

하이브리드 전기 선박의 제로 에미션 존에서 속도제어에 관한연구

구명완*, 김성회**, 황정호**
 우리산업(주)*, 우리산업(주)**, 이모션텍(주)**

Study on the Speed Control in zero-emission zone of Hybrid electric ships

Myoung-Wan Koo*, Sung-hoe Kim**, Jung-Ho Hwang**
 WOORY INDUSTRIAL*, WOORY INDUSTRIAL**, EMOTIONTEK Co., Ltd**

Abstract - 청정지역으로 규정된 제로에미션 지역을 통과하기 위해서는 배터리를 포함한 전기시스템을 사용하여 외력 특성과 무관하게 안정된 운전성능을 유지해야만 한다. 또한 전기시스템이 항구에서 완충된 상태로 출항이 진행되어서 목표지점에 도착한 경우 뿐만 아니라, 운항 중 발전기 시스템에서 배터리를 충전하고 회항지점에서 항구까지 안정된 전력을 유지해야만 한다. 그러나 운항이 진행되면서 선체에 작용되는 외력을 극복하기 위해 추진력을 급속히 변화하게 된다. 이러한 방법은 제한된 에너지를 사용하는 전기시스템에서 급격한 속도 변화는 에너지 사용량을 증가시키고, 진동, 발전 등 추진체에 수명을 단축시키는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 전기시스템의 전력 변화량을 기반으로 제로에미션을 운항하는 운전방법을 제안한다. 제안된 속도제어방법은 모드별로 선정된 속도변화량을 기준으로 모터의 토크응답성과 전력 변화특성을 PSIM을 사용하여 모의시험하였고, 구동부 하드웨어를 구현하여 성능을 부하 모의시험장치에서 검증하였다.

1. 서 론

선박에 사용되고 있는 추진 장치는 엔진시스템을 사용하여 운전되고 있다. 대부분의 선박의 전기 시스템은 동기발전기를 이용하는 방식을 사용하고 있다. 하지만 이러한 방식은 이산화탄소를 배출하는 환경유해 시스템으로 규정하고, 최근에 정의된 제로 에미션 지역에서 전기 추진장치 및 시스템을 사용하도록 제도화하고 있다.

선박의 추진체로 항구에서 제로에미션 지역을 통과하기 위해서는 배터리를 포함한 전기시스템이 추진체에 작용되는 외부부하 특성과 무관하게 안정된 운전성능을 유지해야만 한다. 또한 항구에서 완충된 상태로 출항이 진행되어서 목표지점에 도착한 경우뿐만 아니라, 운항 중 발전기 시스템에서 배터리를 충전하고 회항지점에서 항구까지 안정된 전력을 유지해야만 한다.[4][5]

기존 선박의 운전방법은 제로에미션같은 근해를 운항 중 발생하는 외란 부하 특성변화가 추진체와 선체에 직접적인 부하로 작용되면 엔진출력을 변화하여 토크를 급변화시키므로써 추진체의 속도를 유지한다. 그러나 급격한 토크변화 운전은 추진체의 속도를 변화하므로 다량의 에너지 사용량을 증가 시키고, 진동, 발전 등 추진체에 수명을 단축시키는 단점을 가지고 있다.

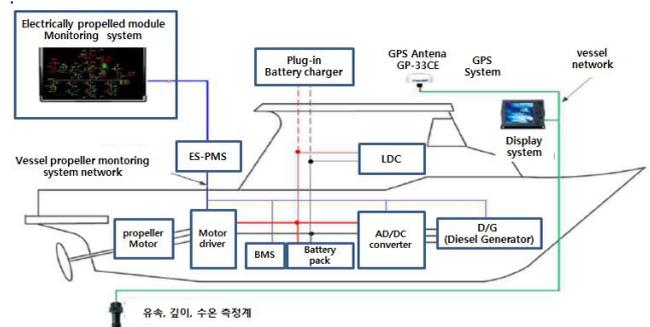
본 논문에서는 전기시스템의 전력 변화량을 기반으로 제로에미션을 운항하는 운전방법을 제안한다. 전력변화량 기반 제어는 항구를 출발한 시점에서 목표지점까지의 운항시 외력에 의한 상황을 모드별로 적용제어가 가능하기 때문에 동일한 운전방법에 비해 적절한 속도 제어의 신호가 높고 응답특성이 높다. 또한 외력에 의한 토크변화에 안정성을 확보하기 위한 빠른 속도응답특성은 전력시스템의 불필요한 소모를 줄일 수 있다.

2. 본 론

2.1 하이브리드 선박

하이브리드 선박은 기존의 선박에 전기 추진시스템을 적용한 구조로 <그림 1>와 같다. 추진전동기는 한국선급 및 강선규칙에 대해 전기설비 및 제어시스템의 전기추진설비 규격을 만족하도록 구성되어 있다. 시스템은 충전과 방전이 가능한 구조로 배터리를 기반으로 전기추진모듈 및 전력관리 시스템으로 구성되어 있다. 목표지점까지 운항을 위해서 GPS 시스템을 장착하고 있으며, 운항 중 발생하는 부하에 영향을 주는 바다의 정보를 확인하기 위한 통합센서를 장착하게 된다. 운항 중 전력관리는 추진부와 전력관리부를 통합하여 관리한다. 특히 추진부에서 사용되는 전력량은 운항의 속도변화에 빠른 응답과 최적의 토크를 유지하기 위한 최소한의 전력을 사용하도록 관리한다. 따라서 선박의 속도제어는 전력관리 시스템의 모니터링과 각종 센서의 위치정보, 운항 주변 환경정보를

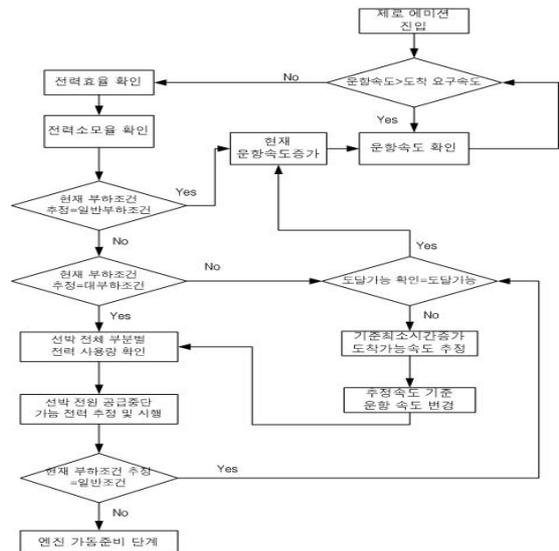
기반으로 전력관리시스템에서 최적의 속도를 지정하게 된다.



<그림 1> 통합전력시스템 구성도

2.2 운항속도 알고리즘

운항속도제어 알고리즘은 전기시스템이 안정되어 있고 선박이 제로 에미션 존에 진입 후 적용된다. 이후 정상적인 전원상태에서 정해진 시간에 도착을 목적으로 속도 제어를 수행하는 방법이다. <그림 2>은 운항을 위한 속도제어 방법을 나타낸다.



<그림 2> 제로에미션 진입 후 속도제어방법

현재 측정된 목표지점까지의 전력 소모율을 측정하고, 현재 부하조건을 고려하여 속도를 결정하고 운항방법을 결정하게 된다. 선체의 주변에서 측정된 운항 조건에 따라 부하의 변화량에 적용하는 속도 계산값은 요구속도와 현재 위치 목표 시간 등을 고려한 최저속도를 말한다. 운항중 기준속도보다 작아지면 현재속도로 도착지점까지 운항이 어렵게 되므로 속도를 증가시키기 위해 전력구동시스템에 대하여 최소전력소모율로 제어가 진행되어야 한다. 따라서 지령된 속도는 빠른 응답토크를 발생하고 시스템에 적응이 필요하게 된다.

2.3 추진 모터의 토크구현의 속도변화 전력변화량

장량의 전력을 고려한 운항속도 지령값은 추진축에 작용되는 토크변화가 저속에서 순간고속까지 광범위한 제어가 가능해야한다. [1]

빠른 과도응답을 갖는 토크 제어를 위하여 전동기의 고정자 전류를 자속각을 기준으로 자속 성분 전류와 토크 성분 전류로 분리시켜 독립적으로 제어하는 방식을 FOC(field-oriented control, 자속기준제어)라고한다. 동기좌표계의 토크성분 i_q 축은 기준좌표벡터와 쇄교되도록 제어되어야한다. d축전류를 0으로 제어한다고 가정한다면 토크방정식은 식 2-1과 같다.

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \lambda_m I_q \quad (2-1)$$

T_e : 전기유도 토크, P : 모터의 극수, λ_m : 영구자석에 의한 최대 쇄교 자속, I_q : 고정자 상 전류의 q 축 성분을 나타낸다.

FOC를 사용하면 현재 전력을 최대한 사용한 DCLink전압의 선형성을 유지 할 수있고, 고효율의 전력제어가 가능하며, 전 운전 영역에서 최대의 토크를 얻을 수 있다, 지령되는 속도값과 비례되는 최적의 전류응답에 따른 토크 변화로 확인 할 수 있다. [2][3]

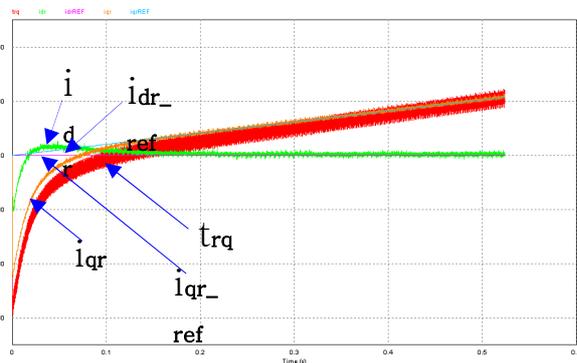
3. 모의 실험 및 실험

3.1 모의실험

본 논문에서 제안한 속도제어방법의 성능을 검증하기 위해 표1의 추진체에 사용되는 모터의 사양을 기준으로 PSIM을 사용하여 FOC에 의한 전류제어와 토크변화의 특성을 검증하였다. 영구자석형 동기모터는 광범위한 속도제어가 가능하고, FOC에 의해서 적절한 전력변화에 적용이 가능한 특성을 갖는다. 그림3은 제안된 방법에서 운항 거리와 제어시점의 전력을 기준으로 q축전류 변화와 토크성능을 속도변화를 실험하였다. 운항조건에서 DCLink 전압을 250[Vdc], 240[Adc]를 인가하였다. q축 전류가 변화함에 따라 토크가 변화고 진행되었다. 또한 외부부하가 공급되었지만 토크가 상승되고 있지만 q축전류가 빠르게 안정되었다.

〈표 1〉 실험대상 모터의 사양

제품명		16P18S
속도[rpm]		3500
무부하	역기전력(RMS)	221.89
	Cogging토크(pk2pk)[Nm]	1.796
	Cogging토크/RatedTorque[%] (RatedTorque550Nm기준)	0.33
부하(전류원)	부하 teeth 자속밀도(max.)[T]	1.54
	부하 yoke 자속밀도(max.)[T]	1.07
	평균 토크 [Nm]	546.37
	전류(RMS)[A]	288
	전류밀도[A/mm ²]	4.44
	출력[kW]	200.26



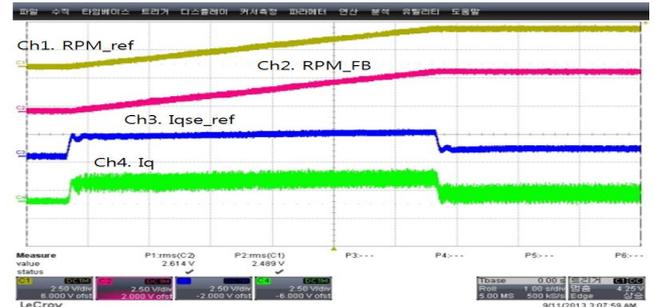
〈그림 3〉 PSIM을 이용한 모터 토크 제어 시뮬레이션 결과

3.2 실험

모의실험에서 확인된 성능을 변동 속도 변화량에 따른 전류변화성능 평가를 진행하였다. 추진전동기는 모의시험 장비에서 속도에 따른 전류 변화시험은 표2와 같다. 초기운항 속도는 1800[rpm]으로 설정하였고 외부 부하 조건 없이 정속도 회전 시켰다.

〈표 2〉 추진체 성능평가 시험 및 설치 구성

전압 [Vrms]	전류 [Arms]	출력 [W]	속도 [RPM]	토크 [Nm]	입력 [W]	효율 [%]
249.12	239.62	102,960	1800	419.5	112,590	91.45



〈그림 3〉 속도변화에 따른 Iq전류 제어 실험 결과

그림3은 전체 전력의 40%에서 40[rpm]에서 1800[rpm]으로 설정하고 모터를 회전하였다. 속도가 상승하면서 모터의 토크가 증가로 인한 q축 전류가 증가되었고, 등속 구간에서 전류가 감소되어 정상적으로 토크가 제어됨을 확인하였다.

4. 결 론

제로에미션을 이동하는 하이브리드 선박의 전력은 배터리를 충전하고 회항지점에서 항구까지 안정된 전력을 유지해야만 한다. 또한 목적지 운항경로를 운항하기 위해서는 최적의 속도제어가 필요하다. 영구자석형 동기모터를 사용한 추진체를 사용하면 광범위한 토크기반으로만 속도제어가 가능하며 최적의 전류제어가 가능하다. 하지만 제한된 전력시스템에서는 저전력에서도 선형 특성으로 갖는 안정된 제어방법이 필요하다. 본 논문에서는 운항에 변화되는 선체에 작용되는 외력을 극복하고 불안정한 전력상황에서 안정된 추진체의 운전을 위한 방법을 제시하였다. 모의 실험에서 FOC방법을 적용하여 전력변환기의 속도 적응력을 확인하였고, 실험에서 낮은 전력으로 운전이 가능하였다. 제안된 방법은 추진체 운전이 주변 환경변화와 무관한 광범위한 전력운전이 가능하였다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 산업자원의 지원으로 한국산업기술 평가관리원(Kiet)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Habetler T G, Profumo F, Pastorelli M. (2008), "Direct Torque Control of Induction Motor Machines Using Space Vector Modulation", IEEETrans on Industry Applications, VOL.28, pp.1045-1053.
- [2] Changjiang Zhan"Dynamic Voltage Restorer Based on Voltage-Space-Vector PWM Control". IEEE Transactions on Industry/Trans on Industry Applications, VOL.37, NO.6, pp.1885-1863.
- [3] Huazhong Xu, Jinquan He, Changzhe Chen. (2009) "Design of Vector Controller of PMSM Based on Pan-Boolean Algebra Self-adapting PID Control", Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation.
- [4] 한국선급 선급 및 강선규칙 "제6편 전기설비 및 제어시스템 - 제 1 장전기설비 제 17절(진기추진설비)"
- [5] 김성희. 제로 에미션 존에서의 하이브리드 전기 선박의 속도 제어방법. 공개특허 10-2015-0042082, 2015.