

## 자세제어장비 성능시험을 위한 자유항주 모형선 개발

윤현규\* · 이경중\* · 손남선\* · 양영훈\*

\*한국해양연구원 해양안전방제연구본부

### Development of Free Running Model Ship for Evaluation of the Performance of Anti-Rolling Devices

*Hyeon-Kyu Yoon\* · Gyeong-Joong Lee\* · Nam-Sun Son\* · Young-Hoon Yang\**

*\*Maritime Safety & Pollution Control Lab., KRISO/KORDI, Yuseong P.O. Box 23, Daejeon 305-600, Korea*

**요 약** : 파랑중을 운항하는 선박은 항상 파도의 영향을 받아 운동을 하게 된다. 여러방향의 운동형태 중에서 횡동요가 화물의 안전 및 선원의 피로도에 가장 큰 영향을 미친다. 따라서 횡동요가 문제가 되는 선박에는 횡동요 저감 장치의 장착이 늘어나고 있는 추세이다. 본 연구에서는 핀 스테빌라이저(Fin stabilizer)와 이동질량 감요장치(Moving weight stabilizer)의 성능시험을 위하여 자유항주 모형선을 개발하였다. 또한 자세제어장비 성능시험 절차를 정립하고, 개발한 자유항주 모형선을 통하여 성능시험을 수행하였다.

**핵심용어** : 파랑, 횡동요, 자유항주 모형선, 자세제어장비 성능시험

**ABSTRACT** : A ship runs with various modes of motion due to waves. Among the modes, roll mainly influences on the safety of cargos and crew's fatigue. Therefore a ship equipped with anti-rolling devices are on an increasing trend. In this research, we developed a free running model ship to evaluate the performances of fin stabilizer and moving weight stabilizer. Also those performance tests were carried out through the proposed test procedure.

**KEY WORDS** : wave, roll, free running model ship, performance tests of anti-rolling devices

### 1. 서 론

파랑중을 운항하는 선박은 항상 파도의 영향을 받아 운동을 한다. 운동형태는 편의상 전후동요(surge), 좌우동요 sway), 상하동요(heave)의 병진운동과 횡동요(roll), 종동요(pitch), 선수동요(yaw)의 회전운동으로 구분할 수 있다(Lloyd, 1989). 특히 함정과 같은 선박에서는 반복적인 횡동요가 승조원의 작업 능력을 저하시켜 작전 능력을 감소시키는 주원인이 된다. 이러한 횡동요를 저감하기 위하여 빌지킬과 같은 수동장치 뿐만 아니라 계측된 횡동요각을 되먹임하여 제어 모멘트를 발생시키는 능동장치의 사용이 증가되고 있는 추세이다.

현재 선박의 횡동요를 감소시키기 위하여 사용되는 능동장치로는 이동질량 감요장치(Moving weight stabilizer), 감요 탱크(Anti-rolling tank), 핀 스테빌라이저(Fin stabilizer)(Sellers and Martin, 1992, Lewis 1989)가 있다. 각각은 제어 모멘트 발

생 메카니즘에는 차이가 있지만 궁극적으로 횡동요 제어 모멘트를 발생시키는 것이 주목적이 된다. 이동질량 감요장치에서는 이동질량의 가속에 의한 관성력과 중력, 감요 탱크는 좌·우 현 탱크 안 유체의 운동, 핀 스테빌라이저에서는 핀에 작용하는 양력을 이용하여 제어 모멘트를 발생시킨다.

자세제어장비의 설계 검증을 위해서는 운동 시뮬레이션을 수행한다. 윤현규 등(2004)은 각 능동장치들을 장착한 선박의 연성 운동방정식을 정립한 후 가상 불규칙파 중에서의 횡동요 제어 성능을 수치적으로 모사한 바 있다. 또한 실제 크기의 장비를 제작하기 전에 모형장비를 자유항주 모형선에 탑재하여 성능시험을 수행한다. 모형장비를 통한 자세제어장비의 성능시험 절차를 Fig. 1에 도시하였다. Fig. 1의 정상운항시험과 자세제어장비 성능시험은 사각수조(한국해양연구소, 1999) 또는 호수에서 수행한다. 사각수조에서의 시험은 조파기를 통하여 실제 해상 상황과 유사한 상태를 만들 수 있다는 장점은 있으나 크기 제한 때문에 핀 스테빌라이저와 같은 속도가 요구되는 장비의 성능시험에는 제약이 있다. 반면에 호수와 같은 넓은 곳에

\*정회원, hkyoon@kriso.rc.kr 042)868-7292

서는 거리의 제약은 없지만 바람과 같은 보정하기 힘든 외란의 영향과 파랑을 모사하기 힘들다는 단점이 있다.

본 연구에서는 능동 이동질량 감소장치와 핀 스테빌라이저의 파랑중 횡동요 저감 성능시험을 위하여 자유항주 모형선을 개발하였다. 자유항주 모형선은 앞서 언급한 자세제어장비들의 모형과 제어기를 장착하고, 육상의 명령을 통하여 속도, 침로 등을 변경할 수 있도록 구성하였다. 마지막으로 제작된 모형 자세제어장비의 성능시험을 호수에서 바람의 영향이 적은 시간을 택하고, 파랑력은 모형선 안에 탑재된 장비를 이용하여 모사하는 방식으로 수행하였다.

## 2. 자유항주 모형선

자유항주 모형선은 모형선, 자세제어장비, 주처리장치부, 운동계측부, 통신장치부, 전원부로 구성된다. Fig. 2에 전체 배치를 도시하였다.

### 2.1 모형선

대상 모형선은 일반적으로 자세제어장비가 장착되는 선박인 함정에서 주로 채택하고 있는 쌍축 쌍타선으로 선정하였으며, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소(KRISO)에서 보유하고 있던 모형선을 수정·보완하였다. Fig. 3과 Table 1에 각각 대상 모형선의 전체 사진과 선체, 추진기, 타 체인을 나타내었다.

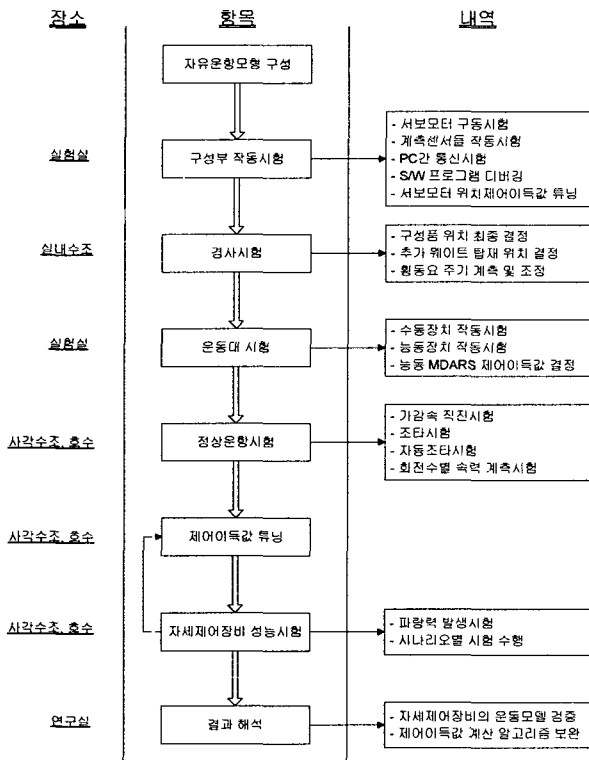


Fig. 1 Block diagram of performance test of anti-rolling devices

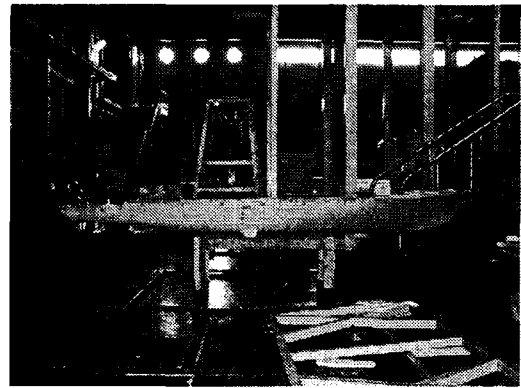


Fig. 3 Free running model

추진기와 타는 각각 400W, 60W급 DC 서보모터를 이용하여 구동한다. 하나의 모터를 이용하여 쌍축 추진기를 구동하기 위하여 감속기어가 내장된 추진력 분배기를 사용하였다. Fig. 4는 추진모터, 추진력 분배기로 구성된 추진 시스템을 보여주고 있다.

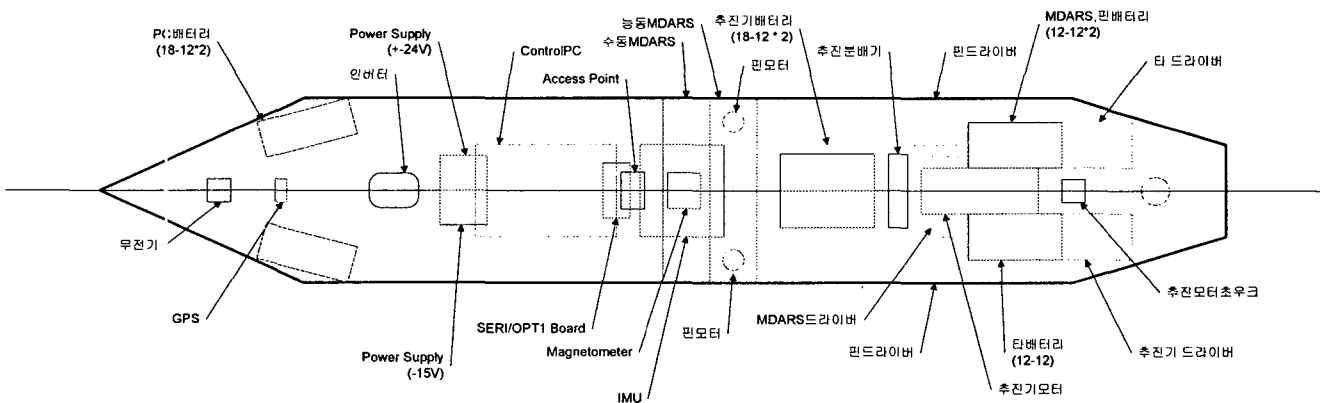
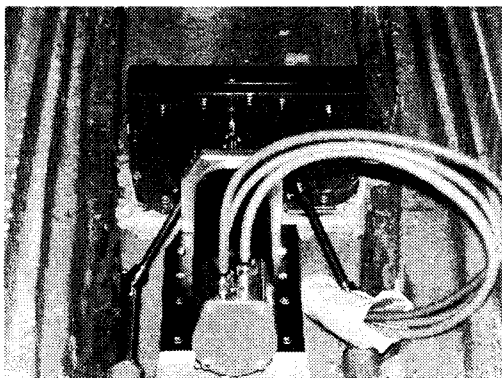


Fig. 2 Drawings of general arrangements of free running model

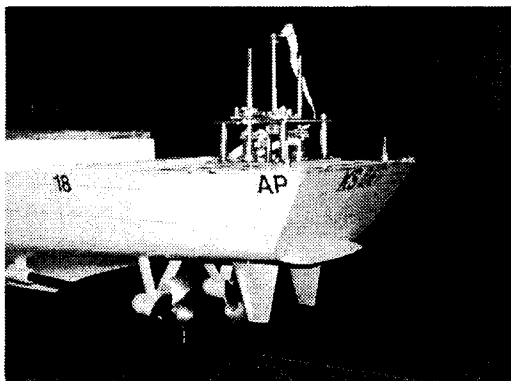
**Table 1** Principal particulars of model

구성부	항 목	값
선체	길이	3.24 m
	폭	0.40 m
	흘수	0.1442 m
	배수용적	0.1053 m <sup>3</sup>
	$\overline{GM}$	0.02120 m
추진기	지름	0.1150 m
	피치비 (평균)	1.3645
타	스팬	0.1001 m
	평균 코드	0.0667 m
	면적	0.0067 m <sup>2</sup>



**Fig. 4** Propulsion system

하나의 서보모터를 이용하여 쌍타를 구동하기 위한 조타 시스템을 Fig. 5에 나타내었다. 타각 제어에 사용하는 초기 기준값 결정을 위하여 2개의 리미트 스위치를 사용하였다.



**Fig. 5** Steering system

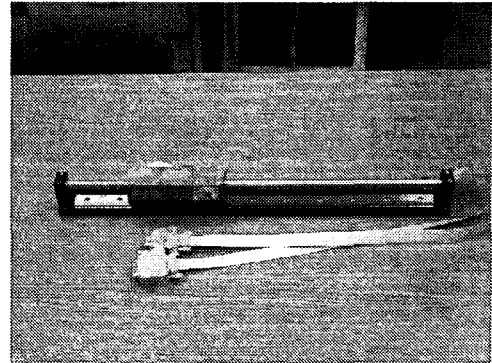
## 2.2 자세제어장비

### 2.2.1 이동질량 감요장치

이동질량 감요장치는 여러 가지 방법으로 구현할 수 있지만, 본 연구에서는 간단하게 상용 엔코더가 부착된 DC 선형 서보모터와 웨이트를 제작하여 구성하였다. Fig. 6은 이동질량 감요

장치로 사용한 서보모터를 보여준다.

이동질량 감요장치의 제어이득값은 윤현규 등(2004)의 설계 기준에 대하여 계산한 후 운동대 시험을 통하여 튜닝하여 설정하였다.



**Fig. 6** DC servomotor for moving weight stabilizer

### 2.2.2 핀 스테빌라이저

핀 스테빌라이저의 핀은 KRISO에서 보유하고 있는 것이 대상 모형선의 크기에 적절한 것이었으므로 추가 제작 없이 사용하였다. Fig. 7은 모형선에 부착된 핀의 형상을 보여주고 있다.

좌·우현 핀의 구동은 엔코더가 부착된 DC 서보모터 2개를 이용하였고, 제어이득값은 윤현규 등(2004)의 설계기준에 대하여 계산한 후 성능시험 중에 튜닝하여 사용하였다. Fig. 8은 좌현 핀 스테빌라이저 구동용 엔코더가 부착된 서보모터와 편축 간의 연결장치를 보여준다.

## 2.3 주처리장치

자유항주 모형선의 주처리장치는 1대의 임베디드 PC를 사용하여 구성하였고, 육상과 모형선 간의 통신 및 전체적인 시험 통제를 위하여 일반 노트북 컴퓨터를 사용하였다. 편의상 육상에서 통제용으로 사용하는 노트북 컴퓨터를 GroundPC, 자유항



**Fig. 7** Fin

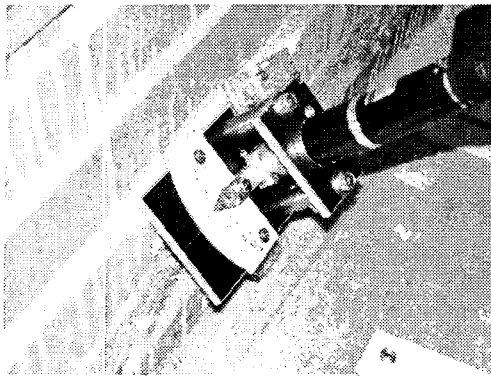


Fig. 8 Actuator system of fin stabilizer

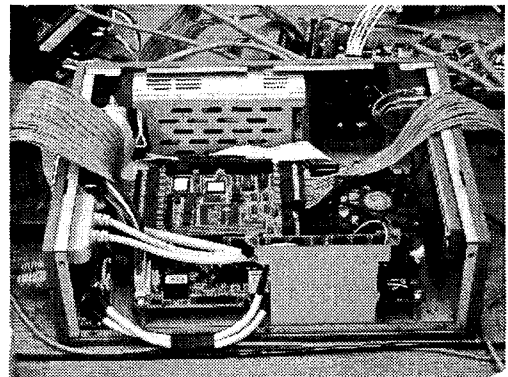


Fig. 9 ControlPC containing motion controller board

주 모형선에 탑재된 PC를 ControlPC로 명명하기로 한다. Table 2에 GroundPC와 ControlPC의 주요 기능을 정리하여 나타내었다.

Table 2 Functions of PC's used in free running model test

항 목	기 능
GroundPC	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 통제 콘솔 인터페이스 및 전시</li> <li>· Event 발생 및 송신</li> <li>· 초기 데이터 송신</li> <li>· 백업 파일 수신 및 저장</li> <li>· 명령 rpm, 침로, 타각 송신</li> </ul>
ControlPC	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Event, 명령제어량, 자세정보 저장 및 송·수신</li> <li>· GPS 데이터 계측 및 저장</li> <li>· IMU를 통한 자세각 계측</li> <li>· 마그네토메터를 이용한 자세각 계측</li> <li>· 추진기, 타 구동 및 제어</li> <li>· 신호수집, 운동제어 보드 관리</li> <li>· 명령 제어량, 구동 신호 계산</li> </ul>

ControlPC의 주요 사양은 Pentium III 1GHz, 512 MB 메모리, 40GB HDD, PC/104 slot, 3.36 kg(어드벤처테크놀로지스(주))이다. 이 PC에는 PC/104 형태의 센서신호 수집보드 및 서보모터 제어를 위한 운동제어보드가 탑재되어 있다. Fig.9는 운동제어보드가 탑재된 상태의 ControlPC를 보여주고 있다. Fig. 10에는 GroundPC의 통제용 콘솔화면을 도시하였다.

## 2.4 운동계측부

선박의 횡동요 제어를 위해서는 횡동요각과 각속도를 계측하여야 한다. 또한, 정해진 침로각으로 자동조타를 하기 위하여 침로각도 계측하여야 한다.

횡동요각과 각속도를 계측하는데는 5축 VG(Vertical Gyro)(CrossBow Technology Inc.)를 사용하였다. 이것은 3개의 가속도계 계측값을 이용하여 보정된 횡동요 각속도를 출력해준다. VG의 계측값은 ControlPC에 부착된 신호수집보드에서

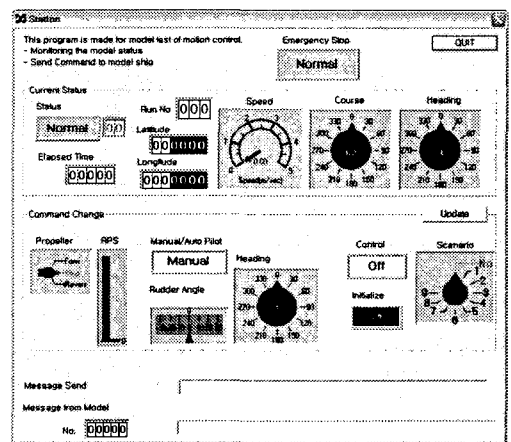


Fig. 10 Control console in GroundPC

샘플링 되어 제어 알고리즘에서 사용하게 된다. 또한 횡동요각 계측값에 대한 검증은 위하여 VG 보다는 샘플링 주파수가 작은 3DM-G 마그네토메터(Magnetometer)(MicroStrain)를 추가로 부착하였다. 마그네토메터에서 계측한 값은 ControlPC의 직렬포트로 송신되지만, 제어 알고리즘에는 되먹임 되지 않고, 육상의 GroundPC로 재송신 되어 실시간 자세각 정보를 운용자가 검증하는데 이용된다.

자동조타 기능은 시험시에 직진 유지와 초기 직진 상태의 침로각을 결정하는데 필요한 것으로써, 자세제어장비 성능 평가에 직접적으로 이용되는 것은 아니다. 따라서 샘플링 주기가 빠를 필요가 없으므로 GPS(Garmin)에서 2초에 한번씩 출력해주는 침로각 정보를 사용한다.

## 2.5 통신장치부

통신장치부는 육상 GroundPC와 모형선에 탑재된 ControlPC 간의 무선통신장치, 센서, 서보모터들과 ControlPC 안에 탑재된 신호수집 보드 및 운동제어 보드 간의 유선통신장치로 구성된다. 각 구성부들 간의 통신장치 연결도를 Fig. 11에 도시하였다.

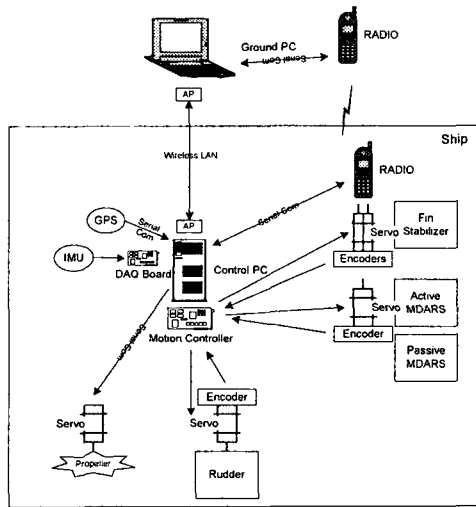


Fig. 11 Communication diagram

PC 간의 통신을 위해서는 무선기, AP(Access Point)를 이용한 무선 LAN 통신을 사용하였다. 무선기에 의한 통신 방식은 무선 LAN 방식보다 원거리 통신에 적합하므로, 모형선의 운항에 필요한 명령 제어량과 자세제어정보를 송·수신 하는데 사용하였다. 무선 LAN 통신은 근거리에서 다량의 데이터 통신에 유리하므로 성능시험 중 또는 종료시 자세제어장비의 제어 이득값 및 ControlPC에 백업된 시간별 주행정보 데이터를 송·수신하는데 사용한다.

서보모터, 센서들과 ControlPC에 탑재된 보드들 간의 유선 통신 연결도를 Fig. 12에 도시하였다. Fig. 12에서 PMAC(Delta Tau Data Systems Inc.), 3718(어드벤처테크놀로지스(주))은 각각 운동제어 보드, 신호수집 보드를 나타낸다.

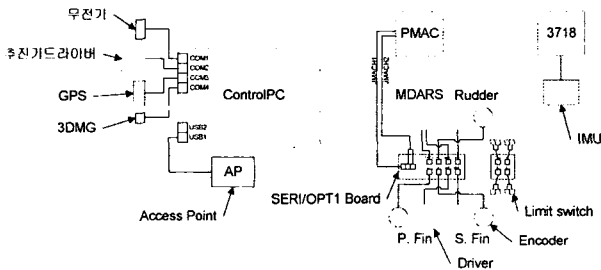


Fig. 12 Communication wiring of servomotors and sensors

## 2.6 전원부

전원부는 전원공급장치와 전원변환장치로 구분할 수 있다. 전원공급장치는 주처리장치, 서보모터, 센서 등의 동력원이 되고, 전원변환장치는 교류 전원을 사용하는 ControlPC에 전원공급을 위한 인버터와 운동제어 보드에서 서보모터의 드라이버로의 전달 신호를 발생시키기 위한 파워서플라이로 구성된다.

전원공급장치는 출력이 DC 12V인 일반 배터리를 사용하였다. 자유항주 모형선은 탑재 장비의 무게에 제한이 있고, 배터리의 무게가 상당한 부분을 차지하므로 무게당 파워비가 좋은

배터리를 사용하여야 한다. 또한 모형선에 적절하게 배터리 무게를 분배하여야 하므로 대용량, 대증량의 배터리를 사용할 수도 없다. 가장 배터리를 많이 소모하는 구성부는 ControlPC (18-12 배터리 한 개당 약 40분 사용)이다. 그 이유는 전원을 사용하는 서보모터들의 실제 사용시간은 시험시간에 비하여 길지 않지만 PC는 항상 전원이 켜진 상태이기 때문이다. 배터리 2개를 직렬로 연결하여 4개의 서보모터 (능동 이동질량 감요장치, 핀 스태빌라이저 2개, 타 : 입력 전압은 12~27VDC)를 구동하였다. 전원공급장치의 구성은 구성품별로 그룹화하여 독립적으로 배터리를 사용할 수 있게끔 하였다.

전원변환장치로 사용한 DC/AC 변환 인버터는 12V, 500W급이므로 배터리 2개를 병렬로 연결하여 사용하였다.

## 3. 자세제어장비 성능시험

자세제어장비 성능시험은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 구성부 작동시험, 경사시험, 운동대 시험, 정상 운항시험, 성능시험으로 수행 순서대로 구분할 수 있다. 구성부 작동시험은 각 장비들에 대한 정상 작동 유무를 검토하는 시험이므로 본 장에서는 생략하기로 하고, 나머지 시험들에 대한 수행방법과 결과를 나타내기로 한다.

### 3.1 경사시험

경사시험은 구성부 작동시험이 끝나고 원하는 흘수(배수량),  $\overline{GM}$ , 횡동요 고유주기를 맞추거나 계측하기 위해서 실시한다. 엄밀하게 흘수를 맞추기 위하여 수행하는 시험은 경사시험이라기 보다는 트림시험이지만 동시에 수행할 수 있으므로 경사시험의 항목으로 포함하기로 한다. 흘수 조절은 추가 웨이트를 이용하여 조정하고, 자유항주 모형선을 처음으로 수조에 띄움으로써, 편측, 추진기축 등에서의 누수 등을 점검한다. Fig. 13에 경사시험 광경을 나타내었다.

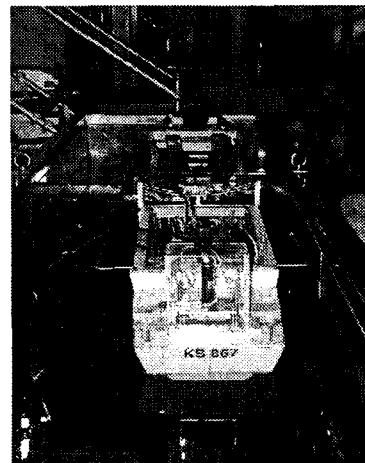


Fig. 13 Inclining test

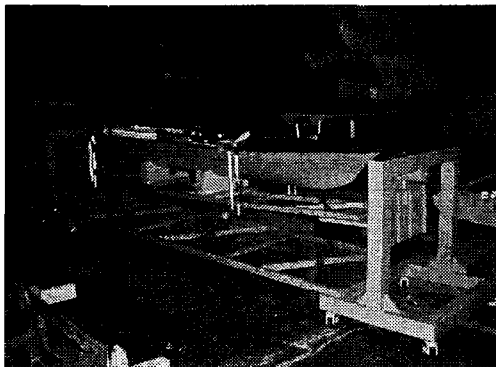
경사시험의 자세한 절차(대한조선학회, 1982)에 대한 언급은 본 논문에서 생략하기로 한다. 트림시험을 포함한 경사시험 결과로 얻어진 값들을 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 B는 Table 1의 선폭을 나타낸다. 경사시험시 흘수와 자유감쇠 횡동요 시험을 통하여 고유주기를 측정하면, 선박의 형상으로 결정되는 정유체력표 (Hydrostatic table)를 통하여 Table 3의 나머지 값들을 계산할 수 있다.

**Table 3** Results of inclining test

항목	값
흘수	0.1442 m
고유주기	2 초
질량	105.0653 kg
x 방향 질량관성모멘트 (부가관성모멘트 포함)	2.2142 kg · m <sup>2</sup>
x 방향 관성반경	0.3629 B
$\overline{GM}$	0.02120 m
$\overline{KG}$	0.1818 m

**3.2 운동대 시험**

운동대는 구성된 자유항주 모형선을 부착하여 횡동요 운동만이 가능하도록 한 장치이다. 모형선 부착판의 높이 조절이 가능하여 운동 중심을 변경할 수 있고, 이에 따라 운동 주기도 변경할 수 있다. Fig. 14는 운동대 시험광경을 보여주고 있다.



**Fig. 14** Free roll test on the rolling motion stand

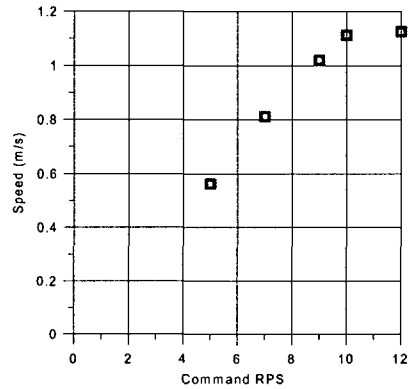
운동대 시험을 통해서도 모형선의 속도에 상관없이 제어 모멘트를 얻을 수 있는 수동장치의 성능시험을 수행할 수 있다. 모형선에 자유 횡동요 운동을 가해주어 능동장치들의 작동 방향 등의 검증을 수행하고, 능동 이동질량 감요장치 경우는 제어 이득값 튜닝 작업을 성능시험 전에 수행할 수 있다.

**3.3 정상 운항시험**

정상 운항시험은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 자세제어장비의 성능시험에 앞서 실제 상황에서 명령 추진기 rpm, 명령타각에

대한 모형선의 적절한 응답, 자동조타 기능, 명령 추진기 rpm에 대한 속력 측정 등의 목적을 위해서 수행된다. 수행방법은 자세 제어장비를 작동하지 않는다는 점을 제외하면 성능시험과 동일한 방법으로 수행한다.

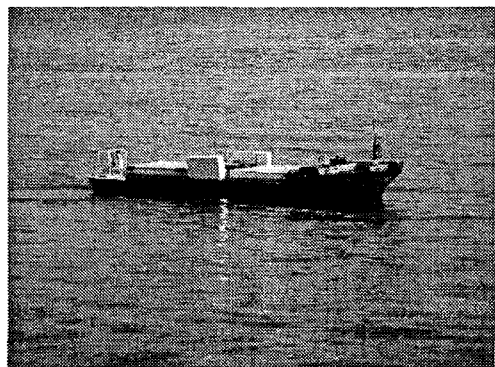
속력 측정시험은 성능시험 전에 한번만 수행하면 되므로, 유속계를 임시로 선수부에 설치하여 측정한 후 성능시험시는 제거한다. Fig. 15에는 측정한 명령 추진기 rps에 대한 속력곡선을 도시하였다. 10 rps 이상에서는 추진모터의 용량 한계로 속도가 선형적으로 증가하지 않음을 알 수 있다.



**Fig. 15** Result of speed test

**3.4 성능시험**

1장에서 언급한 바와 같이 능동 이동질량 감요장치와 핀 스테빌라이저의 성능시험은 바람이 적은 일시를 택하여 호수(논산 탐정호)에서 수행하였다. Fig. 16에 성능시험중인 자유항주 모형선을 나타내었다.



**Fig. 16** Performance test of anti-rolling device

각각의 성능시험시 다른 자세제어장비는 파랑력 모사장치로 사용하여 정현파 형태의 횡동요 모멘트를 유발시키도록 설정하였다. 능동 이동질량 감요장치와 핀 스테빌라이저를 파랑력 모사장치로 사용할 때, 그 진폭은 각각 5 cm, 10°, 주기는 모형선의 고유주기인 2초로 하였다. 능동 이동질량 감요장치의 이동질량 무게는 1 kg로 하였다.

성능시험은 아래의 기설정된 시나리오에 따라 수행하였다.

- ① 0-10초 (10초간) : 정상 직진
- ② 10-40초 (30초간) : 파랑력 모사장비만 작동
- ③ 40-100초 (60초간) : 모두 작동

Fig. 17~18에 능동 이동질량 감요장치와 핀 스테빌라이저의 성능시험 결과를 도시하였다. 또한 Table 4에는 성능시험 결과로부터 계산한 RMS 횡동요각 감소율을 나타내었다. 이 때 모형선의 속도는 1.1 m/s 이었다. 제어기는 PDA 방식이고, 제어이득값은 능동 이동질량 감요장치 경우는 운동대 시험, 핀 스테빌라이저 경우는 성능시험 중에 튜닝한 값을 사용하였다.

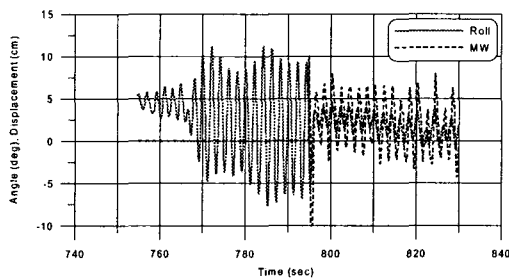


Fig. 17 Test result of moving weight stabilizer

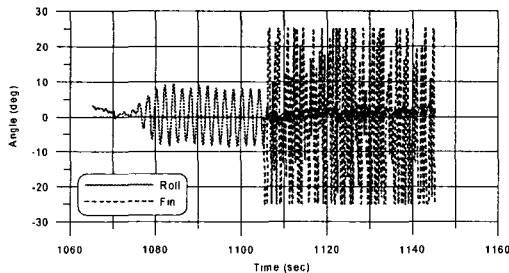


Fig. 18 Test result of fin stabilizer

Table 4 Roll reduction ratio

자세제어장비	횡동요 감소율 (%)
능동 이동질량 감요장치	78.05
핀 스테빌라이저	83.16

Fig. 17~18에서 실선으로 표시한 것은 VG에서 계측한 횡동요각이고, 점선으로 표시한 것은 명령 제어량(이동질량의 이동거리 또는 핀각)이다. Fig. 17에서 보면, 횡동요 제어가 잘 되고 있는 것을 볼 수 있고, 웨이트의 명령 이동거리도 제어가 시작되는 시점에서 잠시 동안만 포화가 일어나고, 횡동요각이 작아지면 그다지 크지 않으므로 제어이득값은 적절하게 설정되었다고 판단된다. Fig. 18에서, 횡동요 제어는 잘 되고 있지만 명령 핀각이 과도하여 포화가 계속해서 발생하는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 미분제어이득이 너무 크게 설정되었기 때문이라고 사료된다. Table 4에 의하면 두 자세제어장비 모두 만족할 만한 제어성능을 나타내고 있음을 알 수 있다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 능동 이동질량 감요장치, 핀 스테빌라이저의 성능시험을 위한 자유항주 모형선 및 성능시험에 대하여 기술하였다. 자유항주 모형시험은 통상적으로 선박의 조종성능 추정을 위하여 널리 사용되고 있으나, 본 논문에서는 자세제어장비의 성능시험에 이를 확장하여 적용하였다. 자세제어장비 성능시험에 적합하게 구성된 자유항주 모형선에 대하여 구성부별로 특성, 필요 기능, 주의할 점 등에 대하여 상세하게 기술하였고, 성능시험방법을 경사시험, 운동대 시험, 정상 운항시험, 성능시험으로 단계별로 구분하여 정립하였다. 개발한 자유항주 모형선을 이용하여 정립된 시험절차에 따라 성능시험을 호수에서 수행한 결과, 실선에 장착될 장비의 성능 검증, 제어이득값 튜닝 등에 충분히 적용할 수 있음을 확인하였다.

앞으로 개발된 자유항주 모형선은 실선에 탑재될 장비의 예비 테스트 기능 뿐만 아니라 다양한 제어기법 (강인제어, 적응제어, 예측제어기법 등)에 대한 검증에도 유용하게 사용할 수 있으리라고 예상된다.

## 후 기

본 논문은 과학기술부 민군겸용기술개발사업 “파랑중 수상선의 자세제어장비 기술개발” 과제에서 지원하여 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 윤현규, 이경중, 이창민 (2004), “자세제어장비를 장착한 선박의 파랑중 운동 모델링 및 시뮬레이션,” 한국항해항만학회지, 제28권, 제5호
- [2] 한국해양연구소 선박해양공학부소 해양개발시스템연구센터 (1999), “해양공학수조 시험 안내서”
- [3] 윤현규, 이경중 (2004), “선박의 자세제어장비 설계 기준”, 선박해양기술, 제37호
- [4] 대한조선학회 편 (1982), “표준 선박계산”, 동명사
- [5] Lewis, E.V. (1989), “Principles of Naval Architecture - 2nd Ed., Volume III. Motions in Waves and Controllability”, SNAME
- [6] Lloyd, A.R.J.M. (1989), “SEAKEEPING: Ship Behavior in Rough Weather”, ELLIS HORWOOD LIMITED
- [7] Sellars, F.H. and Martin, J.P. (1992), “Selection and Evaluation of Ship Roll Stabilization Systems”, Marine Technology, Vol.29, No.2, pp.84~101
- [8] 어드벤처테크놀로지스(주) ; www.advantech.co.kr
- [9] CrossBow Technology Inc. ; www.xbow.com
- [10] Micro ; www.microstrain.com
- [11] Garmin ; www.garmin.co.kr
- [12] Delta Tau Data Systems Inc. ; www.deltatau.com