

연료절감을 위한 하이브리드 추진시스템에 관한 연구

김민욱* · 이현석** · 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

1.1 연구배경 및 필요성 4/22

서론 (연구 배경 및 필요성)

- 연료 소비량을 최소화함으로써 국제 유가 변동에 대한 영향을 낮춤
 - 연료 소비량이 큰 만큼 국제 유가에 영향을 많이 받을 수밖에 없다
 - 상선에서는 연료 소비량을 줄이기 위해 운항 속력을 일정 수준까지 낮추어 운항한다
 - 유압에서는 차기 전투함의 최고 속력 기준보다 낮추어 설계 및 건조한다




Fig.1 Oil price forecast Fig.2 Speed-power curve

한국해양대학교 E2E

1.1 연구배경 및 필요성 6/22

서론 (연구 배경 및 필요성)

- 크루즈, 요트 등의 레저 선박에서 거주 환경을 개선하기 위한 방안 마련
 - 해양 레저 산업의 발전으로 레저 선박의 쾌적함을 개선하기 위해 추진전동기를 개발하고 있다
 - AziPod 등을 이용하여 진동과 소음을 줄이고 조종성능까지 향상시키는 제품들이 출시되고 있다
- 해군 함정의 생존능력과 직결되는 경속성을 향상시킬 수 있는 방안 마련
 - 2010년 선안함 격침 사건 이후 함정의 경속성이 가지는 중요성이 커졌다
 - 국내·외 해군 함정에 하이브리드 추진시스템을 적용하는 사례가 늘고 있다




Fig.5 Oasis of the seas Fig.6 Catamaran type yacht

한국해양대학교 E2E

1.1 연구배경 및 필요성 5/22

서론 (연구 배경 및 필요성)

- 오염 물질의 배출을 절감함으로써 국제 환경 규제에 대한 대책 마련
 - 국제해사기구는 온실가스 저감을 위한 해상에서의 배출가스 규제를 오랫동안 논의하였다
 - 2013년부터 기술적으로는 EEDI(Energy Efficiency Design Index)가 시행되었다
 - 2015년부터는 5년마다 오염물질 배출량을 이전대비 10% 씩 더 감축해야 한다
 - 운항적 차폐에서는 SEEMP(Ship Energy Efficiency Management Plan)를 선내에 비치해야 한다
 - 추후 MBM(Market Based Mechanism) 등의 실질적 규제가 시행될 수도 있다




Fig.3 Pollutant at sea Fig.4 Fuel sulfur content of oceangoing vessel

한국해양대학교 E2E

1.2 연구 동향 7/22

서론 (연구 동향)

- 하이브리드 추진시스템에 관한 연구는 국내외적으로 활발하게 진행되고 있다
 - 독일에서는 Zemships(Zero emission ships) 프로젝트를 통해 연료전지 기반의 여객선을 개발하였다
 - 일본의 대형 해운선사 NYK는 태양광, 풍력 등의 재생에너지를 이용한 프로젝트를 진행하고 있다
 - 스웨덴과 노르웨이 합작 회사인 Wallenius Wilhelmsen은 파력과 연료전지를 동원한 연구를 진행하고 있다
 - 이외에도 배터리와 전동기를 이용하여 추진력을 얻는 하이브리드 추진시스템이 연구 및 개발되고 있다

Classification	Name	Type	Nation	Applied system
Operating ship	Hydrogen Challenger	Cargo liner	Germany	Wind power
	Hydrogen 3000	Leisure boat	Netherlands	FEMFC, Battery
Projects	Duffy (Berndorf 30)	Passenger (Water taxi)	USA	FEMFC, Battery
	Hydra	Passenger	Germany	Fuel cell, Battery
	Super eco ship 2030	Merchant ship	Japan	Wind, Solar, Fuel cell etc.
	Zeebrugge	Passenger	Germany	Fuel cell, Battery



Table 1 Hybrid ships and included project abroad

Fig.7 super eco ship

한국해양대학교 E2E

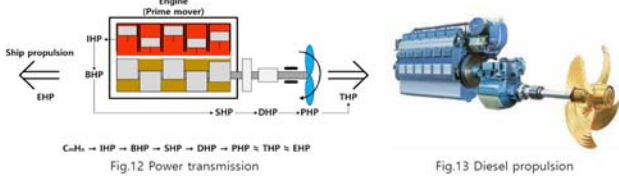
† 교신저자 : ojs@kmou.ac.kr

* 주저자 : kmw7190@naver.com

선박 추진시스템

기존의 추진시스템

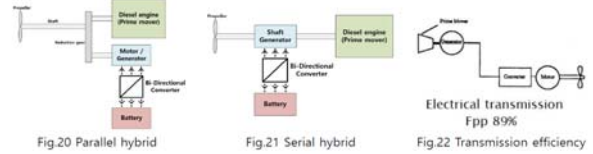
- 디젤 또는 가솔린 엔진을 이용하여 운항 속력에 따라 엔진의 출력을 조절한다
- 기계식 추진시스템은 연료의 연소로 발생한 열 에너지를 기계 에너지로 바꾸어 추진력을 얻는다
- 일반적으로 1축 1기의 추진체계를 구성하나, 군함의 경우 2축으로 구성하는 경우가 많다



선박 추진시스템

하이브리드 추진시스템

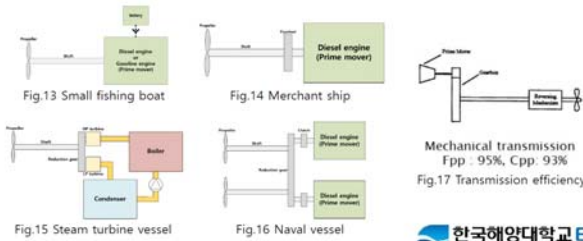
- 기계적인 손실과 전기적인 손실을 함께 고려해야 한다
- 선종에 따라 추진시스템과 전력시스템을 구성하는 방법이 다양하다
- 운항 시 전동기와 내연기관을 복합적으로 운용하는 방법과 전동기만으로 운항하는 방법이 있다
- 일반적으로 저속 구간에서는 전동기를, 고속 구간에서는 내연기관을 이용하여 추진력을 얻는다
- 모든 속력 구간에서 전동기를 이용하여 추진력을 얻는 선박도 운항 중에 있다



선박 추진시스템

기존의 추진시스템

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



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

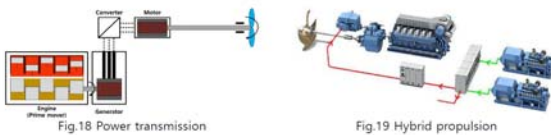
$$IHP = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}} \times V^3}{C_{adm}}$$

(IHP: 소요마력[kW], Δ: 배수량[t], V: 속력[knot], C_{adm}: Admiralty coefficient)
 Equation 1 Estimation of propulsion power by Admiralty coefficient

선박 추진시스템

하이브리드 추진시스템

- 추진을 내연기관 외에 추진을 위한 전동기가 설치되어 일정 조건에서 전동기를 기동한다
- 내연기관의 효율-속선에서 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



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	6hrs
Power while hauling	185kW (25% load)
Fishing grounds to dock	1hrs
Power while moving	660kW (Full)
At dock	14hrs

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

$$\text{연료 소비량} = SFC \left(\frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right) \times \text{Power}(\text{kW}) \times \text{Time}(\text{h})$$
- 단위 출력당, 단위 시간당 연료 소비량을 모두 미하면 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 전동기용, 고속 구간에서 디젤 엔진을 사용했을 때의 연료 소비량 곡선이다

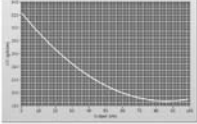


Fig.23 SFC curve

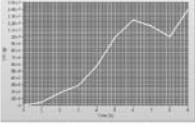


Fig.24 Diesel Propulsion

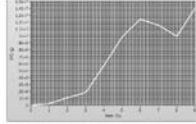


Fig.25 Hybrid Propulsion

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

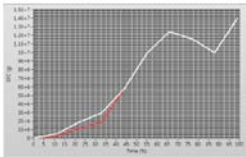


Fig.26 comparison of fuel consumption

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

결론

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

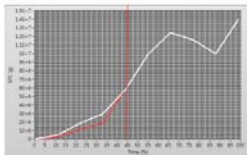


Fig.27 Effect of propulsion motor



Fig.28 Simulation Interface