

수중운동체의 잠수심도에 따른 수평면내 조종성능 변화에 대한 실험적 연구

설동명^{†*}, 이기표^{*}, 여동진^{*}

서울대학교 조선해양공학과^{*}

An Experimental Study of the Submerged Depth Effect on the Manoeuvrability in a Horizontal Plane of an Underwater Vehicle

Dong Myung Seol^{†*}, Key Pyo Rhee^{*} and Dong Jin Yeo^{*}

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University^{*}

Abstract

In this paper, horizontal manoeuvrability of an underwater vehicle near free surface was investigated. Planar Motion Mechanism(PMM) tests were performed at the shallow depth within 4.5 times of vehicle's diameter. Hydrodynamic coefficients related to the horizontal movement were estimated from the measured data using Least Square(LS) method and analyzed at each submerged depth. Furthermore, horizontal dynamic stability, trajectory of turning and zigzag test were investigated for the various depths. As underwater vehicle is positioned nearer to the free surface, forces increase and moment decreases. Tested model was found to be stable only at the depth 0.5 times of vehicle's diameter.

※Keywords: Underwater vehicle (수중운동체), Manoeuvrability(조종성능), PMM(평면운동장치)
Hydrodynamic coefficient(유체력 계수), Depth change(심도변화), Least square method(최소자승법)

1. 서론

1990년 초부터 국내에서도 잠수함 건조를 시작하였고 최근에는 차세대 중형 잠수함을 건조하고 있으며, 잠수함에 대한 다양한 선형 개발도 활발

히 진행되고 있다.

잠수함은 작전이나 훈련 중에 수상표적을 탐색하기 위해 잠망경 심도에서 운항을 하게 되며, 특히 디젤 잠수함의 경우 주동력인 축전지의 충전을 위해 주기적으로 스노클(Snorkel) 심도에서 스노클 항해를 한다. 이처럼 자유표면 근처에서 항해를 할 경우 잠수함의 원활한 기동을 위해 잠수함의 조종특성을 예측할 필요가 있다. 그러나 일반적으로 잠수체의 모형시험시 자유표면(Free

접수일:2005년 2월 23일, 승인일:2005년 10월 18일

†주저자, E-mail: dongmyung75@hotmail.com

Tel: 017-685-0464

Surface)의 영향이 무시될 수 있는 심도에서 시험을 수행해 왔다. 강주년(2001)은 충분한 심수에서 잠수함의 Coning Tower와 같은 부가물의 형상이 조종성능에 미치는 영향에 대해 연구를 수행하였고, Debabrata Sen(2000)은 충분한 심수를 고려하여 잠수체의 개념모델과 실린더 모델에 대한 조종성능을 비교 분석하였다.

수중에서 잠수체의 운동은 6자유도가 모두 연성되어 나타나나 평면운동장치(PMM)로는 자유표면 바로 아래인 심도에서 Heave 및 Pitch 운동을 적절하게 구현할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 수평면에 대한 3자유도만을 고려하여 잠수체의 잠수심도(잠수체의 잠수깊이와 직경의 비, H/D)가 5 이내의 얕은 심도 즉, 자유표면에서부터 H/D가 4.5까지 심도별 PMM 시험을 수행하고 각 심도별 수평면 운동 관련 유체력 계수를 도출하였다. 또한 시험결과를 바탕으로 도출된 계수를 이용하여 수평면에 대한 안정성 판별과 조종 시뮬레이션을 수행하여 잠수체의 조종성능에 대한 심도의 영향을 확인하였다.

2. 운동방정식

2.1 좌표계

잠수체의 운동을 기술하기 위해 사용한 좌표계는 Fig. 1과 같이 지구고정 좌표계와 물체고정 좌표계로 구성된다. 물체고정 좌표계는 원점을 무게 중심 G에 두고 잠수체의 전진방향을 x축, 우현을 y축, 연직하방을 z축으로 하는 우수 직교좌표계로 정의하였다.

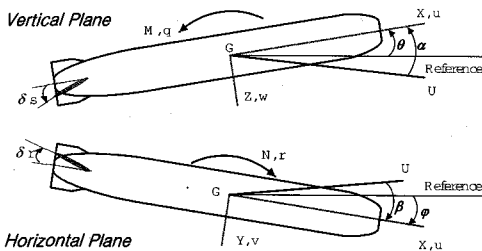


Fig. 1 Coordinate system

2.2 조종 운동방정식

잠수체의 질량분포가 xy평면과 xz평면에 대해 대칭이라고 가정하면, 무게중심의 y방향과 z방향 성분, 질량관성모멘트의 교차항 lxy, lyz 및 lzx는 모두 0이 된다. 이때 잠수체의 3자유도 운동방정식은 다음 식 (2.1)~(2.3)과 같다.

◎ 전후동요(Surge)

$$m [\ddot{u} - vr - x_G(\dot{r}^2)] = X_H + X_\delta + X_P \quad (2.1)$$

◎ 좌우동요(Sway)

$$m [\dot{v} + ur + x_G(\dot{r})] = Y_H + Y_\delta + Y_P \quad (2.2)$$

◎ 선수동요(Yaw)

$$I_z \dot{r} + m x_G (\dot{v} + ur) = N_H + N_\delta + N_P \quad (2.3)$$

여기서 우변의 X, Y, N은 잠수체에 작용하는 외력성분을 나타내며, 하첨자 H, δ, P는 각각 선체, 제어판, 프로펠러에 의한 성분을 의미한다. 그러나 주어진 모델은 선미부의 스티잉 모델과 6분력계를 지지하는 형태로 설계되어 있으므로 프로펠러를 설치할 수 없었고 제어판은 고정되어 있으므로 모형시험 시에는 고려하지 않았다. 따라서 시험을 통해 구하고자 하는 선체에 작용하는 유체력은 다음 식(2.4)~(2.6)과 같이 표현된다.

$$X_H = \frac{1}{2} \rho L^4 [X_{rr} \dot{r}^2] + \frac{1}{2} \rho L^3 [X_v \dot{u} + X_{vr} vr] + \frac{1}{2} \rho L^2 [X_{uu} u^2 + X_{vv} v^2] \quad (2.4)$$

$$Y_H = \frac{1}{2} \rho L^4 [Y_r \dot{r}] + \frac{1}{2} \rho L^3 [Y_v \dot{u} + Y_{vr} v \dot{r}] + \frac{1}{2} \rho L^2 [Y_u u^2 + Y_v uv + Y_{vv} v |v|] \quad (2.5)$$

$$N_H = \frac{1}{2} \rho L^5 [N_r \dot{r} + N_{rr} \dot{r}^2] + \frac{1}{2} \rho L^4 [N_v \dot{v} + N_r \dot{u} + N_{rv} |v \dot{r}|] + \frac{1}{2} \rho L^3 [N_u u^2 + N_v uv + N_{vv} |v v|] \quad (2.6)$$

3. 모형시험

3.1 모형제원

시험에 사용된 모형의 주요제원은 Table 1과 같다.

Table 1 Principal dimensions

| | |
|------|----------|
| L | 0.74(m) |
| B | 0.086(m) |
| D | 0.086(m) |
| Mass | 1.9(kg) |

3.2 잠수체의 심도구분

본 연구는 잠수체의 잠수심도에 따른 조종성능의 변화를 확인하는 것으로 잠수체의 심도 구분은 Fig. 2와 같이 잠수체 선미 Rudder의 상부가 자유표면에 닿은 상태를 H/D가 0.5인 경우로 설정하였으며, H/D가 4.5까지는 각각 잠수체의 직경만큼씩 잠수시켜 잠수심도를 설정하였다.

3.3 모형시험 순서도

잠수체의 유체력 계수를 구하기 위한 시험은 크게 육상시험과 수상시험으로 구분할 수 있다. 전체적인 시험 흐름도는 Fig. 3과 같다.

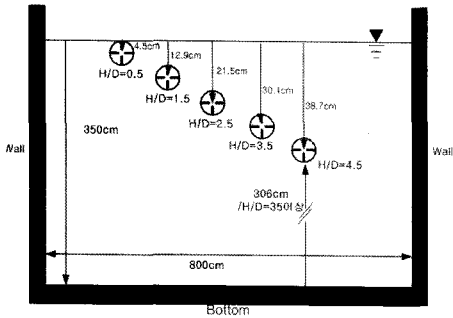


Fig. 2 Submerged depth of underwater vehicle

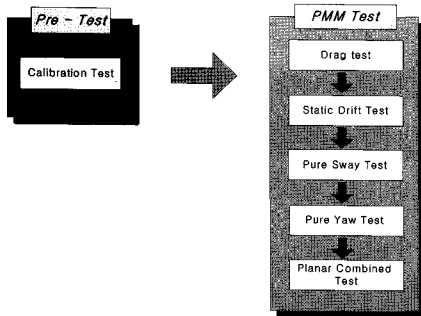


Fig. 3 Flowchart of test procedure

3.4 검력계 보정시험(Calibration Test)

시험에 사용된 6분력계는 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)라는 검력계로 저항과 횡동요 모멘트를 각각 계측할 수 있는 두 개의 센서와 수평면과 수직면의 힘을 각각 계측할 수 있는 두 쌍의 센서를 합해 모두 6개의 센서로 구성되어 있다.

Calibration Matrix는 가해진 힘과 계측되는 전압과의 관계로서 다음식(3.1)처럼 나타난다. 이 때 가해진 힘-모멘트와 계측전압은 선형관계가 있다고 가정하였으며, Calibration Matrix는 최소자승법을 이용하여 구한다.

$$L = \theta Z \tag{3.1}$$

여기서,

Z : 6×1 Measured voltage vector [V]

L : 6×1 Force and Moment vector [kgf, kgf×m]

θ : 6×6 Calibration matrix

$$= \begin{bmatrix} 2.2578 & -0.078 & -0.446 & -0.011 & 0.0972 & -0.008 \\ 0.0655 & 4.0820 & 0.0549 & 0.0077 & -0.033 & 0.9179 \\ 0.3469 & -3.299 & 1.5643 & 0.0353 & -0.085 & 0.9866 \\ -0.237 & 0.1592 & -9.943 & -0.260 & 2.1120 & 0.0665 \\ -0.165 & -0.557 & -6.445 & -0.158 & -0.456 & -0.041 \\ 0.0451 & 0.0703 & -0.077 & 0.2008 & 0.0244 & -0.183 \end{bmatrix}$$

3.5 수평면 평면운동장치 시험(HPMM)

수평면 평면운동장치 시험은 횡동요 연성 유체력 계수들을 제외한 가속도, 각가속에 관련된 유체력 계수들을 구할 수 있다. Table 2는 HPMM 시험의 각 시험에서 구해지는 유체력 계수를 나타낸 것이다.

Table 2 Hydrodynamic coefficients from HPMM test

| | |
|--------------|--|
| 저항시험 | X_{uu} |
| 사향시험 | $X_{vv}, Y_v, Y_{v v }, N_v, N_{v v }$ |
| 순수선수동요시험 | $X_{uu}, X_{rr}, Y_r, Y_r, N_r, N_r, N_{r r }$ |
| 순수좌우동요시험 | Y_v, N_v |
| 좌우/선수동요 조합시험 | $X_{vr}, Y_{v r }, N_{v r }$ |

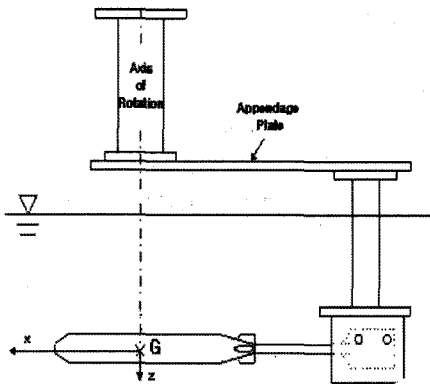


Fig. 4 Adapter for HPMM

수평면 평면운동장치와 모델의 연결은 Fig. 4와 같다. 구동축의 운동이 모델 좌표중심의 운동과 같아지게 하기 위하여 구동축의 중심과 모델의 무게중심을 일직선상에 놓일수 있도록 부가판을 이용하였다.

3.5.1 수평면 평면운동장치 시험의 기하학

서울대학교에서 보유한 수평면 평면운동장치는 하나의 구동축으로 좌우동요와 선수동요에 대해서 조화운동을 발생시킬 수 있도록 설계되었다. 구동축의 운동은 식 (3.2)과 같이 좌우동요와 선수동요가 항상 90°의 위상차를 가지도록 설계되어 있다. 모형시험시 구동축의 좌우동요 최대진폭(y₀), 선수동요 최대 선수각(ψ₀), 강제동요 주파수(w)를 사용자가 지정해주면 구동축은 다음과 같은 운동을 발생시킨다.

$$y = y_0 \sin \omega t \tag{3.2}$$

$$\psi = \psi_0 \cos \omega t$$

이때 예인전차의 예인속도가 U₀로 주어지면, 수평면 평면운동장치로 인한 모델의 수평면 내에서의 부가되는 운동은 식 (3.3)~(3.5)과 같다.

◎ Surge Velocity & Acceleration

$$u = U_0 \cos \psi + y_0 w \sin \psi \cos \omega t$$

$$\dot{u} = (\psi_0 w U_0 - y_0 w^2) \sin \psi \sin \omega t - \frac{1}{2} y_0 \psi_0 w^2 \cos \psi \sin (2\omega t) \tag{3.3}$$

◎ Sway Velocity & Acceleration

$$v = -U_0 \sin \psi + y_0 w \cos \psi \cos \omega t$$

$$\dot{v} = (\psi_0 w U_0 - y_0 w^2) \cos \psi \sin \omega t + \frac{1}{2} y_0 \psi_0 w^2 \sin \psi \sin (2\omega t) \tag{3.4}$$

◎ Yaw Angular Velocity & Acceleration

$$r = -\psi_0 w \sin \omega t$$

$$\dot{r} = -\psi_0 w^2 \cos \omega t \tag{3.5}$$

3.5.2 수평면 평면운동장치 시험조건

수평면 평면운동장치 시험의 시험조건은 각각의 심도(H/D = 0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5)에 대하여 Table 3과 같다.

사항시험(Static Drift Test)의 경우 대각도에서는 4°, 소각도에서는 2°간격으로 시험을 수행했다. 예인전차의 예인속도는 모델에 걸리는 힘과 계측 시간을 고려하여 2.0m/s로 설정하였고, 구동축의 좌우동요 최대 진폭(y₀)은 0.36m로 설정하였다. 시험 데이터는 8초 동안 계측되었다.

4. 모형시험 결과

4.1 저항시험

Fig. 5는 잠수체의 잠수심도에 따라 계측된 저항을 나타낸 것이다. 계측된 저항으로부터 자유표면에 가까울수록 저항이 커지는 것을 확인할 수 있으며, 이는 조파저항과 관련된다고 볼 수 있다.

Table 3 Test conditions of HPMM

| 항 목 | 시 험 조 건 | |
|---------------|------------|---------------------------------------|
| 저항시험 | 속 도[m/s] | 1, 1.25, 1.5, 1.75, 2 |
| 사항시험 | 사항각[deg] | 0, ±2, ±4, ±6, ±8, ±10, ±12, ±16, ±20 |
| | 최대선수각[deg] | 10, 14, 17, 20 |
| 순수선수동요시험 | 주파수[Hz] | 0.156, 0.2206, 0.2705, 0.322 |
| | 진폭[m] | 0.36 |
| 순수좌우동요시험 | 주파수[Hz] | 0.156, 0.2206, 0.2705, 0.322 |
| | 진폭[m] | 0.36 |
| 좌우, 선수동요 조합시험 | 최대선수각[deg] | 11, 15, 18, 21 |
| | 주파수[Hz] | 0.156, 0.2206, 0.2705, 0.322 |

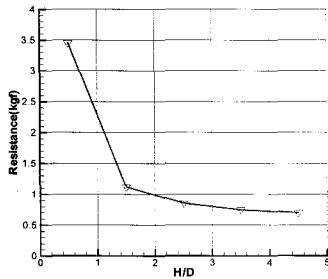


Fig. 5 Measured drag force from drag test

이론적으로 자유표면 아래에서 일정속도로 움직이는 2차원 특이점의 조파저항은 식(4.3)과 같이 심도 Froude No.에 의한 식으로 나타난다.

$$R_W = \rho \nu Q^2 e^{-\frac{2}{(F_D)^2}}$$

where, Q : Source Strength (4.3)

$$F_D = \frac{u}{\sqrt{gh}}$$

h : Submerged Depth

식 (4.3)을 기준으로 심도 Froude No.에 따른 자유표면효과를 조파저항의 비 Rc로 살펴보면 Table 4와 같다.

$$Rc = \frac{\text{해당심도에서의조파저항}}{\text{수면에서의조파저항}}$$

Table 4에서와 같이 이론적으로 자유표면효과를 검토해보면, 수면에 가까울수록 조파저항이 커지는 것을 확인할 수 있다.

4.2 수평면 사항시험

수평면 사항시험 결과를 Fig. 6~7에 나타내었다. 잠수체의 잠수심도가 자유표면에 가까울수록 좌우동요 힘은 증가하고 선수동요 모멘트는 감소

Table 4 Effect of wave making resistance

| | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|
| H / D | 0.5 | 1.5 | 2.5 | 3.5 | 4.5 |
| Rc | 0.81 | 0.53 | 0.35 | 0.23 | 0.15 |
| H / D | 5.5 | 6.5 | 7.5 | 8.5 | 9.5 |
| Rc | 0.10 | 0.06 | 0.04 | 0.03 | 0.02 |

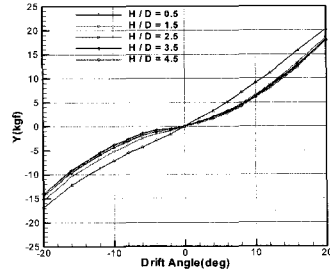


Fig. 6 Sway force from static drift test

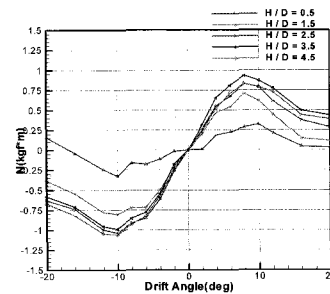


Fig. 7 Yaw moment from static drift test

하는 경향을 확인할 수 있다. 그리고 잠수심도가 자유표면에 가까울수록 힘-모멘트 값의 변화율이 상대적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한 잠수심도 H/D가 3.5 보다 깊은 심도에서는 힘-모멘트 값의 변화가 미미함을 알 수 있다.

특이한 결과는 선수동요 모멘트의 경우 사항각이 ±10[deg]이상의 각도에서 비선형 경향을 보이고 있는데, 이러한 결과는 본 연구에 사용된 잠수체 모델의 경우 대각도에서 잠수체 주위의 압력 분포가 바뀌어 나타나는 현상으로 생각되며, 차후 유동가시화 같은 기법을 통해 연구가 필요한 부분이다.

4.3 추정 계수

선형계수들은 잠수심도 변화에 따라 계수값의 증가 또는 감소 경향을 확인할 수 있으며, 자유표면에 가까울수록 계수값의 변화율이 상대적으로 크게 증가하였다. 그리고 잠수심도 H/D가 3.5 이상의 심도에서는 계수값의 변화가 거의 나타나지

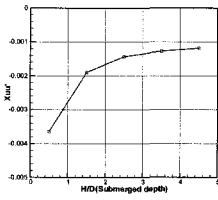


Fig. 8 Variation of X_{uu}

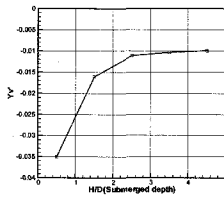


Fig. 9 Variation of Y_v

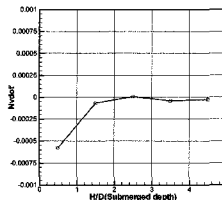


Fig. 18 Variation of N_v

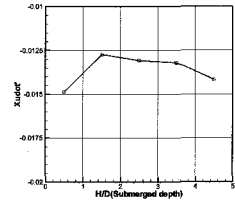


Fig. 19 Variation of X_{ll}

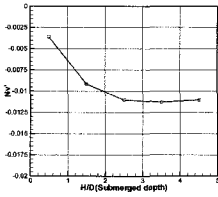


Fig. 10 Variation of N_v

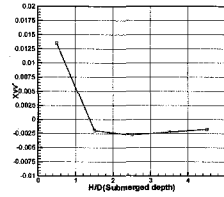


Fig. 11 Variation of X_{vv}

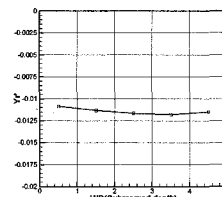


Fig. 20 Variation of Y_r

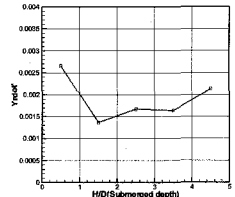


Fig. 21 Variation of Y_r

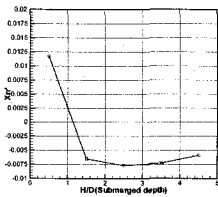


Fig. 12 Variation of X_{rr}

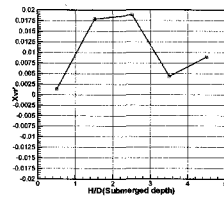


Fig. 13 Variation of X_{vr}

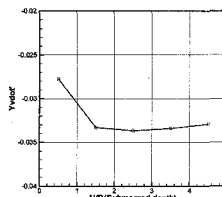


Fig. 22 Variation of Y_v

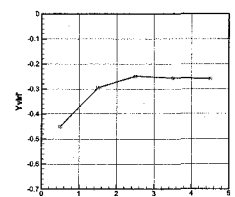


Fig. 23 Variation of $Y_{v|r}$

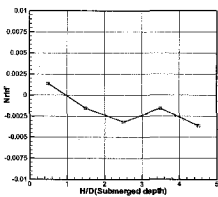


Fig. 14 Variation of $N_{r|r}$

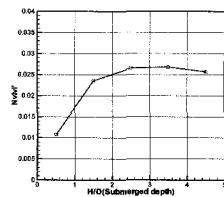


Fig. 15 Variation of $N_{v|v}$

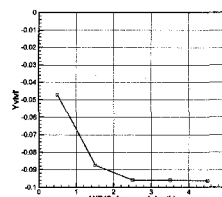


Fig. 24 Variation of $Y_{v|v}$

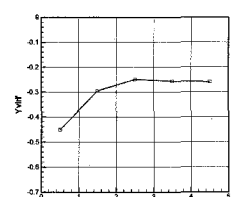


Fig. 25 Variation of $Y_{v|r}$

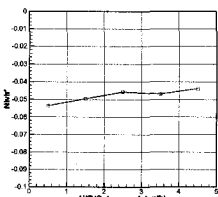


Fig. 16 Variation of $N_{v|r}$

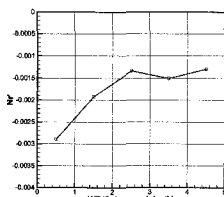


Fig. 17 Variation of N_r

않았다. 비선형계수들은 잠수심도 변화에 따른 계수값의 변화에 뚜렷한 경향성을 보이지 않는다. 심지어 특정 계수(X_{vv} , X_{rr} , $N_{r|r}$)들은 잠수심도 H/D가 0.5인 경우에 극단적으로 부호가 바뀌는 등의 큰 차이를 보이고 있음을 확인하였다. 잠수심도에 따른 계수값 변화의 경향을 Fig. 8~25에 나타내었다.

5. 안정성 판별

본 연구에 사용된 잠수체 모델의 수평면에 대한 안정성을 판별하기 위해서 Stability Lever의 값을 비교하였다. 수평면에 대해 안정성을 가지기 위한 조건은 다음 식 (5.1)과 같다.

$$0 < L_v (= \frac{N'_v}{Y'_v}) < L_r (= \frac{N'_r - m'x'_{G'}}{Y'_r - m'U'}) \quad (5.1)$$

Fig. 26은 Stability Lever 값을 심도에 따라 나타낸 것이다. H/D가 0.5인 경우에서만 안정하고 나머지 심도에서는 모두 수평면 안정성이 없는 결과를 보였다. 이는 모델의 형상이 전후 압력 면적의 넓이가 비슷한 형상으로 N_r 값이 매우 작기 때문인 것으로 생각된다.

Table 5에서 나타난 각 심도에 따른 Stability Lever 값을 비교해보면, 잠수체의 잠수심도가 자유표면에 가까울수록 수평면 안정성이 좋아지는 경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 안정조건에서 Y_v, N_r 값이 자유표면에 가까울수록 증가하는 특징 때문에 나타나는 결과이다.

6. 조종 시뮬레이션

시뮬레이션을 수행하는 주 목적은 잠수체의 잠

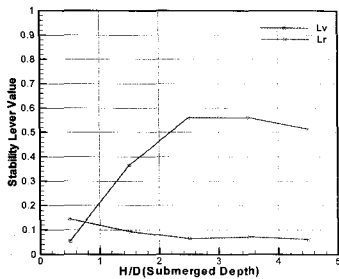


Fig. 26 Estimated Stability Lever

Table 5 Estimated stability Indices

| 구분(H/D) | 0.5 | 1.5 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Stability Lever | L_v | 0.054 | 0.366 | 0.560 | 0.561 | 0.514 |
| | L_r | 0.143 | 0.093 | 0.064 | 0.071 | 0.062 |
| 안정성 여부 | 0 | X | X | X | X | |

수심도에 따른 유체력 계수가 조종성능에 미치는 영향을 살펴보기 위한 것이다. 따라서 모형시험으로부터 추정된 유체력 계수를 이용하여 35° 좌현 선회시험과 20°-20° 지그재그 시험을 수행하였다. 시뮬레이션의 대상체는 전체길이가 56m인 실선으로 하였으며, 속도는 15Knots로 가정하였다. 수치 해석은 4차 Runge-Kutta Method를 사용하였고, 잠수체의 잠수심도에 따라 Rudder Force를 보정하였다.

6.1 35° 좌현 선회시험

선회시험은 선회성능을 평가하는 조종시험으로서, 각 심도별 선회시험 결과를 Fig. 27에 도시하였다.

시뮬레이션 결과 대체로 잠수체의 잠수심도가 자유표면에 가까울수록 선회반경이 증가하는 것을 알 수 있다.

6.2 20°-20° 지그재그 시험

지그재그 시험은 운동체의 변침성능을 평가하는 조종시험으로서, 각 심도별 지그재그 시험 결과를 Fig. 28에 도시하였다.

시뮬레이션 결과 잠수체의 잠수심도 H/D가 0.5에서 가장 빠른 운동응답을 보였으며, 선수동요각의 오버슈트는 H/D가 4.5에서 가장 작은 결과를 보였다. 전체적으로 잠수심도가 자유표면에 가까울수록 운동응답이 빠른 것을 알 수가 있다.

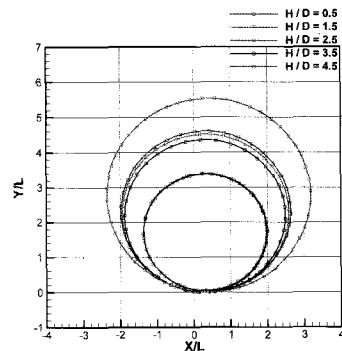


Fig. 27 Trajectory Change during 35-degree Port Turning Simulation

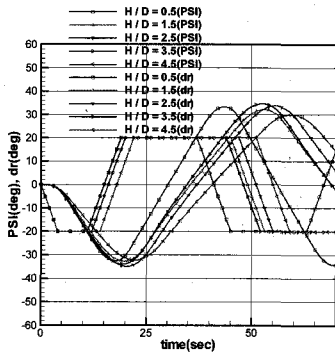


Fig. 28 Trajectory change during 20-20 Zigzag Simulation

7. 결론

일반적으로 잠수체는 수평면 운동에 의해서 수직력이 발생하므로 정확성을 높이기 위해 6자유도 운동을 고려하나 논 연구에서는 평면운동장치(PMM)의 구조특성상 Heave와 Pitch 운동을 구현할 수 없으므로 3자유도 운동만을 고려하였으며 작은 모형을 사용하였기 때문에 축척영향(Scale Effect)이 있을 수 있다.

자유표면근처에서 심도에 따른 잠수체의 조종성능을 조사하기 위해 자유표면에서부터 심도를 변화 시키면서 각 심도별 수평면 평면운동장치(HPMM) 시험을 각각 수행하고 잠수체의 수평면 운동과 관련된 유체력 계수를 추정하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 추정된 선형계수의 경우 잠수체의 잠수심도 변화에 대한 유체력 미계수의 증가 또는 감소하는 경향성이 보인 반면, 비선형계수의 경우에는 잠수심도 변화에 대한 뚜렷한 경향을 보이지는 않았으며, H/D가 0.5인 경우에는 특정 계수(X_{vv} , X_{rr} , N_{r1r1})에 있어서 극단적으로 계수값의 부호가 바뀌는 등의 큰 차이를 보였다.

둘째, 잠수심도가 자유표면에 가까울수록 저항과 좌우동요 힘은 증가하고 선수동요 모멘트는 감

소하는 경향을 보였다. H/D가 3.5보다 깊은 심도에서는 큰 변화를 보이지 않았다.

셋째, 수평면 안정성 판별 결과 잠수심도 H/D가 0.5인 경우에는 안정한 반면, 나머지 잠수심도에서는 모두 불안정한 결과를 보였다. 또한 잠수심도가 자유표면에 가까울수록 수평면 안정성이 좋아지는 경향을 보였다. 35° 좌현 선회시험과 20°-20° 지그재그 시뮬레이션 수행 결과 선회성능은 H/D가 0.5에서 가장 우수했다. 운동응답속도는 H/D가 0.5에서 가장 빠른 속도를 보였으며, H/D가 4.5에서 가장 작은 선수동요각의 오버슈트를 나타냈다.

참 고 문 헌

- 강주년, 2001, 잠수체의 부가물 형상에 따른 조종성능에 관한 실험적 연구, 공학석사학위논문, 서울대학교
- 강창구, 1991, "축대칭 물체에 대한 비선형 자유표면 유동", 대한조선학회 논문집, 제 28호, 제 1호, pp. 27-37.
- 이호영, 영덕준, 신상성, 이태일, 1997, "PMM 모형시험에 의한 조종성능 추정 -수학모델에 따른 비교연구-", 대한조선학회 논문집, 제 34호, 제 2호, pp. 48-55.
- Sen, D., 2000, "A Study on Sensitivity of Maneuverability Proformance on the Hydrodynamic Coefficients for Submerged Bodies", Journal of Ship Research,



< 설 동 명 >



< 이 기 표 >



< 여 동 진 >