

## 박용 엔진의 유한요소 모드해석을 통한 상태 공간 모델 개발

이원창\*(창원대 산학협력단), 김성열((유)한진산업), 안병수(창원대 대학원 메카트로닉스 공학과), 최현오(한국기계연구원), 김재실(창원대 메카트로닉스공학과)

### A State Space Model using mode analysis by the Finite Elements Method for the Huge Marine Diesel Engine

W. C. Lee(GSBA., CWNU), S. R. Kim(HJI), B. S. Ahn(Mecha. Eng. Dept., CWNU), H. O. Choi(KIMM), C. S. Kim(Mecha. Eng. Dept., CWNU)

#### ABSTRACT

This article provides a dynamic analysis model for huge marine engine that examined analytically variation effects of frequency response by fitting of transverse stays such as hydraulic type.

First, vibration analysis using the three dimensional finite element models for the huge marine engine has performed in order to find out the dynamic characteristics. Second, three dimensional finite elements model for the huge marine engine was modified so that generate forcing nodes in crosshead part and top bracing nodes in cylinder frame part. Third, a system matrix and output matrix was derived for the general siso(single input single out) state space model.

Finally, developed state space model for the three dimensional finite elements model for the huge marine engine without the additional modifying process.

**Key Words** : State space model(상태공간모델), Finite elements model(유한요소모델), H mode(H 모드), X mode(X mode), Top bracing(상부버팀대)

#### 1. 서론

대형 선박에서 발생하는 기진력은 엔진에서 프로펠러까지를 진동계로 포함하는 추진 축계의 진동과 엔진 내부의 구동 부위에서 발생하는 각종 힘과 모멘트가 기진력으로 작용하는 엔진 고유의 진동이 있다. 대표적인 대형 디젤 엔진의 고유 진동 모드는 크랭축을 기준으로 엔진의 상부구조가 동위상으로 횡방향으로 진동하는 H모드와 엔진의 수직 중심축을 기준으로 엔진의 전면과 후면이 비틀리는 X진동 모드가 있다. 이와 같은 대형 디젤 엔진의 진동 모드는 선박 전체에 심각한 진동 문제를 야기시킨다. 이러한 횡진동 모드들에 대한 대처방안으로 기관과 선박 사이에 설치하는 상부버팀대(Top blacing, T.B)을 들 수 있다. 요즈음 대형 선박의 엔진에는 유압식 T.B를 채용하고 있다. 유압식 T.B는 엔진 진동의 크기에 따라 유압을 조절하는 서보 제어 시스템을 갖추고 강성과 감쇠를 변화시킬 수 있다.

일반적으로 대형 선박용 디젤 엔진과 같은 구조물의 동특성 해석은 상용 유한 요소 코드를 이용해 엔진을 모델링하고 해석하는 방법이 실제 공학 분야에 많이 응용되고 있다. 실제 상용 유한 요소 프

로그래를 이용하여 대형 선박엔진을 상세 모델링하여 실제 물리적인 환경에 근접시킨 모델의 경우 그 동특성 해석은 만족할만한 결과를 이끌어낸다. 하지만, 그 자유도는 수만개에 달해 효율면에서는 상당히 떨어진다. 이러한 단점의 보완을 위해 유한요소 모델의 자유도를 감소시키는 방향으로 모델을 단순화 시키는 방법이 일반적이지만, 그 방법이 trial and error에 의존할 수밖에 없기 때문에 상당한 노력이 필요하다. 이러한 것은 많은 노력을 들여 구성된 동특성 모델의 활용도 또한 떨어뜨린다. 또한 실제 제어모델은 유한요소 모델이 아니기 때문에 호환성 문제 또한 발생한다. 이러한 호환성의 문제를 보완하기 위해 유한요소 해석 결과를 이용한 다양한 방법들이 제시되었다.

본 논문에서는 대형 선박용 엔진의 동특성 모델과 T.B 제어 모델과의 연동 해석시 호환성을 높이고, 대형 선박용 엔진의 상세 모델링에서 나온 해석 결과를 이용해 횡 방향 진동에 대한 과도 응답이나 주파수 응답 해석같은 2차적인 해석이 가능하고, 자유도를 감소시킬수 있는 상태 공간 모델 구성 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 선박용 엔진의 상세 유한요소모델

Fig. 1은 연소 압력 18bar에서 94r/min으로 회전시에 41130kW를 동력을 생산할 수 있는 MAN B&W사의 9K90MC 엔진의 유한요소 해석 모델로 출력 절점과 해석을 위한 각종 하중 및 구속 조건을 나타내고 있다. 현재의 상세 유한 요소 모델에서 고려된 엔진 파트는 엔진의 뼈대를 이루는 Cylinder Frame, Frame Box, Bed Plate, Main Bearing Supports와 엔진 구동부인 Crank Shaft, Connecting Rod, Piston, Piston Rod, Cross Head 등이며, 모델링시 고려하지 않은 파트들의 부가 질량들을 고려하여 총 질량 1500ton으로 조정된 모델이다. 자유도는 약 5만개에 달한다.

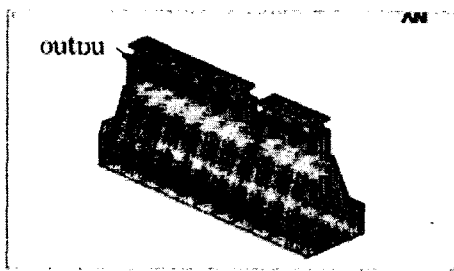


Fig. 1 A location of the output node and force direction

해석을 위한 기진력은 벡터 선도 합성법을 이용하여 구한 3차 기진력만을 고려하였다. MAN B&W에서 측정된 9K90MC의 각 차수별 모멘트를 참조하여 현재 엔진의 착화순서에 기초한 가이드 힘의 벡터를 합성하는 방법으로 MAN B&W사의 9K90MC의 프로젝트 가이드북의 Guide Force X-Moments를 참고하였다. 각 모멘트의 값은 엔진의 최대 운전 속도인 94 r/min과 최대 연소 압력인 18bar에서 구한 값들이다.

## 3. 유한 요소 모델과 상태 공간 모델의 결과

모달 해석을 통한 관심 절점에서 고유벡터를 추출하여 전체 50개의 모드로 이루어진 상태공간 모델을 구성하고, Matlab을 이용하여 주파수 응답 해석을 실시하였다.

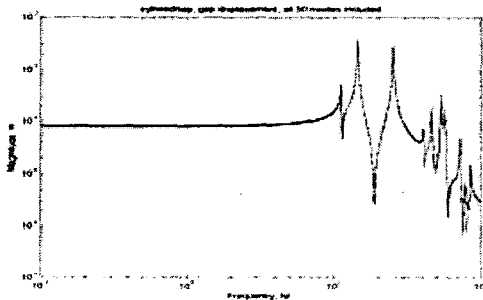


Fig.2 A frequency response of two force for state space model using matlab

ANSYS에서의 주파수 응답에 대한 해석결과와 각 Matlab을 이용한 상태 공간 모델에서의 해석 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

실선이 ANSYS에서의 주파수 응답 곡선이고, 점으로 표시된 선이 Matlab에서의 주파수 응답 곡선이다. Table 1에 해석된 각 모델의 대표적인 값을 비교하여 나타내었다. 현재 다중 입력에 의한 응답이 선박용 엔진의 강체 모드가 존재하는 20Hz이하에서 오차가 적은 것을 볼 수 있다. 하지만, 60Hz이상에서는 상당한 오차를 보이고 있음을 알 수 있다.

Table 1 Comparison of two forcing frequency response results by ansys model with state space model using matlab

Freq. (Hz)	ANSYS(m)	State space model(m)	Error(%)
13.4	$0.3491 \times 10^{-3}$	$0.3546 \times 10^{-3}$	1.598
100	$0.2401 \times 10^{-5}$	$0.2993 \times 10^{-5}$	24.635

## 4. 결론

본 논문에서는 상세 유한요소 모델의 자유도를 축소하는 과정 없이 ANSYS 상세 모델의 Modal 해석 후 단위 질량에 대하여 Normalize 되어지는 고유벡터를 이용하여, 각 관심 노드의 고유벡터를 추출하고, 이를 이용하여 상태 공간 모델을 완성하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Matlab과 ANSYS 해석결과에서 나오는 고유벡터를 이용한 상태 공간 모델은 상세 유한 요소 모델에 비해 그 자유도를 비약적으로 축소 시킬 수 있었다.

(2) 개발된 상태공간 모델은 주파수 응답 해석 또는 과도응답 해석이 가능하고, 제어 모델에서 일반적으로 사용되는 상태 공간 모델로 구성함으로써 향후 T.B 모델과 연동 해석시 그 호환성이 높아 질 것으로 예상된다.

## 후기

본 연구는 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.

## 참고문헌

- Hatch, M., "Vibration Simulation Using Matlab and Ansys," Chapman & Hall/CRC, 2001.
- MAN B&W, "K90MC Mk 6 Project Guide Two-stroke Engine," 5th edition, 2000.149-150, 1999.
- 이재환, 정종하, 김재실, 박형호, "부분구조합성법을 이용한 대형선박엔진의 진동분석," 대한기계학회 2001년도 춘계학술대회논문집 B, pp 651~657, 2001.