

도시철도차량 연결기의 노후화에 따른 제동충격력 연구

Braking impact study in accordance with the type of urban rail vehicle connector

한은광*, 구정서*[†], 심재석*, 조병진*, 김준우*Eun Kwang Han*, Jeong Seo Koo*[†], Jae Seok Shim*, Byung Jin Cho*, Jun Woo Kim*

Abstract In this paper, urban railway vehicle of commonly used in kind of coupler and research about braking shock and acceleration at the coupler according to the deterioration. It was applied to used in Single, Double, and Ring Type of the current urban railway vehicle. Then evaluated by the comparison of the new and old products applied it is currently operating full weight of urban railway vehicle and by applying service brake(7 step). At result, in all three types of the new coupler applied to pre-load, the acceleration and the maximum jerk are same as each $0.73m/s^2$ and $1.30m/s^3$. And the ring type is less affected than the others as its acceleration and maximum jerk are $0.738m/s^2$ and $1.336m/s^3$ respectively from applying a model of aging coupler.

Keywords : ADAMS, Coupler, Jerk, Multi-body Dynamics, Slack

초 록 본 논문에서는 도시철도차량에서 사용되는 연결기의 종류와 노후화에 따른 제동 충격과 가속도에 대하여 연구하였다. 현재 도시철도차량에서 많이 사용되는 Single, Double, Ring type 을 적용하였으며, 도시 철도 차량의 만차 중량과 상용제동(7step) 조건에서 신형 연결기와 노후화 된 연결기를 적용한 모델에 대해 가속도와 저크(Jerk)를 비교 평가하였다. 그 결과, 초기 Pre-load 가 주어진 신형 연결기를 적용한 모델은 Single, Double, Ring type 에서 가속도는 약 $0.73m/s^2$, 최대 저크(Jerk)는 $1.30m/s^3$ 으로 거의 동일한 결과를 보였다. 그리고 노후화 된 연결기를 적용한 모델은 Ring type 이 가속도 $0.738m/s^2$, 최대 저크(Jerk) $1.336m/s^3$ 으로 다른 연결기에 비해 노후화에 대한 영향이 가장 적은 것을 확인하였다.

주요어 : ADAMS, 연결기, Jerk, 다물체 동역학 해석, Slack

1. 서 론

도시철도차량용 연결기는 차량 간 기계적 연결 기능과 차량의 가·감속에 의해 발생하는 전·후 방향의 충격력을 흡수하는 역할을 한다. 현재 운행되고 있는 도시철도차량은 8량 1편성의 형태로 이루어져있으며, 승객의 승차감 향상을 위해 각 차량간 연결기의 역할이 중요하다. 국내 도시철도 연결기의 연구가 활발히 진행되고 있지만 대부분 안전성 평가를 위한 차량 간 충돌사고 혹은 장애물과의 충돌에 따른 연결기 파손에 대해 연구하였고, 실제로 상용 운행중인 차량 연결기의 충격력에 관한 연구는 아직까진 미흡하다. [1] 따라서 본 연구에서는 실제 운행되고 있는 도시철도차량을 단순 BOX로 모델링하여 감속 시

[†] 교신저자: 서울과학기술대학교 철도차량시스템공학과 (koojs@seoultech.ac.kr)

* 서울과학기술대학교 철도차량시스템공학과

연결기 종류에 따른 노후화와 제동패턴의 영향을 가속도와 저크(Jerk)를 이용하여 평가하였다.

2. 본 론

2.1 연결기의 종류

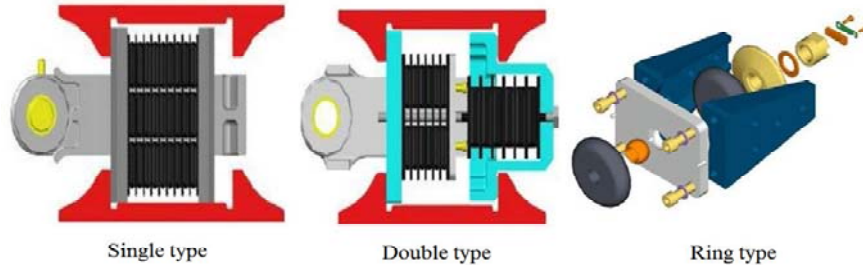


Fig. 1 Coupler type of urban rail vehicles

2.1.1 Single type

열차가 처음 도입되었을 때 사용했던 Single type 연결기이다. 고무를 접착한 패드를 여러 개 붙인 구조로 고무를 압축, 인장 할 때 고무의 저항력을 이용하여 완충작용을 한다. [2] 처음 연결기를 제작할 때 초기압력을 주어 큰 충격에는 효과적인 작용을 하지만 작은 충격은 흡수하지 못하는 단점이 있다.

2.1.2 Double type

Single type 연결기의 단점인 작은 충격을 흡수하지 못하는 문제점을 보완하기 위하여 제작과정 중 발생하는 초기압력을 낮추어 작은 충격력에도 작용할 수 있게 제작된 연결기이다. [2]

2.1.3 Ring type

현재 사용되고 있는 최신 연결기 Type으로 기존의 Single type과 Double type 연결기는 단방향 앞뒤로만 충격을 흡수하였지만, Ring type 연결기는 상/하, 전/후, 좌/우 방향의 충격까지 효과적으로 흡수할 수 있는 장점이 있다. 또한 고무링의 개수를 조절하여 흡수용량과 변위를 조정할 수 있는 연결기이다. [2]

2.2 연결기 및 제동조건에 따른 동역학 시뮬레이션

2.2.1 동역학 해석 모델

다물체 동역학 해석 프로그램인 ADAMS/VIEW를 사용하여 Fig. 2와 같이 모델링하였다. TC-car 2량, M-car 4량, T-car 2량으로 도시철도차량의 실제 운행에 맞게 8량 1편성으로 구성하였다. 차량의 중량은 도시철도차량 기준 혼잡도 200[%]를 고려하여 만차 중량을 설정하였고, 열차의 제원은 Table 1과 같다. [3]

2.2.2 시뮬레이션

시뮬레이션은 도시철도차량의 영업운행 최대속도인 약 74[km/h] 초기속도를 주었고, 도시철도차량의 제동은 일반적으로 상용제동 1step에서 7step까지 사용하며, 7step의 제동패턴은 Fig. 3과 같고, 3.5[km/h/s]의 감가속도로 시뮬레이션을 진행하였다. [4]

Table 1 Specification of Simulation Model

Length [mm]	19,500
Width [mm]	3,120
Height [mm]	3,600
Tc car [kg]	43,200
T car [kg]	28,100
M car [kg]	43,100

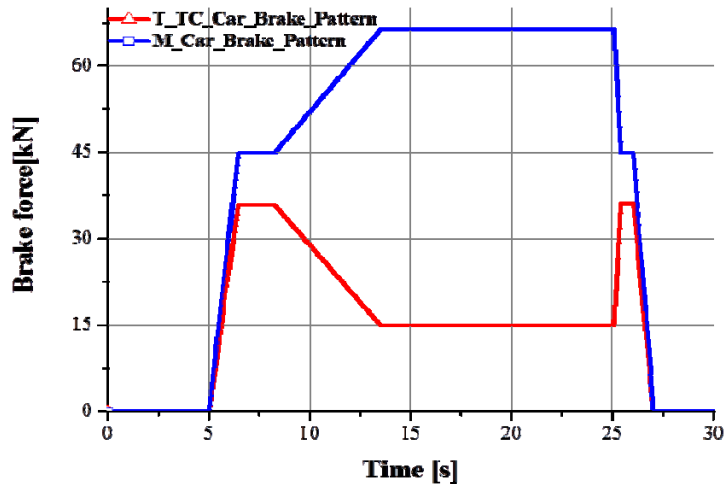


Fig. 3 Braking patterns, 7steps

2.2.3 해석 결과

해석을 진행한 결과 Pre-load 가 적용된 신품 연결기를 적용한 모델은 Single, Double, Ring type 3 가지이고, 모두 가속도는 약 0.73m/s², 최대 저크(Jerk)는 1.30m/s³ 으로 거의 동일한 결과를 보였다. 열차 제동 시 연결기의 Pre-load 의 영향으로 연결기 타입에 따른

차이가 크게 나타나지 않는 것을 확인하였다. 그리고 시간이 경과하면서 연결기 사이에서 완충역할을 해주는 고무가 영구변형이 발생하여 부피가 줄어들어 Pre-load 가 작아진다.

이러한 노후화 된 연결기가 적용된 모델의 결과값은 Single type 연결기의 최대 저크는 $9.204[m/s^3]$, 가속도는 $0.765[m/s^2]$ 로 3 가지 연결기 종류 중 가장 높았고, Double type 연결기는 최대 저크 $4.151[m/s^3]$, 가속도 $0.733[m/s^2]$, 그리고 Ring type 이 저크 $1.336[m/s^3]$, 가속도 $0.738[m/s^2]$ 가 발생하였다. Ring type 의 연결기는 Single, Double type 과 달리 Plate 와 Stopper 가 없이 완충 고무가 직접적으로 연결되는 구조를 가지고 있어 노후화에 대한 영향이 가장 적은 것을 확인하였다.

Table 2 Result of Jerk and Acceleration according to Coupler types

	Normal coupler		Slack coupler	
Single type	The maximum Jerk [m/s ³]	1.309	The maximum Jerk [m/s ³]	9.204
	Mean Acceleration [m/s ²]	0.735	Mean Acceleration [m/s ²]	0.765
Double type	The maximum Jerk [m/s ³]	1.303	The maximum Jerk [m/s ³]	4.151
	Mean Acceleration [m/s ²]	0.739	Mean Acceleration [m/s ²]	0.733
Ring type	The maximum Jerk [m/s ³]	1.307	The maximum Jerk [m/s ³]	1.336
	Mean Acceleration [m/s ²]	0.738	Mean Acceleration [m/s ²]	0.738

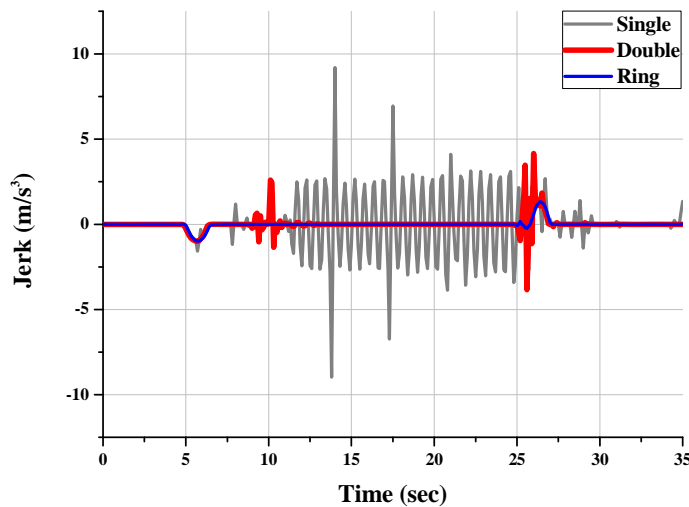


Fig. 4 Jerk value of the model of Slack

3. 결론

본 연구에서는 도시철도차량의 제동 중 발생하는 연결기의 종류별 충격력을 분석하여 차체가속도에 얼마나 영향을 미치는지 확인하였다. 시뮬레이션을 통해 얻은 결과는 Table 2 와 같으며, 각 연결기 종류 별 신품상태의 연결기와 노후화가 진행된 연결기를 비교하여 보았을 때, Single type 의 연결기는 신품과 노후화된 제품이 약 $7.895[m/s^3]$ 의 차이가 발생하였고, Double type 의 경우 약 $4.151[m/s^3]$, Ring type 의 경우 약 $1.336[m/s^3]$ 로 산출되었다. 현재

사용되고 있는 연결기 중 노후화가 발생하였을 때 차체가속도와 저크 발생량이 가장 적은 Ring type 의 연결기가 가장 좋게 평가되었다.

본 연구 결과에 본질적인 목표는 현재 운행되고 있는 연결기의 종류 중 노후화가 진행되어도 차량의 가속도에 영향을 미치지 않는 Ring type 연결기를 제외한 Single, Double type 의 연결기는 차량의 승차감에 영향을 주지 않도록 노후화된 연결기의 빠른 유지보수의 중요성을 위함이다. 현재는 단순 Box 모델로 연구를 진행하였지만 이후 연구에는 도시철도차량의 대차, 차체, 연결기와 휠, 레일 컨택 및 마찰계수까지 고려하여 연구를 진행하려 한다.

후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(16RTRP-B084184-03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Y. H Cho (2007) Modeling of impact force of coupler device during emergency braking, *Journal of the Korean Society for Railway* , pp. 1961-1965.
- [2] W.Y Lee (2015) Analysis on the Cushion Characteristics of Draft Gears for Electric Railcars, Master of Science, *Seoul National University of Technology*, pp. 4-16.
- [3] J Hwang-Bo (2015) Study on change of regenerative energy in conformity with load factor of percentage in Metro, *Journal of the Korean Society for Railway*, pp. 6-15.
- [4] Y. H Kim (2006) A Study on the selection of train operation mode minimizing the Running Energy Consumption , *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*, 15(1), pp. 3-9.