

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]

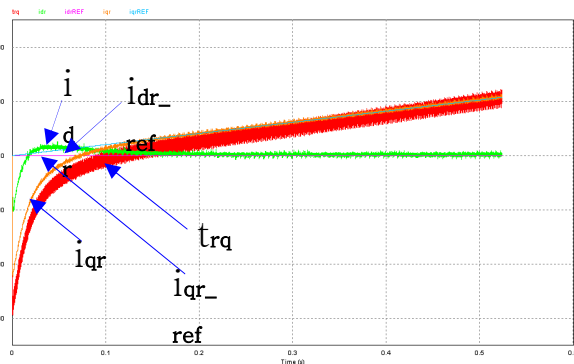
3. 모의 실험 및 실험

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. q축전류가 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



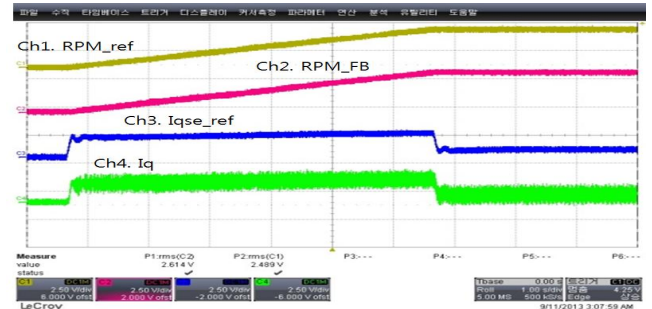
〈그림 3〉 PSIM을 이용한 모터 토크 제어 시뮬레이션 결과

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 q축전류가 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 목적이 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(전기추진설비)"
- [5] 김성희. 제로 에미션 존에서의 하이브리드 전기 선박의 속도 제어방법. 공개특허 10-2015-0042082, 2015.