

철근 콘크리트 구조 설계에서의 엔지니어링 데이터베이스 구축

Construction of Engineering DataBase Management System for a Reinforced Concrete Structure

이 승창*
Lee, Seung-Chang

김 재준**
Kim, Jae-Jun

이 병해***
Lee, Byung-Hai

ABSTRACT

This paper presents a database approach to integrating the structural analysis and design processes for a typical shear wall apartment building design. Our initial efforts have focused on extracting various graphic information from CAD(AutoCAD™) systems. But now, we concentrate our research efforts on organizing specific information generated during the structural analysis and design processes. The proposed overall system consists of a conventional structural analysis package, a conventional CAD system, and different application interface programs. This system is based on an engineering database which is developed by using an object-oriented data modelling approach. The system is actually implemented on an ORACLE™-based relational database management system.

1. 서 론

현재, 정보화 사회가 도래하고 있다. 정보화 사회에서는 컴퓨터와 데이터 통신을 주된 도구로 하여 각종 산업 및 사회의 정보를 효율적으로 조직화 함으로써 생산성과 능률성을 향상시킨다. 각 산업 분야에서는 정보를 조직화하는 이론과 기법인 정보 기술의 중요도가 날로 증가하고 있다. 이러한 흐름에서 건설 분야도 예외일 수는 없다. 건축 구조 설계의 각 과정에서는 각종 응용 프로그램이 이미 활발히 이용되어 왔다. 예를 들자면 각종 구조해석 프로그램, 구조해석 결과를 정리하는 프로그램, 부재설계용 프로그램, 구조 도면을 그리는 CAD 시스템 등을 사용하고 있다.

구조 설계 과정에서 나타나는 정보의 적절한 사용을 위해서 가장 중요한 요소는 시스템의 통합화(System Integration)이다. 시스템 통합화는 여러 가지 응용 프로그램이나 사용자들이 쉽게 접근하여 정보를 사용하고 수정하는 공통 데이터베이스(Common Database)인 '엔지니어링 데이터베이스 (Engineering Database)'를 핵심으로 하고 있다. 엔지니어링 데이터베이스는 상용 데이터베이스에 이질 자료에 대한 처리, 시간 관리 등의 기능이 추가된다.

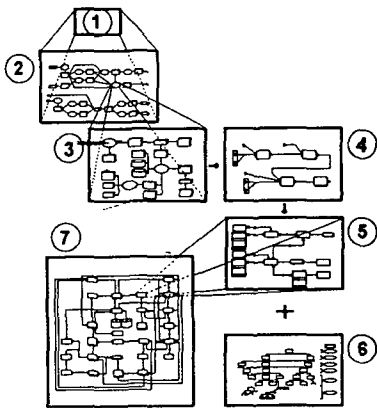
지난 몇 년간 본 대학에서는 철근 콘크리트 구조물이면서도 다른 구조물 형상보다 규칙적이고 설계과정의 표준화가 가장 많이 이루어진 벽식 아파트 구조물을 대상으로 통합 구조 설계 자동화에 관한 연구¹⁾²⁾³⁾를 진행하였다. 그동안의 연구에서는 엔지니어링 데이터베이스의 타당성을 강조하였으나 구축에 필요한 구체적인 방법론의 제시가 미흡하여 구조 설계 데이터의 중복 등으로 구조 설계 후반단계(부재설계, 물량산출, 구조계산서 작성)의 자동화가 미진한 상태였다.

본 연구에서는 첫째, 기존의 데이터 분석 이론⁴⁾⁵⁾을 바탕으로 구조 설계에서의 엔지니어링 데이터베이스 구축에 관한 방법론(개념적인 데이터 모델링)을 제시하고, 둘째, 현실적으로 가장 적합한 데이터베이스 관리 시스템을 선정하여 제시된 방법론을 구조 설계에 적용하는 것을 목적으로 한다.

* 한양대학교 건축공학과 석사과정
** 한양대학교 건축학과 전임강사
*** 한양대학교 건축공학과 교수

2. 구조 설계 정보의 개념적인 모델링

구조 설계 과정에서 나타나는 수많은 정보(데이터)는 정적이기 보다는 동적이다. 구조 설계 데이터는 구조 모델링, 구조 해석, 부재 설계, 구조 계산서 작성 등의 여러 단계를 거치며 생성되고 수정된다. 구조 설계 데이터의 변화 및 상태를 분석하는 개념적인 모델링(Conceptual Modelling)은 다음과 같은 세가지 장점을 제공한다. 1) 구조 설계 데이터(현실)와 컴퓨터로의 구현(추상화) 사이에서 교량 역할을 수행한다. 2) 그래픽적인 표현기법으로 구조 설계 과정과 같은 복잡한 문제를 조직적으로 쉽게 파악할 수 있다. 3) 그래픽적인 표현기법을 통하여 구현된 시스템은 유지보수가 용이하다. 본 연구에서는 데이터 분석에 많이 사용하는 Yourdon⁴⁾ 과 Martin⁵⁾의 이론을 결합(단계 2-5,7)하고 구조 설계 과정의 분석에 필요한 단계(단계 1,6)를 첨가하여 개념적인 모델링을 [그림 1] 과 같은 단계를 통해서 진행하였다.



- ① 단계 1 : 구조 설계 과정에 대한 서술
(2.1 절)
- ② 단계 2 : 객체 흐름 다이어그램에 의한
전체 과정의 분석 (2.2 절 , 그림 2)
- ③ 단계 3 : 객체 흐름 다이어그램에 의한
단위 과정의 분석 (2.2 절)
- ④ 단계 4 : 이벤트 스키마를 이용한 단위 설계 과정
의 분석 (2.3 절 , 그림 3)
- ⑤ 단계 5 : 이벤트 스키마로부터 객체 스키마의 작성
(2.4 절 , 그림 4)
- ⑥ 단계 6 : 구조 설계 정보의 계층구조
(2.5 절 , 그림 5)
- ⑦ 단계 7 : 전체 과정에 대한 객체 스키마의 작성
(2.5 절 , 그림 7)

[그림 1] 개념적인 모델링(분석)의 순서

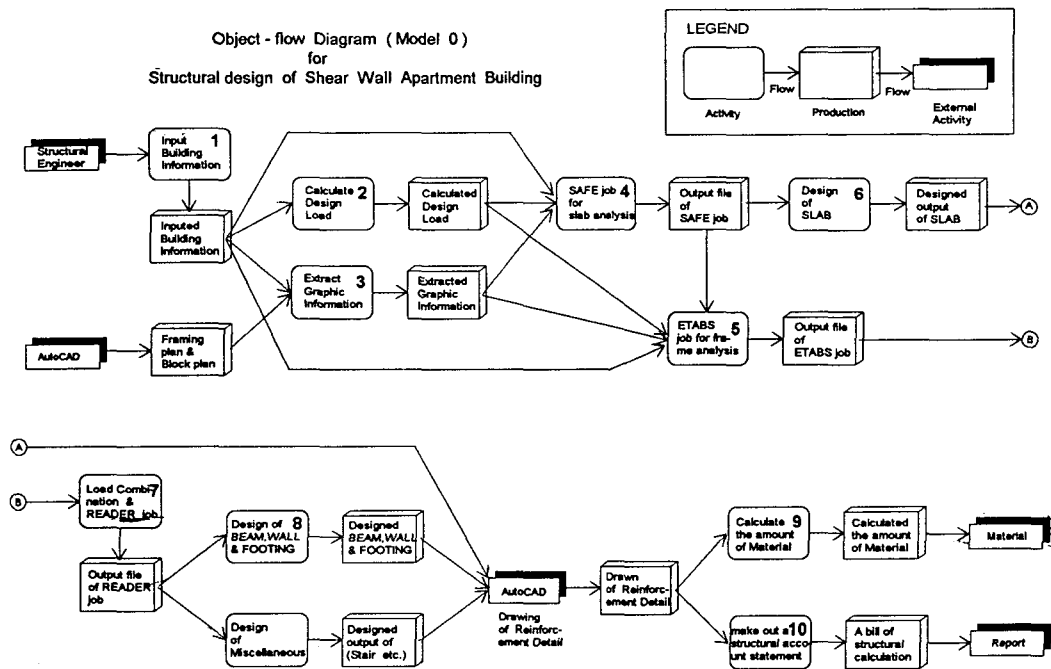
2.1 구조 설계 과정에 대한 서술(시나리오)

데이터베이스 시스템을 구축하기 위해서는 초기 단계로, 조직체의 각 구성원에 대한 인터뷰를 통해서 데이터의 흐름과 구성 상태를 파악해야 한다⁶⁾. 구조 설계 과정의 엔지니어링 데이터베이스 구축에 있어서도 구조 설계 과정의 전문가(구조 엔지니어)의 각 과정에 대한 서술을 바탕으로 한다. 서술의 목적은 다음 세가지 이다. 1) 구조 설계 단위 과정(Activity)을 구별한다. 2) 단위 과정의 입력과 출력 데이터를 결정한다. 3) 단위 과정에서 추가적으로 고려할 사항들(인간의 판단이 요구되거나 데이터베이스로 구현할 수 없는 사항들)을 판단한다.

2.2 객체 흐름 다이어그램에 의한 전체 과정의 분석

구조 설계 과정과 같은 공학적인 문제를 처음부터 행동(이벤트, Trigger, 제어조건, 오퍼레이션)으로 분석하려면 문제의 범위가 넓고 내용이 복잡하므로 초점을 찾기가 어렵다. 그러므로 초기 단계에서는 이후의 분석작업을 위해 표준이 될만한 구조 설계의 기능(Function, Process)을 전체적인 관점에서 분류하고 파악하는 전략적인 계획(Strategic Planning)⁵⁾이 필요하다.

기존의 구조 설계 자동화 연구의 경험³⁾을 바탕으로 벽식 아파트 구조물의 구조 설계 전체 과정을 10 개의 Activity로 이루어진 전체 과정에 대한 객체-흐름 다이어그램 [그림 2 (Model 0)]을 작성하였다. 벽식 아파트 구조 설계과정의 10개의 Activity는 ① 건물 정보 입력, ② 설계 하중 산정, ③ 도면 정보 추출, ④ 슬라브 해석 (SAFETM)⁷⁾, ⑤ 골조 해석 (ETABSTM)⁸⁾, ⑥ 슬라브 설계, ⑦ 하중 조합, ⑧ 보·전단벽·기초 설계, ⑨ 구조체 물량 산출, ⑩ 구조 계산서 작성이다. 각 Activity의 데이터 흐름은 다음 레벨(Model 1 - 10)로 확장되어 자세하게 나타나므로 Model 0에서는 중요한 흐름만을 표현하였다.



[그림 2] 전체 과정에 대한 객체 흐름 다이어그램

2.3 이벤트 스키마를 이용한 단위 설계 과정(Activity)의 분석

이벤트 스키마에 의한 구조 설계 정보의 행동(Behavior) 분석은 애플리케이션 개발에 사용된다. [그림 2]의 Model 0 에서 표현된 각각의 Activity가 이때 분석된다. 행동 분석은 분석 대상에 대한 정의, 이벤트 형의 분류와 일반화, 오퍼레이션, Trigger, 제어조건의 정의를 통해서 이루어진다⁵⁾. 이 행동 분석의 한 예를 살펴보자.

[그림 3]은 [그림 2]의 Activity 5 를 확장하여 행동 분석한 결과를 표현하고 있다. 즉, ETABS™를 사용한 골조 해석 (Activity 5)의 과정을 확장하여 분석하면 다음과 같다. ① 구조 설계자의 판단과 건물정보를 바탕으로 하는 기본적인 구조 모델링, ② 추출된 도면 정보로부터 모델링 플랜(Plan)의 작성, ③ 입력된 하중값으로부터 사용 하중의 산정, ④ 입력 화일의 작성, ⑤ 구조 해석(ETABS™), ⑥ 해석 결과의 정리와 같은 6개의 분석 대상이 정의된다.

골조 해석 프로그램인 ETABS™의 구조 모델링을 위해서 입력되는 프레임 개수()는 'FRAME' 객체형의 생성을 초래한다. 예를 들면, [그림 3]에서 표현된 'Information for ETABS modelling inputed'는 일반화의 과정을 거치게 되면 'Frame created'라는 하나의 이벤트가 된다. 이 이벤트의 종류는 create⁵⁾이며, 이벤트의 prestate⁵⁾는 'FRAME'이 된다.

'Run ETABS'등의 해석 과정은 대표적인 외부 오퍼레이션(external operation)⁵⁾이다. 'Make out Input-file for ETABS' 등은 내부 오퍼레이션(internal operation)⁵⁾이다. 외부 오퍼레이션은 영역(domain)⁵⁾의 외부에서 일어나는 프로세스이므로 스키마에서 메소드와 원인을 나타낼수 없고 더 이상의 분석 단계가 필요없게 된다. 내부 오퍼레이션은 영역 내부에서 프로세스가 일어나므로 그것의 메소드는 다른 이벤트 스키마로 표현될수 있다.

전술한 내부 오퍼레이션은 여러가지 이벤트형('Information for project control Inputed', 'Control data for ETABS created', 'Basic Member Property created' 등)이 생성(create)되어 있다는 제어조건(control condition)으로 작동된다.

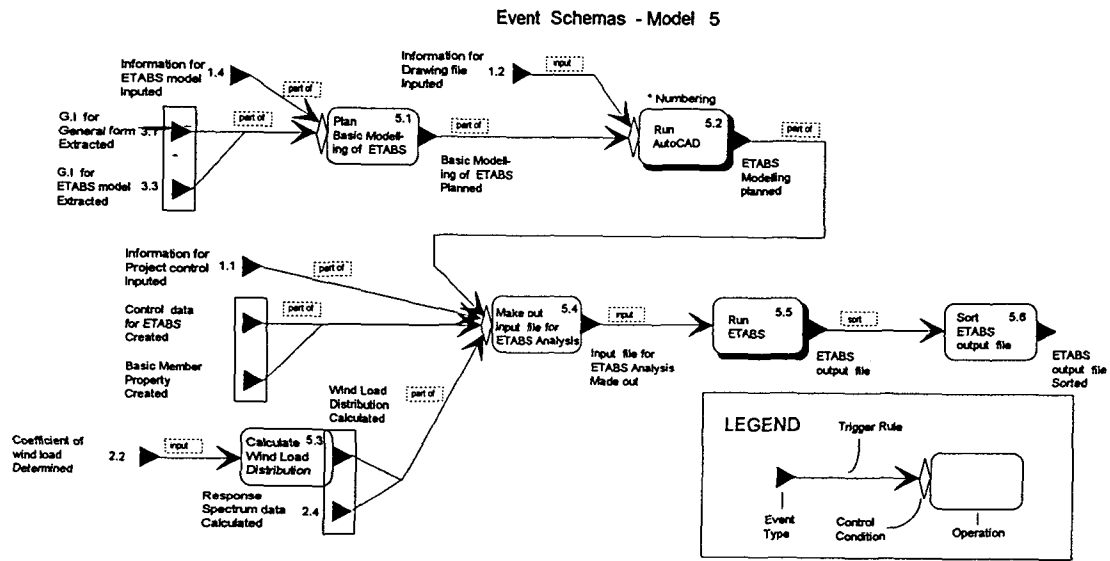
'Run ETABS' 오퍼레이션이 유발(trigger)되기 위해서는 'Input file for ETABS Analysis Made out' 이벤트형이 존재하고 'input'이라는 function⁵⁾이 필요하다.

2.4 이벤트 스키마로부터 객체 스키마의 작성

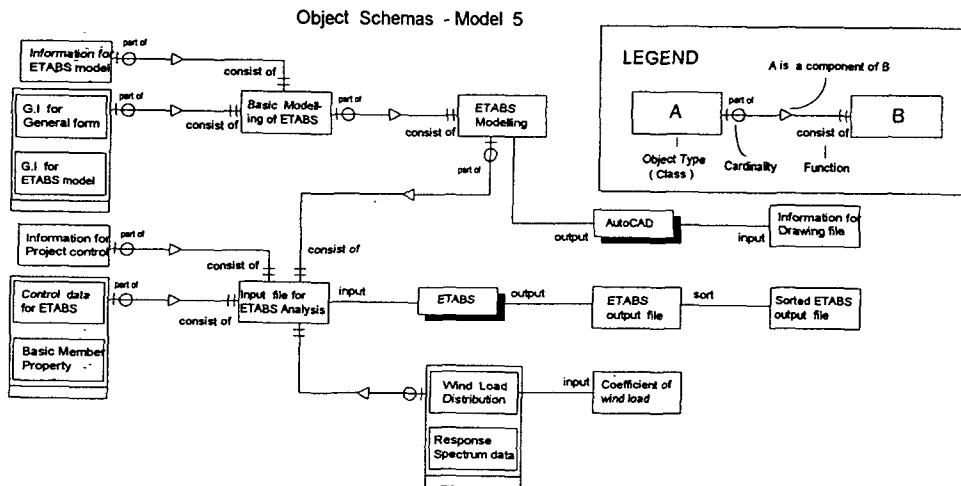
객체 스키마에 의한 구조(Structure) 분석은 주로 데이터베이스의 정의와 구축을 위한 것이다. 데이터 구조가 행동에 의해서 정의되는 것이 중요하므로 객체 지향 분석법은 데이터 행동에 기반을 두고 데이터 구조의 정의를 일치시키는 방법⁵⁾을 사용하는 것이 바람직하다.

행동 분석의 단계에서 구조가 정의되는 것을 표현하면 [그림 4]와 같다. 이벤트의 Prestate⁵⁾와 Poststate⁵⁾는 객체형으로 특정화 된다. 'Frame Created' 이벤트는 객체스키마에서 'Frame' 객체형(Object Type)으로 표현된다.

이벤트 스키마에서 특정화된 Trigger Rule(Event Type + Function + Operation)은 객체 스키마에서 객체형 사이의 관계를 나타내는 Association(Function)⁵⁾이 된다. 이벤트 스키마에서 'part of: A(B)'의 Function은 객체 스키마에서는 두 객체(A, B)사이의 'B part of A'의 Function이 된다. 여기서 A는 'ETABS modelling'이고 B는 'Basic modelling of ETABS'이다.



(그림 2의 Activity 5 를 확장하여 분석한 것임.)
[그림 3] 단위 과정에 대한 이벤트 스키마



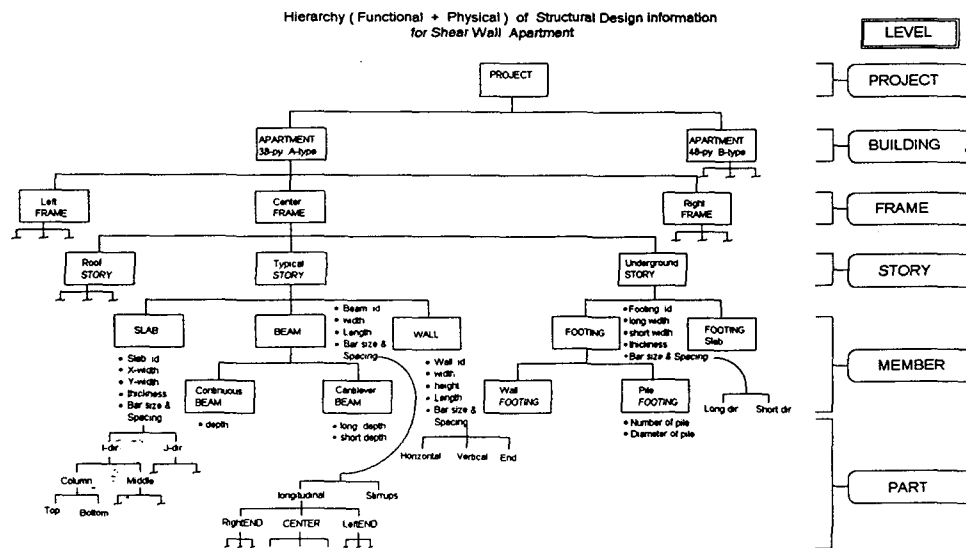
[그림 4] 단위 과정에 대한 객체 스키마

2.5 전체 과정에 대한 객체 스키마의 작성

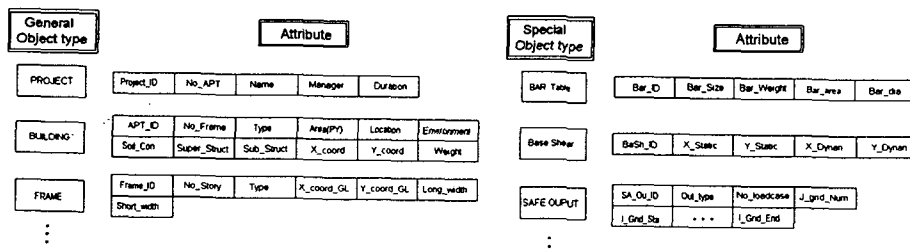
분석의 마지막 단계에서는 단위 과정에 대한 데이터 모델(객체스키마, 이벤트 스키마)에 구조 설계 정보의 계층구조[그림 5]를 비교하여 구조 설계 전체 과정에 대한 객체 스키마를 작성한다. 이러한 단계에서 중복된 객체형이 제거되고 전체적인 관점에서 일반화가 이루어진다. 각 단위 과정에 대한 이벤트 스키마와 객체 스키마를 기반으로 최종적인 객체형 사이의 Function이 새로이 정의된다 [그림 7]. 또한, [그림 6]은 구조 설계 정보의 계층구조에서 나타나는 일반적인 객체형 (PROJECT, BUILDING, FRAME, STORY, MEMBER, PART)⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾과 벽식 아파트 구조 설계에서 나타나는 특수한 객체형 (BAR TABLE, SAFE OUTPUT, BASE SHEAR 등)을 나타낸다.

구조 설계 과정의 모델링에서는 다음과 같은 세가지의 추상화⁽¹²⁾를 적용했다.

- ① 일반화(Generalization)는 "is-a" Function으로 표현되고 상속성(Inheritance)을 갖는다. 예를 들면 Response spectrum data → Seismic Load → Load 이다.
- ② 구성화(Composition)는 "part-of" Function으로 표현되고 대표성(Delegation)을 갖는다. 예를 들면 Member → Story, Story → Frame, Frame → Building 이다.
- ③ 위치화(Localization)는 특정한 객체를 다른 객체와의 관계로 표현한다. 예를 들면 Beam 1은 두개의 벽체(Wall 1, Wall 2) 사이와 슬라브(Slab 1)의 아래쪽에 위치한다. 구현을 위해서 한개의 프레임(속성: X_coord_GL, Y_coord_GL)내에 한개의 층(속성: Story_ID, No_Wall, ...)내에 부재를 네개의 점(속성: OnePoint_X, OnePoint_Y, TwoPoint_X, TwoPoint_Y)으로 그 형상을 위치화 하였다.

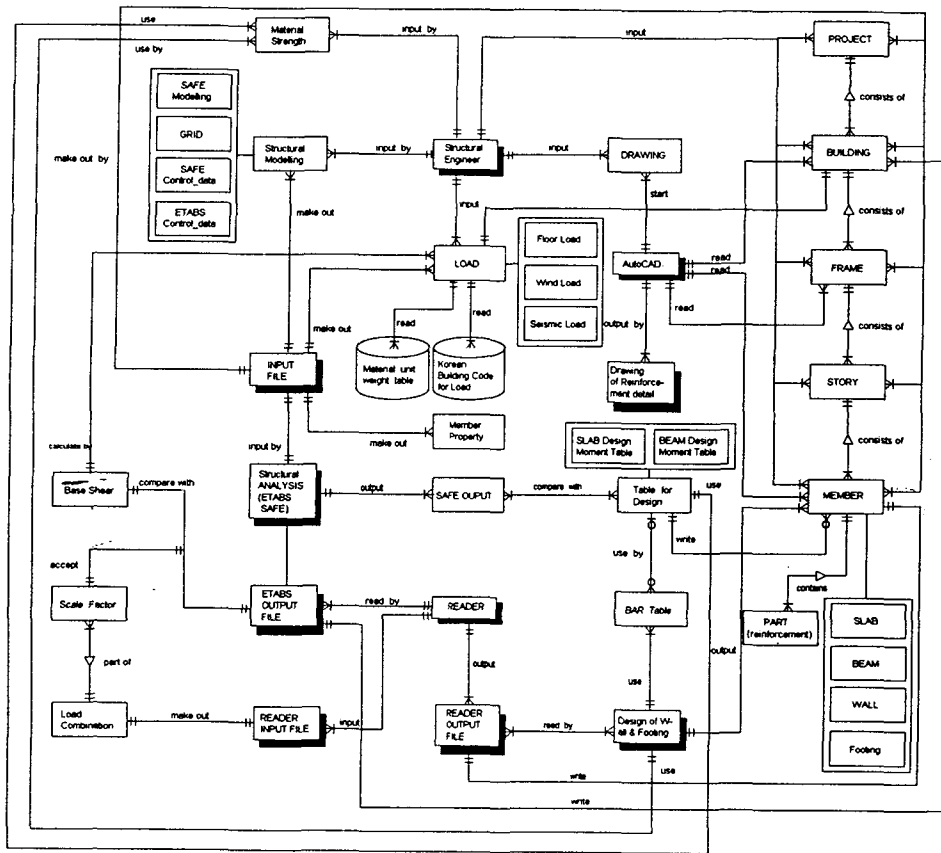


[그림 5] 구조 설계 정보의 계층구조



[그림 6] 구조 설계 정보의 객체형

Object Schemas - Model 0



[그림 7] 전체 과정에 대한 객체 스키마

3. 관계형 데이터베이스(Relational DataBase)로의 구현

객체 지향 분석을 구현하는 방법은 객체 지향 언어(Smalltalk, C++)나 객체 지향 데이터베이스(Object-Oriented Data Base (OODB))를 이용하는 방법이 최선의 방법이다. 현실적으로 국내에서 RDB에 대한 투자가 현시점으로 확대되어 주로 사용되고 있고 수년 내에 쉽게 OODB로의 전이는 없을 것으로 사료된다. RDB에서 OODB로의 대체는 필연적이나 현실적으로 OODB가 실용화 되기까지는 아직 더 많은 시간과 연구 노력이 필요한 실정이다¹³⁾. 따라서 본 연구에서는 객체 지향 모델링과 RDB(ORACLE)⁶⁾로 구현하는 합성적인 접근방법(Hybrid Approach)을 선택했다.

3.1 구현 방법

RDB에서 객체형은 테이블(Table)로, Function은 테이블 내의 속성(Attribute)으로 구현된다⁵⁾. 예를들어, 객체 스키마로부터 FRAME 테이블을 표현하면 FRAME (Frame_ID, Num_Story, Short_Width, Long_Width,)이다. Frame_ID는 주 키(Primary key)를 나타낸다. RDB에서 테이블은 단일의 값으로 저장되므로 세트(set)로 된 값은 한번에 저장하지 못한다. 1:M 과 M:M의 관계는 세트로 된 값을 사용 가능하게한다. 일반화 계층구조는 원칙적으로 RDB에서 구현 되지 않는다. 테이블의 분리를 통해서 서브타입의 관계를 구현할 수는 있으나 데이터의 중복을 피할수는 없다. 다른 방법으로 서브타입을 지시하는 대표(Flag) 속성을 서브타입의 테이블에 결합시킬 수 있다. 예를 들어, FRAME 테이블에서 BUILDING의 정보를 포함하기 원하지 않는다면 이러한 속성은 객체 지향 언어에서는 포인터(Pointer)로써 제공된다. RDB에서 포인터는 전형적으로 외부 키

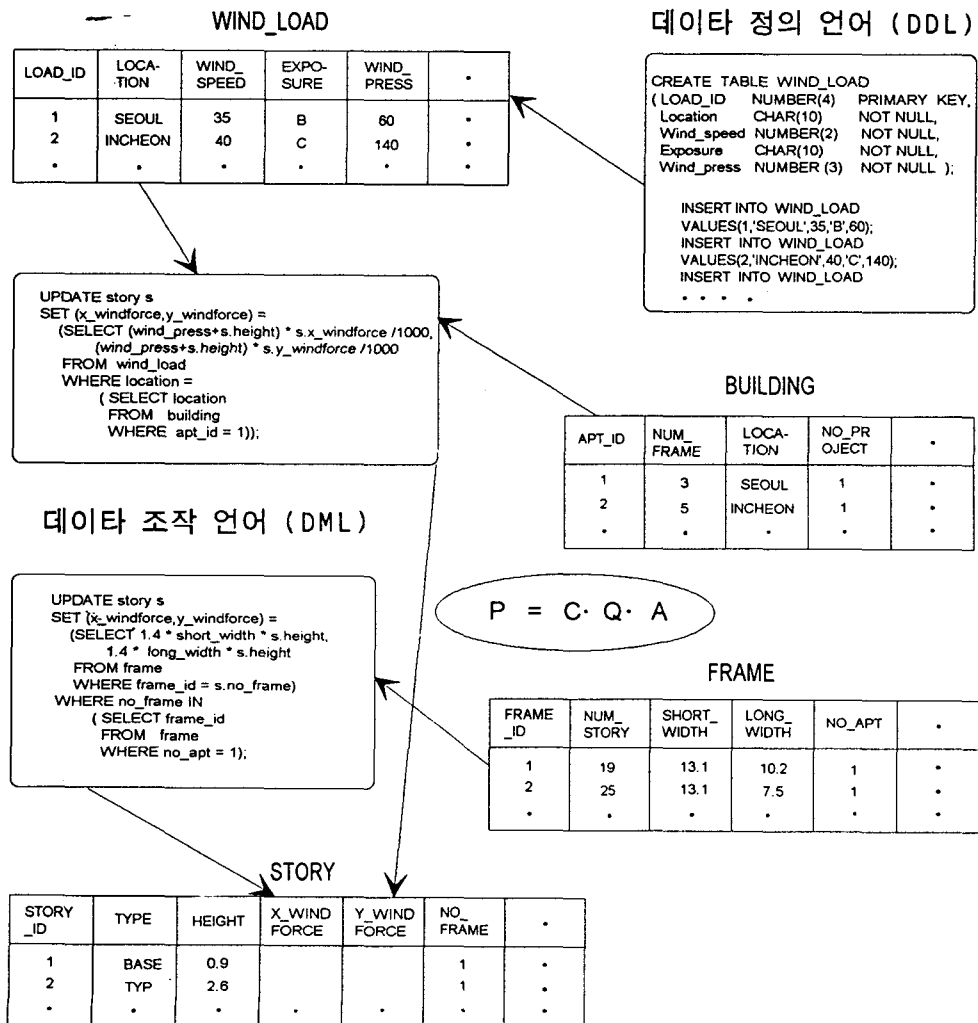
(Foreign key)로 구현된다. 다음과 같이 FRAME 테이블에서는 BUILDING 테이블의 Apt_ID를 참조하는 No_APT라는 외부 키가 필요하다.

```
FRAME (Frame_ID, Num_Story, Short_Width, Long_Width, ..... No_APT)
BUILDING (Apt_ID, Num_Frame, Location, ..... No_Project)
```

3.2 데이터 정의와 조작 언어 (Data Definition and Manipulation Language)

본 연구에서는 데이터 정의와 조작에 있어서 관계형 데이터베이스 언어인 SQL(Structured Query Language)를 사용했다. 데이터 정의에는 CREATE, ALTER, RENAME, DROP 문장을, 데이터 조작에는 SELECT, INSERT, DELETE, UPDATE 등의 문장을 사용했다. 구축된 시스템의 재사용성을 증가시키기 위해서 기존의 C 언어로 작성된 프로그램에 SQL 문을 삽입하여, 선 번역기(Precompiler) 기능을 이용하였다. 한 예로서 MODEL 5 에서 프레임의 각 층에 대한 풍력 산정(X, Y 방향)의 구현 과정을 나타내면 다음과 같다.

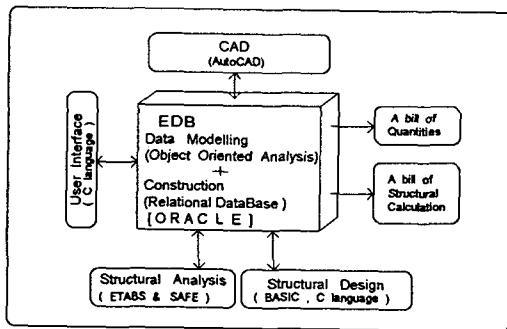
(P: 풍압, C: 풍력 균수계, Q: 속도압, A: 풍압을 받는 면적)



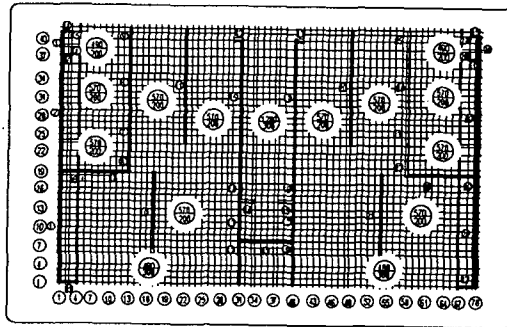
[그림 8] 풍압 산정에서 엔지니어링 데이터 베이스 구현 예

4. 적용 사례

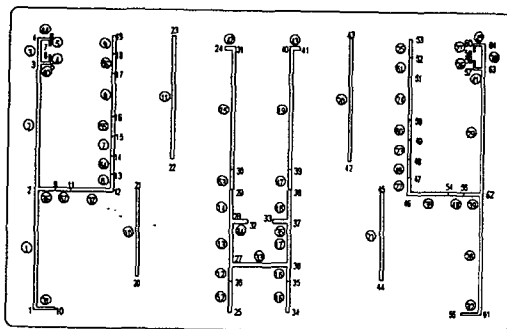
다음은 19층 34평(2세대)형 벽식 아파트 구조 설계에 본 시스템을 적용한 결과이다. 그림 9에서는 전술한 방법론으로 구현한 엔지니어링 데이터베이스를 중심으로 시스템이 구성되었음을 보여준다. 구조물의 상부 구조는 R.C. 벽식 구조이다. 하부구조(기초)에 대한 구조 설계 과정은 아직 고려 하지 못했다. 설계 하중으로는 사하중, 활하중, 풍하중, 지진하중을 고려했다. 슬라브 해석에는 SAFE™, 골조해석에는 ETABS™ 패키지를 사용하였다. 그림 10 과 그림 11에서는 엔지니어링 데이터베이스에 구축된 정보를 바탕으로 구조 모델링(Mesh Generation, Member Numbering)을 한 결과와 구조 해석 입력 데이터를 자동으로 생성하는 과정을 AutoCAD™ 상에서 보여준다. 그림 12는 시험 적용한 벽체 배근도로서 설계 규준은 극한 강도 설계법¹⁴⁾을 적용했다.



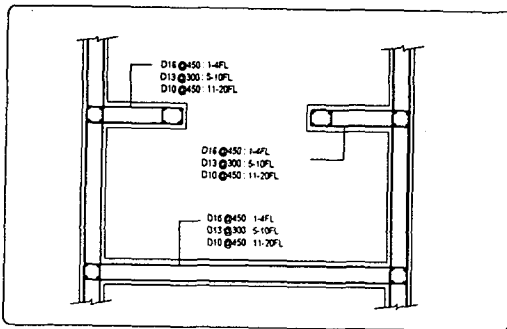
[그림 9] 시스템 구성도



[그림 10] SAFE 모델링 상황



[그림 11] ETABS 모델링 상황



[그림 12] 시험 적용한 벽체 배근(수평근)도

5. 결 론

기존의 연구³⁾에서 개발된 CA3D(Computer Aided Design, Drafting and Document/RC 모듈)시스템은 화일 시스템을 기반으로 구조해석 부분(ETABS™, SAFE™), 부재(벽체) 설계 부분(BASIC으로 작성된 프로그램)과 전처리 및 후처리 부분(AutoCAD™, C 언어로 작성된 프로그램)으로 구성되었다. 기존 연구의 결과는 1) 계획 도면(GDS™)으로부터 구조 모델링(AutoCAD™)에 필요한 도면 정보를 자동 추출하였다. 2) 추출된 정보를 바탕으로 구조 모델링과 구조 해석(ETABS™, SAFE™)에 필요한 입력 데이터를 자동 작성하였다. 3) 부분적인 부재(벽체)설계 자동화를 시도하였다.

한편, 본 연구에서는 화일 시스템 대신에 엔지니어링 데이터 베이스[그림 8]를 구축함으로써 부재설계(보, 슬라브, 기초 포함), 물량산출, 구조계산서 작성이라는 후반 단계의 구조 설계 자동화 작업을 진행할 수 있게 되었다. 본 연구의 결론은 구체적으로 다음과 같다.

1. 구조 설계 과정은 정적이기 보다는 동적이므로 구조 설계 정보의 구축을 정적(계층구조)으로 접근할 것이 아니라 동적(객체 흐름 다이어그램, 이벤트 스키마)으로 접근하여 계층구조와 비교하는 것이 바람직하다.

2. 구조 설계 정보는 구조물의 용도(아파트, 오피스 등)나 구조 재료(철근 콘크리트, 철골 등)에 따라서 상당히 다른 특성(특수한 객체형)이 나타남을 보였다. 그러므로 현 시점에서 구조 설계 통합 시스템 구축은 전체 구조물이 아니라 구조 설계 과정이 유사하고 구조 재료가 같은 구조물을 대상으로 해야한다.

3. 구조 설계 과정을 데이터를 중심으로 분석함으로써 설계 과정의 비효율성(구조 데이터의 중복 등)을 발견하였다. 현 단계로서는 엔지니어링 데이터베이스 구축으로 중복된 데이터를 제거하였지만 향후에는 기존의 구조 설계 과정을 근원적으로 수정하고 효율화하는 Re-Engineering 기법¹⁵⁾의 일부로서 사용될 수 있다.

4. 엔지니어링 데이터베이스 구축은 시스템 통합화의 문제점을 해결할 수 있는 최선의 대안이다. 화일 시스템을 기반으로 개발된 CA3D 시스템이 해결하지 못한 구조 설계 자동화의 후반단계인 물량산출과 구조계산서 작성을 해결할수 있는 구조 설계 데이터 접근법을 제시함으로써 구조 설계의 궁극적인 목적인 최적설계에 보다 접근할 수 있다.

5. 객체 지향 모델링과 관계형 데이터베이스 구현이라는 합성적인 접근 (Hybrid Approach)으로 구조 설계 과정을 정확히 파악할 수 있는 객체 지향 모델링의 장점을 볼수 있었다. 객체 지향 모델링은 객체지향 언어로 구현하는 것이 바람직하다. 그러나 현실적(실무적)으로 엔지니어링 데이터베이스를 구축할때는 관계형 데이터베이스가 대안으로 적절하다.

참 고 문 헌

- [1] 이병해, 김중현, "철근 콘크리트 구조물의 설계 자동화," 춘계 학술발표회 논문집, 제 11권, 제 1 호, 1991
- [2] 이병해, 김재우, "고층 아파트 구조물의 통합설계 자동화," 추계 학술발표회 논문집, 제 11권, 제 2 호, 1991
- [3] 이병해, 조문상, "고층 아파트 계획 및 구조 일관 설계 시스템 개발 연구," 한국 과학 재단 제 2차 중간 보고서, 1992. 6
- [4] E. Yourdon, Modern Structured Analysis, Prentice-Hall, 1989
- [5] James Martin and James J. Odell, Object-Oriented Analysis & Design, Prentice-Hall, 1992
- [6] ORACLE Corporation, ORACLE RDBMS Reference Manual Version 6.0, 1990
- [7] A. Habibullah, SAFE User's Manual, Computer and Structures, Inc., 1989
- [8] A. Habibullah, ETABS User's Manual, Computer and Structures, Inc., 1989
- [9] H. C. Howard, J. A. Abdalla, and D. H. Douglas Phan, "The Primitive-Composite Approach for Structural Data Modelling," The 4th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, ASCE, 1990, pp. 264
- [10] Ajay Lavakare and H. Craig Howard, "Structural Steel Framing Data Model," CIFE Technical Report, No. 012, Stanford University, June, 1989
- [11] Kwang C. Choi, "An Object-Oriented Historical Cost Information Base to Support Concurrent Engineering," Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley, 1992
- [12] Raimar J. Scherer and Peter Katranuschkov, "Architecture of an Object-Oriented Product

Model Prototype for Integrated Building Design," Computing in Civil Engineering, Vol. 1, 1993, pp. 393-400

[13] Jae-Jun Kim and C. William Ibbs, "Comparing Object-Oriented and Relational Data Models for Project Control," Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, Vol. 6, No. 3, Jul., 1992, pp. 348-369

[14] "극한 강도 설계법에 의한 철근 콘크리트 구조 계산 기준 및 해설," 대한 건축 학회, 1988

[15] Daniel Morris and Joel Brandon, Re-engineering your business, McGraw-Hill, Inc., 1993