

가동질량을 이용한 선박용 횡동요 저감장치에 대한 실험적 연구

문석준^{†*}, 정종안^{*}, 윤현규^{**}, 이경중^{**}, 안성필^{***}

한국기계연구원 e-엔지니어링연구센터^{*}
한국해양연구원 해양시스템안전연구소^{**}
(주) 어드밴스드 마린테크^{***}

An Experimental Study on Mass Driving Anti-Rolling System for Ships

Seok-Jun Moon^{†*}, Jong-Ahn Jeong^{*}, Hyeon-Kyu Yoon^{**},
Gyeong-Joong Lee^{**} and Seong-Phil Ann^{***}

Korea Institute of Machinery and Materials^{*}
Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering^{**}
Advanced Marine Tech.^{***}

Abstract

Reduction of a ship's rolling is the most important performance requirement for improving the safety of the crew on board and preventing damage to cargos as well as improving the comfort of the ride. A mass driving anti-rolling system (MD-ARS) might be one candidate of several systems against the ship's rolling.

In this paper, three types of MD-ARS, two passive and one active devices, are developed for small ships. After they are installed on the cabin of the small leisure boat, respectively, a series of performance test is conducted before and after operating them. Through the test, it is confirmed that the roll responses of the ship are pretty well reduced by the MD-ARS.

※Keywords: Attitude control(자세 제어), Mass driving anti-rolling system(가동질량을 이용한 횡동요 저감장치), Performance test (성능시험)

1. 서론

파랑 중에 있는 선박의 운동은 승선 환경을 악

화시켜 승객에게는 불쾌감을 유발시키고, 승무원에게는 피로를 누적시켜 임무수행 동안 문제를 유발시키거나 위험상황에서의 판단 오류 등을 일으켜 안전운항에 장애가 될 수 있다. 선박의 대형화, 고속화 및 고급화 추세와 함께 선박의 운동을 줄이기 위하여 자세제어방법에 대한 연구가 다양하게 수행되고 있다(이경중 등 2004). 대표적인 자

접수일: 2005년 8월 12일, 승인일: 2005년 10월 6일

† 주저자, E-mail: sjmoon@kimm.re.kr

Tel: 042-868-7428

제어장비로서는 anti-rolling tank(ART), fin stabilizer, hydrofoil control system 등이 있다(유재문 등 2003, 김진환 등 1998, 강창구 등 1996). 현재 대형여객선, 고급요트, 해군 함정, 해경 함정, 해양조사선 등에는 fin stabilizer가 필수적으로 장착되고 있으며, ART는 특수 목적선에 부분적으로 장착되고 있다.

특수선, 레저 보트, 낚시선 등 중소형 선박의 경우 정선 중 횡동요에 의한 운동이 승무원에게 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 이를 방지하기 위한 장비로서는 ART외에 가동질량을 이용한 횡동요 저감장치(mass driving anti-rolling system, MD-ARS) 등이 있다. 유체를 사용하는 ART에 비해 MD-ARS는 비중이 큰 고체의 질량을 사용하므로 설치 공간의 제약이 적으면서도 효과는 더 좋은 것으로 알려져 있다. MD-ARS에 대한 국외에서의 연구는 일본 조선소를 중심으로 체계적으로 수행되고 있다(Koike et al. 1999). 중형급 이상의 선박을 대상으로 연구를 수행 중에 있으며, 전기모터에 의해 가동되는 능동형 시제품을 개발한 후, 해양 조사선에 탑재하여 성능을 검증하고 있다. 또한 소형 선박용 MD-ARS에 대한 연구도 진행되어 실용화를 추진하고 있는 것으로 알려져 있다(Taji 1996). 국내의 연구로서는 김영복 등(2000), 채규훈과 김영복(2003)이 모형선을 대상으로 능동형 장비를 수조에서 실험한 내용이 발표되었다. 또한 문석준 등(2005)이 능동형 MD-ARS의 구동기 포화 현상을 고려한 제어로직에 대한 연구를 수행하고 있다.

본 연구에서는 소형 선박에 적용할 수 있는 수동형 및 능동형 MD-ARS를 설계·제작하고, 2톤급 소형선박에 탑재하여 해상시운전을 통해 성능을 검증하고자 하였다. 수동형 MD-ARS로는 진자식과 질량-스프링 방식을 제작하였으며, 능동형으로는 모터 구동방식의 장비를 개발하였다.

2. 수동형 횡동요 저감장치

수동형 횡동요 저감장치는 동흡진기 원리(Tse et al. 1985)를 이용하여 설명할 수 있다. 먼저, 선박 횡동요를 수학적으로 간결하게 모델링하기

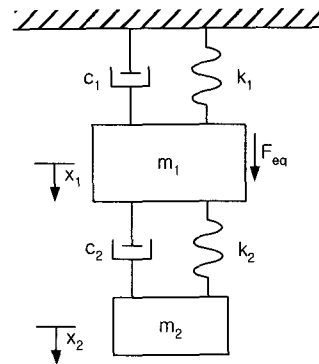


Fig. 1 Equivalent model

위해 몇 가지 가정을 하였다. 1) 횡동요는 선박중심에 대해 발생하며, 다른 자유도와의 연성효과는 무시한다. 2) 횡동요 각은 미소하다. 3) 선박에 작용하는 감쇠는 등가 점성감쇠로 가정한다. 이러한 가정으로부터 선박의 횡동요를 단자유도계로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I\ddot{\phi} + D\dot{\phi} + Wg\overline{GM}\phi = w \quad (1)$$

본 연구에서 고려하고 있는 진자식 및 질량-스프링방식 횡동요 저감장치는 물리적으로는 단진자 및 단자유도 운동으로 볼 수 있으며, 수학적으로는 1자유도계로 표현할 수 있다. 따라서 선박(식(1)참조)의 감관 또는 선실위에 설치된 수동식 횡동요 저감장치는 Fig. 1과 같은 2자유도를 갖는 등가시스템으로 치환할 수 있다. 등가시스템의 운동방정식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$m_1\ddot{x}_1 + c_1\dot{x}_1 + c_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1x_1 + k_2(x_1 - x_2) = F_{eg} \quad (2)$$

$$m_2\ddot{x}_2 + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_2(x_2 - x_1) = 0 \quad (3)$$

여기서, m , c , 및 k 는 각각 관성, 감쇠, 및 강성 성분을 나타내며, 하첨자 1 및 2는 각각 선박 및 횡동요 저감장치를 수학적으로 모델링한 파라미터를 표시하고 있다. F_{eg} 는 선박에 작용하는 등가 힘을 나타내고 있다.

식 (2)과 (3)에서 응답을 구하기 위해 감쇠를 무시하고, 외력이 정현주파수 성분 ω 를 갖는다고 가정하였다. Impedance 방법을 적용하면 응답의 크기는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} k_1 + k_2 - w^2 m_1 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 - w^2 m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{F}_{eq} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

따라서, 각 응답의 크기 \bar{X}_1, \bar{X}_2 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\bar{X}_1 = (k_2 - w^2 m_2) \bar{F}_{eq} / \Delta(w) \quad (5)$$

$$\bar{X}_2 = k_2 \bar{F}_{eq} / \Delta(w) \quad (6)$$

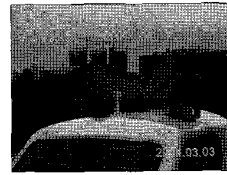
여기서,

$$\Delta(w) = (k_1 + k_2 - w^2 m_1)(k_2 - w^2 m_2) - k_2^2$$

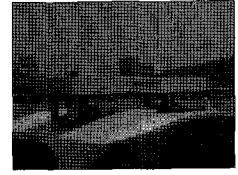
식 (5)로부터 $w = \sqrt{k_2/m_2}$ 일 때, 선박의 횡동요 응답 \bar{X}_1 가 최소가 됨을 알 수 있으며, 식 (6)으로부터 저감장치의 응답 $\bar{X}_2 = -\bar{F}_{eq}/k_2$ 을 얻을 수 있다. 즉, 횡동요 저감장치의 응답과 외력의 위상이 180° 가 될 때 선박의 응답이 최소가 됨을 알 수 있다. 선박의 횡동요 고유주파수와 외력의 주파수가 일치할 때 가장 큰 횡동요가 발생하므로, 횡동요 저감장치의 고유주파수를 선박의 횡동요 고유주파수와 일치되도록 설계해야 한다.

앞에서 기술한 바와 같이 진자식 및 질량-스프링 방식의 장치를 개발하였다. 진자식은 정해진 곡선레일을 따라 가동질량이 움직이도록 설계되어 있으며, 곡률반경에 의해 고유주기가 결정된다. 또한 필요한 곡률반경에 의해 장비의 높이 및 폭이 결정되므로, 일정한 높이의 한계가 존재하게 된다. 반면, 질량-스프링 방식은 가동질량의 무게와 스프링의 탄성계수에 의해 고유주기가 결정되며, 높이 측면에서 진자식보다는 유리한 방식이다. Fig. 2는 2톤급 레저 선박의 선실 상부에 탑재되어 있는 모습을 보여주고 있으며, 두 방식에 사용된 가동질량의 무게는 각각 30kg이다.

두 방식의 MD-ARS에 대해 동일한 선박을 대상으로 동일한 방법으로 해상 성능시험을 수행하



(a) Pendulum type



(b) Mass-spring type

Fig. 2 Passive MD-ARSs

였다. 단, 시험장소 및 시각은 같지 않으며, 진자식 장비는 부산광역시 앞바다에서, 질량-스프링 방식 장비는 화성시 앞바다에서 수행되었다. 따라서 해상상태에 차이가 있으므로, 시험결과와 절대 값보다는 상대 값에 의미를 부여하였다. 1차 시험은 선박 계류장 근처에서 수행하였다. 이곳에서는 파도의 영향이 크지 않으므로 인력에 의해 횡동요를 유발시켰다. 좌우현에서 강제로 10초 동안 횡동요를 유발시킨 후 중지함으로써 자유 횡동요가 발생하도록 하였다. 총 30초 동안 계측하였으며, 저감장치 작동 전 및 후에 대해 각각 5회씩 시험을 수행하였다. 효과도를 정량적으로 평가하기 위해 강제동요 10초 동안과 마지막 자유 동요 10초 동안의 자료를 분리하여 분석하였다. Fig. 3은 대표적으로 진자식 장비에 대한 실험결과를 보여주고 있으며, 시험 2회에 대한 저감장치 작동 전(OFF) 및 후(ON)의 계측결과를 보여주고 있다. 각 세부그림에는 $\pm 4 \text{deg./s}$ 에서 기준선이 도시되어 있다. 저감장치의 효과로 20초 후에 횡동요 각속도가 기준선 안으로 들어오고 있음을 알 수 있다.

각각의 계측결과 중 RMS 값을 산출하여 Table 1에 정리하였다. 진자식인 경우 4회의 시험자료가 정리되어 있으며, 작동 전 횡동요 각속도(RMS)가 $21 \sim 27 \text{deg./s}$ 에서 $2 \sim 4 \text{deg./s}$ 로 감소하였다. 한편 작동 후에는 $25 \sim 27 \text{deg./s}$ 에서 $1 \sim 2 \text{deg./s}$ 로 감소하였다. 질량-스프링방식인 경우 5회의 시험 자료를 살펴보면, 저감장치 작동 전 횡동요 각속도(RMS)가 $22 \sim 24 \text{deg./s}$ 에서 $3 \sim 6 \text{deg./s}$ 로 감소하였다. 한편 작동 후에는 $20 \sim 23 \text{deg./s}$ 에서 $0.5 \sim 3 \text{deg./s}$ 로 감소하였다. 저감 장치 작동 전·후의 처음 10초와 최종 10초 사이의 감소비율의 평

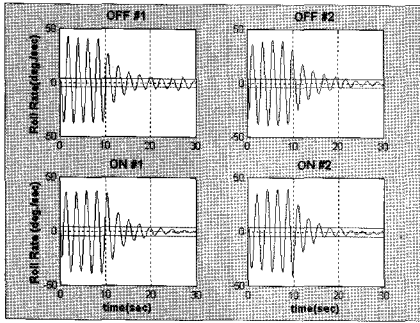


Fig. 3 Roll rate responses of the ship

균치는 전자식인 경우 11.0%에서 5.6%로, 질량-스프링 방식인 경우 20.4%에서 7.8%로 감소되었음을 알 수 있다. 즉 두 수동식 저감장치로 인하여 약 50~60%정도의 횡동요가 감소되었음을 확인할 수 있다.

2차 시험은 계류장에서 벗어나 넓은 해상에서 수행하였다. 파랑 중 선박의 기관을 정지시킨 상태에서 저감장치 작동 전 및 후의 횡동요 각속도를 각각 약 8분 동안 3회씩 측정하였다. 저감장치의 효과를 평가하기 위해 시간영역 및 주파수영역에서 분석을 시도하였으며, 결과를 Table 2에 정

리하였다. 전자식 장비인 경우 해상시험 중 해상 상태가 급속히 악화되어 필요한 결과자료를 수집하지 못하였으며, 따라서 질량-스프링 방식 장비에 대한 결과만을 정리하였다. Table 2를 살펴보면 시간영역에서의 횡동요 각속도 레벨의 RMS 값이 1.5~2.5deg./s에서 1.0~2.0deg./s로 저감되었음을 알 수 있다. 또한 주파수 영역에서의 분석결과 주 동요주파수는 0.47Hz로 변화가 없으며, 주 주파수에서의 power density가 평균 27.1dB에서 24.5dB로 약 2.6dB 저감되었다. 따라서 질량-스프링 방식 MD-ARS의 설치로 인하여 약 20%이상의 저감효과를 얻을 수 있었다.

두 수동형 MD-ARS를 비교해 보면, 두 장비 모두 30kg의 가동질량을 사용하였으며, 허용 거리(stroke)는 동일하다. 또한 내항에서의 저감효과는 50~60%로 거의 일정하고, 외항에서의 저감효과도 20~30%로 거의 동일할 것으로 예상된다. 수동형 MD-ARS인 경우 가동질량, 이동 허용거리 및 동조 주파수에 따라 저감효과 정도가 결정되므로 두 저감장치의 동일한 효과는 예상할 수 있는 것이다. 다만 질량-스프링 방식의 MD-ARS가 낮은 높이를 요구하므로 전자식보다는 외관상 장점이 있는 것으로 판단된다.

Table 1 Roll rates in the near wharf

(unit: degree/sec)

Test		Pendulum type			Mass-spring type		
		First 10 seconds	Last 10 seconds	Ratio(%) B/A	First 10 seconds	Last 10 seconds	Ratio(%) B/A
Cond.	No.	RMS(A)	RMS(B)		RMS(A)	RMS(B)	
OFF	1	26.61	3.54	13	22.22	5.48	25
	2	26.25	2.17	8	23.26	3.86	17
	3	21.52	2.48	12	22.28	3.73	17
	4	22.01	2.49	11	23.48	5.19	22
	5	-	-	-	23.61	4.88	21
	Ave.						20.4(C)
ON	1	26.09	1.66	6	21.04	1.87	9
	2	25.75	1.14	4	20.49	1.30	6
	3	25.22	1.46	6	20.71	0.47	2
	4	25.61	1.46	6	22.26	2.39	11
	5	-	-	-	20.63	2.33	11
	Ave.			5.6(D)			7.8(D)
D/C (%)				50.9			38.2

Table 2 Roll Rates of the Ship in the Far Wharf

(unit: degree/sec)

Con d.	No.	RMS	Power Density
OFF	1	1.85	25.8dB @0.47Hz
	2	1.81	25.7dB @0.47Hz
	3	2.34	29.8dB @0.47Hz
	Ave. (A)	2.00	27.1dB
ON	1	1.58	24.4dB @0.47Hz
	2	1.84	27.4dB @0.47Hz
	3	1.14	21.8dB @0.47Hz
	Ave. (B)	1.52	24.5dB
B/A(%)		76	2.6dB

3. 능동형 횡동요 저감장치

능동형 MD-ARS의 구동방식으로는 DC 모터, AC 모터, 유압식 액추에이터 등을 사용할 수 있다. 레저용 소형 선박의 경우 내부에 AC 전압이 공급되지 않으므로 DC 모터를 이용하는 것이 편리하다. 중대형 선박인 경우 AC 전압이 공급되므로 AC 모터 또는 유압식 액추에이터의 사용이 가능하다. 유지보수 및 설치 위치 등의 관점에서 검토한 결과 AC 모터가 적합한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서도 AC 서보모터를 활용하여 능동형 MD-ARS를 설계·제작하였다. 모터의 회전 성분을 부가 가동질량의 직선운동으로 변환시키기 위해서는 적절한 변환기구를 사용해야 한다. 이러한 변환기구로서는 timing belt, ball screw, rack-pinion 등이 있으며, 본 연구에서는 중소형 MD-ARS에 적합한 ball screw를 사용하였다. 기존의 관련 연구결과를 통해 같은 질량에서는 능동형이 수동형보다 약 2배 이상의 성능을 얻을 수 있다는 경험을 얻었기 때문에 가동질량의 무게는 수동형 MD-ARS의 가동질량 무게의 1/2로 하였다. 가동질량의 제어를 위해 PID 제어를 제작하여 적용하였다. 제어계는 수치실험 및 소형 mock-up을 이용하여 적정 범위를 산출한 후 현

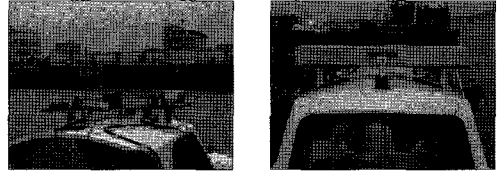


Fig. 4 Active MD-ARS installed

장에서 tuning을 통해서 조절하였다. 되먹임 제어를 위해 횡동요 계측기만을 사용하였으며, 가동질량의 위치를 확인하기 위해 encoder가 설치된 모터를 선택하였다.

능동형 MD-ARS의 성능시험은 수동형 MD-ARS와 동일한 방법으로 수행되었다. 시험장소는 질량-스프링 방식 MD-ARS의 성능시험이 수행된 경기도 화성시 전곡항 및 인근 해역이다. 시험기간이 장마기간이어서 시험조건이 수동형 MD-ARS 환경과는 상이했으며, 비바람에 의한 영향이 많은 조건이었다. Fig. 4는 소형 선박에 탑재된 능동형 MD-ARS의 모습을 보여주고 있으며, 외부 덮개가 없는 경우 및 있는 경우의 사진을 수록하였다. AC 서보모터 및 Notebook PC의 구동을 위해 발전기를 대상선 내부에 설치하여 AC 전원을 공급하였으며, 기타 필요한 DC 전원은 축전지를 사용하였다. 전곡항 계류장 근처에서 1차 실험을 수행하였다. 장비의 성능을 검증하기 위해 인력에 의해 횡동요를 강제로 유발시켰다. 좌우현에서 강제로 10초 동안 횡동요를 유발시킨 후 중지함으로써 자유 횡동요가 발생하도록 하였다. 총 30초 동안 계측하였으며, 저감장치 작동 전 및 후에 대해 각각 5회씩 시험을 수행하였다. Fig. 5는 대표적인 시험결과를 보여주고 있다. 저감장치의 가동 전 및 후의 횡동요 레벨을 보여주고 있으며, 횡동요가 급격하게 저감되었음을 정성적으로 확인할 수 있다. 효과도를 정량적으로 평가하기 위해 강제동요 10초 동안과 마지막 자유 동요 10초 동안의 자료를 분리하여 분석하였다. 횡동요 RMS치를 산출하여 Table 3에 정리하였다. Table 3을 통해 저감장치 작동 전·후의 결과를 자세히 비교해보면, 저감장치가 잘 작동하고 있음을 확인할 수 있다. 저감장치 작동전 횡동요(RMS)가 5.5~6.5deg.

Table 3 Roll responses in the near wharf
(unit: degree)

Test		First 10 seconds (A)	Last 10 seconds (B)	Ratio (%) B/A
Cond.	No.			
OFF	1	5.87	1.26	21.5
	2	6.09	2.21	36.3
	3	6.34	1.73	27.3
	4	6.03	2.40	39.8
	5	6.11	2.23	36.5
	Ave.			
ON	1	4.97	0.33	6.6
	2	5.36	0.37	6.9
	3	5.30	0.59	11.1
	4	4.98	0.50	10.0
	Ave.			
D/C(%)				26.9

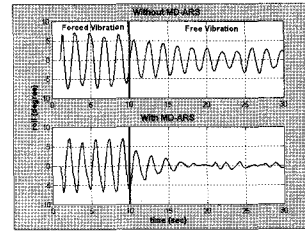


Fig. 5 Testing results in the near wharf

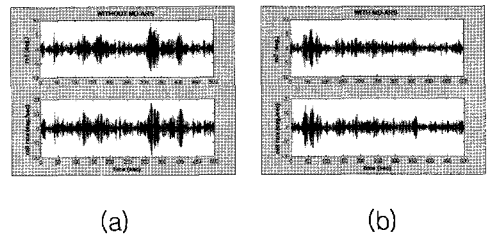


Fig. 6 Testing results in the far wharf

에서 1.2~2.5deg.으로 감소하였다. 한편 작동 후에는 4.5~5.5deg.에서 0.3~0.6deg.으로 감소하였다. 저감 장치 작동 전·후의 처음 10초와 최종 10초 사이의 감소비율의 평균치는 32%에서 9%로 감소되었음을 알 수 있다.

즉 저감장치로 인하여 약 73%정도의 횡동요가 감소되었음을 검증할 수 있다. 또한 횡동요 속도의 경우에도 유사한 결과를 보여주고 있음을 확인하였다. 따라서 내항에서의 자유 동요 실험을 통해 능동형 MD-ARS가 횡동요를 약 70%이상 저감할 수 있음을 확인할 수 있었다.

2차 외항에서의 시험은 제부도와 대부도 앞바다 해상에서 수행하였다. 파랑 중 선박의 기관을 정지시킨 상태에서 저감장치 작동 전 및 후의 횡동요 각속도를 각각 약 8분 동안 2회씩 계측하였다. 대표적인 시험결과를 Fig. 6에 수록하였으며, Fig. 6(a)는 저감장치를 설치한 후 작동을 하지 않았을 경우를, Fig. 6(b)는 저감장치를 작동시킨 경우의 결과를 보여 주고 있다. 횡동요 및 횡동요 속도가 줄어들었음을 정성적으로 확인할 수 있다. Fig.7은 Fig. 6의 결과에 대한 주파수영역에서의 파워스펙트럼을 보여주고 있다.

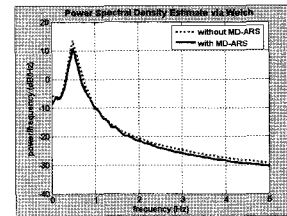


Fig. 7 Power spectra of the testing results

시험결과와 정량적인 수치를 RMS 레벨로 Table 4에 정리하였다. Table 4를 살펴보면 시간 영역에서의 횡동요 각속도 레벨의 약 18%가 감소한 반면 횡동요 레벨은 약 50%정도 감소하였음을 알 수 있다. 내항에서의 시험결과와 달리 이런 차이를 보이고 있는 이유는 해상의 불규칙한 파도에 기인한 것으로 판단된다. 시험 당일 발생한 계측 시스템의 문제로 인하여 충분한 횡수의 자료를 취득하지 못한 것이 매우 아쉽다. 이러한 결과를 앞에서 기술한 수동형 MD-ARS와 비교하면 능동형 MD-ARS의 성능이 매우 우수함을 알 수 있다. 가동질량의 무게는 수동형의 약 50%이면서 저감량은 약 1.5배 이상임을 확인되었다.

Table 4 Ship responses in the far wharf

Con d.	No.	RMS	
		Roll Rate (deg./sec)	Roll (deg.)
OFF	1	4.39	2.90
	2	4.66	3.51
	Ave. (A)	4.53	3.21
ON	1	3.42	1.44
	2	3.99	1.73
	Ave. (B)	3.71	1.59
B/A (%)		81.9	49.5

5. 고찰 및 결론

본 연구에서는 소형 선박의 횡동요 저감을 위해 부가 가동질량을 이용한 수동형 및 능동형 횡동요 저감장치를 설계·제작하여 해상 실선시험을 수행하였다. 수동형으로서는 진자식 및 질량-스프링 방식의 장치가, 능동형으로서는 모터 구동방식의 장치가 개발되었다. 각각의 장치를 동일한 소형 선박에 탑재한 후 자유 동요 시험과 해상 시험을 통해 성능을 검증평가하였다. 자유 동요 시험에서는 약 50~70%의 횡동요 저감효과를 확인할 수 있었으며, 파랑 중 해상시험에서는 20~50% 정도의 저감효과를 확인하였다. 해상의 파도는 다양한 주파수 성분을 포함하고 있으므로 능동형 장비가 보다 양호한 저감효과를 보이고 있음을 확인할 수 있었으며, 소형 레저보트, 낚시선박 등에 적용할 수 있을 것으로 판단되었다.

후 기

본 연구는 과학기술부 민·군 겸용 기술개발사업 중 "중·소형 Mass Driving ARS 설계기술 개발" 사업 과제로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 강창구, 홍사영, 서상현, 이창민, 김연규, 공인영, 1996, "고속 카타마란선의 규칙 정면파중 운항자세 제어시험," 대한조선학회 논문집, 제 33권, 제 2호, pp. 36-43.

- 김영복, 변정환, 양주호, 2000, "선체 횡동요 방지 장치 개발을 위한 실험적 연구," 한국해양공학회지, 제 14권, 제 4호, pp. 43-48.
- 김진환, 김연규, 이경중, 이창용, 1998, "시험선 나래의 자세제어기술개발 및 실 해역 시험," 대한조선학회 논문집, 제 35권, 제 3호, pp. 26-37.
- 문석준, 임채욱, 이해중, 2005, "제어입력포화를 고려한 횡동요 저감장치용 제어알고리즘 설계," 대한조선학회 논문집, 제 42권, 제 6호, pp. 565-557.
- 유재문, 김효철, 이현엽, 2003, "감요수조의 주기 조절 장치 효과에 관한 연구," 대한조선학회 논문집, 제 40권, 제 1호, pp. 1-7.
- 이경중, 윤현규, 문석준, 부성윤, 2004, 파랑 중 수상선의 자세제어장비 기술개발, 한국해양연구원, 연구보고서 UCN00700-04072.
- 채규훈, 김영복, 2003, "LMI를 이용한 선박 횡동요 제어에 관한 실험적 연구," 한국해양공학회지, 제 17권, 제 2호, pp. 60-66.
- Koike, Y., Saeki, A., Mutagushi, M., Imazeki, M., Miyabe, H. and Yamashita, S., 1999, "Application of Hybrid Anti-Rolling System to Actual Ship," Transaction on SNAJ, Vol. 185, pp. 111-117.
- Tse, F.S., Morse, I.E. and Hinkle, R.T., 1985, Mechanical Vibration: Theory and Application, 2nd Edition, Allyn and Bacon Inc.
- Taji, T., 1996, "Research trend on the active control of the anti-Rolling System for Ships," Techno Marine, Vol. 800, pp. 119-124



< 문 석 준 > < 정 종 안 > < 윤 현 규 >



< 이 경 중 > < 안 성 필 >