

광섬유 센서를 이용한 플로팅구조물의 모니터링에 관한 연구

A Study on Monitoring of Floating Structure using Fiber Optic Sensor

한 민 배* · 정 근 후** · 송 화 철*** · 박 다 혜**** · 박 수 용***** · 손 경 략*****

Han, Min-Bae · Jung, Keun-Hoo · Song, Hwa-Cheol · Park, Da-Hye · Park, Soo-Yong · Sohn, Kyung-Rak

요 약

플로팅구조물은 열악한 해양환경상태에 있기 때문에 구조물응답에 대한 실시간 모니터링 기술을 적용하여 구조안전성을 확보해야 한다. 특히 기존의 전기 저항식 스트레인 게이지 단점을 극복한 광섬유 센서를 이용하여 실시간 모니터링 시스템 개발에 관한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 플로팅구조물의 축소 모델에 광섬유 센서 중 하나인 FBG센서를 부착하고 실험용 수조에 설치하여 광학 스펙트럼 분석기를 통해 중심파장을 측정된 후 변형률을 계산하였다. 또한 유한요소 모델을 유한요소 해석 프로그램인 ABAQUS를 사용하여 모델링하고 유한요소 해석을 통해 변형률을 출력하고 실험결과와 해석 결과를 비교하여 광섬유 센서를 이용한 플로팅구조물의 실시간 모니터링을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

keywords : 광섬유센서, 플로팅구조물, 모니터링, 광섬유 브래그격자

1. 서 론

플로팅구조물은 육상 구조물과는 다르게 하부구조물이 파랑하중의 영향으로 변형을 일으켜 상부구조물에 부가 모멘트를 발생시켜 구조안전성에 영향을 끼친다.(송화철, 2010) 따라서 파랑하중에 대한 구조물의 안전성을 확보하기 위해 파랑하중에 의한 구조물의 거동을 실시간 모니터링 하여야 한다. 광섬유센서를 이용한 실시간 모니터링 시스템은 토목, 건축, 조선 등 여러 분야에서 활발하게 적용되어 2000년 중반이후 국내외 여러 연구기관에서 많은 연구가 수행되었고, 현재도 활발히 진행 중에 있다. 또한 광섬유센서는 구조물의 내부에 삽입할 수 있고 크기가 작고 가벼워 구조물의 성능에 영향을 주지 않을 뿐만 아니라 부식에도 강하여 해양환경에 사용되는 플로팅 구조물에 적합하다.(김진욱, 2009)

본 연구에서는 플로팅구조물의 거동을 알아보기 위해 플로팅구조물의 하부구조물 축소모델을 제작하여 광섬유 센서를 부착하고 하중을 적용시켜 축소모델의 거동을 측정한다. 유한요소법에 의한 해석 모델을 모델링하여 유한요소 해석을 수행하고, 실험결과와 해석결과의 출력값을 비교 분석한다. 그리하여 광섬유 센서를 이용한 플로팅구조물의 실시간 모니터링에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

* 한국해양대학교 해양건축공학과 대학원 hmb1009@naver.com
** 한국해양대학교 해양건축공학과 대학원 eng040808@naver.com
*** 한국해양대학교 해양공간건축학과 교수 song@hhu.ac.kr
**** 한국해양대학교 해양건축건축학과 dprm011@naver.com
***** 한국해양대학교 해양공간건축학과 교수 sypark@hhu.ac.kr
***** 한국해양대학교 전자통신공학과 교수 krsohn@hhu.ac.kr

2. 플로팅구조물의 정적 재하 실험

2.1 축소모델 개요

본 실험에서는 그림1과 같이 플로팅구조물의 축소모델을 800mm×400mm×40mm로 제작하였다. 축소모델의 장면에 수직운동만을 고려할 수 있도록 수평운동을 제한하는 4개의 계류 장치를 부착하여 스프링을 연결하였고,(Park ,2010) 실험용 추를 이용하여 하중을 적용하므로 상부 판 중앙에 실험용 추를 올려 놓을 수 있도록 추 고정용 봉과 추 지지대를 설치하였다. 본 축소모델의 총 무게는 53.15N이고, 추 고정용 봉과 추 지지대의 무게는 1.77N이다. 본 축소모델의 재료는 강재이며 재질은 SS400이고, 두께는 모두 1mm이다.

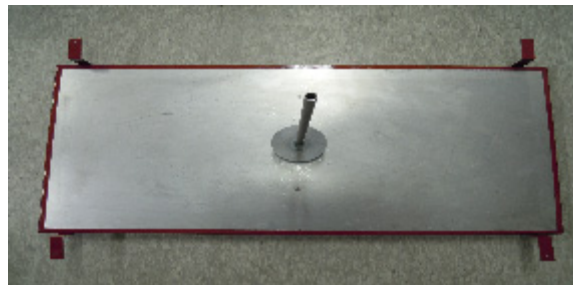


그림 1 플로팅구조물의 축소모델

2.2 실험방법

본 실험에서는 광섬유 센서 중 하나인 FBG센서를 이용하여 플로팅구조물의 변형을 분석하였다. 먼저 축소모델에 FBG센서를 그림2와 같이 장변방향 6개와 단변방향 4개, 총 10개의 FBG센서를 추 고정용 봉을 중심으로 하여 대칭으로 부착한 후 그림3과 같이 실험용 수조에 축소모델을 물위에 띄운 후 4개의 계류 장치에 스프링을 연결한다. 실험용 수조에 축소모델 설치가 완료되면 4.91N 강제 원형의 실험용 추를 중앙의 실험용 추 지지대에 9.81N씩 58.86N까지 올리면서 광학 스펙트럼 분석기를 통해 각 하중별로 각 센서들의 중심파장을 측정한다.

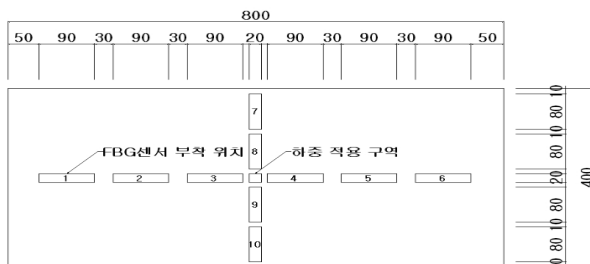


그림 2 FBG센서 부착 위치

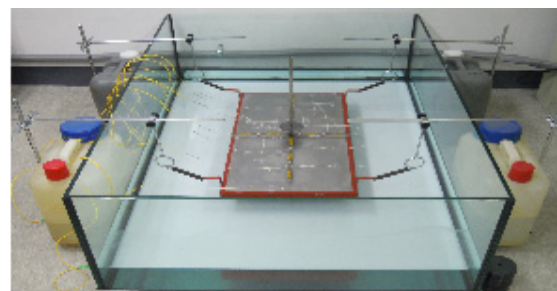


그림 3 축소모델 설치

3. 플로팅구조물의 구조해석

본 유한요소 모델을 그림4와 같이 유한요소 해석프로그램인 ABAQUS로 모델링 하였다. 해석모델의 단위 요소는 10mm×10mm이고, S4R요소가 사용되었다. 4개의 계류장치는 하부구조물과 동일한 요소 형태를 가지

고 있고, 강성이 큰 스프링 요소를 적용하여 유한요소 모델의 수직, 수평운동을 제한한다. 본 유한요소 모델에 적용한 하중은 정적하중과 부력이다. 정적하중은 유한요소 모델의 자중과 가력한 하중값으로 나타내었고, 부력은 스프링 요소를 적용하여 유한요소 모델의 상하 운동만을 고려한다.

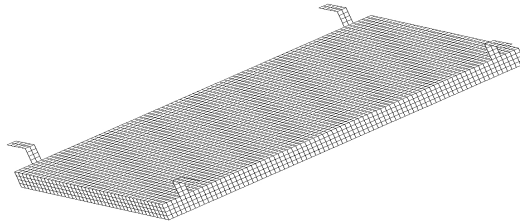


그림 4 ABAQUS를 이용한 축소모델 모델링

4. 실험결과와 해석결과 비교

본 연구에서 측정된 실험결과와 해석결과를 그림 5~8에 비교하여 나타내었다. 실험과 유한요소 해석의 변형률 결과값이 하중 적용 구역을 기준으로 1번과 6번, 2번과 5번, 3번과 4번, 7번과 10번 그리고 8번과 9번이 대칭이었다. 또한 1번과 6번, 2번과 5번 그리고 7번과 10번은 인장력이 3번과 4번 그리고 8번과 9번은 압축력이 측정되었다. 이러한 결과는 양단부가 용접으로 접합되어진 고정단으로 하중 작용시 부모멘트가 작용하여 나타난 것으로 판단된다. 또한 실험결과와 해석결과를 각 측정 위치에서 비교 분석 결과 변형률이 거의 일치하였다. 장변 끝부분과 10 μe 이하의 변형률에서 발생한 오차(%)는 크지만 해석결과의 변형률이 상대적으로 작기 때문에 오차가 크게 계산되었다. 오차 범위는 $\pm 5\mu\text{e}$ 이내로 측정되었다.

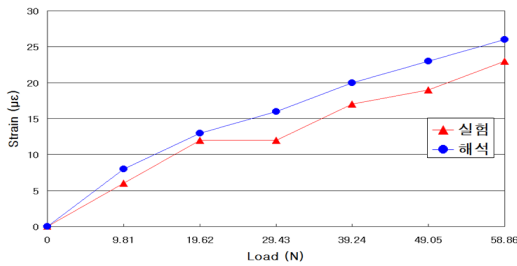


그림 5 2번과 7번 위치 변형률 비교

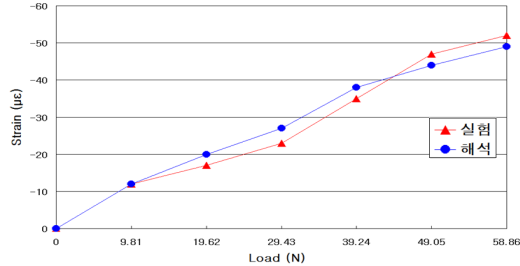


그림 6 3번과 4번 위치 변형률 비교

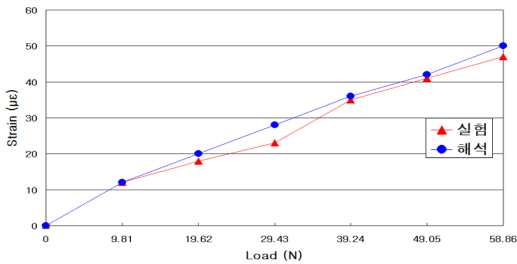


그림 7 7번과 10번 위치 변형률 비교

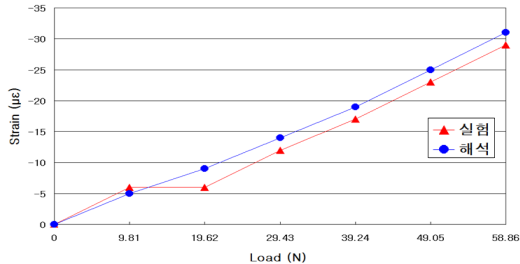


그림 8 8번과 9번 위치 변형률 비교

6. 결론

본 논문에서는 해양플랜트 구조물의 거동을 알아보기 위해 해양플랜트 플로팅구조물의 하부구조물 축소모델을 제작하여 광섬유 센서를 부착하고 하중을 적용시켜 축소모델의 거동을 측정하였다. 유한요소법에 의한 해석 모델을 ABAQUS로 모델링하여 유한요소 해석을 수행하고, 실험결과와 해석결과를 비교 분석하였다. 실험결과와 해석결과를 비교 분석한 결과를 토대로 한 본 연구의 결과는 다음과 같다.

1. FBG센서를 이용한 부유식구조물 축소 모델의 변형률을 광학 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정하였을 때 하중 적용에 따른 중심파장 스펙트럼이 실시간으로 출력되어 축소모델 상부 판의 거동을 하중 적용과 동시에 확인 할 수 있었다.

2. ABAQUS를 이용하여 부유식구조물을 모델링하고 축소 모델에 대한 유한요소 해석을 수행하였다. 해석결과를 통해, 하중 적용 구역의 근처는 압축력이 작용하고 1/4부분에서 최외각 부분까지는 인장력이 작용한다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 축소 모델 상부판의 양단부가 용접으로 접합되어진 고정단으로 하중 작용시 부모멘트가 작용하여 나타난 것으로 판단된다.

3. 실험과 유한요소 해석의 변형률 결과값이 하중 적용 구역을 기준으로 1번과 6번, 2번과 5번, 3번과 4번, 7번과 10번 그리고 8번과 9번이 대칭이었다. 또한 실험결과와 해석결과를 각 측정 위치에서 비교 분석 결과 축소 모델의 변형률은 거의 일치하였다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역 경제권 선도산업 인재양성사업의 연구결과입니다.

참고문헌

송화철, 박수용, 정근후, 김세철, 이은숙, (2010). 플로팅 구조물의 상부구조에 대한 비선형해석, 한국전산구조공학회 정기학술대회

김진욱, (2009). 선박적용을 위한 광섬유 브래그 격자형 수위 모니터링 센서 시스템 개발, 한국해양대학교 석사학위논문

Sooyong Park, Hwa-Cheol Song, Enu-Hye Kim, Keun-Hoo Jung, Sung-Hoon Cho, and Se-Cheol Kim, (2010), Modal Properties of a Scaled Model of Floating Structure, The proceedings of ISOPE-2010 Conference