

새유달호 축기전력의 특성 분석에 관한 연구

안병원¹ · 임명환[†]

(Received October 30, 2014 ; Revised December 3, 2014 ; Accepted January 2, 2015)

A Study on Characteristic Analysis of Shaft Electromotive Force in SAEYUDAL

Byong-Won Ahn¹ · Myeong-Hwan Im[†]

요약: 전기기기나 엔진의 축은 여러 가지 원인으로 축기전력이 발생한다. 이런 축과 베어링이 윤활유로 절연되어 있어 콘덴서를 이루고 있고, 콘덴서와 같은 역할로 기전력을 축적하고 있다. 이 축 기전력은 선체에 비해 극히 일부를 제외하고 +전압을 갖고 있다. 이 +전압이 축의 전기 스파크를 일으켜 부식을 야기시킬 수 있다. 이 부식을 막기 위해 선박에서는 샤프트 그라운드 시스템을 설치하여 운용하고 있다. 이 축기전력을 측정하는 프로펠러 축의 전압과 메인엔진의 회전수를 동시에 측정하였다. 측정장치는 내셔널인스트루먼트사의 24비트 A/D컨버터를 사용하여 측정하였고, 프로그램은 Lab View를 사용하였다.

본 논문은 축에 발생하는 기전력을 분석하였고, 분석결과를 이용하여 모델링을 하였다. 결과로 축기전력은 메인엔진의 회전수에 따라 비례하다가 일정회전수를 넘어가면 감소하는 경향을 보였다. 후진보다는 전진이 축기전력이 높은 결과를 얻었다. 전체기전력에 비하면 지구자기의 기전력은 미미하였다.

주제어: 축기전력, 축기전력 계측, 새유달호, 부식

Abstract: Electromotive forces (EMF) are generated by electrical equipment and engine shafting with a number of reasons. The shaft and bearing which is insulated by lubricating oil acts as a condenser, being able to store this EMFs. The electromotive force on the hull and shaft, with very few exceptions, has anode voltage on it. Electrical spark of the anode voltage on the shaft may lead to corrosion. Hence, in order to prevent ship's shaft and propeller corrosion, shaft grounding system are installed and operated. The shaft EMF voltage measurement methods was measured using 24bit 2 channels A/D converter of NI company and Labview software. 1 channel was propeller shaft's voltage and the other was M/E engine rpm gauge.

In this paper, the generated electromotive force was analyzed and modeled with result of the analysis. As a result, the main shaft's electromotive force was in direct proportion to the main engine's revolution. However, over the specific R.P.M., it was reduced gradually. In addition, higher electromotive force on the shaft was identified during engine's ahead direction than the astern direction. The generated electromotive force is only minor compared to the shaft grounding system.

Keywords: Shaft electromotive forces, The measurement of Shaft electromotive forces, Training Ship Saeyudal, Corrosion

1. 서론

선박은 선체 방식 방오 장치를 설치하면 해수에 잠긴 선체가 부식이 되는 것을 방지하고 해초류 등의 부착으로 선체가 오손되어 선속이 떨어지고 그로 인해 연료의 소모량이 증가하는 것을 사전에 예방할 수 있다[1].

부식이란 금속이 주위와 반응을 일으켜서 다른 화합물로 변화하거나 소모되는 현상으로 화학적 부식과 전기화학적 부식으로 나눌 수 있으며, 선체부식은 주로 전해질 용액인 해수가 존재할 때 일어나는 전기화학적 부식이다.

선박의 방식법은 주로 전기화학적 방식법, 즉 음극방식법을 사용하고 있으며 대표적인 방법으로 외부전원법이 있다. 이러한 방식 방법에 의해 선체보다 높은 전압으로 선체는 음극으로 부식되지 않지만 이 기전력이 해수와 프로펠러 축을 타고 전류가 흐를 수 있는 구조로 갖고 있다. 축과 베어링 사이에는 윤활유가 들어 있어 절연이 되어 있지만 부하가 많이 걸려 베어링과 축사이의 거리가 적어지면 전류가 흘러 축에 침식이 생기고 이 침식작용으로 인한 축의 강도를 약하게 하는 영향도 있다.

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9620-5419>): Training Ship, Mokpo National Maritime University, 91, Haeyangdaehak-ro, Mokpo-si, Jeollanam-do, Korea, E-mail: imhys@mmu.ac.kr, Tel: 061-240-7430

¹ Department of Marine Engineering, Mokpo National Maritime University, E-mail: ds4cbt@mmu.ac.kr, Tel: 061-240-7214

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

본 연구에서는 주기판의 회전속도와 기전력, 지구자기의 영향을 분석하기 위한 8 방위로 향해 하면서 축기전력을 측정하였다. 측정된 자료로 기전력의 거동 분석, ICCP (Impressed Current Cathodic Protection) 장치와의 관계를 검토한 결과 지구자기의 영향을 받았고, ICCP를 가동 후 측정하고, 정지 후 측정해 보았으나 영향을 받지 않았다. 결국 축 기전력은 엔진의 회전수와 밀접한 관계가 있다는 것 알 수 있었다.

2. 실험장치와 방법

Figure 1은 실험 장치를 나타낸다. 축기전력을 측정하기 위해 선체를 접지선으로 하고 축의 전압을 브러시를 통해 입력을 받고, 또 한 채널은 메인엔진의 회전수를 순차적으로 입력을 받아 A/D변환장치를 이용하여 측정하고 그 값을 컴퓨터에 기록하였다. 제어프로그램은 Lab View를 이용하였고 측정값의 날짜와 시간, 헤딩, 좌표, 메인엔진 회전수를 기록하도록 하였다.

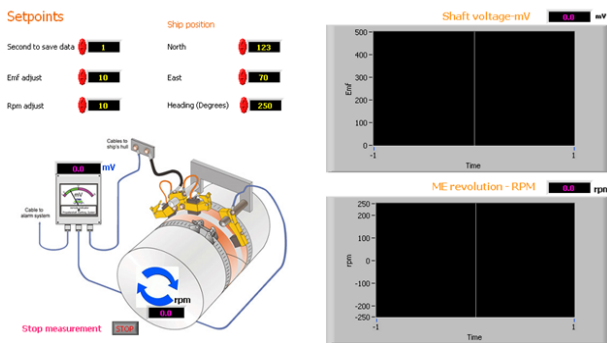


Figure 1: A schematic of the EMF measurement apparatus of ship

Figure 2는 축기전력의 측정방법을 나타내고 있다. 축기전력의 측정은 제주도 동쪽해역에서 측정하였고, Figure 2와 같은 패턴으로 실험을 수행하였다. Figure 2 (a)와 같이 8방위를 측정하였으며, Figure 2 (b)는 남북으로 각 화살표당 5분씩 측정하였고, 정지에서 FULL AHEAD, 정지에서 FULL ASTERN의 순으로 기전력을 측정하였다.

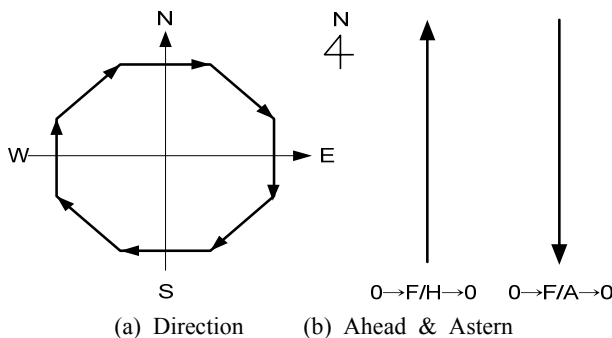


Figure 2: An experimental method of ship's heading

Figure 3은 Figure 2 (a)의 방법으로 하여 측정한 값을 그래프로 나타낸 것이다. 메인엔진의 회전수는 항해속도인 221 rpm으로 일정하게 유지한 상태에서 횡측은 선박의 헤딩이고, 종측은 기전력으로 단위는 mV이다. 헤딩이 35도 부근과 315도 부근에서 가장 큰 값을 가지고 130도에서 220도 사이에서 가장 적은 값을 가지는 것으로 나타났으며 이것이 지자계의 영향으로 18 mV정도가 지자계에 의한 영향으로 사료된다. 그 이유는 다른 조건은 거의 일정하고 방향만 바뀌었기 때문이다. 그러나 조류와 같은 외부요인이 있을 수 있지만 정량적으로 분석하기는 쉽지 않은 실정이다.

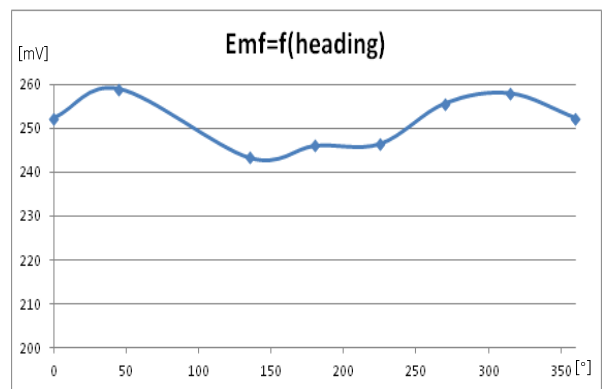


Figure 3: The amplitude of the EMF by Ship's heading

Figure 4는 지자계와 선박의 헤딩이 기전력에 영향을 미치는 원리를 나타내고 있다. 그림에서 실선은 지자계에 의한 자기력선을 나타내는 것으로 선박의 헤딩이 0도와 180도에서는 프로펠러가 지자계를 쇄교하여 기전력이 크게 되고 90도와 180도에서는 기전력이 이론적으로 0에 가까울 것이다. 그러나 프로펠러가 판으로 되어있기 때문에 어느 정도는 발생할 수 있을 것으로 생각되나 실험하기는 어렵다. 지구자계가 약하고 측정단자를 뽑기가 쉽지 않다. 따라서 Figure 3에서 160도와 330도 부근에서 최저점과 최고점이 나타난 것이 지자계의 영향으로 볼 수 있다. 지구자계와 자이로컴파스의 차이(진북과 자북의 차이)가 존재하기 때문이다.

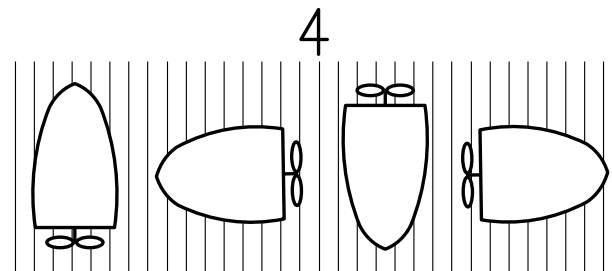


Figure 4: An effect on the EMF by Ship's heading & earth magnetic field

Table 1: Harbour speed table of Saeyudal

AHEAD		Harbour Load	ASTERN	
RPM	speed (kT)		RPM	speed (kT)
99	5.8	DEAD SLOW	99	3.8
124	8.0	SLOW	124	5.2
167	10.5	HALF	167	7.0
207	12.4	FULL	207	8.8

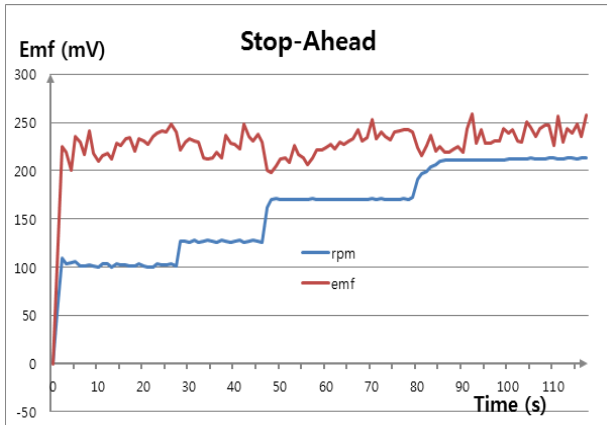


Figure 5: Characteristic of shaft EMF according to the revolution

Table 1은 새유달호의 하버스피드테이블을 나타내고 있다. 엔진 스로틀에 맞는 메인엔진의 회전수를 나타내는 표이다. 항해의 최고 회전수는 224 rpm이다.

Figure 5는 메인엔진을 순차적으로 속도를 높여간 것을 나타내고 있다. Figure 5에서 계단으로 나타나는 것이 엔진의 회전수이고, 톱니처럼 나타난 그래프가 축기전력이다.

처음 계단은 99 RPM에서 Table 1과 같이 DEAD SLOW AHEAD, 두 번째는 SLOW AHEAD, 세 번째는 HALF AHEAD, 네 번째는 FULL AHEAD를 나타낸다. 회전수가 변할 때마다 약간의 오버슈트 생기고 시간이 가면 축기전력이 증가하는 경향을 보이고 있다. 이것은 중간 축과 베어링사이의 윤활유가 기름콘덴서를 형성하고 있는 것으로 분석할 수 있다[2][3].

Figure 6는 중간축의 모델링이다. 엔진이 회전할 때는 축과 베어링사이가 기름으로 절연이 되지만 회전수가 0이 되면 접점이 닫혀 콘덴서에 충전된 전하는 방전된다. 즉, 베어링과 축이 금속접촉을 하여 저항이 0이 되어 기전력이 없어지게 된다.

Figure 7은 Figure 2 (b)의 방법을 실험한 전속으로 전진 상태에서 정지를 거쳐 전속으로 후진한 경우의 기전력을 나타내는 특성곡선이다. 전속에서 단계적으로 속도를 낮추면 DEAD SLOW에서 축기전력이 0으로 되고 다시 역전을 시키면 축기전력이 전진보다 60 mV 적은 기전력이 유

기되고 스피드가 올라가면 기전력이 감소하다가 FULL ASTERN에서는 기전력이 0이 되었다. 이것은 선체의 회생양극에서 나오는 기전력이 모두 전수방향으로 되어 축기전력이 생기지 않는 것으로 해석할 수 있다. 또 다시 스피드를 낮추면 기전력이 생기는 것을 나타내고 있다.

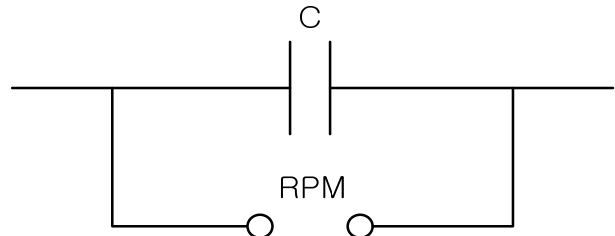


Figure 6: Modelling of middle shaft bearing

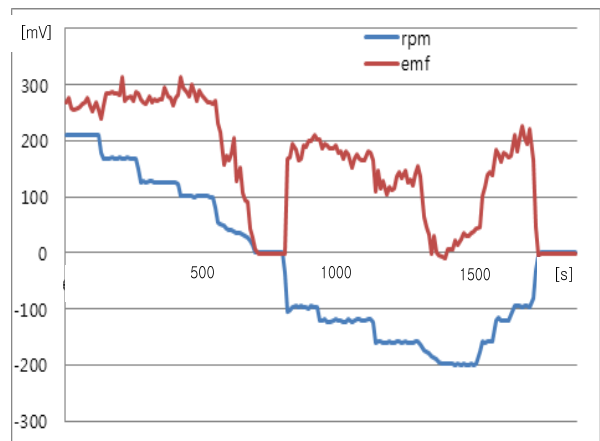


Figure 7: Characteristics of shaft EMF at forward & reverse revolution

Figure 8은 Figure 2 (b)의 방법으로 실험한 결과 데이터로 엔진회전수에 대한 기전력의 값을 나타낸 그래프이다. 전·후진 상태에서 DAED SLOW에서 가장 큰 값을 갖는 것으로 나타내고 있다. 엔진이 시동되어 최저 회전수인 DEAD SLOW의 스피드에서 축기전력은 최대값으로 포화됨을 알 수 있다. 이 결과로 보면 해수의 유동과 축기전력은 관련이 있는 것으로 판단된다. 속도가 상승하면 프로펠러에 의해 주변의 기포가 많이 생기고 외부의 회생양극에서 발생하는 기전력에 저항이 증가하는 것으로 사료된다.

Figure 9는 축기전력에 의해 손상된 프로펠러와 축, 밴드를 나타내고 있다. 횡축은 엔진의 회전수이고, -는 역회전(후진)을 의미한다. 종축은 기전력으로 mV를 나타낸다. Figure 9 (a)는 프로펠러의 끝단에서 전류가 흘러나가므로 전기적으로 부식된 것을 나타내고 있고, Figure 9 (b)는 축이고, Figure 9 (c)는 축에 밴드를 연결하여 접지를 잡는 장치인데 접촉이 불량하여 녹과 부식이 발생한 것을 나타내고 있다.

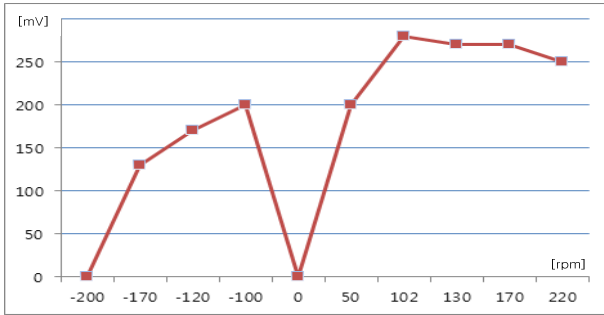


Figure 8: Characteristics of shaft EMF according to M/E RPM

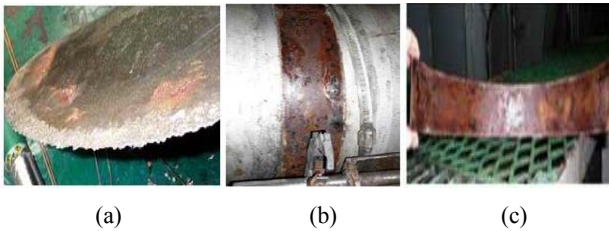


Figure 9: Photos of the damage caused by shaft EMF [4]

4. 결 론

이상과 같이 실습선 새유달호에서 축 기전력을 측정 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 축기전력은 엔진의 회전수에 관계가 있고 속도에 따라 증가하다가 다시 감소하는 특성이 있다.
2. 전진보다 후진에서 축기전력이 적었고, FULL ASTERN에서는 거의 제로(0)가 되었다.
3. 프로펠러와 중간축 베어링은 중간에 윤활유가 들어 있어 콘덴서와 등가하게 모델링을 하였고, 기전력의 특성은 콘덴서의 특성에 의해 시간이 가면 기전력이 증가하다가 포화하는 성질을 갖고 있었다.
4. 속도가 빨라지면 축기전력이 감소하는 것과 후진에서 기전력이 감소하는 것으로 보아 해수의 흐름에도 영향이 있는 것으로 판단된다.

축기전력의 발생 원인으로는 지자계, 희생양극, ICCP, 엔진 실린더내부의 고온고압과 축과의 차이에 의한 톨슨 효과 등으로 추정하고 있으나, 이에 따른 구체적인 데이터 베이스를 구축하기위해 지속적인 연구가 진행 중에 있고, 어느 정도가 축기전력에 영향을 미칠 것으로 추정되는 프로펠러의 직경 등은 지속적인 연구를 진행할 계획이다.

References

- [1] <http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=tkfkddlduiddn&logNo=120196441936&beginTime=0&jumpingVid=&from=section&redirect=Log&widgetTypeCall=true>, Accessed June 10, 2014.
- [2] Dave Busse, Jay Ecdman, "Characteristics of shaft voltage and bearing currents," IEEE Industry Applications Magazine. p. 22, 1997.
- [3] M. Costello, "Shaft voltage and rotating machinery," IEEE Transactions of Industry Application Society, vol. 29. no.2, p. 523, 1993.
- [4] M. K. Oh, A Study on Characteristic Investigation and Analysis of Shaft Electromotive Force, M.S Thesis, Mokpo maritime university graduate school, 2014.