

# 에지컴퓨팅 - 메타버스 구현을 위한 핵심기술

윤대균 아주대학교 소프트웨어학과 교수

## 1. 들어가며 - 영화와 게임 속 메타버스는 이미 현실

증강현실(AR, Augmented Reality)과 가상현실(VR, Virtual Reality)을 넘어 메타버스(Metaverse)가 각광을 받고 있다. '메타버스'라는 말은 닐 스티븐슨(Neal Stephenson)이 1992년 발표한 SF 소설인 스노우 크래시(Snow Crash)에 처음 사용됐다고 한다. 가상현실에 기반한 미래형 인터넷으로 메타버스를 만들고, 이 안에서 사람들은 아바타의 형태로 서로 교감한다는 것이 이 소설의 설정이다.

키아누 리브스가 1999년 주연으로 나온 영화 「매트릭스」는 메타버스에 기반한 가장 대표적인 대중매체다. 매트릭스 이후 수많은 작품에서 볼 수 있듯 많은 SF 영화나 소설에서 메타버스는 단골 소재로 자리잡았다. 대중매체의 메타버스는 1982년 월트 디즈니에서 만든 트론(Tron)까지 거슬러 올라가기도 한다.

2018년 개봉된 스티븐 스피버그 감독의 영화 레디 플레이어 원(Ready Player One)은 요새 우리가 이야기하는 메타버스를 실제에 가장 가깝게 묘사한 영화로 손꼽힌다. 이 영화에서 사람들은 '오아시스(OASIS, Ontologically Anthropocentric Sensory Immersive Simulation)'라는 시스템을 통해 메타버스 속에서 현실과는 다른 삶을 즐긴다. '오아시스'라는 이름 자체가 실제 존재하는 것 같은 감각 몰입형 시뮬레이션 시스템으로 풀이되는데, 이것이 바로 메타버스가 지향하는 시스템이다.

온라인 게임 세계에서도 메타버스는 널리 활용되고 있다. 등장 이후 세계적으로 돌풍을 일으킨 게임, 로블록스(Roblox)는 게이머들이 새로운 게임을 만들어 서로 플레이하는 것을 핵심적인 차별화 기능으로 삼았다. 유저들은 가상 세계에서 자신만의 게임을 만들어서 다른 사용자에게 사고팔 수 있다. 이러한 기능은 메타버스의 정의에 정확하게 부합한다.<sup>1)</sup>

메타버스를 활용한 게임은 단순한 멀티플레이어 게임이 아니다. 메타버스 게임 유저들은 또다른 가상세계 안에서 다른 유저들과 교류하며 새로운 생태계를 만들어간다. 유튜브에서 볼 수 있는 수많은 로블록스 영화나 뮤직비디오가 로블록스 메타버스의 규모를 짐작케 한다. 유튜브에 2019년 올라온, 로블록스로 만든 영화인 '마지막 손님(The Last Guest)<sup>2)</sup>은 6천만 회 가까운 조회 수를 기록하는데, 이 영화를 시청하는 층이 로블록스 사용자 그룹으로 한정되어 있다는 점을 감안하면 매우 큰 숫자다.

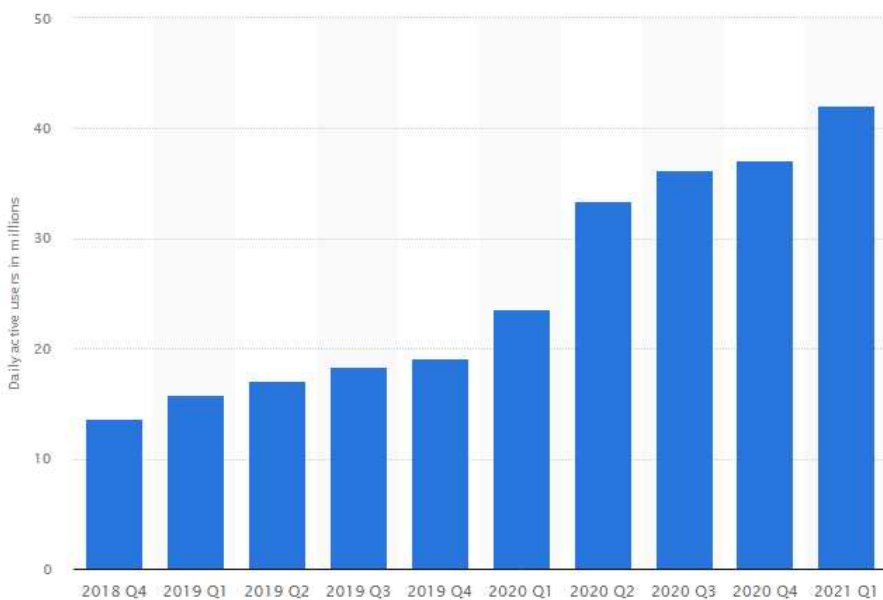
1) Wired, "Roblox wants to build the Metaverse. Can it?", Apr 07, 2021 <https://www.wired.co.uk/article/roblox-metaverse>

2) The Last Guest: FULL MOVIE(A Roblox Action Story) <https://youtu.be/1ZM6ztUllWY>



[그림 1] 멀티플레이어 게임을 넘어 메타버스를 구축해 나가고 있는 로블록스. 이로 인한 사회적 이슈들 또한 대두되고 있다.

로블록스에 대한 관심이 급격히 높아진 배경에는 코로나19로 인한 팬데믹이 있다. 로블록스는 2019년 4분기까지 일 사용자(Daily Active Users)가 2천만 명 미만이었으나, 1년여 뒤인 2021년 1분기에는 [그림 2]에서 보듯 4천만 명을 훌쩍 뛰어넘었다. 로블록스는 이에 힘입어 2021년 3월 뉴욕증시에 상장했는데, 2021년 8월 2일 현재 시가 총액은 438억 달러이며 이는 전통적인 온라인 스포츠게임의 최강자 EA의 시가 총액인 411억 달러를 상회하는 수준이다.



[그림 2] 로블록스 일 사용자 추이

출처: Statista

2016년에는 VR 헤드셋인 오쿨러스 리프트(Oculus Rift)용 로블록스가 출시되어 이젠 VR로도 즐길 수 있다. 현재 오쿨러스뿐만 아니라 HTC 바이브(Vive)에서도 지원된다. VR을 통한 경험은 몰입형 메타버스에 한 발 더 가까이 다가가게 한다. 아직 시각 이외의 감각기관을 이용하는 것은

매우 제한적이고 동작을 통한 입력 방식은 1인칭 사람 중심의 메타버스의 세계와는 다소 거리가 있는 것이 사실이지만, 로블록스의 경우만 보더라도 이 안에서 만들어지는 세상의 구성 요소는 실제 세상과 크게 다를 바가 없다. 눈에 보이는 요소뿐만 아니라 세상을 움직이는 보이지 않는 모든 요소들을 시뮬레이션 환경에서 보고 느낄 수 있는 것이다.

요컨대, 스마트폰이나 PC를 통해 들어가든, VR기기를 통해 들어가든, 모든 참여자가 동일시간에 똑같은 세계를 보고 느끼도록 하는 것이 메타버스의 관건이다. 이를 구현하려면 다양한 기술이 필요하지만, 그중에서도 에지컴퓨팅 기술이 메타버스 구현을 위한 핵심 기술로 대두되고 있다.

## 2. 에지컴퓨팅이란 무엇인가?

에지컴퓨팅에서의 '에지(edge)'는 네트워크의 주변부를 의미한다. 말 그대로 해석하면 네트워크 끝 단에서 이루어지는 컴퓨팅이다. 네트워크는 매우 복잡하게 구성된다. 만약 내 스마트폰에서 실행시킨 애플리케이션이 먼 곳에 있는 데이터센터의 컴퓨터에서 실행된 결과를 요구한다면 데이터를 입력해 전송하여 실행 후 그 결과를 받아 오기까지 수십 내지는 수백 번 중계 장치(라우터)를 거쳐야 한다. 너무 멀지 않고 네트워크 상태가 양호하다면 수십 ms(밀리세컨드) 내에 안정적으로 응답을 받을 수 있을 것이다. 그러나 네트워크 상태에 따라 수백 ms, 혹은 그 이상 시간이 걸리거나 아예 응답을 받지 못하는 경우도 발생할 수 있다. 인터넷을 사용하다 보면 흔히 겪는 현상이기도 하다. 그런데 만일 이처럼 불확실한 응답이 결코 용납될 수 없는 경우라면 어떨까? 모든 사용자에게 동일한 경험을 제공해야 하는 메타버스 구현 환경이 바로 여기에 해당한다. 특히 VR 헤드셋을 착용한 상태라면 몰입감을 극대화하기 위해 사용자의 움직임에 따라 즉각 반응해야만 한다.

이처럼 즉각적인 응답을 실현하려면 네트워크 요구 사항이 매우 높아진다. 첫째 네트워크 지연 시간에 대한 제약조건이 강화되며, 둘째 신뢰성이 매우 높아야 한다. 5G에서는 이런 케이스를 초안정성(ultra-reliability) 및 초저지연성(ultralow latency) 요구 사항으로 분류하여 주요 성능 목표로 삼는다. 이를 달성하는 데 필요한 핵심기술이 에지컴퓨팅이다. 즉각적인 응답이 필요한 연산을 네트워크 말단, 사용자가 직접 경험하는 장치나 그 주변에서 수행함으로써 네트워크 부하를 줄이고 응답 지연을 '0'에 가깝게 하는 기술이다.

에지컴퓨팅은 자율주행에서도 매우 중요한 기술이다. 자율주행차의 경우 사업자나 사용자가 직접 수집해서 서버에 축적한 데이터 이외에도 실시간으로 변하는 교통정보, 또는 끊임없이 변경되는 지도 및 위치정보와 같이 실시간으로 현장에서 수집된 정보를 활용해야 한다. 더 나아가, 다른 자동차와 주고받는 데이터, 신호등과 같은 교통 인프라 시설과 주고받는 데이터, 그리고 보행자로부터 받는 데이터 등 이 모든 것을 종합 활용해야만 궁극적인 자율주행을 가능케 할 수 있다. 이에 다양한 주변환경과 자동차와의 통신을 V2X(vehicle to everything) 규격으로 표준화하는 작업이 진행되고 있다. V2X 구현을 위해서도 에지컴퓨팅 또는 에지클라우드가 필수적이다.

에지 클라우드의 통상 에지컴퓨팅과 혼용된다. 에지컴퓨팅이란 용어가 처음 등장했을 때에는 네트워크의 마지막 단, 즉 최종 단말 장치에서 필요한 컴퓨팅 자원을 제공하는 것을 의미했다. 이로 인해 에지컴퓨팅은 클라우드 컴퓨팅과 다소 상반된 개념으로 설명되기도 했다. 그러나 최근에는 단말 장치와 가장 가까운 곳에서 제공되는 '클라우드' 컴퓨팅 서비스의 개념으로 설명되

는 것이 일반적이다. 이 때문에 에지컴퓨팅 서비스가 가장 활발하게 성장하는 분야가 5G 네트워크이다. 이동통신사들이 에지컴퓨팅에 주력하는 이유도 이들이 네트워크의 마지막 단, 즉 에지를 사업영역으로 삼기 때문이다. 이동통신사는 초지연성 및 초안정성 요구 사항을 충족하는 5G 네트워크를 활용해 사용자 단말 장치에서 필요한 컴퓨팅 자원을 제공한다. 이때 여러 사용자의 단말 장치 다수가 접속하여 컴퓨팅 자원을 효율적으로 공유하게 하는 기술, 즉 클라우드 컴퓨팅 기술이 적용된다. 에지 '클라우드'로 부르는 이유다.

이처럼 통신사를 중심으로 5G의 핵심 서비스인 에지컴퓨팅이 확산됨에 따라, 네트워크 지연을 최소화하기 위해 많은 곳에 에지컴퓨팅을 제공하는 사이트가 구축되고 있다. 통신업계에서는 여러 사용자 단말이 동시에 접속한다는 점을 강조해 에지컴퓨팅을 MEC(Multi-Access Edge Computing)라 부른다. MEC는 각 통신사가 개별적으로 제공하는 것이 일반적이다. 하지만, 사용자 입장에서는 통신사별로 각기 다른 표준의 서비스를 제공할 경우 활용범위가 현저히 떨어질 수밖에 없다. 통신사 입장에서도 투자에 대한 부담으로 인해 자사 5G 네트워크의 커버리지를 마냥 높일 수만은 없다. 따라서 상호 호환될 수 있는 표준을 정해 통신사의 투자 부담도 줄이는 한편, 동시에 더 많은 사용자를 지원할 수 있어야 한다. 이를 위해 발 벗고 나선 곳이 유럽 표준화 기구인 ETSI다. MEC 표준 서비스 모델을 만듦으로써 마치 로밍 서비스를 사용하듯 에지컴퓨팅 서비스도 전 세계 어느 곳에서 가능하도록 하자는 것이다.

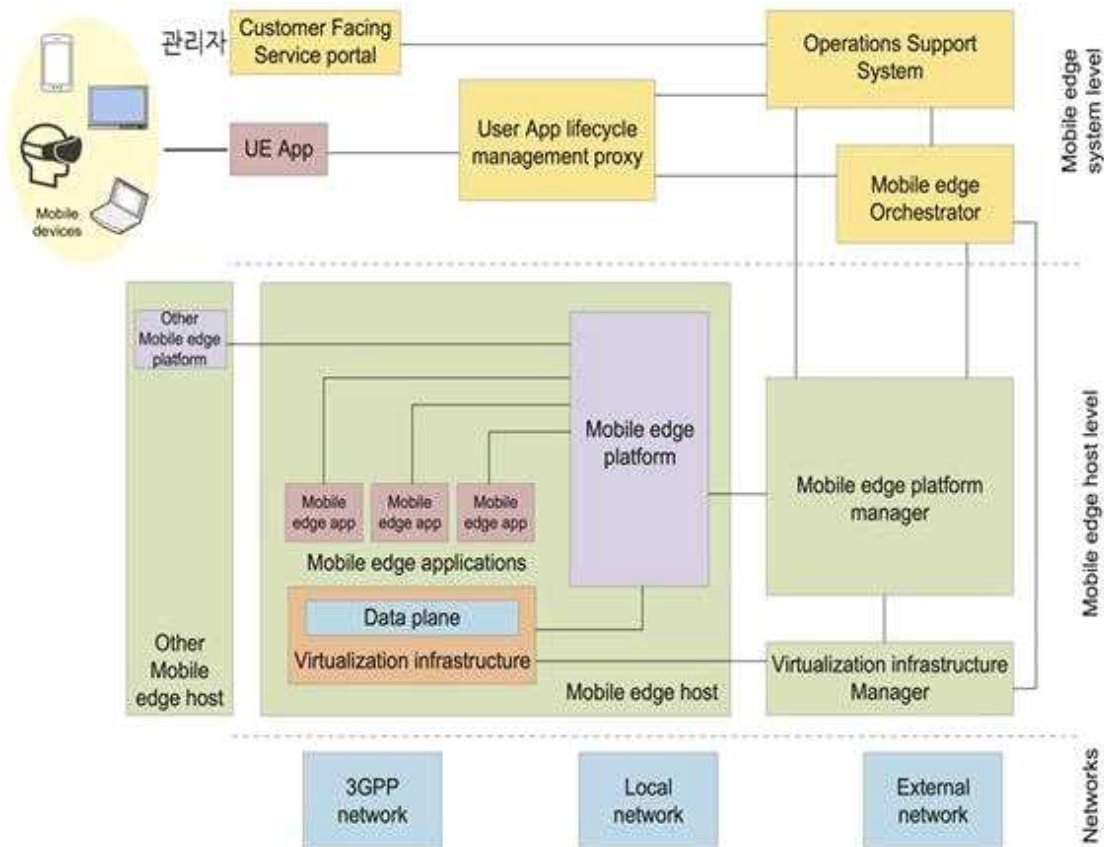
### 3. MEC(Multi-Access Edge Computing) 아키텍처

MEC는 중앙 클라우드에 집중되는 컴퓨팅 트래픽을 네트워크의 가장자리, 즉 최종 사용자에게 가까운 곳으로 컴퓨팅 트래픽을 분산시키는 것이 목적이다. 앞서도 설명했듯 데이터가 생성되고 소비되는 곳에서 이루어지는 컴퓨팅을 에지컴퓨팅으로 정의한 것이다. 에지컴퓨팅이 스마트폰과 같은 최종 사용자 기기에서의 컴퓨팅 성능을 최대한 활용하는 데 비중을 둔다면, MEC은 클라우드에서 실행되던 많은 작업을 가능한 네트워크의 '에지' 쪽으로 밀어낸다는 개념적 차이인데, 결국 목적은 같다고 볼 수 있다. 다만, MEC에서는 '에지 클라우드'의 중요성을 더 강조한다. 즉, 클라우드 컴퓨팅의 범용성과 편리함을 네트워크 에지에서 제공한다는 뜻이다. 5G가 본격적으로 도입되면서 통신사업자들이 클라우드 사업을 강조하는 이유도 여기에 있다. 대부분의 유스케이스가 이동통신망에 연결된 기기를 통하기에 과거에는 MEC를 Mobile-Access Edge Computing으로 불렀으나, 다양한 네트워크 구조에 적합한 에지컴퓨팅으로 진화하며 현재와 같은 Multi-Access Edge Computing으로 정착됐다.

유럽의 표준화 기구인 ETSI에서는 다양한 기기에서 요구하는 애플리케이션들을 실행할 수 있는 MEC 표준 아키텍처를 [그림 3]과 같이 제시한다. 분산시스템의 한 전형이라 볼 수 있는데, 에지호스트를 기본 컴퓨팅 단위로 삼아 에지에서 실행될 사용자 애플리케이션, 즉 에지 애플리케이션을 에지호스트에서 실행시키는 모델이다. 에지호스트는 당연히 여러 개 존재하며, 사용자 디바이스에 가장 가까운(proximity) 에지호스트에서 실행된다. 사용자 애플리케이션이 한 에지호스트에서 다른 에지호스트로 넘어가는 핸드오버 기능까지 고려하여 이동성(Mobility)을 보장한다는 것도 중요한 특징이다. POD를 호스트 단위로 '오케스트레이션' 하는 쿠버네티스와 비교될 수 있다. 다만 애플리케이션의 빈번한 이동성까지 고려한다는 점이 MEC의 다른 점이라 하겠다.

정리하면 다음과 같다.

- 가용전력, 컴퓨팅 파워 부족처럼 디바이스 자체에서의 애플리케이션 실행이 어려운 경우 에지클라우드에서 대신 실행할 수 있도록 함
- 무선망(Radio Network) 범위 내 인근(proximity) 사용자 기기를 대상으로 함
- 안정적이며 호환성 있는 이동성(mobility)을 보장함



출처: ScienceDirect & Elsevier

[그림 3] ETSI MEC(Multi-Access Edge Computing) 참조모델

#### 4. 퍼블릭 클라우드 서비스의 에지컴퓨팅 전략

퍼블릭 클라우드 활용이 일반화되면서 많은 기업이 자사가 활용하는 클라우드 벤더 서비스에 더 의존하는 경향이 나타난다. 실시간 응답과 고도의 안정성이 요구되는 메타버스 서비스를 제공하는 기업도 예외는 아니다. 이때 전 세계에서 제공되는 다수 리전(region)에서의 클라우드 서비스를 통해 지역적으로 분산하는 것만으로는 충분하지 않다. 이에 퍼블릭 클라우드 벤더도 에지컴퓨팅 서비스 제공이 필요하다.

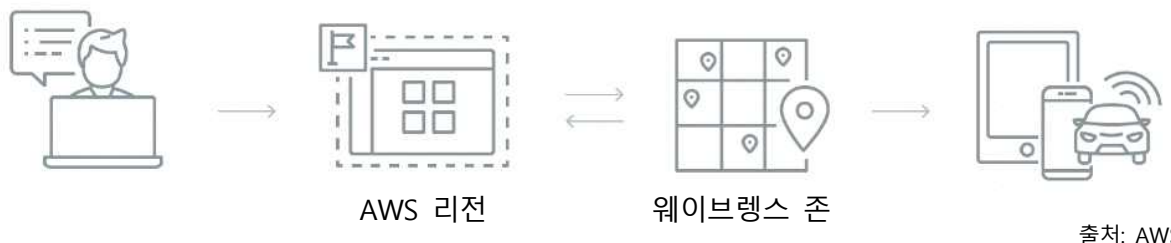
앞서 5G 통신사들이 에지컴퓨팅 확산에 힘을 쓰고 있다는 점을 언급했는데, 이들의 고민 중 하나가 주요 퍼블릭 클라우드 벤더와의 호환성이다. 다시 말해 자사 네트워크에서 가능한 많은 고객이 에지컴퓨팅을 원활히 활용할 수 있게 하려면 고객이 기존 사용하던 퍼블릭 클라우드 서비스를 네트워크 에지에서 '그대로' 제공해야 한다. 호환성뿐만 아니라 클라우드 컴퓨팅 기술



관점에서도 퍼블릭 클라우드 서비스 사업자가 보유한 다양한 기술과 서비스를 활용할 수밖에 없다. 마찬가지로 클라우드 서비스 사업자도 에지 영역으로의 서비스를 확장하려면 통신사와의 협력이 필수적이다. 본고에서는 1위 서비스인 아마존 AWS와 2위 마이크로소프트 애저(Azure)의 경우를 간단히 소개한다.

#### 4.1 아마존 AWS 웨이브렌스(Wavelength)

아마존의 현재와 미래를 한눈에 볼 수 있는 가장 중요한 행사인 2019년 'AWS re:invent'에서 5G 초저지연 전송 애플리케이션을 제공할 수 있는 에지컴퓨팅 서비스로 웨이브렌스(Wavelength)를 발표했다. 이 발표와 동시에 미국 최대 이동통신사인 버라이즌과 파트너십을 맺었다는 소식도 함께 전했다.<sup>3)</sup> AWS 웨이브렌스를 사용하면 모바일 디바이스 혹은 최종 사용자 단에서 초저지연 시간 내에 서비스 접속이 이루어질 수 있다는 것이 아마존의 주장이다. 모바일 디바이스에서 서비스에 접속하여 응답을 받는데 필요한 네트워크 지연을 10ms 이내로 할 수 있다는 것이다. 웨이브렌스 서비스 페이지의 설명에 의하면, 웨이브렌스 존(zone)이라는 특별한 구역을 이동통신 사업자가 운영하는 데이터센터 내의 5G 네트워크 에지에 두고, 여기에 AWS가 제공하는 컴퓨팅 및 스토리지 자원을 두어 AWS의 배포환경을 그대로 적용할 수 있다고 한다. 즉, AWS용 애플리케이션 개발자들은 초저지연이 요구되는 애플리케이션을 웨이브렌스 존에 배포/론칭함으로써 네트워크에서 보장하는 초저지연을 실현할 수 있다. 한편 웨이브렌스 존에 배포된 애플리케이션들은 AWS의 여러 리전에서 제공하는 서비스를 전과 동일하게 받을 수 있다. 웨이브렌스의 개요는 [그림 4]와 같다.



[그림 4] 아마존 AWS 웨이브렌스 작동 환경

웨이브렌스 존을 활용하여 애플리케이션을 배포하는 과정은 AWS 리전에 배포하는 방식과 큰 차이가 없다. 애플리케이션을 배포할 때 리전 선택을 하면서 웨이브렌스 존도 함께 선택한다. 초저지연 응답이 필요한 부분은 웨이브렌스 존에 배포하고, 그 외는 일반 AWS 리전에 배포하면 된다. [그림 4]에서 보듯 웨이브렌스 존의 애플리케이션은 AWS 리전에서 제공하는 모든 서비스를 활용할 수 있으며, [그림 4] 최우측의 초저지연 연결이 필요한 말단 디바이스들은 모바일 네트워크를 벗어날 필요 없이 웨이브렌스 존에 배포된 서비스에 접속할 수 있다. 이러한 작동 방식 덕분에 다음과 같이 통신사업자와 아마존 AWS 간 역할과 책임을 구분할 수 있다.

3) CNBC, "Amazon just partnered with Verizon to improve 5G speeds", Dec. 3, 2019

- 초저지연 요구사항은 5G가 책임진다. 즉, 5G의 초저지연 성능 목표가 달성된다는 가정하에 통신사업자가 책임지는 부분이다.
- 클라우드 컴퓨팅 요구사항은 AWS가 담당한다. 인공지능, 빅데이터 분석, VR/AR, 스트리밍 게임처럼 초저지연이 필요한 애플리케이션의 론칭 및 실행은 기존 AWS에서 이루어지는 것과 동일하다.

웨이브렌스 서비스는 사실 매우 직관적이다. 아마존 AWS 일부를 통신사업자 영역 안에 두는 것이다. 즉, 에지를 '장악'한 통신사업자와의 긴밀한 파트너십이 반드시 필요하다. 아마존은 re:invent 행사에서 웨이브렌스와 함께 로컬 존 서비스도 발표했는데, 이는 AWS를 사용자에게 가까운 데이터센터에 두는 것이다. 넓은 의미의 온프레미스(on-premise) AWS 서비스라고 볼 수 있으며, 이미 아웃포스트(Outpost) 솔루션이 온프레미스 프라이빗 클라우드를 위해 활용되고 있다. 따라서 웨이브렌스도 아웃포스트에 기반한 온프레미스 프라이빗 클라우드와 다를 바 없다는 합리적인 추론이 가능하다. 다시 말해, 웨이브렌스는 통신사업자와 AWS 간 연계되는 전형적인 하이브리드 클라우드 형태이다. 2019년 그리고 그 이후 계속 주목받고 있는 하이브리드 클라우드 컴퓨팅과 에지컴퓨팅이 만나는 부분이 웨이브렌스인 것이다. 국내에선 SKT가 적극적으로 웨이브렌스를 도입하고 있다.<sup>4)</sup>

#### 4.2 마이크로소프트 애저 에지존

마이크로소프트 역시 통신사업자와의 협력을 간과하지 않는다. 에지컴퓨팅을 실전에 적용하려면 앞서 수차례 언급했듯 에지를 장악한 통신사업자와의 긴밀한 파트너십이 절실히 필요하다. 특히, 5G상에서 유스케이스와 이를 구현하기 위한 기술, 솔루션들을 확보하고 검증해 나가는 과정이 필수적인데, 이를 위해서도 통신사업자와 협력은 불가피하다. 2019년 11월 마이크로소프트와 AT&T는 애저와 5G를 통합하여 기업고객에게 에지컴퓨팅 서비스를 제공한다고 발표했다.<sup>5)</sup> '네트워크 에지 컴퓨트(NEC, Network Edge Compute)'라고 불리는 이 서비스는 파일럿 형태의 에지컴퓨팅 서비스라고 볼 수 있다. 이 발표가 있기 전인 7월 20억 달러 상당의 애저 클라우드로의 이전 계약을 체결한 AT&T 입장에서는 자연스럽게 자사 5G 서비스와 애저가 결합하는 모양새를 갖추게 된 것이다. 이후 네트워크 에지 컴퓨트 서비스가 진화하여 애저 에지존 서비스로 공식적인 모습을 드러냈다.<sup>6)</sup> 마이크로소프트는 통신사에 구축하는 에지뿐 아니라 프라이빗 에지존 등 목적에 따라 다양한 형태의 에지를 [그림 5]처럼 '애저 에지존'이라는 하나의 브랜드로 서비스화 한 것이 특징이다. AWS 웨이브렌스에 해당하는 것이 애저 에지존 워드 캐리어(Carrier)이다.

4) 매일경제, "SKT, AWS와 함께 국내 최초 5G에지 클라우드 서비스 상용화...초저지연 선도", 2020년, 12월 14일  
<https://www.mk.co.kr/news/business/view/2020/12/1317866/>

5) Microsoft, "AT&T integrating 5G with Microsoft cloud to enable next-generation solutions on the edge", Nov. 26, 2019

6) <https://azure.microsoft.com/ko-kr/solutions/low-latency-edge-computing/>



출처: 마이크로소프트

[그림 5] 마이크로소프트 애저 에지존

## 5. 맺음말

에지컴퓨팅은 5G 네트워크 상용화가 본격적으로 진행되기 시작하면서 주요 화두가 되었다. 이동통신 발전 단계에서 사용자 경험상 가장 큰 영향을 끼친 것은 속도이다. 5G는 4G에 비해 속도(Bandwidth)가 매우 높아졌지만, 이미 4G에서 어느 정도 수준에 이르렀으므로 사용자들이 체감하는 속도는 5G에서 그리 비약적으로 늘지 않았다. 이는 올라간 속도를 체감할 만한 서비스가 활성화되지 않았기 때문이기도 하다. 반면 메타버스 플랫폼은 사용자 경험에서의 혁신을 수반하며, 매우 높은 네트워크 품질을 요구한다. 속도뿐 아니라 응답시간, 즉 지연시간에 대한 강력한 제약조건이 필요한데, 이를 5G에서는 URLLC(Ultra-Reliable, Low Latency Communication)로 해결한다. 이를 실현하려면 서비스 인프라 관점에서는 에지컴퓨팅이 가장 핵심 요소이다. 에지컴퓨팅의 유스케이스는 매우 광범위하다. 메타버스는 소셜미디어 및 엔터테인먼트 분야에서 기존 SF 영화에서 주로 볼 수 있던 혁신적인 사용자 경험을 제공할 것이다. 메타버스 기반 플랫폼이 만드는 생태계의 규모도 엄청날 것으로 예측된다. 관련 경제적 파급력이 매우 클 것이라는 뜻이다. 다양한 에지컴퓨팅 애플리케이션이 현재 상용화 직전이거나 시험 운영 중이다. 이 단계가 지나면 바로 메타버스 애플리케이션이 에지컴퓨팅 확산의 가장 확실한 촉매가 될 것으로 예상된다. MR(Mixed Reality) 및 감각(Sensory) 기술 관련 산업의 비약적인 동반 성장도 조심스럽게 예측해 볼 수 있다.

※ 출처: TTA 저널 제196호

(코로나 이슈로 각 표준화기구의 표준화회의가 연기·취소됨에 따라 TTA 저널로 대체합니다)