

인공지능 계측관리시스템을 이용한 수상구조물 진수

Application of ANN (Artificial Neural Network)-based Field Measurement System for Launching of Floating Structures



김 지 영*
Kim, Ji-Young

1. 수상구조물의 시공방법

수상구조물은 철골 또는 PC로 제작된 부유체 위에 상부 구조체를 건설하여 물위에 뜰 수 있도록 시공된다. 물 위에 구조물을 진수하는 가장 일반적인 공법은 제작장에 도크를 만들고 부유체를 제작한 후 물을 채워 부유시킨 뒤 바지선을 이용해 해당위치로 끌고나가는 드라이도크공법이다. 이 도크공법은 굴토를 하고 도크를 만들어야 되기 때문에 건설비용이 증가할 뿐만 아니라 수변 주위에 환경적인 문제를 발생시킬 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 (주)대우건설은 에어백을 이용해 지상에서 조립된 구조체를 물위에 진수공법을 적용하였다. <그림 1>과 같이 에어백은 특수 고무재료의 공기튜브로서 부유체 하부에 설치

되어 조립된 구조물을 부양시켜 굴러가게 하는 역할을 한다. 부양된 구조물은 윈치를 이용해 수변 경사로로 이동되고 자중에 의해 활강함으로써 물위에 진수된다.<그림 2>

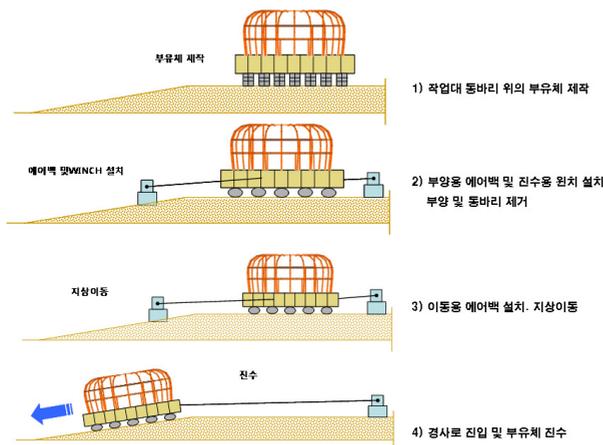
이러한 이동과 진수과정에서 구조물에 충격하중과 부가적인 변형이 발생하게 되므로 고급 구조해석 시뮬레이션 기술을 이용해 진수 중 발생 가능한 상황을 예측하고 이에 대한 대비를 수행하여야 한다. 그리고 사전에 계획된 시나리오대로 진수과정이 진행되고 있는지 확인하기 위해서는 진수 시 구조물에 대한 계측관리가 요구된다.

수상구조물의 진수를 위한 계측관리 시스템의 구축을 위해서는 해결해야 할 두 가지 문제가 있다. 먼저 이동과 진수 중에는 유선계측 시스템을 적용하는 것이 불가능하기 때문에 무선계측 시스템을 구축하는 것이 필요하다. 그리고 돌발적인 상황에 즉시 대처하기 위해서는 실시간으로 계측데이터를 분석하여

* 정희원·(주)대우건설 기술연구원 방재연구팀, 공학박사

구조물의 안정성에 대한 판단이 이루어져야 한다. 그러나 모니터링 요원이 실시간으로 계측되는 모든 데이터를 분석하여 즉시 구조안정성에 대한 판단을 내리는 것은 불가능하다. 이를 해결하기 위해 (주)대우건설은 인공지능을 이용한 실시간 구조안정성 평가 시스템을 개발하였다. 이를 통해 진수 중 돌발상황에 대한 신속한 판단이 이루어져 즉각적인 대처가 가능하도록 계측관리 시스템을 구축하였다.

이 기사에서는 한강에 위치함 세빛둥둥섬 진수 시 적용된 계측관리 (Structural Health Monitoring) 사례를 통해 수상구조물의 진수를 위한 해석 및 계측유지관리 핵심기술을 소개하고자 한다.



〈그림 1〉 수상구조물 진수공법

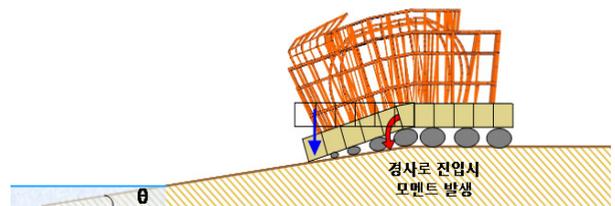


〈그림 2〉 세빛둥둥섬 진수전경

2. 진수를 위한 해석적 검토

지상 이동 단계에서는 〈그림 3〉과 같이 부유체의 경사로 이동 및 진입 시 우발적인 불균등 지지에 의하여 부유체 및 상부 구조물에 추가적인 부가응력이 발생하게 된다. 따라서 최대 경사와 부등지지 조건을 가정하여 구조해석을 실시하고 이동 중 관리한계를 수립하였다. 또한 윈치의 조절 시 부유체가 불균등하게 인양되어 부유체 전체에 불평형력이 작용할 수 있으므로 불평형력에 대한 검토를 통해 윈치의 관리한계를 설정하였다. 실제와 가장 유사한 결과를 도출하기 위해 지상 시공 중 구조물 계측을 통해 동특성을 추출하고 FE 모델을 수정하였다.^{1), 2)}

부유체를 수상에 진수하는 단계에는 〈그림 4〉와 같이 수면과 부유체가 충돌하여 상부 구조물에 충격하중이 작용하게 된다. 따라서 진수각도, 부유체의 활강속도 등을 고려해 충격력을 산정하고, 이를 부유체 하부에 발생하는 시간이력 충격하중으로 입력한 뒤 상부 구조물에 대한 시간이력 해석을 수행하여 진수계획을 검토하였다.



〈그림 3〉 지상 이동 중 구조체 변형



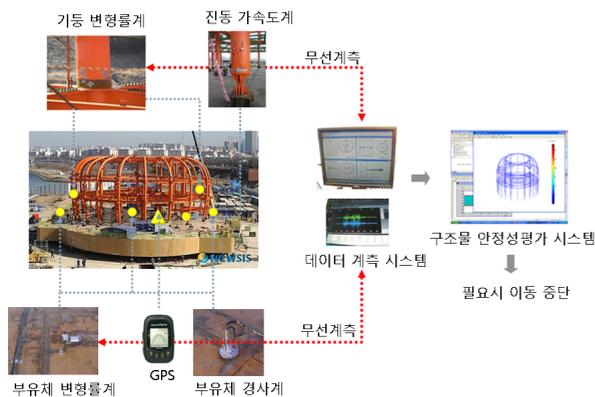
〈그림 4〉 진수 중 충격하중 발생

3. 계측관리 시스템 계획

구조물의 진수 시 실제 상황에서는 예측된 결과와 달리 돌발상황이 발생할 수 있으므로 이러한 상황에 신속히 대처하기 위해 계측관리가 필요하다. 또한 사전계획대로 구조물의 진수가 이루어지고 있는지 확인하기 위해서는 실제 계측을 통해 구조물의 거동을 모니터링 할 필요가 있다. 따라서 세빗 등등섬 진수 시 계측관리를 실시하기 위하여 <그림 5>와 같이 다양한 센서를 이용해 계측시스템을 구축하였다.

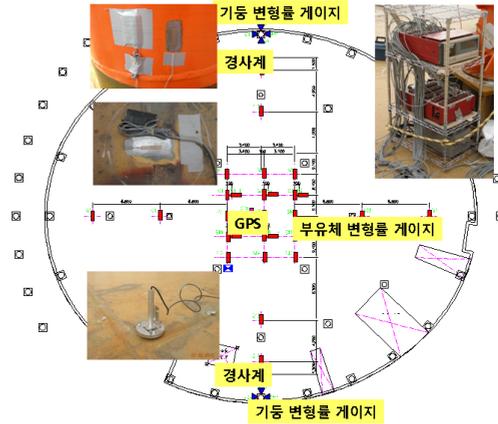
일반적인 구조물 계측과 달리 수상구조물 진수 시에는 유선 계측 케이블이 설치될 수 없기 때문에 무선계측 시스템이 사용되었다. 또한 구조물에서 계측된 데이터는 실시간으로 전송되어 구조물의 상태를 평가할 수 있어야 하기 때문에 실시간 무선 진동 가속도 계측시스템을 적용하였으며, 기타 변형률, 경사도 등의 정적 데이터도 무선데이터 전송을 통해 함께 계측되었다.

구조체의 해석결과를 바탕으로 경사 및 부등변위 발생 시 응력이 집중되는 상부구조물 기동 및 부유체 상판에 <그림 6>과 같이 변형률계를 설치하였다. 그리고 부유체가 에어백에 의해 균등하게 지지가 이루어지고 있는지 모니터링하기 위하여 부유체 상부 2개소에 경사계를 설치하여 이동 중 경사각을 모니터링 하였다. 또한 이동 중 및 진수 시 발생하는 충격은 상부 구조물에 지진과 같이 작용하여 진동을



<그림 5> 인공섬 진수용 계측관리 시스템

발생시키므로 부유체 밑면 진동과 상부구조물의 진동을 계측하기 위하여 부유체와 상부구조물에 각각 가속도계를 배치하였다. 그리고 부유체의 이동좌표를 기록하기 위하여 GPS를 설치하였다.

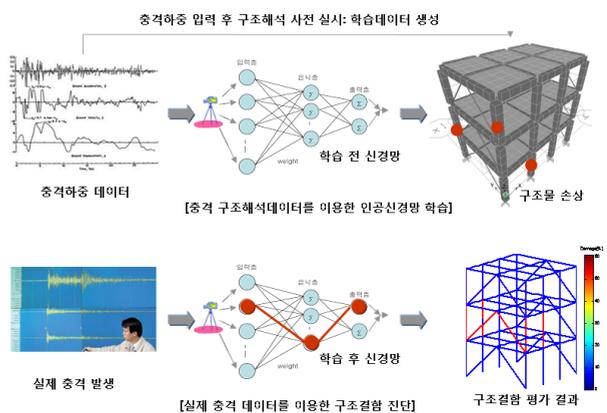


<그림 6> 부유체 상부 센서 배치

4. 인공지능 구조결함 진단 시스템

이동 및 진수 중 측정된 모든 데이터를 관리자가 직접 모니터링하여 수작업으로 분석한 뒤 실시간으로 이상유무를 감지해내는 것은 사실상 불가능하다. 따라서 측정된 데이터를 신속히 분석하여 실시간에 가깝게 구조안정성 검토 결과를 도출해 내는 시스템을 구축하기 위하여 인공지능망을 이용한 데이터 분석 시스템을 개발하였다.^{3), 4)}

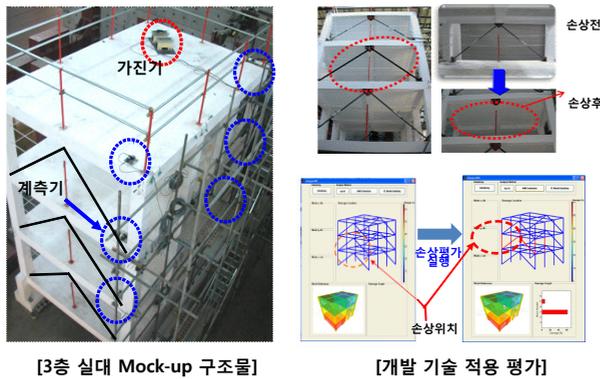
<그림 7>과 같이 충격하중에 대한 대상 구조물의



<그림 7> ANN 기반 손상평가 알고리즘

응답 및 구조물 손상정도를 사전 시뮬레이션하여 가해진 충격하중에 대한 구조물의 손상패턴을 인공지능에 학습한다. 학습된 인공지능에 실제 구조물에서 측정된 충격하중 및 응답의 패턴을 인공지능에 입력하면 구조물의 손상이 실시간으로 평가되어 관리자에게 전달될 수 있다. 따라서 현장계측담당자는 분석된 모니터링 결과를 참조하여 즉각적인 돌발상황에 대해 대응 할 수 있다.

이러한 알고리즘의 신뢰성을 확인하기 위해 <그림 8>과 같이 3층 실대 Mock-up 구조물을 (주)대우건설 기술연구원 대형구조실험동에 시공하고 임의의 손상을 발생시킨 뒤 개발된 알고리즘으로 손상탐지가 가능한지 검증실험을 수행하였다. Mock-up 구조물의 높이는 7 m이며, 장변이 6.3 m, 단변이 4.3 m이다. 그리고 단변방향으로 각 층에 철골가새를 설치하여 임의 손상발생을 부여할 경우 가새를 제거하였으며, 지진하중을 시뮬레이션하기 위해 최상층에 소형 가진기를 설치하였다. <표 1> 및 <그림 3>과 같은 case에 대해 임의의 손상을 발생시킨 뒤 설치된 가진기로 강제가진을 실시하고, 이로부터 구조물

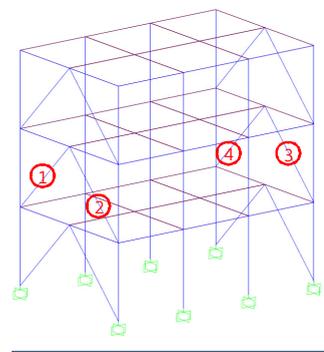


<그림 8> 손상평가 알고리즘 검증실험

<표 1> 검증실험 손상 Case

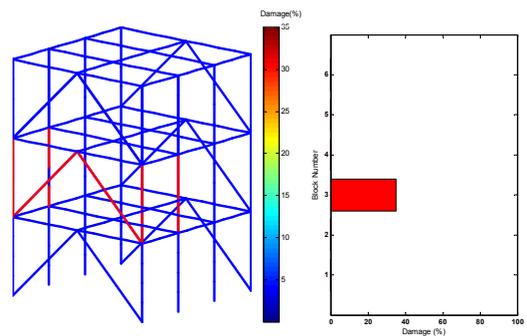
Cases	제거된 가새번호
손상전	-
Case 1	①
Case 2	① ②
Case 3	① ② ③

의 손상 위치 및 손상정도를 추정하였다.

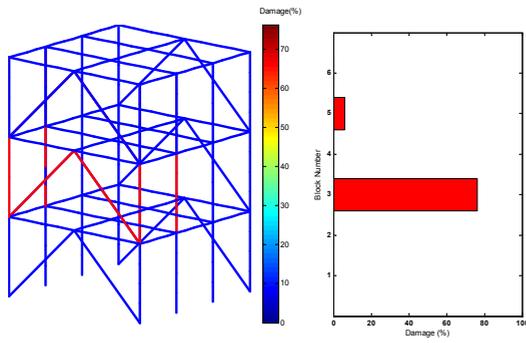


<그림 9> 손상 Case

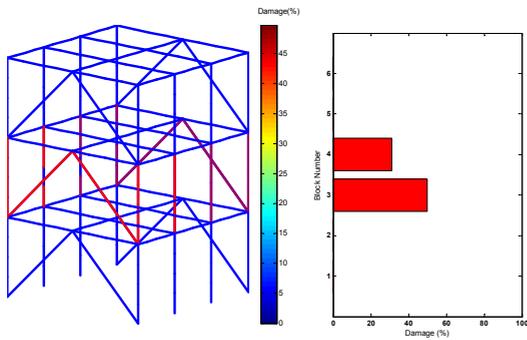
<표 1>의 각 Case별 손상탐지결과와 <그림 10>과 같다. <그림 10> (a)와 같이 ① 가새가 제거된 Case 1의 경우 위치도의 3구역에 손상이 붉은색으로 표시되며 손상지수가 약 40% 정도인 것으로 나타났다. 그리고 <그림 10> (b)에서는 가새 ① 및 ②가 손상된 Case 2의 결과를 나타내고 있으며, 위치도에서 3구역에 손상이 발생하고 손상지수가 약 75% 정도이다. 마지막으로 Case 3의 결과는 <그림 10> (c)와 같으며, 손상의 위치가 3 및 4 구역에서 발생하고 있는 것을 알 수 있으며, 각 구역의 손상지수가 50% 및 40% 정도로 나타났다. Case 3의 경우 4구역에서는 가새 ①이 손상된 Case 1의 손상지수와 유사하게 40% 정도를 나타내고 있으나 3구역에서는 손상지수가 25%정도 낮게 나타난 것을 볼 수 있다. 그러나 인공지능경망을 통해 손상의 위치와 손상지수가 대체로 손상을 감지하고 평가할 수 있을 정도로 나타나고 있음을 알 수 있다.



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

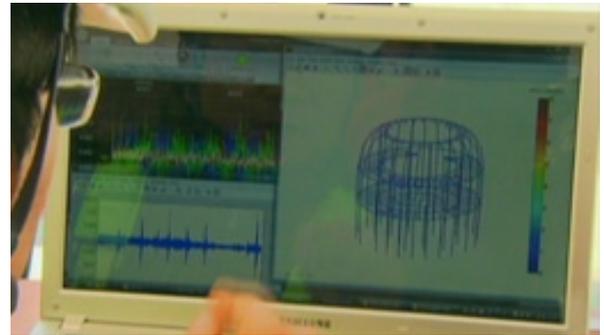
〈그림 10〉 실험 Case별 손상탐지 결과

5. 진수 시 모니터링 결과 분석

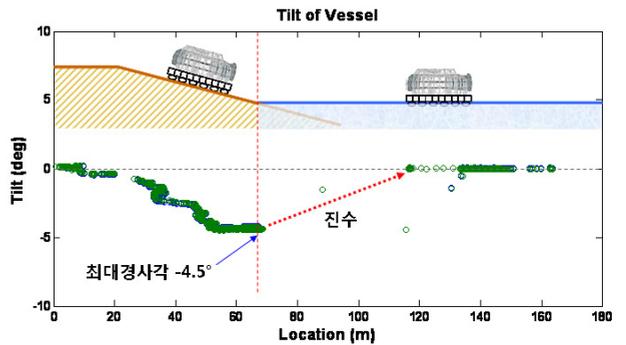
진수 시 계측관리를 통해 1~3점 모두 진수계획에 따라 안정적으로 진수된 것으로 나타났다. 이동 및 진수 시 최대 경사각도가 4.5°로 나타나 실제 계획했던 경사각 이내로 진입한 것을 확인하였다. 그리고 부유체 상판에 발생한 최대 응력이 항복 응력의 약 16% 수준이었고, 이 값은 진수 작업 완료 후 초기 값으로 복원하는 경향을 보였다. 이동 및 진수시 측정된 최대 가속도는 0.056g로 나타났으며, 이는 부재항복이 발생하는 0.16g보다 낮았다. 모든 계측치가 허용치보다 적은 값으로 나타났으므로 각각의 부유체와 상부구조물은 진수 과정에서 구조적 손상을 입지 않은 것으로 판단되었다.



〈그림 11〉 현장모니터링 시스템



〈그림 12〉 GPS를 이용한 경로추적



〈그림 13〉 경사각 계측결과

6. 맺음말

인공지능은 패턴학습이라는 특성을 가지고 있기 때문에 기존 해석적 기반 손상탐지 알고리즘과 비교하여 보다 빠른 손상탐지 결과를 도출할 수 있는 장점이 있다. 따라서 수상구조물의 안전한 진수를 목적으로 적용된 계측관리 시스템에서 매우 효과적으로 사용되었다. 그러나 인공지능 학습 시 학습의 방법, 학습범위, 파라미터의 타입 및 개수에 따라 손상평가의 신뢰성이 낮아질 수 있는 단점이 있다. 따라서 향후 계측관리 또는 Structural Health Monitoring 분야에서 인공지능을 범용적으로 사용하기 위해서는 효과적인 파라미터의 선정, 구조물 대상 또는 손상탐지의 유형에 따라 적합한 학습방법 등에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Ji Young Kim, et. al (2009), "Calibration of analytical models to assess wind-induced acceleration responses of tall buildings in serviceability level", Engineering Structures, 31(9), pp.2086-2096
2. J. Y. Kim, et. al. (2011), "Long-term Monitoring of wind-induced responses of a large-span roof structure", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 99, pp 955-963
3. Ji Young Kim, et. al. (2010), "Damage Evaluations for a 3-story RC Structure Using Trained Perception", Proceedings of 5th World Conference on Structural Control and Monitoring, Tokyo
4. 김지영 외 (2010), 구조물 손상평가를 위한 인공지능 경망의 RC Mock-up 적용 평가, 한국전산구조공학회 학술대회 논문집