

ESS(Energy Storage System)를 도입한 선박용 Diesel Generator의 최대 용량 감소 방안

이상중*, 곽상규*, 전형준**, 정지훈*
 울산과학기술원 (유니스트)*, 현대중공업**

Methodology of reducing maximum capacity of diesel generator for ship's power network by using ESS(Energy Storage System)

Sang-Jung Lee*, Sang-Kyu Kwak*, Hyung-Jun Jeon**, Jee-Hoon Jung*
 Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)*, Hyundai Heavy Industries**

ABSTRACT

Drill ship 또는 Semi-rig와 같은 대형 선박의 주요 부하들은 Diesel generator로부터 전력을 공급받게 된다. Generator의 용량은 최대 부하 용량에 의해 설계가 되며, Thruster와 같은 모터부하에 의해 Diesel generator에서 공급해야 하는 용량이 매우 증가하게 된다. 따라서 Thruster의 전원을 적절한 분산전원으로 대체함으로써 Generator의 최대 용량을 줄일 필요성이 있다. 본 논문에서 기존 선박 전력계통에 Thruster의 전원을 공급할 수 있는 Energy storage system (ESS)를 추가하여 Diesel generator의 최대 용량 감소 및 에너지 효율 향상을 전기적 모델을 통하여 검증하고자 한다. 그리고 최종적으로 실시간 모의시험 장치를 통하여 전체적인 선박의 연료 절감 효과를 검증하고자 한다.

1. 서론

Drill ship의 경우 작업 시 선박의 위치를 항상 일정하게 고정할 필요가 있는데 이는 동력추진 장치인 Thruster 모터에 의해 조정되게 된다. 그리고 정박 시 선박의 위치 조정 작업이 필요하게 되는데 이 작업 또한 Thruster 모터를 통해 이루어지게 된다. 모터부하는 시동 시에 많은 전류가 필요하며, 공회전 상태에서도 지속적으로 전력을 소모한다. 이는 과부하와 지속적인 연료를 소모를 야기하게 된다. 이뿐만이 아니라 모터부하에 의해 Generator의 최대용량과 무게가 증가하여 선박의 전체 효율을 저하하는 문제를 가져오게 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 ESS기술과 양방향 전력변환 장치를 기존 시스템에 도입하여 정박 시 사용되는 Thruster 부하를 ESS로부터 공급받아 Generator에서 감당하는 최대부하를 줄여 Generator의 최대용량을 최적으로 줄이는 방안을 제시하고 있다. 이를 통해 선박의 무게를 줄여 연료효율을 높이는 동시에 사용되지 않는 공회전상태에서 소모되는 연료소모도 줄이는 경제적인 이점을 가져올 것으로 예상된다.^[1]

2. 선박 전력계통 구성요소

그림 1은 선박 전력계통의 Single line diagram을 나타내고 있다. AC 배전을 기반으로 한 선박 전력계통은 Diesel generator, Switchboards, Transformer, Power conversion

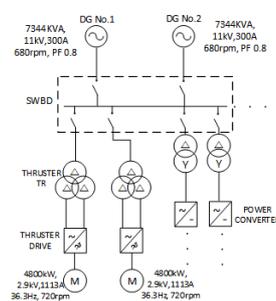


그림 1 선박 전력계통 Single line diagram
 Fig. 1. Single line diagram of ship's power network

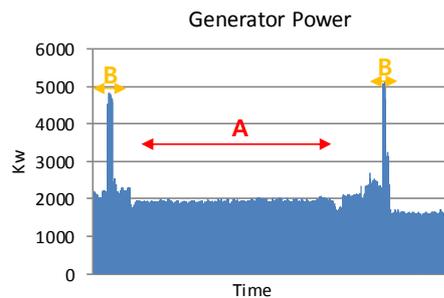


그림 2 Generator 전력사용량 그래프
 Fig.2 Generator power consumption graph

system(PCS) 그리고 부하로 구성이 되어 있다. Generator는 Prime mover인 Diesel engine에 의해 공급받은 동력에너지를 전기에너지로 바꾸어 부하에 전기에너지를 공급하게 되는데 각 부하 상황에서 Generator는 일정한 주파수 그리고 전압을 출력해야 한다. 이는 각각 Governor와 Automatic voltage regulator(AVR)에 의해 주파수와 전압이 제어된다. Governor는 Engine의 연료 주입량을 조절함으로써 일정한 Engine의 속도와 토크를 출력하며, 유효전력 또한 Governor에 의하여 제어된다. AVR은 Generator rotor의 계자 전압을 제어 즉, 전류와 자속을 변화시켜 Generator의 Terminal voltage를 제어한다. Generator의 개수는 선박의 용량에 따라 차이가 있지만 대형 선박인 경우 일반적으로 다수의 Generator를 포함하고 있으며, 수명과 효율을 증가시키기 위하여 Generator를 교대로 동작시킨다.

그림 2는 40일간 측정된 컨테이너 선박의 부하 사용량을 나타내는 그래프이다. A 구간은 기저부하를 나타내고 있으며, 각

최대부하(구간 B)는 정박 시 사용되는 Thruster에 의해 발생되고 평균적으로 2,000 kW에서 5,000 kW사이의 최대치가 발생한다. 이를 기준으로 침두부하를 충분히 공급할 수 있는 수준으로 Generator의 용량이 결정되고 이는 선박계통 시스템의 비효율성의 원인이 된다.

3. 전력계통 전기적 모델

3.1 Diesel Generator Model

선박 전력계통 전기적 모델링은 Matlab software에서 제공하는 Simulink를 기반으로 진행하였다. Generator는 Sixth order 모델을 사용하였으며, 아래 식 (1)부터 (3)은 Generator의 Stator, (4)부터 (6)은 Generator의 Rotor 전압 공식을 나타내고 있다. 전압 공식은 park's transformation^[2] 공식을 이용하여 d, q 축으로 나타낼 수 있다. 아래 첨자 $0, d, q$ 는 각각 중성점과 d 축 q 축을 나타내며 f, D, Q 는 각각 계자성분, Damper winding의 d 축 성분, q 축 성분을 나타낸다.

$$v_0 = -Ri_0 - \dot{\psi}_0 \quad (1)$$

$$v_d = -Ri_d - \dot{\psi}_d - \omega\psi_q \quad (2)$$

$$v_q = -Ri_q - \dot{\psi}_q - \omega\psi_d \quad (3)$$

$$v_f = R_f i_f + \dot{\psi}_f \quad (4)$$

$$0 = R_D j_D + \dot{\psi}_D \quad (5)$$

$$0 = R_Q j_Q + \dot{\psi}_Q \quad (6)$$

3.2 Diesel governor model

그림 3은 Woodward사의 Diesel governor의 전달함수를 나타내고 있다. 동기속도의 오차 값이 Governor의 입력으로 들어가며 Controller와 Actuator를 통하여 발전기 속도와 토크 그리고 유효전력이 제어된다. 첫 번째 블록은 Controller의 전달함수 나타내며, 두 번째 블록은 Actuator의 전달함수를 나타내고 있다. 그리고 마지막 블록을 통하여 Engine time delay 모사할 수 있다.

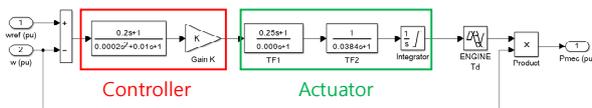


그림 3 Diesel governor 전달함수
Fig. 3 Transfer function of diesel governor

3.3 Automatic voltage regulator model

그림 4는 AC1A type의 전달함수를 나타내고 있다. Generator terminal 전압과, 계자전류 값이 AVR의 입력으로 들어가며 Regulator(블록 1)를 통하여 Generator의 Terminal 전압과 무효전력이 제어되게 된다. 블록 2는 Rotor의 비선형 특성을 고려한 블록이며, 블록 3을 통하여 계자전류를 검출 받게 된다.

4. 시뮬레이션 결과

그림 5, 6은 실시간 모의시험장치(OP5600)를 이용한 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. ESS 용량은 기저부하 용량을 충분히 공급할 수 있다고 가정하였다. 그림 5는 기존 선박시스템의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있으며, 그림 6은 ESS를 도입하였을 때의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 정박 시에 사

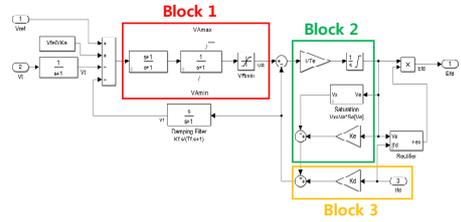


그림 4 AC1A type AVR 전달함수
Fig. 4 Transfer function of AC1A type AVR

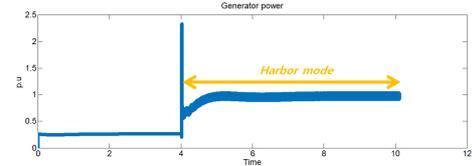


그림 5 Generator 전력사용량(Without ESS)
Fig.5 Generator power(Without ESS)

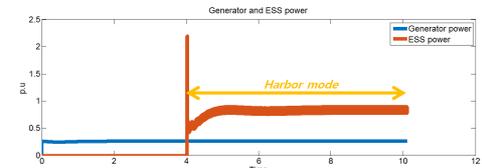


그림 6 Generator 전력사용량(With ESS)
Fig.6 Generator power(With ESS)

용되는 기저부하를 ESS로부터 공급받음으로써 Generator의 최대 전력 사용량이 줄어드는 것을 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다. 최종적으로 시뮬레이션 결과를 바탕으로 선박 시스템 설계 시 Generator의 Peak 전력을 ESS를 통하여 분산시킴으로써 Generator용량을 최적으로 설계할 수 있으며, Generator의 용량을 줄임으로써 선박의 경량화 및 연료절감 효과를 유추할 수 있다. 또한 신재생에너지와 같은 다양한 분산전원을 ESS와 접목시켜 선박 전체 전력시스템 효율을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

5. 결론

본 논문에서는 기존의 대형선박 전력계통 시스템에 기저부하(Thruster)에 대응할 수 있는 ESS를 도입함으로써 Generator의 최대 용량을 줄이는 방안을 실시간 모의시험장치를 통한 시뮬레이션 결과로 검증하였다. 그 결과 Generator의 최대 사용 용량을 크게 줄일 수 있으며, 선박의 경량화를 통하여 경제성 및 환경문제에 큰 이점을 가져올 수 있을 것으로 예상된다.

이 논문은 산업통상자원부의 재원으로 엔지니어링개발연구센터 지원을 받아 수행된 연구임.(과제번호: N0000990)

참고 문헌

- [1] Ole Christian Nebb, Bijan Zahedi, John Olav Lindtjorn, Lars Norum, "Increased Fuel Efficiency in Ship LVDC Power Distribution Systems," 2012 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference., Pages: 564 - 568, Oct. 9-12, 2012.
- [2] IEEE Power & Energy Society, "IEEE Guide for Synchronous Generator Modeling Practices and Applications in Power System Stability Analyses," pp. 0_1 - 72, 2003.