

조타장치 제어에 의한 횡동요 감소 효과

최찬문 · 이창헌* · 안장영¹ · 芳村 康男²

제주대학교 해양과환경연구소, ¹제주대학교 해양과학대학 해양산업경찰학과,
²북해도대학대학원 수산과학연구원 해양생물자원과학부

Effects for reduction of roll motion by the control of steering gear

Chan-Moon CHOI, Chang-Heon LEE*, Jang-Young AHN¹ and Yasuo YOSHIMURA²

Marine and Environmental Research Institute, Jeju National University, Jeju 690-968, Korea

*¹Dep't of Marine Industrial and Maritime Police, College of Ocean Science,
Jeju National University, Jeju 690-756, Korea*

*²Division of Marine Bioresource and Environmental Science, Graduate School of
Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate 041-8611, Japan*

Reduction of ship's rolling is the most important performance requirement for improving the safety of the crew on board and preventing damage to cargo as well as improving the comfort of the ride. It is a common experience for mariners, to see that steering with a rudder generally induces rolling of the ship, though the original aim of the rudder is to keep the ship's heading to the required course. At the first stage, when a rudder is steered, usually a ship heels in an inward direction, due to the roll moment acting on the rudder. At the next stage in steering, the main heel may change to an outward. This coupling between rudder and roll motion has become an attractive problem from the point of view of roll stabilization using the rudder, because it is a natural in sight that if the rudder action is skillfully related to the change of roll as well as to the course deviation, the roll can be reduced to a certain degree. The main aim of this paper is to discuss the results of the actual full-scale sea trials carried out on steer gear No.1 and No.1 · 2, the individual quarter-master and to make clear their statistical properties, using the actual data which included measurement of roll angle, roll rate and the comparative tests were carried out immediately after each other, in order to minimize any statistical variation in sea conditions. It can be concluded that the steer gear No. 1 · 2 reduced the roll motion on average by about 21% in comparison with the No.1 and confirmed the some difference as per a ability of quarter-master's maneuver.

Keywords: Roll stabilization reduction, Steering gear, Rudder, Roll angle, quarter-master's maneuver

*Corresponding author: leech@jejunu.ac.kr, Tel: 82-64-754-3491, Fax: 82-64-756-3483

서 론

파랑 중에 있는 선박은 6 자유도 운동을 한다. 이러한 선박 운동의 영향이 인간공학적인 측면에서 보면 탑승자에게 불편감을 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 동요를 줄이기 위하여 자세 제어방법에 대한 연구가 다양하게 수행되고 있다 (Sellars and Martin, 1992).

횡동요 (rolling)는 6 자유도 운동 가운데에서 가장 주된 운동이며, 선박들이 근본적으로 횡동요에 대하여 낮은 감쇠특성을 갖고 있기 때문에 안정성 측면에서 볼 때에 가장 많이 제어되어 왔다. 횡동요를 줄이는 세 가지 방법은 감쇠계수 (damping coefficient)를 증가시키는 방법, 선박의 고유주기를 변화시키는 방법, 기진력 (Exciting force) 및 모멘트를 감소시키는 방법 등이 있다 (bhattacharyya Rameswar, 1978).

횡동요 감쇠장치로는 bilge keel, fin-stabilizer 및 active and passive anti-rolling tank (A.R.T) 등이 있는데, 이러한 장비들은 넓은 공간과 고 비용이 발생하여 어선 및 소형선박에서는 설치가 불가능한 문제들을 가지고 있다.

일반적으로 총톤수 500톤 이상 모든 선박은 비자기적인 수단으로 선수를 결정하여 나타낼 수 있어야 하고, 주 조타 위치에서 조타수가 명백히 읽을 수 있는 자이로컴퍼스 (gyro compass) 설치를 '74 SOLAS (2008)에서 강제적으로 요구하고 있다.

자이로컴퍼스의 자동조타는 바람, 파도 등의 영향을 받아 선박은 설정 침로로부터 벗어난 편각을 없애기 위해 사용한 타를 '복원타' 라고 하며 또한, 반대쪽으로 넘어가는 것을 억제하는 것을 '제동타' 라고하고, 고장이 거의 없는 기계계통은 단일계열로 공통으로 사용하지만 연산제어장치인 전기 계통은 양계열로 1호기 (No.1), 2호기 (No. 2) 어느 것이든 바꿔 사용하는 것이 가

능하다. 통상적인 항해 시에는 어느 한쪽만 사용하지 않지만 입항 시 및 좁은 수로에서는 자동조타를 하지 않고 수동조타를 하면서 1·2호기를 같이 사용하고 있다.

특히, 타 (rudder)에 의한 횡경사 제어는 조선자 간에도 개인별 조타능력에 따라 다르며, 선박의 침로변경을 위해 조타하였을 경우 횡동요가 유발 되는 것은 잘 알려진 사실이다. 이러한 특성을 역으로 이용하여 조타를 통해 선수동요 뿐만 아니라 횡동요 감소를 시키는 것에 관한 연구는 Cowley (1974) 시작으로 Oda et al. (1991; 1996), Kim (2002), Yoshimura et al. (2003), Lee et al. (2005) 등에 의해서 연구가 매우 활발하게 이루어져 왔지만, 현재까지는 수조 실험 및 수치해석을 통해서 시뮬레이션에 의한 횡동요 감소 정도를 도출했을 뿐, 해상에서 실선시험을 통해서 어느 정도 영향이 미치는 지 연구된 바는 거의 없다.

그래서 본 연구에서는 선박의 안전 운항에 관한 기초적 자료를 얻기 위한 목적으로, 시험선을 이용하여 자동 조타 (auto-pilot)로 항해 중, 1호기 및 1·2호기를 병행 작동하면서, 조타수 개인별 조타능력과 함께 횡동요 감소 효과를 정량적으로 검토 · 분석하였다.

재료 및 방법

이론

조타를 했을 때 선박의 횡동요 운동방정식은 선형화하면 식 (1) 처럼 나타낼 수 있다 (Yoshimura et al., 2003).

$$(I_{xx} + J_{xx})\ddot{\phi} - K_{\phi}\dot{\phi} + \overline{GM}mg\phi = K_{\beta}\beta + K_r r + K_{\delta}\delta \quad (1)$$

여기에 $I_{xx} + J_{xx}$, ϕ , β , r , δ 는 관성모멘트, 부가관성모멘트, 횡동요각, 사향각, 선회각속도, 타각으로 표시하며, K_{β} , K_r , K_{δ} 는 각각의 사향, 선회, 타각에 비례하는 유체력의 선형계수이며 K_{ϕ} 는 선박의 조종 유체력을 식 (2) 처럼 나타낼 수 있다.

$$K_{\delta} = \left(\frac{\rho}{2} L d^2 U^2\right) \left(\frac{Z_R}{d}\right) (1 + a_H) \left(\frac{A_R}{L_d}\right) f_a \left(\frac{U_R}{U}\right)^2 \quad (2)$$

$Z_R, a_H, A_R/L_d, f_a, U_R$ 는 선박의 중심과 타의 중심까지이 거리, 선체와 타의 간섭계수, 타면적비, 타의 양력계수, 타의 유입속도를 나타낸다.

또 K_{ϕ} 는 횡동요 감쇠계수이며 이것을 감쇠곡선의 선형항 a_0 로 나타내면 식 (3) 처럼 표현할 수 있다.

$$K_{\phi} = -\frac{2a_0}{\pi} \sqrt{gm \overline{GM} (I_{xx} + J_{xx})} \quad (3)$$

타각(δ)을 조작 했을 때 횡동요 각속도($\dot{\phi}$)에 비례하여 작동되므로 이때의 감쇠계수는 식 (4) 처럼 나타낼 수가 있다.

$$a = a_0 + F_{\eta}^2 \sqrt{\frac{g}{m' \overline{GM} (I_{xx}' + J_{xx}')}} \left(\frac{Z_R}{d}\right) (1 + a_H) \left(\frac{A_R}{L_d}\right) f_a \left(\frac{U_R}{U}\right)^2 \quad (4)$$

식 (4)의 두 번째 항은 조타에 의해서 횡동요 감쇠의 증감을 알 수 있으며 주로 $Z_R, A_R/L_d, f_a, U_R^2$ 에 비례해서 크게 됨을 이론적으로 알 수 있다.

분석 방법

시험선은 제주대학교 실습선 아라호였으며 Fig. 1은 타 및 자이로 콤파스 (C. Plath : NAVIG AT XII/Mod. 10)의 구성도를 나타낸 것이다. 제원은 Table 1과 같으며 복판평형 타로서 면적 및 타면적비, 종횡비는 7.92m² 및 1/34.1, 1.55, 용량은 8.5T-M 이다.

선체가 파랑 등의 외부적인 요인에 의한 동적 특성을 예측하기 위한 측정 장치는 미국 Crossbow사에서 제작된 Magnetic compass VG 440CA 경사계를 사용하였고 구성요소는 Table 2와 같으며, 선수 방향각과 횡·종 동요 경사각 및 각속도 등을 동시에 측정할 수 있는 기기이다.

본 연구에서는 Crossbow에서 제공하는 소프트웨어를 이용하여 불규칙 파에서 자동 조타 중, 해상 실험을 통해 경사계에 의해서 예측된 횡동

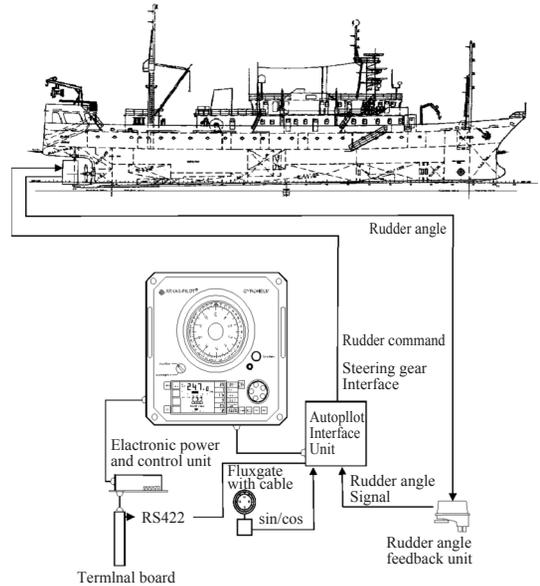


Fig. 1. Circuit diagram of Auto-pilot the experimental ship M/S A-RA.

Table 1. Principal particulars of the experimental ship M.S A-RA

Kind of ship	Fishing vessel
Name of ship	M.S A-RA
L.O.A	68.50m
Lpp	60.00m
M.L.D	12.40m
Depth	7.30m
Full load draft	4.76m
Gross tonnage	990ton
Main engine	2,600ps
RPM/pitch	730/36
Ship's draft	fore 3.2m after 4.6m
A_R	7.92m ²
A_R/L_d	1/34.1
Aspect ratio	1.55
Steering gear capacity	8.5 T-M

요각, 횡동요 각속도의 데이터를 주파수 25Hz, 측정시간 간격은 0.036sec. 15분 간 Fig. 2처럼 경사계의 출력 단자를 RS 232 시리얼 통신케이블을 통해 컴퓨터에 저장하였다. 이 값들의 통계분석을 수행하여 최대 (maximum), 유의 (significant), 표준편차 (standard deviation) 등과 같은 대

표값, 또한 스펙트럼을 통해서 횡동요 주기 및 응답을 1호기 및 1·2호기 병행 작동했을 때, 개인별 조타했을 때 횡동요 감소에 미치는 영향을 정량적으로 비교 분석하였다.

자동조타 실험에 앞서 1호기 단독 및 1·2호기를 병행 작동했을 때 타의 각속도를 파악하기 위해서, 수동조타로 4회에 걸쳐 동일한 조건인 선속 10.0 kn' ts로 전진 중 타를 한쪽 현 35°로부터 반대 현 35°까지 전타시켰다. 이때 1호기 단독인 경우 37.15sec, 그리고 1·2호기 동시에 했을 때는 19.65sec로 나타나, 병행의 경우가 2배

정도 빨랐다.

Table 3은 실험 때 해상 상태를 나타낸 것이며, 가능한 동일 조건을 주기 위해서 선수방위각 및 선속을 일정하게 유지하면서 2차에 걸쳐 1호기만 작동했을 때와 병행(1·2호기)하였을 때, 조타수 별로 나누어서 계측하여 그 결과를 도출하였다.

결과 및 고찰

Fig. 3은 1차 시험 때 풍향, 풍속은 NW, 7.10m/s, 선속 11.5 kn' ts, 선수방위각 287°으로 항진 중 1차 때 1호기 및 1·2호기 횡동요각에 대한 시계열을 나타낸 것으로 결과는 최대 좌·우현 횡동요 각은 1.939°, 2.109° 및 1.686°, 1.126° 유의 횡동요각은 0.827°, 0.660°를 얻었다. 이때 평균 횡동요 주기는 7.304, 7.783sec로 나타났고, 표준편차는 각각 0.541, 0.429였다.

Fig. 4는 2차 때 풍향, 풍속은 NW, 7.18m/s, 선속 13.0 kn' ts, 선수방위각 128°으로 항해 중 1호기, 1·2호기 동시에 자동조타 했을 때 결과를 나타낸 것으로 1차 때와 비슷한 경향으로 최대 좌·우현 횡동요각은 4.356°, 4.916° 및 3.702°, 4.699° 그리고 유의 횡동요각은 2.420°, 1.916°이었으며, 표준 편차 및 평균 횡동요 주기는 1.417, 1.118 및 7.217, 7.683sec였다.

1, 2차 시험을 통한 결과, 1·2호기를 동시에 작동하여 자동조타로 항주했을 때 유의 횡동요각의 값은 1호기 단독으로 사용했을 때보다 0.504° 및 0.336° 각각 낮게 나타났고 평균 횡동요 주기는 0.479, 0.467sec길었다. 또한, 표준편차도 0.205 적게 나타나므로 동일한 조건에서 타

Table 2. Specifications inclinometer sensor system using in experimental ship M/S A-RA

Specification of magnetic compass		
Model	VG440CA , Crossbow	
Dimensions (L × W × L)	7.62 × 9.53 × 6.43cm	
Weight	580g	
Supply voltage	9 to 42 V	
Heading	Accuracy	< 2.0
	Resolution	< 0.1°
	Range	± 180°
Attitude	Range: roll, pitch	± 180°, ± 90°
	Accuracy	< 0.75°
	Resolution	< 0.1°
Connector	15-pin "D" male	

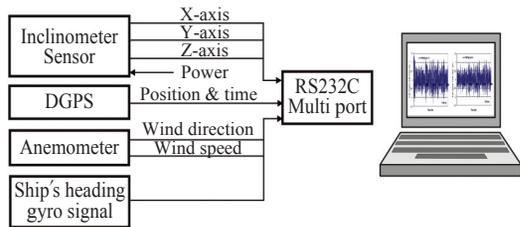


Fig. 2. Block diagram of measurement system for experiment.

Table 3. Sea condition during the field experiment

Item	Date	Heading angle	Position		Ave. speed	Weather	Beaufort	Ave. Wind	
			Latitude	Longitude				Direction	Speed
1st	2008.9.21 08:00 – 10:00	287°	35° 27.6' N	124° 12.8' E	11.5kn' ts	bc	4	NW	7.10m/s
2nd	2008.9.29 21:00 – 22:00	128°	34° 04.8' N	125° 43.2' E	13.0kn' ts	cloudy	4	NW	7.18m/s

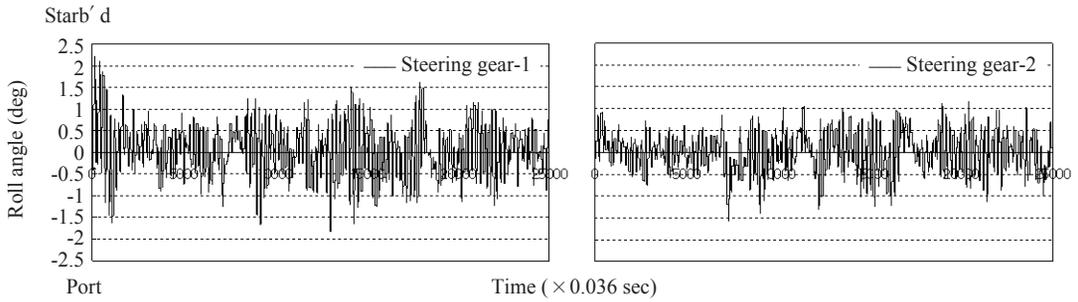


Fig. 3. Time histories of roll angles in irregular wave using steering gear No.1, No. 1 and No. 1·2 (1st test).

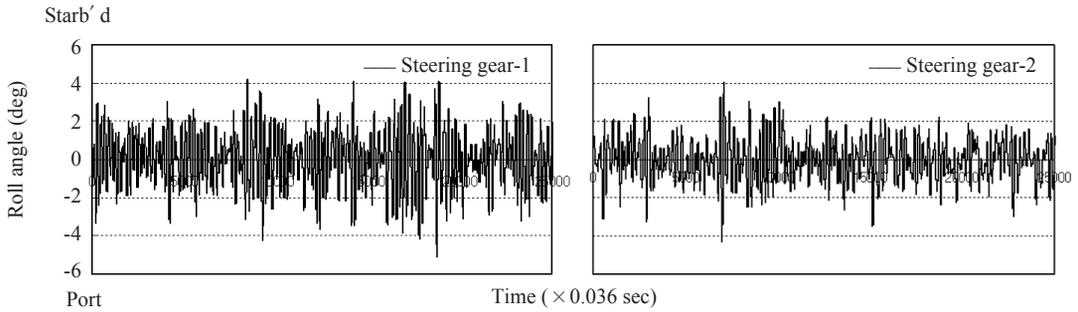


Fig. 4. Time histories of roll angles in irregular wave using steering gear No.1, No.1 and No.2 (2nd test).

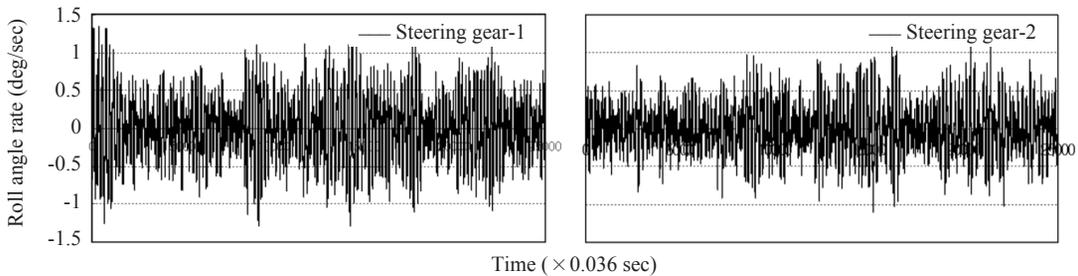


Fig. 5. Time histories of roll angles velocity in irregular wave using steering gear No.1 and No. 1·2 (1st test).

각속도에 따라 선체에 미치는 횡동요각의 크기가 변한다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 5는 1차 때 측정된 횡동요 각속도 데이터로 시간에 따라 1호기, 1·2호기 동시에 자동조타했을 때 결과를 나타낸 것이다. 이 값들을 가지고 통계해석을 수행한 결과는 최대 좌·우현 횡동요 각속도는 1.31, 1.35 및 1.10, 1.15deg/sec 표준편차는 0.393, 0.311이었다.

Fig. 6은 2차 때 측정된 횡동요 각속도 데이터

를 시간에 따라 1호기, 1·2호기 동시에 자동조타했을 때 결과를 나타낸 것이다. 이 값들을 가지고 통계해석을 수행한 결과는 최대 좌·우현 횡동요 각속도는 3.67, 3.73 및 3.15, 3.33deg/sec 그리고 표준 편차 값은 1.093, 0.811이었다.

1, 2차 시험을 통한 결과는 1·2호기를 동시에 작동한 후 자동조타로 항주했을 때 최대 좌·우현 횡동요 각속도는 1호기 단독으로 사용했을 때보다 1회 때는 0.04, 0.05deg/sec 그리고 2회 때

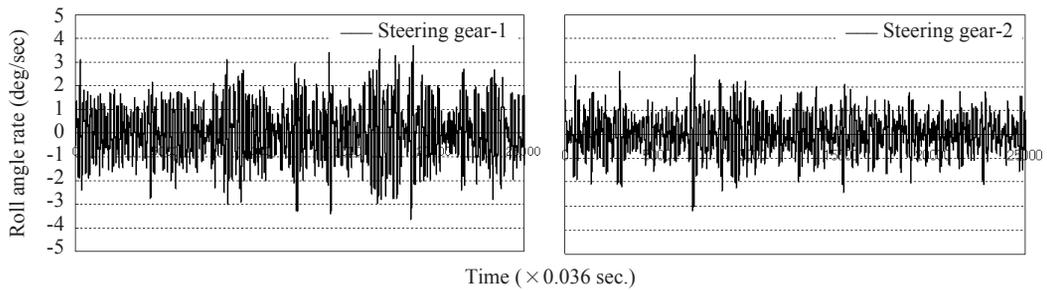


Fig. 6. Time histories of roll angle velocity in irregular wave using steering gear No.1, No. 1 and No. 2 (2nd test).

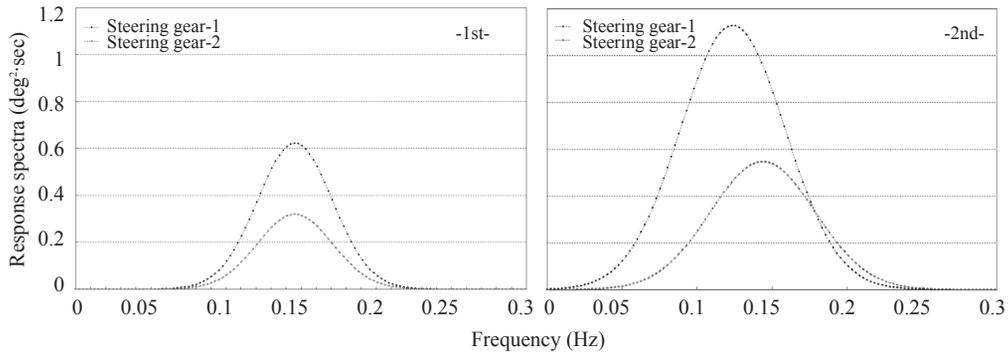


Fig. 7. Comparison of frequency response of roll angles in irregular wave using steering gear No. 1 and No. 1·2 (1st & 2nd test).

Table 4. Results of statistical analysis for the experimental ship M/S A-RA

Condition of steering gear	No.	Roll angle			Response spectra at dominant frequency
		Significant (deg.)	Standard deviation	Average period (sec)	
No. 1	1	0.827	0.541	7.304	0.622 @ 0.145Hz
	2	2.420	1.417	7.217	1.128 @ 0.126Hz
	Average(A)	1.624	0.979	7.261	0.875 deg ² · sec
No. 1 · 2	1	0.660	0.429	7.783	0.719 @ 0.145Hz
	2	1.916	1.118	7.683	0.547 @ 0.143Hz
	Average(B)	1.288	0.774	7.733	0.634 deg ² · sec
△ : Increase					
▽ : Decrease		▽0.336	▽0.205	△0.472	▽ 0.241

는 0.06, 0.18deg/sec 정도 빠른 것으로 나타났다. 이것은 횡동요각의 결과와 비슷한 경향으로 타 각속도가 빠르면 빠를수록 그 응답이 빨리 전달 되는 것으로 생각된다.

Fig. 7은 1, 2차 때 측정된 횡동요각 자료로부터 횡동요 감소 효과를 평가하기 위해서 시간영

역 및 주파수 영역에서 분석한 결과를 나타낸 것이다.

1차 때의 1호기, 1·2호기 동시에 자동조타 했을 때 peak를 나타내는 dominant frequency 0.145Hz, 0.145Hz에서의 응답은 각각 0.622, 0.319 deg² · sec이고 2차 때 dominant frequency 0.126Hz,

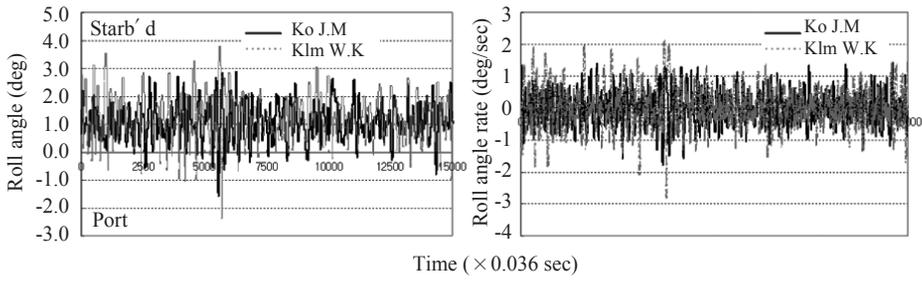


Fig. 8. Time history of roll angles and velocity in irregular wave using manual steering by quartermaster of Ko J.M and Kim W.K.

Table 5. Results of statistical analysis of Roll angles by individual quarter-master with steering gear No.1

Condition of steering gear	Person name	Roll angle				
		Maximum		Significant (deg.)	Standard deviation	Average period(sec)
		Port (deg)	Starboard (deg)			
Manual	Kang J.O	3.367	1.828	1.828	1.048	6.909
	Ko S.C	1.818	3.510	1.621	0.815	6.781
	Kim W.G	2.406	3.823	1.798	0.974	7.250
	Ko J.M	1.593	2.873	1.107	0.661	7.234

0.143Hz에 대한 응답은 $1.128, 0.547\text{deg}^2 \cdot \text{sec}$ 로 1·2호기 동시에 자동조타 했을 때가 더 낮았다.

Table 4는 1, 2차 통계분석결과를 정리하여 나타낸 것으로, 횡동요 각에 대한 평균유의 횡동요 각 및 표준편차의 값은 $0.336^\circ, 0.205$, dominant frequency에서도 $0.241\text{deg}^2 \cdot \text{sec}$ 정도로 자동조타 항진 중 타기를 1·2호기 동시에 작용했을 때가 적게 나타났다. 또한, 평균 횡동요 주기에서도 약 0.472 sec 정도 늦었다.

Fig. 8은 조타수 개인별 (Kim W.K : Ko J.M) 횡동요각 및 각속도에 대한 시계열을 나타낸 것으로 좌·우현 최대 횡동요각은 $2.406^\circ, 3.823^\circ$ 및 $1.593^\circ, 2.873^\circ$ 그리고 각속도는 2.830, 2.130 및 1.790, 1.440sec, 또한 표준편차에서도 각각 0.389, 0.294으로 나타났다.

Table 5는 자동조타 때처럼 동일한 해상상태 및 조건 하에서 2회에 걸쳐 조타수 Kang J.O : Ko S.C, Kim W.K : Ko J.M의 수동 조타에 의한 횡동요각에 분석방법은 조타기에 의한 것과 동일한

게 통계 분석하였으며 그 결과를 정리하여 나타낸 것이다. 유의평균 횡동요 각에서도 개인별의 차이는 $0.2^\circ - 0.6^\circ$ 그리고 표준편차 및 평균주기에서도 $0.233 - 0.313, 0.016 - 0.128$ sec. 미소한 차이를 보였다.

이상의 개인별 조타능력을 분석한 결과 동일한 외부조건 하에서 선체에 미치는 횡동요를 증감시킬 수 있다고 판단된다.

횡동요 감소효율은 식 (5)에 의해 평가하였다. (Oda, H. et. al., 1991; 1996)

$$\text{Roll Reduction (\%)} = \frac{AP - ARR}{AP} \quad (5)$$

여기에 AP, ARR는 자동 조타 중 1 및 1·2 호기를 작동했을 때의 횡동요각 표준편차를 나타내며, Table 3 및 4를 토대로 식 (5)에 의한 1, 2차 때의 횡동요 감소 효율 평가는 각각 20.70%, 21.10%로 평균적으로 20.94% 효과를 보였으며, 동일한 방법으로 조타수 간 감소 효율은 22.23%,

32.14%이었다.

이상의 횡동요각 데이터 분석을 통해 상대적인 조타에 의한 감소효과가 20% 이상으로 평가되어, Bang (2000), Choi and Ahn (2009)에 의한 능동형 감요 수조 45% 보다는 낮았으나, 수동형 효과 16% 보다 높게 나타났다. 그리고 Lee, S.K et al. (2005)에 의한 조타속도를 빨리 하므로 횡요 효율을 감소시킬 수 있다는 것을 해상실험을 통해서 명확하게 알 수 있었으며, 횡동요 주기가 클수록 횡동요 감소효율이 큰 것으로 나타나 Han et al. (2004)에 의한 결과와 일치하였다.

결 론

타에 의한 횡경사 제어는 조선자에 의해 경험적으로 알려져 있는 것처럼 조타 직후는 내방경사, 다음은 선박의 선회운동에 의한 외방횡경사로 경사방향이 역으로 되기 때문에 적절하게 조타할 필요가 있다. 이를 잘 이용한다면 stabilizer를 설치한 효과를 갖게 되므로 선체의 횡동요를 줄일 수 있는 가능성을 보였다. 본 연구에서는 조타장치 제어에 따른 저감효과 정도를 분석하기 위해 해상에서 2회에 걸쳐 시험한 횡동요각, 횡동요 각속도 데이터를 정량적으로 해석한 결과 능동형 감요 수조 (active A.R.T)보다는 낮았고 수동형 감요 수조 (passive A.R.T)와 비교해서는 5% 정도 높은 20% 정도 효과가 있었다. 그리고 조타수 개인별 조타능력에 따라 횡동요 감소효율을 높일 수 있는 개인별 차이를 보였다. 그리고 횡동요 주기가 클수록 횡동요 감소효율이 큰 것으로 나타났다. 그러므로 운항자는 조종성을 높이기 위해 항내에서 조타장치 1·2호기 동시에 작동하는 것 이외에도 높은 파고에 항해할 때 적절하게 이용한다면 탑승자들의 불편감을 감소시킬 뿐 만 아니라, 임무수행 및 최적 운항여건 조성에 많은 도움이 있을 것으로 생각되며 특히, 황천 항해 시 소형선박 및 어선에서는 조타수 역할이 중요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- Bang, I.N., 2000. An experimental study for practical application of active anti-rolling tank system. Seoul University, Korea, pp. 1–48.
- Bhattacharyya Rameswar, 1978. Dynamics of marine vehicles (ocean engineering awiley series). John wiley & Sons, Inc., New delhi, pp. 278–307.
- Choi, C.M and J.Y. Ahn, 2009. Influence of sail on the reduced rolling motion of small ship. Fish. Mar. Sci. Edu., 21 (1), 68–78.
- Cowley, W.E., 1974. Development of an autopilot to control yaw and roll. The Navel Architect, 1, 18–19.
- Kim, Y.B., 2002. A study on rudder-roll stabilizer system design for ship. The society of Mechanical Engineers of Korea, 26 (2), 329–339.
- Lee, S.K., G.W. Lee, S.J. Hwang and D.H. Kang, 2005. Development of the rudder roll control system of a vessel in irregular waves. Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 29 (10), 839–845.
- Oda, H., K. Ohtsu, M. Sasaki, Y. Seki. and T. Hotta, 1991. Roll stabilization by rudder control through multi-variate auto-regression model. J.Kansai SNAJ, 216, 165–173.
- Oda, H., K. Ohtsu and T. Hotta, 1996. Statistical analysis and design of a rudder roll stabilization system. Control Eng. Practice, Vol. 4 (3), 351–358.
- Han, J.C., S.K. Lee and T.P. Ha, 2004. A Study on the roll motion of a ship a transient irregular wave. Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 28 (5), 353–358.
- Sellars, F. H., and J.P. Martin, 2004. Selection and evaluation of ship roll stabilization systems. Marine Technology, Vol. 29 (2), 84–101.
- Yoshimura Y., T. Kuroda, M. Kikumoto and Y. Igarashi, 2003. A simple roll-damping control by steering for fishing vessels. Journal of The Society of Naval Architects of Japan Symposium Proceeding, 2, 85–86.
- '74 SOLAS (Including 2007 Amendments), 2008.

Translated and compiled by korean register of shipping under the supervision of the Ministry of Maritime Affairs & Fisheries. Republic of Korea, pp. 1086 – 1087.

2010년 8월 27일 접수
2010년 10월 29일 1차 수정
2011년 2월 10일 2차 수정
2011년 2월 10일 수리