

노드 민감도 해석과 시스템 동특성의 상관관계 연구

Study on the relationship between a nodal sensitivity and a system dynamics

김찬중† · 김규식* · 권성진* · 강호영* · 진여화* · 이봉현*

Chan-Jung Kim†, Ku-Sik Kim*, Seong-Jin Kwon*, Ho-Young Kang*, Yu-Hwa Jin*, Bong-Hyun Lee*

1. 서 론

저자는 시스템이 작동하는 상황에서 응답 데이터만을 활용하여 공진점 부근에서 가정 민감도가 큰 절점을 알아내는 유용한 방법에 대한 수식을 유도하였으며, 간단한 모델을 활용하여 본 방법에 대한 검증을 수행하였다 [1-2]. 본 연구에서는 실제 대상 시스템의 동적 변화를 나타낼 수 있는 식별자(indicator)들을 도입하여 도출된 민감도 결과와 식별자들의 관계를 파악함으로써 제안 민감도의 결과와 동적 특성간이 상관관계를 얻어내는 것을 목표로 하였다.

2. 진동 전달을 기반 기여도 분석법 이론 전개^[1-2]

시스템의 i 번째 절점과 $i+1$ 절점 사이의 응답 특성을 r_i 와 r_{i+1} 로 각각 표현할 수 있다면, 두 응답 사이의 진동 전달율($T_{i,i+1}$)을 바탕으로 i 번째 절점에서의 기여도는 D_i 의 변화량으로 표현할 수 있으며, 식 (1)과 같다.

$$\frac{d(D_i)}{dz} = \frac{1}{\|V_i\|} \quad (1)$$

여기서, $\|j\|$ 는 복소수 j 의 절대 값을 나타낸다. 또한 본 기여도 분석 개념을 3축 방향으로 확장할 경우 절점 i 에 대한 기여도 결과(C_i)는 아래 식 (5)으로 표현된다.

$$C_i = \frac{\sqrt{\left(\frac{1}{\|V_{i,x}\|}\right)^2 + \left(\frac{1}{\|V_{i,y}\|}\right)^2 + \left(\frac{1}{\|V_{i,z}\|}\right)^2}}{\sum_{i=1}^N \sqrt{\left(\frac{1}{\|V_{i,x}\|}\right)^2 + \left(\frac{1}{\|V_{i,y}\|}\right)^2 + \left(\frac{1}{\|V_{i,z}\|}\right)^2}} \quad (5)$$

여기서, $V_{i,k}$ 는 k 방향에 대한 절점 i 의 전달율이며, N 은 전체 절점을 개수이다.

3. 선형 시스템의 동적 식별자

선형 시스템의 동적 특성은 일반적으로 모달 시험이나 해석을 통해 식별하며, 식별하고자 하는 모달 파라미터는 아이겐벡터와 아이겐벨류 값이다. 따라서 시스템 절점에서의 응답 특성과 관련한 식별자는 절점에서의 응답, 공진점 및 모드 형상으로 나눌 수 있다. 3가지 물리량은 서로 달라 상호 비교가 어렵기 때문에 변화량에 대한 함수로 동적 식별자로 나타내었다. 먼저, 절점의 응답은 시스템의 변화에 따라 절점 i 에서의 응답이 r'_i 로 변한다고 가정할 때 식 (2)와 같이 나타낼 수 있으며 응답 비로 명명한다. i 번째 공진점을 F_{n_i} 로 나타낼 수 있으며, 시스템의 동적 변화에 따라 변경된 공진점을 F'_{n_i} 로 가정할 경우 공진점의 변화율은 식 (3)으로 표현이 가능하다. 모드 형상 정보의 경우에는 MAC(Modal Assurance Criterion)을 활용하였다.

$$\Delta r_i = \frac{r_i}{r'_i} \quad (2)$$

$$\Delta F_n(\%) = \frac{\|F_{n_i} - F'_{n_i}\|}{F_{n_i}} \times 100 \quad (3)$$

4. 설계 민감도 해석과 동적 식별자 비교

해석 결과에 대해 오차를 발생할 가능성이 거의 없는 이상적인 5자유도 모델에 대하여 응답 특성을 얻어내었으며, 응답 데이터를 활용하여 전달율을 계산한 후 식 (5)의 관계식으로 설계 민감도 해석을 수행하였다. 아래 Fig. 1은 5자유도 모델을 보여주며, Fig. 2는 5개의 공진점 주파 범위에서 절점의 민감도 해석을 진행한 결과이다 [1]. 여기서, 5자유도계의 절점은 해당 집중 질량 위치와 동일하다.

† 교신저자: 자동차부품연구원 ICE/EV구동융합연구센터
E-mail : cjkim@katech.re.kr
Tel : (041) 559-3124, Fax : (041) 559-3340

* 자동차부품연구원 ICE/EV구동융합연구센터

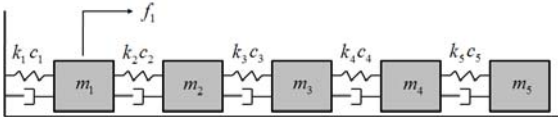


Fig. 1 Simple vibration path with 5-DOF

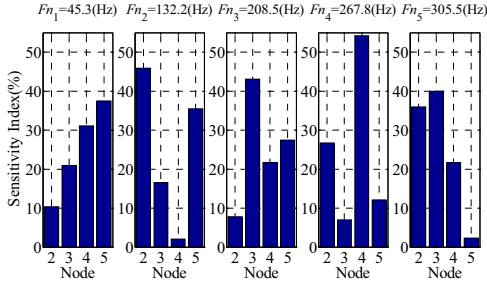


Fig. 2 Proposed contribution analysis result

본 결과를 물리적으로 검증하기 위해 Fig. 1의 5자유도 모델의 각각의 절점에 대해 10(kg)의 집중질량을 부가하였으며, 각 변화 조건에 대한 응답 해석을 진행하였다. 여기서, 강제 응답 위치는 집중질량 1의 절점에 인가하였다 [1]. 아래 Fig. 3, Fig. 4 그리고 Fig. 5는 시뮬레이션 결과를 보여준다.

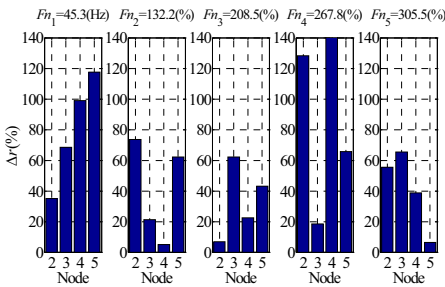


Fig. 3 Simulation result of the response ratio

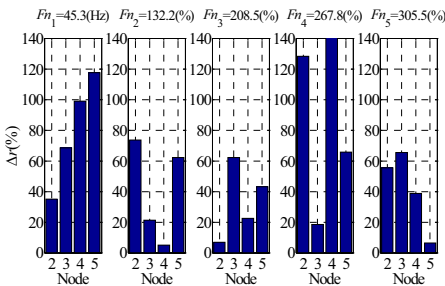


Fig. 4 Simulation result of the variation of eigenvalues

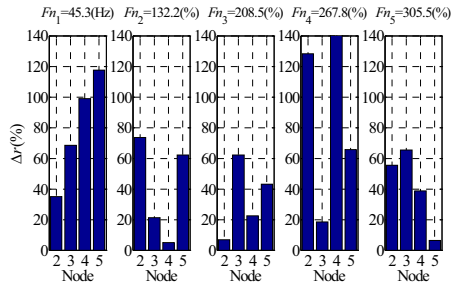


Fig. 5 Simulation result of MAC value

시뮬레이션 결과 절점의 민감도 해석 결과는 응답비와 공진점 변화율과 유사한 결과를 나타내었다. 본 결과는 민감도를 표현한 식 (1)의 변수가 응답에 종속되며, 공진점이 변화하는 부분에서 가장 응답 특성이 변화되기 때문이다.

4. 결 론

본 연구에서는 제안된 절점의 민감도 해석 결과와 시스템의 동적 특성과의 상호관계를 평가하기 위해 3가지 동특성 지표를 설정한 다음 간단한 모델에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 해석 결과, 절점의 민감도 결과는 응답 특성의 변화 및 공진점 변화량과 유사한 값이 도출되었으며, 본 결과를 통해 제안된 방법은 기존 공진점 민감도 결과와 유사한 결과를 도출함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 고부가가치 자전거 기술개발사업(과제명 : 자동/수동 겸용 무단변속이 가능한 자전거 크랭크 일체형 경량 변속기 개발)의 연구 성과물이다.

참고 문헌

[1] C. J. Kim, C. Y. Bae, D. W. Lee, B. H. Lee, H. C. Kim, "Contribution analysis using transmissibility of a vibration path", Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 602-603, 2008.
 [2] C. J. Kim, K. S. Kim, H. Y. Kang, Y. H. Jin, B. H. Lee, "Estimation of the vibration fatigue of a linear elastic system based on a design sensitivity analysis", Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 602-603, 2010.