

능동형 횡동요 감쇠장치의 성능에 관한 연구

최찬문[†] · 안장영 · 이창현

제주대학교

A Study on the Performance of Active Anti-Rolling Tank Stabilizer System

Chan-Moon CHOI[†], Jang-Young AHN and Chang-Heon LEE

Cheju National University

Abstract

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 tank 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 for 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 average amplitude and significant roll($\phi_{1/3}$) of the passive and active mode operations in the condition of stoped engine and underway were obtained 8.30°, 4.37°, 8.30°, 4.37°, and 5.01°, 4.36°, 5.50°, 5.10°, respectively.
2. The rates of performance of active mode operations were carried out during a sea trial in the condition of stop engine and underway resulted in 47.5%, 12.7%, respectively, therefore the active mode operation estimated to be improved more than passive mode operation.
3. Active - A.R.T by INTERING Stabilizer didn 't affect the amplitude of pitching.

Key words : passive and active A.R.T(수동, 능동형 감요수조), intering stabilizer(감쇠장치), inclinometer(경사계), average amplitude of roll(평균 횡요각의 진폭), significant amplitude of roll(유의 횡요각의 진폭)

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 해상에서

의 각종 활동과 임무수행의 정도를 결정하는 주요한 인자가 되고 있다. 횡동요(Rolling)는 6 자유도 운동 가운데에서 가장 중요한 운동이며, 선박들이 근본적으로 횡동요에 대하여 낮은 감쇠특성을 갖고 있기 때문에 안정성 측면에서 볼 때에 가장 많이 제

[†]Corresponding author : cmchoi@cheju.ac.kr

어되어 왔다. 또한 선박의 안정성능, 운항성능 및 조업성능과도 밀접한 관계를 가지고 있다. 선형운동방정식에 대해 횡동요를 줄이는 세 가지 방법은 감쇠계수(Damping coefficient)를 증가시키는 방법, 선박의 고유주기를 변화시키는 방법, 기진력(Exciting force) 및 모멘트를 감소시키는 방법 등이 있다. 그리고 횡동요 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 수조Passive A.R.T이며, 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 이루어지므로 별도의 동력을 요구하지 않는다는 장점을 가지고 있다. 그 형상 면에서도 선박에 횡동요 고유주기에 근접한 파랑을 만나는 경우 뛰어난 효과를 나타내고 있다. 그런데 이것은 선박 횡동요의 공진 주파수 영역에서는 탁월한 감쇠 성능을 보이나, 그 밖의 주파수 영역에서는 오히려 횡동요를 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 현재 제주대학교 실습선 아라호에 설치 한 능동형 감요장치를 실험하기 위하여 해상에서 선박의 정지, 항해 상태에서 그 장치를 작동, 중지 했을 때 경사계에 의한 횡동요각, 종동요각을 측정하여 이에 대한 성능의 정도를 면밀히 검토 하는데 그 목적을 두었으며, 향후, 소형 어선에서의 적용 방법을 찾고자 한다.

재료 및 방법

횡동요 운동을 하고 있는 선박의 진폭 및 각속도가 작다고 가정하여, 선체의 운동을 선형화시키고, 규칙파 중에서의 선체운동을 횡동요만 생각하면, 선박과 감요 수조 계(系)의 운동방정식은 다음 (1), (2)식과 같이 나타낼 수 있다(방 : 1999).

$$J_s \ddot{\phi} + B_s \dot{\phi} + J_{st} \ddot{\Omega} + K_{st} \Omega = K_s \phi \dots\dots\dots(1)$$

$$J_s \ddot{\phi} + K_t \phi + J_t \ddot{\Omega} + B_t \dot{\Omega} + K_t \Omega = K_t \phi \dots\dots\dots(2)$$

단, 여기에서는

- ϕ : 배의 횡동요각
- Ω : 감요 수조 내 유체의 경사각
- φ : 파도의 경사각
- J : 관성모멘트계수
- B : 감쇠계수
- K : 복원력계수
- st : 선박과 감요 수조(Tank)의 연성관계를 나타내고 있다.

식(1)은 감요 수조를 장착한 선박의 파랑중의 운동방정식이다. 이 식의 좌변 마지막 두 항이 선박에 작용하는 감요 수조의 효과 즉, 감요 모멘트(Anti-Roll Moment)를 나타내는 항이다. 그 효과는 파경사각, 수조의 자유표면의 2차모멘트, 탱크의 상하위치의 변화에 따라서 비례하여 변화하게 되는데 탱크의 자유수면이 크거나, 탱크가 깊어 큰 경사각까지 탱크 내 물의 이동이 커질 수 있게 되면 횡요 감쇠효과가 커지고, 탱크의 위치가 높을수록 효과가 더 향상 되는 것을 알 수 있다. 그리고 발생하는 모멘트와 진폭이 크더라도 위상차가 적당치 않으면 감요 수조의 효과는 감소하게 되는 것을 나타내고 있다. 그리고 식(2)는 수동형 감요 수조의 운동방정식이다.

$$J_{st} \ddot{\phi} + K_t \phi + J_t \ddot{\Omega} + B_t \dot{\Omega} + K_t \Omega = M_B \dots\dots\dots(3)$$

식(3)은 식(2)에 횡동요의 감쇠를 위하여 파력항(Wave forcing term)을 기계적 장치에 의하여 발생하는 횡요 감쇠 모멘트 항(Anti - Roll Moment term), M_B 로 바뀌어 지도록 구상한 것으로써, 이것이 능동형 감요 수조의 운동방정식이다.

Fig. 1은 제주대학교 실습선 아라호의 능동형 횡동요 감쇠장치 INTERING Stabilizer사의 U - tank를 이용한 Active A.R.T형의 탱크 구조를 나

타내고 있다.

탱크는 A와 B로 나누어지며, 그 형태는 U-tube형으로써, 각 탱크 중앙에는 유체 운동이 자유롭게 일어날 수 있도록 Cross duct형 구조로 되어있다. “A” 탱크는 선체 FR 47-49 사이에 위치하고 그 용량은 22.78m³, 자유표면의 모멘트는 157 t-m이며, “B” 탱크는 선체 FR 41-47 사이에 위치하고, 그 용량은 67.57m³, 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 횡동요를 감소시키고 중화 또는 저지하도록 되어 있어서, 그 조절이 자동적으로 이루어질 수 있는 시스템이다.

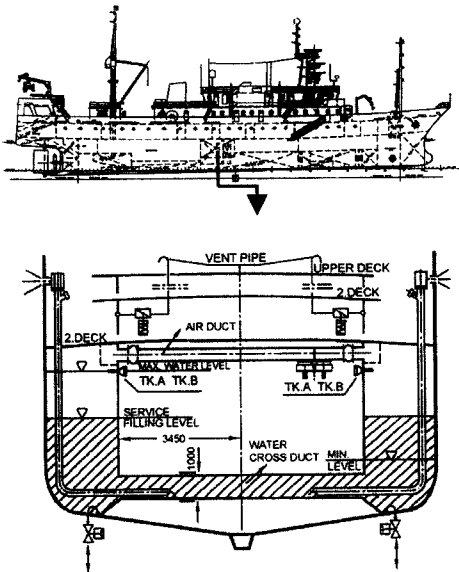


Fig 1. Arrangement and Function scheme of INTERING Stabilizer of T/S. A-RA.

Fig. 2는 능동형 횡동요 감쇠 장치의 성능을 검토하기 위한 측정방법의 계통도이고, Table 1은 선박의 6자유도 운동 가운데 회전운동을 하는 횡동요, 종동요의 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 의해

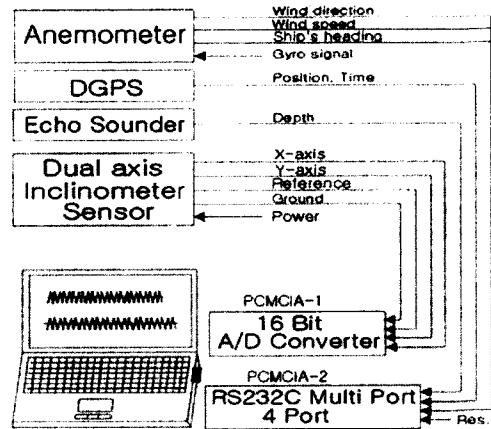


Fig. 2. Schematic diagram of operation using the equipments.

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

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

서 행하여 졌으며, 이를 실습선 아라호 선교 선체 중심선 상에 설치하여 해상에서 선박을 정지한 상태, 운항중일 때에 능동형 횡동요 감쇠장치를 작동시켰을 때와 작동을 중지하였을 때 AD 변환기를 통해 횡동요각(Rolling Angle), 종동요각(Pitching Angle), 풍향풍속에 의한 진풍향(상대 및 절대방위), 진풍속, GPS에 의한 위치, 선속, 선수방위, 어군탐지기에 의한 수심을 일정한 간격 즉, 횡동요 및 종동요각에 대해서는 0.4 sec., 그 외에는 2.0 sec. 간격으로 자료들을 자동 수신하였다. 해상의 상태는 수시로 변하기 때문에 본 실험에서는 가능한 동일한 해상 조건을 반영하기 위하여 측정 시간을

10~20분 간격으로 감요장치를 작동(ON : Active-A.R.T), 작동 중지(OFF : Passive-A.R.T)시켜서, 선박을 정지 상태에서는 4회, 운항 중에는 5회에 걸쳐 측정하고 그 성능 정도를 비교, 분석하였다.

결 과 및 고찰

Fig. 3은 33°00'44" N, 125°59'88" E 위치에서 평균수심 108.1m, 평균 풍속 4.6 m/s, 평균 풍향(상대방위) 111.8°, 파고 2m 정도의 해상 상태에서 선박을 정지한 후, 횡동요 감요장치를 정지(Passive A.R.T), 작동(Active A.R.T)했을 때, 경사계에 의한 횡동요각 및 종동요각, 풍속계에 의한 풍속의 변화를 나타내고 있다. 선박이 정지한 상태에서 횡동요 감쇠장치의 작동을 중지 했을 때, 경사계에 의한 좌·우현 횡경사각 진폭의 최대 값은 각각 10.50°, 10.10°, 평균 횡경사각 진폭의 범위는 좌현으로 2.74°, 우현으로는 2.79°로 나타났다. 그러나 그 장치를 작동 했을 때는 좌·우현 경사각의 최대 값은 각각 5.2°, 5.5°, 평균 횡경사각 진폭의 범위는 좌현으로 1.37°, 우현으로는 1.45°를 나타내어, 작동을 했을 때가 선체의 횡경

사각 진폭이 현격히 감소됨을 알 수 있었지만, 선수·미경사각인 종동요는 거의 변화를 보이지 않았다.

Fig. 4는 선박이 항해 중에 31°00'37" N, 126°05'83" E-33°38'31" N, 128°04'00" E 사이의 해역에서 횡동요 감쇠장치의 작동을 정지(Passive A.R.T), 그리고 작동(Active A.R.T)했을 때, 각각의 횡동요각, 풍속 변화를 나타내고 있으며, 이 때의 해상 상태는 평균 풍속은 7.1 m/s., 평균 파고는 3m 정도, 평균 풍향은 117.0°, 평균 선속은 13.6 kts였으며, 그 장치의 작동을 멈추었을 때, 경사계에 의한 좌·우현 횡경사각 진폭의 최대 값은 6.50°, 5.00°, 평균 횡경사각 진폭의 범위는 좌현으로 1.37°, 우현으로는 1.45°로 나타났다. 그러나 그 장치를 작동했을 때는 좌·우현 횡경사각 진폭의 최대 값은 5.80°, 4.60°, 평균 횡경사각 진폭의 범위는 좌현으로 1.57°, 우현으로는 1.15°로 보이고 있으므로, 작동을 했을 때, 선체의 경사가 약간 감소하는 것으로 판단되고, 선수·미경사각의 변화는 선박이 정지 했을 때와 같이 거의 없는 경향을 보였다.

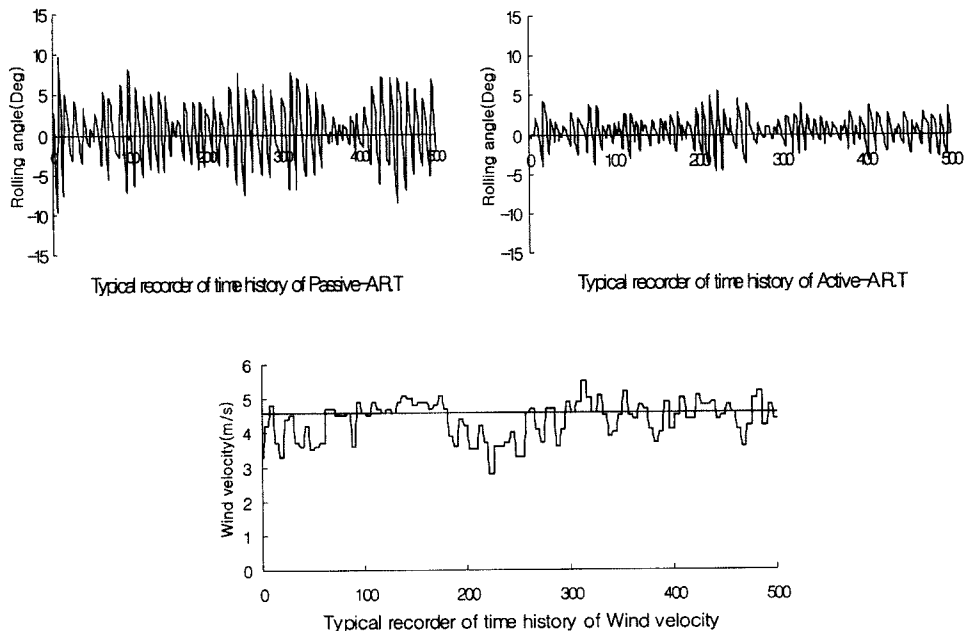


Fig. 3. Time Histories of Rolling Angles in A.R.T, Wind velocity in Irregular Waves at the stop engine condition.

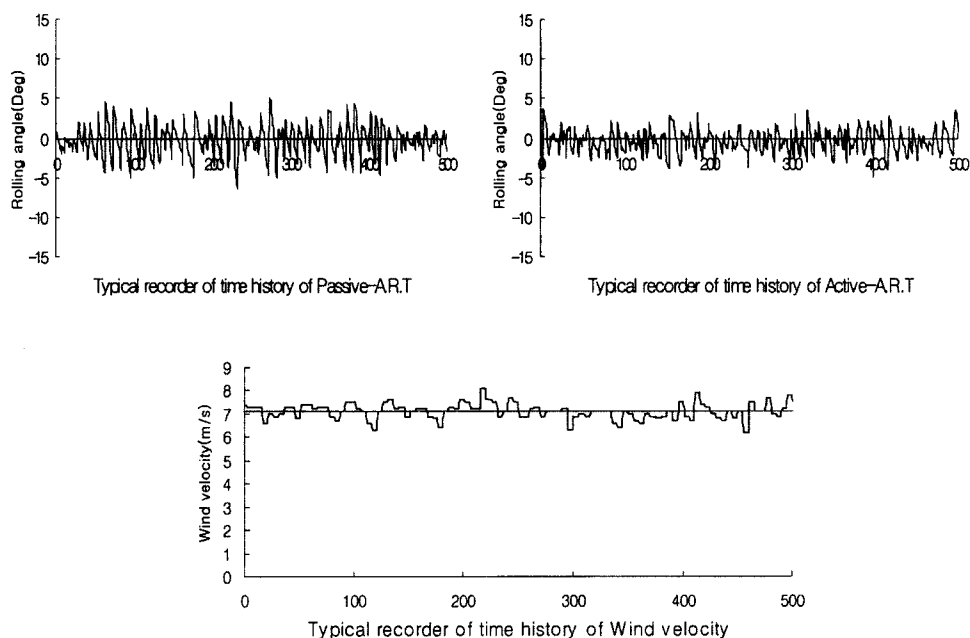


Fig. 4. Time Histories of Rolling Angles in A.R.T, Wind velocity in Irregular Waves at the condition of Underway.

위의 결과에서 보았듯이 시계열에 따른 횡동요각의 변화에서 능동형 횡동요 감쇠장치의 감쇠 효과는 선박이 정지하고 있을 때에는 상당히 큰 것을 알 수 있었으나, 항해 중일 때에는 그 효과를 정확하게 파악할 수 없었다.

Fig. 5는 선박이 정지 중일 때 횡동요 감쇠장치의 작동 상태에 따른 횡동요각(Roll angle)의 진폭을 상대누적 도수 분포도로서 나타낸 것으로서, 작동을 중지 하였을 때 즉, Passive A.R.T 일 때에는 횡동요각의 진폭의 범위가 매우 넓은데 반해, 작동을 하였을 때 즉, Active A.R.T 일 때에는 그 진폭이 매우 좁은 것을 볼 수 있으므로 검은 선이 차지하는 면적 만큼 감쇠가 이루어지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6는 선박이 운항 중일 때, 횡동요 감쇠장치의 작동 상태에 따른 상대누적도수분포도를 나타낸 것으로서, 선박이 정지하고 있을 때의 결과와 전반적으로 비슷한 형태를 보였지만, 명확하게 효과가 있다고 판단하기가 어렵다는 것을 알 수 있다.

Table 2.는 선박이 정지, 항해 중에 횡동요 감쇠장치를 비 작동과 작동을 했을 때, 횡동요각의 진폭을 통계 분석한 결과를 나타낸 것으로서, 선박을 정

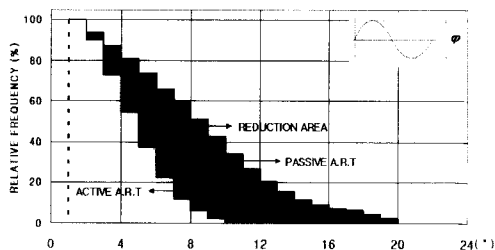


Fig. 5. Relative Amplitude Distribution of Roll Angle in the Passive and Active A.R.T at the condition of Stop Engine.

지하였을 때, 평균진폭(Average Amplitude of Roll)은 각각 8.30°, 4.37°, 횡동요 유의 진폭(Significant Amplitude of Roll $\phi_{1/3}$)은 각각 10.10°, 5.30°를 얻을 수 있었으며, 반면에 선박이 항해 중일 때에는 횡동요 평균진폭(Average Amplitude of Roll)은 각각 5.01°, 4.36°, 횡동요 유의진폭(Significant Amplitude of Roll $\phi_{1/3}$)은 각각 5.50°, 5.10°으로 나타났다. 이상의 결과에서 횡동요 감쇠장치를 작동한 경우 감쇠 성능을 비교

하여 보면, 선박이 정지 상태에서는 47.5%, 항해 했을 때에는 12.7% 정도의 효율이 나타나므로, 횡동요 감쇠장치의 성능은 선속과 파도의 고·저에 따라 그 성능에 많은 차이가 있을 것으로 생각되며, 특히, 표류하면서 어로작업을 하는 어선 및 유선에서 더욱 더 그 성능이 향상될 것으로 판단되어 향후 이에 대한 연구가 요구된다.

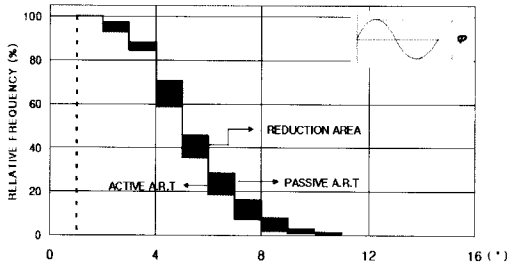


Fig. 6. Relative Amplitude Distribution of Roll Angle of the Passive and Active A.R.T in the condition of Underway.

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	
		Passive	Active
Average amplitude of roll	Stop Engine	8.30°	4.37°
	Underway	5.01°	4.36°
Significant amplitude of roll(1/3)	Stop Engine	10.1°	5.3°
	Underway	5.5°	5.1°
Significant amplitude of roll(1/10)	Stop Engine	14.7°	7.1°
	Underway	7.6°	6.7°
Significant amplitude of roll(1/100)	Stop Engine	20.5°	10.4°
	Underway	11.0°	6.97°

요 약

제주대학교 실습선 아라호에 장착된 능동형 횡동요 감쇠장치의 성능에 관해 연구하기 위하여 33° 00' .44" N, 125° 59' .88" E 위치에서 선박을 정지한 후, 횡동요 감쇠장치를 정지(Passive A.R.T), 작동 (Active A.R.T)을 했을 때 경사계에 의한 횡동요각 및 종동요각, 풍속계에 의한 풍속의 변화와 그리고 선박이 항해 중에 감쇠장치의 작동을 정지 (Passive A.R.T), 작동 (Active A.R.T) 했을 때의 능동형 횡동요 감쇠장치의 성능을 분석한 결과

에 대해 요약하면 다음과 같다.

1. 선박이 정지했을 때 횡동요 감쇠장치를 정지, 작동한 경우 횡동요각의 평균진폭(Average Amplitude of Roll)은 각각 8.30°, 4.37°, 횡동요각의 유의진폭(Significant Amplitude of Roll $\phi_{1/3}$)은 각각 10.10°, 5.30°으로 나타났다.
2. 선박이 항해 중 일 때에는 횡동요각의 평균진폭(Average Amplitude of Roll)은 각각 5.01°, 4.36°, 횡동요각의 유의진폭(Significant Amplitude of Roll $\phi_{1/3}$)은 각각 5.50°, 5.10°으로 각각 나타났다.
3. 횡동요 감쇠장치는 선박이 정지했을 때에는 47.5%, 선박이 운항 했을 때에는 12.7% 정도의 감쇠 효율을 보여서 정지했을 때 그 효율이 높은 것으로 나타났다.
4. 횡동요 감쇠 장치는 종동요(Pitching)에 대해서는 거의 영향을 미치지 않았다.

참고문헌

J. H. Chadwick(1955) : On the Stabilization of Roll, Trans. SNAME, Vol. 63.
 Ir. C. Stigter (1966) : The performance of U-tank as a passive Anti-rolling Tank, Publication of the Netherlands ship Research centre TNO.
 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.
 Jae-Moon Lew, Bong-Joon and Hyo-Chul Kim (2003) : On the Passive type Anti-Rolling Tank and its Active by Air Blower, SOTTECH, Vol. 7, No. 1, pp.19-28.
 유재문, 백창섭, 장진호, 유희석, 김재성, 김효철 (1997) : 감요 수조 설계를 위한 Bench Tester의 개발, 대한조선학회 추계학술대회논문집, pp. 313 - 316.

2004년 1월 7일 접수
 2004년 3월 4일 수리