

# VPMM 시험을 이용한 수중 잠수함 모형의 동유체력 계수 추정에 관한 연구

정진우\* · 정재훈\*\* · 김인규\*\* · † 이승건

\*,\*\*,\*\* 부산대학교 조선해양공학과 대학원, † 부산대학교 조선해양공학과 교수

## Experimental Investigation on Hydrodynamic Coefficients of Submarine Model by VPMM Test

*Jin-Woo Jung\* · Jae-Hun Jeong\*\* · In-Gyu Kim\*\* · † Seung-Keon Lee*

\*,\*\* Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

† Professor, Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

**요 약** : 최근 들어 전 세계적으로 항공모함과 침단 구축함 등 대규모의 최신 함정위주의 해상전력을 강화하는 상황에서 잠수함의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 이에 따른 잠수함의 운동조종을 위한 정밀한 동유체력 미계수 값이 운동방정식에서 요구된다. 수직면 평면운동 시험(VPMM)장비를 이용한 동유체력을 측정하였다. 심도를 변화하면서 잠수함 모형에 상하요, 중요 운동을 각각 주었고, 이를 로드셀을 이용하여 힘과 모멘트를 각각 획득 하였다. 그 결과, 푸리에 해석을 통한 수중잠수함 모형의 동유체력 계수를 얻었다.

**핵심용어** : 수직면 평면 운동장치, 잠수함, 동유체력 계수, 상하요 운동, 중요 운동

**Abstract** : In these days, the world have been increasing navy forces such as aircraft carriers and high-tech destroyers etc. and the importance of submarines is being emphasized. Therefore, accurate values of the derivatives in equations of motion are required to control motion of the submarines. Hydrodynamic coefficients were measured by the vertical planar motion mechanism(VPMM) model test. VPMM equipment gave pure heave and pitch motion respectively to the submarine model and the forces and moments were acquired by load cells. As a result, the hydrodynamic coefficients of the submarine are provided through the fourier analysis of the forces and moments in this paper.

**Key words** :vertical planar motion mechanism(VPMM), submarine, hydrodynamic coefficient, heave motion, pitch motion

### 1. 서 론

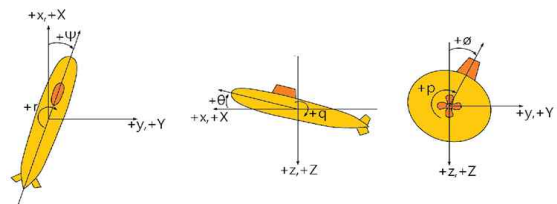
최근 들어 전 세계적으로 항공모함과 침단 구축함 등 대규모의 최신 함정위주의 해상전력을 강화하는 상황에서 이에 따른 억제효과를 거두기 위한 잠수함의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 이에 따른 잠수함의 운동조종을 위한 정밀한 동유체력 미계수 값이 잠수함 운동제어에 필요하다.

본 논문에서는 이 잠수함의 동유체력 미계수를 찾기 위해 VPMM (Vertical Planar motion Mechanism)모형 시험을 실시하였다. 이 VPMM 시험을 통해 잠수함 모형의 운동조종 제어에 필요한 유체력 미계수들 중 heave-pitch couple motion에 관련된 유체력 미계수를 구하기로 한다.

### 2. 운동 방정식

#### 2.1 좌표계 & 운동 방정식

잠수함의 운동을 표현하기 위해 Fig. 1과 같이 좌표계를 설정 하였다.



**Fig. 1** Coordinate system for submarine model

Feldman(1979)의 수중 운동체의 6자유도 운동방정식에서 선형항만 고려하였을 경우 heave-pitch 연성 운동방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} (m - Z_{\dot{w}})\dot{w} - Z_w u w - (m x_G + Z_q)\dot{q} - (Z_q u + m U)q &= Z_E \\ (I_{yy} - M_{\dot{q}})\dot{q} - (M_q u - m x_G U)q - (m x_G + M_w)\dot{w} - M_w u w &= M_E \end{aligned} \quad (1)$$

\*jinu1@pusan.ac.kr 051)510-2755

† 교신저자, leesk@pusan.ac.kr 051)510-2755

(2)

### 2.2 Pure heave motion

상하요 운동은 회두운동을 하지 않고, 그 중심의 궤적이 정현파의 모양으로 변화하는 운동이다.

$$\theta = q = \dot{q} = 0 \quad (3)$$

$$z = z_0 \sin \omega t, \quad \dot{z} = w = z_0 \omega \cos \omega t, \quad \ddot{z} = \dot{w} - z_0 \omega^2 \sin \omega t \quad (4)$$

식(3), (4)을 식(1), (2)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$m - Z_w = -\frac{Z_{in}}{z_0 \omega^2}, \quad Z_w = -\frac{Z_{out}}{z_0 u \omega} \quad (5)$$

$$m x_G + M_w = \frac{M_{in}}{z_0 \omega^2}, \quad M_w = -\frac{M_{out}}{z_0 u \omega} \quad (6)$$

### 2.3 Pure pitch motion

중요운동은 선체 중심궤적이 정현적으로 운동하고, 선체가 정현적인 회두 운동을 한다. 따라서 합속도  $U$ 의 방향은 항상 선체 중심선의 방향이다.

$$w = \dot{w} = 0 \quad (7)$$

$$\theta = \theta_0 \cos \omega t, \quad \dot{\theta} = q = -\theta_0 \omega \sin \omega t, \quad \ddot{\theta} = \dot{q} = -\theta_0 \omega^2 \cos \omega t \quad (8)$$

식(7), (8)을 식(1), (2)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$m x_G + Z_q = \frac{Z_{in}}{\theta_0 \omega^2}, \quad Z_q + m = \frac{Z_{out}}{\theta_0 u \omega} \quad (9)$$

$$I_{yy} - M_q = -\frac{M_{in}}{\theta_0 \omega^2}, \quad M_q - m x_G = \frac{M_{out}}{\theta_0 u \omega} \quad (10)$$

## 3. 실험결과 및 해석

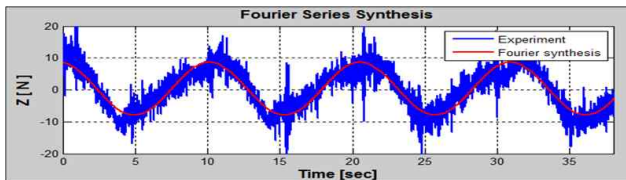
### 3.1 Pure heave motion

잠수함 모형의 기본 제원은 표1과 같다.

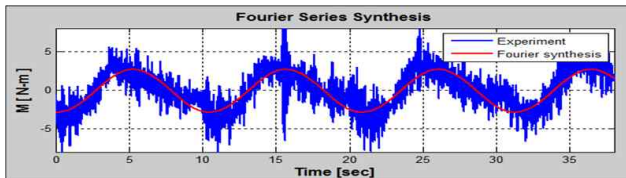
**Table 1** Principal dimension of submarine model

| $L_{OA}$ | $B_{mld}$ | $D_{mld}$ | $x_G$ | $\nabla$          | mass |
|----------|-----------|-----------|-------|-------------------|------|
| [m]      | [mm]      | [mm]      | [m]   | [m <sup>3</sup> ] | [kg] |
| 2        | 0.17      | 0.2       | 0.07  | 0.052             | 37   |

$T = 10(s)$ ,  $z_0 = 0.05(m)$ ,  $U = 1(m/s)$  로 세팅하여 실험을 통해 얻은 데이터를 푸리에 해석을 하면 다음과 같다.



**Fig. 2** Comparison of original heave force with fourier analysis



**Fig. 3** Comparison of original pitch moment with fourier analysis

빨간색 실선은 푸리에 분석된 선을 나타내고 있다. 이를 이용해 동유체력 계수를 구하면 Table 2와 같다.

**Table 2** Hydrodynamic coefficients (  $T = 10[\text{sec}]$  )

| Period  | $Z_w'$   | $Z_w'$  | $M_w'$   | $M_w'$ |
|---------|----------|---------|----------|--------|
| 10.385  | -0.00823 | -0.1353 | -0.00148 | 0.0228 |
| 10.415  | -0.00751 | -0.1403 | -0.00385 | 0.0247 |
| 10.425  | -0.00764 | -0.1344 | -0.00318 | 0.0239 |
| Average | -0.00779 | -0.1367 | -0.00283 | 0.0238 |

### 3.2 Pure pitch motion

$T = 6(s)$ ,  $z_0 = 0.05(m)$ ,  $U = 0.6(m/s)$ ,  $\theta_0 = 5^\circ$  로 초기 값을 설정하여 pure pitch motion을 설정하였다. 이전 상하요운동방법과 동일하게 데이터를 해석 및 정리하면 다음과 같다.

**Table 3** Hydrodynamic coefficients ( pitch,  $\theta_0 = 5^\circ$  )

| Period  | $Z_q'$   | $Z_q'$  | $M_q'$   | $M_q'$   |
|---------|----------|---------|----------|----------|
| 6.0126  | -0.00258 | -0.0295 | -0.00055 | -0.00978 |
| 6.0532  | -0.00245 | -0.0314 | -0.00056 | -0.01076 |
| 6.0473  | -0.00294 | -0.0305 | -0.00063 | -0.01029 |
| Average | -0.00266 | -0.0305 | -0.00058 | -0.01027 |

## 4. 결 론

본 논문에서는 VPMM 시험을 통해 수중 잠수함 모형의 heave-pitch에 관련된 부가 질량력, 부가관성 모멘트, 감쇠력 및 감쇠 모멘트를 측정하였으며, 이 측정 결과로부터 Table 5와 같이 수중 잠수함의 동유체력 미계수를 얻었다.

**Table 4** Hydrodynamic force coefficients (heave, pitch)

| Pure  | $Z_w'$   | $Z_w'$  | $M_w'$   | $M_w'$   |
|-------|----------|---------|----------|----------|
| heave | -0.00779 | -0.1367 | -0.00283 | 0.0238   |
| Pure  | $Z_q'$   | $Z_q'$  | $M_q'$   | $M_q'$   |
| Pitch | -0.00266 | -0.0305 | -0.00058 | -0.01027 |

## 후 기

본 연구는 국방과학연구소의 지원으로 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 이승건 (2011). 선박운동역학
- [2] Lamb, S.H., (1945). Hydrodynamics, Sixth Edition, Dover Publications, pp 152-155.
- [3] Newman, J.N., (1978). Marine Hydrodynamics, The MIT Press, Cambridge, pp 144-148.
- [4] Shon, K.H. Lee, S.K. and Ha, S.P., (2006). "Mathematical Model for Dynamics of Manta-type Unmanned Undersea Vehicle with Six Degrees of Freedom and Characteristics of Manoeuvrability Response", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol 43, No 4, pp 399-413.