

# 건축구조물의 예비설계용 전문가 시스템의 개발모델

## The Model for the Development of an Expert System for the Preliminary Design of Building Structures

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

### 요 약

본 연구에서는 건물의 완성에 커다란 영향을 주게되는 건물의 예비설계분야에 전문가 시스템의 기법을 이용한 설계지원시스템을 개발하기 위한 모델을 구축하였다. 이러한 시스템은 기존의 수치해석용 프로그램으로 수행되던 구조부재의 물량에 의한 경제성이외에도 건물의 안정성, 시공성, 그리고 건축공간성등의 경험적 영역까지를 고려한 많은 대안을 사전에 검토해봄으로서 더욱 효율적인 설계를 가능하게 하고, 또한 구조설계의 오류를 초기에 방지할 수 있게한다.

### Abstract

An expert system for the preliminary design of the building structures, which is most important in the design stages, is modeled in this paper. Considering various factors such as structural safety, constructability, and architectural spacing as well as material cost, this expert system serves as a starting point for the building details.

### 1. 서론

지금까지의 공학설계에 컴퓨터를 활용하려는 노력을 분석해보면 주로 컴퓨터가 가지는 특성, 즉 빠른 연산속도, 컴퓨터 그래픽스에 의한 시각적

영상효과, 그리고 많은 양의 데이터 저장에 중점을 두어왔다. 그러므로 여러 측면에서의 경험적 판단을 요하는 실무차원에서는 프로그래밍이 어려웠고, 다만 세부단계에서 물량추정에 의한 경제성 문제에 국한된 컴퓨터 계산결과를 바탕으로 설계자

\* 한국과학기술원 토목공학과

\*\* 울산대학교 건축학과

이 논문에 대한 토론을 1990년 9월 30일까지 본 학회에 보내주시면 1990년 12월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

는 자신의 경험에 의존하여 그 적절성을 판단하여 설계를 완성하였다. 이러한 문제는 인공지능의 기법의 발달로 인간의 경험에 의존한 지식 즉, 개념과 추론에 의한 결과의 도출과정등도 컴퓨터에 의한 설계과정의 한부분으로서 도입하게 됨으로서 자동화된 설계시스템을 구현하기 위한 기술적 토대를 마련하게 되었다.

구조적인 측면에서는 건물이 고층화됨에 따라 횡력에 의하여 수평변위가 커지기 때문에 구조재료의 강도보다 건물강성의 조절이 가장 중요하게 된다. 여기서 건물의 강성은 주로 선택된 구조시스템에 의하여 좌우되며 이러한 구조시스템의 효율은 보통 사용된 재료의 양(에, 단위 면적당 무게)으로 평가된다. 이러한 연유로 건물에 가장 적절한 구조형식은 최소의 재료의 사용으로 최대의 강성을 가질 수 있는 것이라 할 수 있다. 구조형식을 결정하는 주요요인으로는 공사비, 설비비, 유지비등의 경제적인 면과 상부구조의 결정에 영향을 주는 지반조건, 스펀수, 스펀크기, 부재, 부재의 집합조건, 높이와 폭의 비, 방화시설, 해당지역의 법규, 건축재료의 유용성등이 있으며, 또한 사회적, 경제적 문화적, 기술적 수준등도 포함된다. 이러한 연유로 효율적인 구조시스템을 선정하는 문제는 주로 건물의 예비설계단계에서 구조전문가에 의하여 주로 이루어지며 몇 개의 대안중 한 가지를 선택하는 것이 현실이다.

이러한 건물의 예비설계 분야에 전문가시스템을 구축하려는 최초의 노력으로는 HI-RISE [참고문헌 1]를 들 수 있다. 이는 Carnegie-Mellon 대학의

M.L. Maher 와 S.J. Fenves 에 의하여 개발된 고층 건물의 예비설계를 위한 시스템이다. 그 기능은 입면 및 평면상에서 건물의 모양이 사각형이고, 상업용 및 주거용인 10층 이상의 건물에 대하여 기본적인 데이터의 입력으로 폭방향, 길이방향, 그리고 중력방향의 구조시스템을 평가하여 그 결과를 제시한다. 그러나 이 시스템은 건물이 받게되는 하중에 대하여 각 방향으로의 평면 구조시스템을 제시할 뿐, 건물의 실제적인 모델링과 구조해석, 그리고 부재설계단계로의 연결은 아직 미흡하다. 본 연구는 자동화된, 즉 건물의 계획 및 예비설계, 모델링, 구조해석, 전적 및 적산에 이르는 건물설계 시스템 [참고문헌 2-4]을 구축하기 위한 노력의 일환으로서 그 첫단계로서 예비설계를 수행하기 위한 설계지원시스템의 구축에 관한 것이다. 본 시스템을 구축하기 위하여 HI-RISE, 기존의 문헌 [참고문헌 5-8], 그리고 우리나라의 설계관행 [참고문헌 10-12] 등이 참고되었다.

## 2. 예비설계모델

본 연구에서는 예비설계의 모델을 그림 1 과 같이 설정하여 건물설계에 대한 모든 초기조건들을 종합하여 가능한 안을 만들고 그 중에서 가장 적절한 것을 선택하기 위하여 각 안을 분석, 평가하기로 한다. 본 연구에서는 건물의 구조시스템을 수평력에 저항하는 프레임에 관심을 두고 건물을 크게 폭방향과 길이방향의 2차원 프레임으로 교차된 조합체로 모델링하며 슬라브시스템에 대해서는

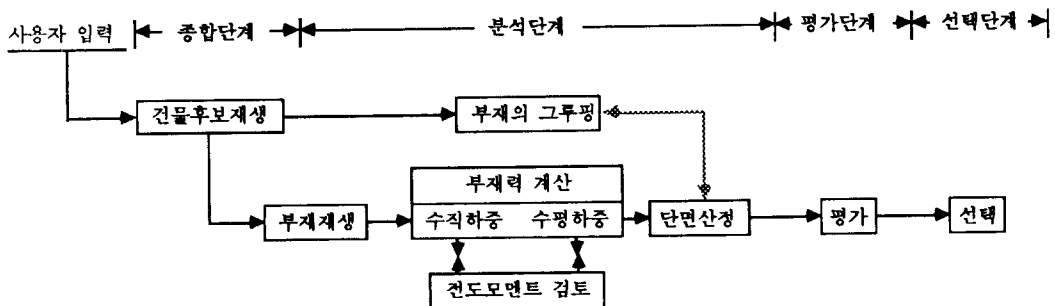


그림 1. 예비설계이 모델

이 단계에서 이용되는 설계방법은 크게 두가지로 요약된다. 첫째는 후보제시와 검토(Generate and Test)의 방법이고 둘째는 조건처리기법(Constraint Handling Method)이다. 전자는 우선 가능성이 있는 해를 가정하고, 이것이 해로서 가능한 지에 대한 확신을 가지기 위하여 문제에 대한 조건을 적용하여 가정을 검증해 내는 설계방법이다. 공학 문제에서 해석과 설계는 이러한 방식을 광범위하게 사용하고 있다. 예를들면 설계의 초기에 설계변수를 가정하고 이를 분석(해석)하고 그 결과가 규준에 적합한지를 검토하는 것을 들 수 있다. 만약 검토단계에서 만족되지 않으면 초기의 가정을 수정, 보완하고 다시 해를 구하는 과정이 반복된다. 후자의 방법은 해를 구하기 위하여 일련의 새로운 조건을 부여하고, 이 조건을 만족하는 상태를 찾기 위하여 필요한 경우에는 다시 새로운 조건들을 형성하여 그들을 만족하는 상태를 찾는 일련의 과정으로 설계를 진행해 나가는 방법이다.

이를 위하여 본 연구에서는 예비설계단계를 크게 4단계로 구분하여, 설계를 진행하는데, 종합단계에서는 주어진 데이터에 의해 후보를 재생하고 이러한 후보중에서 최적절한 것을 찾기위하여 분석단계에서는 각 후보에 대한 구조요소, 전도모멘트등의 조건이 형성되어 부재력을 구하고, 전도모멘트조건을 검토한다. 이 조건이 만족이 되면, 각 부재에 대하여 현재의 부재력에 대한 단면산정 및 설계가 이루어진다. 평가단계에서는 평가를 위한 새로운 평가요인들이 형성되어 후보의 순위를 부여한다.

(1) 종합단계: 구조시스템에 대한 후보를 구성하기 위하여 모든 가능성으로 후보를 검토해보고, 부적절한 것은 제거규칙에 의하여 미리 후보대상에서 배제시킴으로서 불필요한 검토노력을 방지한다.

(2) 분석단계: 이 단계부터는 종합단계에서 재생된 후보의 가능성을 검토해보기 위하여 분석조건을 형성하고, 그 만족여부를 평가하게 된다. 본 단계에서는 현재의 후보에 대하여, 구성하는 부재의 단면성질의 동일함을 나타내는 부재의 그룹과 그 후보를 실제로 구성하게 되는 모든 부재를 재생하고, 각 부재에 대하여 중력과 수평력에 대한 부재력을

구하고, 전도모멘트를 검토한다. 그리고 가능성을 검토한다. 만약 제한된 조건(예, 단면크기)하에서 계속적인 단면성질의 개선에도 불구하고 불만족하게 될 경우에는 구조시스템이 불가능한 것으로 판단되어 후보대상에서 제거된다.

(3) 평가단계: 구조시스템의 평가는 여러가지 평가요인을 가지게 되는데, 이러한 요인으로서는 경제성, 공간적 효율성 및 구조적 적합성등을 들 수 있다. 선형의 평가함수가 본 연구에서는 이용된다.

(4) 선택단계: 구조적으로 가능한 모든 시스템의 평가치를 정리하여 사용자에게 정보를 제공해주며, 사용자에게 선택을 요구하게 된다.

### 3. 예비설계의 지식

#### 3.1 종합단계

종합단계에서는 구조적인 가능성이 있는 건물의 후보가 제시된다. 이를 위해서는 크게 두 단계로 설계가 진행되는데, 첫째는 계획단계로서 건물을 나타내는 각 계층별 후보를 재생하는 것이고, 둘째는 건물후보를 재생하기 위하여 각 계층별 후보를 조합하는 것이다. 두번째 단계에서 생겨나는 건물의 후보중에서 경험적 판단으로 부적절하다고 여겨지는 후보에 대해서는 미리 후보대상에서 제거한다.

##### (1) 각 계층별 후보 재생

건물을 두 방향의 프레임의 조합체로 모델링할 때, 건물을 묘사하는 일반적인 방법은 건물의 재료, 슬라브의 종류, 두 방향의 프레임의 종류, 배치방법, 구성방법등을 들 수 있다. 본 연구에서는 이러한 방법으로 건물의 후보를 재생하기 위하여 건물을 체계적으로 계층분류하여 다음과 같이 각 계층별 후보를 재생하고, 이들을 가능성 있는 실제의 건물후보로 조합하였다. 각 계층별 후보는 다음과 같다.

○ 건물의 재료계층: 철골(steel)과 철근콘크리트(RC) 재료가 가능하다.

○ 슬라브 종류계층: 현재로서는 RC-slab 만이 가능하다.

○ 폭방향의 프레임 종류계층: 프레임의 종류로는 보, 기둥만으로 이루어진 모멘트저항프레임 이외에, 트러스로 전단보강된 브레이스보강 프레임과 전단벽으로 보강된 벽체보강 프레임이 있다. 이러한 프레임의 배치 및 전단보강되는 스패의 위치는 아래 두 계층에 따라 정해진다.

○ 폭방향의 프레임의 배치계층: 사용자가 입력한 폭방향 그리드(X) 상에 전단보강된 프레임이 놓일 수 있는 그리드를 말한다. 여기서 전단보강되지 않는 위치의 프레임은 모멘트저항골조가 놓이는 것으로 가정한다. 이를 위하여 기존의 건물의 전단보강 패턴을 분석하여, 그 종류를 분류해본 결과, 다음과 같이 크게 5가지로 분류하였다. 사용자가 입력하는 그리드수가 6×5 이고, 원하는 코어의 위치가 폭방향으로 향하는 2, 3의 X 그리드, 길이방향으로 1, 2, 3의 Y 그리드(그림2 참조) 일때 배치에는 표1(a)와 같다.

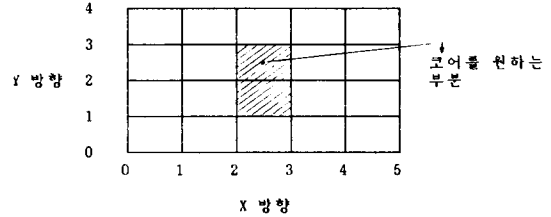


그림 2. 그리드번호

표1. 폭방향 프레임의 배치 및 구성

○ : 배치된 그리드

| 방법\그리드X | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------|---|---|---|---|---|---|
| 배치 1    | — | — | — | — | — | — |
| 배치 2    | ○ | — | — | — | — | ○ |
| 배치 3    | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 배치 4    | — | ○ | ○ | ○ | ○ | — |
| 배치 5    | — | — | ○ | ○ | — | — |

(a) 전단보강 프레임의 배치

○ : 보강스팬

| 방법\그리드Y | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-4 |
|---------|-----|-----|-----|-----|
| 구성 1    | —   | —   | —   | —   |
| 구성 2    | ○   | —   | —   | ○   |
| 구성 3    | ○   | ○   | ○   | ○   |
| 구성 4    | —   | ○   | ○   | —   |
| 구성 5    | —   | ○   | ○   | —   |

(b) 전단보강 스패구성

- 배치1(none): 폭방향 전 그리드상에 전단보강을 하지 않는다.

- 배치2(ext.): 전단보강을 건물의 외부양측으로 배치하는 것으로 사용자가 입력하는 그리드수에 따라 여러 종류가 재생된다.

- 배치3(all): 폭 방향 전 그리드를 전단보강하는 것으로 배치1의 역으로 재생된다.

- 배치4(int.): 내부측으로 전단보강을 하는 것으로 배치2의 역으로 재생된다. 단, 여기서 하나의 그리드만 전단보강되는 경우는 드물기 때문에 제거하게 된다.

- 배치5(user): 사용자가 원하는 그리드상에 전단보강을 한다.

○ 폭방향의 프레임의 스패구성계층: 프레임의 내부 스패에 대하여 전단보강위치를 나타내는 것으로 그 종류는 배치종류처럼 크게 5가지로 나누어지는데, 외부측 및 내부측 보강에 따른 스패보강크기는 길이방향의 그리드수에 좌우된다. 구성에는 표1(b)와 같다.

- 구성1(none): 전 스패를 전단보강하지 않는다.

- 구성2(ext.): 전단보강을 프레임의 외부스패인으로 하는 것으로 사용자의 그리드 입력에 따라 여러 종류가 재생된다.

- 구성3(all): 전 스패를 전단보강하는 것으로 구성1의 역으로 재생된다.

- 구성4(int.): 내부측으로 전단보강을 하는 것으로 배치2의 역으로 재생된다.

- 구성5(user): 사용자가 원하는 그리드 사이에 전단보강을 한다.

○ 길이방향의 프레임 종류계층: 폭 방향의 종류와 같다.

○ 길이방향의 프레임의 배치계층: 방법은 폭 방향과 같으며 외부, 내부측 보강의 종류는 길이 방향의 그리드 수에 따르며 그 예는 표2(a)와 같다.

표2 길이방향 프레임의 배치 및 구성

○ : 배치된 그리드

| 방법\그리드Y | 0 | 1 | 2 | 3 | 4     |
|---------|---|---|---|---|-------|
| 배치 1    | — | — | — | — | —     |
| 배치 2    | ○ | — | — | — | ○     |
| 배치 3    | ○ | ○ | ○ | ○ | ○     |
| 배치 4    | — | ○ | ○ | ○ | —     |
| 배치 5    | — | — | ○ | — | —(제거) |

(a) 전단보강 프레임의 배치

○ : 보강스팬

| 방법\그리드X | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-4 | 4-5 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 구성 1    | —   | —   | —   | —   | —   |
| 구성 2    | ○   | —   | —   | —   | ○   |
| 구성 3    | ○   | ○   | —   | ○   | ○   |
| 구성 4    | —   | ○   | ○   | ○   | —   |
| 구성 5    | —   | —   | ○   | —   | —   |

(b) 전단보강 스패ن구성

○ 길이방향의 프레임의 구성계층 : 방법은 폭방향과 같으며 스패ن보강크기는 폭방향의 그리드 수에 따르며 예는 표2(b) 와 같다.

(2) 건물후보재생

이러한 각 계층별 후보는 하나의 건물후보를 재생하기 위하여 각계층별로 하나씩 선택되어 조합되는데, 이 단계에서 다음과 같은 조합의 경우에는 후보대상에서 제거된다.

1. 설계자의 요구조건에 어긋나는 것 : 예를들면, 건물 재료의 단계에서 사용자가 원하는 재료가 제시된 경우에는 그 재료가이외의 재료로 이루어진 후보는 제거된다.

2. 공간적 조건이 합당하지 않은 것 : 프레임의 종류가 모멘트저항일 때 배치1이 아니거나 구성1이 아닌 경우, 또는 프레임의 종류가 전단보강이 된 경우에 배치1이거나 구성1인 경우, 전단보강이 된 경우(배치4)에는 프레임의 스패ن구성도 내부스팬보강(구성4)이 대부분이므로 다른방법으로 스패ن보강이 된 경우는 제거된다. 또한 사용자의 코어위치선택으로 전단보강이 될 때는 프레임의 배치

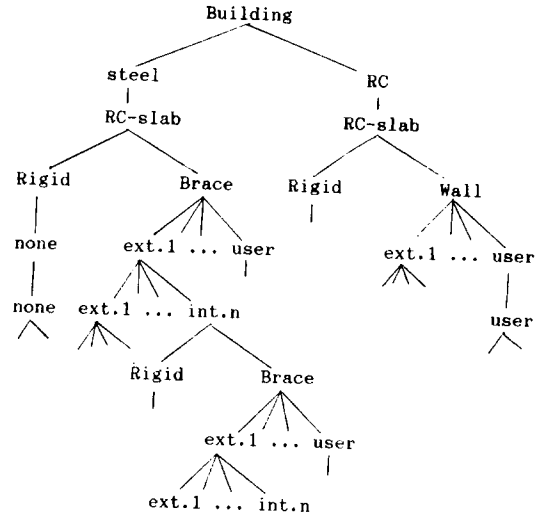


그림 3. 건물후보의 재생

및 내부스팬구성은 배치5와 구성5로만 조합되며 다른 경우로 조합된 것은 제거된다.

3. 이전의 선택과 불일치 하는 것 : 재료계층의 철골과 프레임계층의 벽체보강 프레임이 조합된 경우나, 또는 철근콘크리트와 브레이스보강 프레임이 조합된 경우는 후보대상에서 제거된다.

4. 구조적으로 합당하지 않은 것 : 전단보강되는 프레임인 경우 배치3인 경우는 드물기 때문에 후보대상에서 제거한다.

이와같은 기준으로 예상되는 건물의 후보는 그림 3 과 같다.

3.2 분석단계

분석단계의 역할은 종합단계에서 제시된 후보에 대하여 구조적 가능성을 타진해 보는 단계로서, 이를 위하여 우선 분석하려는 조건을 설정하고 이러한 조건을 만족시키려는 과정으로 설계를 진행한다.

(1) 요소그룹의 설정

구조시스템을 구성하는 각 구조요소는 그룹별로 분류되어 부재의 크기나 성질이 그룹단위로 결정되고 처리되는데, 본 연구에서는 요소의 그룹을 일정

한 층의 범위로 구분하며, 각 그룹내의 각 구조요소는 단면성질이 동일하다고 본다. 예를들면, 1층에서 4층까지가 한 그룹이면 이 범위의 모든 기둥은 그 단면의 성질이 같다고 본다. 이러한 그룹 층의 범위는 건물의 층수에 따라 조금씩 달라지는데, 본 연구에서는 다음 표3과 같이 설정하였다.

표3. 층수에 따른 그룹의 층범위

| 건물의 층수 | 그룹의 층범위 |
|--------|---------|
| 90 이상  | 8 개층    |
| 70 이상  | 7 개층    |
| 50 이상  | 6 개층    |
| 30 이상  | 5 개층    |
| 15 이상  | 4 개층    |
| 15 이하  | 3 개층    |

(2) 설계하중

건물에 작용하는 외력은 그 성질에 따라 여러가지로 분류할 수 있는데, 본 연구에서는 자중을 비롯한 고정하중, 적재하중, 보상단하중, 풍하중, 지진하중등의 종류로 구분하였다. 이를 구조물에 가하기 위해서는 고정 및 적재하중은 슬라브 요소에, 그리고 벽체하중등에 의한 보상단하중은 보 요소에 요소하중으로 설정하고, 수평하중은 건물의 층고에 따라 등분포된다고 가정하여 그 크기를 사용자가 입력하도록 하였다.

(3) 재료의 성질

재료성질에 대한 상수로는 단위하중, 탄성계수, 포아송비등을 들 수 있고, 각 부재를 설계하기 위한 허용응력은 철골일 경우에는 항복강도( $F_y$ ), 철근콘크리트인 경우에는 설계기준강도( $F_c$ )를 대상으로하여 참고문헌 10-12에 따라 계산하였다. 단, 수평하중을 고려할 경우에, 위에서 계산된 허용응력을 33% 증가시키는 사항은 하중경우의 계수로서 조절할 수 있도록 하였다.

(4) 하중경우의 수

위에서 언급한 설계하중을 건물에 실제 작용시키기 위해서는 하중경우의 수에서 해당하중의 부류에 따라 계수를 입력하여야 한다. 예를들면 중력하중만을 고려할 경우에는 고정하중, 적재하중, 보상단

하중을 고려하는 사항에 계수 1.0을 입력하여야 한다. 그러나 풍하중을 동시에 고려할 경우에는 재료의 허용응력이 33% 증가되므로 이를 감안하기 위하여 원하는 각 계수에 0.75 를 곱하여야 한다.

(5) 보-기둥의 단면 데이터 베이스

○ 철골인 경우: 건축물의 재료가 철골인 경우에는 현재 우리나라에서 생산되어 사용되고 있는 제품을 그 특성별로 정리하여 데이터 베이스화함으로써 그 제품의 고유번호만으로 단면성질을 호출하여 사용할 수 있다. 본 연구에서는 기존의 형강제품을 제품단면의 특성상 보에 많이 사용되는 부류와 기둥에 많이 사용되는 부류로 대별하여 보는 49개, 기둥은 45개의 데이터를 표4의 항목으로 파일로서 저장하여 사용자가 쉽게 이용할 수 있도록 하였다. 표4에서, No는 고유번호,  $W$ 는 단위길이 당 무게,  $D$ 는 깊이,  $B$ 는 폭,  $T_w$ 와  $T_f$ 는 웹 및 플랜지의 두께,  $A$ 는 면적,  $I_x, I_y, J_x, J_y, Z_x, Z_y$ 는  $x, y$  축에 대한 단면 2차 모멘트, 반경, 단면계수를 의미한다.

표4. 철골부재의 변수

| No | $W$ | $D$ | $B$ | $T_w$ | $T_f$ | $A$ | $I_x$ | $I_y$ | $J_x$ | $J_y$ | $Z_x$ | $Z_y$ |
|----|-----|-----|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|----|-----|-----|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

○ 철근콘크리트인 경우: 건축물의 재료가 철근콘크리트인 경우에는 크게 두가지 방법으로 설계를 진행한다. 우선, 기존의 건물에 사용된 단면을 분석하여 철골제품처럼 그 성질을 데이터 베이스로 저장하여 호출함으로써 설계를 하는 것과 데이터 베이스를 원하지 않거나 데이터 베이스내에 요구되는 단면이 없을 경우에는 일반적인 단면설계의 과정에 따른다. 본 연구에서는 사용자가 원하는 철근의 크기에 따라 그 철근을 사용한 단면의 데이터 베이스가 로딩되어 사용된다. 데이터 베이스의 구성은 기둥에 대해서는  $D19, D22, D25$  인 각각의 경우에 대하여 350개, 보에 대해서는  $D19, D22$  의 각각 250개의 단면성질이 저장되어 있다.[참고문헌 13]

(6) 조건의 형성

종합단계에서 선택되어진 건물의 형상에 대하여

구조적 가능성을 타진하기 위하여 해당후보를 구성하는 모든 부재가 재생된다. 이를 위하여 모든 후보에 대하여 슬라브, 보, 기둥요소가 재생되고, 브레이스 보강골조(Braced Frame/Frame-Sheartruss)에 대해서는 트러스 요소가, 벽체보강골조(Wall Frame/Frame-Shearwall)에 대해서는 전단벽요소가 추가로 재생된다. 해당후보의 구조적 적절성은 이러한 부재요소로 부재력을 구하고, 전도모멘트를 검토한 다음, 만족이 되면 부재의 단면산정의 가능성 여부를 검토하는 순서로 진행된다.

(7) 부재력 계산 및 전도모멘트의 검토

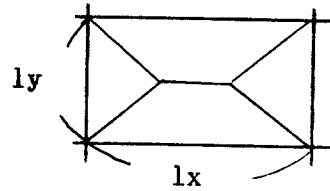
각 후보를 구성하는 부재에 대한 부재력의 계산은 수직하중에 대해서는 구조요소들의 분담면적에 의거하여 계산하고, 수평하중에 대해서는 건물의 폭 방향과 길이방향의 주된 구조시스템이 전담한다고 가정하여 각각 계산되는데, 프레임의 종류, 배치 방법 그리고 보강스팬 크기에 따라 다음과 같이 계산한다.

○ 모멘트 저항골조: 강접합된 프레임 구성요소에 대한 부재력의 계산은 수직하중과 수평하중에 대하여 다음과 같이 계산된다.

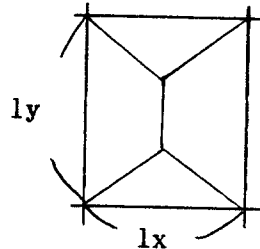
- 수직하중에 대한 해석: 수직하중에 대한 각 요소의 부재력은 다음의 순서에 의하여 구해진다. 우선 각 슬라브 요소에 대하여 두 방향 스패의 크기 비율을 감안하여 고정 및 적재하중에 대한 부재력을 구하게 되고, 모든 슬라브요소에 대하여 그 슬라브를 지탱하는 보에 슬라브의 스패크기에 따라 분담하여[그림4 참조] 부재력을 계산하여 현재의 부재력에 가산한다. 그리고 모든 보에 대한 부재력이 구해지면 보의 고정단 모멘트 및 전단력이 그 보를 지탱하는 양측기둥에 보의 방향을 고려하여 가산한다. 윗층의 기둥의 축력을 아래기둥으로 전달하기 위하여 최상층으로부터 아래층으로 기둥의 축력이 가산된다.

- 수평하중에 대한 해석: 모멘트 저항골조의 수평하중에 대한 해석은 모든 프레임이 수평력을 동일하게 분담한다고 가정하여 일반적으로 널리 이용되는 포탈방법(Portal Method)을 이용하였다.

○ 트러스보강 프레임: 이 시스템의 분석방법은 참고문헌7에 의하여 전단트러스시스템은 수직트러



(a)  $l_y > l_x$  인 경우



(b)  $l_x > l_y$  인 경우

그림4. 슬라브 하중의 보요소분담

스 구조로 처리되는데, 기둥은 트러스 구조에서 상, 하현재 역할을 하며, 트러스는 경사재 역할을 한다.

- 수직하중에 대한 해석: 모멘트 저항골조인 경우와 같으며 트러스요소는 중력하중을 받지않는다.

- 수평하중에 대한 해석: 작용되는 수평하중에 대하여 건물의 평면에 배치된 모든 전단보강스팬이 공동분담한다고 가정한다. 기둥부재력은 전단보강되는 부분의 양 끝 부분에 위치하는 기둥의 축 방향력이 전단보강부분이 받게되는 전도모멘트를 지지한다고 가정하여 전도모멘트를 스패크기(양측기둥 사이의 거리)로 나눈 값으로 계산된다. 트러스 부재력을 구하기 위해서는 전단트러스를 K 브레이싱으로 가정하고, 부재는 최하층을 대상으로 한다. 트러스의 부재력은 전단보강되는 한 스패를 기준으로 하여 다음 식1 과 같이 구한다.

$$F = \frac{H_f}{2 \sin(a) \cdot \text{span 수}} \tag{1}$$

여기서  $H_f$  는 하나의 스패보강부분이 받는 전단력이고, a 는 보와 브레이싱이 이루는 각도이고 span 수는 하나의 전단보강스팬을 이루는 배이수이다.

- 전도모멘트의 검토: 전 기둥에 대하여 고정하중에 의한 축력이 수평하중에 의해 받게되는 축력의 1.5배보다 작을 경우에는 건물의 안정성을 위반한다고 보고 후보대상에서 제거한다.

○ 벽체보강 프레임: 이 시스템의 분석은 벽체요소가 중력에 대해서는 내력벽의 역할을, 수평하중에 대해서는 전단벽의 역할을 하는 것으로 가정한다. 하나의 벽체요소의 길이는 스패보강된 전스팬 크기이다.

- 수직하중에 대한 해석: 모멘트 골조에서처럼 보, 기둥의 부재력을 구하고, 벽체가 있는 위치에 보, 기둥이 있을 경우에는 해당 보, 기둥의 요소는 제거되고 기둥의 축력이 벽체가 받는 하중으로 전달된다. 벽체이외의 부분에 위치하는 부재는 그대로 유지되어 중력에 대하여 지탱한다고 본다.

- 수평하중에 대한 해석: 각 전단벽이 수평하중을 전부지지하며, 그 크기는 공동으로 분담한다고 가정한다. 보강스팬의 총수를  $n_i$  라 하면 벽체의 전단력( $H_i$ ) 및 전도모멘트( $M_i$ )는 다음 식2 와 같이 구한다.

$$H_i = \frac{wl \cdot \text{height} \cdot \text{width}}{n_i},$$

$$M_i = \frac{wl \cdot \text{height}^2 \cdot \text{width}}{2n_i} \quad (2)$$

- 전도모멘트의 검토: 각 벽체의 요소에 대하여 자중에 의한 안정모멘트가 전도모멘트의 1.5배보다 작을 때는 후보대상에 제외된다.

(8) 단면산정

단면산정은 각 부재의 설계변수들을 정의하고 그 값을 구하는 것이다. 설계변수의 설정과 설계방법은 구조요소의 재료 및 요소종류에 따라 다르게 되는데 요소의 설계에 대한 기본적인 개념은 철골구조에 대해서는 내장된 철골부재의 데이터 베이스를 이용하고, 철근콘크리트인 경우에는 한정된 범위내에서 기존의 콘크리트 단면을 분석하여 저장한 데이터 베이스에 의한 경우와 실제 설계를 행하는 두가지 경우가 있다. 설계방법은 참고문헌 10

-12 에 의한 허용응력법에 따른다. 각 부재에 대한 개략적인 설계순서는 다음과 같다.

(8.1) 하중경우의 수 조합

수직 및 수평하중에 대한 해석의 결과를 하중의 경우의 수로 조합한다.

(8.2) 각 부재별 설계

○ 슬라브의 설계: 슬라브설계의 주된 설계변수는 단위길이(100cm)의 폭, 두께와 철근량으로 가정하여, 초기치로 두께는 슬라브의 두 방향 스패의 1/40 과 12cm중 작은 값, 철근량은 최소철근비로 계산하였다. 설계방법은 현재의 단면저항력과 각 하중경우의 부재력을 비교하여 단면저항력이 부재력보다 작으면 이 부재력에 대하여 단면설계를 수행하게 되는데, 현재의 두께를 단면초기치로 가정하고 다음 식3 과 같이 새로운 철근량을 계산하여 그 양이 최소, 최대철근비 조건을 만족시키도록 단면설계를 한다. 새로이 설계된 단면이 결과로서 선정되고 다른 하중의 경우에 대하여 설계가 계속된다.

$$a_s = \frac{M}{0.9(t-2) \cdot 0.66F_y} \quad (3)$$

○ 보의 설계: 철골보의 설계인 경우에는 설계의 주된 변수를 단면계수로 가정하며, 초기단면의 설정은 최대모멘트를 허용휨압축응력(0.66 $F_y$ ) 으로 나눈 값, 즉 요구단면계수를 구하고, 이 단면계수보다 큰 단면의 부재중에서 춤이 최소인 부재를 택하였다. 설계방법은 현재 단면저항력과 각 하중경우의 부재력을 비교하여 저항력이 현재의 부재력보다 작으면 이 부재력에 대한 요구단면계수를 새로이 계산하여 부재선택을 반복하게 된다. 철근콘크리트 보인 경우에는 데이터 베이스를 이용할 경우에는 단면저항력이 현재의 부재력보다 큰 것 중에서 최소비용을 가진 부재를 택하고, 실제설계를 할 경우에는 설계의 주된 변수를 폭, 깊이, 그리고 철근량으로 가정하고, 초기치로 깊이는 보 스패의 1/15 폭은 깊이의 1/2, 그리고 철근량은 최소철근비로 가정한다. 설계방법은 각 하중의 경우의 부재력이 현재 단면의 저항력보다 크면 현재의 폭과 깊이를 초기치로 하여 최소, 최대철근비를 만족하는 새로운 폭, 깊이, 철근량을 구하게 된다. 본 연구에



서는 폭과 깊이의 크기를 그 비율이 0.4-0.6인 범위에서 설계하였다. 깊이의 허용 최대치는 초기치의 2배이다.

○ 기둥 및 트러스의 설계: 철골기둥의 경우에는 설계의 중요한 변수를 단면적으로 보고, 초기부재를 선택하기 위하여 최대등가축하중(축력과 두방향 모멘트중 큰 값으로 계산됨)을 가정한 허용압축응력(0.375F<sub>c</sub>)으로 나눈 값, 즉 요구단면적을 계산하고, 이 단면적보다 큰 부재중에서 최소단면적을 가진 부재를 선택하였다. 설계는 각 하중의 경우에 대하여 현재 선택된 단면의 저항력(축력 및 양방향 모멘트)를 구하고 다음 식4 와 같이 그 가능성을 검토하여 위반시는 새로운 등가축하중에 의한 요구 단면적을 계산하여 부재선택을 반복한다.

$$\frac{F}{F_c} + \frac{M_x}{M_{rx}} + \frac{M_y}{M_{ry}} \leq 1 \quad (4)$$

철근콘크리트 기둥인 경우에는 데이터 베이스를 이용할 경우에는 철근콘크리트보의 설계방법과 같고, 실제설계를 할 경우에는 주된 설계변수를 폭(정사각형 기둥으로 가정)과 철근량으로 보고, 초기치로 폭을 높이의 1/10, 인접한 모든 스패중 최대 스패의 1/20에 10cm더한 것, 30cm중 최대인 것을 고르고, 여기에 지지하는 5개층마다 5cm씩 더한 값으로, 그리고 철근량은 철근비 1.0%로 가정하였다. 설계는 각 하중에 대하여 현재의 단면저항축력이 새로운 부재력의 등가축하중보다 작으면 새로운 단면설계를 수행하게 되는데, 단면의 초기치는 현재의 단면크기로 하고, 세장비에 의한 단주, 장주효과를 감안한 등가축하중으로 최소, 최대 철근비조건하에서 설계를 한다. 기둥부재의 폭의 최소치는 층고의 1/20, 최대치는 인접한 최대스패의 1/6 이다.

○ 벽의 설계: 벽체의 설계는 설계변수를 두께로 보고 초기두께는 15cm에 지지높이 3m마다 1cm씩 더한 크기와 30cm중 큰 값으로 한다. 설계는 최하층의 부재를 대상으로 현재의 부재력에 의한 응력이 허용응력범위인지를 검토하는 것으로 한다. 즉 최대축응력과 최대전단응력이 허용압축응력 및 허용전단응력범위일때는 설계가 만족된 것으로

보고, 위반시는 벽체의 두께를 5cm증가시켜 부재력을 구하는 과정부터 다시 반복된다. 두께의 최대치는 최초에 가정된 두께의 2배이다. 압축응력의 검토는 수직하중에 의한 압축응력과 수평하중에 의한 휨압축응력의 합으로 수행한다. 압축응력이 허용응력(0.4F<sub>c</sub>) 보다 작을 때 만족된다고 본다. 전단응력이 전단력을 단면적으로 나눈 값, 즉 평균전단응력의 1.5배가 허용전단응력(=1.33√F<sub>c</sub>) 보다 작을 때 만족된다.

(8.3) 부재의 그룹핑

각 요소의 부재설계시 같은 그룹내에 속하는 다른 부재의 단면저항능력이 현재부재의 모든 하중 경우의 부재력보다 크면 다른 부재의 재료성질 및 단면성질이 그대로 선택된다.

3.3 평가단계

이 단계의 목적은 가능한 후보를 평가하기 위하여 일정한 기준하에 수치적인 순위를 부여하는 것이다. 평가기준사이의 중요도를 설정하기 위하여 가중치를 사용하게 되는데 이는 사용자의 입력에 의한다. 본 연구에서는 평가함수로서는 선형함수를 이용한다. 즉,

$$E_{val} = \frac{W_i \cdot X_i}{F_i} \quad (5)$$

여기서 W<sub>i</sub>, X<sub>i</sub>, F<sub>i</sub> 는 각각 가중치, 평가인자의 평가치, 그리고 인자별 평가치 조절계수(보통, 그 인자의 최대평가치임)를 말한다. 평가인자로는 수평변위, 건설속도, 프레임의 구성에 관한 난이성, 기둥이 받는 응력의 상태, 보 춤의 크기, 코어의 만족도, 내부공간의 효율성, 기둥의 단면크기, 건설비등을 들 수 있는데, 이러한 평가요인에 대한 설명과 조절계수, 평가치를 구하는 방법은 다음과 같다. 여기서 평가치 조절계수에서 (+)는 이익을, (-)는 불리함을 나타낸다.

○ 수평변위: 이는 프레임의 수평처짐을 평가하기 위한 것으로 조절계수(-)는 최대허용 수평처짐인 건물고\*0.003 이며 평가치는 수평처짐 크기가

다. 수평처짐의 계산방법은 참고문헌 7에 의하여 다음과 같다.

-모멘트저항 프레임인 경우: 이 시스템의 처짐은 기둥과 보의 휨변형에 기초하며, 캔틸레버작용에 의한 기둥의 효과는 무시한다. 전체수평의 처짐은 전단력이 가장 큰 1층의 수평변위만을 구하고 이 값의 반을 각 층의 평균적인 수평변위로 보고, 이에 건물층수를 곱함으로써 전체처짐을 구한다. 1층의 수평처짐은 다음 식 6과 같이 계산한다.

$$Driftl = \frac{V_c \cdot s_d^2 \cdot \left( \frac{s_a}{I_c} + \frac{l}{I_b} \right)}{12E} \quad (6)$$

여기서  $V_c$ 는 외부기둥의 전단력,  $I_c, I_b$ 는 기둥, 보의 단면2차 모멘트,  $S_a$ 는 층고,  $l$ 은 스패 크기, 그리고  $E$ 는 탄성계수이다.

-브레이스 보강 프레임인 경우: 이 시스템의 수평변위는 축력에 의한 변위에 기인하며 트러스효과를 무시한다.

$$D_{rft} = \frac{2 F h_c^2}{A \cdot l \cdot E} \quad (7)$$

여기서,  $F$ 는 풍하중에 의한 1층 기둥의 축력이고,  $A$ 는 기둥의 단면적이다.

-벽체 보강 프레임인 경우: 수평처짐은 수평하중에 의한 캔틸레버처짐에 의한다.

$$D_{rft} = \frac{W_l \cdot h_c^4}{8 E I_w} \quad (8)$$

○ 건설속도: 이 요인은 건물구조의 재료에 따른 건설속도를 평가하는 것으로서 조절계수(+)는 1.0 이고, 평가치는 철골구조인 경우는 1.0, 철근콘크리트인 경우에는 0.0을 가진다.

○ 프레임의 구성난이성: 철골 모멘트저항프레임인 경우에는 강접을 위한 불리한 조건을 수반하게 되므로 이를 평가하기 위한 것으로 조절계수(-)는 양 방향의 프레임의 총수이며, 평가치는 양방향의 모멘트저항프레임 갯수를 나타낸다.

○ 기둥의 응력상태: 철골 모멘트저항프레임인 경우에 기둥이 양방향의 휨을 받게되면 불리하게 되므로 이를 감안하기 위한 것으로 조절계수(-)는 그리드상의 기둥의 총수이고, 평가치는 양방향 철골모멘트저항골조수를 곱한 값이다.

○ 보의 춤크기: 1층에서의 보의 춤크기에 따른 층고의 영향을 분석하기 위한 것으로 춤이 클수록 층고를 높이므로 불리하게 된다. 조절계수(-)는 층고 \*0.2이고, 평가치는 춤의 크기이다.

○ 코어의 유무: 프레임 전단트러스 및 전단벽인 경우에는 구조체의 전단보강이 코어주변에 사용된 경우에는 유리한 점이 있는데, 조절계수(+)는 사용자가 원하는 코어주변의 총 벽수이고, 평가치는 현 후보에 의하여 코어 주변에 배치된 벽체수를 나타낸다.

○ 내부공간의 효율성: 프레임 전단트러스 및 전단벽인 경우에 코어주변이 아닌 스패에 전단보강이 되면 내부공간이 불리하게 되는데, 조절계수(-)는 그리드상의 모든 스패의 수이고, 평가치는 코어주변을 제외한 곳에 배치된 벽체의 수이다.

○ 기둥의 단면적의 크기: 건물의 저층에서 기둥의 단면적이 클 경우에는 내부의 사용공간면적을 감소시키게 되므로 불리하게 된다. 조절계수(-)는 그리드 전체면적에 0.0025를 곱한 값이고, 평가치는 1층에서의 기둥의 총 단면적을 나타낸다.

○ 건설비: 각 프레임을 구성하는 건설비를 통계적으로 감안하기 위한 것으로 아직은 수행 불가능하다.

#### 4. 시스템의 구축

본 시스템을 구축하기 위하여 K-CLIPS [참고문헌 9]가 사용되었다. K-CLIPS는 기존의 CLIPS [참고문헌 14]를 개선하여 프레임 지식표현방법, 함수기능을 추가하였고, 기타 사용자를 위한 윈도우/메뉴기능, 그래픽스 라이브러리를 추가할 CLIPS의 새로운 버전이다. CLIPS는 NASA의 Johnson Space Center의 인공지능부서에서 기존의 LISP가 가지는 언어 및 하드웨어 문제를 해결하기 위하여 C언어로 개발한 도구로서 기본적인 구조는

기억공간, 규칙, 그리고 추론기관으로 구성된다. 기억공간은 단순한 심볼리스트로 표현된 알려진 사실이 보관되며, 규칙은 이러한 사실에 따라 조건이 합당하면 적용할 수 있도록 IF-THEN 으로 표현된다. 추론기관은 현재의 사실과 규칙을 바탕으로 하여 적용가능한 규칙을 고르고, 선택된 규칙을 적용시키는데, 본 도구에서는 전진추론전략을 이용하고 있다.

본 시스템은 현재 예비설계를 위한 80여개의 규칙과 사용자와의 메뉴인터페이스를 위한 40여개의 규칙, 그리고 철골 및 콘크리트부재의 단면데이터베이스로 구성되어 있으며, 현재 그 수행능력이 검토되고 있다. K-CLIPS 를 이용한 규칙의 구성 예를 들면 다음과 같다.

```
(defrule Steel-Beam-Design2. 1 "In Database"
  ?rem <- (Beam ?id ?dir ?Xs ?Ys ?Ye ?Ze ?Zs ?Ms ?Mc&nil
  ?Ss ?Sc FORCE ?Z&~nil ?B ?D ?As $?r1)
  (Load-Case ?no&~ID ?dl ?ll ?bl ?wl $?)
  (Steel ?Ms ???? ?Fy)
  (Beam-STL ?Sn ? ?d ?b ????? ?z&:(= ?z ?Z) ?)
  (test (or (eq ?Ss nil) (eq ?Ss ?Sn)))
  (not (Beam-STL ? ? ?dl&:(< ?dl ?d) ????? ???? ?zl&:(= ?zl ?Z) ?))
  =>
  (format t "...=> STL-beam no.%%g%n" ?Sn)
  (bind ?Mr (* ?z 0.66 ?Fy))
  (format t ": : Mresist = %d%n" ?Mr)
  (bind ?Bl (nth (+ (* (- ?no 1) 4) 1) $?r1))
  (bind ?Bc (nth (+ (* (- ?no 1) 4) 2) $?r1))
  (bind ?Br (nth (+ (* (- ?no 1) 4) 3) $?r1))
  (bind ?M (max ?Bl ?Bc ?Br))
  (if ( )= ?M ?Mr)
  then (retract ?rem)
       (bind ?Z (/ ?M 0.66 ?Fy)
        (assert (Beam ?id ?dir ?Xs ?Xe ?Ys ?Ye
          ?Zs ?Ze ?Ms ?Mc nil ?Sc FORCE ?Z ?B
          ?D ?As $?r1))
        else (if (eq ?Ss nil)
```

```
then (format t "... is selected. %n"))
(assert (Beam ?id ?dir ?Xs ?Xe ?Ys ?Ye
  ?Zs ?Ze ?Ms ?Mc ?Sn ?Sc FORCE ?z ?b
  ?d ?As $?r1))))
```

이 규칙은 철골보요소의 단면을 현재의 철골데이터베이스에서 선택하는 규칙으로서 그 의미는 다음과 같다.

IF

1. 보부재가 철골이고, 요구되는 단면계수가 알려지면,
2. 각 하중경우의 계수에 대하여,
3. 보부재의 재료성질이 알려지고
4. 철골보의 단면계수가 요구되는 단면계수보다 큰 것 중에서 더 작은 깊이를 가진 단면이 없을 때, 즉 최소깊이의 보단면에 대하여,

THEN

5. 단면의 모멘트저항력을 계산하여 출력하고,
6. 2항에서 선택된 하중경우의 보 양단과 중앙의 부재력중 최대값에 대해
7. 부재력이 저항력보다 크면, 요구단면계수를 새로이 설정하여 부재선택을 반복하고
8. 작게되면, 부재선택이 아직 되지않았을 경우에만하여 이 부재를 선택한다.

5. 결 론

본 연구에서는 건축설계의 초기단계에서 건물의 완성에 커다란 영향을 주게되는 예비설계의 분야에 대하여 추론에 의하여 결과를 도출해 내는 전문가 시스템을 적용하였다. 이러한 분야의 연구는 지금까지 최적의 구조설계라는 세부설계과정에서의 경제성, 즉 물량추정에 의한 경제성에 국한되었던 컴퓨터에 의한 설계를 구조계획이라는 전문가영역까지 확대가능하게 하였다. 이렇게 함으로서 모든 데이터가 주어진 구조물에 대하여 많은 계산과 시간의 소모로 얻게 되었던, 구조적인 경제성이외에도 구조시스템의 안정성, 시공성, 그리고 건축공간성등의 타영역 및 경험적 영역까지를 고려한 많은 후보를 고려해 봄으로서 더욱 효율적인 설계를 가능하게 하고, 또한 설계의 오류를 초기에 방지

하게 한다.

### 참 고 문 헌

1. M.L. Maher and S.J. Fenves, HI-RISE: A Knowledge-Based Expert System for the Preliminary Structural Design of High Rise Building, 1985.
2. 최창근, 김이두, "A Preliminary Model of I-BUILDS: An Intelligent Building Design System", Knowledge Based Expert System in Engineering: Planning and Design, Edited by Sriram and R.A. Adey, Computational Mechanics Publications, Aug. 1987.
3. 최창근, 김이두, "An Expert System for Analysis/Design of Building Structures", Fourth International Conference on Tall Buildings, Hong Kong & Shanghai, April/May 1988.
4. 최창근, 김이두, "건물구조의 일관된 설계를 위한 전문가시스템의 개발", 제10차 국내외 한국과학기술자 종합학술대회, 1987년 7월.
5. 김현산, 건축구조계획, 문운당.
6. Wolfgang Schueller, High-rise Building Structures, John Wiley and Sons, 1977.
7. T.Y. Lin and S.D. Stotesbury, Structural Concepts and Systems for Architects and Engineers, John Wiley and Sons, 1981.
8. Kenneth R. Lauer, Structural Engineering for Architects, Mcgraw-Hill, 1981.
9. 한국과학기술원, 인공지능을 이용한 고도의 구조해석/설계용 전문가 시스템의 개발(II), 과학기술처, 1989.
10. 건설부, 건축물의 구조기준등에 관한 규칙.
11. 대한건축학회, 강구조계산기준.
12. 대한건축학회, 철근콘크리트 구조개산기준.
13. 최창근, 박효경, 철근콘크리트 구조의 최적설계, SEMR89-04, 1989.
14. Joseph C. Giarrantano, CLIPS User's Guide, 1987.

(접수일자: 1990. 3. 30)