

10톤급 어선에의 DC 배전 전기 추진 선박 실증

손영광, 이승용, 설승기
서울대학교 전력전자연구센터

Demonstration of DC Electric Propulsion System for 10-ton Class Fishing Boat

Young-Kwang Son, Seong-Yong Lee, Seung-Ki Sul
SPEC, Seoul National University

ABSTRACT

본 논문은 DC 배전 전기 추진 시스템으로 건조된 10톤급 소형 어선을 운항하며 측정한 실험 결과를 제시한다. DC 배전 선박과 모의된 AC 배전 선박을 일반적인 10톤급 소형 어선의 운용 패턴에 따라 운항하였고, 각 경우의 연료소모량을 유량계로 측정하였다. DC 배전 시스템은 가변속으로 인한 엔진의 효율적인 운전과 전기설비 무게 감소로 인한 추진 부하 감소의 효과로 AC 배전 시스템에 비하여 연료사용량이 약 20% 가량 절감된다. 실험 결과, DC 배전 전기 추진 선박을 적용할 시 연간 약 18,500L (22.0%)의 연료가 절감되어 연료비가 매년 약 1400만원 가량 절약될 것으로 예상된다.

1. 서론

지난 수십년 간 유류선, 쇄빙선, 시추선, 그 외 DP(Dynamic Positioning) 기능이 필요한 선박들과 일부 군함들은 전기 추진의 이점을 얻기 위해 전기 추진 선박 (IEP, Integrated Electric Propulsion)으로 설계되어 왔다^[1]. 기존의 전기 추진 선박들은 AC 배전 시스템으로 설계되어 왔지만, 에너지 원자재 가격의 지속적인 상승과 고효율 시스템의 수요 증가, 그리고 전력전자 기술의 발전과 함께 DC 배전 전기 추진 선박이 2010년 이후에는 완성된 시스템의 형태로 시장에 등장하였다^[2]. 일반 상선에서 DC 배전 시스템의 가장 큰 장점은 연료 절감으로 인한 경제성 제고이다. 고정된 계통 주파수를 유지하기 위하여 엔진이 고정된 속도로 제어되는 AC 시스템의 경우와는 달리 DC 시스템에서는 엔진이 부하의 크기에 따라 가장 효율적인 운전 속도를 가지도록 제어된다. 이에 따라 연료소모량이 적게는 약 10%에서 경부하 운전이 많은 부하 프로파일을 가지는 시스템에서는 약 60%까지도 절약된다. 그 외에도, DC 시스템은 전기 설비 무게가 낮고 전력변환효율이 높고 엔진 소음이 적은 장점들을 가지고 있다^{[3]-[4]}. 본 논문은 논문 [5]의 선박 실증 결과를 제시한다.

2. 실험 선박 구성 및 실험 조건^[5]

DC 배전 전기 추진 선박의 전기 설비 구성과 사진은 각각 그림 1, 그림 2와 같다. 리튬 이온 배터리의 공급 문제로 리튬 인산철 배터리가 적용되어 배터리 무게가 논문 [5]에서의 설계보다 약 1톤 가량 더 무거워졌다. AC 선박을 실제 건조하지 못한 이유로, AC 선박은 논문 [5]에서 예상된 각 선박의 전기 설비 무게를 참조하여 건조된 DC 선박에서 2톤의 무게를 추가하여 모의하였다. 실제 AC 선박은 영구자석 발전기를 적용할 수 없고 전력변환효율이 낮아 DC 선박보다 효율이 4~5%가량 더 낮지만^{[3],[6]}, 본 실험조건에서는 이

차이가 포함되지 못하였다는 한계가 있다. 실험 조건은 다음과 같다.

- DC 배전 전기 추진 선박: 무게 추가 없음, 엔진 가변속 운전.
- AC 배전 전기 추진 선박: 무게 추가 2톤, 엔진 고정속 운전.

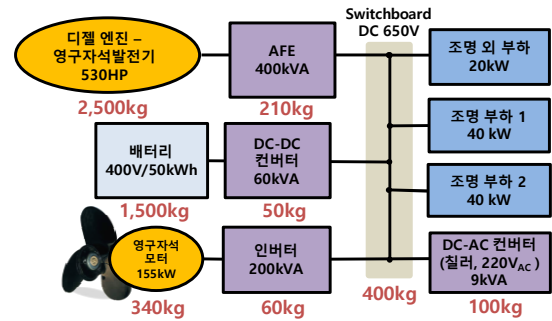


그림 1 DC 배전 전기추진 선박의 전기 설비 구성^[5]
Fig. 1 Electrical Equipment Configuration of DC IEP



그림 2 건조된 10톤급 DC 배전 전기추진 선박 사진
Fig. 2 10-ton DC IEP fishing boat actually built

3. 실험 결과

여름과 겨울 부하 프로파일^[5]에 대하여 실증 선박을 운항하여 측정한 실험 데이터는 그림 3과 같다. 13시간의 여름 프로파일은 1/60 비율로 축소하여 13분 동안 실증 운항하였고, 36시간의 겨울 프로파일은 1/120 비율로 축소하여 18분 동안 실증 운항하였다.

전반적으로 DC 선박의 추진 출력이 AC 선박보다 수 퍼센트 낮음에도 불구하고 DC 선박의 속도가 빠르는데 이는 [5]에서 예상된 것처럼 DC 선박이 더 가벼워 추진 부하가 작기 때문인 것으로 추정된다. 추진 부하가 작기 때문에 DC 선박의

전체 발전 전력량은 여름 프로파일에서 20.0kWh, 겨울 프로파일에서 25.8kWh로 AC 선박의 20.6kWh, 28.4kWh보다 각각 3.0%, 9.0% 낮았다.

최종적으로 DC 선박의 누적 연료사용량은 여름 프로파일에서 5.44L, 겨울 프로파일에서 6.86L로 AC 선박의 6.77L, 9.18L보다 각각 19.6%와 25.3%만큼 절감되었다.



그림 3 여름, 겨울 부하 프로파일에서 DC, AC 선박의 속도, 추진 출력, 엔진속도, 발전 전력, 그리고 연료사용량
Fig. 3 Ship speed, propulsion power, engine speed, generated power, and fuel usage for DC, AC IEP ship

[5]의 설문조사 대상인 D 어선(9.77톤)의 조업 횟수(연간 여름 프로파일 120회, 겨울 프로파일 40회)를 기준으로 연간 연료소모량을 계산하면, DC 배전 전기 추진 선박은 약 65,500L의 연료를 사용하여 AC 배전 전기 추진 선박의 84,000L보다 22%가량 낮은 연료를 소모할 것으로 예상된다. 11,500L의 연료 절감은 경유 면세 가격 770원/L (한국석유공사, 2018년 11월 15일) 기준으로 연간 약 1,440만원에 해당한다. 연료 절감 22% 중 약 16%는 가변속 운전으로 인한 엔진의 효율적인 운전이 기인한 것으로 분석되었고, 나머지 6%는 무게 절감 효과로 인한 추진 출력 감소에 기인한 것으로 분석되었다.

4. 결론

본 논문은 DC 배전 전기 추진 시스템으로 건조된 10톤급 소형 어선을 운항하며 예측한 연료 소모량과 관련된 실험

결과들을 제시한다. 일반적인 10톤급 소형 어선의 운항 패턴대로 선박을 운용할 때, 여름 부하 프로파일에서는 DC 배전 시스템이 AC 배전 시스템보다 19.6% 적은 연료를 사용하였고, 겨울 부하 프로파일에서는 DC 배전 시스템이 AC 배전 시스템보다 25.3% 적은 연료를 사용하였다. DC 배전 전기 추진 선박을 적용할 시, 연간 약 18,500L (22.0%)의 연료가 절감되어 연료비가 매년 약 1400만원 가량 줄어들 것으로 예상된다.

본 논문은 2017년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구(No. 20141010502280)입니다.

참고 문헌

- [1] N. Doerry, J. Amy, and C. Krolick, "History and the status of electric ship propulsion, integrated power systems, and future trends in the U.S. navy," Proc. IEEE, Vol. 103, No. 12, pp. 2243-2251, Dec. 2015.
- [2] ABB, "Energy efficiency Guide," Energy efficiency Guide. 2013.
- [3] Z. Jin, G. Sulligoi, R. Cuzner, L. Meng, J. C. Vasquez, and J. M. Guerrero, "Next-generation shipboard DC power system: introduction smart grid and dc microgrid technologies into maritime electrical networks," in IEEE Electrification Magazine, Vol. 4, No. 2, pp. 45-57, June 2016.
- [4] <http://new.abb.com/marine/marine/systems-and-solutions/power-generation-and-distribution/onboard-dc-grid>
- [5] Y. K. Son, S. H. Choe, S. Y. Lee, S. Y. Kim, S. K. Sul, "Application of DC distribution IPS to a 10t Class Fishing Boat," Transactions of Korea Institute of Power Electronics, Vol. 22, No. 4, pp. 353-359, Aug. 2017.
- [6] J. F. Hansen and F. Wendt, "History and State of the Art in Commercial Electric Ship Propulsion, Integrated Power Systems, and Future Trends," Proc. IEEE, vol. PP, no. 99, pp. 1-14, 2015.