

## 표준전동차 혼합제동 기능분석 연구

이 우 동\*

### The Functional Analysis of Blending Brake Control for Stanrard EMU

Lee Woo-Dong

**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. The blending brake takes important parts in braking the cars and it is used in many fields of urban transit. There were many limitations to carry the performances and certificate whether the performances are acceptable in the system or not, because at that time they didn't take the whole prelieminarily inspection. 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.

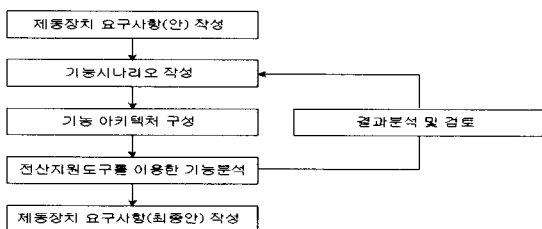
#### 1. 서 론

특히 기존 전동차에 적용된 공기제동장치는 공기배관 및 공기통 등 많은 부품들로 이루어져 있어 전동차의 하부에 설치할 때 많은 제약이 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 전동차에 유압제동을 적용할 경우, 기기설치에 많은 장점이 있으면 유지보수도 매우 편리한 장점을 지니고 있다. 그러나 유압제동은 전동차에서 요구하는 전기제동과 마찰제동의 혼합제동을 원활히 수행하는 데에 제약사항이 있으며 누설 등 유지보수에 단점이 있다. 그러나 전동차는 전기제동을 90%이상 사용하고 공기제동 및 유압제동과 같은 마찰제동은 5km이하에서 정지할 때만 사용한다는 점을 고려하면 유압제동의 적용을 고려할 만하다. 더구나 국내에 새로운 환경에 필요한 전동차가 본격 도입되면 유압제동장치의 적용사례가 많아질 것이나 아직 국내에서는 이에 대한 연구가 적극적으로 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 유압제동장치를 전동차에 적용 및 설계하는 방법에 관하여 연구해보고 실제로 전동차 기술개발과정에서 이루어진 사례를 분석하며 향후 제동장치의 기술개발 방향에 대하여 제시해 보고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 제동 기능분석절차

제동장치 기능분석은 그림 1에서 보는바와 같이 요구사항(안)을 작성하고 기능시나리오를 작성하여 전산지원도구를 통하여 기능아키텍처를 구성하고 기능분석 및 검토 등을 거쳐 최종 제동장치 요구사항을 완성하는 것으로 연구를 수행하였다.



<그림 1> 제동장치 기능분석절차

##### 2.2 표준전동차 제동장치 기능

###### 2.2.1 융하중 기능

승객의 중량에 따라 제동력을 조절하기 위하여는 융하중기능을 고려하여야 한다. 대차의 공기스프링에 설치되어 있는 압력센서에 의해 공기압력이 검출되며 이 압력은 공전변환기에 의해 전압신호로 변환되어 제동제어장치로 입력된다. 이 신호( $P_{e21}, P_{e11}$ )는 한 차량에 4개가 설치되어 있으므로 공기압을 평균하여야 한다.

부수차의 공기압력 평균값

$$P_{e2} = \frac{P_{e21} + P_{e22} + P_{e23} + P_{e24}}{4}$$

구동차의 공기압력 평균값

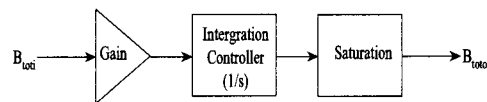
$$P_{e1} = \frac{P_{e11} + P_{e12} + P_{e13} + P_{e14}}{4}$$

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

$$\begin{aligned} V_{e2} &= \eta_{e2} \cdot P_{e2} \cdot A_{e2} \\ &= (1.06) \cdot P_{e2} \cdot \frac{\pi \cdot d_t^2}{4} \\ V_{e1} &= \eta_{e1} \cdot P_{e1} \cdot A_m \quad (1) \\ &= (1.14) \cdot P_{e1} \cdot \frac{\pi \cdot d_t^2}{4} \end{aligned}$$

###### 2.2.2 전동차의 저크제한기능

전기제동을 요구하기 전에 차량의 승차감을 확보하기 위하여 저크제한기능을 추가하였다. 제동장치 설계기준에서 저크제한기준은  $0.8m/s^3$ 이므로 일정한 시간지연을 갖고 최대감속도로 도달하게 하여야 한다. 즉 1.2125초의 시간지연을 갖도록 설계하는 것이다. 이를 위하여 스텝신호로 입력되는 제동요구신호를 램프신호로 바꾸기 위해 직분제어기를 추가하였다. 여기에 이득게인을 적용하여 그림 3과 같이 저크제한기준을 만족하도록 설계하였다.



<그림 2> 저크제어 블록선도

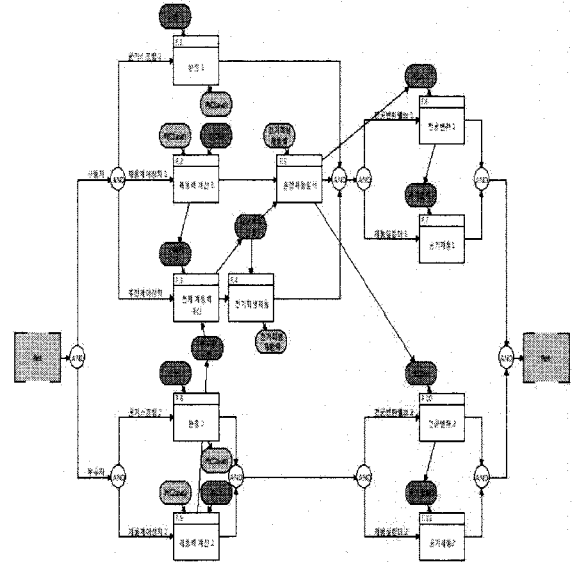
###### 2.2.3 혼합제동기능

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

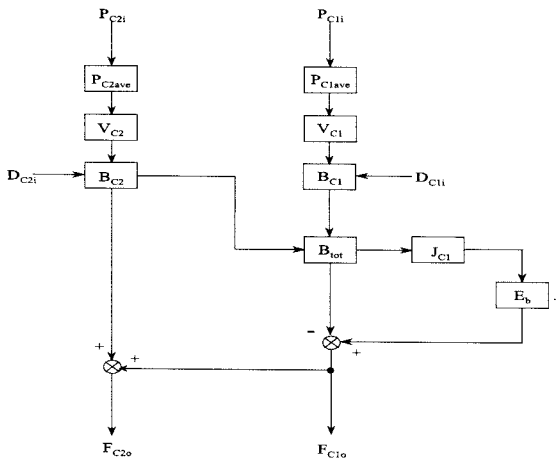
### 2.3 제동기능 시나리오

- 마스콘 또는 ATO에서 제동제어장치로 제동작용신호(Dc)가 전송한다.
- 제동제어장치는 공기스프링으로부터 차량중량(Pc)을 감지한다.
- 제동제어장치는 구동차 및 부수차의 차량중량 및 제동작용신호로 제동력을 계산한다.
- 계산된 제동력(B)에 따라 추진제어장치(E)에 요구제동신호를 전송한다.
- 추진제어장치는 요구제동신호에 따라 전기회생제동을 최대도 수행한다.
- 전기회생제동을 최대도 수행한다.
- 제동작용장치는 다음과 같이 혼합제동작용을 수행한다.
  - 전기회생제동이 요구제동력보다 클 경우, 구동차 및 부수차는 전기회생제동만 수행하도록 한다.
  - 제동작용장치는 전기회생제동이 요구제동력보다 작고 구동차의 요구제동력보다 클 경우에는 구동차는 전기회생제동 및 부수차는 공기제동을 수행한다.
  - 제동작용장치는 전기회생제동이 구동차의 요구제동력보다 작을 경우에는 구동차는 전기회생제동 및 공기제동을 부수차는 공기제동을 수행한다.
  - 회생제동 실패시에는 구동차 및 부수차는 공기제동만을 수행한다.
- 요구제동력신호를 구동차 및 부수차의 전공변환밸브로 전기신호(F)를 전송한다.
- 전공변환밸브는 전기신호를 공기신호로 변환하여 제동실린더로 공기압력을 보낸다.
- 제동실린더는 공기압력에 따라 필요한 제동력을 발생한다.

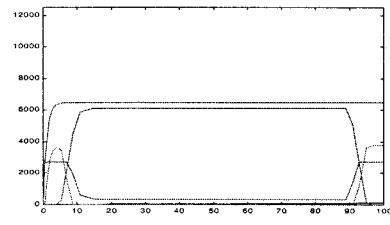


<그림 5> 제동장치 기능분석결과

분석결과 제동장치에서 요구하는 요구사항을 만족하는 것으로 분석되었고 각 기능별로 명확한 제동기능을 수행하는 것으로 분석이 되었으며 이는 실제 표준전동차에 적용하여 시험한 결과 그림 6과 같은 혼합제동을 통한 속도-제동력선도가 도출되었다.



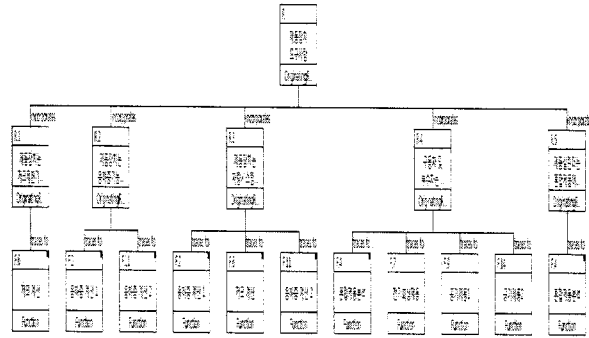
<그림 3> 제동장치 기능블럭선도



<그림 6> 혼합제동을 통한 속도-제동력선도

### 2.4 기능분석결과

제동장치 시나리오를 전산지원도구(Core)를 통하여 분석한 결과 그림 4와 같은 제동장치 아키텍처 및 그림 5과 같은 FFBD(Functional Flow Block Diagram)가 도출되었다.



<그림 4> 제동장치 기능분석 아키텍처

### 3. 결 론

기능분석은 개발하고자 하는 시스템 요구사항에 따라 기능을 수행하는지를 사전에 검토하여 시스템 개발전에 설계오류를 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
- [5] KSX ISO/IEC 15288, 시스템엔지니어링- 시스템 수명주기 프로세스, 2005