

DC배전 전기추진 선박의 리튬-이온 배터리 에너지 저장장치 효용성 검증

서혜림, 광기곤, 구현근, 지종성, 김장목
부산대학교

Verification of usefulness of Li-ion Battery Energy Storage System in Electric Ships with DC Distribution

Hye-rim Seo, Ki-kon Kwak, Hyun-keun Ku, Jong-seong Ji, Jang-mok Kim
Pusan national university

ABSTRACT

본 논문에서는 DC배전 전기추진 선박에서 전력품질 향상 및 전력 공급 안정성을 위한 리튬-이온 배터리 에너지 저장장치(BESS)를 적용하고 이에 대하여 기술한다. MATLAB/Simulink를 이용하여 DC배전 전기추진 선박 및 리튬-이온 배터리 에너지 저장장치의 시뮬레이션 모델을 구현하였으며, 구현된 시뮬레이션 모델에 발전 전력과 소비 전력 간의 전력 수급 차로 DC 계통의 전압 변동이 발생하는 추진전동기의 급격한 가, 감속 운전 시나리오를 적용하였다. 적용 시나리오에 의해 발생한 전압 맥동 현상은 리튬-이온 배터리 에너지 저장장치를 이용하여 IEEE STD. 1709 - 2010에서 제시하는 전압 허용 범위를 만족함으로써 DC배전을 갖는 전기추진 선박의 전력품질 향상 및 전력 공급의 안정성 여부를 검토한다.

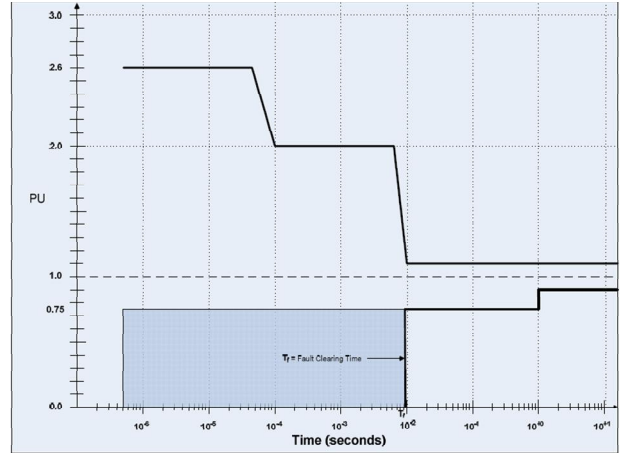


그림. 1 MVDC 전압 최대 허용 범위^[2]
Figure. 1 MVDC voltage tolerances worst case envelope

1. 서론

선박에서 DC배전은 부하의 80% 이상을 차지하는 추진 및 추력이 드라이브를 DC계통으로 이용하는 방식으로 AC 스위치 보드와 변압기를 사용하지 않으므로 AC배전 보다 유연한 전력 및 추진 시스템 구성을 할 수 있고 DC계통 전원과 에너지 저장장치의 조합을 유연하게 구성할 수 있는 장점을 가진다.

이러한 DC배전을 갖는 전기추진 선박에서 함 내 부하에 따른 전력 수요 공급 변동은 DC계통의 전압 맥동을 동반하여 발생하고, 대표적인 부하 전력 변동으로는 추진전동기 탈락으로 인한 부하 변동이 있다.

계통의 전력품질 저하 문제 해결을 위해서는 전력 수급 차만큼의 예비전력을 공급해줄 에너지 저장장치가 필요하며, 리튬-이온 배터리 에너지 저장장치의 경우, 장수명, 고용량 및 고효율 등의 이점을 가지므로 선박 및 분산전원, 독립형 발전 시스템 등 다양한 영역에서 활발히 이용되고 있다.[1]

따라서 본 연구에서는 추진 전동기의 탈락으로 인한 계통 전압의 전력 품질 저하 문제 발생 시 안정적인 전력계통 운영 및 고품질의 전력 사용을 위한 리튬-이온 배터리 에너지 저장장치의 적용 필요성 및 효용성을 시뮬레이션 모델을 통하여 검증하고자 한다.

검증을 위해 제시된 DC배전 전기추진 선박의 시뮬레이션 모델은 MATLAB/Simulink를 이용하여 구현하였으며, 그림. 1에서 제시하는 IEEE STD 1709 - 2010의 MVDC에서의 전압 허용 범위를 준수함으로써 계통 안정성 여부를 판별한다.^[2]

2. 본론

2.1 절 전기추진 선박 시뮬레이션 모델 구성

본 연구의 DC배전 전기추진 선박은 그림. 2와 같이 1대의 발전시스템 및 1대의 추진시스템으로 구성된다. 계통의 전력품질 향상을 위한 에너지 저장장치로는 리튬-이온 배터리가 사용되며, 계통과 리튬-이온 배터리 간의 에너지 변환을 위해서는 양방향 DC/DC 컨버터가 사용된다.

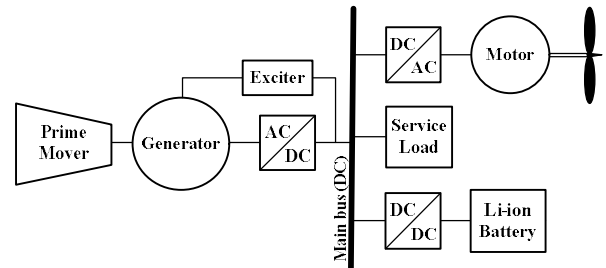


그림. 2 DC배전 전기추진 선박 모델 구성
Fig. 2 Configuration of All Electric Ship with DC distribution

2.2 절 리튬-이온 배터리 에너지 저장장치 용량 선정

추진전동기의 급작스런 가, 감속 운전으로 인해 DC계통에 발생하는 전압 맥동의 경우, 순간적인 전력 수급 불균형에

의한 것으로 리튬-이온 배터리 에너지 저장장치를 이용하여 생산 전력 및 소비 전력간의 수급 균형을 맞춰줌으로써 DC계통에 발생하는 전력 품질 저하를 예방할 수 있다.

에너지 저장장치의 용량이 클수록 전력계통 운영 측면에서는 전력품질 및 공급 신뢰도를 향상시킬 수 있지만, 경제적인 측면과 제한된 선박 공간에서의 무게 및 부피를 고려한다면 에너지 저장장치의 용량은 합리적인 절차에 따라 필요 최소한으로 선정해야 한다.^[3]

2.3 질 전기추진 선박 시뮬레이션

2.3.1 시뮬레이션 시나리오

DC배전 전기추진 선박은 MATLAB/Simulink를 통하여 그림. 2와 같이 시뮬레이션 모델을 구성한다.

함 내 서비스 부하를 초기 부하로 약 6초간 인가 후 선박의 갑작스런 운항 속도 증가에 따라 추진 추진전동기 속도를 3초간 약 27%씩 증가하고, 이후 약 5초간 유지한다. 이후 추진 부하는 다시 약 3초간 동일한 비율로 가파르게 감소 후 정지한다.

시뮬레이션 시나리오에 따른 계통 전압의 맥동 현상을 확인 후 동일 시나리오에서 리튬-이온 배터리 에너지 저장장치를 적용 유무에 따른 계통 전압에서 발생하는 맥동을 확인하도록 한다.

2.3.2 시뮬레이션 결과

그림. 3은 제시한 추진전동기 가, 감속 시나리오에 대한 추진전동기의 RPM 속도, 토크 및 출력 전력[pu]의 시뮬레이션 파형을 나타낸다.

그림. 4는 그림. 3에 제시된 시나리오에서 리튬-이온 배터리 에너지 저장장치의 유무에 따른 DC계통의 출력 전압 파형을 나타내며, 상단은 리튬-이온 배터리가 없을 경우의 DC계통 전압 파형, 하단은 리튬-이온 배터리가 추가되었을 때의 DC계통 전압 파형이다.

그림. 4의 상단 파형은 리튬-이온 배터리가 부착되지 않았을 때의 DC계통 전압으로, 급격하게 증가 및 감소하는 부하 전력으로 인해 순간적인 전력 수급 차가 발생된다. 이는 순간적인 전력 변화량을 발전기 생산 전력으로 충분히 보상해 주지 못하여 DC계통 전압 맥동이 발생하게 되고, 따라서 IEEE Std. 1709 - 2010에서 제시하는 MVDC에서의 허용 전압 범위인 +10%, -25%를 만족하지 못한다.

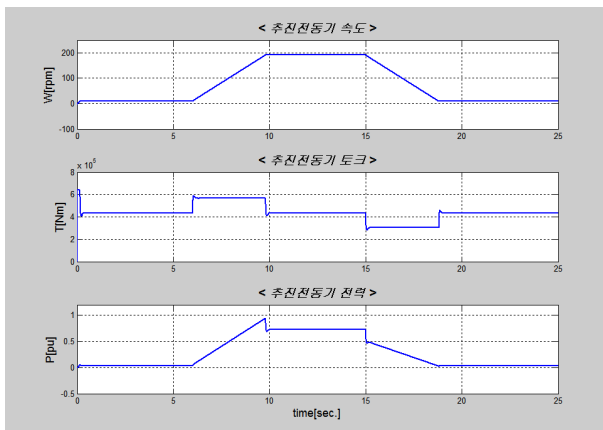


그림. 3 시나리오에 따른 추진전동기 출력 파형
Fig. 3 Output Waveforms of Propulsion Motor

그림. 4의 하단 파형은 리튬-이온 배터리가 부착된 시뮬레이션 모델에서의 DC계통 출력 전압 파형으로, 계통 전압의 증감에 따라 리튬-이온 배터리가 적절하게 충전 및 방전을 해줌으로써 정상상태 및 과도상태에서 발생하는 순간적인 전력 수급 차가 적절하게 조절되어 IEEE Std. 1709 - 2010 전압 허용 범위를 만족하는 것을 볼 수 있다.

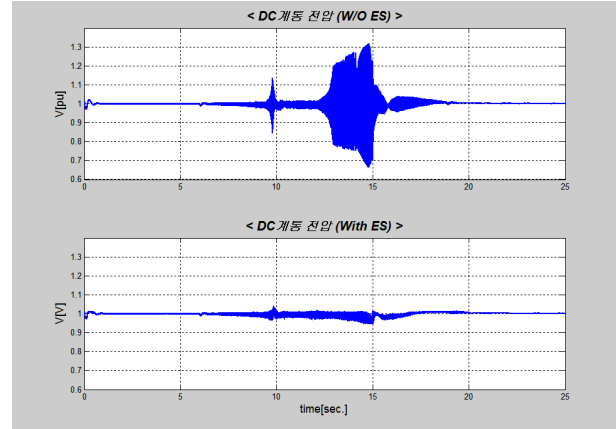


그림. 4 에너지 저장장치 유무에 따른 DC계통 전압
Fig. 4 Output Waveforms of DC Distribution Voltage without/ with Energy Storage System

3. 결론

본 논문은 MATLAB/Simulink를 통하여 DC배전 전기추진 선박에서 발생 가능한 전력품질 저하 시나리오에 대하여 리튬-이온 배터리 에너지 저장장치를 사용함으로써 계통 상황에 따라 리튬-이온 배터리의 유효전력을 충전 또는 방전하여 계통의 안정성 확보 및 품질 개선 효과를 검증하였다.

이 논문은 2012년도 정부재원(지역혁신 인력 양성 사업) 한국 연구재단의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. NRF-2012H1B8A2026153)

참고 문헌

- [1] Maciej Swierczynski, Daniel-Ioan Stroe, Ana-Irina Stan, Remus Teodorescu, Rasmus Laerke, Philip Carne Kjaer, "Field Tests Experience from 1.6MW/400kWh Li-ion Battery Energy Storage System providing Primary Frequency Regulation Service", IEEE PES ISGT Europe, 2014, October.
- [2] "IEEE Std. 1709-2010 : IEEE Recommended Practice for 1kV to 35kV Medium-Voltage DC Power Systems on Ships", IEEE Industry Applications Society, 2010.
- [3] 오창수, 이강원, "주파수조정 예비력 산정에 관한 연구", 대한전기학회, 2005, November.