

가변피치 프로펠러의 축기전력 특성에 관한 연구 - 세계로호를 중심으로 -

박경민* · 임명환** · 최상범** · 안병원****

* 목포해양대학교 해양경찰학부 교수, ** 목포해양대학교 승선실습과정부 교수,
*** 목포해양대학교 기관시스템공학부 교수

A Study on the Characteristics of Shaft Electric Motive Force of Controllable Pitch Propeller - Focusing on the M/V Segero -

Kyung-Min Park* · Myeong-Hwan Im** · Sang-Bom Choe** · Byong-Won Ahn****

* Professor, Division of Coast guard, Mokpo National Maritime University, Mokpo, Republic of Korea

** Professor, Division of Cadet Training, Mokpo National Maritime University, Mokpo, Republic of Korea

*** Professor, Division of Marine Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo, Republic of Korea

요 약 : 대부분의 기계는 여러 종류의 금속으로 구성된다. 특히 선박의 축계는 프로펠러 날개의 황동과 스테인리스로 된 축으로 이루어져 있다. 이 이종금속이 바닷물의 전해액에 들어가면 볼타 전지를 이루고, 기전력이 발생된다. 이 기전력은 축계를 받치고 있는 베어링과 축을 전기부식 시키는 원인이 된다. 선박에서는 이 부식을 막기 위해 선박에서는 축 접지 시스템을 설치하여 운용하고 있다. 본 연구는 가변피치 프로펠러의 축기전력을 측정하기 위하여 추진축의 전압과 주기관의 회전수를 동시에 측정하였다. 측정장치는 내셔널인스트루먼트사의 24bit A/D컨버터를 사용하여 측정하였고, 프로그램은 LabVIEW를 사용하였다. 주기관의 회전수와 축기전력의 발생, 블레이드 각도에 따른 기전력과, 배의 항해 방향에 따른 축기전력을 측정하고 분석하였다.

핵심용어 : 이종금속, 축기전력, 전기부식, 축 접지 시스템, 가변피치 프로펠러

Abstract : Most machines are made of several types of . In particular, the shaft system of the ship consists of the brass of the propeller blade and the stainless steel of the shaft . When dissimilar the electrolyte solution of seawater, a voltaic cell and a shaft electromotive force is generated. This electromotive force causes electrical corrosion of the bearing and shaft supporting the shaft system. prevent this corrosion, a shaft grounding system is installed in ships . Asfortheexperimentalmethod,variousinformationacquired by designing a program to periodically measure the electromotive force of the controllable pitchpropeller) system using an A/D converter of NI. This study analyzed the generation and characteristics of accumulator electromotive force for CPP and considered the installation location of the grounding system to remove the accumulator electromotive force.

Key Words : Blade and the stainless steel, Shaft electromotive force, Corrosion, Shaft grounding system, Controllable pitch-propeller

1. 서 론

선박의 축은 높은 인장강도, 항복응력, 충격강도, 탄성계수, 피로한도 및 양호한 연성, 용접성, 내식성의 성질을 가져

야 한다. 상선의 경우 탄소강과 합금강이 주로 사용되고 있다(Jo et al., 2020a). 프로펠러는 매우 큰 추력을 받으면서 선외에서 회전하고 있으므로 재료나 설계의 부적합은 절손이나 휨을 일으킬 수 있다(Lee et al., 2018). 프로펠러의 재료로서 필요한 성질은 주기관의 변동하중이나 수류에 의한 영향을 주기적으로 받고, 해수에 의한 영향을 받기 때문에 충분히 견딜 수 있는 강도와 내식성이 필요하고, 가공과 보수의

* First Author : allre@mmu.ac.kr, 061-240-7216

† Corresponding Author : ds4cbt@mmu.ac.kr

용이성, 가격이 저렴해야 한다(Baik, 2007). 선박에 주로 사용되는 프로펠러의 재료는 황동합금이나 청동합금이 주로 사용된다(Jo et al., 2020b). 선박의 축 재료와 프로펠러의 재료는 다르므로 화학 에너지를 전기에너지로 변환하는 갈바닉 셀(Galvanic cell)이 형성되므로 선체의 부식속도는 가속된다(Oh and Lee, 2004). 이를 방지하기 위해 선체의 외판에 희생양극을 부착하거나 일정량의 전류를 선체에 공급하는 강압전류 음극 보호 장치(Impressed Current Cathodic Prevention)를 사용한다(Kim, 2010; Oh, 2004).

프로펠러와 축계는 허브로서 고정되고, 선체가 해수에 잠겨 전해질을 이루어 볼타전지를 만든다. 이 볼타전지에 의해 기전력이 발생되고, 선박의 축과 프로펠러는 전위차가 발생하여 전자의 이동이 생기며 이는 기전력이 해수와 추진축을 통해 전류가 흐를 수 있는 구조가 된다.

축은 중간축 베어링에 의해 지지된다. 중간축 베어링은 저널 베어링과 윤활유, 오일 실로 구성되어 있으며, 이는 도체인 선체와 축 사이를 유전체인 고무와 윤활유가 들어 있는 커패시터로 작용한다(Chen and Lipo, 1998).

정지했을 경우에는 축의 무게로 인해 베어링과 축이 접지되지만 주기관이 회전하면 베어링과 축은 떨어져 전하를 축적하고, 정지 시 충전된 전하가 방전하면서 축에서 베어링으로 전류가 흐르면서 점식이 발생한다. 이 점식은 축의 강도를 약화시키는 노치로 작용되어 축의 절손의 원인이 된다(Plazenet et al., 2018).

2010년 Im은 회전기에서 발생하는 축 전압의 발생원인, 대책 그리고 측정 방법에 대해 연구를 진행하였다(Im, 2010). 2014년 Oh는 선박의 축기전력 발생원인은 엔진의 회전수, 희생양극의 양 그리고 해수의 흐름이라는 것을 실험을 통해 확인하였고(Oh, 2014), 2015년 Im and Ahn은 고정 피치 프로펠러(FPP, Fixed Pitch Propeller) 시스템의 축기전력은 엔진의 회전수에 비례하다가 일정 회전수 이상 증가하면 감소하는 경향과 선수의 방향에 따른 변화도 확인하였다(Ahn and Im, 2015). 2016년 Kim은 선박에 적용되고 있는 축 시스템의 재료를 자연전위 실험과 유동 실험을 통해 축기전력의 온도와 회전수에 따른 축기전력 변화를 확인하였다(Kim, 2016).

가변피치 프로펠러(CPP, Controllable-Pitch Propeller)는 저속에서의 우수한 조종성능으로 인하여 Ro-Pax, 쇄빙선, Shuttle tanker 그리고 Dynamic Positioning이 적용되고 있는 FPSO 선박 등에서도 많이 도입되고 있으며(Kim et al., 2013), 목포해양대학교의 실습선 세계로호도 CPP 시스템으로 추진되고 있다.

본 연구는 기존의 FPP가 아닌 가변 피치프로펠러에 대한

축기전력의 발생과 특성을 연구하고, 축기전력을 제거하기 위한 접지시스템의 설치위치에 대한 고찰도 진행하였다. 주기관의 회전수와 블레이드의 각도 등 다양한 경우에 대하여 기전력을 측정하여 기전력의 파형을 분석하고, 접지시스템의 설치 위치의 비교를 통해 축의 전식을 방지하는 방안을 검토하였다.

2. 가변 피치 프로펠러

가변피치 프로펠러의 운전방식은 픽스드(Fixed) 모드와 콤비네이터(Combinator) 모드가 있다. 픽스드 모드는 일반적인 CPP운전 방식으로 엔진의 RPM을 MCR의 85%로 고정하고 프로펠러 피치각을 조정하여 선박의 속도를 조절하는 운전하는 방식이다. 콤비네이터 모드는 선박의 속도에 따라 엔진 RPM과 프로펠러 피치각을 최적으로 조정하는 것이다. 이 모드는 사전에 프로그래밍 된 값에 따라 자동으로 동시에 변화하는 운전방식으로 선박에서 주로 운전된다.

Table 1. Harbour speed at fixed mode

Telegraph Order	RPM	Pitch (%)	Ship's speed (kn)	
			Ballast	Scantling
Nav. Full	141	97	18.8	17.7
Full		63	13.8	13.5
Ahead Half		40	10.6	10.5
Slow		25	9.0	9.0
D.Slow		10	8.3	8.3
D.Slow		-10	4.9	4.9
Slow		-30	6.2	6.2
Astern Half		-45	7.4	7.3
Full		-55	8.9	8.7
Nav. Full		-65	10.3	9.8

Table 1과 Table 2는 각각 실험 선박의 픽스드 모드와 콤비네이터 모드에서의 선박 속도를 나타낸 것이다. 픽스드 모드에서는 엔진 RPM을 같은 회전방향 141 RPM으로 고정하고 전진(Ahead), 후진(Astern)에 따라 피치각을 변화시켜 선박의 속도를 조정하고, 콤비네이터 모드로 운전될 경우 TELEGRAPH ORDER에 따라 엔진의 RPM과 피치가 변화함을 알 수 있다.

Table 2. Harbour speed at combinator mode

Telegraph Order	RPM	Pitch (%)	Ship's speed (kn)		
			Ballast	Scantling	
Ahead	Nav. Full	141	97	18.8	17.7
	Full	116	83	13.8	13.5
	Half	97	75	10.6	10.5
	Slow	88	65	8.0	8.0
	D.Slow	73	50	5.5	5.5
	D.Slow	110	-40	3.6	3.6
Astern	Slow	121	-50	5.3	5.3
	Half	127	-55	7.4	7.3
	Full	135	-62	8.9	8.7
Nav. Full	141	-65	10.3	9.8	

3. 실험 구성

실험에 사용된 선박인 세계로호는 총톤수 9,196 톤, 주기 관 마력 6,618 kw의 재원을 가지고 있다. 프로펠러의 직경은 4,000 mm, 블레이드 4개, 피치는 100%의 피치각에서 4.03 m, 재질은 CuNiAl로 되어 있다.

선박의 접지(Earthing)장치는 조선소에서 건조 시 플라이휠(Fly wheel)과 스텐 튜브(Stern Tube)에 설치된 상태로 진수되었다. Fig. 1은 축계 시스템과 측정 장비의 설치를 나타낸 것으로 측정 장비 하나는 플라이휠, 다른 하나는 스텐 튜브 부근에 설치하여 양쪽의 기전력을 비교하고자 한다.

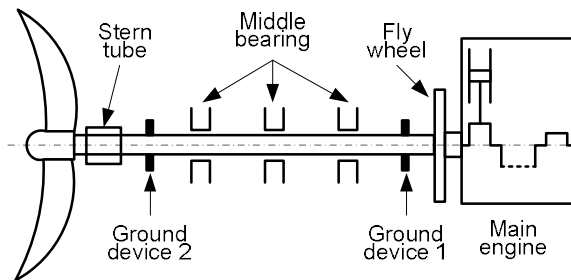


Fig. 1. Shaft system and Installation of measuring device.

축기전력을 측정하기 위한 장치는 National Instrument사의 cDAQ-9174 새시(Chassis)와 NI-9207 모듈(Module)을 사용하였다. cDAQ-9174 새시는 휴대용 센서 측정 시스템을 위해 설계된 버스전원공급 USB 새시이고, NI-9207 모듈은 전압 및 전

류 입력모듈로서 해상도는 24 bits이며, 입력범위는 $\pm 10.2[V]$ 와 $\pm 21.5[mA]$ 이다. 측정 장치의 구동을 위해 LabVIEW 프로그램의 DAQmx 모듈을 사용하였으며, Fig. 2는 프로그램의 블록 다이어그램을 간략히 나타낸 것이다.

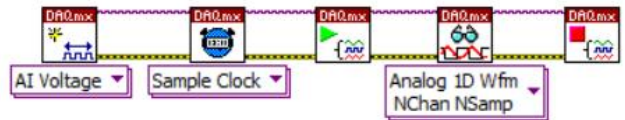


Fig. 2. Block diagram of measuring program.

Fig. 3은 측정 장비의 GUI(Graphic User Interface)로서 2개의 전압입력채널, 전압측정 범위, 샘플링 주기, 샘플 수를 설정한 후 측정한 데이터를 표시하고 저장하도록 하였다. 실험 선박의 축 회전속도는 1초마다 선박의 데이터 로그장치에 저장되므로 축기전력 역시 2개의 입력채널에서 시간 데이터와 함께 1초마다 저장하도록 하였다.



Fig. 3. GUI of measuring device.

4. 실험 및 고찰

실험은 2021년 7월 26일, 9월 2일, 대한민국 서남해 341N, 124E의 해역 부근에서 실시하였다. 실험 방법은 컴비네이터(Combinator) 모드, 고정(Fixed) 모드 그리고 선수 방향(Heading) 변경 3가지 경우의 축기전력 변화를 확인하였다.

4.1 컴비네이터 모드

Fig. 4는 침로를 180°로 유지한 채 컴비네이터 모드에서

선수(FORE)와 선미(AFT) 양쪽 모두 접지 시스템을 작동한 상태에서 RPM과 프로펠러의 피치각에 따른 기전력을 선수와 선미에서 측정된 결과이다. 그림의 x축은 운전시간(sec), y축은 기전력(mV), RPM, 그리고 Pitch 각(%)의 값(Value)을 의미한다. 실시결과 기전력은 RPM과 피치각에 크기에 비례하는 특성을 보여주고 있다. 또한, 선미의 기전력이 선수의 기전력 보다 평균적으로 약 74 mV 높게 측정되었다.

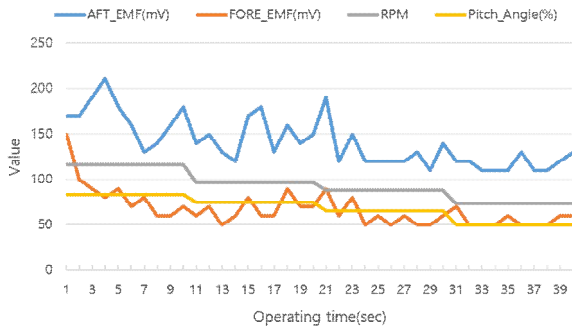


Fig 4. Shaft EMF with both side connected in combinator mode.

Fig. 5는 콤비네이터 모드에서 선미의 접지 시스템은 차단하고 선수의 접지 시스템만 작동한 상태에서 기전력을 측정된 결과이다. 기전력은 양쪽 모두 연결한 Fig. 3과 같이 RPM과 프로펠러의 피치각에 비례하는 특성을 보이고 있으며, 전체적인 기전력의 값은 선수와 선미 양쪽을 연결한 경우보다 약 170 mV 정도 높게 측정이 되었다.

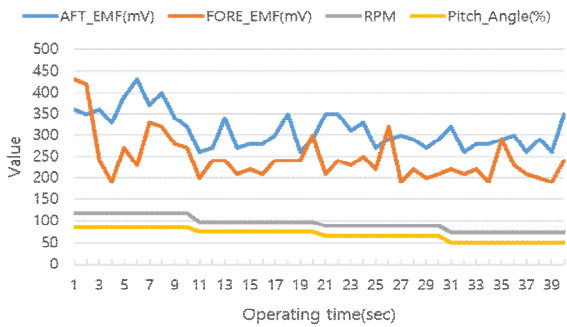


Fig 5. Shaft EMF with Fore side connected in combinator mode.

Fig. 6은 콤비네이터 모드에서 선수의 접지 시스템은 차단하고 선미의 접지 시스템만 작동한 상태에서 기전력을 측정된 결과로서 RPM과 피치각이 감소하는 구간에서는 텔레그래프(Telegraph)가 전진이며, 증가하는 구간에서는 텔레그래프가 후진이다. 전체적인 기전력의 크기는 선수와 선미 모두 접지한 Fig. 4의 기전력의 크기와 약 10 mV 정도만 차이가 있었다. 전진구간에서의 기전력의 크기는 RPM과 프로펠

러의 피치각에 비례하는 특성을 보이고 있으나, 후진 구간에서는 큰 변화를 보이지 않았다. 전진 구간이 후진 구간보다 기전력이 높게 측정되었으며, 특이한 것은 피치각이 0인 경우 선수의 기전력이 높게 측정되었다. 이는 일반적으로 중립에서 정지시킬 때 보다 많은 전하가 베어링과 축에 축적이 되어 그라운드 장치가 없을 경우 위험한 것을 알 수 있다.

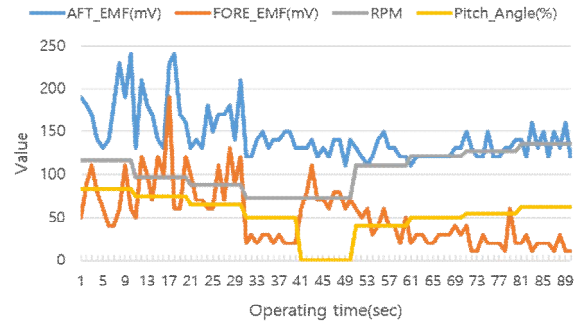


Fig 6. Shaft EMF with AFT side connected in combinator mode.

4.2 픽스드 모드

Fig. 7은 RPM을 141로 일정하게 한 고정모드에서 프로펠러의 피치각 변화에 따른 기전력의 측정을 한 결과이다. 실험 장소는 콤비네이터 모드와 비슷한 해역이다. 실시결과 콤비네이터 모드와는 달리 RPM과 피치각의 변화에도 기전력의 크기는 변동의 폭이 적었으며, 전체적인 값도 감소되어 측정되었다. 이는 RPM이 기전력의 변화에 영향이 높은 변수로 판단된다.

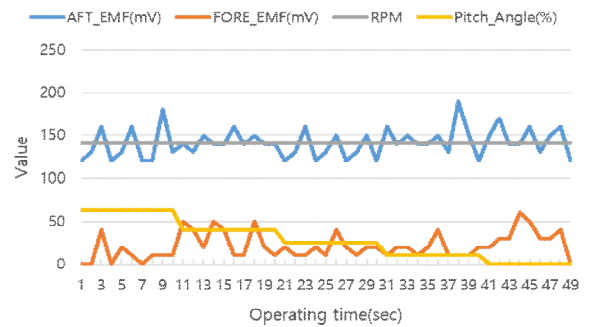


Fig 7. Shaft EMF with AFT side connected in Fixed mode.

4.3 선회

Fig. 8은 Fig. 9의 실험을 위해 선박이 운항한 궤적이다. 접지는 선수와 선미 모두 연결하였으며, 139 RPM으로 회전수가 고정된 상태에서 프로펠러의 피치각 93%, 러더(Rudder) 2°로 고정한 상태에서 선수 방향(Heading)을 10° 단위로 기전력을 측정하는 실험을 수행하였다.

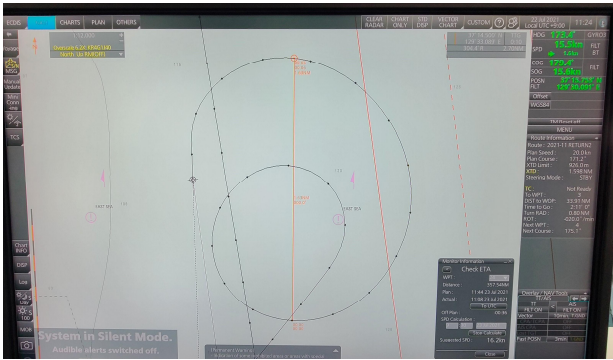


Fig 8. The orbit by direction of propulsion.

측정결과는 동서방향과 서동방향에서 기전력이 적었고, 남북방향에서 기전력이 높은 것을 확인 할 수 있었다. 선수 방향은 자이로컴퍼스의 방위이고, 실제 자북은 차이가 있어 정북보다는 350° 부근이 가장 큰 320 mV의 기전력을 가졌고, 190° 부근이 272 mV로 가장 낮은 기전력 값으로 측정되었다.

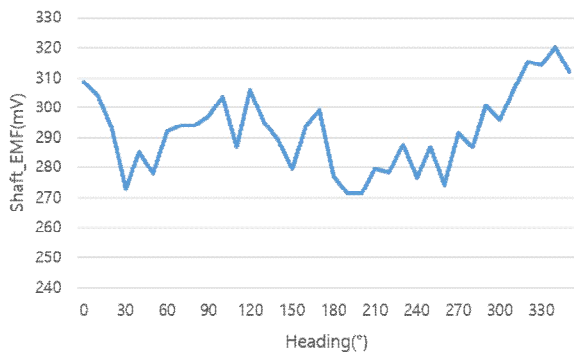


Fig 9. The Shaft EMF characteristics by direction of propulsion.

5. 결론

기존의 선박 축기전력의 특성분석에 대한 연구는 고정 피치 프로펠러 시스템의 선박에만 국한되었으나 본 실험을 통하여 가변피치 추진 시스템을 갖춘 선박의 축기전력 변화에 대한 데이터를 획득하였으며 이를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 컴비네이터 모드에서 축기전력은 프로펠러의 회전수와 피치각에 비례함을 알 수 있었다.
2. 컴비네이터 모드에서 피치각이 0%인 부하가 없는 상태에서 축기전력이 갑자기 증가하였다. 이는 프로펠러의 추진력이 벡터(Vector)적으로 중립이므로 전진과 후진 수류가 발생하고 유속이 빨라지는 효과가 있어 중립에서 높은 기전력이 발생하는 것으로 판단된다.

3. 프로펠러의 회전수가 일정한 픽스드 모드에서 피치각의 변화에도 기전력의 크기의 변동이 적었다. 이는 프로펠러의 회전수가 기전력의 변화에 영향이 높은 변수로 판단된다.

4. 컴비네이터 모드와 픽스드 모드 실험 모두에서 기전력의 크기는 후진보다 전진에서 크고, 선수보다 선미에서 크다. 이는 현재 플라이 휠 측에 있는 접지 시스템을 선미에 가깝게 설치하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

5. 선회실험에서 다른 조건의 동일 시 선박의 Heading에 따라 기전력이 변하는 것은 지구자계의 영향을 받는 것으로 판단된다.

References

- [1] Jo, K. H., Y. K. Kim, J. R. Kim, and H. J. Jeon(2020), Marine Propulsion System, p. 9.
- [2] Lee, J. U., Y. W. Kim, and J. R. Kim(2018), A Study on Designing an Effective Support Point for After-Stern Tube Bearings Concerning Shaft Alignment, Journal of the Korean Society of marine Environment and Safety, Vol. 24, No. 6, pp. 803-809.
- [3] Baik, S. Y(2007), A Study of Built-Up Repair Welding for Stainless Steel Propulsion Shafting, Journal of the Korean Society of marine Environment and Safety, Vol. 13, No. 4, pp. 119-125.
- [4] Jo, K. H., Y. K. Kim, J. R. Kim, and H. J. Jeon(2020), Marine Propulsion System, pp. 270-271.
- [5] Oh, J. S. and J. Y. Lee(2004), A Study on the ICCP Control and Monitoring system for Ship, Journal of the Korean Society of Marine Engineers, Vol. 28, No. 4, pp. 667-674
- [6] Kim, K. H(2010), A Study on the Comparison of Performance Test methods for Cathodic Protection Sacrificial Anode in Natural Seawater, pp. 21-29.
- [7] Oh, J. S(2004), Performance of Cathodic Protection with ICCP, Journal of the Korean Society of Marine Engineers, Vol. 28, No. 8, pp. 1286-1290.
- [8] Chen, S. and T. A. Lipo(1998), Bearing Currents and Shaft Voltages of an Induction Motor Under Hard and Soft Switching Inverter Excitation, IEEE Transactions on Industry Application, Vol. 34, No. 5, pp. 1042-1048.
- [9] Plazenet, T., T. Boileau, C. Caironi, and B. N. Mobarakeh (2018), A Comprehensive Study on Shaft Voltages and Bearing Currents in Rotating Machines, IEEE Transactions on Industry Application, Vol. 54, No. 4, pp. 3749-3759.
- [10] Im, I. H(2010), Cause, countermeasure, and measurement

methods of Shaft voltage, News of Korea Communications Agency, Vol. 73, pp. 8-14.

- [11] Oh, M. K(2014), A Study on Characteristic Investigation and Analysis of Shaft Electromotive Force, Master's thesis, Mokpo Maritime University.
- [12] Ahn, B. W and M. W. Im(2015), A Study on Characteristic Analysis of Shaft Electromotive Force in SAEYUDAL, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 39, No. 1, pp. 28-31.
- [13] Kim, S.(2016), A Study on the Analysis for Occurrence Mechanism of Shaft Electromotive Force on the Ship, Master's thesis, Mokpo Maritime University.
- [14] Kim, J. N., H. Kwun, N. J. Park, S. Y. Song, and S. T. Choi(2013), Research on Whirling Vibration Characteristics of Propulsion Shaft of Ship with CPP, Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 879-881.

Received : 2021. 11. 08.

Revised : 2021. 12. 20. (1st)

: 2022. 01. 11. (2nd)

Accepted : 2022. 02. 25.