

건축구조설계統合시스템의 개발에 관한 연구  
A Study on the Development of an Integrated Structural Design System  
for Buildings

김 이 두\* 최 창 근\*\*  
Kim, E-Doo Choi, Chang-Koon

ABSTRACT

An integrated design system has as its aim the incorporation of all the design processes, such as, planning, preliminary design, analysis, detailed design (member design), evaluation, and drafting into an unified software system. Successful implementation such a system could lead to major improvements in efficiency by eliminating duplication of data and efforts, reducing errors, saving design time, providing management support, and so on. This study presents a methodology for an computer-integrated design system for building structures, synthesizing algorithmic procedures and knowledge based expert systems on the network database. Network database, which was designed to store all information systematically during the design processes, provides central communication area between algorithms and expert systems. The conventional procedural codes automate the routine design phases such as structural analysis, whereas knowledge-based expert systems support designer's decisions at the creative design phases such as preliminary design etc. The user interface with interactive and batch modes controls the design phases and manages design information and activates the algorithms and the expert systems. The concept presented in this paper will contribute to the formulation of automated design systems for building structures.

제 1 장 서 론

건축물의 구조설계는 외력에 대한 안정성[1], 용도에 따른 기동성 그리고 합리적 설계(경제성)등의 설계조건을 만족시켜야 한다. 건축가는 이러한 구조적인 시장이 외에도 여러 가지의 설계원리를 바탕으로 건물을 형태, 재료, 반복 및 성능 시공성등의 상호영향에 관계를 고려하여 건물을 설계한다. 그러므로 합리적인 건축물(특히 대형 또는 고층건물)을 완성하기 위해서는 건축가를 비롯하여 건축주·구조공학자·설비공학자·시공자등의 여러분야의 전문가들이 참가, 협력하여야 한다. 사호간의 의견(정보교환)이 충분히 고려되어야 한다. 구조적인 면에서는, 건물이 고충화될 수록 건물의 구조형식을 결정하는 주요인원(지반조건, 스파수, 스파크기, 부재의 접합조건, 높이와 폭의 비, 방화시설, 해당지역의 법규, 건축재료의 유용성, 공사비, 설비비, 유지비, 기술적 수준등[2,3])을 충분히 감안하여 효율이 높은 구조시스템을 선택하여야 한다. 이러한 조건들은 건물의 계획에 효과적으로 반영되기 위해서는 전문가가 설계의 초기단계에 참여하여 의견을 반영할 수 있어야 하지만 초기계획단계에서 전문가들의 참여는 어렵고 건축가에 의한 건축계획이 결정되고 난 이후에 세부설계(부재검토)등의 일상적인 계산업무가 요구되는 실정이다.

많은 구조공학자들은 이러한 현실의 어려움을 감안하여 구조계에서부터 보고서작성에 이르는 구조설계의 전과정을 하나님의 시스템으로 통합함으로서 설계작업의 고급화를 기하려는 노력을 계속하여왔다[4]. 지금까지 이러한 노력들은 대부분이 순차적 알고리즘으로 잘 정의되는 설계작업에 대해서 컴퓨터의 특성, 즉 빠른 연산속도와 컴퓨터 그래픽스에 의한 시각적 영상효과를 이용하는 측면으로 중점을 두어왔기 때문에, 위 등을 이용하는 측면으로 중점을 두어야 했기 때문에, 위에서 언급한 여러 면에서의 경험적 판단에는 적용하기가 어려웠고, 주로 세부단계에서 수치계산(구조해석 등)이나 물량계정에 의한 경제성에 국한된 설계에 이용되어왔다. 최근에는 경험에 의존한 지식, 즉, 사실(Facts), 규칙(Rules of thumbs), 사실들의 관계(Implicit relations), 함수(Functions) 등을 컴퓨터상에 구현하기 위한 인공지능의 기법이 발달함에 따라,

보다 상위레벨의 설계작업(Creative Design)용 시스템을 구현하기 위한 기술적 토대가 마련되었다. 지식기반시스템(KBES)은 특정한 분야에서의 문제해결 전략으로 문제풀이 과정에서 필요한 지식을 컴퓨터에 내장함으로써 문제 해결 단계에서 지적인 능력을 나타내는 컴퓨터 프로그램으로, 인공지능 분야에서 가장 활동적인 연구가 진행되는 분야이다[5-8]. 건물의 구조설계에서의 적용 영역은 형상의 적절성(구조계획), 구조시스템의 선정, 해석 결과의 분석, 부재성질의 개선 등이다.

그러므로 새로이 개발되는 통합설계시스템은 각 밤벌이의 장점을 이용할 수 있도록 알고리즘식 프로그램이 전문가시스템을, 또는 그 반대의 경우로 통합하는 것과 보상하고, 메모리가 절약이 되며, 그리고 한 텐이 다른 시스템으로 다시 코드되는 시간을 절약할 수 있다. 이를 통해 시스템을 통합하기 위한 인터페이스는 유사한 방법으로 활용하거나 또는 메모리를 확장하는 방법은 완전히 시킬 수 있는 경우가 있다[9-11]. 첫 번째 방법은 두 시스템을 독립적으로 활용하거나 두 시스템을 통합하는 방법으로 활용하거나 두 시스템은 아니지만 두 시스템은 모두 메모리(RAM)의 공유로 사용된다. 두 번째 방법은 메모리(RAM)의 사용 형태를 기할 수 있지만 각 시스템의 메모리 사용 형태가 모두 파악해야 한다. 그러나 두 방법 모두 각 시스템이 필요로 하는 정보만이 일방적으로 전달되며, 때 사용자가 필요한 사항을 조절할 수 있는 기기가 필요로 하는 정보를 사용자가 직접 다루기 위해 서비스를 제공하고 지원해 줄 수 있는 데이터베이스에 의하여 구조설계용 통합설계시스템을 구축하려는 노력은 최근 활발히 진행되고 있다[12-14].

본 연구에서는 첫째, 구조설계의 과정 중 Routine 디자인 부분을 자동화하기 위하여 기존의 프로그램 방식을 이용하고, 둘째, 건물의 설계 과정에서 자문역할을 하는 부분은 전문가시스템의 기법을 이용하며, 셋째, 사용자(건축가 또는 구조설계자)나 또는 내부에서 모든 건물데이터를 체계적으로 저장하고, 알고리즘 및 전문가시스템이 필요로 하는 정보를 제공하기 위하여 데이터베이스(Database) 기법을 이용하며, 네 번째, 사용자 인터페이스(User Interface)로 정보를 관리하거나 알고리즘 및 전문가시스템을 호출하는 명령어를 설계과정을 처리하는 방법들을 이용하여, 구조공학자의 역할을 지원하는 “건축물의 구조설계를 위한 통합 시스템”을 구축하였다.

\* 정희원 울산대학교 건축학과 교수  
\*\* 정희원 한국과학기술원 토폭공학과 교수

## 제 2 장 시스템의 구성

### 2.1 구조설계과정의 운영

설계과정은 초기의 개념적인 데이터로부터 관련된 조건들을 부여하면서, 이 조건을 만족하는 상태를 찾아 나가는 종합·분석·결정 단계의 일련의 탐색과정으로 볼 수 있다[15]. 이러한 설계과정은 건물차원에서는 예비설계·세부설계(구조해석 및 부재설계등)·설계평가등으로 구성되고, 요소차원에서는 부재성질의 초기화·단면률·선평가등의 과정으로 제시된다. 이러한 개념은 다음과 같다.

(1) 예비설계(Preliminary Design) 단계 : 건축가에 의해 건물에 대한 개략적인 정보(초기설계조건)가 제시되며 구조설계를 위한 데이터(용도구조: 중수, 층고, 두부형상의 그림) 수와 그 크기, 구조설계기준, 구조재료표정형상의 추출하여 구조시스템의 예비형상을 재생하고 이를 토대로 적당한 후보들을 선정하기 위하여 수천명의 인들을 투입하여 수천명의 효율성등을 평가하는 등에 대한 개략적인 해석과 부재의 효용성을 분석한다. 이때 얻어진 데이터에 부재단면성질(검토)과 세부설계단계에서 초기정보를 제공하게 된다. 구조시스템을 대안중에서 적절한 후보를 선택한다. 구조시스템을 결정하는 과정은 기존의 알고리즘으로는 컴퓨터에 구현하기가 어려워 전문가시스템의 활용이 요구된다.

(2) 세부설계(Detailed Design) 단계 : 예비설계에서 설정된 구조물에 대하여 다음의 단계들, 즉 구조물의 이상화(구조해석과정은 예비설계단계에서 선택된 실제구조물을 부재차원의 모델로 전환하여야 한다)-입력파일의 작성(수치적 모델을 바탕으로 하여 구조해석프로그램의 양식에 맞게 입력파일을 작성한다)-구조해석(입력파일과 구조해석 프로그램으로 해석이 수행된다)-결과검토(결과를 바탕으로 설계기준 및 경험에 근거하여 타당성(건물의 변위, 부재의 응력 및 변형등)을 검토하고 만약 그 결과가 부적절한 경우에는 부재요소를 개선하거나 또는 예비설계과정에서 얻은 다른 후보를 고려하게 된다)들로 세부설계가 진행된다. 여기서 구조모델의 작성과 입력파일의 작업으로 이루어지는 이타의 준비과정은 구조해석의 수행을 위해 소비하는 시간의 대부분을 차지한다. 그러므로 사용자의 편의를 위하여 유한요소모델의 작성용 전처리기와 해석결과를 컴퓨터그래픽스 및 터미널형태로 제시하는 후처리기가 제공되고 있다. 그러나 이러한 통합패키지에도 불구하고 실제의 구조해석 및 설계를 위해서는 다음과 같은 추가적인 노력이 뒤따른다.

첫째, 구조해석의 모델을 작성하기 위해서는 사용자는 초기에 수작업에 의한 여러 작업들, 즉,

- 도면으로부터 구조적 성질을 추출하고,
- 도면에 구조형상을 설정한 다음,
- 절점(node) 번호 및 요소번호를 부여하고,
- 절점에 대해서는 경계조건을,
- 각 요소의 연결상태(connectivity), 재료, 단면, 하중등을
- 그리고 하중등을 합성상태등을 입력하는 작업등

에 많은 시간을 소비하게 된다. 기존의 전처리기를 사용하면 이러한 노력을 절감할 수 있으나, 전제적인 모델을 작성하는데는 해당한 수준까지 지원해 주지는 않는다. 예를 들면, 자동생성기능을 이용하기 위해서는 사용자가 모델을 작성하기 전에 계획을 미리 하여야 하며, 또한 증가치를 위한 규칙을 만들어야 한다. 본 연구에서는 기존의 유한요소 모델링 개념인 Bottom-up방식을 지향하고, 새로운 접근방법인 Top-down방식을 준비한다.

둘째, 유한요소해석을 위하여 입력파일을 작성하는 대 시간을 요하는 것이 사용자가 입력한 데이터의 간의 완전성(completeness)을 검토하는 과정이다. 실제로 구조해석과정에는 입력파일을 단번에 작성되는 경우는 드물며, 여러번의 시행착오를 통하여 여러들, 즉, 시스템에러(입력필드 및 값의 형식)와 데이터값의 에러를 출입으로서 완결된 입력파일을 얻게된다. 본 연구

에서는 사용될 프로그램의 지침서에 의한 입력파일의 작성함수를 이용함으로서 언제든지 합당한 파일을 작성할 수 있게 한다.

셋째, 해석결과로부터 법규에 따른 해석결과의 검토(Post-Processing) 및 부재설계용 데이터의 추출은 아직도 대부분이 수작업에 의존하고 있는 실정이다. 특히, 대형구조물인 경우에는 방대한 해석결과용지에서 관련한 데이터를 추출하여 정리하기란 여간 힘든 일 아니나다. 본 연구에서는 해석의 결과를 체계적으로 저장하여 관리함으로서 원하는 자료를 언제든지 확인할 수 있게 한다.

(3) 평가(Evaluation) : 설계조건에 현재의 대안이 최적의 상태인지를 여러 가지 기준으로 평가를 하게된다. 설계조건이 만족이 되면 예비 및 세부설계과정에서 얻은 데이터를 정리한다. 그렇지 않으면 부재설계이나 구조물의 형상을 변경하여 세부설계를 다시 행한다.

### 2.2 시스템의 구성

본 연구에서는 구조설계의 전과정을 하나의 시스템으로 통합하기 위하여, 그림 1과 같이 데이터베이스, 알고리즘, 전문가시스템, 그리고 사용자 인터페이스의 네 모듈로 분류하고, Sun Microsystems Workstation에 구현하였다.

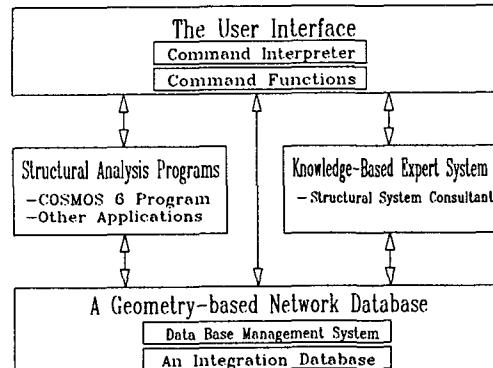


그림 1 통합시스템의 구성

첫째, 데이터베이스는 시스템의 하부구조로서 데이터저장 및 교환을 위한 구심체역할로 하며, 둘째, 알고리듬은 주로 Routine Design부분을 담당하며, 이를테는 데이터베이스로부터 데이터를 전달받고, 사용자가 원할시에는 그 결과를 다시 데이터베이스로 저장한다.

셋째, 전문가시스템은 창조적(Creative)인 또는 판단에 의존하는 설계단계에서 자문역할을 수행한다. 전문가시스템으로 구조시스템을 선정하는 시스템이 개발되었다.

네째, 사용자 인터페이스는 대화형을 기본적으로 하며 사용자가 원하면 배치양식으로 진행할 수 있다. 이는 Building Modeler, 알고리즘 및 전문가시스템의 제어, 컴퓨터그래픽스 표현, 기타의 데이터베이스의 탐색등의 기능을 수행한다.

## 제 3 장 데이터베이스의 응용

### 3.1 Top-Down 설계방법

통합시스템을 구축하기 위해서는 데이터의 관리 및 정보교환의 효율을 기하기 위하여 데이터베이스의 접근이 요구된다. 데이터베이스는 설계요소의 입력하고(Insert), 불러오고(Retrieve), 변경하는(Update) 작업을 가능케하고, 설계의 각 단계에서 사용되는 응용

프로그램들에 대한 정보교환을 위한 센터 역할을 수행한다. 또한 데이터베이스를 이용함으로서 건물의 전체 모델 중에서 현재 응용프로그램이 필요로 하는 일부 부분을 모델링하여 그램의 문법(Syntax)에 맞는 형태로 데이터를 추출하여 입력 파일을 작성할 수 있게 한다. 이러한 대로 이타베이스를 구축하기 위하여 지금까지는 구조물을 효과적으로 표현하기 위한 데이터모델의 개발에 연구가 이루어져 왔다[13-15]. 그러나 이러한 연구의 관심은 노드(Node) 및 요소(Element) 중심으로 표시되는 기본 유한요소모델링처럼 기본적으로 Bottom-up 접근방법을 취하고 있다. Bottom-up방식은 사용자가 구조물을 표시하기 위한 요소를 데이터구조상의 하위레벨로부터 절차 상위레벨의 순서로 전체구조물을 위하여 사용된다. 이러한 방법은 사용자가 구조물을 구성하는 각 요소의 내용과 그들의 상위레벨에 관련한 관계(Parent-Child Relationship)에 대한 정보(즉, 하위레벨의 요소가 상위레벨에 어떻게 연결되었는가)를 차세히 지정해야 될 뿐만 아니라, 각 요소들의 위상(Topology)(즉, 각 요소들이 어떻게 공간상에서 연결되어 있는가)에 대한 사항도 일일이 처리하여야 한다. 하위레벨의 집합으로 상위레벨을 구성해 나가는 bottom-up방법은 고증 건물과 같이 복잡한 구조물에 대해서는 많은 시간과 노력을 요구된다. 그러나 하면, 건물을 구성하는 각 요소의 위상에 관한 정보가 건물의 모델에 관한 데이터의 대부분을 차지하기 때문이다.

이러한 Bottom-up 접근방법과는 달리 건축가 및 구조가가 건물의 설계과정에서 취하는 설계방법은 문제분할(Problem Decomposition)에 의한 Top-Down 방식으로 알려져 있다[15, 18, 19]. 예를 들면 구조설계자는 구조물을 프레임 또는 플로어와 같은 부구조(Substructures)로 분할하고, 이들을 다시 하위레벨로 소이, 보, 기둥, 그리고 슬라브 등을 나눈다. 이러한 하위레벨의 요소에 대하여 세부설계가 이루어 진다. 그러므로 계획단계의 개념설계에서 세부설계단계로 설계가 진행되어감에 따라 사용자가 건물을 묘사하기 위한 정도(Detail Level)를 의도대로 처리할 수 있어야 한다. 이러한 구조설계의 Top-Down 특성을 구현하기 위해서는 건물을 묘사하는 데이터의 개념(Abstractation)이 기본에 유행한 요소법처럼 물리적인 요소(보, 기둥, 슬라브 등이나 이들의 집합체인 프레임 또는 플로어)와 사용자가 정의하는 그들의 위상(Topology, Connectivity) 데이터들로 접근하는 방법보다는 기하요소들 즉, 명명된 선, 점들을 바탕으로 구조물을 묘사하는 것이다[18, 19]. 기하학적 요소로 구조물을 묘사하기 위해서는 기하요소들의 관계 즉, 다대다관계(Many-to-Many Relationships)를 효율적으로 표현되고 다른에서는 것 이 요구된다. 예를 들면, 기둥을 나타내는 선요소(Line)는 프레임을 나타내는 교차된 평면에 모두 소속되며, 이러한 평면들은 또한 보 및 기둥을 나타내는 선요소들을 하위레벨로 가지게 된다. 이러한 하위요소 및 그들의 관계는 망구조형(Network) 데이터베이스로 쉽게 표현할 수 있어 복잡한 데이터 구조가 요구되는 CAD/CAM등의 통합시스템에 적합한 것으로 알려졌다[20, 21]. 본 연구에서는 기하요소의 구분(Identification)과 이의 관계성, 그리고 구조분석에서의 객체지향(Object-Oriented)적인 특성에 관심을 두어 망구조형의 데이터베이스를 선택하였다.

본 연구에서는 기하요소들을 바탕으로하여 망구조형 데이터베이스를 구성하였고, 건물데이터를 Top-down형식으로 관리하기 위하여 평면모델링기법(Planar Surface Modeling)과 위상요소형성(Geometric Zoning)의 개념이 정의되었다[22].

(1) 건물자원의 모델링 : 건물을 대부분이 각 층의 플로어를 통하여 연결된 프레임 및 전단벽으로 구성되며, 각 부재들은 이들 부구조(Substructures)에 속하는 특성이 있으므로 본 연구에서는 기하요소(Geometric Entity)와 각 건물의 구성요소의 관계를 그림 2와 같이 가정하였다. 여기서 평면, 선, 점 등의 모델링 요소는 건물의 구조적 요소 즉, 프레임 또는 플로어, 2차원 또는 1차원 요소, 연결부(절점) 등을 모델링

하기 위한 요소가 된다. 그림2에서 보인 2-D와 1-D Zone과 같은 위상요소(Geometric Zone)는 모델링요소의 공간적인 관계(Spatial Interferences)로부터 구해지며, 이는 구조해석 및 설계를 위한 기본요소가 된다. 구조설계의 Top-down질을 묘사하기 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 Planar Surface Modeling기법.

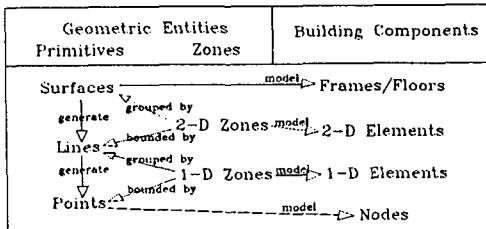


그림 2 기하요소와 구조요소와의 관계

첫째, 건물구조설계를 위하여 기본적인 분활은 프레임 풀어서를 나타내는 평면으로부터 시작된다. 일단 몇몇면이 제시되면, 하위레벨의 기하요소(선과 점)와 위상요소(1-D과 2-D Zone)들이 자동적으로 구성된다. 각 평면은 그 프레임에 속하는 선과 면적요소(2-D Zone)를 그루핑한다.

둘째, 평면의 교차(Intersection)로 생기는 선(또는 사용자가 원하는 프레임에 직접 입력하는 선)은 선요소(Line Primitive)가 되며, 동일선상에 있는 선요소(기둥선 또는 보선)을 나타내며 그 선상에 있는 하나 이상의 분활된 선요소(Line Segments)와 점들을 그루핑하며, 면적부분의 경계선(그 면적을 경계를 표시하는 선)으로 이용된다. 세째, 선들의 교차로 생기는 교차점(또는 사용자가 어떤 평면의 선상에서 정의하는 점)은 점요소(Point Primitive)가 된다. 각 점은 선이나 분활된 선요소들의 경계를 나타내는데 이용된다.

건물의 모델링 과정에서는 기하요소들의 공간상의 관계에 의한 하위레벨의 모델링요소들과의 관계(Parent-Child Relationship)뿐만 아니라, 각 기하요소의 분할요소(Subdivisions)들과 이들의 위상에 관한 정보를 위상요소(Topological Entity)로서 구성하여 데이터베이스상에 저장한다. 즉, 모델링요소가 입력되면 기존의 위상요소는 새로이 생겨나는 하위의 기하요소에 의하여 더 작은 위상요소(Smaller Subdivisions)로 분할되고, 기존의 모델링요소가 제거되면 이와 관련한 위상요소는 더 크게 합해(Synthesized)진다. 이러한 위상요소를 본 연구에서는 Geometric Zones이라 명명하고, 위상요소의 형성과정을 Geometric Zoning이라 정의한다. Geometric Zone은 구조적 성질이 연결될 수 있어 구조설계를 위한 요소가 된다. 본 연구에서는 3가지 형태의 Geometric Zones, 즉, 점요소(Point Primitive)에 대한 Point Zone(각 Point Zone은 3차원좌표계를 제공하며, 필요 시에는 경계조건, 절점하중등과 같은 구조적 정보를 가진다), 1-D Zone(분활된 선요소(Line Segment)와 그의 위상을 가진 객체이며 보, 기둥, 트러스요소와 같이 1차원 요소를 모델링하는데 이용된다), 그리고 2-D Zone(면적위상요소(2-D Zone))은 분활된 면적부분을 나타내며, 이는 슬라브 및 벽체와 같은 2차원 요소를 모델링하는데 이용된다)들을 정의하였다.

이러한 데이터구조에 의하여 설계자는 위상요소를 직접 또는 그의 상위레벨의 기하요소로서 다룰 수 있다. 이를 들면 사용자는 1-D Zone을 직접 또는 이를 포함하는 선 또는 평면요소로서 접근(Access)하거나 구조적인 질점을 정의할 수 있다. 1차원의 위상요소의 형성은 절점요소로부터 가능하지만, 분활된 면적요소는 자체생성되는 과정은 쉽지 않다. 본 연구에서는 2-D Zone을 형성하기 위하여 깊이우선 탐색방법(Depth-First Search Technique)을 이용하였다[22]. 이렇게 구한 위상요소중에는 기하요소의 개략적인 크기(이는 사용자에게 기하요소 데이터를 정확한 값으로 입력하는 것을 피할 수 있게 한다.)에 의하여 생겨난 를 필요로 하는 요소가 있다. 이들을 제거(Deactivated)하거나 또는

구조적인 부분으로 설정(Activated)하거나, 현재의 구조설계에 필요한 부분을 선택(Selected)하기 위하여 각 위상요소에 대해서는 신호(Flag)가 사용되었다.

(2) 요소차원의 모델링 : 계획단계 및 예비설계와 같은 개념설계단계에서는 앞에서 언급한 건물의 전체적인 윤곽(Overall Sizes and Topology)을 표현하는 것과 같은 충분하지만 세부설계의 단계에서는 각 요소에 대한 구체적인 사항들이 추가되어야 한다. 이러한 사항으로는 점요소에 대해서는 경계조건, 절점하중, 그리고 해석의 결과(변위, 반력등)이고, 위상요소(1-D 또는 2-D Zone)에 대해서는 재료 및 단면성질, 하중, 해석결과(부재력) 등이다. 또한 하중조합 및 시행제어에는 대한 데이터도 입력된다. 이를 위하여 각 위상요소에 대한 사용인터페이스(명령어)에 의하여 각 위상요소에 대한 구조적인 성질을 사용자가 원하는 대로 사용자에게 할 수 있게 하였다. 즉 사용자는 1차원 요소(Assign)할 수 있게 하였다. 또 다른 선상의 모든 1차원 위상요소에 대하여 구조 성질을 일시에 정의할 수 있다. 이는 위상요소를 기준으로 형성되는 과정(Geometric Zoning)에서 기준의 위상요소가 복합 또는 합해지는 경우에 원하는 모든 성질을 새로운 위상요소에 대하여 조절됨을 뜻한다. 요소위상요소의 단면성질에 대해서는 건물차원의 Planar Surface Modeling과 Geometric Zoning의 개념을 확대하여 적용함으로서 요소의 Solid Model 표현이 가능하게 된다. 각각의 요소위상요소는 길이 및 국부좌표계 같은 기하데이터를 가지고 있어 사용자가 단면성질을 활용할 경우 그의 경계면(Boundary Surface)을 구할 수 있다. 이러한 요소경계면들에 대하여 건물차원에 투영되었던 기하요소들을 처리과정과 같은 처리를 통하여 요소의 3차원 표현이 가능케 된다. 본 연구에서는 사각형단면과 Wide-Flange형 단면에 대하여 3차원 표현이 가능케 하였다[22].

### 3.2 기하바탕의 망구조 데이터베이스

망구조 데이터베이스는 레코드(Record)와 셀(Set)의 집합으로 구성된다[23]. 객체(Object) 레코드는 정보의 기본 단위로서 그 자신내에 속성(Attributes)과 데이터구조를 형성하는 포인터(Pointer)로 구성된다. 앞에서 언급한 기하요소 및 위상요소는 객체레코드가 된다. 각 레코드간의 관계는 셀에 의하여 표현되며 실제로는 각 레코드내의 포인터로 구현된다. 이 포인터들은 각 레코드내의 객체를 배치하고, 찾는 실마리를 제공하여 설계자로 하여 설계요소를 정의하고, 수정하고, 제거하는 행위를 가능케 한다. 레코드와 셀은 여러 가지 형태로 조합될 수 있다. 이는 곧바로 기하요소들과 그들의 관계를 망구조형으로 표현할 수 있게 한다.

(1) 데이터베이스 운영시스템(Data Base Management System) : 컴퓨터의 운영시스템상에서 데이터베이스 파일로의 입출력을 다루기 위하여 본 연구에서는 CAD/CAM분야에 스럽게 구축하고 있는 TORNADO를 모델로 하였다[20, 21]. 본 연구를 위하여 가장 기본이 되는 함수들, 즉 레코드와 Set의 개념으로 데이터를 다루는 약 50개의 기본 함수들이 C언어를 이용하여 개발되었다. 표 1은 그 일부를 보이고 있다.

표 1 DBMS용 기본함수들

함수명	실행 내용	함수명	실행 내용
dbopen()	데이터베이스 파일의 open	dbinit()	파일의 초기화
dbread()	읽어올 파일	dbwrit()	데이터베이스파일에 저장
dbclos()	close함	cretab()	테이블을 만들
addin()	하나의 라인을 추가	deline()	하나의 라인을 삭제
getlin()	하나의 라인을 불러옴	putlin()	한 라인을 저장(수정후)
obcret()	레코드를 만들	getobd()	레코드의 데이터를 가져옴
putobd()	레코드 저장	finfst()	Set상에서 처음 레코드를 찾음
finpri()	현재 레코드 이전을 찾음	finext()	다음 레코드를 찾음
finlst()	마지막 레코드를 찾음	finown()	Owner Record를 찾음
confst()	Set상의 처음으로 연결함	const()	마지막에 연결
conext()	현재의 Member다음에 연결	conobj()	설계연결 함수
disobj()	두개의 레코드의 관계를 끊음	dumpob()	레코드의 데이터를 출력함

(2) 데이터 구조 : 본 연구에서는 앞에서 언급한 사항을 비단으로 건물의 구조해석 및 설계를 위한 사항을 데이터 구조(그림 3참조)를 제시한다. 그림 3에서 서브Box는 객체레코드를 나타내며, 화살표는 연결된 객체를 표시한다. 원(Circle)은 객체사이의 일대다의 관계를 나타내기 위한 매개(Link) 객체를 나타나는데 이는 포인터와 연결된 객체를 효율적으로 배치하기 위한 데이터형 목록을 가지고 있다. 그림 4는 평면과 면적요소와 위상요소의 관계를 나타낸다. 그림 4는 평면과 그들의 관계는 셀으로 표현된다. 그림 4는 평면과 면적요소의 일대다 관계를 나타내는 예를 보이고 있다. 기서 평면 및 면적요소를 나타내는 객체는 매개(Link)는 Dummy 객체와의 관계에서 오너(Owner)가 되며, 개객체는 두 객체의 관계에서 구성원(Member)이 된다. 이 구조는 평면은 자신에 속하는 모든 면적요소를 찾을 수 있고, 선은 그 선이 속하는 모든 평면을 찾을 수 있다. 각 객체에 대한 개략적인 표현내용은 다음 표 2와 같다.

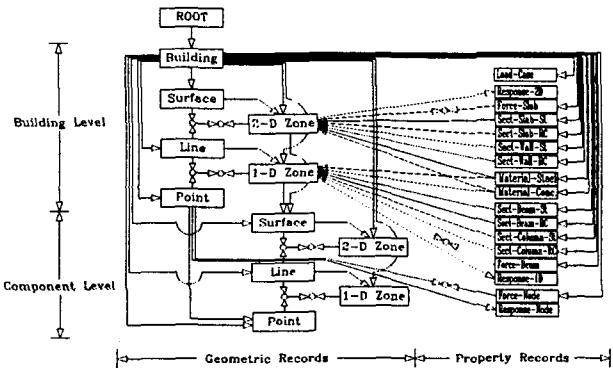


그림 3 건물구조의 데이터구조

즉, ROOT Record는 현재의 건물에 관한 일반적인 정보와 다음의 작업시 재개될 현재의 그래픽상태에 관한 정보를, Building Record는 구조시스템의 개발자에게 내용을 표시하는 구조시스템의 정보를, Surface Record는 건물차원에서는 프레임에 관한 정보를, 요소차원에서는 각부재의 경계표면에 관한 정보를 각각 담고 있다. Line Record는 시/종점과 국부좌표계등(그 선상의 1-D zones에 전달되어 하중이나 단면성질을 정의하기 위해 이용된다), Point Record는 좌표값, 경계조건, 절점하중(Force-Node)과 절점반응(Response-Node) 레코드와 연결상태등을 가진다. 특히, 건물차원의 절레코드는 요소차원의 절레코드를 그루핑한다. 요소레코드(1-D Zone과 2-D Zone Records)는 상위레벨로부터 전달받은 국부좌표계계를 위하여 요구되는 단면크기, 해석결과 검토를 위한 허용처짐 및 허용응력등을 저장한다. 두 레코드는 단면성질, 재료성질, 하중등의 구조적성질요소와 연결되며, 해석결과의 저장을 위하여 반응(Response) 레코드와도 연결된다.

표 2 각 객체에 대한 데이터 필드의 구성

종류	데이터 필드
ROOT	높이, 폭, 충수, 베이스, 코어위치, 옹도, 재료, 설계규준종류, 구조시스템의 재생후보갯수, 개방적인 하중(고정, 적재, 풍, 지진등), 크기, 공간상 범주, 시점, 원도우크기, 그림크기조절계수,
BUILDING	재료, 블로어종류, 각 방향의 프레임종류와 구성형식, 평가인자(창고문현 32참조)
SURFACE	평면좌표계설정용 3점, 크기, 방정식, 3차원공간상범주, 좌표계변환행렬과 역행렬
LINE	시점과 종점위치, 선의 국부좌표계(1, 2, 3축)
POINT	3차원 좌표값, 2차원 원도우좌표값, 경계조건
1-D ZONE	국부좌표계, 길이, 재료, 설계용 단면성질, 허용처짐, 부재력, 응력
2-D ZONE	국부좌표계, 길이, 재료, 옹도, 설계용 단면성질, 허용처짐, 부재력, 응력
Material-Steel	탄성계수, 푸와충비, 단위중량, 온도팽창계수, 항복강도
Material-Conc.	탄성계수, 푸와충비, 단위중량, 온도팽창계수, 설계강도
Sect.-Beam-Steel	단위길이당무게, 길이, 푸, 웨이브두께, 프랜지두께, 단면적, 단면면적, 단면2차모멘트, 반경, 계수, 주근 및 전단근크기, 피복두께
Sect.-Beam-RC	Sect.-Beam-Steel과 같음
Section-Slab-RC	마감몰탈, 방수층, 경량콘크리트, 슬라브의 두께, 천정깊이, 기타
Section-Wall-Steel	두께, 수평, 수직철근의 크기 및 간격
Load Combination	고정, 적재, 보상단, 바탕, 지진하중의 계수
Force-Node	하중종류, 하중크기(절점하중), 계수
Force-Beam	하중종류, 하중크기(분포하중), 계수
Force-Slab	하중종류, 하중크기(슬라브계산용과 프레임계산용 분포하중), 계수
Response-Node	변위 및 회전
Response-1-D	일단부재력 및 응력, 부재내의 최대처짐
Response-2-D	절점부재력 및 응력, 부재내의 최대처짐
기타 Dummy Objects	

재료성질레코드는 구조재료에 관한 성질들을 저장된다. 철근콘크리트 요소레코드에 대해서는 철골 및 콘크리트재료에 대해서 각 10개정도의 데이터베이스를 제공된다. 단면성질도 코드는 각 요소들의 단면변수들을 저장하며 요소레코드와의 연결된다. 본 연구에서는 설계규준[24, 25]을 참조하여 8종류가 제공된다. 특히 철근콘크리트부재에 대하여 D19와 D22의 철근으로 구성되는 250식의 보단면과, D19, D22, D25의 250개식의 기둥단면을 철골부재에 대해서는 50개의 보단면과 60개의 기둥단면을 외부파일들로 저장하였다[26, 27]. 하중레코드로서 중력하중은 요소의 분포하중으로 해당요소레코드에 연결되고, 주평하중은 절점하중으로 점레코드에 연결된다. 반응레코드는 구조해석의 결과를 저장하는데, 레코드의 갯수는 하중조합갯수에 따라 정해진다. 하중조합레코드는 건물을 여러 하중조건으로 해석하기 위한 레코드로서 설계규준이 정해지면 자동적으로 준비된다.

모델링 데이터를 해석프로그램의 입력파일로 전달하는 과정과 그 결과를 현재의 데이터베이스로 전달받는 과정은 다음과 같다.

- Step 1 : 사용자는 원하는 위상요소를 선택한다.
- Step 2 : 선택된 모든 위상요소들과 이들에 연결된 구조성질레코드들에 일련번호가 부여된다. 각 위상요소에 대한 재료, 단면등의 정의여부와 위상요소, 재료, 단면, 허중, 하중경우의 갯수가 0이거나 한개를 초과하는지 등이 검토된다. 이러한 에러가 발생하면 관련메시지를 제시하며 원상태로 전환된다.
- Step 3 : 선택된 레코드들의 정보를 해석 프로그램에 맞게 외부파일로 기록한다. 참조(Reference-In) 파일에는 선택된 레코드들의 일련번호와 데이터베이스내에서의 위치(Address)를 보관한다.
- Step 4 : 시스템풀에 의하여 해석을 수행하며, 결과는 결과파일(Output)과 참조파일(Reference-Out)에 저장된다.
- Step 5 : Reference-Out과 Reference-In 파일을 참고하여 데이터베이스에 결과를 저장한다.

#### 제 4 장 구조해석 프로그램의 통합

유한요소법에 의한 구조해석은 건물설계의 중요한 부분으로 실행되지만, 이는 주로 재설계를 위한 것이기보다는 설계된 구조의 안정성이나 효율을 검토하는 수단으로 이용되는 것이 현실이다. 이러한 현상은 해석모델의 작성에 소요되는 많은 시간과 노력에 기인하므로 컴퓨터에 의한 통합설계시스템에서는 구조물의 모델링과 계속되는 해석과정을 지원할 수 있는 데이터베이스(Database)를 제공할 수 있어야 한다. 이러한 데이터베이스에 의하면, 구조물의 전부 또는 일부분을 추출하여 해석프로그램에 맞는 입력파일을 생성할 수 있고, 또한 그 해석결과를 현재의 데이터베이스로 전달받아 결과의 분석, 세부설계, 또는 재해석을 수행할 수 있다. 데이터베이스와 해석프로그램과의 인터페이스로는 두 가지 방법, 즉, Direct Interface와 외부파일을 이용한 Indirect Interface이 검토되었다. 전자는 구조해석용 프로그램이 데이터베이스로부터 직접 요구되는 데이터를 읽어들이는 방법이고, 후자는 External File을 이용하여 정보를 전달하는 방법이다. 본 연구에서는 기존의 여러 프로그램을 활용할 수 있고, 사용자가 원하는 경우에는 그 결과를 전달받을 수 있고, 또한 대부분의 주치계산과 정은 많은 시간을 요하기 때문에 배치형식이 요구되어 후자의 방법이 선택되었다.

#### 제 5 장 예비설계용 전문가시스템의 활용

건물이 고층화됨에 따라 수평하중에 저항하기 위한 건물강성의 조절이 중요시 되는데, 이러한 강성은 척근을 선택된 구조시스템에 의하여 좌우된다. 척근을 선택된 구조시스템은 구조전문가에 의하여 예비설계단계에서 여러 가지의 주요요인들을 고려하여 이루어진다. 고층건물의 예비설계를 위한 전문가시스템을 구축하는 하려는 최초의 노력으로는 Carnegie-Mellon 대학의 M. L. Maher와 S. J. Fenves의 HI-RISE[28]를 들 수 있다. 그러나 이 시스템은 건물이 받게 되는 하중에 대하여 각 방향으로의 평면구조시스템을 제시할 뿐만 아니라 모델링과 구조해석, 그리고 부재설계의 실제적인 연계는 아직 미흡하다. 본 연구에서는 천문에 의한 결과를 결합제의 세부설계단계로까지 스트림에 의한 결과를 결합제의 세부설계단계로까지 시킴으로서 자동화된 건물설계시스템을 구축하기 위한 노력을 일관으로서 예비설계자원용 시스템을 개발하고자 한다. 구조설계를 지원해주기 위하여 전문가 팀이 갖는 구조, 즉, 기억공간, 지식, 추론기관이 된다. 구축도구로서 CLIPS[17]가 이용된다. 본 시스템은 구축하기 위하여 HI-RISE, 기존의 문헌[29, 30, 31], 우리나라의 설계관행[1, 24, 25]등이 참고되었다.

예비설계를 수행하기 위한 초기데이터는 건물의 울도, 구조재료(종류, 단성계수, 단위 하중, 설계 강도등), 규모(폭, 길이, 높이, 각 방향의 그리드수, 코어 위치등), 하중(기학적인 크기의 수직 및 수평하중), 적용할 설계규準 등이며 이는 시스템의 수행이 요구될 때, 데이타베이스의 Root Record를 Working Memory로 넘프함으로서 제공된다. 시스템의 수행 과정은 사용 가능한 구조시스템의 종류와 그들의 평가 결과(참고문헌 32 참조)이며, 이를을 구조시스템의 각 후보별로 Building Record에 저장되며, 각 프레임에 관한 정보는 하위레코드인 Surface Record에 개별적으로 보관된다.

## 제 6 장 사용자 인터페이스(User Interface)

사용자레벨의 Data Manipulation Language(데이타조정어)로 이루어지는 인터페이스는 대화식과 배치형식으로 실행할 수 있다. 사용자 인터페이스에 의하여 사용자는 건물의 모델링, 구조해석과 전문가시스템의 실행, 그래픽표현등을 조절한다. 사용자 인터페이스는 명령어분석기(Command Interpreter)와 명령어 함수(Command Functions)들로 구성된다.

- (1) Command Interpreter : 명령어를 읽어들여 분석하고, 해당되는 항수를 실행한다. 사용자는 4문자까지 분석한 단어들을 -으로 연결하여 입력할 수 있으며, 현재 100여개의 명령어가 등록되어 있다.
- (2) Command Functions : 건물의 모델링에 대한 내용, 위상요소에 관한 내용, 구조적 성질(재료상수 관련, 단면형상관련, 하중데이터, 하중조합관련등)의 메뉴구성을 위한 내용, 구조해석 프로그램의 제어부분, 전문가시스템의 제어부분, 기타 제어내용등으로 구성된다.

## 제 7 장 결 론

건축물의 구조계획, 예비설계, 구조해석, 부재설계, 평가, 도면화 과정을 하나의 시스템으로 통합하는 구조설계용 통합시스템은 데이타의 처리(복사, 전달)에 관련된 작업효율을 기하고, 관련한 어려움을 줄이어 설계효율을 기할 수 있다. 본 연구는 건축물에 대한 이러한 통합설계시스템을 구축하기 위하여 기존의 알고리즘(프로그램)과 전문가시스템을 데이타베이스상에서 통합하는 새로운 접근방법을 제시하였다. 망구조형 데이타베이스는 설계과정에서 발생하는 모든 데이타를 체계적으로 관리할 수 있게 설계되었으며, 다른 시스템과의 정보교환장소를 제공한다. 기존의 프로그램은 구조해석과 같은 주로 Routine Design 과정을 자동화하며, 전문가시스템은 예비설계와 같은 Creative Design 부분에서의 결정과정을 지원하게 된다. 사용자인터페이스를 통하여 설계자는 대화식/배치형식으로 설계과정에 따라 정보를 관리하고, 타 시스템을 작동시키게 된다. 본 연구에서 제시된 개념은 건축물의 설계과정을 자동화하기 위한 통합시스템의 새로운 모델이 될 수 있다.

## 참고문헌

1. 건설부, 건축물의 구조기준등에 관한 규칙, 1988
2. 김현선, 건축구조계획, 문화당, 1988
3. W.Schueler, High-rise Building Structures, John Wiley and Sons, 1977
4. C.A. Brebbia, Finite Element Systems A Handbook, Compu.Mecha.Centre, U.K., 1982
5. D.Sriram, DESTINY : A Model for Integrated Structural Design, Artificial Intelligence, Vol.1, No.2, pp.109-116, 1986
6. C.K.Choi; E.D.Kim A Preliminary Model of I-BUILDS : An Intelligent Building Design System, Proc. of 2nd Inter. Conf. on App. of AI in Engrg., Comput. Mecha. Pub., Boston, USA, pp.331-343, 1987
7. ASCE Expert Systems in Civil Engineering Edited by C.N.Kostem and M.L.Maher, Proc. of Sympo. of ASCE, Washington, 1986
8. M.L.Maher; S.J.Fenves, HI-RISE: A Knowledge-Based Expert System for the Preliminary Structural Design of High Rise Building, 1985
9. B.Kumar, P.W.H.Chung and B.H.V. Topping, Approaches to FORTRAN-PROLOG Interfacing for an Expert System, Proc. Civil Comp., pp.15-20, 1987
10. P.Hajela; N.Sangameswaran, A Coupled Algorithmic and Heuristic Approach for Optimal Structural Topology Generation, Comput. Struc., Vol. 36, No.5, pp.971-977, 1990
11. P.P.Lin; A.J.Yang, Data Communication Between an Expert System and a Conventional Algorithmic Program with Application to Cam Motion Specification, Eng. Comput. 6, pp.113-119, 1990
12. H.N.An-Nashif; G.H.Powell, A Strategy for Automated Modeling of Frame Structures, Eng. Comput. 5, pp.1-12, 1989
13. T.SreeKantaMurthy; J.S.Arora, Data Base Design Methodology for Structural Analysis and Design Optimization, Eng. Comput. 1, pp.149-160, 1986
14. K.H.Law; T.Barsalou; G.Wiederhold, Management of Complex Structural Engineering Objects in a Relational Framework, Eng. Comput. 6, pp.81-92, 1990
15. R.Sause; G.H.Powell, A Design Process Model for Computer Integrated Structural Engng. Eng. Comput. 6, pp.129-143, 1990
16. COSMOS Users Group, COSMOS6 Users Manual, Structural Research and Analysis Corporation, California, USA, 1983
17. Joseph C. Giarrantano, CLIPS User's Guide, 1987
18. Zamanian, M.K.; Fenves, S.J.; Thewalt, C.R.; Finger, S., A Feature-Based Approach to Structural Design, Eng. Comput. 7, pp.1-9, 1991
19. Finnigan, P.M.; Kela, A.; Davis, J.E., Geometry as a Basis for Finite Element Automation, Eng. Comput. 5, 147-160, 1989
20. Cuilenborg, F.V., Autokon System Description Autokon CIM, 1987
21. Ulfssby, S.; Meen, S.; Oian, J., TORNADO: A DBMS for CAD/CAM Systems, Computer Aided Design, Vol.13, No.4, 193-197, 1981
22. 김이두, 전문가시스템을 이용한 건물구조의 자동화된 설계, 박사학위준비논문, 한국과학기술원, 1993
23. Date, C.J., An Introduction to Database Systems Addison Wesley Pub., Calif., 1986
24. 대한건축학회, 철근코크리트 구조계산기준, 1975
25. 대한건축학회, 강구조계산기준, 1977
26. Choi, C.K.; Lee, H.W., Optimal Design of Steel Structures, Report No. SEMR88-03, Dept. of Civil Engrg., KAIST, Seoul, Korea, 1988
27. Choi, C.K.; Kwak, H.G., Integrated Building Design System(Part 2): Optimal Design of R/C Structures, Report No. SEMR89-02, Dept. of Civil Engrg., KAIST, Seoul, Korea, 1989
28. M.L. Maher and S.J. Fenves, HI-RISE : A Knowledge-Based Expert System for the Preliminary Structural Design of High Rise Building, 1985
29. W.Schueler, High-rise Building Structures, John Wiley and Sons, 1977
30. T.Y. Lin and S.D. Stotesbury, Structural Concepts and Systems for Architects and Engineers, John Wiley and Sons, 1981
31. 한국과학기술원, 인공지능을 이용한 고도의 구조해석/설계용 전문가 시스템의 개발(III), 과학기술처, 1990
32. 최창근, 김이두, "건축구조물의 예비설계용 전문가 시스템의 개발모델", 전산구조공학회지, 제3권, 제2호, pp.97-108, 1990년 6월
33. 최창근, 김이두, "건축구조설계의 통합시스템을 위한 데이타베이스의 구축", 전산구조공학회 춘계학술대회, pp.50-55, 1991년 4월