

콘크리트의 배합설계 기술자문시스템 개발

Development of a Technical Consulting System for Concrete Mix Design

김 병 권* 허 태 념** 어 석 홍** 이 석 홍***
Kim, Byoung-Kwon Huh, Taik-Nyung Eo, Seok-Hong Lee, Suck-Hong

ABSTRACT

A prototype expert system for normal concrete mix design was developed using a technical consulting system development tool, EXSYS Professional. The knowledge contained in the system was obtained from the standard specifications of Korea Concrete Institute, American Concrete Institute and from the related British Standards. The knowledge base and user interface will be expanded to cover wider scopes of the problems.

If the system is successfully developed as an operational system, it will produce a great deal of economic benefits by reducing the time and money needed to obtain an expert's judgement and experience in decision making for repetitive tasks related to concrete mix proportions.

1. 서론

기술자문 시스템은 잘 알려진 바와 같이 인공지능(Artificial Intelligence) 분야 중에 가장 현실화에 성공한 응용분야라고 평가받고 있는 것으로, "전문가가 가지고 있는 지식을 인위적으로 컴퓨터에 부여하여 비전문가라 할지라도 컴퓨터와 상호 대화 방식을 통하여 원하는 결과를 얻을 수 있는 일종의 전문가(expert) 시스템"이다 라고 정의할 수 있다. 즉, 기술자문 시스템은 전문가의 지식을 바탕으로 지식베이스(knowledge base)를 구축하고 이로부터 결론을 추론(inference)하는 프로그램으로서 기존의 문제해석적 프로그램과는 개념상 전혀 다르다. 즉, 기술자문 시스템에서는 어떤 문제에 대한 전문지식(domain knowledge)이 그것을 어떻게 사용할 것인가를 제어하는 논리 즉, 추론과정으로부터 완전히 분리되어 있기 때문이다⁽¹⁾.

최근 컴퓨터 및 소프트웨어 기술의 발달로 각 분야의 공학자도 쉽게 기술자문 시스템을 구축할 수 있도록 도와 주는 여러 가지 기술자문 시스템 개발 도구가 상용화됨에 따라 건설산업 분야에서도 활발히 응용되고 있는 추세에 있다⁽²⁾⁻⁽⁵⁾. 콘크리트 관련 기술 특히 배합설계에 있어서 기술자문 시스템의 개발과 응용은 세계적으로 1980년대 중반부터 차츰 관심을 끌기 시작하였으며 1990년대 초반에 이르러 일부 상용화되기도 하였다⁽⁵⁾. 기술자문 시스템의 응용은 특히 반복적인 의사결정과정에 계속적으로 전문가의 판단과 경험이 요구되는 경우에 성공적으로 이루어져 온 것을 알 수 있다. 실제로 건설 현장에서는 잦은 설계변경과 입지조건 및 환경조건의 변화에 따라 신속하고 적절하게 콘크리트의 배합을 변경하여야 할 일이 발생하고 있으며 그 때마다 전문가의 전문지식을 활용하는 데는 상당한 시간적 및 경제적 비용이 수반된다.

* 정회원, 현대건설(주) 기술연구소 주임연구원

** 정회원, 창원대학교 토목공학과 조교수

*** 현대건설(주) 기술연구소 선임연구원

따라서 본 연구에서 개발하고자 하는 시스템은 기본적으로 레미콘 공장 나아가 건설현장의 배치 플랜트에서 요구되는 콘크리트 배합설계상의 문제가 발생할 경우에 현장 직원이 컴퓨터를 이용하여 수분내에 필요한 정보를 받아서 신속하게 현장상황의 변화에 대처할 수 있도록 자문하도록 하는 데 그 목적이 있다. 현재까지 본 연구의 진행은 국내 건설부 콘크리트 표준시방서⁽⁷⁾, ACI CODE⁽⁸⁾ 및 BS CODE⁽⁹⁾에 근거한 기본 모델(prototype)을 개발하는 데 성공하였으며 임의의 현장조건에 대한 타당성 검증을 완료한 단계에 있다. 추후 지식베이스의 확장과 사용자 인터페이스를 보완하고 최종적인 성능 평가를 수행한 후 실용화하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 기술자문 시스템 개요

대부분의 재래식 컴퓨터 프로그램은 수치적인 데이터의 처리와 수학적 계산을 위한 목적으로 작성되었다. 이러한 프로그램이 나타낼 수 있는 지식은 보통 수치적인 사실(facts)이며 해를 찾아가는 추론 메카니즘은 사용자와의 상호대화가 없는 정량적인 것이 보통이다. 한편, 기술자문 시스템은 주로 대량의 기호로 된 지식을 처리하기 위해 개발되어 왔으며, 그 과정은

지식의 획득, 저장, 검색, 분석 및 입출력 등을 포함한다. 대부분의 기술자문 시스템은 사용자 인터페이스 기능을 갖고 있어 사용자 하여금 사용의 편의성을 제공한다. 그러나 기술자문 시스템에서 무엇보다 중요한 것은 지식과 추론과정을 별개로 처리한다는 데 있다. 이것은 시스템 개발자와 유지관리자에게 크다란 잇점을 제공해 주게 된다. 또한 재래식 프로그램과 비교하여 보다 강력한 지식의 표현과 활용을 가능하게 한다. 따라서 최종 사용자에게 설명정보를 줄 수 있으며 수행도중의 의문에 대한 답을 줄 수 있는 기능도 가진다. 한마디로 기술자문 시스템은 특정한 전문분야에서 전문가의 수행을 시뮬레이션하는 컴퓨터 프로그램이라고 할 수 있다. 물론 컴퓨터가 전문가를 완전히 대체할 수는 없다 할지라도 전문가적 수준의 혹은 전문가와 동등한 조언을 할 수 있는 하나의 도구가 될 수 있다. Table 1에 일반적인 프로그램과 기술자문 시스템의 주요한 차이점을 대비하여 나타내었다.

체계적으로 개발된 기술자문 시스템은 일반적으로 Fig. 1과 같은 분명한 3가지 성질을 갖는다. 하나는 전문가적 지식을 나타내는 소위 지식베이스를 갖고 있다는 것이다. 둘째는 사용자로부터 사실을 받아들이는 메카니즘, 즉 사용자 인터페이스 모듈을 갖고 있다는 것이다. 셋째는 지식베이스에 따라 사실을 처리하여 전문가와 유사한 결론을 얻는 능력을 갖는 소위 추론엔진 모듈을 갖고 있다는 것이다.

Table 1. 일반적인 프로그램과 기술자문 시스템의 비교

일반적인 프로그램	기술자문 시스템
결과계산 중심	의사결정 중심
알고리즘에 바탕을 둠	논리적 추론과정에 근거함
실행도중의 변화가 곤란함	실행도중의 변화에 적극 대응 가능
불확실성의 처리가 불가능	불확실성의 처리가 가능
완전한 정보가 요구됨	부분적 또는 불완전한 정보의 처리 가능
결과에 대한 설명이 곤란함	결과에 대한 설명 제공
수치처리 위주	기호처리 위주
지식과 제어의 통합	지식과 제어의 분리
데이터의 표현과 사용	지식의 표현과 처리
결과의 유일성과 완전함	적절한 해결책의 제시

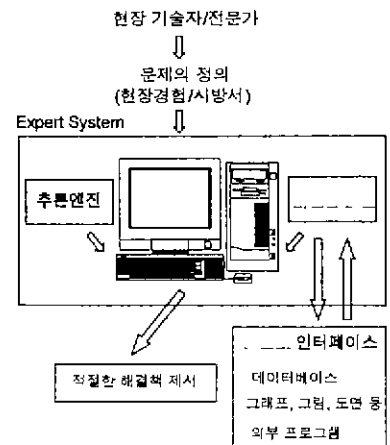


Fig. 1 기술자문 시스템의 구성도

2.2 콘크리트 배합설계

Fig. 2는 1996년도에 현대건설 기술연구소에서 수행한 콘크리트 배합 관련 연구과제를 강도 수준별로 분석한 결과 건축분야 103개 현장과 토목분야 58개 현장 중 약 80~90%가 200~400 kg/cm² 정도의 보통 콘크리트에 대한 것으로 나타났다. 이러한 문제들은 국내외 관련 시방서, 공인된 연구 자료 및 전문가의 현장경험에 따른 축적된 전문지식으로부터 비교적 쉽게 해결가능한 것들임에도 불구하고 문제가 발생할 때마다 관련 전문가에게 의뢰하여 해결책을 찾기 때문에 그에 따른 시간과 경제적 비용이 상당 수반되어 왔던 것으로 나타났다.

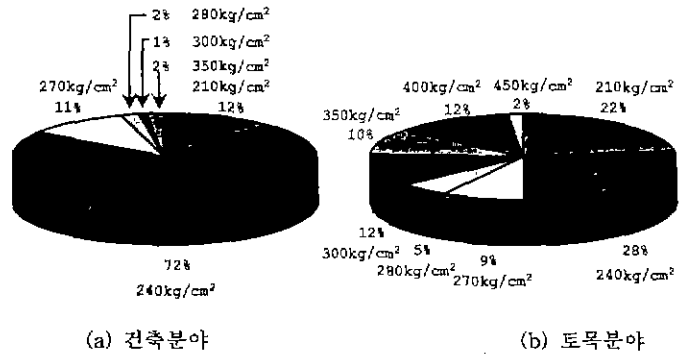


Fig. 2 강도수준별 콘크리트 배합 관련 문제 발생 현황

콘크리트 배합설계는 단순히 요구하는 강도를 만족하는 콘크리트를 만드는 것 이상의 의미를 갖는다. 적절하게 배합설계된 콘크리트는 시방서에 명시된 소정의 강도, 내구성, 작업성, 균질성 및 투수성 등의 모든 요구조건을 만족하여야 할 뿐만아니라 동시에 재료의 입수 등과 관련한 경제성도 고려한 것이어야 한다. 따라서 최적의 배합설계는 각종 연구결과로부터 최종 공인되어 사용되고 있는 해당 시방서의 규정과 경험칙 또는 자기발견법적 지식을 병행하여 적용할 때 얻을 수 있다고 할 수 있다. 이러한 배합설계의 성질과 이와 연관된 자기발견법적 지식체계로 인하여 콘크리트 배합설계 과정은 바로 기술자문 시스템에 매우 적합한 것임을 알 수 있다⁽¹⁰⁾.

2.3 개발 도구의 선정

기술자문 시스템의 개발 초창기에는 Prolog, Lisp와 같은 프로그래밍 언어가 많이 사용되었으나, 최근에는 광범위한 편집기능, 오류수정기능 및 각종 도움기능을 제공하고 있는 셸 프로그램이 개발되어 상용화됨에 따라 도메인 전문가도 쉽고 효율적으로 기술자문 시스템을 구축할 수 있게 되었다. Table 2에 기술자문 시스템을 구축할 때 프로그래밍 언어를 사용할 경우와 개발 도구인 셸 프로그램을 사용할 경우의 일반적인 차이점을 보여 주고 있다. 셸 프로그램은 지식을 획득하고 표현하는 특별한 문법구조를 제공하고 있을 뿐만아니라 대부분 서로 다른 지식형태의 사용, 복합 추론 기능, 외부 프로그램과의 호환성, 데이터베이스의 처리 등을 가능하게 하고 있다.

Table 2 프로그래밍 언어와 셸 프로그램의 주요 차이점

	프로그래밍 언어	셸 프로그램
추론기법	유연하게 대처 가능	셸에 따라 제한적임
수정작업	다소 어려움	편집기능에 의한 편의성 제공
실행과정	여러 단계 필요	상호대화식
속련도	AI에 관한 전문성이 요구됨	전문성이 적게 요구됨
개발기간	장기간 소요 (수년간)	반정도로 기간 단축
인터페이스	개발자의 부담	다양한 기능 제공
실행성능	용량 및 특수 처리방법 요구	대부분 소형컴퓨터에서 실행 가능

본 연구에서는 EXSYS Professional을 시스템 개발 도구로 선정하였으며, 주된 선정 기준은 전문지식에 대한 규칙 표현의 용이성, 사용자의 편의성을 고려한 인터페이스 기능, 추론메카니즘과 문제해결의 적합성 그리고 외부프로그램과의 호환성에 초점을 두었다.

3. 시스템의 구축

3.1 지식베이스

지식베이스는 문제를 다루고자 하는 특정 전문영역에 관한 사실들과 이러한 사실들간의 관계를 규정하는 규칙들로 구성된다. 지식을 표현하는 방법에는 여러가지가 있으나 본 연구에서는 기술자문 시스템에서 가장 널리 사용되고 있는 생성 규칙(production rule)을 사용하였다. 지식의 획득은 본 연구가 prototype의 개발인 점을 감안하여 일차적으로 한국, 미국 및 영국의 관련 시방서 규정을 토대로 하였으며, 그 밖의 각종 연구자료 및 경험지식 등은 추후 보완하기로 하였다.

Fig. 3에 본 시스템에 구축된 지식베이스의 한 규칙을 예시하였다. 이는 사용자가 입력한 설계기준강도와 현장조건에 따라 시방서에 규정한 적절한 배합강도를 산정해주는 규칙을 나타낸다. 그림에서 보듯이 규칙은 IF-THEN-ELSE의 형태로 표현되며 연관된 일련의 규칙들로부터 일정한 목표(예, 배합강도)에 도달하게 된다. 이런 각각의 규칙이 모여 주어진 문제해결에 필요한 전체의 전문지식을 구성하게 된다.

3.2 추론 엔진

앞서 설명하였듯이 추론은 지식베이스에 따라 사실을 처리하여 전문가와 유사한 결론을 내리도록 하는 기술자문 시스템의 핵심적인 기능이라고 할 수 있다. 즉, 지식베이스에 구축된 지식(사실과 규칙)을 어떻게 선택하고 사용할 것인가를 제어하고 문제를 해결하는 데 필요한 논리적 근거를 제공하는 것이 추론엔진의 주요한 기능인 것이다. 추론 엔진에 사용되는 대표적인 기법으로는 전향추론기법과 후향추론기법을 들 수 있으며, 본 연구에서는 전향추론기법(data-driven reasoning)을 사용하였다. 이는 입력데이터(사실)를 수집하고 처리하여 이러한 사실들을 전제로 구축된 지식의 조사를 제어하여 결론을 찾도록 지시하는 방법이다. 이렇게 찾은 결론은 다시 하나의 사실이 되어 최종의 목표(goal)에 도달하거나 더 이상 수행할 규칙이 없을 때까지 계속하게 된다.

3.3 사용자 인터페이스

이는 사용자가 시스템을 원활히 사용할 수 있도록 시스템과 사용자를 연결해주는 기능을 갖는다. 본 연구에서 사용한 GUI는 EXSYS Professional의 EXDESIGN(.exe)을 이용하여 작성하였으며, 사용자가 시스템을 수행하는 데 편리하도록 배치하였다. 지식베이스를 구동하기 위해서는 시스템과 사용자간에 대화가 필요하며, 이때 필요한 질문은 QUALIFIERS를 통하여 작성하였다. 이 QUALIFIERS는 GUI에 의하여 사용자로부터 얻어야 할 정보를 순차적으로 컴퓨터화면에 출력하도록 하였다.

Fig. 4에서는 시스템이 필요로 하는 값을 사용자가 직접 입력하도록 하고 있으며, 질문에 대한 잘

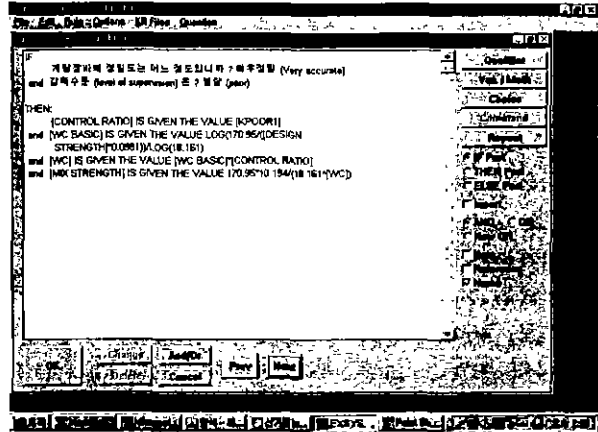


Fig. 3 지식베이스에 구축된 규칙의 예

이해하지 못하는 사용자를 위하여 도움말을 제공하고 있어 특별한 전문지식이 없어도 사용에 큰 어려움을 느끼지 않도록 하였다. 이와 같이 연속적인 성질의 수치적인 값을 요구하는 경우외에 대부분의 경우는 버튼방식이나 체크방식을 사용하여 간단히 사용자가 선택할 수 있도록 하였다. Fig. 5에 체크방식을 이용한 GUI 화면의 일례를 나타내었다.

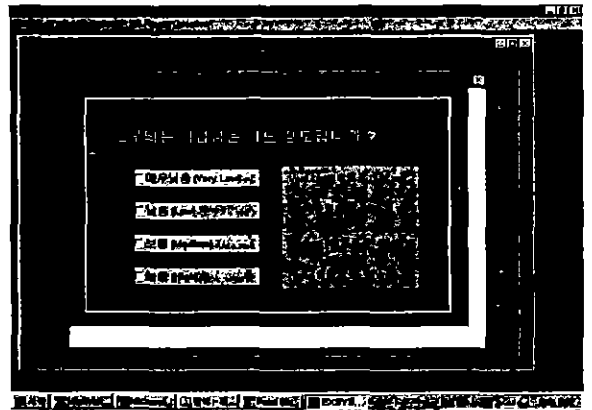


Fig. 4 사용자의 직접 입력을 요구하는 GUI의 예

이와 같이 지식과 데이터의 획득은 사용자와 시스템간의 Q/A를 통하여 이루어진다. 이상에서 살펴보았듯이 시스템에 저장되어 사용되는 지식은 정량적인 것과 정성적인 것으로 나누어진다. 정량적인 데이터는 콘크리트의 설계기준강도, 골재의 물리적 성질, 소요 슬럼프 및 공기량 등을 포함하며, 정성적인 데이터로는 구조물의 노출조건, 시멘트의 종류, 골재의 종류 등을 들 수 있다. 정성적인 데이터의 경우에 사용자가 입력한 변수의 값이 통상적으로 타당한 범위를 벗어나게 되면 그 값을 계속 사용할 것인지 재입력할 것인지를 요구받게 된다. 만약 사용자가 시스템이 요구하는 질문에 답할 아무런 근거를 갖고 있지 않을 경우, 즉, "unknown" 또는 "don not know"의 답을 할 경우에는 시스템이 추가질문을 통하여 미지의 값을 추정하거나 단순히 적당한 값을 가정하여 사용자의 승인을 요청하게 된다.

3.4 배합설계 결과

현재까지 완성된 prototype을 이용하여 한국, 미국 및 영국 콘크리트 배합설계 관련 시방서에 근거하여 콘크리트 배합설계를 수행하였다. 주어진 설계조건은 기상작용을 받는 일반 철근콘크리트 구조물로서 콘크리트의 설계기준강도 $\sigma_{ck}=280 \text{ kg/cm}^2$, 현장에서 예상되는 압축강도의 변동계수는 10%로 하였다. 소요 슬럼프는 10 cm, 목표 공기량은 5.0%, 굵은골재의 최대치수는 25 mm로 하였다. 배합에 사용될 재료의 성질은 시멘트 비중 3.14, 잔골재의 조립율 2.7, 표준비중 2.6, 굵은골재의 비중 2.7을 각각 사용하였다. 골재는 자연골재를 사용하는 것으로 가정하였다.

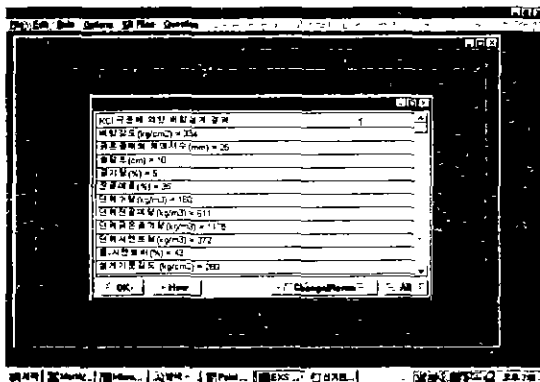


Fig. 6 시스템의 배합설계 수행결과 출력 예

Table 3. 각국의 CODE별 배합설계 수행결과 비교

CODE	KS	ACI	BS
설계기준강도 (kg/cm^2)	280	280	280
배합(목표)강도 (kg/cm^2)	334	318	382
최대골재치수 (mm)	25	25	20
슬럼프 (cm)	10	10	-
공기량 (%)	5	4.5	5
물-시멘트비	43	48	52
시멘트량 (kg/m^3)	372	363	373
수량 (kg/m^3)	160	175	195
잔골재량 (kg/m^3)	611	667	709
굵은골재량 (kg/m^3)	1178	1102	984

Fig. 6에 우리나라의 콘크리트 표준시방서에 의한 시방배합 출력결과를 나타내었다. 만약 사용자가 특정 변수의 값이 어떻게 추론되었는지에 대한 근거를 알고 싶을 경우 그림의 "How" 버튼을 누르면 추론의 근거가 되었던 지식의 내용을 보여주게 된다. 특정 입력변수의 값만을 바꾸어 시스템을 재가동하고자 할 경우에는 "Change/Rerun" 기능을 사용하여 시스템을 처음부터 구동하지 않아도 편리하게 변화된 결과를 얻을 수 있다. Table 3에 한국, 미국 및 영국의 시방서에 근거한 배합설계 결과를 각각 비교하여 정리하였다.

위의 표에서 나타나듯이 각국의 환경 및 재료의 성질이 다르고 그와 관련한 제반 규정이 상이하기 때문에 동일한 구조물에 대한 배합설계의 결과가 다르게 됨을 알 수 있다. 특히 BS CODE의 경우에는 CUBE강도를 압축강도의 기준으로 하고 있기 때문에 실린더 공시체의 압축강도 보다 다소 크게 나타남을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 건설현장의 실무에서 콘크리트 배합설계와 관련한 문제가 빈번하게 발생하고 이로부터 동일한 업무에 반복적으로 전문가의 지식을 활용하여야 함에 착안하여 출발하게 되었으며, 일차적으로 배합설계 기술자분 시스템의 prototype을 개발하는 데 그 목표를 두었다. 따라서 추후 각종 연구자료 및 현장경험을 토대로 지식베이스를 확장·보완하여 실용화할 경우 현장의 직원이 컴퓨터를 이용하여 즉시 자문을 받아 현장조건에 신속하게 대처할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 기업은 문제가 발생할 때 마다 관련 전문가에 자문을 구하는 번거로움과 반복되는 유사한 실험을 직접 수행하지 않고도 원하는 자문을 얻을 수 있어 그에 따른 시간과 경제적 비용을 크게 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) 김화수 외 2인 공저, 전문가 시스템, 집문당, 1995
- (2) S.S. Kim, et al., "Survey of State-of-the-Art Expert/Knowledge Based Systems in Civil Engineering", US Army Corps of Engineers-CERL, Champaign, IL, 1986
- (3) K. Seren, "An Expert System for Choosing the Type of Ready Mix Concrete", Publication No.7, The Nordic Concrete Federation, Finland, 1988
- (4) L.J. Kaetzel et al., "Integrating Knowledge for the Identification of Cracks in Concrete Using an Expert System Shell and Extensions, NIST Internal Report 89-4206, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1989
- (5) L.J. Kaetzel et al., "Users Guide to the Highway Concrete (HWYCON) Expert System", SHRP C-406, Strategic Highway Research Program, Washington, DC, 1994
- (6) EXSYS Professional / User Manual, MultiLogic Inc., 1997
- (7) 콘크리트 표준시방서, 건설부, 1996
- (8) ACI 211.1-91, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1. Materials and General Properties of Concrete, Detroit, Michigan, 1994
- (9) F.D. Lydon, Concrete Mix Design, 2ed., Applied Science Publishers, 1982
- (10) L.J. Kaetzel and J.R. Clifton, "Expert/Knowledge Based Systems for Materials in the Construction Industry : State-of-the-art Report", Materials and Structures, Vol 28, pp.160-174, 1995