

철도차량 롤 특성에 대한 고찰

A Study on Roll Characteristics of Railway Vehicle

김필환*

Kim, Pil-Hwan

ABSTRACT

The roll characteristic of railway vehicle is an important factor that affects the roll-over of vehicle and lateral ride comfort of passenger. Generally the roll characteristics of railway vehicle is defined by the term of roll-coefficient, s , which represents the ratio of incline of carbody to that of rail-cant. The limit values of roll coefficient recommended in UIC are 0.4 for coach without pantograph and 0.15 for vehicle with pantograph. The roll coefficient can be calculated by VAMPIRE that is the well-known commercial software for analysis of dynamic behavior of railway vehicle. The value of roll coefficient is effected by height of gravity center of carbody, stiffness of primary and secondary suspension and etc. The calculated roll-coefficient for electric locomotive and passenger coach is 0.12 and 0.77 respectively. The additional equipment such as anti-roll bar is considered in order to decrease roll-coefficient of passenger coach. In relation to roll characteristics, the analysis for roll-over due to wind is also performed. The results show that roll-characteristics affect the roll-over of vehicle.

Key Words : Railway vehicle (철도차량), Roll-coefficient (롤계수), Roll-over (전복)

1. 서론

철도차량은 캔트가 있는 곡선구간 주행시 차량에서 발생하는 원심력이 곡선 외측으로 작용하여 차량이 외측으로 기울어지고 승객이 외측으로 쏠리게 되어 승차감이 저해되는 요인이 된다. 이러한 승차감 저해를 해소하기 위해서는 곡선구간 레일에 적절한 캔트의 부설과 더불어 차량의 적절한 설계, 특히 롤강성을 고려한 설계가 요구된다.

롤강성은 횡방향으로 경사선로에서 경사선로의 기울기와 차량 기울기의 상대적인 비로 표현되는 것으로서, 롤강성이 작은 차량은 과도한 속도로 곡선구간 주행시 차량에 가해지는 초과원심력으로 인해 외측방향 탈선이 우려되며 곡선구간 정차시에는 내측방향 전복 가능성이 증대된다. 특히 롤강성이 낮은 차량은 곡선구간에 바람이 부는 경우, 탈선 위험성은 더욱 증대된다. 일본의 경우 실제 바람에 의한 차량 탈선 및 전복이 보고된 바 있다.

더욱이 차량의 롤강성이 작은 경우 전복 및 탈선의 위험성 증대와 더불어 승객의 승차감 저하 및 차량 주행 중 횡방향 변위의 증대로 인해 시설물과의 간섭이 우려되며, 특히 판토품자(pantograph)가 있는 차량의 경우 전력을 공급하는 가선과의 접촉을 방해하여 정상적인 전력공급에 차질이 우려된다.

이러한 차량 롤강성은 1, 2 차 현수장치 스프링상수를 조절하거나 기타 장치를 이용하여 조정이 가능하다.

*대우중공업주식회사, 철차연구소, 비회원

그러나 차량 롤강성의 과도한 증대는 직선구간 승차감을 저해할 수 있으므로 설계 단계에서 차량 롤강성은 승차감과 차량 동적 거동을 함께 고려해야 한다.

이와 같은 이유에서 롤계수(roll coefficient)로 대표되는 철도차량의 롤(roll)특성은 차량의 전복과 횡방향 승차감 및 건축물과의 간섭에 영향을 미치는 중요한 요소로 인식되고 있다.

본 고찰에서는 철도차량 동특성해석 전용 프로그램인 VAMPIRE 를 이용한 전복(roll-over) 및 롤계수(roll coefficient) 계산과 평가 그리고 적절한 롤강성을 갖는 차량설계 방법에 대해 기술하고자 한다.

2. 철도차량 전복과 롤계수

2.1 철도차량 횡방향 거동 정의

일반적으로 철도차량은 튜축(wheelset), 대차(bogie) 및 차체(carbody) 등 질량요소로 구성되어 있으며, 각 질량요소는 스프링 또는 댐핑요소로 구성된 1, 2차 현수장치로 연결되어 있다. 횡방향으로 경사진 선로 위에 놓여있는 차량의 횡방향 거동은 1, 2차 현수장치의 변위로 인해 대차와 차체가 동일한 기울기(롤각)를 보이지 않는다. 이러한 차량 횡방향 거동은 그림 1에서와 같다.

2.2 전복 (roll-over)

철도차량 전복이 발생하는 경우는 일반적으로 다음과 같다.

- 횡풍을 받고있는 차량에서 풍속이 어느한계를 초과하면 차량 전복
- 곡선통과 속도가 어느 한계를 초과하면 과대한 초과 원심력으로 차량 전복
- 기울어진 선로위 정차시 차량 경사가 한계를 초과하면 차량 전복

철도차량의 전복을 검토하기 위해서는 먼저 임의의 경사선로 및 차량에 작용하는 외력(풍력, 곡선 통과시 원심력)을 고려하여 철도차량의 횡방향 거동을 검토하여야 한다. 임의의 경사선로 및 외력에 대한 철도차량의 거동은 그림 2에서와 같으며, 이러한 차량 횡변위 및 횡하중 결과를 이용하여 전복의 안전성을 검토한다.

풍력 및 곡선 통과시 원심력 등 차량에 작용하는 외력은 다음과 같이 정의된다.

2.2.1 풍력 (Fw)

풍력(Fw)는 아래와 같이 식(1)로 정의된다.

$$F_w = C_D \frac{1}{2} \rho V^2 A \quad \dots \dots \dots \text{식(1)}$$

- 여기서 C_D : 공기 저항 계수(drag coefficient), = 2.0 편성된 차량을 무한 길이의 사각 실린더로 가정
 ρ : 공기밀도(dry air density, 1.2 kg/m³)
 V : 풍속 (velocity of wind, m/sec)
 A : 바람을 받는 차체 측면 단면적 (area of carbody side section, m²)

2.2.2 원심력 (Fc)

원심력(Fc)은 아래와 같이 식(2)로 정의된다.

$$F_c = M \frac{V^2}{R} \quad \dots \dots \dots \quad \text{식(2)}$$

여기서 R : 곡선 반경 (Radius, m)
 M : 차체와 대차 질량 (kg)
 V : 차량 주행 속도(m/sec)

2.2.3 전복안전한도

철도차량 전복안전한도(Safety Criteria against roll-over)로는 차륜에 작용하는 윤중의 변화량을 기준으로 평가한다.^[1] 초기 차륜에 작용하는 윤중(wheel load)을 Q 라하고 차량 거동으로 인해 발생하는 윤중의 증감량을 ΔQ 라하면, 전복의 안전한도로는 아래의 식(3)을 적용한다. 즉, 윤중 감소량이 정적 윤중의 80%를 초과하면 전복에 의한 탈선 가능성이 있다고 할 수 있다.

$$\frac{\Delta Q}{Q} < 0.8 \quad \dots \dots \dots \quad \text{식(3)}$$

2.2.4 전복해석 조건

전복해석에 적용되는 조건을 정리하면 표 1 과 그림 2 에서와 같다.

전복해석조건에 적용되는 가정은 다음과 같다.

- 차륜과 레일 사이의 접촉점간 간격은 1,500 mm, 허용최대캔트는 160 mm (106.7mrad)
- 풍력(Fw)은 풍속 90 km/h 를 가정하여 $F_w = 750 \cdot A[N]$ (A 는 차량 측면 단면적)
- 원심력은 곡선반경 800 m 선로 130 km/h 로 주행한다고 가정, $F_c = 1.63 \cdot M[N]$ (M 은 차량 질량.)
- 풍력과 원심력은 동일한 방향 가정

표 1. 전복해석에 적용되는 조건

CASE	조 건	경사	풍력, Fw	원심력, Fc
Case 1	경사선로 차량정차시 (바람이 없는 경우)	○		
Case 2	경사선로 차량정차시 (바람이 있는 경우)	○	○	
Case 3	곡선선로 차량주행시 (바람이 없는 경우)	○		○
Case 4	곡선선로 차량주행시 (바람이 있는 경우)	○	○	○

2.3 롤계수 (Roll coefficient)

곡선선로에서 차량 정차시 차량 안정성 확보, 주행중 동력차량과 가선과의 연속적인 접촉 그리고 주행시 차량 언심력에 의한 승차감을 검토하기 위해서는 곡선선로 경사면에 대한 차체 및 대차의 변위 변화량 뿐만 아니라 차량의 기울기를 검토하여야 한다. 이러한 목적에서 롤계수(s, roll coefficient 또는 cant coefficient)를 정의한다.

롤계수(s)는 일정크기의 경사선로 기울기($\phi_0 = 100 \text{ mrad}$)에 대한 차체 기울기(ϕ_2)의 비로 정의되며 다음의 식(4)과 같다.

$$s = \frac{\phi_2}{\phi_0} \quad (\phi_0 = 100 \text{ mrad}) \quad \dots \dots \dots \quad \text{식(4)}$$

롤계수(s)에 대한 국내 기준은 아직 준비되어 있지 않으나 유럽의 철도 규격 UIC 기준¹⁴⁾에서 권고하는 롤계수의 한도는 다음과 같다.

- s < 0.4 : 일반 철도 차량 (객차 등)
- s < 0.15 : 전기기관차 및 판토프레프가 있는 전동차량

본 해석에서는 UIC 권고기준치를 기준으로 철도차량 롤계수를 평가한다.

3. 전복과 롤계수 해석 결과

3.1 VAMPIRE 차체 모델링 및 해석 방법

그림 1.2에서 보는 바와 같은 철도차량 횡방향 거동 해석 결과를 얻기 위해서는 차량을 스프링 및 질량 요소로 모델링한 후, 각 방향별 힘평형방정식(force equilibrium equation), 모우멘트평형방정식(moment equilibrium equation)을 만들고, 만들어진 식을 연립방정식 형태로 변환하여 각 요소의 변위(displacement) 및 각 요소에 작용하는 힘(force) 등 미지수를 계산하여야 한다. 이러한 계산은 질량 중심점 변화에 따라 각 요소에 작용하는 하중이 변화하고, 각 요소의 변위에 따라 질량의 중심점이 변화되는 등 미지수 상호간에 연성(couple) 되어 있어 쉽게 계산되어 지지 않는다.

그러나 이러한 철도차량 횡방향 거동 해석 계산은 철도차량 동역학 해석프로그램인 VAMPIRE의 Non-linear Static Analysis를 이용하여 계산한다면 비교적 용이하게 계산할 수 있다.

VAMPIRE를 이용한 차체 모델링 및 해석 방법의 특징은 다음과 같다.

- 차체, 대차 및 현수장치를 등가질량, 스프링 및 댐퍼 등 수학적 요소로 모델링
- 스프링요소(Stiffness, Spring, Bumpstop 등)의 위치는 실제 차량과 같이 입력
- Non-linear Static Analysis(NSA)해석방법선택
- 선로 경사량(캔트량, mm)과 경사각(mrad)은 차체에 외부 조건으로 입력
- 풍압과 원심력에 의한 외력(Fw, Fc)은 차체와 대차에 힘(force) 요소로 입력 27

VAMPIRE를 이용하여 해석 대상 차량인 전기기관차 및 객차를 질량, 스프링, 댐퍼요소 등을 이용하여 수학적 모델로 모델링하였으며, 예로써 전기기관차의 모델링 형상은 그림 3에서와 같다.

3.2 차량 경사각 결정방법

해석된 결과 중 차량의 횡방향 변위(D01Y) 및 롤각도(ϕ_2) 변화는 초기 차량 상태를 기준으로 계산된다. 따라서 경사선로의 경사각을 제외한 순수 차체만의 기울기(ϕ_2)는 계산된 차체 경사각 각도(ϕ_1)에서 초기 선로 경사각(틀계산의 경우, $\phi_0 = 100 \text{ mrad}$)을 빼주어야 한다.

따라서 경사선로에서의 차체 기울기량과 대차기울기량은 식(5),(6)에 따라 계산한다.

캔트 경사각을 제외한 차체의 기울기(ϕ_2)

$$\phi_2 = \phi_2' - \phi_0 \quad \dots \dots \dots \quad \text{식(5)}$$

캔트 경사각을 제외한 대차의 기울기(ϕ_1)

$$\phi_1 = \phi_1' - \phi_0 \quad \dots \dots \dots \quad \text{식(6)}$$

3.3 입력자료

전기기관차 및 개념설계 단계인 객차를 대상으로 틀계수 및 전복에 대한 차량 안전성을 평가하였으며, 대상차량의 개략적인 제원은 아래의 표 2에서와 같다.

표 2. 해석 대상 차량 제원

구 분	전기기관차	객 차
1. 차체 무게	525 kN	284 kN
2. 대차 프레임 무게	68 kN	21 kN
3. 차체 무게 중심 높이	1.92 m	2.176 m
4. 대차프레임 무게중심높이	0.695 m	0.570 m
5. 차륜 반경	0.625 m	0.430 m
6. 2차 스프링 높이	1195 mm	820 mm
7. 1차 스프링 높이	783 mm	435 mm
8. 2차 스프링 횡방향 거리	1040 mm	965 mm
9. 1차 스프링 횡방향 거리	1040 mm	1000 mm
10. 1차 스프링 수직강성	2.4 kN/mm	1.02 kN/mm
11. 2차 스프링 수직강성	1.38 kN/mm	0.30 kN/mm
12. Bumstop 횡방향강성	0 kN/mm (± 35mm)	0 kN/mm (± 10mm)

* 모든 높이 위치의 기준은 레일상면임.

틀계수 계산을 포함하여 해석은 모두 5 가지이며, 각 case 해석에 적용된 레일경사도(캔트량)와 힘에 대한 입력값은 아래의 표 3에서와 같다.

표 3. 레일경사도 및 힘의 입력값

(a) 전기기관차

구분	캔트량 (경사각)	풍력 Fw	원심력, Fc 차체/대차
Case 1	160mm (106.7mrad)	-	-
Case 2	160mm (106.7mrad)	39.4 kN	-
Case 3	149mm (99.3mrad)	-	87.3 kN/ 11.3 kN
Case 4	149mm (99.3mrad)	39.4 kN	87.3 kN/ 11.3 kN
롤계수	150mm (100mrad)	-	-

(b) 객차

구분	캔트량 (경사각)	풍력 Fw	원심력, Fc 차체/대차
Case 1	160mm (106.7mrad)	-	-
Case 2	160mm (106.7mrad)	65.6 kN	-
Case 3	149mm (99.3mrad)	-	47.3 kN/ 3.5 kN
Case 4	149mm (99.3mrad)	65.6 kN	47.3 kN/ 3.5 kN
롤계수	150mm (100mrad)	-	-

3.4 해석 결과

전기기관차 및 개념설계 단계인 객차를 대상으로한 롤계수 및 전복에 대한 차량 안전성 계산 결과는 표 4에서와 같다. 전기기관차에 대한 case 1 ~ 4 해석결과는 전기기관차가 전복에 대해 안정성을 확보하고 있음을 보여주고 있으며 더욱이 롤계수 계산결과는 0.12로 허용한도 0.15 보다 작음을 보여준다. 따라서 성능 측면에서 전기기관차의 롤강성은 적절히 설계되었다고 할 수 있다.

한편, 개념설계 단계에 있는 객차를 대상으로한 전복안정성과 롤계수 계산결과로부터 풍압에 의해 전복 가능성이 예상되며 계산된 롤계수 0.77은 객차에 허용된 0.4 보다 크다는 것을 알수 있었다. 따라서 해석결과는 객차의 경우 롤특성이 설계기준에 적합하지 못하므로 이에 대한 설계개선이 필요하다는 것을 나타낸다. 롤특성에 대한 설계 개선 사항 및 해석은 4장에서와 같다.

두 계산 결과로부터 롤계수가 크다는 것은 전복에 대한 안전성을 저하시킨다는 것을 알수 있다.

표 4. 전복안정성 및 롤계수계산결과

(a) 전기기관차

구분	$\Delta Q/Q$	기준	평가
Case 1	0.23	< 0.8	전복 안정성 있음
Case 2	0.36	"	전복 안정성 있음
Case 3	0.12	"	전복 안정성 있음
Case 4	0.12	"	전복 안정성 있음
롤계수	0.12	< 0.15	허용한도 이내

(b) 객차

구분	$\Delta Q/Q$	기준	평가
Case 1	0.38	< 0.8	전복 안정성 있음
Case 2	> 1.0	"	전복 안정성 없음
Case 3	0.24	"	전복 안정성 있음
Case 4	1.0	"	전복 안정성 없음
롤계수	0.77	< 0.40	허용한도 초과

4. 객차 롤계수 개선 설계 검토 및 해석 결과

4.1 롤계수 저감 방안 검토

본 절에서는 3장에서 계산된 객차 롤계수 0.77을 UIC에서 객차에 권고하는 기준인 0.4 이하로 하기 위한 방안을 검토하고자 한다.

롤계수를 줄이는 방법으로는 차체 무게중심을 가능한 낮게 관리하는 방법, 차량 1차 및 2차 현가장치 강성을 키우는 방법 그리고 롤강성을 키울수 있도록 대차와 차체 사이에 Anti-roll Bar와 같은 별도의 장치를 부착하는 방법 등 크게 3가지 방법이 있다.

그림 4에서는 객차를 대상으로 계산된 객차 차체 무게중심변화에 따른 롤계수의 변화를 보여주고 있다.

그림 4로부터 차체 무게중심이 낮아질수록 롤계수가 증가하고 무게중심이 높아질수록 롤계수가 선형적으로 증가한다는 것을 알수 있으며 롤계수를 줄이기 위해서는 차체 무게중심을 관리해야 한다는 것을 유추할 수 있다.

그러나 효과적으로 롤계수를 줄이기 위해서는 차체 무게중심을 초기 무게중심 높이에 비해 약 30%를 낮추어야 하나 기기배치 및 저중심 차량을 설계 한다하여도 무게 중심을 낮추는데는 한계가 있어 직접적인 적용이 어렵고, 롤계수를 줄이기 위하여 1차 및 2차 현가장치의 강성을 키우는 경우 상하 및 좌우방향 진동 승차감 저하를 초래할수 있어 적용에 어려움이 있다.

따라서 롤계수를 줄이기 위해서는 대차와 차체 사이에 Anti-roll Bar와 같은 별도 장치를 부착하는 것이 적절한 방법일 수있으며, Anti-roll Bar 부착 차량에 대한 롤계수 검토 결과는 다음 절에서와 같다.

4.2 Anti-roll Bar 시스템

3장에서 설명되어진 객차에서와 같이 롤계수가 크다는 것은 곡선주행에서의 주행안정성(전복탈선, 운중감소) 및 승차감(정상횡가속도)을 저해하는 요인이 된다. 차체와 대차사이에 설치되어 차체의 과도한 롤 거동을 감소시킬 목적으로 설치된 Anti-roll bar는 적절한 강성을 가지는 경우 차체의 롤을 감소시킬 수 있다.

그림 5에서는 대만전동차(TRA EMU) 대차에 적용된 전형적인 Anti-roll bar의 형태를 보여주고 있다. 일반적으로 Anti-roll bar 시스템의 구조는 대차와 차체를 탄성봉(bar)으로 연결하는 것으로써 탄성봉의 비틀림 강성과 구조물 변위를 이용하여 차체와 대차 사이의 롤강성을 키우는 역할을 한다. 따라서 탄성봉의 비틀림강성과 변형구조를 적절히 설계함으로써 원하는 롤계수를 얻을 수 있다.

그림 6에서는 롤계수 저감을 목적으로 본 해석에 적용된 Anti-roll bar의 설치 위치를 나타내 준다.

따라서 해석 대상 객차의 롤계수를 감소시킬 목적으로 기존 현수장치의 상수를 변경시키지 않고 Anti-roll bar를 적용하는 경우에 대해 해석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

4.3 Anti-roll Bar 시스템 적용 해석 결과

대차당 Anti-roll bar 강성 변화에 따른 차량 롤계수의 변화는 표 5와 그림 7에서와 같다.

해석결과로부터 Anti-roll bar 강성변화에 따른 롤계수의 변화는 비선형적으로 이루어 진다는 것을 알 수 있다. 표 5와 그림 7으로부터 해석 대상 객차의 롤계수를 0.3 ~ 0.4 정도로 하기 위해서는 대차당 Anti-roll bar 강성 (KRoller)이 0.5 ~ 1.0 MNm/rad 정도가 되어야 한다는 것을 알 수 있다.

따라서 적절한 강성을 지닌 Anti-roll bar를 롤계수가 큰 차량, 즉 롤 강성이 작은 차량에 채택한다면 롤계수를 적절히 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

표 5. Anti-roll bar 강성(KRoller) 변화에 따른 차체 기울기각(ϕ') 및 롤계수(s) 변화

대차당 Anti-roll bar 강성 (MNm/rad)	차체기울기각 ϕ' (mrad)	롤계수, s
0.00	177.4	0.77
0.10	163.2	0.63
0.50	138.2	0.39
1.00	127.4	0.27
5.08	112.9	0.13

5. 결론

이상과 같은 해석 과정으로부터 차량의 전복과 롤특성에 대한 계산 및 평가방법을 정립할 수 있었으며 해석 결과로부터 아래와 같은 결론을 얻었다.

첫째, 차량 전복, 승객의 횡방향승차감, 시설물과의 간섭 등에 영향을 미치는 철도차량 롤강성은 선로의 선로기울기(캔트량)에 대한 차체의 상대적인 기울기비로 정의되는 롤계수(roll coefficient,s)로 표현할 수 있으며, 롤계수 기준은 차량의 종류에 따라 다르게 적용된다.

둘째, 롤강성이 작은차량, 즉 롤계수(s)가 큰차량은 횡압 등 차량에 작용되는 외력으로 인해 차량의 횡변위가 증대하고 전복 탈선의 위험성이 증대한다.

셋째, 바람이 센 경우(예, 90km/h), 풍압에 의한 전복 가능성은 차량 측면 단면적과 풍압에 비례하여 증대한다. 따라서 설계단계에서 롤계수와 더불어 풍압에 의한 전복 가능성을 검토하여야 한다.

넷째, 롤계수는 차체의 무게중심과 차량 1차 및 2차 현가장치의 강성에 영향을 받는다. 특히 차체 무게중심 높이는 설계단계에서 부터 적확히 계산, 관리되어야 한다.

다섯째, 롤강성이 작아 롤계수가 기준보다 큰 차량의 경우, 차체와 대차사이에 적절한 강성을 갖는 Anti-roll bar 를 적용함으로써 롤강성을 키워 롤계수를 줄일 수 있다.

본 고찰에서는 철도차량 롤특성 결정에 대해 롤계수와 차량 전복 등의 문제에만 제한되어있으나 실제 롤특성 결정에는 진동승차감 등을 포함한 종합적인 검토가 요구되는바, 향후 이에 대한 연구가 요구된다.

참고문헌

- [1] 丸山弘志(1981), "鐵道工學", 丸善株式會社
- [2] 이종득 (1989), "철도공학", 노해출판사
- [3] KraussMaffei(1987), "Calculation of the cant coefficient - series 152 locomotive", KM 기술보고서
- [4] UIC 515 OR

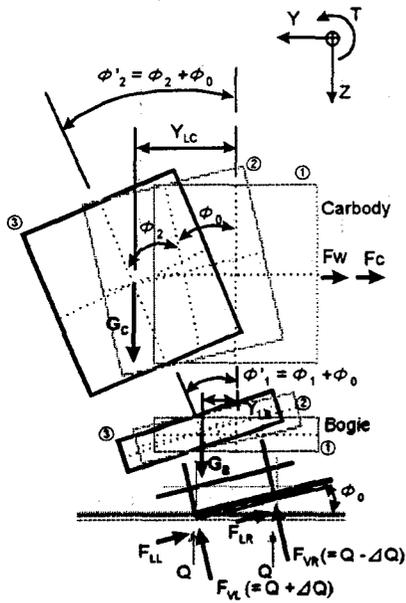


그림 1. 임의의 경사 선로에서의 철도차량 횡방향 거동 (정차시)

- ① 경사가 없는 선로에서의 차량 단면
- ② 경사가 있는 선로에 수직인 차량 단면
- ③ 경사가 있는 선로에서 차량 안정상태 단면

<그림 1.에 적용된 기호>

- ϕ_0 : 곡선구간 선로 경사각 (mrad 또는 rad)
- $\phi_{1,2}$: 경사면에서 선로 경사각의 대차와 차체가 기우는 각도(mrad 또는 rad)
- $G_{C,B}$: 차체 및 대차의 무게중심 위치
- $Y_{LC,LB}$: 차체 및 대차의 횡방향 변위
- $F_{V,L,R}$: 좌·우측 차륜에 작용하는 수직 하중 (초기 윤중 $Q \pm$ 윤중변화량 ΔQ)
- $F_{L,L,R}$: 좌·우측 차륜에 작용하는 횡방향 하중
- FW : 바람에 의해 차체에 작용하는 힘
- FC : 원심력에 의해 차체에 작용하는 힘
- T : 롤-회전방향

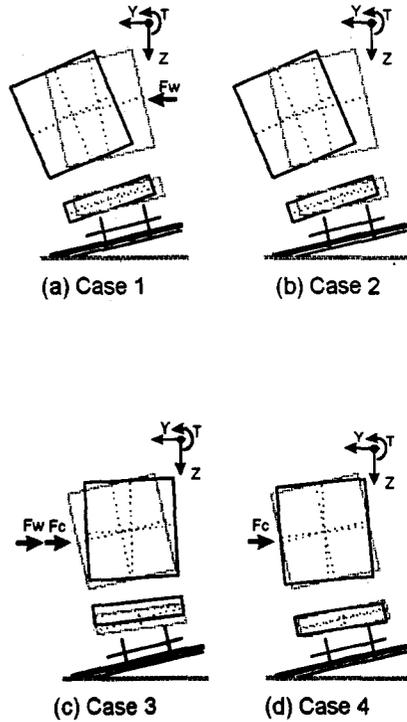


그림 2. 전복해석에 적용되는 조건

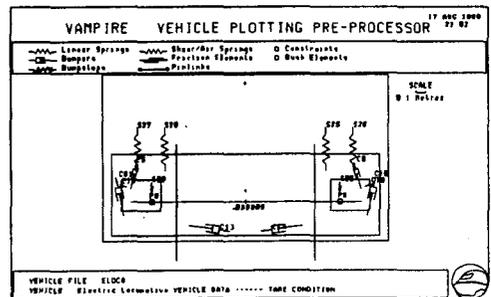


그림 3. VAMPIRE 를 이용한 전기기관차 모델링

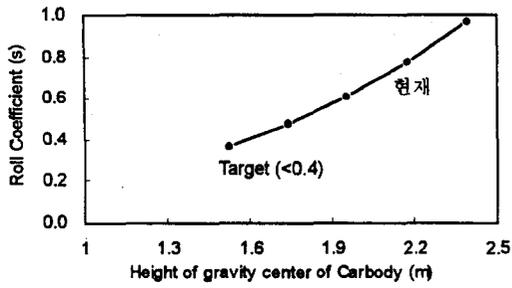


그림 4. 차체무게중심 높이와 롤계수의 관계 그래프

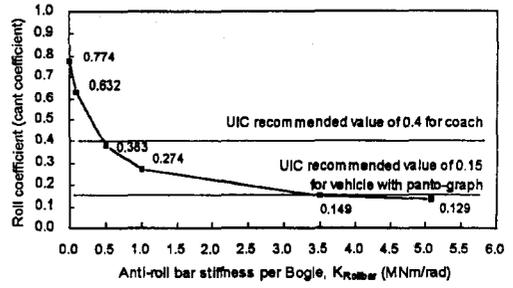


그림 7. Anti-roll bar 강성(K_{Roller}) 변화에 따른 차량의 롤계수 변화

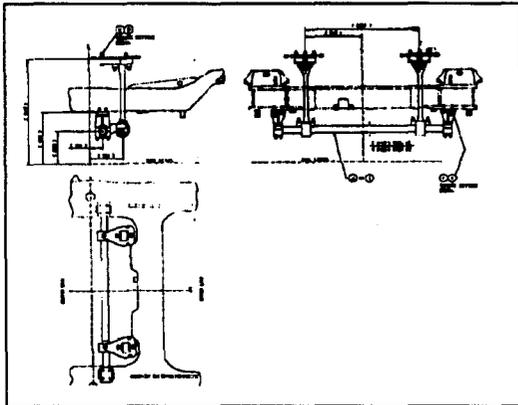


그림 5. 전형적인 Anti-roll Bar 시스템
(대만전동차에 적용된 사례)

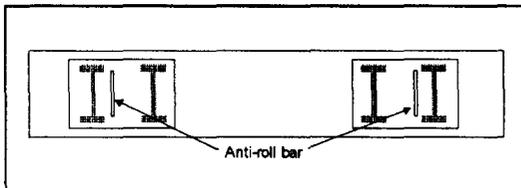


그림 6. 차량에서 Anti-roll Bar 설치 위치