

건설장비(굴삭기) TPA 적용사례 Introduction of Transfer Path Analysis on Hydraulic Excavator

곽형택† · 강귀현* · 김주호*

Hyungtaek Kwak, Kwi Hyun Kang and Jooho Kim

1. 서 론

건설장비에 적용되는 소음 규제는 날로 강화되고 있는 추세이며, 운전자들의 운전실 소음에 대한 요구 수준 또한 높아지고 있다. 이러한 요구 조건을 만족시키기 위해서는 건설장비의 소음원 특성을 파악하고 개선해야 한다. 또한 제품개발 시 설계가 완료된 시점에서 소음/진동 문제해결을 위해서는 많은 시간과 비용이 요구된다. 따라서 효과적이고 효율적인 접근을 위해 근본 원인 및 전달경로의 정량적 기여도 파악이 필수적이다. 기여도 분석을 위해 이미 가전제품, 자동차 분야에서 전달경로분석(TPA, Transfer Path Analysis)이 널리 사용되고 있다. 또한 TPA는 가진력을 파악하는데 매우 유용한 방법으로 알려져 있어, 해석적 접근을 위한 입력값 확보에 활용할 수 있다.

본 연구에서는 굴삭기의 운전실 소음/진동에 대한 주요 가진원의 전달경로분석을 실시하여 주파수 대역 별 기여도를 평가하고, 엔진 가진력 확보를 통해 구조기인소음 해석의 활용하고자 한다.

2. 전달경로분석

2.1 시험 방법

(1) 운전실 진동/소음 전달경로 모델

굴삭기의 주요 진동 가진원은 엔진이며, 주요 소음원은 엔진, 배기, 냉각팬, 유압 소음이다. 엔진 진동은 엔진 마운트를 통해 프레임으로 전달되어 운전실 마운트를 지나 바닥까지 전달된다. 4개의 엔진 마운트 브라켓을 주요 전달경로로 하여 분석을 진행하였다. 본 연구는 소음 전달경로로써 배기 소음

과 엔진 소음을 선정하였다.

(2) 운전 중 진동/소음 측정

최대 RPM에서의 운전 중 운전실 바닥 진동 및 운전자 귀 위치에서의 음압을 측정하였다. 선정된 전달경로에서 3축 가속도와 음압을 동시 측정하였다. 엔진 별, 기종 별 특성을 파악하기 위해 총 3 종류의 굴삭기에 대하여 시험을 실시하였다. 가진력을 추정하기 위한 Indicator의 숫자 및 위치는 각 차량에 적합하게 선정하였다.

(3) 주파수 응답 함수 측정

충격가진 시험을 통해 4개의 엔진 브라켓 위치에서 운전실까지의 주파수 응답 함수를 측정하였다. 정확한 전달함수를 측정하기 위해 엔진을 탈거한 상태에서 가진을 실시하였고, 음향 가진 시 중저주파부터 고주파 대역까지 가진을 하기 위해 대역 별로 다른 가진기를 사용하여 전달함수를 확보하였다. 저주파 대역은 상반성 원리를 이용하여 운전실 내부에서 가진을 실시하였다.



Figure 1 Hydraulic excavators for TPA test



Figure 2 Measurements of operational noise and vibration for the cabin and for indicators

† 교신저자: 정희원, 두산인프라코어 PINVH 팀
E-mail : hyungtaek.kwak@doosan.com

Tel : 031-211-3931, Fax : 032-211-3731

* 두산인프라코어

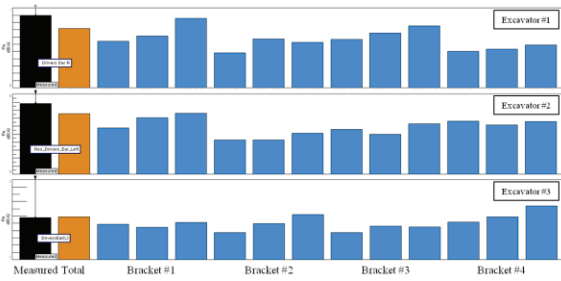


Figure 3 Contribution analysis of vibration transfer path from the engine for the 3 excavators

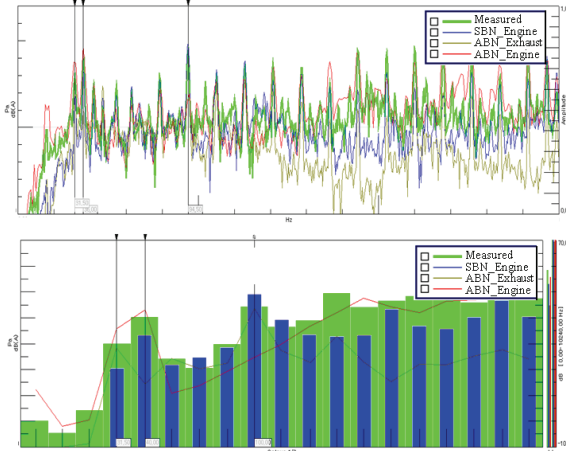


Figure 4 Contribution of noise transfer path to the noise at driver's ear for the 22 ton excavator

2.2 시험 결과

(1) 기여도 분석

Figure 3 와 같이 운전실 진동과 소음에 대한 엔진 브라켓 위치 별 기여도 분석 결과, 영향도가 가장 높은 위치를 파악할 수 있었다. 합성값이 측정값과 차이를 보이는 부분은 전달경로 모델링에서 제외된 소스에 의한 것이다. 더불어 지배적인 전달경로 변경에 따른 민감도 분석까지 실시할 수 있어 개선 효과를 대략적으로 추정해볼 수 있다.

또한 엔진에 의한 구조기인 소음과 공기기인 소음을 모두 고려하여 운전실 소음에 대한 기여도를 평가하였다. 동일 주파수 대역에서 엔진 소음과 배기 소음의 영향도를 규명함으로써 추후 소음 저감 시 효과적인 접근이 가능할 것으로 판단된다.

(2) 엔진 가진력 확보

가진 시험에 의해 측정된 전달함수와 운전 중 운전실 응답을 바탕으로 Matrix를 구성하였고 Matrix Inversion 방법을 이용하여 Figure 5 와 같이 각 브라켓 위치에서의 엔진 가진력을 추정하였다.

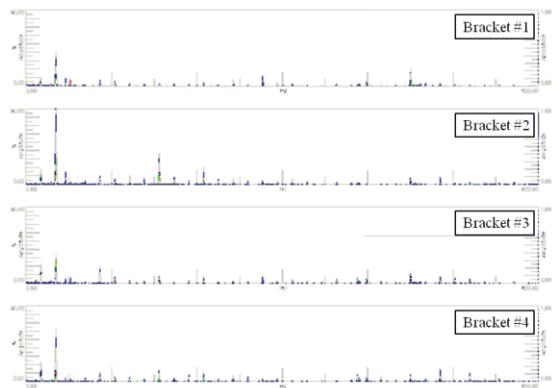


Figure 5 Estimated engine forces by using Inverse Matrix Method for the 22 ton excavator

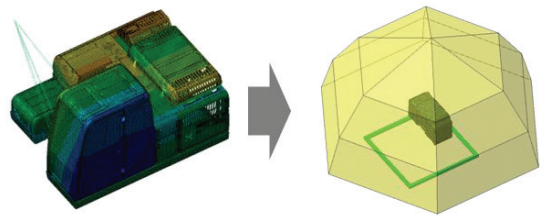


Figure 6 The full vehicle FE model for forced response analysis and the BEM model for radiation noise analysis

추정된 가진력의 주파수 특성은 이미 잘 알려진 것과 잘 맞아 떨어졌으며, 추가 검증을 위해 1개의 기종에 대하여 방사소음해석을 수행하였다. Figure 6과 같이 Full vehicle FE 모델을 구성하여 강제진동 응답 해석 후 BEM 해석을 통해 외부방사소음을 도출하였고, 시험결과와 비교하여 타당한 수준의 신뢰성을 검증하였다. TPA를 통해 확보된 엔진 가진력은 추후 운전실 바닥 진동해석, 방사소음해석 등의 해석적 분석에도 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 결론

굴삭기에 대한 TPA 실시 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 굴삭기에 적합한 시험 방법을 정립하였으며, 운전실 진동/소음에 대한 주요 전달경로의 정량적인 기여도를 규명하였다.
2. 운전실 소음에 대한 엔진의 구조기인소음과 공기기인소음의 주파수 대역 별 기여도를 평가하였다.
3. 해석적 접근의 입력값으로 활용하기 타당한 수준의 엔진 가진력을 확보할 수 있다.