

음성부력을 갖는 연습탄의 수면부양 방안 연구

Study on Floating to Surface for the Exercise Vehicle with Negative Buoyancy

정 찬 희* 최 장 섭* 김 기 언* 강 명 구* 이 정 준*

Chan-Hee Jung Jang-Seob Choi Ki-Un Kim Myung-Koo Kang Jeong-Jun Lee

Abstract

In this study, in terms of the exercise vehicles of the weapon systems having negative buoyancy, the analysis on the operation concepts was performed and the new methods of floating to surface were proposed. In case of having negative buoyancy, the additional methods for recovering the exercise vehicle have to be considered. As parts of recovering the exercise vehicle, for floating to surface the new methods of weight discharge, weight separation and sea water discharge were proposed. The conceptual design about sea water discharge method was performed. It was confirmed that those methods could be applied to the design of the exercise vehicle having negative buoyancy.

Keywords : Exercise Vehicle(연습탄), Real Vehicle(실전탄), Negative Buoyancy(음성부력), Positive Buoyancy(양성부력), Floating to Surface(수면부양), Recovery(회수)

1. 서론

군이 운용하는 무기체계는 실전과 같은 많은 훈련을 통하여 유사시 적재/적소에서 운용하는데 이상이 없도록 만반의 준비를 할 수 있어야 한다. 이러한 준비는 평소에 수행되는 훈련을 통하여 이루어질 수 있다.

소총과 같은 개인화기는 직접 실탄을 사용한 사격훈련을 통하여 전투력을 확보할 수 있으나, 어뢰와 같은 고가의 무기체계에서는 실전탄을 이용한 훈련의 경우

에고비용이 소요된다는 측면에서 수시로 수행하기에는 부담이 매우 크다.

해양무기체계에 대한 훈련은 실전탄을 이용하는 실사 훈련과 훈련용 탄을 이용하는 모의 훈련으로 구분할 수 있다. 훈련용 탄을 이용한 모의 훈련은 적은 비용으로 승조원을 훈련시킬 수 있는 유용한 방법이 된다. 이러한 이유로 최근의 유도무기체계 개발에는 실전탄 개발과 병행하여 승조원 훈련을 위한 저가 또는 재사용 가능한 훈련용 탄의 개발을 함께 진행하도록 하는 요구조건이 제시되기도 한다. 훈련용으로 사용되는 무기체계는 세부 종류에 따라 연습탄 또는 훈련탄으로 명명되고 있으며, 본 연구에서는 동일한 것으로 간주하였다. 수중환경에서 운용되는 무기체계는 일부

† 2011년 12월 27일 접수~2012년 3월 23일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 정찬희(chjung@add.re.kr)

양성부력을 갖는 경우도 있으나 대체로 음성부력을 갖도록 설계되어 있다. 이는 실전 사격 시 기대했던 임무를 수행하지 못할 경우 적에게 노출되지 않기 위한 것으로, 음성부력으로 설계함으로써 비작동 시에는 해저로 가라앉도록 한다. 한편, 실전탄의 음성부력 특성은 연습탄 설계에 요구되는 회수 및 재사용 요구조건과 서로 상충되는 조건으로 작용하게 된다. 음성부력을 갖는 연습탄은 실전탄과 동일한 형상과 무게중심을 가지며, 실전탄과 동일한 운동특성을 갖도록 설계할 수 있으나, 양성부력을 갖는 연습탄은 실전탄과 상이한 운동 특성을 갖게 된다. 따라서 실전탄의 운동특성을 모사하기 위해서는 연습탄도 음성부력을 갖도록 만드는 것이 요구되며, 앞서 요구된 회수 및 재사용을 만족시키기 위해 수면부양장치 등과 같이 회수를 위한 부가적인 시스템을 개발하여 적용하는 것이 일반적이다. 수면부양장치는 연습탄에서만 사용되기 때문에 연습탄 설계에서 어떤 개념을 적용하여 구현할 것인지를 결정하는 것은 연습탄 설계의 근간이 된다.

본 논문에서는, 음성부력 무기체계용 연습탄에 적용할 수 있는 새로운 방식의 연습탄 수면 부양 개념을 제안하였다. 이러한 부양방식이 적용된 연습탄은 발사 후 일정시점까지는 실전탄과 동일하게 음성부력 특성을 그대로 유지하여 필요한 훈련을 수행할 수 있으며, 소기의 훈련 목적을 달성한 이후에는 자체 중량을 감소시켜 연습탄이 양성부력 상태로 변환되도록 하는 새로운 수면 부양방식이다.

2. 연습탄의 수면부양 방안

가. 연습탄의 운용개념 분석

Fig. 1에는 연습탄의 운용개념이 개략적으로 제시되어 있다. 무기체계는 함정 내부로 적재된 이후, 함정 내부 저장 또는 어뢰발사관 장전상태에 있게 된다. 이후 무기체계는 함정 외부로 보내진다. 함정 외부로 보내지는 방법으로는 하역 또는 어뢰발사관에서의 사출을 통하여 이루어진다. 함정 외부로 보내지는 방식에 따라서 연습탄은 2개의 사이클로 구분할 수 있다. 첫 번째 운용 사이클은 적재(1)에서 하역(3)까지를 반복하는 운용개념이며, 두 번째 사이클은 사출(4)에서 재생(7)까지를 추가로 포함하는 운용개념이다. 이들 두 사이클은 일부 기능을 공유하기도 하지만 차별화되는 기능을 요구하기도 한다.

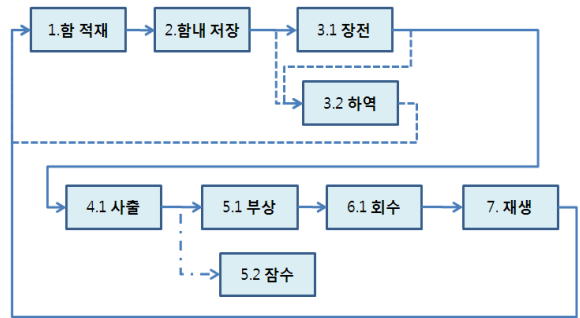


Fig. 1. Operational concept of exercise vehicle

첫 번째 사이클에 적합한 기능만을 갖는 연습탄은 ‘적하역 훈련용 연습탄’이라고 불린다. 이 연습탄은 함정 외부에서 함정 내부로 적재 및 함정 내부에서 함정 외부로 하역 등의 훈련용이다. 실전탄과 같은 어뢰발사관에서의 사출과 관련된 기능은 없다. 해당 무기체계가 함에 적재되는 무장 중에서 가장 무거운 경우에는 함의 적재하역 장비의 성능을 확인하기 위하여 중량은 동일하거나 실제보다 더 무겁게 만들어 지기도 한다. 또 다른 형태의 연습탄으로는 두 번째 사이클의 모든 운용개념에 필요한 기능을 모두 갖는 경우이다. 이 연습탄에는 사출 후 부상 및 회수까지의 기능을 갖는다. 이 모든 기능이 사출에 따른 후속 기능이므로 ‘사출연습탄’이라고도 불린다. 이러한 연습탄은 함 건조단계에서 수행하는 함의 무장 발사장치(Weapon Expulsion System)의 사출능력을 확인하고, 함 전략화 이후에 수행하는 무기체계에 대한 운용능력을 훈련하는데 사용될 수 있다. 연습탄은 실전탄과 동일한 형상과 중량특성을 갖는다. 함의 무장 발사장치를 이용하여 강제로 사출되는 형태의 무기체계에서는 연습탄 내부에 특별한 탑재장비를 구비하고 있지 않아도 사출 기능은 구현될 수 있다. 그러나 발사관에서부터 자체 추진력으로 발사되는 무기체계의 경우에는 연습탄 또한 자체 추진 기능을 포함하고 있어야 한다. 사출 후 요구 기능에는 수면으로의 부상이 가능해야 하며, 궁극적으로 회수가 가능해야 한다. 회수 후에는 연습탄의 사출 및 수중 운용특성을 분석하기 위하여 연습탄 내부에 탑재장비 및 기록장치와 같은 부가장치를 탑재할 수도 있다. 본 연구에서는 앞에서 언급된 연습탄 중에서 회수를 위한 수면부양 기능을 갖는 사출연습탄에 초점을 두고 있다.

나. 유사체계의 수면부양 방안

해양무기체계에 대한 소기의 훈련 목적을 달성한 연습탄은, 훈련 성과를 분석 및 평가하거나, 훈련 중 이상이 발생할 경우 원인분석을 위해서 회수는 필수적으로 요구된다. 또한 회수된 연습탄은 다음 훈련에 다시 사용될 수 있으므로 저렴한 비용으로 많은 훈련을 수행할 수 있게 된다.

해상회수는 주로 수면에 떠 있는 연습탄을 회수하는 것을 의미하며, 양성부력을 갖는 무기체계의 경우에는 별도의 부가장치가 없어도 기본적인 훈련 임무가 종료되면 수면에 떠 있게 된다. 이와 같은 방식이 사용되는 연습탄으로 Fig. 2에 나타나있는 수중발사 하푼(UGM-84)의 사출훈련용 연습탄(DVR : Discharge Verification Round)이 있으며, 양성부력을 가지고 있어 수면부양을 위한 별도의 장치는 적용되지 않았다.^[1]

연습탄이 음성부력을 갖는 경우에는 추가적인 부양력을 제공하지 않는다면 해저로 가라앉게 된다. 해저에 있는 연습탄을 회수하는 방법도 있을 수 있으나, 본 논문에서는 고려하지 않았다.

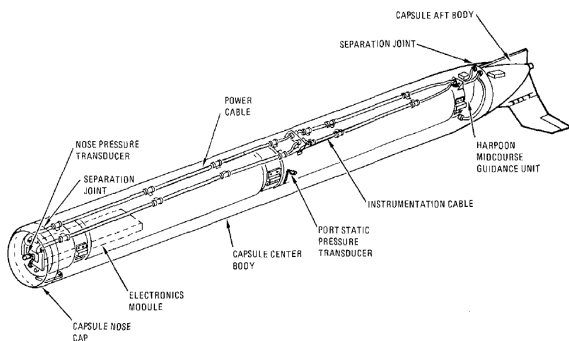


Fig. 2. DVR of underwater discharge Harpoon

첫 번째로 살펴볼 방법은 중어뢰의 훈련탄 설계 방법이다. 중어뢰의 실전탄은 작전 실패 시 자연스럽게 해저로 침하될 수 있도록 음성부력을 갖고 있다. 그러나 중어뢰의 훈련탄은 함에서 발사된 후 주행을 종료하면 해수면으로 부양할 수 있도록 양성부력으로 설계되어져 있다. 이러한 개념의 훈련탄은 실전탄과 외형은 동일하나 주요 부분의 중량을 다르게 하고, 운동성, 조종성, 안정성 및 해수면으로의 부양이 용이하도록 훈련탄의 구간별 배치를 달리하여 설계되었다. Fig. 3에는 중어뢰의 실전탄과 연습탄의 달라진 배치 형상이 나타나 있다. 이러한 설계 방식의 훈련탄은 초기상

태에서 양성부력을 보유하고 있기 때문에, 실전탄과 각종 운동특성에 차이가 있을 수도 있다. 이러한 차이를 최소화하여 소기의 훈련목적을 달성할 수 있게 연습탄을 설계할 필요가 있다.

한편, 발사에서 수중 운동까지는 음성부력을 갖고 있다가 회수 단계에서 양성부력을 갖도록 설계된 연습탄도 있다. 대표적인 예로써 경어뢰의 연습탄을 들 수 있다. 경어뢰의 일종인 MK54의 연습탄에서는 실전탄의 탄두부를 Fig. 4에 나타낸 바와 같이, 연습탄 탄두로 교체하여 장착하며^[2], 연습탄탄두에는 부력을 형성하기 위한 기낭과 이에 가스를 공급해주는 고압 가스탱크 및 관련 장비들이 탑재되어 있다.

기낭이 작동된 모습은 Fig. 5와 같다. 기낭이 부풀어 올라 부력을 증대시켜 줌으로써, 전체적으로 양성부력이 되어 해수면에 떠 있을 수 있는 것이다.

이러한 방식은 비교적 공간이 부족한 소형의 무기체계에 유용한 방식이며, 기낭 손상에 의한 해저로의 침하가 발생하지 않도록 주의해야한다.

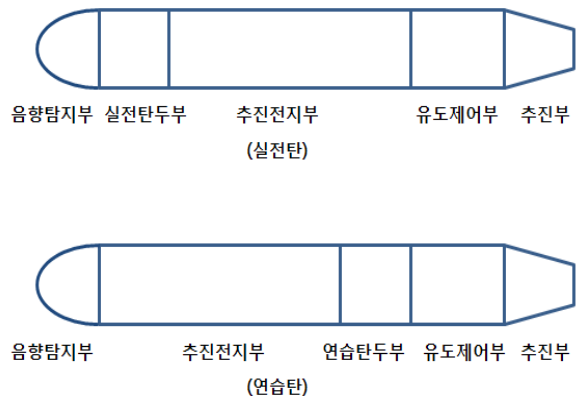


Fig. 3. Configuration of heavyweight torpedo

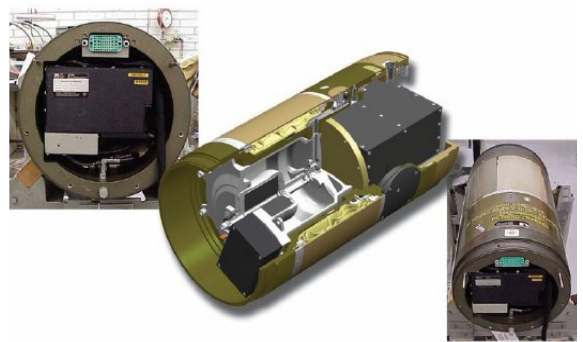


Fig. 4. Exercise warhead of MK54



Fig. 5. MK54 with activated floating bag

다. 새로운 수면부양 방안 연구

연습탄의 수면부양 개념은 아래의 부력에 대한 식을 통하여 살펴보았다.

$$F_B = F_{up} - (F_{down} + W) \quad (1)$$

위 식에서, F_B 와 W 는 각각 물체의 부력과 중량을 의미하며, F_{up} 과 F_{down} 은 외부로부터 작용하는 부양력과 하강력을 각각 의미한다^[3]. 외부로부터 힘이 작용하지 않는 경우, 위 식의 우측에는 물체 중량의 항만 남게 되는데, 수중에 있던 물체가 떠오르기 위해서는 물체의 부력이 중량보다 커야한다.

앞서 검토된 수중발사 하푼의 경우, 원래 무기체계의 부력과 중량특성이 연습탄에도 그대로 유지된 상태에서 부력이 중력보다 큰 양성부력상태이므로 수면 부양을 위한 별도의 장치가 필요하지 않으며, 발사 및 수중거동도 원래 형태를 그대로 유지할 수 있다. 중어뢰의 경우에는 원래 무기체계의 중량이 부력보다 큰 음성부력을 갖는 체계이었으나 연습탄은 중량을 감소시켜 인위적으로 양성부력을 갖도록 만들어진 경우이다. 이렇게 연습탄을 만들 경우에는 발사 및 수중 거동 특성이 원래 무기체계와 달라질 수 있으며, 이러한 차이에 민감한 경우도 있을 수 있다. 이러한 경우에는 발사시점부터 연습탄도 음성부력을 보유할 필요가 있다. 경어뢰의 경우처럼 수중운동 시에는 음성부력을 유지하고 있다가 임부가 종료된 시점에서 기낭을 이용하여 부양력을 확보하는 경우에는 수중거동에 대한 차이발생 여지는 제거될 수 있다. 그러나 무기체계 특성상 적합한 기낭이 없거나, 안정

적인 기낭 운용에 부족함이 있는 경우에는 새로이 해수면으로 부양력을 공급하는 방식을 개발할 필요가 있다.

연습탄 회수를 위하여 수중에서 해수면까지 떠올리는 부양력을 별도의 추진장치를 통하여 공급하는 경우도 고려할 수 있다. 이러한 개념은 수면으로의 부양기능은 충족시킬 수 있으나 회수 기능을 충족시키기는 쉽지 않다. 즉, 장시간이 소요되는 회수시점까지 지속적으로 물에 떠있기 위해서는 지속적으로 부양력이 제공되어야 한다. 이처럼 회수시점까지 지속적인 에너지 공급이 필요한 방식은 연습탄 설계에 적지 않은 부담으로 작용하게 되므로 이러한 접근 방식은 신중히 검토될 필요가 있다.

물체의 부력과 중량의 관계를 이용하여 연습탄을 구현하는 방법에는 부력을 증대시키는 방식(예 : 경어뢰)과 중량을 감소시키는 방법(예 : 중어뢰)으로 구분할 수 있다. 경어뢰의 경우처럼 기낭을 사용하는 경우는 물체의 무게는 일정 수준 내에 있는 상태에서 기낭을 추가하여 부력을 더 증대시키는 방식이다. 이와 반대로 부력의 변화는 적고 물체의 중량을 감소시키는 방법을 고려할 수 있다. 중어뢰의 경우에는 어뢰 형상을 유지하여 부력의 변화는 없으나 연습탄의 중량을 실전탄보다 가볍게 제작하여 양성부력을 갖게 하는 방식이다.

이와 같은 방식들이 조합된 새로운 연습탄 수면 부양방식도 가능하다. 즉, 초기 사출단계에서는 음성부력을 갖고 있으나, 수면부양 및 회수 단계에서는 중량을 감소시켜 양성부력 상태로 구현할 수 있다. 이러한 방식에는 연습탄 내부에 있던 중량물을 외부로 배출하는 방식과 해수를 배출하는 방식이 있을 수 있다.

Fig. 6은 연습탄 내부에 갇혀 있던 중량물들이, 수면 부양이 필요한 시점에서 외부로 방출되는 개념을 보여준다. 이러한 개념은 중량물 방출에 따라 연습탄의 중량이 감소되어 궁극적으로 연습탄은 양성부력 상태가 되도록 하는 개념이다.

내부 중량물을 외부로 방출하기 위해 외피의 일부가 열리게 되면 해수가 내부공간으로 유입되어 연습탄의 배수량이 줄어들게 된다. 그러므로 중량물 방출로 인한 중량과 부력 차이를 극대화하기 위해서는 중량물의 밀도가 높고, 중량물 방출시 해수의 유입이 방지되는 것이 유리하며, 중량물 방출과정에서 중량물들끼리 서로 끼이지 않고 원활하게 방출되도록 하는 것도 중요한 설계 요소가 된다.

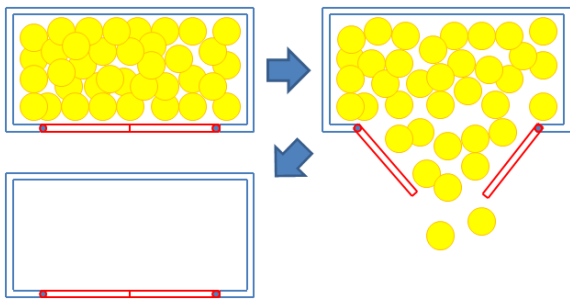


Fig. 6. Concept of weight discharge

Fig. 7은 연습탄 외부에 장착된 중량물이, 수면부양이 필요한 시점에서 분리볼트의 작동으로 분리됨으로써 연습탄의 중량이 감소되어 양성부력 상태로 변환되는 개념이다. 이러한 방식에서는 연습탄이 중량물 분리 전/후의 중량뿐만 아니라 체적과 형상이 함께 변화되므로 중량물 분리 후의 연습탄의 수증거동이 급격히 변화될 가능성이 높으므로, 이를 배제하기 위해서는 중량물의 중량, 체적 그리고 장착 위치 등의 결정이 중요한 설계 요소가 된다.

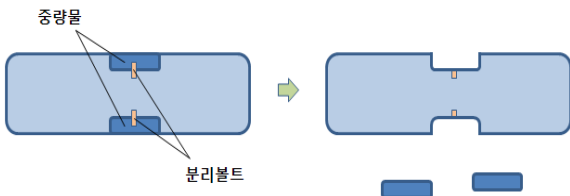


Fig. 7. Concept of weight separation

또 다른 중량감소 방법은 중량물로 해수를 사용하는 것으로 수중함의 잠항 및 부양에 사용되는 개념을 활용하는 것이다. 즉, 함에서 발사되는 시점에서는 해수를 내부에 충전하여 음성부력 상태를 유지하고, 발사 후 훈련 목적이 종료된 시점에서는 해수배출장치를 이용하여 해수를 연습탄 외부로 배출함으로써 양성부력을 갖도록 만드는 방법이다.

Table 1에서는 중량물방출 방식과 해수방출 방식 간의 주요 특징을 비교하였다. 그러나 이 결과만으로는 특정 시스템이 더 우수하다고는 할 수 없다. 시스템의 제작 및 신뢰도 측면에서는 상대적으로 단순한 시스템인 중량물 방출 방식이 유리하다고 할 수 있으나, 연습탄이 이용되는 시험의 횟수가 증가하게 되면 1회성 소모품이 거의 없는 해수방출 방식이 유리하다고 할 수 있다.

Table 1. Comparison of methods in generating positive buoyancy

비교 항목	중량물 방출	해수방출
시스템 복잡도	단순	복잡
시스템 신뢰도	보통	낮음
시스템 제작 비용	저가	고가
시스템 유지 비용	고가	저가

3. 해수방출개념을 적용한 수면부양장치 설계

가. 설계 개요

앞장에서 제안된 해수방출 개념을 적용하여 Fig. 8과 같이 해수 방출에 의한 수면부양장치를 구체화하였다.

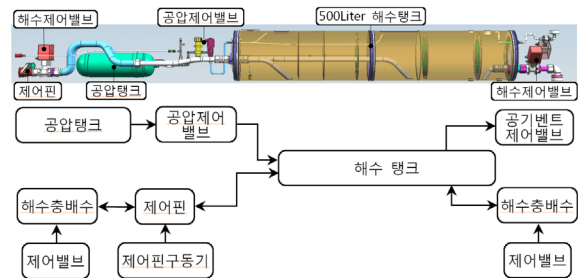


Fig. 8. Schematic diagram of water discharge system

해수 방출에 의한 수면부양장치는 해수 탱크 내의 해수를 배수 시스템을 이용하여 외부로 방출함으로써 음성부력 상태를 양성부력 상태로 전환시키며, 해수의 외부 방출각을 조종하여 수중에서의 운동 궤적을 제어할 수 있도록 하여 준다. 해수 방출에 의한 수면부양장치는 크게 압축 공기를 이용한 압력 발생 장치와 발생된 압력을 이용하여 해수 탱크 내부에 저장된 해수를 외부로 방출시키는 배수 장치로 구성되며 설계 시 주요 고려 사항들은 다음과 같다.

- 압력발생장치의 크기
- 저장된 해수의 방출 소요 시간
- 해수 방출각 조종 기구

위에서 언급한 해수 방출에 의한 수면부양장치의 운

용 개념을 고려한 작동 절차는 다음과 같다.

- ① 압력발생장치의 공압 탱크를 일정 압력으로 충전한 상태로 일정 수심까지 하강시킨다.
- ② 해수 충배수용 제어 밸브를 작동시켜 해수탱크를 충수시킨다.
- ③ 해수탱크 내부에 장착된 레벨 센서의 신호를 확인하여 해수탱크의 완전충전 여부를 확인한다.
- ④ 연습단이 함정에서 사출된 후, 일정시점에 공압 제어밸브가 개방되고 압축공기가 해수 탱크 내부로 유입된다.
- ⑤ 해수탱크 내부에 형성된 공기압력에 의해 해수 탱크의 전방과 후방에 장착되어 있는 해수 충배수 배관을 통하여 해수가 외부로 배출되며, 이 때 초기에 수평 방향으로 장착되어 있는 해수 방출용 제어핀은 해수를 특정방향으로 방출시키는데 사용된다.
- ⑥ 해수탱크 내부에 장착된 레벨센서의 신호에 의해 해수의 방출완료를 확인하고 공압제어밸브를 닫는다.
- ⑦ 해수탱크 내부의 압력이 대기압 수준까지 떨어지면 해수 충배수용 제어밸브를 닫는다.

이러한 운용 개념을 이용한 해수 방출에 의한 수면 부양장치는 고압공기의 인가 시간과 각종 제어밸브의 개폐 시점을 자유롭게 조정할 수 있는 장점이 있다.

해수방출개념을 적용한 수면부양장치의 설계 과정의 주요 항목으로 고려된 공기의 유량, 감압밸브의 성능, 해수탱크의 충전소요 시간 등에 대한 해석을 수행하였다.

나. 공기 유량 해석

고압 탱크로부터 해수 탱크로의 압력 공급은 감압 밸브를 이용하여 일정 압력으로 감압된 압력을 공급한다. 고압의 압축 공기를 방출하는 과정에서 발생하는 압력 강하 효과를 이론적으로 계산하기가 매우 어렵기 때문에 밸브 제작 업체들은 실험을 통한 경험식을 제공하여 압축 공기 흐름 계산 및 관련 시스템 설계에 적용할 수 있도록 하고 있다. 미국 Norgren 사의 경우 Fig. 9와 같은 유량계산 도표를 제공하고 있으며^[4], 특정 유량 계수를 기준으로 공기에 대한 유량을 나타내는 것으로 예를 들어 밸브 출구 압력이 100psi, 밸브 입구 압력이 120psi 일 때, 유량 계수가 0.05인 밸브의 경우 도표의 수평축에서 100psi에 해당되는 밸브 출구

압력과 입구 압력이 만나는 점에서 수직축의 SCFM (Standard Cubic Feet per Minute) 값을 읽어 그 때의 공기 유량을 계산한다.

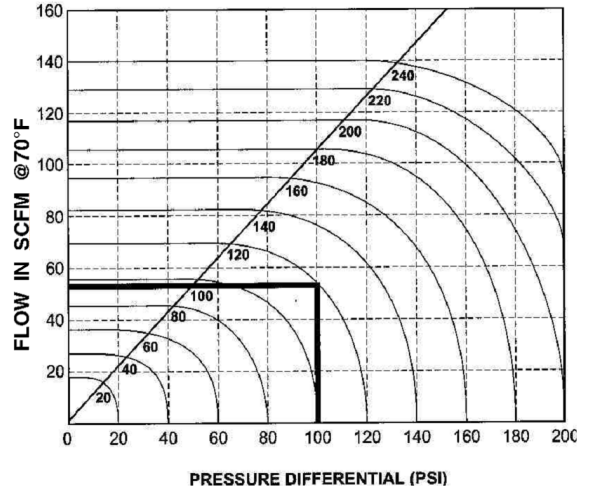


Fig. 9. Graph for estimating gas flow rate

다. 감압밸브의 성능 해석

감압 밸브로 널리 사용되고 있는 미국 Tescom 사의 고압 고유량 밸브의 성능 곡선을 이용하여 감압 밸브의 성능 해석을 수행한 결과는 다음과 같다. 먼저 Tescom 사가 제공하는 유량 계수, $C_v = 2.0$ 인 밸브의 성능 곡선을 Fig. 10에 나타내었다^[5].

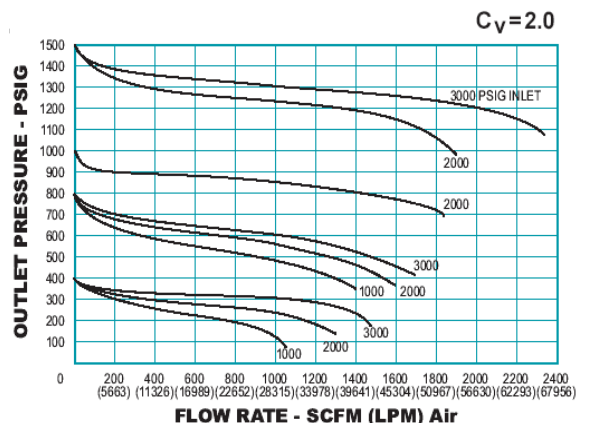


Fig. 10. Performance curve of reducing valve

감압 밸브를 공압 탱크의 충전압력으로부터 입구 압력 150bar, 출구 압력 10bar로 설정 한다. 고압의 공기

가 해수 탱크에 가해지게 되면 해수 탱크 내부의 압력이 변화되므로 밸브를 통과하는 공기의 질량 유량이 변화하게 된다. 위 감압 밸브의 성능 곡선으로부터 해수 탱크의 압력에 따른 질량 유량을 근사적으로 표시하면 Table 2와 같다.

Table 2. Relation between tank pressure and flow rate of reducing valve

해수탱크 압력 [psi]	체적 유량		질량 유량 [kg/s]
	Cv = 2.0 [SCFM]	Cv = 2.0 [m ³ /s]	
~6 bar	200	5.6600	0.0966
7.5 bar	125	3.5375	0.0604
8 bar	62.5	1.7688	0.0302
9 bar	12	0.3396	0.0058
10 bar	0	0.0000	0.0000

Table 2로부터 해수탱크의 압력에 따른 질량 유량을 Fig. 11에 나타나 있는 바와 같이 2차식으로 근사하여, 식 (2)와 같은 감압 밸브의 질량 유량을 해수 탱크의 압력(P_{tank})의 함수로 표현할 수 있다.

$$\dot{m} = -0.0022P_{tank}^2 + 0.0104P_{tank} + 0.1014 \quad (2)$$

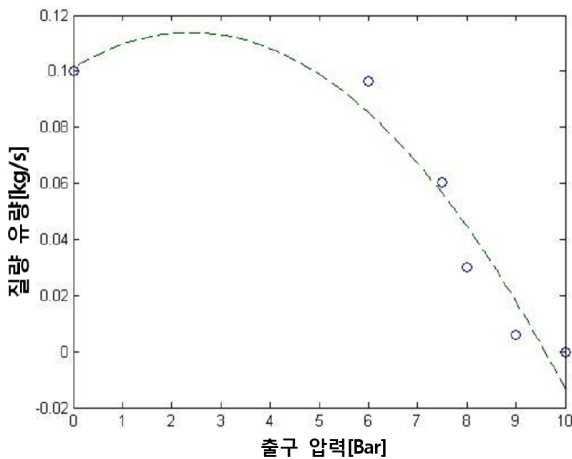


Fig. 11. Performance curve of mass flow rate in reducing valve

한편, 해수 탱크 내 공기 체적과 공기 압력은 각각 식 (3)과 (4)로 쓸 수 있다.

$$V_{air} = \int Q_{air} dt \quad (3)$$

$$P_{air} \times V_{air} = m_{air} R T \quad (4)$$

여기서, $R = 287\text{m}^2/\text{s}^2\text{K}$, $T = 293\text{K}$

위 식에서 Q_{air} 는 체적 유량을 나타낸다. 따라서 해수 배관을 통해 흐르는 해수 체적은 다음 식 (5)와 같이 계산할 수 있다.

$$Q_w = C_f A_{out} \sqrt{2P_{air}/\rho_w} \quad (5)$$

여기서, C_f 는 배관에 따른 계수 값이며 A_{out} 는 배관의 단면적을 그리고 ρ_w 는 해수의 밀도를 나타낸다. 2인치 원형 단면을 갖는 배수 배관에 대하여 $C_f = 0.9$, $A_{out} = 0.0019625\text{m}^2$ 이다.

Fig. 12와 Fig. 13은 해수 배관의 용량을 고려하여 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타내고 있으며, 해수 탱크의 해수 완전 방출 소요 시간은 7.3초, 해수 방출 시 해수 탱크 내 압력은 2.1bar, 방출 유량은 73kg/sec 수준으로 예측되었다.

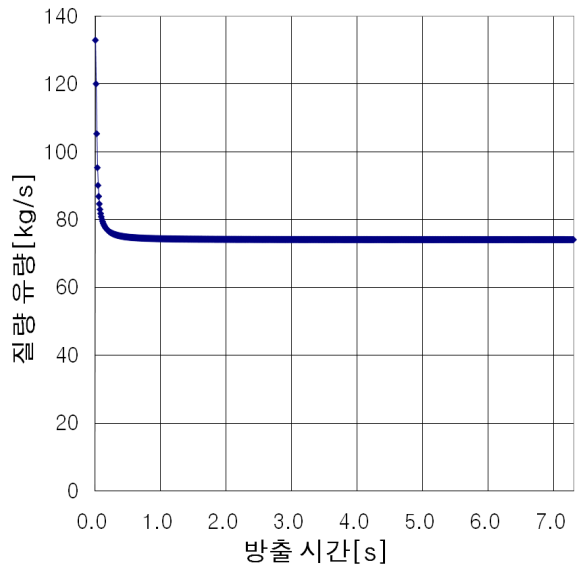


Fig. 12. Water discharge flow rate

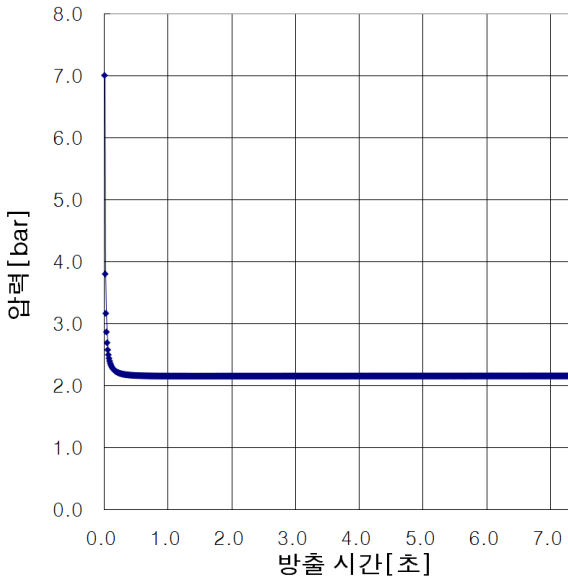


Fig. 13. Pressure in water tank

라. 해수 탱크의 충전소요 시간 해석

해수탱크를 완전히 충전하는데 소요되는 시간은 운용 개념 정립을 위해 필수적인 정보이다. 해수탱크를 가로 0.4m, 세로 0.534m의 사각형 단면을 갖는 길이 2.9m의 사각 튜브로 가정하여 해수탱크를 완전히 충전하는데 소요되는 시간을 해석한 결과는 다음과 같다.

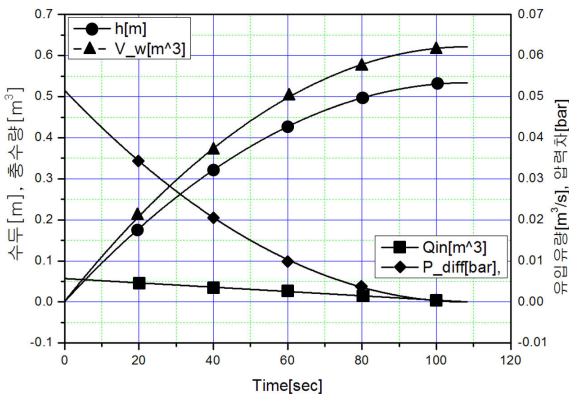


Fig. 14. Water discharge characteristics in water tank

해수탱크의 체적이 0.6216m³이므로 해수 배관을 통해 흐르는 해수의 체적은 위의 식 (5)를 이용하여 계산할 수 있다. 해수탱크의 내부 압력은 해수가 탱크 내에 채워질수록 감소함에 따라 해수 배관을 통해 흐

르는 해수의 유량도 감소하게 된다. Fig. 14에 나타나 있는 해수 충전 시뮬레이션 결과에서는, 해수탱크를 완전히 충전하는데 소요되는 시간이 110초 정도임을 보여주고 있다. Fig. 14에서 V_w는 탱크 내부에 채워지는 해수의 총수량이며, 해수탱크에 해수가 채워짐에 따라 입구와 출구사이의 수두(h)는 점점 커지게 되고, 입구와 출구 사이의 압력차(P_{diff})와 총수율(Q_m)은 점점 작아지게 됨을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 수중환경에서 음성부력을 갖는 무기체계의 연습단에 대해 요구조건 및 수면부양 방식의 형상과 중량조건 그리고 회수방안에 대한 분석을 수행하였으며, 이를 통하여 중량물 배출 방식, 중량물 분리 방식 그리고 해수방출 방식 등을 이용한 수면부양 개념을 제시하였다.

특히, 해수방출 개념을 적용한 수면부양장치 설계 개념을 정립하고, 기술적인 설계 접근 방법을 제시하였다.

중량물 배출 방식 및 중량물 분리 방식은 시스템이 단순하여 신뢰도가 높으며, 제작비용이 저렴하다는 장점이 있으나, 배출 및 분리되는 중량물이 1회성 소모품이므로 유지 비용이 높다는 단점이 있으며, 해수방출 방식은 시스템의 구성이 복잡하므로 신뢰도가 낮고, 제작비용이 높다는 단점이 있으나, 반복적인 훈련 횟수가 많아질 경우에는 1회성 소모품이 거의 없으므로 유지 비용 측면에서 매우 유리하다.

기존의 무기체계에 적용된 수면부양 방식과는 전혀 다르게 본 연구를 통하여 새롭게 제시한 중량물 배출, 중량물 분리 그리고 해수 배출 등의 수면부양 개념에 대한 연구결과는 음성부력을 갖는 다양한 무기체계의 연습단 설계에 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

[1] S. L. Stoy, V. E. Bove and W. M. Gillis, “The Development and Verification of a Hybrid Underwater Trajectory Reconstruction”, AIAA/AHS/IES/SETP/SFTE/DGLR 2nd Flight Testing Conference, Las Vegas, Nevada, Nov. 16~18.

- [2] MK54 Torpedo Brochure, U.S. Navy, 2011. USA, July 1999.
- [3] 손호재, 박창수, “잠수함공학 개론”, 대영사, p. 75, 2001.
- [4] Norgren Catalog NCA-53, Norgren Littleton, CO
- [5] “Flow Formulas for Computing Gas and Liquid Flow through Regulators and Valves”, TESCOM Corporation, USA, Dec. 1998.