

함정 내 소음 평가를 위한 불확도 추정 기법 연구

김성용[†]

(원고접수일 : 2014년 4월 1일, 원고수정일 : 2014년 5월 16일, 심사완료일 : 2014년 5월 27일)

Study on the estimation of uncertainty for the air-borne noise measurements in a naval ship

Seong-Yong Kim[†]

요약: 함정의 높은 함내소음은 승조원들 간의 의사전달을 방해하여 전투력 저하를 야기하고, 근무환경의 질을 떨어뜨리므로 함내소음 측정은 매우 중요한 관리 항목 중 하나이다. 그러므로 대부분의 신조함정은 인수 시운전 단계에서 함내소음을 측정하고 제시된 기준을 만족하도록 건조되고 있다. 함내소음 측정 결과로부터 기준 만족 여부를 판단하기 위해서는 측정 불확도를 고려하는 것이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 함정 인수 시운전시의 함내소음 평가 방법을 소개하고, 함내소음을 평가하기 위한 불확도 추정 방법을 적용하였다. 신조 함정 7척에 적용한 결과, 함내 소음 불확도는 1dB 이하로 오차가 시운전 평가서 허용 오차(2dB) 내에 있음을 확인하였다. 현재 실험방법은 허용기준을 만족하고는 있지만 보다 신뢰성 있는 측정 결과를 위해 실험 방법 등의 개선으로 허용오차를 줄일 필요성이 있을 것으로 판단된다.

주제어: 불확도, 함내소음, 해군 함정

Abstract: The measurement of air-borne noise in a naval ship is a crucial element. Because the noise in a naval ship interferes with a communication between crews and finally it causes to reduce the combat power. Thus, most of newly built ships have to satisfy the criteria of air-borne noise in the stage of delivery of a naval ship. In order to evaluate success or failure of criteria, uncertainty of the measurement should be considered. This study introduces the test method for the measurement of the air-borne noise in a naval ship and is concerned with the evaluation of uncertainty. The uncertainty results which was from the measurement of air-borne noise in 7 naval ships newly built satisfy the error tolerance(2dB). Therefore, it is need to reduce the error tolerance for the reliable measurement result.

Keywords: uncertainty, air-borne noise, naval ship

1. 서 론

일반적으로 함정은 한정된 공간에 많은 장비들이 밀집되어 있는 구조이므로, 높은 수준의 소음을 유발하는 소음원 근처에 승조원의 근무 및 거주 공간이 존재하는 경우가 많다. 이러한 함정의 소음은 선체를 통해 함정 내의 각 격실로 전파되어 승

조원의 근무 환경에 영향을 미친다. 특히 각 격실에서의 함내소음은 승조원들의 의사소통을 방해하여 전투력 저하를 유발하는 매우 중요한 문제이고, 승조원의 청력 보호 및 근무 환경 개선 측면에서도 매우 엄격하게 관리되어야 한다. 따라서 현재 함정 건조 시에는 각 격실 및 구역별로 함내소음

[†] Corresponding Author : The 6th(Naval Systems) R&D Institute, Agency for Defense Development, Chungjang-ro, 10-62, Jinhae, Changwon, 645-600, Korea, E-mail: syongkim@add.re.kr, Tel: 055-540-6339

기준을 정하고 인수 시운전 시 계측을 통해 반드시 이를 만족하도록 규정하고 있다.

그러나 모든 측정값에는 오차가 존재하므로 측정 시에 발생할 수 있는 오차에 대한 고려를 하지 않고 함내소음 기준의 통과 여부에 대해 판단하는 것은 적절하지 않다. 현재 측정 결과에서 오차 포함의 가능성 때문에 시운전 평가서(Test Memo)에는 함내소음의 계측허용 오차를 일괄적으로 2dB까지 인정하고 있다. 그러나 현재 적용되고 있는 계측허용 오차가 적절한 수준인지에 대한 연구나 근거는 부족한 실정이다.

Park et al. [1]는 다양한 함정에서 함내소음 측정을 통해 측정간 발생할 수 있는 오차를 계산하고 변동성에 대한 분석을 수행하였다. 그러나 반복 측정에 의한 계측 값의 변동만을 분석하였고, 측정기로 인한 오차등의 측정 오차 기인도에 대한 고려는 하지 않았다. 위의 결과로 측정 결과의 오차 수준을 확인할 수 있었으나, 측정 결과에 대한 기준 초과 여부를 판단하는 자료로 활용하기에는 한계가 존재한다. 그러므로 이에 대한 판단을 위해서는 발생 가능한 오차 요소를 고려하여 통계 분석하는 측정불확도 평가가 필요하다.

측정불확도 평가는 국제표준화기구(ISO)에서 1993년에 발행한 “측정불확도 표현 지침(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement)” [2]을 각 국가에서 자국의 기준으로 받아들이고 있으며, 이 지침서를 따르는 것이 현재로서는 불확도 평가와 표현에 있어서 가장 적합한 방법으로 인정되어 사용되고 있다[3][4].

본 논문에서는 인수 시운전 시 함내소음 측정 결과로부터 기준 만족 여부를 판단하고자 측정 불확도 추정 방법을 적용하였다. 또한 ‘12년부터 ‘13년까지 측정된 신조 함정의 함내소음 결과를 제시된 측정불확도 추정 방법을 적용하여 함정별 불확도의 분포를 확인하고, 현재 적용되는 계측 허용오차의 적합성을 검토하고자 한다.

2. 측정 불확도 추정

측정 불확도의 공식적인 정의는 “측정 결과와 관련하여, 측정량을 합리적으로 추정한 값의 산포

특성을 나타내는 파라미터”이다. 측정 불확도는 일반적으로 두 개의 범주로 구별될 수 있다.

반복 측정의 데이터를 바탕으로 통계적인 방법으로 유도되는 Type A형 불확도와 측정자의 판단이나 경험, 장비의 규격에 의해 결정되는 Type B형 불확도가 있다.

측정 결과가 여러 개의 다른 입력량의 함수로써 구해질 때, 이 측정 결과의 표준 불확도를 합성 표준 불확도라고 정의하며, 합성 표준 불확도에 포함인자를 곱하여 확장 불확도를 산출한다.

Figure 1에 불확도 추정 절차를 간략히 나타내었다.

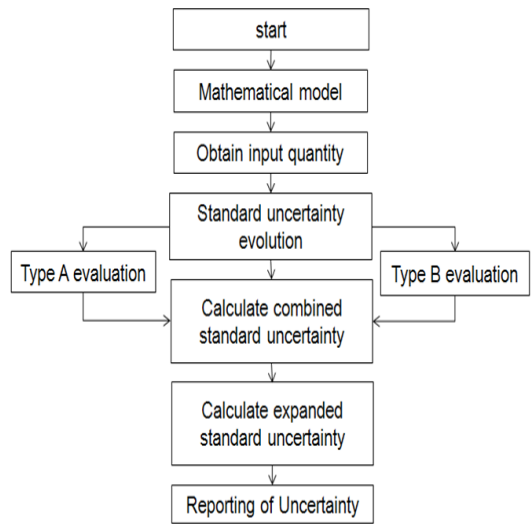


Figure 1: Flow chart for the uncertainty estimation

3. 함내소음 측정 과정

3.1 시험 기준

수상 함정의 함내소음 측정시험 평가기준은 한국 해군에서 미해군 함정 건조 일반 사양서[5]를 바탕으로 제정한 기준을 이용하여 함정급별로 특성에 맞게 기준치가 설정되어있다.

함정의 각 격실의 목적과 소음 등급별로 A, B, C, D, E, F 및 H구역으로 분류하고, 각 구역별로 표준 옥타브 대역(중심 주파수 31.5~8000Hz)의 소음 수준, A-가중 소음 수준(dBA) 또는 대화방해정도(SIL)

등의 소음 평가 기준을 설정하고 있다. 위의 기준은 적용 기준 강화의 필요성이 제기되어 2011년 7월 함내소음 적용 기준이 개정되었다[6]. 그러나 설계 및 건조가 진행되는 함정은 개정된 함내소음 기준을 적용하기는 무리가 있을 것으로 판단되어 현재 인수되는 함정에 대해서는 변경 전의 함내소음 기준을 적용하고 있다. 본 논문에서 적용된 기준은 변경 전 함내소음을 기준으로 평가하였다.

3.2 시험 조건

측정을 하기 위한 조건은 크게 시험 환경 조건과 함정 운용 조건으로 구분된다. 시험 환경 조건은 수심과 해상 상태 등 함내소음에 영향을 미칠 수 있는 외부적인 조건에 관한 규정이고, 함정 운용 조건은 함정이 평시 작전 운용 상태를 유지하는 조건에서 측정하기 위하여 유류 및 청수 적재량이나 작동 장비들의 작동 유지 상태를 정의하고 있다.

이러한 시험 조건에 대한 규정은 각 함정별 시운전 평가서에 제시가 되고, 이를 기준으로 시험동안 환경 및 함 운용 조건을 유지한다. 시운전 평가서에 규정된 시험 조건에 관한 항목들은 정량적인 기준이 제시되지 않으므로, 이에 따른 불확실성이 측정 결과에 포함될 것으로 판단된다. 그러나 위의 항목들이 측정 결과에 영향을 미치는 불확도는 실제로 평가하기 어려우므로, 시운전을 하기 위한 최소한의 만족 조건으로만 활용하였고 불확도 인자로는 검토하지 않았다.

3.3 측정 절차

함정의 특성상 일정한 운항 조건을 유지하더라도 여러 요인 등의 영향으로 인해 함내소음 특성은 시간에 따라 어느 정도 변동성을 포함하고 있다. 해상 상태나 풍속등과 같은 외부적 요인과 탑재 장비의 작동 상태의 주기적 변동 등의 내부적 요인이 변동의 원인으로 판단된다. 그러므로 측정 결과에서 순간적인 소음을 배제하고, 안정적인 신호 측정을 위해 5분 이상의 신호를 녹음하고 이를 분석하였다.

Figure 2에 측정 장비에 대한 개략도를 나타내었다.

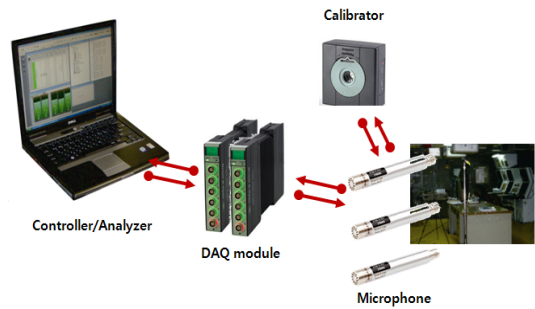


Figure 2: Equipment setup for the air-borne noise measurement

4. 함내소음 측정 불확도 산출

4.1 함내소음의 불확도 요인 분석

함내소음에 영향을 미치는 인자는 매우 다양하지만 오차에 미치는 영향을 고려하여 크게 두 가지로 구분을 하면, 소음이 센서부까지 도달하기까지 영향을 미치는 외부 인자와 센서부에서 사용자의 수치적 분석 결과까지 영향을 미치는 내부 인자로 구분될 수 있다. 외부 인자는 측정 경험으로 불확도를 추정하기 힘든 항목으로, 조류, 해상상태, 풍향/풍속 등의 외부 환경적 요소가 지배적이며, 센서의 설치 위치 및 함 운항 속도 등 많은 조건들이 존재한다. 이러한 부분에 대해 각 인자별 불확도 영향을 파악하는 것은 현실적으로 매우 힘든 일이므로 소음 측정의 반복 시험을 통해 외부 영향의 오차를 반영할 수 있다. 반면 내부 인자는 측정 시 사용하는 교정기나 센서 등의 교정 성적서나 각 제조업체에서 제공하는 규격 등을 통해 불확도를 추정할 수 있다.

함내소음 측정 결과에 영향을 주는 주요 인자를 정리하면 Table 1과 같다.

4.2 Type A 표준 불확도 산출

Type A 표준 불확도는 반복측정 결과를 통계적으로 처리하는 기법이다. Type A 표준 불확도는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$u(\bar{m}) = \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

여기서 S_x 는 표본 측정값의 표준편차를 의미하고, n 은 반복 측정 횟수이다.

Table 1: Uncertainties in the measurement

Error source	Parameters of uncertainty	Uncertainty Type
Measurement	Error of repeatability	A
Calibrator	Calibration result	B
Sensor	Calibration result, temperature, humidity, air pressure	B
DAQ	Linearity, quantization	B
Display	Decibel(dB)	B

A형 불확도에 해당하는 각 인자별 분석을 위해 인수 시운전 단계에서 함내소음을 여러 차례 출항하여 각 예상되는 불확도 요인별로 반복 측정하는 것은 합정 건조사 일정 및 비용 등을 고려하면 현실적으로 불가능에 가깝다. 그러므로 본 논문에서는 반복 시험의 정의를 매번 출항하여 측정하는 것이 아니라, 한번 출항하여 계측 할 때에 동일한 조건에서 긴 시간(약 5분 이상)을 측정하고, 계측된 결과를 시간별로 균등 분할하여 반복시험의 표본으로 사용하였다. 반복 측정 결과는 함내소음 측정을 위해 선박이 이동하는 동안 풍향, 풍속, 조류, 파도 방향 등의 다양한 외부 불확도 요인이 포함되어 있다고 판단하였다.

4.3 Type B 표준 불확도 산출

Type B 표준 불확도 평가는 측정에 따른 요인의 불확실성을 기기의 성질, 측정기의 규격, 교정보고서에 따른 자료를 통하여 산출하게 된다. Type B 표준 불확도는 교정부, 센서부, 신호분석부, 측정값 표시부로 구분지어 분석하였다.

교정부는 측정기의 교정 성적서의 결과로부터 표준 불확도를 계산하여 반영하였고, 센서부는 측정기 교정 성적서의 결과와 함께 실제 시험 해역에서 가능한 대기압과 온도 및 습도에 따른 불확

도를 제조사에서 제시한 계수를 이용하여 고려하였다. 이에 대한 확률 분포 모델식은 사각형(rectangular)분포를 사용하였다. 신호분석부는 선형 정밀도 및 양자화 정밀도등에 대해 반영을 하였고, 측정값 표시부는 1e-2자리에 해당하는 dB(데시벨) 값을 나타내기 위한 불확도이다.

4.4 합성 표준 불확도 산출

본 시험에서 입력 변수들은 서로간의 독립성이 보장되어 있으므로 합성 표준 불확도를 구하기 위해 제곱근법(RSSM:Root Sum Square Method)을 사용하였고, 감도 계수는 모두 1로 설정하였다. 소음 측정 기기에서 교정 불확도는 대부분 dB형태로 표현되므로 합성 표준 불확도를 구하기 위해서는 각 인자들이 선형 특성을 갖도록 변환되어야 한다. 이를 위해 각 항목별 불확도를 상대 불확도로 변환하여 선형적 특성을 갖도록 하였으며, 상대 불확도를 이용하여 합성 표준 불확도를 계산하였다.

4.5 확장 불확도 산출

확장 불확도는 측정값의 합리적인 추정값이 이루는 분포의 대부분을 포함할 것으로 기대되는 측정 결과의 구간을 정의한다. 확장 불확도(U)는 식 (2)와 같이 포함인자(k)와 합성 표준 불확도($u_c(y)$)로 표현된다.

$$U = k \cdot u_c(y) \tag{2}$$

포함인자를 산출하기 위해서는 합성 표준 불확도의 유효자유도를 추정해야하며, 유효자유도(v_{eff})는 Welch-Satterthwate 식 (3)을 이용한다

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{[c_i u(x_i)]^4}{v_i}} \tag{3}$$

여기서 v_i 는 각 불확도 성분($u(x_i)$)의 자유도를 의미하고 c_i 는 감도계수이다. 위의 식을 이용하여 유효자유도 값을 계산 후, t-분포표를 이용하여 포함인자를 구한다. 일반적으로 유효자유도가 30이상을 넘어가면 분포는 정규분포와 유사해지고, 신뢰수준이 약 95%인 포함인자 2를 적용한다. 본 논문은 전체 유효 자유도가 30이상으로 계산되어 포함

인자를 2로 적용하였다.

5. 실선 계측 결과

5.1 측정 대상 함정

함정의 종류 및 격실에 따른 계측 불확도를 알 아보고자 제시된 불확도 평가법을 ‘12년부터 ’13 년까지 측정된 함정에 적용하였다.

측정 대상 함정은 각 함정급이 다른 4종류의 함 정이다. A함정은 함 인수 순서대로 총 4척에 대해 측정을 하였으며, 나머지 함정은 1척씩 측정하였 다. 소음 측정 채널 수는 인수 시운전 평가서에 따 라 평가 대상 격실에 1개 또는 2개를 설치하여 각 함정 당 30채널 이상이다. 상세한 함정별 측정 정 보는 **Table 2**에 나타내었다.

Table 2: Channel information of the measured naval ships

Class of naval ship	No. of measured rooms and channels	No. of naval ship
A class	- 27 rooms - Mic. 54 channels	4
B class	- 29 rooms - Mic. 29 channels	1
C class	- 33 rooms - Mic. 33 channels	1
D class	- 29 rooms - Mic. 39 channels	1

5.2 불확도 분석 결과

Figure 3부터 **Figure 6**까지 각 함정별 확장 불확 도 분포를 나타내었다. 각 격실마다 불확도 정도 가 많은 함정은 약 2.32dB까지 차이가 발생하였으 나, 대부분의 값은 1dB 안쪽으로 형성되어 있음을 확인할 수 있다.

Table 3은 4 종류의 함정에 대해 불확도 분석 결 과를 정리하여 나타내었다. 각 격실별(채널별) 확 장 불확도의 평균은 약 0.72dB정도를 보였다. 이는 현재 인수 시운전 함내소음 평가의 계측 허용 오 차인 2dB보다 작은 값으로, 현재 수준의 허용 오차

를 적용하면 대부분의 계측 불확도를 포함할 것으 로 판단된다.

Table 3: Average of expanded uncertainties

Class of naval ship	Average of expanded uncertainties(dB)
Average	0.72
A class (216 channel)	0.60
B class (29 channel)	0.89
C class (33 channel)	0.72
D class (39 channel)	0.61

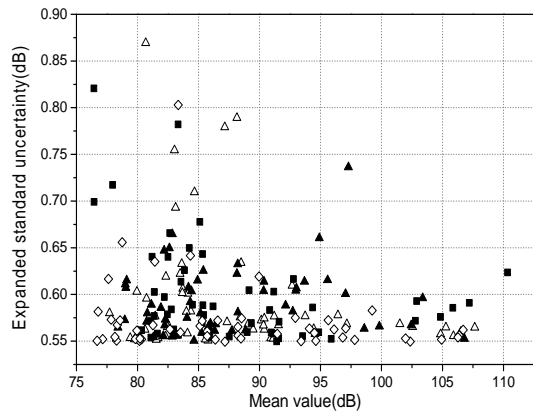


Figure 3: Uncertainty distributions of “A” class ship

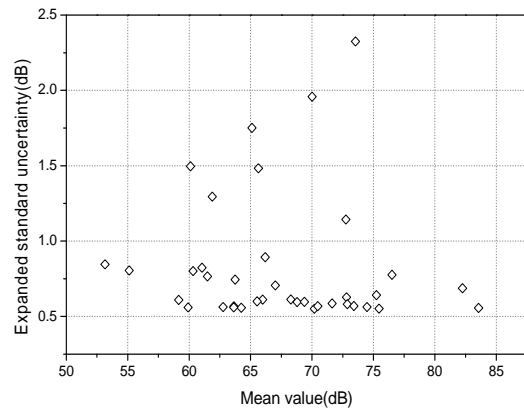


Figure 4: Uncertainty distributions of “B” class ship

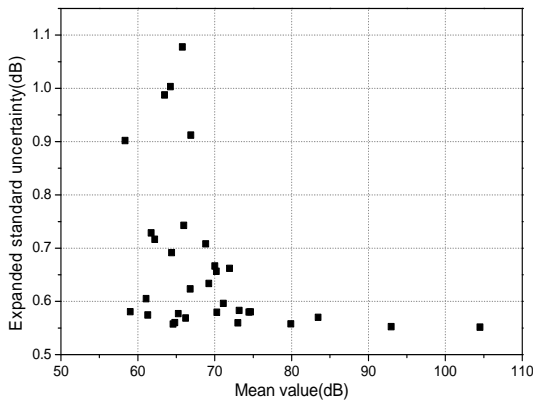


Figure 5: Uncertainty distributions of “C” class ship

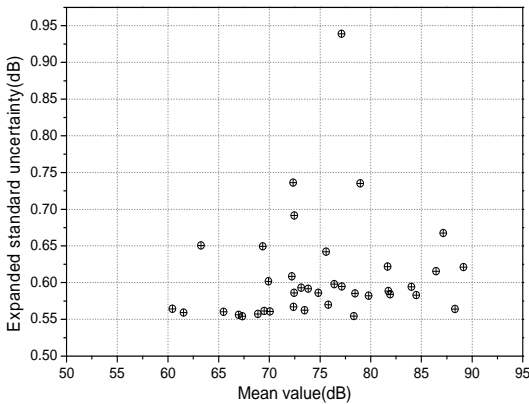


Figure 6: Uncertainty distributions of “D” class ship

그러나 그림에서 보는 바와 같이, 각 격실 별 편차가 많게는 1dB 이상 발생하였고, 특히 “B” 함정의 일부 측정 결과에서 허용 오차 2dB를 초과하는 등의 큰 편차를 보였다. 이는 반복 측정 결과의 편차가 주 원인이었고, 해당 경우는 오차를 고려하더라도 함내소음 기준을 만족하여 실제 합격 여부의 판단에는 문제가 없었다.

위의 결과로부터, 함내소음 측정 시에 불확도 분석을 통해 시운전 평가서에서 제시한 2dB를 초과하지 않도록 유지하여야 하며, 이를 넘는 측정에 대해서는 재시험 등의 방법으로 시험 결과에 대한 신뢰성을 높이는 작업이 필요할 것으로 판단된다.

함내소음 시험 불확도 추정 데이터가 축적되고,

시험 동안 불확도 추정을 통한 오차 감소 노력을 지속하면, 현재 적용되는 허용 오차 수준을 감소할 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 논문에서는 함정 인수 시운전시의 함내소음 평가 방법을 소개하고, 함내소음을 평가하기 위한 불확도 추정 방법을 적용하였다.

함정의 함내소음 기준 만족 여부를 판단하기 위해서는 불확도 측정 방법에 의한 측정 오차 성분을 고려하여야 한다. 특히 계측 결과의 오차가 시운전 평가서에서 제시하고 있는 허용 오차(2dB)를 초과하지 않도록 시험조건을 유지 하여야 할 필요가 있다.

‘12년도부터 ‘13년도까지 계측한 7척의 함정(4종) 계측 결과에 불확도 추정 방법을 적용한 결과, 평균적으로 1dB 이하의 불확도를 보였다. 이는 시운전 평가서에 적용하고 있는 허용 오차를 대부분 만족한다. 그러므로 현재 함내소음 적용 기준은 충분한 오차를 적용하고 있는 것으로 생각되며, 시험 데이터의 축적과 적절한 시험조건 유지를 통한 측정 오차 감소를 통해 현재 적용되는 허용 오차를 줄일 필요성이 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] M. Y. Park and S. S. Lee, “An experimental investigation on the error of indoor noise in a naval vessel”, Proceedings of the Korean society for Noise and Vibration Engineering, pp. 483-484, 2012. [Online]. Available: <http://scholar.ndsl.kr> (in Korean).
- [2] ISO Guide 98-3, Uncertainty of Measurement - Part 3: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1995.
- [3] Y. H. Huh, H. M. Lee, D. J. Kim, and J. S. Park, “Estimation of measurement uncertainty in evaluation of tensile properties”, Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, vol. A 34, no. 1, pp. 73-78, 2010.
- [4] J. H. Lee, S. H. Yoon, and M. W. Park,

“Measurement uncertainty analysis of positioning accuracy for high precision feed mechanism”, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, vol. 29, no. 5, pp. 494-499, 2012.

- [5] Department of the Navy Naval Sea Systems Command, General Specification for Ships of US Navy, United States, Sec.073, 1995.
- [6] Korea Navy, Air-borne Noise Criteria in a Naval Ship, Korea, ChoHam(Su)-Ki-0-001(1), 2011 (in Korean).