



전기추진선박의 개념 및 소형 선박용 하이브리드 추진시스템 개발 현황

국제 전기선박 포럼

2021. 09. 09.

(사)한국선급

선박해양연구소 시스템안전연구팀

박기도 책임연구원



CONTENTS



1. 전기추진선박의 개념
2. 전기추진선박의 장점 & 단점
3. 어선용 하이브리드 추진시스템 개발



INTRO



- 조선/해운산업에서의 환경문제 해결은 선택이 아닌 의무사항

(‘18년 4월, IMO MEPC 72차)

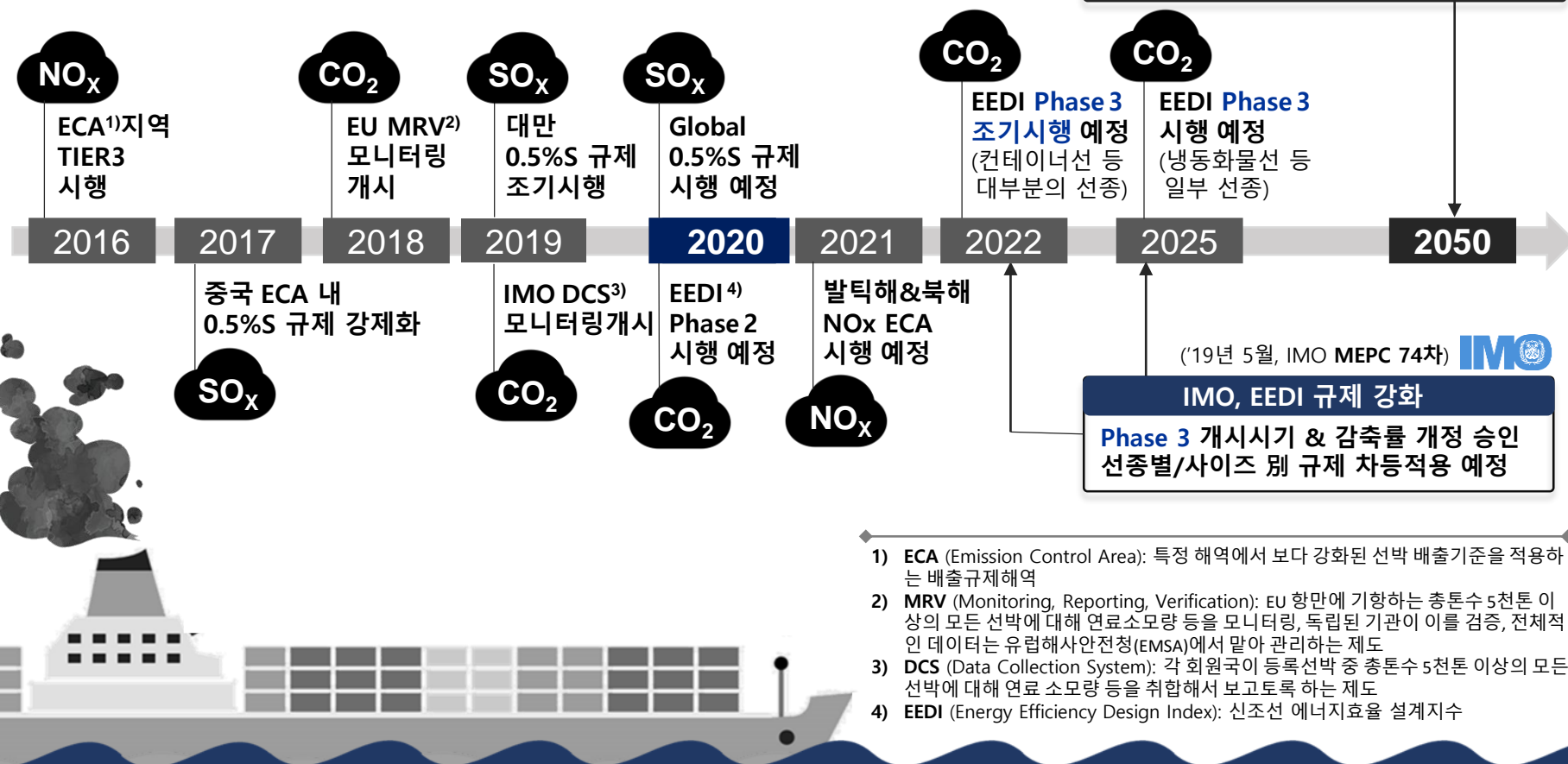
IMO, GHG 감축을 위한 초기전략 채택

선박의 연간 온실가스 총 배출량 '08년 대비 '50년까지 50% 이상 감축목표 설정

(‘19년 5월, IMO MEPC 74차)

IMO, EEDI 규제 강화

Phase 3 개시시기 & 감축률 개정 승인
선종별/사이즈 별 규제 차등적용 예정



- 1) ECA (Emission Control Area): 특정 해역에서 보다 강화된 선박 배출기준을 적용하는 배출규제해역
- 2) MRV (Monitoring, Reporting, Verification): EU 항만에 기항하는 총톤수 5천톤 이상의 모든 선박에 대해 연료소모량 등을 모니터링, 독립된 기관이 이를 검증, 전체적인 데이터는 유럽해사안전청(EMSA)에서 맡아 관리하는 제도
- 3) DCS (Data Collection System): 각 회원국이 등록선박 중 총톤수 5천톤 이상의 모든 선박에 대해 연료 소모량 등을 취합해서 보고토록 하는 제도
- 4) EEDI (Energy Efficiency Design Index): 신조선 에너지효율 설계지수



– 정부, 항만미세먼지 감축을 위한 제도적 기반 마련

항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법

(약칭: 항만대기질법)

2020년 1월 1일 부터 시행 [법률 제16308호, 2019.4.2. 제정]
시행령, 시행규칙 제정령안, 8월 20일 ~ 9월 30일 입법예고

항만대기질관리구역의 범위, 배출규제해역에서의 선박연료유 기준
저속운항해역에서의 속도기준 등 포함

「항산화물 배출규제해역 지정 고시」 제정안 마련

「항만대기질법」에 따른 후속조치
2019년 8월 28일 ~ 9월 20일까지 행정 예고

부산항, 인천항, 여수항·광양항, 울산항 및 평택·당진항 등
국내 5대 대형 항만 인근해역을 '항산화물 배출규제해역'으로 지정

항산화물(SOx) 배출규제해역은 선박 연료유의 황 함유량 기준을
일반해역의 0.5%*(2020년 기준)보다 강화된 0.1%를 적용

내년 9월 1일에 정박 중인 선박부터 시행한 후,
2022년 1월 1일부터 항해 중인 선박까지 확대할 예정



(*출처: 해양수산부 보도자료 2019.08.27)

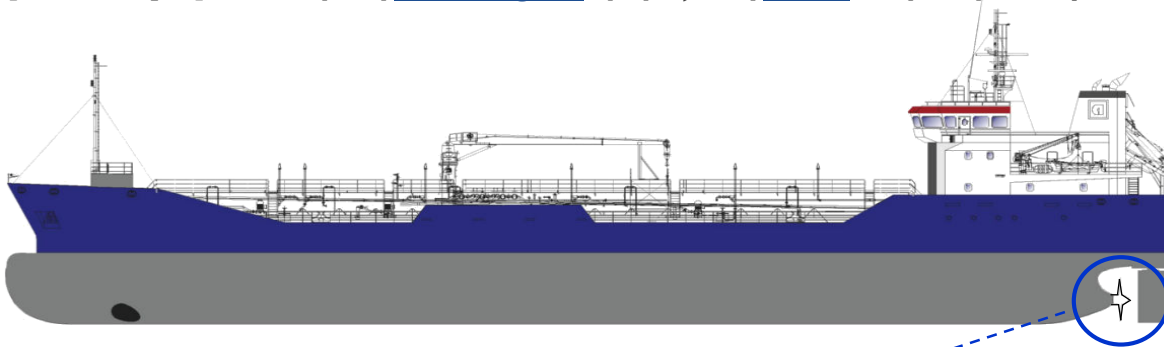


전기추진선박의 개념



1 Electric propulsion

전기추진선박이란 ? 기존의 **Main Engine** 이 아닌, 전기 **Motor** 로 추진하는 선박



Q 선박의 추진방식이 무엇인가?

기계식 추진

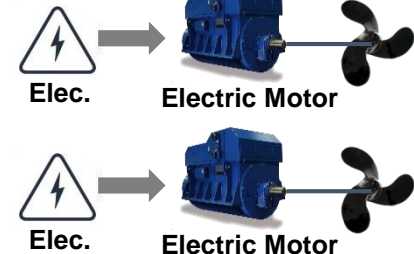
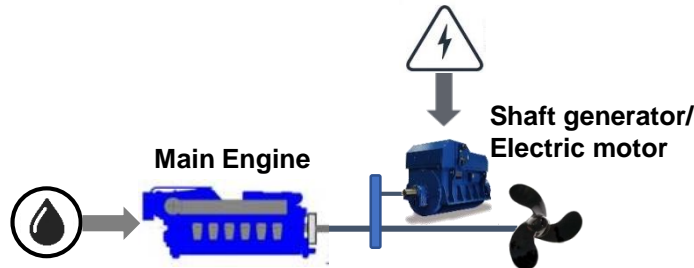
- 메인엔진(Main Engine)으로 추진
- 대부분의 상선에 오래 전부터 적용
- 최근 환경규제에 대응하기 위해 HFO가 아닌 LNG 연료의 M/E이 각광

복합식(hybrid) 추진

- 기계식과 전기식을 합한 추진방식 (일명, 축발전기가 적용된 선박)
- 속도에 따라 다양한 추진방식을 적용함으로써 에너지 효율 향상

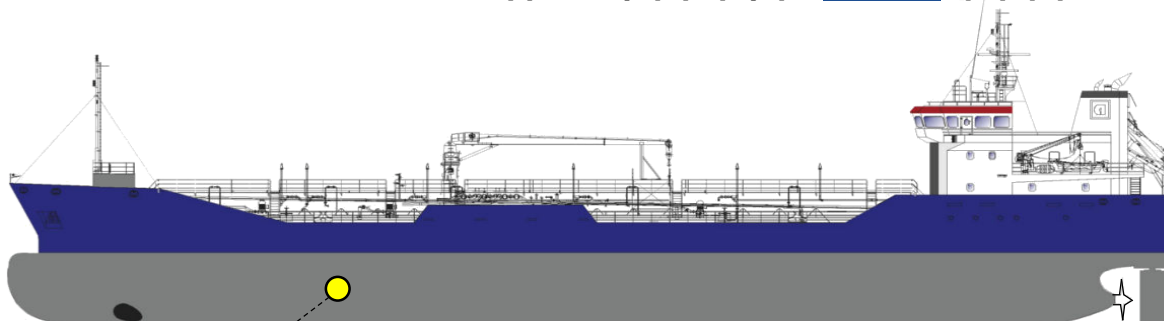
전기식 추진

- M/E이 아닌, 추진용모터로 추진하는 방식
- 속도정밀 제어, 기관장비의 분산배치 등 다양한 장점으로 인해 주로 해양작업선, LNG선, 여객선, 군함 등에 적용



Electric power

전기추진선박의 발전원? 같은 전기추진선박이라 하더라도 **발전방식**에 따라 구분



Q 전기추진선박에서 **전력**을 어떻게 만드는가?

ONLY 발전기

- 디젤발전기/이중연료 발전기
- LNG 연료 발전기

복합(hybrid) 발전

- 발전기+ESS
- 발전기+연료전지(F/C)+ESS

ESS or 연료전지

- 육상전원으로 **ESS** 충전
- 육상 수소 Station에서 **F/C 연료** 충전

ESS (Energy Storage System) 란?

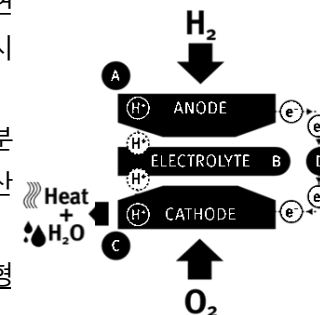
- (정의) 유향 에너지를 저장 및 공급하는 에너지 저장 장치로, 특히 전기에너지를 저장 및 공급
- (종류) 전기에너지 저장을 위해 주로 리튬배터리가 사용되며, 그 외 Super Capacitor*, NaS, Redox Flow Battery 등이 있음

* 슈퍼커패시터(Super Capacitor) : 축전용량이 대단히 큰 캐패시터로, 급속 충전방전, 높은 충전방전 효율 및 반영구적인 사이클 수명이 특징



연료전지 (Fuel Cell) 란?

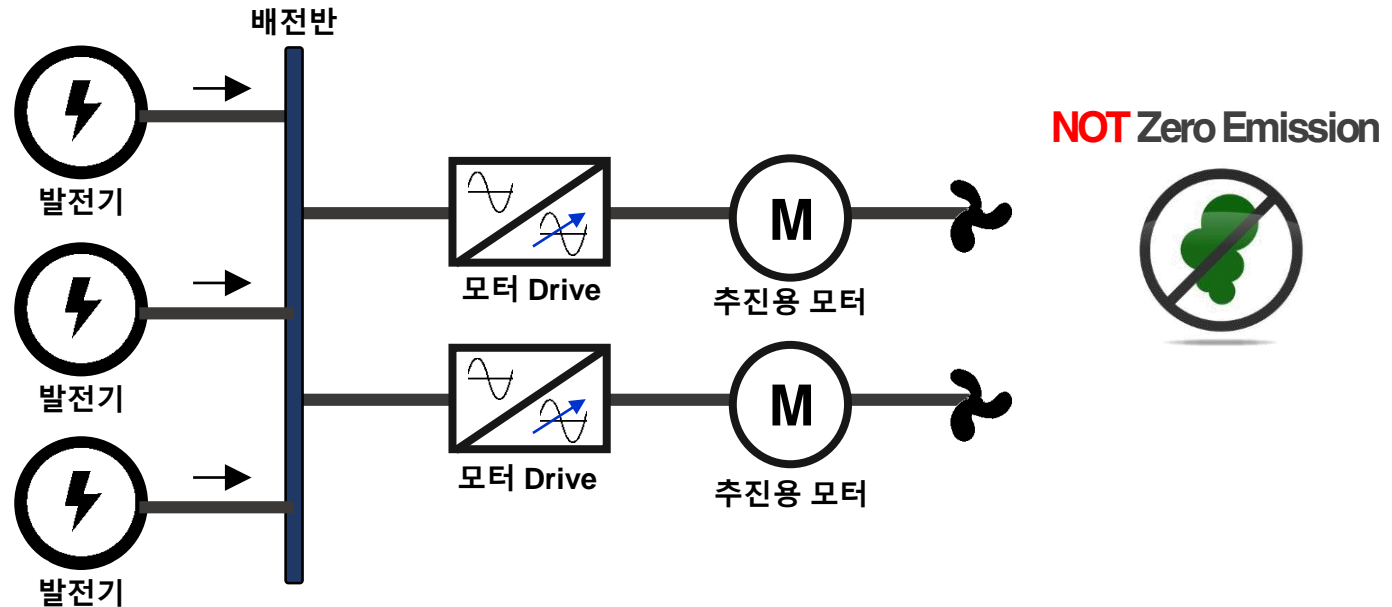
- (정의) 수소, 천연가스, 메탄올, 석유 등 각종 연료의 화학에너지를 전기에너지로 직접 변환시키는 고효율의 무공해 발전장치
- (종류) 작동온도, 사용용도에 따라 PEMFC(고분자 전해질형), MCFC(용융탄산염), SOFC(고체산화물)로 구분
- 중소형 선박에는 PEMFC, 대형선박에는 고온형 연료전지(MCFC, SOFC)가 적용되는 추세임



1

STEP 1 *Electric Propulsion*

[추진] 전기추진
[발전] Only 발전기



전기추진방식의 예 (AZIPOD)

세계 최초 쇄빙LNG선
(SCF YAMAL LIMASSOL호)



Just Electric Propulsion Ship

- (발전단계) LNG 선박의 BOG 문제 해결을 위한 DFDE (Dual Fuel Diesel Electric) LNG선 개발을 시작으로 DP (Dynamic Positioning)선, 빙해선, 크루즈 등에 확대 적용
- (주요장점)
 - 기관장비의 분산배치가 가능하며, 이중화 설계가 용이
 - 소음과 진동이 주기관(M/E)에 비해 적으며, 선박 조종성 우수 (특히, Azipod 추진기 등 POD형 추진기는 360도 회전가능)
 - 전영역에서 정확한 회전수 제어
 - 저속영역에서 높은 토크 가능 (쇄빙선, DP선에 유리)

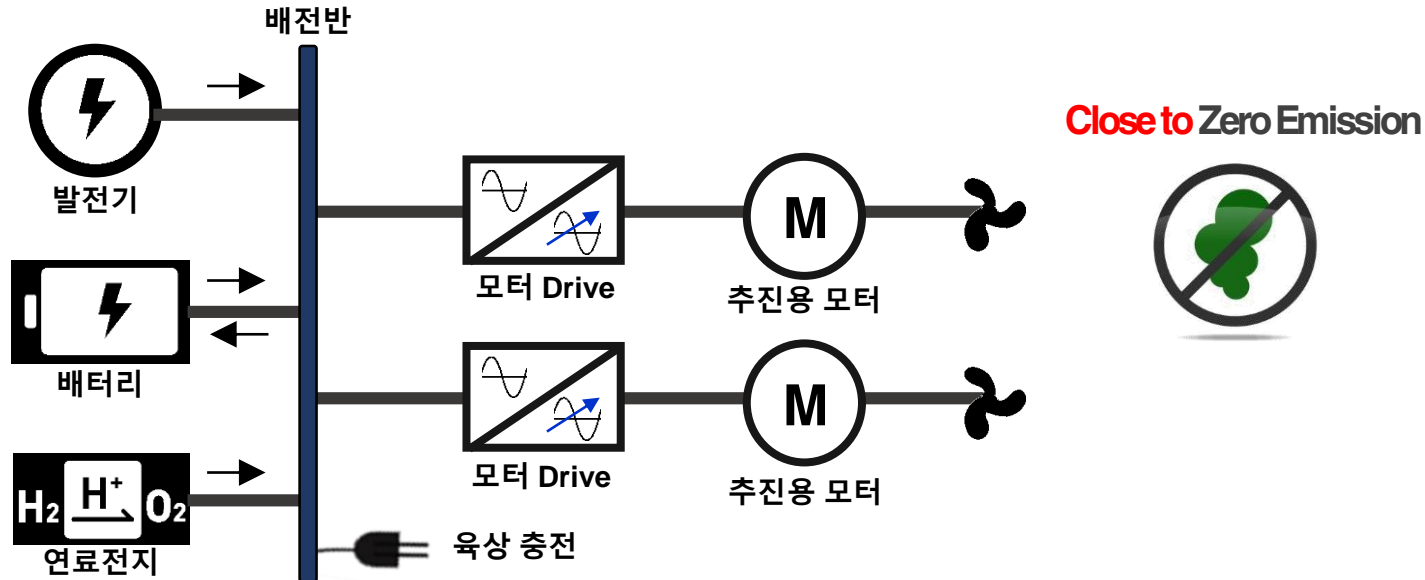
1

STEP 2 *Electric Propulsion*

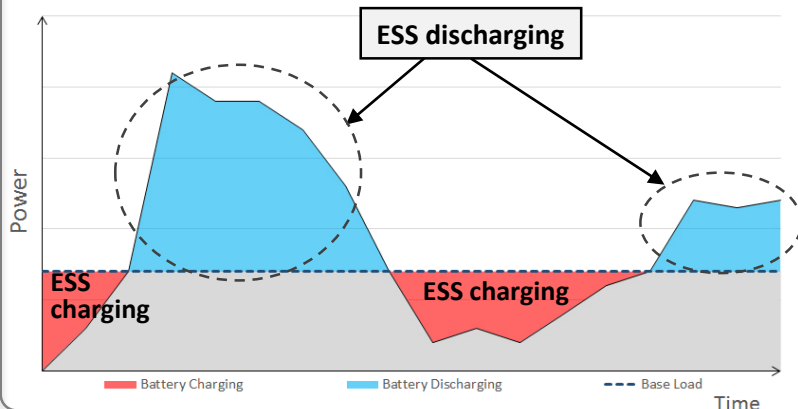
[추진] 전기추진

[발전] 발전기

+ESS/Fuel Cell



Load Balancing을 통한 에너지효율 향상



Source) Corvus Energy

Hybrid power-driven Electric Propulsion Ship

- (발전단계) 선박의 에너지효율을 높이기 위해 전력을 저장/공급할 수 있는 **ESS**(주로, 리튬배터리) 혹은 무배출 발전원인 **연료전지**가 발전기와 함께 사용되기 시작
- (주요장점)
 - Load Profile을 고려한 최적의 전력 생산/저장/사용으로 에너지 효율 향상
 - 연안에서 Zero-emission 가능 (특히, ECA 지역)
 - 소음/진동/OPEX 감소

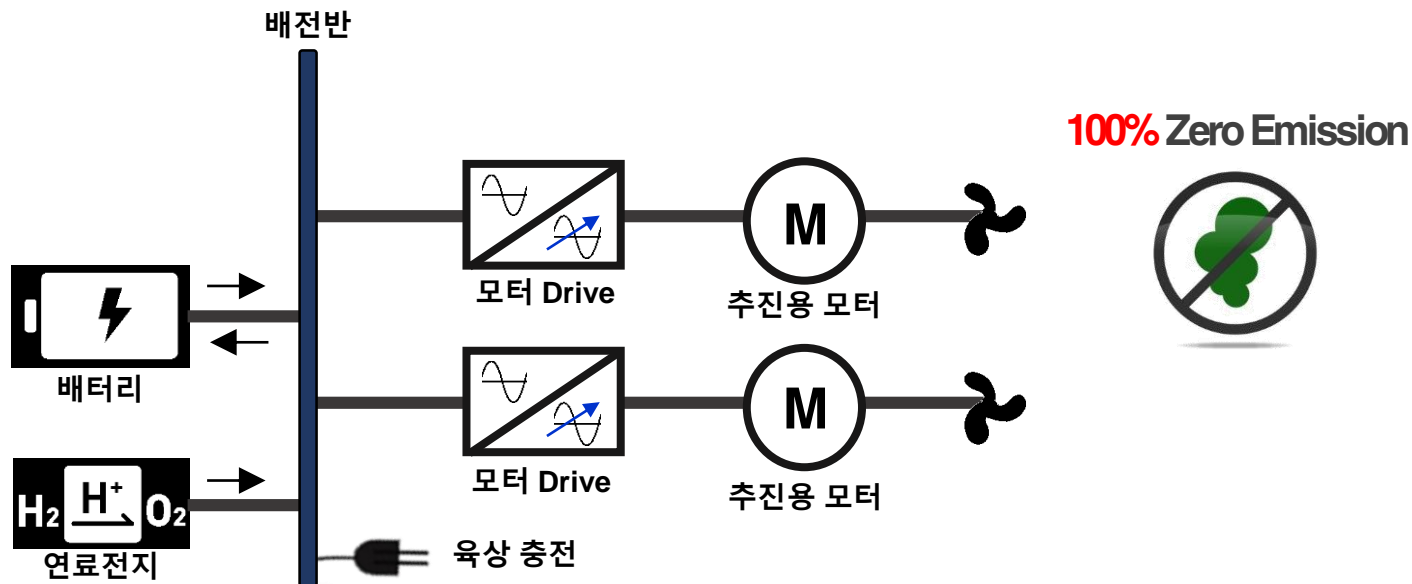
1

STEP 3

Electric Propulsion

[추진] 전기추진

[발전] ESS/Fuel Cell



배터리 추진선박의 자동 육상전원 충전

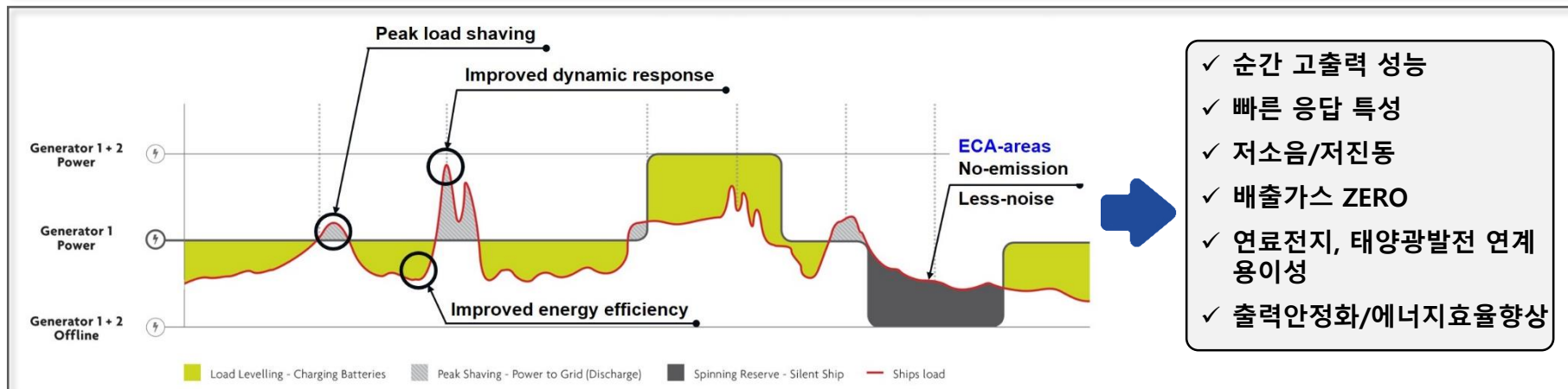
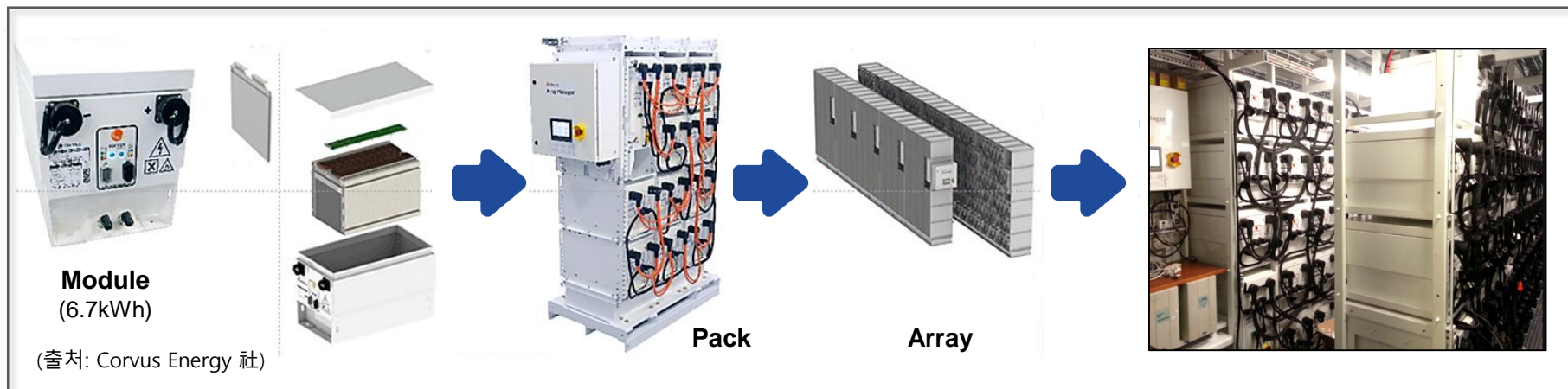


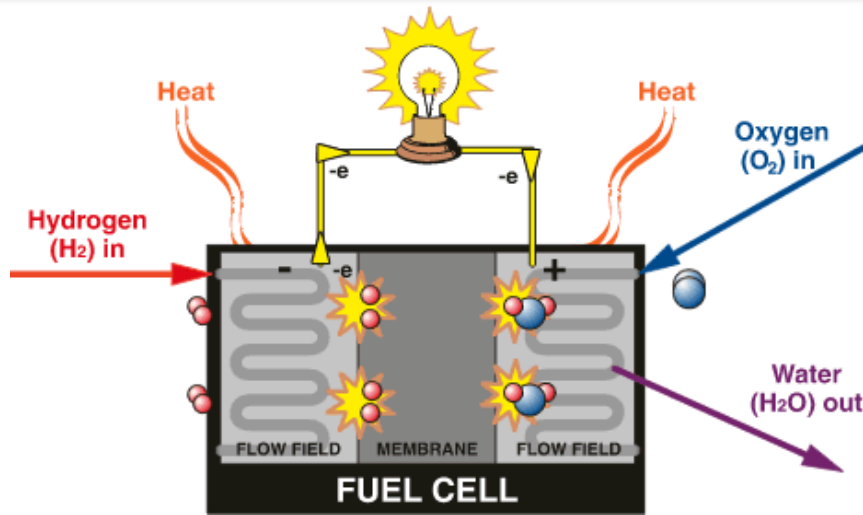
육상전원 충전용
ROBOT도 개발 중
(ABB社)

ZERO-emission Electric Propulsion Ship

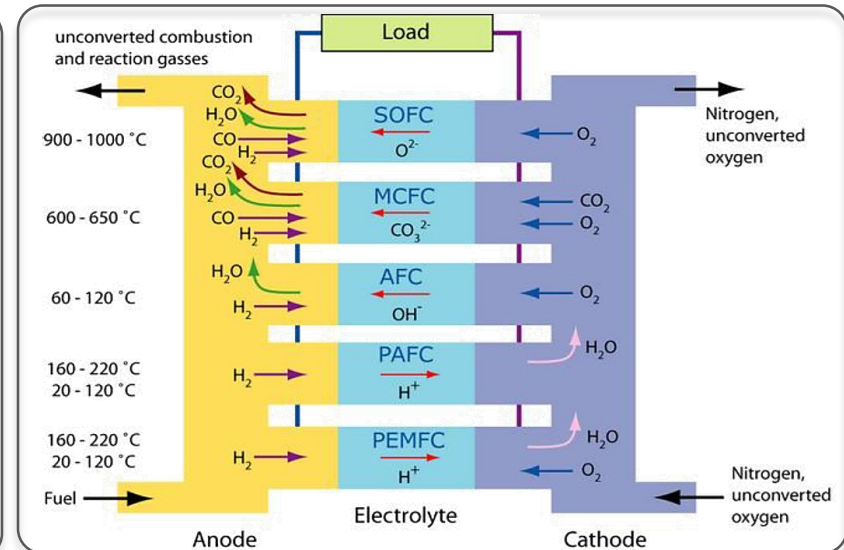
- (소형 연안선박) ESS전원을 전기추진선박의 주전원으로 사용함으로써, 연안의 대기오염문제 해결 가능. 단, 항구에 **Shore Power 공급설비**가 필수
- (대형 선박) 배터리와 함께 연료전지를 같이 사용함으로써, 장거리 항해가 가능. 단, 항구에서 **연료전지의 연료**를 충전/공급할 수 있는 설비가 필수
- (자율운항선) 유지보수 문제를 해결하기 위해, 자율운항선은 **All-battery (+F/C)**으로 개발되는 추세

전기의 최대 단점(생산과 소비의 동시성)을 극복할 수 있는 에너지저장시스템
 (*리튬배터리는 ESS의 한 종류)

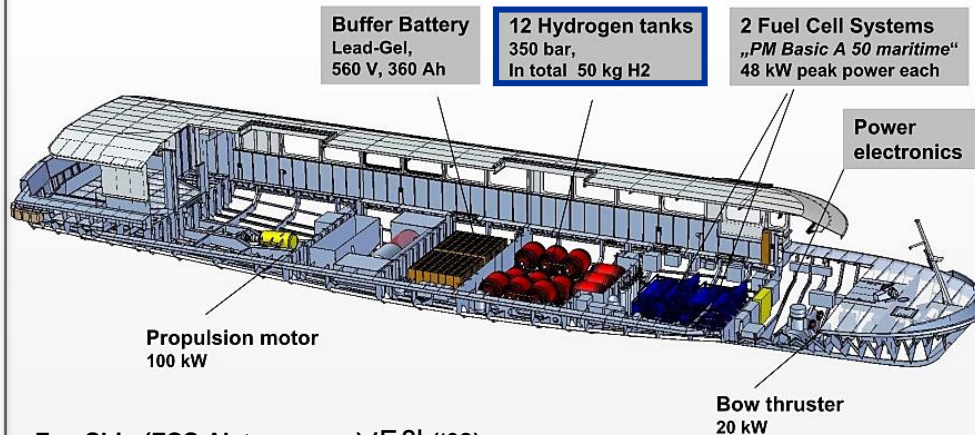




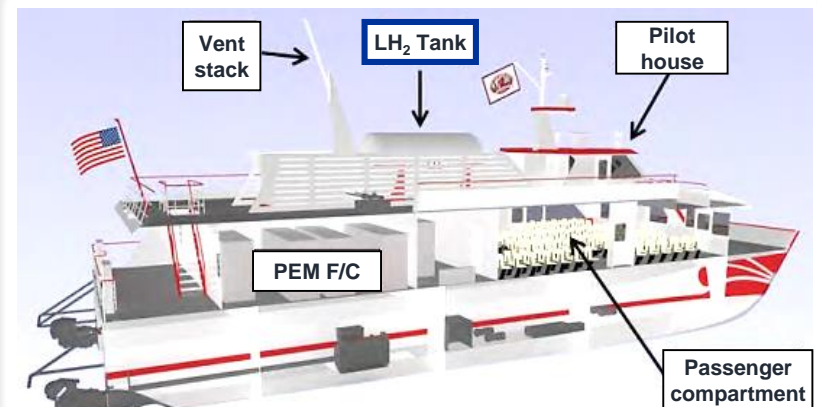
*Source) Department of Energy



cmr Prototech



ZemShip (FCS Alsterwasser) /독일 ('08)



SF-BREEZE 프로젝트 /미국 (연구용)



전기추진선박의 장/단점



〔Moving Parts = Repair〕

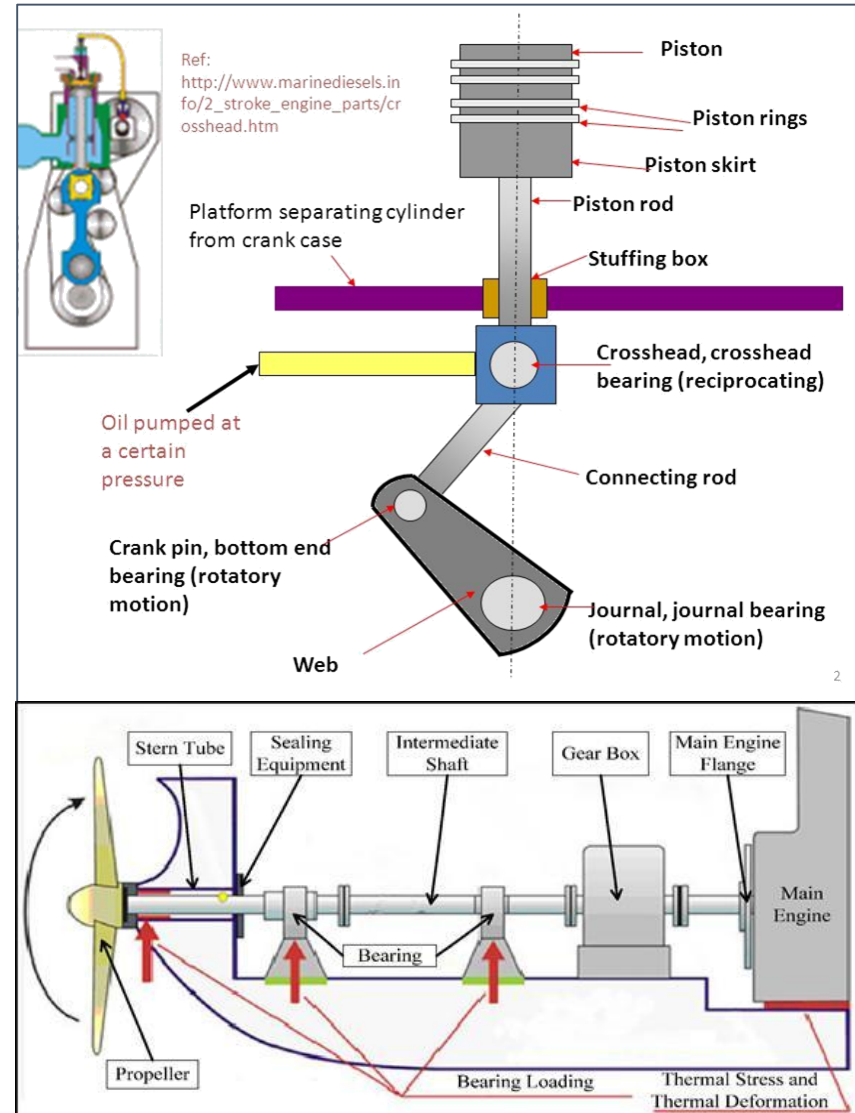
- ✓ **Moving Parts의 최소화에 따른 유지보수비 절감**
 - Gearbox, CPP*, (POD 적용시 Rudder, S/G) 등 불필요 ex) 내연기관 자동차 (2,000+개) vs 전기자동차 (18개, Tesla Model S)
 - **Moving Parts의 감소 → Friction/Heat 감소 → 고장률 감소, 부품 교체주기 증가 → OPEX 감소** (POD 추진기의 경우, 윤활유 **100 배 절감**)
- (*CPP: controllable pitch propeller)

Moving Parts (M/E)

crankshaft, pistons and piston rings and piston skirt, fuel valves, air start valve, exhaust gas valve, inlet valve, fuel injectors, turbo blowers, connecting rod, crank pin, camshaft, push rod and rocker arms, crosshead, crosshead guide and fuel pump, etc.

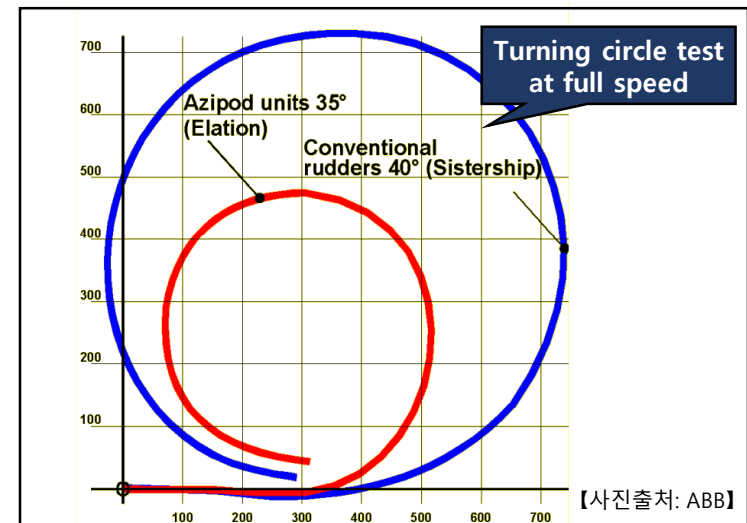
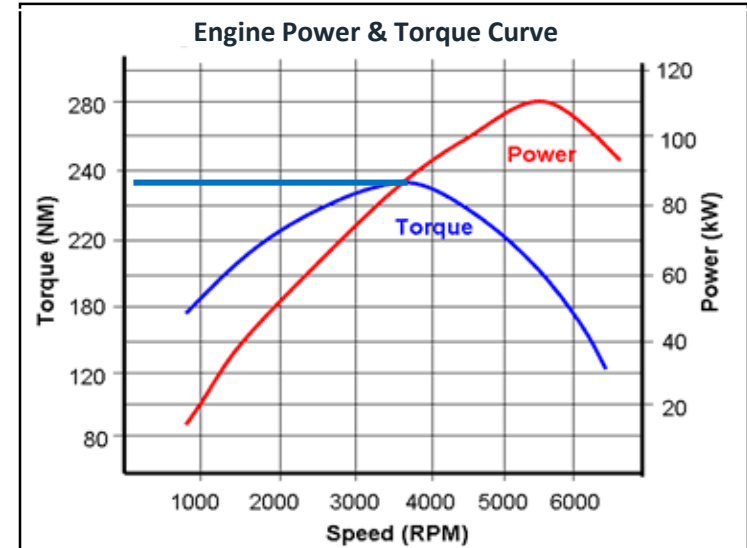
[출처]: Waleed Alturki, "Marine Diesel Engine Fixed and Moving Parts" Eng. Int. Journal of Engineering Research and Application. 7(11). Nov. 2017

- ✓ **전기전자 부품 = 원격 감시/제어에 적합**
 - 자율운항선박의 유지보수 점검에 유리



Speed & Torque Control

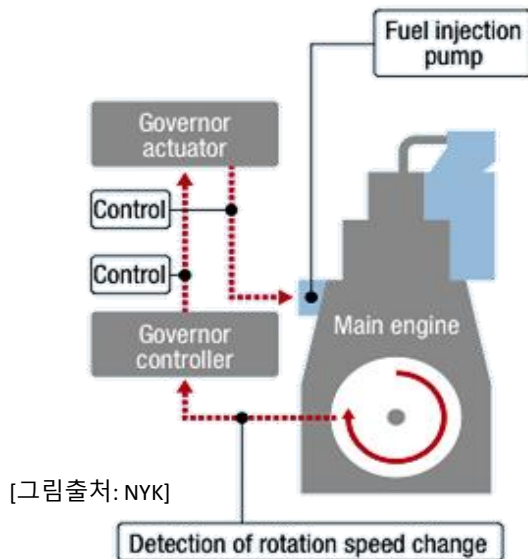
- ✓ 저속에서 높은 Torque 가능
 - VFD*로, Torque와 Speed 제어 (추진모터 출력 제어)
 - 저속에서 높은 토크를 얻을 수 있어 쇄빙선에 적합
(* VFD: Variable Frequency Drive)
- ✓ 정확한 Speed/Torque 제어 & 빠른 응답
 - Stop / Start / Reversing / Turning 조종성능 향상
 - Crash Stop 거리 단축
 - Reduction gear & CPP 불필요
- ✓ 우수한 Maneuvering 성능
(특히, POD, Azimuth Thruster 추진시)
 - 회전반경 감소 & 제동거리 감소 (~46%)
 - 항구 접안시 시간 단축 (tug, bow/stern thruster 불필요)



Different Control Mechanism

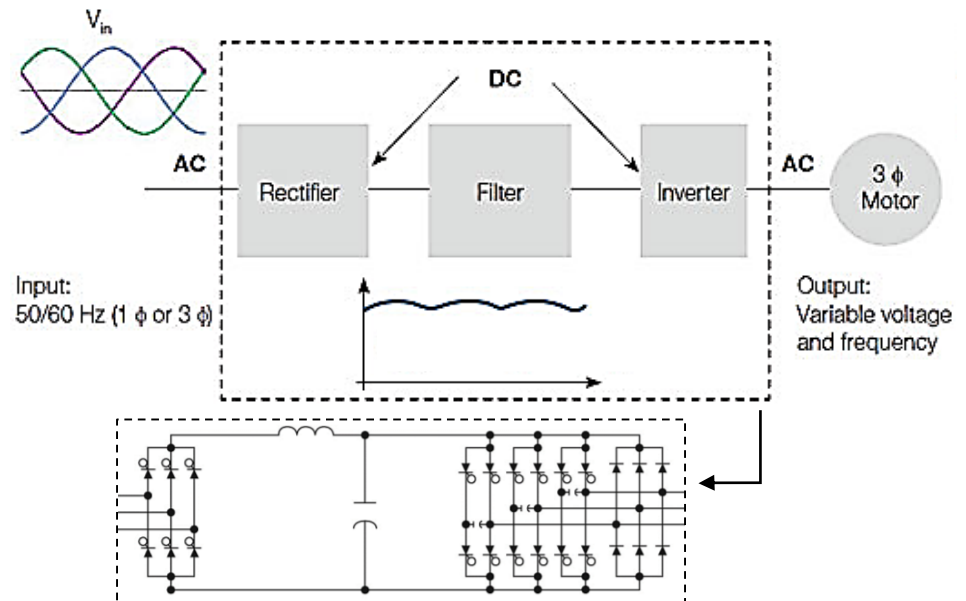
메인엔진 제어방식

- Governor*를 통한 Fuel control
- 조속기를 통해 연료의 양을 조절함으로써 M/E의 속도를 제어하는 피드백 시스템



전기추진 제어방식

- VFD* (Motor Drive) 인버터부에서의 반도체소자 스위칭 control (*VFD : Variable Frequency Drive)



Redundant M/E possible ?

So Difficult!

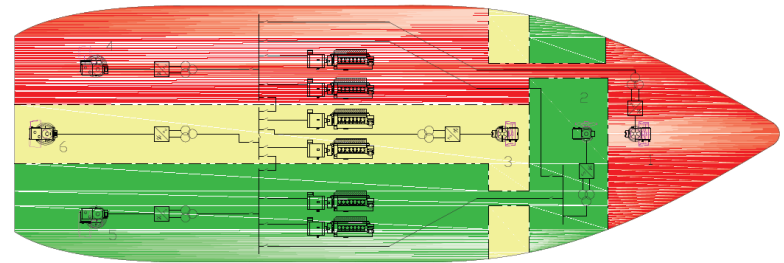
✓ 이중화 설계/배치 가능

- 발전부 이중화 설계 및 분산배치 가능
(2대 이상의 이중 발전원 확보 가능)
- 배전부 이중화 설계 및 분산배치 가능
(계통분리 설계 가능, 개별 보호시스템 확보 가능)
- 추진부 이중화 설계 및 분산배치 가능
(다수의 추진기 설치 가능, Cable Way 분리설치 가능)
- 단일 고장에 따른 추진력 상실 방지
- 구획 구분에 따른 화재/침수사고 방지
(여객선, 군함에 적합)

여객선 안전귀항 규정

- 2010년 7월 이후 적용된 신규 법규인 SRtP (Safe Return to Port) 룰의 적용으로, 선박의 안전성이 더욱 강화
- 선내에 화재 또는 침수 발생 시, 선박 자체가 인근의 안전한 항구까지 도달할 수 있어야 하며, 이를 위해, 추력 장치는 물론 주요 시스템의 이중(Dual)배치가 요구

발전시스템의 이중화/분산배치



추진시스템의 이중화/분산배치

Optimal Power Control



부하변동에 따른 최적 전력제어

- 선내부하와 추진부하를 함께 통합제어
- ESS 연계형 Hybrid 발전시스템 적용 가능
- 특히, 부하변동이 큰 선종(DP선, Tug선 등)에 적합 (기존의 M/E 추진시에는 용량 과다설계)



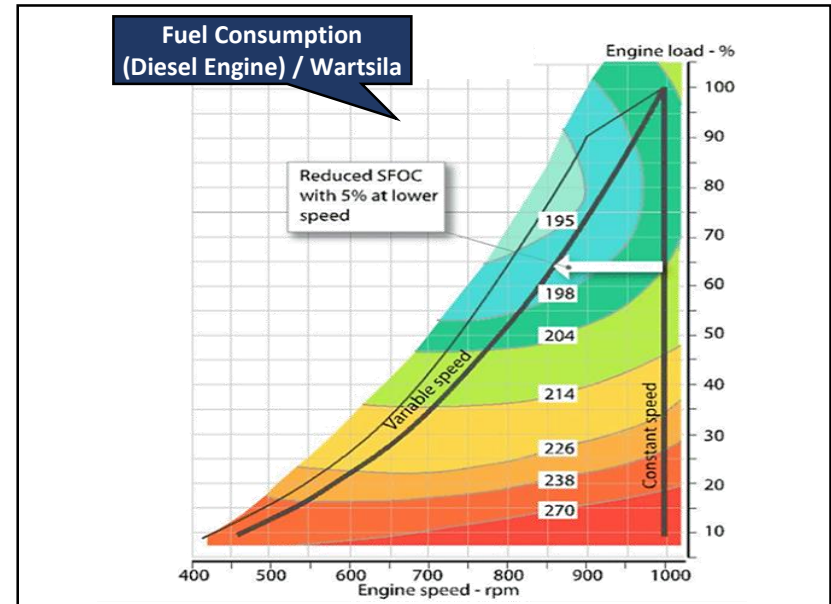
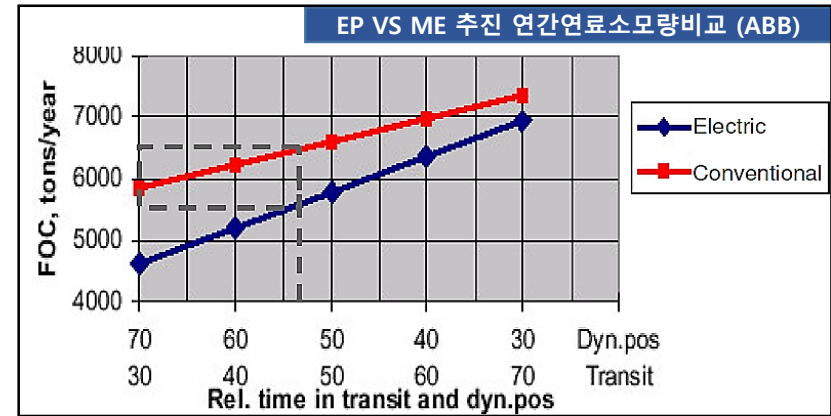
최적연비로 발전기 운전 가능

- 직류배전 선박의 경우, Variable Speed 운전으로 연료소모량 절감 (약 20~30% 수준)



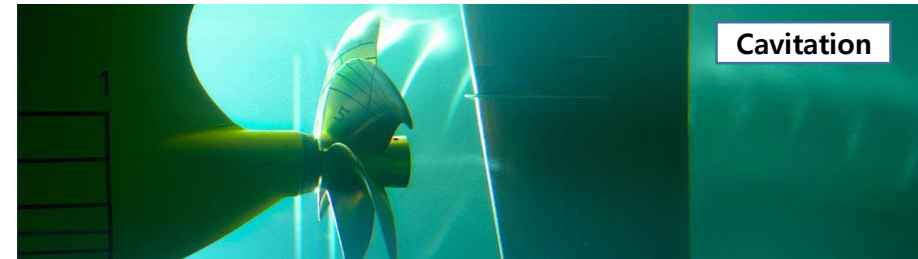
제동시 회생에너지의 재사용

- VFD의 기술개발로, 제동시 발생하는 회생에너지 사용 가능
- 회생에너지는 선내전원용으로 바로 사용하거나, ESS에 저장 후 필요시 사용 가능

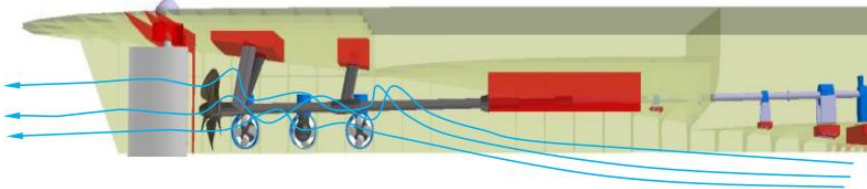


Optimal Propulsion Control

- ✓ 추진효율 증가 (POD/Azimuth thruster)
- Rudder 불필요 & 프로펠러 직경 감소 등을 통한 Cavitation 감소 → 추진효율 증가 (& 소음/진동 감소)

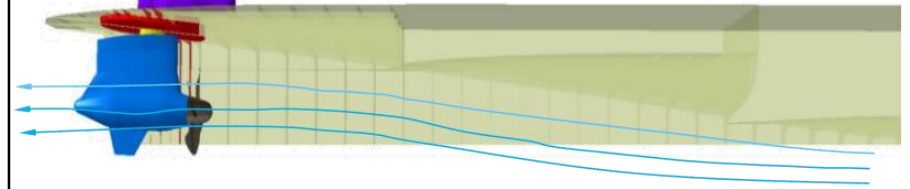


M/E 추진방식



- Uneven wakefield for the propeller
- Added resistances (rudders, shaft brackets and stern thrusters)
- High Cavitation

POD 추진방식



- Optimum wave field
- Lack of shaft line & shaft brackets etc.
- Lack of long shaft line (optimize the hull)
- No separate stern thrusters & rudders
- Low Cavitation

【사진출처: ABB】

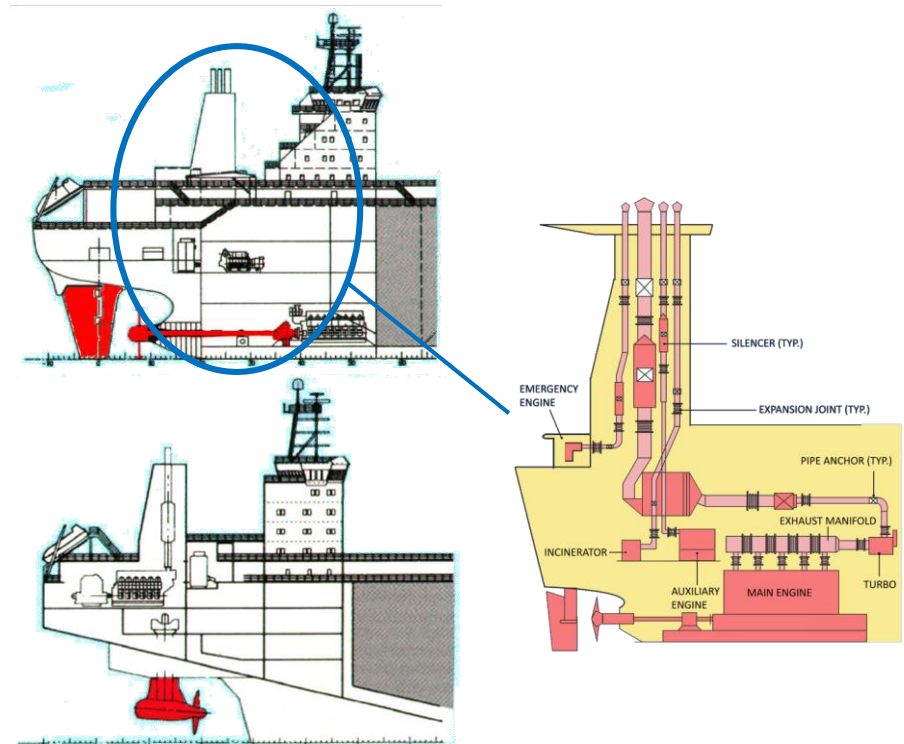
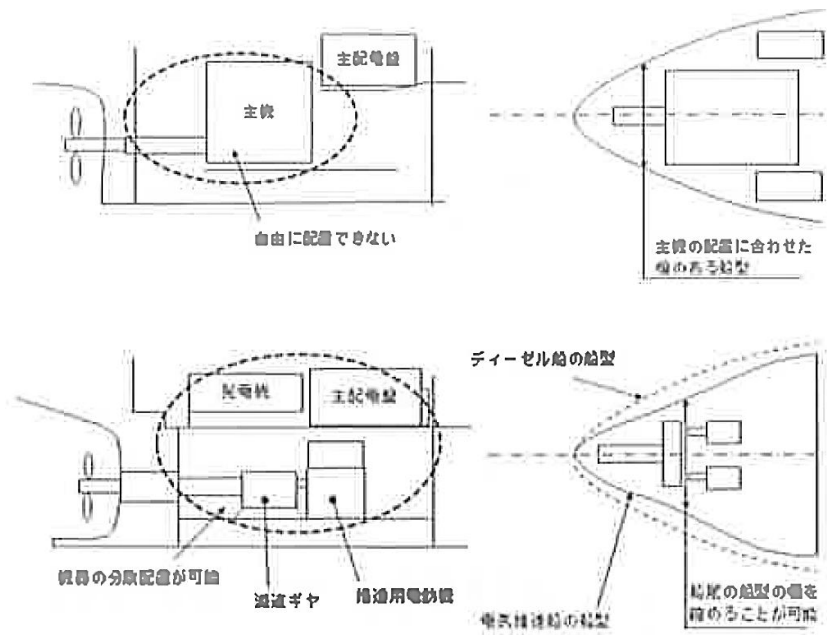
- ✓ **POD 주요업체:** ABB(Azipod), Siemens(eSiPOD), GE(Inovelis), AAA Propulsion(V-POD), etc.
(Azimuth) Thruster 주요업체: Rolls-Royce(Azipull PM), Voith, Wartsila, Thrustmaster, Niigata, STEERPROP, etc.

NO Direct Shaft-line
Saving **More Space**



선박형태 & 기관장비 배치의 개선

- 선미측 선박형태 개선 가능
- 장비 배치의 최적화로 공간확보/화물선적량 증가 (POD 추진기, 최대 30% 공간확보 가능)



【 출처: 일본 학회지(KANRIN), 2016년 5월 제66호 】

3

Electric Propulsion Challenges

Conversion **LOSS**

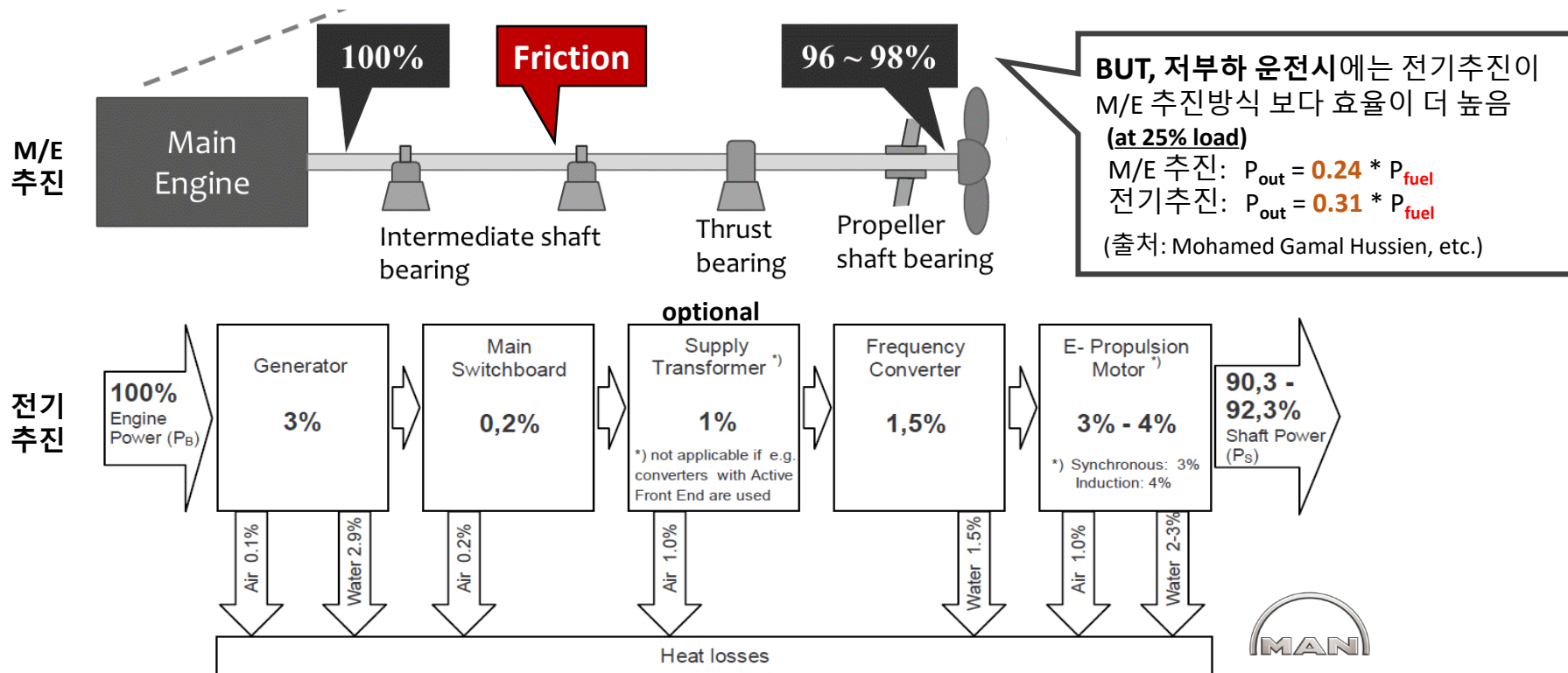
추가 에너지변환과정에 따른 손실 발생

Installation **COST**

기존 M/E 대비 초기 높은 투자비용

Unfamiliar **SYS.**

인식부족 & Major Maker 위주의 공급





CH. 3

어선용 하이브리드 추진시스템 개발



연구개발의 필요성



면세유 보조금지 대비

환태평양 동반자 협정 - 국제적 과잉어획 유발 수산 보조금 폐지
조세특례제한법 개정으로 면세기한이 2021년12월31일로 일몰
국내 어업용 면세유류 - 경유, 중유, 휘발유, 윤활유 등

TPP 협정으로 한국이 불리해진 조항

국영기업 우대 금지	원산지 추적 규정	수산 보조금 금지	부담 규제 철폐 요청권	의약품 자료 보존기간 연장
<ul style="list-style-type: none"> 공기업뿐 아니라 정부의 영향력이 미치는 기업까지 적용 대상 상계관세 부과 등 무역보복 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 동남아 중남미 국가들이 TPP 역외국이 아닌 일본, 베트남 등 역내국과 수출 다변화를 위한 가능성 	<ul style="list-style-type: none"> 세무 협정에 따라 정부의 면세유 공급 완전 금지 	<ul style="list-style-type: none"> 한국에는 필요한 규제라도 TPP 회원국들이 불리하다고 판단할 경우 철폐 요구 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 의약품 특허권 보호 강화로 글로벌 제약사의 시장 지배력 강화

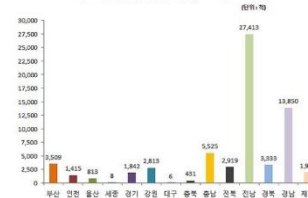
TPP



노후 어선 현대화

노후 어선에 대한 안전성 강화 및 조선산업 활성화
선령 21년이상 노후어선 전체 27%차지(국내 어선 6만5835척)
어선 현대화를 통한 선박의 안전성 강화 및 선원 복지 향상

시도별 통로어선 현황(2019년 기준)



연구개발의 필요성

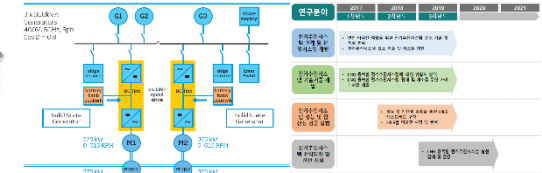
어선 사고 대응

기관 고장에 따른 어선 사고 예방 - 엔진고장 60% 이상
전기추진 기술 도입으로 안전 모니터링 강화

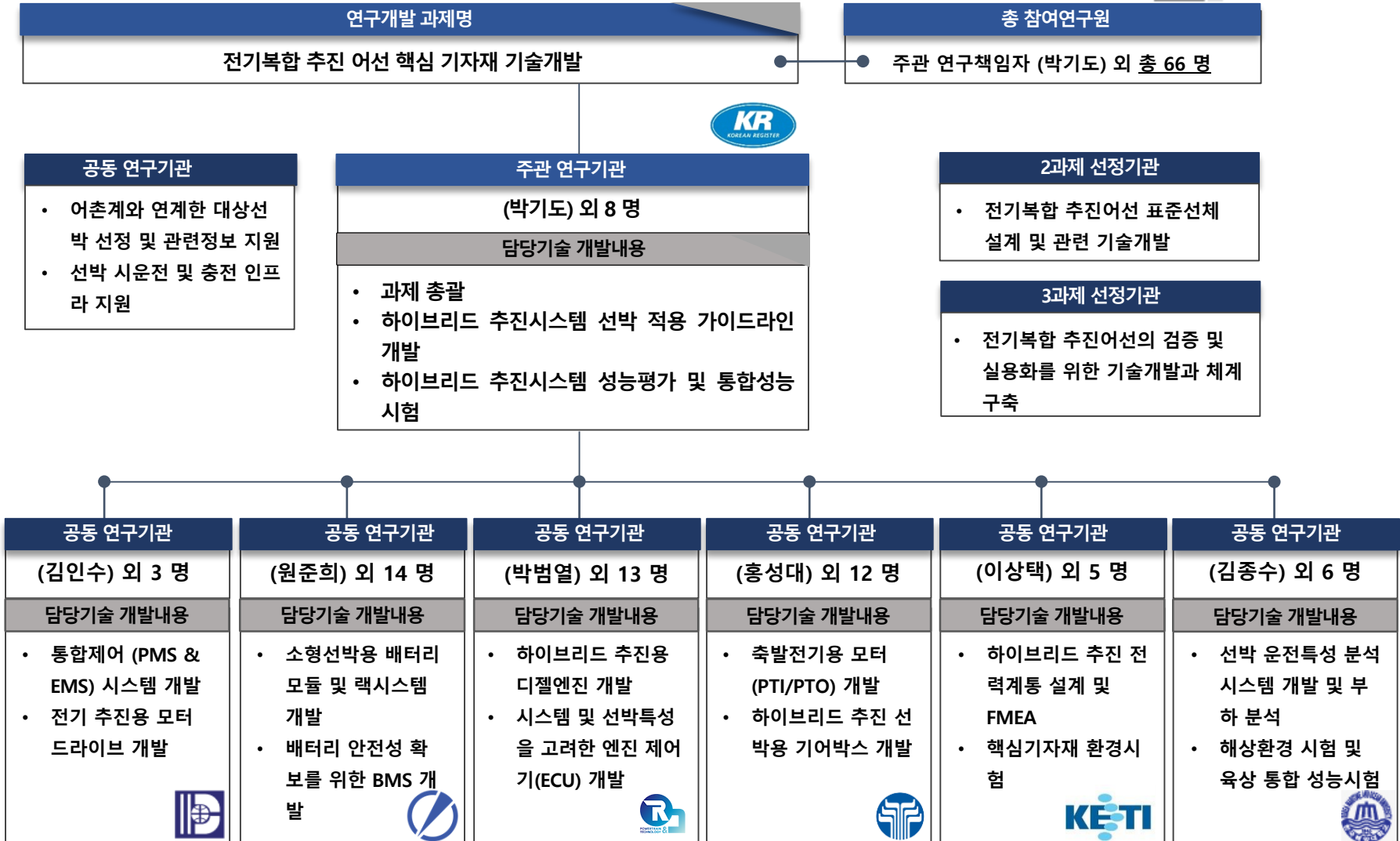


기술개발의 필요성

전기추진선박 시장 10년 동안 매년 12%씩 증가
국산화 및 실용화를 위한 개발 환경 미흡
친환경 선박 기술 도입을 통한 세부 기술개발 로드맵 수립



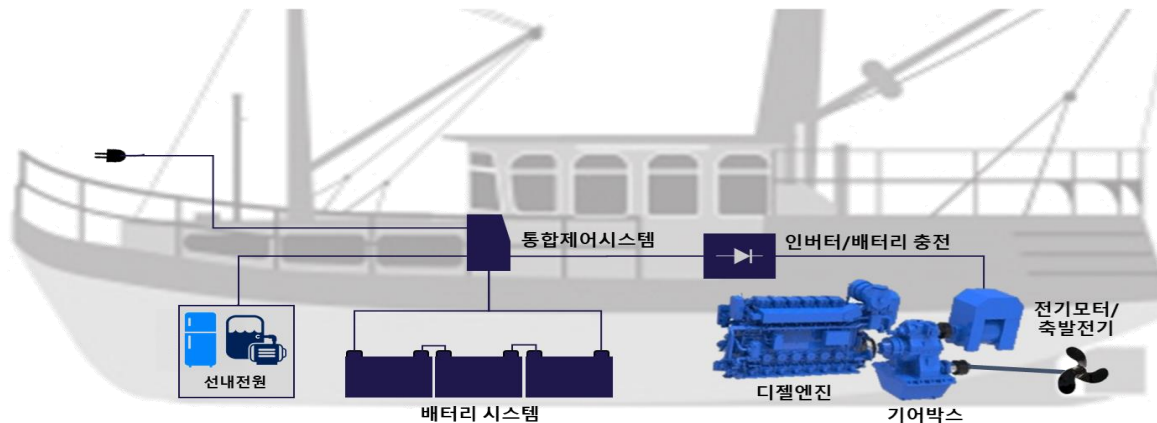
연구개발 추진체계



최종목표



연근해 선박 배출가스(CO₂, NOX, SOX) 감축 및 면세유 보조 금지에 대응을 위한 어선용 **하이브리드 추진시스템** 개발 및 안전성 확보를 위한 기술 개발



하이브리드 추진시스템 설계 및 적용기술 개발

- 엔진 및 전기모터&기어박스로 구성된 추진모듈 설계
- 하이브리드 추진시스템 선박 탑재를 위한 안전기준 개발
- 하이브리드 추진시스템 FMEA
- 통합제어시스템 설계

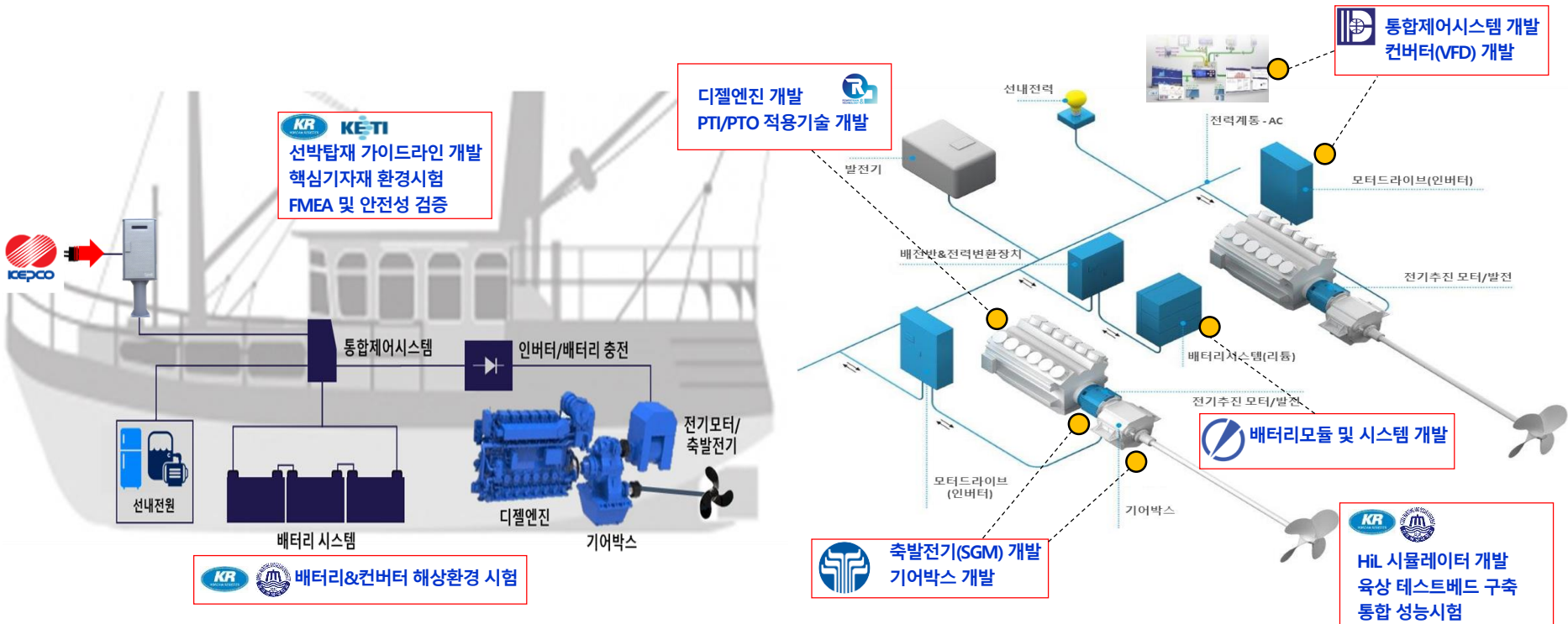
어선용 하이브리드 추진시스템 전력제어 및 관리기술 개발

- 하이브리드 추진시스템 전력제어 기술 개발
- 어선 및 해양환경에 적합한 배터리 안전제어 기술 개발
- 배터리 및 핵심기자재 선박 적용을 위한 가이드라인 개발
- 통합(전력, 에너지관리, 알람, 상태관리 등) 제어시스템 개발

하이브리드 추진시스템 통합 성능시험

- 시뮬레이터 및 육상 테스트베드를 이용한 통합제어시스템 기능 안전 시험
- 엔진&전기모터 동기화 및 PTI/PTO 기능 시험
- 하이브리드 추진시스템 성능 및 안전성 검증
- 형식승인 및 선박 실증 시험

연구개발 범위



하이브리드 추진시스템 선박 적용 기술 개발

- 하이브리드 추진시스템(엔진, 축발전 모터&드라이브, 배터리) 선급 승인 가이드라인 개발
- 하이브리드 추진 전력계통 설계 및 분석
- 추진시스템 FMEA 및 안정성 검증
- 배터리 및 컨버터 해상환경 시험을 통한 안전성 검증

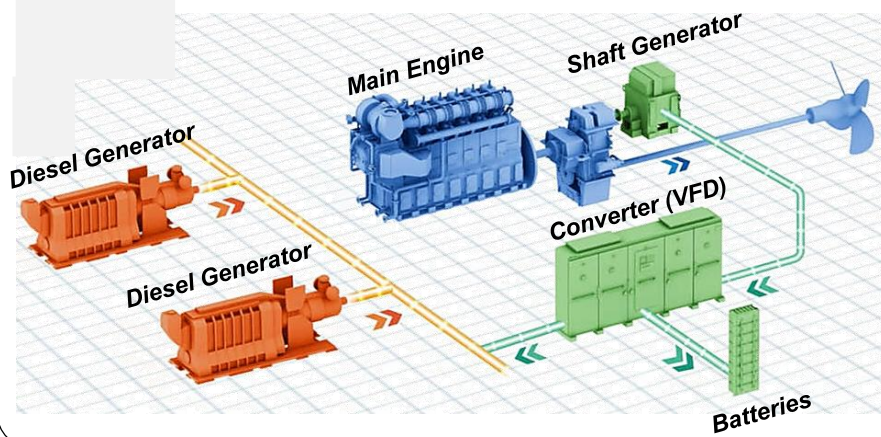
하이브리드 추진시스템(핵심기자재) 개발

- 전력공급 시스템 개발 : 배터리시스템, 모터 발전
- 추진시스템 개발 : 주엔진, 추진용 모터 및 인버터(VFD)기술개발
- 냉각효율 분석 및 선박 환경을 고려한 냉각시스템 최적화
- 통합제어시스템 개발 : 전력관리, 에너지관리, 운항 최적화
- 육상테스트베드(HiLs 적용) 구축 및 통합 성능시험

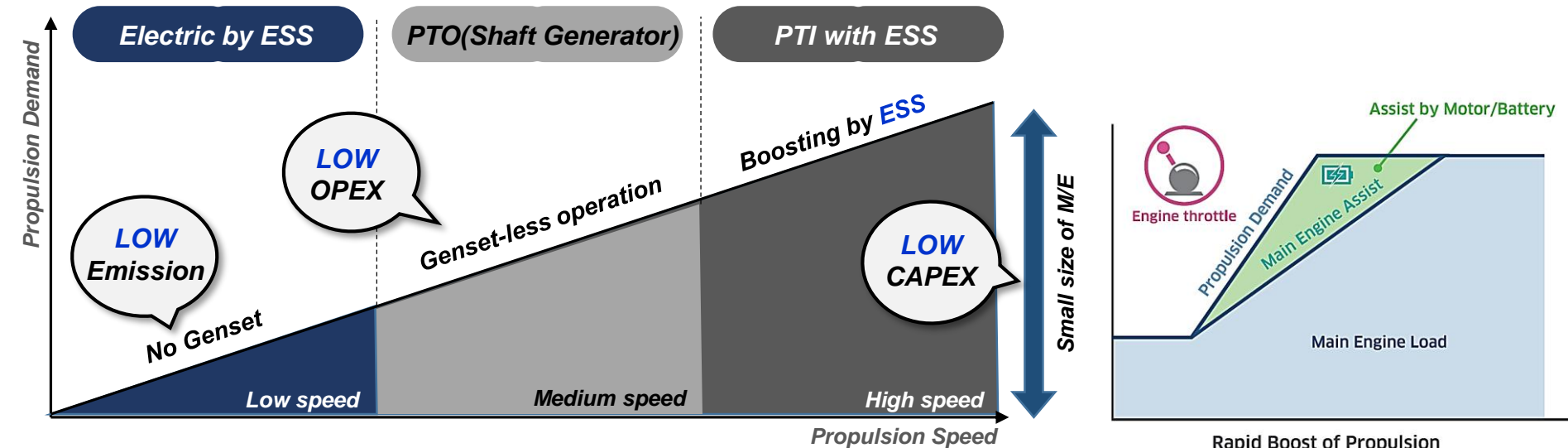
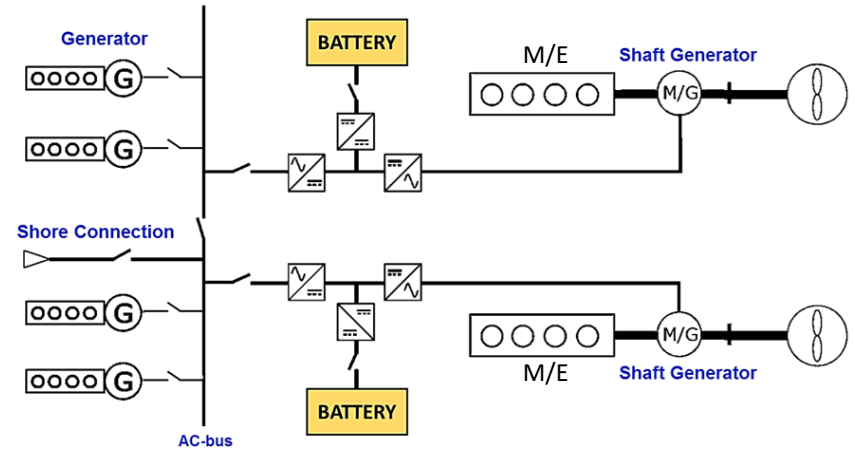
연구개발 내용



System Layout



Single Diagram

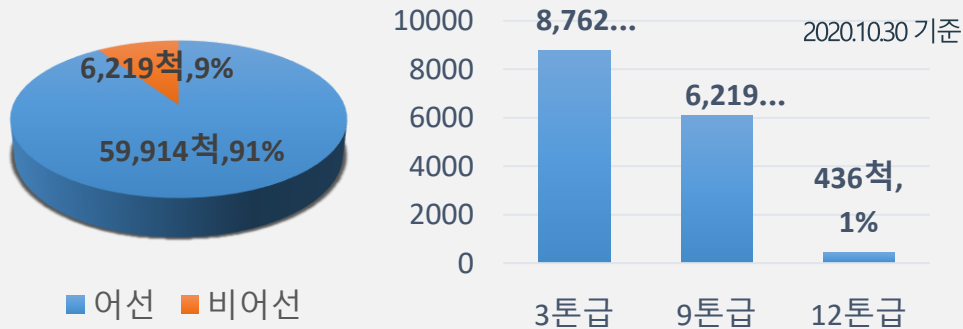


(* PTI: Power Take In, PTO: Power Take Out)

연구개발 내용

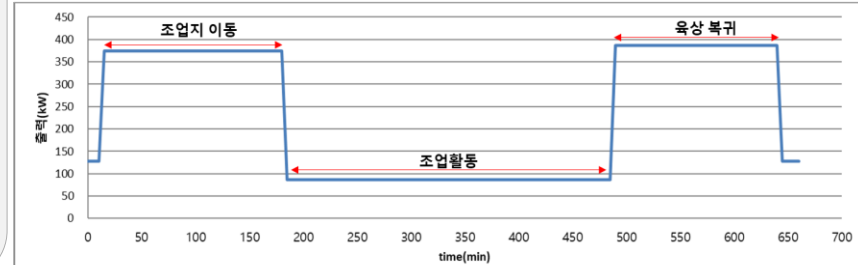
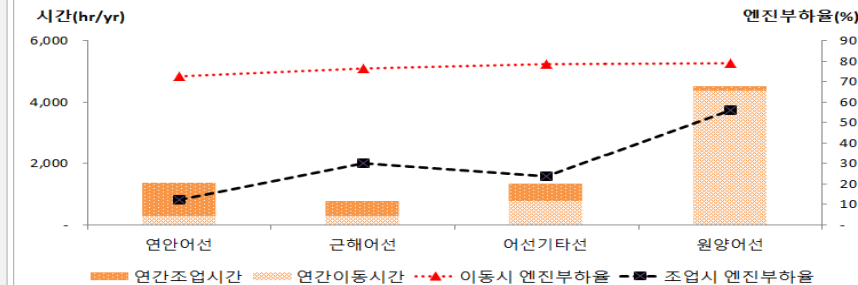


어선 현황



- 국내 등록 어선 총 59,914척
- 등록 어선 중 85% 이상이 연안복합 / 연안자망 어선
- 연안복합 / 연안자망 어선 중 비중이 높은 **3톤급, 9톤급 및 12톤급** 채낚기 어선을 대상선박 선정
- RFP : 3톤 이상 2척, 10톤 이상 1척
- 3톤급 : 150~200kW, 9톤급 : 400~500kW, 12톤급 : 600~700kW

구분	표본	연간조업시간(hr/yr)		엔진부하율(%)	
		이동	조업	이동	조업
전국	연안어선	972	299	1,088	73
	근해어선	187	315	476	76
	어선기타선	45	789	553	79
	원양어선	16	4,373	141	79



[3톤급 연안자망 어선 - 12.5m(L)x2.8m(B)]



[9톤급 연안복합 어선 - 19.5m(L)x5.5m(B)]

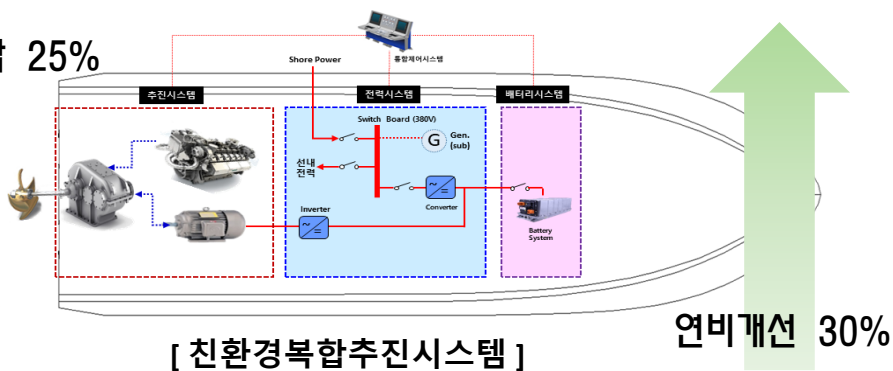


[12톤급 채낚기 어선 - 22.5m(L)x5.5m(B)]

연구개발 내용



온실가스 저감 25%



[친환경복합추진시스템]

연비개선 30%

친환경 추진 시스템

- 전동기+배터리시스템+발전기(채낚기 어선)+엔진 복합 추진
- 온실가스 25% 저감, 연비 30% 개선
- 친환경 병렬형 복합전기 추진시스템

유연성 및 고안전 시스템

- 연안복합, 연안자망, 채낚기등 어선별 유연성 및 최적용량 달성
- 모듈라 구현 및 다양한 배치 가능
- 고안전성 고려한 시스템 설계기술(FMEA 기법 등) 및 시제품 개발



[연안복합 어선]



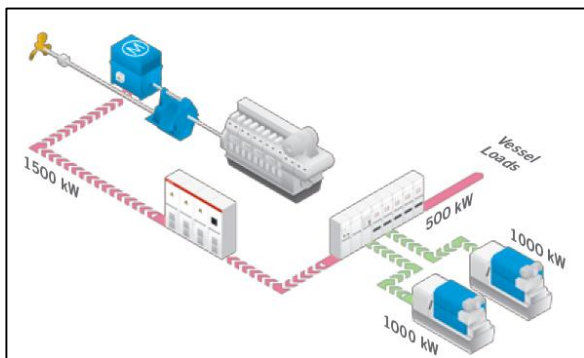
[연안자망 어선]



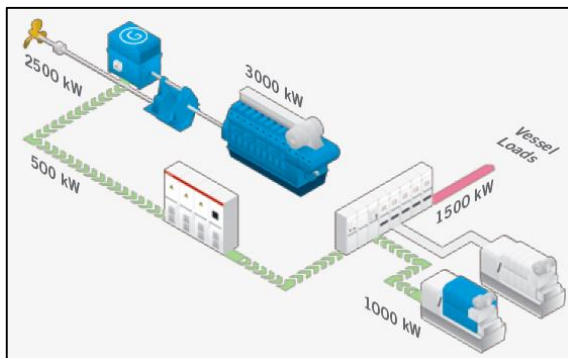
[채낚기 어선]

고효율 전력제어 시스템

- 고효율 전력변환 및 배터리 충전 기능 구현
- 육상전원활용, 정박 시 어업활동
- Power Take In/Out을 활용한 고효율 추진&발전 시스템 구현



[PTI(Power Take In) 개요]



[PTO(Power Take Out) 개요]

사업화 추진 전략



모듈형 시스템 개발



- ❖ 5kWh급 배터리 모듈 개발
- ❖ 추진용 인버터 모듈 적용 기술
- ❖ 소형 하이브리드 기어 모듈
- ❖ 소형 선박용 전동기 개발



- 모듈기반 - 소형 연안선박 적용
- 어선, 유람선, 차도선 등

시스템 Integration



- ❖ 80kWh급 배터리 Rack 개발
- ❖ 추진용 인버터 시스템 개발
- ❖ 중소형 하이브리드 시스템



- 시스템 Package - 중형 연안선박 적용
- 중소형 어선, Ferry, PSV, OSV, 쾌속선 등

시스템 Engineering



- ❖ 선박용 배터리스istem 엔지니어링 기술 개발
- ❖ 대용량 하이브리드 추진용 시스템 엔지니어링 기술 개발



- 엔지니어링 기술 - 대형 선박 적용
- 크루즈선, 컨테이너선, LNG선, RoRo선

엔지니어링 기술 확보 및 다양한 선박시장 진출



PROVIDING
THE BEST SERVICES,
CREATING
A BETTER WORLD

Thanks