

## 초기설계 단계에서의 잠수함 수평발사 모델링 연구

A Study on the modeling of horizontal launch at submarine  
in the preliminary design phase

김 동 훈\*  
Kim, Dong-Hun

### ABSTRACT

This paper deals with the development of simulation model for the horizontal launch at submarines in the preliminary design phase. The simulation model is composed of submarine motion model, cross flow force model in the bow of submarine, and weapon motion model in launch through torpedo tubes. Using submarine and weapon characteristics and simulation condition, it can simulate the exit velocity of weapon through torpedo tubes and reaction forces. It should be helpful for the analysis of the safe launch and design requirements in the preliminary design phase of a submarine or a weapon launched through torpedo tubes.

주요기술용어(주제어) : horizontal launch(수평발사), cross flow(횡류), simulation(시뮬레이션)

### 1. 머리말

잠수함에서 운용되는 무장체계의 세계적 추세는 21세기 복합적인 전장 환경에 적합하도록 주어진 공간 내에서 탑재무장의 다양화, 탑재수량 증가, 정밀 타격 능력 극대화를 추구하고 있다. 잠수함의 어뢰발사관을 통하여 운용되는 무장체계로는 자영식(swin-out) 발사관을 통해 발사되는 어뢰와 강제사출식 발사관을 통해 발사되는 Sub-Harpoon과 같은 대함유도탄이 있다.

잠수함이나 무장체계의 함-무장 연동설계 관점에서는 무장의 탑재 가능성과 군 요구사항의 만족 여부

및 무장체계의 안전하고 효율적인 운용을 위한 발사 제한사항 도출, 그리고 최적 배치성 등을 주로 고려하여야 한다.

선진국에서는 발사 제한사항을 도출하기 위해 많은 발사실험을 수행하여 DB를 구축하고 있으나 국내에서는 발사관 자체의 개발에 대한 연구만 수행되었을 뿐, 아직 이에 대한 분석이나 실험이 체계적으로 수행되지 못하고 있다.

잠수함에서 어뢰발사관을 통해 무기체계를 발사할 때 잠수함 운동에 따른 주변 유동장의 변화로 잠수함 선체 방향으로의 동유체력이 무기체계에 작용하여 간섭이 발생한다. 발사 초기에는 잠수함의 전진속도에 따른 선수부의 횡류(Cross Flow)와 잠수함의 운동 및 그에 따른 발사관에 작용하는 가속도, 강제발사의 경우에는 발사관 내부의 압력, 자영식 발사의 경우에는 추진기에 의한 발사관내 복합유동, 그리고 유체역

† 2004년 5월 28일 접수~2004년 8월 16일 심사완료

\* 국방과학연구소(Agency for Defense Development)

주저자 이메일 : junkyu@add.re.kr

학적인 힘들이 복합적으로 작용하게 된다. 무기체계의 발사 속도가 너무 낮으면 잠수함과 충돌할 가능성이 있고, 너무 높으면 발사관내의 압력으로 인해 각종 장비류에 손상이 발생할 수 있다. 또한 잠수함의 속도가 높으면 선수부에서 작용하는 횡류에 의해 사출시 무기체계에 짝힘이 발생하여 무기체계가 손상을 받거나 발사관에 끼는 현상까지 발생할 수 있고, 속도가 높으면 잠수함의 수심 및 자세제어에 어려움이 있다.<sup>[1]</sup>

본 논문은 이러한 발사 제한사항 도출을 위한 초기 연구로서, 잠수함 어뢰발사관을 통한 무기체계 발사시 작용하는 외력 및 간섭현상으로 잠수함의 운동과 선수부 유동장, 그리고 발사관 사출시 무기체계 운동을 모델링하여 실시간으로 시뮬레이션할 수 있는 잠수함 수평발사 시뮬레이션 모델의 개발에 관하여 기술하였다.

## 2. 발사함 운동 모델링

잠수함의 운동을 해석하기 위해서 먼저 유체에 대해 비점성, 비압축성, 비회전성을 가정하여 속도포텐셜을 도입한다. 잠수함이 전진속도  $U$ 로 파중을 향해 할 때 물체고정 좌표계에서 속도포텐셜은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi = U\phi_s + \phi_h \quad (1)$$

여기서,  $\phi_s$ 는 잠수함의 전진운동에 의한 정상 속도 포텐셜이고,  $\phi_h$ 는 비정상 속도포텐셜이다.

잠수함이 규칙파중을 향해하고, 비정상 속도포텐셜에서 고차항을 무시하면 비정상 속도포텐셜<sup>[2]</sup>은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\phi_h = \left[ \phi_O + \phi_D + \sum_{k=1}^6 \xi_k \phi_k \right] e^{i\omega_e t} \quad (2)$$

여기서,  $\omega_e$ ,  $\phi_O$ ,  $\phi_D$ ,  $\phi_k$ ,  $\xi_k$ 는 조우주파수와 입사파, 산란파 및 방사파 속도포텐셜, 그리고 입사파

의 복소 진폭을 각각 의미한다.

이상의 속도포텐셜들은 전 유체장에서 라플라스 방정식을 만족하고, 유체경계에서 경계조건을 만족해야 한다.

잠수함의 운동을 해석하기 위해서는 비정상 속도 포텐셜을 구하여야 하는데, 이 속도포텐셜에 대한 경계치문제를 먼저 정립하기로 한다. 정상 속도포텐셜의 차수가 비정상 속도포텐셜과 같을 경우에는 다음과 같이 잘 알려진 자유표면 경계조건으로 표현할 수 있다.

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} - U \frac{\partial}{\partial x} \right)^2 \phi_h + g \frac{\partial \phi_h}{\partial z} = 0 \quad \text{on } z = 0 \quad (3)$$

Ogilvie와 Tuck<sup>[3]</sup>에 의하면, 평균 침수표면에 서의 비정상 속도포텐셜의 선형화된 경계조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \phi_k}{\partial n} = i\omega_e n_k + U m_k \quad \text{for } k = 1, 2, \dots, 6 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \phi_D}{\partial n} = -\frac{\partial \phi_O}{\partial n} \quad (5)$$

여기서,

$$\begin{aligned} (n_1, n_2, n_3) &= \bar{n} \\ (n_4, n_5, n_6) &= \bar{x} \times \bar{n} \\ U(m_1, m_2, m_3) &= -(\bar{n} \cdot \bar{\nabla}) \bar{W} \\ U(m_4, m_5, m_6) &= -(\bar{n} \cdot \bar{\nabla})(\bar{x} \times \bar{W}) \end{aligned} \quad (6)$$

이상과 같은 경계조건들과 지배방정식으로 이루어진 편미분방정식의 해를 구하면 속도포텐셜을 구할 수 있다. 이 편미분방정식을 풀기위하여 그린함수를 도입하고, 그린정리를 적용하면 속도포텐셜은 다음과 같이 표현<sup>[4]</sup>된다.

$$\begin{aligned} \phi &= -\frac{1}{4\pi} \iint_{S_m} ds \sigma(Q) G(P, Q) \\ &\quad - \frac{U^2}{4\pi g} \oint_{C_m} d\eta n_x(Q) \sigma(Q) \bar{G}(P, Q) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서,  $G(P, Q)$  는 그린함수이고  $\tilde{G}(P, Q)$  는 그린함수에서 소스와 이미지 소스를 제외한 함수이며,  $\sigma(Q)$  는 소스강도를 각각 나타낸다.  $P$  는 필드 위치  $(x, y, z)$ ,  $Q$  는 소스위치  $(\xi, \eta, \zeta)$  를 각각 의미한다. 위에서 소스강도  $\sigma(Q)$  는 아래와 같은 적분방정식을 이용하여 구한다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \phi}{\partial n_p} = & -\frac{\alpha(P)}{4\pi} \sigma(P) \\ & -\frac{1}{4\pi} \iint_{S_m} ds \sigma(Q) \frac{\partial G(P, Q)}{\partial n_p} \\ & -\frac{U^2}{4\pi g} \oint_{C_m} d\eta n_x(Q) \sigma(Q) \frac{\partial \tilde{G}(P, Q)}{\partial n_p} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서,  $\alpha(P)$  는 선체 표면의 한 점  $P$ 에서의 Inner Subtended Angle을 나타낸다.

그린함수는 Wu와 Taylor<sup>[5]</sup>가 제안한 식을 사용하였다.

경계치 문제를 풀어서 속도포텐셜을 구하면 다음과 같이 규칙파중의 잠수함 운동에 대한 행렬방정식을 구할 수 있다. 여기서 운동의 중심은 무게중심으로 한다.

$$(-\omega_e^2[M] + [HD] + [HS] + i\omega_e[VD])\{\xi\} = \{WE\} \quad (9)$$

여기서,  $[M]$  은  $(6 \times 6)$ 의 질량행렬을 나타내고  $[HD]$  는 정수 중 잠수함이 단위 조화운동을 할 때, 함에 작용하는 동유체력의 복소진폭을 나타내는  $(6 \times 6)$ 의 행렬로서, 행렬요소는 방사와 속도포텐셜을 사용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$HD_{jk} = \rho \int \int_{S_m} \{ (i\omega_e + \overline{W} \cdot \nabla) \phi_k \} n_j ds \quad (10)$$

$[HS]$  는 정수 중 잠수함이 단위 조화운동을 할 때, 함에 작용하는 유체정역학적 복원력의 진폭을 나타내는  $[HS1]$  과  $\phi_s$ 에 의한 압력이 잠수함의 운동에 의해 작용위치가 변화하는 것을 나타내는 성분인  $[HS2]$  로 구분된다.  $[HS1]$  은 다음과 같은 행렬요소만이 값을 가지고 나머지는 모두 0 이다.

$$HS1_{44} = \rho g V \overline{GB}, \quad HS_{55} = \rho g V \overline{GB} \quad (11)$$

여기서  $\overline{GB}$  는 무게중심  $G$ 에서 부력중심  $B$ 까지의 거리를 나타낸다.

$[HS2]$  는 함의 운동진폭과 곱해져서 일종의 복원력과 같은 형태로 작용하며, 이 행렬의 행렬요소는 다음 식을 이용하여 구한다.

$$\begin{aligned} HS2_{j1 \sim 3} &= \frac{\rho}{2} \iint_{S_m} \overline{\nabla} W^2 n_j ds \\ HS2_{j4 \sim 6} &= \frac{\rho}{2} \iint_{S_m} (\vec{x} \times \overline{\nabla}) W^2 n_j ds \end{aligned} \quad (12)$$

$[VD]$ 는 점성감쇠계수를 나타내며, 본 논문에서는 횡동요에 대해서만 고려하였다. 횡동요에 대한 점성감쇠계수는 많은 연구가 이루어져 여러가지 형태의 식들이 제안되었는데, 본 논문에서는 다음과 같은 식<sup>[6]</sup>을 사용하였다.

$$VD_4 = b_{44F} + b_{44AL} \quad (13)$$

여기서  $b_{44F}$ 는 마찰저항에 의한 것으로 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} b_{44F} &= \frac{4C_F}{3\pi} \rho \omega_e \xi_4 \int_0^L \int_0^S r \left( z \frac{dy}{ds} - y \frac{dz}{ds} \right)^2 ds dx \\ C_F &= 0.0004 + [3.36 \log_{10}(R_N) - 5.6]^{-2} \\ R_N &= \frac{UL}{\nu} \end{aligned} \quad (14)$$

$\nu$  : kinematic viscosity

$b_{44AL}$ 은 부가물들의 양력에 의한 감쇄력으로 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} b_{44AL} &= \frac{1}{2} \rho U \sum \frac{dC_L}{d\alpha} A_A r_A^2 \\ \frac{dC_L}{d\alpha} &= \frac{1.8 \pi a}{1.8 + \sqrt{a^2 + 4}} \end{aligned} \quad (15)$$

여기서  $a$ 와  $A_A$ 는 부가물의 속장비와 면적을 의미

하고,  $r_A$ 는  $y-z$  plane 상에서 무게중심과 부가물의 중심사이의 거리를 의미한다.

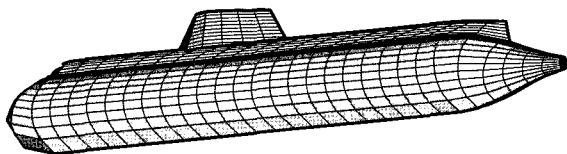
[WE]는 규칙파에 의한 파강제력의 복소진폭을 나타내며, 행렬요소는 입사파와 산란파의 속도포텐셜을 사용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$WE_j = -\rho \iint_{S_m} \{ (i\omega_e + \overline{W} \cdot \nabla) (\phi_0 + \phi_D) \} n_j ds \quad (16)$$

이상과 같이 행렬방정식의 각 요소들이 구해지면 행렬 방정식을 풀어서 잠수함의 운동진폭을 구하면 된다.

본 연구를 통해 정립된 발사함 운동 모델을 이용하여 임의의 잠수함에 대한 해석을 수행하였고, 그 결과는 무기체계 수평발사 시뮬레이션 시 초기조건으로 사용되었다.

해석에 사용된 좌표계는 내향성 해석에 보편적으로 이용되는 좌표계로 전진방향과 좌현 및 수직 상방향

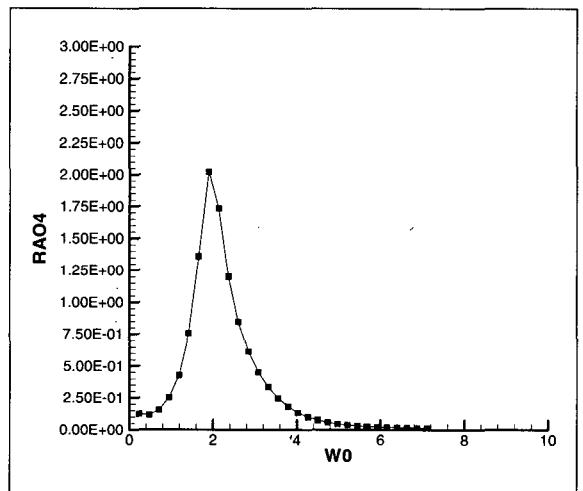


[그림 1] Panel Distribution

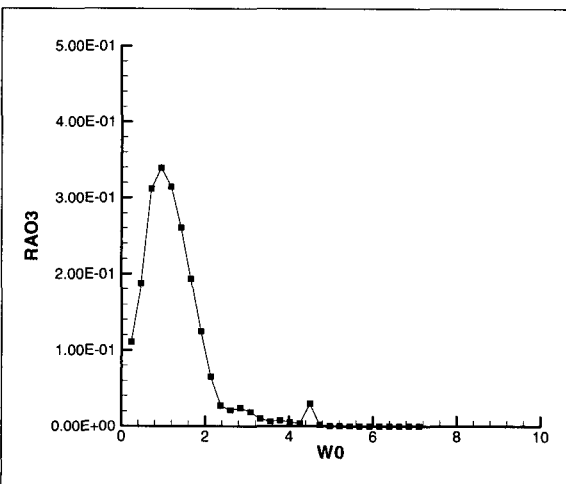
을 양의 방향으로 한다.

잠수함은 길이 55m, 폭 6.5m이고, 수치적으로 선체 주위의 유동을 계산하기 위하여 먼저 그림 1과 같이 선체표면을 이산화하였다. 선체표면을 표현하는데에는 선체의 반면에 대하여 148개의 2차 곡면요소를 사용하였으며, 총 888개의 node를 선체표면에 분포시켰다.

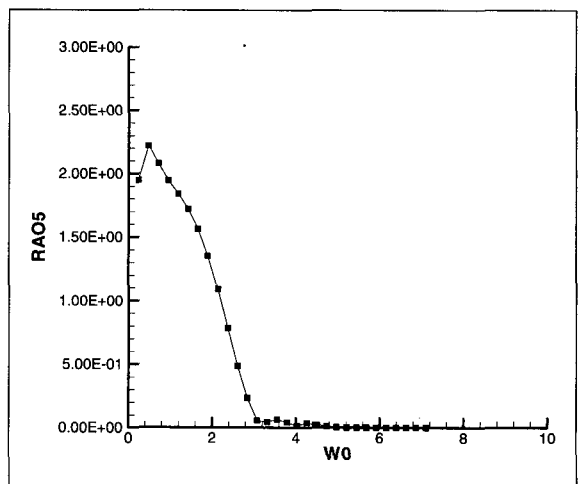
그림 2~4에는 계산된 운동진폭의 일부를 수록하였다. x축은 입사파의 주파수이며 y축은 단위진폭의 규칙파에 대한 운동응답으로 각각 meter 및 degree 단



[그림 3] Roll RAO(Beam Sea)



[그림 2] Heave RAO(Head Sea)



[그림 4] Pitch RAO(Head Sea)

위이다.

선속은 10knots로 하였고, 수심은 용골선(Keel Line)을 기준으로 20m로 하였다. 파 입사각은 선미 파를 0도로 하고, 45도 간격으로 180도까지 수행하였다. 입사파의 주파수는 0.1rad/sec에서 3.0rad/sec까지 0.1rad/sec 간격으로 계산하였다. 정상파 포텐셜(Steady Wave Potential)의 영향은 무시하였다.

잠수함의 경우에는 파강제력이 작아 수상선에 비해 그리 크지 않은 운동진폭을 보여주고 있으며 전반적으로 매끈한 곡선을 형성하고 있는데, 이는 수상선의 경우에는 선적분의 계산 오차와 비정상 주파수의 영향들이 나타나지만 잠수함의 경우에는 이러한 현상이 발생하지 않기 때문이다.

### 3. 선수부 유동장 모델링

발사관을 이탈하는 무기체계에 작용하는 횡류를 추정하기 위해서는 발사함 선수부 주위의 유동장 해석이 필요하다. 유동 해석에는 전산유체역학이나 패널법이 주로 사용되고 있으나, 잠수함 선수부 주위의 유속 분포에는 점성의 영향을 고려할 필요 없으므로 포텐셜 유동 해석을 이용할 수 있다. 그러나 통상의 패널법을 사용하기에는 몇가지 어려움이 따른다.

첫 번째 어려움은 요구되는 입출력 변수 형식과 관련된다. 실시간 시뮬레이션을 위해서는 선수부 근처에서 임의 지점의 좌표를 입력하면 그 점에서의 유속을 간단히 계산할 수 있어야 한다. 기존의 패널법을 사용할 경우, 잠수함 전체를 분할한 패널 정보 및 각 패널에 분포된 특이점의 강도를 가지고 있어야만 유속결정이 가능하다. 그러나 그러한 데이터를 모두 시뮬레이션 프로그램에 저장하는 것은 비현실적이다. 이에 대한 대안으로서는, 관심 영역에서 속도 분포를 미리 계산한 후 함수로 Fitting하는 방법이 있다. 그러나 3차원 공간에서 복잡하게 변화되는 Vector Field를 정확히 Fitting한다는 것은 어렵고 오차를 초래한다.

다른 문제로는 패널법에서 사용되는 특이점에 기인한 불연속성의 문제이다. 특이점이 분포되면 특이점 주위에 속도의 불연속을 초래한다. 만약 입력 좌표가

함 표면 근처이면 작은 입력 오차에 의해 큰 차이를 발생시킬 수 있다. 또한 패널들 사이의 경계에서 발생하는 접선 속도의 비정상적인 분포도 문제를 일으킬 수 있다.

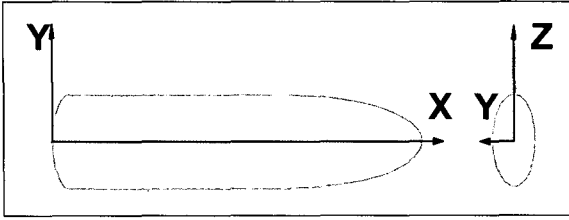
이와 같은 어려움을 피하기 위해 잠수함 내부에 이산화된 소스들을 분포하는 방법<sup>[7]</sup>을 시도하였다. 이 방법에서는 잠수함 표면을 표현할 수 있는 몇 개의 이산화된 소스의 위치와 강도만 결정되면 임의의 점에서의 유속이 정확하고 간단하게 계산된다. 따라서 계산된 유속 분포의 Fitting에 의한 오차가 전혀 없다. 또한 발사함 표면에서 떨어진 내부에 특이점이 위치하기 때문에 잠수함 표면을 포함하여 어느 정도 내부 지점까지도 부드러운 유속 분포를 주게 된다. 그러나 이 방법의 문제는 잠수함의 형상이 복잡해지면 잠수함 형상의 정확한 고려가 어려워진다는 점이다. 그러나 일반적으로 잠수함의 선수부 형상은 비교적 단순하며, 모든 영역에서 잠수함 형상과 정확히 일치하지 않는 특이점 분포를 사용하여도 발사관 주위 및 앞쪽의 유속 분포는 상당히 정확히 계산할 수 있다.

사용된 좌표축은 그림 5에 도시한 바와 같이 원점은 선수에 고정되었다. 발사함의 길이 방향으로 x축을 정의하였으며, 우현과 상방으로 y, z축을 정의하였다.

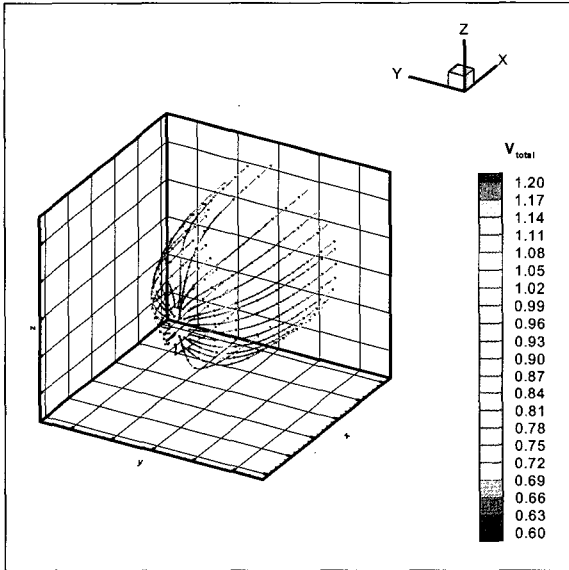
$$\begin{aligned}
 U &= 1. + \sum_{i=1}^7 \frac{\sigma_i}{d_i^3} \Delta x_i \\
 V &= \sum_{i=1}^7 \frac{\sigma_i}{d_i^3} \Delta y_i \\
 W &= \sum_{i=1}^7 \frac{\sigma_i}{d_i^3} \Delta z_i \\
 \Delta x_i &= x - x_i \\
 \Delta y_i &= y - y_i \\
 \Delta z_i &= z - z_i \\
 d_i &= \sqrt{(\Delta x_i)^2 + (\Delta y_i)^2 + (\Delta z_i)^2}
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

그림 5와 같은 소스 분포에 의한 임의의 지점(x,y,z)에서의 유속 (U,V,W)은 식 (17)로부터 계산된다. 계산되는 유속 (U,V,W)은 잠수함에 대한 상대 유속으로서 잠수함의 속도로 무차원화 된다.

이산화된 소스들에 의해 유기된 유동장내에 있는



[그림 5] 선수부 유동장 좌표계



[그림 6] 선수부 유속 분포

정체점을 지나는 유선들로 표현되는 3차원 형상을 찾으면, 그 형상이 바로 그 유동장을 유기하는 정확한 형상이 된다. 따라서 위의 소스들에 의한 선수부 유속 분포는 실제 경우와 상당히 잘 일치할 것으로 생각된다. 비록 현재 사용된 이산화된 소스 분포로는, 잠수함 갑판(Deck)에 의한 불연속성은 표현되지 않았으나 발사관 주위 및 앞쪽의 유속 분포에 대한 영향은 작으리라 판단되고, 따라서 이와 같은 방법을 사용하면 발사관이 장착된 선수부 주위의 횡류 영향을 모델링할 수 있다.

그림 6은 발사함 운동 해석에 사용된 잠수함의 선수부 유속 분포를 보여준다.

그림 6에서 유선의 색은 그 위치에서 속력의 크기를 나타낸다. 즉, 청색은 상대 속력이 발사함 속력의 0.6배 이하이며 적색은 1.2배 이상임을 의미한다. 선

수부 중앙 근처에서 유속이 느린 정체점 부근 영역(청색)과 평행부 약간 앞에서 최대 속도가 발생하는 영역(적색)을 보여준다.

발사함의 선수부 유속 분포를 알면 Cross Flow Principle<sup>[8]</sup>을 이용하여 발사관 사출 시 무기체계에 작용하는 횡력을 계산할 수 있다.

#### 4. 발사관 사출 운동 모델링

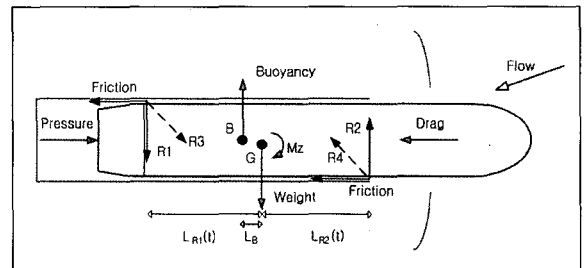
발사관을 이탈하는 무기체계에 작용하는 힘으로는 중력과 부력, 유체동역학적 힘과 횡류, 그리고 강제사출 시에는 압축공기에 의한 발사관내 압력, 자연식 발사에는 추진기 추력으로 구분할 수 있다. 이 중 횡류는 발사관 이탈 시에만 고려가 되고 발사관 내부 운동에서는 고려되지 않는다.

만약 발사관의 위치가 함의 수직면상에서 바로 아래에 있을 때 함으로부터 이탈하는 과정에서 무기체계에 작용하는 힘과 모멘트는 그림 7과 같이 나타낼 수 있다.

이러한 경우 무기체계의 선수부를 +x축, 오른쪽 방향을 +y축, 아래 쪽을 +z축으로 하는 직각우수좌표계에서 대상 무기체계의 무게중심을 원점으로 할 때, 발사관 사출 운동 모델은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$(m + X_u) \ddot{x} = T_x(t) - C_D \frac{\rho}{2} A u^2 - \mu (|R_1| + |R_2| + |R_3| + |R_4|) \quad (18)$$

여기서  $m$ 은 무기체계의 질량이고  $X_u$ 은 부가질량



[그림 7] 발사관 이탈 시 운동 모델링

(added mass)을 나타낸다.  $T_x(t)$ 는 자영식 발사의 경우에는 추진기 추력을 의미하고, 강제사출 시에는 압축공기에 의해 발사관 내부에 작용하는 힘으로 압력  $P(t)$ 와 무기체계 후미부 단면적  $A$ 의 곱으로 표현할 수 있다. 본 논문에서는 압력이 무기체계의 후미부에 균일하게 작용한다고 가정한다.  $C_D$ 는 축방향 항력계수,  $\rho$ 는 해수밀도, 그리고  $u$ 는 축방향 속도를 나타낸다.  $\mu$ 는 마찰계수를 나타내고  $R$ 은 이탈하는 무기체계와 발사관 사이의 마찰력의 작용점에서 걸리는 수직항력으로서 사출 시 작용하는 힘과 모멘트의 평형을 이용하여 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{F}_y + \vec{R}_3 + \vec{R}_1 + F_{yw} &= 0 \\ \vec{F}_z + mg - \rho g V + \vec{R}_1 + \vec{R}_2 + F_{zw} &= 0 \\ \vec{M}_y + L_B \cdot \rho g V + L_{R1} \vec{R}_1 + L_{R2} \vec{R}_2 + \mu |R_1| \frac{\vec{D}}{2} + \mu |R_2| \frac{\vec{D}}{2} + M_{yw} &= 0 \\ \vec{M}_z + L_{R1} \vec{R}_3 + L_{R2} \vec{R}_4 + \mu |R_3| \frac{\vec{D}}{2} + \mu |R_4| \frac{\vec{D}}{2} + M_{zw} &= 0 \end{aligned} \quad (19)$$

여기서  $V$ 는 부력,  $g$ 는 중력가속도를 나타내고,  $F_{yw}$ ,  $F_{zw}$ ,  $M_{yw}$ ,  $M_{zw}$ 는 함 운동에 의해 무기체계에 작용하는 힘과 모멘트로서, 아래와 같이 함 운동에 의해 무장체계의 무게중심에 작용하는 가속도를 구하여 Newton의 운동법칙을 이용해 도출할 수 있다.

$$\begin{aligned} a_y &= \{ \ddot{\eta}_2 + (x - x_G) \ddot{\eta}_6 + (z - z_G) \ddot{\eta}_4 \} \cos(\eta_4) - g \cdot \cos(\eta_4) \cdot \sin(\eta_4) \\ a_z &= \{ \ddot{\eta}_3 - (x - x_G) \ddot{\eta}_5 + (y - y_G) \ddot{\eta}_4 \} \cos(\eta_4) - g \cdot \cos(\eta_4) \cdot \cos(\eta_4) \end{aligned} \quad (20)$$

여기서,

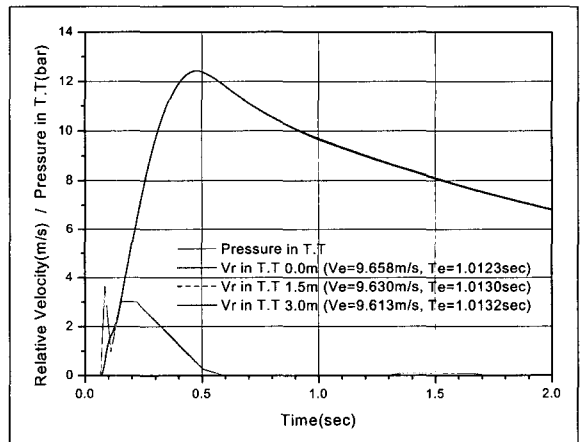
- $\ddot{\eta}_i$  : 함 운동 가속도( $i=1 \sim 6$ )
- $(x, y, z)$  : 탑재무장의 무게중심 좌표
- $(x_G, y_G, z_G)$  : 함의 무게중심 좌표

### 5. 시뮬레이션 및 결과 검토

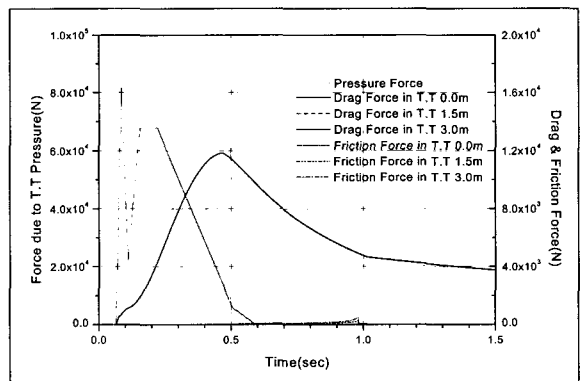
본 연구를 통해 정립된 잠수함 수평발사 모델링을

이용하여 임의의 무기체계를 발사할 경우에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 무기체계는 타원형 두부에 어뢰형 꼬리부를 가지는 길이 6m, 직경 0.533m의 중성부력의 무기체계를 선정하였다. 발사 방식은 강제사출방식으로 하였으며 작용하는 압력은 임의로 선정하였다. 발사관의 위치는 Center Line 중앙으로부터 상방향으로 0m, 1.5m, 3.0m로 하였으며 발사함의 속도는 10knots, 발사 수심은 20m로 하였다.

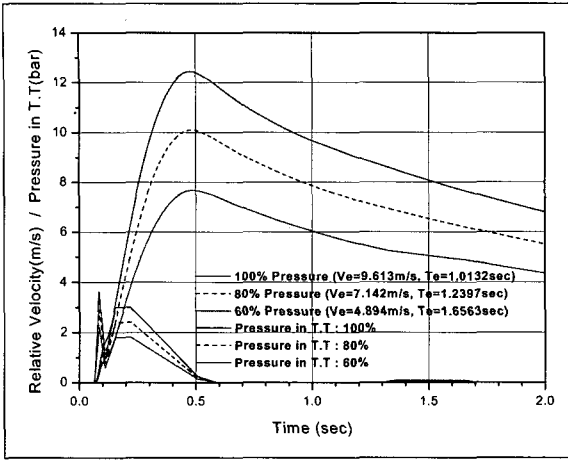
그림 8은 발사압력 및 발사관별 무기체계의 사출속도를 나타내는 그림으로서, 동일한 압력이 작용할 때 발사관 위치에 따른 사출속도의 변화는 거의 없는 것으로 판단된다. 이는 그림 9에서 보는 바와 같이 동일한 압력이 작용할 때 사출속도에 영향을 미치는 항력의 크기가 다른 힘에 비하여 무시 가능할 만큼 상



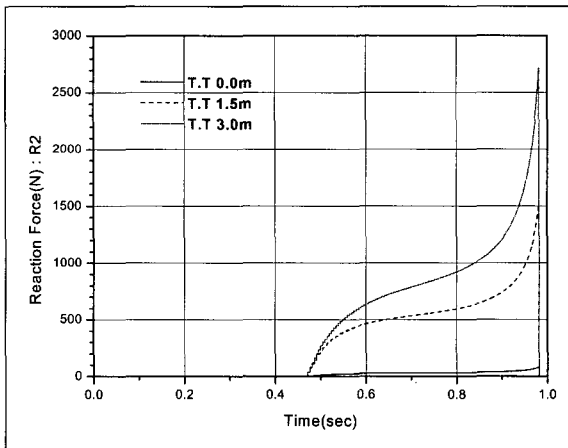
[그림 8] 무기체계 사출속도 및 작용 압력



[그림 9] 수평발사 시 발사관별 작용하는 힘



[그림 10] 발사압력 변화에 따른 사출속도



[그림 11] 무기체계 발사 시 작용하는 힘

당히 작기 때문이다. 그림 10은 동일한 발사관에서 작용압력을 80%와 60%로 감소시켜 사출속도를 분석한 것으로 압력의 변화에 따라 사출속도의 변화가 큰 것을 확인할 수 있다. 따라서 사출속도에 대한 요구 조건 만족을 위해서는 발사압력의 설계가 가장 중요함을 알 수 있다.

그림 11은 발사 시 선수부 유동장에 의한 횡류의 영향으로 무기체계에 상방향으로 작용하는 수직항력을 발사관 위치에 따라 나타낸 그림이다. 발사관이 중앙에서 멀어질수록 횡류의 영향이 크게 작용하여 이에 따른 수직항력이 커짐을 알 수 있다. 즉, 발사 시 작용하는 횡류는 사출속도에는 거의 영향이 없으

나 사출 시 작용하는 수직항력에는 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 함과 무장체계의 연동설계 시 이러한 수직항력이 설계하중 이상으로 작용하게 되면 발사 시 무기체계의 파손 가능성이 있으므로 안전 발사를 위해서는 설계 시 이에 대한 검토가 필수적으로 요구된다.

## 6. 맺음말

잠수함 수평 발사 시 작용하는 외력 및 간섭현상을 모델링하고 임의의 대상 잠수함과 무기체계에 대하여 해석을 수행하였다. 해석 결과를 통해, 잠수함 어뢰 발사관을 통한 강제발사 시 사출속도는 작용압력이 지배적임을 알 수 있었고 발사관이 중앙 Center Line에서 멀어질수록 횡류에 의한 수직항력이 크게 작용함을 알 수 있었다. 본 연구를 통해 개발된 기법은 향후 초기설계 단계에서 함과 무장체계 연동설계 시 안전발사 가능성 및 군 요구사항 만족여부 분석에 이용이 가능할 것으로 판단된다.

발사관내에서는 압축공기 발사 시의 공기/유체 상호작용과 자영식 발사에서는 추진기에 의한 복합 유동으로 상당히 복잡한 현상이 존재하고 있으나 본 논문에서는 이를 가정하거나 경험적으로 표현하였다. 향후 공기/유체 혼합 유동장 해석 및 복합 유동장 해석에 대한 심도있는 연구를 수행하고 본 연구내용을 활용하여, 정량적인 발사 안전성 지수 도출에 대한 연구를 수행할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김찬기, 윤현규, “어뢰의 발사 초기거동 개념연구”, 국방과학연구소, NWSD-519-960149, 1996.
- [2] Edward V. Lewis, “Principles of Naval Architecture, Vol. III”, SNAME, 1989, p.49.
- [3] Ogilvie, T. F. & Tuck, E. O., “A Rational Strip Theory for Ship Motions, Part1” Rep. No. 013, Dep. Nav. Arch. Mar. Eng., Univ. of Michigan, Ann Arbor, 1969.



- [4] Ann, S. P., "Analysis of Maneuverability of a Ship in Waves by 3-Dimensional Panel Method", Ph.D. Thesis, SNU., 1993.
- [5] Wu, G. X. & Eatock Taylor, R., "The Numerical Solution of the Motions of a Ship Advancing in Waves", Proc. 5th Int. Conf. Num. Ship Hydrodynamics, 1989.
- [6] A. R. J. M. Lloyd, "Seakeeping: Ship Behaviour in Rough Weather", Ellis Horwood Limited, 1989, pp.223~233.
- [7] Sighard F. Hoerner, "Fluid Dynamic Drag", Hoerner Fluid Dynamics, 1965, p.3~11.
- [8] John D. Anderson, "Fundamentals of Aerodynamics", McGraw-Hill, Inc., 1991, pp. 189~192.