

# 철도차량용 전기기계식 제동ECU의 입출력 인터페이스 분석

## Analysis on Electromechanical Brake ECU I/O Interface

이한솔\*, 이호용\*, 김민수\*†

Han Sol Lee\*, Lee Ho-Yong\*, Min Soo Kim\*†

**Abstract** Air brake systems have widely used in railroad vehicles, because of them having a fail-safe function that engages brake when brake pipe is broken. But, these brake systems have some limitations such as heavy equipment weight, temperature dependency, long reaction time. To overcome these limitations, electromechanical brake systems for railroads are being developed in, at least, Europe and Korea. The EMB system should have compatibility with existing vehicles and investigated in whole brake system scope. In this paper, we analyzed interfaces between brake ECU and its peripherals to develop an EMB system that is compatible to existing railroad vehicles.

**Keywords:** Electromechanical Brake, Pneumatic Brake, Brake ECU, Brake Actuator, Railroad Vehicle

**초 록** 철도차량의 공압식 제동장치는 열차분리 등에 의한 제동관의 파손 시 제동이 체결되는 fail-safe 기능을 가져 널리 사용되었으나, 경량화, 항온성, 응답속도 단축 등의 측면에서 한계를 가진다. 따라서 유럽 및 국내에서는 성능향상 및 경량화를 위해 전기기계식 제동장치에 대한 연구가 수행되고 있다. 이러한 전기기계식 제동장치는 제동시스템 단위에서 연구가 수행되어야 하며 기존 철도차량의 제동시스템과 호환성을 가져야 한다. 따라서 본 논문에서는 기존 철도차량과 호환성을 갖는 전기기계식 제동시스템을 구현하기 위해 제동ECU와 주변장치들(TCMS, 추진장치, 신호장치 등)과의 입출력 인터페이스를 분석하였으며, 이를 토대로 전기기계식 제동시스템의 기능을 구현하고자 한다.

**주요어** : 전기기계식 제동시스템, 공압식 제동시스템, 제동ECU, 제동액츄에이터, 철도차량

## 1. 서 론

근래에 들어 높아진 철도차량의 성능 요구사항을 만족시키기 위해 공압식 제동장치의 한계를 극복할 수 있는 완전 전기기계식 제동장치의 필요성이 대두되어, 유럽연합의 철도종합연구개발 계획인 Shift2Rail에서는 기존의 제동장치보다 성능이 향상되고 fail-safe 기능을 가지는 전기기계식 제동시스템에 대한 연구계획을 수립하였다[1]. 또한 국내에서도 도시철도용 전기기계식 제동장치에 대한 연구가 수행되었으며 공압식 제동장치에 비해 우수한 반응시간 및 반복 응답특성을 확인하였다[2].

이에 따라 Brake-by-Wire 방식으로 전기기계식 제동 액츄에이터를 제어할 수 있는 전기기계식 제동 ECU에 대한 연구의 필요성이 높아지고 있다. 기존의 철도차량용 공압식 제동ECU가 개발되어 구성이 알려져 있으나, 전기기계식 제동장치는 공압식 제동장치와 그 구성 및 특성이

† 교신저자: 한국철도기술연구원 광역도시교통본부(ms\_kim@krri.re.kr)

\* 한국철도기술연구원 광역도시교통본부

다르기 때문에 전기기계식 제동장치의 특성에 적합한 전기기계식 제동ECU의 개발을 위해 시스템 단위에서 상호 인터페이스에 대한 분석이 필요하다.

이러한 전기기계식 제동장치의 연구는 제동시스템 단위에서 수행되어야 하며, 기존 철도차량의 제동시스템과 호환성을 가져야 한다. 따라서 본 논문에서는 기존 철도차량과 호환성을 갖는 전기기계식 제동시스템을 구현하기 위해 제동ECU 주변장치(TCMS, 추진장치, 신호장치 등)와의 인터페이스를 분석하였으며, 이를 토대로 전기기계식 제동시스템(제동ECU, 제동액츄에이터, 비상전원공급장치 등)의 기능구현을 수행하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 전기기계식 제동시스템의 구성

#### 2.1.1 전기기계식 제동시스템의 구성요소

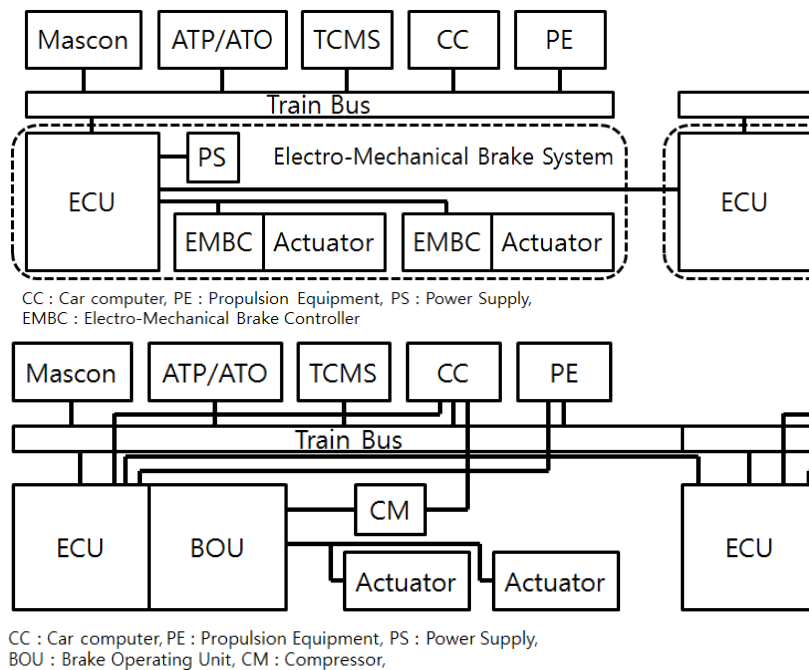


Fig. 1 Comparison of Electromechanical Brake System and Air Brake System Configuration

본 논문에서 제안하는 전기기계식 제동 시스템의 구성 및 기존 공압식 제동시스템 구성을 Fig.1에 나타내었다. 전기기계식 제동 시스템은 모듈 형식으로 구성되어 차량 네트워크를 통한 통신이 모두 각 량마다 설치된 ECU에서 이루어지며, 하부기기로 비상용 배터리가 장착된 전원공급장치(PS; Power Supply) 및 다수의 액츄에이터와 액츄에이터 제어기(EMBC; Electro-Mechanical Brake Controller) 세트를 가진다. 2량의 ECU간은 서로 동력차량-부수차량 쌍(Pair)로 연결되어있어 크로스블렌딩(Cross-blending) 기능을 수행하고, 한 쪽 ECU 고장 시 반대편 ECU를 대체하여 액츄에이터를 제어할 수 있도록 한다.

#### 2.1.2 전기기계식 제동시스템의 기능

Table 1에서는 기존 공압식 제동시스템의 제어기능 및 전기기계식 제동시스템에서 추가된 제어기능을 나타내었다. 이 기능들은 TCMS(CC), ECU, BOU, ASCU, PE등에 분산되어 구현되며, 기능의 분담 방식은 차종 및 각 차량(T-car, M-Car)마다 다소 상이하다.

공압식 제동시스템을 분석한 결과, 전기기계식 제동시스템에서도 요구되는 제어기능들은 동일하나 별도의 ASCU가 존재하지 않으므로 안티스키드 제어를 ECU에서 수행하며, 제동불완해의 감지 및 강제완해 방식에도 변화가 생긴다. 또한, 감시기능 및 진단기능의 경우 공기 압력 및 공기 밸브에 대한 감시 및 진단기능이 제거되는 대신에 EMBC 및 모터에 대한 감시 및 진단기능이 추가되어야 한다. 그리고 PS의 추가로 인해 전원 공급 감시 기능 및 전원 차단으로 인한 비상전원 사용 시 전원부의 스위칭 및 저전력 제어 기능이 추가되어야 하는 것으로 분석되었다. 주기능에 대한 분석을 위해 주차제동, 보안제동 및 구원제동 기능은 고려하지 않았다.

**Table 1** EMB System Control Functions

| Category                     | Properties                 |                                   |  |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--|
| Brake Modes                  | Service Brake              |                                   |  |
|                              | Emergency Brake            |                                   |  |
|                              | Holding Brake              |                                   |  |
| Brake System Functions       | Braking Pattern Generation |                                   |  |
|                              | Jerk Control               |                                   |  |
|                              | Variable Load Control      |                                   |  |
|                              | Crossblending Function     |                                   |  |
|                              | Hysteresis Compensation    |                                   |  |
|                              | Anti-Skid Control          |                                   |  |
|                              | In-shot Function           |                                   |  |
|                              | Monitoring Functions       | Non-Brake Release Detect          |  |
|                              |                            | Insufficient Braking Force Detect |  |
|                              |                            | Logical Error Detect              |  |
|                              |                            | TCMS Display Function             |  |
|                              |                            | Power Supply Monitoring Func.     |  |
|                              | Self-Diagnosis Function    |                                   |  |
| Emergency Power Mode Control |                            |                                   |  |

## 2.2 전기기계식 제동ECU-TCMS 인터페이스

### 2.2.1 기존 공압식 제동시스템의 인터페이스 분석

기존의 공압식 제동ECU 인터페이스에 사용되는 입출력 신호의 종류를 Table 2에 나타내었다.

**Table 2** Air Brake ECU Signal Types

| Signal Type                | Description  | Example  |
|----------------------------|--|--|
| Digital I/O                | Detect existence of current flowing hard-wire (100V)   | Emergency Brake Loop Circuit, Compulsory Release Circuit                         |
| Analog I/O                 | Detect voltage of hard-wire  | Brake Release Command  |
| RS-485                     | Serial, Differential, Half Duplex, 1:n Communication<br>32Drivers, 32Receivers,<br>Only 1 Drivers can be active simultaneously   | TCMS-ECU Communication, Point-to-point communication between electric equipments |
| MVB (Multiple Vehicle Bus) | Subsystem of TCN(Train Communication Network), Use WTB(Wire Train Bus) for intervehicle communication,<br>ESD : RS-485, ~20m<br>EMD : Shielded & Twisted Wire Pair, ~200m<br>OGF : Optical Glass Fiber, ~2000m | Communication between CC(TCMS)-ECU in newer vehicles.                            |

TCMS와 ECU간의 통신방식은 해당 차량의 내부 통신 네트워크 시스템에 따라 RS-485, MVB 등 도입 차종 및 제동시스템 구성방식에 따라 다양한 통신방식이 사용된다. 한편 모든 신호를 TCMS-ECU간 통신망을 이용하여 전송하지는 않고 별도의 인통선(Hard-wire)을 이용하여 전송하는 신호가 있다.

Table 3에서는 기존 공압식 제동시스템의 ECU 및 BOU의 인터페이스 단자를 분석하였다. 그 결과 21개의 신호가 인통선을 사용하여 데이터를 전송하는 것으로 조사되었다. 인통선을 사용하는 ECU 입출력 신호는 아날로그 물리량을 전송하는 신호, ECU 고장 신호, 제동불완해 및 강제제동완해 관련 신호, 크로스블렌딩 기능을 위한 추진장치와의 통신신호이며, 보안제동 신호, 비상제동지령, 주차제동 신호는 BOU에서 직접 공기밸브를 작동시킨다.[3]

**Table 3** ECU and BOU Signals Using Hard-Wire

| Signal Type    | ECU                                  | BOU                  |
|----------------|--------------------------------------|----------------------|
| Digital Input  | NRB, MCV, FO, BCV, CPR               | SB(DC24V), EBS, PBPS |
| Digital Output | EFS, NRBD                            | BCCS1,2              |
| Analog Input   | ASPM/ASPT, BEA(PE)                   |                      |
| Analog Output  | AS, LW, BED(TCMS), BEA, ABRC, AC, BC |                      |

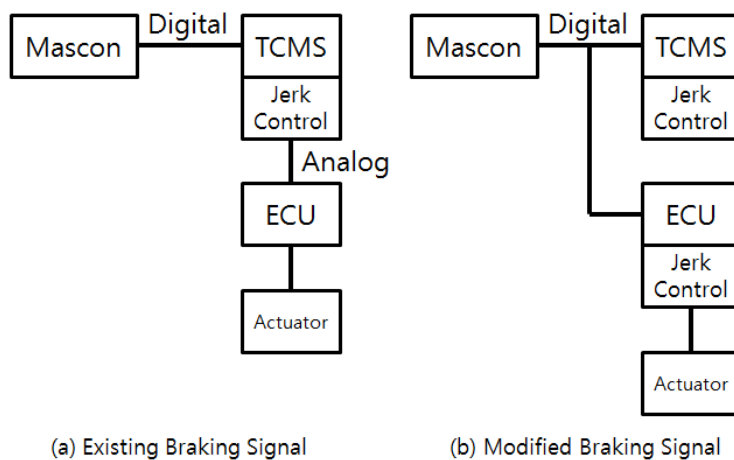
인통선을 사용하는 목적은 아날로그 신호의 경우에 연속적인 데이터 전송을 위해서이며, 디지털 신호의 경우에는 제동장치의 신뢰도 확보를 위한 것으로 분석되었다.

반면에 인통선을 사용하는 경우 차내 배선 및 계전기의 증가로 인해 무게 및 제작의 복잡도가 상승하고, 노후화에 따른 고장에 취약하며[4] 아날로그 신호의 경우 외부 요인에 따라 값에 영향을 받을 수 있는 단점이 있다.

### 2.2.2 전기기계식 제동시스템을 위한 제동지령 전송 방식 개선

기존 공압식 제동시스템 중 일부에서는 주간제어기와 TCMS간의 제동 단수 전송에는 인통선, RS-485, MVB 등의 디지털 통신 방식을 사용하나, TCMS(CC)와 ECU간의 통신은 아날로그 통신으로 이루어지는 것으로 분석되었다. 그 원인으로는 저크제어를 TCMS에서 수행하기 때문에 정수(7단 또는 28단)가 아닌 아날로그 값이 ECU로 입력되기 때문인 것으로 분석되었다.

본 논문의 전기기계식 제동시스템에서는 마스크의 디지털 신호를 그대로 ECU에 전송하여 통신 과정에서의 손실을 저감하도록 하였다. 이러한 개선된 구조에서는 저크제어가 ECU에서 이루어지며, 기존 TCMS에서 저크제어 연산이 계속 이루어지는 경우, 그 값은 무시된다.



**Fig. 2** Comparison of Braking Signal Transmission

## 2.3 전기기계식 제동ECU-하부기기 인터페이스 설계

본 연구에서는 전기기계식 제동시스템에서 상호 인터페이스 되는 기존 장치 및 추가로 구성된 장치 간의 인터페이스를 다음과 같이 설계하였다.

### 2.3.1 ECU-EMBC 인터페이스 설계

EMBC(Electro-Mechanical Brake Controller)는 ECU로부터 신호를 받아 액츄에이터의 전기모터를 구동하기 위한 제어장치이다. 공압식에서는 ECU에서 직접 1량 전체에 제동압력을 공급하는 밸브를 제어하였던 것과 다르게 EMBC에서는 ECU와 통신을 통해 명령을 전달받으며 액츄에이터 마다 1개씩 장착된다.

EMBC는 제동지령 및 완해지령에 따라 구동모터를 동작시키, 유지보수를 위한 패드 교체모드가 있어 제동패드 교체작업을 용이하게 해준다. 차량의 전원공급이 중단되어 PS의 배터리로부터 비상전원을 공급받을 시에는 ECU를 통해 비상전원 여부를 전송받아 저전력모드로 작동한다. 또한, EMBC는 패드의 위치 및 제동 토크 등 액츄에이터의 동작상태를 ECU로 전송하는 역할도 한다.

Table 4 ECU-EMBC Interfaces

| Signal Name          | ABBR. | I/O Type | Source(Input)/<br>Target(Output) | Signal Type | Remarks   |
|----------------------|-------|----------|----------------------------------|-------------|---|
| Braking Command      | BC    | Output   | EMBC                             | PWM         | Braking amount calculated from ECU as percent               |
| Brake Release        | BR    | Output   | EMBC                             | Serial      | Brake Release Command                                       |
| Pad Replacement Mode | PRM   | Output   | EMBC                             | Serial      | Widens Brake Calipers to ease Brake Pad Replacement Process |
| Emergency Power      | EP    | Output   | EMBC                             | Serial      | EP=1 when Emergency Battery is in action                    |
| Pad Position         | PP    | Input    | EMBC                             | PWM         | Actuator Position from Hall Sensor                          |
| Brake Torque         | BT    | Input    | EMBC                             | PWM         | Current of Brake Actuator Motor                             |
| EMBC Fault           | EMBCF | Input    | EMBC                             | Serial      | EMBCF=1 when EMBC is Normal                                 |

### 2.3.2 ECU-CC 인터페이스

CC(Car Computer)는 제동작용에서 TCMS의 입출력을 각 차량에서 중계하는 역할을 담당한다. 즉, ECU-TCMS 인터페이스에서 ECU는 물리적으로 CC에 연결되어 있으며, 그 내용은 ECU-TCMS 인터페이스와 동일하다.

### 2.3.3 ECU-PE 인터페이스

기존 철도차량의 ECU는 크로스블렌딩 기능을 위하여 PE와 직접 통신을 수행한다. 즉, M카의 ECU가 회생제동요구신호(BED)를 PE에 전송하면 PE가 실제 발생한 회생제동력에 상당하는 회생제동 달성신호(BEA)를 ECU에 피드백하여, ECU는 해당 회생제동력 만큼을 필요 제동력에서 차감하고, 남은 요구제동력만큼 공기제동장치에 지령을 내리는 방식이다. 분석 결과, 전기기계식 제동장치로의 전환은 크로스블렌딩 기능에 영향을 끼치지 않아 기존 철도차량의 인터페이스를 그대로 사용할 수 있는 것으로 검토되었다,

### 2.3.4 ECU-PS 인터페이스

PS(Power Supply)는 제동장치에 전원이 공급되지 않는 비상시에 비상배터리를 이용하여 전원을 공급하기 위한 장치이다. PS는 ECU에 배터리의 사용 여부 및 상태를 전송할 수 있어야 하며, 배터리의 유지보수를 위한 테스트 기능을 가져야 한다.

**Table 5** ECU-PS Interfaces

| Signal Name                | ABBR. | I/O Type | Source(Input)/<br>Target(Output) | Signal Type | Remarks                                       |
|----------------------------|-------|----------|----------------------------------|-------------|---|
| Emergency Power            | EP    | Input    | PS                               | Serial      | EP=1 when Emergency Battery is in action      |
| Power Supply Fault         | PSF   | Input    | PS                               | Serial      | PSF=1 when PS is Normal                       |
| Battery Charge Fault       | BATCF | Input    | PS                               | Serial      | Unable to Charge Battery                      |
| Battery Test               | BATT  | Output   | PS                               | Serial      | Battery Test Demand                           |
| Battery Test               | BATT  | Input    | PS                               | Serial      | Battery Test Result                           |
| Battery Fault              | BATF  | Input    | PS                               | Serial      | BF=1 when Battery is Unusable                 |
| Battery Remaining Capacity | BATRC | Input    | PS                               | PWM         | Battery Remaining Capacity                    |
| Battery Drain              | BATD  | Input    | PS                               | Serial      | Battery is about to Drain (EP=1, Low Voltage) |

## 3. 결 론

제안하는 전기기계식 제동시스템은 제동ECU, PS, EMBC 및 액츄에이터로 구성되며, 일부 기능의 역할 분담 및 작용 방식에 따른 기능(EMBC 및 모터 감시기능, 저전력 제어기능)이 추가된다. 이러한 기능의 추가와 제동작용방식의 변화에 맞추어 기존 공압식 제동시스템의 인터페이스를 분석하였고 이를 토대로 전기기계식 제동ECU의 인터페이스를 설계하였다.

또한, 기존 차량과 호환성을 가지기 위하여 기존 제동시스템 인터페이스를 분석하여 차량 네트워크 이외에 요구되는 I/O 채널을 분석하였으며, 또한 기존 차량에서 제동지령을 전달받는 방식을 아날로그에서 디지털로 교체하여 제동성능과 신뢰성을 향상시키도록 하였다.

추후 ECU 구현 및 테스트 베드를 구축하여 전기기계식 제동ECU의 제어성능 및 신뢰성에 대한 시험을 통해 호환성 검증 및 구조 최적화 연구를 수행하여야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Shift2Rail Multi-Annual Action Plan (2015) Shift2Rail Joint Undertaking, pp. 133-134
- [2] Min-Soo Kim, Seh-Chan Oh, Seok-Jin Kwon (2016) Characteristic Test of the Electro Mechanical Brake Actuator for Urban Railway Vehicles, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, 33(7), pp. 535-540.
- [3] Min-Soo Kim, et al. (2015) Development of the Core Technology for High Performance Friction Brake, Korean Railroad Research Institute, Development of the Core Technology for Metropolitan Train Express, pp. 107-113
- [4] Seungyeop Lee, Changkyun Lim, Kwangkyun Shin, Jaegi Kim (2014) Application and Example Analysis of TCMS using Fly by wire, Autumn conference & annual meeting of Korea society for railway, Jeju, Korea, pp. 240-243.