

철도차량의 Roll 특성에 관한 연구

A Study for Roll characteristic of Railway Vehicle

양희주* 이강운** 박길배*** 성재호****
Yang Hee-joo, Lee Kang-wun, Park Kil-bae, Seong Jae-ho

ABSTRACT

Railway vehicle have three translational motions - longitudinal, vertical and lateral, and three rotational motions - rolling, pitching and yawing caused by track irregularity, wheel and rail characteristic, dynamic behaviors etc. The rolling motion in vehicle mainly happens in cases of the vehicles stationary and running on canted track.

When the vehicle positioned in stationary on canted track, vehicle is inclined toward inside of installed cant due to gravity component. When the vehicle has running on a track with cant deficiency, vehicle is inclined toward outside of installed cant due to centrifugal force.

The roll coefficient(s) is defined as the ratio between the angle of inclination of the vehicle(η) and the angle of the rail level(α).

This paper has noted the test method, test result and analysis result to calculate the roll coefficient according to UIC505-5, international standard

1. 서론

철도차량은 궤도 불규칙도와 차륜 및 레일특성, 차량 동적 거동 등에 의해 전후, 상하, 좌우방향의 직선운동과 롤링(Rolling), 피칭(Pitching), 요잉(Yawing)의 회전운동을 가지고 있다. 롤링은 차량의 좌우 흔들림으로서 직선구간에서도 나타나지만 주로 cant가 부설된 곡선 선로를 주행 시와 정차 시에 많이 나타난다.

Cant가 부설된 선로에서 차량 정차 시, 차량은 자중에 의해 선로 안측으로 기울어지며, 곡선 선로를 cant deficiency을 가지고 주행 시, 차량은 원심력에 의해 선로 바깥측으로 기울어 움직이려 한다. 차량의 Roll 특성을 Figure 1에 나타내었다.

선로면에 대해 차량의 기울어진 정도를 roll coefficient($s=\eta/\alpha$) 혹은 roll flexibility라 하며, 여기서 α 는 cant에 의한 선로면의 roll 각이고 η 는 cant에 대한 차체와 대차의 기울어진 각을 포함한 차량의 roll 각이다.

본 논문에서는 국제 규격인 UIC505-5에 따라 차량의 roll coefficient를 계산하였으며, 시험 결과와 해석 결과를 비교, 기술하였다

* (주)로템 기술연구소 응용기술연구팀 선임연구원, 비회원

E-mail : yanghj@rotem.co.kr

TEL : (031)460-1296 FAX : (031)460-1799

** (주)로템 기술연구소 응용기술연구팀 책임연구원, 정회원

*** (주)로템 기술연구소 응용기술연구팀 책임연구원, 비회원

**** (주)로템 기술연구소 응용기술연구팀 연구원, 비회원

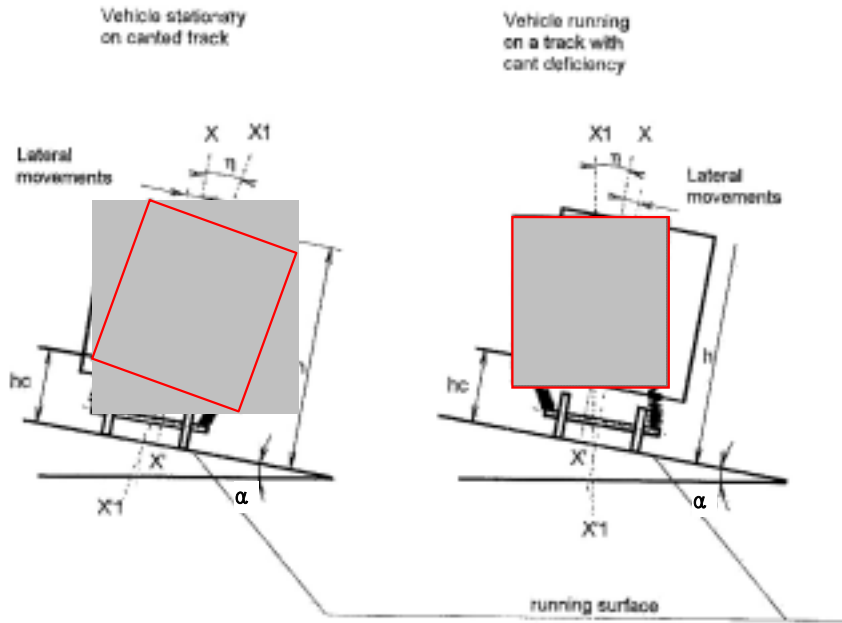


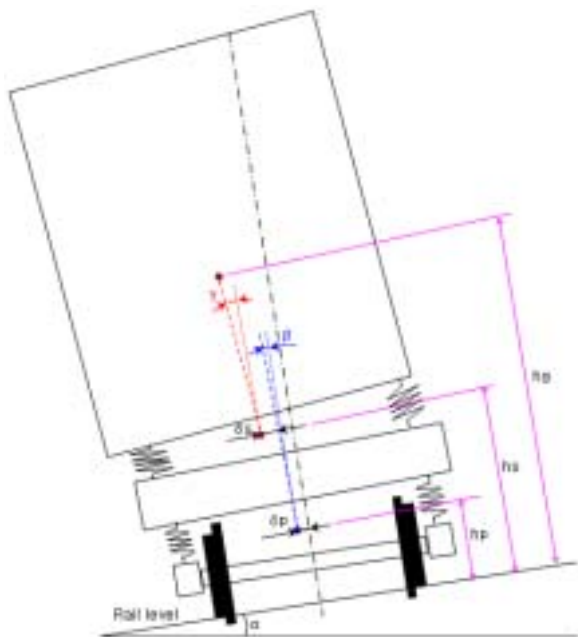
Figure 1 Movement of vehicle

2. 철도차량의 roll 특성

철도차량의 현가장치는 비선형성이 강하여 cant에 따라 대차와 차체의 회전각이 다르다. 특히 2차 현가장치는 공기스프링과 bumpstop으로 구성되어 있으며 이 사이에는 약 10~15mm사이의 유간이 있다. 임의의 cant까지는 2차 스프링강성만 적용되지만 그 이상의 cant에서는 2차 스프링과 bumpstop의 특성치가 결합되어 큰 강성치로 적용된다.

Figure 2는 주어진 cant상에서 차량에 발생하는 좌우 변위와 대차 roll, 차체 roll을 기하학적으로 묘사한 그림이다.

Cant에 의한 선로 Roll 각(alpha, α)에 따라 선로에 대한 대차 Roll 각(beta, β) 과 대차에 대한 차체 Roll 각(gamma, γ)을 구하기 위한 1, 2차 roll방정식을 식(1)과 식(2)에 나타내었으며, 연립방정식을 풀어 계산할 수 있다.



- Ksecroll : 차량 당 2차 스프링 Roll 강성
- Kprimroll : 차량 당 1차 스프링 Roll 강성
- M : 차체 중량
- G : 중력 가속도 (9.81 m/sec²)
- hg : 레일 상면에서 차체 무게 중심까지 높이
- hs : 레일 상면에서 2차 스프링까지 높이
- hp : 레일 상면에서 1차 스프링까지 높이
- α : Cant에 의한 선로 Roll 각
- β : 선로에 대한 대차 Roll 각
- γ : 대차에 대한 차체 Roll 각
- s : 2차 스프링 좌우 변위
- G : 차량 중앙에서 차체무게중심까지의 좌우편차
- Q : 횡 변위로 인한 2차 스프링 모멘트

Figure 2 Vehicle on the canted track

2차 roll 방정식

$$K_{secroll} \cdot \gamma = M \cdot g \cdot [\{ (h_g - h_s) \cdot (\alpha + \beta + \gamma) \}] + G + Q \text{ ----- 식 (1)}$$

1차 roll 방정식

$$K_{primroll} \cdot \beta = M \cdot g \cdot [\{ (h_g - h_p) \cdot (\alpha + \beta + \gamma) \} + s + G] \text{ ----- 식 (2)}$$

3. 시험 절차

차량의 Roll 특성은 하중조건(공차, 만차), 현가장치(airspring inflate, deflate)에 따라 다르게 나타난다. 차량에 적용된 현가장치 특성치가 비선형인 관계로 각 조건에서 특성치들이 다르게 적용되기 때문이다. 시험절차는 다음과 같다.

1. Axlebox, 대차, 차체에 9개의 Target을 부착하였고, Reference Target을 Rail top과 선로중앙에 설치하였다.
2. 차량 한 측에서 동시에 Cant량을 0→25→50→100→150→180→150→100→50→25→0mm 순으로 차례대로 들어올렸다 내린 후, 반대측을 들었다 내리고 추가적으로 25mm를 들었다 내렸다. 이 시험을 수행하기 위해 차량 한 측에는 유압 실린더와 Packer를 이용하여 Cant양을 조절하였으며, 반대측에는 안전을 고려하여 탈선 방지용 Jig를 설치하였다.
3. Cant량이 변하는 각 단계별로 광과기를 사용하여 11개 Target의 좌표 값을 측정하였다.

Figure 3은 실차 시험장면이고, Figure 4는 유압실린더와 packer 이고 Figure 5는 탈선 방지용 Jig이다.



Figure 3 Vehicle Test



Figure 4 Hydraulic cylinder and packer



Figure 5 Safety Jig

4. 시험 및 해석 결과

시험은 하중(공차, 만차)별, 현가장치(airspring inflate, deflate)상태에 따라 4가지 case로 수행되었다. 시험 조건에 따른 대차 Roll 각(β) 과 차체 Roll 각(γ) 그리고 대차와 차체를 포함한 차량 Roll각(η)을 cant별로 측정하여 Figure 6~9에 나타내었다.

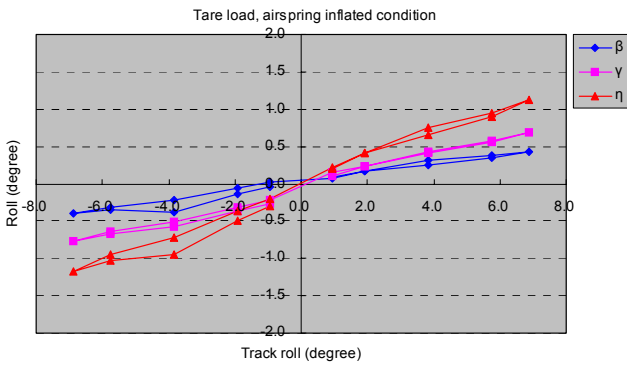


Figure 6 Tare load, airspring inflated condition

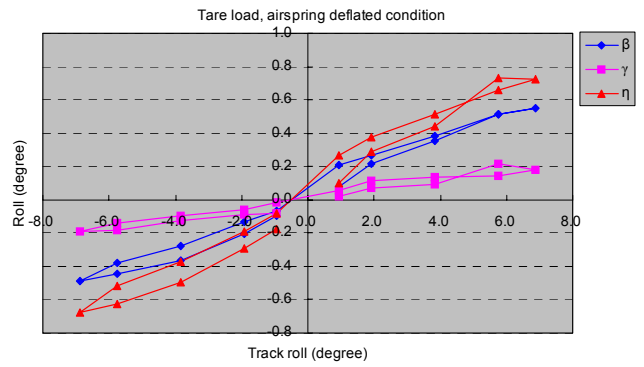


Figure 7 Tare load, airspring deflated condition

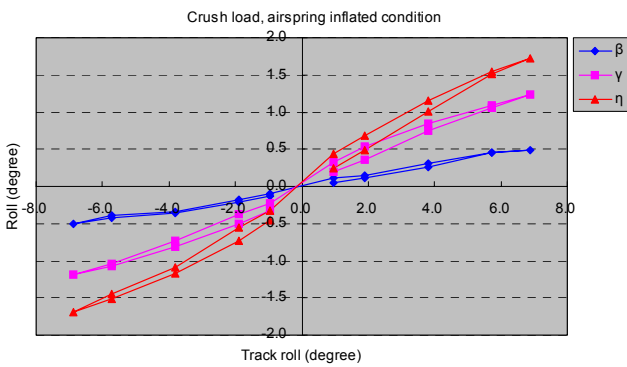


Figure 8 Crush load, airspring inflated condition

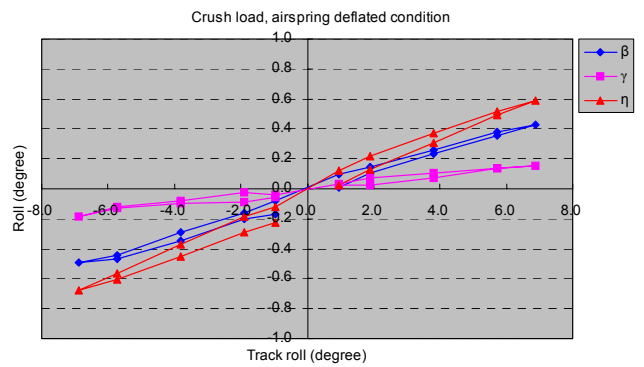


Figure 9 Crush load, airspring deflated condition

차량 한 측면씩 각각 들었다 내림으로서 각 cant별로 4번씩 측정되었다. 동일 cant상에서 차량 roll 각이 약간씩 다르게 측정된 이유는 현가장치의 비선형성이 주원인이다. Cant별로 측정된 차량 Roll 각(η)을 평균하여 Figure 10에 나타내었다.

Figure 11는 시험과 동일 조건에서의 해석 결과이다. 시험치와 해석치가 유사함을 알 수 있다.

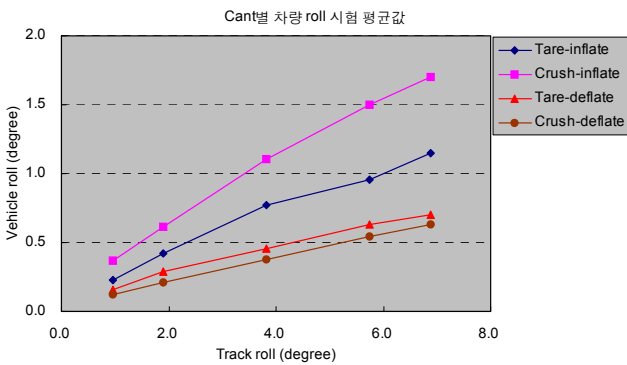


Figure 10 Averaged vehicle roll - test

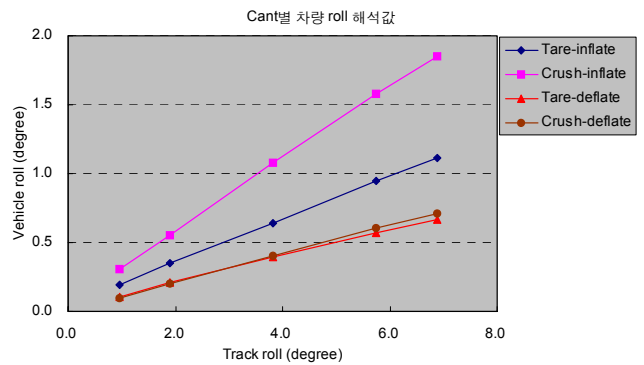


Figure 11 Vehicle roll - analysis

4.1 Roll coefficient (s)

각 case별로 측정된 cant별 차량 roll각은 UIC505-5에 명시된 수식에 적용하여 계산할 수 있으며, Roll coefficient (s) 계산식은 아래와 같다.

$$s = \frac{\eta_1\alpha_1 + \eta_2\alpha_2 + \dots - \frac{(\eta_1 + \eta_2 + \dots)(\alpha_1 + \alpha_2 + \dots)}{n}}{\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \dots - \frac{(\alpha_1 + \alpha_2 + \dots)^2}{n}}$$

여기서 n은 측정횟수이다.

하중(공차, 만차)별, 현가장치(airspring inflate, deflate)상태에 따른 Roll coefficient 계산 결과를 Table1과 Table2에 나타내었다. Table 1은 시험치이고 Table 2는 해석치이다.

Table 1 Roll coefficient - test result

tare load, airspring inflated condition								tare load, airspring deflated condition							
cant [mm]	α [degree]	β [degree]	γ [degree]	η [degree]	$\eta\alpha$ [degree]	α^2 [degree]	Roll coefficient (s)	cant [mm]	α [degree]	β [degree]	γ [degree]	η [degree]	$\eta\alpha$ [degree]	α^2 [degree]	Roll coefficient (s)
25	0.955	0.044	0.107	0.231	0.220	0.912	0.15	25	0.955	0.113	0.043	0.156	0.149	0.912	0.09
50	1.910	0.135	0.288	0.424	0.810	3.649		50	1.910	0.204	0.093	0.287	0.547	3.649	
100	3.823	0.294	0.479	0.772	2.953	14.612		100	3.823	0.344	0.112	0.456	1.742	14.612	
150	5.739	0.346	0.611	0.957	5.494	32.938		150	5.739	0.464	0.171	0.635	3.645	32.938	
180	6.892	0.419	0.732	1.151	7.930	47.501		180	6.892	0.521	0.193	0.708	4.847	47.501	
crush load, airspring inflated condition								crush load, airspring deflated condition							
cant [mm]	α [degree]	β [degree]	γ [degree]	η [degree]	$\eta\alpha$ [degree]	α^2 [degree]	Roll coefficient (s)	cant [mm]	α [degree]	β [degree]	γ [degree]	η [degree]	$\eta\alpha$ [degree]	α^2 [degree]	Roll coefficient (s)
25	0.955	0.094	0.270	0.365	0.348	0.912	0.23	25	0.955	0.087	0.038	0.125	0.119	0.912	0.09
50	1.910	0.163	0.447	0.611	1.166	3.649		50	1.910	0.153	0.054	0.206	0.394	3.649	
100	3.823	0.320	0.782	1.102	4.213	14.612		100	3.823	0.284	0.091	0.375	1.432	14.612	
150	5.739	0.432	1.066	1.498	6.599	32.938		150	5.739	0.412	0.133	0.544	3.123	32.938	
180	6.892	0.496	1.208	1.704	11.748	47.501		180	6.892	0.461	0.171	0.632	4.354	47.501	

Table 2 Roll coefficient - analysis result

tare load, airspring inflated condition								tare load, airspring deflated condition							
cant [mm]	α [degree]	β [degree]	γ [degree]	η [degree]	$\eta\alpha$ [degree]	α^2 [degree]	Roll coefficient (s)	cant [mm]	α [degree]	β [degree]	γ [degree]	η [degree]	$\eta\alpha$ [degree]	α^2 [degree]	Roll coefficient (s)
25	0.957	0.069	0.121	0.189	0.181	0.917	0.16	25	0.956	0.061	0.044	0.105	0.100	0.913	0.09
50	1.916	0.127	0.221	0.348	0.666	3.673		50	1.915	0.123	0.089	0.212	0.405	3.666	
100	3.835	0.236	0.407	0.643	2.465	14.705		100	3.833	0.228	0.165	0.393	1.506	14.692	
150	5.753	0.348	0.589	0.947	5.447	33.096		150	5.751	0.332	0.239	0.570	3.279	33.076	
180	6.851	0.412	0.706	1.117	7.653	46.932		180	6.851	0.389	0.277	0.666	4.555	46.932	
crush load, airspring inflated condition								crush load, airspring deflated condition							
cant [mm]	α [degree]	β [degree]	γ [degree]	η [degree]	$\eta\alpha$ [degree]	α^2 [degree]	Roll coefficient (s)	cant [mm]	α [degree]	β [degree]	γ [degree]	η [degree]	$\eta\alpha$ [degree]	α^2 [degree]	Roll coefficient (s)
25	0.957	0.081	0.229	0.310	0.297	0.917	0.26	25	0.956	0.063	0.034	0.096	0.092	0.913	0.10
50	1.916	0.144	0.406	0.550	1.054	3.673		50	1.915	0.133	0.072	0.205	0.393	3.666	
100	3.835	0.309	0.769	1.078	4.132	14.705		100	3.833	0.266	0.134	0.400	1.533	14.692	
150	5.753	0.466	1.113	1.579	9.093	33.096		150	5.751	0.405	0.202	0.606	3.488	33.076	
180	6.851	0.552	1.308	1.895	12.708	46.932		180	6.851	0.478	0.237	0.715	4.896	46.932	

5. 결론

본 논문에서는 하중(공차, 만차)별, 현가장치(airspring inflate, deflate)상태에 따라 4가지 case로 시험 및 해석이 수행되었으며, UIC505-5에 따라 roll coefficient를 계산하였다. Roll coefficient(s)가 크면 클수록 차량은 선로수직면을 기준으로 많이 기울어진다는 것을 의미한다.

시험 및 해석결과를 토대로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- Cant별 차량의 기울어지는 각도가 각 case 별로 다르게 측정되었다. 이는 하중별 차량 무게중심의 이동, 현가장치의 비선형성 때문이다.
- 동일 하중조건에서 airspring deflate상태가 inflate보다 roll coefficient가 적게 계산되었다. 이는 Airspring deflate시 강성이 큰 Bumpstop 특성치와 friction요소가 작용하여 차량의 rolling을 구속시키기 때문이다.
- 동일 airspring 상태에서 공차하중보다는 만차하중에서 roll coefficient가 크게 계산되었다. 이는 하중증가분만큼 1차, 2차 roll 강성이 충분히 증가하지 않았기 때문이다.
- Roll coefficient 시험 및 해석 결과를 Table 3에 정리하였다. 시험치와 해석치가 매우 유사하게 도출되었음을 알 수 있다.

Table 3. Test and analysis result

Load condition	Airspring	Roll coefficient(s)	
		Test	Analysis
Tare load	inflated	0.15	0.16
	Deflated	0.09	0.09
Crush load	inflated	0.23	0.26
	Deflated	0.09	0.10

6. 참고문헌

1. Bogie and suspension section design guide 501,
2. UIC 505-5 Basic conditions common to Leaflets 505-1 to 4. Notes on the preparation and provisions of these Leaflets.
3. 성재호, “철도차량의 sway특성에 관한 연구” 2006, 철도학회