

다물체 동역학을 이용한 엔진 방사소음 해석 방법 고찰

Noise Radiation Prediction of Engine Using Multi-Body Dynamic Simulation

이현성[†] · 오종민* · 조성용* · 김성재* · 김인동*

Hyunseong Lee, Jongmin Oh, Sungyong Cho, Seongjae Kim, Indong Kim

1. 서 론

최근 삶의 질 향상과 함께 굴삭기와 같은 건설장비에서도 작업자 및 외부 환경을 고려한 저소음/저진동 장비 개발이 필수적이며, 고객들 또한 이러한 요인들이 장비 선택의 중요한 기준이 되고 있다. 업계 또한 장비의 기능적인 측면뿐만 아니라 작업자의 편의성, 저진동/저소음 등 비 기능적인 품질 향상을 위한 연구 개발에 노력을 기울이고 있다. 그 중 굴삭기와 같은 장비 소음의 주된 원인이라 할 수 있는 엔진의 진동, 소음 특성 향상은 설계단계에서 이루어져야 하며 이를 위해 엔진 방사소음 해석이 선행되어 소음원을 규명하고, 이로부터 효과적인 소음 저감 대책이 마련되어야 한다. 본 논문에서는 직렬 4기통 디젤엔진에 대해 다물체 동역학을 이용하여 엔진에 가해지는 하중을 계산하고, 계산된 하중을 이용하여 엔진 표면 진동값을 예측하였다. 이를 통해 엔진에서 방사되는 소음을 예측하는 해석 프로세스를 정립하였다.

2. 다물체 동역학을 이용한 하중 계산

2.1 다물체 동역학 모델링

엔진의 방사소음을 예측하는 데 있어서 가장 중요한 것이 내부 가진력을 규명하는 것이다. 본 연구에서 엔진 내부 가진력을 규명하기 위하여 엔진 운전 중 실제 가스폭발력을 실험으로 측정하고 이를 multi body dynamic simulation(MBDS)을 통해 엔진 전체에 가해지는 동적 특성 해석을 수행하였다.

Table 1 Main Engine Characteristics

No. of Cylinder	4
Cycle	4-Stroke
Bore	90mm
Stroke	94mm
Firing order	1-3-4-2
Max. Combustion Pressure	160bar

동역학 모델링을 위한 엔진의 제원은 Table 1과 같이 In-line 4기통 디젤 엔진이며, 최대 폭발압력은 160bar이다.

먼저 상용 프로그램인 LMS Powertrain Dynamic Simulator (PDS) 를 이용하여 엔진 구동계의 다물체 동역학 rigid body 모델링을 하였다. 그리고 PDS에서 생성된 강체 모델을 LMS Virtual Lab Motion을 이용하여 connecting rod 등을 제외한 crankshaft, flywheel, cylinder block 에 대하여 3차원 flexible body로 변환하여 실제 엔진 구동 메커니즘에 따른 해석 수행 모델을 구성하였다.

Figure 1은 해석 대상의 FE modeling을 한 결과이며, 강제진동 해석 전 엔진 전체의 거동 특성을 파악하기 위해서 엔진의 고유 모드 해석을 수행하였으며, 해석된 엔진의 모드들은 모드 중첩을 이용하여 강제 응답을 해석하기 위해 사용되었다.

Table 2는 주요 normal mode를 나타내었으며, Residual static compensation method를 사용하기 위해 Nastran의 RESVEC option을 사용하였고, normal mode의 개수는 관심 주파수의 2배까지 고려하여 2000Hz까지의 결과를 나타내었다.

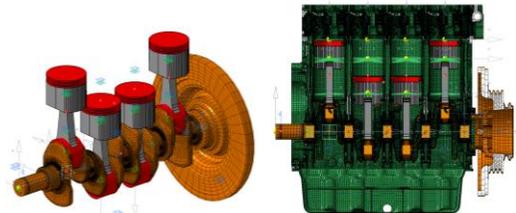


Figure 1 FE modeling

[†] 교신저자; 정회원, 두산인프라코어 NVH 팀

E-mail : Hyunseong.lee@doosan.com

Tel : 032-211-3937

* 두산인프라코어 PINVH 팀

Table 1 Main Engine Characteristics

Mode	Crankshaft mode shape frequency [Hz]	Block mode shape frequency [Hz]
1	171.08	955.82
2	224.32	969.58
3	398.48	1075.41
4	545.27	1153.87

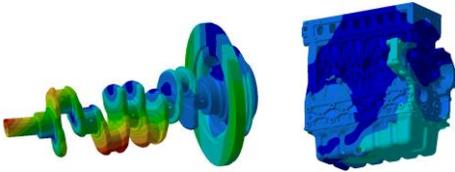


Figure 2 crankshaft(171Hz) and block(955.8Hz) main mode shapes

Figure 2는 crankshaft의 1st bending mode와 block의 1st mode를 나타낸다.

2.2 다물체 동역학 시뮬레이션

2.1절에서 구성한 다물체 동역학 모델링을 토대로 엔진 블록에 대한 가진력을 구하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 엔진의 주요 운전 영역인 1200rpm~2600rpm에 대해 Continuous sweep 조건에서의 진동응답 값을 얻을 수 있으며, 모드 해석 결과 1st 모드에 대한 Modal Participation Factor(MPF)를 Figure 3와 같이 얻을 수 있다.

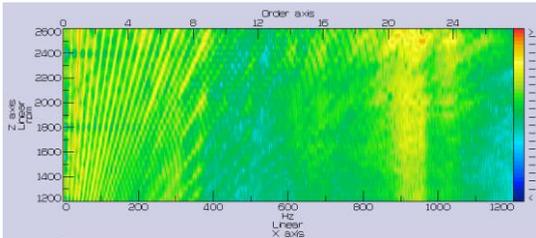


Figure 3 Modal participation factor : Mode #1 (955.8Hz)

3. 방사소음 해석

엔진 방사소음 해석은 앞서 구한 각각의 Modal participation factor(MPF)를 이용하여 Acoustic boundary condition을 구했으며, 소음 해석 프로그램인 LMS Virtual Lab의 FEM AML(Automatically Matched Layer)기법을 사용하였다. 이는 자동으로 음원 주변 공기 모델의 외부 표면을 음원 주변으로 근접시켜 공기 FEM 모델의 크기를 대폭 축소시키고 외부 표면에 non-reflecting 방사조건을 만족시키는 방법으로 방사소음 해석 시간을 단축 시켰다.

또한 엔진에서 방사되는 소음의 음향 파워를 계산하기 위하여 Field point mesh를 구성하였으며, 이는 LMS Virtual Lab에서 지원하는 Modal Acoustic Transfer Vector (MATV)를 이용하여 보다 효과적으로 해석을 수행할 수 있다. Figure 4는 해석 수행을 위한 FEM 모델과 Field point mesh를 보여준다. 그리고 해석 수행 결과 RPM sweep에 따른 소음 스펙트럼 값이 Figure 5에 나타나 있다.

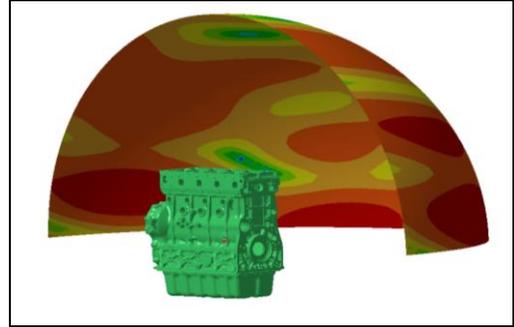


Figure 4 Representation of the MATV method

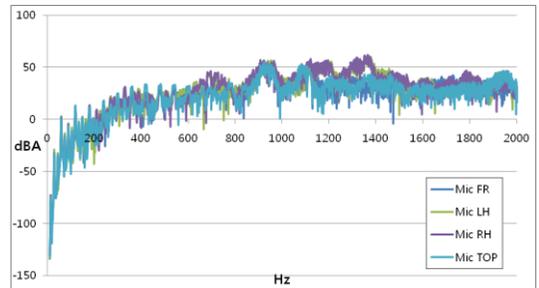


Figure 5 Acoustic pressure spectra (dBA)

3. 결 론

(1) 본 연구는 엔진방사 소음 해석을 위한 일련의 프로세스 과정을 해석 시간과 실수를 최소화 할 수 있는 CAE 해석 절차를 수립하였다.

(2) 해석 결과 엔진 폭발 성분에 의한 응답이 뚜렷하게 나타난다. 또한, 엔진 블록의 1st mode에 의해 955.8Hz에서 응답이 높게 나타나며 이는 엔진의 동적 특성에 주요하게 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

(3) 단, 프로세스 정립의 목적을 위해 valve train, gear train 등의 가진력과, 엔진 블록 표면의 세부적인 모델을 적용하지 않은 이유 등으로 인하여 실제 실험과의 오차가 존재하며, 추후 이를 보완하여 해석/시험 간 correlation 정도를 높일 필요가 있겠다.