

# 유한요소법과 트러스모델에 의한 철근콘크리트 보 부재의 설계자동화에 관한 연구

A Study on the Design Automation of R/C Beam by the Finite Element  
Method and Truss Model Approach

엄대호(농진공)\* · 이정재(서울대) · 윤성수 · 김한중(서울대 대학원)

Um, dae ho · Lee, Jeong Jae · Yoon, Seong Soo · Kim, Han Joong

## Abstract

New design automation method of R/C beam based on the finite element method and the nonlinear truss model approach has been presented. The proposed method can substitute inaccurate existing method, which has limitation in its application, provide accurate and efficient design results for any type of R/C beam.

### 1. 서 론

철근콘크리트구조는 서로 상반되는 재료 특성을 가진 철근과 콘크리트라는 이질재료의 합성 구조체로서 복잡한 비탄성 거동을 나타내므로 해석과 자동화에는 많은 어려움이 따른다. 이와 같은 합성재료의 특성을 효율적으로 이용하기 위하여 인장응력은 철근이, 압축응력은 콘크리트가 분담한다는 가정 아래 구조물이 설계되고 있다. 그러나, 하중의 작용에 따라 인장 또는 압축응력의 발생부위가 변하게 되고 복잡한 형태의 구조물은 응력의 판별이 어려우며, 설계자의 오류 발생 가능성 등이 곤란한 점이 있으므로 적절한 단면의 설계와 적당량의 철근배근은 전문가의 판단에 따르는 것이 일반적이었다.

유한요소법의 이용으로 설계와 해석의 정도가 높아짐으로 많은 불확실성이 제거되었지만 아직도 효과적인 자동화설계 도구는 제시되지 못한 형편이다. 철근콘크리트 구조물의 해석과 설계를 단순화함으로써 위에서 논한 문제점을 해결하고자 Truss 모델링이 제안되었다.

트러스 모델은 1900년대 초에 소개되어 1970년대와 1980년 초에는 소성이론에 접목되어 더욱 수정 발전되었다.<sup>1)</sup> 콘크리트 및 철근의 응력-변형을 관계와 변형을 고려하여 전단 비틀림과 복합하중을 받는 균열이 발생된 콘크리트 부재의 거동을 예측하는 트러스 모델이 개발되는 등 많은 발전이 있었다. 그러나 트러스 모델을 이용하여 부재의 소요단면이나 소요철근량을 효과적으로 구하기 위해서는 이 모델에 대한 상당한 이해가 필요할 뿐만 아니라 불연속, 균열, 전단부재 등에서의 해결책이 미비하므로 실제 적용에는 어려움이 있었다.

본 연구에서는 트러스 모델과 유한요소법을 혼합 이용함으로써 철근콘크리트 구조물을 해석 및 설계를 할 수 있는 시스템을 개발하여 간단한 구조물에 적용해 봄으로써 철근콘크리트 설계자동화에 대한 유용한 방안을 제시하고자 한다.

---

1998년도 한국농공학회 논문집(1998년 10월 24일)

## 2. 축소 트러스 모델의 구성

철근콘크리트부재에 트러스 모델의 구성을 위해서 유한요소 해석을 이용한다. 유한요소해석 모델은 평면요소를 이용하므로, 먼저 Mesh를 구성하고 유한요소해석을 수행한 다음에 응력선도를 작성한다. Mesh와 응력선도를 이용하여 주인장응력이 기준 응력보다 작은 요소는 점차적으로 제거하면서 유한요소해석을 실시하면 최종 요소 망으로부터 인장 축의 주요 응력 작용 부위를 결정할 수 있다. 이렇게 결정된 부분에 대하여 적절한 인장부재를 배치하는 방법으로 트러스 모델을 구성한다.

## 3. 자동설계시스템의 개발

### 3.1 자동설계시스템의 구성

자동설계시스템은 트러스 모델을 구성하기 위한 유한요소해석에 의한 응력분포도의 작성과 작성된 응력분포도에 의한 철근 배치 구역의 결정 및 소요단면의 계산 등의 3단계로 이루어진다.

### 3.2 응력분포도의 작성

주어진 구조물에 적합한 유한요소 모델을 정식화한다. 본 연구에서는 트러스 모델을 구성하기 위하여 전처리 시스템으로 유한요소해석 모델을 이용하였다. 주어진 구조물에 대한 사용자의 입력조건을 바탕으로 평면요소 Mesh를 자동 발생시킨다.

평면요소의 응력은 Gauss 절점에 대한 주응력으로 계산되므로, 이 결과를 사용하여 철근콘크리트 구조체의 물리적 거동을 모사하기 위해서는 유한요소(평면요소)에 의한 응력을 다음 식 (1)과 같이 계산하여 기준응력 이하의 요소를 제거한다. 이때는 주인장응력에 한하여 부재가 받는 응력만을 대상으로 하기 때문이다.

$$\sigma = \text{Max}\{\text{ABS}(\sigma_1), \text{ABS}(\sigma_2)\} \quad \text{-----}(1)$$

여기서,  $\sigma$  : 어떤 기준 값 이상의 주인장응력,

$\sigma_1$  : 주인장응력도의 인장응력,

$\sigma_2$  : 주 압축응력도의 인장응력.

필요한 만큼 이 과정을 반복하여 최종의 인장응력분포도를 작성한다.

### 3.3 철근배치구역의 결정과 트러스 모델 구성

주어진 응력분포도로부터 가능한 철근배근의 가능구역을 결정한다. 이때 인장철근의 길이는 정착과 부착에 충분한 길이를 확보할 수 있도록 한다. 주인장 철근을 배치한 다음에 각각의 절단부를 기준으로 트러스 모델을 구성한다.

### 3.4 소요단면의 설계

주인장 철근의 위치는 트러스 모델로부터 결정되므로 강도설계법으로 구성된 설계지원 프로그램을 이용하여 보-기둥 요소 구조물의 단면을 결정한다. 실제설계하중으로부터 실제 소요되는 단면의 결정, 철근의 개수, 단면적을 결정한다.

본 연구에서 개발된 시스템의 흐름도는 다음 Fig. 1과 같다.

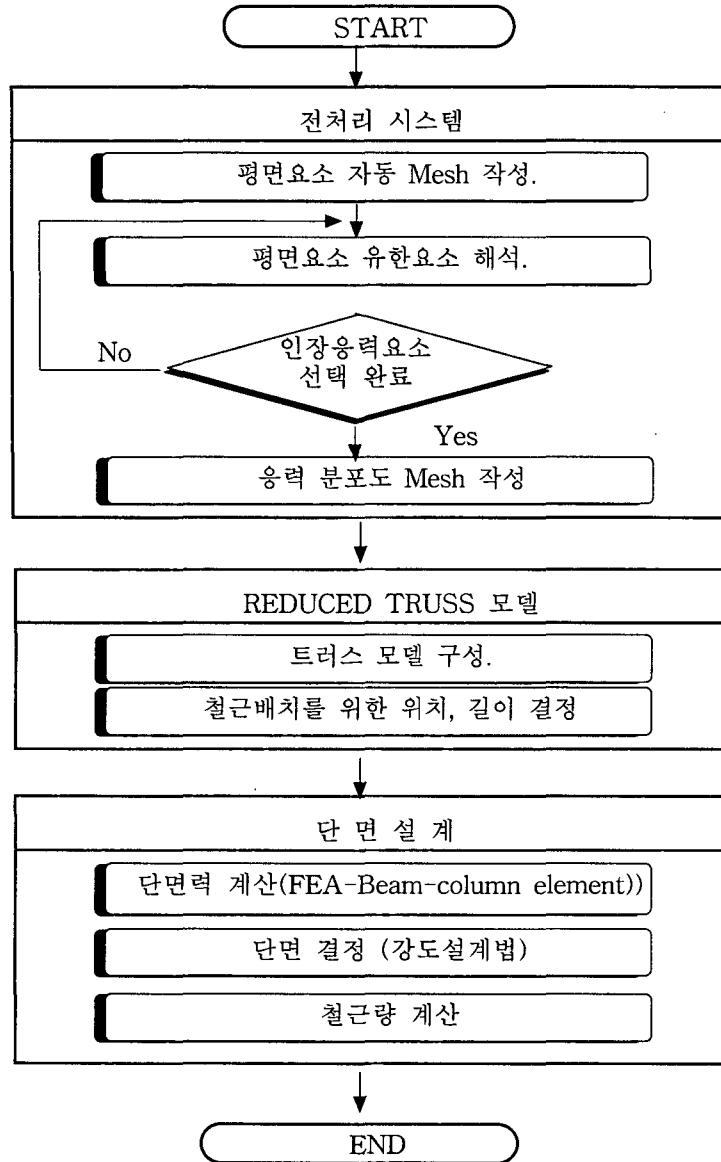


Fig. 1 Flowchart of the design automation of R/C beam.

#### 4. 적용에 및 고찰

본 연구에서는 다음 Fig. 2와 같은 2경간 연속 보에 적용하였다.

트러스 모델을 구성하기 위하여 격자망을 구성하고 유한요소해석을 수행하여 주인장응력을 그래픽으로 출력하여 기준 응력 이하의 격자를 제거한 결과가 그림2와 같다.

그림 2에서 주인장응력이 나타나는 (A)구역에만 인장철근을 그림 3과 같이 배치를 하고 철근 길이는 인장력 발생부위 격자간의 최원단 직선 거리에 정착길이를 더하여 결정한다.

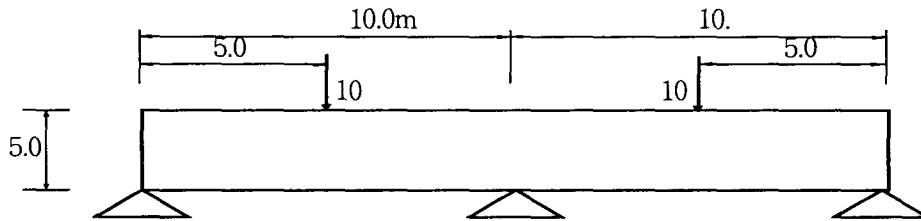


Fig. 2 적용 예 1 (2경간연속보).

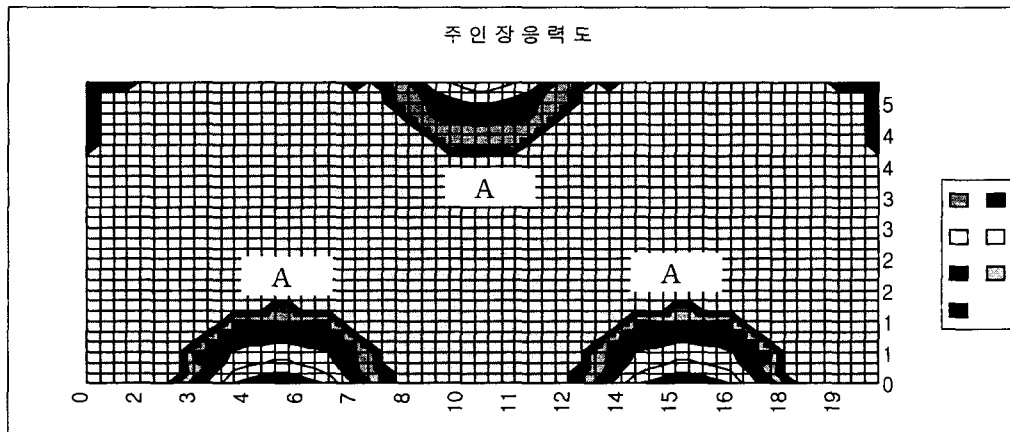


Fig. 3 2경간연속보의 주인장응력도.

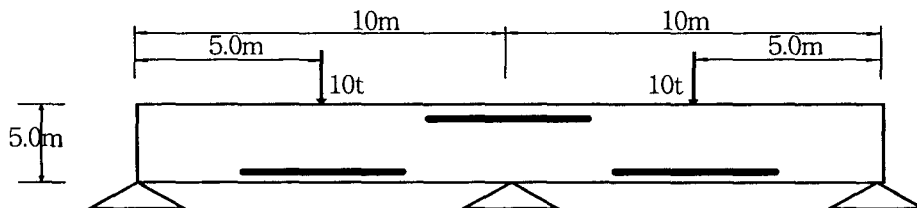


Fig. 4 인장철근의 배치.

## 5. 결 론

본 연구에서는 유한요소법과 트러스 모델을 통합한 R/C보 자동설계시스템을 개발하였으며 개발된 시스템을 적용해본 결과 다음과 같은 이점이 있었다.

1. 선형 유한요소해석을 철근콘크리트 구조물설계에 적용함으로써 철근콘크리트의 응력분포가 시각적으로 표현되므로 설계자가 철근배근을 보다 편리하게 할 수 있도록 도움을 줄 수 있다.

2. 유한요소해석의 결과를 이용하여 트러스 모델을 구성하므로 기술자가 보다 쉽게 트러스 모델을 구성할 수 있게 도움을 주며, 정식화되지 않은 구조문제에 대하여 트러스 모델을 구성할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 시방서 규정에 의한 철근콘크리트 인장철근의 배치 결과와 동일한 결과가 나왔으나 더 많은 적용 예를 통하여 시방서 규정에 의한 설계와 비교 검토하고, 실험 예를 통해서도 검증이 필요한 것으로 사료된다.

앞으로 보-기둥요소로 해석이 요구되는 복잡한 철근콘크리트 구조에 대해서도 본 시스템을 이용한 설계지원시스템으로 확장 개발이 필요할 것으로 생각된다.

### 참고문헌

[1] 이성우, “유한요소법을 이용한 슬래브 시스템의 설계자동화” 전산구조공학 제2권 제4호, 1991, pp.79 - 89.

[2] 윤영목, “스트럿-타이모델에 의한 콘크리트 부재의 해석 및 설계” 콘크리트학회지 제10권 1호, 1998, pp.20 - 31.

[3] 윤영목, 박문호, “스트럿-타이 모델 방법에 의한 단순지지 철근콘크리트보의 해석” 대한토목학회 논문집 제15권 제5호, 1995, pp1097-1112.

[4] 임승욱, “Strut-and-Tie Model을 이용한 철근콘크리트 부재의 전단해석”, 1992, 명지대학교 석사학위 논문.

[5] 이재홍역, “유한요소법에 의한 철근콘크리트 부재의 거동해석” 전산구조공학, 제9권 제4호, 1996, pp.30-34.

[6] 이정재, “단계별 소성해석 기법을 이용한 뼈대구조의 신뢰성 해석 모델 개발“, 1990, 서울대학교 박사학위 논문.

[7] 윤성수, “평면요소의 확률적 유한요소 해석 모델의 개발” 한국농공학회지, 제35권 제3호, pp.91-99.

[8] 고일두, “컴퓨터를 이용한 철근콘크리트 보-기둥부재 설계 방법에 관한 연구”, 1989, 서울대학교 박사학위 논문.