

# 3D 객체 모델과 구조해석 프로그램의 인터페이스 설계

## Design of Interface between 3D Object Model and Structure Analysis Program

박재근† 김민희\* 이광명\*\* 최정호\*\*\* 신현목\*\*\*\*  
Park, Jae-Geun Kim, Min-Hee Lee, Kwang-Myong Choi, Jung-Ho Shin, Hyun-Mock  
(논문접수일 : 2008년 6월 7일 ; 심사종료일 : 2008년 6월 18일)

### 요지

최근 전세계적으로 3차원 객체 모델(3D Object Model)을 활용하여 건설 프로젝트의 생애주기 동안 참여주체들이 효과적으로 정보를 공유하고 관리할 수 있도록 하는 가상건설시스템의 개발이 활발히 진행되고 있다. 이 논문에서는 가상 공간에서 토목구조물의 해석 및 설계를 위하여 반드시 필요한 구조물의 3차원 객체모델과 구조해석 시스템과의 인터페이스 설계를 다루었다. 3D 객체모델 생성에 필요한 연관 매개변수모델링 기법과 구조물의 구조해석에 필요한 다양한 변수를 고려할 수 있는 제품계층구조(product breakdown structure, PBS) 구축 방안을 제시하였다. PBS 구성시 3D 객체 모델 정보로부터 구조 해석에 필요한 속성 정보만을 추출하여 해석 프로그램에 적용이 가능하게 하였으며, 협업작업에 의해 결정되는 여러 수치를 다시 객체정보로 추가 작업 없이 전달하여 3D 객체 모델과 연동되어 변환될 수 있는 인터페이스 프로그램 설계 방안을 제안하였다. 향후 이 연구의 결과를 기반으로 개발된 3D 객체모델과 구조해석 시스템의 인터페이스 프로그램이 가상건설 시스템 구현에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 3D 객체 모델, 구조해석 프로그램, 매개변수 모델링, 인터페이스 설계

### Abstract

Recently, the virtual construction system in which project participants efficiently share and control the information throughout the life-cycle of construction project using 3D object models is being developed all over the world. In this paper, a design of interface between 3D object model of structures and structural analysis system that is essential for the analysis and design of civil structures in the virtual space is treated. The relation parametric modeling technique that is needed to make the 3D object models and the construction method of product breakdown structure(PBS) that considers the several parameters for the structural analysis are presented. PBS is built so that it is possible to extract needed attribute information from 3D object model and to apply it to the structural analysis. Design methodology for interface program is proposed that several numerical values determined by the cooperative work same as structural analysis are delivered to 3D object models without additional work. An interface program between 3D object models and structural analysis system developed based on the proposed method would be effectively used to develop virtual construction system.

**Keywords** : 3D object model, structure analysis program, parametric modeling, interface design

### 1. 서론

최근 3차원 공간 및 설계 정보를 기반으로 건설 프로젝트의 생애주기에 걸쳐 참여주체들이 효과적으로 정보를 공유하고

관리할 수 있도록 하는 가상건설시스템의 개발이 활발히 진행되고 있다(송규동 등, 2007; 신태송 등, 2007). 이미 자동차 및 선박 등 타 분야에서는 생산 프로젝트의 협업 환경을 기반으로 한 시스템이 활발히 사용되고 있으며, 사회기반 시설물인

† 책임저자, 정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 BK21 U-City 건설인력양성사업단 Post-Doc.  
Tel: 031-290-7533 ; Fax: 031-290-7549  
E-mail: parkjg@skku.edu

\* 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정

\*\* 정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수

\*\*\* 국립환경대학교 토목공학과 조교수

\*\*\*\* 교신저자, 정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수

• 이 논문에 대한 토론을 2008년 8월 31일까지 본 학회에 보내주시면 2008년 10월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

토목 구조물의 경우에도 초장대 교량 및 고속철도 등과 같이 다기능의 복합시스템화 구조물에 대한 수요가 증가하고 있어 토목 건설분야에 적합한 협업 환경을 조성하여 효과적인 정보 공유를 통한 효율적인 작업이 가능하게 할 수 있는 건설시스템의 개발이 시급한 실정이다. 이러한 협업 환경 내에서 하나의 참여주체로서 토목구조물에 대한 3차원 객체 모델(3D object model)을 기반으로 구조설계 프로세스를 통합 자동화 하는 시스템의 개발이 이루어져야 하며 이를 위해서 건설업계에서는 2D CAD기반 환경의 한계가 점점 인식되면서 3D CAD기반 환경으로의 전환 및 시스템 구축의 연구가 시도 되고 있다 (Potal, 2004; Howard 등, 2008).

현재 대표적인 토목구조물의 설계 프로세스는 기본계획으로부터 구조계획, 구조해석, 최종 구조물 산정, 설계 시방규정 적용에 의한 부재 설계, CAD에 의한 설계도면화, 물량산정, 보고서 작성 등의 여러 과정을 별도의 독립된 설계과정으로 인식하여 각각의 설계과정에 다수의 인력을 투입하여 상당한 설계시간이 소요되는 노동집약적인 구조를 갖고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 단계별로 분절되어 있는 설계 프로세스를 모든 단계에서 공유되도록 해야 하며 구조해석, 구조설계, 도면작성, 물량산출 등의 설계 시 수반되는 전 과정의 자동화를 통하여 생산성 및 기술력 향상을 도모해야 한다. 또한 설계에 관한 시방과 관련기준들을 담당자가 자세히 검토하기는 어려움이 있으므로 설계 시 자동으로 이러한 사항들을 미리 확인할 수 있는 기능이 필요하며 구조계산의 적합성과 시공성에 관하여 즉시 파악할 수 있는 효과적인 자동화 설계 시스템이 필요하다(한국건설교통기술평가원, 2005; 이진욱, 2005).

최근 국내 건축·토목분야에서 3D 기반의 설계 시스템 개발의 괄목할만한 성과는 보이지 않고 있으나, 그 필요성이 꾸준히 야기되고 있으며, 본격적이고 다각적인 연구가 진행 중이다(심창수 등, 2007; 이윤범 등, 2007). 이러한 시스템 개발을 위해서는 3차원 모델링 데이터와 구조해석 프로그램

과의 연계방안에 대한 연구가 선행되어야 한다.

따라서 이 연구에서는 효율적인 토목구조물 설계 시스템 개발을 위한 3차원 모델 데이터를 구축하기위해 3D 모델러를 이용하여 제품계층구조(product breakdown structure, PBS) 기반의 연관 매개변수 모델링(relation parametric modeling)을 수행하였다. 여기서 추출된 속성정보를 활용한 사전해석 및 다른 프로그램과의 호환성 검토를 실시하였고, 3차원 모델 데이터와 유한요소 해석 프로그램(RCAHEST) (김태훈 등, 2006)과의 연동을 위한 인터페이스 프로그램의 설계에 대한 연구를 수행하였다. 또한 이 연구에서 인터페이스 프로그램에 의해 변환되는 매개변수(parameter) 데이터가 3D 객체 모델과 서로 상호 연동하여 해석 후 설계 변경이 자동으로 수행될 수 있도록 설계하였다.

## 2. 3D 객체 모델과 구조해석 프로그램의 연계시스템

생애주기 협업 환경인 PLM(product lifecycle management)을 중심으로 하여 프로젝트 참여자의 협업시 3차원 객체 모델이 이 주요 교환 자료가 된다. 3차원 객체 모델에 구조해석 및 설계뿐만 아니라 발주자, 계획 설계, 설비, 견적 등의 작업을 객체 모델을 활용하여 자기 필요한 자료를 전송받아 작업을 수행한 후 다시 PLM시스템으로 전송하여 타 작업에 필요한 자료를 공급하게 된다. 이러한 건설 프로젝트를 효율적으로 진행하기 위한 기본개념도를 그림 1에 나타내었다.

구조해석 및 설계 시스템은 인터페이스를 활용하여 3차원 객체 모델에서 구조해석 및 설계시 필요한 자료로 변환 하여 작업을 수행하고 해석 및 설계를 통하여 결정되는 단면의 치수, 철근종류 및 철근량을 다시 인터페이스를 통하여 3차원 객체 모델을 자동으로 수정하여 시스템에 전송하게 되면 이 자료를 타 분야에서 전송받아 작업을 수행할 수 있다.

### 2.1 3D 객체 모델과 구조해석 프로그램과의 인터페이스

3D 객체 모델의 속성정보에는 구조물의 전체적인 형상 및 구조물을 이루고 있는 부재 및 재료의 형상을 입체적으로 시각화 시켜 줄 수 있는 각 절점의 3D 좌표뿐만 아니라 구조물을 구성하고 있는 각 부재 재료들의 구성 및 각 재료들의 특성을 포함하고 있어야 한다. 이를 위해서는 우선 설계 및 해석을 수행하려는 대상 구조물에 대한 종류 및 사용되는 부재와 부재를 구성하는 재료에 대하여 전체적인 PBS가 정립되어 있어야 하며 그 각각의 구성을 객체로 정의하여 객체 내에 구조해석에서 필요로 하는 정보가 포함되어 있어야 한다.

이러한 모델링 객체 각각의 속성정보는 인터페이스 프로그램

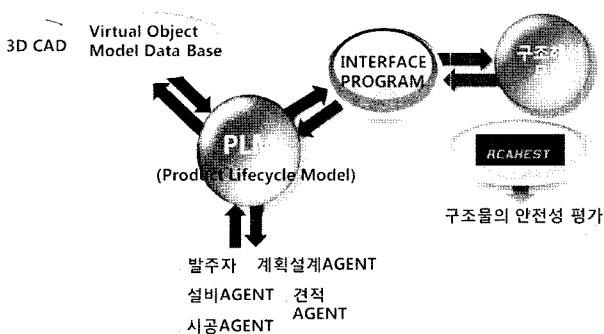


그림 4 3차원 모델정보와 구조해석 프로그램 연계시스템

에 의하여 구조해석을 위한 매개변수로 변환되어 해석프로그램에 적절한 입력데이터로 생성된다. 입력데이터에서 불러들여 생성되는 해석을 위한 데이터의 종류로는 구조물이 시공되어질 지형적인 정보를 나타내는 형상정보(geometry data), 유한요소 모델링을 하기 위한 요소 정보(element data), 분할된 각각의 요소에 대한 모든 절점의 좌표를 나타내는 좌표 정보(coordinate data), 유한요소 모델링을 통하여 분할된 요소에 해석적인 특성 값을 부여하기 위한 재료 물성치 정보(material property data), 해석 대상 구조물에 대한 지점의 구속조건을 정의하기 위한 경계조건(boundary condition), 구조물에 재하되는 하중을 정의하기 위한 하중 정보(load data) 등이 있다.

이 때 3차원 객체 모델은 위에 나열한 모든 정보들을 모두 지원 하기는 어려움이 많으며 특정 데이터에 관하여는 구조 엔지니어의 판단이 필요하기 때문에 구조물의 종류와 단면 특성 및 다양한 변수를 고려하여 입력데이터를 위한 데이터베이스를 구축하여 사용자의 판단에 따라 선택적으로 적용을 할 수 있어야 한다. 이와 같은 내용을 포함한 인터페이스 프로그램을 적용하여 PBS를 기반으로 연관 매개변수모델(relation parametric model)로 구성된 3차원 객체 모델의 속성정보를 받아들이고 구축된 데이터베이스를 사용하여 해석을 위한 입력데이터가 완성되면 일반적인 탄성 해석 및 비선형 유한요소 해석을 수행한다. 해석을 수행하여 얻은 결과를 바탕으로 단면을 검토 하고 성능을 검사하여 구조물이 안전하게 기능을 수행할 수 있는 지를 판단하여 설계변경 여부를 검토한다. 철근의 추가배근이나 구조물의 기하학적인 변경사항 등은 인터페이스 프로그램을 통하여 매개변수로 정의하여 3D 객체 모델의 속성 정보 데이터로 전송된다. 즉 인터페이스 프로그램을 사용하여 토목 구조물의 설계 및 해석이 상호 연동되어 구조물에 대한 설계 절차를 기존의 것보다 보다 단순화시킴으로 인해 작업의 효율성을 증진시킬 수 있다.

## 2.2 연관 매개변수모델링(Relation Parametric modeling)

현 토목구조설계 업무 프로세스를 살펴보면 구조 설계 시 처음 설계된 자료정보가 추후 설계 변경이 필요할 때 충분히 활용되지 못하고 구조해석시 다시 모델링을 해야 하는 번거로움이 상존해 왔다. 이런 비효율적인 프로세스를 개선하기 위해서는 연관 매개변수모델링이 필요하다(Glyph 등, 2004; Lin 등, 2008).

매개변수로는 일반 매개변수(general parameter), 재료 매개변수(material parameter), 형상 매개변수(geometric parameter)가 있고, 일반 매개변수는 실제 설계업무에서 설

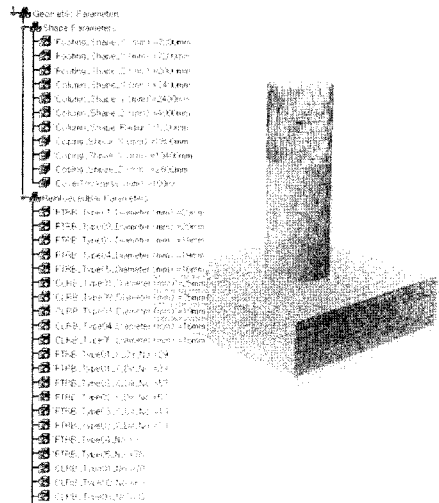


그림 2 교각의 연관 매개변수 모델링

표 1 교각의 3D 객체 모델 구성

구성	철근콘크리트 교각 3D 객체 모델링	
	단위 객체 모델	교각의 객체 모델
Column		
Footing		

계변경을 통해 변경될 수 있는 철근 간격, 단면의 길이, 높이 등을 매개변수로 설정할 수 있다. 이렇게 정의된 매개변수는 구조계산서 결과를 통해 설계변경이 요구되면 매개변수 수치들을 변경할 수 있고 변경된 수치들로 인해 모델링 형상이 변경된다. 또한 각 매개변수들의 관계를 통해 각 매개변수들이 서로 연동하도록 구성되어야 한다.

예를 들어 교각 설계 시 매개변수로 생성된 기둥 단면이 변경되면 정해진 철근량이 덮개를 고려하여 철근배근이 자동으로 변환되며, 철근량이 변화하면 덮개를 고려하여 철근의 직경이 이에 맞게 자동 변환 된다. 교각의 높이가 변경되면 그에 연관된 주철근의 길이 전단철근의 개수가 변환된다. 기초의 크기가 변화되면 그림 2에서 보는 바와 같이 기초내의 주철근 및 전단철근도 이에 맞게 자동 변환시킬 수 있다.

RC 교각의 기둥과 기초를 이루고 있는 최소단위의 철근들을 스텝, 횡철근, 주철근 기초콘크리트 교각 콘크리트 등의 기능단위로 모델링한다. 이렇게 교각을 이루는 모든 부품들이 구성되면, 표 1과 같이 각각의 부품들을 일정한 관계, 예를 들면, 주철근과 횡철근은 맞닿아 있다는 구속조건을 부여하여 철근과 콘크리트를 구성하였다.

3D 객체 모델기반으로 생성된 원형교각 모델은 2D도면에서 생성된 것과 여러 가지 면에서 차별화 된다. 2D CAD 도면에서 생성된 도면은 도면의 스케치 형상을 나타내는 것에 그치지만, 3D 기반 모델링은 여러 속성정보를 가지고 있다는 점에서 그 유용성이 크다. 형상측면에서 살펴보면 각 정보가 매개변수와 일정한 구속조건으로 관계가 설정되어 있어 한 객체의 정보변환이 다른 객체의 정보변환을 유도한다는 점이다. 또한 구조해석을 수행하기 위해 필요한 재료정보와 형상정보를 해석프로그램 입력형식에 맞게 가공 하게 된다. 3D 기반의 모델링의 효율성을 증대시킬 수 있다.

### 3. 구조해석을 위한 매개변수

#### 3.1 매개변수 분류

철근콘크리트 구조물의 해석을 위해서는 프로그램 사용자가 구조물을 이루고 있는 부재의 재료적인 속성정보를 입력해야 한다. 3차원 모델링 데이터와 비선형 해석 프로그램과의 연계를 위해서는 해석 프로그램에서 필요로 하는 정보들을 명확히 정의하는 작업이 선행되어야 한다. 해석 프로그램이 필요로 하는 입력 데이터는 크게 구조물 형상정보에 해당하는 절점데이터, 공간정보에 해당하는 요소데이터, 구조물을 이루고 있는 재료에 대한 특성정보, 하중정보에 해당하는 하중재하형상정보 및 구조물의 구속 조건을 나타내는 경계조건 데이터 등이 있으며 표 2에 간략하게 정리되어 있다.

이 연구에서는 일반적인 구조해석 프로그램뿐만 아니라 비선형 유한요소해석에서 필요로 하는 매개변수를 기반으로 형

상정보와 재료구성 및 하중정보에 초점을 두어 3차원 객체 모델의 속성정보에서 일반적인 매개변수들을 수용하여 연계 시스템 내에 구축된 데이터베이스 중 단면형상과 같은 형상 정보, 철근 종류와 같은 재료구성 또는 지진하중과 같은 하중 정보를 불러올 수 있는 기능을 구현하여 좀 더 효율적인 해석과 설계가 가능한 연계 방안을 모색하여 정확한 정보 수용 및 정보전달이 가능한 인터페이스로 설계하였다.

3D 객체 모델의 속성정보에서 구조해석용 모델링 데이터로의 변환을 위해서는 여러 가지 3차원 모델러들에 의하여 작성된 기존의 모델들이 가지고 있던 형상정보 외에 재료정보와 하중정보 및 경계조건 정보 등의 데이터가 필요하다. 이러한 데이터가 모델에 포함되었는지의 여부에 따라 비선형 해석프로그램과 3D 객체 모델 데이터간의 인터페이스 프로그램 설계는 다소 차이를 보일 수 있다. 그러나 효율적인 협업 환경을 조성하기 위해서는 3D 객체 모델 데이터기반으로 작성된 모델이 해석을 위한 각 객체의 속성정보를 지니는 것이 필수적이다. 따라서 이 연구에서는 비선형 유한요소 해석을 위한 데이터를 포함할 수 있으며 사용자 입장의 확장성을 갖는 3D 객체 모델을 생성할 수 있는 3D 모델러를 사용하여 연구를 수행하였다.

#### 3.2 형상정보

구조물의 거동에 대한 보다 정확한 예측을 목표로 하는 비선형 유한요소 해석을 위해서는 구조물의 형상, 단면모양 및 하중재하패턴의 특성에 따라 구조물에 대한 요소분할을 달리 해주어야 한다. 3D 모델에서 구조물의 각 절점을 그대로 불러들여 일정한 패턴을 가지고 요소분할을 한다면 사용자의 구조적인 지식이 포함되지 않을 뿐 아니라 불필요한 요소분할의 발생으로 인한 비효율적인 해석이 수행 될 수 있다. 따라서 이 연구에서는 기존의 연구에서 이루어진 구조물의 종류와 형상 및 하중재하패턴을 변수로 하여 그에 따라 발생 가능한 여러 가지 요소분할 사례를 DB화하여 사용자의 목적에 맞는 요소분할 사례를 선택할 수 있도록 하였다.

#### 3.3 요소 구성정보

데이터베이스화 된 요소분할 사례를 선택하면 각 요소에 사용될 재료를 구성하여야 한다. 요소의 구성정보는 형상정보의 요소분할과 유기적인 관계를 맺고 있으며 요소분할 사례마다 각 요소에는 효율적이고 정확한 해석을 위한 적절한 재료가 할당되어야 하며 데이터베이스화된 형상정보 내에 요소 구성정보가 같이 포함되어 있도록 하는 것이 효율적이다.

표 2 구조해석을 위한 매개변수

형상정보	각각의 절점, 절점의 좌표 단면도심, 절점과 절점사이의 plane 및 line의 정보
요소구성	절점으로 연결된 공간정보 ex) full or empty
재료 구성	탄성재료 포아송비, 단면적, 단면2차 모멘트, 자중, 단위중량, 탄성계수, 절점의 구속도수
	비선형재료 콘크리트의 압축강도, 인장강도, 전단강도, 철근의 항복·인장강도, 철근 면적, 철근비, 철근의 종류(원형, 이형), 텐던(와이어, 강봉)의 항복·극한강도
하중 정보	직접하중, 변위하중, 지진하중, 온도하중, 건조수축 및 크리프
경계 조건	Roller, Hinge, Fixed or contact
해석 후 형상변화의 유·무	처짐, 응력 및 변형률분포, 단면력 표시 기능
시공 단계 고려	각 객체의 시공 및 타설 시간 입력 기능

### 3.4 재료구성정보

각 요소에 할당된 재료는 각각의 속성정보를 가지고 있어야 하며 인터페이스 시스템 내에서 객체 모델 데이터 기반으로 작성된 3D 도면 내에 포함되어 있는 재료의 객체정보를 매개변수로 받아들인 후 각각의 요소구성정보에서 해당 매개변수를 불러들이면 재료속성정보를 갖춘 비선형 해석을 위한 구조물의 유한요소 모델이 구성된다.

### 3.5 경계조건정보

구조물을 이루고 있는 부재들은 그 특성에 따르는 경계조건을 부여해 주어야 하며 효율적인 해석을 위하여 구조 엔지니어의 판단에 따라 경계조건이 달라질 수 있다. 한 개의 구조물 및 부재에 대한 해석 시 발생 가능한 경계조건 역시 데이터베이스화하여 요소구성정보와 마찬가지로 형상정보의 하위정보 개념으로서 정의하여 사용자가 선택할 수 있도록 하는 것이 효과적이다.

### 3.6 하중정보

구조물을 이루고 있는 재료들의 속성정보를 갖춘 유한요소 모델링이 완성되면 3D 객체 모델 데이터 안에 포함되어 있는 하중의 종류 및 재하위치 및 방향을 매개변수로 받아들인 후 입력데이터의 하중정보에서 해당 매개변수를 불러들여 하중을 정의하면 해석을 위한 입력데이터가 완성된다. 이 때 3D 객체 모델 데이터 기반의 3D 모델에 시공단계에 관한 정보가 포함되어 있다면 이를 고려한 해석이 가능하도록 설계하였다.

## 4. 적용 사례 : 철근콘크리트 교각의 인터페이스 설계

위에서 설계한 인터페이스를 일반적인 토목구조물인 RC 교각에 적용해 보았다. 철근콘크리트 교각의 3D 객체 모델 데이터와 해석프로그램 간의 연계에 대한 전체적인 프로세스를 그림 3에 나타내었다.

교각의 3D 객체 모델은 형상을 보여주는 시각적 모델과 속성정보로 구성되어 있다. 인터페이스 프로그램을 이용하여 모델의 속성정보에서 구조해석 및 설계를 위하여 필요한 정보 획득 및 구조해석에 적합하도록 입력자료를 생성한다. 생성된 입력자료를 이용하여 구조해석 및 설계를 수행하고 산출된 단면치수, 철근량 등을 인터페이스 프로그램을 이용하여 3D 객체모델로 전송하게 되면 모델은 자동적으로 해석 및 설계를 반영한 모델로 자동적으로 수정된다.

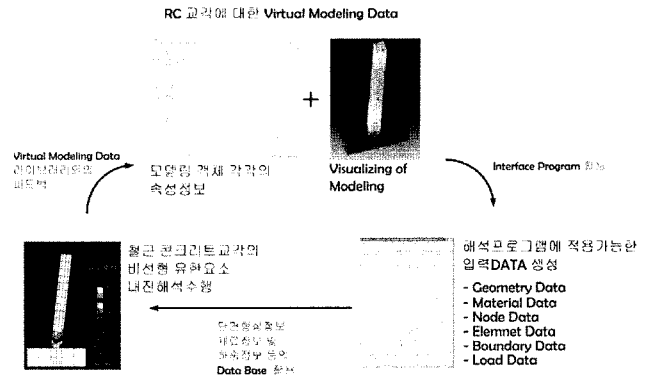


그림 3 3D 객체 모델과 구조 해석프로그램의 연계 방안

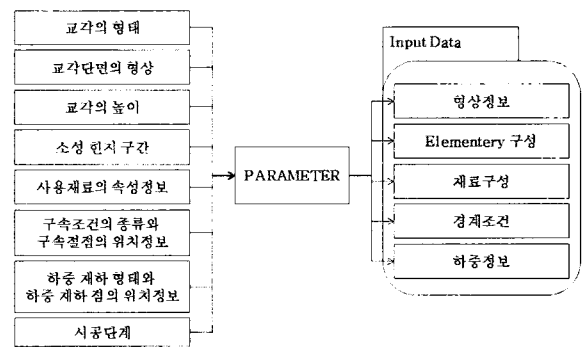


그림 4 교각의 3D 객체 모델과 유한요소 해석을 위한 입력데이터와의 상호 연동 계획

교각을 대상으로 하여 3D 객체 모델데이터에 포함되어 있는 정보와 유한요소 해석을 위한 입력데이터 사이의 관계를 그림 4에 나타내었다.

## 5. 결 론

토목 건설 분야에서 3차원 프로덕트 모델을 기반으로 하는 협업 환경을 조성하고 이러한 협업 환경 내에서 하나의 참여주체로서 구조설계 프로세스를 통합 자동화 하는 시스템의 개발은 기존의 설계방법에 비하여 작업의 효율성을 극대화 시킬 수 있을 뿐만 아니라 생산성 향상에도 크게 이바지할 것으로 판단된다.

이 연구에서 제안한 3D 객체 모델과 구조 해석프로그램간의 연계방안을 기반으로 하는 인터페이스 프로그램은 단순 주어진 조건만을 이용한 설계가 아닌 상호 연동을 위한 전략적 개념을 기초로 설계하였으며 이러한 설계는 인터페이스 프로그램 개발에 기초 자료로 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업 (과제 번호: 06첨단융합

E01)의 지원으로 이루어진 것으로, 본 연구를 가능케 한 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- 김태훈, 신현목 (2006) 비선형 유한요소해석을 이용한 철근콘크리트 교량의 내진성능평가, 한국지진공학회 논문집 10(2), pp.31~38.
- 신태승, 조영상, 천진호 (2007) 3차원 가상건설기반 건축구조시스템의 개발방향, 한국전산구조공학회 학술발표회, pp.346~351.
- 심창수, 김용한, 전승민, 박태영 (2007) 구조물의 3차원 설계 패러다임을 위한 지침에 대한 고찰, 한국전산구조공학회 학술발표회, pp.301~306.
- 송규동, 송승영, 정우신 (2007) 3차원 CAD정보를 활용한 건축설비 자동화 시스템 구축에 관한 기초연구, 한국전산구조공학회 학술발표회, pp.357~360.
- 이운범, 김민석, 이광명, 신현양, 박경래 (2007) 교량 상세 설계 및 시공을 위한 DMU 기술 적용 방안 연구, 한국전산구조공학회 학술발표회, pp.277~282.
- 이진욱 (2005) Web을 기반으로 한 RC 슬래브 교량 설계 자동화 시스템 개발, 석사학위논문, 상지대학교.
- 한국건설교통기술평가원 (2005) 제작·시공 및 유지관리와 연계된 강교 설계자동화 시스템 개발.
- Glymph, J., Shelden, D., Ceccato, C., Mussel, J., Schober, H. (2004) A parametric strategy for free-form glass structures using quadrilateral planar facets, *Automation in Construction*, 13(2), pp.187~202.
- Howard, R., Bjork, B.C. (2008) Building information modeling - Experts' views on standardisation and industry deployment, *Advanced Engineering Informatics*, 22(2), pp. 271~280.
- Lin, B. T., Hsu, S. H. (2008) Automated design system for drawing dies, *Expert Systems with Applications*, 34(3), pp.1586~1598.
- Potal, M. (2004) Virtual Building for Construction Projects, the IFFE Computer Society.