

울돌목 시험조류발전소 구조물 건전도 모니터링 시스템 구축현황 및 계측결과

Instrumentation of Structural Health Monitoring System for "Uldolmok" Tidal Current Pilot Plant and Measurement Data

이진학† · 박진순* · 이광수**

Jin-Hak Yi, Jin-Soon Park and Kwang-Soo Lee

1. 서 론

울돌목 시험조류발전소에 구축되어 있는 구조물 건전도 모니터링 (SHM) 시스템의 설치 및 활용에 대하여 간략히 소개하였다. 현재 시험조류발전소에 설치된 센서로는 전기저항식 변형률계, 광섬유 FBG (Fiber Bragg Grating) 센서, 압전형 MFC (Macro Fiber Composite) 센서, 2축 경사계, 서보형 가속도계 등과 같은 자켓 구조물의 구조거동을 감시하기 위한 센서와 토크 센서, RPM 센서 등 발전 계통에 대한 감시를 위한 센서, 그리고 H-ADCP(Horizontal Acoustic Doppler Current Profiler), 온도센서와 같은 외력 및 환경조건에 대한 계측 센서 및 장비 등이 있다. 여기서는 모니터링 시스템 설치 후 현재까지 부분적으로 계측된 자료를 소개하고, 향후 건전성 감시시스템 개선 계획을 소개하였다.

2. 시험조류발전소 구조건전성 감시시스템 개요

울돌목 시험조류발전소의 SHM 시스템은 다음의 표 1에 제시되어 있는 것과 같이 터빈의 회전수 및 축계의 토크 등과 같이 발전과 관련된 계측 항목, 변형률, 가속도 및 경사 등과 같은 구조물의 거동과 관련된 항목, 그리고 유속·유향 및 온도 등과 같은 외부환경을 계측하기 위한 항목 등으로 구성되어 있다. 최근 가속도 계측을 중심으로 진동특성을 이용하기 위한 연구개발이 활발한 것과는 달리 이 연구에서는 변형률을 중심으로 건전성 감시시스템을 구축하였다. 총 8 지점에서 전기저항식 변형률계와 광섬유 FBG 센서를 이용하여 변형률을 계측하고 있으며, 그 결과를 유속, 유향과 비교하여 상호관계를 구한 후 이로부터 구조건전성 저하를 감시하게 된다. 조류발전시스템의 경우 변형률 계측이 더욱

효과적인 것은 교량이나 건축물의 경우 차량이나 바람 등 예측이 불가능한 하중을 주로 받고 있으며, 또한 구조물 자체의 고정하중에 비하여 이러한 동적하중의 크기가 작기 때문에 결과적으로 활하중에 의한 변형률 응답이 작고, 따라서 계측잡음 등에 의하여 변형률 계측결과의 신뢰성이 감소하는 경우 이를 기준으로 고려하기 어렵게 된다. 그러나 울돌목 시험조류발전소의 경우 상대적으로 조류하중이 크게 작용하고 있으며, 또한 조류의 유속 및 방향은 일정한 주기성을 가지고 있기 때문에 조류하중과 변형률 응답 사이의 관계가 비교적 명확하게 분석될 수 있을 것으로 기대하고 있다. 그림 1은 울돌목 시험조류발전소 완공 후의 모습이다.



그림 1. 시험조류발전소 완공 후 사진

표 1. 계측항목 및 채널 수

| 구분 | 계측항목 | 센서타입 및 채널 수 |
|------|------|----------------|
| 구조거동 | 가속도 | 서보 가속도계 10채널 |
| | 변형률 | 전기저항식 8채널 |
| | | 광섬유 FBG형 10채널 |
| | 임피던스 | 압전형 MFC 센서 6채널 |
| 발전계통 | 경사 | 서보형 경사계 2채널 |
| | 토크 | 변형률계 이용 6채널 |
| 외부환경 | 회전수 | 2채널 |
| | 유속유향 | H-ADCP 1기 |
| | 온도 | 대기 및 수중온도 2채널 |

† 교신저자; 한국해양연구원 연안개발에너지연구부
E-mail : yijh@kordi.re.kr

Tel : (031) 400-7811, Fax : (031) 408-5823

* 한국해양연구원 연안개발에너지연구부

** 한국해양연구원 연안개발에너지연구부

3. 구조 안전성 감시를 위한 계측시스템

3.1 가속도 및 변형률 계측

시험조류발전소 구조물의 진동모드를 수치해석으로 구한 결과 해남-진도 방향으로의 1차 굽힘모드와 진도대교-벽과항 방향으로의 1차 굽힘모드, 그리고 1차 비틀림 모드의 고유주기가 1.825초, 1.223초 그리고 0.125초로 각각 계산되었으며, 이러한 진동주기를 고려하여 저주파수 대역에서 높은 민감도를 가지는 서보형 가속도계를 설치 하였다. 구조물의 주유 진동모드를 추출하기 위하여 이 연구에서는 총 10개의 가속도계를 설치하였으며, 그 위치는 DL기준으로 DL-7m 지점인 수중에 X-방향 2개, Y-방향 2개를 설치하고, DL+5.5m 지점이 같은 방식으로 4개의 가속도계, 그리고 상부 콘크리트 상판에 2개를 설치하였다.

한편 조류력에 의한 변형률은 자켓 레그의 하부에서 크게 발생하며, 이러한 변형률은 조류의 유속과 유향, 조위에 따라 결정되므로 일정한 주기를 가지고 변동하게 되며, 구조물에 손상이 발생하면 기존 경향에서 멀어지는 변화가 발생하여, 이로부터 구조물의 구조건전성을 감시할 수 있게 된다.

변형률계의 경우 자켓구조물이 울돌목에 거치되기 이전에 육상에서 모든 설치를 완료하였으며, 가속도계의 경우 충격에 의한 센서 파손이 우려되어 구조물이 완공된 후 잠수부에 의하여 설치하였다.

다음의 그림은 전기저항식 변형률계의 설치 모습과 시공 중간의 데이터로거로 계측한 변형률 결과의 일부를 정리한 그래프이다. 현재 자료를 분석 중이며, 구조물 인양, 진수, 거치, 항타 등 시공단계에 따라 변형률의 변화되는 경향을 볼 수 있다.

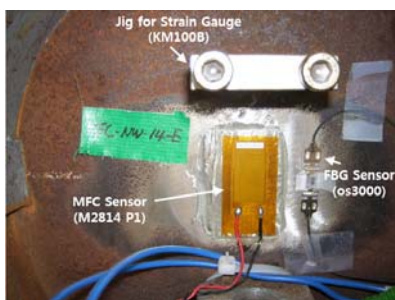


그림 2. 센서 설치 모습 (전기저항식 변형률계는 지그에 부착)

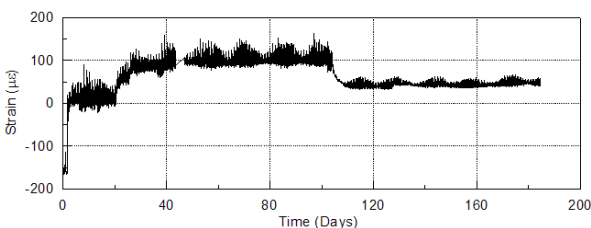


그림 3. 계측된 변형률 자료의 일부 (2008.5.1 이후)

3.2 광섬유 FBG 센서

광섬유 FBG 센서는 스마트 센서 중 현재 가장 널리 적용되고 있는 센서라 할 수 있으며, 이 연구에서는 발전 관련 전기장비가 많고 해수에 의한 내구성 저하에 대하여 광섬유 센서가 장점을 가질 수 있을 것으로 기대하여 이를 적용하기로 하였다. 광섬유 FBG 센서는 전기가 아닌 광을 이용함으로써 발전시설에 의하여 발생할 수 있는 전자기적인 간섭에 의한 계측잡음이 없고, 구리도선이 아닌 유리재료의 광섬유를 사용함으로써 해수에 의한 재료 손실이 없는 장점이 있다. 그러나 이러한 장점과 함께 취성이 강하며, 구리도선과 같이 다루기가 쉽지 않은 단점이 있어 최근까지 많은 장점에도 불구하고 활용이 되지 못하였으나 최근 이러한 단점을 극복한 광섬유 케이블 및 센서가 개발되어 중국, 일본, 미국, 유럽 등 여러 나라에서 활발한 적용이 이루어지고 있다.

3.3 MFC(Macro Fiber Composite) 센서

MFC 센서는 물리적인 신호를 전기적인 신호로, 전기적인 신호를 물리적인 신호로 변환하는 압전센서의 한 종류로써, 최근 적용 연구가 매우 활발한 압전센서이다. MFC 센서는 강성이 큰 PZT 센서와는 달리 매우 유연하여 곡면을 가진 구조물에 대한 적용이 용이하며, 계측잡음이 큰 PVDF에 비해서는 신호의 증폭비가 크고, 계측잡음이 작아 압전센서 중 가장 우수한 성능을 가지고 있다고 할 수 있다. MFC 센서를 다양하게 이용할 수 있는데, 이 연구에서는 자켓 레그의 하부, 변형률계가 설치된 위치에 MFC 센서를 부착하여 임피던스를 측정함으로써 균열, 부식 등의 재료손상을 검출할 수 있도록 하였다.

4. 결론

여기서는 현재 시험운영 중인 울돌목 시험조류발전소의 구조물 건전도 모니터링 시스템에 관한 내용을 간략하게 정리하였으며, 추후 발전소를 운영하면서 보다 장기적인 응답을 계측하여 별도로 그 결과를 제시할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 현재 육상 사회기반시설에서 광섬유 FBG 센서나 압전형 MFC 센서가 많은 관심을 받고 있으며, 실제 구조물에 적용하여 그 성능을 입증하고 있는 상황이다. 현재까지의 결과만으로 이들 센서들이 건전성 감시에 얼마나 효과적인지 충분히 검증되지 않았지만, 앞으로의 연구를 통하여 그 적용성이 검토된다면 향후 구조건전성 감시시스템을 보다 효율적으로 구축할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

후 기

본 연구는 국토해양부 조류에너지 실용화 기술개발 연구사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.