

전동차 제동제어장치 설계

A Design of Brake Control System for Electrical Multiple Unit

이우동*

최규형**

Lee, Woo-Dong Choi, Kyu-Hyoung

Abstract

The brake system is important to stop train safely. The train is stopped by regenerative brake and pneumatic brake which are continuously blended at service brake. When service is applied to train, it is controlled by train weight and brake command. The jerk limitation function is applied for impulseless smoothing braking. All brake applications in service condition have a function of the variable load control to keep the braking effort in proportion to each car load. All of control function are performed by brake controller. Therefore, we will propose the design of brake control system in order to control efficiently

1. 서론

도시철도차량의 안전운행에 있어서 제동작용의 역할은 매우 중요하다. 전동차의 제동작용은 전기제동 및 공기제동을 혼합하여 제동작용을 수행하는 혼합제동을 통하여 차량을 정지시키는데 전기제동의 경우에는 시간지연이 없이 차량을 신속하게 정지시키는 장점이 있으나 5~10km/h의 저속에서는 작용하지 않는다는 단점이 있다. 따라서 이 부족분을 공기제동을 통하여 보충을 시키는 데 공기제동의 가장 큰 단점은 시간지연을 갖고 응답한다는 것이다. 제동장치는 신속하고 정확하게 작용해야 전동차의 안전을 확보할 수 있다. 더구나 최근에 도시철도차량에 자동 또는 무인운전이 도입되면서 차량이 정확한 위치에 정지하는 것이 무엇보다 중요한 문제로 대두되었다. 일반적으로 전동차는 정상운전시에 상용제동을 수행하는데 차량이 정확한 위치에 정차하기 위하여는 열차자동운전장치 또는 주간제어기에서 발생한 감속도신호에 따라 정확한 제동력을 계산하여야 한다. 또한 제동작용시에 구동차 및 부수차를 1유닛으로 하여 마찰제동과 전기제동을 병용하는 혼합제동을 수행하게 되는데 전기제동력에 따라 공기제동력을 적절히 증감시켜야 한다. 따라서 정확한 제동력의 계산과 전기제동력에 따른 공기제동력의 증감을 정확히 제어하는 기술이 필요하며 표준전동차의 경우에 있어서 이에 대한 방법을 소개하고자 한다.

2. 전동차 제동장치의 구조

표준전동차의 제동장치는 그림 1에서 보는 바와 같이 제동제어기, 제동작용장치, 공기압축기 및 제동실린더 등으로 구성되어 있다. 상용제동시에는 주간제어기 및 ATC에서 발생한 제동지령이 CC를 통하여 ECU로 전송되고 ECU에서는 제동지령과 응하중신호를 검지하여 필요한 요구제동력을 계산하고 인버터에 전기제동을 지령한다. 요구제동력을 전기제

* 한국철도기술연구원 선임연구원

** 한국철도기술연구원 책임연구원

동이 만족하지 않으면 ECU는 T Car에 마찰제동력을 수행하고 부족분을 M Car의 마찰 제동으로 보충하는 혼합제동을 수행한다. 혼합제동방식은 T Car 및 M Car를 1 유니트로

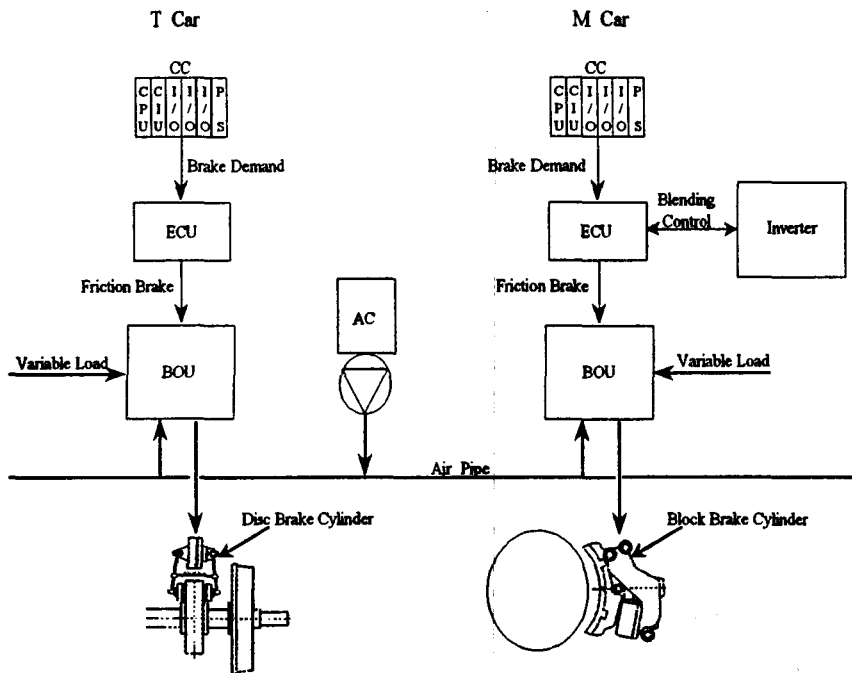


그림 1 표준전동차의 제동장치 구조

하는 혼합제동방식을 적용하고 혼합제동작용은 제동제어기에서 수행한다. 마찰제동에 필요한 공기는 M1 및 M2 Car에 설치 주공기압축기에 의하여 공급되며 주공기배관은 싱글 배관으로 구성되어 있다. 전동차의 제동력을 계산하기 위한 전동차의 설계기준은 표 1과 같다.

표 1 전동차 제동성능

항목		기준
차량중량	부수차	30ton(공차)
	구동차	33ton(공차)
최고속도		100km/h
감속도		3.5km/h/s
저크한계		0.8m/s ³
회전관성질량보상계수		1.06(T Car), 1.14(M Car)

3. 제동제어장치 설계

전동차의 제동작용에는 상용제동, 비상제동, 주차제동, 보안제동 및 정차제동 등이 있다. 상용제동은 정상운전시 사용하는 제동으로 구동차와 부수차를 1 유니트로 하여 그림 2와 같이 혼합제동을 수행한다.

열차자동운전장치 또는 주간제어기에서 표 2와 같은 감속도지령(B_t , B_m)이 발생하면 (3-1)에 따라 제동력을 계산한다.

$$F_m = m_m \cdot b, \quad F_t = m_t \cdot b \quad (3-1)$$

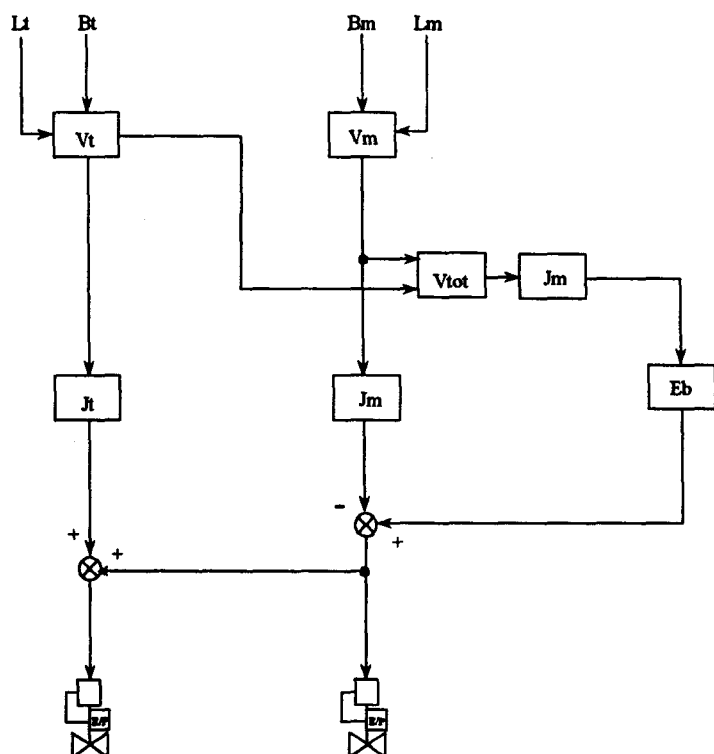


그림 2 표준전동차의 혼합제동 제어선도

표 2 스텝별 감속도

스텝	감속도
1 스텝	0.5km/h/s
2 스텝	1.0km/h/s
3 스텝	1.5km/h/s
4 스텝	2.0km/h/s
5 스텝	2.5km/h/s
6 스텝	3.0km/h/s
7 스텝	3.5km/h/s
비상	4.5km/h/s

차량의 중량 m_m 및 m_t 는 다음과 같이 계산한다. 전두부 및 후두부 대차에 있는 공기스프링 4개소의 압력을 압력변환기로 측정하고 측정된 $3 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ 의 압력을 전기신호로 변환하여 차량의 중량을 계산하며 이는 식 (3-2) 및 (3-3)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{부수차의 제동력 } V_t &= m_t \cdot a_t = \eta_t \cdot 4 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot B_t \\ &= (1.07) \cdot \pi \cdot (56)^2 \cdot B_t \end{aligned} \quad (3-2)$$

$$\begin{aligned} \text{구동차의 제동력 } V_m &= m_m \cdot a_t = \eta_m \cdot 4 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot B_m \\ &= (1.07) \cdot \pi \cdot (56)^2 \cdot B_m \end{aligned} \quad (3-3)$$

여기서 η_t , η_m 는 부수차 및 구동차의 회전관성질량보상계수를 나타낸다.

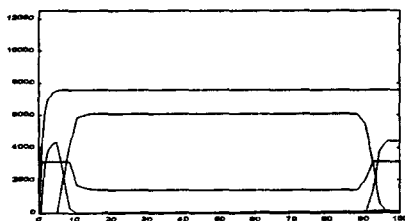
각 차량별로 계산된 제동력은 추진제어장치가 분담할 제동력(E_b)을 위하여 합산된다. 그리고

이 제동력은 차량의 승차감 향상을 위하여 적분제어기를 통하여 저크제어를 수행한 후에 추진제어장치에 요구하는 요구제동력을 서서히 증가시킨다.

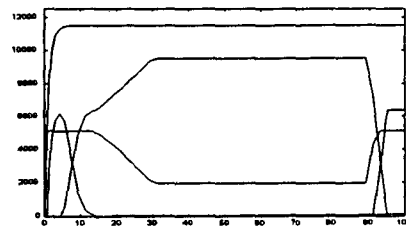
제동장치에서 추진제어장치로 요구하는 회생제동력 값은 500 Hz, 22 VDC의 PWM신호이며 0~120kN시에 10~90%의 값을 가진다. 추진제어장치에서 달성한 회생제동력을 제동장치로 출력하는데 달성제동력 값은 500 Hz, 22 VDC의 PWM신호이며 0~120kN시에 10~90%의 값을 가진다. 총제동력에서 추진제어장치가 달성한 회생제동력을 감한후에 차량의 원활한 제동력분담을 위하여 부족한 제동력을 부수차의 공기제동력으로 우선 보충한다. 부수차의 공기제동력으로도 총제동력을 만족하지 못할 경우에는 구동차의 공기제동력으로 제동력을 보충한다. 공기제동시에 제동이 신속히 작동하도록 일정량의 인쇼트 압력 값을 투입하여 시간지연을 극복하도록 설계되어 있다. 공기제동력은 각 차량의 제동작용 장치에 있는 전공변환밸브를 동작하여 제동실린더의 압력을 조절함으로써 공기제동이 이루어진다.

4. 제동력분담에 대한 해석 및 성능시험 결과

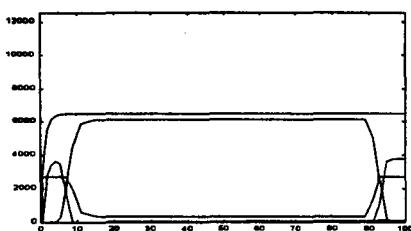
앞에서 설명한 전동차의 혼합제동에 대한 제동작용을 matlab을 이용하여 시뮬레이션하면 그림 3과 같은 혼합제동 작용선도가 나타난다. 그림 3에서 보는 바와 같이 초기제동시인 100~95km/h 및 정차직전시인 25~0km/h 속도인 경우를 제외하면 차량을 전기제동만으로 정지시킬 수가 있으며 특히 4스텝이하 즉 2.0km/h/s이하의 감속도가 지령되는 경우에는 전기제동만으로도 차량을 충분히 정지시킬 수가 있다. 이는 전기제동을 최대한 이용해야 한다는 표준사양의 요건을 만족하는 것이다. 반면에 추진제어장치가 고장나서 전기제동이 불가능하더라도 공기제동만으로 충분히 열차를 정지시킬 수 있도록 제동장치를 설계하였다.



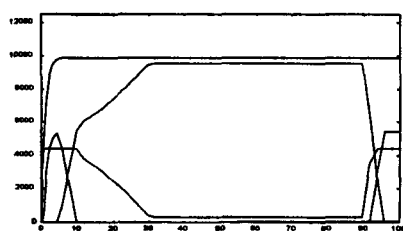
7스텝 공차



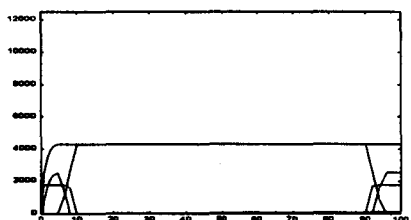
7스텝 만차



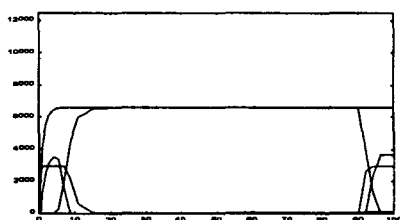
6스텝 공차



6스텝 만차



4스텝 공차



4스텝 만차

그림 3 혼합제동 작용선도

위와 같이 제동제어장치를 설계하여 차량에 설치한 후에 시험선에서 성능시험을 수행한 결과 표 3, 4와 같은 제동실린더 압력 및 감속도가 도출되었다.

표 3 제동실린더 압력 측정결과

노치		공차 BC압력(kg/cm ²)				만차 BC압력(kg/cm ²)			
		Tc1	M1	M2	Tc2	Tc1	M1	M2	Tc2
완해	기준치	0	0	0	0	0	0	0	0
	측정치	0	0	0	0	0	0	0	0
1N	기준치	0.72	0.47	0.47	0.72	0.88	0.62	0.62	0.88
	측정치	0.82	0.62	0.48	0.74	1.05	0.80	0.59	0.93
4N	기준치	1.47	1.25	1.25	1.47	2.08	1.83	1.83	2.08
	측정치	1.58	1.25	1.19	1.52	2.00	1.82	1.72	2.08
7N	기준치	2.21	2.03	2.03	2.21	3.28	3.04	3.04	3.28
	측정치	2.32	2.05	1.96	2.15	3.23	2.91	2.85	3.15

표 4 제동감속도 주행시험결과

구분	공차(km/h/s)		만차(km/h/s)	
	공기	전공	공기	전공
기준	3.5	3.5	3.5	3.5
1회	3.77	3.56	3.71	3.80
2회	3.71	3.67	3.69	3.73
평균	3.74	3.62	3.70	3.77

6. 결론

전동차의 안전운행을 위하여는 원활한 제동작용이 무엇보다 중요하며 특히 에너지절약을 위하여 효율적인 혼합제동력의 분담과 정확한 제동력을 산출해야 정밀정지제어가 가능해진다. 따라서 이번 전동차의 개발을 통하여 이러한 사항들을 증명하였으며 다음과 같은 결론을 제시할 수 있다.

첫째로 원활한 제동작용을 수행하는 방법을 제시하여 검증함으로써 전동차의 안전운행에 대한 방법을 제시하였다.

둘째로 혼합제동시 제동력 분담에 대한 방법을 제시하여 검증함으로써 에너지절약에 대한 방법을 제시하였다.

셋째로 정확한 제동력의 산출을 하고 이를 제어하는 방법을 검증함으로써 향후 경전철 제동시스템과 같은 새로운 시스템에 적용이 가능하게 되었다.

전동차의 개발을 통하여 제동제어시스템을 설계하고 제동제어방법에 대하여 검증하였으며 향후 이 결과를 가지고 경전철 제동시스템에 적용을 함으로써 무인운전 및 정밀정지제어를 수행하도록 할 것이다.

6. 참고문헌

1. Knorr-BREMSE(1995) Brake Engineering Terms and Data
2. D. M. Etter(1993) Engineering Problem Solving with MATLAB(1993)
3. 유진기공(1996) NABCO 제동장치 정비지침서
4. Bernard Friedland(1986) Control System Design
5. 건설교통부(1997) 도시철도차량 표준사양
6. 한국철도기술연구원(1999) 표준전동차 완성차 시험성적서
7. 한국철도기술연구원(2000) 표준전동차 본선시운전 시험성적서