

어선용 하이브리드 추진시스템에 관한 연구

오진석† · 조관준* · 박충환** · 함연재*** · 곽준호* · 이지영****

(원고접수일 : 2008년 4월 24일, 심사완료일 : 2008년 7월 9일)

A Study on the Hybrid Propulsion System for Fishing Boat

Jin-Seok Oh† · Kwan-Jun Jo* · Choung-Hwan Park** · Youn-Jae Ham***
· Kwak-Jun Ho* · Ji-Young Lee****

Abstract : The electric propulsion system is closely related with the economical efficiency of ship operation. Fuel efficiency is mainly decided by propulsion system such as diesel engine, propulsion motor and steam turbine. The hybrid propulsion system for fishing boat consists of diesel engine and battery as propulsion power source. This paper is to design battery capacity according to power consumption with ship operation condition, and to test the power consumption of model ship in the circulating water channel. As a result, it can be known that the optimum ship operation condition affects the fuel efficiency.

Key words : Hybrid propulsion system(하이브리드 추진 시스템), Battery(축전지), Fishing boat (어선), Fuel efficiency(연비), Power consumption(전력 소모)

1. 서 론

최근의 고유가 상황은 중장기적으로 지속될 것으로 전망되고 있다. 유가의 상승으로 인하여 유류 의존도가 높은 수산업의 경제성이 감소하고 있다. 현재 문제를 해결하기 위한 대안으로 에너지 절약 정책을 수행하며 어선의 연료비 절감 방안을 강구하고 있으나 소형어선에는 적용되기 어려운 실정이다.

어선은 일반적인 상선과 다르게 정속 운전의 비율이 낮고 임의로 운전하게 되기 때문에 프로펠러의 효율을 향상하여 운항비 절감에는 한계가 있다. 또한 디젤 엔진을 사용하는 일반적인 어선의 경우, 저속운항이 많기 때문에 디젤엔진의 효율이 낮고 연료소비율이 큰 한계를 갖는다. 그러므로 디젤엔진 기반의 추진 시스템에서는 더 이상의 에너지 효율의 증가가 어렵다⁽¹⁾⁻⁽²⁾.

어선의 연료비를 절감하기 위해 본 논문에서는 하이브리드 형태의 전기 추진 시스템을 연구하고자

† 교신저자(한국해양대학교 선박전자계공학부, E-mail: ojs@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4866)

* 수중운동체 특화 연구 센터

** 중소조선 연구소

*** 동원 씨스텍

**** 영국 카디프대학

한다. 하이브리드 전기 추진 시스템은 발전기와 축전지의 두 개의 전력원을 활용하여 추진하는 시스템이다. 고속으로 운전하는 경우에는 발전기 전원을 이용하면서 축전지를 충전하고 저속으로 운전하는 경우에 있어서는 축전지 전원을 이용하여 추진하는 시스템이다. 저속으로 운전하는 경우는 대부분 어군의 탐지 및 어획을 목적으로 하는 경우이다.

하이브리드 전기 추진 시스템에서 가장 중요한 요소는 어선에서의 축전지 용량 산정과 어선에서의 저속 구간의 범위이다. 축전지 용량은 어선의 조업 시간과 어선에서 소비되는 전력량 등을 바탕으로 하여 그 용량을 산정한다. 저속구간 설정은 어선의 선형, 프로펠러의 특징 및 속도에 따른 소비 전력량을 비교하여 그 구간을 선정한다.

본 논문은 우리나라 연근해 어업의 대표업종 중의 하나인 선망 어업의 어선을 대상으로 하여 모형 어선의 소비 동력과 속도에 따른 전력 소비량을 측정하였다. 이를 통하여 앞으로 하이브리드 추진 시스템의 저속구간과 축전지 용량의 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 하이브리드 전기추진 시스템

2.1 구성

그림 1은 하이브리드 전기 추진 시스템의 시스템 계통도를 나타낸 것이다. 하이브리드 전기 추진 시스템은 일반적인 전기추진 시스템과 달리 전원으로 발전기와 축전지를 선택하여 사용할 수 있는 시스템이다.

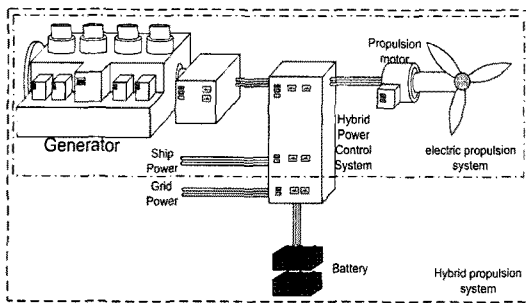


Fig. 1 Diagram of hybrid propulsion system

어선의 경우 항구에서 조업 장소까지 운항하는 경우에는 고속으로 이동한다. 하지만 조업 지점에서 어군을 탐지 하거나 또는 어획작업을 수행 할 때에는 저속으로 운항하게 된다. 하이브리드 전기 추진 시스템은 고속으로 운항 할 때에는 발전기를 이용하여 추진 전동기를 구동하고 저속으로 운항 시에는 축전지를 이용하여 전동기를 구동하는 시스템이다. 저속 추진 시에 축전지만을 이용함으로써 저소음화를 할 수 있는 장점을 갖는다⁽³⁾.

2.2 축전지 추진 속도 구간 설정

선박의 주기관에서 소모되는 에너지량(연료 소비량 :Q)은 선박의 전저항(R), 속력(V), 배수량(D) 등에 영향을 받는다. 통상의 속력에서 선박의 전저항은 식 1과 같은 형태이다.

$$R \propto V^2 \times D^{\frac{2}{3}} \tag{1}$$

선박의 마력(PS)은 전저항과 속도의 곱에 비례하므로 식(1)을 마력에 관하여 정리하면 식(2)와 같다.

$$PS \propto V^3 \times D^{\frac{2}{3}} \tag{2}$$

마력과 에너지 소비량은 비례하므로 배수량이 일정할 경우 연료 소비량은 속력의 3승에 비례한다. 이를 수식으로 나타내면 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q \propto PS \propto V^3 \tag{3}$$

식(3)에서 Fixed propeller를 장착하고 배수량(선체 저항)이 일정한 경우 속력과 회전수(N)는 비례하므로 식(4)와 같이 정리 할 수 있다. 이때 K_1 은 회전수에 따른 엔진 출력이다.

$$PS = K_1 \times N^3 \tag{4}$$

식(3)과 (4)를 통하여 에너지 소비량은 엔진의 회전속도와 선박 속도의 3승에 비례한다는 것을 알

수 있다.

그러므로 선박의 에너지 소비율은 3층 곡선과 유사할 것이다. 그러므로 급격하게 에너지 소비율이 상승하는 지점까지의 속도를 모형 선박 실험을 통하여 측정하여 축전기 전원을 이용하여 추진하는 속도 구간을 설정하고자 한다.

3. 실험시스템 구성

3.1 모형 선박

대상 선형은 선망어업을 주로 하는 선박으로 기존 선의 129톤형을 크게 상회한 240톤급 만재상태를 대상으로 하였다.

총톤수 240톤급 선망 단선의 모형선은 마티카 +FRP재료로 제작 되었다. 모형선은 축적비 1/30이며, 주요 제원은 표 1과 같다. 또한 실제 선박의 운항 상태와 유사한 선체 주위의 난류 운동을 재현하기 위해서 각 모형선의 스테이션에 직경 1.6mm, 높이 2mm의 난류축진용 못을 10mm 간격으로 설치하였다.

Table 1 Dimension of single fleet purse seiner

Particulars	Full load		Sea trial		
	Ship	Model	Ship	Model	
LBP(m)	45.00	1.500	45.0	1.500	
LWL(m)	50.48	1.683	52.07	1.736	
B (m)	10.00	0.333	10.00	0.333	
D (m)	4.30	0.140	4.30	0.140	
d(m)	df	3.40	0.113	2.10	0.070
	da	3.40	0.113	3.20	0.107
S (m ²)	634.6	0.705	542.10	0.602	
▽(m ³)	830.0	0.0307	561.40	.0208	

모형 선박에 사용된 재고 프로펠러는 선망단선의 기관사양 출력 및 회전수에 적합한 것으로 프로펠러 설치 부분을 고려하여 선정하였다. 표 2는 재고 프로펠러의 주요 제원을 나타내었다.

Table 2 Dimension of propeller

Particulars (Scale:1/30)	Ship	Model
Diameter (mm)	3200	106.67
Propeller pitch ratio, mean	0.954	
Expanded blade area ratio	0.581	
Boss-Diameter ratio	0.180	
Propeller type	FPP-MAU	

3.2 회류 수조

실험에 사용된 회류 수조의 형상은 그림 2와 같고 주요 사양은 표 3과 같다^[4)-(8)].

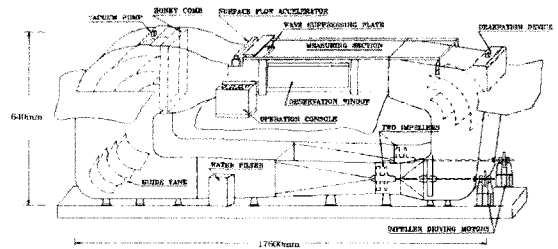


Fig. 2 Arrangement plan of circulating water channel

회류 수조 실험 장비는 어선을 실험 위치에 고정하고 유속을 변화시키면서 배가 받는 힘을 측정할 수 있다. 이때 선박이 추진을 하게 되면 배가 유속에 의해 받는 힘을 밀고 나가게 된다. 유속 방향으로의 힘이 zero가 될 때, 유속이 선박의 프로펠러에 의해 추진 하는 속도가 된다.

Table 3 Dimension of circulating water channel

Type	2 Impeller, vertical type
L×B×D(whole body)	17.6m×3.1m×6.4m
L×B×D(whole body)	6.0m×2.0m×1.55m
Water capacity	abt, 90 ton
Velocity range	0.1~3.0m/sec

3.3 모형 추진 시스템

모형 하이브리드 전기 추진 시스템은 하이브리드 전기 추진 시스템 부분과 선박의 특성을 측정하기 위한 부분으로 구분된다. 그림 3은 하이브리드 전기 추진 실험 장치를 나타낸 것이다.

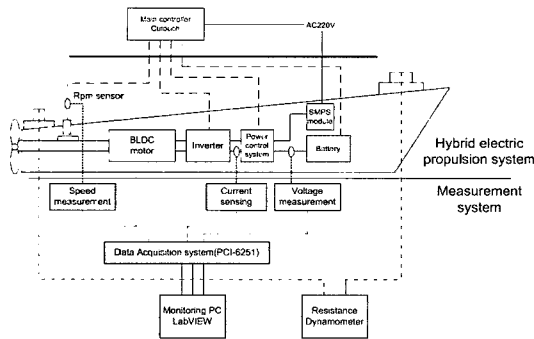


Fig. 3 Experiment system for hybrid propulsion system

하이브리드 전기 추진 시스템은 기본적으로 축전지와 발전기를 이용한 두 개의 전원을 선택하여 사용할 수 있도록 구성되어 있다. 공간적 이유로 인하여 모형 선박에 발전기를 인가 할 수 없기 때문에 발전기를 대신하여 SMPS모듈을 설치하였다. 그 외의 전력 제어 시스템과 인버터 시스템은 기존의 시스템을 축소한 형태로 구성 하였다. 추진 전동기로는 BLDC 전동기를 사용 하였다.주 제어기(Main controller Cutouch)는 모형 선박에 설치하지 않고 선박에서 떨어진 곳에 설치할 수 있도록 하여, 수조 시험에 용이하게 적용할 수 있도록 구성하였다.

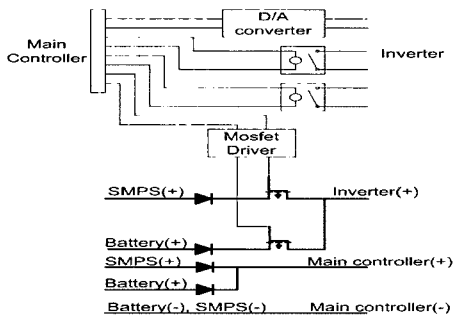


Fig. 4 Power system of experiment ship

그림 4는 전력계통을 나타낸 것이다. 모형 선박의 구조적인 공간 특성을 고려하여 최대한 작게 구성하였다.

주 제어기의 전력은 SMPS와 축전지를 병렬로 사용할 수 있으며, SMPS와 축전지 전원 중 높은 전원을 사용하며, 동시에 역전류 방지 기능을 갖추고 있다. 인버터의 전력 공급은 주 제어기의 스위칭을 통하여 공급할 수 있도록 구성하였다. 또한 전력 제어 시스템에서 주 제어기의 신호(TTL)는 인버터를 제어 할 수 있는 아날로그신호 및 접점 신호로 변환할 수 있도록 구성하였다.

실험용 측정 시스템은 선속에 따른 저항 특성을 측정 할 수 있는 RDS(Resistance Dynamometer System)과 DAS(Data Acquisition System)로 구성된다.

RDS는 선박이 앞으로 밀리는 힘 또는 선박의 트림을 측정하는 시스템이며, 선박을 회류 수조의 중앙에 고정시키고 선박의 추진력과 회류 수조에 의한 선박 저항력에 의하여 추진속도에 따른 선박의 선속을 측정할 수 있는 시스템이다. 회류 수조의 유속에 따른 저항력과 선박의 추진력이 같게 되는 시점이 선박이 실제로 회류 수조 유속만큼의 속도로 운항하는 것이다. RDS는 회류 수조 유속에 따른 선박 저항력을 계산하여 선박운항속도를 측정한다.

DAS는 컴퓨터 기반의 계측 시스템이다. 그러므로 실시간으로 계측한 Data를 저장하고 그 값을 모니터에서 직접확인할 수 있는 장점을 가지고 있다. DAS 시스템을 이용하여 하이브리드 전력 시스템의 축전지 전압, 추진에 소모되는 전력량, 현재 속도 등을 동시에 실시간으로 측정하여 저장한다.

표 4는 실험용 하이브리드 추진 선박의 주요 제원을 나타낸 것이다. 추진 전동기는 BLDC 전동기를 사용하였고 전동기의 사양에 따라 각 인버터와 SMPS 스위칭 모듈과 축전지 등을 선택하였다.

Table 4 Characteristic of hybrid propulsion ship

Propulsion motor	12V 80W BLDC
Inverter	12V 25A 3phase PWM
SMPS	145W 12V
Switching module	IRFP250 33A
Battery	12V 4Ah * 2

4. 실험 결과

4.1 하이브리드 모형 선박



Fig. 5 Photograph of experiment system

그림 5는 하이브리드 전기 추진 실험 장치의 사진을 나타낸 것이다. 좌측은 전체 시스템을 나타낸 것이고 우측은 전력 제어 시스템을 나타낸 것이다. 선수 쪽에 축전지를 설치하였고 선박 중앙에 추진 전동기 및 축계 측정 시스템을 설치하였다. 전력 제어 시스템은 선미 쪽에 설치하였다. 전력 제어 시스템에는 DAS 시스템에 연결될 수 있도록 각 측정 센서를 설치하였다. 전류의 측정은 Shut를 이용하여 전압으로 변경하여 측정 하였다.

그림 6은 모형 선박의 실험 시스템을 나타낸 것이다. 모형선의 선수와 선미 부분 그리고 선박의 중앙에 RDS시스템의 측정 장비를 설치하였다. 회류 수조의 유속과 선박의 추진력에 의해 발생하는 힘이 zero가 되는 자항점을 찾기 위한 실험을 수행하였다.

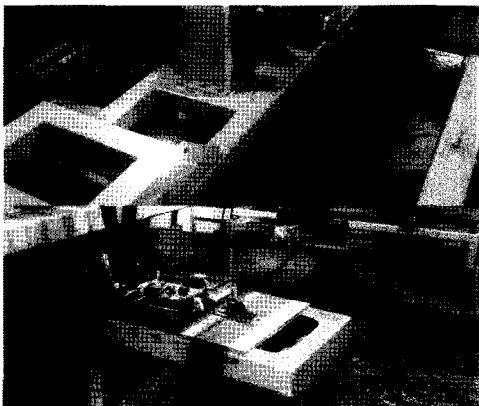


Fig. 6 Photograph of experimental system for hybrid propulsion ship

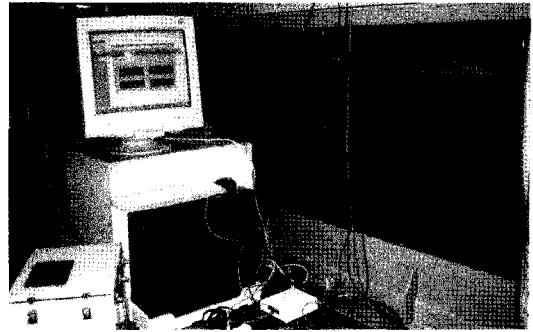


Fig. 7 Photograph of data acquisition system and experiment ship

그림 7은 DAS시스템과 실험선을 나타낸 것이다. 실험선에서 측정 시스템과 실험 선박의 주 제어기를 나타내고 있다. PC를 이용하여 실시간으로 Data를 수집할 수 있도록 구성하였다. 또한 주 제어기의 제어결과를 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 구성하였다.

4.2 선박 소비 전력 및 축전지 변화량

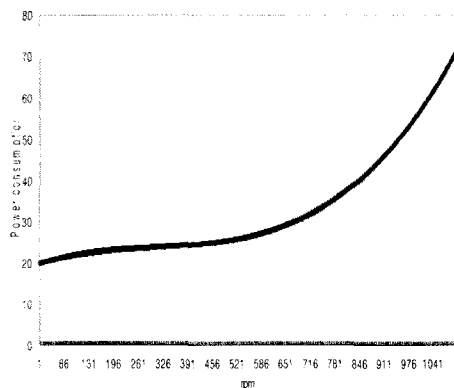


Fig. 8 Waveform of power consumption with rpm

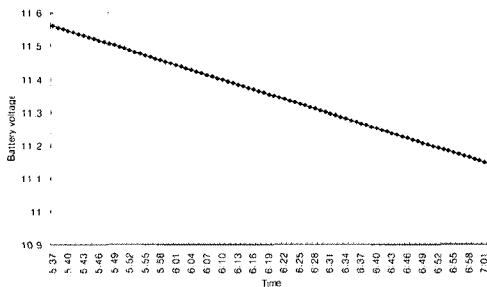
그림 8은 선박의 추진 속도의 변화에 따른 소비 전력을 나타낸 것이다. 저속 3-7 knot에서 비슷한 전력을 소모하다가 속도가 증가할수록 많은 전력을 소모 하는 것을 알 수 있다. 15 knot 및 7 knot 운항을 비교한 경우 전력 소비량이 40%인 것을 알 수 있다.

Table 5는 축적비를 고려하였을 때의 실제 선박의 속도와 동력 소비량을 나타낸 것이다.

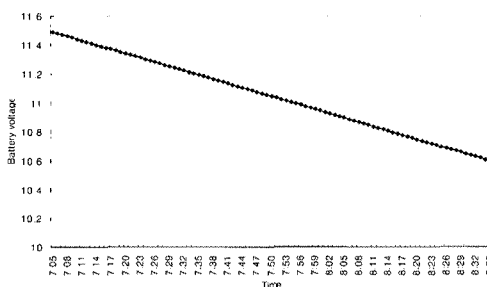
Table 5 Power consumption with real ship speed

Real ship speed (knot)	Real ship Power consumption (kW)	Model ship speed (knot)	Model ship motor speed (rpm)
3.3	584.28	0.31	70
5	631.18	0.47	228
7	661.5	0.657	420
15	1620	1.409	1030

7 knot 이내에서의 전력 소비량의 큰 차이가 없고 7 knot 이상부터 급격하게 전력 소비량이 증가함을 알 수 있다. 그러므로 추진 시스템의 축전지 전원으로 구동하는 부분은 7 knot 이하의 속도로 구동하는 부분으로 구성한다.



(a) 12V 8Ah



(b) 12V 4Ah

Fig. 9 Battery voltage variation at 7 knot (model ship)

그림 9는 동일속도에서 모형선박의 축전지 용량에 따른 축전지 전압 변화량을 나타낸 것이다. 12V 8Ah의 경우 0.006V/min이며, 12V 4Ah의 경우

에는 0.01V/min으로 용량의 차이에 따라 전압변화가 반비례 하는 것을 알 수 있었다. 이러한 실험 결과를 통하여 어선운항에 적합한 축전지 용량을 결정하는 자료로 활용할 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 논문은 소형 어선의 추진 시스템으로 하이브리드 전기 추진 시스템을 제안하였다. 하이브리드 전기 추진 시스템 구성에서 가장 중요한 요소는 축전지의 용량 산정과 축전지로 구동하는 선박의 속도 범위를 규정하는 것이다.

본 연구는 모형 선박을 제작하여 수조실험을 통하여 속도에 따른 전력 소비량을 실험 하였다. 또한 선박에서의 축전지 용량 변화에 따른 축전지 전압변화를 측정하였다. 이러한 실험을 통하여 실제 하이브리드 어선에서 축전지로 구동하는 속도 범위를 규정하고 축전지 용량을 산정 할 수 있는 기초 자료를 확보 하였다. 앞으로 실용화 연구를 통하여 실제 선박에 적용될 수 있는 추진 시스템을 개발 하고자 한다.

후 기

본 연구는 중소기업 기술 혁신과제의 “연료저감을 위한 소형 어선용 하이브리드 전기 추진 시스템 개발”의 일부로 수행되었음을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] Y. SHIDA, M. KANDA, K. OHTA, S.Furuta and J.ISHII, "Development of inverter and power capacitors for mild Hybrid Vehicle-toyota "crown", International journal of automotive technology, Vol. 4 NO.1. pp41-45, 2003
- [2] K. J .Rawson, " Then Architecture of Maritime system", IEEE Proc. A Vol 133, No 6, pp 333-337, 1986, Sept
- [3] P.Maffioh, A comaretto, G Pucchi, M.

Ftacchua, "Alternative propulsion concepts for product Carriers", Proceeding of the international Conference on ship and marine research, 1994

- [4] 최낙경 백영수, 박충환, "선망어업 소선단화에 관한 연구" 춘계조선학회
- [5] 小倉理一, 西本仁, et. al, "新型回流水槽の諸特性と抵抗試験について", 西部造船會報, 第64會 1982. 5.
- [6] 中武一明, 西本仁, et. al, "回流水槽と曳航水槽における自航試験結果の比較", 西部造船會報, 第74會 1987. 5.
- [7] 足立之, et. al, "荷重度變更法による模型試験", 船舶技術研究所報告, 第19卷 第7號.. 1982. 5.
- [8] TEST RESULT REPORT No. 31245 西日本流體技術研究所. 1993.



박충환(朴忠煥)

1970년 4월 3일생 1995년 한국해양대학교 조선공학과 공학석사, 1995년 한국해양대학교 선박공학과 석사 2008년 한국해양대학교 해양시스템 공학과 박사, 2003년 조선기사 1급 취득, 2003년 선박설계기술사 취득 1997년부터~현재 중소기업연구원 근무



함연재(咸然宰)

1963년 1월생. 1990년 한국해양대학교 선박기계공학과 졸업(공학사) 1990년~1994년 국방과학연구소 연구원. 1994년~2000년 삼성중공업 중앙연구소 선임연구원. 2002년~현재 동원씨텍 대표



곽준호(郭俊浩)

1980년 7월생. 2003년 한국해양대학교 기관시스템공학부 전기전자제어전공 졸업(공학사), 2005년 동대학원 졸업(공학석사), 2005년~현재 수중운동체특화 연구센터 연구원.

저 자 소 개



오진석(吳珍錫)

1960년 3월생. 한국해양대 졸업,공학박사 영국ZODIAC 선박회사 엔지니어. 1989년~1992년 국방과학연구소 연구원. 1992년~1996년 양산대 전임강사, 조교수, 학과장. 1996년~현재 한국해양대 전임강사, 조교수, 부교수, 교수. 2001년~2002년 영국 CARDIFF대학 교환교수. 2002년~현재 중소기업산업협력센터소장. 2002년~2004년 한국마린엔지니어링학회 편집위원. 2002년~현재 한국산학연논문집 편집위원. 2003년~2006 영국 K.O.Tech 기술고문, 2005년~2006년 부·울 산학연 협의회 회장



이지영(李智英)

1977년 5월생. 2002년 한국해양대학교 운항시스템공학부 기관과정 졸업. 2002년~2004년 한국해양대학교 대학원 졸업. 2004년~현재 cardiff university the manufacturing engineering 박사과정



조관준(趙瑄濬)

1982년생 5월생. 2005년 한국해양대 선박전자기계공학부 선박전기전자전공 졸업. 2007년 한국해양대학원 메카트로닉스석사. 동대학원 박사 과정. 현재 수중운동체 특화 연구센터 연구보조원.