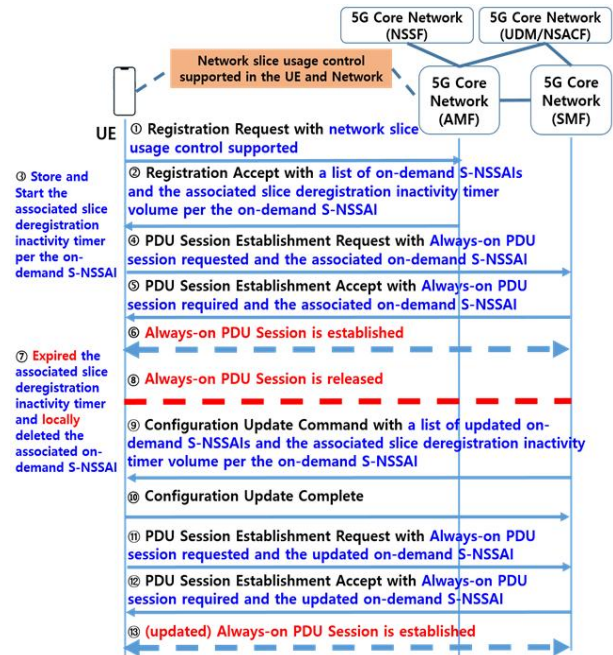


Fig. 2. Problem Scenario

결론적으로, 단말과 네트워크 간의 네트워크 슬라이스 사용 제어를 지원하는 경우, 주문형 S-NSSAI와 슬라이스 해제 비활성 타이머 동작에 따른 단말의 항상-온 PDU 세션 관련 PDU 세션 설정 및 수정 요청 절차를 수행하는 경우, 비효율적인 동작에 의한 초저지연 서비스 연결 문제, 시그널링 오버헤드 및 리소스 낭비가 야기되므로, 이에 대한 효율적이고 명확한 처리 해결 방안이 꼭 필요하다.

2. Proposed scheme

본 논문에서는 전술한 문제를 해결하기 위해서 주문형 네트워크 슬라이싱을 위한 효율적인 PDU 세션 관리 (ESMONS; Efficient PDU Session Management for On-demand Network Slicing) 방안을 제안한다.

제안하는 ESMONS 기법은 단말과 네트워크 간의 네트워크 슬라이스 사용 제어를 지원하는 경우, 주문형 S-NSSAI와 슬라이스 해제 비활성 타이머 동작에 따른 단말의 항상-온 PDU 세션 관련 PDU 세션 설정 및 수정 요청 절차를 수행할 때, 슬라이스 해제 비활성 타이머 동작 중지 인디케이션(slice deregistration inactivity timer stop indication)을 제공하여 슬라이스 해제 비활성 타이머 동작을 중지하고, 항상-온 PDU 세션 관련 PDU 세션 설정 및 수정 요청을 진행 완료한다. 이후, 항상-온 PDU 세션 관련 데이터 전송 이후, 항상-온 PDU 세션이 해제 완료 후에 다시 슬라이스 해제 비활성 타이머 동작을 재개한다. 이렇게 함으로써, 항상-온 PDU 세션 기반 서비스

연속성을 보장하게 된다.

현재 3GPP 기술 규격에는 만약, 네트워크도 슬라이스 해제 비활성 타이머가 만료될 때 주문형 S-NSSAI가 삭제된 항시-온 PDU 세션이 해제되어 비활성화된 후, 업데이트된 허용 NSSAI 정보에 기반하여 다시 항시-온 PDU 세션을 설정하는 경우, 항시-온 PDU 세션에 기반한 데이터 서비스가 중단되며, 재개하기까지 비효율적인 세션 재연결 소요 시간으로 인한 서비스 연속성을 악화시키게 된다. 또한, 세션 재연결로 인한 불필요한 시그널링 오버헤드가 발생한다. 본 논문에서 제안하는 ESMONS 기법은 슬라이스 해제 비활성 타이머 동작 중지 인디케이션(slice deregistration inactivity timer stop indication)을 제공하여 슬라이스 해제 비활성 타이머 동작을 중지하고, 항시-온 PDU 세션 관련 PDU 세션 설정 및 수정 요청을 진행 완료한다. 이후, 항시-온 PDU 세션 관련 데이터 전송 이후, 항시-온 PDU 세션이 해제 완료 후에 다시 슬라이스 해제 비활성 타이머 동작을 재개한다. 따라서, 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션 유지를 보장하며, 불필요한 세션 재개로 인한 시그널링 오버헤드 발생을 방지한다. 제안하는 ESMONS 기법의 자세한 동작은 다음과 같다.

1) 3GPP 5G 네트워크에서 단말과 네트워크는 네트워크 슬라이스 사용 제어를 지원할 수 있다. 단말이 네트워크 슬라이스 사용 제어를 지원하는 경우, 단말은 NAS 등록 요청, 혹은 설정 업데이트 완료 메시지에 주문형 S-NSSAI 정보를 네트워크에 요청할 수 있으며, 네트워크는 주문형 S-NSSAI 정보를 NAS 등록 허락, 혹은 설정 업데이트 명령 메시지에 포함하여 단말에 제공할 수 있으며, 주문형 S-NSSAI를 모니터링 관리하게 된다. 주문형 S-NSSAI란 네트워크 슬라이스 사용 제어를 지원하는 단말이 특정 데이터 전송을 위하여 PDU 세션을 설정하기 위해서 사용하고자 하는 S-NSSAI를 의미한다. 이때, 네트워크는 추가로 슬라이스 해제 비활성 타이머값을 NAS 등록 허락 및 설정 업데이트 명령 메시지에 포함하여 단말에 제공할 수 있다. 주문형 S-NSSAI를 요청하기 위해서 네트워크 슬라이스 사용 제어 지원(network slice usage control supported) 정보를 NAS 등록 요청 메시지에 5GMM(5G Mobility Management) 능력(capability) 정보 요소(IE; Information Element)에 포함하여 네트워크에 전송된다. 네트워크 슬라이스 사용 제어 지원 정보를 받은 네트워크는 단말에 NAS 등록 허락 메시지의 주문형 S-NSSAI(on-demand NSSAI) 정보요소에 주문형 S-NSSAI 및 슬라이스 해제 비활성 타이머 값을 포함하여 단말에게 제공한다.

단말은 네트워크로부터 받은 슬라이스 해제 비활성 타이머값으로 슬라이스 해제 비활성 타이머를 동작시킨다. 슬라이스 해제 비활성 타이머가 만료되면, 단말은 자체적으로 상기 주문형 S-NSSAI를 허용 NSSAI에서 제거한다. 네트워크도 자체적으로 상기 주문형 S-NSSAI를 제거하여 NAS 설정 업데이트 명령 메시지를 통하여 업데이트된 허용 NSSAI 정보를 단말에 제공한다.

2) 단말은 네트워크로부터 주문형 S-NSSAI 정보와 추가로 슬라이스 해제 비활성 타이머 정보를 받은 경우, 단말은 NAS 등록 요청 메시지에 주문형 S-NSSAI 정보를 요청 NSSAI 정보에 포함하여 네트워크에 전달한다. 이후 네트워크는 단말의 주문형 S-NSSAI 사용 요청을 인지하며, NAS 등록 허락 메시지에 응답으로 주문형 S-NSSAI 사용을 허락한다. 또한, 단말과 네트워크는 슬라이스 해제 비활성 타이머값 정보에 기반하여 서로 각각 슬라이스 해제 비활성 타이머를 동작시키고, 네트워크는 주문형 S-NSSAI 사용을 관찰한다. 이후, 단말은 특정 데이터 전송을 위하여 PDU 세션을 설정하기 위해서 주문형 S-NSSAI와 연관된 NAS PDU 세션 설정 혹은 수정 요청을 할 수 있다. 이후, 네트워크로부터 주문형 S-NSSAI와 연관된 NAS PDU 세션 설정 허락 혹은 수정 명령 메시지를 전달받은 후, 주문형 S-NSSAI와 연관된 PDU 세션을 통해서 데이터 전송 및 수신을 수행하게 된다.

단말은 초저지연 서비스 등의 연결을 위해서 네트워크로부터 받은 주문형 S-NSSAI 관련 항시-온 PDU 세션 설정 및 수정 절차를 수행하여 항시-온 PDU 세션을 설정한다. 단말 응용 계층에서 항시-온 PDU 세션 설정 및 수정 요청을 단말 NAS 계층에게 전달하게 되고 단말 NAS는 이를 위해서 NAS PDU 세션 설정(PDU Session Establishment) 및 수정(Modification) 요청 메시지에 주문형 S-NSSAI 관련 항시-온 PDU 세션 설정 요청을 위해서 항시-온 PDU 세션 요청 정보(Always-on PDU session requested)를 정보요소에 포함하여 네트워크에 전송한다. 이때, 추가로 슬라이스 해제 비활성 타이머 중지 인디케이션을 정보요소에 포함하여 네트워크에 전송한다. 네트워크는 단말에 NAS PDU 세션 수락 메시지에 항시-온 PDU 세션 인디케이션 정보요소에 항시-온 PDU 세션 요구됨(Always-on PDU session required) 정보를 포함하여 단말에 제공한다.

한편, 단말 NAS PDU 세션 설정 메시지는 네트워크 AMF 엔티티가 수신하여 Nsmf_PDUSession_CreateSMContext 요청 메시지에 담겨서 PDU 세션 설정 관리를 담당하는 네트워크 SMF 엔티티에 전송하게 되며, SMF는 관련 처리를 수행하

고 단말에 NAS PDU 세션 수락 메시지를 전송하게 되는데, 이 NAS PDU 세션 수락 메시지는 Nsmf_PDU_Session_CreateSMContext 응답 메시지에 담겨서 AMF에 전송하게 되고 AMF는 여기서 NAS PDU 세션 수락 메시지를 단말에 전송하게 된다.

더불어 네트워크로부터 받은 슬라이스 해제 비활성 타이머를 동작시킨다. 또한 네트워크도 슬라이스 해제 비활성 타이머를 동작시키며, 단말의 네트워크 슬라이스 사용을 관찰한다.

3) 네트워크는 단말이 슬라이스 해제 비활성 타이머 중지 인디케이션을 포함하여 전송한 주문형 S-NSSAI 관련 항시-온 PDU 세션 설정 및 수정을 위한 PDU 세션 설정 및 수정 요청 메시지를 전달받은 후, 단말이 요청한 주문형 S-NSSAI 관련 항시-온 PDU 세션 설정 및 수정을 허용하기 위해서 주문형 S-NSSAI 관련한 슬라이스 해제 비활성 타이머 동작을 중지한다. 이때, 중지한 시점의 슬라이스 해제 비활성 타이머 값을 저장한다. 또한 네트워크는 자체적으로 주문형 S-NSSAI를 제거하지 않는다. 이후, 주문형 S-NSSAI 관련 항시-온 PDU 세션 설정 및 수정 허용을 위해서 항시-온 PDU 세션 인디케이션 정보를 포함한 NAS PDU 세션 설정 허락 및 수정 명령 메시지를 단말에 응답한다. 이때, 추가로 슬라이스 해제 비활성 타이머 중지 지원(slice deregistration inactivity timer stop supported indication) 정보를 정보요소에 포함하여 단말에 전송한다.

4) 네트워크로부터 슬라이스 해제 비활성 타이머 중지 지원 인디케이션을 포함하여 NAS PDU 세션 설정 허락 및 수정 명령 메시지를 수신한 단말은 동작하고 있는 슬라이스 해제 비활성 타이머를 중지한다. 이때, 중지한 시점의 슬라이스 해제 비활성 타이머 값을 저장한다. 또한 자체적으로 상기 주문형 S-NSSAI를 허용 NSSAI에서 제거하지 않는다. 이후, 단말은 주문형 S-NSSAI와 관련한 항시-온 PDU 세션을 통해서 초저지연 관련 서비스 연결을 위한 데이터 전송 및 수신을 수행한다.

5) 이후에, 단말이 항시-온 PDU 세션 기반 데이터 송수신이 모두 종료되어 항시-온 PDU 세션이 해제된 후, 다시 단말과 네트워크는 중지한 슬라이스 해제 비활성 타이머 동작을 재개한다. 슬라이스 해제 비활성 타이머가 만료되면 상기 1)의 단말과 네트워크 동작이 수행될 수 있다.

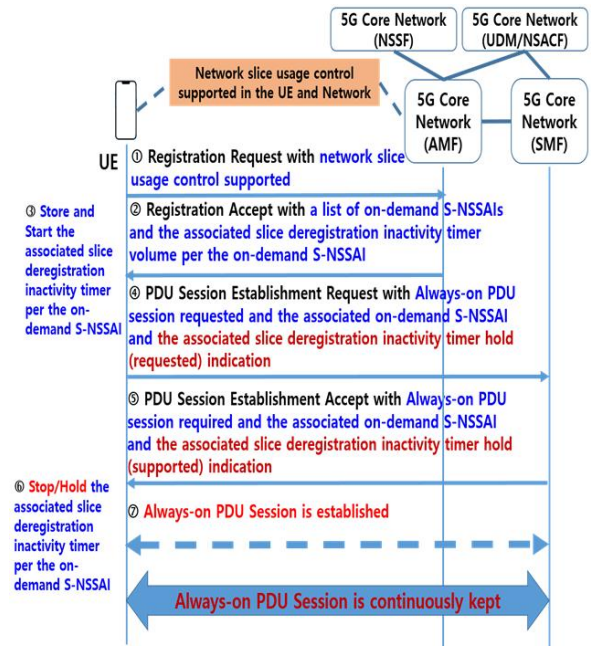


Fig. 3. Proposed ESMONS Scheme

결론적으로, 제안하는 ESMONS 기법은 단말과 네트워크 간의 네트워크 슬라이스 사용 제어를 지원하는 경우, 주문형 S-NSSAI와 슬라이스 해제 비활성 타이머 동작에 따른 단말의 항시-온 PDU 세션을 설정 유지 및 수정 관리를 효율적으로 동작할 수 있어, 이에 기반한 서비스 연속성을 보장하게 되며, 불필요한 시그널링 오버헤드 낭비를 최소화할 수 있다.

IV. Performance Evaluation

이 장에서는 제안하는 주문형 네트워크 슬라이싱을 위한 효율적인 세션 관리 기법(ESMONS)의 성능평가를 살펴본다. 성능평가를 위해 MATLAB [23] 기반의 실험을 진행하였으며, 실험에서 사용한 파라미터 값들은 표 3과 같다. 단말의 응용에서 특정 네트워크 슬라이스에 기반한 데이터 전송을 위한 트래픽 발생 모델은 지수 분포를 적용하였으며, 단말의 설정 요청 메시지 전송 지연, 재전송 지연 및 슬라이스 해제 비활성 타이머는 각각 Transmission delay, Re-transmission delay, Slice deregistration inactivity timer이라고 정의하였다. 또한, 기지국 처리 지연, 5G 핵심 망 지연을 각각 RAN processing delay, 5G core network delay라고 정의하였으며 [21-23], 상기 파라미터값들은 현재, 3GPP 표준 규격에 정의된 기본값 또는 일반적으로 사용하는 값으로 설정하여 실험하였다 [16-23].

Table 3. Simulation Environment

Parameters	Value
Traffic model	Exponential dist. with mean 60(s)
UE processing delay	3 (ms)
Transmission delay	1 (ms)
RAN processing delay	2 (ms)
5G core network delay	1 (ms)
Re-transmission delay	15 (ms)
Slice deregistration inactivity timer	30 (min)

한편, 단말과 네트워크는 모두 네트워크 슬라이스 사용 제어를 지원하고, 주문형 S-NSSAI 사용을 지원함을 가정하였다. 또한 하나의 S-NSSAI에 PDU 세션 하나만 설정하여 동작하는 시나리오를 가정하였다. 하나의 S-NSSAI에 여러 개의 PDU 세션이 설정되어 동작하는 시나리오도 제안하는 ESMONS가 기존 3GPP 동작 방식에 비해서 효율적으로 동작을 할 것으로 보이나, 우선으로 성능평가를 진행하기 위해서 하나의 S-NSSAI에 PDU 세션 하나만 설정하여 동작하는 시나리오를 가정하였다.

본 실험 평가에서, 기존 3GPP 5G 이동통신망에서 주문형 네트워크 슬라이싱 기반 데이터 전송을 위한 PDU 세션 설정/수정 절차 및 관리 방법을 3GPP ONS(On-demand Network Slicing)이라고 표기하였으며, 제안하는 기법을 ESMONS(Efficient Session Management for On-demand Network Slicing) 라고 표기하였다.

1. Delay for On-demand Network Slicing

그림 4는 단말의 특정 네트워크 슬라이싱 연결에 기반한 데이터 전송을 위한 PDU 세션 설정 수행에 따른 통신 지연을 나타낸 실험 결과이다.

기존 3GPP ONS의 경우, 단말과 네트워크는 모두 네트워크 슬라이스 사용 제어를 지원 상황에서 단말과 네트워크가 등록 절차를 통하여 주문형 S-NSSAI와 슬라이스 해제 비활성 타이머를 받은 뒤, 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션을 설정을 수행한다. 이후, 슬라이스 해제 비활성 타이머가 만료됨에 따라서 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션이 해제되어 다시 네트워크로부터 설정 업데이트 명령 절차를 통하여 업데이트된 주문형 S-NSSAI와 슬라이스 해제 비활성 타이머를 받은 뒤 다시, 업데이트된 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션을 설정을 수행한다.

결과적으로 슬라이스 해제 비활성 타이머가 만료됨에 따라서 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션이 해제되어 업데이트된 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션

을 설정을 수행함으로써 통신 지연이 발생하고 초저지연 서비스 응용 통신의 QoS에 악영향을 미치게 된다. 또한, 추가적인 단말과 네트워크 간의 업데이트된 주문형 S-NSSAI와 슬라이스 해제 비활성 타이머를 제공 및 업데이트된 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션을 재설정을 수행으로 인하여, 많은 불필요한 통신 지연이 발생한다.

하지만, 제안하는 ESMONS의 경우는, 단말이 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션을 설정을 수행할 때, 네트워크와 슬라이스 해제 비활성 타이머 중지 인디케이션을 주고받게 된다. 이렇게 함으로써, 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션 관련 슬라이스 해제 비활성 타이머가 동작을 중지하게 되고 항시-온 PDU 세션이 설정을 해제하지 않고 지속해서 설정 관리 동작한다. 따라서, 항시-온 PDU 세션이 설정에 기반한 초저지연 통신을 중단 없이 지속해서 수행할 수 있다.

또한, 항시-온 PDU 세션 해제 이후 불필요한 추가적인 단말과 네트워크 간의 업데이트된 주문형 S-NSSAI와 슬라이스 해제 비활성 타이머를 제공 및 업데이트된 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션을 재설정을 수행을 방지하여 이로 인한 불필요한 통신 지연을 최소화할 수 있다.

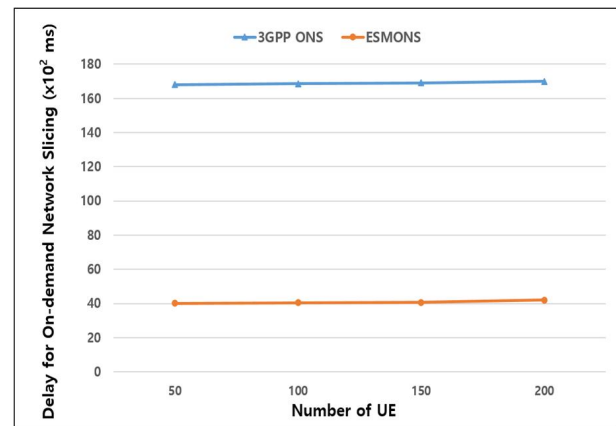


Fig. 4. Delay for On-demand Network Slicing

2. Signaling Overhead for On-demand Network Slicing

그림 5는 주문형 네트워크 슬라이싱에서 항시-온 PDU 세션 연결 시 발생하는 정규화 시그널링 오버헤드를 나타낸 실험 결과이다. 여기서 정규화 시그널링 오버헤드는 단말과 네트워크 간의 설정/수정 전송 요청 및 응답 메시지 전송에 따른 시그널링의 상대적인 양을 의미한다.

기존 3GPP ONS의 경우, 단말과 네트워크는 모두 네트워크 슬라이스 사용 제어를 지원 상황에서 단말과 네트워크가 등록 절차를 통하여 주문형 S-NSSAI와 슬라이스 해

제 비활성 타이머를 받은 뒤, 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션을 설정을 수행한다. 이후, 슬라이스 해제 비활성 타이머가 만료됨에 따라서 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션이 해제되어 다시 네트워크로부터 설정 업데이트 명령 절차를 통하여 업데이트된 주문형 S-NSSAI와 슬라이스 해제 비활성 타이머를 받은 뒤 다시, 업데이트된 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션을 설정을 수행한다. 결과적으로 불필요한 추가적인 단말과 네트워크 간의 업데이트된 주문형 S-NSSAI와 슬라이스 해제 비활성 타이머를 제공 및 업데이트된 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션을 재설정을 수행으로 인하여, 많은 불필요한 시그널링 오버헤드가 발생한다.

하지만, 제안하는 ESMONS의 경우는, 단말이 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션을 설정을 수행할 때, 네트워크와 슬라이스 해제 비활성 타이머 중지 인디케이션을 주고 받게 된다. 이렇게 함으로써, 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션 관련 슬라이스 해제 비활성 타이머가 동작을 중지하게 되고 지속적인 항시-온 PDU 세션이 설정 관리 동작한다. 따라서, 지속적인 항시-온 PDU 세션이 설정에 기반한 초저지연 통신을 계속 수행할 수 있다.

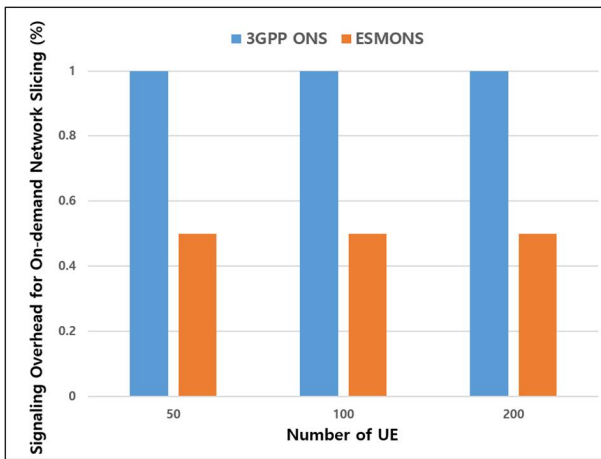


Fig. 5. Signaling Overhead for On-demand Network Slicing

결과적으로 불필요한 추가적인 단말과 네트워크 간의 업데이트된 주문형 S-NSSAI와 슬라이스 해제 비활성 타이머를 제공 및 업데이트된 주문형 S-NSSAI 기반 항시-온 PDU 세션을 재설정을 수행을 방지하여 이로 인한 불필요한 시그널링 오버헤드를 최소화할 수 있다.

V. Conclusions

본 논문에서는 네트워크 슬라이스 사용 제어를 지원하는 5G 이동통신망에서 단말과 네트워크 간의 주문형 네트워크 슬라이싱을 사용하는 환경에서 단말의 항시-온 PDU 세션 연결을 요청하여 사용 시 슬라이스 해제 비활성 타이머 해제로 인한 항시-온 PDU 세션이 불필요하게 해제됨으로써 발생하는 문제를 해결하기 위해서 주문형 네트워크 슬라이싱을 위한 효율적인 세션 관리 기법(ESMONS: Efficient Session Management for On-demand Network Slicing) 제안한다. 제안하는 ESMONS는 기존 3GPP 주문형 네트워크 슬라이싱 동작 방식에 비해 항시-온 PDU 세션 연결을 요청 사용 시 슬라이스 해제 비활성 타이머 해제를 방지하여 불필요한 시그널링 오버헤드 발생을 최소화하고, 초저지연 서비스 연결을 위한 항시-온 PDU 세션을 지속적인 유지 수행하게 된다. 실험 평가를 통하여, 제안하는 방법이 기존 3GPP 주문형 네트워크 슬라이싱 지원 항시-온 PDU 세션 설정 방식에 비해서 통신 지연 및 불필요한 시그널링 오버헤드를 최소화할 수 있음을 확인하였다.

향후 연구에서는 3GPP 5G/6G 네트워크 슬라이싱 표준화 작업과 함께, 다양한 네트워크 슬라이싱 서비스 시나리오에 따른 제안하는 효율적인 네트워크 슬라이싱 세션 관리 방법들의 최적화 방안이 함께 연구 개선되어야 할 것이다. 특히, 하나의 S-NSSAI에 항시-온 PDU 세션과 더불어 복수의 PDU 세션이 존재하는 상황, 관련 NAS 메시지 유실에 따른 재전송 등 예외 상황, 보안 정책 제어 문제 등을 고려하여 연구 개선할 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by a grant from 2022 Research Fund of Andong National University.

REFERENCES

- [1] NGMN, "Description of Networking Slicing Concept," NGMN Alliance, Jan. 2018.
- [2] A.A. Barakabitze, A. Ahmad, R. Mijumbi, and A. Hines, "5G network slicing using SDN and NFV: A Survey of taxonomy, architectures and future challenges," Elsevier Computer Networks,

- vol. 167, pp. 1-40, Feb. 2020. DOI: 10.1016/J.COMNET.2019.106984
- [3] A. Kalokylos, "A Survey and an Analysis of Network Slicing in 5G Networks," IEEE Communications Standards Magazine, vol. 2, pp. 60-65, Mar. 2018. DOI: 10.1109/MCOMSTD.2018.1700072
- [4] S. Zhang, "An Overview of Network Slicing for 5G," IEEE Wireless Communications, vol. 26, pp. 111-117, Jun. 2019. DOI: 10.1109/MWC.2019.1800234
- [5] R. Su, D. Zhang, R. Venkatesan, Z. Gong, C. Li, F. Ding, F. Jiang, and Z. Zhu, "Resource Allocation for Network Slicing in 5G Telecommunication Networks: A Survey of Principles and Models," IEEE Network, vol. 33, pp. 172-179, Nov./Dec. 2019. DOI: 10.1109/MNET.2019.1900024
- [6] R. Su, D. Zhang, R. Venkatesan, Z. Gong, C. Li, F. Ding, F. Jiang, and Z. Zhu, "Network Slicing Mobility in Next Generation Mobile Systems: Challenges and Potential Solutions," IEEE Network, vol. 34, pp. 84-93, Jan./Feb. 2020. DOI: 10.1109/MNET.2019.1800268
- [7] S.I. Lee, J.H. Lee, and M.K. Shin, "Standardization Trends in Network Slicing and Management Technologies of 5G Core Network" Electronics and Telecommunications Trends, vol. 32, pp. 62-70, Apr. 2017. DOI: 110.22648/ETRI.2017.J.320208
- [8] M.K. Shin, S.H. Lee, and J.H. Yi, "Trends of 5G Network Automation and Intelligence Technologies Standardization," vol. 34, pp. 92-100, Apr. 2019. DOI: 10.22648/ETRI.2019.J.340210
- [9] S. Wijethilaka, and M. Liyanage, "Survey on Network Slicing for Internet of Things Realization in 5G networks," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 23, No. 2, pp. 957-994, Mar. 2021. DOI: 10.1109/COMST.2021.3067807
- [10] W. Zheng, D. Chen, J. Duan, H. Xu, W. Qian, L. Gu, and J. Yao, "5G Network Slice Configuration Based on Smart Grid," Proceedings of IEEE 4th Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC), pp. 560-564, Jun. 2021. DOI: 10.1109/IMCEC51613.2021.9481999
- [11] C.A.P. Rodrigues, D. Vieira, and "5G Network Slice - A URLLC Resource Allocation Perspective," Proceedings of 11th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS), Apr. 2021. DOI: 10.1109/NTMS49979.2021.9432660
- [12] 3GPP TS 22.261 v19.14.0: "Service requirements for the 5G system; Stage 1", Jun. 2026.
- [13] 3GPP TS 22.278 v19.0.0: "Service requirements for the Evolved Packet System (EPS)", Oct. 2025.
- [14] 3GPP TS 23.501 v19.8.0: "System Architecture for the 5G System; Stage 2", Jun. 2026.
- [15] 3GPP TS 23.502 v19.8.0: "Procedures for the 5G System; Stage 2", Jun. 2026.
- [16] 3GPP TS 24.501 v19.7.0: "Non-Access-Stratum (NAS) protocol for 5G System (5GS); Stage 3". Jun. 2026.
- [17] 3GPP TS 24.502 v19.4.0: "Access to the 3GPP 5G Core Network (5GCN) via Non-3GPP Access Networks (N3AN); Stage 3". Jun. 2026.
- [18] 3GPP TS 38.331 v19.3.0: "NR; Radio Resource Control (RRC); Protocol specification", Jun. 2026.
- [19] 3GPP TS 38.413 v19.3.0: "NG-RAN; NG Application Protocol (NGAP)", Jun. 2026.
- [20] 3GPP TS 29.502 v19.7.0: "5G System; Session Management Services", Jul. 2026.
- [21] J.H. Kim and S.G. Kim, "An efficient session management scheme for low-latency communications in 5G systems," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 25, No. 2, pp. 83-92, Feb. 2020. DOI: 10.9708/JKSCI.2020.25.02.000
- [22] J.H. Kim, "An Efficient Network Slice Configuration Method in 5G Mobile Networks," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 27, No. 9, pp. 101-112, Sept. 2022. DOI: 10.9708/JKSCI.2022.27.09.101
- [23] MATLAB, <https://kr.mathworks.com>

Author



Jae-Hyun Kim received the M.S. and Ph.D. degrees in Electrical & Electronic Engineering from Yonsei University, Korea, in 2003 and 2011 respectively. He worked as chief research engineer in LG Electronics from

2010 to 2019. Dr. Kim joined the faculty of the Dept. of Digital ICT Engineering, Gyeongbuk National University in 2019. He is currently an Associate Professor in the Dept. of Digital ICT Engineering, Gyeongbuk National University. He is interested in advanced communication networks like 5G/6G mobile communications, Artificial Intelligence(AI), IoT and wireless system engineering.