

VPMM 시험을 이용한 잠수함 모형의 유체력 미계수 추정

정진우* · 정재훈* · 김인규* · † 이승건

* 부산대학교 조선해양공학과 대학원, † 부산대학교 조선해양공학과 교수

Estimation of Hydrodynamic Derivatives of Submarine Model by Using 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 첨단 구축함 등 대규모의 최신 함정위주의 해상전력을 강화하는 상황에서 잠수함의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 이에 따른 잠수함의 조종성능 향상을 위한 정밀한 동유체력 미계수 값이 요구된다. 본 논문에서는 VPMM(Vertical Planar Motion Mechanism) 실험을 위하여 연직 강제 동요시험(VPMM)장비를 이용하였고, 이를 통해 동유체력을 측정하였다. 심도, 주기, 속도 등을 변화시키며 다양한 환경에서 실험을 실시하였다. 잠수함 모형을 속도 U로 예인하면서 동시에 순수 상하동요(Pure heave), 순수 종동요(Pure pitch) 운동을 각각 주었고, 이때 부가되는 힘과 모멘트를 잠수함 모형의 선수·선미 부분에 장착된 로드셀을 이용하여 각각 획득하였다. 그 결과, 푸리에 해석을 통한 잠수함 모형의 선형 유체력 미계수들을 추정할 수 있었다.

핵심어 : 연직 강제 동요시험, 잠수함, 유체력 미계수, 순수 상하동요 운동, 순수 종동요 운동

Abstract : In these days, the world has 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 derivatives 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 derivatives of the submarine are provided through the Fourier analysis of the forces and moments in this paper.

Key words : VPMM(vertical planar motion mechanism) test, Submarine, Hydrodynamic derivative, Pure heave motion, Pure pitch motion.

1. 서 론

최근 들어 전 세계적으로 항공모함과 첨단 구축함 등 대규모의 최신 함정위주의 해상전력을 강화하는 상황에서 이에 따른 억제효과를 거두기 위한 잠수함의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 이에 따른 잠수함의 긴급 기동을 위한 정밀한 동유체력 미계수 값이 잠수함 운동조종제어에 있어 필수 요소이다.

한편, 국내에서는 수상선을 대상으로 한 구축모형시험(Yun and Kim, 2012; Shin and Choi, 2011)을 한 바가 있으며, 시스템 식별법을 이용한 동유체력 계수 추정(Lee and Kwon, 2002; Yun and Shon, 2004)과 경험식을 이용한 유체력 계수 모델링(Shin and Lee, 2005) 등에 대한 연구사례가 있다. 하지

만 본 연구와 같이 잠수함 모형을 대상으로 한 VPMM 시험과 해석에 관한 연구는 매우 드문 사례라 할 수 있다.

본 논문에서는 잠수함의 유체력 미계수를 추정하기 위해 VPMM(Vertical Planar Motion Mechanism)모형 시험을 실시하였다. 그리고 VPMM 시험을 통해 잠수함 모형의 운동조종 제어에 필요한 유체력 미계수들 중 상하동요와 종동요에 대한 연성운동에 관련된 유체력 미계수를 구하고자 하였다.

2. 운동 방정식

2.1 좌표계 & 운동 방정식

† Corresponding author : leesk@pusan.ac.kr 051)510-2441

* jinul@pusan.ac.kr 051)510-2755

* wave0120@pusan.ac.kr 051)510-2755

* gyu@pusan.ac.kr 051)510-2755

(*) 이 논문은 “VPMM 시험을 이용한 수중 잠수함 모형의 동유체력 계수 추정에 관한 연구”란 제목으로 “2013년 추계학술대회 한국해양학회논문집(한국해양수산연수원, 2013.10.23.-25, pp.117-118)”에 발표되었음.

잠수함의 운동을 표현하기 위해 지구고정좌표계와 물체고정좌표계를 Fig. 1과 같이 설정하였다.

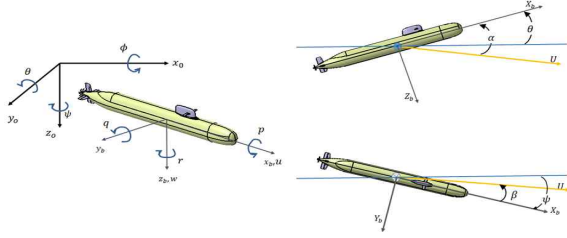


Fig. 1 Coordinate system for submarine model

Feldman(1979)의 잠수함의 6자유도 운동방정식에서 선형항만 고려하였을 경우, 상하동요-종동요 연성 운동방정식은 식(1)과 같다. 여기서 m 은 잠수함의 질량, U 는 잠수함의 합속도, x_G 는 x 축 방향의 무게중심, Z_w 은 z 축 방향의 부가질량, Z_w 는 z 축 방향의 감쇠력, Z_q 는 각가속도 \dot{q} 에 대한 부가질량, Z_q 는 각속도 q 에 대한 감쇠력, I_{yy} 는 y 축 주위에 대한 관성모멘트, M_q 는 y 축 주위에 대한 부가 관성 모멘트, M_q 는 y 축 주위에 대한 감쇠모멘트, M_w 는 z 축 방향의 가속도 \dot{w} 에 대한 부가관성 모멘트, M_w 는 z 축방향의 속도 w 에 대한 감쇠모멘트를 나타낸다. 그리고 식(1)에서 우항은 외부로부터의 힘(Z_E)과 모멘트(M_E)를 각각 나타낸다.

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

2.2 순수 상하동요 운동

순수 상하동요 운동은 종동요 운동을 하지 않고, 그 중심의 궤적이 정현파의 모양으로 변화하는 운동이다.

$$\begin{aligned} \theta = 0, q = \dot{q} = 0 \\ z = z_0 \sin \omega t, \dot{z} = w = z_0 \omega \cos \omega t, \ddot{z} = \dot{w} = -z_0 \omega^2 \sin \omega t \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 θ 는 종동요각, q 는 종동요각속도, \dot{q} 는 종동요각가속도 이며, z 는 상하동요 변위, z_0 는 운동진폭을 나타내며, 여기서 w, \dot{w} 는 z 방향의 속도와 가속도, q, \dot{q} 는 종동요 각속도와 각가속도 이고, ω 는 각속도를 나타낸다.

그리고 식(1)의 우항의 힘과 모멘트는 다음 식(3)과 같이 동위상과 반위상 성분으로 분리할 수가 있다.

$$Z_E = Z_{in} \sin \omega t + Z_{out} \cos \omega t, \quad M_E = M_{in} \sin \omega t + M_{out} \cos \omega t \quad (3)$$

따라서, 식(2)를 식(1)에 대입하여 정리한 후 식(3)과 등치하면 식(4)와 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} m - Z_w &= -\frac{Z_{in}}{z_0 \omega^2}, \quad Z_w = -\frac{Z_{out}}{z_0 u \omega} \\ mx_G + M_w &= \frac{M_{in}}{z_0 \omega^2}, \quad M_w = -\frac{M_{out}}{z_0 u \omega} \end{aligned} \quad (4)$$

2.3 순수 종동요 운동

순수 종동요 운동은 선체 중심궤적이 정현적으로 운동하고, 선체가 정현적인 종동요 운동을 한다. 따라서 합속도 U 의 방향은 항상 선체 중심선의 방향이다.

$$\begin{aligned} w = \dot{w} = 0 \\ \theta = \theta_0 \cos \omega t, \quad \dot{\theta} = q = -\theta_0 \omega \sin \omega t, \quad \ddot{\theta} = \dot{q} = -\theta_0 \omega^2 \cos \omega t \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 θ_0 는 초기 피치 각운동의 진폭을 나타낸다.

그리고 식(6)과 같이 성분 분리후, 식(5)를 식(1)에 대입하여 정리한 것과 등치하면 식(7)과 같이 정리된다.

$$Z_E = Z_{in} \cos \omega t + Z_{out} \sin \omega t, \quad M_E = M_{in} \cos \omega t + M_{out} \sin \omega t \quad (6)$$

$$\begin{aligned} mx_G + Z_q &= \frac{Z_{in}}{\theta_0 \omega^2}, \quad Z_q + m = \frac{Z_{out}}{\theta_0 u \omega} \\ I_{yy} - M_q &= -\frac{M_{in}}{\theta_0 \omega^2}, \quad M_q - mx_G = \frac{M_{out}}{\theta_0 \omega} \end{aligned} \quad (7)$$

2.4 Fourier 해석

동적시험의 경우에 실제 로드셀에서 계측된 신호에는 모형 선에 작용하는 유체동력학적 관성력과 감쇠력이 포함되어 있어 이를 분리하여 수학모형에 맞는 유체력 미계수를 구할 수 있다. 따라서 계측된 신호를 Fourier sine 또는 cosine 변환을 하고 1주기까지 적분하면 식(8)과 같다.

$$Z_E = Z_{in} \sin \omega t + Z_{out} \cos \omega t \quad \text{에서,}$$

$$\begin{aligned} \int_0^T Z_E \sin \omega t \, dt &= \frac{T}{2} Z_{in} \\ \int_0^T Z_E \cos \omega t \, dt &= \frac{T}{2} Z_{out} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 Z_E 는 실험에서 계측된 신호이고 T 는 주기이다. Z_{in} 은 변위와 같은 위상을 갖는 관성력과 부가질량력을 포함한 힘이고 Z_{out} 은 변위와 90°의 위상차를 갖는 감쇠력이 된다.

3. 실험결과 및 해석

본 실험의 잠수함 모형은 함체, 함수 제어판, 함미 제어판 그리고 세일(Sail)로 구성되어 있는 형태이다. Fig. 2에서와 같이 시계방향이 +M이 됨으로서 모형전체에 걸리는 Heave Force와 Pitch Moment는 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Z &= Z_1 + Z_2 \\ M &= -Z_1 l_1 + Z_2 l_2 \end{aligned} \quad (9)$$

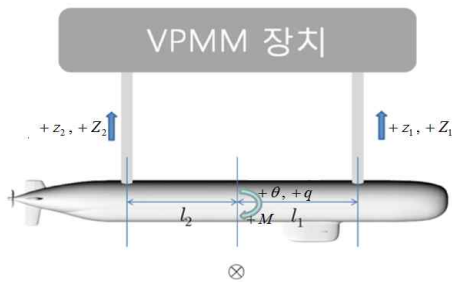


Fig. 2 Direction of Z, M

3.1 순수 상하동요 시험 (심도 $h/d=4.7$)

잠수함 모형의 기본 제원은 Table 1과 같다.

Table 1 Principal dimension of submarine model

L_{OA}	B	d	x_G	∇	mass
[m]	[m]	[m]	[m]	[m^3]	[kg]
2	0.17	0.2	0.07	0.052	37

본 실험에서 심도에 대한 정의는 수면에서 모형 중심까지 깊이와 모형 직경의 비(h/d)로 나타내었다. 그리고 실험조건은 심도 $h/d=4.7, 3.5, 2.75$, $T=6, 8, 10(s)$ 로 심도와 주기를 변화하면서 시험을 실시하였다. 먼저 심도 $h/d=4.7$, $T=6(s)$, $z_0=0.05(m)$, $U=1(m/s)$ 로 설정하고, 잠수함 모형의 선수·선미에 장착된 검력계를 이용하여 각각의 힘을 측정하고, 식(9)를 이용하여 그래프로 그려보면 Figs. 3~4와 같이 힘과 모멘트를 얻었다.

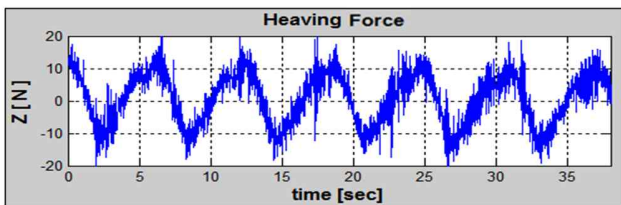


Fig. 3 Total heave force for time history

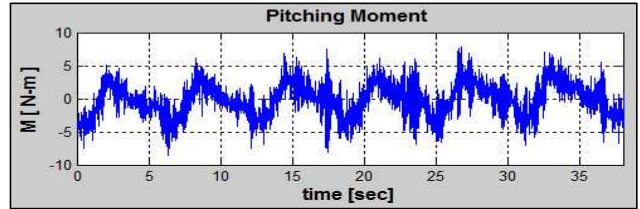


Fig. 4 Total pitch moment for time history

Figs. 3~4을 보면 실제 주기 6초와 실제 운동 주기와 차이가 발생함을 알 수 있다. 따라서 푸리에 변환하여 정확한 주기를 획득하였다. Figs. 5~6의 그래프를 보면 0.1~0.2Hz 부근에서 특정 값이 대단히 높게 나타남을 알 수 있다. 이 값이 본 실험의 운동주기가 되며 나머지 작은 값들은 노이즈에 해당된다. 이 특정값을 찾으면 0.163Hz 이고 이를 주기로 환산하면 6.154초이다.

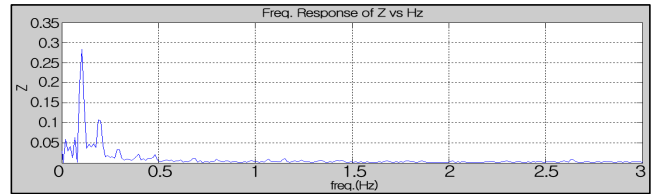


Fig. 5 Amplitude spectrum for heave force

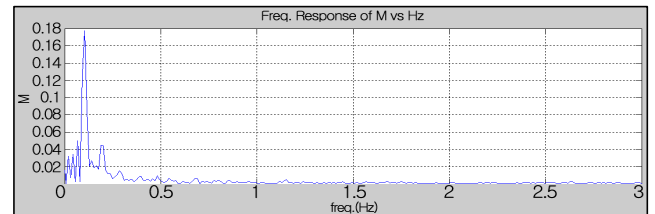


Fig. 6 Amplitude spectrum for pitch moment

앞서 본 Figs. 3~4를 Figs. 5~6을 이용하여 푸리에 해석을 하면 Figs. 7~8의 그래프를 얻는다.

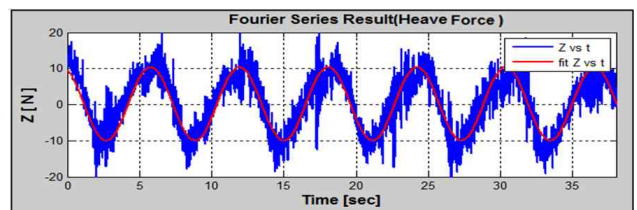


Fig. 7 Comparison of measured heave force with Fourier analysis

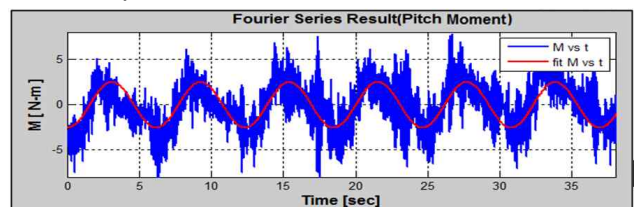


Fig. 8 Comparison of measured pitch moment with Fourier analysis

적색 실선은 푸리에 변환에 의해 분석된 선을 나타내고 있다. 이를 이용해 유체력 미계수를 구하면 Table 2와 같이 정리된다.

Table 2 Hydrodynamic derivatives (T = 6, h/d =4.7)

Period	Z_w'	Z_w'	M_w'	M_w'
6.148	-0.00861	-0.0927	-0.00054	0.0123
6.142	-0.00822	-0.0943	-0.00039	0.0125
6.112	-0.00848	-0.0906	-0.00024	0.0117

여기서 프라임 기호는 무차원화된 값을 의미하며 무차원 방법은 SNAME의 Prime-I system(1950)을 채택하였다.

Table 3 Prime-I system

Unit	Prime-I system
Length (m)	L
Mass (kg)	$\frac{1}{2}\rho L^3$
Inertia moment (kg·m ²)	$\frac{1}{2}\rho L^5$
Time (sec)	L/U
Reference area (m ²)	L^2
Linear velocity (m/s)	U
Angular velocity (1/s)	U/L
Linear acceleration (m/s ²)	U^2/L
Angular acceleration (1/s ²)	U^2/L^2
Force (kg·m/s ²)	$\frac{1}{2}\rho L^2 U^2$
Moment (kg·m ² /s ²)	$\frac{1}{2}\rho L^3 U^2$

Z_w 의 무차원화 방법을 살펴보면, 식(1)은 Prime system에 의해 식(10)과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} \frac{Z_w \dot{w}}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2} + \dots &= \frac{Z}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2} \quad (10) \\ \Rightarrow \frac{Z_w}{\frac{1}{2}\rho L^3} \times \frac{\dot{w}}{U^2/L} + \dots &= Z' \\ \Rightarrow Z_w' \times \dot{w}' + \dots &= Z' \end{aligned}$$

6초일 때와 같은 방식으로 주기 8초, 10초에 대한 실험과 해석을 진행하였다. 먼저 주기 8초일 때의 그래프를 보면 Figs. 9~10과 같다. 실험 조건은 $h/d=4.7$, $T=8(s)$, $z_0=0.05(m)$, $U=1(m/s)$ 이며 그 결과는 Table 4에 나타난 바와 같다.

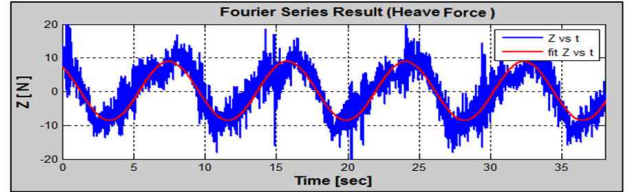


Fig. 9 Fourier series synthesis (T=8, h/d=4.7)

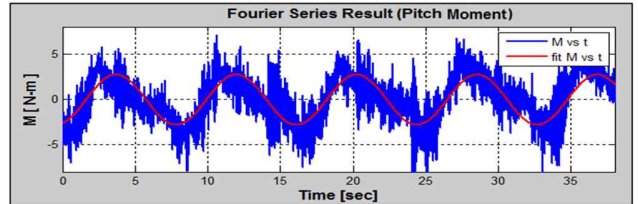


Fig. 10 Fourier series synthesis (T=8, h/d=4.7)

Table 4 Hydrodynamic derivatives (T=8, h/d =4.7)

Period	Z_w'	Z_w'	M_w'	M_w'
8.274	-0.00806	-0.1130	-0.00072	0.0184
8.263	-0.00811	-0.1102	-0.00082	0.0180
8.275	-0.00817	-0.1117	-0.00133	0.0181

계속하여 주기 10초일 때의 데이터를 획득하였으며 힘과 모멘트는 각각 Figs. 11~12와 같다. 그리고 Table 5에 유체력 미계수를 나타내었다.

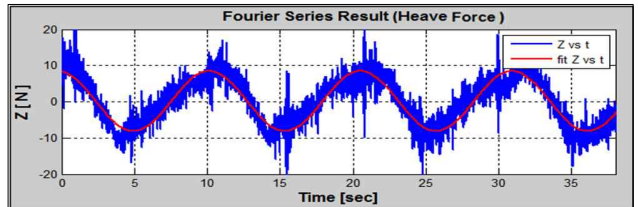


Fig. 11 Fourier series synthesis (T=10, h/d=4.7)

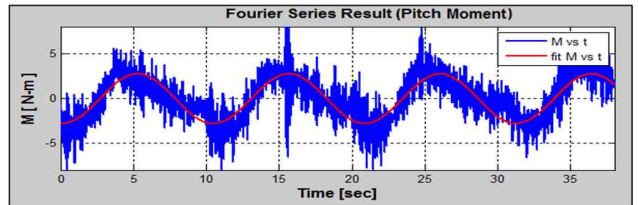


Fig. 12 Fourier series synthesis (T=10, h/d=4.7)

Table 5 Hydrodynamic derivatives (T=10, h/d =4.7)

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

3.2 순수 상하동요 시험 (심도 h/d= 3.5)

같은 방법으로 심도 3.5에서 주기 6, 8, 10초에 대한 실험을 각각 진행하여 계수값을 정리하면 Tables 6~8과 같다.

Table 6 Hydrodynamic derivatives (T=6, h/d =3.5)

Period	Z_w'	Z_w'	M_w'	M_w'
6.112	-0.01004	-0.0989	-0.00057	0.0137
6.106	-0.00844	-0.0995	-0.00034	0.0134
6.106	-0.00851	-0.1011	-0.00049	0.0135

Table 7 Hydrodynamic derivatives (T=8, h/d =3.5)

Period	Z_w'	Z_w'	M_w'	M_w'
8.265	-0.00867	-0.1207	-0.00217	0.0201
8.278	-0.00894	-0.1221	-0.00169	0.0205
8.294	-0.00741	-0.1179	-0.00104	0.0195

Table 8 Hydrodynamic derivatives (T=10, h/d =3.5)

Period	Z_w'	Z_w'	M_w'	M_w'
10.451	-0.00871	-0.1464	-0.00315	0.0272
10.437	-0.00800	-0.1430	-0.00198	0.0264
10.423	-0.00693	-0.1430	-0.00284	0.0266

3.3 순수 상하동요 시험 (h/d= 2.75)

심도 2.75에서 계수값을 정리하면 Tables 9~11과 같다.

Table 9 Hydrodynamic derivatives (T=6, h/d =2.75)

Period	Z_w'	Z_w'	M_w'	M_w'
6.154	-0.00898	-0.0876	-0.00077	0.0110
6.148	-0.00979	-0.0868	-0.00102	0.0115
6.160	-0.01020	-0.0867	-0.00101	0.0114

Table 10 Hydrodynamic derivatives (T=8, h/d =2.75)

Period	Z_w'	Z_w'	M_w'	M_w'
8.310	-0.00977	-0.1118	-0.00142	0.0182
8.307	-0.00818	-0.1093	-0.00054	0.0175
8.292	-0.00873	-0.1130	-0.00110	0.0185

Table 11 Hydrodynamic derivatives (T=10, h/d =2.75)

Period	Z_w'	Z_w'	M_w'	M_w'
10.458	-0.00802	-0.1167	-0.00312	0.0219
10.416	-0.00857	-0.1201	-0.00355	0.0221
10.460	-0.00919	-0.1148	-0.00378	0.0218

3.4 순수 종동요 시험

$T=6(s)$, $z_0=0.05(m)$, $U=0.6(m/s)$, $\theta_0=5^\circ$ 로 초기 값을 설정하여 순수 종동요 운동을 설정하였다. 이전 순수 상하동요 방법과 동일하게 데이터를 해석 및 정리하면 Figs. 13~14와 같다.

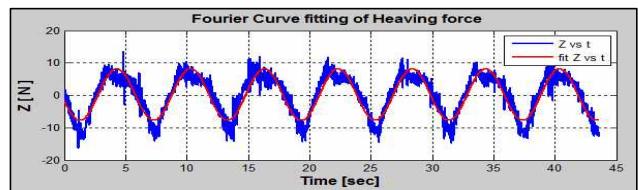


Fig. 13 Fourier series synthesis (heave, T=6, $\theta_0=5^\circ$)

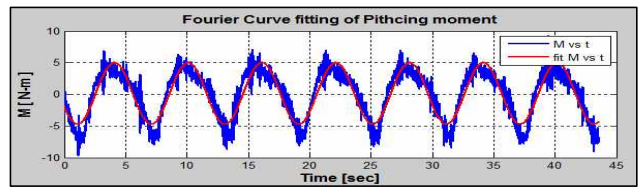


Fig. 14 Fourier series synthesis (pitch, T=6, $\theta_0=5^\circ$)

Table 12 Hydrodynamic derivatives ($\theta_0=5^\circ$, h/d =4.7)

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

동일한 방법으로 심도를 바꾸어 가면서 데이터를 정리하면 Table 13과 같다.

Table 13 Hydrodynamic derivatives ($\theta_0=5^\circ$, h/d =3.5)

Period	Z_q'	Z_q'	M_q'	M_q'
6.053	-0.00294	-0.03019	-0.00080	-0.01015
5.978	-0.00321	-0.02956	-0.00072	-0.00983
6.166	-0.00118	-0.03163	-0.00071	-0.01087

Table 14 Hydrodynamic derivatives ($\theta_0 = 5^\circ$, $h/d = 2.75$)

Period	Z_q'	Z_q'	M_q'	M_q'
6.018	-0.00259	-0.02990	-0.00084	-0.01000
6.053	-0.00213	-0.03035	-0.00073	-0.01022
6.042	-0.00263	-0.03093	-0.00078	-0.01052

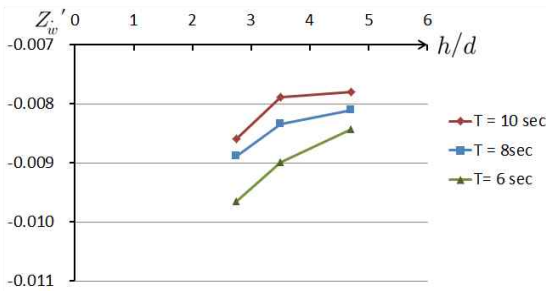
3.5 심도와 유체력 미계수들과의 상관관계

심도와 유체력 미계수들과의 상관관계를 알아보기 위하여 주기 10초일때 심도에 따른 유체력 미계수 Z_w' , Z_w' , M_w' 및 M_w' 의 관계를 Table 15에 나타내었다.

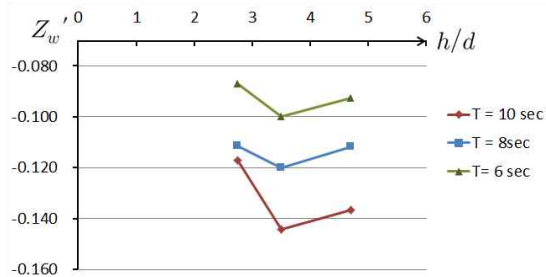
Table 15 Hydrodynamic derivatives vs h/d (heave)

심도	Z_w'	Z_w'	M_w'	M_w'
4.7	-0.00779	-0.1367	-0.00283	0.0238
3.5	-0.00788	-0.1441	-0.00265	0.0267
2.75	-0.00859	-0.1172	-0.00348	0.0219

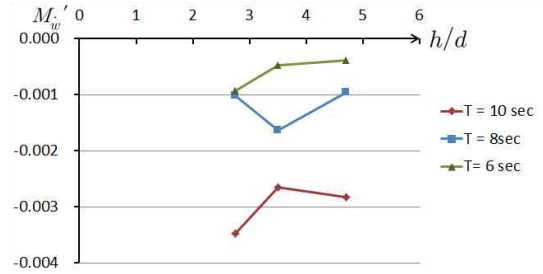
심도별 및 주기별 계수 추정 결과는 Fig. 15와 같으며, 심도 2.75와 3.5사이에서 계수변화가 크게 나타나고 3.5와 4.7사이에는 계수 변화가 작게 나타나며 비교적 안정된 값을 보여주고 있다. 순수 상하동요의 부가질량 계수 $-Z_w'$ 의 경우, 얕은 심도에서 그 값이 크게 나타나고 심도가 깊을수록 작아짐으로서 자유수면의 영향이 존재함을 알 수 있다. 또한 주기가 짧을수록 계수가 커지는 경향을 보임으로 운동주기도 유체력의 변화에 다소 영향을 미치고 있음을 보여준다.



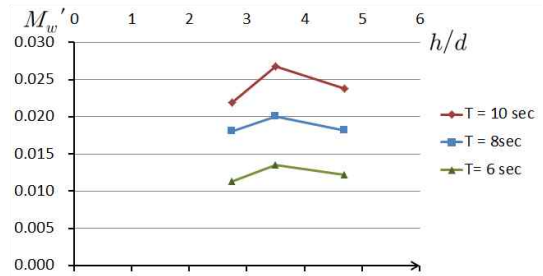
(a) Hydrodynamic derivative Z_w'



(b) Hydrodynamic derivative Z_w'



(c) Hydrodynamic derivative M_w'



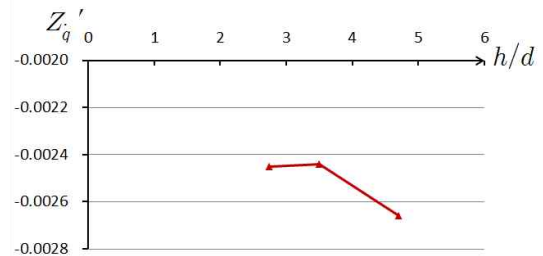
(d) Hydrodynamic derivative M_w'

Fig. 15 Hydrodynamic derivative of heave motion vs h/d

한편, Pitch 운동과 관련된 유체력 미계수 Z_q' , Z_q' , M_q' 및 M_q' 에 대한 추정 결과를 정리하면 Table 16과 같고 Fig. 16과 같다. Fig. 16(c)의 부가관성모멘트를 나타내며 부가질량과 유사한 경향을 나타내고 있다. 심도에 따른 변화는 심도가 클수록 작게 나타남을 보여준다.

Table 16 Hydrodynamic derivatives vs h/d (pitch)

심도	Z_q'	Z_q'	M_q'	M_q'
4.7	-0.00266	-0.03045	-0.00073	-0.01027
3.5	-0.00244	-0.03046	-0.00074	-0.01028
2.75	-0.00245	-0.03039	-0.00078	-0.01025



(a) Hydrodynamic derivative Z_q'

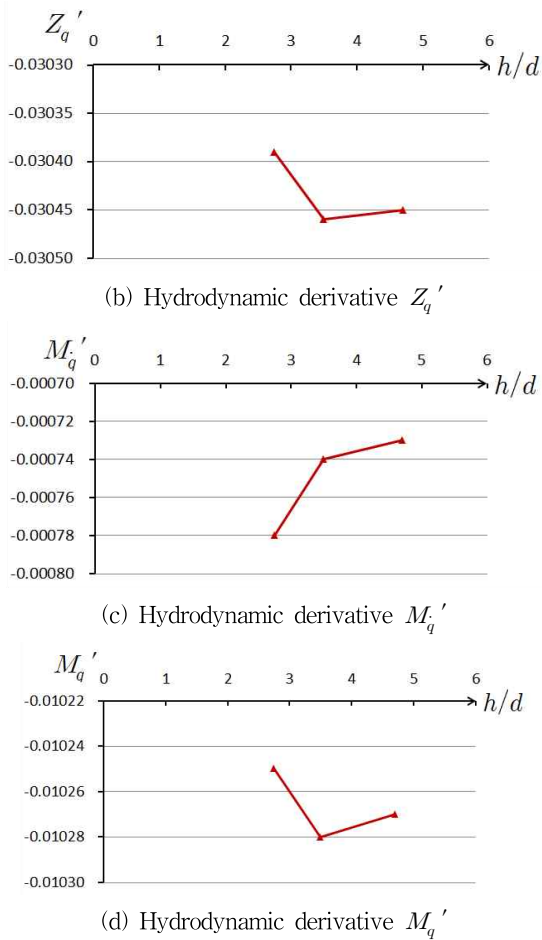


Fig. 16 Hydrodynamic derivative of pitch motion vs h/d

4. 결 론

본 논문에서는 VPMM 시험을 통해 수중 잠수함 모형의 상하동요-종동요에 관련된 부가 질량, 부가관성 모멘트, 감쇠력 및 감쇠 모멘트 등을 계측하였으며, 이 계측 결과로부터 수중 잠수함 모형의 유체력 미계수를 얻을 수 있었다.

순수 상하동요의 부가질량 미계수나 부가관성모멘트 미계수의 경우, 심도에 따른 값의 변화를 보여주고 있으나, 나머지 미계수들에 대해서는 심도에 따른 차이가 크게 나타나지 않았다. 또한, 심도 2.75와 3.5를 비교하였을 경우, 계수변화가 크게 나타남으로서 낮은 심도에서 자유수면의 영향이 미치고 있음을 알 수 있다. 또한, 주기와 계수와의 연관성을 살펴보면 주기가 짧을수록 부가질량 미계수의 값이 커지고 있으므로 운동주기에 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 깊은 심도와 긴 운동주기에 대한 계수 결과들이 비교적 안정되고 신뢰성 있는 정보를 제공하는 것으로 판단된다. 향후 본 실험결과를 이용한 조종시뮬레이션을 수행하고자 하며, 운동주기 및 제어 판 등 다양한 조건에서 추가적인 연구가 진행될 예정이다.

후 기

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

References

- [1] Feldman, J.(1979), "DTNSRDC Revised Standard Submarine Equations of Motion", Report No. DTNSRDC/SPD-0393-09, Washington, D.C.
- [2] Lee, T. I. and Kwon S. H.(2002), "A Study on Practical PMM Test Technique for Ship Maneuverability Using System Identification Method", Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 16, No. 6, pp. 25-31.
- [3] Shin, H. K. and Choi, S. H.(2011), "Prediction of Maneuverability of KCS Using Captive Model Test", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 48, No. 5, pp. 465-472.
- [4] Shin, Y. K. and Lee, S. K.(2005), "A Study on the Modeling of Hydrodynamic Coefficient for the Emergency Maneuver Simulation of Underwater Vehicle", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 42, No. 6. pp. 601-607.
- [5] Yoon, H. K. and Son, N. S.(2004), "Estimation of Roll Related Coefficients of a Ship by Using the System Identification Method", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 41, No. 4, pp. 53-58.
- [6] Yun, K. H. and Kim, Y. G.(2012), "Study on the Maneuverability of Barge by Captive Model Test, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 36, No. 8, pp. 613-618.

원고접수일 : 2013년 11월 11일

심사완료일 : 2014년 3월 29일

원고채택일 : 2014년 4월 8일