한국소음진동공학회 1996년도 춘계학술대회논문집 pp. 184~187.

굴삭기 엔진마운트 개선을 위한 TDA기법의 활용

°김 추호*, 한 순우*

Improvement of the Performance of the Engine Mounts using TDA Technique in the Excavator

(Choo-Ho Kim, Soon-Woo Han)

Abstract

본 연구에서는 산업 현장에서 중장비 엔진마운트를 설계함에 있어서 벤치상태에서의 번거로움과 비현실성을 해결하고 실차상태의 하중 조건에 맞는 적절한 엔진마운트를 설계하기 위해 TDA(Time Domain Analysis) 기법을 도입하여 굴삭기 모델에 응용하여 이론치와 실험치를 비교 검토하고 승차감향상을 도모하였다.

1..서 론

지금까지 승용차, 트럭 등은 물론이고 중장비 부분 등에서 엔진마운트 최적화를 통한 승차감 개선을 위해서 많은 노력을 경주해오고 있다. 이러한 일련의 노력들은 제한조건을 만족하는 범위내에서 엔진의 물성치를 구하고, 엔진에 의해 가진 되는 힘이 전달부분에서 최소화될 수 있도록 마운트 고무의 강성계수(Stiffness), 설치위치, 설치 각도 등을 최적화 하는 문제로 일관되어 왔다. 또한 요즈음에는 고무마운트에서 오는 한계 및 수동적 마운트의 한계를 극복하기 위해 유체봉입, 자성유체, 전자기 유체 및 압전형 액츄에이터를 활용한 능동마운트 등을 활발히 연구하고 있다.[1)~4)] 그러나, 전자의 고무마운트 경우는 제한조건을 주더라도 최적화된 강성계수등이 현실적이지 못한 경우가 많으며 이를 그대로 제품에 적용하기는 미흡한 점이 많다. 또한 이를 도면상에 반영하기 위해서는 제작업체에서 설계치를 제어할 수 있는 기술(내구성 포함)이 있다는 전제하에 진행되는데 특이나 중장비의 경우는 이를 반영하기가 어려운 것이 사실이다. 아울러, 후자를 적용하기엔 성능을 차지하더라도 가격 면에서 아직 경쟁력이 떨어지고 그를 수용할만한 시장 형성이 이른 단계로 보아야할 것이다.

이에 본 연구에서는 산업현장에서 쉽게 활용될 수 있는 보다 현실적이고 체계적인 엔진마운트 설계방법과 실차에서 그 효용성을 검증할 수 있는 TDA 기법을 활용하여 굴삭기 엔진마운트를 개선하여 승차감 개선을 도모하였다.

2. 방진고무의 선정 및 TDA 기법

2-1 방진고무의 설계

엔진마운트는 엔진을 포함한 그 부속물을 안전하게 보호하고자 하는 1차적 목적과 방진 성능을 극대화 하므로 서 승차감향상을 도모코자하는 2차적 목적이 있다. 이는 부드러운 방진고무와 외력에 대한 엔진의 보호라는 상충되는 조건이 요구되는데 바로 이것이 대부분의 방진고무설계시 봉착되는 난관이다.

이를 해결하기 위해 본 연구에서는 다음과 같은 절차에 의해 방진고무를 선정하여 실차에 장착하고 외력에 대한 평가와 고유진동수를 측정하였다.

* 대우중공업 중기 연구 개발실

먼저, 현재 엔진의 방진 계를 분석하여 개선 시 반영해야할 문제점을 도출하고, 유압펌프(hydraulic pump)등을 포함한 엔진 계에 관한 물성치를 확보한 후 정해진 방진효율 및 정적 처짐을 고려하여 방진고무를 선정하고 메이커에서 제시하는 동적강성계수를 근거로 방진효율, 고유진동수 등을 선정하고 실차에 장착하여 TDA기법에 의해 고유진동수 및 외력에 대한 평가를 동시에 수행한다. 아울러, 전달력, 고유진동수 등을 이론 치와 비교 검토한다. 이를 흐름도로 나타내면 다음과 같다.

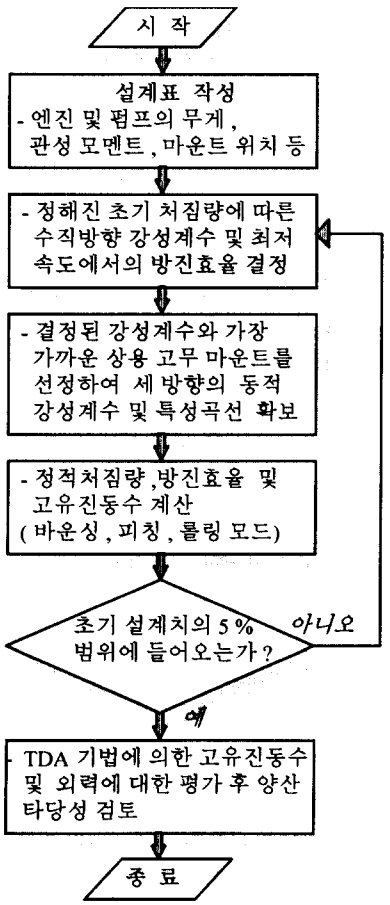


Fig.1 Design procedure of the engine mounts

2-2 Time Domain Analysis 기법

이 기법은 구조물의 실 거동에 관심을 둔 분석기법으로서 ODS(Operating Deflection Shape)기법과 함께 실 거동 분석 시 유용하다. TDA는 ODS보다는 유효범위가 넓고 유용하며 특히, 과도진동, 비 선형, 충격 응답 등에 적합하다. 다만 측정하기가 좀더 까다롭고 세심한 주의를 요한다는 것이 단점이라면 단점이다.

TDA 해석을 위해 데이터를 측정하는 방법은 다음과 같이 두 가지가 있다.

첫 번째는 다채널기기를 이용한 시간이력(time histories)을 동시 측정하여 분석하는 방법이다. 그러나 이 방법은 엔진의 경우 최소한 9 Ch. 이상의 다채널 분석기 또는 레코더가 있어야 한다는 부담감이 존재한다.[5), 6)]

두 번째는 기준 점에 대한 다른 측정 점의 주파수응답곡선(FRF)을 구한 다음 충격응답곡선으로 변환하여 분석하는 방법이 있는 데, 본 시험에서는 두 번째 방법을 이용하였다.

3. 굴삭기에 대한 TDA의 적용 시험 및 분석

3. 1 시험 모드

본 시험에서는 TDA의 장점을 최대한 살리기 위해 간편하면서도 굴삭기에서 발생할 수 있는 충격모드 중 악조건을 형성할 수 있는 것 중 하나로서 Fig. 1에 나타난 바와 같이 붐(boom)과 암(arm)을 최대로 뻗은 자세에서 급 하강후 급정지를 하므로서 엔진 계에 충격력을 가하였다.

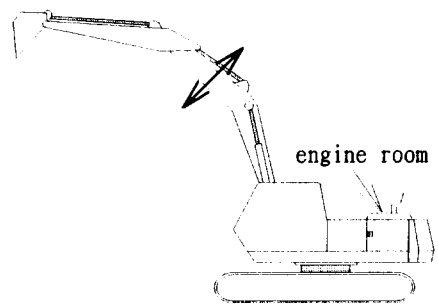


Fig.2 Test mode of the excavator for TDA

또한 이 경우의 가속도 측정 점은 엔진이 장착된 메인 프레임(main frame)에서의 한 점을 기준 점으로 하고 엔진마운팅부 4지점에서의 주파수응답곡선을 구하였다. 다음 Fig.3은 엔진 계의 좌표를 나타내고 있다.

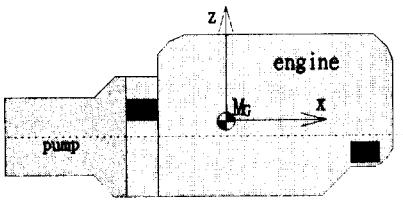


Fig.3 Rectangular coordinates of engine

3-2 시험결과 분석

이상으로 시험절차 및 모드에 대해 살펴보았고 시험결과를 분석하여 얻어진 모드형상(mode shape)과 비교 검토하기 위해 Table.1에 나타난 데이터를 근거로 중요한 모드에 대해 고유진동수를 구하면 Table 2와 같다.

Table 1 Raw data of the engine system

weight in kgf		886
moment of inertia in $kgf \cdot m^2$	I_{xx}	48
	I_{yy}	155
	I_{zz}	141
stiffness of the rubber in kN/m	K_{xx}	front: 1215 rear : 2730
	K_{yy}	front: 1215 rear : 2730
	K_{zz}	front: 475 rear : 1065

Table 2 Comparison of natural frequency

Mode Shape	Simulation	Test
Bouncing	8.9 Hz	9.4 Hz
Pitching	10.0 Hz	7.2 Hz
Rolling	18.2 Hz	13.8 Hz

앞에서 언급했듯이 각각의 마운팅부에서 측정된 주파수응답곡선들은 아래의 Fig.4에서 보는 바와 같은 충격 응답곡선으로 변환되어 소프트웨어(SMS)를 활용하여 실시간에서 입체적인 과도응답을 관찰할 수 있다. 이 결과는 그 자체가 물리적인 의미를 갖는 단위를 가지고 거동하기 때문에 엔진 단체에 부착된 부속품(Fan 등)의 간섭 여부를 시험 상에서 체크할 수 있다는 장점이 있다.

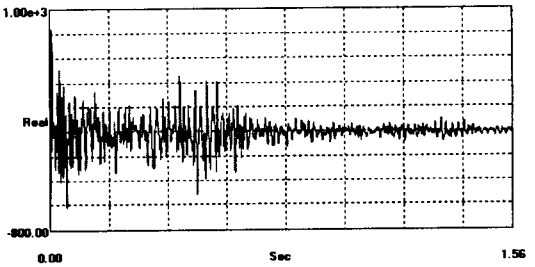
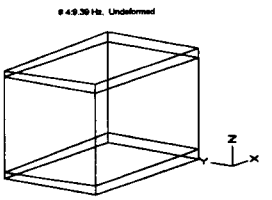
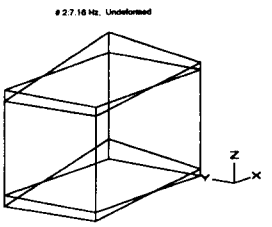


Fig.4 Transient response of a point on the engine

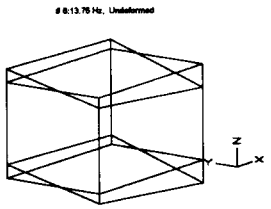
또한 측정된 주파수응답곡선으로부터 주요 고유진동수 및 모드형상을 구해보면 Fig.5에 나타난 바와 같다.



(a) Bouncing Mode



(b) Pitching Mode



(c) Rolling Mode

Fig.4 Normal mode shape of the engine of the excavator

이상으로 측정된 과도응답 및 모드시험 결과들을 이론 치와 비교하면 Table 2와 같다. 여기서 알 수 있듯이 바운싱모드를 제외하면 양자간에 어느 정도의 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 주로 이론 치의 계산 시에 사용된 관성모멘트 측정시의 시험오차에 기인된 것으로 판단되며, 바운싱 모드에서 편차기 적은 것은 시험오차가 상대적으로 적은 무게만으로 계산되어지기 때문으로 판단된다. 그러나, 이들 모두 엔지니어들에게 유용한 정보를 줄 수 있는 수준을 유지하고 있다.

또한, Table 2 의 바운싱모드에 대한 시험치를 근거로 최저 엔진속도에서 전달률을 계산하면 약 0.06 즉, 94 %의 방진효율을 나타내고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 굴삭기의 엔진마운트 개선을 위하여 TDA기법을 도입하여, 시간과 경비를 줄이면서 현장 감각에 맞는 실질적인 마운트 개선을 수행하였고, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) TDA 분석기법은 중장비 엔진마운트 설계 시 매우 유용하며, 유사 장비에 쉽게 응용할 수 있다.

(2) 이 기법은 적절한 시험모드와 함께 엔진 부속품들의 간섭여부 즉, 외력에 대한 평가를 동시에 수행할 수 있다는 장점이 있다.

(3) 또한, 진동에 대한 전문지식이 없는 엔지니어들도 현장에서 활용 가능하다.

(4) TDA기법을 굴삭기 한 모델에 적용하므로 서 약 94 %의 높은 방진효율을 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. Johnson, S, R and Subhedar, J, W, "Computer Optimization of Engine Mount System", SAE Paper No.790974.
2. 이 종원, 김 추호, "다구찌 방법을 이용한 컴퓨터 원용 강건 설계기법의 개발", 대한 기계학회 논문집, 제 18권, 제 2호, pp 278~291, 1994.
3. 최 영태, "전기유동유체를 이용한 엔진마운트의 모델링 및 해석", 인하대학교 석사논문, 1994.
4. Geoff Naim. "Active Engine Mounts Cancel Noise", Global Design News, p.49, 1995
5. "The Star System User Manual", 1994.
6. "The Star System Reference Manual", 1994.