

구조물의 3차원 설계 패러다임을 위한 지침에 대한 고찰

Investigation on the 3-D design guidelines of structures

심 창 수* · 김 용 한** · 전 승 민*** · 과 태 영****

Shim, Chang-Su · Kim, Yong-Han · Jeon, Seung-Min, Kwak, Tae-Young

ABSTRACT

Design of civil infrastructures is generally based on 2-D drawings and analyses. Design provisions also specify the limit states using member based equations. Most construction projects are done through collaboration of engineers who have different specialized knowledge. Information technologies can dramatically enhance the performance of the collaboration. For the information transfer, we need a mediator between engineers. Object based 3-D models are useful for the communication and for the owners who have to maintain whole the information of infrastructures. In this paper, basic guidelines for the 3-D design according to design phases. Adequate interoperability of 3-D objects from any CAD system is essential for the collaboration. Owners, contractors and design consultants were considered as users of 3-D objects. Cost and performance of each design phases was investigated through the existing data.

Keywords: *collaboration, object-based 3-D model, interoperability, cost, performance*

1. 서 론

선진 기업들은 경쟁력 확보를 위하여 지난 1970년대와 80년대에 이르기까지 CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing), CAE (Computer Aided Engineering), MRP (Manufacturing Resource Planning), NC (Numerical Control), 산업용 로봇, 컴퓨터, 네트워크 등 각종 시스템은 물론 TQC (Total Quality Control), JIT (Just In Time), BPR(Business Process Re-engineering) 등 각종 경영 기법에 이르기까지 끊임없는 투자와 노력을 계속하고 있다. 설계 분야에서는 CAD 시스템을 도입하여 제품 형상에 대한 개념 설계를 마치 모형을 가지고 작업하듯이 컴퓨터 화면에서 만들어 볼 수 있게 되었고, CAE 시스템을 도입하여 제품이 외력 또는 진동에 잘 견뎌 낼 수 있을 것인지를 모의 실험을 통하여 검증하기도 하고 짧은 시간 내에 예측할 수도 있다. 이러한 형태의 작업이 건축분야와 플랜트 분야를 거쳐서 토목사업에 도입되기 시작하였다.

최근 제조업체들은 경쟁력을 높이기 위한 방안의 하나로 설계 및 개발기간을 단축하고자 노력하고 있다. 이에 따라 CAD/CAM/CAE 소프트웨어의 활용도와 중요성은 날로 증가하고 있다. 많은 전문가들도 향후

* 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수, E-mail: csshimi@cau.ac.kr

** 유신코퍼레이션, E-mail: yhkim88@yooshin.co.kr

*** 학생회원, 중앙대학교 토목공학과 석사과정, E-mail: seungmin79@hanmail.net

**** 유신코퍼레이션, E-mail: y12712@yooshin.co.kr

CAD/CAM/CAE 시장, 나아가서는 PDM, 설계 협업 시스템 시장은 빠르게 성장할 것으로 낙관하고 있다. 또한, PDM을 이용한 이기종간 데이터 정보교환 기술은 제조 산업에서 제품 개발이 이루어지는 모든 부분에 관여하고 있으며, 특히 자동차, 전자 제품, 공작 기계 개발에 있어서, 품질을 향상시키고, 개발비용을 줄이며, 개발기간을 단축하는데 큰 몫을 차지하고 있다. CIMData에서 발표한 자료에 따르면 전세계 설계 협업 시스템 시장은 연평균 8% 수준으로 성장하여 2009년에는 250억 달러 규모가 될 것으로 전망하고 있다. 세부적으로 솔루션 시장은 연평균 4% 내외의 성장세를 유지하며 2009년 139억달러 시장으로 커질 전망이고, PDM 시장은 연평균 15% 내외의 빠른 성장세를 기록하며 2009년 105억달러 규모로 성장할 것으로 전망되고 있다.

지금까지의 투자는 주로 특정한 작업을 보다 신속하게 처리하는 데 초점이 맞추어져 있었다. 특정한 프로세스를 혁신하여 효율성을 높여도 업무간 프로세서의 연동성 내지는 정보 교환이 효율적이지 못하면 병목현상이 발생하게 된다. 이것을 전문가들은 소위 '정보의 섬 (Information Island)'이라고 부르고 있다. 그 단적인 예가 CAD에 의한 도면 작성과 MRP에 BOM (Bill Of Material)을 입력하는 작업이다. 설계실에서 작성하는 전통적인 도면은 단순히 형상만을 표현하는 것이 아니다. 도면 속에는 BOM 정보가 함께 기재되는 것이 보통이다. 그러나 CAD를 도입하면서도 전통적인 도면의 내용은 바뀌지 않았다. 따라서 CAD는 고가의 고급 제도기로서 제도판을 대체했을 뿐, 그 도면 속에 기입한 제품 구성에 대한 정보는 MRP를 위해서 다시 종이에 옮겨서, 전산입력 담당자의 손을 거쳐 입력된다.

CAD, 워드프로세서 등 컴퓨터를 이용하면 자료의 작성이 쉬울 뿐만 아니라, 정말 편리하게 수정할 수 있는 기능이 제공된다. 초기에는 조금 잘못되었어도 빠른 시간 안에 수정이 가능하기 때문에 설계 프로세스가 진행됨에 따라 수많은 버전의 설계 정보가 정리되지 못한 채 넘쳐나게 된다. 즉, 잦은 설계 변경이 오히려 혼란을 가중시키고 효율성을 떨어뜨린다. 게다가 변경된 개정판이 종이 원본, 파일 원본, 종이 사본, 파일 사본, 그것의 또 개정판, 증보판까지 정보의 통제 불능 상태에 이르게 된다. 이러한 문제점들을 해결해 줄 수 있는 PDM은 제품과 관련된 모든 주변 정보를 제공하는 제품 중심의 정보체계로서, 제조업체의 내부 또는 외부에서 제품과 관련된 일을 하는 모든 조직의 구성원이 병렬적으로 작업을 진행할 수 있는 기반을 제공하는 정보 허부구조로서의 역할을 담당함으로써, 동시공학을 실현할 수 있도록 지원한다. 동시 공학을 구현하는 PDM의 역할은 제품과 관련된 정보 (부품 정보, 제품의 구성, 문서, CAD 파일, 결재)를 포함한 제품을 기술하는 모든 정보를 관리하고, 제품과 관련된 모든 공정 (결재와 배포 정보를 포함한 공정)을 관리한다.

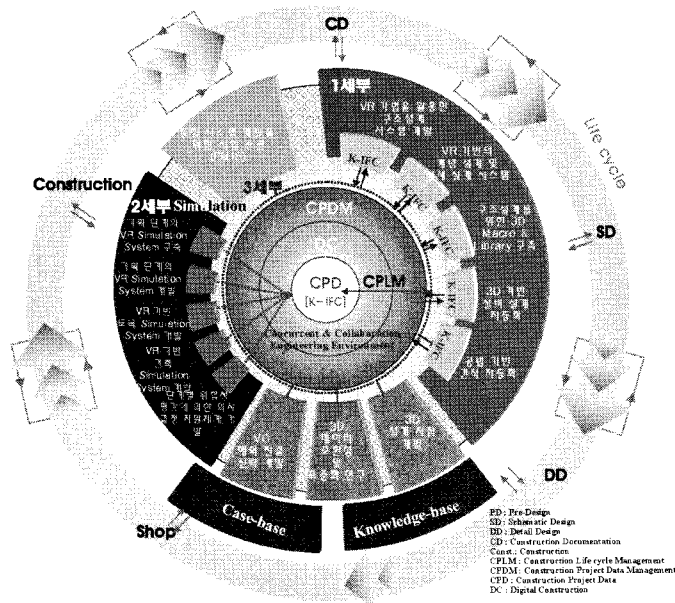
이 논문에서는 이러한 정보통신 및 제조업의 경험을 토목 분야의 기획, 설계, 시공, 유지관리에 이르는 정보관리 및 프로세서의 혁신을 위해 도입하려는 시도로 가상건설시스템 개발에서 3차원 설계의 가이드라인에 대한 고찰을 수행하였다. 전체 연구의 틀을 소개하고 3차원 객체기반의 설계를 위해서 비용과 효율성 면에서 고려사항들을 검토하고 실제 예를 몇 가지 소개하였다.

2. 가상건설시스템의 3차원 설계지침

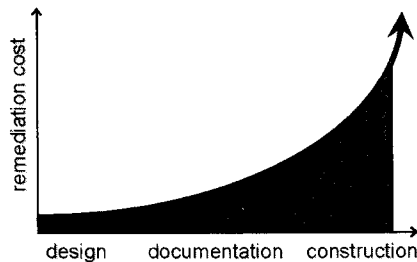
건설분야에서 설계 및 시공 정보의 흐름은 건설 CALS 등을 통해서 표준화하려는 노력이 이어지고 있지만 이는 설계 결과물의 상호교류에 불과하고 협업을 통한 설계 프로세서의 혁신을 위한 노력은 미미한 수준에 머물고 있다. 따라서, 이러한 설계의 전체 흐름을 관통하는 핵심으로 CPLM(Construction Project Lifecycle Management)을 선택하고 관련된 설계 및 정보의 흐름을 기본계획, 기본설계, 실시설계 및 시공, 유지관리에 이르도록 하는 가상건설 시스템개발이 건설교통부의 연구 프로젝트로 추진되고 있다. 전체적인 개요는 그림 1과 같다. 이 시스템에는 Virtual Reality, Telepresence, Collaboration 및 data management가

함께 사용되어야 한다.

설계 단계별로 정보의 흐름 혹은 연동성이 전체 건설 프로세스의 비용증가에 미치는 영향은 NIST의 보고서에 잘 분석되어 있는데 그림 1(b)에서 보는 바와 같이 설계오류의 발견이 늦어질수록 이를 수정하기 위해 소요되는 증가 비용은 급격하게 증가하게 된다. 즉, 기획 단계의 면밀한 검토와 설계 초기에 결정되는 사항들이 전체 건설 프로젝트의 승부를 결정하게 된다. 따라서, 설계의 패러다임을 현재의 2차원 위주에서 3차원 위주로 전환하게 되면 시공 및 유지관리 단계에서의 비용을 상당 부분 줄일 수 있게 된다. 이를 위해서는 설계를 담당하는 엔지니어의 교육 및 관련 경험, 라이브러리 등의 축적이 선행되어야 하고 필수적으로 비용증가를 유발하게 된다. 이러한 부분들에 대한 조정의 역할을 설계 지침을 통해서 수행하여야 한다.



(a) 가상건설시스템 개발 개요



(b) 설계오류의 발생시점별 비용 유발

그림 1 가상건설 시스템 개발의 개요 및 설계 정보의 중요성

3차원 기반 설계로 전환하기 위해서는 각 설계 단계별로 적절한 수준으로 설계 성과물을 정의할 필요가 있다. 현재의 설계 단계별 주요 성과물은 표 1에 정리하였다. 현재의 설계 성과물에서 기본계획 및 설계 단계

에서 도면은 지나치게 많은 수량이 산출되고 있고 이러한 도면의 상당부분이 시공단계로 전환되면서 수정되고 있다. 3차원 기반의 설계 성과품을 도출하는 데는 많은 시간과 비용이 소요될 것이기 때문에 이에 대한 면밀한 검토가 요구된다.

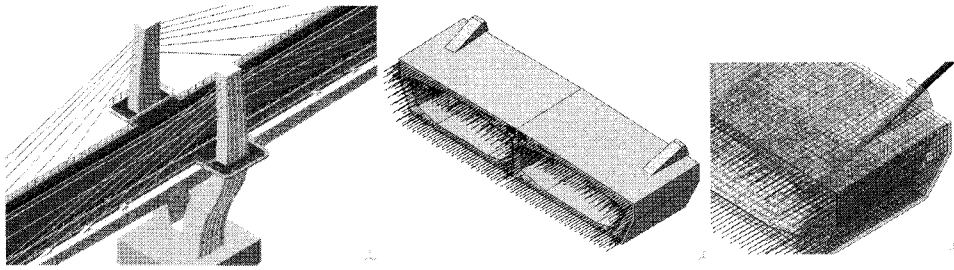
표 1 설계단계별 성과품 및 세부사항

기본계획 (타당성조사)	<ul style="list-style-type: none"> ● 2D 수준의 도면작성 ● 전체현황 파악을 위한 도면 및 시뮬레이션 필요 (GIS) ● 개략공사비 	<ul style="list-style-type: none"> ● 기본계획 보고서 ● 기본계획 도면 ● 전체중평면도, 노선도, 표준단면도 ● 추정공사비
기본설계	<ul style="list-style-type: none"> ● 단면중심의 3D 프레임 해석 (단면력 산출, FEM상세해석 제외) ● 일반도 (상세도 제외) ● 경간 · 단면의 변경 반복 	<ul style="list-style-type: none"> ● 기본설계 계산서 ● 기본설계 도면 ● 상세도면 제외 ● 지반조사 포함 ● 단면수준 수량·공사비 ● 신속한 변경 필요
실시설계	<ul style="list-style-type: none"> ● 단면중심의 3D 프레임 해석 ● 3D FEM 등 상세구조검토 ● 일반도 + 상세도 ● 단면 · 상세의 변경 반복 	<ul style="list-style-type: none"> ● 실시설계 계산서 ● FEM등 3D상세설계 ● 실시설계 도면 ● 배근도 및 보강제 ● 수량산출서 및 내역서 ● 세부물량
시공설계	<ul style="list-style-type: none"> ● 제작도면(Shop Drawing) ● 완공후 유지관리 이용 ● 상황에 따른 세부 변경 반복 	<ul style="list-style-type: none"> ● Full Information이 포함된 설계 자료

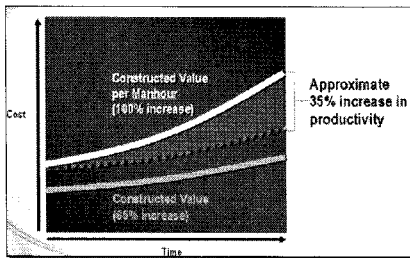
3. 3차원 설계지침을 위한 추가 소요 비용 및 부담주체에 대한 평가

건설프로젝트에서 3차원 모델의 작성은 전체 설계 정보의 흐름에서 중요한 매개가 된다. 따라서, 3차원 설계 결과물로 제시되어야 하는 모델은 객체기반의 모델이어야 하고 다양한 정보를 메타데이터로 축적가능하여야 하며 분류체계를 작은 단위의 요소에서 큰 단위까지 구성할 수 있어야 한다. 그림 2의 3차원 교량 모델의 예에서 보듯이 생성된 3차원 모델은 기획단계에서의 다양한 대안 제시, 기본설계 단계에서 물량 산출, 시공단계에서 Digital mock-up 등에 활용될 수 있어야 하고 이를 위해서는 상호 연동성(Interoperability)을 반드시 확보해야 한다. 현재 여러 형태의 3차원 도면을 지원하는 캐드 엔진들이 있지만 어느 엔진을 사용하더라도 최종적으로 공유되고 협업의 매개 혹은 성과물로 제출되는 모델은 독립적인 viewer를 통해 볼 수 있어야 하고 객체에 저장된 다양한 정보가 견적 및 물량산출, 해석 모델과의 연동, 시공 시뮬레이션 등에 활용될 수 있어야 한다.

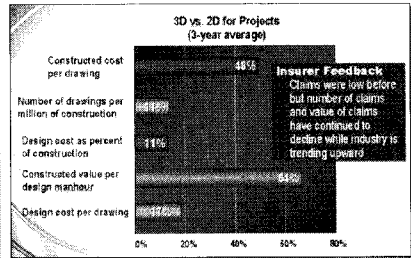
3차원 설계를 통한 정보 교환 혹은 연동성 확보에 대한 비용 및 효과 분석은 NIST의 보고서를 보면 어느 정도 윤곽을 잡을 수 있다. 미국에서 정부가 관리하는 사회간접자본을 대상으로 하는 조사에서 일년간 연동성 미비로 인한 비용이 \$15.8 billion이었고 이중에서 발주자의 비용 부담이 \$10.6 billion (67%), 시공사 및 제작사가 각각 \$1.8 billion (11%)과 \$2.2 billion (14%)이고 설계자의 부담이 가장 작은 \$1.2 billion(7.6%)이었다. 그리고 적절한 정보 전달이 이루어진다면 전체적인 프로젝트 기간을 10% 정도 줄일 수 있음을 밝혔다. 특히, 엔지니어링에 소요되는 시간의 40% 정도가 정보를 찾아 검증하고 적절하게 배치하는데 사용되는 것으로 나타났다. 그림 3에 NIST의 보고서에 분석한 생산성 향상 및 비용감소의 기회를 정리하였다.



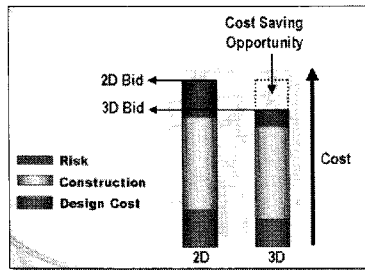
(a) 전체 모델 (b) 세그먼트 및 철근배근 (c) 간섭검토를 위한 상세
그림 2 교량의 3차원 설계 모델



(a) 설계의 생산성 향상



(b) 3D 기반 설계의 효과



(c) 비용 감소의 기회

그림 3. NIST의 분석 결과

4. 3차원 설계를 위한 가이드라인

건설 프로젝트에서 설계 성과물을 일시에 3차원으로 전환하는 것은 무리가 있고 비용 부담을 전적으로 엔지니어링 부분에서 할 수 없고 앞서 본 바와 같이 발주처의 비용부담이 가장 크고 시공사 및 설계사의 순서로 이루어져야 한다. 특히, 설계 패러다임의 전환 초기에 세심한 배려와 준비가 필요하기 때문에 이에 대해 기본적인 가이드라인을 제시할 필요가 있다. 특히, 추가 소요 비용과 이로 인한 생산성 증가 혹은 위험성 감소로 인한 효과를 건설 프로젝트 참여 주체별로 어떻게 평가하는 것이 타당한지에 대한 논의와 조사가 지속적으로 추진되어야 한다. 3차원 객체가 생성되면 이를 활용한 다양한 건설 관련 솔루션이 개발될 것이기 때문에 어느 정도 표준화와 더불어 라이브러리 구축이 되는 시점까지가 중요하고 이를 위한 투자 주체가 명확할 필요가 있다. 예를 들어 특정 제품을 납품하는 업체는 자사의 제품을 향후에 3차원 기반으로 설계 패러다

임이 전환되면 설계를 위한 3차원 모델을 함께 제공해야 하고 표준도를 채택하고 있는 발주처의 경우에도 일괄적으로 표준도를 3차원 모델로 전환하여 공유할 수 있도록 해야 한다. 이러한 기반위에서 추가로 설계 단계별 3차원 설계의 수준 및 이의 부담 주체를 표 2와 같이 제안할 수 있다.

표 2 설계단계별 3차원 설계 범위 및 비용 부담

설계단계	3차원 설계 항목	내용 및 주체
기본계획 (타당성조사)	<ul style="list-style-type: none"> ● 형상 및 이미지 ● 지형 정보 포함 	<ul style="list-style-type: none"> ● 물량 산출 ● 대안 비교 ● 시공사 및 설계사 공동부담 (보유 라이브러리 제공)
기본설계	<ul style="list-style-type: none"> ● 20% 정도의 3차원 모델 + 80% 2차원 도면 ● 전체 형상 및 주요 부위 상세 3차원 객체화 ● 국부거동 검증이 필요한 부분 3차원 모델 활용 	<ul style="list-style-type: none"> ● 상세 설계의 결과 3차원 모델화 ● 설계기준 검토를 위한 3차원 해석과의 연동 모델 생성 ● 설계사 부담 (프로젝트 금액에서 비용 증가분 일정 고려 필요)
실시설계	<ul style="list-style-type: none"> ● 80% 정도의 3차원 모델 ● 절성토 등 구체적 시공계획에 따른 3차원 모델 생성 / 시공시뮬레이션 등에 활용가능 ● 제작을 위한 shop drawing 필수 포함 ● 시공 상세 반영 	<ul style="list-style-type: none"> ● 시공계획 및 수량 산출 가능 ● 시공성 및 위험도 분석 ● 시공관리 및 계획 수립 ● 시공사 부담 (비용절감 효과 평가 필요)
시공설계	<ul style="list-style-type: none"> ● 상세 및 정보(data management) 축적 ● 유지관리를 위한 정보를 갖는 3차원 객체 생성 	<ul style="list-style-type: none"> ● Full Information이 포함된 설계자료 ● 발주처 비용증가분 부담

5. 결론

이 논문에서는 최근에 시작된 건설분야의 IT 기반 설계 및 정보시스템 구축을 위한 "가상건설시스템개발"에서 3차원 설계 지침에 대한 개요를 소개하였다. 국내에서 3차원 기반의 설계에 대한 자료가 부재하여 미국의 사례를 통하여 3차원 정보 기반의 설계 및 건설 프로젝트 수행에서 발생하는 추가 비용과 이의 효과에 대한 평가를 참고하고 비용 부담의 주체와 방안을 제시하였다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 첨단융합건설기술개발사업 (과제 번호: 06첨단융합C03)의 지원으로 이루어진 것으로, 본 연구를 가능케 한 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원에 감사드립니다.

참고문헌

- 건설교통부 (2007) 가상건설시스템개발 연구단 계획서
- Gallaher, M.P., O'Connor, A.C., Dettbarn, J.L., Gilday, L.T. (2004) Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry, NIST GCR 04-867, *National Institute of Standards and Technology*.
- Thomas, S.R., Macken, C.L., Lee, S.H. (2001) Impacts of Design/Information Technology on Building and Industrial Projects, NIST GCR 01-828, *National Institute of Standards and Technology*.