

파랑수면 근처에서 항주하는 수중운동체의 운동해석

윤현규^{*1)} · 안성필²⁾ · 정철민³⁾ · 김찬기³⁾

¹⁾ 창원대학교 산업조선해양공학부

²⁾ (주)세이프텍리서치 안전기술연구소

³⁾ 국방과학연구소 제6기술연구본부

Motion Analysis of an Underwater Vehicle Running near Wave Surface

Hyeon Kyu Yoon^{*1)} · Seong Phil Ann²⁾ · Chulmin Jung³⁾ · Chan-Ki Kim³⁾

¹⁾ School of Industrial Engineering and Naval Architecture, Changwon National University, Korea

²⁾ Research Institute of Safety Technology, SafeTechResearch, Korea

³⁾ The 6th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 2 December 2015 / Revised 22 February 2016 / Accepted 20 May 2016)

ABSTRACT

A cylinder-type underwater vehicle for military use that is running near the free surface at the final homing stage to hit a surface ship target is affected by wave force and moment. Since wave can affect an underwater vehicle running at the depth less than half of the modal wave length, it is important to confirm that the underwater vehicle can work well in such a situation. In this paper, wave force and moment per unit wave amplitude depending on wave frequency, wave direction, and vehicle's running depth were calculated by 3-Dimensional panel method, and the numerical results were modeled in external force terms of six degrees of freedom equations of motion. Motion simulation of the underwater vehicle running in various speed, depth, and sea state were performed.

Key Words : Underwater Vehicle(수중운동체), Simulation(시뮬레이션), Equations of Motion(운동방정식), Wave Surface (파랑수면)

1. 서론

군사용으로 적함을 공격하는 원통형 수중운동체는

수상함 공격용과 잠수함 공격용으로 구분할 수 있다. 수상함용은 잠수함·정에서 발사되어 적 수상함을 타격하고, 잠수함용은 항공기, 헬기, 수상함정에서 발사되어 적 잠수함을 타격한다. 따라서, 수상함용 수중운동체는 운동단계 관점에서 종말유도시 수면 근처를 항주할 수밖에 없고, 수상함 선저와 가까운 심도, 즉 수

* Corresponding author, E-mail: hkyoon@changwon.ac.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

면에서 가까울수록 명중 확률이 높아지게 된다. 본 논문에서는 파랑수면 하를 항주하는 원통형 수중운동체를 운동해석 대상 체계로 한다.

수면에는 항상 파도가 존재하여 수면 근처를 항주하는 수중운동체 운동해석에는 일반적인 물수체에 대하여 고려하지 않는 파랑력을 고려하여야 한다. 이러한 파도가 수면하 물체에 미치는 영향은 수심이 깊어질수록 지수함수적으로 감소하여, 파도의 반파장 심도에서는 수면 위에서 영향 대비 약 4 % 정도로 줄어들게 된다^[1]. 해상에서의 파도는 파에너지 스펙트럼에 의하여 주파수별 파진폭이 결정되는 규칙파의 중첩으로 표현되는 불규칙파이고, 이는 수중운동체에 주기적으로 영향을 미치게 된다^[2]. 파도에 의한 영향이 크면 제어기를 과도하게 사용하여야 하고, 최악의 경우에는 수면 부상, 탐지 성능 저하에 따른 표적 상실 등의 작전 성능이 저하될 수 있다. 따라서, 수중운동체가 수면 근처를 항주할 때, 파도에 의하여 어느 정도의 운동 교란이 일어나는 지에 대한 면밀한 분석이 필요하다^[3,4].

파랑력은 선형이론에 따라 성분별로 수중운동체의 주기 운동에 의한 방사력(Radiation), 물체에 의하여 교란되지 않는 파랑수면 하 파랑에 의한 동압의 물체 표면 적분값인 Froude-Krylov 힘, 입사파의 고정된 물체에 의한 교란 성분인 산란력(Diffraction)으로 구성된다^[5]. 본 논문에서는 수면하 수중운동체가 유발하는 수면 교란은 매우 작으므로 방사력은 무시할 수 있다고 가정하고, 심도별, 파향별, 주파수별 단위 파진폭당 파강제력인 Froude-Krylov 힘과 산란력만 3차원 페널법으로 구한다. 이렇게 구해진 파주파수별 단위 진폭당 파강제력을 특정 해상상태에 대해서 수중운동체의 속력과 주행방향에 따른 조우주파수를 고려하여 운동방정식에 적용한 후, 주행속력별, 조우파향별, 명령심도별 심도 제어 시뮬레이션을 수행하였다. 추후 수면 근처에서의 심도 변경, 방향 전환 등에도 운동 시뮬레이션 모델을 적용할 수 있도록 심도별, 조우 파향별, 조우 주파수별 파강제력을 내삽하여 구할 수 있도록 하였다. 이를 통하여 침로 변경에 따른 산란력 변화를 고려할 수 있고, 파강제력을 미리 계산하여 주행조건에 따라 내삽하여 적용함으로써 실시간으로 운동계적을 모사할 수 있다. 전산유체역학기법을 이용하여 규칙파 강제력을 계산한 후, 수중운동체의 강건제어성능을 해석한 바가 있으나 이는 다양한 운항조건에 대응할 수 없다는 단점이 있다^[6].

2장에는 운동방정식에 대한 기본 가정, 좌표계, 운동

방정식, 외력 및 적용된 제어기에 대하여 기술하였다. 3장에는 파주파수별, 파향별, 심도별 파강제력 계산을 위한 수학적 모델링, 운동방정식에 적용할 파강제력 모델링 방법을 나타내었다. 4장에는 단위 파진폭당 파강제력의 크기 및 파향에 대한 위상차의 수치 계산 결과, 수중운동체의 속력별, 조우파향별, 명령심도별 심도 제어 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

2. 운동방정식

2.1 기본 가정

수중운동체 운동을 기술하는 좌표계, 파랑력 및 동유체력 모델링과 관련한 기본 가정은 다음과 같다.

- 방사력 성분은 무시하고, 운용수심은 심수임.
- 수중운동체는 집중질량체로 간주함.
- 수중운동체의 자세변화에 의한 힘 변화는 선수동요 방향만 고려함.
- 수중운동체 물체고정좌표계의 좌표축은 관성주축임.
- 속력 변화에 따른 후미 유동변화와 반류 영향은 무시함.

2.2 좌표계

수중운동체 운동을 기술하기 위해서는 수중운동체 위치와 자세각을 나타내기 위한 지구고정좌표계와 수중운동체의 운동방정식을 기술하는 물체고정좌표계가 필요하다.

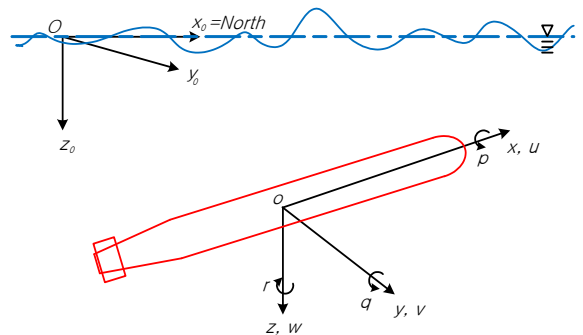


Fig. 1. Coordinate systems and definition of symbols

Fig. 1의 지구고정좌표계($O-x_0y_0z_0$)는 원점을 수면 위의 임의의 점으로 하고 x_0 방향은 북쪽, y_0 방향은

동쪽, z_0 는 연직하방을 양으로 하는 직각우수좌표계로 선정한다. 물체고정좌표계($o-xyz$)는 원점이 수중운동체의 무게중심에 있고, x 방향은 선수, y 방향은 우현, z 방향은 연직하방을 양으로 하는 직각우수좌표계이다²⁾.

2.3 운동방정식

Newton 제 2법칙을 물체고정좌표계에 대하여 적용하면 수중운동체 6자유도 운동방정식은 다음과 같이 기술할 수 있다. 여기서, m , I_x , I_y , I_z 는 각각 수중운동체 질량, x, y, z 축에 대한 질량관성모멘트를 나타내고, 하첨자 HD , HS , G , T , δ , $wave$ 는 각각 동유체력, 정유체력, 중력, 추력, 제어력, 파강제력을 나타낸다. 운동변수 위의 ‘·’는 시간미분을 의미한다.

$$\begin{aligned} m(\dot{u}-vr+wq) &= X_{HD}+X_{HS}+X_G+X_T+X_\delta+X_{wave} \\ m(\dot{v}-wp+ur) &= Y_{HD}+Y_{HS}+Y_G+Y_\delta+Y_{wave} \\ m(\dot{w}-uq+vp) &= Z_{HD}+Z_{HS}+Z_G+Z_\delta+Z_{wave} \\ I_x\dot{p}+(I_z-I_y)qr &= K_{HD}+K_{HS}+K_T+K_\delta+K_{wave} \\ I_y\dot{q}+(I_x-I_z)rp &= M_{HD}+M_{HS}+M_\delta+M_{wave} \\ I_z\dot{r}+(I_y-I_x)pq &= N_{HD}+N_{HS}+N_\delta+N_{wave} \end{aligned} \quad (1)$$

2.4 파강제력을 제외한 외력

수중운동체 몸체에 작용하는 동유체력 모델은 가속도에 비례하는 관성력과 속도에 비례하는 감쇠력으로 표현되는 Abkowitz 선형 모델을 적용한다⁷⁾. 여기서, X_u , X_{uu} , ..., N_r 은 하첨자 운동 변화에 따른 동유체력 변화를 나타내는 동유체력미계수이고, 수직방향 무게중심과 부심의 위치 차이가 작다고 가정한다.

$$\begin{aligned} X_{HD} &= X_u\dot{u}+X_{uu}u^2 \\ Y_{HD} &= Y_v\dot{v}+Y_r\dot{r}+Y_vv+Y_pp+Y_rr \\ Z_{HD} &= Z_w\dot{w}+Z_q\dot{q}+Z_wv+Z_qq \\ K_{HD} &= K_p\dot{p}+K_vv+K_pp+K_rr \\ M_{HD} &= M_w\dot{w}+M_q\dot{q}+M_wv+M_qq \\ N_{HD} &= N_v\dot{v}+N_r\dot{r}+N_vv+N_pp+N_rr \end{aligned} \quad (2)$$

추진력은 전진비 함수인 추력계수(K_T -식 (1)의 추진기에 의한 횡동요모멘트와 동일 기호 사용)와 토크계수(K_Q)를 이용하여 모델링한다. 이 때, 추력계수와 토크계수는 모두 추진기 원주속도대 전진속력비인 전

진비(J)의 2차 함수이고, 추진기 단독시험을 통하여 구한다. 여기서, ρ , n , D_p , t 는 각각 유체 밀도, 추진기 회전수, 추진기 직경, 추력감소계수를 나타내고, 하첨자 f , a 는 각각 전부로부터, 후부로부터를 나타낸다.

$$\begin{aligned} X_T &= (1-t)\rho n^2 D_p^4 K_T(J) \\ K_T &= \rho n^2 D_p^5 \{K_{Qf}(J)-K_{Qa}(J)\} \end{aligned} \quad (3)$$

제어력은 상하 방향타와 좌우 수평타에 의한 힘이고, 방향타는 침로제어에만 적용하고, 승강타는 횡동요, 종동요, 심도제어에 적용한다. δ_r , δ_e , δ_{e_r} , δ_{e_l} 은 각각 방향타각, 평균, 우측 및 좌측 수평타각을 나타내고, Y_δ , Z_δ , ..., N_δ 은 제어관계수를 나타낸다.

$$\begin{aligned} X_\delta &= 0 \\ Y_\delta &= Y_\delta \delta_r \\ Z_\delta &= Z_\delta \delta_e \\ K_\delta &= K_\delta \delta_r + K_\delta (\delta_{e_r} - \delta_{e_l}) \\ M_\delta &= M_\delta \delta_e \\ N_\delta &= N_\delta \delta_e \end{aligned} \quad (4)$$

정유체력 및 중력은 모두 연직 상하방으로 작용하므로 같이 묶어서 표현하는 것이 편리하다. 지구고정좌표계에 대하여 연직방향으로 작용하는 힘을 Euler각 (ϕ , θ , ψ)을 이용하여 물체고정좌표계에 대하여 좌표 변환하면 다음과 같다. 여기서, W , B 는 각각 수중운동체 무게, 부력을 나타내고, x_B , y_B , z_B 는 물체고정좌표계에 대한 부심의 좌표값이다.

$$\begin{aligned} X_{HS}+X_G &= -(W-B)\sin\theta \\ Y_{HS}+Y_G &= (W-B)\cos\theta\sin\phi \\ Z_{HS}+Z_G &= (W-B)\cos\theta\cos\phi \\ K_{HS} &= z_B B \cos\theta \sin\phi - y_B B \cos\theta \cos\phi \\ M_{HS} &= x_B B \cos\theta \cos\phi + z_B B \sin\theta \\ N_{HS} &= -x_B B \cos\theta \sin\phi - y_B B \sin\theta \end{aligned} \quad (5)$$

2.5 제어기

제어기는 심도, 침로, 횡동요 PID제어기로 구성하고, 명령심도, 명령침로각, 명령횡동요각은 각각 z_c , 0° , 0° 이다. 심도제어기는 내부 루프로 q 와 θ 를 피드백하고, 심도를 외부루프로 피드백하여 제어하는 멀티루프 구조이다. 침로제어기와 횡동요제어도 마찬가지로

가지로 각각 내부루프로 r , p 를 피드백하고, 외부루프로 각각 ψ , ϕ 를 외부루프로 피드백하여 제어하는 멀티루프 구조이다^[6]. 구동장치의 용량은 충분히 커서 제어기에 의한 명령 타각이 바로 실제 타각이 된다고 가정한다.

3. 파강제력

3.1 파주파수별 수학적 모델링

수중운동체가 U 의 속력으로 파랑수면 하를 항주하는 경우, 이상유체 가정과 방사력은 무시할 수 있다는 가정에 의하여 비정상 속도포텐셜은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, ϕ_B , ϕ_D 는 각각 입사파 및 산란파 포텐셜을 나타내고, ω_e 는 파랑의 선박에 대한 조우주파수, i 는 복소수를 나타낸다.

$$\phi = (\phi_I + \phi_D)e^{i\omega_e t} \tag{6}$$

식 (6)의 속도포텐셜은 다음 자유표면과 물체표면 경계조건을 만족해야 한다. 여기서, S_B , n 는 각각 물체표면과 표면에 대한 법선방향을 나타낸다.

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - U\frac{\partial}{\partial x}\right)\phi + g\frac{\partial\phi}{\partial z} = 0 \quad \text{on } z = 0 \tag{7}$$

$$\frac{\partial\phi_D}{\partial n} = -\frac{\partial\phi_I}{\partial n} \quad \text{on } S_B$$

식 (6), (7)의 경계치 문제를 풀기 위하여 3차원 Green 함수를 물체 표면에 분포한 후, 각 특이점의 세기를 수치해석기법으로 구하면 속도 포텐셜을 구할 수 있다^[8]. 수치해석기법으로는 3차원 패널법을 적용하였고, 구해진 속도포텐셜로 비정상 압력을 구한 후 이를 수중운동체 표면에 대하여 적분하면 파강제력을 얻을 수 있다^[9].

3.2 시간영역 불규칙 파강제력 모델링

지구고정좌표계에 대한 주파수 ω 를 갖는 규칙파의 파변위는 다음과 같다. 이러한 규칙파들의 파변위를 중첩하면 불규칙파의 파변위를 얻을 수 있다. 여기서, k , ψ_c , ϵ_c 는 각각 파수, 파향, 파위상을 나타낸다.

$$\zeta(x_0, y_0; t) = A \cos [k(x_0 \cos \psi_c + y_0 \sin \psi_c) - \omega t + \epsilon_c] \tag{8}$$

수중운동체가 U 의 속도로 ψ 방향으로 이동하고, 수중운동체 운동이 없는 경우에 물체고정좌표계에 대한 규칙파의 파변위는 다음과 같다.

$$\zeta(x, y; t) = A \cos [k(x \cos \psi_c + y \sin \psi_c) - \omega_e t + \epsilon_c] \tag{9}$$

파강제력은 3.1절에서 구한 각 운동방향별 i 번째 주파수의 단위 파진폭당 힘과 모멘트($\overline{F_{0i}}$)를 다음과 같이 N 개 중첩하여 구할 수 있다. N 은 불규칙파를 표현하는데 분할한 규칙파 개수이다. 불규칙파는 ITTC 파랑스펙트럼^[2]을 적용하여 규칙파의 중첩으로 생성할 수 있다. 여기서, 단위 파진폭당 파강제력은 상대 파향($\mu = \psi_c - \psi$), 심도(z_0), 조우주파수의 함수가 되고, i 번째 주파수의 파진폭(A_i)은 해상상태에 따른 파에너지 스펙트럼으로부터 구할 수 있다. ϵ_c , ϵ_{R_c} 는 각각 i 번째 주파수의 규칙파 랜덤 위상과 파형에 대한 파강제력의 위상차를 나타낸다.

$$F = \sum_{i=1}^N \overline{F_{0i}}(\mu, z_0) A_i \cos \{ \omega_{ei} t + \epsilon_c + \epsilon_{R_c}(z_0) \} \tag{10}$$

식 (10)의 단위 파진폭당 파강제력을 모든 파향에 대해서 구할 수는 없으므로, 일정 간격 파향에 대하여 계산한 후 중간값은 내삽한다. 본 논문에서는 일정 심도로 항주하는 수중운동체에 대한 파랑 영향을 해석하지만 향후 심도 변경시에도 적용할 수 있도록 심도에 대해서도 내삽하여 적용할 수 있도록 하였다. 파도의 원주파수는 파강제력 계산 주파수 개수로 고정하고, 시뮬레이션시에도 동일한 값을 적용한다. 따라서, 매순간 계산되는 값은 조우주파수, 조우파향, 현재 심도가 되는데, 조우파향과 현재 심도가 파강제력 관련 값들의 내삽 기준이 되고, 내삽 방법은 다음과 같다.

- 속력은 속력모드에 따라서 일정한 계열을 사용한다.
- 파주파수는 처음에 설정한 주파수를 사용하고, 수중운동체 진행방향을 고려하여 조우주파수를 구한다.
- Fig. 2에 나타난 바와 같이 심도($iTD \sim iTD+1$)와 조우파향($iWD \sim iWD+1$)에 대해서 내삽한다.

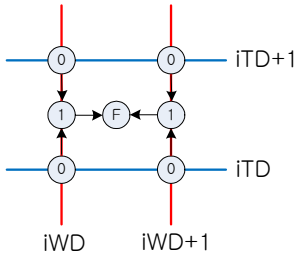


Fig. 2. Interpolation order to calculate wave exciting force amplitude and phase

4. 계산 결과 및 고찰

4.1 계산 조건

파강제력 계산조건은 Table 1과 같고, 수중운동체 표면은 Fig. 3과 같이 이산화하였다. 수중운동체의 표면은 형상 변화에 따라 52개 섹션으로 나누었고, 총 1,888개의 사각형 패널로 표현하였으며, 행렬식에 사용된 소스(Source)의 수는 2,832개이다.

Table 1. Conditions for the calculation of wave force

Condition	No.	Value
Speed	4	Very low, Low, Middle, High
Depth	8	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 m
Wave direction	13	0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180°
Wave frequency	30	0.1~3.0 rad/s

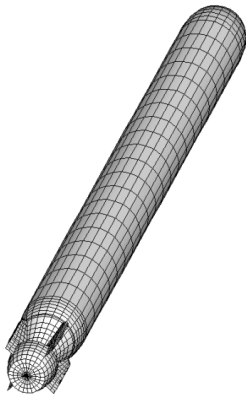


Fig. 3. Surface panel representation

수중운동체 운동 시뮬레이션 및 파랑 입력 변수는 Table 2와 같다.

Table 2. Conditions for motion simulation

Category	Item	Value
Simulation	Simulation time	300 s
	Time interval	0.01 s
Underwater Vehicle	Control interval	0.01 s
	Initial position	(0,0, z_c) m
	Command speed	Low, Middle, High
	Command depth(z_c)	5, 7, 9 m
Wave	No. of regular wave	30
	Wave frequency range	0.1~3.0 rad/s
	Wave frequency interval	0.1 rad/s
	Sea state	2, 3, 4
	Encounter angle	0, 90, 180°
	Random number seed	59977

4.2 파강제력

단위 파진폭당 파강제력 크기는 다음과 같이 수중운동체 길이(L), 폭(B), 중력가속도(g), 유체밀도(ρ)로 무차원한 값이다.

$$X', Y', Z' = \frac{X, Y, Z}{\frac{1}{2}\rho g L B}, \quad K', M', N' = \frac{K, M, N}{\frac{1}{2}\rho g L^2 B} \quad (11)$$

Figs. 4~6에는 심도 5 m, 조우파향 180°에서의 수중운동체 속력별 단위 파진폭당 파강제력 크기와 위상차를 도시하였다. 속력이 커질수록 파강제력은 커지지만, 위상에는 큰 차이가 없는 것을 볼 수 있다.

Figs. 7~8에는 속력 Middle, 조우파향 180°에서의 수중운동체 심도별 단위 파진폭당 파강제력 크기와 위상차를 도시하였다. 심도에 따라 파랑에 의한 유체속도가 달라져서 파강제력이 최대가 되는 주파수가 달라지고, 심도가 작을수록 파강제력은 커진다.

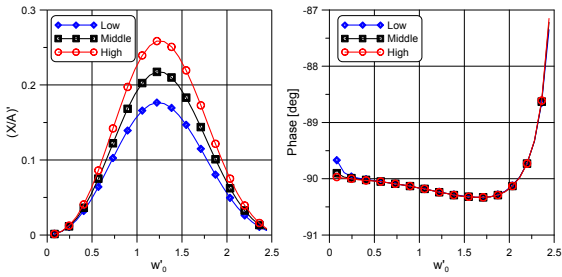


Fig. 4. Wave force with vehicle speeds(Surge, Depth: 5 m, Head sea)

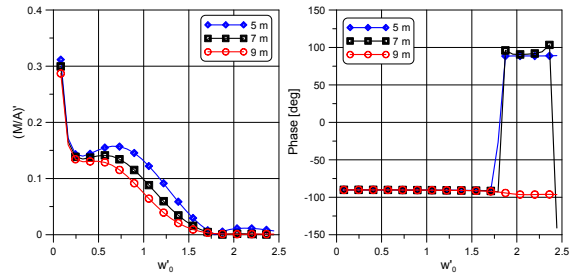


Fig. 8. Wave force with vehicle depths(Pitch, Speed: Middle, Head sea)

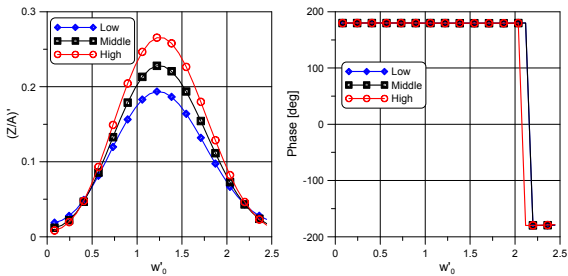


Fig. 5. Wave force with vehicle speeds(Heave, Depth: 5 m, Head sea)

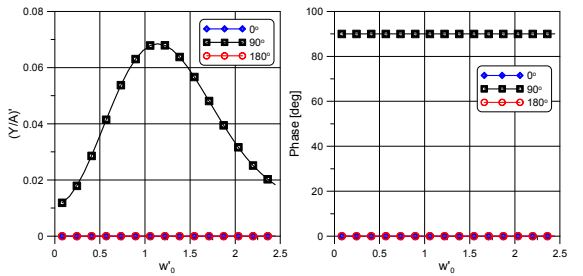


Fig. 9. Wave force with vehicle encountering angles (Sway, Speed: Middle, Depth: 5 m)

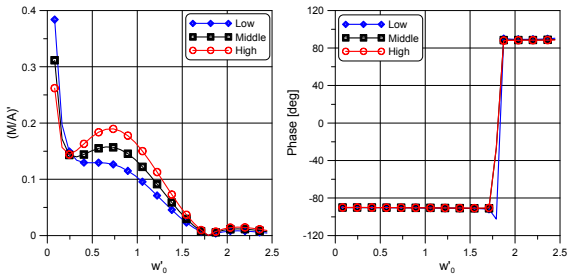


Fig. 6. Wave force with vehicle speeds(Pitch, Depth: 5 m, Head sea)

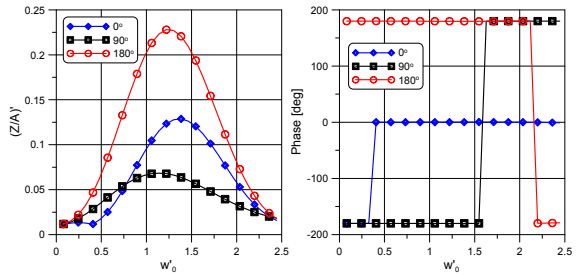


Fig. 10. Wave force with vehicle encountering angles (Heave, Speed: Middle, Depth: 5 m)

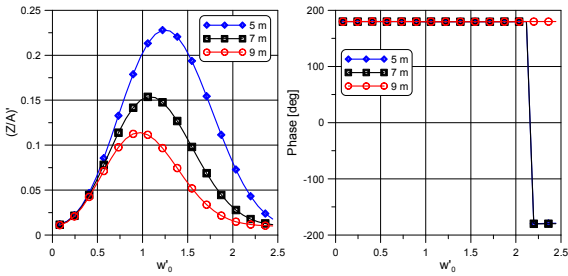


Fig. 7. Wave force with vehicle depths(Heave, Speed: Middle, Head sea)

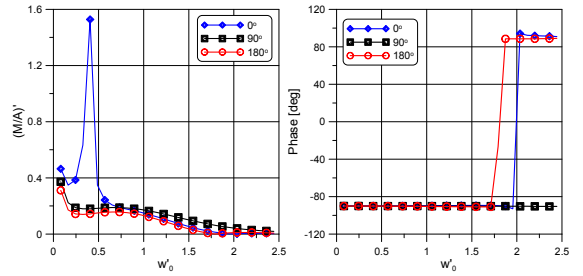


Fig. 11. Wave force with vehicle encountering angles (Pitch, Speed: Middle, Depth: 5 m)

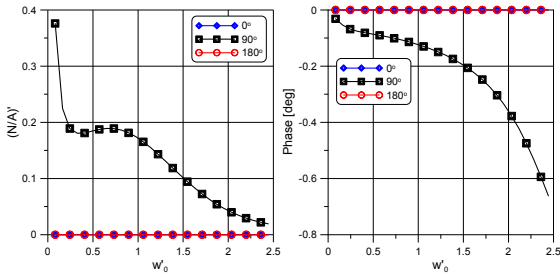


Fig. 12. Wave force with vehicle encountering angles (Yaw, Speed: Middle, Depth: 5 m)

Figs. 9~12에는 속도 Middle, 심도 5 m에서의 수중운동체 조우파향별 단위 파진폭당 파강제력 크기와 위상차를 도시하였다. 조우파향에 따라서 파강제력이 최대가 되는 주파수는 변하며 선수파에서의 전후동요 및 상하동요 파강제력이 선미파 경우 보다 크다.

Figs. 6, 8, 11, 12의 조우주파수가 작은 영역에서 큰 모멘트가 발생하는데, 이는 무게중심과 부심의 위치차이와 저주파수에서 고속 운동은 반대로 큰 조류 영향으로 작용하여 트림 또는 회두모멘트를 유발하기 때문이다. 하지만 이 주파수 영역에서는 파도의 에너지가 거의 없으므로, 해당 주파수에 대한 파진폭이 매우 작고, 실제 파강제모멘트의 기여도도 거의 없게 된다.

4.3 운동 시뮬레이션

Fig. 13에는 해상상태 4(유의파고 1.88 m^[2])수면 하를 속도 Middle로 항주하는 수중운동체가 조우파향 180° (Head sea)로 파도를 맞을 때 수중운동체 원점에서의 불규칙파형을 나타내었다.

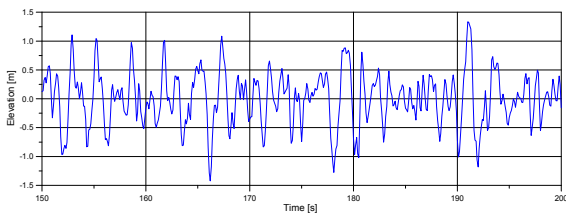


Fig. 13. Irregular wave profile at the center of the underwater vehicle(Sea state: 4)

Figs. 14~19에는 조우파향 180°에서 각각 해상상태별, 명령속력별, 명령심도별 수중운동체 운동 시뮬레이션 결과를 도시하였다. 운항성능 관점에서 중요한 것은 최대 심도, 종동요각, 제어판각 등이므로 이 값들도

함께 도시하였다.

Figs. 14~15에 의하면 해상상태가 커질수록 큰 파강제력 때문에 심도와 종동요각 변화가 크고, 이를 보상하기 위한 제어판 사용도 증가한다. 앞서 언급한 바와 같이 종동요각의 변화는 주행 성능뿐만 아니라 탐지 성능에도 영향을 미칠 수 있다. Figs. 16~17에 의하면 속력이 커질수록 운동 크기나 제어판 사용범위가 작아지는 것을 볼 수 있다. Fig. 5에 도시한 바와 같이 속력이 크면 파강제력도 커지지만 제어력이 늘어나는 정도가 더 크므로 더 양호한 운항상태가 되기 때문이다. Figs. 18~19에 의하면 심도가 깊어질수록 파강제력이 작으므로 교란된 운동의 크기나 제어판 사용범위가 작아지는 것을 볼 수 있다.

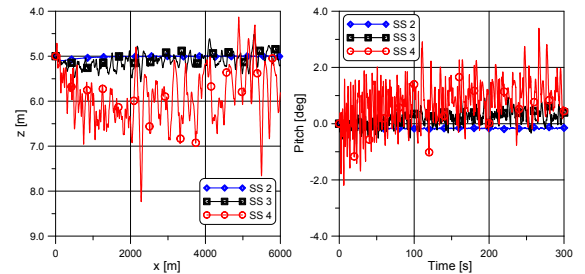


Fig. 14. Time series of trajectory and pitch with sea states(Head sea, Speed: Middle, Depth: 5 m)

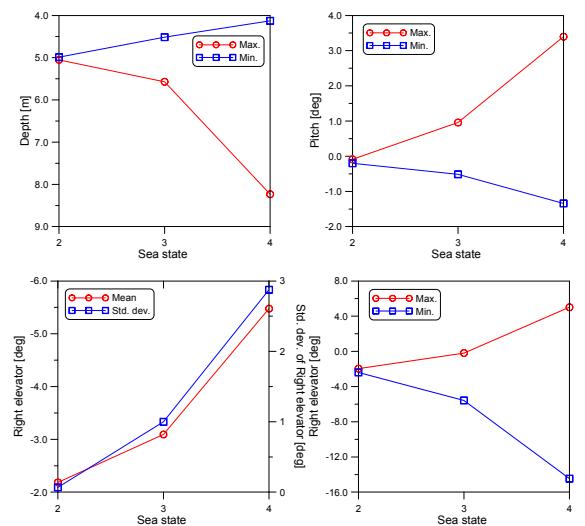


Fig. 15. Stat. of depth, pitch and control plane with sea states(Head sea, Speed: Middle, Depth: 5 m)

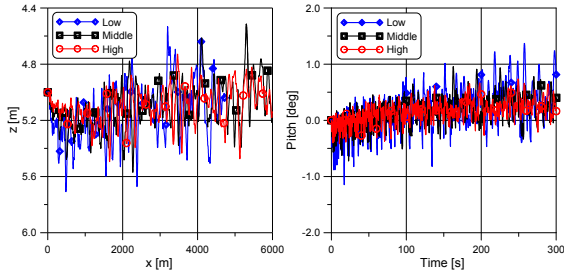


Fig. 16. Time series of trajectory and pitch with speed (Head sea, Sea state: 3, Depth: 5 m)

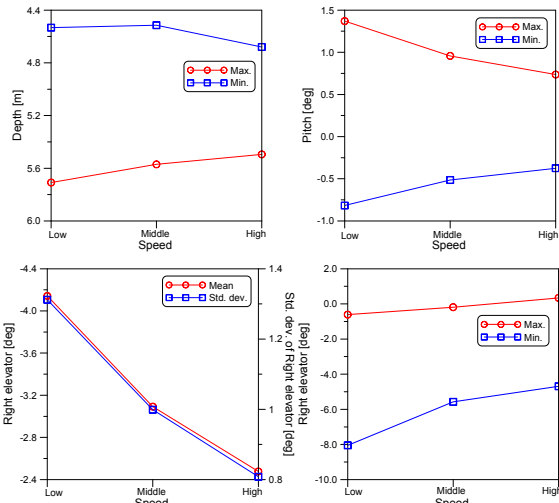


Fig. 17. Stat. of depth, pitch and control plane with depths(Head sea, Sea state: 3, Depth: 5 m)

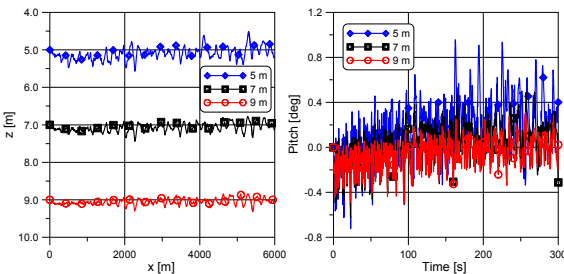


Fig. 18. Time series of trajectory and pitch with depths (Head sea, Sea state: 3, Speed: Middle)

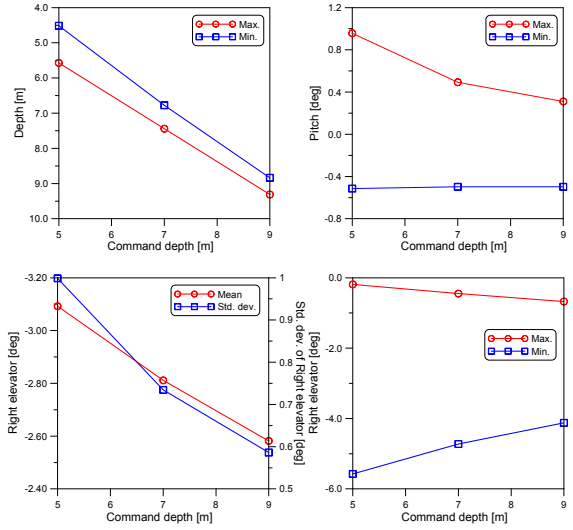


Fig. 19. Stat. of depth, pitch and control plane with depths(Head sea, Sea state: 3, Speed: Middle)

수면 근처를 항주하게 된다. 이 때 수면 위 파도는 수중운동체의 심도 및 자세 유지 성능에 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 정량적인 분석이 필요하다.

본 논문에서는 과강제력을 고려한 수중운동체의 6 자유도 운동방정식을 정립하였다. 이를 통하여 다양한 해상상태, 명령심도, 조우파향에서 수중운동체가 어떤 상태로 심도 유지를 하는지 정량적으로 분석하였다. 과강제력은 포텐셜 기반 3차원 패널법을 적용하여 과주파수별, 심도별, 파향별 계산을 수행한 후, 데이터베이스화하여 시간영역 시물레이션에 내삽할 수 있도록 하였다. 해상상태가 크거나, 명령심도가 작을 때 큰 운동이 일어났지만 명령심도를 비교적 잘 유지하였다. 속력이 빠른 경우에 제어력 효과가 커지므로 운동 편차가 작았다.

본 논문에서의 모델링은 실제 주행시험을 통하여 얻어진 결과와 비교하여 유효성이 검증되면 종말유도로직 개발시에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

5. 결론

수상함을 타격하는 수중운동체는 종말유도단계에서

본 연구는 국방과학연구소의 지원에 의하여 수행되었고, 한국수중로봇기술연구회 2015 추계학술대회에서 발표되었다.

References

- [1] S. J. Lee, "Introduction to Marine Hydrodynamics," GS Interscience, 2014.
- [2] T. I. Fossen, "Guidance and Control of Ocean Vehicles," John Wiley & Sons, 1994.
- [3] J. H. Choi, D. J. Yeo, K. P. Rhee, and J. Y. Park, "On the Vertical Plane Dynamics Modeling and Depth Control of a Submerged Body Moving beneath Free Surface," Journal of the Society of Naval Architecture of Korea, Vol. 43, No. 6, 2006.
- [4] J. Y. Park, N. Kim, H. K. Yoon, S. Y. Kim, and H. Cho, "Depth Controller Design for Submerged Body Moving near Free Surface Based on Adaptive Control," Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 29, No. 3, 2015.
- [5] J. N. Newman, "Marine Hydrodynamics," The MIT Press, 1977.
- [6] Agency for Defense Development, "Researches in the Control System Considering the 3-dimensional High Speed Maneuver and Dynamic Hydraulic Load," Final Report, 2012.
- [7] M. A. Abkowitz, "Stability and Motion Control of Ocean Vehicles," The M.I.T. Press 1969.
- [8] T. Kim, M. G. Seo, D. M. Park, K. H. Kim, and Y. Kim, "Numerical Analysis on Motion Responses and Wave Loads on Offshore Structures by Using a Time-domain Rankine Panel Method," Joint Conference for Marine Technology 2012.
- [9] S. P. Ann, "Analysis of Manoeuvrability of a Ship in Waves by 3-Dimensional Panel Method," Ph.D. Thesis, Seoul National University, 1993.