수직발사 유도탄의 진동시험에서 유도탄 장착방향의 영향에 대한 연구

Study on the Effects of the Mounting Direction of Vertically-launched Missiles in Vibration Tests

이 호 준† · 김 기 언*

Hojun Lee and Ki-Eun Kim

(Received November 9, 2012 ; Revised February 5, 2013 ; Accepted February 15, 2013)

Key Words : Vertically-launched Missiles(수직발사 유도탄), Vibration Test(진동시험), Mounting Direction(장착방향), Static Deflection(정적처짐), Test Fixture(시험치구)

ABSTRACT

Vertically-launched missiles are supported as erected vertically in the vertical launching system of warship, and they should be mounted in the same way when vibration-tested. However, mounting missiles vertically makes a fixture, which is a supporting structure, bulky and heavy so requiring a high-performance exciter. Mounting missiles as laid down horizontally in a vibration test is economical regarding fixture manufacturing and exciter performance, but it makes test results incorrect because the different mounting direction has effects on the test results. A bending moment due to missiles' weight happens to missiles, and resilient mounts, which support missiles in the vertical launch system, deflect differently from the real situation because of the static deflection of these mounts due to missiles' weight. If the resilient mounts supporting missiles have nonlinear force-deflection characteristics, vibration test results become more different from the true results. This paper proposes to support missiles with an additional resilient mount such as a bungee code in order to solve those problems coming from mounting vertically-launched missiles as laid down horizontally in vibration tests. The proposed approach enables to obtain the same test results as in their actual mounting condition even though vertically-launched missiles are mounted in a different direction.

1. 서 론

함정에 장착되는 장비를 개발하는 경우 함정의 진동환경에 대한 장비의 생존성을 확인하기 위하여 진동시험을 수행해야 하며, 미국 군사규격인 MIL-STD-167-1A⁽¹⁾이 함상장비의 진동시험 규격으로 국내외에서 널리 활용되고 있다⁽²⁾. 함정의 수직발사대에

장착되는 수직발사 유도탄도 이러한 시험규격에 따라 함정의 진동환경에 대한 생존성을 검증해야 한다.

진동시험을 수행할 때는 피시험체의 실제 장착조건을 동일하게 모사하는 것이 가장 바람직하다. 그러나 함정의 수직발사대에 수직으로 세워 장착되는 수직발사 유도탄을 Fig. 1의 첫 번째 경우와 같이 진동시험 시에 수직으로 세워 지지하면 유도탄의 길이를 고려했을 때 시험치구가 매우 거대해지고, 이

† Corresponding Author ; Member, Agency for Defense Development
E-mail : globaljun@add.re.kr
Tel : +82-42-821-4921
* Agency for Defense Development

‡ Recommended by Editor Don Chool Lee

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

에 따라 시험치구의 크기와 중량이 증가하면서 가진기에 요구되는 성능도 매우 높아지게 된다. 유도탄을 지지하는 데에도 문제점이 발생한다. 함정에서는 수직발사대가 상/하부에서 함정 구조물에 견고하게 고정되어 유도탄을 상/하부에서 안정적으로 지지하나, 진동시험 시에는 시험치구가 하부에서만 가진기에 고정되고 상부에서는 지지되는 부분이 없어 유도탄을 상부에서 지지하는 데 한계가 있기 때문이다. 따라서 수직발사 유도탄을 수직으로 세워 지지한 상태로 진동시험을 수행하면 상부에서 상당한 진동증폭이 발생할 수 있다.

수직발사 유도탄의 상부는 Fig. 2와 같이 유도탄 측면에 장착된 고무 마운트에 의해 수직발사대 내부에서 지지된다. 따라서 Fig. 1의 두 번째 경우와 같이 유도탄을 수평으로 눕혀 지지하면 유도탄 상부의 고무 마운트가 유도탄 자중에 의해 눌리게 되어 고무 마운트에 무리한 하중이 가해지고, 고무 마운트가 비선형 거동 특성을 가질 경우 유도탄 자중에 의한 정적 처짐의 영향으로 정적 평형상태에서 강성과 같은 고무 마운트의 특성이 달라져 유도탄이 실제와

다른 동적 거동을 나타내게 된다. 또한 유도탄에 자중에 의한 굽힘 응력이 부가적으로 발생한다. 유도탄을 수평방향으로 지지함에 따라 발생하는 고무 마운트의 정적 처짐과 유도탄의 자중에 의한 굽힘응력은 진동시험에서 실제와 다른 시험결과를 야기할 수 있다. 즉 실제 환경에서 발생하지 않을 구조적 손상을 발생시키거나 그 반대의 결과를 가져올 수 있다.

이와 같은 문제점을 해결하고자 이 논문에서는 Fig. 1의 세 번째 경우와 같이 수직발사 유도탄을 수평방향으로 지지할 경우 번지코드와 같은 탄성 지지구조물로 유도탄을 추가 지지할 것을 제안한다. 이러한 방법을 활용하면 진동시험 시 수직발사 유도탄을 수평으로 눕혀 지지하여도 실제 환경에서와 같은 시험결과를 얻을 수 있게 된다.

피시험체의 장착방향이 진동시험에 미치는 영향에 대하여 분석된 바가 있다³⁾. 진동시험 시 피시험체의 장착방향이 실제 조건과 다르며 이런 상이한 조건이 상당한 정적 처짐을 가져올 경우 피시험체는 정적 처짐에 의한 하중이 부가되어 실제 조건보다 더 많은 변형을 나타낸다는 것을 선형 시스템을 통하여 입증하였고, 이러한 정적 처짐을 최소화하기 위하여 탄성 구조물을 이용하여 피시험체를 추가 지지할 것을 제안하였다. 그러나 선형 시스템에서는 피시험체의 장착방향이 실제와 달라 정적 처짐이 발생하여도 강성과 같은 피시험체의 특성이 변하지 않기 때문에 피시험체가 실제와 동일한 동적 거동을 나타낸다. 즉 진동시험 시에 피시험체가 동일한 가속도 응답을 나타내기 때문에 선형 시스템을 통해서는 피시험체의 장착방향이 진동시험에 미치는 영향에 대하여 충분히 이해하기가 어렵다.

이 논문에서는 1 자유도 비선형 시스템 예제를 통하여 피시험체의 장착방향이 진동시험에 미치는 영향에 대하여 보다 실제적으로 분석하고, 피시험체를 탄성 지지구조물로 추가 지지하면 이러한 영향이 최소화된다는 것을 검증한다. 그리고 수직발사 유도탄의 지지구조를 모델링하여 유도탄을 수직이 아닌 수평방향으로 지지할 경우의 진동시험 결과에 대하여 검토하고, 수평방향으로 지지할 경우 탄성 지지구조물로 유도탄을 추가 지지하여 유도탄의 자중에 의한 정적 처짐이 야기하는 영향을 최소화하면 실제와 동일한 수준의 시험결과를 얻을 수 있다는 것을 검증한다.

Fig. 1 Vibration test configurations of vertically-launched missiles(case 1: vertical mounting, case 2: horizontal mounting, case 3: horizontal mounting with an additional resilient mount)

Fig. 2 Upper supporting structure

2. 1 자유도 비선형계의 진동시험에서 피시험체 장착방향의 영향

Fig. 3과 같이 1 자유도 비선형 스프링-질량계가 서로 다르게 지지된 세 가지 경우를 통하여 비선형 거동을 하는 피시험체의 진동시험에서 피시험체의 장착방향이 진동시험에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 피시험체를 실제와 다른 방향으로 장착하여 진동시험을 수행하면 어떠한 문제가 발생하고 어떻게 하면 이러한 문제를 해결할 수 있는 지 이해하는 데 그 목적이 있다. 첫 번째 경우는 비선형 스프링 k 에 수평방향으로 구속된 질량 m 이 마찰력이 없는 베어링에 지지되어 수평방향으로 움직이는 경우이고, 두 번째 경우는 비선형 스프링 k 에 수직방향으로 지지된 질량 m 이 수직방향으로 움직이는 경우이다. 첫 번째 경우에는 정적 평형위치에서 비선형 스프링 k 에 처짐이 발생하지 않지만, 두 번째 경우에는 질량 m 에 작용하는 중력에 의하여 비선형 스프링 k 에 정적 처짐 Δ 가 발생한다. 세 번째 지지 경우는 두 번째 경우에서 비선형 스프링 k 의 정적 처짐 Δ 를 방지하기 위하여 질량 m 을 선형 스프링 k' 로 추가 지지한 경우로, 비선형 스프링 k 대신 선형 스프링 k' 에 정적 처짐 Δ' 가 발생한다. 여기서 스프링 k 는 변형량에 따라 강성이 비선형적으로 변하고, 스프링 k 와 k' 는 질량이 없다고 가정한다.

이 세 가지 지지 구조에 대하여 진동시험을 수행할 경우의 자유물체도를 Fig. 4에 나타냈다. 여기서 x 는 질량 m 의 변위이고, y 는 비선형 스프링 k 의 지지점의 변위이다. 진동시험에서는 일반적으로 피시험체인 질량 m 을 지지하는 구조물인 비선형 스프링 k 의 지지점이 가진된다.

첫 번째 지지 경우에서 질량 m 에 작용하는 힘은 변위 x 와 y 에 의한 스프링 힘이고, 운동방정식은 식 (1)과 같다. 이때 비선형 스프링 k 의 강성은 식 (2)와 같이 스프링 변형량 δ 의 함수로 표현된다.

$$m\ddot{x} + k(x-y) = 0 \quad (1)$$

$$k \equiv k(\delta) \equiv k(x-y) \quad (2)$$

두 번째 지지 경우에서는 정적 평형위치에서 비선형 스프링 k 에 정적 처짐 Δ 가 발생한다. 정적 평형위치를 변위 x 의 기준점으로 선택하면 질량 m 에 작용하는 힘은 $k(x-y+\Delta)$ 와 mg 가 된다. 여기서 g 는 중력가속도이다. 질량 m 에 작용하는 중력 mg 와 정적 처짐에 의한 스프링 힘 $k\Delta$ 가 상쇄되어 운동방정식이 식 (3)과 같이 첫 번째 경우와 동일해진다. 그러나 비선형 스프링 k 에 정적 처짐 Δ 가 발생하므로 스프링 k 의 강성은 식 (4)와 같이 표현되며 첫 번째 경우와 달라진다.

$$m\ddot{x} - mg + k(x-y+\Delta) = m\ddot{x} + k(x-y) = 0 \quad (3)$$

$$k \equiv k(\delta) \equiv k(x-y+\Delta) \quad (4)$$

세 번째 지지 경우에서는 정적 평형위치에서 비선형 스프링 k 대신 선형 스프링 k' 에 정적 처짐 Δ' 이 발생한다. 정적 평형위치를 변위 x 의 기준점으로 선택하면 질량 m 에 작용하는 힘은 $k(x-y)$, $k'(x-y+\Delta')$, mg 가 된다. 이 경우에 운동방정식은 식 (5)에서와 같이 첫 번째 경우와 달라지지만, 비

Fig. 3 Three mounting cases of the 1 DOF system with the nonlinear spring k

Fig. 4 Free body diagrams for the three mounting cases of the 1 DOF nonlinear system

선형 스프링 k 에 정적 처짐이 없으므로 스프링 k 의 강성은 식 (6)과 같이 첫 번째 경우와 동일해진다.

$$m\ddot{x} - mg + k(x-y) + k'(x-y+\Delta') = m\ddot{x} + (k+k')(x-y) = 0 \quad (5)$$

$$k \equiv k(\delta) \equiv k(x-y) \quad (6)$$

첫 번째와 두 번째 지지 경우는 운동방정식은 같지만 두 번째 경우에서 비선형 스프링 k 에 정적 처짐 Δ 에 의한 하중이 부가적으로 작용한다. 또한 정적 평형위치에서 비선형 스프링 k 의 강성이 다르므로 스프링 k 의 지지점의 운동에 대하여 질량 m 이 두 경우에서 서로 다른 응답을 나타낸다. 즉 합상 진동시험에서 비선형 스프링 k 에 작용하는 하중과 피시험체인 질량 m 의 동적 거동이 달라져 서로 상이한 결과를 가져올 수 있다. 첫 번째와 세 번째 지지 경우는 운동방정식은 다르지만 비선형 스프링 k 에 정적 처짐이 없고, 정적 평형위치에서 스프링 k 의 강성이 서로 동일하다.

피시험체의 정적 처짐 Δ 가 작은 경우에는 첫 번째 경우와 같이 지지되는 피시험체를 두 번째 경우와 같이 지지하여 진동시험을 수행해도 무방하지만, 정적 처짐 Δ 가 상당한 경우에는 두 번째 경우와 같이 지지하여 진동시험하면 실제 환경에서는 없을 구조적 손상이 발생하거나 그 반대의 결과가 나올 수 있다. 이러한 경우, 비선형 스프링 k 대비 상당히 작은 값의 강성을 가지는 선형 스프링 k' 를 사용하여 세 번째 경우와 같이 피시험체를 추가 지지하면 첫 번째 경우와 거의 동일한 동적 거동을 나타내면서도 비선형 스프링 k 에 작용하는 하중도 같아지는 효과를 얻을 수 있다.

3. 1 자유도 비선형계의 세 가지 지지구조에 대한 진동시험 시뮬레이션

1 자유도 비선형계의 세 가지 지지구조에 대하여 MIL-STD-167-1A 시험규격에 의한 진동시험을 시뮬레이션하여 피시험체를 실제와 다른 방향으로 장착하여 진동시험을 수행할 때 발생하는 문제점을 시뮬레이션 결과를 통해 설명하고, 그러한 문제점을 해결하기 위하여 이 논문에서 제안하는 방안의 유효성을 검증해 보겠다. MIL-STD-167-1A

시험규격은 피시험체를 4~33 Hz의 주파수 구간에서 각 주파수 별로 정해진 진폭에 따라 정현파와 가진하도록 규정하고 있다. 비선형 스프링 k 의 지지점이 첫 번째 지지 경우에서는 수평 방향으로 가진되고, 두 번째와 세 번째 지지 경우에는 수직 방향으로 가진된다. 진동시험 시뮬레이션에 적용된 1 자유도 비선형계의 제원은 아래와 같다. 질량 m 과 선형 스프링 k' 만으로 구성된 1 자유도계의 고유진동수가 1 Hz가 되도록 선형 스프링 k' 의 강성을 설정하였다.

- 질량 $m = 1 \text{ kg}$
- 비선형 스프링 강성 k : Fig. 5의 성능곡선 참조
- 임계 감쇠비 $\xi = 0.1$
- 선형 스프링 강성 $k' = 39.5 \text{ N/m}$

5 Hz의 가진 주파수로 진동 시험한 경우의 질량 m 의 변위 및 가속도 응답 시뮬레이션 결과를 Fig. 6과 7에 나타냈다. 녹색 실선이 첫 번째 지지 경우의 결과이고, 적색 실선이 두 번째 지지 경우의 결과이며, 청색 실선이 세 번째 지지 경우의 결과이다. 흑색 점선은 지지점에서의 가진 변위 및 가속도 규격이다. Fig. 6을 보면 두 번째 지지 경우에서 정적 처짐이 발생하여 질량 m 의 총 변위가 첫 번째 지지 경우보다 더 크다. 이는 비선형 스프링 k 에 더 큰 하중을 인가하여 첫 번째 지지 경우에서 발생하지 않을 구조적 손상을 발생시킬 수 있다. 또한 Fig. 7을 보면 두 번째 지지 경우에서 질량 m 의 가속도 최대 응답이 첫 번째 지지 경우 보다 작다. 이는 진동이 시작되는 정적 평형위치에서 비선형 스프링 k 의 강성이 달라지기 때문이며, 이러한 가속도 응답의

Fig. 5 Characteristic curve of nonlinear spring k

Fig. 6 Vibration test results(5 Hz) for the three mounting cases of the 1 DOF nonlinear system(displacement response and excitation level)

Fig. 7 Vibration test results(5 Hz) for the three mounting cases of the 1 DOF nonlinear system(acceleration response and excitation level)

차이로 인하여 첫 번째 지지 경우에서 발생할 피시험체인 질량 m 의 구조적 손상이 두 번째 지지 경우에는 발생하지 않을 수 있다.

이에 반하여 세 번째 지지 경우에는 질량 m 의 변위 및 가속도 응답이 첫 번째 지지 경우와 동일한 수준이다. 즉 첫 번째 경우와 같이 지지되는 피시험체를 세 번째 경우와 같이 지지하여 진동시험을 수행해도 동일한 결과를 기대할 수 있게 된다.

Fig. 8과 9는 10 Hz의 가진 주파수로 진동시험한 경우의 시뮬레이션 결과이다. Fig. 8을 보면 질량 m 의 총 변위가 5 Hz 진동시험 결과와 같이 첫 번째 지지 경우보다 두 번째 지지 경우에서 더 크다. 그러나 Fig. 9를 보면 5 Hz 진동시험 결과와 달리 두 번째 지지 경우에서 질량 m 의 가속도 최대 응답이 첫 번째 지지 경우보다 더 크다. 이는 첫 번째 지지

Fig. 8 Vibration test results(10 Hz) for the three mounting cases of the 1 DOF nonlinear system(displacement response and excitation level)

Fig. 9 Vibration test results(10 Hz) for the three mounting cases of the 1 DOF nonlinear system(acceleration response and excitation level)

경우에서 발생하지 않을 질량 m 의 구조적 손상이 두 번째 지지 경우에는 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 세 번째 지지 경우에는 5 Hz 진동시험 결과와 같이 질량 m 의 변위 및 가속도 응답이 첫 번째 지지 경우와 동일한 수준이다.

4. 수직발사 유도탄의 세 가지 지지구조에 대한 진동시험 시뮬레이션

수직발사 유도탄이 Fig. 1과 같이 세 가지 방법으로 지지된 경우에 대하여 MIL-STD-167-1A 시험규격에 의한 진동시험을 시뮬레이션하여 수직발사 유도탄을 수직이 아닌 수평 방향으로 장착하여 진동시험을 수행할 때 발생하는 문제점을 검토하고, 그러한 문제점을 해결하기 위하여 이 논문에서 제안하는

Fig. 10 Simulation models for the three mounting cases of the vertically-launched missile

Fig. 11 Characteristic curve of the vertically-launched missile rubber mount

방안, 즉 세 번째 지지 방법의 유효성을 검증해 보겠다.

수직발사 유도탄의 세 가지 지지 경우에 대한 진동시험 시뮬레이션 모델을 Fig. 10에 나타냈다. 여기서 적색은 빔(beam)으로 모델링된 유도탄을 나타내고, 녹색은 강체(rigid body)로 모델링된 시험치구를 나타낸다. 흑색 점선은 유도탄 전방의 고무 마운트와 세 번째 지지 경우에서 유도탄을 추가 지지한 스프링을 나타낸다. 유도탄 전방부의 A, B와 후방의 C지점을 시험치구로 고정하였고, 시험치구의 C지점 또는 D지점(두 번째와 세 번째 지지 경우)에 화살표 방향의 가진하중을 부가하였다. 유도탄을 아래 제원의 빔 모델로 단순화하였고, 유한요소해석 프로그램 Abaqus를 활용하여 진동시험에 대하여 비선형 동역학 해석을 수행하였다. 유도탄 추가 지지용 스프링은 유도탄을 추가 지지용 스프링만으로 지지할 경우의 1차 고유진동수가 1 Hz가 되도록 강성을 설정하였다.

- 단면 : 사각형 0.27×0.27 m, 길이 : 5.0 m
- 탄성계수 : 71.7 GPa, 밀도 : $2,800 \text{ kg/m}^3$
- 임계감쇠비 : 0.1
- 고무 마운트 스프링 강성 : Fig. 11의 성능곡선 참조
- 추가 지지 스프링 강성 : 40,000 N/m

9 Hz의 가진 주파수로 진동시험 한 경우의 유도탄 전방(1번 노드)에서의 가속도 응답과 유도탄 후방에서(20번 요소)의 스트레인 응답에 대한 시뮬레이션 결과를 Fig. 12와 13에 나타냈다. 녹색 실선이 첫 번째 지지 경우의 결과이고, 적색 실선이 두 번째 지지 경우의 결과이며, 청색 실선이 세 번째 지지 경우의 결과이다. 흑색 점선은 지지점에서의 가진 규격이다.

Fig. 12를 보면 유도탄 전방에서의 가속도 응답이 첫 번째와 세 번째 지지 경우에서는 동일하지만, 두 번째 지지 경우에는 작게 나타났다. 이는 수직발사 유도탄을 두 번째 경우와 같이 지지하여 진동시험을 수행하면 유도탄 전방에서의 가속도 응답이 실제 경우보다 작아져 유도탄 전방부에 탑재된 장비들에 대하여 시험규격 이하의 진동수준이 가해진다는 것을 의미한다. 유도탄 전방부에 탑재되는 탐색기(seeker)와 같은 주요 장비들에 대하여 실제 장착조건에서는 발생할 구조적 손상이 진동시험에서 나타나지 않아 함상진동에 대한 유도탄의 생존성을 검증하는 데 오류를 범할 수 있는 것이다. 그러나 수직발사 유도탄을 세 번째 경우와 같이 지지하면 유도탄의 가속도 응답이 동일해져 실제와 동일한 진동시험 결과를 기대할 수 있게 된다.

또한 Fig. 13을 보면 유도탄 후방에서의 스트레인 응답이 첫 번째와 세 번째 지지 경우에서는 동일하지만, 두 번째 지지 경우에는 이와 다르게 나타났다. 스트레인 응답이 첫 번째와 세 번째 지지 경우에는 영점을 중심으로 양과 음의 값으로 변동하지만, 두 번째 지지 경우에는 정적 처짐에 의한 스트레인 값을 중심으로 대부분 음의 값 내에서 변동한다. MIL-STD-167-1A 진동시험에서는 피시험체를 고유진동수에서 최대 2시간까지 가진하여 피시험체의 내구성을 검증하도록 규정하고 있다. 수직발사 유도탄을 두 번째 경우와 같이 지지하면 유도탄 후방에서 유도탄을 지지하는 폭발볼트 또는 기타의 구성품들이

Fig. 12 Vibration test results(9 Hz) for the three mounting cases of the vertically-launched missile(acceleration response and excitation level)

Fig. 14 Vibration test results(30 Hz) for the three mounting cases of the vertically-launched missile(acceleration response and excitation level)

Fig. 13 Vibration test results(9 Hz) for the three mounting cases of the vertically-launched missile (strain response)

Fig. 15 Vibration test results(30 Hz) for the three mounting cases of the vertically-launched missile(strain response)

진동시험에서 실제와 다른 조건의 피로 반복하중을 받아 실제와 다른 시험결과를 가져올 수 있는 것이다. 그러나 세 번째 경우와 같이 지지하면 실제와 동일한 시험결과를 얻을 수 있다.

Fig. 14와 15는 30 Hz의 가진 주파수로 진동시험한 경우의 유도탄 전방에서의 가속도 응답과 유도탄 후방에서의 스트레인 응답에 대한 시뮬레이션 결과이다. Fig. 14를 보면 유도탄 전방에서의 가속도 응답이 세 가지 지지 경우에서 모두 동일한 수준으로 나타났다. 그러나 Fig. 15를 보면 유도탄 후방에서의 스트레인 응답이 첫 번째와 세 번째 지지 경우에는 동일하지만 두 번째 지지 경우에는 이와 다르게 나타났다. 즉 수직발사 유도탄의 진동시험에서 유도탄의 장착 방향에 따라 유도탄의 가속도 응답이 유사하게 나와도 스트레인 응답이 달라질 수 있다는

것을 의미한다.

5. 결 론

이 논문에서는 1 자유도 비선형계의 예제를 통하여 비선형 거동을 하는 피시험체의 진동시험에서 피시험체의 장착방향이 진동시험에 미치는 영향에 대하여 분석하고, 피시험체를 실제와 다른 방향으로 장착하여 진동시험을 수행할 때 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 피시험체를 탄성 지지구조물로 추가 지지할 것을 제안하였다. 수직발사 유도탄은 함정의 수직발사대에 수직으로 세워져 지지되나 진동시험 시에 유도탄을 실제와 같이 수직으로 세워 지지하면 시험치구가 거대해지고, 높은 성능의 가진기가 요구되며, 또한 유도탄 상부에서 지지하는 데 한

계가 있다. 수직발사 유도탄을 수평으로 지지하여 진동시험을 수행하면 시험치구의 제작성이나 가진기의 성능 면에서 경제적으로 유리하나 유도탄의 자중에 의한 효과 때문에 올바른 시험결과를 기대할 수 없게 된다. 그러나 이 논문에서 제안하는 방법과 같이 진동시험 시에 수평으로 지지된 유도탄을 번지코드와 같은 탄성 지지구조물로 추가 지지하면 유도탄을 수직으로 세워 지정한 경우와 동일한 시험결과를 기대할 수 있게 된다.

참 고 문 헌

- (1) 2005, Test Method Standard - Mechanical Vibration of Shipboard Equipment, MIL-STD-167-1A, Department of Defense, USA.
- (2) Mun, S. J. and Kim, H. S., 2010, Noise · Vibration · Shock Test & Evaluation Methods and Current Status for Shipboard Equipment, Defense and Technology.
- (3) Lee, H. J. and Kim, K.-E., 2012, Conceptual Study on the Effects of the Mounting Direction of Test

Equipment on Its Vibration Tests, Proceedings of the Korea Institute of Military Science and Technology General Conference, pp. 1653~1656.

Hojun Lee is a senior researcher at the Agency for Defense Development, Korea. He received his MS degree in mechanical engineering from Hanyang University. His research interests are structural design, shock/vibration, and dynamics.

Ki-Eun Kim is a principal researcher at the Agency for Defense Development, Korea. He received his PhD degree in aeronautical engineering from Texas A&M, USA. His research interests are structural design, aeroelasticity, shock/vibration, and dynamics.