

3자유도 병렬 로봇을 이용한 선실 운동의 능동제어

배종국*, 심호석#, 이재원** 주해호**

Active Control of a Ship Cabin Motion Using 3-DOF Parallel Robots

Jong-Gug Bae*, Ho-Seok Shim#, Jae Won Lee**, Hae-Ho Joo**

ABSTRACT

The demand for the stable and comfortable cabin of a high speed passenger ship is increasing. The study on shipboard comfort has been mainly concentrated on the motion control of a whole hull body. In this study, however, a new control system operated by two parallel robots (3RPS, 3SPR) such as the active suspension system of motor vehicle is proposed. The goal of this control is keeping zero velocity of the upper robot (cabin) although the lower robot (ship) is moving by the waves. Jacobian matrix was used to design the controller. From the simulation results, the remarkable reduction of motion of the cabin (upper platform) was observed. The 3SPR parallel robot shows better performance compared to the 3RPS robot.

Key Words : 3RPS, 3SPR, Active control, Parallel manipulator, Vibration,

1. 서론

지금까지의 선박 운동 연구는 선박의 운동 성능을 향상시키기 위한 연구가 대부분이었고 이를 위해 주로 운항성능을 향상시키는 분야에 국한되어 왔다. 그러나 고속 여객선의 승선감을 향상시키기 위한 연구¹가 부각되기 시작하고 있다. 그 중에서 차량의 능동 서스펜션과 같이 선체와 객실을 분리시키고 객실에 전달되는 선체 운동을 능동적으로 감쇠시키는 능동제어 시스템에 대한 연구가 진행되고 있으며 객실의 운동 성분의 제어 효과가 있음이 알려지고 있다². 하지만 이러한 능동제어시스템의 경우 시스템의 정확한 절대적 위치

와 상대적 위치가 파악되어야 그 효과를 볼 수 있는데 실제 선박의 경우 정확한 수평상의 위치를 알기는 쉬운 일이 아니다.

따라서 본 연구에서는 3자유도 병렬 로봇을 객실 감요 장치에 적용하여 고속 여객선 객실의 운동을 능동 제어하였다. 이를 위하여 2개의 병렬 로봇을 상하로 설치하여 하부 로봇은 선박의 운동을 구현하고 상부로봇은 객실로 전달되는 선박의 운동을 제어하는 시스템으로 이루어졌으며 2가지 타입의 병렬 로봇을 적용하여 제어 시뮬레이션을 수행하였으며 서로의 장단점을 비교 검토하여 선박의 객실운동제어에 가장 효과적인 로봇을 선정하였다.

¹ 접수일: 2003년 7월 22일; 게재승인일: 2003년 11월 14일
* 현대중공업(주) 선박해양연구소
영남대학교 기계공학과 대학원 박사과정
Email : hodol@yumail.ac.kr TEL : (053)810-3568
** 영남대학교 기계공학과 교수

2. 병렬 로봇의 기구학적 해석

선박의 진동은 주로 피치(pitching), 롤(rolling) 및 히빙(heaving)이다. 이러한 선체 진동이 선실내부의 침대나 정밀 장치로 전달되는 것을 막기 위해 하여서는 Fig. 1과 Fig. 2와 같은 3차원 방향의 운동을 할 수 있는 장치가 필요하다. 이 장치들은 상·하부 플랫폼을 지지하는 3개의 실린더 형태의 다리를 가지고 있다. Fig. 1과 같이 하부 플랫폼과 다리가 회전형 조인트로 연결되어 있고 상부 플랫폼과는 볼소켓 조인트로 되어 있는 형태의 병렬형 로봇을 3RPS타입 로봇이라고 부르고, Fig. 2와 같이 반대형상으로 되어 있는 형태의 병렬 로봇을 3SPR타입이라 부른다. 상·하부 플랫폼은 정삼각형으로 되어있으며 상부 플랫폼은 이동형 플랫폼이고, 하부 플랫폼은 선박 프레임에 고정되어 있다. 상부플랫폼은 각 다리의 길이가 변함에 따라 롤링, 피칭, 히빙 $[\theta_x, \theta_y, z]^T$ 의 운동을 하게 된다.

2.1 역기구학(Inverse Kinematics)

3RPS형 로봇의 역기구학 해는 상부 플랫폼(Platform)의 중심좌표 $[\theta_x, \theta_y, z]^T$ 가 주어질 때 각 다리의 길이 $[d_1, d_2, d_3]^T$ 를 구하는 문제이다.

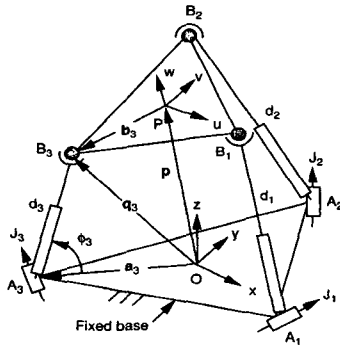


Fig. 1 Spatial 3-dof, 3RPS Parallel robot

하부플랫폼의 고정좌표계를 $[x, y, z]$ 로 표시하고 원점은 O로 나타낸다. x축은 A_1 방향을 향하고 있다. 상부플랫폼의 이동좌표계는 $[u, v, w]$ 로 표시하고 원점은 P로 나타낸다. u축은 B_1 방향을 향하고 있다. 이때 고정좌표계 O에 대한 이동좌표계 P의 관계는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$${}^O R_P = \begin{bmatrix} u_x & v_x & w_x \\ u_y & v_y & w_y \\ u_z & v_z & w_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

하부 플랫폼의 고정좌표계 원점 O에서 꼭지점 A_i 까지의 길이를 g 로 표시하면 원점 O에서꼭지점까지의 벡터 a_i 는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} a_1 &= [g, 0, 0]^T \\ a_2 &= [-\frac{1}{2}g, \frac{\sqrt{3}}{2}g, 0]^T \\ a_3 &= [-\frac{1}{2}g, -\frac{\sqrt{3}}{2}g, 0]^T \end{aligned} \quad (2)$$

상부 플랫폼의 이동좌표계 원점 P에서 꼭지점 B_i 까지의 길이를 h 로 표시하면 이동좌표계의 원점에서 꼭지점까지의 벡터 ${}^P b_i$ 는 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} {}^P b_1 &= [h, 0, 0]^T \\ {}^P b_2 &= [-\frac{1}{2}h, \frac{\sqrt{3}}{2}h, 0]^T \\ {}^P b_3 &= [-\frac{1}{2}h, -\frac{\sqrt{3}}{2}h, 0]^T \end{aligned} \quad (3)$$

이때 상부플랫폼은 정삼각형이므로 측면 길이는 식 (4)와 같이 된다.

$$|B_i B_{i+1}| = \sqrt{3}h \quad (4)$$

하부플랫폼의 고정좌표계 원점 O에서 상부플랫폼의 이동좌표계 원점 P까지의 벡터를 p 로 나타내면 고정좌표계에 대한 상부 플랫폼의 꼭지점 B_i 까지의 벡터는 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$q_i = p + {}^O R_P {}^P b_i \quad (5)$$

Fig. 1에서 각 다리의 길이 d_i 는 식 (6)과 같다.

$$d_i^2 = [q_i - a_i]^T [q_i - a_i] \quad (6)$$

식(6)에 식(2), (3) 및 (5)를 대입하고 몇 가지 구속조건⁴을 고려하여 정리하면 식 (7)과 같이 해

를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 d_1^2 &= p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 + 2h(p_x u_x + p_y u_y + p_z u_z) \\
 &\quad - 2gp_x - 2ghu_x + g^2 + h^2 \\
 d_2^2 &= p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 - h(p_x u_x + p_y u_y + p_z u_z) \\
 &\quad + \sqrt{3}h(p_x v_x + p_y v_y + p_z v_z) + g(p_x - \sqrt{3}p_y) \\
 &\quad - \frac{1}{2}gh(u_x - \sqrt{3}u_y) + \frac{1}{2}gh(\sqrt{3}v_x - 3v_y) \\
 &\quad + g^2 + h^2 \\
 d_3^2 &= p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 - h(p_x u_x + p_y u_y + p_z u_z) \\
 &\quad - \sqrt{3}h(p_x v_x + p_y v_y + p_z v_z) + g(p_x + \sqrt{3}p_y) \\
 &\quad - \frac{1}{2}gh(u_x + \sqrt{3}u_y) - \frac{1}{2}gh(\sqrt{3}v_x + 3v_y) \\
 &\quad + g^2 + h^2
 \end{aligned} \tag{7}$$

2.2 순기구학(Direct Kinematics)

순기구학은 역기구학과 반대로 각 다리의 입력 $[d_1, d_2, d_3]^T$ 이 주어질 때 상부플랫폼의 좌표축 $[\theta_x, \theta_y, z]^T$ 을 구하는 것이다.

식(5)를 각 다리에 대하여 몇 가지 구속조건을 고려하여 정리하면 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{a}_1 &= \begin{bmatrix} g - d_1 \cos \phi_1 \\ 0 \\ d_1 \sin \phi_1 \end{bmatrix} \\
 \mathbf{a}_2 &= \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(g - d_2 \cos \phi_2) \\ \frac{\sqrt{3}}{2}(g - d_2 \cos \phi_2) \\ d_2 \sin \phi_2 \end{bmatrix} \\
 \mathbf{a}_3 &= \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(g - d_3 \cos \phi_3) \\ -\frac{\sqrt{3}}{2}(g - d_3 \cos \phi_3) \\ d_3 \sin \phi_3 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{8}$$

이때 식 (4)의 양변을 제곱하여 정리하면 식 (9)와 같다.

$$[\mathbf{a}_i - \mathbf{a}_{i+1}]^T [\mathbf{a}_i - \mathbf{a}_{i+1}] - 3h^2 = 0 \tag{9}$$

식(9)에 식(8)을 대입하여 간략히 정리하면 식 (10)과 같이 얻을 수 있다.

$$e_{1i} \cos \phi_i \cos \phi_{i+1} + e_{2i} \sin \phi_i \sin \phi_{i+1} + e_{3i} \cos \phi_i + e_{4i} \cos \phi_{i+1} + e_{5i} = 0 \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
 \text{단 } e_{1i} &= d_i d_{i+1} \\
 e_{2i} &= -2d_i d_{i+1} \\
 e_{3i} &= -3gd_i \\
 e_{4i} &= -3gd_{i+1} \\
 e_{5i} &= 3g^2 + d_i^2 + d_{i+1}^2 - 3h^2
 \end{aligned}$$

식(10)을 반각공식을 이용하여 정리하면 8차 다항식이 얻어지는데 이를 풀면 각 다리의 각도 $[\phi_1, \phi_2, \phi_3]$ 을 구할 수 있으며 이 해를 식 (8)에 대입하면 각 다리의 위치 벡터 \mathbf{a}_i 를 구할 수 있다. 따라서 하부플랫폼에서 상부플랫폼으로의 위치 벡터 \mathbf{p} 는 $(\mathbf{a}_1 + \mathbf{a}_2 + \mathbf{a}_3)/3$ 을 계산함으로써 구할 수 있고 여기서 z방향의 위치가 결정된다.

그런데 벡터 $\mathbf{a}_i, \mathbf{p}, \mathbf{b}_i$ 는 Fig. 1에서와 같이 삼각형을 이루고 있으므로 삼각형의 각 내부 각도를 계산할 수 있다. 이를 첫 번째 다리에 대하여 적용하면 삼각형 OPB_1 을 얻을 수 있고 여기에서 $\angle OPB_1$ 를 계산하면 x방향으로의 롤링값인 θ_x 를 계산할 수 있다. 같은 방법으로 나머지 다리에 대하여 적용하면 θ_y 을 얻을 수 있다.

2.3 3SPR 형 병렬 로봇의 위치 해석

Fig. 2는 3SPR형 병렬 로봇의 구조도를 나타낸다. 3SPR 형 병렬 로봇은 3RPS 로봇을 뒤집어 놓은 형태와 같다.

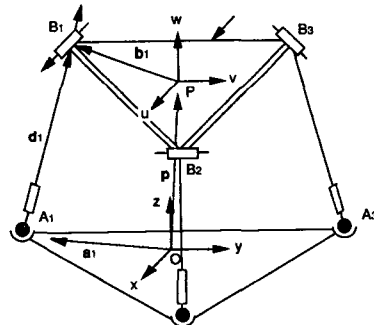
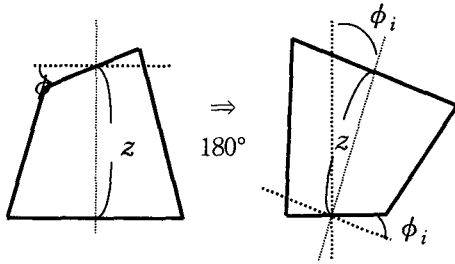


Fig. 2 Spatial 3-dof of 3SPR parallel robot

3SPR타입의 로봇은 3RPS타입의 로봇을 단지 거꾸로 뒤집어 놓은 것이므로 역기구학 및 정기구학 해석은 동일하게 나타난다.



(a) 3RPS movement (b) 3SPR movement
Fig. 3 Difference of 3RPS & 3SPR

그런데 Fig. 3에서 나타난 것과 같이 3RPS를 뒤집어서 3SPR 형태로 놓으면 3SPR의 상부플랫폼의 원점 위치가 이동해 있음을 알 수 있다. 이 변위는 3RPS 상부플랫폼의 각변위 ϕ_i 만큼 이동하게 되므로 종속적인 값이다. 따라서 각변위 ϕ_i 가 결정되면 3SPR 상부플랫폼에 대한 이동 변위는 식(11)에 의하여 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_p &= z \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi_x\right) \\ y_p &= z \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi_y\right) \end{aligned} \quad (11)$$

3. 병렬로봇의 자코비안 해석³

3.1 3SPR 형 로봇의 자코비안

3RPS 로봇에서 자코비안의 입력항은 각 다리 길이의 변화 $\dot{q} = [\dot{d}_1, \dot{d}_2, \dot{d}_3]^T$ 가 되고 출력은 상부 플랫폼의 x, y방향으로의 각도 변화율과 z방향으로의 위치변화율 $\dot{x} = [\dot{\phi}_x, \dot{\phi}_y, v_z]^T$ 로 나타난다.

Fig. 1에서부터 B점의 위치를 벡터관계로 나타내면 식 (12)와 같다.

$$\overline{OB}_i = \overline{OA}_i + \overline{A_iB}_i \quad (12)$$

식(12)를 시간에 대하여 미분하여 속도에 대한 항으로 정리하면 식 (13)과 같이 된다.

$$v_p + \omega_B \times a_i = \dot{d}_i w_i \times s_i + \dot{d}_i s_i \quad (13)$$

이때 v_p 는 P점의 속도를 나타내고 ω_B 는 P점에 대한 B점의 각속도를 나타낸다. s_i 는 각 다리의 위치벡터 $\overline{A_iB}_i$ 의 단위벡터를 나타낸다. w_i 는 다리 i 의 고정좌표계에 대한 각속도를 나타내며 이 각속도를 소거하기 위해서 식(13) 양변에 s_i 를 내적하여 행렬식으로 식 (14)와 같이 된다.

$$[a_i \times s_i \quad s_i] \begin{bmatrix} \omega_b \\ v_p \end{bmatrix} = \dot{d}_i \quad (14)$$

식 (14)를 각 다리에 대하여 적용하여 자코비안 행렬식으로 나타내면 식 (15)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} (q_1 \times s_1)_{i,j} & s_{1k} \\ (q_2 \times s_2)_{i,j} & s_{2k} \\ (q_3 \times s_3)_{i,j} & s_{3k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi}_x \\ \dot{\phi}_y \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{d}_1 \\ \dot{d}_2 \\ \dot{d}_3 \end{bmatrix} \quad (15)$$

단, 여기서 i, j, k 는 각각 x축, y축, z축 성분만이 유효하다는 의미이다.

식(15)를 일반적인 자코비안 표기로 표시하면 식(16)이 된다.

$$J_x = \begin{bmatrix} (q_1 \times s_1)_{i,j} & s_{1k} \\ (q_2 \times s_2)_{i,j} & s_{2k} \\ (q_3 \times s_3)_{i,j} & s_{3k} \end{bmatrix}, \quad J_q = I \quad (16)$$

따라서 세 다리의 길이 변화율 \dot{q} 에 대한 상부 플랫폼의 속도 \dot{x} 의 forward Jacobian은 식 (17)과 같다.

$$\dot{x} = J_x^{-1} J_q \dot{q} \quad (17)$$

그리고 역 자코비안은 식 (18)와 같다.

$$\dot{q} = J_q^{-1} J_x \dot{x} \quad (18)$$

3.2 3SPR 형 로봇의 자코비안

3SPR타입의 로봇은 3RPS타입을 뒤집어 놓은 것이므로 3SPR의 끝점속도는 3RPS에서 볼때 상부 플랫폼에 대한 하부 플랫폼의 속도가 된다. 즉 3SPR타입의 끝점속도와 3RPS의 끝점속도는 서로

상대속도가 된다. 따라서 3SPR의 끝점속도는 3RPS의 끝 점속도와 크기는 같으면서 방향이 반대이다.

4. 시뮬레이션

4.1 시스템 모델링

본 논문에서는 기구학 해석프로그램의 하나인 VisualNastran Desktop을 이용하여 병렬 로봇시스템의 동역학을 모델링하여 시뮬레이션을 실시하였다. VisualNastran Desktop⁴은 Matlab의 Simulink⁵에 직접 연결하여 제어 시뮬레이션이 가능하다.

Fig. 4는 VisualNastran에서 모델링된 시스템의 모습이다. 시스템 모델링은 모두 2개의 병렬 로봇으로 구성되어 있다. 하부 로봇은 3RPS타입으로 실제 선박의 운동인 롤, 피치 및 히브 운동을 구현하였고 상부 로봇은 3RPS, 3SPR형의 병렬 로봇으로 객실의 운동을 제어하고 있다.

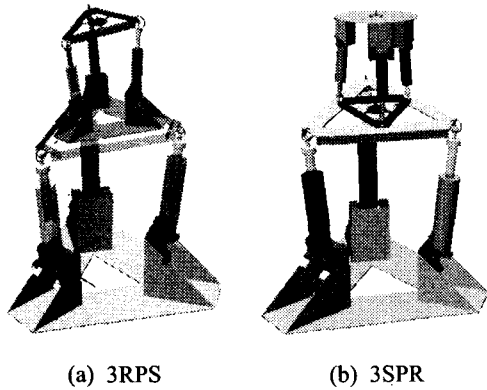


Fig. 4 Control model of parallel robot system

4.2 제어기 설계

항해중인 선박에서 정확한 위치 측정은 하기가 어려우며 단지 선박의 진동에 대한 가속도, 속도 및 rolling, pitching 값을 측정할 수 있다. 따라서 상부로봇에서 측정되어지는 속도성분은 x 및 y 방향으로의 각속도와 z축 방향으로의 속도인 $[w_x, w_y, v_z]$ 이다.

이 시스템의 제어의 목적은 하부로봇이 진동을 발생하더라도 상부로봇에서는 이 진동을 감쇠하는 것이므로 상부로봇의 속도는 하부로봇과 관

계없이 항상 0이 되도록 제어되어야 한다. 따라서 상부 로봇으로의 기준입력 $[w_{xr}, w_{yr}, v_{zr}]$ 는 0으로 설정되었다. 이 기준입력은 상부로봇에서 피드백되는 속도값 $[w_x, w_y, v_z]$ 와 비교하여 그 오차를 역자코비안으로 입력함으로써 상부로봇 각 다리의 길이 기준 변화율 \dot{q} 를 만들어낸다.

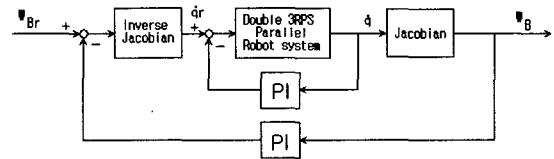


Fig. 5 Block diagram of control

계산된 상부 로봇의 입력값 \dot{q} 는 상부로봇에 바로 입력되는 것이 아니고, 실제 상부 로봇의 다리변화율 \dot{q} 과 비교되어 그 차이가 상부로봇에 입력된다.

4.3 시뮬레이션 결과

4.2절의 제어기에 따른 시뮬레이션 결과는 다음과 같다. 선박의 운동에 대한 객실의 능동제어 시뮬레이션을 위하여 하부 병렬 로봇에 선박의 롤링, 피칭, 히빙 $[\phi_x, \phi_y, z]^T$ 운동을 구현하였다. 하부 병렬 로봇의 다리들에 진폭이 50mm이고 주기가 3초인 진동을 60°의 위상차이가 나도록 입력하였다. 이때 하부 로봇에서 발생하여 상부 로봇으로 전달되는 각변위 운동은 Fig. 6과 같다.

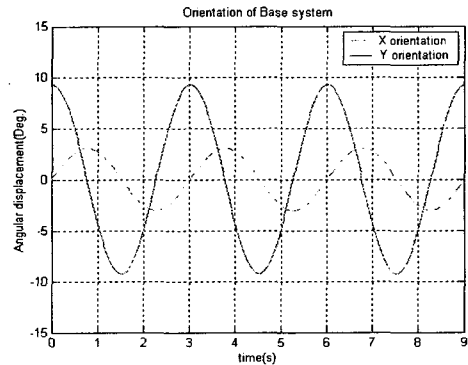


Fig. 6 Rolling(ϕ_x) & pitching(ϕ_y) of Base 3RPS system

x축에 대한 회전 변위 ϕ_x 는 진폭이 $\pm 3.03^\circ$ 인 정현파로 발생하고 있으며 y축에 대한 회전 변위 ϕ_y 는 진폭이 $\pm 9.25^\circ$ 인 정현파가 발생하고 있다.

Fig. 7은 Z방향의 변위 운동을 나타낸 것이다.

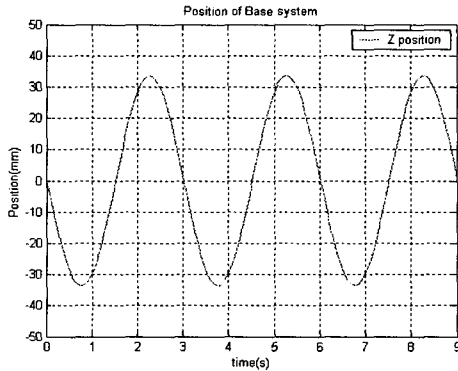


Fig. 7 Heaving(z) of Base 3RPS system

진폭이 $\pm 33.49\text{mm}$ 인 정현파의 운동이 발생하고 있음을 알 수 있다.

4.3.1 3RPS 병렬 로봇시스템의 제어 결과

다음은 선체에 해당되는 하부 병렬 로봇이 앞에서 제시된 운동을 하고 있을 때 객실에 해당하는 상부 3RPS 병렬 로봇으로 제어를 수행한 결과이다.

Fig. 8은 x축에 대한 각변위 운동의 제어 결과를 나타낸 것이다.

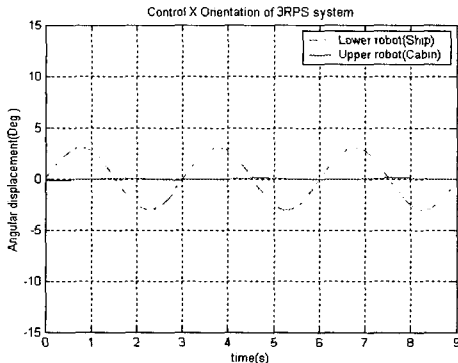


Fig. 8 Control result of X orientation of 3RPS

하부 로봇에서 x축에 대한 각변위가 $\pm 3.03^\circ$ 크

기의 진폭으로 발생하고 있으나 상부 로봇에서는 $\pm 0.12^\circ$ 크기의 진폭으로 각변위 운동이 제어 되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 y축에 대한 각변위 운동의 제어 결과를 나타낸 것이다.

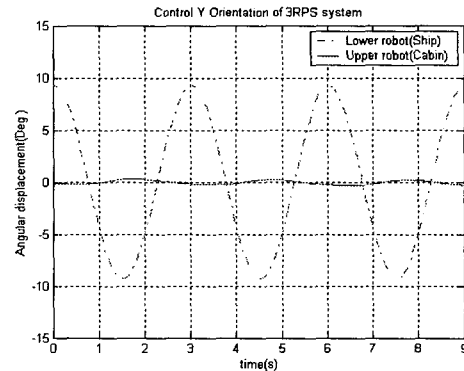


Fig. 9 Control result of Y orientation of 3RPS

역시 하부 로봇에서 $\pm 9.25^\circ$ 진폭의 각변위가 발생하고 있으나 상부 로봇에서는 $\pm 0.31^\circ$ 크기의 진폭만으로 제어가 되었다.

Fig. 10은 Z방향의 변위 운동을 제어한 결과이다.

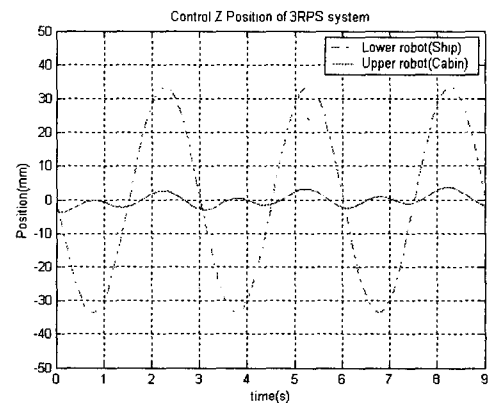


Fig. 10 Control result of Z movement of 3RPS

하부 로봇에서 발생하는 운동 크기는 $\pm 33.49\text{mm}$ 의 진폭 운동이지만 상부로봇에서는 $\pm 3.66\text{mm}$ 진폭으로 제어되었다.

위 결과에서 보는 것처럼 3RPS시스템으로 객

실의 롤, 피칭, 히빙 제어가 상당히 효과적임을 알 수 있었다. 그러나 3RPS시스템의 하부 로봇의 구속 조건으로 인하여 상부의 3RPS 시스템에서는 Fig. 11과 같이 x, y 방향으로의 변위가 각각 $\pm 24.34\text{mm}$, $\pm 68.67\text{mm}$ 가 발생하였다. 즉 하부 로봇의 운동인 롤, 피칭, 히빙에 대해서는 만족할만한 제어가 이루어졌지만 x,y방향으로의 새로운 운동이 발생하였음을 알 수 있다.

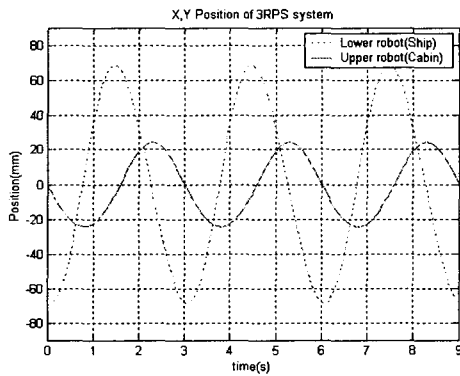


Fig. 11 Movement of X-Y direction of 3RPS system

4.3.2 3SPR 병렬 로봇시스템의 제어 결과

다음은 하부 병렬 로봇이 앞절에서 제시한 운동을 하고 있을 때 객실에 해당하는 상부 3SPR 병렬 로봇으로 제어를 수행한 결과이다.

Fig. 12는 x축에 대한 각변위 운동의 제어 결과를 나타낸 것이다.

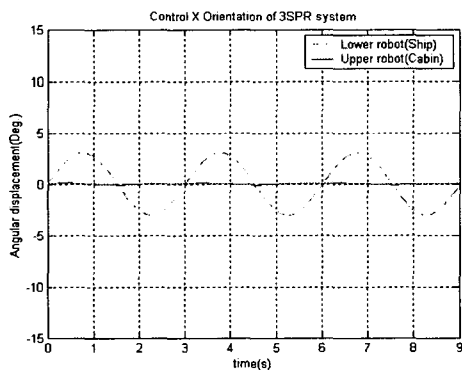


Fig. 12 Control result of X orientation of 3SPR

하부 로봇에서 x축에 대한 각변위가 $\pm 3.03^\circ$ 크기의 진폭으로 발생하고 있으나 상부 로봇에서는

$\pm 0.09^\circ$ 크기의 진폭으로 운동이 줄어들었음을 알 수 있다.

Fig. 13은 y축에 대한 각변위 운동의 제어 결과를 나타낸 것이다.

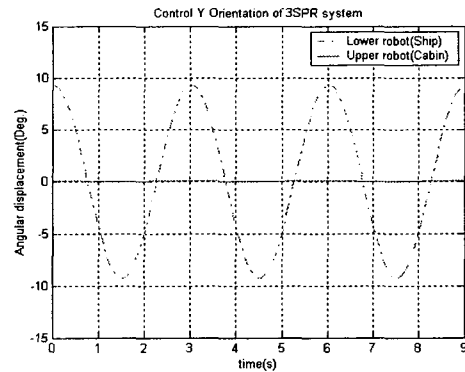


Fig. 13 Control result of Y orientation of 3SPR

역시 하부 로봇에서 $\pm 9.25^\circ$ 진폭의 각변위가 발생하고 있으나 상부 로봇에서는 $\pm 0.05^\circ$ 크기의 진폭만으로 제어가 되었다.

Fig. 14는 Z방향의 변위 운동을 제어한 결과이다.

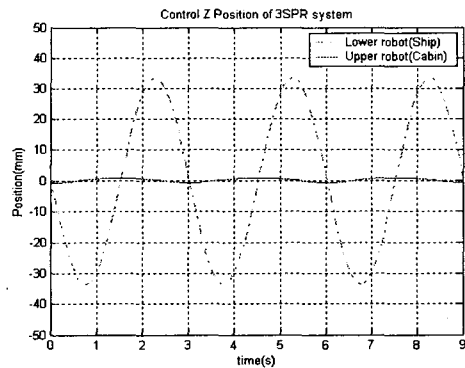


Fig. 14 Control result of Z movement of 3SPR

하부 로봇에서 발생하는 운동의 크기는 $\pm 33.49\text{mm}$ 진폭 운동이지만 상부로봇에서는 $\pm 3.65\text{mm}$ 진폭으로 줄어들었음을 알 수 있다.

위 결과에서 3SPR시스템은 3RPS시스템보다 객실의 롤, 피칭, 히빙 운동에 대한 제어가 더 효과적임을 알 수 있다. 또한 3RPS시스템에서 발생

하였던 X-Y방향으로의 변위도 3SPR시스템에서는 Fig. 15와 같이 각각 $\pm 7.87\text{mm}$, $\pm 2.20\text{mm}$ 정도로 상당히 적었음을 알 수 있다.

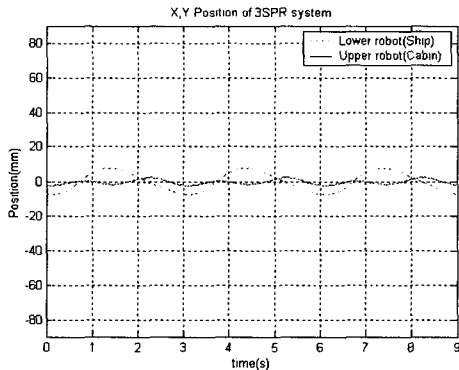


Fig. 15 Movement of X-Y direction of 3SPR system

이상의 결과를 요약정리하면 Table 1과 같다.

Table 1 The simulation results for 3RPS and 3SPR parallel robots

운동 방향	하부로봇 (선체) 변위	상부로봇 (객실) 변위	
		3RPS	3SPR
ϕ_x	$\pm 3.03^\circ$	$\pm 0.12^\circ$	$\pm 0.09^\circ$
ϕ_y	$\pm 9.25^\circ$	$\pm 0.31^\circ$	$\pm 0.05^\circ$
x	-	$\pm 24.34\text{mm}$	$\pm 2.20\text{mm}$
y	-	$\pm 68.67\text{mm}$	$\pm 7.87\text{mm}$
z	$\pm 33.49\text{mm}$	$\pm 3.66\text{mm}$	$\pm 3.65\text{mm}$

5. 결론

선박 객실의 능동적인 진동제어를 위해 선실 감요 장치를 3RPS와 3SPR의 두 타입 병렬 로봇을 이용하여 시스템을 모델링해보았고, 이 병렬 로봇의 기구학과 Jacobian을 살펴보았다. 선박의 운동 특성(피칭, 롤링, 히빙)을 하부 로봇으로 구현하였고, 이때 상부로봇에 전달되는 진동을 Jacobian만을 이용하여 제어해보았다. 그 결과 3SPR 로봇이 가장 좋은 제어 결과를 나타내고 있음을 확인하였다. 3RPS타입의 병렬 로봇도 좋은

제어 결과를 나타내고는 있으나 x-y방향으로의 변위가 발생하여 또 다른 진동 문제를 야기하였다.

3SPR타입의 병렬 로봇이 3RPS타입의 병렬 로봇에 비하여 더 좋은 결과를 나타내고 있는 것은 하부 플랫폼 부분의 조인트가 볼소켓 조인트(Spherical joint)로 3RPS타입보다 롤링과 피칭 제어에서 더 유연한 조건을 형성한 것으로 판단된다.

이상의 결과에서 3SPR타입의 병렬 로봇이 선박 객실의 능동적인 진동제어를 위한 선실 감요 장치로써 타당성이 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 2003년도 교육부 두뇌한국21 사업에 의하여 지원되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Takahashi, T., Arinaga, S. "Investigation into the Technical Feasibility of a Hi-Stable Cabin Craft", Transaction of the West-Japan Society of Naval Architects, Vol. 72. 1986
2. J.K.Kim, "Development of attitude control system for high-speed foil-assisted catamaran considering modelling uncertainties", Ph. D Thesis, Seoul National University, Dept of Naval Architecture and Ocean Engineering, 1997
3. Lung-Wen Tsai, "Robot analysis : the mechanics of serial and parallel manipulators", pp.147~151, JOHN WILEY & SONS, 1999
4. "MSC.visual Nastran Desktop", MSC software
5. "Using Simulink", The MathWorks, Version 5
6. J.I. Ko, J.W.Lee, "LQG controller Design and Robustness Analysis for Reduction of the Motion of Ship Cabin", M.S Thesis, Yeungnam University, Dept of Mechanical Engineering, 2003
7. J.S.Lee, B.O.Choi, "Forward Kinematics Analysis of a Parallel Manipulator Using Neural Network", Fall conference of KSPE 2000 pp.224-228, 1225-9071