

동적설계해석과 과도응답해석을 이용한 함정용 대형 전동기의 내충격성 평가

A Shock-Proof Evaluation of a Large Scale Motor for the Naval Vessel using DDAM and Transient Response Analysis

*#이성욱¹, 김진², 공영경³, 권기영¹

*#S. W. Lee(lsw1126@hyosung.com)¹, J. Kim², Y. K. Kong³, K. Y. Kweon¹

¹(주)효성 중공업연구소, ²(주)효성 기전PU, ³국방과학연구소

Key words : Shock-Proof, Dynamic Design Analysis Method(DDAM), Transient Response Analysis, Naval Vessel Motor

1. 서론

전투라는 특수 임무를 갖는 함정은 생존성 관점에서 외부 충격에 대한 선체 구조와 주요 탑재장비가 충격에 대한 안전성이 보장되어야 하므로 전투와 운항성능에 필수적인 주요 장비에 대해서는 외부 충격하중에 대한 내충격성 평가가 필수적이다. 따라서 이를 위해서 장비 설계 시 내충격 설계 개념을 도입하고 있으며, 해석을 통한 설계 검증, 제작 후 충격시험을 통한 장비 자체의 내충격 성능을 확인하고 있다. 일부 선진국에서는 장비 탑재 후 실선 충격시험을 통하여 최종적인 성능 검증을 수행하기도 한다.

특히 본 연구의 대상인 함정용 대형 전동기의 경우, 함정의 작전 및 전투 등과 같은 운항성능에 필수적인 탑재장비이므로 상기와 같은 내충격 설계 검증 과정이 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 현재 개발 중인 함정용 대형 전동기의 내충격성 평가를 위해서 미해군에서 널리 사용되고 있는 방법인 동적설계해석법(Dynamic Design Analysis Method)과 외부에서 작용되는 충격하중을 모사한 Triple Triangle Shock Wave가 작용될 경우 시간에 따른 함정용 대형 전동기의 충격에 대한 구조적 안전성을 ANSYS 12를 이용하여 평가하였다.

2. 유한요소모델

일반적으로 함정용 대형 전동기는 회전자와 고정자, 외부 프레임과 브라켓, 인버터의 본체와 프레임 외측에 부착되는 부속물, 전동기 본체를 지지하고 있는 탄성마운트로 구분된다. 따라서 정밀한 해석결과를 위해서는 모든 부품을 해석대상으로 고려하여 내충격해석을 수행하여야 하나 본 연구에서 수행한 내충격해석의 경우 선행연구 단계인 점을 감안하여 전동기 본체만을 3차원 모델로 구성하고 나머지 부속물과 탄성마운트의 경우 각각의 특징을 감안하여 단순화된 모델로 구성하였다.

2.1. 전동기 본체

Fig. 1은 프레임, 브라켓, 축조립체, 고정자 조립체로 구성된 전동기 본체의 3차원 유한요소모델을 나타낸 것으로 각 절점당 3개의 자유도(ux, uy, uz)를 갖는 10절점 사면체요소를 사용하여 93,256개의 요소, 187,975개의 절점으로 구성하였다.

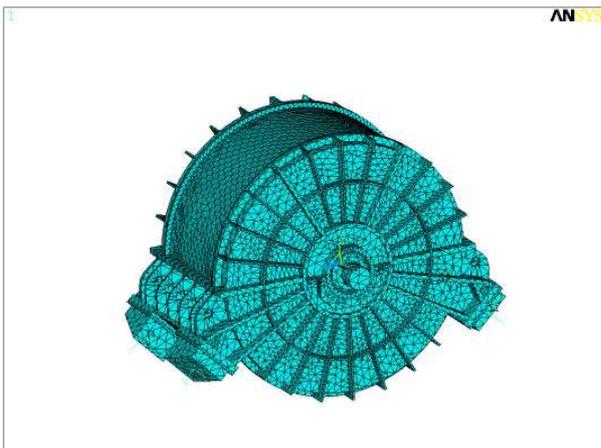


Fig. 1 Finite element model for a large scale motor

2.2. 부속물

전동기 상부에 설치되는 냉각장치 및 제어장치와 같은 부속물은 전체 중량의 xx%를 차지하므로 충격력 작용 시 이로 인한 영향을 고려해야 하나 각각의 부속물은 여러 가지 복잡한 부품으로 구성되어 있으므로 모든 형상을 해석에 반영하는 것은 해석의 수렴을 더욱 곤란하게 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 부속물의 관성에 의한 영향만이 전동기 본체에 고려될 수 있도록 전동기 상부에 부속물 전체 중량에 해당하는 Mass요소를 생성하고 이를 설치영역에 RBE3 요소로 연결하였다.

2.3. 탄성마운트

탄성마운트는 함정용 전동기의 정하중을 지지하고, 충격력 작용 시 전동기를 보호할 수 있도록 이러한 충격이 전동기로 전달되는 것을 방지하는 충격절연의 역할을 수행하게 된다.

본 연구에서도 전동기 하단 4곳에 3차원 형상의 탄성마운트가 설치되어 있으나 해석에서는 수렴성을 위해서 3차원 보(Beam)요소를 이용하여 설정된 강성만이 고려될 수 있는 단순모델로 구성하였다.

2.4. 경계조건

본 연구의 대상인 함정용 대형 전동기의 경우 하부에 장착된 탄성마운트의 하단부가 함정에 고정되므로 Fig. 2와 같이 전동기 하부에 모델링 된 탄성마운트 각 끝단의 모든 자유도를 구속하였다.

3. 동적설계해석법

동적설계해석법(Dynamic Design Analysis Method/DDAM)은 1961년 미해군 연구소(Naval Research Laboratory, NRL)에서 제안한 미해군 함정용 장비 및 받침대의 내충격 설계 검증을 위한 표준 해석 방법으로써 스펙트럼 해석 방법의 하나이다. 스펙트럼 해석 방법은 응답스펙트럼(response spectrum) 형태로 표현된 구조물의 지지부 운동에 대하여 모드 중첩(mode combination)에 의하여 구조물의 강제 응답을 해석하는 방법으로 일반적으로 각 모드의 기여분을 SRSS(Square Root Sum of Squares) 방법에 의해 계산하는데 반해 DDAM에서는 가장 큰 응답을 주는 모드의

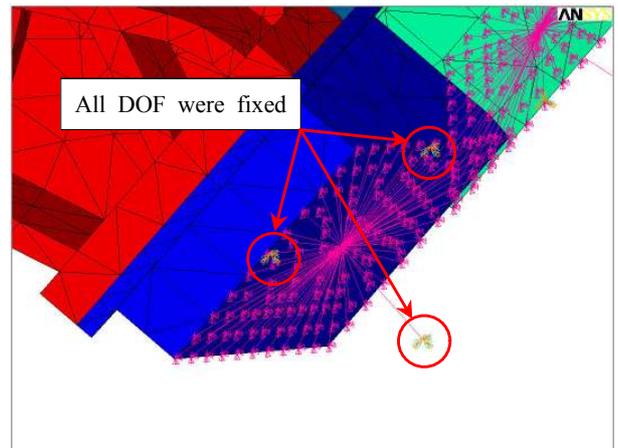


Fig. 2 Boundary condition for shock analysis

응답 절대치에 SRSS방법에 의해 계산된 기타 모드의 기여분을 합산하는 방법을 사용하는 식(1)의 NRL-SUM 방법을 사용함으로써 NRL 방법에 의한 전체응답 계산 결과가 SRSS방법에 의한 결과보다 큰 값을 가지게 하여 보다 높은 안전율을 확보할 수 있도록 한다.

$$R_u = |R_{ui}| + \sqrt{\sum_{i=2}^N (R_{ui})^2} \quad (1)$$

DDAM과 같이 모드중첩에 의하여 계산 시에는 사용되는 모드의 유효질량을 최소 80% 이상으로 하여 해석의 신뢰도를 높이는 데, 본 연구의 해석모델의 경우 하부 마운트로 인하여 저차의 강제모드에서 전체 질량대비 99% 이상의 모드 유효질량이 계산되어 해당 강제모드를 사용하여 NRL-SUM 방법에 의해 충격에 대한 전동기의 구조적 건전성을 평가하였다.

4. 과도응답해석

전동기의 내충격 성능을 평가하기 위해 본 연구에서 적용한 다른 방법은 직접 시간 적분법에 의한 시간 영역에서의 과도응답 해석 방법으로 비선형 탄성마운트를 사용하는 장비의 충격해석에 매우 유용한 것으로 알려져 있다. 본 방법은 대상 장비의 운동방정식을 정식화하여 시간 적분법을 사용하여 시간 단계별로 충격 응답을 구해 가는 방법이다.

이를 적용하기 위해서는 대상 장비에 작용되는 시간에 따른 충격하중 이력이 필요한데 본 연구에서는 대형 전동기의 내충격성 평가를 위하여 외부에서 작용 되는 충격력을 Fig. 3과 같이 시간에 따른 삼중 삼각파(Triple Triangle Wave) 형태의 가속도로 가정하여 축, 수직, 수평 3가지 방향에 대하여 각각 작용하여 각 방향에 대한 전동기의 시간에 따른 응답과 구조적 건전성을 평가하였다.

5. 결과 및 고찰

Table 1은 DDAM과 과도응답해석을 이용하여 함정용 대형 전동기의 충격해석을 실시하여 전동기의 골격을 이루는 프레임과 부하측/반부하측 브라켓에서 발생된 최대 상당응력을 정리한 결과이다.

축 방향으로 충격력이 작용할 경우 DDAM을 통해 얻어진 프레임에서의 최대 상당응력이 과도응답해석 대비 2.14배 높은 것을 제외하면 나머지 모든 경우에서 두 가지 해석방법을 통해 얻어진 결과의 비율은 0.88 ~ 1.09로 거의 일치되는 것을 확인할 수 있었다.

전동기에서 발생하는 최대 상당응력은 두 가지 해석방법 모두 수직방향의 충격력 작용 시 프레임에서 DDAM의 경우 54.35MPa, 과도응답해석 51.20MPa이 발생되었으며, 이는 함정용 대형 전동기 재질을 일반적인 구조용 강인 SS400으로 하더라도 최소 4이상의 안전율이 확보되므로 구조적으로 충분한 건전성을 확보하고 있음을 판단할 수 있었다.

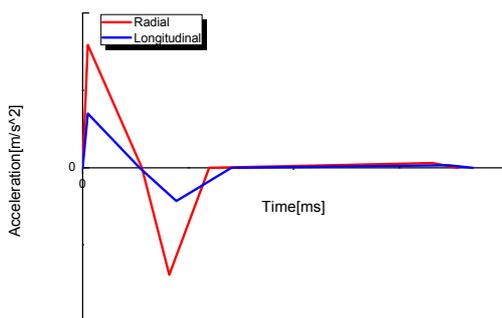


Fig. 3 Triple half triangle wave for shock analysis

Table 1 Comparison of shock-proof results between DDAM and transient response analysis

Part Information		Axial	Vertical	Horizontal
Frame	DDAM	34.28	54.35	45.56
	Transient	16.00	51.20	47.60
	D/T	2.14	1.06	0.96
Bracket (DE)	DDAM	42.89	38.24	42.96
	Transient	48.80	38.00	48.00
	D/T	0.88	1.01	0.89
Bracket (NDE)	DDAM	38.83	47.40	46.79
	Transient	42.00	43.40	50.60
	D/T	0.92	1.09	0.92

4. 결론

내충격 성능 검증을 위하여 전 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 두 가지 해석방법인 동적설계해석법(DDAM)과 과도응답해석을 통해 현재 개발 중인 함정용 대형 전동기의 충격하중에 대한 구조적 건전성을 평가하였다. 두 가지 검토 방법에 의해 산출된 최대 상당응력은 축 방향 충격력 작용 시 프레임을 제외하면 거의 동일한 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었으며, 모든 충격방향에서 발생된 최대 상당응력은 재료의 허용강도 대비 4이상의 충분한 안전율이 확보됨으로 본 연구의 대상인 함정용 대형 전동기는 구조적으로 안전한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Jung, J. H., "Estimation of the Shock -Proof Characteristic for the Navy Shipboard Equipment," J. of KSNVE, Vol. 8, No. 1, pp. 21-28, 1998.
2. Kim, Y. and Song, O. S., "Study for Characteristics of DDAM using MIL-S- 901D Shock Test and Transient Response Analysis," J. of KSNVE, Vol. 16, No. 11, pp. 1132-1139, 2006.
3. Kim, Y. and Song, O. S., "A Study on the Finite Element Modeling Methods of Large Navy Shipboard Equipment Attached to the Top and Bottom Foundations for DDAM," J. of KSNVE, Vol. 17, No. 4, pp. 317-323, 2007.
4. MIL-S-901D, "Shock Tests, H. I. (High-Impact) Shipboard Machinery, Equipment, and Systems, Requirement for," 1989.
5. ANSYS Theory Manual, Release 11.0.
6. BV043, "Shock Resistance Experimental and Mathematical Proof," 1985.
7. G. J., O'Hara and R. O., Belsheim, "Interim Design Values for Shock Design of Shipboard Equipment," NRL Memorandum Report 1396, 1963.