

# 에지 컴퓨팅 동향

박동주 5G 버티컬 서비스 프레임워크 PG(1104) 부의장, 단국대학교 교수

## 1. 머리말

5G의 등장과 함께 에지 컴퓨팅은 고속 데이터전송, 낮은 전송 지연, 고용량 데이터의 오프로딩(offloading) 등의 특성으로 많은 관심을 받아왔다. 멀티미디어/게임 데이터가 증가하는 상황 속에서 사업자 네트워크에 구축된 에지 컴퓨팅은 네트워크 부하를 줄이고, 클라우드 게임 등에서 전송 지연을 줄여 서비스 체감 만족도를 높이는 역할을 해 왔다. 5G의 산업 적용 과정에서는 산업 현장에 설치된 에지 노드를 활용해 데이터의 외부 유출을 차단하고, 원격 제어 등 실시간 서비스 품질을 높이는데 기여했다.

세계 각국의 6G 비전 발표에 이어 ITU에서 6G 프레임워크와 목표가 발표되면서 에지 컴퓨팅은 다시 한번 주목받고 있다. 초고속, 저지연은 여전히 중요한 기술 목표이며, 편재지능, 초절감이 부상하면서 에지 컴퓨팅은 이를 위한 중요한 요소로 인식되고 있다. 통신과 컴퓨팅의 통합, 센서 데이터의 효과적인 처리 및 네트워크 구조 진화 등이 에지 컴퓨팅 분야에서 새롭게 대두되고 있는 주제이다.

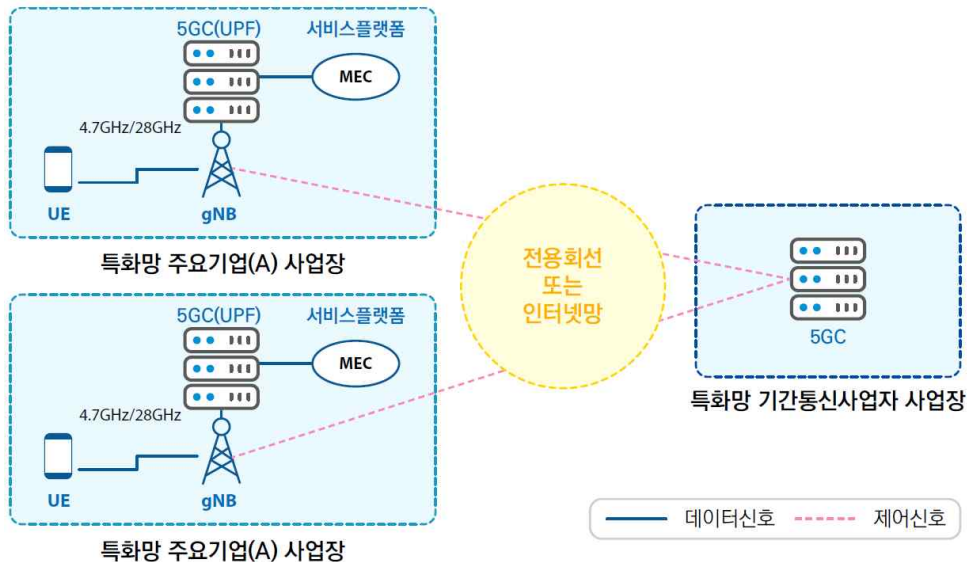
본 기고에서는 5G에서의 에지 컴퓨팅 현황을 표준과 상용화 측면에서 살펴보고 6G에서의 진화 방향을 예측해 본다. 진화 방향과 관련해서는 6G에서의 새로운 유스케이스와 요구사항을 살피고 이를 실현하기 위한 기술 개발 방향에 대해 검토한다.

## 2. 5G와 에지 컴퓨팅

### 2.1 에지 컴퓨팅 현황

IT산업에서 클라우드 컴퓨팅 확대, 사물인터넷, 고화질 비디오 및 AR/VR 등 미디어의 대용량화, 기업 고객의 수요 증가에 따라 응용 계층의 앱(application)을 사용자 가까이 위치시키는 에지 컴퓨팅 적용이 확대되고 있다. 5G 에지 컴퓨팅은 여기에 더하여 5G의 코어 네트워크 기능(function)을 고객 가까이 위치할 수 있도록 진화되었다. 5G에서 본격 도입된 서비스 기반 네트워크 구조(SBA, Service-Based Architecture), 데이터 제어 분리(CUPS)와 네트워크 가상화는 네트워크 기능(NF, Network Function) 단위 구성과 표준화된 인터페이스로 필요한 네트워크 기능을 사용자 가까이 두는 에지 컴퓨팅을 가능하게 하였다.

에지 컴퓨팅 표준은 3GPP를 중심으로 진행되었으며, ETSI ISG MEC[1]에서도 표준화가 진행되었다. GSMA에서는 사업자 관점의 요구사항을, 5GAA[2]와 5G-ACIA[3]에서는 자동차 산업과 제조 산업에서의 요구사항을 정의하였다.



출처: 5G특화망 가이드라인[5]

[그림 1] 5G 특화망에서 5G코어 일부 공유방식 구성도

5G 에지 컴퓨팅이 가장 성공적으로 확산된 곳은 제조 분야이다. 5G-ACIA의 제조를 위한 5G 네트워크 구조 제시[4]를 필두로, 3GPP에서는 산업 현장 지원을 위한 네트워크 구조 표준(NPN, PNI-NPN)이 진행되었다. 국내에서는 5G 특화망 가이드라인[5]을 통해 특화망의 대표 네트워크 구조로 소개되었으며, UPF만으로 구성되거나 AMF, SMF 등 코어 네트워크 핵심 기능을 포함한 5G 특화망 엣지 클라우드 제품이 출시되었다. 미디어 분야도 성공적으로 평가된다. 에지 컴퓨팅은 대용량 미디어 데이터에 대한 전송 지연을 줄이고 백본 네트워크에서의 부하를 저감하는 효과를 제공한다. 국내에서는 이동통신 사업자들의 주요 도시에 대한 적극적인 에지 컴퓨팅(혹은 MEC) 서버 설치[6]로 5G 서비스에서 전반적인 전송 지연을 줄이고, 클라우드 게임 등의 서비스 품질을 향상시키는 효과를 보이고 있다.

## 2.2 3GPP 표준 현황

3GPP의 5G 에지 컴퓨팅 관련 주요 표준화 영역은 에지 응용 지원 계층(Edge Enabler Layer), 3GPP 전송 계층(Transport Layer), 에지 관리계층(Edge Management Layer) 등 크게 3가지로 분류하며, SA2와 SA6를 중심으로 Rel.15부터 표준 구조와 기능을 규격화하였다. <표 1>은 최근 표준화 동향을 나타낸다.

전송계층과 관련해서는 코어 네트워크의 게이트웨이인 PDU Session Anchor(PSA)를 다수의 지역에 분산 배치할 수 있고 하나의 PDU 세션에 대해 다중 PSA를 허용하여 각 트래픽 플로우에 대해 서로 다른 경로를 지정할 수 있다. 지원되는 다중 게이트웨이 구조는 상향링크 구분모드(UL CL, uplink classifier)와 IPv6 다중 경로(IPv6 multi-homing)를 이용하는 분기(BP, branching point) 방법으로 구분된다[7]. UL CL 구조는 UPF에 설정된 패킷 필터를 활용하여 상향 링크 트래픽을 구분하고 하향 링크 트래픽은 합성하는 구조로, 세션은 하나의 IP주소와 DNN을 공유하며 UE가 관여하지 않는다. BP 구조에서는 하나의 세션에 분기되는 두 개의 PSA에서 각각에 대한 서로 다른 IP prefix를 할당하여 상향 링크 분기 및 하향 링크 합성이 이루어진다. 이를 위해 SMF는 UE에 PSA별로 각각의 IP prefix를 설정하고, 따라서 UE도 트래픽 분기 여부를 인지하게 된다.

<표 1> 에지 컴퓨팅 지원을 위한 3GPP 표준 현황

워킹그룹	규격	주요 내용
SA2	TS23.501 (Rel-16) Architecture for the 5G system	5G 시스템 구조 및 기능에 대한 표준으로 단말 위치에 따라 데이터 경로를 설정하는 구조, 방법 등의 내용을 포함한다.
	TS23.502 (Rel-16) Procedures for the 5G system	5G 시스템 동작을 위한 세부 절차를 정의하는 표준으로 단말 위치를 고려하여 데이터 경로를 설정하는 세부 절차를 포함한다.
	TR23.748 (Rel-17) Study on enhancement of support for Edge Computing in 5G Core network	단말이 특정 응용의 에지 서버를 찾는 기술. 에지 서버 변경 및 단말 이동에 따른 데이터 경로변경 방법, 세부 절차를 포함한다.
	TS23.548 (Rel-17) 5G system enhancements for Edge Computing	TR23.748 스터디의 결론을 바탕으로 전송 계층 에지 컴퓨팅 지원을 위해 DNS를 이용한 EAS 검색 및 발견, 망내 DNS 제어를 위한 EASDF 신규 정의 등의 핵심 기능 및 절차
SA6	TR23.758 (Rel-17) Study on application architecture for enabling Edge Computing	다양한 에지 서비스를 지원하는 응용 기능의 구조를 정의하기 위해 관련 요구사항 및 기술 이슈에 대한 스터디
	TS23.5588 (Rel-17) Architecture for enabling Edge Application	TR23.758 스터디의 결론을 바탕으로 에지 응용 계층의 구조, 구성요소, 인터페이스, API 세부 절차를 포함한다.

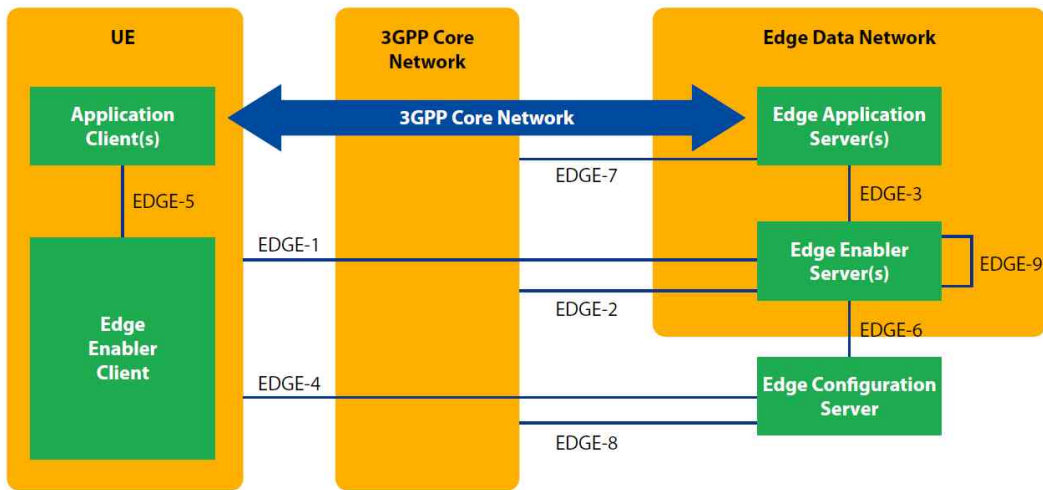
(출처: 5G 산업 지원 기술 - 에지 컴퓨팅(7))

분산된 PSA 환경에서 단말의 이동성을 지원할 수 있도록 세션 서비스 연속성(SSC, Session and service continuity)을 SSC 모드 1(PSA변경 허용 안됨), 모드 2(PDU 세션의 IP주소 해지 후 새 세션 IP주소 할당), 모드 3(새 PDU 세션 IP주소 할당 후 기존 IP주소 해지)로 나누어 지원하고 있다[7]. 또한 최적의 PSA를 선택할 수 있도록 ① 응용 기능 기반 5G 코어 네트워크 라우팅(AFI, AF influence on traffic routing), ② 지역 기반 데이터 네트워크 연결(LADN, Local area data network)에 대한 표준을 규격화하였다.

AFI 방식은 응용 기능(AF, Application Function)의 요청에 의해 PCF에서의 정책 반영과 PCF에 설정된 정책에 따른 SMF의 PDU 세션에 대한 생성, 변경을 통해 이루어진다. 응용기능의 정책 요구에는 트래픽, 서버 위치, 단말 정보, 정책이 적용되는 공간 정보, 정책 관리 식별자, 라우팅 요구사항 등이 포함되며, 응용 기능이 명시한 정보를 통해 PCF는 응용 기능의 각 서비스에 대한 라우팅 정책을 수립한다. 특히 응용 서버의 위치와 정책이 적용되는 공간 및 N6 라우팅 활용정보를 사용하여 UE의 위치와 응용 서버의 물리적 거리를 최소화하는 데이터 경로를 SMF가 선택하게 된다.

LADN 방식은 망 사업자의 설정을 바탕으로 응용 서버의 위치를 특정 위치의 UE에게 알려주는 방식으로, 특정 지역에서만 유효한 로컬 데이터 네트워크 및 로컬 서비스를 단말에 제공하는 방식이다. 특정 지역에서만 한정되어 사용 가능한 데이터 네트워크가 존재하고, 이를 특정 지역에 있는 단말만 요청하여 사용할 수 있다. 망사업자는 AMF에 지역 데이터 단말 위치에서 사용 가능한 로컬 네트워크 이름(LADN DNN) 및 해당 지역 데이터 네트워크의 서비스 가능 지역을 설정해 두고 있다. AMF는 단말의 위치를 등록 위치(registration area)로 관리하고 단말 위치가 변경되거나 최초 접속시에 등록 요청(registration request)을 통해 항상 위치를 동기화하고 있다. 이 과정에서 AMF가 단말의 위치에서 사용 가능한 지역 기반 데이터 네트워크 이름 및

서비스 지역을 단말에 알려 준다. 이를 바탕으로 단말은 특정 지역에서 특정 로컬 데이터 네트워크 이름(LADN DNN)을 명시하여 PDU 세션 요청을 하고, SMF가 PSA와 라우팅 경로를 설정한다. Release.17에서는 네트워크 구조 확장을 통해 UE의 응용 클라이언트(AC, Application Client)와 에지 데이터 네트워크(Edge Data Network)의 에지 응용 서버(Edge Application server) 간 통신과 서비스 프로비저닝, EAS 검색을 가능하게 하는 에지 응용 프로그램(Edge Application)을 지원한다. [그림 2](TS 23.558)는 이를 지원하기 위한 네트워크 구조를 나타낸다.



출처: Enabling edge computing applications in 3GPP[8]

[그림 2] 에지 응용 프로그램(Edge Application) 지원을 위한 네트워크 구조

에지조력서버(EES, Edge Enabler Server)는 EAS의 검색을 가능하게 하고, 에지조력클라이언트(EEC, Edge Enabler Client)는 UE내의 AC가 EAS를 발견할 수 있게 하는 역할을 한다. 에지설정서버(ECS, Edge Configuration Server)는 EEC에 설정값을 제공하여 EEC가 EAS와 연결되도록 한다. UE의 AC는 에지를 인지할 수도 있고, 인지하지 못할 수도 있다. 인지하는 경우에는 EEC와 직접 상호작용하여 상기 구조의 장점을 활용할 수 있으며, 인지하지 못한 경우에는 네트워크에서 AC를 대신하여 에지 서버 관련 설정을 수행한다. 표준 규격은 5G 에지 컴퓨팅의 응용 계층 지원을 위해 주요 기능을 제공하고 있다.

#### 5G 에지 컴퓨팅 응용 계층 지원을 위한 표준 주요 기능

- 서비스 설정(Service Provisioning): 에지 서비스의 선택 및 연결에 관한 초기 설정
- 등록(Registration): 단말 및 응용 서버의 정보 제공 및 관리
- 응용 서버 검색(Service Discovery): 단말에 가장 가까운 응용 서버의 검색
- 기능 개방(Capability Exposure): 네트워크 개방 정보의 전달 및 활용
- 서비스 연속성(Service Continuity): 단말의 이동에 따라 응용 서버를 변경하고 서비스 단절 최소화

SA2에서는 상기 구조를 지원하기 위해 로컬 라우팅 연결 모델, DNS를 이용한 EAS 검색, 망 내 DNS 제어를 위한 EASDF(EAS Discovery Function), 에지 재배치(Edge Relocation), ECS 주소 설정 기능을 표준화하였다[9].

새로운 에지 네트워크 구조와 기능을 통해 장점을 제공한다.

#### 새로운 에지 네트워크 구조의 장점

- 풍부한 검색: ECS에 의한 주문형 서비스 프로비저닝 및 EES에 대한 질의 필터 지원으로 EEC를 통해 AC에 의한 EAS의 풍부한 검색 가능.
- 동적 가용성: 구조의 유연성과 가용성으로 인해 네트워크 배치의 변화, UE의 이동성 등에 EAS가 유연하게 대응 가능. UE는 이러한 동적 변경에 대응하여 AC에 제공되는 서비스를 미세 조정 가능.
- 네트워크 기능 노출: EAS는 EES에 의해 노출된 서비스 API를 활용할 수 있으며, 이는 CAPIF 프레임워크 유무에 관계없이 SCEF/NEF northbound API의 기능을 기반으로 EAS가 3GPP 네트워크 기능 노출(Network Exposure Function)에 접근.
- 서비스 연속성 지원: UE 이동에 대응하여 에지나 클라우드를 변경하여 AC 서비스에 더 적합한 환경 제공. 이 경우에도 서비스 연속성 제공을 위한 에지 네트워크 간 UE 응용 상황(application context) 공유를 지원

### 3. 6G에서의 에지 컴퓨팅

6G의 7대 기술 목표에는 초광대역, 초저지연, 초절감 기술, 편재지능 기술, 초공간 입체통신 기술 등이 포함되어 있으며, 에지 컴퓨팅은 이들의 구현에 필수 요소로 연구되고 있다. 데이터와 응용 계층을 사용자 가까이 두고 높은 전송속도와 저지연을 제공하고, 분산 컴퓨팅 능력과 AI/ML 기반 지능을 클라우드로부터 사용자 가까이로 이전하여 통신과 컴퓨팅, 지능을 통합한 통신 인프라를 제공한다.

6G에서 에지 컴퓨팅의 유스케이스로는 다음과 같은 내용이 검토되고 있다. 각 유스케이스에 필요한 기술 개발 내용은 다음과 같다.

#### • 동적 자원 공유 및 캐싱

응용 계층이 원하는 품질(QoS)을 만족하기 위해서는 자원의 효율적 사용뿐 아니라 자원의 공유를 통한 최적화된 사용이 필요하다. 자원에는 주파수 자원, 컴퓨팅 자원, 저장공간 자원 등이 있으며, 산재된 자원 중 무엇을 공유하면서 최적의 품질을 도출할 것인지 결정하는 것은 중요한 연구 과제이다. 여기에는 엣지 클라우드 저장공간을 활용한 캐싱 기능에 대한 연구가 포함된다.

#### • 에지 컴퓨팅 자원을 활용한 부하 분산

영상 인식, 3D 모델링/네비게이션, 센서 데이터 공유, 블록체인 유지관리/업데이트, AI/ML 기반 인공지능 활용, 빅데이터 활용 등 산업 디지털화에 필요한 대부분 알고리즘은 많은 계산량과 단말 간 데이터 공유를 필요로 한다. 단말에서의 계산량을 네트워크의 서버로 분산하고 많은 단말 간에 꼭 필요한 데이터를 공유함으로써 보다 정교한 알고리즘을 적용하고 풍부한 정보를 기반으로 한 높은 수준의 결과물을 도출할 수 있다. 계산량이 높은 응용 계층의 분산은 전체 계산 작업의 효과적인 분할에서 시작하며, 데이터와 컴퓨팅의 분산을 위한 통신상태 고려가 필요하다. 즉

특정 서버로의 공유에 충분한 대역폭 제공 여부, 단말의 이동성에 따른 서버의 변경 필요 여부, 통신 부하 감소를 위한 통신 친화 메커니즘(압축, 양자화, 희소화 등) 적용 가능 여부 등에 대한 검토를 통해 컴퓨팅 분할을 충분히 그리고 효과적으로 지원할 수 있는 통신 패스와 운영 방식의 접목이 필요하다. 즉, 통신과 컴퓨팅의 효과적인 접목 방안이 6G에서는 구현되어야 한다. 에지 컴퓨팅을 통한 통신과 컴퓨팅의 통합은 통신과 통합된 컴퓨팅 서비스를 6G에서 제공 가능하게 만들 것이다. 서비스 개발자는 에지 컴퓨팅을 통해 분산된 컴퓨팅을 사용하여 최적화된 서비스를 제공하게 될 것이다. 이때 최적화된 통신과 컴퓨팅의 분산과 통합은 표준화된 플랫폼 아래에서 표준화된 API를 통해 서비스 개발자에게 제공될 것이다.

#### • 보안 및 개인정보 보호

에지 컴퓨팅을 통한 컴퓨팅 자원 분산을 위해 장치에서 발생하는 사용자 데이터의 활용이 필요하다. 인공지능 처리 데이터, 블록체인 처리를 위한 사용자 정보/모델 파라미터, CCTV/자동차 센서에서 취득된 데이터는 에지로 이동되어 분산된 컴퓨팅을 통해 처리된다. 이러한 데이터에는 민감한 사용자 정보가 포함될 수 있으며 이 과정에서 데이터 유출 및 개인 프라이버시 침해 문제가 발생할 수 있다. 6G 에지 컴퓨팅에서 보안 및 개인정보 보호 메커니즘이 중요한 이유이다. 이를 위해서는 더 많은 개인 정보 보호 인공지능 알고리즘과 보안 협업 방안의 개발과 보급이 필요하다.

이상에 언급된 유스케이스와 이를 가능하게 하는 기술은 6G에서의 네트워크 구조의 변화와 보다 광범위한 분야에 대한 표준화를 요구한다.

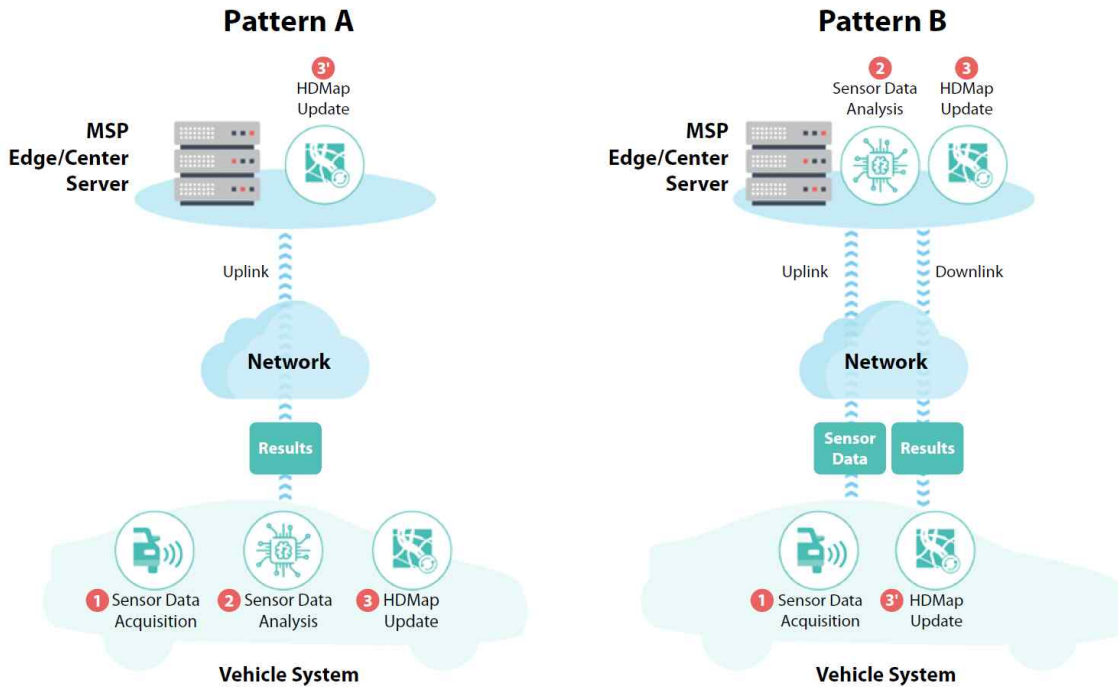
컴퓨팅 자원과 통신의 통합에 대한 예로 5G에서도 계속해서 연구되고 있는 실시간 고해상도 3D 지도 분야를 들 수 있다. 도로의 자동차는 현재 라이다와 비디오 센서를 기반으로 자율주행하고 있다. 이 센서 데이터를 공유하여 주행환경에 대한 실시간 3D 지도(3D 모델)를 구축하여 이를 자율주행 자동차에서 활용하는 유스케이스에서 통신-컴퓨팅 통합이 연구되고 있다. [그림 3]은 이 과정에서 센서 데이터를 공유하고 클라우드에서 실시간 지도를 구성하는 방안, 즉 에지에서 컴퓨팅만 활용하는 방안(Pattern B)과 네트워크 로드를 줄이기 위해 일부 센서 데이터분석을 자동차에서 수행하는 방안(Pattern A)을 도시하고 있다. 최근에는 5G 특화망의 세계적 확대로 공장, 물류센터 등의 자율주행 로봇, AGV에 필요한 3D 모델링, 위치 파악과 내비게이션에 사용되던 SLAM 기술을 에지 컴퓨팅을 통해 구현하려는 연구가 활발하다. 많은 계산량이 필요하지만 정밀한 모델링과 위치 파악이 가능한 알고리즘을 에지에서 사용할 수 있게 하는 것이 관건이다.

## 4. 맺음말

에지 컴퓨팅은 5G의 산업 적용과 서비스 고도화와 함께 기술적 발전을 지속해 왔으며, 멀티미디어 데이터 서비스와 제조, 물류 산업 현장에서의 성공적 실증 사례와 상용화를 통해 그 실효성이 입증되었으며, 5G의 보급 확산에 기여한 바가 크다.

6G로의 진화를 앞두고 초고속 통신, 초저지연과 함께 편재지능, 컴퓨팅-통신 결합 등으로 이동통신의 진화 방향이 설정되면서 에지 컴퓨팅은 다시 한번 주목받고 있다. 새로운 유스케이스와 사

업 모델 등이 에지 컴퓨팅을 통해 가능할 것으로 기대된다. 이를 위해서는 기존의 에지 컴퓨팅 구조와 지원 기술의 지속적인 발전 및 적용과 함께 새로운 유스케이스를 지원하기 위한 네트워크 구조와 새로운 알고리즘 개발이 요구되며, 표준화와 산업 생태계의 지원이 필요하다.



출처: [Operational Behavior of a High Definition Map Application][10]

[그림 3] 실시간 고해상도 3D 지도의 센서 데이터 처리 방안 비교

[참고문헌]

[1] Multi-access Edge Computing(MEC), ETSI

<https://www.etsi.org/technologies/multi-access-edge-computing>

[2] Predictive Edge Analytics and Network Slicing Enabling Mobility-as-a-Service in Global MEC Scenarios, 5GAA, 2023.5

[3] 5G for connected industries and automation 2nd Edition, 5G-ACIA, 2019. 3

[4] 5G non-public networks for industrial scenarios, 5G-ACIA, 2021. 7

[5] 5G특화망 가이드라인, 한국방송통신전파진흥원, 2020.11

[6] operator edge article “대용량 데이터 처리를 위한 핵심기술, 모바일엣지컴퓨팅(MEC)이 뜬다”, <https://www.itbiznews.com/news/articleView.html?idxno=11041>

[7] “5G 산업 지원 기술 - 에지 컴퓨팅”, TTA 기술보고서 TTAR06.0222/R1, 2023.5

[8] Enabling edge computing applications in 3GPP,

<https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/edge-sa6>

[9] “3GPP Release 17 기술규격 분석 (기술보고서)” [TTAR-06.0260]

[10] Operational Behavior of a High Definition Map Application White Paper, AECC, 2020.5

※ 출처: TTA 저널 제208호