

하이브리드 추진선박 운용모드에 관한 연구

박종제*, 전철환*, 이정훈, 송무환*, 표준호

HD현대중공업, HD한국조선해양*

Study on the operation mode of hybrid propulsion vessels

Jongje Park, Cheolhwan Jeon, Junghoon Lee, Moohwan Song, Junho Pyo

HD HHI, HD KSOE*

ABSTRACT

본 논문에서는 AC배전 기반의 하이브리드 추진선박 운용 모드에 관해 분석하고 실제 선박에 탑재하여 운용하기 위한 제반 사항에 대해 설명한다. 3000톤급 미만의 촉발전기(S/G, Shaft Generator)와 배터리 시스템이 탑재된 선박을 기준으로 운용 모드를 분석 하였으며 실제 축소시험설비를 통해 해당 운용 모드에 대한 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 선박시장에서 친환경선박에 대한 요구가 증가하며 전기 추진선박에 대한 관심이 높아지고 있다. 전기추진선박은 추진 시스템 내 적용되는 내연기관의 유무에 따라 순수 전기 추진과 하이브리드 추진으로 구분할 수 있으며 선박의 규모와 용도에 따라 내부 기자재 구성과 운용 모드가 달라진다. [1]~[3] 본 논문에서는 기존 내연기관엔진과 촉발전기 그리고 배터리가 함께 적용된 AC배전 기반의 하이브리드추진 선박의 운용 모드에 대해 설명한다.

제안하는 하이브리드추진 시스템의 구성은 그림1과 같으며 적용되는 핵심 기자재는 선박용 추진 엔진을 포함하여 배터리, 전력변환장치, 촉발전기, 변압기, 하이브리드추진 전용 통합 제어기 등이다. 해당 시스템을 검증하기 위한 축소시험설비의 경우 선박내 구성되는 BMS(Bridge Maneuvering System)와 EMS(Energy Management System)가 함께 구성되어 있으며 최대한 선박의 제어 시스템과 유사한 설비를 구축하고자 하였다.

운전 모드 분석은 하이브리드추진 선박의 기본적인 운용 모드인 PTO(Power Take Out), PTI(Power Take In), PTH(Power Take Home)를 기준으로 하여 정박/출항/운항/회항 시 전력변환장치 및 클러치와 같은 기계장치의 유기적인 동작 모드에 대해 설명한다.

2. 본 문

2.1 하이브리드추진 선박 구성과 운용 모드

순수 전기추진선박과 다르게 하이브리드추진 선박의 주 추진은 엔진이 담당한다. 하지만 기존 내연기관만을 이용한 선박과는 다르게 엔진의 추진축과 연결된 촉발전기를 통해 선내 필요한 전력을 공급할 수 있으며 엔진의 효율적인 운용을 위해

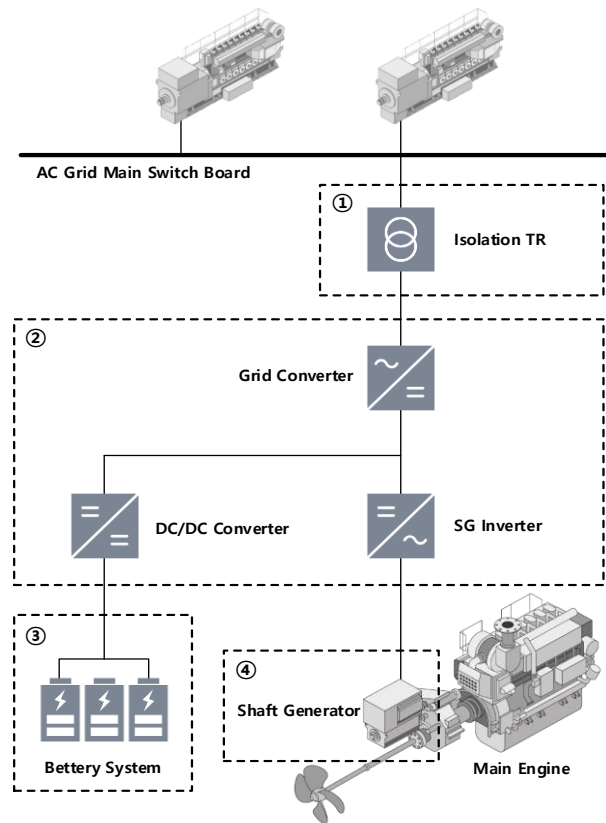


그림1. 4-Stroke 엔진을 탑재한 하이브리드추진 구성 예시

촉발전기가 전동기로 동작하여 엔진출력을 보조한다. 뿐만 아니라 최근 친환경선박에 대한 요구가 증가함에 따라 배터리를 이용한 순수 전기추진모드로의 운용이 가능하다. 단, 이러한 기능을 수행하기 위해서는 순시 전력과 촉발전기 제어를 위한

표1. 하이브리드 운용 모드에 따른 전력변환장치 동작

	PTO	PTI	PTH
Grid Converter	AC Volt. Control	DC Link Control	DC Link Control
SG Inverter	DC Link Control	Torque Control	Speed Control
DC_DC Converter	Depend on Battery State		

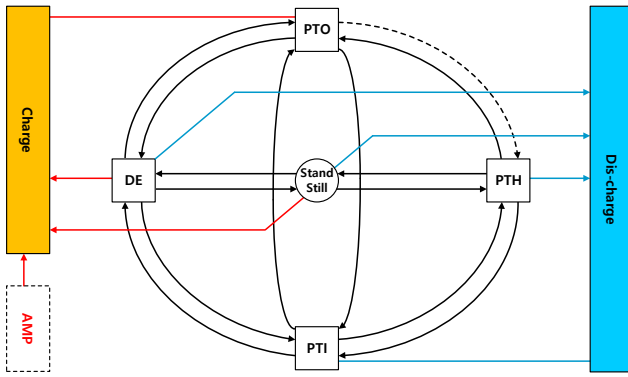


그림2. 하이브리드 추진선박 운용 모드

전력변환장치가 필수적으로 적용 되어야하며 각각의 전력변환 장치는 운용 모드에 따라 표1.과 같은 동작을 수행 할 수 있어야 한다. 특히 배터리를 포함한 AC 배전 하이브리드 추진 선박의 경우 그림2. 와 같이 배터리 충·방전 조건과 하이브리드 동작 상태에 따라 고려해야 할 모드가 많기 때문에 안전한 선박 운용을 위한 면밀한 검증 과정이 필요하다. 여기서 DE모드는 전력변환장치와 축발전기 등 하이브리드 시스템이 운항에 개입 하지 않고 메인 엔진만 추진에 기여하는 상태이며 Standstill 모드의 경우 메인 엔진이 정지 되어 있거나 메인 클러치가 분리 되어 있는 상태를 의미한다.

2.2 하이브리드추진 운용 모드 분석

하이브리드 추진선박의 운용 모드 분석은 국내 연안에서 운용 예정인 과학조사선의 출항에서 입항까지 과정에 대해 모의 하였으며 그림3.의 ①PTH→PTO모드와 ②PTO→PTI모드 ③PTI → PTH 모드 변경에 대한 분석을 진행하였다.

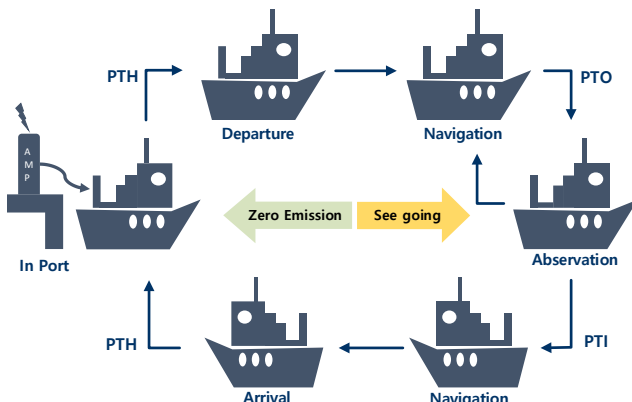


그림3. 하이브리드 추진 선박 운용 모드

2.2.1 PTH → PTO

PTH 모드의 경우 선박의 엔진을 이용하지 않고 축 발전기 (전동기)만을 이용해 추진력을 얻는 모드이며 PTO 모드는 메인 엔진을 구동하여 선박의 추진력을 얻는 동시에 추진축과 연결된 축발전기(전동기)가 발전기로 동작하여 선박의 주 배전반으로 전력을 공급하는 모드이다. PTH→PTO 모드 전환에서 전력변환장치는 내부적으로 표2와 같은 제어 모드로 동작한다. PTH 모드에서는 전력변환장치가 일반적인 Motor Drive의 역할을 하여 선박의 Propeller 속도를 제어하고 PTO 모드에서는 발전기로 동작 하기 위해 Grid Converter는 AC Volt. Control, S/G Inverter는 DC Link 전압을 제어하게 된다.

표2. PTH→PTO 모드 전환

	PTH	(Transfer)→	PTO(Charge)
Grid Conv	DC Link Control	Power Control	AC Volt. Control
S/G Inv	Speed Control	Torque Control	DC Link Control
DC_DC Conv	Depend on Battery State		

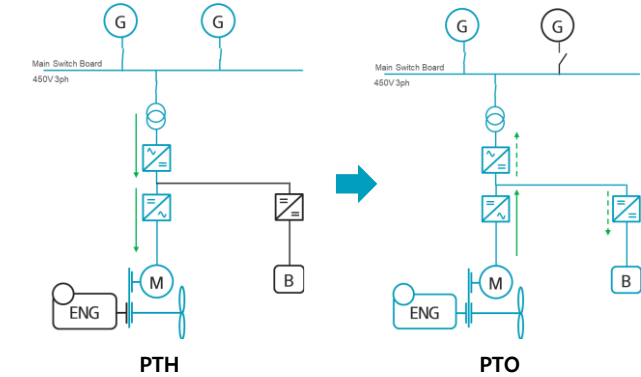


그림4. PTH → PTO 모드 전환

이 모드는 연근해에서 Zero Emission운항을 하다 See going으로 정속 운전을 하며 축발전기가 부하 분담을 하는 경우를 상정할 수 있다.

2.2.2 PTO → PTI

출항 후 선박이 정속으로 운항하게 되면 추진 엔진의 효율을 높이기 위해 엔진을 높은 부하율로 운용하게 되고 축발전기는 PTO모드로 동작하여 선내 부하를 감당하게 된다. 만약 추가적인 추진력이 필요한 경우 축발전기는 PTI모드(Boost모드)로 동작하여 메인 엔진의 추진력을 보조하게 되는데 이때 전력변환 장치는 표3. 과 같은 제어 모드로 운용된다.

표3. PTO→PTI 모드 전환

	PTO	(Transfer)→	PTI
Grid Conv	AC Volt. Control	Power Control	DC Link Control
S/G Inv	DC Link Control	Torque Control	Torque Control
DC_DC Conv	Depend on Battery State		

2.2.3 PTI → PTH

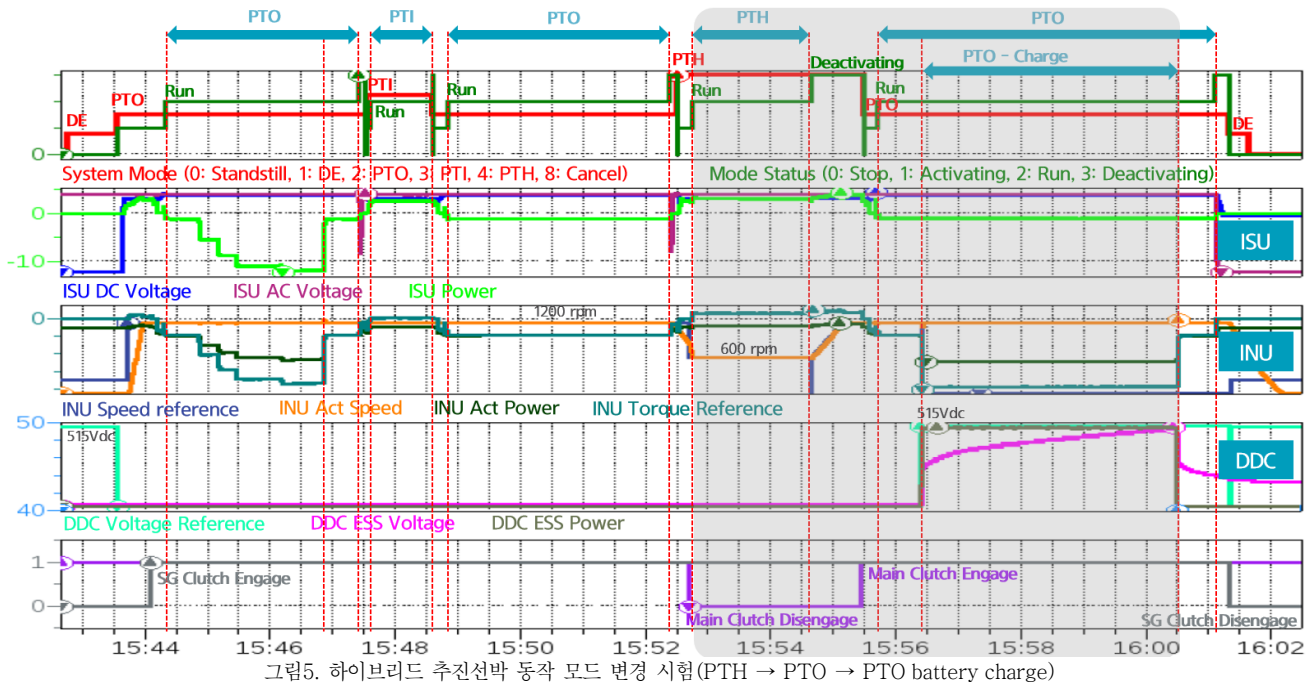
과학조사선이 미션 수행 완료 후 회항을 할 경우 연근해로 접어들어 Zero Emission모드로 입항이 필요하다. PTI모드에서 PTH모드로 모드 전환이 시작되면 추진 엔진 정지를 위한 시퀀스를 거친 다음 추진력을 얻기 위해 축발전기를 전동기로 운용하게 되며 PTH모드에서 전력변환장치의 전원은 주배전반 전원 또는 배터리 에너지를 이용할 수 있다.

표4. PTI → PTH 모드 전환

	PTI	(Transfer)→	PTH
Grid Conv	DC Link Control	-	DC Link Control
S/G Inv	Torque Control	-	Speed Control
DC_DC Conv	Depend on Battery State		

2.3 하이브리드추진 축소시험설비 시험

AC배전 기반의 하이브리드 추진 선박을 모사하기 위한 축소 시험설비를 그림6.과 같이 구성하여 선박 운용 모드에 대한 시퀀스 검증을 진행하였다. 엔진과 프로펠러 그리고 축발전기를 모사하기 위한 M-G Set과 각 전동기를 기계적으로 절체 할 수 있는 메인 클러치와 S/G 클러치도 함께 구성하였다.



선박추진제어시스템을 모사 하기 위해 실제 선박에 사용되는 BMS(Bridge Maneuvering System)를 하이브리드 추진 통합 제어기에 연결하여 전체 시스템을 구성하였으며 축소시험설비의 사양은 표5.와 같이 구성하여 시험을 진행하였다. 축 발전기 사양 대비 엔진 사양과 부하(Propeller) 사양의 비율이 실제 선박의 용량비와 상이하여 성능 검증에는 한계가 있었으나 기본 기능 및 운전 시퀀스 검증은 문제 없이 진행 가능하였다.

그림5.의 시험 파형은 PTH→PTO 모드를 검증하기 위한 시험 파형이다. DE모드로 운전을 시작하여 PTO→PTI→PTO→PTH→PTO모드까지 모드 변환 시험을 실시하였다. PTO모드로 동작하기 위해서는 선박의 PMS(Power Management System)로부터 요구 되는 발전량에 대한 지령을 받아야 되나 축소시험 설비의 경우 발전량에 대한 지령값을 호텔부하(로드뱅크)에서 조절 할 수 있도록 구성하였다.

그림5.의 파형에서 하이브리드 추진시스템은 PTH모드에서 PTO모드로 진입하기 위해 Grid Converter를 DC Link Control 모드에서 발전모드(AC Volt 모드)로 전환시킨다. 그 사이 S/G inverter는 메인 클러치를 Engage하기 전 요구되는 발전량을 만족할 수 있는 엔진 속도로 rpm을 올리게 되는데 엔진 속도에

표5. 축소시험설비 사양

	Motor	Power Converter	Battery
Main Engine	30kW	33kW	40kWh
Propeller(CPP)	40kW	65kW	
Shaft Generator	30kW	40kW	

근접(동기화) 하였을 때 S/G Inverter는 DC Link Control 모드로 전환되고 메인 클러치는 Engage된다. PTO Charge모드에서는 DC Link에 연계되어 있는 DC_DC Converter를 기동하여 배터리를 충전하게 된다.

3. 결 론

본 논문에서는 AC배전 기반의 하이브리드 추진선박 운용 모드에 관해 분석하고 실제 선박에 탑재하여 운용하기 위한 제반 사항에 대해 설명하였다. 3000톤급 미만의 축발전기와 배터리 시스템이 탑재된 선박을 기준으로 운용 모드를 분석하였으며 실제 축소시험설비를 통해 해당 운용 모드에 대한 타당성을 입증하였다.

참 고 문 헌

- [1] T. Ericson, N. Hingorani, and Y. Khersonsky, "Power electronics and future marine electrical systems," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 42, no. 1, pp.155-163,2006
- [2] MAN Diesel & Turbo, *Basic Principles of Ship Propulsion*, Dec. 2011
- [3] S. Y. Kim, S. K. Sul, "Intergrated Power System of High Speed Destroyer for Increased Fuel-efficiency and Power-reliability," *ASNE Electric Machine Technologies Symposium*, Philadelphia, PA, May 23-24, 2012

