

철도차량용 더블형 완충기 개발

Development of double type coupler system for railway vehicle

우창수*, 박동철**

Chang-Su Woo*, Dong-Cheol Park**

Abstract Coupling system was important components in railway vehicles. It can be used for reduce shock, vibration and noise. The shock absorber equipment is mainly consisted of the yoke, plate and rubber pad. The objective of this paper is to development of double type coupler system through evaluation of structure analysis and rubber pads for finite element method.

Keywords : Coupling system, Railway vehicle, Finite element analysis, Rubber pad.

초 록 국내 철도차량에 사용되고 있는 완충기는 싱글형(single)으로 차량이 정차하거나 출발 또는 가,감속시에 충격력과 급속성의 충격음이 발생되어 승객에게 불쾌감을 주고 있으며 관련 부품의 내구성 저하 및 승차감에도 영향을 주고 있어 철도차량에 적합한 완충장치 개발이 요구되고 있으나, 국내 관련기술은 설계 및 해석과 성능평가의 모든 면에서 매우 취약하여 외국업체 부품을 수입하는 실정으로 독자기술 개발을 통한 국산화 개발이 시급한 실정이다 하겠다. 따라서, 본 연구에서는 국내에 적합한 철도차량용 완충장치의 기술사양 검토와 완충기 틀에 대한 구조해석 및 강도평가, 고무소재 물성시험 및 평가, 완충기 패드에 대한 유한요소해석 등 완충기 개발에 필요한 설계, 해석, 시험평가 기술을 통해 국산화 개발하였다.

주요어 :완충기, 철도차량, 유한요소해석, 고무패드

1. 서 론

철도차량은 일반적으로 1량이 단독으로 운행되기보다는 편성단위로 운행되고 있어 차량의 연결이나 정차, 발차 또는 주행 중의 가감 시에는 차량 전후로 충돌현상에 의해 차량 간에는 충격력이 발생하게 된다. 이러한 충격력을 효과적으로 흡수하여 승객에게는 쾌적한 승차감을 제공하고 화물의 경우에는 파손을 방지하기 위한 목적 외에도 차체에 직접적인 충격력을 흡수하여 안전운행을 도모하기 위해 완충장치를 연결장치 후부 또는 차량 끝단에 설치하고 있다[1,2]. 그러나 국내 철도차량에 사용되고 있는 완충기는 싱글형(single)으로 차량이 정차하거나 출발 또는 가감속시에 충격력과 급속성의 충격음이 발생되어 승객에게 불쾌감을 주고 있으며 관련부품의 내구성 저하 및 승차감에도 영향을 주고 있다. 특히 역간 거리가 짧아 정차 횟수가 많고 급가속이 빈번한 국내의 도시형 전동차에서는 개선이 필요한 대표적인 철도차량용품으로 인식되어 철도차량에 적합한 완충장치 개발이 요구되고 있으나, 관련

* 한국기계연구원 나노융합기계연구본부

** DMSR

기술은 설계, 해석 및 성능평가의 모든 면에서 매우 취약하여 외국 업체의 부품을 수입하는 실정으로 독자기술 개발을 통한 국산화 개발이 시급한 실정이다 하겠다. 따라서, 본 연구에서는 기존에 사용되고 있는 싱글형 완충기 구조를 검토하여 완충기 전,후부에서 발생하는 충격력과 충격음을 저감시키고 인장-압축이 원활한 구조로 된 더블형(double) 완충기를 개발하고자 한다. 더블형 완충기 개발은 국내에 적합한 철도차량용 완충장치의 기술사양 검토와 완충기 틀에 대한 구조해석 및 강도평가, 고무소재의 물성시험 및 평가, 완충기 패드에 대한 유한요소해석 등 개발에 필요한 설계, 해석, 시험평가기술을 통해 국산화 달성하였다.

2. 더블형 완충기 개발

2.1 더블형 완충기 구조

싱글형 완충기는 하나의 고무 견인장치가 앞과 후미 면이 있는 완충기 틀에 초기 부하를 가지고 플레이트에 설치되지만 더블형 완충기는 Fig. 1(a)와 같이 2개의 고무 견인장치가 앞과 후미 면이 없는 완충기 틀의 앞면과 뒷면에 독립적으로 설치되어 초기하중이 “0”인 상태로 유지하며 설치되어 싱글형이 가지는 비 완충분분이 없는 뛰어난 기능을 나타내는 구조로 되어있다. 더블형 완충기의 작동원리 및 하중-변위 선도는 Fig. 1(b)와 (c)에서와 같이 견인을 위한 분리 판의 전후에 고무완충기를 설치하여 완충기 조립 시에는 싱글형과 같이 어느 정도 초압이 작용하나 하중방향이 서로 반대이므로 초압에 의한 작용력은 “0”이 되는 것으로 이와 같은 원리에 의하여 적은 충격력에도 원활하게 흡수가 가능하게 되어 연결장치에 발생하는 충격력을 감소하는 역할을 하고 있다. 싱글형 완충기가 차량 본체 사이에서 생성된 압축과 팽창의 충격 모두에 작동할 때는 요크에 있는 하나의 고무 견인장치가 그 충격을 완화하지만 더블형 완충기는 2개의 고무 견인장치가 요크의 앞과 뒷벽에 장치되어 앞쪽에는 팽창의 충격에만, 뒤 쪽에는 압축의 충격에만 작동하여 충격을 완화시킨다. 또한 싱글형 완충기는 고무 견인장치가 압축 또는 팽창의 충격으로 압박을 받았을 때 앞 또는 뒷쪽의 플레이트는 지지대로부터 분리되지만 더블형 완충기는 앞과 뒤쪽의 플레이트는 분리되지 않아 플레이트 사이에서 발생하던 충격소음을 줄일 수 있고 승차감도 개선할 수 있다.

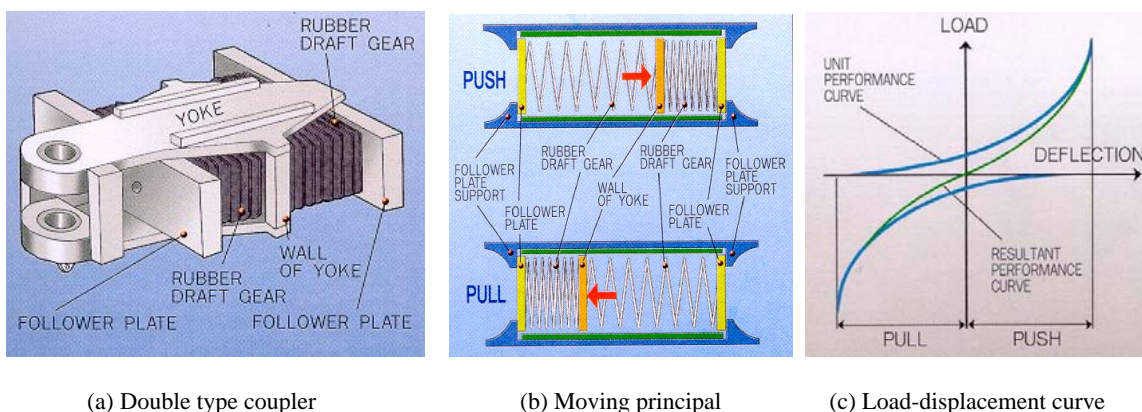


Fig. 1 Structure and load-displacement of double type coupler

2.2 더블형 완충기 구조해석

완충기는 차량의 정차나 출발시 발생하는 충격력을 흡수하여 차체에 직접적으로 전달되는 하중을 저감시키는 중요한 역할을 담당하고 있는 부품으로, 고무 완충기와 완충기 틀(yoke)로 구성 되어있다. 본 연구에서는 고무 완충기로부터 전달된 하중을 지지하는 완충기 요크에 대하여 구조해석을 통한 응력과 변형상태를 파악하여 요크의 구조가 작용하중에 상응하는 강도를 가지고 있는지 여부를 확인하여 안전성을 평가하였다. Fig. 2(a)는 완충기 요크에 대한 유한요소 모델을 나타낸 것으로 26,668개의 절점(node)과 115,032개의 요소(C3D4 element)로 구성하였으며 상용 구조해석 프로그램인 ABAQUS를 이용 하였다. 완충기 요크에 작용하는 하중은 인장과 압축하중으로 구분되나 인장 시 발생하는 하중은 압축하중보다 작으므로 본 해석에서는 압축하중에 대해서만 해석을 수행하였다. 압축하중은 연결기로부터 전달되는 60톤과 100톤에 대해 압력으로 부가하였으며, 연결기가 연결되는 부위에서는 변위를 구속하였다. 소재는 항복강도 40kg/mm^2 이상(392 MPa), 인장강도 58kg/mm^2 (568.9 MPa)이상인 SCC60으로 하였다. Fig. 2(b)와 (c)는 60톤의 압축하중이 작용할 때 발생하는 변위 분포를 나타낸 것으로 요크 끝단부에서 0.647mm의 최대변위가 발생하였으며, 최대응력은 구멍부위에서 268.6MPa로 재료의 항복강도인 392MPa보다 낮은 결과로 구조강도상으로 안전함을 알 수 있었다.

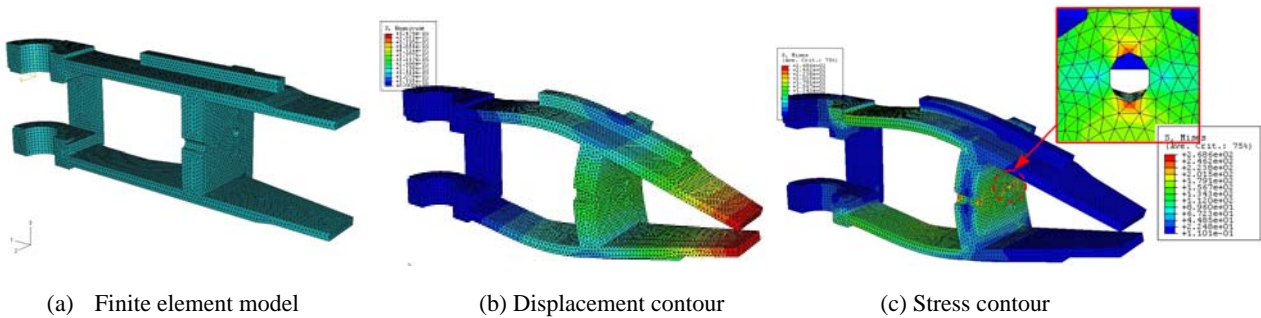


Fig. 2 Finite element analysis of yoke

2.3 완충기 패드 특성해석

철도차량에 사용되는 완충기는 패드는 연결완충장치로서 주행 시 안정성과 충격흡수로 차량 부품에 대한 손상을 방지하는 중요한 역할을 담당하며, 승객과 차량의 안전운행에 직결되므로 절대의 신뢰성이 요구되고 있는 부품으로 고무를 가황, 성형하여 금속 편에 접착시켜 사용하므로 고무소재의 특성과악이 매우 중요하다 하겠다.

완충기 패드는 Fig. 3에서 같이 고무와 철판이 서로 적층되어 있는 형상으로 고무재질은 천연고무이며 철판은 일반 강재이다. 기존형상과 새로 개선된 형상을 그림 3.40과 같이 3차원 형상으로 모델화 하였다. 유한요소 모형은 형상 및 하중이 대칭이기 때문에 계산의 편의를 위해 대칭조건을 이용하여 기존모형과 새로운 모형에 대해서 full-herrmann formulation 요소를 이용하여 1/4만 모델화 하였다. 고무부분은 변형체 접촉요소(deformable contact body)로 하였으며 고무 물성치는 물성시험을 통해 구해진 비선형 재료상수 값들을 이용하였으며, 금속 물성치로 탄성계수 $21,000\text{kg/mm}^2$, 포아슨 비는 0.3으로 하였다. 완충기 패드에 대한 유한요소 해석의 주요 관점은 주어진 하중에서 형상변화에 따른 변형모습 및 응력상태와 성능 특성을

미리 파악하여 부품의 안전성과 신뢰성을 확인하고 또한, 시제품 제작 및 성능시험에 드는 막대한 시간과 경비를 줄여 부품의 성능향상에 기여하고자 하였다. 유한요소 해석은 기존모형과 고무 두께와 형상치수가 바뀐 수정모형에 대해 수직방향으로 50mm의 변형을 주었을 때의 형상변화와 변형을 및 응력분포를 알아보았으며, 또한 50mm 변형 시의 작용하중도 검토하였다.

Fig. 4~6은 완충기 패드에 대한 해석결과를 나타낸 것으로 완충기 패드에 50mm의 수직변형이 발생할 때 x, y방향의 변형은 기존모형은 12.55mm, 12,40mm이었으나 수정된 모형은 10.1mm와 10.5mm 로 변형이 줄어 들었으며, 변형율은 1.15에서 0.945로 감소 됨을 알 수 있었다. 또한, 응력값은 고무부분에서는 고무의 허용응력에 만족할만한 결과를 얻을 수 있었으며 금속부분에서는 26.9kg/mm²에서 17.8kg/mm²로 감소되어 강재의 허용응력 범위 내에 있음을 파악하였다. 또한, 수정된 완충기 패드의 특성도 Fig. 7에서와 같이 50mm의 수직 변형이 발생할 때 약 55ton의 하중이 필요하여 규격에서 원하는 특성곡선을 만족하는 것으로 나타났다. 이상으로 유한요소 해석을 통하여 완충기 패드의 형상변화에 따른 성능특성과 각 고무층에 작용하는 변형을 및 응력분포를 미리 예측하고 파악할 수 있어 완충기 패드의 설계 및 신뢰성을 확보하는데 도움이 되리라 사료된다.

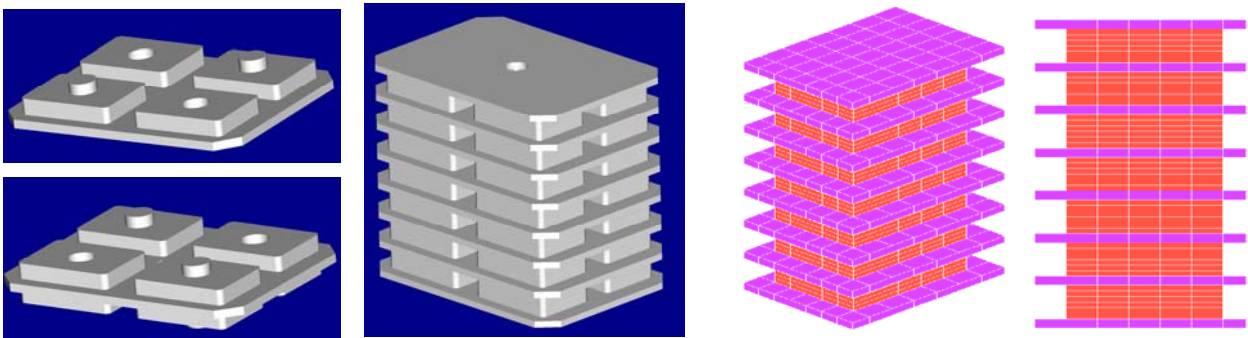


Fig. 3 Finite element model of rubber pad

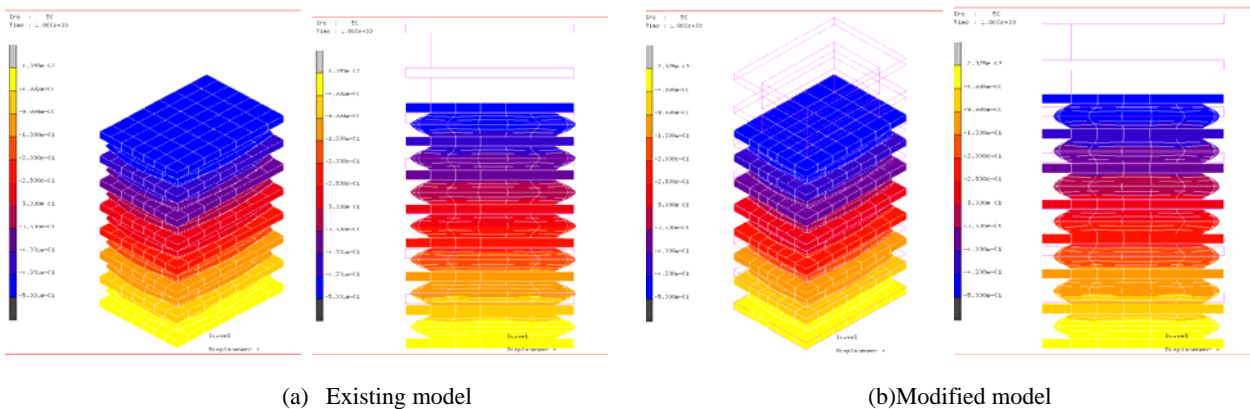
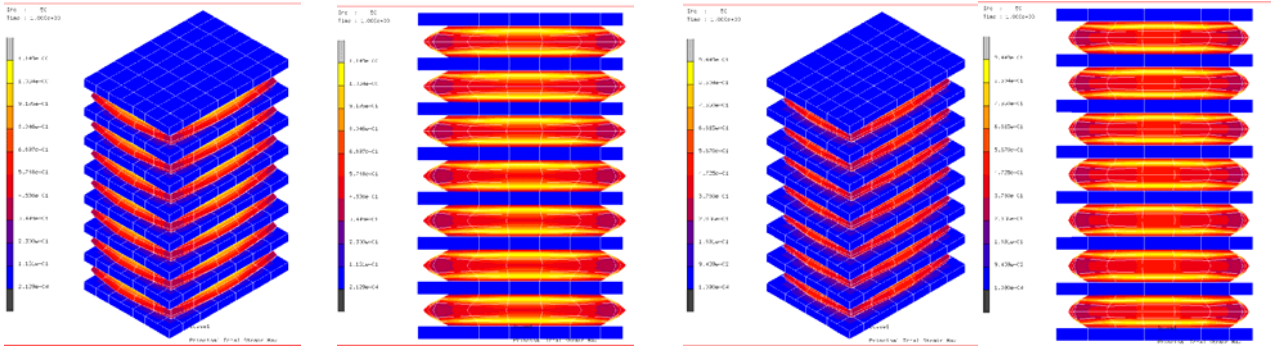


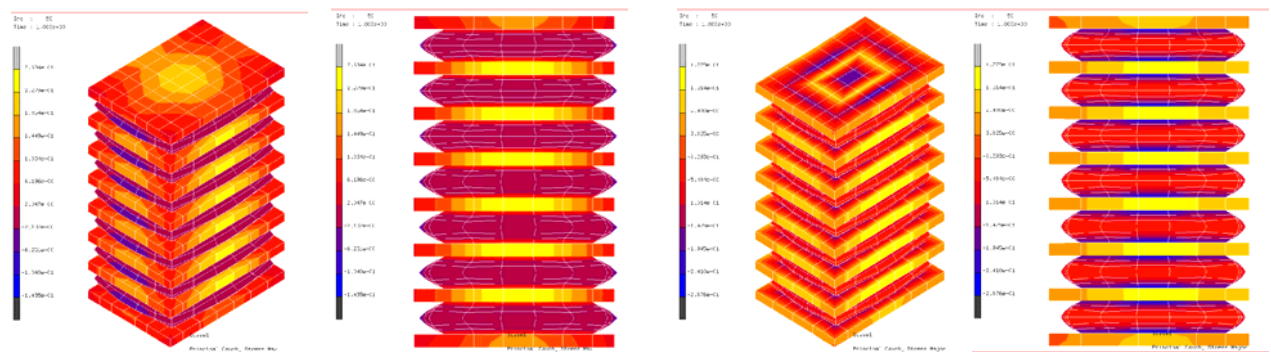
Fig. 4 Displacement contour of rubber pads



(a) Existing model

(b) Modified model

Fig. 5 Strain contour of rubber pads



(a) Existing model

(b) Modified model

Fig. 6 Stress contour of rubber pads

Displacement(mm)	Load(tons)	
	Existing	Modified
10	2.95	2.54
20	7.36	6.24
30	15.68	12.76
40	34.00	25.97
50	78.73	55.55

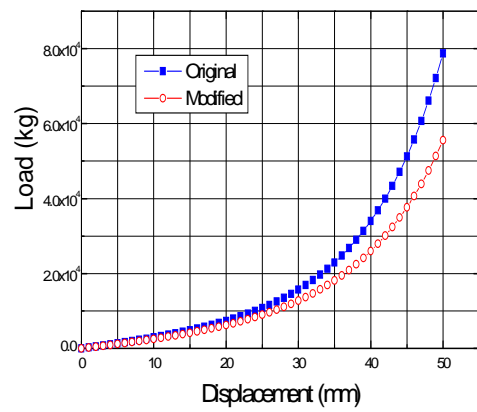


Fig. 7 Load and displacement of rubber pads

3. 결 론

본 연구에서는 철도차량용 더블형 완충기 개발을 위해 완충기에 대한 개념설계와 구조부품에 대한 강도해석과 완충기 고무패드에 대한 특성해석을 통해 더블형 완충기의 자체 설계 및 해석능력 확보와 성능 및 신뢰성 평가기술을 확립하였다. 연구개발에 따른 활용방안으로 국내외 철도차량용 완충기에 적용 및 기존사업에 즉시 활용 및 적용 가능하며, 선진국 제품과의 기술적, 품질적 경쟁에서 우위를 확보하여 수입대체는 물론 연구결과를 토대로 타제품 적용이 가능하여 국내 철도기술 발전과 대외 경쟁력 확보에 관련 연구의 활용이 기대된다.

참고문헌

- [1] Y. I. Park, H. M. Jang, K. N. Kim, N. W. Kim (2011) Analysis on the cushion characteristics of a rolling stock adapted the dynamic model for buffer couplers, *KASE*, 2011(5), pp.2432-2434.
- [2] H. M. Jang, K. N. Kim, Y. I. Park (2010) Comparison of Impact Simulation Result for Rolling Stock Vehicle Coupler System, *Korea Society for Railway*, 13(3) pp. 251-256.
- [3] A.N. Gent, R. P. Champion, G. J. Lake (1992) Engineering with rubber, *Hanser Publication*..
- [4] L. R. G. Treloar (1975) The physics of rubber elasticity, 3rd ed., *Clarendon press Oxford*.
- [5].N. Anton (1995) Applications of a Major FEM Code to the Stress Analysis of Rubber Parts, *KGK*
- [6] K. Miller (2000) Testing Elastomers for Hyper elastic Material Models in Finite Element Analysis, *Axel Products Testing and Analysis Report*.