

이중탄성마운트를 갖는 함정용 주기관의 진동,충격 성능평가

· 박 정 근*, 유 광 태*, 정 정 훈**, 김 병 현**

Vibration and Shock Evaluation of Double-Resilient Mounted Engine

J. G. Park, K. T. Yoo, J. H. Chung, B. H. Kim

* (주)STX 기술연구소

** 한국기계연구원 구조시스템연구부

Abstract: In a main propulsion system of naval ship, DRME(Double Resilient Mounted Engine) is mostly adopted to ensure vibration isolation and shock resistance against underwater explosion weapon attack. In this paper, an analysis program for vibration and shock evaluation of DRME is presented. DRME is modelled as multi-rigid bodies with nonlinear mounts, and direct time integration method is introduced for shock analysis. The computed results are compared with those of foreign ones. Navy's proposed specifications are well satisfied with this program. This analysis program serves for the development of domestic DRME technology of naval ship.

Key words: Double resilient mount(이중탄성지지), Shock resistance(내충격), Time integration method(시간적분법), Vibration isolation(진동절연)

1. 머리말

진동절연 및 내충격 성능 향상을 위하여 함정용 주기관을 이중탄성지지하는 방법이 많이 이용되고 있다. 주기관을 탄성지지하는 것은 기관운전중 발생하는 진동으로부터 선체를 진동절연시키고, 또한 기뢰(mines)의 비접촉 수중폭발 공격으로부터 주기관의 충격손상을 방지하는데 그 목적이 있다.

함의 전투유지능력(survivability) 향상을 위하여 이중탄성지지에 의한 함정용 주기관의 내충격, 방진 설계기술이 요구되고 있으나 이 분야에 대한 국내 연구경험이 일천하여 대부분의 경우 선진외국기술에 의존하고 있는 실정이다^[1].

본 고에서는 군의 요구사양을 관련규격과 비교하여 이중탄성마운트를 갖는 함정용 주기관의 진동,충격 성능평가방법을 분석하였다. 이를 토대로 주기관 및 부품의 진동,충격 성능평가방법을 제시하였으며, 해석프로그램을 개발하여 동분야의

설계기술 자립을 도모하였다.

2. 진동,충격 성능평가방법

탄성마운트는 주기관의 정하중을 지지하고, 기관운전중 발생하는 기관의 동하중으로부터 선체를 진동절연하며, 충격하중으로부터 주기관이 손상되는 것을 방지할 목적으로 사용된다. 따라서 이중탄성마운트를 갖는 주기관의 진동,충격성능은 정하중,진동절연,내충격 특성에 의해 평가되어야 한다. 이러한 평가는 통상 수요군의 요구사양, 장비나 부품제작사의 허용기준과 비교하여 이루어져야 한다.

함정용 주기관의 진동,충격관련 군 요구사양은 표 1과 같이 일반적으로 MIL 규격에 근거하고 있으며 이에 상당하는 BV등 타규격을 용인하고 있다.

표 1 군 요구사항

Item	Specification
Attitude Limits	MIL-E-23457B
Shock Test	Keel Shock Factor (Ship) MIL-STD-901C/D (Equip.)
Shock Design	DDAM (BV043)
Vibration	MIL-STD-167 (BV044)

2.1 정적 성능평가

탄성마운트는 함운항시 해상조건에 따른 정하중에 대하여 안전하도록 설계되어야 하며, 다음 하중조건에 대하여 정적변형량, 스프링력을 허용값과 비교하여 평가한다^[4].

- dead weight
- max. engine torque
- max. engine torque combined with
 - . trim $\pm 5^\circ$, heeling $\pm 15^\circ$ (MIL-E-23457B)
 - . load multiple
- heavy sea condition (MIL-E-23457B)
 - . pitching $\pm 10^\circ$, rolling $\pm 45^\circ$

Dead weight에 따른 각 마운트의 처짐량이 가능한 일정하도록 탄성마운트 사양 및 위치를 선정하고, buffer는 extreme loading시에만 접촉되도록 한다.

함이 rough sea condition에서 고속으로 운항될 때 선체에는 상대적으로 낮은 random 가진력이 장시간 작용하게 된다. 그러나 적절한 시간간격이 알려져 있지 않아 static load multiple에 의한 정하중해석으로써 동적해석을 대신한다. 표 2는 통용되고 있는 static load multiple을 나타냈다.

표 2 파랑하중(static load multiple)

Vessel Type	Dir.	Continuous Loading		Extreme Loading
Displacement vessels ls>50m (Ferries, Frigates, etc) v<30knts	T	0.15-0.18g	0.6g	0.6g
	L	0.08-0.10g	0.6g	0.6g
	V	0.35-0.40g	1.0g	1.0g
Displacement vessels ls<50m (Yacht, Minehunter, etc) v<30knts	T	0.20-0.25g	0.8g	0.8g
	L	0.10-0.15g	0.8g	0.8g
	V	0.50-0.60g	1.2g	1.2g
Glider, Catamarans, Surface effect ships (fast ferries, fast yachts) v>30knts	T	0.40-0.50g	2.0g	2.0g
	L	0.25-0.30g	1.2g	1.2g
	V	0.80-1.00g	3.0g	3.0g

2.2 진동절연 성능평가

주기관 운전중 발생하는 기진원은 불평형력과 불평형모멘트 그리고 기관 토오크변동에 따른 guide force moment이며, 기관 회전수와 관련된 주파수를 갖는다. 따라서 주기관 운전영역에서 탄성지지시스템의 공진가능성은 항상 존재하며 응답진폭은 증폭될 수 있다.

진동절연을 위해서는 적어도 감쇠비 0.04이상의 탄성마운트를 사용하고, 탄성마운트시스템의 고유진동수를 상대적으로 엔진기진력이 작은 저주파수대역에 위치시킨다. 또한 기관 이상운전시 커플링등이 허용변위를 초과하지 않도록 탄성지지시스템에 buffer를 설치하고 커플링은 되도록 불평형력이 발생하지 않게 정렬한다.

탄성마운트시스템의 절연성능은 마운트의 감쇠비, 고유진동수와 기진진동수비 등에 의하여 평가된다.

2.3 내충격 성능평가

내충격 요구사항에 의거하여 탄성마운트를 갖는 주기관의 충격계산 및 시험을 수행한다.

내충격해석은 미 해군의 DDAM(Dynamic Design Analysis Method)^[5]으로 대표되는 spectral analysis 방법과 NATO국가들이 사용하는 직접시간적분법을 이용한 시간영역에서의 과도응답해석(transient response analysis)방법등이 있다. 표 3은 각국의 충격계산관련규격이다.

표 3. 충격계산 관련규격

Nation	Standard
U.S.	NAVSEA 0908-LP-000-3010 DDS 072-1(classified)
Germany	BV 043
NATO	STANAG 41 42
U.K.	BR 30 21

5Hz 이하의 고유진동수를 갖는 비선형 탄성지지계에 DDAM을 적용하는 것은 불합리하다고 알려져 있다^[1]. 따라서, 본 고의 탄성마운트시스템은 직접시간적분법에 의한 충격해석을 수행하고, 스프링(마운트)의 충격변형량과 스프링력, 요소부품의 가속도응답(residual load multiple) 등으로부터 내충격 안전성을 평가하였다.

강제로 가정한 주기관 요소부품의 내충격검증은 부품의 무게중심에 '강체의 가속도응답 × safety factor'의 충격력이 작용할 때 응력을

FEM 등의 방법으로 구하여 검증한다.

MIL-STD-901D는 표 4와같이 시험대상장비의 중량에 따라 충격시험기 및 시험방법을 규정하고 있다^[7]. 본 주기관은 중중량(heavy weight)충격시험을 수행하여야 하나 실제수중폭발시험을 수행해야하는 어려움 때문에 계산검증으로 대신하였다.

표 4. 충격시험 Category (MIL-STD-901D)

LIGHT WEIGHT	MEDIUM WEIGHT	HEAVY WEIGHT	
		FSP	LFSP
< 550 lb (240kg)	< 7,400 lb (3,357kg)	< 60,000 lb (27,215kg)	< 400,000 lb (181,436kg)

3. 진동, 충격해석 및 설계검증

3.1 프로그램 개요

본 프로그램은 비선형 스프링을 포함하고 있는 다물체계의 충격응답특성 해석을 위하여 개발되었다. 프로그램은 정하중, 자유진동 및 충격응답 해석부분으로 나뉘어져 있다. 그림 1은 개발프로그램을 이용한 진동절연 및 내충격 설계절차이다.

3.2 해석 모델

그림 2는 본 해석에 사용된 이중탄성지지 합정용 주기관을 6개의 강체와 지지스프링계로써 이상화한 모델이다. 좌,우현 주기관은 baseframe에 탄성지지되어 있고, transverse girder에 의해 연결된 baseframe이 선체에 탄성지지된 이중탄성지지 구조이다.

3.3 정하중 응답해석

중력가속도를 작용외력으로하여, 해상조건 및 함의 운동(pitching, rolling)에 따른 각 강체 무게 중심에서의 정하중분위와 각 강체를 연결하고 있는 스프링(마운트)의 변형량과 스프링력을 구하였다. 표 5는 dead weight 및 선체의 -15° heeling에 의한 baseframe mount 및 engine mount의 처짐량과 스프링력을 보여준다.

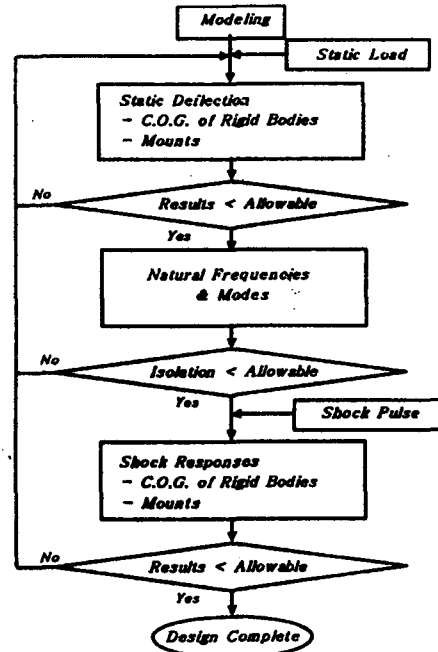


그림 1. 진동절연 및 내충격 설계절차

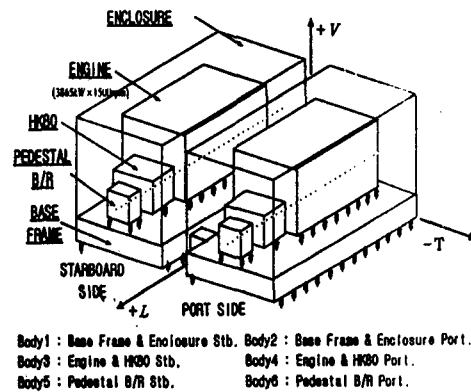


그림 2 이중탄성마운트를 갖는 주기관의 해석모델

3.4 자유진동해석

표 6에 주요 고유진동수와 진동모우드를 나타내었다. 6개의 강체가 선체에 대하여 함께 진동하는 모우드는 3.78Hz에서 나타나고, 9.44Hz에서는 엔진과 baseframe이 반대의 위상을 가지고 진동

한다. 고유진동수와 1차 기진주파수(25Hz)비가 2.5배 이상이므로 선체는 주기관에 대하여 진동절연성능이 우수하다고 평가할 수 있겠다.

표 5. MOUNT 처짐량과 스프링력

Loading Condition :								
(A) Dead Weight								
(B) Max. Engine Torque -15° Heeling								
	Direction	Baseframe Mount			Engine Mount			
		T	L	V	T	L	V	
(A)	Defl. (mm)	Min	0.00	0.00	-14.62	0.00	0.00	-8.94
		Max	0.00	0.00	-14.80	0.00	0.00	-9.64
	Force (kN)	Min	0.00	0.00	-30.99	0.00	0.00	-14.57
		Max	0.00	0.00	-31.38	0.00	0.00	-15.72
	Direction	Baseframe Mount			Engine Mount			
		T	L	V	T	L	V	
(B)	Defl. (mm)	Min	-5.89	0.00	-3.72	-4.02	-3.05	-4.89
		Max	0.00	0.00	+4.77	+0.28	+3.54	+5.00
	Force (kN)	Min	-11.90	0.00	-7.51	-5.71	-0.10	-7.23
		Max	0.00	0.00	+9.65	+0.40	+0.92	+7.39

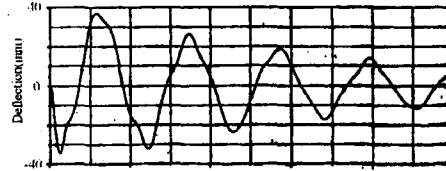
표 6. 고유진동수 및 진동모우드

Freq. (Hz)	Body No.	Direction					
		T	L	V	R _T	R _L	R _V
3.78	1	0.000	-0.054	0.536	-0.022	0.000	0.000
	2	0.000	-0.054	0.536	-0.022	0.000	0.000
	3	0.000	-0.066	0.999	-0.086	0.000	0.000
	4	0.000	-0.066	1.000	-0.086	0.000	0.000
	5	0.000	0.024	0.467	-0.296	0.000	0.000
	6	0.000	0.024	0.467	-0.296	0.000	0.000
9.44	1	0.001	-0.017	0.284	-0.076	0.000	0.000
	2	0.000	-0.017	0.285	-0.076	0.000	0.000
	3	0.000	0.014	-0.141	0.057	0.001	0.000
	4	0.000	0.014	-0.141	0.057	0.001	0.000
	5	0.001	-0.398	0.150	0.093	0.000	-0.001
	6	0.001	-0.401	0.152	1.000	0.000	-0.001

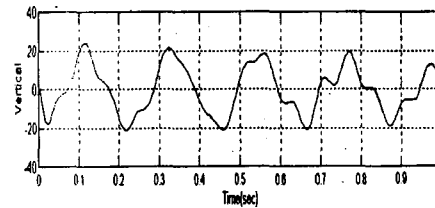
3.5 내충격 해석

그림 3에 개발 프로그램에 의한 baseframe mount의 충격응답곡선을 외국사의 해석결과와 함께 나타냈다. 충격응답변위는 허용변위(-60mm, +90mm)를 만족하나 결과에 있어서 서로 차이를 보이고 있다. 해석결과의 차이는 균비로 분류되고 있는 BV043^[6]의 Double half sine pulse(그림 4)

를 적용하지 못하였기 때문으로 추정된다.



(A) MTU 해석결과



(B) STX 해석결과

그림 3. Baseframe Mount의 수직방향 충격응답

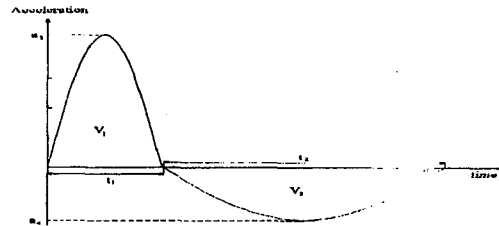


그림 4. BV043에 따른 Double Half Sine Pulse

충격입력값(그림 5)이 알려진 그림 6의 비선형 이중탄성지지 starting air compressor에 대하여 충격해석을 수행하여 그림 7과 같이 외국사의 결과^[3]와 일치하는 것을 보임으로써 프로그램을 검증하였다.

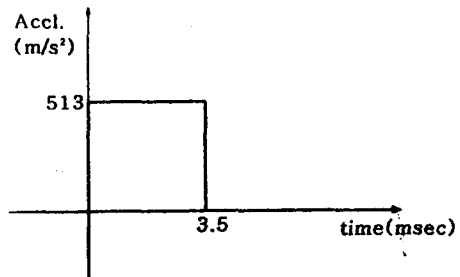


그림 5. BV043에 따른 Rantangular Pulse

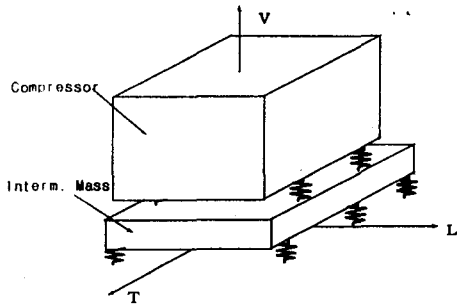


그림 6. 이중탄성지지 Starting Air Compressor 해석모델

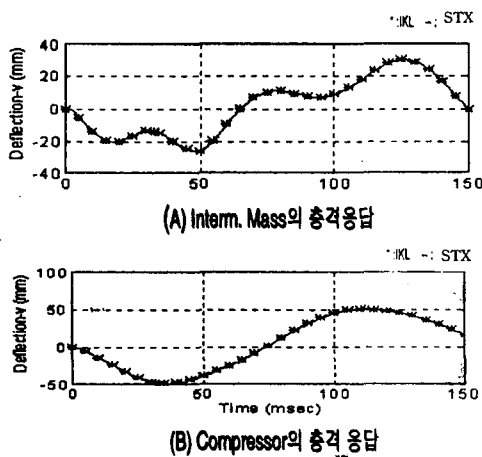


그림 7. Starting Air Compressor 수직방향 충격응답 (*: IKL, -:STX)

5. 맺음말

함의 전투유지능력(survivability) 향상을 위한 주기관 요소기술로서 이중탄성마운트시스템의 진동, 충격성능평가 프로그램을 개발하였으며 이에 요구되는 설계기준 및 요구규격을 분석하여 그 평가방법을 고찰하였다. 개발된 응답해석 결과는 기존에 적용되어 왔던 외국사의 결과와 비교하여 그 신뢰성을 확인할 수 있었다.

본 연구 수행동안 한국해군의 충격설계기준이 미흡하여 내충격 안전성평가에 어려움이 있었다. 향후 동분야 국내기술 및 장비의 발전을 위해 한

국해군의 많은 지원과 관련기관들의 활발한 연구 개발이 요구된다 하겠다.

참고문헌

- [1] 정정훈, 김병현, 정태영, "함정용 탑재장비의 내충격 성능평가기술," 대한조선학회지, 제 33 권, 제 2호, 1996
- [2] MTU, "Shock Calculation Report EAM 24038," 1994
- [3] IKL, "Design Report 124-232/0432-01-00-00," 1989
- [4] MIL-E-23457B, "Engine, Diesel Marine, Propulsion and Auxiliary, Medium Speed," 1976
- [5] NAVSEA 0908-LP-000-3010, "Shock Design Criteria for Surface Ships," 1976
- [6] BV043, "Building Specification for Ships of the Federal Armed Forces : Shock Resistance," 1985
- [7] MIL-STD-901C/D, "Shock Tests, H.I.(High Impact); Shipboard Machinery, Equipment and Systems, Requirements for," 1963/1989
- [8] MIL-STD-167, "Mechanical Vibration of Shipboard Equipment," 1974