

강제선회시험을 이용한 수중운동체의 수평면 안정성 평가에 관한 연구

한지훈* · 정재훈* · 이성범* · 장근영* · † 이승건

* 부산대학교 조선해양공학과 대학원, † 부산대학교 조선해양공학과 교수

Horizontal Stability Estimation of Underwater Vehicle Using Rotating Arm Test

Ji-Hun Han* · Jeong-Jae Jeong* · Seung-Bum Lee* · Geun-Young Jang* · † 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 해저 자원 개발 또는 생산 활동에 따른 수중작업의 수요 증대와 수중 유도무기체계 개발의 일환으로 다양한 형태의 수중운동체 기술이 발전되고 있다. 또한, 해양에 존재하는 광물 자원의 탐사 및 채취, 수중탐사 및 작업, 해양 방위력의 증강 등은 수중운동체의 개발 필요성을 더욱 증가시키고 있으며, 이에 따라 수중운동체에 대한 연구가 활발하게 수행되고 있다. 이에 본 논문에서는 수중운동체의 강제선회 시험을 이용하여 유체력 미계수를 획득하고 이를 통해 수중운동체의 수평면 안정성을 평가 해 보았다.

핵심용어 : 강제선회시험, 잠수함, 동유체력 계수, 수평면 안정성

Abstract : In this paper, the captive model test of submerged body using RA test was carried out at the Square Basin. The target model is a submarine with four different types. For the comparison between theory and measurement, hydrodynamic coefficients are calculated according to the described method and compared with RA measurements on Submarine models. in addition, horizontal stability index of underwater vehicle was checked.

Key words : rotating arm test(RA test), submarine, hydrodynamic coefficient, stability estimation

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. 수중에서 항주하는 수중운동체의 안정성 및 조종성 등의 평가를 위해서 각종 수조시험들이 선행되고 있으며 그 중에서 yaw 각속도에 관련된 유체력 미계수를 구하기 위한 대표적인 방법이 Rotating-Arm 시험이다. 본 논문에서는 RA 시험에 관한 소개 및 방법을 기술하였고 수중운동체의 동적안정성 해석에 필요한 미계수들을 도출하여 각각의 타입별로 비교해 보았다.

2. 시험개요

2.1 시험절차

RA시험의 수행 절차는 다음과 같다.

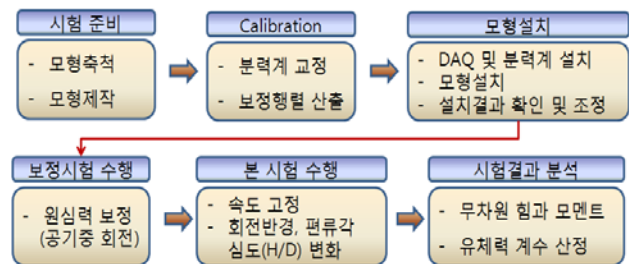


Fig. 1 Flow chart for RA Test

2.2 좌표계 및 시험조건

본 실험에서는 좌표계로서 다음과 같이 각 축에 대하여 우수계를 사용하였다.

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

† 교신저자 : leesk@pusan.ac.kr 051)510-275

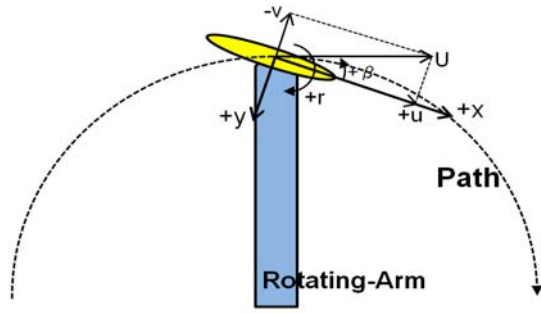


Fig. 2 Coordinate System: Right-handed System

아래의 표는 시험 조건이다. 여기서 x_G 와 y_G 는 각각 모델의 중심에서 x, y 방향 무게중심의 위치를 의미한다. x_G 는 원심력 보정을 위해 Midship으로부터 후방으로 0.17m를 적용하였다.

Table 1 Test Condition

Division	Specification
Model (Submarine Type 1~4)	$L_{OA} = 2m, B = 0.17m, D = 0.2m$ $x_G = -0.17m(\text{from midship})$ $mass = 38.9kg(\text{with water})$
Test Speed	2.0m/s
Reynolds number	3.5118×10^6
Radius of Arm	8m, 11m, 14m
Test Depth (H/D)	1.5, 6.0
Drift Angle (β)	$0^\circ \sim \pm 15^\circ$ (Intervals : 5°)

2.3 운동방정식

본 시험에 적용된 운동방정식은 Gertler & Hagen이 제안한 잠수함 표준 수학적모델 중에서 평면운동(Surge-Sway-Yaw)에 관한 방정식을 채택하여 사용하였다.

$$m'[\dot{u}' - v'r' + w'q' - x'_G(q'^2 + r'^2) + y'_G(p'q' - r') + z'_G(p'r' + q')] = X'$$

$$m'[\dot{v}' - w'p' + u'r' - y'_G(r'^2 + p'^2) + z'_G(q'r' - p')] + x'_G(q'p' + r') = Y'$$

$$I'_z \dot{r}' + (I'_y - I'_x)p'q' - (q' + r'p')I'_{yz} + (q'^2 - p'^2)I'_{xy} + (r'q' - p')I'_{zx}$$

$$+ m'[x'_G(\dot{v}' - w'p' + u'r') - y'_G(\dot{u}' - v'r' + w'q')] = N'$$

$$X' = X_{uu}'u'^2 + X_{vv}'v'^2 + X_{vr}'v'r' + X_{rr}'r'^2$$

$$Y' = Y_v'v' + Y_r'r' + Y_{vvv}'v'^3 + Y_{vvr}'v'^2r + Y_{vrr}'v'r'^2 + Y_{rrr}'r'^3$$

$$N' = N_v'v' + N_r'r' + N_{vvv}'v'^3 + N_{vvr}'v'^2r + N_{vrr}'vr'^2 + N_{rrr}'r'^3$$

2.4 실험 절차

Fig 3은 회전팔(Rotating Arm)시험의 운동 메카니즘으로서, 선회속도를 일정하게 하여 회전팔 길이 R을 변화시킴으로서 각속도 r을 조절하게 되고, 편류각을 변화시켜 병진속도 u,v가

변화하게 된다.

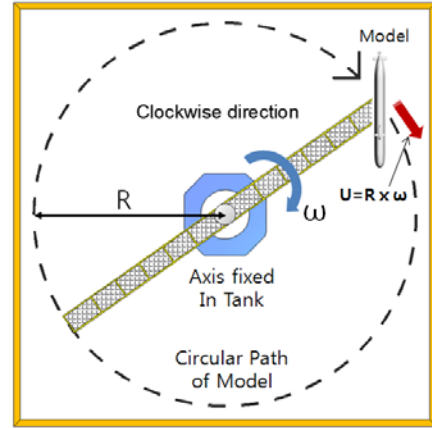


Fig. 3 Mechanism of the Rotating Arm test

실험 표본은 다음과 같다.

Table 2 Test Parameters

R(m)	U(m/s)	r(deg./sec.)	r'(L/R)
14	2.0	0.143	0.143
11	2.0	0.182	0.182
8	2.0	0.25	0.25

3. 실험결과 및 해석

3.1 안정성 평가

조종유체력 계수 중에서 선형계수를 이용하여 수평면에 대한 동적안정성을 검토할 수 있으며 동적 안정성에 관한 식은 다음과 같다.

$$G_h = 1 - \frac{N_v'(Y_r' - m')}{Y_v'(N_r' - m'x'_G)} > 0$$

상기에서 Y와 N은 Lateral force 및 Yawing moment를 나타내며 v와 r은 Sway 및 Yaw 속도, m은 질량, x'_G 는 중심의 x-좌표를 나타낸다.

본 시험의 대상선형인 일반적인 잠수함 선형에 대한 안정성 지수는 Table 2에 정리된 바와 같다. 여기서 적용된 모형의 질량과 무게중심의 무차원화 값은 $m' = 0.0097$ $x'_G = -0.085$ 이다.

Table 3 Hydrodynamic derivatives (Y Force, N Moment)

심도 (H/D)	Type	Y_v'	Y_r'	N_v'	N_r'
6.0	Type 1	-0.05123	0.00489	-0.00805	-0.00144
	Type 2	-0.05531	0.00586	-0.00664	-0.00319
	Type 3	-0.05301	0.00596	-0.00847	-0.00249
	Type 4	-0.05415	0.00374	-0.00705	-0.0025
Theoretical Cal. (Type 1)		-0.02287	0.00459	-0.01048	-0.00343

일반적으로 안정성 지수가 0보다 크면 동적 안정성을 만족하므로 타입1을 제외한 나머지 타입에 대해서는 수평면 동안정성을 만족하는 것으로 나타났다.

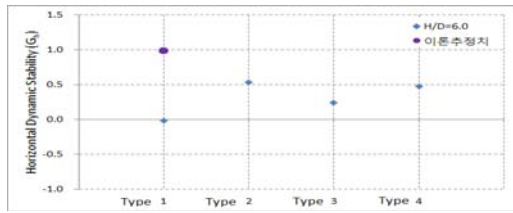


Fig. 4 Horizontal stability according to each type

Table 4 Horizontal dynamic stability result for types

심도 (H/D)	Type 1	Type 2	Type 3	Type4
6.0	-0.01241	0.53469	0.245083	0.473663
Theoretical cal.	0.985168	-		

4. 결 론

본 논문에서는 RA 시험을 통해 수중 잠수함 모형의 유체력 계수를 추정하였다. Yawing moment에 관한 계수값들을 살펴보면 선형계수 N_v' , N_r' 에 있어 심도 6.0에 비해 심도 1.5가 조금씩 큰 값을 가진다. 이는 자유수면의 영향을 포함하는 것으로 보인다. 수평면에 대한 동적 안정성을 고찰해보면, 안정성 지수가 0보다 크면 동적 안정성이 만족하게 되므로 무한수심으로 정의되는 심도 6.0에서 잠수함 계열 모형이 대체적으로 동안정성을 만족하는 것으로 판정 되었다.

후 기

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

참 고 문 헌

- [1] D. H. Choi, G. N. Lim, and S. H. Kim, "A Study On the Position Control System of the Small ROV Using Sonar Sensors", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 6, pp. 579-589, 2008.
- [2] A. R. Hwang, and W. J. Seong, "Concurrent mapping and Localization for controlling the heading angle of SNUUV I in towing tank", Proceedings of the Annual Autumn Meeting of the Society of Naval Architects of Korea, pp. 431-437, 2004.
- [3] H. Beak, B. H. Jun, P. M. Lee and F.Y. Lee, "Coefficients Correction of the Numerical Method for

the ISimI 100 AUV Using the Zigzag Maneuvering Test Results", Journal of Ships & Ocean Engineering, Vol. 48, pp. 27-34, 2009.

- [4] K. H. Sohn, S. K. Lee and S. P. Ha, "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, 2006.
- [5] J. Y. Bae, and K. H. Sohn, "A Study on Manoeuvring Motion Characteristics of Manta-type Unmanned Undersea Vehicle" Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 46, No. 2, pp. 113-126, 2009.