

# 조타에 의한 선박의 횡요 감소시스템의 개발에 관한 연구

이승건\* · 황성준\*\* · 강동훈\*\*\*

\*부산대학교 조선해양공학과 교수, \*\*부산대학교 조선해양공학과 대학원, \*\*\*오사카대학 선박해양공학과 대학원

## A Study on Developing the Rudder Roll Control System of a Vessel in Irregular Waves

Seung-Keon. Lee\* · Sung-Jun. Hwang\*\* · Dong-Hoon. Kang\*\*\*

\*Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

\*\*Graduate school, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

\*\*\*Graduate school, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Osaka University, Osaka 565-0871, Japan

**요 약 :** 조타에 의해 불규칙파 중 선박의 선수동요 및 횡요를 제어하는 횡요 감소시스템에 관한 연구를 수행하였다. 횡요를 포함한 선박 운동 시뮬레이션을 위해 4-자유도 조종 운동방정식을 사용하였고, 선체에 가해지는 외력으로서 파강제력이 고려되었다. 파강제력은 3차원 특이점 분포법에서 얻어진 주파수 전달함수로부터 시간영역해석법을 적용하였다. 선수동요와 횡요를 제어하는 PD 제어를 각각 구성하고, 이를 선형 결합하여 횡요 감소 조타 제어기를 구성하였다. 조타 속도 및 타의 종류를 변화시켜 선수동요 및 횡요의 제어효율을 검토하였다.

**핵심용어 :** 횡요 감소시스템, 불규칙 파강제력, 조타 속도, 실링 러더, 횡요 감소효율

**ABSTRACT :** A rudder roll control system is developed and analyzed to control yawing and rolling motion of ship in irregular waves. The 4-DOF maneuvering equations of motion are derived to carry out the simulation of the motion of a ship and the wave forces are considered as the external forces of a ship in the simulation. The wave forces in the time domain analysis are generated from the frequency transfer function calculated by 3-D source distribution method. The rudder roll control system is developed by linear combination of PD rudder controllers of yawing and rolling motion. Rudder rate speed and Schilling rudder are considered to increase roll reduction efficiency.

**KEY WORDS :** rudder roll control system, irregular wave forces, rudder rate speed, schilling rudder, roll reduction efficiency

### 1. 서 론

현재 대부분의 선박은, 화물을 보호하고 승선자의 승선감 및 작업효율을 증가시키기 위해, 횡요감소장치(Roll Stabilizing Systems)를 장치하고 있다. 선박의 6-자유도 운동 중에서, 횡요가 적재화물 및 승선감, 그리고 선박의 안전성에 가장 큰 영향을 주므로, 오래 전부터 여러 횡요감소장치가 개발되어 실용화되고 있다. 일반적으로 널리 사용되는 횡요감소장치로는, 빌지부용골(Bilge keel), 안정지느러미(Fin stabilizer), 감요탱크(Anti-rolling tank)가 있다. 빌지부용골은, 가장 간단한 형태의

횡요감소장치로서, 약 25 ~ 50%의 감소율을 보인다. 안정지느러미는 약 90%의 높은 감소율을 보이지만, 그 설치비용이 매우 크다. 감요탱크는 75%의 감소율을 가지며, 탱크의 자유표면의 영향으로 선박의 안전성에 영향을 주며, 많은 설치 공간을 필요로 한다(Bhattacharyya, 1978; Fossen, 1995).

선박의 침로변경을 위해 조타를 하는 경우, 횡요가 유발되는 것은 잘 알려진 사실이다. 본 연구의 목적은, 이러한 특성을 역으로 이용하여, 조타를 통해 선수동요 뿐만 아니라 횡요도 제어하는 횡요 감소시스템(Rudder Roll Control System; 이하 RRCS)의 개발에 있다. Fossen(1995)에 따르면, RRCS는 안정지느러미에 비교하여 설치비용이 저렴하면서, 거의 동일한 감소효율을 가지고 있다. 본 논문에서는, ISSC 스펙트럼과 3차원 특이점 분포법을 이용하여 선체에 가해지는 불규칙 파강제력을

\*중신회원, leesk@pusan.ac.kr 051)510-2441

\*\*정회원, gyaru@pusan.ac.kr 051)510-2755

\*\*\*정회원, vectwin@gmail.com 051)510-2755

계산하였고, 선박의 횡요 운동을 시뮬레이션 하였다. 선수동요와 횡요를 제어하는 PD 제어를 각각 구성하고, 이를 선형 결합하여 RRCS 조타 제어를 구성하였다. 또한, 조타속도와 타의 종류를 변화시켜 RRCS의 횡요 제어효율을 분석하였다.

## 2. 조종운동방정식

선박의 횡요 운동 시뮬레이션을 위해 Surge, Sway, Roll, Yaw 운동의 MMG 수학모델을 사용하였고, 외력으로서 파강제력을 고려하였다. 사용된 좌표계와 조종운동방정식은 다음의 Fig. 1, 식 (1) 과 같다.

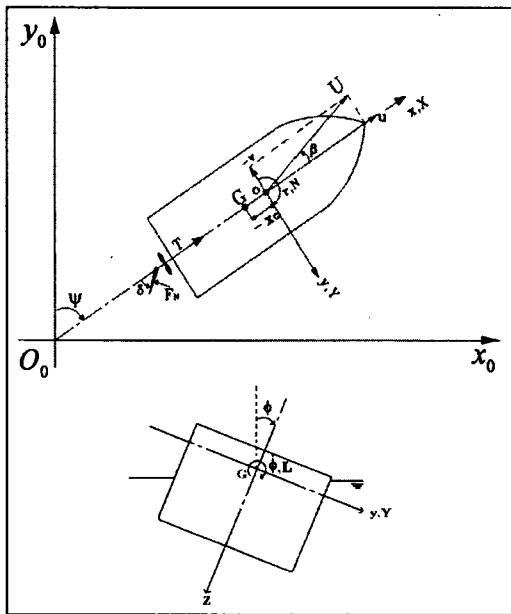


Fig. 1 Coordinate System

$$\begin{aligned}
 (m + m_x)\dot{u} - (m + m_y)vr &= X_H + X_P + X_R + X_W \\
 (m + m_y)\dot{v} + (m + m_x)ur + m_y\alpha_y\dot{r} - m_y l_y \dot{p} &= Y_H + Y_P + Y_R + Y_W \\
 (I_{xx} + J_{xx})\dot{p} - m_y l_y \dot{v} - m_x l_x ur + W\overline{GM}\phi &= L_H + L_P + L_R + L_W \\
 (I_{zz} + J_{zz})\dot{r} + m_y\alpha_y\dot{v} &= N_H + N_P + N_R + N_W
 \end{aligned} \quad (1)$$

Fig. 1 에서 보이듯이, 선체중심위치와 오일러 각(Euler's angle)  $\phi, \psi$  는 공간고정좌표계  $O_0 - x_0 - y_0$  계를 사용하였고, 선속 및 각속도와 선박에 작용하는 유체력 등은 선체고정좌표계  $O - x - y$  계를 사용하였다.

식 (1) 에서,  $u, v, p, r$  은 각각 Surge와 Sway 속도, Roll과 Yaw 각속도이고,  $m, m_x, m_y, I_{xx}, I_{zz}$  는 각각 선박의 질량,  $x$ -축 방향,  $y$ -축 방향의 부가질량,  $x$ -축,  $z$ -축에 대한 질량관성

모멘트를 나타낸다. 또한  $\alpha_y$  는  $m_y$  중심의  $x$  좌표를,  $l_x, l_y$  는  $m_x, m_y$  중심의  $z$  좌표를 나타낸다. 식 (1) 의 우변에 표기된  $X, Y, L, N$  는 Surge, Sway, Roll, Yaw 방향의 힘과 모멘트이고, 아래첨자  $H, P, R, W$  는 각각 선체에 작용하는 유체력, 추력, 타력, 파강제력을 의미한다.

## 3. 선체에 작용하는 힘과 모멘트

### 3.1 선박의 모델링

본 연구에 사용된 선박모형은 SR-108 Container선을 1/58.3 으로 축소한 모형을 사용하였다. 3차원 특이점 분포법(3-D Source distribution method)을 이용하여 파강제력을 계산하기 위해, 수면하의 선체표면에 638개의 패널을 분포시켰다. Fig. 2 에 계산을 위해 구성된 패널의 분포를 나타내었다.

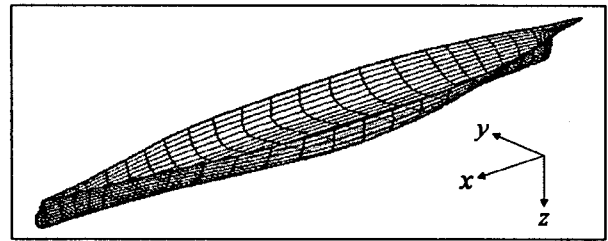


Fig. 2 Plans and Meshes for Model ship

Table 1 은 계산에 사용된 선박모델의 기본제원이다.

Table 1 Principal Dimensions of Ship & Model

SR-108	Ship	Model
Length B.P. (m)	175.0	3.0
Breadth (m)	25.4	0.435
Mean Draft (m)	8.5	0.146
Displacement Volume ( $m^3$ )	21222.0	0.10686
Block Coefficient	0.559	

### 3.2 선체 유체력, 추력 및 타력의 계산

식 (1) 의 우변 항들 즉, 모형선의 유체력, 추력 그리고 타력을 계산하기 위해, 손(1982)에서 사용된 MMG 수학모델과 SR-108 선박의 무차원 유체력 미계수 그리고 프로펠러 및 타의 무차원 계수를 사용하였다. Sway, Roll, Yaw 운동의 추력  $Y_P, L_P, N_P$  은 선체에 작용하는 기여도가 매우 낮아 무시하였다.

### 3.3 파강제력의 계산

임의위치  $X$ 에서의 파강제력을 계산하기 위해, 유의파고  $H_{1/3}$

와 평균주기  $T$ 를 갖는 식 (2) 의 ISSC 스펙트럼을 사용하고, 식 (3) 을 통해 불규칙파의 파형을 시뮬레이션 하였다 (Faltinsen, 1990).

$$\frac{S(\omega)}{H_{1/3}^2 T} = \frac{0.11}{2\pi} \left(\frac{\omega T}{2\pi}\right)^{-5} \exp\left[-0.44\left(\frac{\omega T}{2\pi}\right)^4\right] \quad (2)$$

$$\zeta(X, z) = \sum_{i=1}^M [2S(\omega_i) \Delta\omega]^{1/2} \times \cos[k_i X - \omega_i t + \epsilon_i] \quad (3)$$

$S(\omega_i), \omega_i, k_i, \epsilon_i$  는 각각  $i$  파 성분의 파 스펙트럼, 주파수, 파수, 무작위 위상각을 나타낸다.  $\Delta\omega$  는 이웃하는 주파수 사이의 차이 값이며 상수이다. 본 연구에서는 유의파고  $0.05(m)$ , 평균 주기  $3(sec)$ 의 불규칙파를 사용하였다. Fig. 3 은 선체에 가해지는 불규칙 파형을 나타낸다.

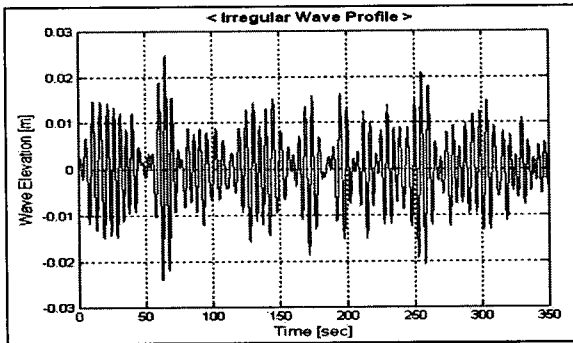


Fig. 3 Irregular Wave profile ( $H_{1/3}$ : 0.05m,  $T$ : 3sec)

파강제력은 임의위치  $X$ 에서, 한 방향의 입사파에 대해 선수 각  $0^\circ$  부터  $180^\circ$  까지  $5^\circ$  간격으로 계산을 수행하였다. 선박에 작용하는 파강제력은 1차력만을 취하여 주파수 영역에서 3차원 특이점 분포법을 이용하여 구하였다. 파강제력과 모멘트의 시간이력(Time history)은, 주파수 영역에서 구해지는 파강제력과 모멘트의 주파수 전달함수를 Fourier 역변환하여 임펄스 응답 함수를 구하고, 다시 이를 컨벌루션 적분하여 구하였다. 1차 파강제력과 모멘트는 식 (4), (5) 와 같이 쓸 수 있다(이 등, 2003).

$$F_{ex}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} [h_F(\tau)] \zeta(t-\tau) d\tau \quad (4)$$

$$M_{ex}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} [h_M(\tau)] \zeta(t-\tau) d\tau \quad (5)$$

이때,  $[h_F(\tau)]$ 와  $[h_M(\tau)]$  는 파강제력과 모멘트의 임펄스 응답 함수로서 식 (6), (7) 과 같다.

$$[h_F(\tau)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [H_F(\omega)] e^{-i\omega\tau} d\omega \quad (6)$$

$$[h_M(\tau)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [H_M(\omega)] e^{-i\omega\tau} d\omega \quad (7)$$

여기서,  $[H_F(\omega)]$ 와  $[H_M(\omega)]$  는 파강제력과 모멘트의 주파수 전달함수이다. Fig. 4 에서 계산된 파강제력과 모멘트의 주파수 전달함수를 나타내었다.

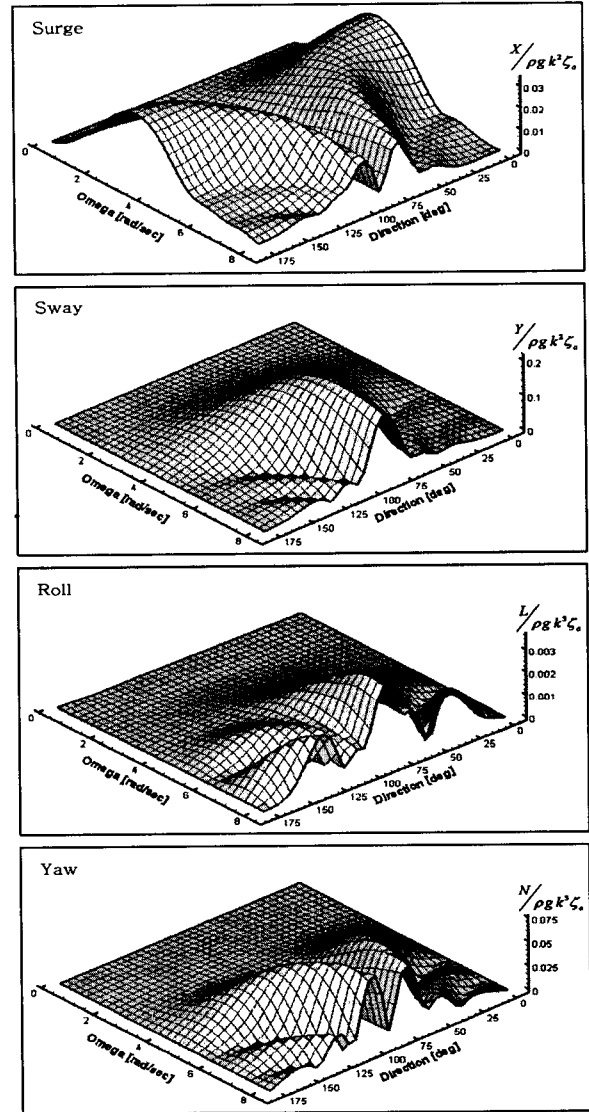


Fig. 4 Directional Frequency Transfer Function (1st order)

#### 4. RRCS의 수학모델

RRCS 조타 제어기를 구성하기 위해, Fossen(1995)의 제안에 따라 선박의 선수동요와 횡요를 제어하기 위한 제어기를 각각 분리하여 식 (8) 과 같이 구성하였다.

$$\begin{aligned} \delta_{yaw} &= f_n(\psi, \tau) \\ \delta_{roll} &= f_n(\phi, p, \dot{p}) \end{aligned} \quad (8)$$

$\delta_{yaw}$ 는 선수동요를 제어하기 위한 타 제어기로서  $\psi$ ,  $r$ 의 함수이고, 식 (9) 와 같이 일반적인 PD 제어를 하였다.  $\delta_{roll}$ 는 횡요를 제어하기 위한 타 제어기로서  $\phi$ ,  $p$ ,  $\dot{p}$ 의 함수이다. 횡요 제어기  $\delta_{roll}$ 를 구성하기 위해,  $\phi$ ,  $p$ ,  $\dot{p}$ 로 조합할 수 있는 7가지 경우에 대해 조종운동 시뮬레이션을 통한 시행착오방법(Trial and error method)을 사용, 결과를 분석하여 식 (10) 과 같이  $p$ ,  $\dot{p}$ 를 사용한 PD 제어기를 사용하였다.

$$\delta_{yaw} = G_Y^1(\psi_d - \psi) - G_Y^2 r \quad (9)$$

$$\delta_{roll} = G_R^1 p + G_R^2 \dot{p} \quad (10)$$

이때,  $G_Y^1$ ,  $G_Y^2$ ,  $G_R^1$ ,  $G_R^2$ 는 조정이득(Regulator gains) 값으로,  $\delta_{yaw}$ ,  $\delta_{roll}$  각각의 경우에 대해 시행착오방법을 사용하여 결정하였다.

RRCS 조타 제어기를 구성하기 위해  $\delta_{yaw}$ ,  $\delta_{roll}$ 를 식 (11) 과 같이 선형 결합하여 사용하였다.

$$\delta = C_1 \delta_{roll} + C_2 \delta_{yaw} \quad (11)$$

이때, Fossen(1995)은  $C_1 = C_2$  로써,  $\delta_{yaw}$ ,  $\delta_{roll}$ 가 RRCS에 동일한 비율로 영향을 주도도록 하였으나, 본 연구에서는  $C_1 + C_2 = 1$ 의 범위 내에서 그 비율을 변화시키며 시뮬레이션의 결과를 분석하여,  $C_1 : C_2 = 0.7 : 0.3$ 으로서  $\delta_{roll}$ 의 비율을 높게 하여 RRCS의 시뮬레이션을 수행하였다.

## 5. 계산결과 및 고찰

### 5.1 시뮬레이션 초기조건

모든 시뮬레이션에서 동일하게 적용된 초기조건으로서, 모형선의 선속은 Froude number ( $F_n$ ) 0.3, 즉 1.63 m/sec(실선속도 24 knot)로 하였다. 모형선의 최대 조타속도는 식 (12) 와 같이 결정하였다.

$$\delta_M = \delta_S \sqrt{\lambda} = 22.9 \text{ [deg/sec]} \quad (12)$$

이때,  $\delta_M$ ,  $\delta_S$ ,  $\lambda$ 는 각각 모형선의 최대 조타속도, 실선에서의 최대 조타속도, 상사비(58.333)을 나타내며,  $\delta_M$  22.9 [deg/sec]는  $\delta_S$  3 [deg/sec]에 해당한다.

과강제력은 유의과고 0.05m, 평균주기 3sec의 불규칙과에 대해 계산하였다. 모든 시뮬레이션에 대해, 모형선에 가해지는 파

강제력은 Fig. 4 의 Roll 주파수 전달함수에 보이듯이 가장 큰 응답을 보이는 90°의 조우각(Encounter angle) 즉, 횡파(Beam sea)상태에서 계산되었다.

Fig. 5 는 위에서 명시된 선속, 조타속도 및 과강제력의 초기 조건 아래에서, 선수동요 타 제어기만으로( $C_1 = 0$ ) 시뮬레이션을 수행하여 계산된 선박의 이동궤적과 타각, 횡요각, 선수동요각이다. 이 결과를 기준으로 RRCS의 횡요 감소효율을 평가하였다.

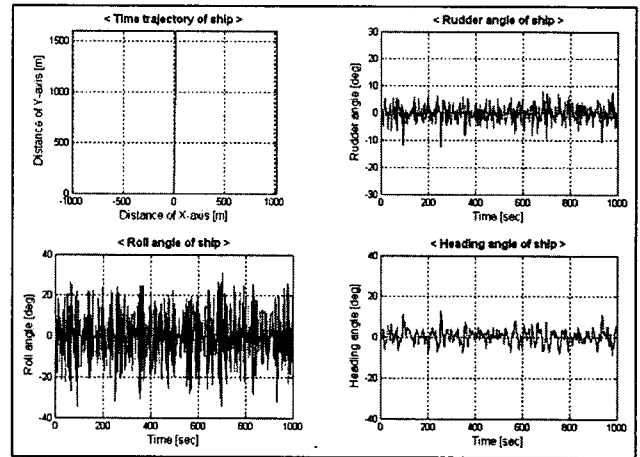


Fig. 5 Motion of ship before the RRCS control

### 5.2 RRCS 조타 제어기 적용 결과

4장에서 구성한 RRCS 조타 제어기와 시행착오방법으로 결정된 조정이득을 사용하고, 5.1절에서 명시한 초기조건(선속, 조타속도, 과강제력)들을 동일하게 적용하여, 선수동요 및 횡요를 제어한 시뮬레이션 결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 500sec 이전은 RRCS를 적용하지 않은 Fig. 5의 500sec까지의 계산결과이고, 500sec 이후가 RRCS를 적용한 결과이다.

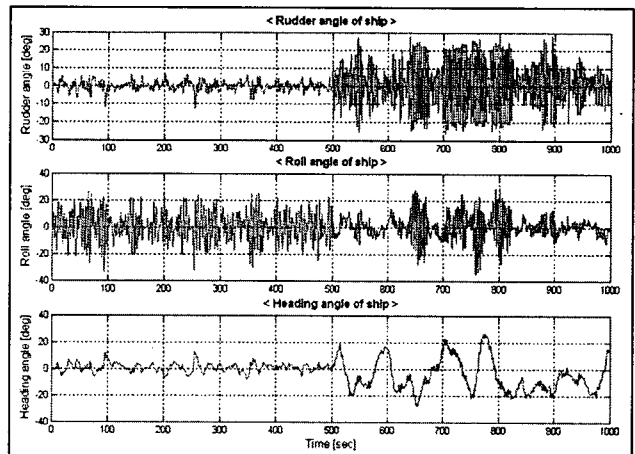


Fig. 6 Performance of RRCS, with  $\delta_M = 22.9 \text{ [deg/sec]}$   
(The RRCS is turned on after 500 [sec])

Fig. 6 에서, RRCS 제어에 의해 조타량이 증가하여 횡요량이 일정수준 감소한 것을 볼 수 있다. 그러나 최대 횡요 각은 감소하지 않았고(34.5°) 선수동요는 커진 것을 볼 수 있다.

RRCS의 횡요 감소효율은 식 (13) 같이 결정하였다(Fossen, 1995).

$$\text{Roll Reduction (\%)} = \frac{AP - ARR}{AP} \times 100 \quad (13)$$

여기서, AP와 ARR은 각각 RRCS 제어를 하지 않았을 경우와 했을 경우의 횡요량의 표준편차이다.

식 (13) 을 통해 Fig. 6의 횡요 감소효율을 따져보면, 횡요량은 37.05 % 감소하였으나 선수동요량이 351.97 % 증가했음을 알 수 있다.

최대 횡요 각을 감소시키고 횡요 감소효율을 증가시키면서 동시에 보침성(Course Keeping Quality)을 유지하도록 하기위해, 조타속도와 타의 종류를 변화시켜 시뮬레이션을 수행하였다.

### 5.3 조타속도의 영향

Fig. 7 은 모형선의 최대 조타속도  $\delta_M$ 를 22.9 [deg/sec]에서 30.6 [deg/sec] ( $\delta_S$  4 deg/sec에 해당)로 증가시켜 RRCS 제어 시뮬레이션을 수행한 결과이다. Fig. 6 에서처럼 500sec를 기준으로 RRCS가 적용되지 않은 결과와 적용된 결과를 비교하였다.

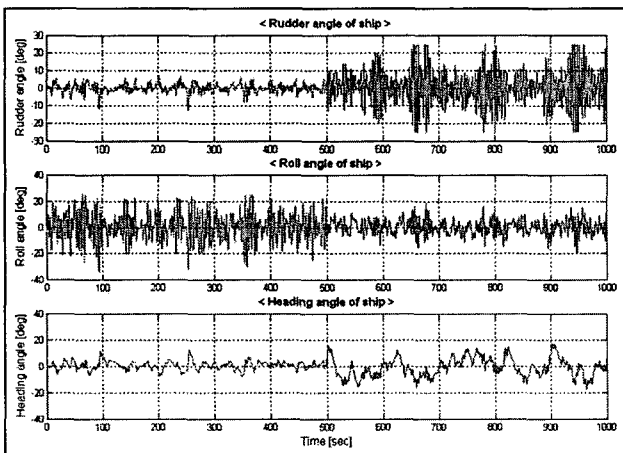


Fig. 7 Performance of RRCS, with  $\delta_M = 30.6$  [deg/sec]  
(The RRCS is turned on after 500 [sec])

시뮬레이션 결과, RRCS 제어 시 최대 횡요 각은 26.06°, 횡요 감소량은 41.35 %이고, 선수동요 증가량은 153.74 %로서 조

타속도가 22.9 [deg/sec]일 때에 비해 횡요 및 선수동요 제어효율이 증가된 것을 볼 수 있다.

Fig. 8 은  $\delta_M$ 를 38.2 [deg/sec] ( $\delta_S$  5 deg/sec에 해당)로 증가시켜 RRCS 제어 시뮬레이션을 수행한 결과이다.

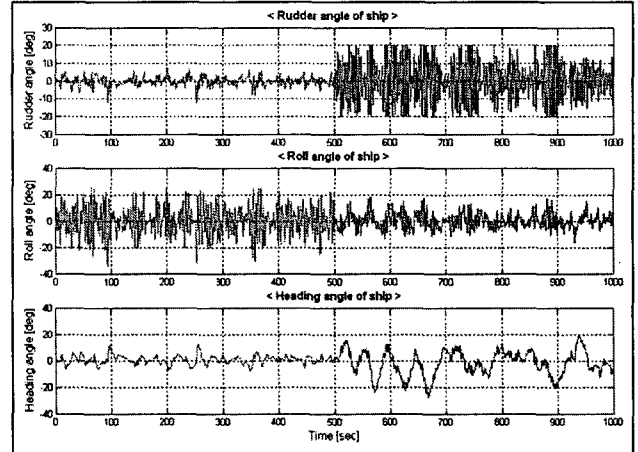


Fig. 8 Performance of RRCS, with  $\delta_M = 38.2$  [deg/sec]  
(The RRCS is turned on after 500 [sec])

시뮬레이션 결과, 최대 횡요 각 24.71°, 횡요 감소량 45.32 %로 조타속도를 증가시키기에 따라 횡요 제어효율이 점차 증가되는 경향을 보이나, 선수동요 증가량이 276.84 %로 조타에 의해 선수동요 제어효율이 낮아졌음을 볼 수 있다.

### 5.4 타 종류의 영향

시뮬레이션에서 계산되는 타력(Rudder Force)의 양력계수구배(Gradient of lift coefficient;  $f_a$ )를 식 (14) 와 같이 1.3 배하여, Schilling rudder의 타력을 계산하였다(DNV, 1985; Hasegawa et al., 2004).

$$f_a = 1.3 f_a \quad (14)$$

Fig. 9 에서, 식 (14) 를 사용하여 타의 종류를 Schilling rudder로 하고,  $\delta_M = 22.9$  [deg/sec]일 경우, RRCS를 적용하지 않은 결과와 적용한 결과를 비교하였다.

이 경우, 최대 횡요 각은 37.19°, 횡요 감소량은 41.97 %, 선수동요 증가량은 277.79 %이다. Schilling rudder를 적용하지 않은 경우에 비해 횡요 감소량 및 선수동요 제어효율이 증가하였으나, 최대 횡요 각은 증가한 것을 볼 수 있다.

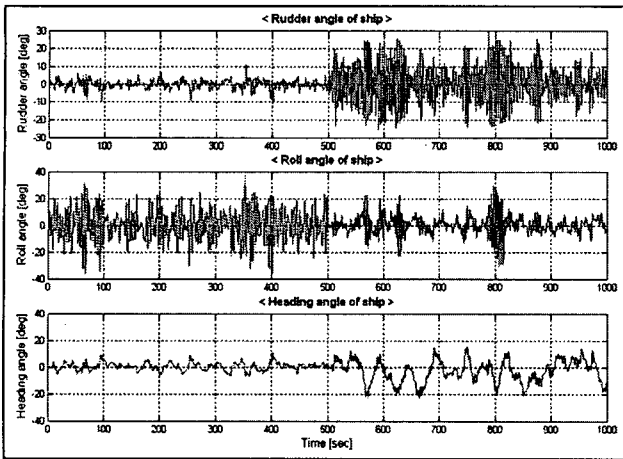


Fig. 9 Performance of Schilling rudder and RRCS,  
with  $\delta_M \dot{=} 22.9 [deg/sec]$   
(The RRCS is turned on after 500 [sec])

Fig. 10 은 Schilling rudder를 적용하고,  $\delta_M \dot{=} 30.6 [deg/sec]$ 인 경우의 시뮬레이션 결과이다.

이 경우, 최대 횡요 각은  $21.89^\circ$ , 횡요 감소량은 51.69 %, 선수요 증가량은 100.23 %이다. Schilling rudder를 적용함으로써, 횡요 및 선수동요 제어효율이 증가했음을 볼 수 있다.

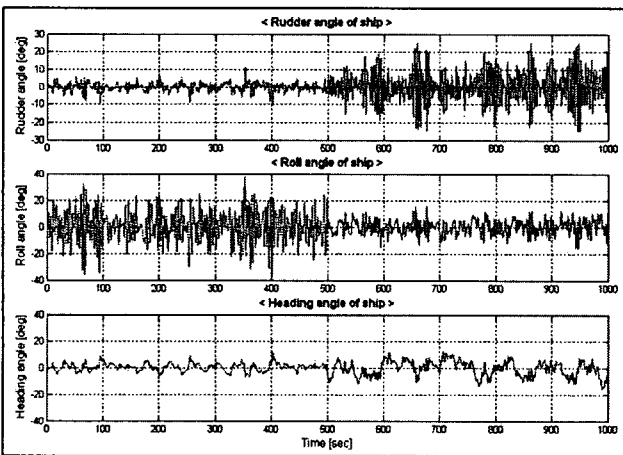


Fig. 10 Performance of Schilling rudder and RRCS,  
with  $\delta_M \dot{=} 30.6 [deg/sec]$   
(The RRCS is turned on after 500 [sec])

Fig. 11 은 Schilling rudder를 적용하고,  $\delta_M \dot{=} 38.2 [deg/sec]$ 인 경우의 시뮬레이션 결과이다.

이 경우, 최대 횡요 각  $19.28^\circ$ , 횡요 감소량 54.95 %로 가장 높은 횡요 제어효율을 보이고 있고, 선수동요 증가량은 156.57 %로 앞서 보인 조타속도  $30.6 [deg/sec]$ 에 비해 약간 높은 것을 알 수 있다.

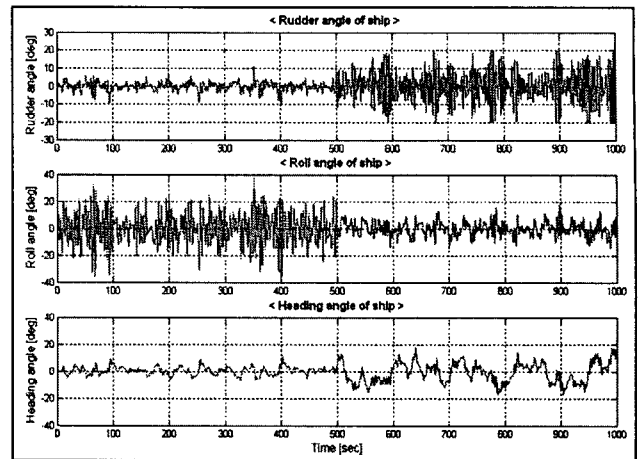


Fig. 11 Performance of Schilling rudder and RRCS,  
with  $\delta_M \dot{=} 38.2 [deg/sec]$   
(The RRCS is turned on after 500 [sec])

Table 2 에 수행된 시뮬레이션의 수치 결과를 정리하였다. Schilling rudder와 RRCS 제어를 적용하지 않은 시뮬레이션에서의 최대 횡요 각은  $34.54^\circ$ 이다.

Table 2 Result values of RRCS simulation

	RRCS			Schilling rudder + RRCS		
	22.9	30.6	38.2	22.9	30.6	38.2
Rudder rate [deg/sec]	22.9	30.6	38.2	22.9	30.6	38.2
Max. Roll angle [deg]	34.59	26.05	24.71	37.19	21.89	19.28
Roll reduction [%]	37.05	41.35	45.32	41.97	51.69	54.95
Yaw increment [%]	351.97	153.74	276.84	277.79	100.23	156.57

Table 2 를 보면, RRCS 조타 제어를 적용하여 횡요를 제어하기 위해서는 빠른 조타속도를 필요로 하며, Schilling rudder와 같이 타의 양력을 증가시켜주는 특수한 형태의 타를 사용함으로써 횡요 감소효율이 증가함을 알 수 있다. 그러나 RRCS 적용에 따라 선수동요만을 제어하는 조타 제어기에 비해 추가적인 조타가 발생하고, 그 결과 선수동요가 100% 이상 커졌음을 볼 수 있다.

Fig. 12 는 Schilling rudder를 적용하고,  $\delta_M \dot{=} 38.2 [deg/sec]$ 의 조타 속도로 RRCS 제어를 했을 경우, 수평면 상에서의 모형선의 이동 궤적을 나타낸다.

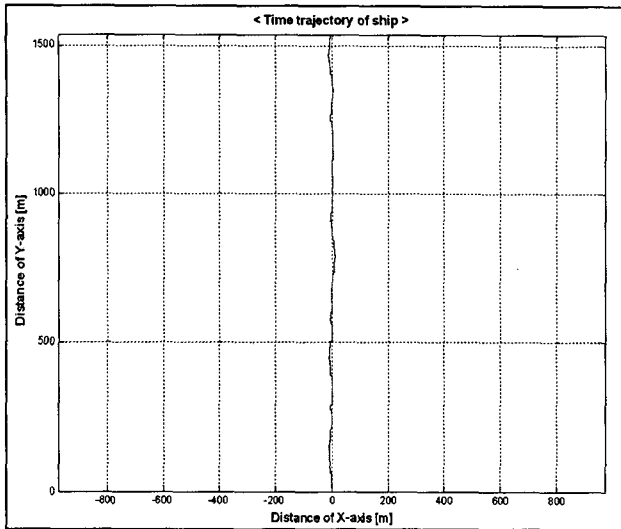


Fig. 12 Time trajectory of ship with Schilling rudder and RRCS in waves ( $\delta_M = 38.2 [deg/sec]$ )

Table 2 에 보였듯이, Fig. 12의 선수동요 증가율은 156.67%이지만 선박은 자신의 항로를 크게 벗어나지 않음을 볼 수 있다. 여기서 알 수 있듯이, 150% 이하의 선수동요 증가율은 양호한 보침성을 확보하고 있다고 할 수 있다.

## 6. 결 론

본 논문은 조타에 의해 선박의 횡요를 제어하여, 승선감 및 선박의 안전성을 향상시키고, 동시에 적절한 보침성을 보장하는 RRCS 개발에 목적이 있다. ISSC 스펙트럼과 3차원 특이점 분포법을 이용하여 불규칙 파강제력을 계산하였고, 조종 시뮬레이션에 적용하였다. 선수동요와 횡요를 제어하는 PD 제어를 각각 구성하고, 이를 선형 결합 함으로써 RRCS 조타 제어를 구성하였다. RRCS의 횡요 감소효율을 증대시키고 보침성을 유지하기 위해 조타 속도 및 타의 종류를 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션을 통해 얻은 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 불규칙파 중에서 선박의 조타를 이용해 선수동요와 횡요를 동시에 제어할 수 있는 RRCS 시뮬레이션 기법을 개발하였다.
- (2) RRCS에 의해, 선수동요의 제어와 동시에 파랑 중 선박의 횡요를 50 % 이상 감소시킬 수 있었다. 또한, RRCS 적용에 따른 추가적인 조타를 보이지만 원래의 항로를 크게 벗어나지 않는 양호한 보침성을 확보하고 있다.
- (3) Schilling rudder를 적용하고, 동시에 조타 속도를 증가시켜 RRCS 조타 제어를 할 때, 50% 이상의 횡요 감소율과 양호한 보침성을 가짐을 볼 수 있었다.

(4) RRCS를 통해 선박의 횡요를 제어하기 위해서는 빠른 조타 속도가 필요하며, Schilling rudder와 같이 타력을 증가시킬 수 있는 특수한 형태의 타를 사용하여 RRCS의 횡요 제어효율을 증가시킬 수 있음을 볼 수 있었다.

## 후 기

본 논문은 한국학술진흥재단에서 지원한 '지방대학육성 지원 사업' 과제의 수행결과입니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 이승건 (1998), 선박운동조종론, 부산대학교 출판부
- [2] 이승건, 강동훈 (2003), 일점계류된 선박의 불안정 거동 방지에 관한 연구, 한국항해항만학회지, 제27권, 제2호, pp. 193-198
- [3] 손경호 (1982), 선박의 조종운동과 횡동요의 연성에 기인하는 불안정 거동에 관한 연구(일본어), 오사카대학 박사학위 논문
- [4] Bhattacharyya, R. (1978), Dynamics of marine vehicles, John wiley & sons press
- [5] DNV (1985), Hull equipment and appendages : stern frames, rudders and steering gears, Rules for classification steel ships, part 3, chapter 3, section 2, pp. 2-19
- [6] Faltinsen, O.M. (1990), Sea loads on ships and offshore structures, Cambridge university press
- [7] Fossen, T.I. (1995), Guidance and control of ocean vehicles, John wiley & sons press
- [8] Hasegawa, K., Kang, D.H., Nishikouri, H., Yamada, H., Yamaguchi, M., Tanaka, Y. and Arii, T. (2004), Manoeuvrability Prediction of Pure Car Carrier Installed with Schilling Rudder, Proceedings of the 2nd Asia-Pacific workshop on Marine hydrodynamics, pp. 293-300