

가변속 엔진을 적용한 선박 DC 마이크로그리드

최세화, 손영광, 설승기
서울대학교 전력전자연구센터

Ship DC Microgrid with Variable Speed Genset

Sehwa Choe, Young-Kwang Son, Seung-Ki Sul
SPEC, Seoul National University

ABSTRACT

본 논문에서는 소형 어선의 전기 시스템을 DC 마이크로그리드의 관점에서 설계하고, 선박의 동력원인 엔진-발전기를 가변속 제어함으로써 선박 전력 계통의 효율을 개선하고자 한다. 선박 전력 계통은 물리적으로 육지 계통과 분리된 마이크로그리드의 형태를 갖추고 있다. 때문에 소형 기계 추진 어선의 경우, 추진을 위한 엔진뿐만 아니라 추가적으로 선내 전력을 공급하기 위한 엔진-발전기를 갖출 필요가 있다. 이에 반해 전기 추진 어선은 하나의 엔진-발전기 세트에 추진과 선내 전력 공급이 모두 가능하다. 하지만 어선이 정지 상태에서 조업을 할 때에 전력 부하량이 작기 때문에 엔진의 저부하 운전 문제가 발생한다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위하여, DC마이크로그리드를 어선에 적용하여 엔진 가변속을 적용하고자 한다. 통상적으로 20% 내외의 부하율로 운용되는 엔진에 가변속 제어를 적용하면 20% 이상의 연비 개선 효과를 기대할 수 있다. 이러한 DC마이크로그리드 어선의 연비 개선 효과를 향해와 조업으로 구분하여 시뮬레이션을 통해 예측하였다.

1. 서론

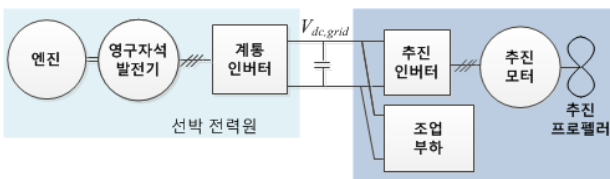


그림 1 선박 DC 마이크로그리드 구조
Fig. 1 Structure of Ship DC microgrid

선박의 전기 추진 시스템은 그림 1과 같이 추진 프로펠러를 전동기로 구동하여 기존의 기계식 추진에 비하여 많은 이점을 가지고 있다. 추진 모터는 기존의 추진 엔진보다 빠른 동특성을 가졌을 뿐만 아니라 역방향 추진이 가능하여 선박 조종 특성이 크게 향상 된다. 또한 선박의 주 엔진과 보조 엔진-발전기를 하나의 엔진-발전기로 대체하여 선박 설비의 부피, 무게, 초기 설치비용 및 유지보수 비용을 저감할 수 있다.

그러나 전기 추진함의 엔진-발전기는 항해에 문제가 없도록 주 엔진에 준하는 용량을 가지고 있으므로, 조업 상황에서의 낮은 부하로 인한 저부하 운전에 대한 고려가 필요하다. 정격 속도로 운전하는 엔진은 30% 이하 부하율에서 연비가 급격하

게 상승하며, 20%이하의 저부하 운전시에는 매연 등이 침전되어 엔진 수명이 감소하는 문제가 발생한다.

이러한 문제에 대한 해결책으로 낮은 부하율에서 엔진의 속도를 낮추어 운전하는 엔진 가변속 운전이 제안되었다. 그런데 가변속 운전은 엔진-발전기의 출력 전압과 주파수를 변동시키므로, 일정한 전압과 주파수를 출력하는 AC 발전기로 사용할 수 없다. 결과적으로 엔진 가변속 운전을 위해서는 DC 계통과 이와 연계된 PWM 컨버터가 필요하다. 엔진-발전기는 발전량에 따라서 최적의 효율로 가변속 운전하며, 컨버터가 발전기의 출력 전압 및 주파수와 무관하게 계통 전압을 제어한다.

본 논문에서는 DC 마이크로그리드를 적용하여 하나의 엔진-발전기로 항해와 조업을 가능하게 하면서도, 연비를 개선하는 방안을 제안하고자 한다.

2. DC 전기추진 선박 시스템

선박 DC 마이크로그리드는 그림 1에 나타나 있으며, 크게 전력원과 부하로 구성할 수 있다. 전력원은 엔진-발전기와 인버터로 구성되어 있고, 부하는 추진 부하와 조업 부하로 구분할 수 있다. 엔진의 속도는 조속기를 통해 제어되며, 발전기는 출력 전압의 제어가 필요하지 않아 영구자석 발전기로 제작한다. 따라서 계자 권선형 동기 전동기에 비하여 부피, 무게를 저감할 수 있다.

각 구성 요소의 제정수는 표 1에서 확인할 수 있다. 선박 속도에 따른 예상 추진 부하는 그림 2에 표현되어 있다. 조업 부하는 조명을 비롯한 기본 부하, 집어등, 펌프로 구분할 수 있으며, 기본 부하는 10kW, 집어등은 최대 130kW로, 엔진 정격 출력 대비 44% 수준이다. 항해 중에는 추진 부하와 기본 부하만을 사용하며, 조업 시에는 추진 부하 없이 조업 부하만 사용한다.

표 1 선박 DC 마이크로그리드의 제정수
Table 1 System parameters of ship DC microgrid

엔진 정격 출력	370kW (500Hp)	추진 모터 정격 출력	220kW
엔진 정격 속도	1800r/min	최대 조업 부하	170kW
엔진 최저 속도	900r/min	계통 정격 전압	700V
발전기 정격 출력	340kW	계통 정격 전류	450A

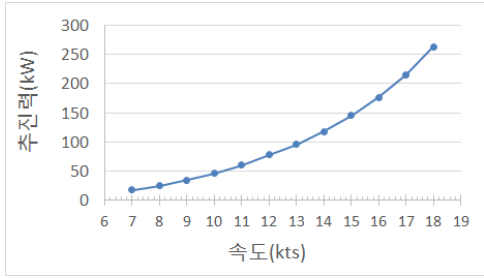


그림 2 선박 속도에 따른 예상 추진 부하
Fig. 2 Estimated propulsion load regarding ship speed

3. 가변속 운전에 의한 연비 개선

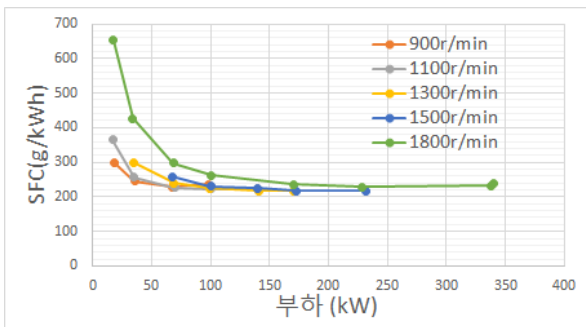


그림 3 두산 4AD158TI 엔진의 속도에 따른 연비 실측 자료
Fig. 3 SFC map regarding various engine speed and load

엔진의 연비를 대표하는 SFC(Specific Fuel Consumption)는 1시간동안 1kW를 생산하는데 필요한 연료의 무게를 표현하는 값이다. 예를 들어, 본 논문에서 대상으로 하는 엔진은 340kW에서 231.5g/kWh의 SFC를 가지므로 1시간동안 340kW를 출력한다면 SFC와 부하량을 곱한 78.7kg의 연료를 소모하게 된다. 이러한 엔진의 연비는 속도와 부하량에 따라 변하며, 두산중공업(주)의 4AD158TI 엔진을 대상으로 실험을 통해 측정된 결과는 그림 3에 나타내었다. 일반적으로 정격 속도에서는 50% 이하 부하에서 연비가 상승하기 시작하며, 20% 이하 부하에서는 심각한 연비 상승 문제가 있다. 예를 들어, 정격의 10%부하인 34kW에서 427g/kWh로 정격에서의 연비 대비 85%가 증가한다. 반면에 900r/min로 운전시에는 245g/kWh이므로 상당한 연비 개선이 가능하다. 따라서 그림 3을 토대로 각 부하량에 따라 최적의 연비를 보이는 속도로 엔진을 가변속 구동하면 전 부하 영역에서 연비를 최적화 할 수 있다.

4. 연비 개선 시뮬레이션

그림 3의 SFC 결과를 토대로 선박의 연비 개선 수준을 예측할 수 있다. 그림 4는 항해 시에 연비 개선에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 2의 선박 속도에 따른 부하량에 기본 부하를 더하여, 정속 운전과 가변속 운전시의 연비 및 연료량을 비교하였다. 7노트에서 900r/min으로 운전하면 48%의 연비 개선이 가능하며, 15노트에서 1280r/min으로 운전하면 10%의 연비 개선이 가능하다. 시간당 연료 소모량 또한 7노트에서 6.9kg으로 가장 많은 연료를 저감할 수 있다.

그림 5는 조업 시의 연비 개선에 대한 시뮬레이션 결과이다. 조업 중의 최대 부하인 170kW는 엔진-발전기 대비 46%이르

로, 8%의 연비 개선 효과로 시간당 3.3kg의 연료 소모를 저감할 수 있다. 부하율이 감소함에 따라 20kW에서는 52%의 연비 개선이 이루어 졌으며, 시간당 6.6kg의 연료를 저감할 수 있다.

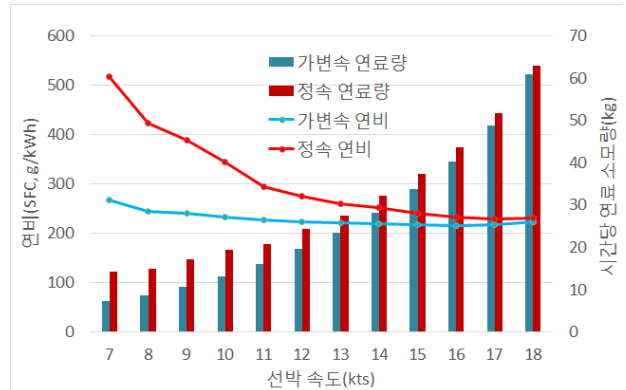


그림 4 선박 속도에 따른 연비 및 연료량 비교
Fig. 4 Comparison of SFC and fuel amount between constant speed and variable speed operations during sailing

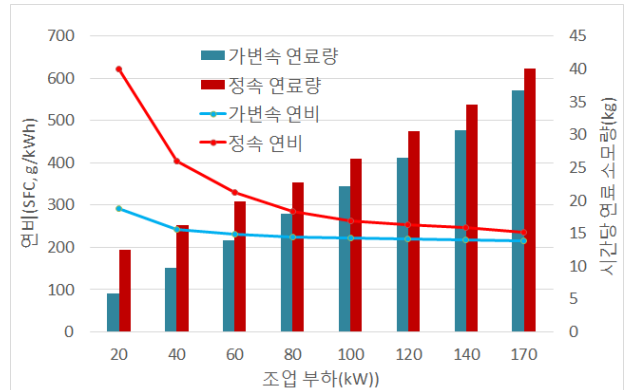


그림 5 조업 중 부하에 따른 연비 및 연료량 비교
Fig. 5 Comparison of SFC and fuel amount between constant speed and variable speed operations during fishing

5. 결론

본 논문에서는 소형 어선에 DC 마이크로그리드를 적용하여 하나의 엔진-발전기로 추진과 조업을 하는 동시에 연비를 개선하는 방안을 제시하였다. 두산 중공업(주) 4AD158TI 엔진을 대상으로 연비를 실측하였으며, 이를 토대로 엔진 가변속을 통해 어선의 항해와 조업시의 연비 및 연료 소모량의 개선 정도를 예측하였다. 7노트 운항 시에 48%의 연비 개선과 시간당 6.9kg의 연료를 저감할 수 있으며, 조업 중에도 평균적으로 시간당 4.9kg의 연료 소모를 저감할 것으로 예상된다.

참고 문헌

[1] J.-H. Lee, S.-H. Lee, S.-K. Sul, "Variable-Speed Engine Generator With Supercapacitor: Isolated Power Generation System and Fuel Efficiency," *IEEE Trans, Ind. Appl.*, Vol. 45, no. 6, pp. 2130-2135, Nov./Dec. 2009

[2] S.-Y. Kim, S. Choe, S. Ko, S.-K. Sul, "A Naval integrated Power System with a Battery Energy Storage System: Fuel efficiency, reliability, and quality of power," *IEEE Electrification Mag.* Vol. 3, no.2, pp. 22-33, Jun. 2015