

표준전동차의 상용전제동 제어방법에 관한 연구

A Study on the Control Method of Full Service Brake for Standard EMU

이우동* 변윤섭** 김연수*** 김원경**** 최성규*****
Lee, Woo-Dong Byun, Yeun-Sup Kim, yon-su Kim, Won-Kyung Choi, Sung-kyou

ABSTRACT

The object of the study is to propose the control method of FSB(full service brake) for the standard EMU. Recently, the variable control function was applied to train by introducing the TCMS. When the vehicle in the train fails, the emergency brake of the train should be automatically operated. In case of VVVF EMU operated by the TCMS, the FSB is applied to the train for safety instead of emergency brake. When the FSB is applied to train regardless of its weight and the numbers, the train safety operation may not be obtained. Therefore, the FSB force which considers its weight and numbers should be applied to the train. This paper describes the blending brake control for standard EMU. The control algorithm of the FSB is proposed and its simulation was carried out by using MATLAB.

1. 서 론

열차의 안전운행에 있어서 제동작용의 역할은 매우 중요하다. 특히 근거리 운행을 주목적으로 하는 도시철도차량의 경우에는 노선마다 정해진 감속도를 일정하게 유지하여 쾌적하고 안전하게 열차를 정지시켜야 한다. 전동차의 경우에는 통상 구동차 및 부수차를 1 유니트로 하여 마찰제동과 전기제동을 병용하는 혼합제동을 수행하는 데 전기제동이 실패할 경우에는 마찰제동을 100% 작용하여 열차를 안전하게 정지시킨다. 일반적으로 편성열차에서 전기제동이 실패한 차량은 마찰제동이 작용하는 데 마찰제동력이 부족하거나 상용제동작용이 불가능할 경우에는 열차를 정지시키기 위해 상용전제동이나 비상제동을 작용시킨다. 열차의 안전운행을 위하여 편성열차에서 어느 한 차량이 고장나면 비상제동을 작용시켜야 하나 최근에 와서는 정상차량에 상용제동지령을 최대로 하여 열차를 정지시키는 상용전제동을 수행하고 있다. 그러나 차량의 중량과 고장차량의 수에 관계없이 상용전제동을 수행할 경우에는 목표감속도를 달성하지 못하여 열차의 안전운행에 영향을 주게 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 상용전제동의 방법을 고찰하여 전동차의 안전운행을 위한 상용전제동의 제어방법을 제시하고자 한다.

* 한국철도기술연구원 선임연구원 비회원
** 한국철도기술연구원 주임연구원 비회원
*** 한국철도기술연구원 주임연구원 정회원
**** 한국철도기술연구원 책임연구원 정회원
***** 한국철도기술연구원 수석연구원 정회원

2. 표준전동차의 제동장치

표준전동차의 제동장치는 그림 1에서 보는 바와 같이 제동제어기, 제동작용장치, 공기압축기, 제동실린더 및 공기배관 등으로 구성되어 있다. 상용제동시에는 주간제어기 및 ATC에서 발생한 제동지령이 CC를 통하여 ECU로 전송되고 ECU에서는 제동지령과 용하중신호를 검지하여 필요한 요구제동력을 계산하고 Inverter에 전기제동을 지령한다. 요구제동력을 전기제동이 만족하지 않으면 ECU는 Tc Car에 마찰제동력을 지령하고 부족분을 M Car의 마찰제동으로 보충하는 혼합제동을 수행한다. 혼합제동방식은 T Car 및 M Car를 1 유니트로 하는 혼합제동방식을 적용하고

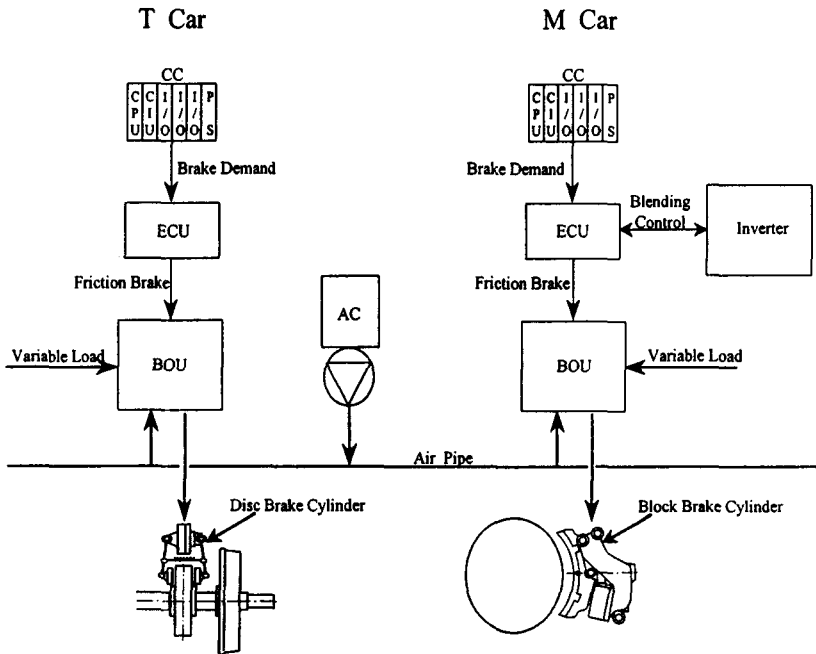


그림 1 표준전동차의 제동장치 구조

혼합제동작용은 ECU에서 수행한다. 마찰제동에 필요한 공기는 M1 및 M2 Car에 설치 주공기 압축기에 의하여 공급되며 주공기배관은 싱글배관으로 구성되어 있다.

3. 표준정동차의 혼합제동 및 상용전제동 제어방법

상용전제동은 편성열차에서 어느 한 차량의 제동력이 상실될 경우에 다른 차량에서 제동력을 보충하기 위해 사용하는 제동작용이다. 표준전동차의 경우에는 Inverter 및 ECU 고장, 출입문 열림 검지, ATO고장 및 Dead Man 동작시에 상용전제동을 출력한다. 4량 편성의 표준전동차는 Inverter 1대이상 고장, ECU 1대, 제동차단콕 2개소 이상, 제동불완해 1개이상 일때, 8량 편성의 서울시 7&8호선 전동차는 VVVF 2대이상 고장, ECU 2대, 제동차단콕 3개소 이상, 제동불완해 1개이상 일 때 상용전제동을 출력한다. 상용전제동의 제어방법은 편성차량의 구성 및 혼합제동의 방법 등에 따라 달라질 수 있다.

비상제동을 체결하지 않고 상용전제동을 작용할 때 정상차량의 제동력만으로도 편성차량의 요구제동력 및 목표감속도를 만족할 수 있는가에 대한 문제가 제기될 수 있다. 목표감속도를 만족하지 않으면 비상제동이 자동으로 체결되기 때문이다. 정상차량의 제동력이 요구제동력보다 클 경우에는 상용전제동을 출력함으로써 큰 감속도로 정차위치 이전에 열차가 정지하게 된다. 정상차량의 제동력이 요구제동력보다 작을 경우에는 상용전제동을 출력하여도 작은 감속도로 인하여 편성열차는 정해진 정차위치를 넘어 정지하여 충돌할 우려가 있다. 이때에는 열차의

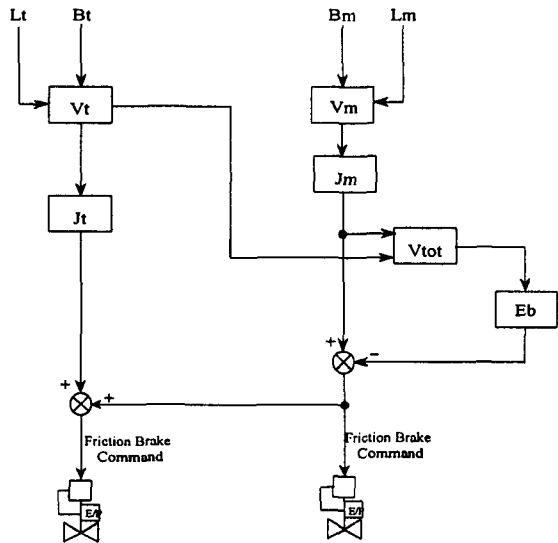
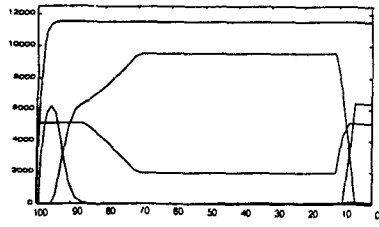


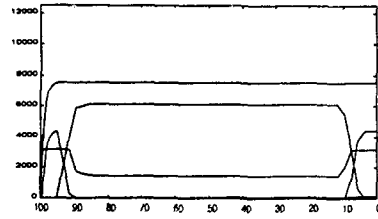
그림 2 표준전동차의 혼합제동 제어흐름도

안전운행을 위하여 비상제동을 체결하는 것이 바람직하다. 이러한 현상을 피하기 위하여 상용전제동에 대한 제어방법을 달리해야 한다. 그림 2는 표준전동차의 혼합제동 제어흐름도를 나타내는 것으로서 이에 대한 제동작용을 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션하면 그림 3과 같은 혼합제동선도가 나타난다[2]. 이 제동작용선도에서 전기회생제동은 서울시 7, 8호선의 회생제동달성율을 이용한 것이다[3].

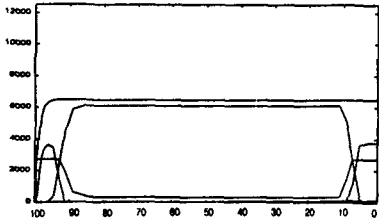
그림 3에서 보는 바와 같이 열차의 초기제동시와 정차직전의 제동시를 제외하면 열차를 전기제동만으로 정지시킬 수가 있다. 반면에 Inverter가 고장나서 전기제동이 불가능하더라도 마찰제동만으로 열차를 충분히 정지시킬 수 있으므로 Inverter 고장시에 차량의 중량 및 속도를 고려하지 않고 상용전제동을 지령할 경우에는 목표감속도를 달성하지 못하고 결국은 비상제동을 체결해야 한다. 따라서 ECU가 고장난 경우와 Inverter가 고장난 경우에 상용전제동의 제어를 다르게 해야 한다. 표 1은 요구제동력과 차량이 고장났을 때 작용할 수 있는 작용제동력을 나타낸다. 4량 만차인 경우에 필요한 제동력은 23,044kgf인 반면에 1량이 고장났을 때 작용할 수 있는 제동력은 17,910kgf이므로 상용전제동을 하더라도 열차의 필요한 제동력은 모자라게 된다. 편성차량단위가 클수록 상용전제동이 용이해지고 적을수록 상용전제동이 어렵기 때문에 최대감속도이면서 만차인 경우에는 비상제동을 체결하는 것이 바람직하다.



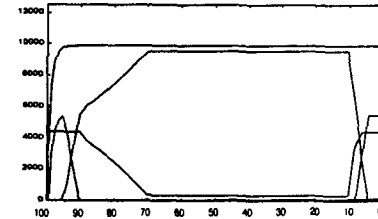
7스텝 만차



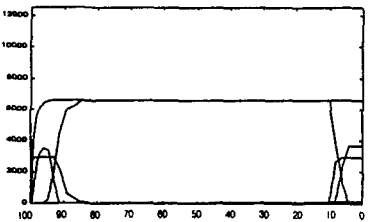
7스텝 공차



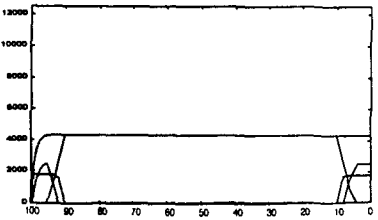
6스텝 만차



6스텝 공차



4스텝 만차



4스텝 공차

그림 3 표준전동차의 혼합제동 작용선도

도표 1 표준전동차의 차량편성별 제동력[1]

차종		4량	6량	8량	10량	차종	4량	6량	8량	10량	
Tc(1)	공차	11,964	19,312	26,659	34,007	1	공차	2,177	3,235	4,293	5,351
	만차	17,910	29,222	40,534	51,846		만차	3,318	4,947	6,576	8,205
	최대	21,492	35,066	48,641	62,215	2	공차	4,353	6,469	8,586	10,702
Tc(2)	공차	8,812	16,160	23,508	30,855		만차	6,637	9,894	13,152	16,410
	만차	12,777	24,089	35,400	46,712	3	공차	6,530	9,704	12,878	16,052
최대	15,332	28,907	42,480	56,054	만차		9,955	14,842	19,728	24,615	
M1(1)	공차	10,709	18,057	25,405	32,752	4	공차	8,707	12,939	17,171	21,403
	만차	16,656	27,967	39,279	50,591		만차	13,273	19,789	26,305	32,820
	최대	19,987	33,560	47,135	60,709	5	공차	10,728	15,942	21,157	26,372
M1(2)	공차	6,303	13,651	20,998	28,346		만차	16,355	24,383	32,411	40,439
	만차	10,267	21,579	32,891	44,203	6	공차	12,904	19,177	25,450	31,723
	최대	12,320	25,895	39,469	53,044		만차	19,673	29,330	38,987	48,644
Tc+M1 (1)	공차	7,558	14,905	22,253	29,601	7	공차	15,116	22,463	29,811	37,159
	만차	11,522	22,834	34,146	45,458		만차	23,044	34,356	45,668	56,980
	최대	13,826	27,401	40,975	54,550						
Tc+M1 +M2	공차	-	-	17,847	25,295						
	만차	-	-	27,757	39,069						
	최대	-	-	33,308	46,883						

4. 개선된 상용전제동 제어방법

상용전제동시에 표준전동차의 최대감속도는 3.5km/h/s가 되어야 한다[5]. 표준전동차는 목표 감속도가 일정시간이상 유지되지 않을 시에 비상제동으로 자동절환하도록 되었다. 따라서 비상 제동을 작용시키지 않고 열차를 정지시키려면 정상차량의 제동장치에 상용제동력을 증가시켜 목표감속도를 일정하게 유지하여야 한다. 그림 4는 4량 편성의 열차에서 T Car 한 량이 고장났을 경우에 나타나는 제동작용선도이다.

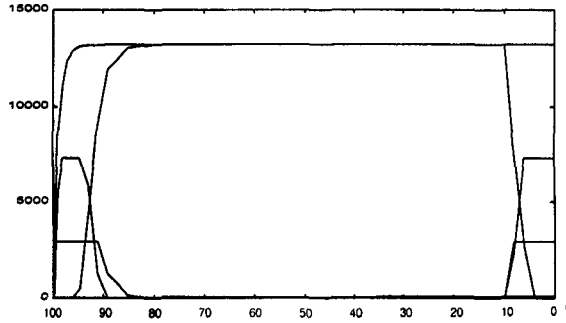


그림 4 Tc Car 고장시 표준전동차의 제동작용선도

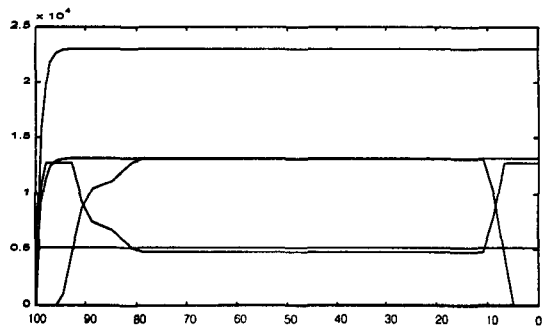


그림 5 상용전제동출력시 표준전동차의 제동작용선도

Tc Car 고장으로 전기회생제동이 100%달성되어도 그림 4에서 보는 바와 같이 일정속도구간에서 Tc Car고장에 해당하는 제동력이 부족하게 된다. 또한 부족한 제동력을 정상차량에서 분담하기 위하여 만차가 아니고 최대감속도가 요구되지 않는 열차에 상용전제동을 지령하면 그림 5에서 보는 바와 같이 실제 제동력에 비하여 요구제동력이 커져 전기제동구간을 제외한 일정속도구간에서 마찰제동이 너무 커지는 결과가 발생한다. 이러한 현상을 막기 위하여 그림 6와 같이 상용전제동 제어알고리즘을 사용하여 제동작용을 수행하였다. 차량이 정상적으로 운행시에는 정상적인 제동지령이 수행되다가 어느 차량이 고장시에는 각 차량의 용하중을 정확히 검출하고 제동력을 계산한 후 고장차량에 해당하는 제동력을 감안하여 상용전제동 지령을 발생하도록 제어알고리즘을 구성하였다. MATLAB을 이용하여 이 제어알고리즘을 시뮬레이션의하면 그림 7과 같은 제동작용선도가 나타난다. 이 작용선도에 의하면 Tc Car가 고장나더라도 일정속도구간에서 부족한 제동력을 정상차량이 정확히 확보함을 보여주고 있다.

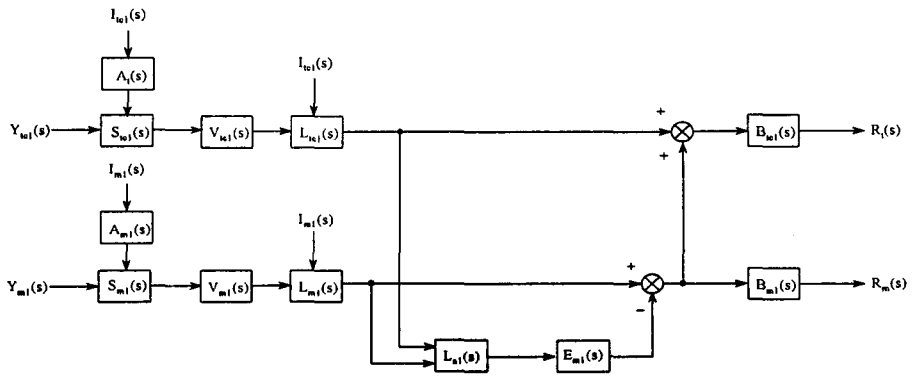


그림 6 개선된 상용전제동 제어블럭선도

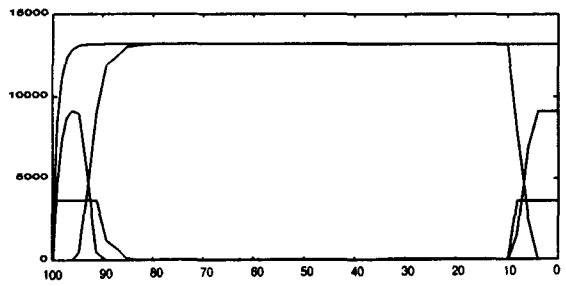


그림 7 개선된 상용전제동의 제동작용선도

5. 결론

도시철도차량은 쾌적한 서비스 제공, 운영치의 경영수지 개선 및 유지보수의 용이성을 위하여 기존의 수동제어방식에서 자동 및 무인제어방식으로 제어시스템이 개발되어 가고 있다. 자동 및 무인제어방식에서 가장 고려해야 할 점은 열차의 안전성을 확보해야 한다. 이번 연구를 통하여 편성열차에서 어느 차량의 고장시에 수행되는 상용전제동 제어방법의 문제점과 그 대안을 제시하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째 편성차량에서 어느 차량이 고장나면 고장난 차량의 제동력만을 보상하는 상용제동 지령을 출력해야 정확한 제동력을 확보할 수가 있다.

둘째 편성열차가 만차이고 최대감속도가 요구될 때 편성열차에서 1개이상의 차량에 있는 제동관련장치가 고장나면 비상제동이 작용해야 열차의 안전이 확보된다.

셋째 Inverter가 고장나더라도 열차의 제동력은 원활히 확보된다.

위에서 제시된 결과들은 정확한 회생제동 제환신호에 의한 해석결과가 아니고 단지 마찰제동 제어알고리즘만을 이용하여 해석한 결과이며 이 결과를 바탕으로 열차에서 어느 차량의 고장시에 작용시키는 상용전제동 제어방법에 대한 방향을 제시하기 위함이다. 따라서 향후 회생제동 제어알고리즘에 대한 연구와 마찰제동시에 고려해야 할 설계파라미터들을 연구하여 추가 보완할 것이며 해석결과들을 표준전동차의 성능시험을 통하여 입증하고 도시철도차량에 적용하도록 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