

COBie 기반 하수처리시설 유지관리시스템 구축

최재호* · 엄동용**

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

A Study on the Feasibility of COBie to the Wastewater Treatment Plant

ABSTRACT

With the introduction of COBie (Construction Operation Building Exchange) in BIM technology enabling an automatic transfer of design and construction information to operation and management (O&M) phase, the BIM centric O&M management system development process has been tested on the subject of architectural types of building. However, for now, there is a need to investigate the technical feasibility of COBie application to civil structures including industrial facilities. This study takes both “O&M Guideline for Public Wastewater Treatment Plant” and a real wastewater treatment plant into account for the purpose, in which the latter is intended to supplement the result of the first. The findings are three-folds: (1) COBie, as an asset modeling, is not sufficient enough to encompass commissioning data, (2) more relevant IFC development and family library build-up useful to modeling wastewater treatment plant is imperative, and (3) well-planned coordination and organization of COBie data-set in line with O&M practice will enhance the feasibility of the COBie in industrial facilities. The result could be used for a basis study for COBie application, particularly in industrial facilities.

Key words : BIM, COBie, Feasibility, Waste Water Treatment Plant

초 록

BIM 기술의 하나인 COBie 포맷의 출현으로 설계와 시공단계에서 발생한 정보가 운영단계로 자동 전송이 가능해지면서 BIM을 중심으로 하는 유지관리시스템 개발 프로세스가 건축물을 중심으로 실험되고 있다. 하지만 BIM 시장 확대가 예상되는 현재 시점에서 건축물을 포함한 토목시설과 산업시설에서의 COBie 활용성에 대한 검토가 선행되어야 할 필요가 있다. 본 연구는 “공공하수도시설 운영·관리 업무지침”과 현재 운영 중인 하수처리시설을 대상으로 진행하였고 후자는 업무지침의 결과를 검증하고 보충하는데 의의가 있다. 본 연구에서 도출된 결론은 세 가지로 요약된다. (1) 자산 모델링 방법인 COBie는 시운전 정보를 포함하기에는 충분하지 않으며, (2) 하수처리시설 모델링에 필요한 IFC 개발과 패밀리를 구축이 반드시 필요하다. 그리고 (3) 현재의 운영관리시스템에 적합하게 설계된 COBie 모델은 산업시설분야의 COBie 포맷 타당성을 높여 줄 것이다. 본 연구 결과는 산업시설에서의 COBie 적용을 위한 기초 자료로 이용될 것으로 기대된다.

검색어 : BIM, COBie, 타당성, 하수처리시설

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

** 동아대학교 토목공학과 석사과정 (udyong87@gmail.com)

Received October 4, 2013/ revised December 1, 2013/ accepted December 23, 2013

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

현재 국내에서는 공공 시설물의 체계적이고 과학적 접근에 입각한 운영 및 유지관리(O&M, Operation and Management)를 위해 한국시설안전공단 등의 시설물정보통합시스템(FMS)이나 한국도로공사의 도로포장관리시스템(PMS), 교량관리시스템(BMS) 등이 사용되고 있다.

상하수도 처리시설의 경우 운영 및 유지관리를 위해 사업운영 통합관리 시스템(OMTS, Operating Mgmt. Total Sys.), 지식경영 시스템(KMS, Knowledge Mgmt. Sys.) 등이 사용되고 있으며, 민간 기업에서 개발한 IBM사의 Maximo 소프트웨어 등도 보급되고 있다. 상하수도 처리시설은 유입수 및 슬러지 처리 프로세스와 관련된 운영적 측면과 시설물의 사용성 유지를 위한 유지관리적 측면을 포함하는 점에서 도로와 교량 등 시설물 관리 시스템들에 비해 사용자 요구사항이 더욱 포괄적이라 할 수 있다.

건축 시설물의 경우 국내에서도 기존 건축물에 대한 유지관리 효율성 증진에 대한 인식이 확산되고, 특히, 최근에는 에너지 효율성을 고려한 그린 빌딩을 포함하여 건축물의 유지관리 정보모델의 표준화 및 건축물의 생애주기에 따른 설계-시공-운영단계의 데이터 자동 이송 체계에 대한 연구가 시도되고 있다. 상당수의 설계 및 시공, 시운전 단계에서의 건설 정보가 사전에 관리 및 기록되어 운영단계에 활용되어야 하기 때문이다. 이러한 기술 흐름의 핵심에는 건설정보 표준화에 기반한 BIM과 이로부터 생성되는 COBie가 대표적이다. COBie (Construction Operation Building Exchange)는 시설물의 정보 교환을 위한 국제 표준 포맷으로 계약상 새로운 요구사항을 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).

사회기반시설이나 산업설비의 경우도 이러한 연구 흐름에 맞추어 BIM과 COBie 기술의 적용성을 평가할 필요가 있다. 최근에 국내에서 건축물 분야에서 COBie 활용을 위한 사용자요구사항 분석, 설계-시공단계에서의 정보수집체계 분석, 유지관리를 고려한 BIM 입력기준 개발, 토목분야에서 사회기반시설 유지관리를 위한 BIM 가이드라인 등 기초적 연구가 진행되고 있으며, 궁극적으로 BIM의 혜택을 설계, 시공에서 운영단계까지 확장하여 BIM 기반 정보 통합의 효과를 극대화 하려는 노력의 일환이라 할 수 있다. 그러나 현업의 실제 업무와 연계한 실증적인 연구결과는 BIM을 활용한 시각화를 기반으로 하는 설계 및 시공단계에 국한되어 이루어지고 있으며 운영단계의 자동 정보 이송 체계를 실무와 연계한 연구는 거의 전무하다고 볼 수 있다.

이러한 관점에서 본 연구의 목적은 공공 인프라 분야 중 공공하수

처리시설에 대한 BIM 기반 유지관리시스템 개발을 위한 기초연구로 COBie 정보가 현행 공공하수도시설 운영·관리 업무지침(2013) 및 실제 유지관리시스템에 활용 가능 여부, 즉 부합 수준을 평가하는 것이다. 공공하수처리시설을 본 연구 대상으로 선택한 이유는 국내 시장에서의 양적, 질적 수준 - 하수도 자산총액은 40~60조 사이로 추정(Yoon, 2012) - 에 비해 운영 및 유지관리에 대한 관심이 부족하고 세계적인 물 관리 전문기업 부재, 국내 운영 및 유지관리 역량이 다국적 전문 물기업과 비교해 볼 때 대형화전문화 등이 부족하고, 하수처리시설이 사회기반시설임에도 불구하고 자산관리를 폭넓게 적용하지 못하고 있는 실정을 고려한 점에 기인한다(Park, 2011).

하수처리시설(Wastewater Treatment Plant, WWTP)은 일반적인 사회기반시설물인 도로, 교량, 터널과는 다른 특징을 보이는데 그것은 플랜트 시설의 성격을 지니고 있다는 것이다. 즉, 하수를 처리공정에 따라 방류수질에 적합하도록 처리하는 생산설비와 연계된 주요 공정 별 관련 기자재, 시설물의 유지관리 업무 외에 처리공정의 품질관리와 연계된 프로세스 운영관리 업무를 포함한다. 이것은 일반적인 시설물 유지관리에 비해 생산설비와 프로세스 관리와 연계된 업무가 있다는 점에서 차별화되며, 이러한 점을 반영한 BIM기반 유지관리시스템 구축방안 수립이 필요하다.

1.2 연구 범위 및 방법

하수처리시설 유지관리에 BIM의 적용성을 조사하기 위하여 첫 번째로 (1) 국내의 연구동향 및 사례분석, 실무자와의 인터뷰를 수행 하였다. 총 5건의 해외 사례를 조사하였으며, 사례별 BIM 적용 목적 및 중점 수혜 내용에 대한 조사를 실시하였다. 두 번째로 (2) 현행 시설 운영 및 유지관리 측면에서의 개선점을 BIM 적용성 관점에서 00시 1개 하수처리시설 사업장 담당자와 부산환경공단의 위탁 하수처리장 시스템 운영 담당자와 인터뷰를 실시하였다. 세 번째로 유지관리를 위한 요구정보 항목을 도출하기 위해 환경부에서 매년 발간하는 (3) ‘공공하수도시설 운영·관리지침’과 실무에서 사용되고 있는 하수처리시설 운영 및 유지관리를 위한 제반

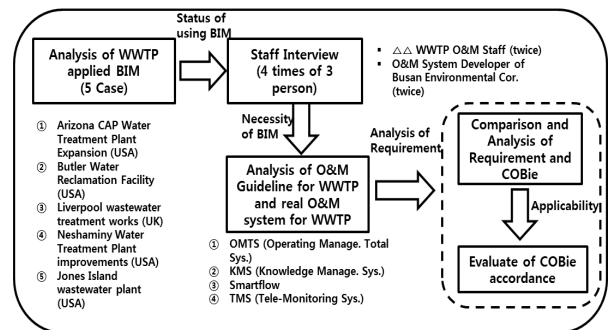


Fig. 1. Research Flow

시스템을 분석하였다. 다음으로 (4) 도출된 요구정보 항목을 COBie와 비교, 분석하여 COBie 방법의 부합성을 평가하였으며, 이로부터 COBie의 한계성과 활용도를 제고하기 위한 방안과 추가적인 연구방향을 제시하였다. Fig. 1은 연구 수행 방법을 보여준다.

2. 연구 문헌 분석 및 배경 지식

2.1 연구 문헌 분석

국내의 BIM 기반 시설물 유지관리 관련 연구로 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 지식관리모듈을 연계한 웹기반 건물 유지보수시스템을 개발하였으며, 운영관리계약서상의 목적을 지식정보 저장, 활용을 위한 분류체계에 활용하였다. Gerber et al. (2012)은 BIM을 활용한 산업계의 시설관리(FM) 활용수준에 대한 설문조사를 통해 다음과 같은 총 10개 시설관리 관점의 BIM 응용분야 - 건물부재 위치 추적, 실시간 데이터 접근, 시각화 및 영업, 유지관리성 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 국내 대학시설물 유지관리시스템 1건과 오피스 빌딩 유지관리 시스템 1건을 대상으로 COBie 요구정보와 비교분석을 통해 COBie 요구정보와 전문가 및 사례분석을 통해 도출된 유지관리시스템 요구정보가 상당부분 일치함을 제시하였다.

앞서 언급한 문헌들은 모두 건축물의 설계, 시공 데이터 축적을 통한 유지관리 데이터의 효율적 활용이라는 맥락에서 전개되거나

건축물의 유지관리 응용분야 발굴에 제한되어 있다. 그러나 최근에는 사회기반시설과 같은 토목 구조물의 유지관리에도 BIM 데이터 활용에 대한 연구 및 논의가 국내외 적으로 진행되고 있다. Moon et al. (2011)은 교량 구조물을 대상으로 3D 모델을 구성하고, 3D 부재의 유지관리 데이터를 저장 및 조회 기능을 구현하여 유지관리의 BIM 적용 가능성을 제시하였으며, Kim et al. (2012)은 BIM 기술을 토목분야 유지관리에 적용하기 위해 선행되어야 사항을 응용모델의 발굴, 유지관리 정보체계의 표준화 및 제도정비 관점에서 설명하였다.

2.2 하수처리장 BIM 적용 사례 분석 및 필요성

본 절에서는 하수처리장 신규 건설, 개선 사업, 중수도 시설 등 수처리시설 프로젝트에 BIM 기술이 적용된 사례의 분석 결과를 설명한다. 문헌을 통해 Table 1에서 보는 바와 같이 총 5건의 사례를 발굴하였으며, 이중 4건은 미국, 1건은 영국 사례이고, 개별 사례별 BIM의 주요 적용 목적과 성과 발생 단계를 보여준다. ①~④ 사례는 모두 설계 및 시공단계의 일반적 BIM 활용 목적 - 간섭제거, VE 적용, 3D 설계 기반 시공성 및 설계 검토 등 - 과 같은 용도로 BIM 기술이 적용되었으며, 마지막 사례 ⑤은 지리적으로 분산된 하수처리장을 Lidar, BIM과 GIS 기술을 연계하여 효율적 운영 및 시설관리를 꾀하기 위하여 운영단계에 구축된 기술이라 할 수 있다(Richardson, 2012).

그러나 ⑤ 사례는 BIM 설계를 통한 모델 작업 없이 Lidar 장비를 통한 3D 형상모델과 사내 데이터베이스에 저장되어 있는 자산관리 데이터를 ArcGis 엔진을 활용하여 연계함으로써 시설물의 3D 정보와 속성 정보를 분리하여 볼 수 있도록 하였다. 본 사례는 이미 구축되어 있는 다수의 수처리 시설을 통합적으로 관리하고자 할 경우 유용한 방법이라 할 수 있다.

BIM 기반 하수처리시설 유지관리 필요성을 제시하기 위해 현행 유지관리 업무의 한계점을 알아보았다. 인터뷰는 총4회에 걸쳐 실시하였다. OO 하수처리시설 유지관리 실무자 1인과 총 2회,

Table 1. Analysis of Overseas BIM Use Cases for Water Treatment Plant

No	Project	Benefits	Phase
①	Arizona CAP Water Plant Expansion / Scottsdale, AZ, USA	Communication and Conflict removal, Establishment of plan by step and work procedure	Design, Construction
②	Butler Water Reclamation Facility / Peoria, AZ, USA	Improved Constructability, 67% less concrete rework	Design, Construction
③	Liverpool wastewater treatment works/ Liverpool, UK	VE and supply chain improved, 2D Collaborative environment for drawing time and effort reduced	Design, VE Process improvement
④	Neshaminy Water Treatment Plant/ Neshaminy, PA, USA	Automatic change of each view (floor plan, elevation, side view etc.) by model revision	Design, Construction
⑤	Jones Island wastewater plant/ Milwaukee, WI, USA	3D Lidar+BIM+GIS System buildup, Visualization effect, Scenario analysis	Operation

부산환경공단 유지관리시스템 운영자 2인과 총 2회에 대해 진행하였다. 여러 인터뷰 결과 중, 현재의 준공 후 운영 및 유지관리 데이터 인수인계상의 문제점에 따른 BIM 기반 운영 및 유지관리 데이터 구축의 필요성을 다음과 같이 정리할 수 있다.

하수처리장 기자재 및 내부 설비에 대한 정보가 체계적으로 관리되지 않고, 설비 운전방법, 점검요령, 비상시 조치사항 등의 매뉴얼과 도면은 종이로 보관되어 있어, 인수인계시나 정보 검색, 보관 등에 어려움이 따른다. OO하수처리시설 유지관리 실무자의 의견을 인용하면, 인수인계가 제대로 이뤄지지 않아 15일간 사업소를 돌며 전 설비에 대한 사진을 찍으면서 속성(규격, 설치일자, 제조사, 이력정보 등)을 단일파일로 정리하였다. 15일이라는 시간은 사업소의 규모에 따라 다르겠지만 대단히 비생산적인 작업이라고 할 수 있으며, Medellin et al. (2010)에 따르면 한 의료시설 유지관리 담당자와의 인터뷰에서 시공사가 준공 시 제공하는 O&M 매뉴얼에 제시되어있는 최소한의 기자재 데이터를 가용한 정보로 변환하는데 3 person-years가 필요함을 제시한 점에서도 인수인계 문제의 심각성을 알 수 있다.

2.3 COBie 프로세스

본 연구개발에 핵심 키워드인 COBie (Construction Operation Building Exchange)는 앞서 언급한 바와 같이 설계, 시공 완료 후 시설물의 자산 정보를 오픈포맷으로 제공하는 것이다. 즉, COBie는 생애주기 관리와 관련된 시설 소유자와 운영자에게 프로젝트 수행기간 동안 개발되고 축적된 데이터 전달을 위한 프레임워크이며, 현재 COBie 2.4 까지 개발된 상황이다(Autodesk, 2012). COBie 2.4는 한 개의 엑셀 파일(또는 xml 형태)안에 총 18개의 워크시트로 구성되어 있으며 설계-시공-운영-공동 단계로 구분하여 워크시트별 요구 정보를 저장할 수 있다. COBie 2.4로 업데이트 되면서 Custom 제품의 조립상태를 확인할 수 있는 Assembly 워크시트와 유럽기준에 맞도록 산업안전, 환경문제를 다루기 위한 Issue 워크시트가 추가되었다(AEC3 and East, 2010).

COBie 워크시트 생성 프로세스는 기본설계, 상세설계, 시공 및 운영 단계에 걸쳐 다양한 정보 입력 주체에 따라 채워지는 프로세스의 산물이다. Fig. 3과 같이 기본설계는 설계자의 책임 하에 공간, 구역, 룸 상세정보가 구축되고, 상세설계는 시스템, 제품 및 장비 정보 등에 대한 내용이 저장된다. 시공단계에서는 시공자와 전문업체의 책임 하에 일반 자산 정보와 변경 및 시공 상세 정보가 구축된다. 운영단계에서는 운영관리의 책임자인 발주처 또는 위탁 관리자가 유지보수 정보를 COBie 워크시트 또는 COBie 기반 운영관리시스템에 직접 입력하여 사용할 수 있도록 체계화되어 있다. 본 연구에서는 COBie 2.4 스프레드시트의 워크시트별 데이터 항목을 공공하수도 운영·관리 지침과 실제 하수처

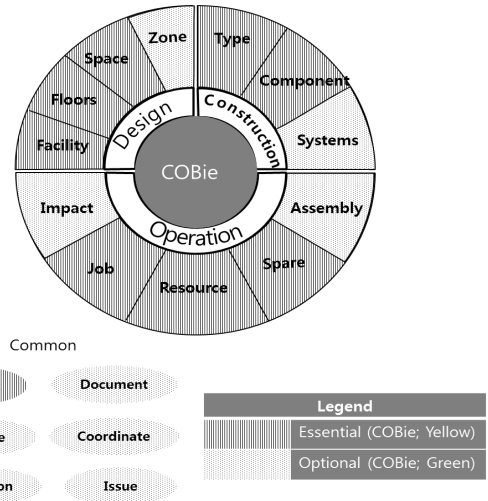


Fig. 2. COBie Worksheets (Design-Construction-Operation-Common)

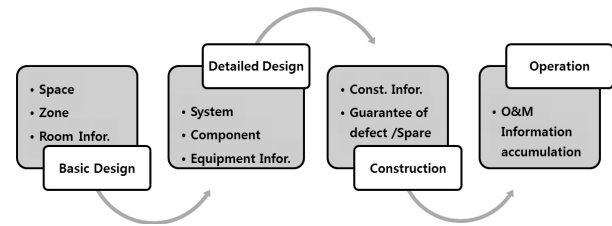


Fig. 3. COBie Process

리장에서 사용되고 있는 유지관리시스템 상에서의 관리 항목과 비교 설명하고자 한다.

3. 공공하수도시설 현황 분석

3.1 공공하수도시설 운영·관리 업무지침

하수처리장의 경우 시설물의 장기간 유지보수 측면과 최종 생산물 (방류수) 프로세스의 운영측면을 모두 포함하고 있다. 본 연구에서는 ‘공공하수도시설 운영·관리 업무지침’을 Fig. 4와 같이 1) 공통요소, 2) 운영관리요소, 3) 유지관리요소로 나누어 요구정보 항목을 도출하였는데 각 용어의 정의는 다음과 같다. 공통요소는 하수처리시설의 개요, 운영인력 등과 같은 프로젝트 전반에 걸친 일반적 사항을 말한다. 운영관리요소는 시설의 운영단계에서 하수처리 프로세스에 대한 현황을 말하며 유지관리요소는 하수처리 프로세스에 이용되는 각각의 시설 및 설비에 대한 운전 및 관리, 개·보수 작업, 점검사항 등을 말한다. 이로부터 ‘공공하수도시설 운영·관리 업무지침’도 이러한 내용을 모두 포함하고 있음을 알 수 있다.

‘공공하수도시설 운영·관리 업무지침’내 공통요소와 운영관리

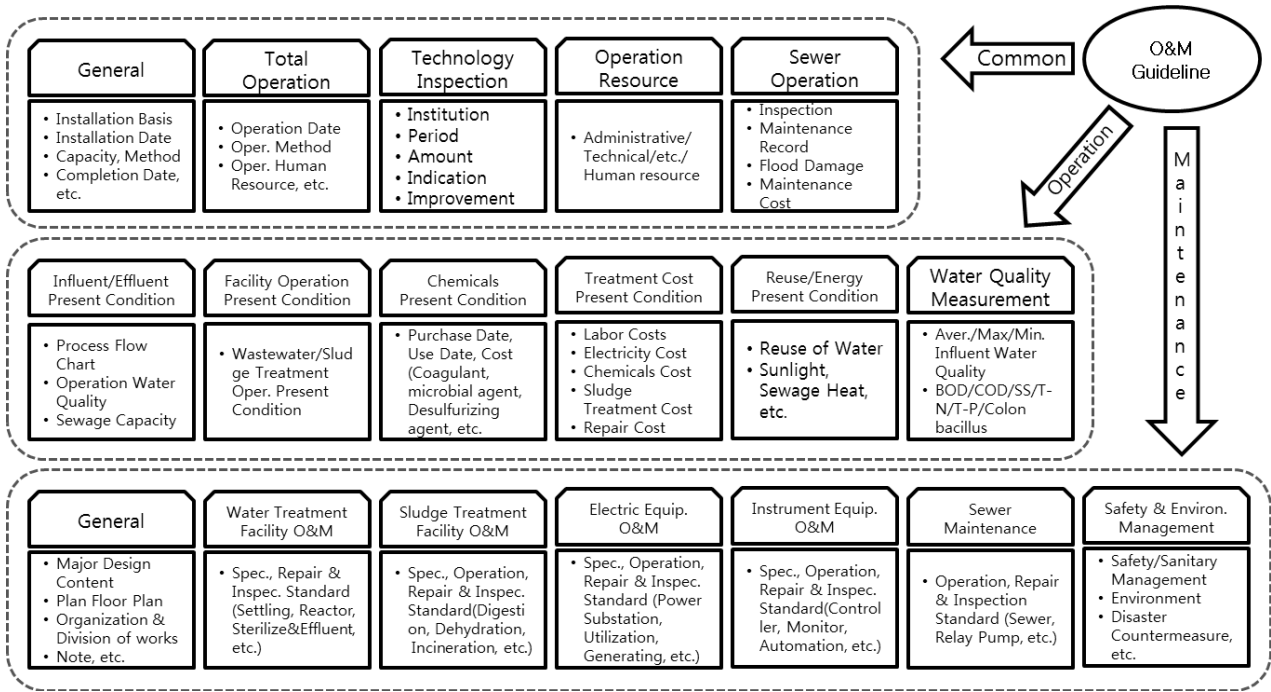


Fig. 4. Information Requirements of Public Wastewater Treatment Plant Operation and Management Guideline

요소를 살펴보면 다수의 요구정보 항목이 운영단계에서 요구되고 기입 가능한 정보이다. 즉, 유입수 및 방류수 현황, 주요시설(수처리) 운영현황, 하수처리비용 현황 등은 설계·시공단계로부터 전달되는 데이터가 아니라 운영단계에서 COBie 스프레드시트에 입력되어야 하는 정보이며 또한 BIM 모델링 불가능한 항목들이다. 이로 인해 설계·시공단계에서 축적된 정보를 운영단계에 사용 할 수 있도록 개발된 COBie와 부합성을 평가하는 것은 한계가 있어 COBie와의 부합성 평가에서 제외시켰다. 반면 수처리 시설, 슬러지 처리 시설, 전기/계장 설비, 하수관거시설 등은 BIM 라이브러리만 구축된다면 유지관리 분야 요구정보를 설계·시공단계에서 입력 할 수 있다. 따라서 수질관리와 안전관리 및 환경보전관리를 제외한 유지관리 분야에 대한 요구정보는 하수처리시설 BIM 모델 구축 시 운영단계에 직접 인도할 수 있는 데이터이며 COBie 스프레드시트로 이용 가능할 것으로 판단된다. 수질관리와 안전 및 환경보전관리 유지관리 분야에 대한 내용은 4장 요구정보 부합성 평가에서 설명한다.

3.2 현행 하수처리시설 유지관리시스템 분석

본 논문에 사용된 현행 유지관리시스템은 부산환경공단 사례를 사용하였다. 부산시 내의 하수처리시설은 총 11개이며 2개 시설을 제외한 9개 시설은 부산환경공단에서 관리하고 있다. 9개 사업장에서 사용되고 있는 시스템은 ① 사업운영통합관리시스템(OMTS,

Operating Mgmt. Total Sys.), ② 지식경영시스템(KMS, Knowledge Mgmt. Sys.), ③ 전자결재시스템(Smartflow)이다.

3.2.1 사업운영통합관리시스템

사업운영통합관리시스템(이하 OMTS)는 하수, 소각 및 분뇨 등 녹색정보의 통합, 공유 등 체계적인 자료 관리를 위해 추진되었다. 부산환경공단은 하수처리 이외에도 분뇨처리, 쓰레기소각 업무를 OMTS로 통합관리하고 있으며 수온, pH, DO, BOD, COD, SS, T-N, T-P 등의 실험데이터와 하수유입량, 하수방류량, 슬러지량, 전력사용량 등의 처리량을 기록, 관리한다. OMTS의 요구정보 항목은 하수실험자료관리, 하수운영관리, 전력관리, 원가, 홈페이지, 하수 월 집계관리, 하수수질 및 운영 현황, 기타 처리 현황, 센터수질 및 운영통계, 하수기준정보관리 및 하수관거관리로 구분 할 수 있다. 즉, OMTS는 ‘공공하수도시설 운영·관리 업무지침’ 내 운영관리 요소와 성격과 유사해 COBie와의 부합성 평가에서 제외시켰다.

3.2.2 지식경영시스템

지식경영시스템은 경영정보의 취득, 생산, 가공, 공유 및 활용을 통한 업무효율성 증진 및 투명경영 확보를 위해 추진되었으며 하수처리시설의 자산관리, 예산관리를 중점적으로 관리한다. KMS는 Table 2를 살펴보면 인사관리, 급여, 예산, 회계관리, 자산,

Table 2. Information Requirements of KMS

Big class	Middle class
Personnel Management	General
	Education and Training, Qualification, Proposal
	Reward, Disciplinary
	Salary Class Management
	Education Management
Salary and Calculation	Salary Management
	Salary Present Condition
	Year-end Tax Adjustment
Budget Management	Budget Application
	Budget Allocation
	Budget Movement
	Budget Settlement
Accounting Management	Resolution Management
	Settlement of Accounts Management
	Data Validation
	Tax Invoice
Cost Management	Basic Code Management
	Transfer, Present Condition Management
	Cost Price(Ministry of Environment)
BSC Data Management	BSC ETL Setting
	BSC Data Creation(Budget, Cost Price)
	BSC Data Creation(Personnel, Salary Information)
Facility Management	Facility Management Register
	Facility Management Condition
	Drawing Management
Asset Management	Input and Output of Asset Information
	Inventory
	Standard Information Management
Materials Management	Receipt and Disbursements Management
	Receipt and Disbursements Condition
	Inventory Management
	Standard Information Management

자재관리, 시설물관리, 재물조사 관리 등의 정보를 관리하는 ERP (Enterprise Resource Planning) 시스템 역할을 하고 있다. KMS는 ‘공공하수도시설 운영·관리 업무지침’ 내 회계 관점에서 유지관리할 필요가 있는 시설물관리 및 자산관리가 관련된 데이터를 저장하고 있다. 즉 보수 및 교체작업이나 자산 및 자재의 현황 등과 같은 정보에 대해서만 KMS에 기록, 보관, 관리하고 있다. 그러나 공정 별, 설비 별 운전요령이나 계통 설명, 점검기준, 사양 등은 종이 형태로 보관되고 있다. 이러한 항목은 COBie를 통해

시공이후의 운영단계에 이관될 수 있는 항목들이므로 다음 장에서 COBie와 비교·검토할 필요가 있다. KMS는 현재 하수처리시설 유지관리에는 변동되는 정보, 즉 보수 및 교체작업이나 자산 및 자재의 현황 등과 같은 정보에 대해서만 KMS에 기록, 보관, 관리하고 있으며 공정 별, 설비 별 운전요령이나 계통 설명, 점검기준, 사양 등은 종이 형태로 보관되고 있다.

3.2.3 전자결재시스템(Smartflow)

전자결재시스템은 전자문서의 기안, 결재, 발송, 대외기관간 문서관리의 원활한 지원을 위한 시스템 운영관리를 위해 추진되었으며 타 시스템간의 연동기능 구현으로 전자결재 추진, 각종 현장일 전산화 추진 및 일정관리 기능을 담당하고 있다. 즉, 전자결재시스템은 결재 및 문서관리의 전산화를 위한 시스템이므로 COBie와의 부합성 평가에서 제외시켰다.

4. COBie와 요구정보 항목 부합성 평가

BIM 기반 유지관리를 위한 요구정보 수집체계로 사용되는 COBie 정보가 국내의 하수처리시설 유지관리에 필요한 요구정보와 부합하는 정도를 평가하기 위해 ‘공공하수도시설 운영·관리 업무지침’과 하수처리시설 유지관리시스템을 분석하였다. ‘공공하수도시설 운영·관리 업무지침’은 공통요소, 운영관리 요소, 유지관리 요소로 구분할 수 있었고 공통요소와 운영관리 요소의 다수의 요구정보는 앞선 설명과 같이 하수처리시설의 운영단계에서 요구되고 기입 가능한 정보이며 BIM 모델 구축이 불가능한 요소이다. 따라서 운영단계 이전에 축적되는 COBie 정보와는 성격이 달라 부합성 평가에서 제외시켰다. 마찬가지로 하수처리시설 유지관리 시스템의 OMTS 요구정보 항목이 업무지침 내 운영관리 분야와 성격이 비슷해 이 또한 부합성 평가에서 제외시켰으며 KMS 내 시설물관리와 자산관리만 선택해 부합성 평가를 진행하였다. 즉, COBie 프레임워크와의 부합성 평가를 위한 요구정보 항목은 ‘공공하수도시설 운영·관리 업무지침’과 KMS 내의 유지관리와 관련된 항목에 대해서만 COBie와의 부합성 평가를 하였다.

4.1 공공하수도시설 운영·관리 업무지침과 COBie 비교

‘공공하수도시설 운영·관리지침’내의 유지관리 요소와 COBie와의 부합성 평가 결과는 Table 3과 같다. 책임할당매트릭스(RAM, Responsibility Assignment Matrix)는 플랜트 프로젝트의 조달 프로세스에 따라 설계, 조달, 시공, 커미셔닝 및 운영 단계로 구분하였으며, 각 단계별 COBie 프레임워크 입력 책임 관계를 보여준다. 지침 항목별 반원(◐) 모양과 원(●) 모양의 기호를 사용하였으며, 반원은 기초적 정보를 입력한 것을 의미하며, 원 모양은 앞서 입력된

Table 3. Comparison Between Public Wastewater Treatment Management Information Requirements and COBie Data (continue)

Maintenance Area of Public Wastewater O&M Guideline		RAM					COBie ver.2.4 Worksheet	IFC-related Lists (Example)	Remark	Accordance
		Design	Procure.	Constr.	Commis.	Operat.				
General	Name, Location, Area, Capacity, I/O Quality, Method, Sewer, Flow of disposal zone area/population/design	●			●		Facility, Document	IfcBuilding IfcSite IfcDistributionFlowElement	Add a Field (I/O of Water Quality)	L
	Flow Chart, Facility Floor Plan				●		Facility, Document	IfcDistributionSystem	Link a Drawing	S
	Sewerage facilities floor plan, City planning plan				●		Facility, Document	IfcSite	Link a Drawing	S
	Organization & Division of works, Contact				●	●	Contact	IfcActorRole IfcPerson IfcAddress	n/a	S, C
	Operation, Inspection, Repair, Water quality				●	●	Document	IfcTask	Link a FMS	S, C
	Emergency managing, Malignant wastewater inflowing managing				●	●	Impact, Issue	IfcEvent		S, C
Wastewater/ Sludge Treatment Facility O&M	Basis Specification, Standard	●					Type, Component	IfcProduct IfcLabel	Add a data field for design	L
	Company Name, Phone Number, etc.				●		Contact, Type	IfcOrganization IfcTelecomAddress	n/a	S
	Detailed Spec., Function		●	●			Type, Component	IfcFeatureElement IfcElementComponent	Major Equip. Specification	L
	Operation Procedure, Method, Flow System			●	●		System, Assembly	IfcSystem, IfcTask IfcDocu..Information, IfcDistributionSystem	Add a Field, Link a Document	L, C
	Operational regulations depend on commis result				●		Document	n/a	n/a	S
	Operational countermeasures about disposal facility at initial time				●		Document, Issue	n/a		S
	Relation with surrounding facilities, Reason of problem and preparation methods				●		Connection, Impact, Issue	IfcConnect..Geometry IfcActionRequest	IFC, Add a Field, Link Document	L, C
	Alternative machine and spare part at incurring a breakdown			●	●		Spare	IfcProjectOrder	Add a Field	L
	Cycle, Method of repair and inspection, Correction frequency and replace machinery				●	●	Job, Spare	IfcWorkPlan IfcWorkSchedule IfcDuration	Link a FMS	C
Electric Equipment O&M	Design plan and system explanation about power receiving, Changing and distribution facilities	●					Type, Component, System	IfcElectricAppliance IfcElectricDistr..Board IfcElectricGenerator	Add a data field for design	L
	Ordinary well-informed suggestions, Safety regulations				●	●	Impact, Issue	IfcDocu..Information IfcActionRequest	IFC, Add a Field	L, C
	Corrective measure such as receiving and stopping a power and daily checking element				●	●	Impact, Issue, Job	IfcDocu..Information IfcActionRequest		
Electric Equipment O&M	Composition about equip. for receiving and distributing power, Circuit Breaker, and operating characteristics				●		Type, Component	IfcElectricAppliance IfcFeatureElement	Family build-up, Add Property	L, C
	Instruction of Utilization Equip., Heater, Light, Fire Alarm, etc.	●					Type, Component, System	IfcLamp IfcAlarm IfcSystem	Link FMS	S
	Ordinary checking, regular checking, list of needs and tips at special inspections				●	●	Job, Document, Issue	IfcTask IfcEvent IfcDocumentInformation	Link FMS	C

Table 3. Comparison Between Public Wastewater Treatment Management Information Requirements and COBie Data

Maintenance Area of Public Wastewater O&M Guideline		RAM					COBie ver.2.4 Worksheet	IFC-related Lists (Example)	Remark	Accordance
		Design	Procure.	Constr.	Commis.	Operat.				
Instrument Equipment O&M	Instruction of Controller, Monitor, Automate System	●					Component, System	IfcController IfcUnitaryControlElement		C
	Ordinary well-informed suggestions, Safety regulations				◐	●	Document, Issue	IfcDocumentInformation	Link FMS	C
	Checking standard, Repair and checking know-how for instru.(densitometer, water gage, etc)				◐	●	Document, Job, Issue	IfcFlowInstrument IfcDocumentInformation	Add an Equip. item in IFC & Link FMS	L, C
	Repair and checking know-how for controller in a computer				◐	●	Document, Job, Issue	IfcDocumentInformation		L, C
	TMS (Tele Monitoring System) outline, Repair/Inspection method				●		Component, System, Job	n/a	Install a TMS before Operation	L, C
Sewer O&M (Sewer, Relay Pump, etc.)	Status of combined and split type sewer	●					Component, System	IfcPipeSegment		L
	Leakage management plan for sewer, Priorities of sewer maintenance					●	Job, Impact	IfcPipeFitting	COBie Expansion or Link a FMS	C
	Technical diagnostics and inspection plan about sewer					●	Job, Document	IfcDocumentInformation		C
	Screen equip., Operation method for sand remover, Prevention of precipitation				●		Document, Impact	IfcActionRequest	Add an Equip. item in IFC	L, C
	Structure of relay pump, Method of operation control, Maintenance and inspection				◐	●	Document, Job	IfcPump		L, C
	Prevention for water hammering and impact, Checking whether water level switch instrumentations works				●		Impact, Document, Issue	IfcActionRequest IfcSwitchingDevice	Link FMS	C

정보를 새로 수정 갱신 하거나, 관련 정보 입력을 의미한다. COBie 해당 워크시트는 지침에 제시되어 있는 정보가 포함될 수 있는 워크시트를 제안한 것이며, 관련 IFC는 IFC ver.4에 포함되어 있는 IFC를 의미한다.

부합성 척도는 세 가지로 구분해 만족(S, Satisfactory), 제한(L, Limited), 연계(C, Connection)를 사용하였다. 만일 지침 내 해당 정보가 COBie 2.4에서 제공하고 있거나 관련 IFC가 IFC ver. 4에 존재한다면 S, 현재 관련 IFC나 패밀리가 없거나 추가 속성이 필요한 경우는 L, 그리고 COBie 2.4나 IFC ver. 4에서 관련 IFC가 제공되지 않아 관련 문서가 첨부되어야 하거나 유지관리시스템에서 별도의 관리가 요구되는 항목은 C로 정의하였다.

평가 결과 S로 판정된 항목은 현재 BIM 모델링을 통하여 유지관리 관련 데이터의 입력 및 운영단계 활용에 문제가 없다는 것을 의미한다. 예를 들면, 기본사항에 처리구역 내 하수계통도, 처리시설 시설평면도는 Facility, Document 워크시트의 해당 필드에 도면 링크 방식을 사용하여 유지관리시스템으로 맵핑 또는 이관시

켜주면 된다. 평가 결과 L로 판정된 항목은 요구정보와 관련된 필드가 없거나 패밀리가 부족한 항목을 의미함으로 이에 대해 대처가 필요하며, 필요시 운영관리시스템 상에서 별도의 데이터 입력을 통해 이러한 문제를 해결할 수 있다. 예를 들면, 수처리슬러지 처리시설 항목의 “장치의 상세한 사양과 기능설명” 요구정보에 대한 부합성 판정이 L로 된 이유는 다양한 기자재 장치에 대한 패밀리가 부족하고 COBie 맵핑에 필요한 IFC가 제한적이기 때문이다.

판정결과가 C로 나온 이유는 유지관리시스템과 연계 시 요구정보를 충족할 수 있다는 것을 의미한다. 예를 들면, 하수관거 시설 유지관리 항목에서 “하수관거 기술진단 및 점검계획”은 Job, Document 워크시트를 활용하든지 아니면 유지관리시스템과 연계하여 해결할 수 있음을 보여준다. L, C 판정 결과는 패밀리를 구축하거나 유지관리시스템과 연계하여 요구정보를 반영할 수 있다는 것을 의미한다. 예를 들면, 계장설비의 운전 및 관리 항목에서 “각종 계장기기류의 점검기준, 보수 및 점검 요령”은 패밀리 구축을

통해 각종 계장기기를 모델링하거나 문서 링크를 통해 요구정보를 반영할 수 있다.

이러한 일련의 부합성 평가 결과, 지침에서 요구하는 데이터의 상당부분이 시공 이후의 커미셔닝 단계에서 기입될 필요가 있는데 자산모델링의 성과품이라 할 수 있는 COBie의 특성상 이러한 커미셔닝 단계에서 입력할 데이터 항목이 부족함을 알 수 있었다. 또한 하수처리장과 연관된 주요 단위시설 및 기자재에 대한 패밀리 확충과 추가적인 IFC 개발, 그리고 유지관리시스템과 연계하여 활용도를 높일 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 하수처리시설 유지관리시스템과 COBie 비교

KMS 일부 항목인 시설물관리, 자산관리와 COBie와의 부합성 조사 결과는 Tables 4~7와 같다. Table의 Heading 부분은 현재 실무에서 사용되는 시스템상의 데이터 항목이며, 이를 COBie와

맵핑하기 위해서 필요한 해당 워크시트(Sheet), 필드(Column), 해당 필드가 없을 경우 추가할 필요가 있는 필드(User Defined), 그리고 관련 IFC를 보여준다.

예를 들면, 시설물관리의 시설물명은 Facility 워크시트의 Name 필드를 사용하면 되고, 이는 IfcLabel에 포함되어 있다. 또 다른 예는, 자산관리의 구축물에서 취득수량은 Attribute 워크시트에 AcquisitionQuantity (가칭)을 추가하고 이를 IfcQuantityCount 와 연계하면 될 것으로 제시하였다. 이러한 KMS와 COBie, IFC와의 맵핑 결과를 살펴보면, 현재 IFC 4.0 버전은 KMS내의 요구정보 항목을 대다수 포함할 수 있는 체계를 제공하고 있는 반면 COBie에서는 요구정보 항목의 맵핑이 제한적이어서 User Defined를 통해 새로운 필드를 추가할 필요가 있음을 알 수 있다. 특히, 부지정보를 설명하는 필드가 상당히 부족한 것을 알 수 있다. KMS에서 자산으로 정의하여 관리하고 있는 부지, 구축물, 기계장치의 유지관리

Table 4. Comparison Between KMS Facility Management Data Requirement and COBie Data

Facility	COBie Mapping			
Heading	Sheet	Column	User Defined	IFC
Number	Attribute	-	FacilityNumber	n/a
Management Number	Attribute	-	Management Number	n/a
Name	Facility	Name	-	IfcLabel
Category	Facility	Category	-	IfcText
Address	Attribute	-	FacilityAddress	IfcAddress
Manage. Authority	Contact	GivenName	-	IfcActor
Owner	Contact	GivenName	-	IfcActor
Completion Date	Attribute	-	CompletionDate	IfcDate
Warranty Expiration Date	Attribute	-	Warranty ExpirationDate	IfcDate
Design Period	Attribute	-	DesignPeriod	IfcTimePeriod
Designer	Contact	GivenName	-	IfcActor
Construction Period	Attribute	-	Construction Period	IfcTimePeriod
Constructor	Contact	GivenName	-	IfcActor
Total Cost	Attribute	-	TotalCost	IfcCostValue
Supervision Period	Attribute	-	Supervision Period	IfcTimePeriod
Supervisor	Contact	GivenName	-	IfcActor
Owner	Contact	GivenName	-	IfcActor
Supervisor	Contact	GivenName	-	IfcActor
Project Name	Facility	ProjectName	-	IfcProject
Reporting Date	Facility	CreatedOn	-	IfcDate
Drafter	Facility	CreatedBy	-	IfcActor
Remarks	Facility	Description	-	IfcText

Table 5. Comparison Between KMS Land Information and COBie Data

Asset	COBie Mapping			
Heading	Sheet	Column	User Defined	IFC
Asset Code	Component	AssetIdentifier	-	IfcIdentifier
Acquisition Date	Attribute	-	Acquisition Date	IfcDate
Acquisition Quantity	Attribute	-	Acquisition Quantity	IfcQuantityArea
Acquisition Unit Price	Attribute	-	Acquisition UnitPrice	IfcCostValue
Aquisition Price	Attribute	-	AquisitionPrice	IfcCostValue
Unit	Attribute	-	Unit	IfcAreaMeasure
Expected Life	Type	ExpectedLife	-	IfcDuration
Manufacturer	Attribute	Manufacturer		IfcElement
Site	Attribute			n/a
Grade	Type	Grade	-	IfcLabel
Location Code	Attribute	-	LocationCode	IfcLabel
Remarks	Attribute		Description	IfcText
Owner	Attribute	-	Owner	IfcActorSelect
Use	Attribute	-	Use	IfcElement
Site Type	Attribute	-	SiteType	n/a
Registration Date	Attribute	-	Registration Date	IfcSite
Registration Number	Attribute	-	Registration Number	IfcSite
Site Description	Attribute	-	SiteDescription	n/a
Official Land Value	Attribute	-	OfficialLand Value	IfcCostValue
Site Location	Attribute	-	SiteLocation	IfcLabel
Site Number	Attribute	-	SiteNumber	IfcText

Table 6. Comparison Between KMS Structures and COBie Data

Asset	COBie Mapping			
	Sheet	Column	User Defined	IFC
Asset Code	Component	AssetIdentifier	-	IfcIdentifier
Acquisition Date	Attribute	-	Acquisition Date	IfcDate
Acquisition Quantity	Attribute	-	Acquisition Quantity	IfcQuantity Count
Acquisition Unit Price	Attribute	-	Acquisition UnitPrice	IfcCostValue
Acquisition Price	Attribute	-	AcquisitionPrice	IfcCostValue
Current Value	Attribute	-	CurrentValue	IfcCostValue
Expected Life	Type	ExpectedLife	-	IfcElement
Manufacturer	Type	Manufacturer	-	IfcElement
Grade	Type	Grade	-	IfcLabel
Location Code	Attribute	-	LocationCode	IfcLabel
Remarks	Component	Description	-	IfcText
Amount	Attribute	-	Amount	IfcQuantity Count
Measure	Attribute	-	Measure	IfcCount Measure
Size	Type	Size	-	IfcElementType
Category	Type	Category	-	IfcElementType
Material	Type	Material	-	IfcMaterial Definition
Address	Attribute	-	Address	IfcAddress

항목은 Tables 4~7에서 제시하는 맵핑 방법과 속성 추가를 통해 COBie 자산모델을 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

국내 하수처리시설은 양적, 질적 수준에 비해 운영 및 유지관리에 대한 관심이 부족하며 사회기반시설임에도 불구하고 자산관리를 폭넓게 적용하지 못하고 있는 실정이다. 또한 하수처리와 연계된 주요 공종 별 관련 기자재에 대한 유지관리 업무 외에 처리공정의 품질관리와 연계된 프로세스 운영관리 업무를 포함하고 있어 일반적인 시설물 유지관리와 비교하여 생산설비와 프로세스 관리와 연계된 업무가 있다는 점에서 차별화된다. 이와 같은 이유로 국내 공공하수처리시설에 적합한 BIM 기반 유지관리시스템 개발을 위해 먼저 하수처리시설 BIM 적용 해외 사례를 분석하고 BIM 기반 하수처리 시설 유지관리의 필요성을 실무자와의 인터뷰를 통해 조사하였다. 다음으로 현행 공공하수도시설 운영·관리 업무지침 및 실제 유지관리시스템을 분석하고 BIM 기반 유지관리를 위한 요구정보 수집체계로 사용되는 COBie 정보의 부합 수준을 평가하였다.

5.1 공공하수도시설 운영·관리 업무지침과 COBie 비교

공공하수도시설 운영·관리 업무지침을 살펴보면 크게 공통,

Table 7. Comparison Between KMS Mechanical Product and COBie Data

Asset	COBie Mapping			
	Sheet	Column	User Defined	IFC
Asset Code	Component	AssetIdentifier	-	IfcIdentifier
Acquisition Date	Attribute	-	AcquisitionDate	IfcDate
Acquisition Quantity	Attribute	-	Acquisition Quantity	IfcQuantity Count
Acquisition Unit Price	Attribute	-	Acquisition UnitPrice	IfcCostValue
Acquisition Price	Attribute	-	Acquisition Price	IfcCostValue
Current Value	Attribute	-	RemainingPrice	IfcCostValue
Expected Life	Type	ExpectedLife	-	IfcElement
Manufacturer	Type	Manufacturer	-	IfcElement
Grade	Type	Grade	-	IfcLabel
Location Code	Attribute	-	LocationCode	IfcLabel
Remarks	Component	Description	-	IfcText
Installation Place	Component	Space	-	IfcSpatial Element
Amount	Attribute	-	Amount	IfcElement Quantity
Name	Component	Name	-	IfcLabel
Measure	Attribute	-	Measure	IfcCount Measure
Type	Attribute	-	Type	IfcElementType
Size	Type	Size	-	IfcElement
Use	Attribute	-	Use	IfcElement
Model Number	Type	ModelNumber	-	IfcLabel

운영관리, 유지관리로 나눌 수 있으며 운영단계에서의 요구정보 항목은 Fig. 4와 같다. 유지관리 요소를 제외한 다수의 요소는 운영단계에서 요구되고 기입 가능한 정보일 뿐 만 아니라 BIM 모델링이 불가능한 항목들이다.

따라서 설계·시공단계에서 축적된 정보를 운영단계에 사용하고자 하는 COBie와의 목적에는 적합하지 않으므로 부합성 평가에서 제외시켰으며 평가의 척도는 만족(S), 제한(L), 연계(C) 세 가지로 구분해 평가를 진행하였다. 부합성 평가 이외에도 책임 할당 매트릭스(Responsibility Assignment Matrix)를 통해 각 단계 별 COBie 프레임워크를 입력하고 입력된 데이터의 책임을 판단할 주체를 알 수 있다.

Table 3을 살펴보면 다수의 데이터가 커미셔닝과 운영단계에서 입력되어야 하며 평가의 척도는 L과 C가 상당부분 차지하고 있었다. 이는 현재의 COBie로는 하수처리시설과 같은 프로세스 기반 시설물의 유지관리를 함에 있어 어느 정도 제약이 따를 것으로 보여 지고 운영자의 추가적인 요구정보 항목이 필요하다는 것을 알 수 있다. 또한 하수처리시설과 관련된 각종 기계 및 시설 등의 라이브러리 구축과 구체적인 IFC 개발이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

5.2 하수처리시설 유지관리시스템과 COBie 비교

KMS는 Table 2와 같이 인사관리, 급여, 예산, 회계관리, 자산, 자재관리 등의 정보를 관리하는 기업의 ERP (Enterprise Resource Planning) 시스템 역할을 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 시설물관리와 자산관리 항목만을 한정지어 COBie와의 부합성 평가를 실시하였고 결과는 Tables 4~7과 같다. 표를 살펴보면 현재 실무에서 사용되는 시스템상의 데이터 항목인 Heading과 이에 해당하는 COBie 워크시트 및 필드, 해당 항목이 없을 경우 COBie에 추가할 필요가 있는 User Defined, 관련 IFC를 보여준다. KMS와 COBie, IFC와의 비교 결과를 분석하면 현재 IFC 4.0은 KMS내의 요구정보 항목을 포함할 수 있는 체계를 마련하고 있는 반면 COBie에서는 User Defined를 통해 새로운 필드를 추가할 필요가 있음을 알 수 있다. 즉, 현재 COBie에서 제시하고 있는 항목(Column) 이외에 Tables 4~7에서 제시하고 있는 User Defined, IFC를 이용해 COBie를 보완하거나 기존 유지관리시스템과의 맵핑에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 BIM 기반 하수처리시설 유지관리시스템 개발을 위한 기초연구로 COBie 정보가 현행 공공하수도시설 운영·관리 업무 지침 및 실제 유지관리시스템에 활용 가능 여부, 즉 부합 수준을 평가하는 것이며 본 연구를 진행함에 있어 도출된 한계점으로 건축분야에서의 BIM의 활용과 데이터 관리에 있어 다양한 연구 및 각종 패밀리의 구축이 진행되고 있는 반면 공공 Infra 분야에서는 BIM 활성화 지연으로 정보 표준이 미비하거나 데이터 관리에 대한 관심이 부족하다. 또한 하수처리시설을 포함한 플랜트 산업에 적합한 패밀리가 구축되어 있지 않고 COBie를 건축분야 외의 산업에서 사용하기에는 부족한 점이 많다. 추후 연구방향으로는 하수처리시설에 이용되는 다양한 구축물, 기계장치 등의 패밀리를 구축하고 구축된 패밀리와 IFC 연계, 유지관리시스템과의 맵핑에 대한 연구를 진행할 계획이다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 교육과학기술부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과입니다.

References

AEC3 and East, E. W. (2010). "Construction operations building information exchange (COBie): Version 2.40 update." National Institute of Building Sciences.

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." *Journal of The Architectural Institute of Korea, Architectural Institute of Korea*, Vol. 28, No. 11, pp. 133-142 (in Korean).

Autodesk white paper (2012). "Using the COBie2 add-in demonstration

application for autodesk revit." Autodesk.

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.

Busan Environmental Corporation (2012). *2012 Management achievement report* (in Korean).

East, B. and Carrasquillo-Mangual, M. (2013). *The COBie guide: A commentary to the NBIMS-US COBie standard*, ERDC.

East, E. W. Nisbet, N. and Liebich, T. (2013). "Facility management handover model view." *J. of Comp. Civil Engr., ASCE*, Vol. 27, No. 1, pp. 61-67.

Richardson, K. (2012). "A technology trifecta : LiDAR, BIM, and GIS converge to bring business efficiencies to milwaukee metropolitan sewerage district." *LiDAR Magazine*, ESRI, Vol. 2, No. 6.

Jo, M. Y. et al. (2008). *Development of framework and policy for KTAM-40, Research Report*, KICT; 2008-0110, Korea Institute of Construction Technology (in Korean).

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 Modelling*, 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." *Journal of The Architectural Institute of Korea*, Vol. 28, No. 5, pp. 33-42 (in Korean).

Medellin, K., Dominguez, A., Cox, G., Joels, K. and Billante, P. (2010). "University health system: A case study." *Proc., COBie Case Studies and Innovations Workshop*, National Institute of Building Sciences, Washington, DC.

Ministry of Environment (2013). Operation and management guideline for public wastewater treatment plant, Ministry of Environment (in Korean).

Moon, S. W., Kim, S. D. and Park, M. K. (2011). "Application of a 3D graphic model for bridge maintenance." *Korea journal of Construction Engineering and Management, Korea Institute of Construction Engineering and Management*, Vol. 12, No. 2, pp. 64-71 (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.

Park, H. J. (2011). *Cost analysis and operation management on private-public partnership project of sewage treatment facility in view of infrastructure asset management*, Ph.D., Chung-Ang University (in Korean).

Won, J. S., Joo, K. B. and Jo, K. H. (2013). "Development method of BIM data modelling guide for facility management: Focusing on building mechanical system." *Korean journal of air-conditioning and refrigeration engineering, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, Vol. 25, No. 4, pp. 216-225 (in Korean).

Yoon, J. H. (2012). "2050 wastewater future vision research areas." *Water Journal*, pp. 40-47 (in Korean).