

1. 서론

1.1 전기추진선박의 필요성

2012년 5월 29일 국토해양부는 해양환경관리법 일부개정법률(안) 입법예고를 하였다. 개정 내용은 IMO(국제해사기구)의 MARPOL(해양환경 국제협약)부속서 제 6장 개정안 발효 내용으로 새로 건조되는 선박의 EEDI(에너지효율설계지수)의 도입, SEEMP(선박에너지효율관리계획)의 선박 배치, 침몰선박의 관리 체계화와 관련된 내용이다[1]. 현재 대기오염원인 질소산화물과 황산화물에 대한 규제가 이루어지고 있으며, EEDI도입으로 탄소산화물을 포함한 대기오염원의 배출 규제는 단계적으로 강화될 것이다. 질소산화물의 규제는 노후선박의 퇴출이나 효율이 낮은 엔진의 사용의 자제를 위한 것이며, 황산화물의 규제는 황 함유율이 높은 유류의 사용을 제한하기 위한 것이지만 EEDI의 도입은 단순한 규제를 벗어나 선박의 에너지이용 효율을 높이는 새로운 기술의 선박도입 목적이 강하다.

최근 국내에서 전기추진 선박에 대한 선행연구가 진행되고 있으며 배출가스 대응 및 에너지 효율적인 측면에서 만족할만한 연구결과를 얻는 단계이다. 이러한 선행연구는 해외 선진국에 비하면 걸음마 단계이지만 국내·외 환경 규제에 따른 국내 조선업계 시장의 방향을 제시할 것이다.

2. 전기추진선박의 필요성

2.1 전기추진선박 연구 및 인프라구축의 필요성

100GT 이상의 선박용 내연기관에서 발생하는 대기오염물 질 중 NOx(질소산화물)는 전 세계 배출량의 10~15%, SOx(황산화물)는 4~6%, CO₂(이산화탄소)는 2%를 차지하고 있다. 육상, 해상, 항공의 수송부문 기준으로 볼 경우 NOx는 40%, SOx는 60%, CO₂는 15%의 배출량을 차지하고 있으며, 선박의 배기가스 70%가 해안 400km부근에서 발생하기 때문에 해안 근처의 대기오염으로 인한 산성비 유발, 해안지역 거주민 건강에 악영향 등의 문제가 심각하다.

국내·외 배기가스 규제가 단계적으로 강화되는 실정이며 국토해양부에서는 연안의 400GT미만 중소형 선박의 배출가스를 규제하기 위한 법규를 마련 중으로 관련 시장(수산업, 해양레저산업, 연안 운송업)의 침체를 막기 위한 대체 기술개발이 요구된다.

전기추진선박 기술은 배출가스 허용기준 만족뿐만 아니라 연료비 감소효과로 시장 활성화에 기여할 것이다. 현재 국내 전기추진기술은 대형선박과 작은 소형선박에 치중되어 있으며 걸음마단계라 볼 수 있다. 국내의 환경 규제대응과 관련시장 활성화를 위하여 전기추진시스템 관련 기자재의 연구와 시험·인증·평가 인프라의 구축이 필요하다.

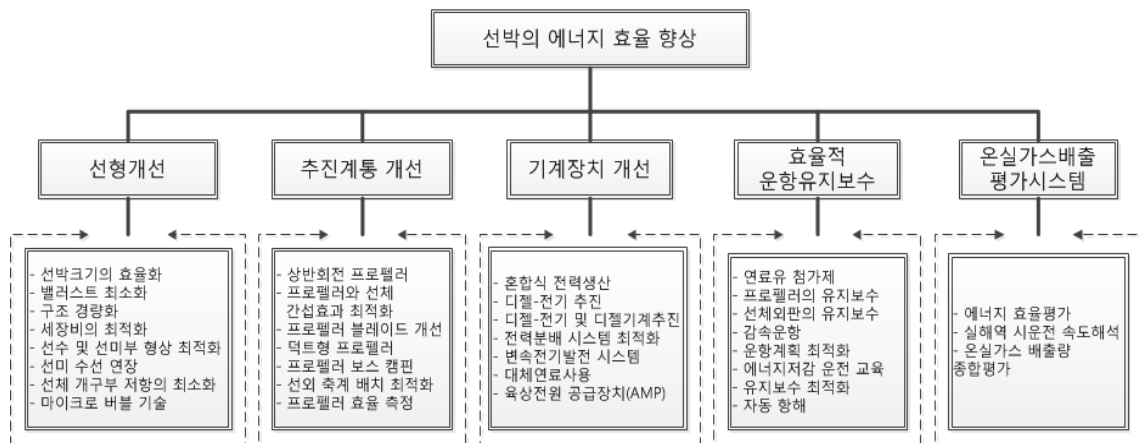


그림 1. 선박의 GHG(Green House Gas) 온실가스 저감 기술

2.2 배기가스 규제 현황

[국외 규제현황]

질소산화물 규제 - 최근 IMO에서는 선박 분야의 배기가스를 줄이기 위하여 선박건조시기, 해역 위치 및 선박 엔진의 분당회전속도에 따라 NOx 규제내용을 Tier I, II, III로 구분하고 단계적으로 배출기준을 강화하고 있다. 2008년 MEPC 58차 회의에서는 NOx와 SOx에 대한 배출기준을 규정하였으며 NOx의 경우 현재 적용하고 있는 Tier I(2000년 1월 1일 이후) 수준보다 15~20% 줄인 Tier II(2011년 1월 1일 이후) 기준, 80% 감소시킨 Tier III(2016년 1월 1일 이후) 기준으로 마련하고 있다.

표 1. 디젤엔진의 NOx 배출허용기준

구분	Tier I	Tier II	Tier III
$n \leq 130rpm$	17.0g/kWh	14.4g/kWh	3.4g/kWh
$130 < n \leq 2,000rpm$	$45 \cdot n^{(-0.2)}g/kWh$	$44 \cdot n^{(-0.23)}g/kWh$	$9 \cdot n^{(-0.2)}g/kWh$
$n > 2,000rpm$	9.8g/kWh	7.7g/kWh	2.0g/kWh

주: n은 기관의 정격 회전 속도(Rated Engine Speed).
자료: MEPC 58/23/Add.1 ANNEX 13.

표 2. 해역별 NOx 배출 규제 내용

구분	선박 건조 시기		
	2000.1.1~	2011.1.1~	2016.1.1~
일반해역	Tier I	Tier II	Tier II
배출통제해역(ECA)	Tier I	Tier II	Tier III

자료: MEPC 58/23/Add.1 ANNEX 13.

표 3. 황산화물 규제 내용

구분	2011년 현재~	2012년		2015년	2020년	비고
		1/1~	8/1~	1/1~	1/1~	
일반해역	4.5	3.5			0.5	2018년까지 실행 불가 시 적용일을 2025년 1월 1일로 연기 가능
ECA	발틱해/북해	1.0		0.1		MEPC 58/23/Add.1 Annex 13
	북미해역	-	1.0	0.1		MEPC60차 의결사항
캘리포니아주	MDO(0.5) MGO(1.5)	0.1				CCR, Title 13, Section 2299.2
EU	0.1					EU Directive 2005/33/EC

주: MDO(Marine Diesel Oil), MGO(Marine Gas Oil)
자료: MEPC 58차회의(2008.10.); MEPC 60차 회의; California Code of Regulations(CCR), Title 13, Section 2299.2; EU Directive 2005/33/EC

황산화물 규제 - SOx의 경우에는 배기가스저감기술이 부족한 실정이며 따라서, 엔진의 속도와는 관계없이 연료유 중

의 황산화물의 비율로 선박건조시기와 해역의 위치에 따라 규제를 하고 있다. 배출통제해역을 운항 할 경우 연료유교환절차서(Fuel Oil Changeover Procedure)를 선박에 비치 및 저유 황연료유 전환 작동 날짜 및 시간, 용량 기록하도록 되어있다.

[국내 규제현황]

질소산화물 규제 - 국내의 배출가스 규제 동향으로 환경부는 “자동차 및 건설기계 차기['12~' 16] 배출허용기준(안)”을 발표하여 연안선박에 대하여 자국 선박 배출 허용기준안으로 2016년 Tier-4 적용 예정이며 Tier 4가 적용 될 경우 560kW미만의 엔진도 질소산화물 규제대상에 포함이 된다.

황산화물 규제 - 국토해양부는 면세유를 포함하여 고유황 경유의 사용이 2012년 1월부터 제한하고 있으며 어업에서 가장 높은 사용비중(61.5%)을 차지하는 고유황 경유의 사용제한으로 어가소득에 직접적인 타격을 받고 있다.

따라서 전기추진시스템은 대형선박 뿐만 아니라 연안 운항 선박인 연안여객선, 연안 화물선, 어선, 레저용 선박 등에도 적용되는 기술이 될 것이며 국내·외 환경규제에 대응하기 위해서는 대형선박 뿐만 아니라 중소형 선박의 전기추진시스템 국산화를 이루어야 할 것이다. 본 기고문에서는 국외 전기추진시스템의 연구 및 인프라 구축 동향과 앞으로 진행해야 될 연구 분야에 대한 내용을 다루었다.

3. 전기추진선박 연구 동향

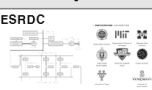


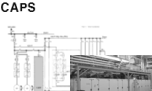
3.1 국외 전기추진선박 시험평가 인프라 구축 동향

전기추진선박은 단순한 추진시스템의 변화뿐만 아니라 추진 전동기의 전력제어를 위한 전력반도체 소자의 발달과 마이크로프로세서기술의 발달로 선박 전원체계, 안전성을 위한 전력관리 선박 네트워크, 분산전원의 도입 및, PMS(Power Management System), QoS(Quality of Service) 등의 기술과 접목된 형태의 융복합 기술 솔루션이 등장하게 될 것이다.

기존의 기계·물리적 기반에서 전기·전자 기반의 추진시스템 기술로 전환이 일어나기 위해서는 배출가스 규제에 대응하는 추진시스템의 효율개선뿐만 아니라 소프트웨어로 제어되는 전기추진시스템의 안전성 문제를 해결해야 할 것이다. 이러한 문제는 전기추진 제어장치나 주파수변환기 혹은 전력공급장치와 같은 단독 모듈에서 일어나는 문제가 아닌 전원장치, 전원제어장치, 계통, 회로보호장치, 전압변환장치, 주파수 변환장치, 추진전동기로 구성 된 전기추진체계의 복합적인 환경을 고려하여야 한다. 또한 신재생에너지원의 도입과 분산전

원에 대한 적절한 운용 및 안전성에 대한 평가가 필요하다. 국외 여러 연구기관에서는 전기추진시스템의 운용성 검증 및 전기추진시스템에 도입되는 새로운 기술의 테스트 및 검증을 위하여 전기추진선박 환경을 모의하고 추진시스템의 동작과 각 운용 장비들의 성능을 분석하는 인프라를 구축하고 연구를 수행하고 있다.

표 4. 국외 전기추진시스템 인프라 구축 현황

Project	기관/국가	R&D Facility
	Florida State Univ., DOE 외/ 미국	5MW Dynamometer 5MW VVVF converter 2.8 MW, 600~1150V dc 2MW, 450VAC
	과학기술대학/ 노르웨이	노르웨이 과학기술대학 주도 모든 종류의 전기선박 에너지 최적화 시스템 신뢰성 향상
	유럽위원회 FP7/ 유럽	선박 전력 최적화를 위한 선박환경 모사 2009 EU위원회 FP7 추진 인프라구축 프로젝트 기간: 2009.1 ~ 2012.12 (4년) 고온 초전도 기반 전기추진, 발전 및 전력 기저재 연구
	Florida State Univ./ 미국	5MW Advanced Prototype Test Bed -4.16kV distribution system(450VAC) -5MW VVVF converter -5MW dynamometer(2x2.5MW motor) Real Time Digital Simulator-14 rack Controls Test Bed

전기추진체계를 구성하는 각 기저재의 상호 운용성에 대한 연구가 국외 여러 기관에서 진행되고 있으며 인프라 구성은 약간씩 다르지만 추진 전동기, 주파수 변환기는 비슷한 형태를 가진다. 특히 POSE2IDON 프로젝트는 IEEE(미국전기전자학회)의 ESTS(Electric Ship Technology Symposium)에서 표준으로 연구 중인 MVDC 전원체계와 HTS(High Temperature Superconductor) motor로 구성된 전기추진시스템에 대한 연구와 유사하다. 일반적인 육상 AC 배전계통에서 국부적인 사고로 인한 무효전력의 변동은 계통전체에 변동을 주지 않지만 선박의 경우 무효전력의 변동은 선박 배전계통 전반에 영향을 미치게 된다. 이러한 문제는 DC 전원체계 구축으로 해결이 될 수 있으며, 효율을 높이기 위한 MVDC(Medium Voltage DC)전원체계에 대한 표준화와 전기추진 선박 기술표준 연구가 IEEE에서 진행 중이다.

3.2 IEEE ESTS의 연구 동향

2005년부터 IEEE의 6개의 하부 단체(IAS-Industry Applications Society, PES-Power&Energy Society, PELS-Power Electronics Society, OES-Ocean Engineering Society, DEIS-Dielectrics and Electrical Insulation Society, VTS-Vehicular Technology Society)의 공동지원으로 운영되는 ESTS는 전기추진선박의 새로운 기술 도입과 새로운 기술에 대한 기존 IEC(국제전기기술위원회) 표준 검토와 표준조정에 대한 working group을 운영하고 있다. IAS는 IEEE

1662- 2008:Guide for the Design and Application of Power Electronics in Electrical Power Systems on Ships의 기술표준 활동과 MVDC 표준인 IEEE 1709-2010:Recommended Practice for 1 to 35kV Medium Voltage DC Power Systems on Ships 과 육상전력 공급 방법에 대한 WG인 P1713 :Electrical Shore-to-Ship Connections의 기술표준 활동을 수행하고 있다. PES는 WG i8:Guide for Control Architecture for High Power Electronics (1 MW and Greater) Used in Electric Power Transmission and Distribution Systems와 P1676:Guide for Control Architecture for High Power Electronics(1 MW and Greater) Used in Electric Power Transmission and Distribution Systems에 대한 기술표준 활동을 수행하고 있다. PELS는 IEEE 1515-200:Recommended Practice for Electronic Power Subsystems: Parameter Definitions, Test Conditions, and Test Methods과 1573-2003:Recommended Practice for Electronic Power Subsystems:Parameters, Interfaces, Elements, and Performance 의 전자기기 관련 표준을 재정립하고 있다.

3.2.1 IEEE Standard 1662-2008

표 5. IEEE 1662-2008 표준의 사양 및 분석방법 관련 파라미터

System voltage
Power rating
Duty Cycle
Efficiency
No-load losses
Overload
Size and weight
Reliability and Maintainability requirements
Selection of parts
Heat dissipation requirements
Environmental design requirements
Ambient temperature
Cooling arrangements
Airborne noise
Structure-borne noise
Vibration
Electromagnetic effects
Electromagnetic interference
Electromagnetic self-compatibility
Electromagnetic pulse
data communications standards and capability
Control power supply voltage

IEEE 1662-2008은 전기추진 선박의 100kW이상의 정격을 가지는 전원체계모듈에 대한 전반적인 사항을 다루고 있다. 전원체계의 정류기에서부터 주파수변환기까지 다양한 전원체계 구성 전력전자 장비들에 대하여 아래에 해당하는 분석방법 및 파라미터 사양에 대해 다루고 있다.

3.2.2 IEEE Standard 1709-2010

IEEE 1709-2010은 선박의 MVDC의 선박 적용과 새로운 기술에 대한 기술표준을 마련하기위한 연구를 수행하고 있다. MVDC의 전압범위는 1~15kV범위이며 MVDC와 연계되는 전기추진시스템, 육상전력공급시스템, 부하설비, 전력저장장치, 분산전원, MVDC 보호 장치 등에 대한 기술표준을 재정하고 있다.

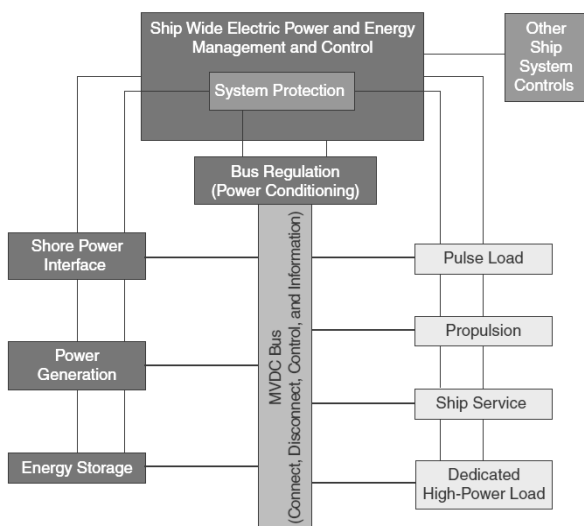


그림 2. IEEE 1709-2010의 기술표준 개발 범위

3.2.3 IEC/ISO/IEEE 60092-510

IEC 60092-510은 IEC와 ISO, IEEE가 공동으로 개발하는 기술 표준이며 육상에서 해양시설이나 선박의 전력공급을 위한 High-Voltage Shore Connection Systems에 대한 표준을 재정하고 있다. 주요 다루는 기술은 아래와 같다.

- high voltage shore distribution system
- shore-to-ship connections
- transformers/reactors
- semiconductor / rotating converters
- ship distribution systems
- control, monitoring, interlocking and power management system

3.2.4 IEEE WG i8

IEEE WG i8은 기존의 2차원적인 회로 구조에서 3차원적인 회로구조를 적용한 블록형태의 전력전자장비에 대한 기술표준에 대한 연구를 수행하고 있다. 이러한 연구는 PES에서 주도하고 있으며 앞으로 지능형 전력전자장비의 기술표준으로 자리하게 될 것이다. 아래는3차원 블록형태의 전력전자장치인 PEBB(Power Electronics Building Block)의 개념도를 나타낸 것이다. 전력전자장비는 전력변환을 위한 토폴로지 외에도 제어시스템, I/O포트, 통신시스템 등이 포함된 형태로 3차원적으로 설계되며 이렇게 설계된 블록형태의 전력전자장비는 소형화가 가능하고 방열설계가 쉬워진다. PEBB의 제어계층 구조는 네트워크 프로토콜의 레이어 구조에 대한 개념을 가지고 있으며 이에 대한 계층도를 그림 4에 나타내었다.

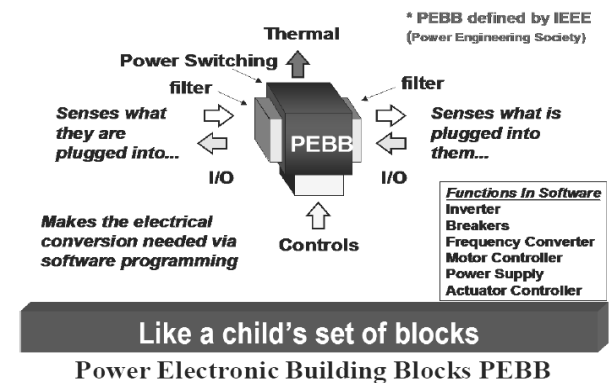


그림 3. IEEE WG i8의 PEBB 개념도

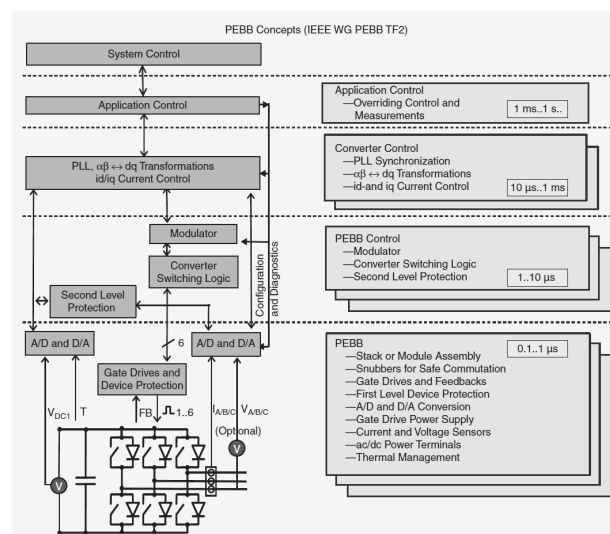


그림 4. IEEE WG i8의 PEBB의 제어계층 구조

PEBB의 제어 계층구조는 System control layer, Application Control Layer, Converter Control Layer, Switching control layer, Hardware Control layer로 5가지 제어 계층 구조를 가진다.

System control layer는 10ms 이상의 주기로 동작되며 MMI(Man Machine Interface)구조와 시스템의 동작에 대한 모든 기능이 포함한다. Application control layer는 System

층구조는 전력전자의 제어동작을 네트워크 프로토콜처럼 정확한 동작이 일어나기위한 function으로 구분되는 것이며 제어동작 수행 시 고장이 났을 때 어느 layer에 의한 고장인지를 식별할 수 있게 한다.

그림 5는 IEEE 1709-2010의 표준에 준하는 MVDC 전원 체계기반 전기추진선박 구성의 예를 보이고 있다. Drive inverter나 dc/dc converter외에도 모든 전력기자재들은 5가

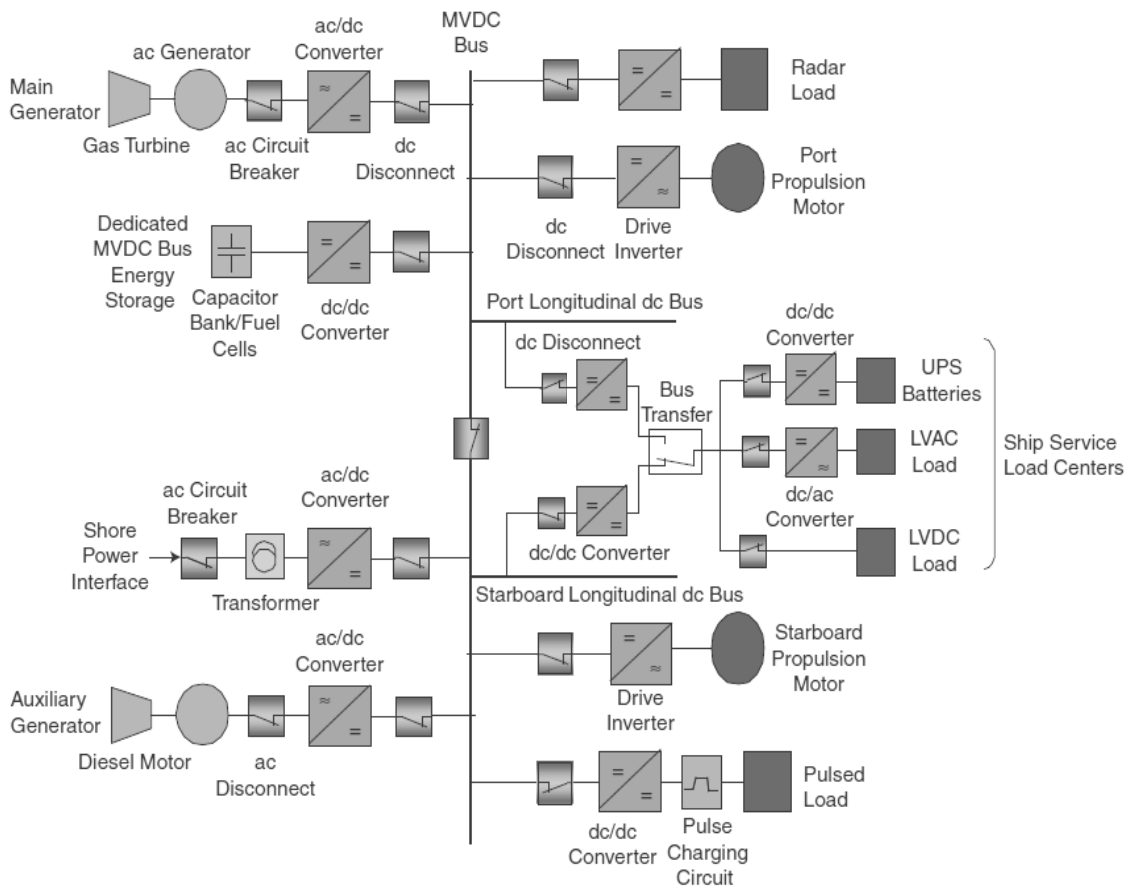


그림 5. IEEE 1709-2010을 이용한 MVDC 전원체계기반 전기추진선박 구성의 예

control에서 주어진 기능에 대한 동작을 수행하고 하위 Converter control layer의 전압, 전류의 제어가 제대로 수행하는지 확인하는 역할은 수행한다. Converter control layer는 feedback 제어를 포함하는 layer로 Application control layer의 reference값에 제대로 동작하는지 확인한다. Switching control layer는 전력전자의 스위칭 소자의 정확한 동작이 일어나는지에 대해 판별하는 layer로 전원 소스의 modulation기능을 수행한다. 마지막으로 Hardware control layer는 di/dt, dv/dt와 같은 전력제한, 통신 안전성, 광통신과 같은 절연을 위한 galvanic isolation등이 포함된다. 이러한 계

지 control layer 로 구성되며 system control layer를 위한 외부 통신기능이 추가된다. 이러한 지능형 전력기자재들의 모듈단위 분석은 힘든 일이기 때문에 전기추진선박을 모의하는 test bed단계에서 분석이 이루어져야 하며 이러한 분석을 이루기 위하여 테스트 케이스의 구축과 테스트케이스에 따른 실시간 하드웨어 성능 분석 기술이 추가적으로 요구 된다.

4. 결론

앞서 2절에서 언급한 배출가스 규제로 수산업, 해양레저산

업, 연안운송업 등이 타격을 받을 것이라 생각되며 중·소 조 선소역시 배출가스 규제에 대한 대비가 없으면 EEDI로 인한 선박 수주에 타격을 받게 될 것이다. 현재 탄소배출은 신조선 분야만 EEDI로 규제가 이루어지고 있지만 온실가스규제에 따른 MBM(시장기반조치)이 이루어진다면 전기추진선박 기술은 규제에 의한 해법마련이 아니라 시장의 요구에 부합하는 기술이 될 것이다.

본 기고문에서는 전기추진선박의 연구 필요성과 국외 인프라 구축현황 및 기술표준화 관련 연구동향을 소개하였다. IEEE의 ESTS는 최신 전기추진 선박과 관련하여 전원체계, 분산전원, 전력저장장치, 전력전자기술, 전원체계보호기술, 전력생산장비, 전력관리 네트워크 기술들에 대한 기술표준에 대한 연구를 수행 중이다. 다른 연구기관들도 이와 유사한 시험평가 인프라를 구축하여 전기추진선박의 시험평가 및 인증과 관련하여 표준제정을 위한 노력을 기울이고 있다.

전기추진 선박은 단순히 추진용 전동기와 주파수변환기가 기존의 선박 엔진을 대체하는 것 외에 선박의 전원체계의 변화와 변화된 전원체계를 구성하는 전력 기자재들의 조화로운 운영에 대한 기술이 동시에 요구된다. 이러한 기술들은 전기전자, IT, 기계 분야가 복합적으로 융합된 기술로 나타나며 이러한 융복합 기자재들의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위한 시험·평가 및 인증을 위한 인프라가 필요하다. 국내 연구기관에서는 전기추진선박의 기자재에 대한 기술연구와 국제 표준화활동을 위한 전기추진선박 기자재의 시험·인증·평가를 위한 인프라구축의 노력이 필요하며, 관련 기자재업체들은 전기추진모듈의 제품화에 대한 노력을 기울여야 할 것이다.

참 고 문 헌

해양환경관리법 일부개정법률(안) 입법예고 [국토해양부 공고 제2012-702호](2012).
 김경민 [제 63차 해양환경보호위원회(MEPC 63) 주요결과] (2012).
 Yi Guo [Research on Matrix Converter control Multi-phase PMSM for all Electric ship](2011).

김우선 [IMO의 온실가스 배출규제 동향] (2010).
 M. Bash [A medium voltage DC testbed for ship power system research](2009).
 Mariusz Szweda [An assessment of distortions of supply voltage waveform in All-Electric Ship Power Network] (2007).
 Timothy J. [Trends in Ship Electric Propulsion](2005).
 Steinar J. [Ship Power System Testing and Simulation] (2005).
 미국전기전자학회, <http://www.ieee.org>.



홍 지 태

- 1981년생
- 2012년 부산대학교 전자전기공학과 박사졸업
- 현 재 : 한국조선해양기자재연구원
전기전자연구본부 해양전력팀
선임연구원
- 관심분야 : 풍력발전, e-navigation,
전기추진선박, HILS
- 연 락 처 : ***-****-****
- E - mail : hjt61@komeri.re.kr



강 규 홍

- 1967년생
- 2001년 창원대학교 전기공학과 박사졸업
- 현 재 : 한국조선해양기자재연구원
전기전자연구본부 그린전력IT
연구센터 센터장
- 관심분야 : 전력기자재, 전기추진, 고효율선박기
기자재, Offshore
- 연 락 처 : ***-****-****
- E - mail : kang@komeri.re.kr



배 정 철

- 1963년생
- 1996년 한국해양대학교 해양통신 박사졸업
- 현 재 : 한국조선해양기자재연구원
전기전자연구본부 본부장
- 관심분야 : 해양통신, 선박전자, 항만통신
- 연 락 처 : ***-****-****
- E - mail : justin@komeri.re.kr