

Unframed Perspective

"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"



친환경선박의 전자기자재 및 안전성 평가



Unframed Perspective!

2021. 09. 09. (목)

스마트전장연구센터

이 상 택

stlee@keti.re.kr

Contents

I. 개요 및 현황

1. 친환경 선박 개요
2. 친환경 선박 현황

II. 친환경 선박 기자재 안전성

1. 친환경 선박 안전성 개요
2. 친환경 선박 전장 기자재 기술
3. 친환경 선박 안전성 평가기술

III. 결론

☐ Reference

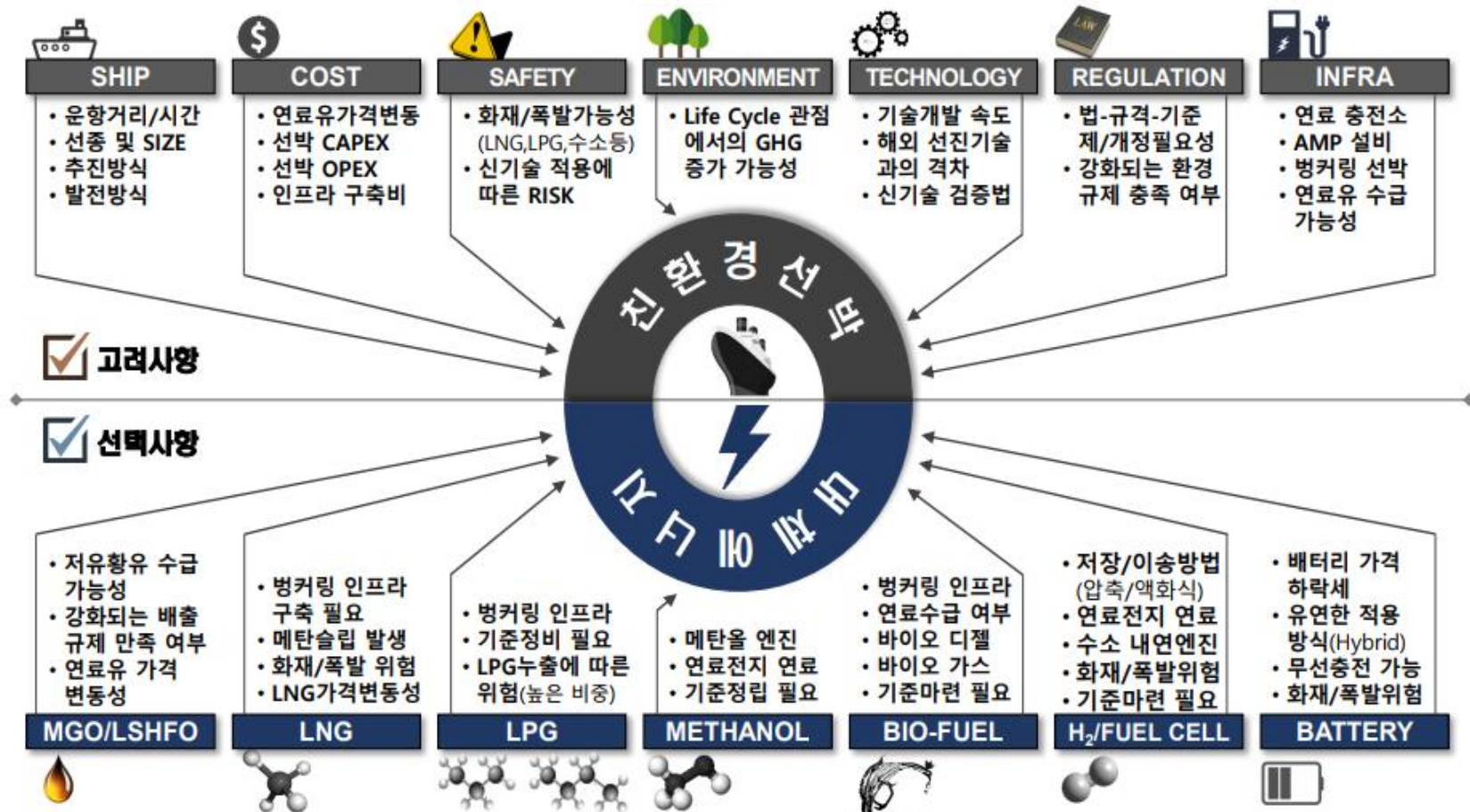
I. 개요 및 현황

1. 친환경 선박 개요

2. 친환경 선박 현황

I. 개요 및 현황_친환경 선박 개요

□ 친환경 선박 기술



출처 : ECO Smart Ship의 현재 미래 그리고 한국의 과제, 한국선급, 2019

- 환경규제, 배출가스저감 → 고효율, 대체에너지활용 → Zero Emission 친환경선박 필수

I. 개요 및 현황_친환경 선박 개요

□ 친환경 선박 기술

- 개념 및 정의 : 전기추진, 하이브리드추진, 수소 및 환경친화적 에너지(LNG, LPG, CNG, 메탄올, 암모니아등)를 동력원으로 운행되는 선박으로 정의
- 구성 : 조선기자재 (기관, 선체, 갑판·의장, 전기·항해)+ 전기추진기자재 (배터리, 전력변환기, 추진모터) + 친환경에너지원 BOP 기자재등 으로 구성

< 조선기자재 분류 표 >

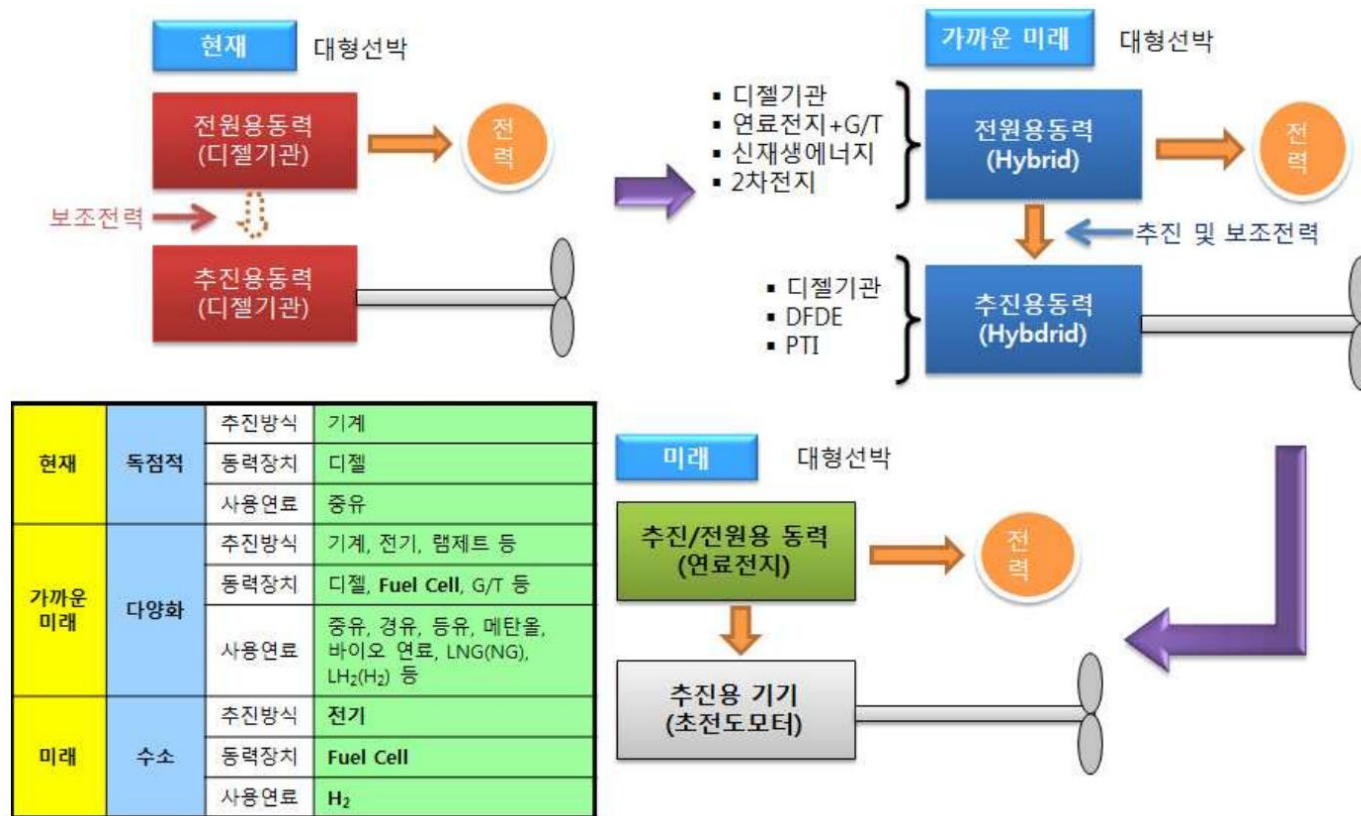
대분류	중분류	소분류
기관	엔진동력	디젤엔진, 증기터빈, 가스터빈, 과급기
	동력전달장치	감속기어, 역전장치
	보조기계	열교환기, 펌프, 압축기, 통풍기, 분리기, 보일러
	추진장치	프로펠러, 추진축, 보조추진장치, 스러스터
선체	금속·소재	강판, 형강, 주강, 단조강, 용접재료
	화공	화공약품, 도료
갑판·의장	조타장치	조타장치, 러더
	계선장치	앵커, 계선원치, 양묘기, 앵커체인
	하역장치	크레인, 대빗, 하역원치, 냉동장치, 카고블록
	안전설비	구명정, 구명동의, 소화장치, 신호장치
	거주설비	거주설비, 내장재, 위생기구, 공조장치
전기·항해	동력/배전장치	모터, 건전지, 변압기, 분배전반, 기동반
	항해장치	레이더, INS, AIS, GMDSS, 자기로파스
	통신장치	IMMARSAT, SSB, VHF, ECDIS
	조명/배선장치	조명등, 항해등, 전선, 케이블, 배선기구
	제어/계측장치	제어장치, 속도측정 장치 및 센서류



출처 : 조선기자재 분류, 한국마린엔지니어링협회

I. 개요 및 현황_친환경 선박 개요

□ 친환경 선박 동력추진 기술 전망



출처 : 중소기업 기술 로드맵 (조선), TIPA 중소기업기술정보진흥원, 2018

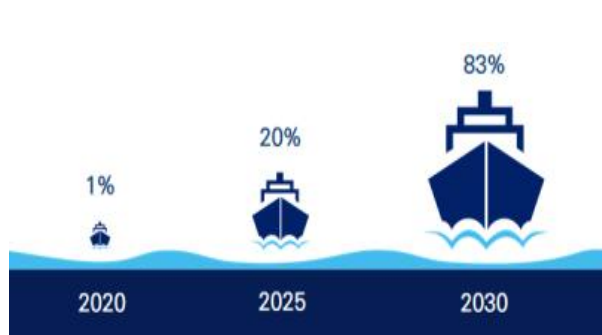
친환경 선박 동력 추진 기술 엔진기반에서 전기동력화로 전환

추진/전원용 동력 : 엔진 중심 기반 → 하이브리드화 → 대용량 전기 동력화

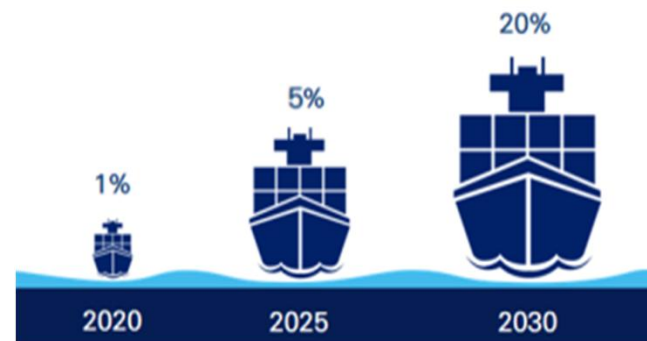
I. 개요_친환경 선박 현황

□ 친환경 선박 국내외 현황 출처 : 2030 한국형 친환경선박 (Greenship-K) 추진전략, 2020년 12월

- 정부는 친환경 선박 기본계획을 마련 2030년까지 공공과 민간부문 선박 528척 친환경 선박으로 전환과 더불어 무탄소, 친환경 인프라 확대를 위한 정책 추진.



< 공공부문 보유선박 친환경 선박 전환 >



< 민간부문 보유선박 친환경 선박 전환 >



< 무탄소 연료공급 인프라 구축 >



< 친환경 연료공급 인프라 확충 >

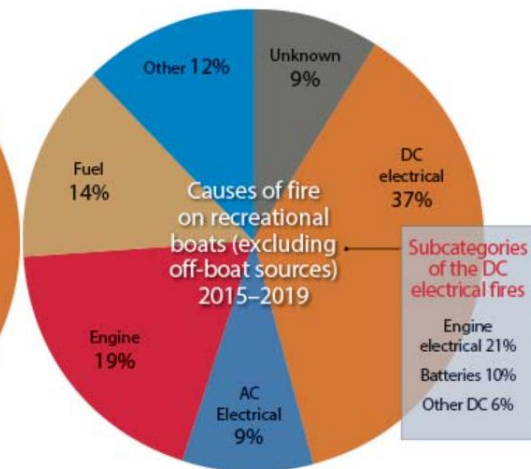
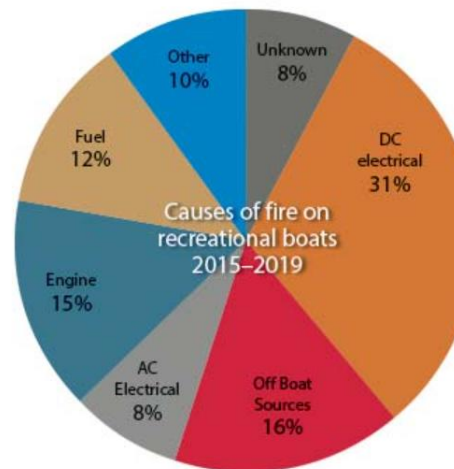
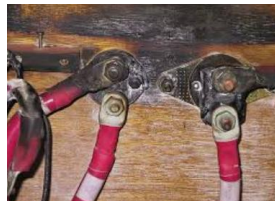
II. 친환경 선박 기자재 안전성

- 1. 친환경 선박 안전성 개요**
- 2. 친환경 선박 전장 기자재 기술**
- 3. 친환경 선박 안전성 평가기술**

II. 친환경 선박 기자재 안전성_ 1. 친환경 선박 안전성 개요

□ 친환경 선박 안전성 개요

- 최근 선박에서 안전성 측면을 최우선으로 하고 있음. 안전성측면에서 **전기적, 기계적, 화학적, 기타요인등** 다양한 측면의 검토가 필요함.
- 선박 화재 원인으로 **전기적인 요인이 다수 (AC+DC Electrical 46%)**를 차지함.
- 친환경 선박의 대두로 **전기추진 및 전력설비, 배터리부분등** 설치요건, 시험법, 고려사항이 다수 존재함.

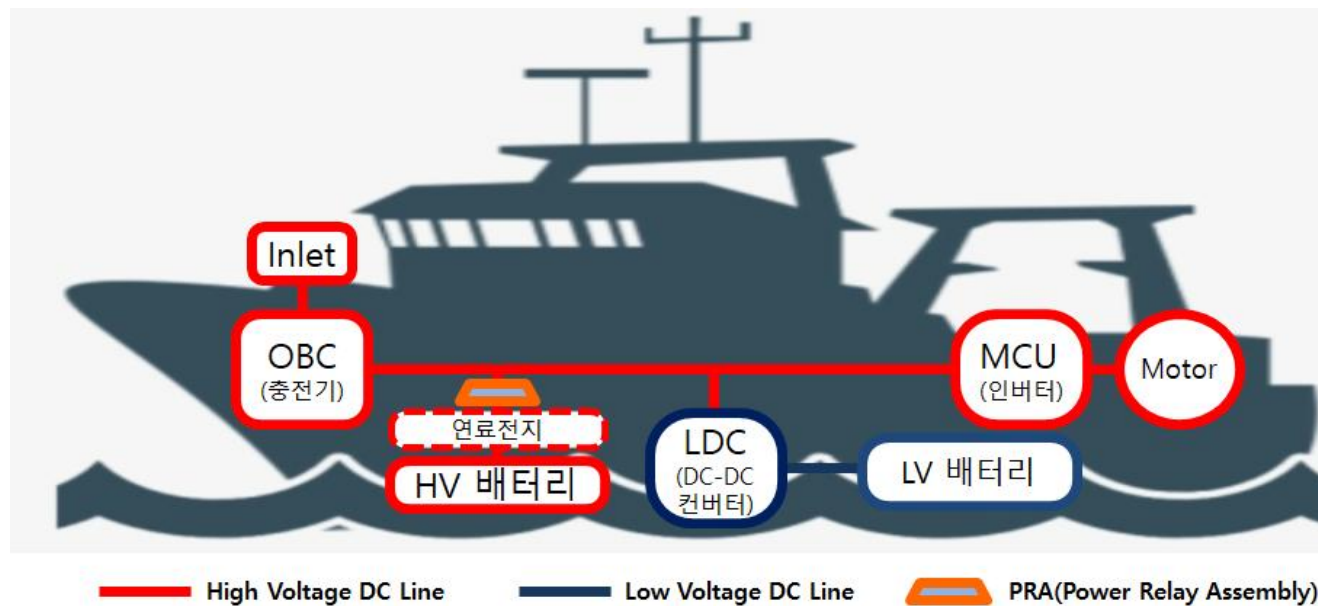


출처 : [Analyzing Onboard Fire Claims | BoatUS](#)

II. 친환경 선박 기자재 안전성_2. 친환경 선박 전장 기자재 기술

□ 친환경선박 전기추진 전장기자재의 정의

친환경 선박의 **전력에너지를 효율적으로** 운용하기 위한 핵심부품들로서 배터리/연료전지의 전력에너지로부터 구동력을 발생하기 위한 **전기구동시스템**, 선내 고전압, 대전류 범위에서 **안정된 전력을 공급**하기 위한 **전력변환기** 부품과 **효율적 전력전달**을 위한 **고전압 케이블 및 기타 부품**으로 지칭할 수 있으며 전기 구동력을 발생하기 위한 친환경선박 전기추진 전장기자재라 정의.



II. 친환경 선박 기자재 안전성_2. 친환경 선박 전장 기자재 기술

□ 친환경 선박 전기추진 전장기자재, 전력변환장치 및 고전압 부품

Motor & MCU : 선박의 기계적 구동력을 발생하기 위한 모터와 동력을 제어하는 인버터

OBC : 외부 계통 전원을 이용한 배터리 충전 및 전원공급용 AC/DC 컨버터

LDC : 선박내 전장품의 전원공급을 위한 강압형 DC/DC 컨버터

HV Battery : 선박의 전기추진을 위한 전력에너지를 저장용 고전압 배터리 시스템

고전압 부품류 : 파워릴레이, 고전압케이블, Inlet, Connector등 고전압 체계 전장부품



- **Motor & MCU** : Motor 와 Motor Control Unit
- 선박의 전기구동력 및 운전을 위한 핵심 동력 모듈임. 선박 Size, 속도에 따라 수십kW~수 MW급의 용량을 가짐.
- 선박의 성능에 가장 중요한 역할을 담당하는 핵심 기자재임.



- **OBC** : On-Board Charger Converter (AC-DC Conversion)
- 선박에 탑재되며 고전압 배터리를 충전을 수행함.
- 배터리 용량 증대에 따라 점차 증가추세이며 인버터등 다른 변환장치와 통합화 구현 가능



- **LDC** : High Voltage to Low Voltage DC-DC Converter (Isolated)
- 12V or 24V 선내 전장부하를 위함. 선박의 경우 고전압 배터리 또는 선내 발전기를 통해 운용
- 안전을 위해 1차측/2차측 절연이 필요



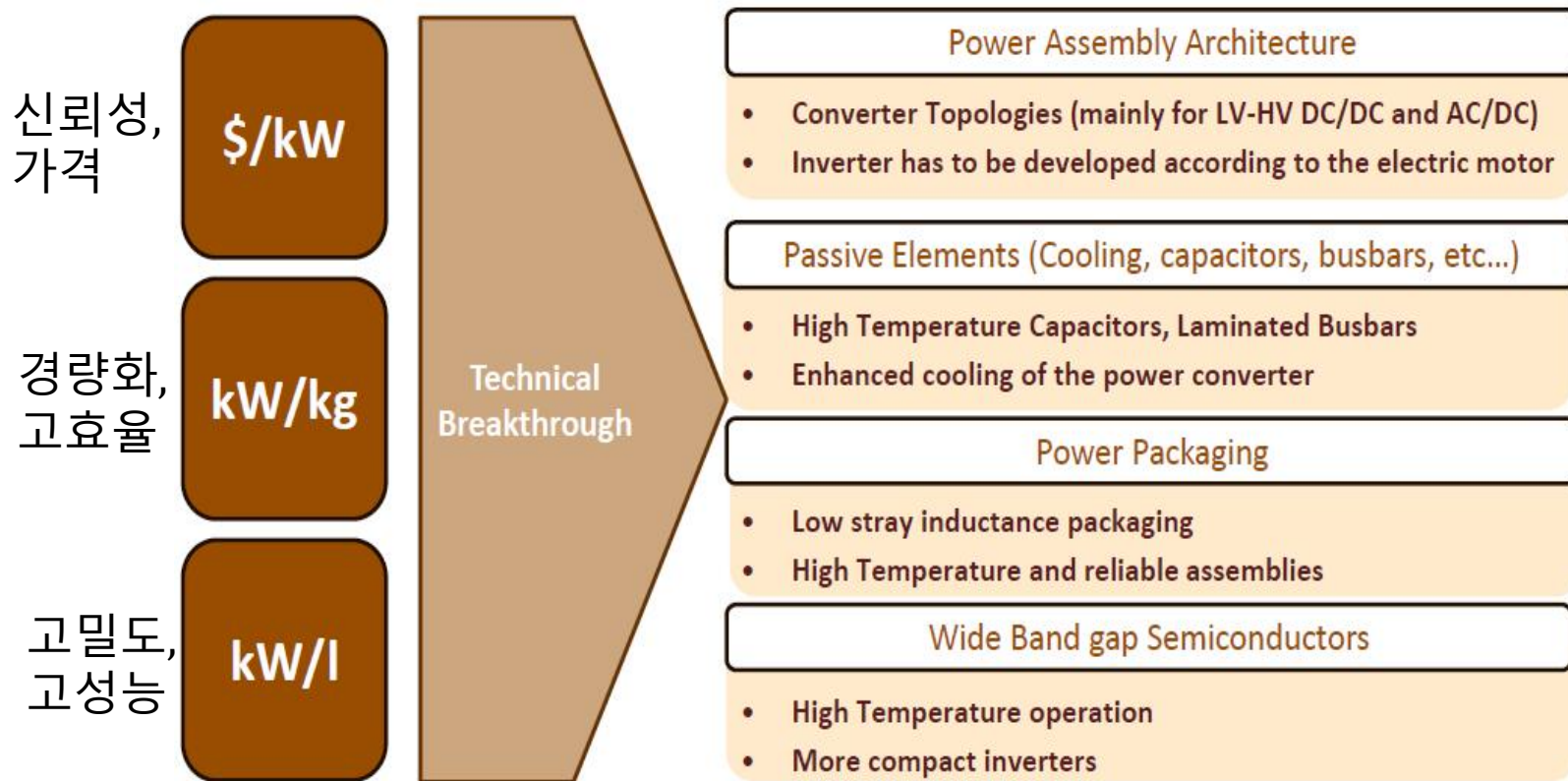
- **HV Battery** : High Voltage Battery
- 모터 및 인버터의 고전압 배터리 시스템 적용을 통해 고효율 및 시스템 소형/경량화 달성
- 추진용 배터리의 경우 전압 수백V ~ 수kV급의 시스템 적용 (하이브리드, 연료전지등)



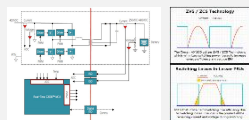
- **고전압 부품류** : 고전압 PRA(Power Relay Assembly), 케이블, 센서류등
- 부품에 있어서 고전압화, 대전류화, 경량화, 저가격화
- 센서등 고성능화 필수, 요구사항 만족을 위해 핵심 소재 개발 대두

II. 친환경 선박 기자재 안전성_ 2. 친환경 선박 전장 기자재 기술

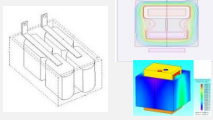
□ 친환경 선박 전기추진 전장기자재 중점기술



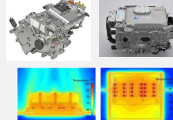
중점 요소기술



전력변환 기술



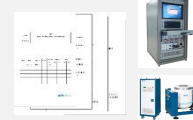
수동소자 고밀도화 기술



방열 및 모듈화 기술



소재 및 반도체 기술



고신뢰성 및 시스템 매칭 기술

II. 친환경 선박 기자재 안전성_ 3. 친환경 선박 안전성 평가 기술

□ 선박 및 해양기술 표준 및 평가 기준

- ISO(International Organization for Standardization)/TC8 Ship and marine Technology 에서 분과위원회 13개로 구성되어 표준 및 평가 가이드 라인을 제공
- 해양안전, 해양환경보호, 배관&기계, 항법&선박 운항등 분과위원회를 두고 있음. 특히 SC1 해양안전성, SC8 선박설계, SC13 해양기술 분과가 친환경 선박 안전성 평가 기술 분야와 관련성 있음.



STANDARDS BY ISO/TC 8

Ships and marine technology

Filter the list			
SUBCOMMITTEE ↓	SUBCOMMITTEE TITLE	PUBLISHED STANDARDS	STANDARDS UNDER DEVELOPMENT
ISO/TC 8/SC 1	Maritime safety	53	14
ISO/TC 8/SC 2	Marine environment protection	29	9
ISO/TC 8/SC 3	Piping and machinery	57	7
ISO/TC 8/SC 4	Outfitting and deck machinery	66	15
ISO/TC 8/SC 6	Navigation and ship operations	44	13
ISO/TC 8/SC 7	Inland navigation vessels	33	1
ISO/TC 8/SC 8	Ship design	56	10
ISO/TC 8/SC 11	Intermodal and Short Sea Shipping	6	1
ISO/TC 8/SC 12	Ships and marine technology - Large yachts	9	9
ISO/TC 8/SC 13	Marine technology	7	8

출처 : ISO → <https://www.iso.org/committee/45776/x/catalogue/>

II. 친환경 선박 기자재 안전성_3. 친환경 선박 안전성 평가 기술

□ 친환경 선박 전기추진 전장기자재 및 안전성 평가 관련 각국 선급활동

- DNVGL : 유럽에서 친환경 선박 및 전기추진 기자재 관련 가장 활발히 연구 및 활동 수행 중임. 다양한 친환경 선박 기자재 지침, 배터리 화재 위험에 대한 자료를 발표함.
 - Rules for Classification - Systems and Components, Electrical Installations
 - Rules for Classification - Additional Class notations, Propulsion, Power Generation and Auxiliary system
 - DNV GL Guideline for Large Maritime Battery System
 - Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression
- ABS : 미국 선급 또한 해상 및 해상 응용을 위한 DC 배전분야, 연료전지등 다양한 선박 지침을 발표하였고 하이브리드관련 시스템 가이드라인을 발표함.
 - Hybrid Electric Power Systems for Marine and Offshore Applications
 - ABS Advisory on Hybrid Electric Power System
 - Guidance for fuel cell systems onboard ships
 - Direct Current (DC) Power Distribution Systems for Marine and Offshore Application
- Lloyd's : 영국 선급으로 Zero-Emission Vessels을 달성하기 위한 자료를 발표함.
 - Zero-Emission Vessels 2030. How do we get there?
- KR : 한국선급은 친환경 선박 관련 연구 및 선급기술규칙 발간등 다양한 활동 수행 중임.
 - 2021 선급 및 강선규칙 제6편 전기설비 및 제어시스템에 전동기 구동전력변환장치 기준 신설
 - 선박용 연료전지 시스템 지침, 선박용 배터리시스템 지침, 직류 배전 시스템 지침 발간

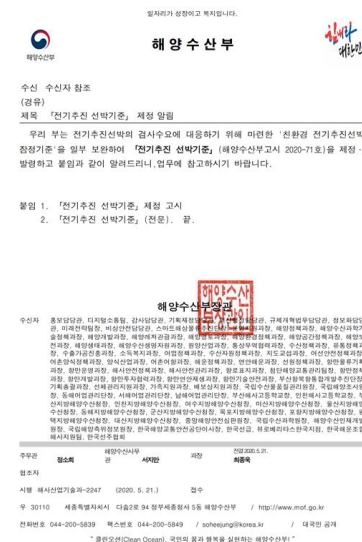
II. 친환경 선박 기자재 안전성_3. 친환경 선박 안전성 평가 기술

☐ **친환경선박법, 전기추진선박 기준 제정 및 친환경인증선박 보급사업**

- 친환경 선박 기반수립 및 전기추진 기자재 활성화를 위해 법령, 기준 및 보급사업 추진
 - 친환경 선박법 : 2020년1월1일 환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률 (이하 친환경선박법)을 시행 법적 근거 마련함.
 - 전기추진선박 기준 : 2020년 5월 21일 전기추진 선박에 대한 기준을 제정함.
 - 친환경인증선박 보급사업 : 2021년 현재 3차 사업 공고를 추진하였고 보급지원사업 시행 지침에 의거 사업 추진중

- 전기추진선박 기준

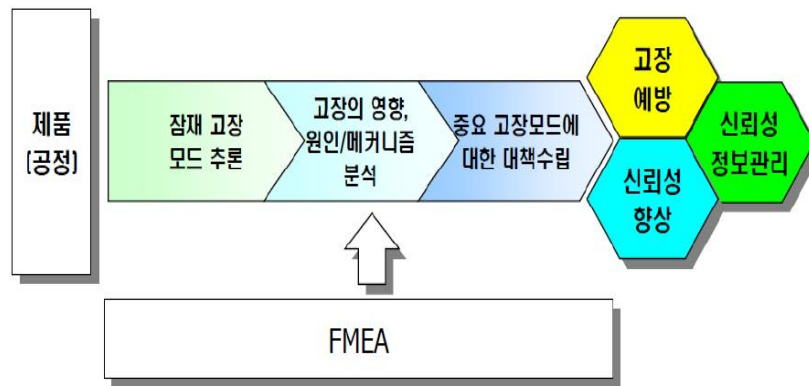
- 적용대상: 리튬이차전지에서 발생한 전기에너지를 주전원, 추진용으로 사용하는 선박을 대상으로 함.
- 설치기준: 전기추진설비 고장시 주요항해, 소방설비등 작동 요건 및 배터리 실 배치요건, 시험항목 등을 정함.
- 제어/감시기능요건, 안전장치, 선박검사 시험항목등을 정의
- 별표 (1)배터리 배치 및 요건, (2)전력변환장치 설계 및 설치요건, (3)위험성평가 요건, (4)리튬이차전지 선박의 검사 항목지정



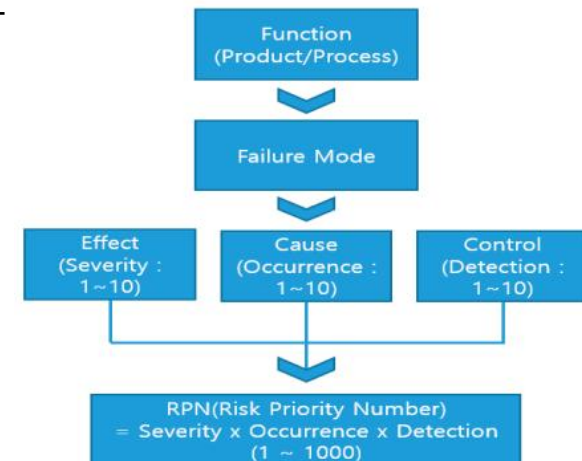
II. 친환경 선박 기자재 안전성_3. 친환경 선박 안전성 평가 기술

□ 선박 안전성 평가 기술

- 2000년대 초 IMO는 선박해양사고 및 환경오염의 근본적 원인을 줄이고 선박의 안전을 우선시 하고자 GBS(Goal-Based New Ship Construction Standards) 표준을 강화함.
- 위험평가 방법의 일종인 FMEA(Failure Mode Effect Analysis)는 신뢰성을 평가하는 가장 일반적인 방법으로 설계, 공정 및 시스템의 리스크를 평가하는데 광범위하게 사용됨.
- 친환경 선박의 안전성 평가를 위해 전장기자재(배터리, 전력변환기등) 설치요건 검토와 전력계통해석, 모의실험, FMEA등을 통해 위험성, 위해요인 도출
- FMEA 분석방법
(1)FMEA 팀조직→ (2)FMEA 팀구성원들 분석대상 검토→ (3)고장모드원인&영향식별→ (4)고장모드 발생빈도, 심각도, 발견가능성 수치화→ (5)RPN(Risk Priority Number)계산→ (6)RPN 개선 노력 계획→ (7)예방 행동 취하고 재평가



< FMEA 분석 절차 >

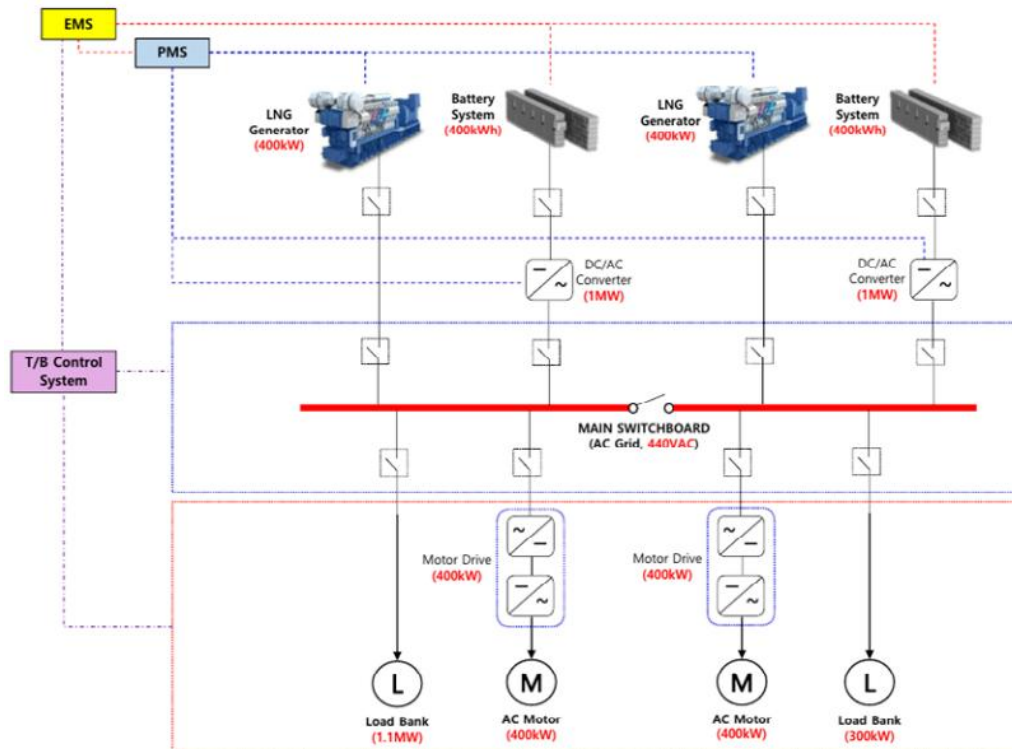


< FMEA 분석 Diagram >

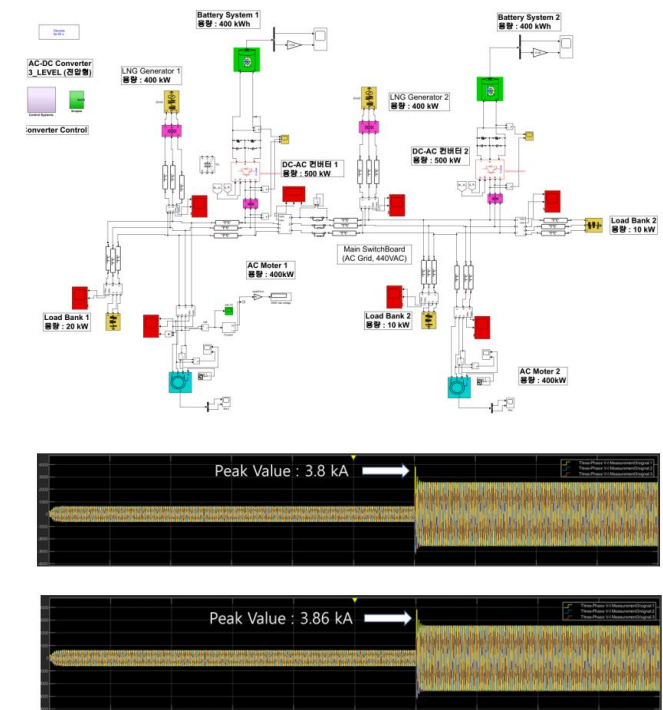
II. 친환경 선박 기자재 안전성_3. 친환경 선박 안전성 평가 기술

□ 친환경 Hybrid 선박 안전성 검토

- 친환경 Hybrid 추진 선박 전장기자재 계통해석, FMEA등을 통해 안전성 및 위험성을 평가
- 발전기 (400kW) 2EA, ESS (400kWh) 2EA로 운용되는 Hybrid 발전 시스템이며 추진모터 (400kW) 2대로 추진하는 방식임.



< 대상 시스템 개념도 >



< 전력계통 해석 및 사고전류모의 >

II. 친환경 선박 기자재 안전성_3. 친환경 선박 안전성 평가 기술

□ 친환경 Hybrid 선박 안전성 검토

- Functional/Hardware FMEA를 수행하였고 결과 분석을 통해 설계 과정에서 문제점을 사전 파악하여 신뢰성 높은 LNG Hybrid 전기 추진 선박을 개발하는데 기여함.

[illegible]

< FMEA 분석 Sheet >

번호	운행 모드	고장모드	고장원인	대응책	위험도 등급	추가 검토사항	
1	모든 운전모드	LNG 누출	Pipe의 Crack, 부식, 외부 충돌사고 등	기준에 적합한 안전설계 마련, 폭발위험 구역의 방폭장비 설치, 누출된 가스의 신속한 Venting	1	LNG 누출이 발생하더라도, ESS실과 완전히 공간을 분리시킴으로써, 중요부하에 대한 전력공급을 중단 없이 유지시킬 수 있어야 함	
2		PMS 고장	구성품 고장, 시스템 오류	PMS는 이중화로 구성되어 있음	0	-	
3		발전기 연료공급시스템 (FGSS) 고장	FGSS 내부장비, 구성품 고장, 제어시스템 이상	FGSS의 경우, 시스템 이중화로 구성되어 있으며, 가스누출에 대비한 사전감시시스템 마련으로 사고 방지 가능	1	FGSS의 순간정지가 발전기 정지와 직결되므로, Black out에 대비하여 ESS로 전력공급이 신속히 이루어질 수 있도록 조치하여야 함	
4		발전기+ESS 혹은 발전기 단독 운항시	ESS 과방전	BMS 이상 혹은 ESS 인버터 제어 이상	BMS 시스템은 이중화로 구성되어 있으며, SOC 하한값 도달시 비상알람을 단계별로 설정함	0	-
5			BMS 고장	구성품 고장, 시스템 오류	BMS는 이중화로 구성되어 있음	0	-
6		발전기 고장 발생	발전기 장비, 구성품 고장 등	Stand-by 발전기, ESS로 추진력 50% 이상 유지 가능	1	선례 보유한 연료유함을 고려하여 안전상 발전기 1대 고장시 구황조치가 필요	

번호	운행 모드	고장모드	고장원인	대응책	위험도 등급	추가 검토사항
7		ESS 고장 발생	ESS 장비, 구성품 고장, BMS 고장 등	Stand-by ESS 1대와, 발전기로 운전 가능	0	
8		발전기 운전 중 정전발생시	단락사고, 고장전류 발생 등	배터리 긴급 투입(배터리의 SOC가 30% 이하일 경우에는 Stand-by 발전기가 투입됨)	1	LNG FGSS의 동작을 정지 시킴으로써, 정지된 발전기에 가스가 공급되는 상황을 차단시켜야 함
9		배전반 화재/스파크 발생	배전반 내 단락사고, 아크사고 발생	단락사고 발생시 Bus-tie 차단기를 개방함으로써, 사고확산을 막음	1	화재확산을 방지하기 위해 배전반은 별도의 구역에 설치하여야 하며, 방화벽을 설치하여야 함
10		추진용 모터 고장시	추진용 모터 구성품 고장, 내부단락, 센서 고장 등	나머지 추진용 모터로 추진 가능	1	선내 보유한 연료유량을 고려하여 안전상 귀환조치가 필요
11		추진용 모터 Drive 고장시	추진용 모터 Drive 내부소자 고장, 센서 고장 등	나머지 추진용 모터 & 드라이브로 추진 가능	1	선내 보유한 연료유량을 고려하여 안전상 귀환조치가 필요
12		(이중연료발전기) Fuel-Change 실패 (MDO→LNG)	FGSS 내 연료회전 제어시 문제 발생	FGSS의 이중화, 나머지 발전기로 전력공급 가능	1	선내 보유한 연료유량을 고려하여 안전상 귀환조치가 필요
13	발전기+ESS 운항시	ESS용 DC/AC 인버터 고장	인버터 내부소자 고장, 통신신호 이상 등	DC/AC 인버터 고장감지시 연결된 ESS 자동정지, DC/AC 인버터 전/후 양단의 차단기 off	1	발전량 감소에 따른 추진력 감소를 발생하기 위해 Stand-by ESS 혹은 발전기를 자동 기동시킴
14		발전기+ESS 운전중 동기화 실패	ESS 인버터 제어 이상, PMS 이상 등	ESS 자동 운전정지, 발전기 단독운전 시작	0	단, 고속추진에 어려울 수 있음
15	육상전원 충전시	ESS 육상전원 충전 불가	정박되는 항구의 AMP 설비 고장	선내 발전기를 통한 ESS 충전 가능	0	단, 정박시 배출가능량 충족
16		ESS 과충전	AMP 충전시스템, BMS 이상 등	BMS 시스템은 이중화로 구성되어 있으며, SOC 상한값도 명시 알람을 단계별로 설정함, ESS 과충전 발생시 충전 중지	1	육상 AMP 충전시스템과 선내 전력시스템 間 호환성 및 사고발생 가능성을 사전에 면밀히 검토하여야 함
17		많은 양의 화성전력 계통유입	선내부하량이 적은 상태에서 화성전력량 증가	ESS의 SOC 상한선(90%) 이하 조건에서는 화성전력 흡수 가능	1	급제동이 많지 않기 때문에 화성전력량이 많지 않을 것으로 예상
18		BMS 고장	구성품 고장, 시스템 오류	BMS는 이중화로 구성되어 있음	0	-
19	ESS 단독 운항시	ESS 고장	셀, 모듈 단위의 구성품 고장, 배터리 제어 시스템 고장 등	배터리측 차단기 자동 OFF, 배터리용 DC/AC 인버터 Off	1	전력공급을 연속적으로 유지시키기 위해, Stand-by ESS 혹은 발전기를 자동 운전시킴
20		ESS용 DC/AC 인버터 고장	DC/AC 인버터 내부소자 고장, 통신신호 이상 등	ESS 자동정지 및 고장난 ESS용 DC/AC 인버터의 전/후 양단 차단기 off	1	전력공급을 연속적으로 유지시키기 위해, Stand-by ESS 혹은 발전기를 자동 운전시킴
21	발전기 단독 운항시	(악천후 상황에서) 순간 피크전력 공급 불가	발전기 추가 기동성 시한지연 발생	ESS를 통해 피크부하 대응 가능	0	-

<유행 모드에 따른 Functional FMEA 분석 결과>



III. 결 론

IV. 결론

- 종래 선박시장의 경우 환경규제, 온실가스 저감등의 요인으로 관련 산업의 **패러다임 변화와 친환경 선박기술에 대한 요구가 크게 증가** 되고 있는 추세임. 최근 하이브리드, 전기추진, 연료전지 선박이 다수 검토되고 있으며 이에 **배터리, 전력변환기 및 고전압 부품과 전기추진시스템을 위한 PMS, 냉각장치등 전기추진 전장기자재** 기술개발 요구가 크게 증대되고 있는 실정임
- 선박 추진시스템에 있어서 핵심 요구사항은 신뢰성 및 안전성, 고효율 및 경량화, 고밀도 및 고성능 시스템이며 특히나 가장 중점 검토사항으로 안전성 검증 부분임. 이를 위해 **전기안전성, 화재안전성, 방폭안전성등의 검토와** 더불어 선박운행 신뢰성의 확보를 위해 각각 **전기추진 전장 기자재의 이중화 기능 구현이** 필수임.
- 최근에 제4차 산업 혁명으로 전기/전자, ICT 융합을 통해 고신뢰성, 고성능, 고부가가치 창출을 위한 핵심요소기술 분야로 시급히 육성되어야 함. 선박에서 **안전성 확보를 위해 Bigdata, AI, OTA(Over the Air) 기술등을 통한 고장진단 및 예지 기술등** 검토 필요.
- 친환경 선박으로 시장이 전향 되면서 **고부가가치 서비스 분야, 전기전자 전장기자재 분야로 증가** 추세임. 더불어 에너지분야와 연관성이 매우 높으므로 **에너지 신산업 융합 분야의 수요가 크게 증대** 될 것임. 향후 지속적인 성장 발전을 위해서는 산업 경쟁력 강화를 위해 관련 법령정비 및 확대 **정책의 일관성 필요.**

□ 참조문헌

□ 참조 문헌

01. 한국선급, ECO Smart Ship의 현재 미래 그리고 한국의 과제, 2019
02. 한국마린엔지니어링 협회, 조선기자재 분류
03. TIPA 중소기업기술정보진흥원, 중소기업기술로드맵 (조선), 2018
04. 해양수산부, 2030 한국형 친환경선박 (Greenship-K) 추진전략, 2020
05. www.boatus.com/expert-advice/expert-advice-archive/2021/february/analyzing-onboard-fire-claims
06. Yole Development, Inverter Technology Trends & Market Expectations, 2014
07. ISO Ship & Marine Technology, <https://www.iso.org/committee/45776/x/catalogue/>
08. Trend analysis of domestic and international regulations for electric propulsion system
09. 해양수산부, 산업부, 환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률 (친환경 선박법)
10. 해양수산부, 전기추진 선박기준 행정규칙
11. Comparison and Verification of Reliability Assessment Techniques for Fuel Cell-Based Hybrid Power System for Ships
12. 해양수산부, 연안선박용 가스연료 Hybrid 전기추진시스템 안전 및 적용기술개발 보고서, 2021



올 한해 바라시는바 잘되시길 기원합니다^^
감사합니다. Q & A - stlee@keti.re.kr

