

# 4D 시뮬레이션을 위한 공법 템플릿 기반의 건설공정 자동 생성

송성열<sup>1</sup> · 양정삼<sup>1\*</sup> · 명태식<sup>2</sup>

<sup>1</sup>아주대학교 산업공학과 / <sup>2</sup>국립한밭대학교 기계설계공학과

## Automated Generation of a Construction Schedule Based on the Work Method Template for 4D Simulation

Sungyol Song<sup>1</sup> · Jeongsam Yang<sup>1</sup> · Tae-Sik Myung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Ajou University

<sup>2</sup>Department of Mechanical Design Engineering, Hanbat National University

BIM-based 4D simulation makes people easily understand complex construction process using 3D graphics model and helps them review and identify the construction schedule in each phase of the construction process. Moreover, 4D simulation can be used as reference data to determine the validity of the process in the design phase and will be utilized as a measure for checking the construction process. Therefore 4D simulation of construction improves efficiency of project management. However, current commercial applications available for 4D simulation do not provide sufficient functions for connection of 3D models and process information. In this paper, we propose an automated generation method through the definition of the process based on a work method template and developed the template based schedule generation system (TSGS).

**Keyword:** construction planning, building information modeling(BIM), 4D simulation, work template, scheduling

### 1. 서론

건설 프로젝트의 효율적 관리와 생산성 향상을 위하여 최근에는 정보기술을 도입하는 노력이 활발하게 이루어지고 있고, 그 과정에서 BIM(Building Information Modeling)이 등장하게 되었다. BIM을 활용한 건설프로젝트에서는 설계 시 작성된 모델 내 객체가 각각의 정보를 담고 있어, 프로젝트 전체 라이프사이클 안에서 공유함으로써 정보전달의 효율성을 향상시킨다. 특히 BIM 기반의 4D 시뮬레이션은 3차원 그래픽 모델을 활용하여, 복잡한 형태의 건축물의 건설과정을 시간 혹은 단계에

따라 사용자가 이해하기 쉽게 보여준다(Park and Martin, 2003). 따라서 4D 시뮬레이션은 기획 설계 단계에서 사전에 시공과정의 공정을 검토하고 공정과약을 용이하게 하고, 시공 설계 단계에서 공정 유효성 판단을 위한 자료로 활용된다. 또한, 시공 과정에서 공사 진척도 확인을 위한 척도로 활용되어 건설 프로젝트관리의 효율성을 향상시킨다. 이러한 BIM 기술을 현재의 건설프로젝트에 적용하기 위해서는 건설과정에서 사용되는 다양한 도구들 간의 정보에 대한 손실 없는 공유가 필수적으로 요구된다(Lee *et al.*, 2009). 그러나 현재 4D 시뮬레이션이 가능한 상업용 프로그램은 3D 모델정보와 공정정보의 연계에

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2009-0074748).

\*연락처 : 양정삼 교수, 442-749 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5 아주대학교 산업정보시스템공학부,

Fax : 031-219-1610, E-mail : jyang@ajou.ac.kr

투고일(2011년 06월 23일), 심사일(1차 : 2011년 09월 07일, 2차 : 2011년 12월 01일), 게재확정일(2011년 12월 01일).

대한 기능이 미흡하여, 3D 모델 내 객체와 공정의 작업을 사용자의 수작업을 통해 서로 연계하여야 하는 매우 비효율적인 작업을 필요로 한다. 이와 같은 수작업은 비록 단순 반복 작업이지만, 초고층 빌딩에서와 같이 대용량 데이터를 처리하기에는 한계가 있다. 특히, 외부 공정정보를 연계하지 않을 경우에는 3D 모델 객체 별로 타임라인(time-line) 상의 시간을 설정해야 하는데, 이는 더욱 비효율적이다. 따라서 현재의 4D 시물레이션은 시각적인 이미지로만 사용될 뿐 실질적인 건설관리 도구로서의 역할을 하지 못하고 있다. 이러한 4D 시물레이션의 비효율적인 문제점이 해결을 위해서는 형상객체와 공정 간의 유기적 연결이 이루어져야 하고, 4D 시물레이션 내에서 공정 생성 및 관리에 관한 자동화 기능을 제공해야 한다.

본 논문에서는 템플릿(template) 기반의 공법 정의를 통한 자동 공정 생성 시스템을 제안하고, 건설 공정과 3D 모델 내 객체와의 간편한 연결 방식과 이를 통한 자동 스케줄 생성을 목적으로 한다. 이를 통하여 초고층 건물과 같은 대형 건설 프로젝트의 4D 시물레이션의 효율적인 활용을 실현할 수 있다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 자동 공정 생성

자동 공정 생성에 관한 연구로서, 건축물의 각 구성 요소들 간의 관계를 분석하여 부재 혹은 공정간 우선순위를 결정하는 시스템의 제안 및 소프트웨어의 개발이 활발히 수행되었다. Lee(2004)는 기 생성된 3D 모델정보와 공정 DB를 활용하여 공정 자동 생성 모듈과 물량산출 모듈을 개발하였고, 공정 자동 생성 모듈을 통해 신속한 공정계획을 수립함으로써 4D 모델의 구현 기능을 향상시켰다. Nguyen(2005)은 건축물 구성 요소들 간의 관계를 정의하고, 3D 형상 모델로부터 획득한 정보를 토대로 자동 공정 생성이 가능한 시스템을 개발하였다. 또한 Tulke and Hanff(2007)는 공기를 고려하지 않고 작성된 공정정보에 대해 3D 모델로부터 추출된 물량정보를 자동 연계함으로써 물량이 반영된 예정 공정표의 작성이 가능한 시스템을 제안하였다. De Vries and Harink(2007)는 건축물의 구조체를 3D 그리드로 구획하여 각 그리드 단위당 수직 및 수평의 관계를 분석하고, 작업 관계 정의를 통한 자동 공정 생성 시스템을 개발하였다. Ju *et al.*(2008)는 3D 모델로부터 획득한 정보를 이용하여 공정을 자동으로 생성하고, 이를 활용함으로써 건설 프로젝트의 실시간 정보 수집 및 진도관리가 가능한 시스템을 구축하였다. 그러나 이러한 기존 연구들은 각 부재의 세부적인 계획이 아닌 공종별 공정생성이나 층별 공정생성에 그치거나, BIM을 활용한 4D 시스템의 확장을 고려하지 않은 공정 자동 생성을 목적으로 함으로써 추가 정보의 재사용을 고려하지 못하였다.

### 2.2 4D 시물레이션

4D 건설 시물레이션은 3D 형상 모델과 건설 공정 간의 연계

를 통해 4D CAD 모델을 생성시킴으로써 이루어진다. 4D 시물레이션 시스템은 건설 프로젝트의 시각화를 통하여 사전검토를 가능하게 함으로써 작업오류를 발견 및 수정이 가능하도록 하며, 이후의 프로세스를 사전에 예측할 수 있도록 한다. 또한 공정뿐만 아니라 자재, 원가 입력 등의 여러 데이터와 연계시켜 공정에 따른 각 부문의 현황을 자동으로 체크하고 수정이 용이하며 예측할 수 있는 확장성을 지니고 있다.

4D CAD 환경의 구현에 관련된 연구로 소프트웨어의 개발과 4D CAD 적용에 따른 프로젝트 수행시의 이점에 관한 연구가 활발히 수행되었다. Wang *et al.*(2004)는 3D CAD 환경과 공정과의 연계가 가능한 프로그램인 4DSMM+(4D Site Management Model+)를 개발하였다. Jo *et al.*(2008)는 현재 개발되어 상용화되어 있는 4D 시물레이션 프로그램의 문제점을 분석하고, 조합식 공정생성을 통한 시물레이션 시스템을 개발하였다. Ma *et al.*(2005)는 3D CAD 환경과 공정뿐 아니라 자원, 공사현장 상황을 연계하는 4D-ISPS(4D Integrated Site Planning System)을 개발하였다. Heesom *et al.*(2004)는 4D 시물레이션의 세부적인 모델링, 데이터 교환, 3D 모델과 WBS(Work Breakdown Structure)의 자동연계 등을 제안하였다. Kim and Naruo(2005)는 3D CAD 내의 부재의 위치를 해석하고 부재 간 설치 우선순위를 설정하여 가시화 시스템을 개발하였다. Ryu and Kim(2009)는 3D CAD 환경 내에서 주요 부재의 위치를 해석하고 공정을 자동 생성하는 4D 시물레이션 시스템을 개발하였다. 이러한 기존 연구들은 3D 및 4D CAD 환경을 통하여 공정과 원가관리가 가능한 시스템을 구축하였다. 그러나 대부분의 연구들은 4D CAD 환경에서 시물레이션 구현을 위해 3D 형상 객체에 공정정보 및 원가 정보 등의 추가 정보를 직접 입력 및 연계시키는 수동적인 방법을 통해 실제 공사 상황을 반영하지 못한 공정 생성 방법을 사용하고 있다.

### 2.3 상업용 4D 시물레이션

대표적인 4D 시물레이션 프로그램으로는 NavisWorks, JetStream, Bentley Schedule Simulator 등이 있다. 이러한 4D 시물레이션 프로그램들은 3D CAD로부터 입력된 객체에 공정을 추가, 삭제하는 기능을 통하여 시물레이션을 구현한다. 이러한 4D 시물레이션 프로그램들의 시물레이션 생성 과정은 다음과 같다.

- ① 3D CAD 정보 입력
- ② 공정 관리 프로그램으로 작성된 공정 정보 입력/프로그램 내에서 공정 추가, 삭제
- ③ 공정과 형상 정보 연결
- ④ 각각의 객체에 대한 시작 시간 및 종료 시간 설정
- ⑤ 시물레이션 생성

프로그램 내에서 공정을 추가, 삭제할 경우 매우 많은 개별적인 객체에 대한 공정 정보의 입력 과정이 필요하게 된다. 공정과 형상 정보 연결 과정은 마우스를 이용한 드래그 앤 드롭

이나, 체크 박스를 이용한 선택 등을 통하여 특정 공정과 연결될 형상 객체를 선택하는 과정을 거치게 된다. 또한 객체간의 선, 후행 관계 등 실제 공정관리를 위한 기능이 지원되지 않는다. 또한 상용 프로그램을 이용하는 과정에서 설계변경으로 인한 객체의 변경이나 시공 상의 공법, 기법 등의 변경으로 인한 공정변경이 발생한 경우 변경된 사항이 적용되는 모든 객체에 대한 수정이 필요하다. 본 논문에서는 시뮬레이션 생성 과정 중 ②, ③, ④번 단계를 자동화하기 위하여 공법 템플릿을 제안한다.

### 3. 건설공정 자동 생성

#### 3.1 템플릿 기반의 공정 생성 방법

본 연구에서 제안하는 TSGS(Template based Schedule Generation System)는 기존 상용용 시뮬레이션 프로그램에서의 공정 생성 작업을 자동적으로 수행 가능케 하여, 4D 시뮬레이션을 실행하기 위한 초기 데이터를 빠르게 생성하는 도구로서 사용될 수 있다. 또한, TSGS는 정의된 템플릿을 이용하여 부위 별 공법을 미리 정의하고, 템플릿에 정의된 공법을 이용하여 공정 스케줄을 생성한다.

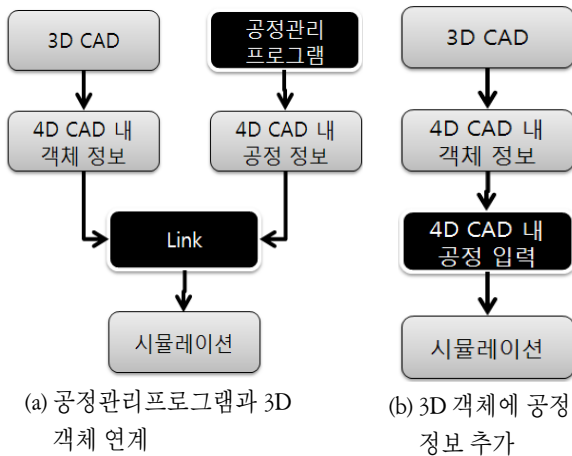
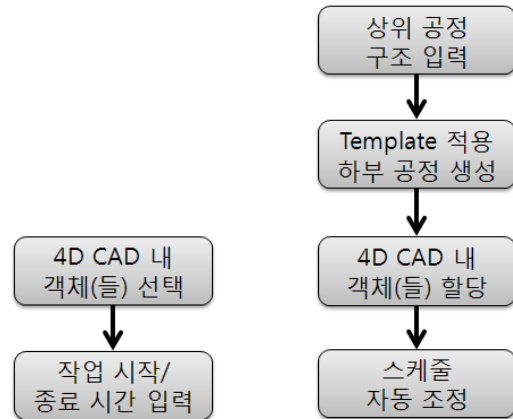


Figure 1. Data Linkage Procedure Between a 3D Model and Its Related Working Process

<Figure 1>은 상용 프로그램 및 기존 연구에서의 3D 형상모델과 건설공정 연계를 위한 데이터 흐름을 보여주는 것으로서, (a)는 공정관리프로그램으로부터 공정정보가 입력되는 경우이며 (b)는 4D 시뮬레이션 프로그램 내에서 공정을 생성시키는 경우를 나타낸다. 어두운 색상의 상자는 공정과 관련된 입력이 필요한 부분을 나타내는 것으로 (a)는 공정 수립 단계 및 설계된 3D 모델과 공정 간의 연계 시 새로운 데이터의 생성 및 입력이 필요하다. (b)는 공정을 4D 시뮬레이션 툴로 입력된 3D 모델에 직접 생성하는 것으로 (a)의 경우에 비해 적은 입력과정이

필요하다. 본 논문에서 제안하는 TSGS는 (b)와 같이 기존의 4D 시뮬레이션 프로그램에서 사용하는 방식의 데이터 흐름을 기반으로 공정을 생성한다.



(a) 3D 객체에 공정 정보 추가 (b) 공정 생성 후 객체 할당  
Figure 2. Comparison of the Existing Approach (a) and Our Approach (b) Regarding Working Process Generation

<Figure 2>는 시스템 내에서 공정 생성 과정을 보여준다. 기존 4D 시뮬레이션 프로그램에서는 자체적으로 공정관리 프로그램으로써 필요수적인 기능이라 할 수 있는 공정의 선-후행 관계 정의, 작업 소요 시간 정의 등의 기능들을 제공하지 않고, 단순 애니메이션을 위한 시간 입력 위주의 데이터 입력을 통하여 공정을 생성한다. 따라서 초기 데이터 생성에 시간이 많이 걸리고, 변경이 발생될 경우 모든 객체에 대한 재입력 과정이 필요하게 되므로 사용상의 비효율적인 요소가 많다. (b)는 본 논문에서 제안하는 TSGS의 공정 생성 과정을 나타낸 것으로서, (a)의 객체에 대한 시작-종료 시간을 입력하는 방식과 달리 상위 공정 구조를 먼저 생성하고 하위 공정 구조를 정의된 공법 템플릿을 이용하여, 자동생성 한 뒤 객체를 할당하게 하여 구조화된 정보 생성이 가능하다. 템플릿을 정의하는 방식에 따라 전체 공정을 하나의 템플릿으로 정의하거나, 세부 공정을 하나의 템플릿으로 정의할 수 있어 공정의 세밀한 정도를 조절할 수 있다. 또한 선-후 관계를 정의할 수 있어 특정 공정의 작업 시간이 변경될 경우, 전체적인 스케줄이 자동으로 재계산될 수 있으므로 효율적인 4D 시뮬레이션 생성 및 유지보수를 가능케 한다.

#### 3.2 TSGS 프로세스

TSGS의 4D 시뮬레이션은 <Figure 3>에서 보는 바와 같이 6단계로 구성되며, 건설 요소에 대한 3D 형상 모델을 IFC(Industry Foundation Classes) 데이터로 입력한 후, 공정 생성과 4D 시뮬레이션 과정을 수행한다. IFC 데이터로부터 추출된 모델 정보는 IFC 내에 정의된 계층 구조를 포함하고 이를 이용하여 객체 정

보가 구성된다. 이때, 실제 구성될 공정의 템플릿을 생성하여 공법을 정의한다. 또한, 템플릿으로 정의되지 않은 상위 구조를 먼저 생성한 뒤, 공법을 적용하여 하위 구조를 생성하고 적절한 공정에 객체를 할당한다. 마지막으로, 정의된 템플릿 내에 공정의 선-후행 관계가 정의되어 있으므로 정의된 객체의 정보를 이용하여 적절한 작업 시간이 계산되면 전체적인 공정표가 작성되어 4D 시뮬레이션을 수행할 수 있게 된다. 일반적으로 4D 시뮬레이션 내에서 정의되는 공정표의 시뮬레이션 대상은 기둥 1개, 벽 1개 등의 부재 단위가 된다. 그러나 공법을 정의하는 과정에서 대상의 단위 정도를 정의할 수 있어서, 1개의 부재 단위 < 몇 개 부재의 묶음 < 부재의 상위 단위인 부위 등으로 시뮬레이션의 대상을 확대할 수 있다. 본 논문에서는 철골공사를 기준으로 시뮬레이션을 구성하였으며, 1개 부재 단위로 시뮬레이션이 되도록 공정 템플릿을 구성하였다.

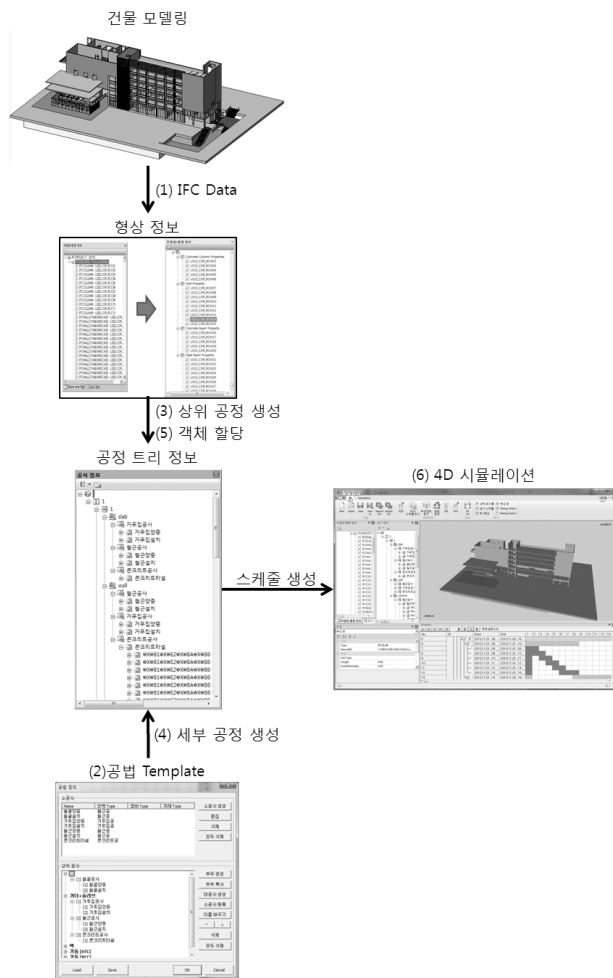


Figure 3. Execution Process of TSGS

프로세스의 첫 번째 단계는 IFC 포맷을 이용하여 3D CAD 시스템에서 만들어진 건물의 모델 데이터를 입력하는 과정이다. 설계자는 다양한 상업용 프로그램을 이용하여 모델을 생성하게 되지만, 일반적인 건축용 CAD 프로그램은 건축용 BIM 정보

호환을 위해 사용되는 IFC 형식의 데이터 저장 기능을 가지고 있으므로, 이를 이용하여 IFC 데이터를 작성한다. 작성된 3D 모델로부터 각 객체의 형상 정보와 객체 간의 연결 정보, 물량과 관련된 정보를 추출하고 TSGS 시스템으로 입력하게 된다. 이때, 3D 모델로부터 추출되는 객체의 정보는 ID, Type, Location, Aggregation, Volume, Area 등이다. ID는 객체의 고유 값으로서 전체 구조 내에서 유일한 값으로 정의된다. Type 정보는 객체의 종류를 나타내며, 공법이 적용되는 과정에서 잘못된 객체가 연결되는 것을 방지한다. Location 정보는 객체의 기준 점이 위치하는 전역 좌표계를 의미하고 형상 정보가 표현될 위치를 지정하기 위해 사용된다. Volume과 Area은 물량 정보를 산출하는 과정에서 이용되는데, 물량 정보는 공법 적용 시 작업 시간에 반영되어 스케줄을 변경시킨다. 이 정보들이 이용되어 공법 적용 및 공정 스케줄 생성 과정이 이루어진다.

IFC 포맷은 다양한 정보를 포함할 수 있는 구조를 가지고 있지만, IFC 파일을 생성하는 상업용 CAD 프로그램이 어떠한 정보를 구성하고 IFC 파일에 포함시키는 지에 대한 표준이 존재하지 않기 때문에 위의 정보가 존재하지 않을 수 있다. 이 경우에는 해당 상업용 CAD 프로그램 기능을 이용하여 위의 정보를 별도로 추출하여 텍스트 파일이나 엑셀 파일로 저장하여 IFC 데이터 입력 후에 별도로 입력할 수 있다.

두 번째 단계는 공법 템플릿을 생성하는 단계로서 시공 상의 공법이나 기법을 정형화하여 재사용 가능한 형태로 만드는 과정이다. 1개의 단일 부재에 관하여 여러 단계의 세부 공정이 필요하며, 세부 공정들의 프로세스는 적용되는 공법에 따라 달라진다. 이 단계에서는 생성할 공법을 정의하고 해당 공법의 하부 공법 프로세스를 정의한다. 공법 템플릿 생성에 관련한 자세한 프로세스는 제 3.3절에서 기술한다. 생성된 공법은 공법 리스트에 등록되고 특정 공정에 공법이 적용되면 정의된 하부 프로세스 공정들이 자동으로 생성된다.

세 번째 단계는 상위 공정 생성 단계이다. TSGS 시스템은 공사 기본 구조를 계층 구조가 되도록 구성한다. 계층은 일반적으로 {Project}-{수직 조닝}-{수평 조닝}-{부위}-{대상사}-{소공사}-{단위 객체}의 단계로 구성된다. 계층 구조는 건설 프로젝트마다 달리 구성될 수 있는 요소로서, 수평 조닝 하위에 {층} 항목이 추가되거나 {수직 조닝}이 생략되는 등의 변경이 이루어진다. 상위 공정 생성 단계에서는 공법으로 정의한 단계를 제외한 공정을 생성하여 공법을 적용하기 위한 기초를 만든다.

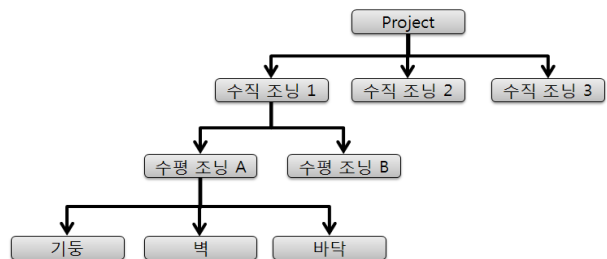


Figure 4. Construction Structure of Upper-Level Works

우선, <Figure 4>와 같이 상위 구조를 생성한다. 상위 구조는 IFC 파일에서 정의 가능한 구조이며, 건물 모델링 단계에서 공사 WBS 구조에 맞게 구조가 정의되어 있다면 IFC 변환 과정에서 구조 정보가 포함될 것이다. IFC 파일에 구조가 포함되어 있다면, 파일을 읽는 과정에서 <Figure 4>와 같은 상위 구조가 생성된다. 건물 모델링 단계에서 구조가 정의되어 있지 않은 경우에는 사용자의 입력을 통해 상위 구조를 정의한다.

네 번째 단계는 공법 템플릿을 이용한 세부 공정 자동 생성 단계이다. <Figure 5>와 같이 “벽” 부위에 해당하는 공법을 템플릿으로 정의하였을 경우에는 대공사, 소공사, 객체 단위의 하부 구조가 생성된다. 한 단계 아래의 대공사에 해당하는 공법을 템플릿으로 정의하였을 경우에는 하부 구조인 소공사, 단위 객체의 항목들이 생성된다.

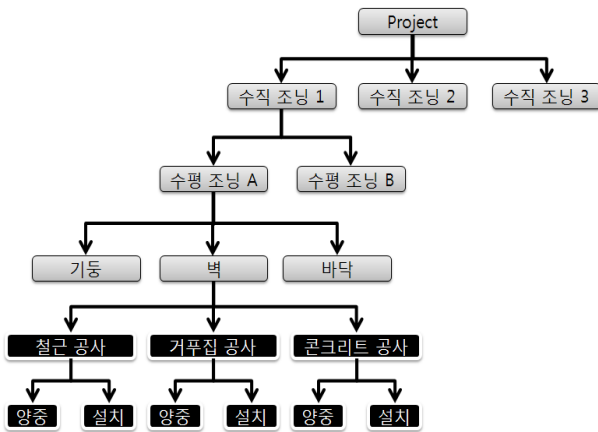


Figure 5. Construction Structure Automatically Deployed to Leaf Works

세부 공정 생성의 확장 적용은 상위 구조 중 어느 단계에서나 적용이 가능하다는 것이다. 부위 단계의 하위 구조를 생성하는 공법 템플릿을 특정 부위에 적용할 경우 하나의 공법 구조가 생성되지만, 그 상위 단계인 수평 조닝이나 수직 조닝, 프로젝트에 적용될 경우 하위 모든 부위들에 공법 구조가 생성될 수 있다. 전체적으로 동일한 공법이 적용되는 건설 공사의 경우에는 몇 개의 공법 템플릿을 정의하여 모든 공정을 간단하게 생성할 수 있다.

다섯 번째 단계는 객체 할당 단계로 계층 구조 상의 특정 공정에 해당되는 모델 정보를 할당하는 과정이 이루어진다. 이 과정은 Primavera 社의 Project Planner나 Microsoft 社의 MS-Project와 같은 외부 공정관리 프로그램을 사용하여 공정과 객체를 연결하여 공정 구조를 생성하는 방식과 유사한 과정으로 수행된다. 외부에서 공정 구조가 만들어지고 인터페이스를 통하여 공정 구조를 가져오는 경우, 일반적으로 항목 이름, 시작 시간, 종료 시간과 같이 일정을 정의하기 위한 기본적인 내용만을 포함하게 된다. 모든 공정이 만들어진 이후 한꺼번에 공정 정보를 가져오게 되고, 전체 공정에 대한 할당 과정이 단순하지만 반복적이고 시간이 많이 걸린다. 위의 과정과 달리 TSGS 시

스템에서 만들어진 공정 구조는 공정의 단계별 속성(프로젝트, 수직 조닝, 수평 조닝, 부위 등)을 가지고 있고, 이를 객체들이 가지는 Type 속성과 연결하면 그룹 단위의 할당이 가능해진다. 또한 공정을 생성하는 과정과 객체를 할당하는 과정이 연속적으로 이루어지므로 단순한 반복 작업이 아닌 공정 생성 과정의 하나로써 수행된다. 나아가 객체를 모델링하는 과정에서 몇 가지 규칙을 정의한다면 객체의 할당을 자동화할 수 있다. 예를 들어 객체의 이름을 층, 부위, 위치 등이 포함되도록 정의한다면, 객체를 할당하는 과정에서 객체의 이름으로부터 위의 정보를 얻어내어 특정 공정에 할당되도록 할 수 있다.

여섯 번째 단계는 4D 시뮬레이션 단계이다. 이 단계에서는 기존 상용 프로그램에서와 같이 공정표에 의해 공사 진행 과정을 보여준다. 위의 단계에서 세부 공정을 자세하게 정의할 경우 더욱 자세한 시뮬레이션이 수행될 수 있다.

### 3.3 IFC를 이용한 BIM 정보 입력

#### (1) BIM과 IFC의 관계

BIM은 파라메트릭 기술을 이용하여 빌딩 객체들(벽, 슬라브, 창, 문, 계단 등)을 각각의 속성정보(기능, 구조, 용도 등)로 표현하고, 이들 사이의 관계를 인지하여 건물의 변경 요소를 빌딩 구성 정보에 즉시 반영한다. 따라서 모든 빌딩 객체들 내에 특성 및 관계 정보가 모델 데이터를 이용한 시뮬레이션에 의해 얻어질 수 있기 때문에, 건설 프로젝트 진행에 있어 신속한 의사결정을 지원 할 수 있다. BIM을 중심으로 건설 분야에서 정보기술의 활용에 관한 연구는 IFC를 통한 중립 포맷의 호환성 실험과 3D 형상 정보를 시간 축에 따라 동적인 가시화를 수행하는 4D 시뮬레이션으로 구분될 수 있다.

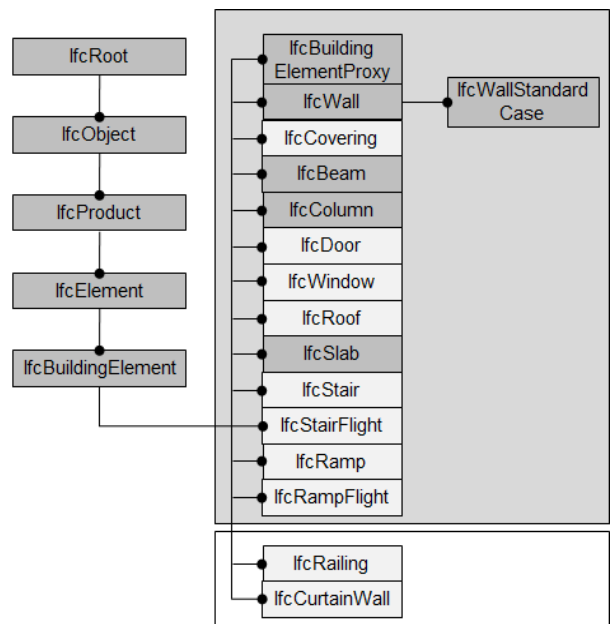


Figure 6. Class Structure of the Building Elements

IFC 포맷은 건설 분야의 관련 정보의 효과적 관리와 상호 호환성을 높이기 위해 개발되어 건설 분야의 국제 표준으로 활용되고 있다. 본 논문에서는 모델링된 3D 형상 정보와 BOM 구조 정보 및 속성 정보를 입력받기 위하여 IFC 포맷을 이용한다. <Figure 6>은 건축 표준 요소들에 대하여 IFC에서 정의하고 있는 Building Element들에 대한 class 구조로서, 건축 요소들은 IfcBuildingElement를 상속받는다. 본 논문에서는 건축 요소들 중에서 IfcWall, IfcWallStandardCase, IfcBeam, IfcColumn, IfcSlab에 대한 정보를 처리하여 부재 정보를 생성한다. IfcWall과 IfcWallStandardCase는 벽을 표현하기 위한 구조이고, IfcBeam은 보, IfcColumn은 기둥, IfcSlab는 바닥이나 천정을 표현하기 위해 사용된다.

각 건축 요소들은 형상 정보를 포함하는데, 형상 정보를 표현하는 방식이 하나 이상 정의됩니다. 본 논문에서 IFC가 제공하는 형상을 표현하는 방식 중 <Table 1>과 같이 4개 형식의 형상 정보를 처리합니다. 건축 요소들이 4개 중 한 가지 형식의 정보를 포함한다면 가시화를 위한 형상 정보가 생성됩니다.

#### (2) 형상 정보와 구조 정보 표현을 위한 IFC 포맷의 적용

IFC 형상 정보를 이용하여 형상 모델을 가시화하기 위해서 본 논문에서는 OpenCASCADE 6.3.0 모델링 라이브러리를 사용하였다. IfcFacetedBrep 형식의 형상은 면들의 집합으로 솔리드 형상을 표현하는 B-Rep(Boundary Representation) 형상을 의미하고, 모델링 라이브러리의 BRepBuilderAPI\_MakePolygon 기능을 이용하여 모델을 생성한다. IfcExtrudedAreaSolid 형식의 형상은 하나의 2차원 형상과 방향 및 길이로 만들어지는 돌출 형상을 의미하고, 모델링 라이브러리의 BRepPrimAPI\_MakePrism 기능을 이용하여 모델을 생성한다. IfcBooleanClippingResult 형식의 형상은 기준 형상과 다른 형상 사이의 불리언 연산을 통하여 만들어지는 형상을 의미하는데, 두 형상이 합쳐진 형상(Union)이나 기준 형상에서 다른 형상을 제외한 형상(Substraction), 기준 형상과 다른 형상의 공통부분으로 이루어진 형상(Intersection) 등으로 표현된다. 이 형식의 형상은 모델링 라이브러리의 BRepAlgoAPI\_BooleanOperation 기능으로 이용하여 모델링된다. 마지막으로 IfcMappedItem 형식은 이미 정의된 다른 형상에 대

한 참조 정보와 표현될 위치정보만을 포함한다. 이 형식의 형상은 별도의 모델링 과정을 거치지 않고 모델링 라이브러리의 BRepBuildingAPI\_Transform 기능을 이용하여 이미 만들어진 형상을 참조하도록 구성한다.

본 논문에서는 IFC가 포함하는 형상 정보뿐만 아니라 구조 정보를 이용하는데, IfcProject, IfcSite, IfcBuilding, IfcBuildingStory 정보를 처리하여 골조 공사 구조를 생성한다. IfcProject는 구조 정보의 가장 상위에서 전체 정보를 포함하는 구조이고, IfcSite는 토지 구역을 나타내며, IfcBuilding은 건축물 자체를 의미한다. IfcBuildingStory는 층을 구분하는 역할을 하고 하위에 IfcWall, IfcBeam, IfcColumn, IfcSlab 등의 Building Element들을 가지게 된다.

### 3.4 공법 및 공정 정의 프로세스

공법 정의 프로세스는 ‘공법 단계 정의’, ‘공법 객체 상세 정의’, ‘공법 구조 정의’의 3단계 과정으로 수행된다. 우선, 공법 단계 정의에서는 생성하는 공법이 적용될 단계를 설정하는 것으로서, 다음과 같은 8개의 단계가 정의된다.

- 프로젝트 : 전체 공정을 대표하는 최상위 레벨의 단계.
- 수직 조닝 : 층 별로 정의하거나, 동일한 공법이 적용되는 층을 그룹으로 정의할 수 있다.
- 수평 조닝 : 수평 영역을 구분하는 단계로서 공사가 이루어지는 과정에서 인력이 할당될 수 있는 수준의 영역으로 정의된다.
- 부위 : 부재의 종류에 의해 정의되는 단계로서 기둥, 벽, 바닥 등과 같이 종류별로 정의될 수 있다.
- 대공사 : 공법에 따른 상위 작업 단계로서, 일반적으로 철근공사, 철골공사, 거푸집 공사, 콘크리트 공사 등의 작업 단계로 정의된다.
- 소공사 : 철근 양중, 철근 설치 등의 대공사를 구성하는 하부 공사들로 세부 작업을 정의한다.

각 단계에서는 객체의 부재 종류에 따라 공법이 정해지게 되므로 일반적으로 부위 단계에서의 공법을 정의하게 된다.

Table 1. IFC Specification and Its Modeling Functions for Geometry Creation

IFC 클래스	내용	OpenCASCADE 모델링 기능
IfcFacetedBrep	A faceted B-rep is a simple form of boundary representation model in which all faces are planar and all edges are straight lines.	BRepBuilderAPI_MakePolygon
IfcExtrudedAreaSolid	A solid defined by sweeping a bounded planar surface	BRepPrimAPI_MakePrism
IfcBooleanClippingResult	A clipping result is the Boolean difference between a solid(restricted to swept area solid) and a half space solid, whereas more than one difference operation can be applied to the Boolean result	BRepAlgoAPI_BooleanOperation
IfcMappedItem	A mapped item is the use of an existing representation(the mapping source-mapped representation) as a representation item in a second representation.	BRepBuilderAPI_Transform

Table 2. Object Property of a Working Method

속성	내용
Name	◦ 공법 객체의 이름
Method	◦ 공법의 종류. ◦ RCS(Rail Climbing System), ACS(Automatic Climbing System)와 같이 공법을 특징짓는 이름
Level	◦ 공법 객체가 적용될 공사 단계
공법 할당 방식	◦ 단위 객체에 적용 ◦ 객체 그룹에 적용
Man	◦ 인력 정보의 유형
Machine	◦ 장비 정보의 유형

공법 객체 상세 정의 단계에서는 <Table 2>와 같은 객체의 속성을 정의한다. ‘공법 할당 방식’은 할당된 객체들에 하위 공법을 적용하는 방식을 결정하는 속성이다. 현재 공정에 여러 개의 형상 객체가 할당되어 있을 경우 공법 할당 방식에 따라 하위 공정이 생성되는 방식이 달라진다. 이때, ‘객체 별 적용’의 경우 객체 별로 하위 공정이 하나씩 생성되고, ‘객체 그룹 적용’의 경우 하위 공정이 하나씩 생성되어 각 하위 공정에 객체 그룹이 할당된다. <Figure 7>과 같이 wall1, wall2 두 개의 형상 객체가 할당되어 있는 부위 객체에 공법 템플릿을 설정할 때, 최상위 부위 단계 공법 객체의 공법 할당 방식이 ‘객체 그룹 적용’일 경우 하위 공정이 하나씩 생성되고 각 공정에는 부위 공정에 할당되어 있던 형상 객체들이 모두 할당된다. 공법 할당 방식이 ‘객체 별 적용’일 경우 <Figure 8>과 같이 형상 객체 별로 공정이 하나씩 생성된다. 공법에 따라 여러 개 부재를 대상으로 한꺼번에 작업하는 경우와 부재 별로 하나씩 작업하는 경우를 시뮬레이션에 반영하기 위해 사용하는 속성이다.

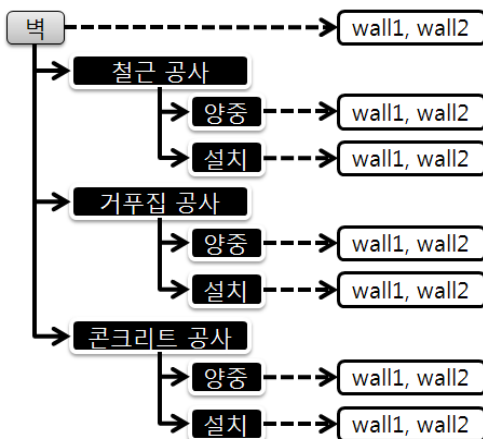


Figure 7. Lower-Level Working Process Generation Using “Adoption of Object Group”

공법 객체는 템플릿으로서의 역할을 하게 되고, 공법 템플릿이 적용되어 생성되는 공정 정보에는 공법 객체가 가지는 속성 정보를 기반으로 추가적인 속성이 정의된다. 공정 속성

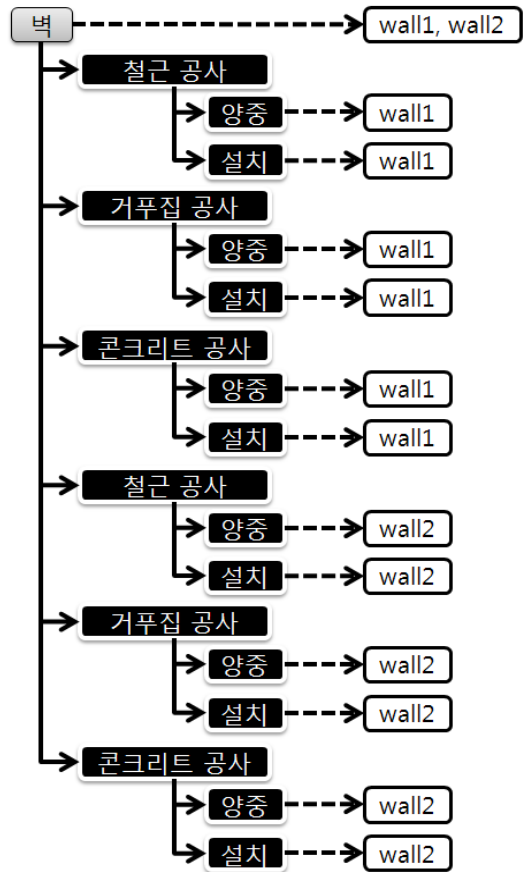


Figure 8. Lower-Level Working Process Generation Using “Adoption of Each of Objects”

정보는 <Table 3>과 같다. 형상 객체를 제외한 속성은 공법 템플릿을 적용하면서 자동으로 할당이 가능한 속성이다. 선/후행 공정은 공법 템플릿의 정의 단계에 의해 설정된다. 공정 생성 이후 공정표 최적화를 위해 선/후행 공정 정보를 수정할 수 있다. 또한 실제 생성되는 객체에는 물량 정보를 관리하기 위한 속성이 정의될 수 있다.

Table 3. Object Property of Working Process

속성	내용
Name	공정 이름
Template	<Table 2>에서 Name과 동일
Method	<Table 2>에서 Method와 동일
Level	현재 객체의 Level
Man	인력 정보(유형+수량)
Machine	장비 정보(유형+수량)
선행 공정	선행 공정 이름(들)
후행 공정	후행 공정 이름(들)

마지막으로 공법 구조 정의에서는 정의된 공법 객체들을 연결하여 하나의 공법 프로세스를 형성하여 공법 템플릿을 정의

한다. 공법 템플릿은 단계별 프로세스를 관리하게 되어 트리 구조를 가지도록 구성한다. 이때, 최상위 공법 객체를 하나 만들고 하위 공법 객체들을 만들거나, 이미 만들어진 객체들을 연결하는 방식으로 구조를 정의할 수 있다. 이미 만들어진 객체를 연결하는 방식에는 객체의 원본은 유지하고 연결 정보만을 생성하는 방식과 객체의 원본을 이용한 복사본을 생성하여 별도의 새로운 객체를 생성하는 방식으로 나눌 수 있다. 원본 객체와의 연결 정보만을 생성하면 객체의 내용이 수정될 경우 참조하는 모든 곳에 변경된 내용이 반영될 수 있지만, 자동으로 처리되는 과정에서 변경된 곳을 모두 확인하여 원하지 않는 곳에 반영되었는지 확인해야 하는 번거로움이 생길 수 있다. TSGS 시스템에서는 두 번째 방식인 복사본을 생성하여 원본과의 독립성을 유지하는 방식으로 기존 객체를 사용하도록 하였다.

### 3.5 공법 템플릿 정의 및 적용 과정

공법 템플릿은 부재들을 대상으로 이루어지는 공사의 작업 프로세스를 구조화하여 정의된다. 작업 프로세스의 구조를 상위 공사인 대공사와 하위 공사인 소공사의 2단계로 구분한다. 이때, 작업 시간을 계산하는데 필요한 인력, 장비, 자재 등의 정보는 소공사 단계에 정의한다. 대공사는 작업 대상에 맞는 몇 개의 소공사로 구성되고, 공법은 부재 종류에 맞는 몇 개의 대공사로 구성된다. 슬라브를 대상으로 일반 공법을 정의하는

경우, 공법은 거푸집 공사와 철근 공사, 콘크리트 공사로 이루어지는데 이 공사들을 대공사 항목으로 정의한다. 거푸집 공사에는 세부 공사인 거푸집 양중과 거푸집 설치가 소공사 항목으로 정의된다. 거푸집 양중과 거푸집 설치 공사에 거푸집 공 인력을 설정한다. 철근 공사와 콘크리트 대공사 항목 하위의 소공사 항목이 정의되면 <Figure 9>와 같은 공법 템플릿이 만들어진다.

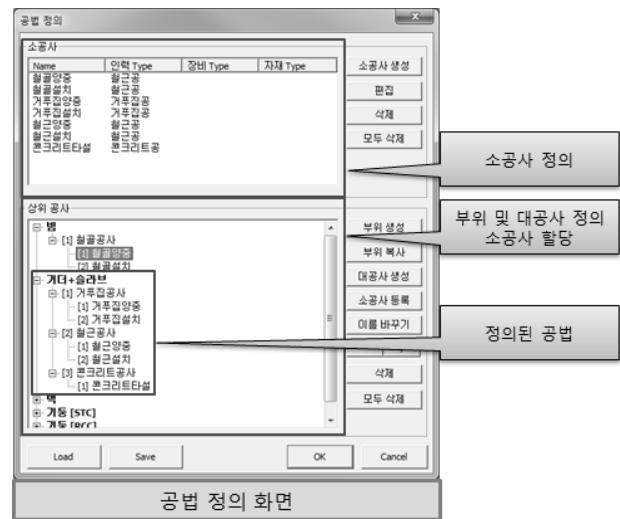


Figure 9. Window for the Definition of a Working Method

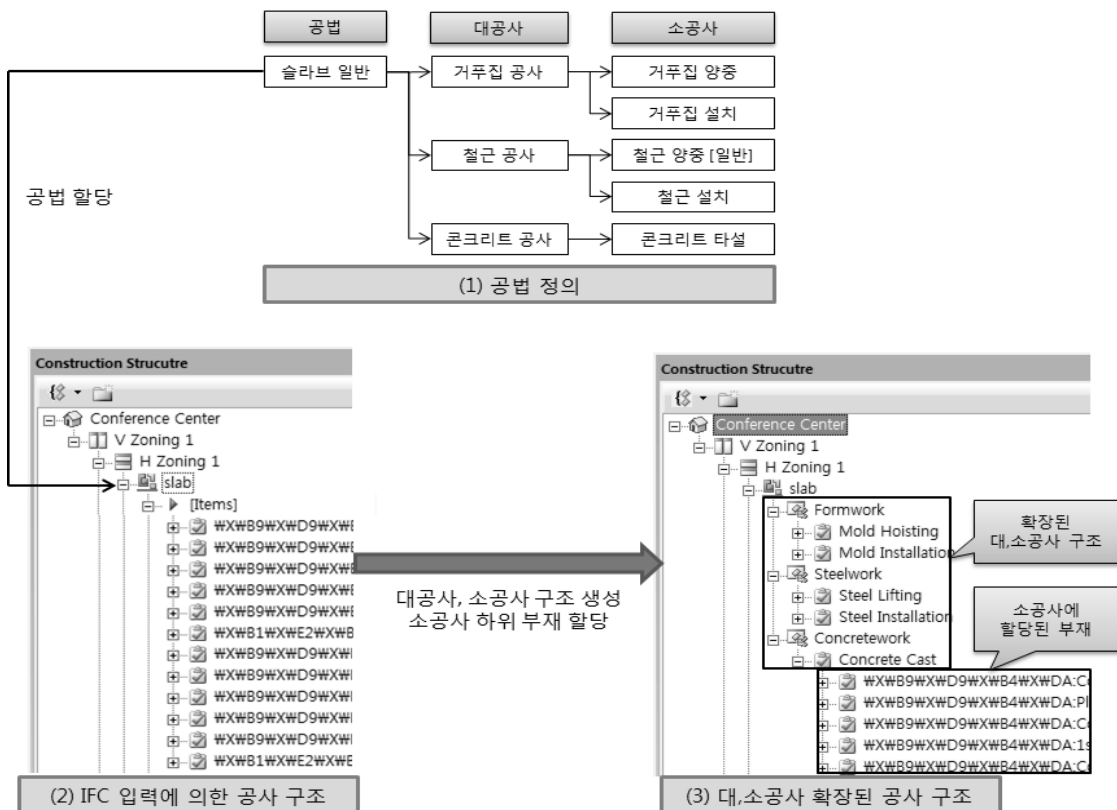


Figure 10. Procedure of Working Process Generation Using a Working Method Template



<Figure 10>은 정의된 공법을 부위 단계에서 적용하는 과정을 보여준다. 각 부위에는 형상 정보를 가지는 부재들로 구성되어 있다. “슬라브 일반” 공법을 “거더+슬라브” 부위 항목에 적용하면 부위 항목 하위에 공법 템플릿에 정의된 구조와 동일한 대공사, 소공사 구조가 생성되는데, 이때 부위에 속한 부재들이 새롭게 생성된 소공사 항목에 할당된다. 8번의 공정 생성 과정과 최소 8번의 3D 형상 할당 과정이 1번의 공법 템플릿 적용 과정에 의해 자동으로 수행된다.

공법 템플릿의 또 다른 활용은 동일한 공법을 반복적으로 적용할 수 있다는 것이다. 정의된 공법 템플릿은 <Figure 11>에서와 같이 여러 부위에 적용할 수 있고, 동일한 대공사와 소공사 구조가 생성된다.

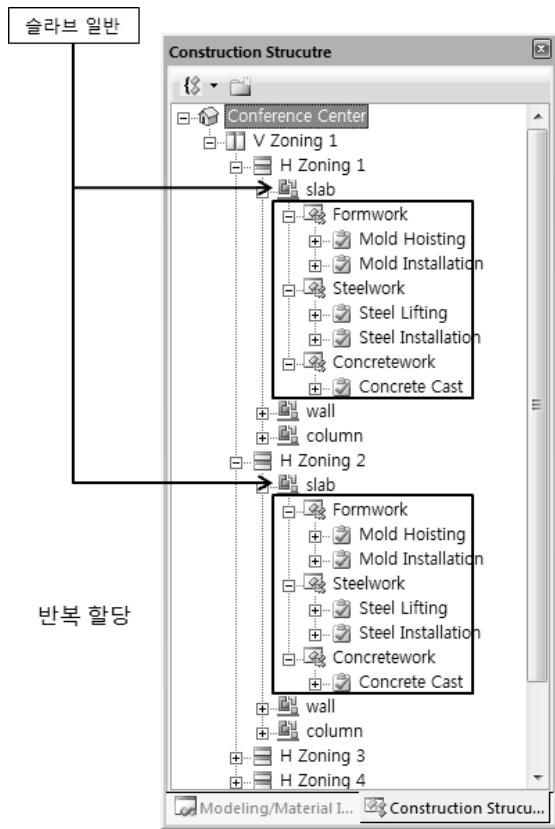


Figure 11. Generation of a Similar Construction Structure Using a Working Method Template

3.6 공정 스케줄 세부 조정 과정

유효한 결과를 생성하기 위해서는 단위 객체의 시간 변경에 관한 기능이 필요하며, TSGS 시스템에서는 이에 관련된 몇 가지 기능을 제공한다.

TSGS 시스템에서는 시뮬레이션 스케줄이 크게 2단계로 결정 된다. 공법이 정의되고, 각 단위 객체들의 물량과 공법에 할당된 인력, 장비 속성에 따라 단위객체의 작업 시간이 결정이 된다. 현재 공정의 선행공정 속성에 따라 선행공정 종료 시간

이 현재 공정의 시작 시간이 되고, 작업 시간이 더해지면 종료 시간이 정해진다. 모든 공정의 시작 시간과 작업 시간, 종료 시간이 정해지면 1단계 스케줄이 완성된다.

1단계 스케줄은 다시 사용자에게 의해 세부 내용이 변경된다. 사용자에게 의해 변경이 가능한 속성은 선/후행 공정 속성과 시작 시간, 작업 시간, 대기 시간이다. 선/후행 공정 속성이 변경되면 연관된 모든 공정들의 시작 시간과 종료 시간이 다시 계산된다. 공정의 시작 시간을 사용자가 임의로 조절할 수 있는데, 이때 사용되는 속성이 대기 시간이다. 실제 공정의 시작 시간은 선행 공정의 종료 시간 과 대기 시간의 합으로 결정된다. 공정의 시작 시간을 임의로 늦출 경우 늦출 시간만큼 대기 시간이 설정되는데, 대기 시간 속성을 직접 변경하여 시작 시간을 조절하는 것도 가능하다. 또한 작업 시간이 변경될 경우 자동으로 종료 시간이 변경되고 후행 공정들의 시작 시간이 모두 변경된다. 이렇게 대기 시간과 작업 시간 속성이 변경된 2단계 스케줄이 완성됩니다. 초기 스케줄 생성 이후 스케줄은 모두 2단계 스케줄이 되고, 시간 속성 초기화를 통하여 1단계 스케줄로 초기화할 수 있다.

4. 시스템 적용 실험

4.1 가상 프로젝트 적용

TSGS는 건설업계에서 중립포맷으로 사용되는 IFC 데이터를 이용하고, Visual C++를 사용하여 개발하였으며 3D 환경 구축을 위해 OpenSceneGraph를 사용하였다. TSGS의 적용 실험을 위해서 <Figure 12>과 같이 벽, 기둥, 보 등 철골 부재 등 392개의 객체로 구성된 6층 건물을 사용하였다. <Figure 13>는 건물 형상을 IFC 포맷으로 변환 한 후, 형상 객체들을 본 논문에서 개발된 TSGS 환경에서 가시화한 결과를 보여준다. 이때, 모델링 과정에서 미리 정의된 층과 부위 단위 구조가 IFC 포맷을 통하여 형상 객체와 함께 TSGS로 넘어온다. 이를 이용하여 객체 할당 작업을 자동화한다.

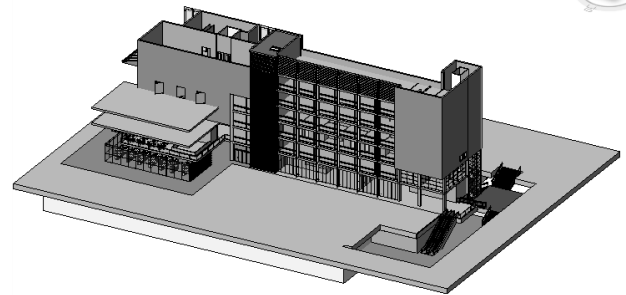


Figure 12. 6-Stories Building Shape Applied for Experiment

TSGS로 넘어온 형상 객체들과 함께, <Figure 9>에서와 같이 빔, 거더+슬라브, 벽, 기둥과 같이 부위를 기준으로 공법 템플

릿을 정의한다. 전체 공정은 층별 수직 조닝 6개로 나누었으며, 각 조닝에는 작가는 1개 층이 할당되도록 구성하였다. 수평조닝은 일반 부위와 코어 부위의 2개로 정의하였으며, 부위는 빔, 거더+슬라브, 벽, 기둥 4개로 정하였다. 또한, 상업용 CAD 프로그램으로 건물의 형상을 모델링하는 과정에서 시뮬레이션을 고려한 객체별 이름 규칙을 적용하였다. 각 객체의 이름은 <층\_수평조닝\_부위\_번호\_기타>의 정보를 포함하도록 정해졌고, 이 이름 정보를 이용하여 부위 단계까지 자동으로 객체가 할당된다.

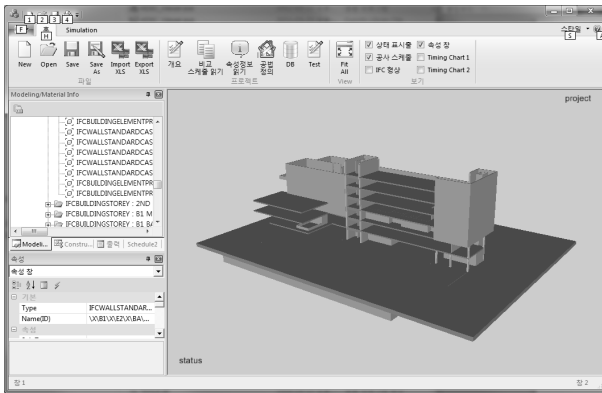


Figure 13. 3D Visualization of the Building Elements on TSGS

부위 단계에서 공법이 적용되었으며, 적용된 공정표는 <Figure 14>과 같이 생성된다. 왼쪽은 작업 공정에 관한 트리 구조의 화면이고, 오른쪽은 공정 시작 시간과 종료 시간이 표시된 Gantt 차트가 표현된 화면이다.

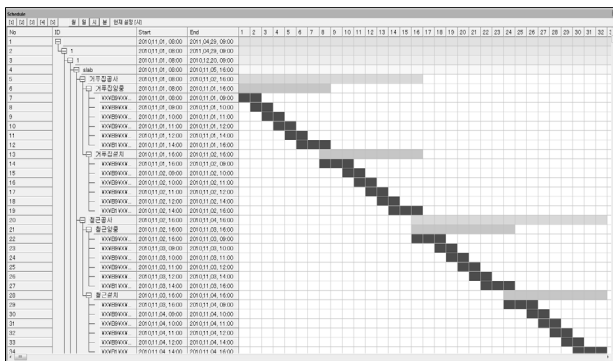


Figure 14. Working Process Table Automatically Generated on TSGS

현재 상용화 되어 있는 프로그램 혹은 기존 연구에서는 객체와 공정을 연결하는 과정에서 시뮬레이션 목적에 따라 시뮬레이션 대상이 되는 공정의 단계가 다르게 구성된다. 일반적으로 층별, 공중별로 진행되거나 동일한 종류의 부재별로 공정이 작성되어 각 층의 동일 부재이거나 동일 공중인 경우에만 하나의 공정으로 작성된다. 본 논문에서는 공법의 속성을 이용하여 한 개의 공정으로 작성되게 하거나, 각 부재에 따라 여러 작업으로 나누어지게 할 수 있으므로 목적에 따라 더욱 세

부적인 공정의 생성이 가능하다. 일부 상업용 공정관리 프로그램에서는 최소 단위가 1일로 정의되어 세부 공정 표현에 한계가 있으나, 공정 관리의 최소 시간 단위를 시간 또는 초 단위로 설정하도록 하여 세부 공정을 생성하는 경우 더욱 정확한 공정표를 생성할 수 있다.

<Figure 15>는 상용 CAD 프로그램의 모델링 데이터를 IFC 포맷으로 변환하여 입력하고, 공법 템플릿을 적용한 공정에 대해서 시간 축에 따른 공사 시뮬레이션 결과를 보여준다. 각 그림은 0.5개월 단위의 시간이 지난 시점에서 시뮬레이션 화면을 캡처한 것으로, 전체 6개월의 건축 기간 동안의 시뮬레이션 결과이다.

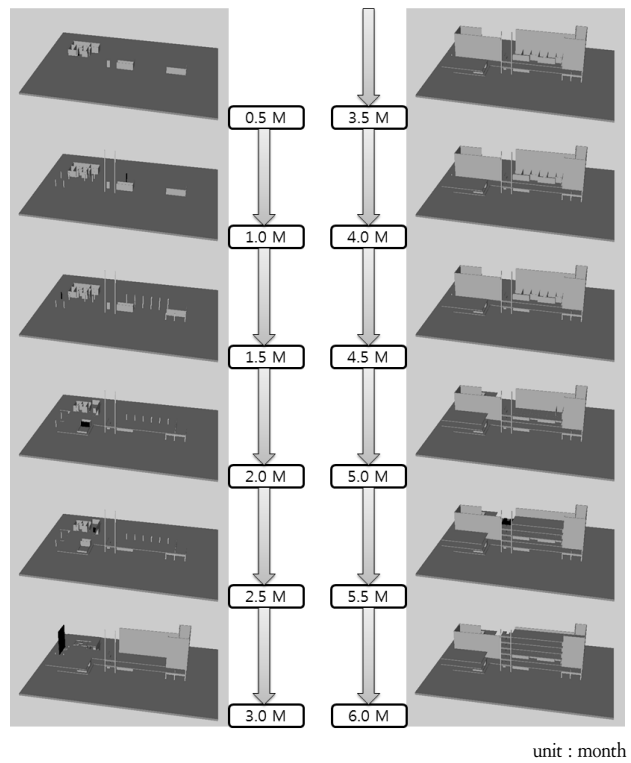


Figure 15. 4D Simulation Result by Each Working Process

#### 4.2 시스템 적용 효과

템플릿을 활용한 공정 생성의 효과로 반복 작업이 최소화되고 3D 모델 연결 과정이 생략되어 시간 및 인력이 크게 절약된다.

##### (1) 반복 작업의 최소화

템플릿을 활용하지 않고 공정을 생성하는 기존 방법을 사용하는 경우, 상위 공정과 세부 공정을 수동으로 생성하는 과정을 수행해야 한다. 동일한 공법을 여러 번 적용하는 경우에도 이러한 수동 생성 과정이 필요하기 때문에 단순 반복 작업이 많아진다. 템플릿을 활용하여 공정을 생성하는 경우, 상위 공정 및 세부 공정이 자동으로 생성되므로 수동 생성 과정에서 수행했던 단순 반복 작업을 피할 수 있게 된다.

3개의 상위 공정으로 구성되고, 각 상위 공정별로 3개의 세부 공정을 가지는 공법을 적용하여 공정을 구성하는 경우를 가정한다. 공법이 적용될 대상이 기동이고, 층별로 20개 존재하며 3개 층에 수동으로 이 공법을 적용한다면, <Table 4>에서와 같이 공정을 생성하는 과정을 720번( $3 \times 20 \times (3+9)$ ) 수행해야 한다. 템플릿을 이용하여 공정을 생성하는 경우, 템플릿을 생성하는 과정에서 12번의 공정 생성 과정을 수행하고, 3번의 템플릿 적용 과정을 수행하게 되어 총 15번의 공정 생성 과정이 필요하게 된다. 실제 생성 과정에서 걸리는 시간이 비슷하다고 가정한다면 수동으로 공정을 생성하는 경우 템플릿을 이용할 때보다 84배 많은 공정 생성 과정을 수행해야 한다. 실제 수동으로 공정을 생성하는 작업은 삭제/수정 등의 시행착오 과정까지 고려한다면 더욱 많은 시간과 노력이 필요하게 될 것이다.

(2) 3D 모델 연결 과정

4D 시뮬레이션을 수행하기 위해서 필요한 작업이 해당 공정이 수행되는 과정을 가시화하기 위하여 생성된 공정에 3D 모델을 연결하는 과정이다. 위의 상황에서 기존 방식으로 공정을 생성한다면, 3D 모델을 연결하는 과정을 상위 공정을 제외하고 540번( $3 \times 20 \times 9$ ) 수행해야 한다. 템플릿을 이용하는 경우, 공정이 생성되면서 자동으로 3D 모델이 연결되기 때문에 이 과정이 필요 없어진다.

(3) 시간 및 인력 절약

<Table 4>에서와 같이 템플릿을 이용할 경우 사용자 작업이 15번 필요하지만, 수동으로 4D 시뮬레이션 공정을 생성할 경우 1260번의 사용자 입력 작업이 필요하게 된다. 하나의 공정을 생성하는 데 소요되는 시간을 1분이라 가정한다면, 21시간 걸리는 작업을 15분 만에 수행할 수 있게 된다. 실제 작업 시간과의 차이를 감안하더라도 템플릿 기반의 공정 생성 방법을 이용할 경우, 50배 이상 효과적으로 4D 시뮬레이션 공정을 생성할 수 있게 되는 것이다.

Table 4. Comparison of the Frequency of Working Process Generation Between Existing Method and Our Template Method

방식	대상	공정 생성 횟수	3D 모델 연결 횟수	전체 작업 횟수
기존 방식	3층(층별)	$3 \times 20 \times (3+9)$	$3 \times 20 \times 9$	1,260
템플릿 방식	20개 기동)	$3+3+9$	0	15

실제 150층 이상의 초고층 건축물의 공사 시뮬레이션을 기존 상용 프로그램인 AutoDesk Navisworks를 이용하여 수행하는 경우 최소 1개월 이상의 시간이 소요되었으나, 본 논문에서 개발된 시스템을 이용하여 4시간 정도의 작업 시간을 통해 유사한 결과를 만들어 낼 수 있다. 정확한 실험 계획에 의해 수행된 실험이 아닌 실제 사례를 통한 결과만을 참조한 것으로 정확한 비교는 어렵지만, 많은 시간이 단축될 것이라는 예측은 가능하다.

초고층 건물의 경우 동일한 공법을 사용하는 층이 많고, 공정 자체의 개수가 많기 때문에 TSGS 시스템의 효과를 크게 기대할 수 있다. 동일한 공법을 사용하는 층들을 기준으로 10개의 공법이 사용되고 각 공법은 12개의 공정으로 구성되며, 각 층에는 6개의 부위로 나뉘고 각 부위는 20개의 부재로 구성되는 건물을 대상으로 가상의 4D 시뮬레이션을 구성하는 경우를 가정한다.

<Figure 16>은 시뮬레이션을 적용하는 층의 개수에 따라 공정 생성에 필요한 사용자 작업의 개수를 그래프로 표현 것이다. 공정 수동 생성의 경우 6개의 부위와 각 부위별 20개의 부재가 있으므로 시뮬레이션 대상이 되는 부재의 개수는 120개가 된다. 부재별로 12개의 공정이 생성되어야 하므로 첫 번째 층의 시뮬레이션을 구성하기 위하여 1440번의 공정 생성 과정이 수행된다. 공법 템플릿을 이용하는 경우 템플릿을 생성하는 과정에서 10개의 공법에 각 공법별로 12개의 공정이 구성되어야 하므로 120개의 공정 등록 과정이 필요하다. 공법 템플릿

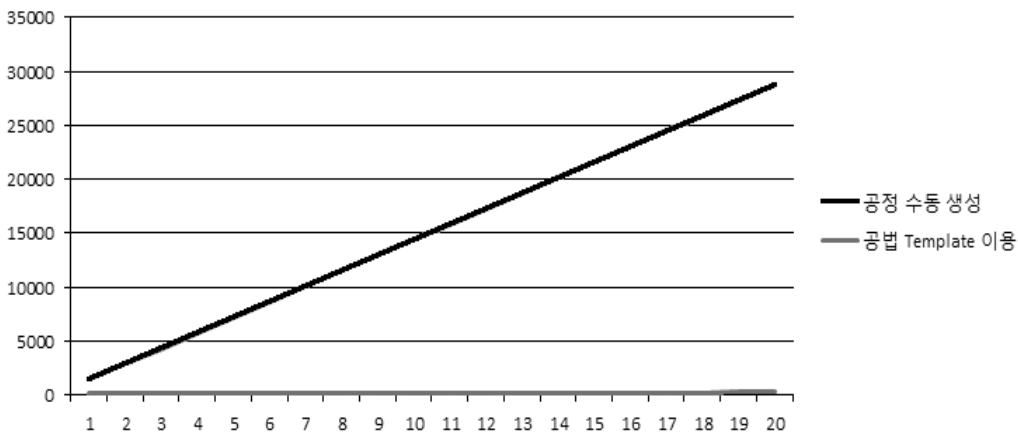


Figure 16. The Number of Working Process Generation by Each Floor in 4D Simulation(x-axis : Number of Works, y-axis : Number of Floors)

의 대상은 부재가 아니라 부위가 되므로 공법 템플릿을 적용하는 과정이 6번 수행된다. 126번의 공정 생성 및 템플릿 적용 과정이 수행되면, 공정 수동 생성 과정과 동일한 결과를 얻을 수 있게 된다.

공정 수동 생성에서는 층의 개수가 증가할 때 모든 공정을 새로 만들어야 하기 때문에, 1440번의 공정 생성 과정이 층의 개수만큼 필요하게 되어 <Figure 16>에서의 파란색 라인과 같은 그래프가 그려진다. 공법 템플릿을 이용하면 층의 개수가 증가할 때 부위에 공법을 적용하는 과정을 6번 수행하면 모든 공정이 생성되어, 빨간색 라인과 같은 그래프가 그려진다. 동일한 조건을 100층의 건물에 대한 공정을 생성한다면 공정 수동 생성 과정에서는 144,000번의 공정 생성 과정이 필요하지만 공법 템플릿을 사용하는 경우 720번의 공정 생성 과정이 필요해지고, 공정 수동 생성 과정이 200배 정도 많은 작업량이 필요하게 된다.

## 5. 결론

BIM을 활용한 건설프로젝트에서는 정보전달 및 공유의 효율성이 매우 중요한 가치로 인식된다. 그러나 현재 BIM의 대표적 실현 기능인 4D 시뮬레이션에서는 프로젝트 진행 과정 및 도구들 사이에서 정보공유를 효과적으로 하지 못함으로써 건설프로젝트 관리 측면에서 불필요한 낭비를 초래하고 있다. 공정 관리와 4D 시뮬레이션을 구분하여 생각하고, 4D 시뮬레이션은 시각화를 위한 도구 정도로 인식되는 현실이 이를 반영한다. 이에 본 논문에서는 이러한 4D 시뮬레이션 정보전달의 문제점을 파악하고, 정보전달의 효율성 향상을 목표로 공법 템플릿 기반의 공정 자동 생성 시스템 개발을 진행하였다. 그 결과물로 TSGS를 개발하였으며, 이 시스템을 활용하여 효율적인 공정 생성이 가능함을 보였다. 4D 시뮬레이션 내에서 공정 관리를 가능하게 하여 불필요한 데이터 변환 및 반복 작업을 제거하였다. 이 시스템의 적용으로 보다 효율적이고 활용 가능한 4D 시뮬레이션을 구현할 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서는 BIM 데이터를 기반으로 3D 객체의 정보를 최대한 활용하고 불필요한 데이터의 변환을 최소화 하며, 데이터 생성 및 관리를 자동화하는데 목적이 있다. 형상 객체와의

연결 자동화, 초고층 빌딩 형상을 관리하기 위한 대용량 형상 객체 처리와 관련된 추가적인 연구가 이루어진다면 실무 활용 가능성이 더욱 높아질 것이다.

## 참고문헌

- De Vries, B. and Harink, J. (2007), Generation of a Construction Planning from a 3D CAD Model, *Journal of Automation in Construction*, 16, 13-18.
- Heesom, D. and Mahdjoubi, L. (2004), Trends of 4D CAD Applications for Construction Planning, *Journal of Construction Management and Economics*, 22, 171-182.
- Jo, J. et al. (2008), A Study on the BIM based Architectural Construction Simulation System using Combinative Construction Schedule Creation Method, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 24(7), 117-126.
- Ju, H.-T. et al. (2008), A Study on Real-Time Progress Management System Through 3D Object-Information Extraction and Automatic Schedule Generation-The Focus on Steel Structural Construction, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 24(10), 127-134.
- Kim, H. and Naruo, K. (2005), Comparison of Construction Photograph and VR Image in Construction Progress, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 21(3), 137-143.
- Lee, J.-C. (2004), Developing an Automated Module for Scheduling and Quantity Estimation Based on 3D CAD Model Information towards Effective Use of 4D CAD Model, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 20(2), 15-22.
- Lee, J.-Y. et al. (2009), A Study on the Exchange Method of Building Information Model between BIM Solutions using IFC File Format, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 25(3), 29-38.
- Ma, Z. et al. (2005), Application of 4D for Dynamic Site Layout and Management of Construction Project, *Journal of Automation in Construction*, 14, 369-381.
- Nguyen, T.-H. (2005), Automated Construction Planning for Multi-story Buildings, Proceedings of the Construction Research Congress 2005, San Diego, CA.
- Park, B. and Martin, J. (2003), 4D Scheduling : A Hype or a Powerful Management Tool for Constructors?-Innovative Construction Education through 3D Computer Graphics, *Proceedings of the 3rd International Conference on Information Systems in Engineering and Construction*, Orlando, FL.
- Ryu, J.-S. and Kim, K.-H. (2009), A Study of 4D Simulation System using Automatic Scheduling Process-The Focus on Steel Structural Construction, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 25(9), 173-180.
- Tulke, J. and Hanff, J. (2007), 4D Construction Sequence Planning-New Process and Data Model, *Proceedings of the CIB 24th W78 Conference Faculty of Civil Engineering*, Maribor, Slovenia, 79-84.
- Wang, H. J. et al. (2004), 4D Dynamic Management for Construction Planning and Resource Utilization, *Journal of Automation in Construction*, 13, 575-589.



**송성열**

아주대학교 기계공학과 학사  
아주대학교 기계공학과 석사  
현재 : 아주대학교 산업공학과 박사과정  
관심분야 : 시물레이션, PDM, PLM, BIM



**양정삼**

충남대학교 기계공학과 학사  
KAIST 기계공학과 석사  
KAIST 기계공학과 박사  
현재 : 아주대학교 산업정보시스템공학부  
부교수  
관심분야 : PLM, Geometric modeling, Virtual  
manufacturing, Modeling and  
Simulation



**명태식**

충남대학교 기계설계공학과 학사  
충북대학교 기계설계공학과 석사  
충북대학교 기계설계공학과 박사  
현재 : 국립한밭대학교 기계설계공학과  
정교수  
관심분야 : CAD/CAM/CAE, Interactive  
Computer Graphics, Tool and  
Information Integration for  
Concurrent Design and  
Manufacturing, Concurrent  
Engineering and Surface Modeling,  
Reverse Engineering and Rapid  
Prototyping and tooling