

GA를 이용한 최적설계 기반 아웃리거 시스템 구조물의 부재 단면 및 아웃리거 위치 선정

Selection of Sectional Dimensions and Outrigger Locations of Outrigger Structure Based on Optimum Design Using G.A

이 은 석*·최 세 운**·박 효 선***

Lee, Eun-Seok · Choi, Se-Woon · Park, Hyo-Seon

요 약

본 논문에서는 초고층 전단벽-아웃리거 시스템에 대해, 기존의 근사해석법과 유전알고리즘을 이용하여, 물량최적설계 기반의 구성요소 단면 및 아웃리거 최적위치 결정에 관해 연구를 진행하였다. 아웃리거 시스템의 최적성은 아웃리거의 위치와 아웃리거 시스템을 구성하는 전단벽-아웃리거, 외곽기둥의 단면 성능의 복잡한 관계에 의해 역학적으로 결정된다. 하지만 기존의 아웃리거 시스템의 최적화 연구는 대부분 전단벽과 아웃리거, 외곽기둥의 단면은 고정된 상태에서, 아웃리거의 위치만 설계변수로 하여 아웃리거의 최적 위치를 찾는 연구에 국한되어 있다. 이에 본 연구에서는 G.A.를 이용하여, 아웃리거 설치위치뿐만 아니라 전단벽과 아웃리거, 외곽기둥의 단면까지 설계변수로 하여 물량최적설계 조건을 만족시키는 아웃리거시스템의 최적설계 연구를 진행하였다. 또한 반복 계산의 시간을 줄이기 위해 기존의 근사해석법을 사용하였다. 본 연구의 결과는 초고층 구조물의 초기 설계 시에 구성요소의 단면 및 아웃리거 설치 층의 선정에 적극 활용될 수 있을 것이다.

keywords : 아웃리거시스템, 변단면모델, 물량최적설계, 최적위치, 유전자알고리즘, GA(*genetic algorithm*)

1. 서 론

이제 고층건물은 도심지 마천루뿐만 아니라 주거용 건물에서도 쉽게 찾아 볼 수 있을 정도로 대중화 되었으며, 현재 공사 중이거나, 혹은 공사 예정 중인 초고층 건물 수만 해도 상당한 숫자에 이를 정도로 초고층 건물이 대중화 되었다. 하지만 초고층건물은 지진하중이나 풍하중과 같은 수평하중에 대응하여 사용성을 만족시키기 위해 막대한 구조물량이 투입되며 이는 초고층건물의 경제성 저하로 이어지기도 한다. 이에 초고층 건물에 적절한 구조시스템에 대한 연구가 활발히 진행되어왔으며, 아웃리거 시스템 또한 초고층 건물의 횡력 저항 시스템 중 하나이다. 아웃리거 시스템은 전단벽과 외곽기둥을 강성이 큰 아웃리거 보로 연결하여, 구조물에 횡변위 발생 시 외곽기둥의 축력에 의한 모멘트 우력이 아웃리거를 통해 전단벽으로 전달되어 전단벽의 모멘트를 감소시켜 줌으로서 구조물의 횡변위를 줄이고, 동시에 구조물의 전체 효율성을 높여 주는 시스템이다. 아웃리거시스템이 적용된 초고층 건물의 풍하중에 의한 횡변위는 하중의 분포와 아웃리거의 설치위

* 학생회원 · 연세대학교 건축공학과 석사과정 esilmare@naver.com

** 정 회원 · 연세대학교 건축공학과 박사과정 watercloud@yonsei.ac.kr

*** 정 회원 · 연세대학교 건축공학과 교수 hspark@yonsei.ac.kr

치, 전단벽과 아웃리거의 휨강성, 그리고 외곽기둥의 축강성에의해 역학적으로 결정된다. 하지만 이런 변수들의 관계가 매우 복잡하게 얽혀 있기 때문에 이들 모두를 변수로 고려하여 수학적 미분을 통해 최적해를 구하는 것은 거의 불가능하다. 이에 기존의 아웃리거 최적설계 연구는 아웃리거 설치위치를 변수로하여 전단벽과 아웃리거, 외곽기둥의 단면이 결정되면 아웃리거의 최적위치를 구하는 연구에 집중되었고, 모든 변수를 고려한 전체 구조물량을 최소화하는 아웃리거 시스템의 최적설계에 대한 연구는 이루어지지 않았다

본 연구에서는 전역 최적화 기법 중 하나인 GA(genetic algorithm : 이하 GA)을 이용하여 전단벽-아웃리거-외곽기둥으로 구성된 아웃리거 시스템의 물량최적설계를 수행하였다. 본 연구의 결과는 초고층 구조물의 초기 설계 시에 구성요소의 단면 및 아웃리거 설치 층의 선정에 적극 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 최적화 기법

2.1. 유전자 알고리즘

아웃리거 시스템 초고층건물의 물량 최적설계 기법으로, 발견적기법(Heuristic Method) 중에서 해의 탐색 능력이 우수하며, 설계 변수와 제약이 많은 대형 수리 문제에 적합한 것으로 알려진 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 선택하였다. GA는 Matlab Toolboxes를 이용하였고 교차율은 0.8, 돌연변이율은 0.03, 개체수는 50, 그리고 세대수는 100에서 종료하도록 하였다.

2.2. 정식화

최상층변위(H/500) 제약조건을 만족하면서 동시에 총 구조물량(부피)인 목적함수의 적합도를 최적으로 하는 설계변수를 찾는 정식화 과정이다. 본 연구에서는 페널티값을 사용하여 최상층변위 제약조건을 목적함수에 포함시켰다.

$$\text{If } (\delta_{t.o.p.} > H/500), \text{ Minimize } f(X) = C + V \quad (1)$$

$$\text{If } (\delta_{t.o.p.} \leq H/500), \text{ Minimize } f(X) = V \quad (2)$$

$$V = \int_0^H A_w(x) dx + \int_0^H N_c A_c(x) dx + \int_0^B N_o A_o(x) dx$$

(3)

여기서, A_w , A_c , A_o 는 각각 전단벽, 기둥, 아웃리거의 단면적을 나타내며 H, B는 건물 높이 및 폭을 나타낸다. N_c 와 N_o 는 각각 외곽기둥과 아웃리거의 개수를 나타내고 V는 전체 구조물량을 나타낸다. C는 페널티값으로 최상층 변위 제약조건이 위배되었을 때 사용된 구조물량에 더해주는 값으로 충분히 큰 값을 사용한다.

3. 연구 범위 및 해석모델

본 연구에서 목표하는 구조물의 총 물량은 전단벽과 아웃리거, 그리고 외곽기둥의 물량의 합으로 하며, 구조물을 구성하는 기타 골조(기둥, 보, 슬래브) 물량은 고려하지 않는다. 또한 반복해석에 따른 연산시간을 줄이기 위해 2D 근사해석모델로 해석을 수행하였고, 풍하중에 의한 휨변위만을 고려하였다. 풍하중은 KBC-2009에 의해 서울, 노풍도 B 지역에 밀폐형구조물에 해당하는 하중을 산정하고, 이를 밀면 전도모멘트 기준으로 사다리꼴 하중으로 변환하여 사용하였다. 구성요소 각각의 단면은 전단벽의 휨강성과, 외곽기둥의 축강성은 선형으로 변하며 최상층에서 0 값을 갖도록하고, 아웃리거는 등단면으로 구성하였다. 해석모델은 높이(H) 400m, 층고 4m, 건물 폭(B) 50m, 건물 깊이(D) 50m, 전단벽은 정방형으로 폭은 25m이고, 2개층 높

이(8m)의 춤을 갖는 아웃리거가 2곳에 설치되도록 설정하였다.

4. 수행 결과

해석모델에 대해 G.A.를 이용하여 최적화 과정을 수행하였다. 아래의 그림 1.은 GA를 이용한 최적화 수행 과정을 나타낸 것으로, 한 세대에 50개의 개체 중에서 최고의 적합도와 평균 적합도를 나타낸 것이다. 최고 적합도가 각 세대를 지나면서 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 아래 표 1은 최적화 수행후의 결과값인 최적 설계 변수로 아웃리거 2개의 설치 위치(최상부로부터 위치)와 최하부 전단벽 단면2차모멘트, 아웃리거 단면2차모멘트, 그리고 외곽기둥의 단면적을 나타낸 것이다.

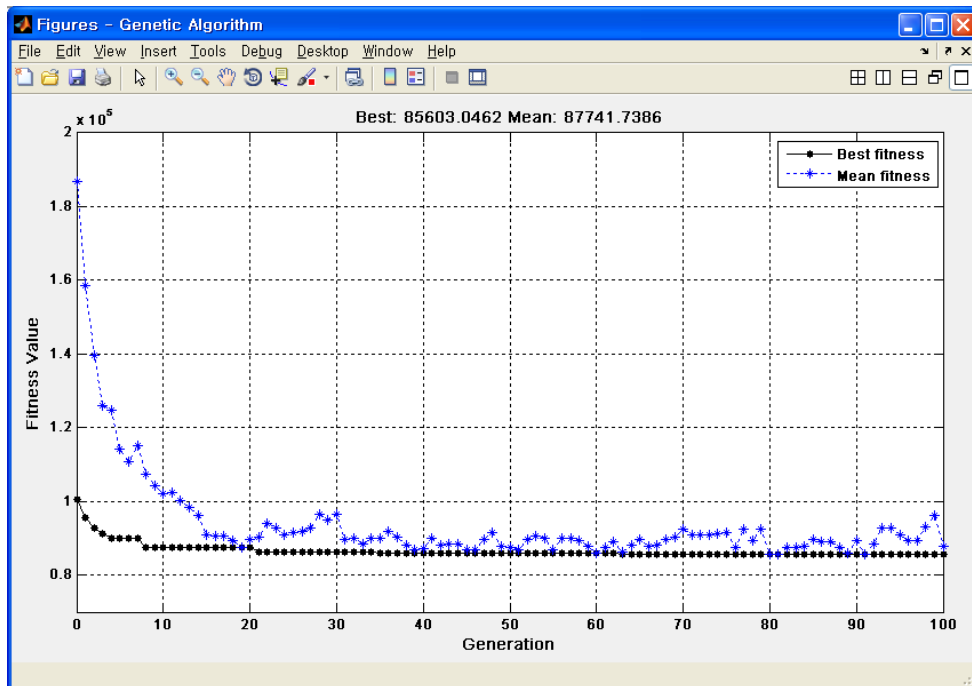


그림 1 세대별 아웃리거시스템 물량 수렴곡선

표 1 최적 설계변수

설계변수	설치위치 1. m	설치위치 2. m	하부 전단벽 I 값, m ⁴	아웃리거 I 값, m ⁴	하부 외곽기둥 단면적, m ²
값	100	258	18407.1765	84.7869	23.1627

최적화 수행 후의 최종 설계 변수를 토대로 하부 전단벽, 아웃리거, 하부 외곽기둥의 단면을 표 2에 정리해 보았다.

표 2 구성요소 단면치수

부재	전단벽	아웃리거	외곽기둥
b x d (x t)	20m x 20m x 2.35m	1.99m x 8.0m	4.81m x 4.81m

5. 결론

본 연구에서는 G.A.를 이용하여 강성이 선형으로 변하는 모델에 대해 아웃리거 설치위치뿐만 아니라 전단벽과 아웃리거, 외곽기둥의 단면까지 설계변수로 하여 물량최적설계 조건을 만족시키는 아웃리거시스템의 최적설계 연구를 진행하였다. 본 연구의 결과는 초고층 구조물의 초기 설계 시에 구성요소의 단면 및 아웃리거 설치 층의 선정에 적극 활용될 수 있을 것이다. 또한 추가적으로 최적화 수행 과정에서 실제 시공성을 고려한 절차가로 추가되거나, 최적화 수행 후에 구성요소의 단면 치수를 시공성을 고려하여 수정하는 절차를 거친다면 좀 더 높은 현장 적용성을 확보할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0027246).

참고문헌

- 정동조 외 3명 (1996) 등변분포 수평하중을 받는 아웃리거트러스 구조물의 근사해석, **대한건축학회논문집**, 12(7), pp.271~278.
- 정동조 (1999) 강성이 높이에 따라 선형으로 변하는 아웃리거 트러스구조물에서 아웃리거의 최적위치, **대한건축학회논문집**, 15(2), pp.55~62.
- Stafford Smith B, Salim I. (1981) Parameter study of outrigger-braced tall building structures, *Journal of the Structural Division, ASCE*, 107(10), pp.2001~2013.
- J. R. WU & Q. S. LI (2003) Structural performance of multi-outrigger-brace tall building, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 12, pp.155~176.
- 최상현 (2006) 다양한 강종을 사용한 고층건물의 구조 비용 최적화 기법 개발, 석사학위논문, 연세대학교.