

# Wire Rope Isolator 마운팅 수동 조작 패널의 진동 저감

김재실<sup>#</sup>, 김동일<sup>\*</sup>, 허종대<sup>\*\*</sup>, 황재덕<sup>\*\*\*</sup>

(<sup>\*</sup>,<sup>#</sup> 창원대학교 기계공학부, <sup>\*\*</sup>해군 군수사 정비창, <sup>\*\*\*</sup>창원대학교 진동내구성연구센터)

## Vibration Reduction for a Local Operation Panel Mounted by Wire Rope Isolator

Chae-Sil Kim<sup>#</sup>, Dong-Il Kim<sup>\*</sup>, Jong-Dae Heo<sup>\*\*</sup>, Jae-Deok Hwang<sup>\*\*\*</sup>

(Received 17 December 2014; received in revised form 19 December 2014; accepted 29 December 2014)

### ABSTRACT

This paper reviews a finite element model of a wire rope isolator (WRI) via an experimental comparison test. A local operation panel (LOP) mounted on a WRI is modeled using a finite element method. Mode analyses and harmonic analyses are conducted while varying of the thickness of the rope for the WRI. A feasible WRI can be selected considering the reduction of the vibration and the total weight of the LOP system.

**Key Words** : Local Operation Panel(수동조작패널), Wire rope isolator, Dynamic stability(동적 안정성)

### 1. 서 론

함정에 있어 소음 및 진동은 생존성, 선체 및 장비의 신뢰성 등 함의 전체적인 성능뿐만 아니라 승조원의 거주환경과 관련하여 매우 중요하다. 한형석 등은 수중 피탐 가능성의 최소화 및 승조원 전투력 향상을 위해 진동 적용 기준의 강화에 대한 필요성을 제시하였다.<sup>[1]</sup>

이 연구에 따르면 수중방사 소음과 연계하여

현재 적용중인 규격에 대해 수중 방사소음 측정 주파수를 포함한 고주파 영역까지의 선체 진동에 대한 규제가 요구되고, 이러한 방사소음을 줄이기 위해서 장비의 개별 소음진동을 줄여야 한다.

이 일환으로 축전지 충전용 디젤 발전기의 수동제어를 위해 발전기 구동용 엔진의 중간측면에 WRI(Wire Rope Isolator)에 의해 마운팅되는 수동 조작 패널(Local Operation Panel: LOP)에 대한 진동저감 연구의 필요성이 제기되었다.

Fig. 2에서 보는 것과 같이 WRI는 여러 가닥의 로우프를 꼬아 만든 로우프(rope)를 코일 형상으로 제작한 것으로써 반경방향으로 설치하여 진동 및 충격을 완화할 목적으로 하여 사용되고 있다. 그러나 WRI의 복잡한 형상 때문에 정확한 해석 모델을 구성하기가 어렵다.

따라서 본 논문에서는 WRI의 유한요소 모델을 가진시험과 비교하여 검증한 후 이를 토대로 WRI

# Corresponding Author :

Dept. of Mechanical Eng., Changwon National Univ.  
E-mail : kimcs@changwon.ac.kr

\* Dept. of Mechanical Eng., Changwon National Univ.

\*\* Naval Logistics Command consolidated maintenance depot

† A part of this paper was presented at Heo's Master Thesis, Mechanical Engineering, Changwon National Univ. 2013.

에 의해 마운팅되어 있는 LOP에 대한 유한요소모델을 구축한다. WRI의 로우프 두께를 바꾸어 가면서 LOP 유한요소모델의 모드해석과 조화해석을 수행한 후 진동저감 및 중량을 고려한 효율적인 WRI를 제시하고자 한다.

## 2. WRI의 유한요소 모델링 및 검증

### 2.1 WRI의 유한요소 모델링

본 연구의 직접적인 대상은 엔진에 부착된 LOP이며 여러 종류의 제어 및 지시 계기판이 설치되어 Fig. 1과 같은 모습이다. 이 계기판은 엔진의 수동 제어를 주된 목적으로 하여 Fig. 2와 같은 와이어 형상의 완충장치로 지탱되어 구성되어 있다.

본 연구에서 다루어지는 완충장치 위의 계기판의 무게는 40kg이고, LOP의 재질은 Table 1과 같은 제원을 가지는 SS400이다.

Fig. 2와 같은 와이어 형상의 완충장치를 그대로 구현하기 어려워 로우프 형태로 모델링 하였다. 그 후 유한요소 모델을 구축하여 조화해석을 수행한 후, 진동 시험과 해석 결과를 비교하여 모델링을 검증한다. 이 후 로우프 완충장치의 적절한 굽기를 선정하여 가장 효율적인 고정마운트 완충장치를 설계 하고자 한다. Fig. 3은 본 연구에서 적용된 실제 LOP의 2차원 도면이며, 모델의 검증은 실측값 대비  $\pm 5\%$  이내로 기준으로 하였다. Fig. 4은 2차원 도면을 토대로 작성한 3차원 모델링의 조화해석을 위하여 유한요소 모델을 구축한 모습이다.



Fig. 1 LOP

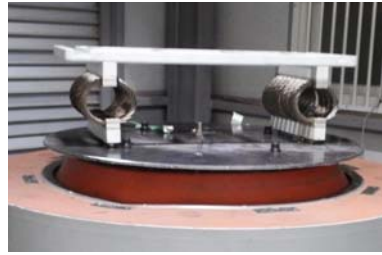


Fig. 2 WRI

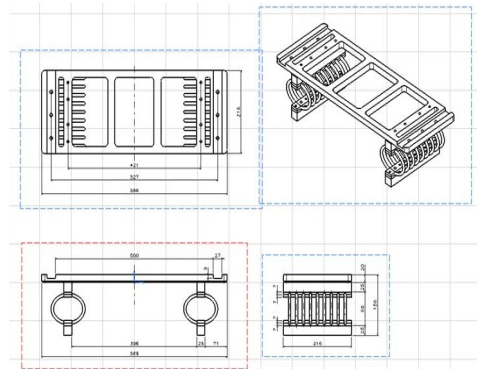


Fig. 3 2D drawing of LOP

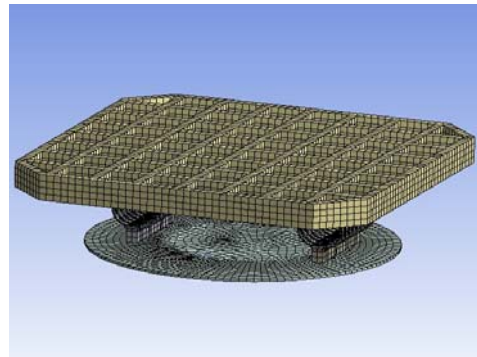


Fig. 4 Finite element model

Table 1 The main properties of the LOP

	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Young's Modulus [MPa]	Poisson's Ratio	Yield Strength [MPa]
SS400	7850	$2 \times 10^5$	0.3	250

## 2.2 WRI의 조화해석 수행

Fig. 5와 같이 시험물의 밑면 원형 지그판을 구속조건으로 설정하였다. 이는 실제 시험환경과 똑같이 해석을 수행하기 위함이다. 다음으로 15Hz, 1g의 환경에서의 변위와 가속도를 확인하고자 조화해석을 수행하였으며 주파수의 범위는 1Hz ~ 30Hz, Intervals 구간은 30구간으로 나누었다. Fig. 6은 측정 부위의 변위와 가속도를 해석상 설정한 모습이다.

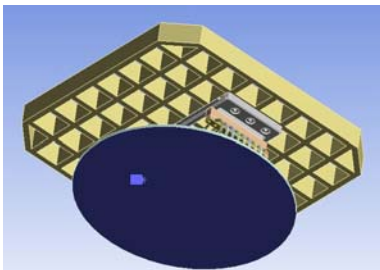


Fig. 5 Fixed point

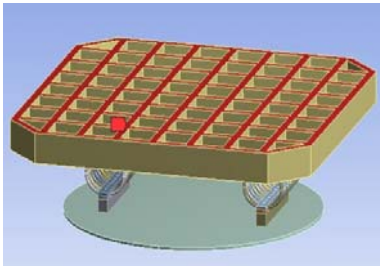


Fig. 6 Setting parts for outputs of harmonic analysis

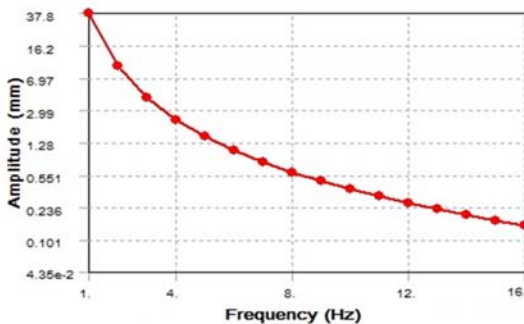


Fig. 7 Results of harmonic analysis (deformation)

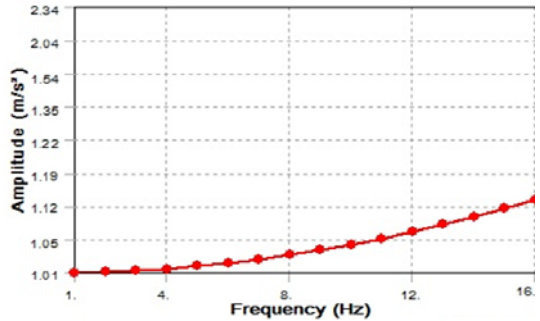


Fig. 8 Results of harmonic analysis (acceleration)

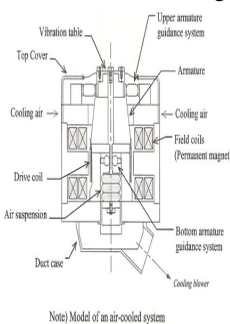
조화해석 결과 변위의 경우 Fig. 7과 같이 15Hz에서 약 0.2mm의 변위를 나타내고 있으며, 가속도 결과는 Fig. 8과 같이 1.12g로 나타났다.

## 2.3 비교시험 수행

다음으로 앞서 수행하였던 유한요소 모델을 적합성을 입증하고자 진동시험을 수행하였다. 진동시험에 사용된 시험기는 일반적인 전자식 진동시험기의 종류로 고진폭 진동시험기다. 시험기의 내부 모형과 실제 장비의 모습은 Fig. 9에 제시하였고, 제원은 Table 2와 같다.

측정하고자 하는 가진 주파수대역에서 고진폭 가진기의 가속 병진운동 신호를 주어 가진판에 체결된 시험부품의 가속도-시간 데이터를 측정했다.

LOP 로우프 댐퍼 15Hz 진동 실험을 위한 고정 지그 제작이 필요하여 6mm 강철판을 원형 가공 후, 볼트 체결 구멍을 가공하여 제작하였으며 지그와 설치 사진은 Fig. 10에 나타내었다.



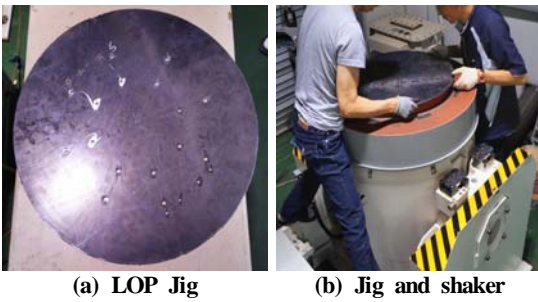
Note) Model of an air-cooled system



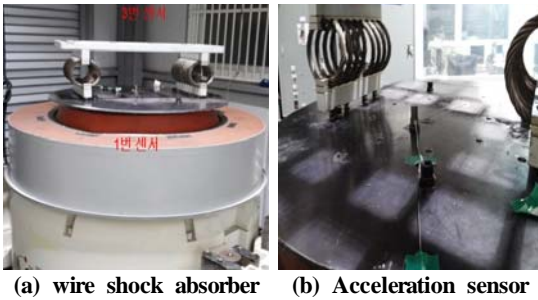
Fig. 9 Photographs in setting the jig and the shaker

**Table 2 Long stroke vibration machine specification**

	Specification
Rated Force	
- Sine Wave	49 [kN]
Random Wave	49 [kN rms]
Maximum Acceleration	753 [m/s <sup>2</sup> ]
Maximum Velocity	2.4 [m/s]
Maximum Displacement	100 [mmp-p]
Armature Mass	65 [kg]
Frequency Range	5 ~ 2600 [Hz]
Maximum Payload	1000 [kg]



**Fig. 10 Photographs in setting the jig and the shaker**



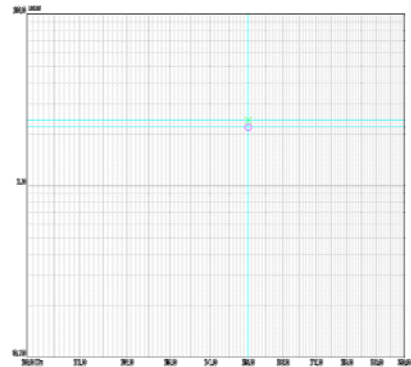
**Fig. 11 Location of the sensor in shaker plate**

Fig. 11은 측정을 위한 가속도 센서의 부착 위치로, 함정에서 사용되는 엔진에서 가해지는 외력 주파수의 경우 z축 방향으로 상·하로 가진되기 때문에 가속도 센서는 z축 단축용을 사용하였다.

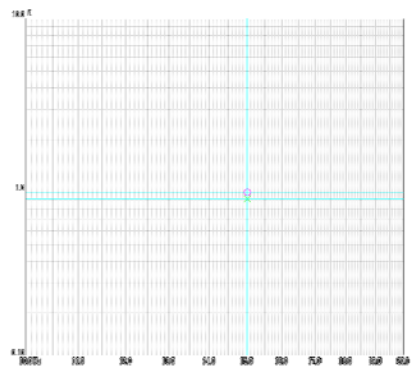
15Hz, 1g의 환경에서 진동 시험을 실시한 결과

는 Fig. 12와 Fig. 13과 같다. 1번 채널의 가속도 센서의 변위는 2.21mm, 2번 채널의 가속도 센서의 변위는 2.42mm로 그 차이는 약 0.21mm의 결과를 나타냈다. 마찬가지로 1번 센서의 가속도 결과는 1.0004g, 2번 센서의 가속도 결과는 1.0947g로 나타났다.

앞서 수행하였던 조화해석을 수행한 값과 비교하면 변위의 경우 해석값 0.2mm이고 시험값이 0.21mm로 차이가 0.01mm의 차이를 보이며, 가속도값의 경우 해석값이 1.12g이고 시험값이 1.0947g로 0.025g의 차이를 보이고 있다. 변위와 가속도의 결과값 차이는 크지 않음을 알 수 있고, 이로써 유한요소 모델의 신뢰성을 확보하였다.



**Fig. 12 Results of Vibration test (Deformation)**



**Fig. 13 Results of Vibration test (Acceleration)**

### 3. LOP 진동해석

#### 3.1 LOP 모델링

유한요소 모델을 이용한 조화 해석결과와 진동 시험 결과의 비교를 통해 모델의 신뢰성을 확보했다. 다음으로 완충장치의 로우프 굽기를 조절하여 완충장치 역할을 수행 할 수 있는 적절한 로우프의 두께를 해석적으로 찾아내고자 한다.

Fig. 14는 실제 계기판 형상과 동일하게 측정하여 제작한 3차원 모델과 동시에 가진력의 위치 또한 나타내고 있다. 그리고 Fig. 15는 측정하고자 하는 변위와 가속도의 위치를 나타낸다.

본 연구에서 쓰인 LOP의 로우프의 굽기는 6mm 였다. 이 굽기를 8mm, 10mm로 모델링 하여 상기와 같은 방법으로 모드해석과 조화해석을 수행하여 변위와 가속도를 측정했다.

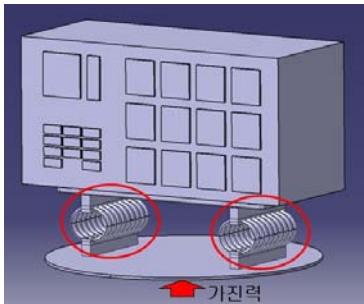


Fig. 14 3D model for LOP

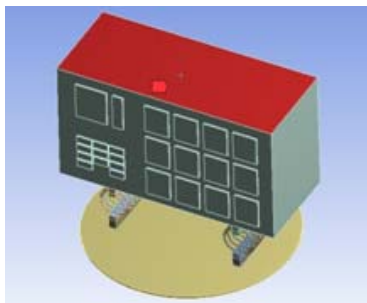


Fig. 15 Deformation and acceleration measurement location

#### 3.2 모드해석 및 조화해석

로우프 굽기를 6mm, 8mm, 10mm로 변경해가며 모드 및 조화가진 해석 한 결과 굽기에 따른 1<sup>st</sup> 모드의 형상은 Fig. 16 ~ Fig. 18와 같고, 1<sup>st</sup> 모드 주파수는 Table 3에 도시하였다.

모드해석 결과 1<sup>st</sup> 모드의 발생 주파수는 각각 24.53Hz, 23.13Hz, 39.19Hz에서 나타났다. 이는 발전기의 가진 주파수인 15Hz 이후에서 나타났기 때문에 공진이 발생하지 않으며, 공진의 위험성으로부터 안전하다. 이후 조화해석을 수행하였으며 그 결과, 6mm 굽기의 완충장치가 적용된 경우, 15Hz 에서의 변위는 약 0.17mm이고, 가속도는 1.53g로 진동 감쇠가 이루어지지 않았다. 8mm 굽기의 완충장치의 경우, 변위는 약 0.057 mm이며 로우프 굽기 6mm보다 작은 변위 결과를 나타낸다. 가속도 또한 0.4g로 많은 감쇠가 이루어짐을

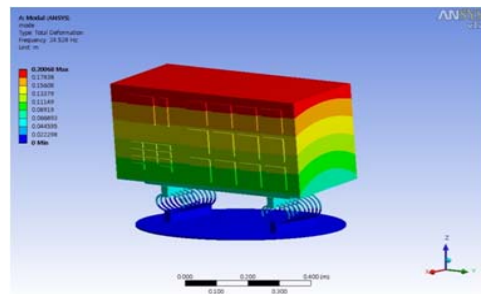


Fig. 16 LOP wire modal analysis result 6mm in actual measurement panel

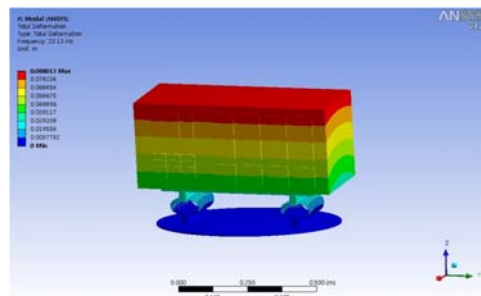


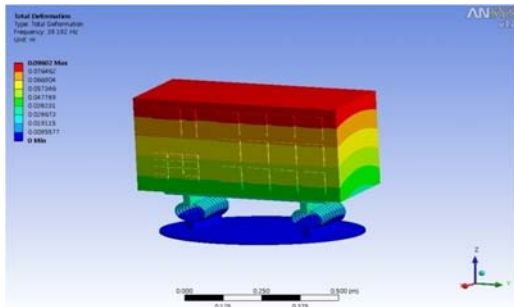
Fig. 17 LOP wire modal analysis result 8mm in actual measurement panel



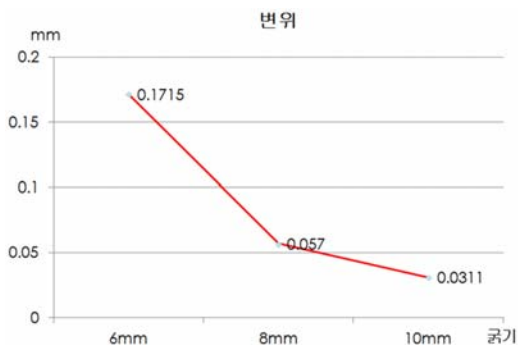
알 수 있다. 10mm 굵기의 완충장치의 경우, 변위는 약 0.0311mm이며 로우프 굵기 8mm보다 작은 변위 결과를 보여준다. 가속도 또한 약 0.3g로 8mm 보다 작아짐을 알 수 있다. 이를 보아 로우프 완충장치의 굵기가 커질수록 댐퍼의 효과가 더 커짐을 알 수 있다. 이와 같은 결과를 종합하여 로우프 굵기에 따른 변위와 가속도의 결과를 Fig. 19과 Fig. 20에 도시한다.

**Table 3 Result of modal analysis in actual panel**

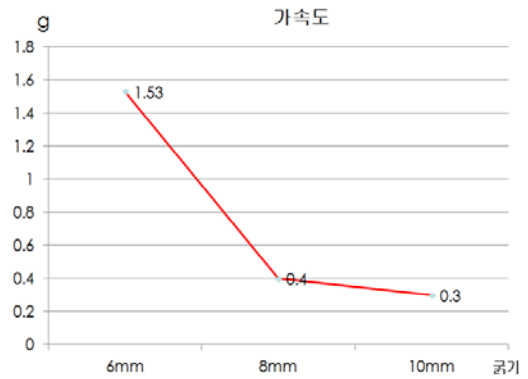
Wire thickness	6	8	10
mode	Frequency(Hz)		
1 <sup>st</sup>	24.528	23.13	39.192



**Fig. 18 LOP wire modal analysis result 10mm in actual measurement panel**



**Fig. 19 Deformation graph 6mm, 8mm, 10mm in actual measurement panel**



**Fig. 20 Acceleration graph 6mm, 8mm, 10mm in actual measurement panel**

#### 4. 해석결과 및 고찰

본 논문은 LOP의 고정 로우프 완충장치가 디젤 발전기의 충격 및 진동으로부터 LOP의 위치 제어 충격 및 진동 감소 등 완충장치로서의 안정된 역할을 할 수 있는 적절한 형태의 로우프 완충장치 형상을 찾는 연구이다. 이를 위해 LOP 로우프의 완충장치 3차원 모델링을 구축하고 진동시험을 통하여 모델링의 적합성을 판단하였다.

그 후에 로우프의 굵기를 바꾸면서 모드해석과 조화해석을 수행하여 변위와 가속도를 측정함으로 적절한 로우프 굵기를 선정하고자 하였다. 해석 수행 시 로우프 굵기는 6mm, 8mm, 10mm에서 수행 결과 로우프의 굵기가 증가함에 따라 변위와 가속도가 줄어드는 것을 확인하였다. 만약 굵기를 계속 증가 시키게 되면 변위와 가속도가 더욱 줄어들 것으로 예상할 수 있지만 제작 단가나 함 내에 설치공간을 고려하였을 때 무한적 증가시키는 것은 적합하지 않다. 따라서 함정 내에 설치되어지는 것과 해석 결과를 미루어 보았을 때, 8mm의 로우프 굵기를 가지는 LOP의 WRI가 가장 적합하다고 판단된다.

## 후 기

이 논문은 창원대학교 진동내구성연구센터의 지원에 의하여 수행되었다.

vibration absorbing device mounting a local operation panel on the engine of power generator in a submarine, A Thesis for a Master degree, Changwon National University, Republic of Korea.

## REFERENCES

1. H. S. Han, M. Y. Park, K. H. Lee, H. G. Cho, "A study on the Reinforcement of Vibration Specifications for the Minimization of Anti-Detection Possibility and Fighting Power Increase of Crew", DTaQ, 2011.
2. J. D. Yu, B. W. Lee, "Vibration Characteristics and Countermeasures on the Low Speed Two Stroke Diesel Engines" KONETIC, Vol 27, No 2, pp. 175-180, 2003
3. Moon, S. J., Ji, Y. J., Choi, S. B., Lee, H. Y., Kim, J. H. and Jung, W. J., "A Study on Development of an Active Hybrid Mount for Naval Ships, Journal of the Society of Naval Architects of Korea", Vol. 45, No. 159, pp. 288~295, 2008
4. Kim, S. H., Hong, S. L. and Choi, S. B., "Active Vibration Control of a Beam Structure Using Hybrid Mount", Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 440~445, 2002
5. Kim, J. S., "Active Vibration Control of Flexible Beam Using Piezoelectric Actuator", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 2 No. 3, pp. 173~180, 1992
6. Heo, J. D., 2013, A study on the design of a