



수중운동체 수상조건 조종성능 추정을 위한 자유항주모형시험

조성록[†] · 윤근항 · 이영준 · 박정홍
한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

Free Running Model Tests for Estimating the Maneuverability of Underwater Vehicles Under Surface Condition

Sungrok Cho[†] · Kunhang Yun · Yeongjun Lee · Jeonghong Park
Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

In this paper, free running model tests under surface condition were conducted on the BB2 submarine to estimate its maneuverability performance. The model ship used for the tests was constructed with a modular internal frame design. The internal frame modules can be rearranged and assembled as needed, allowing for adjustments in the model ship's weight distribution. The center of gravity and buoyancy of the model ship were calculated using 3D design tool to include the effects of water entry. The free running tests comprised turning, zigzag, and spiral tests. The results of each test showed that the BB2's hull possesses excellent maneuvering performance.

Keywords : BB2 Submarine(BB2 잠수함), Free running model test(자유항주모형시험), Maneuvering(조종)

1. 서론

잠수함, AUV, ROV와 같이 수중에서 작동하는 모든 운동체를 지칭하는 수중운동체는 수중 탐사, 자원 채취, 심해 작업, 해양 방위력 증강과 같은 이유로 그 활용도와 필요성이 점차 증가하는 추세에 있다. 수중운동체의 각종 임무를 성공적으로 완수하기 위해서는 속도와 운동 방향을 빠르게 전환하거나, 유지할 수 있는 우수한 조종성능이 뒷받침되어야 한다. 또한 무인화 추세 등에 따라 수동 조종 및 자동 제어 등이 용이한 조종성능을 가지도록 요구받고 있다. 따라서 수중운동체의 조종성능을 정확히 추정할 수 있는 기술은 수중운동체를 설계하고 그 성능을 평가하는 데 있어 꼭 필요한 핵심적인 기술 중 하나이다.

수중운동체의 조종성능을 추정하는 방법은 크게 수학적모형을 통한 조종운동 시뮬레이션을 이용하는 방법 (Feldman, 1979; Gertler and Hagen, 1967)과 조종 시나리오를 직접 적용한 자유항주시험으로 분류할 수 있다. 조종운동 시뮬레이션의 경우 CFD (Jang and Park, 2006), 평면운동장치(Planar Motion Mechanism, PMM)를 이용한 구속모형시험 (Kwon et al., 2022; Kim et al., 2012; Rhee et al., 2000), 회전팔 및 원추형 시험 (Park et al., 2015; Kim et al., 2000)등 다양한 방법을 통해 시뮬레이션 수학

모형에 필요한 각종 조종유체력 계수를 추정하는 선행연구가 수행된 바 있다.

자유항주모형시험의 경우 실제 해상 조건과 유사한 환경에서 다양한 조종 시나리오에 대한 시험을 통해 실제 수중운동체의 운용과 유사한 데이터를 획득할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 수중이라는 제한적인 실험 및 운용 환경과 시험 수행에 필요한 각종 기술개발의 어려움 때문에 수중운동체의 자유항주시험은 일부 선진국에서만 수행되었으며, 소수의 기관에서만 연구 및 시험 결과를 발표한 바 있다 (Overpelt et al., 2015; MARIN, 2024; SINTEF OCEAN, 2024).

국내에서는 국방과학연구소에서 수중함 자유항주모형을 개발하는 연구를 수행한 바 있으며 (Lee et al., 2023), 선박해양플랜트연구소에서도 독자적인 수중운동체의 자유항주 모형시험 기법을 확보하기 위한 연구를 수행하고 있다. 그중에서 본 논문은 선형이 공개된 BB2 선형을 대상으로 수상조건에 대한 자유항주모형시험의 준비 과정에 대해 다루었으며, 육지에서 수행된 수상조건 자유항주모형시험 결과를 먼저 공개하고자 한다. 한편, 본 연구에서 사용된 BB2 선형은 국방과학연구소에서 수행한 연구에서 사용된 선형과 동일한 선형이나 모형선 축척비, 밸러스트 시스템, 시험환경조건 등이 차이가 있다.

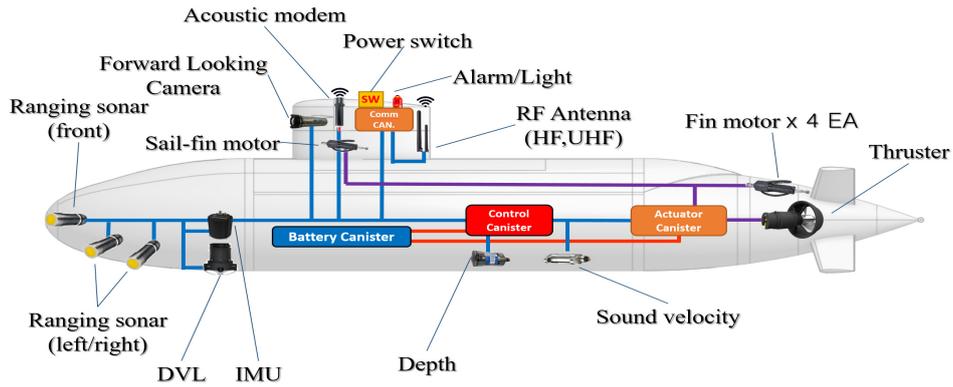


Fig. 1 Equipment installation design for free running model tests

2. 모형시험 준비

2.1 모형선 제작

수중운동체의 자유항주모형시험 시스템 개발을 위해 1/15 축척비의 BB2 잠수함을 대상선형으로 선정하여 모형선을 제작하였다. X타 형상의 BB2 잠수함 선형은 네덜란드 MARIN에 의해 주요 치수 등이 공개되었으며, 해당 선형을 통해 수행된 연구 결과가 다른 선형에 비해 비교적 많이 공개되어 있다.

모형선은 자유항주모형시험에 필요한 각종 장비가 설치되는 내부 프레임과 선형을 나타내는 외피로 구분되어 제작되었다. 내부 프레임은 장비별 기능에 따라 센서부, 제어부, 전원부, 추진부로 나누어 모듈 형식으로 제작하였으며 필요에 따라 각 모듈의 위치를 변경하여 조립이 가능하도록 설계하였다(Fig. 1). 이러한 모듈식 설계 구조를 통해 시험조건에 따라 무게중심 조정이 필요할 경우 효율적으로 모형선의 무게 분포를 변경할 수 있다. 각 모듈에 설치된 주요 장비들은 자유항주모형시험을 위해 요구되는 최대 운용 시간 및 최대 운용 수심과 같은 각종 설계 조건(Table 1)에 따라 선정되었으며, 선박해양플랜트연구소의 해양공학 수조를 활용한 선행연구(Cho et al., 2023)를 통해 각 장비들의 성능과 운용 안정성을 검증하였다.

2.2 시험조건

Fig. 2는 수중운동체의 수평면에 대한 좌표계를 그림으로 나타낸 것이다. 이때, 선미타각은 수중운동체를 우현 선회시키는 방향을 모두 양의 타각으로 정의하였으며, D0은 세일 상단이 물에 잠기는 깊이로서, 수심 방향을 양의 부호로 정의하였다. 수상조건에서의 심도는 세일 상단이 수면 밖으로 드러나고, D0이 -0.46m인 조건에 해당한다. 수상조건에 대한 모형선 제원을 Table 2에 정리하였다.

본 연구에서 수상조건에서의 자유항주모형시험을 위한 시험 시나리오는 Table 3과 같이 타각과 선속에 따른 선회시험, 지그재그 시험과 직진 안정성을 파악하기 위한 나선 시험으로 구성되었다. 이때 선속은 실선 속도를 기준으로 표기하였으며, 모형선 속도는 Froude 수 상사에 따라 적용되었다.

Table 1 Summary of design specifications

Design conditions	Details (model scale)
Maximum operating speed	3 knots
Maximum operating depth	30 m
Maximum operating time	6 hrs
Maximum rudder angular rate	21 deg/s
Maximum rudder angle	40 deg
Maximum thrust	15kgf
Maximum propeller rps	15 rps

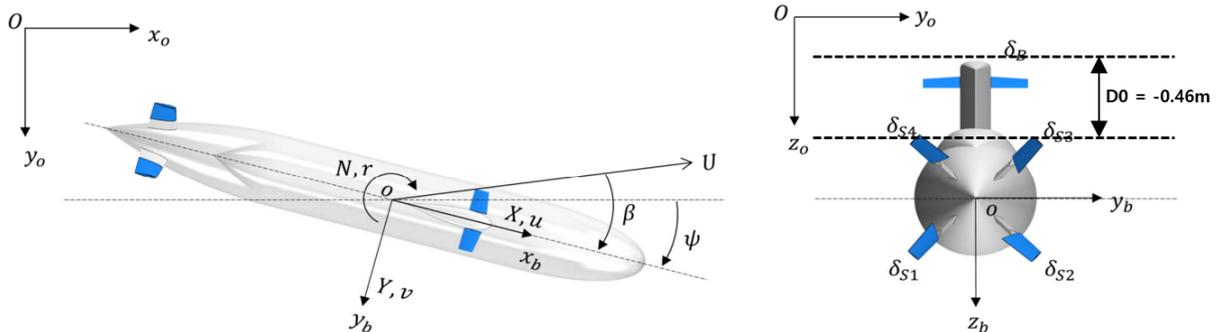


Fig. 2 Coordinate system and definition of motion (Kwon et al., 2022)

Table 2 Principal dimensions of BB2 (surface condition)

Quantity	Unit	Ship	Model
Hull			
Scale	-	1	1/15
LOA	m	70.200	4.680
B	m	9.600	0.640
D	m	10.600	0.707
D sail	m	16.200	1.080
D0	m	-6.900	-0.460
Displacement	m ³	4026.4	1.193
Propeller			
Diameter	m	5.000	0.333
Pitch ratio (0.7R)	-	0.966	
AE/A0	-	0.74	
Number of blade	-	6	
Location from nose		68.27	4.551

Table 3 Maneuver test scenarios for surface condition

Manoeuvres	Speed (kts)	Rudder angles (°)
Turn	12	± 35, 20, 10
	8	± 35
Zig-zag	12, 8	± 20/20, 10/10
Spiral	12	± 35, 20, 10, 5

2.3 모형선 시험준비

모형선을 Table 4와 같은 설계 조건에 맞추기 위해서는 수상 조건에 필요한 배수량을 만족하여야 한다. 이 과정에서 부력재와 내부 장비 모듈의 위치에 따른 모형선의 흘수, 무게중심, 부력중심의 변화를 반복적으로 검토하여 최적 배치안을 도출하여야 한다. 본 연구에서는 3D 설계 프로그램인 CATIA를 이용하여 모형선 및 탑재 장비를 3D 모델로 제작하고, 각 모델에 해당하는 실제 물성치를 입력하여 배치에 활용하였다. CATIA는 각 부품의 질량과 같은 물성치 정보가 있을 경우 전체 모형선의 높이방향 무게중심 VCG와 관성 모멘트 I_{xx} , I_{zz} 를 계산할 수 있다.

도출된 최적 배치안에 따라 조립이 완료된 모형선을 Fig. 3에 나타내었다. 조립 과정은 Fig. 4와 같이 1. 내부 프레임 및 장비, 2. 부력재, 3. 모형선 전체 순으로 진행되었으며, 각 단계별로 해당하는 물성치는 종합적으로 검증되었다. 한편, 자유항주모형시험용 모형선은 외피 내부에 물이 유입될 수 있는 빈 공간을 가질 수밖에 없는 구조이며, 이는 실제의 함과 그 형상이 다를 수 있다. 따라서 보다 정확하게 무게중심 및 무게 분포를 추정하기 위해서는 내부 빈 공간에 존재하는 물에 의한 영향을 반드시 고려해 주어야 한다.

Table 4는 높이방향 무게중심 VCG와 높이방향 부력중심의 VCB의 거리인 VGB, 관성 모멘트 I_{xx} , I_{zz} , 타각속도 $\dot{\delta}$ 를 계측하여 기존 설계 조건 및 CATIA에서 계산된 결과를 함께 정리한 것이다. 이때, VGB는 경사시험 및 횡동요 감쇠시험을 통해 추정되었으며, I_{xx} , I_{zz} 는 질량관성모멘트 시험으로 계측하였다.

Table 4 Design criteria for surface condition (model scale)

	VGB [m]	I_{xx}	I_{zz}	D0 [m]	$\dot{\delta}$ [°/s]
Design	0.0028	0.35B	0.25L	-0.46	27.54
Measure	0.0037	0.35B	0.25L	-0.46	14.58
3D model	0.0025	0.35B	0.24L	-0.46	-



Fig. 3 BB2 model for surface condition

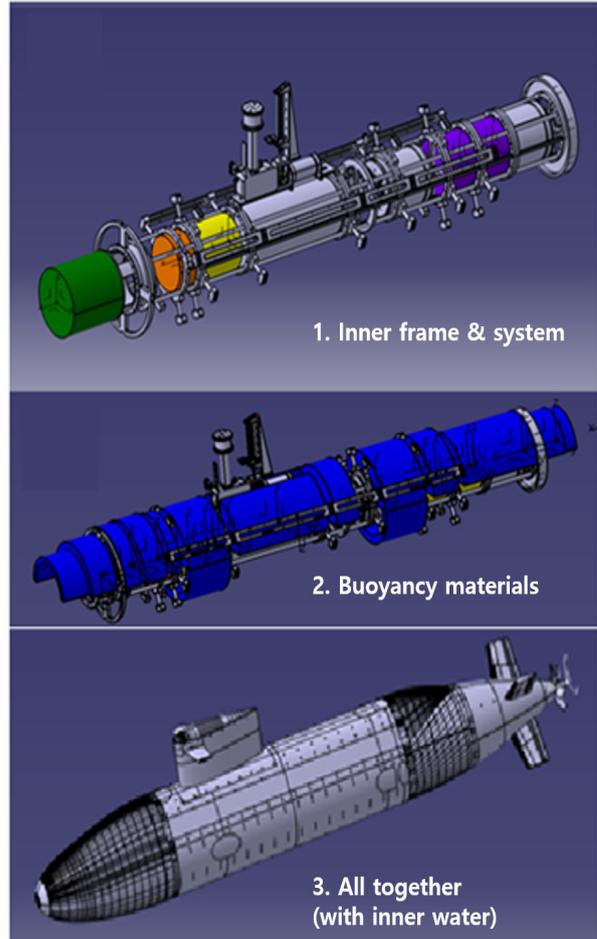


Fig. 4 Assembly sequence for model ship

Table 5 Turning indices at 12 knot

	PORT			STBD			MEAN		
	35	20	10	35	20	10	35	20	10
Turning angle (deg)	35	20	10	35	20	10	35	20	10
Advance (L)	3.18	4.0	6.15	3.16	4.28	6.20	3.17	4.14	6.17
Time to reach Ad (s)	14.32	17.96	27.76	14.24	17.64	26.76	14.28	17.80	27.26
Tactical diameter (L)	-4.14	-5.79	-9.72	4.12	5.69	9.84	4.13	5.74	9.78
Time to reach TD (s)	27.64	34.24	51.72	27.72	33.32	49.32	27.68	33.78	50.52
Maximum yaw rate (deg/s)	-8.66	-6.27	-4.04	8.90	6.78	4.13	8.78	6.53	4.08
Final yaw rate (deg/s)	-6.61	-5.36	-3.61	6.48	5.57	3.92	6.55	5.46	3.77
Maximum roll angle (deg)	11.97	9.56	4.76	-19.71	-17.65	-14.25	15.84	13.60	9.50
Final roll angle (deg)	2.07	3.02	2.19	-8.66	-10.59	-12.77	5.37	6.80	7.48
Final speed (Uf/Ui)	0.67	0.80	0.88	0.64	0.83	0.96	0.65	0.81	0.92

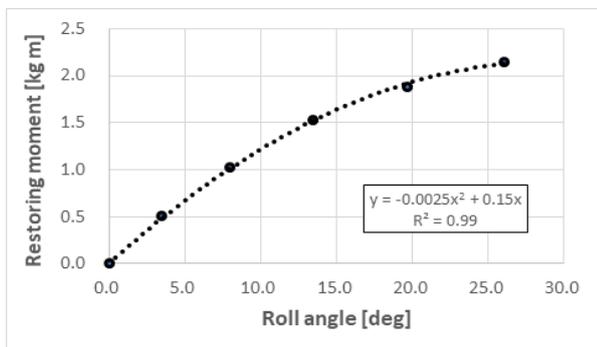


Fig. 5 Stability curve of BB2 model ship under surface condition

Table 4의 결과를 살펴보면 질량관성모멘트 및 심도의 경우 CATIA를 통해 계산된 결과와 계측 결과 모두 설계 조건과 유사한 것을 볼 수 있다. 그러나 VGB는 실제 계측 결과와 설계 조건에 오차가 발생하였는데, 이러한 오차가 발생하는 이유는 횡경사가 있을 때 앞서 언급한 내부 빈공간의 물 부피 변화에 따른 자유수면효과 때문인 것으로 판단된다. 따라서 모형선 내부형상 및 횡경사에 따른 내부 빈공간의 물 부피 변화로 인한 부력차이를 보완하고, 실제 함선과 비슷한 수상조건을 구현하기 위해서는 복원력 곡선을 계측하여, 이를 실제 함선의 복원력 곡선과 비교 및 활용해야 할 필요가 있다. Fig. 5는 모형선의 경사시험에서 횡경사에 변화를 주었을 때 경사각에 따라 계산된 복원 모멘트를 그래프로 나타낸 것이다.

3. 자유항주모형시험 결과

Figs. 6-7은 BB2의 수상조건 자유항주모형시험 결과 중 실선 속도 12노트에 대한 35° 선회시험 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 이때, 조종 시나리오가 시작되기 전(0초)의 초기 횡경사와 종경사는 프로펠러와 선체 복원력 등에 의해 발생한 모멘트 평형 상태에서 비롯된 것이다. 시험 결과를 살펴보면 전진거리(Advance, AD)의 경우 좌현 3.18L, 우현 3.16L로 계측되었으며 전술선회직경(Tactical Diameter, TD)의 경우 좌현 4.14L, 우현 4.12L로 계측되었다. IMO에서 일반적인 수상선에 요구하는 기준은 AD의 경우

Table 6 35° Turning indices at 8 knot

	PORT	STBD	MEAN
Advance (L)	2.94	2.82	2.88
Time to reach Ad (s)	19.36	19.44	19.40
Tactical diameter (L)	-4.06	3.95	4.01
Time to reach TD (s)	38.16	38.88	38.52
Maximum yaw rate (deg/s)	-5.78	5.78	5.78
Final yaw rate (deg/s)	-4.61	4.65	4.63
Maximum roll angle (deg)	2.52	-6.12	4.32
Final roll angle (deg)	0.47	-4.15	2.31
Final speed (Uf/Ui)	0.70	0.66	0.68

4.5L 이하, TD의 경우 5L 이하이므로, 계측된 결과는 BB2의 선회 성능이 IMO 수상선 기준을 만족하고 있음을 보여준다. 계측된 종경사를 살펴보면 시나리오 초기 직진구간에서 선수가 아래로 향하는 현상이 관측되었는데, 이는 구속모형시험을 통한 선행연구 (Kwon et al., 2022)에서 함체가 수면에 가까워질수록 종동요 모멘트가 음의 방향으로 증가하는 현상과 일치한다.

한편, 선회 초기에 좌, 우현 선회에서 모두 큰 내방경사가 발생하는 것을 볼 수 있는데 이는 2.3에서 언급한 자유수면 효과에 의한 것으로 추정된다. 초기 횡경사 및 최대 횡경사는 복원력에 큰 영향을 받는 요소이므로 이러한 결과는 자유수면효과의 추가적인 고려가 필요하다는 것을 시사한다. Table 5는 실선 속도 12노트에 대한 35°, 20°, 10° 선회시험의 결과를 정리한 것이고, Table 6은 실선 속도 8노트에 대한 35° 선회시험의 결과를 정리한 것이다. 이들 결과를 살펴보면 보면 실선 속도 12노트일 때 타각이 작아질수록 AD, TD 모두가 커지는 것을 확인할 수 있으며 선속이 8노트로 줄어든 경우에도 AD, TD가 커지는 결과를 확인할 수 있다. 최대로 발생한 횡경사는 8노트일 때 비해 12노트일 때 큰 각이 계측되었는데 이는 속도에 따른 타력의 영향과 시나리오 초기에 발생하는 자유수면효과의 영향이 반영된 것으로 볼 수 있다.

Figs. 8-11과 Table 7에 실선 속도 12노트에 대한 10/10, 20/20 지그재그 시험 결과를 정리하였다. 결과를 살펴보면 10/10 지그재그 시험의 경우 첫 번째 오버슈트각(Overshoot Angle, OA)은 좌, 우현 평균 6.25°가 계측되었음을 볼 수 있다.

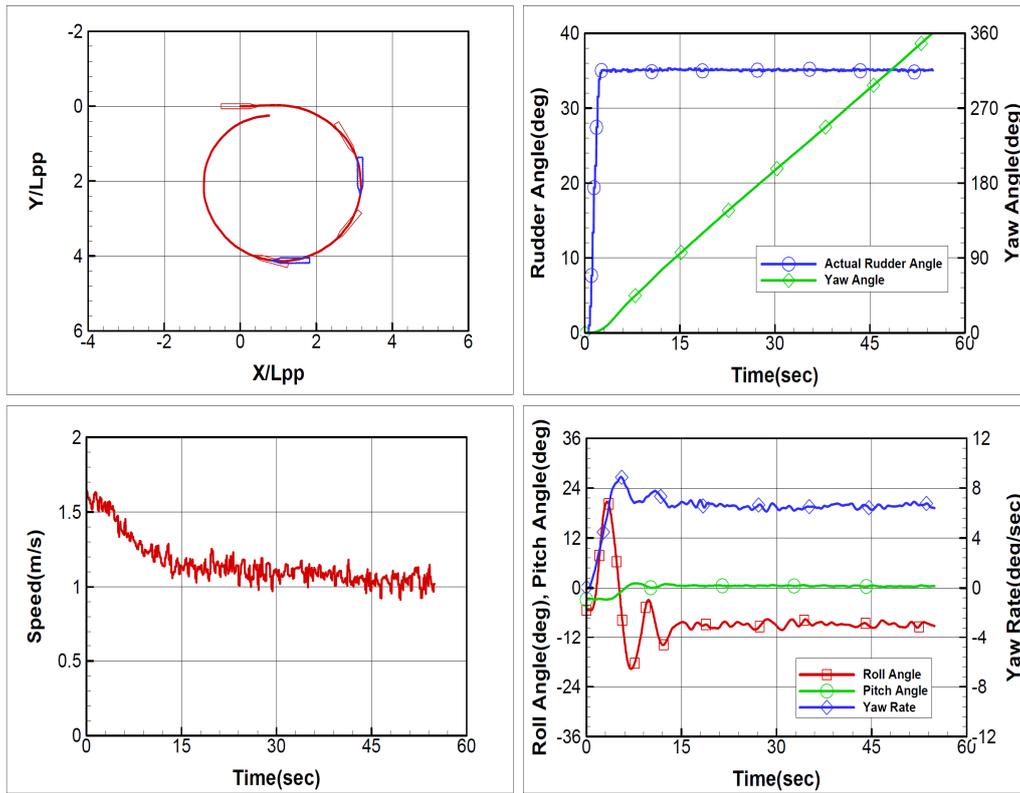


Fig. 6 Turning test at 12 knot (starboard)

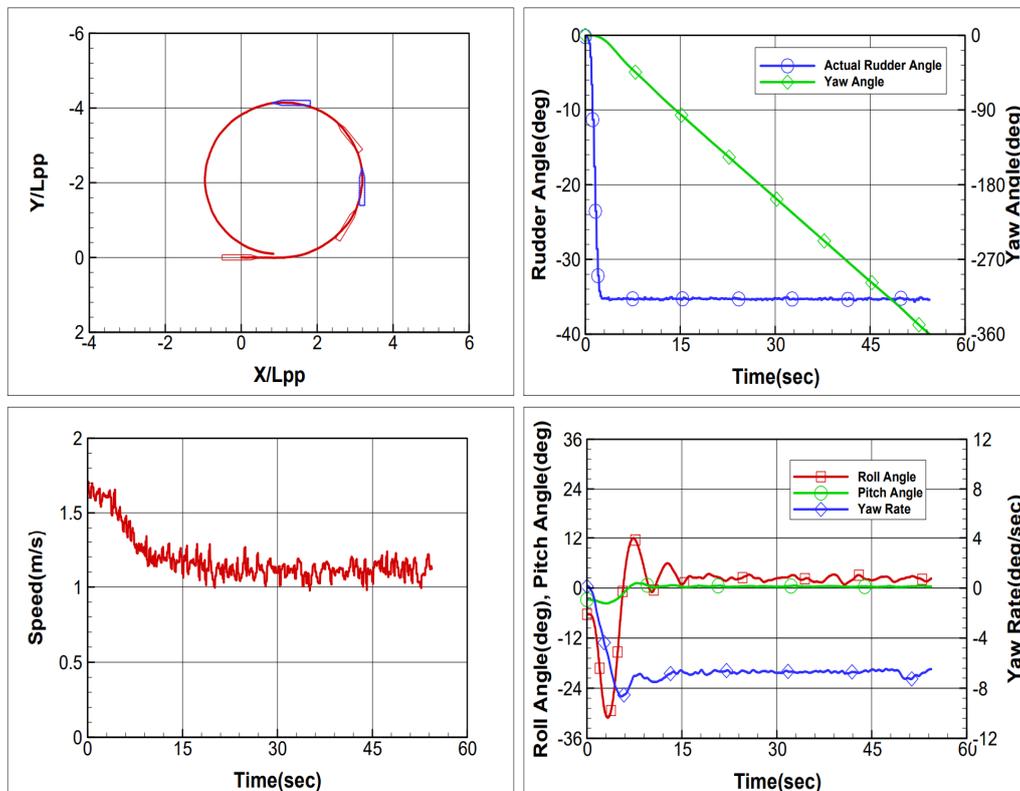


Fig. 7 Turning test at 12 knot (port)

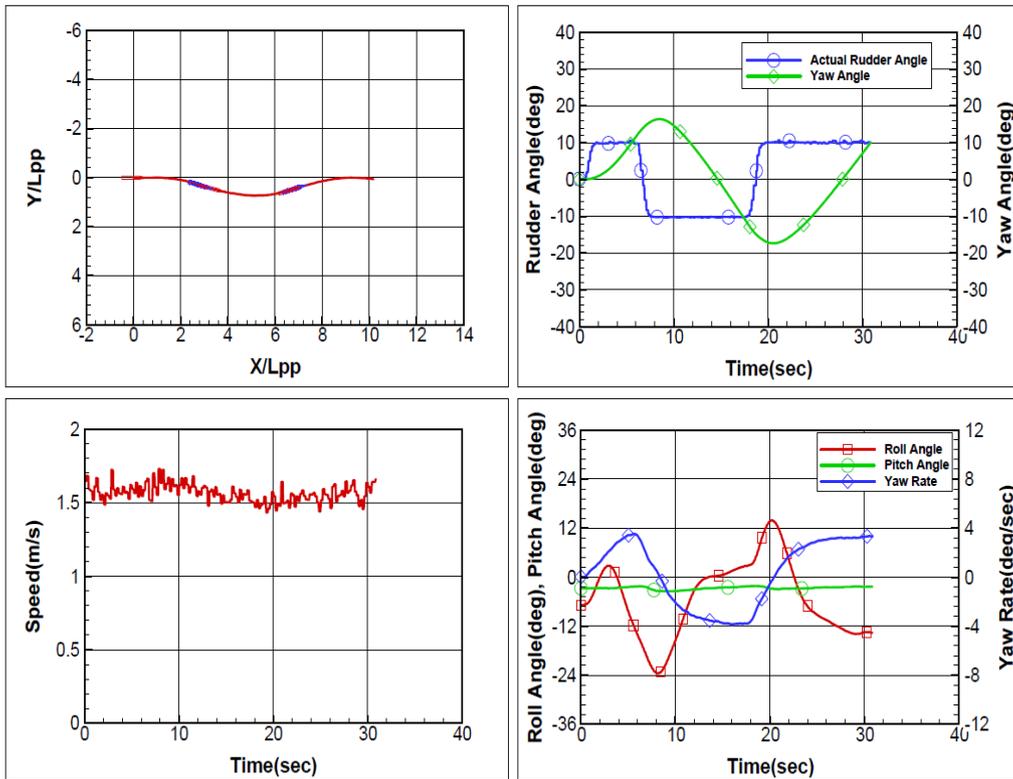


Fig. 8 10/10 Zigzag test at 12 knot (starboard)

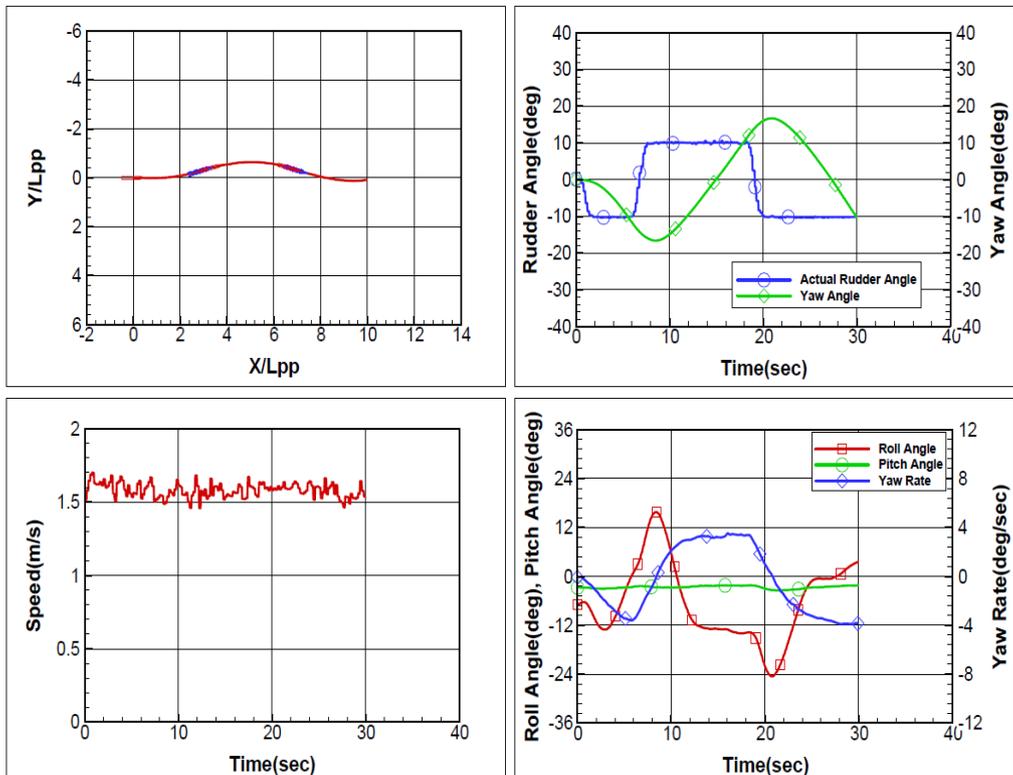


Fig. 9 10/10 Zigzag test at 12 knot (port)

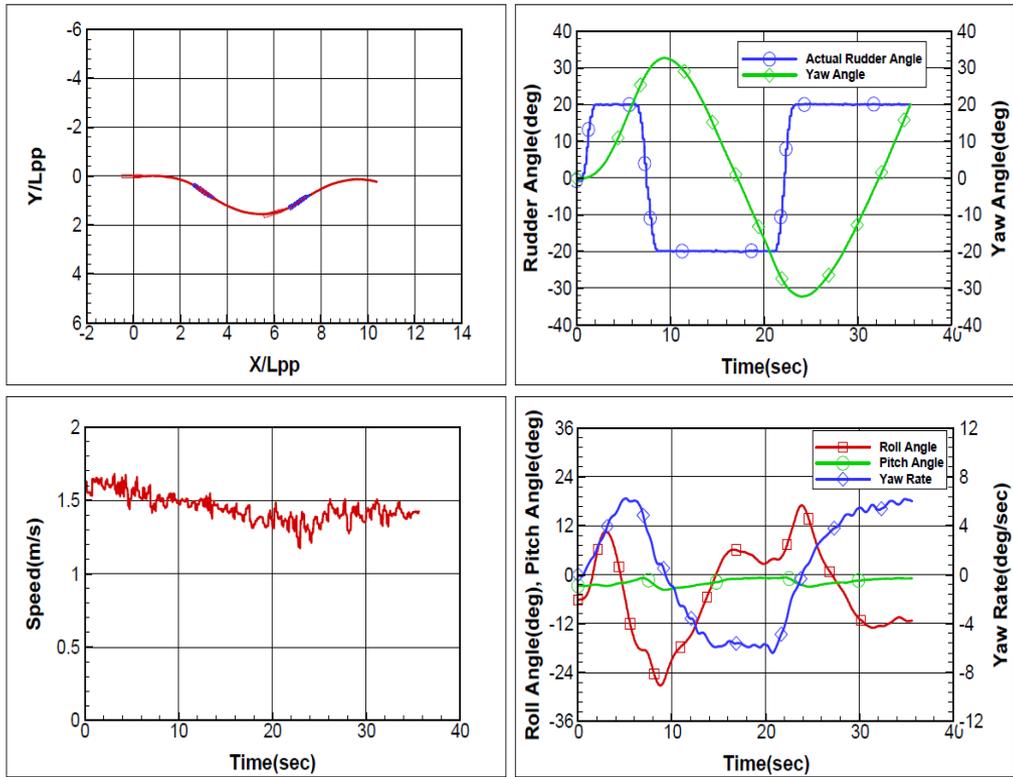


Fig. 10 20/20 Zigzag test at 12 knot (starboard)

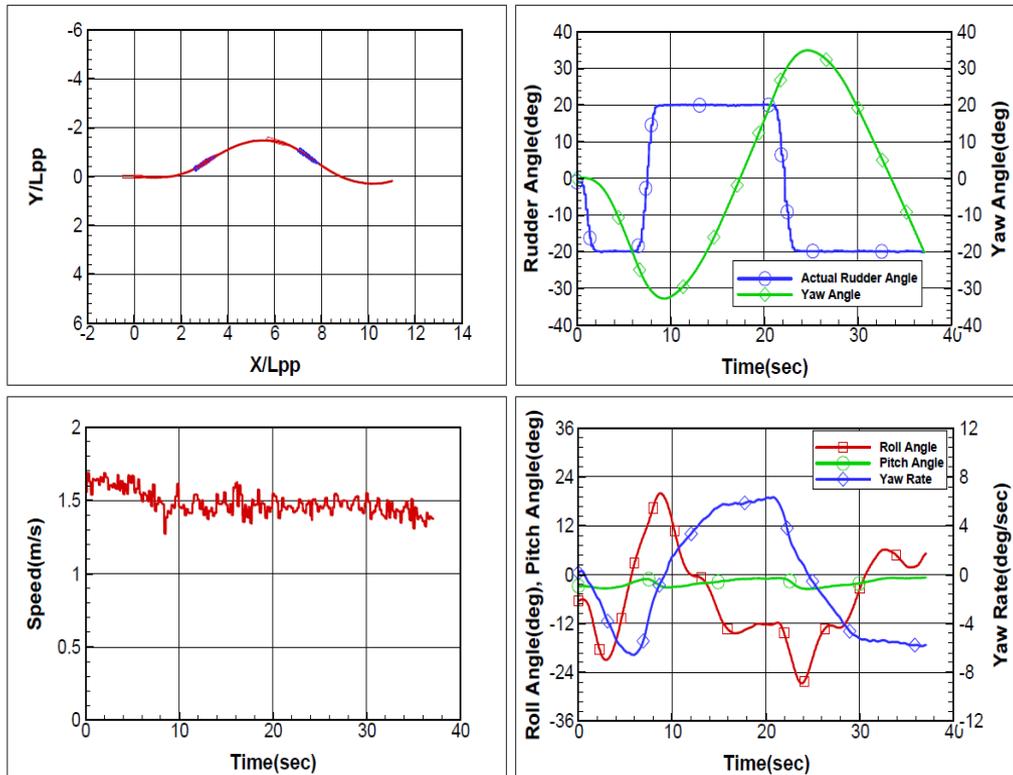


Fig. 11 20/20 Zigzag test at 12 knot (port)

Table 7 Zigzag indices at 12 knot

	PORT		STBD		MEAN	
	10/10	20/20	10/10	20/20	10/10	20/20
Zigzag angle (deg)	10/10	20/20	10/10	20/20	10/10	20/20
First OA (deg)	6.63	12.79	6.42	12.74	6.52	12.77
Time to reach first OA (s)	8.52	9.40	8.48	9.40	8.50	9.40
Second OA (deg)	6.74	14.97	7.34	12.31	7.04	13.64
Time to reach second OA (s)	20.92	24.64	20.64	24.04	20.78	24.34

Table 8 Zigzag indices at 8 knot

	PORT		STBD		MEAN	
	10/10	20/20	10/10	20/20	10/10	20/20
Zigzag angle (deg)	10/10	20/20	10/10	20/20	10/10	20/20
First OA (deg)	3.84	8.32	4.58	9.37	4.21	8.85
Time to reach first OA (s)	10.60	11.76	10.40	11.36	10.50	11.56
Second OA (deg)	4.77	9.72	4.55	9.25	4.66	9.48
Time to reach second OA (s)	26.32	30.12	27.88	30.64	27.10	30.38

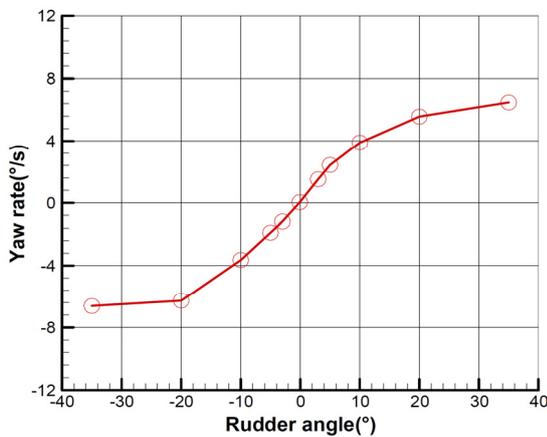


Fig. 12 Spiral test at 12 knot

IMO는 수상선의 10/10 지그재그 시험의 경우 속장비(L/V)가 10s 미만일 때 첫 번째 OA가 10° 이내로 계속되어야 한다고 규정하고 있으므로 본 시험 결과는 BB2 선형이 IMO 수상선 기준을 만족하고 있음을 보여준다. 두 번째 OA 경우 계속된 각도는 좌, 우편 평균 7.04°로 IMO 수상선 규정인 25°에 비해 매우 작은 값이 계속되었다. 20/20 지그재그 시험의 경우에는 첫 번째 OA에서 평균 12.77도가 계속된 것을 볼 수 있으며 이는 IMO에서 수상선의 20/20 지그재그 시험에 대한 기준인 25°에 비해 작은 각도이다.

Table 8은 실선 속도 8노트에 대한 지그재그 시험 결과를 정리한 것이다. 선회시험결과에서 속도가 작아짐에 따라 동일타각에도 선수동요각속도가 작아지는 것을 볼 때, 이를 지그재그 시험에 적용해 보면 12노트에 비해 작은 OA가 계속된 것을 볼 수 있으며, 첫 번째, 두 번째 OA에 도달하는 시간 또한 모두 늘어난 것을 확인할 수 있다.

BB2 수상조건에 대해 직진 안정성을 정량적으로 계속하기 위해 나선시험을 수행하였다. Fig. 12는 실선 속도 12노트에 대해 나선시험을 수행한 결과를 그래프로 나타낸 것으로 이를 살펴보면 단일 곡선 형태인 것을 볼 수 있으며 이러한 결과는 BB2 선형의 직진 성능이 안정적임을 보여준다.

4. 결론

본 논문에서는 수중운동체의 조종성능을 추정하기 위하여 선형이 공개된 BB2 잠수함을 대상으로 수상조건 자유항주모형시험을 수행하였다. 일반 수상선의 자유항주모형시험과 달리 수중운동체의 수상조건 자유항주모형시험은 모형선의 시험 및 설계 조건(무게 및 부력 조건)을 만족시키기 위한 작업절차가 복잡하다. 이를 위해 본 연구에서는 모듈식 설계, 3D 설계/검증 도구 등을 적용하여 최적 배치안 도출에 활용하였으며, 그 절차를 정립하였다.

수상조건 자유항주모형시험 시나리오는 선회시험, 지그재그시험, 나선시험으로 구성하였다. 선회시험 시 시나리오 초기에 내방경사가 크게 발생하는 것을 볼 수 있었으나 이는 자유수면효과인 것으로 추정되며 선회반경 및 전술회전반경 모두 준수한 성능임을 확인할 수 있었다. 지그재그 시험의 경우 20/20 시험에서는 첫 번째 OA가 좌편 우편 10도 미만으로 IMO의 수상선 기준인 25도에 비해 매우 작은 각도로 계속되었으며, 10/10 시험인 경우에도 첫 번째 OA, 두 번째 OA 모두 IMO 기준에 비해 매우 작은 각도가 계속되었다. 또한 직진 안정성을 정량적으로 측정하기 위해 수행한 나선시험에서도 준수한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구 결과는 향후 구속모형시험을 통한 시뮬레이션 결과 검증과 CFD 해석 결과 검증에 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 후속 연구 사항으로는 동일한 모형선에 대하여 스노클 조건, 수중 조건에 대한 자유항주모형시험을 수행할 예정이며 수평 운동뿐만이 아닌 심도 제어 등 수직 방향의 운동에 대한 시험을 추가할 예정이다.

후기

본 연구는 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소의 주요연구사업 “수중운동체 운항성능 통합 추정 기술개발

(5/5)[PES5070]”의 연구 결과 중 일부임을 밝히며, 자유항주모형시험에 사용된 BB2 잠수함의 선형은 네덜란드 MARIN에서 제공한 것임을 밝힌다.

References

- Cho, S., Yun, K.H., Lee, Y.J., Park, J.H., Choi, J., 2023. A study on the free running model test method for BB2 submarine. *Proceedings of the Advanced Model Measurement Technology for the Maritime Industry*, Istanbul, Turkey, 2023.
- Gertler, M. and Hagen, G.R., 1967 Standard equation of motion for submarine simulation. *NSRDC-Report SR 00901 01*, Task 0102.
- Feldman, J., 1979. *DTNSRDC revised standard submarine equations of motion*, Report DTNSRDC/SPD-0393-09.
- Jang, J.H. and Park, W.G., 2006. The variation of flow field and hydrodynamic coefficients of submarine by changes of angle of attack and yaw angle. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 43(4), pp.460-466.
- Kim, S.Y., Yang, H.J., Kim, J.W., Hong, S.W., Kang, J.S. and Jun, T.B., 2000. A description of KRISO rotating arm system. *Journal of Ship and Ocean Engineering*, 29, pp.155-160.
- Kim, Y.G., Yun, K.H., Kim, S.Y. and Kim, D.J., 2012. Captive model test of submerged body using CPMC. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 49(4), pp.296-303.
- Kwon, C.S., Kim, D.J., Yun, K.H. and Kim, Y.G., 2022, A captive model test on hydrodynamic force and neutral level flight of BB2 submarine in straight operation at near free surface with different depths. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 59(5), pp.287-294.
- Kwon, C.S., Kim, D.J., Lee, Y.Y., Kim, Y.G., Yun, K.H. and Cho, S., 2022, Prediction of maneuverability of a submarine at surface condition by captive model test, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 59(6), pp.423-431.
- Lee, J., Kim, S., Shin, J., Ahn, J., 2023, Submarine free running model development and basic performance analysis. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 60(4), pp.256-265.
- MARIN, <https://www.marin.nl/en/markets/defence/naval-subsurface-vessel-hydrodynamic-design-services>. [Accessed June 1, 2024].
- Overpelt, B., Nienhuis, B. and Anderson, B., 2016. Free running manoeuvring model tests on a modern generic SSK class submarine (BB2). In *Pacific International Maritime Conference*, pp.1-14.
- Park, J.Y., Kim, N., Rhee, K.P., Yoon, H.K. and Kim, C., 2015. Study on coning motion test for submerged body. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 29(6), pp.436-444.
- Rhee, K.P., Yoon, H.K., Sung, J.J., Kim, S.H. and Kang, J.N., 2000. An experimental study on hydrodynamic coefficients of submerged body using planar motion mechanism and coning motion device. *International Workshop on Ship Maneuverability*, pp.1-20.
- SINTEF OCEAN, <https://www.sintef.no/en/all-laboratories/towing-tanks>. [Accessed June 1, 2024].

