DSM을 활용한 BIM 기반 설계업무프로세스 정립 및 개선을 위한 연구 –기본설계단계를 중심으로–

정영호^{1†} · 이주성² · 함남혁² · 김주형³ · 김재준³

¹한양대학교 대학원 건축 및 도시환경 공학, ²한양대학교 대학원 건축환경공학과,

³한양대학교 공과대학 건축공학부

A Study on Improvement Plan of BIM-based Design Process using DSM –Focus on the Criteria Design Phase–

Young-Ho Jeong^{1†}, Ju-Sung Lee², Nam-Hyuk Ham², Ju-Hyung Kim³, and Jae-Jun Kim³

¹Department of Frontier Architectural and Urban Environmental Engineering, Hanyang University

²Department of Architectural Environmental Engineering, Hanyang University

³Department of Architectural Engineering, Hanyang University

Received 17 September 2014; received in revised 12 November 2014; accepted 13 November 2014

ABSTRACT

There are many agendas and discussion subjects for BIM-based Criteria Design phase. At that time, some problems are occurred by software compatibility, simple repetitive tasks, rework caused by missing information etc. In this study, we focus on solving that problems by applying API(Application Programming Interface) method. For effective study, we construct Criteria Design process by using DSM (Dependency Structure Matrix) and study applicability of API. It will be effective for time-consuming task and simply labor-intensive tasks by applying API. we expect improving BIM-based Design Process and Data quality, work productivity without missing information and shapes for using API.

Key Words: API (Application Programming Interface), BIM (Building Information Modeling), DSM (Dependency Structure Matrix)

1. 서 론

1.1 연구의 목적

국내의 건설 산업의 경쟁력을 강화하고 생산성을 향상시키기 위해서는 인건비 경쟁이 아닌 궁극적인 건설 산업 프로세스 전반에 걸친 재정비와 건설인력의 전문지식 및 업무지원 기술 향상 등

새로운 역량을 확보해야 할 것이다. 최근 건물 정보 모델링(Building Information Modeling, 이하 BIM)을 도입하여 수작업을 대폭 자동화하고 이중 입력, 입력 오류 등의 낭비를 줄여 건설 생산 프로세스의 혁신을 실현한 제조업과 마찬가지로 건설업의 생산성 향상을 기대하였다. 그러나 이러한 기대와는 달리 현재 국내에서의 BIM 적용 현황을 살펴보면 기존의 실시설계 단계 이후 작성된 2D 도면을 3D로 모델링 하여 그 적용이 지극히 제한적이다. 업무 프로세스의 중복과 업무환경을 저해

[†]Corresponding Author, jyhjyhko@nate.com

©2014 Society of CAD/CAM Engineers

하는 문제들로 인해 BIM 도입의 효과를 기대할 수 없는 실정이며, 오히려 건설 프로세스 상에서의 건설주체들의 업무량, 시간, 비용을 상승시키는 결과를 초래하게 되었다.

국내에는 BIM 기반 건축설계 업무 전반에 대한 프로세스의 기준이 명확히 정의된 바 없고 기존의 설계 업무 프로세스와 유사한 형태로 변형하여 활용하고 있는 실정이다. 또한 BIM 기반 설계 업무 프로세스를 각 단계별로 진행함에 있어서도 단순 반복 작업, 이중 소프트웨어간의 호환성 문제 등으로 인해 작업자들의 작업시간이 상당히 소요되어 작업능률을 저하시킨다. 이러한 관점에서 국내의 연구자들이 BIM 기반 업무 프로세스의 필요성을 인지하고 이와 관련된 연구들을 수행하고 있다.

나경재(2008)^[11]는 기존 건설 프로세스상의 문제 해결을 위해 협업체계를 위한 BIM 프로세스를 제안하였고, 이진희(2007)^[17]는 미국 건축가 협회 AIA에서 제안한 BIM 통합 설계프로세스의 국내 적용 가능성을 IDEF0를 통해 검증한 바 있다. 서창석(2010)^[4]은 기존 설계 프로세스의 문제점에 대해 분석하여 각 분야별 업무 수행자 중심의 통합 BIM 설계프로세스를 제안했으며, 박문서(2012)^[19]는 DSM을 이용하여 각 액티비티 정보의 흐름을 최적화하는 BIM 설계프로세스를 제안했다. 그러나 이러한 연구들을 살펴보면 기존 설계업무 프로세스에서의 개선 방안을 찾아내는 데 초점이 맞추어져 있어 실제 BIM 기반 설계 업무가 세분화 되어 있지 않아 실제 설계업무에 적용하기 어렵다는 단점이 있다. 또한 업무 간 연계와 작업 효율에 대한 검토가 미비하여 프로세스의 개선에 따른 정량적인 검증 역시 미흡하다.

따라서 본 연구의 목적은 BIM 환경에서의 기본 설계 단계 프로세스에서의 업무를 분석하여 프로세스를 도출하고 이때 각 업무 프로세스에서 발생할 수 있는 작업의 반복성, 호환성과 같이 업무 효율을 저감시키는 요소들을 찾아내어 개선하는 것이다. 이러한 문제를 개선하기 위하여 API를 활용한 프로세스 및 LOD 수준의 향상 방안에 대해 제안한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구는 기본설계 단계 중심으로 진행된다. 기존의 문헌고찰을 통한 국내외 BIM 설계 프로세스 현황을 살펴보고 BIM 기반 설계의 각 단계별 기

준과 수행 항목을 검토한다. 도출된 수행항목을 바탕으로 DSM을 이용한 기본설계 단계에서의 BIM 기반 설계 프로세스를 작성한다. 작성된 DSM 행렬을 검토하여 각 단계에서 일어나는 시간지연 요인(작업자의 작업효율을 저감시키는 요인)들을 분석한다. 마지막으로 앞서 분석된 문제점을 개선하기 위해 적용 가능한 API 어플리케이션을 활용하여 프로세스 및 LOD 수준의 향상 방안에 대해 제안한다.

2. 문헌고찰

2.1 국내외 BIM 기반 설계프로세스 현황분석

연구를 진행하기에 앞서 국내외의 BIM 기반 설계프로세스현황에 대하여 알아보았다. 국외의 BIM 기반 설계과정에서 핀란드와 덴마크, 미국 건축가 협회인 AIA(American Institute of Architects)^[24]와 같이 초기에 BIM을 건설 산업에 적용한 나라의 각 프로세스의 기준을 살펴보았다.

Fig. 1의 각 프로세스는 단계별 분류와 기준이 다르나 그 목적에 유사성이 있다. 1단계는 매스 대안을 검토하는 단계로 공사의 전반적인 예산을 검토하는 단계이다. 2단계에서는 검토된 매스형태에서 발전된 대안공간의 디자인 시각화 단계이다. 각 분야별 주체들이 형태적, 공간적, 물리적 특성평가를 진행하는 단계로 프로젝트 참여자간의 정보 교환이 가장 활발하게 이루어진다. 건축, 구조, 설비 분야에서 작성된 초기 BIM 모델간의 호환성에 문제로 인한 작업시간과 인력 낭비가 예상되는 단계이다. 3단계는 분야별 참여자와 건물의 전반적인 특성평가를 바탕으로 구체화된 설계대안을 검토한다. 공간의 요구사항에 대한 협의가 이루어지

Fig. 1 Comparison of BIM based design process Phase¹

¹Fig. 1은 KIM, B-K^[3]의 'BIM 적용 통합프로세스 진행과정의 정보수준에 관한 연구' 내용을 바탕으로 재구성한 것임.

며, 이를 기초로 구조적인 측면의 간섭체크와 건물개체 정의 및 물량산출, 기초 치수정보관리가 이루어지는 단계이다(Kim, 2009)^[3].

이 단계에서는 BIM 모델의 간섭체크가 이루어지기 때문에 이중 소프트웨어간의 정보 호환을 위한 환경이 검토되어야 하며 좀 더 명확한 정보 분석을 위한 소프트웨어 환경 개선이 필요하다. 또한 각 부재의 기초 치수정보관리를 위한 정보입력과정에서의 정보의 누락과 단순 반복 작업이 발생하여 작업자의 작업시간을 지연시키므로 누락에 의한 재작업을 줄이고 일부 작업을 자동화 하여 작업 효율을 증가시킬 수 있는 방안에 대한 검토가 필요하다. 4단계는 3단계에서 작성된 정보를 바탕으로 입찰문서를 작성하기 위한 기초 작업과 물량 산출이 이루어지며 계약자간의 시공계획의 기초를 확립하는 단계이다. 이 단계에서도 2D 도면 추출, 수정, 보완과 같은 단순 반복 작업이 이루어진다. 마지막으로 5단계에서는 시공정보에 대한 기초를 형성하는 단계로 프로젝트 시공의 전반적인 관리가 이루어진다. 최종적으로 작성된 BIM 모델을 기반으로 공정 시뮬레이션 작성과 입찰, 계약, 공사에 필요한 도서를 작성한다.

각 BIM 프로세스의 기준을 비교하여 살펴본 결과 2단계와 3단계에 해당하는 부분에서 작업시간을 지연시키는 요소가 가장 많이 발생할 것으로 예상되었다. 2, 3단계에서 제시하고 있는 기준의 내용은 국내의 기본설계단계와 유사하다.

국내의 BIM 기반 건축설계 프로세스와 기준은 명확히 정의된 바는 없으며 앞서 국외 BIM 설계

프로세스 사례에서 언급되었던 AIA California Council 보고서^[22]의 통합설계 프로세스를 근간으로 개념화 단계(Conceptualization, 이하 CO), Criteria 디자인단계 (Criteria Design, 이하 CD), 상세디자인단계(Detailed Design, 이하 DD), 실행단계(Implementation Documents, 이하 ID) 등의 4단계로 크게 분류되어 사용되고 있고, 기존 설계프로세스와 유사한 형태의 프로세스단계를 적용하여 국내 작업여건에 맞도록 변형되어 활용되어지고 있는 실정이다(Seo, 2010)^[4].

Table 1은 KIA(Korean Institute of Architects, 한국건축가협회 이하 KIA)에서 정의된 건축설계 업무단계별 산출정보에 관한 내용을 바탕으로 각 단계별로 적용할 수 있는 BIM 업무내용을 정리한 것이다. Table 1을 통해 알 수 있듯이 해외 BIM 기반 설계프로세스의 기준(2, 3단계)과 마찬가지로 CD 단계, DD 단계에 해당하는 업무내용에서 프로젝트 참여자들의 작업시간을 지연시키는 요소가 다수 발생할 것으로 예상된다. CD 단계에서 초기 BIM 모델 작성을 위한 정보입력과 같은 단순 반복 작업, 정보누락에 의한 재작업, 작성된 각 분야별 정보의 호환성 문제와 DD 단계에서의 BIM 모델의 수정과 보완, 엔지니어링 협의용 도서작성, 결정된 시스템 성능평가 데이터 작성을 위한 협업 지원 도구의 부재는 작업시간과 비용이 늘어 업무 효율을 저감시킨다. 또한 국내 BIM 설계 프로세스 적용의 제도적인 측면에서 보았을 때 고가의 완성도 높은 프로그램을 모든 분야의 전문 업체에서 일괄적으로 도입할 수는 없는 환경이므로

Table 1 Identify the specific content requirements

Phase	Information	BIM
기획설계 단계	건축 주 요구사항 체크리스트, 사업개요서, 법적 가능용도 검토서, Space Programming, 법규검토, 용도 및 규모검토	법규분석, 개략적인 배치계획을 위한 초기 디자인을 위한 BIM 모델 작성, 스페이스 프로그램
계획설계 단계	계획설계 착수, 기능분석, 건축주 요구사항 분석, 소방/안전계획, 법규검토, 주요장비 배치계획, 토목 및 조경계획, 개략공사비, 심의 및 인허가	초기 BIM 모델 작성, 외부 디자인 계획, 면적표 및 스케줄표, 구조모델 해석 시뮬레이션, 법규검토, 주요설비 시스템 및 공법 결정, 토목 및 조경 데이터
기본설계 단계	기본설계 사전검토, 법규검토, 개념 디자인, 계획도면, 배치계획, 평면계획, 입면계획 등, 구조, 기계설비, 전기통신 계획도, 건축 기본설계도서 작성, 인허가 업무	수정된 BIM 모델, 상세설계 범위 및 내용결정, 시스템 성능평가 데이터, 공사비 산출 데이터, 엔지니어링 협의용 최종도서, 개략 시방서 작성, 주요재료 마감표
실시설계 단계	법규검토, 기본설계도서 재검토, 건축 실시설계도서 작성, 구조, 기계설비, 전기통신도면 작성, Cross Check, 심의 및 인허가	최종 BIM 모델, 각종도면, 각종 상세도, 도서 추출, 면적표 및 스케줄표, 엔지니어링 관련도면, 실내재료 마감표, 시방서, 사업승인서, 4D공사 시뮬레이션

범용 프로그램의 성능개선과 데이터 호환성 향상의 노력이 절실히 요구된다. 특히 대형 프로젝트의 경우 프로그램 간 데이터 호환 시 누락 또는 변형이 발생하는 문제나 부재의 속성 변경이 제한되는 문제 등으로 작업자를 지치게 한다(Kim, 2010)^[5].

현재 사용되고 있는 BIM은 실무에 적용하기 어려운 단점이 많고 IFC 기반 정보교환 측면에서 정보전달 등의 문제점이 발생하고 있다^[33]. 건축 BIM 도구에서 모델링한 프로젝트를 구조 BIM 도구에서 다시 모델링을 하고 MEP(mechanical electrical plumbing) 모델링 단계에서도 다시 한 번 더 BIM 모델링을 하는 반복 작업과 반복 작업으로 인한 인력손실과 프로그램간의 유통과 호환에 문제가 많은 것이 현 실정이다(Park, 2010)^[6].

하나의 예로서 BIM 기반의 실시설계 단계에서는 3D 모델링 완성 후 인허가와 시공 승인절차에 필요한 도면작성을 위해 별도의 2D 도면을 추출하게 된다. 이 과정에서도 마찬가지로 단순 반복 작업이 다수 발생하게 되며 도면 추출을 위한 BIM 도구의 사용자 인터페이스의 최적화가 갖추어지지 않아 작업시간을 지연시켜 업무효율을 저감시켜 BIM 업무 생산성을 저하시킨다.

앞서 살펴본 국내외의 BIM 기반 설계 프로세스의 기준과 국내의 BIM 활용실정을 통해 BIM 기반 설계 프로세스 상에서 초기 디자인에 사용되는 디자인 도구, 자동화를 위한 도구, 분석을 위한 도구 간의 정보 호환성, 재작업과 같은 반복성, 협업 지원을 위한 도구의 개발과 이러한 소프트웨어 환경의 실무적용을 위한 BIM 기반 설계 프로세스의 정립에 대한 필요성을 검토하였다.

2.2 기존 프로세스 모델링 방법론의 비교·분석

본 연구는 BIM 기반 기본설계업무프로세스를 도출하고 작성된 프로세스 모델링을 통해 시간지연과 같은 작업효율을 저감시키는 협업구간을 찾아 개선 방안을 검토하는데 주안점을 두었다.

이러한 맥락에서 본 연구의 BIM 기반 기본설계 업무프로세스 모델링에 필요한 특성을 도출하기 위해 기존에 연구된 프로세스 모델링 방법의 기본적인 특성 및 장·단점을 비교·분석하였다.

첫 번째로 IDEFO(Integration Definition) 방법론은 기능적 관점에서 확실한 분석방법을 지원하는 의사소통 도구로서 단순화된 그래픽적인 표현 방법을 가진다. 프로세스를 쉽게 표현하고 파악할 수

있으나 행위의 주체를 일부만 표기할 수 있어 다수의 행위주체를 표현하는데 한계가 있다(LEE, 2007)^[7]. 또한 반복되는 작업과 재사용되는 항목을 표현하기 어렵다는 단점이 있다.

두 번째로 CPM(Collaborative Process Modeling 이하 CPM) 방법론이 있다. CPM은 시스템 내에 존재하는 협업프로세스를 명확히 정의하고 도출할 수 있는 Visual 모델링 방법이다. 프로세스를 기호를 이용하여 표현함으로써 직관적으로 파악하기 쉬운 장점이 있으나 협업 프로세스에 대한 실시간 모니터링이 불가능하며, 협업 관계에 있는 수행 주체 간 주고받는 데이터를 명확하게 표현할 수 없다는 단점이 있다.

세 번째로 비즈니스 프로세스 모델링(Business Process Modeling Notation, 이하 BPMN)이 있다. BPMN은 프로세스 모델링 표기법의 표준으로 특정한 비즈니스 프로세스들을 설계, 관리하는 사람들이 사용할 수 있도록 도표인 BPD(Business Process Diagram)와 BPEL4WS(Business Process Execution Language for Web Service)로의 형식을 변환시켜 준다. BPMN은 노트나 속성정의를 통해서 협업을 나타낼 수 있다는 장점이 있다. 그러나 IDEFO 방법론과 마찬가지로 협업관계에 있는 다수의 수행 주체, 즉 업무주체들을 표현해야 하는 협업프로세스 모델링에는 제한적이다(Lee, 2010)^[8].

이상과 같이 BIM 기반 기본설계프로세스 모델링 방법들을 비교·분석한 결과 본 연구의 기본설계프로세스 모델링에는 다음과 같은 사항이 반영되어야 함을 알 수 있다.

- 다수의 수행 주체(업무 주체)들을 표현할 수 있어야 함
- 수행 주체간 주고받는 데이터의 정의가 명확해야 함
- 프로세스 모델링 시물레이션을 통하여 향후에 발생 가능한 상황을 미리 대처 가능해야 함
- 실시간으로 모니터링이 가능해야 함
- 프로세스 모델링의 모델 검증이 자체적으로 가능해야 함

2.3 의존관계구조행렬방법론(DSM)

2.3.1 DSM 활용목적

설계 프로세스 모델링 분석방법중의 하나인 DSM(Designing Structure Matrix)은 설계 프로세스 관리 도구로서 주로 사용되어 왔다. 본 연구에서는

기본 설계단계의 BIM 업무 프로세스를 도출하는데 반영되어야 할 특성을 살펴보고 이에 DSM 방법론이 적합하다고 판단되었다. DSM의 활용목적은 다음과 같다.

· BIM 기반 기본설계 업무 프로세스 도출

기본설계단계에서는 다수의 수행주체(업무 주체)들이 존재한다. 다양한 업무주체와 각 업무 항목들의 상관관계에 대하여 표현하고 협업과정을 나타낼 수 있는 프로세스 모델링 방법으로 DSM이 적합하다고 판단하였다. 또한 복합적인 문제를 시각화하여 독립성, 순차성 및 상호 연관성을 시각화하여 알려줄 수 있다. 이에 따라 선행 작업이 무엇인지, 후행작업을 위해 어떤 작업을 해야 하는지를 볼 수 있어 상호의존적인 관계를 알려 준다.

· DSM 행렬 블록을 통한 작업 시간 지연의 요인 분석

DSM은 액티비티의 세분화를 통해 선·후행 관계를 규명하여 정보의 흐름을 파악할 수 있게 해주어 동시작업 표시가 가능하다는 장점이 있다 (Chang, 2009)^[9]. 또한 DSM 행렬의 상관관계를 규명하는 과정에서 블록을 생성하여 BIM 설계프로세스 상에서 작업자들의 업무 간 반복 작업이나 피드백 작업이 필요한 곳을 표시한다. 이러한 과정을 통하여 향후에 발생 가능한 상황(시간 지연)을 예측할 수 있다는 장점이 있다. 또한 실시간으

로 모니터링이 가능하여 프로세스상에서의 작업 효율을 저감시키는 요인을 분석하는데 효과적이다.

· API 적용 가능성 검토 구간의 분석

DSM은 역행(Feedback) 항목과 순행(Forward) 항목을 표현함으로써 각 항목의 주체와 내용, 순서 등을 실시간으로 모니터링 할 수 있다. 또한 Activity의 상위 단계인 Group으로 통합하여 이를 시각화 함으로써 중점적으로 관리가 필요한 구간을 표시한다.

이러한 특성은 프로세스 모델링의 모델 검증을 자체적으로 가능하도록 하여 작업 효율성을 판단하는데 실효성이 있다. 그리고 이러한 과정은 본 연구에서 다루어질 API 어플리케이션을 적용할 업무구간을 나타내어 업무 생산성 향상을 위한 API 적용 가능성을 검토하기에 가장 적합한 설계 프로세스 모델링 분석법이다.

2.3.2 국내·외 DSM을 활용한 연구사례 분석

DSM을 활용한 국내의 연구 동향을 분석하였다. 국내에서 진행된 연구사례를 분석한 결과 대부분 프로세스 개발과 프로젝트 관리를 위해 DSM을 활용하였다. 이러한 연구 중 하나로 장세훈(2009)^[22]은 CPM, PERT와 같은 기존의 공정관리에 활용되는 기술적 한계를 극복하기 위해 DSM을 도입하고 건설사업의 공정관리에 대한 적용성을 검토하였다. 또한 장세훈(2009)^[9]은 DSM을 이

Table 2 Design System Configuration

	연구제목	저자명
국내 연구 사례	DSM을 이용한 건설사업 공정관리에 관한 연구	장세훈(2009)
	Design Structure Matrix를 활용한 최적의 설계협업체계 구성: 플랜트 설계를 중심으로	윤종이(2009)
	Tower crane operation management using the dependency structure matrix	장세훈(2009)
	시공성을 위한 DSM 기반의 설계 프로세스 관리 모델 개발	박문서(2010)
	DSM을 통한 실시설계단계 BIM 업무의 개선방안에 관한 연구	안혜균(2013)
국외 연구 사례	Complex Concurrent Engineering and the Design Structure Matrix Method	Ali Yassine(2003)
	An Introduction to Modeling and Analyzing Complex Product Development Processes Using the Design Structure Matrix Method	Ali Yassine(2004)
	A Structured Approach to Form Dependency Structure Matrix for Construction Projects	Maheswari(2005)
	Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices	Danilovic(2007)
	Integral Methods of Fuzzy AHP and DSM for Evaluation in Partitioning Design Team	Liang(2009)
	Model for Design Management in Collaborative Environment Using Structure Matrix and Design Parameters' Information	Akram(2009)

용한 골조공사의 공기단축, 타워크레인의 임대료와 같은 공사비용의 절감, 효율적인 운용관리 방법을 제시하였다. 윤종이(2009)^[20]는 플랜트 설계에 있어서 최적의 설계협업 구조 매트릭스를 도출하기 위하여 DSM을 활용하였다. 이러한 과정에서 설문조사를 실시하여 도출된 항목들을 바탕으로 DSM 모델을 작성하며 DSM의 실효성을 검증하였다. 박문서(2010)^[19]는 DSM을 이용하여 설계 프로세스상에서의 의사결정의 기본단위인 설계 액티비티와 설계과정에서 고려되어지는 시공과 관련된 액티비티의 상호관계를 고려한 정보흐름 기반의 설계프로세스를 제안하였다. 안혜균(2013)^[21]은 실시설계단계에서 진행되는 기존의 설계업무와 BIM 업무 액티비티를 도출하고 이러한 항목을 바탕으로 DSM을 활용한 프로세스를 제안하였다.

국내의 연구를 분석한 결과 실제 DSM을 프로세스 모델링에 있어 복합적으로 활용하지 못하고 단순히 프로세스의 도출과 같은 기초적 단계에서의 접근이 이루어지고 있다. 또한 각 분야별 업무주체들의 협업과정과 의사결정이 가장 빈번하게 발생하는 기본설계단계에서의 고찰이 미흡하다고 판단되었다.

국외 연구의 경우 Yassine(2003)^[26]은 동시공학을 이용한 프로젝트 수행 시 발생하는 주요한 사항인 리드타임(Lead-time)의 단축, 시작(Proto) 회수의 저감, 문제해결의 조기발견, 기술 레벨의 향상을 해결하기 위한 방안으로 DSM을 활용하였다. 또한 2004년에 DSM의 개념, 프로세스 모델링의 적용 방안에 대한 이론적 연구를 진행하였다. Maheswari(2005)^[27]는 프로세스 모델링 방법론중의 하나인 PERT와 CPM에서 다양한 업무주체와 내용을 시각화 하지 못하는 상관관계의 한계를 극복하기 위해 IDCT 프로젝트에 DSM 방법론을 적용하였다. 다음으로 Danilovic(2007)^[28]은 프로젝트 관리를 수행함에 있어 DSM을 활용하는 방법에 대하여 연구를 진행하였다. 이 연구에서는 3가지의 사례를 바탕으로 DSM을 구현하여 그 실효성을 검토하였다. Liang(2009)^[29]는 설계 공정별 항목에 대하여 퍼지계층분석(Fuzzy AHP) 방법을 통해 가중치를 근거로 우선순위를 도출하였다. 도출된 항목을 바탕으로 DSM을 활용한 모델링을 실시하였다. Akram(2009)^[30]는 협업 과정에서의 효율적인 설계 관리를 위하여 DSM을 활용하였다. 각 항목에 대하여 상관관계를 규정하고 조정하는

과정을 사례로 제시하여 DSM 프로세스 모델링을 구현하였다.

2.3.3 본 연구의 차별성

앞서 DSM을 활용한 국내·외 연구들을 분석한 결과 대부분의 연구가 DSM의 원론적인 관점에서만 접근이 이루어져 그 실효성이 떨어지는 것으로 판단되었다. DSM의 가장 큰 특성이라고 할 수 있는 상호연관성 부분에 대하여 본질적으로 다루지 못하고 이를 활용한 실질적인 프로세스 모델링과 분석이 이루어지지 않고 있다. 단순히 도출된 매트릭스의 형태, 매트릭스상에 존재하는 Group, 공정의 크기, 순서 등의 비교와 같은 1차원적(시각적)분석에 그치고 있다. 또한 의사결정사항과 협업이 다수 존재하는 프로세스의 전반부의 내용에 대한 검토가 이루어지지 않고 프로젝트의 내용이 이미 어느정도 진행된 후반부의 프로세스 검토가 이루어져 건축의 기본설계단계 프로세스에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

반면, 본 연구에서는 DSM을 활용하여 BIM 기반의 기본설계단계에서 이루어지는 액티비티 항목들의 공정에 대한 내용을 다루었다. 건축설계과정에서 가장 기본이 되고 작업시간을 지연시키는 요소가 다수 존재하는 기본설계단계의 업무내용을 바탕으로 연구를 진행하여 그 실효성이 높다. 그리고 DSM 프로세스 모델링 방법론의 본질적인 내용을 파악하여 액티비티, 공정, Group의 상호연관성을 면밀하게 검토하였다. 이러한 과정은 도출된 프로세스 모델을 통해 작업 시간 지연 구간을 검토하고 이와 관련된 액티비티를 파악이 가능하도록 하여 개선이 필요한 요인을 분석하는데 중요한 역할을 하였다. 또한 DSM을 활용한 BIM 기반 기본설계 프로세스 모델을 도출하는데 그치는 것이 아니라 DSM 활용 자체의 심도있는 방안을 제시하고 자체적인 실험을 실시하여 그 실효성을 검증하였다는 점에서 차별성을 가진다.

2.3.4 DSM의 개념

DSM은 하나의 시스템이나 프로젝트의 작업 간 상관관계 및 영향의 분석을 통해 행렬의 형태로 표현함으로써 크기와 복잡성 및 시각적인 이해의 제한에 구애받지 않고 네트워크를 표현할 수 있는 개념이다. $n \times n$ 행렬로 표현되고 2진법의 표현을 사용하여 n 개의 작업들 간의 정보흐름을 알 수 있

Table 3 Design System Configuration

	Parallel	Sequential	Coupled																																																
Diagraph																																																			
DSM	<table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td><td>...</td></tr> <tr><td>A</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>...</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		A	B	...	A				B				...				<table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td><td>...</td></tr> <tr><td>A</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td>X</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>...</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		A	B	...	A				B	X			...				<table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td><td>...</td></tr> <tr><td>A</td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td>X</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>...</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		A	B	...	A		X		B	X			...			
	A	B	...																																																
A																																																			
B																																																			
...																																																			
	A	B	...																																																
A																																																			
B	X																																																		
...																																																			
	A	B	...																																																
A		X																																																	
B	X																																																		
...																																																			

도록 한다. 다음 Table 3은 DSM의 3가지 상관관계를 나타낸다.

독립적 관계: A와 B, 두 작업 사이에 상호작용이 없고, 교환되는 정보가 없는 관계이다. DSM 상에서 작업의 관계를 나타내는 X 표시가 없다.

순차적 관계: A와 B, 두 작업 중 하나의 작업이 다른 작업에 영향을 미치는 관계로 작업 A에서 작업 B의 순서로 정보가 전달되는 것을 나타낸다. DSM 상에서는 작업 A의 후행작업이 작업 B라는 것을 X 표시로 표현한다.

상호의존적 관계: A와 B, 두 작업 간에 서로 상호작용이 있는 관계이다. 작업 A와 작업 B는 상호간에 정보를 교환하고 있음을 나타낸다. DSM 상에서 모두 X 표시를 한다. 생성된 DSM은 분할 (Partitioning) 알고리즘, 분해(Tearing) 알고리즘, 클러스터링(Clustering) 알고리즘 등에 활용한다 (Browning)^[10].

분할 알고리즘은 DSM의 3가지 상관관계 중 독립적, 순차적 관계에 중점을 두고 전체를 분석하는 것이다. Fig. 2는 분할 알고리즘을 분석하는 과

· 분할알고리즘

Fig. 2 Partitioning Algorithm

정을 보여주는 예이다.

- 분할되지 않은 처음의 행렬을 나타낸다.
- 비어있는 작업 F 행과 E 열은 다른 작업과의 상관관계에 있어 독립적이다. 작업 F를 행렬의 맨 처음으로 위치시키고 작업 E 열은 행렬의 맨 뒤로 위치시킨다.
- 작업 A와 작업 C가 서로 정보를 교환하며 상호의존적 관계를 가지는 것을 알 수 있다. 이러한 경우 A, C의 두 작업을 하나의 작업 형태로 묶어서 표현한다.
- 작업 AC의 열에 작업 간의 관계를 표시하는 X표시가 없다. 따라서 작업 AC를 행렬의 맨 뒤로 위치시킨다.
- (c)단계에서 작업을 간단히 표현하기 위하여 생성시킨 작업 AC를 다시 작업 A와 작업 C로 분리하여 배치한다.
- 분할 과정이 끝난 행렬을 보면 작업B의 정보가 작업 D로 전달되고, 작업 D의 정보는 작업 G에게 전달된다. 그리고 작업 G의 정보는 다시 작업 B에게 전달되어지는 것을 행렬을 통해 알 수 있다. 결과적으로 작업 B,D,G는 상호의존적 관계를 가진다.

2.4 LOD 정의 및 분석

BIM 기반 통합설계 프로젝트 환경에서의 건축 프로세스 각 단계별 업무 항목을 도출하기 위해 앞서 AIA Document E202-2008을 참조하여 BIM 모델링 정보의 수준에 대해 분석하였다.

Fig. 3은 프로세스의 각 단계와 LOD의 수준을 비교하여 도식화 한 것이다. LOD(Level of Development: 정보의 수준, 이하 LOD)는 설계 프로세스 단계별 모델링 수준을 100에서 500까지 각 단계별로 나누어 표현하였으며 BIM 모델의 정보의 수준을 의미하는 것으로 단계별 모델 요소의 모델링 방법, 입력 데이터, 통합 모델의 활용 등에 대한 구체적인 모델링 작업의 수준을 Table 3에 나타내었다(Choo, 2012)^[11].

	LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
Process	Conceptualization	Criteria Design	Detailed Design	Implementation Documents	Construction
LOD	100	200	300	400	500

Fig. 3 Comparison of Range (LOD & Design process)

Table 4 Level Of Development

LOD	descriptions identify the specific content requirments
LOD 100	개념 설계단계의 수준으로 매스의 형태, 볼륨, 건축물의 유형이 정의되는 단계이며 전체 건물의 면적, 높이, 체적, 위치, 향 등이 설정된다.
LOD 200	개념이 구체화된 계획 단계로 형태, Space Program 공간계획 및 공간관계가 정의되고 주요 건축 시스템이 결정되는 단계이다. 개략적인 연면적, 건폐율, 용적률, 층수, 층고, 구조, 외피구조, 설비시스템 등의 사항이 결정된다.
LOD 300	LOD 200단계의 개략적인 내용이 결정되는 단계로 구체적인 설비 요소를 포함한 빌딩 시스템이 결정되고 모든 건축요소들이 모델링 되는 단계이다.
LOD 400	실제 시공을 위한 모델링 단계로 결정된 모든 시스템의 크기, 모양, 수량 등을 모델링한다. 시공, 제작, 조립에 관련된 디테일, 부재, 구조, 설비, 배관, 배선 등의 모든 요소를 모델링한다.
LOD 500	LOD 500단계의 모델은 준공 모델을 나타내며 모델링 데이터는 실제 건축물과 동일하며, 유지/관리/운영 전반을 포함한다.

2.5 프로세스 개선 및 LOD 수준의 향상을 위한 방안 검토

BIM 기반 설계 프로세스와 LOD 수준의 개선을 위해서는 건축, 구조, 설비 각 분야가 다양한 BIM 어플리케이션을 사용하여 생성한 정보들 간의 상호연동성 확보하는 것이 필수적이며(Kim, 2009)^[13] 정보를 관리하기 위해서는 자료 또는 자료가 담긴 포맷의 자유로운 전환이 필요하다(Sang, 2011)^[13].

이 과정에서 객체 분류체계와 객체의 속성 정의 및 데이터 포맷이 불일치하게 되면 서로 다른 BIM 소프트웨어 간의 정보호환에 있어 관련 데이터의 누락 또는 오류가 발생하여(Lim, 2010)^[14] 업무 프로세스의 효율 및 정보의 수준을 저하시킨다.

문제해결을 위해 데이터베이스 기반의 활용 가능한 BIM 툴, 어플리케이션 방식을 분석하였다. BIM 툴은 정보공유 특성에 따라 개방형 BIM과 플랫폼 기반 BIM으로 분류할 수 있다. 개방형 BIM은 IFC(Industry Foundation Classes 이하, IFC) 기반 가져오기/내보내기 기능이 지원하고 소프트웨어 간 정보 교환이 가능하고 표준화된 모델 중심으로 정보를 재활용하는 방식이다. 이와달리 플랫폼 기반 BIM은 Revit Architecture - Revit Structure - ETABS의 경우처럼 내부 자료구조를 바탕으로 함으로써 상호간 정보교환 기능이 지원되는 소프트웨어에서 정보교환이 가능하다. 두가지의 방식 모두 다양한 어플리케이션들의 정보를 원활하게 교환하고 업무 간 상호관계를 유기적으로 관리하기 위한 것이다. 현재 사용되고 있는 IFC 기반 정보 교환환경을 살펴보면 활용되는 어플리케이션의 각기 다른 객체정의 방식, 휘미리 구성방식과 데이

터 포맷방식을 가지고 있어 수용할 수 있는 정보 체계를 충분히 갖추고 있지 못한 실정이다(Estman et al. 2008)^[15]. 이 방식으로 프로젝트를 진행함에 있어서는 정보의 누락, 객체정보의 손실등의 문제를 보완하기 위한 부수적 작업이 수반된다. 결과적으로 개방형 BIM은 많은 툴과 호환이 가능하지만 정보공유에 한계가 있다.

반면에 플랫폼 기반 BIM은 많은 정보를 공유할 수 있고(Park, 2010)^[6] 매크로와 단순한 스크립트 방식의 API 어플리케이션을 활용하여 BIM의 주목적인 통합적인 정보 관리와 모델의 유효성 검토가 가능하다. 또한 API를 활용하면 단순 반복적이거나 규칙성이 있는 작업을 자동화하여 BIM도 단순노동집약적인 작업에서 벗어날 수 있고 프로그램의 기본 기능만으로 해결하기 힘든 상황에서 완전히 새로운 프로그램의 개발, 마케팅, 유지보수에 드는 막대한 비용과 시간 및 인력을 현저하게 줄일 수 있을것으로 판단된다. 그리고 패키지 시대에서 솔루션 시대로 변화하면서 협업을 위해 다른 프로그램과 연계해서 운용해야 할 필요성이 증대되면서 특화된 확장기능을 통해 연구개발과 목적에 맞게 적용시킬 수 있어(Jung, 2011)^[16] BIM 기반의 설계 프로세스의 업무환경을 개선시킬 수 있을것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 BIM 설계 프로세스의 각 분야별 업무 업무주체들의 협업과정에서 보다 많은 정보를 공유할 수 있는 범용 도구인 Revit Architecture - Revit Structure 기반 도구를 지원할 수 있는 응용 프로그램 작성 인터페이스, API 어플리케이션(Application Programming Interface, 이

하 API)을 활용하였다. 예비적 고찰 단계에서 파악된 BIM 설계 업무의 효율성을 저하시키는 문제점을 개선하기 위하여 실제 작업자들이 활용하기 위한 BIM 도구의 자동화(automation), 상호 운용성(Interoperability), 최적화(optimization), 분석(analysis)에 초점을 맞추어 시중에 공개되어 있는 API어플리케이션을 검토하였다. Table 5에서 검토된 API 어플리케이션은 Revit Architecture 2013 버전과 호환이 가능한 것으로 최근 연구된 (Park, 2013)^[17]을 참고하여 이를 재구성한 항목들이다.

3. BIM 기반 기본설계 프로세스 도출

3.1 DSM을 활용한 프로세스 분석단계

본 연구에서는 기본설계에서의 액티비티를 도출하고 이들 작업간의 효율을 저해하는 요소와 구간을 알아보기 위해 DSM을 활용한 BIM 기반 기본설계 프로세스를 도출하였다.

1단계는 기본설계 단계 기준을 바탕으로 설계자 액티비티와 BIM 액티비티를 도출한다. 설계자 액티비티는 건축, 구조, 전기설비, 기계설비 등으로 구분하여 도출하며 BIM 액티비티는 기본설계 단

Table 5 Four Category API applications

Cate.	Contents	Application	Developer	Function
Automation	반복적으로 수행되는 설계 업무 추출 및 그 일부를 자동화	View Template Manager for Revit	CASE inc.	도면 생성 시 자동으로 뷰를 설정
		Exceler8 for Revit	CASE inc.	엑셀 형식으로 정보를 추출, 수정
		Cut Opening LT	TOOLS 4 REVIT	개구부를 자동생성
		Column Splitte	StrucSoft Solutions Ltd.	건축 기둥을 분할
Interoperability	이종 소프트웨어 간의 교환되는 설계정보 호환성을 강화	CASE Exchange	CASE inc.	Grasshopper에서 점 데이터 추출 및 호환
		Import openNURBS	CASE inc.	Rhino 프로젝트 환경에서의 곡선을 수정
		Export Revit to ETABS	Autodesk	구조해석 소프트웨어 파일 포맷으로 전환
		Hummingbird & Modelbuilder	TimMeador and Mario Guttman	기본 형상의 생성을 촉진하기 위한 컴포넌트
Optimizarion	사용자 인터페이스의 개선, 정보 입·출력 체계의 편의성	Delete Sheets, Views, and Revit Links	CASE inc.	작업자 개인의 작업환경에 맞게 시트, 뷰를 설정
		Change and Replace Line Styles	CASE inc.	선스타일 등의 반복작업 수행, 매크로 할당
		PowerMeasure	AsiaSW	Revit에서 선택된 면의 정보를 표시
		Family Processor	CASE inc.	Revit의 패밀리의 관리를 위한 특성 값
Analysis	BIM모델의 시각화, 시뮬레이션 설계품질을 높이기 위한 분석 지원	Extrude Rooms to 3D Mass	Nasser's Revit Tools	평면 경계에 따라 영역정보를 분석
		COBie2 Link	CTC inc.	Revit모델에서 작성된 데이터를 기록.
		Wall Opening Area	Autodesk	벽의 개구부 면적을 계산
		Detail Filter	GSA, Inc.	세부필터 기능을 수행

계에서 활용 되어지는 모델링과 시뮬레이션, 도면 추출 등으로 구성한다.

2단계는 DSM 활용을 위해 1, 2단계에서 도출된 액티비티들 간의 의존관계와 선·후행 관계를 규명한다.

3단계는 결과를 분할 알고리즘을 통해 최적화, 재배열한다.

4단계는 최적화된 행렬을 바탕으로 각 액티비티의 상관관계를 생성된 블록 중심으로 분석한다.

3.2 DSM 프로세스의 상세 액티비티 도출

본 연구에서는 작업자들 간의 협의사항과 프로젝트의 결정사항이 많아 시간지연과 같은 문제가 가장 많이 발생할 것으로 예상되는 기본설계단계를 중심으로 검토하였다. 기본설계단계는 확장된 Design Development 단계로 모든 분야의 주요디자인 결정이 이루어지며, 전통적 프로세스 CD 단계의 결정사항들이 이 단계에서 이루어진다(Kim, 2010)^[18].

프로세스의 도출을 위해 건축, 구조, 설비 분야의 작업자의 업무와 이와 관련된 각 분야별 BIM 작업자의 업무항목을 검토하였다. Table 5의 BIM 설계프로세스 상에서의 설계자 액티비티와 BIM 액티비티²는 BIM 기반 설계 프로세스를 진행하는 과정에서 발생하는 단계별 단위 업무를 나타낸다.

3.2.1 설계자 중심의 상세 액티비티 도출

설계자 액티비티는 건축, 구조, 설비 등의 설계자들이 주체가 된다. 기본설계 단계에서 건축분야의 설계자는 공사용 시방서를 작성하며, 공사개

요, 건축물 규모, 용도별 면적, 배치계획, 주차 및 동선계획, 관련사항에 따른 법규검토를 실시하며 실내재료 마감표, 배치도, 주차계획도, 각종 평면도, 입면도, 단면도, 투시도, 상세도와 같은 도면작업을 진행한다.

구조분야의 설계자는 개략적인 시방서를 작성하며 기본설계단계에서 결정된 설계 대안을 기반으로 구조 계산서와 설계 설명서를 작성한다. 또한 기초 일람표와 구조평면도, 가구도, 기둥 일람표, 보 일람표, 중심도와 같은 도면 작업을 진행한다. 구조계산과 구조도면 작성과 같은 구조분야의 설계자 액티비티는 건축분야의 설계자 액티비티와 밀접한 의존관계를 가진다.

마지막으로 설비분야의 설계자도 개략 시방서와 공사비 계산서, 설계 설명서 등을 작성하며 소방 설비도, 장비 일람표, 계통도, 기준층 및 주요층 기구 평면도와 같은 도면작업을 진행하며 개략 부하 계산서를 작성한다.

기본설계단계에서는 대안 결정을 위한 각 분야 설계자들의 협업 업무와 도면작성과 같은 반복적인 업무들이 많다. 이러한 작업은 다음으로 검토할 BIM 모델의 작성, 시뮬레이션과 같은 BIM 액티비티와 상당히 밀접한 관계를 가질 것으로 사료된다.

3.2.2 BIM 활용 중심의 액티비티 도출

BIM 활용 중심의 액티비티와 관련된 세부항목을 도출하기 위하여 BIM 엔지니어링사 전문가 총 11명을 대상으로 개별면담형식의 ‘전문가 인터뷰’를 실시하였다. 인터뷰 대상자는 1~3년, 3년 이상의 경력자들로 BIM 프로젝트의 2D 설계 및 건축

Table 6 전문가 인터뷰 개요

Co.	Objective	Method	Interviewee	
A 종합 건축사 사무소	BIM 활용 중심의 액티비티 항목 도출, 전체 액티비티의 의존관계 규명	개별 면담 형식	경력 1년	BIM담당자 건축, 구조, MEP 각 1명
			경력 2년	BIM담당자 건축, 구조, MEP 각 1명
			경력 3년	BIM담당자 건축, 구조, MEP 각 1명
			경력 3년 이상	BIM 총괄 관리자 2명

²건축사용역의 범위와 대가기준, 건설교통부 공고 제 2002-152호, 2002를 참고하여 정리하였음.^[23]

Table 7 Criteria Design Process Activity and BIM Activity

Phase	Cate.	ID	Design Process Activity	Predecessors	Cate.	ID	BIM Activity Name	Predecessors
Criteria Design Phase	Architecture	1	공사용 시방서(초안)		Architectural BIM	20	건축 BIM 모델링 수정 (Architectural BIM)	8,22,24,27,35
		2	건축물 규모(건축면적, 연면적, 높이, 층수 등)	7		21	면적표 및 스케줄표 (Architectural BIM)	3,20
		3	건축물 용도별 면적, 주차장 규모	21		22	간접검토 (Architectural BIM)	20,27,29,35,37
		4	공사비 계산서 (Architecture)	25,26		23	개략공사 공정표 (Architectural BIM)	20,21
		5	배치계획(Masterplan)	7,20		24	2D 도면추출 (Architectural BIM)	8,20
		6	평·입·단면 계획	20,27,35		25	공정 시물레이션을 통한 개략 공사비(Architectural BIM)	4,20,23
		7	관련사항에 따른 범규검토	2		26	물량산출 (Interior, Exterior)	20,25
		8	도면(실내재료마감표, 배치도, 주차계획도, (각층 평면도, 입·단면도, 투시도)	24,31,39				
	Structure	9	개략시방서(구조 일반사항 및 특기시방서 작성)	1	Structural BIM	27	구조 BIM 모델링 수정 (Structural BIM)	13,20,29,31,35
		10	공사비 계산서(Structure)	32,33		28	면적표 및 스케줄표(Structural BIM)	3,27
		11	구조 계산서	27,34		29	간접검토(Structural BIM Model)	20,22,27,35,37
		12	설계 설명서(Structure)	13,31		30	개략공사 공정표(Structural BIM)	27,28
		13	도면(기초 일람표, 구조 평면도, 기둥 일람표, 보, 슬래브 일람표, 주심도)	27,31		31	2D 도면추출(Structural BIM)	13,27
						32	공정 시물레이션을 통한 개략 공사비(Structural BIM)	10,27,30
						33	물량산출(Concrete, Beam)	27,32
						34	구조 적용시스템의 시물레이션 데이터 (structural analysis)	11,27
	MEP	14	개략시방서(기계, 전기, 일반시방 및 특기시방서 작성)	1,9	MEP BIM	35	설비 BIM 모델링 수정(MEP BIM)	19,20,31,37
		15	공사비 계산서(각 공종별 단위면적당 공사비 개념으로 개략산정)	40,41		36	면적표 및 스케줄표(MEP BIM)	3,35
		16	개략부하 계산서	42		37	간접검토(MEP BIM Model)	20,22,27,29,35
		17	설계 설명서(MEP)	19,35,39		38	개략공사 공정표(MEP BIM)	35,36
		18	에너지 절약계획서 및 기타 서류	19,42		39	2D 도면추출(MEP BIM)	19,35
						40	공정 시물레이션을 통한 개략 공사비(MEP BIM)	15,35,38
						41	물량산출(Mechanical, Electrical and Plumbing)	35,40
		19	도면(소방 설비도, 장비 일람표, 계통도, 주요층 기구 평면도, 상세도)	35,39		42	설비 적용시스템의 에너지 시물레이션, 냉·난방 부하분석	16,19

BIM 담당자, 구조 BIM 담당자, MEP 분야의 담당자 등 총 11명으로 구성하였다. 인터뷰는 앞서 건교부의 대가기준을 활용하여 도출한 설계자 액티비티 항목을 바탕으로 건축, 구조, MEP 등 각 공종과 관련된 BIM 업무 항목을 도출하여 취합하는 과정으로 진행하였다.

인터뷰를 통해 도출된 BIM 활용 중심의 액티비티는 앞서 도출한 설계자 중심의 상세 액티비티와 함께 Table 7에서 확인할 수 있다. Architectural BIM, Structural BIM, MEP BIM 등으로 분류하였으며 각각의 상세 액티비티 항목을 작성하였다.

건축분야는 내·외부 모델링과 수정작업과 같은 3D 모델링 작업, 간섭검토와 개략적인 공사비 산출과 같은 시뮬레이션 작업, 2D 건축도면의 추출, 실내·외 건축 물량산출과 같은 서류 작업 액티비티를 도출했다. 구조분야에서는 벽, 슬래브, 기둥과 같은 구조 객체 모델링과 수정작업과 같은 3D 모델링 작업, 간섭검토, 개략적인 구조체 공사비 산출 등의 시뮬레이션 작업, 2D 구조도면의 추출, 콘크리트 물량 산출과 같은 서류작업 액티비티를 도출했다.

설비는 건축, 구조 분야와 마찬가지로 작성한 3D 모델링을 토대로하여 간섭검토, 개략적인 기계 장비와 설비관련 시뮬레이션을 통한 공사비 산출 작업을 도출했다. 그리고 냉·난방 부하 및 기류분석과 빛의 입사량 분석과 같은 액티비티와 2D 설비도면의 추출 액티비티를 도출했다.

3.2.3 액티비티 간의 의존 관계(선·후행관계) 규명

앞서 도출한 설계자 중심의 상세 액티비티와 BIM 활용 중심의 액티비티를 도출한 결과 총 42개의 액티비티를 확보하였다.

각각의 액티비티가 통합된 목록을 바탕으로 전문가와의 개별 면담을 통해 액티비티 사이에서의 선·후행관계를 표현했다. 각 액티비티의 독립적 관계, 순차적 관계, 상호 의존적인 관계를 규명하여 DSM 매트릭스 작성에 사용되는 기본적인 항목을 완성하였다. Table 7을 통해 알 수 있듯이 설계자 중심의 상세 액티비티 19개의 항목과 BIM 활용 중심의 액티비티 23개의 항목의 의존관계를 살펴보면 상호 밀접한 관계를 가지는 것을 알 수 있다. 이것은 건축의 기본설계단계의 특성상 디자인을 형상화 하는 작업을 진행하고 다양한 대안에 대하여 검토하는 작업으로 인해 각 액티비티 항목에 대한 협업과 피드백을 통한 반복 작업이 다수 존재하기 때문이다^[32].

3.3 DSM 매트릭스 적용

Fig. 4는 앞선 단계에서 도출한 액티비티들을 DSM 매트릭스에 적용하여 각 액티비티간의 독립적 관계, 순차적 관계, 상호 의존적인 관계를 시각화한 것이다. 일련번호 (1)~(19)는 기본설계단계에서의 작업 상세 액티비티이며 (20)~(42)는 BIM 액티비티이다. 건축, 구조, 설비 분야 각각의 BIM 모델링 수정 항목(일련번호 20,27,35)과 건축, 설비,

Fig 4 Application of DSM(Dependency Structure Matrix-Parallel, Sequential)

Fig 5 Partitioning algorithm of DSM(Dependency Structure Matrix)

구조 BIM 모델간의 간접검토 항목(일련번호 22,29,37) 등이 상호의존적인 관계에 있는 것을 알 수 있다. 이 외에도 다수의 항목들의 상호의존적인 관계, 순차적 관계를 규명하고 있다. 기본설계 단계에서 설계프로세스 상에 액티비티와 BIM 액티비티가 밀접한 상관관계를 가지는 것을 의미하며 다수의 협업이 필요함을 나타낸다.

3.4 분할(Partitioning) 알고리즘 적용

Fig. 5는 2단계에서 생성한 행렬을 기반으로 분할 알고리즘을 적용한 것을 나타낸다. 각 액티비티들이 재배열되어 행렬을 최적화하는 과정이다. 가시성을 확보하기 위해 설계자 액티비티와 BIM 액티비티의 색을 구분하였다. Fig. 5를 통해 알 수 있듯이 설계 프로세스 액티비티 사이에 BIM 액티비티 항목들이 각각 재배치되어 업무간의 협업관계를 보여준다. 또한 몇몇의 액티비티들은 블록(붉은색의 박스)을 이루며 순서가 재배치되었다. 이것은 피드백을 통한 반복 작업이 발생할 수 있음을 보여주는 것으로 각각의 블록은 피드백을 통해 재작업이 발생하는 구간으로 작업자와 이해관계자들의 의사결정을 통해 재작업을 줄이는 것이 필요하다(Park, 2012)¹⁹⁾.

3.5 각 액티비티의 상관관계 분석(블록중심)

Table 8에서 블록은 A~H로 표기하였다. 블록 A는 기본설계단계에서의 초반에 진행되는 작업으

로 법규검토를 통해 건축규모를 산정하는 과정이다. 블록 B는 각 분야별 BIM 모델링 수정 작업을 기반으로 모델링 간의 간접검토를 통해 설계 오류 사항을 검토하며 2D 도면을 추출하여 도서화 하는 작업을 진행한다. 블록 C는 건축 BIM 모델 수정(일련번호 9)과 순차적 관계에 있는 면적표 및 스케줄표(일련번호 23)과 건축물 용도별 면적(일련번호 22)간의 상호의존적 관계에 대해 보여준다. 블록 D는 구조 적용 시스템의 시뮬레이션을 통한 데이터를 기반으로 한 구조 계산 작업에 대한 내용이며 구조 BIM 모델 수정(일련번호 12)과 순차적 관계에 있다. 그리고 블록 E를 통해 설비 적용시스템의 에너지 시뮬레이션을 기반으로 한 개략 부하 계산과 에너지 절약계획서 및 기타서류를 작성하는 작업에 대한 상관관계를 확인하였다. 마지막으로 블록 F, G, H는 건축, 구조, 설비 BIM 모델과 순차적 관계를 가지며 물량산출과 공정 시뮬레이션을 통한 개략 공사비를 산출하는 작업을 진행한다.

3.6 도출된 BIM 기반 프로세스의 문제점 분석

본 연구에서는 건축, 구조, 설비 각 분야별 작업 지연요소가 가장 많이 발생하는 액티비티들을 찾아내어 이들의 상관관계를 DSM을 활용하여 규명하고 기본설계단계프로세스 행렬을 도출하였다. 도출된 행렬을 검토한 결과 재작업, 반복 작업이 빈번하게 발생할 수 있는 구간(블록)을 발견할 수

Table 8 BIM-based Criteria Design Process

Block	ID	Category	Activity
	1	Architecture	공사용 시방서(초안)
	2	Structure	개략 시방서(구조 일반시방 및 특기시방서 작성)
	3	MEP	개략시방서(기계, 전기, 일반시방 및 특기시방서 작성)
A	4	Architecture	건축물 규모 (건축면적, 연면적, 높이, 층수 등)
	5	Architecture	관련사항에 따른 법규검토
B	6	Architecture	도면(실내재료마감표, 배치도, 주차계획도, 각층 평면도, 입단면도, 투시도)
	7	Structure	도면(기초일람표, 구조평면도, 기둥일람표, 보, 슬래브 일람표, 주심도)
	8	MEP	도면(소방 설비도, 장비 일람표, 계통도, 주요층 기구 평면도, 상세도)
	9	Architecture BIM	건축 BIM 모델링 수정 (Architectural BIM)
	10	Architecture BIM	간섭검토 (Architectural BIM)
	11	Architecture BIM	2D 도면추출 (Architectural BIM)
	12	Structural BIM	구조 BIM 모델링 수정 (Structural BIM)
	13	Structural BIM	간섭검토 (Structural BIM Model)
	14	Structural BIM	2D 도면추출 (Structural BIM)
	15	MEP BIM	설비 BIM 모델링 수정 (MEP BIM)
	16	MEP BIM	간섭검토 (MEP BIM Model)
	17	MEP BIM	2D 도면추출 (MEP BIM)
C	18	Architecture	배치계획 (Masterplan)
	19	Architecture	평·입·단면 계획
	20	Structure	설계 설명서 (Structural)
	21	MEP	설계 설명서 (MEP)
	22	Architecture	건축물 용도별 면적, 주차장 규모
	23	Architecture BIM	면적표 및 스케줄표 (Architectural BIM)
	24	Architecture BIM	개략공사 공정표 (Architectural BIM)
	25	Structural BIM	면적표 및 스케줄표 (Structural BIM)
	26	MEP BIM	면적표 및 스케줄표 (MEP BIM)
	27	Structural BIM	개략공사 공정표 (Structural BIM)
	28	MEP BIM	개략공사 공정표 (MEP BIM)
D	29	Structure	구조 계산서
	30	Structural BIM	구조 적용시스템의 시뮬레이션 데이터(structural analysis)
E	31	MEP	개략부하 계산서
	32	MEP	에너지 절약계획서 및 기타서류
	33	MEP BIM	설비 적용시스템의 에너지 시뮬레이션, 냉·난방 부하분석
F	34	Architecture	공사비 계산서 (Architecture)
	35	Architecture BIM	공정 시뮬레이션을 통한 개략공사비(Architectural BIM)
	36	Architecture BIM	물량산출 (Interior, exterior)
G	37	Structure	공사비 계산서(Structure)
	38	Structural BIM	공정 시뮬레이션을 통한 개략공사비(Structural BIM)
	39	Structural BIM	물량산출 (Concrete, Beam)
H	40	MEP	공사비 계산서(각 공정별 단위면적당 공사비 개념으로 개략산정)
	41	MEP BIM	공정 시뮬레이션을 통한 개략공사비 (MEP BIM)
	42	MEP BIM	물량산출 (Mechanical, Electrical and Plumbing)

Table 9 Drawback of Design Process

Block	Contents	Drawback
B,F,G,H	건축 BIM 모델링 수정(대안작성), 간섭검토, 2D 도면추출, 건축, 구조, 설비 BIM 모델링 수정, 공정 시뮬레이션을 통한 개략공사비, 물량산출	반복작업 및 재작업, 정보 호환성 문제로 인한 데이터 누락 및 손실
C,D,E	면적표 및 스케줄표, 구조 적용시스템의 시뮬레이션 데이터, 설비 적용시스템의 에너지 시뮬레이션, 냉·난방 부하분석	사용자 인터페이스 최적화, 정보의 분석

있었다. 이러한 구간은 소프트웨어 기반의 도구 지원을 통한 작업환경의 개선이 필요할 것으로 판단되었다.

또한 각 분야의 작업자간 협업이 필요한 구간에서 구조, 설비와 관련된 데이터가 부족하여 디자인에 반영이 되지 않아 설계변경 과정이 다수 발생하였고 작업시간이 지연되었다.

다음의 Table 9는 앞선 단계에서 분석한 블록 중심의 구간에서 발생하는 피드백과 재 작업이 필요한 업무의 특성을 나타낸다. B,F,G,H에 해당하는 블록에서는 BIM 모델을 작성하고 수정하는 과정과 간섭검토를 수행하는 과정에서 이중 소프트웨어간의 정보 호환성의 문제, 2D 도면을 추출하고 개략적인 물량산출과 공사비 산정을 위한 정보 입력의 반복작업의 문제가 발생한다. 다음으로 C, D, E에 해당하는 블록에서는 면적, 스케줄과 관련된 업무를 진행하며 사용자 인터페이스의 최적화의 문제가 발생되었고 구조해석, 설비 에너지 시뮬레이션과 같은 정보 수준의 향상이 필요하다.

4. 프로세스의 개선 및 LOD 수준의 향상

본 연구에서는 도출된 기본설계단계의 프로세스의 문제점을 개선하기 위하여 API 어플리케이션을 활용하였다. 개선사항의 검토를 위해 이론적 고찰 단계에서 진행되었던 API 어플리케이션에 대한 검토 항목을 DSM 행렬에 적용하여 실제 프로젝트로 실험을 실시하였다. 이 과정에서 활용한 API 어플리케이션은 DSM 행렬에서 도출된 블록 내에 있는 액티비티 항목들의 단위 프로세스 사이에 배치되어 정보의 흐름을 원활하게 한다. 반복적으로 수행되는 단위 업무 프로세스의 일부를 자동화하여 작업시간을 단축시키며 호환성을 증대시킨다. 도면작성과 같은 정보 입력 및 출력 체계 등의 사용자 인터페이스를 최적화하며 BIM 모델의 시뮬레이션, 에너지분석 등 품질향상을 위한 분석을 지원하여 기본설계단계에서의 업무 프로세스를 보다 효율적으로 개선시키고 LOD(정보의 수준)를 향상시킨다.

Table 10 Review of Improvement

Project Image	Block	Objective	Application	Comparison
B, F, G, H	프로세스 개선을 통한 업무 효율의 분석	Modelbuilder, Exceler8 for Revit, Hummingbird, CASE Exchange, PowerMeasure, CTC ExcelLink, Change and Replace, Line Styles	단위업무의 반복횟수, 프로젝트의 진행시간, LOD의 수준(추가정보), 형상정보 데이터의 손실, 속성정보 데이터의 손실, 간섭검토를 통한 충돌횟수, 설계 반영률
As-is Process (BIM 기반 기본설계프로세스) To-be Process (API를 적용한 BIM 기반 기본설계프로세스) 비교분석	C, D, E	LOD 수준의 향상을 통한 업무효율의 분석	PowerMeasure, Delete Sheets, Views, Extrude Rooms to 3D Mass, Heatload, Detail Filte	

실험은 ‘BIM Competition 2013³⁾’의 실제 프로젝트를 기반으로 진행하였다. 프로세스의 개선이 필요한 블록 B, F, G, H와 LOD의 향상이 요구되는 블록 C, D, E를 중점적으로 검토하였다.

개선사항에 대한 검증은 3.5절에서 도출한 BIM 기반 기본설계 프로세스를 단순히 적용한 경우(AS-is Process)와 이 프로세스의 블록에 API를 적용하여 프로세스와 LOD 수준을 개선한 경우(To-be Process)를 비교, 분석하는 방식으로 실시하였다. 비교 대상은 프로젝트의 진행시간, 단위업무의 반복횟수, LOD의 수준, 형상정보 데이터 손실, 속성정보 데이터의 손실, 간섭검토를 통한 각 공종별 모델의 충돌횟수, 설계 반영률 등이다.

4.1 프로세스 개선을 통한 업무효율의 분석

블록 B, F, G, H에 해당하는 구간에서 발생하는 이종소프트웨어 간의 호환성, 정보누락, 반복작업등의 문제를 해결하기 위하여 호환성, 자동화 API

어플리케이션을 적용하였다.

기존의 블록 B에 해당하는 구간에서는 BIM 모델을 생성하기 위해 Rhino를 활용하였다. 생성된 매스를 Revit으로 가져오고 수정하는 과정에서 형상정보에 대한 누락이 다수 발생하여 데이터를 다시 구축해야 하는 경우가 많았다. 개선된 기본설계단계의 BIM 업무 프로세스는 기본 형상의 생성을 촉진하기 위한 Grasshopper의 컴포넌트를 활용하여 호환성과 자동화를 확보한다. Rhino & Grasshopper 상에서 작성한 기둥, 바닥, 보와 같은 부재 데이터의 시작점과 끝점, 이 두 점을 나타내는 3차원 포인트 데이터를 추출하여 Excel 데이터 형식으로 손쉽게 형상정보와 속성정보를 수정한다. 프로세스의 개선은 각 공종의 간섭검토와 2D 도면 추출의 작업에서도 포인트 데이터의 재활용이 가능하여 정보입력과 호환작업을 용이하게 하였다.

블록 F, G, H에 해당하는 구간에서는 개략적인 물량산출과 공사비의 검토 작업이 이루어진다. 이

Fig 6 Effect of Improvement Process (Block B, F, G, H)

³⁾건축, 구조, 설비 각 분야의 BIM 업무 종사자 6명이 객관적인 검증을 위하여 동일한 환경(기간 60일, LOD 300의 수준)으로 두 차례에 걸쳐 진행하였음.

Table 11 Effect of Improvement Automation & Interoperability

Block B,F,G,H	As-is Process	To-be Process	Effect
단위업무의 반복횟수	블록 B / F / G / H	블록 B / F / G / H	(Number)
	32 / 14 / 23 / 13	12 / 9 / 13 / 9	less 39
프로젝트의 진행시간	블록 B / F / G / H	블록 B / F / G / H	(Days)
	12 / 7 / 4 / 4	6 / 5 / 3 / 3	less 10
LOD의 수준 (추가 정보)	LOD 200	LOD 300	(Rate)
	approximate Information	accurate Information	more 38%
형상정보 데이터의 손실	Uploaded data / Total	Uploaded data / Total	(Rate)
	32%	100%	less 68%
속성정보 데이터의 손실	Uploaded data / Total data	Uploaded data / Total data	(Rate)
	29%	100%	less 71%
간접검토 충돌횟수	간접검토	간접검토	(Number)
	32	8	less 24

블록에서는 각 부재와 면적에 대한 물량을 산출하는 일련의 과정에 API를 활용하였다. 정보의 입, 출력을 위한 사용자 인터페이스를 개선함으로써 정보를 추출하는 단위 업무 프로세스를 단축하였다. 추출한 물량 검토를 통한 예산과 비용 분석 작업^[11]과 연계되어 Table 8의 ID 34-42의 프로세스를 개선하는 효과가 있었다.

Fig. 6은 DSM을 활용하여 도출한 기본설계단계 프로세스를 그대로 BIM 프로젝트 실험에 적용했을 때(As-is Process)와 API 어플리케이션 등을 활용한 개선된 프로세스를 적용했을 때(To-be Process)의 개선효과를 간략하게 도식화 한 것이다. 그림에서 표현된 삼각형의 사선(Gradient, 기울기)은 작업시간의 소요량에 따른 LOD 수준의 값을 나타낸다. 기울기가 높아질수록 동일한 시간대의 작업 구간에서 얻을 수 있는 정보의 수준이 향상되는 것을 의미한다. 즉 동일한 작업 소요시간에 따른 작업의 효율성을 나타내며 실험의 결과를 반영한 것이다.

프로세스의 개선을 통하여 프로젝트에 소요되는 작업시간을 약 10일 정도 단축하였으며 동일한 시간대의 작업구간에서 얻을 수 있는 정보의 수준을 기존의 LOD 200 수준에서 LOD 300의 수준까지 향상시켰다. 이것은 공정 시뮬레이션과 같은 대량의 정보를 입력하는 과정에서 정보의 누락을 검토하고 보다 정확한 각 부재들의 형상정보 데이터(길이, 면적, 볼륨)와 속성정보 데이터(유형, 재료, 사이즈)를 확보하였기 때문에 가능하였다. 또한 비

정형의 모델을 작성함에 있어서 이종소프트웨어 간의 호환성을 높여 각 부재에 대한 데이터 손실률을 약 68% 줄일 수 있었다.

4.2 LOD 수준의 향상을 통한 업무효율의 분석

블록 C에 해당하는 기존의 설계프로세스의 업무는 2D 도면의 출력을 위한 정보(선 두께, 스케일, 치수선, 글자크기)를 각각의 도면에 재입력하는 과정과 관계가 있다. 각 도면의 면적 표와 일정 관리 표를 작성하는 과정으로 정보의 입력의 작업시간이 상당히 지연되었으며 정보오류와 정보누락이 빈번히 발생하였다. 이것은 기본설계 프로세스상에서 요구되는 정보의 수준을 저하시키는 요인이 되었다.

다음으로 블록 D, E에 해당하는 구간의 구조, 설비관련 작업을 진행함에 있어서 구조 해석, 에너지 효율과 같은 시뮬레이션 정보와 시각화 정보가 확보되지 않아 건축, 구조 설비 분야의 작업자들과의 협업에 문제가 발생하였다.

블록 C에 해당하는 구간의 문제점을 개선하기 위하여 사용자 인터페이스 기능을 강화하였다. 정보 입력 및 출력 체계에 대한 사용자 편의성(최적화의 기능)을 확보하여 작업시간을 단축시키고 프로젝트의 각 층별 면적, 스케줄과 관련된 정보를 보다 정확하게 관리함으로써 LOD의 수준을 향상시켰다.

블록 D, E에서는 구조, 설비관련 해석 시뮬레이션, 에너지 시뮬레이션, 시각화(분석의 기능) 정보

Fig 7 Effect of Improvement LOD (Block C,D,E)

를 지원하는 툴을 사용하여 각 분야별 작업자들의 협업을 용이하도록 하였다. 이 과정에서 사용된 분석 API 어플리케이션 중의 하나인 HEATLOAD는 작성된 BIM 모델을 바탕으로 건축물의 기본적인 열 부하를 계산하여 개구부의 비율, HVAC 시스템 설정에 대한 내용을 검토할 수 있도록 하였다. 에너지 효율에 대한 정보를 시각화해줌으로써 초

기 디자인을 결정하는 데 필요한 협업 데이터를 제공하였다. 에너지와 관련된 구체적인 정보(속성 정보)가 포함되어 동일한 시간대에서 확보할 수 있는 정보의 수준을 향상시켰으며 작업 소요시간을 12일에서 7일까지 줄여 약 5일의 작업시간을 단축하였다. Fig. 6에서 표현한 것과 마찬가지로 Fig. 7에서 표현한 삼각형의 사진(Gradient, 기울

Table 12 Effect of Improvement (Optimization & Analysis)

Block C,D,E	As-is Process	To-be Process	Effect
단위업무의 반복횟수	블록 C / D / E	블록 C / D / E	(Number)
	34 / 0 / 0	7 / 0 / 0	less 27
프로젝트의 진행시간	블록 C / D / E	블록 C / D / E	(Days)
	12 / 5 / 7	7 / 5 / 7	less 5
LOD의 수준 (추가 정보)	LOD 200	LOD 300	(Rate)
	MEP Geometric data	MEP Geometric data	more 21%
		MEP Attribute data	
설계 반영률	설비 에너지분석	설비 에너지분석	(Rate)
	20%	60%	more 40%

Table 13 Effect of Improvement for Block

Block	ID	Category	Contents	Applied API	Effect of application
B	6	Architecture Structure MEP	각 공종별 협업을 위한 도면 (평·입·단면도, 상세도)	Automation. Interoperability
	-17	Architectural BIM Structural BIM MEP BIM	건축, 구조, 설비 각 공종별 BIM 모델의 간섭검토, 2D도면의 추출		
C	22	Architecture	면적표 및 스케줄표 작성	Optimization
	-23	Architectural BIM	BIM 모델과 연계된 면적표 및 스 케줄표 작성 (Architectural BIM)		
D	29	Structure	구조 계산서	Analysis
	-30	Structural BIM	구조 적용시스템의 시물레이션 데이터 (Structural Analysis)		
E	31	MEP	에너지 절약계획서 및 기타서류	Analysis
	-33	MEP BIM	설비 적용시스템의 에너지 시물 레이션, 냉·난방 부하분석		
F	34	Architecture	공사비 계산서 (Architecture)	Automation, Interoperability
	-36	Architecture BIM	공정 시물레이션을 통한 개략공 사비 (Interior, exterior)		
G	37	Structure	공사비 계산서 (Structure)	Automation, Interoperability
	-39	Structural BIM	공정 시물레이션을 통한 개략공 사비 (Concrete, Beam)		
H	40	MEP	공사비 계산서 (MEP)	Automation, Interoperability
	-42	MEP BIM	공정 시물레이션을 통한 개략공 사비 (Mechanical, Electrical and Plumbing)		

기)은 작업시간의 소요량에 따른 LOD 수준의 값을 나타낸다. 블록 C, D, E 구간의 개선을 통하여 기울기 값이 As-is Process의 24%에서 To-be Process의 29%로 향상된 것을 확인하였다. 블록 C, D, E 구간의 분석은 프로세스 개선을 통한 업무 효율성 확보가 아닌 LOD 수준의 향상을 통하여 작업 소요시간을 단축시켰다는 점에서 블록 B, F, G, H와 차이가 있다.

4.3 BIM 기반 기본설계 프로세스의 개선 효과

Table 13를 통해 알 수 있듯이 각 공종별로 작성된 BIM 모델을 기반으로 한 2D 도면 추출과정과 이중 소프트웨어간 호환작업 등에서 작업자들의 시간을 대거 단축하였다. 기존의 설계 프로세스에서 소요되었던 작업일수(총 60일)를 45일로 단축 시킴으로써 약 15일의 여유시간을 확보할 수 있었다. 또한 동시간대에 활용 가능한 정보의 수준을 향상시킴으로써 작업자들의 협의를 용이하게 하였다.

B 블록 - 비정형의 형상을 모델링하는 과정에서 호환성 API 어플리케이션의 활용하여 프로세스를 개선함으로써 작업자의 업무효율을 증대시킬 수 있었다.

C 블록 - 2D도면의 출력, 각 층 면적 표와 스케줄 표의 작성과 같은 정보입력 및 출력 체계에 대한 사용자 편의성을 증대시켜 LOD 수준을 향상시켰다.

D, E 블록 - 구조계산과 열 부하 계산과 같은 분석 API 어플리케이션을 활용한 개구부 면적 비율을 계산, 각 공종별 작업자간 업무의 이해를 높임으로써 디자인 결정시간을 단축하였다.

F, G, H 블록 - 건축, 구조, 설비 관련 업무를 진행함에 있어서 설계 정보 입력 시 발생하는 정보누락, 단순반복 작업에 자동화 API 어플리케이션을 활용하여 업무효율을 향상시켰으며 물량과 개략 공사비용 산출과정에서 최적화 API 어플리케이션을 활용하여 정보누락에 의한 작업 시간 지연 문제를 개선하였다.

기존의 기본설계 프로세스상에서의 각 단계별에서 요구하는 정보의 수준, LOD(Level of Development)은 LOD 200에 해당된다. 프로젝트의 일반적인 설계 시스템과 부재, 개략적인 물량, 규모, 형상, 위치와 건물에 관한 정보 입력 등이 요구된다. 그러나 본 연구에서는 2.4장에서 검토한 API 어플리케이션을 활용하여 LOD 300에 가까운

수준의 정보를 확보할 수 있었다.

최적화 API 어플리케이션을 활용하여 BIM 모델이 포함하고 있는 정보의 누락 등을 검토함으로써 보다 정확한 정보를 확보하였으며 호환성 API 어플리케이션을 활용함으로써 각 부재의 사이즈, 형상, 위치에 대한 Point Data를 확보하였다. 마지막으로 분석기능을 향상시켜 실시설계단계에서 바로 활용 가능한 수준의 물량산출 정보의 추출이 가능하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 BIM 기반 기본설계단계에서 API 어플리케이션을 적용하여 업무 생산성을 향상시킬 방안에 대하여 분석하였다. BIM 환경에서의 기본설계 단계 프로세스에서의 업무를 분석하여 의존 관계구조 행렬 방법론(DSM)을 활용한 BIM 기반 설계 프로세스를 작성하였다. 그리고 이것을 검토하여 기본설계단계에서 발생할 수 있는 작업의 반복성, 호환성 등과 같은 작업의 효율을 저감시키는 요소와 업무과정을 도출하였다. 마지막으로 문제점을 개선하기 위해 공개되어 있는 상호운용성, 자동화, 최적화, 분석등의 API 어플리케이션을 활용하여 본인이 참여한 프로젝트를 중심으로 실험을 실시하였다. BIM 기반의 기본설계 프로세스는 작업자들 간의 협의사항과 결정사항들이 많고 이중 소프트웨어간의 호환성, 반복성, 재작업 등의 업무의 비효율을 야기시키는 문제들이 많이 발생한다. 예를 들어 BIM 모델에서 작성된 각 부재 하나하나를 선택한 후 매개변수 창에 공정을 입력하는 방식의 반복 작업과 정보의 누락으로 인한 재 작업이 불가피하여 작업시간이 많이 소요되었다. 그러나 본 연구에서 제시한 자동화 최적화 API 어플리케이션을 사용함으로써 부재에 대한 속성 정보를 Excel 상에서 수정, 입력 하여 작업 소요시간을 상당히 단축되었다. 본 연구에서 검토한 BIM 기반의 기본설계 프로세스에 API 어플리케이션을 잘 활용한다면 반복적이거나 단순노동집약적인 작업들을 자동화하여 소요되는 작업시간을 상당히 줄일 수 있을 것으로 확인되었다. 본 연구에서 검토된 내용은 대규모 설계 프로젝트의 진행 시 이중 소프트웨어간의 형상 및 속성정보의 입력과 수정을 용이하게 하여 작업자들의 업무 효율을 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 형상과 속성

정보를 누락 없이 호환할 수 있는 API를 활용하여 정보누락에 의한 작업시간의 지연문제를 개선하여 BIM 업무의 효율성 향상에 기여할 것으로 사료된다.

References

1. Na, K.-J., 2008, Development of a Conceptual Process Model for BIM Application in Korean Construction Industry, *The Korea Institute of Building Construction*, 10(1), pp.649-653.
2. Lee, B.-H., 2010, BIM Application for the Structural Engineering Field in Korea, *The Architectural Institute of Korea*, 54(1), pp.52-57.
3. Kim, B.-K. and Kim, K.-C., 2009, A Study on Level of Information Which Integrated Design Process for BIM Application - Focus on the Level of Information Which Finland and Denmark BIM Guideline, *The Architectural Institute of Korea*, 29(1), pp.317-321.
4. Seo, C.-S., 2010, Application of BIM-Based Integrated Building Design Process at the Design Phase, *The Korea Institute of Building Construction*, 10(1), pp.195-199.
5. Kim, W.-S., 2010, Revealing Issues and Prospects of Domestic Construction by Analysis of BIM Case Studies, *The Architectural Institute of Korea*, 54(1), pp.65-69.
6. Park, C.-H., 2010, Management of Design and Construction Information of Building Structures Based on IFC, *Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 2010(6), pp.1422-1429.
7. Lee, J.-H. and Jun, H.-J., 2007, A Study on the Adaptability of BIM-based Integrated Building Design Process in Domestic Architectural Design Firms, *Korean Institute of Interior Design Journal*, 16(6), pp.19-27.
8. Lee, S.-H., 2010, Analysis of the Process Modeling Methods for Capturing Collaborative Processes, *Korean Institute of Industrial Engineers*, 2010(6), pp.1422-1429.
9. Chang, S.-H., 2009, Tower Crane Operation Management Using the Dependency Structure Matrix, Seoul National University.
10. Browning, 2001, Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48(3).
11. Choo, S.-Y., 2012, A Study on LOD(Level of Development) for Development of Green BIM Guidelines - Focused on Energy Performance Estimation, *The Architectural Institute of Korea*, 28(6), pp.37-47.
12. Kim, J.-W., 2009, A Study on the Development of the Problem Improvement Directions in Enhancing BIM Data Interoperability through IFC, *Korea Institute of Construction Engineering and Management*, 10(6), pp.88-99.
13. Sang, J., 2011, Data Management in BIM-based Design Project, *Korean Institute of BIM*, 1(1), pp.91-92.
14. Lim, C.-W., 2010, Analysis for BIM Object Information Compatibility Problem Classification Among BIM Softwares, *The Korea Institute of Building Construction*, 10(6), pp.257-260.
15. Eastman, Chuck, Teicholz, Paul, Sacks, Rafeal, and Liston, Kathleen, BIM Handbook, John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 2008.
16. Jung, S.-W., 2011, A Study on Introducing The Integrated Building Design Process in Domestic Construction Industries Through BIM-API Cases, *The Architectural Institute of Korea*, 31(1), pp.59-60.
17. Park, G.-B., 2013, A Study of the using API for Improving Productivity in Construction Engineering, *Korean Institute of BIM*, 3(3), pp.46-55.
18. Kim, Y.-S., 2010, Integrated Project Delivery (IPD) / New Paradigm of Project Delivery System for BIM Based Construction Projects; Integrated Project Delivery(IPD) System, *The Architectural Institute of Korea*, 54(1), pp.37-40.
19. Park, M.-S., 2012, BIM Design Management Process Using the Dependency Structure Matrix at the Introduction Phase, *The Architectural Institute of Korea*, 28(1), pp.37-45.
20. Yun, J.Y., 2009, A Study on an Optimal Plant Design Collaboration System Using a Design Structure Matrix, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 33(1), pp.337-346.
21. Ahn, H.-K., 2013, A Study on Improvement of Implementation Documents using DSM (Design Structure Matrix), *The Architectural Institute of Korea*, 29(3), pp.173-181.
22. Chang, S.-H. 2009, A Study on Schedule Management in Construction Project Using the Dependency Structure Matrix (DSM), *Korean Institute of Construction Engineering and Management*, 7, pp.682-686.
23. Standards for Architectural Design Service and Its Fee 2002, Ministry of Construction & Transportation notified 2002-270.
24. AIA Document E202TM-2008, 2008, AIA (American Institute of Architects)
25. AIA California Council, Intergrated Project Delivery, 2007, Organizing the Development of

- a Building Information Model, AIA California Council The American Institute of Architects.
26. Yassine, A., 2003, Complex Concurrent Engineering and the Design Structure Matrix Method, Published by SAGE.
 27. Maheswari, U., 2005, A Structured Approach to Form Dependency Structure Matrix for Construction Projects”, *22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction*.
 28. Danilovic, M., 2007, Managing Complex Product and Domain Mapping Matrices, *International Journal of Project Management*.
 29. Liang, L.-Y., 2009, Integral Methods of Fuzzy AHP and DSM for Evaluation in Partitioning Design Team, ICCPM 2009 Jeju, Korea.
 30. Akram, S., 2009, Model for Design Management in Collaborative Environment Using Structure Matrix and Design Parameters' Information, ICCPM 2009 Jeju, Korea.
 31. Kim, Y.-H., 2012, A Study of BIM based Cooperation Process in the Schematic Design Stage, *Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Conference*, pp.662-667.
 32. Kim, W.-H., 2012, A Study on the Method for Improving Efficiency of Decision Making in the Phase of Design Development, *Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Conference*, pp.641-646.
 33. Kim, J.-W., 2009, A Study on the Development of the Problem Improvement Directions in Enhancing 3D BIM Data Interoperability through IFC, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 14(6), pp.390-403.

정 영 호

한양대학교 대학원 건축 및 도시환경공학 전공 / 석사과정

이 주 성

한양대학교 대학원 건축환경공학과 / 박사과정

함 남 혁

한양대학교 대학원 건축환경공학과 / 박사과정

김 주 형

한양대학교 공과대학 건축공학부 교수

김 재 준

한양대학교 공과대학 건축공학부 교수