

# 철근 콘크리트 구조물 설계자를 위한 전문가 시스템 개발

## An Advisory Expert System for the Designer of Reinforced Concrete Structures

정 영 식\*  
Chung, Young-Shik  
김 철 환\*\*  
Kim, Cheol-Whan

---

### ABSTRACT

Expert systems which represent the application of artificial intelligence research are now nearly 20 years old. It is said that the present technology together with ever-increasing computing power may well be exploited preferably by industry. The objective of this paper is to show the applicability of Combined Hypertext-Expert System Techniques to the design of reinforced concrete structures. Hypertext systems allow the user to control the system while expert systems alone don't give the user any control over the system. Therefore the combination of these two techniques, offered by KnowledgePro, may bring us closer to real user-expert communication. The system developed in this work offers information on design in general by reorganizing ACI Manual 318-89, detailed stress analysis and cross sectional design of simple PC/RC beams and optimum design of reinforced concrete building frames. The system also includes the author's earlier work on guidance to identify types of cracks in concrete. It is also demonstrated how well and conveniently existing programs can be used by reorganizing the user manuals in the context of hypertext.

---

### 1. 서 론

본 연구는 KnowledgePro<sup>1)</sup>가 제공하는 Hypertext-Expert System 결합기법의 유용성을 보이고자 했던 저자의 1991년 연구<sup>2)</sup>의 확장으로서 철근콘크리트 구조물의 설계자에게 실질적인 도움이 될 수 있는 시스템을 개발한 것이다. 철근 콘크리트 구조물 설계자는 누구나 ACI 318-89와 같은 시방서나 code를 항상 참조해야 하며 응력의 해석에서 Computer 힘을 빌리게 되고 자동화된 최적설계기법을 원하고 있을 것이다. KnowledgePro의 Hypertext기능을 이용하여 ACI Manual 318-89의 필요부분을 열람하

는데 도움이 되는 시스템과 응력해석 Program 및 이미 개발된 최적설계 Program<sup>3) 4)</sup>을 적절히 활용할 수 있도록 하는 시스템들을 개발하였다.

### 2. Expert System의 개요

1960년대에 인공지능 학자들은 다양한 종류의 문제를 해결할 수 있는 일반적인 방법을 찾아냄으로서 인간만이 가능한 사고의 복잡한 과정을 기계를 통하여 흉내내보려고 시도하였다. 이러한 흥미있는 진전에도 불구하고 아무런 돌파구도 마련하지 못하였다. 70년대에 표현법과 탐색법의 집중적인 연구로 인하여 약간의 성공은 거두었으나 혁신적인 해결책을 마련하지 못한채 70년대 후반 프로그램의 문제해결 능력은 프로그램이 처리하는 지식으로부터 나온다는 인식하

---

\* 정회원 울산대학교 토목공학과 교수

\*\* 울산대학교 대학원 석사과정

에 어느 좁은 범위의 문제영역에 있어서 특별한 목적용 컴퓨터 프로그램과 시스템의 발전을 가져왔다. 이 프로그램들이 바로 전문가 시스템인 것이다.

전문가 시스템이란 사실(자료)들과 의사결정의 근거로서 이들 사실들을 사용하는 물들을 포함하는 지식베이스와 새로운 지식을 유추해 내기 위해서 물들을 어떻게 적용할 것인지를 결정하는 해석기(interpreter)와 물들이 적용되는 순서를 결정하는 스케줄러(scheduler)를 포함하는 추론엔진으로 구성된다. AI연구의 궁극적인 목표는 문제해결 단계에서 지적인 능력을 나타내는 컴퓨터 프로그램의 개발에 있는 것이다. 전문가를 통한 인간의 전문지식이 창조적이라는 장점과 인공적인 전문지식의 영구성이라는 장점의 효율적인 결합으로 어떤 특정영역에 있어서 Human Expert와 같은 기능을 수행하는 즉 완벽한 전문가 기능을 수행할 수 있도록 지식베이스 구축과 그를 통한 추론방법을 공유하는 지식베이스 전문가 시스템의 개발이 AI연구의 최종 목표인 것이다. 다시말해 전문가 시스템이란 인간전문가의 기능을 수행하여 컴퓨터와의 대화를 통하여 문제를 해결하는 지적인 프로그램인 것이다. 전문가 시스템만으로는 이용자에게 선택권을 부여할 수 없다는 점에서 고려된 것이 하이퍼텍스트이다. 하이퍼텍스트란 화면메시지 전개에 초점을 둔 것으로 화면에 전개되는 질문이나 언급중에서 Hypertext Concept로 Mark된 부분에 대한 더 많은, 더 상세한 정보를 이용자의 요청에 따라 얻어낼 수 있도록 한다. 따라서 이용자의 관련분야에 대한 지식의 정도에 따라 화면에 전개되는 정보의 양과 상세함의 정도를 이용자 스스로 선택할 수 있도록 한다. 평면적인 개념을 가진 텍스트 화일들을 더욱 복잡한 조직으로 구성시켜 서로 직접적으로 연결시켜 주고 이용자에게 텍스트 묶음으로의 접근을 용이하게 하는 기능을 말하는 것이며 윈도우의 위치,소멸, 생성의 자유로움과 새로운 Node와 Node에 대한 링크(Link),또는 이미 존재하는 Node에 대한 링크를 쉽게 한다는 점,마우스의 사용이 가능하며

작성된 문서들이 서로 분리되지 않고 다른 문서들과 쉽게 연결할 수 있어 자유로운 데이터베이스 형태 및 계층적 구조를 취하고 있고 약간의 훈련만으로도 하이퍼텍스트 문서의 개발을 쉽게 행할 수 있다는 장점이 있다.

전문가시스템과 하이퍼텍스트를 결합시킨 최초의 기법이 KnowledgePro이며 환경의 중심을 이루고 있는 것이 Topic이다. 이것은 하나의 주제 혹은 테마이고 일련의 지식이다. Topic은 구조적인 조직화와 정보의 저장에 사용되며 시스템 명령어와 같이 사용된다. Topic은 명령어를 포함할 수 있으며 변수처럼 값을 저장할 수 있고 함수처럼 값을 되돌려 줄 수도 있다. 또한 시스템명령어와 같은 역할을 할 수 있으며 하이퍼텍스트와 연계하여 사용되고 계층적구조를 형성한다.

KnowledgePro의 응용Program이 만들어지면 main이라 불리는 Topic이 자동적으로 생기며 모든 Topic들은 그 하부구조 계층을 이룬다. Topic은 서로 독립적으로 존재할 수 있다. 정해진 Topic의 순서는 중요하지 않으며 그 내부에 또다른 Topic을 들수도 있고 그 안에서 실행도 가능하다. 어떤 Topic속에 존재하는 저장된 값을 외부에서 참조하기는 불가능하며 main Topic을 실행시키고 내부 Topic을 실행하는 경우는 가능하다. 그러므로 계층적인 Topic의 구조를 잘 이해하는 것이 중요하며 중복된 과정을 피할 수 있어 메모리 측면에서 효율적인 성능을 발휘한다.

### 3.전문가 시스템을 이용한 ACI Manual의 재구성 (ACI 318-89)

콘크리트는 오랜 세월동안 광범위하게 사용된 건설재료로서 꾸준히 그 질이 개선되어 오늘날 볼수있는 고품질의 구조용 재료로 자리를 잡았다. 건설기술자는 누구나 콘크리트를 다루게 되며 설계 및 시공에 있어 많은 관련서적을 참조하게 된다. 계층적 체계없이 광범위한 전문서적의 알람은 많은 시간과 노력을 요하며 시간을

다루는 시공 공정상 많은 경쟁력 약화가 야기된다. 그러므로 자료의 체계적인 분류 및 요약정리가 필요하며 특별한 기술없이도 열람이 가능한 시스템의 개발이 필요하였다. ACI(American Concrete Institute) Manual은 시공 및 설계기술자가 모든 과정에서 가장 많이 참조하는 시방서이며 콘크리트 시공에 필요한 전반적인 사항들을 모두 다루고 있다. 따라서 방대한 분량의 ACI Manual을 항상 가지고 다니며 필요시마다 전체분량을 일일이 뒤져야 하는 선형적이고 평면적인 문제점들을 해결하기 위하여 일반적인 문서들의 선형적 특성으로 처음부터 끝까지 읽어야 하는 문제점을 해결하여 읽는 사람의 의도대로 건너 뛰어넘는 것을 가능하게한 하이퍼텍스트와 인공지능의 전문가시스템의 결합방식으로 문서상의 자료가 아닌 새로운 자료의 형태가 개발되었다. 하이퍼텍스트와 전문가시스템의 결합으로 생성된 KnowledgePro를 사용하여 ACI Manual 전체를 main Topic 아래 6개의 sub Topic으로 체계적으로 분류하였으며 각 sub Topic아래 요약정리된 내용의 텍스트화일을 가지고 있는 Topic들로 세분화 하였다. sub Topic은 “Material”, “Properties of Concrete”, “Construction Practice”, “Structural Concrete”, “Repair and Maintenance”, “Other Issue”로 구분하였고 세분화 시킨 Topic들을 하이퍼텍스트 기법을 이용하여 밝게 표시나게 하여 이용자의 선택만으로 그 내용을 열람할 수 있는 상태까지 개발되었다.

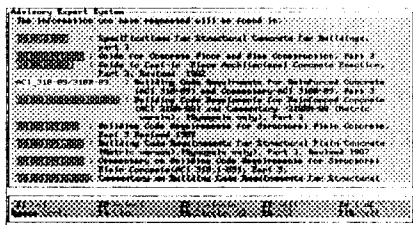


그림 1. Reorganization ACI Manual

Properties of Concrete에서 콘크리트 배합설계에 대한 전문가 시스템을 첨가하였고 Other

Issue에 Crack의 발생원인 및 판별에 관한 전문가 시스템을 첨가하였으나 각 세부 Topic별 텍스트화일의 준비는 아직 안된 상태로 개발이 진행중이다.<sup>2) 5)</sup>

본 연구에서는 ‘Structural Concrete’에 Stresses of simple PC/RC Beam과 Design of Building Frame을 첨가하였으며 ACI 318-89를 요약 정리하고자 한다. ‘Building Code Requirements for Reinforcement Concrete’ ACI 318-89 를 이용자가 열람하기 편하도록 KnowledgePro를 사용하여 전문가시스템을 개발할 것이며 단순히 목차의 나열에 내용이 첨부된 그런 형태가 아니라 문제해결에 도움을 줄 수 있는 체계적인 내용의 정리와 연결관계를 이루어 지금까지 일일이 처음부터 원하는 부분까지 차례로 자료를 탐색해 나가던 방식에서 필요한 부분으로 건너 뛰어넘는 것을 가능하게 하여 원하는 정보를 쉽고 빠르게 찾을 수 있는 전문가 시스템의 개발을 목적으로 한다.

#### 4. PC/RC Beam의 응력해석과 단면설계

PC/RC Beam의 단면의 형태 및 철근-PS강선의 배치위치 및 철근량을 화면을 통하여 쉽게 이해하고 입력을 용이하게 하며 본 시스템을 통해 모든 Data의 입력 및 실행과 출력을 사용자가 보다 편리하게 이용하여 설계할 수 있도록 하는 것이 본 시스템 개발의 목적이다.

본 시스템의 실행은 ACI Manual의 6개 큰 Topic<sup>2) 5)</sup>들중 Structural Concrete를 선택하고 그 속에 저장된 많은 List들 중에서 Stresses of simple PC/RC Beams의 선택과 PCSCBEAM과 RCSCBEAM의 Topic의 선택으로 시작된다. 실행을 하면 먼저 화면을 통하여 본 프로그램의 개요가 설명된다. page down 또는 page up key를 이용하여 화면을 변형시키면서 개요를 읽을 수 있으며 사용되는 단면의 형상들이 나타나고 어떠한 치수들이 Data에 이용되는지와 Prestressed 또는 Non-Prestressed 철근의 배치상태등을 Data line별로 설명하고 입력할 수 있게 되어있다. 그리고 situ-cast beam

에 있어서 상부 슬라브의 폭과 두께, 철근의 면적 및 상부로부터의 배근 깊이 등이 그림을 통하여 설명되어 있다. 그림 2와 3은 PC beam의 단면과 철근, PS 강선의 배근 위치 및 SC beam과 슬라브의 형태 및 철근배근의 형태를 나타내고 있다.

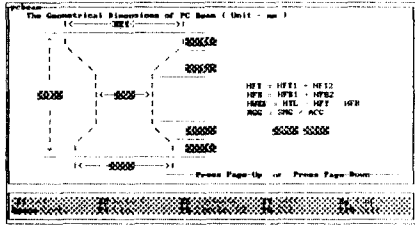


그림 2. The Geometrical Dimension of Beam

그림2~4.의 설명이 끝나면 'INPUT DATA'라는 하이퍼텍스트기법에 의해 밝게 빛나는 Topic이 나타나고 실행하면 전체적인 Data file의 형태 및 앞 그림에서 설명되지 않은 요소들의 설명과 예제 Data file을 볼 수 있게 되어 있다.

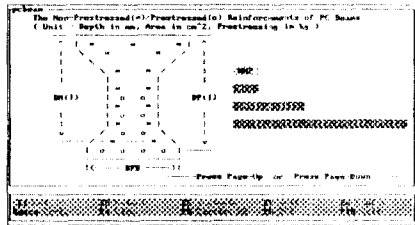


그림 3. The non-prestressed/prestressed Reinforcement of PC Beams

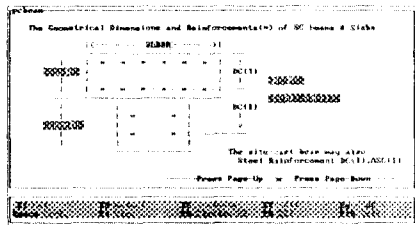


그림 4. The Geometrical Dimension and Reinforcements of RC Beams & Slabs

다음 화면에는 프로그램의 실행을 묻는 질문이 나타나고 EDIT상태에서의 Data file작성, 프로

그램 실행, 출력확인 등을 질문에 대한 응답만으로 모든 과정을 실행할 수 있다. 모든 선택은 하이퍼텍스트 기법을 이용하여 밝게 표시가 된 Topic을 마우스나 F4 Key의 선택으로 이루어진다.

본 시스템의 실행을 통해 Beam과 슬라브 합성부의 휨응력 해석 및 공칭모멘트강도를 산정할 수 있으며 PS강선및 철근의 배치된 층별로 철근 및 PS강선의 인장력과 콘크리트 응력등을 알수가 있어 단면의 안정성 및 Data 변경에 의한 단면의 재설계에 유리하도록 되어있다.

본 시스템은 PC Beam의 응력해석과 단면설계를 위한 'PCSCBEAM'과 RC Beam을 위한 'RCSCBEAM'이라는 프로그램을 사용하여 사용자가 원하는 대로 모든 작업의 수행이 편리하도록 설계한 전문가 시스템으로 각 프로그램에 대해 간략히 논하면 아래와 같다.

PCSCBEAM : 본 Program은 짧은 경간(보통 30m 이내)의 교량 상부구조로 흔히 사용되는 PC-Beam/Slab 합성부의 휨 응력 해석과 공칭모멘트 강도(Nominal Moment Strength)산정을 위한 것이다. Slab 타설시 별도의 동바리공으로 Slab의 중량을 지지하는 것이 아니라 PC Beam이 이를 지지하는 것이 대부분이므로 본 Program에서도 이와같은 시공순서를 따를 경우의 각 단계에서 각 부위가 받는 응력을 산정하도록 하였다. 즉 PC Beam과 Slab의 자중 즉 사하중은 모두 PC Beam이 단독으로 저항하도록 하였다. 즉 PC Beam과 Slab의 자중 즉 사하중은 모두 PC Beam이 단독으로 저항하고 Slab 콘크리트의 경화가 완료된 후의 활하중은 PC Beam과 Slab가 합성부로서 저항하는 것으로 가정하였다. 철근 및 PS 강선(Prestressing Tendon)은 각 층별로 단면적과 묻힌 위치(Depth) 그리고 유효 Prestress량에 따라 휨 모멘트에 저항하는 기여도가 다르므로 이들을 별도로 계산하여 합산하도록 하였다. 본 Program의 이용은 I형 PC Beam뿐 아니라 T형 및 구형 Beam에 대해서도 가능하며 상부의 현장타설 Slab(Situ-cast Slab)가 없는 경우에는 단순히 Slab의 두께를 "0"으로 잡으면 된다. PC Beam을 거치한 연후에 이 PC Beam의 상부 Flange

폭만큼 Beam을 위로 연장하고 그 위에 Slab를 설치하는 방법이 사용될 수 있으며 이 방법은 기존 교량의 보강대책으로 사용될 수 있다. 이때 신·구 Beam간의 전단력의 연결 (Shear Connector)에 대한 신중한 검토가 필요하다. PS 강선의 층수를 “0”으로 놓으면 Prestress가 없는 일반 철근 콘크리트가 된다.

RCSCBEAM :현장타설 철근콘크리트 Beam의 공칭 Moment 강도와 주어진 휨 모멘트로 인한 휨응력을 산정하는 Program이다. Program의 구성이나 입력Data는 PCSCBEAM과 유사하며 다만 Prestress Reinforcement에 관련한 Data는 제외되어야 한다. Beam과 Slab부분이 동시에 현장 타설되는 것으로 가정하였으며, Beam단면의 모양은 PC-Beam처럼 할 수 있도록 되어 있다. 철근은 각 층별로 단면적과 상단으로부터의 거리를 입력하며 철근의 공칭모멘트 강도에 대한 기여도나 철근의 응력은 각 층별로 계산되어 출력된다.

## 5. RC 뼈대구조물의 최적설계

프로그램과 컴퓨터에 대한 특별한 전문지식이 없더라도 구조물의 기본적인 구성요소들만 알고 있으면 손쉽게 컴퓨터와의 대화를 통하여 최적설계를 수행할 수 있도록 사각형단면을 가지는 철근콘크리트 뼈대구조물의 최적설계 Program<sup>3)</sup><sup>4)</sup>을 보다 쉽게 이용하기 위하여 KnowledgePro를 이용하여 전문가 시스템을 설계하였다. 본 시스템을 실행하려면 ACI Manual 을 전문가 시스템으로 기초작성한 ACIMENU를 선택한 후 ACI Manual의 6개 Topic중 Structural Concrete를 선택하고 그 속에 포함된 하이퍼텍스트로 표시되는 많은 List들 중에 Design of Building Frames를 선택하면 된다. 이때 이용자는 하이퍼텍스트 기법으로 밝게 표시되는 Topic의 선택으로 Program 전 과정을 실행할 수 있다. 본 시스템은 'OPTI'라는 Topic과 8개의 sub Topic으로 구성되어 있다. Topic의 선택으로 전체 Program이 수행되며 필요에 따라 부분적으로 수정을 요할 경우 sub Topic의 선택만으로도

계속 반복하여 전체를 실행할 수 있다. 화면 메시지 전개는 각 Data file의 설명과 입력수치에 대한 질문이 나타나며 이용자의 응답만으로 부분적 Data file이 자동적으로 작성하게 되었고 최종적으로는 부분별 작성한 Data file의 결합과 수정 및 Program의 실행과 출력의 확인까지 수행되도록 하였다. 본 전문가 시스템에서 분류한 각 sub Topic별로 간략한 소개 및 그 구성요소, 입력의 방법에 대해 논하기로 한다.

- Information : 본 Program에 대한 간략한 소개가 화면 메시지를 통해 전개된다.
- Basic Parameter : 구조물의 번호 및 beam에 대한 철근배치방법, 콘크리트 단위중량 등이 나타난다. Topic의 선택으로 Line별 각 수치의 정의가 화면을 통해 설명된다.
- Design Data : 기둥 및 보의 폭과 높이, 콘크리트의 강도 및 절곡 철근수등이 입력되는 부분이다. 각 Data요소마다 화면을 통하여 질문을 하게 되면 이용자의 숫자 기입에 의해 미리 정해진 Data file에 자동으로 저장된다.
- Constraint Data : 외부변수에 대한 최대 또는 최소 size의 제한에 대한 data의 입력을 다루고 있다. 확인이 이용자의 선택으로 수행된다.
- Structure Data : 각 node의 번호 및 좌표, 부재의 연결과 절점의 구속조건등을 화면을 통해서 질문하고 이용자의 응답만으로 또 다른 하나의 Data file에 자동 생성된다.
- Loading Data : 각 Beam에 대한 사하중과 활하중 및 node에 작용하는 횡하중들이 입력된다. 입력의 방법은 위에서 각각 서술한 방법들과 동일하다.
- Your Trial Design : 초기 설계를 입력한다.
- Execution and result : 본 Topic을 실행하면 'Combined a Total Data file'과 'Carry out of a Program' 두개의 하이퍼텍스트 개념의 Topic이 나타난다. 전자는 위에서 서술한 각 부분별로 작성된 Data file을 프로그램 실행을 위해 미리 정해진 Data file로 합치는 작업을 컴퓨터 스스로가 수행한다. 후자는 앞에서 작성된 전체 Data file을 이용하여 본 Program을 실행한다.

여기서는 어떤 형태로 Data의 결합과 실행이 이루어 지는가가 화면메시지 진개를 통하여 자세 히 설명된다.

이 최적설계 Program의 수행결과 얻어지는 설계는 같은 구조물 같은 하중에 대해서도 Design Data에 따라 달라 질 수 있음은 물론 Trial Design에 따라서도 달라질 수 있다.<sup>39, 41</sup> 따라서 이 Program을 단 한번 실행하여 얻어지는 설계에 만족할 것이 아니라 Structure Data와 Loading Data를 그대로 두고 각기 다른 Design Data와 Trial Design으로 여러번 실행하여 보다 나은 결과를 취하는 것이 바람직하다. 이 경우 본 전문가 시스템은 Data의 정해진 부분을 수정 하는데 매우 유용하게 사용될 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구는 KnowledgePro가 제공하는 Hypertext 기능의 유용성을 보였으며 특히 기존의 Computer Program의 활용을 보다 용이하게 할 수 있음을 보였다. Manual이나 Code의 연람을 한층 더 용이하게 할 수 있도록 하며, 기존 Program에 대한 Data item의 의미를 잘 이해할 수 있도록 하고 작성과 수정을 용이하게 할 수 있도록 하였다.

본 전문가 시스템은 그 확장성이 매우 좋아 개

선 및 확장은 언제든지 가능하며 따라서 이의 활용은 또 다른 연구개발을 유발하게 되고 확장된 시스템은 더 많은 활용을 유발하여 연구개발과 실무에의 활용이 상승작용을 일으킬 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- 1) Bev & Bill Thompson, KnowledgePro User Manual, Knowledge Garden, Inc, 1988
- 2) 정영식, 유덕용, "하이퍼텍스트-전문가 시스템 결합기법에 관한 연구", 한국콘크리트학회 1991년도 가을학술발표회 논문집 제3권 2호, PP 152~157, 1991
- 3) 정영식, 정석준, 김봉익, "변수 분리의 원리를 이용한 RC구조물의 최적설계", 한국콘크리트학회 1994년도 가을 학술발표회 논문집, 제 6권 2호, PP 267~272, 1994
- 4) 정석준, 철근콘크리트 뼈대구조물의 최적설계, 울산대학교 토목공학과 석사학위 논문, 1993, 12
- 5) 유덕용, 하이퍼텍스트-전문가 시스템 결합기법에 관한 연구, 울산대학교 토목공학과 석사학위 논문, 1992.1