

고속전철 진단시스템을 위한 동력차 시뮬레이터 개발에 관한 연구

김동우*, 김진환**, 허옥열*

*인하대학교 전기공학과, **두원 공업전문대학 컴퓨터 응용제어과

A study on the development of the power car simulator
for the high speed train diagnosis systems

D.W.Kim* J.H.Kim** U.Y.Huh*

Dept. of Electrical Engineering, Inha University* Doowon technical college**

Abstract

This paper deals with the simulator for the diagnosis systems of high speed train. The purpose of this simulator is the verification of diagnosis systems. In this paper, the configuration of high speed train is investigated and the implementation model of power car is proposed. According to the model, mathematical equation is constructed. Dynamic simulation is executed and analyzed.

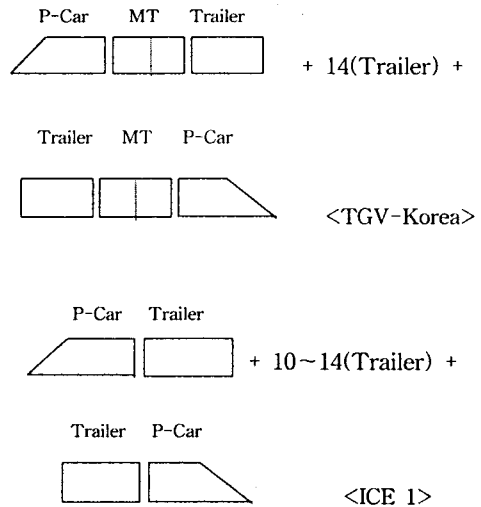
차량에 대하여 바퀴와 레일의 관계에서 수식을 세우고 이에 대한 동적시뮬레이션을 해보았다.

2. 고속전철의 구성

고속철도차량의 구성방식에는 동력집중방식과 동력분산방식이 있다. 동력집중방식에는 편성의 맨 앞과 뒤에 운전실과 추진동력을 갖추고 있고 일반적인 편성은 <그림 1>과 같다. [1]

1. 서론

고속전철 시스템의 차량 진단용 전문가 시스템 기술은 고속전철 시스템의 안전운용을 위하여 차량과 철도의 통신 및 신호체계 안에서 각 부시스템으로부터 전달되는 진단 및 감시에 관련된 신호들을 사용하여 수시로 차량의 상태를 시스템 차원에서 종합적으로 진단하는 기반기술이다. 이러한 진단 시스템을 구현해서 구현된 시스템의 성능을 검증하기 위해서는 실제와 동일한 상황에서 발생시키고 이에 대한 대처능력을 확인할 수 있는 시뮬레이터의 개발이 필요하다. 철도차량은 동력발생 및 전달부분과 신호전달부분으로 나누어 생각할 수 있으며 동력전달부분은 다시 크게 전기적인 시스템과 기계적인 시스템의 두 부분으로 구성되어 있다. 이들 중 동력전달 부분은 과거 및 현재의 상태가 서로 연계되어 있으면서 이들에 의하여 미래의 상태가 결정되는 동적 시스템이다. 그러므로 이들도 동적 시뮬레이션을 통하여 신호발생이 이루어져야 하며 이를 통하여 고장에 대한 판단이 이루어져야 한다. 본 논문에서는 고속철도의 동력



<그림1> 동력 집중식 고속전철의 개략적 구성

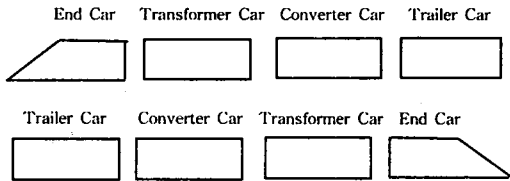
<그림1>에서 나타낸 바와 같이 동력집중방식에 해당하는 고속철도에는 TGV-Korea, ICE1, ICE2 등이 있다. 여기에서 각 차량의 기능을 요약하면 다음과 같다.

- * 동력차(P-Car, Power Car) (수량:2개) : 운전실이 있고 추진동력(모터 4개)을 갖춘 차량. TGV-Korea에서는 동기전동기를 사용하고, ICE1과 ICE2는 유도전동기를 사용한다.
- * 동력객차(MT, Motorized Trailer) (수량: 2개) : 구동모터(2개)와 객실을 구비한 부수 동력차량. TGV-Korea에 있고 ICE에는 없다.
- * 객차(T, Trailer) : 중간객차, 추진에 필요한 구동장치가 없다.

경부고속철도에 운행될 고속철도 차량은 동력집중방식이며 그 구성은 20량(2개의 Power Car +2개의 Motorized Trailer +16개의 Intermediate Trailer)을 기본으로 하고 있으며 전체 길이는 약388m, 열차의 총 중량은 공차시 698톤이다. 견인전동기로는 동기전동기를 사용하고 있다.

동력 집중방식이 편성의 맨 앞과 뒤에 동력차가 있는데 비해, 동력 분산식은 전체 차량에 동력차량이 흩어져 있다. 동력 분산식에 해당하는 고속철도에는 일본의 신간선과 독일의 ICE2.2가 있다. 신간선 전차가 동력분산방식을 채택한 이유중의 하나는 화산이 빈번히 발생하는 일본의 연약한 지반에 대응하여, 구조물의 건설비를 경감하기 위하여 축중을 가볍게 할 필요가 있었기 때문이다.

독일의 ICE2.2도 동력분산방식을 채택하고 있으며, 구성은 그림2와 같다.[1]



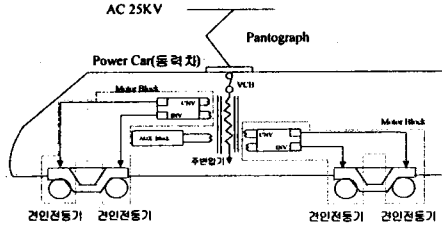
<그림 2> 독일의 ICE2.2의 구성(동력분산방식)

ICE2.2는 총 8량으로 되어 있으며 견인 전동기로는 유도 전동기를 사용한다. 여기에서 각 차량의 구성은 다음과 같다.

- *종단차(End Car): 운전실, 4개의 견인 전동기, 1개의 PWM 인버터, 2개의 4상한 컨버터, DC링크 회로, 직렬공진회로, 강압형 초퍼.
- *변압기차(Transformer Car): (DC 팬터그래프: DC 전원과 호환성이 있는 시스템에서 2번째와 7번째 차량에 부가적으로 포함), 주변압기.
- *컨버터차(Converter Car): 4개의 견인 전동기, 1개의 PWM 인버터, 2개의 4상한 컨버터, DC링크회로, 직렬공진회로, 강압형 초퍼.

*객차(Trailer Car): AC 팬터그래프(5번째 차량), 밧데리

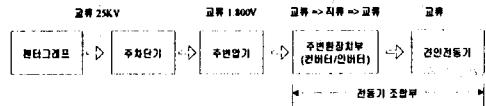
3. 고속전철의 동력차량 구조



<그림 3> 동력집중식 고속전철의 동력차

고속철도차량의 교류구간에서 제어전원의 흐름과 기기의 동작과정을 역행(견인운전시)과 희생제동으로 나누어 살펴보면 다음과 같다.[2][3]

□ 견인시

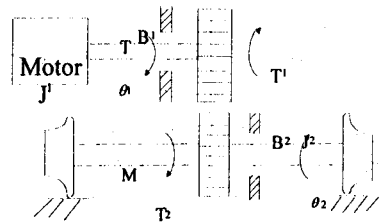


□ 희생 제동시



<그림 4> 고속철도차량의 제어전원의 흐름

4. 차륜축 모델



<그림 5> 차륜축 모델

<그림 5>의 차륜축 모델에서 토크식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$T(t) = J_1 \frac{d^2\theta_1(t)}{dt^2} + B_1 \frac{d\theta_1(t)}{dt} + T_1(t) \quad (1)$$

여기에서 $T(t)$ 는 모터에서 가해진 토크이고 J_1 은 모터의 inertia, B_1 은 모터의 마찰계수이다. B_2 는 브레이크 계수로서, 차량에 브레이크를 가하고 싶으면 B_2 를 크게 주면 된다. $T_1(t)$ 는 위쪽기어에 전달된 토크이다. θ_1 은 모터와 첫번째 기어의 각 위치이다. 기어비가 $N_1:N_2$ 라면 다음식이 성립된다.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\theta_2}{\theta_1} \quad (2)$$

위쪽기어와 아래쪽기어에 대한 토크의 관계식은 다음과 같이 된다.

$$T_1(t) = \frac{N_1}{N_2} T_2(t) \quad (3)$$

여기에서 $T_1(t)$ 을 바퀴와 레일의 마찰계수를 B_f 라고 두었을 때 수식을 전개하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} T_1(t) &= \frac{N_1}{N_2} (J_2 \frac{d^2\theta_2}{dt^2} + B_2 \frac{d\theta_2}{dt} + 2B_f (\frac{d\theta_2}{dt} - \frac{v}{R})) \\ &= \frac{N_1}{N_2} (J_2 \frac{N_1}{N_2} \frac{d^2\theta_1}{dt^2} + B_2 \frac{N_1}{N_2} \frac{d\theta_1}{dt} + 2B_f (\frac{N_1}{N_2} \frac{d\theta_1}{dt} - \frac{v}{R})) \end{aligned} \quad (4)$$

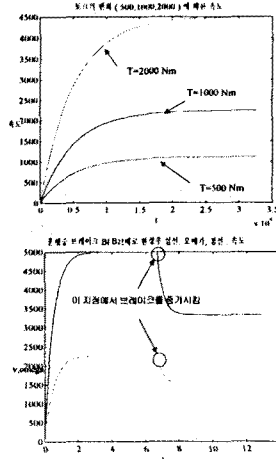
위식에서 $2B_f (\frac{d\theta_1}{dt} - \frac{v}{R})$ 은 바퀴와 레일의 각속도 차에 의해 발생하는 마찰력이다. 2를 곱한 것은 바퀴가 2개이기 때문이며, B_f 는 마찰계수이다. (4)식을 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} T(t) &= (J_1 + (\frac{N_1}{N_2})^2 J_2) \frac{d^2\theta_1(t)}{dt^2} + (B_1 + (B_2 + 2B_f) (\frac{N_1}{N_2})^2) \frac{d\theta_1(t)}{dt} \\ &\quad - \frac{N_1}{N_2} \frac{1}{R} \frac{dx}{dt} \end{aligned} \quad (5)$$

차륜축의 질량과 진행방향에 관해 다음과 같은 수식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} M \frac{d^2x}{dt^2} - 2B_f (R \frac{d\theta_2}{dt} - \frac{dx}{dt}) \\ = M \frac{d^2x}{dt^2} - 2B_f (R \frac{N_1}{N_2} \frac{d\theta_1}{dt} - \frac{dx}{dt}) \\ = Mg \sin \delta \end{aligned} \quad (6)$$

여기에서 M 은 차륜축의 질량이고, g 는 중력가속도, δ 는 지면의 기울어진 각도이다.



4대의 견인전동기로 구동하는 경우는 다음과 같은 수식을 전개할 수 있다.

$$\begin{aligned} T_a &= (J_{a1} + J_{a2}) \frac{d\theta_a}{dt} + (B_{a1} + B_{a2}) \frac{d\theta_a}{dt} + 2B_f (\frac{d\theta_a}{dt} - \frac{1}{R} \frac{dx}{dt}) \\ T_b &= (J_{b1} + J_{b2}) \frac{d\theta_b}{dt} + (B_{b1} + B_{b2}) \frac{d\theta_b}{dt} + 2B_f (\frac{d\theta_b}{dt} - \frac{1}{R} \frac{dx}{dt}) \\ T_c &= (J_{c1} + J_{c2}) \frac{d\theta_c}{dt} + (B_{c1} + B_{c2}) \frac{d\theta_c}{dt} + 2B_f (\frac{d\theta_c}{dt} - \frac{1}{R} \frac{dx}{dt}) \\ T_d &= (J_{d1} + J_{d2}) \frac{d\theta_d}{dt} + (B_{d1} + B_{d2}) \frac{d\theta_d}{dt} + 2B_f (\frac{d\theta_d}{dt} - \frac{1}{R} \frac{dx}{dt}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \frac{d^2x}{dt^2} - 2B_f (R \frac{d\theta_a}{dt} - V) - 2B_f (R \frac{d\theta_b}{dt} - V) - 2B_f (R \frac{d\theta_c}{dt} - V) \\ - 2B_f (R \frac{d\theta_d}{dt} - V) = Mg \sin \delta \end{aligned}$$

5. 결론

본 논문에서는 진단시스템을 위한 고속철도의 시물레이터를 개발하기 위해 고속철도 동력차 부분의 모델을 가지고 바퀴와 레일간의 미끄러짐 속도에 의해서 수식을 세워 보았고 동적 시물레이션을 해보았다. 앞으로 고속철도의 기계적인 부분과 전기적인 부분을 좀더 추가하여 수식을 세워 동적 시물레이션을 한다면 보다 정교한 시물레이터가 만들어진다.

후기

이 논문은 건설교통부와 통상산업부 및 과학기술처에서 시행한 선도기술개발사업중 "진단용 전문가 시스템 기술개발"과제의 1차년도 연구결과의 일부이다.

6. 참고문헌

- [1] Dipl.-Ing. Aubert Martin Dr.-Ing. Alois Weschta "ICE 2.2, The new Member of the ICE-Family"
- [2] Heinz Boohm Dieter Schmidt "Electrical equipment of production built ICE power units class 40" ICE High-tech on rails
- [3] 경부고속철도차량의이해 철도차량역학 1996.9 가을호 철도차량기술검정단