

## CODLOG 기반 ECS 검증용 함정 추진 시뮬레이터 개발

장재희<sup>1</sup> · 김동진<sup>2</sup> · 김민곤<sup>2</sup> · 오진석<sup>1\*</sup>

### Development of Naval Ship Propulsion System Simulator for CODLOG based ECS Verification

Jae-hee Jang<sup>1</sup> · Dong-jin Kim<sup>2</sup> · Min-gon Kim<sup>2</sup> · Jin-seok Oh<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Division of Marine Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

<sup>2</sup>Division of Naval R&D Center, Hanwha Systems, Gumi 244, Korea

#### 요 약

국내 함정 추진체계는 기계식 추진체계에서 복합식 추진체계로 넘어가는 단계에 위치하고 있으며, 추진체계가 복잡해지면서 함정 추진체계의 제어 감시 기능을 하는 ECS의 기능이 중요해질 것으로 예상된다. 최근 국내에서 ECS(Engineering Control System) 개발의 국산화가 진행되면서 ECS 개발 과정에서 신뢰성 및 안정성에 대한 검증이 요구되고 있다. 제안하는 시뮬레이터는 HILS로 구성되었으며, 모의 목적에 따라 동력전달을 모의하는 축물리모델과, 장비제어를 모의하는 제어기모델, ECS와 통신하는 통신모델로 나누어진다. 본 논문에서는 복합식 추진체계인 CODLOG 체계에 대하여 ECS 검증용 시뮬레이터를 개발하고 시나리오를 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

#### ABSTRACT

The domestic warship propulsion system is at the stage of a hybrid propulsion system changing from a mechanical propulsion system and the propulsion system becomes complicated so it is expected that the function of ECS(Engineering Control System) that controls and monitors the warship propulsion system becomes important. Recently the development of ECS has progressed domestically, so that verification of reliability and stability is required in the process of ECS development. The simulator to be proposed is composed of HILS, it can be divided into a shaft-line dynamics model of the simulating power transmission, a controller model of the simulating the control of the equipment, and a communication model communicating with the ECS. In this paper, we developed simulator for ECS verification for CODLOG hybrid propulsion system, set scenario, and conducted simulation.

**키워드** : 추진 시스템 시뮬레이터, 가스터빈-추진전동기 추진시스템, 함정 추진 제어 감시 시스템, 복합식 추진체계

**Key word** : Propulsion system simulator, CODLOG, ECS, Hybrid Propulsion system

Received 07 June 2017, Revised 09 June 2017, Accepted 19 June 2017

\* Corresponding Author Jin-Seok Oh (E-mail: ojs@kmou.ac.kr, Tel: +82-51-410-4283)

Division of Marine Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.9.1796>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© 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.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

최근 전장의 기술 고도화 추세에 따라 함정의 생존성 및 업무 수행능력의 향상이 요구되고 있으며 추진체계의 발전에 따라 함정의 ECS(Engineering Control System)에 대한 업무 역량이 높아지고 있다. ECS는 함정의 추진체계 전반을 감시 및 제어하는 시스템으로 제어범위는 가스터빈이나 디젤엔진, 추진전동기와 같은 원동기의 시동/정지 및 운용부터 장비 전환절차, 원동기 및 클러치 제어, 축계 및 CPP(Controllable Pitch Propeller) 피치 제어, 그 외 추진체계에 포함되는 유회유, 청수 등 보기계통 운용을 포함한다. ECS는 추진체계 제어의 전반적인 제어를 담당하고 있기 때문에 ECS의 개발은 추진체계 운용 효율의 증대, 함정 운용비 절감과 직결된다[1].

또한 국내 합정 추진체계가 점차 기계식 추진체계에서 복합식 추진체계로 넘어가는 단계로 ECS의 기능은 더욱 확대될 것으로 보인다. CODLOG(COMBined Diesel-eLectric Or Gas turbine) 체계는 원동기로 가스터빈과 추진전동기를 사용하는 복합식 추진시스템이다. 본 논문에서 가상 함정은 3기 2축의 CODLOG 체계로서 1대의 가스터빈과 2대의 추진전동기, 2개의 가변 피치 프로펠러로 추진한다. 가스터빈은 감속기어를 통해 축으로 동력을 전달하고, 감속기어에서 SSS(Syncro-Self-Shifting) Clutch를 통해 최종 출력이 축 추진기로 전달된다. 다음 그림 1은 CODLOG 체계의 구성을 나타내고 있다[2].

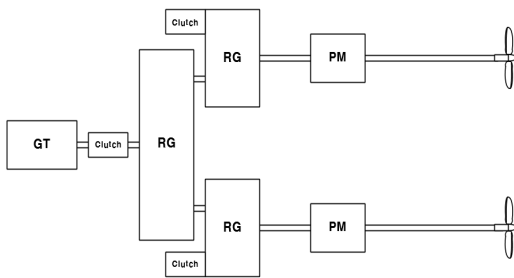


Fig. 1 Schematic diagram of CODLOG system

ECS의 주요 개발업체로는 SEASTEMA, L-3mapps 등 외국 업체가 대부분을 차지하고 있어 ECS를 포함하는 추진체계 통합 과정에서 과도한 비용, 함정 기술 유

출등의 문제가 있다. 이에 최근 국내에서 추진체계 통합 업무 및 ECS 개발 등의 국산화가 진행되면서 ECS 개발 과정에서 신뢰성 및 안정성에 대한 검증이 요구되고 있는 상황이다. Genoa 대학의 M. Altosole와 M. Figari, 그리고 ABB Marin(현재 SEASTEMA)사에서 함정 ECS의 Real time 기반의 HILS 개발에 대한 연구가 이루어졌으며[3,4], ECS 제어기 설계는 다음 그림 2와 같은 절차를 갖는다.

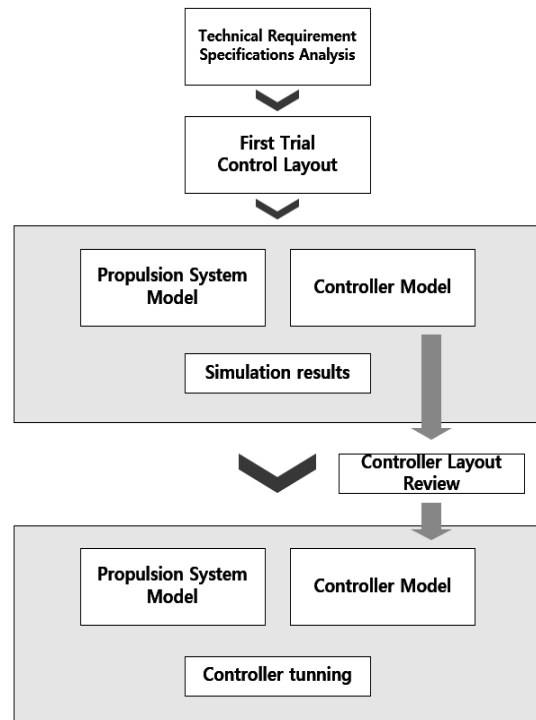


Fig. 2 Design procedure of ECS

본 논문에서 제시하는 합정 추진체계용 ECS의 설계 절차 단계는 그림 2에서 Simulation result를 도출하는 단계로, 기존의 연구가 단일 장비에 대하여 제어 결과를 도출하였다면 본 연구에서는 추진체계 통합 제어 시퀀스 검증이 가능하도록 시스템을 구성하였다.

특히 합정 추진체계 제어 시스템인 ECS의 국산화 과정에서 개발지원 및 성능검증을 위한 가상함정 기반의 통합시험환경을 구축하였으며, 본 연구에서는 CODLOG 기반 합정추진 시뮬레이터 소프트웨어 설계에 관한 내용을 다룬다.

## II. 추진체계 시뮬레이터 하드웨어 구성

### 2.1. HILS 기반 함정 시뮬레이터

제어기 개발과정에서 제어기를 검증하는 방법으로는 MILS(Model-In-the-Loop Simulation) SILS(Software In-the-Loop Simulation), HILS(Hardware In-the-Loop Simulation) 등이 있다.

MILS는 요구사항 또는 요구 시스템이 모델로 구현되어 각 모델의 기능이 검증되는 단계로 요구사항의 오류를 초기에 파악하여 개발 중간 이후에 발생 가능한 문제점을 미리 해결하고자 하는 목적으로 수행된다. SILS는 로직검증, Bench testing 등을 의미한다. 제어 시스템이 적용되는 장치(자동차, 항공기, 선박 등)를 가상의 모델로 구현하고, 개발된 제어시스템을 테스트 플랫폼에 연동시켜 시뮬레이션을 통한 제어 시스템의 유효성, 안정성 및 성능을 평가하는 기법이다[5]. 시스템 개발과 동시에 진행이 가능하며 HILS로 확장성을 갖는다. HILS는 제어 대상과 제어 시스템의 실제 하드웨어 I/O를 연동한 시뮬레이션을 통하여 실제 제어기 동작을 테스트하는 방법이다. RT(Real Time) 기반으로 모사하므로 극한시험 및 제어 알고리즘을 구현 가능하다는 장점과 개발시간의 단축 및 시험의 안정성 확보, 제품의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 다음 그림 3은 함정 추진체계 시뮬레이터에서 SILS 및 HILS 구성을 나타낸다.

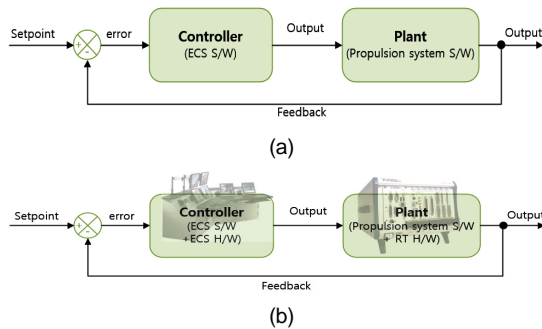


Fig. 3 Comparison of HILS and SILS (a) SILS system (b) HILS system

함정 추진체계 ECS는 전장에서의 생존성, 임무 수행 능력이 우선되므로 실시간 데이터의 수집과 처리 및 제어기가 중요하다. 따라서 함정 추진체계 시뮬레이터에서는 실시간으로 추진체계의 상태 및 제어결과를 시뮬레

이션 하여 ECS로 피드백 해야 하며, 이러한 시뮬레이터를 구축하기 위하여 실시간 데이터 수집 및 처리속도를 갖는 HILS 시스템과 RT 기반의 OS가 필요하다. 또한 HILS 시뮬레이터는 실제 장비 시험에서는 제약이 있는 극한시험이 가능하다는 장점이 있다[6].

### 2.2. 시뮬레이터 구성

함정 시뮬레이터 하드웨어는 소프트웨어를 충분히 지원할 수 있는 사양으로 구성한다. 따라서 함정 시뮬레이터 하드웨어는 Hardware-In-the-Loop 시스템으로 구성되어야 하며, 함정 시뮬레이터 소프트웨어를 RT 기반으로 시뮬레이션 가능하여야 한다. 다음 그림 4는 CODLOG 기반 ECS 검증용 함정 추진 시뮬레이터의 구성을 나타낸다.

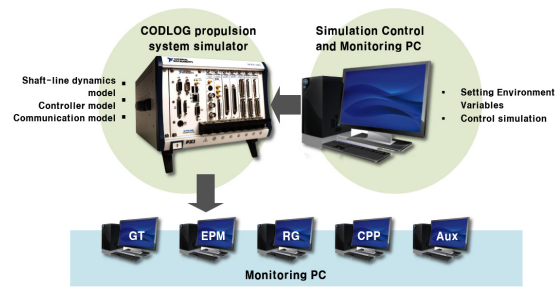


Fig. 4 Configuration of simulator

본 연구에서 CODLOG 기반 함정 추진 시뮬레이터는 ‘CODLOG 체계 시뮬레이터’와 ‘시뮬레이터 제어 감시 PC’, 그리고 ‘장비별 모니터링 PC’로 구성하였다. 이 중 CODLOG 체계 시뮬레이터는 HILS로 구성이 가능한 RT를 지원하는 하드웨어를 사용한다. 본 연구에서는 National Instrument사의 PXI를 사용하여 구성하였다. 다음 표 1에 개발 사양이 정리 되었다.

Table. 1 I/O of shaft-line dynamics model

	Module	Description
Controller	PXIe-8115	Win7 64bit embedded
Software	LabVIEW Real time Test Suite	-
Serial I/O	8431/8	8ch
Digital I/O	6221	AI : 16, AO : 2, D-I/O : 24

### III. 추진체계 시뮬레이터 소프트웨어 구성

기존의 국외 연구[3,4]에서는 ECS의 제어에 따른 추진시스템의 제어 결과를 동역학 모델을 통해 도출하였다. 본 연구에서는 ECS 시뮬레이터의 국산화 과정에서 ECS의 물리값 제어 능력과 제어 시퀀스 검증, I/O 검증을 목표로 하였으며, 따라서 검증 기능에 따라 모델을 나누어 설계하였다. CODLOG 시뮬레이터 소프트웨어는 크게 ‘축물리모델’, ‘제어기모델’, ‘통신모델’로 구성된다. 축물리모델은 원동기에서 발생한 출력이 감속기어, 축, 추진기의 영향으로 최종 축 속도 및 토크가 되는 것을 모의한 모델이다. 제어기모델은 장비의 제어 역할을 포함하는 모델로 장비의 시동/정지, 가스터빈과 디젤엔진의 전환 등을 모의한다. 통신모델은 시뮬레이터와 ECS 간의 통신 기능을 포함하는 모델로 실제 함정과 유사하게 장비별로 다른 통신을 사용하도록 구성한다[7]. 시뮬레이터에서 체계를 분류하는 것은 출력 전달 모델 구성에 영향을 미치게 된다. 4기 2축의 CODOG (Combined Diesel Or Gas turbine) 시스템과 비교할 때, CODLOG 시스템은 구성 원동기가 다르기 때문에 제어 및 출력이 다르다는 차이점 외에도 체계 구성 상 CODOG가 두 대의 가스터빈이 각 축에 동력을 전달하는 것과 달리 CODLOG의 경우 1대의 가스터빈에서 출력된 동력이 감속기어를 통해 두 축에 나누어진다는 점이 다르다. 이는 CODLOG 시뮬레이터의 출력 전달 모델에 반영되어야 할 부분이다.

#### 3.1. 축물리모델

함정 추진 시뮬레이터의 축물리모델은 ECS의 레버에 따른 출력 및 속도 제어 기능을 시험 가능하도록 구성한다. 축물리모델은 하부 모델로 장비별 모델을 갖는다. 각 장비에 대한 ECS의 명령을 받아 장비별 출력을 생성하고, 추진기 모델에서 최종 축속도, 토크 및 출력이 도출된다[8-10].

그림 5를 보면 가스터빈에서 발생한 출력은 감속기어를 거쳐 축으로 전달된다. 감속기어는 감속비를 가지고 있으며 가스터빈의 빠른 속도를 임무수행에 적합한 속도와 토크로 변환시킨다. 1대의 가스터빈에서 생성된 출력은 2축 모드에서는 각 축으로 분산될 것이고 1축 모드에서는 1축에 모두 걸리게 될 것이다. 반대로 추진기에서는 피치에 따라 축에 걸리는 토크가 변화하게 되

며, 이 또한 축 회전속도에 영향을 미친다.

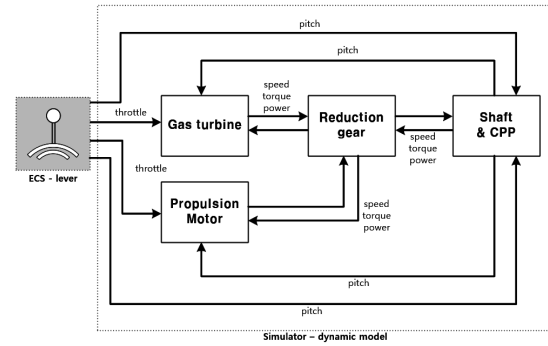


Fig. 5 Schematic diagram of shaft-line dynamics model

#### 3.1.1. 입출력

표 2는 축물리모델에서 사용하는 입출력을 의미한다. 축 물리모델은 하부 장비별 모델로 분할되며 각각의 입출력을 갖지만 독립적인 모델은 아니며 장비 모델 간에 출력, 속도, 토크의 영향을 주고받게 된다.

Table. 2 I/O of shaft-line dynamics model

equip.	Input	Output
GT	GT - Throttle Input Command	GT - FMV
		GT - VSV
		GT - Power
		GT - Toqrue
		GT - HP Speed
		GT - IP Speed
		GT - PT Speed
EPM	EPM(STBD) - Speed CMD	EPM(STBD) - Shaft Speed
	EPM(PORT) - Speed CMD	EPM(PORT) - Shaft Speed
RG	RG(CCG) - Active Break	RG(CCG) - Break engaged
		RG(CCG) - Speed before SSS Clutch
		RG(CCG) - Speed after SSS Clutch
	RG(STBD) - SSS Clutch Lockout	RG(STBD) - SSS Clutch Lockout
		RG(STBD) - SSS Clutch Engage
		RG(STBD) - SSS Clutch Ratcheting
		RG(STBD) - Speed before SSS Clutch
		RG(STBD) - Speed after SSS Clutch
	RG(PORT) - SSS Clutch Lockout	RG(PORT) - SSS Clutch Lockout
		RG(PORT) - SSS Clutch Engage
RG(PORT) - SSS Clutch Ratcheting		

		RG(PORT) - Speed before SSS Clutch
		RG(PORT) - Speed after SSS Clutch
CPP	CPP(STBD) - Pitch Input Command	CPP(STBD) - Shaft Torque
		CPP(STBD) - Shaft Speed
		CPP(STBD) - Shaft Power
	CPP(PORT) - Pitch Input Command	CPP(PORT) - Shaft Torque
		CPP(PORT) - Shaft Speed
		CPP(PORT) - Shaft Power

3.1.2. 장비별 모델

축물리모델은 가스터빈 모델, 추진전동기 모델, 감속기어 모델, 가변 추진기 모델로 구성된다.

가스터빈 모델은 ECS로부터 받는 TIC(Throttle Input Command) 명령 외에 CPP Pitch 의해 변화하는 축 토크의 영향을 받게 된다. 따라서 가스터빈 장비의 모델은 다음과 같은 입출력 다이어그램을 갖게 된다. 내부에서는 입력된 TIC에 의해 FMV(Fuel Metering Valve)값이 도출되며, IP(Intermediate Pressure) speed는 FMV의 영향을 받는다. IP turbine과 HP(High Pressure) turbine은 물리적으로 분리되어 있으나 압축된 공기의 이동을 통해 에너지를 전달한다. HP speed는 IP turbine으로부터 전달된 에너지와 VSV(Variable Stator Vane)에 의해 조정된다. 최종적으로 축과 직접 연결된 PT(Power Turbine)는 축토크에 의해 PT speed가 결정된다. PT 속도와 토크, 출력은 감속기어 장비 모델로 전달된다. 다음 그림 6은 가스터빈 모델의 입출력 다이어그램을 나타낸다.

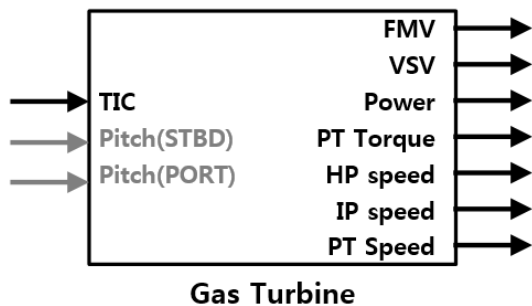


Fig. 6 Schematic diagram of gas turbine model in shaft-line dynamics

EPM(Electric Propulsion Motor)은 ECS로부터 출력 명령을 받는다. 따라서 EPM 모델은 GT와 마찬가지로

출력과 축토크의 영향을 받는다. 다음 그림 7은 EPM 모델의 입출력 다이어그램을 의미한다.

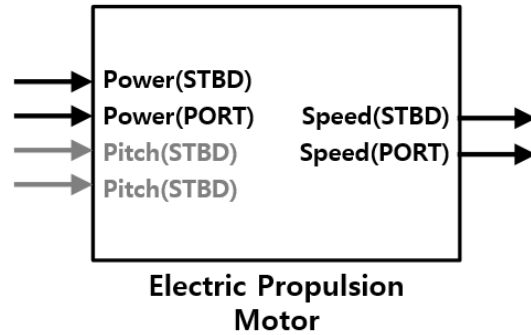


Fig. 7 Schematic diagram of electric propulsion motor model in shaft-line dynamics

감속기어 장비 모델은 출력의 전달 및 변환의 역할을 한다. 가스터빈의 PT 속도 및 토크를 감속비에 맞게 변환하여 축에 전달하며, SSS clutch는 가스터빈과 추진전동기의 속도에 따라 기계적으로 클러치를 연결 또는 해제하게 된다. 다음 그림 8은 감속기어 모델의 입출력 다이어그램을 의미한다. 여기에서 PT speed, PT torque, PT Power, EPM Speed, EPM torque, EPM power는 시뮬레이터 내 모델 간에 주고받는 입출력 신호에 해당한다[11].

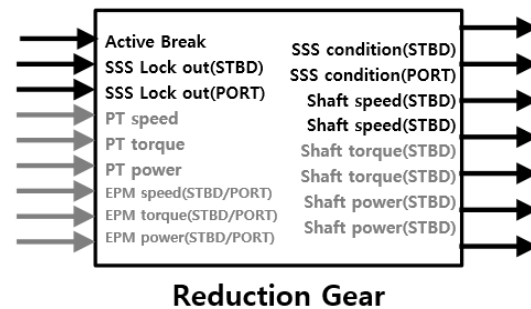


Fig. 8 Schematic diagram of reduction gear model in shaft-line dynamics

가변 추진기는 피치를 조정함으로써 함기동성 및 조작성에 장점을 갖는다. 피치에 의해 같은 출력상태에서 축속도가 변화하게 된다. 피치에 의해 변화된 속도와 토크는 축을 통해 원동기에까지 전달된다. 다음 그림 9는 가변추진기 모델의 입출력 다이어그램을 나타낸다.

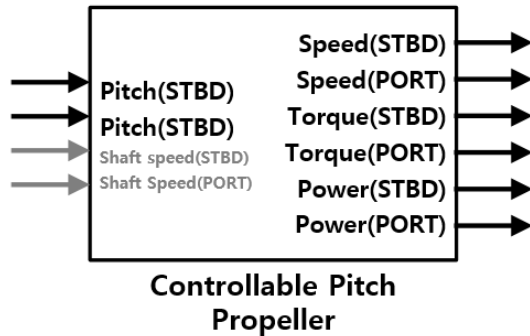


Fig. 9 Schematic diagram of controllable pitch propeller model in shaft-line dynamics

### 3.2. 제어기모델

#### 3.2.1. 입출력

제어기 모델에서 사용하는 입출력은 다음과 같다. 제어기 모델은 하부 장비별 모델로 분할되어 동작한다. 장비의 시동 및 정지 시퀀스를 모의하며, 장비 전환 시 ECS와 각 장비 간 제어 시퀀스가 중요하다. 시동 및 정지 시에 축물리모델에서는 아날로그 명령을 받지 못하므로 제어기모델에서 절차에 따라 축물리모델로 명령을 출력하여 속도, 토크 등이 도출되도록 제어한다. 다음 표 3은 제어기모델의 입출력을 나타낸다.

Table. 3 I/O of controller model

equip.	Input	Output
GT	GT - Start cooling fan CMD	GT - Start cooling fan FDB
	GT - Stop cooling fan CMD	GT - Stop cooling fan FDB
	GT - Normal start CMD	GT - Starting condition
	GT - Normal stop CMD	GT - Stopping condition
	GT - Emergency start CMD	GT - Idle
	GT - Emergency stop CMD	GT - Standby
EPM	EPM(STBD) - Standby	EPM(STBD) - Standby FDB
	EPM(STBD) - Running	EPM(STBD) - Running FDB
	EPM(STBD) - Cooling system start CMD	EPM(STBD) - Cooling system start FDB
	EPM(STBD) - Cooling system stop CMD	EPM(STBD) - Cooling system stop FDB
	EPM(PORT) - Standby	EPM(PORT) - Standby FDB
	EPM(PORT) - Running	EPM(PORT) - Running FDB
	EPM(PORT) - Cooling system start CMD	EPM(PORT) - Cooling system start FDB
	EPM(PORT) - Cooling system stop CMD	EPM(PORT) - Cooling system stop FDB
RG	RG(CC) - Prepare gear CMD	RG(CC) - Prepare gear FDB
	RG(CC) - Stop gear CMD	RG(CC) - Stop gear FDB
	RG(CC) - Hydraulic break start CMD	RG(CC) - Hydraulic break start FDB
	RG(CC) - Hydraulic break stop CMD	RG(CC) - Hydraulic break stop FDB
	RG(CC) - Start dehumidifier CMD	RG(CC) - Start dehumidifier FDB
	RG(CC) - Stop dehumidifier CMD	RG(CC) - Stop dehumidifier FDB
	RG(STBD) - Prepare gear CMD	RG(STBD) - Prepare gear FDB
	RG(STBD) - Stop gear CMD	RG(STBD) - Stop gear FDB
	RG(STBD) - Start dehumidifier CMD	RG(STBD) - Start dehumidifier FDB
	RG(STBD) - Stop dehumidifier CMD	RG(STBD) - Stop dehumidifier FDB
	RG(PORT) - Prepare gear CMD	RG(PORT) - Prepare gear FDB
	RG(PORT) - Stop gear CMD	RG(PORT) - Stop gear FDB
	RG(PORT) - Start dehumidifier CMD	RG(PORT) - Start dehumidifier FDB
	RG(PORT) - Stop dehumidifier CMD	RG(PORT) - Stop dehumidifier FDB
CPP	CPP(STBD) - Pump start CMD	CPP(STBD) - Pump start CMD
	CPP(STBD) - Pump stop CMD	CPP(STBD) - Pump stop CMD
	CPP(PORT) - Pump start CMD	CPP(PORT) - Pump start CMD
	CPP(PORT) - Pump stop CMD	CPP(PORT) - Pump stop CMD

3.2.2. 장비별 모델

제어기 모델의 장비별 모델 중 하나인 가스터빈 모델은 ECS로부터 정상 시동, 비상 시동, 정상 정지, 비상 정지 신호를 받아 정상 시동 절차, 비상 시동 절차, 정상 정지 절차, 비상 정지 절차를 모의하며, 가스터빈의 Cooling pan 제어에 대한 피드백을 보낸다. 또한 시동 또는 정지 시에는 단계에 따라 해당되는 Starting Condition 또는 Stopping Condition을 ECS로 피드백 한다. 다음 그림 10은 가스터빈 모델의 다이어그램을 나타낸다.

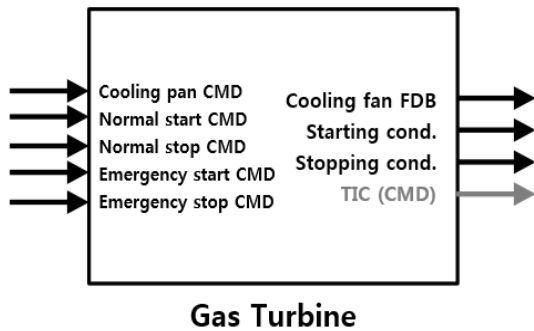


Fig. 10 Schematic diagram of gas turbine model in controllers

추진전동기 모델은 ECS로부터 Standby, Running 명령을 받아 시동 및 정지, 작동상태를 모의하며, Cooling system 제어에 대한 피드백을 보낸다. 그림 11은 추진 전동기 모델의 다이어그램을 나타낸다.

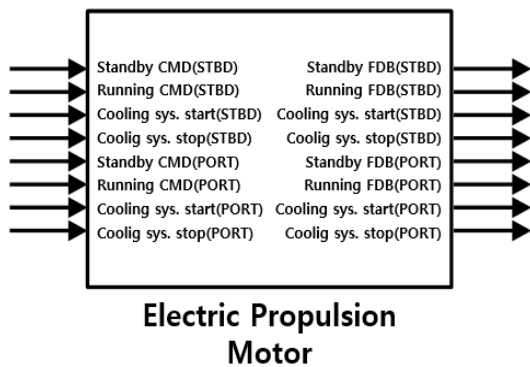


Fig. 11 Schematic diagram of electric propulsion motor model in controller

감속기어 모델은 ECS로부터 Prepare, Stop 명령을 받아 현재 제어 상태를 피드백한다. 그 외 Hydraulic break system의 상태 및 dehumidifier의 상태 제어가 포함된다. SSS clutch 및 GT break의 경우는 출력전달과 밀접한 관계가 있어 축물리모델에 포함되었다. 그림 12는 감속기어 모델의 다이어그램을 나타낸다.

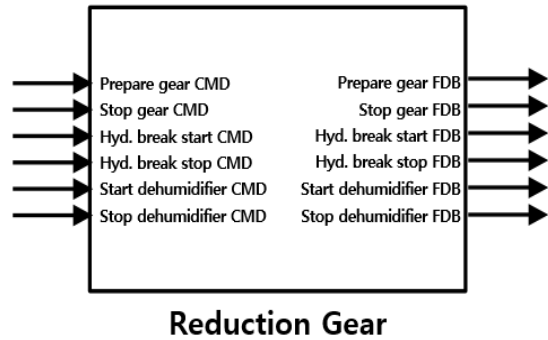


Fig. 12 Schematic diagram of reduction gear model in controller

가변 추진기 모델은 Pump start/stop 명령을 받아 상태를 피드백한다. 그림 13은 가변추진기 모델의 다이어그램을 나타낸다.

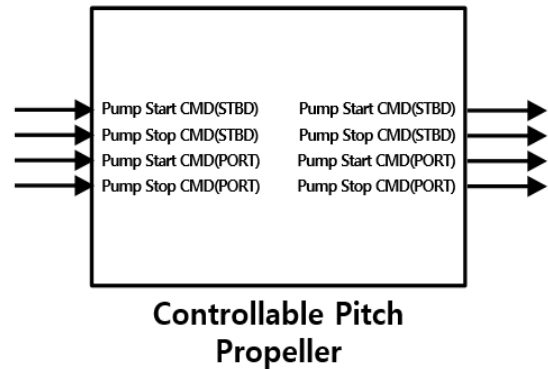


Fig. 13 Schematic diagram of controllable pitch propeller model in controller

3.3. 통신모델

통신모델은 ECS와 각 추진장비간의 통신을 모의한다. 실제 사용하는 통신 사양을 맞춰 구성하였으며, DI, DO, AI, AO, 네 개의 Hardwired 신호를 포함한다. 다음

표 4는 각 장비별 통신사양을 나타낸다.

**Table. 4** Communication specification

Equipment	Standard	Protocol
GT	Ethernet	TCP/IP
EPM	Ethernet	TCP/IP
RG	Ethernet	TCP/IP
CPP	RS-485	Modbus
AUX	RS-485	Modbus

**3.4. 시뮬레이터 SCM PC 화면 구성**

시뮬레이터의 SCM(Simulation Control and Monitoring) system의 메인 화면은 다음 그림 14와 같이 구성된다. 각 탭을 이동하여 현재 I/O 값과 통신상태, 에러테스트 항목 등을 확인할 수 있다.

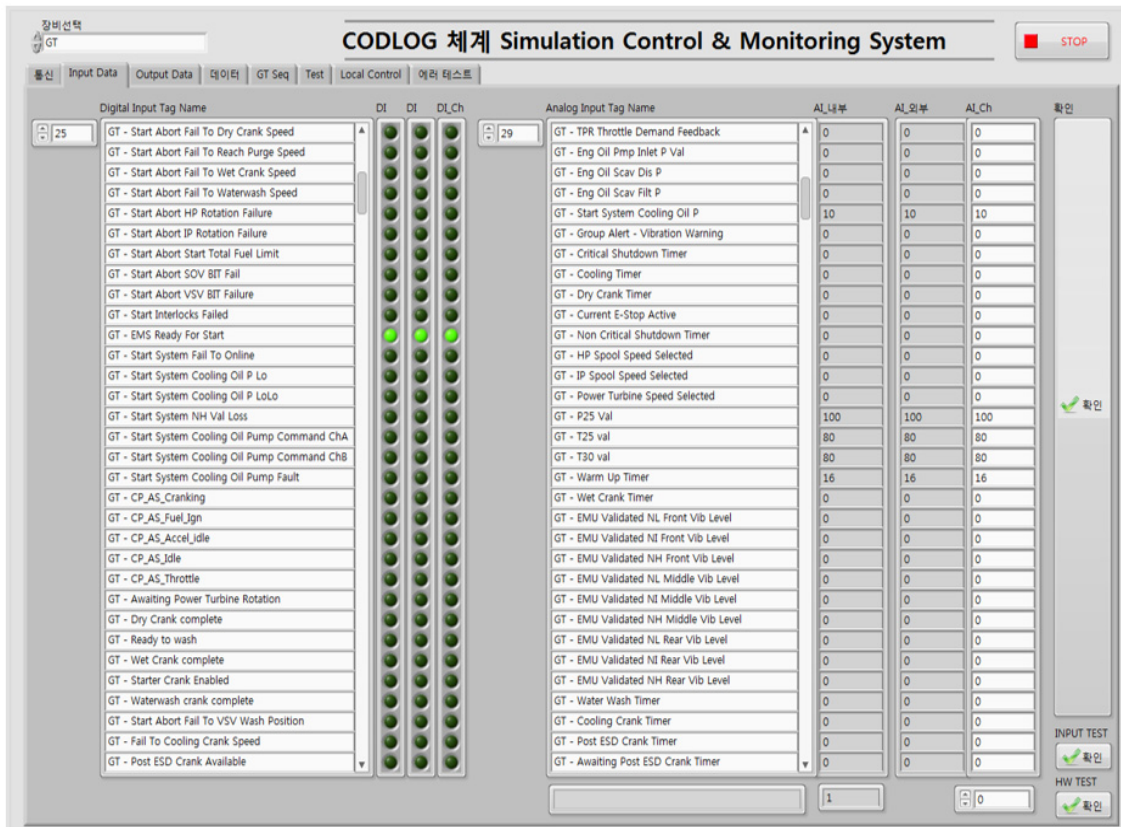
**IV. 시뮬레이션**

**4.1. 시험항목**

합정 추진체계 시뮬레이션은 ECS의 제어 기능을 시험하기 위한 것으로, 시뮬레이션 시나리오는 ECS의 제어 기능 시험항목에 따라 결정된다.

축물리모델은 ECS의 가스터빈 및 추진전동기 출력 제어기능을 시험 가능하도록 구성되며, 합정의 운용모드와 밀접한 관련이 있다. 합정의 운용모드는 주 추진 장치에 따라 가스터빈 모드, 추진전동기 모드로, 목적에 따라 항해모드, 작전모드, 그 외 1축 모드 등으로 나누어질 수 있다. ECS에서는 주어진 운용모드에 따라 합정이 업무 수행능력을 충족시킬 수 있도록 추진체계의 조종 성능 등을 제어해야 한다.

제어기모델은 ECS에서 장비별 제어 관리를 시험 가능하도록 구성된다. 가스터빈 및 추진전동기의 시동 및



**Fig. 14** Mimic of Simulator Control and Monitoring PC



정지 시퀀스 및 시동 및 정지 중 발생 가능한 상황에 대한 제어가 포함된다. 원동기의 시동 및 정지 시 장비는 ECS로부터 조종 명령(목표 RPM, 목표 Power 등)을 받지 않으므로 시뮬레이터에서 시동 및 정지 시퀀스를 구현되어야 한다.

#### 4.2. 시뮬레이션 시나리오

본 추진체계 시뮬레이터는 ECS의 제어명령을 받아 CODLOG 체계 제어 결과를 피드백하게 된다. CODLOG 체계는 일반적으로 고속에서 가스터빈을, 저속에서 추진전동기를 운용하게 된다.

사용자는 PCL (Power Control Lever)를 통해 추진 상태를 제어한다. PCL은 -5~10 단계까지 있으며, 각 레버 값에 정해진 목표 피치 값과 가스터빈의 목표 출력 및 추진전동기의 목표 출력이 ECS를 통해 장비로 명령이 내려진다.

- ① 가스터빈 모드 : 가스터빈으로 추진하는 모드를 의미한다. 추진 시뮬레이터에서는 ECS의 PCL 변화에 따라 시뮬레이터에서 ECS로 피드백되는 FMV, VSV, HP/IP/PT Speed, GT Power, Shaft Power 값을 확인할 수 있다.
- ② 추진전동기 모드 : 추진전동기로 추진하는 모드를 의미한다. 추진 시뮬레이터에서는 ECS의 PCL 변화에 따라 시뮬레이터에서 ECS로 피드백되는 Current, Voltage, Shaft Speed, Shaft Power 값을 확인할 수 있다.

#### 4.3. 시험결과

가스터빈 모드에서 PCL은 -5에서 10까지 사용한다. -5에서 -1까지는 가변 추진기의 Pitch 값이 음수로 후진을 의미한다. 다음 그림 15~18로부터 레버에 따른 ECS로부터 내려오는 TIC값과 Pitch 값의 추세를 확인할 수 있다.

##### 4.3.1. 가스터빈 모드

###### (1) FMV

FMV는 가스터빈의 출력과 관계된다. 레버값의 절대값이 커지면 출력 명령인 TIC도 함께 증가하므로 FMV가 TIC의 추세를 따르는 것을 확인할 수 있다.

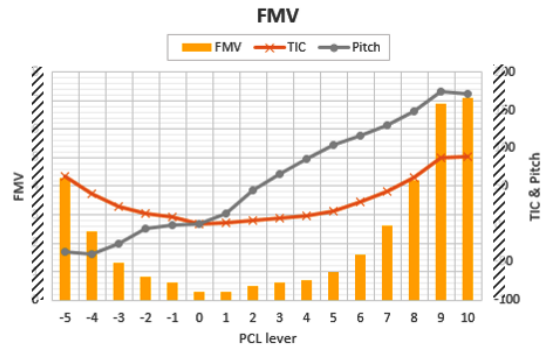


Fig. 15 FMV according to change of PCL

###### (2) VSV

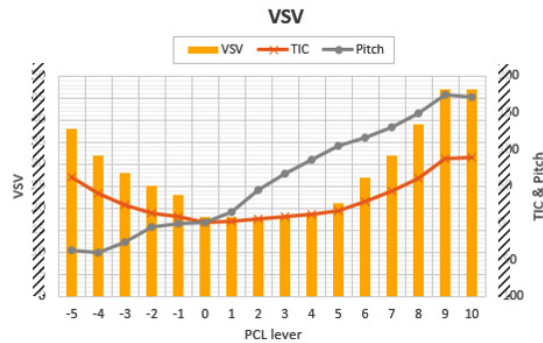


Fig. 16 VSV according to change of PCL

VSV는 HP turbine에 위치하며 터빈의 속도를 조절한다. HP speed와 관련된다.

###### (3) HP/IP/PT Speed

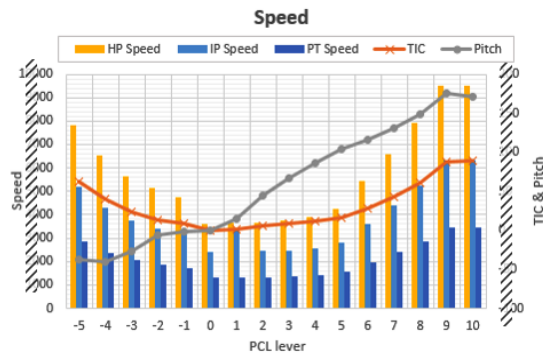


Fig. 17 HP/IP/PT Speed according to change of PCL

그림 17은 가스터빈의 HP, IP, PT부의 속도를 나타낸다. 가스터빈의 출력은 IP에서 HP를 거쳐 축과 직접 연결되어 동력을 전달하는 PT로 전달된다.

(4) GT Power

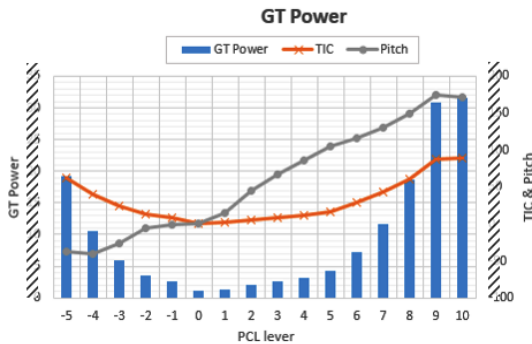


Fig. 18 GT Power according to change of PCL

그림 18은 가스터빈 출력을 나타낸다. PCL 레버에서 TIC와 비슷한 추세를 보인다.

4.3.2. 추진전동기 모드

추진전동기 모드에서 PCL은 -5에서 6까지 사용한다. 레버값 -5에서 -1까지는 가스터빈 모드와 마찬가지로 가변 추진기의 Pitch 값이 음수로 후진을 의미한다. 다음 그림 19~21로부터 레버에 따른 ECS로부터 내려오는 출력명령값과 Pitch 값의 추세를 확인할 수 있다.

(1) Current and Voltage

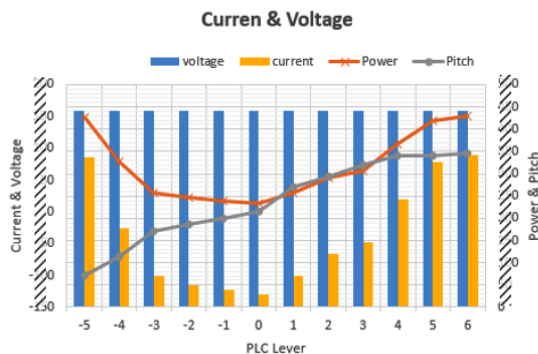


Fig. 19 Current and voltage according to change of PCL

그림 19는 추진전동기의 전류와 전압을 나타낸 것이다. 추진전동기의 전압은 추진전동기가 준비에서 운용 중 상태일 때까지 같은 값을 유지한다. 전류는 출력에 따라 변화하게 된다.

(2) Shaft Speed

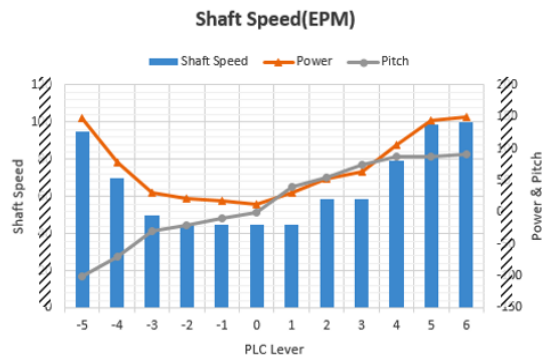


Fig. 20 Shaft speed according to change of PCL

그림 20은 추진전동기 모드에서 레버에 따른 Shaft Speed를 나타내고 있다. Shaft Speed는 출력명령에 의한 출력과 가변 추진기의 Pitch 명령에 따른 토크의 영향을 받는다.

(3) Shaft Power

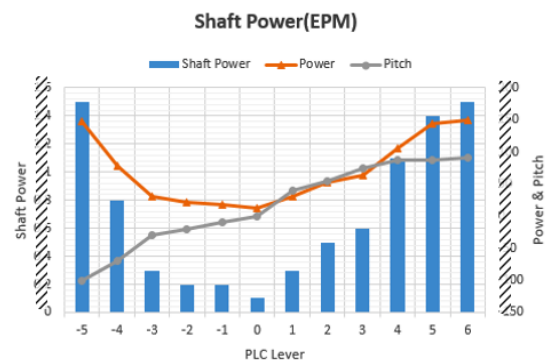


Fig. 21 Shaft power according to change of PCL

그림 21은 추진전동기에서 축으로 전달되는 출력을 나타내고 있다. 추진전동기는 감속기어를 통해 속도를 변환시키지 않으므로 감속기어에 의한 손실은 없다.

## V. 결 론

CODLOG 기반의 ECS 검증용 함정 추진체계 시뮬레이터는 ECS의 제어 기능에 대한 검증을 위해서 제작되었다. 시뮬레이터 프로그램은 축물리모델과 제어기 모델, 통신모델의 크게 세부분으로 구성되며 하위 모델로 각 장비별 모델을 갖는다. 축물리모델은 원동기-감속기-추진기간의 동력전달을 모의한다. 제어기모델은 각 장비의 시동 및 정지를 모의한다. 통신모델은 ECS와 시뮬레이터 간의 통신을 모의한다.

시험결과 ECS의 PCL에 따른 TIC, 출력명령, Pitch 명령을 받아 각 모드별 속도, 출력 등의 입출력 트렌드를 확인할 수 있었다.

ECS의 국산화 과정에서 본 연구는 시뮬레이션 결과를 통해 추진체계 통합 제어 시퀀스의 검증, 장비와 ECS간의 신호 검증 등에 활용되었으며 이후 본 시뮬레이터의 연구를 통해 ECS 개발 단계에서 ECS의 제어 기능 튜닝, 보다 효율이 좋은 전환 시퀀스 연구 등으로 활용이 가능할 것으로 예상된다.

### ACKNOWLEDGMENTS

This research was conducted through '14 core SW project(contract number:UC140001DD, development of control and monitoring SW of the next generation ship propulsion system) and Hanwha Systems's industry-university R&D "CODOG/CODLOG propulsion and propulsion-auxiliary system simulator development".

### REFERENCES

[ 1 ] H. M. Lee, "Combined Propulsion System Analysis for Naval Combatant vessels using Diesel and Gas Turbine Engine," *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, vol. 15, no. 5, pp. 16-21, Oct. 2011.

[ 2 ] H. M. Lee and B. J. Cho, "Analysis of Development Trend

for the Integrated Power System of Naval Vessels to Perform the High-Power and Energy Mission Load Platform," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 35, no. 6, pp. 796-801, Aug. 2011.

[ 3 ] M. Altosole, M. Figari and M. Viviani, "Simulation of the Dynamic Behaviour of a CODLAG Propulsion Plant," *Wharship 2010 Advanced Technologies in Naval Design and Construction*, vol. 10, no.10, pp.109-115, June 2010.

[ 4 ] M. Martelli and M. Figari, "Real-Time model-based design for CODLAG propulsion control strategies," *Ocean Engineering*, vol.141, pp.265-276, June 2017.

[ 5 ] J. T. Hwang, S. Y. Hong, H. W. Kwon, K. K. Lee and J. H. Song, 2017, "Dual Fuel Generator Modeling and Simulation for Development of PMS HILS," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 3, pp. 613-619, Mar. 2017.

[ 6 ] T. K. Nam, C. H. Kim and H. H. Kim, "Research and Development trend of HILS," *KOSME Webzine*, vol. 39, no.6, pp.5-9. Dec. 2015.

[ 7 ] K. K. Yum, "Simulation of a Hybrid Marine Propulsion System in Waves," *CIMAC CONGRESS*, vol. 202, pp.3-16, June 2016.

[ 8 ] M. Altosole and M. Figari, "Effective Simple Methods for Numerical Modelling of Marine Engines in Ship Propulsion Control Systems Design," *Journal of Naval Architecture and Marine Engineering*, vol.228, no.4, pp.373-397, Dec. 2011.

[ 9 ] K. Marouani, H. Guendouz, B Tabbache, F. Khoucha, and A. Kheloui, (2013, June). Experimental Investigation of an Emulator 'Hardware In the Loop' for Electric Naval Propulsion System. *Control & Automation (MED), 2013 21st Mediterranean Conference on. IEEE [Online]*, 10(1), pp. 125-130. Available : <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6608709/>.

[10] K. Marouani, H. Guendouz, B Tabbache, E.Pedersen and S. Steen, "Simulation of a Two-Stroke Diesel Engine for Propulsion in Waves," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* 2016, vol.9, no.4, pp.351-372, Jul. 2017.

[11] J. Desong, (2008, December). The Study on Dynamic Parameters of CODOG in the Mode Switching Process, *Mechatronic and Embedded Systems and Applications, 2008. MESA 2008. IEEE/ASME International Conference on. IEEE*, 9(5), pp. 500-504, Available : <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4735647/>.



**장재희(Jae-Hee Jang)**

2013년 금오공과대학교 기계공학부(공학사)  
2015년 한국해양대학교 기관공학과(공학석사)  
2016년~현재 한국해양대학교 기관공학과 (박사과정)  
※ 관심분야 : Energy System Design, Mechatronics



**김동진(Dong-Jin Kim)**

2013년 부산대학교 로봇협동과정(공학석사)  
2015년 부산대학교 로봇관련협동과정(박사수료)  
2006년 ~ 2012년 AN/WNSN-2 Gyro 교체사업  
2008년 ~ 2012년 TTX 연구개발사업  
2015년 ~ 현재 함정 통합기관제어체계(ECS) 개발  
※ 관심분야 : Propulsion System Integration, Condition Based Maintenance, Machine running



**김민곤(Min-Gon Kim)**

1987년 부산대학교 전자공학 학사  
2013년 금오공과대학교 전자/전기공학 석사  
1995년 ~ 2012년 함정 전투체계개발  
2009년~ 현재 함정전투체계수술 (기술담당)  
2013년 ~ 현재 함정통합기관제어체계(ECS) 개발  
※ 관심분야: 함정 통합기관제어체계, 에너지 시스템, 무인선박, 전투체계



**오진석(Jin-seok Oh)**

1983년 영국 Zidiac 선박회사 엔지니어  
1989년 국방과학연구소 연구원  
1996년 한국해양대학교(공학박사)  
2009년 일본큐슈대학교(공학박사)  
2009년 ~ 현재 한국해양대학교 산학연 ETRS센터 소장  
1996년 ~ 현재 한국해양대학교 기관공학부 교수  
※ 관심분야 : Ocean Plant, Energy System Design, Mechatronics