

개구부가 있는 춤이 큰 철근 콘크리트 보의 설계에서 지식기반시스템의 적용

An Application of a Knowledge-Based System
for Design of Reinforced Concrete Deep Beam with Opening

민명희*
Min, Myung-Hee

이승창**
Lee, Seung-Chang

이병해***
Lee, Byung-Hai

ABSTRACT

Three procedures are currently used for the design of deep beams, which are Empirical design method, Nonlinear analysis, and Truss models. The engineering logic and decisions inherent in these design procedures are dependent on the acquired knowledge and experience of the structural engineer.

Knowledge-based system is useful to solve problems which require human expertises. Therefore, this study presents an application of Knowledge-Based System for design of reinforced concrete deep beams with web openings.

1. 서론

최근 많이 건설되고 있는 주상복합건물은 상부층은 벽식아파트, 하부층은 상가로, 벽체로부터 기둥으로 힘을 전달하는 과정에서 춤이 큰 보가 필요하다. 일반적으로 춤이 큰 보의 설계시에는 통로 배치, 설비등 건축적인 필요에 의하여 개구부가 요구된다. 그러나, 개구부가 있는 춤이 큰 보의 국내 설계 기준이나 미국의 ACI 318-95⁽¹⁾, 유럽의 CEB-FIP Model Code (1990)⁽²⁾에서도 그 설계 방법이 규정되어 있지 않다. 그러므로 이와같은 구조물의 설계시에는 실험을 통한 설계, 비선형 유한요소법과 같은 수치적인 해석모델을 통한 설계, 또는 트러스 모델을 이용한 설계가 이용된다.

트러스 모델을 이용한 설계를 개구부가 있는 춤이 큰 보에 적용하려면 설계자의 이에 대한 깊이 있는 경험과 지식이 요구되고, 비선형 유한요소법을 통한 설계는 시간과 비용이 많이 소모된다. 그러므로, 실제 설계시 유용하게 사용하기 위해서는 이미 축적된 실험 결과나 해석결과를 바탕으로 설계를 할 수 있는 새로운 시스템의 개발이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 문제 해결시에 사실을 바탕으로 추론 할 수 있는 지식기반시스템을 도입하여, 개구부가 있는 춤이 큰 철근 콘크리트 보의 설계 방법론을 지식기반시스템을 이용하여 구현하고자 한다.

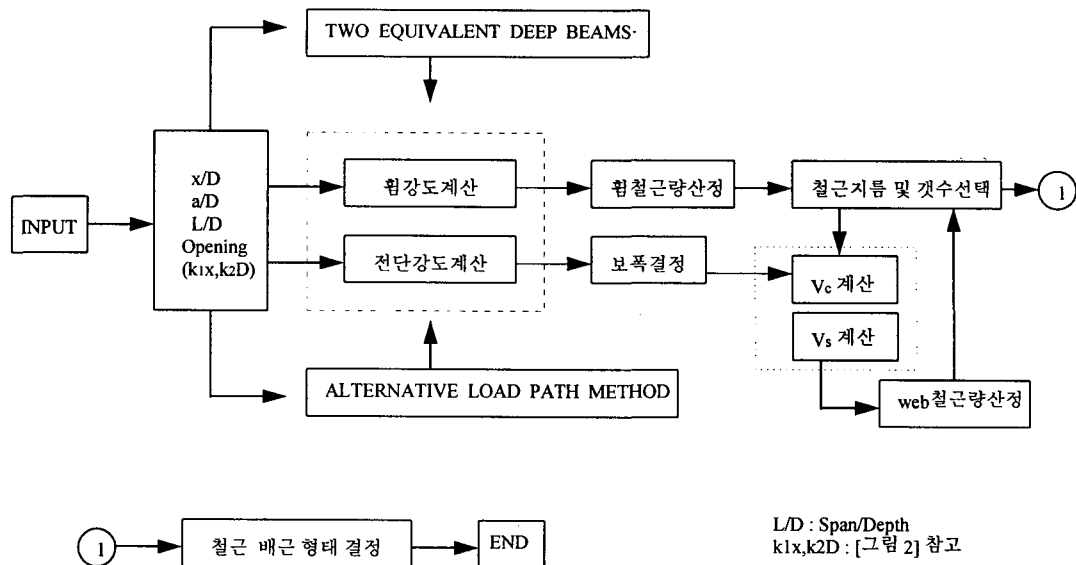
* 한양대학교 건축공학과 석사과정
** 한양대학교 건축공학과 박사과정
*** 한양대학교 건축공학과 교수

2. 지식기반시스템

지식기반시스템이란 특정 분야에 대한 전문가의 지식을 시스템에 구축하여 비전문가도 원하는 결과를 얻을 수 있게 하는 인공지능 응용분야 중의 하나로서, 경험과 판단이 중요한 역할을 하고 문제해결에 대한 뚜렷한 이론이 없거나 그 이론이 불충분한 분야에 효과적으로 적용된다. 따라서, 구조설계에서 크게 반영되는 설계자의 판단이나 설계 개념을 컴퓨터 프로그램으로 바꾸는 것이 기존의 프로그램 기법보다 지식기반시스템을 통하여서는 효과적이고 용이하다.⁽³⁾⁽⁴⁾

지식기반시스템은 전문가의 지식을 효과적으로 반영하기 위해서 지식의 표현과 지식을 사용하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 춤이 큰 보를 구성하는 보, 하중, 개구부, 지지점등을 객체로 표현하고 객체 사이의 관계를 결정하는 객체지향적인 지식표현 방법을 이용하였고, 구조설계과정에서 각 단계별로 평가되는 사항을 각각의 독립적인 규칙으로 표현하였다. 이러한 규칙에 의한 지식표현방법은 규칙의 추가 혹은 변경이 용이하다. 이와같이 구축된 지식을 효과적으로 사용하여 올바른 결과를 유추하기 위해서 추론방법이 필요하다. 구조설계과정은 주어진 기본적인 설계조건, 설계변수, 제한사항으로부터 조건을 평가하여 조건이 만족되는 규칙을 찾아 결론부를 실행함으로써 다음 단계로 진행하게 되는 순차적인 과정이므로 추론방법중에서 전향추론 기법을 사용하였다

3. 춤이 큰 보의 설계를 위한 지식기반시스템

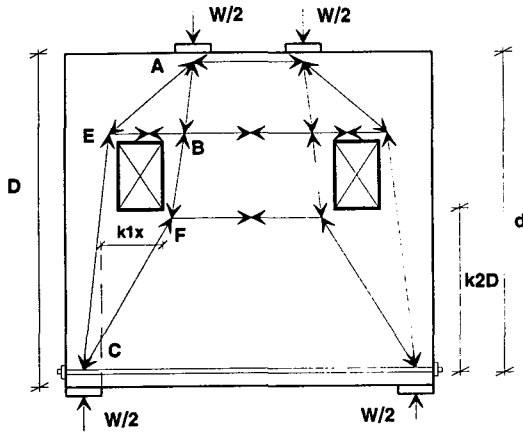


[그림 1] 개구부가 있는 춤이 큰 보의 설계과정

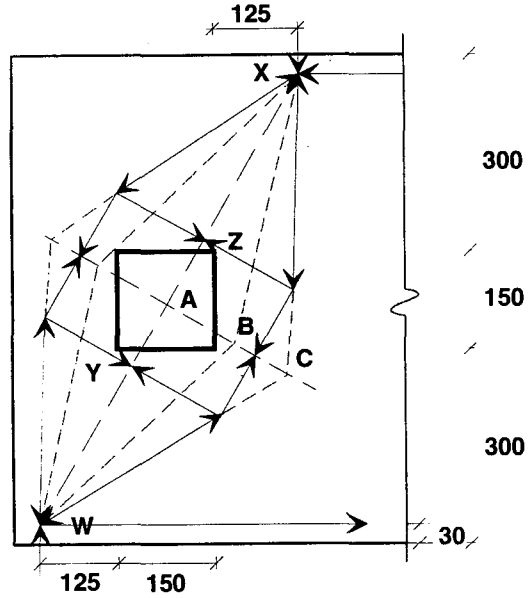
춤이 큰 보의 설계를 위한 지식기반시스템은 데이터베이스에서 추출된 기본적인 설계조건(하중, 지지점, 보의 형태)에 의해서 적절한 설계 전략을 결정하여 추론을 한다. [그림 1]은 춤이 큰 보의 설계를 위한 추론 과정으로 기본적인 설계조건에서 전단스팬비(a/D), 순전단스팬비(x/D)를 계산하여 춤이 큰 보를 정의한 후 개구부의 크기와 위치에 따라 휨강도와 전단강도를 계산한다. 전단내력을 계산하는데 있어서는 F. K. Kong and G. R. Sharp⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾이 실험결과에 근거해서 제안한 식과

W. B. Siao⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾ 가 제안한 [그림 3]의 Alternative Load Path Method 와 두 개의 등가보로 대체하여 전단내력을 계산하는 방법을 이용한다. 기본정보에 보의 폭이 주어지지 않을 경우는 [그림 1]과 같은 추론 과정에 의해 설계된다.

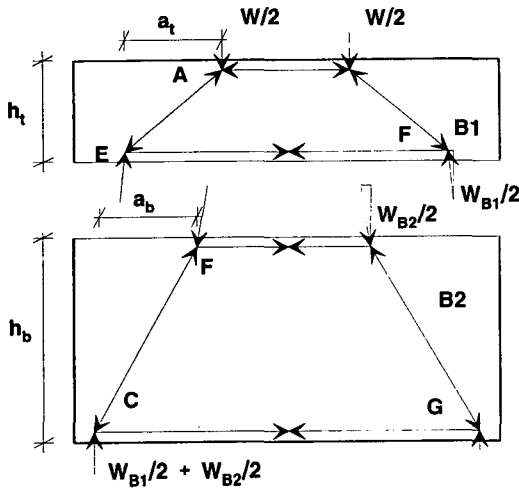
3.1 춤이 큰 보의 전단내력



[그림 2] The structural idealization



[그림 3] Alternative load path⁽⁹⁾ $\frac{AB}{BC} \leq 1.0$



[그림 4] Equivalent beam action for deep beam with Opening

춤이 큰 보에서는 춤이 순 스패 길이에 비하여 비교적 크기 때문에 순수한 휨보다 전단이 더 큰 비중으로 다루어진다. 전단내력을 계산하는 방법은 다음 세가지를 이용하였다.

- Structural idealization⁽⁵⁾

$$V_u = C_1 \left[1 - 0.35 \frac{k_1 x}{k_2 D} \right] f_c b k_2 D + C_2 \sum A \frac{y}{D} \sin^2 a \dots\dots\dots(1)$$

- A: 철근의 단면적 b: 보의 폭 C1, C2: 실험 계수 D: 보의 춤
- k1, k2: 개구부의 위치를 정의하는 계수 Vu: 극한전단강도 fc: 콘크리트의 조결 인장강도

x: 순전단스팬 α: 철근과 사인장 균열 사이의 각
y: 철근과 사인장 균열([그림 2]에서 선 AE, 선 CF로 이상화 함)이 만나는 점까지의 깊이

Two equivalent deep beams⁽⁹⁾

개구부가 있는 춤이 큰 보의 전단내력은 두 개의 등가보로 대치하여 계산한다.

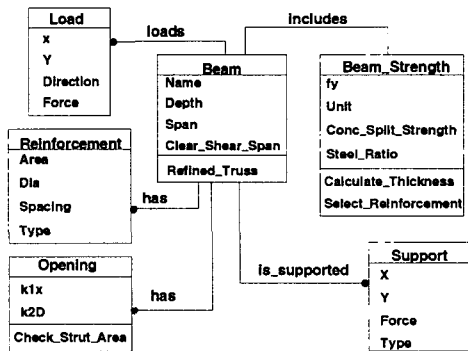
$$V_u = 1.05\sqrt{f'_c}k b d \left[1 + n(p_h \sin^2 \theta + p_v \cos^2 \theta) \right] \geq 1.8 b d f_y (p_h \sin^2 \theta + p_v \cos^2 \theta) \dots\dots\dots(2)$$

b: 보의 폭 d: 보의 유효 춤 f': 콘크리트의 압축강도 fy: 철근의 항복응력
k: 보의 극한전단강도 계산을 위한 보정계수 n: 철근과 콘크리트의 탄성계수비
Ph, Pv: Web의 수평, 수직 철근비 Vu: 극한전단강도
θ: [그림 4]에서 선 AE와 선 EF, 선 FC와 선 CG 사이의 각

Alternative load path⁽⁹⁾

Refined strut-tie model 내에 개구부가 있는 경우는 개구부가 없는 경우의 refined strut-tie model의 유효 단면적의 50%이상일 때 유효하다.

3.2 부재설계의 객체 모델



[그림 5] 부재설계의 객체 모델

부재설계의 객체모델은 [그림 5]와 같은 관계성을 가지고 있다. 보(Beam)클래스는 춤, 스패, 보폭등의 속성을 가지고 있고 includes 로 연결된 Beam_Strength 클래스는 Calculate_Thickness, Select_Reinforcement 등의 메시지를 받아 수행한다. 이때 필요한 작용하중, 개구부의 크기, 재료의 특성등은 각 관련된 클래스를 패턴매칭을 이용하여 찾아내어 속성값을 읽는다. 철근(Reinforcement)클래스는 단면적, 지름, 간격, 철근의 종류를 속성으로 가지고 있는데 부재설계후 데이터베이스에 저장된다.

3.3 춤이 큰 보의 설계를 위한 지식

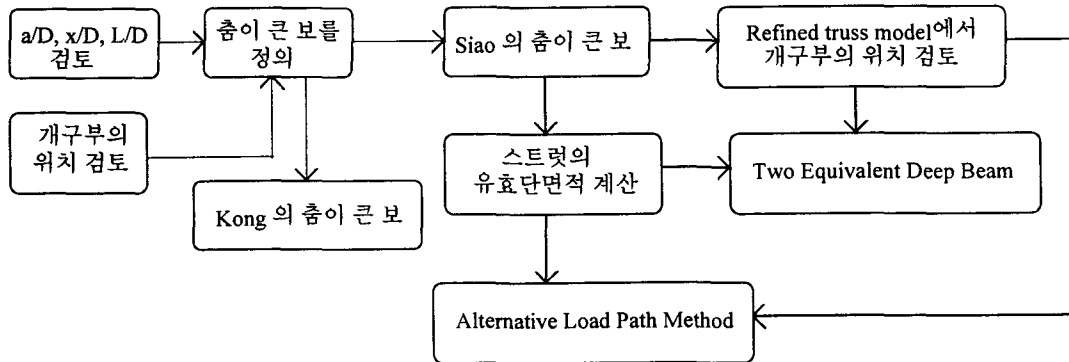
[그림 6]에서는 춤이 큰 보의 설계과정 중 세부 규칙과 절차를 도식화하고 있다. 춤이 큰 보를 정의 하는 규칙은 개구부가 없는 춤이 큰 보의 경우 ACI 기준, CEB-FIP Model Code, CSA 기준⁽¹¹⁾, 국내규준에서 정의한 내용이 지식이 되지만, 개구부가 있는 경우는 3.1 절의 전단내력을 계산하는데 사용된 세가지 방법에서 제한사항이 지식이 된다. 예를 들면, L/D <= 3 이고, 0.24 <= x/D <= 0.4 일때 W.B.Siao의 방법이 적용되는 춤이 큰 보로 정의된다.

개구부의 위치를 검토하는 규칙은 개구부가 로드패스(Load Path)를 가로지를 때와 가로지르지 않을 때로 구분하여 개구부가 로드패스를 벗어나 있을 때는 개구부가 없는 경우의 춤이 큰 보로 설계된다. 로드패스를 가로지를 때는 개구부의 크기와 위치에 따라서 3.1 절의 세가지 방법으로 전단내력을 계산하게 된다.

보 폭을 결정하는 지식은 소요전단강도의 55%를 콘크리트가 부담하도록 산출한다. 이외에 수평하중을 받는 슬라브를 춤이 큰 보로 설계할 경우 보 폭은 시공성이나 슬라브 두께에 의한 전체

구조물의 영향을 고려해서 결정된다.

철근 콘크리트 부재의 설계에서 단면선택, 철근 지름 및 갯수 선택, 철근 배근의 형태 결정은 지식기반시스템이 잘 적용되는 부분이다. 철근의 지름 및 갯수를 결정하는데 있어서, 규준의 최소 철근비, 최대철근비, 철근 배근 간격 등이 고려된다. 철근 배근의 형태는 최대 철근 간격, 피복두께 등에 의해 결정된다.



[그림 6] 부재설계의 세부 규칙 모델과 추론 절차

4. 지식기반시스템의 구현

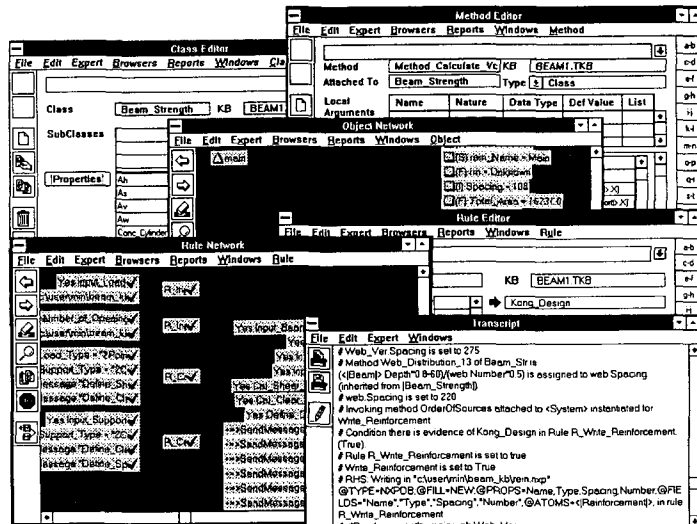
4.1 사용 시스템

지식기반시스템의 구축 도구로는 NEXPERT OBJECT™ Version 3.0 을 사용하였다. NEXPERT OBJECT™는 NEURON DATA사에서 제공하는 Smart Elements의 모듈로 GUI(Graphic User Interface) 환경과 Flat형 데이터베이스 시스템인 NXPDB™를 제공한다.

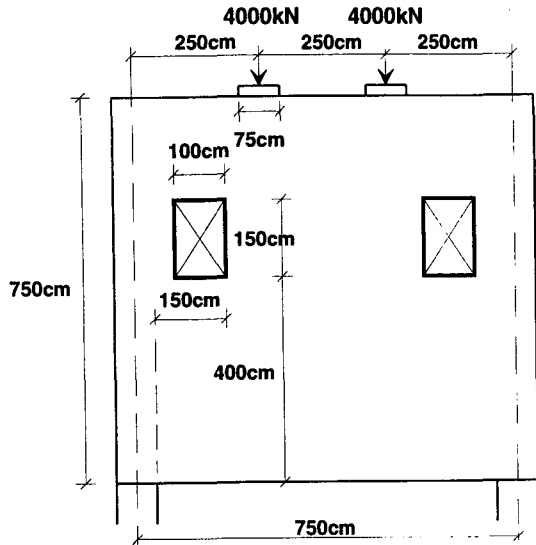
4.2 적용 사례

대상 구조물은 참고 문헌 [7]의 설계예제를 참고하였다. 기본적인 설계조건은 NXP DataBase에 저장하여 입력정보를 만들고 이에서 추출된 데이터는 객체로 표현된다. 각 객체의 속성값은 규칙에 의해 평가되어 설계과정이 유발된다. [그림 7]은 부재설계의 지식축적 도구와 지식 추론과정을 보여주고 있다.

[그림 8], [그림 9], [그림 10]은 대상구조물과 본시스템의 적용 후 설계된 결과이다.

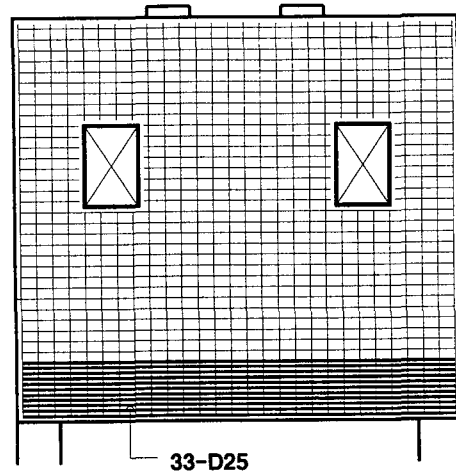


[그림 7] 부재설계의 지식축적 및 추론과정



설계조건 : 하중 4000kN
 f_t (콘크리트의 조깅인장강도) = 3 N/mm²
 f_y (철근의 항복응력) = 250 kN
 f_c (콘크리트 압축강도) = 22.5 kN/mm²

[그림 8] 설계 예제



휨 보강근 33-D25 보폭 = 45cm
 수평 전단 보강근 2-D13 @ 22cm
 수직 전단 보강근 2-D13 @ 27.5cm

[그림 9] 설계된 춤이 큰 보

Name	Type	Spacing	Number
Main	D25	100	33.0
web	D13	220	54.0
Web_Ver	D13	275	60.0

[그림 10] 부재설계 결과

5. 결론 및 향후 연구 과제

1. 개구부가 있는 춤이 큰 보의 설계과정을 지식기반시스템에 구축함으로써 그 설계 과정이 사용자 인터페이스를 통하여 쉽게 일반 설계자들에게 이해되고 이를 통한 설계가 가능하다.
2. 지식기반시스템은 새로운 규칙을 추가하기가 용이하기 때문에 춤이 큰 보와 같이 최근에 활발히 연구가 진행되는 실험의 결과나 경험을 반영할 수 있다. 그러므로, 연구와 실제 응용의 차이를 좁히는데 이용될 수 있다.
3. 본 연구에서는 실험 결과에 의해 제안된 설계방법을 지식기반시스템에 구축하였는데 트러스 모델을 이용한 설계방법이나 비선형 유한요소해석법을 새로운 지식으로 추가하여 시스템의 신뢰성을 높이는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] American Concrete Institute, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary(ACI 318-95)*, American Concrete Institute, 1995
- [2] Comite Euro-International du Beton, *CEB-FIP Model Code 1990*, Thomas Telford, 1990
- [3] 김화수, 조용범, 최종욱, *전문가 시스템*, 집문당, 1995
- [4] Alexander S. Bezzina, Sidney H. Simmonds, "Knowledge-Based Expert Systems in Reinforced Concrete Design," *Concrete International*, Feb, 1989
- [5] F.K.Kong, G.R.Sharp, "Structural idealization for deep beams with web openings: further evidence", *Magazine of Concrete Research*, Vol.30, NO.103, June, 1978
- [6] F.K.Kong, G.R.Sharp, "Structural idealization for deep beams with web openings", *Magazine of Concrete Research*, Vol.29, NO.99, June, 1977
- [7] F.K.Kong, P.J.Robins, G.R.Sharp, "The design of reinforced concrete deep beams in current practice", *The Structural Engineer*, Vol.53, No.4, April, 1975
- [8] F.K.Kong, G.R.Sharp, "Shear strength of lightweight reinforced concrete deep beams with web openings", *The Structural Engineer*, Vol.51, No.8, August, 1973
- [9] Wen Bin Siao, "Deep Beams Revisited", *ACI Structural Journal*, Vol.92, No.1, Jan-Feb, 1995
- [10] Wen Bin Siao, "Shear Strength of Short Reinforced Concret Walls, Corbels, and Deep Beams", *ACI Structural Journal*, Vol.91, No.2, March-April, 1994
- [11] Canadian Standards Association, *Design of Concrete Structures for Buildings*, CAN3-A23.3-M84, Canadian Standards Association, 1984