

# 함정용 추진시스템 연구개발 동향 분석과 국산화 방안에 대한 연구

최청석  
국방기술진흥연구소

## A Study on the Analysis of R&D Trends and the Localization Plan of Propulsion Systems for Ships

Chung Seok Choi  
Korea Research Institute for defense Technology planning and advancement

**요약** 함정의 추진체계는 추진뿐만 아니라 통합 에너지원으로서의 기능도 수행함으로써 무기체계 내의 핵심장비로 분류되어진다. 국내외적으로 함정들은 에너지원의 통합, 생존성 향상, 효율 개선, 미래무기 전력원 확보, 친환경화 등을 목표로 기존 기계식 추진시스템으로부터 통합전력시스템을 갖춘 전기함정으로 전환 중에 있다. 국내 함정의 추진체계 획득은 해외의존도가 높은 편이다. 원동기나 발전기에 대해 기술협력생산 또는 구매로 획득하고, 축 및 프로펠러는 국내 주문생산으로 획득하여 함에 탑재하였다. 하지만 해외장비를 탑재한 전기추진방식의 잠수함(KSS-I, II)의 2006년부터 2012년까지 약 7년간의 고장유형을 계통별로 살펴보면 추진계통인 전기 및 내연분야가 전체 고장의 72%를 차지하고 있을 정도로 운용 간 애로사항이 빈번하게 발생한다. 이는 전력운영 측면에서 추진체계의 영향이 크다는 것을 단적으로 보여준다. 이러한 배경에서 본 연구를 통하여 전기식 추진체계의 부품국산화를 통해 해외의존 탈피와 운용성 향상에 기여하고자 한다. 국내외 추진체계의 기술동향, 적용현황, 개발사례 등을 살펴보고 KDDX(Korea Destroyer Next Generation) 등 미래 함정에 적합한 전기식 추진체계의 국산화 방안을 연구결과로 수립하였으며, 향후 함정체계에 적용 가능한 수준의 연구개발방안 수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

**Abstract** Ship propulsion systems are classified as core equipment within weapon systems, as they not only provide propulsion but also serve as integrated energy sources. Domestically and internationally, ships are transitioning from conventional mechanical propulsion systems to electric ships equipped with integrated power systems, in accord with the goals of integrating energy sources, improving survivability, increasing efficiency, securing power sources for weapon systems, and achieving environmental friendliness. However, acquiring propulsion systems for domestic ships depends heavily on foreign suppliers. Engines and generators are acquired through technological cooperation agreements, while shafts and propellers are domestically manufactured. Nevertheless, operational difficulties are common, as evidenced by malfunctions from 2006 to 2012 in submarines (KSS-I and II) equipped with foreign-made electrical propulsion systems. In fact, the electrical and internal combustion sectors of propulsion systems accounted for 72% of all malfunctions. This paper proposes a plan to increase domestic self-reliance and operational efficiency by promoting the localization of submarine electric propulsion systems and focusing on technological trends, application statuses, and development cases of domestic and international propulsion systems. In addition, it suggests localization strategies for electric propulsion systems suitable for future ships such as the KDDX (Korea Destroyer Next Generation) and should contribute to establishing R&D plans for future ship systems.

**Keywords** : Weapon System, Naval Ship, Electronic Propulsion System, Localization, Trend Analysis

\*Corresponding Author : Chung Seok Choi(Korea Research Institute for defense Technology planning and advancement)  
email: chung365@naver.com

Received July 18, 2023

Revised August 8, 2023

Accepted August 10, 2023

Published August 31, 2023

## 1. 서론

최근 함정 내에 설치되는 각종 장비/시스템의 첨단화, 대형화 및 자동화에 따라 함정 내 전력소요가 급격히 증가하여 함정 내 전력과 추진체계 동력을 일원화하며 동력의 효율성 증대가 가능한 전기추진체계(EPS: Electric Propulsion System, 이하 EPS)의 함정 적용이 확대되고 있다. 또한 낮은 소음/진동 및 수증방사소음 특성으로 함 생존성 향상이 용이한 점, 연료비 절감, 운전효율 향상, 정비소요 감소, 운용인력 최소화를 통한 함정 운용유지비 절감이 가능한 점과 황산화물, 질소산화물 등 대기오염물질 배출을 감소시킬 수 있는 친환경성으로 향후 전기추진체계의 함정 적용은 더욱 확대될 것이며 함정의 표준 추진체계로 자리 잡을 것으로 전망되고 있다[1].

또한 일반 선박에 있어서도 LNG선, 크루즈선 등에 전기추진 방식이 폭넓게 적용되고 있다. 그러나 일반 상선에 전기추진을 적용한 예는 많으나 관련 주요 전기부품은 설계부터 제작, 설치에 이르기까지 전부 외국 기술에 의존하고 있는 실정이다. 특히 일반선의 경우, 선주의 지정에 의해 선진 외국의 특정 제조사의 전기추진 시스템이 일반적으로 사용됨으로 국내 기업이 개입할 여지가 매우 작다. 해외 추진시스템을 적용한 군 함정의 경우 높은 도입단가에도 불구하고 유지보수 업무 시 장비 단순 개방, 회로도 확인, S/W접근 등이 제한되어 운용성이 저하되거나 전력 공백까지 발생하고 있다. 이는 전기추진 시스템의 국산화는 국내 기술 증진뿐만 아니라 국방력 향상까지 이룰 수 있는 국가 주요 과제임을 시사한다.

통상 선진국의 해군은 자국의 기업이 보유한 기술을 중심으로 전기추진시스템을 설계하여 적용하므로, 다른 국가의 우수 기술을 즉각적으로 따르기에는 어려움이 있다. 그러나 대한민국과 같이 전기추진 후발국에서는 기술 발전의 동향을 잘 파악하여 현재 가장 유망한 기술을 채택함으로써 미래 기술을 선점할 수 있는 기회로 삼을 수도 있다. 우리나라의 기간산업이 되고 있는 IT 산업의 주력인 이동 통신 산업, 메모리반도체 산업의 발전 전략이 그 좋은 예라고 할 수 있다.

본 논문에서는 국내외 기술동향 및 요소기술 분석을 통하여 향후 대한민국 함정 적용을 위한 적절한 추진시스템 국산화 개발방안을 제안함에 목적이 있다.

## 2. 함정 추진체계 동향 연구

### 2.1 함정 추진체계 발전 동향

함정 추진체계의 패러다임은 Table 1과 같은 이유로 변화하고 있다.

Table 1. Main Trends in Naval ship

Factors
- Enhanced anti-submarine capabilities due to diversification of the ship's missions
- Reduction of ship operation cost due to reduction in defense budget
- Increased power demand due to changes in the weaponry system onboard the ship
- Reducing the number of people on board and increasing the convenience of maintenance by applying the automation system

또한 함정은 임무수행 중 적의 다양한 무기체계 위협에서 반드시 생존해야 하므로, Table 2과 같이 민간선박보다 더욱 엄격한 조건이 전력시스템에 요구되고 있다 [2].

Table 2. The features of Naval ship

Factors
- Special performance requirements such as shock resistance, vibration resistance, noise reduction, Electro Magnetic Interference(EMI) shielding, and underwater radiated noise control
- High power quality requirements such as minimization of harmonics due to the installation of precision electronic equipment
- Survivability requirements such as equipment redundancy and distributed layout design
- Requirements for light weight and miniaturization of equipment due to weight and installation space limitations
- General logistics support requirements such as maintenance, supply, education and training

이러한 요구조건에 따라 함정의 추진시스템도 점차 기계식에서 하이브리드식이나 완전전기식으로 전환되기 시작하고 있으며, 이러한 경향은 전세계 함정의 대세가 될 것으로 예상된다. 이는 전기추진체계(EPS)가, 함정 내에 설치되는 각종 장비/시스템의 첨단화, 대형화 및 자동화에 따라 함정 내 전력소요가 급격히 증가하여 함정 내 전력과 추진체계 동력을 일원화하여 동력의 효율성 증대가 가능하기 때문이다.

그러나 경하 5,000 ton 이하 함정에 30 kts 이상의 최대속력을 만족하도록 완전 전기추진체계를 적용하는 것은 현재의 기술수준으로는 중량 및 설치 공간 제한으로 어려움이 있다. 따라서 향후 전기추진체계가 함정에

확대 적용될 것인가 여부는 추진전동기 등 구성장비의 소형화, 경량화 기술 개발 수준에 따라 좌우될 것으로 판단된다.

## 2.2 함정 추진체계의 종류

함정의 추진방식은 크게 기계식 추진방식과 하이브리드 추진방식 그리고 전기추진 방식으로 나눌 수 있다.

### 2.2.1 기계적 추진시스템

대표적인 함정용 원동기인 가스터빈은 약 3600r/min의 속도로 회전하는 반면 프로펠러는 일반적으로 100~200r/min 정도의 속도를 지닌다. 원동기와 프로펠러가 각각의 일정 속도를 유지하기 위해 감속기어를 이용하는데, 높은 출력의 원동기의 속도를 줄여감에 따라 프로펠러의 속도를 줄일 수 있다. 아울러, 감속기어는 여러 대의 원동기 출력을 하나의 추진시스템에 결합시킬 수 있다. 그러나 이러한 감속기의 단점 중 하나는 많은 소음을 발생시킨다는 점으로 회전속도 범위에서 소음을 줄이기 위한 최적 설계가 어렵다. 그리고 가스터빈 장치의 또 다른 단점은 감속기어의 무게가 발전기 무게를 초과하기 때문에 추진시스템의 출력밀도가 13~23% 감소한다.

이 추진방식은 원동기가 직접 프로펠러를 구동하는 방식으로서, 추진방법에 따라 대표적으로 COGAG (COmbined Gas And Gas) 방식과 CODOG (COmbined Diesel Or Gas)을 들 수 있다. COGAG 방식은 주 엔진과 보조엔진이 각각 대형 및 소형 가스터빈으로서, 저속에서는 일부 소형 가스터빈이, 고속에서는 대형 및 일부 소형 가스터빈이 모두 추진을 담당하며, 함 내 전력은 나머지 소형 가스터빈이 담당하는 방식으로 Fig. 1로 표현할 수 있다.

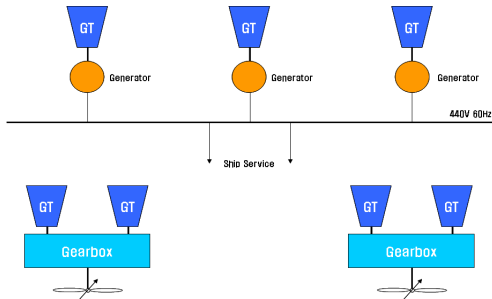


Fig. 1. Structure of COGAG

### 2.2.2 하이브리드 추진시스템

하이브리드 추진시스템은 하나의 프로펠러가 병렬 또는 직렬로 연결된 엔진과 전동기에 의해 구동되는 추진 시스템으로서, 엔진과 전동기의 장점을 이용하여 엔진의 전반적인 출력 성능을 향상시킬 수 있다. COGLOG (COmbined Diesel eLectric Or Gas) 추진시스템은 가스터빈, 디젤엔진을 주 동력원으로 사용하며, 일반적으로 속도가 낮은 순항 시에는 고효율의 전동기를 구동시키고, 고속운전 시에는 엔진만을 가동시킨다. CODLAG (COmbined Diesel eLectric And Gas) 추진시스템은 엔진과 전동기를 함께 가동시켜 추가적인 에너지를 공급할 수 있는데, 이렇게 결합된 시스템은 저속에서 오랜 시간동안 항해하고, 짧은 시간에 높은 속도로 동작하는 함정에 적합하다. Fig. 2는 CODLAG 시스템의 구성을 보여주고 있다[3].

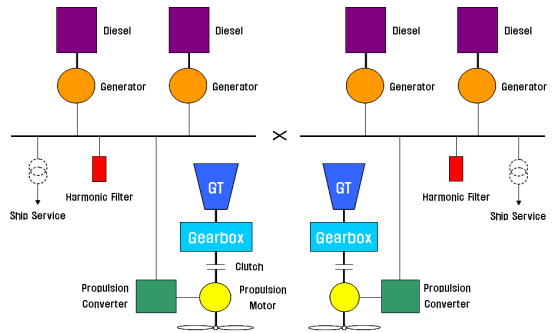


Fig. 2. Structure of CODLAG

### 2.2.3 전기추진시스템

기계식 추진방식이 함정의 추진은 추진전용 대형엔진으로, 함 내 전기부하는 소형 엔진발전기와 전동기가 각각 분리되어 운용되는 것에 비해, 전기추진시스템은 모든 원동기가 발전기와 결합되어 전력을 생산함으로써, 특히 저속에서의 극히 낮은 효율을 크게 개선시키기 위한 것이다. 이 전기추진시스템은 기계식 추진시스템에 비해 건조 실적 및 역사가 짧고, 추진시스템 구성의 자유도가 높아 함정을 설계 및 건조할 때 어려움이 있다. 그럼에도 불구하고 전기추진시스템(IEP: Integrated Electric Propulsion, 이하 IEP)은 Table 3과 같은 장점들을 가지고 있기 때문에 크게 주목을 받고 있다.

반면 전기추진체계는 기계식 추진체계보다 초기 획득 비용이 높고, 함 중량 및 설치공간이 증가하는 단점을 가지고 있는 것도 현실이다.

Table 3. Advantage of IEP

Factors
- Reduction of ship operating and maintenance costs by reducing fuel costs, improving operational efficiency, reducing maintenance requirements, and minimizing operating manpower
- Low noise and vibration characteristics reduce underwater radiated noise and improve ship survivability by facilitating system redundancy
- High power availability that can use propulsion power as ship's own power
- Future scalability in preparation for performance improvement by additionally mounting high-power armament/sensor
- Engine room design flexibility due to reduction in length of propulsion shaft and reduction in number of engines
- Eco-friendliness that can reduce air pollutants such as sulfur oxides and nitrogen oxides

Fig. 3는 모든 원동기가 전력을 생산하여 추진시스템 및 함내 호텔부하, 그리고 무기체계에 전력을 공급하는 전기추진체계의 대표적인 구성을 보여주고 있다.

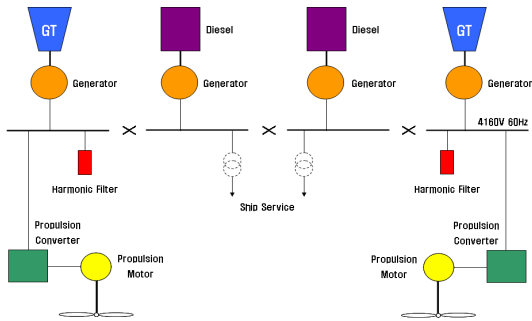


Fig. 3. Structure of IEP

전기추진시스템은 감속기어가 없는 대신 발전기, 컨버터, 추진전동기로 구성되어 있다. 발전기는 함정에서 요구하는 전력을 공급하고, 컨버터(구동장치)는 추진전동기의 속도를 제어하며, 추진전동기는 프로펠러에 추진력을 발생시킨다. 감속기어를 대신하여 효율적인 엔진 속력과 프로펠러 속력을 맞추기 위해 추진전동기가 발전기 속도에 따라 운전하는 전기식 추진기를 사용한다.

함정의 통합전력시스템은 추진부, 서비스부, 전투부로 전력을 배분할 수 있으며, 70~90% 정도가 추진부 쪽으로 전력이 배분된다. 이러한 전기추진시스템은 기계식 시스템에 비해 적은 수의 원동기가 사용되므로, 연료 및 유지보수비를 절약할 수 있을 뿐 아니라 소음을 줄일 수 있다는 장점이 있다.

최근 전기추진함정은 세계적으로 Table 4와 같은 방향으로 발전하고 있으며, 최근 건조된 선진해군들의 신

형 구축함들은 통합전기추진방식을 채택하고 있다. 통합 전기추진방식은 시스템 내에서, 새로운 아키텍처, 통합 전력관리시스템 및 첨단 전기기기 등 증가하는 전력수요에 대응할 수 있도록 한다.

Table 4. Development Trends in IEP ship

Factors
- The trend of increasing voltage level (from low voltage to high voltage)
- Solutions starting to include advanced energy sources alongside traditional and intelligent energy management
- The ship's electric propulsion system delivers capabilities as a complete system rather than as individual pieces of equipment.
- Integration of propulsion load and ship load to cope with future increase in ship load
- Power quality maintenance using an electric propulsion system to accommodate momentary high-capacity shock loads such as pulse weapons

### 2.3 해외 함정 전기추진체계 적용 현황

1990년대 후반부터 미국과 영국 해군은 신형 함정에 전기추진(Hybrid or Integrated Full Electric Propulsion) 방식을 도입하고 있고, 호위함, 지원함에 이어 구축함급 전투함에도 완전 전기추진 방식을 채택하는 등 함정분야에서의 전기추진방식 도입은 점점 증가되고 있다. 이는 최근에 개발되는 무기체계들이 전자화되고 있고, 대용량 전력을 요구하는 등 함정 전체의 소요전력이 증대되는 경향과도 무관하지 않으며, 이러한 추세는 향후 더욱 가속화될 것으로 추정된다[4].

#### 2.3.1 Type 23 호위함 (영국)

CODLAG 추진방식 적용으로 디젤 전기식과 가스터빈 조합 시스템에 의해 출력을 공급받는다. 이 시스템(CODLAG)은 두 대의 Rolls-Royce Spey SM1A 34000 hp 가스터빈과 2대의 1.5MW 4400 hp 전동기로 구성되며, 4대의 Alstom 12 RP2000CZ 1.3 MW 7000 hp 보조디젤이 탑재되어 있다.

#### 2.3.2 TYPE 45 (영국)

영국은 1994년부터 통합 전기추진체계(IEP)의 개발을 시작하였으며, 이 체계를 탑재한 유도탄 구축함 Type 45는 12척을 건조할 계획으로, 2007년부터 순차적으로 취역할 예정이다. Type 45의 만재배수량은 8,000톤, 최대속력은 29노트이다. Type 45는 평소의 함내 부하용으로

2MW의 디젤발전기를 탑재하고 추진전동기를 개선형인 180rpm, 20MW(중량 87톤)를 탑재하였다. 주요 전기 장비로는 21 MWe alternators, 2 MWe diesel generators, HV switchboard, VDM 25,000 converter, 20 MW 15 phases motor(AIM), harmonic filter(active filters), electric power management system 등으로 구성되어 있다.

Type 45 개발에 있어서 프랑스와 영국이 공동으로 출자하여 개발된 함정용 전기추진시스템을 시험평가와 주요장비 탑재 시 발생할 수 있는 문제를 사전에 제거하기 위해 ESTD(Electric Ship Technology Demonstrator)를 건설하여 운용 중에 있다. 대표적인 구성장비는 WR21 GT(Gas Turbine), 동기발전기(21MW, 60Hz, 4160V), AIM(유도전동기 : 20MW, 180rpm, 15상), VDM 25000(추진전동기 구동장치) 등이 있다.

### 2.3.3 DDG-1000 구축함 (미국)

미국은 차세대 구축함 DDG-1000의 추진방식을 전기식 추진방식으로 결정하고 통합추진체계(IPS: Integrated Power System, 이하 IPS)로 불리는 전기식 추진체계를 1989년부터 개발을 시작하여 1999년 필라델피아의 전용시험소를 설립하고 대부분의 시험을 성공적으로 완료하였다.

DDG-1000은 Type 45에 적용된 AIM(Advanced Induction Motors)과 함께 in-hull 영구자석 동기전동기(PMMs: Permanent Magnet Motors, 이하 PMMs)를 적용한 IPS를 탑재하였다. 이러한 전기추진장치는 구동축과 감속장치를 제거하고, 승무원을 위해 공간 확보, 소음 감소, 무기체계를 위한 유효전력의 증가 등의 장점을 가진다.

IPS는 전투체계와 같은 함정의 추진을 제외한 다른 시스템에도 전원을 공급하며, 요구되는 필요 전력을 빠르게 공급한다. DRS Power Technology 社가 IPS의 핵심인 PMSM(Permanent Magnet Synchronous Motor), 구동장치 및 제어시스템을 개발 중에 있다. 전원공급을 위해서는 Rolls-Royce사의 MT30, 36MW의 가스터빈 발전기가 탑재되었으며, CAE사가 Integrated Platform Management System을 제공했다. 또한 DDG-1000의 후속함을 포함한 미 해군 차기 전기추진함정의 추진전동기로 고온 초전도 전동기가 연구 개발 중에 있다.

함정의 제원은 만재배수량 14,064톤, 크기는 182.8m × 24.1m × 8.5m, 최대속력은 30노트이며, 주요 기기는 2대의 Rolls-Royce MT 30 가스터빈, 2대의 36MW PMSM, 2대의 4 MW 보조 가스터빈 등이 있다.

### 2.3.4 이외 해외 전기추진시스템 함정

상기 함정을 포함하여 전기추진시스템이 적용된 기술 선진국 해군 함정을 정리하여 요약하면 Table 5와 같다 [5].

Table 5. Overseas electric propulsion ship for Naval

Ship Name	Nation	Propulsion System	Displacement (ton)	Max Speed (knot)
Queen Elizabeth	U.K.	IFEP	65,000	24
Type-45	U.K.	IFEP	7,350	29
DDG-1000	USA	IFEP	14,500	30
LPD (HMS Albion)	U.K.	IFEP	18,500	18
T-AKE	USA	IFEP	41,000	20
Type-23	U.K.	Hybrid (CODLAG)	4,500	28
F125	Germany	Hybrid (CODLAG)	6,800	27
LHD-8	USA	Hybrid (CODLOG)	41,335	20
FREMM	France	Hybrid (CODLAG)	5,600	29

### 2.4 국내 함정 전기추진체계 적용 현황

함정의 정속성을 위하여 우리나라에도 전기추진 기술을 적용한 함정이 최근에 운항을 시작한 사례가 있고, 건조 중인 함정도 있다. 특히 잠수함은 수중에서 운항하기 때문에 완전 전기추진방식을 적용해 왔으며[6], 수상함에서는 대잠전을 위하여 울산급 호위함에 하이브리드 방식의 전기추진시스템을 탑재하여, 성공적으로 운용하고 있다. 우리 해군 함정에 전기추진시스템이 적용된 사례는 Table 6과 같다[6].

Table 6. Domestic electric propulsion ship for Naval

Category	Displacement (ton)	Propulsion	Engine	Electric Motor
Frigate	2,800	CODLOG	1GT 30MW 4DE 1.4MW	2PM 1.7MW
Support ship	10,000	CODLAG	4DE 0.0MW	2PM 2.2MW
Submarine	1,200	IFEP	4DE 1.7MW	1PM 3.4MW
Submarine	1,800	IFEP	2DE 3.1MW 2FC 0.0MW	1PM 3.7MW
Submarine	3,000	IFEP	3DE 0.0MW 2FC 0.0MW	1PM 5.7MW

### 3. 국산화 방안 연구

#### 3.1 국산화 필요성

대용량 저속 고토크 전동기 및 전력변환장치 기술은 집약형 기술이며, 향후 대형 수송 및 견인 산업분야에 적용이 가능하고, 세계 무역의 장벽을 극복할 수 있는 기술로서, 대한민국이 친환경 선박 및 차세대 수송기 시장의 점유율을 제고하기 위해서는 필수적으로 확보하여야 하는 기술이다. 짧은 기간에 고도의 경제성장을 이룩한 대부분의 국내 기술은 생산기술 위주로 구성되어 후진 개발국의 강한 도전에 직면하고 있으나, 장기간의 투자가 요구되는 기초기반기술이 매우 취약하다. 대용량 저속 고토크 전동기 추진시스템이 이의 대표적인 기술분야이며, 우리나라 경제의 취약점인 부품소재 개발 대상 기술

Table 7. Ship propulsion motor core technology

Category	Factors
Design	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Design methodology                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Load distribution method/magnetic circuit design</li> <li>- Numerical analysis, CAD application</li> <li>- Introduction of optimization techniques</li> </ul> </li> <li>○ High efficiency technology</li> <li>○ Small/lightweight technology</li> <li>○ Stator and rotor cooling technology</li> <li>○ Vibration/noise reduction technology</li> </ul>
Ingredient	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Silicon steel plate technology                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- High magnetic permeability, low iron loss</li> </ul> </li> <li>○ Permanent magnet technology                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- High energy density, heat resistance</li> </ul> </li> <li>○ Insulation material technology</li> </ul>
Analysis	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Electromagnetic field finite element analysis technology</li> <li>○ Thermal, fluid, structural analysis technology</li> <li>○ Graphic technology (pre/post processing technology)</li> <li>○ Programming technology (analysis S/W)</li> <li>○ CAD application technology</li> </ul>
Production & Manufacture	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Core processing technology                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Core division, stacking/fixing technology</li> </ul> </li> <li>○ Winding technology</li> <li>○ Shaft machining technology</li> <li>○ Assembly technology</li> </ul>
Test& Evaluation	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Motor characteristic measurement technology                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Torque-speed characteristics</li> <li>- Temperature constant, dielectric strength, EMI</li> </ul> </li> <li>○ Motor characteristic evaluation/verification technology</li> <li>○ Standardization/certification technology</li> </ul>
ETC	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sensor technology</li> <li>○ Bearing technology</li> <li>○ Fault diagnosis technology</li> <li>○ New structure motor design technology</li> </ul>

에 속하고 있다. 이에 대한 설계기술이 수송 및 견인용 분야에 적용되면 언급한 기초 기반기술의 부족 문제를 크게 해소할 수 있을 것으로 판단된다.

대용량 전동기는 설계에서부터 시험평가까지 다양한 기술들이 집약된 고부가가치 장비이다. 특히 합정용 저속 고토크 추진전동기의 경우는 합정의 정속성과 생존성을 위해 Table 7과 같은 특별한 기술들이 더욱 엄격히 요구된다[5].

이제 미국과 영국은 완전전기추진 항공모함과 구축함을 취역시켜 운항을 하고 있으며, 우리나라도 복합식 전기추진 호위함 운영을 통해 전기추진의 기본 기술 및 운용전략을 확보했으며, 2030년도에 완전전기추진 방식 KDDX함이 취역하게 되면, 전기추진은 우리 해군의 거스를 수 없는 대세가 될 것이다. 나아가 세계 해군도 전기추진 대열에 합류하는 것은 당연한 결과로서, 대용량 저속 고토크 추진전동기와 구동장치 시장은 비약적으로 커질 것이다. 따라서 이 기술이 확보된다면, 전 세계 합정 시장뿐만 아니라, IMO(International Maritime Organization)의 해양오염방지 협약의 제약을 받는 일반 상선과 여객선, 연안 선박, 특수선 등의 시장에 이르기까지 그 규모는 상당할 것으로 판단된다.

선진국 기적용 사례를 통하여 전기추진시스템의 장단점을 확인할 수 있다. 우선 장점은 모든 속도 범위에서 효율적이므로 보다 넓은 속도 범위에서 상대적으로 적은 수명 유지 비용으로 운용이 가능하다. 또한 구동부가 적은 간단한 기계시스템으로 구성되어 유지보수에 용이하며, 유연한 설계를 통하여 전투 피해를 최소화할 수 있다는 점이 있다. 단점으로는 전세계적으로 전력화된 역사가 깊지 않아 시스템의 효율성이나 품질관리 등에 대한 신뢰도 검증이 추가적으로 이루어져야 한다는 점이 있다. 냉각시스템, 제어로직 등과 같은 하위시스템 신뢰도에 대한 개선방안까지 기전력화 합정을 통하여 점차적으로 도출이 필요하다. 또한 유지보수 관련 전문인력이 부족하여 즉시 대응이 늦는 사례가 발생하고 있다. 이러한 부분도 인력양성을 통하여 해결이 필요하다[7].

Fig. 4와 Fig. 5는 각각 세계 전기추진선박 시장 규모와 세계 선박 추진용 전동기의 출력별 시장 규모를 예측한 것으로, 2030년에는 세계 전기추진선박 시장이 약 210억 \$, 7.5MW 이상의 추진전동기 시장만 약 9.6억 \$ 정도로 예상하고 있다[8].

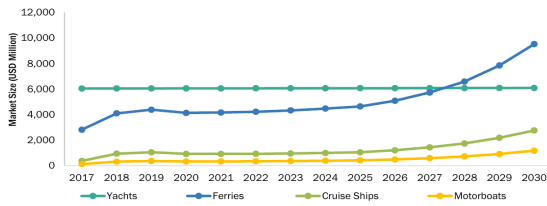


Fig. 4. Global Electric Propulsion Ship Market Size

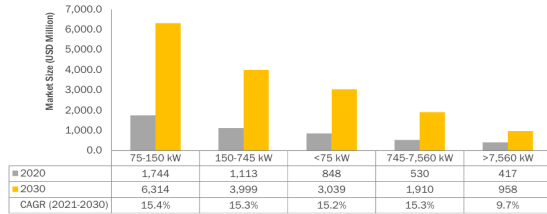


Fig. 5. Global market size of electric motors for ship by output

### 3.2 국산화 개발

Fig. 6과 같이 추진시스템 구조도를 기반으로 개발범위를 구분하면 Table 8과 같은 분류체계를 얻을 수 있다 [9,10].

Table 8. Ship propulsion motor core technology

Category	Factors
Propulsion Motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stator core</li> <li>- Winding assembly</li> <li>- Rotor conductor</li> <li>- Rotor core</li> </ul>
Housing	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frame</li> <li>- Brackets</li> <li>- Shaft assembly</li> <li>- Bearing assembly</li> <li>- Elastic mount</li> <li>- Rotation gear device</li> <li>- Inverter cage</li> </ul>
Power Conversion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Main controller</li> <li>- Power element assembly department</li> <li>- Control power supply</li> <li>- Encoder</li> <li>- Power input part</li> <li>- Inverter connection part</li> <li>- Inverter assembly part</li> <li>- Terminal box</li> </ul>
Cooling	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Heat exchanger</li> <li>- Stator cooling system</li> <li>- Inverter cooling device</li> <li>- Cooling controller</li> </ul>
Control& Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Propulsion motor controller</li> <li>- Operation controller</li> <li>- Condition monitoring device</li> <li>- Rotation check device</li> </ul>

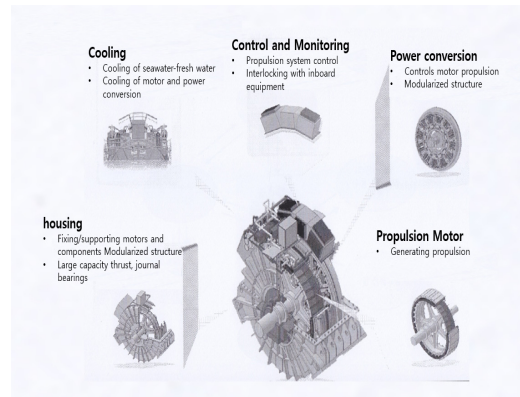


Fig. 6. Composition of propulsion system

수천 톤급 이상의 미래형 함정 적용을 위하여 예상되어지는 추진전동기의 성능은 Table 9와 같다.

Table 9. Performance of propulsion motor

Category	Factors	
	Motor	- IM (Induction Motor)
Phase	12 or 15	
Type	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integrated or Separated Drive Unit</li> <li>- Water-cooled</li> </ul>	
Rotation Speed	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rated : 150 rpm</li> <li>- Maximum : 180 rpm</li> </ul>	
Output	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rated : 25 MW</li> <li>- Maximum : 28 MW</li> </ul>	
Efficiency (%) @ Rated Output	- 93 or higher	- 98 or higher
Power Factor @ Rated Output	- 0.9 or higher	- 0.93 or higher
Input Voltage/Current	- ±6,000 Vdc / 2,500 Adc	

추진전동기의 구동장치의 사양을 예측해보면 Table 10과 같다.

Table 10. Performance of Motor Drive

Category	Factors
Type	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 15-phase</li> <li>- 3-level NPC PWM inverter</li> <li>- Water-cooled</li> </ul>
Output	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rated : 28 MW</li> <li>- Maximum : 30 MW</li> </ul>
Efficiency	Rated Output: 98% or higher @ 28 MW
Total Harmonic Distortion (THD)	- Less than 5%
Input Voltage/Current	- ±6,000 Vdc / 2,500 Adc

추진시스템의 성능을 검증하기 위하여 실 체계(함정)와 유사한 환경으로 육상시험평가시설(LBTS: Land Based Test Site, 이하 LBTS)를 구축하여 체계단위의 시험을 수행한다. 실제 함정과 동일한 사양의 개스터빈-발전기를 사용하여 함정에서와 동일한 발전원을 모의하며, 부하 전동기를 이용해 실제 해상 상황에서와 유사한 추진 부하 모의가 가능하다. 성능에 대한 단계별 검증을 통하여 실제 함정에서 발생할 수 있는 대부분의 문제점들을 사전에 검증이 가능하다. 미국, 영국 등 군사강국의 함정(DDG-1000, Type-45 구축함)도 이와 같은 방법으로 성능을 검증하여 전력화한 사례가 다수 있다.

#### 4. 결론

본 고에서는 함정 적용을 위한 전기식추진시스템 국산화를 추진하기 위한 방안을 논의하였다. 이를 위해 우리 해군을 비롯한 전 세계 함정의 추진시스템의 종류와 특징 및 동향을 검토하였다. 대표적인 추진시스템인 기계식 추진, 복합식 추진, 전기추진에 대하여 장점과 단점 그리고 실적함에 대해 검토하였다. 이를 통하여 전기식 추진시스템의 국산화 필요성을 시사하였으며 국산화 개발을 위한 요소기술, 목표성능 및 성능검증방안에 대하여 제시하였다.

추진시스템은 함정의 핵심장비이기 때문에 적용체계의 구조, 요구성능 등과 밀접하게 연관된다. 현재 전기식 추진시스템 적용이 예정된 국내 함정은 KDDX로 탐색개발 단계에 있다. 건조 이전 단계 함정으로 추진시스템 개발 및 적용을 위한 구체적인 목표수립에 제한이 있는 것이 본 연구의 한계라 할 수 있다. 향후 적용체계의 스펙과 운용개념이 구체화된다면 실제 함정에 적용이 가능한 수준의 추진시스템 개발방안 수립이 가능할 것으로 판단된다.

현재까지 국내 전기식 추진시스템의 전력화 사례는 없어 KDDX의 선도함은 전력화 사례가 있는 해외 시스템이 적용될 가능성이 높을 것으로 판단된다. 향후 국산화 적용을 위하여 해외 시스템을 적용한 선도함의 운용사례를 충분히 분석하여 후속함부터 적용하는 것이 바람직하다. 이에 따른 운용개념 및 동시조달수리부속(CSP: Concurrent Spare Parts) 변화 등의 이슈가 발생할 수 있어 해군, 건조업체 등의 협력이 필요하다.

본 고를 통하여 함정용 추진전동기의 국산화 및 함정 적용이 이루어짐으로써 대한민국 해군의 작전능력을 향상시켜 국방에 일조할 수 있기를 기대한다.

#### References

- [1] ABB, *ACS6000 Product brochure*, last accessed December 2020.
- [2] D. Bang, *Design of transverse flux permanent magnet machines for large direct-drive wind turbines*, Ph.D. dissertation, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, pp.9-33, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/08IAS.2008.71>
- [3] MAN Energy Solution, *Diesel-Electric Propulsion Plants, A brief guideline how to engineer a diesel-electric propulsion system*, 2012.
- [4] Naval Sea Systems Command(NAVSEA), *Naval Power & Energy Systems 2019*, 2019.
- [5] Naval Sea Systems Command, *Naval Power Systems Technology Development Roadmap PMS 320*, 2013.
- [6] J. W. Park, S. Y. Kim, *Technical Trends in Ship Electric Propulsion Systems*, Journal of the Korean Society of Power Electronics, vol. 19, no. 3, p. 31-37, 2014.
- [7] General Electric Company, *Ship Electric Propulsion System Global Trends and Suggestions for Next-Generation Destroyers*, 2019.
- [8] Electric Ships Market, *Global Forecast To 2030, Markets and Markets*, 2021.
- [9] J. G. Bin, K. Y. Gong, *Technology and Development Status of High-Capacity Propulsion Motors for Submarines*, Korean Society of Naval Architecture Academic Conference Materials, pp. 477-481, 2011.
- [10] J. T. Park, G. J. Lee, S. Y. Jang, K. J. Lee, J. K. Kim, S. J. Cho, *Technical Development Trend of Electric Propulsion System for Ships*, Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers Conference, pp. 958-960, 2000.

최 청 석(Chung Seok Choi)

[정회원]



- 2017년 12월 : 인하대학교 컴퓨터 공학과 (공학학사)
- 2017년 12월 ~ 2021년 1월 : 국방기술품질원 연구원
- 2021년 1월 ~ 현재 : 국방기술진흥연구소 연구원

• 2022년 3월 ~ 현재 : 울산과학기술원(UNIST) 인공지능 대학원 석사과정

<관심분야>

함정 무기체계, 임베디드, 인공지능