

에지 컴퓨팅을 위한 마이크로 데이터센터의 운영 관리

최정열 PG424(스마트 에너지/환경) 부의장, 성결대학교 컴퓨터공학과 부교수



1. 머리말

5G 이동통신 서비스가 제공됨에 따라 사용자에게 초저지연으로 다양한 서비스를 제공하려는 노력이 진행 중이다. 자율주행 자동차, 인공지능, 빅데이터, 증강현실 등의 서비스를 사용자에게 제공하기 위해서 고성능 컴퓨팅 서비스가 필요하다. 컴퓨팅 성능의 부족으로 인해서 사용자 단말에서 서비스를 제공하기 어려운 경우에는 중앙의 클라우드 컴퓨팅 서비스를 이용할 수 있으나, 서비스 요청 및 응답이 인터넷 백본을 거치기 때문에 과도한 전송 지연이 발생할 수 있다. 또한 사용자 단말과 클라우드 컴퓨팅 서버 간의 네트워크 대역폭을 소비하게 된다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서 사용자 인근의 네트워크 끝에서 컴퓨팅 서비스를 제공하는 에지 컴퓨팅 기술이 등장하였다[1][2].

에지 컴퓨팅 서비스는 사용자의 요구와 서비스 제공업체에 따라서 여러 위치에서 다양한 구성의 장비로 제공될 수 있다. 에지 컴퓨팅 기술의 목적이 사용자의 인근에서 저지연으로 고성능의 컴퓨팅 서비스를 제공하는 것이므로 데이터센터 내의 서버를 활용하기보다는 별도의 서버 또는 랙 규모의 소규모 서버들을 활용하는 것이 바람직하다. 본고에서는 에지 컴퓨팅 서비스를 제공하기 위해서 요구되는 마이크로 데이터센터가 갖추어야 할 사항들과 운영 관리 방안에 대해서 살펴보고자 한다.

2. 에지 컴퓨팅 기술

2.1 에지 컴퓨팅 기술 개요

에지 컴퓨팅은 사용자 인근에 위치해서 저지연으로 컴퓨팅 서비스를 제공하기 위한 기술이자 서비스이다[1]. 에지 컴퓨팅과 관련해서는 CISCO가 제안한 포그 컴퓨팅[3], 카네기 멜론 대학이 제안한 Cloudlet[4], ETSI가 표준화한 MEC[5] 등이 있다. ETSI는 처음에는 Mobile Edge Computing이라는 용어를 사용했지만, 5G는 물론 WiFi, LTE 등 다양한 네트워크상에서 에지 컴퓨팅을 제공하려는 목적으로 Multi-access Edge Computing(MEC)라는 용어를 사용한다. 다양한 용어가 사용되지만 사용자 단말 가깝게 초저지연으로 컴퓨팅 서비스를 제공한다는 목적은 동일하다고 볼 수 있다.

[그림 1]은 멀티 액세스 에지 컴퓨팅(Multi-access Edge Computing, MEC¹⁾) 프레임워크를 보여준다[5]. 에지 컴퓨팅의 프레임워크는 크게 멀티 액세스 네트워크 레벨, MEC 호스트 레벨, 그리고 MEC 시스템 레벨로 구성된다. MEC의 핵심인 MEC 호스트는 MEC 애플리케이션을 구동하기 위해서 필요한 컴퓨팅, 저장공간, 그리고 네트워크 자원을 제공하는 가상화 인프라와 MEC 플랫폼을 포함한다. MEC 플랫폼은 특정 가상 인프라상에서 MEC 애플리케이션을 구동하는 데 필요한 핵심 기능들의 집합체이며, 이를 통해서 MEC 서비스를 제공한다. MEC 애플리케이션은 MEC 관리가 검증한 요청이나 구성에 따라서 MEC 호스트의 가상 인프라상에서 인스턴스화된다.

MEC의 관리 기능은 MEC 시스템 레벨 관리(System Level Management, SLM)와 MEC 호스트 레벨 관리(Host Level Management, HLM)로 구성된다. SLM은 멀티 액세스 오케스

1 본 고에서는 에지 컴퓨팅 또는 약어로 MEC를 사용한다.

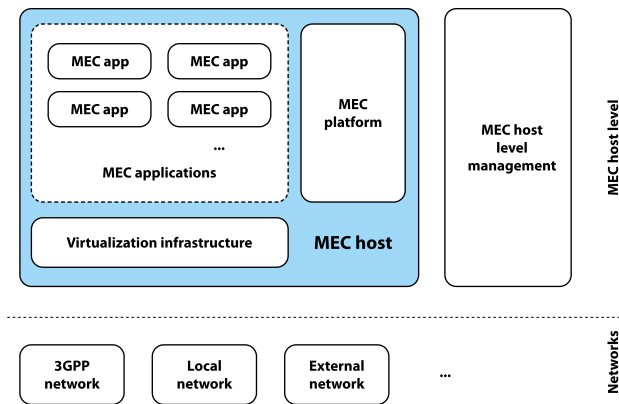
트레이터와 운영 지원 시스템 등으로 구성되며, 배치된 MEC 호스트, 가용 자원, 서비스 등에 기반하여 MEC 시스템 전반을 관리한다. HLM은 플랫폼 관리자와 가상 인프라 관리자로 구성되며, 애플리케이션의 생명주기 관리나 가상 자원 관리 등을 담당한다.

2.2 에지 컴퓨팅 서비스 제공 위치

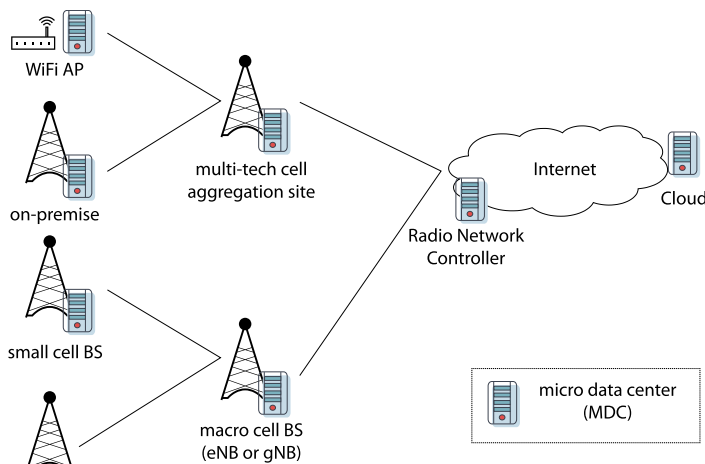
에지 컴퓨팅 서비스를 제공하기 위한 장치는 사용자의 요구나 서비스 제공업체에 따라서 다양하게 구성될 수 있다. 장비의 배치 장소 및 위치는 지연과 같은 서비스 품질, 네트워크 대역

폭 소비, 전력 공급 및 에너지 소비나 임대료 등에 영향을 미칠 수 있으므로 마이크로 데이터센터의 운영 및 관리에 제약이 될 수 있다. [그림 2]는 에지 컴퓨팅 서비스 제공을 위한 마이크로 데이터센터가 위치할 수 있는 사례를 보여준다.

사용자에 가장 가깝게 위치하는 경우는 홈이나 공공 장소에 있는 WiFi AP에 서버를 배치하는 것이다. 스마트공장 등 기업의 구내에 마이크로 데이터센터를 배치하여 자체적인 에지 컴퓨팅 서비스를 제공할 수 있다. 인터넷으로의 게이트웨이에 추가로 중앙 에지 서버를 배치할 수도 있다. 이동통신사의 경우에는 기지국에 마이크



[그림 1] 에지 컴퓨팅의 기능 블록도



[그림 2] 마이크로 데이터센터의 위치

로 데이터센터를 배치할 수 있다. 기지국의 커버리지에 따라서 1km 내외 규모의 스몰 셀에 배치하거나 건물 내에 있는 펌토셀이나 피코셀에 배치하여 좀 더 작은 단위로 에지 컴퓨팅 서비스를 제공할 수 있다. 수 km 범위의 매크로 셀을 커버하는 기지국(eNodeB, gNodeB)에 마이크로 데이터센터를 배치할 수도 있다. 무선망 제어국(RNC)에 마이크로 데이터센터를 배치하여 여러 셀들로부터 에지 컴퓨팅 서비스를 제공할 수 있다. 이러한 방안들은 에지 컴퓨팅 제공업체가 제공하는 서비스 전략에 따라 달라질 수 있다.

3. 에지 컴퓨팅의 실현을 위한 마이크로 데이터 센터

앞서 살펴본 바와 같이 다양한 위치에서 에지 컴퓨팅 서비스를 제공하기 위해서는 그 상황에 맞는 장비가 구성되어야 한다. 컴퓨팅 장치 규모 측면에서 살펴본다면 단일 서버 규모에서 랙 단위 서버군, 또는 여러 랙들로 구성된 데이터센터를 통해서 제공될 수 있다. 장비의 배치 위치 측면에서 살펴본다면 전통적인 데이터센터나 통신실 등에 위치할 수도 있지만 일반 상용 건물에 위치할 수도 있다. 일반 상용 건물에서 에지 컴퓨팅 서비스를 제공하려면 별도의 요구사항이 존재하게 된다.

본고에서는 에지 컴퓨팅 서비스를 위해서 사용되는 장비로 단일 서버보다는 여러 서버들로 구성된 마이크로 데이터센터를 고려한다. 마이크로 데이터센터는 컴퓨팅 서버, 스토리지, 네트워크 장치 등이 랙에 장착되고 추가로의 전력공급장치, 냉각장치, 운영 시스템 등이 포함된 모듈형 또는 컨테이너형 데이터센터를 고려한다. 세부 형태나 구체적인 구성은 사용자 요구와 서비

스 제공업체에 따라서 달라질 수 있다. 다음은 에지 컴퓨팅의 실현을 위해서 갖추어야 할 마이크로 데이터센터의 요구사항들이다.

• 컴퓨팅 자원 가상화

사용자가 요구하는 컴퓨팅 성능이 다양하기 때문에 에지 컴퓨팅은 가상화 기술을 사용하여 사용자가 원하는 컴퓨팅 자원을 요구하는 기간 만큼 제공할 수 있어야 한다. 마이크로 데이터센터 내의 모든 컴퓨팅 자원들은 가상화되어 관리되어야 한다. 컴퓨팅 자원은 가상 머신이나 컨테이너 기술을 이용해서 관리될 수 있으며, 네트워크 기능 가상화나 소프트웨어 정의 네트워킹 기술을 이용하여 네트워크를 구성할 수 있다.

• 컴퓨팅 용량 계획

에지 컴퓨팅 서비스를 사용하는 사용자의 요구나 사용자 수의 증가에 따라 컴퓨팅 자원의 용량을 적절한 수준에서 확장할 수 있는 용량 계획이 수립되어야 한다. 컴퓨팅 용량 증설 계획은 서버 단위 또는 랙 단위로 수립될 수 있다. 컴퓨팅 용량 계획은 마이크로 데이터센터 내에 여유 공간을 고려해야 하며, 더 중요하게는 전력공급 및 냉각용량 계획과 병행해서 진행되어야 한다. 물리적인 확장 이전에 인근의 에지 컴퓨팅이나 중앙의 데이터센터로의 컴퓨팅 태스크 오프로딩을 수행할 수도 있다.

• 전력 공급

마이크로 데이터센터를 구축함에 있어서 가장 중요한 부분이 안정적으로 충분한 전력을 공급할 수 있는가이다. 전통적인 데이터센터라면 문제가 없겠으나 일반 상용 건물이라면 일반 사무공간에서 사용되는 전력량 이외에 별도의 전력공급 방안이 마련되어야 한다. 특히, 컴퓨팅 용량 계획에 따른 전력공급 계획이 수립되어야 한다.

• 장애 대비 이중화

서버 장애, 스토리지 장애, 네트워크 장애 등과 같은 발생 가능한 장애를 대비하기 위한 방안이 마련되어야 한다. 물리 서버에 장애가 발생한 경우는 신속히 여분의 백업 서버로 대체하거나, 불가할 경우에 다른 에지 컴퓨팅으로의 오프로딩을 추진할 수도 있다. 장애 대비를 위한 이중화 방안은 장애 대비 목표 가용도 수준을 감안하여 백업 장비를 구성해야 한다. 전력공급의 장애를 대비하기 위해서는 UPS를 준비해야 하며, UPS의 용량은 장애복구 시간을 고려하여 산정한다.

• 운영 관리

마이크로 데이터센터의 안정적인 운영을 위해서 온도 등의 환경 정보를 관리해야 한다. 에지 컴퓨팅 서비스를 위해서 서버, 스토리지, 네트워크 사용량 등의 컴퓨팅 자원을 관리해야 한다. 이를 위해서 환경정보 수집을 위한 센서와 컴퓨팅 자원 수집을 위한 에이전트가 데이터센터에 구축되어야 한다. 운영 관리 시스템은 마이크로 데이터센터 내에 구축하거나 원격지에 구축할 수 있다.

• 소음 및 진동

마이크로 데이터센터가 일반 상용 건물 내에 위치한다면 특히 소음과 진동에 대한 요구사항이 존재한다. 마이크로 데이터센터는 같은 공간 내의 작업자들에게 방해물 주지 않도록 소음과 진동에 대한 기준을 마련해야 한다. 인클로저 랙 등으로 저소음, 저진동 장치를 마련할 필요가 있다.

• 물리 보안

마이크로 데이터센터가 일반 데이터센터 내의 전용 공간이 아닌 곳에 위치할 경우에는 일반인의 접근을 차단할 수 있는 강력한 물리 보안 기술이 적용되어야 한다.

4. 마이크로 데이터센터의 운영 관리

마이크로 데이터센터의 운영 관리는 장비의 안정적인 관리와 에지 컴퓨팅 서비스 제공을 위한 측면에서 살펴볼 수 있다. 데이터센터 내의 서버는 이용률에 따라 소비 전력이 증가하며 이로 인해서 발열이 발생하므로, 서버의 안정적인 운영을 위해서는 냉각 조치가 마련되어야 한다. 미국 냉공조공학회(ASHRAE)에 따르면 IT 장비의 권장 온도와 허용 온도는 각각 18~27℃, 15~32℃로 공시되어 있다[6]. 마이크로 데이터센터의 밀폐된 공간에 배치된 서버가 발생하는 열을 효과적으로 배출하고 적절한 온도에서 운영될 수 있는 공조 장치가 필요하다[7]. 데이터센터가 배치된 장소와 서버의 부하(kW)에 따라서 다양한 형태의 공조 장치가 사용될 수 있다.

마이크로 데이터센터에 공급되는 전력은 랙에 실장된 서버, 스토리지, 네트워크 장비와 기타 운용장비가 최대 소비하는 전력 수준으로 충분히 공급되어야 한다. 일반적인 42U 랙에 최대 소비전력이 500W 급 1U 서버를 모두 실장한다면 랙에서 소비되는 전력인 20kW가 넘게 된다. 하지만 랙에 실장되는 서버나 기타 장비의 수가 다양하고, 서버 각각의 이용률이 다르기 때문에

실제 공급되는 전력은 다를 수 밖에 없다. 에지 컴퓨팅을 위한 마이크로 데이터센터는 일반적인 데이터센터와 같은 전용 건물이 아닌 일반 비즈니스 건물에 배치될 가능성도 높기 때문에 공급 받을 수 있는 상용 전력량을 고려하여 마이크로 데이터센터의 전력 용량을 산정하고, 이를 바탕으로 서버 규모를 산정해야 한다[8].

에지 컴퓨팅에서 자원을 효과적으로 사용하기 위해서 가상화 기술을 사용한다. 하이퍼바이저 기반의 서버 가상화 기술은 물리 서버의 호스트 운영체제상에서 구현되나, 가상머신의 이미지가 커 시스템 운영에 오버헤드가 발생한다. 클라우드 컴퓨팅에 비해서 물리적인 컴퓨팅 자원이 부족한 에지 컴퓨팅에서는 좀 더 가볍고 유연한 가상화 기술을 적용할 필요가 있다. 컨테이너 기반의 가상화 기술은 운영체제상에서 제공되며 특정 애플리케이션이나 서비스를 구현하기 위한 환경을 제공한다. 컨테이너는 물리 서버의 자원을 분할해서 사용하며, 가상 머신에 비해 더 작은 크기의 독립된 사용자 공간 인스턴스를 생성할 수 있다. 특히, 컨테이너는 가상 머신보다 더 빠르게 인스턴스화시킬 수 있어 사용자 이동성을 지원하기에 더 적합하다[2].

한편, 마이크로 데이터센터를 좀 더 효율적으

<표 1> 마이크로 데이터센터의 자원 관리

장비	관리 데이터	컴퓨팅 자원	에너지 관련
서버	위치, 연식, 규격(CPU, 메모리, 디스크 등)	물리장치/가상장치별 CPU, 메모리, 디스크, I/O 이용률 등	소비 전력, 온습도
스토리지	위치, 연식, 규격(저장용량 등)	저장공간 이용률	소비 전력, 온습도
네트워크	위치, 연식, 규격(포트, 대역폭, 프로토콜 등), IP 주소, 케이블 등	포트 이용률/트래픽량, 케이블 관리 정보 등	소비 전력, 온습도
랙	랙 ID(위치 포함), 서버, 스토리지, 네트워크 장비 구성		소비 전력, 온습도
서비스	서비스 ID, 서비스 기간, 제공되는 자원, 사용자 등	서비스/사용자별 자원 이용률	
전력공급장치	전력용량, PDU, UPS 등		소비 전력
냉각장치	냉각 용량		소비 전력
기타	보안 장치(카메라 등)		소비 전력

로 운영하고 관리하기 위해서는 데이터센터 내의 여러 장비에 대한 운영 정보를 수집하고 관리해야 한다. <표 1>은 마이크로 데이터센터에서 수집되고 관리되어야 하는 장비와 관리 데이터를 제시한다. 에지 컴퓨팅 서비스를 제공하는 데 필요한 컴퓨팅 자원에 대한 관리와 에너지 절감을 위해서 필요한 데이터의 관리가 필요하다. 일반적인 데이터센터의 에너지 효율을 평가하기 위해서 전력 소비 효율지수(Power Usage Effectiveness, PUE)가 널리 사용되고 있다[9]. 데이터센터의 에너지 효율화 관련 평가 지표는 JTC1 SC39에서 개발하고 있으나[9], 마이크로 데이터센터의 에너지 효율화를 제고하고 이를 평가하기 위한 지표는 마련되지 않은 상태이다. 최근에 ITU-T SG5에서 마이크로 데이터센터의 에너지 효율화에 대한 권고안 작업이 시작되어 있어 향후 추이를 살펴볼 필요가 있겠다[10].

5. 맺음말

본고에서는 최근 주목을 받고 있는 에지 컴퓨팅에 대한 소개와 더불어 에지 컴퓨팅 서비스를 제공하기 위한 필수 장비인 마이크로 데이터센터에 대해서 소개하였다. 마이크로 데이터센터는 전력공급이나 냉각장치 등이 잘 갖춰진 전용 공간이 아닌 일반 상용 건물에 위치할 수 있으므로 여러 가지 고려해야 할 사항들이 존재한다. 특히 마이크로 데이터센터 내의 서버가 소비하는 막대한 전력과 서버 발열 방지용 냉각 장치 구동으로 인해서 에너지 효율화는 매우 중요한 이슈이다. 현재 ITU-T SG5에서 에지 컴퓨팅을 위한 마이크로 데이터센터의 에너지 효율에 대한 표준이 논의되고 있다. 향후 에지 컴퓨팅 서비스가 보편화됨에 따라 마이크로 데이터센터에 대한 효율적인 운영 및 에너지 절감 이슈가 부각될 것으로 보여지므로 향후 국내외적으로 관련 표준 개발에 관심을 가질 필요가 있겠다. TTA

참고문헌

- [1] Abbas, N., Zhang, Y., Taherkordi, A., & Skeie, T. (2017). Mobile edge computing: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(1), 450-465.
- [2] Taleb, T., Samdanis, K., Mada, B., Flinck, H., Dutta, S., & Sabella, D. (2017). On multi-access edge computing: A survey of the emerging 5G network edge cloud architecture and orchestration. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(3), 1657-1681.
- [3] Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J., & Addepalli, S. (2012, August). Fog computing and its role in the internet of things. In *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing* (pp. 13-16).
- [4] Satyanarayanan, M., Bahl, P., Caceres, R., & Davies, N. (2009). The case for vm-based cloudlets in mobile computing. *IEEE pervasive Computing*, 8(4), 14-23.
- [5] ETSI, (2019). Multi-access Edge Computing (MEC); Framework and Reference Architecture, ETSI GS MEC 003 V2.1.1.
- [6] ASHRAE TC 9.9 (2011) Thermal guidelines for data processing environments—expanded data center classes and usage guidance.1
- [7] V. Avelar, (2015). Practical Options for Deploying Small Server Rooms and Micro Data Centers, WhitePaper 174, Schneider Electric.
- [8] N. Rasmussen, (2015). Rack Powering Options for High Density, Whitepaper 29, Schneider Electric.
- [9] ISO/IEC 30134-2:2016, (2016). Information technology - Data centres - Key performance indicators — Part 2: Power usage effectiveness (PUE).
- [10] ITU-T SG5, L.EEMDC, "Energy efficiency in micro data centre for edge computing", 2021.