

자기부상방식 AMD 를 이용한 모바일 하버용 횡동요 저감 데모 장비의 개발

Development of Anti-Rolling Demo System for Mobile Harbor Using Maglev Type AMD

박철훈^{1,2,✉}, 함상용¹, 김병인¹, 이성휘¹, 박희창¹, 조한욱³, 문석준⁴, 정태영⁴
 Cheol Hoon Park^{1,2,✉}, Sang Yong Ham¹, Byung In Kim¹, Sung Whee Lee¹, Hee Chang Park¹,
 Han Wook Cho³, Seok Jun Moon⁴ and Tae Young Chung⁴

¹ 한국기계연구원 나노융합·생산시스템연구본부 (Nano Convergence and Manufacturing systems Research Division, KIMM)

² 한국과학기술원 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology)

³ 충남대학교 전기전자통신공학교육과 (Dept. Electric, Electronic & Communication Engineering Education, Chungnam National University)

⁴ 한국기계연구원 시스템엔지니어링연구본부 (System Engineering Research Division, KIMM)

✉ Corresponding author: parkch@kimm.re.kr, Tel: 042-868-7980

Manuscript received: 2010.1.13 / Revised: 2010.6.7,8.4 / Accepted: 2010.10.16

Mobile harbor which is a novel concept of ocean transportation to bring the containers from the cargo ship waiting on the ocean away is being focused now. To provide the mobile harbor with the stable loading/unloading condition, it is necessary to develop the oscillation mitigation technologies such as anti-rolling system. Anti-rolling system using AMD(Active Mass Driving) has merits that it can handle the disturbances more actively and mitigate the rolling oscillation faster than other type anti-rolling system. However, rack-and-pinion type AMD has problems such as big friction noise from gears and motor, wear and tear, and continuous maintenance. In this paper, novel anti-rolling system using Maglev type AMD for mobile harbor is suggested in order to resolve the problems caused by the friction. This novel anti-rolling system doesn't make any friction because it supports the moving mass by using magnetic levitation force and moves it by using propulsion force from the linear motor. The demo system of the novel anti-rolling system using maglev type AMD has been developed in order to investigate its feasibility. This paper presents the procedures and results of development of this demo system.

Key Words: Mobile Harbor (모바일 하버), AMD (능동가동질량), Anti-rolling System (횡동요 저감장치), Magnetic Levitation (자기부상), Linear Motor (리니어 모터), PD Controller (PD 제어기)

1. 서론

최근 저탄소 녹색성장의 세계적 추세에 발 맞춰 친환경 해상 운송수단으로 주목받고 있는 모바일 하버는 컨테이너를 적재한 화물선이 하역을 위해 항구로 입항하는 것이 아니라, 모바일 하버가 해상에서 정박 중인 화물선으로 이동해 컨테이너를 내려 항구로 운반하는 신 개념의 해상운송수단

이다. 모바일 하버를 도입하면 항구가 포화되어 화물선이 직접 항구에서 하역 작업을 할 수 없는 경우에 입항을 위해 화물선이 대기할 필요없이 컨테이너를 육지로 보낼 수 있는 장점이 있을 뿐 아니라 대형 선박이 입항할 수 없는 수심이 얇은 바다에 위치한 항구에서도 화물선은 항구 근처의 수심이 확보된 부근까지만 접근하면 모바일 하버가 짐을 받아 항구로 돌아올 수 있는 장점이 있다. 그러

나 파도가 치는 해상에서 모바일 하버에 장착된 크레인을 이용하여 화물선의 컨테이너 하역작업을 하는 것은 지상에서의 작업과 비교하면 매우 어려운 일이다. 모바일 하버의 하역작업을 지상에서의 하역 작업과 유사한 안정된 조건으로 만들기 위해서는 크레인 평형유지 기술, 크레인의 스프레더(Spreader) 이동 시 진동저감 기술, 모바일 하버 선체의 횡 동요를 저감하는 기술 등의 개발이 필요하다.¹

현재 선박의 횡 동요 저감 장비는 수동형 ART (Anti-Rolling Tank)나 Fin Stabilizer 와 같은 형태로 대형여객선, 특수 목적선 등에 사용되고 있으며, 일본을 중심으로 유도전동기와 랙&피니언을 이용하여 가동질량의 위치를 조정함으로써 선박의 자세를 제어하는 장비인 AMD(Active Mass Driving)의 개발이 이루어지고 있다. AMD 방식은 다른 방식에 비해 외란에 능동적으로 대처하여 횡동요 저감 속도가 빠른 장점이 있다.^{2,4} 그러나, 랙&피니언 방식으로 가동질량을 이동시키는 경우 기어와 전동기에 의한 마찰 소음이 심하고, 지속적으로 유지보수를 해야하는 문제점이 있다. 마찰에 의한 문제를 극복하면서 AMD 를 모바일 하버의 횡동요 저감에 적용하기 위해 자기부상력으로 가동질량을 부상시킨 후 리니어 모터를 이용하여 가동질량을 비접촉식으로 이동시킬 수 있는 자기부상방식 AMD 를 검토하고 있다.

본 논문에서는 자기부상방식(Maglev type) AMD 를 이용한 횡동요 저감 장치를 모바일 하버에 적용하기 전 단계로서, 축소 모형을 이용한 데모 장비의 개발 과정과 결과를 소개한다.

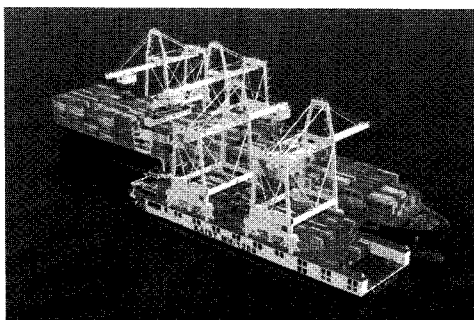


Fig. 1 Concept of mobile harbor

2. 자기부상방식 횡동요 저감 데모 장비 설계

2.1 데모 장비의 구성

자기부상방식 횡동요 저감 데모 장비의 구성을

Fig. 2 에 나타내었다. 쌍동선(Catamaran)형 배의 단면 형상을 가지는 모바일 하버의 선박모형을 만들고 프레임에 베어링으로 지지시켜서 진자 운동을 할 수 있도록 한다. 선박모형 위에 리니어 모터 고정자를 설치하여 가동질량이 직선운동을 할 수 있도록 한다. 리니어 모터의 이동자가 부착된 가동질량은 기존 리니어 모터에서 널리 사용되는 LM 가이드에 의해 지지되는 것이 아니라 자기부상력에 의해 지지된다. 선박모형이 진자 운동에 의한 횡동요를 하면 횡동요 제어기는 횡동요를 저감시키기 위해 횡동요 각도에 대해 계산된 위치로 가동질량을 이동시키기 위한 위치제어를 할 수 있어야 한다. 따라서 선박모형의 횡동요 각도를 측정하기 위한 각도 센서와 가동질량의 위치를 측정하기 위한 리니어 엔코더가 필요하다. 광학식의 리니어 엔코더는 엔코더 헤드와 엔코더 스케일 사이의 간격이 일정하게 유지되어야만 안정적으로 위치 측정이 가능한데, 리니어 모터의 이동자는 자기부상력으로 지지되기 때문에 엔코더 헤드와 스케일 사이의 간격을 일정하게 유지하기 어려우므로 와이어 엔코더를 사용한다. 와이어 엔코더에 의한 가동질량의 위치 정보는 리니어 모터용 전류 드라이버와 횡동요 제어기로 입력되어 위치제어를 위한 피드백 정보를 제공한다. 가동질량에 부착된 갭센서는 고정프레임과 가동질량 사이의 높이 간격을 측정하여 자기부상 제어기에 피드백된다.

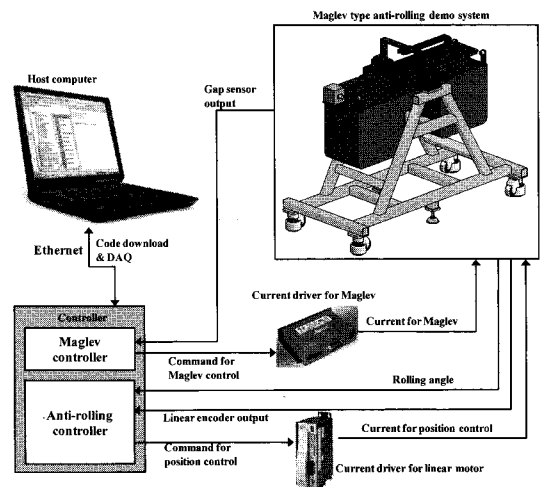


Fig. 2 Configuration of Maglev type anti-rolling demo system

2.2 자기 부상 및 추진계의 설계

데모장비의 가동질량에 대한 자기부상 및 추진계의 설계 도면을 Fig. 3(a)와 (b)에 나타내었다. 4개의 U형 전자석을 가동질량에 부착하여 흡인식 자기부상력에 의해 상하방향의 translation, 진행방향에 대한 rolling 과 pitching 의 3 자유도를 제어한다. 가동질량의 좌우 방향의 translation 과 진행방향에 대한 yawing 의 2 자유도는 가이드롤러를 부착하여 제한한다. 가동질량에 부착되어있는 가이드롤러는 정상동작 중에는 고정프레임과 0.5mm 의 간격을 유지하도록 되어있다. 가동질량의 전후 방향이동은 LSM 방식의 리니어 모터에 의해 이루어진다.

가동질량에 부착된 전자석의 자속 경로를 확보하기 위해 고정 프레임에는 U 자형의 순철 코어가 전체 이동거리에 해당하는 길이로 부착되어 있다. 전자석 코어와 가이드롤러가 부착되는 가동질량 프레임의 재질은 알루미늄으로 하여 질량을 최소화하였다.

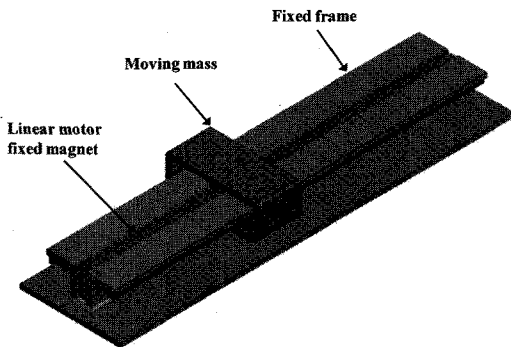


Fig. 3(a) Design of Maglev and propulsion part (Perspective View)

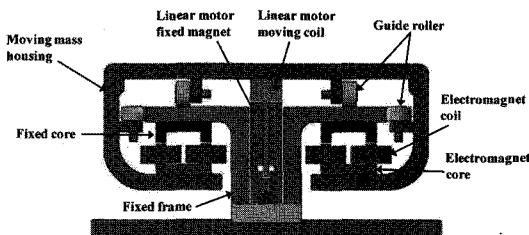


Fig. 3(b) Design of Maglev and propulsion part (Cross sectional view)

2.3 자기 부상용 전자석 설계

데모장비의 가동질량에 대한 자기부상용 전자

석은 Single acting 방식으로서 가동질량의 아래 방향 이동은 중력을 이용하고 위 방향 이동은 전자석의 흡인력을 이용한다. 본 데모 장비에서는 이동자가 고속으로 움직일 때 자기부상계에 가해질 외란을 고려하여 가동질량의 4 배의 질량을 부상시킬 수 있는 흡인력을 발생할 수 있도록 설계하였다. 전자석을 포함한 가동질량 전체질량을 4kg 으로 가정하고 4 개의 전자석이 16kg 을 부상시킬 수 있는 안전율로 설계하였으므로 전자석 1 개당 4kg 을 부상시킬 수 있다. 전자석 코어와 고정 코어 사이의 공극간격은 정상적으로 부상상태를 유지할 때 1mm 이고 위아래로 ±0.5mm 를 움직일 수 있도록 하여 최소 공극은 0.5mm, 최대 공극은 1.5mm 이다. Table 1 에 설계된 전자석 사양을 나타내었다.

Table 1 Specification of electromagnet

Item	Spec.
Core material	Pure iron
Nominal gap	1mm
Minimum gap	0.5mm
Maximum gap	1.5mm
Coil turn	120
Mass	0.44kg
Bias current	3.3A
Current gain	5.97N/A
Position gain	-1.97e4N/m
Height	27mm
Length	48mm
Width	56mm

2.4 가동질량 추진용 리니어 모터의 선정

데모장비는 전체적인 크기가 너무 커지지 않도록 하기 위해 가동질량이 중심위치로부터 ±0.5mm 를 이동할 수 있도록 설계하였다. 따라서 리니어 모터 고정자의 총 길이는 1m 내외가 된다. 선박모형의 1 회 횡동요 주기는 2 초 내외가 되도록 설계할 것이므로 가동질량은 주기의 1/4 인 0.5 초 내에 0.5m 를 이동할 수 있어야 한다. 2 배의 안전율을 고려하여 0.25 초에 0.5m 를 이동하기 위해 요구되는 가속도는 16m/s² 이다. 4kg 의 가동질량이 16m/s² 의 가속도를 발생하기 위해 필요한 리니어 모터의 추력은 64N 이다. 이상의 계산을 바탕으로 연속 추력 50N, 최대 추력 200N 을 발생시킬 수 있고 코강

력이 발생하지 않는 Kollmorgen 사의 코어리스 리니어 모터를 선정하였다.

3. 제어기 설계 및 시뮬레이션

3.1 자기부상 제어기 설계 및 시뮬레이션

테오장비의 가동질량을 지지하기 위한 자기부상계는 3 자유도 모델에 기반하여 부상제어를 하도록 설계하였다.⁵ Fig. 4 에 3 자유도 자기부상계 모델을 나타내었다. 여기에서 $z_1 \sim z_4$ 와 $F_1 \sim F_4$ 는 각각 4 개의 전자석 위치에서 상하 방향 변위와 자기부상력이다. x_b 와 y_b 는 각각 질량 중심에서 면까지의 길이이고, θ_x 와 θ_y 는 각각 x 축에 대한 pitching 각, y 축에 대한 rolling 각이다.

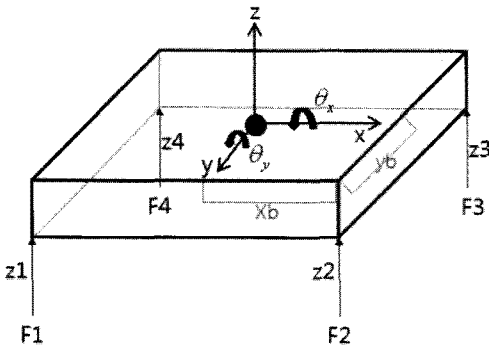


Fig. 4 3-DOF Maglev model

1 자유도 질량에 대한 자기부상계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$m\ddot{z} = F \tag{1}$$

$$F = -K_m z + K_i i \tag{2}$$

여기에서 m 은 질량, z 는 질량의 변위, F 는 자기부상력, i 는 제어전류, K_m 은 위치강성(Position gain, N/m), K_i 는 전류강성(Current gain, N/A)이다. 식(1), (2)를 Fig. 4 의 3 자유도 모델에 대해 확장하여 나타내면 다음과 같다. 여기에서 I_{xx} , I_{yy} 는 각각 x 축과 y 축에 대한 질량관성모멘트이다.

$$m\ddot{z} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \tag{3}$$

$$I_{xx}\ddot{\theta}_x = (F_3 + F_4 - F_2 - F_1)y_b \tag{4}$$

$$I_{yy}\ddot{\theta}_y = (F_2 + F_3 - F_4 - F_1)x_b \tag{5}$$

식 (3)~(5)에 식(2)를 적용하여 전류입력에 대한 상태방정식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} \dot{z} \\ \ddot{z} \\ \dot{\theta}_x \\ \ddot{\theta}_x \\ \dot{\theta}_y \\ \ddot{\theta}_y \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{4K_m}{m} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{4K_m y_b^2}{I_{xx}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{4K_m x_b^2}{I_{yy}} & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} z \\ \dot{z} \\ \theta_x \\ \dot{\theta}_x \\ \theta_y \\ \dot{\theta}_y \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{K_i}{m} & \frac{K_i}{m} & \frac{K_i}{m} & \frac{K_i}{m} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{y_b K_i}{I_{xx}} & -\frac{y_b K_i}{I_{xx}} & \frac{y_b K_i}{I_{xx}} & \frac{y_b K_i}{I_{xx}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{x_b K_i}{I_{yy}} & \frac{x_b K_i}{I_{yy}} & \frac{x_b K_i}{I_{yy}} & -\frac{x_b K_i}{I_{yy}} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \end{pmatrix} \tag{6}$$

z , θ_x , θ_y 좌표를 z_1, z_2, z_3, z_4 에 대하여 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -y_b & -x_b \\ 1 & -y_b & x_b \\ 1 & y_b & x_b \\ 1 & y_b & -x_b \end{bmatrix} \begin{pmatrix} z \\ \theta_x \\ \theta_y \end{pmatrix} \tag{7}$$

식(6), (7)을 이용하여 Matlab/Simulink 에서 모델링한 후 시뮬레이션을 하였다. 목표 제어 대역폭을 200Hz 가 되도록 PID 제어기의 초기 계인을 선정하고 만족스러운 성능을 얻기 위한 계인 조정을 하였다.⁶ 가동질량의 부상공극 1mm 상태를 z 방향 변위가 0 인 상태로 정의하고 z_1, z_2, z_3, z_4 의 기준입력을 0 으로 유지한 상태에서 0.1 초 후 z_1, z_2 만의 기준입력을 0.1 로 변경하는 계단 기준입력에 대한 가동질량의 z 방향변위 응답을 Fig. 5 에 나타내었는데 만족할만한 응답성능을 보이고 있다.

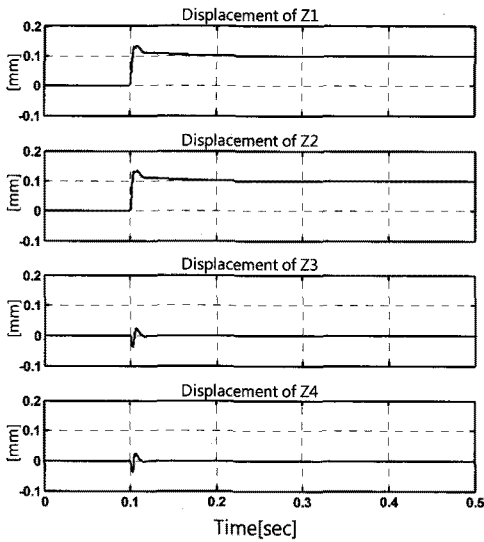


Fig. 5 Step response of Maglev controller

3.2 횡동요 제어기 설계 및 시뮬레이션

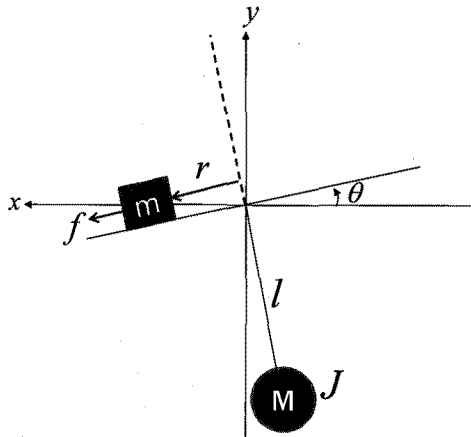


Fig. 6 Dynamic model of anti-rolling demo system

데모장비에 사용되는 선박모형은 단순 진자운동을 하고 가동질량은 선박모형의 윗면에서 직선운동을 하도록 설계되어 있다. Fig. 6 에 횡동요 제어기 설계와 시뮬레이션을 위해 단순화한 선박모형과 가동질량 모델을 나타내었다.^{6,7} 여기서 r 은 가동질량의 원점에 대한 위치, f 는 가동질량에 가하는 리니어 모터의 추력, M 과 J 는 각각 선박모형의 질량과 관성모멘트이고, θ 는 선박모형이 기울어진 각도, l 은 회전축과 선박모형 질량중심 사이의 거리이다. 모델링에 있어서 베어링 마찰을 비롯하여 선박모형의 회전축에 대한 외란도

크는 없다고 가정한다.

라그랑주 방정식(Lagrange's equation)을 이용하여 위 모델에 대한 운동방정식을 다음 두 식으로 간략하게 표현할 수 있다.^{7,8}

$$m\ddot{r} - mr\dot{\theta}^2 - mg \sin \theta = f \quad (8)$$

$$(J + mr^2)\ddot{\theta} - mgr \cos \theta + Mgl \sin \theta = 0 \quad (9)$$

횡동요 저감 제어를 위해서 각도 센서의 출력을 피드백받은 후 PD 제어기에서는 선박모형의 경사각도를 0 이 되도록 하기 위해 가동질량의 목표 위치를 리니어 모터 위치제어기에 입력한다. 리니어 위치제어기는 가동질량을 목표위치로 이동시키기 위한 추력전류명령을 리니어 모터 드라이버에 입력한다. 횡동요 제어기의 초기 PD 게인을 선정하기 위해서 비선형항들을 포함하고 있는 식(8), (9)을 식(10), (11)과 같이 단순화한 후 원하는 제어 대역폭과 감쇠비를 선정하여 계산한다.

$$m\ddot{r} - mg\theta = f \quad (10)$$

$$J\ddot{\theta} - mgr + Mgl\theta = 0 \quad (11)$$

횡동요 제어기의 목표 대역폭은 3Hz, 감쇠비 1 로 하여 초기 게인을 선정 후 게인 조정작업을 거쳐 P 와 D 게인을 각각 2.54, 0.1 로 선정하였다. 리니어 모터 위치제어기의 목표 대역폭은 10Hz, 감쇠비 1 로하여 초기 게인 선정후 게인 조정작업을 거쳐 P,D 게인을 각각 118, 30 으로 선정하였다.

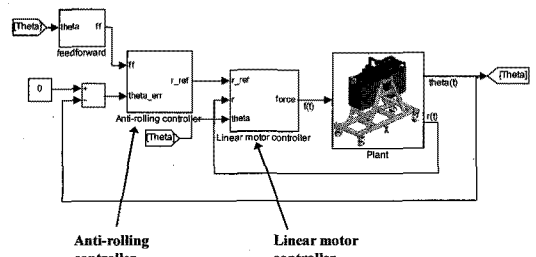


Fig. 7 Simulink model for anti-rolling controller

횡동요 제어기는 선박모형의 기울어진 각도가 0 이 되도록 가동질량에 대한 기준입력을 생성하게 되는데 이를 위해서는 현재 기울어진 각도에

대해 각가속도가 0 이 되도록 가동질량에 대한 기준입력을 생성해야 한다. 따라서 식(9)에서 $\ddot{\theta} = 0$ 으로 한 후 식(12)와 같이 θ 에 대해 정리하여 횡동요 제어기에 앞섬보상 (Feed forward)을 해주면 보다 효과적으로 횡동요를 감쇠시킬 수 있다. 여기에서 r_{ff} 는 횡동요 제어기로의 앞섬보상 기준입력이다.

$$r_{ff} = \frac{Ml\theta}{m} \quad (12)$$

설계한 선형 피드백 제어기와 앞섬보상 제어기가 횡동요를 효과적으로 저감시킬 수 있는지 확인하기 위하여 제어기와 선박모형 모델을 Simulink에서 Fig. 7 과 같이 모델링하여 시뮬레이션 하였다. 식(8), (9)의 두 운동방정식을 횡동요 저감제어기 시뮬레이션을 위한 선박모형 모델로 사용할 수 있지만, 실제로는 3D CAD 에서 횡동요 저감 데모장비를 모델링한 후 Simulink 의 SimMechanics 를 이용하여 3D CAD 모델을 변환하여 사용하였다. 이렇게 하면 복잡한 플랜트의 비선형항을 보다 정확하고 손쉽게 모델링될 수 있어서 정확한 시뮬레이션을 할 수 있을 뿐 아니라 시각적으로 데모장비의 운동을 확인할 수 있는 장점이 있다.⁹

Fig. 8 과 9 에 초기 rolling 각 10 도 상태에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 횡동요 제어기를 off 시킨 상태, 즉 가동질량이 선박모형의 중앙에 고정된 상태에서는 회전부에 댐핑이 없다고 가정했기 때문에 1.9 초의 주기로 무한히 자유진동하는 결과를 보였다. 횡동요 제어기를 on 시킨 경우에는 제한된 리니어 모터의 추력과 가동질량의 이동 가능 범위 내에서 약 3 초내에 횡동요가 거의 감쇠될 것으로 예측되었다.

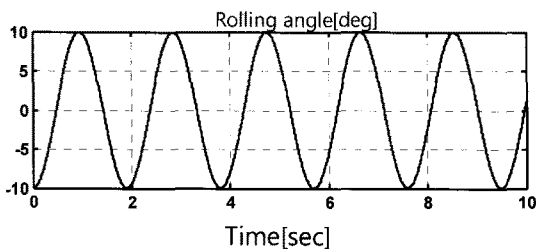


Fig. 8 Simulated rolling angle for free oscillation of demo system (Initial rolling angle 10deg)

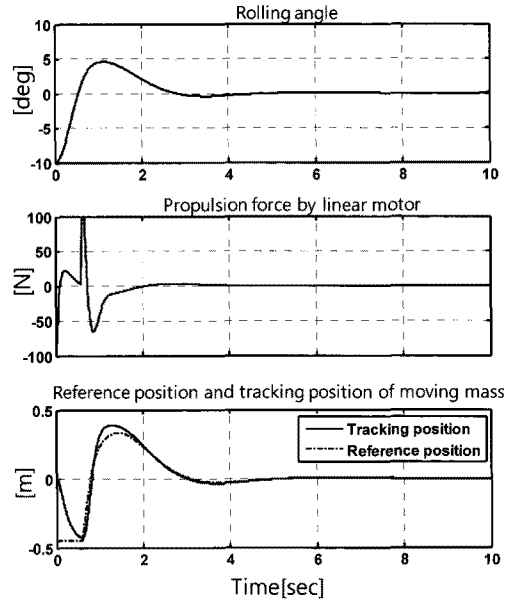


Fig. 9 Simulated response of anti-rolling controller (Initial rolling angle 10deg)

시뮬레이션에서 리니어 모터의 추력은 $\pm 100N$, 가동질량의 기준입력은 $\pm 0.45m$ 의 범위에서만 생성되도록 제한하였다. 시뮬레이션 결과로부터 간단한 선형제어기와 앞섬보상 제어기를 이용하여 선박모형의 횡동요를 효과적으로 제어할 수 있음을 확인하였다.

4. 자기부상방식 횡동요 저감 데모 장비의 제작 및 성능 실험

4.1 데모 장비의 제작

자기부상 및 추진계 설계 결과를 바탕으로 전체적인 자기부상방식 횡동요 저감 데모 장비의 설계 및 제작을 진행하였다. 쌍동선형 배의 단면형상의 선박모형이 진자운동을 할 수 있도록 고정프레임 축에 베어링으로 연결하였고, 선박모형의 중앙하단부에 각도센서를 부착하였다. 자기부상 및 추진계는 선박모형의 상부에 고정하고 추진계의 양단에는 기구적인 리미터와 리미트 센서를 부착하여 가동질량의 직선운동 범위를 제한하였다. 리니어 모터 고정자 한쪽 끝에는 와이어 엔코더를 설치하였다. 자기부상 및 추진계, 선박모형을 포함한 진자운동을 하는 전체 질량은 약 118kg 이고 회전축에 대한 관성모멘트는 약 $22.6kg \cdot m^2$ 이다.

가동질량에는 여러 종류의 케이블이 연결된다. 자기부상용 캡센서 신호선, 전자석 전원선, 리니어 모터 전원선 및 홀센서선 등이다. 이들 케이블은 가동질량으로부터 빠져나와 외부 제어기에 연결되어야 한다. 이를 위해 모든 케이블을 체인 케이블 내에 고정하고 체인 케이블의 한쪽 끝은 가동질량의 윗부분에 고정시키고, 다른 한쪽 끝은 선박모형의 중앙 상단부에 고정용 막대를 설치하여 고정하였다. Fig. 10 과 11 에 제작된 부품 및 데모장비를 나타내었다.

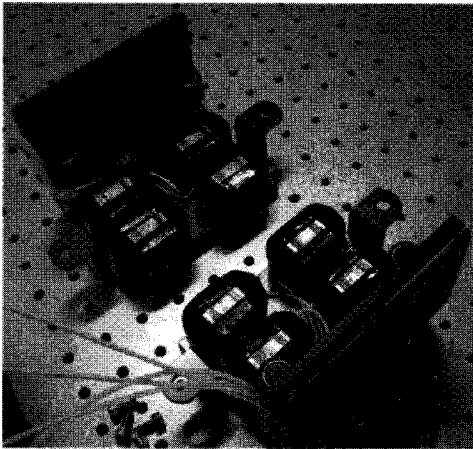


Fig. 10 Manufactured electromagnet and housing

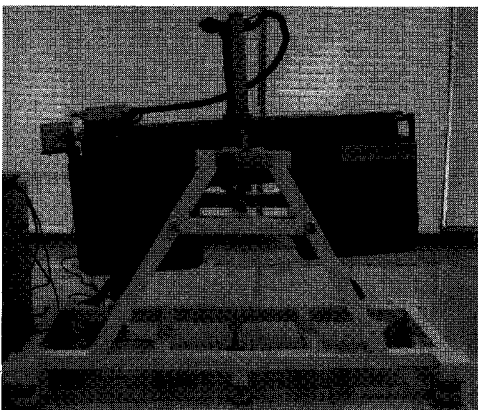


Fig. 11 Manufactured Maglev type anti-rolling demo system

4.2 데모 장비의 성능 실험

제작된 데모 장비에 대한 횡동요 저감 성능 실험을 진행하였다. 먼저 횡동요 저감 장치를 작동시키지 않고 가동질량을 선박모형의 중앙에 고정

시킨 상태에서 선박모형의 횡동요를 가진하였다. Fig. 12 와 같이 선박 모형은 약 1.9 초를 주기로 진자운동을 반복하여 시뮬레이션과 일치하는 주기를 보였다. 시뮬레이션 모델과 달리 연결 케이블에 의한 댐핑과 베어링 마찰에 의해 시간이 지날수록 조금씩 횡동요 각도가 감소하지만 상당한 시간동안 횡동요가 지속된다.

횡동요 제어기를 작동시키지 않은 상태로 선박모형이 횡동요를 하고 있는 도중에 횡동요 제어기를 작동시키는 경우의 횡동요 감쇠결과를 Fig. 13 에 나타내었다. 선박모형의 횡동요가 감소하여 정착상태에 이르기 까지 4 초 정도가 소요되며, 이후 수평상태를 지속적으로 유지한다. 본 실험 결과로부터 자기부상방식 횡동요 저감 데모 장비는 만족할 만한 횡동요 저감 성능을 발휘하고 있음을 알 수 있다. 이 데모장비에 대한 실험 결과를 바탕으로 자기부상방식 AMD 를 이용한 횡동요 저감 장비의 모바일 하버 실선 적용가능성을 실험적으로 확인하였다.

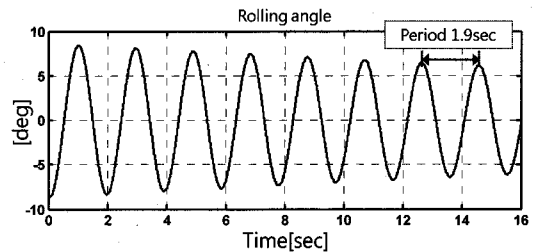


Fig. 12 Experimental rolling angle for free oscillation of demo system

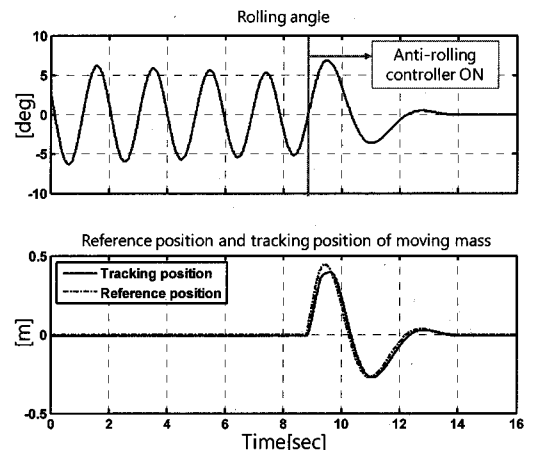


Fig. 13 Experimental response of anti-rolling controller

5. 결론

지금까지 자기부상방식 AMD 를 이용한 횡동요 저감 데모장비의 개발 과정 및 결과에 대해 기술하였다. 가동질량을 자기부상력으로 지지함에 따라 마찰 소음을 획기적으로 감소시킬 뿐 아니라 장비의 마모가 없어 유지보수 비용을 크게 줄일 수 있는 AMD 방식 횡동요 저감 장비를 구현할 수 있으며, 리니어 모터를 이용하여 가동질량을 횡동요 저감에 필요한 위치로 신속이 이동시킴으로써 만족할 만한 횡동요 저감성능을 얻을 있다는 결론을 본 데모장비의 개발을 통해 얻을 수 있었다. 위의 장점과 별도로 자기부상방식 AMD 를 구성하기 위한 전자석, 갠센서, 리니어 모터 등의 추가적인 하드웨어 비용을 랙&피니언 방식의 저가 방식의 가격적인 측면을 비교하여 모바일 하버 실선에 채택할 지의 여부를 고려해볼 필요성은 존재한다. 가격적인 측면에서 랙&피니언 방식에 비해 비용이 더 추가될 것으로 예상되지만 정숙함이 특별히 요구되는 레저용 보트나 유람선 등에는 적용 전망이 밝다고 본다.

후 기

본 연구는 교육과학부에서 지원하는 ‘모바일하버개발’ 사업의 ‘Smart Carrier 의 횡동요 저감장치 개발’에 관한 연구에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. KAIST, <http://kaistnews.plani.co.kr/boards/view/research/1391>
2. Moon, S. J., “Control Logic Design for Mass Driving Anti-Rolling System of Ships,” Proceedings of KSNVE Spring Conference, pp. 725-731, 2003.
3. Sellars, F. H. and Martin, J. P., “Selection and Evaluation of Ship Roll Stabilization Systems,” Marine Technology, Vol. 29, No. 2, pp. 84-101, 1992.
4. Saeki, A., Miyabe, H., Mutagushi, M. and Koike, Y., “Hybrid Anti-Rolling System for the Oceanographic Research Vessel “MIRAI”,” IHI Engineering Review, Vol. 31, No. 4, pp. 131-135, 1998.
5. Sinha, P. K., “Electromagnetic Suspension Dynamics & Control,” Peter Peregrinus Ltd., pp. 189-193, 1987.
6. Lee, S. H., “A Position Control for a Parallel Stage with 6 degrees of freedom Using Magnetic Actuators,” Journal of KSPE, Vol. 22, No. 7, pp. 102-111, 2005.
7. Chae, G. H. and Kim, Y. B., “An Experimental Study on the Rolling Motion Control of a Ship Based on LMI Approach,” Trans. of KSOE, Vol. 17, No. 2, pp. 60-66, 2003.
8. Kim, Y. B., Byun, J. H. and Yang, J. H., “An Experimental Study on the Development of the Anti-Rolling Control System for a Ship,” Trans. of KSOE, Vol. 14, No. 4, pp. 43-48, 2000.
9. MathWorks, “SimMechanics User’s Guide,” The MathWorks Inc., pp. 22-89, 2009.