

## 선박 기관사의 고전압 직무교육 내용에 관한 연구

이윤형\* · 소명옥\*\* · 류기탁†

(\*한국해양수산연수원 · \*\*한국해양대학교)

### A Study on the Contents of the High Voltage Training for Engineering Officers on Ships

Yun-Hyung LEE\* · Myong-Ok SO\*\* · Ki-Tak RYU†

(\*Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology · \*\*Korea Maritime and Ocean University)

#### Abstract

In recent years most of large-sized merchant ships have been equipped with a high-voltage system. The ships demanding a lot of electric power adopt the high voltage such as 3.3kV, 6.6kV, 11kV. Gradually as the high voltage system is increased in the ships, engineering officers are more opportunities to operate the high voltage system. So the high voltage training for engineering officers was established in the STCW 1978 as amended by the Manila Amendments in 2010. According to this convention when the engineering officers want to board the high voltage ships on and after January 1 in 2017, they must take the high voltage training.

This paper, firstly, analyzes the content of high voltage training in STCW convention and IMO model course. In addition, it reviews the parts need to be considered in the content of the high voltage training. Finally this paper proposes the contents of training model divided into theory and practice.

**Key words : High voltage, STCW, High voltage training, Engineering officer**

#### I. 서론

최근 선박건조의 변화를 살펴보면 선박이 대형화 되고 고출력 선박이 건조되고 있으며 해양환경 오염방지를 강화하는 추세에 따라 기존의 디젤엔진 추진방식에서 전기모터 추진 방식으로 변화하고 있다. 대표적으로 대형 LNG선, 대량의 냉동 컨테이너를 적재하는 컨테이너선, 크루즈선 등이 있으며 이들은 선박 자체에서 필요로 하는 전력수요도 많이 증가하게 되어 고전압(high voltage)을 사용한다(Im et al., 2015). 이와 같이 선박시스템에서 수요 전력이 증가할 때 저전압으

로는 공급해야 하는 전류가 너무 높기 때문에 효과적이거나 실질적이지 못하게 된다.

현재 선박에서 일반적으로 사용되는 발전 전압은 440V, 3.3kV, 6.6kV, 11kV 등이 있다. 과거 선박은 선내의 필요 전력이 크지 않았기 때문에 440V를 사용하여 선내 필요 전력을 충족하는데 큰 문제가 없었다.

그러나 앞에서 설명한 것처럼 선박이 고출력화되면서 보조기계류의 대용량화는 필연적인 것이 되었고, 전기로 추진하는 선박이 출시됨에 따라 기존의 440V로는 선내에서 필요로 하는 전력을 충족하기에는 한계가 발생하게 되었다. 또한 대

† Corresponding author: 051-620-5776, ryukitak@seaman.or.kr

형 선박들은 항구에 접·이안 할 때, 예인선(tug boat)의 도움을 줄이기 위해 선수·선미에 각각 2MW 이상의 대용량 전기모터가 장착된 추진기인 스러스터(thruster)를 설치하여 운용하게 된다. 이러한 전기모터에는 고전압이 사용된다. 따라서 전력수요가 많은 선박은 440V 대신 고전압에 해당하는 3.3kV, 6.6kV, 11kV를 상용 전압으로 사용하고 있다.

이와 같이 고전압을 사용하는 선박이 증가됨에 따라 고전압을 운용하는 선박에 승선하는 해기사들이 늘어나게 되었다. 선박 내부의 전기 운용에 있어 안전사고는 항상 주의하여야 하는데 특히, 고전압에서 전기 안전사고는 더욱 그러하다. 이에 대응하기 위해 고전압 시스템이 있는 선박에 승선하는 해기사를 위한 고전압 직무 교육의 필요성이 국제적으로 대두되게 되었다.

2010년 개정된 STCW 협약(마닐라 개정)에서 고전압을 사용하는 선박에 승무하는 기관사에 대한 교육이 신설되고, 강제화되었다. 개정된 STCW 협약은 2012년 1월 1일 발효되었으며 5년의 경과기간을 거쳐 2017년 1월 1일부터 강제화된다. 국내에서도 강제화된 STCW 협약을 받아들여 선박직원법상에 고전압 교육 시행을 명시하고 있다. 이로 인해 국내의 지정교육기관에서는 고전압 교육을 받을 수 있도록 교육과정을 준비하고, 시행해야 한다.

본 논문에서는 이와 같은 국내·외 상황을 고려하여 국제 규격에서의 고전압 기준과 STCW 협약에서 정의하는 고전압 교육관련 규정 및 IMO의 표준과정에서 제시하는 교육 내용을 살펴본다. 또한, 해외에서 시행되고 있는 고전압 관련 교육을 분석하고, 마지막으로 이를 기반으로 하여 국내의 실정에 맞는 고전압 교육 내용에 대해 제안하고자 한다.

## II. 고전압 교육 관련 규정

### 1. 고전압 기준

IEC 60038(2009)에서는 전기 장비와 시스템 설계 및 테스트에 적용되는 기준 전압을 제공하고 있으며 이러한 값들은 전기 공급 시스템이 지속적으로 개선되어 오면서 널리 사용되고 있는 전압을 근거로 한다. 이 국제 규격에 따르면 교류 시스템에 대한 기준 전압은 크게 100V, 1kV, 35kV, 230kV, 245kV 초과 등의 구간으로 나누어져 있다.

한편, IEC 62271(2011)에서는 1kV를 초과하는 교류 차단기(switchgear)에 대한 구체적인 기준들을 제시하고 있으며 1kV를 초과하는 전압을 고전압으로 분류하고 있다.

선박의 경우 IEC 60092-503(2007)에서 전기 설비에 대한 세부적인 사항들이 SOLAS 협약을 근거로 하여 명시되어 있다. IEC 60092-509(2011)에서 선박에서 사용하는 전압을 분류하고 있다. 교류의 경우, 저전압은 1kV 이하의 전압으로 정의되고, 고전압은 1kV 초과인 전압으로 정의된다. 선박에서 사용되는 고전압을 분류하면 3kV, 3.3kV, 6kV, 6.6kV, 10kV, 11kV, 15kV 등이 있으나 주로 사용되는 전압은 3.3kV, 6.6kV, 11kV이다.

### 2. 국·내외 고전압 교육관련 규정

#### 가. STCW 협약의 고전압 교육

STCW(2010) 협약에서는 운항급의 선박 당직 기관사에 대한 해기 능력 최저 기준을 STCW 협약 A-III/1의 table에 명시하고 있으며, 추진 동력 3,000kW 이상의 선박에 승선하는 기관장과 1등 기관사를 의미하는 관리급에 대한 해기 능력의 최저 기준을 STCW A-III/2의 table에 나타내고 있다.

Tables A-III/1, A-III/2에는 선박기관공학, 전기·전자 및 제어공학, 보수관리와 수리, 선박운항의 통제와 선상의 인명관리 등 4가지 기능(function)으로 분류하고 있으며 세부적인 교육과 훈련 내

용들이 기술되어 있다.

특히, 2010년 마닐라 개정에서 Table A-III/1의 전기·전자 및 제어공학의 기능에 고전압 장치 (high-voltage installations)가 추가되고, Table A-III /2의 동일한 기능에 고전압 설비의 설계 특성 (Design feature of high-voltage installations)이 추가적으로 도입됨으로써 고전압 교육이 강제화 되게 되었다. 한편, STCW 협약 코드 B-III/2에 1kV가 초과되는 전기 전력 설비의 안전한 작업에 대한 관리 책임이 있는 기관부 종사자가 받아야 하는 훈련의 세부 사항이 명시되어 있으며 <Table 1>은 이에 대한 세부적인 내용을 나타낸 것이다.

<Table 1> Guidance regarding High-voltage training course

Division	Contents of training
High voltage training	1 the functional, operational and safety requirements for a marine high-voltage system;
	2 assignment of suitably qualified personnel to carry out maintenance and repair of high-voltage switchgear of various types;
	3 taking remedial action necessary during faults in a high-voltage system;
	4 producing a switching strategy for isolating components of a high-voltage system;
	5 selecting suitable apparatus for isolation and testing of high-voltage equipment;
	6 carrying out a switching and isolation procedure on a marine high-voltage system, complete with safety documentation; and
	7 performing tests of insulation resistance and polarization index on high-voltage equipment.

Source: STCW code part B-III/2

나. IMO 표준과정의 고전압 교육

IMO(International Maritime Organization)에서 별도로 마련된 고전압 교육 관련 표준과정은 없

나 IMO 표준과정 7.04(IMO model course 7.04, 2014)와 7.02(IMO model course 7.02, 2014)에 STCW 협약에서 요구하는 고전압 교육의 세부내용을 포함시켜 명시하고 있다.

<Table 2> High-voltage training at the operational level course

Required performance	Contents of training	Time (h)
High voltage installations	-states that more than 1,000V is usually called high voltage -states how and why high-voltage installations are used on board ships -states what voltages are mostly used as high voltage systems such as high-voltage generator, distribution board, motors, etc. -states the special characteristics and features of high-voltage installations in comparison with less than 1,000V -states that high-voltage systems are normally earthed via a resistor -explains how the presence of earth faults is indicated in a high-voltage system with an earthed neutral -states safety precautions to be strictly observed to prevent accidents when working on high-voltage electrical equipment -states that any operation of high-voltage installations must be carried out remotely at place where a certain distance is being kept from the installations	5.0

Source: IMO model course 7.04

IMO 표준과정 7.04에 따르면 운항급에 대해서는 <Table 2>에 나타난 것과 같이 고전압의 정의, 선박에서 고전압을 사용하는 이유, 고전압 발전기·배전반 및 전동기에 주로 사용되는 전압, 저전압과의 특징 비교, 접지방식 및 고장전류, 안전사

항 등 고전압 설비에 관련된 사항을 5시간 교육할 것을 권고하고 있다.

한편, 관리급에 대한 표준과정 7.02에 따르면 <Table 3>과 같이 고전압의 장점, 접지 시스템, 보호장치, 개폐장치, 격리절차, PI 테스트 등 고전압 설비 설계 특성에 관련된 사항으로 20시간, 그리고 보호 장구, 작업 허가와 문서작성 등과 같은 작업 안전에 대한 사항을 2시간으로 하여, 총 22시간으로 기관장 및 1등 기관사에게 교육할 것을 권고하고 있다.

다. 국내법상의 고전압 교육

우리나라도 STCW 협약에 의해 선박직원법 제 5조(면허의 요건)에 따라 선박직원은 등급별 면허에 필요한 교육·훈련을 이수하도록 명시하고 있다. 또한 1kV 이상 고전압의 발전기 또는 변압기가 설치된 항해선에 기관장, 1등 기관사, 운항장(기관전문) 또는 1등 운항사(기관전문)로 승무하려는 사람은 3일의 고전압 직무 교육을 받도록 동법 시행규칙 제2조(교육)에서 규정하고 있다.

이러한 교육은 선박직원법 시행규칙 제3조에 따라 해양수산부고시 제2015-143호에 의해 지정된 지정교육기관에서 시행된다. 또한 지정교육기관은 교육시설, 교육과정 및 교원의 자격 등의 기준에 의해 정부가 허가한다. 선박직원법상에서 제시하는 고전압 직무교육과정의 교육내용은 앞에서 언급한 STCW 협약 코드 B-III/2와 동일하다.

Ⅲ. 고전압 교육 분석과 해외 사례

1. 고전압 교육시 고려 사항

STCW 협약 A-III/1, A-III/2에서 요구하는 고전압 교육과 IMO의 표준과정 및 국내법에서 요구하는 교육 내용에는 고전압 발전 및 배전의 구성, 운용시 안전 사항, 작업 절차, 보호장구의 사용, 구성품의 특징과 장비의 사용법 등으로 구성되어 있다. 선박에서 전기 작업의 안전사고는

<Table 3> High-voltage training at the management level course

Required performance	Contents of training	Time (h)
Designing features of high-voltage installations	-generation and distribution of high voltage on ships -electric propulsion system -synchro-convertors and cyclo-convertors -functional, operational and safety requirements for a marine high-voltage system -assigning qualified personnel to carry out maintenance and repair of high-voltage switchgear of various types -high-voltage system advantages -advantages of an insulated system -high-voltage circuit breakers -high-voltage cable -high-voltage fuses -remedial action necessary during faults in a high-voltage system -switching strategy for isolating components of a high-voltage system -selection of suitable apparatus for isolation and testing of high-voltage equipment -switching and isolation procedure on a marine high-voltage system, complete with safety documentation -performance of insulation resistance and polarization index on high-voltage equipment	20.0
Operational safety of high voltage installations	-knows how to use HV PPE: insulated gloves, goggles, insulating bars, insulating footwear, mats, earthing cables, HV testers -knows terms of certification of PPE -explains HV safety procedures: -permission and coordination of HV works -information, warnings and protection against unauthorized influence on safety -assistance during HV work -checking for voltage presence before any work starts	2.0

Source: IMO model course 7.02

항상 주의가 필요하며, 특히 고전압에서의 안전 사고 발생 시 파급력이 매우 크므로 안전수칙과 장비 운용법에 대해 명확히 알고 있어야 한다. 국제적으로 요구되는 교육 내용과 현장의 특성을 감안하여 현장에서 안전사고가 발생되지 않도록 교육하는 것이 매우 중요하다.

고전압 교육은 이론적 교육이기 보다는 고전압 전기 관련 안전 및 실습교육에 가깝다고 볼 수 있다. 따라서 고전압 전기의 특성과 장비의 특성을 명확히 이해하고, 관련 작업 시 발생할 수 있는 안전사고를 예방하는 것에 교육의 의미가 있다. 이를 위해서는 교육생 개개인이 고전압 장비를 직접 다루는 실습위주의 교육이 되어야 하고, 이에 대한 수행 평가도 실습으로 하여 교육 후 장비 운용에 대해 자신감을 가지도록 할 필요가 있다.

## 2. 해외 교육 사례

### 가. 영국

MCA(maritime & coast guard agency)에서는 고전압 시스템이 설치되어 있는 선박에 기관사로 승무하고자 하는 선박 직원이 2017년 1월 1일 이전에 고전압 교육을 받지 않을 경우 해당 선박 승무에 제한을 두고 있다. 고전압 시스템 선박의 기관사에 대해 STCW 협약 마닐라 개정 사항을 충실히 따르고 있으며 운항급과 관리급으로 구분하여 면허 갱신을 제한하고 있다(MSN 1861, 2015).

운항급 기관사는 MCA에서 승인한 운항급 고전압 직무교육을 이수하거나 일정 기간 동안 고전압 시스템의 선박에서 승무를 요구하고 있으며 경력 증빙은 회사의 공식적인 문서로 해야 한다. 관리급 기관사도 마찬가지로 MCA에서 승인한 관리급 고전압 직무교육을 수료하도록 하고 있다.

영국의 대표적인 MCA 승인 선원 교육기관은 와사시 해사대학(warsash maritime academy)으로 Southampton Solent University 소속이며, 70년간

공인된 해기관련 교육, 석유·가스 산업관련 교육 등을 제공하고 있다(www.warsashacademy.co.uk). 운항급의 고전압 교육(high voltage operational level course)은 1일 과정이며 교육내용은 고전압 시스템과 관련된 위험, 안전요구사항, 보호장치의 배열, 안전절차, 고장 시 대처법 등이다. 반면, 관리급의 고전압 교육(high voltage management level course)은 5일 과정이며 교육 수강을 위한 기본 충족 조건이 있다. 교육에 참여하고자 하는 선원은 12개월 이상의 승인된 당직기관사 경력과 선박에서의 전기 작업 경험이 있어야 하고 전기관련 교육이수에 대한 서류 증빙이 되어야 한다. 교육 과정 중에 필기 및 실습 평가를 실시하며 총점수의 80%를 넘어야 수료된다. 관리급에 대한 세부적인 교육 내용은 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Course timetable and syllabus

	Contents of training
Day 1	-Introduction to the course -Electrical hazards and precautions -HV legislation and guidance -HV management, HV marine distribution system, HV operational and safety features -Protection devices
Day 2	-Arrangement of HV rooms -Operation of interlock systems -HV power management and generator power management systems -Synchronisation of generators -Theoretical and practical using a simulator
Day 3	-Isolation and earthing of HV equipment -Theoretical and practical using HV circuit breakers -Practical maintenance of CB -Transformers and motors
Day 4	-Permit to work and sanction for tests -Compilation and implementation of switching plans -Exam and assessment preparation
Day 5	-Practical assessments -Course wash up and presentation of certificates

Source: Course and joining information(HV management level), WMA, 2015

관리급의 교육 과정을 살펴보면 크게 이론 부분과 실습 부분으로 구분할 수 있다. 이론 부분은 1명의 강사가 전담으로 <Table 4>에 따라 강의하며 강사와 교육생의 상호 토론 형태로 수업이 진행된다. 실습 부분은 별도의 강사가 전담하며 보유하고 있는 시뮬레이터 및 실제 고전압 배전반을 이용하여 교육생이 직접 고전압 장비를 실습할 수 있도록 하고 있다. [Fig. 1]과 [Fig. 2]는 교육 시 실습하는 고전압 발전기의 VCB (Vacuum Circuit Breaker) 패널과 VCB 조작 절차 시 필요한 전원확인 시험장치(live-line tester)를 나타낸 것이다. 이와 같이 실제 고전압 선박에서 사용하는 설비와 다양한 시험장치를 이용한 실습 교육을 통해 실제 선박에서의 직무능력 향상 및 안전사고 예방을 도모할 수 있다.



[Fig. 1] VCB panel of High Voltage Generator in Warsash Maritime Academy



[Fig. 2] High Voltage Live-Line Tester

#### 나. 싱가포르

싱가포르에서는 선박 종사자를 위한 교육, 전문 제조사 관련 교육 및 석유·가스 산업 관련 교육 등을 시행하는 여러 기관들이 설립되어 있다. 이들 기관 중 선박 전기 설비에 대한 대표적인 교육기관으로 ABB marine academy가 있다. 이곳에서는 주로 전기 추진 시스템 관련 교육, 시추 관련 교육, 고·저압 배전반 관련 교육, 전력관리 관련 교육, 고전압 안전 교육 등을 제공하고 있다.

ABB marine academy는 고전압 시스템이 있는 선박의 선박직원이 필수적으로 받아야 하는 고전압 관리급 교육(high voltage management course)을 제공한다(ABB Marine Academy course description, 2015). <Table 5>는 세부적인 교육내용을 나타낸 것으로 거의 매일 시험이 있으며 와사시 해사대학의 교육내용과 크게 차이가 없음을 확인할 수 있다.

<Table 5>와 같이 STCW 협약 마닐라 개정에서 요구하는 고전압 교육을 충족하기 위한 교육 내용을 제공하며, 영국 MCA의 인증을 받아 시행하고 있다.

<Table 5> Course timetable and syllabus

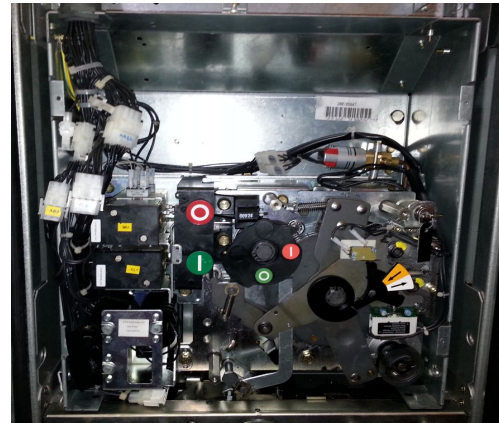
	Contents of training
Day 1	-Welcome & Agenda for the week -Safe steps for working on HV equipment -International Requisites for HV work on-board -Grounding network simulation exercise -First exam.
Day 2	-Safe working procedures -PPE and tools for HV work -Practical exercise
Day 3	-International technical standards -HV equipment safety guidelines -Dangers of electricity -Second exam
Day 4	-Arc faults in switchgear -Important considerations in marine electrical installations -Individual accident analysis -Protection relay exercise -Third exam
Day 5	-General protection and power plant regulation -Switching exercise -Final exam

Source: ABB marine academy course description

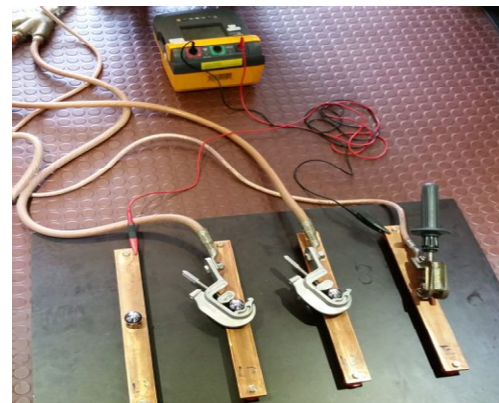
교육 일수는 5일이며, 최대 교육 인원수는 10명이다. 작업 실습, 사례 분석, 평가 등이 가능하도록 또한, 교육생이 실제 작업해 볼 수 있도록 실습 교육으로 진행되고, 강사와 교육생의 토론을 통한 상호작용이 높은 것으로 평가된다. 이곳 역시 교육을 받기 위해서는 전기나 전자에 대한 선박 경험이 요구되고 당직 기관사로서 1년 이상의 승무경력, 전기관련 교육의 수료가 충족되지 않으면 교육을 받을 수 없도록 제한하고 있다.

ABB marine academy도 와사시 해사대학과 같이 실제 선박에서 사용하고 있는 고전압 장치를 교육에 활용하고 있다. 특히, ABB는 세계적으로 선박에서 많이 이용하는 고전압 설비의 제조사이기 때문에 선박의 기관사가 손쉽게 경험하는 장비라는 점에서 장점을 가지고 있다. [Fig. 3]은 실

습용 VCB이고 [Fig. 4]는 고전압 설비의 절연저항 측정 실습장치를 나타낸 것이다. 이곳 역시 실제 장비를 이용함으로써 교육효과를 극대화하고 있다.



[Fig. 3] Inside of VCB



[Fig. 4] Test of Insulation Resistance

다. 미국

USCG(united states coast guard)에서는 STCW 협약 마닐라 개정에 근거하여 관리자급 기관사에 대해 MEECE(Management of Electrical and Electronic Control Equipment) 교육을 강제화하고 있고, 전자기관사에게는 고전압 교육을 요구하고 있다. 이와 별도로 STCW A-III/1, A-III/2, table A-III/1, table A-III/2에 근거하여 고전압 교육을 USCG의 승인을 받아 고전압 안전교육(High

voltage safety)을 실시하고 있다. 고전압 안전 교육을 제공하고 있는 대표적인 기관으로 Calhoon MEBA Engineering school, OCS training institute, Seafarers Harry Lundeborg School of Seamanship 등이 있다(www.uscg.mil/nmc).

이 교육기관들 중 Calhoon MEBA Engineering school에서 시행하는 고전압 안전 교육은 5일간 진행되며 정원은 12명이다. 강의와 그룹 실습으로 교육이 진행되며 고전압 장비의 안전한 작업을 위한 제반적인 사항에 대해 교육한다(www.mebaschool.org/curriculum). 고전압 장비의 안전 운전과 유지보수에 관한 사항, 접지 절차, 개인보호장구, 전기 충방전 특성, 절연내력, 전기장과 자기장에서의 물질 운동관계 등에 대해 학습한다. 또한 인체에 대한 전기충격 특성, 공구 사용법, LOTO(Lock Out Tag Out), 안전 작업 절차, 고장 전류 계산, Arc-flash의 위험, 절연저항과 PI 테스트, 적외선 온도 감지기 실습 등을 학습한다. 특히, 전원이 살아 있는 12.47kV 3상 전력 시스템에서 그룹 실습을 진행하여 현장감 있는 실습을 제공하고 있다. 이곳 역시 현장의 실습교육을 강조하고 있으며, 이를 통해 교육생의 직무 능력을 향상시키고 있다.

#### IV. 고전압 직무 교육 내용의 개발

##### 1. 실습교육의 필요성

3장의 해외 사례에서 확인할 수 있듯이 고전압 직무교육에 있어서 아주 중요한 축을 차지하고 있는 것이 실습교육이다. 이는 선박 기관사의 직무 능력 향상과 안전사고 예방에 있어 실습교육이 중요하다는 것을 의미한다. 따라서 국내에 개설되는 고전압 직무 교육의 내용에도 실습교육이 포함되어야 할 것이다.

이러한 실습교육 내용에서 가장 중요한 것은 안전한 작업 절차의 숙지와 장비의 안전 특성을 이해하는 것이다. 이를 위해 교육생은 설비 작업

절차, Permit-to-work 작성과 해제 절차, 전원 분리와 복구 절차, 차단기 조작 절차 및 인터록 시스템을 이해하고, 직접 실습으로 진행하여 교육생이 적극 참여할 수 있는 교육으로 진행되어야 한다. 교육생이 기본적으로 숙지하여야 하는 차단기의 인터록(IEC 62271-1(2011)) 장치는 제조사와 사용자 사이의 협의를 통해 정해지고, 잘못된 동작으로 인한 손상을 방지할 수 있도록 교육생은 해당 선박의 고전압 설비 제조사의 특성을 이해하고 있어야 한다. IEC 62271-200(2011)의 일부 기능을 소개하면 <Table 6>과 같다.

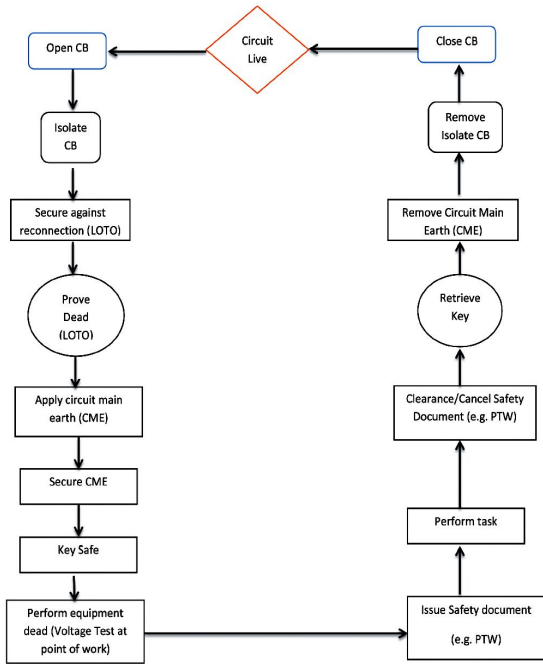
<Table 6> Interlocking devices of Metal-enclosed switchgear and controlgear with removable parts

Clause	Contents
Interlocking devices	-The withdrawal or engagement of a circuit-breaker, switch or contactor shall be prevented unless it is in the open position
	-The operation of a circuit-breaker, switch or contactor shall be prevented unless it is only in the service, disconnected, removed, test or earthing position.
	-The interlock shall prevent the closing of the circuit-breaker, switch or contactor in the service position unless any auxiliary circuits associated with the automatic opening of these devices are connected. Conversely, it shall prevent the disconnection of the auxiliary circuits with the circuit-breaker closed in the service position.

Source: IEC 62271-200

또한 고전압 설비의 작업에서는 안전 절차 준수가 중요하기 때문에 실습 교육 시 작업 절차를 숙지해야 한다. [Fig. 5]에서 고전압 작업에서 지켜야 할 작업 절차의 예를 볼 수 있으며 선박별로 자체적인 작업 절차가 구비되어 있으므로 승선 후 반드시 확인해야 한다.





Source: HV management level course material, ABB marine academy

[Fig. 5] Working procedure of HV installation

선박별로 절차의 차이가 있을 수 있으므로 강사와 교육생 사이 또는 교육생 상호간에 활발한 토론으로 교육을 진행하면 효과적일 것으로 기대된다.

## 2. 고전압 직무 교육 모델 개발

국제적인 교육기준이 되는 IMO 표준과정을 참고하고 각 국가별 특성에 맞게 보완하여 효과적인 교육이 될 수 있도록 해야 한다.

따라서 본 논문에서는 국내법에서 규정하고 있는 관리 책임자가 받아야 하는 고전압 관리급 교육에 대해 이론 및 실습 교육 모델을 제시하고자 한다. 관리자급 고전압 교육은 이론과 실습교육이 효과적으로 분배되어야 교육 목표를 달성할 수 있다. 특히 선박 기관사들은 고전압 설비에 대해 막연한 위험에 대한 인식만 가지고 있고 제

대로 알지 못해 안전사고의 위험에 노출되어 있기 때문에 이를 위해 체계적인 교육이 필요하다.

본 논문에서는 이를 위해 이론 교육 9시간, 실습 교육 10시간, 실습 평가 3시간으로 모두 22시간의 3일 교육을 제안한다.

### 가. 이론 교육

고전압 설비의 특성을 이해하고 안전하게 작업을 수행하기 위해서는 이론(theory)교육이 필요하다. 고전압에 대한 기본 지식과 안전 문서 작성 등에 관한 지식을 습득하여야 관리자로서 작업 현장을 효과적으로 지휘할 수 있다. 이를 위해 국제 기준에 부합하고 관리자들이 인지하고 있어야 하는 핵심적인 내용 위주로 이론교육이 시행되어야 한다. 따라서 다음과 같은 교육 과목과 시간 배분을 제안한다.

고전압의 정의 및 규정(1시간), 안전문서 및 선박의 접지시스템 개요(1시간), 고전압 차단기 구조 및 배전시스템의 구성(2시간), 고전압 배전시스템의 보호장치 및 발전기 동기화(2시간), 고전압 장치의 Isolation과 earthing 절차(2시간), 고전압 장비의 시험(1시간)으로 교육 과목과 교육시간을 제안한다.

특히, 고전압 장치의 Isolation과 earthing 절차에 대한 교육 과목에서는 교육기관에 구축되는 실습 장비에 특화된 내용뿐만 아니라 고전압 선박에서 사용되는 다른 방식에 대해서도 비교하여 설명해야 한다. 그리고 실제작업 시 작성해야 하는 작업절차서, 안전문서인 Permit-to-work 및 Limitation of access 등의 작성 방법을 실제 도면과 연관 지어 교육해야 한다.

고전압 장비의 시험에 대한 교육 과목에서는 실제 고전압 장비에 사용하는 시험 장비를 구비하여 실습장비에서 시험 절차에 따라 수행하도록 사용법과 관련 이론을 교육해야 한다.

본 논문에서는 이와 같이 실습 효과를 높일 수 있도록 하는 이론 교육에 모두 9시간을 배정하는 것을 제안한다.

#### 나. 실습 교육

실습 교육의 주된 목적은 교육생들이 고전압 장치를 사용하고 작업을 지시할 수 있도록 하는 것이다. 고전압 장비는 실제 현장에서 사용되고 있는 실제 장비 또는 실제 장비와 유사하고 안전성이 확보된 시뮬레이터로 실습하는 것이 현장감을 높일 수 있는 좋은 방법이 된다. 이를 위한 실습 장비로는 기본적으로 고전압 차단기가 설치된 배전반이 필요한데 이는 고전압 발전기 패널, 고압 변압기 패널, 고압전동기 패널, GPT (Grounding Potential Transformer) 패널 등이 해당된다. 또한, 고전압 차단기 발출 공구, Live-Line Tester, 고전압용 Megger Tester, Spider(Portable Earthing Tool), VCB 진공도 측정 장치, LOTO 장치가 있어야 한다. 이러한 장치를 이용한 실습 교육 과목을 다음과 같이 제안한다.

고압 차단기 조작 절차 실습, 고전압 배전반의 Isolation과 earthing 절차 실습, 현장의 고전압 전기기기의 earthing 실습, LOTO 시행을 실습교육 과목으로 제안한다.

실습을 진행하기에 앞서 이론 교육의 내용에 포함되어 있는 작업절차서 및 고전압 안전문서인 Permit-to-work 등을 교육생이 직접 작성할 수 있도록 실습 내용을 구성하면 보다 더 효과적인 것으로 생각된다.

실습 교육은 위의 교과목을 포괄하도록 하는 고전압 장치에서의 대표적인 정비 작업 절차를 몇 가지 시나리오로 구성하여 진행하는 것이 효과적이다. 이 시나리오에 따라 진행하는 실습 교육은 10시간으로 운영하고, 최종적으로 개별 숙지여부에 대한 실습 평가 3시간을 진행할 것을 제안한다. 실습 평가를 통해 교육생은 교육 과정의 이론과 실습 내용을 요약하고, 종합할 수 있는 좋은 기회를 제공 받을 수 있다. 평가자는 제시된 평가 상황에 대해 위에서 언급한 모든 실습 내용을 전반적으로 포괄하는 작업 준비와 작업 시행 그리고 상황 복구에 대한 절차를 수행할 수 있는지를 체크리스트를 통해 확인해야 한다. 실

습 평가가 진행되는 동안 상황에 따른 평가자의 구두 질문도 교육 효과를 제고할 수 있다.

## V. 결론

최근 화물선의 건조 성향은 계속해서 대형화 및 고출력화로 진행되고 있다. 또한, 운임요율이 높은 냉동컨테이너선, LNG선 및 크루즈선들은 기존의 440V인 저전압으로는 감당할 수 없는 한계에 이르러 점차 고전압 시스템으로 변화되고 있는 실정이다. 이와 더불어 STCW 마닐라 개정 협약 A-III/1, A-III/2에서 고전압을 사용하는 선박에 승무하는 기관사에 대한 교육이 신설되고, 2017년 1월 1일부터 강제화되었다. 선진 해운국에서는 이에 대응하기 위해 다양하게 교육이 진행되고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 STCW 협약, IMO 표준 과정에서 제시하는 고전압 관련교육을 분석하고, 해외에서 시행되고 있는 내용을 기반으로 관리급 고전압 교육 내용과 시간 배분을 제안하였다. 교육 내용은 이론 및 실습 교육으로 구분하였으며 특히, 실습평가를 포함한 실습교육에 중점을 두고 교육 내용을 구성한 것으로 제안하였다. 이러한 교육을 통해 선박 기관사는 고전압 작업에 대한 직무능력이 향상되고 고전압 관련 안전사고 예방에 큰 도움이 될 것으로 생각된다.

## References

- ABB Marine Academy course description(2015). High voltage management(STCW approved)
- IEC 62271-1 Edition 1.1(2011). High-voltage switchgear and controlgear-Part 1: Common specifications
- IEC 62271-200 Edition 2.0(2011). High-voltage switchgear and controlgear-Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1kV and up to and including 52kV
- IEC 60038 Edition 7.0(2009). IEC standard voltages

- IEC 60092-503 second edition(2007). Electrical installations in ships-Part 503: Special features-AC supply systems with voltage in the range of above 1kV up to and including 15kV
- IEC 60092-509 Edition 1.0(2011). Electrical installations in ships-Part 509: Operation of electrical installations.
- Im, Myeong-Hwan · Sin, Ho-Sig(2015). A Study on Training of Maritime Cadets of Increasing High Voltage Ships, Trans. Korean Soc. Mech. Eng. C, 3(1), 29~36
- IMO model course 7.02(Chief engineer officer and second engineer officer), 2014 edition
- IMO model course 7.04(Officer in charge of an engineering watch), 2014 edition
- MSN 1861(2015). (M) UK procedure for the revalidation of certificates of competency and tanker endorsement, Maritime & Coastguard Agency
- STCW(2010). part A/A table A-III/1 Function: Electrical, electronic and control engineering at the operational level
- STCW(2010). part A/A-III/2(Mandatory minimum requirements for certification of chief engineer officers and second engineer officers on ships powered by main propulsion machinery of 3,000kW propulsion power or more.
- [www.mebaschool.org/curriculum](http://www.mebaschool.org/curriculum)
- [www.uscg.mil/nmc](http://www.uscg.mil/nmc)
- [www.warsashacademy.co.uk](http://www.warsashacademy.co.uk)
- 
- Received : 19 August, 2016
  - Revised : 09 September, 2016
  - Accepted : 29 September, 2016