

# 음향에너지 보존법칙을 이용한 대형 굴삭기의 외부 소음 예측 Prediction of the Sound Power of the Excavator using the Acoustic Energy Conservation Law

김형택† · 김영현\* · 주원호\*\*

Hyung-Taek Kim, Young-Hyun Kim and Won-Ho Joo

## 1. 서 론

본 논문에서는 음향에너지 보존법칙을 도입하여 배기, 팬, 유압 및 엔진 방사 소음 등 주요 소음원에 소음 기여도 시험을 통해 각 소음원의 자체 음향 출력 수준을 계산할 수 있는 방법을 정립하였으며, 전달 경로를 모델링하여 장비의 외부 소음 수준을 예측하는 방법을 이론적으로 정립하였다. 대상 모델인 대형 굴삭기에 대한 소음 계측을 통해 정립된 예측 방법이 계측 결과와 오차 2dB 이내의 정확도를 갖는 것을 검증하였다.

이와 같은 결과를 이용하여 개발 설계 단계에서 건설장비의 외부 소음 수준을 정확하게 예측하고 제어할 수 있으며, 각 소음원 별 제어 방향을 설정하고, 제어의 효과를 사전에 예측하는 것이 가능해졌다. 따라서 이를 통해 저소음 건설장비의 개발에 소요되는 시간을 크게 단축할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 주요 소음원 수준 파악 방법 정립

건설장비의 외부 음향 출력 수준을 예측하기 위해서는 주요 소음원들의 소음 수준을 파악하고, 이를 합산하는 방법을 이용해야 한다. 그러나, 각 소음원에 해당하는 엔진, 머플러, 냉각팬, 유압 펌프 등은 단독으로 구동하여 개별 소음원의 음향 출력 수준을 파악하는 것이 불가능하며, 단독으로 구동하는 것이 가능하다고 하더라도 소음원 자체의 음향 출력을 장비 내부에서 계측하는 데

에는 한계가 있다. 따라서, 적절한 가정과 대상 모델에 대한 계측을 통하여 각 개별 소음원의 음향 출력 수준을 파악하는 방법을 정립하였다. 대상 모델에 대한 계측을 통해 소음원 수준을 파악하면, 대상 모델의 내부 레이아웃이 변경되거나, 소음원들의 특성이 변경될 때, 이를 개발 설계 단계에서 반영하여 소음원의 변화 수준을 예측하고, 이를 통해 장비 전체의 음향 출력을 예측하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

### 2.1 가정

먼저, 실제 장비를 대상으로 하여 주요 소음원들의 음향 출력을 계산하기 위하여 음향 에너지 보존법칙의 개념을 적용하였다. 즉, 다음의 식 (1)과 같이 굴삭기 자체의 음향 출력(PWL 장비)은 소음원들이 들어 있는 엔진룸에서 발생하는 음향 출력(PWL 엔진룸)과 동일하다는 것이다.

$$PWL_{\text{장비}} = PWL_{\text{엔진룸}} \quad (1)$$

위의 식을 이용하고, 엔진룸에서 발생하는 음향 출력은 주요 소음원들의 음향 출력의 합이라 가정한다.

### 2.2 소음원 기여도 시험

위의 식 (2)의 각 항이 의미하는 각 개별 소음원 자체의 음향 출력을 계산하기 위하여, 대상 장비인 중대형 굴삭기에 대하여 ISO3744 기준에 맞게 소음원 기여도 시험을 다음과 같은 순서대로 수행하였다.[1]

- 1) 기본 상태(정적/동적)
- 2) 팬/배기 소음 제거 상태(정적)
- 3) 배기 소음 제거 상태(정적)
- 4) 팬 소음 제거 상태(정적/동적)

† 정회원, 현대중공업 진동소음연구실  
E-mail : htkim7@hhi.co.kr  
Tel : (052) 202-9097, Fax : (052) 202-5495  
\* 현대중공업 시험평가연구실  
\*\* 현대중공업 진동소음연구실

### 2.3 소음원 음향 출력 평가 기법

위의 소음원 기여도 시험 결과를 통하여 각 개별 소음원의 소음 출력 수준을 다음과 같은 식을 이용하여 계산할 수 있다.

#### 1) 엔진 음향 출력

$$PWL_{엔진} = PWL_{엔진룸} + TL - 10\log(0.3 + S_E/R) \quad (2)$$

#### 2) 냉각팬 음향 출력

$$PWL_{냉각팬} = PWL_{엔진룸} + TL - 10\log(0.3 + S_E/R) - PWL_{엔진} \quad (3)$$

#### 3) 배기 음향 출력

$$PWL_{머플러} = PWL_{엔진룸} - PWL_{엔진} - PWL_{냉각팬} \quad (4)$$

#### 4) 유압 펌프 출력

$$PWL_{펌프} = PWL_{기본상태(동적)} - PWL_{기본상태(정적)} \quad (5)$$

위의 (2)~(5) 식을 구성하는 변수들은 다음과 같은 의미를 갖는다.

- $S_E$ : 통풍구 면적을 제외한 엔진룸의 총면적
- $R$ : 엔진룸의 룸 상수(Room Constant)
- $TL$ : 엔진룸 및 후드의 평균 투과 손실

위에 나타난 식에 따라 개별 소음원의 음향 출력력을 1/3 옥타브 밴드 별로 계산하였으며, 결과는 Figure 1에 나타내었다.

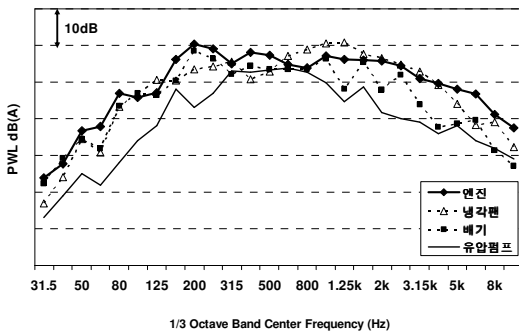


Figure 1 주요 소음원의 음향 출력 계산 결과

이러한 결과를 이용하면, 개별 소음원들의 기여도뿐만 아니라, 소음원의 주파수 특성 등을 파악할 수 있으므로, 설계 단계에서 소음원 제어를 위한 방향 수립에도 도움이 될 것으로 판단된다.

### 3. 외부 동적 소음 예측 기법 정립

2장에 기술한 일련의 절차에 따라 각 주요 소음원의 개별 음향 출력력을 계산한 후, 이를 바탕으로 ISO3744에서 규정하고 있는 외부 동적 소음을 예측하는 기법을 정립하였다. Figure 2에 나타난 엔진룸 내부 소음의 외부로의 전달 경로 상에서, 일종의 엔진룸의 흡/차음 성능을 고려하여 외부의 음압을 계산하는 데, 이 때 식 (6)을 이용하였다.[2]

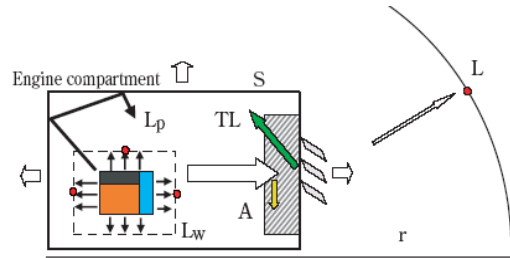
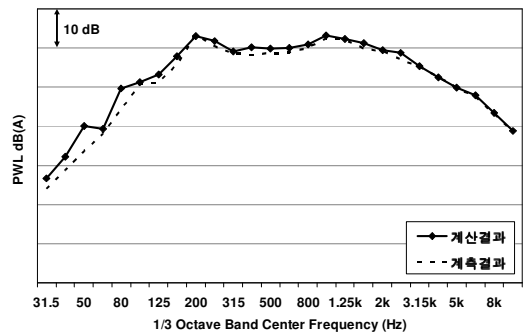


Figure 2 엔진룸 소음의 전달 경로

$$SPL = PWL + 10\log(0.3 + S_E/R) - TL - 20\log(r) \quad (7)$$

위의 식을 이용하여 대상 장비의 개별 소음원의 음향 출력력을 바탕으로 외부 동적 음향 출력력을 계산한 값과, 초기에 계측한 값을 1/3 옥타브 밴드 별로 비교하여 다음 Figure 3에 나타내었다. 비교 결과에서 확인할 수 있듯이, 외부 동적 음향 출력력을 계측한 결과와, 각 소음원들의 음향 출력 수준으로부터 계산한 결과가 거의 일치하는 경향을 확인하였으며 Overall 값을 기준으로 1.2 dB의 오차를 갖는 것을 확인하였다.



이와 같은 결과를 이용하여 개발 설계 단계에서 건설장비의 외부 소음 수준을 정확하게 예측하고 제어할 수 있는 기반을 마련하였다. 엔진룸 내부의 흡/차음 특성이 변화하거나, 또한 각 소음원의 특성이 변화할 때, 이로 인한 전체 소음 수준의 변화를 예측할 수 있다.