

엣지 컴퓨팅 오픈소스 프로젝트 동향

김영한 · 양현식 · 오재욱

충실대학교

I. 서 론

클라우드 컴퓨팅 환경에서 스마트 기기 및 IoT 단말의 증가는 데이터 양의 증가로 이어졌다. 이는 수집한 데이터를 분석하고 전달하는 과정에서 지연현상을 발생시켰다. 또한, 5G 네트워크 환경에서 다양한 Latency Critical 응용서비스의 등장으로, 데이터 지연 문제는 중요한 문제가 되었다. 데이터 전송 및 처리로 인한 지연 문제를 해결하기 위해 데이터를 단말 근처에서 수집하고 처리함으로써 네트워크 부하 및 데이터 지연을 줄이기 위한 엣지 컴퓨팅 기술이 등장하였다.

엣지 컴퓨팅은 네트워크의 가장자리에서 클라우드 컴퓨팅 기술을 제공하는 것을 말한다. 이를 통해 데이터를 사용자 단말 근처에서 수집하고 분석하여 데이터를 중앙 클라우드로 전송하는데 필요한 네트워크 자원을 절약하고, 데이터 전송 및 처리에 요구되는 시간을 줄일 수 있다. 이 외에도 데이터 전송으로 인한 데이터 노출 문제, 중앙 집중형 구조에서 발생하는 SPOF(Single Point of Failure) 문제 등도 해결 가능하다.

클라우드 플랫폼을 제공하는 세계적인 기업에서도 엣지 클라우드 연동 및 분산 구조를 위한 플랫폼이 제안되고 있다. 대표적인 클라우드 업체인 아마존에서도 엣지 컴퓨팅 기술을 제공하기 위해 Greengrass 서비스를 제공하고 있으며, 마이크로 소프트에서도 Azure IoT Edge 서비스를 제공하고 있다. 엣지 클라우드에서는 주로 IoT 단말에 대한 이벤트 처리, 기계학습, 이미지 인식 및 AI 등의 기술을 제공하고 있으며, 중앙 클라우드로 연결이 끊어지는 경우에도 서비스를 제공할 수 있는 구조를 고려하여 구성된다.

모바일 네트워크 환경에서도 5G 인프라가 클라우드 중심으로 변화하면서 엣지 클라우드를 인프라의 일부로 고려하여 설계되는 모델에 대한 논의가 진행 중이다. 이와 관련하여 대표적으로 ETSI(European Telecommunications Standards

Institute)에서는 MEC(Mobile Edge Computing) 환경을 정의하고, 코어 클라우드와의 연동을 위한 구조를 제시하고 있다. 사업자는 MEC 환경에 서비스를 배치함으로써 초저지연, 초대용량 데이터 전송이 필요한 서비스들을 제공할 수 있다.

최근 클라우드 플랫폼 환경은 오픈소스 프로젝트와 연계되어 많은 연구 및 개발이 진행되고 있다. 이에 따라, 클라우드 관련 오픈 소스 프로젝트에서도 관련 주제에 대한 논의가 지속적으로 진행되고 있다. 대표적인 오픈소스 클라우드 OS인 오픈스택에서도 엣지 컴퓨팅 관련 논의를 시작하였으며, 구현을 위한 프로젝트도 생성되어 진행 중이다. AT&T에서도 엣지 컴퓨팅을 위한 오픈소스인 AKRAINO를 발표하고, 개발을 위한 논의가 진행 중이다. 이 외에도 ONAP, OPNFV 등 다양한 오픈소스 그룹에서 논의가 진행되고 있다. 본 논문에서는 오픈 소스를 중심으로 엣지 컴퓨팅을 위한 구조 및 동향을 소개하고자 한다.

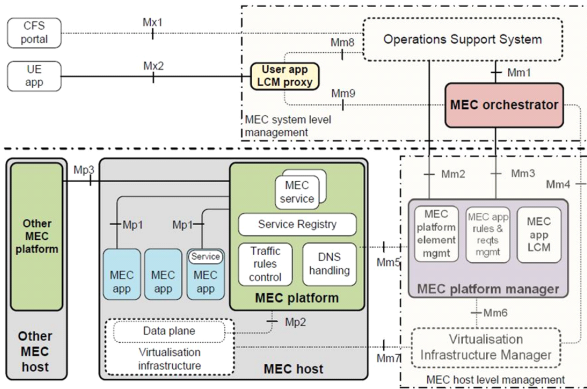
II. Edge Computing 관련 그룹 및 활동 소개

2-1 ETSI MEC 구조

모바일 네트워크 환경도 클라우드 인프라를 중심으로 변화하면서 코어 클라우드와 엣지 클라우드로 구성된 인프라 구조에 대한 연구가 진행되었다. 이로 인해 ETSI에서는 기존 NFV 구조를 기반으로 MEC를 위한 Reference Architecture를 정의하기 위한 논의가 진행되고 있다^[1].

MEC Reference Architecture는 엣지 컴퓨팅을 위한 프레임워크로 [그림 1]과 같이 정의하고 있다. MEC Reference Architecture는 Mobile Edge Host Management 부분과 Mobile Edge System Management 부분으로 분류할 수 있다.

MEC 호스트는 MEC 플랫폼과 Virtualization infrastructure, MEC Application 등으로 구성된다.



[그림 1] ETSI MEC Reference 구조^[1]

MEC 플랫폼은 virtualization infrastructure에서 MEC Application을 실행하고, MEC 서비스를 관리하기 위한 기능들을 제공하며, Virtualization infrastructure는 컴퓨팅, 스토리지 및 네트워크 리소스를 제공한다. MEC application은 MEC 호스트에서 제공되는 인스턴스화 된 서비스를 의미한다.

MEC Edge system은 Mobile Edge Orchestrator, OSS, User app Life Cycle Management(LCM) Proxy로 구성된다. Orchestrator는 전체 관리를 위해 인프라 및 인스턴스 관리 기능을 제공하며, User app Life Cycle Management는 장치 혹은 장치 어플리케이션으로부터 오는 요청을 중간에 전달하는 기능을 제공한다. 위 구조를 통해 MEC의 어플리케이션은 벤더에 의해 제공되며, 각 어플리케이션은 MEC 플랫폼에서 동작한다.

2-2 Open Source Edge 컴퓨팅 프로젝트

OPNFV(Open Platform for NFV)는 다양한 글로벌 통신사업자들을 중심으로 생긴 공개소프트웨어 플랫폼으로 2014년 구성되어 지금에 이르고 있다^[2]. OPNFV는 통신사업자들의 요구사항을 정의하고, NFV 플랫폼에 통합하기 위해 주체별로 다양한 프로젝트를 구성하여 수행하고 있다. OPNFV에서도 엣지 클라우드 구조에 대한 연구 및 프로젝트간 연계 방법에 대한 논의를 위해 엣지 클라우드 프로젝트가 생성되었으며, 엣지 클라우드와 관련된 프로젝트와 함께 요구사항 분석, 시나리오 구성, 통합 플랫폼 구성, 테스트 전략 등에 대한 논의를 진행하고 있다^[3].

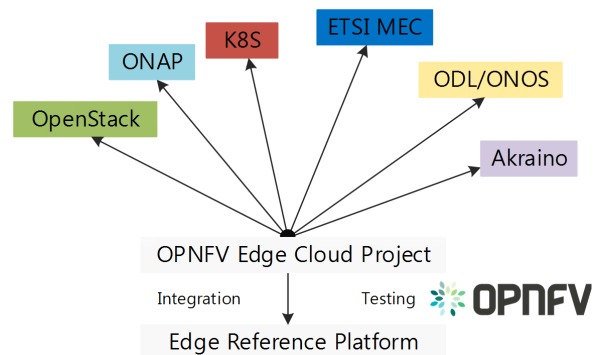
엣지 클라우드 요구사항 분석에 대해서는 여러 엣지 서

비스의 요구사항을 분석하고, 이를 반영하여 배포 요구사항에 적용하기 위한 논의를 진행하고 있으며, 정의된 시나리오 및 요구사항에 대한 가이드를 구성하기 위한 작업들을 진행하고 있다. 시나리오 구성에서는 엣지 클라우드 환경에서 분석된 요구사항을 고려한 시나리오를 설계하고 있다.

또한, OpenStack, ONAP, K8S, ETSI MEC, ODL/ONOS, Akraino 등 다양한 업스트림 프로젝트와의 연계를 통해 시나리오의 자세한 요구사항들을 수용하기 위한 작업을 진행하고 있다. ETSI MEC에서는 앞서 언급한 것처럼 엣지 클라우드에 대한 표준을 정의하고 있으며, OpenStack, K8S, ONAP 등은 인프라로서의 통합 과정에 대한 부분을 진행 중이다.

Akraino는 엣지 클라우드의 대표적인 플랫폼으로 엣지 클라우드 시나리오와 요구사항들을 적용하기 위한 논의가 진행되고 있다. 이 외에도 DPACC, Clover, Auto, Container4NFV 등 OPNFV에서도 관련 프로젝트들을 통해 엣지 클라우드에 대한 논의를 확대하고 있다^[4].

최근 클라우드 플랫폼 환경은 오픈소스 프로젝트와 연계되어 많은 연구 및 개발이 진행되면서 엣지 클라우드에 대한 논의도 각 오픈소스 프로젝트에서 진행되고 있다. 대표적인 오픈소스 클라우드 OS인 오픈스택에서도 엣지 클라우드 관련된 논의가 2017년 5월 Boston에서 열린 오픈스택 Summit에서 시작되었다. Boston summit에서는 FEMDC(Fog/Edge/Massively Distributed Clouds) SIG(Special Interest Group)를 만들어 분산 클라우드 환경의 지원 방법, 유즈케이스, 그리고 새로운 API에 대한 정의 등 현재의 오픈 스택 환경을 기반으로 한 엣지 클라우드 지원을 위한 구조 확장 방안



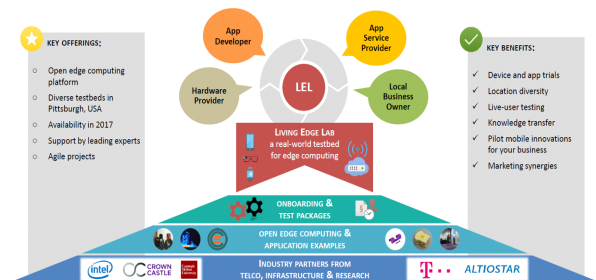
[그림 2] OPNFV Edge Cloud 연계 프로젝트

대한 논의가 진행되었다. 이후 실제 개발을 위한 OpenStack StarlingX 프로젝트가 진행되면서, 좀 더 실제적인 논의가 진행되고 있다^{[5],[6]}.

이 외에도 Industry Group에서도 엣지 클라우드와 관련된 다양한 연구가 진행되고 있다. Telecom Infra Project(TIP)는 글로벌 텔레콤 네트워크 인프라 구축 및 배포를 위한 단체로 Deutsche Telekom의 주도로 다양한 통신사들이 소속된 프로젝트이다^[7]. TIP에서도 엣지 컴퓨팅 프로젝트 그룹을 구성하고, 엣지에서 사용되는 서비스/어플리케이션을 위한 환경 및 실제적인 구현을 위한 논의를 진행하고 있다. 즉, 기본 엣지 클라우드를 위한 기본 구조를 개발하는 것이 아니라, 기존에 있는 오픈소스 기반의 구조나 라이브러리, 소프트웨어 등이 구성되어지는 타겟 환경에 잘 적용되기 위한 인터페이스나 구조를 연구하고 있다.

Open Edge Computing Initiative(OEC)는 Carnegie Mellon University, Intel, Nokia, Crown Castle, Vodafone, T-Mobile, NTT 등이 포함된 그룹으로 엣지 근처에 있는 모든 요소들이 개방형 표준 방식을 통해 응용프로그램이나 장치, 혹은 센서에 자원을 제공하는 구조를 목표로 하고 있다^[8]. OEC에서는 엣지 컴퓨팅이 사용되는 실제 사례 테스트를 위한 Living Edge Lab을 구성하고, 관련 화시 및 환경들을 조성하고 있다. [그림 3]과 같이 Living Edge Lab은 하드웨어 회사, 서비스 개발 회사, 서비스 제공회사, 지역 사업자 등으로 구성하고 실제 엣지 서비스를 테스트 할 수 있는 환경에서 서비스를 배포하여 시험 한다. 실제로 카네기멜론 대학, 오클랜드 그리고 Walnut 거리에서 VR(Virtual Reality), AR(Augmented Reality) 등의 기능이 포함된 서비스를 설치하고 테스트를 진행하였다.

이 외에도 다양한 서비스를 테스트하여 결과를 제공하고



[그림 3] Open Edge Computing Initiative^[8]

있다.

Deutsche Telekom의 자회사인 MobileEdgeX에서도 엣지 클라우드에 대한 새로운 형태의 플랫폼을 구성하고, 이를 위한 기능들을 연구하고 있다^[9]. MobileEdgeX에서는 ETSI MEC 표준에 따라 엣지 클라우드 인프라를 형성하고, 어플리케이션을 요청한 모바일 단말에 근접한 위치에 어플리케이션을 배포할 수 있는 구조를 제시하였다.

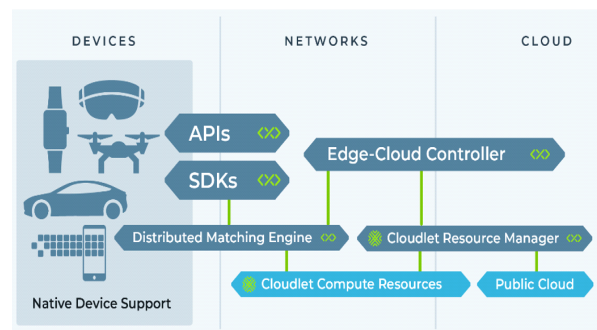
[그림 4]와 같이 인프라는 Cloudlet이라는 이름으로 구성되며, Cloudlet Resource Manager와 Edge-Cloud Controller에 의해 관리된다. 엣지의 서비스는 Controller와 Resource Manager에 의해 프로비저닝된 정보를 기반으로 Distributed Matching Engine(DME)이 배포한다.

예를 들어, 비디오 분석 서비스에 대한 요청이 모바일 단말로부터 오면 DME는 현재 인프라에 대한 프로비저닝 정보에 따라 서비스 배치가 가능한 Cloudlet에 서비스를 배포하거나, 이미 배포된 서비스를 선택하여 모바일 단말로부터 요청 받은 서비스를 제공한다. MobileEdgeX 플랫폼은 최근 SKT와 MoU를 체결하여 SKT와 함께 엣지 컴퓨팅 관련 핵심 기술, 플랫폼 연동, 비즈니스 모델 개발 등 다양한 분야를 공동 추진하기로 하였다.

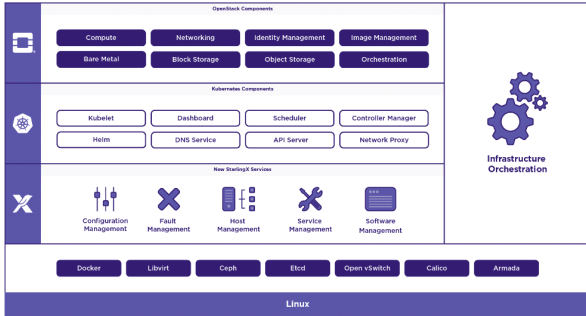
III. Edge Computing 오픈소스 소개

3-1 StarlingX

StarlingX 프로젝트는 OpenStack Foundation에서 시작된 엣지 컴퓨팅을 위한 독립된 프로젝트로, 2018년 5월에 열린 OpenStack Summit 2018 Vancouver에서 처음 발표되어, 2018



[그림 4] MobileEdgeX 구조^[9]



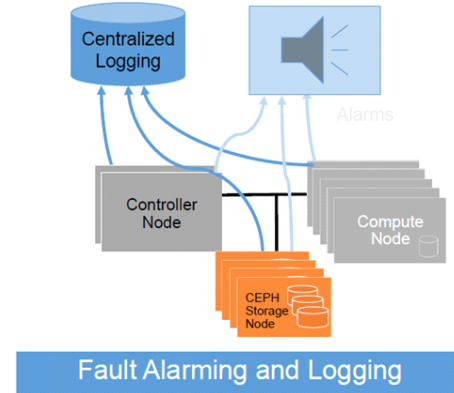
[그림 5] StarlingX 구조^[10]

년 10월 24일 첫 릴리즈가 발표되었다^[10].

StarlingX는 본래 WindRiver 사의 Titanium Cloud 독점 제품으로 개발한 기술로 2018년 5월 Intel과 WindRiver가 이 코드를 오픈스택 재단에 기부하여 오픈 소스화 되었다. StarlingX는 오픈스택과 같은 오픈 소스 클라우드 컴포넌트를 사용하여 다양한 영역에서 분산된 Edge에 고 가용성, QoS, 보안, 그리고 저지연성 등 운영에 필요한 통합 플랫폼을 제공하는 것을 목적으로 한다.

StarlingX는 원격 엣지 환경을 관리하기 위한 플랫폼으로 호스트에서의 노드 환경 설정, 서비스 관리, 원격 소프트웨어 업데이트 수행 등의 기능을 제공하며, 서버나 네트워크에 발생한 문제를 운영자에게 알리는 알림 기능도 제공한다. StarlingX는 크게 ‘구성 관리(Configuration Management)’, ‘오류 관리(Fault Management)’, ‘호스트 관리(Host Management)’, ‘서비스 관리(Service Management)’, ‘소프트웨어 관리(Software Management)’ 기능을 제공한다.

먼저, Host Management 기능은 호스트에서 발생한 오류나 문제를 탐지하고, 자동으로 이를 처리하여 복구 작업을 통해 라이프사이클을 관리한다. 이를 위해 클러스터 간의 연결성이나 자원 활용의 한계값, 하드웨어 등의 문제가 발생하는 것을 모니터링하며, 보드 관리 컨트롤러(BMC)와 연동하여 다른 StarlingX 구성 요소와 호스트의 상태를 공유하는 기능들을 제공한다. Software Management 기능은 보안 업데이트나 새로운 기능을 위한 소프트웨어 업데이트를 자동으로 배포하는 기능으로 싱글 노드뿐 아니라, 종단간 롤링 업그레이드 솔루션을 통해서 간단하게 노드 간의 롤링 업그레이드를 수행할 수 있는 기능도 제공한다. 또한, 호스트 OS 변경부터 StarlingX, OpenStack 소프트웨어의 모든 종류의 소



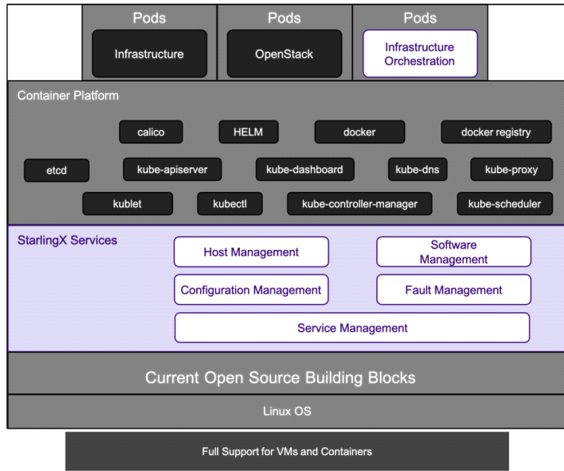
[그림 6] StarlingX Fault Management 구조^[10]

프트웨어 업그레이드를 관리할 수 있게 기능들도 제공한다.

Configuration Management는 엣지 사이트에 위치한 새로운 노드를 자동 검색해 주며, 설치에 필요한 파라미터를 관리하고, DPDK와 같은 네트워크 인터페이스 설정 환경을 제공하며, XML 파일을 이용해 대량의 노드에 정의된 설정을 배포하는 기능을 제공한다. 이 외에도 배포한 노드의 역할과, 역할의 프로파일, CPU 코어와 메모리 할당 등의 노드 구성 작업 및 인벤토리 검색 기능들도 제공한다.

Fault Management 기능은 모든 노드에서 발생한 알람을 한 곳에서 확인할 수 있도록 프레임워크를 제공하며, API를 이용하여 통신한다. 그리고 이 프레임워크를 통해 현재 생성된 알람의 관리 및 로그를 제공하여 현재 상태를 확인할 수 있다. 뿐만 아니라, 운영자를 위한 플랫폼 노드와 가상 자원에 대한 알람과 로그를 제공함으로써 심층적인 장애 관리를 수행할 수 있는 환경을 제공한다. 마지막으로, Service Management 기능은 N+M 또는 N과 같은 중복 모델을 이용해 여러 노드에 걸쳐 고 가용성(HA)을 관리할 수 있는 기능을 제공한다. 현재는 1 + 1 HA 컨트롤러 클러스터 모델을 지원하고 있다.

이와 같이 StarlingX는 다양한 관리 기능을 기반으로 엣지 클라우드에서 제공 가능한 여러 가지 배포 시나리오를 제공하고 있다. 개발이나 테스트를 위해 한 대의 서버에 모든 기능을 배포하는 ‘Single Server’ 모델, 가용성을 높이기 위해 ‘Single Server’를 중복해서 배치하는 ‘Dual Server’ 모델 등이 있으며, 컨트롤 노드와 컴퓨트 노드, 스토리지 노드가 각각 분리되어 지리적으로 분산 가능하고, 회복력이 뛰어난



[그림 7] Containerized StarlingX 구조^[10]

‘Multiple Server’ 모델도 정의하고 있다. 이 외에도 인프라의 관리 및 고가용성 제공을 위해 마이그레이션 및 자동 치유 기능 등의 기능들도 제공한다.

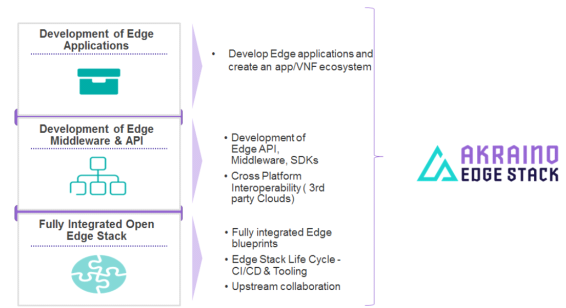
StarlingX의 다음 릴리즈는 2019년 5월에 예정되어 있으며, 이번 릴리즈에서는 Container as a Service(CaaS) 컨셉의 오픈스택과 StarlingX 기능을 제공할 예정이다. 이를 위해 OpenStack 서비스를 컨테이너화하고, VM과 컨테이너를 통합된 워크로드 환경에서 동등하게 사용할 수 있는 환경 구성에 대한 개발이 진행되고 있다.

3-2 Akraino Edge Stack

Akraino는 AT&T와 Intel이 주도하고 있는 Linux Foundation에 속한 프로젝트로 2018년 2월에 공개되어, 현재까지 진행 중인 프로젝트이다. Akraino는 Edge Computing을 타겟으로 하여 가용성 향상, 지연 최소화, 인프라 운영 오버헤드 최소화 등을 제공할 수 있는 Edge를 위한 플랫폼을 구현하는 것을 목표로 하고 있다^[4]. Akraino는 통신사업자를 중심으로 시작되었지만, 통신사업자 외에도 IoT 네트워크에 대한 솔루션들도 함께 고려하고 있다.

[그림 8]과 같이 Akraino는 Edge를 위한 전체 스택을 구성하는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위해 인프라 관점에서는 업스트림 커뮤니티와 공동 작업을 진행하고 있으며, 다양한 사례를 해결하기 위해 블루 프린트를 설계하고 있다.

써드 파티 Edge 공급자 및 하이브리드 클라우드 모델과



[그림 8] Akraino Edge Stack^[4]

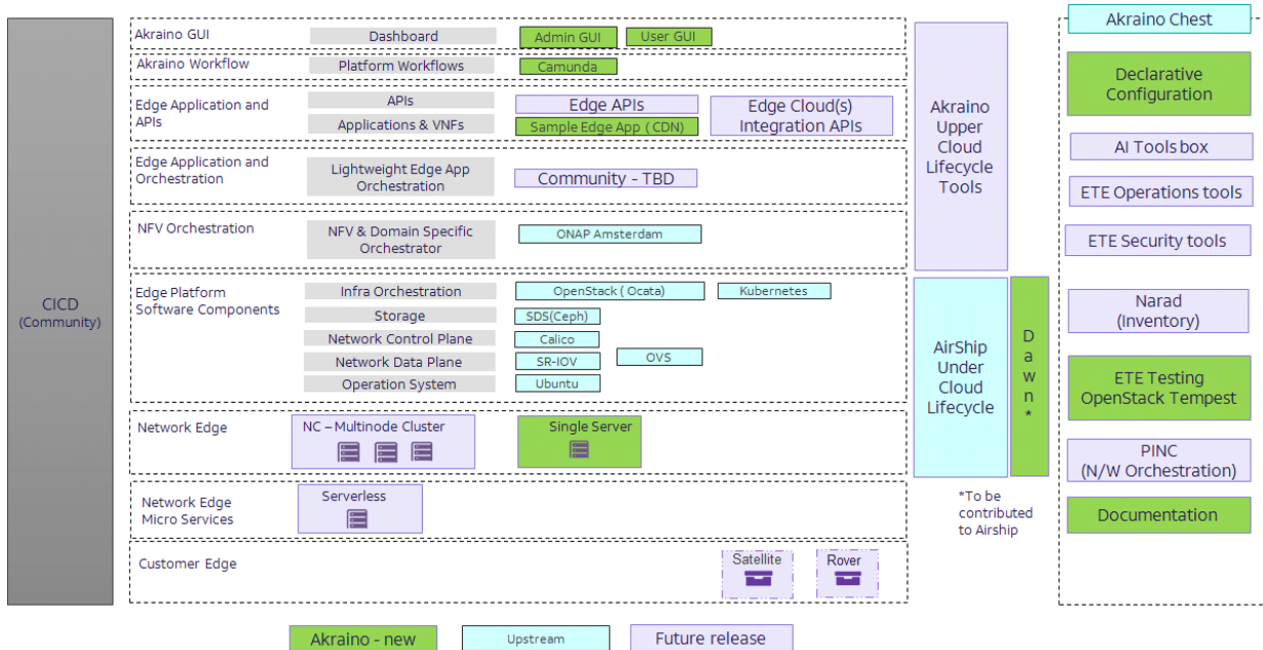
의 상호 운용성을 위한 Edge API 및 SDK 등도 Edge Stack에 포함되며, Telco, Enterprise 및 산업용 IoT용 어플리케이션 개발 환경도 함께 고려하고 있다.

[그림 9]는 Akraino의 EDGE Stack의 구조를 기반으로 Upstream 프로젝트와의 연계성 그리고 앞으로 추가될 기능들을 표시한 기능 구성도이다. 파란색은 Akraino와 관련된 upstream을 나타내며, 녹색은 새롭게 추가된 기능들을 나타낸다. 그리고 보라색은 앞으로 추가될 기능들을 의미한다.

현재 Akraino에서는 Edge Stack의 기능에 대한 프로젝트와 Edge Stack 통합 프로젝트가 있다. Edge Stack 기능에 대한 프로젝트는 Akraino Portal Feature Project, Cluster Health & Overload Monitoring Platform(CHOMP) Feature Project, Support of OVS-DPDK in Airship이 진행 중이다. Akraino Portal은 엣지 사이트 배포, 추가 소프트웨어 설치, 애드온 서비스 시작, 테스트 서비스 활성화 등을 위한 사용자 인터페이스를 위한 구조를 설계하고 구현하고 있다.

Cluster Health & Overload Monitoring Platform(CHOMP)은 로그 기반의 매트릭을 통해 동작 환경에 대한 상태를 제공함으로써 Akraino의 라이프 사이클을 관리한다. Support of OVS-DPDK in Airship은 OpenStack Airship 프로젝트에서 OVS-DPDK 기술을 제공하는데 필요한 상위 작업들을 정의하고 제공하는 프로젝트로 Airship은 Akraino에 배포시 사용된다. Edge Stack 통합 프로젝트에서는 Akraino Edge Stack의 다양한 기능을 각각의 블루프린트 family로 나누어 통합 프로젝트를 진행하고 있으며, 각 블루프린트 family 내에는 기능을 구현하기 위한 상세 스펙, 기능, 계획 등이 정리되어 있다.

현재 승인된 블루프린트 family로는 캐리어 급의 엣지 컴퓨팅 어플리케이션을 개발하기 위해 AT&T 주도 하에 진행



[그림 9] Akraino Edge Stack 구조 및 기능 구성도

중인 ‘Akraino Network Cloud blueprint family’ 그리고 레드햇과 인텔의 주도 하에 엣지를 Kubernetes 인프라로 관리하는 ‘Kubernetes-Native Infrastructure for Edge(KNI-Edge) family’ 등이 대표적이다. 이 외에도 ELIOT: Edge Lightweight and IoT Blueprint Family, Integrated Edge Cloud(IEC) Blueprint Family 등이 있다.

Network Cloud Family 블루프린트는 인프라 구성에 필요한 절차를 정의하고, Custom Edge인 Satellite, Rover에 대한 요구사항 및 설치 가이드를 제공하고 있다. 이 외에도 SDN 기반의 Broadband Access 기술 관련 제안, OVS-DPDK 기능 제공을 위한 제안 등 인프라 환경과 관련된 다양한 논의가 진행되고 있다.

ELIOT: Edge Lightweight and IoT Blueprint Family는 화웨이에서 주도하는 프로젝트로 IoT 단말을 위한 엔터프라이즈 엣지 환경을 구성하는 것을 목표로 하고 있다. 이를 위해 SD-WAN, IoT Gateway 등의 유즈케이스를 구성하고, 이에 맞는 구조와 단말 등에 대한 논의를 진행하고 있다.

Integrated Edge Cloud Blueprint Family는 ARM, 화웨이, Enea 등에서 주도하는 프로젝트로 Remote Edge End와 Edge Cloud로 구성된 Edge 클라우드 구조를 제시하고 있

며, Kubernetes를 통해 컨테이너 기반의 서비스 제공환경에 대한 논의도 진행 중이다.

Kubernetes-Native Infrastructure for Edge(KNI-Edge) family는 레드햇과 인텔에서 주도하는 프로젝트로 클라우드 종류에 상관없이 서비스를 배포하고, API를 통해 관리할 수 있는 구조를 구현하는 것을 목표로 하고 있다. 또한, 서비스에 대한 자동화된 라이프 사이클 관리 및 프로그램 배포 /업그레이드 등의 기능들도 제공할 예정이다. 이 프로젝트 내에는 현재 IoT Cloud Platform, Analytics/AI/ML, AR/VR, ultra-low latency control 등의 유즈케이스를 다루는 Industrial Edge(IE) Blueprint와 vRAN(RIC), MEC apps(CDN, AI/ML 등) 등의 유즈케이스를 다루는 Provider Access Edge(PAE) Blueprint가 각각 진행 중이다. 이 외에 Akraino의 진행 중인 다양한 프로젝트는 Akraino 홈페이지에서 진행 사항 등을 확인할 수 있다. Akraino의 첫 번째 릴리즈는 2019년 5월 말로 예정되어 있다.

IV. 결론 및 향후 고려사항

본 논문에서는 엣지 컴퓨팅에 대한 연구 동향을 오픈소

스를 중심으로 살펴보았다. 엣지 컴퓨팅 기술은 현재 지속적으로 연구가 되고 있는 기술로, 아직 정확한 스펙이나 플랫폼이 기존 클라우드에 비해 명확하지 않다. 하지만, 많은 클라우드 사업자들이 실제적인 서비스를 위한 플랫폼을 제공하고 있으며, 표준단체 및 다양한 오픈소스 플랫폼에서 실제적인 구조가 설계되고 구현되는 만큼 앞으로 엣지 클라우드 시장은 더욱더 크고 빠르게 성장할 것으로 예상된다.

앞서 살펴본 것처럼 현재의 다양한 클라우드 플랫폼 개발은 오픈소스 플랫폼을 기반으로 이뤄지는 만큼 향후 엣지 클라우드 플랫폼을 이용한 다양한 서비스 제공 및 모바일 네트워크 환경에 적용하기 위해서는 다양한 오픈소스 프로젝트의 참여를 통한 연구 개발이 필요할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] ETSI, "Multi-access Edge Computing (MEC); Framework and Reference Architecture", *ETSI GS MEC 003 v2.1.1*, Jan, 2019.
- [2] OPNFV, Available online: <https://wiki.opnfv.org/> (Accessed on Mar. 25 2019).
- [3] OPNFV Edge Cloud, Available online: <https://wiki.opnfv.org/display/EC/Edge+Cloud+Home> (Accessed on Mar. 25 2019).
- [4] AKRAINO, Available online: <https://wiki.akraino.org/> (Accessed on Mar. 25 2019).
- [5] OPENSTACK, Available online: https://wiki.openstack.org/wiki/Main_Page (Accessed on Mar. 25 2019).
- [6] OPENSTACK Edge Computing, Available online: <https://www.openstack.org/edge-computing/> (Accessed on Mar. 25 2019).
- [7] TELECOM INFRA PROJECT, Available online: <https://telecominfraproject.com/> (Accessed on Mar. 25 2019).
- [8] Open Edge Computing Initiative, Available online: <http://openedgecomputing.org/> (Accessed on Mar. 25 2019).
- [9] MobileEdgeX, Available online: <https://mobiledegx.com/> (Accessed on Mar. 25 2019).
- [10] StarlingX, Available online: <https://wiki.openstack.org/wiki/StarlingX> (Accessed on Mar. 25 2019).

≡ 필자소개 ≡

김 영 한



1986년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학
(공학석사)
1990년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학
(공학박사)
1994년~현재: 숭실대학교 교수
2017년~현재: 한국통신학회 부회장
[주 관심분야] SDN/NFV, 오픈소스 네트워킹, 엣지

/포그컴퓨팅

양 현 식



2013년 2월: 숭실대학교 정보통신전자공학(공
학사)
2013년 3월~현재: 숭실대학교 정보통신소재융
합학 석박통합과정
[주 관심분야] SDN/NFV, 클라우드, IoT

오 재 욱



2018년 2월: 숭실대학교 정보통신전자공학(공
학사)
2018년 3월~현재: 숭실대학교 정보통신공학 석
사과정
[주 관심분야] SDN/NFV, 클라우드, IoT