

# 철근 콘크리트 구조의 초기 구조설계 시스템 개발

## Development of Preliminary Structural Design System for Reinforced Concrete Structures

안 은 경\*      김 남 희\*\*      이 병 해\*\*\*  
Ahn, Eun-Kyung      Kim, Nam-Hee      Lee, Byung-Hai

---

### Abstract

The development of computer-integrated design systems that fully support structural design process needs the computerization of structural design at the preliminary design stage.

The objective of this paper is to develop a prototype system for preliminary design of reinforced concrete structures. This study focuses on the development of a natural design process oriented GUI(Graphic User Interface) and a representation of an experienced knowledge. The prototype system has been currently implemented using the objected-oriented programming concepts, the program language(i.e., Visual C++) and the expert shell(i.e., Intelligent Rules Element).

---

### 1. 서 론

지난 20년동안 컴퓨터의 이용이 급격히 증가되면서, 구조 해석, 부재 설계, 제작, 설치 등 부분적으로 컴퓨터의 활용이 확대되고 있다. 그러나 초기 구조설계에서는 아직도 전문가의 경험에 많은 의존을 하고 있어 컴퓨터의 활용이 미흡한 실정이다. 최근 들어 컴퓨터의 소프트웨어와 하드웨어의 발달에 힘입어 통합 시스템 개발에 대한 시도가 다각적으로 이루어지고 있으며<sup>1,2,3,4,5)</sup>, 개발 가능성도 점차 높아 가고 있다. 따라서, 구조설계분야에서의 통합 시스템 개발을 위하여 초기 설계 단계에 대한 설계 과정의 시스템화가 시급한 실정이다.

이미 개발된 대부분의 프로그램들이 전문 기술자를 대상으로 하여 개발된 것이기 때문에 프로그램의 내용 및 구성이 상당히 복잡하고 입력작업도 구조에 대한 상당한 지식이 없이는 접근하기가 용이하지 않다.

이에 본 연구의 목적은 실무적인 초기 설계 과정을 파악하여 구현을 위한 개념 모델링을 제시하고, 이를 바탕으로 시스템의 프로그래밍을 위한 구현 모델링을 정립하여 전형적인 철근 콘크리트 구조물의 적용을 검토함으로써, 초기 설계 단계에서 구조에 깊은 지식이 없는 초보자에서부터 경험이 풍부한 전문 기술자에 이르기까지 용이하게 접근할 수 있는 사용자 편의 중심의 초기 구조 설계 시스템을 개발하는데 있다. 이런 초기구조설계 시스템에서는 구조물을 구성하는 각 부재의 사용 재료와 단면 크기를 결정하고 공간을 정의하여 하중을 정의한 다음 슬라브의 형태를 결정하여 슬라브의 두께를 결정한다.

따라서, 수직 시스템과 수평 시스템을 동시에 모델링하고, 프로그래밍이 용이하도록 객체지향 방법론을 이용하여 모델링함으로써 사용자 편의 중심의 GUI(Graphic User Interface)<sup>6)</sup>, 초보자의 사용이 편리한 전문가 시스템(Nexpert System)<sup>7)</sup> 등을 도입하여 전처리(Preprocessor)의 기능을 극대화 하는데 중점을 두어 개발하였다.

---

\* 학생회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 정회원, 한양대학교 초대형 구조 시스템 연구센터(STRESS) 연구조교수

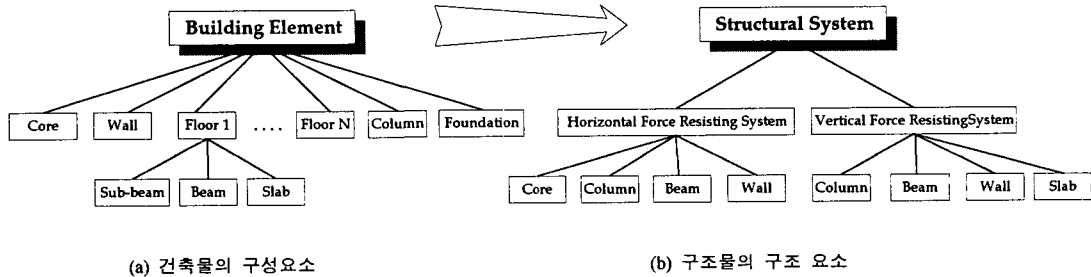
\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수

## 2. 초기 구조설계 시스템의 개념 모델링

본 연구에서 개발한 시스템의 적용된 프로덕트 모델과 프로세스 모델에 대하여 개념을 정립하고 초기화 모델을 구성하였다. 건축 구조물의 구성요소를 바탕으로 하여 하중의 저항 능력에 따라서 구조물의 구성요소로 정립한 프로덕트 모델링을 제시하고, 이 프로덕트 모델링을 기본으로 초기 구조설계 흐름을 표현한 프로세스 모델링을 정립하였다.<sup>8)</sup>

### 2.1 건축 구조물 모델링 (프로덕트 모델링)

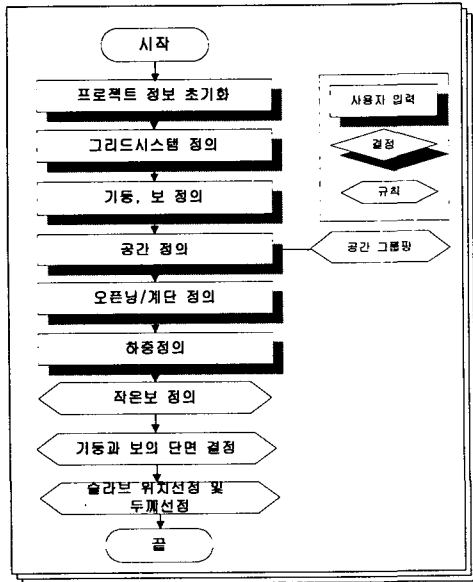
건축 구조물의 기본 구성 요소는 계단(Stair), 코아(Core), 벽체(Wall), 기둥(Column), 기초(Foundation)와 바닥(Floor)들이 1층부터 N개 층으로 구성된다. 이런 건축물의 구성요소[그림 1-(a)]를 하중저항능력에 따라서 수평, 수직 시스템으로 분류할 수 있다. 수평 시스템은 풍하중이나 지진하중등의 수평하중에 저항하는 구성요소로서 기둥, 보, 슬라브, 벽체 등을 포함한다. 수직 시스템은 자중 등 중력 방향으로 작용하는 하중에 대해 저항하는 구조물의 요소들[그림 1-(b)]로 구성된 시스템으로 기둥, 보, 벽, 코아 등이 포함된다.



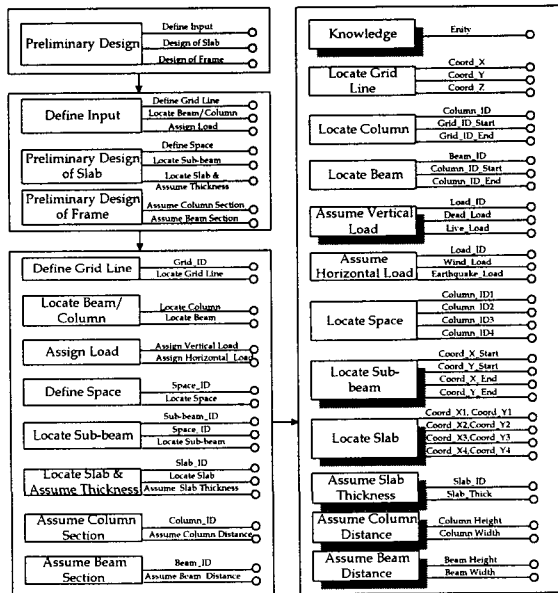
[그림 1] 프로덕트 모델링

### 2.2 초기 구조설계 흐름 (프로세스 모델링)

프로덕트 모델링을 바탕으로 하여 초기 구조 설계의 프로세스를 구성하면 [그림 2]와 같고 이 초기 구조 설계의 프로세스를 바탕으로 보다 세부적인 프로세스 모델링은 [그림 3]과 같다.



[그림 2] 초기 구조설계 흐름



[그림 3] 프로세스 모델링

이런 프로세스는 그리드 시스템을 기본으로 보, 기둥의 위치와 단면을 가정하는 수직 시스템과 작은보, 슬라브의 위치와 단면을 가정하는 수평 시스템을 동시에 모델링하고, 프로그래밍이 용이하도록 객체지향방법을 이용하였다. 또한 사용자가 입력을 적게 하고, 사용자 편의 중심의 시스템을 개발하려면 많은 부분에 있어 구조관련 지식들을 시스템화 해야 하는데, 본 연구에서 개발한 시스템에서는 몇가지 부분에 있어 전문가의 지식들을 추론하였다.

### 2.2.1 초기 구조설계 관련 지식에 근거한 주요 프로세스 모델

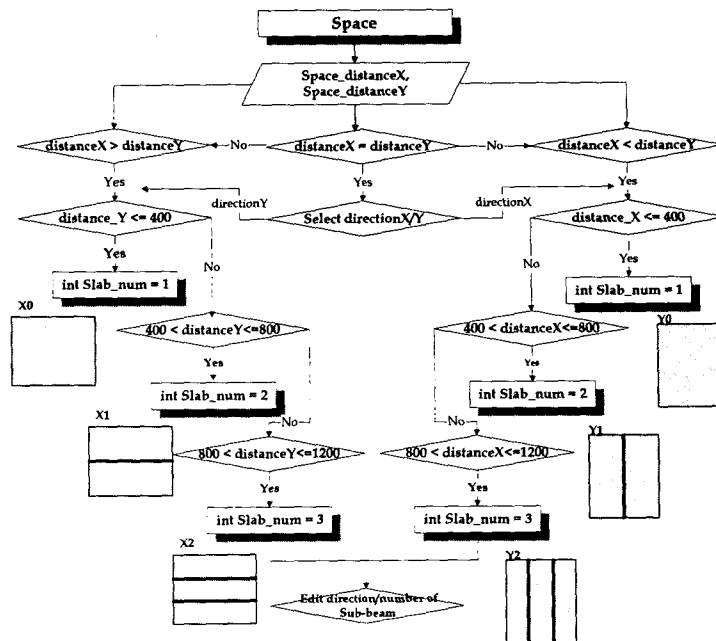
초기 구조설계의 프로세스 모델[그림 3]을 기본으로 각 단계별 세부 프로세스 모델을 정립하였다. 이런 주요 프로세스 모델들중에서 구조설계 관련 지식에 근거한 주요 프로세스는 다음과 같다. ( 예 : ( 프로세스 모델명 ) )

#### 1) 공간 기능별 적재하중 결정 ( Assume Vertical Load)

각 공간에 대한 용도별/기능별에 따라 공간의 성격과 적재하중이 달라진다. 각 공간의 기능에 따라 적재하중에 대응되는 하나의 약속된 수치를 미리 정해서 사용자와 시스템간의 약속치로 정의된다. 예를 들어, 한 공간이 사무실의 용도로 쓰인다면 그 공간의 적재하중은  $250\text{kg/m}^2$ 이 될 것이나, 그 적재하중의 수치 대신에 사용자는 '1'라는 부호로서 대신 사용하였다. 이로써 공간의 용도뿐만 아니라 적재하중까지 정의된다.

#### 2) 작은보 방향, 개수 결정 (Locate Sub-beam)

한 공간의 X, Y 길이에 따라 작은보의 개수와 방향이 결정되어 그 각 길이에 따라 작은보에 의해 구성되는 슬라브의 개수가 결정된다. X1은 X 방향으로 작은보가 1개 배치되므로 슬라브는 2개가 되고, Y2는 Y 방향으로 작은보가 2개가 배치되므로 슬라브는 3개가 된다. [그림 4]



[그림 4] 작은보의 개수와 방향 결정 시스템

#### 3) 보 단면 결정 (Assume Beam Section)

보의 단면 결정은 먼저 보의 양단지지조건에 따라 달라진다. 보의 양단지지조건은 단순지지/일단연속/양단연속/캔틸레버인지를 시스템내에서 구축되어진 규칙(Rule)으로 결정하여 보의 폭, 높이가 결정된다.

**4) 기둥 단면 결정 (Assume Column Section)**

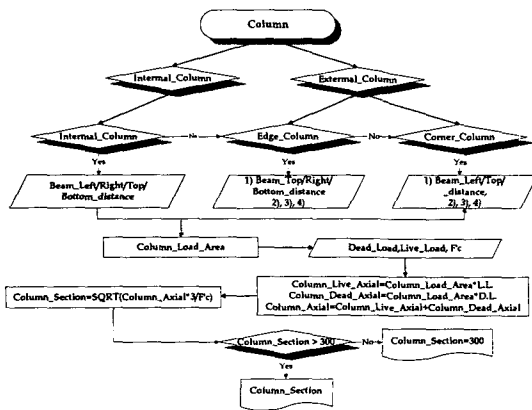
먼저 한 기둥의 주변 조건을 검토하여 외부 기둥과 내부 기둥으로 분류한다. 내부 기둥 (Internal Column)은 4개의 보로 둘러싸여 있으므로, 4개의 보 길이를 입력받고, 외부 기둥 (External Column)은 변 기둥(Edge Column)과 모서리 기둥(Corner Column)으로 분류되어 각각 3개의 보 길이와 2개의 보 길이를 입력받는다. 먼저 면적을 산정한 후 기둥의 축하중을 산정하여 기둥의 단면을 산정하였다. [그림 5] 기둥의 단면 가정식은

$$\text{Column\_Section\_distance(cm)} = \sqrt{3 * (\text{Area} * \text{D.L.} + \text{Area} * \text{L.L.}) / F'c} \dots\dots\dots (1)$$

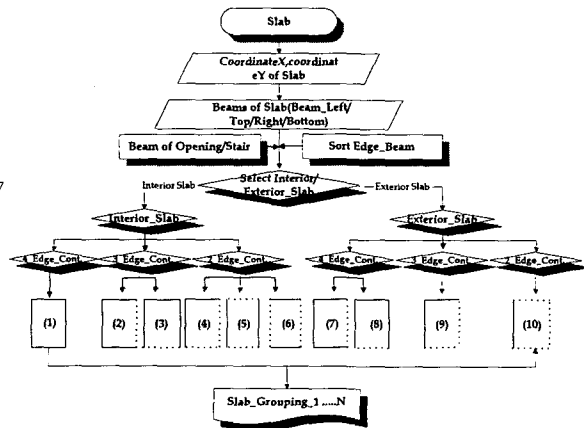
과 같다. 이렇게 계산된 기둥은 정사각형으로만 산정되고, 기둥의 한 변 길이는 30cm 이상이어야 한다.

**5) 슬라브의 주변지지조건을 분류하여 그룹핑 (Locate Slab)**

우선 슬라브를 구성하는 보중에서 외측보를 분류하고, 오프닝/계단을 구성하는 보를 연속되지 않는 보로 규정된다. 슬라브의 형태를 분류하면 [그림 6]과 같이 9가지의 형태로 분류할 수 있다. 이 중에서 대부분이 사용되는 슬라브의 형태는 4변지지의 내부슬라브, 오프닝이 있을때 3변지지의 내부슬라브, 3변지지와 2변지지의 외부슬라브인 (1), (2), (3), (7), (8), (9)이다. 슬라브의 주변지지조건에 따라 분류된 각 슬라브는 각 슬라브의 설계에 따라 달라진다.



[그림 5] 기둥의 단면 결정의 순서도



[그림 6] 슬라브의 그룹핑

**6) 슬라브의 두께 결정 (Assume Slab Thickness)**

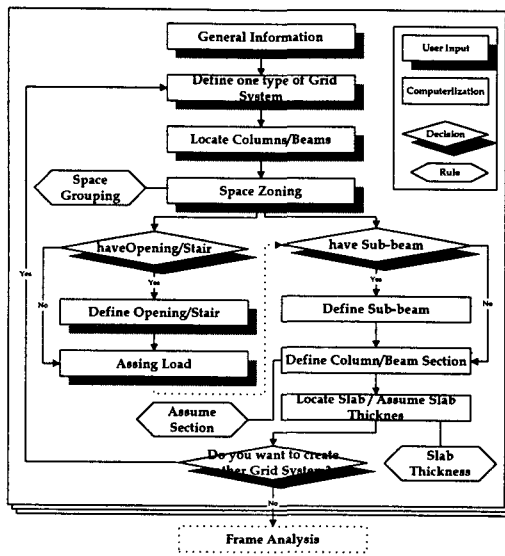
슬라브를 배치한 다음 그룹핑하여 슬라브의 두께를 결정한다. 슬라브의 두께는 1방향/ 2방향 슬라브에 따라 달라진다. 우선 1방향 슬라브의 두께는 장변 스패 길이에 따라 달라지며, 2방향 슬라브의 두께는 장변 스패 길이와 극한 강도 등에 따라 달라진다.

**3. 초기 구조설계 시스템의 구현 모델링**

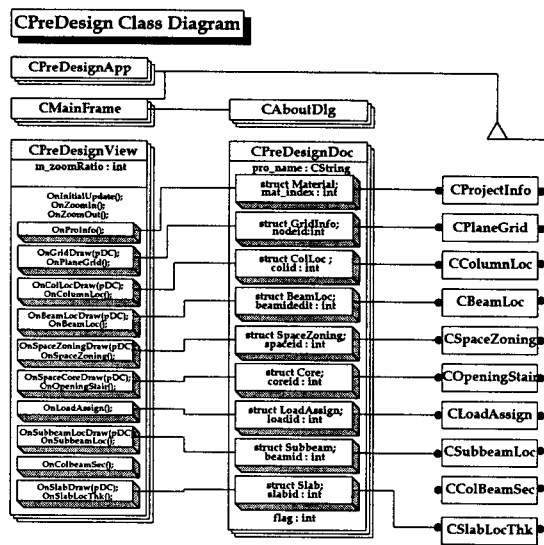
초기 구조설계의 개념을 바탕으로 프로그래밍이 보다 쉽게 되도록 객체지향개념을 이용하여 사용자 편의 중심의 GUI(Graphic User Interface) 로 개발하고 초보자의 사용이 편리한 전문가 시스템을 도입하여 사용자들이 시스템의 접근이 용이해졌다.

개발 도구로는 클래스 라이브러리인 MFC(Microsoft Foundation Classes)와 두가지 별개의 데이터 베이스 운영 옵션인 DAO/ODBC 를 함께 제공하는 Microsoft Visual C++ 5.0 을 사용하였고, 전문가 적 기술 지식을 시스템으로 구축하기 위해 이미 개발된 전문 셸(Expert Shell)인 Intelligent Rules Element 을 사용했다.

개념 모델링인 프로덕트 모델링과 프로세스 모델링을 기본으로 하여 초기 구조설계의 구현 흐름은 [그림 7]과 같고, 이에 따라 클래스 및 객체를 모델링하면 [그림 8]과 같다. 초기구조설계를 구성하는 각각의 객체와 그에 대한 특성들은 다음과 같다.



[그림 7] 초기 구조설계의 구현 흐름



[그림 8] 초기 구조설계의 클래스 모델링

### 3.1 Project Information 객체

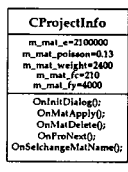
본 연구에서 제안한 객체인 ProjectInfo[그림 9]에는 프로젝트의 이름과 작성자, 날짜 등을 입력하는 프로젝트 정보가 있고, 구조적인 정보로는 t·m, kg·m, kg·cm, t·cm의 단위(Unit), 철근과 콘크리트의 중량, 포아송비, 압축강도, 극한강도 등을 표시하는 재료(Materials)를 입력한다. 사용자의 편의를 위해 단위(Unit)나 재료(Materials)에는 상용 사용하는 디폴트값(default value)이 미리 설정되어서 이와 다를 경우만 수정한다.

### 3.2 Plane Grid 객체

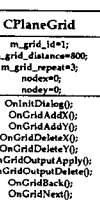
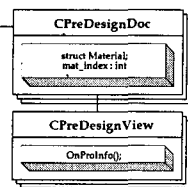
그리드 점(Grid\_Point)을 설정하는 방법은 직접 좌표 값을 입력하는 방법과 그리드 간격을 설정함으로써 자동적으로 좌표 값을 생성시키는 방법이 있는데, 본 연구에서는 후자의 방법을 택했다. 그리드 간격(Bay distance)과 반복 횟수(Iteration number)를 입력한 후 X 방향과 Y 방향으로 각각 설정한다. 따라서 시스템 내에서 자동적으로 그리드 점(Grid\_Point)이 생성하게 된다.

### 3.3 Column Location 객체

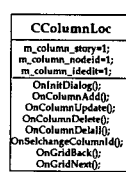
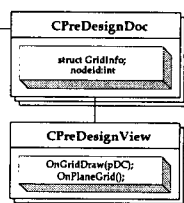
정의된 그리드시스템(Grid System)에서 기둥위치에 맞게 기둥을 정의한다. 그리드점(Grid\_Point)이 정의된 곳에서만 기둥이 정의될 수 있다.[그림 11]



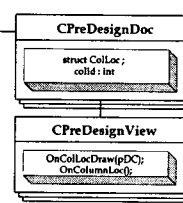
[그림 9] Project Information 객체



[그림 10] Plane Grid 객체



[그림 11] Column Location 객체



### 3.4 Beam Location 객체

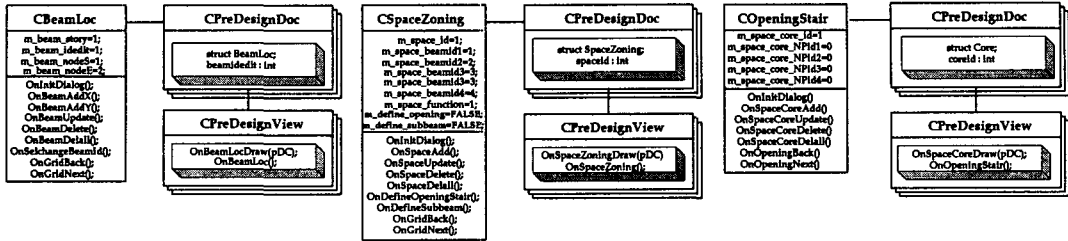
정의된 기둥에서 기둥과 기둥을 연결하여 보를 정의한다. 그러므로 보를 정의하려면 Column\_ID를 정의한다.[그림 12]

### 3.5 Space Zoning 객체

각 보(Beam)를 4 변으로 하는 공간(Space)을 구획한다. 각 Space Zoning 은 사각형으로 구획되므로 Beam\_ID1, Beam\_ID2, Beam\_ID3, Beam\_ID4 을 입력함으로써 정의된다. 또한 각 공간의 기능을 이 객체에서 입력함으로써 하중 입력이 따로 필요하지 않아 편리하다.(2.2.1-1)

### 3.6 Opening/Stair Location 객체

이 객체[그림 14]는 사용자의 선택으로 활성화되고, 각 오픈닝이 있으면 각 그리드점(Grid\_Point)으로 연결해서 정의한다.



[그림 12] Beam Location 객체

[그림 13] Space Zoning 객체

[그림 14] Opening/Stair Location 객체

### 3.7 Load Assignment 객체

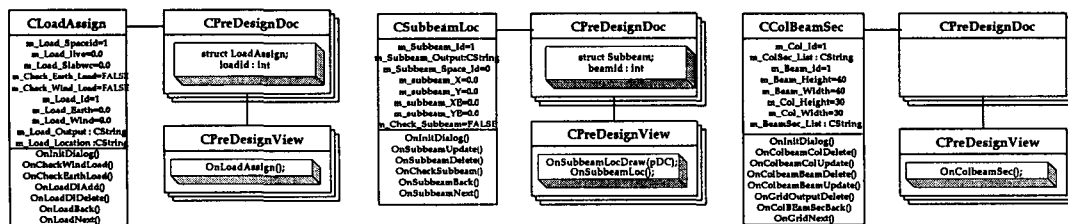
기본적으로 하중은 수직하중(Vertical Load)과 수평하중(Horizontal Load)으로 구분하여 수직하중은 고정하중(Dead Load)과 적재하중(Live Load)으로 나뉘고 수평하중은 풍하중(Wind Load)과 지진하중(Earthquake Load)으로 나뉜다. 수평하중은 사용자의 선택사항이고 수직하중은 항상 디폴트로 설정된다. 그중에서 고정하중은 사용자가 직접 입력하게 되지만, 적재하중은 앞의 Space Zoning 객체에서 각 공간의 기능/용도를 정의함으로써 적재하중의 입력을 하지 않아도 된다.[그림 15]

### 3.8 Sub-beam Location 객체

이 객체는 사용자의 선택으로 활성화되고, 시스템 내에서 자동적으로 공간의 X, Y 길이를 계산하여 단면에 알맞게 작은보의 위치를 선정하게 된다.(2.2.1-4) 이렇게 작은보를 위치를 선정하였으면 작은보와 보로 구성된 공간이 하나의 슬라브로 구성된다. 여기서도 Space Zoning 객체에서 적용된 2.2.1-5 가 적용된다.[그림 16]

### 3.9 Column & Beam Section 객체

이 객체는 기둥과 보의 단면을 가정하게 된다. 기둥 단면은 앞의 Load Assign 객체에서 정의된 적재하중과 고정하중으로 정의하게 된다(2.2.1-2). 보 단면은 한국 기준에 맞게 양단지지조건과 스패ن길이에 따라 높이를 가정하게 된다(2.2.1-3).[그림 17]



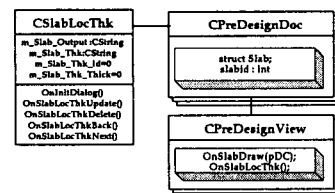
[그림 15] Load Assignment 객체

[그림 16] Sub-beam Location 객체

[그림 17] Column & Beam Section 객체

### 3.10 Slab Location & Thickness 객체

슬라브의 위치는 작은보와 보, 보와 보, 작은보와 작은보로 구성된 공간을 시스템 내에 자동적으로 생성하게 된다. 최종적으로 그룹핑된 슬라브중의 대표슬라브를 선택하여 그 슬라브의 두께를 산정하게 된다.[그림 18]

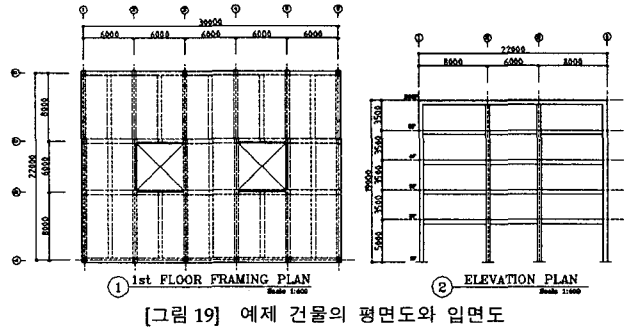


[그림 18] Slab Location & Thickness 객체

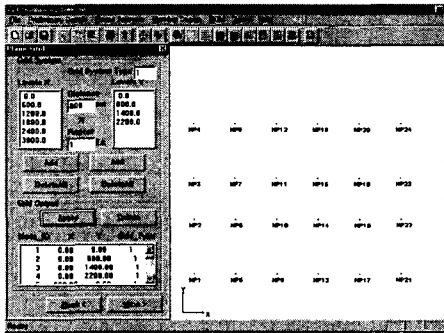
#### 4. 실행 예

예제 건물[그림 19] ①은 사무실 용도의 5층 건물로서 보와 기둥으로 구성된 골조시스템인 정형 구조물이다. 이 예제로 실제 구현된 초기 구조설계시스템에 적용하면 다음과 같다.

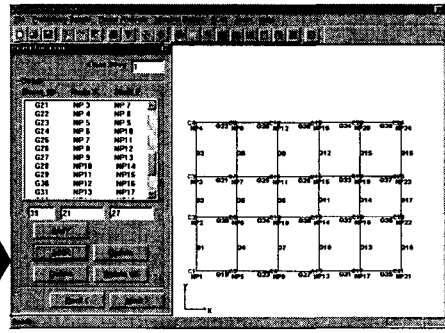
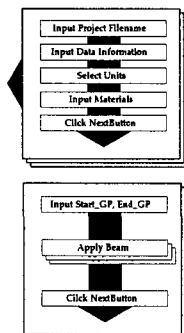
그리드 시스템의 기본인 그리드 점을 배치[그림 20]하여 이를 기본으로 기둥과 보를 배치[그림 21]하고 공간과 그 공간의 기능을 정의[그림 22]한다. 이를 바탕으로 하중과 작은보를 배치[그림 23]한 후 기둥과 보의 단면을 가정[그림 24]하여 슬라브를 배치하고 두께를 산정[그림 25]하는데 슬라브를 그룹핑할 때 IRE(Intelligent Rules Element)를 이용[그림 26]한다. 정의된 한 층의 초기 구조설계를 저장하여 골조 해석을 위한 입력 데이터[그림 27]를 만든다.



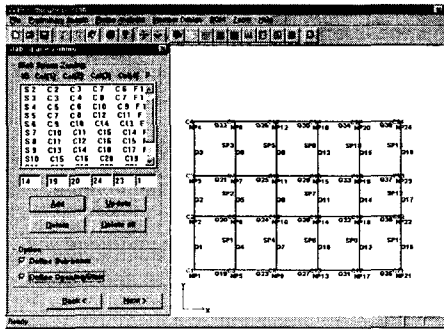
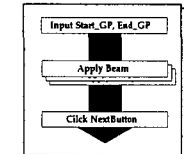
[그림 19] 예제 건물의 평면도와 입면도



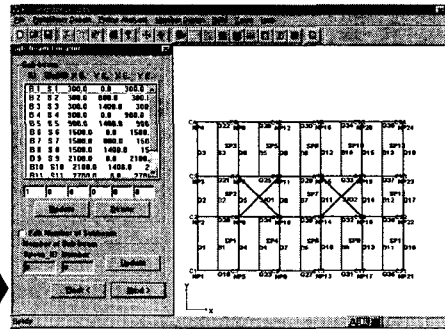
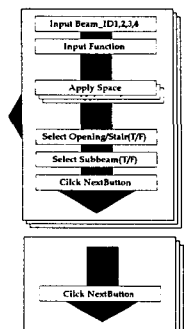
[그림 20] 그리드점 배치



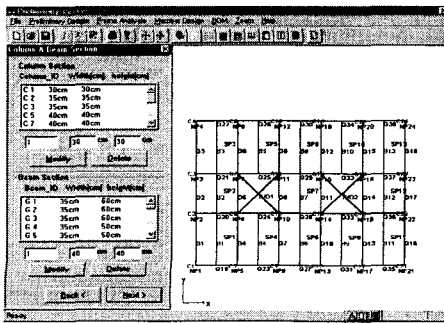
[그림 21] 기둥과 보 배치



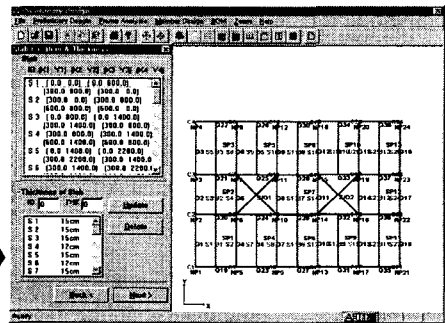
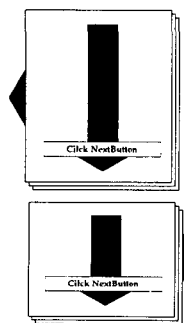
[그림 22] 공간 배치 및 기능 정의



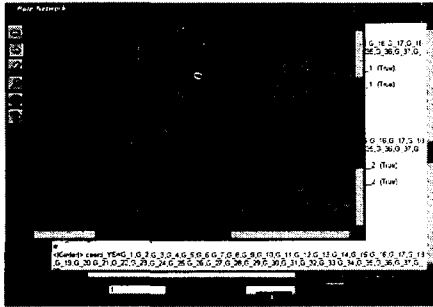
[그림 23] 하중 정의와 작은보 배치



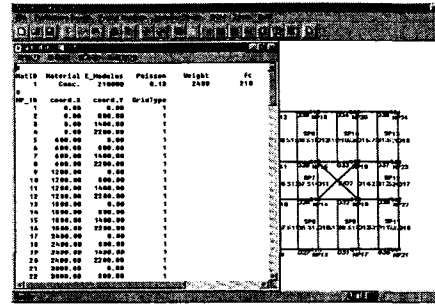
[그림 24] 기둥과 보 단면 산정



[그림 25] 슬라브 배치와 두께 산정



[그림 26] 슬라브의 그룹핑에 적용한 IRE



[그림 27] 골조 해석을 위한 입력화일

## 5. 결론

본 연구에서는 초기 구조설계의 개념 모델링을 바탕으로 구현 모델링을 정립하여 각 단계별 객체와 그에 대한 특성을 개발하였고, 전형적인 철근 콘크리트 건물의 한 예를 적용하였다. 본 연구를 통해서 다음과 같은 잇점을 얻었다.

1. 시각적인 효과가 있어 사용자가 편리한 GUI(Graphic User Interface)로 일원화하였다.
2. 시스템 개발의 시간 절약과 향후 유지 및 확장이 용이하도록 프로그램을 모듈화하였다.
3. 입력 사항과 출력 그래픽 화면을 동시에 보면서 작업이 가능하여 작업의 융통성이 있다.
4. 골조 해석을 위한 입력 화일 저장이 가능하여 통합시스템을 완성하는 시발점을 마련하였다.
5. 많은 부분에 있어 초기치(default value)가 설정되어 전문가적 지식이 없어도 초보자에게 쉽고 선택이 용이하므로 최소한의 입력으로 최대의 구조 설계 효과를 얻었다.

그러나 본 연구에서 개발한 초기 구조설계 시스템은 전처리(Preprocessor)이므로 향후 연구에 있어서 데이터베이스의 구축을 기반으로 골조해석과 보와 기둥 등의 여러 부재 설계에 대한 시스템이 개발되어 전체 통합시스템을 완성하는 것이 절실히 필요하다.

## 감사의 글

본 논문은 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 세부과제에 대한 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

## 6. 참고 문헌

1. Hojjat Adeli, *Expert Systems in Construction and Structural Engineering*, Chapman and Hall, London New York, pp.85~121, 1988
2. Steven Fenves, Ulrich Flemming, Chris Hendrickson, Mary Lou Maher, Richard Quadrel, Michael Terk, Rob Woodbury, *Concurrent Computer-Integrated Building Design*, PTR Prentice Hall, America, pp. 56~80
3. Raghavan Kunigahalli, "3D Modeling For Computer-Integrated Construction of RC Structures," *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, pp.92~101, 1997.3
4. 김상철, 이병해, *구조계획에서의 지식기반시스템 도입연구*, 한양대학교 석사학위논문, 1994.12
5. 김치경, 고일두, 허명재, 홍성목, "객체지향설계법에 의한 건축구조 통합시스템 개발에 관한 연구," *대한건축학회논문집* 8 권 11 호, pp. 129~140, 1992.11.
6. Scott Stanfield Ralph Arvesen, 윤미현 역, *Visual C++ 4 입문에서 활용까지*, 성안당, 1997.4
7. Neuron Data, *Elements Environment Intelligent Rules Element Version 4.0*, 1996
8. 김남희, *Entity-Based Integrated Product and Process Models for Computer-Aided Structural Design*, A Dissertation Presented to the Graduate and Research Committee of Liehigh University in Candidacy for the Degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering, 1994.8
9. 대한건축학회, *극한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계 예제집*, pp. 19~56, 1995 개정판