

하이브리드 추진선박 전력계통의 고조파 및 주위 온도에 따른 배터리 내부저항 변화에 관한 고찰

김희수, 박한수, 김현철*

(재)한국조선해양기자재연구원

hskim@komeri.re.kr, hspark@komeri.re.kr, *lovespins@komeri.re.kr

A study on the change of battery internal resistance

according to harmonics and ambient temperature of power system of hybrid propulsion ship

Kim Hee Su, Park Han Soo, Kim Hyeun Chul*

Korea Marine Equipment Research Institute

요약

본 논문은 최근 환경오염에 대한 규제가 강화됨에 따라 하이브리드형 추진 선박과 같은 스마트 선박에 대한 관심이 높아지고 있다. 하이브리드 추진선박에서 사용되는 배터리는 차량 등에 사용되는 배터리보다 용량이 커서, 가격이 높아지고 유지 보수 측면이 중요하게 여겨진다. 선박용 배터리는 일체형으로 제작되어 있으며 이를 오래 사용하기 위해서는 에너지관리시스템(EMS)에 의해 관리되어야 한다. EMS를 통해 선박용 배터리 수명을 파악하고 효율적인 관리가 필요하다. 배터리 수명에 미치는 요소들 중에 고조파가 배터리의 내부저항 및 수명특성에 미치는 영향을 분석하였다. 동시에 동일한 고조파 조건에서 배터리의 내부 저항이 외부 온도에 따라 어떻게 변하는지를 비교하였다.

I. 서론

산업화로 인해 화석연료의 사용 증가는 환경 오염의 주범이 되어 친환경 에너지 활용할 수 있는 기술들에 대한 연구와 개발이 급속도로 진행되고 있다. 전 세계가 환경문제에 관심이 높아지며 친환경 관련 연구개발에 박차를 가하고 있다. 그 중 대표적인 하나로 하이브리드 추진선박 개발을 언급할 수 있다.

전 세계에서 선박 환경 규제나 이산화탄소 배출량의 허용 기준을 강화하며 전기추진선박의 생산을 장려하고 있다. 석유가 지속적으로 필요한 상황으로 고유가로 인해 친환경적인 전기추진선박이 주목받고 있다. 하이브리드 추진선박의 지속적인 수요 및 개발은 불가피할 것으로 보인다.

전기추진선박의 배터리 수명은 교체 시기와 직접적인 연관이 있어서 오래 쓸 수 있도록 많은 연구들을 하고 있다. 하이브리드 추진선박에는 에너지관리시스템(EMS, Energy Management System)이 있으며 배터리를 보다 효율적으로 오래사용할 수 있도록 해준다. 이러한 배터리를 사용함에 있어서 전력 변화시에 발생하는 전류 및 전압파형에 포함된 고조파 (THD, Total Harmonic Distortion) 성분에 의한 손실이 있다. 선박 주행시 여러 가지 주변 조건들로 인해 잦은 속도 변화가 출력 계통에 고조파를 발생시킨다.

신호의 왜곡에 해당하는 고조파는 정밀한 전기 기기의 오작동, 소음, 진동, 과열 등의 주요 원인이 된다[1]. 특히, 이런 고조파 성분으로 인해 배터리의 내부저항이 지속적으로 증가하여 원래 사용할 수 있는 배터리의 수명보다 짧아져 상대적으로 많은 전기 기기와 고품질의 전력을 요구하는 전기추진선박에서 해결해야 할 중요한 문제점 중 하나이다.

고조파와 더불어 EMS는 일정 범위 내로 온도가 유지되도록 환경을 조성해야한다. 과열로 인한 배터리 폭주의 위험성도 있지만, 제조 사양서의 허용치 안에서도 온도에 따라 배터리의 수명에 영향을 주기 때문에 관리

요소 중 하나가 된다[2]. 고조파와 온도가 배터리 수명에 어떠한 변화를 주는지와 그에 따른 대책을 제시하고자 한다.

II. 본론

배터리가 고조파에 어떻게 영향을 받는지 확인하기 위해 시뮬레이션 구성 및 설계한다. 배터리에 고조파를 인위적으로 생성하기 위해 그림 1과 같이 배터리 출력 전압을 3상 2레벨 인버터에 인가한다[3].

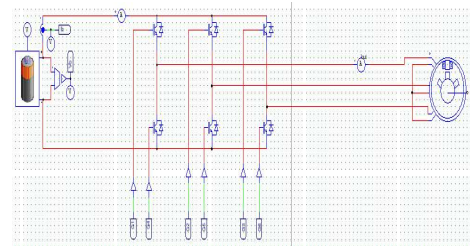


그림 1. 3상 2레벨 인버터 시스템

고조파를 조절하기 위해 3상의 입력 파형에 Delay time을 조절하여 전류 파형의 왜곡 정도를 확인한다. Delay time이 각각 0.5 μ s와 3.5 μ s일 때 파형의 왜곡률을 관찰한다.

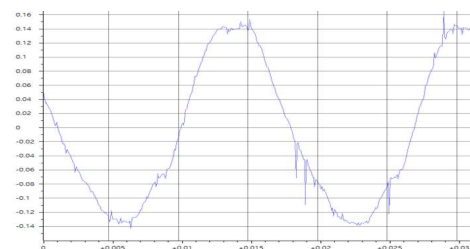


그림 2. Delay time 0.5 μ s일 때 전류 파형

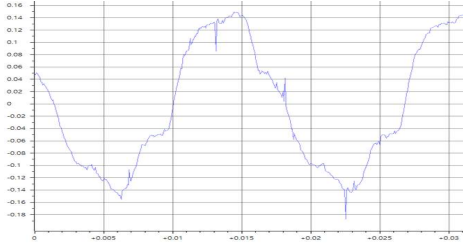


그림 3. Delay time 3.5 μ s일 때 전류 파형

그림 2와 그림 3과 같이 Delay time으로 고조파를 발생시킬 수 있으며 Delay time이 클수록 왜곡률은 더 커진다. 이를 활용하여 충방전 중인 배터리에 왜곡률이 커질수록 배터리 수명에 어떤 영향을 미치는지 확인할 수 있다.

각 Delay time 0.5 μ s와 3.5 μ s로 7차례에 걸쳐 330분씩 가동하였을 경우 배터리 수명과 연관되는 배터리 내부저항의 변동 값을 측정한다. 각 결과값은 표 1과 표 2에 표시되어 있으며, Delay time은 고조파와 같은 지표로 본다. 큰 고조파에 노출될수록 내부 저항이 증가하여 배터리의 노화가 더 많이 진행됨을 예측할 수 있다[4].

표 1. Delay time 0.5 μ s일 때 변동된 배터리 내부저항

차수	Delay time [μ s]	가동시간 [min]	변동된 내부저항 [Ω]
1차	0.5	330	0.0080
2차			0.0112
3차			0.0096
4차			0.0128
5차			0.0080
6차			0.0072
7차			0.0077
평균값			0.0092

표 2. Delay time 3.5 μ s일 때 변동된 배터리 내부저항

차수	Delay time [μ s]	가동시간 [min]	변동된 내부저항 [Ω]
1차	3.5	330	0.0152
2차			0.0160
3차			0.0128
4차			0.0120
5차			0.0128
6차			0.0120
7차			0.0136
평균값			0.0135

동일한 Delay time 상태에서 배터리 주변온도에 따른 내부저항도 그림 4과 같이 관찰한다. 26 $^{\circ}$ C와 16 $^{\circ}$ C에서 각각 변동된 내부저항을 검토한 결과 표 3과 같은 결과값을 확인할 수 있다.

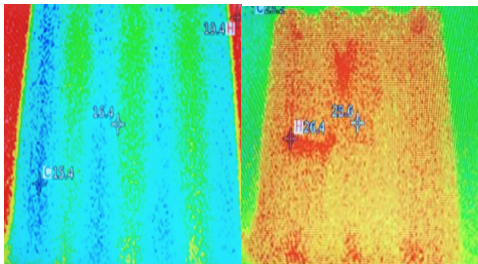


그림 4. 주변온도에 따른 배터리 내부

표 3. 배터리 주변 온도에 따른 변동된 배터리 내부저항

차수	Delay time [μ s]	배터리 주변온도 [$^{\circ}$ C]	가동시간 [min]	변동된 내부저항 [Ω]
1차	0.5	26	330	0.0080
2차				0.0072
3차				0.0077
평균값				0.0076
1차	0.5	16	330	0.0032
2차				0.0048
3차				0.0040
평균값				0.0040

III. 결론

본 논문은 전기추진선박에 사용하는 인버터 제어장치에서 인버터의 파형 Delay time의 변화에 따른 출력 고조파 특성과 배터리의 내부저항 변화를 분석한 결과를 얻을 수 있었다.

동일한 시간으로 전력 변환 중에 Delay time이 0.5 μ s와 3.5 μ s로 가동한 상태에서 내부저항 변동값은 각각 0.0092 Ω , 0.0135 Ω 로 측정되었다. 동일한 Delay time으로 전력 변환 중에 온도가 26 $^{\circ}$ C와 16 $^{\circ}$ C로 가동한 상태에서 내부저항 변동값은 각각 0.0076 Ω , 0.0040 Ω 로 측정되었다. 고조파가 클수록 온도가 높을수록 내부저항이 증가하여 배터리 수명이 줄어들음을 확인할 수 있었다.

향후에는 Delay time이 작을 때 내부저항이 증가하는 폭과 Delay time이 클 때 고조파가 증가함으로 인하여 내부 저항이 커지는 폭을 정밀하게 비교·분석할 필요가 있을 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 “친환경선박 전주기핵심기술개발 - 하이브리드 추진선박 에너지 통합모듈 시스템 개발 및 검증(RS-2023-00252794)” 사업의 2차년도 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 김주완, “전기 추진선을 위한 고조파 제어 사례 연구”, 대한조선학회 특별논문집, PP.38-45, 2008
- [2] 해양수산부, “전기추진선박기준 제정안”, 2020
- [3] 김희수, “인버터 스위칭 패턴과 주변온도에 따른 배터리 내부저항 변화에 관한 연구”, 한국해양대학교 석사학위논문, 2023
- [4] 김희수, “Analysis of battery lifetime based on the inverter driving pulse”, 한국마린엔지니어링학회, 46(6), PP. 409~414, 2022