

능동형 Anti-Rolling Tank 시스템 개발

유재문/충남대학교 선박해양공학과 교수

1. 서언

선박은 파랑이 항상 존재하는 해상에서 운항되며, 파랑중에서 6자유도 운동을 하게 된다. 이러한 선박의 운동은 여객, 승무원, 화물 및 선박 자체의 안전에 큰 영향을 미칠 뿐 아니라 해상에서의 각종 조업활동의 정확도와도 긴밀한 관계를 가지고 있다. 예컨대 해양 탐사선의 탐사 정확도 확보, 함정의 작전능력 향상, 어선의 조업 조건 개선 등을 충족시키려면 선박의 운동성능을 개선하는 것이 우선적으로 요구되게 된다.

일반적으로 선박이 경험하는 6자유도 운동 중 횡동요(Roll)는 선박의 안전문제뿐만 아니라 승무원 및 승객의 안락감과 긴밀한 관계를 가지고 있다. 따라서 중·소형 선박에서는 쾌적한 운항 및 안전 향해를 위해 횡동요 경감 장치가 반드시 필요하게 된다.

횡동요 감쇠장치로는 Bilge Keel, Fin-Stabilizer, 및 Anti-Rolling Tank(이후 ART로 표기함) 등이 있는데, 이중 감요성능과 경제성 등의 측면에서 수동형 감요수조(Passive Anti-Rolling Tank)가 보편적으로 사용되고 있다. 수동형 ART는 1911년 Frahm에 의하여 U-tube형 ART가 개발된 이래, Chadwick[1]과 Stigter[2]에 의해 이론적 체계가 정립된 이래로 많은 선박에 적용되어왔다. 수동형 ART는 설계된 재화상태에 대응하는 횡동요 고유주기로 운항할 때 최적의 효과를 발휘하도록 형상

이 설계되기 때문에 설계조건을 벗어나는 운항 상태에서는 감요효과가 많이 감소되는 단점을 가지고 있다. 수동형 ART의 규칙파 중에서의 운동특성은 횡동요 운동이 크게 나타나는 공진 영역에서는 충분한 감요성능을 보이고 있으나 공진영역을 벗어난 주파수 영역에서는 오히려 횡동요를 증가시키는 역효과가 발생한다. 일반적으로 선박이 운항하는 해상은 여러 가지 주파수와 파고가 복합적으로 합쳐져 만들어지는 불규칙한 특성을 가지기 때문에, 실제 선박에 설치되는 ART의 성능을 향상시켜주기 위해서는 규칙파 중에서의 이러한 역효과를 제거하는 것이 반드시 필요하다. 수동형 ART에서는 최적 탱크 감쇠모멘트를 얻도록 함으로써 이러한 역효과를 최소화하고 있다.

이에 반해 U-tube 내 유체의 이동에 동력을 사용하여 운동제어에 효과적으로 작용하도록 하는 능동형 ART(Active ART)가 최근 개발되어 설치되고 있다. ART내 유체의 유동을 제어하는 방법으로는 유체 연결통로에 Impeller를 두어서 제어하는 방법과 본 연구에서 도입한 것처럼 공기 연결통로 내에 공기를 불어넣거나 흡입하여 제어하는 방법 등 사용되고 있다.

본 보에서는 최근 탁월한 횡동요 감소효과를 보인 능동형 ART에 대해 소개하기로 한다. 능동형 ART는 되먹임 제어(Feedback Control) 개념을 Bang-Bang Control 기법에 적용하여 ART의 공기 연결통로 내의 공기를 강제송풍기

(Air Bower)와 전자석식 밸브(Solenoid Valve)를 이용하여 제어하도록 구성되어 있다. 개발된 능동형 시스템은 횡 규칙과중의 모형시험을 통하여 공진영역(Resonance Region)에서 60%이상의 횡동요 감쇠효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 주파수 전 영역에서 효과적인 감요성능을 발휘함을 확인하였다. 또한, 불규칙과 중에서 정지 시 횡파(Beam Sea)와 추사파(Stern Quartering Sea)에 대한 모형시험을 수행하여 대단히 만족스러운 결과를 얻었다. 앞으로 실선에 장착되어 선박의 운항성능 향상에 기여할 수 있기를 기대한다.

2. 수동형 ART

2.1 운동방정식

좌표계를 Fig. 1과 같이 잡고, 선박의 횡동요 진폭 및 각속도가 작다고 가정하여 선체의 운동 문제를 단순화시키고 횡규칙과중의 횡동요만을 고려하면 선박과 ART계의 운동방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다[3].

선박에 대하여

$$J_s \ddot{\phi} + B_s \dot{\phi} + K_s \phi + J_{st} \ddot{\mathcal{Q}} + K_t \mathcal{Q} = K_s \psi \quad (1)$$

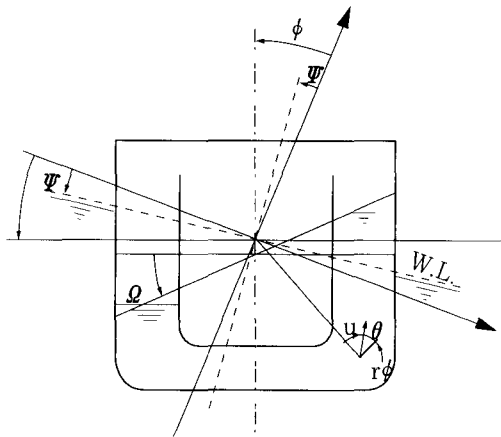


Fig. 1 Coordinate System

ART에 대하여

$$J_{st} \ddot{\phi} + K_t \phi + J_t \ddot{\mathcal{Q}} + B_t \dot{\mathcal{Q}} + K_t \mathcal{Q} = K_t \psi \quad (2)$$

단, 여기서

ϕ : 배의 횡동요각

J_s, J_t, J_{st} : 배, 탱크, 배-탱크의 관성모멘트

\mathcal{Q} : ART내 유체의 경사각

B_s, B_t : 배 및 탱크의 감쇠계수

ψ : 파도의 경사각

K_s : $\Delta \cdot GM$

K_t : $\rho i = \Delta \cdot GG_0$

i : 탱크액면의 2차 모멘트

2.2 ART의 효과

식(1)은 ART를 장착한 선박의 파랑중의 운동방정식이다. 이 식에서 좌변의 마지막 두 항이 선박에 작용하는 ART의 효과를 나타내는 항이다. 즉,

$$M_t = J_{st} \ddot{\mathcal{Q}} + K_t \mathcal{Q} \quad (3)$$

규칙과중의 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)를 식(1)에 대입하면 다음 식을 얻게 된다.

$$J_s \ddot{\phi} + \left(B_s + \frac{M_0}{\omega} \sin \delta \right) \dot{\phi} + (K_s - M_0 \cos \delta) \phi = K_s \psi \quad (5)$$

여기서, $\omega_s^2 = \frac{K_s}{J_s}$, $\omega_t^2 = \frac{K_t}{J_t}$, $\xi_s = \frac{B_s}{\omega_s J_s}$

$C = \frac{M_0}{K_t}$, $\lambda = \frac{K_t}{K_s}$, $e = \frac{\omega}{\omega_s}$ 와 같이 무차원 변수

를 도입하면 식(5)는 다음과 같이 변형된다.

$$\ddot{\phi} + \left(\xi_s + \frac{C \sin \delta}{e} \right) \lambda \omega_s \dot{\phi} + (1 - \lambda C \cos \delta) \omega_s^2 \phi = \omega_s^2 \psi$$

$$= \omega_s^2 \phi \quad (6)$$

이제 $\psi = \psi_0 e^{im}$ 라 하면 식(6)으로부터 Magnification Factor(μ)를 구할 수 있다

$$\mu = \left| \frac{\phi_0}{\psi_0} \right| \quad (7)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{[1 - (e^2 + \lambda C \cos \delta)]^2 + e^2 (\zeta_s + \frac{C \sin \delta}{e} \lambda)^2}}$$

식(7)에서 $\frac{C \sin \delta}{e} \lambda$ 항이 감쇠 성능에 관련되고, $\lambda C \cos \delta$ 는 선박의 주파수에 기여함을 알 수 있다.

Fig. 2에 감쇠계수 ζ_s 인 선박의 magnification factor를 무차원 주파수 e 에 대해 도시하였다.

Fig. 2로부터 ART가 설치되지 않은 선박의 경우에는 주파수 e_1 에 해당하는 magnification factor, μ 가 A가 됨을 알 수 있다. 그러나 ART가 설치되면 ART의 감쇠력 및 주파수의 영향으로 μ 는 $(\zeta_s + \frac{C \sin \delta}{e} \lambda)$ 곡선으로 바뀌게 되며, 해당 주파수는 $\sqrt{e_1^2 + \lambda C \cos \delta}$ 로 변화하게 된다. 따라서 ART가 설치된 선박의 운동응답은 ART가 설치되지 않은 선박의 운동응답 A점으로부터 B점으로 변하게 되며, 이 결과를 주파수 e 에 대해 도시하면 Fig. 2의 점선과 같이 나타나게 된다. Fig. 2로부터 ART는 공진 영역에서 효과가 있으나 그 외의 주파수 대에서는 오히려

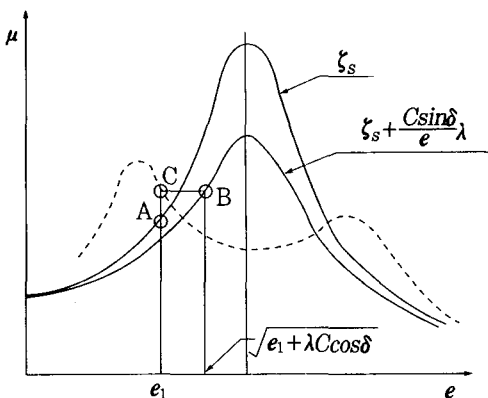


Fig. 2 RAO of Roll with ART

역효과가 나타나고 있음을 알 수 있다.

2.3 ART 효과에 영향을 주는 제 요소

2.3.1 탱크 모멘트

ART의 감요모멘트, M_t 는 식(2)와 같고, 탱크 내 유체의 경사각을 $\Omega = \Omega_0 e^{im}$ 라 하면

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

가 된다.

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

식(8)로부터 ART의 효과는 파 경사각, Ω , 탱크 자유표면의 2차모멘트를 나타내는 K_t 및 탱크의 상하위치를 나타내는 $(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{st}^2})$ 에 비례함을 알 수 있다. 이로부터 탱크의 자유표면이 크거나, 탱크가 깊어 탱크 내 물의 경사각이 커지면 효과가 커짐을 알 수 있다. 또한, Fig.3에 보인 U형 탱크는 $J_{st} \approx 2 \frac{\rho}{g} A R^2 (h+z)$ 로 근사화 되므로 $\omega_{st}^2 = \frac{K_t}{J_{st}} = \frac{g}{h+z}$ 가 되어 탱크의 위치 Z 가 음이 되면 탱크 모멘트가 커지게 된다. 따라서, 탱크의 위치가 높을수록 ART의 효과가 좋음을 알 수 있다.

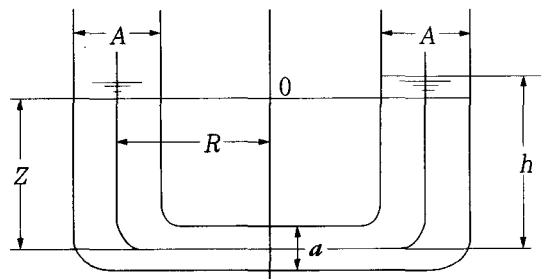


Fig. 3 Definition of Variables

2.3.2 위상차

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.

3. 수동형 ART의 성능개선

앞에서 살펴본 바와 같이 수동형 ART는 횡동요가 큰 공진영역에서는 ART로써 충분한 감요효과를 발휘하나 그 이외의 영역에서는 오히려 횡동요를 증가시키는 역효과가 나타나는 단점을 갖고 있다. 특히, 저주파수대역, 즉 파장이 긴 영역에서는 ART에 의한 모멘트가 크기 때문에 인위적으로 위상차를 유지할 수 있도록 적절한 감쇠장치를 부가하거나 ART내 유체유동을 제어하는 등의 다음과 같은 부가적인 작업을 통해 성능 개선을 시도해 보았다.[5]

3.1 ART 유체 연결통로의 단면적 변화

U-tube형 ART의 역효과를 줄이려는 목적으로 ART의 고유주기를 변화할 수 있는 장치를 제작하고 ART의 유체연결통로에 설치하여 고유주기의 변화를 살펴보았다. 세부 실험조건과 적용된 ART의 세부제원 및 단면적 변화 형상을 Table 1과 Fig. 4에 도시하였다.

Table 1 Experimental Conditions for Duct Height Variation

횡동요각	구분	덕트높이(mm)
4	H0	52
	H1	42
7	H2	32
	H3	27
9	H4	17
	H5	12

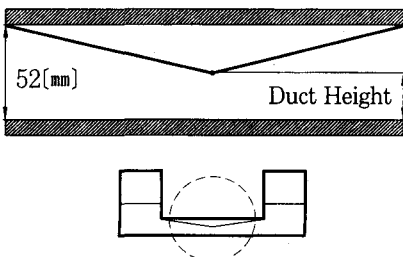


Fig. 4 Configuration of Connecting Duct

ART의 기초설계연구를 위하여 자체 설계, 제작한 Bench Tester에 대상 ART를 장착하고 횡동요각을 4도, 7도, 9도로 각각 변화시켜가며 횡동요주기 1.2초에서 10초 사이의 12개 주파수에 대해서 실험을 수행하였다.

Bench Tester에서 실험하여 얻어진 4도의 횡동요각에 대한 모멘트 Amplitude Curve와 Phase Angle Curve를 각각의 유체연결통로 높이조건에 대하여 Fig. 5와 Fig. 6에 도시하였다

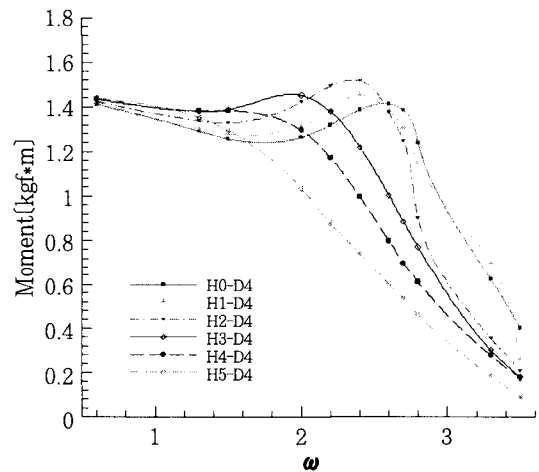


Fig. 5 Tank Moment for Various Duct Height

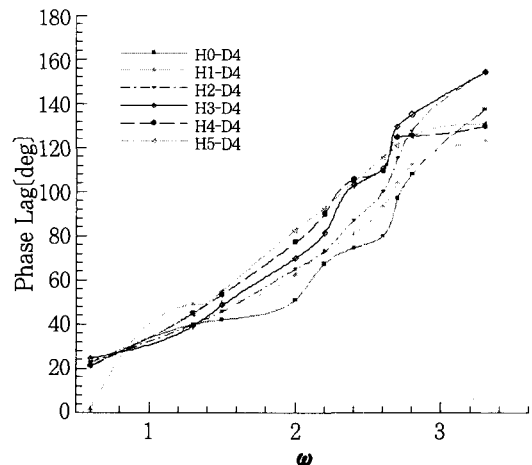


Fig. 6 Phase Angles for Various Duct Height

다. Phase Curve에서는 유체연결통로의 높이 H의 변화에 따라 주파수에 대해 점점 저주파수 영역으로 평형이동을 하고 있음을 확인할 수 있다. 이것으로 유체연결통로의 높이의 감소에 따라 ART의 고유주기가 점차 증가하고 있음을 알 수 있다. 그 변화의 폭은 모형선에서는 0.6 초이고 실선에서는 약 2.4초 정도의 범위에서 조절이 가능한 것이다. 전체적인 높이의 변화가 아니라 국부적으로 중앙부분에서만 변화를 주었고, 높이를 조절하는 판이 아주 완만한 경사를 갖는 형상이기 때문에 계산치 만큼의 커다란 변화를 얻을 수는 없었지만, ART의 감쇠특성을 나타내는 Curve의 기울기에는 거의 변화를 주지 않고서 주기변화를 가져올 수 있음을 확인하였다. 또한 모멘트 Amplitude Curve에서는 유체연결통로높이가 22mm보다 작은 경우에 대한 곡선에서는 현저한 감요모멘트의 경향변화를 확인할 수 있다. 이것은 유동량을 제약하면서 주기를 증가시키려 했던 결과로 판단된다.

만약 조절판의 형상을 갖는 유사한 구조물을 유체연결통로의 바닥면에 양측으로 2개를 보조로 설치하여 유체연결통로의 전반적인 부분에서 높이변화를 줄 수 있도록 중앙의 조절판과 함께 조절한다면 어느 정도의 감요 모멘트를 유지하면서 충분한 주기변화를 가져올 수 있을 것으로 예측할 수 있다.

3.2 ART의 공기 연결통로의 효과

U-tube형 ART의 양현측 저수조를 연결하는 공기통로의 효과 및 단면적의 변화에 따른 ART의 특성변화를 살펴보기 위해 Bench Tester를 사용하여 Table 2와 같은 공기연결통

Table 2 Experimental Conditions for Various Air-duct Area

항 목	단면적[cm ²]	[%]
Air - hole	15.90	2.5
Air - duct	1[E/A]	4.91
	2[E/A]	9.81

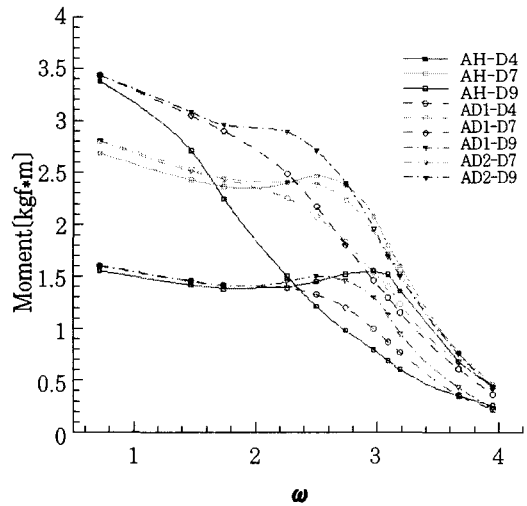


Fig. 7 Tank Moments for Various Air-duct Area

로의 단면적이 다른 실험조건에서 4도, 7도, 9도의 횡동요각에 대하여 실험을 수행하였다.

Fig. 7에는 모멘트 Amplitude Curve를 도시하였는데 횡동요각이 증가함에 따라 Amplitude도 증가함을 알 수 있다. 그러나 ART 천정판에 공기방출구를 둔 Air-hole상태에서는 횡동요각이 증가함에 따라 그 경향이 작은 각도에서와 다르게 나타나고 있다. U-tube형 ART의 양현측 저수조를 연결하여주는 Air-duct가 있는 경우에는 주파수에 대한 모멘트 Amplitude의 경향이 횡동요각의 증가에 따라 Amplitude가 증가함을 확인할 수 있는데 Air-hole상태에서는 횡동요각의 증가에 따라 Air-duct상태에 비해서 현저하게 Amplitude가 감소하고 있음을 알 수 있다. 횡동요각이 증가함에 따라 이동되는 유체의 양도 비례해서 증가하게 되는데 Air-duct상태에서는 공기관 안의 공기가 유출되지 아니함으로 에너지보존이 이루어짐으로 ART가 발생하는 모멘트를 유지할 수 있다. 반면, Air-hole상태에서는 실제 양현측 저수조에서 공기가 대기중으로 유입, 유출되기 때문에 Air-duct상태와는 달리 공기를 수조로 흡입하여 압축하고 다시 공기를 대기 중으로 방

출하는 과정에서 에너지 손실이 나타나기 때문에 현저하게 모멘트가 줄어들고 있는 것으로 판단할 수 있다.

Fig. 8에는 Phase Angle Curve를 나타내었는데, 그림에서 쉽게 알 수 있듯이 공기관로(Air-duct)가 있는 경우에는 경사각과 단면적에 관계없이 거의 동일한 위상지연(Phase Lagging) 경향을 갖게 된다. 그러나 공기방출구(Air-hole)를 둔 상태에서는 경사각의 변화에 따라 주기와 관련된 변화가 나타나고 있으나 ART의 감쇠성과 관련된 전체적인 기울기 면에서는 그리 큰 변화가 없음을 확인할 수 있다.

결과적으로, 공기관로의 단면적의 크기의 조절로써는 ART의 감쇠특성을 조절하는 것은 바람직한 방법이 아니라고 하겠다. 따라서 ART의 감쇠특성을 변화시키기 위해서는 유체연결통로에서 ART내 유체의 유동특성을 바꾸어주는 것이 필요하다.

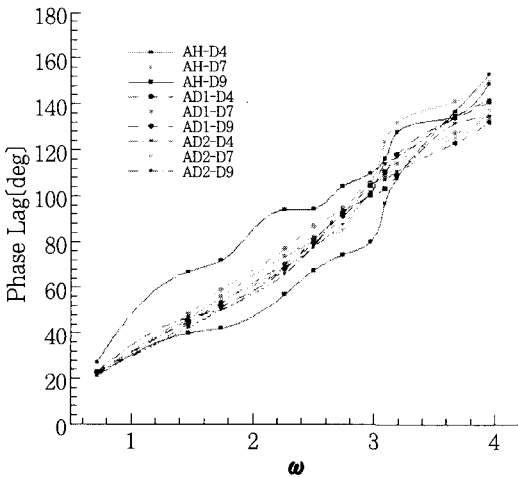


Fig. 8 Phase Angles for Various Air-duct Area

4. 능동형 ART

4.1 운동 방정식

능동형 ART에 대한 운동방정식은 다음 식으

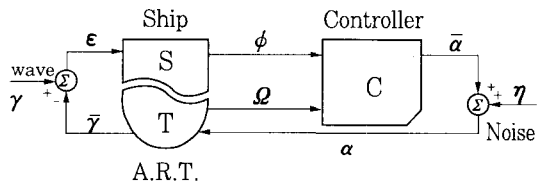
로 표현된다.

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

식(10)은 수동형 ART에 관한 운동방정식과 달리 파력항(wave forcing term)이 강제송풍기(Blower)에 의해서 발생하는 횡동요감쇠 모멘트항(anti-roll moment term), M_B 로 바뀌어진다.

식(10)을 본 연구에서 구상한 능동형 ART 시스템을 장착한 선박의 문제로 접근하면, ART를 장착한 선박의 문제는 크게 선박, 파랑, 제어시스템 및 ART의 4부분으로 나누어 생각할 수 있다.

통상적인 제어이론으로 표현할 수 있는 선박과 ART계의 되먹임제어 개념을 Fig. 9의 계통도(Block Diagram)로 도시하였다. 여기에서 S, T 그리고 C는 각각 선박, ART, 그리고 제어기의 응답함수를 나타내며, γ 는 파도에 의한 횡동요 모멘트, 그리고 $\bar{\gamma}$ 는 제어시스템을 통한 ART에 의해서 발생하는 감요모멘트를 나타낸다. 또한, η 는 제어기와 ART Actuator 사이에서 발생하는 여러 가지 교란과 잡음(Disturbance & Noise)성분을 나타낸다.



- S : Transfer function of Ship
- T : Transfer function of A.R.T
- C : Transfer function of Feedback Control
- ϕ : Roll Angle of Ship
- ϱ : A.R.T. Water slope

Fig. 9 Block Diagram of Active ART

이미 앞에서 살펴 본 바와 같이 U-tube형 ART를 장착한 선박의 Roll RAO에서 나타나

듯이 고유주기 이외의 주파수 영역에서는 오히려 횡동요를 증가시키는 역효과가 발생한다. 이러한 역효과를 제어하는데 고주파수에서는 ART가 갖는 감요모멘트의 진폭자체가 작기 때문에 별반의 제어가 필요 없고, 단지 ART내의 유체유동을 차단하는 것만으로도 역효과를 개선할 수 있지만, 저주파수 영역에서는 감요 모멘트의 진폭이 크게 나타나므로 인위적인 유동의 제어가 필요하다. 즉, 공진 영역보다 낮은 저주파수에서는 선박의 운동성능을 개선하기 위하여 인위적으로 ART 내 유체의 유동을 제어하거나 차단하는 등의 적절한 주파수 및 위상차의 제어가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 ART 내 유체유동을 인위적으로 유기시킬 수 있는 강제송풍기와 유동흐름의 방향을 조절할 수 있는 전자석식 Valve System을 구성하여 유동제어를 수행하였다.[6]

4.2 유동제어 알고리즘

선박의 횡동요를 감소시키는 메커니즘(Mechanism)은 파랑에 의해 유기되는 선박의 횡동요와 ART내 유체의 유동이 $\pi/2$ 만큼의 위상차를 유지하도록 ART내 유체의 유동을 제어하는 것이다. 제어인자로서는 경사도계(Inclinometer)에서 얻어지는 횡동요각, Kalman Filter를 거친 신호로부터 얻어지는 횡동요각속도, 그리고 양현측 저수조내에 설치된 파고계에 의한 유체의 수위로 구성된다. 제어 알고리즘은 Fig. 10에 도시된 바와 같이 ART내 유체의 유

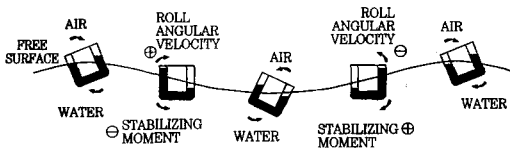


Fig. 10(a) Position of Ship and Water Level in the Waves

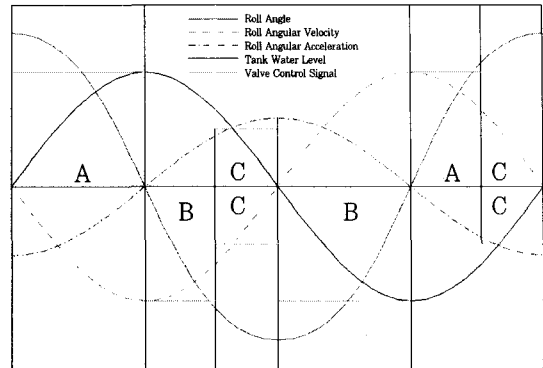
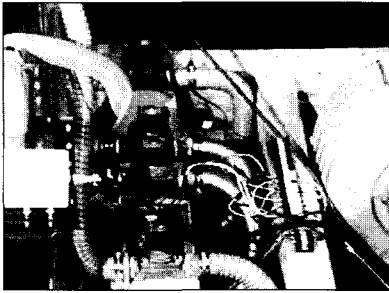


Fig. 10(b) Relations between Roll angle, Velocity, Acceleration and Water Level

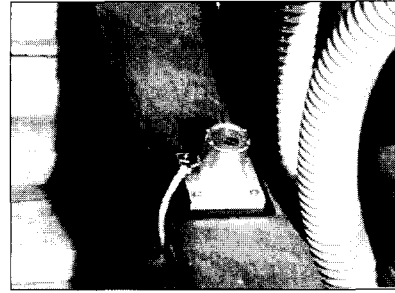
동이 횡동요각과 $\pi/2$ 의 위상차를 유지하도록 하기 위하여 ART내 유체의 위치가 횡동요각속도와 반대의 위상을 갖도록 시스템을 제어하는 것이다.

본 연구에서 유동제어를 위하여 구성한 시스템에서는 연속제어(Continuous Control)가 이루어질 수 없으므로 Valve로 유동을 단속시켜 제어하는 『ON/OFF Control』 즉, 『Bang-Bang Control』 개념의 도입이 필요하다. 적용된 『Bang-Bang Control』의 개념을 세부적으로 살펴보면, Fig. 10(b)에 도시한 그림에서 가로방향 실선으로 표기된 밸브 제어신호처럼 시스템이 A 영역에 위치할 경우, 즉 횡동요각이 양이고 각속도가 음일 경우에는 제어가 좌현측의 저수조로 원하는 위치까지 수조내 유체를 이동시키는 제어 명령을 내보낸다. 그와 반대로 시스템이 B 영역에 있을 경우 유체의 위치를 반대 방향의 원하는 높이까지 보내는 제어명령을 내보낸다. 또한, 구간 C의 점선으로 표시된 가로방향의 선은 횡동요각과 각속도가 같은 부호일 경우에 양현측 저수조의 수위가 같아지도록 밸브를 제어하는 명령이며 이 구간에서 Actuator와 System 간의 시간지연(Time Lagging)의 보상이 이루어진다.

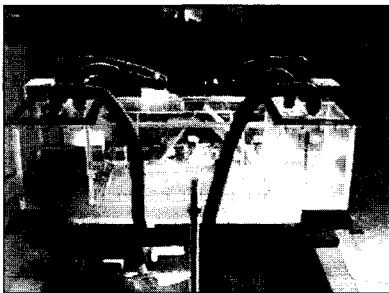
이렇게 개발된 능동형 ART시스템의 사진을 Fig. 11에 도시하였다.



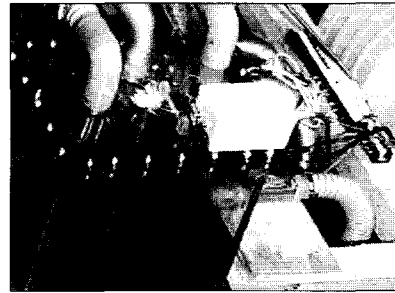
Solenoid Valve Sets



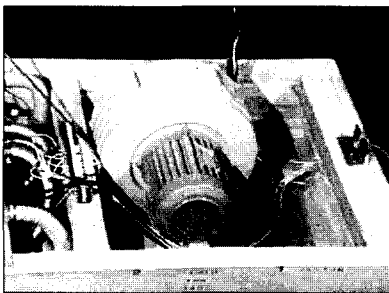
Inclinometer



Front View of Active System



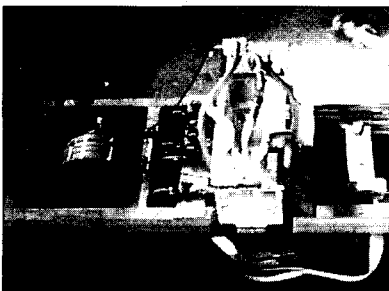
Tank Water Level Probe



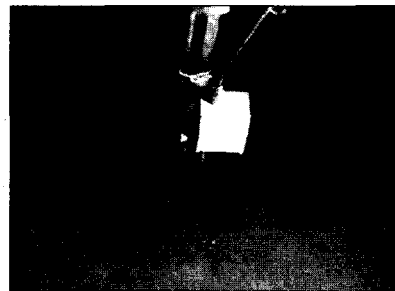
Blower Unit



VCR System



Active anti-rolling system



Wave Probe

Fig. 11(a) Configurations of Active ART System

Fig. 11(b) Configurations of Data Acquisition Equipment

5. 모형시험 결과 및 고찰

5.1 규칙파 중 모형시험

모형시험에 사용된 모형선은 25톤급 해양경비정으로 Fig. 12에는 Body Plan을, Table 3에는 모형선의 주요 제원을 보였다. 모형선의 횡동요 주기는 1.6초였으며, ART는 Bench Tests를 목적으로 제작된 주기 2초의 아크릴로 제작된 모형을 사용하였다. 수동형 ART는 모형선과 탱크 내 고유주기의 선택이 ART 성능에 중요한 영향을 미친다. 본 실험에서 선택한 실험 조건은 능동형 ART 성능과 비교하기 위한 목적으로 수동형 ART의 성능이 다소 좋지 않을 것으로 예상되는 조건을 택하였고, Wave Steepness 1/50의 횡규칙파 중에서 모형시험을 수행하였다.

실험조건은 Anti-rolling tank가 작동하지 않을 때와 수동형, 능동형, 반능동형으로 작동하는 4가지의 경우에 대하여 실험을 수행하였

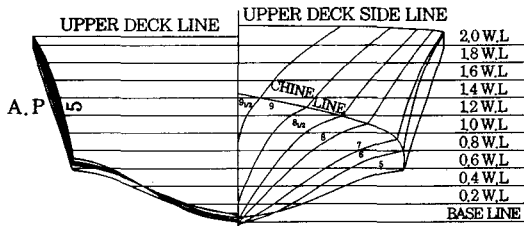


Fig. 12 Body Plan of 25ton Class Boat

Table 3 Principal Dimensions of 25ton class Boat

Particulars	Ship	Model
LBP[m]	18.3	3.66
B _{mid} [m]	4.6	0.92
Draft[m]	0.9095	0.1819
Displacement Vol[m ³]	28.67	0.2294
Scale Ratio, λ	1	5

고. Fig. 13에 Roll RAO (Roll Response Amplitude Operator) Curve를 도시하였다. 이 결과로부터 능동형 ART의 성능이 다른 경

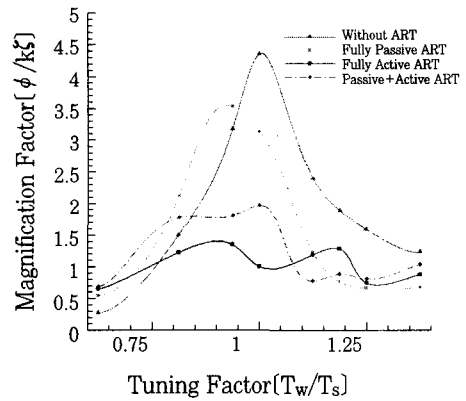


Fig. 13 RAO of 25ton Class Boat

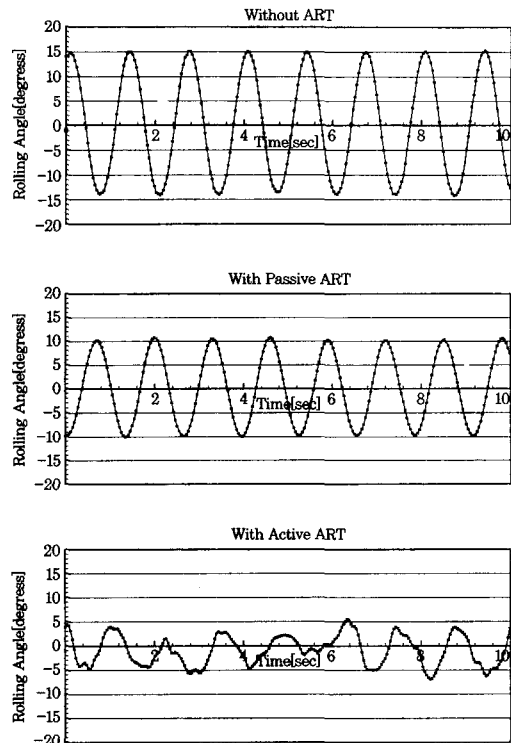


Fig. 14 Measured Roll Amplitudes in Regular Waves

우에 비해 뛰어난 성능을 보이며, 특히 파 주기가 큰 저주파수 영역에서 탁월한 성능을 보이고 있음을 알 수 있다. Fig. 14에서 알 수 있듯이 수동형 ART는 고유주파수 이외의 주파수 영역에서 역효과가 현저하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 특히 ART의 고유주기와 선박의 고유주기가 다소 많은 차이를 보이고 있어 수동형 탱크가 하중 변화 발생 시 효과가 저하될 것을 예상하게 해 준다. 동일한 탱크에 본 연구에서 개발된 능동형 제어장치를 작동시킴으로써 공진 영역 뿐만 아니라 주파수 전 영역에서 그 효과를 극대화 할 수 있음을 확인하였다.

또한, 공진 영역에서 3가지의 서로 다른 경우에 대한 전형적인 횡동요 진폭의 Time History를 Fig. 14에 나타내었다.

5.2 불규칙파 중 모형시험

본 ART의 불규칙파중 실험은 규칙파중의 모형과 같은 것을 택했으며, 정지 시 불규칙파중에서 완전한 측면 파도(beam sea)를 받는 경우와 파도가 배와 45도를 이루며 입사(stern quartering sea)되는 경우에 대해 실험을 실시하였다. 모형시험 결과는 능동형 ART를 작동시켰을 때와 작동시키지 않았을 때 및 수동형 ART 작동시의 3가지에 대해 각각 시험하였고, 모형시험 결과를 Fig. 15, 16에 도시하였다. 시험 중에는 파도와 각도가 일정하게 유지되도록 하기 위해 필요한 최소한의 줄을 이용하였다.[7]

Fig. 15는 불규칙파 횡파 중 수행된 모형시험 결과에 대한 Time History를 보여주고 있으며, Fig. 16은 선미와 45도를 이루며 비스듬하게 입사하는 추사파에 대해 수행된 모형시험 결과를 보여주고 있다. Fig. 15에서 수동형 탱크가 작동되었을 때는 탱크를 작동시키지 않았을 때에 비해 그 효과가 두드러지게 나타나고 있지 않은데 비해, 능동형 ART를 작동시켰을 때는 대체로 높은 감요효율을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이로부터 하중 변화로 인해 수동형 ART

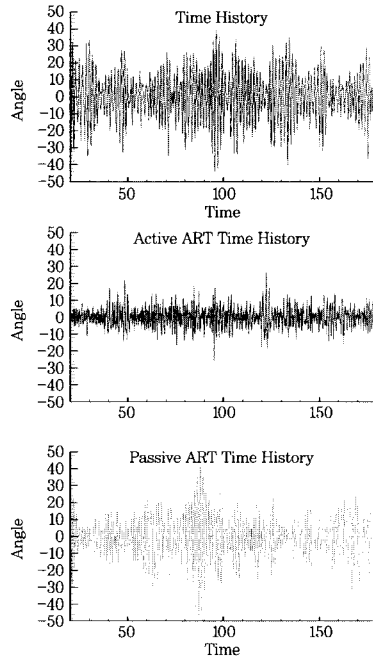


Fig. 15 Time Histories of Roll Angles in Irregular Beam Waves

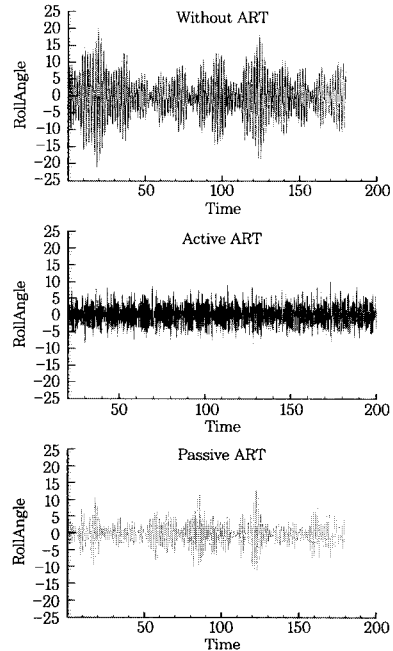


Fig. 16 Time Histories of Roll Angles in Irregular Stern Quartering Waves

의 효과가 많이 감소하고 있는 경우에도 능동형 제어장치를 도입하면 높은 감요효율을 올릴 수 있을 것이 기대된다. Fig. 16 역시 횡파의 결과와 비슷하게 나타나고 있다. 그러나 불규칙 횡파에 비해 roll 운동응답이 크지 않기 때문에 수동형 ART의 성능이 다소 개선된 것으로 나타났다. 그러나 이 경우에도 능동형 ART가 작동되었을 때의 감요효율이 가장 높은 것을 알 수 있었다. 두가지 모형시험으로부터 불규칙 파 중에서 능동형 ART를 작동하게 되면 선박의 roll 운동응답이 거의 일정하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

이 결과로부터 하중 변화가 심하며, 황천항해가 많은 중·소형 함정 및 여객선 등에는 능동형 ART의 설치가 바람직하다고 생각한다.

6. 결 언

본 연구에서는 위상차의 제어에 기반을 둔 제어 알고리즘을 개발하였고, ART 내 유체유동을 제어할 수 있는 Blower와 유동흐름의 방향을 조절할 수 있는 Solenoid Valve 시스템 및 밸브 스위칭 콘트롤러를 구성함으로써 수동형 ART의 장점을 유지하면서 단점을 개선할 수 있는 능동형 ART 시스템을 개발하였다.

개발된 능동형 ART를 선형수조시험 수조에서 규칙파 중 모형시험을 수행하여 주파수 전 영역에서 효과적인 감요성능을 발휘하고 있음을 확인하였고, 불규칙파 중에서도 탁월한 효과를 발휘함을 확인하였다.

선박에서 ART의 효과는 거주성, 작업성의 향상뿐만 아니라, 능동형의 특이한 장점을 활용하면 화물의 탑재량 증가 및 화물의 손상 방지 등도 기대할 수 있을 것이다.

7. 참 고 문 헌

[1] J. H. Chadwick, Jr., "On the

Stabilization of Roll", Trans. SNAME, Vol. 63, 1955

- [2] Ir. C. Stigter, "The performance of U-tank as a passive anti-rolling tank", Publication of the Netherlands Ship Research Centre TNO, 1966
- [3] "내항성에 관한 심포지움", 일본조선학회, 1969
- [4] 백창섭, 김효철, 유재문 외, "ART 설계를 위한 Bench Tester의 개발", 1997년도 대한조선학회 추계학술대회 논문집, 1997. 11
- [5] 백창섭, 김효철, 유재문 외, "수동형 감요수조의 성능개선을 위한 실험적 연구", 1997년도 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, 1997. 4
- [6] 백창섭, 김효철, 유재문 외, "능동형 감요수조 시스템의 개발에 관한 실험적 연구", 1998년도 대한조선학회 추계학술대회 논문집, 1998. 11
- [7] 방일남, 백창섭, 유재문, 김효철, "불규칙파 중의 능동형 감요수조 성능에 관한 실험적 연구", 1999년도 대한조선학회 추계학술대회 논문집, 1999. 11
- [8] C.-S. Baek, J.-M. Lew and H. Kim, "An experimental study on the performance improvement of passive anti-rolling tank", Proceeding of CKMHM, 1997
- [9] B.S. Lee, D. Vassalos, "An Investigation into the Stabilization Effects of Anti-rolling Tanks with Flow Obstructions", International Shipbuilding Progress, 43, no.433, 1996