건물 구조 통합 구조설계 시스템의 구현을 위한 설계 객체 모델

Design Object Model for Implementation of Integrated Structural Design System for Building Structures.

천 진 호* 　　 박 연 수** 　　 이 병 해***
Cheon, Jin-Ho 　　 Park, Yeon-Soo 　　 Lee, Byung-Hai

요 지

본 논문에서는 건물 구조 통합 구조설계 시스템의 구현을 위한 설계모델인 설계 객체 모델을 제안하였다. 건물 구조에 대한 구조 설계 정보를 단계(초기구조설계, 해석, 상세설계) / 계층(시스템, 서브시스템, 콤퍼넌트)별로 분류 모델링한 후, 제시된 요구조건에 대한 세부관점별 해결방법을 고려하여 설계 객체 모델을 개발하였다. 이와 같은 방법론을 통하여 시스템 구현을 고려한 설계 객체 모델의 체계적 분석과 모델링이 가능하였다. 제시된 설계 객체 모델은 계획 설계 측면의 설계정보 표현을 통하여 효율적인 설계정보의 관리가 가능하며, 위상 설계 객체에 의한 공간상 구조부재의 인식이 용이하고, 해석 관련 설계정보를 이해하기 용이한 표현으로 관리할 수 있게 한다.

핵심용어 : 통합 구조설계 시스템, 객체지향 개념, 구조설계, 설계정보, 설계모델

Abstract

The purpose of this study is to propose the Design Object Model for implementation of an integrated structural design system for building structures. This study outlines the step-by-step development methodologies of the Design Object Model, which covers classification and modeling of the building design information. The Design Object Model has been efficiently developed through the proposed development methodologies. As a result, the Design Object Model has been proved to be efficient in design infor- mation management by representing the information from planning perspective, in recognition of structural member in space by the topology design object, and in representation of analysis design information.

Keywords : *integrated structural design system, object-oriented concepts, structural design, design information, design model*

* 정회원 · 한양대학교 건축공학과, 박사과정
** 정회원 · 전남대학교 토목공학과, 교수
*** 정회원 · 한양대학교 건축공학과, 교수

• 이 논문에 대한 토론을 2000년 6월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2000년 9월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

통합 구조 설계 시스템은 분리된 설계 작업(초기 구조설계, 해석, 상세설계) 사이의 공통된 설계정보 공유와 일관된 방법의 설계작업 수행을 위한 구조설계 지원 도구로서 그 필요성이 점차 증가되어 세계 각지의 학계와 기업 연구소에서 관련 연구가 활발히 진행되고 있다.

이와 같은 통합 구조설계 시스템 개발을 위한 선행작업으로 비정형의 특성을 가진 구조 설계정보를 정형적으로 표현할 수 있는 효율적인 설계모델 개발 방법론과 설계모델이 필요하다[1]. 그림 1에서와 같이 통합 구조설계 시스템 개발과정에서 설계모델은 비정형성의 특성을 가진 구조 설계정보를 물리적인 통합 구조설계 시스템으로 구현하는 연결작업 역할로 이해될 수 있으며 효율적인 설계모델 개발은 효율적인 통합구조설계 시스템으로 이어질 수 있다[1),2)].

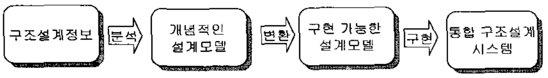

그림 1 통합 구조설계 시스템 개발과정에서의 설계모델

현재 진행중이거나 진행된 관련연구로는 통합 구조설계 시스템을 위한 설계모델 및 모델링 방법론 개발에 관한 연구[1)~5)] 가 있으며, 구체적인 모델 개발 사례로는 철골 건설 전 분야에 대한 데이터 교환을 목적으로 진행된 CIMSTEEL[6)] 프로젝트의 CIS/2모델[7)], 상이한 시스템간의 건물 모델 데이터 교환을 위한 IAI의 IFC 모델[8)], 그리고 ISO를 중심으로 프로덕트 모델에 대한 국체 표준인 STEP[9)]들이 각각 개발 진행 중에 있다. 이와 같은 모델 연구들은 아직 개념 단계[1)~5)]에 머물러 있거나, 특정 분야를 중심으로 제품 데이터 교환을 목적[6)~9)]으로 진행되고 있어, 본 연구의 목적인 구조설계 각 단계(초기 구조설계, 해석, 상세설계)사이의 유기적인 설계정보 표현과 통합적인 의미의 설계작업 지원을 수행하기에는 부분적으로 미흡하였다. 이에 본 연구에서 이러한 특성을 지원할 수 있는 제한된 범위의 건물 구조에 국한된 통합 구조설계 시스템(Integrated Structural Design System)의 구현을 목적으로, 구조 설계 정보를 표현할 수 있는 설계모델 중 객체 모델(Object Model)에 해당하는 설계 객체 모델(Design Object Model)의 개발을 수행하였다.

구조 설계 정보와 같은 비정형적이고 상관관계가 복잡한 정보구조를 효율적으로 표현할 수 있는 객체 지향 개념에 기반을 두고 본 연구를 수행하였다. 즉, 통합 구조설계 시스템의 구현을 위하여 객체지향 개념에 기반을 두고, 구조설계 정보에 대한 구조적 관점을 고려한 정보분석 및 모델링 방법으로 설계 객체 모델을 개발하였다.

제안된 설계 객체 모델은 보, 기둥, 슬래브, 전단벽 및 기초로 구성된 격자형 평면의 제한된 철근 콘크리트 건물을 대상으로 하는 구조설계를 그 범위로 하며, 초기 구조 설계, 해석, 그리고 상세설계의 설계단계을 지원하고 있다. 특히 본 모델은 계획 설계 단계에서 다루는 건물 구조 정보(보, 기둥, 슬래브, 벽체, 마감재료, 및 공간용도 등)를 통하여 일정수준의 구조설계 작업(유한요소 모델 생성, 하중 산정, 단면 가정 등)을 시스템 내에서 자동으로 처리함으로서 다년간의 전문지식이 없는 사용자도 일정 수준의 구조 설계 작업을 수행할 있는 원형(Prototype)의 통합 구조설계 시스템 개발 연구의 일부분으로 진행되었다.

본 연구에서 사용된 객체지향 개념 및 표기법은 1992년에 발표된 객체 지향적 문제 분석법인 James Rumbaugh 등의 OMT(Object Modeling Technique)[10)]를 사용하였다. OMT는 OMG(Object Management Group)에서 1997년 표준 객체 지향 모델링 방법론으로 채택한 UML(Unified Modeling Language)[11)] 모델과 더불어 시스템 구현단계까지 지원할 수 있는 모델링 방법론으로, 본 연구에서 사용된 범위의 표기법에서는 OMT의 객체 모델 표기법과 UML 표기법 사이의 차이가 거의 없으며, 오히려 UML에 비해 관계(Relationships) 표현에 있어 OMT 표기법이 직관적 이해가 용이하여 본 연구에서 제안된 설계 객체 모델 표기법에 사용되었다.

2. 설계 객체 모델 개발

설계 객체 모델의 역할 중 하나는 통합 구조설계 시스템의 구현에 적합한 설계 정보 구조의 제공이다. 이러한 관점에서 1장에서 정의된 통합 구조설계 시스템의 구현을 위한 설계 객체 모델은 다음과 같은 구조 및 기능이 요구된다.

① 비정형적이고 상호 복합적인 설계정보에 대한 정형적 표현
② 설계정보의 효율적 사용을 고려한 설계정보 표현
③ 구조요소 상호간의 공간상 위치 인식작업
④ 구조해석 정보에 대한 체계적 관리

본 논문에서는 이와 같은 요구사항을 통합 구조설계 시스템의 구현을 위한 설계 객체 모델 개발의 해결문제로 정의하였다. 즉, 효율적인 통합 구조설계 시스템을 개발하기 위해서는 설계정보를 정형적으로 표현할 수 있는 설계모델이 필요하며 앞에서 언급한 요구사항에 대한 해결방법으로 본 연구에서는 구조적인 관점에서 단계 / 계층 별로 설계정보를 먼저 분류, 모델링한 후, 시스템 구현을 고려한 세 가지 세부관점을 적용하여 설계 객체 모델로 구체화시켰다. 즉, 다음과 같은 모델 개발 과정을 거쳐 설계 객체 모델을 개발하였다.

① 단계(초기구조설계, 해석, 상세설계) / 계층(시스템, 서브시스템, 콤퍼넌트)별로 설계정보 분류 및 일차 모델링 수행
② 세부관점에 따른 구체적 모델링 수행

3. 모델링 방법론 및 설계 객체 모델

설계 객체 모델의 최종 목적은 통합 구조설계 시스템으로의 구현이다. 제안된 설계 객체 모델은 시스템 구현을 고려하여 건물구조 정보 자체의 구조적 관점을 중심으로 모델링되었으며, 본 모델은 시스템 구현에 직접 적용되기 위하여 시스템 개발 환경 및 사용자 운영 환경과 같은 구현 관점을 고려하여 구현 가능한 설계 객체 모델로 변환된다(그림 2). 본 논문에서는 전 단계인 구조적 관점 중심의 설계 객체 모델 개발을 중심으로 기술하였다.

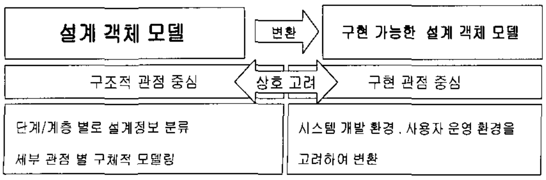

그림 2 설계 객체 모델 개발 과정

3.1 단계 / 계층별 설계정보 분류

비정형의 구조와 상호 복합적인 관계를 가진 설계정보에 대한 분석 및 분리작업이 필요하다. 즉, 어떠한 기준에 의해 복합적인 설계정보를 최하위 요소까지 분리하여 그 정보의 의미를 파악할 필요가 있다. 이러한 작업은 설계정보의 정형적 분류를 위한 기준을 설정한 후, 구조 설계 작업 사이클을 따라가면서 발생되는 설계정보와 작업을 분석함으로서 수행될 수 있다.

통합 구조설계 시스템 개발시 고려해야하는 중요요소 중 하나는 구조 설계작업의 주요 단계인 초기구조설계, 해석, 상세설계 사이의 데이터의 공유를 들 수 있다. 따라서 세 단계에서 사용되는 설계정보를 중복성 없이 각 단계에서 효율적으로 사용할 수 있는 정보 구조를 갖추어야 한다. 이러한 이유로 먼저 설계정보를 세 단계인 초기구조설계 단계, 해석단계, 상세설계 단계로 분류하였다. 또한 구조 설계의 주 대상이 되는 정보는 건물 구조의 형상과 관련되며, 이에 건물 구조의 구성을 세 계층으로 분리하여 관리됨이 효율적이다. 즉, 건물의 구조시스템 전체를 대표하는 시스템 계층, 층이나 이차원 프레임과 같은 부분 구조시스템을 형상화하는 서브 시스템 계층, 이러한 서브시스템을 구성하는, 개별 부재들의 정보를 나타내는 콤퍼넌트 계층으로 나뉘어질 수 있다. 이와 같이 분류된 시스템 계층, 서브시스템 계층, 콤퍼넌트 계층으로 설계정보를 분류하여 정형화한다.

그림 3과 같이 단계 / 계층별 설계정보 분류는 구조 설계 작업 수행시 사용되는 설계정보의 구성을 하향식(계층)과 상호연관(단계)으로 파악하는 방법

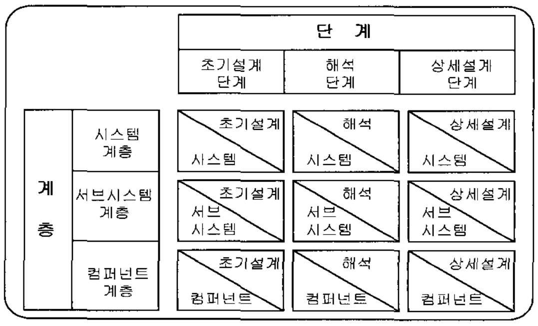

그림 3 단계 / 계층별 설계정보 분류

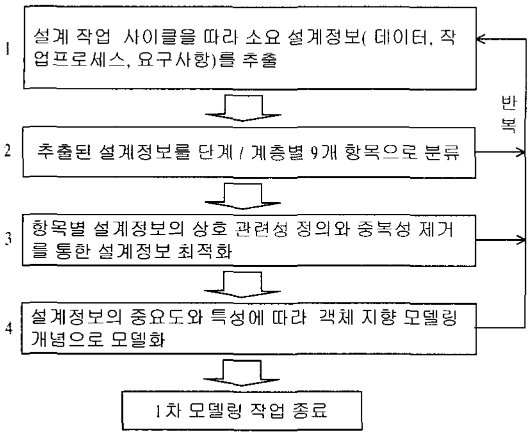

그림 4 단계 / 계층별 설계정보 분류, 모델링 과정

이다. 계층적 분류는 실무 구조 설계시 구조요소를 다루는 자연스러운 방법이며, 단계별 분류는 구조정보를 설계 단계별로 분류하여 설계정보에 대한 단계별 상호 연관성을 파악할 수 있게 한다.

그림 4와 같은 네 가지 모델링 과정을 따라 단계 / 계층별로 비정형 설계정보를 분류, 모델링하여 일차적으로 모델을 완성한다. 모델링 과정 1에서는 실무 설계 작업의 사이클을 따라 소요되는 설계정보를 추출한다. 추출된 설계정보에는 정적인 설계 정보 데이터, 작업 프로세스 및 구조 설계 요구조건들이 포함될 수 있다. 이와 같이 추출된 설계정보 중 설계 정보 데이터를 중심으로 모델링 과정 2 에서 그림 3과 같이 단계 / 계층별로 분류를 수행한다. 최대한 최소 단위의 설계정보까지 반복적으로 분해하고 분류하여 그 의미를 정형화한다. 모델링 과정 2에서 생성된 분류 설계정보는 각 단계별, 계층별로 중복 정보를 포함하고 있으므로 모델링 과정 3에서 이러한 설계 정보의 중복성을 제거하면서 각 단계 / 계층별 중복성이 발생되는 설계정보에 대한 상호 관계를 맺어준다. 모델링 과정 3 에서 정리된 설계정보를 모델링 과정 4에서는 객체 지향 기반의 모델링 개념을 사용하여 설계작업 프로세스에 적합한지 검증하며, 일차 설계 객체 모델링 작업을 완성한다. 한편 모델링 과정 1에서 추출한 설계 요구조건은 제약조건(Constraint)을 통하여 모델링되며 추후 논문에서 언급하기로 하겠다.

이와 같이 설계정보를 단계 / 계층별 구조의 설계 객체 모델로 일차 모델링 한 후, 시스템 구현을 고려하여 제시된 세부 관점에 따라 보다 구체적인 구조의 설계 객체 모델로 모델링된다.

3.2 세부 관점에 따른 설계 객체 모델

시스템 구현을 고려한 다음과 같은 세부관점을 도입하여 설계 객체 모델에 대한 구체적 모델링을 수행하였다.

① 계획 설계 측면에서의 설계정보 표현
② 위상(Topology)모델을 통한 구조부재 인식
③ 객체 지향적 해석 정보 표현

3.2.1 계획 설계 측면에서의 설계정보 표현

설계정보가 점차 복잡화 다양화됨에 따라 통합 구조설계 시스템에서 설계정보 관리의 효율성에 대한 요구가 점차 증가하고 있다. 즉, 설계정보의 관리 면에서 경제적이고 관리하기에 효율적인 방법론에 대한 필요성이 요구되고 있다. 이는 계획 설계 측면에서의 설계정보 표현으로 그 해결책을 모색할 수 있다.

통합 구조설계 시스템을 이용한 구조 설계 작업에서, 초기구조설계 단계에서는 건물 구조를 형성하고 있는 기둥, 보, 슬래브와 같은 구조부재와 그의 배치, 부재의 단면 크기, 그리고 공간용도와 마감재료 등이 결정된다. 이와 같은 건물 구조 전반의 설계정보를 구성하면 해석을 위한 해석 요소 결정 및 마감재와 공간용도에 따른 자동 하중산정 등이 그 후속작업으로 처리되어 진다. 통합 구조설계 시스템에서는 초기구조설계 단계에서 결정된 계획 설계 측면의 설계정보를 해석 단계에서 요구하는 설계정보로 자연스럽게 연계시켜주는 방법론이 요구된다. 본 연구에서 제안된 설계 객체 모델에서는 이러한 기능을 지원할 수 있는 설계모델이 될 수 있도록 계획설계 측면에서 다루는 설계정보를 해석, 상세설계 단계에서 요구하는 설계정보로 자연스럽게 연계시켜주거나 생성할 수 있는 구조로 모델링되었다. 즉, 다음과 같은 해결 방법을 통하여 이러한 요구를 만족시킬 수 있다.

- 플레이트(Plate) 단위의 설계정보 관리
- 실용도 정의와 마감 결정에 의한 하중 산정
- 그리드(Grid)를 통한 건물 구조의 형상 배치

1) 플레이트 단위의 설계정보 관리

일반적인 구조 설계 실무 과정이 대부분 층별로 이루어지며, 이에 구조 설계 실무 과정들을 효율적이고 자연스럽게 뒷받침해주는 통합 구조설계 시스템을 개발하기 위해서는 층별 모델링 기법이 요구된다[12]. 본 연구에서는 이러한 기본 원칙에 입각하여 플레이트를 기본단위로 층을 구성하고 건물 구조 정보 및 그 하중 정보를 다룰 수 있게 하였다. 즉, 그림 5와 같이 네 개의 기둥사이 평면 공간을 하나의 플레이트(PLATE 설계 객체)로 모델링하고 이것의 집합을 층(STORY 설계 객체)으로 보았다. 하나의 플레이트 공간에는 구조 요소로 거더, 보, 슬래브, 기둥, 전단벽 등과 비 구조요소로 마감, 공간용도, 그리고 칸막이벽 등이 배치될 수 있다. 여기서 슬래브와 플레이트 차이는 슬래브는 구조적 요소 즉, 하중을 견디는 요소이며 플레이트는 단위 공간적 개념으로 구조적 요소와 비구조적 요소의 공간배치 관계를 맺는데 관련된 설계 객체이다. 그림 6은 이러한 관리가 가능하도록 모델링된 설계 객체 모델을 보여주고 있다.

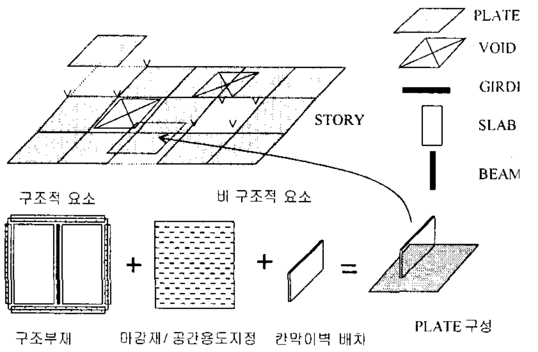

그림 5 플레이트 단위의 설계정보 관리

그림 6에서 추상적인 구조설계 정보의 틀을 의미하는 객체(Object)는 사각형으로 표기되며, 그 내부에 객체 이름을 포함한다. 또한 분할선을 사용하여 속성(Attribute), 그리고 본 논문에서는 포함되지 않은 제약조건(Constraint) 관련 내용을 삽입할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 객체를 '설계 객체'란 용어를 사용한다. 객체 사이의 관계성을 의미하는 관계(Relationship) 모델링 표기법은 그림 7과 같다. 이하 본문에서 전체 영문 대문자 단어는

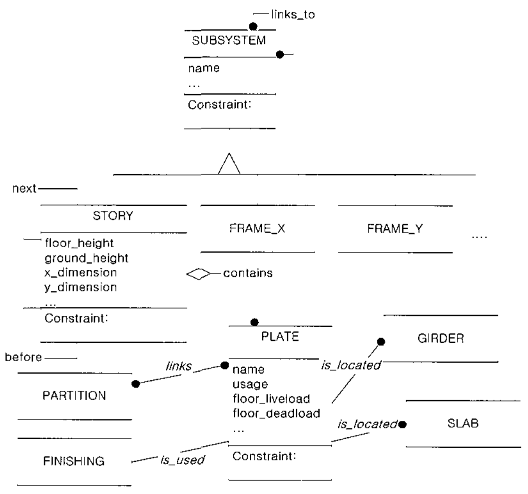

그림 6 PLATE 관련 설계 객체 모델

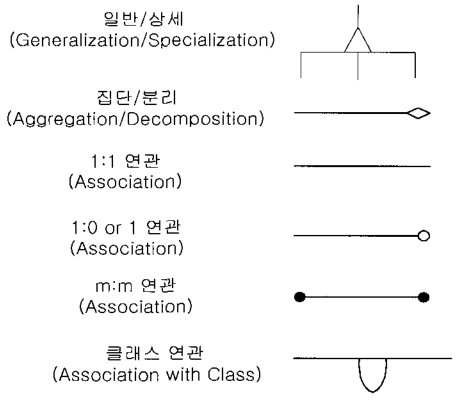

그림 7 관계(Relationship) 모델링 표기법

객체 이름을, 전체 영문 소문자 단어는 속성 이름을 나타낸다.

2) 실용도 정의와 마감 결정에 의한 하중 산정

통합 구조설계 시스템에서 하중 관련 설계정보를 다루는데 있어서 절점 하중, 등분포 하중과 같은 해석관점에서의 설계정보 표현보다는 계획 설계 측면에서의 하중 표현 및 관리를 수행할 수 있는 기능을 제공해 주어야 한다. 즉, 기둥, 보, 슬래브가 존재하고 그 위에 공간용도와 마감이 설정되면 자동적으로 그 공간을 받치는 구조적 요소에 고정하중과 적재하중이 적절히 배치되는 과정을 표현할 수 있어야 한

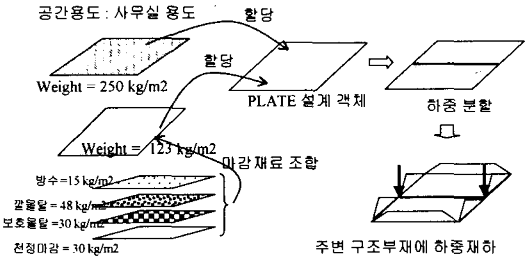

그림 8 실용도 정의와 마감 결정에 의한 하중 산정

다. 본 연구에서 제안한 설계 객체 모델에서는 플레이트라는 공간 요소를 기본 단위로 하여 다양한 계획 설계 측면의 설계정보를 첨가함으로서 자동적으로 하중 배치가 가능하도록 구성되어 있다. 그림 8에서와 같이 임의 플레이트 공간의 공간용도가 사무실 용도이고 바닥 마감이 그림 8과 같은 경우 공간 용도 설정에 의한 평면 하중 250kg/m^{2}과 마감 하중 설정에 의한 평면 하중 123kg/m^2 이 각각 적재하중과 공간하중으로 플레이트 단위 공간 평면에 할당되어 그 공간을 구성하는 구조 부재에 등분포하중과 집중하중으로 적절히 환산되어 재하된다.

그림 6에서 PLATE 설계 객체는 마감을 표현하는 FINISHING 설계 객체와 연관되며, 공간용도는 기본 속성인 usage를 통하여 관리된다. 이러한 PLATE 설계 객체는 층을 나타내는 서브시스템인 STORY 설계 객체에 집단/분리 관계로서 종속적인 관계 의미를 표현한다. 그림 9와 같이, 바닥과 천장 마감을 결정하는데 있어서 여러 마감재료를 표현하는 FINISHING_ MATERIAL 설계 객체와 이의 조합에 의해 마감을 결정한 후 PLATE 설계 객체에 바닥과 천장마감을 FINISHING 설계객체를 통하여 할당할 수 있다.

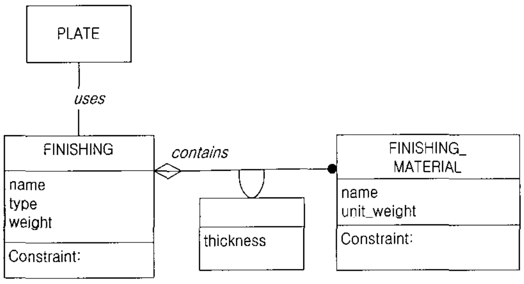

그림 9 마감관련 설계 객체 모델

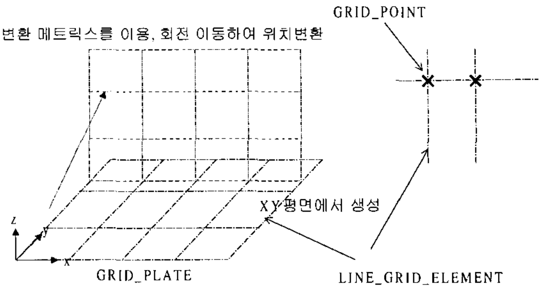

그림 10 그리드 배치를 통한 공간 좌표 설정

3) 그리드(Grid)를 통한 건물 구조의 형상 배치

그리드는 구조 부재와 같은 설계정보를 공간상에 배치할 때 좌표의 기준이 된다. 각 구조 부재를 좌표값으로 입력하는 것보다 미리 좌표 모듈을 공간상에 설정하여 두고 그리드 좌표 모듈에 구조 부재를 할당하여 구조 부재의 위치를 결정하는 기존의 통합 구조 설계 시스템에서 자주 사용되는 방식이다. 본 연구에서 그리드에 대해 제한 된 방식은 그림 10과 같이 그리드판(GRID_PLATE 설계 객체)을 먼저 X-Y 평면에서 형성하고, 그리드판의 좌표 변환 매트릭스를 통하여 공간상 임의 위치로 이동하는 방식이다. 그리드판은 그리드 선(LINE_GRID_ELEMENT 설계 객체)과 그리드 점(GRID_POINT)으로 구성되어 있다. 그리드 선의 교차 부분에는 그리드 점이 존재하며, 구조 부재 등은 그리드 점을 통하여 공간상의 위치를 설정한다. 그림 11은 이와 같은 의미의 설계 객체 모델이다.

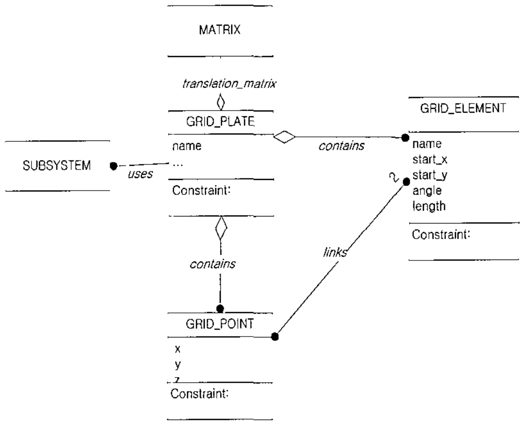

그림 11 그리드 관련 설계 객체 모델

3.2.2 위상(Topology) 모델을 통한 구조 부재 인식

구조 설계는 도면을 통하여 설계정보를 수치적으로 변환하고, 변환 된 수치를 계산하여 최종 결과물을 얻게 된다. 구조 설계에 있어서 설계 도면의 형상 인식은 매우 중요한 부분으로 인간에 있어서는 자연스러운 인식 기능이지만 컴퓨터 시스템 내에서는 많은 연구가 필요한 분야이다.

본 연구에서 정의한 통합 구조설계 시스템 개발에 있어서 설계정보를 단순히 구조 해석과 부재 단면 결정을 위한 절점, 부재, 단면 성질, 해석요소 등의 수학적 모델 정보만으로 구성하기에는 부족한 점이 있다. 즉, 하중 자동 산정과 같은 기능을 구현하기 위해서는 공간상 구조 부재 및 부재 상호간의 위치관계를 인식할 수 있는 정보가 필요하다. 이러한 정보 관련 모델을 위상(Topology)모델이라 한다.

구조 설계 작업은 구조 부재의 위상 정보, 부재 속성 정보, 하중 정보 사이의 탐색을 통한 인식문제(예: 하나의 보 단면 가정시 주변 접합 보와 슬래브, 공간용도, 하중, 그리고 이들의 속성치 등을 설계 객체 모델을 통하여 탐색해야 한다.)등이 다수 포함되어 있어 인식작업에 대한 효율성은 통합 구조설계 시스템 개발시에 매우 중요하며 이를 고려하여 설계 객체의 결정과 그 관계를 표현해야 한다. 건물 구조의 특성상 2차원까지의 위상 요소로서, 부재 상호간의 위상정보 표현이 가능하다. 이에, 그림 12와 같이 제안된 설계 객체 모델에서는 VERTEX, EDGE, LOOP, 그리고 FACE 설계 객체로 이러한 위상정보 관련 모델을 구성하였다.

그림 12와 같이 구조 부재 인식 관련 설계 객체들은 크게 세 가지 부분으로 나뉘어진다. 즉, 공간상에 존재하는 구조부재 상호간의 위상학적 연결관계를 나타내는 위상-설계 객체 모델 부분, 구조부재 자체의 정보를 표현하는 구조부재-설계 객체 모델 부분, 그리고 구조부재의 시각적 표현을 위한 기하-설계 객체 모델 부분으로 나뉘어진다. 위상-설계 객체 모델 부분은 위상 정보를 표현하여 공간상의 부재 배치를 인식하며, 이와 연결된 구조 부재-설계 객체 모델부분은 구조적 설계정보를 표현 관리한다. 한편 구조 부재 관련 설계 객체에 연관되어 있는 기하-설계 객체 모델 부분은 이러한 구조 부재의 그래픽적 처리를 위한 시각 요소로서 사용된다.

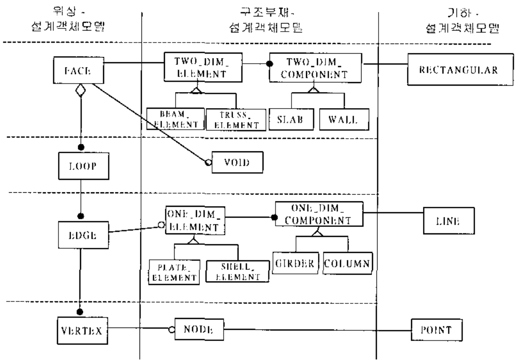

그림 12 위상 설계 객체와 구조 부재 관련 설계 객체와의 관계

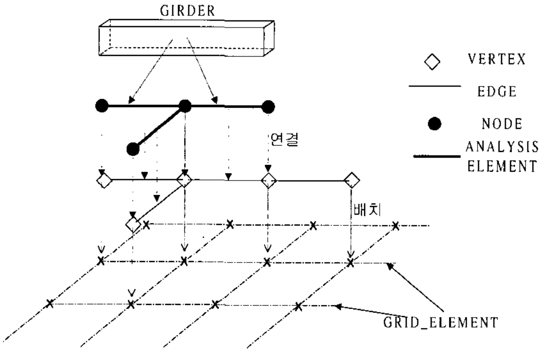

그림 13 위상 모델을 통한 구조부재 배치

그림 13과 같이 일차원 콤퍼넌트 즉, 선형 구조 부재인 거더는 해석요소인 일차원 보 요소에 연결되고 해석 요소는 각각 위상-설계 객체 모델의 성분인 VERTEX와 EDGE 설계 객체에 연결되어 그 공간상 위치를 설정한다. 한편 위상 설계 객체의 배치는 그리드판을 통하여 초기 배치된다. 이와 같은 구조의 위상관련 설계 객체 모델은 그림 14와 같이 구성된다. 하나의 평면을 표현하는 Face(FACE 설계 객체)는 한 개 이상의 Loop(LOOP 설계 객체)를 포함하며, Edge(EDGE 설계 객체)는 Loop를 이루는 개별요소로서 선형 해석 요소인 ONE_DIM_ELEMENT 설계 객체에 연결되거나 아니면 독자적으로 존재한다. Vertex(VERTEX 설계 객체)는 Edge(EDGE 설계 객체)의 공간상 위치를 나타내는 요소로서 구조 부재-설계 객체 모델 부분의 절점

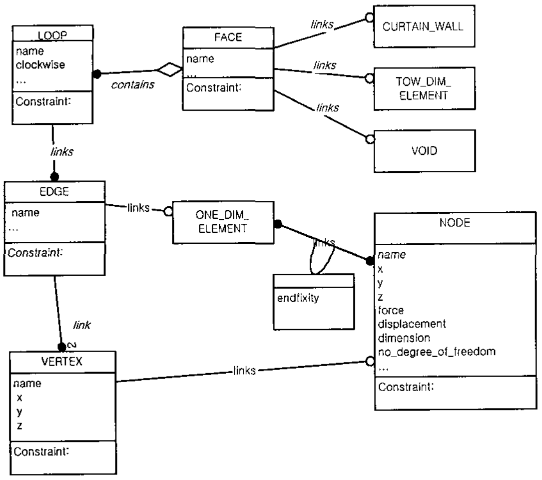

그림 14 위상정보 관련 설계 객체 모델

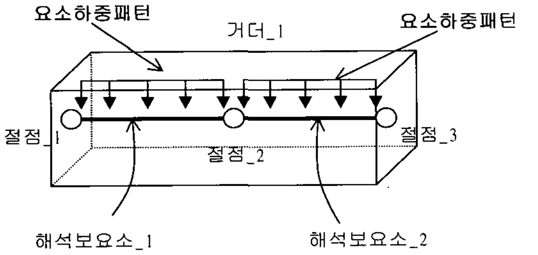

그림 15 일차원 구조 부재, 일차원 해석 요소, 하중패턴의 관계

(NODE 설계 객체)이거나 독자적으로 존재할 수 있다. 이러한 기본 구조를 가진 위상 설계 객체 모델을 이용한 형상인식은 많은 경로를 탐색하는 성질이 있다.

3.2.3 객체 지향적 해석 설계정보 표현

구조부재, 해석요소, 하중요소에 대한 설계정보를 체계적으로 관리할 필요가 있다. 즉, 실무 구조설계 작업의 대상이 되는 이러한 설계정보를 효율적으로 표현 관리하는 방법론이 모색되어야 한다. 해석 단계에서 처리하는 설계정보는 그 용량이 크고 수치적 표현으로 인하여 상세설계 단계에서의 설계정보로 활용하기에 상당한 물적, 시간적 비용을 요구하고 있다. 이러한 해석관련 설계정보를 모듈 구조의 객체 지향적 표현법을 사용함으로서 구조 설계자가 이해하기 용이한 구조로 표현될 수 있다.

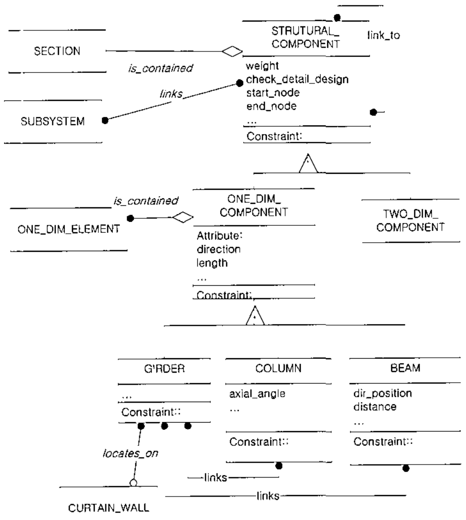

그림 16 ONE_DIM_COMPONENT 관련 설계 객체 모델

이와 같은 문제점을 고려하여 제시된 설계 객체 모델에서는 다음과 같은 항목을 기준으로 모델링 되었다.

- 구조 부재와 해석 요소를 복합적으로 표현
- 하중 패턴에 의한 하중 관리
- 부재 단면 해석결과의 효율적 표현

1) 구조 부재와 해석 요소를 복합적으로 표현

그림 15는 일차원 구조 부재(ONE_DIM_COMPONENT 설계 객체)의 하위 설계 객체인 거더(GIRDER 설계 객체)와 일차원 해석 요소(ONE_DIM_ELEMENT 설계 객체)의 하위 설계 객체인 해석 보 요소(BEAM_ELEMENT 설계 객체) 및 요소 하중 패턴(ELEMENT_LOAD_PATTERN 설계 객체)사이의 관계를 보여주고 있다. 하나의 구조 부재 거더_1은 두 개의 해석 보요소_1, 해석 보요소_2로 구성되며, 등분포 하중을 표현하는 요소 하중 패턴은 해석 보 요소에 할당된다. 이와 같이 구조부재 관련 정보와 해석 요소 관련정보 및 재하되는 하중패턴을 적절히 복합적으로 모듈화 한 후 상호 연관관계를 통하여 표현, 처리함으로서 관리의 효율성을 얻을 수 있다. 그림 16은 일차원 콤퍼넌트인 구조 부재와 일차원 해석 요소 사이의 이러한 관계를 고려하여 모델링한 설계 객체 모델의 일부이다.

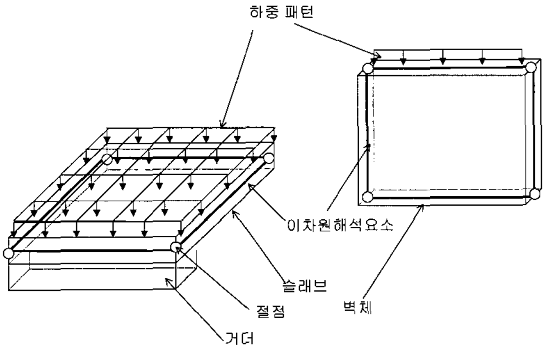

그림 17 이차원 구조부재 이차원 해석요소 및 하중패턴의 관계

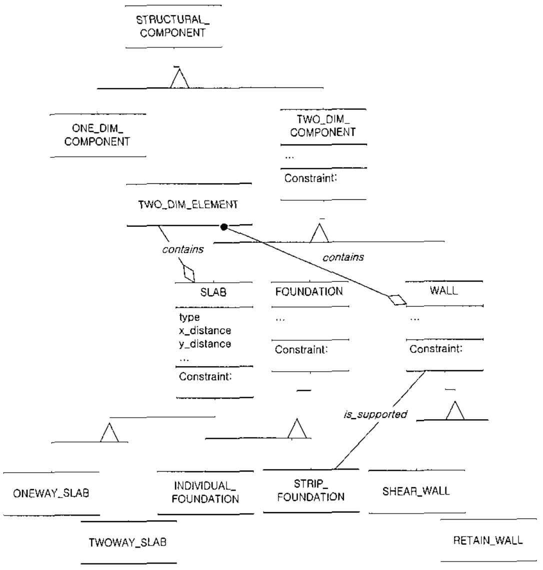

그림18 TWO_DIM_COMPONENT 관련 설계 객체 모델

그림 17은 슬래브, 벽체와 같은 이차원 콤포넌트(TWO_DIM_COMPONENT 설계 객체)인 구조 부재와 구조부재에 속하는 해석요소인 이차원 해석요소(TWO_DIM_ELEMENT 설계 객체) 및 재하되는 하중패턴 사이의 관계를 보여주고 있다. 그림 18은 이러한 관계의 슬래브, 기초, 벽체와 같은 이차원 구조부재와 이차원 해석요소와의 관계를 고려하여 모델링한 설계 객체 모델의 일부이다.

그림 19는 해석요소에 관련된 설계 객체 모델의 일부이다. 선형 해석 요소로는 현재 트러스 해석요소(TRUSS_ELEMENT 설계 객체)와 보 해석요소(BEAM_ELEMENT 설계 객체)가 포함되어 있다. 구조적 콤퍼넌트 설계 객체인 GIRDER, COLUMN 설계 객체들은 초기구조설계와 상세설계 단계에서 주로 처리되는 설계객체이며 해석단계에서는 ELEMENT 설계 객체를 중심으로 처리되어 유한요소 해석이 수행된다. ELEMENT 설계객체는 매트릭스(MATRIX 설계 객체)를 통하여 부재 강성 매트릭스를 형성하며 해석시 SYSTEM 단계의 설계 객체에 조합되어 전체 강성 매트릭스를 형성한다.

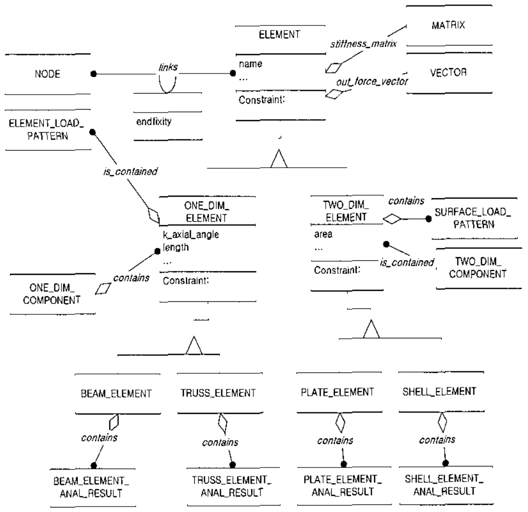

그림 19 ELEMENT 관련 설계 객체 모델

2) 하중 패턴에 의한 하중 관리

설계 객체 모델에서는 하중을 두 가지로 분류하였다. 즉, 집중하중(CONCENTRATED _LOAD 설계 객체), 분포하중(DISTRIBUTED_LOAD 설계 객체), 바닥하중(FLOOR_LOAD 설계 객체)과 같은 단위하중을 표현하는 설계 객체군(LOAD 설계 객체와 그 하위 설계 객체), 이러한 단위하중을 조합하여 복합적인 하중패턴으로 구성한 요소 하중 패턴(ELEMENT_LOAD_PATTERN 설계 객체), 절점 하중 패턴(JOINT_LOAD_PATTERN 설계 객체), 면하중 패턴(SURFACE_LOAD_PATTERN 설계 객체)과 같은 하중 패턴 설계 객체군(LOAD_PATTERN 설계 객체와 그 하위 설계 객체)으로 구성된다. 각각의 하중패턴들은 해석 요소에 관련되

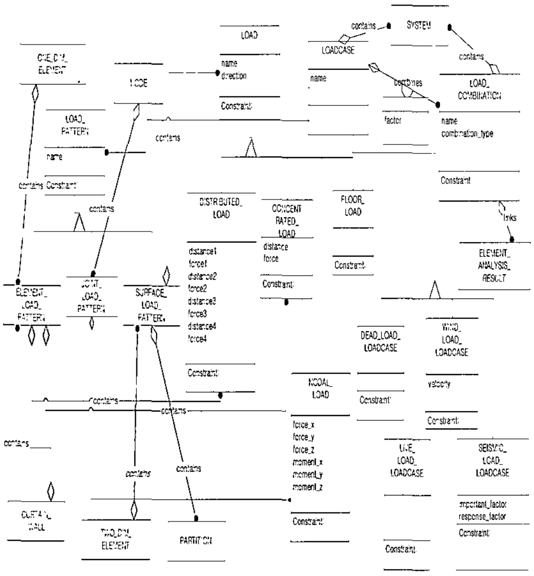

그림 20 하중 관련 설계 객체 모델

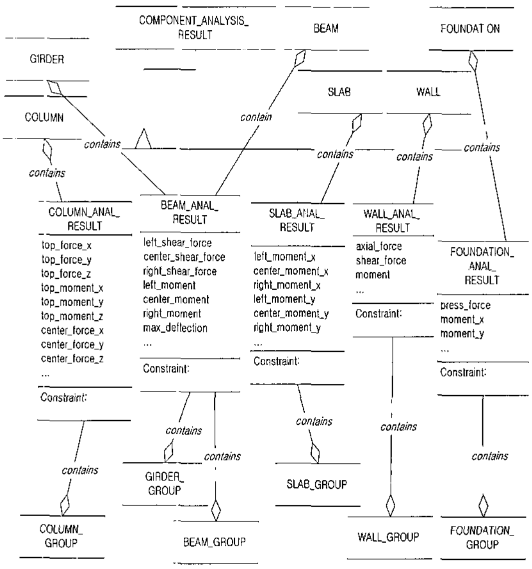

그림 21 부재 응력 관련 설계 객체 모델

어 외력으로 작용한다. 그림 20은 이러한 관계의 하중관련 설계 객체 모델을 보여준다. 한편 LOAD-CASE 설계 객체는 그 하위 설계 객체로서 고정하중 정보를 관리하는 DEAD_LOAD_LOADCASE, 적재하중 정보를 관리하는 LIVE_LOAD_LOADCASE, 풍하중 정보를 관리하는 WIND_LOAD_LOADCASE, 지진하중 정보를 관리하는 SEISMIC_LOAD_CASE 설계객체로 상세화(Specialization)된다. 이러한 LOAD-CASE 설계 정보들은 각 LOAD_PATTERN 설계 객체에 연결되어 하중의 종류를 분류한다. 한편 LOAD_CASE 설계 객체는 LOAD_ COMBINATION 설계 객체에 의해 하중 조합된다. 하중조합 정보는 각 요소의 해석 결과값에 연결되며 또한 구조 시스템에 포함 관리된다.

3) 해석과 상세설계 정보 관리

상세설계 단계에서, 구조해석 후 생성된 해석요소의 해석 결과값 중에서 필요한 부재 응력값을 추출하는 과정은 상당한 시간과 노력이 요구되는 작업이다. 통합 구조설계 시스템의 기능 중 이러한 작업은 설계 자동화를 위한 필수적인 기능으로 이해되고 있다. 이러한 작업에 대한 설계 정보 및 그 결과의 표현이 가능하도록 설계 객체 모델을 구성하였다. 그림 21은 구조부재의 응력 관련 설계 객체 모델의 일부를 보여주고 있다.

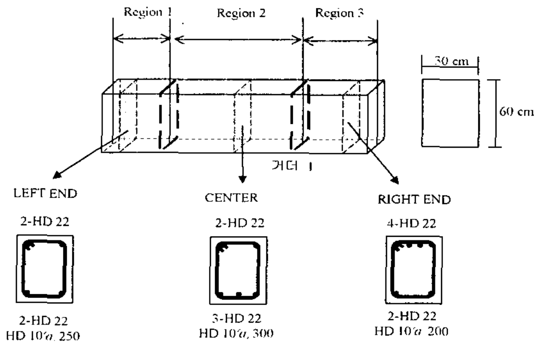

그림 22 거더 부재의 단면 배근 상세

구조부재의 단면은 구조부재 자체의 설계정보와 분리, 표현되어야 한다. 그림 22와 같은 거더_1의 단면사항을 표현한다고 생각하여보자. 먼저 거더단면의 크기를 나타내는 단면폭과 높이가 있고 철근배근을 고려하여 거더 길이방향을 따라 세 가지 부분으로 나뉘어진다. 거더 좌측 단면 배근상태를 표현하는 Region 1 부분, 가운데 단면 배근 상태를 표현하는 Region 2 부분, 그리고 우측 단면 배근 상태를 표현하는 Region 3부분으로 나뉘어 표현된다. 이와 같이 구조부재의 단면 및 철근 배근 상세는 그림 23의 설계 객체 모델을 통하여 표현 관리되어 진다. 구

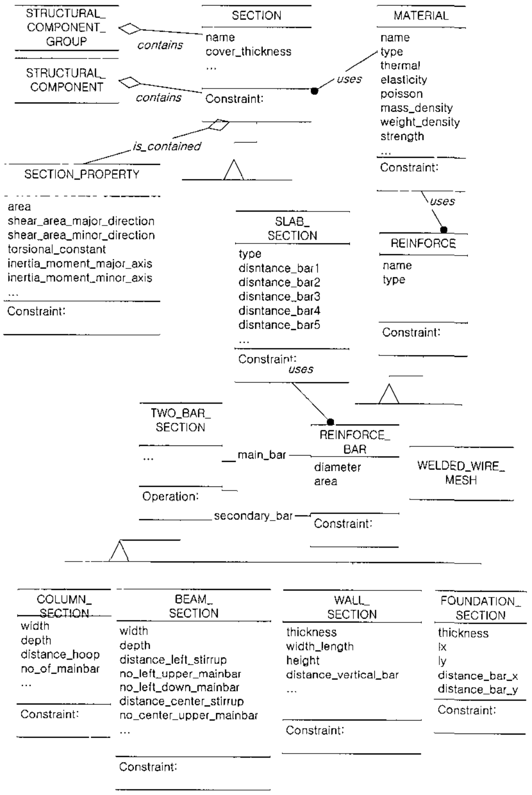

그림 23 부재 단면상세 관련 설계 객체 모델

조적 콤퍼넌트 설계 객체에 연결되는 SECTION 설계 정보는 부재의 단면 정보를 표현 관리한다. 단면 정보는 단순히 두 개의 철근 종류로 단면을 형성하는 TWO_BAR_SECTION 설계 객체 군과 다양한 철근의 종류를 요구하는 SLAB_SECTION 설계 객체로 분류된다. 각 단면 설계 객체는 재료성질을 나타내는 MATERIAL 설계 객체에 연관되며 또한 배근되는 철근의 단면 성질을 나타내는 REINFORCE 설계 정보에 관계된다. 한편 SECTION_PROPERTY를 통한 단면의 수치적 계수를 계산 관리한다. 현재 설계 객체 모델의 상세설계 관련 설계 객체들은 1988년 12월 대한 건축 학회에서 제정된 극한 강도 설계법에 근간을 두고 있다.

4. 설계 객체 모델의 구현

이와 같은 구조의 설계 객체 모델을 개발한 후, 본 모델을 통합 구조설계 시스템 개발에 바로 적용

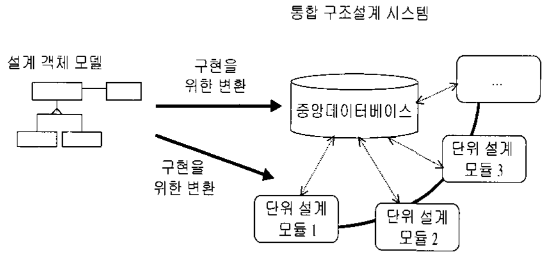

그림 24 설계 객체 모델과 통합 구조설계 시스템 구현 관계

할 수 있도록 시스템 개발 환경이나 시스템 사용자의 운영 환경과 같은 구현관점을 고려하여 시스템으로 적절히 구현 가능한 설계 객체 모델로 변환한다. 그림 24와 같이 설계 객체 모델은 통합 구조설계 시스템의 중앙 데이터베이스와 단위 설계 모듈을 위한 구현 가능한 설계 객체 모델로 변환 사용된다. 여기서 단위 설계모듈이란 각 단위 설계작업(초기 구조 설계, 해석, 상세설계 등)을 수행하는 응용 프로그램을 말한다. 구현 가능한 설계 객체 모델로의 변환과 원형(Prototype)의 통합 구조설계 시스템 구축 및 설계 객체 모델 적용 관련 내용은 참고문헌 13을 참조 바라며 본 논문에서는 개발된 통합 구조설계 시스템[14]의 구조와 실행과정만을 기술한다.

개발도구는 Visual C++ v. 5.0, rule Element Environment v. 2.0 전문가 시스템 개발툴, Personal Oracle DBMS을 이용하였으며, 개발된 시스템은 격자형 철근콘크리트 건물 골조구조에 대한 초기 구조설계, 해석, 상세설계, 구조계산서 작성까지의 구조설계를 수행이 가능하다.

개발된 통합 구조설계 시스템[14]을 통한 수행과정은 초기설계모듈을 통하여 지역정보, 형상정보, 그리고 공간용도 정보 등 계획설계 분야에서 요구되는 건물정보 만을 입력받아 중앙 데이터베이스에 건물 설계정보를 구축한다. 기본 구축 설계정보를 통한 정보 인식과 구조 설계 판단지식을 Rule로 구축한 지식베이스(Knowledge)를 추론하여 구조해석에 필요한 정보를 추출, 구조해석 프로그램의 입력데이터를 자동으로 생성한다. 구조 해석작업 수행 후 부재 그룹핑과 부재설계 작업을 거치게된다. 적정단면을 선택하기 위해 반복적으로 위의 설계과정을 수행한 후 최종적으로 물량산출과 구조계산서를 생성한다. 본 통합 구조설계 시스템의 특징은 최소한의 구조 지식

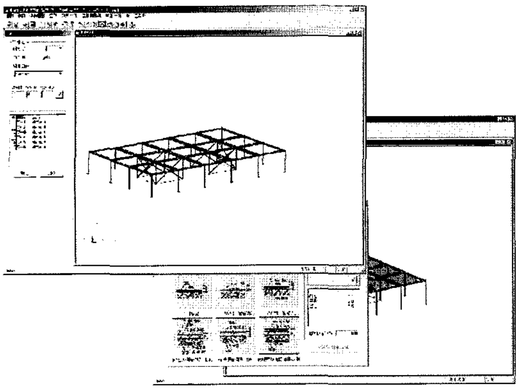

그림 25 초기 설계 모듈 실행 화면

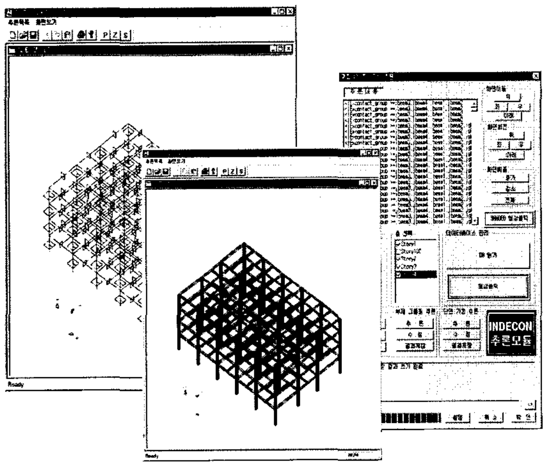

그림 26 자동 부재 단면가정 기능 실행 화면

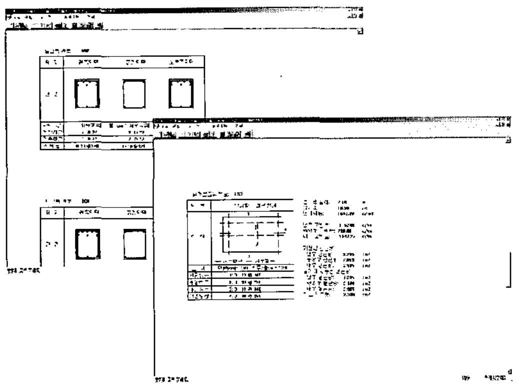

그림 27 상세설계 모듈 수행 후 결과 화면

을 가진 사용자로 하여금 일정수준까지의 구조 설계 작업을 자동으로 수행할 수 있게 하는데 있다. 그림 25, 26, 27는 이러한 수행과정의 일부 화면이다.

5. 요약 및 결론

본 논문은 통합 구조설계 시스템의 구현을 고려한 설계 객체 모델 개발을 목적으로 구조 설계정보를 단계(초기구조설계, 해석, 상세설계) / 계층(시스템, 서브 시스템, 콤퍼넌트)별로 분류 모델링한 후 시스템 구현을 고려한 세부관점별 구체적 모델링을 통하여 설계 객체 모델을 개발하였다. 이와 같은 모델링 방법론을 적용하여 설계 객체 모델을 개발함으로서 다음과 같은 이점을 얻을 수 있었다.

1) 구현을 고려한 설계 객체 모델 개발의 체계적 분석과 모델링이 가능하였다.

2) 계획 설계 측면의 설계정보 표현과 관리를 통한 시스템 내에서의 효율적인 설계정보의 관리가 가능하였다.

3) 위상 설계 객체를 이용하여 공간상의 격자형 평면 구조부재의 배치와 인식 관리를 용이하게 표현할 수 있었다.

4) 제안된 해석 관련 설계 객체 모델을 통하여 해석 관련 작업을 효율적으로 자동화할 수 있었다.

현재 개발된 설계 객체 모델의 설계 객체의 수는 약 110개이다. 제안된 설계 객체 모델을 토대로 시스템 개발환경과 사용자 운영환경을 고려하여 구현 가능한 설계 객체 모델로 변환한 후, 통합 구조설계 시스템의 구성요소인 중앙 데이터베이스와 단위 설계 모듈들을 효율적으로 구현할 수 있었다.

본 연구는, 구현을 고려한 설계모델 연구가 미비한 현실에서 시스템 구현을 고려한 설계 객체 모델을 제시함으로서 관련 연구의 기본 자료로 활용될 수 있으며, 철골 건물 구조에 비해 연구가 비교적 적은 철근 콘크리트 건물 구조를 대상으로 설계정보를 표현한 모델을 제시함으로서 제한된 평면 구조의

철근 콘크리트 건물을 대상으로 한, 통합 구조설계 시스템 개발의 기본 모델로 활용될 수 있다고 사료된다.

감사의 글

본 논문은 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 세부과제에 대한 연구비 지원 및 97년도 전남대학교 학술 연구비 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. Kim, N.H., "Entity-Based Integrated Product and Process Models for Computer-Ai-ded Structural Design", Ph.D. Thesis, Le-high University, 1994
2. Lee, C.H., "Integrated Design Product and Process Model for Building Frame Structures", Ph.D Thesis, Lehigh University, 1997
3. Lavakare, A., Howard, C., "Structural Steel Framing Data Model", CIFE Technical Report, Stanford University, 1989
4. Howard, H.C., Abdalla, J.A. "Primitive Composite Approach for Structural Data Modelling", Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, Vol. 6, No. 1, 1992, pp.19~40
5. Bjork, B.C. "Basic Structure of a Proposed Building Product Model", Computer-Aided Design, Butterworth & Co Ltd, Vol. 21, No. 2, 1989, pp.71~78
6. Garas, J.K., *Computer Integrated Manufacturing for Constructional Steelwork-Delivering the Promise*, CIMSTEEL, 1997
7. http://www.cis2.org/documents/cis2_docs.h-tm
8. C.M., Eastman, *Building Product Models*, CRC Press, 1999
9. http://www.nist.gov/sc4/www/stepdocs.htm
10. J., Rumbaugh, M., Blaga, W., Premerlani, F., Eddy, and W., Lorensen, *Object-Oriented Modeling and Design*, Prentice-Hall, 1991
11. H.E. Eriksson and M. Penker, *UML Toolkit*, John Wiley & Sons, inc., 1998
12. 김남희, "통합 구조설계 시스템 개발을 위한 개체형 바닥층 블록 모델", 대한건축학회 논문집 제14권 제12호 통권 122호, 1998, pp.11~18
13. 천진호, 정윤철, 이병해, "統合 構造設計 시스템 構築을 위한 中央 데이터베이스 모델 提示와 具現", 대한건축학회 논문집 제15권 제7호 통권 129호, 1999
14. 이병해 외, "실무용 구조설계 전문가 시스템 개발", 한국 전력 연구원 최종 보고서, 1999

(접수일자 : 1999. 11. 8)