2016년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회
5월 19일(목)~5월 20일(금) 부산 벡스코(BEXCO)

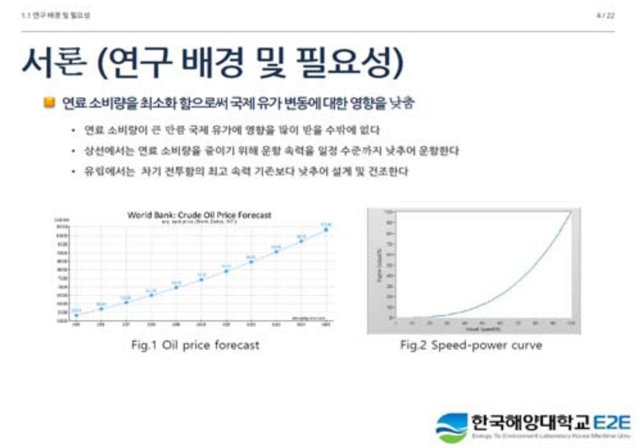
연료절감을 위한 하이브리드 추진시스템에 관한 연구

김민욱* · 이헌석** · 장재희*** · 강영민** · † 오진석

*한국해양대학교 기관공학부 석사 과정, **한국해양대학교 수중운동체특화연구센터 연구원,
***한국해양대학교 기관공학부 박사 과정, † 한국대학교 기관공학부 교수

요 약 : 기존의 내연기관만을 이용한 선박 추진시스템은 내연기관의 저부하 운전 구간에서 효율이 낮아지는 문제점을 해결하지 못하고 있다. 그러나 최근 내연기관의 효율이 낮은 저부하 운전 구간에서 전동기를 기동함으로써 연료 효율을 높일 수 있는 하이브리드 추진시스템이 적용되고 있고, 이는 소형 어선부터 호화 여객선, 요트 등에 탑재되어 연료 절감 효과를 입증하고 있다. 본 연구에서는 하이브리드 추진시스템의 연료 절감 효과를 검증하고, 연료 효율을 높이기 위한 하이브리드 추진시스템을 제안한다.

핵심용어 : 선박에너지효율, 하이브리드추진시스템, 연료소비절감



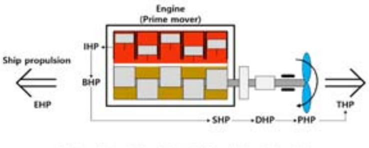
---

† 교신저자 : ojs@kmou.ac.kr
* 주저자 : kmw7190@naver.com

선박 추진시스템

기존의 추진시스템

- 디젤 또는 가솔린 엔진을 이용하여 운항 속력에 따라 엔진의 출력을 조절한다
- 기계식 추진시스템은 연료의 연소로 발생한 열 에너지를 기계 에너지로 바꾸어 추진력을 얻는다
- 일반적으로 1축 1기의 추진체계를 구성하나, 군함의 경우 2축으로 구성하는 경우가 많다



C_nH_n → IHP → BHP → SHP → DHP → PHP ≒ THP ≒ EHP

Fig.12 Power transmission

Fig.13 Diesel propulsion

선박 추진시스템

기존의 추진시스템

- 실린더 내부에서 발생한 동력이 피스톤, 베어링, 크랭크축, 선미관 등을 통해 프로펠러에 전달된다
- 열, 마찰 등으로 인한 손실이 발생하며, 연료의 연소는 기계 에너지를 얻는 것이 목적이다
- 선박의 소요마력과 소요전력은 별개로 설계되며, 추진기관과 발전기관이 별개로 구성된다

Fig.13 Small fishing boat

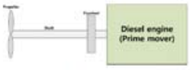
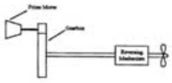


Fig.14 Merchant ship



Mechanical transmission
Fpp : 95%, Cpp: 93%

Fig.17 Transmission efficiency

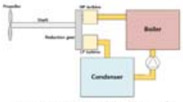


Fig.15 Steam turbine vessel

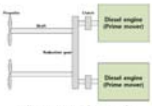


Fig.16 Naval vessel

선박 추진시스템

하이브리드 추진시스템

- 추진용 내연기관 외에 추진을 위한 전동기가 설치되어 일정 운항 조건에서 전동기를 기동한다
- 내연기관의 효율 곡선에서 효율이 낮은 저속구간에서 전동기를 기동하여 운항 효율을 높일 수 있다
- 연료의 연소로 발생한 기계 에너지가 전기 에너지로 변환된 후에 다시 기계 에너지로 변환된다
- 선내 발전 용량을 설계할 때 전력마진과 전동기의 용량을 함께 고려해야 한다

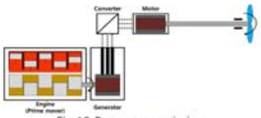


Fig.18 Power transmission

Fig.19 Hybrid propulsion

선박 추진시스템

하이브리드 추진시스템

- 기계적인 손실과 전기적인 손실을 함께 고려해야 한다
- 선종에 따라 추진시스템과 전력시스템을 구성하는 방법이 다양하다
- 운항 시 전동기와 내연기관을 복합적으로 운용하는 방법과 전동기만으로 운항하는 방법이 있다
- 일반적으로 저속 구간에서는 전동기를, 고속 구간에서는 내연기관을 이용하여 추진력을 얻는다
- 모든 속력 구간에서 전동기를 이용하여 추진력을 얻는 선박도 운항 중에 있다

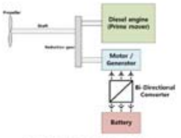


Fig.20 Parallel hybrid

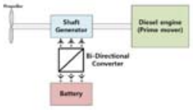
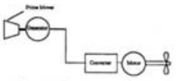


Fig.21 Serial hybrid



Electrical transmission
Fpp 89%

Fig.22 Transmission efficiency

실험 방법

임의의 선박을 가상 함정으로 설정한다

- 배수량 10 t, 최고속력 25 kts의 소형 어선을 가상 함정으로 설정한다
- Admiralty coefficient를 이용하여 소요마력을 추정한다
- Admiralty coefficient는 유사 선박의 제원을 바탕으로 역으로 추정하였다

Type	Displacement (t)	Speed(kts)		Admiralty coefficient
		Maximum	Cruising	
Fishing boat	10	25	15	121

Table 2 Specification of Target boat

$$IHP = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}} \times V^3}{C_{adm}}$$

$(IHP$: 소요마력$[kW], \Delta$: 배수량$[t], V$: 속력$[knot], C_{adm}: Admiralty\ coefficient)$

Equation 1 Estimation of propulsion power by Admiralty coefficient

실험 방법

어선의 조업 환경에 맞는 운항 프로파일을 설정한다

- Admiralty coefficient를 이용하여 소요마력을 596.8 kW로 추정하였다
- 대략 600 kW로 설정하고, 출력 마진 10%를 고려하여 660 kW를 최대 출력으로 설정하였다
- 연중 운항 비율은 80%로 설정하였다
- 추진전동기의 용량은 60kW(추진기관 출력의 약 10%)로 설정하였고, 변환 효율은 고려하지 않았다
- 조업장소로 이동하거나 정박지로 돌아올 때는 최대 출력으로 계산하였다
- 조업 중에는 추진기관 출력의 25% 이하 저부하로 운항하는 것으로 계산하였다

Speed(knot)	Time(%)
0~6	40
7~10	20
10~14	15
15~18	15
19~25	10

Table 3 Operating profile

Dock to fishing grounds	1hrs
Power while moving	660kW (Full)
At fishing grounds	8hrs
Power while hauling	165kW (25% load)
Fishing grounds to dock	1hrs
Power while moving	660kW (Full)
At dock	14hrs
Engine & motor stopped	

Table 3 Operating profile

시뮬레이션 및 결과 분석

시뮬레이션 및 결과 곡선

- 임의의 디젤 엔진의 SFC(Specific Fuel Consumption)를 수식화 하여 Fig.23에 나타내었다

$$\text{연료 소비량} = SFC\left({}^{g}/_{kWm}\right) \times Power(kW) \times Time(m)$$

- 단위 출력당, 단위 시간당 연료 소비량을 모두 더하면 총 연료 소비량을 구할 수 있다
- 하루 24시간 기준으로 12시간, 연중 운항 비율 50%로 하여 총 운항 시간을 설정하였다
- Fig.24는 디젤 엔진만 사용했을 때의 연료 소비량 곡선이다
- Fig.25는 저속 구간에서 전동기를, 고속 구간에서 디젤 엔진을 사용했을 때의 연료 소비량 곡선이다

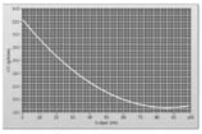


Fig.23 SFC curve

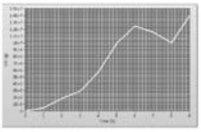


Fig.24 Diesel Propulsion

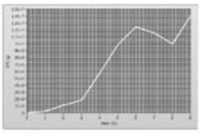


Fig.25 Hybrid Propulsion

한국해양대학교 E2E

시뮬레이션 및 결과 분석

시뮬레이션 및 결과 곡선

- Fig.26은 디젤 추진과 하이브리드 추진의 연료 소비량 곡선을 모두 나타내고 있다
- 시뮬레이션 결과 디젤 추진은 연간 약 68.9 ton을 소비했고, 하이브리드 추진은 약 66.9 ton을 소비했다
- 두 값을 비교하면 하이브리드 추진시스템이 연간 약 2 ton의 연료유를 절감한다는 것을 알 수 있다

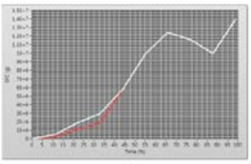


Fig.26 comparison of fuel consumption

Propulsion system	Fuel consumption(ton/year)
Diesel propulsion	68.9 (68,956kg)
Hybrid propulsion	66.9 (66,888kg)
Fuel savings	2.0 (2,000kg)

Table 4 Fuel consumption

한국해양대학교 E2E

결론

- 추진전동기를 이용하여 일정한 운항 패턴 상에서 연료 소비량을 절감할 수 있다
- 대상 선박의 종류와 운항 프로파일에 따라 연료 절감 효과가 달라진다
- 일반 상선과 같이 운항 중 운항 속력 변동이 없는 경우 연료 절감 효과가 낮아진다
- 어선, 군함 같은 경우 저속 구간에서의 운항 비율이 많은 만큼 연료 절감량이 많아진다
- 향후 전력 변환 효율이 개선되면 전동기에 의한 연료 절감량은 더욱 많아질 것으로 보인다

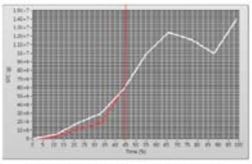


Fig.27 Effect of propulsion motor

Fig.28 Simulation Interface

한국해양대학교 E2E