

# 대형 부유구조물의 구조응답 모니터링 시스템



김재동(KIMM 구조시스템연구부)

- '74. 2 서울대학교 조선공학과(학사)
- '76. 9 서울대학교 조선공학과(석사)
- '96. 2 충남대학교 선박해양공학과(박사)
- '83. 3-현재 한국기계연구원 선임연구원

## 1. 서 언

일찌기 20세기 초반부터 지구의 마지막 남은 자원의 보고로서 또한, 미래의 생활공간으로서 해양에 대한 관심이 고조되어 왔다. 해양의 에너지/광물 자원의 개발을 위한 노력은 이미 1950년대 부터 시작되어 상당한 가시적인 성과를 얻고 있다. 최근에는 특히, 환경보존에 대한 관심이 고조됨에 따라 육상 기피시설물(공항, 폐기물 처리시설, 원자력 발전설비 등)들의 부지확보 문제를 해결하기 위하여 해양공간을 활용하는 방안이 여러 선진국에서 연구되고 있으며, 그중 가장 타당성이 높은 방안의 하나로서 각종 생산활동을 위한 플랜트를 대형 부유구조물 위에 설치하는 해상플랜트(Barge Mounted Plant, BMP)가 제안되고 있다.

원자력 발전설비를 비롯한 대형 플랜트를 부유구조물 위에 설치할 경우, 지진의 영향을 극소화 할 수 있다는 장점이 있으나 해상의 파도, 조류, 바람, 일사에 의한 갑판의 열변형 등의 불규칙적인 환경하중에 노출되므로 이러한 환경조건하에서 구조물이 설계수명 동안 안전하게 기능을 다할 수 있는지를 세심하게 검토할 필요가 있다. 따라서, BMP의 안전성평가 방법에 대한 신뢰도를 높이고 평가결과에 대한 합리성을 제고하는 한편, 이를 바탕으로 현재까지는 설계/건조 경험이

전무한 초대형 부유구조물의 구조설계와 관련된 기초기술 및 응용기술을 확보하는 문제는 가장 시급히 해결되어야 할 부분이다.

또한, 대형 부유구조물위에 탑재되는 BMP는 그 규모의 거대성, 사용 또는 가동의 초장기성 등 기존의 선박 및 해양구조물과는 많은 차이점이 있으며, 현재로서는 예측하기 어려운 여러 가지 고유의 해결해야할 기술적 문제점들이 있을 것으로 판단된다. 따라서, 장기적인 가동, 유지 관리 및 보수를 위한 종합시스템이 필수적으로 요구되기 때문에 기상, 해상정보는 물론, 구조응답에 대한 정보가 반드시 필요하며 특히, 대형구조물인 만큼 체계화된 일관 구조응답 모니터링 시스템을 이용하지 않을 경우 그 거동 및 응답자체의 파악이 불가능하다. 또한, 만일의 사고의 경우 인명, 탑재설비 등에 대한 복구불능의 치명적 손상을 초래할 수 있으며 더우기, 환경보호 측면에서의 해상오염문제 또한 간과할 수 없다[1].

부유구조물의 건전성 모니터링 시스템은 BMP 가동중 부유구조물의 응력, 가속도, 작용하중 및 압력, 경사도 또는 계류장력등에 대한 객관적인 정보를 가동자에게 제공함으로써 변화하는 구조거동 및 응답상태를 신속, 정확하게 판단하여 적절한 대응조치가 가능하도록 한다. 또한, 축적된 계측, 감시 자료는 향후 초대형 부유구조물의 구조안전성 평가 및 신뢰성 제고에 기여하며, 나아가서 설계법의 검증 및 개선을 가능케 할 수 있을 것이다.

아직까지 BMP에 대한 건전성 모니터링 시스템은 전체적인 개념조차 정립되어 있지 못한 상태이다. 그러나, 일본, 영국등 선진국에서 1980년대 초부터 개발에 착수하여 최근 시제품 제작, 실선시험을 거쳐 현재에는 상품화 판매단계에 이른 선체응력 감시시스템의 개발과정을 참조할 수 있을 것으로 판단된다.

본고에서는 이러한 선체응력 감시시스템의 개발과정 및 현황을 개괄함으로써 부유구조물 건전성 모니터링 시스템 개발 방향 및 전체적인 하드웨어/소프트웨어 구성에 대한 윤곽구상의 지표로 삼고자 하였다.

## 2. 선체응력 감시시스템

### 2.1 역사적 배경

#### 2.1.1 실선계측

선체강도 측면에서, 실선계측은 크게 다음과 같은 3가지로 구분할 수 있으며, 선체응력 감시시스템이 실선계측의 역사와 경험에 그 바탕을 둬온 지극히 자연스러운 일이다.

- 수압시험시, 하역시의 정적응력 및 처짐량 계측
- 시운전 및 취항중의 응력, 하중, 진동 및 처짐량 계측
- 선체 모니터링 계측

실선계측은 유럽, 일본 및 미국을 중심으로 무수히 수행된 바 있으며, 일본의 경우를 예로들면 1950년 초반부터 시작되어 1960년대 중반에서 1970년대 중반에 이르기까지 조우해상상태와 하중, 종강도, 횡강도 및 국부강도와 관련하여 광범위한 실선계측이 수행되어, 그 결과는 오늘날까지도 귀중한 자료로 활용되고 있다[2].

#### 2.1.2. 선체응력 감시시스템

파랑중을 항행하는 선박의 운동 및 구조응답을 감시하여, 안전하고, 경제적인 운항을 하고자 하는 생각은 이미 오래전부터 제안되었으며, 그 기원은 실선탑재 자동계측시스템이라 할 수 있다. 일본의 경우, 그 효시는 1975년 개발된 실선시험용 계측 container 시스템으로서, 이는 자동계측에서 FFT 해석, 그래픽 표현까지 가능한, 당시로서는 매우 의욕적인 시스템이었다[3].

1980년대에 들어 계산기 및 계측기기의 고성능

화와 저가격화가 급속히 이루어짐과 동시에, 소프트웨어 분야도 크게 발전함에 따라 감시시스템의 개발은 가속화되었다. 나아가서, 단순히 자동계측·해석 시스템의 개발에 그치지 않고, 이상 해상 상태에서의 해난방지 및 선박운항의 효율화, 지능화를 목적으로 하는 고도자동운항시스템등 종합운항시스템의 개발도 활발하게 진행되었다[4]. 이하에서는 그 당시 개발된 대표적인 선체감시 시스템의 개요를 소개한다[5].

(1) 종합항해시스템(Mitsubishi 중공업 ; TONAC-N2)

적부계획, 항해계획/자동조선 및 황천시 운항지원시스템의 3부분으로 구성되며, 선체응답 감시기능이 운항지원시스템내에 포함되어 있다.

(2) 선체운동상태 표시장치(Mitsui 조선; SMACS)

황천항행시 정확한 조선지원 정보를 제공하고 자 하는 목적으로 개발된 것으로, pitching, roll, 가속도 및 선수상대수위 등 주로, 선체운동 관련 자료를 기록, 수집한다.

(3) 항해정보시스템(일본강관; CANSY-II)

황천시 안전운항을 포함한 각종 기능을 조합한 total system으로서, 최적항해지원, 황천운항 최적화와 선내 및 육상업무 합리화를 목적으로 개발

되었다. 황천시 안전운항 시스템내에 선체가속도 및 동요 감시기능이 포함되어 있다.

(4) 선체상태 감시시스템(Sumitomo 중공업)

15개의 시스템으로 구성된 고도 자동운항시스템중 하나로서, 선박의 안전운항 및 하역중 선체의 안전확보를 그 목적으로 한다. 감시항목은 선수 및 중앙부에서의 상갑판 응력 및 가속도를 포함한 9개 항목이며, 선체응답 예측기능을 갖고 있는 것이 특징이다.

(5) 선체강도 모니터링시스템(일본해사협회)

하역시 또는, 발라스트 주, 배수시 선체 종응력을 자동으로 감시하는 mode I과 항해시 응력 및 가속도 등 선체응답을 감시하는 mode II의 2가지로 구성된다. 이 시스템은 자동차운반선 및 산적 화물선에 대해, 각각 2년 및 4년간의 실선시험을 수행, 그 신뢰성과 내구성을 입증한 바 있다(그림 1 참조).

(6) 선재형 안전운항지원 시스템(선박기술연구소)

4ch.의 선체응력 및 2ch.의 상하가속도 등 10개 항목의 응답자료를 조선자에게 제공하는 외에, 응답함수 및 안전한계치 등 D/B를 이용, 계측자료를 해석하여 위험상태의 평가, 피항조선후의 위험성 예측 등 조선판단에 필요한 정보를 제공한다.

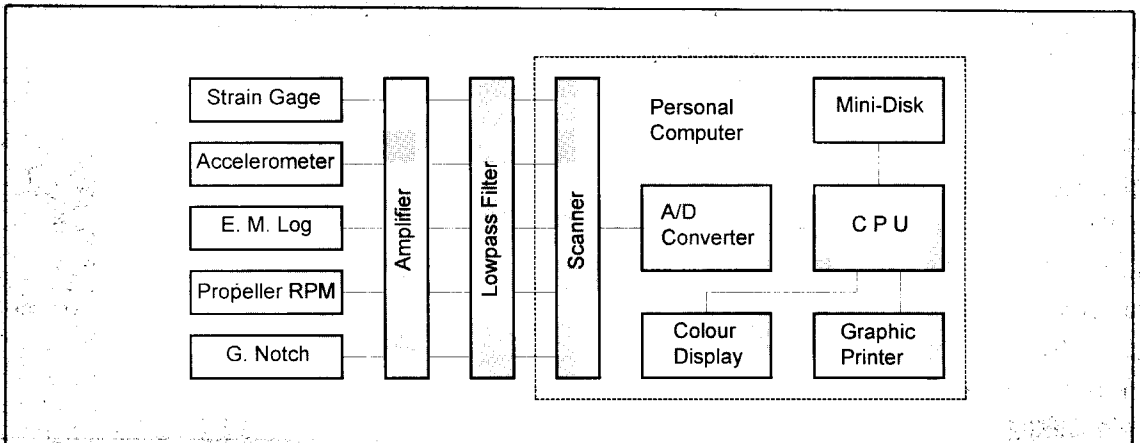


그림 1. 선체강도 모니터링 시스템 구성

유럽과 미국의 경우는 1960년경부터 다양한 이  
 름으로 개발이 시작되었으나, 여기서는 대표적으  
 로 DnV의 선체감시시스템(Hull Surveillance Sys-  
 tem)을 살펴보기로 한다[6].

이것은 황천운항중 선박의 안전성 제고를 목적  
 으로 개발된 것으로, 원명은 기상손상 저감시스템  
 (Weather Damage Reduction System)이며, 선체  
 구조강도평가의 개념을 도입한 것이 특징이다. 그  
 개요는, 계측자료로부터 선체의 수직가속도 및 굽  
 힘모우멘트에 대한 허용파랑하중 임계치를 설정  
 하여, 확률론적 구조설계 및 운항개념과 연계시킨  
 것이다. 즉, 계측 선체응답을 선체구조 강도능력과  
 조합하여 이로부터 파손가능성을 산출함으로써,  
 허용손상수준 이하에서 선박운항이 가능하고, 나  
 아가서는 이를 설계단계에서 반영할 수 있다.

## 2.2 선체응력 감시시스템의 최근 개발동향

선체응력 감시시스템과 관련하여 국제해사기구,  
 선급 및 제작업체등의 최근 동향과 개발 및 실선  
 적용예를 살펴보기로 한다.

먼저, 국제해사기구(IMO)의 경우 1994년 6월 선  
 체응력감시시스템(Hull Stress Monitoring System  
 : HSMS) 장착 권고안을 제안함으로써 본 시스템  
 에 대한 논란에 큰 획을 그었으며[7], LR(Lloyd  
 Register)은 1991년 8월 선체감시시스템(Hull Sur-  
 veillance System: HSS)에 대한 잠정규칙을 제정  
 한 바 있다[8]. 또한, DnV도 신조선에 대하여 동  
 일 명칭의 규칙초안을 1995년 7월 제시하고 있는  
 데, 이는 LR과 그 내용이 대동소이하나 선종별로  
 감시항목을 지정한 점에서 차이가 있다[9].

한편, 제작업체의 상품화 및 실선장착 현황은,  
 LR과 공동개발업체인 영국의 Ship & Marine Da-  
 ta System(SMDS)사가 단연 선두주자라 할 수  
 있어, 1990-1991 2년간 14set의 수주 및 장착실적  
 이 있다. 상품명은 **STRESS ALERT**이며, SMDS  
 사는 1993년 Strainstall사가 인수하였다[10]. 그  
 외에는, BMT Sea Tech사의 SEA SMART가 있

고, 일본의 Mitsubishi도 상품화한 것으로 알려져  
 있다.

최근의 실선시험에는 주로 미국을 중심으로 한  
 것으로 첫째는, ABS와 4개선사가 연합으로 22,000  
 DWT 액화가스운반선 S/S Cornucopia의 탱크부  
 에 지속적으로 발생하는 균열문제를 해결하기 위  
 해 1991-1992년에 선체구조감시시스템(Structural  
 Monitoring System: SMS)을 장착하여 실선시험  
 을 수행하였다[11]. 두번째는, 미국 Arctec Off-  
 shore Corporation사가 SSC의 의뢰로 선체응답감  
 시장치(Ship Response Monitor: SRM)를 개발하  
 여, 1991년 8월 Exxon 유조선에 장착 실선시험중  
 이다. 여기서, 표준계측항목으로 선수가속도외에  
 선루 횡방향 가속도가 추가되었는데, 이는 화물의  
 이동 및 슬로싱을 감시하기 위한 것이다[12].

끝으로, BP 석유회사의 선체구조감시시스템(BP  
 SMS)은 6개의 Long-based 스트레인 게이지를 주  
 센서로 하고, 기존의 게이지를 발라스트 탱크 및  
 화물창 내측의 구조부재에 부착하여 선측 종통재  
 의 피로파괴현상을 규명하고자 한 것이다(그림2  
 참조). 이들은 1991-1992년에 걸쳐 4척의 Trans  
 Alaska Pipeline Service(TAPS) 원유운반선에 장  
 착되었다[13]. 계측결과로 부터 응력과 파고, head-  
 ing각 및 선속과의 상관관계, 상갑판 스트레인 게  
 이지과 탱크내 스트레인 게이지의 상관관계 또  
 한, 상갑판 스트레인과 선측, 선저 종보강재 스트  
 레인간의 전달합수를 고찰하였다. 또한, 파괴역학

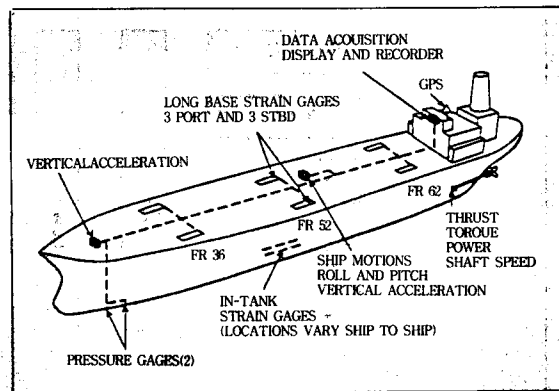


그림 2. 선체구조 감시시스템

적 기법을 이용하여 피로수명을 예측하였으며, 선 수부 압력센서를 이용한 슬래밍 경보장치를 개발하였다.

### 2.3 선체응력 감시시스템의 향후 개발전망

지금까지 선체응력 감시시스템의 발전과정 및 현황을 살펴 보았다. 이하에서는, 본 시스템의 향후 발전방향을 운항시스템 및 선체구조성능관리의 두 측면으로 대별하여 현재 개발 진행중인 사례를 인용, 고찰하기로 한다.

전항에서 살펴 본 바와 같이, 선체응력 감시시스템은 그 자체만이 아니라 종합항법시스템과 연계, 발전되어야함은 필연적이라 할 수 있다. 즉, 종합항법시스템은 크게 최적항로 계획, 해상 기상예측 및 선체상태 감시.평가시스템의 3부분으로 구성되어 각각 해상상태를 감시.예측하고, 기상정보에 의해 항로를 설정하여 이를 바탕으로 선체성능 및 운동상태를 예측한다. 현재, 일본의 경우 차세대 인공지능 종합항법시스템이라는 이름으로 광범위한 연구, 개발이 진행되고 있다.

다음으로는, LR을 중심으로 호주의 2개 기관(BHP사 및 AMCRC) 및 일본의 IHI와 P&O Bulk Shipping사 등이 공동으로 개발중인 종합선체감시시스템(Integrated Hull Condition Monitoring System : IHCM)을 예로 들 수 있다[14, 15]. 1990-1991년 사이에 LR 입급 산적화물선에 대해 구조적 손상에 의한 것으로 추정되는 선박사고가 53건 보고되었으며, 이중 25건이 전손사고였다. 또한, 이들의 평균선령은 19년으로 선박의 유지, 보수 또는 운항상 문제가 있음을 암시하고 있다. 사고 원인을 조사한 결과, 다음 3가지가 주요인으로 밝혀졌다.

- 부식 (Corrosion)
- 과적으로 인한 과도응력(Overstressing)
- 화물적하시 화물창 구조의 손상(Damage)

이에 대한 근본적이고 항구적인 대책을 마련하기 위해, 현재 개발중인 시스템은 화물 및 선체응력 감시시스템과 검사정보 D/B 시스템이다. 전

자는, 화물창 바닥에 응력 및 압력센서를 부착하여 각 화물창내 화물중량을 계측하고, 이로부터 최종 선체응력을 산출하는 것으로, 과적 및 화물창의 손상을 미연에 방지하는 것이 목적이다.

반면, 후자는 선급검사 및 일상검사의 계획, 기록 및 보고에 관한 모든 정보를 PC-base D/B 시스템으로 구축하는 것으로, 그 핵심은 선체구조개개의 공간, 표면과 평판 및 보강재등을 식별하는 고유의 coding 시스템을 도입한 것이다. 이들 정보는 그래픽 형태로 나타낼 수 있고 따라서, 보수 또는 교체가 가장 시급한 부위를 3차원 형상으로 보여준다.

완벽한 종합감시 시스템을 이루기 위해서는 모든 위험부위에 센서를 부착해야 하나, 이는 현실적으로 불가능하며 따라서, 차선책은 제한된 수의 센서만을 부착하되 모든 위험한 경우에 대해 적용 가능한 알고리즘을 이용하는 것이다. 본 시스템의 개발완료 시점은 3-5년후가 될 것으로 예측된다. 또한, 선체구조성능관리의 목적(그림3 참조)으로 구조감시 시스템을 이용한 사례도 보고된 바 있다[16].

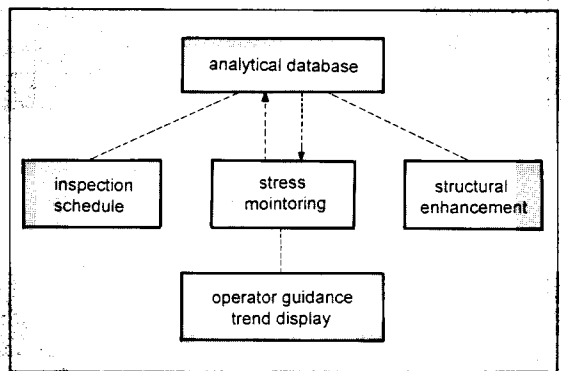


그림 3. 선체구조 성능관리 체계

### 3. 부유구조물의 구조응답 계측

부유구조물은 여러 가지 목적을 위하여 장기간에 걸쳐 일정해역의 정위치에 머무르게 된다. 이때, 실구조물 계측은 계산 및 모형시험에 의한 예측치의 검증, 각종 해상조건에 대한 거동의 정량

화, 성능보증의 목적 및 설계자료의 확보를 위하여 수행된다. 일반적으로, 파랑 및 조류, 조위(潮位)는 항만시설 및 기상 robot buoy등을 이용한 장기계측이 수행되고 있으며, 설계시에는 이들 자료를 이용할 수 있다. 그러나, 부유구조물을 설치하고자 하는 특정해역에 대한 상세한 자료는 얻기 어려우므로 현장계측이 필요하게 된다.

부유구조물의 예인, 설치 및 유지에 관한 각종 측정자료취득을 목적으로 한 대표적인 실험역 실증연구가 일본 선박기술연구소 등에 의해 1986년부터 수행된 바 있다[17, 18]. 이는 5년에 걸친 장기간의 계류를 통해 부유구조물의 신뢰성과 안전성의 확보, 내구성의 확인 및 설계기법의 확립을 최종목표로 하였다. 부유구조물의 명칭은 PO-

SEIDON이고, 그 규모는 길이 34m, 폭 24m, 높이 26m, 흘수 5.5m, 배수량 528ton으로, 12개의 column으로 구성되었다. POSEIDON상에는 그림 4에 보인 바와 같이 계측을 수행하는 관측실이 있고, 부체의 운동 등 측정자료는 telemetering에 의해 육상의 관측기까지 송신된다. 기상, 해상자료외에 표1에 보인 바와 같이 설계 및 운동해석법의 확인과 표류력 등 외력의 평가를 위해 부체의 동요, 계류력, 구조의 변형도 및 일사량등의 계측이 병행되었다.

여기서는 부유구조물에 대한 일반적인 계측항목을 계측목적에 따라 장기모니터링, 단기계측 및 순간계측의 3가지로 구분하여 살펴보기로 한다 [19].

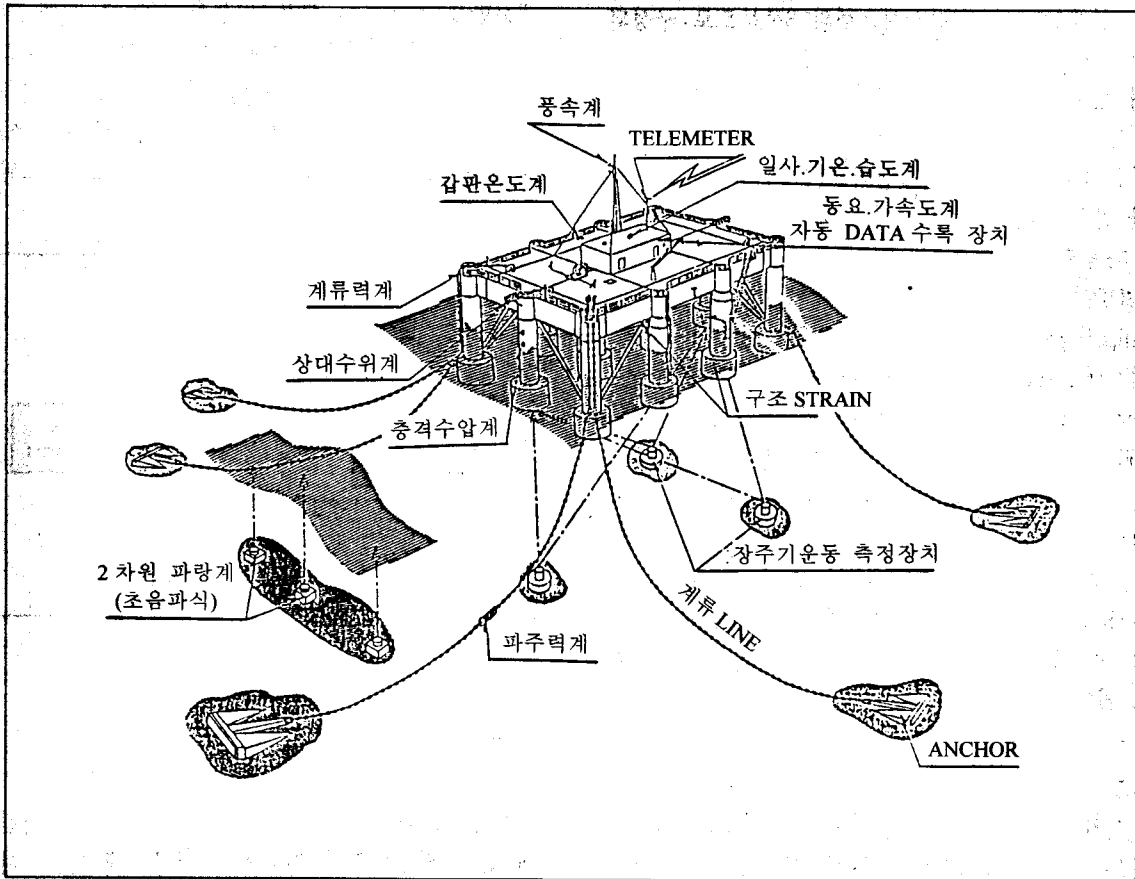


그림 4. POSEIDON의 계측장치

표 1. POSEIDON의 계측내역

계측항목	계측장치	계측범위	계측정도
풍향	potentio-meter	0~540 °	±4 °
풍속	초음파식	0~60M/S	±2% FS
파고	buoy식	±10m	-
유향, 유속	-	-	-
기온	bi-metal	-15~58 °	±1 °C
습도	모발식	0~100%	±3%
수온	백금저항	-10 °~60 °C	±0.5% FS
surge	servo 가속도계	±2G	0.01% FS
sway	servo 가속도계	±2G	0.01% FS
heave	servo 가속도계	-3~1G	0.15% FS
roll	vertical gyro	±10 °	±2% FS
pitch	vertical gyro	±20 °	±2% FS
yaw	방위 gyro	0~360 °	±0.2 FS
경사	servo식	±90 °	±0.6/cos θ
상대수위	초음파식	-2~7m	±0.5% FS
선수변위	servo 가속도계	-3~1G	0.15% FS
선미변위	strain식 가속도계	-3~1G	1% RO
충격수압	strain식	0~5kg/cm <sup>2</sup>	±1% FS
계류력	strain식(Load Cell)	70ton	0.2% FS
	strain식(Mold형)	40ton	-
구조 strain	표면설치 strain계	±2,000 μS	2% FS
일사	열전대식	0~1.4kw/m <sup>2</sup>	±1.5%
갑판온도	백금저항식	-10~66 °C	±0.5% FS

(short-term statistics)를 얻기 위해 수행된다. 따라서, 특정의 환경조건하에서의 계측을 목적으로 하며, 대부분의 경우 구조물의 운동과 작용하중 또는, 응답과 관련된 극한 해상조건(extreme sea condition)을 포함한다. 이들 계측의 목적은, 설계치 검증을 위한 운동 및 하중자료의 취득, 시스템 거동의 기본특성 파악 및 이론적 추정치와의 비교자료를 도출하기 위한 것이다.

(3) 순간계측(Transient measurements)

앞의 (1) 및 (2)의 계측은 해상에서 선박 또는, 해양구조물의 정지거동(stationary)의 파악이 주 관심사이다. 해상에서의 구조물의 순간거동에 대한 계측은 그 고유의 특징을 갖는다. 첫째, 진수 및 heavy lift등과 같은 일시적 사건(event)은 기상 및 가동조건과 관련하여 극히 짧은 시간 발생한다. 둘째, 이들은 유일(unique)하며, 반복되지 않는다는 것이다. 순간거동의 계측목적은 결정론적(deterministic)거동을 시간영역 계산치와 비교하는 것이다.

4. 부유구조물 건전성 모니터링 시스템의 향후 기술개발 과제

부유구조물 건전성 모니터링 시스템 기술분야에 있어 향후 개발이 요구되는 기술과제는 다음과 같다[17].

(1) 대수심, 근해역에서의 해상, 해중 및 해저정보의 계측

계획·설계 뿐만 아니라, 시공·가동관리를 위해서는 현장계측을 통한 정도높은 입체적 정보가 필요하다. 또한, 육상 및 해상기간 계측자료의 효율적인 전달수단의 개발이 요구되며 위치유지 및 유실확인등을 위해 고정도의 간편한 위치검출 기술이 필요하다.

(2) 신형식 부유구조물의 성능확인을 위한 계측

(1) 장기 모니터링(Long-term monitoring)  
 장기 모니터링의 목적은, 수년간에 걸쳐 조우하는 광범위한 해상조건하에서의 구조물의 거동을 파악하고자 하는 것이다. 계측결과는 단기적으로는 일상적인 판단절차와 결부되며, 장기적으로는 분포함수 및 발현확률 등 통계적 정보를 제공한다. 정지 부유식(stationary floating) 해양구조물의 경우, 환경조건은 wave rider buoy, 조류계 및 풍력계를 이용하여 계측할 수 있다. 계측결과는, 구조물의 손상발생등 시스템거동에 대한 자료가 되며 또한, 설계기준을 입증하기 위하여 장기 통계 해석에 이용된다.

(2) 단기계측(Short-term measurements)

단기계측은, 구조물 거동에 대한 단기통계자료

경제적, 사회적요구에 따라, 다양한 형상, 구조 및 계류방식을 갖는 신형식 부유구조물의 출현이 예상되며 따라서, 개발단계에서의 수조실험 및 실험해역에서의 성능확인을 위한 각종 계측이 필수적이다.

(3) 신소재 적용에 따른 계측

세라믹, 스텐레스, 티타늄, 탄소섬유 및 복합재료 등의 신소재가 구조부재 및 계류부재에 활발히 적용될 것이다. 따라서, 이들 신소재의 내구성, 경년열화 및 부식에 대한 성능확인이 불가결하며 또한, 해양 환경에서 재료의 경년열화에 대한 검토가 요구된다.

(4) 시공관리에 따른 계측

Diverless, 원격작업, robot의 도입등에 의한 심해 또는, 해저시공이 빈번해짐에 따라, 작업의 감시, 제어등 시스템기술이 응용되고, 이를 위한 각종센서의 이용, 3차원계측 및 데이터교신이 활발히 이루어질 수 있어야 것이다.

(5) 보수관리에 따른 계측

해상공항과 같이 내구연한이 초장기간인 부유구조물이 증가함에 따라, 구조물 및 계류장치의 마모, 부식 및 피로를 효과적으로 모니터할 수 있는 일례로, AE 등을 이용한 계측시스템 개발이 요구된다. 나아가서는, 계측자료를 이용한 수명예측 및 안전성 평가 시스템 및 교체, 보수를 위한 진단·관리 시스템이 개발되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 大川豊, "メガフロートの 目指すもの", Techno Marine, 제794호, 1995. 8.
- [2] 伏見彬, "실선계측에 관한 연구동향-선체강도의 관점에서", 일본조선학회지, 제776호, 1994. 2.
- [3] 竹澤誠二, "실선시험용 계측 Container System", 선박, 제48권, 제1,2,4,5호, 1975.
- [4] 谷澤克治, "구조물의 Monitoring 시리즈-선박", Techo Marine, 제758호, 1992. 8.
- [5] 菅井和夫, "선체강도 Monitoring System에 대하여", 일본조선학회지, 제705호, 1988. 3.
- [6] K. Lindemann외, "On the Application of Hull Surveillance Systems for Increased Safety and Improved Structural Utilization in Rough Weather", DnV publ. No. 105, Feb., 1978.
- [7] "Recommendations for the Fitting of Hull Stress Monitoring Systems", IMO, MSC/Circ.646, Jun., 1994.
- [8] "Provisional Rules for the Classification of Hull Surveillance Systems", Lloyd's Register of Shipping, Aug., 1991.
- [9] "Rules for Classification of Ships ; Part 6, Chap.X Hull Surveillance System", Det Norske Veritas Classification AS, Jul., 1995.
- [10] "Structural Monitoring System Development", Ship & Marine Data Systems, Ltd., 1991. 10.
- [11] G.L. Stiehl외, "The Structural Renovation of a Liquefied Gas Carrier", Proc. of the Marine Structural Inspection, Maintenance, and Monitoring Symp., SNAME, 1991.
- [12] J.W. Lewis외, "Operational Response Monitoring for Ships and the Offshore", Ditto.
- [13] D.J. Witmer외, "Operational and Scientific Hull Structure Monitoring on TAPS Trade Tankers", Paper No.21, Proc. of the Annual Meeting, SNAME, 1994.
- [14] "Integrated Hull Condition Monitoring System", Shipping World and Shipbuilder, Dec., 1994.
- [15] "Breaking the Back of the Bulker Problem", 100A1, The Magazine of The LR Group, Issue 1, No. 109, 1995.
- [16] D.T. Melitz외, "Structural Performance Ma-



agement of VLCCS-An Owner's Approach", Marine Tech., Oct., 1992.

- [17] "海洋構造物の建設に伴う計測とその技術", (社)國際海洋科學技術協會, 平成2年9月
- [18] Marine Vision 2010 : Proceeding of '94 International Underwater Technology Conference, University of Ulsan, Korea, Sept.

12-13, 1994.

- [19] J.A. Pinkster, "Full Scale Testing and Monitoring of the Behavior of Ship and Floating Offshore Structures", Lectures on the Advanced Design for Ships and Offshore Floating Systems, Glasgow, England, 21-25 Sept., 1992.