



시멘틱 웹을 활용한 BIM기반 유지보수 업무 우선순위 관리 자동화 방안

Automated Priority Management for BIM-based Maintenance Work using Semantic Web

저자 (Authors)	김가람, 유정호 Kim, Ka-ram, Yu, Jung-ho
출처 (Source)	대한건축학회 논문집 - 계획계 33(1) , 2017.1, 53-61 (9 pages) JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design 33(1) , 2017.1, 53-61 (9 pages)
발행처 (Publisher)	대한건축학회 ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA
URL	http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07099238
APA Style	김가람, 유정호 (2017). 시멘틱 웹을 활용한 BIM기반 유지보수 업무 우선순위 관리 자동화 방안. 대한건축학회 논문집 - 계획계 , 33(1), 53-61.
이용정보 (Accessed)	광운대학교 223.194.6.*** 2018/03/26 16:52 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독 계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

시멘틱 웹을 활용한 BIM기반 유지보수 업무 우선순위 관리 자동화 방안

Automated Priority Management for BIM-based Maintenance Work using Semantic Web

김 가 램* 유 정 호**
Kim, Ka-ram Yu, Jung-ho

Abstract

To efficiently operate and maintain a facility, an information management system has to consider the limitations of resources and labors for the facility management (FM) and characteristics of a facility to support various practical maintenance works. However, there are some potential problems to access the required data on the system as following: 1) lacks of usability and accessibility of building information modeling (BIM)-based FM information, 2) decision making process of the maintenance work priority performed by a facility manager with subjective perspective, and 3) the constraint conditions of maintenance works are frequently changed. Therefore, this study proposed an approach of BIM-based priority management for maintenance works using semantic web. To that end, an ontology has developed to link the BIM objects and maintenance work information with facility condition index, and the ontology-based priority management process is suggested. Using the proposed approach, facility managers will be able to increase their efficiency in managing the work priorities considering the BIM objects. This study will contribute to increasing the usability and accessibility of BIM in the FM area, in providing integrated FM information using a semantic web.

키워드 : 시설관리, 우선순위, 건축물 정보 모델링, 시멘틱 웹

Keywords : Facility Management, Work Priority, Building Information Modeling, Semantic Web

1. 서 론

건물 또는 시설물의 효율성을 향상시키기 위하여 건물의 서비스 수준을 유지하고 향상시키기 위한 시설관리(Facility Management; FM)는 건물의 전 생애주기에 걸쳐 기획 및 설계단계에서 계획되고, 사용단계에서 수행되며, 통상적으로 건축물의 수명에 따라 수십 년에 걸쳐 지속적으로 관리된다. 이러한 시설관리는 건설, 공학, 경영, 행동과학 등 다양한 분야의 지식을 활용하여 개인 및 조직의 업무와 물리적 업무환경을 조화시킴으로써 시설관리와 관련된 업무의 생산성을 증대함과 더불어 시설물에 포함되어 있는 자산의 효율적 관리를 통해 그 가치의 극대화를 추구한다.

효과적인 시설관리를 위해서는 관리 대상이 되는 건축물에 대한 경제적 가치, 사회적 가치, 기능적 가치 등의 세 가지 빌딩 가치를 종합적으로 고려해야 한다 (Kim &

Jeong, 2004). 이에 따라, 시간적·경제적 제한조건을 고려하여 시설관리 업무에 관련되는 공간과 시설을 최적화함으로써 해당 건축물을 사용하는 개인이나 조직의 다양한 요구를 충족하여 이들이 추구하는 가치를 극대화 할 수 있다. 또한, 지속적으로 변화하는 요구조건이나 노후화에 따른 공간 및 부재의 성능을 효과적으로 유지관리하기 위해서는, 유지보수 업무에 대한 효율적인 관리체계와 이를 지원하기 위한 정보관리 방법이 요구된다.

일반적으로 시설물의 유지관리는 관리대상 공간 및 자산의 용도와 특성을 고려하여 적절한 수준을 채택하고, 이를 기반으로 유지관리 수요와 서비스에 대한 공급에 대한 균형을 유지하여 우선적으로 수행되는 유지보수 업무와 유보되는 업무의 의사결정을 수립하여야 한다 (Shin, 2015). 하지만, 유지보수 업무에 대한 계획 및 관리과정에서 해당 공간 및 자산에 대해 요구되는 유지보수 업무의 중요도와 우선도를 선정하는 과정에서 공간의 용도와 조직의 입장에 따라 자원배분 원칙과 절차의 일반화, 적용의 일관성 확보에 많은 어려움이 있다.

한편, 건축물 정보의 표현방법에 있어 2D기반의 평면적인 표현방법으로는, 건축물의 개별 구성부재에 대한 다양한 속성정보의 표현이 제한적이라는 기술적 한계로 인하여, 2D기반의 건축물 정보관리는 정보의 부적합성, 누락, 오기 등의 문제가 발생하고 있다. 이에 따라 건축물

* 광운대 대학원, 공학박사
** 광운대 건축공학과 교수, 공학박사
(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Kwangwoon University, myazure@kw.ac.kr)
본 연구는 2014년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임. (NRF-2014R1A2A2A05006437)

의 전 생애주기 동안 생성되는 정보와 관련 절차를 통합적으로 관리하여 업무 효율성을 극대화하는 기술이자 프로세스로서, 3D기반 객체모델을 활용한 협업체계를 구축하고 설계 초기단계부터 건축물 관련 정보의 통합관리를 통한 최적의 효과를 획득하는 것을 추구하기 위해 BIM (Building Information Modeling)이 2000년대 중반부터 전 세계적으로 건설 산업 전반적으로 적용되기 시작하였다 (Kim, 2016).

이에 따라, BIM기반 건축물 정보관리는 해당 건축물을 구성하고 있는 공간과 부재에 대한 성능 및 상태 정보를 국제 표준 데이터 스키마 중 하나인 IFC (Industry Foundation Classes) 스키마에 따라 상호 연계된 데이터 구조를 제공하게 된다 (Pauwels and Roxin, 2016). 이에 따라, 각 공간 또는 부재 객체를 기반으로 관련된 속성정보들을 유기적으로 관리할 수 있으며, 시설관리와 관련된 업무를 수행하는 과정에서 요구되는 정보를 MVD (Model View Definition)로 정의하여 IFC기반 BIM 모델과 함께 COBie (Construction Operation Building Information Exchange) 데이터시트와 함께 시설관리 업무를 위한 BIM 기반 요구정보로 활용될 수 있다 (East et. al., 2013).

하지만, 현재 운영단계에서의 유지보수 업무관리 과정에서 체계적인 유지보수 업무를 계획 및 관리하는데 있어 다음과 같은 한계점이 있다. 첫째로, 운영단계에서의 유지보수 업무에 대한 정보관리는 해당 시설관리 조직 또는 관리대상 건축물의 특성에 따라 그 목적과 방법이 매우 다양하게 구축되기 때문에, 데이터의 구조나 연계 활용을 위한 표준적인 체계가 미비하다. 둘째로, 유지보수 업무에 대한 계획 및 관리 과정에서 작업별 우선순위 또는 중요도의 판단이 시설관리자의 주관성에 의존되고 있어, 결과의 일관성 및 정확도가 저하되고 있다. 세 번째는 시설관리를 수행하는 조직 및 건축물의 제약조건이 지속적으로 변화함에 따라, 유지보수 업무의 계획 및 관리 기준이나 전략이 수정되어야 하지만, 초기 운영단계에서 구축되는 정보관리 체계가 이러한 제약조건의 변경에 즉각적으로 반영하는데 한계가 있다.

이에 따라, 본 연구에서는 유지보수 업무의 우선순위를 판단하는 과정에서 유지보수 작업정보와 BIM정보간의 연계성 및 결과의 일관성을 확보하기 위해, 시멘틱 웹을 활용하여 IFC객체별 우선도를 유지보수 작업정보와 자동으로 연계하여 관리할 수 있는 방안을 제시한다. 이를 위하여, 운영단계에서의 정보관리 현황을 조사 분석하고, BIM 정보와 유지보수 업무정보를 의미적으로 연계하기 위한 온톨로지를 구축하여, 운영단계에서의 실질적인 BIM정보의 활용 방안을 제시한다. 본 연구에서 제안되는 방안을 검증하기 위하여, 국내의 실제 유지보수 업무 이력 정보를 수집하여, 제안된 방안에 적용하고 이에 대한 활용방안을 제시하고자 한다.

2. 예비적 고찰

2.1 국내 FM 정보관리 동향 분석

현재까지 운영단계에서 정기적 또는 수시 적으로 발생하는 유지보수 업무를 수행하는데 있어 해당 업무와 관련된 건축물 정보의 활용성 및 접근성은 매우 낮은 실정이다. 미국의 Delphi Group에서 수행된 시설관리에서의 정보 활용 동향분석을 위한 설문조사에 따르면, 전체 조사대상의 시설관리자 중에서 약 39%가 하루에 평균 2시간 이상을 적정한 정보를 검색하는 데에만 소비하고 있다는 결과가 나타났다 (Delphi Group, 2002). 이는 관리대상으로 포함되는 정보의 종류 또는 양을 증가시키기 보다는, 해당 유지보수 업무를 수행하는데 있어 요구되는 적정한 수준의 정보에 대한 효율적인 관리 및 제공 방안에 대한 연구개발이 요구되고 있음을 의미한다 (Sandkuhl, 2009).

국내의 시설관리를 전문적으로 수행하고 있는 주요 업체 5개 사의 건축물 유지보수 업무에 대한 업무 방식을 조사한 결과, 다음 표 1과 같이 분석되었다. 먼저, 현재 국내의 FM 업체의 업무수행과정에서는 BIM정보가 사용되고 있지는 않고 있으며, BIM기반의 FM 요구정보가 별도로 관리되고 있는 시설물도 찾아볼 수 없는 실정이다. 따라서 거의 모든 업무가 2D기반의 종이 또는 전자 문서를 활용하여 수행되고 있었으며, 관련 정보관리 시스템 (Facility Management System; FMS)은 전체 시설물의 모든 업무에 반영되지 않고 일부 업무 또는 기계 및 설비등과 같은 특정 분야에만 국한되어 사용되고 있는 실정이며, FMS에 입력되는 데이터도 대부분이 작업자가 직접 입력한 데이터가 전산화되어 관리되고 있는 실정이다.

Table 1. Trend of information management in Korean FM companies

Company	BIM	Using FMS	Managing maintenance work records
Co. 1	X	Electronic approval	Based on papers with own classification
Co. 2	X	Storing work information	Based on papers with own classification
Co. 3	X	Manual data input on specific DB	Using FMS including work contents and classification
Co. 4	X	Manual data input with attached files	Using FMS including work contents and classification
Co. 5	X	Manual data input on specific DB	Using FMS including work contents and classification
Proposed approach	O	Link to BIM objects	Based on BIM objects by space and building element

또한, FMS를 통해 관리되고 있는 작업정보는 크게 정기 작업과 수시 작업으로 구분될 수 있으며, 정기 작업은 각각 작업의 유형과 특성을 고려한 분류체계에 따라 설비 (기계/전기/방재 등) 및 건축 등의 파트로 구분되고, 대상 장비의 유형과 수행 주기에 따라 그 작업에 대한 점검항목 및 방법 등을 표준화 하여 해당 업체의 표준작업 기준을 자체적으로 구축하여 실무에 적용하고 있다. 수시 작업에 대해서는 수시로 발생하는 유지보수 업무에 대하여 작업유형과 대상 설비 및 장비에 대하여 분류하고, 작업내용, 작업인원, 작업시간 등을 FMS에 전산화하여 해당 시설물에서 발생하는 모든 작업 실적을 관리하고 있다. 하지만, 여기서 관리되고 있는 유지보수작업 실적에 대한 데이터는 구체적인 작업내용이나 작업에 대한

위치 및 대상 공간 등이 따로 관리되고 있지 않고 있다. 이에 따라, 전체 시설물에서 현재 작업 중인 공간을 전반적으로 검토하거나, 특정 작업에 대한 업무대상 객체의 확인에 한계가 발생하게 된다. 이러한 사항들은 모두 작업자 또는 시설물 관리자의 경험과 숙련도에 크게 좌우될 수 있으며, 데이터기반의 작업 실적 분석 및 해당 작업에 요구되는 시설물 정보획득에 큰 어려움이 발생하고 있다.

초기 운영단계에서 BIM기반의 건축물 정보가 확보되었을지라도, 운영단계에서 해당 BIM정보를 관리할 수 있는 정보관리 체계 또는 환경이 마련되어 있지 않거나, BIM기반 건축물 정보가 유지보수 업무관리를 위한 정보시스템과 연계되어 있지 않아, BIM 정보를 단순한 3D기반의 가시화 표현을 위한 참조용 정보로만 활용하는 것이 일반적이다. 예를 들어, 설계 및 시공단계에서는 건설사업이 진행됨에 따라 발생하는 변경사항이나 정보의 추가적인 생성이 BIM기반 건축물 정보 저작도구(Revit 또는 ArchiCAD)를 통하여 IFC기반 BIM 모델에 국제표준을 고려한 데이터체계로서 반영되기 때문에 종합적으로 검토가 가능하다. 하지만, 운영단계에서는 건축물 정보가 추가적으로 생성되는 빈도가 낮고 수십 년 이상 지속되는 운영단계에서 BIM저작도구를 활용하여 BIM모델을 수정하는 경우가 많지 않기 때문에, 일반적으로 BIM정보를 활용하기 위한 공통 데이터 모델이 구축되어 있지 않다. 이에 따라, 현재 국내외 운영단계에서 실무적으로 BIM기반의 객체 정보를 유지보수 업무 정보와 연계하여 효과적으로 활용하는 것이 매우 어려운 실정이다.

한편, 일반적으로 유지보수 계획은 한정된 자원과 예산이라는 제약조건이 있는 환경에서 수립되고 있으며, 이러한 제약조건이 지속적으로 변화되기 때문에, 일반화된 기준을 구축하고 이를 기반으로 유지보수 업무를 계획 및 관리하는데 많은 어려움이 있다. 예를 들어, 해당 건축물을 사용하고 있는 조직의 운영규모나 구성이 변화함에 따라 기존에 사용하고 있는 공간의 배치나 용도가 변경되는 경우가 빈번하게 발생한다. 이에 따라 하나의 사무공간에 칸막이벽이 새로 설치되어 여러 공간으로 나뉘게 되면, 기존의 공간별 유지보수 업무계획이 전반적으로 수정되어야 하며, 유지보수업무에 대한 소요자원 및 다양한 제약조건이 변경되어 정보시스템에 반영되어야 한다. 하지만, 초기 운영단계에서 수립한 유지보수 업무관리에 대한 정보관리 체계를 수시 적으로 변경 구축하는 것은 많은 비용과 비효율성을 수반하는 과정이기 때문에, 유지보수 업무의 계획 및 관리와 관련하여 일반적인 기준이나 데이터 체계를 구축하는데 많은 한계가 있다.

또한, 사용하고 있는 공간의 용도 및 사용성이 변경됨에 따라, 공간의 유지보수 특성 및 중요도가 달라지는 경우가 발생할 수 있으며, 건축물을 구성하고 있는 부재의 노후화에 따른 성능 저하 및 수시 적으로 발생할 수 있는 손상 등으로 인하여 부재에 대한 유지보수 우선순위와 긴급도가 정기적 또는 수시적으로 수행되는 상태평가에 따라 다르게 측정될 수 있다. 일반적으로 건축 부재에

대한 노후화는 특정한 이상이나 기능저하가 가시적으로 확인되지 않는 이상, 해당 부재의 상태를 정확하게 측정하는 데에 많은 어려움이 있다. 예를 들어, 건축 마감재의 특정 시점에서 수행된 상태평가에 따라 특정 공조기의 유지보수 우선순위와 긴급도 상대적으로 낮게 산정되었을 지라도, 운영 과정 중에서 급작스러운 이상 또는 결함이 발견되어 해당 설비객체의 유지보수와 관련된 우선순위와 긴급도가 대폭 상승하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우, 기존에 수립되었던 유지보수 업무의 우선순위가 변경되고 이에 대한 이력이 관리되어야 하지만, 현재의 시설관리를 위한 정보시스템에서는 시설관리자의 주관적 판단에 따라 자산 객체별 유지보수 우선순위 및 긴급도가 관리되고 있어, 일관성 및 정확성이 저하될 우려가 발생하고 있다.

2.2 유지보수 업무의 우선순위 산정 방법론 고찰

한편, 이러한 자원과 예산 등의 제약조건을 고려하여 유지보수 업무의 우선순위 및 중요도를 판단하는 과정이 해당 건축물의 시설관리자 주관적인 경험과 판단에 의존적으로 수행되고 있다. 이에 따라서, 유지보수 업무의 우선순위를 판단하거나 중요도를 결정할 때 일관성이 확보되지 못하는 경우가 빈번하게 발생할 수 있으며, 관련 표준 및 기준이 수립되지 않아 유지보수 업무 계획수립의 품질이 저하되는 한계점이 발생한다. 이에 따라 국내외 AEC (Architecture, Engineering, and Construction) / FM산업에서 건축물 유지보수 계획 수립 및 관리를 위한 우선순위 분석 방법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 먼저, 한국건설기술연구원에서는 공공시설물 유지관리의 효율성을 증대하고 예방적 유지관리를 실현하기 위한 종합적인 자산관리체계를 도입하기 위하여 공공시설물의 자산관리업무를 지원하기 위한 KTAM-40의 정보시스템을 개발하였다 (Seo et. al., 2010). KTAM-40은 자산관리 정책 및 전략을 수립하고, 이를 기반으로 설정된 서비스 수준 (Level of Service; LoS)에 따라 보유 자산에 대한 현황 및 성능을 조사하여 최적화된 운영계획을 세우기 위한 정보시스템으로 개발되었다. 여기서 KTAM-40은 LoS를 평가하는 과정에서, 해당 자산의 상태를 표현하기 위한 품질, 비용적인 측면을 표현하기 위한 경제적 유용성, 지속가능성을 표현하기 위한 환경적 지수, 사용자의 요구에 대응되는 기능의 정도를 표현하기 위한 사회적 지수 등의 네 가지 사용자 가치를 정량화 하여 시설물별 사용자 가치에 대한 가중치를 산정한다. 또한, 시설물에 대한 유지관리조치의 우선순위를 산정하기 위하여, 시설물에 대한 공학적 가치 (성능)의 변화와 유지관리조치에 소요되는 예산을 고려하여 우선적으로 조치되어야 하는 시설물을 판별하는데 활용하고 있다.

또한, 교육시설을 대상으로 유지관리 서비스에 대한 재원을 효과적으로 배분하기 위한 의사결정을 위하여 교육시설에 대한 유지관리 우선도를 산정하기 위한 방안이 연구개발 되었다 (Shin, 2015). 이를 위해 현행 교육시설의 재원신청과 심사절차를 분석하여 우선순위 선정에 영

향을 미치는 상태지수 (Public Facility Condition Index)를 유지관리 서비스 우선도의 기준으로 설정하고, 유보된 자산의 중요도와 내구연한, 개보수 이력 등의 시설물 관련 정보를 재원투입의 기준으로 설정하여 재원배분 우선도 선정방안을 제시하였다. 여기서 도출된 우선도 선정에 위한 유지관리 서비스 수준인지는 요인은 요구대응성, 안전성, 적합성, 기능성, 경제성 등의 5가지 요인으로 도출되었다.

한편, 유럽의 TWPL (The Woodhouse Partnership Limited)에서 다수의 시설물 군별로 전체의 유지관리와 관련한 다양한 계획을 수립하는데 있어 고정비용, 개보수 비용, 대체비용, 보험 등의 시설자산 운영과정에서 수행되는 전체적인 액티비티를 지원하기 위한 솔루션으로 SALVO (Strategic Assets Lifecycle Value Optimization)를 개발하였다 (Alex, 2011). SALVO에서는 자산에 대한 확인 과정에서 공통의 유형, 특성 및 우선도에 따라 해당 자산들을 그룹화 하여 관리하게 된다. 이에 따라, 다음 그림과 같이, 보유 자산의 전체 항목을 스펙트럼으로 구성하고, 여기서 유사한 유형 및 특성을 갖게 되는 자산을 묶어서 초기 그룹으로 구성한다. 그리고 해당 자산에 대한 그룹들을 중요도와 긴급도를 고려한 그래프에 배치하여 우선적으로 조치해야할 자산들의 리스트를 선정하게 된다. 여기서 해당 자산의 중요도는 자산의 가치와 상태평가로부터 도출된 상태 지수 및 성능 값을 고려하여 선정된다. 또한, 자산의 긴급도는 자산의 상태 (상태평가의 결과 및 현재 성능 값)와 해당 자산의 노후화 정도, 유지보수에 대한 비용 / 리스크 / 성능 등에 대한 값이 표준화되어 반영된다.

하지만, 앞에서 언급된 시설물 유지관리 서비스 제공을 위한 우선순위 산정 방법론들은 모두 시설물 레벨에서의 구조적·기능적 상태를 평가하여 해당 시설물의 중요도 및 유지보수 재원에 대한 평가가 이루어지고 있다. 이에 따라서, 단위 시설물에 포함되어 있는 공간 및 부재 객체에 대한 유지보수 업무별 우선도 및 중요도의 산정과정은 모두 해당 시설관리자의 주관적 판단에 의존하고 있는 경우가 대부분이며, 이를 위한 시설물 관련 정보의 효율적인 관리체계가 미비하여 공간 및 부재객체를 기반으로 수행되는 상태평가에 대한 정보가 체계적으로 관리되기 위한 환경이 제공되지 못하고 있는 실정이다.

3. 유지보수 우선순위관리를 위한 시멘틱 웹의 활용

3.1 온톨로지의 개요

BIM기반의 건축물 정보관리가 건설산업에 전반적으로 응용되면서, 객체기반의 물리적 및 기능적 요소들에 대한 속성정보가 BIM모델에 포함되기 시작하였으며, 이는 각 객체의 매개변수 (Parameter)를 통해 객체기반의 속성정보로 정의하게 되었다. 이에 따라 다양한 엔지니어링 분석 과정에서 BIM기반의 속성정보가 생성 및 관리되고 있으며, 이는 객체를 중심으로 다양한 데이터가 IFC 스키마에 따라 상호 연계되어 다양한 업무에 활용될 수 있음을 의

미한다. 이에 따라, 운영단계에서의 다양한 정보를 통합적으로 관리하기 위하여 정보 간의 상호 연관관계를 컴퓨터가 추론할 수 있도록 시멘틱 웹을 활용하여 온톨로지를 정의할 수 있다. 온톨로지를 구축하는 것은 건축물 관련 정보를 구성하고 있는 지식체계를 전반적으로 통합하고, 이를 종합적으로 관리하는 과정을 컴퓨터가 이해할 수 있는 코드화 된 관계로 정의함으로써 사용자가 보다 쉽고 체계적으로 정보 및 지식을 관리할 수 있도록 하며, 검색 및 추론과정의 자동화를 통하여 사람의 주관적 판단을 최소화할 수 있는 기반을 제공할 수 있다 (Lima et al., 2005). 또한, 개방형 BIM기반의 국제표준으로 활용되고 있는 IFC 스키마는 객체와 그 매개변수간의 관계를 그대로 온톨로지로 구축하여 용이하게 활용할 수 있으며, 이를 위해 국제빌딩스마트협회에서는 ifcOWL 표준을 제정하여 시멘틱 웹을 활용한 많은 응용기술을 권장하고 있다 (Pauwels & Terkaj, 2016).

3.2 온톨로지를 활용한 우선순위 추론 방안

본 연구에서는 운영단계에서 수시적 또는 정기적으로 발생하는 각 유지보수 업무에 대한 유형을 정의하고, 개별 공간 및 부재에 대하여 수행되는 상태평가의 결과 데이터를 IFC기반 객체 중심으로 관리할 수 있도록 하는 BIM기반 공통 표준 데이터 환경을 구축하기 위한 온톨로지를 구축하였다. 여기서, 온톨로지는 크게 IFC 객체, COBie 데이터, 유지보수 데이터의 세 가지 유형의 입력 데이터로 구성된다. 먼저, IFC기반 객체 데이터는 IFC기반 BIM 모델에 포함되어 있는 건물의 공간적 및 물리적 부재에 대한 객체 데이터를 추출하여 생성되는 유형으로, IFC 스키마에 정의되어 있는 각 객체 유형별 데이터 연관관계를 적용하여 구성하였다.

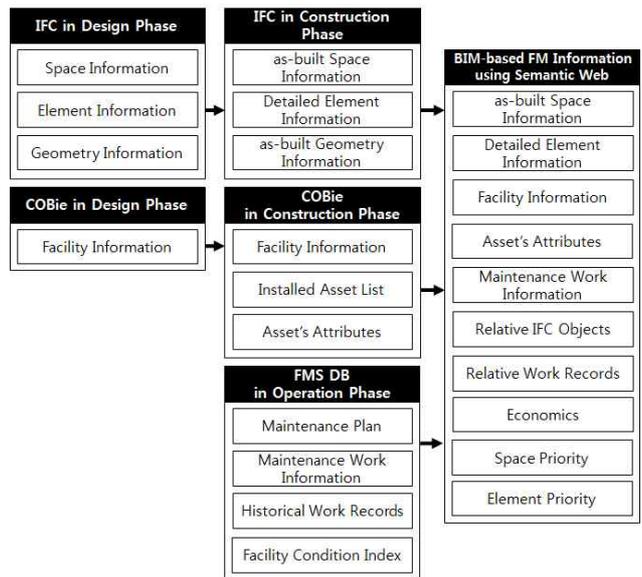


Figure 1. Data types of the FM information ontology

또한, COBie기반 속성데이터는 자산관리의 관점에서 해당 시설물에 포함되어 있는 건물의 구성 요소 및 자산 객체에 대한 속성데이터를 추출하여 생성되는 데이터 유

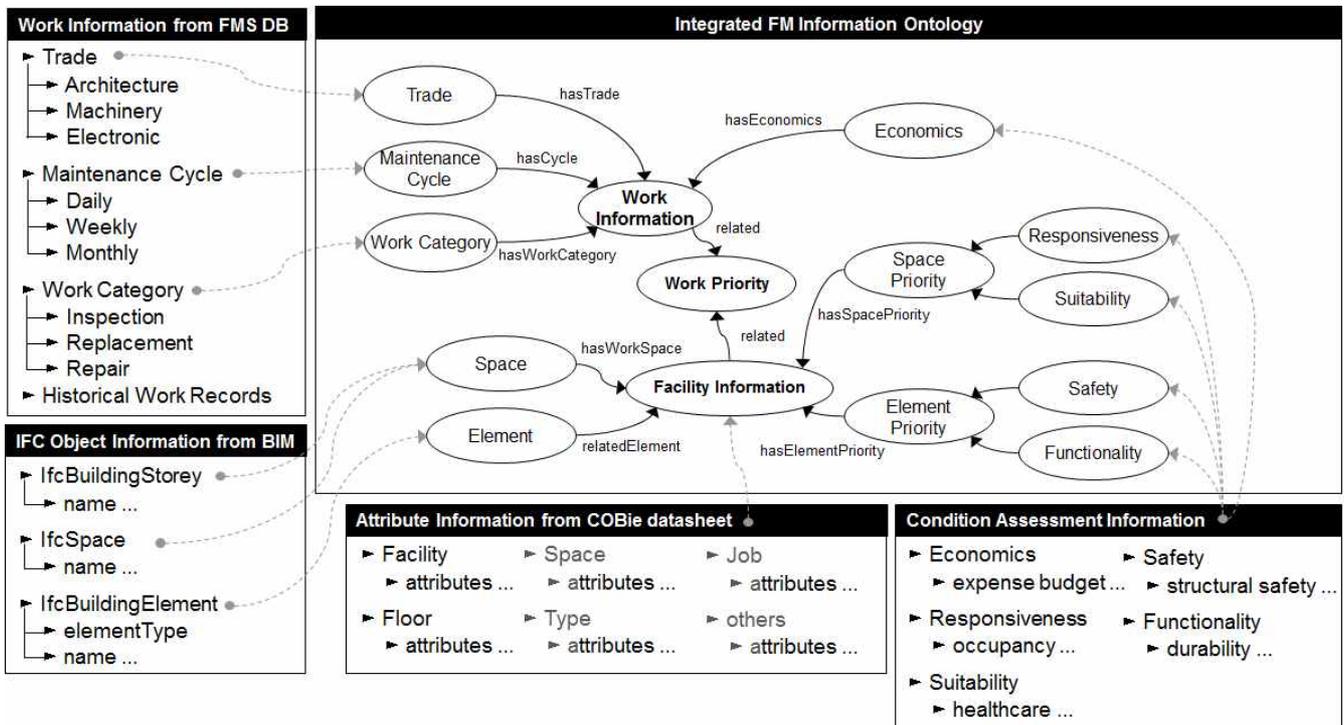


Figure 2. Overall abstract of the integrated FM information ontology

형으로서, 개별 자산객체에 대하여 FMS에서 활용될 수 있는 다양한 속성정보가 포함될 수 있다. 그리고 운영단계의 FMS에서 생성 및 관리되고 있는 유지보수 작업 관련 데이터와 운영과정에서 지속적으로 수집되는 공간 및 객체별 상태평가 데이터로 구성된 유지보수 데이터 유형이 온톨로지에 입력된다. 이러한 세 가지 데이터 유형에 대하여 각 데이터간의 연계성을 고려한 의미적 개념들을 정의하고, 관계정의에 의한 자동화 추론이 가능하다.

본 연구에서 구축하는 온톨로지는 초기 운영단계에서 확보되는 IFC기반 BIM정보와 COBie 데이터를 운영과정에서 지속적으로 생성 및 관리되는 유지보수 작업정보와 연계하는 과정을 자동화 할 수 있다. 먼저, 작업정보(Work Information)는 공종(Trade), 작업주기(Maintenance Cycle), 작업유형(Work Category)등의 세 가지 개념으로 추론된다. 여기서 공종, 작업주기, 작업유형에 대한 클래스를 구성하는 인스턴스는 FMS상에서 관리되는 DB에서 추출되어 활용될 수 있다. 또한, FMS상에서 관리되는 데이터 중에서, 개별 공간 및 부재에 대하여 수행되는 상태평가 정보는 크게 경제성(Economics), 요구대응성(Responsiveness), 적합성(Suitability), 안전성(Safety), 기능성(Functionality)의 다섯 가지 유형¹⁾으로 분류하여 온톨로지의 클래스로 구성하였다. 여기서, 공간에 대한 우선도(Space Priority)는 법·제도 등의 대응성 및 사회·문화적 수용을 위한 공간 활용에 대한 사용자 요구 대응성

과 같은 해당 공간의 유지관리 서비스에 대한 요구대응성과 유지관리의 효과성, 기계·설비·통신 등의 용량에 대한 충분성, 심미성 등의 공간 환경에 대한 사용자 적합성이 고려되어 산정된다. 또한, 부재에 대한 우선도는 해당 부재에 대한 구조적 안전성, 가시적 손상에 대한 대응성, 파손에 의한 사고의 영향도, 하자에 대한 대비등의 항목으로 평가되는 안전성과 해당 객체의 활용성, 고장률, 내구성등으로 평가되는 기능성이 고려되어 산정된다. 마지막으로, 각 유지보수 작업을 수행하는데 있어 소요되는 시간 및 비용과 개·보수 빈도 증가율, 비용 효율성과 같은 항목으로 측정되는 경제성이 작업정보에 고려되어 최종적으로 유지보수 작업의 우선순위가 산정될 수 있도록 관계를 정의하였다 (Figure 2 참조).

또한, FMS에서 관리되고 있는 유지보수 업무정보에 대하여, 해당 업무의 작업범위가 단위 객체를 기반으로 관리될 수 있도록 하기 위하여, 건축물 정보(Facility Information)를 공간(Space)과 부재(Element)로 구성하여 IFC기반 BIM 모델에 포함되어 있는 공간정보와 부재정보를 추출하여 온톨로지에서 활용될 수 있도록 구성하였다. 여기서, 각 객체별로 포함되어 있는 기능적/물리적 속성 정보들이 포함되어 있는 COBie 데이터 시트를 건축물 정보에 참조되도록 하여, 각 IFC 객체 정보가 상태평가 결과 데이터와 함께 고려될 수 있도록 의미적 관계를 구성하였다. 이를 통하여, BIM정보에 포함되어 있는 COBie 기반 자산 객체 또는 IFC 기반 공간 및 부재 객체를 중심으로 유지보수 작업정보를 생성 및 관리함으로써 체계적이고 효율적인 작업관리가 가능할 수 있도록 할 수 있다.

3.3 제안된 온톨로지의 구축 및 활용 방안

1) 본 연구에서는 BIM기반 건축물 정보와 유지보수 작업정보를 연계하여 우선순위를 산정하는 과정을 시멘틱 웹 기반의 자동화 방안을 제시하기 위한 연구로서, 상태평가에 대한 유형 구분과 우선도를 산정하는 방법론은 교육시설 유지관리 서비스 재원 배분 우선도 의사결정 지원모델 (Shin, 2015) 연구에서 인용하였다.

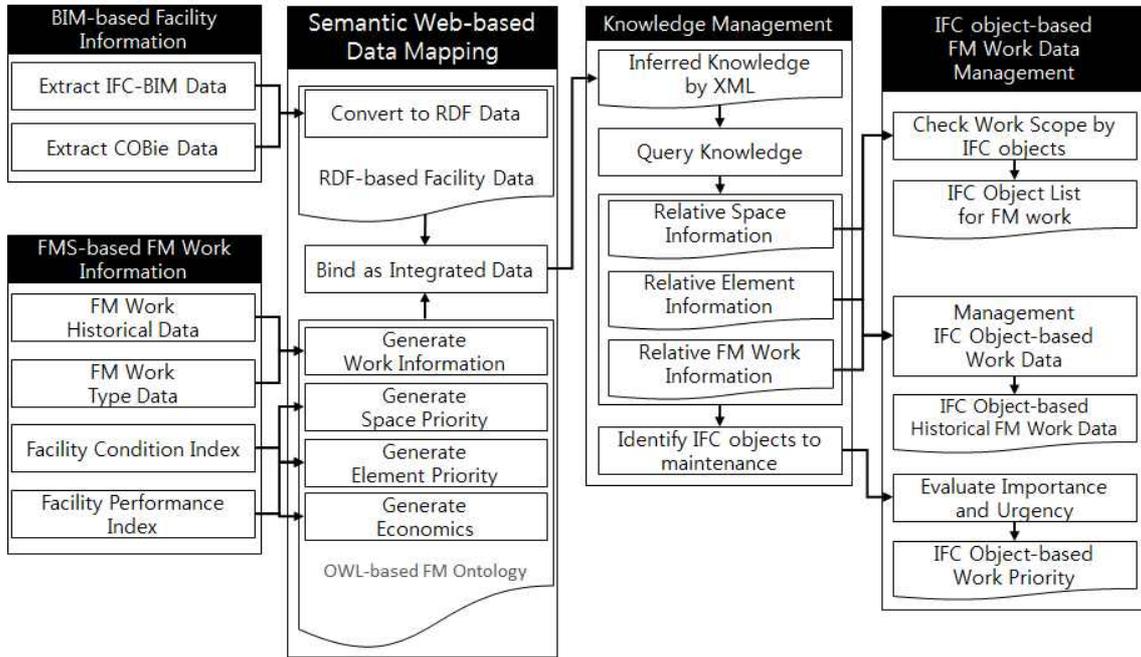


Figure 3. FM data flow in the work process using the proposed ontology

온톨로지를 구축하기 위해서는 유지보수 작업정보를 컴퓨터가 이해할 수 있도록 OWL기반으로 코드화 하여 작업정보에 포함되어 있는 각 지식 및 개념을 클래스와 관계로 정의해야 한다. 이를 위하여, Figure 2에서 작업정보, IFC객체, 우선도를 구성하는 각 개념을 온톨로지의 클래스로 정의하고, 각 클래스간의 관계를 객체 프로퍼티(object property)로 정의한다. 그리고 각 클래스에 포함되는 개별 인스턴스가 갖는 속성 값을 표현하기 위한 데이터타입 프로퍼티(datatype property)를 정의하여 온톨로지를 코드화 할 수 있다. 여기서, OWL기반의 온톨로지 코드화를 위하여 Protege와 같은 온톨로지 구축을 지원하는 소프트웨어를 활용할 수 있다 (Kim, 2016).

이와 같이 구축된 온톨로지를 운영단계에서의 유지보수 업무 우선순위를 산정하는데 활용하기 위한 프로세스는 다음 Figure 3과 같다. 먼저, 온톨로지의 입력 데이터인 IFC기반 BIM 데이터와 COBie 데이터에서 객체기반 속성정보를 추출하여 온톨로지와 결합되기 위한 RDF(Resource Description Framework) 파일로 변환한다. 여기서 RDF는 실재하는 객체의 개념에 대하여 컴퓨터가 이해할 수 있도록 코드화 하여 표현하기 위한 데이터 구조로, 로직 기반의 서술문장 형식으로 서술되며, 기본적으로 RDF 구조는 주어, 목적어, 관계어 등의 세 가지 요소를 갖는 데이터 구조를 갖게 되며, RDF 변환과정은 “IFC to RDF Converter²⁾” 등의 오픈소스로 제공되는 응용 어플리케이션을 통하여 자동 변환할 수 있다 (Pawles and Deursen, 2012).

또한, FMS에서 관리되고 있는 유지보수 업무에 대한 데이터는 유지보수 업무 이력정보와 함께, 공중·작업주

기·작업유형 등의 데이터가 온톨로지의 인스턴스로 생성된다. 여기서 생성되는 인스턴스를 통해 해당 유지보수 업무의 유형을 온톨로지 추론과정을 통해 설정되고, 이와 함께 FMS의 DB에서 추출되는 상태평가 지수 및 성능지수가 공간/객체/업무의 우선도로 산정될 수 있다. 이상의 인스턴스들과 각 클래스 및 클래스간의 관계는 온톨로지를 컴퓨터가 이해하기 위한 OWL 파일로 표현될 수 있으며, 이에 따라, IFC기반 BIM모델과 COBie 데이터 시트에서 추출되어 RDF로 변환된 객체기반 건축물 정보가 온톨로지를 표현하는 OWL 파일과 결합되고 의미적 추론과정을 거쳐 추론된 지식 정보(Inferred Knowledge)가 도출된다. 여기서 도출된 추론 지식정보는 XML(eXtensible Markup Language)형식으로 표현되어, 다양한 정보관리 시스템에서 유용하게 활용될 수 있다.

도출된 추론지식정보에는 해당 유지보수 업무에 대한 대상 공간 및 부재 객체에 대한 정보와 유지보수 작업이력 뿐만 아니라 객체기반의 우선도에 대한 정보가 모두 의미적으로 연계되어 있어, 사용자가 쿼리(Query)를 통하여 다양하게 실무과정에서 활용할 수 있다 (Gao et. al., 2015).

이를 통하여, 운영단계에서 지속적으로 축적되는 유지보수 작업정보와 IFC객체를 연계하여 당해 유지보수 작업의 대상이 되는 시설물-공간-부위에 대한 IFC기반의 객체정보를 자동으로 확보할 수 있다. 또한, IFC객체를 중심으로 해당 객체에 기 수행되었던 기존의 작업 이력정보를 효율적으로 관리할 수 있으며, 공간 및 부재 객체에 대한 우선도를 중심으로 해당 객체에 대하여 수행되는 유지보수 작업에 대한 우선순위를 자동으로 산정하여 IFC객체 기반의 유지보수 작업 계획 및 관리를 FMS DB와 연계하여 효율적으로 수행 할 수 있다.

2) IFC to RDF Converter 어플리케이션에 대한 웹페이지: <https://github.com/mmlab/IFC-to-RDF-converter> (2016.10.01.)

4. 사례연구

4.1 사례연구 개요 및 데이터 수집

본 연구에서 제안하는 시멘틱 웹을 활용한 BIM기반 유지보수 업무의 우선순위 산정 방안을 검증하기 위하여, 구축된 온톨로지를 운영단계에서 일반적으로 수행되고 있는 유지보수 업무관리 프로세스에 적용하였다. 이를 위하여, 현재 국내에서 유지보수관련 실무를 수행하고 있는 주요 업체의 2016년 1월부터 6월까지 약 5개월간 수행된 건축분야 유지보수 업무의 이력정보를 수집하여 본 연구에 적용하였다. 여기서, 해당 업체의 FMS DB에서 관리되는 건축분야 유지보수 업무데이터는 작업일자, 수선유형, 설비명, 장비명, 작업내용, 작업인원, 작업시간, 작업 층과 같은 데이터 항목이 포함되어 있다. 하지만 해당 업무가 수행된 공간이나 부재에 대한 구체적인 객체의 표현은 별도로 관리되지 않고 작업내용에 문자열 기반 정성적으로 포함되어 있어, 해당 데이터를 추출하는데 한계가 있었다. 이에 따라, 본 연구에서 유지보수 작업정보와 IFC 객체와의 연계성 확보를 위해 최소한으로 입력이 요구되는 해당 유지보수 업무가 수행되는 대상 공간 및 부위 객체 유형을 다음 Table 2와 같이 추가로 입력하였다.

Table 2. Compositions of the maintenance work data in FMS

Area	Elements	Work contents	Labors	Time	Floor	Additional data	
						Space	Element type
Finishing	Finishing	Check and repair the fragile part of water leak in a building	3	4.3	7	office room	Wall/Ceiling
Finishing	Gypsum board	Putty works of wall in executive suite	2	3	9	executive suite	Wall
Curtain	Curtain	Repair the line of blind in meeting room	4	4	31	meeting room	Window
...							

또한, 유지보수 업무의 우선순위를 산정하기 위하여 고려되는 시설물 상태지수는 본 사례연구를 위한 예시자료로 예시 값으로 설정하여 다음 Table 3과 같이 구성하여 온톨로지의 인스턴스로 입력하였다. 이에 따라, 공간객체에 대한 우선도는 요구대응성과 적합성이 각각 0.05, 0.59의 비중을 가지게 되어 각 개별 공간객체에 대한 예시 상태평가 값으로 온톨로지에 적용되며, 부재 객체에 대한 우선도는 안전성과 기능성이 각각 0.18, 0.1의 비중으로 적용되었으며, 마지막으로 경제성이 0.08의 비중으로 해당 유지보수 업무에 대한 상태평가 값으로 입력되었다.

Table 3. Examples of the weights for condition assessment

Priorities	Condition Index	Weight
Space Priority	Responsiveness	0.05
	Suitability	0.59
Element Priority	Safety	0.18
	Functionality	0.10
Work Priority	Economics	0.08

한편, IFC기반 BIM 모델에 대한 예시 사례는 국제 빌딩스마트에서 공개 자료로 제공하고 있는 “Common BIM file-Office” 모델을 활용하였다. 해당 BIM 모델은 2012년에 Revit을 통해 모델링된 상업용 건물이며, Level 1과 Level 2의 두 개 층으로 구성되어 있으며, 해당 BIM 모델에 대한 COBie 2.4버전의 데이터 시트도 함께 제공하고 있다. 예시 건물의 건축분야 BIM 모델은 Level 1을 기준으로 총 60개의 공간객체와 262개의 벽체, 66개의 문, 25개의 창, 2개의 계단과 1개의 승강기 객체가 포함되어 있다 (Figure 4 참조).

이에 따라, 본 사례연구의 수행과정은 다음과 같다. 먼저, IFC기반의 예시 BIM 모델파일에서 유지보수 작업정보와 연계되기 위한 공간 및 부재 객체정보를 추출하였다. 그리고 이를 온톨로지 기반의 의미적 추론과정을 통해 작업정보와 IFC객체를 자동으로 연계하여 객체별 우선도에 따라 유지보수 업무의 우선순위를 IFC객체 기반으로 확인할 수 있다.

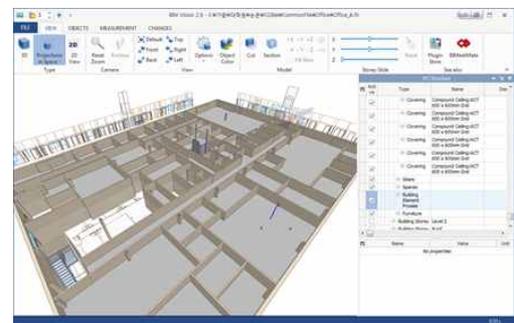


Figure 4. 3D image of Level 1 in the sample model.

4.2 사례연구 결과 분석

예시 BIM 모델을 IFC 파일로 생성하면 해당 건축물과 그 속성정보를 표현하기 위하여 약 6,487 KB에 달하는 많은 양의 IFC기반 데이터가 생성되며, 이 중에서 COBie 데이터 및 FMS의 데이터와 연계를 위한 공간 및 부재에 대한 객체 정보를 추출하였으며, 추출된 예시 데이터는 다음 Table 4, 5와 같다.

추출된 IFC기반의 객체 정보는 COBie 데이터 시트에 포함된 XML기반 속성정보와 함께 RDF 파일로 변환되었다. 그리고 OWL파일 기반의 온톨로지와의 의미적 결합 및 추론과정을 위하여 “Jena-2.6.4 API”를 통해 RDF파일과 OWL 파일을 결합하고, “BOSSAM” 추론엔진을 기반으로 추론지식정보를 도출하였다. 도출된 추론지식정보는 XML기반으로 구성되어 사용자가 다양한 쿼리문을 응용하여 결과 데이터를 활용할 수 있다.

이러한 절차를 통하여 도출된 추론지식정보를 기반으로 유지보수 업무의 우선순위 산정을 위한 쿼리 결과는 다음과 같다. 먼저, IFC기반 객체정보와 FMS상의 유지보수 작업정보의 연계성을 확인해보면, 다음 표 7과 같이, 기존에 수행되었던 건축분야 유지보수 업무이력에 업무 대상이 되는 공간 및 부재를 표현하기 위한 IFC 객체의 ID값이 연계되어 검색 가능한 것을 확인할 수 있다.

Table 4. Extracted IFC spatial concepts

Concept	IFC Entity	IFC ID	Attribute	Value
Building	IfcBuilding	#88	name	Office
Building Story	IfcBuildingStorey	#103	name	Level 1
	IfcBuildingStorey	#109	name	Level 2
	IfcBuildingStorey	#115	name	Roof
Space in Level 1.	IfcSpace	#135	name	101
	IfcSpace	#311	name	102
	IfcSpace	#482	name	103
	IfcSpace	#645	name	104
more Spaces ...				

Table 5. Extracted IFC building element concept

IFC Entity	IFC ID	Attribute	Value
IfcCovering	#84167	related Type	ceiling
		related Name	Compound Ceiling:ACT 600 x 600mm Grid:198077
IfcWallStandardcase	#32465	related Type	wall
		related Name	Basic Wall:Interior - Partition (92mm Stud):149176
IfcDoor	#63713	related Type	door
		related Name	M_Single-Flush:0915 x 2134mm:184917
IfcWallStandardcase	#104786	related Type	wall
		related Name	Basic Wall:Interior - Partition (92mm Stud):224960

한편, 온톨로지에 인스턴스로 포함되어 공간 및 부재에 대한 객체기반 우선도를 쿼리 문으로 검색하면 다음과 같은 결과가 나타난다. 각 공간 및 부재 객체별로 우선도를 검색하면, IFC기반 BIM정보에 우선도에 대한 데이터가 포함되어 있지 않았음에도 불구하고, 시멘틱 웹을 활용한 추론과정을 통하여 각 객체별 우선도가 자동으로 연계되어, 속성정보와 함께 제공된다.

Table 6. Related maintenance work records with IFC objects

Date	Object Type	Related IFC Object	Contents
20160602	IfcDoor	#66803	Repair the damaged glass door in meeting room
20160530	IfcSpace	#8721	Repair the line of blind in meeting room
20160425	IfcCovering	#160976	Repair the Cross T-bar of ceiling tiles in meeting room
20160404	IfcSpace	#8721	Repair the damaged part of beam projector connection and blind in meeting room
20160323	IfcDoor	#66803	Repair the noise and handle of the door in meeting room
20160315	IfcWallStandardcase	#45712, #45623, #45534,	Sealing work of walls in meeting room and common area
20160314	IfcWallStandardcase	#31714, #31982, #31893, #31804	Putty work of the crack on the wall in meeting room
...			

이에 따라, IFC 객체기반으로 관리되는 유지보수 작업 정보와 함께, 공간 및 부재 객체의 중요도를 고려하여 우선순위가 높았던 유지보수 업무를 확인가능하며, 당해 유지보수 업무를 관리하는 과정에서, 유지보수 업무에 대한 유형을 작업유형과 대상 객체를 고려하여 우선도가 컴퓨터를 통하여 자동으로 선정될 수 있음을 확인할 수 있다. 또한, 본 사례연구에서 예시로 입력되었던 상태평가에 대한 결과 값과 각 우선도 항목에 대한 비중 값을 조절하면, 주기적으로 변경되는 유지관리 전략 및 상태평가 값의 변경 사항을 즉각적으로 대입하여 변경된 기준으로 유지보수 업무에 대한 우선순위 분석이 가능하다.

Table 7. Priority examples of the related IFC objects

Object Type	Object Name	Description	Priority
IfcSpace	101	ENTRY	4
IfcSpace	102	DUTY OFCR	6
IfcSpace	103	EXEC OFCR	6
...			
IfcCovering	Compound Ceiling:ACT 600 x 600mm Grid:198077	-	5
IfcWallStandardcase	Basic Wall:Interior - Partition (92mm Stud):149176	-	2
IfcDoor	M_Single-Flush:0915 x 2134mm:184917	-	3
...			

4.3 운영단계에서의 시멘틱 웹 활용 방안

앞에서 구축된 IFC 객체정보와 유지보수 작업정보에 대한 우선도를 상태평가 데이터를 고려하여 자동화 추론하기 위한 온톨로지를 활용하여, 시공단계로부터 생성되어 운영단계로 전달되는 BIM정보를 운영단계에서 활용하기 위한 공통 데이터 모델 환경을 제공할 수 있다. 이에 따라, 초기 운영단계에서 구축되는 FMS의 데이터구조는 해당 공간 및 자산 객체를 실질적으로 활용하는 사용자 또는 시설관리 조직의 특성과 유형을 고려하여 매우 다양하게 구축되기 때문에, 국제표준을 기반으로 제공되는 BIM모델의 데이터는 이러한 FMS의 데이터 구조에 효과적으로 연계되는데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서 제안하는 온톨로지를 중간과정에서 활용될 수 있는 미들웨어(Middleware)로 구성하여 다양한 FMS에서 BIM 정보를 활용 가능한 데이터로 추출 및 변환하여 제공 가능하다.

실무 환경에서도 해당 유지보수 작업에 대한 기존의 연관된 작업이력 정보를 IFC의 객체기반으로 관리할 수 있다. 또한, 운영단계에서 지속적으로 수행되는 상태평가에 따라 수집되는 공간 및 자산 객체에 대한 상태 지수 및 성능지수를 바탕으로 각 공간/객체/작업별 우선순위를 자동 산정하여 유지관리 업무의 우선순위 분석에 활용할 수 있다. 먼저, BIM기반 시설물 정보를 구성하고 있는 IFC 모델파일과 COBie 데이터시트에서 FM 통합관리를 위한 요구 데이터를 추출하여 RDF 파일로 변환하고, FMS의 DB에서 관리중인 해당 시설물의 기존 작업이력 데이터를 온톨로지의 인스턴스로 생성하여 OWL기반 온

톨로지 파일로 생성할 수 있다. 이후, 생성된 RDF 파일과 OWL 파일을 결합하여 각 파일에 포함되어 있는 데이터간의 구조를 통합한다. 여기서 결합된 OWL 파일은 시멘틱 웹을 활용한 추론엔진을 통하여 추론과정을 거치게 되며, 이를 통해 BIM정보와 FM 작업정보간의 의미적 연계성이 확보될 수 있다. 이를 통해 해당 작업에 대한 연관된 공간객체 또는 개별 부재객체를 검색하고, 이에 연관된 작업이력정보를 IFC 객체기반으로 관리할 수 있다.

또한, 본 연구의 사례연구에서 활용된 공간 및 부재 객체별 우선도 값 이외에 기존의 작업 우선순위를 관리하기 위한 다른 알고리즘을 적용할 수 있다. 이를 위하여, 본 연구에서 제안된 온톨로지를 확장시켜 해당 유지보수 작업 우선순위 산정 알고리즘에서 요구되는 개념 및 관계 등을 온톨로지의 클래스와 프로퍼티로 추가 정의하여 활용 가능하다.

5. 결 론

일반적으로 현재의 유지보수 업무는 한정된 자원과 인력 등의 제한된 상황에서 수행되기 때문에, 모든 유지관리 요구사항에 대한 업무처리가 현실적으로 불가능한 실정이다. 이에 따라서, 시설관리자는 관리대상 건축물에 대하여, 공간 및 부재의 상태평가 결과를 고려하여 유지보수 업무의 우선도를 선정하고, 우선적으로 수행되어야 할 유지보수 업무와 유보되는 업무를 판단하게 된다. 하지만, 우선순위를 선정하는 의사결정 과정이 시설물 관리자의 주관적 판단에 의존하고 있으며, 이 과정에서 활용될 수 있는 BIM기반 건축물 관련 정보의 활용성과 접근성에 많은 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 유지보수 업무의 우선순위를 선정하는 과정에서 초기 운영단계에서 수집되는 BIM정보를 효율적으로 활용하고, 객체별 상태평가 값을 고려한 우선도를 바탕으로 해당 유지보수 업무의 우선순위를 선정할 수 있는 시멘틱 웹 활용방안을 제시하였다. 이를 위하여, BIM정보와 유지보수 작업정보를 연계하고 상태평가 값을 관리하기 위한 온톨로지를 구축하였다. 또한, 본 연구에서 제안하는 시멘틱 웹 활용 방안을 검증하기 위하여, 국제빌딩스마트에서 제공하는 Common BIM 파일에 실제 수행되었던 유지보수 업무 이력정보를 적용하여 IFC기반 객체정보와 유지보수 업무정보의 연계 및 우선도 검색 결과가 의미적 추론과정을 통해 도출될 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서 제안하는 시멘틱 웹을 활용한 BIM기반 정보 통합관리 체계를 도입하여, 기존의 FM 정보관리 체계를 지식기반 FM 정보 통합관리 체계로 개선하여, 시멘틱 추론을 통한 데이터 연계 자동화로 다양한 시설관리 관련 업무에 대한 요구정보를 획득할 수 있으며 다양한 기능에 활용될 수 있는 지식기반 FM 요구정보를 제공할 수 있는 체계로써 활용될 수 있다. 또한, 개인의 주관적 판단의 개입을 최소화 하여, FM 업무수행에 있어 BIM 정보의 활용성을 극대화 시키고 이를 기반으로 수행되는 업무 결과에 대한 정확성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

REFERENCES

- Alex, T. (2011). The SALVO project: innovative approaches to decision-making for the management of aging physical assets, *Infra assets*, Kuala Lumpur, 1-11.
- Delphi Group, (2002). Perspectives on Information Retrieval, Delphi Group, Boston, MA,
- East, W. E. Nisbet, N. & Liebich, T. (2013). Facility Management Handover Model View, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(1), 61-67.
- Gao, G. Liu, Y. S. Wang, M. Gu, M. & Yong, J. H. (2015) A query expansion method for retrieving online BIM resources based on Industry Foundation Classes, *Automation in Construction*, 56, 14-25.
- Kim, C. & Jeong, E. (2004). A model of integrated evaluation to establish the design brief of building performance improvement, *Journal of Architectural Institute of Korea*, 20(6), 4-11.
- Kim, K. (2016). Integrated management of required information for BIM-based FM using a semantic web, Doctoral dissertation, Kwangwoon University, Seoul, Korea.
- Lima, C. Diraby, E. T. & Stephens, J. (2005) Ontology-based optimisation of knowledge management in e-construction, *ITCon*, 10, 305-327.
- Pauwels, P. & Deursen, D. V. (2012). IFC/RDF: adaptation, aggregation and enrichment, First international workshop on Linked Data in Architecture and Construction, Belgium.
- Pauwels, P. & Roxin, A. (2016) SimpleBIM: from full ifcOWL graphs to simplified building graphs, *11th European Conference on Product and Process Modelling*, London, 11-18.
- Pauwels, P. & Terkaj, W. (2016). EXPRESS to OWL for construction industry: towards a recommendable and usable ifcOWL ontology, *Automation in Construction*, 63, 100-133.
- Sandkuhl, K. (2009). Information logistics in networked organizations: selected concepts and applications, *Enterprise Information System*, 12, 43-54.
- Seo, M. Jeong, S. Choi, W. & Nah, H. (2012). A Technical Architecture Development of Social Infrastructure Asset Management Information Systems in Korea, *Engineering Asset Management and Infrastructure Sustainability*, 813-827.
- Shin, S. (2015). A priority decision-making support model of service resource allocation for educational facilities. Doctoral dissertation, Ewha Womans University, Seoul, Korea.

(Received Oct. 5 2016 Revised Nov. 7 2016 Accepted Jan. 5 2017)