육상용 중속 디젤엔진 발전기세트의 진동 특성 및 저감

김원현[+] · 정건화[++] · 이수목[++] · 류영석[+++]

Vibration characteristics and reduction of Diesel Power Plant(DPP)

Won-Hyun Kim, Kun-Hwa Jung, Soo-Mok Lee and Young-Seok Ryoo

Abstract : Diesel power plant(DPP) with the medium speed diesel engine is operated under the very severe condition in aspect of load and operating time as compared with the marine diesel generator set. So, minimized vibration level have to be insured for the more stable operation of engine and generator. The vibration of generator set mainly comes from the resonance between the rigid modes by resilient mount or distortion modes by structural stiffness and the excitation forces of engine. Then, avoidance of resonance with structural modification is generally well known. In this paper, the first order vibration in non-resonance range and local vibration modes were investigated by impact test, response /ODS(operational deflection shape) measurement and 3D finite element analysis for the additional reduction of vibration. The proposed countermeasures were actually applied and their final effects were verified through the in-situ measurement.

Key words : iesel power plant(육상용 발전기세트), Medium speed diesel engine(중속 디젤엔진), HiMSEN engine(힘센 엔진), Vibration(진동), Resonance(공진), Unbalance(불평형)

1. 서 론

4행정 중속 디젤엔진이 적용된 육상용 발전기세트(DPP : diesel power plant)는 Fig.1에 보인 바와 같이 공장 또는 도서, 산간 지방에 설치되어 소규모의 전력 공급을 위해 사용된다. DPP는 선박에 설치되는 박용 발전기세트와 달리 일반적으로 24시간, 전부하(full load) 상태로 운전되는 가혹한 조건 때문에 엔진 및 발전기를 포함한 부품들의 안정적인 운전이 요구되어지며 특히 진동 측면에서 비록 국제 규격[1]을 만족하더라도 보다 최적의 진동 상태를 확보하는 것이 필요하다.

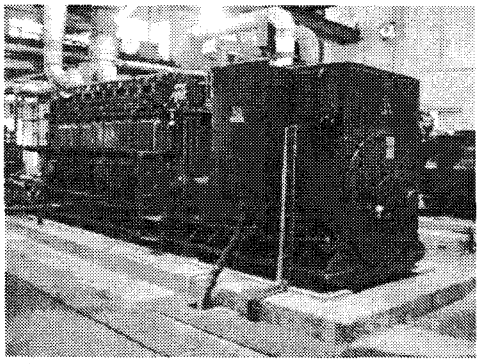

Fig.1 Diesel power plant with HiMSEN engine

탄성 마운트를 가진 발전기세트에서의 주된 진동은 마운트에 의한 강체 모드 또는 구조 강성에 의한 변형 모드와 엔진 기진력과의 공진으로 알려져 있으며 공진회피를 위한 구조 변경/보강 등의 방법이 현장에서는 실용적인 진동 저감책으로 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 지배적인 고유 모드와의 공진 외에, 비공진역에서의 작지 않은 1차 성분 진동 원인과 국부 모드 파악을 위해 충격 시험, 진동 응답 계측, ODS(operational deflection shape) 계측 및 유한요소 해석을 수행하였다. 이를 바탕으로 좀 더 낮은 수준의 진동 구현을 위해 적절한 저감책을 도출하고 실제 적용하고자 하였다.

2. DPP의 진동 특성 분석

2.1 진동 계측

충격 시험 및 진동 응답 계측을 통하여 대상 DPP의 고유진동 특성 및 운전 속도에서의 공진 여부와 진동 수준을 파악하고자 하였다. Fig.2는 계측 대상 DPP의 발전기측 수직 방향 진동을 전부하 운전조건에서 계측한 것이다.

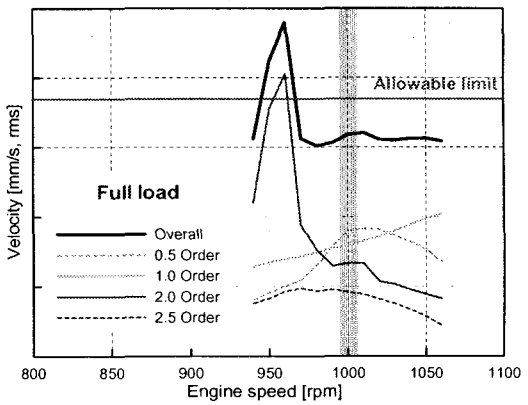

Fig.2 Result of vibration measurement

그림에서 보듯이 주 운전 속도인 1000 rpm에서 비록 허용치를 만족하고 있으나 0.5차, 1차, 2차, 2.5차 등의 진동 성분으로 인해 작지 않은 진동 크기를 보여주고 있다. 충격 시험 결과로부터 970 rpm에 나타나는 2차 성분은 발전기세트 수직 굽힘 모드와의 공진으로, 0.5차 성분은 피칭 모드와의 공진으로 판단되었다. 2.5차 성분의 경우는 뚜렷한 모드를 판단할 수 없을 뿐만 아니라 비교적 넓은 운전 영역에서 나타나고 있어 그 정확한 모드 형상의 판단이 어려웠으나 ODS 계측 및 분석 결과 발전기 측의 국부 모드(굽힘 모드)로 판단되었다.

+ 현대중공업 선박해양연구소, E-mail: whkim@hhi.co.kr, Tel: 052)230-7404
++ 현대중공업 선박해양연구소
+++ 현대중공업 엔진기계사업본부

2.2 진동 해석

대상 DPP에 대하여 Fig.3과 같이 유한요소 해석모델을 구성하고 고유진동 및 강제진동해석을 수행하였다.

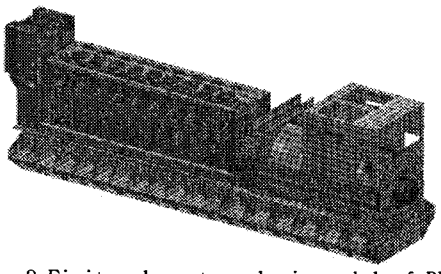

Fig.3 Finite element analysis model of DPP

해석 결과, 고유 모드는 충격 시험 결과와 거의 일치하였으며 특히 2.5차 성분과 공진을 일으키는 발전기측 국부 모드 또한 잘 예측되었다. 강제진동해석 결과도 Fig.4에서 보듯이 계측 결과와 상당히 일치하고 있음을 알 수 있다. 특히 2차, 2.5차 성분의 경우 약 1 Hz 미만의 오차는 있지만 그 크기 및 위치가 실제 상태를 잘 예측하고 있다.

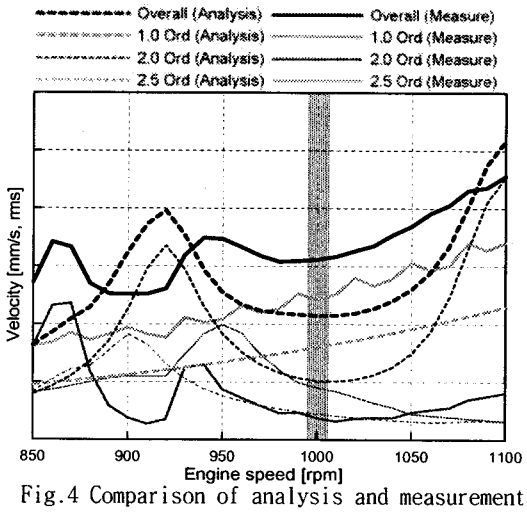

Fig.4 Comparison of analysis and measurement

그러나 1차 성분의 경우는 비공진역임에도 불구하고 해석과 계측 사이에 오차가 있으며 엔진 기진력이 비교적 정확히 예측된다는 관점에서 보면 기본적인 엔진 기진력 외에 추가의 기진력이 있는 것으로 판단된다.

3. 진동 저감책의 도출 및 적용

3.1 강체 모드의 추가 회피

Fig.2의 결과에서 운전 속도인 1000 rpm 근처에 존재하는 0.5차의 피칭 모드를 좀 더 상승시키는 방안으로 경도 55도의 기존 탄성 마운트를 경도 60도로 변경하는 안이 제시되었고 적용 결과 Fig.5에서 보듯이 추가의 진동 저감을 얻을 수 있었다.

3.2 1차 성분의 진동 저감

비교적 크게 나타나는 1차 진동 성분의 원인을 파악하기 위해 엔진-발전기 축계 연결 각도 변경 시험 등을 추가로 수행하였다. 그 결과 크랭크 축 및 발전기 회전자에 잔류하고 있는 불평형이 연결 각도에 따라 증폭되는 현상으로 판단하였고[2] 현실적인 대안으로서 축계 발란싱을 수행하였으며 Fig.5에서 보듯이 큰 효과가 있음을 확인하였다.

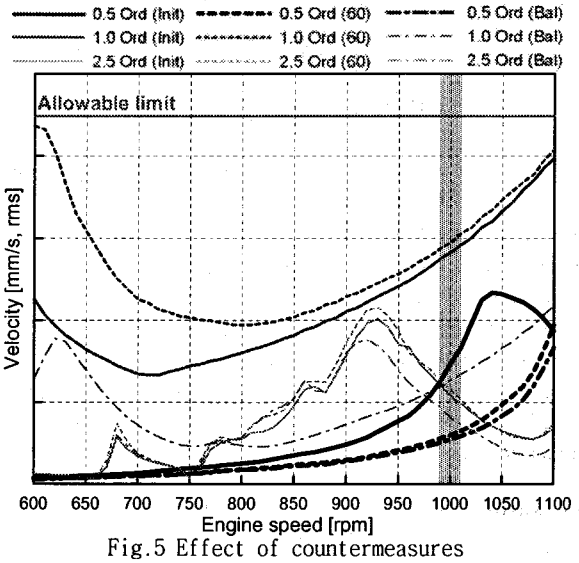

Fig.5 Effect of countermeasures

3.3 국부 공진 모드의 회피

해석과 ODS 계측으로부터 발전기측 국부 모드와의 공진으로 추정한 2.5차 성분 저감책에 대해 검토하였다. 박용 발전기세트에 대한 이전의 진동 계측 및 해석 경험에 의하면 주요 변형 모드인 굽힘 모드와 비틂 모드 사이에 여러 개의 국부 모드가 존재하며 운전 속도에서 엔진 기진력과 만날 경우 작지 않는 진동이 발생하였다. 그러나 국부 모드와의 공진으로 허용치를 초과하는 진동이 발생하는 경우는 거의 없으며 이러한 이유로 위 공진 현상을 간과 하거나 특별히 진동 저감을 위한 구조 보강, 변경 등의 적용 필요성이 없었다. 본 연구에서도 2.5차 성분 저감을 위한 추가 조치는 하지 않았지만 앞에서 언급하였듯이 보다 작은 진동 수준의 확보가 필요한 DPP에서는 계속적인 관찰이 필요하다.

4. 결 론

중속 디젤엔진이 사용된 육상용 발전기세트에서 비록 허용치를 만족하는 진동이지만 가혹한 운전 특성에 따른 최소 진동 수준의 유지가 필요하였다. 이를 위해 일련의 계측과 해석으로 진동 특성을 면밀히 분석하였으며 그 결과를 바탕으로 마운트 경도 변경, 축계 발란싱 등 추가적인 진동 저감책을 도출하고 적용하였다. 현장에서의 계측을 통해 적용된 방법의 진동 저감 효과를 최종적으로 확인하였다.

참고문헌

[1] ISO 8528-9, "Reciprocating combustion engine driven alternating current generator set-Part 9 : Measurement and evaluation of mechanical vibration", 1995.

[2] ISO 1940-1, "Mechanical vibration - Balancing quality requirements of rigid rotor-Part 1 : Determination of permissible residual unbalance", 1986.