

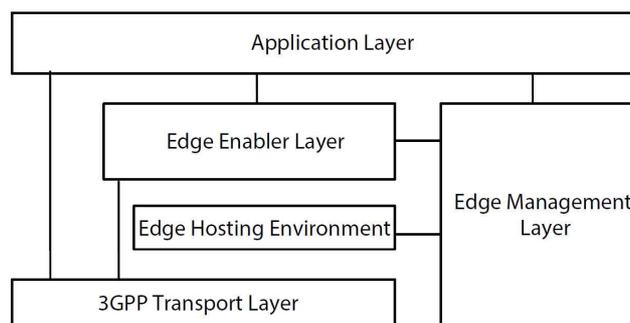
3GPP 표준기술 동향 - 5G 에지 컴퓨팅

이승익 한국전자통신연구원 표준연구본부 표준전문위원

1. 머리말

융합 산업의 디지털 전환과 ICT 인프라의 고도화에 힘입어 중앙 집중형 데이터 센터를 통해 응용 서비스를 제공 및 관리하는 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing) 기술/산업이 확산되었다. 이후 빅데이터, VR 및 AR, 게임 등 융합 서비스의 대용량 저지연 네트워킹 수요에 따라 컴퓨팅 자원을 데이터 소스 및 사용자에게 가까운 네트워크 말단에 배치하는 에지 컴퓨팅(Edge Computing) 기술이 도입되었다. 최근에는 에지 컴퓨팅 기술을 5G망에 밀결합함으로써 이동통신망의 자원과 정보를 활용하여 5G 융합 서비스의 전송 지연을 줄이고 품질을 향상시키고자 하는 노력이 GSM, WCDMA, LTE, 5G 등의 이동통신망 국제표준규격을 개발하는 3GPP(3rd Generation Partnership Project)[1] 국제표준화기구를 중심으로 활발하게 진행 중이다.

3GPP는 2016년 초기 5G 시스템(Rel-15) 설계부터 에지 컴퓨팅 기반의 전송 계층 구조를 도입하여, 데이터 전송 장비를 지역적으로 분산 배치함으로써 단말의 위치에 따라 데이터 전송 경로를 변경 및 최적화할 수 있게 하였다. 이후 5G Rel-17 및 Rel-18 시스템의 표준규격에서는 [그림 1]과 같이 전송 계층뿐만 아니라 응용 계층, 관리 계층 등 5G 시스템 전반에 걸쳐 에지 컴퓨팅 지원을 위한 표준규격 개발을 진행하였다.



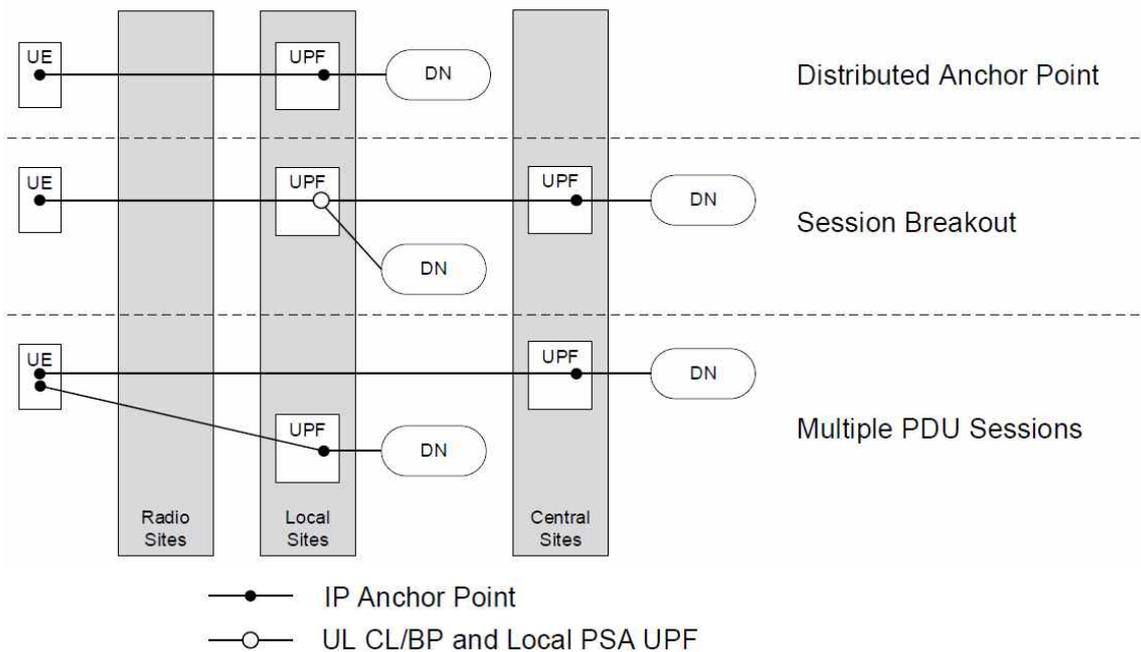
[그림 1] 3GPP의 5G 에지 컴퓨팅 표준화 영역[2]

3GPP 전송 계층(3GPP Transport Layer)은 에지 응용(Edge Application)의 연결, 로컬 트래픽 라우팅 제어 등을 처리하는 네트워크 기능을 제공하며 현재 SA WG2(Service and System Aspects Working Group 2)에서 표준화가 진행 중이다. 2021년 Rel-17 표준규격에서 본격적인 에지 응용 연결 지원을 위한 신규 기능 및 인터페이스를 개발하였고, 이후 Rel-18 표준 규격에서 UE 로밍 및 자원 공유 등의 세부 기술 확장에 관한 개발을 주요하게 진행하였다. 에지 응용 지원 계층

(Edge Enabler Layer)은 에지 응용의 검색 및 연결 등의 에지 컴퓨팅 핵심 기능을 처리하는 응용 계층 플랫폼 기능을 제공하며, 현재 SA WG6에서 표준화가 진행 중이다. 2021년 에지 응용 등록 및 검색 등 기본 기능을 제공하는 EDGEAPP(Architecture for enabling Edge Applications)의 Rel-17 표준규격 개발을 완료하고, 이후 UE 로밍 및 공통 EAS 등의 세부 기술 확장에 관한 Rel-18 표준규격 개발을 2023년 6월까지 진행하였다. 에지 관리 계층(Edge Management Layer)은 에지 컴퓨팅 플랫폼과 응용의 컴포넌트에 대한 수명주기 관리(Lifecycle Management)나 과금에 대한 기능을 제공하며, 현재 SA WG5에서 표준화가 진행 중이다. Rel-17 표준규격에서 전송 및 응용 지원 계층에 새롭게 도입된 신규 기능 및 구성요소의 네트워크 자원 모델을 정립하고, Rel-18 표준규격에서는 서비스 연합 요구에 따른 연동 표준기술을 주요하게 개발 중이다. 본 고에서는 3GPP에서 Rel-15부터 Rel-18에 이르기까지 개발된 5G 에지 컴퓨팅 지원을 위한 전송 계층 및 응용 계층 표준기술을 요약 및 분석하고자 한다.

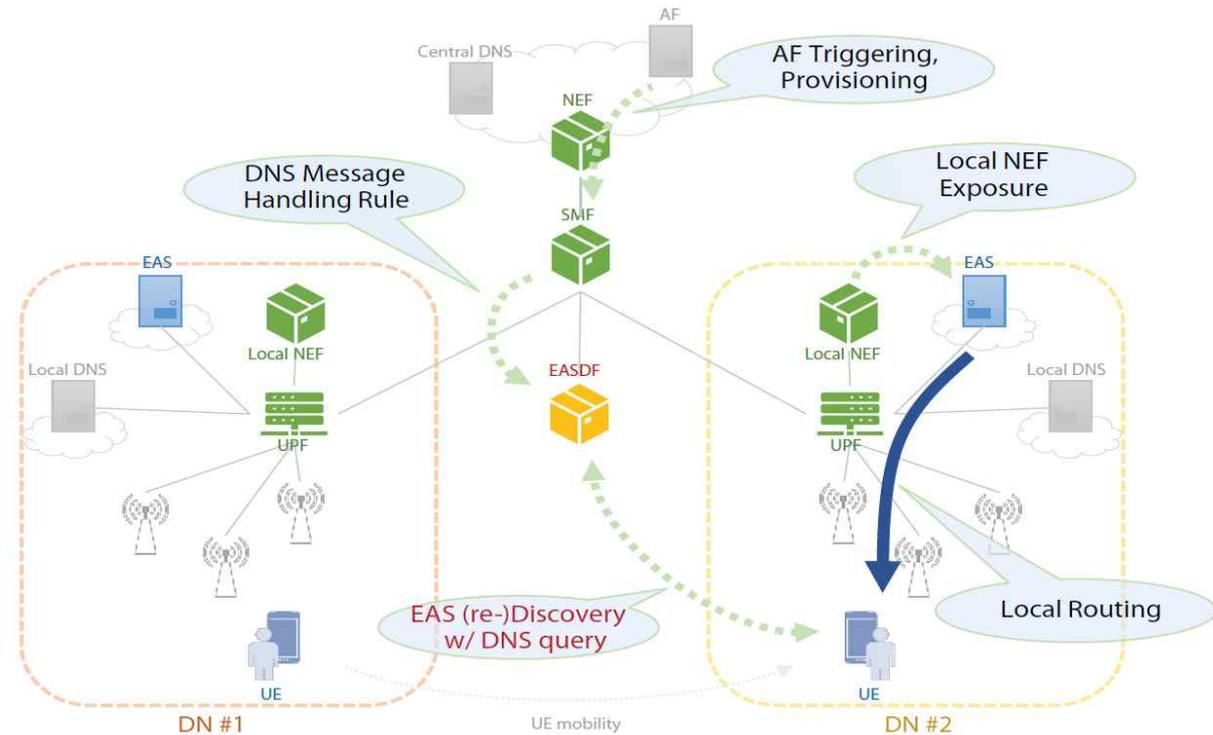
2. 전송 계층 지원 표준기술

5G Rel-15 표준규격[3-4]에서는 기존의 중앙집중식 PDN(Packet Data Network) 게이트웨이에서 데이터 전달 기능을 분리하여 [그림 2]와 같이 가까운 지역에 분산 배치 가능한 연결 모델을 도입함으로써 단말과 에지 서버간 전송 경로 및 거리를 최소화할 수 있다. 이를 토대로 하나의 PDU(Packet Data Unit) 세션에서 트래픽 속성에 따라 서로 다른 경로로 전송하는 업링크 분류(UL-CL, Uplink Classifier) 및 분기점(BP, Branching Point) 기능, 단말의 이동성에 따른 데이터 게이트웨이(PSA, PDU Session Anchor)변경과 세션 연속성 지원 기능, 단말의 연결 위치에 따라 연결 대상 데이터 네트워크를 특정하는 LADN(Local Area Data Network) 기능, 응용 서비스의 요청에 따른 데이터 전송 경로 설정 기능 등이 새롭게 도입되었다.



[그림 2] 에지 컴퓨팅 지원을 위한 5G 네트워크 연결 모델 [5]

이후 Rel-17에는 에지 컴퓨팅의 전송 계층 지원 표준기술 개발이 본격화되어 새로운 5G 시스템 확장 구조 및 기능들이 별도의 표준규격[5]으로 제정되었다. 주요 기능 및 동작을 [그림 3]과 같이 도시하였다.



[그림 3] 5G 에지 컴퓨팅 전송 계층 지원 구조

서로 다른 지역에 분산 배치되어 있는 EAS 중 UE 위치에 가장 가까운 EAS에 연결하기 위해 해당 EAS의 IP 주소를 검색 및 획득해야 하는데, 본 구조에서는 이를 위해 DNS(Domain Name System)를 이용한다. 즉, UE는 연결하고자 하는 EAS의 FQDN(Fully Qualified Domain Name)에 대한 IP 주소를 요청하는 DNS 쿼리를 미리 설정된 DNS 서버에 전송하고, DNS 서버는 해당 FQDN에 해당하는 EAS들 중 UE에 가장 가까운 EAS의 IP 주소를 돌려준다. 이때, DNS 서버는 DNS 쿼리의 소스 IP 주소나 ECS(EDNS Client Subnet) 옵션을 통해 UE의 위치를 추정할 수 있다. 특히 EAS 검색을 위한 DNS 쿼리 및 응답 절차의 확장된 제어 및 정보 제공을 위해 EASDF(EAS Discovery Function)를 새롭게 정의하였다. EASDF는 기본적으로 DNS 리졸버(Resolver) 역할을 담당하여 UE로부터의 DNS 쿼리를 수신 및 응답하며, 추가로 SMF(Session Management Function)가 정의한 동작 지시에 따라 DNS 쿼리 수신 정보를 SMF에 보고하고, DNS 쿼리를 C-DNS/L-DNS 서버로 전달 및 응답 중계하며, DNS 쿼리에 ECS 옵션을 추가하는 등의 역할을 담당한다.

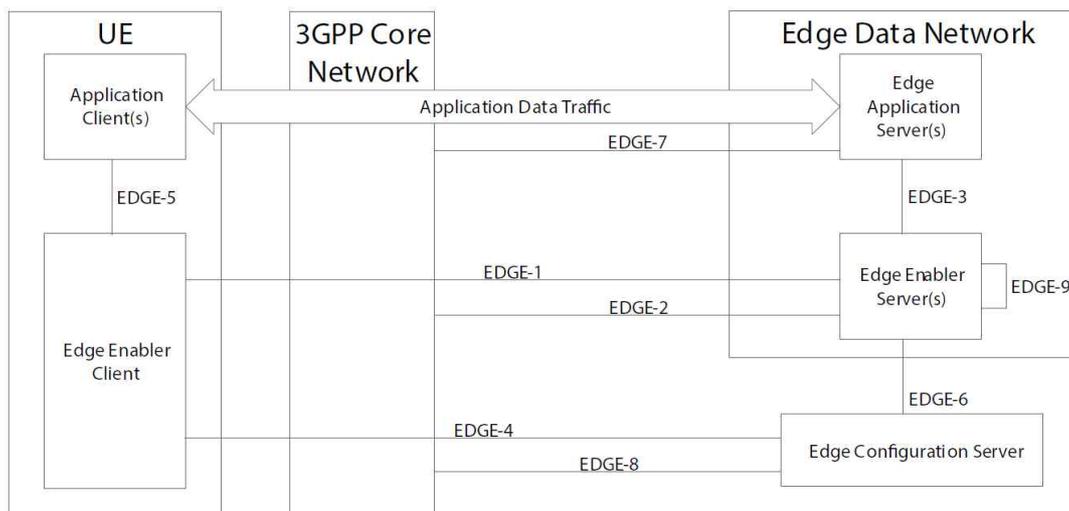
이 외에도 로드 밸런싱 등에 따른 AF의 요청이나 UE 이동성에 따른 네트워크의 요청에 따라 최적의 데이터 전송 경로를 유지하기 위해 EAS나 PSA UPF(User Plane Function)를 변경하는 에지 재배치 기능, 에지 재배치에 따라 새로운 EAS가 준비되기 전에 UE가 전송하는 UL 패킷의 유실을 최소화하기 위한 로컬 PSA UPF의 UL 패킷 버퍼링 기능, UE가 새로운 EAS를 검색하여 재연결할 때 전송 경로 변경을 위한 AF 요청 트래픽 라우팅 및 UPF에서의 실시간 EAS IP 교체 기

능, 네트워크 개방 정보의 전달에 따른 지연 시간을 최소화하기 위한 로컬 NEF(Network Exposure Function) 선택 기능 등이 추가로 정의되었다.

Rel-18 규격에서는 주요하게 UE의 로밍 지원, UE 그룹별 공통 EAS 연결, 에지 노드 공유 지원 등의 확장 기능이 추가되었다. UE 로밍시 HR(Home Routed) 방식의 에지 응용 연결을 지원하기 위해 VPLMN(Visited Public Land Mobile Network)의 V-SMF와 HPLMN(Home PLMN)의 H-SMF 이 서로 연계하여 UL-CL/ BP나 로컬 UPF를 추가하고 UE의 EAS 검색 절차를 EASDF 동작 옵션에 따라 H-EASDF나 H-DNS 서버가 대신 처리할 수 있다. 가상 협업 공간이나 공장 로봇 통합 제어 등의 응용 시나리오를 위해 하나의 그룹으로 지정된 복수의 UE들이 연결할 수 있는 공통의 EAS 주소 혹은 DNAI(Data Network Access Identifier)를 내외부 응용 서비스의 설정에 따라 UDR(Unified Data Repository)에 저장하고, 이를 SMF 및 EASDF를 통해 UE에게 DNS 메시지로 전달하여 해당 EAS/DNAI에 연결할 수 있도록 한다. GSMA OPG[6]의 에지 노드 공유 요구사항에 따라 다른 PLMN이나 파트너가 제공하는 클라우드 자원에 배치된 EAS에 연결을 지원하기 위해 SMF가 다른 PLMN이나 파트너의 EAS 배치정보를 저장하고, 이에 따라 EASDF를 설정할 수 있다. 아울러, DNAI와 EAS 주소 범위간 매핑 정보를 UDR에 저장하고 AF가 NEF를 통해 이를 조회 및 수정할 수 있도록 하여 에지 재배치 시 로컬 네트워크에 보다 적합한 EAS를 매핑할 수 있게 한다.

3. 에지 응용 지원 표준기술

EDGEAPP Rel-17 표준규격[2]에서는 [그림 4]와 같은 기능 구조 및 인터페이스를 정의하였다.



[그림 4] GPP 5G MEC 응용 계층 지원 구조 [2]

본 구조에서 주요 기능 엔티티와 그 담당 역할은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 에지 설정 서버(ECS, Edge Configuration Server): 전체 에지 서비스 및 네트워크 설정 정보를 관리하는 중앙 서버로서, 서비스 초기 설정 값을 EEC에 전달함

- 에지 지원 서버(EES, Edge Enabler Server): 에지 플랫폼 역할을 담당하며, EEC에 대한 EAS 설정 전달, 네트워크 개방 정보 전달, 이동성 지원을 위한 실시간 정보 전달 등을 담당함
- 에지 응용 서버(EAS, Edge Application Server): 서비스 사업자가 제공하여 에지 호스트에 설치하는 응용 서버로서, 실제 응용 서비스 연결 및 데이터를 제공함
- 에지 지원 클라이언트(EEC, Edge Enabler Client): UE 단에서 에지 플랫폼 클라이언트 역할을 담당하며, 에지 서비스 설정 저장, EAS 검색 및 발견 등의 역할을 수행함
- 응용 클라이언트(AC, Application Client): 응용의 클라이언트 역할로서, EAS와 응용 서비스 데이터를 직접 교환함

앞 구조를 기반으로 EDGEAPP 표준규격은 서비스 설정, 등록, 응용 서버 검색, 정보 개방, 서비스 연속성 등의 기능을 정의한다.

에지 서비스 설정 기능은 에지 응용 서비스를 시작하기 위한 초기 설정값을 전달하는 기능이다. 에지 네트워크를 권역별로 구별해서 에지 데이터 네트워크(EDN, Edge Data Network)로 나누고, 각 EDN과 그에 속한 EES의 정보를 통신 사업자나 에지 클라우드 서비스 사업자의 ECS가 관리한다. ECS 주소 등의 정보는 EEC에 미리 설정되거나 5G 시스템의 신호 절차를 통해 통신사업자가 EEC에 설정할 수 있으며, 해당 정보를 이용하여 EEC는 ECS로부터 EDN 설정 정보(서비스 영역, 연결 가능한 EES 주소 등)를 받아들일 수 있다. 단말 및 응용 서버의 등록 기능은 EEC, EAS, EES 등에 대한 프로파일 정보를 각 서버에 전달함으로써, 에지 서비스의 관리나 UE와의 연결 등을 중계할 때 해당 프로파일 정보를 활용할 수 있도록 한다. 특히, EEC 등록 절차는 에지 서비스의 클라이언트에 해당하는 EEC 정보와 응용 클라이언트인 AC의 프로파일(응용 유형, 서비스 권역, 필요한 EAS 리스트 등)을 EES에 등록함으로써 단말이 요청하고자 하는 에지 응용 서비스의 특징에 따라 가장 적합한 에지 응용 서버를 선택하는데 사용된다. EAS 등록 절차는 EAS에 연결하기 위한 주소 및 서비스 영역과 함께 EAS가 제공하는 서비스 특성과 위치 등을 나타내는 EAS 프로파일을 EES에 등록하고, 이를 기반으로 EES가 단말의 에지 서비스와 그 서비스 위치에 적합한 EAS를 찾을 수 있도록 한다.

응용 서버 검색 기능은 EDN에 존재하는 복수 개의 EAS 중 단말의 위치 및 특성에 가장 적합한 EAS를 선택하고 연결 정보를 획득하는 일련의 절차이며, EDGEAPP 구조에서 가장 핵심적인 기능 및 절차다. 해당 절차에서는 EEC가 원하는 에지 서비스의 정보를 포함하는 EAS 검색 필터(Discovery Filter)와 함께 자신의 위치 정보를 EES에게 전달함으로써 EES로부터 현재 위치에 가장 가깝고 적절한 품질을 제공할 수 있는 EAS의 연결 정보를 얻을 수 있다. 네트워크 기능 개방은 EES나 5G 네트워크에서 관리하는 단말 및 네트워크 제어 정보를 EAS에 제공함으로써 에지 서비스의 품질 향상이나 신규 서비스 제공 등을 가능하게 한다. 이는 기존 클라우드 에지 서비스와는 다른, 통신망과의 밀결합에 따른 EDGEAPP 구조의 가장 큰 차별점 중 하나다. 아울러, EDGEAPP에서는 단말의 이동성과 그에 따른 에지 서비스의 연속성을 제공한다. 이를 위해서 단말이 이동한 새로운 위치에 가장 가깝고 효율적인 EAS를 새로 검색 및 연결하고, 이전 Source EAS(S-EAS)에서 유지하던 응용 컨텍스트(Application Context)를 새로운 Target EAS (T-EAS)로 옮

겨주는 응용 컨텍스트 재배치(ACR, Application Context Relocation) 기능을 제공한다.

이후 EDGEAPP Rel-18 표준 규격에서는 로밍 및 서비스 연합(Federation) 지원, 에지 노드 공유 지원, 응용 서버 API 개방, 공통 및 번들(Bundle) EAS 지원, 클라우드 응용 지원 등에 대한 확장 기능을 추가하였다. 또한, EDGEAPP이 ETSI MEC 플랫폼[7] 및 GSMA OP[6] 등과 연동하는데 도움을 줄 수 있는 가이드라인 문서[8]도 새롭게 개발 중이다.

UE는 로밍에 따라 VPLMN에 위치한 EDN에 연결하고, 이를 위해 LBO(Local breakout) 및 HO(Home Routed) 방식으로 H-ECS(Home ECS)로부터 V-ECS(Visited ECS) 연결 정보를 획득한다. 이때 EDN 제공자가 서로 다르거나 서비스 사업자 간 에지 노드를 공유할 경우를 위해 서비스 연합을 지원한다. 이를 위해 ECSE(Edge Repository)를 새롭게 도입하여 각 EDN의 ECS 정보를 등록 및 검색하고 해당 지역의 EES 및 EAS에 연결할 수 있도록 한다. 또한, 전송 계층과 EES의 API만 개방하던 기존 구조를 확장하여 CAPIF(Common API Framework)[9] 기반의 EAS API 개방 기능을 제공하고, 다른 EAS 혹은 타 에지 플랫폼이 연동할 수 있도록 한다. 이를 통해 비디오 스트리밍 응용처럼 여러 개의 EAS로 이루어진 번들을 구성할 때 EDN 내에서 EAS간 연동을 처리하는 프록시 번들 형태를 지원한다. 특정 UE 그룹이 공통의 EAS에 연결하기 위해서 응용 그룹 ID를 정의하고, 이에 따라 EES가 결정한 공통 EAS 정보를 다른 EES 및 ECS에 공유하여 EAS 검색 결과에 반영하도록 한다. 아울러, EAS와 클라우드 응용 서버(CAS, Cloud Application Server) 간 연동을 지원하기 위해 CES(Cloud Enabler Server)를 신규 정의하고, UE의 에지 서비스 영역 변경에 따른 클라우드-에지 간 ACR을 제공한다.

4. 맺음말

3GPP는 5G 에지 컴퓨팅 지원을 위한 Rel-15에서 Rel-18까지의 표준규격 작업에서 EAS 검색 및 연결, 트래픽 로컬 전송, UE 이동성 및 로밍 지원, UE 및 EAS 그룹별 연결 등의 전송/응용/관리 계층 표준기술을 주요하게 개발하였다. 이로써 5G 시스템과 에지 클라우드 서비스의 연계를 위한 기본 인프라 기술이 준비되었다 할 수 있으나, NPN(Non-Public Network), 스마트 공장, 서비스 연합 등의 적용을 위한 확장 기술이 추가로 요구된다. 특히, 2023년 9월부터 시작되는 Rel-19 표준규격 개발을 위해 센싱과 통신 융합(Integrated Sensing and Communication), 메타버스, 초저전력 IoT(Ambient IoT), 에너지절약, 3GPP 이중 전송 등의 신규 서비스 요구사항이 도출되었다. 이들은 세부적으로 대용량 데이터 분산 처리, 저지연/광대역 전송, 트래픽 경로 효율화 등의 요구 속성을 지닌다. 이에 따라 기존 EAS 연결 및 트래픽 전송을 위한 5G 기반 에지 컴퓨팅 표준기술의 확장뿐만 아니라 향후 5G 망내 데이터 저장/분석/개방을 위한 에지 기반의 5G 데이터 플레인(Data Plane) 진화가 논의될 전망이다.

※ 본 연구는 2023년도 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (2021-0-00718, 5G MEC 개방/연동네트워킹 기술 표준개발)

[참고문헌]

[1] 3GPP, <https://www.3gpp.org/>

- [2] 3GPP TS 23.558(Rel-18), Architecture for enabling Edge Applications, 2023. 6.
- [3] 3GPP TS 23.501(Rel-18), System architecture for the 5G System(5GS), 2023. 7.
- [4] 3GPP TS 23.502(Rel-18), Procedures for the 5G System(5GS), 2023. 6.
- [5] 3GPP TS 23.548(Rel-18), 5G System Enhancements for Edge Computing, 2023. 6.
- [6] GSMA OPG.02, Operator Platform: Requirements and Architecture, 2023. 7.
- [7] ETSI GS MEC 003 (v3.1.1), Multi-access Edge Computing (MEC); Framework and Reference Architecture, 2022. 3.
- [8] 3GPP TR 23.958(Rel-18), Edge Application Standards in 3GPP and alignment with External Organizations (draft), 2023. 6.
- [9] 3GPP TS 23.222(Rel-18), Common API Framework for 3GPP Northbound APIs, 2023. 6.

※ 출처: TTA 저널 제208호