

Development of Edge Cloud Platform for IoT based Smart Factory Implementation

Hyung-Sun Kim*, Hong-Chul Lee*

Abstract

In this paper, we propose an edge cloud platform architecture for implementing smart factory. The edge cloud platform is one of edge computing architecture which is mainly focusing on the efficient computing between IoT devices and central cloud. So far, edge computing has put emphasis on reducing latency, bandwidth and computing cost in areas like smart homes and self-driving cars. On the other hand, in this paper, we suggest not only common functional architecture of edge system but also light weight cloud based architecture to apply to the specialized requirements of smart factory. Cloud based edge architecture has many advantages in terms of scalability and reliability of resources and operation of various independent edge functions compare to typical edge system architecture. To make sure the availability of edge cloud platform in smart factory, we also analyze requirements of smart factory edge. We redefine requirements from a 4M1E(man, machine, material, method, element) perspective which are essentially needed to be digitalized and intelligent for physical operation of smart factory. Based on these requirements, we suggest layered(IoT Gateway, Edge Cloud, Central Cloud) application and data architecture. we also propose edge cloud platform architecture using lightweight container virtualization technology. Finally, we validate its implementation effects with case study. we apply proposed edge cloud architecture to the real manufacturing process and compare to existing equipment engineering system. As a result, we prove that the response performance of the proposed approach was improved by 84 to 92% better than existing method.

▶ Keyword: Smart Factory, Edge Computing, IoT, Edge Cloud Platform, Container Virtualization

I. Introduction

독일과 미국을 비롯한 제조업 강국들은 4차 산업 혁명으로 표현되는 Industry 4.0을 통해 혁신적인 IT 기술과 제조 Shop Floor의 혁신을 융합하여 스마트 공장을 구축하고 이를 통해 차별화된 제조업 경쟁력을 확보, 다품종 대량생산, 생산인구와 노동시간의 감소 등 산업 환경의 변화에 대응 하고자 노력하고 있다.

4차 산업 혁명의 속성은 기술의 혁신, 제조업의 혁신, 플랫폼 기반 서비스의 혁신 이라는 관점에서 살펴 볼 수 있으며 디지털화된 제조를 바탕으로 제품과 서비스를 연계한 제조 가치 사슬 전반을 지능적으로 관리할 수 있는 스마트 공장을 추구한다[1].

스마트 공장은 “제품의 기획·설계, 생산, 유통·판매 등 전 과정을 정보 통신기술로 통합, 최소 비용·시간으로 고객 맞춤형 제품을 생산하는 미래형 공장”으로 정의되며[2] 제조에 센서, 액추에이터, 자율 시스템이 완전히 갖추어 지고 제품과 공장이 총체적으로 디지털화되어 다양한 유비쿼터스 컴퓨팅 기술들에 의해 자율적으로 제어되는 공장 시스템이다[3].

스마트 공장을 구성하기 위한 기반 기술로는 사물 인터넷(IoT: Internet of Things, 이하 IoT), 클라우드, 사이버물리시스템(CPS: Cyber-Physical System, 이하 CPS), 빅데이터, 스마트센서, 3D 프린팅 등을 들 수 있으며[4] 최근의 핵심적인

• First Author: Hyung-Sun Kim, Corresponding Author: Hong-Chul Lee
*Hyung-Sun Kim (kimhyungsun@korea.ac.kr), Dept. of Industrial Management Engineering, Korea University
*Hong-Chul Lee (hclee@korea.ac.kr), Dept. of Industrial Management Engineering, Korea University
• Received: 2019. 04. 26, Revised: 2019. 05. 22, Accepted: 2019. 05. 22.

기술은 제조 환경의 다양한 사물 객체(Things)들을 인터넷을 기반으로 연결하고(IoT), 가상과 현실세계를 통합하는 기술(CPS)이라고 할 수 있다[5]. Fig. 1은 제조 분야에서 IoT와 CPS를 중심으로 한 스마트 공장을 논리적으로 도식화 한 것이다. 특히 최근 산업 현장에서의 IoT 디바이스와 센싱 기술의 발달 (Industrial IoT)과 머신 러닝, 딥 러닝 등 인공지능 기술의 비약적인 발전과 일반의 관심도 증가에 따라 대량의 제조 빅데이터가 스마트 공장 시스템 아키텍처에서 수집, 전송, 저장, 분석 되고 있다[6].

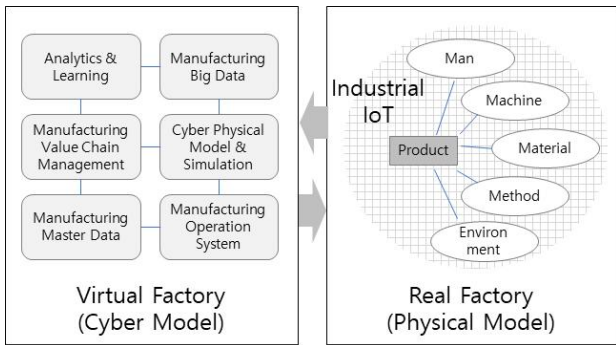


Fig. 1. IoT and CPS centric Smart Factory

대다수의 제조 기업들은 자사의 프라이빗 클라우드나 혹은 드물게 퍼블릭 클라우드에 CPS를 구축하고 IoT 디바이스나 설비 등 제조 현장 단말로부터 대량 데이터를 프로세싱 하고자 한다. 그러나 스마트 공장의 경우 공장이 국내외로 분산되어 운영 되고 (공간적 특성), 공장의 넓은 공간에서 지역적으로 구분된 기능 역할을 수행하며(지역적 특성), 다수의 기기와 센서에서 많은 양의 데이터를 발생한다(양적 특성)[7]. 따라서 대량의 데이터를 클라우드의 서버로 전송해야 하며 이에 따라 네트워크 지연(Latency), 전송량 제한(Bandwidth), 데이터 저장 비용(Cost), 정보 보안(Security) 문제[8,9,10] 등이 필연적으로 발생한다.

이러한 IoT와 클라우드 기능간의 연결 문제를 해결하기 위해 엣지 컴퓨팅이 소개되고 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히, 스마트 공장의 경우 지능화된 자율 제조 환경을 구현하기 위한 엣지 컴퓨팅 요구사항이 존재하며 이를 면밀히 분석하여 효율적인 아키텍처를 설계하는 연구가 무엇보다 중요하다. 또한, 클라우드와 현장 기기, 디바이스의 컴퓨팅 비용을 줄이면서 동시에 엣지 컴퓨팅 인프라를 활용해 개개의 요구 기능이 상호 간섭 없이 독립적이고 유연하게 확장 가능한(Scalability) 구조 설계가 필요하다.

본 논문은 이에 따라 스마트 공장의 구현을 위해 요구되는 엣지 컴퓨팅 요구 기능을 분석하고 이를 개발하기 위해 최적화된 엣지 컴퓨팅 시스템의 아키텍처를 제시한다. 특히 서비스간 독립적이고 유연하게 확장 가능한 엣지 애플리케이션 구현을 위해 경량화된 가상 컨테이너 기술을 이용한 엣지 클라우드 구현 방안을 제공한다. 제안한 아키텍처 및 구현 방안에 대한 성능은 사례 연구를 통해 검증한다.

II. Related Works

1. Smart Factory

Industry 4.0은 독일 정부의 주도로 추진 중인 4차 산업 혁명을 위한 패러다임으로서 정보 통신 기술과 제조 기술을 융합한 스마트 공장의 구현이 핵심 과제 이다. 이현수의 연구[11]에서는 스마트 공장을 4차 산업혁명 및 인더스트리 4.0의 핵심 요소로 정의 하였다. 이어서 스마트 공장에는 CPS 구축에 초점을 맞추는 독일형과 물리적 시스템의 연결에 초점을 맞추는 미국형이 있음을 제시한 후 스마트 공장 구성 요소 간 통신 프레임워크를 제안하였다. 박종경과 장태우의 연구[1]는 스마트 공장을 구축하기 위한 기술 요소별 연구 동향을 분석하여 IoT와 CPS 기술에 대한 연구가 가장 활발함을 제시 하였으며 제조현장 수준의 IoT 실증 연구가 많이 발표되지 않고 있음을 밝혔다. 박종만은[5] 중소 제조업을 대상으로 스마트 공장의 기술 동향과 이슈에 대해 연구 했는데 기술 개발추진과 민간 부문의 상용화 시점에 시차가 있음을 제시하고 기술의 연구와 더불어 중소기업에 적합한 스마트 공장 사업화 모델, 시장 표준 등의 필요성을 주장하였다. 임정우 등의 연구[12]는 전자제품 조립 제조라인을 대상으로 스마트 공장 기반의 제조 공정 혁신방안을 제시하였다. 특히 스마트팩토리 구현 요소를 설비 기술, 자동화 기술, 물류 장치, 스케줄링, Industrial IoT 플랫폼의 5분야로 구분하여 구현 목표와 시나리오를 정리 하였다. 신승준 등은[13] 빅 데이터 애널리틱스 기술을 스마트 공장 현장에 적용한 에이전트 기반의 가상 공장과 빅 데이터 처리를 위한 인프라 스트럭처를 제안하였다.

위에 서술한 연구들에서 스마트 공장에 요구되는 주요 기능들을 정리하면 Fig. 2와 같다.

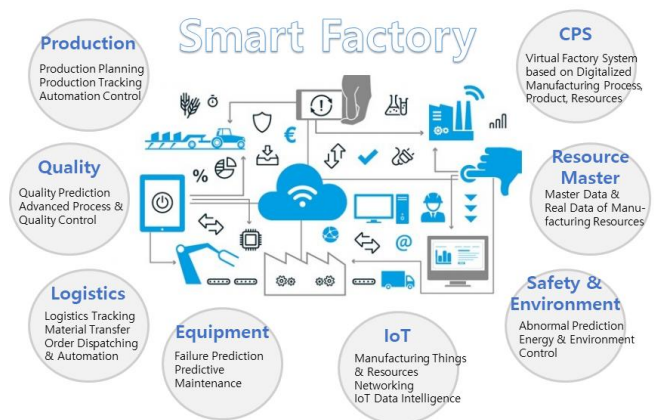


Fig. 2. Common Functions of Smart Factory

2. Edge Computing

엣지 컴퓨팅은 정보 네트워크의 끝단(Edge)에서 급격하게 증가하고 있는 데이터를 효율적으로 처리하기 위해 나온 컴퓨팅 개념이다. Weisong Shie 등 [8]은 엣지 컴퓨팅을 “정보 네트워크의 끝단에서 클라우드 서비스를 대신하여 데이터를 내려

주요(Downstream), IoT 디바이스를 대신하여 데이터를 올려 주며(Upstream) 엣지에서의 계산을 가능하게 해주는 기술” 로 정의하였으며 얼굴 인식에 엣지 컴퓨팅을 적용하여 반응시간을 900ms에서 169ms으로 단축시킨 연구사례와 클라우드렛에 의한 오프로딩을 통해 에너지 소비를 30~40% 절감한 사례를 소개하였다. 황지은의 연구[7]는 스마트 공장 도메인에 특화된 기능을 엣지에 구현하기 위해 요구사항을 정리하고 클라우드에서 학습된 요소를 엣지에 공유하는 시스템 구조를 제안 하였다. 사전 정의된 엣지의 룰 구조 정보에 클라우드로부터 학습된 요소 정보만을 수신하는 방식으로 클라우드에서 모든 룰을 받아서 처리하는 방식과 비교하여 우수한 응답시간으로 엣지 컴퓨팅 적용 효과성을 입증하였다. 다만, 데이터의 보안과 시스템의 안정성에 대한 연구가 필요하다고 밝혔다. 이동규와 정태명 [14]은 엣지와 클라우드간 데이터 동기화를 위한 CFLRU (Clean-First Least Recently Used) 기반의 데이터 캐쉬 관리 기법을 소개하였고 남기웅, 이상준[15]은 블록체인 기술을 활용한 클라우드-엣지간 분산 데이터베이스를 제안하였다.

3. Edge Cloud

엣지 클라우드는 제한적인 컴퓨팅 자원을 가지는 엣지의 한계를 극복하고, 확장성, 유연성을 확보하기 위한 컴퓨팅 기술이다. 특히, 비약적으로 발전하고 있는 강력한 학습 엔진과 인공지능 알고리즘을 수행하기 위해 클라우드 기반의 엣지 컴퓨팅을 위한 다양한 인프라 구성이 연구되고 있다.

Nandor Verba 등 [16]은 엣지에 적용되는 애플리케이션의 로드밸런싱, 클러스터링 방안을 제시하며 디바이스의 다양한 프로토콜을 지원하는 모듈화된 애플리케이션 구조를 실험하였다. 라즈베리 파이와 클라우드 환경에 애플리케이션을 컨테이너로 구성하여 애플리케이션을 클러스터링하고 마이그레이션할 수 있도록 추상화 구조를 설계하였다. Claus Pahl 등 [17]은 엣지 컴퓨팅 자원의 확장성과 유연성 문제를 해결하기 위해 경량 가상화한 클러스터로 구성하는 방안을 제시하였다. 라즈베리 파이로 구현된 엣지 디바이스를 클러스터링하고 도커 컨테이너에 애플리케이션 이미지를 구현하였다. 박현문과 황태호는 엣지 컴퓨팅 기술의 변화와 동향 보고[18]에서 엣지 컴퓨팅의 유형을 플랫폼 기반의 엣지 컴퓨팅과 반도체 기반의 엣지 컴퓨팅으로 구분하고 아마존과 마이크로소프트 등 클라우드 서비스 업체가 제공하는 엣지 컴퓨팅 서비스와 AP와 GPU, 기계 학습 가속기가 내장된 반도체 기반의 엣지 컴퓨팅 디바이스의 개발 현황을 소개하고 구글의 TPU를 이용한 엣지 클라우드 플랫폼을 소개하였다.

지금까지 기존 연구에 의하면, 스마트 공장과 엣지 컴퓨팅의 연구들은 IT 기술과 제조 기술 간의 융합 및 구축 방법론을 제시하고 있으나 공장의 물리적인 운영을 위해 필요한 자동화 및 지능화 요구사항과 구현에 필요한 CPS 관점의 스마트 공장 요구사항에 대한 구체적인 제시는 부족하였다. 이뿐만 아니라 기능과 아키텍처 측면의 엣지 컴퓨팅 요구사항을 반영한 실제적

인 구축을 위한 시스템의 확장성과 고가용성을 보장하는 안정적이고, 효율적인 엣지 아키텍처 플랫폼설계는 구체화 되지 못하였다.

따라서 본 논문에서는 엣지 컴퓨팅의 기능을 분석하고 이를 기반으로 안정적인 운영을 보장하는 스마트 공장을 위한 엣지 클라우드 플랫폼 아키텍처를 제안한다. 다음 장에서 제안하는 엣지 클라우드 플랫폼 아키텍처를 소개한다.

III. Smart Factory Edge Cloud Platform

1. Requirements for Smart Factory Edge

스마트 공장을 구성하는 모든 요소 즉, 사람, 사물 및 IT 가상 시스템들은 서로 간의 연계 이후에 생산 활동 전반의 자동화, 지능화, 자율화를 추진하게 된다(Table 1). 이를 단순화 해 보면,

- ① 공장의 각 구성 요소와 IT 시스템을 먼저 연결하여 정보를 수집하고(Fundamental→Intermediate 1),
- ② 정해진 룰에 따라 인간의 판단과 지시에 의해 프로세스를 자동화 한다(Intermediate 2). 각 구성 요소를 모니터링 하며 이상 상황 발생 시에는 인간이 개입하여 이슈를 해결한다.
- ③ 스마트 공장의 최종적인 발전 단계(Advanced)가 되면 구성 요소들은 수집된 데이터를 기반으로 한 학습에 의해 지능화 되고, 상황을 인지하고 자율적이고 즉각적인 판단을 할 수 있게 된다.

Table 1. Smart Factory Implementation Level [4]

Level	Fundamental	Intermediate 1	Intermediate 2	Advanced
Factory Operation (SW)	Production History Tracking, Defect Management	Realtime Production , Quality Information Gathering and Analysis	Realtime Automatic Production Control	Autonomous Production by Intelligent System & Equipment
Automation (HW)	Data Gathering by Barcode, RFID	Automatic Equipment Data Gathering by Sensors	Realtime Interaction Between System and Equipment	Multi-Role Intelligent Robot and Communication

이러한 스마트 공장 환경에서 엣지 컴퓨팅은 현장의 구성요소와 시스템간의 연결점에 위치하게 되며 Fig. 3은 이러한 엣지 컴퓨팅의 스마트 공장 내의 위치를 보여 주고 있다.

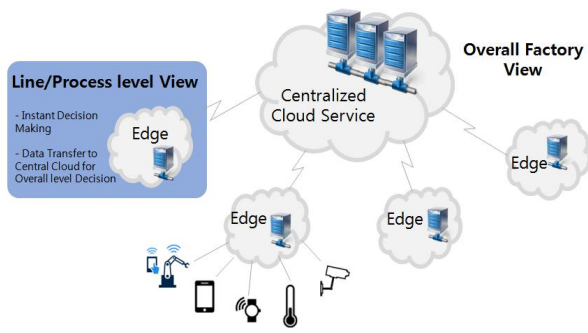


Fig. 3. Edge Computing Position & Role in Smart Factory

다음 절은 스마트 공장 엣지 컴퓨팅의 기능 및 아키텍처 측면에서의 요구사항을 서술한다.

1.1 Functional Requirements

스마트 공장 엣지 컴퓨팅의 기능적 요구사항을 정의하기 위해 먼저, Table 2와 같이 4M1E (Man, Machine, Material, Method, Environment)관점에서 컴퓨팅의 주체가 되는 요소를 정리하고 요소별로 온라인 연결, 자동화, 지능화, 자율화에 해당하는 요구사항을 분류한다.

작업자(MAN) 관점에서는 스마트폰, 태블릿과 같은 개인의 모바일 기기와 스마트 watch, 밴드, 글래스와 같은 웨어러블을 제조 시스템과 연결하고 여기서 발생하는 데이터를 기반으로 작업자의 작업 상태를 모니터링하고 생산 계획에 따라 작업 지시를 내려 줄 수 있어야 한다. 또한, 생산 되는 제품, 공정의 작업 사양에 따른 작업자의 작업성을 분석하고 전체 공정의 밸런스(LOB)를 시뮬레이션 하여 작업 공정과 작업 Load를 최적화할 수 있어야 한다.

기기(Machine)는 생산설비와 검사기, 계측기, 공정 상황에 대한 센서 연결로부터 가동정보를 수집하고 제어 신호를 전송하는 역할을 한다. 이를 통해 생산계획에 따라 실시간으로 작업을 지시하며, 기기의 상태를 모니터링하고 이상을 감지한다. 시뮬레이션을 통해 작업을 조정하고, APC (Advanced Process Control)와 머신러닝 및 딥 러닝 등을 이용하여 기기의 고장이나 부품의 교체 주기를 예측하고 실행할 수 있어야 한다.

자재(Material)는 자재의 공급 측면에서 물류 장비나 창고의 입, 출고 정보를 제조 시스템과 연결하며 실시간으로 이상을 감지한다. 또한 변경점에 따라 시뮬레이션을 통해 물류 레이아웃과 작업을 조정하고 장비의 이상을 사전 예측할 수 있어야 한다.

공법(Method)는 나머지 공장 요소들 모두에 해당하는 작업 사양, 설비 Recipe 등의 통제를 위해 기기장비 등과 연결하고 작업사양이나, 공정조건, Recipe등의 정보를 기기 장치에 자동으로 셋업하고 이상 상황을 모니터링 할 수 있어야 한다. 사양과 공법에 변경점이 있을 경우에는 실제 공정에 반영하기 전에 시뮬레이션을 통해 미세 조정이 가능하며 실제 공정에서의 Spec 이상에 따른 생산성과 품질의 이상이 예측 되어야 한다.

환경, 안전(Environment) 측면에서는 CCTV나 공장 실내의

의 센서 등과 연결이 되고 환경, 안전의 이상 상황이 감지될 수 있어야 하며 이에 따른 즉각적인 대응을 할 수 있어야 한다.

Table 2. Requirement for Smart Factory Edge by 4M1E

layer	Connection (Data Gathering)	Automation	Intelligence/ Autonomous Production
Man	Operator Device Connection (Smart Mobile, Wearable, Smart Glass)	Realtime Work Order Instruction and Education (Work Spec., Safety) Work Monitoring and Fault Detection	Workability, LOB, Productivity Simulation & Prediction Abnormal Situation Predict
Machine	Manufacturing Equipment, Sensor, Actuator Connection	Realtime Job Dispatching Event/Alarm Monitoring Fault Detection	Simulation & Prediction Advanced Process Control Equipment Failure Predict
Material	Logistics Facilities (AGV, OHT/OHS, Conveyor, Smart Cart, Stocker, WIP)	Realtime Transfer Order Status Monitoring Fault Detection	Logistics Simulation Facility Failure Prediction
Method	Devices for Manufacturing Method Connection	Work Specification, Recipe, Inspection Spec. Automatic Deployment, Fault Detection	Change Simulation, Design & Real Gap Analysis and Engineering
Environment	CCTV, Sensors for Environment & Safety	Status Monitoring Fault Detection	Abnormal Situation Predict for Safety and Environment

위와 같이 정리된 기능 요구사항을 엣지 컴퓨팅을 구성하기 위한 기능 모듈로 분류해보면 Fig. 4의 도식과 같다. 우선, 연결의 측면에서 현장 디바이스와 클라우드의 제조 시스템 서비스간의 양자간 연결을 모듈화 한다. 특히, 각각의 특성에 맞는 프로토콜에 따라 연결을 생성, 유지하고 연결 상태를 관리하는 기능 요구사항을 포함한다. 엣지의 기능 모듈은 4M1E 구성 요소들의 요구 기능을 5가지로 분류하고 기본적으로 데이터의 변화 모니터링, 이상감지 기능 및 변경점에 따른 실시간 시뮬레이션과 엣지 내부에서의 학습과 예측 기능을 포함한다. 이 기능 안에는 클라우드 서비스로부터 수신 받은 예측 모델을 통한 이상 사전 예측 기능 모듈도 포함한다. 이상감지 및 시뮬레이션, 사전예측의 결과는 연결된 각각의 디바이스와 단말에 대한 미세 작업 조정 및 제어 신호를 디바이스로 전송하는 기능과 연결된다.

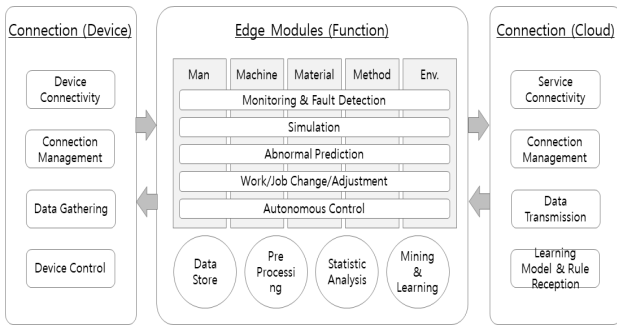


Fig. 4. Functional Modules of Smart Factory Edge Requirements

1.2 Requirements for Edge Architecture

스마트 공장 엣지 컴퓨팅은 기능적으로 제조 현장의 지능화, 자율화된 생산 기능의 엔진 역할을 수행한다. 따라서, 클라우드의 제조 시스템 서비스와 연결이 단절 되더라도 생산 활동에 필요한 정보를 엣지에서 수집, 관리 하면서 정상적인 생산이 유지되도록 할 수 있어야 한다. 따라서 스마트 공장의 엣지 컴퓨팅은 기능의 독립성, 고가용성 및 확장성이 대단히 중요하다. Fig. 5는 스마트 공장 엣지의 아키텍처 요구사항을 정리하였다.

먼저, 디바이스와 클라우드 서비스간의 연결을 안정적으로 유지하고 다양한 프로토콜을 지원 하여야 한다. 그러기 위해서는 표준화된 연결 방식을 정의하고, 새로운 기기나 서비스의 도입에 따라 지속적으로 유지 보수가 가능해야 한다.

기능 운영 독립성은 상호 간섭이 없이 생산 활동에 영향을 주지 않아야 한다는 의미이다. 예를 들어, 하나의 생산 라인을 담당하는 엣지 컴퓨팅 노드가 있을 때, 라인의 설비 상태를 모니터링 하는 엣지 기능과 검사기의 검사 사양을 전송하는 기능은 완전히 독립적인 기능으로 어느 한 기능의 오류가 다른 기능에 영향을 미쳐서는 안 된다.

고가용성과 확장성은 생산의 연속성을 위해 엣지 컴퓨팅 기능은 중지 없이 서비스 지속 되어야 한다는 의미이다. 전통적인 제조 현장 시스템 기능의 경우 이를 보장하기 위해 이중화, 복구, 백업 등의 물리적인 안전장치에 투자한다. 엣지 컴퓨팅의 경우에도 고가용성과 이중화를 비롯한 Fail-Over 체계가 필요하다.

연결의 안정성과 함께 송수신 되는 데이터의 무결성을 보장하고 데이터의 유실이 발생하지 않는 아키텍처를 구성하는 것도 중요하다. 특히, 제조 현장의 데이터는 시계열성 데이터로서 시간의 순서에 따라 의미를 갖는 경우가 많으므로 잦은 데이터의 유실은 전체 공장 운영에 치명적인 장애를 유발시킬 수 있다. 또한, 엣지와 클라우드 서비스 간에 동시에 유지되는 기준 정보성 데이터의 동기화도 매우 중요한 아키텍처 요구 사항이다.

마지막으로 엣지 컴퓨팅 기능의 지속적인 유지 보수를 위해 개발, 운영 플랫폼에 대한 요구사항이 있다. 엣지 컴퓨팅 기능을 표준화된 환경에서 개발하고 테스트를 거쳐 빠른 시간에 공장의 모든 엣지 노드에 배포하는 것은 제조 현장 변화에 대응하는 리드타임을 줄여 제조의 경쟁력을 유지하는데 매우 중요한 요소이다.

Connection Stability & Multi-Layer Connection	- Device Connection : Various Protocols (PLC, Modbus, OPC-UA etc.) - Cloud Connection : Various I/F methods (MQTT, Restful API etc.)
Independent Functions	- Various Edge functional modules operability (Avoiding Mutual Effect) - Independent Computing Resources
Stable, High Available Architecture	- Automatic Scale Out and Scale In - Edge function upgrade and Migration without shut down
Data Integrity	- Ensuring Integrity of Data from Devices and Services - Synchronization of Cloud data (e.g. Resources Master)
Efficiency of System Development and Operation	- Standard development and deployment environment for edge Function - Deploy automation up to equipments

Fig. 5. Architectural Requirements of Smart Factory Edge

2. Edge Architecture Design for Smart Factory

앞서 요구사항 분석에서 살펴본 바와 같이 스마트 공장 구축을 위한 엣지 컴퓨팅은 디바이스와 상위 시스템간의 데이터 송수신을 담당하는 연결 모듈과 데이터 모듈, 기능 모듈로 역할을 나눌 수 있다. 이를 구현하기 위해 가장 적합한 아키텍처 패턴은 티어(Tier)별로 역할을 구분하는 계층화 패턴 (Layered Pattern) 이다. 따라서, 본 연구에서는 설비, IoT 디바이스로부터 데이터를 수집하고 엣지로 전송하는 IoT 게이트웨이 계층과 엣지 컴퓨팅 기능 계층, 그리고 중앙 클라우드 계층으로 구성된 계층형 아키텍처를 제안한다(Fig. 6).

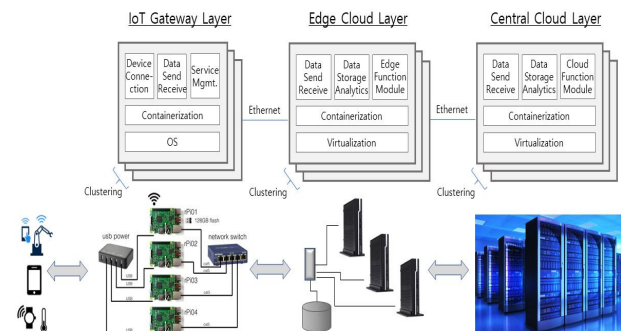


Fig. 6. Layered Architecture for Smart Factory Edge

2.1 IoT Gateway Architecture

IoT 게이트웨이 계층은 컨테이너화된 서비스로 구성되며 각 설비, 디바이스의 전송 프로토콜에 따라 표준화된 서비스를 생성하여 데이터를 처리한다. 라즈베리 파이와 같은 경량화된 컴퓨터로 구성되며 IoT 센서 및 설비와 PLC, Modbus, OPC 방식을 이용해 유선 (Serial 통신, Ethernet), 무선 (IEEE 802.11.x Wi-Fi, UWB) 으로 데이터를 송수신 하고, 상위 계층인 엣지 클라우드 계층, 클라우드 계층과는 HTTP 메시지 기반의 MQTT 방식으로 데이터를 전송한다.

본 논문에서 제안하는 IoT 게이트웨이 아키텍처는 기존의 게이트웨이들이 단일 프로토콜 및 전송 방식의 데이터 송수신을 위해 구성되었던 것과 달리 다음 절에서 소개하는 컨테이너 방식의 서비스 독립적인 모듈 구조를 적용하여 구성한다. 이와 같은 구성을 통해 다양한 디바이스 데이터 전송 프로토콜을 지원하는 다중 서비스를 게이트웨이에서 상호 영향 없이 독립적으로 서비스 가능하게 되며 송수신 기능을 엣지 기능과 분리하여 중앙의 클라우드로 데이

터 직접 전송하는 경우와 엣지를 경유하는 경우를 모두 지원 가능 하게 한다. 또한, 기존의 유선을 이용하여 설비와 IoT 디바이스를 연결하는 방식과 함께 무선 통신을 동시에 지원할 수 있는 기능의 확장성을 기대할 수 있다.

2.2 Edge Cloud Architecture

엣지 클라우드 계층 아키텍처는 스마트 공장 엣지 기능 구성을 위한 하드웨어, 소프트웨어 아키텍처를 의미 한다. 앞서 기능 요구사항에서 정리한 바와 같이 스마트 공장 엣지 기능은 4MIE의 공장 구성요소에 대해 모니터링 및 이상감지, 시뮬레이션, 이상 사전 예측, 미세 작업 조정, 현장 자율 제어 기능을 제공하며 이들 기능은 각각의 컴퓨팅 자원을 가지고 독립적으로 운영 되어야 한다. 이를 달성하기 위해 본 연구에서는 데스크탑 성능을 가진 장비들을 경량 가상화된 클러스터로 구성하는 엣지 클라우드 계층 아키텍처를 제안한다 (Fig. 7).

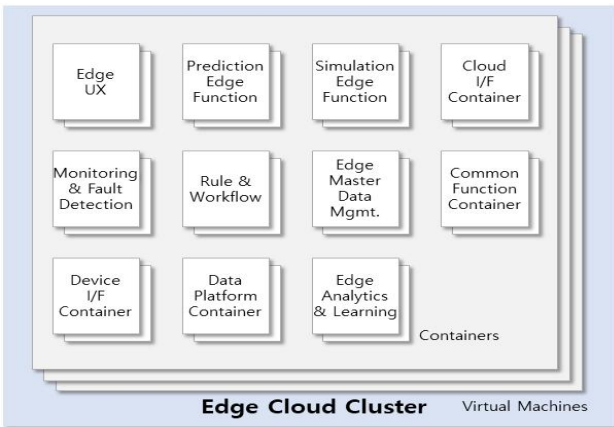


Fig. 7. Edge Cloud Layer for Smart Factory Edge

엣지 컴퓨팅의 대상이 되는 특정 생산 라인, 셀, 층에 대해 적합한 기능의 용량을 데스크탑 자원을 이용하여 확보하고 리눅스 OS를 공유하는 경량 가상화 엔진(Docker)을 설치하여 하드웨어 자원을 가상화 한다. 가상화된 하드웨어는 클러스터를 구성하며 최종적으로 도커 컨테이너 기반의 어플리케이션 이미지를 이중화 하여 배포, 운영한다.

하드웨어의 경량 가상화와 도커 컨테이너를 이용한 엣지 클라우드 구성은 엣지 컴퓨팅 운영에서 가장 중요한 CI/CD(Continuous Integration & Continuous Deployment)를 직접적으로 구현할 수 있게 하는 동시에 구글 Kubernetes와 같은 컨테이너 오케스트레이션 도구를 이용하여 Auto Scale In/Out 및 Rolling 배포를 지원함으로써 엣지의 성능과 안정성을 보장하는 아키텍처이다.

2.3 Application Architecture

엣지에서 제공하는 기능은 클라우드 제공 기능과의 오프로딩을 고려하여 분산형 구조로 설계 하였다(Fig. 8).

엣지의 기능과 중앙의 클라우드 기능을 분할 할 때 고려할 사항을 정리 하면 다음과 같다.

- (1) 엣지 노드의 자원의 한계를 고려한다.
- (2) 기능의 분산 처리에 의해 발생한 중간 결과물의 송·수신이 더 큰 비용을 발생시키지 않도록 한다.
- (3) 지역적으로 구분된 엣지 컴퓨팅 노드의 결과를 중앙의 클라우드가 Merge하여 처리할 수 있어야 한다.
- (4) 엣지에서 처리된 데이터 전처리나 컴퓨팅이 중앙에서 다시 처리 되어서는 안 된다.

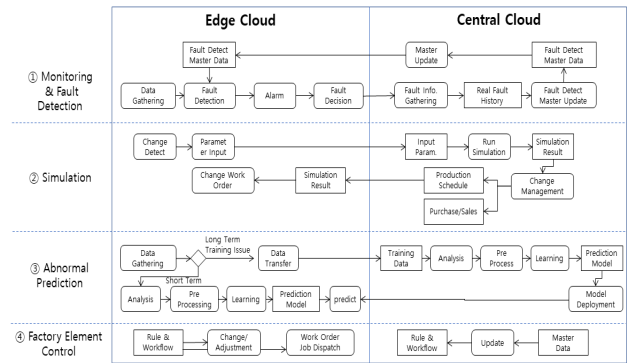


Fig. 8. Distributed Application Architecture for Smart Factory Edge and Cloud

① 공장 구성 요소의 상태를 모니터링 하고 이상을 감지하는 기능은 중앙의 클라우드에서 데이터 분석을 통해 결정한 관리 상한 값을 엣지와 공유하며 실시간 모니터링, 이상 감지를 구현한다.

② 공장 변경점에 따른 시뮬레이션은 감지된 변경점 혹은 예상되는 변경점을 중앙 클라우드의 시뮬레이션 엔진에 입력 값으로 전송하여 시뮬레이션을 동작시키고 예측 결과를 수신하여 현장에서의 대응이 가능하게 한다.

③ 공장 요소의 이상에 대한 사전 예측의 경우에는 일반적으로 중앙의 클라우드에서 빅데이터 스토리지 및 학습 머신을 가지고 장기간, 대량의 데이터에 기반한 학습을 수행한다. 앞서 요구사항 분석에서 설명한 바와 같이 작업자, 설비, 물류, 공법 등의 변경점에 따른 시뮬레이션과 설비, 공정, 품질 이상의 사전 예측 등을 수행하며, 중앙 클라우드에서 만들어진 모델은 동일한 예측을 수행할 수 있는 엣지의 기능 모듈에 의해 실시간 데이터를 바탕으로 추론을 수행 한다.

다만, 본 논문에서 제안하는 엣지 기능에서는 엣지의 컴퓨팅 자원을 이용한 소규모 경량화된 학습과 이에 근거한 예측 모델의 실행을 포함 한다. 즉, 예측이 필요한 데이터의 정확도 요구 정도에 따라 엣지에서의 학습과 중앙 클라우드에서의 학습을 선택할 수 있도록 구성한다. 예를 들어, 외관 검사 자동화를 위한 검사 이미지 품질 판정의 경우 이미지 데이터를 엣지에서 전처리하여 클라우드 서버로 전송하고, 클라우드 에서 대량 표본으로 학습한 판정 모델을 이용하는게 효과적이며 설비의 센서 데이터를 근거로 부품의 교체 주기를 판정하는 경우에는 센서 시계열 데이터를 엣지에서만 축적하여 학습하고 학습한 결과에 따라 부품의 교체 주기 데이터를 변경 하는게 효과적이다.

④ 스마트 공장 엣지에서는 또한 시뮬레이션 혹은 예측 모델

의 결과에 따라 공장 구성요소에게 작업 지시를 전송하거나 설정 값을 변경하는 등의 작업 조정 룰을 관리하고 이를 워크플로우에 따라 동작 시키는 기능 모듈을 포함한다. 여기에는 설비와 설비 간, 혹은 설비와 다른 기기 장치와의 상호 작용을 정의하여 공장 상황의 변환에 따라 사람의 개입 없이 자율적인 조정이 가능하도록 하는 워크플로우와 룰의 정의도 포함한다.

마지막으로 엣지에는 현장 작업자 및 관리자와의 인터랙션을 위해 웹서비스 기반의 UI 기능을 포함한다. 이로서 엣지에서 처리되는 모니터링, 이상 감지, 예측 및 작업 조작, 제어 등의 상황을 작업자는 스마트폰, 태블릿, 혹은 PC UI를 통해 확인 할 수 있다. 또한 Alarm Event 처리, 보안/인증, 기기간 API 정보 교환을 위한 API 게이트웨이 등의 기술적인 공통 기능들을 포함한다.

2.4 Data Architecture

스마트 공장 엣지의 데이터 아키텍처는 클라우드와의 데이터 동기화, 엣지에서 데이터 필터, 빠른 검색 기능에 초점을 맞춘다. 지금까지 엣지 에서의 데이터 처리는 클라우드로 전송하는 데이터의 볼륨을 줄이고 전처리를 통해 중앙 클라우드의 컴퓨팅 부하를 줄이는 것이 목적이었다. 본 논문에서는 이러한 데이터 전송의 측면만이 아니라, 앞서 설계한 기능 아키텍처 관점에서 엣지에서 자체적으로 데이터를 분석, 예측하기 위한 데이터베이스와 클라우드와의 정보 동기화, 그리고 엣지 기능의 운영을 위한 룰 엔진, 워크플로우, 공통 기능 데이터를 담기 위한 저장소를 고려한다(Fig. 9).

데이터 저장소 및 수집, 전송 기능은 가상화 하여 분산, 클러스터링 하지 않고 하나의 가상 머신 위에 엣지 별로 독립된 데이터베이스를 구성한다. 독립된 데이터베이스는 센서, 설비의 시계열 데이터를 처리하기 위한 시계열 DBMS와 클라우드로 부터의 기준정보, 공장 운영 정보를 담기 위한 관계형 DBMS 로 구분하였고 각각 독립된 스토리지 볼륨을 가지도록 설계하였다.

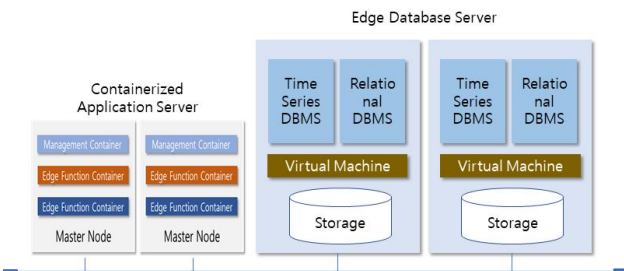


Fig. 9. Database Architecture for Each Smart Factory Edge

IV. Case Study

1. Edge Cloud Deployment for Smart Phone Manufacturer

이번 장에서는 본 연구에서 제시한 플랫폼의 유효성을 검증하기 위해 실제 제조 기업의 적용 사례를 살펴본다. 사례 기업

은 다수의 글로벌 생산 거점을 운영 하면서 대규모의 제조 실행 시스템을 활용하고 있는 국내 유수의 전자 제품 제조사 이다 (이하 A기업). A기업은 하이 엔드급 스마트폰 제조를 위해 여러 가지 소재를 가공하는 부품 가공 공장을 해외 생산 법인에 대규모로 운영하고 있다.

소재 가공 공정은 최근 스마트폰의 심미성 향상을 위해 아노다이징 공법을 이용하여 다양한 색상을 가공하고 있다. 아노다이징 공법은 알루미늄 도장의 일종으로써 가공 제품의 산화를 막고 제품의 내구성을 높이기 위해 알루미늄 제품 표면에 산화 피막을 형성하는 공법이다. 아노다이징은 화학적, 전기적 방법을 이용하는 설비를 사용하며 화학적인 가공 Recipe와 설비의 온도 및 압력 등에 의해 품질(색상, 농도)에 많은 영향을 받는다. 따라서 스마트폰 품질에 영향을 미치는 아노다이징 설비 온도와 압력 및 화학적 가공 Recipe 추적을 사례 분석에 사용하여 본 논문에서 제안한 엣지 클라우드 아키텍처의 효율성을 입증 하고자 한다.

1.1 Problems of Existing Architecture

A기업의 기존 아키텍처는 에이전트 프로그램을 이용하여 설비, 검사기의 로그 파일을 중앙 클라우드 서버로 전송(FTP 방식) 하고 배치 프로그램에 의해 데이터를 파싱(Parsing) 하여 데이터베이스에 저장하는 방식이었다(Fig. 10).

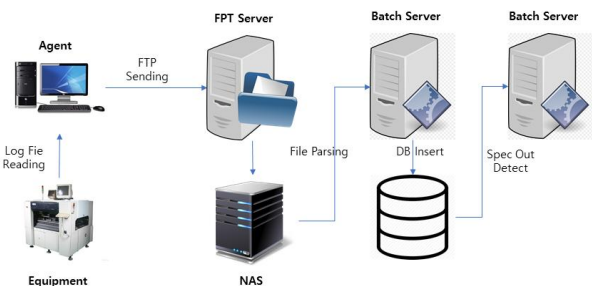


Fig. 10. As-Was Architecture

이러한 처리 과정에서 FTP를 통해 전송하는 시간과 함께 중앙 클라우드의 배치 서버에서 데이터를 파싱, 저장 처리하는 시간이 전체 소요시간의 90% 이상을 차지하였다(Fig. 11).

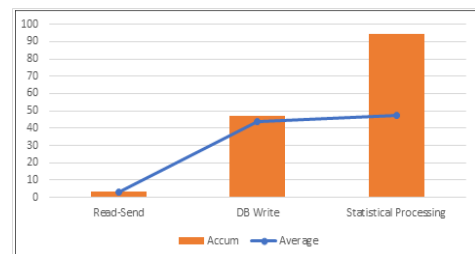


Fig. 11. Elapsed Time for As-Was Architecture

특히, 배치 서버의 처리 부하가 집중될 경우의 병목 현상으로 인해 일반적으로 1~3초에 처리되는 데이터 파싱이 간헐적으로 최장 수십 초 이상이 걸리는 등 안정적인 서비스가 보장되지 않았다(Fig. 12).

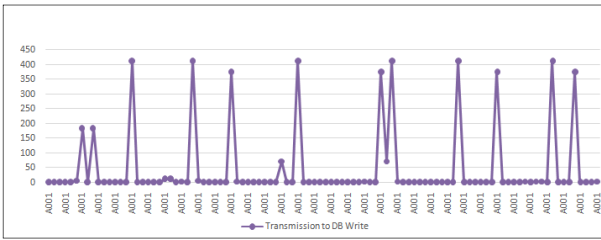


Fig. 12. Abnormal Processing Time at Server Bottle-Neck

이러한 문제를 해결하고 표준화된 설비 엔지니어링 분석 기능을 제공하기 위해 설비 엔지니어링 시스템(Equipment Engineering System)을 적용하여 FTP 전송 및 배치 프로그램 방식에 의한 비효율은 제거되었으나 모든 공정 설비의 데이터의 중앙 집중화에 따른 성능 저하 문제는 여전히 남아 있다 (Fig. 13).

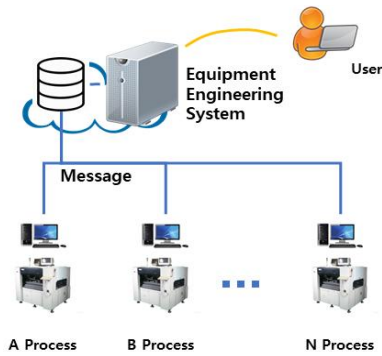


Fig. 13. Central Cloud Based Equipment Engineering System

1.2 Implementation of Process Quality Analysis System for Anodizing

위와 같은 기존 아키텍처의 문제를 해결하고 아노다이징 공정의 설비, 품질 분석 기능을 효율적으로 구축하기 위해 기존 설비 엔지니어링 시스템 아키텍처에 본 연구에서 제안하는 엣지 클라우드 아키텍처를 적용하여 아노다이징 공정 품질 분석 시스템을 시범 구축 하였다(Fig. 14).

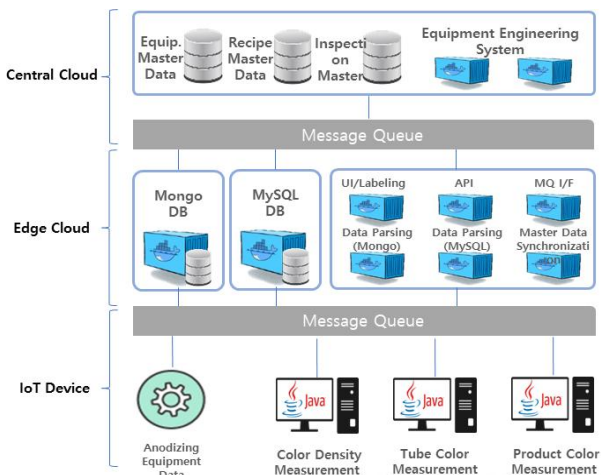


Fig. 14. CASE : Anodizing Defect Analysis for Company A

구현된 엣지 시스템은 아노다이징 설비로부터 설비 이벤트 (가동, 정지, 프로세스 시작, 중지 등) 정보와 가공되는 제품의 ID정보를 수신한다. 계측기로부터는 설비 수조의 용액 농도와 설비 내 색상, 제품의 색상의 계측 정보를 수집한다. 수집된 설비와 센서 정보는 NoSQL DB에 저장하며, 설비와 계측기의 기준정보 및 Recipe 기준정보는 중앙 클라우드에 위치한 EES(Equipment Engineering System)로부터 수신된다. 계측기로부터 불량 수준의 계측 정보가 수신되면 엣지 시스템은 해당 제품의 ID와 Recipe 정보 및 계측 정보를 상위 시스템인 클라우드에 전송하고 불량 표시 라벨을 발행한다.

엣지 클라우드 하드웨어는 리눅스 가상머신을 설치한 데스크탑을 노드로 구성하였고 도커 컨테이너 및 구글 쿠버네티스를 설치하여 클러스터링 하였다. 또한 Fig. 14와 같이 8개의 엣지 서비스 기능을 개발하였다. 설비와 계측기로부터의 데이터는 상용 솔루션(Highway101)을 이용하여 메시지 큐 방식으로 송수신 하였다.

2. Results and Implications of Case Study

아노다이징 공정 사례에서 기존의 설비 엔지니어링 시스템 아키텍처에서는 공장의 모든 공정, 설비 정보 (파라미터 및 상태 데이터)가 모두 중앙의 클라우드로 수집되어 처리됨으로써 데이터의 조회 및 프로세싱 성능이 현저히 저하 되었으나, 엣지 클라우드에서 아노다이징 설비 파라미터가 분산 처리되어 응답 성능이 개선되고 병목 현상에 따른 비정상적인 처리 시간이 현저히 개선됨을 알 수 있었다.

Fig. 15는 기존 설비 엔지니어링 시스템 구조에서 아노다이징 설비 센서 파라미터의 1일 동안 변동이력을 조회한 응답 성능과 엣지 클라우드 구조의 응답성능을 비교한 결과이다. 테스트를 3 개의 센서 파라미터만 조회한 경우와 23개의 파라미터를 조회한 경우로 나눠서 응답 성능을 측정한 결과 엣지 클라우드의 응답 성능이 각각 84% (39초 → 6초), 92% (156초 → 11초) 개선됨을 보여 주었고 파라미터의 개수가 늘수록 성능 차이가 증가함을 알 수 있었다. 중앙 클라우드의 데이터 스토리지를 압축하여 사용하기 위해 인덱스를 사용하지 않는 경우에는 그 성능 차이가 더 커지는 것도 확인 할 수 있다.

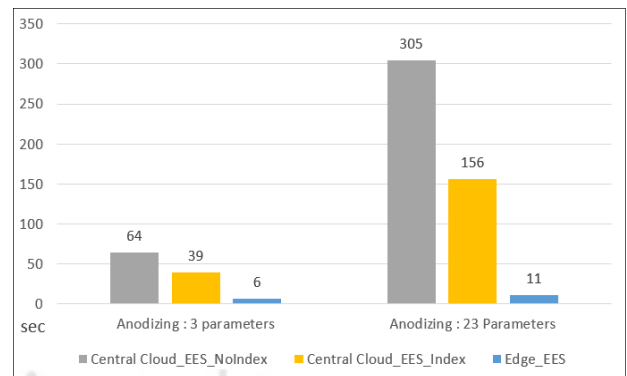


Fig. 15. Result Comparison

하루 동안 중앙의 클라우드 데이터베이스에 집계되는 설비의 센서 데이터 양이 약 130억 건인데 반해 아노다이징 공정의 센서 데이터는 약 3.5억 건으로 전체의 2.6%에 불과하였다. 일반적으로 중앙의 클라우드에서 연관성을 가지는 데이터를 통합하여 처리함으로써 데이터의 처리 성능이 높아지는 것을 기대할 수 있으나 이와 같이 서로 독립적인 공정과 설비 데이터를 중앙에서 모두 통합하여 처리하면 성능 저하가 나타날 수 밖에 없다. 따라서 아노다이징의 사례와 같이 엣지 클라우드로서 서비스를 분산처리 하는 것이 효과적인 대안이라 할 수 있다.

또한 엣지에서 처리된 데이터의 결과 및 계산된 요약 정보만을 중앙의 데이터베이스로 전송하게 되어 상대적으로 고가인 중앙 클라우드의 데이터베이스 유지보수 비용이 절감될 것으로 기대된다.

개발과 운영의 효율성 측면에서는 Fig. 16과 같이 개발환경을 구성하고 빌드된 기능의 이미지를 엣지의 컨테이너에 이미지 방식으로 배포할 수 있게 되어 USB 등을 이용하여 제조 현장의 PC에 관련 기능을 설치하던 예전 방식에 비해 엣지 시스템 운영의 효율성과 안정성이 개선되었고 Rolling Update 방식을 적용하여 이전 컨테이너가 서비스 하는 동안 신규 컨테이너에 새로운 소스를 배포하여 생성함으로써 서비스 중단 없는 배포가 가능하게 되었다.

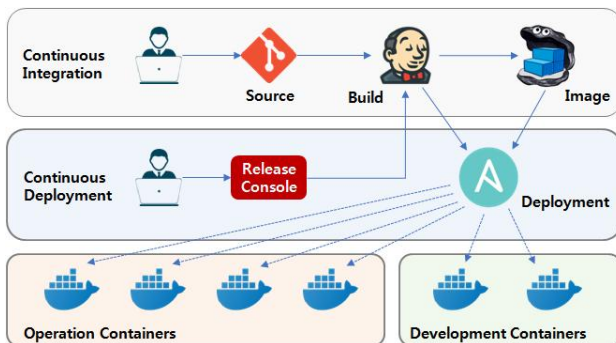


Fig. 16. CI/CD in Anodizing Case Study

A 기업 사례 연구는 해당 사례에 적합한 기능과 시스템 구조만을 시범 적용한 결과로 본 연구에서 제안한 엣지 컴퓨팅의 모든 기능적, 기술적 아키텍처를 검증하지는 못하였다. 향후 본격적인 구현 과제 추진을 통해 제안한 아키텍처를 최적화 하고 실제적인 구현 방법을 구체적으로 제시할 예정이다.

V. Conclusion

본 논문에서는 스마트 공장 구축을 위해 필요한 현장의 자동화, 지능화를 지원하는 엣지 컴퓨팅 아키텍처를 제안하였다. 스마트 공장의 기능 요구사항을 체계적으로 분석, 정리하였고 이에 대한 서비스를 안정적으로 제공하기 위한 계층형 (IoT

Gateway, 엣지 클라우드, 중앙 클라우드) 아키텍처를 제시하고 각 계층별 기능과 데이터 아키텍처를 설계하였다. 또한, 실제적인 스마트 공장 엣지 플랫폼을 구현하기 위해 도커 컨테이너 클러스터를 기반으로 한 엣지 클라우드를 제안하였으며 국내 유수의 전자제조 업체의 사례연구를 통해 기존 아키텍처 대비 월등한 성능 향상을 확인함으로써 제안한 아키텍처의 타당성을 입증하였다. 이 연구는 스마트 공장의 기능이 점차 구체화 되고 실질적인 구현 방안의 모색이 중요함에 따라 필연적으로 해결해야 하는 현장의 디바이스와 클라우드 서버 간 유용하고 효율적인 아키텍처 구성을 위한 아이디어와 실증적인 사례연구 제시에 의의가 있다.

향후 연구로는 엣지 컴퓨팅을 위한 반도체 등 컴퓨팅 자원의 발전[18], 5G 모바일 네트워크와 같은 제조 현장 무선 네트워크의 실용화에 따른 추가적인 아키텍처 설계 연구가 필요하며, 딥 러닝의 레이어를 파티셔닝하여 엣지와 클라우드가 러닝 레이어를 분산하여 처리하는 Distributed Deep Neural Network[19]와 엣지 기능 측면의 연구 확장도 필요하다. 또한, 중요 데이터의 보안과 제조 작업자 등의 개인정보 보호를 위한 지속적인 연구가 필요할 것이라 생각된다.

REFERENCES

- [1] Jong-Kyung Park, Tai-Woo Chang, "Review of Domestic Research on Smart Manufacturing Technologies", The Journal of Society for e-Business Studies, Vol.23, No.2, pp.123-133, May 2018. DOI: <https://doi.org/10.7838/jsebs.2018.23.2.123>
- [2] Sang-Dong Lee, "Global Trends and Korean Standardization Strategies for Smart Factory", KSA Policy Study Issue Paper, Vol.12, No.3, July 2015.
- [3] Heiner Lasi, Hans-Georg Kemper, Peter Fettke, Thomas Feld, Michael Hoffmann, "Industry 4.0", Business & Information Systems Engineering, Vol.6, No.4, pp.239-242, Aug. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- [4] MOTIE, "A Study on the Policy Implications for the Spread of Smart Factory in the Period of the Fourth Industrial Revolution", Ministry of Trade, Industry and Energy, Dec. 2017.
- [5] Jong-Man Park, "Technology and Issue on Embodiment of Smart Factory in Small-Medium Manufacturing Business", The Journal of Korean Institute of Communications and Information Science, Vol.40, No.12, pp.2491-2502, Dec. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.7840/kics.2015.40.12.2491>
- [6] Peter O'Donovan, Kevin Leahy, Ken Bruton, Dominic T.

- J. O'Sullivan, "Big Data in manufacturing: a systematic mapping study", *Journal of Big Data*, pp.2-22, Sep. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40537-015-0028-x>
- [7] Zi-On Hwang, "Design of Efficient Edge Computing based on Learning Factors Sharing with Cloud in a Smart Factory Domain", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol.21, No.11, pp.2167-2176, Nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.11.2167>
- [8] Weisong Shi, Jie Cao, Quan Zhang, Youhuizi Li, Lanyu Xu, "Edge Computing: Vision and Challenges", *IEEE Internet of Things Journal*, Vol.3, No.5, pp.637-646, Oct. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2579198>
- [9] Harshit Gupta, Amir Vahid Dastjerdi, Soumya K. Ghosh, Rajkumar Buyya, "iFogSim: A toolkit for modeling and simulation of resource management techniques in the Internet of Things, Edge and Fog computing environments", *SoftwPract Exper*, Vol.47, pp.1275-1296, Oct. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/spc.2509>
- [10] Ji-Heon Kang, "A Design of Deep Learning Models for Anomaly Detection, Localization", Ph.D Dissertation, Korea University, pp.81-112.
- [11] Hyun-Soo Lee, "Embedded System Framework and Its Implementation for Device-to Device Intelligent Communication of Manufacturing IoT Device considering Smart Factory", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol.27, No.5, pp.459-465, Oct. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5391/JKIS.2017.27.5.459>
- [12] Jung-Woo Lim, Dong-Hyuk Jo, Seung-Yub Lee, Hee-Jun Park, Jong-Woo Park, "A Case Study for the Smart Factory Application in the Manufacturing Industry", *DAEHAN Association of Business Administration*, Vol.30, No.9, pp.1609-1630, Sep. 2017. DOI: <https://doi.org/10.18032/kaaba.2017.30.9.1609>
- [13] Seung-Jun Shin, Jung-Yub Woo, Won-Chul Seo, "Developing a Big Data Analytics Platform Architecture for Smart Factory", *Journal of the Korea Multimedia Society*, Vol.19, No.8, pp.1516-1529, Aug. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.9717/kmms.2016.19.8.1516>
- [14] Dong-Gyu Lee, Tai-Myoung Chung, "A proposal on Building Strategy of Edge Computing Database Using CFLRU", *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, pp.566-567, Jan. 2018.
- [15] Ki-Woong Nam, Sang-Jun Lee, "Integrated Database Between Cloud and Edge Node Using Block Chain", *Korea Information Science Society*, pp.398-399, Dec. 2018.
- [16] Nandor Verba, Kuo-Ming Chao, Anne James, Daniel Goldsmith, Xiang Fei, Sergiu-Dan Stan, "Platform as a service gateway for the Fog of Things", *Advanced Engineering Informatics*, Vol.33, pp.243-257, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2016.11.003>
- [17] Claus Pahl, Sven Helmer, Lorenzo Miori, Julian Sanin, Brian Lee, "A Container-based Edge Cloud PaaS Architecture based on Raspberry Pi Clusters", *International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops*, pp.117-124, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/W-FiCloud.2016.36>
- [18] Hyun-Moon Park, Tae-Ho Hwang, "Technological Trends on Edge Computing", *The Journal of The Korean Institute of Communication Science*, Vol.36, No.2, pp.41-47, Jan. 2019.
- [19] Surat Teerapittayanon, Bradley McDanel, H. T. Kung, "Distributed Deep Neural Networks over the Cloud, the Edge and End Devices", *37th International Conference on Distributed Computing Systems*, pp.328-339, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/JCDCS.2017.226>

Authors



Hyung-Sun Kim received the B.S. degree in Management Information System from Kookmin University, Korea, in 1992. He is currently a M.S. Student in the department of Industrial Management Engineering at Korea University and He is working as a

Principal Consultant in the SET MES group of Samsung SDS. He is interested in Smart Factory, IoT and edge computing platform, and Micro services for Manufacturing.



Hong-Chul Lee received the B.S. degree in Industrial Engineering from Korea University, Korea, in 1983, M.S. degree in Industrial Engineering from Texas Arlington University, U.S. in 1988 and He received Ph.D. degree in Industrial

Engineering from Texas A&M University, U.S. , respectively Dr. Lee joined the faculty of the Department of Industrial Management Engineering at Korea University, Seoul, Korea, in 1996. He is currently a Professor in the Department of Industrial Management Engineering, Korea University. He is interested in Artificial Intelligence, Manufacturing Engineering System, and Simulation.