

# 엣지 컴퓨팅 기술 동향

## Trends in Edge Computing Technology

홍정하 (J.H. Hong, jhong@etri.re.kr)

이강찬 (K.C. Lee, chan@etri.re.kr)

이승윤 (S.Y. Lee, syl@etri.re.kr)

지능정보표준연구실 선임연구원

지능정보표준연구실 책임임연구원/실장

오픈소스센터 책임연구원/센터장

### ABSTRACT

With the evolution of the Internet of Things (IoT), a computing paradigm shift from cloud to edge computing is rapidly taking place to effectively manage the rapidly increasing volume of data generated by various IoT devices. Edge computing is computing that occurs at or near the physical location of a user or data source. Placing computing services closer to these locations allows users to benefit from faster and more reliable services, and enterprises can take advantage of the flexibility of hybrid cloud computing. This paper describes the concept and main benefits of edge computing and presents the trends and future prospects for edge computing technology.

**KEYWORDS** 엣지 컴퓨팅, IoT 엣지, 엣지 클라우드, 기술 동향, 표준화 동향, 오픈소스 동향

## 1. 서론

최근 사물인터넷(IoT: Internet of Things)의 발전과 함께 다양한 IoT 기기들로부터 발생하는 폭발적인 데이터들을 효과적으로 처리하기 위한 컴퓨팅 기술의 패러다임 전환이 빠르게 일어나고 있다. IDC(International Data Corporation)에 따르면 2025년에 약 79.4제타바이트에 가까운 데이터를 생성하는 416억 개의 인터넷에 연결된 IoT 기기가 있을 것이라고 예측하고 있으며[1], 이는 주요 종단 단

말이 스마트 기기에서 IoT를 구성하는 기계, 센서 및 카메라 등으로의 변화를 시사한다. 최근 가트너의 한 연구에 따르면 엔터프라이즈 생성 데이터의 약 10%는 이미 중앙 집중식 데이터 센터 또는 클라우드 외부에서 처리되고 있다. 이는 지속적으로 증가하여 2025년에는 약 75%에 이를 것으로 전망되고 있다[2]. 이는 중앙 집중화된 컴퓨팅 구조를 가지는 클라우드 컴퓨팅이 실시간 처리를 요구하는 스마트 팩토리, 스마트 팜, 자율주행자동차 등과 같은 다양한 사물인터넷 서비스를 수용함에 있

\* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2020.J.350608>

\* 이 논문은 2020 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[No. 2020-0-00351, 클라우드 컴퓨팅 확장을 위한 엣지 컴퓨팅 기반 기술 표준 및 응용 표준 개발].



어서 한계점이 있음을 시사한다. 또한 기하급수적으로 증가하고 있는 데이터 볼륨과 네트워크 트래픽에 따른 클라우드 서버의 처리 과부하 위험이 존재하며, 클라우드 서버로 모든 정보를 전송함에 따른 개인 및 중요 정보에 대한 침해성 문제도 존재한다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 데이터가 발생한 현장 또는 근거리에서 실시간으로 처리하는 분산화된 엷지 컴퓨팅이라는 새로운 데이터 처리 패러다임이 대두되고 있다. 특히, 최근 인공지능(AI) 기술의 발전과 함께 아마존, 마이크로소프트, 구글 등 전 세계 기업들이 엷지 컴퓨팅 기술에 대한 연구 개발을 진행하고 있으며, 엷지 컴퓨팅 기술 시장 또한 빠르게 발전하고 있다. 이에 본 고에서는 엷지 컴퓨팅의 개념과 주요 특징을 살펴보고, 엷지 컴퓨팅 기술의 동향 및 향후 전망에 관해서 기술한다.

## II. 엷지 컴퓨팅 개요

### 1. 엷지 컴퓨팅 개념 및 배경

최근 들어 산업용 사물인터넷(IIoT) 영역에서 가장 많이 언급되는 용어 중 하나인 엷지 컴퓨팅은 다양한 종단 기기에서 발생하는 데이터를 중앙 집중식 데이터 센터와 같은 클라우드로 보내지 않고 데이터가 발생한 기기 또는 근 거리에 있는 서버에서 실시간으로 처리하여 데이터 처리 시간을 큰 폭으로 단축하고 인터넷 대역폭 사용량 또한 감소시키는 새로운 산업용 데이터 처리 패러다임이다 [3,4]. 컴퓨팅 자원을 단말 기기 주변으로 이동시킴으로써 IoT 관리, 데이터 저장, 콘텐츠 캐시, 컴퓨팅 오프로드 및 서비스 딜리버리를 제공할 수 있게 된다.

엷지 컴퓨팅을 일부 작은 규모의 클라우드 플랫폼으로 보아 클라우드렛(Cloudlet)으로 쓰기도 하

고, 종단 기기 주변(엷지)에서 처리된다는 의미로 포그 컴퓨팅(Fog Computing)이라고도 한다. 따라서 본 고에서는 엷지 및 클라우드 컴퓨팅의 보완적 특성의 이해를 돕기 위해 최근 수십 년 동안의 컴퓨팅 진화[5]에 대하여 살펴보고자 한다.

엷지 컴퓨팅의 기원은 Akamai가 콘텐츠 전송 네트워크(CDN)를 출시한 1990년대로 거슬러 올라간다. 그 당시 아이디어는 이미지 및 비디오와 같이 캐시된 콘텐츠를 전달하기 위해 최종 사용자와 지리적으로 더 가까운 위치에 노드를 도입하는 것이었다.

1997년에 등장한 IoT 기반 기술인 퍼베이스브 컴퓨팅(유비쿼터스 컴퓨팅이라고도 함)은 컴퓨팅 자원의 부하를 줄이고 모바일 장치의 배터리 수명을 개선하는 것이 목표였고, 더 많은 자원을 소비하는 애플리케이션의 특정 작업을 로컬 서버로 오프로드시켰다.

2001년에 등장한 P2P(Peer-to-Peer) 오버레이 네트워크는 장거리 서버를 통한 느린 다운로드를 피하려고 도입한 근접 라우팅 개념이다. 중앙서버 없이 컴퓨터와 컴퓨터 간을 연결하여 전체 네트워크 로드를 감소시킬 뿐만 아니라 애플리케이션의 지연 시간도 개선할 수 있었다.

2006년경에 최초의 퍼블릭 클라우드 컴퓨팅이 시작되었고, 아마존의 Elastic Compute Cloud(EC2)는 최종 사용자에게 컴퓨팅 및 스토리지 자원을 임대하기 시작한 최초의 클라우드 서비스였다. 클라우드 컴퓨팅은 인터넷 기반 컴퓨팅의 한 유형으로, 자신의 컴퓨터가 아닌 클라우드에 연결된 서버 또는 다른 컴퓨터로 정보를 보내서 처리하는 기술이었다.

2009년에 등장한 Cloudlet은 엷지에 위치한 이동성이 강화된 미니 클라우드 데이터 센터로 자원 집약적인 모바일 애플리케이션을 지원하기 위한 것

이었다.

2012년, 시스코는 지능형 엣지 노드를 사용하여 대량의 계산, 저장 및 통신을 수행하는 분산 클라우드인 포그 컴퓨팅 개념을 도입했다. 포그 컴퓨팅은 데이터가 생성되는 위치와 더 가까운 근거리 통신망에 엄청난 수의 IoT 장치와 빅데이터를 처리할 수 있는 능력을 제공해서 IoT 확장성을 촉진하는 것이 목표였다.

오늘날 우리는 이미 엣지 컴퓨팅 시대에 있으며 차츰 지능형 엣지 컴퓨팅으로 전환하고 있다. 짧은 지연 시간, 로컬 자율 작업, 백엔드 트래픽 감소, 중요 데이터와 관련된 경우에는 엣지 컴퓨팅이 적합한 선택이지만, 특정 애플리케이션 및 프로세스를 실행하고 어디서나 원격 분석 데이터를 시각화하기 위해 스토리지 및 컴퓨팅 성능이 필요할 때는 여전히 중앙 클라우드 기반 서버에 크게 의존하고 있어서 최상의 솔루션은 클라우드 및 엣지에 대한 보완 전략을 배포하는 것이다.

## 2. 엣지 컴퓨팅의 장점

이 절에서는 엣지 컴퓨팅의 주요 장점[6]에 대하여 설명한다.

### 가. 지연 시간 감소

엣지 컴퓨팅의 주요 장점은 네트워크 지연 시간을 극복하는 것이다. IoT 애플리케이션에서 1초 미만의 응답 시간이 필요한 경우 클라우드에 대한 요청을 기다리는 것은 문제가 될 수 있다. 예를 들어, 안전 제어 시스템에서 사람이 기계에 너무 가까이 있음을 감지하면 그 즉시 기계를 중지시켜야 한다. 이때, 응답 시간이 지연되면 심각한 인명 피해나 기계 손상이 발생할 수 있으므로 센서에 의한 사람 인식 처리와 기계 정지 결정 처리는 네트워크 통신

에 의해 지연되어서는 안 된다. 마찬가지로 자율주행차량이나 증강현실 애플리케이션은 20ms 미만의 응답 시간이 필요한데, 클라우드와의 통신으로는 제공할 수 없어서 센서 데이터 처리를 엣지 게이트웨이로 이동함으로써 네트워크 지연을 방지하고 원하는 응답 시간을 달성할 수 있다.

### 나. 비용 절감

비용 절감 또한 엣지 컴퓨팅의 주요 장점이다. 센서 및 액추에이터에 의해 생성되는 대부분의 원격 측정 데이터는 IoT 애플리케이션과 관련이 없어서 엣지 컴퓨팅을 사용하면 데이터를 클라우드로 보내기 전에 필터링하고 처리할 수 있다. 이것은 데이터 전송에 따른 네트워크 비용을 줄이고, 애플리케이션과 관련이 없는 데이터에 대한 클라우드 스토리지 및 처리 비용을 줄이는 것이다.

### 다. 확장성

기업이 성장함에 따라 IT 인프라 요구사항을 항상 예측할 수는 없으며 전용 데이터 센터를 구축하거나 확장하는 것은 비용이 많이 들기 때문에 컴퓨팅, 스토리지 및 분석 기능이 최종 사용자에게 더 가까이 배치될 수 있는 엣지 컴퓨팅 장치를 사용하면 그 범위와 기능을 빠르고 비용 효율적으로 확장할 수 있다. 또한, 새로운 장치가 추가될 때마다 네트워크 코어에 상당한 대역폭을 요구하지 않으므로 확장 비용이 줄어들 수 있다.

### 라. 신뢰성

엣지 컴퓨팅 장치와 엣지 데이터 센터가 최종 사용자에게 더 가깝게 배치되면 먼 위치의 네트워크 문제가 영향을 미칠 가능성이 작다. 즉, 데이터 센터가 중단되는 경우에도 엣지 컴퓨팅 장치는 중요한 처리기능을 기본적으로 수행하기 때문에 자체

적으로 계속해서 효과적으로 작동할 수 있다. 또한, 네트워크에 연결된 엣지 컴퓨팅 장치와 엣지 데이터 센터가 많아서 사용자가 필요한 제품 및 정보에 여러 경로를 통해 액세스할 수 있기 때문에, 한 번의 실패로 서비스를 완전히 중단시키기가 어렵다. 따라서 기업은 고객에게 더 빠르고 원활한 서비스를 보장할 수 있다.

#### 마. 보안

엣지 컴퓨팅은 네트워크를 통해 이동해야 하는 데이터의 양을 줄이고, 데이터를 한 곳에 저장시키는 것이 아니라 분산시키기 때문에 보안 측면에서 분명히 장점이 있다. 또한 클라우드에 존재하는 정보는 쉽게 해킹되는 경향이 있지만, 엣지 컴퓨팅은 관련 정보만 클라우드로 전송하므로 이를 방지할 수 있다. 즉, 해커가 클라우드에 침투하더라도 사용자의 모든 정보가 위협에 처한 것은 아니다. 심지어, 때로는 엣지 컴퓨팅에 네트워크 연결이 전혀 필요하지 않다. 따라서 클라우드와 비교하면 엣지 컴퓨팅은 잠재적으로 보안에 대한 위협이 적다.

### 3. 엣지 컴퓨팅의 적용 사례

이 절에서는 엣지 컴퓨팅의 적용 사례를 소개한다.

#### 가. 스마트 팩토리

제4차 산업혁명의 일환으로 인공지능, 빅데이터 등 IT 기술을 기반으로 실시간 프로세스를 운영하는 스마트 팩토리[7]에서는 아주 작은 환경 변화에도 생산 효율이 떨어지거나 제품 품질 문제가 발생할 수 있으므로 공장의 온도 및 습도 또는 각 기계의 작동 상태와 같이 간단하지만 시간에 민감한 데

이터 처리는 엣지에서 수행할 수 있다. 따라서 스마트 팩토리에 엣지 컴퓨팅을 활용하면 중앙 데이터 센터 또는 서버에 대한 통신 부하를 줄임으로써 네트워크 및 스토리지 자원 비용을 줄일 수 있고, 설비 고장에 대한 실시간 예측을 통해 공정 효율성 및 설비 자산 생산성을 향상시키고 예비 조치를 통해 고장 비용을 줄일 수 있다[8].

#### 나. 스마트 팜

농사 기술에 정보 통신 기술을 통합하여 만들어진 지능화된 농장, 스마트 팜[9]은 IoT 기술을 사용하여 작물 재배 시설의 온도, 습도, 조도, 이산화탄소, 토양 등을 측정 및 분석하고, 그 결과에 따라서 제어 장치 또는 스마트폰과 같은 모바일 장치를 사용하여 적합한 상태로 설정 및 조절할 수 있다. 이미 기존 농장에서도 온도, 습도에 따른 관리 등 간단한 시스템은 IoT 기술로 쉽고 저렴하게 구현할 수 있지만, 엣지 컴퓨팅을 사용하면 대량의 데이터를 취사선택하기 더욱 쉬워지고, 인터넷 접속 상황이 나쁜 지역에서도 데이터를 처리할 수 있게 된다. 따라서 정보를 엣지단에서 처리함으로써 대량의 데이터를 계속해서 클라우드로 보내는 비용을 줄일 수 있게 된다. 특히, 고령화로 농업에 종사하는 사람들의 수가 점차 감소함에 따라 엣지 컴퓨팅을 통한 농장 시스템의 자동화 증가는 미래 스마트 팜의 원동력이 될 수 있다.

#### 다. 자율주행자동차

엣지 컴퓨팅의 대표 적용 사례 중 하나인 자율주행자동차에는 안전 주행을 위해 도로 위 다른 차량과의 통신 및 주변 환경, 방향, 기상 조건 등의 감지를 위한 수많은 센서가 장착되어 있다. 엣지 컴퓨팅은 이런 센서들이 실시간으로 생성하는 방대한 데이터를 차량 내에서 수집 및 분석하여 앞차

간 거리 유지, 주변 도로 상황 및 차량흐름 등을 파악할 수 있게 해 준다. 따라서 엣지 컴퓨팅은 앞에서 달리던 차가 갑자기 멈추거나 옆에서 달리던 차가 갑자기 앞으로 끼어드는 등 주행 중에 갑작스럽게 발생할 수 있는 예상치 못한 상황에 신속하게 대응하여 사고를 피할 수 있게 해 준다[8]. 만약, 여러 차량에서 생성된 데이터가 클라우드로 전송된 후 분석된 데이터가 다시 차량으로 전송되면서 오류나 응답 및 네트워크 연결 지연이 발생하면 치명적인 사고로 이어질 수 있다. 엣지 컴퓨팅을 적용하면 이런 데이터 전송 오류와 네트워크 지연을 최소화할 수 있다[7].

#### 라. 가상현실/증강현실

가상현실(VR)/증강현실(AR)은 새로운 디지털 세계를 제공하는 기술로 제조, 게임, 미디어, 자동차 및 의료와 같은 영역에서 새로운 작업 방식을 열어 생산성을 높이고 완전히 새로운 사용자 경험을 제공하며, 향후 ICT 시장을 혁신할 수 있는 제4차 산업혁명 시대의 핵심기술 분야이다. 실제 세계와 사용자의 움직임을 디지털 세계와 결합하고 동기화하려면 엄청난 양의 그래픽 렌더링 프로세스가 필요하기 때문에 VR/AR 장치와 클라우드 간의 워크로드를 분할하기 위해 엣지 컴퓨팅을 적용하면 매우 효과적이다. 또한 VR/AR은 짧은 지연 시간, 높은 안정성 및 높은 대역폭과 같은 네트워크 요구사항을 요구하므로 엣지 컴퓨팅을 적용하면 매우 효과적이며 사용자의 몰입감을 극대화시킬 수 있다.

### III. 엣지 컴퓨팅 기술 동향

이 장에서는 엣지 컴퓨팅의 산업체, 표준화 및 오픈소스 동향에 대하여 알아본다.

## 1. 산업체 동향

엣지 컴퓨팅은 일반적으로 IoT 장치에 연결되고 클라우드가 아닌 엔터프라이즈 네트워크의 엣지에 배포되는 작은 데이터 센터로 여겨지는데, 세계 3대 퍼블릭 클라우드 사업자인 아마존, 마이크로소프트, 구글 모두가 이미 엣지 컴퓨팅 기능을 제공하기 시작했다. 따라서 이 절에서는 이러한 클라우드 산업체 중심의 엣지 컴퓨팅 기술 동향을 소개한다.

#### 가. 아마존

아마존은 AWS(Amazon Web Services) 웨이브랜스(Wavelength)를 통하여 미국 전역에 5G 기반 엣지 컴퓨팅 서비스를 제공하고 있다. 웨이브랜스는 AWS 컴퓨팅 및 스토리지를 탑재한 '웨이브랜스 존(Wavelength Zones)'을 5G 네트워크 엣지에 배포하여 5G 기기의 애플리케이션 트래픽이 통신망을 벗어나지 않고도 웨이브랜스 존에서 실행되는 애플리케이션 서버에 도달하도록 한다[10]. 이를 통해 고객이 최신 5G 네트워크가 제공하는 초저지연 및 대역폭에 대한 이점을 최대한 활용할 수 있도록 하였다. 또한 'AWS IoT Greengrass'는 AWS를 엣지 기기까지 확장하여 데이터가 생성되는 엣지 기기 및 클라우드에 간헐적으로 연결되는 기기에서도 로컬 컴퓨팅, 데이터 캐싱, 메시징, 동기화 및 머신러닝 추론 등을 가능하게 하는 소프트웨어이다[11].

#### 나. 마이크로소프트(MS)

MS는 그림 1과 같이 'Azure IoT Edge'를 통하여 클라우드 플랫폼 'Azure'의 기능을 IoT 엣지 기기로 확장해 주는 서비스를 제공하고 있다. Azure IoT Edge를 사용하면 클라우드에서 개발한 인공지능



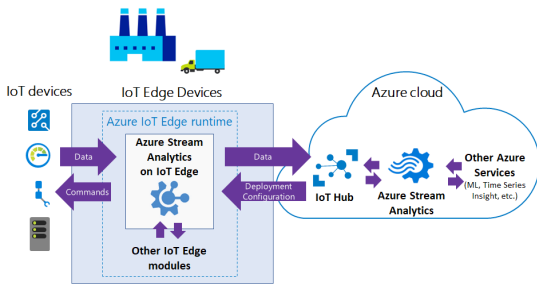


그림 1 MS의 Azure IoT Edge 구성도[13]

서비스 및 분석 인텔리전스를 IoT 엣지 기기에서 사용할 수 있고, IoT 엣지 기기들이 오프라인 상태이거나 클라우드에 일시적으로 연결된 상태에서도 안정적으로 작동할 수 있게 된다[12,13]. 또한 MS는 Azure 컴퓨팅, 스토리지 및 인텔리전스를 엣지 위치에서 제공하는 Azure 관리형 디바이스인 ‘Azure Stack Edge’도 출시했으며, 이것은 기계 학습 및 IoT 애플리케이션에 최적화되어 있다[14].

### 다. 구글(Google)

구글은 IoT 엣지 기기에서 텐서플로우 라이트 머신러닝을 수행할 수 있는 초소형 AI 칩 ‘엣지 TPU(Tensor Processing Unit)’를 개발하였고, 소프트웨어 스택인 ‘Cloud IoT Edge’를 통하여 구글 클라

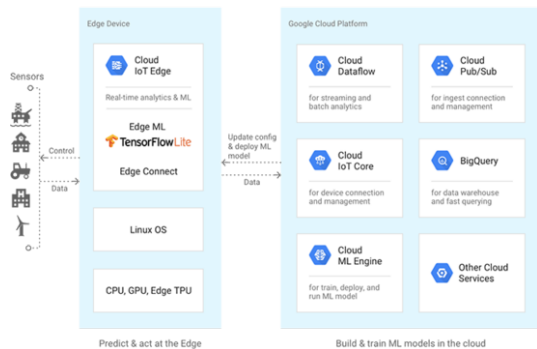


그림 2 구글의 Cloud IoT Edge[15]

우드의 데이터 처리 및 머신러닝 기능을 게이트웨이 또는 IoT 엣지 기기로 확장할 수 있도록 했다 [15]. 즉, 그림 2와 같이 구글 클라우드 플랫폼에서 학습된 머신러닝 모델을 Edge TPU 칩의 기능을 통해 Cloud IoT Edge 기기에서 실행할 수 있게 했다.

### 라. 기타

IBM은 IoT 엣지 게이트웨이 모듈로 Watson Speech-to-Text 및 Watson Tone Analyzer를 사용하고 클라우드 모듈로 분산 IoT 쿼리 엔진을 실행하여 Edge IoT Analytics 기술을 초기 개념 증명(Proof-of-Concept) 수준으로 구축하였다[16].

인텔은 자사의 CPU 및 HW 기술을 이용하여 EdgeX 및 StarlingX 등 다양한 오픈소스 진영에서 엣지 컴퓨팅 시스템을 개발 중이고, 엣지 기기에서 AI 추론을 실시간으로 가능하게 하는 주문형 반도체인 모비디우스 VPU(Vision Processing Unit)도 개발 중이다[17]. 또한 2019년에 5G 통신 속도를 높이는 지능형 엣지 플랫폼 ‘Smart Edge’를 인수하여 엣지 컴퓨팅 시장 발전의 가속화를 추진 중이다[18].

2016년 퍼블릭 클라우드 사업을 철수한 HPE는 2017년에 엣지 서버를 내장한 IoT 서버를 발표하였고, 2017년 10월에는 IoT용 인텔리전스 엣지 솔루션과 하이브리드 데이터 센터를 발표하였다. 현재는 ‘Edgeline(EL)’ 브랜드로 데이터센터 및 엣지 컴퓨팅 인프라 솔루션을 제공하고 있다 [8].

NVIDIA는 실시간 AI 엣지 컴퓨팅 플랫폼 ‘EGX’를 출시하여 AWS IoT Greengrass 및 MS Azure IoT Edge와의 연결을 지원하는 등 AI 애플리케이션과 프레임워크를 위한 단일 통합 기반의 AI 엣지 컴퓨팅 플랫폼을 제공하고 있다[19].

## 2. 표준화 동향

엣지 컴퓨팅의 표준화는 그림 3과 같이 현재 여러 표준화 기구에서 진행 중이며, 기존 클라우드 컴퓨팅을 엣지 컴퓨팅으로 확장하기 위한 분야와 이동통신 서비스 및 사물인터넷 등의 응용서비스에 적용하기 위한 분야로 나뉘어 상호보완적으로 표준이 개발 중이다. 각 기구의 표준화 대상은 디바이스, 네트워크, 플랫폼, 관리(Management) 등 다양한 영역에 걸쳐 있다. 특히 ETSI, ITU-T, ISO/IEC 등에서는 다양한 액세스 네트워크를 위한 엣지 컴퓨팅 기술의 프레임워크와 클라우드 컴퓨팅과의 연동에 관한 표준화를 진행 중이며, 3GPP 및 IETF/IRTF 등에서는 5G 및 IoT 등과 같은 특정 유즈케이스의 엣지 컴퓨팅 기술 적용을 위한 세부 기술 표준화를 진행 중이다. 표 1은 각 주요 표준화 기구별 엣지 컴퓨팅 관련 표준의 주요 개발 현황 개요를 나타내고 있으며 기구별 자세한 개발 내용은 참고문헌 [20]을 참고하기 바란다.

## 3. 오픈소스 동향

리눅스 파운데이션(Linux Foundation)이 엣지 컴퓨팅 시장을 통합하고 다양한 엣지 프로젝트에 사용할 공통 프레임워크 개발을 위해 2019년 2월

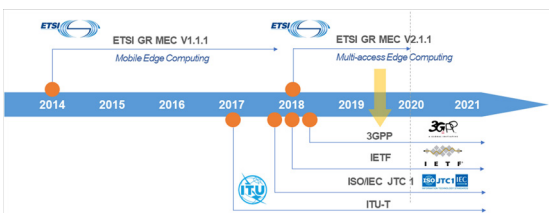


그림 3 엣지 컴퓨팅 관련 표준화 현황[20]

표 1 표준화기구별 엣지 컴퓨팅 개발 개요[20]

표준화 기구	표준 개발 내용
ITU-T	5G 엣지 컴퓨팅, 엣지 클라우드 등 다양한 유무선 통신 환경에서의 엣지 컴퓨팅 관련 표준을 개발 중(2017년~현재)
ISO/IEC JTC1	본격적인 엣지 컴퓨팅 표준개발을 위한 사전 작업으로 클라우드 컴퓨팅 관점에서의 엣지 컴퓨팅(SC 38)과 사물인터넷 관점에서의 엣지 컴퓨팅(SC 41) 관련 용어 및 요구사항 관련 기술문서 개발(2018~2019년)
3GPP	이동통신 서비스 환경에서 MEC 개념을 수용하기 위한 5G 기반 MEC 관련 표준을 개발 중(2018년~현재)
ETSI	모바일 엣지 컴퓨팅(MEC) 개념을 정립하고 MEC 관련 서비스 시나리오, 용어, 참조구조, API 등 약 35종의 규격을 표준화 완료(2014~2020년)
IETF/IRTF	사물인터넷 관점에서 엣지 컴퓨팅 요구사항 및 기능 표준을 개발 중에 있으며(2018년~현재), 이기종 네트워크 접속 관리 기술(Multi-Access Management Services)을 최근 표준으로 제정(RFC 8743)(2020년 3월)

에 'LF Edge'라는 새로운 파운데이션을 설립하였다 [21]. 표 2와 같이 현재 LF 엣지 산하에 9개의 프로젝트가 있으며 Impact, Growth, At Large의 단계로 구분한다.

오픈엣지 컴퓨팅(Open Edge Computing)은 Open Edge API 및 참조 구현을 기반으로 모든 네트워크 엣지 노드가 모바일 애플리케이션 또는 시스템에 표준화된 개방형 엣지 자원을 제공하여 엣지 컴퓨팅을 지원하는 오픈소스 프로젝트로 글로벌 규모에서 엣지 컴퓨팅 플랫폼 및 서비스의 통합을 추진 중이다[31].

이클립스 쿠라(Eclipse Kura)는 IoT 게이트웨이 구축을 위한 플랫폼을 제공하는 Eclipse IoT 프로젝트로 게이트웨이의 원격 관리를 가능하게 하고 자체 IoT 애플리케이션을 작성 및 배포할 수 있도록 다양한 API를 제공하는 스마트 애플리케이션 컨테이너이다[32].

표 2 LF 엣지 산하 프로젝트

단계	프로젝트	개요
Impact	EdgeX Foundry	델 EMC가 처음 시작한 프로젝트로, IoT Edge에서 이기종 디바이스와 애플리케이션 간의 상호 운용성을 지원하는 오픈소스 기반의 소프트웨어 프레임워크임[22]
	Akraino	AT&T를 중심으로 시작되었고, 엣지 컴퓨팅 시스템 및 애플리케이션에 최적화되고 가용성 높은 클라우드 서비스를 지원하는 오픈소스 기반의 소프트웨어 스택임[23]
Growth	Home Edge	삼성이 지원하는 프로젝트로, 라이브러리 및 런타임으로도 실행할 수 있는 API 세트가 있고 상호운용성, 유연성, 확장성을 지원하는 엣지 컴퓨팅 서비스 플랫폼임[24]
	EVE	Zededa의 프로젝트로, 엣지 하드웨어 가상화를 지원하며 운영체제, 통신 프로토콜, 하드웨어 등 엣지 컴퓨팅 환경을 통합하는 플랫폼임[25]
	Fledge	산업용 엣지를 위한 오픈소스 기반의 프레임워크 및 커뮤니티이며 기존의 산업용 브라운 필드 시스템 및 클라우드와 연동을 지원하는 플랫폼임[26]
	State of the Edge	엣지 컴퓨팅의 구성 요소 및 개념에 대한 표준 정의의 데이터베이스 유지를 통하여 엣지 컴퓨팅 관련 기술 용어를 쉽게 찾을 수 있도록 함[27]
At Large	Baetyl	다양한 하드웨어 및 디바이스 기능을 표준화된 컨테이너 런타임 환경 및 API로 처리하는 엣지 컴퓨팅 범용 플랫폼임[28]
	Open Horizon	IBM이 지원하며, 컨테이너화 된 워크로드 및 관련 기계 학습 서비스 소프트웨어 수명 주기를 관리하기 위한 플랫폼임[29]
	Secure Device OnBoard	IoT 기기에 대한 TAM을 확장해서 데이터 처리 인프라의 생태계 가속화를 목표로 하고, 더욱 쉽고 빠르게 저렴하고 안전한 장치 온 보딩을 제공함[30]

34.1%의 연평균 성장률로 2020년 36억 달러에서 2025년 157억 달러로 성장할 것으로 예측하였다 [33]. 이것은 다양한 분야에 걸쳐 확산하고 있는 IoT, 실시간 처리 및 지연 시간 축소를 통한 자동 의사결정에 대한 수요 증가, 기하급수적으로 증가하고 있는 데이터 볼륨 및 네트워크 트래픽을 극복해야 하는 필요성 때문일 것이다. 이처럼 지난 몇 년 동안 지속적으로 컴퓨팅의 새로운 패러다임으로 급부상하고 있는 엣지 컴퓨팅 기술은 향후 5년까지는 더 급성장할 것으로 보인다.

마지막으로 엣지 컴퓨팅 기술에 대한 향후 전망을 다음과 같이 세 가지로 간략하게 정리해 본다.

첫째, 엣지 컴퓨팅은 새로운 비즈니스 모델을 가져올 것이다. 퍼블릭 클라우드 제공 업체, 인터넷 서비스 제공 업체(ISP), 콘텐츠 전송 네트워크(CDN) 또는 데이터 센터 코로케이션 제공 업체와 같은 많은 공급 업체가 기본 IaaS 및 PaaS 서비스를 제공하기 위해 이미 엣지 컴퓨팅을 구현하기 시작했다. 이러한 공급 업체의 대부분의 목표는 새롭고 혁신적인 비즈니스를 지원하기 위해 일부 서비스에 대한 연결을 분산시키는 것이다.

둘째, 엣지 컴퓨팅과 클라우드 컴퓨팅은 공존할 것이다. 가트너에 따르면 2025년까지 기업에서 생산한 데이터의 75% 이상이 중앙 집중식 데이터 센터 또는 클라우드 외부에서 생성 및 처리될 것으로 예상된다[2]. 그러나 엣지 컴퓨팅이 클라우드 컴퓨팅을 완전히 대체할 수 없다. 엣지 컴퓨팅은 클라우드 컴퓨팅의 단점을 보완하는 기술이기는 하지만, 실제로 두 기술은 서로를 보완하면서 공존하는 형태로 발전할 것이다. 광범위한 요구 사항이 필요한 복잡한 IoT 환경에서는 두 기술의 조합이 최상의 솔루션이 될 것이다.

셋째, 엣지 컴퓨팅은 인공지능(AI) 기반의 사물 인터넷을 위한 필수 기술이 될 것이다. AI 기술이

#### IV. 향후 전망 및 결론

마켓스앤마켓스에서는 엣지 컴퓨팅 시장이



점차 발전하면서, 원격 데이터 센터가 아닌 스마트 기기에서 기계 학습 작업을 수행하거나 가속화하는 엣지 AI 칩에 대한 요구가 커지고 있다. 딜로이트의 자료에 의하면, 2024년까지 엣지 AI 칩의 매출이 15억을 초과할 것으로 예상되고, 이는 연간 단위 판매가 최소 20% 증가했음을 나타낸다. 이러한 엣지 AI 칩은 로봇, 카메라, 센서 및 기타 IoT 장치와 같은 여러 엔터프라이즈 시장에서의 사용뿐 아니라, 스마트폰, 태블릿, 스마트 스피커 및 웨어러블과 같은 점점 더 많은 소비자 기기에도 적용될 것으로 분석된다[34]. 기존에는 클라우드 데이터 센터에서 AI가 훈련되고 추론되었다면, 이제는 추론이 데이터가 생산되는 부분(엣지)으로 내려오게 되면서 엣지 컴퓨팅의 필요성 및 중요성은 더욱 강조될 것이다.

본 고에서는 IoT, 5G, AI, 빅데이터 등과 함께 제4차 산업혁명 시대에 요구되는 필수 요소 기술로서 급부상하고 있는 엣지 컴퓨팅에 대한 개념 및 주요 특징을 설명하였고, 산업체, 표준화, 오픈소스 동향 및 향후 전망에 대하여 간략히 알아보았다.

#### 용어해설

**엣지 컴퓨팅** 다양한 종단 기기에서 발생하는 데이터를 중앙 집중식 데이터 센터와 같은 클라우드로 보내지 않고 데이터가 발생한 기기 또는 근거리에서 실시간으로 처리하여 데이터 처리 시간을 큰 폭으로 단축하고 인터넷 대역폭 사용량 또한 감소시키는 새로운 산업용 데이터 처리 패러다임

#### 약어 정리

3GPP	3rd Generation Partnership Project
AI	Artificial Intelligence
AR	Augmented Reality
AWS	Amazon Web Services
CDN	Content Delivery Network
DDoS	Distributed Denial of Service

ETSI	European Telecommunications Standards Institute
IETF	Internet Engineering Task Force
IIoT	Industrial IoT
IoT	Internet of Things
IRTF	Internet Research Task Force
ITU-T	International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector
JTC	Joint Technical Committee
MEC	Multi-access Edge Computing
ML	Machine Learning
MS	Microsoft
SDK	Software Development Kit
TPU	Tensor Processing Unit
VPU	Vision Processing Unit
VR	Virtual Reality

#### 참고문헌

- [1] IDC forecasts, "The Growth in Connected IoT Devices Is Expected to Generate 79.4ZB of Data in 2025," 2019. 6. 18.
- [2] Smarter With Gartner, "What Edge Computing Means for Infrastructure and Operations Leaders," 2018. 10. 3.
- [3] TTA, 에지 컴퓨팅, [http://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryV1ew.do?word\\_seq=165974-5](http://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryV1ew.do?word_seq=165974-5)
- [4] 김영덕, "에지컴퓨팅(Edge Computing) 기술 동향과 시장분석," KOSEN 분석리포트, 2018. 11. 30.
- [5] Bosch ConnectedWorld Blog, "Cloud and edge computing for IoT: a short history," 2018.
- [6] Byteant blog, "How Edge Computing Will Transform Most Industries' Future," 2019. 8. 29.
- [7] 소프트캠프 블로그, "엣지 컴퓨팅(Edge Computing) 적용 사례와 보안," 2019. 2. 27.
- [8] 신성식 외, "엣지 컴퓨팅 시장 동향 및 산업별 적용 사례," 전자통신 동향분석, vol. 34, no. 2, 2019, pp. 51-59.
- [9] 네이버 블로그, "스마트 팜(Smart Farm)이란?," 2016. 7. 14.
- [10] 아마존, "AWS Wavelength," <https://aws.amazon.com/ko/greengrass/>
- [11] 아마존, "AWS IoT Greengrass," [https://aws.amazon.com/greengrass/?nc1=h\\_ls](https://aws.amazon.com/greengrass/?nc1=h_ls)

- [12] 마이크로소프트, "Azure IoT Edge," <https://azure.microsoft.com/ko-kr/services/iot-edge/>
- [13] 마이크로소프트, "Azure Stream Analytics on IoT Edge," <https://docs.microsoft.com/ko-kr/azure/stream-analytics/stream-analyticsedge>
- [14] 마이크로소프트, "Azure Stack Edge," <https://azure.microsoft.com/en-us/products/azure-stack/edge/>
- [15] 구글 블로그, "Bringing intelligence to the edge with Cloud IoT," <https://blog.google/products/google-cloud/bringing-intelligence-to-the-edge-with-cloud-iot/>
- [16] IBM 블로그, "A guide to Edge IoT analytics," <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/edge-iot-analytics/>
- [17] 인텔, "Movidius Vision Processing Units (VPUs)," <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/processors/movidius-vpu.html>
- [18] 인텔, "Smart Edge," <https://www.intel.co.kr/content/www/kr/ko/design/technologies-and-topics/edge-cloud-computing/smart-edge-software.html>
- [19] NVIDIA, "THE NVIDIA EGX AI PLATFORM," <https://www.nvidia.com/en-us/data-center/products/egx-edge-computing/>
- [20] 인민교 외, "엣지 컴퓨팅 표준화 동향," OSIA S&TR 저널, vol. 33, no. 2, 2020, pp. 17-25.
- [21] LF Edge, <https://www.lfedge.org>
- [22] EdgeX Foundry, <https://www.edgexfoundry.org/>
- [23] Akraino, <https://www.lfedge.org/projects/akraino/>
- [24] Home Edge, <https://www.lfedge.org/projects/homeedge/>
- [25] EVE, <https://www.lfedge.org/projects/eve/>
- [26] Fledge, <https://www.lfedge.org/projects/fledge/>
- [27] State of the Edge, <https://www.lfedge.org/projects/stateoftheedge/>
- [28] Baetyl, <https://www.lfedge.org/projects/baetyl/>
- [29] Open Horizon, <https://www.lfedge.org/projects/openhorizon/>
- [30] Secure Device Onboard, <https://www.lfedge.org/projects/securedeviceonboard/>
- [31] Open Edge Computing, <https://www.openedgecomputing.org/>
- [32] Eclipse Kura, <https://www.eclipse.org/kura/>
- [33]마켓스앤마켓스 엣지 컴퓨팅 시장 보고서, <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/edge-computing-market-133384090.html>
- [34] Deloitte Insights, "Technology, Media, and Telecommunications Predictions 2020," 2019. 12.