

## 고전압 전기추진선박의 AC DRIVE 교육 내용에 관한 연구

류기탁 · 이윤형†

한국해양수산연수원(교수)

### A Study on the Training Contents of AC DRIVE of the HV Electrical Propulsion Ships

Ki-Tak RYU · Yun-Hyung LEE†

Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology(professor)

#### Abstract

As the regulation of exhaust gas emitted from ships has been strengthened and maritime autonomous surface ship has become a global issue, electrical propulsion ships that use high voltage and are easy to maintain are in the spotlight. In addition, according to the Eco-Friendly Vessel Act, new government-run ships will be built with electrical propulsion system. Because this system is unfamiliar to the existing seamen, ship managers, and those related to autonomous ships, it is essential to develop a training course. Since the AC drive(power conversion device) is the most important device, the contents of training model should focus on the operation and maintenance of this device. For this, first we review domestic and foreign laws, regulations including the STCW convention, IMO model course and manufacturer's training course. Finally, in this paper, we propose a AC drive training model and contents for high voltage electrical propulsion ships.

**Key words** : AC drive, Electrical propulsion, IMO model course, STCW convention, Training model

#### I. 서론

선박에서 배출되는 질소산화물과 황산화물의 규제가 강화됨에 따라 선박의 추진용 기관에서 많은 변화가 일어나고 있다. 대기환경보전법 시행규칙 제124조 따르면 2016년 1월 1일부터 질소산화물 배출규제지역에서는 선박 기관의 질소산화물배출기준 3(Tier III)이 적용되도록 강화되었고, 황산화물의 경우 해양환경관리법 시행령 제 42조에 따라 2020년 1월 1일부터 국제항해에 종사하는 선박은 황산화물배출규제해역을 제외한 모든 해상에서 황함유량 0.5퍼센트(무게 기준)의

연료유를 사용하도록 강제화 되었다(MOLEG, 2021). 이러한 규제에 따라 선박 추진에 필요한 동력도 친환경 연료인 LNG를 사용하여 얻거나 또는 전기에너지를 이용한 전기추진방식으로 변하고 있다. 또한, 자율운항선박(MASS, Maritime Autonomous Surface Ship)이 해상분야에서 크게 부각되고 있다. 이에 따라 IMO에서는 자율운항선박을 4단계로 구분하고, 자율운항선박 운용을 위한 관련 규정을 면밀히 검토하고 있다. 최종적으로 선원이 승선하지 않고, 자체적으로 의사결정하여 항해하는 형태인 네 번째 단계는 많은 부분을 고려해야 하지만 추진측면에서는 유지보수

† Corresponding Author: 051-620-5823, domse54@daum.net

를 간소화하여야 한다(Chae et al., 2020). 이를 위해서는 필연적으로 전력변환장치인 AC DRIVE를 이용한 전기추진방식을 도입할 수밖에 없다.

한편, 친환경선박법에 의하여 향후 신조되는 관공선은 대부분 친환경선박으로 대체될 예정이다(MOF, 2021). 주로 소형 선박은 배터리 기반의 전기추진선박으로 건조되고, 대형 선박은 LNG 연료 추진기관이 적용된 형태 또는 LNG 연료로 발전기를 운전하여 전력을 생산하고 AC DRIVE와 추진 전동기를 결합한 형태로 건조된다. 이에 해당하는 대표적인 관공선은 2013년에 취항한 인천항만공사의 항만 안내선인 예코누리호로서 LNG 연료 추진선박이다. 이 선박은 LNG 연료로 발전기를 운전하여 생산된 전력으로 전기 추진하는 대표적인 선박이다. 또한, 산업통상자원부의 ‘ICT(정보통신기술) 융합 전기추진 스마트선박 건조 및 실증 사업’을 통해 2022년까지 건조를 완료하는 울산 장생포 고래관광선은 국내 최초로 시도하는 직류기반의 전기추진선박이다.

이와 같이 최근에 선박을 신조하는 경우에는 환경적인 문제로 인해 LNG, 암모니아, 수소, 재생 가능한 전기 등 새로운 청정연료를 적용하는 선박 또는 전기추진시스템을 채택하는 선박으로 건조한다. 전기추진선박은 배기가스를 저감시킬 수 있고, 선박 공간 활용도가 높고, 진동·소음이 작으며 연료소모량이 적은 장점 때문에 기존의 쇠빙선, 군함, 시추선 등과 같은 특수선박에서 LNG선, 대형 컨테이너선과 같은 일반 상선으로 확대되고 있다(Park and Kim, 2014).

그러나 전기추진시스템은 기존 해기사, 선박관리자, 자율운항선박 관련자들에게 익숙하지 않은 분야이고, 전문성이 요구되므로 이에 대한 교육과정설계가 필요하다. 또한, 전기추진시스템은 전력변환장치인 AC DRIVE가 추진용 전동기를 제어하는 가장 중요한 장치이므로 이를 중점으로 하는 교육 설계가 필수적이다.

이를 위해 본 논문에서는 우선 전기추진선박의 설비 관련 국내·외법을 검토하고, 교육에 관련된

규정 및 사례, STCW 협약과 IMO 모델코스, NCS(National Competency Standards)에서 요구하는 교육 내용을 살펴보기로 한다. 또한, 외국에서의 교육사례를 검토하고, 국제적으로 요구되는 내용과 현재 진행 중인 교육 등을 비교하여 해기사들에게 체계적이고 실효성 있는 전기추진 교육과정을 제안하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 전기추진선박 관련 국내·외 규정

#### 가. 친환경 선박법

친환경 선박법은 환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률로 해양환경 보존이 목적이며 2020년 1월 1일자로 시행되었다. 세무 지침은 환경친화적 선박의 기준 및 인증에 관한 규칙에서 정하고 있다. 이 법은 환경친화적 선박을 다음의 5가지로 구분한다.

1) 해양오염을 저감하는 기술을 적용하거나 선박 에너지효율을 높일 수 있는 기술을 사용한 선박, 2) 액화천연가스 등 환경친화적인 에너지를 동력원으로 사용하는 선박, 3) 전기 공급원으로부터 충전된 전기에너지를 동력원으로 하는 전기추진선박, 4) 환경친화적 에너지와 전기에너지를 조합하여 사용하는 하이브리드 선박, 5) 수소 등을 사용한 전기에너지를 사용하는 연료전지추진선박이다. 본 법은 환경친화적 선박을 독려하기 위한 여러 지원에 관한 것이 명시되어 있다. 제12조(환경친화적 선박으로의 전환 등 지원)에서는 국가, 지자체 등에서 노후선박을 환경친화적 선박으로 대체하는 것을 권고 및 지원하는 조항이며 제13조(환경친화적 선박 구입 의무)에서는 공적인 업무를 수행하는 기관들에게 환경친화적 선박구입을 의무화하고 있다. 이에 따라 향후 공적 업무를 목적으로 선박을 건조할 때에는 특별한 경우를 제외하고, 환경친화적 선박으로 건조된다.

나. 전기추진선박 기준

이 기준은 리튬이차전지선박에 적용되며 2020년 5월 21일자로 고시되었다. 친환경 선박법에 명시된 전기공급원으로부터 충전된 전기에너지를 동력원으로 사용하는 전기추진선박이 이 기준에 적용된다. 기준에는 배터리 전원을 동력원으로 하는 선박에서 갖추어야 하는 제반 설비와 전기추진선박에서 핵심장비인 전력변환장치의 일반적인 요건이 명시되어 있다. 선박의 배터리에 충전된 전기에너지만 추진동력으로 사용되므로 대형 선박에는 적용하기가 어렵고, 주로 연해구역을 항해하는 소형 선박에 적용된다. 서론에 설명한 울산 장생포의 고래관광선이 이 기준의 적용을 받은 국내 최초의 선박이다.

다. 한국선급 규정

한국 선급 및 강선규칙에서 전기추진과 관련된 세부 지침으로는 선박용 연료전지시스템 지침, 선박용 배터리시스템 지침, 직류배전시스템 지침이 있다. 전기추진선박의 전반적인 내용은 한국 선급 및 강선규칙 6편 전기설비 및 제어시스템 제16절 전기추진선박에 기술되어 있고, 전기추진과 관련된 추진용 전동기, 제어장치, 추진용 변압기, 전력변환장치 등에 대한 일반적인 사항이 명시되어 있다. 제16절의 내용은 IEC 60092-501의 내용과 대부분 일치한다.

라. IEC 60092-501

IEC 60092-501(Electrical installations in ships - Part 501: Special features - Electric propulsion plant)은 선박 전기설비에 관한 규정 중 전기추진 장치에 관한 세부 규정이다.

전기추진을 위한 발전장치(원동기와 발전기), 추진용 배전반, 추진용 변압기, 전력변환장치, 추진용 전동기, Podded drive, 제어시스템 등에 대한 규정이 명시되어 있어 전기추진선박의 설계에 필요한 사항을 전반적으로 알 수 있다. 전력변환장치에 요구되는 사항으로는 단시간 과부하 또는 과부하로 인한 속도변동으로 추진용 전동기가 정

지되지 않도록 설계해야 한다는 것과 기본적인 보호 장치에 대해 규정되어 있다.

2. 전기추진선박 교육 관련 규정

가. STCW 협약상 교육내용

당직기관사에 대한 해기능력 최저기준 STCW A-III/1에는 전기추진과 관련된 내용이 구체적으로 명시되어 있지 않고, 전력변환장치에 사용되는 전자장치의 기본이론만 포함하고 있어 본 연구에서는 검토하지 않기로 한다.

기관장과 1등기관사인 상급사관에 대한 해기능력 최저기준을 규정하고 있는 STCW A-III/2에도 전기추진에 관련된 구체적인 명시는 없지만 해기능력의 지식, 이해 및 기술(K.U.P, Knowledge, Understanding and Proficiency)부분에 전기추진과 관련된 내용을 서술하고 있다. 해기능력은 너무 포괄적이므로 해당되는 K.U.P 부분만을 살펴본다. ‘전기, 전자 및 제어공학’ 기능에서 ‘전기와 전자 제어장치의 운전관리’ 해기능력에 전기추진 항목을 언급하고 있다. K.U.P에는 ‘선박 전자기술, 전자 및 전기장치, 자동제어 장치, 안전장치’와 ‘전동기를 위한 운전제어장비의 설계특성과 시스템 구성’이 해당된다. 또한 ‘고장의 수리와 전기 및 전자 제어 장치의 운전상태로의 복구’ 해기능력의 K.U.P에는 ‘소프트웨어 버전의 관리’가 해당된다. 전기추진은 전력변환장치를 이용하여 전동기로 선박을 추진하는 것으로 상급사관이 갖추어야 하는 많은 항목 중 전기추진에 관해 ‘전동기 제어’와 ‘장치와의 통신’이 이와 관련된 항목이다.

2010년 STCW 마닐라 개정 협약에서 신설된 전자기관사는 750kW 이상의 주추진 기관이 장착된 선박에서 전자기관사로 승선하고자 할 경우 취득해야 하는 면허이다(STCW part A/Table A-III /6, 2010). 이 면허는 강제규정이 아닌 임의규정으로서 전자기관사 승무여부는 기국에서 정하고 있고, 우리나라는 선박소유자의 재량에 맡기고 있

다(Lee, 2014; Ryu, 2017). 선박의 전기, 전자관련 업무를 담당하는 전자기관사 해기능력의 K.U.P에는 전기추진 관련사항이 명확히 명시되어 있다. ‘1,000 V를 초과하는 동력장치의 운전 관리’ 해기능력의 K.U.P에 ‘선박의 전기추진, 전동기 제어장치’가 전기추진 항목이다. 또한 전력변환장치와 통신에 관련된 사항으로 ‘선박에서의 컴퓨터와 컴퓨터 네트워크의 작동’ 해기능력의 K.U.P인 ‘선박의 컴퓨터 네트워크의 구조와 사용’이 해당된다.

<Table 1>은 전기추진시스템에 대해 STCW 협약에서 요구하는 항목을 정리한 것이며 K.U.P의 번호는 본 논문에서 편의상 임의로 설정한 번호이다.

나. IMO 모델코스

IMO 모델코스는 STCW 협약에서 요구하는 K.U.P에 대한 세부 교과목 및 시수 등을 명시한 지침이다. 따라서 교육기관에서 이를 준용하면 교육생은 국제적으로 요구되는 정형화된 교육을 수강할 수 있다.

상급사관에 적용되는 IMO 모델코스는 7.02, 전

자기관사는 IMO 모델코스 7.08이다. <Table 2>는 <Table 1>의 K.U.P에서 전기추진에 관련된 주요 교과목과 시수만을 분석하여 다시 정리한 것이다. <Table 2>를 보면 K.U.P 1은 전력전자 일반에 관한 기본지식, K.U.P 2와 4는 전기추진시스템 구성과 추진기 제어에 관련된 내용이다.K.U.P 3과 5는 전기추진시스템의 주요 장치인 전력변환 장치의 제어기와 관련 부속품들과 통신을 위해 필요한 내용이다.

K.U.P 4는 전자기관사에게 요구되는 주요 전기추진시스템에 관한 학습 내용으로 세부내용을 살펴보면 <Table 3>과 같다. 전기추진시스템의 구조와 장점, 추진용 전동기 및 변압기, 주파수 변조 방법, 전동기 제어방법 등이 주요 내용으로 구성되어 있다.

다. NCS

국가직무능력표준(NCS)에 전기추진시스템과 관련된 내용은 ‘분야: 기계’, ‘중분류: 조선’, ‘소분류: 시운전’, ‘세분류: 전장시운전’의 능력단위 6인 ‘특수 장비 시운전’에 수준 5로 제시되어 있다.

<Table 1> Knowledge, Understanding and Proficiency of Competency according to electric propulsion system on STCW

Table	Competency	Knowledge, Understanding and Proficiency
A-III/2	Manage operation of electrical and electronic control equipment	Theoretical knowledge 1. Marine electrotechnology, electronics, power electronics, automatic control engineering and safety devices 2. Design features and system configurations of operational control equipment for electrical motors
	Manage trouble-shooting, restoration of electrical and electronic control equipment to operating condition	Practical knowledge 3. Software version control
A-III/6	Operate and maintain power systems in excess of 1,000volts	Theoretical knowledge 4. Electrical propulsion of the ships, electrical motors and control systems
	Operate computers and computer networks on ships	Understanding of: 5. Construction and use of computer networks on ships

source: STCW convention part A, Table A-III/2, A-III/6

<Table 2> Hours and required performance of IMO model course for Electrical propulsion system

K.U.P.	Required performance	Total hour
1	- Electronics, power electronics	30
	- Three phase AC motros	6
	- Three phase synchronous motors	4
2	- Effect of varying frequency and voltage of AC motors	4
	- Motor control and protection	3
	- IGBT motor speed control	4
	- Motor speed control by thyristor	2
3	- Microcontrollers	6
4	- Electrical propulsion of the ships, electrical motors and control systems	15
5	- Construction and use of computer networks on ships	30

source: IMO model course 7.02, 7.08

<Table 3> Required performance of Electrical propulsion of the ships, electrical motors and control systems according to IMO model course 7.08

Required performance	Contents of training
Electrical propulsion of the ships, electrical motors and control systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Describes advantages of ship electrical propulsion</li> <li>▪ Presents configurations of electrical propulsion:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Electrical Propulsion Systems with classic shaft lines, Podded Propulsion Systems</li> </ul> </li> <li>▪ Draws up general block diagram of electrical propulsion system with all main components</li> <li>▪ States high voltage supply and power range of electrical propulsion systems used on ships</li> <li>▪ Describes main features of electrical motors used in main propulsion systems:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Types of electrical motor, mechanical construction, excitation, motor cooling</li> </ul> </li> <li>▪ Describes propulsion supply equipment:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Transformer with protection, Slip rings with arc monitoring circuit</li> </ul> </li> <li>▪ Names types of frequency drives used in main propulsion systems, draws up their block diagrams and explains main features:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Frequency converter(with CSI and VSI), cyclo-conveter</li> </ul> </li> <li>▪ Names methods of electrical motor control used in propulsion drives, draws up their block diagrams and explains main features: Vector control, direct torque control</li> <li>▪ describes remote control system of podded propulsion:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- rpm control, steering angle control, combined rpm and steering angle control during ship manoeuvring</li> <li>- Describes the harmonic distortion related to power electronic systems and use of harmonic filters</li> </ul> </li> </ul>

source: IMO model course 7.08

특수 장비 시운전에는 항해분야 특수 장비 점검하기, 추진분야 특수 장비 점검하기, 화물분야 특수 장비 점검하기, 안전·환경분야 특수 장비 점검하기, 에너지분야 특수 장비 점검하기의 5개 능력단위요소로 구성되어 있다. 이 가운데 추진 분야 특수 장비 점검하기가 전기추진 시스템과 관련된 부분이다. 수행준거는 10개의 항목으로 구성되어 있으며 간략히 정리하면 다음과 같다.

고전압 설비에 대한 이해와 접지 등 안전사항, 전기추진시스템의 전기도면 이해와 실물 상태 확인, I/O(Input/Output) 장비 기능 이해와 네트워크 구성, 운전 시행, 전력변환장치와의 통신, 긴급후진(Crash astern) 시행 등 6개 부분으로 정리할 수 있다.

### 3. 교육과정 분석 및 해외사례

전기추진시스템의 AC DRIVE 교육은 해당 선박의 건조 이후 계약조건으로 제조사에서 실시하는 경우가 일반적이므로 국내에서 진행하고 있는 교육과정은 전무한 실정이다. 여기서는 대표적인 제조사인 GE와 ABB의 교육과정에 대해 살펴보기로 한다.

#### 가. GE 교육내용

GE의 여러 훈련과정 중 전기추진과 관련된 교육 내용을 살펴보면 <Table 4>와 같이 정리할 수 있다. 주교육 대상은 선박의 기관사 및 유지보수 엔지니어이며 교육 일수는 5일, 최대 교육 인원수는 8명이다. 주요 교육내용은 전기추진시스템의 구성과 각 요소 역할에 대한 설명, 네트워크 부분과 I/O 모듈, 관련 내용 실습으로 구성되어 있다. 실습은 크게 I/O 장치 및 제어기 교환과 전력변환장치 내부 점검절차로 이루어져 있다. 전체 5일 과정 중 3일 이상이 실습교육에 해당되며 이는 교육생의 이해도 증진과 현장 적응력 향상에 도움이 된다. 본 교육과정의 주요 목표는 AC DRIVE를 사용할 수 있고, 제어기와 통신하여 내부 프로그램을 읽을 수 있으며 비상 시 유지보수

를 안전하게 수행할 수 있게 하는 것으로 적절하게 구성된 것으로 사료된다.

<Table 4> Course timetable and syllabus of GE

Day	Contents of training
Day 1 (theory)	- Power part overview - Control part overview
Day 2 (theory)	- Control Network hardware configuration - General knowledge for ethernet network - General knowledge I/O module - Demonstration the item by the trainer
Day 3 (practice)	- Change I/O module - Reload P80i software - Change one PECe - Work with HMI P1200
Day 4 (practice)	- Lockout practice - Safety rule and earthing procedures - Work preparation / Explanation - Procedure to change one IGBT stack by the trainees guide by the trainer - IGBT stack reassembly by the trainees guide by the trainer - How to change one IGBT
Day 5 (on site)	- Review: all the system, cooling unit, pulse test, exercise with electrical diagram

source: Training for MV7000 GE Drive, GE Power Conversion.

#### 나. ABB 교육내용

ABB의 전기추진과 관련된 교육은 전기추진 전력변환장치를 운용하는 작업자를 주요 교육 대상으로 한다. 교육일수는 기본과정은 4일, 전문가 과정은 5일이다. <Table 5>는 해당 교육 내용과 정리한 것이다.

최대 교육 인원수는 GE와 동일하게 8명이며 교육과정은 AC DRIVE의 기본 원리, 추진기능과 제어로 구성되어 있으며 AC DRIVE 내부 하드웨어 구성품 확인 및 주요부품 교환작업 등은 실습

<Table 5> Course timetable and syllabus of ABB

Day	Contents of training
Day 1	- Introduction
	- Product overview
	- Line supply unit
	- Capacitor bank unit
Day 2	- Inverter unit
	- Excitation unit
	- Water cooling unit
Day 3	- Terminal and control unit
	- Application software
	- Operation of drive
	- Drive Windows introduction and hands-on experience
Day 4	- Schematic and hardware drawing
	- Troubleshooting hands-on experience
	- Inverter module replacement hands-on experience
Day 5 (specialist topics in optional 5day course)	- Propulsion control overview
	- Main equipment
	- Protections
	- Algorithms
	- Logics

source: H864-ACS6000 AD/SD marine drive, new.abb.com

으로 진행한다. 주요 내용으로 AC DRIVE 내 PCB의 주요기능 파악, 전기도면을 활용하여 도면의 구성품과 하드웨어의 매칭(matching), 냉각시스템, AC DRIVE 기동/정지 절차를 포함한다. 또한, AC DRIVE 제어기와 통신방법, 소프트웨어를 이용하여 제어기에 접근하는 방법을 교육하여 교육생들이 실제 선박에서의 작업에 도움이 될 수 있도록 구성되어 있다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 전기추진선박 교육개발 시 고려사항

전기추진선박은 선박에서 생산되는 전력 또는 배터리에 저장된 전력을 사용자가 원하는 형태의 교류전원으로 변환하는 것이 가장 핵심이며 이

장치가 앞에서 설명한 바와 같이 전력변환장치인 AC DRIVE이다. 전기추진선박에 승무하는 기관사는 전력변환장치의 원리를 명확하게 이해하고, 문제 발생 시 응급조치할 수 있는 능력을 배양하는 것이 무엇보다 중요하다. 현재 이러한 교육은 강제화 되어 있지 않을 뿐만 아니라 해당 선박에 승무한 기관사가 매우 적은 실정이다. 따라서 전기추진선박의 기관사 또는 회사의 공무감독 등 기관관련 업무자는 전력변환장치의 원리 및 특성, 정비사항에 대해 교육을 받고 내용을 숙지해야 할 필요가 있다.

#### 2. 전기추진선박 AC DRIVE 교육 내용 개발

교육과정은 국제적으로 정형화된 교육을 제공할 수 있도록 STCW 협약과 IMO 모델코스를 준용하여 개발할 필요가 있다. 이를 위해 2장에서 분석한 <Table 2>와 <Table 3>을 고려해야 한다. Ryu(2017)에 의하면 전자기관사를 위한 교육모델에도 전기추진과 네트워크가 포함되어 있으나 전기추진선박의 기관사는 이보다 더 심화된 교육내용이 필요하며 실제 장비를 통한 실습 교육으로 현장 적응력을 높여야 한다. 특히, 주요장비가 전력변환장치인 AC DRIVE이므로 이에 대한 구성품의 구조와 원리 및 점검방법, 통신방법 교육을 통한 친숙화 및 심화교육도 동시에 필요하다.

2장의 교육내용 분석을 기반으로 국제기준에 부합하고, 선박 기관사에게 직무상 실효성 있는 교육을 제공할 수 있는 교육과정을 <Table 6>과 같이 제안하고자 한다.

제안한 직무교육은 5일(7h/day) 과정이며 실습을 고려하여 인원은 10명 이내가 적절하다.

1일차는 전기추진시스템의 장단점과 배경, 시스템 구성에 필요한 구성요소의 구조 및 원리, 특성, 운용 시 유의사항 등을 학습한다. [Fig. 1]은 실제 전기추진선박에 적용되는 주요 구성품인 주배전반(MSBD), AC DRIVE, 변압기의 외관을 나타낸 것이다.

<Table 6> The proposed syllabus of Electrical Propulsion System on Ships

Day	Contents of training
Day 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Electrical propulsion system overview</li> <li>- Construction of HV Switchboard</li> <li>- Construction of HV AC DRIVE</li> <li>- Transformer including phase-shifting TRs</li> </ul>
Day 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DFE including multi-pulse rectifier</li> <li>- Inverter(3<math>\phi</math> inverter, 2~3 level inverter, PWM modulation methods)</li> <li>- Electrical Motor</li> <li>- Control methods of electric motor</li> <li>- Function of Electrical propulsion system mode and crash astern</li> </ul>
Day 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cooling Unit overview and replenish cooling water and pressurize air tank hands-on experience</li> <li>- Analyze electrical diagram</li> <li>- Understanding hardware configuration and network</li> </ul>
Day 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- I/O module replacement/setting and Drive controller communication hands-on experience</li> <li>- VCB(Vacuum Circuit Breaker) racking in/out and earthing switch apply hands-on experience</li> <li>- Overview AC drive interlock system</li> </ul>
Day 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procedure of HV AC drive door open/close, earthing for safety hands-on experience</li> <li>- Hands-on training item                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diode/IGBT continuity test</li> <li>- IGBT pulse test</li> <li>- Replacement of IGBT/diode</li> </ul> </li> </ul>

2일차는 전력변환장치의 입출력에 해당하는 정류기와 인버터에 대해 교육한다. 정류기는 AFE(Active Front End)방식과 DFE(Diode Front End)방식이 있으며 고압을 사용하는 선박에서는 [Fig. 2]와 같은 DFE를 주로 사용하므로 이에 대해 설명한다. DFE 사용으로 인해 발생하는 네트워크의 고조파에 대한 저감대책과 [Fig. 3]에 나타난 인버터의 변조방법을 포함한다. 또한, [Fig.

4]에서 보이는 추진용 전동기의 구조와 원리, 전동기 제어기법에 대해서 교육한다.



(a) MSBD



(b) AC drive



(c) Transformer

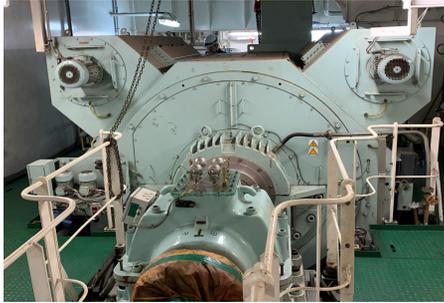
[Fig. 1] Main components of AC drive.



[Fig. 2] DFE.



[Fig. 3] Inverter.



[Fig. 4] Propulsion motor.

GE는 벡터제어, ABB사는 직접토크제어로 추진용 전동기를 제어하므로 각각의 제어기법과 특징을 비롯한 전압/주파수(V/F)제어에 대해 교육한다. 전기추진선박에서 전동기 운용에 대한 여러 기능과 NCS에서 요구하는 긴급후진(Crash astern)에 대해서도 학습한다. 2일차까지는 상기의 내용을 중심으로 이론교육을 시행한다.

3일차부터는 2일 동안 교육한 내용을 기반으로 장비 운용 시 친숙화를 위해 실습교육 위주로 구성된다. 기관사로서 전기도면을 이해하고, 실제 장비와 비교하는 능력이 필요하므로 전기도면 읽는 방법과 실제 장비에서 확인하는 실습을 진행하며 AC DRIVE에 사용되는 각 PCB (Printed Circuit Board)의 기능에 대해서도 학습한다. 또한,

[Fig. 5]와 같은 AC DRIVE 내부 냉각시스템 계통의 이해와 냉각수 도전을 증가에 대한 대책, 냉각수 보충, 공기탱크의 압력보충 등을 실습한다. AC DRIVE 패널에서 절연력이 가장 떨어질 수 있는 부분이 냉각수이므로 도전을 증가 원인 및 대처방안을 학습한다.



[Fig. 5] Cooling unit of AC drive.

4일차는 데이터 수집 장치의 교환, I/O 장치와 제어기와의 통신, AC Drive의 주차단기인 VCB (Vacuum Circuit Breaker)의 발출 등을 실습한다. [Fig. 6]과 같이 AC DRIVE의 제어기와 컴퓨터를 연결하고 통신하여 내부 제어 프로그램을 읽고 장비 운용을 위한 각종 설정 실습과 I/O장치 교환실습을 시행한다.



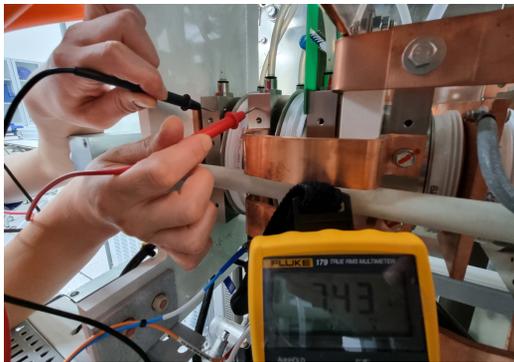
[Fig. 6] Communication between computer and AC drive.

마지막 5일차는 AC DRIVE가 고전압 설비이므로 작업 시 안전을 위해 준수해야 하는 작업절차와 [Fig. 7]과 같이 AC DRIVE의 도어(Door)를 열기 위한 인터록(Interlock) 과정을 실습한다.



[Fig. 7] Door interlock of AC drive.

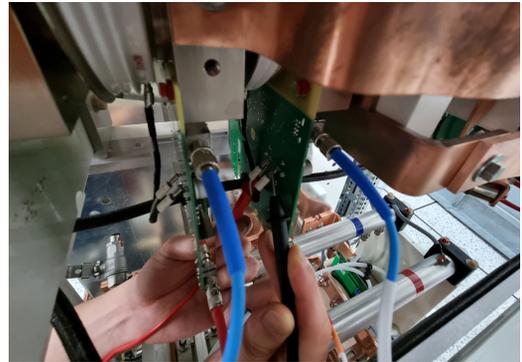
또한, 내부 주요 구성요소인 다이오드 스택(Diode stack), IGBT(Insulated Gate Bi-polar Transistor) 스택 등을 점검하고 교환하는 실습을 한다. [Fig. 8]은 멀티테스터기를 이용하여 다이오드 스택의 정상유무를 판단하는 실습이고, [Fig. 9]는 IGBT 펄스 시험을 할 때 해당 IGBT 게이트 보드(gate board)에 전원의 인가여부를 확인하는 모습이다.



[Fig. 8] Diode continuity test.

지금까지 제안한 교육과정은 IMO 모델코스 및 제조사의 교육내용을 모두 포함하고 있을 뿐만 아니라 선박 기관사가 숙지해야 할 필요가 있는 전기추진선박의 다양한 이론 및 실습 내용을 추가

한 것이다. 또한, 교육의 절반 이상을 실습 형태로 진행하도록 제안함으로써 교육생들의 친숙화 및 이해도를 향상할 수 있도록 구성하였다.



[Fig. 9] IGBT pulse test.

#### IV. 결론

전 세계적으로 기후환경의 변화에 대한 고민이 깊어짐에 따라 해운분야에서도 선박운항 시 배출되는 배기가스의 규제가 강화되었다. 따라서 신조되는 선박은 친환경선박 중 전기추진방식이 많이 고려되고 있다. 또한, 자율운항선박에 대한 연구도 4단계를 목표로 많이 진행되고 있으며 최종적으로는 전기추진을 고려할 수밖에 없다.

본 논문에서는 향후 수요가 증가할 것으로 예상되는 전기추진시스템을 고려하여 이를 운용할 기관사, 관리자 등을 대상으로 하는 교육내용을 검토 및 제안하였다.

제안한 교육과정은 전기추진시스템의 핵심장치인 AC DRIVE를 운용하고 정비하는데 초점을 맞추었다. 또한, 국제기준에 맞는 교육 설계를 위해 STCW 협약과 IMO 모델코스의 교육내용을 검토하였다. 이와 함께 선박추진용 고전압 AC DRIVE의 대표적인 제조사인 ABB와 GE에서 시행하는 교육 내용도 참고하였다.

본 논문에서는 이를 종합적으로 고려하여 5일 총 35시간의 실습위주의 교육과정으로 설계하였

다. 특히, 실습으로 진행되는 3일 동안의 교육 내용인 AC DRIVE의 냉각시스템, 네트워크 및 통신방법, 제어기 및 I/O 장치 교환 방법, 다이오드 스택과 IGBT 스택 교환 방법, AC DRIVE내부 작업 시 안전을 위해 준수해야 하는 작업절차 및 도어(Door) 개방 인터록 절차 등을 통해 교육생들에게 현장감과 이해도를 높일 수 있도록 하였다. 현재까지는 국내에서 제조사 이외의 교육과정이 없는 것을 감안하면 본 논문이 전기추진선박에 승선하는 선박 기관사 및 관련 기술자에게 제공하는 직무교육의 좋은 모델이 될 수 있을 것으로 사료된다.

## References

- Chae CJ, Kim MG and Kim HJ(2020). A Study on Identification of Development Status of MASS Technologies and Directions of Improvement, Appl. Sci.MDPI  
<https://doi.org/10.3390/app10134564>
- H864(2021). ACS6000 AD/SD marine drive. Retrieved from  
<https://new.abb.com/marine/systems-and-solutions/service/training/marine-academy-courses/electrical-products-courses/h864---acs6000-ad-sd-marine-drive>
- IEC 60092-501 Electrical installation in ships - Part 501: Special features - Electric propulsion plant
- IMO model course 7.08(2014). Electro-technical officer
- IMO model course 7.02(2014). Chief engineer officer and second engineer officer
- KOTRA(2021). Global shipbuilding Industry Outlook. Retrieved from  
<https://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/782/globalBbsDataView.do?setIdx=243&dataIdx=190126>
- Lee SI and Choi JH(2014). A Study on the method of adoption of Korean law for the electro-technical officer, Journal of Korean Society of Marine Engineering, 38(4), 486~494.  
<https://doi.org/10.5916/jkosme.2014.38.4.486>
- MOF(2021). Korean-style eco-friendly ships prepare to lead the global carbon-neutral ship market. Retrieved from <https://www.mof.go.kr/iframe/article/view.do?articleKey=37039&boardKey=10&currentPageNo=1>
- MOLEG(2021). Enforcement Decree of Marine Environment Management Act, Article 42.
- MOLEG(2021). Enforcement Rules of the Air Conservation Act, Article 124.
- MV7000(2021). Training for MV7000 GE Drive. Retrieved from <https://www.gepowerconversion.com/sites/default/files/Marine%20Training%20Catalog.pdf>
- Park JW and Kim SY(2014). Technology Trend of Ship Electrical Propulsion System, The journal of the Korean Institute of Power Electronics, 19(3), 31~37.
- Ryu KT and Lee YH(2017). Development of a Training Model for Electro-Technical Officers on Ships, JFMSE, 29(3): 767~777.  
<https://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2017.29.3.767>
- STCW part A/Table A-III/2(2010). Specification of minimum standard of competency for chief engineer officers and second engineer officers on ships powered by main propulsion machinery of 3,000kW propulsion power or more
- STCW part A/Table A-III/6(2010). Specification of minimum standard of competency for electro-technical officers

- 
- Received : 08 October, 2021
  - Revised : 27 October, 2021
  - Accepted : 01 November, 2021