

## 철골 구조설계 통합 시스템에서 접합부 설계 자동화에 관한 연구 A Study on Automation of Connection Design in Integrated System for Steel Structures

김 재 동\*      천 진 호\*\*      이 병 해\*\*\*  
Kim, Jae-Dong      Cheon, Jin-Ho      Lee, Byung-Hai

### ABSTRACT

The research of the computer-aided analysis and design of steel structures has continuously evolved. Despite the importance of connection in steel structures, the design process of connections is inefficient in present. The purpose of this study is to help engineer in connection design process. In this paper, prototype of automatic connection design module in integrated system for steel structures is proposed. The main methodology is based on bottom-up approach to simplify and formalize product model. Expert system is used to help engineer for selecting steel connection type. Object-oriented analysis and modeling will improve the expansion of knowledge-base. The design for connection was done according to the design specifications of connections of AISC.

### 1. 서론

건축 구조설계 작업은 일반적으로 초기 구조설계, 구조해석, 부재 상세설계 등의 일련의 과정을 거치며 유기적으로 진행된다. 최근 건축 구조설계 관련 소프트웨어들은 이러한 요구를 고려하여 부분적으로 통합화된 시스템으로 개발되고 있으나 국내 실무적인 여건상 효과적으로 사용되는데 어려움이 많다. 이러한 문제를 해결하기 위해 통합 구조설계 시스템에 대한 연구는 꾸준히 진행되어지고 있다.

가구식 구조인 철골 구조물의 구조 설계 통합시스템 개발에 있어 접합부는 매우 중요한 요소이다. 접합 방법과 접합재의 선정 및 접합상세 등을 단순화시키고 합리적인 방법으로 설계를 하게 되면 주요 구조재의 무게를 줄이는 일 못지 않게 건설비용을 절약하는데 큰 영향을 미칠 수가 있다. 접합부는 그 응력의 분포가 복잡하여 접합부 형태의 선택과 이에 대한 상세는 규준에 따른 수치적인 설계과정과 함께 시공의 용이성이나 경제성, 현장 상태 및 건물의 기하학적인 형태 등을 비롯한 전문가의 오랜 경험에 의한 규정을 많이 필요로 한다. 그러나 실제 업무에 있어서 접합부의 중요성에도 불구하고 몇 개안되는 대안을 가지고 서로간의 안정성과 효율성을 확실적인 방법으로 비교, 검토한 후 합당한 형태를 선택하여 사용하며 이러한 작업 또한 구조기술자가 아닌 상세설계업에 종사하는 사람에 의해 이루어지고 있다.

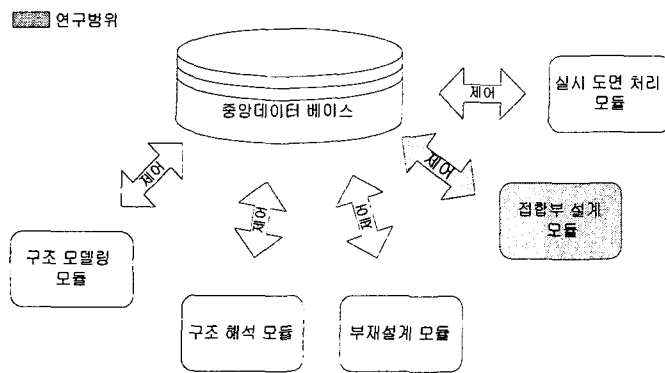
이러한 문제점을 해결하기 위해서 철골 구조 설계 통합시스템(이하 통합시스템)은 구조설계의 비전문가라 할지라도 일련의 설계 과정을 처리할 수 있도록 해야 한다. 또한 통합시스템에서 접합부 설계의 자동화를 위해서는 이러한 비효율적이고 비정형적인 설계 과정을 체계화시켜야 한다.

이에 본 연구에서는 상향식 접근법, 객체지향 기법을 이용하여 설계과정을 체계화시키고, 전문가시스템을

\* 한양대학교 건축공학과 석사과정  
\*\* 한양대학교 건축공학과 박사과정  
\*\*\* 한양대학교 건축공학과 교수

도입하여 접합부를 정형화시켜 통합시스템의 한 모듈로서 접합부 설계 자동화 구현의 원형을 제시하고자 한다. 접합부의 전산 모델은 UML(Unified Modeling Language)을 이용하여 표현하였으며, 전문가 시스템 추론 엔진으로는 CLIPS(C Language Integrated Production System)를 사용하고, 데이터베이스 인터페이스(Database Interface)모듈과 상세설계(Connection Design) 모듈은 윈도우 GUI환경의 개발을 위해 Microsoft Visual C++ 5.0을 사용하였으며, DBMS(Database Management System)는 관계형 데이터베이스 관리 시스템인 Microsoft Access를 사용했다.

## 2. 통합 시스템 구성과 연구 범위



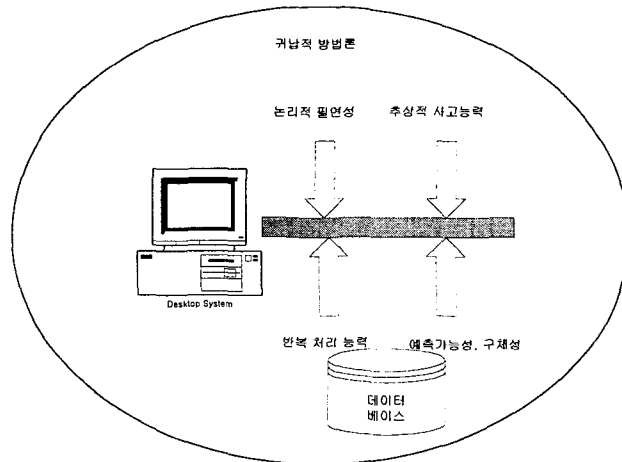
[그림 1] 통합시스템의 구성과 연구 범위

통합시스템은 기존의 개별적인 시스템들을 바탕으로 하여 이루어진다. 기존의 시스템들은 그 기능에 따라 구조 모델링, 구조 해석, 부재 설계, 접합부 설계 그리고 상세 도면작성 작업으로 나눌 수 있다. 그 기본 구성은 [그림 1]과 같다. 본 연구에서 시스템 개발 범위는 이와 같은 통합시스템 구성요소중 중앙데이터베이스의 정보를 기반으로 해서 적절한 접합부 형태를 선정하고 설계를 수행하는 접합부 설계 모듈 개발로 한정한다.

## 3. 개발 방법론

### 3.1상향식 접근법(bottom-up approach)

상향식 접근법이란 추상화 수준이 낮은 것에서부터 점차 높은 것의 순서로 접근하면서 구성하는 방식이다.<sup>(2)</sup> 접합부는 다양한 부재와 접합재료의 조합으로 구성되어 있어서 매우 복합적인 성격을 가지고 있다. 이러한 어려움을 해결하기 위해서 접합부 설계의 자동화 구현을 단순화, 표준화로 해결할 수 있다. 즉, 특정 접합부 형태를 정의하고 시스템을 이러한 범위에 제한시키는 것이다. 이러한 방식은 특수한 사례를 바탕으로 일반적인 처리과정을 해결하는 귀납적인 성격을 띠고 있어서, 논리적 필연성이 부족할 수 있는 단점이 있으나 다음과 같은 장점을 가진다.



[그림 2] 컴퓨터 시스템과 상향식 접근법의 특징

1) 예측 가능성 향상: 사실상 고차원적인 추론이 불가능한 컴퓨터 시스템에서 예측 가능성이 높은 방법론이

더 우수한 결과를 준다.

- 2) 구체성 향상: 제한적으로 접합부 형태를 정의하므로 대상이 명확해진다.
- 3) 데이터베이스 이용 효율 향상: 컴퓨터는 추상적인 사고능력이 없는 단점이 있으나 반복 작업의 처리능력이 아주 뛰어나다. 논리적 필연성이 부족한 단점은 다양한 정보로서 보완할 수 있으므로 이러한 방법론은 데이터베이스를 이용하는 컴퓨터의 효율성을 높여준다.

이러한 특징을 [그림 2]에 표현하였다. 본 연구에서는 접합부 형태를 선택함에 있어 이러한 장점을 가지는 상향식 접근법을 도입하여 특정 형태를 먼저 정의하고 그 범위 속에서 접합부 설계 작업을 분석하는 방식을 취하였다. 본 연구에서는 대상 접합부 형태를 정의 하기 위해서 다음과 같은 제한 조건을 가정하였다.

- 1) 접합부는 두 개의 부재로 구성되어 있다.
- 2) 모든 부재는 H 형강이다.
- 3) 둘째, 접합부는 거더-기둥, 거더-보 연결부에 대해서만 고려한다.
- 4) AISC에 규정되어 있는 강철 연결(Moment Connection) 과 단순 연결(Shear Connection) 형태만을 고려한다.
- 5) 접합부의 보조 연결재는 앵글만으로 한다.

위의 가정을 만족하면서 일반적인 형태라 사료되는 6종류의 기본 형태를 정의하였다.

- Type1: 뼈대(Framing angle) 연결
- Type2: 좌대(Seated angle) 연결
- Type3: 보 플랜지 직접 용접/웹 플레이트 볼트연결
- Type4: 보 직접용접(Beam-direct welded) 연결
- Type5: 보-거더 병렬연결
- Type6: 보-거더 교차연결

### 3.2 객체 지향 방법론

접합부 자동 설계 시스템이 실제 적용되기 위해서는 언급한 6가지의 기본 접합부 형태 이외의 더 많은 데이터가 구축되어야 한다. 이를 위해서는 향후 확장성을 고려하여야만 하는데 객체 지향 방법은 이러한 성격의 소프트웨어를 개발하는데 효과적인 방법으로 알려져 있다.

소프트웨어 공학에서 객체 지향 방법의 장점은 다음과 같다.<sup>(5)</sup>

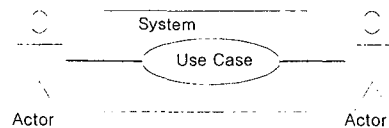
- 1) 설계된 클래스를 이용하여 이를 재사용하므로 프로그램의 코드 재사용을 극대화시킨다.
- 2) 객체지향 기법의 일반적인 개념(객체,클래스,상속,다형성,추상화) 등은 우리가 일상 생활에서 보고, 생각하는 방식을 프로그래밍 언어로 그대로 표현할 수 있게 해주므로 개발자로 하여금 프로그램을 쉽고 효율적으로 개발할 수 있게 해준다.
- 3) 객체 지향 기법은 캡슐화와 정보 은닉이라는 특성을 지원하고 있으므로 프로그램 변경 시에 다른 프로그램에게 영향을 극소화시키므로 시스템 개발 완료후 유지보수를 용이하게 한다.

이상의 장점을 가지는 객체 지향 방법을 도입하여 본 연구의 시스템을 구현함으로써, 접합부 지식의 확장 요구를 반영한다.

## 4. 개발 시스템 모델링

### 4.1 요구사항 분석

시스템 개발에서 선행되어야 하는 것은 시스템의 요구사항을 분석하는 것이다.UML 의 유스케이스 다이어그램(use-case diagram)을 이용하여 이러한 모델을 표현 할 수 있다. 유스

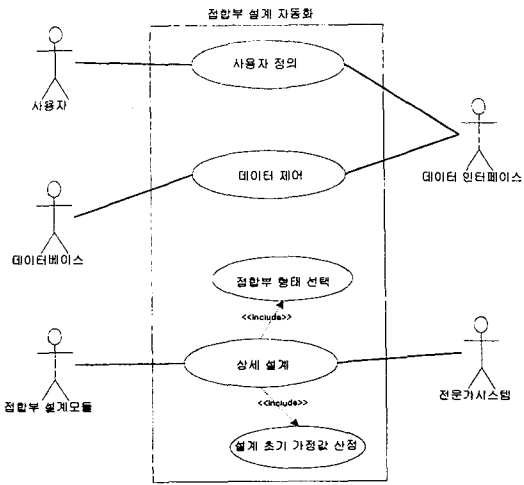


[그림 3] 유스케이스 다이어그램 표기양식

케이스 모델에서 액터(Actor)는 유스케이스(Use Case)를 시작시키고, 유스케이스를 구성하는 진행 단계가 끝날 때 그 결과를 받는다. 유스케이스는 액터가 관심을 가지고 있는 유용한 일을 달성하기 위한 시나리오의 집합을 명시한다. 연결 실선은 행위자와 쓰임새 사이에 교류가 있음을 나타낸다.<sup>(6)</sup> [그림 4]는 개발 시스템 관점의 유스케이스 다이어그램이다.

개발 시스템 관점에서 데이터 관리와 상세 설계라는 두 가지의 유스케이스가 기본이 되는데 데이터 관리 측면에서는 시스템의 자동처리 프로세스와 함께 사용자의 입력을 받아서 수행 할 수도 있어야 한다. 또한 상세 설계를 위해서는 적합한 접합부의 형태를 선정해 주어야 하고 최초 설계를 위한 기본 값을 가정해 주어야 한다. 이러한 요구사항을 바탕으로 다음과 같은 세부 모듈로 시스템을 구성하였다.

- 1) 전문가 시스템모듈
- 2) 상세 설계모듈
- 3) 인터페이스 모듈

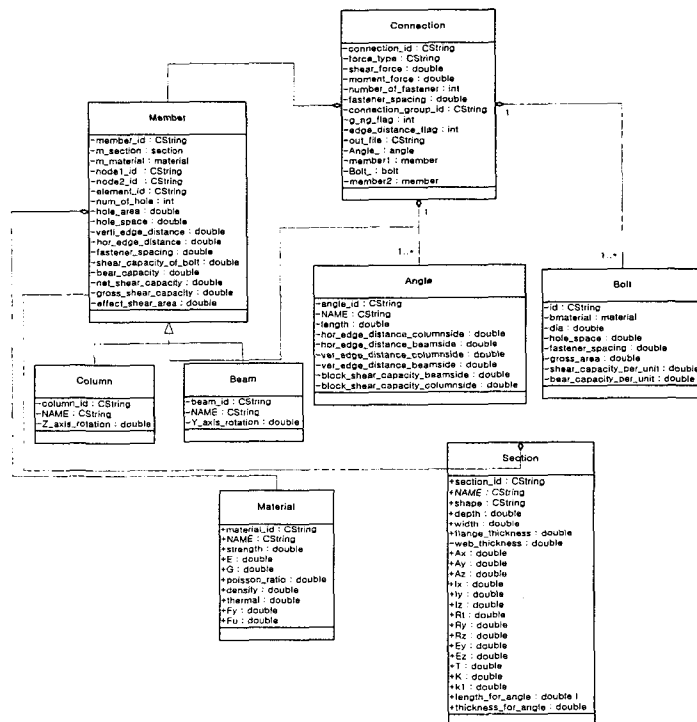


[그림 4] 개발 시스템의 유스케이스 다이어그램

#### 4.2 클래스 모델링

개발 시스템의 클래스는 접합부, 그래픽 인터페이스, 그리고 데이터 인터페이스에 대해서 구성하였다. 가장 핵심적인 부분은 접합부 모델링이므로 지면상 이에 대해서만 언급하겠다. 접합부 클래스 모델은 [그림 5]의 클래스 다이어그램에 나타나 있다.

각 클래스간의 관계는 일반화-특수화(generalization-specialization) 관계와 전체-부분 관계(whole-part)와 연관 관계(Association)로 이루어져 있다. 일반화-특수화 관계란 상위, 하위 클래스 개념, 즉 계층관계가 있고 클래스의 공통적인 성질이 일반화되고 특수한 성질이 추가되어 있는 경우이다. 전체-부분 관계는 전체에 부분이 포함되는 개념이고 상위, 하위 클래스 개념이 없으며 연관관계의 특수한 경우에 해당한다. 즉 두 클래스의 객체의

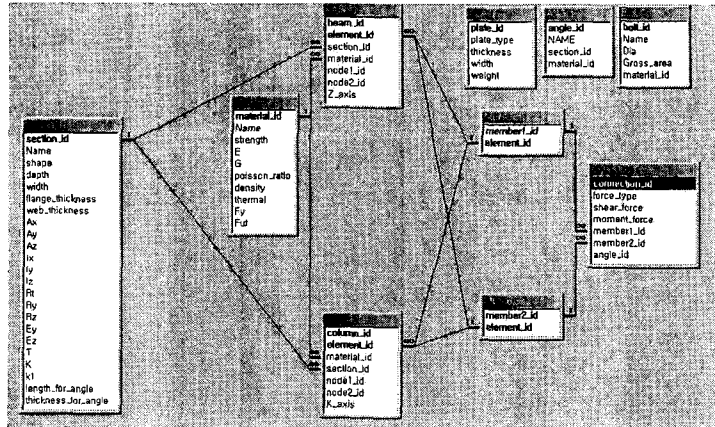


[그림 5] 접합부의 클래스 다이어그램

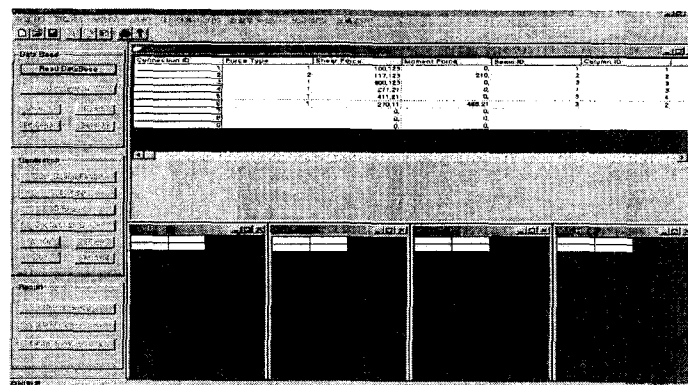
수명이 같거나, 한 클래스의 객체를 다른 클래스의 객체들이 공유하지 않을 때의 관계이다. 연관 관계는 실 세계에서 가장 일반적인 관계성이며 다른 클래스의 객체를 알고 있는 개념이다. 즉 두 클래스가 논리적, 물리적으로 연관되어 있는 관계를 말한다.<sup>(4)</sup> 부재 클래스와 거더, 기둥 클래스는 일반화-특수화 관계이다. 상위 클래스인 부재 클래스에서 거더, 기둥 클래스의 공통적인 성질이 있으며 하위 클래스인 거더, 기둥 클래스는 독특한 성질이 추가되어 있기 때문이다. 또한 접합부는 인접 부재(member),결속장치(fastener)를 포함하는 관계이다. 접합부가 포함하는 이러한 부속(component)은 접합부와 수명을 같이 한다. 즉 접합부가 생성, 소멸됨에 따라서 부속 또한 생성, 소멸된다. 그러나 부재는 접합부와 수명을 달리한다. 또한 하나의 접합부는 하나 이상의 부재와 관계를 가질 수 있으며, 하나의 부재는 하나 이상의 접합부와 관계를 가질 수 있다. 이러한 이유에서 접합부 클래스와 부속클래스는 전체-부분 관계를 이루고 있고, 접합부 클래스와 부재 클래스는 다대다 연관관계를 가지고 있다고 할 수 있다. 또한 부재와 거더, 기둥 클래스는 일반화-관계가 이루어져 있다. 이러한 관계성의 구현에 있어서 일반화-특수화 관계는 클래스의 상속을 이용하였고, 전체-부분 관계는 접합부 클래스가 부속클래스의 객체를 멤버자료(Attribute)로 가지고 있게 하고 다대다 연관관계는 접합부 클래스와 부재 클래스가 서로의 객체에 대한 포인터를 멤버자료로 가지게 함으로서 구현하였다.

### 5. 시스템 구현

5.1 중앙 데이터베이스와 인터페이스  
 기 연구된 통합시스템을 위한 중앙 데이터베이스 구조<sup>(3)</sup>에서, 본 연구에서는 편의성을 위해서 접합부 설계에 관련된 데이터만을 추출하여 구성하였다. 실제 통합시스템의 데이터베이스에서는 질의(query)를 통해서 쉽게 데이터를 추출할 수 있다. 모든 데이터의 모델링은 객체 지향 방법론을 도입하였으나, DBMS는 구현을 고려하여 관계형(Relational)을 사용하였으며 객체의 상호 관계는 기본키(Primary Key)와 외래키(Foreign Key)를 사용하여 표현하였다. 중앙 데이터베이스에서 접합부 모듈을 위해 추출한 데이터는 Access의 테이블로 구성하였으며, [그림 6]은 그 관계를 표현하고 있다. 관계형 데이터베이스에서는 다대다 관계(Relationship)는 직접적으로 표현되지 못한다. 그래서 연속적인 2개의 일대다 관계를 가지는 3개(원래는 2개)의 테이블로 분해해야 한다.<sup>(7)</sup> 인터페이스 모듈은 ODBC(Open Database Connectivity)를 이용하여



[그림 6] Access Data 의 관계정의



[그림 7] 인터페이스 모듈의 초기화면

데이터에 접근한다. ODBC는 Access 뿐만 아니라 거의 대부분의 서버용 DBMS를 지원하는 사실상의 산업의 표준이다. 따라서 인터페이스 모듈은 대형 DBMS 에 접근이 가능하며 호환성이 향상된다. 인터페이스 모듈은 개발 시스템에서 모든 데이터를 제어하고 객체화한다. 이러한 데이터의 흐름은 여러 개의 창(window)으로 사용자에게 편의를 제공한다. [그림 7]은 인터페이스 모듈의 실행 모습이다.

## 5.2 전문가 시스템 모듈

접합부 설계는 통합 시스템의 중앙 데이터베이스에 있는 초기구조설계, 구조설계, 부재 설계의 데이터만으로는 처리 할 수 없다. 사용자의 판단을 통한 입력작업을 요구하는 이러한 데이터에 의해서 접합부 모델은 비정형적인 성격을 나타낸다. 이러한 문제점을 해결하고 비전문가의 효율적인 접합부 설계를 가능하게 하기 위해서 전문가 시스템을 도입한 해결책을 모색하였다. 전문가 시스템은 일반적인 프로그래밍언어를 사용하여 구축할 수도 있으나 대규모의 지식베이스를 요구하는데 있어서 추론기능이나 지식표현 기능 등의 개발환경을 제공하는 전문가 시스템 Tool을 사용하면 다음과 같은 장점이 있다.

- 1) 시스템의 구성, 시험, 수정을 행하는데 필요한 기능들을 제공해 줌으로서 개발 기간을 단축시킬 수 있다.
- 2) 지식 표현, 추론, 제어를 처리할 수 있는 특정 기술을 제공한다.
- 3) 일반적인 프로그래밍 언어는 명령(Operation)흐름을 명시적으로 정의하여 제한해야 하지만 전문가 시스템 Tool 은 좀더 탄력적으로 정의 할 수 있다.

본 연구는 실제 사용을 가정으로 한 원형의 제시에 목적이 있으므로 전문가 시스템 Tool 인 CLIPS(C Language Integrated Production System)를 사용하였다.

### 5.2.1 지식 표현

전문가 시스템에서 지식이란 가장 중요한 요소이다. 본 연구에서는 가장 널리 사용되고 있는 지식 표현 방법인 규칙(Rule)을 사용하였다. 규칙은 IF 구문(LHS)의 조건이 만족되거나 발생한 상태이면 THEN 구문(RHS)이 수행되거나 논리적으로 참이 되는 형태이다.<sup>(7)</sup>

실제 접합부에 대한 지식은 시공성,경제성 등 접합부 전반에 관한 방대한 지식이 요구된다. 본 연구에서는 데이터 베이스에서 추출된 부재의 기하학적인 정보와 물리적인 정보, 구조 해석 정보를 이용하여 간단한 규칙으로서 지식을 구축하였다. 다음은 본 연구에서 구축된 규칙의 일례이다.

Rule[1.] IF : 접합부 거더에서 단면의 Y축 회전 값이 0 이고 접합부 기둥에서 단면의 Z축 회전 값이 90 이면,

THEN :접합 면은 기둥의 플랜지이다.

Rule[2] IF : 접합부의 모멘트 하중이 없고,접합면이 기둥의 플랜지 이면

THEN: 접합부 형태는 Framed Beam Connection이다.

위의 Rule[1]을 표현한 코드는 다음과 같다.

```
(defrule MAIN::determine_face
  ?con <- (object (is-a CONNECTION)(virtual off)(member1_id ?girder)(member2_id ?column))
  ?girder <- (object (is-a MEMBER)(virtual off)(flag_Girder)(id ?girder)(Y_axis_rotation none))
  ?column <- (object (is-a MEMBER)(virtual off)(flag_Column)(id ?column)(Z_axis_rotation cross))
  =>
  (make-instance [face_determine_step] of FLAG)
```

```
(send [virtual_con] face column_flange_side)
(send ?con delete))
```

### 5.2.2 데이터 표현

전문가 시스템의 데이터는 추론의 근거가 되며, 그 구조에 따라 추론의 효율성에 많은 영향을 미친다. CLIPS 가 제공하는 데이터 구조는 Fact, Template, 그리고 Instance 인데, Instance는 클래스 정의에 의해 일반화-특수화 관계를 제공하는 객체 지향 개념이 도입된 것이다. 본 연구에서 전문가 시스템이 필요로 하는 데이터는 인터페이스 모듈에 의해 중앙 데이터베이스에서 얻을 수 있다. 인터페이스 모듈이 관계형으로 모델링된 데이터를 객체로 변환시키므로 전문가 시스템의 데이터 구조를 객체형태로 구성하면 효율성을 높일 수 있다. 다음은 본 연구에서 구현된 CLIPS 클래스 정의의 일부이다.

```
(defclass MAIN::MEMBER
  (is-a MATERIAL SECTION)(role concrete) (pattern-match reactive)
  (slot id (create-accessor read-write))
  (slot type_flag(create-accessor read-write))
  (slot index(create-accessor read-write))
  (slot section_id(create-accessor read-write))
  (slot material_id(create-accessor read-write)))
```

중앙 데이터베이스는 추출되어 구성된 Access 테이블의 레코드(Record)와 CLIPS에서 정의된 클래스의 속성(Attribute)은 동일하다.

### 5.2.3 추론

일반적인 정방향 추론(Forward chaining)은 더 이상 패턴 매칭이 이루어지지 않을 때까지 패턴 매칭(Pattern Matching)-상충해소(Conflict Resolution)-수행(Firing)의 3단계를 반복 수행한다. CLIPS 다음과 같은 기법을 사용한다.

첫째, 패턴 매칭 기법으로 RETE 알고리즘을 사용한다. 이것은 정방향 추론의 실행속도를 개선하기 위하여 규칙과 작업메모리간의 네트워크를 형성해서 매 패턴 매칭 과정마다 모든 규칙을 점검하지 않고, 작업메모리 상에서 이전 상태에서 변경된 데이터만을 점검하여 이와 관련된 규칙만을 점검하게 된다. 이는 매 추론 사이클 마다 변화되는 데이터의 양이 적은 경우에 유용하다.

둘째, 상충해소 기법으로는 기본적으로 Depth Strategy를 사용하며 이외 선택사항으로 6가지의 기법을 사용할 수 있다.

셋째, 상충해소 전략에 의해 한 개의 Rule 과 대응되는 Data 가 선택되면 Rule의 결론 문을 수행한다. 수행 결과 특정 Data 에 변화가 발생했다면, 새로운 패턴 매칭을 야기시킨다.

본 연구에서 이러한 기법으로 추론이 완료되면 접합부 객체들의 Type 속성이 결정되며 접합부 설계에 필요한 초기 가정의 일부 값을 제안한다.

## 5.3 상세 설계 모듈

상세 설계 모듈은 전문가 시스템에 의해 결정된 접합부 형태와 초기 값을 근거로 접합부 응력을 계산하여 안전성이 만족되는가 검토하고, 불안전할 때는 초기 가정 값을 수치적으로 증가시키며 안전치에 도달 할 때까지 작업을 반복한다. 본 연구에서는 AISC(American Institute of Steel Construction) 규정을 접합부 설계

구현 알고리즘으로 사용하였다.

## 6. 결론

본 연구는 상향식 접근법의 개념으로 접합부 형태를 제한하고 객체 지향 기법과 전문가 시스템을 이용하여 철골 구조설계 통합 시스템에서 접합부의 자동 설계 모듈의 원형을 제시하였다. 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 철골 구조설계 통합 시스템의 한 모듈로서 향후 데이터 표준화를 통해 실시도면을 처리하는 범용 소프트웨어의 자동화 토대를 마련하였다.
- 2) 상향식 접근법은 향후 지식 기반의 확장을 조건으로 접합부 자동설계에 유용한 개념이라 사료된다.
- 3) 객체 지향 기법을 이용한 접합부 모델링은 독립적으로 재 사용할 수 있고 확장 및 유지 보수가 용의하다고 판단된다.
- 4) 전문가 시스템은 접합부 형태의 선택에 있어 사용자 의존성을 감소시킴으로써, 비전문가에 의해서도 효율적으로 접합부 설계 작업을 할 수 있는 가능성을 높여준다.

개발된 시스템의 효율성을 높이기 위해서는 다음과 같은 과제가 해결되어야 한다고 사료된다.

- 1) 실제 시공현장에서 사용되고 있는 광범위한 종류의 접합부 형태를 선택함에 있어 그 지식은 정형화되어 있지 않으므로 산업 현장 및 전문가집단 차원에서의 접합부 표준화 작업이 필요하다.
- 2) 접합부 상세 설계에 필요한 초기 가정 값에 대한 최적 알고리즘이 필요함을 알 수 있다.

## 참고 문헌

1. 이희철 “전문가 시스템을 이용한 철골 구조물의 접합부 설계”, 한양대학교, 석사학위 논문, 1993.
2. 김인호 “철골 구조물의 접합부 설계를 위한 전산 모델”, 서울대학교, 석사학위 논문, 1998.
3. 안계현 “구조설계 통합 시스템에서 중앙 데이터 베이스를 위한 데이터 모델에 관한 연구”, 한양대학교, 석사학위 논문, 1999.
4. 강맹규, C++를 이용한 객체지향 프로그래밍, 홍릉과학출판사, p.136, 1998.
5. 최영근, 허계범, 객체 지향 소프트웨어 공학, 도서출판 한국실리콘, p.53, 1995.
6. Joseph Schmuller, 초보자를 위한 UML 객체 지향 설계, 광용재 역, 인포북, 1999.
7. 유일희, 액세스 데이터베이스 디자인가이드, 영진출판사, p.26-p.34, 1998.
8. 이재규 외 2, 전문가 시스템 원리와 개발, 도서출판 범영사, 1996.
9. CLIPS Reference Manual version 6.10, 1998.
10. Manual of Steel Construction, Allowable Stress Design, 9th EDITION, 1989.
11. Manual of Steel Construction, VOL 2 Connections, ASD 9th EDITION, LRFD 1st EDITION, 1992