

화차대차용 비틀림 흡수구조형 제륜자 홀더행거의 적용을 위한 유한요소해석

Finite Element Analysis for Application of Torsion-free Brake Shoe Holder Hanger for the Bogie of Railway Freight Car

전용식*
Jeon, Eung-Sik

함영삼**
Ham, Young-Sam

ABSTRACT

Among welded structure bogies in use for high speed freight car, a part of bogies manufactured in 1999 and 2000 have found problems that failure occurs in its end beam. In case of a freight car a difference of weight between empty and loading conditions are worse than in case of a passenger car. Moreover its brake system is tread brake without second suspension system. A failure of end beam is supposed to be due to loading by brake rather than vertical loading by freight. This failure can make brake system useless and may be a cause of derailment in the worst case.

In this study, we have proposed a simple torsion-free brake shoe holder hanger to remove torsion of hanger bracket which is supposed to be one of causes of failure and performed finite element analyses for making trial manufactures and its application.

1. 서론

철도는 승객운송 뿐만 아니라 화물운송에 있어서도 다른 운송수단에 비해 정시성과 안전성이 뛰어난 대량 운송수단이며 이러한 특징은 대차의 성능과 아주 밀접하게 관련되어 있다. 대차는 철도차량에서 차륜과 차체를 연결시키며 열차의 안전과 주행성능에 지대한 영향을 미치는 핵심장치로서 크게 대차프레임, 현가장치, 제동장치, 윤축으로 구성되어 있다. 또한 정적 및 동적 하중이 복잡하게 작용되므로 설계시 구조강도 해석 외에도 실제 운용하중 측정, 정하중 시험, 피로시험, 실차주행시험 등 다양한 시험 및 성능평가가 요구되는 매우 중요한 장치이다. 그러나 현재 운행중인 고속화차용 용접구조대차 가운데 1999년과 2000년에 제작된 일부 대차의 End beam에서 균열 및 파손이 발생하고 있어 안전운행에 지장을 초래하고 있다. 화차는 객차에 비해 영·공차의 하중차가 크고 하중조건이 열악하며, 일반 객차와 달리 2차 현가장치 없이 답면제동이 사용되고 있으므로 제동장치를 지지하고 있는 End Beam의 파손은 제동기능의 상실뿐만 아니라 최악의 경우에는 탈선의 원인이 될 수도 있다. 이러한 End beam의 파손원인은 아직 명확히 밝혀지지 않았지만,

* 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 연구원, 비회원

** 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 책임연구원, 정회원

제동 시 Hanger bracket에 발생하는 제동우력과 Hanger에 의한 비틀림 등이 그 원인으로 추정되고 있다. 이에 본 연구에서는 파손원인을 규명하고 해결방안을 제시하기 위해 실시될 실차시험에 적용할 하나의 방안으로서, Bracket으로 전달되는 비틀림을 소산시키기 위한 Holder hanger를 제안하였다.

2. 대차프레임 강도 검토

2.1 균열발생 현황

균열이 발생한 대차의 End beam에 대해 여러 차례에 걸쳐 보강작업을 실시하였으나 근본적인 원인을 제거하지 못하고 재균열이 발생되고 있는 실정이다. 2003년 6월까지의 제천차량사무소 통계를 보면, 곡선과 구배가 많은 영동선과 태백선을 운행하는 화차들 중 영차조건에서 제동력이 더 큰 P4a 차량에서 주로 균열이 발생하고 있는 것으로 나타나고 있다.

표 1 균열발생현황

발생년도	차종	량수	제동형식		비고
			P4a	KRF-3	
2002	무개차	55	40	15	
	평판차	1	1	-	
2003	무개차	14	13	1	
계		70	54	16	



그림 1 파손된 End beam

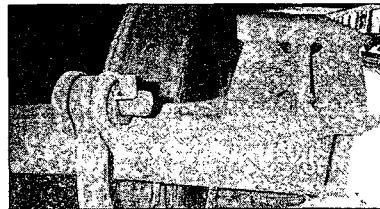


그림 2 End beam 1차보강 (Bracket 외측)



그림 3 End beam 2차보강 (Bracket 내측)



그림 4 Side frame 연결부 모서리 보강

2.2 대차프레임의 유한요소해석

전체적인 대차프레임의 강도를 검토하고 균열발생 원인을 추정하기 위하여 유한요소해석을 수행하였다. 계산중량은 현재 균열현상이 가장 많이 발생되는 무개화차를 기준으로 하였고 해석 하중조건은 JIS E 4207(철도차량용대차프레임 설계통칙)을 따라 8가지로 나누었으며 유한요소해석 상용프로그램인 NISA II Ver. 8.0을 사용하여 해석하였다.

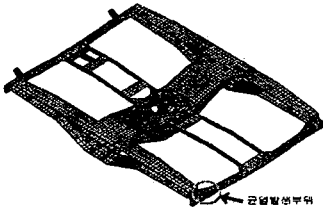


그림 5 Model 1의 유한요소 모델과 결함발생 부위

표 2 사용재질의 기계적 성질
(단위 : kg/mm²)

재 질	항복강도	인장강도	비 고
SS400	25	41	

해석결과, 8가지 해석 하중조건 가운데 End beam에 비교적 큰 응력을 발생시키는 제동하중과 제동부품 진동하중조건에서 End beam 모재부에 5 kgf/mm²이하의 응력이 발생하였다. 즉, 일반하중조건에서는 End beam에 큰 응력이 발생되지 않고 전체적으로 정적구조강도가 허용응력에 대해 충분히 안전하다고 할 수 있다. 따라서 이 결과로 비추어 일반적인 하중조건 이외에 다른 균열발생의 원인이 있음을 짐작할 수 있다. 영동선이나 태백선과 같이 곡선부와 구배가 많은 선로의 특성상 곡선부를 주행하면서 제동을 체결할 경우가 많은데, 이러한 경우 제륜자가 차륜담면에 밀착 고정된 상태에서 원심력으로 인하여 제륜자에 대해 상대적으로 대차프레임에 횡방향 변위가 발생하게 되고, 결과적으로 제륜자를 고정하고 있는 Holder hanger에 의해 End beam의 Bracket에 비틀림이 발생할 것으로 추측된다. 이러한 현상을 유한요소해석으로 모사해 보았다. 제동이 체결된 상태에서 제륜자와 차륜담면의 마찰력으로 인해 생기는 제동우력과 비틀림 변위를 Bracket에 동시에 가하고 해석한 결과, Bracket의 양쪽 주위에 약 15~17 kgf/mm²의 응력이 발생함을 볼 수 있었다. 비록 비틀림의 양을 임의로 가정해서 해석한 결과이지만 비틀림에 의해 End beam에 발생하는 응력이 균열의 한 원인이 될 수 있음을 유추해 볼 수 있다.

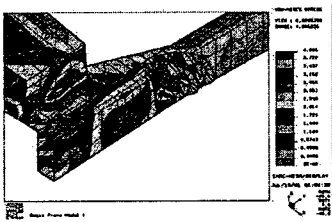


그림 6 제동하중조건에서의 응력분포

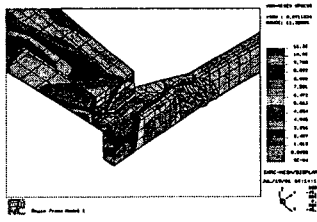


그림 7 부품중량(하방향) 하중조건에서의 응력분포

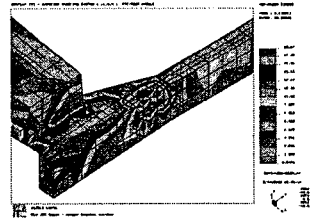


그림 8 비틀림 작용시 응력분포

3. 비틀림 흡수구조형 제륜자 홀더행거

화차용 용접대차의 End beam에 발생하는 균열의 원인을 규명하기 위한 실차시험에 앞서 기존 Holder hanger의 구조적인 특성으로 인해 Bracket에 발생하는 비틀림을 흡수할 수 있는 새로운 Holder hanger를 제안하고 시제품 제작을 위해 유한요소해석을 수행하고 그 적용성을 검토해 보았다. 기존 Hanger는 양 끝단에 핀연결을 할 수 있는 단일 막대형 구조로서 대차에 대해 횡방향으로는 움직임이 구속되어 있으나 비틀림 흡수구조형 hanger는 중간에 횡방향으로 회전운동이 가능하도록 핀연결을 추가하여 Bracket에 전달되는 비틀림을 흡수하도록 하였다.

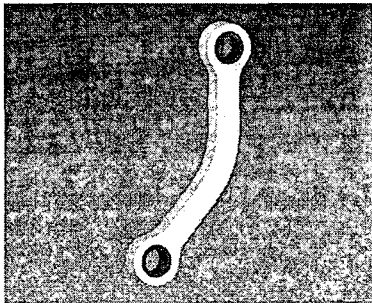


그림 9 기존 Holder hanger

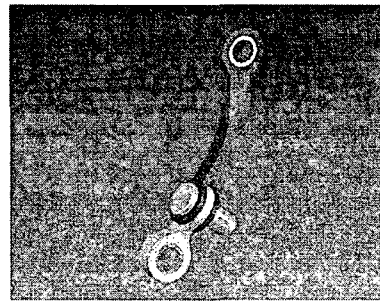


그림 10 비틀림 흡수구조형 Holder hanger

실차시험에 적용시 강도상의 문제가 발생하지 않도록 기존의 Hanger와 유사한 정적강도를 유지하도록 설계하였고, 각 부품별 재질을 표 3에 나타내었다.

표 3 비틀림 흡수구조형 제륜자 홀더행거의 부품별 재질

품 명	재 질	비 고
Hanger(upper & lower)	SS400	
Bush	Synthetic resin	
Pin	SM45C	

기존 Hanger와 비교해석 한 결과, 비틀림 흡수구조형 홀더행거의 정적구조강도가 약간 더 우수한 것으로 나타났으며, 해석하중조건과 해석결과를 표 4와 그림 11~14에 나타내었다.

표 4 하중조건 및 해석결과

구 분	하방향 제동하중 (kg)	최대응력 (kgf/mm ²)	비 고
Original holder hanger	1,500	23.23	hanger 상부의 neck에서 최대응력 발생
Torsion-free holder hanger		18.23	최대응력 발생위치는 유사하나 하부파트의 neck에서 17.3의 응력발생

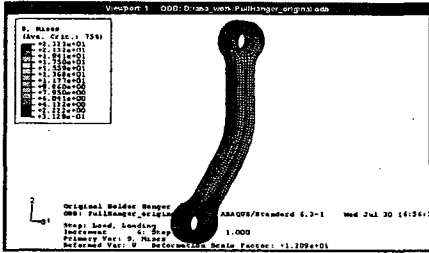


그림 11 기존 홀더행거의 해석 결과

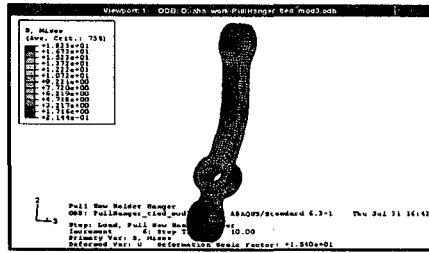


그림 12 비틀림 흡수구조형 홀더행거의 해석 결과

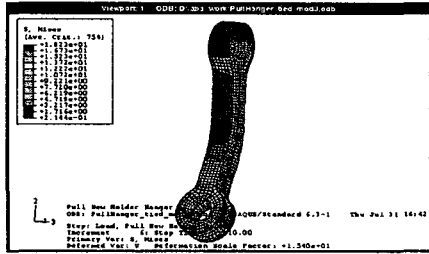


그림 13 비틀림 흡수구조형 홀더행거의 해석결과(상부)

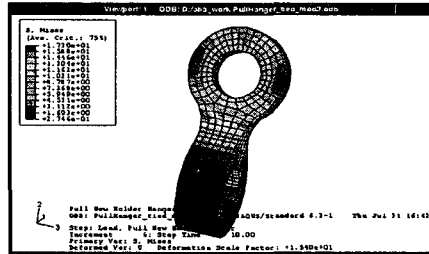


그림 14 비틀림 흡수구조형 홀더행거의 해석결과(하부)

실제 End beam의 Bracket에 취부할 경우 간섭 여부와 공차를 확인하기 위해 3차원 Solid 모델을 통하여 가상으로 조립하여 보았다. 기존 Holder hanger와 비교하여 볼 때, 전체적인 형태와 주요 좌표는 거의 일치하였고 End beam과 hanger와의 거리가 기존에 비해 약 5mm 가까워졌으나 여유가 충분하여 간섭이 발생하지 않을 것으로 판단되었다.

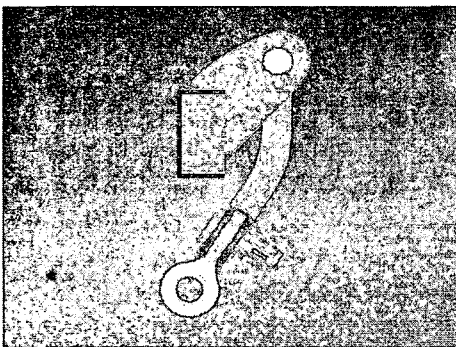


그림 15 End beam에 조립된 비틀림 흡수구조형 홀더행거의 측면도

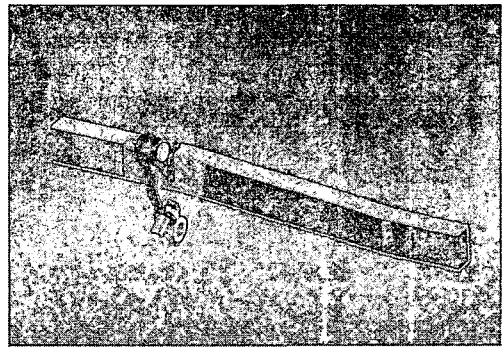


그림 16 비틀림 흡수구조형 홀더행거의 조립도

4. 결론 및 향후 계획

Holder hanger에 의한 Bracket의 비틀림이 End beam의 균열발생에 직접적인 원인이라고 단정할 수는 없지만, 그 원인의 일부로서 충분히 타당성이 있다고 판단하여 비틀림 흡수구조형 제륜자 홀더행거를 제안하였고 실차시험에 적용할 시제품을 제작하였다. 향후에 이미 제시된 다른 방안과 함께 실제 차량에 적용하여 실차시험을 실시할 예정이며, 만약 시험결과, 본 연구에서 제안한 비틀림 흡수구조형 제륜자 홀더행거가 균열방지에 효과가 있다면 몇 가지 보완을 거쳐 영업차량에 투입할 계획이다.

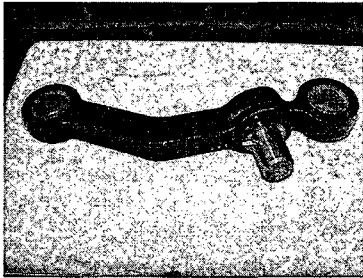


그림 17 비틀림 흡수구조형 제륜자 홀더행거의 시제품

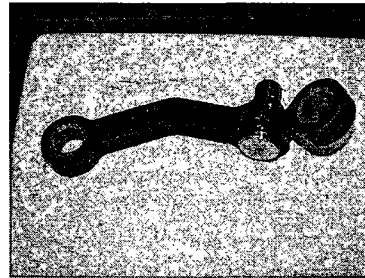


그림 18 비틀림 흡수구조형 제륜자 홀더행거의 시제품

참고문헌

1. 함영삼 외, "고속화차 개발사양 제시 및 핵심장치 개발", 한국철도기술연구원 보고서, 2000. 12
2. 함영삼 외, "화차의 동특성 해석과 진동성능시험 및 구조체 하중시험", 한국철도기술연구원 보고서, 2002. 6
3. 황원주, 함영삼, 권성태, 허현무, 전용식, 고속화차용 용접대차의 구조강도 해석, 한국철도학회 춘계학술대회논문집, pp. 217~221, 2001. 5
4. 황원주, 함영삼, 강부병, 전용식, 고속화차용 용접대차 프레임 개선모델의 강도평가, 한국철도학회 추계학술대회논문집, pp. 235~239, 2001. 10