

전동차 제동장치 기능분석 연구

이 우 동

한국철도기술연구원

The Functional Analysis for Brake Operating Unit of EMU

Lee, Woo-Dong

Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - There are many new technologies for EMU to secure the facilities' safety/validity and maintenance/economical efficiency and technologic competitiveness. For example, now the EMU is using the blending brake technology with electric brake and pneumatic brake and carrying the various performances such as jerk limitation, variable load and blending brake to stop the motor car safely and efficiently. Now we start applying such new methods, taking the whole inspection prior to the installation by analyzing systems' requirements and introducing various system engineering design tools. In this paper, we suggest how to reduce the errors by prelieminarily inspection for the brake facilities using the tools and inspect the needs to analyze the brake facilities' performances.

1. 서 론

최근에 전동차는 안전성/신뢰성 확보, 유지보수성/경제성 향상 및 기술경쟁력의 확보차원에서 신개념의 기술들이 적용되는 추세에 있다. 특히 기존 전동차에는 전기제동 및 공기제동을 혼합하여 사용하고 있고 전동차를 안전하고 경제적으로 정지하도록 다양한 기능들을 수행하고 있으며 이러한 기능들로 저크제한기능, 용하중기능 및 혼합제동기능 등이 있다. 특히 혼합제동기능은 전동차의 제동작용을 수행함에 있어 매우 중요한 기능으로서 전동차 뿐만 아니라 거의 모든 도시철도차량에 적용되고 있다. 기존에는 전동차를 설계하기 전에 이들 기능들에 대한 사전분석없이 설계 및 제작함으로써 시스템에서 요구하는 기능들을 수용하는데 한계가 있었으며 시스템에서 요구하는 기능들을 제대로 수용하는 지에 대한 사전검증이 제대로 이루어지지 아니하였다. 최근에는 시스템을 개발하기전에 시스템의 요구사항을 만족하는 지를 분석하고 필요한 기능들을 사전에 충분히 검토하기 위한 방법론들이 개발되고 다양한 전산지원도구들이 도입되어 연구에 적용하기 시작하였다.

따라서 본 연구에서도 전산지원도구를 이용하여 제동장치의 주요기능들을 사전에 분석함으로써 시스템요구사항을 만족하는지와 기능구현이 제대로 이루어지는 지를 검토함으로써 시스템 개발 전에 에러를 최소화한 출이고 제동장치 기능분석에 대한 필요성을 검증해보고자 한다.

2. 본 론

2.1 전동차 제동장치 구조

전동차는 일반적으로 구동차 및 부수차를 1유닛으로 하여 제동 및 추진이 이루어지는데 그림 1에서 보는 바와 같이 제동장치는 제동제어장치(ECU), 제동작용장치(BOU), 공기압축기(AC) 및 제동실린더 등으로 구성되어 있다.

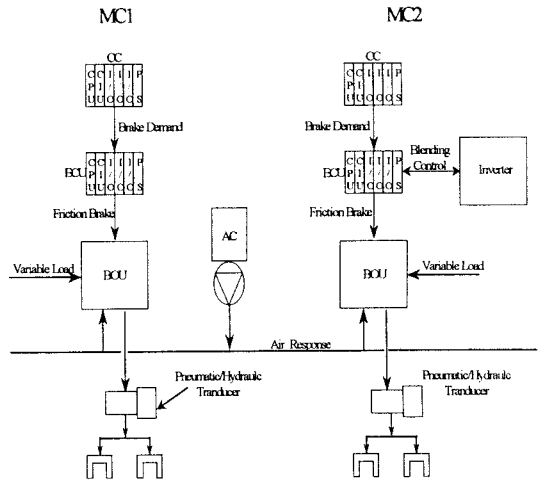


그림 1. 전동차 제동장치 구조

2.2 전동차 제동장치 기능

2.2.1 전동차의 용하중기능

승객의 중량에 따라 제동력을 조절하기 위하여는 용하중기능을 고려하여야 한다. 대차의 공기스프링에 설치되어 있는 압력센서에 의해 공기압력이 검출되며 이 압력은 공전변환기에 의해 전압신호로 변환되어 제동제어장치로 입력된다. 이 신호 ( $P_{c2i}, P_{c1i}$ )는 한 차량에 4개가 설치되어 있으므로 공기압을 평균하여야 한다. 부수차의 공기압력 평균값

$$P_{c2} = \frac{P_{c21} + P_{c22} + P_{c23} + P_{c24}}{4}$$

구동차의 공기압력 평균값

$$P_{c1} = \frac{P_{c11} + P_{c12} + P_{c13} + P_{c14}}{4}$$

차량의 중량을 계산하기 위하여 공기스프링의 단면적에 차량의 질량을 곱하고 여기에 회전관성질량계수를 곱하면 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned}
 V_{\omega} &= \eta_{\omega} \cdot P_{\omega} \cdot A_{\omega} \\
 &= (1.06) \cdot P_t \cdot \frac{\pi \cdot d_t^2}{4} \\
 V_{d1} &= \eta_{d1} \cdot P_{d1} \cdot A_{m1} \\
 &= (1.14) \cdot P_{d1} \cdot \frac{\pi \cdot d_{c1}^2}{4}
 \end{aligned}$$

### 2.2.2 전동차의 저크제한기능

전기제동을 요구하기 전에 차량의 승차감을 확보하기 위하여 저크제한기능을 추가하였다. 제동장치 설계기준에서 저크제한기준은  $0.8 \text{ m/s}^3$ 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. 여기에 이득게인을 적용하여 그림 3과 같이 저크제한기준을 만족하도록 설계하였다.

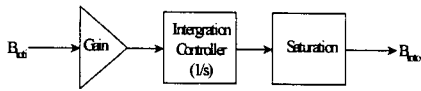


그림 2. 저크제어 블록선도<sup>[2]</sup>

### 2.2.3 혼합제동기능

전동차의 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

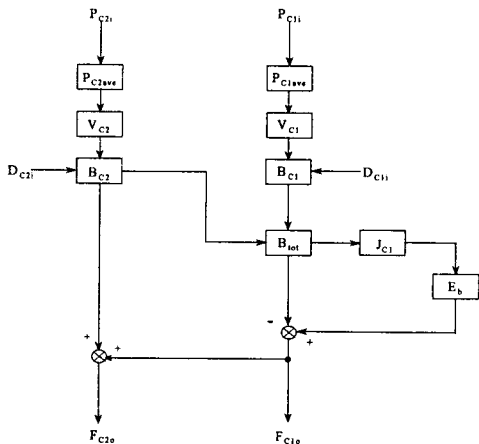


그림 3. 혼합제동제어블럭선도<sup>[3]</sup>

### 2.3 기능 분석

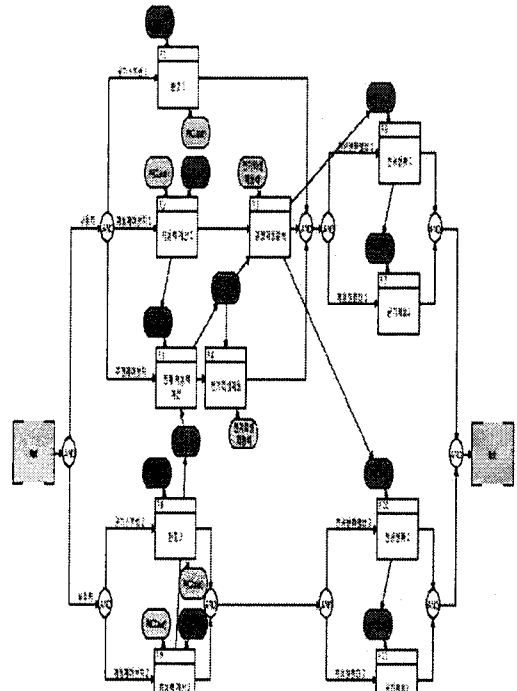


그림 4. 제동장치 기능분석결과<sup>[4]</sup>

제동장치 기능분석은 혼합제동 제어블럭선도에 따라 구동차 및 부수차의 제동작용을 전산지원도구인 코어(Core)를 이용하여 분석한 결과 그림 4와 같은 FFBD(Functional Flow Block Diagram)이 도출되었다. 분석을 위하여 제동기능에 대한 시나리오를 작성하였으며 시나리오에 따라 제동기능을 할당하였다. 분석결과 제동장치에서 요구하는 요구사항을 만족하는 것으로 분석되었고 각 기능별로 명확한 제동기능을 수행하는 것으로 분석결과가 도출되었다.

### 3. 결 론

기능분석은 개발하고자 하는 시스템 요구사항에 따라 기능을 수행하는지를 사전에 검토하여 시스템 개발전에 설계요류를 최소한으로 줄이고 기능분석을 통하여 장치가 수행하고자 하는 기능 및 기능간의 인터페이스를 정의하고자 하는 것이다. 본 연구에서는 기능분석을 제동장치에 적용하여 수행하였다. 본 연구에서 기능분석사례로 도입한 제동장치는 표준전동차 개발을 통하여 이미 검증된 사례이므로 제동장치 기능분석이 요구사항을 충분히 만족하는 결과를 도출하였으나 향후 제동장치에 새로운 기능을 적용하거나 요구사항을 만족하는지를 검토하기 위하여는 기능분석을 반드시 수행하여야 하는 것으로 검토되었다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Knorr-BREMSE, Brake Engineering Terms and Data 1995
- [2] 유진기공, NABCO 제동장치 정비지침서, 1996
- [3] Bernard Friedland, Control System Design, 1996
- [4] Richard de Neufville, Applied Systems Analysis, 1985