

# 인공신경망을 이용한 대공간구조물 구조손상평가

## Structural Damage Evaluation of Large Span Roof Structure using Artificial Neural Network

조 자 옥\* · 김 지 영\*\* · 유 은 중\*\*\* · 김 미 진\*\*\*\* · 김 대 영\*\*\*\*

Cho, Jaock · Kim, Ji Young · Yu, Eunjong · Kim, Mi jin, · Kim, Dae Young

### 요 약

구조물의 상태평가는 구조물 고유의 동특성을 분석함으로써 평가할 수 있다. 구조물은 태풍, 지진 및 기타 외적 환경 등에 의하여 손상이 발생하고 이러한 구조물의 손상은 강성의 변화로 이어져 구조물의 동특성에 변화를 일으킨다. 따라서 손상 발생 전후의 동적응답을 각각 측정한 후 구조물 식별(Structural System Identification)을 통하여 고유진동수 및 모드형상을 추출하고 수학적 기법을 사용하여 구조물을 구성하고 있는 개별 부재 혹은 부재 그룹의 강성을 비교함으로써 손상의 발생여부 및 손상정도를 추정할 수 있다. 본 연구에서는 지붕트러스 구조물에 대하여 손상평가를 수행하고 이를 검증할 수 있는 Mock-up 구조물을 설계 및 시공하였다.

**keywords** : 인공신경망, 지붕트러스, 손상평가

### 1. 서 론

최근 삶의 질 향상에 따른 여가시간의 증가로 여가를 활용할 수 있는 레저형 상품에 대한 관심이 증가되면서 종합체육시설, 문화복합공간 등 대공간 구조물의 수요가 증가되는 추세이다. 그러나 세계적으로 태풍, 지진, 폭설 등 자연재해로 인한 재산 및 인명 피해 발생 사례가 빈번하게 보도되고 있다. 대공간 구조물은 일반적으로 많은 인원을 수용하기 때문에 이러한 재난이 발생 시 큰 재산 및 인명 피해를 유발할 수 있다. 따라서 체계적인 유지관리를 통하여 갑작스런 피해를 예방할 뿐 아니라 피해 발생 시 원인규명 및 효과적인 보수보강 방안을 도출할 수 있도록 해야 한다.

기존 연구에서 대공간 구조물의 동특성 및 감쇠 평가 등을 통하여 구조물의 건전도를 평가할 수 있음을 밝힌바 있다. 그러나 이러한 평가법은 전체 구조물의 거동을 파악할 수는 있으나 손상이 발생 시 손상위치 및 손상정도를 파악하기는 어렵다. 따라서 대공간 구조물의 손상에 대한 정량적인 평가 방법이 필요할 것으로 판단되며, 본 연구에서는 인공신경망을 기반으로 손상평가를 수행하고 이를 검증하기 위하여 지붕트러스 Mock-up 구조물을 제작하였다.

\* 정회원 · (주)대우건설 기술연구원, 연구원, 0801287@dwcosnt.co.kr

\*\* 정회원 · (주)대우건설 기술연구원, 책임연구원, kimjyoung@dwconst.co.kr

\*\*\* 한양대학교, 부교수, eunjongyu@hanyang.ac.kr

\*\*\*\* 한양대학교, 석사과정, goldstory@empal.com

\*\*\*\*\* (주)대우건설 기술연구원, 수석연구원, kimdy@dwconst.co.kr

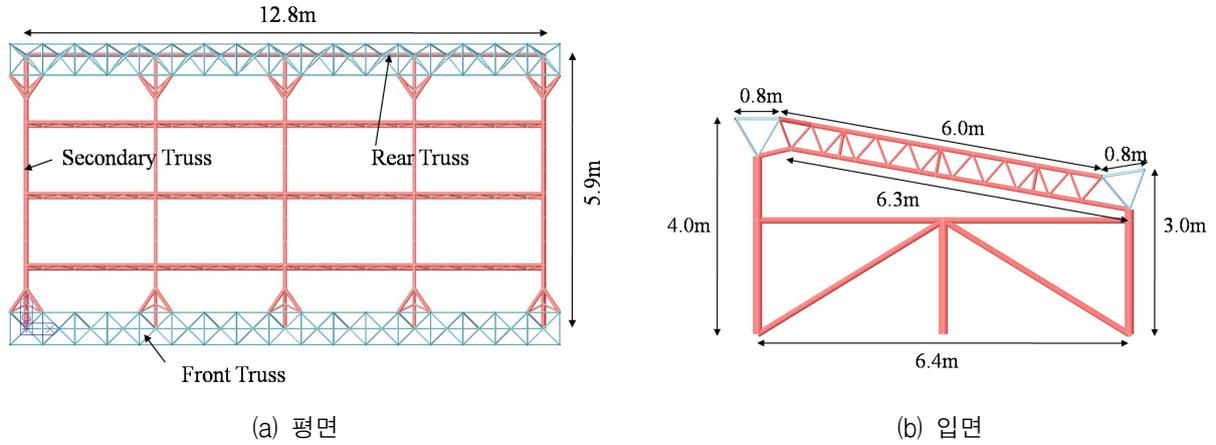


그림 1. 지붕트러스 Mock-up 구조물

## 2. 지붕트러스 Mock-up 구조물 설계 및 시공

본 연구에서는 대공간 구조물에 손상이 발생하였을 때 인공신경망을 기반으로 하여 손상을 평가할 수 있는 알고리즘을 구성하였다. 이 알고리즘을 검증하기 위하여 지붕트러스 Mock-up 구조물을 제작하였으며, 평면 및 입면은 그림 1과 같다. 지붕트러스 Mock-up 구조물은 국내 D경기장의 일부 단면을 토대로 하여 지붕 구조물의 Front Truss, Rear Truss, Secondary Truss의 비율을 결정하였으며, Front Truss와 Rear Truss는 스페이스 프레임으로 설계하고 Secondary Truss는 평면트러스로 구성하였다. 하중조건은 자중 및 풍하중 15m/s, 적설하중 2.5kg/m<sup>2</sup>를 고려하였고 설비하중 등 일부 활하중은 고려하지 않았다.

지붕트러스 구조물의 손상평가를 위하여 실험체에 손상을 구현할 수 있도록 총 30개의 손상부재를 제작하였다. 손상부재의 상세는 그림 2와 같으며 단면손실부분의 단면적 및 모멘트를 보완할 수 있도록 플레이트 핀을 설치하여 M12 고장력볼트를 체결함으로써 손상발생이 없는 구조물의 거동을 구현하도록 하였다. 손상이 발생한 경우에 대하여는 고장력볼트를 풀어 손상을 구현할 수 있도록 하였다.



그림 2. Mock-up 구조물의 손상부재 제작

### 3. 인공지능망을 이용한 손상평가

구조물은 구조물만의 고유진동특성을 나타내며 이것은 고유진동수, 진동모드형상, 주파수 응답특성 등으로 나타낼 수 있다. 구조물의 동적특성은 질량 및 강성에 의하여 결정되므로 손상 발생으로 인하여 강성에 변화가 생기면 그에 따라 고유진동특성도 변하게 된다. 인공지능망을 이용한 손상평가기법은 이러한 고유진동특성의 변화를 바탕으로 구조물의 손상정도를 파악하는 기법이다. 손상에 따른 다양한 동특성 변화 시나리오를 작성하고 그때의 구조 반응 패턴을 미리 인공지능망에 학습시킨다. 그리고 실제로 계측된 구조물의 고유진동특성을 인공지능망에 입력하여 대상 구조물의 동특성에 대한 상태변화정도와 위치를 추정한다. 이러한 인공지능망의 장점은 선행학습에 소요되는 시간이 필요하지만 학습 후에는 다른 해석적 기반 상태평가 기법에 비해 계측데이터로부터 즉각적인 결과를 얻을 수 있으므로 이에 대한 추후 대처를 보다 신속하게 할 수 있다는 것이다.

인공지능망을 이용한 손상평가에 앞서 제작된 지붕트러스 Mock-up 구조물에 대하여 FE 모델을 작성하고 동특성 평가를 수행하였다. 지붕트러스의 손상평가를 위하여 z축 방향으로 모드형상이 나타나는 것을 추출한 결과 2차, 7차, 8차, 9차로 나타났으며 따라서 이에 대하여 손상평가를 수행하였다.

손상평가를 위한 최적 센서위치 선정방법으로 Effective Independence법과 Sensitivity기반방법이 있다. Effective Independence법은 Mass-normalized된 모드형상을 사용하여 각 자유도가 모드형상벡터의 선형독립에 기여하는 정도를 바탕으로 최적 센서위치를 선정하는 기법이고, Sensitivity기반방법은 부재별 강성 민감도가 가장 큰 자유도에 해당하는 위치를 최적 센서위치로 선정하는 기법이다. 본 연구에서는 사용가능한 센서의 개수를 15개 이내로 가정하고 Effective Independence법과 Sensitivity기반방법에 대하여 최적위치를 선정하였으며 각각에 대하여 손상평가를 수행하였다. 또한 그림 3과 같이 지붕트러스 구조물의 부재를 30개로 그룹화하고 그룹에 속한 부재에 대하여 난수를 발생시켜 부재강성을 동일하게 수정함으로써 300개의 손상 시나리오를 작성하였다. 그리고 이 데이터를 인공지능망으로 학습시킨 후 각 그룹별로 강성을 30%씩 저감하여 손상을 평가하였다.

지붕 트러스 손상평가 시뮬레이션 결과, Sensitivity기반방법으로 15개의 센서를 배치한 경우에 손상탐지를 가장 효과적으로 수행하는 것으로 나타났으나 5개의 그룹에 대하여 손상탐지가 불가능한 것으로 나타났다. 반면, Effective Independence법으로 10개의 센서를 배치한 경우 3개의 그룹에 대하여 손상탐지가 불가능한 것으로 나타났으며 11개 이상의 센서를 사용하면 모두 손상탐지가 가능한 것으로 나타났다. 따라서 인공지능

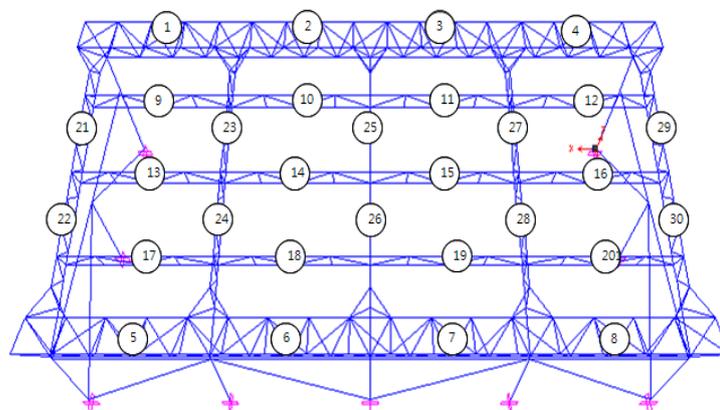


그림 3. 지붕트러스 Mock-up 구조물의 그룹화

망을 이용한 손상추정이 목적인 경우 최적센서위치를 선정하기 위한 방법으로 Sensitivity기반방법 보다 Effective Independence법을 사용하는 것이 적절한 것으로 판단하였다.

#### 4. 결론

인공신경망을 이용한 손상평가 기법은 지붕트러스 구조물의 손상에 대하여 손상정도 및 위치를 파악할 수 있는 기법으로 대공간 구조물의 건전도 평가 및 유지관리에 유용한 기법이다. 본 연구에서는 구조물의 손상을 추정하기 위하여 Effective Independence법과 Sensitivity기반방법으로 최적센서위치를 선정하고 지붕 트러스 해석모델에 적용하여 손상을 추정해 보았다. 그 결과 인공신경망을 이용하는 경우 Effective Independence법이 더 효율적으로 손상을 추정하는 것으로 나타났다. 이 결과를 바탕으로 본 연구는 제작한 지붕트러스 Mock-up 구조물에 적용하여 실험을 수행함으로써 부재 그룹화의 적정성, 센서 개수 및 최적위치 선정의 적정성 등에 대하여 검증하는 한편 대공간 구조물의 손상위치 및 손상정도를 평가할 수 있는 손상평가 기법을 검증하고자 한다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발 사업 과제인 “성능/환경 복원기술 개발” (과제번호 : 07 도시재생 B04) 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 김지영, 박재근, 김대영, 대공간 구조물 계측유지관리 적용 사례, 한국공간구조학회, v.9, n.1, 2009
- Kammer, D. C., Effects of noise on sensor placement for on-orbit modal identification of large space structures, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 114(3), 1992
- Z. Y. Shi, S. S. Law, and L. M. Zhang., Optimum Sensor Placement for Structural Damage Detection, Journal of Engineering Mechanics, 126(11), 2000
- 대공간구조물 유지관리 시스템 패키지 개발 보고서, (2005), 한양대학교