

MOGA를 이용한 준능동 TMD 제어알고리즘 개발

Development of Control Algorithm for Semi-active TMD using MOGA

김 현 수* · 강 주 원** · 김 기 철***

Kim, Hyun-Su · Kang, Joo-Won · Kim, Gee-Cheol

요 약

본 논문에서는 준능동 TMD가 설치된 고층건물의 풍응답을 효과적으로 저감시키기 위하여 다목적 유전자알고리즘(MOGA)을 이용한 퍼지관리제어기를 개발하였다. 퍼지관리제어기는 하위제어기인 그라운드훅(groundhook) 제어알고리즘과 스카이훅(skyhook) 제어알고리즘에 의해서 결정된 제어명령을 적절하게 하나로 합치는 역할을 한다. 다목적 유전자알고리즘의 최적화 과정에서 75층의 가속도 응답과 준능동 TMD의 변위응답을 목적함수로 사용하였다. 다목적 유전자알고리즘 최적화과정을 통하여 퍼지관리제어기의 파레토 최적해집합을 효과적으로 얻을 수 있었다. 다목적 유전자알고리즘에 의하여 개발된 퍼지관리제어기는 가중합방법의 제어기보다 매우 우수한 성능을 나타내었다.

keywords : 풍응답제어, 초고층건물, 준능동 TMD, 퍼지관리제어, 다목적 유전자알고리즘

1. 서 론

본 연구에서는 풍하중을 받는 76층 벤치마크 건물에 대한 준능동 TMD (STMD)의 진동제어성능을 검토하여 보았다. STMD의 효과적인 제어를 위하여 그라운드훅 및 스카이훅 제어기를 하위제어기로 사용하는 퍼지관리제어기를 개발하였다. 퍼지관리제어는 퍼지이론을 이용하여 기설계된 하위 제어기들의 참여율을 적절하게 조정함으로써 보다 효율적인 제어성능을 가지도록 한다. 이때, 각 제어기의 참여율은 선택된 제어변수의 상태에 따라 퍼지추론과정을 거쳐서 실시간으로 변화하게 된다. 횡하중에 대한 고층건물의 진동제어 문제에 있어서 구조물의 응답을 저감시키는 것이 첫 번째 목표이지만 진동제어장치의 과도한 응답은 실제 구조물에 적용성과 제어장치의 안정성을 떨어뜨린다. 따라서 구조물 응답의 저감과 함께 STMD와 같은 진동제어장치의 응답을 적절하게 감소시키는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 STMD의 응답을 줄이는데 효과적인 스카이훅과 구조물의 응답을 줄이는데 효과적인 그라운드훅 제어기에 의해서 생성되는 제어명령을 적절히 조합해서 사용한다. 즉, 퍼지관리제어기는 풍하중에 의하여 실시간으로 변하는 구조물의 응답을 바탕으로 하위제어기의 참여율을 결정하는 의사 결정자 (decision maker)로서의 역할을 한다. 이러한 퍼지관리제어기는 전문가의 지식에 기반하여 개발할 수도 있지만 최적의 성능을 발휘하는 제어기를 개발하는 일은 적합한 퍼지 소속함수(membership function)를 선택하고 퍼지제어규칙을 찾아내기 위하여 수많은 반복과 시행착오과정을 거쳐야 하므로 시간이 많이 소요되는 쉽지 않은 작업이다. 본 연구에서는 다목적 유전자알고리즘 (multi-objective genetic algorithm; MOGA)을 사용하여 퍼지관리제어기를 최적화한다. 유전자알고리즘은 다

* 정회원 · 선문대학교 건축학부 조교수 hskim72@sunmoon.ac.kr

** 정회원 · 영남대학교 건축학부 부교수 kangj@yumail.ac.kr

*** 정회원 · 서일대학 건축과 조교수 beat67@seoil.ac.kr

수의 개체를 이용하여 최적화 문제를 해결하는 특징이 있기 때문에 본 연구에서와 같이 STMD의 응답 및 건물의 응답을 동시에 줄이고자하는 다목적 최적화문제에 적합한 방법이다. 최근까지 여러 연구자들에 의하여 다목적 최적화문제를 해결할 수 있는 유전자알고리즘이 제시되었다. 그 중에서 본 연구에서는 NSGA-II (a fast elitist Non-dominated Sorting Genetic Algorithm) (Deb 등, 2000)를 이용하여 최적해 집합을 찾는다. 본 연구에서는 이러한 연구방법 및 내용을 통하여 벤치마크 문제에서 제시한 설계제한조건 및 제어장치의 최대제어력과 허용변위를 만족하는 효과적인 제어시스템을 제안하였다.

2. 예제구조물

본 연구에서 선택한 예제 고층건물은 76층의 풍응답제어 벤치마크 건물이다(Yang 등, 2004). 구조형식은 횡하중에 저항하는 철근콘크리트 코어와 수직하중에 저항하는 철근콘크리트 골조로 구성되어 있다. 건물의 총 질량은 153,000ton이고 건물의 높이와 폭의 비율은 306.1/42=7.3으로 세장하여 풍하중에 큰 영향을 받는다. 벤치마크 문제에서 예제구조물은 수직 캔틸레버 보요소로 모형화된다. 세장한 벤치마크 건물은 1차 모드 거동이 지배적이기 때문에 건물의 최상층에 STMD를 사용하여 건물의 풍응답을 제어하는 것이 효율적인 것이다. 벤치마크 문제에서는 호주의 시드니 대학교 토목공학과 내의 풍동실험 연구소에서 실시한 실험에 의하여 얻은 풍하중을 사용하고 있다(Samali 등, 2004). 건물의 높이에 따라서 측정된 압력계수를 풍하중으로 변환하였고 제어시스템의 성능평가를 위해서 풍 직각방향 풍하중 데이터를 사용하였다. 벤치마크 문제의 제어목표는 최대 증가속도는 15cm/sec^2 이하 그리고 RMS 증가속도는 5cm/sec^2 이하로 하는 것이고 76층은 기계실로서 사람이 거주하지 않으므로 75층까지의 응답만을 검토 대상으로 한다. 제어장치의 최대 제어력 및 RMS 제어력을 각각 300kN과 100kN이하로 제한하고 제어장치의 최대 허용변위 및 RMS 허용변위를 95cm 및 30cm이하로 제한하여 보다 실제적이고 객관적으로 제어장치의 성능을 검토할 수 있도록 하였다.

3. STMD의 구성

본 연구에서는 그림 1에 나타낸 바와 같이 수동 TMD의 구성요소인 점성감쇠기를 대신하여 그림 2에 나타낸 MR 감쇠기를 사용하여 STMD를 구성한다. 이렇게 구성한 STMD를 이용하여 초고층건물의 풍응답 제어성능을 검토한다. MR 감쇠기를 모형화하기 위해서는 일반적으로 사용되는 Bouc-Wen 모델을 사용하였다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 MR 감쇠기의 최대 감쇠력은 약 100kN이다. STMD의 질량은 500ton이고 STMD의 진동수는 예제구조물의 1차모드 진동수와 동일한 0.16 Hz로 두었다.

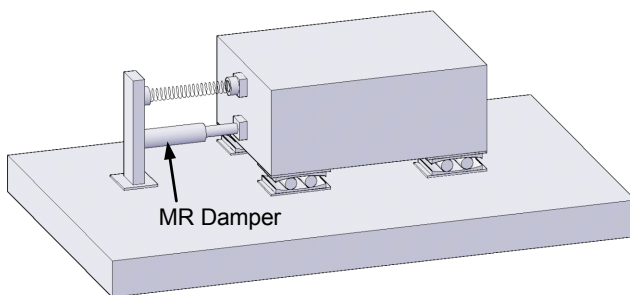


그림 1 MR 감쇠기를 사용한 STMD의 구성

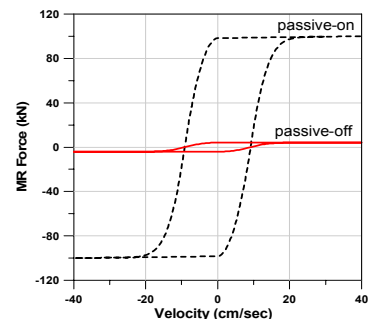


그림 2 100kN MR 감쇠기의 힘-변위 관계

4. 퍼지관리제어기의 구성

본 연구에서는 STMD의 변위를 줄이는데 적합한 스카이훅과 예제구조물의 풍응답을 줄이는데 적합한 그라운드훅 제어기에서 결정된 제어명령을 하나의 제어명령으로 조합하여 STMD를 구성하는 MR 감쇠기를 제어해야한다. 이를 위하여 본 연구에서는 두 개의 제어명령을 조합하는데 가장 보편적으로 사용되는 가중합(weighted sum)방법을 사용하였다. 이러한 가중합 방법의 장점은 매우 간단히 두 제어명령을 조합할 수 있고 가중치를 변경함으로써 손쉽게 두 제어기의 참여도를 결정할 수 있다는 것이다. 가중치가 커지면 스카이훅 제어기의 참여도가 증가하고 그라운드훅 제어기의 참여도가 약해지므로 STMD의 동적변위는 감소하고 구조물의 풍응답이 증가하게 된다. 퍼지관리제어기를 이용하여 두 하위제어기에서 결정된 제어명령을 가중합 방법을 이용하여 합하고 이를 사용하여 STMD를 제어하는 퍼지관리제어방법의 구성도를 그림 3에 나타내었다. 퍼지관리제어기는 구조물 및 STMD 응답을 바탕으로 벤치마크 문제의 제한조건을 만족시키면서 구조물의 응답을 최소화시킬 수 있는 적절한 가중치를 실시간으로 선택하게 된다.

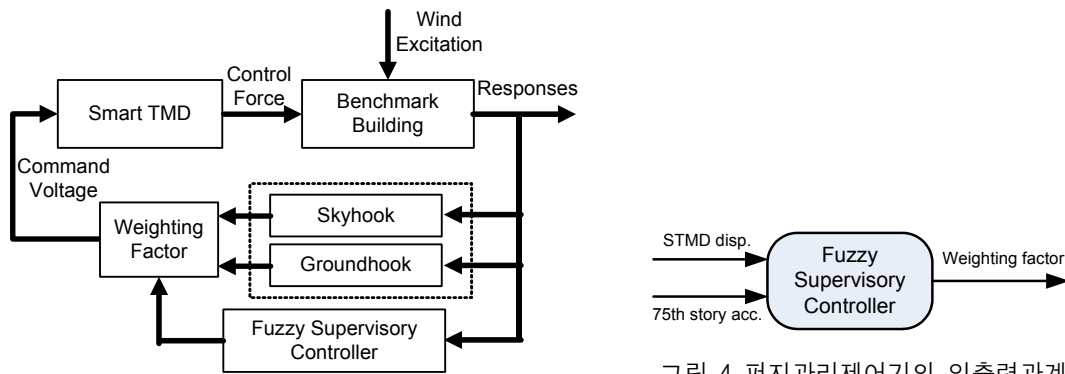


그림 3 풍응답을 받는 고층건물의 퍼지관리제어 구성도

그림 4 퍼지관리제어기의 입출력관계

퍼지관리제어기는 구조물의 응답이 커질 경우에 가중치의 값을 작게 하여 그라운드훅 제어기의 효과를 크게 하고 STMD의 응답이 커질 경우에 스카이훅 제어기의 영향이 커지도록 가중치의 값을 크게 하도록 설계 된다. 전술한 바와같이 본 연구에서는 NSGA-II를 이용하여 퍼지관리제어기가 최적화된다. 유전자알고리즘에서 각각의 개체들은 퍼지관제어기를 나타내고 인코딩(encoding)은 이러한 퍼지제어기의 유전적 표현이라고 말할 수 있다. 퍼지관리제어기를 구성하는데 필요한 모든 정보는 염색체라고 불리는 하나의 구조에 인코딩된다. 본 연구에서는 STMD의 변위응답과 예제구조물 75층의 가속도 응답을 퍼지관리제어기의 입력으로 선택하였고 가중치를 출력으로 사용하였으며 이 관계를 그림 4에 나타내었다.

5. 수치해석결과

NSGA-II에서 한 세대를 이루는 개체군은 100개의 개체로 이루어지며 최적화는 500세대까지 수행하였다. 벤치마크 문제에서 제시된 풍하중을 사용하여 수치해석을 수행하였으며 수치해석 시간간격은 0.001초를 사용하였다. 벤치마크 문제에서는 900초의 풍하중을 사용하여 개발된 제어기의 진동제어성능을 평가하도록 규정하였다. 그러나 본 연구에서는 100개의 개체로 이루어진 개체군을 500세대에 걸쳐서 적합도를 평가해야 하므

로 900초의 풍하중 전체를 사용한다면 수치해석에 매우 많은 시간이 소요될 것이다. 따라서 900초의 풍하중 중에서 가장 큰 응답을 유발하는 100초간의 풍하중만을 사용하여 최적화 과정에 사용하였다. NSGA-II를 이용하여 최적화 작업을 수행한 결과의 파레토 최적해집합을 그림 5에 나타내었다. 그림에서 녹색 다이아몬드 형태로 표시된 응답은 두 하위제어기를 조합할 가중치를 '0'에서 '1'까지 '0.1' 간격으로 변화를 시킨 가중합 방법을 통해서 얻은 결과이다. 이러한 방법은 가중치가 정해져 있기 때문에 어떤 지진하중이 오더라도 두 하위제어기의 참여율은 일정하다. 이러한 방법에 의해서 제어된 응답보다 MOGA 최적화 과정을 통해서 얻은 파레토 최적해집합이 매우 우수한 제어성능을 나타내는 것을 알 수 있다.

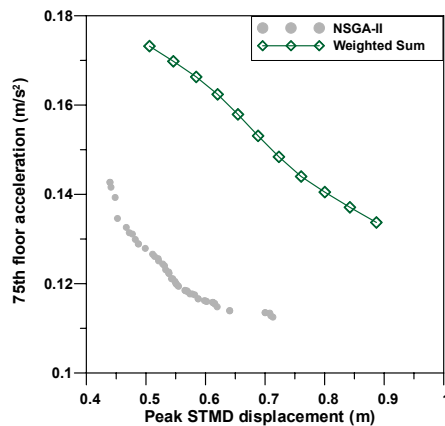


그림 5 최대응답에 대한 파레토해집합

6. 결론

본 연구에서는 MOGA를 사용하여 퍼지관리제어기를 최적화하였고 이 제어기를 이용하여 STMD가 설치된 76층 예제건물의 풍응답 제어성능을 검토하여 보았다. 그 결과 본 연구에서 제안한 방법을 사용하면 구조물의 가속도응답을 설계조건 이내로 줄이면서도 STMD의 변위응답을 동시에 저감시킬 수 있는 제어알고리즘의 파레토 최적해집합을 효과적으로 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(과제번호#06 건설핵심 B03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- Deb, K., Pratap, A., Agrawal, S. & Meyarivan, T. (2000) A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II, Technical Report No. 200001, Kanpur, India.
- Samali, B., Kwok, K.C.S., Wood, G.S., Yang, J.N. (2004) Wind tunnel tests for wind-excited benchmark building, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 130, No. 4, pp.447-450.
- Yang, J.N., Agrawal, A.K., Samali, B., Wu, J.C. (2004) Benchmark Problem for Response Control of Wind-Excited Tall Buildings, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 130, No. 4, pp.437-446.