

# 하이브리드 추진선박 운용 사례

박중제, 전철환, 백준식, 송무환  
HD한국조선해양

## Hybrid Propulsion Ship Operation Case Study

Jongje Park, Cheolhwan Jeon, Joonshik Baik, Muhwan Song  
HD Korea Shipbuilding & Offshore Engineering

### ABSTRACT

HD한국조선해양에서 하이브리드 추진시스템 및 운용 컨셉을 설계하고 현대중공업에서 공사 진행한 1000톤급 하이브리드 추진 선박인 수산과학조사선이 24년 2분기 선주 측으로 최종 인도되었다. 본 논문에서는 HD한국조선해양에서 해당 공사를 진행하며 검토된 몇 가지 이슈 사항에 대해 설명하고 향후 전기, 하이브리드 추진시스템이 적용된 선박의 실제 운용 과정에서 참고할 수 있는 주요 검토 항목에 대해 기술한다. 서론에서는 수산과학조사선의 추진시스템 구성과 주요 설비에 대해 알아보고, 본문에서는 설치공사와 시운전을 진행하며 얻을 수 있었던 여러 기술적 이슈 사항에 대해 Lessons Learning 형식으로 설명한다. 이를 통해 친환경 하이브리드, 전기추진 선박에 대한 이해도를 높일 수 있다.

### 1. 서론

수산과학조사선은 체계적인 수산자원 관리를 위해 수심별 염분 측정기, 기상관측장비, 복사량관측장비, 초저온 급속 냉동 저장고 등 첨단 조사 장비가 탑재된 신규 조사선이다. 특히 국내 과학조사선 중 최초로 디젤엔진과 ESS가 결합된 친환경 하이브리드 추진 시스템을 적용하여 에너지 효율을 높이면서도 온실 가스 및 대기 오염물질을 동시에 저감하여 탄소중립 실현에 기여할 것으로 기대된다. 추진 시스템은 주 추진을 담당하는 엔진에 감속기와 축발전기가 함께 연결되어 전체 선박 시스템의 효율을 최적화할 수 있도록 설계되었다. 추진시스템 제원은 2610kW 추진엔진과 500kW 축발전기 그리고 630kWh 리튬이온 ESS를 적용하였으며 그룹사에서 자체 개발한 하이브리드 추진 제어기를 이용하여 그림2와 같이 선박전력계통과 추진 시스템을 통합 제어할 수 있도록 구성하였다.<sup>[1]</sup>



그림1. 하이브리드 추진 수산과학조사선(탐구8호)  
Fig.1 Hybrid Propulsion Fisheries Research Vessel

### 2. 본론

2024년 선박이 최종 인도되기까지 하이브리드 추진시스템 운용 컨셉과 핵심기자재에 대한 설계기준을 정립하기 위해 많은 시간과 노력을 기울였음에도 불구하고 선박 건조 과정에서 여러 시행착오를 겪었다. 본론에서는 시스템 설계와 건조과정에서 발생한 이슈사항들을 lesson learn 형식을 통해 알아본다.

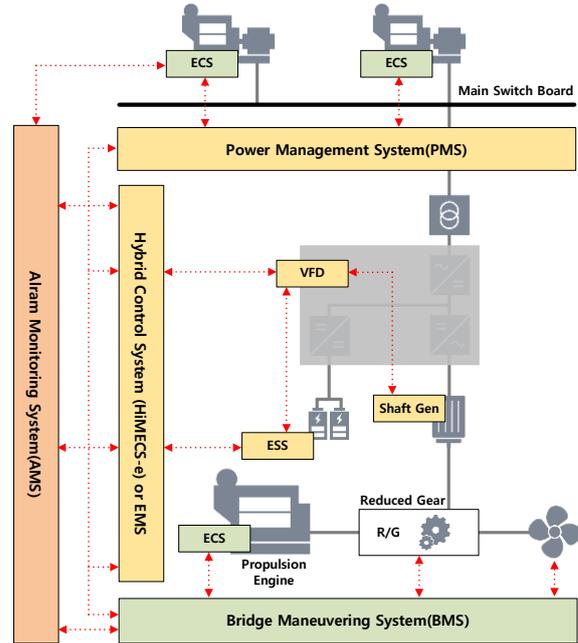


그림2. 하이브리드 추진 시스템 제어구성도  
Fig.1 System Configuration of Fisheries Research Vessel

#### 2.1 Shaft Generator Tuning

주 추진엔진과 결합되어 있는 축발전기를 VFD가 정밀하게 제어하기 위해서는 전동기 제정수 정보가 필수적이다. 전동기 제조사에서 설계 제정수를 제공하는 경우도 있으나 통상 VFD 내부 튜닝 기능을 통해 파라미터를 추정하는 방법을 이용한다. 수산과학조사선의 경우에도 축발전기 튜닝을 위해 VFD의 회전형 Autotuning 기능을 이용하여 튜닝을 하였으나 튜닝 과정에서 축발전기와 엔진을 연결시켜주는 감속기(Reduced Gear)의 큰 관성으로 계통 안정도가 떨어지는 이슈가 발생하여 이를 해결하기 위해 선박계통전원을 사용하지 않고 선박내부 ESS를 전력원으로 사용하여 튜닝을 실시하였다. 표1.은 제조사 설계 제정수와 Autotuning을 통해 얻은 제정수 비교표이다.

Table 1. Design values of the Shaft Generator

Impedance	Locked Rotor(Slip 1)	Operating	Unit
X1	0.0891	0.0967	$\Omega$
X2	0.0707	0.0151	$\Omega$
R2	0.0278	0.0074	$\Omega$
Xm	4.27	4.27	$\Omega$

## 2.2 Insulation Monitoring Device

선박 배전반 내부에 절연상태를 감지하기 위해 Insulation Monitoring Device(IMD)가 설치된다. 저압계통(450V) 선박은 통상 비접지 계통으로 구분되기 때문에 전기설비의 지락 고장을 검출하기 위해서 IMD를 사용하여 절연상태를 모니터링하여 간접적으로 지락을 검출한다. VFD의 경우에도 제조사에 따라 지락 고장을 검출하기 위한 장치(Ground Fault Monitor)가 셋팅되는데 하나의 시스템에 접지(절연) 모니터링 디바이스가 중복 설치되어 있는 경우 감지장치가 오동작 하거나 빈번하게 알람을 발생하게 된다. 이는 각각의 장치에서 계통에 주입한 측정 신호가 중첩되거나 절연감시장치의 내부 검출 저항이 서로 병렬 합성되어 나타나기 때문이다.<sup>[2]</sup>

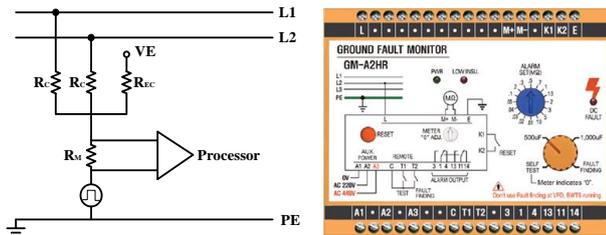


그림3 (좌) 절연감시장치 회로구조, (우) VFD에 설치된 절연감시장치  
Fig.3 (L) Configuration of IMD, (R) Insulation Monitoring Device

수산과학조사선의 경우에도 Main Switch Board와 VFD에 최초 절연(지락) 감시장치가 중복설치 되었으나 그림3.의 VFD Panel 내 감시 장치를 제거하여 단일 디바이스가 해당 기능을 수행하도록 변경하였다.

## 2.3 PTH Output Power

하이브리드 선박의 PTH모드는 그 목적이 항구 근처에 도착하여 낮은 속도로 선박을 접안 시키거나 추진엔진이 운용불가능한 상황에서 축발전기의 토크만으로 선박을 운항하는데 있다. 수산과학조사선의 경우 프로펠러가 특정 피치에서 2~3노트 정도의 저속으로 운항할 수 있도록 축발전기가 선정되었으며 이는 선박의 운항특성과 엔진용량 그리고 선박크기를 고려하여 설계되었다. 그림4.는 본선의 프로펠러곡선(Pd-n Diagram)으로 선박이 PTH모드로 운항할 경우 엔진의 Idle rpm에서 동작하게 되는데 프로펠러 속도로 환산할 경우 약130rpm에서 CPP의 피치를 조정하며 운항하게 된다.

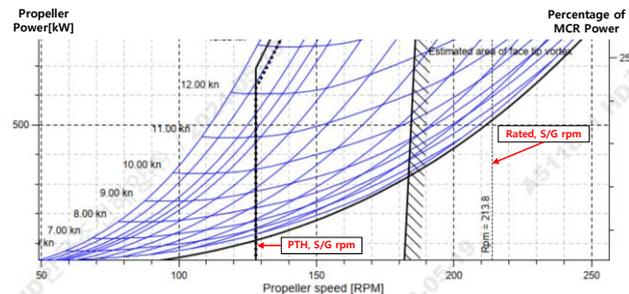


그림4. Propeller 부하(Pd-n) 곡선  
Fig.4 Propeller Pd-n diagram

## 2.4 Common Mode Voltage and Earth Brush

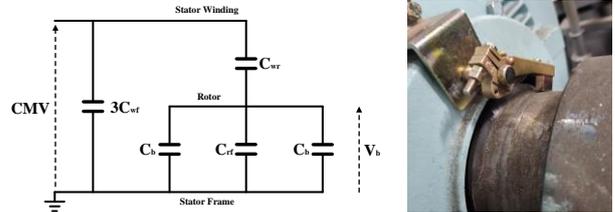


그림5 (좌) 공통모드 전압과 베어링 전압, (우) 접지 브러쉬  
Fig.5 (L)Common Mode Voltage and Bearing Voltage, (R)Earth Brush

베어링 전류를 저감하기 위해 일반적으로 Micro Surge Filter를 삽입하거나 전동기 축과 프레임 사이에 Earth Brush를 부착한다. 수산과학조사선의 경우 감속기와 연결되어 있는 축 발전기에 CMA를 저감하기 위한 Earth Brush가 장착되었다. VFD를 사용하여 전동기(축발전기)를 구동할 경우 고속 스위칭 전압으로 인해 고주파 전류가 베어링을 통해 흐르게 되는데 이는 공통모드 전압을 발생시킨다. 인버터의 출력전압은 PWM을 통한 구형파 펄스전압이 출력 전압에 합성되기 때문에 3상 교류 합성전압의 대수합이 0이되지 못하고 중성점에는 VFD의 스위칭 주파수와 동일한 주파수의 CMA(Common Mode Voltage)가 유기되는데 이는 베어링에 전식(Electrolytic Corrosion)을 일으키고 축발전기에 기계적인 소음 및 진동을 유발한다. 베어링 전압은 아래 수식과 같이 표현되며 그림 5.에서  $C_{wr}$ ,  $C_{rf}$ ,  $C_b$ 를 나타내고 있다.<sup>[3]</sup>

$$V_b = \frac{C_{wr}}{C_{wr} + C_{rf} + 2C_b} \times CMV \quad (1)$$

본선 안벽 시운전 시 Brush의 Spring Tension이 충분하지 못한 부분이 확인되어 이를 보강하는 작업이 진행되었으며 Spring Tension 250g±20%기준으로 설치가 되었다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 HD KSOE에서 수산과학조사선의 추진시스템 설계, 기술지원을 하며 검토된 여러 이슈 사항에 대해 설명하고 향후 하이브리드/전기 추진시스템이 적용된 선박의 실제 운용 과정에서 참고할 수 있는 주요 검토 항목에 대해 기술하였다. 특히, 축발전기를 운용하기 위한 전동기 튜닝과 PTH Power 검토, 축발전기 설치와 운용, 유지보수를 위한 절연감시장치 및 Earth Brush 등에 대해 논의하였다. 이를 통해 추후 전기, 하이브리드 추진선박 공사진행 시 기자재 선정요류를 최소화 하고 유사 이슈 발생할 시 문제해결의 실마리를 제공할 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Jongie Park, Cheolhwan Jeon. Study on the operation mode of hybrid propulsion vessels. 전력전자학회 학술대회 논문집(2023), pp. 134-136.
- [2] Min-Su Park, Ground fault detection and insulation resistance monitoring using IMD in ESS, 대한전기학회 학회논문집(2023) pp. 2148-2149.
- [3] Jaritz, M. An Improved Model for Circulating Bearing Currents in Inverter-Fed AC Machines. In Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Melbourne, Feb. 2019; pp. 225-230.