

도시철도차량 유압제동의 적용방안 연구

A Study on the Application Method for Hydraulic Brake System of Urban Transit System

이우동*
Lee, Woo-Dong

김길동**
Kim, Gil-Dong

신정렬***
Shin, Jeong-Ryol

ABSTRACT

The hydraulic brake system is recently apply to the AGT system such merit as installation is convenient and brake force is stronger than pneumatic brake system. The hydraulic brake system consist of brake operating unit, electronic control unit, air compressor and pneumatic/hydraulic transducer. The components of it are controlled and designed to perform the function of brake system. Therefore, This paper design and the hydraulic brake system and propose the derrection of development for Urban Transit System.

1. 서론

최근에 도시철도차량은 안전성/신뢰성 확보, 유지보수성/경제성 향상 및 기술경쟁력의 확보차원에서 신개념의 기술들이 적용되는 추세에 있다. 특히 기존 전동차에 적용된 공기제동장치는 공기배관 및 공기통 등 많은 부품들로 이루어져 있어 전동차의 하부에 설치할 때 많은 제약을 있으며 차량중량 증가의 한 원인이 되기도 한다. 국내에서는 철도차량에 유압제동장치가 적용된 사례는 없으나 일본 등 철도선진국에서는 유압제동장치에 대한 연구가 진행되고 있으며 실제로 철도차량에 적용하고 있는 추세이다. 유압제동은 공기제동에 비하여 제동력이 크고 시스템의 구성이 간단하여 설치가 용이하며 차량중량을 경감하는 데도 장점을 가지고 있다. 더구나 차량하부에만 기기를 취부해야 하는 도시철도차량에 유압제동을 적용할 경우, 기기설치에 많은 장점이 있으면 유지보수도 매우 편리한 장점을 지니고 있다. 그러나 유압제동은 도시철도차량에서 요구하는 전기제동과 마찰제동의 혼합제동을 원활히 수행하는 데에 제약사항이 있으며 누설 등 유지보수에 단점이 있다. 그러나 도시철도차량은 전기제동을 90%이상 사용하고 공기제동 및 유압제동과 같은 마찰제동은 5km이하에서 정지할 때만 사용한다는 점을 고려하면 유압제동의 적용을 고려할 만하다. 더구나 국내에 새로운 환경에 필요한 도시철도차량이 본격 도입되면 유압제동장치의 적용사례가 많아질 것이나 아직 국내에서는 이에 대한 연구가 적극적으로 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 유압제동장치를 도시철도차량에 적용 및 설계하는 방법에 관하여 연구해보고 실제로 도시철도차량 기술개발과정에서 이루어진 사례를 분석하며 향후 제동장치의 기술개발 방향에 대하여 제시해 보고자 한다.

* 한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단 선임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단 책임연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단 주임연구원, 정회원

2. 본 론

2.1 도시철도차량 유압제동장치의 구성

도시철도차량의 제동장치는 전동차와 매우 흡사하다. 전동차와 다른 점은 공유압 변환장치가 설치되어 있다는 점에서 전동차와 다르다고 할 수 있다. 최근에 유압에 대한 연구에 많이 이루어져 유압제동장치에 점차 도시철도차량에 적용되고 있다. 유압제동장치는

000- 공압제동실린더에 비하여 크기가 작아 작은 공간에서도 설치가 용이하다.

- 동일한 크기의 공압실린더에 비하여 제동작용력이 매우 크다.
- 제동작용이 매우 신속히 이루어진다.

위와 같은 장점이 있는 반면에 다음과 같은 단점을 가지고 있으므로 국내에는 아직 적용실적이 매우 적은 실정이다.

- 유지보수가 공압제동에 비하여 어렵다.
- 제어성이 공압제동에 비하여 떨어진다.
- 초기 도입비용이 매우 크다.

도표 1 유압제동장치 특징 비교

항목	유압제동시스템	공기제동시스템
질량 kg/량	280	790
압력제어방식	전기신호에 의한 유압제어	전기신호에 의한 공기압력제어
압력축적방식	accumulator	공기탱크
압력변환밸브	전압변환밸브	전공변환밸브
기초제동장치	유압실린더	증압/유압실린더
활주시의 압력제어	점착에 의한 압력제어	활주시에 압력차단

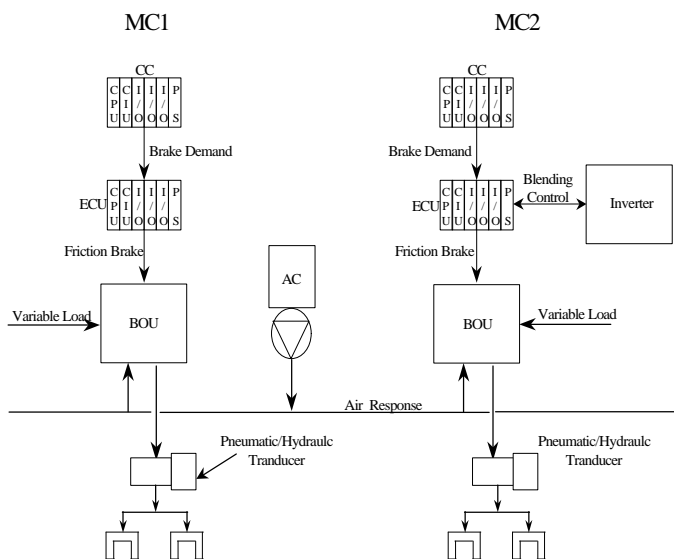


그림 1 도시철도차량 제동장치 구성도

위와 같은 단점이 있음에도 도시철도차량(특히 Low Floor Vehicle)에 경우에는 차량하부에 설치 공간이 제한되어 있기 때문에 유압제동장치를 적용하고 있다. 그림 1은 도시철도차량에 적용된 제동장치 구성도이다. 도시철도차량의 제동장치는 그림 1에서 보는 바와 같이 제동제어기, 제동작용장치, 공기압축기, 공유압변환장치 및 공기배관 등으로 구성되어 있다. 상용제동시에는 주간제어기 및 ATC에서 발생한 제동지령이 CC를 통하여 ECU로 전송되고 ECU에서는 제동지령과 응하중신호를 검지하여 필요한 요구제동력을 계산하고 Inverter에 전기제동을 지령한다. 요구제동력을 전기제동이 만족하지 않으면 ECU는 Tc Car에 마찰제동력을 지령하고 부족분을 M Car의 마찰제동으로 보충하는 혼합제동을 수행한다. 마찰제동력 BOU에서 발생하는 공기신호에 따라 결정되며 이 공기신호는 Pneumatic/Hydraulic Transducer에서 유압신호로 변환되어 마찰제동력을 발생함으로써 제동작용이 발생한다.

2.2 도시철도차량의 혼합제동기능

도시철도차량의 제동제어기능에는 혼합제동기능이 있다. 혼합제동이란 MC1 및 MC2 1유닛으로 하여 차량을 정지시킬 때 전기제동을 우선하여 작용하고 전기제동이 부족하면 마찰제동을 작용시켜 차량을 정지시키는 제동을 말한다. 혼합제동시에 제동작용순위는 다음과 같다.

- 제동초기
MC1 및 MC2 : 마찰제동
- 유닛 요구제동력 < 전기제동력
MC1 및 MC2 : 전기제동
- MC1 요구제동력 < 전기제동력 < 유닛 요구제동력
MC1 : 전기제동, MC2 : 전기제동 + 마찰제동
- 전기제동력 < MC1 요구제동력
MC1 : 전기제동+마찰제동, MC2: 마찰제동
- 전기제동력 실패시
MC1 마찰제동, MC2: 마찰제동

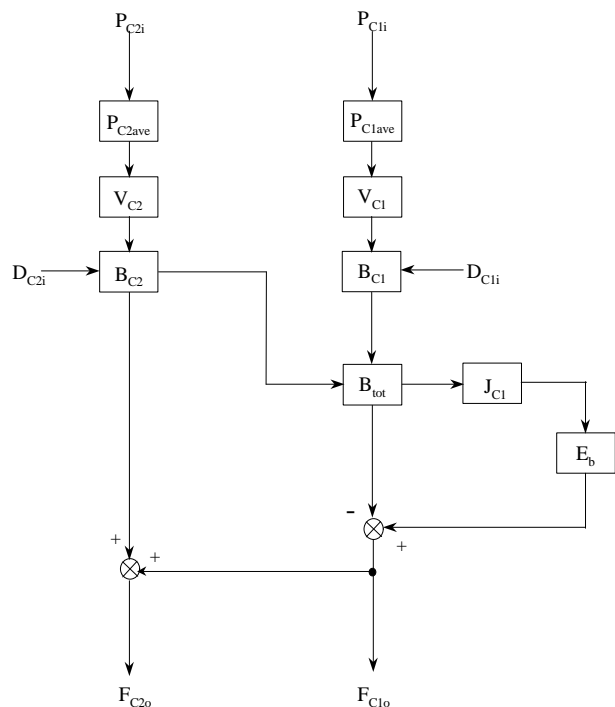


그림 2 도시철도차량 혼합제동제어블럭선도[4]

혼합제동을 수행하려면 제동감속도 파라미터, 응하중 파라미터, 및 저크한계파라미터 등을 고려하여야 하며 그림 2[2]는 이러한 파라미터를 고려한 혼합제동 제어개념을 도식화 한 것이다. 대차의 공기스프링에 설치되어 있는 압력센서에 의해 공기압력이 검출되며 이 압력은 공전변환기에 의해 전압신호로 변환되어 제동제어장치로 입력된다. 이 신호 (P_{c2i}, P_{clj})는 한 차량에 4개가 설치되어 있으므로 공기압을 평균하여야 한다.

부수차의 공기압력 평균값

$$P_{c2} = \frac{P_{c21} + P_{c22} + P_{c23} + P_{c24}}{4} \quad (2-1)$$

구동차의 공기압력 평균값

$$P_{cl} = \frac{P_{cl1} + P_{cl2} + P_{cl3} + P_{cl4}}{4} \quad (2-2)$$

차량의 중량을 계산하기 위하여 공기스프링의 단면적에 차량의 질량을 곱하고 여기에 회전관성질량계수를 곱하면 식 (2-3) 및 (2-4)와 같다.

$$\begin{aligned} V_{c2} &= \eta_{c2} \cdot P_{c2} \cdot A_{c2} \\ &= (1.06) \cdot P_t \cdot \frac{\pi \cdot d_t^2}{4} \quad (2-3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{cl} &= \eta_{cl} \cdot P_{cl} \cdot A_m \quad [] \\ &= (1.14) \cdot P_{cl} \cdot \frac{\pi \cdot d_{cl}^2}{4} \quad (2-4) \end{aligned}$$

차량에 설치되어 있는 열차제어감시장치에서 제동제어장치로 1~7스텝별로 0.5km/h/s~3.5km/h/s[3]의 감속도 지령 (D_{c2i}, D_{clj})이 입력된다. 따라서 감속도 지령에 따라 계산되는 구동차 및 부수차의 요구제동력은 Newton의 제2법칙 $F = m \cdot \dots \cdot a$ 에 의해 계산된다.

$$B_{c2} = V_{c2} \cdot D_{c2i} \quad (2-5)$$

$$B_{cl} = V_{cl} \cdot D_{clj} \quad (2-6)$$

열차의 제동력제어는 부수차 및 구동차를 1유니트로 하여 제어되어야 하므로 부수차 및 구동차의 요구제동력은 합산하여야 한다.

$$B_{tot} = B_{c2} + B_{cl} \quad (2-7)$$

합산된 총요구제동력은 혼합제동우선순위에 의하여 전기제동이 먼저 작용하도록 추진제어장치에 전기제동을 요구하게 된다. 전기제동을 요구하기 전에 차량의 승차감을 확보하기 위하여 저크제한 기능을 추가하였다. 제동장치 설계기준에서 저크제한기준은 0.8 m/s^3 [5]이므로 일정한 시간지연을 갖고 최대감속도로 도달하게 하여야 한다. 즉 1.2125초의 시간지연을 갖도록 설계하는 것이다. 이를 위하여 스텝신호로 입력되는 제동요구신호를 램프신호로 바꾸기 위해 적분제어기를 추가하였다. 여기에다 이득계인을 적용하여 그림 3과 같이 저크제한기준을 만족하도록 설계하였다.

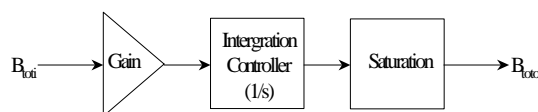


그림 3 저크제어 블록선도

전기제동요구신호는 PWM(Pulse Width Modulation)신호로 변환되어 추진제어장치로 전송되며 이는 0~에서 120kN에 대하여 10에서 ~90%의 값을 가진다. 추진제어장치에 설치되어 있는 견인전동기의 회생특성에 따라 전기제동을 최대한 수행한 후에 달성된 신호를 다시 제동제어장치로 전송한다. 전기제동달성신호도 PWM신호로 변환되어 추진제어장치로 전송되며 이는 0~에서 120kN에 대하여 10에서 ~90%의 값을 가진다.

본 시뮬레이션에서는 다음과 같은 두가지항목에 대하여는 일정한 값을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

- 인버터의 전기회생작용에 대하여 임의의 값(전동차 & 8호선 데이터)를 적용하였다.
- 공유압변환장치에 대한 수학적 모델링이 없이 공압제동력이 유압제동력으로 변환된다고 가정하였다.

2.3 시스템 해석결과

위에서 언급한 도시철도차량의 유압제동장치에 대한 주요제어기능들을 Matlab을 이용하여 제동작용을 Simulink 하면 그림4와 같으면 이를 Simulation하면 그림5와 같은 출력이 나타난다.

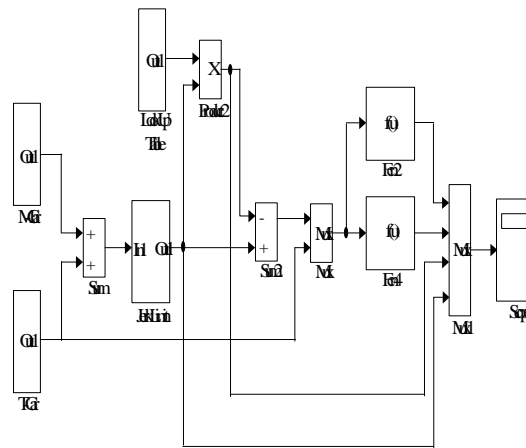


그림 4 Matlab을 이용한 제동작용 Simulink

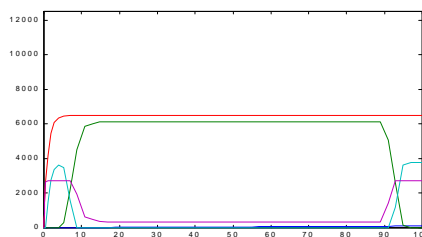


그림 5 제동작용출력선도

그림 5를 살펴보면 요구제동력, 전기제동, MC1의 마찰제동 및 MC2의 마찰제동이 적절히 혼합되어 작용함을 볼수가 있다. 제동초기에는 전기제동이 작용하지 않으므로 MC1 및 MC2의 마찰제동으로 요구제동력을 만족하다가 전기제동력이 상승하면서 이에 비례하여 MC1 및 MC2의 마찰제동력이 하강하고 전기제동력이 최대가 되면 MC2 및 MC1의 마찰제동력은 작용하지 않는다. 차량이

정지지점에 들어서는 구간인 저속구간에서는 전기제동이 하강하면서 이에 비례하여 마찰제동력이 상승하게 된다. 전기제동이 작용하지 않게 되면 MC1 및 MC2의 마찰제동력이 최대가 된다. MC1 및 MC2의 마찰제동력은 차량의 제동균형을 맞추기 위하여 MC2의 마찰제동력이 우선하여 작용하고 부족분을 MC1의 마찰제동력으로 보충된다.

3. 결 론

도시철도차량용 제동장치는 기본적으로는 전동차와 동일하나 공유압변환장치가 추가되어 차량의 경량화를 이루었고 설치공간의 제한으로부터 설계가 가능하도록 하였다. 하지만 현재 도시철도차량이 개발과정에 있으므로 유압제동장치에 대한 검증이 이루어지지 못하였으므로 다음과 같은 몇 가지 사항을 보완하여 향후 유압제동장치에 대한 연구를 진행할 것이다.

첫째 추진장치에 발생하는 전기제동력에 대한 데이터 및 공유압변환장치에 대한 수학적 모델링을 보완하여 시뮬레이션을 수행할 것이다.

둘째 이 설계된 공유압변환장치를 제작 및 시험을 통하여 모델링에서 나온 결과와 비교분석을 수행할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Knorr-BREMSE, Brake Engineering Terms and Data 1995
- [2] D. M. Etter, Engineering Problem Solving with MATLAB, 1993
- [3] 유진기공, NABCO 제동장치 정비지침서, 1996
- [4] Bernard Friedland, Control System Design, 1996
- [5] 건설교통부, 경량전철 차량시스템 3차년도 연구보고서, 2001