

프리캐스트 콘크리트 부재설계에서 지식기반시스템의 적용

Application of Knowledge-Based System in the Design of Pre-cast Concrete Member

김성중*
Kim, Seong Jung

이승창**
Lee, Seung Chann

이병해***
Lee, Byung Hai

ABSTRACT

The design process of pre-cast concrete member needs various design parameters and the engineer's experiences. The introduction of knowledge-based system in the design of pre-cast concrete member enables us to design complicated members using the designer's heuristics. The objectives of this research are to study useful methodology for representing knowledge and data in the development of knowledge-based system and to show the application of methodology by developing a prototype system for design of pre-cast concrete member. This paper first describes methodology for building knowledge-based system. It then presents knowledge-based system for pre-cast concrete member design.

1. 서론

최근 건설산업에서는 주택수요를 충족하기 위해서 조립식 아파트를 채택하고 있다¹⁾. 조립식 아파트는 건물을 구성하는 벽체와 바닥체 등의 분할된 조립식 부재들로 이루어지고, 부재들은 접합부에 의해 연결된다. 각 부재들은 공장에서 자동화된 설비로 생산되고 현장에 운반되어 조립된다. 이러한 생산 방식을 통해 조립식 아파트는 인건비의 절감, 공사기간 단축 및 품질 확보 등의 장점을 지닌다.

현재, 조립식 아파트는 다른 구조물에 비해서 표준화되고 규격화되어 있으므로 시스템 통합화의 가장 적절한 대상으로 여겨지고 있으며, 본 대학에서는 벽식 아파트 구조물의 통합시스템 구축을 위한 방법론^{2), 3), 4)}을 이미 제시해 놓은 바 있다. 그 동안의 연구⁵⁾를 통해서 전체 설계과정의 분석과 엔지니어링 데이터베이스의 구축이 진행되고 있으나, 부재설계를 위한 구체적인 방법론의 제시는 미흡한 상태이다.

조립식 아파트의 부재설계에서는 구조설계자가 부재 자체의 물리적 특성과 타부재와의 연관 관계를 명확히 인지하는 것이 무엇보다 중요하다. 부재 각각의 정보의 흐름은 계획 단계에서부터 공장 생산을 위한 도면에 이르기까지 일관성을 가져야 하며 설계에 대한 체계적이고 정확한 지식에 의해 부재설계가 이루어져야 한다. 그러나, 설계에 대한 지식은 설계자의 개인적인 역량과 경험에 의해 다르게 적용되므로 설계자의 경험부족과 판단착오로 부적절한 설계가 이루어지는 오류가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 개선하기 위하여 부재설계 정보가 전체 구조설계 과정속에서 원활하게 교환될 수 있는 방안이 제안되어야 하며, 부재설계시 일관적인 수치적 계산뿐만 아니라 비수치적이고 경험에 의한 판단까지도 할 수 있는 지식기반시스템의 도입이 필요하다⁶⁾.

따라서, 본 연구는 지식 표현과 추론방법을 중심으로 지식기반시스템 구축에 관한 방법론을 제시하고, 조립식 아파트 통합시스템의 일부분으로서 접합부와 벽체 설계를 위한 시험적인 부재설계 지식기반시스템을 구축하는 것을 목적으로 한다.

- * 한양대 건축공학과 석사과정
- ** 한양대 건축공학과 박사과정
- *** 한양대 건축공학과 교수

2. 지식기반시스템 구축에 관한 방법론

지식기반시스템이란 각 분야 전문가들의 지식을 컴퓨터 프로그램화 하여 전문가의 도움없이도 비전문가가 그 분야의 작업을 할 수 있도록 하는 것이다⁶⁾. 지식기반시스템과 기존의 프로그램과의 차이점은 지식기반시스템은 지식(Knowledge)을 처리하고 기존의 프로그램은 데이터(Data)를 처리한다는 것이다⁸⁾. 지식기반시스템은 여러가지 지식 표현을 통해 문제영역의 지식을 지식 베이스에 체계적으로 저장하고 추론기관을 통해 관련된 지식을 각 추론의 방법에 적용하여 문제의 해결을 제시한다.

2.1 지식의 표현.

지식(Knowledge)이란 사실(Fact)들간의 사상(寫像, mapping)을 나타내는 문장으로 표현되며, 사실(Fact)이란 객체(Object)와 객체들간의 관계(Relation)이다⁹⁾. 지식기반시스템의 기본이 되는 지식은 특정영역에 대한 지식으로 그 영역의 문제에 대한 이해와 문제를 해결하는 기술을 포함한 다. 이러한 지식은 객관적인 지식 뿐만 아니라 주관적이며 경험에 의한 지식까지도 포함한다⁷⁾. 지식 표현(Knowledge representation)이란 문제해결을 수행하기 위한 전제조건, 대상, 해법에 관한 지식을 컴퓨터 프로그램이 실행할 수 있는 형식으로 표현하는 것이다¹⁰⁾. 시스템 내에서 활용하는 지식은 실제로 다양하며, 단일한 지식 표현 만으로는 모든 것을 기술하기에 적당하지 못한 경우가 많다. 최근에는 복수의 표현 형식을 가능하게 하는 하이브리드(Hybrid)형 지식 표현이 사용되고 있다¹⁰⁾. 하이브리드형 지식 표현이란 현실 세계의 지식 처리 모델의 자연스러운 표현에 적합한 객체 지향 표현을 지식의 전체 구조를 기술하는데 이용하고, 규칙과 사실의 정확한 표현에 적합한 술어 논리를 개별 지식을 기술하는데 이용함으로써 양자의 경계를 명확히 해주고 풍부한 표현력을 지닌다. 본 연구에서 하이브리드형 지식 표현은 객체 구조와 규칙 구조의 두가지 구조¹¹⁾로 구분하였다.

1) 객체 구조 (Object structure)

객체란 규칙에 의해 추론되는 가장 작은 지식의 단위이다¹²⁾. 객체는 지식기반안의 다양한 객체들을 표현하며 객체들간의 계층적이고 집합적인 관계는 클래스로 나타내서 추론을 더욱 쉽게 할 수 있게 한다. 객체는 데이터와 이와 연관된 procedure가 함께 뭉친 개념이며, 여기서 데이터는 속성을 나타내고 procedure는 메소드(method)를 나타낸다. 모든 객체는 속성과 메소드를 통해 상태와 행동양식이 결정된다. 객체들은 메시지(message)를 통해 서로의 메소드를 실행하고 상호 작용을 한다¹³⁾.

2) 규칙 구조 (Rule structure)

규칙이란 추론 경로를 따라 전향 추론과 후향 추론이 이루어지도록 하는 지식의 구조이며, 한 가지 상황과 그 다음에 따르는 상황을 나타내는 지식이 된다¹²⁾. 생성 규칙(production rule)이란 IF/THEN의 간략한 문장으로 지식을 표현하거나 지식을 추론하는 것을 말하며, 그 형식은 다음과 같다.

IF(condition part) THEN(action part)

여기서 규칙에 있는 조건부(condition part)의 모든 조건이 만족될 때 그 규칙은 trigger되었다고 하고, 실행부(action part)들이 수행될 때 그 규칙은 fired되었다고 한다⁸⁾.

2.2 추론과 추론의 방법

추론이란 지식 기반안의 규칙들이 모델안의 객체에 적용되는 방식을 제어하고 유도하는 메카니즘이다¹⁴⁾. 추론방법에는 전향 추론이나 후향 추론같은 추론의 방법이 있다. 전향 추론이란 시스템이 알고 있는 사실로부터 어떤 가설을 향해서 추론하는 것을 의미한다. 후향 추론은 어떠한 가설로부터 시작해서 그 가설이 참인가를 알아보기 위하여 지식기반안의 사실을 검토하는 방법이다⁷⁾. 하이브리드 지식 표현을 이용하여 객체 구조안에 설정한 객체 모델을 기반으로 규칙 구조안의 규칙들을 추론의 과정에서 사용하는것을 모델기반추론(Model Based Reasoning)¹⁵⁾이라하며, 클

래스의 상속성과 객체의 메소드를 이용한다.

1) 메소드의 이용

메소드는 클래스와 객체내에 저장되며, 추론 과정에서 'Send_message'라는 명령어에 의해 실행된다. 객체에 메소드를 보냈을 때 객체가 자신의 메소드를 부르는 행위를 메시지 전달이라 한다. 한 클래스내의 모든 객체는 같은 메소드를 공유한다. 각 메시지에 대한 행위는 그 메시지를 받는 대상의 클래스에 달려있다. 이와 같이 동일한 이름의 메시지가 다른 여러 클래스에 같은 방법으로 적용될 수 있다. 이러한 개념을 다형성 (polymorphism)이라 한다¹³⁾.

2) 상속성의 이용

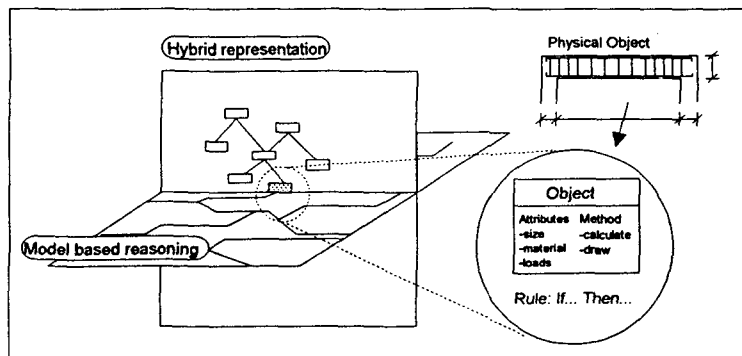
하나의 특정 객체는 보다 일반적인 객체를 포함하는 클래스의 instance로 볼 수 있다. 객체의 행동을 기술하는 객체의 특성값은 객체가 속한 클래스의 단계에서 설명될 수 있다. 객체의 클래스에서 객체의 행동을 나타내기 위해 더해진 특성과 값들은 각 단계에서 첨가되고 객체 각각에 상속된다. 예를 들면, 데이터베이스에서 추출한 모든 PANEL_xxx 부재는 자동적으로 WALL 클래스의 객체가 되고, PANEL 객체는 WALL의 높이, 폭등의 특성을 상속 받는다. 객체가 정확히 그것의 클래스에 놓여지면 객체의 특성값을 이용해 만든 규칙으로 객체를 보다 상세히 분류할 수 있다. 상속성의 이용은 다음의 규칙으로 표현할 수 있다¹⁴⁾.

```
(( If      ( PANEL_A is in class WALL )
  And     ( the MATERIAL_TYPE of PANEL_A is CONCRETE )
  Then    ( PANEL_A is in class CONCRETE_COMPONENT )))
```

위의 규칙은 WALL 클래스의 모든 객체중에서 그 재료형이 콘크리트인 객체를 찾아 하위 클래스인 CONCRETE_COMPONENT로 옮긴다. 이곳으로 옮겨진 객체들은 CONCRETE_COMPONENT 클래스의 메소드를 상속받게 된다. 객체 구조안의 객체들의 특성에서부터 도출된 관계들을 규칙 구조안의 규칙들로 실행함으로써 전에는 단지 객체 특성만의 정보를 담고 있던 지식기반에 객체의 메소드에 관한 지식을 자동적으로 더할 수 있다¹⁵⁾.

2.3 하이브리드 (Hybrid) 지식기반시스템

본 연구에서는 하이브리드 지식 표현과 모델기반추론을 사용한 하이브리드 지식기반시스템을 적용하였고, [그림 1]은 지식 표현과 추론의 관계를 개념적으로 나타낸다. 시스템의 장점과 다음과 같다. 첫째, 규칙의 수를 현저히 줄일 수 있다. 새로 생성하려는 객체가 이미 상속된 객체의 특성에 의해 정의될 수 있기 때문에 새로운 객체가 이미 모델 되어진 객체와 같은 데이터를 공유한다면, 지식을 정의 하기 위해 새로 만들어야 하는 규칙의 양이 기존의 규칙기반시스템에 의한 것보다 훨씬 줄게 된다. 둘째, 클래스와 객체에 의한 상속성을 이용한 프로그램이 단순한 규칙기반만을 구축하는 것보다 개발 및 유지관리가 용이하다¹⁶⁾.



[그림 1]. 지식 표현과 추론의 관계

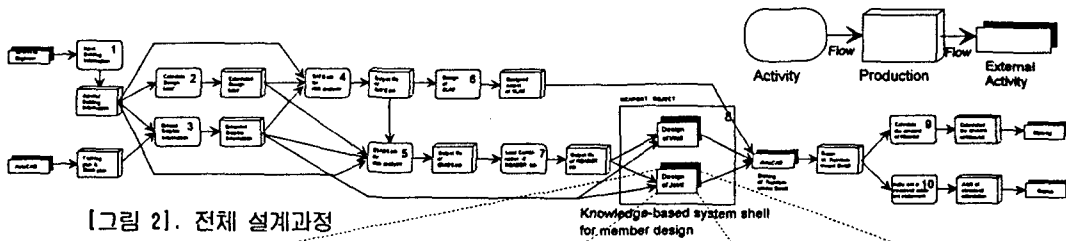
3. 부재설계를 위한 지식기반시스템의 구축

조립식 아파트 통합시스템의 일부분으로서 부재설계 지식기반시스템은 데이터베이스, CAD등과

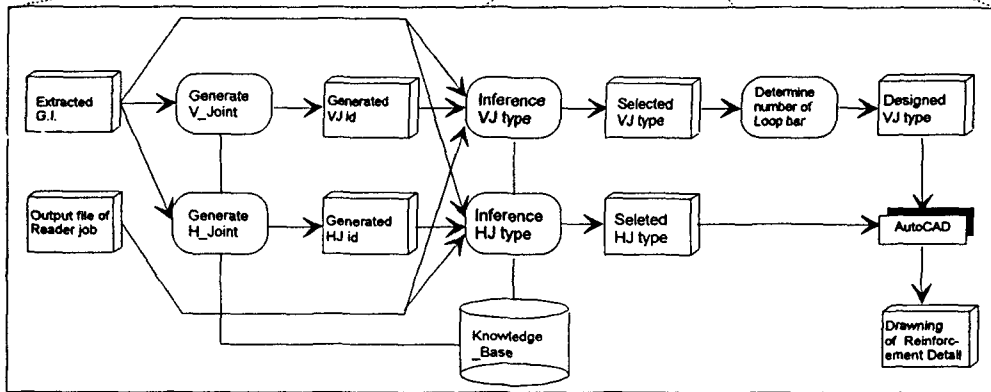
같은 다른 환경과의 접속이 중요하다. 본 연구에서 조립식 아파트의 부재설계는 초기의 계획단계에서 CAD를 통해 구축된 부재의 정보들 데이터베이스에 저장하여 활용하게 되며, 이러한 정보는 지식기반의 객체 구조안에 부재설계 객체 모델을 형성하고 규칙 구조안의 설계규칙을 적용하여 부재설계를 행하게 된다. 부재설계 지식기반시스템을 구축은 다음과 같은 과정으로 진행하였다. 첫째, 데이터 분석 방법¹⁶⁾에 의해 부재설계 과정을 분석한다. 둘째, 객체 모델링을 통해 설계 객체 모델을 구축하고, 셋째, 설계에 대한 지식을 수집하여 지식기반을 구축한다.

3.1 부재설계 과정의 분석

기존의 연구에서 제시된 벽식 아파트 구조물의 전체 설계과정 분석⁵⁾을 바탕으로 조립식 아파트 구조물의 전체 설계과정을 분석하면 [그림 2]와 같이 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 부재설계의 과정을 크게 벽체 설계 과정과 집합부 설계 과정으로 한정하였다. 집합부 설계과정을 확장하면 [그림 3]과 같은 객체 흐름도 (Object flow diagram)¹⁶⁾로 나타낼 수 있다.



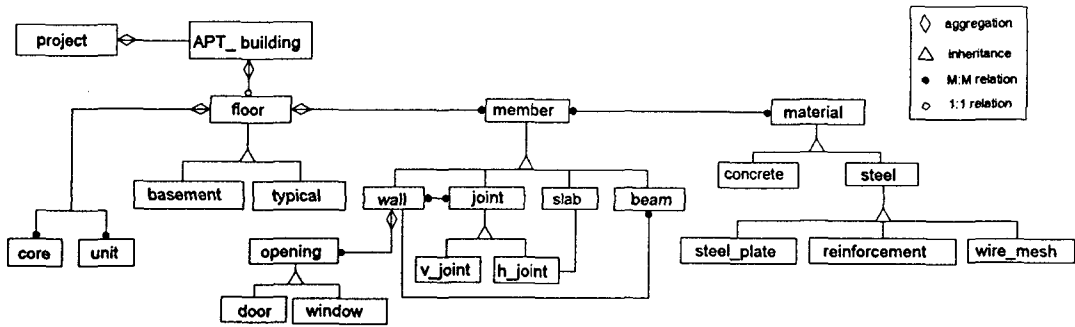
[그림 2]. 전체 설계과정



[그림 3]. 집합부 설계과정

3.2 객체 모델의 구축

CAD 시스템에는 도형 정보와 비도형 정보가 있다. 부재 설계에 필요한 도형 정보는 각 절점의 좌표, 부재의 연결상태, 각 층의 높이등 평면도, 입면도로부터 도형 정보를 추출할 수 있다. 비도형 정보는 건물의 위치, 건축주등을 나타내는 프로젝트 정보, 재료의 종류를 나타내는 재료정보들로 구성된다. CAD로 설계한 도면안의 정보는 CAD 형식에 맞는 부재 데이터베이스에 저장되고 그것은 다시 지식기반시스템내의 객체 모델을 형성하게 된다¹⁷⁾. 객체 모델내의 구조설계의 표현은 보, 집합부, 벽체, 슬라브같은 서로 다른 설계객체로 이루어진다. 생성되는 객체는 그 타입에 해당하는 특성과 메소드를 가지고 객체가 생성되었을때 각각의 특성값을 갖게 된다. 예를 들어 벽체 객체는 모델안에서 시작점과 끝점을 가지는 단선으로 나타내어진다. 선 요소에 덧붙여지는 것들은 벽체의 두께, 벽체의 각도등의 추가되는 특성값들이다. 특성값은 주로 모델상의 위치 관계에 의해 결정되며, 어떤 특성값은 사용자가 정의하기도 한다. [그림 4]는 전체 설계객체의 관계를 객체 다이어그램 (Object diagram)을 통하여 나타낸 것이다.



[그림 4]. 조립식 아파트 설계객체 다이어그램

3.3 부재설계 지식의 습득과 추론

3.3.1 접합부의 설계를 위한 지식

구성재간의 접합은 구조적 응력에 따라 적절한 접합방식이 선정되어야 하며 접합상세에 따른 구성재의 접합부 형태가 정확히 맞아야 한다. 접합방식의 선택에 있어서 중요한 사항들은 다음과 같다. 첫째, 접합부는 부재들간의 하중을 안전하게 전달하고, 일체성의 유지 및 구조안정성을 확보하는데 충분하도록 설계되어야 한다. 둘째, 접합부의 세부설계는 특히 현장 작업 여건과 시공 관리 등의 중요성을 충분히 연구 검토하여 시행하여야 한다. 수직, 수평 접합부 형태 결정을 위한 지식은 우선적으로 각 공법에 따라 분류되며, 채택된 공법에 한정된 지식들에 의해 관련된 모든 접합부를 추론하게 된다. 접합부 설계의 지식은 도면의 2차원 평면으로부터 벽체와 슬라브의 관계에서 접합부를 정의하는 지식과 접합부로부터 접합부 형태를 결정하는 지식으로 나뉘어진다.

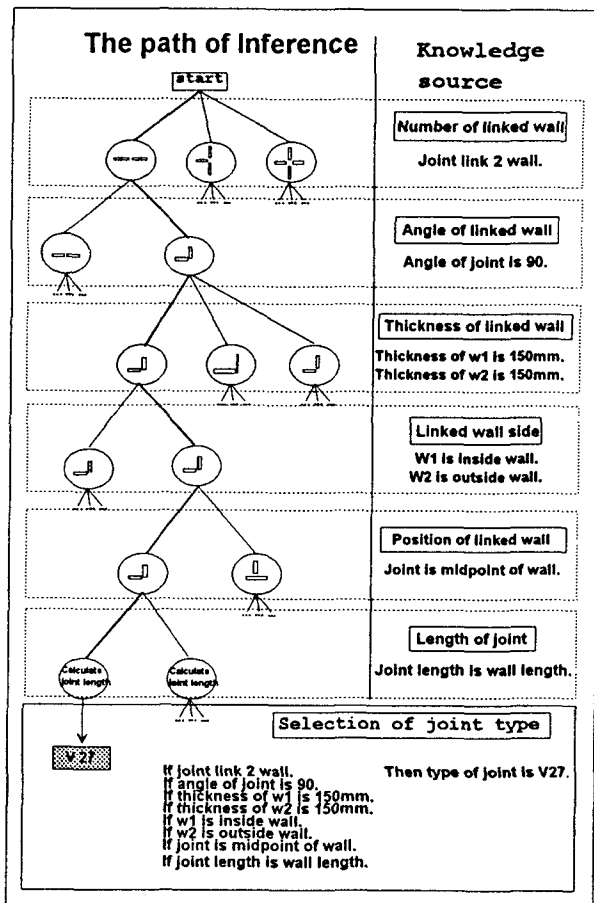
1) 수직 접합부의 설계를 위한 지식

① 수직 접합부의 정의

2차원 평면상에서 한 벽체의 시작점과 끝점이 다른 한 벽체의 시작점과 끝점 혹은 벽체의 중간에서 만나는 점을 수직 접합부로 정의한다.

② 수직 접합부 형태의 결정 요인

각 수직 접합부에 연결된 벽체의 수, 각 벽체의 두께, 벽체의 연결각, 벽체의 접합부 위치, 평면상에서의 벽체의 위치, 접합부의 접합길이, 보강근의 위치, 해석 결과에 의해 수직 접합부의 형태가 결정되며 이러한 지식을 바탕으로 추론 기관에 의해 접합부의 형태가 추론되는 경로는 [그림 5]와 같다.



[그림 5]. 수직 접합부의 추론 경로

2) 수평 접합부의 설계를 위한 지식

① 수평 접합부의 정의

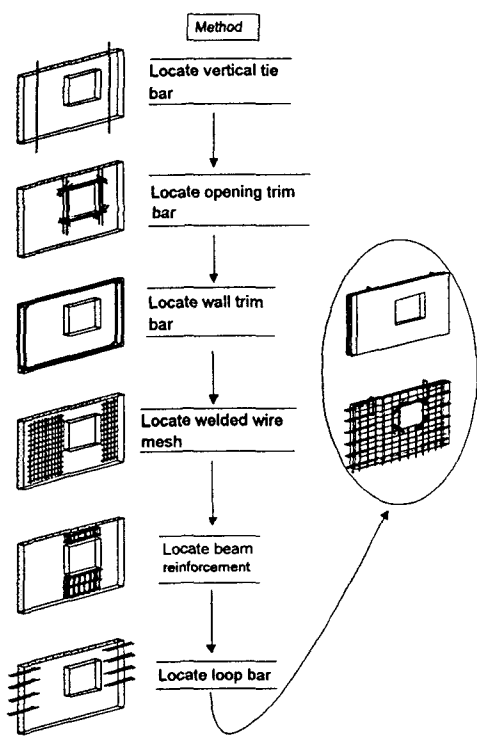
2차원 평면상에서 벽체의 시작점과 끝점에 의해 이루어진 선분들과 슬라브의 각 변들이 만나서 생기는 선들을 수평 접합부로 정의한다.

② 수평 접합부 형태의 결정 요인

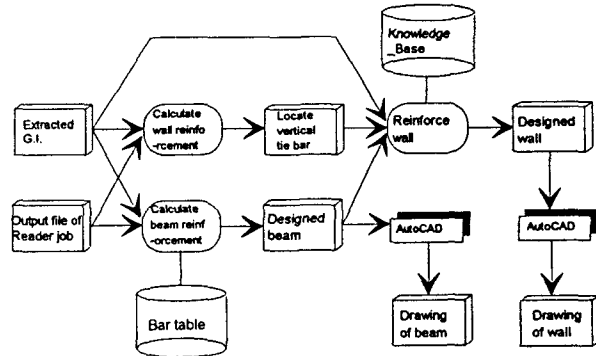
각 수평접합부에 연결된 슬라브와 벽체의 수, 연결된 슬라브의 두께와 마감 두께, 용도, 연결된 벽체의 두께와 높이, 평면상에서의 위치, 연결된 벽체의 개구부의 위치와 길이, 벽체와 슬라브의 접합위치, 해석 결과에 의해 수평 접합부의 형태가 결정된다.

3.3.2 벽체의 설계를 위한 지식

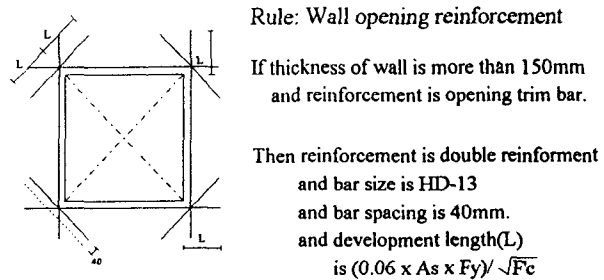
조립식 아파트 구조 설계에서 벽체는 보와 기둥과 접합부를 포함하고 접합부의 보강근이 설치된다. 따라서 각 부재들의 설계가 벽체 설계를 통해 표현되고 종합된다. [그림 6]는 벽체설계 과정을 나타낸다. 객체 모델안에 벽체의 instance들이 생성되면 보와 벽체의 관계에서 개구부의 좌표가 형성되며 해석값으로부터 vertical tie의 위치와 철근량이 결정된다. 벽체는 해석값으로부터 산출된 철근의 배근외에도 각종 보강근을 배근하여야 한다. 보강근의 배근은 먼저 벽체의 도형 정보로부터 보강근의 종류를 결정하고 보강근의 배근위치를 산정한 다음에 사용철근의 크기와 갯수를 정하고 정착길이를 계산한다. [그림 7]은 벽체의 배근이 이루어지는 과정을 메소드의 실행 과정을 통해 나타낸 것이다. [그림 8]은 벽체의 개구부 보강에 관한 규칙을 표현한 예이다.



[그림 7]. 벽체 설계의 메소드 실행 과정



[그림 6]. 벽체설계 과정

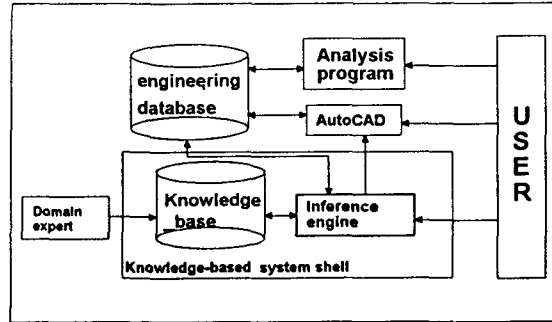


[그림 8]. 개구부 배근의 규칙 표현

4.시스템의 구현 및 적용 사례

4.1 시스템의 구현

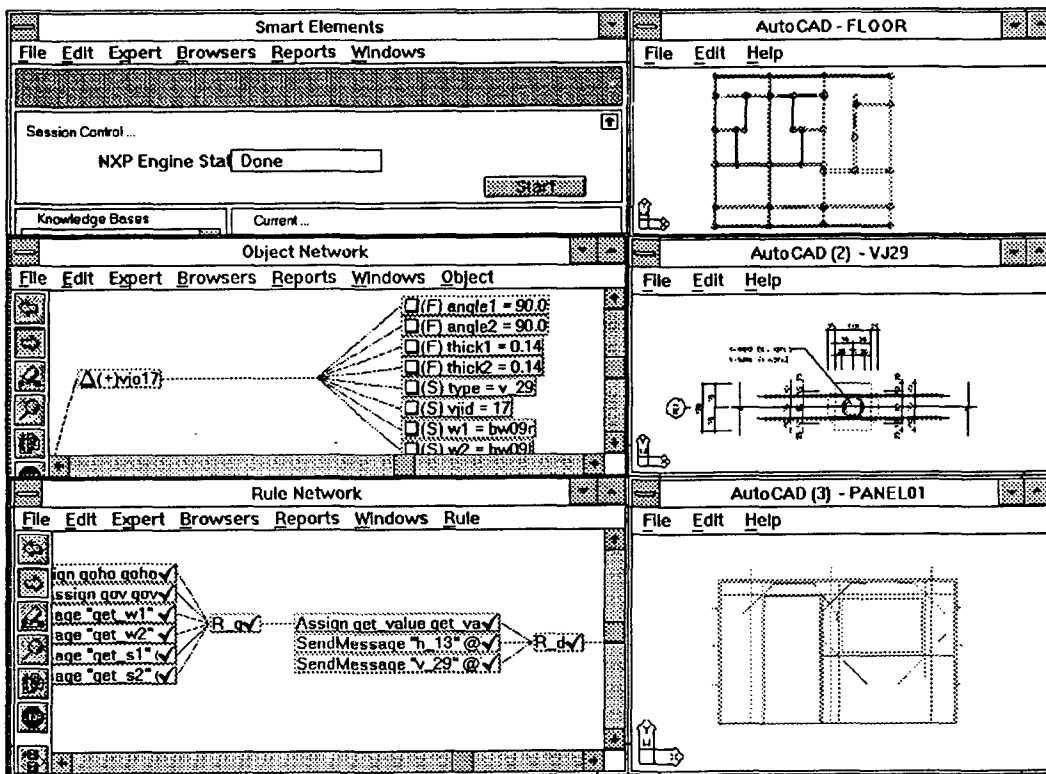
시스템의 구현은 CAD 시스템으로는 AutoCAD™를 사용하였고 지식기반시스템 구축 툴(tool)로는 NEXPERT OBJECT™ version3.0을 사용하였다. NEXPERT OBJECT™는 NEURON DATA사의 Smart Elements™의 한 모듈로 GUI 환경과 관계형 데이터베이스인 NXPDB™를 제공한다. [그림 9]는 본 연구에서 사용한 전체 시스템의 구성도이다. Smart Elements™는 일반 프로그래밍 언어인 C로 짜여져 있기 때문에 이식성이 좋고 외부 프로그램과의 접속이 수월하다.



[그림 9]. 전체 시스템 구성도

4.2 적용 사례

다음은 11평 조립식 아파트의 구조설계에 본 시스템을 적용한 사례이다. 구조물의 해석과 기본평면으로부터 입력정보의 생성이 이루어진 상태에서 지식기반안에 추론을 위한 객체 모델을 형성한다. 객체 모델은 Object Network window에 나타나고, 규칙이 적용되는 순서는 Rule Network window에 나타난다. 추론에 의해 집합부가 선택되고 벽체의 설계가 이루어지면 실행 결과들은 AutoLISP을 이용하여 AutoCAD™화면상에 출력된다. [그림 10]은 집합부의 선택과 벽체의 시험적인 배근이 이루어진 상황을 나타낸다.



[그림 10]. 집합부의 선택과 벽체의 배근

5.결 론

현재 부재설계를 위한 많은 프로그램들이 사용되고 있지만, 실제 업무적용에서는 여전히 수작업에 크게 의존하고 있다. 기존의 프로그램들은 적용가능 범위가 좁고 반복되는 입력작업이 요구되며, 설계자의 의도를 적절히 조합할 수 있는 장치가 마련되어 있지 못하기 때문이다. 부재설계에 있어서 CAD시스템, 데이터베이스와 통합된 지식기반시스템의 이용은 기존의 프로그램에서는 할 수 없었던 비수치적인 작업과 경험에 의한 일관적인 설계를 가능하게 한다. 본 연구에서는 지식기반시스템 구축에 관한 방법론을 고찰하고 제시된 방법론을 바탕으로 조립식 아파트의 부재설계를 위한 지식기반시스템을 시험적으로 구축하여 보았다. 이상의 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 지식기반시스템을 구축하는데 있어서 객체 구조와 규칙 구조로 표현하는 합성적인 지식 표현을 사용함으로써 문제영역에 대한 보다 명확한 지식의 표현이 가능하였고, 보다 효율적인 추론을 할 수 있었다.
2. 지식기반시스템이 데이터베이스, CAD 시스템, 그래픽 환경과 접목되므로써 일관적으로 데이터를 처리할 수 있었으며 통합 시스템의 일부분을 구성할 수 있었다.
3. 구축된 부재설계 지식기반시스템을 이용하여 조립식 아파트의 설계를 행하는데 있어서 접합부의 선택과 경험적인 철근의 배근에 관한 부재설계를 할 수 있었고, 지속적인 지식의 수집을 통해서 시스템의 신뢰성을 높이는 것이 필요하다.
4. 부재설계에 관한 지식을 각 부재별로 나누어 모듈화된 지식기반에 저장함으로써 조립식 아파트 설계에 대한 지식을 체계화하여 축적시킬 수 있었으며 지식의 수정및 증가에 따른 관리를 용이하게 할 수 있었다.

참고 문헌

- [1]대한주택공사 기술연구소. "고층아파트 부품화 기술 개발 (3)", 과학 기술처, 1993
- [2]김종현, 이병해, "철근 콘크리트 구조물의 설계 자동화", 춘계 학술 발표회 논문집, 제11권 제1호, 1991
- [3]김재우, 이병해, "고층 아파트 구조물의 통합 설계 자동화", 추계 학술 발표회 논문집, 제11권 제2호, 1991
- [4]이승창, 이병해, "통합 구조 설계 시스템을 위한 엔지니어링 데이터베이스 구축", 대한건축학회 논문집, 제10권 제11호 통권73호, 1994년 11월, pp 279-289.
- [5]Raymond E. Levitt. "Merging Artificial Intelligence with CAD: Intelligent, Model-Based Engineering", CIFE, Stanford University
- [6]Donald A Waterman, "A Guide to Expert Systems", Addison-Wesley Publishing, 1985.
- [7]김진수, 이병해, "철골 구조 접합부에 대한 전문가 시스템의 적용", 대한 건축학회 논문집 제12권 제2호, 1992년 10월
- [8]오해석, "인공 지능 데이터베이스", 희중당, 1992
- [9]R.D COYNE & M.A. ROSEN MAN et al. "KNOWLEDGE-BASED DESIGN SYSTEM", Addison-Wesley Publishing, 1990
- [10]김현숙, 김소윤, "지식 공학", 크라운 출판사, 1994
- [11]NEXPERT OBJECT ver 3.0 "New features Manual", NEURON DATA, 1993
- [12]NEXPERT OBJECT ver 3.0 "Functional Description", NEURON DATA, 1993
- [13]천진호, 이병해, "일관 구조설계 시스템 구축에 있어서 객체지향 데이터베이스의 도입" 춘계 전산 구조 공학회 학술발표회 논문집, 제6권, 제10호, 1993
- [14]Jay Ernst and W.M. Kim Roddis. "Checking of CAD Drawings for Fabrication Issues", Computing in civil and building engineering, 1993
- [15]Clive L. Dym, Raymond E. Levitt, "KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS IN ENGINEERING", McGRAW-Hill, 1991
- [16]James Martin and James J. Odell, "Object-Oriented Analysis & Design", Prentice-Hall, 1992