

선속 변화에 의한 능동형 횡 동요감쇠장치의 효과

최 찬 문 · 안 장 영 · 서 두 옥 · 정 용 진
제주대학교 해양과학대학

The Effects of Active Anti-Rolling Tank Stabilizer System by the various ship speeds

Chan-Moon Choi, Jang-Young Ahn, Du-Ok Seo and Yong-Jin Chung
College of Ocean Sciences, Cheju National University, Jeju-Do, 690-756, Korea

This experimental paper deals with the performance of tanks that are turned the active A.R.T(Anti-Rolling Tank) when the fluid transfers from wing tanks to the opposite tank by the power developed by the automatic control system (INTERING Stabilizer), which was installed in the fishery training ship T/S. A - RA (G/T : 990 tons) of Cheju National University.

In this paper, the author has tested the performance of INTERING Stabilizer from the signals obtained by the inclinometer in irregular waves and compared with the results obtained in passive mode operation at stop and at various ship speeds. The performances of the system were confirmed the results as follows through the tests :

1. The Rates of reduction in significant roll($\Phi_{1/3}$) of performance of Active-Rolling Tank at stop, dead slow ahead, half ahead, full ahead were obtained 47.2%, 26.3%, 7.7% 9.7%, respectively.
2. The operators had to consider to be different to change according to the various ship speeds for working, and the author could get the linear regressions about the rates of reduction at the results of a statistical analysis through the time histories of rolling angles in A.R.T. in irregular waves using various ship's speeds.

$$\text{Rates of reduction in significant roll(} \Phi_{1/3} \text{) : } y = -3.233x + 45.613$$

$$\text{Rates of reduction in significant roll(} \Phi_{1/10} \text{) : } y = -3.157x + 46.840$$

Key words : passive and active A.R.T. INTRING stabilizer, inclinometer, significant amplitude of roll, rate of reduction

서론

선박은 근본적으로 파랑이 항상 존재하는 해상에서 운항하게 되므로 파랑 중에서의 선체운동, 여객, 승무원, 화물 및 선박 자체의 안전과 밀접한 관계를 가지게 된다. 뿐만 아니라 선박의 운동은 해상에서의 각

종 활동과 임무수행의 정도를 결정하는 주요한 인자가 되고 있다. 횡 동요(Rolling)는 6 자유도 운동 가운데에서 가장 중요한 운동이며, 선박들이 근본적으로 횡 동요에 대하여 낮은 감쇠특성을 갖고 있기 때문에 안정성 측면에서 볼 때에 가장 많이 제어되어 왔다. 또한 선박의 안정성능, 운항성능 및 조업성능과도 밀접한 관계를 가지고 있다. 선형운동방정식에 대해

횡 동요를 줄이는 세가지 방법은 감쇠계수(Damping coefficient)를 증가시키는 방법, 선박의 고유주기를 변화시키는 방법, 기진력(Exciting force) 및 모멘트를 감소시키는 방법 등이 있다. 그리고 횡 동요 감쇠장치로는 Bilge Keel, Fin - Stabilizer 및 Anti-Rolling Tank(A.R.T) 등이 있는데, 이 중에 가장 효과적인 것이 1911년 Frahm에 의하여 개발된 U - tube 식 수동형 감요 수조(Passive A.R.T)이며, 이에 대한 이론적 체계는 Chadwick 과 Stigter에 의해서 정립되어 선박에서 가장 널리 사용되고 있다(Chadwick: 1955, Stigter: 1966). 특히, 이것은 구조가 간단하고 운용이 용이하며 수조 내의 유체 운동이 자연적으로 이루어 지므로 별도의 동력을 요구하지 않는다는 장점을 가지고 있다. 그 형상 면에서도 선박에 횡 동요 고유주기에 근접한 파랑을 만나는 경우 뛰어난 효과를 나타내고 있다. 그런데 이것은 선박 횡 동요의 공진 주파수 영역에서는 탁월한 감쇠 성능을 보이나, 그 밖의 주파수 영역에서는 오히려 횡 동요를 증가시키는 역효과를 일으키는 성질을 가지고 있다. 이러한 역효과는 선박의 운항성능과 밀접한 관계를 가지고 있어서 운동 성능을 개선시키는 것이 요구된다. 이와 같은 수동형 감요 수조(減搖水槽)의 단점을 보완하기 위해 고안된 것이 능동형 감요 수조(Active A.R.T)로서 감요 수조 내의 유체의 유동을 외부로부터 별도의 동력을 사용하여 원하는 형태로 제어가 가능하다. 이 시스템으로 개발된 A.R.T는 현재 국내 일부 선박에서 수입하여 장착되어 있다(권, 1985; 방, 1999; Lew et al., 2003).

지금까지의 A.R.T에 관한 연구들은 수동형과 능동형을 시험수조 내에서 Bench Tester를 이용하여 성능을 비교, 검토하여 장·단점들을 논의하여 온 것이 현실이다 (유 등, 1997). 그러나 실험수조 내에서는 해상에서 일어나는 모든 요소를 적용할 수 없을 것으로 생각된다. 그래서 최근 제주대학교 실습선 아라호에 설치 한 능동형 감요장치의 성능을 실험하기 위하여 해상에서 선박의 정지, 전속 전진 상태에서 그 장치를 작동, 중지 했을 때 경사계에 의한 횡 동요각, 종 동요각을 측정하여 이에 대한 효율의 정도를 면밀히 검토한 결과 수동형 A.R.T에 비해 능동형 A.R.T가 그 효과가 큰 것으로 나타났다(최 등, 2004). 그러나 어선 인 경우는 수시로 속력의 변화가 가능하

로, 이때에 능동형 횡 동요 감쇠장치의 효율을 파악하여, 운항자가 이를 작동 할 때에 보다 더 효과적으로 운용하도록 하는 목적 뿐만아니라, 현재 제주도에서는 낚시 관광객이 점차적으로 증가하므로, 소형 낚시어선의 조선(造船)이 활발히 이루어지고 있다. 그러나 관광객의 대부분은 파도에 의한 횡 동요로 인하여 멀미를 하게 되므로, 이를 감소시키는 기초적인 자료와 감요 수조 탱크를 활어 어창으로 이용하는 방법을 찾는데 그 목적을 두고 있다.

수동형 감요 수조 (受動型 減搖水槽 : Passive Anti-Rolling Tank (A.R.T))

감요 수조의 원리는 탱크 내의 물 유동이 선박의 적재조건에 따라서 주기적인 동조에 의하여 선체의 양쪽 날개탱크를 따라 횡 방향으로 즉, 한쪽구획에서 다른 쪽 구획으로 자유롭게 이동함에 따라 증량에 의한 안정화 Moment를 발생시키는데 있다. 선박의 횡 동요 진폭 및 각속도가 작다고 가정하여, 선체의 운동 문제를 단순화 시키고, 횡 규칙파 중에서 선체운동을 횡 동요만 생각하고 이중진자(二重振子)이론을 기초로 한 선박과 감요 수조 계(系)의 운동방정식은 다음 (1), (2)식과 같이 나타낼 수 있다(방, 1999; 유, 2000).

$$\begin{aligned} \text{선박} : J_s \ddot{\phi} + B_s \dot{\phi} + K_s \phi + J_{st} \ddot{\Omega} + K_t \Omega \\ = K_s \phi \end{aligned} \quad (1)$$

감요수조에 대하여

$$\begin{aligned} \text{감요수조} : J_{st} \ddot{\phi} + K_t \phi + J_t \ddot{\Omega} + B_t \dot{\Omega} + K_t \Omega \\ = K_t \phi \end{aligned} \quad (2)$$

단, 여기서

- ϕ : 배의 횡 동요각
- J_s, J_t, J_{st} : 배, 탱크, 배-탱크의 관성모멘트
- Ω : A.R.T 내 유체의 경사각
- B_s, B_t : 배 및 탱크의 감쇠계수
- ϕ : 파도의 경사각
- K_s : $\Delta \times GM$
- K_t : $\rho i = \Delta \times GG_0$; 탱크 액면의 2차 모멘트

식(1)은 감요 수조를 장착한 선박의 파랑중의 운동 방정식이다. 이 식의 좌변 마지막 두 항이 선박에 작

용하는 감요 수조의 효과 즉, 감요 모멘트(Anti-Roll Moment)를 나타내는 항이다. 즉,

$$M_t = -J_{st} \ddot{\Omega} - K_t \Omega \quad (3)$$

규칙파 중의 동요를 $\phi = \phi_0 e^{i\omega t}$, $M_t = M_0 e^{-i\delta}$ 라 가정하면 M_t 는 다음과 같이 전개된다.

$$M_0 e^{-i\delta} \phi = M_0 \phi \cos \delta - \frac{M_0}{\omega} \dot{\phi} \sin \delta \quad (4)$$

식(4)을 (1)에 대입하면 다음 식을 얻게 된다.

$$\begin{aligned} J_s \ddot{\phi} + (B_s + \frac{M_0}{\omega} \sin \delta) \dot{\phi} + (K_s - M_0 \cos \delta) \phi \\ = K_s \phi \end{aligned} \quad (5)$$

여기에서, $\omega_s^2 = \frac{K_s}{J_s}$, $\omega_t^2 = \frac{K_t}{J_t}$, $\xi_s = \frac{B_s}{\omega J_s}$, $c = \frac{M_0}{K_t}$, $\lambda = \frac{K_t}{K_s}$, $e = \frac{\omega}{\omega_s}$ 와 같이 무 차원 변수를 도입하여 식(5)을 다음과 같이 변형 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \ddot{\phi} + (\xi_s + \frac{C \sin \delta}{e} \lambda) \omega_s \dot{\phi} + (1 - \lambda C \cos \delta) \omega_s^2 \phi \\ = \omega_s^2 \phi \end{aligned} \quad (6)$$

$\phi = \phi_0 e^{i\omega t}$ 라 하면 식(6)으로부터 Magnification Factor (μ)를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \mu &= \left| \frac{\phi_0}{\psi_0} \right| \\ &= \frac{1}{\sqrt{[1 - (e^2 + \lambda C \cos \delta)]^2 + e^2 (\xi_s + \frac{C \sin \delta}{e} \lambda)^2}} \end{aligned} \quad (7)$$

식(7)에서 $\frac{C \sin \delta}{e} \lambda$ 항이 감쇠성능에 관련되고 $\lambda C \cos \delta$ 는 선박의 주파수에 기여함을 알 수 있다. 감요 수조의 모멘트, M_t 는 식(3)과 같고, 탱크 내 유체의 경사각을 $\Omega = \Omega_0 e^{i\omega t}$ 라 하면 다음 같은 식으로 표현 할 수 있다.

$$M_t = K_t \Omega (1 - \frac{\omega^2}{\omega_{st}^2}) \quad (8)$$

$$\omega_{st}^2 = \frac{K_t}{J_{st}} \quad (9)$$

여기서 ω_{st}^2 : 연성주파수(Decoupling frequency)이다.

식(8)으로부터 감요 수조의 효과는 파 경사각, 탱크 자유표면의 2차 모멘트를 나타내는 K_t , 및 탱크의 상하 위치를 나타내는 $(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{st}^2})$ 에 비례함을 알 수 있다. 즉, 탱크의 효과는 $\lambda C \sin \delta$ 에 관계되므로 위상차 δ 는 90° 가 되도록 설계하는 것이 가장 좋다. 발생 모멘트 진폭이 크더라도 위상차가 적당치 않으면 탱크의 효과가 감소된다.

능동형 감요 수조 (能動型 減搖水槽 : Active Anti-Rolling Tank (A.R.T))

식(2)에 횡 동요의 감쇠를 위하여 파력항(Wave forcing term)을 탱크 내의 물 유동이 자동적으로 제어 할 수 있는 기계적 장치에 의하여 발생하는 횡요 감쇠 모멘트 항(Anti - Roll Moment term) M_t 으로 바꾸어 지도록 구상한 것으로서, 능동형 감요 수조의 운동방정식 다음 식(10)과 같이 표현 할 수 있다.

$$J_{st} \ddot{\phi} + K_t \phi + J_t \ddot{\Omega} + B_t \dot{\Omega} + K_t \Omega = M_B \quad (10)$$

재료 및 방법

Fig. 1은 제주대학교 실습선 아라호의 능동형 횡 동요 감쇠장치 INTERING Stabilizer사의 U - tank를 이용한 Active A.R.T형의 탱크 구조를 나타내고 있다.

탱크는 A와 B로 나누어지며 그 형태는 U - tube형으로써, 각 탱크 중앙에는 유체 운동이 자유스럽게 일어날 수 있도록 Cross duct형 구조로 되어있다. "A" 탱크는 선체 FR 47 - 49 사이에 위치하고 그 용량은 22.78 m³. 자유표면의 모멘트는 157 t-m이며, "B" 탱크는 선체 FR 41 - 47 사이에 위치하고 그 용량은 67.57 m³. 자유표면의 모멘트는 631 t-m이다. 주요 장치로서는 감요 밸브(Stabilizer valve)가 있는데, 이는 주로 공기밸브(Pneumatic valve)에 의해 Air duct에 공기를 주입하여 물의 움직임이 현측으로 향하도록 주기적으로 차단시키는 장치를 말하며, 또한, 이는 탱크의 물이 선체의 횡 동요를 감소시키고 중화 또는 저지하도록 되어 있어서, 그 조절이 자동적으로 이루어 질 수 있는 시스템이다.

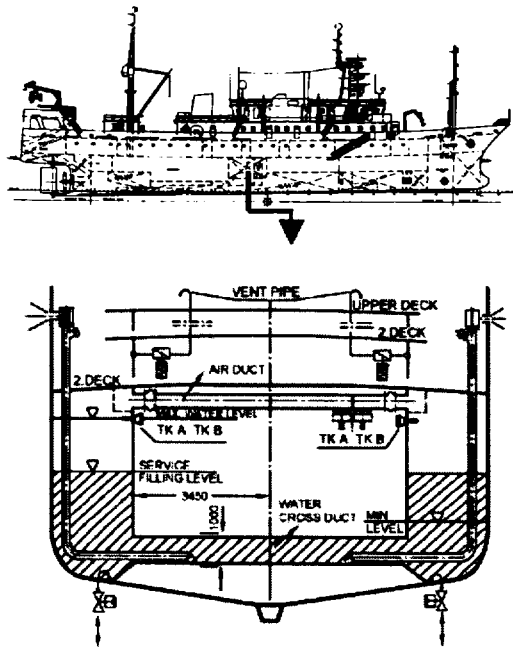


Fig. 1. Arrangement and Function scheme of INTERING Stabilizer of T/S. A - R A.

Fig. 2는 능동형 횡 동요 감쇠 장치의 성능을 검토하기 위한 측정방법의 계통도이고, Table 1은 선박의 6자유도 운동 가운데 회전운동을 하는 횡 동요, 종 동요의 정도를 얻을 수 있는 2축 경사계의 구성요소를 나타내고 있다.

그리고 측정 장치로 이용된 경사계는 SSY0090P (SSY0194 : Made in USA) 제품으로써 경사각에 대한 보정은 실험실에서 육분의(Sextant)에 의해서 행

Table 1. Specifications of the dual - axis Inclinometer sensor System

Items	Specifications
Sensor type	SSY0090P (SSY0194 : Made in USA)
Measuring range	± 45 deg.
Calibration (Standard)	0.7 V DC $\pm 1\%$ at 20 deg. tilt
Accuracy	± 5 deg. out to 45 deg. ± 1 deg. out at 30 deg.
Repeatability at any Angle	0.01 deg.
Resolution	0.01 deg.
Output Signals	± 1.5 V DC max.(vs REF 2.5)
Settling Time	500 ms at 20°C

하여 졌으며, 이를 실습선 아라호 선교 선체 중심선 상에 설치하여 A - D 변환기를 통해 횡 동요각 (Rolling Angle), 종 동요각(Pitching Angle), 풍향풍 속계에 의한 진 풍향(상대 및 절대방위), 진 풍속, GPS에 의한 위치, 선속, 선수방위, 어군탐지기에 의한 수심을 일정한 간격 즉, 횡 동요 및 종 동요각에 대해서는 0.4 sec., 그 외에는 2.0 sec. 간격으로 자료들을 자동 수신하였다. 해상 상태는 수시로 변하기 때문에 본 실험에서는 가능한 동일한 해상 조건을 반영하기 위하여 측정 시간을 10 ~ 20분 간격으로 감쇠 장치를 작동(Active - A.R.T), 작동 중지(Passive - A.R.T)시켜서 선박을 정지, 저속, 중속, 전속으로 나누어 선속에 따른 그 성능 정도를 비교, 분석하였다.

결과 및 고찰

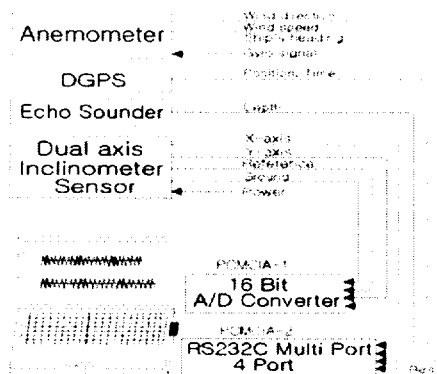


Fig. 2. Schematic diagram of operation using the equipments.

Fig. 3은 평균 풍속 4.6 m/s, 평균 풍향(상대방위) 111.8°, 평균수심 108.1 m, 파고 2 m 정도의 해상 상태에서 선박을 정지한 후, 횡 동요 감쇠 장치를 정지 (Passive - A.R.T), 작동 (Active - A.R.T) 했을 때, 경사계에 의한 횡 동요 경사각변화를 나타내고 있다. 선박이 정지한 상태에서 횡 동요 감쇠장치의 작동을 중지 했을 때, 경사계에 의한 좌·우현 횡 경사각 진폭의 최대값은 각각 10.5°, 10.1° 평균 횡 동요 경사각 진폭은 2.32°로 나타났다. 그러나 그 장치를 작동 했을 때는 좌·우현 경사각의 최대값은 각각 5.2°, 5.5°, 평균 횡 동요 경사각 진폭은 1.38°를 나타내어 작동을

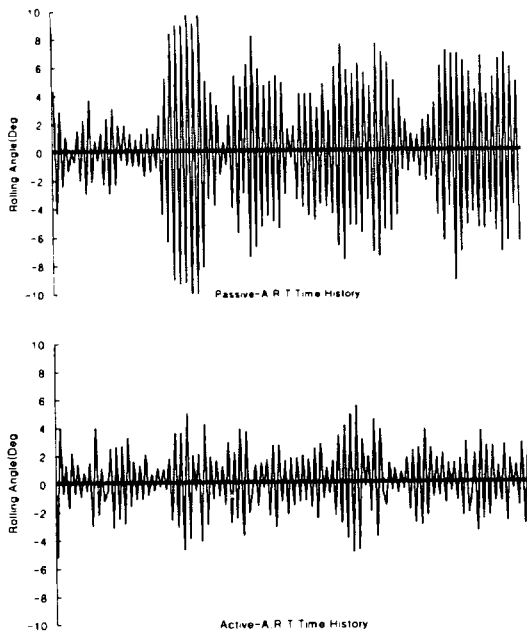


Fig. 3. Time Histories of Rolling Angles in A.R.T. in Irregular Waves at the stop engine condition.

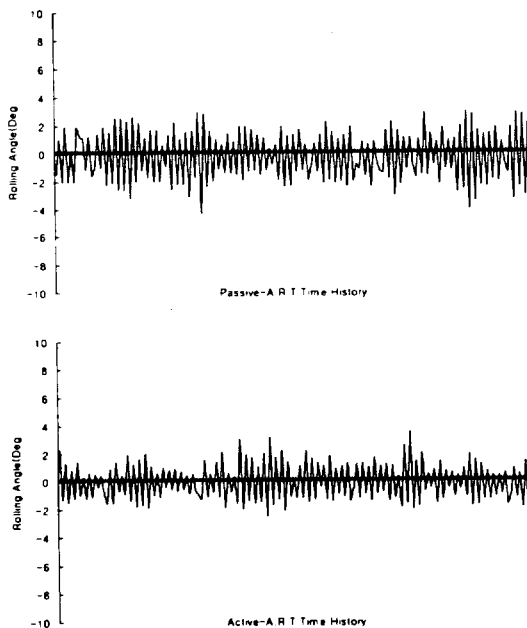


Fig. 4. Time Histories of Rolling Angles in A.R.T. in Irregular Waves at the dead slow ahead engine condition.

했을 때, 즉 Active - A.R.T. 인 경우 선체의 횡동요

경사각 진폭이 현격히 감소됨을 알 수 있었다.

Fig. 4는 평균 풍속 7.5 m/s, 평균 풍향(상대방위) 311°, 평균수심 81 m, 파고 1.5 m 정도의 해상 상태에서 선박의 선속을 저속인 5.5 - 6.0 kt's로 유지하면서, 측정 방법은 정지 상태와 동일하게 하여 진침로 077°로 운항 중, 경사계에 의한 횡동요각 변화를 나타내고 있다. 선박이 저속인 상태에서 횡동요감쇠장치의 작동을 중지했을 때, 경사계에 의한 좌·우현 횡경사각 진폭의 최대값은 각각 4.3°, 2.9° 평균 횡동요 경사각 진폭은 1.0°로 나타났다. 그러나 그 장치를 작동했을 때는 좌·우현 경사각의 최대값은 각각 2.5°, 3.5°, 평균 횡동요 경사각 진폭은 0.7°를 나타내어 작동을 했을 때, 즉 Active - A.R.T. 인 경우 선체의 횡동요 경사각 진폭이 약간 감소됨을 알 수 있었다.

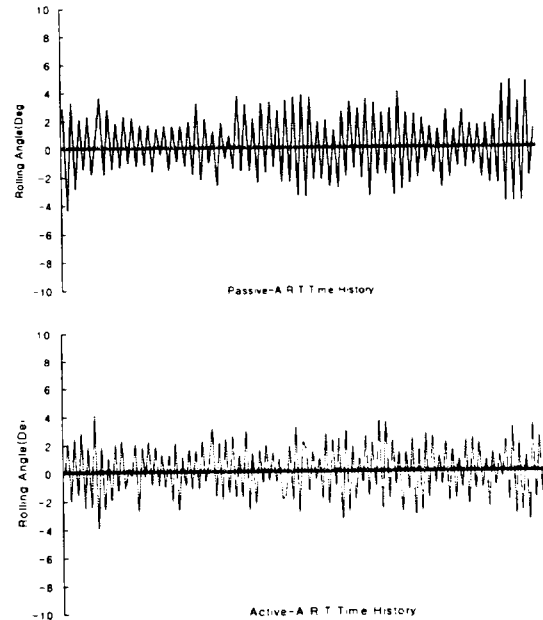


Fig. 5. Time Histories of Rolling Angles in A.R.T. in Irregular Waves at the half ahead engine condition.

Fig. 5는 평균 풍속 10.0 m/s, 평균 풍향(상대방위) 310°, 평균수심 76 m, 파고 1.5 m 정도의 해상 상태에서 선박의 선속을 중속인 10.5 - 11.0 kt's로 유지하면서, 측정 방법은 정지 상태와 동일하게 하여 진침로 076°로 운항 중, 경사계에 의한 횡동요각 변화를 나

타내고 있다. 선박이 중속인 상태에서 횡 동요 감쇠 장치의 작동을 중지 했을 때, 경사계에 의한 좌·우현 횡경사각 진폭의 최대값은 각각 5.1°, 5.4° 평균 횡 동요 경사각 진폭은 1.1°으로 나타났다. 그러나 그 장치를 작동 했을 때는 좌·우현 경사각의 최대값은 각각 4.3°, 4.8°, 평균 횡 동요 경사각 진폭은 1.2°를 나타내어 작동을 했을 때, 즉 Active - A.R.T 인 경우 선체의 평균 횡 동요 경사각 진폭이 약간 컸다.

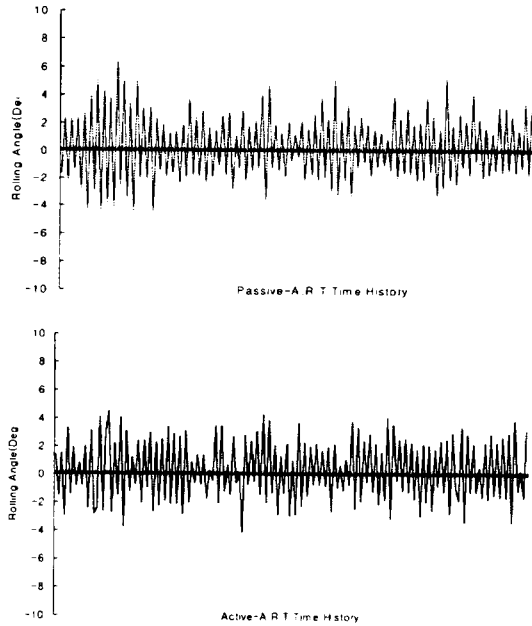


Fig. 6. Time Histories of Rolling Angles in A.R.T. in Irregular Waves at the full ahead engine condition.

Fig. 6은 평균 풍속 10.3 m/s, 평균 풍향(상대방위) 312°, 평균수심 83 m, 파고 1.5 m 정도의 해상 상태에서 선박의 선속을 전속인 12.5 - 13.0 kt's로 유지하면서, 측정 방법은 정지 상태와 동일하게 하여 진침로 075°로 운항 중, 경사계에 의한 횡 동요각 변화를 나타내고 있다. 선박이 전속인 상태에서 횡 동요 감쇠 장치의 작동을 중지 했을 때, 경사계에 의한 좌·우현 횡경사각 진폭의 최대값은 각각 4.4°, 6.4° 평균 횡 동요 경사각 진폭은 1.3°으로 나타났다. 그러나 그 장치를 작동 했을 때는 좌·우현 경사각의 최대값은 각각 4.1°, 4.5°, 평균 횡 동요 경사각 진폭은 1.2°를 나타내어 작동을 했을 때, 즉 Active - A.R.T. 인

경우 선체의 평균 횡 동요 경사각 진폭이 약간 감소 하였다.

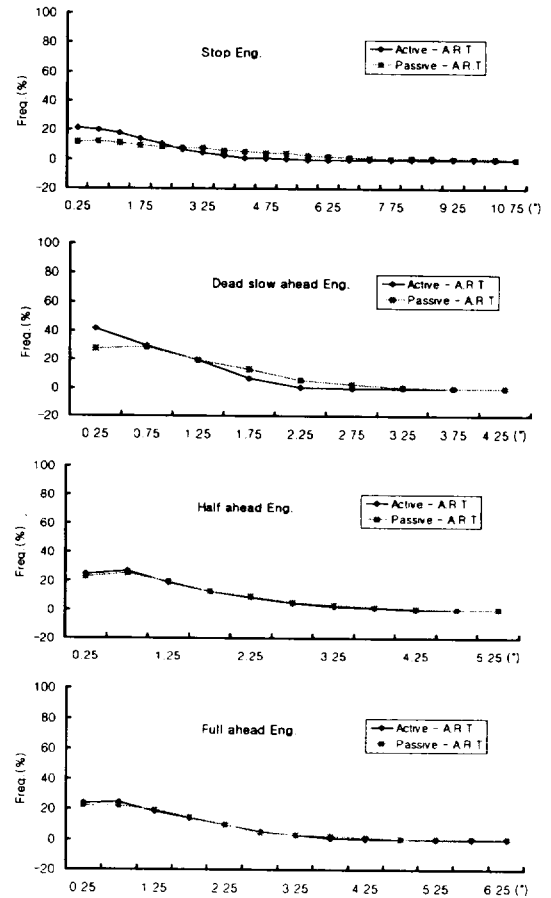


Fig. 7. Frequency in roll angle occurrence for Passive - Active A.R.T systems by the varied speed of ship in Irregular Waves.

Fig. 7은 선속별로 횡 동요 감쇠장치의 작동을 중지 했을 때 (Passive - A.R.T)와 그 장치를 작동 했을 때 (Active - A.R.T) 총 일어난 횡수 가운데 각각의 평균 횡 동요각 진폭에서 일어나는 출현 빈도를 나타내고 있다. 선박이 정지했을 때와 미속으로 항진 했을 때를 살펴보면, Passive A.R.T 인 경우가 Active - A.R.T 에 비교해서 출현빈도의 분포 넓고, 평균 횡 동요각 진폭이 0.75°에서 출현 빈도가 가장 높게 일어나 각각 12.47%, 29.1%로 보였으나, 반면에 Active - A.R.T인 경우에는 평균 횡 동요각 진폭이 0.25°에서 출현 빈도가 가장 높게 일어나 각각 42.2%, 41.6%

로 나타났으며, 그러나 선박이 증속으로 항진했을 때는 Active - A.R.T 인 경우가 Passive - A.R.T에 비교해서 출현빈도의 분포 넓고, 평균 횡 동요각 진폭이 0.75°에서 출현 빈도가 가장 높게 일어나 27.0%로 보였으나, 반면에 Passive - A.R.T 인 경우에는 평균 횡 동요각 진폭이 1.25°에서 출현 빈도가 가장 높게 일어나 각각 26.5%로 나타났다. 또한, 선박이 전속으로 항진 했을 때 살펴보면, Passive A.R.T 인 경우가 Active - A.R.T 에 비교해서 출현빈도의 분포 넓고, 평균 횡 동요각 진폭이 동일하게 0.75°에서 출현 빈도가 가장 높게 일어나 각각 22.2%, 24.7%로 보였다.

Fig. 8은 선속별로 횡 동요 감쇠장치의 작동을 중지했을 때 (Passive - A.R.T)와 그 장치를 작동 했을 때 (Active - A.R.T) 각각의 평균 횡 동요각 진폭에서 일

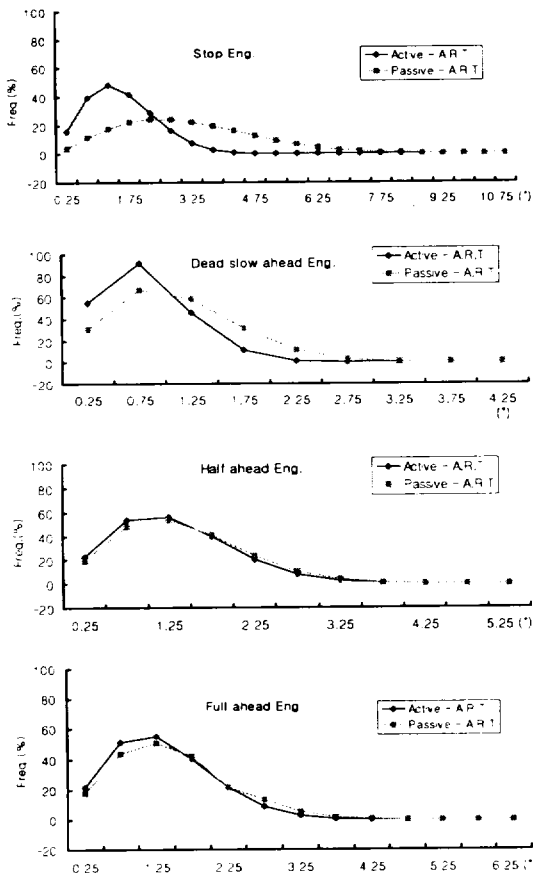


Fig. 8. Frequency in roll angle occurrence for Passive - Active A.R.T systems by the varied speed of ship in Irregular Waves.

어나는 Rayleigh 확률밀도 분포를 나타내고 있다. 선박이 정지 했을 때를 살펴보면, Passive A.R.T 인 경우가 Active - A.R.T에 비교해서 Rayleigh 확률밀도 분포 넓고, 평균 횡 동요각 진폭이 2.25° 및 2.75°에서 Rayleigh 확률밀도 분포가 동일하게 높게 일어나 24.1%로 보였으나, 반면에 Active - A.R.T인 경우에는 평균 횡 동요각 진폭이 1.25°에서 그 분포가 높게 일어나 48.2%로 나타났으며, 그러나 선박이 미속으로 항진했을 때에는 전체적으로 정지 상태와 비슷한 분포를 보여, 평균 횡 동요각 진폭은 0.75°에서 Rayleigh 확률밀도 분포가 동일하게 높게 일어나 각각 66.8%, 91.7%로 나타났다. 선박이 증속으로 항진했을 때는 Active - A.R.T 인 경우가 Passive - A.R.T에 비교해서 Rayleigh 확률밀도 넓고, 평균 횡 동요각 진폭은 1.25°에서 가장 높게 각각 일어났으나, Passive - A.R.T에 비해 3% 정도 높았을 뿐이다. 선박이 전속으로 항진 했을 때 살펴보면, Passive A.R.T 인 경우가 Active - A.R.T에 비교해서 출현빈도의 분포 넓고, 평균 횡 동요각 진폭이 동일하게 1.25°에서 그 분포가 가장 높게 일어나 각각 51.02%, 55.3%로 보였다.

위의 결과에서 보았듯이 시계열에 따른 횡 동요각의 변화에서 능동형 횡동요 감쇠장치의 감쇠 효과는 선박이 정지하고 있을 때에는 상당히 큰 것을 알 수 있었으나, 전진 향해 중일 때에는 그 효과를 정확하게 파악할 수 없었다. Table 2는 선박이 정지, 미속, 증속, 전속별로 횡 동요 감쇠장치를 작동 하지 않았을 때와 작동을 했을 때, 횡 동요각의 진폭을 통계 분석한 결과를 나타낸 것으로서 선박을 정지하였을 때, 횡 동요각 유의 진폭(Significant Amplitude of Roll $\phi_{1/3}$)은 각각 4.9°, 2.6°를 얻을 수 있었으며, 이때의 Passive - A.R.T에 비해 Active - A.R.T의 감소율은 47.2% 정도 이다. 그리고 선속별 결과를 살펴보면, 즉, 미속인 경우는 각각 1.8°, 1.3° 이고 감소율은 26.3%이었고, 그리고 증속인 경우는 2.3°, 2.1° 이고 감소율은 7.1%, 전속인 경우는 2.4°, 2.2° 이고 감소율 9.7% 이다.

선박을 정지하였을 때, 횡 동요각 유의 진폭(Significant Amplitude of Roll $\phi_{1/10}$)은 각각 7.2°, 3.6°를 얻을 수 있었으며, 이때의 Passive - A.R.T에 비해 Active - A.R.T의 감소율은 50.3% 정도이다. 그리고 선속별 결과를 살펴보면, 즉, 미속인 경우는 각각 2.5°, 1.8°

이고 감소율은 25.1%이었고, 그리고 증속인 경우는 3.2°, 3.0°이고 감소율은 7.4%, 전속인 경우는 3.5, 3.0 이고 감소율 14.6% 이다.

Table 2. Results of Statistical Analysis of the operations in Passive and Active A.R.T

Items	Conditions of Engine	Type of Anti - Rolling Tank		Rates of Reduction (%)
		Passive	Active	
Significant amplitude of roll (1/3)	Stop	4.9°	2.6°	47.2
	Dead slow ah'd	1.8°	1.3°	26.3
	Half ah'd	2.3°	2.1°	7.1
	Full ah'd	2.4°	2.2°	9.7
Significant amplitude of roll (1/10)	Stop	7.2°	3.6°	50.3
	Dead slow ah'd	2.5°	1.8°	25.1
	Half ah'd	3.2°	3.0°	7.4
	Full ah'd	3.5°	3.0°	14.6

요약

제주대학교 실습선 아라호에 장착된 능동형 횡 동요 감쇠장치의 성능이 선박의 속력과의 관계를 파악하기 위하여 선박을 정지, 미속, 증속, 전속으로 구분하여 횡 동요 감쇠장치를 정지(Passive A.R.T), 작동(Active A.R.T)을 했을 때 경사계에 의한 횡 동요각 및 종 동요각, 풍속계에 의한 풍속의 변화에 의한 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 선박이 정지했을 때가 능동형 횡 동요 감쇠장치의 1/3, 1/10 횡 동요각 유의 진폭에서 감소율이 가장 높아 47.2%, 50.3%를 나타냈으며, 반면에 증속인 경우 가장 낮은 7.1%, 7.4% 나타내므로, 이 장치는 선속의 변화에 차이가 있는 것으로 판단된다.
2. 선속의 변화에 따라 그 효율이 많은 차이가 있으므로 이 장치를 장착한 선박의 운항자는 이를 감

안하여 작동하여야 할 것으로 생각되며, 통계분석 결과에 의해서 선속과 감소율의 관계를 회귀분석 식으로 나타내어 보면 다음과 같았다.

즉, 횡 동요각 유의 진폭 (Amplitude of and significant roll ($\phi_{1/3}$)) : $y = -3.233x + 45.613$

횡 동요각 유의 진폭 (Amplitude of and significant roll ($\phi_{1/10}$)) : $y = -3.157x + 46.840$ 을 각각 얻을 수 있었다.

참고 문헌

권석암. 1985. Active A.R.T (air controll)의 자동 제어에 의한 성능에 관한 연구. 인하대학교 대학원 석사학위논문.

방일남. 1999. 능동형 감요수조 시스템의 실용화를 위한 실험적 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문.

유재문·백창섭·장진호·유희석·김재성·김효철. 1997. 감요 수조 설계를 위한 Bench Tester의 개발. 대한조선학회 추계학술대회논문집, pp.313-316.

유재문. 2000. 능동형 Anti-Rolling Tank 시스템 개발. 선박안전지, 5: 30-40.

최찬문·안장영·이창현. 2004. 능동형 횡 동요 감쇠 장치의 성능에 관한 연구. 한국어업기술학지, 40 (2): 138-143.

Chadwick, J. H. 1955. On the Stabilization of Roll. Trans. SNAME, Vol.63.

J.M. Lew, B.J. Choi and H.C. Kim. 2003. On the Passive type Anti-Rolling Tank and its Active by Air Blower. SOTTECH, 7(1): 19-28.

Stigter, Ir. C. 1966. The performance of U - tank as a passive Anti-rolling Tank. Publication of the Netherlands ship Research centre TNO.