

유사 점진적 최적화 기법에 의한 철근콘크리트 구조물의 설계자동화에 관한 연구

A Study on the Design Automation of R/C Beam Using Analogy
Evolutionary Procedure

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

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

Abstract

In this study New design automation method of R/C structure based on the finite element method and the analogy evolutionary procedure was developed This system is the efficient tool to support Reinforcement Arrangement of R/C structure. The Analogy evolutionary procedure is similar to the evolutionary procedure proposed by Xie and Steven.

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 최적화함으로써 위에서 논한 문제점을 해결하고자 구조최적화에 관한 연구가 부각되었다.

구조최적화(structural optimization)분야에서 최근 부각되고 있는 분야 중 하나가 위상 최적화(topology optimization)이다. 이는 대상구조물에 무수히 많은 공극을 배치시킨 후 주어진 하중을 지탱할 수 있으며 다른 설계 요구 조건들을 만족하면서 유연성과 같은 목적함수를 최소화함으로써 공극의 최적 배치를 결정하는 방법이다. 최근 xie와 steven은 유사하지만 보다 간편한 방법으로 점진적 구조 최적화 방법을 제안하였는데, 이는 전체 구조물중 응력이 적게 발생하는 부분을 점차적으로 소거해 나감으로써 구조물의 위상을 최적화하는 방법이다. 이는 응력이 매우 적게 발생하는 부분은 그 구조물에서 필요하지 않는 부분이라는 생각에서 출발한 것으로 간단히 표현하면 구조물을 아주 작은 동일한 크기의 요소들로 모델링하여 유한요소해석을 수행한 후 응력이 매우 작게 발생하는 요소들을 점차적으로 소거해 나가는 방법이다.

본 연구에서는 Xie와 Steven에 의해 제안된 점진적 최적화 기법(evolutionary procedure)와

는 유사한 개념을 이용하여 2차원 평면요소의 주인장응력 또는 주압축응력의 상대적인 비교값을 이용하여 기준값 이하의 응력을 소거하는 방법을 이용하였기에 기존 점진적 최적화 기법과 유사한 방법이라고 판단되어 유사 점진적 최적화 기법(analogy evolutionary procedure)이라고 정의하였으며 본 기법을 철근 콘크리트 구조물 설계에 활용할 수 있는 시스템을 개발하여 간단한 구조물에 적용해 봄으로써 철근콘크리트 설계에 유용한 방안을 제시하고자 한다. 유사 점진적 최적화 방법을 철근콘크리트 구조물 설계에 활용한 시스템을 개발하여 간단한 구조물에 적용해 봄으로써 철근콘크리트 설계자동화에 대한 유용한 방안을 제시하고자 한다.

2. 점진적 최적화 기법

점진적 최적화 기법은 응력이 매우 적게 발생하는 부분은 그 구조물에서 불필요한 부분이라는 생각을 기초로 하여 출발한다. 즉, 구조물을 아주 작은 크기의 요소로 모델링한 데이터로 수행한 유한요소해석의 결과를 바탕으로 어떤 기준을 거쳐서 응력이 적게 발생한 요소를 소거한 다음 소거되지 않은 요소들로 이루어진 기하학적 형상을 새로운 입력 자료로 하여 위와 같은 과정을 반복해나간다. 시작단계에서, 최적화 하고자 하는 구조물을 충분히 포함하는 설계영역을 설정한다. 이 때 점진적 최적화 과정중 문제의 특성상 소거되지 않는 영역으로써 비설계영역을 설정할 수 있으며, 일반적으로 지점 부분이나 하중이 작용하는 부분 등에 설정되어진다. 재료의 물성치, 지점의 경계조건, 그리고 하중 등을 설정하고, 전체 영역들을 유한요소 해석을 위해 세분화 한다.

유한요소 해석을 통해 각 요소의 최대주응력이 계산되어진다. 이 때 어떤 요소의 응력 수준이 전체요소들 중 가장 큰 응력수준에 소거비율을 곱한 값보다 작으면 그 요소의 응력이 매우 작다고 판단하여 소거해 나간다. 점진적 최적화 과정을 거치는 동안 점차로 요소들이 소거되어 나감에 따라 소거비율의 값도 점차로 증가하여야 한다. 즉, 어떤 소거 비율값을 유지한 채 점진적 최적화 과정을 반복한 후 더 이상 소거되는 요소가 없게 되면 이진 단계의 소거비율값보다 소거비율이 증가할만큼 큰 값으로 소거비율값을 대체해야만 요소들을 계속 소거해 나갈 수 있게 된다. 이러한 반복과정은 모든 요소의 응력수준이 어떤 범위안에 속할 때까지 계속되어진다. 이러한 방법을 점진적 최적화 기법이라고 하며 Xie와 Steven에 의해 제안되었다.

3. 유사 점진적 최적화 기법의 도입

본 연구에서의 최적화 개념을 도입하는 내용을 설명하면 다음과 같다. 2차원 평면요소에서 최소주응력과 최대주응력의 응력은 항상 수직 방향으로 작용을 하고, 최소주응력이 압축일 수도 있고 인장일 수도 있다. 그런데, 하나의 요소에서 절대값에 있어서는 반드시 인장이든 압축이든 반드시 더 큰 주응력이 존재한다. 그래서, 각각의 요소에서 주응력의 절대값중 큰 값만 고려하고 작은 값은 소거하는 식(1)과 같은 프로그램의 알고리즘을 작성하여 결과를 시각화해 보았더니, 인장응력값만 고려할 경우에는 보의 중간하부측에서 상부측으로 더 큰 응력이 점점 증가하면서 발생하였고, 압축응력값만 고려할 경우에는 단부와 하중작용 점에서 응력이 내부로

가면서 변화하면서 발생하여 인장축과 압축축이 엄연히 분리되어 발생하였고, 철근 배근을 위해서는 인장축만 필요하므로 인장축의 시각화된 결과는 그림3과 그림5에 나타난 바와 같으며 예측한 바와 잘 일치하였다.

이러한 내용은 기존 점진적 최적화 기법과 구별되므로 유사 점진적 최적화 기법이라고 정의하였으며, 본 시스템은 유사 점진적 최적화 기법을 이용하여 철근배근을 지원하는 효율적으로 지원하는 시스템으로 개발되었다.

$$\sigma = \text{Max}\{\text{ABS}(\sigma 1), \text{ABS}(\sigma 2)\} \quad \text{-----}(1)$$

여기서, σ : 어떤 기준 값 이상의 주인장응력,

$\sigma 1$: 최대주응력도의 인장응력,

$\sigma 2$: 최소주응력도의 인장응력.

3. 자동설계시스템의 개발

3.1 자동설계시스템의 구성

자동설계시스템은 유사 점진적 최적화 기법을 적용하기 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 유사 점진적 최적화 기법을 적용하기 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 계산하여 기준응력 이하의 요소를 제거하여 인장응력분포도를 작성한다.

3.3 철근배치구역의 결정

주어진 응력분포도로부터 가능한 철근배근의 가능구역을 결정한다. 이때 인장철근의 길이는 정착과 부착에 충분한 길이를 확보할 수 있도록 한다.

3.4 소요단면의 설계

강도설계법으로 구성된 설계지원 프로그램을 이용하여 구조물의 단면을 결정한다. 실제설계 하중으로부터 실제 소요되는 단면의 결정, 철근의 개수, 단면적을 결정한다.

본 연구에서 개발된 시스템의 흐름도는 다음 Fig. 1과 같다.

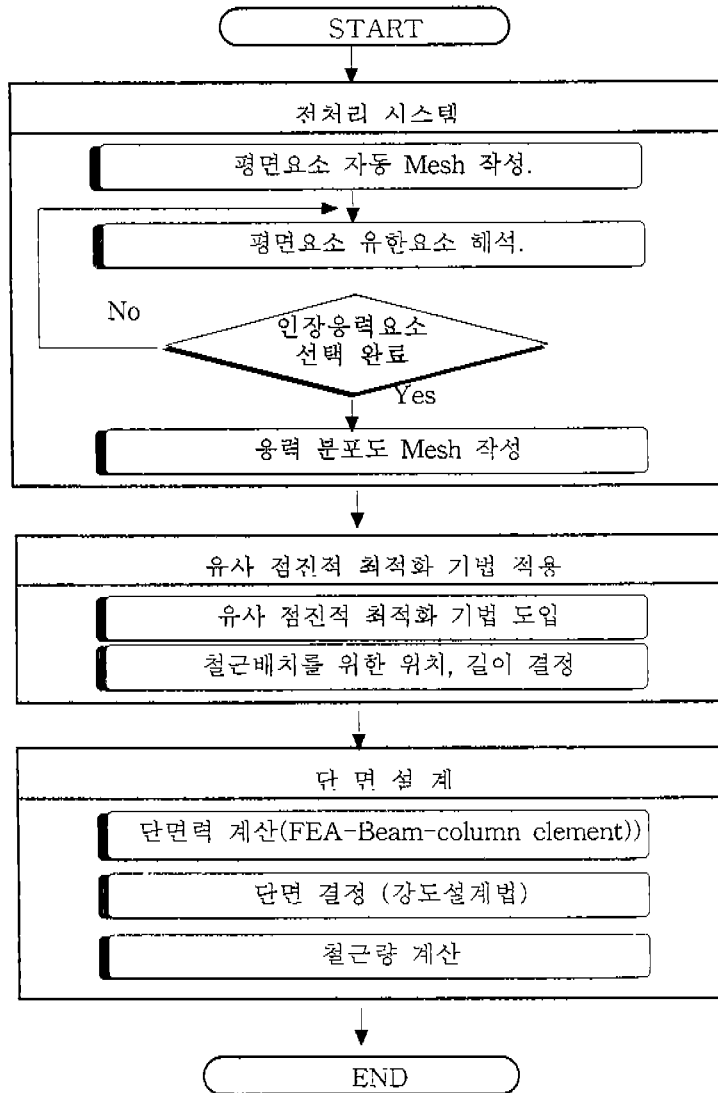


Fig. 1 Flowchart of the design automation of R/C beam.

4. 적용예 및 고찰

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

유사 점진적 최적화 기법을 적용하기 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 배치하고 철근 길이는 인장력 발생부위 격자간의 최원단 직선 거리에 정확길이를 더하여 결정한다.

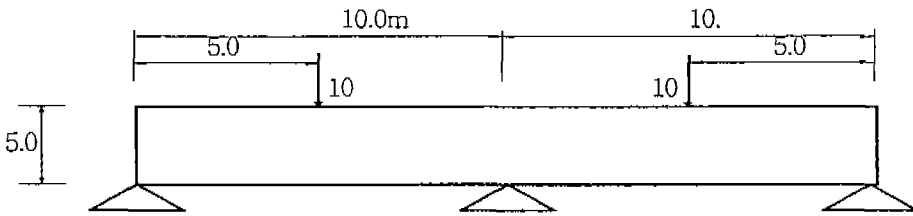


Fig. 2 적용 예 1 (2경간연속보).

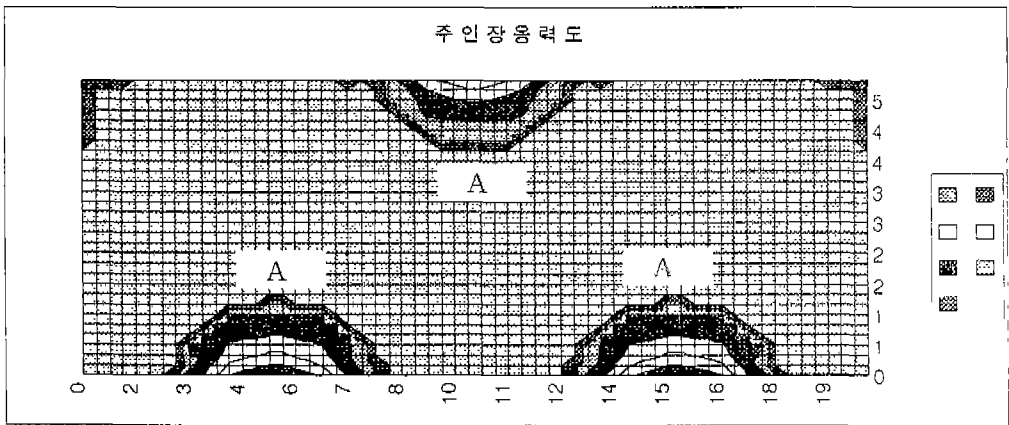


Fig. 3 2경간연속보의 주인장응력도.

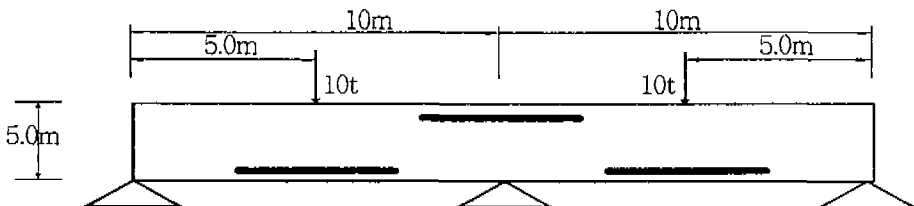


Fig. 4 인장철근의 배치.

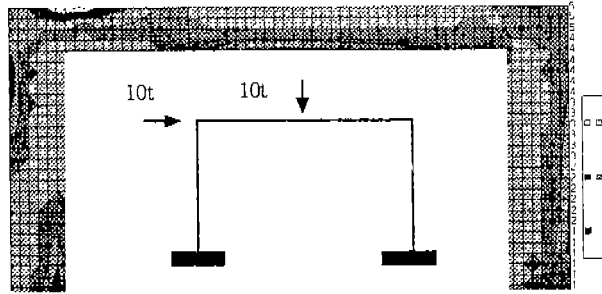


그림5 적용예2<2점고정 라멘구조>

5. 결 론

본 연구에서는 유사 점진적 최적화 기법을 적용하여 R/C 구조물의 자동설계시스템을 개발하였으며 개발된 시스템을 적용해본 결과 다음과 같은 이점이 있었다.

1. 유사 점진적 최적화 기법을 철근콘크리트 구조물설계에 적용함으로써 철근콘크리트의 응력분포가 시각적으로 표현되므로 설계자가 철근배근을 보다 편리하게 할 수 있도록 도움을 줄 수 있다.

2. 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.

참고문헌

- [1] 최창근, 류명기, 송명관, 1998, 점진적 최적화 기법을 이용한 구조물의 위상 설계, 전산구조공학
- [2] 윤성수, "평면요소의 확률적 유한요소 해석 모델의 개발" 한국농공학회지, 제35권 제3호, pp.91-99.
- [3] 고일두, "컴퓨터를 이용한 철근콘크리트 보-기둥부재 설계 방법에 관한 연구", 1989, 서울대학교 박사학위 논문.
- [4] 최창근, 류명기, 송명관, 1998, 점진적 최적화 기법을 이용한 구조물의 위상 설계, 전산구조공학
- [5] Steven, G.P., Y. M. Mie. 1993, Evolutionary Structural optimization with FEA, Computational Mechanics
- [6] Xie Y.M., G.P.Steven, 1993, A simple evolutionary procedure for structural optimization, Computational Structure. Vol.49 pp885-896
- [7] Xie Y.M., G.P.Steven, 1994, Optimal design of multiple load case structures using an evolutionary procedure, Vol.11 pp295-302, Engineering with Computer