

부가질량을 이용한 선박용 횡동요 저감장치에 대한 실험적 연구

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

문 석 준* · 김 병 인** · 이 성 휘** · 함 상 용** · 정 종 안* · 이 경 중***

Seok-Jun Moon, Byung-In Kim, Sung-Hwi Lee, Sang-Yong Ham, Jong-Ahn Jeong and Kyung-Joong Lee

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 cargoes 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 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 system.

1. 서 론

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, 고급요트, 해군 함정, 해경 함정, 해양조사선 등에는 fin stabilizer가 필수적으로 장착되고 있으며, ART는 특수 목적선에 부분적으로 설치되고 있다[2].

레저 보트, 낚시선 등 소형 선박의 경우 정선 중 횡동요에 의한 운동이 탑승객에게 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 이를 방지하기 위한 장비로서는 ART 외에 부가 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 적으면서도 효과는 더 좋은 것으로 알려져 있다.

MD-ARS에 대한 국외에서의 연구는 일본 조선을 중심으로 체계적으로 수행되고 있다[3,4]. 국내의 연구로서는 부경대학교에서 모형을 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].

본 연구에서는 소형 레저 선박에 적용할 수 있는 수동형 및 능동형 MD-ARS를 설계·제작하고, 2톤급 소형 선박에 탑재하여 해상시운전을 통해 성능을 비교·검증하였다. 수동형 MD-ARS로는 진자식과 질량-스프링 방식을, 능동형으로는 모터 구동 방식 장치를 개발하였다.

2. 수동형 횡동요 저감장치

본 연구에서는 수동형 MD-ARS로서 진자식과 질량-스프링 방식을 고려하였으며, 진자식 MD-ARS에 대한 개발 및 성능 검증결과는 지난 학술대회에서 발표하였다[7].

진자식 MD-ARS의 경우 대상선박의 횡동요 주기와 MD-ARS의 주기를 일치시키기 위해 일정한 크기의 곡률 반경이 필요하게 된다. 필요한 곡률 반경에 의해 진자식 MD-ARS의 높이가 결정되게 된다. 선박

* 한국기계연구원 구조연구부

E-mail: sjmoon@kimf.re.kr

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

** 한국기계연구원 첨단산업기술연구부

*** 한국해양연구원 해양안전방재연구본부

의 외관 및 디자인은 상품성 측면에서 매우 중요하며, 따라서 MD-ARS의 높이는 가능하면 낮게 하는 것이 요망된다. 하지만 전자식 MD-ARS는 일정한 높이의 한계가 존재하게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위해 질량-스프링 방식의 MD-ARS를 설계·제작하였다. MD-ARS의 고유주기를 선박의 횡동요 주기와 일치시키기 위해 질량 및 스프링의 강성을 조합하였다. 먼저 가동질량을 전자식과 같은 30kg으로 고정시키고 스프링의 강성 및 수량을 결정하였다. Fig. 1은 대상 실선에 탑재된 광경을 보여주고 있다.

질량-스프링 방식 MD-ARS의 성능시험은 전자식 MD-ARS와 동일한 방법으로 수행되었다. 다만 시험 장소가 경기도 화성시 전곡항 및 인근 해역으로 변경되었다. 계류장 근처에서 1차 실험을 2004년 6월에 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 5회씩 시험을 수행하였다. 효과도를 정량적으로 평가하기 위해 강제동요 10초동안과 마지막 자유동요 10초 동안의 자료를 분리하여 분석하였다. 각각의 경우 RMS 값을 산출하여 Table 1에 정리하였다. 5회의 시험 자료를 살펴보면 저감장치 작동 전 횡동요 각속도 (RMS)가 22~24deg./sec에서 3~6deg./sec으로 감소하였다. 한편 작동 후에는 20~23deg./sec에서 0.5~3deg./sec으로 감소하였다. 저감 장치 작동 전·후의 처음 10초와 최종 10초 사이의 감소비율의 평균치는 20.4%에서 7.8%로 감소되었음을 알 수 있다. 즉 저감장치로 인하여 약 60%정도의 횡동요가 감소되었음을 확인할 수 있다.

2차 시험은 제부도와 대부도 앞바다 해상에서 수행하였다. 파랑중 선박의 기관을 정지시킨 상태에서 저감장치 작동 전 및 후의 횡동요 각속도를 각각 약 8분 동안 3회씩 계측하였다. 저감장치의 효과를 평가하기 위해 시간영역 및 주파수영역에서 분석을 시도하였으며, 결과를 Table 2에 정리하였다. Table 2를 살펴보면 시간영역에서의 횡동요 각속도 레벨의 최대값이 8~10deg./sec가 5~9deg./sec로, 최소값이 7~10deg./sec가 4~9deg./sec로 감소되었음을 알 수 있다. 또한 RMS 레벨도



Fig. 1 Mass-Spring Type MD-ARS Installed

Table 1 Roll Rates in the Near Wharf
(unit: degree/sec)

Test		First 10 Seconds	Last 10 Seconds	Ratio(%) B/A
Cond.	No.	RMS(A)	RMS(B)	
OFF	1	22.22	5.48	25
	2	23.26	3.86	17
	3	22.28	3.73	17
	4	23.48	5.19	22
	5	23.61	4.88	21
	Ave.			
ON	1	21.04	1.87	9
	2	20.49	1.30	6
	3	20.71	0.47	2
	4	22.26	2.39	11
	5	20.63	2.33	11
	Ave.			
D/C (%)				38.2

Table 2 Roll Rates of the Ship in the Far Wharf
(unit: degree/sec)

Cond.	No.	Max.	Min.	RMS	Power Density
OFF	1	9.55	-9.55	1.85	25.8dB @0.47Hz
	2	6.87	-7.40	1.81	25.7dB @0.47Hz
	3	8.57	-8.60	2.34	29.8dB @0.47Hz
	Ave.(A)	8.33	-8.52	2.00	27.1dB
ON	1	5.56	-6.83	1.58	24.4dB @0.47Hz
	2	8.38	-8.75	1.84	27.4dB @0.47Hz
	3	5.05	-4.60	1.14	21.8dB @0.47Hz
	Ave.(B)	6.33	-6.73	1.52	24.5dB
B/A(%)		76	79	76	2.6dB

1.5~2.5deg./sec에서 1.0~2.0deg./sec로 저감되었음을 알 수 있다. 따라서 시간영역에서의 분석결과 약 20~25% 정도의 횡동요 저감효과를 확인하였다. 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. 이 결과를 전자식 MD-ARS와 비교를 위해 사양을 살펴보면, 두 장치 모두 30kg의 가동질량을 사용하였으며, 허용 거리(stroke)로 동일하다. 또한 내항에서의 저감효과는 50~60%로 거의 일정하고, 외항에서의 저감효과도 20~30%로 거의 동일함을 알 수 있다. 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 전자식보

다는 외관상 장점이 있는 것으로 판단된다.

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. 중·대형 선박인 경우 AC 전압이 공급되므로 AC 모터 또는 유압식 액추에이터의 사용이 가능하다. 유지·보수 및 설치 위치 등의 관점에서 검토한 결과 AC 모터가 적합한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서도 AC 서보모터를 활용하여 능동형 MD-ARS를 설계·제작하였다. 모터의 회전성분을 부가 가동질량의 직선운동으로 변환시키기 위해서는 적절한 변환기구를 사용해야 한다. 이러한 변환기구로서는 timing belt, ball screw, rack-pinion 등이 있으며, 본 연구에서는 중·소형 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 제어기를 제작하여 적용하였다. 제어계인은 수치실험 및 소형 mock-up을 이용하여 적정 범위를 산출한 후 현장에서 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 해역이며, 2004년 7월 8일 ~ 10일에 수행되었다. 장마기간이어서 시험조건이 수동형 MD-ARS 환경과는 상이했으며, 비바람에 의한 영향이 많은 조건이었다. Fig. 2는 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. 좌·우현에서 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. 3은 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 자유동요 10초 동안의 자료를 분리하여 분석하였다.

횡동요 RMS치를 산출하여 Table 3에 정리하였다. Table 3을 통해 저감장치 작동 전·후의 결과를 자세히 비교해 보면, 저감장치가 잘 작동하고 있음을 확인할 수 있다. 저감장치 작동 전 횡동요(RMS)가 5.5~6.5deg.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 자유동요 실험을 통해 능동형 MD-ARS가 횡동요를 약 70%이상 저감할 수 있음을 확인할 수 있었다.

2차 외항에서의 시험은 제부도와 대부도 앞바다 해상에서 수행하였다. 파랑중 선박의 기관을 정지시킨 상태에서 저감장치 작동 전 및 후의 횡동요 각속도를 각각 약 8분 동안 2회씩 계측하였다. 대표적인 시험결과를 Fig. 4에 수록하였으며, Fig. 4(a)는 저감장치를 설치한 후 작동을 하지 않았을 경우를, Fig. 4(b)는 저감장치를 작동시킨 경우의 결과를 보여 주고 있다. 횡동요 및 횡동요 속도가 줄어들었음을 정성적으로 확인할 수 있다. 시험결과와 정량적인 수치를 RMS 레벨로 Table 4에 정리하였다. Table 4를 살펴보면 시간영역에서의 횡동요 각속도 레벨의 약 18%이 감소한 반면 횡동요 레벨은 약 50%정도 감소하였음을 알 수 있다. 내항에서의 시험결과와 달리 이런 차이를 보이고 있는 해상의 불규칙한 파도에 기인한 것으로 판단된다. 시험 당일 발생한 계측시스템의 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 70%이면서 저감량은 약 1.5배 이상임을 확인되었다.



Fig. 2 Active MD-ARS Installed

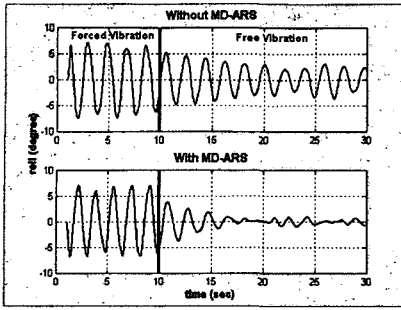


Fig. 3 Testing Results in the Near Wharf

Table 3 Roll Responses in the Near Wharf
(unit: degree)

Cond.	Test No.	First 10 Seconds (A)	Last 10 Seconds (B)	Ratio(%)	
				B/A	
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.				32.18(C)
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.				8.65(D)
	D/C(%)				26.9

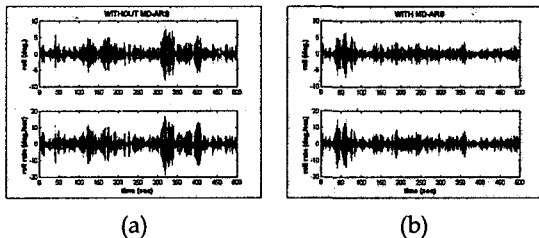


Fig. 4 Testing Results in the Far Wharf

Table 4 Ship Responses in the Far Wharf

Cond.	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

4. 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 자유동요 시험과 해상 시험을 통해 성능을 검증·평가하였다. 자유동요 시험에서는 약 50~70%의 횡동요 저감효과를 확인할 수 있었으며, 파랑중 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·군겸용 기술개발사업 중 "파랑중 수상선의 자세제어장비 기술개발 - Mass Driving ARS 설계기술 개발" 사업 과제로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

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
- (7) 문석준, 박찬일, 정종안, 김병인, 윤현규, 2004, "소형 선박용 진자식 횡동요 저감장치의 실선시험", *한국소음진동공학회 춘계학술대회*, pp.438-441