

# 차체 틸팅효과를 고려한 틸팅대차 해석적 강도평가

## Analytical Strength Evaluation of a Tilting Bogie Considering Carbody Tilting Effect

김정석\*  
Kim, Jung-Seok

김남포\*  
Kim, Nam-Po

구동회\*\*  
Koo, Dong-Hae

### ABSTRACT

This paper presents a strength evaluation of a tilting bogie frame for the Korean tilting train. The tilting bogies of the tilting train are subjected to different loading conditions compared with the bogie of the conventional railway vehicles because of the carbody tilting on curves. We classified the load cases as two categories such as non-tilting case and tilting case. For the two categories, we have carried out structural analysis of the bogie frame to evaluate the strength of the frame. And then, we modified the shape and thickness for the weak areas of the bogie frame to ensure structural safety.

### 1. 서론

틸팅이란 차량이 곡선부를 주행할 때 차체를 곡선의 안쪽으로 기울이게 하여 곡선부 주행시 발생하는 원심가속도의 횡방향 성분을 중력가속도의 횡방향 성분으로 감쇄시켜 승객이 느끼는 횡가속도를 저감시키는 기술이다. 차량에 이와 같은 틸팅기술을 적용하면 승차감의 향상뿐만 아니라 곡선부 통과 속도를 증가시킬 수 있게 되어 운행시간 단축, 곡선부 통과시 가감속 빈도의 감소를 통해 에너지 소비를 줄일 수 있게 된다. 이러한 틸팅차량의 대차는 Fig. 1과 같이 일반차량의 대차와는 다른 구조를 가지고 있으며 하중조건 또한 다르다.

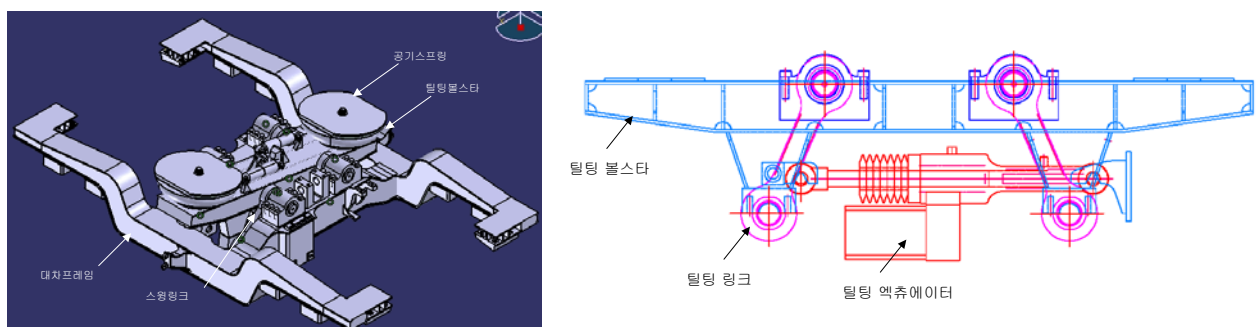


Fig. 1 Bogie frame of the tilting train.

Fig. 1에서 알 수 있듯이 틸팅 대차는 대차프레임, 틸팅볼스타, 스윙링크 및 틸팅 액츄에이터로 구성된다.

\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

여기서 틸팅 대차 프레임은 차체하중을 지지하고, 차체는 틸팅 볼스타 상면에 위치한 공기스프링위에 위치하며, 틸팅볼스타는 프레임과 스윙링크로 연결되어 곡선부에서 차체를 틸팅시키게 된다. 또한 틸팅액츄에이터는 대차 프레임과 틸팅볼스타사이에 설치되어 차체틸팅을 위한 힘을 발생시키게 된다. 이상에서 알 수 있듯이 틸팅차량용 대차에는 기존철도차량의 대차에는 존재하지 않는 틸팅볼스타, 스윙링크 및 액츄에이터가 추가로 필요하게 된다. 따라서 틸팅 대차의 구조강도평가를 위해서는 이러한 구성요소들에 유기적인 동작에 의해 유발되는 차체의 틸팅시 발생하는 하중을 정확히 도출하고 이를 적용한 구조해석을 수행해야 한다.

본 연구에서는 철도기술연구개발사업의 일환으로 개발되고 있는 기존선 속도향상을 위한 한국형 틸팅 열차의 대차 프레임의 구조강도해석을 통해 틸팅 대차의 강도평가를 수행하여 구조안전성을 확보하는 것이 목적이다.

## 2. 틸팅대차에 부과되는 하중조건

본 연구에서 수행하고자 하는 틸팅 대차프레임의 구조해석은 JIS규격에 근거해서 수행하였으며, 틸팅 대차의 구조해석을 위해 하중조건을 두 가지 조건을 분류하여 각각에 대해서 수행하였다. 첫 번째는 틸팅차량이 직선구간을 운행하는 조건으로 이것은 차체가 틸팅하지 않는 조건이다. 두 번째는 틸팅차량이 곡선구간을 운행하는 조건으로 이것은 차체를 최대 8도까지 틸팅하는 조건이다. Table 1 은 직선구간운행조건에 대한 JIS규격에 의한 하중조건이다.

Table 1 Load cases for non-tilting condition.

하중조건	하중기호	응력기호	JIS
정적수직하중/대차당	FV1.0	A	$\frac{W_f - W_u}{2}$
동적수직하중/대차당	FV1.3	B	(1+동하중계수) $\frac{W_f - W_u}{2}$
비틀림 하중	FT1	C1	대각방향 wheelset위치에 12mm높이차에 대응하는 하중
	FT2	C2	
전후하중	FLo1	D1	동하중계수* $\frac{W_f - W_u}{2}$
	FLo2	D2	
좌우하중	FLa1	E1	동하중계수* $\frac{W_f - W_u}{2}$
	FLa2	E2	동하중계수* $\frac{W_f - W_u}{2}$
구동기어하중	FG_1	F1	$1.4 \frac{(1+r)T}{L}$
	FG_2	F2	
T/M하중	FM1	G1	(1+4)*Wtm(상방향)
	FM2	G2	(1-4)*Wtm(하방향)
제동력	FB1	H1	제동력*μ
	FB2	H2	
Anti-yaw하중	FAY1	I1	동역학 해석결과
	FAY2	I2	

틸팅 차량이 곡선부 주행시 차체를 최대 8도 틸팅할 경우에 대차에 부과되는 하중조건은 다물체동역학 해석을 통해서 도출하였다. Fig. 2는 차체 틸팅시 좌우스윙링크에 부과되는 하중의 이력을 나타낸 것이다.

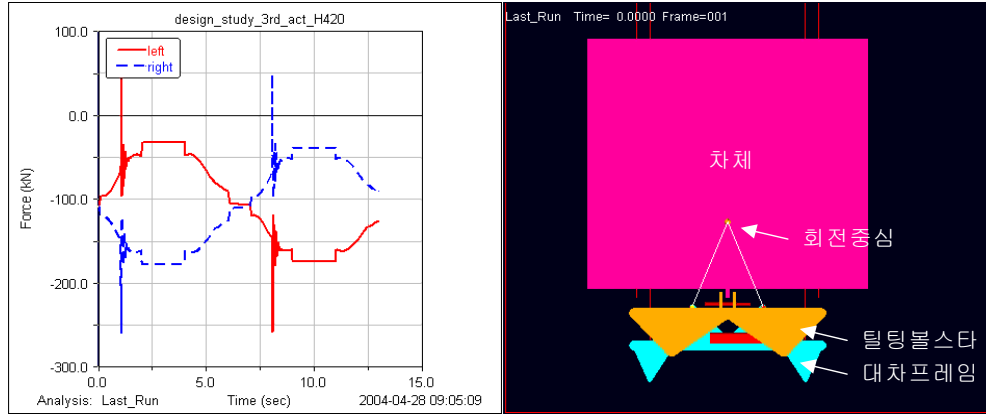


Fig. 2 Load history of swing links.

Fig. 2에서 약 1초와 8초 정도에서 하중 피크가 발생하는데 이것은 차체가 틸팅시 차체하부에 위치한 센터피봇부가 틸팅볼스타에 설치된 범퍼스탑과 충돌하면서 발생하는데 실제에서는 범퍼스탑이 고무로 되어있기 때문에 이러한 급격한 하중증가는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

### 3. 틸팅 대차 프레임 모델링 및 구조해석

본 연구에서 수행하고자하는 대차프레임의 구조강도평가를 위한 대차 프레임의 유한요소모델링은 Fig. 3과 같다. 유한요소해석에 이용된 요소수는 45505개이고 절점수는 47150개이다.

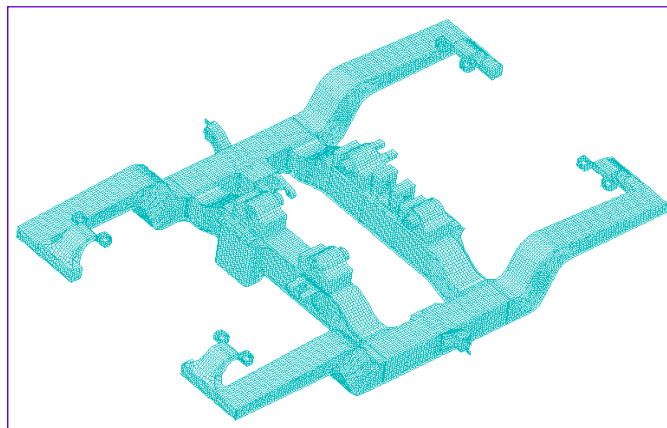


Fig. 3 Finite element model of the bogie frame.

대차프레임은 3차원 쉘요소를 사용하였고 스윙링크 브라켓, 액츄에이터 브라켓 등은 3차원 솔리드 요소를 사용하여 모델링 하였다. 대차 프레임에 적용된 강판의 두께는 상판과 하판은 14t, 수직판은 10t를 적용하였다. Fig. 4는 정적수직하중에 대한 Von-Mises응력분포를 나타낸 것이다. 틸팅 대차의 경우 수직하중은 일차적으로 공기스프링을 통해 틸팅 볼스타에 전달되는데, 틸팅 볼스타는 대차프레임과 스윙링크로 연결되어 있기 때문에 대차 프레임에 설치된 4곳의 스윙링크 시트로 전달된다. 따라서 본 해석에서는 수직하중을 스윙링크 시트에 나누어 부과하였다. 해석결과 트랜스폼과 연결되는 대차사이드 프레임 부에서 약  $14\text{kgf/mm}^2$ 의 응력이 발생하였다. 이 부위의 응력저감을 위해 추가적인 보강이 이루어져야 될 것을 판단된다.

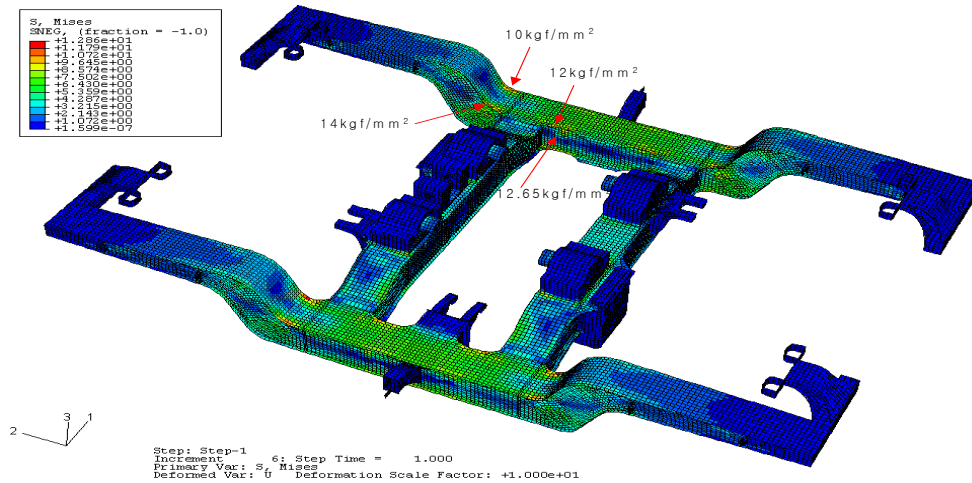


Fig. 4 Stress distribution for static vertical load.

#### 4. 결론

본 연구에서는 한국형 틸팅열차에 적용될 틸팅 대차프레임에 대한 구조강도해석을 수행하고 이를 통해 구조안정성을 평가하였다. 구조해석결과 수직하중조건, 견인전동기반력, 제동반력 및 틸팅 액츄에이터 하중조건에 대해서 추가적인 프레임에 대한 보강과 형상변경이 요구되는 것으로 판단되었다. 현재 대차프레임에 대한 상세설계가 진행 중이므로 추후 구조해석 결과를 반영한 모델수정을 수행할 것이다.

#### 참고문헌

1. 한국철도기술연구원, 틸팅 시스템 실용기술개발, 철도청, 2003.
2. 현대정공(주), 대차프레임 개발, 건교부, 산자부, 과기부, 1998.
3. 한국철도차량(주), 대차 개발, 건교부, 산자부, 과기부, 2000.

#### 후 기

본 연구는 철도청 철도기술연구개발사업으로 지원된 “틸팅시스템 실용기술개발”과제의 연구결과의 일부입니다.