

소형 선박용 진자식 횡동요 저감장치의 실선시험

A Sea-Trial Test of a Pendulum-type Mass Driving Anti-Rolling System for Small Ships

문 석 준* · 박 찬 일** · 정 종 안* · 김 병 인** · 윤 현 규***

Seok-Jun Moon, Chan-IL Park, Jong-Ahn Jeong, Byun-In Kim and Hyun-Kyu Yun

Key Words : Ship(선박), Anti-rolling system (횡동요 저감장치), Sea-trial test (해상 실선시험)

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, a sea-trial test on a pendulum-type MD-ARS passively operated is carried out in Suyoung, Busan. After the system is installed on the cabin of the small leisure boat, a series of test is conducted before and after operating the system. Through the test, it is confirmed that the roll rate of the ship is pretty well reduced by the system.

———— 기호 설명 ————

φ : Rolling angle of the ship [rad]
 I : Rotary inertia moment at ship mass center [kgm^2]
 D : Damping coefficient of the ship [Ns]
 W : Ship mass [kg]
 g : Gravitational acceleration [m/s^2]
GM: Metacentric height [m]
 w : Exciting moment by wave [Nm]
 m_i : Mass [kg]
 c_i : Damping ratio [Ns/m]
 k_i : Stiffness [N/m]
 J_c : Mass moment of inertia of m_d about its mass center [kgm^2]

m_d : Moving mass of MD-ARS [kg]
 R : Length of the pendulum [m]
 θ : Angular displacement of m_d [rad]
 T : Natural period [s]

1. 서론

일반적으로 파랑 중에 있는 선박은 6자유도 운동을 한다. 이러한 선박운동의 영향을 인간공학적인 측면에서 보면, 승객에게 불쾌감을 줄 수 있고, 승무원들의 피로가 누적되어 임무수행에 문제가 발생하거나 위험상황에서의 판단 오류 등을 일으켜 안전운항에 장애가 된다. 선박의 대형화, 고속화 및 고급화 추세와 함께 선박의 운동을 줄이기 위하여 자세제어방법에 대한 연구가 다양하게 수행되고 있다[1]. 대표적인 자세제어장비로서는 anti-rolling tank(ART), fin stabilizer, hydrofoil control system 등이 있다. 현재 대형여객선, 고급 요트, 해군 함정, 해경 함정, 해양조사선 등에는

* 한국기계연구원 구조연구부
E-mail: sjmoon@kimm.re.kr

Tel.: 042-868-7428, Fax.: 042-868-7418

** 한국기계연구원 첨단산업기술연구부

*** 한국해양연구원 해양안전방재연구본부

fin stabilizer가 필수적으로 장착되고 있으며, ART는 특수 목적선에 부분적으로 장착되고 있다[2].

레이저 보트, 낚시선 등 소형 선박의 경우 정선 중 횡동요에 의한 운동이 탑승객에게 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 이를 방지하기 위한 장비로서는 ART외에 가동질량을 이용하는 mass driving anti-rolling system (MD-ARS) 등이 있다. 유체를 사용하는 ART에 비해 MD-ARS는 비중이 큰 고체의 질량을 사용하므로 설치 공간의 제약이 적으면 서도 효과는 더 좋은 것으로 알려져 있다.

MD-ARS에 대한 국외에서의 연구는 일본 조선소를 중심으로 체계적으로 수행되고 있다[3]. 중형급 이상의 선박을 대상으로 연구를 수행 중이며, 전기모터에 의해 가동되는 능동형 prototype를 개발한 후, 해양 조사선에 탑재하여 성능을 검증하고 있다. 또한 소형 선박용 MD-ARS에 대한 연구도 진행되어 실용화를 추진하고 있는 것으로 알려져 있다[4]. 국내의 연구로서는 부경대학교에서 모형선을 대상으로 능동형 장비를 수조에서 실험한 내용이 발표되었다[5]. 또한 한국기계연구원에서는 능동형 MD-ARS의 개발을 위한 선행연구로서 anti-windup 현상을 고려한 제어로직 연구가 진행되고 있다[6].

소형 레이저 선박에 적용할 수 있는 MD-ARS는 유지·보수 및 전원공급이 필요 없는 방식을 채용해야 한다. 따라서 능동형보다는 수동형 장비의 개발이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 전원공급이 필요 없는 수동형 MD-ARS를 설계·제작하고, 실선시험을 통해 성능을 검증하고자 한다. 수동형 방식을 구현하기 위해 잘 알려진 단진자 방식을 채용한 MD-ARS를 개발하였다. 개발된 MD-ARS는 2톤급 소형 선박에 탑재되어 해상 시운전을 통해 성능을 검증하였다.

2. 해상 실선시험

2.1 내항에서의 시험

실선시험의 수행을 위해 대상선박의 조종실(cabin) 상부에 횡동요 저감장치를 설치하였다(Fig. 1 참조). 저감장치의 효과도 평가를 위해 관성계측장비(inertial measurement unit)를 조종실에 설치하여 횡동요 각속도(roll rate)등을 계측하였다. 자료 취득은 National Instrument사의 NI6062보드를

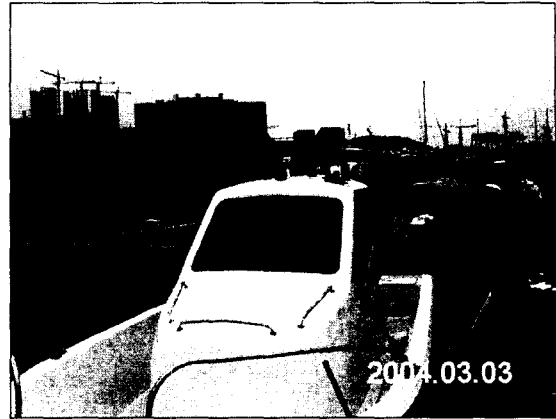


Fig. 1 An Installed Pendulum-Type MD-ARS

사용하였고, 샘플링 주파수는 50Hz로 설정하였다.

부산 수영만 요트 계류장(부두) 근처에서 1차 실험을 수행하였다. 이곳에서는 파도의 영향이 크지 않으므로 인력에 의해 횡동요를 유발시켰다. 좌·우현에서 강제로 10초 동안 횡동요를 유발시킨 후 중지함으로써 자유 횡동요가 발생하도록 하였다. 총 30초 동안 계측하였으며, 저감장치 작동 전 및 후에 대해 각각 4회씩 시험을 수행하였다. 계측된 자료는 Butterworth 필터를 사용하여 0.1 ~ 2Hz사이의 성분만 통과시켰다. 대표적인 시험 2회에 대한 저감장치 작동 전(OFF) 및 후(ON)의 계측 결과를 Fig. 2에 보여주고 있다. 각 세부그림에는 $\pm 4 \text{deg./sec}$ 에서 기준선이 도시되어 있다. 저감장치의 영향으로 20초 후에 횡동요 각속도가 기준선

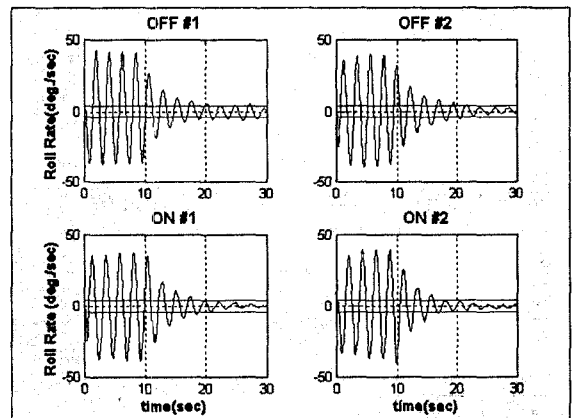


Fig. 2 Filtered Roll Rate Responses of the Ship

안으로 들어오고 있음을 알 수 있다. 효과도를 정량적으로 평가하기 위해 강제동요 10초동안과 마지막 자유동요 10초 동안의 자료를 분리하여 분석하였다. 각각의 경우 최대, 최소 및 RMS치를 산출하여 Table 1에 정리하였다. Table 1을 통해 저감장치 작동 전·후의 결과를 자세히 비교해 보면, 저감장치 작동 후의 강제 동요시 횡동요 수치가 더 큰 반면 마지막 자유 동요시 횡동요 수치는 더 작은 것을 알 수 있다. 즉 저감장치가 잘 작동하고 있음을 확인할 수 있다. 4회의 시험을 평균한 자료를 살펴보면 저감장치 작동 전 횡동요 각속도(RMS)가 24.10deg./sec에서 2.66deg./sec으로 감소하였다. 한편 작동 후에는 25.67deg./sec에서 1.43deg./sec으로 감소하였다. 두 감소비율을 상대 비교하면 저감장치로 인하여 약 50%정도의 횡동요가 감소되었음을 확인할 수 있다.

2.2 외항에서의 시험

2차 시험은 부산 해운대와 동백섬 사이의 해상에서 수행하였다. 파랑중 선박의 기관을 정지시킨 상태에서 저감장치 작동 전 및 후의 횡동요 각속도를 각각 약 8분 동안 3회씩 측정하였다. 저감장치 작동 전의 해상상태는 매우 양호하였다. 반면 저감장치 작동 후에는 안개, 바람, 비(눈) 등 갑자기 해상상태가 악화되어 안전을 위해 기관을 가동시켜 선박을 이동시키면서 측정을 수행해야만 하

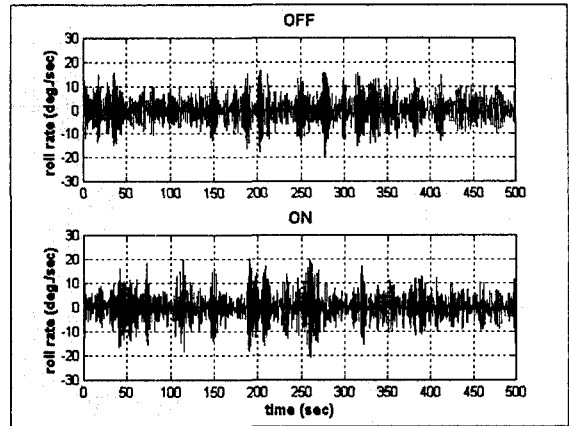


Fig. 3 Filtered Roll Rate Data

였다. 불행히도 해상상태의 변화로 인하여 두 측정 결과를 직접적으로 비교할 수는 없다. Fig. 3은 측정된 횡동요 각속도를 보여주고 있으며, 저감장치 작동 후에 더 높은 레벨을 보이고 있다. 이는 해상상태 악화에 기인한 것이다. 저감장치의 효과를 평가하기 위해 시간영역 및 주파수영역에서 분석을 시도하였으며, 결과를 Table 2에 정리하였다. Table 2를 살펴보면 시간영역에서의 횡동요 각속도 레벨이 저감장치 작동 후의 경우가 더 높은 것을 알 수 있다. 이것은 앞서서도 언급했듯이 해상상태의 악화에 기인한 것이다. 반면 대상 선박의 횡동요 고유주파수에서의 분석된 응답을 보면 저감장치

Table 1 Roll Rates of the Ship in the Near Wharf

(unit: degree/sec)

Test		For the First 10 Seconds			For the Last 10 Seconds		
Condition	No.	Max.	Min	RMS	Max	Min	RMS
OFF	1	40.69	-39.22	26.61	6.02	-6.11	3.54
	2	40.88	-38.83	26.25	4.86	-4.90	2.17
	3	32.51	-32.45	21.52	4.14	-4.40	2.49
	4	33.54	-31.90	22.01	6.26	-4.02	2.44
	Average	36.91	-35.60	24.10	5.32	-4.86	2.66
ON	1	40.59	-38.73	26.09	3.67	-3.72	1.66
	2	41.44	-40.78	25.75	2.43	-2.92	1.14
	3	39.25	-37.58	25.22	3.39	-3.37	1.46
	4	38.03	-41.37	25.61	2.90	-3.42	1.46
	Average	39.83	-39.62	25.67	3.10	-3.36	1.43

Table 2 Roll Rates of the Ship in the Far Wharf

(unit: degree/sec)

Condition	No.	Maximum	Minimum	RMS	Power Density at Dominant Frequency
OFF	1	17.98	-18.17	5.46	35.05dB @ 0.47Hz
	2	18.29	-18.27	5.91	36.24dB @ 0.47Hz
	Average	18.14	-18.22	5.69	35.65dB
ON	1	20.25	-20.95	5.54	35.02dB @ 0.49Hz
	2	33.16	-35.26	6.28	35.77dB @ 0.46Hz
	Average	26.71	-28.11	5.91	35.40dB

작동 후가 더 낮은 것을 볼 수 있다. 이것은 해상 상태의 악화에도 불구하고 선박의 주요 횡동요 성분이 저감장치의 작동으로 감소된 것을 말해주고 있다. 정량적으로는 RMS 기준으로 약 10%, peak 기준으로 약 30% 이상 횡동요 각속도가 감소된 것을 확인할 수 있다.

Mass Driving ARS 설계기술 개발" 사업 과제로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다. 또한 참여기업인 (주)어드밴스드 마린테크의 협조에 감사드립니다.

3. 고찰 및 결론

본 연구에서는 소형 선박의 횡동요 저감을 위해 수동형 전자식 횡동요 저감장치를 설계·제작하여 해상 실선시험을 수행하였다. 1차 해상시험인 계류장 근처에서의 시험으로부터 약 50% 정도의 횡동요 감소효과를 확인할 수 있었다. 2차 해상시험은 해상상태의 급변으로 인하여 절대적인 효과를 비교할 수는 없었으나, 자료분석을 통해 상대적인 효과를 평가하였다. 그 결과 약 10 ~ 30% 정도의 효과가 있는 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구에서 수행된 장비는 소형 레저보트, 낚시선박 등에 적용할 수 있을 것으로 판단되며, 실용화/상용화를 위한 연구가 계속되고 있다.

추후 다른 방식의 수동형 및 능동형 횡동요 저감장치에 대한 연구가 진행될 예정이다.

후 기

본 연구는 과학기술부 민·군겸용 기술개발사업 중 "파랑중 수상선의 자세제어장비 기술개발 -

참 고 문 헌

- (1) 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
- (2) Baitis, A. E., and Schmidt, L.V., 1989, "Ship Roll Stabilization in the U.S. Navy", *Naval Engineers Journal*, Vol.5.
- (3) 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 (in Japanese)
- (4) 谷田宏次, 1996, "船體動搖低減に對するアクティグコントロールの研究開發動向", *Techno Marine*, Vol.800, pp.119-124
- (5) 채규훈, 김영복, 2003, "LMI를 이용한 선박 횡동요 제어에 관한 실험적 연구", *한국해양공학회지* 제17권 제2호, pp.60-66
- (6) 문석준, 2003, "선박의 횡동요 저감장치를 위한 제어로직 설계", *한국소음진동공학회 춘계학술대회*, pp.725-731