

OLEV의 처짐량 개선을 위한 배터리 지지구조물 설계[§]

박홍익* · 유지수* · 이준영* · 이상범* · 임홍재**†

* 국민대학교 자동차공학 전문대학원, ** 국민대학교 자동차공학과

Design of Battery-Supporting Structure for Reducing Deflection of On-Line Electric Vehicles

Hong Ik Park*, Ji Sue Yoo*, Jun Young Lee*, Sang Beom Lee* and Hong Jae Yim**†

* Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin Univ.,

** School of Automotive Engineering, Kookmin Univ.

(Received April 18, 2011 ; Revised September 16, 2011 ; Accepted December 12, 2011)

Key Words: OLEV(온라인 전기자동차), Static Analysis(정적 해석), Contribution Rate(기여도), Reinforcement(보강재)

초록: 이 논문은 배터리의 위치 변화에 따라 발생하는 OLEV의 처짐 개선을 위한 배터리 지지구조물의 설계에 대한 것이다. 배터리의 위치 변화에 따른 OLEV의 동강성을 유한요소해석을 통해 분석하였고, 동강성이 가장 높은 위치를 찾았다. 배터리 하중에 의한 최대 처짐을 정적 해석을 통해 분석하였다. 발생된 처짐을 줄이기 위해서 기본 프레임 부재별 기여도와 보강재 사용 시 보강재의 위치에 따른 기여도에 대한 평가를 수행하였고, 기여도가 높은 기본 프레임과 보강 프레임을 사용한 개선 모델을 선정하였다. 개선 모델을 사용하여 정적 해석을 수행하였고, 기본 모델과의 결과를 비교하였다. 기여도 평가를 통한 개선 및 보강으로 처짐을 목표치 이하가 되도록 하였고, 이 때 개선 모델의 질량이 기본 모델 보다 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract: This paper presents methods to reduce the deflection of the battery-supporting structure on on-line electric vehicles (OLEVs). First, by testing various battery locations, a location is found that increases the dynamic stiffness of the OLEV. Second, static analysis is conducted to analyze the maximum deflection caused by the battery weight. In order to reduce the amount of deflection, the contributions of the battery-supporting structures are analyzed, and reinforcements are inserted. Then, another static analysis is conducted to compare the results of the base model and modified model. Consequently, through the static analysis, both the base model and modified model are similarly improved in terms of deflection, but the modified model is better than the base model at reducing the mass.

1. 서론

온라인 전기자동차(On-Line Electric Vehicle)의 경우 기존의 전기자동차보다는 배터리에 대한 의존도가 낮은 편이지만,⁽¹⁾ 여전히 배터리 및 보조 장치들이 필수적이며, 각 구성요소들의 무게는 여전히 차량 설계 시 어려움을 준다. 특히 온라인 버스의 경우 배터리와 같은 주요 구성요소들이 차량의 후륜에 집중하는 경향이 있어 차량의 처짐을 발생시킨다.⁽²⁾ 따라서 최근에는 온라인전기 자동차에 위치하는 배터리를 기존의 차량 후륜에서 차량 지붕으

로 위치를 변화시킨 모델이 개발되고 있으며 이러한 배터리의 위치 변화에 대한 차량의 강성변화를 측정하는 해석이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 온라인 전기자동차의 구성요소 중 배터리를 지지하는 구조물의 동강성을 높일 수 있는 최적 위치를 찾기 위해 비교 해석을 수행한다. 또한 해당 위치에서 지지구조물의 처짐을 확인하고, 처짐을 줄이기 위해 각 프레임의 기여도를 분석한 뒤 기여도가 큰 프레임을 선정하여 단면 형상을 변화^(3,4)시키면서 처짐의 변화와 단면적의 변화를 확인한다.

2. 유한요소 모델 생성 및 동강성 해석

온라인 전기자동차의 기본 모델은 Fig. 1의 버

§ 이 논문은 2011년도 대한기계학회 CAE 및 응용역학부문 춘계학술대회(2011. 4. 14-15., SETEC) 발표논문임

† Corresponding Author, hjyim@kookmin.ac.kr

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

스 모델을 대상으로 하였다. 온라인 전기자동차의 주요 구성요소는 Fig. 2와 같다. 기존의 버스 모델에서 온라인 전기자동차에 추가되는 장치들은 후륜에 집중되어 있으며, 각 구성요소의 질량은 모터 350 kg, 배터리 500 kg, 레귤레이터 120 kg, 24 V DC/DC 50 kg이다. 해석을 수행하기 위해 생성된 유한요소 모델은 Fig. 3과 같은 선행 연구에 사용된 것이며, 약 47,000개의 요소로 구성되어 있다.⁽²⁾

배터리의 위치변화에 따른 동강성의 변화를 분석하기 위하여 Fig. 4와 같이 온라인 전기자동차 지붕의 지지구조물을 기준으로 총 9 곳의 케이스를 선택하여 비교해석을 수행하였다. 각각의 케이스마다 배터리의 질량을 총 12 곳의 연결지점에 배터리의 질량을 분산시켜 입력하여 고유진동수 해석을 수행하였다. 해석에는 상용 프로그램인 MSC.Nastran을 사용하였으며 고유진동수 해석을 수행한 결과 배터리를 지붕 위로 올릴 때의 케이스 중에서 케이스4가 가장 높은 동강성 값을 나타냈다.

3. 온라인 전기 버스 모델의 정적해석

지붕 위의 위치 중 가장 높은 동강성 값을 갖는 케이스 4에 배터리가 놓일 때, 배터리의 무게에 의한 처짐과 발생하는 최대응력을 분석하기 위해 정적해석을 수행하였다.

차체를 지지하는 휠에 구속조건을 설정하고 배터리의 무게 500 kg을 Fig. 5와 같이 케이스 4의 위치 12곳에 분포하중을 가한 뒤, 해석을 수행하였다.

케이스 4의 배터리 위치에 대한 정적해석 결과 500 Kg의 배터리에 의한 최대 처짐은 3.25 mm로 나타났고, 발생한 최대응력은 32 MPa 이었으며 하중에 의해 변형된 형상은 Fig. 6과 같다. 발생한 최대응력은 지지구조물의 항복응력 보다 작지만 기준에 배터리가 후륜부에 있을 때에는 나타

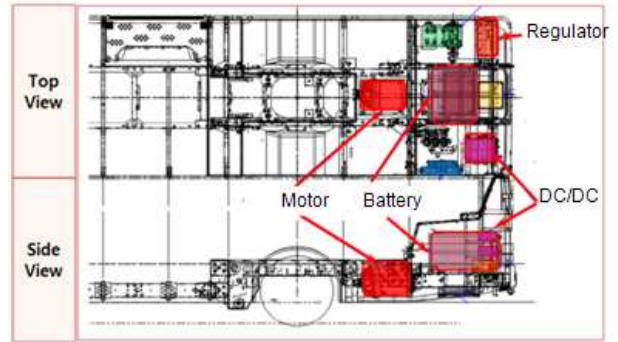


Fig. 2 Components of OLEV

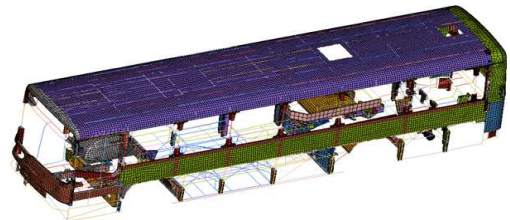


Fig. 3 Finite element model of OLEV

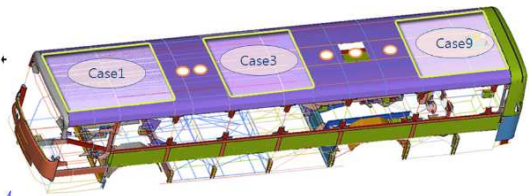


Fig. 4 Geometrical model of 9 case

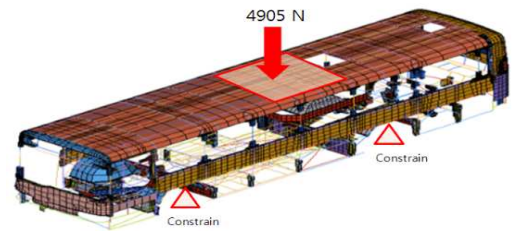


Fig. 5 Static load and boundary condition



Fig. 1 The on-line electric vehicle

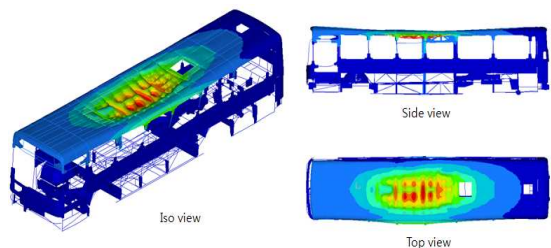


Fig. 6 Results of the static analysis

나지 않던 처짐이 발생되었으므로 배터리의 위치 이동으로 인한 처짐을 최소화 해야만 한다. 따라서 처짐의 목표치를 1 mm 이하가 되도록 설정하고 배터리 지지요소의 단면형상 변경을 통해서 처짐 해석을 수행하였다.

4. 처짐 감소를 위한 프레임 형상 변경

4.1 처짐에 대한 단면 형상의 영향

처짐을 감소시키기 위해 우선 처짐에 영향을 미치는 요소들의 분석을 수행하였다. 배터리는 지붕 프레임에 의해서 지지되며 배터리를 지지하는 주요 프레임은 Fig. 7과 같이 3가지의 범으로 분류된다.

배터리를 지지하는 주요 부재에 대하여 길이방향(b), 세로방향(h), 두께(t) 값을 변수로 지정하여 처짐과의 관계를 비교하였다. 해석은 기준 모델 단면형상을 기초로 각 단면의 b, h, t를 각각 20% 증가시켜 해석을 수행하고 처짐에 어떻게 영향을 미치는지 분석하였다. 그 결과 프레임 C의 단면 요소 h를 20% 증가시켰을 때 처짐이 가장 많이 줄어드는 것을 확인하였다. Fig. 8은 각 범 단면의 b, h, t 값의 기여도를 나타낸 것으로 프레임 C의 h가 기여도가 가장 크다는 것을 확인할 수 있다.

처짐을 감소시키기 위해 프레임 C의 단면 요소 중 기여도가 가장 큰 h를 4 mm 단위로 증가시키고 b는 일정하게 유지하였다. 프레임 C의 단면 요소 b는 처짐에 대한 기여도에 낮은 반면, 증가시 단면적과 프레임 전체의 무게가 증가되기 때문에 일정하게 유지한 것이다.

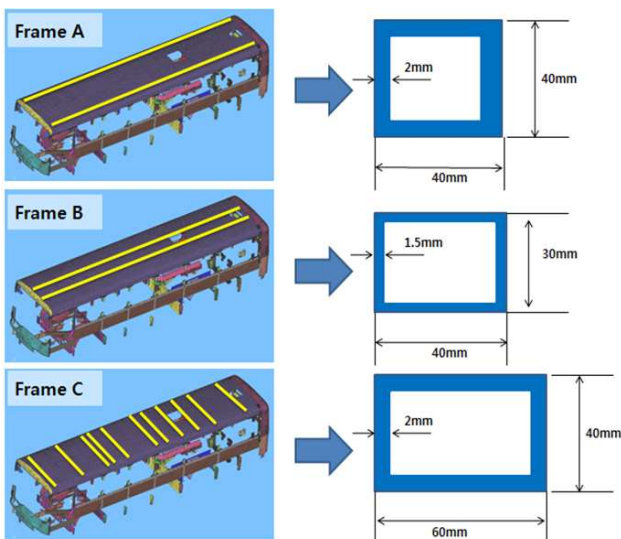


Fig. 7 Battery supporting frame

h의 변화에 따른 처짐과 질량 변화는 Fig. 9와 같이 나타난다. 해석을 통해 h가 증가함에 따라 처짐은 감소함을 알 수 있다. 그러나 h의 단면적이 증가되기 때문에 프레임의 무게 또한 증가되었다.

4.2 처짐에 대한 프레임 형상의 영향

Fig. 7의 단면 형상 C를 갖는 프레임 중 처짐에 민감한 요소를 선택하기 위해 11개의 프레임

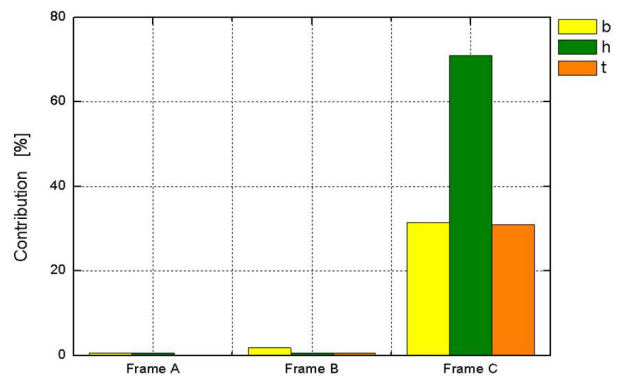
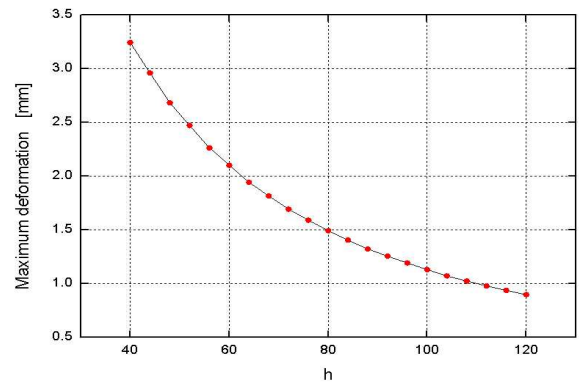
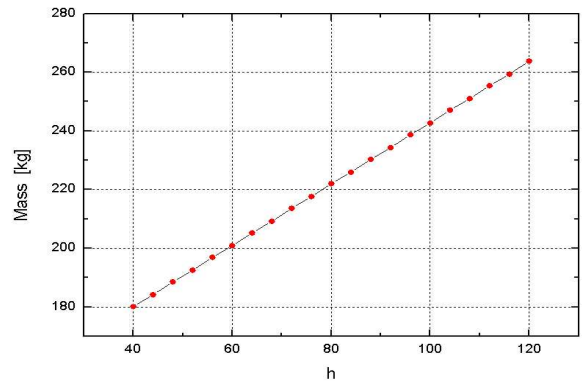


Fig. 8 Contribution rate of section property



(a) Maximum deformation



(b) Mass variation

Fig. 9 Changes of deformation and mass

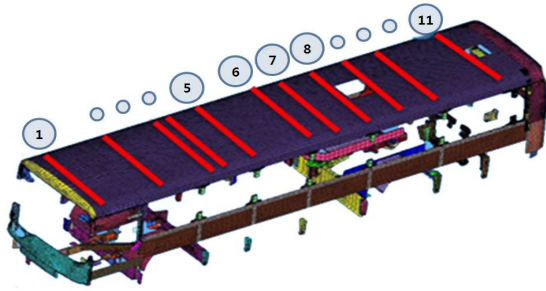


Fig. 10 Position of frame C

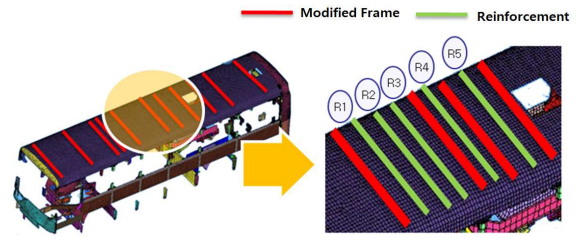


Fig. 12 Location of reinforcement

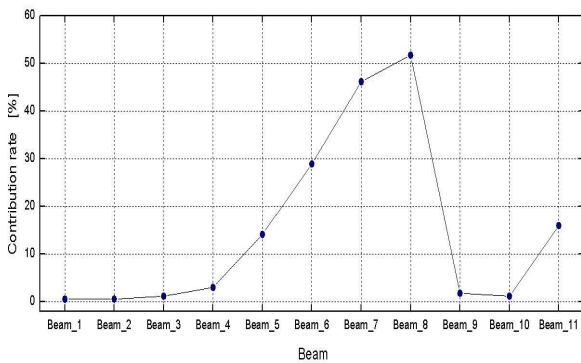


Fig. 11 Deformation by position

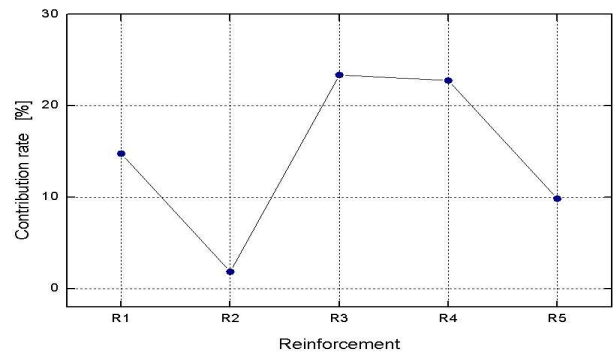


Fig. 13 Contribution rate of reinforcement

각각에 대한 해석을 수행하였다. 11개의 프레임은 Fig. 10에 나타나 있다. 각각의 프레임이 단면형상이 미치는 영향을 파악하기 위해 각 프레임별로 h 값을 20 % 증가시키며 해석을 수행하였다. 그 결과 값은 Fig. 11과 같이 5~8번 프레임의 h 값을 증가시킬 때 온라인전기버스의 처짐의 감소율이 가장 크다는 것을 확인하였다.

4.3 보강재 위치에 따른 처짐 변화

처짐을 감소시키기 위해 지붕 위 프레임 중에서 처짐에 민감한 5~8번 프레임 사이에 보강재를 추가하였다. 각각의 프레임의 간격을 고려하여 5~6번 프레임 사이에는 30 cm 간격으로 3종류의 보강 프레임을 형성하고 6~7번, 7~8번 사이에는 한 개씩의 보강 프레임을 형성하였다. 각 보강프레임의 위치는 Fig. 12에 나타났다. 각각의 프레임의 단면을 초기 단면으로부터 h를 증가시킨 형상으로 설정하고 해석을 진행하고 비교하였다.

그 결과 Fig. 13과 같이 3번과 4번 보강재의 위치에서 처짐이 약 23 % 감소한다는 것을 확인하였다.

4.4 단면형상 변경 프레임 선정 및 처짐 해석
처짐 감소와 동시에 프레임의 질량을 감소시키

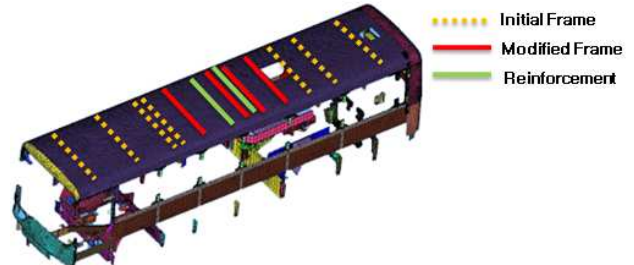


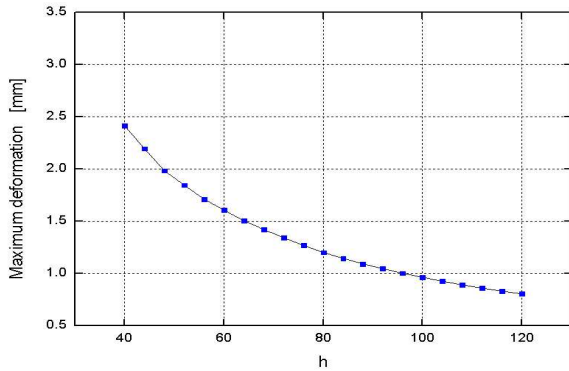
Fig. 14 Selected Cross Section Frame

기 위해 처짐에 민감하지 않은 프레임은 초기 단면형상으로 유지하고 처짐에 민감한 프레임의 형상은 프레임 단면의 h를 증가시키며 초기 모델의 처짐 3.25 mm에서 처짐을 50 % 이상 감소시킨 1 mm로 처짐 목표를 설정하고 Fig. 14와 같이 보강 프레임을 추가하였다. 그 후 h를 변화시키면서 정적해석을 수행하였다.

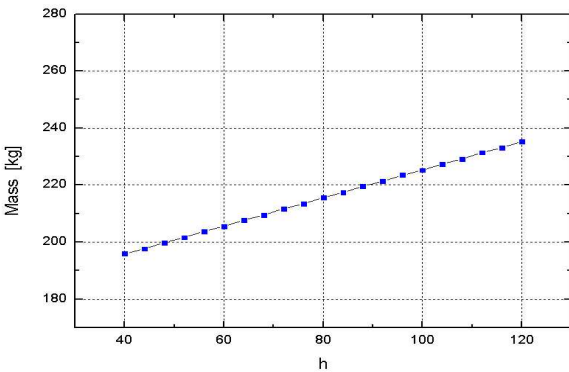
Fig. 15는 선정된 프레임의 h 값 증가에 따른 처짐 변화와 질량 변화를 나타낸 것이다. h 값 증가는 처짐 감소를 위해 필요하지만, 이로 인해 단면적의 증가와 동시에 프레임의 질량도 증가하였다.

5. 해석결과 비교

온라인전기버스의 배터리를 지붕으로 위치시켰



(a) Maximum deformation

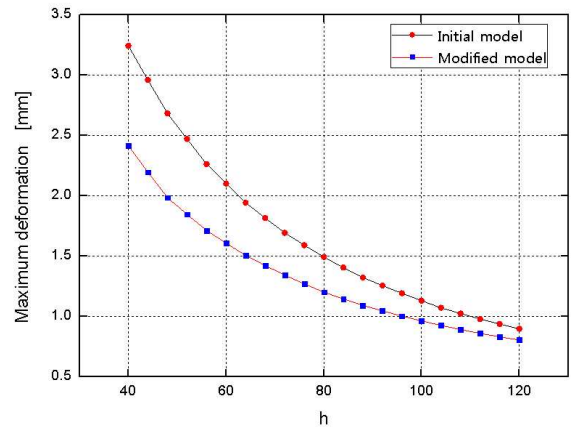


(b) Mass variation

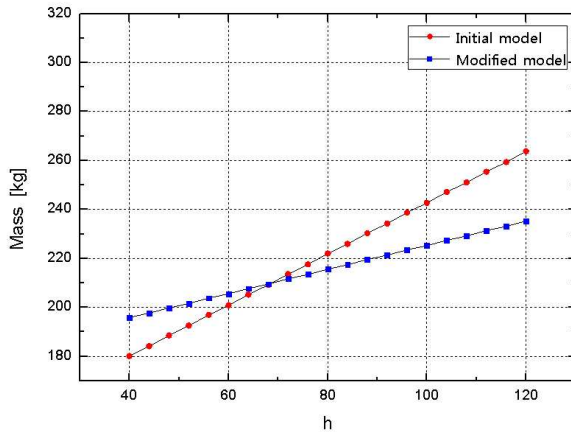
Fig. 15 Changes of deformation and mass

을 때 배터리의 무게로 인하여 지붕이 3.25 mm 가 처진다는 것을 확인하였다. 이를 줄이기 위해 배터리가 지지되는 프레임의 단면 요소들의 기여도 분석을 시행하고, 프레임 C의 단면 요소 h가 처짐 감소에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다. 그리하여 기여도가 큰 h를 이용하여 모델을 수정하면서 처짐을 비교하고, 이로 인해 증가한 단면적의 영향으로부터의 질량변화도 살펴보았다.

본 장에서는 앞에서 수행한 두 가지 경우의 결과를 비교함으로써 목표 처짐을 기준으로 경량화가 된 케이스를 확인하고자 한다. 결과를 확인하면 h를 약 300 % 상승시켰을 경우, 목표 처짐인 1 mm 이하가 되는 것을 확인할 수 있고 Fig. 16 과 같이 보강재를 사용한 개선모델이 경량화 측면에서 더 우수한 것을 확인할 수 있다. 따라서 해석 결과들을 기초로 온라인버스에서 배터리를 지붕으로 이동시키는 경우 초기모델을 사용하는 것 보다는 개선모델과 같이 배터리를 지지하는 구조를 변경하는 것이 처짐 개선과 지붕 프레임의 경량화 측면에서 더 효과적임을 확인할 수 있다.



(a) Maximum deformation



(b) Mass variation

Fig. 16 Comparison of deformation and mass

6. 결론 및 향후계획

본 연구에서는 온라인 전기자동차의 구성요소 중 배터리의 위치를 변화시킴에 따라 가장 높은 동강성을 갖는 최적 위치를 찾고, 배터리의 하중에 의한 처짐을 정적해석을 통해 확인하였다. 그리고 처짐을 줄이기 위해 각 프레임의 기여도 분석을 통하여 기여도가 큰 단면형상을 선정했으며, 이를 변화시키면서 초기모델과 보강프레임을 사용하는 개선모델의 처짐 변화와 단면적 변화를 확인하였다. 결과적으로 기존의 구조물로 단면형상을 변화시키는 경우보다 보강프레임을 추가하여 단면형상을 변경시키는 경우 처짐이 처음의 3.25 mm보다 75% 감소한 0.8 mm였으며 질량은 28.5 kg 줄어든다는 것을 확인하였다.

본 연구의 결과를 통하여 구조물의 처짐 개선을 위해 단순한 보강이 아닌 단면 요소의 기여도 분석을 통해 기여도가 높은 부분의 설계를 변경

하는 것이 유용하다는 것을 확인할 수 있다.

후 기

본 연구는 국민대학교 교내연구비, 지식경제부 시행 지식경제 기술혁신사업 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Kim, K. W., Choi, J. W. and Yi, K. S., 2010, "A Comparative Study of the Next-Generation Electric Bus System" *Proceedings of the KSME Fall Annual Meeting 2010*, pp.1312~1317
- (2) Cho, E. S., Baik, S., Yim, H. J. and Kim, H. S., 2001, "A Study on Modal Analysis of a Large Structural System with Contribution Factor Analysis of Substructures" *KSME 01S213*, pp. 341~348
- (3) You, Y. K., Yim, H. J. and Kim, K. C., 2006, "Development of an Optimal Design Program for Vehicle Side Body Section Considering the B.I.W Stiffness and Light Weight" *KSAE06-F0270*, pp.1729~1735.
- (4) Lee, S. B., Yim, H. J. and Jang, H. S., 1996, "Optimal Stiffness Design of Vehicle Structure Joints for Vibration" *KSAE 96380036*.