

강체모드 비연성화 기법을 적용한 철도차량 공기압축기 마운팅 위치 최적 설계

Optimal Design of Mounting Positions for Air Compressor Using the Decoupling Method of Rigid Body Modes

김관주[†], 박우엽^{*}, 이준헌^{*}

Kwanju Kim^{**}, Uyeup Park^{*}, Junheon Lee^{*}

초 록 도심의 주된 교통수단으로써 많은 사람들이 철도차량을 이용하고 있다. 최근 철도차량의 승차감에 대한 소비자의 기대수준이 중요시 되고 있으며, 특히 실내소음 및 진동 측면의 관심이 극대화 되고 있다. 특히 공기압축기가 작동할 때의 진동은 승차감을 저하 시킬 뿐만 아니라, 차량의 내구성 저하에도 커다란 인자로 작용한다. 본 연구에서는 공기압축기 진동 저감을 위한 여러 기법중 하나인 강체모드 비연성화법을 수행하였다. 이 기법을 통해 공기압축기의 주요 가진원 중 크랭크축의 회전방향에 해당하는 Roll 모드와 피스톤의 왕복방향에 해당하는 Lateral 모드를 비연성화 하였다. 실험을 통해, 진동 저감을 확인하고, 강체모드 비연성화 법을 검증하였다.

주요어 : 공기압축기, 강체모드, 비연성화, 진동, 마운팅 고무

1. 서 론

최근 철도차량의 승차감에 대한 소비자의 기대수준이 중요시 되고 있으며, 특히 실내소음 및 진동 측면의 관심이 극대화 되고 있다. 주요 진동 요소 중, 공기압축기의 진동은 승차감을 저하 시킬 뿐만 아니라, 차량의 내구성 저하에도 커다란 인자로 작용한다.

공기압축기의 진동을 줄이기 위한 방법으로 크게 두 가지가 있다. 첫 번째로, 최적의 밸런싱 웨이트를 설계하여 구동부의 ‘진동 발생’을 감소시키는 방법^[1]. 두 번째로, 방진 고무 최적설계를 통해 공기압축기에서 발생한 가진력이 차체로의 ‘진동 전달’을 감소시키는 방법이다.

본 연구에서는 강체모드의 비연성화를 통해 마운트 최적 위치를 선정하고, 공기압축기의 진동 전달 저감을 실현한다.

2. 본 론

2.1 강체모드 계산

강체모드가 서로 비연성화 되면 한 모드의 가진에 의한 운동이 다른 모드를 가진하지 않게 되어 공기압축기 진동이 감소되며 설계 측면에서도 운동이 단순해져서 진동의 이해 및 제어가 용이하게 된다.

식 1을 통해 고유값 ω 와 고유벡터 행렬 φ 를 구한다. 식 2는 각 모드의 에너지 분포를 나타낸 것으로 ‘1’에 가까울수록 모드의 분리 정도가 높은 것을 의미한다^[2]. 따라서 모드 에너지 분포로부터 계산된 강체모드의 모드 형상과 모드분리 정도를 평가할 수 있다.

$$|K - \omega_i^2 M| \varphi_i = 0$$

Eq. 1 고유값, 고유벡터의 식

[†] 교신저자: 홍익대학교 공과대학 기계시스템 디자인공학과(kwanju@hongik.ac.kr)

^{*} 홍익대학교 공과대학 기계공학과

$$EP_{ki} = \frac{\sum_{l=1}^6 \varphi_{ki} m_{kl} \varphi_{li}}{\sum_{k=1}^6 \sum_{l=1}^6 \varphi_{ki} m_{kl} \varphi_{li}}$$

Eq. 2 각 모드의 에너지 분포

2.2 강제모드 비연성화를 통한 방진고무 위치 선정

2.1.1 기존 마운팅 위치에서 강제모드 에너지 분포

기존 마운팅 위치 일 때의 강제 모드 에너지 분포를 Matlab을 이용하여 계산하였고, 계산 결과는 아래 그림 1 와 같다.

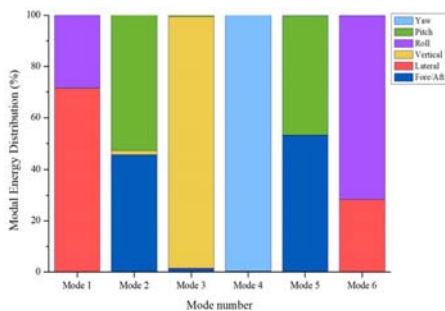


Fig. 1 Modal energy distribution of baseline mounting position

공기압축기가 동작 할 때 발생하는 가진력은 크랭크축 커넥팅로드가 회전하면서 발생하는 회전 불균형힘과 피스톤과 커넥팅로드가 왕복운동하면서 발생하는 왕복력이다. 따라서, Roll 모드와 Lateral 모드에 대한 비연성화가 필요하다.

2.1.1 개선된 마운팅 위치에서 강제모드 에너지 분포

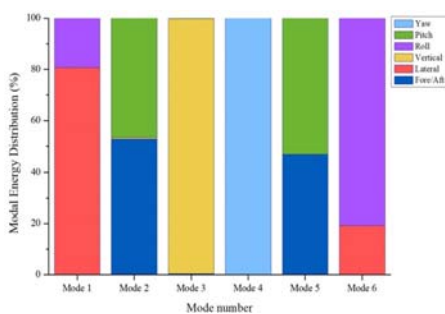


Fig. 2 Modal energy distribution of proposed mounting position

마운팅 고무의 위치를 설계 변수로 설정하여, Design Of Experiment 기법을 통해 최적

화를 진행하였다. 개선된 마운팅 위치의 강제 모드 에너지 분포를 그림 2에 나타내었고, Roll 모드 비연성화 정도는 기존 마운팅 위치 대비 약 10% 증가한 값을 보여준다.

2.3 실험 결과

최적화를 통해 얻은 결과를 검증하기 위해, 기존 및 개선된 마운팅 위치에서의 진동 가속도를 측정하였다. 구동주파수에서의 진동 측정결과는 그림 3과 같다. 개선된 마운팅 위치에서의 진동 가속도 값은 약 60% 감소를 볼 수 있다.

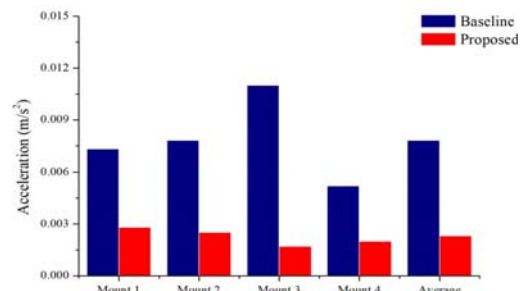


Fig. 3 Acceleration comparison of baseline and proposed mounting position

3. 결론

본 연구에서는 공기압축기-마운트 시스템의 강제 모드 에너지 비를 계산하였다. 공기압축기는 Roll 방향의 가진력이 가장 많이 발생하므로, Roll 모드 에너지가 비연성화 되도록 마운팅 위치 최적화를 진행하였다.

실험을 통해 기존 대비 개선된 마운팅 위치에서의 진동 전달력을 비교하였고, 공기압축기의 구동주파수에서 진동 가속도값은 68% 감소됨을 확인하였다. 향후, 해당 모델 외 다른 제품에도 강제 모드 에너지 최적화를 통한 진동 저감이 가능 할 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 철도기술 연구개발사업의 연구비지원(17RTRP-B122846-03) 및 2018학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었습니다. 공동 연구를 지원한 유진기공 연구자들에게 감사드립니다.