

함정탑재장비 진동 측정불확도 추정

Estimation of Uncertainty in Vibration Measurement of Shipboard Equipment

박 성 호*. 이 경 현*. 한 형 석†

Sungho Park, KyungHyun Lee and HyungSuk Han

(Received April 28, 2014 ; Revised June 24, 2014 ; Accepted July 4, 2014)

Key Words : Uncertainty in Measurement(측정불확도), Vibration Measurement(진동측정)

ABSTRACT

This paper proposes estimation model of uncertainty in vibration measurement of shipboard equipment and analyzes the result of uncertainty estimation. Vibration of shipboard equipments affects underwater radiated noise that is important performance related to stealth of the naval vessel. Acceptance testing for shipboard equipment is required to guarantee the stealth performance of naval vessel. In measuring, detailed uncertainty estimation is essential to improve measuring reliability. Acceptance testing result of structure-borne noise and vibration is used to analyze uncertainty in vibration measurement of shipboard equipment.

1. 서 론

함정탑재장비의 소음/진동은 기계적 성능, 탑승자의 근무환경 및 안락함과 밀접한 연관성을 가지고 있다. 더욱이 함정탑재장비의 소음/진동은 함정의 구조물을 통과하여 수중방사소음에 영향을 미치게 된다⁽¹⁾. 수중방사소음은 함정에서 수중을 통해 적군에게 가정 멀리 전파되는 함정 신호이며, 함정의 위치 및 속도 등의 정보를 포함하고 있다. 따라서 함정에 탑재되는 장비의 경우 공기소음(airborne noise), 구조소음(structureborne noise), 진동(vibration) 등과 같은 소음/진동 특수 성능에 대하여 군 규격에서 요구하는 성능기준을 만족하여야 한다⁽²⁾.

함정탑재장비 특수성능 시험평가에 있어 다양한 측정불확도 요인이 존재한다. 한국인정기구(KOLAS, Korea Laboratory Accreditation Scheme)에서는 시

험결과에 올바른 측정불확도가 고려될 수 있도록 “측정결과의 불확도추정 및 표현을 위한 지침”을 발간하였다. 실제로 함정탑재장비의 특수성능 시험평가는 주변의 환경이 통제된 무향실 환경 혹은 주변의 환경 통제가 불가능한 공장환경 등 다양한 시험 환경에서 수행될 수 있으며 시험평가의 종류에 따라 적절한 측정불확도 요인을 추정하여야 한다.

이 연구에서는 함정탑재장비의 구조소음 및 진동 특수성능 시험평가를 수행함에 있어 불확도에 영향을 미치는 인자를 파악하고 모델식을 제안하며 측정 불확도 각각의 인자가 미치는 영향의 크기를 분석하고자 한다.

2. 측정불확도 추정모델

2.1 측정불확도

측정불확도란, GUM(guide to the expression of

† Corresponding Author ; Member, DTaQ
E-mail : hshan@dtaq.re.kr
Tel : +82-51-750-2565, Fax : +82-51-758-3992
* Member, DTaQ

A part of this paper was presented at the KSNVE 2014 Annual Spring Conference

‡ Recommended by Editor Don Chool Lee

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

uncertainty in measurement, 측정불확도 표현지침서)에 의하면 측정결과와 관련하여 측정량을 합리적으로 추정된 값들의 분산특성을 나타내는 파라미터로 정의되고 있다. 측정불확도는 반복 시험측정을 통해 분산을 활용한 A형 표준불확도와 기존의 정보 또는 문헌을 통해 추정값이 가질 수 있는 확률밀도 함수를 활용한 B형 표준불확도로 구분될 수 있다. 시험결과에 영향을 미치는 다양한 측정 불확도 인자에 대하여 적절한 수학적 모델 및 통계적 분석기법을 적용하여 보다 정확한 측정의 불확도를 추정할 수 있다.

2.2 구조소음 측정불확도 추정모델

구조소음의 경우 특수성능 시험평가에 있어 MIL-STD-740-2(SH) 규격의 요구조건을 만족하여야 한다⁽³⁾. 구조소음 시험규격에서는 배경진동을 보정하지 않도록 규정하고 있으며, 배경진동의 레벨이 장비의 진동 레벨보다 10 dB 이상 차이가 나는 환경 조건에서만 시험평가가 이루어지도록 명시하고 있다. 또한 현장교정을 실시한 후 시험평가를 수행하도록 명시하고 있다. 구조소음의 크기는 데시벨(dB) 단위를 사용하여 나타내고 있으며, 기준값으로 $a_{ref} = 10 \mu\text{m/s}^2$ 을 적용하고 있다.

(1) 계측데이터 분해능 불확도 모델

계측데이터 분해능(data resolution uncertainty)에 대한 불확도는 아래의 관계식과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_{res} = a_m \times 10^{\frac{\Delta a_{res}}{20}} \quad [\text{m/s}^2] \quad (1)$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{a_{res}}{a_{ref}} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{a_m}{a_{ref}} \right) + \Delta a_{res} \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

여기서 a_m 은 계측된 가속도 레벨, a_{res} 는 분해능 불확도가 포함된 가속도 레벨, Δa_{res} 는 계측데이터 분해능 오차를 의미한다.

계측데이터 분해능 불확도는 직사각형 확률분포를 따른다고 가정하여 산출할 수 있다. 임의의 변수에 대한 불확도를 u , 계측데이터 분해능을 B_{res} 라 하였을 경우 계측데이터 분해능 불확도는 아래와 같이 산출할 수 있다.

$$u(\Delta a_{res}) = \left(B_{res} / \sqrt{3} \right) \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

(2) 센서계측 불확도 모델

센서계측 불확도(sensor measuring uncertainty)의 경우 각 주파수에서의 민감도 불확도와 계측된 전압의 불확도에 영향을 받게 된다. 측정된 가속도는 각 주파수에 대하여 센서에서 계측된 전압의 진폭을 민감도로 나눈 값으로 표현된다.

$$a_m = (V_f / S_f) \quad [\text{m/s}^2] \quad (4)$$

$$20 \log_{10} (a_m / a_{ref}) = 20 \left[\log_{10} V_f - \log_{10} S_f - \log_{10} a_{ref} \right] \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

여기서 V_f 는 각 주파수에서 계측된 전압 진폭값, S_f 는 각 주파수에서의 센서 민감도를 의미한다.

가속도 센서 계측의 불확도는 12회 반복측정을 통한 전압측정 불확도 및 교정성적서의 정보를 활용한 주파수별 센서 민감도 불확도를 합성하여 불확도를 산출할 수 있다.

$$u(20 \log_{10} \frac{a_m}{a_{ref}}) = \frac{20}{\ln 10} \sqrt{\frac{u(V_f)^2}{V_f^2} + \frac{u(S_f)^2}{S_f^2}} \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

(3) 현장교정 불확도 모델

현장교정은 온도, 압력 등의 영향을 보상하기 위하여 필수적으로 이루어지도록 규정되어 있다. 현장교정 불확도(field calibration uncertainty)의 경우 교정기 표준치의 불확도, 센서 민감도 불확도, 계측된 전압값 불확도에 영향을 받는다. 현장교정에서 측정된 가속도 값은 현장교정 이득값을 통해 교정기 표준치와 같아야 한다.

$$\tilde{A} = K_{cal} \left(\frac{V_{cal}}{S_{cal}} \right) \quad [\text{m/s}^2] \quad (7)$$

여기서 \tilde{A} 는 교정기의 표준값을 의미하며, K_{cal} 은 현장교정 이득값, V_{cal} 은 현장교정시 센서에서 발생하는 전압 진폭값, S_{cal} 은 현장교정이 실시되는 주파수에서의 센서 민감도를 의미한다.

시험측정에서 계측된 가속도와 현장교정 이득값

은 아래의 관계식을 만족한다.

$$a_{cal} = K_{cal} a_m = \left(\frac{\tilde{A} S_{cal}}{V_{cal}} \right) a_m \quad [m/s^2] \quad (8)$$

$$20 \log_{10} (a_{cal} / a_{ref}) = 20 \left[\log_{10} \tilde{A} + \log_{10} S_{cal} - \log_{10} V_{cal} \right] + 20 \log_{10} (a_m / a_{ref}) \quad [dB] \quad (9)$$

여기서 a_{cal} 은 현장교정 이득값을 통해 보상된 가속도 계측값을 의미한다.

현장교정 불확도는 교정성적서에 나타난 교정기 표준치의 불확도, 교정주파수 센서 민감도 불확도 및 12회 반복측정을 통한 측정전압 진폭값의 불확도를 합성하여 산출할 수 있다.

$$u(20 \log_{10} a_{cal} / a_{ref}) = \frac{20}{\ln 10} \sqrt{\frac{u(V_{cal})^2}{V_{cal}^2} + \frac{u(S_{cal})^2}{S_{cal}^2} + \frac{u(\tilde{A})^2}{\tilde{A}^2}} \quad [dB] \quad (10)$$

(4) 구조소음 측정불확도 합성

구조소음 시험평가에 있어 계측데이터 분해능 불확도, 센서장비 주파수별 민감도 불확도, 현장교정 감도보상 불확도를 모두 포함한 가속도의 값을 a_{total} 라 하였을 때 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$a_{total} = K_{cal} a_m 10^{\frac{\Delta a_{res}}{20}} = \left(\frac{\tilde{A} S_{cal} V_f}{V_{cal} S_f} \right) 10^{\frac{\Delta a_{res}}{20}} \quad [m/s^2] \quad (11)$$

$$20 \log_{10} (a_{total} / a_{ref}) = 20 \left[\log_{10} \tilde{A} + \log_{10} S_{cal} + \log_{10} V_f \right] - 20 \left[\log_{10} V_{cal} + \log_{10} S_f + \log_{10} a_{ref} \right] + \Delta a_{res} \quad [dB] \quad (12)$$

구조소음의 불확도 합성은 직사각형 확률분포를 따르는 계측데이터 분해능 불확도, 교정성적서의 정보를 활용하는 교정기 표준값 불확도 및 센서민감도 불확도, 반복측정을 통해 얻을 수 있는 측정전압 진폭값 불확도를 합성하여 얻을 수 있다.

$$u(20 \log_{10} a_{total} / a_{ref}) = \frac{B_{res}}{\sqrt{3}} + \frac{20}{\ln 10} \times \sqrt{\frac{u(V_{cal})^2}{V_{cal}^2} + \frac{u(V_f)^2}{V_f^2} + \frac{u(S_{cal})^2}{S_{cal}^2} + \frac{u(S_f)^2}{S_f^2} + \frac{u(\tilde{A})^2}{\tilde{A}^2}} \quad [dB] \quad (13)$$

2.3 진동 측정불확도 추정모델

진동의 경우 특수성능 시험평가에 있어서 MIL-STD-167-1A 규격의 요구조건을 만족하여야 한다⁽⁴⁾. 진동 시험규격에서는 가속도 레벨이 아닌 변위에 대한 기준값을 제시하고 있다. 따라서 시험측정을 통해 계측된 가속도 레벨의 값을 아래의 식을 통해 변위 값으로 환산하여 적용하여야 한다.

$$D = \left(\frac{10^3}{(2\pi f)^2} \right) \times a_{amp} \quad [mm] \quad (14)$$

여기서 a_{amp} 는 진동가속도 진폭의 크기, D 는 진동 변위의 크기, f 는 주파수(Hz)를 의미한다.

진동규격에서는 현장교정이나 배경진동의 보상과 관련된 조항을 언급하고 있지 않다. 진동 변위측정 모델에서 배경진동 보상에 대한 관계식을 포함하여 배경진동이 시험측정 불확도에 미치는 영향을 분석해보고자 한다.

(1) 계측데이터 분해능 불확도 모델

계측데이터 분해능에 대한 불확도는 아래의 관계식과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_{res} = a_{amp} + \frac{(2\pi f)^2}{10^3} \Delta a_{res} \quad [m/s^2] \quad (15)$$

$$D_{res} = \frac{10^3}{(2\pi f)^2} (a_{amp}) + \Delta a_{res} \quad [mm] \quad (16)$$

계측데이터 분해능 불확도는 직사각형 확률분포를 따른다고 가정할 수 있으며, 계측데이터 분해능을 B_{res} 라 하였을 때 아래와 같이 산출할 수 있다.

$$u(\Delta a_{res}) = (B_{res} / \sqrt{3}) \quad [mm] \quad (17)$$

(2) 센서계측 불확도 모델

진동시험에서 측정된 변위의 값은 센서장비 주파수별 민감도 및 전압 진폭 측정값의 불확도를 포함하며 구조소음에서의 불확도모델 식 (4)를 활용하여 아래와 같이 모델식을 구성할 수 있다.

$$D_m = \left(\frac{10^3}{(2\pi f)^2} \right) \left(\frac{V_f}{S_f} \right) \quad [\text{mm}] \quad (18)$$

센서로 계측된 가속도의 불확도는 교정성적서에 나타난 센서 민감도 불확도와 12회 반복측정을 실시한 전압의 진폭값 불확도를 통해 구할 수 있다.

$$u(D_m) = \frac{10^3}{(2\pi f)^2} \sqrt{\frac{u(V_f)^2}{S_f^2} + \frac{V_f^2 u(S_f)^2}{S_f^4}} \quad [\text{mm}] \quad (19)$$

(3) 현장교정 불확도 모델

현장교정 실시에 따른 이득값 및 가속도 측정값은 식 (7)과 식 (8)을 만족하며 변위측정의 모델식은 아래와 같이 구성할 수 있다.

$$D_{cal} = \frac{10^3 K_{cal}}{(2\pi f)^2} a_{amp} = \frac{10^3 \tilde{A} S_{cal}}{(2\pi f)^2 V_{cal}} a_{amp} \quad [\text{mm}] \quad (20)$$

현장교정 불확도는 교정기 표준값 불확도, 교정주파수 센서 민감도 불확도, 반복측정을 통한 전압 진폭값의 불확도를 합성하여 산출할 수 있다.

$$u(D_{cal}) = \frac{10^3}{(2\pi f)^2} \times \sqrt{\frac{S_{cal}^2 u(\tilde{A})^2}{V_{cal}^2} + \frac{\tilde{A}^2 u(S_{cal})^2}{V_{cal}^2} + \frac{\tilde{A}^2 S_{cal}^2 u(V_{cal})^2}{V_{cal}^4}} \quad [\text{mm}] \quad (21)$$

(4) 배경진동 보상 불확도 모델

함정탑재장비 특수성능 시험평가는 무향실 뿐만 아니라 주변환경의 통제가 어려운 환경에서도 실시될 수 있다. 진동규격에서는 배경진동 환경조건 보상에 대한 언급이 없으며, 이 연구에서는 배경진동의 불확도(background vibration uncertainty)가 미치는 영향력을 분석하여 본다.

$$\Delta a_{back} = \left(\frac{\tilde{A} S_{cal}}{V_{cal}} \right) \left(\frac{V_{back}}{S_f} \right) \quad [\text{m/s}^2] \quad (22)$$

$$D_{compensate} = \frac{10^3}{(2\pi f)^2} (a_{amp} - \Delta a_{back}) \quad [\text{mm}] \quad (23)$$

여기서 $D_{compensate}$ 는 배경진동이 보상된 변위 추정값, Δa_{back} 은 배경진동의 진폭값, V_{back} 은 배경진동 측정시 주파수별 센서의 전압 진폭값을 의미한다.

배경진동을 보상하는 경우 불확도의 크기는 증가하여야 하므로 식 (23)을 식 (24)와 같이 수정하여야 한다. 배경진동 불확도의 경우 실제 계측시의 전압의 불확도를 12회 반복측정을 통해 측정된 배경진동의 불확도로 대체하여 산출할 수 있다.

$$D_{Uncertainty} = \frac{10^3}{(2\pi f)^2} (a_{amp} + \Delta a_{back}) \quad [\text{mm}] \quad (24)$$

(5) 진동 측정불확도의 합성

진동 시험평가의 불확도 요인을 모두 반영하여 변위를 추정한 모델식은 다음과 같다.

$$D_{total} = \frac{10^3}{(2\pi f)^2} (a_{amp} + \Delta a_{back}) + \Delta a_{res} = \frac{10^3}{(2\pi f)^2} \times \left[\left(\frac{\tilde{A} S_{cal} V_f}{V_{cal} S_f} \right) + \left(\frac{\tilde{A} S_{cal} V_{Back}}{V_{cal} S_f} \right) \right] + \Delta a_{res} \quad [\text{mm}] \quad (25)$$

데이터 분해능, 센서계측, 현장교정, 배경진동 보상의 불확도 변수는 $x = [\tilde{A}, S_{cal}, S_f, V_{cal}, V_f, V_{Back}]$ 와 Δa_{res} 로 구성되며 각각의 변수로 식 (25)를 편미분한 값을 감도계수(sensitivity coefficient) C_x 라 하였을 때 합성된 변위 계측 불확도는 다음과 같다.

$$u(D_{total}) = \frac{10^3}{(2\pi f)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^6 C_{x_i}^2 u(x_i)^2} + \frac{B_{res}}{\sqrt{3}} \quad (26)$$

3. 측정불확도 분석

3.1 측정불확도 분석요소

진동시험 측정불확도 분석과정의 경우 측정 불확도에 영향을 미치는 각각의 인자에 대하여 표준불확도를 산출하고, 이를 활용하여 데이터 분해능, 센서계측, 현장교정 및 배경진동의 합성불확도를 유형별

로 산출하며, 마지막으로 진동시험의 측정불확도를 합성하여 시험결과값의 최종적인 측정불확도의 크기를 파악한다. 또한 각 인자별 감도계수와 자유도를 파악한다. 각각의 불확도 인자별 혹은 불확도 유형별 측정불확도의 기여수준을 비교하기 위하여 전체 합성불확도 크기의 제곱의 크기에서 기여인자 혹은 유형별 불확도 크기의 제곱의 비율을 활용하여 측정 불확도 기여율을 분석한다.

3.2 구조소음 측정불확도 분석

구조소음은 함정에 탑재되는 냉수펌프를 대상으로 실시되었다. MIL-STD-740-2(SH) 규격에 의거하여 시험장비가 설치되었으며, 분석데이터는 측정대상 장비의 탄성마운트 상단 한 지점에서 수직방향의 가속도 측정결과를 활용하였다. 시험에 사용된 장비의 경우 계측기 B&K 3053-B12, 가속도계 B&K 4397, 가속도계 교정기 B&K 4294장비를 사용하였다. 시험과 관련하여 임의의 한 주파수에 대한 측정 불확도 추정 결과는 Tables 1~4와 같다.

Table 1 Date resolution uncertainty of structureborne noise

| | | |
|------------------------|-------------------------|-------------|
| Resolution uncertainty | Std uncertainty | 0.0029 [dB] |
| | Sensitivity coefficient | 1.0000 |
| | Degree of freedom | ∞ |
| | Uncertainty | 0.0029 [dB] |

Table 2 Sensor measuring uncertainty of structureborne noise

| | | |
|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| Measuring sensitivity uncertainty | Std uncertainty | 0.0099 [mV/(m/s ²)] |
| | Sensitivity coefficient | -8.7736 [(m/s ²)/mV] |
| | Degree of freedom | ∞ |
| | Contribution | 0.0869 [dB] |
| Voltage measuring uncertainty | Std uncertainty | 0.0434 [mV] |
| | Sensitivity coefficient | 0.1368 [(mV) ⁻¹] |
| | Degree of freedom | 11 |
| | Contribution | 0.0059 [dB] |
| Combined uncertainty | Degree of freedom | 508616 |
| | Uncertainty | 0.0871 [dB] |

이 시험에서 장비의 구조소음 레벨은 64.1 dB을 나타내고 있으며, 합성된 표준불확도 0.1890 dB은 전체 구조소음의 데시벨 값의 약 0.3%의 크기를 나타내고 있다. 불확도 발생 원인유형에 따라서는 현장 교정 불확도 78.75 %, 센서계측 불확도 21.22 %, 계측데이터 분해능 불확도 0.03 %로 구성된다. 불확도 발생인자의 추정방법 분류에 따라서는 계측장비의 교정성적서 정보를 활용한 장비불확도 89.79 %, 전압 반복측정과 관련된 불확도 10.19 %, 계측데이터 분해능 불확도 0.02 %로 구성된다.

확장불확도란 특정한 신뢰수준 구간에서 기대되는

Table 3 Field calibration uncertainty of structureborne noise

| | | |
|-------------------------------------|-------------------------|---|
| Calibration sensitivity uncertainty | Std uncertainty | 0.0098 [mV/(m/s ²)] |
| | Sensitivity coefficient | 8.8632 [(m/s ²)/mV] |
| | Degree of freedom | ∞ |
| | Contribution | 0.0869 [dB] |
| Calibration voltage uncertainty | Std uncertainty | 0.0677 [mV] |
| | Sensitivity coefficient | -0.8868 [(mV) ⁻¹] |
| | Degree of freedom | 11 |
| Calibrator uncertainty | Std uncertainty | 0.15 [m/s ²] |
| | Sensitivity coefficient | 0.8686 [(m/s ²) ⁻¹] |
| | Degree of freedom | ∞ |
| Combined uncertainty | Contribution | 0.1303 [dB] |
| | Degree of freedom | 670 |
| Combined uncertainty | Uncertainty | 0.1677 [dB] |

Table 4 Total uncertainty of structureborne noise

| | | |
|-------------------------------|-------------------|-------------|
| Resolution uncertainty | Degree of freedom | ∞ |
| | Contribution | 0.0029 [dB] |
| Measuring uncertainty | Degree of freedom | 508616 |
| | Contribution | 0.0871 [dB] |
| Field calibration uncertainty | Degree of freedom | 670 |
| | Contribution | 0.1677 [dB] |
| Combined uncertainty | Degree of freedom | 1080 |
| | Uncertainty | 0.1890 [dB] |

표준불확도의 값을 의미하며, 계측장비의 불확도는 95 % 신뢰구간에서 각각의 장비별로 약 2 %~5 %의 확장불확도 크기를 내세하고 있으며 전체 불확도 요인에 가장 크게 기여한다. 특히 표준기의 불확도의 경우 10 m/s²의 표준값을 나타내고 있어 현장시험에서의 진동레벨보다 비교적 큰 진동레벨을 나타내기 때문에 가장 영향력이 큰 불확도 인자로 작용한다는 것을 확인할 수 있다.

3.3 진동 측정불확도 분석

진동 시험평가는 냉수펌프를 대상으로 실시되었다. MIL-STD-167-1A 규격에 따라 베어링 하우징에 센서가 설치되었으며, 수직방향 가속도 측정결과를 통해 변위를 추정하였다. 시험에 사용된 장비의 경우 계측기 B&K 3560, 가속도계 B&K 4397, 가속도계 교정기 B&K 4294를 사용하였다. 측정불확도는 각 주파수에 따라 다른 값을 나타내며, 이 연구에서는 교정주파수가 아닌 임의의 단일 주파수에 대하여 분석을 실시하였다. Table 5는 배경진동을 보상하지 않은 경우의 불확도 추정 결과를 나타내며, Table 6에서는 배경진동을 보정한 경우의 불확도 추정 결과를 나타낸다. 배경진동을 보상하지 않는 경우는 배경진동을 보상하는 진동 측정불확도 추정 모델식 (24)에서 배경진동과 관련된 항을 제거하여 산출할 수 있다.

진동시험 합성불확도의 인자별 기여도는 표준기의 표준치 불확도 33.56 %, 시험측정 센서민감도 불확도 33.56 %, 교정주파수 센서민감도 불확도 14.92 %, 시험측정시 전압측정 불확도 10.49 %, 현장교정시 전압측정 불확도 7.13 %, 배경전압 불확도 0.34 %로 구성된다. 진동시험에서도 표준기의 표준치 불확도가 불확도에 큰 영향을 미치며, 구조소음에 비하여 센서민감도의 영향력이 크다.

이 시험에서 장비의 진동 변위는 0.9660 mm를 나타낸다. 배경진동을 보상하지 않는 경우 합성된 표준불확도는 0.0102 mm로 전체 진동 변위 추정값의 약 1.06 %의 크기를 나타내며, 배경진동을 보상하는 경우 합성된 표준불확도는 0.0107 mm로 전체 진동 변위 추정값의 약 1.11 %의 크기를 나타내고 있다. 배경진동을 포함하는 경우 합성불확도는 약 5 %가 증가함을 확인할 수 있다. 배경진동의 경우 장비 진동에 비해 비교적 작은 크기의 변위레벨을 나타내

기 때문에 합성불확도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 따라서 공장과 같은 주변환경을 통제하기 어려운 환경에서는 주변환경의 영향으로 장비의 진동레벨이 크게 측정되는 문제점이 있으나 측정불확도에는 큰 영향을 미치지 않으며 이에 따라 시험의 재현성에 있어서 주변환경의 진동이 미치는 영향은 미비하다고 판단할 수 있다.

Table 5 Uncertainty of vibration without compensation of background vibration

| | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Resolution uncertainty | Std uncertainty | 2.89×10 ⁻⁵ [mm] |
| | Sensitivity coefficient | 1.0000 |
| | Degree of freedom | ∞ |
| | Contribution | 2.89×10 ⁻⁵ [mm/] |
| Measuring sensitivity uncertainty | Std uncertainty | 0.01485 [mV/(m/s ²)] |
| | Sensitivity coefficient | -0.3997 [mm·(m/s ²)/mV] |
| | Degree of freedom | ∞ |
| | Contribution | 0.0060 [mm] |
| Voltage measuring uncertainty | Std uncertainty | 0.0001359 [mV] |
| | Sensitivity coefficient | 25.5993 [mm/mV] |
| | Degree of freedom | 11 |
| | Contribution | 0.0035 [mm] |
| Calibration sensitivity uncertainty | Std uncertainty | 0.0098 [mV/(m/s ²)] |
| | Sensitivity coefficient | 0.4037 [mm·(m/s ²)/mV] |
| | Degree of freedom | ∞ |
| | Contribution | 0.0040 [mm] |
| Calibration voltage uncertainty | Std uncertainty | 0.067 [mV] |
| | Sensitivity coefficient | -0.0404 [mm/mV] |
| | Degree of freedom | 11 |
| | Contribution | 0.0028 [mm] |
| Calibrator uncertainty | Std uncertainty | 0.15 [m/s ²] |
| | Sensitivity coefficient | 0.0396 [mm/(m/s ²)] |
| | Degree of freedom | ∞ |
| | Contribution | 0.0060 [mm] |
| Combined uncertainty | Degree of freedom | 607 |
| | Uncertainty | 0.0102 [mm] |

Table 6 Uncertainty of vibration with compensation of background vibration

| | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Resolution uncertainty | Std uncertainty | 2.89×10^{-5} [mm] |
| | Sensitivity coefficient | 1.0000 |
| | Degree of freedom | ∞ |
| | Contribution | 2.89×10^{-5} [mm] |
| Measuring sensitivity uncertainty | Std uncertainty | 0.01485 [mV/(m/s ²)] |
| | Sensitivity coefficient | -0.4189 [mm·(m/s ²)/mV] |
| | Degree of freedom | ∞ |
| | Contribution | 0.0063 [mm] |
| Voltage measuring uncertainty | Std uncertainty | 0.0001359 [mV] |
| | Sensitivity | 25.5993 [mm/mV] |
| | Degree of freedom | 11 |
| | Contribution | 0.0035 [mm] |
| Calibration sensitivity uncertainty | Std uncertainty | 0.0098[mV/(m/s ²)] |
| | Sensitivity coefficient | 0.4231 [mm·(m/s ²)/mV] |
| | Degree of freedom | ∞ |
| | Contribution | 0.0042 [mm] |
| Calibration voltage uncertainty | Std uncertainty | 0.067 [mV] |
| | Sensitivity coefficient | -0.04233 [mm/mV] |
| | Degree of freedom | 11 |
| | Contribution | 0.0029 [mm] |
| Calibrator uncertainty | Std uncertainty | 0.15 [m/s ²] |
| | Sensitivity coefficient | 0.0415 [mm/(m/s ²)] |
| | Degree of freedom | ∞ |
| | Contribution | 0.0063 [mm] |
| Background vibration uncertainty | Std uncertainty | 0.00002460 [mV] |
| | Sensitivity coefficient | 25.5993 [mm/mV] |
| | Degree of freedom | 11 |
| | Contribution | 0.0007 [mm] |
| Combined Uncertainty | Degree of freedom | 683 |
| | Uncertainty | 0.0107 [mm] |

4. 결 론

이 연구에서는 함정탐재장비의 구조소음과 진동 측정시험의 측정불확도에 영향을 미치는 인자를 파악하고 모델식을 제안하며 시험을 통해 불확도의 값을 추정한 후 그 결과를 분석하였다. 구조소음 및 진동시험에서 교정기 및 센서장비 민감도 불확도가 가장 큰 불확도 인자로 파악되며 보다 정확한 교정을 통해 시험결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 진동시험의 경우 시험측정 전압의 민감도가 다른 값보다 크게 나타나며, 배경진동 변위레벨을 보상하는 경우와 보상하지 않는 경우에 진동 불확도 추정값에 큰 차이를 나타내지 않는다. 따라서 공장환경과 같이 주변환경의 통제가 어려운 상황에서도 장비의 진동이 배경진동보다 현저히 큰 상황에서는 배경진동이 측정불확도에 미치는 영향은 미비하기 때문에 시험의 재현성에 있어서 배경진동은 큰 문제가 되지 않음을 판단할 수 있다. 함정탐재장비의 특수성능 시험평가에서 올바른 시험결과를 나타내기 위하여 다양한 불확도 인자에 대한 정확한 모델식을 수립하며 기여도가 높은 인자에 대하여 불확도를 낮출 수 있는 방안을 제시할 필요성이 있다.

후 기

이 연구는 국방기술품질원 자체연구로 실시되었으며 군사보안상 문제가 없음을 확인함.

References

- (1) Han, H. S., Lee, K. H. and Park, S. H., 2013, Estimation of the Sound Radiation Efficiency of the Hull Considering the Type and Natural Frequency of Plates of It, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 23, No. 12, pp. 1073~1081.
- (2) Kim, S. R., Kim, H.-S., Kim, B.-K., Kim, J.-S. and Kang, H.-J., 2007, Case Study on the Reduction of Airborne and Structure-borne Noise of a Shipboard, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference,

pp. 411~415.

(3) MIL-STD-740-2(SH), 1986, Structureborne Vibratory Acceleration Measurements and Acceptance Criteria of Shipboard Equipment.

(4) MIL-STD-167-1A, 2005, Mechanical Vibrations of Shipboard Equipment.



Sungho Park received a B.S. in Mechanical Engineering from Hanyang University in 2010 and received a M.S. in Mechanical Engineering from KAIST in 2013. Mr. Park is currently a Researcher at Defense Agency for Technology

and Quality, Busan, Korea.



Kyung-Hyun Lee received a B.S. and M.S. in Naval Architecture and Ocean Engineering from Seoul National University in 2008 and 2011 respectively. Mr. Lee is currently a Researcher at Defense Agency for Technology and

Quality, Busan, Korea.



Hyung-Suk Han received a B.S. in Production and Mechanical Engineering from Pusan National University in 1996. He then went on to receive his M.S. and Ph.D. degrees in Mechanical Engineering from Pusan National University in

1998 and 2007, respectively. Dr. Han is currently a Senior Researcher at Defense Agency for Technology and Quality, Busan, Korea.