

수중 플랫폼 시스템의 동특성 해석 연구

변홍석^{1*}

¹울산과학기술대학교 디지털기계학부

Analysis of Dynamics Characteristics of an Underwater Platform System

Hong-Seok Byun^{1*}

¹School of Mechanical Engineering, Ulsan College

요 약 본 연구에서는 잠항과 부상이 가능한 잠수체로서 수중시험을 수행할 수 있는 수중 플랫폼 시스템의 동적 특성을 예측하기 위해서 시뮬레이션 해석을 수행하였다. 이를 위해 수학적 모델링을 통해 지배방정식을 유도하였다. 제안된 모델로부터 밸러스트 탱크 충수시 소요되는 시간과 블로잉 시스템을 통해 탱크내 공기를 불어넣을 때 수심에 따른 탱크 내 압력 변화 및 해수 변화를 예측하였다. 또한, 압축 공기에 의한 발사 반발력에 대한 시스템의 안정성 평가를 수행하였다. 시뮬레이션 결과는 밸브류 선정, 공기탱크, 밸러스트 탱크 등 시스템을 설계할 때 뿐만 아니라 플랫폼 시스템을 효율적으로 운용하는 데 도움을 줄 수 있을 것이다

Abstract In this study, simulation of an underwater platform system which is able to perform the underwater test is implemented to predict its dynamic characteristics. Accordingly, its governing equations are derived to construct the mathematical model. From the proposed model, the time in flooding and the pressure of ballast tank in blowing air to come up are predicted. In addition, simulation of the stability of the system for repulsive force of the tube by compressed air is carried out. Their results will be used to select valves, air tanks as well as design the system including ballast tanks. And they will help users operate it efficiently.

Key Words : Platform System, Ballast Tank, Flooding, Blowing, Stability

1. 서론

플랫폼 시스템은 수중에서 발사체 발사시험을 수행할 수 있는 일종의 잠수체로서 발사체를 발사할 관과 잠수와 부상을 할 수 있도록 하는 밸러스트 탱크 등으로 크게 구성된다. 관은 발사체를 밀어내는 압축공기 탱크가 장착되어 있으며 밸러스트 탱크는 해수를 공급하거나 배출시킴으로서 시스템의 부력을 조절하는 기능을 수행한다. 일반적으로 밸러스트 탱크는 수중함이 수중 항해할 수 있도록 하거나 수상 항해를 가능하도록 설계된다. 이러한 밸러스트 기능은 수중함의 잠수 및 부상을 가능하게 할 뿐만 아니라 수상함 등에 사용되어 배수량을 적절하게 조절한다[1].

수중 시스템과 관련된 연구는 발사시스템의 동특성 해석에 대한 연구가 수행된 바 있으나 이는 발사시스템의 발사방식에 따른 발사체의 속도 등에 초점을 맞추어 연구가 진행되었고[2,3], 수중 플랫폼 시스템의 설계 및 동특성 해석과 관련된 연구는 전무한 실정이다.

수중시험을 원활하게 수행할 수 있도록 하기 위해서는 플랫폼 시스템의 운영 개념이 매우 중요한데 시스템은 시험을 위해 잠수하여 바닥에 착지하고 시험이 끝나면 부상하여 회수하게 되도록 설계되어야 한다. 또한, 시스템의 오류 등으로 인한 긴급부상을 위해 블로잉 시스템을 갖추고 있어야 한다. 이러한 시스템으로부터 수중 발사 시험을 성공적으로 수행하기 위해서는 시스템 설계 및 제작 이전에 시스템의 운용에 도움을 줄 수 있도록 플

*Corresponding Author : Hong-Seok Byun

Tel: +82-10-6580-2290 email: hsbyun@uc.ac.kr

접수일 12년 05월 17일

수정일 (1차 12년 06월 08일, 2차 12년 06월 18일)

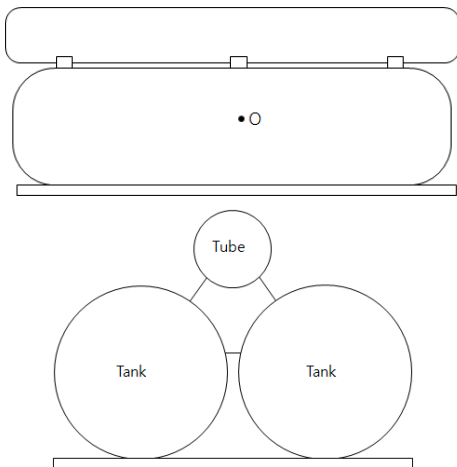
게재확정일 12년 08월 09일

플랫폼 시스템의 동특성 해석이 요구된다. 이러한 해석을 통해 설계시 요구되는 각종 장비류의 선정 및 운용시 시스템 안정성 등을 사전에 파악하여 위험요소를 제거하는 하는 것이 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 시스템의 가장 주요한 기능을 가진 밸러스트 탱크 운용을 위한 충수와 배수의 수학적 모델링을 제안하였으며 시뮬레이션을 통하여 공기탱크 압력 변화, 밸러스트 탱크 내 압력 변화, 충수 및 블로잉 시스템을 통해 요구되는 배수 시간, 탱크 내 해수의 높이 변화 등을 예측하였다. 또한, 발사 시험에서 반발력에 의한 시스템의 안정성 평가도 함께 수행하였다. 이러한 시뮬레이션 해석 결과는 향후 플랫폼 시스템 설계 및 제작에 기초 자료로서 활용할 수 있을 것이며, 시스템 운용시 사용자에게 크게 도움을 줄 것으로 기대한다.

2. 수중 플랫폼 시스템의 모델링

2.1 충수 모델링

수중 플랫폼은 원통형의 밸러스트 탱크 위에 관(Tube)을 탑재하고 잠수하여 발사체를 발사시키고 부상하는 역할을 수행하는 시스템으로 그림 1과 같이 크게 밸러스트 탱크 2개와 관으로 구성된다. 밸러스트 탱크는 해수를 유입 또는 배수시킴으로써 플랫폼 시스템을 잠수 및 부상이 가능하게 하는 기능을 수행한다. 시스템의 운영 개념은 탱크 상부에 2개의 벤트밸브(Vent valve)를 열어서 부력을 감소시켜 잠수하고 벤트 밸브를 닫고 압축공기를 공급하여 탱크 내의 해수를 밀어내어 부력을 얻어 부상한다.



[그림 1] 수중 플랫폼 시스템의 개념도
[Fig. 1] Concept model of an underwater platform system

밸러스트 탱크 충수는 탱크 하부에 있는 충수밸브를 통해 외부 해수의 유입으로 이루어지며, 해수면과 밸러스트 높이의 차압에 의해서 충수된다.

밸러스트 탱크의 해수 유입량은 벤트밸브와 충수밸브의 용량에 의존한다. 플랫폼이 해수에 완전히 잠긴 상태 또는 해수의 바닥면에 착지 후에 해수를 유입하느냐 아니면 수면상태에서 해수를 유입하느냐는 큰 차이가 있다. 전자일 경우는 벤트밸브와 충수밸브로 해수가 모두 들어 오고 어느 시점이 지나 정수압과 탱크 내 압력이 같아지면 벤트밸브로 공기가 빠지고 충수밸브로만 해수가 유입된다. 빠른 시간 내 플랫폼의 밸러스트 탱크 내 해수를 공급할 수 있다는 장점이 있지만 수중중량이 가벼우면 플랫폼이 불안정하여 요동칠 수도 있다.

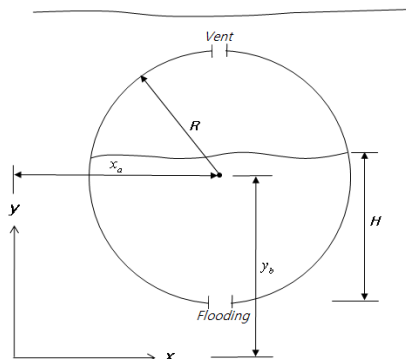
그리고, 수면 상태에서 해수를 유입하면 안정된 상태에서 충수밸브로 해수가 유입되고 벤트밸브로 공기가 배출되지만 탱크 내 해수를 완전히 채울 때까지 시간이 많이 요구된다. 또한 벤트밸브의 용량이 작을 경우, 충수는 벤트밸브에 의존하는데 충수밸브 용량을 크게 할지라도 해수의 유입량은 작을 것이다. 그 이유는 해수가 들어오는 양보다 공기가 빠져나가는 양이 작기 때문이다. 이 경우를 고려하여 플랫폼 설계시 벤트밸브는 대체로 큰 용량을 선정하는 것이 바람직하다.

플랫폼이 수중 바닥면에 착지후에 벤트밸브 및 충수밸브를 개방하면 밸러스트 탱크 내 해수가 유입되는 데 탱크의 충수를 그림 2와 같이 모델링할 수 있다.

일반적으로 시스템의 해석 대상 체적을 가진 운동량 방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다[4].

$$\frac{d}{dt} \int_{V_{cv}} \rho dV + \int_A \rho V_n dA = 0 \quad (1)$$

여기서, V_{cv} 는 해석대상 체적을 나타내며, A 는 유체의 출입구 면적을 나타낸다. V_n 은 출구 단면적의 유체 법선 속도를 의미한다. ρ 는 유체의 밀도이다.



[그림 2] 밸러스트 탱크 충수 모델
[Fig. 2] Flooding model of a ballast tank

벤트밸브와 충수밸브를 개방하기 전에는 밸러스트 탱크 내 압력은 대기압이고 개방이후 해수가 유입되고 공기가 압축되어 외부와 평형이 될 때까지 충수밸브와 벤트밸브쪽으로 해수가 들어온다. 그리고 탱크 내부 압력이 외부와 평형이 되는 시점에서는 탱크 내부의 공기는 벤트밸브를 통해서 배출되고 해수는 충수밸브만으로 유입된다. 만약 외부와 평형이 되는 시점을 $t = t_0$ 라고 하면 이 시점 이전까지의 탱크 내부의 해수의 변화율을 계산하기 위해 이전의 연구[5]에서 제안했던 충수모델을 확대하여 적용하고, 수식(1)의 연속의 방정식과 질량보존법칙인 $\dot{m} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_o$ 사용하여 계산하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\dot{H} = \frac{C_2 \pi d_2^2 \sqrt{2/\rho_w (P_{out_2} - (P_{air} + \rho_w g H))}}{4L(x_a + \sqrt{R^2 - (y - y_b)^2})} \quad (2)$$

$$+ \frac{C_1 \pi d_1^2 \sqrt{2/\rho_w (P_{out_1} - P_{air})}}{4L(x_a + \sqrt{R^2 - (y - y_b)^2})} \quad (t < t_0)$$

여기서, $y = y_b - R + H$ 이고 d_1 과 d_2 는 벤트밸브와 충수밸브의 직경이다. C_1, C_2 는 밸브의 방출계수이고, R 은 탱크 반경 L 은 탱크 길이이다. 그리고 $P_{out_{1,2}}$ 는 탱크의 상단과 하단의 압력을 나타내며, P_{air} 는 탱크 내 공기압력을 나타낸다.

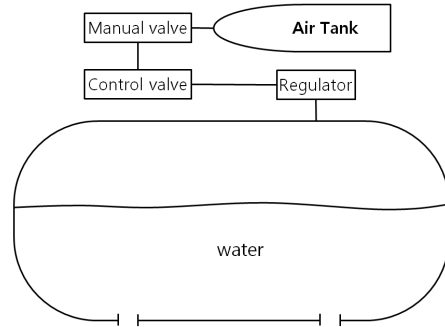
만약 수상에서 밸러스트 탱크에 해수를 유입하고자 할 경우는 탱크 내의 해수의 차압에 의해서 해수가 유입되므로 탱크 내 해수 변화율은 아래와 같이 계산할 수 있다. 또한 아래 식은 수중에서 해수가 탱크 내 어느 정도 유입되었을 때 외부와 압력평형상태가 이루어지므로 충수밸브만 탱크 내로 해수가 유입되므로 이때 탱크 내 해수의 높이 변화율을 계산할 때도 사용될 수 있다.

$$\dot{H} = \frac{C_1 \pi d_1^2 \sqrt{2g(D - H)}}{4L(x_a + \sqrt{R^2 - (y - y_b)^2})} \quad (3)$$

2.2 블로잉 시스템 모델링

수중 플랫폼 시스템은 밸러스트 탱크 내 해수를 배출시켜 부력을 증가하여 수면으로 부상하게 되는 데 이를 위해서는 수중에서 고압의 공기를 탱크 내 불어넣어 해수를 배출시켜야 한다. 긴급부상은 수중 플랫폼 시스템의 긴급한 상황이 발생했을 때도 이루어지는데 빠른 부상을 위해서는 배수시간을 단축시켜야 한다.

밸러스트 탱크의 긴급 부상 모델링을 위해서는 밸브를 통과할 때 압축공기의 유동현상을 단순화하고 열역학적 지배방정식 유도가 필요하므로 밸러스트 탱크 내 공기는 이상기체라고 보았고, 탱크 내 공급되는 공기의 저장탱크는 용량이 크다고 보고 해석을 수행한다.



[그림 3] 블로잉 시스템의 구성
[Fig. 3] Construction of a blowing system

위의 그림 3은 긴급부상을 위한 블로잉 시스템의 구성을 나타낸다.

만약 압축공기 저장탱크가 매우 큰 용량이라면 공기가 밸브를 통해 빠져 나갈 때 탱크 내 과정을 등온과정이라고 할 수 있다. 따라서 탱크를 검사체적으로 보고 연속의 방정식을 사용하면 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{d}{dt}(\rho V) + \dot{m} = 0 \quad (4)$$

이로부터 공기 저장 탱크의 압력 변화량을 유도하면 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$P_r = \frac{P_0}{e^{(C A_e \sqrt{R T_r}) / t / V}} \quad (5)$$

$$C = \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (6)$$

여기서, P_r 는 공기 저장탱크의 압력, P_0 는 공기탱크의 초기압력, A_e 는 밸브의 유효단면적, k 는 공기의 비열비, R 는 기체상수, T_r 은 공기탱크의 온도, V 는 공기탱크 체적이다

공기 저장 탱크에서 배출되는 공기는 탱크의 안정성을 위해 압력조절기에서 감압되어 일정한 압력이 탱크내로 유입된다. 압력조절기에 따라서 흐르는 공기유량은 밸브

전후의 압력비와 밸브 출구의 유효단면적에 의해 결정되며 밸브 출구측과 입구측의 압력비에 따라서 공기유량이 달라진다[6,7]. 블로잉 시스템 구성에서 보면 압력조절기에 의해 상당한 압력이 감압되므로 밸브의 입구 및 출구측이 임계압력비 이하로 초크가 발생되므로 그 관계식은 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$\dot{m} = \frac{P_r A_c}{\sqrt{RT_r}} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \sqrt{k} \quad (7)$$

밸러스트의 탱크의 초기 압력과 온도는 수심의 상태와 같다. 밸브를 통해 나오는 고압의 공기는 탱크 내 압력을 높이고 이로 인하여 탱크 내 가득 차있는 해수를 밖으로 배출시키게 된다. 배출되는 해수만큼 탱크 내 공기가 채워지고 공기 체적이 점차적으로 증가한다. 만약 밸러스트 탱크의 공기 상태를 단열과정으로 가정하고 압력을 변화를 나타내면 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\dot{P}_b = \frac{k}{V_b} (RT_r \dot{m} - P_b \dot{V}_b) \quad (8)$$

위 식에서 P_b 는 밸러스트 탱크 압력, V_b 는 밸러스트 탱크 체적을 나타낸다. 밸러스트 탱크의 체적 변화율은 밸러스트 탱크 내의 압력으로 인하여 배출되는 유량만큼 체적이 변화하므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\dot{V}_b = C_2 A_{out} \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (9)$$

위 식에서 A_{out} 는 밸브의 면적이고 ΔP 는 탱크의 하단과 탱크내 공기의 압력차를 나타내고 $\Delta P = P_i + \rho g(H - H_s)$ 로 표현된다.

2.3 발사 반발력 모델링

수중 플랫폼 시스템이 수중에 착지하면 발사시험을 수행하는데, 고압의 공기를 관에 붙여넣고 발사체를 발출시킨다. 이 때 관내부에 압력이 생성되고 이 힘에 의해 플랫폼이 미끄러지거나 모멘트를 발생시킬 수도 있다. 따라서 발사 반발력에 의한 시스템의 회전 모멘트의 영향을 계산할 필요가 있다. 모멘트 해석을 위해 플랫폼 시스템 외부의 질량이 작은 장치들은 무시하고 회전에 큰 영향을 미치는 관과 밸러스트 탱크만을 고려하여 해석을 수행한다.

유체의 동력학적 힘은 부체와 유체의 상대적 운동에 지배되는데, 부체가 가속될 때 관성력에 의해 부가질량이 작용하며, 그 힘은 부가질량을 합하여 계산한다. 따라서 모멘트 해석시 질량관성모멘트를 계산할 때 기하형상에 따른 부가질량을 고려하여야 한다.

관의 반발력에 의한 플랫폼 시스템이 시스템의 왼쪽 하단부위(A)를 중심으로 회전여부를 조사하기 위해서 각 운동량의 변화를 관계식 $\sum M = I \ddot{\theta}$ 을 이용한다. 여기서 일어나는 운동은 수중이므로 유체에 의한 유체력 모멘트가 작용한다. 이것은 유체의 점성에 의한 것이므로 모멘트의 반대방향으로 작용된다. 그래서 최종적으로 각 운동량에 의한 각가속도를 구하면 아래와 같이 유도할 수 있다.

$$\ddot{\theta} = \frac{F(t)L - WL_0 \cos(\theta_0 + \theta) - F_{out}L}{I_A} \quad (10)$$

$$I_A = \sum_{i=1}^n (I_{C_i} + (m_i + m_{a,i})d_i^2) \quad (11)$$

윗 식에서 $F(t)$ 는 관 후부의 힘이고, $(m + m_a)\ddot{x}(t)$ 로 표현할 수 있으며, 여기서 m 은 발사체 질량, m_a 는 부가질량이고 $\ddot{x}(t)$ 는 발사체의 가속도이며 그 값은 실험 데이터를 사용한다[2]. 그리고 W 는 시스템의 중량, F_{out} 는 관에 미치는 압력힘, L 는 A점에서 바닥에서 관까지 거리, L_0 는 A점에서 시스템의 중심까지 최단거리를 나타내고, I_A 는 플랫폼의 회전중심인 A점에서의 질량관성 모멘트이다. 이 값은 시스템의 주요 구성품인 관, 밸러스트 탱크 등의 각각의 관성모멘트의 합으로 표현된다. I_{C_i} 는 시스템의 질량중심에서 관성모멘트이고, d_i 는 각 구성품의 질량중심에서 A점까지의 거리를 나타낸다.

또한, 시스템의 미끄러지는 경우는 관의 반발력(ΔF)이 시스템의 접촉하는 마찰력보다 클 때 발생한다. 그러므로 시스템의 중량 등에 의해 바닥면에 내려 누르는 힘을 계산하여야 한다. 아래는 유도된 마찰력을 나타내며, 마찰력이 반발력보다 크게 설계되어야 한다.

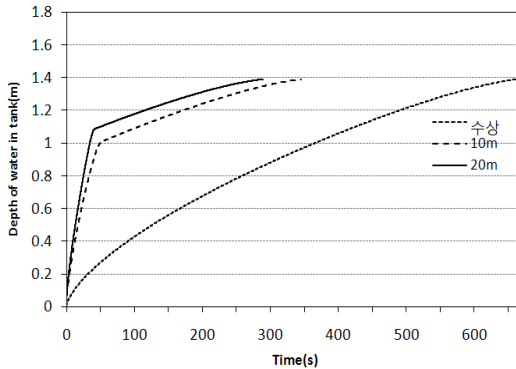
$$\Delta F / \mu < F_d + W + (m_b g - B) \quad (12)$$

여기서, F_d 는 정수압에 의해 시스템을 아래로 누르는 힘이며 이것은 정수압에 바닥접촉 면적을 곱하여 계산할 수 있다. m_b 는 발사체 질량이고, B 는 부력이다.

3. 시뮬레이션 결과

3.1 밸러스트 탱크 충수 결과

그림 4는 수심에 따른 밸러스트 탱크의 충수 시뮬레이션 결과를 보여준다. 플랫폼 시스템의 밸러스트 탱크 충수 결과를 예측하기 위해서 수상, 수심 10m 및 수심 20m에서 시뮬레이션을 수행하였다. 밸브의 직경은 5cm, 유량계수는 0.62이고 밸러스트 탱크의 직경은 1.4m이고 길이 3m이며 탱크의 개수는 2개이다.

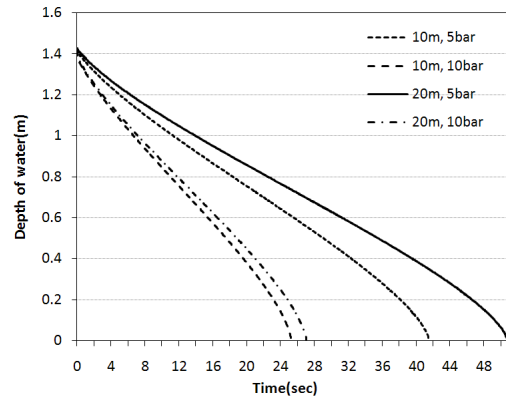


[그림 4] 충수시 탱크의 해수 높이 변화
[Fig. 4] Depth of water of the tank in flooding

시뮬레이션 결과를 보면 수상에서 충수할 때가 가장 오랜 시간이 걸리며 수중에서 충수하는 수심 10m에서는 약 40초까지, 수심 20m에서 약 35초까지 급속하게 충수되다가 이후 점차적으로 탱크 내 해수가 충수되어 시간이 오래 걸린다는 것을 알 수 있다. 이것은 초기에서 벤트 및 충수밸브쪽에서 모두 충수가 이루어지고 외부와 압력평형이 이루어지면 충수밸브에서만 충수되고 밸러스트 탱크 내부에 남아있는 공기가 벤트 밸브를 통해서 배출되기 때문이다.

3.2 블로잉 시뮬레이션 결과

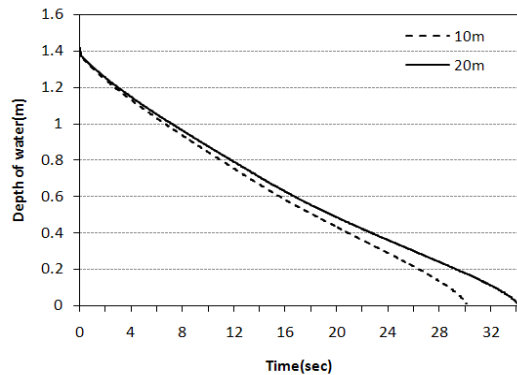
그림 5는 밸러스트 탱크에 5bar, 10bar의 공기를 계속해서 불어넣을 때 수심에 따른 탱크의 해수 높이 감소 변화를 보여준다. 수심이 깊을수록 완만한 기울기를 가지면서 더 오랜 시간이 걸리고 점차적으로 해수 높이가 감소되는 것을 볼 수 있다. 또한, 그림에서 보듯이 낮은 블로잉 압력에 대해 배출시간은 수심이 더 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다.



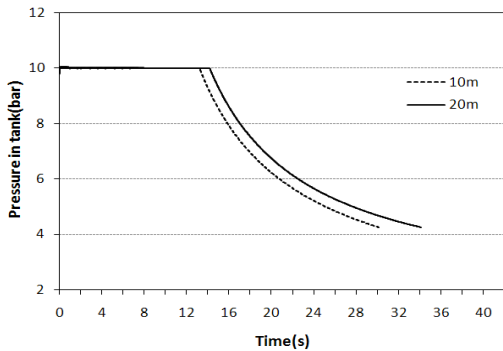
[그림 5] 블로잉시 해수의 높이 감소 변화
[Fig. 5] Depth of water along time in blowing air into the tank

그림 6은 밸러스트 탱크에 10bar의 공기를 해수 높이가 탱크 높이의 반이 될 때까지만 불어 넣고 이후 차단하여 탱크 내 압력만으로 해수를 배출시킬 때 탱크 내 해수 높이 감소 변화를 보여준다. 그림 5와 비교해 보면, 배출 속도가 느려지므로 더 많은 시간이 걸리는 것을 알 수 있다.

적절한 배출시간은 밸러스트 탱크에 불어넣는 공기의 차단 시점을 운용자가 조절함으로써 결정될 수 있을 것이다. 이러한 배출 조절 방식은 탱크의 압력을 감소시켜 시스템의 안정성을 확보할 수 있고 적은 공기량으로 해수를 배출시킬 수 있는 장점이 있다.

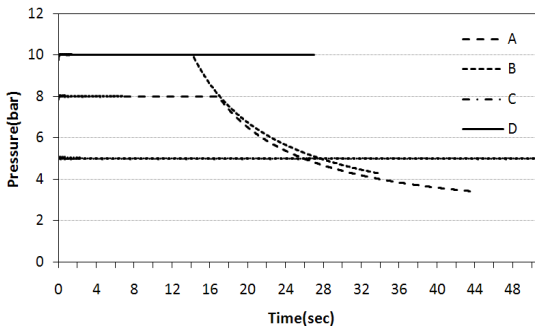


[그림 6] 밸러스트 체적의 절반까지 블로잉시 해수의 높이 감소 변화
[Fig. 6] Depth of water along time in blowing air until half of ballast tank volume



[그림 7] 밸러스트 탱크 채적의 절반까지 블로잉시 탱크 내 압력 변화
 [Fig. 7] Pressure of the tank along time in blowing air until half of ballast tank volume

그림 7은 10bar의 공기를 탱크로 불어 넣은 후 해수 높이가 탱크 높이의 반이 배출되었을 때 차단하고 이후 탱크 내 압력만으로 해수를 배출시킬 때 시간에 따른 압력의 변화를 보여준다. 고압 공기를 불어 넣는 시작시에 약간의 압력 요동이 있으나 이후 탱크 내 일정한 압력을 유지하고 고압 공기를 차단한 후 압력이 서서히 떨어지는 것을 알 수 있다. 수심이 깊을수록 더 오랜 시간이 걸리고 탱크 내 압력 또한 약간 높게 나타났다.



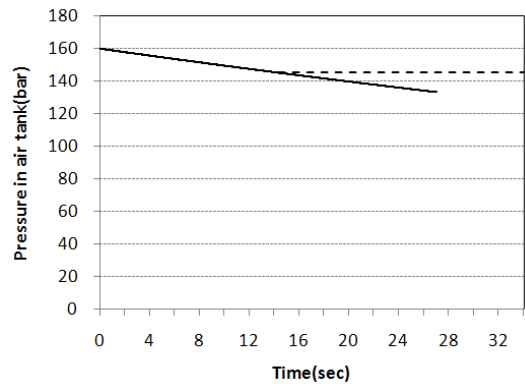
[그림 8] 밸러스트 탱크 내 압력변화
 [Fig. 8] Pressure of the tank for different blowing air pressure

그림 8은 수심 20m에서 밸러스트 탱크에 불어 넣은 공기 압력에 따른 밸러스트 탱크내의 압력 변화를 나타낸다. A, B의 경우는 각각 8bar, 10bar 공기를 탱크 내 공기를 불어 넣을 때는 나타내고, 탱크 내 해수의 높이가 반이 되면 고압의 공기를 차단하고 이후에 탱크 내 남아 있는 공기압력만으로 해수를 배출시키는 경우이다. 공기 차단 이후에는 탱크 내 압력이 서서히 감소하면서 배출 시간이 더 오래 걸리는 것을 볼 수 있다.

A, B와 같이 어느 시점에 공기를 차단할 때 탱크 내 해수를 배출시키기 위한 최소 요구되는 블로잉 압력은 시스템의 수심에 따라서 시뮬레이션의 결과로부터 예측할 수 있을 것이다.

C, D의 경우는 각각 5bar, 10bar를 탱크 내 공기를 계속해서 주입하는 경우를 나타낸다. 그림에서 보듯이 탱크 내 압력은 변동이 없고 일정한 압력을 나타내며 빠른 시간 내 해수를 배출시키는 것을 알 수 있다. 만약 시스템에 긴급한 상황이 발생한다면 공기를 계속해서 불어 넣어 시스템을 빨리 부상시키는 것이 좋고, 일반적 운용에서는 시간이 조금 더 걸리더라도 탱크 내 압력을 낮추고, 공기탱크의 공기소모량이 적은 블로잉 방식을 선정하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

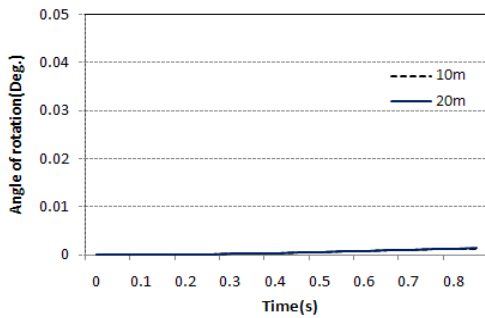
그림 9는 수심 20m에서 10bar 공기를 계속해서 주입하는 경우(실선)와 탱크의 해수 높이가 반이 되면 공기를 차단하는 경우(점선)의 공기 저장탱크의 압력 변화를 보여주고 있다. 저장탱크의 용량이 큰 관계로 압력이 서서히 감소하는 것을 알 수 있다.



[그림 9] 공기탱크의 압력 변화
 [Fig. 9] Pressure of air tank along time

3.3 시스템 안정성 평가

그림 10은 수심 10m 및 20m에서 바닥면과 수평으로 발사체를 발사할 경우 플랫폼 시스템의 회전각도 변화를 보여준다. 시뮬레이션 결과, 회전각 변화가 없는 것을 볼 수 있다. 발사체가 관의 이탈 시점인 약 0.8초 정도에서 아주 미세한 회전각을 나타내고 있지만 이것은 무시할 정도로 매우 작은 각이므로 반발력에 의한 시스템의 회전은 없고 안정하다고 할 수 있다.



[그림 10] 발사시험시 회전각도 변화
[Fig. 10] Rotation angle of the system

또한 밸러스트 탱크 내 해수의 중량과 시스템 바닥을 누르는 정수압이 매우 크고 해저 착지면의 마찰력이 크기 때문에 시스템의 미끄러짐은 없다고 할 수 있다. 그러나 해저 착지면이 진흙 등일 경우는 발사시험 수행시 시스템의 요동이 발생할 수 있으므로 피하는 것이 좋을 것이다.

4. 결론

수중에서 발사시험에 사용되는 플랫폼 시스템의 수학적 모델링을 유도하고 동특성 해석을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 플랫폼 시스템의 밸러스트 탱크 충수 모델링을 통해 수상 및 수심에 따른 충수에 소요되는 시간을 예측할 수 있었다.
- (2) 플랫폼의 블로잉 시스템을 사용하여 밸러스트에 압력을 불어넣을 시 밸러스트 탱크 내 압력 변화, 해수높이 변화 및 공기탱크의 압력변화를 예측할 수 있었다.
- (3) 수중 발사시험에 발사 반발력에 의한 플랫폼 시스템의 안정성 평가를 수행하였다.

시스템의 동특성 해석 시뮬레이션 결과는 플랫폼 시스템 설계 및 제작시 밸브의 규격, 공기탱크 용량 결정, 압력센서 선정, 밸러스트 탱크 용량 결정 및 시험 수행시 유용한 자료로서 활용할 수 있을 것이며 플랫폼 시스템의 효율적인 운용에 많은 도움을 줄 것으로 기대된다.

References

- [1] Ulrich Gabler, Submarine Design, pp. 18-19, H. Muhlberger, Augsburg, 1986.

- [2] In-Ki Park, "Simulation of Dynamic Characteristics of the Underwater Discharge System with Compressed Air", J. of the KIMST, Vol. 7, No. 2, pp.41~47, 2004.
- [3] In-Ki Park, "Simulation of Dynamic Characteristics of the Underwater Discharge System with Compressed Air", J. of the KIMST, Vol. 7, No. 2, pp.41~47, 2004.
- [4] PHILIP et al., Fundamental of Fluid Mechanics, pp. 152-153, Addison-Wesley, 1993.
- [5] H.S. Byun, "A Study on the Flood/Drain Modeling of a Platform with the Ballast Tank", J. of Research, Vol. 35, No.1, pp.1~8, 2008.
- [6] F.E. Sanville, "A new method of specifying the flow capacity of pneumatic fluid power valves", Second fluid power symposium 4th~7th, Section D3, pp.37~47, 1971.
- [7] B.W. Anderson, "The Analysis and Design of Pneumatic System", Robert E. Krieger Publishing Company, 1985.

변 흥 석(Hong-Seok Byun)

[정회원]



- 1999년 2월 : 부산대학교 정밀기계공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 광주과학기술원 기계공학과 (공학박사)
- 2005년 2월 ~ 2008년 2월 : 국방과학연구소(ADD)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 디지털기계학부 조교수

<관심분야>

CAD/RE, Metal Forming, Underwater System