

☒ 응용논문

가상현실을 이용한 건축물의 simulation 기법에 관한 연구 -A Study for Simulation Technique of Construction with Virtual Reality-

김 대 식*

Kim, Dae Sik

강 경 식**

Kang, Kyong Sik

Abstract

Too many big accidents have been occurring in Korea during '90. Those were accidents of Sung-Soo Bridge in 1994 and Sam-Poong Department Store in 1995. It was confirmed that the causes of the accident were unreliable construction or building. Therefore, in this study are to use technique of virtual reality(VR) simulation in order to prevent construction accidents. To set up the VR in safety construction, Date Base of variables, VR model and expert system are needed. This system is to build expert system, to visualize of the VR system and navigation, and to find out design errors of construction. Therefore, the purpose of this was to analyze accident type of construction, and apply VR system for simulation technique.

1. 서론

90년대에 들어 우리 나라에서는 많은 대형참사가 일어났다. 아현동 가스폭발사고, 성수대교 붕괴사고, 대구 지하철 공사장 폭발사고를 비롯해 가장 최근에 발생한 삼풍백화점 붕괴사고 등이 있다. [표1]은 최근에 발생한 대형사고를 보여준다. 이 가운데 성수대교와 삼풍백화점 참사는 구조물의 설계 및 시공, 관리 부실이 일으킨 인재라는 점에서 건축계를 한층 긴장시켰다. 성수대교 붕괴는 상판구멍이 자주 뚫리는 다른 한강 다리의 보수 및 관리를 강화하게 하였고, 한강교량 전반에 대한 정밀검사를 실시해 보수 필요를 가리게 하였다. 또한 삼풍백화점 붕괴사고 이후, 아파트의 불법용도 변경에 제재를 가하게 되었고, 건축물은 짓기만 하면 되는 것이 아니라 그 관리가 중요하다는 인식이 보편화되었다. 또한 그 동안 소홀히 하였던 감리를 강화하게 되었다.

*안산공과대학 공업경영과 · **명지대학교 산업공학과

[표1] 최근에 발생한 대형사고

| 사고발생일 | 사고명 | 장소 | 인명피해 | 원인 |
|------------|-------------------------|-------|--------------|--------------------|
| 98. 2. 22 | 종근당 천안공장 신축공사장 2층 지붕 붕괴 | 충남 천안 | 사망1, 부상13 | 기둥이 지붕의 무게를 이기지 못함 |
| 98. 2. 3 | 상수도 가압장 신축공사장 붕괴 | 경기 평택 | 사망5, 부상6 | 시멘트가 굳기 전, 무리한 시공 |
| 96. 6. 4. | 서해대교 공사중 붕괴 | 경기 평택 | 부상16 | 부실시공 |
| 95. 6. 29 | 삼풍백화점 붕괴 | 서울 | 사망501, 부상937 | 부실공사 |
| 94. 10. 21 | 성수대교 붕괴 | 서울 | 사망31, 부상17 | 부실시공 |

하지만 아직 미비한 부분이 많이 남아있다.

따라서 본 연구에서는 최근에 발생한 성수대교 및 삼풍백화점의 붕괴사고를 분석하고 재해예방을 위한 기법으로 가상현실의 안전관리에의 적용에 관하여 중점적으로 고찰하였다.

2. 붕괴사고 분석

최근에 발생한 붕괴 사고를 보면 94년의 성수대교 붕괴, 95년의 삼풍백화점 붕괴, 96년의 서해대교 공사중 붕괴, 98년의 상수도 가압장 신축공사장 붕괴 등 매년 크고 작은 붕괴사고가 발생하고 있는데 대부분의 붕괴원인은 부실 시공 또는 공사에 의한 것으로 밝혀졌다.

2.1 성수대교 붕괴사고의 원인

성수대교는 철교를 제외한 서울 시내 27개 한강다리 중 열 번째로 건설된 다리이다. 성동구 성수동에서 압구정을 잇는 폭 19.4m, 길이 1,160.8m의 다리로 동아건설이 공사비 1백15억8천만 원으로 지난 77년 4월 9일 착공, 2년6개월 만인 79년 10월 16일 완공하였다. 이 다리의 특징은 국내 최초로 철골 구조물(트러스)로 시공했다는 점이다. 콘크리트 교각을 수중에 세운 뒤 안정된 형태인 삼각형으로 뼈대를 만든 트러스를 교각 위에 올리는 공법으로 미관을 강조하고 있다. [표2]는 성수대교의 붕괴원인을 보여 준다.

[표2] 성수대교의 붕괴원인

| 붕괴 원인 | 책임소재 |
|--|---------------------|
| 1) 상현재와 H빔 수직재를 잇는 용접부위의 불량 - 용접부위 부실시공 - 트러스 윗부분과 아랫부분을 잇는 수직재의 연결 용접 부분 부식 - 철재 H빔 균열 | 건설회사(시공) 서울시(관리) |
| 2) 수직재 연결핀의 절단여부 - 이음새 핀 9개 연쇄 절단 | 건설회사(시공) |
| 3) 통과 하중 과적에 의한 피로 누적 | 서울시(관리) |
| 4) 보수관리 부실 | 서울시(관리) |
| 5) 구조적 결함 | 건설회사(시공) |
| 6) 상판 배수시설 불량으로 인한 철골 부식 | |
| 7) 철강재 자질의 불량 가능성 | 건설회사(시공) |

(1) 용접불량

시방서에는 기계용접으로 시공토록 명시했으나 강도가 훨씬 약한 수동용접이 감행되었다. 그리고 수직재 용접이음부의 변형이 전체 강(鋼)구조물의 균열 현상을 가속화 시켰고, 이 부분이 부식됨과 동시에 설계용량을 초과한 차량하중이 붕괴를 일으킨 것이다. 또한, 트러스의 상현재도 허용치 이상으로 기울어져 있어 시공 당시 설계된 하중을 견뎌내기가 어려웠다.

(2) 연결핀 절단/ 하중과적

성수대교 붕괴의 직접적인 원인은 상판과 상판을 연결하는 지지판의 절단 때문이다. 지지판의 절단 원인은 크게 2가지로 나뉜다. 첫째로, 트러스의 연결핀과 트러스 H빔이 심하게 부식되면서 하중을 이기지 못하고 연결핀 아래부분이 잘려나간 것이다. 둘째로는 착공 당시 예상했던 최대 통과하중 이상의 하중을 받아왔기 때문이다. 77년 착공 당시 최대 통과하중은 32.4t으로 설계되었으나, 교통량의 급증으로 현재 평균 43.2t의 하중이 걸리고 있다. 이런 이유로 피로가 누적되어 트러스 사이를 연결, 하중을 지지하는 직경 10cm의 핀 9개 중 1개가 부러지면서 나머지 8개도 연쇄적으로 절단되었다.

(3) 보수관리 부실

연결핀과 H빔에 페인트칠이 완전히 벗겨진 채 녹이 슨 것으로 보아 상판위만

형식적으로 점검하고 상판 아래는 전혀 점검하지 않은 것으로 보인다. 또한 H빔 가운데 부분의 약 1/10 가량이 녹슬고 금이 가 있었으며, 철재 아이바가 하중을 견디지 못할 정도로 기울어졌는데도 그대로 방치된 것으로 보아 장기간 트러스 수직재에 대한 점검과 보수가 전무했던 것으로 추정된다.

2.2 삼풍백화점 붕괴사고의 원인

[표3]은 삼풍백화점의 붕괴원인을 보여준다. 그 붕괴원인으로 설계, 시공, 감리에 서의 문제점을 나타낸다.

[표3] 삼풍백화점의 붕괴원인

| | |
|----|---|
| 설계 | 1) 무량판 구조(Flat slab) /무리한 신공법 동원 2) 무리한 설계변경 3) 증개축/지반 약함 |
| 시공 | 1) 부실시공 2) 불량자재 3) 새로운 공법 소화 못함 |
| 감리 | 1) 공기 단축에만 신경씀 2) 로비의혹 3) 유지관리, 감독책임 |

(1) 설계

가. 무량판 구조

무량판 구조는 바닥보가 전혀 없이 바닥판만으로 구성하고 그 하중을 직접 기둥에 전달하는 구조이다. 무량판 구조의 장점은 구조가 간단하여 공사비가 저렴하고, 실내공간 이용률이 높으며 고층건물의 층높이를 낮게 할 수 있다는 것이다. 하지만 주두의 철근층이 여러 겹이고, 바닥판이 두꺼워서 고정하중이 커지며, 뼈대의 강성을 기대하기 힘들다. slab와 기둥 사이의 보를 생략한 구조라서 큰 집중하중이나 편심 하중 수용 능력이 적고, 특히 횡력에 저항하는 내력에 약하여 코어와 같이 강성이 큰 내횡력 구조가 있어야 튼튼한 구조로 설계하기가 쉽다.

나. 설계변경과 증개축

설계가 자주 바뀔 경우 건축공사의 일관성을 유지하지 못하고 이미 건축된 구조물과 신축 구조물이 따로 노는 현상이 일어날 수 있다. 삼풍백화점은 지상4층 건물이었는데 나중에 5층으로 증축되었다. 삼풍으로 시공회사가 바뀐 후 기초와 구조물을 보장하지 않은 채 5층을 부실 시공한 것으로 보인다. 이 사고는 기본적으로 하부조 직이 취약한데다 상부의 하중을 건물기둥이 제대로 떠받치지 못했기 때문이다.

건물지반도 약했다. 더욱이 사고 전 지하 주차장을 늘리기 위해 지하에 터파기 공사를 하다 구조물을 떠받치는 지하암반에 손상을 입혔을 가능성도 있다. 사고전

5층 천장 일부가 늘어지고 바닥이 솟아오른 점으로 미루어 지반 약화에 따른 부등침하가 있지 않았는가 하는 견해도 있다.

다. 설계변경 구태

건축사에게 설계 및 용도 변경의 전권을 맡기다시피 한 현행제도에 문제가 있다.

(2) 시공

가. 부실시공

기둥에 들어 있는 철근은 22~25mm정도 굵기의 철근을 넣도록 되어 있는데 굵기가 17mm 정도로 일반 slab건물의 철근 굵기보다 가늘었다. 기둥에 들어가는 철근은 slab와 연결되는 끝부분이 하중의 분산을 위해 지그재그형으로 설치하도록 되어 있는데 붕괴된 A동 중앙부분에는 규정을 지키지 않았다. slab에 배치된 철근 골격도 2중으로 배치되어 있기는 하나 너무 위쪽이나 아래쪽으로 처져있고 간격이 너무 넓다.

나. 불량자재 사용

1) 콘크리트

규정대로 하면 모래와 시멘트의 비율이 7대1로 하여야 하나 사용된 콘크리트는 흙모래가 많이 섞여 밀가루 반죽 같았고 색깔도 유난히 희었다. 시공 당시 건설 현장에서 레미콘 업체가 반입한 레미콘에 물타기를 한 것이 간접원인이 되었다.

2) 철근

철근이 턱없이 부족하고, 주기 등에는 한 가운데 철심마저 없었으며, 5년밖에 지나지 않았으나 시뻘겍게 녹이 나 있었다. 또한, 손으로도 툄툄 부러질 정도로 강도가 형편없었다.

나. 무용지물이 된 새 공법

백화점 같은 건물을 지을 때 기둥을 최소화하는 최신공법을 채택하는데 비용 절감과 직결되면서 정밀한 시공이 간과되었다.

(3) 감리

삼풍백화점의 붕괴 형태를 살펴볼 때, 감리만 제대로 되었다면 시공과정에서 구조적 결함을 미리 적발해 낼 수 있었을 것이다.

3. 가상현실 시스템

3.1 가상현실의 특징

가상현실의 가장 특징적인 점은 인간이 가상 존재하는 가상환경이 첫째, 인간에게 있어서 자연적인 3차원 공간을 구성하고 있으며 둘째, 인간이 그 안에서 자유로이 행동할 수 있으며 또한 가상환경과의 상호작용이 자연적인 형태로 실시간에 생기며 셋째, 그 환경에의 자기투사성이 있다는 것이다. 인간은 그 가상공간 안에서 자유롭게 행동하고 가상공간에 작용할 수 있다. 또한, 자기 자신의 투사가 그 공간에 대해 생기고 로봇이나 가상인간과 일체화한 자기를 느낄 수 있다.

이러한 가상공간의 실현을 위한 요소들은 다음과 같다.

첫째, 사용자인 인간에게 가상환경의 정보를 시각, 청각, 촉각 등의 멀티미디어를 중재로 하여 실시간에 통합하여 제시하는 출력기술이다.

둘째, 인간의 상태추정과 인간의 행동의지추정 등의 입력기술이다.

다른 한편, 가상현실의 또 하나의 커다란 특징은 인간과 시스템과의 정보교환이 자연적인 형태로 행해지는 점에 있다. 지금까지 인간은 시스템에 정보를 전달하기 위해 키보드나 마우스와 같은 입력장치를 널리 사용해오고 있다. 최근에 와서 수서입력 등으로 확장되어 가고 있으나 어쨌든 인간이 입력을 위한 조작을 할 필요가 있게 된다.

한편, 가상현실에서는 손이나 손가락의 자연적인 움직임을 센서로 포착하거나 항공기의 조종간을 조작한다고 하는 실제의 항공기에서와 같은 조작을 가지고 시스템에 정보를 전달할 수 있다. 또한, 인간과 말하는 있는 것과 같이 대화를 할 수 있게 하는 것도 별로 멀지 않았다. 가상현실에서는 정보전달을 위한 특별한 조작을 가지고 시스템을 의식하지 않아도 좋다.

그리고 시스템으로부터의 출력도 디스플레이 화면의 표시에 한정되지 않고 소리나 진동, 촉각 등의 여러 종류의 형태를 통해 입장감을 수반한 것이 된다. 이 때문에 일반적으로 실세계를 의식하고 있는 것과 같이 가상의 세계를 포착할 수 있다. 가상현실을 이용함으로써 창조성, 체험성, 행동성 및 사회성 등과 같은 인간을 위한 도구로서의 역할을 수행할 수 있으며, 이것이 바로 가상현실의 특징이기도 하다.

(1) 창조성

장래의 생산 시스템에 있어서 하나의 중요한 방향은 고객 한사람 한사람의 요구나 개성에 알맞는 제품을 호환성, 확장성, 투명성을 유지하면서 공급하는 것을 들 수 있다. 자연현상의 해명(elucidation)수단으로서 simulation이 있으며, simulation 결과의 visualization의 방법으로서 가상현실이 주목되고 있다. 인간이 현실감을 가지면서 작업을 수행할 때 어떠한 감각정보를 확정함과 동시에 정보제어모델을 구축한다. 아울러 가상공간인지와 이에 따른 입장적 감각운동제어의 메커니즘 해명을 기도해 나간다.

(2) 체험성

인간이 지금 있는 장소에 있으면서도 다른 별도의 장소에 존재하는 것과 같은 실시간의 입장감을 가지면서 그 환경과의 상호작용도 가능하게 하는 Tele-Existence 기술을 이용하여 고령자나 핸디캡이 있는 사람이 자유로이 자기가 좋아하는 장소로 여행하는 것을 가능하게 하는 것을 목적으로 하는 연구가 실시되고 있다. 이 기술이 완성되면 이용자는 원격지에 배치된 로봇과 광대역 ISDN이나 정보 하이웨이 등의 통신망을 매개로 하여 일체화된 감각을 가지고 그 로봇이 존재하는 장소를 여행하거나 혹은 컴퓨터가 창제한 가상공간내를 여행하는 것이 3차원의 실시간 입장감을 가지고 가능케 한다.

Simulation 분야에서도 실 체험에 가까운 실시간 상호작용 적인 3D의 컴퓨터 simulation이 급속히 진전되고 있다.

(3) 행동성

Robot의 원격제어 분야에서는 Tele-operation 기술이 1970년대에 와서 Robot 기술을 가미하여 관리제어로 진전되었다. 또한, 떨어진 곳에 있는 오퍼레이터가 원격으로 작용하는 로봇이 존재하는 장소에서 직접 조작하고 있는 것과 같은 감각을 가지고 로봇을 자재로 제어하는 Tele-Existence를 우주에서 이용하기 위한 확장기술의 연구도 실시되고 있다.

(4) 사회성

전화나 TV회의를 대폭적으로 진전시켜 입장감을 증가시킨 입장감통신이 장래의 정보 하이웨이 시대를 목표로 열정적인 연구가 진행되고 있으며 이는 컴퓨터 통신에 의한 Networked Reality라고도 불린다. 전달된 현실에 있어서는 입장감통신회의 혹은 원격화상회의 등이 좋은 예이며, 구성된 현실 중의 허공간에서는 가상도시 등의 가상 공간 공동체가 여기에 해당되는데 어쨌든 이 분야는 multimedia나 internet 등과도 대단히 밀접한 관련을 가지고 있다.

3.2 가상현실의 효과

가상현실의 효과로는 첫째, 대규모의 4차원 공간이 이용될 수 있다. 즉, interactive한 표현이 가능하며, 체험적, 모형 실험적이고 따라서 인간의 공간인지능력에 호소하며 직감이 작용하기 쉽다. 둘째, 공간이 감각 통합된다. 즉, 시각, 청각, 촉각 등이 정합성을 가지고 통합되어 있으며, 이에 의해 실 체험에 가까운 입장감이나 현실감이 생긴다. 셋째, interactive한 공간이 실현되어 가상공간이 인간의 행동에 대해 실시간으로 응답한다. 따라서, 가상공간을 직접 Robot이나 sensor 등이 배치된 실 공간과 연결하는 것도 가능하다. 넷째로는 공유공간이 생긴다는 것이다. 즉, 다수의 인간이 떨어진 장소로부터 공유참가를 할 수 있어 그 의미로서 일종의 사회가 생겨난다.

3.3 Virtual Prototyping

VP 시스템은 3차원 CAD data를 이용하여 작성된 모델을 실제의 제작이나 조립 과정 없이 컴퓨터 상에서 제품을 조립하거나 작동시키는 등의 작업을 설계 단계에서 수행하여, 이를 통해서 설계 품질을 검증하여 제품개발 기간단축, 원가절감 및 품질향상을 지원하는 시스템이다. 기존에는 이러한 목적을 위해 CAD 시스템을 직접 활용해보려고 했으나, 이는 적합하지 않다는 인식을 하기 시작했다. 이에 대한 가장 큰 이유는 모델링 관점에서 개발되어온 CAD 시스템으로는 복잡한 조립체의 기능을 실시간에 interactive하게 검사하고, 그 결과를 시각화하기에는 속도 및 기능면에서 적합하지 않기 때문이다.

VP를 지원하는 도구가 갖추어야 할 조건들을 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 대형 어셈블리의 실시간 시각화가 가능할 것.
- (2) 복잡도가 높은 부품간의 실시간 간섭 체크가 손쉬울 것.
- (3) 제품에 대한 조립성, 가공성 및 정비 보수 가능성 등의 실시간 검증이 용이할 것.

(4) 제품 구성요소들 간의 실시간 기능 분석이 가능할 것.

(5) 공동설계팀들 간의 실시간 의사소통이 용이할 것.

VP는 설계 단계에서만 아니라 마케팅, 교육, 정비 보수 등의 제품 life cycle의 전 범위에 걸쳐 사용될 수 있기 때문에 VP의 효과적인 활용은 엄청난 파급효과를 가져온다고 할 수 있다.

4. 설계오류검증 시스템

4.1 설계 및 분석

안전을 위한 체계적인 설계 과정은 일반적으로 다음의 단계를 따른다.

- 1) 프로젝트와 명확한 목표의 선택
- 2) 목표에 대한 설계를 평가하기 위한 측정의 정의
- 3) 프로젝트의 한계와 행동의 결정
- 4) 자료수집과 표현
- 5) 자료 분석
- 6) 선택적 방법과 표현
- 7) 선택적 방법의 평가와 최적의 방법 선택
- 8) 선택된 방법의 상세한 설계와 표현
- 9) 고안된 방법의 이행
- 10) 방법의 follow up

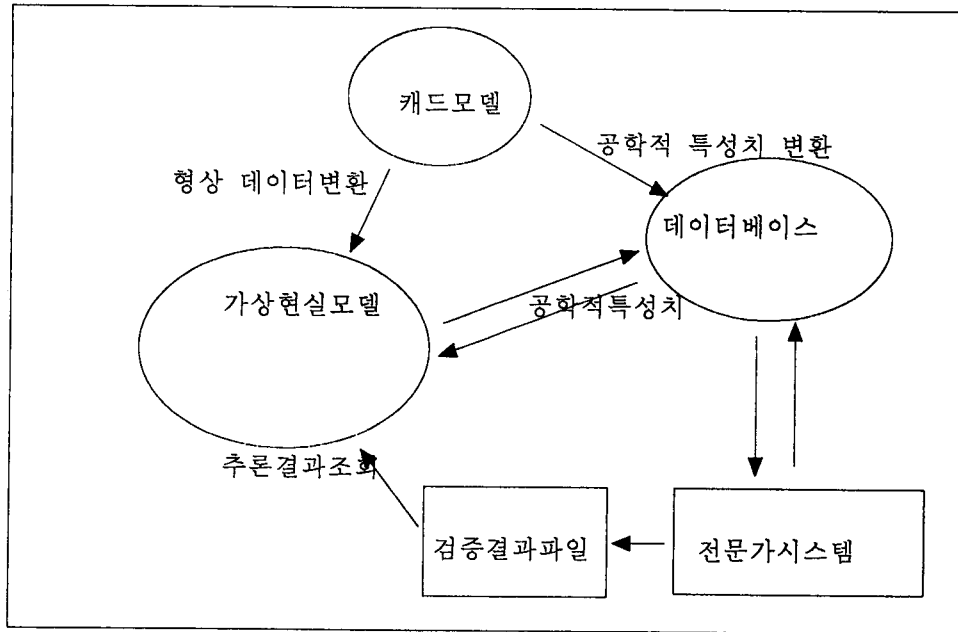
자료 수집의 경우에 설계의 과업, 목표, 정성적인 범위와 한정된 예산의 명확한 정의가 있어야 한다. 그리고 자료는 인간공학과 작업측정의 면에서 분석되어야 한다. Haslegrave와 Corlett는 건강, 안전 그리고 양질의 수행도에 대해 작업 및 작업 환경의 중요성을 강조했다.

4.2 설계오류 검증시스템의 구성

선택된 최적안은 결정된 검사 조건에서 검증되고 검토되어야 한다. 만일 검증이 성공적으로 끝난다면, 설계안은 확인된 위험과 함께 보고되어야 한다. 그 위험을 위해 checklist의 사용은 하나의 좋은 방법이다. 그 기반은 각각의 checklist의 항목에 제공된 앞선 안전 분석의 경험에 두고 있다. 그 checklist는 4부분으로 나눈다.

- 1) 구조적 위험
- 2) 움직이는 기인물로부터의 위험
- 3) 화학적, 폭발같은 작업과 간접적인 위험
- 4) 작업환경

설계오류 검증 시스템은 프로젝트 설계 과정에서 발생한 오류를 1) 규칙기반의 지식 추론 검증방법과, 2) 가상현실 기반의 시각적 검증방법을 활용하여 검증하고 피드백함으로써 설계 재작업 빈도의 감축, 설계 품질 향상, 공기 단축 등을 목표로 하며, VP의 조건 중에서 대형 어셈블리의 실시간 시각화, 복잡도가 높은 부품간의 실시간 간섭체크 및 공동 설계팀간의 실시간 의사소통 지원조건을 만족시키는 기능을 구축하게 된다. [그림1]은 설계오류 검증 시스템 구성도를 보여준다.



[그림1] 설계오류 검증 시스템 구성도

이 설계오류 검증시스템은 전문가 시스템 모듈과 가상현실 모듈의 두 부분으로 나누어져 있는데, 첫 번째는, 건축설계 업계에서 다년간 설계작업을 수행하면서 자체적으로 축적한 문서화된 검증자료 및 경험 등의 지식을 전문가 시스템을 이용하여 정형화/자동화시킨 것이다. 이 모듈에서는 설계자간 설계분업후 통합시의 연속성 체크 등을 지식 추론을 이용하여 오류를 검증하고 이를 가상현실 시스템으로 시각화하게 된다. 두 번째는, 가상현실 기반의 시각오류 검증방법으로 설계자가 직접 실시간으로 3차원 시각화된 설계모델에 대한 이상유무 검증을 수행하는 것으로 CAD 모델로부터 변환된 3차원 가상 현실 모델 내부로 3차원 가상인간(virtual human)이 자유롭게 돌아다니면서 인간의 활동반경에 무리가 없는지를 시각적으로 판단하여 설계오류를 검증하며 원격지에 떨어진 설계자들 간의 공동 설계 작업을 가능하게 하는 협동 작업(collaboration) 서브모듈도 포함하고 있다. 즉, 이 시스템은 전문가 시스템의 추론기능과 가상현실 시스템의 시각화 및 네비게이션(navigation)기능을 적절히 조화하여, 설계오류를 신속히 발견하여 피드백 하고자 하는 것이다.

5. 결론

최근에 발생한 대형붕괴사고를 보면 대부분이 부실시공 또는 공사에 의한 것이다. 그 부실 시공 또는 공사가 미리 구조적 결함을 예측하지 못하고 무리하게 공사를 시작한 것으로 드러났다. 기존의 공법 또는 새로운 최신 공법을 채택하기 전에 가상현실 내에서 simulation으로 rehearsal을 한 후에 시공을 하는 것이 사고를 예방하고 원

가절감 및 안전관리의 차원에서 경제적으로나 법적, 사회적으로 상당한 이익을 가져올 수 있고 인권 존중의 차원에서도 이점이 있다고 사료된다. 가상현실 내에서 시공에 따른 여러 가지 변수, 즉 미리 Data Base에 저장되어 있는 변수에 여러 가지 상황이나 조건들을 입력하여 전문가 시스템을 이용하여 하나의 가상현실 모델을 구축하여 simulation을 시행한다면, 설계나 시공의 오류를 방지할 수 있을 것이다. 무엇보다 앞서, 경영진의 안전에 대한 올바른 인식과 독려 및 지원이 최우선되어야 하겠다. Heinrich의 3E(Education, Engineering, Enforcement)를 기본으로 경영진의 안전에 대한 교육, 기술개발 및 적용, 그리고 안전에 대한 권고 등이 선행되어야 생산성 및 안전의 향상이 요구된다. 산업안전의 두 번째 목표인 인간존중은 경영자의 안전에 대한 확고한 목표아래 자연스럽게 달성될 수 있을 것이다. 근로자의 건강과 생명은 기업발전의 원동력이다.

참고문헌

- [1] 이순요, 양선모, 가상현실형 감성공학, 청문각, 1997.
- [2] 한관희, "CIM의 발전방향 - VM(Virtual Manufacturing)", IE Interfaces 산업공학, 대한산업공학회, 제11권, 제3호. 1998, pp.219-225.
- [3] Angster, S., "VDEAM : Virtual Environment for Design and Manufacturing", VR News, Vol.6, No.5, June, 1997.
- [4] Institute for Systems Research, Virtual manufacturing : VR Background Project Report, Univ. of Maryland, 1994
- [5] Dr.-Ing. P. Drew and Dipl.-Ing. M. Weyrich, "Virtual Manufacturing" - An Overview, VR News, Vol.6, No. 3, April, 1997.
- [6] Haslegrave, C.H, and Corlett, E.N., "Evaluating Work Conditions and Risk of Injury-techniques for Field Survey", Evaluation of Human Works, 2nd edition, taylor & Francis Pub., London, 1995.
- [7] Lware, K. et al., "A Modelling and Simulation Architecture for Virtual Manufacturing Systems", CIRP, V.44, N.1, 1995, pp.399-402.
- [8] Niebel, B.W., Motion and Time Study, 9th edition (Irwin, Bostom)
- [9] Society of Manufacturing Engineers, "Virtual Everything", Manufacturing Engineering, Vol.118, No.5, May, 1997.
- [10] Yohaman, A., "Method Engineering: Using Rapid Prototype and Virtual Reality Techniques", Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, Vol. 7, pp. 79-95.
- [11] <http://myhome.shinbiro.com/~ruiner/ruin.html>
- [12] <http://myhome.shinbiro.com/~ruiner/civil.html>
- [13] <http://my.netian.com/~achin/archi-붕괴.htm>
- [14] <http://www.vrstudio.co.kr/t01.htm>