

전동차용 인보드 대차 시스템에 대한 고찰

The Study of the System of In-Board Bogie for EMU

김 철근* 오 형식** 정 훈***
Kim, Cheol-Geun Oh, Hyeung-Sik Jung, Hoon

ABSTRACT

In general the limit of EMU bases on the construction gauge. But to save the cost for construction, there is often a case that the gauge of construction for bogie is narrower than the existing gauge. Finally, out-board bogie type cannot be applicable because of the space. In this case, we can use the in-board bogie type which the support distance of both suspensions is narrower than out-board bogie.

But we cannot use an in-board bogie indifferently because car with in-board bogie must also have the same performance as out-board bogie in wider gauge. Accordingly, we have to consider how many moments in the suspensions are applied due to the narrower support distance. And the characteristics of suspensions in the in-board bogie must be decided from the moments.

1. 서 론

대부분의 전동차는 건축한계에 맞추어 차량의 한계가 결정되며, 이 차량한계를 만족하도록 대차의 현가 특성들을 결정하게 된다. 한편, 건축물의 건설 비용을 절감하기 위하여 대차의 건축한계를 축소하여 건설할 경우 기존의 아웃보드 대차를 그대로 적용할 수가 없다. 이와 같은 경우에 아웃보드 대차 대신 인보드 대차를 적용함으로써 문제를 해결할 수 있다.

하지만, 차량한계가 축소가 되었다고 해서 차량의 성능이 아웃보드 대차를 적용하였던 차량에 비하여 떨어지는 것은 안 되고 최소한 동등 이상의 성능을 만족하여야 하므로 아웃보드 대차에 적용하였던 설계 개념을 그대로 인보드 대차 설계에 적용하여서는 안 된다. 따라서, 각 현가 특성을 결정할 때에 추가적인 설계 개념이 요구되게 된다.

2. 본 론

인보드 대차와 아웃보드대차의 타입은 차량의 하중을 지지하는 1차 현가장치 및 축상의

*㈜ 로템 주행장치 개발팀 책임연구원 김 철근, 비회원

**㈜ 로템 주행장치 개발팀 선임연구원 오 형식, 비회원

***㈜ 로템 주행장치 개발팀 주임연구원 정 훈, 비회원

위치가 차륜을 중심으로 어느 쪽에 위치하는가에 따라 결정된다. 따라서, 인보드 대차의 경우는 차륜의 내면에 1차 현가장치 및 축상이 위치하게 된다.

이때 1차 현가장치 및 축상이 차륜 내면에 위치함으로 인한 1차 현가 특성의 아웃보드 대차 대비 추가적인 설계 개념이 요구되고, 2차 현가장치의 위치는 1차 현가장치의 위치와 무관하지 않으며, 차체의 롤링으로 인한 모멘트가 1차 스프링에 최대한 영향을 주지 않는 설계 개념을 적용하여야 한다.

2.1 1차 스프링 설계 시 고려사항

1차 스프링은 차량의 하중지지, 주행 안정성 및 곡선 추종성에 맞도록 수직, 전후 및 좌우의 현가 특성을 결정하는 것은 아웃보드 대차와 동일하다. 그러나, 아웃보드 대차에 적용하였던 동일한 스프링 상수를 그대로 인보드 대차에 적용할 수는 없고, 아웃보드 대차의 수직방향 스프링 상수에 1차 스프링의 위치변경으로 인한 롤링 모멘트를 더 추가하여 스프링 상수를 결정하여야 한다.

그림 1은 Lateral Force에 의한 차체의 롤링이 발생되고 그로 인한 1차 스프링에 작용하는 힘을 간략하게 나타내었다.

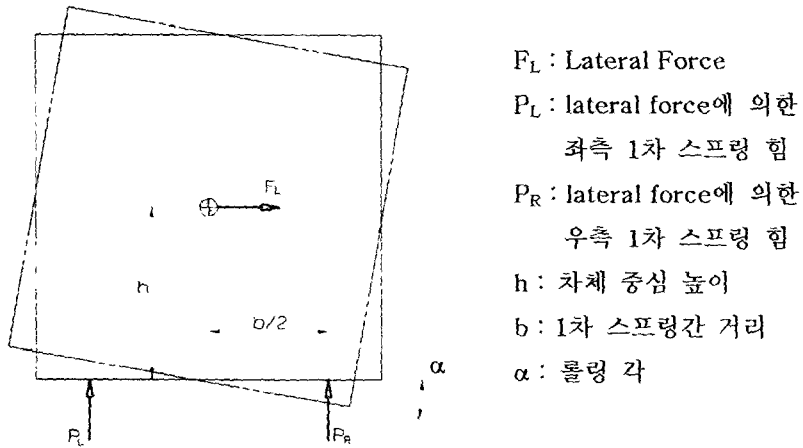


그림 1. 차체 롤링에 의한 1차 스프링에 작용하는 힘

상기 그림 1에서 Lateral Force에 의한 1차 스프링에 작용하는 힘(F_s)은

$$\begin{aligned}
 F_s &= k \times \delta \\
 &= k \times (b/2) \times \alpha
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서, $\left\{ \begin{array}{l} k : 1차 스프링 상수 \\ \delta : Lateral Force(F_L)에 의한 스프링 수직 변위 \\ F_s = P_L = P_R \end{array} \right.$

이다

Lateral Force로 인하여 작용되는 모멘트(M)는 Lateral Force(F_L)에 의한 모멘트와 이로 인하여 발생하는 1차 스프링에 작용하는 힘(F_s)의 모멘트를 합한 것과 같다. 따라서 모멘트(M)는

$$M = F_L \times h + F_s \times b \quad \text{-----} \quad (2)$$

가 된다.

식(2)에 F_s 에 식(1)을 대입하면,

$$\begin{aligned} M &= F_L \times h + k \times (b/2) \times \alpha \times b \\ &= F_L \times h + k \times (b^2/2) \times \alpha \quad \text{-----} \quad (3) \end{aligned}$$

임을 알 수 있다.

따라서, 인보드 대차와 아웃보드 대차의 롤링 모멘트는 각각 식(4)와 식(5)가 된다.

$$\text{-인보드 대차} : M_I = F_L \times h + k_I \times (b_I^2/2) \times \alpha_I \quad \text{-----} \quad (4)$$

$$\text{-아웃보드 대차} : M_O = F_L \times h + k_O \times (b_O^2/2) \times \alpha_O \quad \text{-----} \quad (5)$$

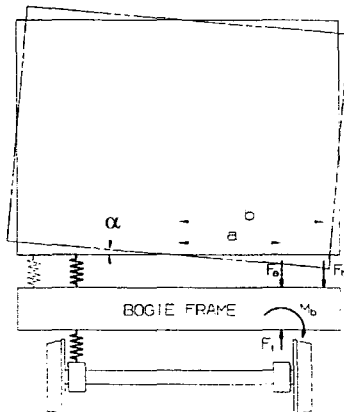
그러면, 인보드 대차를 적용하는 차량은 아웃보드 대차를 적용하는 차량의 K.E와 동일하게 만족($\alpha_I = \alpha_O$)하여야 하므로 Lateral Force로 인한 롤링 모멘트는 서로 같고 인보드 대차의 스프링 상수는 식(6)과 같이 아웃보드 대차의 스프링 상수의 식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} F_L \times h + k_I \times (b_I^2/2) \times \alpha_I &= F_L \times h + k_O \times (b_O^2/2) \times \alpha_O \\ k_I &= (b_O^2/b_I^2) \times k_O, \quad (\alpha_I = \alpha_O) \quad \text{-----} \quad (6) \end{aligned}$$

2.2.2차 스프링 설계 시 고려사항

2차 스프링의 중심은 차체의 롤링에 대하여 중심간 거리가 클수록 좋지만, 1차 스프링 중심과 편심 거리가 클수록 롤링으로 인한 2차 스프링의 힘이 1차 스프링에 모멘트로 발생할 수 있다. 이 모멘트는 1차 스프링에 피로하중으로 작용이 되어 1차 스프링의 수명 및 성능을 저하시킬 수 있다.

그림 2는 2차 스프링의 위치에 따른 1차 스프링으로의 영향을 잘 표현하였다.



- F_1 : 1차 스프링 힘
- F_a : 거리 a에 위치한 2차 스프링의 힘
- F_b : 거리 b에 위치한 2차 스프링의 힘
- M_b : F_b 로 인한 모멘트
- $M_b = F_b \times (b-a)$

그림 2. 2차 스프링의 위치에 따른 1차 스프링으로의 영향

1차 스프링의 중심과 동일한 거리 a 에 2차 스프링이 위치할 경우 차체 롤링으로 인하여 1차 스프링에 2차 스프링 힘(F_a)에 의한 모멘트가 발생되지 않는다. 하지만, 거리 b 에 2차 스프링이 위치할 경우 2차 스프링 힘 (F_b)에 의하여 모멘트(M_b)가 1차 스프링에 적용되게 된다.

이러한 1차 스프링에 모멘트(M_b)를 없애기 위하여 인보드 대차 경우는 2차 스프링의 위치를 1차 스프링의 중심과 일치하도록 설계하는 것이 유리하다.

한편, 2차 스프링의 중심을 1차 스프링의 중심과 일치되도록 할 경우 1차 스프링간 거리가 작은 인보드 대차는 2차 스프링의 롤 강성이 아웃보드 대차보다 작아 차체의 롤링 각이 매우 크게 되는 문제가 발생된다. 그림 3은 같은 현가 특성을 갖는 2차 스프링의 중심 이동에 대한 차체의 롤링 각이 변화함을 나타내고 있다. 따라서, 이러한 문제는 인보드 대차에 롤 강성을 증가시켜 롤링 각을 감소시키기 위한 안티롤바를 추가로 취부 설계하여야 할 필요가 있다.

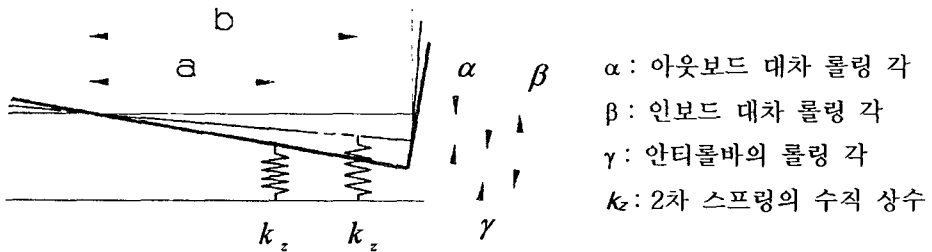


그림 3. 2차 스프링 중심이동에 의한 롤링 각 변화

인보드 대차의 안티롤바의 롤 강성($K_{\phi r}$)은 식(7)과 같이 아웃보드 대차의 2차 스프링의 롤 강성($K_{\phi b}$)과 인보드 대차의 2차 스프링의 롤 강성($K_{\phi a}$)의 차로 표현할 수 있다.

$$K_{\phi r} = K_{\phi b} - K_{\phi a} \quad \text{————— (7)}$$

또한, 각 롤 강성은 식(8), 식(9) 및 식(10)으로 나타낼 수 있다. (그림 3 참조)

$$K_{\phi b} = 2 \times k_z \times b^2 \quad \text{————— (8)}$$

$$K_{\phi a} = 2 \times k_z \times a^2 \quad \text{————— (9)}$$

$$K_{\phi r} = 2 \times k_r \times l^2 \quad \text{————— (10)}$$

(k_r : 안티롤바의 스프링 상수, l : 안티롤바의 유효길이의 반)

식(8), 식(9) 및 식(10)을 식(7)에 대입하면, 식(11)과 같이 안티롤바의 스프링 상수와 2차 스프링의 수직 상수에 대한 관계식을 얻을 수 있다.

$$\therefore k_r = \frac{(b^2 - a^2)}{l^2} k_z \quad \text{----- (11)}$$

3. 결론

좁아진 차량 한계로 인해 아웃보드 대차보다 현가장치의 위치가 좁은 인보드 대차를 적용하여야 할 경우 아웃보드 대차의 현가특성에 추가적으로 고려되어야 할 사항을 간략하게 확인하였다.

인보드 대차의 1차 스프링 수직 상수는 아웃보드 대차 스프링 상수에 각 대차의 1차 스프링 간 거리 비의 제곱에 비례함을 알 수 있다. 2차 스프링의 경우는 2차 스프링간 중심의 편심으로 인한 모멘트가 1차 스프링에 나쁜 영향을 주지 않도록 1차 스프링 중심과 2차 스프링의 중심을 일치하도록 하여야 한다. 또한, 좁아진 2차 스프링간 거리에 의해 추가로 발생된 차체롤링 각을 줄이기 위하여 안티롤바를 추가 설계하여야 한다. 안티롤바의 스프링 상수는 2차 스프링의 수직 상수에 각 대차의 2차 스프링간 거리의 제곱의 차와 안티롤바의 유효길이의 반 제곱의 비에 비례함을 알 수 있다.

참고문헌

1. Evert Anderson, "Running Properties-recent Advance in Bogie Design Technique" ASEA Vasteras, Sweden
2. C.P. Keizer (1979), "Some Basic Properties of Bogies, an Analytical Approach", J. of Vehicle System Dynamics, Vol.8, No.4, pp.359-406
3. G.R. Doyle, M.A. Thomet (1977), "Effect of Track Geometry and Rail Vehicle Suspension on Passenger Comfort in Curves and Transition", ASME, J. of Eng. Ind., Nov., pp841-848.