

승선감 개선을 위한 Anti-Seasickness Bed 개발에 관한 연구 A Study on the Development of Anti-Seasickness Bed

김영복 · 이권순 · 서진호 · 최용운 · 채규훈

Y. B. Kim, K. S. Lee, J. H. Suh, W. Y. Choi and G. H. Chae

Key Words : Boarding Sensitivity(승선감), Rolling(롤링), Pitching(피칭), Anti Seasickness Bed(멀미방지베드)

Abstract : In ship operation the consequence of roll and pitching motion can seriously degrade the performance of mechanical and personnel effectiveness. So many studies for the roll stabilization and trimming control system design have been performed and good results have been achieved where the stabilizing fins, tanks, rudders and flaps are used.

However the ultimate objective of such approach should be focused on improving the boarding sensitivity. But there may exist many unsolved problems, for examples, ship control performance degradation and increasing of system complexity. So, the achieved control performance could not give us enough comfortable boarding sensitivity where the residual rolling and pitching motion are main drawbacks.

To get rid of these disadvantages, the main hull control systems design approach has been considered using semiactive absorber. In this system, dampers, spring, dynamic dampers and control system with sensors are incorporated.

In our system considered in this study, just two motors and control system with sensors are used for the bed. And the control system can be installed on each bed. So, we can control every bed on the specified control objective respectively. Above all, the good advantages of this system are the facts followed from simple idea and usefulness. Of course the structural modifications are needed. Considering disturbances, we design control system and verify the usefulness of developed system from the experimental study.

1. 서 론

조선공학분야에서 최근 관심의 대상이 되고 있는 것은 고속선의 개발과 상용화에 관한 것이다. 이것은 신속한 물류수송이라는 과제를 안고 물류허브로서의 중추적 위치를 선점하기 위한 우리의 현재 관심사와 맞물려 다양한 각도에서 다양한 방법으로 연구개발에 진력하고 있다. 1970~1990년 사이에는 35~40노트 정도가 고속선의 범주에 속하였으나 1990년 이후에는 그 속도가 더욱 빨라져 70노트에 이르는 고속페리선이 개발되기도 하였다. 몇몇 컨테

이너선의 경우에도 40노트를 넘나드는 고속선이 개발된 것도 있다.

이와 같이 선박의 고속화 및 안정성을 향상시키기 위한 기술개발노력이 다양하게 진행되고 있다.

이와 같은 연구개발의 궁극적인 목적은 화물의 안전한 수송 및 인간 즉, 승선자에게 주는 부담감을 최소화하여 승선감을 개선하는 것이다. 이러한 목적 달성을 위한 많은 연구개발결과는 상당한 개선효과를 가져오고 있으며 다양한 선박에 대한 특성을 고려한 장치들도 개발되어져 있다^{1~7)}. 그 대표적인 것이 편-스테빌라이저, 횡동요(롤링) 방지용 탱크 및 러더 롤-스테빌라이저 등이다. 이러한 장치는 화물의 안전한 수송이라는 것에 가장 큰 비중을 두고 있으며, 인간중심의 승선감 개선이라는 목적에는 다소 그 비중이 떨어지는 것이 사실이다. 즉, 이러한 장치는 선박자체 혹은 선박이라는 구조물 전체에 대한 흔들림 방지효과를 얻기 위한 것이며 선박내의

접수일 : 2005년 12월 23일
김영복(책임저자) : 부경대학교 기계공학부
E-mail : kpjiwoo@pknu.ac.kr, Tel. 051-620-1584
이권순, 서진호 : 동아대학교 전기공학과
최용운(崔龍雲) : 創價大學(일본) 工學部
채규훈 : 군산대학교 동력기계시스템공학전공

어느 일부 혹은 특정 공간에 있어서의 승선감 개선을 위한 것은 아니다. 이것은 설계상의 한계와도 관련된 것이며 경우에 따라서는 실현 불가능한 부분 일지도 모른다. 이러한 문제를 극복하기 위한 연구 결과도 보고되어 있다⁸⁾. 이것은 main hull을 능동(active) 및 반능동(semiactive) absorber를 이용하여 진동을 억제하고자 하는 것이다. 선체진동은 앞서 소개하였듯이 파도, 바람 및 엔진 등에 의해 발생하는 것이다. 그렇기 때문에 선박에 있어서의 흔들림을 포함한 진동은 다양한 주파수 및 다양한 강도의 복잡한 형태를 갖는 것이 가장 큰 특징이다. main-hull 진동제어 시스템도 이러한 특성에 대한 적극적인 대처방안의 한 예라고 할 수 있다. 이 장치는 main-hull에 유압시스템 및 전기적 시스템 구축이 필요한 것이 가장 큰 단점이 된다. 즉 고가의 기본 설비를 필요로 한다.

이러한 문제를 해결하고자 하는 것이 본 연구의 가장 큰 목적이다. 인간이 거주하는 가장 작은 공간에서 가장 단순한 시스템으로 인간, 즉 승선자에게 최대한의 휴식공간을 제공하고자 하는 것이다. 본 장치는 구급차용 환자이송 지원시스템으로부터 기본적인 아이디어를 얻었으며⁹⁾ 그 시스템의 확장이라고 할 수 있다. 따라서 선박에서 선박자체의 진동제어 시스템이 갖추어져 있다고 하더라도 해결할 수 없는 영역의 승선감 개선이라는 목적에 주안점을 두고 장치개발에 관한 기초연구를 진행하였으며 기초실험결과를 통해 개선효과를 충분히 기대할 수 있다는 것을 소개하고자 한다.

2. 문제의 정식화

우선 선박운동환경에 있어서의 제 문제에 대해 먼저 고찰한다. 즉, 선박운동 중에 있어서 외부적 요인에 의해 인간에게 부가되는 부담에 대해 살

펴보기로 한다. 그 대표적인 것이 멀미이며 이것은 어떤 특정 주파수에서 선박의 수직운동에 가장 밀접한 관계가 있다는 것은 잘 알려져 있는 사실이다¹⁰⁾. 약 1[rad/s]를 중심으로 한 그 주변 영역에서 인간이 가장 민감하게 반응하게 된다. 이러한 반응정도(민감도)는 MSI 지수로 평가하고 나타내게 되는데 이것은 진동 등의 자극에 2시간 동안 노출시킨 후 고통을 호소하는 정도를 백분율로 나타낸 것으로 다음 식으로 정의된다.

$$MSI = 100 \left[0.5 \pm \operatorname{erf} \left(\frac{\pm \log_{10} (|a_v|/g) \mp \mu_{MSI}}{0.4} \right) \right] \quad (1)$$

여기서

erf : 오차함수

a_v : 반주기동안의 평균수직가속도

$$\mu_{MSI} = -0.819 + 2.32(\log_{10} \omega_e)^2$$

ω_e : 지배 주파수[rad/s]

해양에서의 파도는 바람에 의해 발생되며 그 크기는 에너지 스펙트럼으로 표현된다. WMO(World Meteorological Organization)에서는 해양상태를 10 등급으로 분류하고 있다. 이렇게 분류된 해양조건에 따라 다양한 선박운동능력을 테스트하는 것이 표준화된 절차이다. 본 연구에서는 이와 같은 표준화된 기준(해양상태)에 근거한 승선감 개선이라는 궁극적 목적을 달성하기 위해 제안된 시스템의 특성에 대해 고찰한다. 그리고 실험을 통해 실제 환경에서의 적용가능성을 파악하고 유용성을 검증한다.

3. 제어대상과 시스템 표현

본 연구에서 제안하는 멀미방지시스템에 대해 소개한다. 이 장치는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 롤링

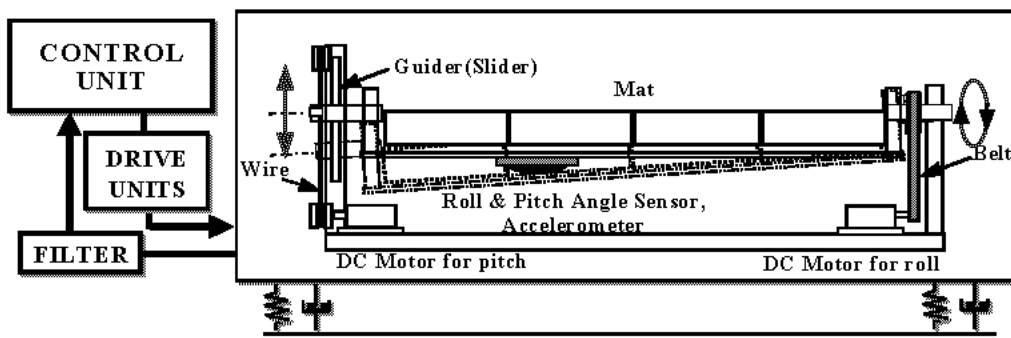


Fig. 1 Schematic diagram of an anti-seasickness bed¹¹⁾

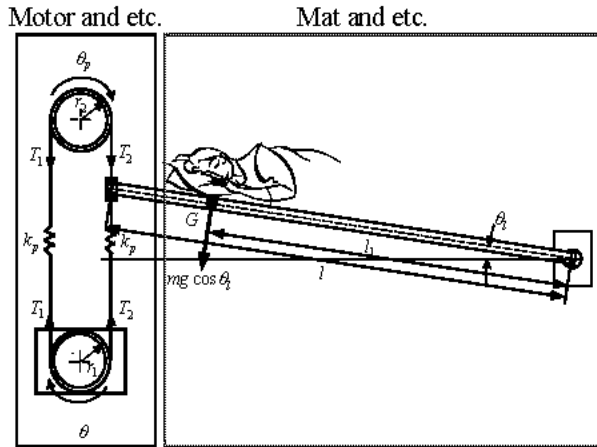
및 피칭운동에 대응하도록 고안되었다. 그림에서와 같이 좌측 및 우측 하단에 두개의 모터가 설치되어 있으며 좌측 모터는 와이어를 통해 매트(Mat)의 상하운동을 제어한다. 그림에서 인체 두부가 매트 좌측에 놓인다고 생각하고, 좌측모터의 운동만으로 피칭 등의 수직운동에 대한 대응동작을 충분히 발생시킬 수 있도록 고안하였다.

그리고 우측 하단에 설치된 모터는 벨트를 통해 매트의 회전운동을 발생시킨다. 이것은 선박의 롤링운동에 대응할 수 있도록 고안된 것이다.

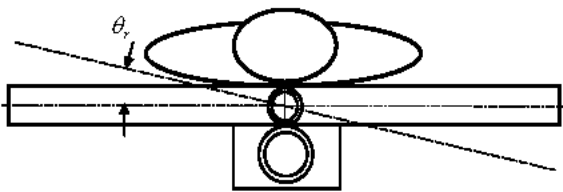
즉, 외적요인에 의해 선박이 흔들릴 경우, 그 정도는 장치에 설치된 센서를 통해 계측되고 그 정도에 따라 제어기는 제어신호를 발생시키고 흔들림에 대응하도록 두개의 모터를 적절하게 제어하여 대응운동을 발생시키게 된다.

대응운동을 발생시켜 승선감을 개선하는 목적을 달성하기 위해 본 연구에서는 편의상 다음의 가정 아래 시스템을 표현하고 제어기를 설계한다. 즉, 롤링 및 피칭(대응)운동을 표현하는 Fig. 2의 역학모델에서 연성(coupling) 항은 고려하지 않는다.

이러한 가정 아래 우선 피칭운동에 대해 고찰해 본다.



(a) schematic diagram for analysing pitch motion



(b) schematic diagram for analysing roll motion

Fig. 2 Schematic diagram for analysing system dynamics

Fig. 2의 (a)에서 모터에서 발생된 동력이 와이어를 거쳐 매트에 전달되는 피칭대응운동은 아래 (2)와 (3)식으로 표현할 수 있다. 이때 각 풀리의 반지름을 r_1 과 r_2 는 같으며 이것을 r 로 타나낸다. 특히 (3)식은 장력 T_2 에 의해 매트부가 상하운동(회전운동)을 할 경우의 운동특성을 나타낸다.

$$J_p \ddot{\theta} + D_p \dot{\theta} + 2k_p r^2 \theta - 2k_p r l \theta_1 = \frac{K_m}{R_p} v_p + T_d \quad (2)$$

$$J_l \ddot{\theta}_1 + D_l \dot{\theta}_1 - l^2 k_p \theta_1 - l k_p r \theta = T_{d1} \quad (3)$$

그리고, 매트부의 롤링운동을 나타내는 Fig. 2의 (b)로부터 다음의 운동방정식이 구해진다.

$$J_r \ddot{\theta}_r + D_r \dot{\theta}_r + k_r \theta = \frac{K_{mr}}{R_r} v_r + T_{dr} \quad (4)$$

위의 식 (2)~(4)에 사용된 각 변수는 다음과 같이 정의된다.

- J_p : total inertia moment of motor and pulleys
- θ, θ_p : rotation angle for each pulley
- D_p : damping coefficient of pulley with motor
- k_p : stiffness coefficient of wire
- r : radius of pulley
- l : length of mat
- K_m : torque coefficient of motor for pitch motion
- R_p : motor resistance for pitch motion
- v_p : voltage input to the motor for pitch motion
- J_l : inertia moment of mat
- θ_1 : rotation angle of mat(pitch)
- D_l : damping coefficient of mat part
- J_r : total inertia moment of mat part
- θ_r : rotation angle of mat(roll)
- K_{mr} : torque coefficient of motor for roll motion
- R_r : motor resistance for roll motion
- v_r : voltage input to the motor for roll motion
- T, T_{d1}, T_{dr} : disturbances

피칭운동에 대한 시스템표현은 식(2)와 식(3)로부터 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \\ \dot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -2k_p r^2 / J_p & -D_p / J_p & -2k_p r l / J_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ l k_p r / J_l & 0 & -l^2 k_p / J_l & -D_l / J_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \\ \theta_1 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ K_m \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} v_p + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -1 / J_p & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 / J_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_d \\ T_{d1} \end{bmatrix} \quad (5)$$

그리고, 매트부의 롤링운동에 대한 시스템표현은 식(4)로부터 다음 식으로 나타내어진다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_r \\ \ddot{\theta}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -k_r/J_r - D_r/J_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_r \\ \dot{\theta}_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ K_{mr}/J_r R_r \end{bmatrix} v_r + \begin{bmatrix} 0 \\ -1/J_r \end{bmatrix} T_{dr} \quad (6)$$

위의 시스템표현에서 이용한 각 변수는 계산과 시뮬레이션 및 실험을 통해 결정할 수 있다. 본 논문에서는 제어기설계보다는 장치개발에 주안점을 두고 있기 때문에 시스템표현에서의 각 변수에 대한 구체적인 데이터는 기술하지 않는다.

4. 제어기 설계 및 실험

제3장에서 설명한 것과 같이 두개의 식으로 표현된 역학모델(롤링, 피칭)에서 연성항은 없다고 가정하였다. 이러한 가정은 각 운동에 대한 제어기도 독립적으로 설계하면 된다는 것을 의미한다. 따라서 이 장에서는 각각의 역학모델에 대해 독립적으로 제어기를 설계한다. 이때 전체시스템은 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다.

앞서 기술하였듯이 본 연구에서는 장치개발이라는 문제에 주안점을 두고 있기 때문에 정확한 시스템표현 및 제어기 설계문제에 대해서는 큰 비중을 두지 않는다. 즉, 고안한 장치에 대한 유용성에 대한 기본적인 검증이라는 문제에 주안점을 두고 있다. 그래서 제어대상에 대한 정확한 표현이 필요 없는 PID제어기를 설계하여 기초실험을 수행한다. 즉, 다음 식으로 정의되는 일반화된 제어기를 이용한다.

$$C_i(t) = K_{P_i} e(t) + K_{I_i} \int e(t) dt + K_{D_i} \frac{d}{dt} e(t) \quad (7)$$

$i = 1, 2$

여기서

- $e(t)$: error
- $C_1(t)$: roll motion controller
- $C_2(t)$: pitch motion controller

그리고, 식(7)에서 각각의 파라미터는 시행착오를 거쳐 다음과 같이 결정하였다.

$$\begin{aligned} K_{P1} &= 2, K_{P2} = 1, \\ K_{I1} &= 0.01, K_{I2} = 0.01, \\ K_{D1} &= 0.03, K_{D2} = 0.005 \end{aligned} \quad (8)$$

식(7)과 (8)로 정의된 제어기를 이용하여 실험을 실행하였다. 실험에 있어서 두개의 각도 센서를 이용하여 롤링 및 피칭각을 측정하였다. 센서특성상 18[rad/s] 이하의 외란(롤링과 피칭을 발생시키는 외력)에 대한 흔들림 억제성능실험을 수행하였다.

Fig. 4는 본 연구를 위해 제작한 실험용 베드를 포함한 전체시스템을 나타내고 있다.

이것으로부터 실험을 수행하였고 그 결과를 Fig. 5~Fig. 7에 나타내고 있다.

Fig. 5는 제어를 행하지 않을 경우의 시스템응답을 나타내고 있다. 이때 외란은 롤링운동과 피칭운동을 동시에 유발시키는 형태로 실험장치에 인가하였다. Fig. 5에서 (a)는 롤링운동을 (b)는 피칭운동을 나타내고 있다. 외란에 직접적으로 노출된 만큼 승선자도 직접적인 영향을 받을 수밖에 없다.

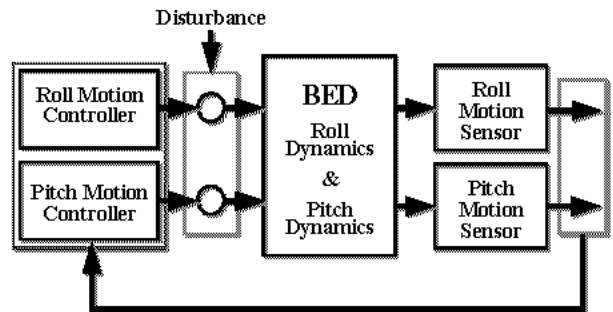


Fig. 3 Block diagram for system control

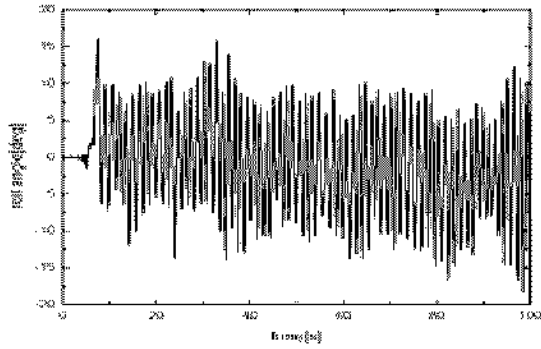


(a) overall system

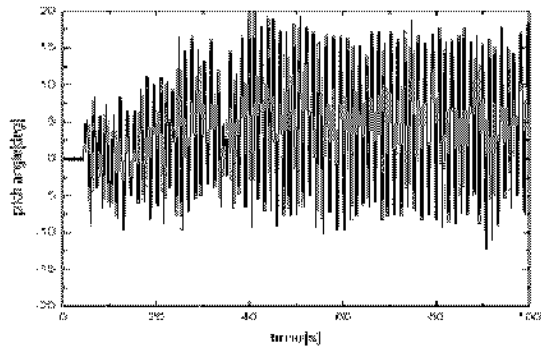


(b) plant(anti-seasickness bed)

Fig. 4 Experimental apparatus

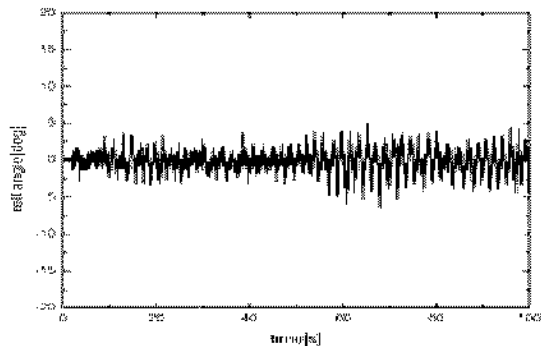


(a) roll motion

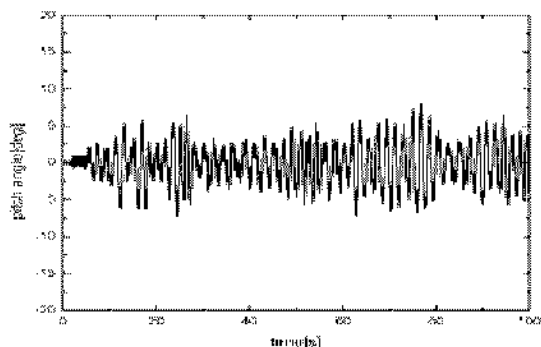


(b) pitch motion

Fig. 5 Uncontrolled case, when the oscillated vibration exists



(a) roll motion

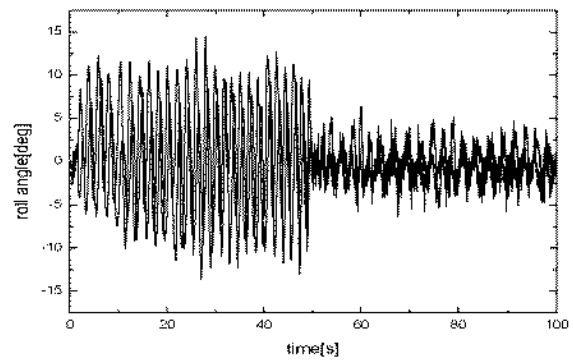


(b) pitch motion

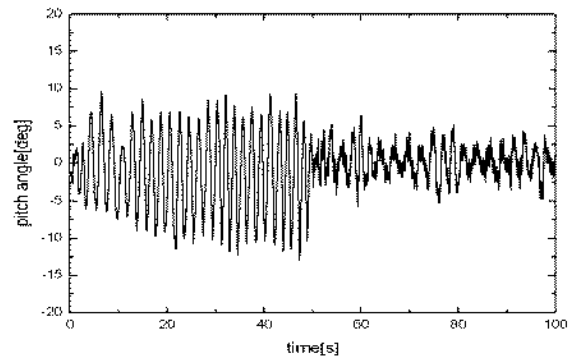
Fig. 6 Controlled case, when the oscillated vibration exists

Fig. 6은 제어를 행한 경우를 나타내고 있다. (a)는 롤링운동을 (b)는 피칭운동을 나타내고 있다. 제어를 행하지 않는 경우와는 달리 양호한 흔들림 억제 성능을 나타내고 있다.

그리고 제어를 행한 경우와 제어를 행하지 않은 경우의 비교평가를 위한 실험결과를 Fig. 7에 나타내었다. 이 실험에서 초기 50[s]까지는 제어를 행하지 않았으며, 50[s]이후에 흔들림에 대한 대응운동을 발생시키는 제어신호를 시스템에 인가하였다. 단순한 실험결과이지만 흔들림에 대한 적극적인 대응운동으로 상당한 승선감 개선효과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 따라서 두 경우의 비교평가로부터 본 연구에서 제안하는 시스템의 유용성을 확인할 수 있었고, 보다 정확한 시스템 표현에 근거한 제어기설계를 통해 제어성능 또한 개선할 수 있을 것이다.



(a) roll motion



(b) pitch motion

Fig. 7 Experimental results for comparison, when the oscillated vibration exists

5. 결 론

자연환경에 노출되어 있는 선박을 포함한 대부분의 구조물은 그것을 다루는 인간에게 부담스러운 요인을 제공하는 경우가 많으며 그러한 부담요인을

개선하고자 하는 다양한 방법들이 여러 문헌을 통해 보고되고 있다. 특히 조선 및 물류시스템 관련분야에 있어서, 선박의 안전한 운용을 위한 많은 노력(선박롤링 및 피칭 방지장치 개발)은 화물운송의 편이성과 신속성을 배가시켰다. 또한 작업효율개선과 함께 물류시스템 운용상의 효율향상을 위한 가장 핵심적인 역할도 하고 있다. 이러한 목적을 달성하기 위한 다양한 시스템개발은 다양한 관련기술을 제공하게 되었고, 이러한 기술은 고속선 개발에 필요한 기반기술로도 이용되고 있다. 그러나 이러한 장치는 인간보다는 선박이라는 구조물을 대상으로 한 시스템개발에 큰 비중을 두고 있으며 인간에 대한 배려는 다소 소홀한 면이 있다. 따라서 본 연구에서는 선박자체보다는 인간중심의 시스템개발이라는 목적으로 선박이라는 구조물 속의 가장 작은 공간에 그 편이성을 확보하고자 하는 것이다. 고안한 장치에 대한 유용성을 확인하기 위해 모델에 대한 가장 기본적인 실험을 수행하였다. 고안된 장치의 유용성을 가장 단순하고 일반적인 제어기 구성을 통해 검증하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부 과학재단 목적기초연구(R01-2005-000-10418-0)지원으로 연구되었습니다.

참고 문헌

1. Y. Koike, 1994, "Study and at-sea experiment on actively controlled anti-rolling system", Journal of the SNAJ, Vol. 174, pp. 137-143.
2. Y. Koike, 1995, "Application of hybrid anti-rolling system to actual ship", Technical Review of IHI, Vol. 35, No. 6, pp. 395-399.
3. K. Mibasi, 1989, "Vibration absorber for marine machinery", Mitsui Zosen Giho, No. 138, pp. 33-40.
4. K. Otaka, 1993, "The research trends of ship vibration", Techno Marine, No. 764, pp. 127-130.
5. S. Yamaguchi and A. Shinkai, 1991, "On activating and optimizing procedures of a fluid tank system for ship stabilization", Journal of the SNAJ, No. 171, pp. 125-131.
6. K. Tanida, 1998, "Active vibration absorber", Techno Marine, No. 707, pp. 283-290.
7. K. Tanida, 1994, "The applications of the active vibration control for the super structure", Techno Marine, No. 777, pp. 62-67.
8. W. J. Hsueh, 1998, "Vibration reduction of main hulls using semiactive absorbers", J. of Marine Science and Technology, No. 3, pp. 50-60.
9. T. Ono and H. Inooka, 2005, "Development of a rotation-type actively-controlled bed for an ambulance; Control system design based on the principle of matching", Vol. 41, No. 3, pp. 202-209.
10. F. O'Hanlon and M. E. MacCawley, 1974, "Motion seasickness incidence as a function of frequency and acceleration of vertical sinusoidal motion", Aerospace Med., Apr..
11. 김영복, 채규훈, 안수길, 고대권, 2005, "승선감 개선을 위한 Anti-Seasickness Bed 개발에 관한 기초적 연구", 한국동력기계공학회 2005추계 학술대회논문집, pp. 362-366.