

이어도해양과학기지 구조물 계측신호 분석 Dynamic Response of Ieodo Ocean Research Station

김동현* · 심재설** · 민인기**

Dong Hyawn Kim*, Jae Seol Shim** and In Kee Min**

요 지 : 이어도해양과학기지에 설치된 구조물 모니터링용 가속도계, 변형률계, 경사도계에서 계측한 동적신호를 분석하였다. 가속도 신호의 분석에서는 구조적 거동에 중요한 의미를 갖는 고유진동수를 도출할 수 있었으며 수치해석에서 얻은 고유진동수와 비교하였다. 변형률신호와 경사도신호도 함께 분석하여 동적응답의 현황도 파악하였다. 서로 다른 시점의 다양한 파고가 동특성에 미치는 영향도 분석하였다. 본 연구에서 측정한 이어도해양과학기지의 동특성은 추후 지속적인 모니터링을 통해 얻게 될 동특성과의 비교를 통해 구조물의 건전성과 노후도 및 손상정도를 파악하는데 이용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 이어도과학기지, 해양구조물, 동적특성, 웨이브렛, 고유진동수

Abstract : Structural measurements obtained from accelerometers, strain gauges, and tilt meters at Ieodo ocean research station was analyzed. In the acceleration signals, dynamic characteristics of the station were found by using the measured dynamic responses under different wave attacks and were compared with those by numerical analysis. Data from strain gauges and tilt-meters were also analyzed to identify the present state of dynamic response. Effect of wave height on the dynamic characteristics were investigated. The present results and those which will be measured and analyzed later can be used to identify and to assess the state of the station whether it is health or not.

Keywords : Ieodo ocean research station, offshore structure, dynamic characteristics, wavelet, natural frequency

1. 서 론

해양관측을 통한 우리나라 해양과학기술의 발전을 위해 해양수산부와 한국해양연구원에서는 제주도 남서쪽 400 km 해상에 이어도 종합해양과학기지(이하 과학기지라 함)를 시공·운영중에 있다(해양수산부, 1999). 이어도 과학기지에는 해양, 대기분야에 관련된 다양한 관측 및 계측장비가 탑재되어 있으며 이들로부터 얻은 자료들은 인공위성을 통하여 실시간으로 해양연구원으로 전송되고 있거나 현장의 백업시스템에 보관되어 다양한 해양관련 연구활동의 기초 자료로 활용되고 있다. 따라서, 이어도 과학기지는 우리나라 해양과학기술 발전을 위한 매우 귀중한 일익을 담당하

고 있으며 그러한 인식의 바탕위에서 과학기지의 지속적인 역할수행을 담보하는 것은 공학적 측면에서도 큰 관심이 아닐 수 없다.

이어도 과학기지를 안전하고도 지속적으로 활용하기 위해서 구조적 안정성에 대한 검토가 설계단계에서부터 매우 엄격하게 이루어져왔다. 초대형 태풍이나 지진 등에 의한 안정성 검토가 수행되었으며 국내외 설계기준이 다양하게 적용되었다(해양수산부, 1999). 그러나, 아무리 극한 하중에 대한 안정성이 확보된 구조물이라 하더라도 지속적 파랑 및 태풍의 엄습으로 인해 구조적 성능이 저하될 수 있는 가능성은 상존하고 있다. 해양과 같은 악조건에 장기 노출되는 구조물의 경우 피로의 누적으로 인해 구조적 성능저하가 나타

*군산대학교 해양시스템공학과 교수 (Corresponding author: Department of Ocean System Engineering, Kunsan National University, Jeonbuk 573-301, Korea. eastlite@kunsan.ac.kr)

**한국해양연구원 연안항만공학연구본부 (Coastal and Harbour Engineering Research Lab., Korea Ocean R&D Institute, Ansan PO Box, Seoul 425-600, Korea)

날 수 있으며 이는 장기간에 걸쳐 진행되기 때문에 지속적인 모니터링과 유지관리가 필수적이라 하겠다.

구조물의 건전성을 평가하는 대표적인 방법으로는 고유치를 이용하는 방법과 고유벡터를 이용하는 방법이 있다. 구조물의 손상정보가 동특성(고유치 및 고유벡터)의 변화로 나타나는 원리를 이용한 것으로서 계측한 동적응답을 분석하여 동특성을 추정하며 시간의 경과에 따라 그 변화를 감지하여 건전도를 평가한다.

본 연구에서는 이어도 과학기지 구조물의 계측자료를 분석하여 동적특성을 분석하였다. 추정한 동특성은 지속적으로 누적 관리하므로써 구조물의 손상, 성능저하 등의 평가에 활용할 수 있으며 설계에서 예측한 동특성과의 비교를 통해 시공의 정밀도를 평가할 수 있다. 구조물 계측자료의 주파수 분석을 위해서는 푸리에변환(Fourier Transform)을 이용하였으며 잡음이 포함된 신호에 대해서는 웨이블릿(wavelets)을 이용하여 그 잡음을 제거한 후 주파수를 분석하였다.

2. 구조물 현황 및 동적특성 수치해석

2.1 구조물 현황

Fig. 1은 현장에 설치된 과학기지의 전경을 보여주고 있다. 과학기지는 마라도에서 서남방으로 152 km 떨어진 N

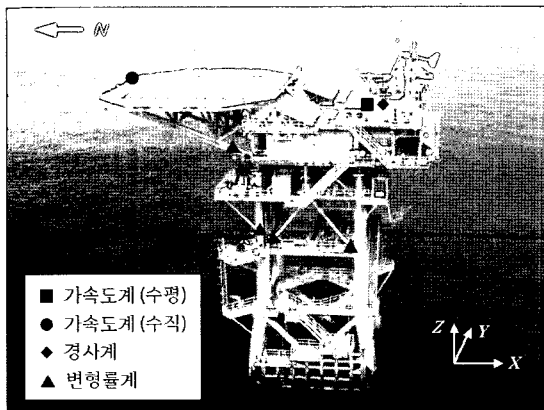


Fig. 1. Ieodo ocean reserach station.

32°07'22.63, E 125° 10'56.81에 위치하며, 플랫폼의 수명은 50년으로 하고 피로 수명은 100년으로 설계하였다. 플랫폼의 하부구조는 설계기준선(chart datum)을 기준으로 수심 40 m에 설치되는 고정식 자켓구조 형식이며, 상부구조는 약 580평 규모로서 장비설치를 위한 cellar deck과 주거지 및 실험실을 위한 main deck, 해난구조와 장비 및 인원동원을 위한 helideck으로 구성되어 있다. 현재 운영 중인 관측장비로는 풍향, 풍속, 온도, 습도, 기압, 강우량 등 기상관측장비와 파고, 파향, 조위, 수온, 염분 등 해양 관측장비 그리고 오존분석기, 에어샘플러, 대기분진채집기 등 환경관측장비가 있으며 구조물 모니터링을 위해 설치한 계측센서로는 그림에 표시한 바와 같이 가속도계, 변형률계, 경사계 등이 있다. 본 연구에 사용한 구조물 관측장비의 각 센서별 계측요소 및 사양은 Table 1과 같다 (Kyowa, 2005).

2.2 동적특성 수치해석

구조물의 동적특성을 논함에 있어 질량기여계수의 개념을 이용하면 편리한 경우가 많다. 질량기여계수는 본래 구조물에 지진하중이 가해졌을 때 특정모드에 얼마나 많은 지진에너지가 전달되어 진동을 유발하는가를 평가하는 척도이다. 그러나, 이 개념을 파랑하중이나 풍하중이 가해지는 해양구조물에 적용하면 특정모드의 응답에의 기여도를 추정하는데 있어 큰 도움이 된다. 질량기여계수를 구하기 위해 지진하중이 가해지는 구조물의 운동방정식을 나타내면 다음과 같다.

$$M\ddot{z} + C\dot{z} + Kz = -M[1]\ddot{x}_g \tag{1}$$

여기서, $M(n \times n)$, $C(n \times n)$, $K(n \times n)$ 는 구조물의 질량, 감쇠 및 강성행렬을 나타내며 z 는 구조물의 변위, \ddot{x}_g 는 지반가속도, 1 은 지진방향을 나타내는 벡터이다. 이 운동방정식을 고유모드 $\Phi(m \times m)$ 를 이용한 일반좌표계로 변환하기 위해 $z = \Phi q$ 의 관계를 이용하고 양변에 Φ^T 를 곱하면 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$\Phi^T M \Phi \ddot{q} + \Phi^T C \Phi \dot{q} + \Phi^T K \Phi q = -\Phi^T M [1] \ddot{x}_g \tag{2}$$

Table 1. Installed sensors

센서종류	모델(제조사)	설치개수	계측요소	표식자
가속도계	ASQ-ICB-P(Kyowa)	3	수평가속도(g)	■
			수직가속도(g)	●
변형률계	BS15-CT(Kyowa)	4	변형률(ϵ)	▲
경사계	BKK-A-D(Kyowa)	2	경사도(rad)	◆

이 때 고유모드를 직교화하면 각 계수행렬은 대각행렬로만 구성되며 각기 독립적인 m개의 운동방정식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\ddot{q}_i + 2\xi_i w_i \dot{q}_i + w_i^2 q_i = -\frac{\phi_i^T M1}{\phi_i^T M \phi_i} \ddot{x}_g (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

이 식의 오른쪽 항에서 지반가속도(\ddot{x}_g)의 계수를 모드 기여계수라 하며 지진하중에 각 모드별로 얼마만큼 전달되는지를 보여준다(Chopra, 1995). 또한, 실질적으로 응답에 미치는 기여도를 평가하는 척도로써 질량기여계수

를 사용하는데 이는 식 (4)와 같고 이를 모드별로 모두 합하면 지진방향의 전체질량이 된다.

$$\gamma_i = \frac{[\phi_i^T M1]^2}{\phi_i^T M \phi_i} \quad (4)$$

즉, 질량기여계수가 클수록 지진 하중에 의해 각 모드가 얼마나 많이 가진되는지를 평가하는 척도인 셈이다. 비록 질량기여계수의 개념이 지진하중시에 정의된 것이지만 동적하중에 의한 특정모드의 응답참여도를 파악하는데 유용하기 때문에 본 연구에서는 과학기지의 고유

Table 2. Mass participation factors

모드 번호	고유진동수 (Hz)	질량기여계수			누적질량기여계수		
		X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.9516	0.0306	0.5747	0.0000	0.0306	0.5747	0.0000
2	0.9544	0.5809	0.0313	0.0000	0.6115	0.6060	0.0000
3	1.0484	0.0006	0.0084	0.0000	0.6121	0.6144	0.0000
4	1.5603	0.3738	0.0017	0.0000	0.9859	0.6161	0.0000
5	1.5734	0.0019	0.3734	0.0000	0.9878	0.9896	0.0000
6	1.7259	0.0021	0.0009	0.0000	0.9899	0.9904	0.0000
7	1.9160	0.0000	0.0000	0.0442	0.9899	0.9904	0.0442
8	1.9554	0.0000	0.0000	0.0161	0.9900	0.9904	0.0603
9	2.0868	0.0000	0.0000	0.0000	0.9900	0.9904	0.0603
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
17	3.1367	0.0000	0.0000	0.0000	0.9904	0.9906	0.0793
18	3.3973	0.0005	0.0000	0.0148	0.9910	0.9906	0.0940
19	3.8333	0.0000	0.0000	0.1270	0.9910	0.9906	0.2210
20	3.9363	0.0000	0.0000	0.0000	0.9910	0.9907	0.2210
21	3.9726	0.0000	0.0000	0.0000	0.9910	0.9907	0.2210
22	4.2122	0.0000	0.0000	0.0001	0.9910	0.9907	0.2210
23	4.4353	0.0000	0.0000	0.0325	0.9910	0.9907	0.2535
24	4.4994	0.0000	0.0000	0.0138	0.9910	0.9907	0.2673
25	4.6872	0.0000	0.0000	0.5013	0.9910	0.9907	0.7686
26	4.8411	0.0000	0.0000	0.0003	0.9911	0.9907	0.7689
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
32	6.4083	0.0000	0.0000	0.0020	0.9911	0.9910	0.7733
33	6.4656	0.0000	0.0000	0.0358	0.9911	0.9910	0.8091
34	7.3681	0.0000	0.0000	0.0011	0.9911	0.9910	0.8101
35	7.3980	0.0000	0.0000	0.0000	0.9911	0.9911	0.8102
36	7.8764	0.0000	0.0000	0.0615	0.9911	0.9911	0.8716
37	7.9271	0.0000	0.0000	0.0080	0.9911	0.9911	0.8796
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
45	9.7059	0.0002	0.0002	0.0015	0.9925	0.9929	0.8889
46	9.8863	0.0004	0.0000	0.0101	0.9929	0.9929	0.8990
47	10.1940	0.0000	0.0000	0.0003	0.9929	0.9929	0.8993
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
59	12.1430	0.0001	0.0000	0.0016	0.9930	0.9930	0.9084
60	12.2524	0.0000	0.0000	0.0012	0.9930	0.9931	0.9097

진동수를 분석하는데 이용하고자 한다.

범용유한요소해석 프로그램인 SACS를 이용한 과학기 지 구조물의 동적해석결과 고유진동수 및 질량기여계수는 Table 2와 같다(한국해양연구원, 2003). 표에서 진하게 표시된 부분은 질량기여계수가 공히 1%를 초과하는 모드에 해당하는 값들이다. 1번 모우드의 진동방향은 주로 Y방향이며, 2번 모우드는 X방향으로 집중되어 있다. 또한, 1번 모우드의 X방향과 2번 모우드의 Y방향 질량기여계수가 서로 같고 또한 2번 모우드의 Y방향과 1번 모우드의 X방향 질량기여계수가 각각 같다. 이러한 현상은 헬리텍을 제외하고는 구조물의 형상이 X, Y방향으로 서로 대칭이기 때문에 유사한 진동모우드가 서로 직각으로 나타나기 때문이다. 이 경우 고유진동수도 또한 표에서의 같이 근접한 값을 가지게 된다. 만일 과학기지가 완전대칭 형상을 갖는다면 고유진동수가 정확하게 일치하고 앞의 질량기여계수 또한 정확하게 일치하겠지만 헬리텍의 형상으로 인해 대칭성이 다소 약해지기 때문에 근접한 진동수로 나타나고 있다. 1번과 2번 모우드는 각각 Y, X방향으로 진동하는 모우드로써 외팔보에서 볼 수 있는 기본 모우드형상을 하고 있다. 이러한 대칭성에 의한 근접고유치는 4번과 5번 모우드에서도 동일하게 나타나며 이것들은 외팔보 진동에서 볼 수 있는 두 번째 모우드 형상과 유사한 형상으로 과학기지 상부측에 노드점(nodal point)이 생기게 된다.

표에서 볼 수 있는 특징적인 사항을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 고유진동수 10 Hz이내에 모든 방향의 질량기여계수가 90%를 육박한다는 것이다. 따라서, 계측신호에 그 이상의 고주파수가 포함된다면 국부진동에 의한 것이거나 잡음일 가능성이 있다. 국부진동이라면 구조물의 전체적 안정성에 미치는 영향이 미미하므로 구조적으로 의미 있는 주파수 범위는 10 Hz이내라고 할 수 있다. 둘째, 수평방향의 고유진동수에서 대표적인 것을 그룹화하면 0.95 Hz를 1그룹, 1.56~1.57 Hz를 2그룹으로 나눌 수 있으며 이들의 질량기여계수의 합은 X방향으로는 98.53%, Y방향으로는 97.94%이다. 기타 10 Hz이내에 존재하는 고유진동수를 3그룹으로 분류할 수 있는데 여기에는 1.91~1.95 Hz, 3.40~3.83 Hz, 4.50~4.69 Hz, 6.47 Hz, 7.88 Hz, 9.89 Hz 등이 있다. 셋째, Z방향 고유진동수는 비교적 고르게 분포하는데 대표적인 것으로는 1.92~1.96 Hz, 3.40~3.83 Hz, 그리고 4.50~4.69 Hz, 6.47 Hz, 9.89 Hz 등이다. 이 중에서 3.83 Hz와 4.69 Hz는 질량기여계수가 10%이상으로 다른 것보다 매우 높은 비율을 차지하고 있다.

3. 계측자료분석

3.1 풍속 및 파고

이러도 과학기지에는 준공이후 지금까지 연속관측이 진행되고 있다. 그러나 이들 자료를 모두 분석하지는 않고 그 중 대표성이 있다고 인정되는 세 기간동안의 자료만을 이용하였다. 분석에 이용된 기간은 첫째 2004년 12월 10일부터 12월 20일까지의 기간, 둘째 2005년 3월 13일부터 3월 31일까지의 기간, 셋째 2005년 4월 1일부터 4월 29일까지의 기간이다. 이들 기간에 발생한 파고와 풍속의 일별 추이는 Fig. 2와 같다. 그림에서 파고는 10분 연속관측시의 유의파고, 풍속은 10분 평균풍속을 말하며 최대값과 최소값의 범위를 일별로 보여주고 있다. 정확히 일치하지는 않으나 풍속과 파고는 매우 높은 상관성을 보이고 있는 것으로 파악할 수 있다. 즉, 바람이 세게 분 날은 파고도 높으며 그렇지 않은 날은 두 값 모두 상대적으로 적은 것

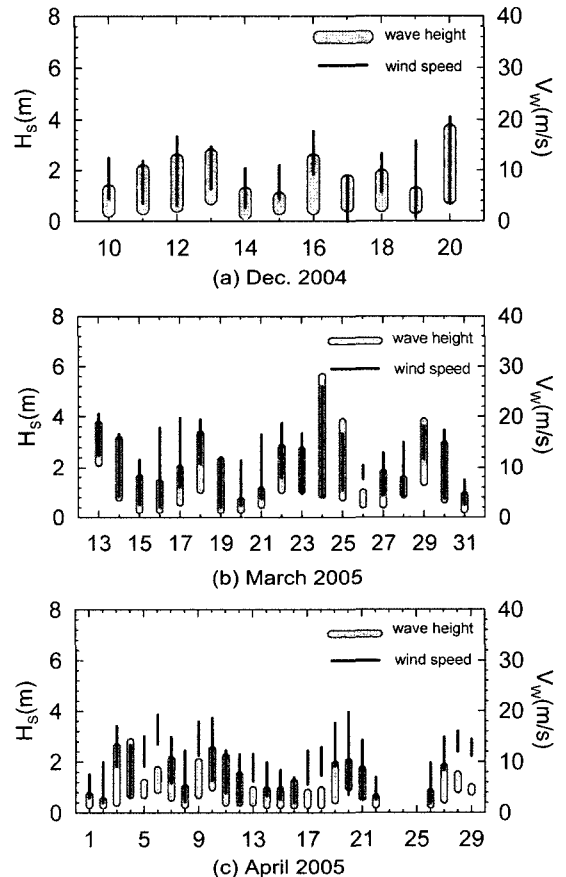


Fig. 2. Maximum significant wave heights and wind speeds.

로 계측되었다. 계측신호의 분석을 위해서는 신호가 충분히 크게 계측되어야 한다. 그래야 구조물의 동특성 정보를 최대한 많이 포함할 수 있다. 그렇지 않고 만일 잡음보다 계측신호가 작게 되면 다양한 동특성 정보를 포함하기 어렵고 또한 분석에도 어려움이 따르게 된다. 따라서, 위 세 기간 중에서도 파고가 가장 높은 시점의 것을 택하여 분석하였다. 이들은 각각 2004년 12월 20일(case 1), 2005년 3월 24일(case 2), 2005년 4월 4일(case 3)이다.

3.2 가속도

가속도계는 Fig. 1과 같이 과학기지 상부테크와 헬리텍에 설치되어 있다. 상부테크에서는 X, Y방향의 가속도를 헬리텍에서는 Z방향의 가속도를 각각 측정하고 있다. 샘플링 주파수는 case 1은 20Hz, case 2와 3은 50Hz로 설정된 상태로 측정하였다. 우선, case 1의 가속도 시간이력을 Fig. 3에 제시하였다. case 1은 유의파고가 가장 크게 발생했던 2004년 12월 20일에 계측한 가속도이다. 최대 유의파고가 3.6 m이었고 이로 인한 과학기지의 최대가속도는 0.04 m/s^2 를 넘지 않았다. 수평방향의 가속도는 두 종류 정도의 주파수 성분이 중첩되어 나타나고 있다. 약 0.6

초 주기성분과 약 0.1초 내외의 주기성분이 함께 나타나고 있다, 수직방향 시간이력에는 약 0.3초 이하의 주기성분이 다양하게 혼재되어 있는 것을 알 수 있다. 이러한 내용을 좀 더 분석하기 위해서 시간이력 가속도를 Fourier 변환하여 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 3의 시간이력에서 언급했듯이 우선, X방향 주파수 성분에는 0~1.0 Hz 사이에 에너지가 집중되어 있으며 최대에너지를 보이는 성분은 0.61 Hz로 볼 수 있다. 다음으로 1.62 Hz와 8.69 Hz의 주파수 성분이 에너지가 많은 것으로 확인되었다. Y방향의 주성분은 1.33 Hz와 8.07 Hz이다. 또한, Z방향의 주파수 성분은 2.97 Hz, 3.98 Hz, 4.34 Hz, 및 8.83 Hz성분이 주성분으로 나타나고 있다.

case 2(2005년 3월24일)의 가속도 시간이력과 주파수분석 결과는 Figs. 5와 6에서 볼 수 있다. 이 때 유의파고 최대치가 5.6 m이었기 때문에 가속도응답도 매우 크게 관측되었다고 볼 수 있다. 최대가속도는 1.0 m/s^2 를 약간 상회하는 정도였다. Fig. 6에서 X방향 주파수 성분은 case 1과 유사한 결과를 주고 있는데 1.66 Hz와 8.35 Hz, 8.64 Hz가 주요 고유진동수로 보이고 있다. Y방향에서는 1.37 Hz와 8.35 Hz로 case 1과 근접한 주파수가 관측되고 있으며 특이한 사항으로는 1.61 Hz가 감지되고 있다. Z방

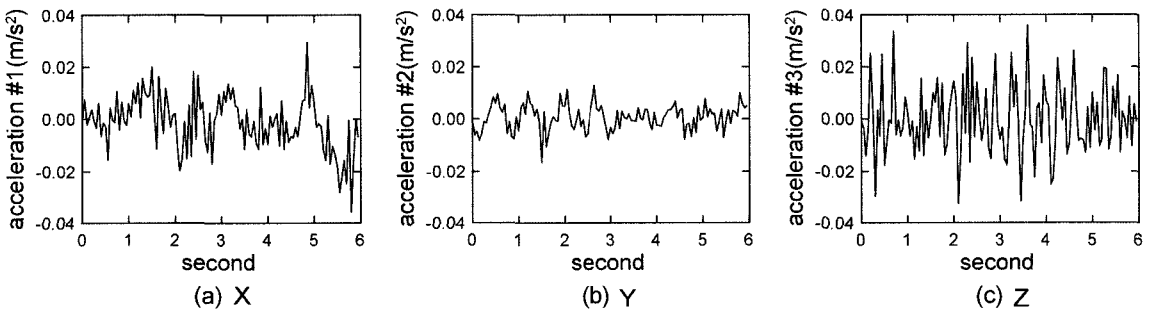


Fig. 3. Acceleration time history for case 1.

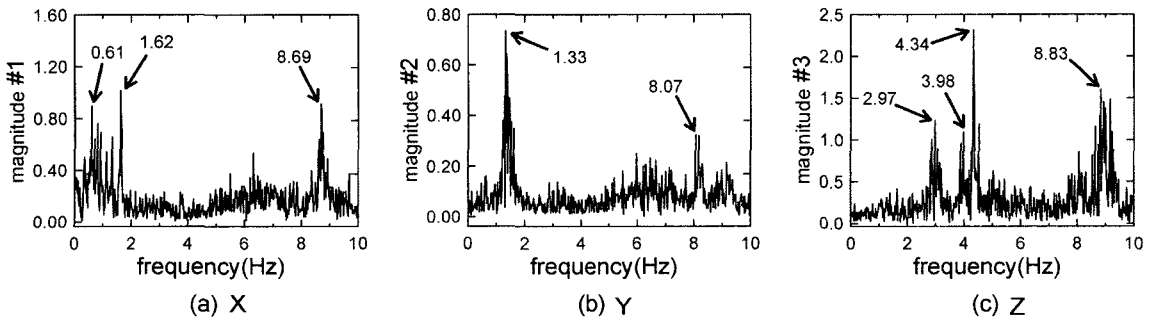


Fig. 4. Frequency components of case 1 accelerations.

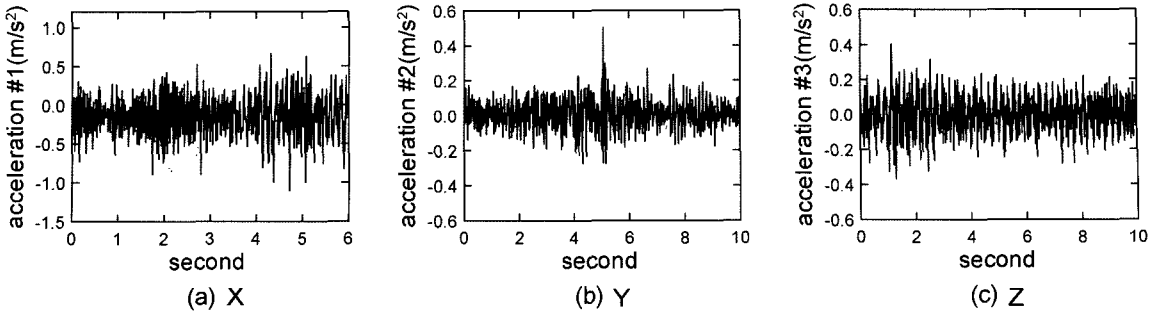


Fig. 5. Acceleration time history for case 2.

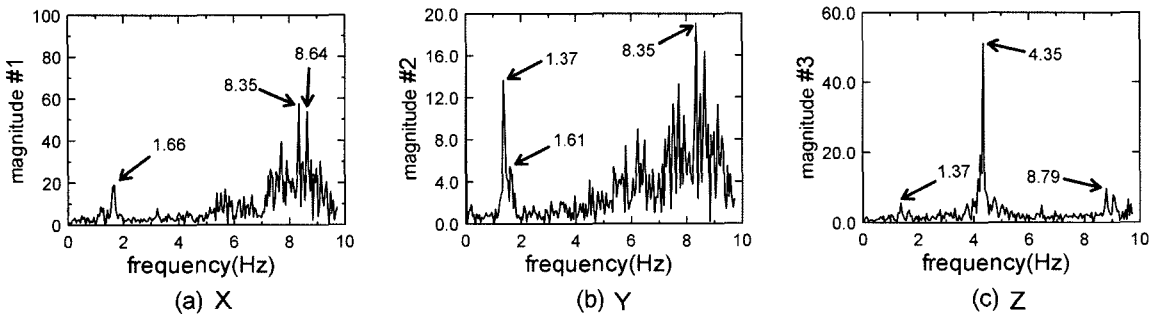


Fig. 6. Frequency components of case 2 accelerations.

항에서는 case 1에서 보였던 주파수 근처인 4.35 Hz와 8.79 Hz 외에 1.37 Hz가 새롭게 감지되고 있다.

case 3의 기록은 Figs 7과 8에 제시하였다. X방향으로는 여전히 1.61 Hz가 감지되고 있으나 6.0 Hz 부근과 9.52 Hz의 성분이 새롭게 감지되었다. Y방향에는 1.37 Hz와 1.66 Hz 외에 6.0~7.0 Hz 사이에 집중된 에너지가 감지되고 있다. Z방향은 case 1과 case 2에서도 보인 4.3 Hz대와 8.8 Hz대의 성분이 계속 나타나고 있으며 case 2에서 발견된 1.37 Hz도 보이고 있다.

이상의 가속도 계측신호 주파수 분석자료를 근거로 Table 1의 수치해석 결과와 비교하여 다음과 같은 분석이 가능하다. 우선 수평성분(X방향과 Y방향)에 대하여 언급한다면 Fig. 4의 (b)에서 1.33 Hz는 case 2와 3에서 보이는 1.37 Hz와 같은 대역으로 볼 수 있다. 결과적으로 1.37 Hz는 과학기지의 고유진동수로 볼 수 있다. 한편, Fig. 3의 (a)에서는 0.61 Hz가 감지되고 있다. 이 주파수가 수치해석상의 1차 모드에 해당하는 고유진동수라고 한다면 다른 계측자료에서도 지속적으로 감지되어야 하나 본 연구에서 분석한 자료에서는 더 이상 감지되지 않았다. 따라서, 이 주파수가 고유진동수라고 단정할 근거가 부족하다. 따라서 해석결과에서 제시된 1차 모드에 해당하는 고

유진동수인 0.95 Hz는 실제 시공후 1.37 Hz로 나타나고 있는 것으로 추정할 수 있다. 또한, Fig. 4의 (a) Fig. 6의 (a) 및 (b), Fig. 8의 (a)와 (b)에서 지속적으로 발견되는 1.61 Hz~1.66 Hz는 해석상의 2그룹 고유진동수(1.56~1.57 Hz)에 해당하는 실제구조물의 고유진동수로 볼 수 있다. 1그룹 고유진동수는 해석결과(0.95 Hz)와 계측결과(1.37 Hz) 사이에 오차가 다소 존재하지만 2그룹 고유진동수는 해석결과(1.56~1.57 Hz)와 계측결과(1.61~1.67 Hz)가 거의 일치하고 있다. 한편 헬리텍에서 계측된 수직방향 가속도 성분에서는 4.35 Hz와 8.8 Hz 성분이 계속적으로 감지되고 있다. 또한, 가속도 응답이 상대적으로 크게 나타났던 case 2의 Z방향 주파수 분석에서 4.35 Hz는 그 에너지가 다른 성분에 비해 월등히 높은 것으로 확인되었다. 따라서, 이 진동수가 수치해석 결과에서 질량기여계수 50.13%에 해당하는 4.69 Hz와 대응하는 고유진동수로 볼 수 있다. 결국 과학기지의 수직방향 구조적 거동에 결정적인 영향을 미치는 고유진동수를 4.35 Hz라고 판단할 수 있다. 가속도 계측신호의 분석 결과 과학기지의 주요 고유진동수를 나열하면 수평방향 1.37 Hz와 1.66 Hz, 수직방향 4.35 Hz로 요약할 수 있다. 기타 고유진동수에 대해서는 수치해석에 의한 결과에서도 알 수 있듯이 질량기여계수가 상대적으로 매우

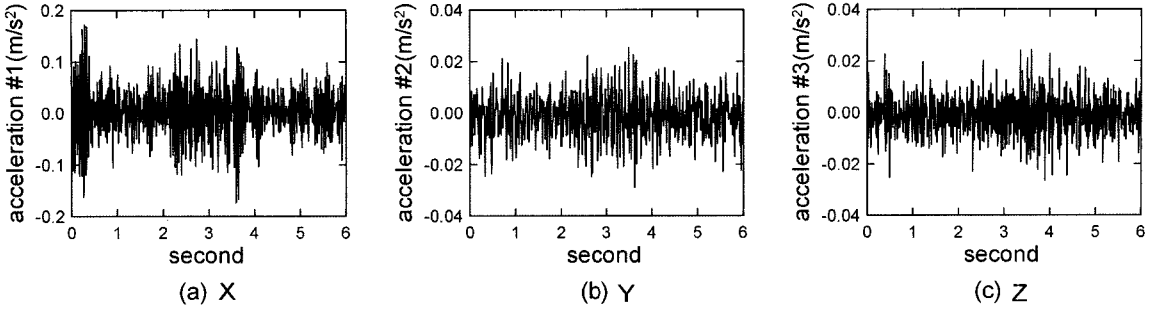


Fig. 7. Acceleration time history for case 3.

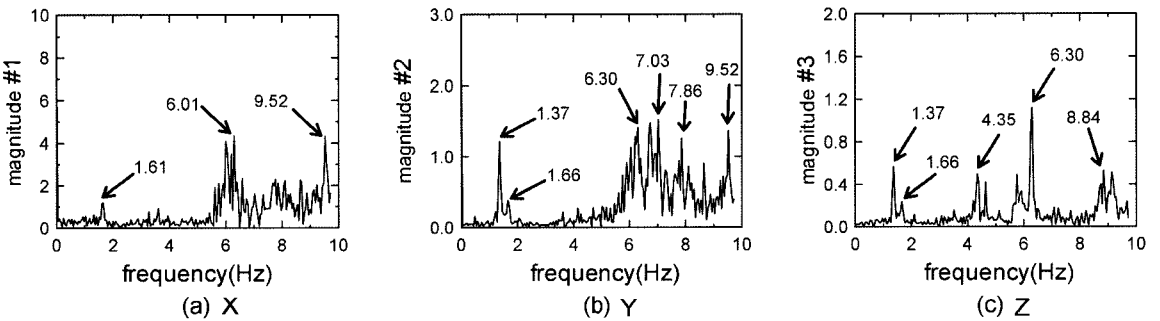


Fig. 8. Frequency components of case 3 accelerations.

낮기 때문에 바람에 의한 외류진동, 부속물에 의한 2차진동, 계측잡음 등에 의해 발생여부가 유동적이며 또한 대부분 국부 진동모드와 관련된 고유진동수이므로 구조적 안정성에는 미치는 영향이 크지 않음은 주지의 사실이다.

3.3 변형률

변형률계는 가속도와 달리 정적정보를 주기 때문에 주로 고주파보다는 저주파의 정보를 잘 보여준다. 따라서, 구조물의 고유진동수와 같은 동특성 파악에는 한계가 있으며 주로 구조물의 응력상태를 점검하는 용도로 사용이 제한되고 있다. 변형률계(strain gauge)는 모두 4개가 설치되

어 있으나 본 연구에서는 그 중 서남쪽 기둥에 설치된 계측기의 기록신호를 분석하였다. Fig. 9는 case 1의 변형률 시간이력과 주파수 분석 결과이다. 변형률의 정적성분이 약 0.1365이며 동적 변동폭이 0.003이다.

Fig. 9의 (b)에서는 앞의 분석에서 제시한 과학기지의 실측 고유진동수인 1.37 Hz, 1.66 Hz에 근접한 1.39 Hz와 1.62 Hz가 감지되고 있다. Fig. 10의 case 2에서는 실측 고유진동수와 정확히 일치하는 결과를 보여주고 있다. Fig. 11의 case 3 변형률 시간이력은 잡음에 많이 노출된 것을 알 수 있다. 주파수 분석에서 볼 수 있듯이 10 Hz 이상의 고주파수 잡음에 의해 오염된 상태이다.

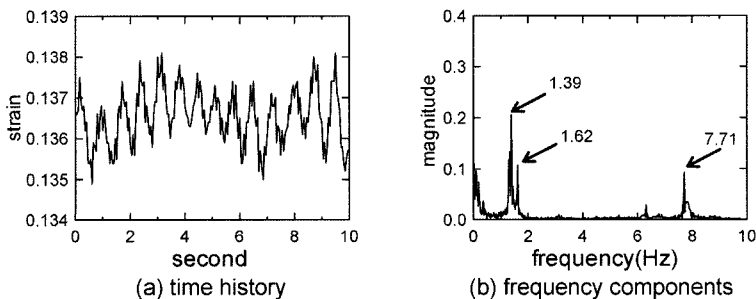


Fig. 9. Measured strain data for case 1.

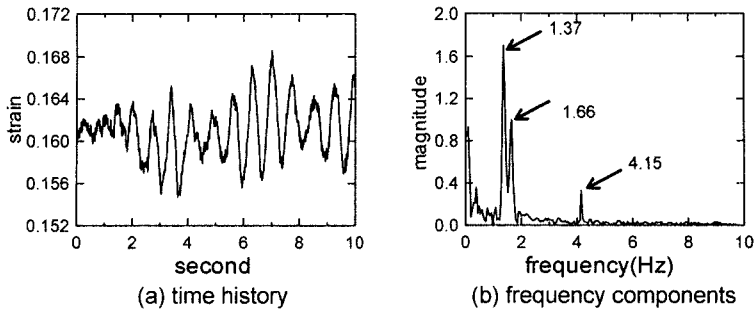


Fig. 10. Measured strain data for case 2.

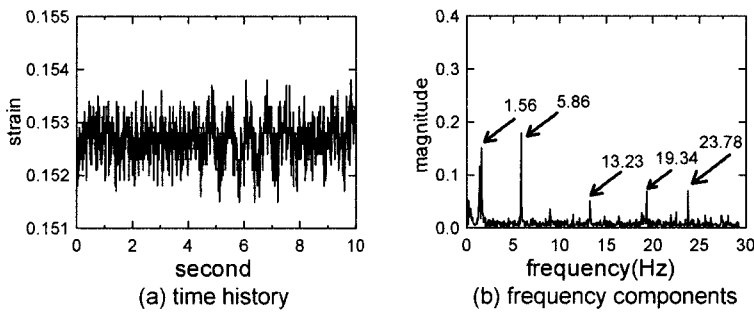


Fig. 11. Measured strain data for case 3.

3.4 경사도

경사계는 상부데크에 설치되어 X와 Y방향의 경사를 실시간으로 측정하고 있다. 두 방향 모두 유사한 결과를 주고 방향성에 따른 특징은 나타나고 있지 않고 있으므로 본 연구에서는 X방향 계측신호 분석결과만을 수록하였다. Fig. 12는 경사계 계측결과를 시간이력과 주파수 성분으로 보여주고 있다. 현재 각도 보정이 되어 있지 않은 관계로 정적 경사가 발생한 것처럼 표현되어 있으나 동적 경사는 그 진폭이 약 $0.0002 \text{ rad}(0.115^\circ)$ 으로 매우 작게 나타나고 있다. 주파수 분석 결과 1.62 Hz 로 두 번째 고유진동수를 포함하고 있는 것으로 볼 수 있다.

Fig. 13은 case 2의 경사계 계측신호이다. 처리하지 않은 경사계 신호에는 잡음이 많이 포함되어 있다. 따라서, 웨이브렛 변환을 이용하여 고주파 잡음을 제거한 신호를 동시에 그렸다(Newland, 1993; 이승훈외 2002). (b)의 주파수 분석 결과 본래의 신호에는 19.39 Hz 와 31.3 Hz 의 고주파 잡음이 포함되어 있었으나 웨이브렛을 이용한 잡음 제거 결과 10 Hz 이상의 고주파 잡음을 모두 제거할 수 있었다. 이 때 사용한 웨이브렛은 db3 웨이브렛이며 level 5까지 분해하여 그중 level 1~2의 고주파성분은 모두 제거하고 level 3의 threshold를 0.0005로 설정하였다. scale이 큰 level 4와 5는 모두 포함하도록 설정하였다. 이 때 분

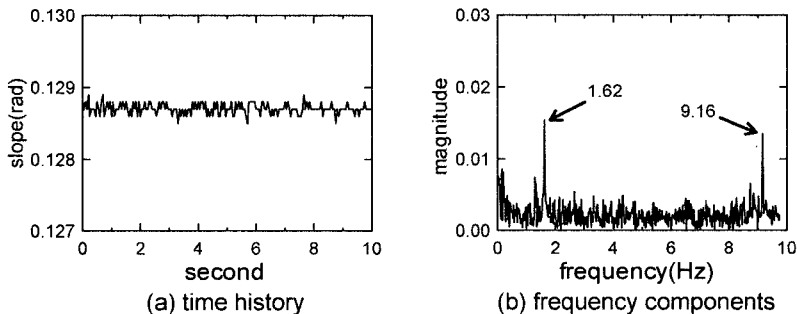


Fig. 12. Measured tilt angle for case 1.

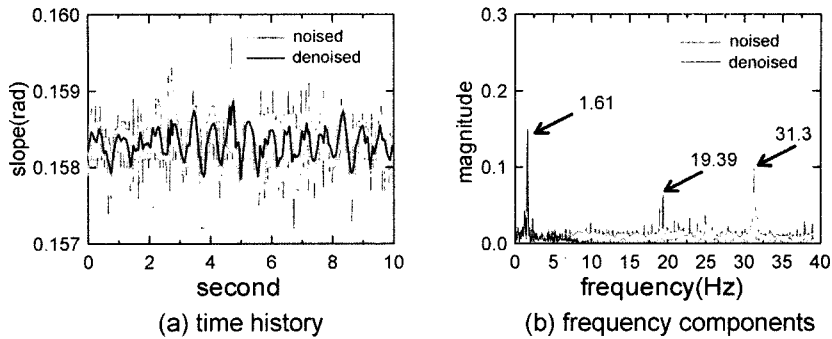


Fig. 13. Measured tilt angle for case 2.

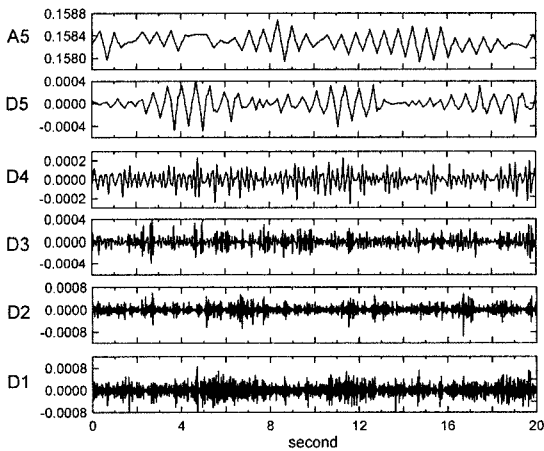


Fig. 14. Wavelet decomposition.

해한 각 level별 신호는 Fig. 14와 같다.

Fig. 15는 역시 계측신호에 포함된 잡음을 웨이블릿을 이용하여 제거한 결과를 표시하고 있다. 그러나, 잡음을 제거한 후에는 주파수 성분이 뚜렷한 대소 구분없이 5.0 Hz 이하에서 고르게 분포하게 되었다. 결론적으로 경사계의 계측신호 분석결과 과학기지의 경사도는 그 진동폭이 0.115°

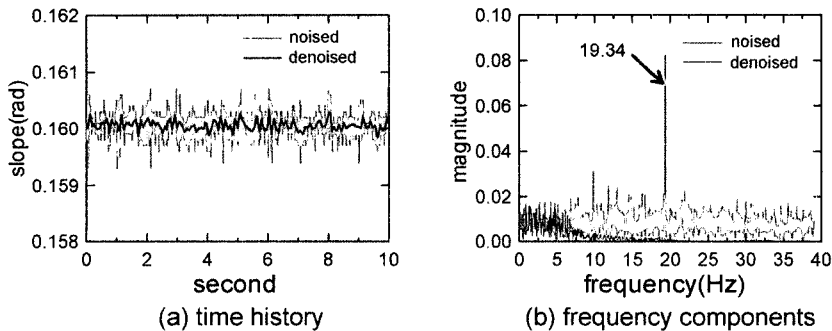


Fig. 15. Measured tilt angle for case 3.

로 계측되었으며 동적성분의 파악에는 한계가 있는 것으로 확인되었다. 또한, 경사도의 정적성분은 자세보정이 이루어지지 않았기 때문에 발생하는 것으로 추정되며 구조적 상태 평가의 신뢰도를 높이기 위해서는 시급히 자세교정이 필요함을 확인하였다.

4. 결 론

이어도 해양과학기지에 설치된 구조물 관련 계측장치로부터 얻은 가속도, 변형률, 경사도 신호를 분석하였으며 이를 통해 실측 고유진동수를 파악할 수 있었고 각 계측기기의 활용가능성도 평가할 수 있었다. 우선, 구조물의 동특성 추정에는 가속도 신호를 이용하였는데 수치해석 결과와의 상호비교를 통해 수평방향으로는 1.37 Hz, 1.66 Hz 수직방향은 4.35 Hz가 파랑작용에 의한 구조적 거동에 있어 중요한 고유진동수임을 확인하였다. 그러나, 파랑의 대소에 따라 그 외의 고유진동수도 유동적으로 나타날 수 있다는 사실도 확인하였다. 변형률신호를 주파수 분석한 결과에서도 가속도계 신호분석 결과에서 얻은 고유진동수를

확인할 수 있었다. 경사도 신호는 잡음에 의해 상당히 많이 오염된 신호가 계속되었으나 웨이블릿변환을 이용하여 10 Hz 이상의 잡음을 모두 제거한 후 분석할 수 있었다. 변형률계와 경사계의 계속신호 분석에서도 고유진동수의 일부를 발견할 수 있었으나 그 본래 목적상 구조물의 동적거동 분석에 이용하는 데에는 한계가 있음을 확인하였다. 본 연구에서 분석한 고유진동수와 향후 계속되는 계측 신호들은 지속적으로 누적 관리하여 악조건에 노출된 과학기지 구조물이 건전하게 유지관리 되도록 하는 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 한국해양연구원의 종합해양과학기지 구축 및 활용연구의 연구비 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- 이승훈, 윤동한 (2002). 알기쉬운 웨이블릿변환. 진한도서.
 한국해양연구원 (1999). '99이어도 종합해양과학기지 구축사업보고서'. 해양수산부.
 한국해양연구원 (2003). 이어도 종합해양과학기지 제작·설계계산서(6/6).
 Chopra, A.K. (1995). Dynamics of Structures. Prentice Hall.
 Kyowa (2005). Sensor System Solutions.
 Newland, D.E. (1993). An Introduction to Random Vibrations, Spectral & Wavelet Analysis. John Wiley & Sons.

Received September 9, 2005

Accepted February 20, 2006