

# 콘크리트 배합설계를 위한 전문가 시스템 개발

## The Expert System Development for Concrete Mixing Design

張 勝 圭\*    權 寧 鎬\*    楊 恩 翼\*  
Jang, Seung Gyu    Kwon, Yeong Ho    Yang, Eun Ik  
曹 哲 根\*\*    朴 沘 林\*\*\*  
Cho, Cheol Geun    Park, Chil Lim

### 요 약

본 연구는 배합설계사 사용빈도가 높은 CODE를 대상으로 하여 설계기준강도 210~500kg/cm<sup>2</sup>인 보통 및 고강도 콘크리트의 배합설계절차를 정립하였고, 관련 기술정보와 전문가의 경험 및 지식 등을 분석정리하여 전문가 시스템을 위한 지식베이스를 구축하였다. 또한 지식의 표현방법, 결론의 추론방식 및 전문가 시스템 개발도구 등에 대한 비교연구를 수행하여 보다 효율적인 콘크리트 배합설계를 위한 전문가 시스템을 개발하였다.

### Abstract

The procedures for the mixing design for normal and high-strength concrete having design compressive strength of 210~500kg/cm<sup>2</sup> are established and the knowledge base for the expert system is also built by analyzing the various available information and the experience and judgements of the expert. Moreover, the comparative studies on the explanation method for knowledge, inference engine for conclusion and tools for the expert system are carried out. Through this study, we are developed the expert system for more effective mixing design for concrete.

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경 및 목적

건설분야에 있어서 공사 시공조건이 복잡해지고, 경험과 지식이 풍부한 전문가기술자가 부족하게 됨에 따라 시공계획 단계 및 품질관리의 비중이 커지고 있으며, 이와함께 컴퓨터 이용기술의 급속한 보급을 배경으로 건설 분야에서도 인공지능을 응용하려는 시도가 높아

지고 있다.

특히, 콘크리트 배합설계는 통상 시방서 규준에 따라 설계되지만 현장마다의 고유 특성을 반영하기 위해서는 많은 경험지식과 전문가 기술자의 판단 및 조언이 필요하다. 따라서, 본 연구소에는 "500kg/cm<sup>2</sup> 현장타설 고강도 콘크리트 실용화 연구"와 병행하여 콘크리트 품질관리를 할 수 있는 시스템을 개발하고자 제반경험과 전문가의 지식을 체계화하고, 이를 바탕으로 전문가적인 판단이나 추론기능을 수행할 수 있는 전문가

\* (株) 大宇 建設技術研究所 研究員

\*\* (株) 大宇 建設技術研究所 先任研究員

\*\*\* (株) 大宇 建設技術研究所 所長

시스템을 개발중에 있다.

본 고에서는 개발중에 있는 전문가 시스템에 대한 소개 및 그 특성과 이용에 관해 콘크리트 배합 설계를 중심으로 기술하고자 한다.

## 1.2 연구 내용

연구개발중에 있는 전반적인 전문가 시스템 내용은 [표1]에 나타난 바와 같다. 이미 각 Code별 콘크리트 배합설계는 프로그램 공업 소유권을 각 Code별로 획득하였으며, 현재는 재료평가 프로그램 및 콘크리트 시공 품질관리 프로그램에 대해 연구개발중에 있다.

## 2. 지식 베이스

콘크리트 품질관리는 많은 요인에 의해 좌우되기 때문에 전문가 시스템 개발을 위한 지식베이스는 그동안 수행된 실험결과에 대한 통계적 자료와 경험에 의한 지식 등을 체계화함으로써 모든 영향인자가 합리적으로 고려되고, 전문가적 지식능력이 부여될 수 있는 효율적인 지식 베이스 구축이 필수적이다. 따라서, 콘크리트의 품질관리의 최적화를 위한 전문가 시스템 개발

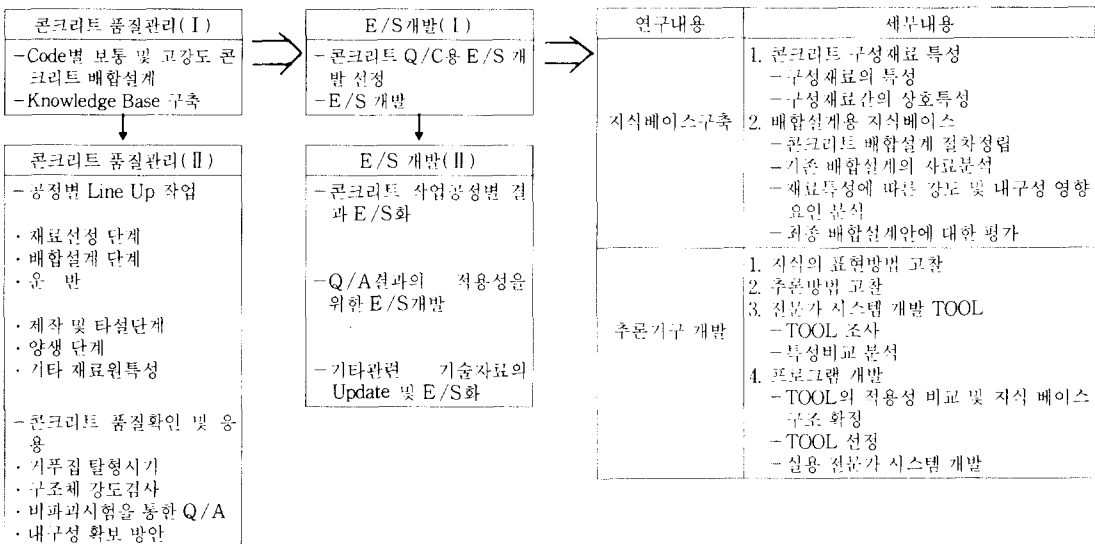
용 지식베이스를 풍부한 자료와 지식이 담긴 효율적인 것으로 만들기 위해 지식베이스 내용을 다음과 같이 선정하였다.

### 2.1 지식 베이스 구축 범위

목표 설계강도 210~500kg/cm<sup>2</sup> 콘크리트 제조시 품질의 균일성과 경제성을 확보할 수 있는 배합설계 시스템의 구축을 위하여 지식 베이스 범위를 다음과 같이 정의하였다.

- 1) 배합설계 비교분석...국내외 공사에 빈번히 사용되고 있는 시방서로 KS, ACI, BS를 선정하였고, 대상 시방별 배합방법을 비교·분석하였다.
- 2) 배합설계안 평가작업...선정된 배합설계안에 대한 평가수행 및 관련기술 정보를 제공하였으며, 향후 현장 적용사례 및 실험자료 등 기술자료의 확장기능을 포함시켰다.
- 3) 자료수집 대상...현장에서의 콘크리트 배합설계시 전문가와 동등한 지식을 최대한으로 활용하기 위하여 각종 시방서와 현장 배합사례를 중심으로 하였으며, 관련 전문기술지를 토대로 한 실험 분석자료도 포함시켰다.

표1. 연구내용



## 2.2 지식 베이스 내용

### 2.2.1 보통 콘크리트용 지식 베이스

KS, ACI, BS에 관한 보통 콘크리트 배합설계 방법 및 표나 그림으로 나타낸 기술자료 등이 서로 차이가 있어 각 Code별로 지식 베이스를 구축하였고 그의 참고가 되는 경험사항 등에 대해서는 필요한 단계마다 부가하였다. KS Code에 의한 배합설계시 구축한 지식 베이스의 세부내용을 일례로 보면 다음과 같다.

- 강도 및 내구성을 고려한 W/C의 결정
- 최대골재크기의 선정
- W/C 최대골재크기를 고려한 슬럼프
- 공기량, 잔골재율, 단위수량의 결정
- 배합조건에 따른 잔골재율, 단위수량의수정
- 시멘트 및 혼화제의 결정
- 굵은 골재 및 잔골재량의 결정
- 실내 실험결과분석 및 현장배합설계

### 2.2.2 고강도 콘크리트용 지식베이스

고강도 콘크리트의 배합설계는 보통 콘크리트의 경우보다 좀 더 정밀한 과정을 요하는 것으로 이의 특성 변화에 미치는 영향 요인으로는 설계 요구강도, 강도 시험재령, 재료특성과 구조물 적용 형태, 구조적 요구 특성, 양생조건, 제조과정, 경제성 등을 들 수 있다. 그러나 고강도 콘크리트에 대한 배합설계 방안은 현재까지 정립되어 있지 않은 상태이므로, 본 연구에서는 고강도 콘크리트의 배합설계 방법을 기존 시방별 배합설계 방법을 준수하면서 관련 내용의 첨가 및 수정을 통하여 하는 것으로 하였다. ACI 시방에 따른 고강도 콘크리트의 배합설계 절차 및 보통콘크리트와의 차이점을 나타내면 [표2]와 같다.

[표2]를 토대로 고강도 콘크리트 배합설계를 위해서 기존 보통 콘크리트용 시방내용에 필히 추가되는 기술 자료의 항목과 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 혼화재료 특성...첨가량(%)에 따른 감수율(%)
- 2) 슬럼프, 최대골재 크기에 따른 단위수량 변화...기존 현장배합별 혼화재료 사용에 따른 단위수량 증가 효과
- 3) 콘크리트 강도별 최적 시멘트량...최대골재 크기에 따른 강도별 소요 시멘트량과 그때의 강도 효율 (콘크리트 강도/시멘트량)

표2. ACI시방의 경우 보통 및 고강도 콘크리트 배합설계 비교사례

Mixing step	결정사항	기 준		비 고
		보통 콘크리트	고강도 콘크리트	
1	Slump	· Structure Type	· Structure Type	
2	최대골재 크기	· Structure Dimension	· Structure Dimension ◦ Compressive Strength	
3	단위수량 공기량	· Slump · $G_{max}$ · Air Entraining	· Slump · $G_{max}$ · Admixture · Air Entraining	· 초기배합 ◦ 고강도콘크리트배합 시추가
4	W/C	· $\sigma_{28} - W/C$ · Air Entraining · Exposure	◦ $G_{max} - W/C$ · $G_{max}$ · Air Entraining · Admixture	
5	시멘트량 혼화제	· W/C · Unit Water	◦ $\sigma_{28} - W/C - G_{max}$ Unit Water ◦ Optimum Cement Content	
6	굵은골재	· $G_{max}$ · F.M.	· $G_{max}$ ◦ Modified F.M.	
7	잔골재량	· Weight Method · Volume Method	· Volume Method	
8	표면수량 보정	· Absorption Ratio	· Absorption Ratio	· 현장배합
9	Yield설정 현장수정 실험	· Yield · Modified Unit Water Air Content	· Yield ◦ Modified Unit Water Air Content	

- 4) 잔골재의 조립률에 따른 최대골재 용적변화
- 5) 혼화재료 사용량, 최대골재 크기, 시멘트 사용량, 콘크리트 압축강도 사이의 최적화

### 2.2.3 지식 베이스의 검증 및 확장

콘크리트 Q/C용 전문가 시스템의 실용성 및 신뢰도 확보를 위해 각 배합설계 단계별로 구축된 지식베이스의 검증이 필요하다. 주어진 입력조건에 대해 만족하는 다수의 배합설계안이 제시될 수 있으나 공사에는 이 중 하나만을 선정해서 사용하여야 하기 때문에 그 기준의 설정이 필요하게 된다. 따라서 본 연구에서 개발한 전문가 시스템에 대해 이러한 선정기준을 만들기 위하여 표3과 같이 경제성 및 기술성 평가를 할 수 있는 Routine을 추가시켰다. 한편 새로운 환경에도 효과적으로 적용되고 유연성을 갖도록 하기위해 기존 구축된 관련 지식베이스 Block별로 향후 발생될 현장시공 사례나 실험연구결과 등과 같은 자료들에 대해서 UPDATE가 가능토록 하여 지식베이스의 확장작업이 진행될 수 있도록 하였다.

표3. 경제성 및 기술성 평가내용

평가내용	평가 Item	세부 내용	비고
경제성	· 실장된 Mx Design 1㎡당 단가	· 콘크리트 배합 단가	· 배합재료별 단가 · 원상조건에 따라 입력하거나, 기존과 요 사용 가능
기술성	· 타설성 (Placeability)	Slump	· 건조수축량
	· 강도 (Strength)	· 설계 및 배합 강도 · 해빙 강도 · 강도 효율 (Strength Efficiency)	
	· 내구성(Durability)	내구성	· 내구성
	· 밀도 및 온도(Density)	· 단위 중량, 열수축	

### 3. 전문가 시스템 개발

#### 3.1 개발순서

콘크리트 배합설계를 위한 전문가 시스템을 개발하기 위하여 본 연구는 [그림1]과 같은 개발순서도에 따라 수행하여 각 Code별 콘크리트 배합설계 전문가 시스템을 개발하였다.

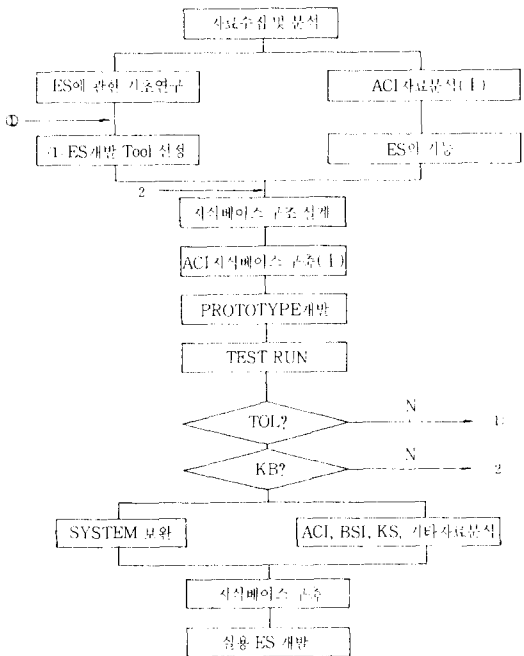


그림1. 개발 순서도

### 3.2 개발 TOOL 선정 및 비교

전문가 시스템용 TOOL은 크게 AI용 Language Type와 Shell Type으로 대별된다. 본 연구에서는 IBM PC 호환기종 및 MS DOS하에서 운용가능하며 특별한 Hardware를 필요로 하지 않은 것을 대상으로 전문가 시스템 개발 TOOL을 조사·분석하였다. [표4]에는 조사 분석된 TOOL의 특성을 간략히 비교·정리하였다.

[표4]에 나타난 TOOL의 특성을 비교한 결과 효율적인 전문가 시스템을 개발하기 위해 자연언어와 유사하고 UTILITY가 많은 PROLOG 및 규모가 큰 전문가 시스템에 사용할 수 있는 VP EXPERT가 본 연구의 TOOL로서 적합하다는 결론을 얻었다.

표4. 전문가 시스템 개발 TOOL 비교

명칭	구분	장점	단점
PROLOG	Language	· 지식구조의 표현력 · Utility가 많은 것을 가진 지식베이스의 구조 가능 · 논리성	· 언어습득의 어려움
M.I	Shell	· Rule Based · ProtoType 개발 가능 · Shell 중에서는 명령어가 가장 다양함	· 전용 RAM 배역 · 외부 Data Base 사용이 어려움 · 입출력 양식의 단조로움 · 규모가 큰(Rule 250개 이상) 전문가 시스템에 부적합
VP-Expert	Shell	· Rule Based · 단시간에 ProtoType 개발 가능 · 640KB Base사용 용이 · 규모가 큰 전문가 시스템에도 적합	· M.I에 비해 명령어가 단순함 · 입출력 양식의 단조로움
ESIE	Shell	· Rule Based · 640KB Base사용 용이 · 명령어가 간단하여 쉽게 사용	· 명령어가 간단하여 쉽게 사용할 수 있으나 적용성은 사용된 적이 없음
IMP SHELL	Shell	· PROLOG에 의해 개발된 Shell로서 효율적인 지식베이스 구축 가능 · 배합 실행수준	· 매우 큰 부속 · Rule의 입력시 장시간 필요 · 시험용용 단계

### 3.3 배합설계 전문가 시스템 개발

본 연구소에서 개발한 전문가 시스템은 각 Code별 규정에 따라 콘크리트 배합설계를 수행하며 사용가능한 강도수준은 설계기준강도 210~500kg/cm<sup>2</sup>(배합강

도 650kg/cm<sup>2</sup>(이하) 까지 가능하다.

### 3.3.1 시스템 구성

전반적인 시스템 구성은 [그림2]와 같으며, 기본 구성은 다음과 같다.

- 1) 사용 기종 .....IBM PC /XT, AT
- 2) OS .....MS-DOS
- 3) 사용 SOFTWARE .....PROLOG, EHAN, QUICK BASIC
- 4) 구축용 TOOL .....살용 VP-EXPERT

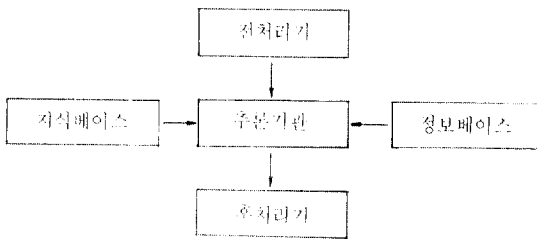


그림2. 시스템 구성

각 시스템 구성요소의 내용을 간략히 살펴보면 다음과 같다.

- 전처리기는 사용자의 자료입력을 위한 것으로 화면 입력방식을 택하여 자료의 입력과 수정이 용이하게 하였고, 입력항목에 대한 충분한 도움말 기능을 포함하고 있다.
- 지식 베이스 추론을 제어하기 위한 명령어로 구성되어 있으며, 배합설계에 필요한 전문가의 지식을 담고 있다.
- 정보 베이스는 혼합재료의 정보와 같이 추후 빈번한 변경이 예상되거나 RULE로써 표현하기 부적합한 FACT에 관한 내용을 수록되어 있다.
- 후처리기는 출력기능을 강화하기 위하여 QUICK BASIC으로 작성되었으며, 배합설계의 결과를 Disk에 기록하고 필요에 따라 자문내용을 복원하여 큰기로 남기기도 한다. 또, 출력은 각 Code별로 직접 현장에서 사용될 수 있도록 기 작성된 출력양식에 따라 출력된다.

### 3.3.2 확신도의 이용

전문가의 지식을 전문가 시스템으로서 컴퓨터화하기 위해서는 전문가 시스템에서 발생하는 모호성 처리

방법이 중요하다. 이러한 종류는 다음과 같다.

- 1) 이용자가 입력 자료에 대해 갖는 신뢰성정도
- 2) 전문가의 의사결정수법의 주관성
- 3) 전문가 시스템 개발자가 RULE 가정시 갖는 타당성정도
- 4) 복수 DATA 또는 복수 RULE에서 얻어질 결과가 갖는 신뢰성정도

이러한 모호성을 대처하기 위해서 이용자가 입력 자료에 대해 상정한 정량적으로 뒷받침되지 않는 확률과 경험적으로 상징되는 확률(통계적 확률과는 다르다)을 확신도라고 하는 표현형식( $0 \leq C \leq 1$ )으로 표시한다. 본 연구에서 상징한 확신도는 다음과 같다.

#### (1) 보통강도 콘크리트

배합설계를 위해 이용되는 기술자료 등은 각 Code 규정별로, 여러가지 경우의 조합별로 Table화 되어 있다. 이는 그 동안의 시공실적과 실험 등을 통해 시방서에 규정되어 있는 것이기 때문에 각종 기술자료 등의 확신도(Certainty Factor)를 1.0으로 가정하였다.

#### (2) 고강도 콘크리트

BS의 경우는 배합설계 인자결정시 상이점이 있긴 하지만 보통 콘크리트와 같이 각종 기술자료가 Table화 되어 있어 BS도 고강도 콘크리트를 배합설계하는 경우 각종 기술자료와 결과의 확신도는 1.0으로 가정하였다.

ACI의 경우는 배합설계절차 및 기술자료 등이 정립되어 있지 않고 있는 실정이다 1984년 ACI 363 위원회에서 제시한 각종 기술자료 등은 1970년 이후 축적된 자료 및 시공실적을 토대로 분석된 결과이기 때문에 향후 수정을 거쳐 Code화 될 가능성이 높다. 따라서 고강도 콘크리트 배합설계 방법은 보통콘크리트 방법을 따르되 강도면 최대 W/C 및 시멘트량, 최저 골재부피 등 각종 기술자료와 배합설계결과의 확신도를 감소시켜 0.9로 가정하였다.

KS의 경우 국내 고강도 콘크리트 배합설계에 관한 자료들이 불충분하기 때문에 기존 배합설계방법을 원용하고 ACI 등의 각종 기술자료를 사용하였다. 따라서 기술자료와 배합설계 결과의 확신도를 0.9로 가정하였다.

### 3.3.3 시스템 특성

#### 1) LOGIC상의 특징

Program의 제어 및 모든 자료는 “IF<Premise> THEN<Conclusion>” 구조에 기초하여 수행 또는 표현되는 RULE BASED SYSTEM으로서 전체 Program은 이러한 RULE의 집합으로 구성되며, 이들 RULE은 INFERENCE ENGINE에 의해 연결(일반적으로 탐색)된다. 예를들어 W/C비를 구하는 RULE을 보면 다음과 같다.

```
IF WC Ratio Method = 2 AND
    StrType ( ) UNKNOWN AND
    StrCont ( ) UNKNOWN AND
    StrSect ( ) UNKNOWN AND
    Exposure ( ) UNKNOWN AND
```

THEN Get WC Ratio from Information Base

이를 자연언어로 알기 쉽게 쓰면 다음과 같다.

내구성을 위주로 물-시멘트 비를 구하며, 그리고 구조물 형식, 구조물이 있는 곳의 상황, 단면, 노출정도 및 철근의 유무를 알고 있다면 외부 정보 베이스로부터 물-시멘트비를 찾아 읽어라.

위와 같이 Conclusion을 얻기 위해 몇가지 전체 조건을 기술하는 것으로서 단위 RULE이 완성되므로 전체 구성성이 명확히 파악될 수 있고, 추후 보완시 관련된 RULE 만을 쉽게 수정, 삭제, 추가할 수 있다.

### 2) 데이터 입력상의 특징

본 시스템은 두가지 방법으로 자료를 입력받는다. 첫째는 전처리기가 제공하는 화면 입력방식에 의해 [그림3]과 같이 일괄 입력하는 것이며 둘째는 화면입력시 누락된 데이터를 추론의 진행에 따라 다음과 같이 필요시 충분한 설명 및 조인과 함께 입력할 수 있다.

질문) 강도와 내구성 중 어느 것을 위주로 W/C비를 결정할까요?

선택[1]: 강도 위주

선택[2]: 내구성 위주

선택[H]: 질문에 대한 설명

?H .....<H를 선택>

설명) KS Code에 의한 배합설계에 있어서 물-시멘트비를 결정하는 방법에는 콘크리트의 강도를 위주로 결정하는 방법과 내구성을 위주로 결정하는 방법이 있습니다. 전자의 경우는 소요되는 콘크리트의 강도를 입력받아 강도와 물-시멘트비의 관계식에 의해 계산하며, 후

자의 경우는 구조물의 형식과 노출정도 등을 추가로 질문한 뒤 Code에 의해 결정합니다. 질문) <상기 질문을 되풀이>

The figure shows three overlapping data sheets. The top sheet, 'Data Sheet 3 / 3', contains fields for Cement, Type, Maker, Specific Gravity, Fineness, Time of Setting (Initial/Final), and Normal Consistency. The middle sheet, 'Data Sheet 2 / 3', contains Classification, Aggregate, Fine Agg., Coarse Agg., Specific Gravity, Moisture Content (Lab/Field), and Absorption rate. The bottom sheet, 'Data Sheet 1 / 3', contains a grid of fields for various material properties: 단위수량 kg, 습 함량 %, M/C입정요인, 철근 사용, 미사용량 m3, W/C입정거 관련되는 내구성인정, [가보입력방법], 적양일, 시멘트량 kg, 굵기당, 수밀성 고려, 철근간격 cm, 시밀 장소, 포화 상태, 통일계 사용, 적양시, 최대골재지수 mm, 세굴저항 (S/a) %, 설계강도 kg/cm2, 단면최소치수 cm, 취적거 관련, 시공 조건, and 혼화제 사용.

그림3. DATA SHEET 일례

### 3) 한글 사용상의 특징

본 시스템에서 출력되는 모든 자료는 한글을 제한없이 화면에 표시할 수 있도록 외부 File의 특정부분을 화면상에 출력시키는 “SHOWTEXT”라는 내부 명령어를 사용하여 한글화하였다. 따라서, 사용자에게 보여줘야 할 모든 Message는 시스템 자체는 존재하지 않고 별도의 외부 File에 존재하므로 시스템 자체의 크기가 대단히 감소하며, 한글의 변환이 불가피할때 Message File만 갱신함으로써 사용이 가능케 하였다.

#### 3.3.4 사용 예

##### (1) 문제 개요

국내 대륙붕에서 석유 시추작업을 위해 콘크리트 해양구조물을 제작하고자 한다. 대상 구조물은 20cm 두께의 다공질벽으로 구성된 Manifold Type을 원용한 철근 콘크리트로서 수면에서는 떨어져 있으나 해수에 접촉하기 때문에 수밀성이 요구된다. 또한 이 지역은 동결융해작용도 예상되는 곳이다. 구조물에 요구되는 콘크리트 설계기준 강도는 210kg/cm<sup>2</sup>이며, 예상되는 물시멘트비는 55%이다. 주변 현장에서는 강자갈, 강

모래의 채취가 가능하였다. 플라이애쉬를 첨가하여 배합설계를 수행한다.

사용재료의 특성은 표5와 같다.

표 5. 골재의 품질시험 결과

산 골 재	항 목	굵은 골재
강 모 래	종 류	강 자 갈
2.5	비 중	2.7
2.0	흡수율(%)	3.0
5.0	함수율(%)	6.0
2.7	조립율(F.M.)	-

## (2) 결과

전처리기에서 일괄 입력되지 않은 부분은 추론 과정 중 입력되었으나 여기서는 나타내지 않았다. 수행된 결과는 표6과 같다.

표 6. CODE별 결과 비교

Code	K.S.	ACI	BS
설계강도	210kg/cm <sup>2</sup>	210kg/cm <sup>2</sup>	25.0MPa
배합강도	252kg/cm <sup>2</sup>	241kg/cm <sup>2</sup>	33.4MPa
최대골재치수	25mm	25mm	20mm
W/C	50.7%	45.0%	-
공 기 량	5%	6.0%	6.0%
슬 린 프	12cm	10cm	-
시 멘 트	288kg	360kg	317kg
물	106kg	129kg	78kg
산 골 재	627kg	553kg	723kg
굵은 골재	1224kg	1153kg	1063kg
혼 화 재	32kg	40kg	56kg
혼 화 재	0.02%	0.02%	-

각 Code별로 내구성에 관련되어 규정된 W/C의 상한치가 다르고 배합방법의 차이가 있기 때문에 같은 구조물에 대한 배합설계시 다른 결과가 나온것을 알 수 있다. 특히 ACI 경우 내구성과 관련된 W/C의 상한치가 45%로 되어 있기 때문에 다른 Code에 비해 시멘트량이 많이 나온 것을 알 수 있다. BS의 경우 설계강도 및 배합강도는 큐브강도를 나타낸다.

## 4. 결론

본 연구는 전문가 시스템의 개념정립과 전문가 시스

템 구축에 사용되는 TOOL의 조사·분석을 통해 적합한 개발TOOL를 선정하고, 이로부터 콘크리트 배합설계를 위한 전문가 시스템을 개발하여 품질관리 시스템의 모델을 제시하고자 하였으며, 연구성과를 몇가지로 요약하면 다음과 같다.

1. 전문가 시스템의 개념을 정립하기 위한 기초연구의 수행 및 지식 베이스의 구축과 추론 방법을 고찰함으로써 전문가 시스템 개발에 필요한 기술적 기반을 마련하였다.

2. 전문가 시스템 개발에 이용되는 TOOL를 수집하였으며, 지식표현, 지식 베이스 규모, 추론방식, 추론제어를 위한 명령어 및 사용자 인터페이스 측면에서 비교 분석하였다.

3. 콘크리트 배합설계와 관련된 기존경험과 지식을 체계화하여 지식 베이스를 구축하였다.

4. 설계기준강도 210~500kg/cm<sup>2</sup> (배합강도 650kg/cm<sup>2</sup> 이하)의 콘크리트 배합설계용 전문가 시스템을 개발하였다.

5. 고강도 콘크리트 배합설계 분야는 보다 높은 신뢰도를 얻기 위하여 추가실험과 자료분석을 통한 지식 베이스 보완이 계속적으로 필요하다.

## 참고문헌

1. Tahir Celik, Antony Thorpe, and Ronald McCaffer, "Development of an Expert System" Concrete International Vol. 11, No.8, 1989, pp. 37~41
2. KAIST 토목공학과, 『인공지능을 이용한 고도의 구조해석/설계용 전문가 시스템의 개발(1)』, 과학기술처, 1988, pp.161
3. 鴻泄一季, "パソコンを用いた土留め工法選定支援エキスパートシステムの構築事例", 土木學會論文集 第385號, 1987年 9月, pp.134~142.
4. (주)대우 건설기술연구소, "고강도 콘크리트의 경제적 배합비 결정 및 실용화에 관한 연구", 기술논문, DEP-CO04-88, 1988.
5. (주) 대우 건설기술연구소, "고강도 콘크리트의 실용화를 위한 부재시험 연구" 기술논문, DEP-CO14-89, 1989.





CONCRETE MIX DESIGN DATA			
Site	Date	Name	
Design Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	210	Design Method of Conc. Mix	KS
Target Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	252	Test Method of Material	
MIX Design Data		SSD	Field
Max. Size of Aggregate	(mm)	25	25
Slump	(cm)	12.0	12.0
Air Content	(%)	5.0	5.0
Water / Cement	(%)	50.7	50.7
Sand	(%)	35.6	35.6
Cement	(kg/m <sup>3</sup> )	288	288
Water	(kg/m <sup>3</sup> )	162	166
Fine Aggregate	(kg/m <sup>3</sup> )	608	627
Coarse Aggregate	(kg/m <sup>3</sup> )	1187	1224
Admixture Type A	(%)	0.020	0.020
Admixture Type B	(kg/m <sup>3</sup> )	31.97	31.97

Fine and Coarse Aggregate		Fine Agg.	Coarse Agg.
Specific Gravity		2.5	2.7
Moisture Content (Lab)	(%)	5	6
Moisture Content (Field)	(%)	5	6
Absorption rate	(%)	2	3
Shape		Round	Round
#4 Sieve Retained / Passed rate	(%)	0	0
Fineness Modulus		2.7	
Unit Weight	(kg/m <sup>3</sup> )		
Abrasion rate	(%)		
Soundness rate	(%)		
Clay Lump rate	(%)		

Cement	Type : Type1	Maker :	Time of Setting		Normal Consistency %
Specific Gravity	Fineness cm <sup>2</sup> /g		Initial	Final	
3.15					
			3-day Strength kg/cm <sup>2</sup>		7-day Strength kg/cm <sup>2</sup>
Soundness %	Compressive	Tensile	Compressive	Tensile	

그림A.6. 전문가 시스템 출력 2(콘크리트 배합설계)

(접수일자 : 1991.4.10)