

선박에너지 효율향상을 위한 하이브리드 전력시스템

이현석* · 손나영** · 강영민* · † 오진석

*한국해양대학교 수중운동체특화연구센터 연구원, **한국해양대학교 기관공학부 석사과정, † 한국해양대학교 기관공학부 교수

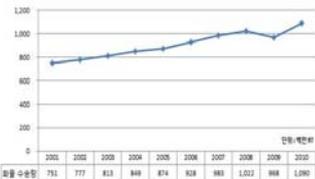
요 약 : 대형 선박은 선박에 안정적인 전력공급을 위해 다수의 발전기를 설치하여 운항한다. 그러나, 선박 운항 특성상 운항조건에 따라 필요 전력량의 차이가 크다. 이에 따라 선박 내 발전기 저부하 운전 및 발전기 운전대수에 따라 발전기 전력생산 효율의 차이가 발생하게 된다. 본 연구에서는 선내 전력시스템(발전기 기반)에 이차전지를 적용함으로써 선내 전력생산 효율을 높이고자 기존 선박 전력시스템에 이차전지를 적용한 전력시스템을 제안한다.

핵심용어 : 선박전력시스템, 하이브리드 전력시스템, 선박에너지효율, 배터리연계시스템

1. 연구 배경 및 동향

■ 고유가로 인한 원가 절감의 필요성 및 환경규제

- 세계 물류의 80% 이상이 해상운송으로 이루어 짐
- 대기 및 해양오염방지 협약에 따라 배출 규제가 진행 됨
- 유가의 상승으로 해운산업이 난항을 겪고 있음



⇒ 해운 화물 수송량 변화



⇒ 연료유 가격 변화

1. 연구 배경 및 동향

■ 연구 사례

- 대형선박 - 일본중심
- 소형선박 - 유럽중심



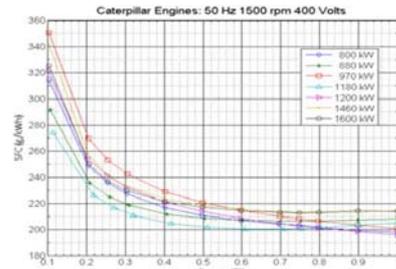
Emerald Ace
 Vehicles carrier
 2012 build
 Solar power : 160 kW(768 PV)
 Battery : 2.2MWh (Li-ion 18650')

Auriga Leader
 Cargo ship
 Solar power : 40 kW(328 PV)
 Battery : -
 \$ 168 M

1. 연구 배경 및 동향

■ 고유가로 인한 원가 절감의 필요성 및 환경규제

- 선내 전력 에너지 효율 향상
- 저부하에서 발전기 에너지 효율이 매우 낮음



⇒ 다궤 발전기 SFC 곡선

2. 선박 운항데이터 분석

■ 선박 전력관리시스템

▶ 데이터 분석

- 선종별 제원 확인
- 선박 운항모드별 운항 비율
- 선박 운항모드별 전력 소모량(영해, 입출항, 정박, 선적 및 하역)
- 중부하 사용 시간

▶ 이차전지 연동형 전력관리시스템 제안

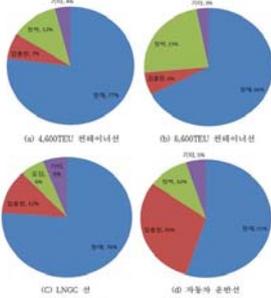
- 기존 전력관리시스템(PMS) 분석
- 이차전지 연동형 전력관리시스템(BLPMS) 제안

† 교신저자 : ojs@kmou.ac.kr

* 주저자 : gar4153@kmou.ac.kr

2. 선박 운항데이터 분석

- 선박 운항 특성
- ▶ 운항모드별 운항비율



▶ 선박 운항특성

3. 선박 전력관리시스템

- Battery Linked Power Management System
- ▶ BLPMS



- BLPMS**
- 중부하 알고리즘 적용
 - 중부하, 입출항에 따른 별도 알고리즘
 - 이차전지 중, 방전 알고리즘
 - 이차전지 중, 방전 히스테리시스 제어
 - 선박 부하에 따른 자동 발전기 운전

NN : Generator operation number
 HC : Heavy Consumption
 SEL : Ship Electric Load
 GE : Generator power * Max. Safety load factor
 I : Variables number

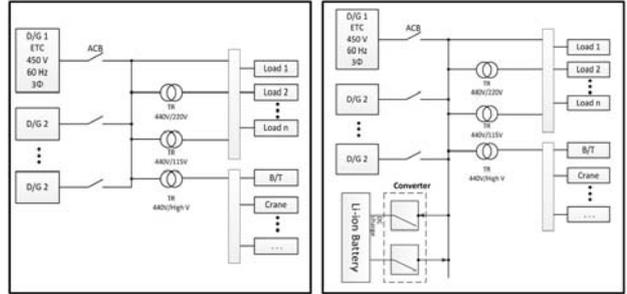
4. 시뮬레이션

- 선박 부하 모델링



3. 선박 전력관리시스템

- Battery Linked Power Management System
- ▶ BLPMS

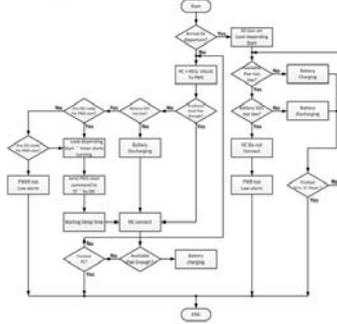


▶ 기존 전력관리시스템

▶ 제안하는 전력관리시스템

3. 선박 전력관리시스템

- Battery Linked Power Management System
- ▶ HC Control

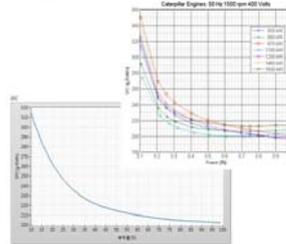


- Heavy Consumption Control**
- 중부하 제어
 - 입, 출항에 따른 자동 발전기 제어
 - 입, 출항시 이차전지 히스테리시스 미적용
 - 이차전지 용량에 따른 발전기 제어

SOC : State Of Charge(Battery)

4. 시뮬레이션

- 연료소비율 모델링
- ▶ 발전기 SFC 곡선



- SFC 곡선 모델링**
- Matlab을 이용한 Fitting

SFC 곡선 선정

- SFC는 발전기 용량에 따른 차이가 거의 없음
- 발전기 800kW-1,600kW SFC곡선 평균값을 적용하여 발전기 SFC 곡선 모델링
- 모든 발전기에 동일한 SFC 곡선 적용

$$G_{SFC} = X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + X_4^2 + X_5$$

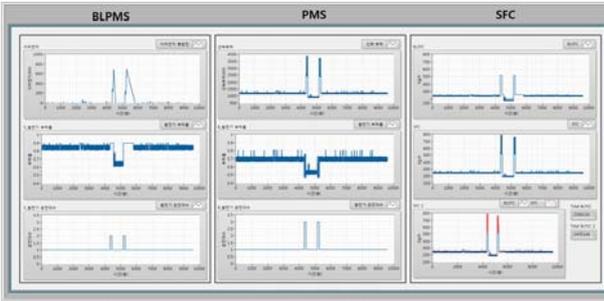
$$X_1 = -9.1954e-05 \quad X_2 = 3.3285e-05$$

$$X_3 = 0.0045741 \quad X_4 = 0.32628$$

$$X_5 = -12.24 \quad X_6 = 405.25$$

4. 시뮬레이션

■ 시뮬레이션 결과



BLPMS : Battery Linked Management System (제안하는 이차전지 연동형 전력관리 알고리즘)
 PMS : Power Management System (기존 선박에 설치되어 있는 전력관리 알고리즘)
 SFC : Specific Fuel Consumption (각 알고리즘에 따른 연료유 소비량 표시)

5. 결론

■ 8,600TEU 컨테이너 선박

발전기 용량 / 발전기 대수	이차전지 용량	연료소비율 차	에너지 효율	Payback(년)	비고
3,300 kW / 3	-	0 MT	1	-	
1,300 kW / 3	2,600 kWh	87.177 MT	1.020	19.36	
1,400 kW / 3	2,000 kWh	67.624 MT	1.017	19.20	
1,500 kW / 3	1,600 kWh	52.012 MT	1.013	19.97	
1,600 kW / 3	1,100 kWh	24.520 MT	1.006	29.13	출력부족
1,700 kW / 3	8,00 kWh	-2.080 MT	0.999	-	출력부족
2,400 kW / 2	1,200 kWh	9.550 MT	1.002	81.58	
2,500 kW / 2	1,000 kWh	88.914 MT	1.023	7.30	출력부족
2,600 kW / 2	850 kWh	71.676 MT	1.018	7.70	
2,700 kW / 2	700 kWh	50.730 MT	1.012	8.96	출력부족
2,800 kW / 2	700 kWh	33.906 MT	1.009	13.4	출력부족

5. 결론

■ LNGC 선박

발전기 용량 / 발전기 대수	이차전지 용량
3,300 kW / 3	-
3,300 kW / 2	1.2 MWh 이상
3,000 kW / 3	1,000 kWh
2,800 kW / 3	5 MWh 이상



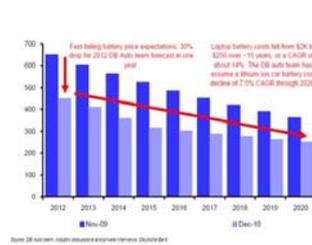
Simulation 결과

LNGC 선박은 입, 출항 시간이 비교적 짧으며 선적 및 하역에 비하여 전력 소모량이 작음
 이차전지 적용을 위해 선적 및 하역을 기준으로 용량을 선정하였음
 발전기 수명을 줄이는 것은 이차전지 용량을 급격히 증가시키므로 적용이 어려움
 다중발전기가 아닌 터빈 발전기를 사용함으로 Payback 도출이 어려움
 이차전지 적용이 어려울 것으로 판단됨

5. 결론

■ Payback 기간

이차전지시스템전환량 < 이차전지 단가
 $Payback = \frac{\text{이차전지시스템전환량}}{(\text{기존선박시스템 SFC} - \text{이차전지 적용선박 SFC}) \times \text{유가}}$

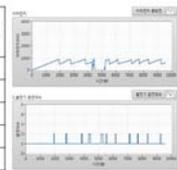


Year	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Payback (Year)	~650	~550	~450	~350	~250	~150	~100	~80	~60

5. 결론

■ 8,600TEU 컨테이너 선박

발전기 용량 / 발전기 대수	이차전지 용량	연료소비율 차	에너지 효율	Payback(년)
3,300 kW / 3	-	0 MT	1	-
1,600 kW / 3	1,200 kWh	24.520 MT	1.006	31.77
2,500 kW / 2	1,200 kWh	88.914 MT	1.023	8.76
2,700 kW / 2	1,000 kWh	50.730 MT	1.012	12.80
2,800 kW / 2	1,000 kWh	33.906 MT	1.009	19.15



Simulation 결과

이차전지 용량 부족으로 인한 출력부족 현상 발생
 이차전지 용량 증가에 따른 Payback 기간 증가
 발전기 2대의 경우 3대의 경우보다 형세 시 에너지 효율이 다소 낮음
 발전기 2대의 경우 이차전지 용량축소로 Payback 기간은 3대의 경우보다 짧음
 출력 부족의 경우 용량을 다소 늘림으로 문제 해결 가능
 1대의 발전기 용량이 작은 경우 이차전지 Hysteresis 계수에 따라 지속적인 중, 발전이 발생
 형세 시 이차전지 사용시 에너지 효율 향상 가능하나 이차전지 수명을 단축시킬 것으로 판단됨

5. 결론

■ 결론

- 선박 에너지 효율 개선을 위해 에너지 저장장치를 적용 방안에 대한 연구를 수행함
- 이차전지 적용에 따른 선박 전력관리시스템 알고리즘을 제시함
- 시뮬레이션을 통하여 약 2%의 에너지 절감 효과가 있음을 확인함
- 이차전지 가격 하락과 연료유 가격상승의 효과로 Payback 기간이 더 짧아질 것으로 예상됨
- 추후 신뢰성을 고려한 이차전지 연동형 선박 전력관리시스템에 관한 연구 필요