

SEA 를 이용한 굴삭기 차실 소음 모델 개발

Excavator cabin modeling for noise analysis using SEA

강정환† · 박수동* · 곽형택* · 김주호** · 김성재* · 김인동***

Junghwan Kang, Soodong Park, Hyungtaek Kwak, Jooho Kim, Seongjae Kim and Indong Kim

Key Words : Excavator(굴삭기), Cabin(차실), SEA(통계적에너지해석법), Air-Borne Noise(공기전달음)

ABSTRACT

The interior noise of an excavator cabin is important factor related to operation efficiency. For analyzing the cabin air-borne sound, the SEA cabin model was developed using VA One. Analysis result using measured surface SPL of cabin was compared with test data. And the noise reduction guide of cabin was suggested with contribution and sensitivity analysis results of major design variables using developed SEA analysis.

1. 서 론

굴삭기 소음은 외부 방사 소음과 내부 차실 소음으로 나눌 수 있으며 그 동안 환경 규제로 인하여 외부 방사 소음 저감이 개발 과정에서 좀 더 중요했다. 하지만 굴삭기 제품 품질이 전체적으로 향상되었고 소비자의 감성 만족도가 굴삭기 구매의 중요한 요소가 되고 있어 운전자에게 직접 들리는 차실 소음 레벨 및 음질의 중요도가 올라가고 있다.

굴삭기 차실 소음은 엔진과 선회 모터 등에서 발생한 진동이 메인 프레임을 가진하고 마운트를 통해 전달되어 차실 패널을 통해 방사되는 구조전달음과 엔진과 팬, 배기 등 소음원에서 발생된 소음이 차실 패널을 직접 투과하여 전달되는 공기전달음으로 구분할 수 있다. 차실 소음을 줄이기 위해서 이와 같은 소음 전달 경로를 분석하고 이를 통해 설계 변수를 도출한 후 민감도 분석을 수행하는 작업이 필요하다. 이 과정은 시험이 쉽지 않은 굴삭기 특성 상 해석적 방법을 이용하는 것이 효율적이다.

본 논문에서는 굴삭기 차실의 공기전달음을 대

으로 삼았고 소음 해석 방법은 중고주파 대역의 공기전달음 예측에 유용한 통계적 에너지 해석법(SEA: Statistical Energy Analysis)을 이용하였다. SEA를 이용하여 굴삭기 차실 소음 모델을 구축하고 차실 패널들에 대한 소음 전달 경로들의 기여도 분석과 주요 기여도를 가진 패널이 가지는 민감도 해석을 하여 굴삭기 차실 설계 시 소음 저감을 위한 가이드를 제시하고자 한다.

2. 굴삭기 차실 소음 SEA 해석

2.1 SEA 해석을 위한 사전 시험

굴삭기 차실 소음 해석 방법을 정하고 세부 경계 조건을 결정하기 위해서는 우선 관심 있는 소음에 있어 구조전달음과 공기전달음의 기여도를 분석해야 한다. 본 논문에서는 굴삭기의 소음 시험 모드 중 정지 상태에서 작업 상태 엔진 회전수를 가지는 아이들 조건을 대상으로 하였고 각 전달경로의 기여도를 분석하기 위해서 차실 마운트 체결을 풀고 차실을 상방으로 들어올린 후 소음 측정을 하였다.

소음 측정 결과 들어올린 상태에서도 큰 차이를 보이지 않았고 이를 통해 공기전달경로 기여도가 절대적임을 알 수 있었다. 소음 스펙트럼을 분석하면 2kHz까지도 전체 소음에 영향을 주고 있으므로 공기전달음 해석에 유리하며 고주파 해석에 강점을 가지고 있는 SEA를 해석 방법으로 적용하였다.

† 교신저자; 두산인프라코어 기술본부 소음진동성능개발팀
E-mail : junghwan.kang@doosan.com

Tel : 032-211-6724, Fax : 032-211-8572

* 두산인프라코어 기술본부 소음진동성능개발팀

** 두산인프라코어 기술본부 성능검증직

*** 두산인프라코어 기술본부



그림 1. Cabin Lift Noise Test

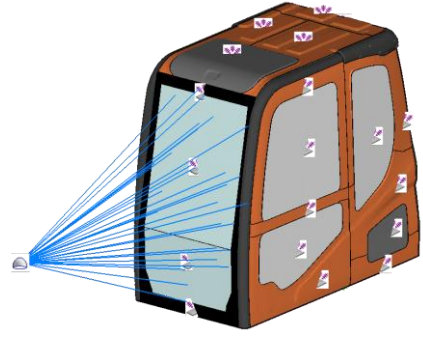


그림 3. Cabin SEA Model

2.2 SEA 모델 구성을 위한 시험

SEA 서브시스템을 구성하기 위해 차실 외부 표면에 적용되는 음압을 일정 간격 별로 마이크로폰을 배치하여 측정하였다. 측정 후 유사한 음압 레벨을 가지고 있는 영역들로 외부 표면을 구분할 수 있었고 해당 평균 음압 레벨을 산출하였다.



그림 2. Cabin Surface SPL Test

완성된 SEA 모델에 앞서 측정된 차실 표면의 음압 레벨을 적용하여 차실 소음을 해석하였고 시험 결과와 비교하였다. 시험 결과 그림 4와 같이 각 밴드 별 시험/해석의 차이가 3dB 이내로 예측되어 설계에 응용할 수 있음을 확인하였다.

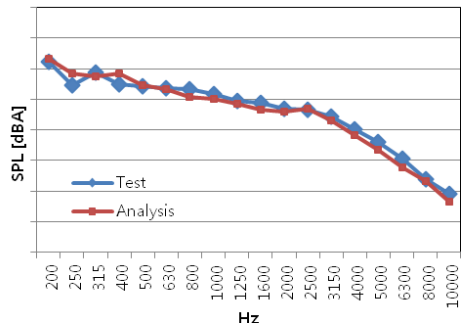


그림 4. SEA Analysis Result

2.3 SEA 모델링 및 해석 결과

시험적으로 구분된 영역에 따라 SEA Plate 서브시스템을 만들고 차실 내부는 하나의 Cavity 서브시스템으로 구성하였다. 구성된 서브시스템의 모드 밀도에 맞게 해석 주파수 영역을 구성하였으며 각 서브시스템 간의 연성손실계수를 정의해주었다.

공기전달음 해석에서 중요한 흡음, 차음 정보는 시험값 및 제공 사양 정보를 적용하였고 정보가 없는 경우에는 각 부품 해석 결과를 적용하여 그림 3과 같이 최종적으로 모델링을 완성하였다.

3. 굴삭기 차실 소음 인자 분석

3.1 차실 패널 기여도 분석

본 논문에서 이용한 상용 Code인 VA One에서 차실의 각 패널 별로 전달된 음향 파워를 구할 수 있었고 이를 이용하여 패널 기여도 분석을 하였다.

분석 결과 후면 유리 패널과 우측면 유리 패널의 기여도가 가장 높음을 알 수 있었다. 이는 유리 패널이 철판과 플라스틱으로 이루어진 중공 이중 패널보다 투과손실이 낮고 두 유리의 외부 음압이 상대적으로 높기 때문으로 분석된다.

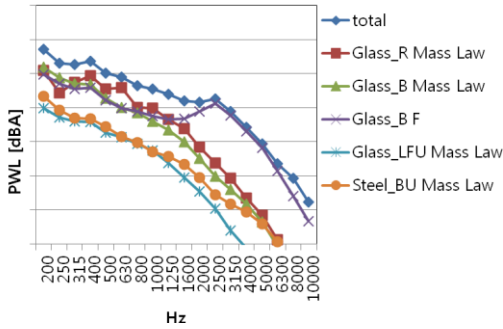


그림 5. Panel Contribution Analysis

3.2 차실 패널 소음 민감도 분석

패널 기여도 분석 결과를 이용하여 설계 변수로 후면과 우측면 유리 패널의 두께와 면적을 선정하였고 일정한 두께와 면적 비율로 변화시켜가며 민감도 분석을 하였다.

후면과 우측면 모두 그림 6에서 보이는 것처럼 두께에 대해서는 비선형적 특성을 보였고 면적에 대해서는 선형적인 민감도를 가지고 있음을 알 수 있다. 만약 소음을 줄일 필요가 있을 때 두께는 원가, 일치효과 주파수에 유의하여 늘려야 하며, 면적에 대해서는 구조물 변경 시 발생하는 금형 비용, 시야성 등을 고려하여 줄여야 할 것이다.

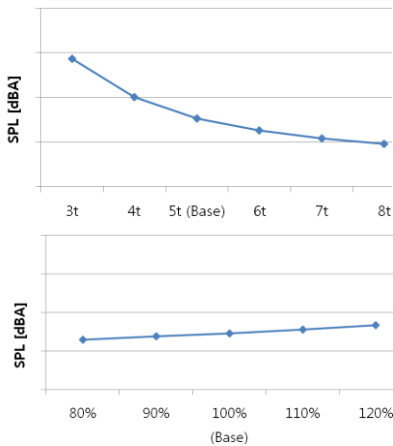


그림 6. Sensitivity of Glass Panel Thickness and Area Ratio

4. 결 론

SEA를 이용하여 굴삭기 차실 소음 예측을 할 수 있는 모델링과 해석 기법을 구축했으며 실측치와

비교 시 설계에 이용하기에 충분한 정확도를 얻을 수 있었다.

구성한 소음 해석 모델을 이용하여 차실 설계에 참고할 수 있는 소음적으로 중요한 패널에 대한 두께와 면적 변화 시의 소음 민감도 해석을 수행하였고 결과를 고찰하였다.