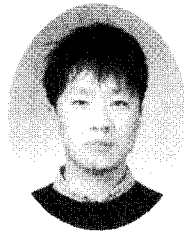


특 집

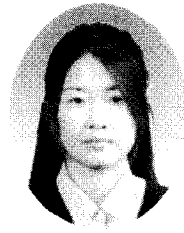
|| IT 시대의 콘크리트 ||

미국 콘크리트 산업에서의 IT 기술 동향과 전망

- IT Technology for Concrete Industry in US -



강승민*



채숙희**



양성철***

1. 서 론

최근 건설 관련 기업체나 학회 등은 컴퓨터와 IT에 의해 많은 영향을 받고 있다. 인터넷과 같은 정보의 이용으로 생산성 향상 및 비용절감을 가능케 하였고, 또한 연구결과의 교류는 콘크리트 기술의 발전을 가져왔다. 하지만 현재의 콘크리트 산업은 이러한 이점을 충분히 활용하지 못하고 있다. 콘크리트와 관련된 통신규약의 결핍, 콘크리트 지식의 교류와 표현에 대한 기준의 불분명 등이 컴퓨터 사용에 대한 장벽으로 작용한다. 콘크리트 기술을 적용하는 수단의 향상, 자료의 교환방법, 표현법 등의 지침이 콘크리트 산업에서 컴퓨터 적용의 속도를 빠르게 하고 다른 건설 재료에 대하여 경쟁력도 증가시킬 것이다.

본고에서는 이러한 시대적 흐름에 맞춰 ACI 동향, CIKS (Computer Integrated Knowledge System), VCCTL (Virtual Cement and Concrete Testing Laboratory), CSA의 3D-CAD 모델을 소개하고자 한다.

2. ACI 동향

컴퓨터를 이용함으로써 콘크리트 지식의 교류, 저장에 대한 능력이 급속도로 빨라지고 있다. 컴퓨터 기술이 발전함에 따라 콘

크리트 기술의 사용방법이 변화될 것이며 이로 인해 컴퓨터는 콘크리트 기술에 대한 거대한 지식의 원천이 될 것이다. 이 같은 추세로 ACI에서는 Committee 235를 1994년에 조직하였다. Committee 235의 주된 업무는 콘크리트에 대한 Knowledge-Based System 구축, 수학적 모델링에 의한 콘크리트 재료적 특성 예측, 통신규약(protocol)에 대한 지침 등에 대한 연구와 개발이다. 1994년 이후, 콘크리트 기술의 컴퓨터화는 진전되어 235와 같은 Committee의 필요성이 더욱더 요구되고 있다.

Knowledge-Based System은 고속도로 콘크리트에 대한 전문적인 시스템(HWYCON), 콘크리트의 재료적 성질에 대한 모노그래프, 시멘트 수화작용의 3차원 모델 등에 적용되었다. 최근 콘크리트 기술자료를 구체적으로 활용할 수 있는 여러 방법들이 제시되고 있는데 ACI Committee 235에서는 콘크리트 기술자료를 다음과 같이 분류하였다.

- 과정
- 특성화
- 건설 가능성
- 미세구조의 시뮬레이션과 특성 개발
- 구조적 성능
- 내화성능에 대한 예측
- 경제성
- 환경적 요소
- 내구성과 유지성에 대한 예측

이러한 분류는 ACI Committee들이 CIKS(Computer

* 정회원, 홍익대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 홍익대학교 건축공학과 석사과정

*** 정회원, 홍익대학교 건축공학과 조교수

표 1. CIKS 네트워크에 연결될 수 있는 ACI Committee

211	proportioning concrete mixtures
212	chemical admixtures
214	evaluation of results of tests used to determine the strength of concrete
221	aggregates
225	hydraulic cements
231	properties of concrete at early ages
232	fly ash and natural pozzolans in concrete
234	silica fume in concrete
301	specifications for concrete
304	measuring, mixing, transporting, and placing concrete
308	curing concrete
309	consolidation of concrete

Integrated Knowledge System) 네트워크에 정보를 저장하고 이를 이용하는 것이 가능하게 되었다. CIKS 네트워크에 연결될 수 있는 ACI Committee들의 예를 들어보면 <표 1>과 같다.

ACI가 콘크리트 산업에 있어서 IT의 필요성을 제안하면서 가장 우선적으로 떠오른 화제는 Concrete Knowledge-Based System의 정보처리 상호운용이다. 정보처리 상호운용은 컴퓨터와 인간사이에 자료 교류의 과정이며, 이에 요구되는 콘크리트 자료는 다음과 같다.

- 콘크리트의 보수, 유지, 생산, 디자인에 대한 허용된 관례
- 자료에 근거한 기준의 표현
- 기준 데이터, 정보, 자료의 체제
- 제작과정과 현재의 모델
- 데이터의 질적인 기준, 자료의 교환
- 일반적 사용자의 공유영역
- IT 통신규약과 기준

여기에 사용된 몇몇 항은 많은 콘크리트 기술자들에게 익숙하지 않을 수도 있다. 하지만 콘크리트 자료의 생성과 분류에 대한 지침을 발전시키는 ACI 235 Committee의 노력으로 그들은 점점 컴퓨터에 익숙해 질 것이다.

기존의 ACI 매뉴얼이나 318 빌딩코드를 이용하여 concrete knowledge를 콘크리트 디자인이나 유지, 생산에 관한 안내 지

침으로 사용하는 것이 정보처리 상호운용을 가능케 하는 프레임워크의 한 예가 될 것이다. 정보처리 상호운용을 가능케 하기 위한 자료의 표현이나 교류를 주목적으로 하는 Committee들이 속속 설립되어지고 있다(116(terminology and notation), 118 (use of computer), 126(database formats for concrete materials properties), 235(knowledge-based system and mathematical models for materials). 이러한 프레임워크를 발전시키는 것은 기존의 데이터 베이스의 형식에 대한 지침을 제공하고 규격화시키는 것이지 기존의 ACI 목표와 활동에 벗어나는 것은 아니다. 콘크리트 지식 표현에 대한 기초로서 이러한 방법을 사용하려면 "process and activity models, criteria for data quality, a common user interface"와 같은 추가적인 작업이 필요하다. 이러한 추가적인 작업에 대해 구체적으로 살펴보면 "process and activity models"는 데이터나 정보, 지식 등을 입력, 출력하는 절차이고 콘크리트와 연관된 활동(콘크리트 재료선택, 수리방법)을 처리하는 절차이다. 프레임워크를 이용함으로써 관례가 향상되고 시간이 절약되는 등의 상당한 이점을 제공할 것이다. 프레임워크를 이용함에 따라 ACI 235 Committee는 통신규약(process, activity, data models, develop criteria for data quality and exchange) 지침설립의 필요성을 인식하고 있다. 사람들이 concrete knowledge를 공유하게 되면 현재의 IT(정보, 데이터, 지식을 전송할 수 있는 인터넷 등)를 한 단계 끌어올릴 수 있다. 현재 인터넷의 상황은 원하는 자료를 찾기 힘들고, 종종 그 자료들을 신뢰할 수 없기 때문에 다소 혼란스럽다. 그래서 콘크리트 산업에 대한 "virtual community"를 설립하는 것이 콘크리트 지식과 컴퓨터의 사용을 향상시키는데 필요하다.

정보처리 상호운용을 가능케 하는 프레임워크의 발전은 콘크리트 산업의 유용성과 컨셉을 설명할 수 있는 기본형(prototype)을 가지고 출발해야하며 NIST(National Institute of Standards and Technology)의 CIKS 네트워크는 이러한 기본형(prototype)의 기초적인 모델로 제공되어질 수 있다. 1997년 CIKS 워크샵에서 Concrete Knowledge-Based Systems의 펴

표 2. CIKS Concrete Working Group

Project	Concrete knowledge domain	Sponsoring organization
HYPERCON	Design, processing, repair of high-performance concrete	National Institute of Standards and Technology(NIST)
Forensic System	Life cycle of highway structures	University of Texas at Austin
Decision Support System(DSS)	Repair and rehabilitation of structures and advanced learning systems	Structural Preservation System, Inc.
HWYCON	Highway structure diagnostics, materials selection, and repair	American Association of State Highway and Transportation Officials(AASHTO)
Concrete Processing	Design, placement, and quality control of concrete	Shilstone Companies, Inc.
HIPERPAVE	High-Performance Concrete Paving	Federal Highway Administration(FHWA)
HYDROCON	Diagnosis and repair of concrete hydraulic structures	U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station

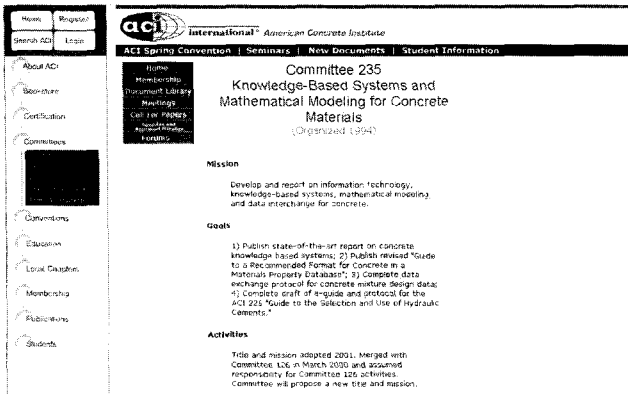


그림 1. ACI Committee 235

요성을 의논하기 위해 정부기관과 만남이 있었다. 여기서 CIKS 콘크리트 워킹 그룹은 정보처리 상호운용을 가능케 하는 프레임워크가 줄 수 있는 유용한 프로젝트와 우선권을 <표 2>와 같이 분류하였다. 또한 이러한 분류는 정보처리 상호운용을 가능케 하는 프레임워크의 기본형을 발전시키는 기회를 제공한다. 미래에 새로운 콘크리트 재료, 생산물, 시스템, 절차는 콘크리트 산업과 소비자의 사용성과 함께 발전할 것이다. 데이터, 정보, 지식의 생성, 표현의 작업, 교류, 해석, 데이터의 관리리는 더욱더 방대해질 것이며 IT는 자료의 저장과 교류방법의 향상을 제공할 것이다. 콘크리트 산업과 고객의 규정을 제공하는 "virtual community" 가 나타나 자료를 이해하고 콘크리트 관리를 향상시키는 큰 이점을 낳을 것이며, ACI Technical Committee는 컴퓨터 사용을 도와 콘크리트 산업의 큰 발전 도모를 기대하고 있다.

3. CIKS의 응용

CIKS(Computerized Integrated Knowledge-Based System)는 복잡한 문제를 푸는데 필요한 지식을 제공하는 컴퓨터화된 인공시스템이다. "knowledge base"란 모델, 데이터 베이스, 이미지, 편람, 안내, 지침 그리고 표준과 규준을 포함하는 지식은

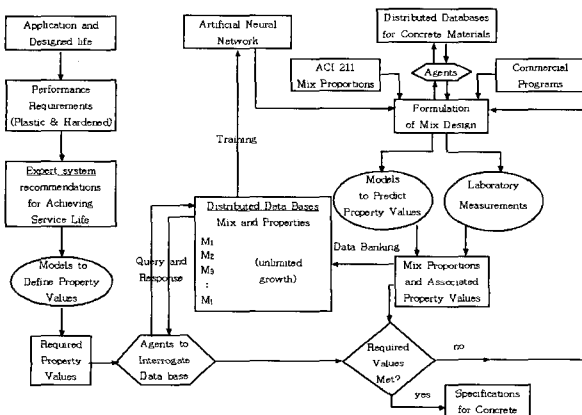


그림 2. Conceptual CIKS for Designing Mixes for High-Performance Concrete

담고 있는 자료를 의미하며, 통합(integration)이란 하나의 knowledge base로부터 다른 knowledge base로 전달을 의미한다. CIKS는 데이터 베이스를 사용하여 문제를 풀고, 전문가의 경험을 토대로 한 기본적인 지식으로부터 국부적 혹은 광범위한 데이터 베이스를 포함하는 실제 데이터에 이르기까지 폭넓은 범위의 문제를 풀 수 있게 한다.

<그림 2>은 고성능 콘크리트에 대한 CIKS의 개념적인 모델과 데이터 베이스에 따른 전문가 시스템이며 구체적인 서비스 라이프를 얻기 위한 콘크리트 혼합물 설계방법을 차트로 보여준다. 첫째, 전문적인 지식과 수학적 모델은 원하는 서비스 라이프를 얻기 위해서 콘크리트의 재료특성을 결정할 때 사용된다. 그 다음, 만약 원하는 혼합물 설계가 이루어진다면 분류된 데이터 베이스를 조사하여 만족스러운 가격을 결정한다. 그러나 만약 원하는 혼합물 설계를 할 수 없다면 새로운 혼합물이 설계되어야만 한다. 조합 가능한 새로운 혼합물을 계산하기 위해 몇몇 방법들은 사용될 수 있으며 새 혼합물은 모델이나 표준시험모델 혹은 조합에 의해서 시험되어질 수 있다. 만약 원하는 혼합물을 얻게 되면 그것은 기준으로서 지정되며 그렇지 못한 경우는 그 과정은 반복된다. 설계된 각 새로운 혼합물의 자료들은 그 시스템에 접속하는 사람들에 의해 데이터 베이스화된다.

사용중인 CIKS 기본형은 연화물에 의해 부식될 수 있는 철근 콘크리트의 서비스 라이프를 추정할 수 있다. 기본형 CIKS에는 보통과 고강도 콘크리트에 대한 콘크리트 혼합물을 배합하기 위한 ACI의 지침, 시뮬레이션과 서비스 라이프 모델, 경험적인 결과에 대한 안내 등이 포함되어 있다. CIKS는 인터넷 <http://ciks.cbt.nist.gov/~bentz/welcome.html>을 통해서 이용할 수 있다.

4. VCCTL을 이용한 콘크리트 특성 예측

NIST는 인터넷상(<http://ciks.cbt.nist.gov/vcctl/>)에서 데이터를 입력함으로써 가상의 콘크리트 특성을 예측 할 수 있는 서비스를 제공하고 있다.<그림 3>

VCCTL(Virtual Cement and Concrete Testing Laboratory)에 가상의 데이터를 입력하여 시멘트(석고, 플라이 애쉬 등)입자의 미세구조를 생성한 뒤 일정한 조건에서 양생시켜 미세구조의 2D 또는 3D-모델 <그림 4, 5>를 볼 수 있고, 기존 실험 데이터와의 비교를 통해 콘크리트의 특성(강도, 수화도 등)을 예측할 수 있다<그림 6>. VCCTL 과정을 살펴보면 다음과 같다.

- 시멘트의 이미지를 데이터 베이스에 입력
- 입자의 분포상태 및 사이즈 결정
- 3D 미세구조 생성
- 3D 미세구조로부터 2D 모델 예상
- 시멘트 입자 내에서 모든 요소 분할

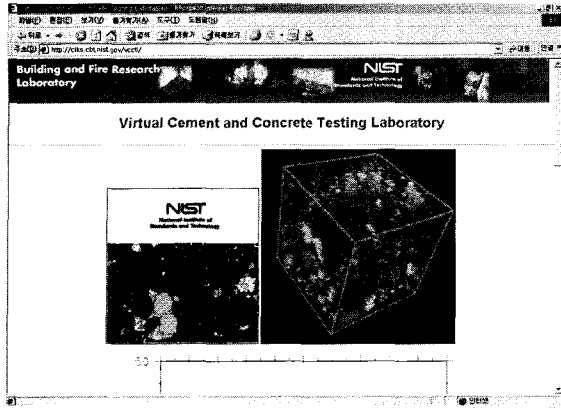


그림 3. NIST VCCTL

- 시멘트 입자 내에서 두 개의 면으로 분할(3D 미세구조를 여러 가지 2D에서 중복된 요소 제거)
- 3D 요소에서 입자의 공간 계산
- 한 면의 침전 반지름을 조절하기 위한 3-D미세구조의 침전
- 플라이 애쉬 입자에서 플라이 애쉬 면으로 분할
- 양생조건 컴퓨터에 대입
- 3D 미세구조 수화
- 골재사이의 거리를 측정함으로 수화로 인한 크랙의 상태 분석
- 수화된 미세구조로부터 CH성분 제거
- 위의 미세구조와 수화된 미세구조의 여과특성 평가
- 기존의 데이터와 위의 과정을 통과한 데이터와의 비교
- 혼합물의 변수를 기초로 한 콘크리트의 염화이온 확산을 예상

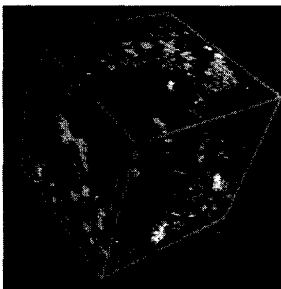


그림 4. 3D 모델링

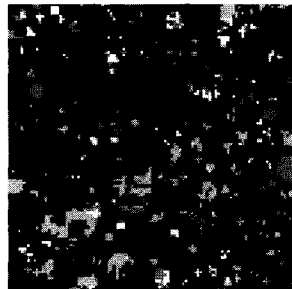


그림 5. 2D모델링

5. CSA PM-Vision

미국 Ohio, Marietta에 위치한 소프트웨어 회사, Construction Systems Associates(CSA)는 레이저스캔을 3D CAD 모델로 전환하는 서비스를 제공한다.

CSA가 제공하는 이 서비스는 복잡한 설비의 레이저스캔을 AutoCAD와 Micro-Station과 같은 CAD 시스템에 호환 가능한 하나의 통합된 3D 데이터 베이스로 체계화하는 것이며 또한 이 서비스는 일정계획 시스템인 Primavera를 기초로 한 프로젝트

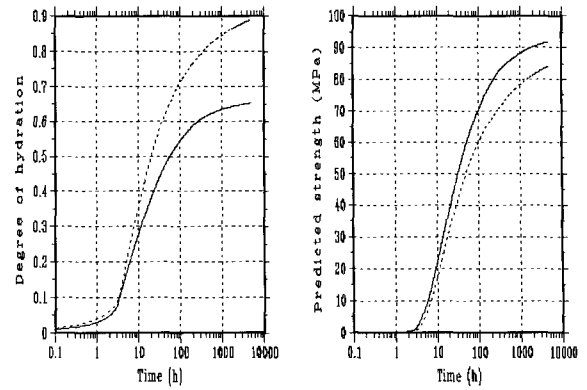


그림 6. 기존 데이터와의 수화도 및 강도 비교

트 공정을 3D 설계모델과 연결짓고 그 결과를 다시 4D 건설모델로 번역하는 시스템 인 PM-Vision을 포함하고 있다.

PM-Vision은 3D CAD 플랜트모델(Plant Model)의 데이터 베이스와 4D 프로젝트 공정(Project Schedule)을 받아들여 통합할 수 있는 기능을 제공하는 소프트웨어이며 프로젝트 공정은 액티비티(activities)와 그들 각각에 대한 관계에 의해 플랜트모델을 특징짓는다. PM-Vision은 레이저 스캔된 형상들로부터 4D 건설모델을 만들기 위해서 Construction-Based Objects로 '자르고', '재편성' 한다. 예를 들어 콘크리트는 건설순서를 대표하는 구역으로 편성되어지고 파이프와 전기설비 등은 단계별 장치들로 나뉜다. 3D CAD 모델은 그래픽과 도형으로 설비시설을 보여준다. 이 시스템은 데이터베이스를 사용할 뿐만 아니라 유효비용결정, 결과해석 그리고 실행에 필요한 공급원을 프로젝트 공정에 따라 시각적으로 표현한다.

일반적으로 PM-Vision은 다음과 같은 사항들을 제공한다.

- Primavera 내에서 계획된 일정 도입 가능
- 프로젝트 공정과 기존 3D 모델 통합
- 일정분석을 위한 Diagnostic Function을 제공
- 프로젝트 3D 데이터베이스에서 예정계획에 대한 피드백
- 모델로부터 건설량을 통합하는 편익
- 건설량의 사용법을 시각화하는 능력
- 설계나 프로젝트 일정계획 방법에 익숙하지 않은 사용자들을 위해 효과적인 프로젝트계획과 일정계획에 대한 정보전달 방법
- 정보처리능력이 있는 모델 데이터베이스로부터 Schedule Activities를 만들기 위한 방법을 제공한다.

PM-Vision은 <그림 7>의 CSA 홈페이지 <http://www.csaatl.com>에 접속하여 Information에서 간단한 정보를 알 수 있으며, 이메일(inquiries@csaatl.com)을 통해서 PM-Vision Movie 등의 자료를 받아볼 수 있다. <그림 8>은 PM-Vision Movie로써 대규모 프로젝트에 콘크리트가 설치되고 단계별 설비들이 공정에 따라 정착되어지는 건설순서를 보여준다. PM-Vision의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

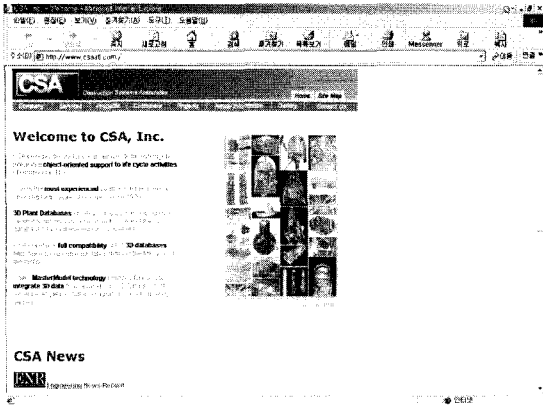


그림 7. CSA

<그림 9>는 공정에 따라 소모되거나 정착되는 수량에 대한 개관을 보여주고 있다

Review of expended or installed quantities with the schedule:



그림 9. 공정에 따라 소모되거나 정착되는 수량



그림 8. PM-Vision

- 지정 액티비티 (schedule activities)는 Primavera와 같은 일정계획 시스템으로부터 PM-Vision의 데이터베이스로 전달된다.

- 액티비티 속성들은 Primavera로부터 액티비티와 함께 전달된다. (속성들은 Location Codes, Disciplines, Responsibility Codes 등)

- PM-Vision에 특정 개관공정(Review Schedule)을 만들기 위해서 부분적인 일정들(Partial Schedules)을 발췌할 수 있다.(예를 들어 지정 하도급업자, 분야, 건물 등)

- 공정 데이터는 Microsoft Excel Spread sheet를 사용하여 전달된다.

- 다른 일정계획 시스템들로부터 전달이 용이하다.

<그림 10>은 공정 제한에 대한 예를 시각화한 그림이다.

Visualization Example of Schedule Constraints:

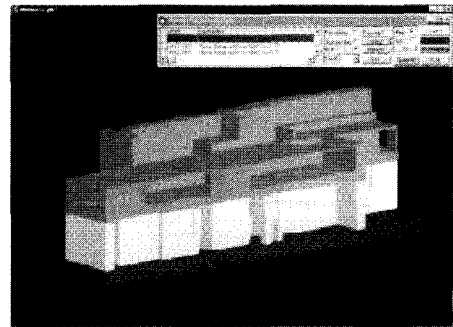


그림 10. 공정 제한에 대한 예

<그림 11>은 일정계획 액티비티들을 발생시키게 하기 위해서 사용되어지는 3D 모델이다.

3D Model used to generate Scheduling Activities:

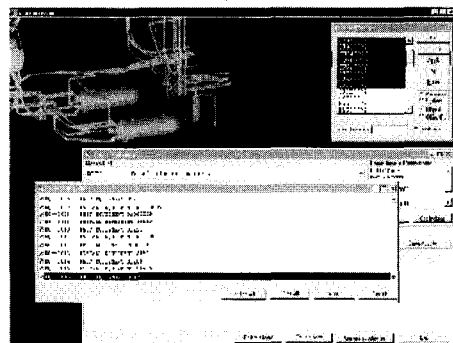



그림 11. 일정계획 액티비티들

PM-Vision은 3D 모델과 프로젝트 일정을 통합함으로써 프로

젝트 경영에 다음과 같은 많은 혜택을 준다.

- 많은 계약자와 하도급업자들이 참가했을 때 프로젝트 팀들 사이에 향상된 정보전달기술을 제공한다.
- 레이저 스캔을 3D CAD 모델로의 전환서비스
- 프로젝트의 설계단계 동안 초기의 건설 팀을 포함시키는 능력
- 프로젝트를 계획하는 동안 다양한 일정 선택사항을 시각적으로 검토하는 능력
- 건설기간 동안 예기치 못했던 일에 대한 잠재적인 영향을 평가하는 능력(공사지연, 사고 등)
- 경비절감혜택 : 3D 플랜트모델을 만드는 것은 건설비용의 약 0.5%를 차지한다. 생산 경험상으로 볼 때 설계와 건설을 위해 3D 모델을 제작함으로써 건설비용의 최소 4 ~ 6 %를 절감할 수 있다. 

참고문헌

1. Kaetzel, L. J.; Clifton, J. R.; Snyder, K.; and Klieger, P., "Users Guide to the Highway Concrete(HWYCON) Expert System", SHRP C-406, Strategic Highway Research Council, Washington, D.C., 1994.
2. Garboczi, E. J.; and Snyder, K. A., "Electronic Monograph on the Computational Materials Science of Concrete." Internet Uniform Resource Locator address <http://ciks.cbt.nist.gov/garboczi/>
3. Bentz, D. P., "Modeling Cement Microstructure: Pixels, Particles, and Property Reduction", Materials and Structures, V.32, April 1999, pp.187-195.
4. Clifton, J. R., and Sunder, S. S., "A Partnership for National Computer-Integrated Knowledge Systems Network for High-Performance Construction Materials and System: Workshop Report," NIST Internal Report 6003, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Md., March 1997.
5. Kurihara, T. Y., and Kaetzel, L. J., "Computer Integrated Knowledge System (CIKS) for Construction Materials, Components, and System: Proposed Framework", NIST Internal Report 6071, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Md., September
6. High Performance Construction Materials : Computer in HPCMS, URL: <http://titan.cbt.nist.gov>
7. J. M. Shilstone, "Concrete on the Internet", Concrete International, Vol.17, No.12, pp.25-27(December,1995).
8. S. Krause, "Knowledge-Based Systems", Techmonitoring, SRI International December, 1995.
9. J. Martin, Information Engineering: Book 1 Introduction, Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey(1989).
10. K. Brady and J. Sullivan, "Remote Database Access", Computer Systems Laboratory, National Institute of Standards and Technology(1996).
11. J. R. Clifton and B. C. Oltikar, "Expert System for Selecting Concrete Constituents", in Computer Applications in Concrete Technology, pp.1-24, ACI SP-96, American Concrete Institute(1987).
12. L. J. Kaetzel and J. R. Clifton, "Expert System for Concrete Construction", Concrete International, Vol.10, No.11, pp.19-24(1988).
13. 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(1993).
14. L. J. Kaetzel and J. R. Clifton, P. Klieger, and K. Snyder, "Highway Concrete (HWYCON) Expert System User Reference and Enhancement Guide", NISTIR 5184, National Institute of Standards and Technology(1993).
15. Materials for Tomorrow's Infrastructure : A Ten-Year Plan for Deploying High-performance Construction Materials and Systems CERF Report 94-5011, Civil Engineering Research Foundation, Washington, D.C. (1994).
16. C. J. Date, An Introduction to Database Systems, Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Massachusetts, sixth edition(1995).
17. J. R. Rumble and F. J. Smith, Database Systems in Science and Engineering, Adam Hilger, Bristol, England (1990).
18. "Manual on the Building of Materials Databases", Crystal H. Newton, editor, ASTM Manual Series: MNL 19 (November, 1993).
19. L. J. Kaetzel, J. R. Clifton, and L. J. Struble, "Guidelines for the Development of Computer Based Models in a Cementitious Materials Modeling Laboratory", NISTIR 4650, National Institute of Standards and Technology
20. G. Frohnsdorff and J. Clifton, "Cement and Concrete Standards of the Future: Report on the Workshop Report Held on October 11 and 12, 1995", NISTIR, in press.
21. J. R. Clifton and B. C. Oltikar, "Expert System for Selecting Concrete Constituents", Computer Applications in Concrete Technology, ACI SP-98, pp.1-24(1987).
22. J. R. Clifton, "Predicting the Service Life of Concrete", ACI Materials Journal, Vol.90, No.6, pp.611-617(1993).
23. HYPERCON : <http://ciks.cbt.nist.gov/bentz/phpct/>
24. CIKS : <http://ciks.cbt.nist.gov/bentz/welcome.html>
25. VCCTL : <http://ciks.cbt.nist.gov/vcctl>
26. PM-Vision : <http://www.csaatl.com>