

# BIM 기반 하수처리시설 유지관리 프로토타입 시스템 개발

엄동용\* · 최재호\*\*

Um, Dong-yong\*, Choi, Jae-ho\*\*

## Development of BIM based Maintenance Management Prototype System for Wastewater Treatment Plant

### ABSTRACT

Current domestic and overseas BIM practice and research efforts show very few examples that design and construction BIM data could be successfully used for efficient operation and maintenance (O&M) of infrastructure in particular. This study takes public wastewater treatment plant requiring an enhancement of operation and maintenance capability into account to develop a prototype BIM-based maintenance management system. The system is designed and implemented following a typical system development procedure and validated by the system outputs per four scenarios being considered to be main maintenance activities: The research results are expected to contribute to the upgrade of current wastewater treatment plant maintenance level, which is more demanded as water-related regulation and policy direction changes to region-based large scale O&M and asset management adoption, and overseas market participation.

**Key words** : BIM, Wastewater treatment plant, O&M, Maintenance management system

### 초록

현재 국내의 BIM을 도입한 사회기반시설 적용 사례는 BIM 시각화를 기반으로 하는 설계 및 시공단계에 제한되며 효율적 운영을 위한 설계, 시공 정보 활용 방안에 대한 연구는 매우 미미하다. 본 연구는 최근 국내 경제 발전에 많은 기여를 하고 있는 산업설비군 중 운영 및 유지관리 능력 향상이 필요한 하수처리시설을 대상으로 BIM 기반 통합 유지관리 프로토타입 시스템을 개발하였다. 본 연구에 사용된 주요 연구 방법으로는 시스템 개발 순서에 따라 진행하였으며, 최종적으로 개발된 프로토타입 시스템의 현업 적용 가능성을 판단하기 위하여 4가지의 대표적 유지관리 시나리오를 제안하고 산출물을 통해서 문제 해결이 가능함을 보여준다. 최근 상하수도시설의 자산관리 개념 도입 노력과 유역기반 운영 및 유지관리의 정책 및 제도적 변화, 그리고 국내 상하수도 기술력의 해외시장 진출 필요에 따른 운영 및 유지관리 능력 고도화를 위해 본 연구결과가 일조할 수 있기를 기대해 본다.

**검색어** : 건설정보모델링, 하수처리시설, 운영 및 유지관리, 유지관리시스템

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경 및 목적

현재 국내에서는 사회기반 시설물의 체계적이고 과학적 접근에 입각한 운영 및 유지관리(O&M, Operation and Management)를 위해 한국시설안전공단의 시설물정보통합시스템(FMS)이나 한국도로공사의 도로포장관리시스템(PMS), 교량관리시스템(BMS) 등이

\* 동아대학교 토목공학과 석사졸업 (Dong-A University · [djaehddy@naver.com](mailto:djaehddy@naver.com))

\*\* 정회원 · 교신저자 · 동아대학교 토목공학과 부교수, 공학박사 (Corresponding Author · Dong-A University · [jaechoi@dau.ac.kr](mailto:jaechoi@dau.ac.kr))

Received June 17, 2014/ revised August 1, 2014/ accepted September 3, 2014

사용되고 있다(Cho et al., 2008). 중요한 사회기반시설의 하나인 하수처리시설의 경우 운영 및 유지관리를 위해 사업운영 통합관리 시스템(OMTS, Operating Management Total System), 지식경영시스템(KMS, Knowledge Management System) 등이 사용되고 있으며, 민간위탁 사업에서는 IBM사의 Maximo 등이 사용된다. 하수처리시설은 산업설비로서 플랜트 성격을 띠고 있다(Park et al., 2011). 유입수 및 슬러지 처리 프로세스와 관련된 수질 품질관리적 측면과 시설물의 사용성 유지를 위한 유지관리적 측면을 포함하는 점에서 도로와 교량 등 시설물 관리 시스템들에 비해 데이터의 양과 사용자요구사항이 더욱 포괄적이다.

건축 시설물의 경우 국내에서도 기존 건축물에 대한 유지관리 효율성 증진을 목적으로 건축물의 유지관리 정보모델의 표준화 및 건축물의 생애주기에 따른 설계-시공-운영단계의 데이터 자동 전달 체계에 대한 연구가 시도되고 있다. 시설 유지관리의 효율성 향상을 위해서는 설계, 시공 및 시운전 단계에서의 다양한 건설 정보가 사업 진도에 따라 관리 및 기록되어 운영단계에 활용되어야 하기 때문이다. 대표적인 설계 및 시공 데이터 자동 전달 표준화 방법인 COBie (Construction Operation Building Exchange)는 BIM (Building Information Modeling)의 IFC (International Foundation Class)를 따르며 계약상 새로운 요구항목을 추가하는 것이 아니라, 설계, 시공 완료 후 시설물의 자산 정보를 기존 종이 형태 또는 특정 소프트웨어 파일 포맷이 아닌 오픈포맷으로 제공하는 것을 의미한다(East, 2013). COBie는 상용 시설관리시스템(FM, Facility Management)과 데이터 맵핑을 통해 사용될 수 있으며, 여러 FM S/W 개발 회사에서 맵핑 전용 미들웨어를 사용하고 있다.

사회기반시설이나 산업설비의 경우도 이러한 연구 흐름에 맞추어 BIM과 COBie 기술의 적용성을 평가할 필요가 있다. 최근에 국내에서 건축물 분야에 COBie 활용을 위한 사용자요구사항 분석, 설계-시공단계에서의 정보수집체계 분석, 유지관리를 고려한 BIM 입력기준 개발 등의 연구가 진행되었으며, 토목분야에서는 사회기반시설 유지관리를 위한 BIM 가이드라인 등 매우 기초적 연구가 진행되고 있다. 그러나 두 분야 모두 설계, 시공에 제한되어 있는 BIM 혜택을 운영단계까지 확장하여 프로젝트 생애주기 BIM 정보

활용의 혜택을 극대화하는 방향으로 연구가 활발하게 진행되고 있다.

여러 종류의 산업설비 중 하수처리시설은 하수를 처리공정에 따라 방류수질에 적합하도록 처리하는 주요 공정 별 관련 기자재 및 시설물의 유지관리 업무 외에 처리공정의 품질관리 프로세스와 연계된 운영관리 업무를 포함한다. Table 1은 건축시설물, 토목구조물, 산업설비간 O&M 차이점을 설명한다. 산업설비는 주요 관리 대상으로 프로세스 품질관리와 다양하고 복잡한 기자재 등을 위주로 포함하고 있으며, 주요 비용 발생 항목에서도 건축, 토목, 기자재 또는 복합적인 유지보수 작업 요소 등을 포함하고 있다.

이러한 시설별 O&M 작업 특성 비교를 통해 하수처리시설과 같은 산업설비는 운영단계에서의 안전점검, 품질관리 및 유지보수 등의 업무 범위뿐만 아니라 관리 데이터가 더욱 포괄적이고 복잡하며, 단기간의 위탁 또는 임대계약에 따른 인수인계시 업무의 연속성을 유지하기 위하여서도 체계적인 자산관리가 적용될 필요가 있다. 그러나 하수처리시설 분야는 타 기반시설에 비해 효율적 운영 및 유지관리에 대한 연구노력이 부족하였으며 특히, 사업장별 유지관리시스템 사용이 매우 제한적으로 활용되고 있거나 거의 사용되지 않고 있다고 한다(시설관리자 인터뷰, 2013년 5월). 또한 해외건설시장 참여시에도 최근 상하수도 분야의 경우 기존 EPC 위주의 사업 참여에서 금융 및 장기운영 범위를 포함하는 비즈니스 모델의 확산에 따른 운영능력의 고도화 노력(예, IT 기술 적용 효과 제고)이 필요하다.

이러한 관점에서 본 연구의 목적은 민간기업의 관점과 지자체 관점으로 나누어 볼 수 있다. 전자는 급성장하고 있는 해외 물 시장 진출에 어려움을 겪고 있는 국내 건설기업 또는 환경 전문기업의 운영관리 역량을 도모할 수 있으며, 후자는 하수처리시설을 포함한 공공인프라 시설의 체계적인 자산관리 기반을 구축할 수 있는 선진 사례를 BIM 기술을 사용한 유지관리 프로토타입 시스템 개발을 통해 제공하는데 있다.

## 1.2 연구 범위 및 방법

‘공공하수도시설 운영·관리 지침(2013)’에 따르면 하수처리시

Table 1. O&M Difference between Different Application Domains

Subject	Architectural Buildings	Civil Structures	Process Facilities
Management Object	Space, Equipment, Energy, etc.	Safety and Durability of Structural Elements	Process Quality, Equipment, Space, Energy, Safety, etc.
Current Decision Making Scope	Project level	Network level	Project level
Examples of O&M Systems	Archibus, ArchiFM, FMDeaktop, etc.	BMS, PMS, FMS, etc.	Maximo, KMS, OMTS, etc.
Major Cost Items	Architectural structures, Interior, Mechanical and electrical components, etc.	Civil structures, Safety inspection, Subsidiary facilities, etc.	Mechanical and electrical components, Pipe, Monitoring instrument Structures, etc.

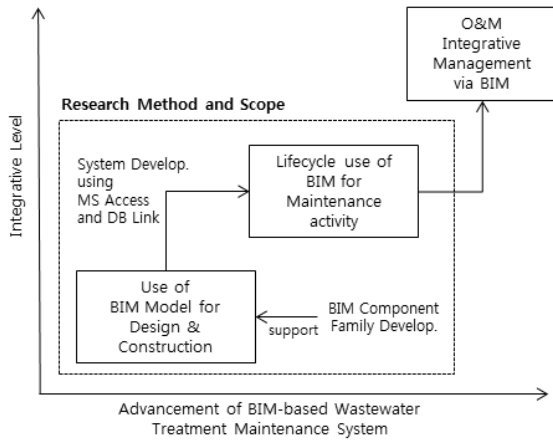


Fig. 1. Research Method and Scope

설의 관리 업무를 운영관리 업무와 유지관리 업무를 구분하고 있으며 그에 따른 용어의 설명은 다음과 같다.

- 운영관리 : 하수처리 프로세스와 관련한 계획수질 현황, 시설 및 설비의 가동, 처리현황 등 측정의 대상이 되는 업무를 말한다.
- 유지관리 : 하수처리 프로세스에 이용되는 각각의 시설 및 설비에 대한 운전 및 관리, 개보수 작업, 점검사항 등의 업무를 말한다.

본 연구에서는 유지관리 업무를 연구의 범위로 한정하여 연구를 진행하였으며, Fig. 1은 BIM 데이터의 통합 수준에 따른 하수처리 시설의 O&M 시스템의 단계적 개발 절차를 보여준다. 본 연구의 방법과 범위는 전체 범위중 점선 내부 내용에 해당된다. 첫 번째 연구 방법은 관련 문헌과 연구동향을 분석하고 실제 하수처리시설의 유지관리시스템 및 유지관리 프로세스를 실무자와 인터뷰를 통해 기존 시스템 및 프로세스의 한계점을 도출하였다. 다음으로 유지관리 사용자 요구분석 및 프로세스 모델링을 실시하고 MS Access와 Revit DB Link Add-in S/W를 사용하여 BIM기반 하수처리시설 유지관리 프로토타입 시스템을 개발하였다. 하수처리시설 BIM 모델링에 필요한 기자재 패밀리는 Revit을 이용하여 구축하였다. 마지막으로 4가지 대표 유지관리 시나리오를 제시하고 개발된 시스템의 시나리오 적용성을 검증하였다.

## 2. 연구 배경

### 2.1 하수처리시설의 유지관리 비효율성

하수처리시설은 도로, 교량, 터널 등과 같은 사회기반시설과는

조금 다른 특징이 있다. 첫째, 하수처리시설은 토목·건축·기계·전기 등 다양한 분야를 포함하고 있으며 특히 기계, 배관, 제어계측 등의 기계설비가 대다수를 차지하고 있다(Park et al., 2011). 둘째 대다수의 국내 하수처리시설은 위탁운영의 형태로 관리되고 있다. 2012년도 공공하수처리시설 운영관리실태 분석결과에 따르면 시설용량 500톤/일 이상 시설 중 '12년말기준 6개월 이상 가동한 실적이 있는 시설은 총 528개소였으며 그 가운데 민간위탁으로 운영되고 있는 시설은 375개소로 조사되었다(Ministry of Environment 2013). 신설사업 대상으로 이뤄지는 양여계약(20~30년) 사업을 제외하고는 대부분 운영사업의 계약기간은 운영관리계약의 경우 3~5년, 임대계약은 5~10년으로 매우 짧기 때문에 소유권자와 위탁기관간의 인수인계 과정이 자주 발생한다(Bae et al., 2012). 시공과 운영 주체 간 분리에 따른 설계 및 시공 데이터가 운영단계에서 손실되는 것뿐만 아니라, 운영 주체 또는 참여자가 변경되면서 유지관리 이력 정보의 손실이 체계적 자산 평가와 지식 기반 유지관리를 어렵게 하는 원인이 되고 있다.

국내 하수처리시설 유지관리 업무 시 현실적인 문제점을 파악하기 위하여 ○○하수처리시설 유지관리 담당자와 총 3회에 걸쳐 인터뷰를 실시하였으며, 다음과 같은 중요한 2가지 문제점을 도출할 수 있었다. 현재 하수처리시설은 2D CAD 도면이 주를 이루고 있으며 종이 도면에 대한 관리는 캐비닛에 보관되어 있는 상태였다. 실무에서는 기계설비 등의 수선작업 시에만 CAD 도면을 확인하는데 시공단계에서의 설계변경이 준공도면에 반영되어 있지 않거나 운영 및 유지관리 단계에서 발생한 구조적 변경이나 시스템상의 변경이 CAD도면에는 반영되지 않아 현장에서 일일이 재측정을 하는 경우가 빈번히 발생한다. 2D CAD 도면은 유지관리 실무자 이외의 직원이나 감사기관, 보수업체 등이 이해하는데 어려움이 있어 의사소통이 원활하지 않다.

또 다른 문제점은 운영권이 위탁기관으로 인계되거나 유지관리 실무자 변경으로 인수인계 시 시설의 유지관리에 대한 정보가 시스템화 되어 있지 않고 분산되어 있어 유지관리 정보를 일일이 채수집하여야 한다. 유지관리 실무자에 따르면 업무의 인수인계가 제대로 이뤄지지 않아 15일 동안 사업소를 돌며 전 설비에 대한 사진과 속성(규격, 설치일자, 제조사, 이력정보 등)을 엑셀파일로 정리했으며 이것은 사업소의 규모나 특성에 따라 다르겠지만 대단히 비생산적이며 업무의 연속성을 저해시키는 원인이라 할 수 있다. 인터뷰를 실시한 응답자가 근무하고 있는 사업소에서는 하수처리시설의 유지관리를 위해 세 가지 시스템을 사용하고 있는데 (사업운영통합관리시스템, 지식경영시스템, 전자결재시스템) 각각의 시스템간의 연동이 되지 않아 실제 업무에 있어서는 서로 다른 시스템별로 정보를 취합해야 하는 번거로움을 강조하였다.

## 2.2 건축물 BIM 기반 유지관리 연구 현황

국내의 BIM 기반 시설물 유지관리 관련 연구로 Valentine and Zyskowski (2009)는 시설물 관리자에게 제공되는 BIM은 수선과 구조 변경 후의 설계와 시공 상태의 시각화가 가능하며, 이와 더불어 다양한 애드온 솔루션을 이용하여 에너지, 지속가능성, 코드 규정 검토 등과 같은 분석이 가능하다고 제시하였다. Won et al. (2013)은 실질적인 BIM 기반 유지관리를 위해서는 BIM 데이터 활용 방안 보다는 유지관리 관점의 요구정보가 입력된 설계 및 준공 BIM 데이터 확보 방안 수립이 중요하다고 제안하였다. Motawa and Almarshad (2013)는 BIM 모듈과 CBR (Case-based Reasoning) 지식관리 모듈을 연계한 웹기반 건물 유지보수시스템을 개발하였으며, 운영관리계약서상의 목적을 지식정보 저장, 활용을 위한 인덱스로 활용하였다. Gerber et al. (2012)은 BIM을 활용한 열 가지의 시설관리 BIM 응용분야 - 건물부재 위치 조회, 실시간 데이터 열람, 시각화 홍보, 운영성 향상, 디지털 자산관리, 공간관리, 소규모 건축 시설물 개선공사에 대한 계획 및 타당성 검토, 재난관리, 에너지 관리, 그리고 교육훈련 - 를 제시하였다.

Lee et al. (2012)은 시설물 유지관리 요구정보 수집체계인 COBie 방법론과 국내의 현행 시설물 유지관리 정보수집체계를 정보의 생성, 수집 및 활용 측면에서 비교하여 정보수집체계의 개선방안에 대하여 논하였다. 또한 An et al. (2012)은 COBie 요구정보와 전문가 및 사례분석을 통해 도출된 유지관리시스템 요구정보가 상당부분 일치함을 제시하였다. 그러나 Lee et al. (2012)은 COBie의 활용성에 대해 다음과 같은 문제점을 제시하였다. 데이터 및 정보 분류체계, 요구정보 등은 미국 실정에 맞도록 정의된 것으로서 국내에 도입해 사용하기에는 한계점이 있고, 관련 객체의 IFC가 존재하지 않으면 사용할 수 없으며 시스템 패밀리로 분류된 보, 벽, 바닥, 파이프, 덕트 등과 3D 모델은 COBie로 이송되지 못하는 단점이 있다(Choi and Um 2014).

## 2.3 토목구조물 BIM 기반 유지관리 연구 현황

설계, 시공 데이터를 유지관리단계에서 효율적으로 활용하기 위한 연구 논문들은 건축물에 제한되었으나 최근에는 국내외적으로 사회기반시설의 유지관리에도 BIM 데이터 활용에 대한 논의가 활발히 진행되고 있다. 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획('13 ~'17)에 따르면 국내 시설물 유지관리시장의 규모와 업체는 '01년 1조원에서 '10년 2.8조원으로, '01년 1,982개에서 '10년 4,056개로 지속적으로 증가하고 있으나, 과학적 유지관리 기법의 적용 등 질적 성장을 위한 노력은 미흡하다고 하면서 이를 위한 대책으로 BIM 기술을 선정하였다. 또한 제5차 건설진흥기본계획에 따르면 건축분야 중심으로 운영 중인 BIM을 토목 시설물별 BIM 기반의 설계도서 작성·납품 체계를 마련하고 인증된 표준

라이브러리의 공유·활용 기술을 개발하도록 하였다(Park, 2013).

사회기반시설에서의 BIM 연구 현황으로는 Moon and Park (2010)은 교량 구조물을 대상으로 3D 모델을 구성하고, 3D 부재의 유지 관리 데이터의 저장 및 조회 기능을 구현하여 유지관리의 BIM 적용 가능성을 제시하였으며, Kim et al. (2012)은 BIM 기술을 토목분야 유지관리에 적용하기 위해 선행되어야 사항을 응용 모델의 발굴, 유지관리 정보체계의 표준화 및 제도장비 관점에서 설명하였다. Choi and Um (2014)는 하수처리시설의 효율적 운영관리를 위한 COBie 적용성을 검토하였으며, 하수처리시설용 패밀리 구축과 맞춤형 COBie 개발 필요성을 설명하였다. 산업계에서의 프로세스 기반의 산업설비에 대한 BIM 구축 사례는 매우 제한적인 사례에 설계 및 시공단계 적용 사례에 제한되어 있으며(예, 아시브 하수 처리시설, 리버풀 하수처리시설, 네사미니 물 재생 처리시설 등) 운영단계에서의 효율적인 산업설비 O&M에 대한 접근은 아직까지 시도되지 않고 있음을 알 수 있다.

## 3. 하수처리시설 BIM 모델 구축

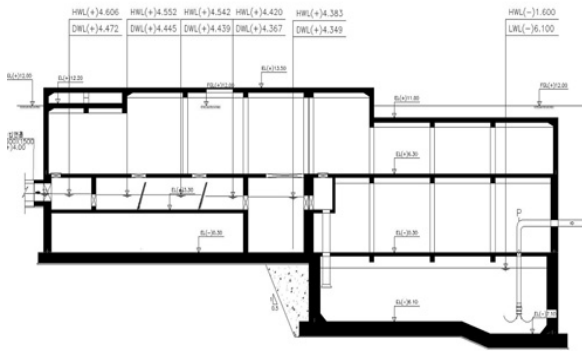
### 3.1 하수처리시설 3D 모델링

BIM 모델 구축을 위한 대상으로는 경기도 ○○시 일원에 위치하고 있는 60,000  $m^3$ /일 처리용량의 ○○지구 하수처리장으로 선정하였다. 본 하수처리시설은 침사지 및 유입펌프장, 일차침전지/Bio-SAC 생물반응조, 이차침전지, 여과 및 소독조/방류펌프장의 총 4개 동으로 구성되어 있으며, 모델링 범위는 침사지 및 유입펌프장으로 제한하였다. Revit을 사용하여 하수처리시설의 침사지 및 유입펌프장을 대상으로 BIM 모델링 작업을 진행하였다. 침사지 및 유입펌프장은 총 3개 층으로 구성되어 있으며 농축기실, 농축슬러지 저류조, 슬러지 스크린실 등 13개의 공간으로 구성되어 있다. Fig. 2의 침사지 및 유입펌프장 측면도와 관련 BIM 모델을 보여준다.

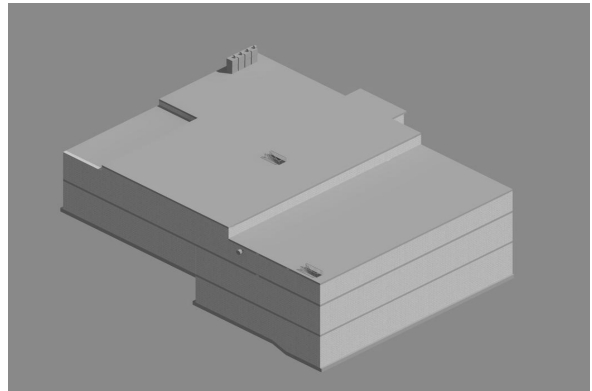
E202-2008 BIM 프로토콜에 따르면(Zhaoqiang, 2012), 시설 운영관리를 위한 적정 모델링 상세수준(LOD)은 500(준공도면 수준)이 적합하다고 명시하고 있으나 본 사업장과 같이 기존 시설의 BIM 모델 구축을 위해서는 LOD 300(정확한 물량 산출과 부재의 크기, 모양, 방향 표현이 가능한 시공도면) 정도의 모델로써 시공 계획을 수립하거나 다양한 운영단계 의사결정 및 지원을 하는데 문제가 없는 것으로 판단되어 최종적으로 LOD 300 수준으로 모델링 작업을 실행하였다. 부재 대상은 조달청의 시설사업 BIM 적용 기본지침서 v1.2 (Public Procurement Service, 2010)에서 제시하고 있는 최소 부재 작성 대상을 기준으로 모델링하였다.

### 3.2 기자재 BIM 패밀리 구축

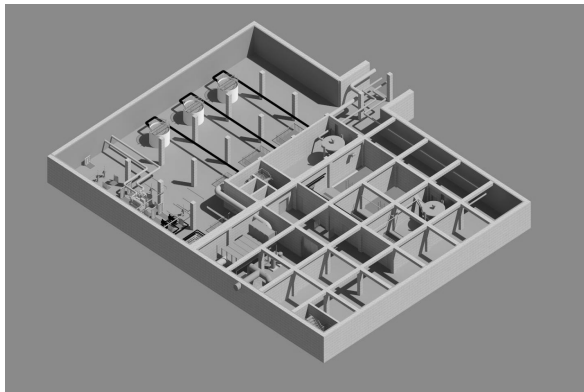
토목/건축분야 모델링을 함에 있어서는 소프트웨어 내에서 제공



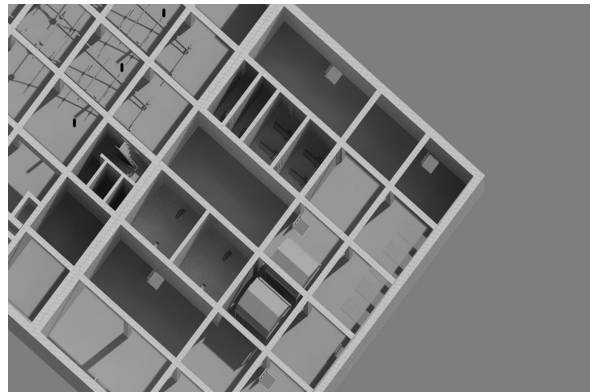
(a) Settling Basin Side View



(b) Settling Basin Bird's Eye View



(c) Settling Basin Basement 1



(d) Settling Basin Basement 2

Fig. 2. Settling Basin Side View (a) and Related BIM Models (c-d)

하는 패밀리를 사용하였기에 모델링 하는데 어려움이 없었으며 서터, 개구부 출입구 등의 건축 특정 요소들은 Autodesk Seek를 통해 해당 패밀리를 다운받아 사용하였다. 그러나 Autodesk Seek에서 제공하고 있는 기계장비는 건물(빌딩)에서 사용되는 패밀리이므로 하수처리시설과 같은 산업시설에 필요한 기계장비 패밀리를 새로이 모델링 할 필요가 있다. 이상적인 패밀리는 다양한 매개변수를 사용하여 형상과 속성을 정의하며 매개변수의 조합으로 패러메트릭하게 움직일 수 있어야 한다. 그러나 본 연구에서 요구하는 수준 - 지형공간적 위치, 크기, 수량 및 속성 정보 -을 맞추기 위해서는 지나치게 세밀한 표현은 모델 로딩에 상당한 시간과 저장공간을 차지하므로 최대한 간단한 형태와 매개변수만을 사용하여 총 12개의 컴포넌트 패밀리(간급차단수문, 소독설비, 폭기기, 교반기, 소독설비, 침사기, 산기장치, 슬러지수집기, 슬러지크리너, 제진기, 여과기 및 탈취기)를 구축하였다. 모델별 속성은 ‘BIM기반 유지관리 정보 모델링 지침(Super Tall Building Research Group and KICT, 2013)’에서 제시하고 있는 기계설비의 유지관리에 필요한 속성(예, 제조업체, 보증기간 등)을 고려하여 BIM 모델을 구축하였다.

## 4. BIM 기반의 하수처리시설 유지관리 프로토타입 시스템 구축 및 검증

### 4.1 유지관리 요구사항 및 프로세스 분석

일반적으로 시스템 개발 초기에 고객 또는 사용자가 시스템으로부터 요구하는 기능을 분석하는데 유용한 도구가 유스 케이스 다이어그램이며 비즈니스 프로세스의 정보 흐름을 모델링하는데 유용한 도구는 액티비티 다이어그램이다. 액티비티 다이어그램과 유사한 도구로 스테이트 다이어그램이 있으나 후자는 외부 이벤트가 지배적이며 비동시발적인 정보의 흐름이 발생할 경우에 사용하는 것이 유용하다(Schreiber et al., 1999). 본 연구에서는 이에 따라 액티비티 다이어그램을 사용하였다. Figs. 3(a) and 3(b)는 각각 유스케이스 다이어그램과 액티비티 다이어그램을 보여준다. 액티비티 다이어그램은 하수처리시설 사업장의 경우 사업장 관리부와 유지관리부서로 이루어져 있으며 전자는 유지관리품의서에 대한 검토와 예산수립이 주요업무이며(Fig. 3(b)-B), 후자는 유지관리 활동과 관련된 수선작업 품의서 작성과 외주여부에 대한 의사결정 등의 업무를 수행한다(Fig. 3(b)-A). 이러한 예산수립과

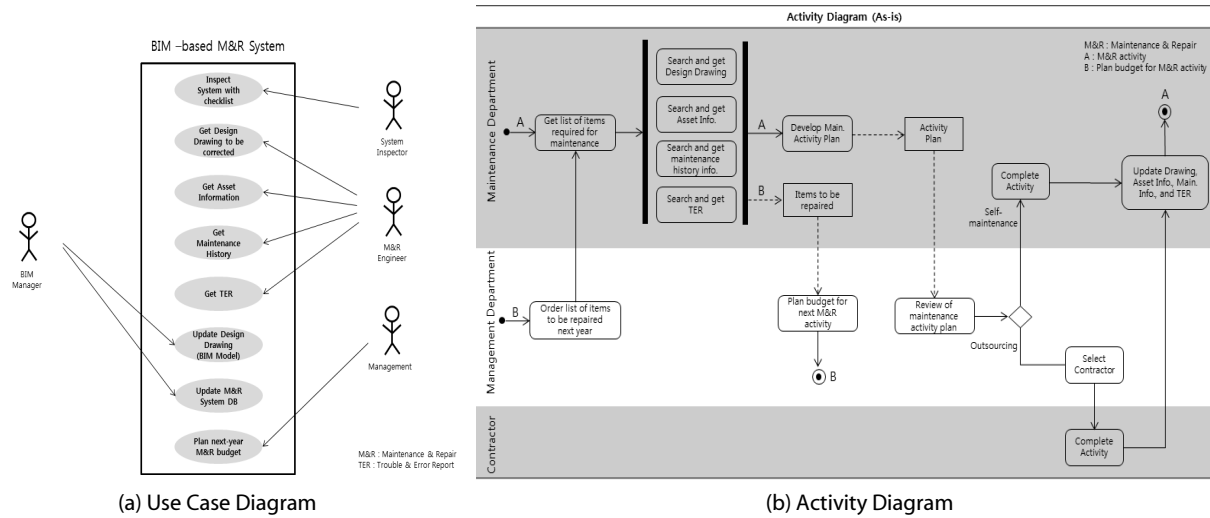


Fig. 3. Use Case and Activity Diagrams

Table 2. Literature Review of relevant Research Articles

Author	Research Summary	Research Subject	Applied Facility
Cho et al. (2008)	Analysis of current maintenance status and problems of existing public facility, followed by illustration on BIM application throughout the life-cycle of facility	Method of applying BIM data for maintenance	Architectural Building
Ahn et al. (2012)	Analysis of domestic BIM-based facility management, followed by classification of problems in transferring BIM model to operation phase	Problems identified in handover phase	Architectural Building
Kim et al. (2012)	Suggestion on preparation issues required for BIM introduction in operating and managing of civil structures	Requirements for BIM introduction in civil domain	Civil structures
Moon and Park (2010)	Domestic and overseas BIM-related research review followed by conceptual BIM-based facility maintenance system	Facility BIM-based operation concept	Civil structures
Choi and Um (2014)	COBie application feasibility was tested against wastewater treatment plant, followed by three improvement research areas	COBie application feasibility in wastewater treatment plant	Industrial Plant
Na et al. (2013)	Facility 3D spatial information and active decision making model suggestion. followed by suggestion of integrative framework	BIM-based Facility maintenance model suggestion	Civil structures
Akcamete et al. (2010)	Suggestion of BIM-based historical maintenance information, followed by system development and validation	BIM-based historical maintenance process	Architectural Building
Liu and Issa (2012)	Bi-directional BIM information transfer between CMMS and BIM S/W in industrial project	Bi-directional BIM information transfer	Architectural Building
Motawa and Almarshad (2013)	Web-based BIM solution for knowledge-based building maintenance	Knowledge-based BIM maintenance system	Architectural Building
Becerik-Gerber et al (2012)	Potential BIM-based facility management application areas identification	BIM application areas in facility management	General

유지관리 활동에 대한 프로세스 분석을 통해 총 8개의 요구기능을 도출하였다(Fig. 3(a)). 이러한 요구기능은 ○○시 환경공단 산하 한 개 하수처리시설 담당 과장과 총 3차례의 인터뷰와 각종 문헌 분석을 통해 도출하였다.

#### 4.2 하수처리시설 유지관리 프로토타입 시스템 구축

설계 및 시공단계의 정보를 유지관리단계로 전달하기 위해서 개발된 대표적인 데이터 포맷은 COBie이다. IFC 파일을 통해 추출되는 COBie를 유지관리 시스템을 개발에 사용하는데 현 상황에서는 2.2절에서 설명한 바와 같은 제약이 따른다. 따라서 본

Table 3. Comparison between COBie and Revit DB Link

Subject	BIM-based Maintenance Management System Development	
DB Build-up Method	COBie	Revit DB Link
Data Extraction Output Format	Excel Worksheet	Data Table
Extracted BIM Data Use	Data Mapping between commercial Facility Management S/W and COBie Excel file	SQL Server Management, MS Access Database Management System
IFC Consideration	Yes	No
Addition of Model Properties	No	Yes
BIM Model Update	One direction	Bi-direction
Extracted Data	System Families' Properties not extracted	All families' Properties extracted
Choice for the study	No	Yes

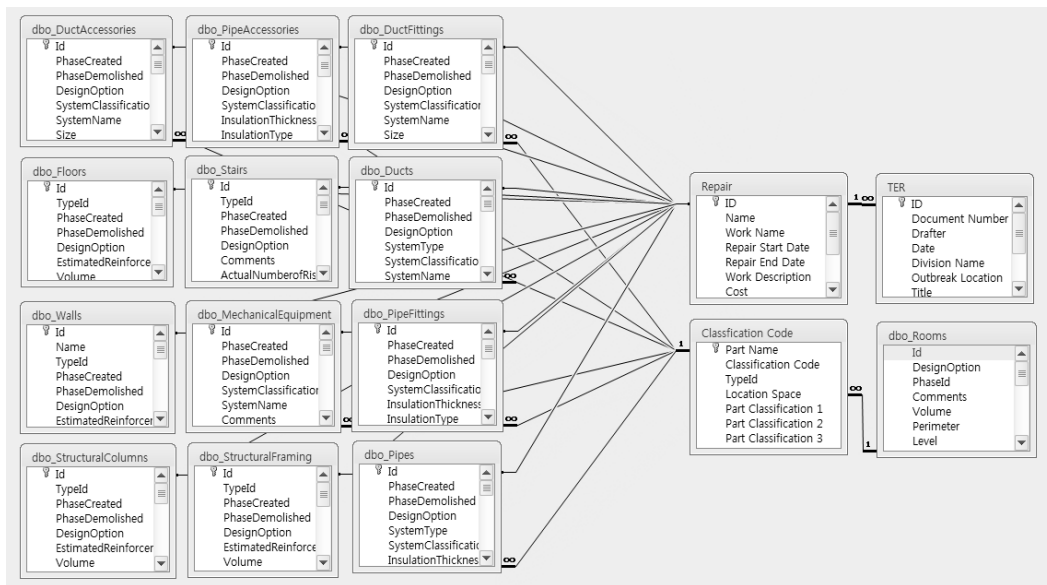


Fig. 4. ERD Model of the Extracted BIM Data

연구에서는 BIM 모델로부터 속성정보를 추출하기 위하여 DB Link Add-in S/W를 사용하였으며 BIM 모델과 데이터베이스간 양방향 정보 교환이 가능한 장점이 있다. DB Link를 통해 추출한 데이터는 테이블 형태로 존재하며 본 연구에서는 구조물과 기계설비 등과 관련된 테이블 만을 불러와 프로토타입 시스템을 개발하였다. COBie 방법과 Revit DB Link 방법에 따른 차이점은 Table 3에서 상세히 설명한다.

BIM 모델로부터 추출한 테이블 데이터를 시스템으로 개발하기 위해서는 테이블 간의 상호 관계성을 연결시켜주는 것이 필요하다. Fig. 4는 BIM 모델로부터 추출한 테이블을 키(key)를 중심으로 상호 관계를 맺어주었으며 ERD (Entity-Relationship Diagram) 는 Fig. 4와 같다.

dbo\_MechanicalEquipment 테이블은 수선작업 테이블과 각

객체의 ID를 주기로 일대일 연결하였고 분류코드 테이블과는 EquipmentName - PartName으로 다대일 연결을 하였다. 다음으로 수선작업 테이블은 TER 테이블과 ID를 통해 일대다 연결을 하였고 분류코드 테이블은 dbo\_Rooms 테이블과 Location Space - Name 으로 다대일 연결을 하였다. dbo\_MechanicalEquipment, dbo\_Rooms 테이블은 BIM 모델로부터 얻은 테이블이며 수선작업, TER 테이블은 Trouble Error Report (이하 TER)의 줄임말로 문제 발생의 원인과 그에 따른 해결책을 축적하여 유지관리 노하우를 공유하고 자산이 될 수 있도록 하는 사례집이라고 할 수 있으며 지식기반의 유지관리를 위해 본 연구에서 추가하였다. 분류코드 테이블은 정규화 작업을 거쳐 생성된 테이블이다. 마지막으로 Access의 폼과 매크로 기능을 이용해 유지관리 프로토타입 시스템을 개발하였다.

4.3 유지관리 시나리오 검증

앞 절에 설명한 유지관리 프로토타입 시스템의 기능을 검증하기 위하여 앞서 작성한 사용자 요구사항분석 8개의 요구기능을 바탕으로 유지관리 예산수립 및 대수선 작업과 관련된 총 4개의 시나리오를 아래와 같이 가정하고 처리 결과를 검증하였다. 여기서 시나리오 1~3은 보수작업 전 반드시 이뤄져야 하는 업무이며 실무자와의 인터뷰 및 유지관리절차서 등의 자료 분석을 통해 도출되었다. 시나

리오 4는 보수작업 이전 또는 이후에 유지관리 작업의 실적자료로 사용되며 지식기반의 유지관리 시스템이 갖추어야 할 핵심 기능이다.

- ① 기계 및 설비 목록 출력 및 상세 내용 파악
- ② 유지보수 이력 조회 및 예산 수립
- ③ 구조물 조회 및 내용 파악
- ④ 유지관리 사례집 작성 및 열람

Table 4. Scenario Validation with Maintenance Management Prototype System's Outputs

Maintenance Activity Scenario	Prototype System Output
<p><b>Scenario#1.</b> Query for equipment list in a particular space</p> <p>e.g.) List equipments located in vacreator room in settling basin!</p>	<p><b>Equipment list of vacreator room</b></p>
<p><b>Scenario#2.</b> Historical repair information and budget planning</p> <p>e.g.) List historical repair information and list equipments whose durability life is over in 2017!</p>	<p><b>Historical repair information</b></p> <p><b>Equipments whose life end in 2017</b></p>
<p><b>Scenario#3.</b> Identify size and location of structural elements</p> <p>e.g.) Display detailed information and location of a specified bearing wall!</p>	<p><b>Information of structural elements</b></p> <p><b>Classification &amp; location of a bearing wall</b></p>
<p><b>Scenario#4.</b> Knowledge extraction</p> <p>e.g.) Display historical nozzle repair information and associated TER!</p>	<p><b>Repair information and TER Icon</b></p> <p><b>TER components</b></p>



Table 4는 위에 언급한 4개의 시나리오 별 사례를 보여주고 이에 대한 결과도출 화면을 보여준다. 시나리오 1에서는 침사지 및 유입펌프장 내의 공간 구성을 보여주고 해당 공간(예, 탈취실)을 클릭하면 Fig와 같이 해당 공간에 포함되어 있는 모든 기계 및 설비별 속성 데이터 - Classification Code, Manufacturer, Serial Number, Location-Space Name, Size, Connected Element Name - 등이 확인 가능하다. 기계 및 설비에 대한 조회를 할 수 있는 폼은 시나리오 2와 같고 부재명, ID, Classification Code, 부위분류 1-2-3, Manufacturer, 내구연한, Location-Space Name 을 확인 할 수 있다. 검색하고자 하는 기계 및 설비의 이름 또는 Id를 검색하여 클릭하면 해당 부재의 수선정보를 확인 할 수 있다. 관련 시나리오는 2017년에 내구연한이 종료되는 설비 목록을 보여주며, 담당자는 이 정보를 차년도 예산수립에 활용할 수 있다.

구조물에 대해 조회를 할 수 있는 폼은 시나리오 3과 같고 Id, Name, Part Classification 1, Part Classification 2, Length, Volume, Floor 정보를 확인할 수 있다. 검색하고자 하는 구조물의 부재명 또는 Id를 검색하여 더블 클릭하면 해당 부재 (예, 내력벽)의 상세정보를 확인할 수 있다. 상세정보에는 모델에 대한 파일을 링크하고 있어 실제 BIM 모델을 바로 확인할 수 있다. 시나리오 4는 TER의 작성과 열람 두 가지 기능을 보여준다. TER은 문제 발생의 경험과 그에 따른 해결책을 축적해 유지관리 노하우를 공유하고 자산이 될 수 있도록 하는 사례집이라고 할 수 있다. TER은 시나리오 4에서와 같이 작성자(Drafter), 부서명(Div. Name), 고장발생 위치(Outbreak Location), 현황(Current Condition), 조치내용(Action), 향후대책(Future Countermeasure) 등의 정보를 제공한다.

## 5. 결론

본 연구에서 국내의 연구사례와 관련 연구 문헌을 검토한 결과 BIM 데이터의 생애주기활용에 대한 연구 및 산업계 관심도가 최근에 매우 높아지고 있음을 알 수 있으며 BIM 데이터의 유지관리 프로세스 활용은 주로 건축 시설물에서 연구 결과로 또는 초기 시제품 수준으로 개발되고 있다. 국내의 BIM을 도입한 사회기반시설 사례와 연구결과가 있으나 BIM 시각화를 기반으로 하는 설계 및 시공단계에 국한되어 이루어지고 있으며 효율적 운영을 위한 설계, 시공 및 시운전 자동 정보 이송 체계를 실제 사례에 적용한 연구는 아직 소개되지 않고 있다.

이러한 관점에서 본 연구는 최근 국내 건설 산업 발전에 많은 기여를 하고 있는 산업설비군 중 잠재적 기술 역량에 비해 해외 진출 수준이 매우 저조한 해외 물 시장진출에 기여할 수 있는 공공하수처리시설에 BIM 기술을 접목하여 BIM 기반 통합 유지관

리 프로토타입 시스템을 개발하였다. 본 연구에 사용된 주요 연구 방법으로는 실무자와의 인터뷰 실시, 사용자 요구사항 분석, 액티비티 다이어그램 분석, BIM 데이터 - MS Access DB 모델링 연계, 인터페이스 구축 등 일련의 시스템 개발 순서에 따라 진행하였다.

최종적으로 개발된 프로토타입 시스템의 현업 적용 가능성을 판단하기 위하여 4가지의 대표적 유지관리 시나리오(기계 및 설비 목록 출력 및 상세 내용 파악, 유지보수 이력 조회 및 예산 수립, 구조물 조회 및 내용 파악, 유지관리 사례집 작성 및 열람)를 제시하고 시스템 산출물을 근거로 시나리오별 문제 해결이 가능함을 보여주었다. 본 연구결과는 단편적인 공공하수처리시설의 BIM 기반 유지관리시스템 구축을 통해 실제 유지관리업무가 가능함을 보여주고 있으나, BIM S/W와 Access DB간 양방향 BIM 데이터 전송이 되지 않는다는 기술적 제한이 있고 운영관리 업무 지원을 위한 품질관리 프로세스와 외관조사, 내구성조사, 안전성평가 기능을 전혀 반영하고 있지 않은 점에서 추가적인 연구개발이 필요하다. 최근 상하수도시설의 자산관리 개념 도입 노력과 유역기반 운영 및 유지관리의 정책적 변화, 그리고 국내 상하수도 기술력의 해외시장 진출 필요에 따른 운영 및 유지관리 능력 고도화를 위해 본 연구결과가 일조할 수 있기를 기대해 본다.

## 감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011-0014004).

## References

- Akcamete, A., Akinci, B. and Garret, J. H. (2010). "Potential utilization of building information models for planning maintenance activities." *Proc., The International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, computing in Civil Engineering, Nottingham, U.K.
- An, H. K., Yoo, J. H., Lee, S. K., Jang, H. S. and Son, B. S. (2012). "Information requirements analysis for BIM-based facility management systems." *J. of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 28, No. 11, pp. 133-142 (in Korean).
- Bae, S. K., An, Y. J., Park, C. H. and Park, J. W. (2012). "Public sewerage facilities contracting out service management." (in Korean).
- Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Li, N. and Calis, G. (2012). "Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management." *J. Constr. Eng. Manage.*, ASCE, Vol. 138, No. 3, pp. 431-442.
- Cho, M. Y. et al. (2008). *Development of framework and policy for KTAM-40*, KICT; 2008-0110, Korea Institute of Construction Technology (in Korean).
- Choi, J. H. and Um, D. Y. (2014). "A study on the feasibility of

- COBie to the wastewater treatment plant.” *J. of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 34, No. 1, pp. 273-283 (in Korean).
- East, B. (2013). *The COBie guide: A Commentary to the NBIMS-US COBie Standard.*, Available at: <http://www.wbdg.org/resources/cobie.php> (Accessed: March 10, 2014).
- Kim, B. K., Kim, J. W., Ji, S. K. and Seo, J. W. (2012). “A study on BIM guidelines for model-based infrastructure management.” *Journal of KIBIM*, Korea Institute of Building Information Modeling, Vol. 2, No. 2, pp. 10-16 (in Korean).
- Lee, S. K., Yoo, J. H. and An, H. K. (2012). “Improvement of information collection system in design and construction phase for efficient facility management.” *J. of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 28, No. 5, pp. 33-42 (in Korean).
- Liu, R. and Issa R. R. A. (2012). “Automatically updating maintenance information from a BIM database.” *Proc. of the 2012 ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering*, Clearwater Beach, Florida, United States.
- Ministry of Environment (2013). *Operation and management guideline for public wastewater treatment plant* (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013). 3rd Construction facility safety and maintenance basic plan, pp. 10-11 (in Korean).
- Moon, S. W. and Park, M. K. (2010). “Using BIM technology in facility maintenance management system development.” *Proc., Civil EXPO*, Korean Society of Civil Engineers, pp. 2020-2023 (in Korean).
- Motawa, I. and Almarshad, A. (2013). “A knowledge-based BIM system for building maintenance.” *Automation in Construction*, Elsevier, Vol. 29, pp. 173-182.
- Na, H. S., Choi, W. S., Kim, N. G., Moon, H. S. and Seo, M. B. (2013). “A method of facility management based on BIM.” *Proc., The Korea Contents Association*, pp. 435-436 (in Korean).
- Park (2013) *Policy roadmap for coming 5 years construction technology - 5<sup>th</sup> Construction Technology Advancement Basic Plan*, Construction People (in Korean).
- Park, H. J., An, M. S., Jo, N. H. and Kim, K. J. (2011). “Improvement for asset management of sewage treatment facilities.” *J. of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 31, No. 2, pp. 285-293 (in Korean).
- Public Procurement Service (2010). *BIM guideline for architectural types of building* (in Korean).
- Public Procurement Service (2013). Public facility project BIM application basic guideline, Vol. 1.2, p. 15 (in Korean).
- Schreiber et al. (1999). *Knowledge engineering and management: The CommonKADS Methodology*, MIT Press.
- Super Tall Building Research Group & KICT (2013). *BIM-based maintenance information modeling guideline* (in Korean).
- Valentine, E. and Zyskoowski, P. (2009). “Building information modeling (BIM): How It Has Changed FM.” *Facility Management Journal*.
- Won, J. S., Joo, K. B. and Jo, K. H. (2013). “Development method of BIM data modeling guide for facility management: Focusing on Building Mechanical System.” *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 25, No. 4, pp. 216-225 (in Korean).
- Zhaoqiang, H. E. (2012). *Study on barriers of implementation of building information modeling in facilities management*, Ph.D. Department of real Estate and Construction, The University of Hong Kong.