

# BaaS(BIM as a Service)를 위한 분산 클라우드 기반의 BIM 플랫폼 리소스 관리 방법 연구

## BIM Platform Resource Management for BaaS(BIM as a Service) in Distributed Cloud Computing

손아영<sup>1)</sup>, 신재영<sup>2)</sup>, 문현석<sup>3)</sup>

Son, A-Young<sup>1)</sup> · Shin, Jae-Young<sup>2)</sup> · Moon, Hyoun-Seok<sup>3)</sup>

Received August 12, 2020; Received September 28, 2020 / Accepted September 28, 2020

**ABSTRACT:** BIM-based Cloud platform gained popularity coupled with the convergence of Fourth Industrial Revolution technology. However, most of the previous work has not guaranteed sufficient efficiency to meet user requirements according to BIM service. Furthermore, the Cloud environment is only used as a server and it does not consider cloud characteristics. For the processing of High Capacity Data like BIM and using seamless BIM service, Resource management technology is required in the cloud environment. In this paper, to solve the problems, we propose a BIM platform for BaaS and an efficient resource allocation scheme. We also proved the efficiency of resource for the proposed scheme by using existing schemes. By doing this, the proposed scheme looks forward to accelerating the growth of the BaaS through improving the user experience and resource efficiency.

**KEYWORDS:** BIM, Cloud Platform, Distributed Cloud Computing, Resource Placement, Customization, Smart Construction

**키 워 드:** 건설정보모델, 클라우드 플랫폼, 분산 클라우드 컴퓨팅, 리소스배치, 사용자화, 스마트 건설

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

클라우드 기반 BIM 플랫폼은 건설 분야에서 활용 기대치가 높아지고 있으며, 건설 프로젝트시 전체 생애 주기를 관리하기 위해 클라우드 기반 BIM 플랫폼에 대한 관련 연구 및 기술 구현이 국내외에서 활발하게 진행되고 있다(Choi & Suh 2019; Shahinmoghdam & Motamedi 2019).

클라우드 컴퓨팅 기술은 인터넷에 자료를 저장하는 기능을 넘어 여러 사람이 동시에 데이터를 공유하면서 작업이 가능하다. BIM을 활용한 건설 프로젝트에 클라우드 컴퓨팅 기술을 융합하면 업무 단계별, 프로젝트 참여자간의 의사결정을 효율적으로 지원할 수 있으며 프로젝트 전반에 생성되는 다양한 형태의 정보들

을 장소와 시간에 구애 받지 않고 공유하고 협업 할 수 있는 특징이 있다.

클라우드 환경에서 BIM 모델을 활용하는 것에 대한 중요성은 증대되고 있지만 대부분의 연구(Chien et al., 2017; Das et al., 2014)는 클라우드 특성을 반영하지 못한 채, 서버로만 활용되는 관리적 측면으로만 제공되고 있다. 또한, BIM 데이터는 대용량 객체에 대한 렌더링, 시각화, 계산 등 많은 컴퓨팅 리소스를 필요로 한다. 수많은 데이터나 대용량의 데이터를 로딩할 때 CPU 사용량, 메모리 사용량과 같은 리소스 한계를 넘어가면, 데이터 처리 시 지연되는 문제가 발생한다. 이와 같이 BIM 모델과 같은 대용량 데이터를 고속으로 렌더링 하는 서비스를 제공 받거나 데이터를 동시에 공유할 때 대기시간이 발생하게 된다.

따라서 클라우드 환경에서 데이터 처리 프로세스를 반영하고

<sup>1)</sup>정회원, 한국건설기술연구원, 스마트건설혁신본부 국가 BIM 연구센터 (ayths28@kict.re.kr)

<sup>2)</sup>정회원, 한국건설기술연구원, 미래융합연구본부 건설자동화연구센터 (jaeyoungsin@kict.re.kr)

<sup>3)</sup>정회원, 한국건설기술연구원, 스마트건설혁신본부 국가 BIM 연구센터 (hsmoon@kict.re.kr) (교신저자)

리소스를 효율적으로 배치하여 BIM 서비스를 원활하게 사용할 수 있도록 하는 방안이 필요하다. 항만 업무와 같은 사용자별로 BIM 프로젝트 정보 활용수준이 다르면 사용자마다 클라우드 BIM 플랫폼 리소스 사용량을 사전에 예측하여 할당하는 것이 어렵다. 또한, 기존 클라우드 리소스관리 기술은 CPU, 메모리, 네트워크 등의 리소스를 각 가상머신(Virtual Machine)에 고정적으로 할당하므로 사용자에 따른 맞춤형 서비스를 제공하기 어렵다. 이때, 리소스가 많이 할당되어 유휴 리소스가 많이 생기는 오버 프로비저닝(Over-provisioning) 상태와 사용해야할 리소스보다 적게 배치되는 언더 프로비저닝(under-provisioning) 상태를 발생시켜 리소스 효율을 저하시키는 요인이 된다(Patil, 2019)

이러한 문제를 해결하기 위해서는 리소스 사용량을 기반으로 맞춤형 서비스가 필요하게 되는데, 클라우드 기반 BIM 플랫폼을 이용할 때도 사용자별, 건설 단계(설계-시공-유지관리)에 따라 이용하는 기능이 달라지며, 이때 기능에 따라 사용되는 리소스 사용률이 달라진다. 맞춤형 서비스를 제공하기 위해 사용자와 업무 중심으로 리소스 사용량을 파악하고 그에 따른 리소스 할당이 필요하다.

따라서 본 연구는 분산 클라우드 기반에서 BIM을 서비스 형태로 제공하기 위해 BaaS(BIM as a Service)를 위한 플랫폼을 제시하고 대용량 데이터인 BIM 관리를 위해 사용자에 따른 맞춤형 리소스 관리 방법을 제시한다. 제시하는 시스템으로 기존 클라우드 리소스 관리의 한계점을 해소할 수 있으며, 오버 프로비저닝과 언더 프로비저닝 상태를 감소시킬 수 있어 리소스 효율성 향상을 기대할 수 있다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

BIM데이터는 단순한 형상 데이터뿐만 아니라 건설 구조물을 구성하고 있는 객체들과 요소 객체들 간의 관계를 담고 있으며, 이들로부터 구조물의 크기와 물량 등을 계산하기 때문에 대용량 데이터 운영하고 관리하기 위한 플랫폼이 필요하다. 이때 기존 클라우드 기반 BIM플랫폼은 클라우드를 서버 용도로만 사용하는 관리적 측면 방식이 아닌 클라우드 특성을 고려한 리소스 관리 기술을 기반으로 플랫폼이 구성되어야 한다. 또한 리소스관리 기술을 개발하고 성능을 검증하기 위해 사용자에 따른 리소스 유형을 정의 하고 가능성을 검증하는 부분까지를 연구 범위로 하였다.

이를 위해 본 연구에서는 다음과 같은 절차에 따라 연구를 진행하였다. 첫째, BaaS의 개념 및 필요성을 제시하였다. 둘째, BaaS를 위한 플랫폼 요구기능 도출을 위하여, 기존 플랫폼의 문제점과 함께 클라우드 기반 BIM 플랫폼이 특징을 분석하였다. 셋째, 분산 클라우드 기반의 데이터 처리를 위한 프로세스를 설계하고 리소스관리를 위해 사용자 맞춤형 리소스할당 방법을 제안하였다. 넷째, 기존 리소스할당 방법과의 비교를 통해 제안한 방법에 대해 성능을 검증하였다.

## 2. BaaS를 위한 BIM 플랫폼

본 장에서는 BIM 서비스를 위한 플랫폼 구성을 위해 클라우드 기반 BIM 플랫폼에 대한 기존 연구들과 서비스 사례를 분석하였고, BIM플랫폼 기능 분석을 통해 주체별로 어떠한 기능이 클라우드 리소스 관리에 영향을 미치는지 확인 하였다.

### 2.1 클라우드 기반 BIM 플랫폼 기존 연구

Table 1에서는 클라우드 기반의 기존 BIM 플랫폼에 대한 연구들을 분석하였다. 기존 연구들은 대용량의 BIM 모델을 공유하고, 다수의 사용자가 데이터를 동시에 접근 등의 목적으로 데이터를 관리하고 클라우드 환경에서 건설 주기 동안 협업을 위해 플랫폼을 제공하고 있었다.

Table 1. Analysis of BIM platform in cloud computing

	Chien et al., 2017	Das et al., 2014	Park et al., 2017	Chen et al., 2016	Ma & Sacks 2016
Objective	Implementation of BIM platform	BIM Framework in Distributed Cloud computing	Safety monitoring system through construction application in cloud environments	Data processing system in cloud computing for web service	DaaS system for BIM collaboration
Method	Integration of information for environment sensing	BIM- Cloud Framework based on IFC schema and developed schema	Integration of BLE (Bluetooth Low-Energy) based location detection technology and BIM (Building Information Model) based risk identification in cloud platform	Combination of Hadoop, WebGL 3D display technology and HTML5 web page technology	Using of IFC schema in the cloud
Pros	Energy saving	Collaboration for life-cycle	Potential risk awareness, Real-time accident detection, Real-time sharing	Access of data for multi-user	Data shaing based on cloud computing
Cons	Lack of specific consideration in cloud environment, Data characteristics need to be considered				

하지만 기존 연구는 클라우드 환경을 데이터 저장소의 역할이나 서버역할로만 사용할 뿐 클라우드 특성 중 하나인 리소스 사용에 대해 고려하지 않았으며, BIM 데이터의 활용 사례에 대해서 중점적으로 제시할 뿐 BIM 데이터를 활용하기 위해 데이터가 어떻게 처리 되는지에 대한 관점에서의 플랫폼 역할은 미비하였다.

본 연구에서는 BIM 데이터 특성과 클라우드 환경의 특성을 고

려하여 리소스 관리 방법을 제공하는 클라우드 기반 BIM 플랫폼을 제안하고자 한다.

## 2.2 클라우드 기반 BIM플랫폼 서비스 특징

Table 2는 기존 서비스를 기반으로 BIM 플랫폼 서비스들의 기능들을 분류하였다.

Table 2. Features of BIM platform in cloud computing

Categories	sub-categories	Features	Cloud based BIM			
			BIM 360	BIM Server center	BIM cloud	Onuma System
Project management	Project management	Project management	V	V	V	V
		Life cycle Management	V			V
Library management	BIM Viewer	Online file storage	V	V	V	V
		Online Drawing Viewing	V		V	V
		Online drawing editing	V		V	V
		Online sharing of file	V	V	V	V
	BIM file management	Data import and export support	V	V	V	V
		BIMfile management	V	V	V	V
Cloud management	Cloud service support	Encrypted Cloud	V		V	V
		Multiple Cloud server			V	
		Automated Server Backups			V	
	Application	Browser based management				
	Large Models management	BIM file management	V	V	V	V
		Distributed processing support for Simulation	V	V	V	
3D Visualization		V	V	V	V	

Table 2는 3가지 범주로 분류하였으며 프로젝트 관리, 라이브러리 관리, 클라우드 관리로 크게 분류하였다.

- 프로젝트 관리 : 항만관리를 위해 프로젝트 단위를 항만 시설물 단위로 한정하였으며, 각 프로젝트를 관리하기 위해 프로젝트 관리, 건설 프로젝트 동안의 생애주기 관리로 구성되어 있다.
- 라이브러리 관리 : BIM 라이브러리는 표준 라이브러리를 제공 및 관리하며 뷰어를 통해 사용자가 작성한 라이브러리를 공유할 수 있도록 하고 있다.
- 클라우드 관리 : 클라우드 서비스 지원(암호화된 클라우드 서버, 멀티 클라우드 서버, 백업서비스), 브라우저 관리, 모델 관리(BIM 데이터의 관리, 대용량 모델의 분산처리 지원 기능, 3D 가상화) 로 구성되어 있다.

Table 2를 기반으로 3.2절의 BIM플랫폼 요구사항을 도출하였고 이를 기반으로 리소스 관리유형을 정의하는데 활용 하고자 한다.

## 2.3 분산형 클라우드 플랫폼

클라우드 데이터 저장소로부터 데이터 응답의 지연은 대용량 프로그램의 요구사항을 충족시키기 어렵다. 대용량 데이터를 렌더링 할 때 일반적으로 10ms 정도의 응답시간을 요구하는데 이는 응답시간이 수백 밀리초인 클라우드 네트워크 환경에서는 최적의 서비스를 제공할 수 없다. BIM과 같은 대용량 데이터를 전송할 경우 네트워크 트래픽 증가에 따른 서비스 지연 문제가 발생할 수 있다. 데이터를 저장, 분석, 제어 할 경우 매번 중앙 클라우드를 통해서 결과를 제공 받기 때문에 응답 지연 문제도 발생할 수 있다. 실시간으로 반응해야 하는 서비스의 경우 지연 문제는 서비스 품질의 저하를 초래한다. 이러한 클라우드의 단점으로 인해, 최근 데이터의 저장과 분석을 어디에서 어떻게 해야 하는지 결정하는 이슈가 활발하게 논의되고 있다(Endo, 2011; Li et al.,2019)

분산 클라우드 형태인 에지 클라우드 클라우드 플랫폼은 리소스 관리에 따른 문제점을 해결하기 위한 대안으로 물리적으로 가까운 곳에 있는 컴퓨팅 리소스로 데이터를 저장하고 연산하는 것을 의미한다. 이는 트래픽으로부터의 영향이 적으므로 상대적으로 빠르게 응답이 가능하다. 또한 데이터 로컬 저장이 가능하기 때문에 개인 정보 보호 문제에 장점이 있다. 그러나 에지 클라우드는 여러 사용자가 동시에 접근하는 것이 어렵고, 그로 인해 서비스의 관리가 상대적으로 어렵다. 그러므로 본 논문에서는 BaaS의 활용과 관리가 용이 하도록 플랫폼 구조를 계층적으로 설계하였다. 이는 클라우드와 에지의 장단점을 적절히 보완하면서도 유연한 구조의 서비스를 제공 가능하게 한다.

## 2.4 BaaS의 개요

클라우드 컴퓨팅은 컴퓨팅 리소스를 인터넷 환경에서 원하는 만큼 사용하고, 사용한 만큼 지불하는 서비스이다. 서비스의 형태로는 Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS), Software as a Service (SaaS)가 있다 (Firozbakht et al.,2017).

인프라 서비스(IaaS, Infrastructure as a Service)는 사용자에게 가상화된 서버, 스토리지, 네트워크와 같은 물리적인 컴퓨팅 리소스를 하나의 서비스로 제공하는 형태이다.

플랫폼 서비스(PaaS, Platform as a Service)는 사용자에게 편리한 프로그래밍 환경을 위해 애플리케이션을 개발하는데 필요한 개발 환경과 관련 플랫폼을 제공하고 사용자는 제공된 플랫폼 상에서 컴퓨팅 리소스를 이용하여 새로운 애플리케이션을 개발한다.

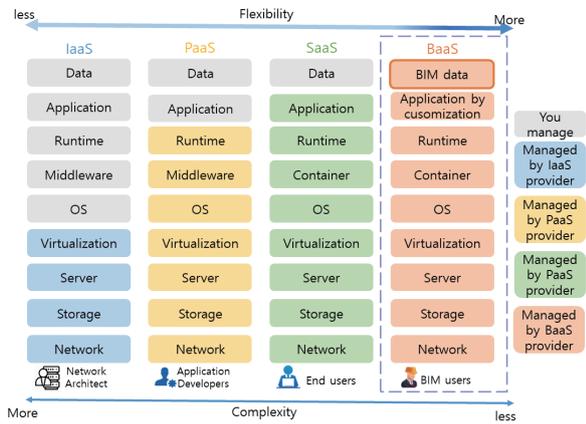


Figure 1. Concept of BaaS

소프트웨어 서비스(SaaS, Software as a Service)에서 클라우드 서비스 제공자는 온라인을 통해 소프트웨어를 제공하고, 사용자는 로컬 컴퓨터에 설치된 소프트웨어 대신에 온라인으로 제공되는 소프트웨어를 이용한다.

이때, BaaS(BIM as a service)는 SaaS, PaaS 및 IaaS 기능을 포함하여 Figure 1과 같이 BIM데이터를 기반으로 라이브러리 뷰어, 유지관리 시스템 등 BIM 관련 소프트웨어들을 SaaS 형태로 제공한다. 또한 BIM 서비스를 제공하기 위한 인프라를 IaaS 형태로 제공하며, 플랫폼 상에서 사용자가 여러 가상 머신(VM), 즉 프로젝트 단위로 가상화된 인프라를 만들어 운영환경을 배포 할 수 있다. 그 외에 BaaS만이 가지는 특징은 다음과 같다

BaaS는 사용자별, 업무에 따라 사용자가 원하는 형태로 기능이 제공 되어 유연성 있는 환경을 구성 할 수 있다.

항만 업무와 같은 사용자 별 정보 활용 수준에 따라 BIM데이터를 처리할 수 있는 운영환경이 배포되는 특성 때문에 클라우드 환경 제어가 용이하며 사용자는 관리에 대한 복잡도가 낮아진다.

또한 BIM 모델의 주제별, 단계별 사용에 따른 클라우드 최적화된 리소스의 관리 기능이 포함한다.

### 3. BaaS를 위한 리소스 관리 고려사항

#### 3.1 클라우드 리소스 관리를 위해 고려하는 요소

리소스 할당하는 방식으로 두 가지의 방법이 있다.

- 오버 프로비저닝 : 리소스 할당시 사용자의 리소스 사용량을 최대로 예측하여 리소스를 최대로 할당하는 것으로 실시간으로 감시할 필요가 없어 추가적인 비용이 들지 않지만, 유휴 리소스가 발생하기 때문에 비효율적이다.
- 언더 프로비저닝 : 리소스의 사용량에 대한 예측이 실제 요구량에 비해 적게 되는 상태로 컴퓨팅 리소스의 가용성을 보

장할 수 없어 서비스 속도 부분에서 저하가 발생한다.

따라서 사용자에 따라 리소스 사용량을 기반으로 요구량 및 가용성을 반영하고 사용자가 어떤 업무 단계인지를 고려하여 리소스 관리 방안을 제공한다.

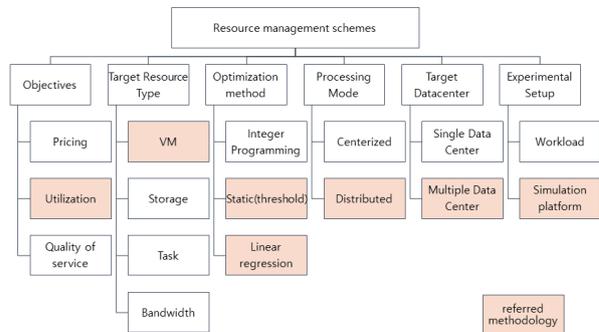


Figure 2. Resource management schemes

Figure 2은 클라우드 환경에서 리소스를 관리 할 때 고려하는 요소들로 최적화 목표, 리소스의 유형, 최적화 방법, 실험 환경 등의 분류를 나타낸다. Figure 3과 같이 기존 연구들(Costache, 2017; Sun et al., 2016) 의 고려사항으로부터 리소스 관리 요소, 목표, 실험 방법 등을 정하였다.

- 목표 : 리소스 이용률을 통한 활성화에 초점
- 타겟 리소스 타입 : 가상머신
- 비교 방법 : 기존 방법인 Static, LR(Linear Regression) 등을 통해 실험 비교 대상 등을 결정
- 처리모드 : 데이터 처리를 위한 중앙형 클라우드와 에지 클라우드 형태의 분산형 클라우드 환경에서 사용자, 단계별에 따라 BaaS서비스를 인식하고 데이터를 처리하는 분산 처리 시스템을 구축
- 실험 환경 : 시뮬레이션 툴인 Cloudsim을 통한 분산형태의 클라우드 환경을 구축

#### 3.1.1 BaaS를 위한 데이터 처리

건설 프로젝트 단계에서 BaaS를 사용할 때 단순한 형상 데이터뿐만 속성정보를 담고 있고 건설 단계에 따라 설계부터 유지관리까지 활용된다. 건설 업무 단계에 따라 저용량 데이터부터 대용량 데이터까지 처리되고 있어 고려해야할 사항도 달라진다 (Hamledari et al., 2018; Afsari et al., 2016). Figure 3 는 BaaS 를 사용할 때 데이터 처리과정을 레벨에 따라 나는 것이며, Level 4단계 까지 구성된다. 본 연구에서 제안하는 자원관리 방법은 레벨별 데이터 처리 상태를 고려하는 리소스 관리 방안으로 중앙 클라우드와 에지 클라우드가 갖는 장점을 가진다.

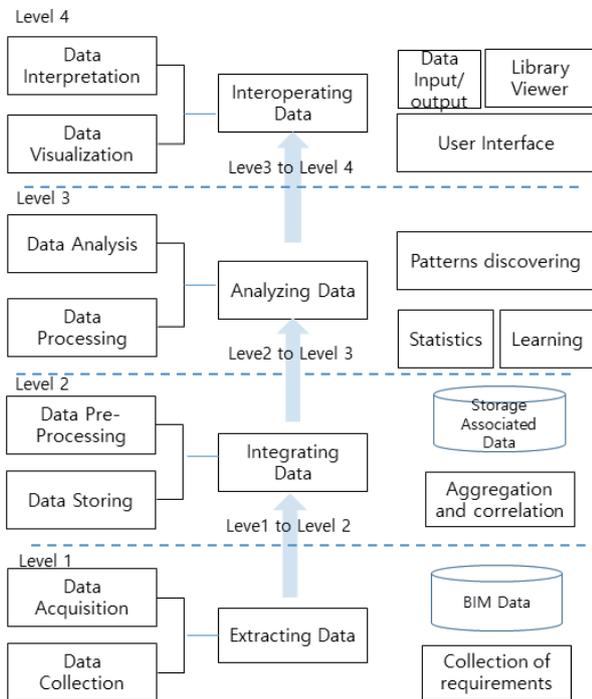


Figure 3. Data Processing for BaaS

- Level 1,2 : 설계, 시공, 운영 중에 BIM 플랫폼에 방대한 양의 입력 데이터가 존재한다. 정보를 생성하려면 데이터를 처리, 관리 및 분류해야한다. 그러나 데이터는 다른 주변 데이터와 통합하기 위해 저작 도구에서 적절한 형식으로 먼저 추출해야한다. 비정형 데이터를 처리 할 수 있도록 데이터베이스에 저장하고 관리해야한다. 프로젝트 별 수집된 정보는 각각의 에지 클라우드에서 관리되어야 하며, 시공 후 대응량을 갖는 BIM 데이터는 중앙 클라우드에서 관리된다.
- Level 2,3 : 저장된 데이터를 활용하기 위해서는 용도에 맞게 데이터가 가공되어야 하며 이를 위해서 데이터에 대한 패턴을 분석하고 학습을 통해 분석된 형태의 정보로 제공되어야 한다. 프로젝트 별 데이터가 가공되기 위해서는 에지 클라우드에서 리소스 및 데이터가 관리되어야 하고 Level 3,4에서 통합관리를 위해 각각에 대한 데이터를 중앙 클라우드로 전송된다.
- Level 3,4 : 다양한 출처의 데이터베이스에 저장된 BIM 데이터를 기반으로 유지보수를 예측하고 의사결정하기 위한 지식에 도달 할 수 있도록 원활하고 신속하게 통합 되어야한다. 또한 플랫폼은 방대한 BIM 데이터 및 기타 기술 데이터를 축적하고 여러 사용자가 액세스 할 수 있도록 여러 서비스를 동시에 실행이 필요하고, 이때는 중앙 클라우드를 통해 리소스를 관리 한다.

### 3.1.2 BaaS를 위한 최적화된 리소스 배치 기법

기존 클라우드 서비스 제공자는 리소스 관리를 위해 최적화 (optimization) 방법을 고려하며, BaaS환경에서도 최적화된 리소스를 제공하는 방안으로 최적화 방법을 사용하였다. 최적화 방법을 사용하기 위해 목적함수(objective function)의 함수값을 최적화(최대화 또는 최소화)시키는 파라미터(변수) 조합을 찾는 기법을 사용한다. 리소스를 최적화 하고 다른 기존기법(Static, LR 등)과의 비교를 위해 리소스 낭비량을 최소화 시키는 방법을 이용하였으며 물리 머신(PM) 리소스는 가상 머신(VM)의 리소스 보다 크거나 같아야 하는 제약 조건과 함께 리소스 낭비량은 최소를 만족시키는 알고리즘 (1)을 제안하였다. 최적화 함수를 기반을 둔 알고리즘으로 성능 평가시 기존 방법과 비교하는 지표로서 사용하였다.

Table 3은 알고리즘 (1)에 대한 약어 설명이다. 하나의 클라우드 내에는 여러대의 물리 머신이 있으며 하나의 물리머신 내에도 여러 대의 가상머신이 동작한다. 알고리즘 (1)은  $x_{ij}$  는 물리머신 내의 가상머신들의 리소스가 할당된 상태를 1, 비할당된 상태 0으로 나누어 정의할 수 있다. 또한,  $y_j$  는 물리머신의 상태를 정의하였으며 물리 머신이 동작하고 있는 상태를 1, 동작하고 있지 않는 상태 0으로 정의하였다.

알고리즘 (1)은 물리 머신들과 가상 머신들의 활성화 상태와 리소스 사용량을 고려하여 알고리즘을 설계 하였다.

$$Min.f(x) = \sum_M W_j^{PM} = \sum_M \left[ y_j \cdot \left( \frac{R_{j,1}^{PM} - \sum_N^{i=1} (x_{ij} \cdot R_{i,1}^{VM})}{\sum_N^{i=1} (x_{ij} \cdot R_{i,1}^{VM})} \right) \right] \quad (1)$$

$$s.t \quad x \in \Omega$$

$$R_{i,1}^{VM} \leq R_{j,1}^{PM}$$

Table 3. Notations

Notation	Description
$W$	Resource Wastage (%)
$R$	Resource
$x_{ij}$	$\begin{cases} 1 (VM \text{ is allocated} \in PM) \\ 0 (VM \text{ is not allocated} \in PM) \end{cases}$
$y_j$	$\begin{cases} 1 (PM = active) \\ 0 (PM = idle) \end{cases}$

### 3.2 BaaS를 위한 BIM 플랫폼 요구사항

본 장에서는 BaaS를 위한 BIM플랫폼 요구사항을 도출하였다. BIM 플랫폼 기능에 따라 리소스 사용량이 달라지고, 사용자별, 업무단계에 따라 기능 요구사항 달라지게 된다. 도출된 요구사항을 기반으로 리소스 사용 유형을 정의하는데 활용 하였다.

### 3.2.1 BaaS를 위한 기능 요구사항

Table 4는 기존 플랫폼들을 기반으로 BaaS를 위한 요구기능을 도출하였으며 그 기능은 프로젝트 관리, 라이브러리 관리, 데이터 관리, 클라우드 관리로 구성될 수 있다. 서비스 별로 클라우드 서비스 유형으로 매핑 하였으며, 2.4절에서 제시한 BaaS의 개념과 같이 BaaS는 클라우드 서비스 유형인 세 가지를 충족하고 있으며, SaaS 타입이 사용자, 단계에 따라 다르게 구성되고 리소스 사용량이 달라지기 때문에 SaaS 서비스 기준으로 사용자, 단계에 따라 Table 5를 도출하였다.

Table 4. Requirements of BIM platform for BaaS

Service	Type	Requirements function
Project management	SaaS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• user information management</li> <li>• Archive, restore, and delete projects based on CDE</li> <li>• life-cycle management</li> <li>• BIM shape information, property</li> <li>• Dashboard support to check project status</li> <li>• user collaboration support</li> </ul>
Library management	SaaS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provide standard library for project execution</li> <li>• Share project user-created library</li> <li>• Providing BIM Viewer service through</li> <li>• IFC file support</li> </ul>
Maintenance management	SaaS	Decision making or Maintenance
Service Management	PaaS	product life-cycle management user/menu control cloud-based collaboration Monitoring Computing(resource management, service management) Development tool
Resource management	IaaS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Providing of infrastructure Data Format and Conversion</li> </ul>

### 3.2.2 BaaS를 위한 사용자에 따른 단계별 요구사항

본 절에서는 BaaS를 위한 사용자를 정의하고 사용자에 따른 단계별 요구사항을 제시하였다. 사용자는 운영자, 시설물 관리자(프로젝트 담당자), 일반 사용자로 분류 된다.

- 운영자 : 프로젝트를 관리하는 기관들을 관리하는 운영자로서 전체 기관을 관리하고 전체 사용자 및 프로젝트를 관리할 수 있는 권한을 가지고 있다. 이때, 전체 기관을 관리하고 있기 때문에 시설물 관리자 대비 높은 리소스 사용량이 요구된다.
- 시설물 관리자(프로젝트 담당자) : 프로젝트 담당자로 성과물에 대해 등록, 관리 할 수 있으며, 프로젝트를 등록·관리가 가능하다. 각 프로젝트에 대한 담당자 이므로 운영자 대비 낮은 리소스 사용량이 요구된다.
- 일반 사용자 : 운영자에 의해 허가된 사용자이며, 라이브러리 뷰어를 통해 등록된 성과물에 대해서만 접근 가능하다.

업무 단계는 설계-시공-유지단계로 분류할 수 있다.

- 설계단계 : 프로젝트 관리를 통해 분산된 생애주기 정보를 관리가 가능하다. 설계단계는 기본, 실시단계로 구성되며 이때 설계도면 작성, 설계 성과품 검증, 설계오류 정보 검토, 설계 업무지원 등에서 BIM이 활용되어진다. 설계단계에서 생성된 데이터가 시공단계 및 유지단계에서도 연속적으로 사용되기 때문에 다른 단계 대비 낮은 리소스 사용량이 요구되어진다.
- 시공단계 : 프로젝트 관리를 통해 프로젝트 일정, 진행률 등의 현황 파악이 가능하며, 라이브러리 관리를 통해 성과품을 관리하고 공유한다. 프로젝트 성과품에 대해 라이브러리에 등록이 되며 단계 중 가장 높은 리소스 사용량이 요구된다.
- 유지단계 : 해당 프로젝트(시설물)에 대해 유지관리의 정보가 통합적으로 관리 가능하고 라이브러리 관리를 통해 사용자 간 협업 및 정보 공유하는 단계이며, 중간정도의 리소스 사용량이 요구 된다.

Table 5는 단계에 따른 사용자 유형(Moon et al., 2018)을 정의 하였고 이를 기반으로 리소스 유형을 정의하였다.

Table 5. Definition of user according to phase

User	Phase	Service categories according to BIM Platform	Resource Type
Operator	Design	Project Management	Mid
	Construction	Project Management	High
	Maintenance	Project Management, Library Management, Maintenance management	
Project manager	Design	Project Management, Library Management	Low
	Construction	Project Management, Library Management	High
	Maintenance	Library Management, Maintenance management	Mid
BIM users	Design	-	
	Construction	Library Management	Mid
	Maintenance	-	

Table 5와 같이 사용자 별, 업무 단계별에 따라 사용하는 기능이나 관리되는 프로젝트 범위가 달라지기 때문에 사용되는 리소스 량이 달라진다. 따라서 리소스 관리를 위해서는 클라우드 리소스를 실시간으로 모니터링 하고 사용자, 단계를 고려하여 동적으로 리소스 할당을 변경하여 리소스를 관리한다.

BaaS는 사용자에 따라, 업무 단계에 따라 서비스들을 구성 가능하다. BaaS는 Table 5에서 제시한 사용자별·단계별 구성 가능한 기능이 다르고 사용되는 리소스 유형이 다르기 때문에 Table 5에서 정의된 리소스 유형에 따라 리소스 관리방법을 도출하였다.

## 4. BaaS를 위한 분산 클라우드 환경에서의 리소스 관리 방법

### 4.1 분산 클라우드 기반 BIM 플랫폼

BaaS를 위해 제안하는 플랫폼의 구조는 중앙형 클라우드와 에지클라우드가 계층화된 구조로 설계된 분산클라우드의 형태이다.

- 중앙 클라우드 : 리소스 관리 및 BIM라이브러리 등록
- 에지 클라우드 : 네트워크 트래픽의 영향을 최소화 하고 개인정보 보호가 가능하도록 프로젝트별(서비스별) 라이브러리 관리

분산 클라우드 환경에서 대용량의 리소스를 관리하고 공유하기 위해서는 중앙 클라우드에서 제공, 서비스별 관리가 가능해야 한다. 이를 위해 에지 클라우드에서 제공되는 분산 형태의 BaaS를 제안하며, 계층화된 구조인 중앙 클라우드, 에지 클라우드의 장점을 통해 리소스를 관리하고 데이터의 접근이 용이하도록 설계하였다.

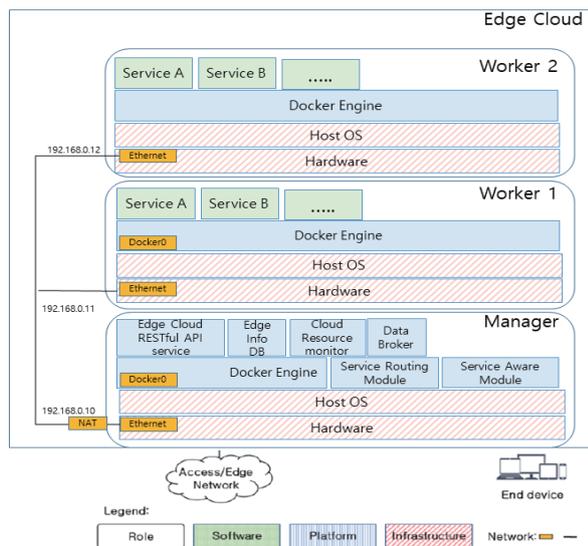


Figure 4. Proposed architecture for BaaS in distributed cloud computing

Figure 4는 에지 클라우드에 대한 구조도이며 매니저와 워커로 구성된다. 매니저는 서비스 인지 모듈을 통해 사용자가 요청하는 서비스를 인지할 수 있고, 서비스 라우팅 모듈은 중앙 클라우드에서 제공될지 에지 클라우드에서 제공될지 결정한다. 워커는 요청된 리소스 배치 정보에 따라 서비스를 구동하고 제공하는 역할을 담당한다. 데이터 브로커는 데이터를 서비스하기 위하여 데이터 유무 확인, 데이터 요청, 데이터 변환, 데이터 저장, 데이터 변형, 데이터 제공의 기능을 갖는다. 인프라, 플랫폼, 소프트웨어 별로 단위를 구별하여 구조를 제시하였고 이를 기반으로 시뮬레이션 환경을 구축하였다.

### 4.2. 분산 환경에서의 BaaS를 위한 데이터 관리 기능 구조도

분산 클라우드 환경에서 BaaS를 위한 데이터 관리를 위해 Figure 5와 같이 구성하였으며 데이터 브로커, 리소스 매니저, 서비스 매니저로 되어 있다. 이때, 데이터 브로커에서는 프로토콜인 MQTT(Message Queuing Telemetry Transport)와 통신을 통해 서비스 요청들이 이루어지며 BaaS는 IaaS, PaaS, SaaS의 기능이 제공된다. 제공되는 범위는 Figure 5를 통해 제시하였다.

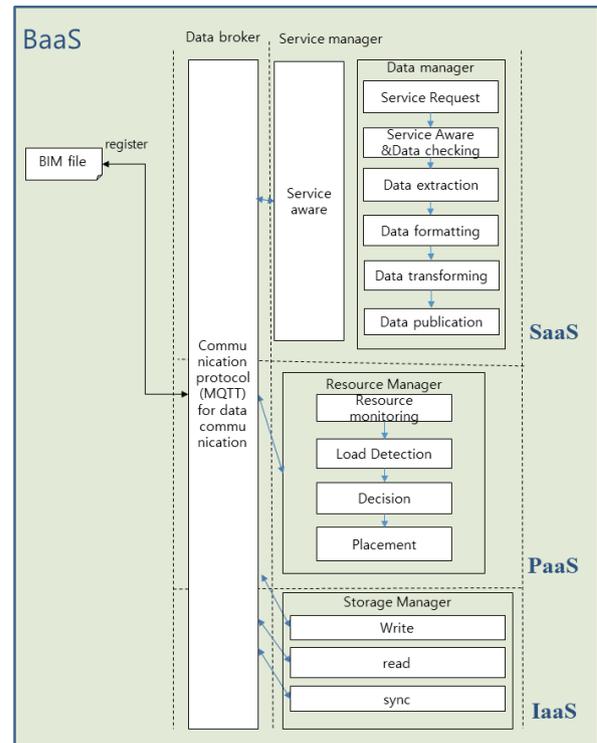


Figure 5. Process for BaaS in distributed cloud computing

IaaS 부분인 스토리지에서는 데이터를 읽고, 쓰고, 동기화를 시키는 부분으로 구성되며, PaaS 범위인 리소스 매니저에서는 리소스 모니터링, 로드 감지, 로드결정, 배치의 순서로 리소스 관리 기능이 실시된다. 배치된 리소스 형태로 서비스 환경이 배포된다.

- 1) 리소스 모니터링: 모니터링을 통해 서비스 상태를 파악한다.
- 2) 리소스 감지&결정 : 모니터링 된 서비스 상태에 따라 이상 징후가 감지되면 서비스 배치를 위한 결정시 실시 된다.
- 3) 서비스 배치: BaaS의 각 기능들은 리소스에 대한 요구사항과 실행되는 대상 리소스의 위치가 다르다. 배치가 결정이 되면 사용자에 따른 리소스 타입을 변경하고 적합한 리소스로의 서비스 배치를 실시한다.

SaaS 부분인 서비스 매니저에서는 서비스 인식 모듈과 데이터 처리를 하는 데이터 매니저 부분으로 구성되어 있다. 데이터

매니저를 통해 데이터를 처리하고 등록되는 과정을 거치게 된다. 2.2 절에서 분석한 내용과 같이 중앙 클라우드는 접근성 및 트래픽으로 인한 속도의 한계점과 에지 클라우드는 여러 사용자가 동시에 접근하는 것이 어렵기 때문에 서비스의 관리가 상대적으로 어렵다. 데이터 매니저를 통해 BIM 서비스를 인식하고 기능에 따라 분산되고 계층화된 클라우드 형태로 서비스들을 관리하여 속도를 향상 시키고, 사용자들이 서비스에 동시 접근 할 수 있는 구조를 가진다. BaaS는 BIM 데이터의 활용과 관리가 용이 하도록 플랫폼 구조를 분산하여 설계하였다.

### 4.3 . BIM 데이터에 따른 적응형 리소스 배치 방법

본 절에서는 BaaS를 위해 사용자별 클라우드 리소스의 효율적 할당과 배치를 위한 적응형 리소스 관리 방법을 구성한다.

Figure 6은 리소스 사용량이 변화될 때마다 유형을 변경하여 리소스 변화에 대응 가능한 적응형 리소스 배치 방법에 대한 흐름을 제시한다. BaaS에 최적화된 리소스를 제공하기 위해 적절한 리소스를 매핑하고 실시간으로 모니터링 되는 리소스 사용량을 반영한다.

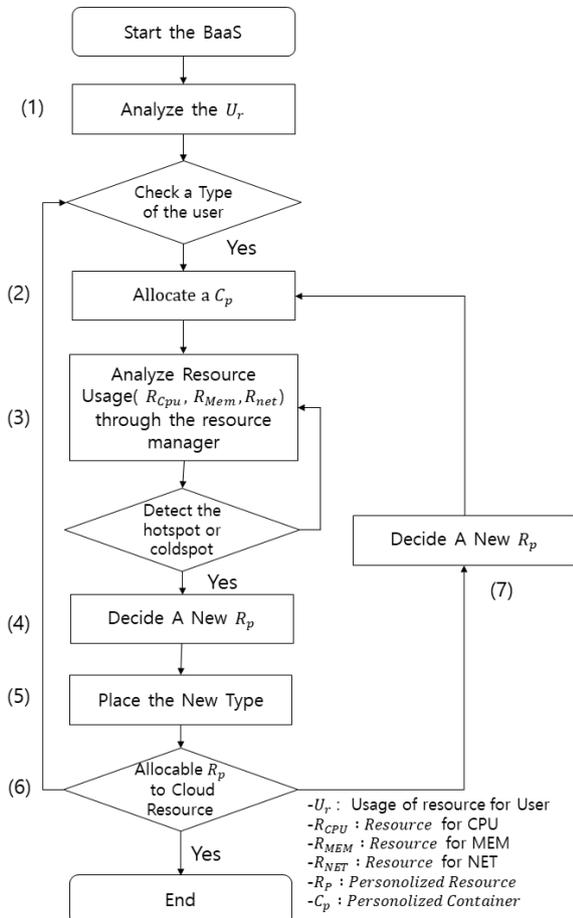


Figure 6. Flowchart for adaptive resource placement

Figure 6 아래와 같은 순서로 동작한다.

- (1) BaaS 시스템은 사용자에게 따라 적합한 리소스 유형을 선정한다. 사용자는 Table 5에서 정의된 사용자, 업무단계별로 리소스 유형이 달라진다.
- (2) 사용자 타입에 따라 할당된 최적의 리소스로  $C_p$ 를 이용하고, 사용자가 서비스를 이용하는 동안 BaaS시스템은 리소스 사용량 데이터를 수집, 저장한다.
- (3) 이때 사용자의 서비스 이용 중 리소스 사용량에 대해 핫스팟(임계값 이상) or 콜드 스팟(임계값 이하)과 같은 이상 징후를 감지하게 되면 (4)로 이동한다.
- (4) 이상 징후를 감지했다면 새로운 유형을 할당한다. 이상 징후가 없다면 리소스 매니저를 통해 계속 해서 리소스 사용량을 분석한다.
- (5) 리소스 유형에 맞는 쪽으로 새로운 리소스 배치가 실시된다.
- (6)  $R_p$ 가 할당되었다면 값 ( $R_p$ )이 리소스 사용량 분석 방법에 따라 업데이트 된다. 새로 할당할 필요가 없으면 기존 할당된 리소스로 BaaS 서비스를 이용한다.
- (7) 리소스사용량에 따라 다시  $R_p$ 를 결정한다.

제안하는 방법을 통해 기존의 고정적으로 할당하는 방식이 아닌 리소스 사용량이 바뀔 때마다 리소스 유형이 변경되고 사용자별, 단계에 따른 리소스를 매핑한다. 따라서 BaaS 사용 시 대용량인 BIM 데이터를 컴퓨팅 할 때 미리 리소스를 확보한다.

## 5. 평가 및 분석

### 5.1 평가환경

본 연구에서 제안하는 방법에 대한 성능평가를 위해 클라우드 플랫폼의 리소스 배치 검증을 수행할 수 있도록 가상 시뮬레이션 도구인 Cloudsim을 적용하였다. 시나리오 구성을 위해서는 LR, Threshold(임계치 할당)방법과 함께 실험을 실시하여 본 논문에서 제안하는 방법과의 비교 평가를 실시한다. 두 가지 시나리오에

Table 6. User type

User Type	CPU, MEM(%)	Traffic share(%)
Extreme(>100GB)	100	5
Heavy(10GB~100GB)	~91	35
Medium-Heavy(1GB~10GB)	~86	48
Medium(100MB~1GB)	~79	10
Light(<100MB)	0~77	2

BaaS를 위한 리소스관리에 대한 성능 검증을 실시하였다. 시나리오 1에서는 사용자에 따른 리소스 할당이 되며 Table 6과 같이 Data 용량에 따라 사용자 유형을 구분하였으며, 리소스(CPU, MEM, Traffic)에 대한 구간을 정의하였다. 실시간 사용량에 따라 유형을 변화시켜 리소스를 재할당하는 방법으로 테스트를 실시하였다.

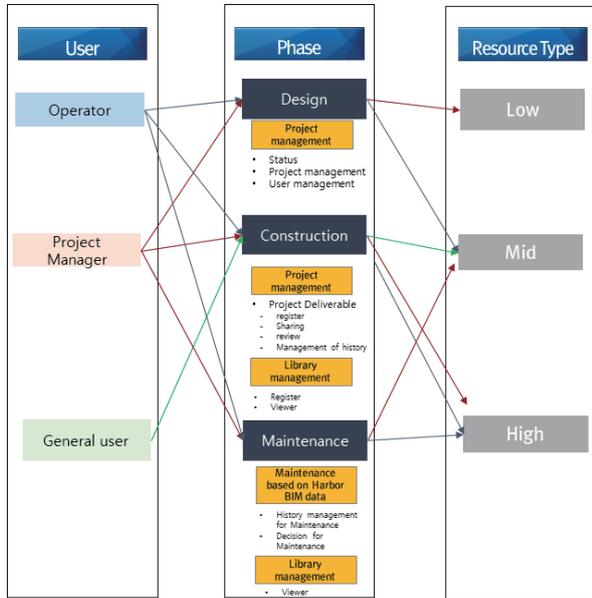


Figure 7. Resource mapping according to phase and user

시나리오 2에서는 3.2.2절에서 분류한 사용자와 업무단계(설계, 시공, 유지보수)에 따른 리소스 유형을 기반으로 시나리오를 설정하였다. 설계단계에서는 프로젝트 관리 기능이 주로 사용되며, 시공단계에서는 프로젝트 관리와, 라이브러리 관리가 사용된다. 유지보수 관리에서는 유지보수 관리 기능과 라이브러리가 사용되며 해당 단계에 따라 리소스 유형이 정해진다. 실시간 사용량에 따라 이상 징후(핫스팟이, 콜드스팟)가 발견되면 유형의 범위를 변경하고, 유형에 따른 리소스 재할당 방법으로 테스트를 실시하였다.

## 5.2 평가 결과 및 분석

Figure 8, 9는 본 논문에서 제안하는 방법을 통해 사용자의 실제 리소스 사용량을 기반으로 호스트 수의 증가에 따른 리소스 낭비량을 측정된 그래프이다.

3.2절에 제안한 알고리즘 (1)을 바탕으로 Figure 8, 9의 성능을 비교하였다.

- FFD(First Fit Decreasing) : 리소스 할당시 많이 쓰이는 방법으로 가장 많이 쓰이는 리소스 값부터 할당하는 방식
- Threshold : 고정적으로 값을 할당 하는 방식
- LR : CPU, 메모리, 워크로드 등의 상관관계를 파악하여 사용할 리소스를 예측하는 방식

기존 기법과의 비교를 통해 제안하는 방법에 대한 성능 검증을 실시하였다. Figure 8은 시나리오 1에 대한 성능이며, Figure 9는 시나리오 2에 대한 결과 이다.

성능 비교를 통하여 본 논문에서 제안하는 방법이 기존 방법에 비하여 약 13%의 리소스 낭비량이 적다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 제안하는 방법은 기존 방법대비 평균 리소스 낭비량이 일정한 것으로 확인 하였다.

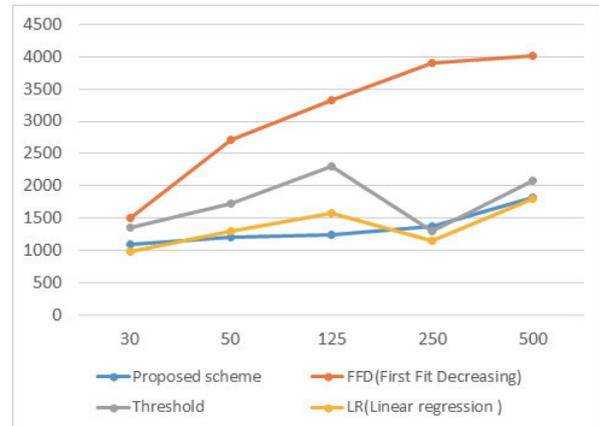


Figure 8. Result for scenario 1

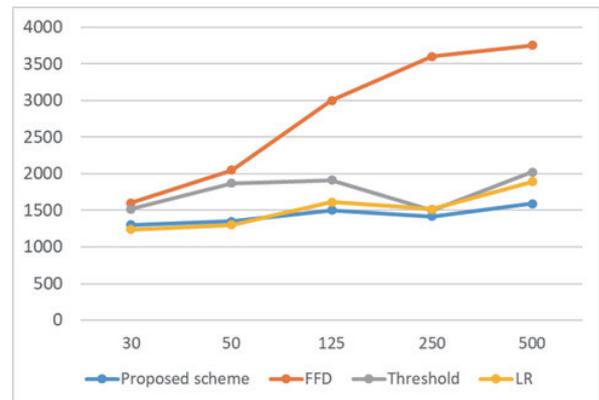


Figure 9. Result for scenario 2

Table 7. Model size

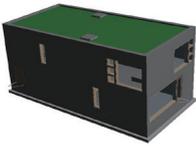
Model	Size(MB)
 A : Duplex Apartment Model	6.26
 B: office_MEP	40.9

Table 7은 IFC 모델 사이즈에 따라 Figure 10과 같이 성능을 비교하였으며, 모델 A와 모델 B는 BuildingSMART Alliance에서 제공되는 오픈 IFC모델을 활용하였다. 모델 A, B를 통해 렌더링 시간과 스토리지 접근 시간을 비교하였으며, 기존 대비 성능이 평균 30% 감소함을 확인하였다.

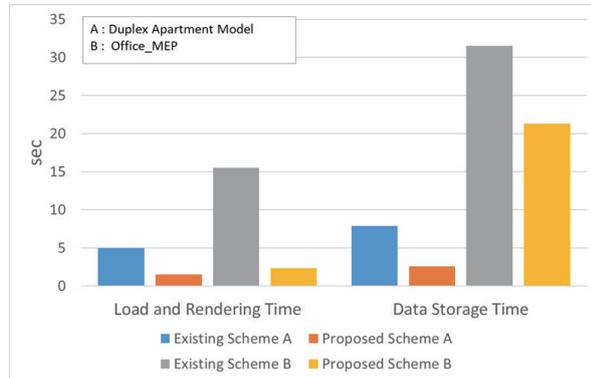


Figure 10. Comparison of performance between existing scheme and proposed scheme according to ifc model size

본 연구에서 제안하는 방법을 통해 고정적인 리소스할당이 아닌 사용자별 업무단계별 리소스 할당을 하고 실제 리소스 사용량 반영하여 리소스 유형을 변경하였다. 제안한 방법이 성능평가 결과 기존 기술대비 리소스 낭비량이 적고 성능(렌더링 시간, 스토리지 접근 시간)적으로도 개선됨을 보였다. 따라서 클라우드 환경에서 리소스 사용량은 비용과 연관되어 지기 때문에, 사용자에 따라 최적화된 BaaS를 제공하여 비용효과까지 제공될 것으로 기대된다.

## 6. 결론 및 향후 연구

클라우드 환경에서 BIM 모델을 활용하는 것에 대한 중요성은 증대되고 있으며 관련 연구들이 활발하게 진행 중이다. 본 연구에서는 클라우드 형태로 제공 할 수 있는 BIM서비스에 대해 BaaS 라는 개념과 함께 BaaS를 위한 기존 연구와 서비스를 분석하여 BIM 플랫폼 요구사항을 도출하였다. 하지만 클라우드 환경을 고려한 BaaS의 대부분의 연구는 클라우드 특성을 반영하지 못한 채, 서버로만 활용되는 관리적 측면으로만 제공되고 있으며, 고정적인 리소스 할당으로 사용자의 서로 다른 요구를 충족시키지 못하여 개인 맞춤형 BaaS의 제공이 어렵다. 이와 같은 기존 BaaS 기술이 가지는 한계점을 해소하기 위해, BaaS 플랫폼과 그 시스템에 적용할 수 있는 효율적 리소스 할당 방법을 제안하였다. 또한, 본 논문에서는 제안하는 BaaS를 위한 리소스 할당 알고리즘의 효율성을 확인하기 위하여 CloudSim 기반에서 제안

하는 리소스 할당 방법의 성능 평가를 진행하였다. 성능 평가 결과 리소스 낭비량이 기존 할당 방법 대비 약 13% 적은 것으로 확인되어 효율적인 것으로 나타났다.

본 BaaS를 위한 플랫폼 제시와 리소스 관리 방법은 대용량 BIM 성과품을 클라우드 환경에서 관리하고 BIM 서비스 클라우드 환경에서 관리하는데 유용할 것으로 예상되어 진다. 하지만, 본 연구에서 CloudSim을 이용한 시뮬레이션을 수행하였기 때문에 이를 보다 다양한 서버 및 사용자 시나리오에서 연구할 필요할 것으로 판단된다. 향후 본 연구에서 제안한 플랫폼을 기반으로 구성하고 있는 세부적인 요소기술을 구체적으로 구현하고자 한다.

## 감사의 글

본 연구는 2020년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(생애주기별 항만시설 통합 운영 관리를 위한 BIM 기반기술 개발)입니다.

## References

- Afsari, K., Eastman, C. M., Shelden, D. R. (2016). Cloud-based BIM data transmission: current status and challenges. In ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 33, pp. 1-7. IAARC Publications.
- BIM Cloud (2020). <https://graphisoft.com/solutions/products/bimcloud> (Aug. 03, 2020)
- BIMserver.center (2020). <https://bimserver.center> (Aug. 03, 2020).
- BIM360(2020). <https://www.autodesk.com/bim-360> (Aug. 03, 2020)
- Chen, H. M., Chang, K. C., Lin, T. H. (2016). A cloud-based system framework for performing online viewing, storage, and analysis on big data of massive BIMs. Automation in Construction, 71, pp. 34-48.
- Chien, S. C., Chuang, T. C., Yu, H. S., Han, Y., Soong, B. H., Tseng, K. J. (2017). Implementation of cloud BIM-based platform towards high-performance building services. Procedia environmental sciences, 38, pp. 436-444.
- Choi, J. H., Suh, J. H. (2019). Exploring the 4th Industrial Revolution Technology from the Landscape Industry Perspective. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 47(2), pp. 59-75.

- Costache, S., Dib, D., Parlavantzas, N., Morin, C. (2017). Resource management in cloud platform as a service systems: Analysis and opportunities. *Journal of Systems and Software*, 132, pp. 98–118.
- Das, M., Cheng, J. C., Shiv Kumar, S. (2014). BIMCloud: a distributed cloud-based social BIM framework for project collaboration. *International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (2014)*, pp. 41–48.
- Endo, P. T., de Almeida Palhares, A. V., Pereira, N. N., Goncalves, G. E., Sadok, D., Kelner, J., ... Mangs, J. E. (2011). Resource allocation for distributed cloud: concepts and research challenges. *IEEE network*, 25(4), pp. 42–46.
- Firozbakht, F., Obidallah, W. J., Raahemi, B. (2017, March). Cloud computing service discovery framework for IaaS and PaaS models. In *Proceedings of the Second International Conference on Internet of things, Data and Cloud Computing*, pp. 1–6.
- Hamledari, H., Rezazadeh Azar, E., McCabe, B. (2018). IFC-based development of as-built and as-is BIMs using construction and facility inspection data: Site-to-BIM data transfer automation. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 32(2), pp. 1–15.
- Li, C., Zhang, J., Ma, T., Tang, H., Zhang, L., Luo, Y. (2019). Data locality optimization based on data migration and hotspots prediction in geo-distributed cloud environment. *Knowledge-Based Systems*, 165, pp. 321–334.
- Ma, L., Sacks, R. (2016, October). A cloud-based BIM platform for information collaboration. In *ISARC 2016–33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 33, pp. 581–589. IAARC (The International Association for Automation and Robotics in Construction).
- Moon, H. S., Won, J. S., Shin, J. Y. (2018). A Standardized BIM Framework for Supporting Life-cycle Business Process for Port & Harbour Facilities. *Journal of KIBIM*, 8(4), pp. 49–59.
- Onuma System (2020). <http://onuma-bim.com/> (Aug. 03, 2020)
- Park, J., Kim, K., Cho, Y. K. (2017). Framework of automated construction-safety monitoring using cloud-enabled BIM and BLE mobile tracking sensors. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(2), pp. 1–12.
- Patil, M. (2019). Enhancing Static Auto-scaling Approach to Mitigate Resource Over-Provisioning in Cloud Computing (Doctoral dissertation, Dublin, National College of Ireland).
- Shahinmoghadam, M., Motamedi, A. (2019). Review of BIM-centred IoT deployment: state of the art, opportunities, and challenges. In *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction 36*, pp. 1268–1275. IAARC Publications.
- Sun, A., Ji, T., Wang, J. (2016). Cloud platform scheduling strategy based on virtual machine resource behaviour analysis. *International Journal of High Performance Computing and Networking*, 9(1–2), pp. 61–69.