

# 에지 컴퓨팅 기술 변화 및 표준 동향

김대원, 김선욱  
한국전자통신연구원

## 요약

클라우드 컴퓨팅, 모바일 컴퓨팅 및 IoT기술이 발전됨에 따라 다양한 기술적 요구사항을 바탕으로 에지 컴퓨팅은 진화되어 왔다. 본고에서는 발전하고 있는 에지 컴퓨팅 기술에 맞추어 에지 컴퓨팅의 기술적인 개념을 조사하고 이에 따른 기술적인 동향 및 현재 기술의 발전 방향과 다양한 공개소프트웨어 및 표준 동향에 대해서 알아본다.

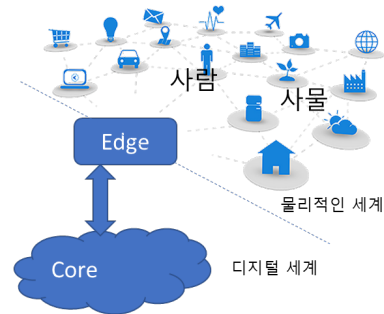


그림 1. 에지의 개념

## I. 서론

에지 컴퓨팅은 클라우드 컴퓨팅, IoT 및 5G 등 다양한 기술과 접목된다. 이런 기술적인 접목은 다양한 응용 서비스의 적용 사례와 기술적인 요구사항으로부터 발생되었다. 에지 컴퓨팅의 기원이라 할 수 있는 모바일 컴퓨팅에서의 기술적인 요구사항은 그 단적인 예라 할 수 있다[1].

이런 다양한 요구사항으로 출발한 에지 컴퓨팅의 기술적인 연관성 및 사례를 분석하는 것은 에지 컴퓨팅의 근본 특성 및 개념을 이해하는데 큰 도움이 된다. 또한 향후 기술 발전에 따른 에지 컴퓨팅의 기술 진화 및 방향성을 예측하는데 도움이 된다. 본고 서에서는 현재 상태에 에지 컴퓨팅의 다양한 기술 관련 분포 및 관련 응용 서비스를 조사한다. 이를 통하여 현재 발전되고 있는 에지 컴퓨팅의 기술 및 특징을 도출한다. 또한 다양한 공개 소프트웨어 기술 변화 및 표준화 동향에 대해서 알아본다.

## II. 본론

### 1. 에지 컴퓨팅의 개념

에지 컴퓨팅의 개념은 현재 다양한 방법으로 정의되고 있다. 그러나 기본 개념은 “에지”에 대한 정의로부터 출발한다. “에지”

는 사물과 사람들이 네트워크로 연결된 디지털 세계와 연결되는 물리적 위치를 말한다. “에지”는 논리적 또는 가상 구조가 아니며 구체적인 물리적인 위치 혹은 토폴로지 위치를 의미한다.

또한 “사물”은 물리적인 것을 말하며 데이터를 생성하는 단순 센서, 고화질 비디오 카메라와 제어 대상으로 컴퓨팅 기능과 통신 프로토콜을 지원하는 시스템 등의 물리적인 대상을 의미한다.

“사람”은 장치와 연결하여 디지털 세계와 연결한다. 그러므로 “에지”는 더 넓은 디지털 세상과 연결된다. 그러나 위와 같은 개념으로 보면 조금 모호할 수 있다. 그러므로 <표 1>과 같은 다양한 표준에서의 정의를 통하여 조금 더 구체화를 할 수 있다.

표 1. 다양한 표준에서의 에지 컴퓨팅 정의

표준	정의
ISO/IEC TR 23188 [2]	<b>Edge computing</b> is a form of distributed computing in which significant data processing and data storage takes place on nodes which are at the edge of the network. The "edge of the network" is marked by the boundary between pertinent digital and physical entities, i.e. between the digital system and the real world, typically delineated by IoT devices and end-user devices
ETSI GS MEC 001 V2.1.1 [3]	<b>Multi-access Edge Computing</b> : system which provides an IT service environment and cloud-computing capabilities at the edge of an access network which contains one or more type of access technology, and in close proximity to its users

ITU-T SG11 Q.5001 [4]	Intelligent edge computing is a network architecture concept that enables edge networking and data processing capabilities for edge analytics by applying artificial intelligence technologies.
Gartner [5]	Edge computing is part of a distributed computing topology where information processing is located close to the edge, where things and people produce or consume that information.

〈표 1〉과 같이 다양한 에지 컴퓨팅 관련 정의들을 조사하여 살펴보면 이를 통하여 나타나는 공통적인 키워드들이 존재한다. 이는 에지 컴퓨팅을 인지하는 기본 개념으로 수용할 수 있다. 위의 개념으로 도출되는 공통 키워드들은 아래와 같이 나열된다.

- 분산 컴퓨팅 (시스템, 아키텍처)
- 데이터(정보) 프로세싱(분석)
- 네트워크에서의 에지 (Edge of Network)
- 근접성(Proximity) 선호도(Affinity)

그러므로 위의 열거된 단어들은 에지 컴퓨팅의 개념을 인지하기 위한 기본 특성으로 받아들일 수 있다.

또한 위의 특성들은 에지 컴퓨팅을 구현하기 위한 중요한 기능 요소들이 될 수 있다'

그러므로 에지 컴퓨팅의 개념은 분산 컴퓨팅 환경에서 사용자와 근접한 네트워크 에지를 통하여 데이터를 분석하고 컴퓨팅 기능을 수행하기 위한 기술이라 유추할 수 있다.

에지 컴퓨팅의 개념을 이해하기 위하여 앞서 설명한 에지 컴퓨팅의 개념은 조금은 모호할 수 있다. 에지 컴퓨팅이 어떻게 왜 사용자의 요구사항을 해결해주는지에 대한 답변은 다소 미흡하다. 그러므로 실제 산업계의 동향을 통하여 에지 컴퓨팅의 어떻게 혹은 왜 사용하는지 이를 통하여 어떤 문제점을 해결하여 주는지에 대한 이해가 필요하다. 다음 장에서는 이를 위한 분석 작업을 보여준다

## 2. 에지 컴퓨팅의 타 기술과의 연관도

먼저 에지 컴퓨팅과 타 기술 간의 관계를 정량적으로 검증하기 위해 검색 도구 (구글 검색 엔진)를 이용하여 검색 결과 수를 조사하였다. 검색수가 많다는 것은 단편적으로 관심이 증가한다는 판단을 할 수 있기 때문에 가장 쉽게 동향을 판별할 수 있다. 기술 분야는 현재 산업계에 사용 레로 많이 알려지고 있는 기술 분야를 에지 컴퓨팅과 관련 검색어로 검색하였다. 그리고 2021년 2022년에 걸쳐 검색 수에 대해서 비교하여 보았다. (예: "Edge Computing" + Cloud) 관련 결과는 〈그림 2〉와 같다.

에지 컴퓨팅의 자체의 검색결과는 2021년 총 5억 2,000만개에서 2022년 3억 5,700만개로 검색수가 줄어 들었다. 이는 에

에지 컴퓨팅의 타 기술과 관련성

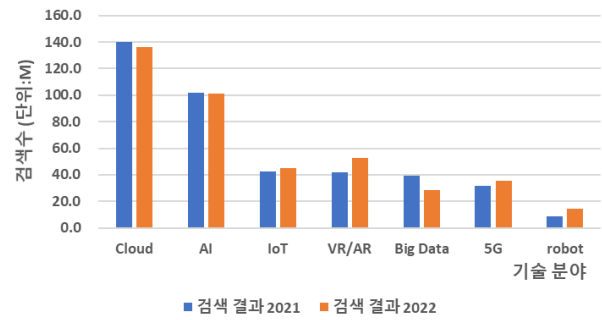


그림 2. 에지 컴퓨팅 및 기술분야와 관련성

지 컴퓨팅의 검색에 대한 빈도수가 줄어들어 전체적인 용어의 관심은 줄어 드는 것으로 판단된다. 그러나 〈그림 2〉에서 보는 바와 같이 단 1년 사이에 관련기술 검색 결과 관심도가 증가한 분야는 IoT, VR/AR, 5G 및 로봇틱스 관련 에지 컴퓨팅 기술이다. 그중 VR/AR 관련 분야는 20% 정도 상승하였고 로봇틱스 관련 분야는 40% 정도 상승하였다 그러므로 로봇틱스 관련 산업계 동향으로 에지 컴퓨팅의 관심도가 커지고 있음을 일수 있다. 또한 여전히 클라우드 및 AI 관련도는 타 분야에 비해 월등히 높음을 알 수 있다.

## 3. 다양한 사용례를 통한 에지 컴퓨팅 특징

위와 같이 분석 결과를 통해 실제 언급한 다양한 기술을 가지고 어떠한 응용 도메인에 사용되는지에 대해서 조사해 보면 것도 에지 컴퓨팅의 현재 동향과 특성을 이해하는데 도움이 된다. 먼저 가장 잘 알려진 12개의 도메인을 선정하고 이에 에지 컴퓨팅과의 연관성을 〈그림 2〉와 같은 방법으로 조사하였다.

〈그림 3〉에서 보는 바와 같이 2022년 각 응용 도메인에서 에지 컴퓨팅의 기술 도입은 해당 응용 분야에 활발히 이루어지고

도메인별 에지 컴퓨팅 연관 검색수

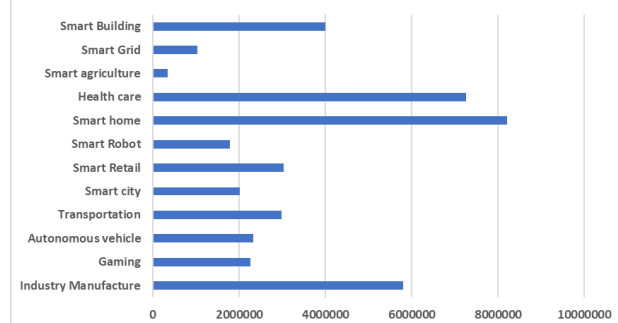


그림 3. 에지 컴퓨팅 및 응용 도메인 관련성

있다고 판단할 수 있으며 각 응용 도메인별 에지 컴퓨팅과의 기술 접목은 스마트 홈 분야와 헬스케어 분야가 가장 활발 하고 그 다음 산업 제조 분야 및 스마트 빌딩 관련 분야에 에지 컴퓨팅을 다수 접목하고 있음을 알 수 있다.

다음으로 각 응용 도메인별 에지 컴퓨팅의 기술 도입의 목적을 조사하기 위하여 각 검색에서 세부별로 어떤 목적을 위하여 도입하였는지를 검토하였다. 해당 응용 도메인의 위에서 설정된 12개의 응용 도메인 별로 검색하여 사용 목적, 및 사업계의 관련 사례에 대해서 조사하였다 <표 2>는 조사된 응용 도메인별 사용 목적 및 특징 과 실제 사업계의 사례를 조사한 표이다.

표 2. 각 도메인별 사용례 및 에지 컴퓨팅 사용 목적

에지 컴퓨팅과 관련된 응용 도메인	에지 컴퓨팅의 사용 사례	에지 컴퓨팅 사용 목적
Autonomous vehicle	셀프 드라이빙/협력 드라이버 보조 C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything) 통신 전기 배터리 모니터링 및 예측 충전 시스템 클라우드 기반 연결 드론	V2X의 실시간 통신을 위한 저지연 데이터 개인 정보 보호 및 보안 V2X 통신 및 이동성 센서 데이터에 대한 대역폭 보장 지리적 위치 기반 통신 Edge에서의 빠른 결정
Industry & Manufacture	인더스트리 4.0, 팩토리 2050 및 스마트 산업 에지 기반 조건부 모니터링 및 필터링, 유지보수 예측 제조 공장의 가상 및 증강 현실 장비 상태 추적을 위한 Industrial Edge HW 산업용 응용을 위한 기계 학습 및 센서 융합 로봇 공학 및 자동화 공장	센서 데이터에 대한 대역폭 보장 인간-기계 인터페이스 및 통신 클라우드와 협업 Edge AI/ML 데이터 개인 정보 보호 및 보안 산업 장비에서 데이터 수집을 위한 짧은 대기 시간
Smart city	교통 신호 제어/작업 영역 경고/긴급 차량 알림/대중 교통 신호 우선 순위 변경 가능한 표지판/원격 차량 진단 및 예측 유지보수/차량내 상거래/종량제 보험/스마트 주차/CCTV 제어 및 모니터링 에너지 소비를 지원하기 위한 조명 제어 및 도시 조건에 따른 조명 조정 공공 안전 및 경찰 모니터링/군중 관리/경찰의 범죄 해결 지원/스마트 폐기물 관리	실시간 긴급 상황을 위한 낮은 대기 시간 데이터 개인 정보 보호 및 보안 Edge AI/ML

Smart home	보안 시스템으로 원격으로 에너지 및 물 소비, 가정용 애플리케이션 제어 실시간 데이터를 이용한 홈 오토메이션 AI 기반 스마트 가전(스마트 세탁기, 스마트 냉장고, 스마트 스피커, 스마트 TV, 스마트 보안 시스템) 실내 온도, 습도, CO2 등을 측정하여 모바일 기기에 표시 위험시 센서에 대한 경고/에너지 비용 절감	데이터 개인 정보 보호 및 보안 대역폭 및 대기 시간 에지에서 분석 및 Edge AI/ML
Smart Retail	소매업의 에너지 관리/점유 관리 매장 효율성을 위한 콜드 체인 관리 및 안전한 HACCP 준수 냉장 시스템 보장 실시간 공급망 모니터링/리버스 자판기 모니터링/대기열 관리 옴니채널 쇼핑 - 모든 접점의 최적의 개인화 조합 지능형 물류/실시간 제품 위치 추적 실시간 거래 로그 및 현금 서랍 보고서 실시간 무게 센서 및 제품 이미지 인식 실시간 직원 얼굴 및 제스처 인식	대역폭 및 대기 시간 에지에서 실시간 데이터 처리, 분석, 시각화 및 의사 결정 Edge AI/ML
Smart agriculture	많은 질병으로부터 식물 보호 스마트 온실/ 농업용 토양 침식 제어 지속 가능한 농업을 위한 물 관리 정밀비료/자동화된 관개 및 규정 준수 곡물통 레벨 모니터링 및 제어 가축 무리 건강 추적/스마트 제초 자율 트랙터/농업용 드론 작물 모니터링, 예측까지 작물 제어, 가축 모니터링 및 농장 관리/기상예보, 식물병예보, 작물 및 토양 선택에 대한 의사결정지원 등 농업 정밀화	에지에서 실시간 데이터 처리, 분석, 시각화 및 의사 결정 Edge AI/ML
Smart Grid	스마트 전력망 수요예측/그리드 에너지 분산 에너지 자원 관리/마이크로 그리드 다중 전송 네트워크 플랫폼, 분산 인텔리전스 및 저전압 배전 관리	데이터 개인 정보 보호 및 보안 전력 전송 및 생성의 지역화 데이터 전처리 및 데이터 추출
Smart Building	직장 거리두기 및 접촉자 추적/리프트 모니터링 및 예측 유지보수 공간 모니터링/사용량 기반 청소/실내 내비게이션/대기질 관리/주차장 모니터링 지역 에너지 관리/통합 작업장 관리 시스템(IWMS)	데이터 개인 정보 보호 및 보안 데이터 전송을 위한 짧은 대기 시간 데이터 전처리 및 정확한 데이터 추출

Health care	원격 환자 모니터링 의료 기기 및 모바일 간 연결을 통한 시설 내 사람과 자산 추적 시스템. 증강 현실(AR) 및 가상 현실(VR) 의 료 절차 교육 AR과 VR을 이용한 원격 및 가상 통 증 관리. AR을 사용하여 여러 수술 기술을 레이어링할 수 있는 원격 실시간 수 술 지원. 원격진료/의료 기기 활용 및 환자 모니터링 다양한 건강 지표를 추적하는 웨어 러블 앱 비전 기반 센서와의 결합 체온 상 승 모니터링/사회적 거리두기 모 니터링/마스크 감지/탐색자의 건 강 상태 및 규정 준수 모니터링 (COVID-19)	위치 인식/높은 수준 의 보안 상태 모니터링을 위 한 짧은 대기 시간 에너지 효율/활용 성/유동성 데이터 근접성 및 효 율성
Transportation	지능형 교통 시스템, 더 안전한 도 로, 직접 주차, 마찰 없는 통행료 및 주차 요금 도시의 대중교통 시스템과 연결된 대중교통 AI 지원 교통 및 날씨 감지, 센서 지 원 양방향 도로 조명 및 스마트 포장 공항 주차 및 도착, 수하물 서비스. 스마트한 항공 연료 사용/스마트한 스케줄링 및 활주로 활용 열차 및 궤도 장애를 예방/데이터 분석을 통한 선제적 유지보수 선박 해운의 에지 컴퓨팅 디지털 혁 신 시스템	서비스 이동성 위치 인식/높은 수준 의 보안 확장성 및 컨텍스트 인식
Gaming	에지 온디맨드 클라우드 게임 배포 및 비디오 스트림 이미지 렌더링 가속화/게임 트래픽 오프로딩,	짧은 대기 시간/고대 역폭 보장 전송 비용 절감 게임 플레이어의 진 입 장벽 낮추기
Smart Robot	자동으로 수행되는 제품 조립 클라우드에 시스템 인텔리전스 배 치 및 현장에서 로봇 공학 단순화 로봇 제어 기능의 실시간 기능 스마트 로봇이 적용된 헬스케어 시 스템	대기 시간 및 대역폭 시스템 안정성 및 정 보 교환 4G 및 5G 무선 시스템 저전력/연결성/이동성 극도의 신뢰성을 통 한 고속 연결 시스템

〈표 2〉를 통하여 다양한 응용 도메인 별 에지 컴퓨팅의 도입 사례를 확인하였고 이를 통한 에지 컴퓨팅의 사용 목적을 조사 하였다. 각 분야별 응용 도메인은 다르다 할지라도 에지 컴퓨팅의 사용 목적은 중복되는 분야들이 존재한다. 그러므로 이를 통하여 에지 컴퓨팅의 기본적인 특성을 확인할 수 있고 이는 아래와 같이 정리할 수 있다

- 저지연 특성(Low Latency): 에지 컴퓨팅에서의 저지연 서비스는 서비스 중 사용자가 감지하는 응답 속도와 밀접한 관련이 있다. 낮은 지연은 네트워크 지연, 처리 지연, I/O 병목 현상 및 시스템 장애로 인해 발생할 수 있다. 또한, 분산 환경으로 인해 에지 컴퓨팅에서 작업이 서로 분산될 때 특정 위치에서 지연이 발생하여 전체 시스템에 지연 상황이 발생하는 Tail Latency가 존재하기도 한다.
- 서비스 연결성: 에지 컴퓨팅의 서비스 사용자는 낮은 지연을 위해 다양한 네트워크를 사용할 수 있다. 또한 에지 컴퓨팅의 기술적 관점에서 보면 분산된 자원이 연결되어 활용되고, 따라서 에지 컴퓨팅의 응용 서비스를 더 빠른 속도의 네트워크에 연결하고 더 빠른 경로를 설정하는 것이 중요하다.
- 서비스 이동: 5G 등 초고속 네트워크의 발달로 고속 서비스 이동성을 활용한 드론 및 자율주행 등의 에지 컴퓨팅 활용 분야에서 서비스 이동에 따른 에지 컴퓨팅의 활용 용도는 다양화되고 있다. 에지 컴퓨팅은 분산 환경에서 원활한 네트워크 연결을 위한 서비스 이동성을 지원하는 중요한 기능 중 하나이다.
- 컴퓨팅을 위한 근접성(Proximity): 프로세싱을 위한 근접성은 에지 컴퓨팅의 기술적 관점에서 데이터와 리소스 간의 역할을 명확히 한다. 데이터를 처리하기 위해 데이터에 가까운 자원을 활용하고 고속으로 응답한다. 에지 컴퓨팅의 인프라는 리소스를 공유하고 데이터 친밀도를 위해 데이터를 동기화한다.
- 서비스에 대한 친밀도(Affinity): 서비스에 대한 친밀도는 서비스가 이용자에게 가깝게 위치하는 정도를 의미한다. EC 서비스는 사용자가 서비스 이동 및 서비스 지연을 인지하지 못하게 애플리케이션을 배포 및 실행한다.
- 분산 자원의 가용성: 에지 컴퓨팅에서는 고가용성을 위해 분산 자원을 관리한다. 에지 컴퓨팅에서 자원 및 기타 연결된 인프라를 잘 활용하려면 서비스 배포 및 협업 기술이 요구된다.
- 에지 컴퓨팅 용량: 에지 컴퓨팅은 데이터를 처리하거나 서비스를 제공할 때 리소스 제약을 고려한다. 따라서 고성능 컴퓨팅을 위해서는 데이터센터나 클라우드 환경의 도움이 필요하며, 인접 에지 간의 자원 확장을 통해 자원 제약을 극복한다.
- 지능형 서비스: 최근 인공지능 기술의 발전으로 인공지능 서비스는 에지 컴퓨팅의 주요 응용 분야가 되었다. 에지 컴퓨팅은 인공지능 기술을 활용하여 에지 컴퓨팅의 응용 서비스를 고도화하기도 하고 다양한 AI 응용에 에지 컴퓨팅 서비스를 활용하기도 한다.

#### 4. 에지 컴퓨팅의 사실 표준 기술 변화

2012년 시스코의 주도로 시작된 Fog computing은 2015년



오픈 포그 컨소시엄으로 60개 이상의 산. 학. 연이 참여하여 발전되었다. 오픈 포그 컨소시엄은 포그 컴퓨팅의 정의 및 오픈 참조 구조를 정의하고 IoT, 5G, AI, Tactile Internet 등의 네트워크 응용의 상호 운용 표준을 제정하고자 시작하였다. 이후 2014년 ETSI에서는 MEC(Mobile Edge Computing)를 통하여 모바일 가입자와 가까운 무선 액세스 네트워크(RAN) 내의 비즈니스 중심 CC 플랫폼이 지연에 민감한 컨텍스트 인식 응용을 제공할 수 있게 참조 모델을 제시하였고, 여기서 컨텍스트 인식은 시스템 또는 시스템 구성 요소가 주어진 시간에 해당 환경에 대한 정보를 수집하고 그에 따라 동작하는 것을 나타낸다. 이후 MEC는 2016년에 Mobile-access Edge computing으로 변화되어 네트워크 에지에서 클라우드 기능(컴퓨팅, 스토리지 및 네트워킹 인프라)을 사용자 가까이에서 위치하여 서비스 하도록 하는 기존 개념의 확장 버전을 제시하였다. 앞서 이야기한 포그 컴퓨팅은 에지 컴퓨팅의 상위 개념으로 이야기하기도 한다.

2022년에 ETSI는 ETSI GS MEC 003 V3.1.1(2022-03) [6]을 발표하고 MEC 서버, MEC 플랫폼 매니저 및 MEC Orchestrator를 정의하였다. 2022년 6월 MEC 연합 (MEC Federation)[7]을 발표하고 서로 다른 오퍼레이터를 연결하기 위한 아키텍처를 발표하였다. 발표된 아키텍처는 <그림 4>에서 보는 바와 같이 새로운 기능 요소, 즉 MEC 페더레이터 및 해당 참조 포인트, MEC 페더레이션 관리자 및 MEC 페더레이션 브로커가 포함되었다. 이는 MEC 시스템 간의 MEC 연합을 활성화하도록 설계되었다.

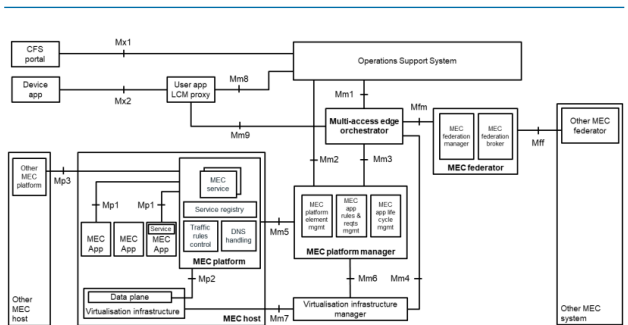


그림 4. MEC 연합 구조가 포함된 MEC 아키텍처[7]

MEC의 연합 구조는 앞서 조사한 에지 컴퓨팅의 특징에서 에지 컴퓨팅의 용량 특성에서 확인할 수 있듯이 자원 제약 문제의 해결 혹은 서비스 이동과 관련된 특성을 수용하기 위한 방안이 될 수 있다.

또 다른 사실 표준화 기구로서 3GPP는 ETSI와 유사하게 모바일 환경의 에지 컴퓨팅에 중점을 두었으나 5G의 발전에 따라 보다 확장된 표준 개발에 중점을 두고 있다. 3GPP의 프로젝트 조

정 그룹(PCG)내에 서비스 및 시스템 측면이 표준 개발을 담당하는 TSG SA에서는 SGPP 사양을 기반으로 하는 시스템 전체 아키텍처 및 서비스 기능을 책임지고 있다. 이전 Rel17에서는 SGPP 네트워크에서 에지 컴퓨팅의 기본 지원을 제공하는 것을 목표로 작업을 진행하였고 SA2부터 SA6에 이르기 까지 다양한 작업반을 통하여 작업이 진행되었다.

2020년 1월, SA6은 TR 23.758의 포괄적인 연구 및 결론을 기반으로 에지 애플리케이션을 활성화하기 위한 아키텍처에 대한 표준 사양 작업을 시작하였고 사용자 장치(UE)에서 실행되는 애플리케이션 클라이언트(AC)와 에지 데이터 네트워크에 배치된 에지 애플리케이션 서버(EAS) 간의 통신을 용이하게 하는 활성화 계층을 정의하였다. <그림 5>는 3GPP TS 23.558[8] 에지 어플리케이션 구현을 위한 아키텍처 문서의 아키텍처 그림을 보여주고 있다. <그림 5>에서 보면 EAS(Edge Application Server)는 실제 에지 응용이 구동되는 서버에 해당되고 AC(Application Client)는 실제 데이터를 요청하는 사용자가 된다 EES(Edge Enabler Server)는 EAS를 검색할 수 있도록 하는 Discovery 기능을 제공하고 사용자는 EEC를 통하여 지원 기능을 제공받도록 되어 있다. 그리고 최종적으로 EAS와 사용자가 연결하기 위한 구성을 제공하기 위한 ECS가 있고 이 구성은 EEC를 통하여 사용자와 EAS와 연결할 수 있도록 한다

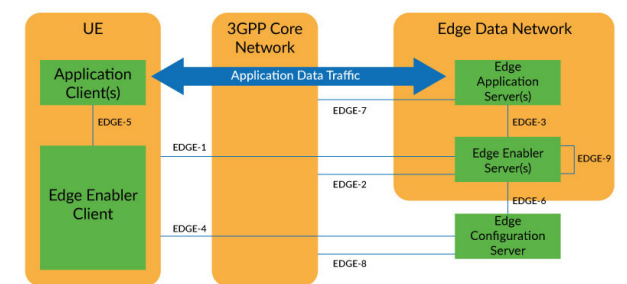


그림 5. 3GPP의 애플리케이션 아키텍처[8]

3GPP의 경우 현재 Rel17이 완료되고 Rel18이 진행되고 있으며 3GPP의 작업 항목으로 SA2에서 에지 컴퓨팅 2단계 연구(FS\_EDGE\_PH2) 및 빌딩 블록(EDGE\_Ph2)가 할당되어 2023년까지 진행 예정에 있다.

그리고 마지막으로 사실 표준 기구인 IETF에서도 활발한 에지 컴퓨팅의 표준화가 진행되고 있다. IETF의 경우 2015년 2월에 Proposed RG(Research Group)로 시작한 IRTF T2TRG(Thing-to-Thing Research Group)가 2015년 12월에 정식 RG로 승인되면서 사물인터넷(IoT) 실현을 위한 장기적인 연구 이슈에 대하여 논의하고 관련 표준 문서를 개발하기 시작하였

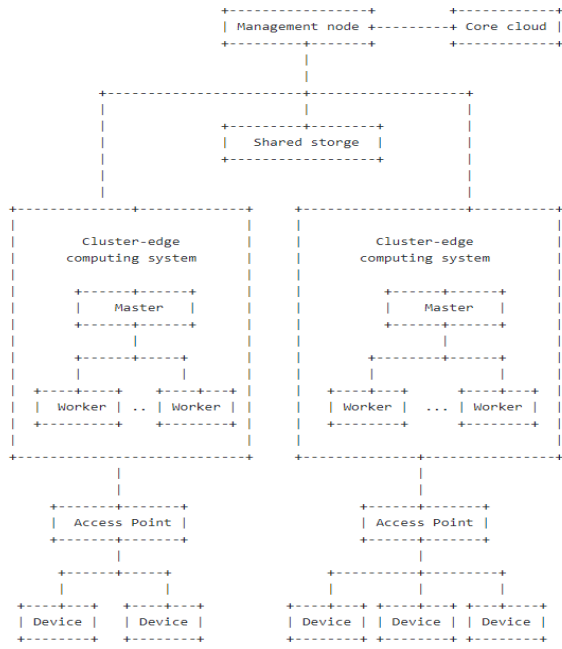


Figure 2: Multi cluster edge network topology

그림 6. 다중 클러스터 에지 시스템[9]

고 T2TRG의 주요 관심은 인터넷의 일부인 IoT 사물(Thing)이기 때문에 자원 제약적인 사물을 포함하여 모든 IoT 사물과 관련된 기술 및 연구가 주요 이슈였으나 2017년 3월에 개최된 IETF 98 T2TRG side meeting에서 IoT와 관련된 에지 컴퓨팅에 관한 첫번째 회의가 진행되면서 에지 컴퓨팅에 관한 표준 개발이 이슈가 되었다. 이 회의에서는 에지 컴퓨팅의 필요성, 용어 정의, 관련 연구 이슈에 대한 논의가 이루어 졌다. 이후 IETF 99에서도 T2TRG side meeting 형식으로만 논의가 이루어졌으나, IETF 100차 T2TRG 정례 회의에서 IoT 에지 컴퓨팅에 대한 2건의 정식 논의가 이루어졌고 그중 차이나 모바일과 화웨이에서 공동으로 작성한 것으로 Beyond Edge Computing (BEC)의 개념, 기능 및 사용 사례를 소개하는 문서를 작성하였다. 이후 IoT 에지 챌린지와 기능에 대한 표준이 논의되었고, 사물인터넷(IoT)의 급격한 발전에 따라 발생한 새로운 IoT 문제점들에 대하여 정의하고 문제점들을 해결하기 위한 에지 컴퓨팅 기술이 필요성, IoT 에지 컴퓨팅의 기능 및 참조 모델들을 정의하였다.

〈그림 6〉은 ETSI MEC 연합과 비슷한 맥락으로 IRTF에서도 다중 클러스터 에지 시스템에 관한 연구[9]가 진행되고 있고 이를 통하여 다중 클러스터의 연결 방안 및 이에 대한 클러스터 간의 협력 방안 등이 주요 이슈로 개발에 진행 중에 있다.

## 5. 에지 컴퓨팅의 공적 표준 기술 변화

ISO/IEC JTC1 SC38은 클라우드 컴퓨팅 및 분산 플랫폼 기술

분야의 표준을 개발하고 있고 현재 TR 23188\* 문서로 에지 컴퓨팅 개요에 대한 표준을 개발하여 편찬을 완료하였다[10].

TR 23188문서는 에지 컴퓨팅의 개념, 클라우드 컴퓨팅 및 IoT와의 관계, 에지 컴퓨팅 구현의 핵심 기술에 대한 기술 리포트로서 아래와 같은 내용이 포함되어 있다.

- 에지 컴퓨팅 시스템의 개념;
- 에지 컴퓨팅의 아키텍처
- 에지 컴퓨팅 용어
- 에지 컴퓨팅의 소프트웨어 분류 지원 기술(예: Container, Serverless computing, Microservice)
- 가상 네트워크를 포함한 에지 시스템용 네트워킹
- 데이터(예: 데이터 흐름, 데이터 저장, 데이터 처리)
- 소프트웨어, 데이터 및 네트워크, 리소스, 서비스 품질 관리
- 소프트웨어와 데이터, 메타데이터의 가상 배치
- 보안 및 개인 정보 보호
- 실시간
- 모바일 에지 컴퓨팅, 모바일 장치.

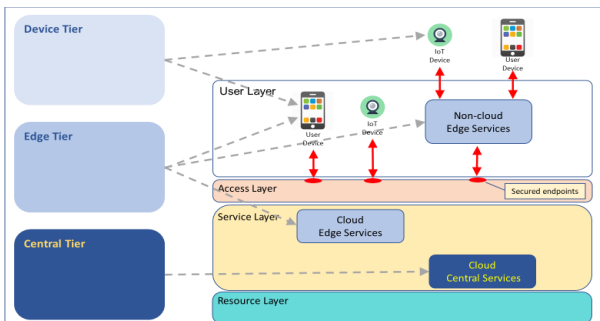
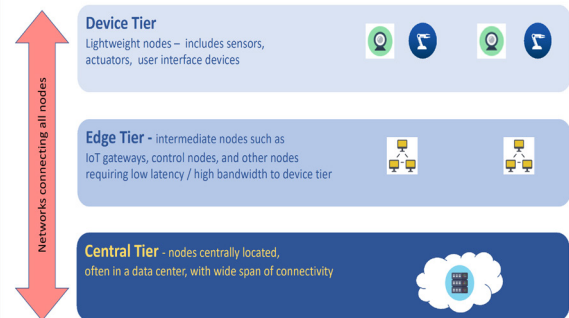


그림 7. 에지 컴퓨팅 아키텍처[10]

〈그림 7〉은 TR23188문서에 제시된 에지 컴퓨팅 아키텍처에 관한 내용을 보여주고 있다. 본 문서에서는 레이어 아키텍처 및 다양한 디플로이먼트 모델을 통하여 에지 컴퓨팅을 설명하고 있고 에지 컴퓨팅에서의 데이터 및 저장소에 관한 내용이 제시되

고 있다. 또한 2022년 10월 회의에서 클라우드와 에지 네트워크의 상호 연결에 관한 표준이 제안되어 논의가 시작되고 있다.

또 다른 공적 표준 단체인 ITU-T에서는 다양한 에지 컴퓨팅 관련 권고안들이 제정되었거나 혹은 개발 진행 중에 있다. SG 11에서 IMT-2020 5G기반 Intelligent Edge Computing(지능형 에지 컴퓨팅)의 표준(Q.5001)[11]이 2018년 7월에 제정되었다, ITU-T SG13 WP2 Q17에서는 “분산 클라우드 개요 및 High-level 요구사항 표준: Y.3508 [12] 표준이 2018년 6월 회의에서 승인되었고 2019년 10월에 표준이 제정된 이후로 후속으로 관련 표준이 속속 제안되었고, 2020년 7월에 에지 컴퓨팅 요구사항 문서(Y.ec\_reqts “Overview and requirement of edge computing)가 최초 표준으로 제안되어 개발이 진행 중에 있다.

## 6. 특허를 통한 에지 컴퓨팅의 기술 변화

2019년까지 에지 컴퓨팅에 관한 최근 10년의 출원 및 등록 특허 건수는 12,073건에 달함. 연도별 추이를 보면 <그림 8>과 같이 2015년 최고 출원 수를 가진 이후 점차 줄어들고 있다.

그러나 클라우드와 에지 컴퓨팅 관련 검색을 통하여 2019년까지 클라우드 에지 컴퓨팅 특허의 연도 별 분포를 살펴보면 <그림

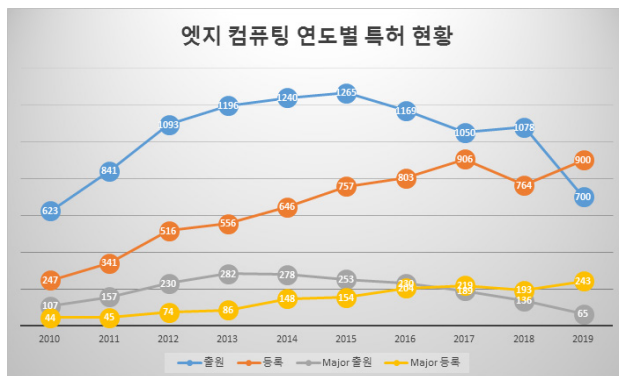


그림 8. 에지 컴퓨팅 특허 동향

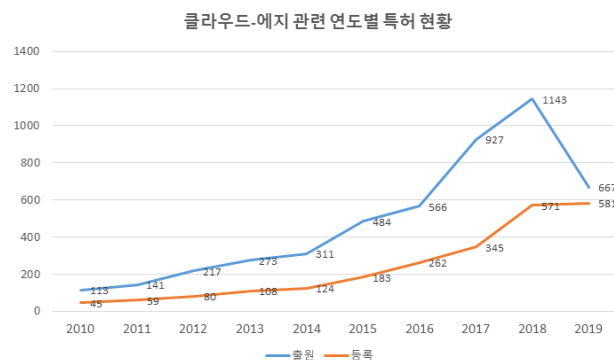


그림 9. 클라우드 에지 관련 연도별 특허 현황

9)과 같이 최근 10년 이내 특허 건수는 총 5000건에 달함. 2018년까지 높은 성장률과 함께 증가하였으나 2019년부터 줄어드는 양상을 보이고 있다. 이는 앞서 에지 컴퓨팅만의 검색을 통한 결과와 차이가 있음을 보여주고 2018년까지 클라우드 관련 에지 컴퓨팅 기술 개발은 지속적으로 이루어졌음을 알 수 있다

2020년 현재 기준으로 인공 지능 및 머신 러닝과 관련된 에지 컴퓨팅 특허를 살펴 보면 <그림 10>과 같이 전체 에지 컴퓨팅 특허에 비하여 최근 10년 이내 특허 건수는 160 여건으로 극히 미비한 수준이고 연도별 분포를 살펴보면 2014년부터 지속적인 성장을 보이고 있다 이는 앞서 검색한 2건의 특허 검색과는 다른 양상으로 현재 상태에서도 지속적으로 증가되는 것을 볼 수 있으며 이는 기술 개발이 활발히 이루어 지고 있음을 나타낸다.

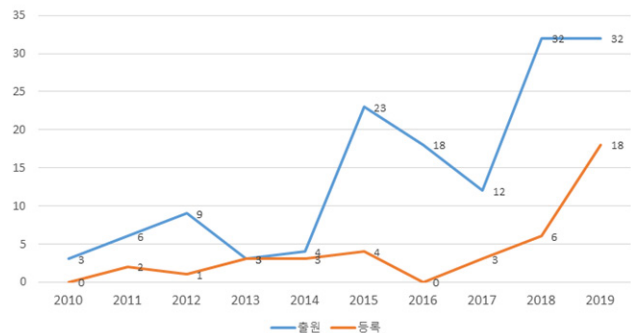


그림 10. 지능형 에지 관련 연도별 특허 현황

이는 앞서 논의한 에지 컴퓨팅의 지능형 서비스와 부합되는 현상으로 에지 컴퓨팅 기술이 지능형 서비스 기술과 함께 기술 발전이 이루어 지고 있음을 알 수 있다

## III. 결론

본고에서는 에지 컴퓨팅의 개념으로부터 타 기술과의 관계 및 현재 시점에 다양한 응용 사례를 분석하여 현재 상태의 에지 컴퓨팅에 대한 특징을 도출하였고 에지 컴퓨팅과 관련된 다양한 사실 및 공적 표준 동향 과 특허 기술을 통하여 에지 컴퓨팅 특징에 대한 기술적인 근거를 마련하였다고 할 수 있다 이렇게 도출된 특징은 현재 뿐 아니라 앞으로 진화될 기술 방향에 대한 가이드로 제시될 수 있을 것으로 사료된다.

## Acknowledgement

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2022-0-01000, 이동형 맞춤형 의료서비스 지원을 위한 유연의료 5G 에지 컴퓨팅 SW 개발)

## 참고 문헌

- [1] Karim Arabi. "Mobile Computing Opportunities, Challenges and Technology Drivers" IEEE DAC Keynote, 2014 (<http://www2.dac.com/events/videoarchive.aspx?confid=170&filter=keynote&id=170-103--0&#video>).
- [2] ISO/IEC TR 23188:2020 Information technology - Cloud computing - Edge computing landscape (<https://www.iso.org/standard/74846.html>)
- [3] ETSI GS MEC 001 V2.1.1 (2019-01) "Multi-access Edge Computing (MEC); Terminology" ([https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/mec/001\\_099/001/02.01.01\\_60/gs\\_mec001v020101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/mec/001_099/001/02.01.01_60/gs_mec001v020101p.pdf))
- [4] ITU-T SG11 Q.5001 "Signalling requirements and architecture of intelligent edge computing" (<https://www.itu.int/rec/T-REC-Q.5001>)
- [5] Information Technology - Gartner Glossary, "Edge computing" (<https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/edge-computing>)
- [6] "Multi-access Edge Computing (MEC); Framework and Reference Architecture", ETSI GS MEC 003 V3.1.1 (2022-03)
- [7] "MEC federation: deployment considerations", ETSI White Paper No. 49 1st edition - June 2022 (ISBN No 979109262070)
- [8] "Architecture for enabling Edge Applications", 3GPP TS 23.558, Rel 17 (<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3723>)
- [9] "Multi-cluster Edge System Architecture and Network Function Requirements, draft-dwon-t2trg-multiedge-arch-02
- [10] ISO/IEC TR 23188 [ISO/IEC TR 23188] Information technology - Cloud computing - Edge computing landscape (<https://www.iso.org/standard/74846.html>)
- [11] ITU-T Q.5001: Signaling requirements and architecture of intelligent edge computing
- [12] ITU-T Y.3508, Cloud computing - Overview and high-level requirements of distributed cloud, 2019.10

### 약 력



김 대 원

1998년 경북대학교 공학사  
2000년 경북대학교 공학석사  
2004년 경북대학교 공학박사  
2004년~현재 한국전자통신연구원 클라우드기반SW연구실 책임연구원  
관심분야: 클라우드 컴퓨팅, 에지 컴퓨팅, 유연의료, 표준화



김 선 욱

1996년 충북대학교 공학사  
2001년 한양대학교 공학석사  
2011년 고려대학교 공학박사  
2001년~현재 한국전자통신연구원 클라우드기반SW연구실 책임연구원  
관심분야: 클라우드 컴퓨팅, 에지 컴퓨팅, 유연의료