

도시철도시스템을 위한 완전전기제동시스템 적용에 관한 연구

A Study on Application of Pure Electric Braking System for Urban Transit System

이한민, 김길동, 오세찬, 이장무, 박성혁
Hanmin Lee, Gildong Kim, Sehchan Oh, Changmu Lee, Sunghyuk Park

Abstract - The pure electric braking system need to be developed to stop the electric train to zero speed by electricity. This system has advantages like reduction of weight, maintenance cost, noise, and dust generated by disk friction. Therefore, we will study this system for Korean urban transit system.

Key Words : 도시철도시스템, 완전전기제동, 전기회생

1. 서론

정부의 복지정책과 문화생활의 질적 향상으로 도시철도 시스템에 대해서도 승차감 향상과 쾌적함 그리고 사용의 편리성 등에 대한 요구가 커지고 있다.

또한 전 세계적으로 환경오염의 영향이 심각해지고, 환경규제가 강화되면서 친환경적인 도시철도 차량시스템의 필요성이 대두되는 시점에서 경제성과 친환경적인 차세대 도시철도 시스템의 기술개발이 필요해지고 있다.

위의 요구에 대응한 차세대 도시철도 추진시스템의 핵심 개발기술로 완전 전기회생 제동방법 개발 기술이 주요 기술이 된다.

기존 시스템에서, 동력차의 제동방법은 전기제동과 공기제동이 함께 혼합되어 제어된다. 전기회생제동을 Full로 사용하지 못하여 전기적 손실을 가지고 있다.

공기제동 체결시에는 소음과 진동이 심하게 발생하여 승객이 느끼는 승차감이 떨어진다.

따라서, 완전 전기제동 기능을 탑재한 차량을 연구하고자 한다.

2. 해외 사례

완전 전기제동시스템이란 영속도(Zero Speed)로 제동이 가능한 혁신적인 전기제동을 개발하는 것이다. 완전 전기회생제동의 적용은 많은 곳에서 적용시험을 실시하였다. 동일본 전철은 5량과 10량성의 차량 구성으로 AC Train을 3년간 영업운전을 실시하였으며 현재에는 상용화를 준비 중에 있다. 현재 상용화에 적용 중에 있는 차량은 오다큐 전철로 VSE50000로서 관광열차 운전에 적용하고 있다. 이는 직접구동 전동기가 아닌 기어로 연결되어 있고, 완전 전기제동을 구현하고 있으며 그 성능은 우수한 것으로 판단되고 있다. 그 외는 히다찌에서 견인기관차로 하이브리드 차량을 구성하여 완전 전기회생 제동 알고리즘을 탑재하여 시험을 마쳤으며 시험결과 및 파형을 분석한 결과 제동성능이 우수한 것으로 확인 되었다. 특히 회생제동 성능을 높이기 위해 배터리 전압을 이용하여 회생전압을 증가시켜주는 회로가 추가 되어 있는 것이 특징이 있다.

3. 완전 전기 제동 시스템

완전 전기제동이 개발된다면, 이는 상당한 이점을 제공하게 될 것이다. 완전 전기 제동을 사용함으로써, 보다 효율적인 감속과 보다 가벼운 제동장치를 위한 자동열차제어의 개발이 실현될 것이며 유지보수가 거의 필요 없는 결과를 얻게 될 것이다. 속도센서가 속도를

저자 소개

- *이한민 : 한국철도기술연구원 차세대진동차연구팀 선임연구원
- *김길동 : 한국철도기술연구원 차세대진동차연구팀 책임연구원
- *오세찬 : 한국철도기술연구원 차세대진동차연구팀 주임연구원
- *이장무 : 한국철도기술연구원 차세대진동차연구팀 선임연구원
- *박성혁 : 한국철도기술연구원 차세대진동차연구팀 선임연구원

정확하게 감지할 수 없는 저속에서 완전 전기 제동의 안정적인 관리를 위해서는 새로운 제어 알고리즘의 개발이 필수적이다. 따라서 완전 전기 제동을 위한 새로운 정지 알고리즘을 개발해야 하겠다.

영속도로 제어할 수 있는 완전 전기 제동 장치의 개발은 전기 제동의 우수한 반응력으로 인해 다른 제동장치에 의지하지 않고도 정지 제어를 할 수 있다. 영속도 제어를 통해 다음과 같은 이점을 얻을 수 있다.

- 브레이크 슈의 교체 등 유지보수 업무의 감소
- 기계적인 제동 장치의 중량 감소 및 감속을 위한 뛰어난 자동 열차 제어의 실현.

최근에는 회생제동장치가 전차의 전기 제동 장치로 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 재생부하가 부족하거나 전기 제동의 제동력이 부족할 경우, 기계(공기압 제동)가 전기 제동을 대신하여 사용되고 있다. 즉, 낮은 속도에서 인버터가 기계적인 제동장치의 사용을 필요로 하지 않음에도 불구하고 여전히 기계식 제동 장치는 영속도로의 제동을 위해 저속 범위에서 사용되고 있다.

따라서, 완전 전기 제동의 차량을 개발해야 하며, 일정한 기울기($\pm 20\%$)가 있는 경사지에서도 차량을 정지시키고 특정 시간 동안 그 정지 상태를 유지할 수 있는 제어 모델을 개발해야 하겠다. 하지만 비상시, 정차시에는 여전히 공기제동이 사용되어야 한다.

결국, 이 목적을 달성하기 위해서 차량의 속도가 거의 제로에 가까울 정도로 낮은 범위에 있을 때에도 공기압 제동이 작동하지 않도록 하는 장치를 제작할 필요가 있다.

4. 현 제동장치

그림 1은 전공 제동의 기능도를 보여주고 있다.

- (1) 정지할 때, 차량 기관사는 정지를 위해 제동 노치를 동작시킨다.
- (2) 제동력은 제동제어장치(BCU)의 ROM에서 읽게 되는 제동 패턴(제동명령)에 따라 동작을 시작하며 이는 선택한 제동 노치와 그에 따라 주어지는 중량에 따라나 경우에 따라서 모멘트 속도에 따른다.
- (3) 이후, 제동력 시작을 위한 명령이 BCU에서 공기압 제동 인터페이스로 전달되는데 이는 전공 변환 밸브(EP 밸브)를 요구한다.
- (4) 일부 제동력은 전기 제동에 의해 얻게 된다. 이 부분은 BCU에서 패턴으로 읽게 된다: (3)과 동시에 또는 조금 지난 후에, BCU는 전기 제동력(준하는 압력) 명령(즉, 전기 제동 패턴)을

모터 제어장치(인버터 등)로 전송한다.

- (5) 전기 제동 패턴을 수신할 때 모터 제어기는 전기 제동력을 발생시킨다. 전기 제동력이 발생하는 동안, 모터 제어기는 전기 제동 유효 신호"와 실제로 발생하는 전기 제동력(또는 이에 준하는 물리량)("전기 제동력 피드백")의 신호를 BCU로 전송한다.
- (6) BCU에서는, 앞서의 전기 제동력 신호를 수신한 후, CPU가 전기 제동력과 제공된 총 제동력 간의 차이를 계산하고 EP 밸브가 공기압 제동을 위한 명령값으로 주어지는 이 차이를 출력하도록 한다.
- (7) 이 상태에서, 전기 제동이 작동을 시작하고 제동력을 증가시키며 브레이크 실린더(BC)의 압력이 감소하며 마찰로 인해 제동력이 감소한다. 공기압에 대한 제동 명령이 없는 이 상태를 initial charge라고 하며 브레이크 실린더 내부의 압력은 초기 봉입된 압력이 유지된다.
- (8) 앞서 살펴본 바와 같이, 브레이크 실린더를 위한 소량의 제동 압력이 그대로 유지되어 전기 제동력이 부족하거나 전기 제동이 가능하지 않을 경우라도 전기 제동을 적용할 수 있으므로 브레이크 라이닝이 디스크 표면에 살짝 접촉하거나 브레이크 슈가 휠 담면에 살짝 접촉하는 상태를 만들어낼 수 있다. 이 상태를 initially charged status라고 한다.
- (9) 전기 제동 피드백 신호에 좌우되는 전기 제동력이 전기 제동 명령(일반적인 전기 제동 패턴 신호)보다 작거나 전기 제동 유효신호가 저기 제동 무효로 인해 사라지게 될 경우, BCU는 그 동안 사용되지 않은 공기압 제동을 사용하기 시작한다. 차이 값의 계산에 대한 부분은 상기의 (6) 참조. 열차 정지 직전의 저속 범위에 대한 부분은 다음의 두 가지 조건이 있다.
- (10) 사용되는 전기 제동 패턴은 15km/h의 속도에서 제동력을 줄여주고 5km/h의 속도에서 거의 영속도가 되도록 설계된다.
- (11) 앞서 (10)에서 언급한 속도 감소의 결과, 공기압 제동이 작동하기 시작하고, 5km/h 이하의 속도에서만 공기압 제동이 동작하게 된다. 이런 상황을 전기 제동에서 공기압 제동으로 변환(전공 변환)이라고 한다.

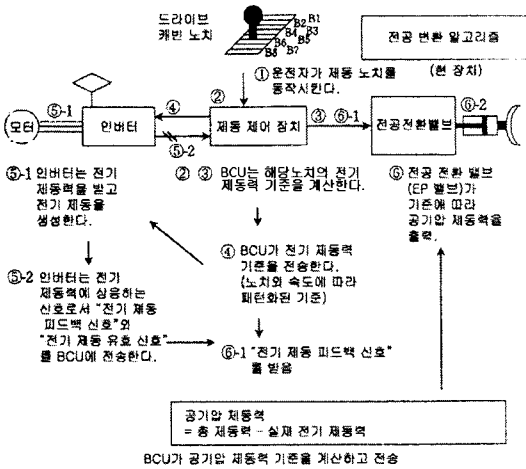


그림 1. 현 전기 명령 제동 장치에서의 전공 변환

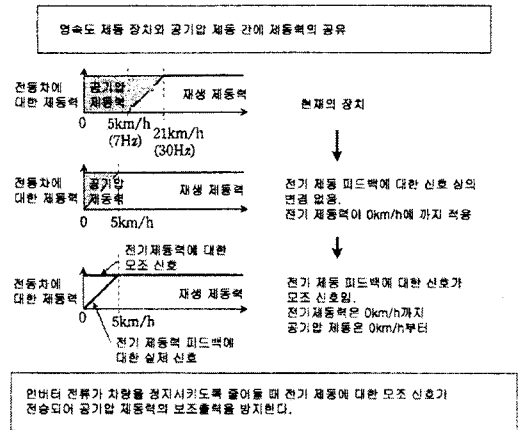


그림 2. 제동 패턴의 수정 (인버터 ROM)

5. 영속도로 제어할 수 있는 전기 제동장치 수정

제동 장치만을 사용하여 전동차를 정지시키려면 다음과 같은 방법이 있다.

BCU의 ROM을 수정하여 ROM의 제동 패턴이 전기 제동장치의 패턴을 따르도록 한다. 다시 말해서, 패턴은 ROM에서 제공되며 이는 공기압 제동이 시작되지 못하도록 저속에서 정지 상태에 이르기까지 속도 범위에서 전기 제동 신호가 유효하게 되는 시간 동안 전기 제동력 = 총 제동력의 관계를 만들어주게 된다.

이와 같은 방법은 유효한 전기 제동 신호가 사라진 직후 공기압 제동이 자동으로 가동을 시작한다는 점이다. 또한 기존 전동차의 제동 방법과 달리, 인버터가 영속도로의 제동 과정에서 전기 제동을 적용한다.

앞서 언급한 대로, 본 연구의 해법은 인버터의 ROM을 교체하여 5km/h 이하의 속도 범위에서 제어할 수 있다는 것이다.

6. 결 론

현재 전공 형식의 제동은 상업용으로 전동차에 주로 사용되는 방식이다. 그러나 인버터 제어의 ROM만 변경하여 완전 전기제동을 실행할 수 있을 것이다.

완전 전기제동으로 인한 소음은 12dB이 작아질 것으로 예상되고 에너지 절감은 기존 보다 전 영역에서 회생에너지에 대한 수용성을 가지므로 약 30%가 상승하게 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Sone, Ashiya : "Pure electrical brake of the railway electric vehicles", Railway cybernetics, vol.34, No.513, pp.194~197, 1997
- [2] Iida et al. : "The running test result of the pure electrical break of the railway electric vehicle", Railway cybernetics, vol.34, No.514, pp.198~201, 1997
- [3] Ogasa, Nagai, Watanabe : "Plant-test Result of All Electrical Braking (Report 1)", National convention Record I.E.E.Japan, 1260, pp.5-389~390, 1998
- [4] Ogasa, Nagai, Watanabe, Toda : "Plant-test of Electrical Braking to Zero Speed for Railway Vehicle", National Convention Record I.E.E.Japan-Industry Application Society-, No.77, pp.257~262, 1998
- [5] Sato, Iida, Hisatomi : "Pure electric braking system test using strt", National Convention Record I.E.E.Japan-Industry Application Society-, No.78, pp.253~266, 1998