

설계단계에서의 BIM 안전설계 품질검토

권오철^{1†} · 조주원² · 조찬원³

¹대림대학교 건축공학과, ²주에이씨쓰리코리아, ³(사)빌딩스마트협회

BIM Quality Assurance for DFS in Design Phase

Ocheol Kwon^{1†}, Joowon Cho², and Chanwon Jo³

¹Department of Architectural Engineering, Daelim University

²AEC3Korea

³BuildingSMART Korea

Received 30 April, 2013; received in revised form 22 July, 2013; accepted 22 July, 2013

ABSTRACT

Since the safety accidents on the construction sites take large part of total industry disasters, research on the construction safety has been getting important. Recently, as BIM technology allows cooperation between designer and constructor groups, it becomes more active worldwide than before to study on the ways of accomplish construction safety improvement in the design phase. In this paper, we suggested a checklist for assuring construction safety in the phase of design, and performed automatic evaluation by using a BIM quality checking tool. This shows that it is possible for us to find out the construction safety has been improved in the design phase. Once the standard checklist and assurance process are developed, they are expected to play a great role of reducing disasters in the construction industry.

Key Words: BIM, Constructability, DFS (Design for Safety), Quality Assurance

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설현장에서 발생하는 안전사고는 전체 산업 재해 가운데 매우 큰 비중을 차지하고 있으며, 시공 안전성에 대한 연구는 그만큼 중요해지고 있다. 전통적으로 설계자는 시설물 사용자의 안전에 대한 책임이 있었으며, 반면에 시공 작업자의 안전은 시공사에 책임이 있었다. 그러나 전체 발주 과정에 걸쳐 설계자와 시공자의 협력을 촉진시켜

주는 프로젝트 통합발주체계인 IPD(Integrated Project Delivery)에 대한 관심과 더불어 BIM을 활용한 안전설계(DfS : Design for Safety)가 최근에 다시 주목을 받고 있다. 안전설계(DfS) 도입의 취지는 시공단계가 아니라 설계초기단계에서부터 설계자와 시공자가 함께 위험요소를 제거하여 궁극적으로 시공작업자의 안전성을 효과적으로 높이는 것이다. 이를 위해 BIM은 모든 참여자로 하여금 도면 및 시공계획에 대한 이해도와 검토능력을 높여주고 의사소통을 원활하게 해줌으로써, 시공현장에서 발생될 수 있는 잠재적인 위험요소를 사전에 찾아내는 데에 효과적인 도구를 제공한다. Szymberski의 연구에 따르면 건설 프로젝트에

[†]Corresponding Author, ohckwon@daelim.ac.kr
©2013 Society of CAD/CAM Engineers

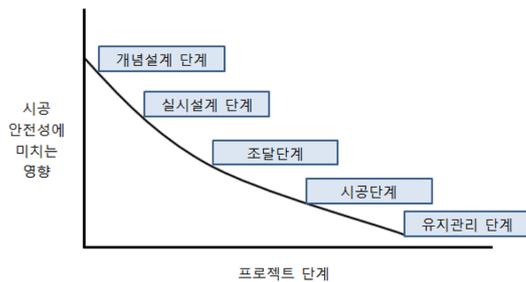


Fig. 1 Effects of Construction Safety

있어서 시공상의 위험요소가 미치는 영향은 초기 단계일수록 큰 것으로 조사된 바 있으며^[1], Gambatese에 의해 설계개선 노력과 공사비 사이의 관계 역시 이와 유사하다고 연구된 바 있다^[2] (Fig. 1 참조).

따라서 설계단계에서 시공 위험요소를 없애기 위한 노력은 시공단계에서의 안전관리보다 우선되어야 하며^[3] 설계변경을 통해 시공 위험요소를 근본적으로 없애거나, 그것이 어려울 때에는 해당 위험요인을 가능한 줄여야 한다^[4].

공사 현장에서의 안전성의 확보는 궁극적으로 공사기간과 비용을 줄이는 시공성 향상노력의 일부로서, 이에 대한 업무 또한 일반 시공성 향상을 위한 업무로 볼 수 있다. 따라서 안전설계(DfS)를 구현하는 과정은 설계에 시공품질을 반영하는 과정과 본질적으로 동일하다. BIM 도입의 경제적인 효과는 결국 설계를 통한 시공성 확보로 건설비용을 절감하는 것에 있고, 현재 설계중심으로 적용되고 있는 국내 BIM 도입의 현황을 고려할 때, BIM을 적용한 안전설계의 중요성은 그만큼 높아

지고 있다. 본 연구에서는 BIM을 활용한 안전설계 체크리스트를 도출하고 이에 대한 검증을 통해 설계단계에서의 시공 안전성 검토의 가능성을 보여주고자 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

안전설계(DfS)를 구현하기 위한 전형적인 방법들은 크게 4가지로 구분될 수 있다(Table 1 참조)^[5]. 첫번째 체크리스트 방식은 검토항목을 명확하게 규정해주는 반면에 그 밖의 3가지 방식들은 대상을 보다 포괄적으로 정의하여 대부분 이를 운영하는 사람의 시공 안전성에 대한 이해 수준에 따라 결과가 좌우될 수 있다. 본 연구에서는 이러한 장단점을 고려하여 체크리스트 방식으로 대상을 정하고 이들을 시각화가 가능한 3D BIM 데이터에 적용하여 검토하였다. 즉 기존의 체크리스트를 기반으로 설계과정에서 사전에 반영이 가능한 안전요소를 도출하였고, 이를 위한 검토방안으로서 시험모델을 대상으로 BIM 설계품질 검토용 소프트웨어^[6] 활용하여 체크리스트 가운데 사전검토가 가능한 항목들을 선별하여 테스트하였다.

2. 선행연구 고찰

안전설계 연구를 위해 본 논문에서 인용한 사례는 다음과 같다. 우선 초기의 연구사례로서 John A 등은 아래의 시공 안전지침을 설계에 반영하는 것에 대하여 설계 실무자들의 반응을 조사한 바가 있다^[10](Table 2 참조).

본 논문의 내용을 분석한 결과 조사대상 설계 실

Table 1 Methods of Design for Safety

방법	내용
체크리스트	과거의 경험을 바탕으로 기록된 특정한 조건을 위험요소로 간주하고, 프로젝트에서 유사한 조건들을 찾아낸다. 이를 바탕으로 안전요소를 추가하거나 설계를 변경한다. (예: Toolbox, Gambatese 1997) ^[7]
설계검토 제시	프로젝트 진행 단계별로 위험요소와 관련된 용어들을 안전 분석가들에게 제시하여 이에 대한 논의를 유도하는 방법이다. (예: CHAIR, WorkCover 2001) ^[8]
안전성 의견조사	일정한 양식을 갖춘 조사를 통해 설계 옵션/요소 별로 위험요소를 찾아내고 평가한다. 누적된 조사내용은 기준으로 표준화되어 설계대안을 비교 평가하는 데에 활용된다. (예: ToolSHeD, Cooke 2008) ^[9]
3D/4D 시각화	CAD / BIM / VDC 도구를 활용하는 방식으로서 새롭게 연구되고 있는 분야로서, 아직은 설계된 건물요소에만 적용될 뿐 안전관련 가시설물은 제대로 다루지 못하고 있다. 또한 위험요소를 찾아내거나 분석 및 평가의 도구로 적극 활용되는 수준은 아니다.

Table 2 Sample Guides of Design for Safety

안전설계 지침사례	
1	지하시설물의 위치와 근방의 안전구역에 대한 정보를 설계에 포함시킨다.
2	파라펫(parapet)을 모두 일정한 높이 이상이 되도록 설계하여 공사기간이나 완공 이후에 지붕 유지보수를 위한 가드레일 역할을 하도록 한다.
3	기둥의 일정한 높이에 구멍(hole)을 설계하여 가드레일 설치를 지원한다.
4	안전로프와 연결할 보들과 그 보의 연결지점을 설계에 포함시킨다.
5	창의 바닥 높이를 일정높이 이상으로 설계함으로써 공사를 위한 가드레일 역할을 하도록 한다.
6	필요 시 천장에 영구적인 가드레일을 설계한다.

무자들의 절반에 못 미치는 약 44%가 안전설계에 대하여 긍정적인 입장을 보였던 반면에 나머지 약 56%는 부정적인 입장을 보였으며, 반대 입장을의 이유로는 디자인의 질 하락 16%, 설계비용의 증가 15%, 설계변경에 따른 구조물의 안전성 취약 4%, 그리고 기타 21%의 비중을 차지하였다. 이는 해외에서 BIM이 본격적으로 도입되기 이전의 상황이라 기술 및 제도적인 한계를 고려한 답변으로 판단되지만, 국내의 경우 역시 BIM이 아직 도입

단계라는 점을 감안한다면 의미 있는 결과로 볼 수 있다.

또한 Rajendran 등은 BIM기반의 안전설계(DfS)가 효과를 볼 수 있는 내용을 분야별로 조사하여 정리한 바 있다^[11](Table 3 참조).

시공현장에서 가장 빈번하게 발생하는 사고에 관련하여, Taiebat은 안전설계를 위한 대표적인 데이터베이스를 근거로(Table 4 참조) 핵심적인 키워드를 정리하였고, 이를 바탕으로 낙하사고를 중

Table 3 BIM Safety Intervention Opportunities

분야	안전설계 지침사례
장비/제어	<ul style="list-style-type: none"> - 장비 컨트롤 구역으로 접근하기 위한 안전하고 수월한 경로가 확보되어야 한다. - 게이지는 컨트롤 밸브와 근접해야 한다. - 밸브의 크기와 유형은 작동시기에 적절해야 한다.
기계 시설물	<ul style="list-style-type: none"> - 통행인이나 자동차 통행에 해로운 물질이 통과하는 파이프의 위치를 표시한다. - 전기시설 근방의 파이프의 위치를 표시한다. - 배수시설의 위치를 표시한다. - 시설물이나 차량의 배기가스 등으로 오염되지 않은 안전한 공기 흡입구의 위치를 표시한다. - 압력 경감용 배출구와 밸브는 시설물이나 사람에게 위험하지 않도록 배치한다. - 탱크와 벽 사이에 놓인 기계설비를 설치하기 위한 기중기의 작업공간을 확보한다.
전기 시설물	<ul style="list-style-type: none"> - 전기패널 주변에는 여유공간이 있어야 한다. - 안전을 위해 주차장 및 도보의 조명은 적절해야 한다. - 비상등과 기타 통로의 조명은 적절해야 한다. - 시설물 작동을 위한 조명은 적절해야 한다. - 전기패널의 관련된 전기 시설물이 보이는 장소에 설치해야 한다. - 야적장이나 크레인 등의 작업장 위에는 전선이 지나지 않도록 한다.
구조물	<ul style="list-style-type: none"> - 유지보수 작업자의 낙하방지용 고리를 설치할 위치를 표시한다. - 민감한 설비 근처에 위치한 문 앞에는 열림 공간을 확보한다. - 유지보수 작업자를 위해 높은 통로시설에는 낙하방지 시설을 설치한다. - 낙하방지를 위한 모든 가드레일 및 고리의 설치 지점을 파악하기 위해서는 BIM을 활용하여 지붕, 설비용 샤프트, 승강기용 샤프트, 가장자리 등에 위험요소가 있는지 살펴본다. - 벽이나 바닥의 천공작업을 위해 내부에 설치된 구조 자재의 위치를 표시한다. - 유지보수를 위해, 다음 요소에 접근하기에 안전한 위치를 표시한다 : 지붕, 탱크, 한정된 공간, 사다리, 계단 등 - 머리와의 충돌 및 이동에 따른 위험요소를 줄인다.

Table 4 Databases for Construction Safety

출처	내용
CHAIR	설계단계를 위한 119개의 안전관련 용어가 제시되어 있고 시공단계를 위한 38개의 제시어와 유지관리 단계를 위한 11개의 제시어가 정리되어 있다 ^[6] .
Toolbox	공종별, 프로젝트별로 총 738개의 위험조건 및 설계대안들이 정리되어 있다 ^[7] .
CDC	NIOSH에서 개발한 안전관련 무료 온라인 데이터베이스로서, 시공현장에서 발생하는 심각한 안전사고 사례들을 종류별로 분류하여 제공한다 ^[13] .

Table 5 Expected Effects of Design for Safety

안전설계 요소	기대효과
공장제작(PC) 활용	3D BIM 시공모델을 활용하면 일부 MEP 자재들은 공장 제작되어 사전에 조립될 수 있다. 이는 현장에서의 작업량과 난이도를 완화시켜주므로 결국 시공 안전성을 높여준다.
낙하방지 및 조명확보	바닥이나 지붕의 개구부는 작업자의 빈번한 접근구역으로부터 가능한 멀리 설계하여 안전성을 반영해야 한다. 설계자는 BIM을 활용한 분석을 통해 적절한 조명이 확보되어 있는지를 확인하고 이를 설계에 반영하여 안전성을 높일 수 있다.
방화벽 및 구조벽 정보유지	건물을 철거하거나 보수할 경우, 규정상 방화벽이나 구조벽은 최대한 유지하도록 되어 있으나 2D 도면상으로 이들을 구별하기가 어렵다. BIM 설계를 통해 관련 정보를 입력한 경우 이들을 쉽게 식별하여 공사기간 중 붕괴나 화재로 인한 위험을 피할 수 있다.
가시설물 추가	설계 및 시공 관계자는 BIM을 활용한 협력을 통해, 안전을 위한 임시구조물을 BIM 설계에 포함시키고 시공현장에서 이를 시각적으로 파악하도록 함으로써 시공 안전성을 높일 수 있다.
설계오류 제거	설계오류로 인한 시공단계에서의 잦은 설계변경은 예상치 못한 위험성을 가져올 수 있으므로, 사전에 BIM을 통해 공공간 누락이나 정합성 및 충돌검토 등을 충분히 시행하여 예상되는 위험요소를 미연에 방지할 수 있다.

심으로 BIM 모델에서 위험요소를 찾아내기 위한 규칙과 속성을 제안했다^[12]. 또한 이들을 논리 순서도로 표현하고 전문가들의 검증을 거쳐 관련 소프트웨어 개발을 위한 방안을 제시하였다.

한편 Alagarsamy의 연구에 의하면 시공 안전성이 설계단계에서 반영되었다면, 건설현장에서 발생하는 많은 안전사고들을 사전에 피할 수 있었던 것으로 분석되었다^[14]. 또한 초기설계가 시공 안전성에 미치는 영향과 이를 확보하기 위해 BIM을 도입할 경우 얻을 수 있는 기대효과를 정리하였다 (Table 5 참조).

3. BIM 안전설계 품질의 기준

3.1 안전설계 체크리스트

안전설계에 관한 선행연구를 바탕으로 체크리스트를 조사한 결과, 모두 75개 항목을 도출하였다. 이들 가운데 자동화된 검토가 가능한 내용을 선별하였고 항목별로 이것이 차지하는 비율을 계산하였다.

Table 6 Outline of DfS Checklist

시공안전설계 체크리스트 분류	전체 사례	자동검토 가능사례	비율
1) 추락의 방지	10	7	70.0%
2) 충분한 작업공간의 확보	3	3	100.0%
3) 안전한 이동경로의 확보	12	5	41.7%
4) 자재의 안전한 운반	5	0	0.0%
5) 자재의 안전한 취급	4	0	0.0%
6) 자재의 안전한 설치	6	2	33.3%
7) 안전설비 및 장비의 설치	16	8	50.0%
8) 위험요소 관련 정보의 확보	11	8	72.7%
9) 적절한 조명의 확보	4	0	0.0%
10) 적절한 작업의 환경	2	0	0.0%
11) 적절한 작업의 시간	2	0	0.0%
합계	75	33	44.0%

이들을 종류별로 분류한 결과 1) 추락의 방지, 3) 안전한 이동경로의 확보, 7) 안전설비 및 장비의 설치, 그리고 8) 위험요소 관련정보의 확보가

가장 빈번하게 언급되었음을 확인할 수 있었고, 이는 안전설계를 적용하기에 가장 적합한 내용이기 때문으로 판단된다. 반면에 2) 충분한 작업공간의 확보, 5) 자재의 안전한 취급, 9) 적절한 조명의 확보, 10) 적절한 작업의 환경, 13) 적절한 작업의 시간 등은 최소로 언급되었으며, 이는 설계보다는 작업현장의 상황이 반영되어야 하기 때문으로 여겨진다.

한편, 전체 체크리스트 가운데 44%인 33개 항목들이 자동화된 설계검토가 가능한 것으로 파악되었고, 그 가운데 2) 충분한 작업공간의 확보(100%), 10) 위험요소 관련 정보의 확보(73%), 1) 추락의 방지(70%) 등의 순으로 적합한 것으로 조사되었다. 이는 선행연구를 바탕으로 정성적 분석을 통해 도출된 것으로서 아직은 정량적으로 중요

도가 반영된 것은 아니다.

체크리스트의 중요도를 판단하기 위해서는 실제로 발생된 안전사고의 자료를 정량적으로 파악하여 반영해야 한다. 이를 위해 국내의 건설현장 안전사고 자료를 다음과 같이 원인별로 조사하였다^[15].

전체 18,000여개의 안전사고들의 원인들 가운데 추락, 전도, 낙하/비래, 감김/끼임, 그리고 충돌이 약 85%를 차지하고 있으며, 특히 전체의 약 3분의 1가량이 추락에 의해 발생되고 있음을 알 수 있다. 위에서 도출된 자동화 검토가 가능한 체크리스트 가운데 본 자료와 매칭을 수행한 결과, 다음과 같은 중요도를 결정할 수 있었다.

우선 체크리스트 항목별로 관련된 안전사고의 원인들을 분류하고, 다음과 같이 원인별 비율을 반영하여 중요도를 계산하였다.

$$\text{중요도} = \frac{\Sigma(\text{안전사고원인의 비율})}{\Sigma(\text{안전사고원인})}$$

예를 들어, 특정 체크리스트가 추락, 전도, 감전 3종류 안전사고를 예방한다면, 해당 체크리스트의 중요도는 다음과 같이 계산된다:

$$\text{중요도(사례)} = \frac{32.60 + 16.95 + 1.30}{3} = 16.95$$

검토결과, 1) 추락의 방지에 관련된 체크리스트가 안전사고의 예방에 가장 기여도가 높은 것으로 분석되었고, 5) 안전설비 및 장비의 설치와 2) 충분한 작업공간의 확보관련 체크리스트가 그 뒤를 이었다. 반면에 6) 위험요소 관련 정보의 확보는 중요도가 가장 낮았다.

각 체크리스트의 분류별로 자동검토가 가능한

Table 7 Causes of Construction Safety Accidents

안전사고 원인	사상자	비율
추락	6,158	32.60%
전도	3,202	16.95%
낙하/비래	2,590	13.71%
감김/끼임	2,084	11.03%
충돌	2,018	10.68%
절단/베임/찢림	615	3.26%
분류불가 무리한 동작	365	1.93%
붕괴/도괴	347	1.84%
작업관련 질병(너짐)	331	1.75%
사고성 무리한 동작	251	1.33%
감전	246	1.30%
기타 (각 1% 미만)	684	3.62%
합계	18,891	100.00%

Table 8 Importance of DfS Checklist

자동검토 가능한 체크리스트 분류	관련된 안전사고 원인	중요도
1) 추락의 방지	추락, 낙하/비래, 충돌, 분류불가 무리한 동작, 사고성 무리한 동작	12.05
2) 충분한 작업공간의 확보	추락, 감김/끼임, 충돌, 절단/베임/찢림, 분류불가 무리한 동작, 사고성 무리한 동작	10.14
3) 안전한 이동경로의 확보	전도, 충돌, 붕괴/도괴	9.82
4) 자재의 안전한 설치	추락, 감김/끼임, 절단/베임/찢림, 분류불가 무리한 동작, 사고성 무리한 동작	10.03
5) 안전설비 및 장비의 설치	추락, 낙하/비래, 충돌, 절단/베임/찢림, 분류불가 무리한 동작, 사고성 무리한 동작	10.59
6) 위험요소 관련 정보의 확보	붕괴/도괴, 작업관련 질병(너짐), 감전	1.63

항목들을 설명하면 다음과 같다.

3.2 추락의 방지

추락은 가장 대표적이고 빈번한 안전사고의 요인으로서 다양한 원인을 가지고 있다. 추락에 의한 부상이나 사망을 막기 위해, 현장에서는 사고 예방의 차원에서 안전장치를 설치하고 개인장비를 갖추는 것이 일반적이나, 보다 근본적인 원인을 제거하기 위해 설계단계에서 다음과 같은 체크리스트 사례를 반영해주어야 한다.

- 1) 층간이나 지붕의 개구부는 빈번한 작업가능 구역에서 가능한 멀리 설계한다.
- 2) 창고나 설비용 공간에는 층간 개구부가 없도록 한다.
- 3) 서로 다른 바닥재들이 사용되면 테두리가 충분히 구분되어야 한다.
- 4) 보와 판을 위한 모든 설치활동에 있어서 안전 줄과의 연결을 고려한다.
- 5) 유지보수 작업자의 낙하방지용 고리를 설치할 위치를 표시한다.
- 6) 추락방지를 위한 모든 가드레일 및 고리의 설치지점 주변에는 위험요소가 없어야 한다.
- 7) 유지보수 작업자를 위해 통로시설(catwalk)에는 낙하방지 시설을 설계한다.

3.3 충분한 작업공간의 확보

작업공간이 부족할 경우 발생하는 안전문제는 다양하다. 개구부나 위험지역의 경우 추락의 위험이 존재하고, 시설물을 설치하는 경우 장비와의 충돌이 예상된다. 이러한 문제는 안전을 위한 가시 설물이나 기타 장비로 대처할 문제가 아니라 설계 단계에서 해결해주어야 할 대표적인 경우로서, 이에 대한 체크리스트 사례는 다음과 같다.

- 1) 탱크와 벽 사이에 놓인 기계설비를 설치하기 위한 기중기의 작업공간을 확보한다.
- 2) 전기패널 주변에는 여유공간이 있어야 한다.
- 3) 민감한 설비 근처에 위치한 문 앞에는 충분한 공간을 확보한다.

3.4 안전한 이동경로의 확보

이동경로가 안전하지 못하다는 것은 경로가 끊기거나 좁거나 또는 장애물이 존재하여 충돌이나 낙하의 위험이 있다는 의미이다. 이동경로의 안전성은 작업자뿐만 아니라 자재와 장비의 반입에도

중요하며 일반적으로 사람이나 장비의 이동 규모와 경로, 그리고 시간을 함께 고려해야 한다. 설계 단계에서 고려해야 할 품질항목은 예를 들어 다음과 같다.

- 1) 작업자와 자재운반을 위한 이동경로는 충분히 확보되어야 한다.
- 2) 이동 경로상의 장애물이 없어야 한다.
- 3) 이동 경로의 바닥에 설치된 단을 주의한다.
- 4) 이동 경로의 출입구 위치는 적절해야 한다.
- 5) 머리와와 충돌과 같은 이동에 따른 위험요소를 줄인다.

3.5 자재의 안전한 설치

자재의 설치에 구조적인 문제점이 있을 경우, 시공과정에서 예기치 못한 장애를 만나게 될 수 있다. 이로 인해 무리한 공사를 진행하게 될 경우, 안전사고로 이어질 수 있다. 자재의 기본적인 시공 문제점은 설계단계에서 사전에 파악하고 대처가 가능할 것이다. 이에 관한 체크리스트 사례는 다음과 같다.

- 1) 설계단계에서 BIM 정보를 활용한 분야간 충돌검토를 충분히 수행하여, 예상되는 시공 위험성을 피한다.
- 2) 바닥 및 지붕의 설치에 사전에 세밀한 시뮬레이션이 필요하다.

3.6 안전설비 및 장비의 설치

설계상의 디자인을 보완하는 방안 이외에도, 기존의 안전설비 및 장비의 안전한 설치를 위해 설계에 반영해 주어야 할 사항들이 존재한다. 이러한 요소가 부족할 경우, 안전설비나 장비를 임기응변적으로 설치하거나 아예 불가능한 경우가 발생하여 잠재적인 사고위험을 높이게 된다. 이를 미연에 방지하기 위해, 다음과 같은 체크리스트 사례를 설계에 반영해야 한다.

- 1) 적절한 계단 및 난간을 (영구용 및 임시용) 설계에 포함시킨다.
- 2) 기둥에 가드레일(guardrail) 설치용 구멍을 설계에 포함시킨다.
- 3) 안전을 위한 임시구조물을 설계에 포함시켜, 시공현장에서 이를 시각적으로 파악하도록 한다.
- 4) 고공에서 보를 연결하는 작업자를 위해, 안전 로프를 연결할 수 있는 지점을 설계한다.
- 5) 실시설계 단계에서 안전로프와 연결할 보들

- 과 연결지점을 미리 정한다.
- 6) 층간 개구부 상단에 놓이는 보의 축에 따라 안전로프 연결지점을 정한다.
- 7) 유지보수 작업자의 낙하방지용 고리를 설치할 위치를 표시한다.
- 8) 안전로프의 길이를 고려하여 연결 부위를 사전에 시뮬레이션한다.

3.7 위험요소 관련 정보의 확보

위험요소와 관련된 정보란 위험을 줄 가능성이 있는 건축요소들에 대한 위치정보를 의미한다. 여기서 말하는 위험요소란 상대적인 개념으로서 건축물의 일반적인 부위들 가운데 주변과 상호작용을 일으켜 위험을 유발할 수 있는 요소를 의미한다. 이는 대부분 화재, 침수, 또는 재건축 등의 예외적인 상황에서 유발되는 위험요소로서, 예를 들면 다음과 같은 품질기준이 있을 수 있다.

- 1) 벽이나 바닥의 천공작업을 위해, 내부에 설치된 구조 자재의 (예: 포트스텐션 케이블) 위치를 표시한다.
- 2) 방화벽과 구조벽에 대한 정보를 BIM에 포함시켜, 건축물의 철거나 보수 시 건물 안전성을 유지한다.
- 3) 유해한 물질이 통과하는 파이프의 위치를 설계에 포함시킨다.
- 4) 전기시설 근방을 지나는 파이프의 위치를 설계에 포함시킨다.
- 5) 배수시설의 위치를 설계에 포함시킨다.
- 6) 신선한 공기 흡입구의 위치를 설계에 포함시킨다.
- 7) 압력 경감용 배출구와 밸브는 시설물이나 사람에게 위험하지 않도록 배치한다.
- 8) 전기패널은 그와 관련된 전기 시설물에서 보이는 장소에 설치한다.

4. BIM 안전설계 품질의 검토

4.1 안전설계 품질의 검토과정

안전설계는 기본적으로 설계단계에서 검토 및 수정되어야 할 사항이다. 하지만 안전설계에 시공방법이 반영되어야 할 경우가 종종 발생한다. 시공지식이 부족한 설계자에게 이는 사전에 파악하여 설계에 반영하기는 어려운 일이며, 결국 시공전단계에 이르러 관련 전문가의 의견이 반영되어

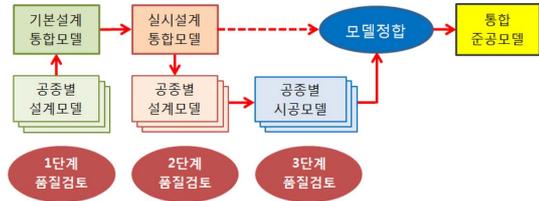


Fig. 2 DfS Checking Process

Table 9 Steps of DfS Checking

안전설계 품질검토	주요 검토대상이 되는 체크리스트의 분류
1 단계	- 충분한 작업공간의 확보 - 안전한 이동경로의 확보
2 단계	- 추락의 방지 - 위험요소 관련정보의 확인
3 단계 (4D 관련)	- 자재의 안전한 설치 - 안전설비 및 장비의 설치 - 적절한 작업환경

야 한다. 또한 설계단계에서도 디자인과 엔지니어링 측면에 따라 품질을 구분할 수 있을 것이다. 따라서 안전설계는 세 개의 단계로 나뉘어 반영될 수 있다(Fig. 2 참조).

일반적으로 BIM 설계업무 프로세스는 기본설계와 실시설계 단계를 거치고 시공성을 반영하기 위해 모델을 최적화시키는 과정을 거치게 된다. 최적화란 실시설계 모델에 전문적인 시공성을 반영하여 준공모델로 사용 가능하도록 시공모델을 작성하는 과정을 의미한다. 이러한 일련의 프로세스는 BIM 정보의 축적과정으로 볼 수 있으며, 단계별 통합모델은 공중별 모델들 또는 이전 단계의 통합모델과 항상 정합되어(coordinated) 있어야 한다.

1단계 안전설계 품질검토는 기본설계 모델을 대상으로 디자인적으로 반영될 수 있는 항목들이 될 것이다. 2단계 품질검토는 실시설계 모델을 대상으로 엔지니어링 분야에서 반영될 수 있는 항목들이 될 것이다. 3단계 품질검토의 대상은 시공모델에 시공성을 반영하는 과정에서 추가로 요구되는 안전설계 항목들이 될 것이다. 이는 또한 전형적으로 4D 시뮬레이션과 관련이 있다. 체크리스트를 이러한 기준에 따라 크게 분류하면 다음과 같으며(Table 9 참조), 세부적으로는 체크리스트 항목에 따라 일부 수정될 수 있을 것이다.

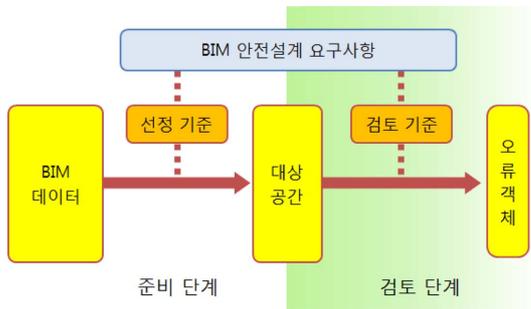


Fig. 3 DFS Checking Method

4.2 안전설계 품질의 검토방법

안전설계 품질의 검토방법을 기술적으로 일반화시킨다면 다음과 같다. 첫째 안전설계의 대상이 되는 공간이 정의되어야 하며, 둘째 공간을 둘러싼 건축요소의 기하학적 정보가 안전성에 부합하는지 검토한다. 셋째 공간을 둘러싼 건축요소의 속성정보가 안전성 요구조건을 충족시키는지 검토한다. 넷째, 공간을 둘러싼 건축요소에 추가적인 안전설비가 필요한지를 검토한다.

반면에, 안전설계 품질검토 대상을 위험인자로 분류할 경우 추락, 충돌, 매몰, 감전 등으로 분류할 수 있다. 이러한 키워드는 보다 자동화된 BIM 안전설계 품질검토의 방법개발을 위한 기술적 기준이 될 것이다. 추락의 경우, 공간이 모든 방향에 있어 다른 부재로 둘러싸여 닫혀 있는지, 만일 열려있는 부위가 있을 경우 안전장비 또는 이를 위한 지원이 설계에 반영되어 있는지 확인한다. 충돌의 경우, 이동공간의 규격이 적절한지 그리고 내부에 장애요소가 없는지를 확인한다. 붕괴의 경우, 특정 공간을 중심으로 주변에 무너짐을 방지하는 안전장비가 설치되어 있는지를 확인한다. 감전의 경우, 전기시설 주변에 감전을 유발시킬 위험요소가 존재하는지 확인한다.

4.2.1 추락의 방지

추락의 위험요소가 있는 공간을 확인한다. 예를 들면 층간 개구부가 존재하는 공간이나 외부에 노출된 공간이 될 수 있다. 첫 번째 검토항목으로, 창고나 설비용 공간의 바닥에 개구부가 없는지 확인한다. 이를 위해 공간객체가 하단에서 다른 부재와 모두 접하는지를 확인한다. 두 번째로, 공간의 바닥이나 지붕에 설계된 패널이 하중을 견딜 수 있는 자재정보를 속성으로 가지고 있는지 확인한

다. 세 번째로, 공간에 층간 개구부가 존재하거나 외부에 노출된 경우, 주변에 가드레일이 추가로 설계되어 있는지 그리고 주변에 낙하방지용 고리설치 지점이 있는지 확인한다.

4.2.2 충분한 작업공간의 확보

주변에 공간이 확보되어야 할 대상을 목록으로 정의한다. 예를 들어 민감한 설비 근처의 개구부, 전기시설, 또는 중장비가 될 수 있다. 첫 번째 검토항목으로, 각 대상으로부터 주변의 공간 내에 다른 부재가 없는지 확인한다. 이를 위해서는 여유공간의 바닥유형과 규격을 사전에 정의해야 한다. 두 번째로, 각 대상으로부터 주변의 특정한 부재까지의 거리가 확보되어 있는지 확인한다. 예를 들어 장비와 벽 사이의 충분한 거리가 있는지를 확인하는 것으로서, 사전에 검토기준이 되는 대상과 거리를 정의해야 한다. 세 번째로, 여유공간으로 특별히 정의된 객체가 다른 부재와 간섭되지 않는지 확인한다. 이를 위해서는 여유공간을 별도의 객체로 모델링하고 다른 부재와 간섭되는 경우 여유공간이 확보되지 않은 것으로 간주하는 방법이다.

4.2.3 안전한 이동경로의 확보

이동경로 확보가 필요한 출발공간과 도착공간 또는 도착지점을 정의한다. 여기서 도착지점은 특정한 문이거나 기타 건축요소가 될 수 있다. 첫 번째 검토항목으로, 이동경로가 존재하는지 확인한다. 두 번째로, 이동경로 상에 존재하는 공간의 폭과 높이 등의 규격이 적절한지 확인한다. 세 번째로, 이동경로 상에 존재하는 공간에 장애물이 없는지 확인한다. 만일 문이 있을 경우 규격이 통과하기에 적절한지, 턱의 높이가 적절한지, 그리고 앞뒤에 여유공간이 충분한지를 확인한다. 네 번째로, 이동경로의 거리가 적절한지 확인한다.

4.2.4 자재의 안전한 설치

해당 자재가 속해있는 공간을 정의하고, 우선적으로 자재의 규격이 해당 공간까지 반입하기에 적절한지를 이동경로를 검토한다. 경우에 따라 안전한 시공을 위해서는 세부 단위로의 분절이 필요할 것이다. 두 번째로, 자재간 간섭검토를 수행하여, 예상되는 충돌요인을 미리 제거한다. 세 번째로, 기본적인 안전품질에 문제가 없다면 설치과정에 대한 시뮬레이션을 시행하여 추가로 필요한 안전

설계 항목이 존재하는지를 검토할 필요가 있다.

4.2.5 안전설비 및 장비의 설치

안전설비가 요구되는 공간으로서 추락이나 충돌 또는 감전 등의 위험요소가 있는 공간을 정의한다. 첫 번째 검토항목으로, 보나 기둥과 같이 안전설비를 설치할 자재가 주변에 존재하는지 확인한다. 두 번째로, 안전설비를 설치할 자재에 연결 지점에 대한 정보가 있는지 확인한다. 세 번째로, 필요한 경우 임시용 안전설비가 설계에 포함되어 있는지 확인한다.

4.2.6 위험요소 관련 정보의 확보

위험요소에 대한 정의를 내리고, 검토의 대상이 되는 공간을 정한다. 첫 번째 검토항목으로, 위험요소에 대한 위치정보가 설계에 포함되어 있는지 확인한다. 두 번째로, 이를 대비한 안전시설에 대한 위치정보가 설계에 포함되어 있는지 확인한다. 세 번째로, 건물의 구조나 대피에 가장 중요한 영향을 미치는 자재에 대하여 위치정보가 설계에 포함되어 있는지 확인한다.

4.3 안전설계 품질검토의 사례

3D BIM 데이터를 활용하여 안전설계를 실현할 수 있는 항목들은 앞으로 BIM 기술의 발전에 의해 점차 정밀하고 자동화된 검토가 가능해질 것으로 예상되나, 현 시점에서는 아직 수동적인 자료 확인 방식과 3D 시각화 기능에 상당부분 의존하고 있다. 본 연구에서는 현재의 BIM 데이터 품질 검증 기술을 활용하여 일부 체크리스트에 대한 자동화된 검토를 시도하였으며, 대표적인 사례는 다음과 같다.

Fig. 4 사례는 충분한 작업공간이 확보되어 있는지를 검토한 경우로서, 우측의 경우는 특정 시설물의 설치를 위해 주변에 일정한 크기의 공간이 확보되어 있는지를 검토한 것이다(분홍색). 본 검토화면은 공간 내에 두 개의 기둥이 위치함으로써 완전한 작업공간이 확보되지 못했음을 보여준다. 좌측의 경우는 특정 공간 내부에 일정한 모양과 크기의 작업공간이(원형) 존재하는지를 검토한 화면으로서, 특정 시공업무에 필요한 여유공간이 확보되지 않았음을 보여준다. 이러한 위험요소를 피하기 위해서는, 설계단계에서 기둥의 위치를 조정하거나 다른 작업공간을 확보해줄 필요가 있다.

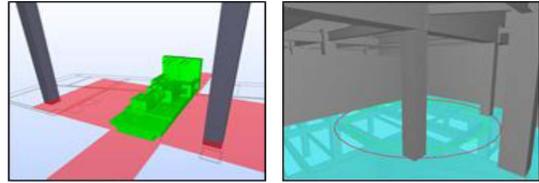


Fig. 4 Checking for Working Space

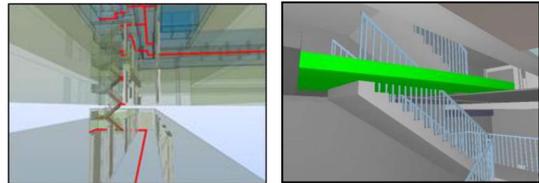


Fig. 5 Checking for Accessibility

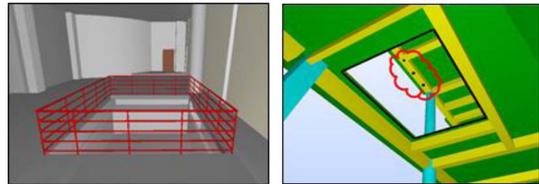


Fig. 6 Checking for Falling Hazard

Fig. 5 사례는 안전한 이동경로가 확보되어 있는지를 검토한 경우로서, 좌측의 경우는 정해진 위치부터 특정한 공간까지 이동경로가 확보되어 있는지를 검토한 화면이다. 이때 이동경로가 일정한 거리에서 벗어나지 않는지, 이동경로의 너비가 일정한 폭 이상인지 - 즉 이동경로 좌우에 장애요인은 없는지를 검토한다. 우측의 경우는 이동경로의 높이가 확보되었는지, 즉 머리와 충돌되는 요소가 존재하는지 검토한 화면으로서, 상단에 슬래브가 존재하여 통과가 불가능한 경우이다. 이는 단순한 설계오류에 의한 것이지만, 설계수정을 통하여 시공작업 혼란에 따른 사고를 예방할 필요가 있다.

Fig. 6 사례들은 각각 안전설비 및 장비의 설치와 추락의 방지를 위한 안전설계를 반영한 사례이다. 좌측은 층간 개구부 주변에 낙하사고를 방지하기 위해 임시 가드레일을 설계에 반영한 화면이고, 우측은 층간 개구부 상단의 보에 안전로프를 연결할 위치를 설계에 반영한 화면이다.

이와 같이 안전을 위한 임시구조물을 설계에 반영하기 위해서는 추가적인 설계업무의 량이 늘어나고, 안전고리 위치정보를 보나 기둥에 추가하는 작업은 주변 위험요소 및 작업동선을 고려한 분석

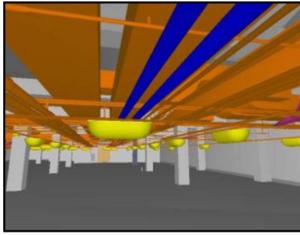


Fig. 7 Checking for Hazardous Information

이 요구하므로, 아직은 적극적으로 수행하기에는 어려움이 존재한다. 하지만 이들은 건설현장 안전 사고에서 가장 큰 비중을 차지하는 낙하사고를 예방하는 것인 만큼, 안전설계가 가장 커다란 효과를 거둘 수 있는 분야라 할 수 있다.

Fig. 7 사례는 위험요소 관련 정보를 확보하고 있는지를 검토한 화면으로서, 전기시설 근처를 지나가는 배관을 시각화한 화면이다. 이는 배관이 파열될 경우, 보수작업 시 감전의 위험성이 있음을 알려줄 수 있다. 이와 같이 잠재적인 시공 위험성을 제대로 파악하기 위해서는 설계단계에서부터 충분한 정보를 입력해주어야 하며, 시공 현장에서는 BIM 데이터를 활용하여 관련정보를 시각화함으로써, 안전사고를 미연에 방지할 수 있다.

5. 결 론

시공 안전성의 향상은 궁극적으로 건설 작업자들을 보호하고 건설기간과 비용을 절감하기 위한 시공성 향상 노력의 일환으로서, 설계단계부터 시공단계의 잠재적인 위험요소를 제거할 경우 최대의 효과를 거두는 것으로 조사되었다. 그러나 이를 구현하기 위해서는 시공전문 지식이 설계에 반영되어야 하므로 설계자와 시공자 사이의 협력체계가 무엇보다 필요하다. BIM은 적어도 기술적으로 이러한 협력을 가능케 해주며, 따라서 이에 대한 관심 또한 커지고 있다.

본 연구에서는 시공 안전성 개선을 위해 설계단계에서 적용 가능한 체크리스트를 도출하였고, 시험모델을 대상으로 BIM 품질검증 도구를 활용하여 자동화된 검토를 수행하였다. 그 결과 본 연구에서는 안전성에 대한 검증방안을 제시하였고 자동화된 검토의 가능성을 보여주었다. 이는 안전설계 품질기준의 범위를 모두 설계단계에 반영되어

야 할 정적인 요소들에 한정시킨 결과인 반면에, 그 밖에 작업인력 및 장비의 동선체크나 공정계획에 따른 위험인자의 노출, 그리고 이에 대응하는 가시시설물 설치 스케줄링과 같은 동적인 요소들도 4D 시뮬레이션을 통해 안전설계와 매우 밀접한 관계가 있는 만큼 품질검토의 대상이 되어야 할 것이다. 그러나 이러한 내용은 공사현장의 상황과 시공방식에 대한 전문지식을 반영해야 하므로 설계-시공간 협력체계가 부족한 상황을 고려할 때 아직은 시공단계에서 검증되어야 할 주제이다.

향후 BIM 응용기술의 발전이 급속도로 진행됨에 따라 공사현장에서의 안전설계의 역할이 더욱 커질 것으로 예상되는 가운데, 앞으로 개선해야 할 과제는 다음과 같다.

첫째, 시공안전에 대한 설계자의 이해가 필요하며 이를 위해 시공전문가의 참여가 가능한 협업시스템의 구축이 필요하다.

둘째, 기존의 광범위하고 전문화된 안전기준 가운데 실질적으로 BIM을 활용할 수 있는 표준화된 체크리스트와 검증기술의 개발이 필요하다.

셋째, BIM 안전설계는 다양한 가시시설물에 대한 모델링, 스케줄링, 그리고 시각화를 요구하는 상황에서 이에 대한 라이브러리가 부족한 상황이며, 이에 대한 소프트웨어의 지원이 따라야 한다.

넷째, 안전설계로 인한 설계업무 또는 비용의 증가는 모두에게 부담이 될 수 있으나, 장기적인 관점에서 건설비용의 절감을 가져온다는 점을 인식하고 설계자 및 참여자에게 상응하는 대가를 지원해야 할 것이다.

다섯째, 안전설계가 미흡하여 이로 인한 사고가 발생할 경우를 고려하여 설계자들이 부담을 가질 수 있으므로, 설계자에게 안전사고의 책임을 전가시키지 않는다는 점을 계약 또는 법규로 명문화시켜야 할 것이다.

한편 현재의 건설업계에서는 시공 안전성 검토 및 책임소재가 시공업체에게 있다 보니, 실제로 BIM을 적용하여 시공 안전성을 개선한 사례가 매우 부족한 상황이다. 이는 설계단계에서 우선되어야 할 사안인 만큼, 모든 프로젝트 참여자는 이점을 충분히 이해하고 발전된 협력체계를 통해 안전요소를 설계에 충분히 반영함으로써 시공현장에서 발생하는 안전사고의 원인을 근본적으로 줄여나가도록 해야 할 것이다.

감사의 글

본 논문은 한국연구재단(NRF)의 연구비지원(과제번호 2010-0011622)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Szymberski, R., 1997, Construction Project Safety Planning, *TAPPI Journal*, 80(11), pp.69-74.
2. Gambatese, J.A. et al, 2005, Investigation of the Viability of Designing for Safety, *CPWR*, Silver Spring, MD.
3. Manuele, F.A., 2008, Prevention Through Design: Addressing Occupational Risks in the Design and Redesign Processes, *Professional Safety*, 53(10), pp.28-40.
4. Yam, M.C.H., et al, 2007, Safety Considerations for Residential Building Repair and Maintenance Works on Facades in the Design Phase in Hong Kong, *Research Monograph*, Department of Building and Real Estate, The Hong Kong Polytechnic University, 148 p.
5. Taiebat, M., et al, 2011, Tuning Up the Core of Hazard Identification: How to Improve Stimulated Thinking for Safety in Design, Proceedings of 47th ASC Annual International Conference, Omaha, NB.
6. Solibri Model Checker, www.solibri.com
7. Gambatese, J., et al., 1997, Tool to Design for Construction Worker Safety, *Journal of Architectural Engineering*, 3(1), pp.32-41.
8. CHAIR Safety in Design Tool, 2001, WorkCover, NSW
9. Cooke, T.L., et al, 2008, ToolSHeD™: The Development and Evaluation of a Decision Support Tool for Health and Safety in Construction Design, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 4, pp.336-351.
10. John A., et al, 2005, Viability of Designing for Construction Worker Safety, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE.
11. Rajendran, S., et al, 2011, BIM Safety Benefits & Opportunities, Safety Professionals.
12. Taiebat, M., 2011, Thesis for PhD, Virginia Polytechnic Institute and State University.
13. NIOSH. Prevention Through Design, <http://www.cdc.gov/niosh/topics/ptd>.
14. Alagarsamy, K., 2011, "Influence of Design on Construction Safety", Auburn University, Dept. of Civil Engineering.
15. Korea Occupational Safety & Health Agency, 2011, Construction Work Classification Risk Evaluation Model, Appendix.



권 오 철

1985년 연세대학교 건축공학과 학사
1987년 연세대학교 건축공학과 석사
2006년 연세대학교 건축공학과 박사
1989년~2008년 삼성건설 근무
2008년~현재 대림대학교 건축공학과 교수
관심분야: BIM, 건설정보관리, CM



조 주 원

1998년 미국 Ohio 대학교 이학박사
2009년~(주)에이이씨쓰리코리아 이사
경희대학교 겸임교수
관심분야: BIM 품질검토 및 관리,
BIM 모델 에너지 분석 및 시뮬레이션, BIM 물량산출



조 찬 원

1993년 5월 미국 카네기멜런대학원
건축과 졸업(석사)
(사)빌딩스마트협회 기술연구소장
관심분야: BIM, 건설정보