

부분구조의 민감도해석을 이용한 버스차체의 진동특성 분석

Analysis on Vibration Characteristics of Bus Body Structure using Sensitivity Analysis of Component Structures

°김진희* · 이상범* · 임홍재*

°Jin Hui Kim* , Sang Beom Lee* and Hong Jae Yim*

Key Words : Bus Structure(버스차체), Component Structure(부분구조), Design Sensitivity(설계민감도), Optimum Design(최적설계), Vibration Analysis(진동해석)

ABSTRACT

In this paper, a sensitivity analysis technique is presented for performing effective structural optimization of bus system. Design sensitivities are analyzed on natural frequency of bus substructures using super-element. Vibration modes of substructure, which large affect on the global vibration mode of bus B.I.W., are found through the sensitivity analysis using the chain rule. And design variables, which are determined from the sensitivity analysis, are changed through optimum design.

1. 서론

버스와 같은 대형 구조물의 경우 각 부분 구조물의 동적 특성이 전체 구조물의 동적 특성에 미치는 영향을 나타내는 기여도 분석을 통하여 효율적으로 최적설계를 수행할 수 있다. 최적설계 시 목적 함수나 구속 조건에 대하여 설계변수의 민감도가 큰 부분은 고유진동수 등과 같은 성능함수에 중요한 영향을 미치게 되므로 최적설계를 수행하기 전에 설계자가 미리 분석 할 필요가 있다. 각 부분 구조물이 전체 구조물의 동적 특성에 어떤 영향을 미치는지를 알 수 있다면 전체 구조물의 주요 저차모드에 대한 형태나 진동수 등의 예측이 가능하기 때문에 각 부분 구조물을 설계할 때 전체 구조물의 주요 모드를 고려한 설계를 할 수 있다.

본 연구에서는 버스 B.I.W.를 구성하는 각 부분 구조물의 저차진동에 대한 설계변수의 민감도 분석을 통하여 각 부분 구조물이 전체 버스 구조물의 진동특성에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 민감도해석은 MSC/NASTRAN의 민감도 해석 모듈을 사용하였으며 확정적 최적설계는 DOT⁽¹⁾를 사용하였다. 또한 필러 등의 박판부 구조물에 대한 단면적, 관성모멘트, 비틀림상수 등과 같은 단면계수는 SECOPT⁽²⁾을 사용하였다.

2. 버스차체의 진동해석

Fig. 1 및 Fig. 2는 본 연구에서 사용되는 버스의 유한요소 모델에 대한 진동해석 결과인 1차 비틀림 진동모드 및 1차 굽힘 진동모드를 각각 나타내고 있다.

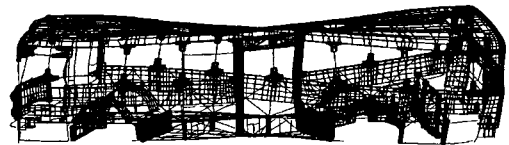


Fig. 1 1st torsional vibration mode of B.I.W.
(16.42Hz)

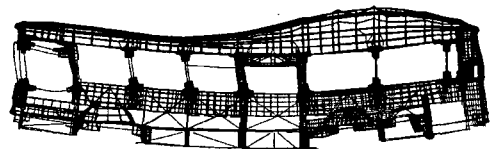


Fig. 2 1st bending vibration mode of B.I.W.
(22.25Hz)

* 국민대학교 자동차공학전문대학원

3. 부분 구조물의 민감도 해석

3.1 루프의 민감도 해석

Fig. 3은 빔-셀 요소로 구성된 루프 부분 구조를 보여주고 있으며 Fig. 4 및 Fig. 5는 1차 진동모드인 비틀림 모드와 2차 진동모드인 굽힘 모드를 나타내고 있다.

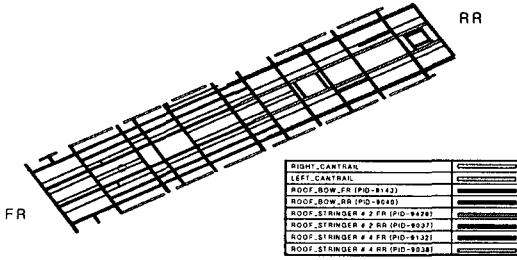


Fig. 3 Roof structure of bus

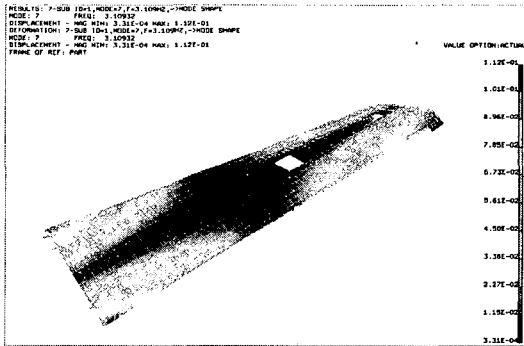


Fig. 4 1st torsional mode of roof structure

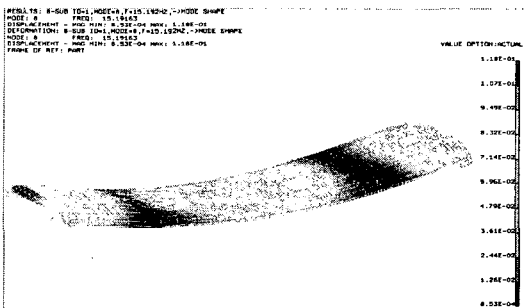


Fig. 5 1st bending mode of roof structure

Fig. 6에 루프 구조물의 1차 비틀림, 1차 굽힘 및 2차 비틀림 진동모드에 대한 설계변수의 민감도를 나타내었다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 1차 비틀림 모드에서는 Roof_Bow_RR, 1차 굽힘 모드에서는 Left_Cantrail, 2차 비틀림 모드에서는 Roof_Stringer #4 RR의 민감도 값이 크게 나타남을 알 수 있다.

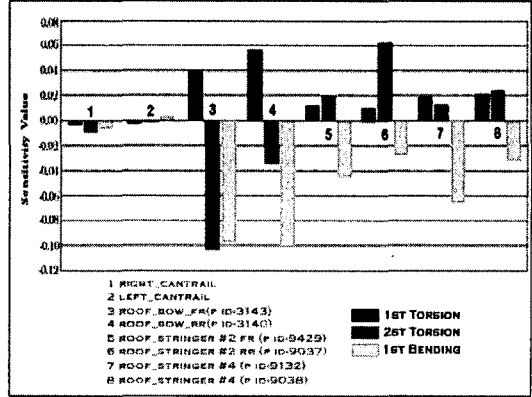


Fig. 6 Design sensitivity for roof structure

버스 전체 구조물의 특정 진동모드에 대한 부분구조의 진동모드 기여도를 나타내는 민감도는 다음 식에서 나타낸 바와 같이 수학적 연쇄법칙을 사용한 도함수 형태로 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial \lambda_n}{\partial \tau_n} = \frac{\partial \lambda_n}{\partial x_1} \cdot \frac{\partial x_1}{\partial \tau_n} + \frac{\partial \lambda_n}{\partial x_2} \cdot \frac{\partial x_2}{\partial \tau_n} + \dots + \frac{\partial \lambda_n}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial x_i}{\partial \tau_n} \quad (1)$$

식 (1)에서 λ_n 은 전체 구조의 n 번째 진동모드의 고유치, τ_n 은 부분 구조의 n 번째 진동모드의 고유치, x_i 는 i 번째 설계변수를 나타낸다.

식 (1)을 이용하여 전체 구조물의 1차 비틀림 진동모드에 대한 루프의 1차 비틀림, 1차 굽힘 및 2차 비틀림 진동모드에 대한 민감도 해석 결과를 Fig. 7에 나타내었으며, 전체 구조물의 1차 굽힘 진동모드에 대한 루프의 1차 비틀림, 1

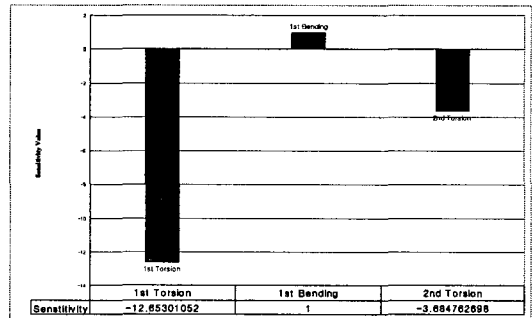


Fig. 7 Sensitivity analysis results for 1st torsional vibration mode of B.I.W.

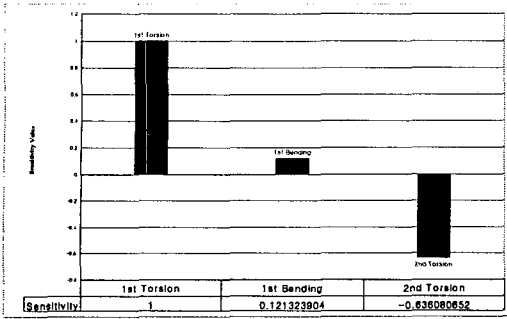


Fig. 8 Sensitivity analysis results for 1st bending vibration mode of B.I.W.

차 굽힘 및 2차 비틀림 진동모드에 대한 민감도 해석 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 루프의 1차 굽힘 진동모드가 전체 구조물의 1차 비틀림 진동모드에 가장 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 따라서 전체 구조물의 1차 비틀림 진동모드의 고유진동수를 변경을 할 경우 Fig. 6에서 보는 바와 같이 루프의 설계변수인 Left_Cantrail의 단면 두께나, 형상 등을 변경하는 것이 가장 효과적임을 알 수 있다. 또한 Fig. 8에서 보는 바와 같이 루프의 1차 비틀림 진동모드가 전체 구조물의 1차 굽힘 진동모드에 가장 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 따라서 전체 구조물의 1차 굽힘 진동모드의 고유진동수를 변경을 할 경우 루프의 설계변수인 Roof_Bow_RR의 단면 두께나 형상 등을 변경하는 것이 가장 효과적임을 알 수 있다.

전체 구조물의 저차 진동모드에 대한 부분 구조 진동모드의 기여도 관계를 입증하기 위해서 전체 구조물의 무게를 목적 함수로, 전체 구조물의 1차 굽힘 진동모드를 구속조건으로 설정한 후 루프의 설계변수들에 대한 최적설계를 수행한 결과, 루프의 1차 비틀림 진동모드에 대하여 가장 큰 민감도를 보였던 설계변수 Roof_Bow_RR의 단면 두께는 2.0mm에서 2.7837mm로 가장 많이 증가하였으며, 다른 설계변수들의 두께는 설정한 하한 값으로 변경되었다.

최적설계를 통해서 변경된 두께로 전체 구조물과 루프를 수정한 후 다시 고유진동해석을 하였다. Table 1은 전체 구조물과 루프에 대해 최적설계 수행 이전의 고유진동수 값과 변동량을 나타내고 있다. 이 표를 통해 알 수 있는 바와 같

Table 1 Comparison of natural frequencies

		Before optimization	After optimization	Change of frequency
Full structure	1st torsion	16.42 Hz	16.41 Hz	-0.01 Hz
	1st bending	22.25 Hz	22.46 Hz	+0.21 Hz
Roof structure	1st torsion	3.28 Hz	3.34 Hz	+0.06 Hz

이 부분 구조물의 1차 비틀림 진동모드의 고유진동수 값이 증가함에 따라 전체 구조물의 1차 굽힘 진동모드의 고유진동수 값은 증가하였으나 1차 비틀림 진동모드의 고유진동수는 오히려 약간 감소하였다.

3.2 프레임의 민감도해석

버스 프레임에 대해서도 루프 구조물과 같은 방법을 적용하였다. Fig. 9에 버스의 프레임을 나타내었으며 Fig. 10 및 Fig. 11에 고유진동해석 결과인 1차 굽힘 진동모드 및 1차 비틀림 진동모드를 나타내었다.

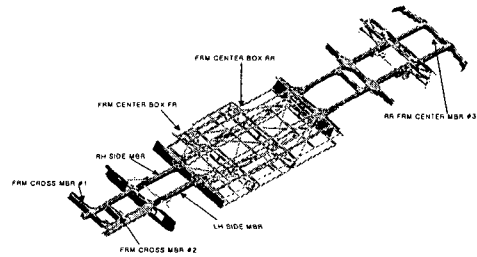


Fig. 9 Frame structure of bus

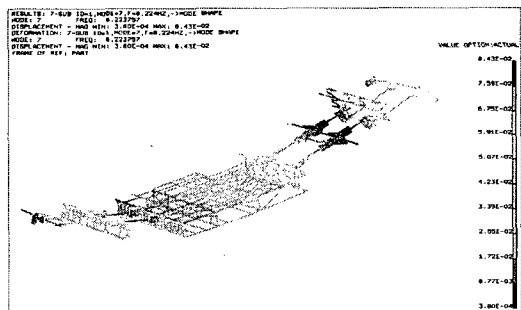


Fig. 10 1st bending mode of frame structure

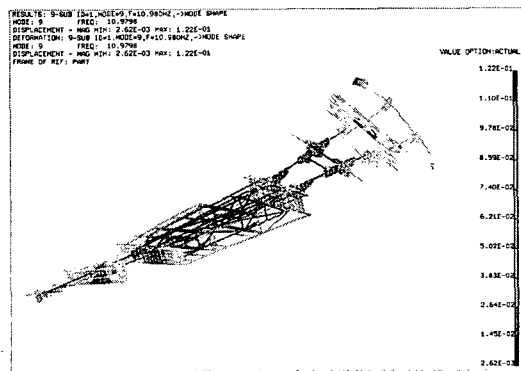


Fig. 11 1st torsional mode of frame structure

Fig. 12와 Fig. 13에서 보는 바와 같이 전체 구조물의 1차 비틀림 진동모드 및 1차 굽힘 진동모드에는 프레임의 1차 횡방향 굽힘 모드가 가장 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

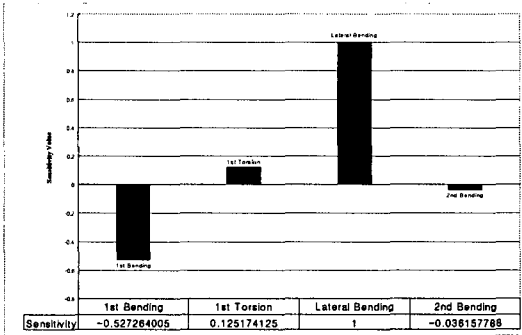


Fig. 12 Sensitivity analysis results for 1st torsional vibration mode of B.I.W.

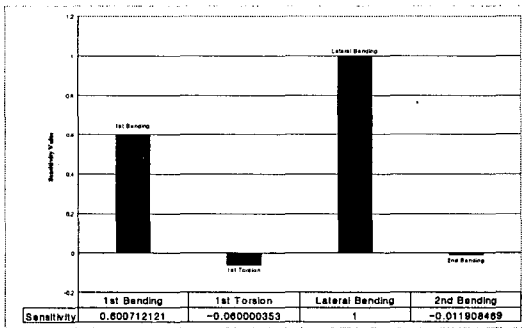


Fig. 13 Sensitivity analysis results for 1st bending vibration mode of B.I.W.

3.3 LH-Side 패널의 민감도해석

Fig. 14는 LH-Side 구조물의 설계변수들을 보여주고 있다. 전체 구조물의 1차 비틀림 진동모드와 1차 굽힘 진동모드에 가장 큰 영향을 주는 LH-Side 구조물의 진동모드는 1차 비틀림 모드이다.

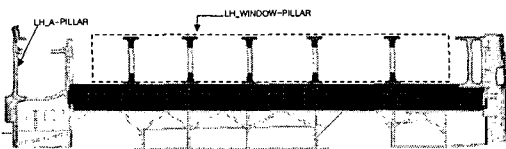


Fig. 14 LH side structure of bus

이상과 같이 부분 구조물 및 전체 구조물의 설계 민감도 해석을 통해서 각 부분 구조물의 주요 모드가 전체 구조물의 주요 모드에 어떤 영향을 주는지를 알아보았으며, 부분 구조물 설계 시 이와 같은 결과들을 고려하여 설계할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 버스 B.I.W. 모델을 이용하여 전체 구조물 및 부분 구조물의 진동해석을 바탕으로 부분 구조물을 이용한 설계 민감도 해석 방법을 제시하였다.

설계변수를 이용한 부분·전체 구조물의 설계 민감도해석에서는 전체 구조물의 주요모드(1차 비틀림 모드 및 1차 굽힘 모드)에 영향을 미치는 루프 구조물과 프레임 구조물 및 LH-Side 구조물의 진동모드를 찾았으며 부분 구조별 주요 모드에 대한 전체 구조물의 주요 모드를 고려할 수 있는 설계 민감도 해석이 가능하게 되었다. 이를 통해 전체 구조물의 1차 비틀림 모드와 1차 굽힘 모드를 올리는 부분 구조물의 설계변수를 찾아 전체 구조물 주요 모드의 고유진동수를 효과적으로 올릴 수 있었다.

참고문헌

- (1) Vanderplaats, G. N. and Hansen, S. R., 1989, DOT Users Manual, Engineering Design Optimization, Inc.
- (2) 이호용, 1995, "박판보 구조의 강성도 해석 및 최적설계", 석사학위 논문, 국민대학교 대학원.
- (3) Kamal, M. M. and Wolf, J. A., 1984, Modern Automotive Structural Analysis, Van Nostrand Reinhold Co.
- (4) 임홍재, 이상범, 1994, "저진동 차체의 필라 설계 및 최적화 기법, 1994년도 춘계학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp.99-104.
- (5) Gregory, J. M., 1993, MSC/NASTRAN Design Sensitivity and Optimization User's Guide, MacNeal-Schwendler Corporation.
- (6) 편성돈, 1999, "박판보 구조물의 최적 설계 시스템 개발에 관한 연구", 석사학위 논문, 국민대학교 자동차공학전문대학원.
- (7) Yim, H. J., 1994, "Technology for Initial Design & Analysis of Vehicle Pillar Structure for Vibration", G7 Workshop Proceeding.