

## A study on the implementation of door control unit for railway trains operable at low and high platforms

Young-Seok Cho\*

\*Director, Dept. of RnD, Wise Service Co. Ltd., Chungbuk, Korea

### [Abstract]

Currently, as the demand for stops in the urban increases resulting from an increase in the supply of express trains, the development of trains capable of operating both high-floor platforms in the urban and low-floor platforms in the suburbs is required.

In this paper, we studied the design and fabrication of a controller for train doors that consists of low and high steps as a plug-in type door mechanism and thus can be used on low and high platforms. This DCU H/W was designed and implemented using 32 bit MCU to control 4 motors, 33 digital inputs and 16 digital outputs. In addition, based on the software life cycle of EN50128, 2 items of operation requirements and 12 items of control requirements were derived, and then they were designed and implemented as operation SW. The implemented SW was tested for each requirement. As a result, we performed tests on 13 items that could be tested in the mock-up out of 14 total requirement items and showed that the requirements were satisfied.

▶ **Key words:** Low-floor platform, High-floor platform, DCU, SW life cycle, requirements, plug-in type door

### [요 약]

현재, 고속열차 보급이 증가하면서 도심구간의 정차 요구가 증대됨에 따라 도심구간의 고상 플랫폼과 시외구간의 저상 플랫폼 모두 운용이 가능한 열차 개발이 요구되고 있다. 본 논문에서는 저상과 고상 플랫폼에서 사용할 수 있는 플러그인 타입으로 저상과 고상 스텝으로 구성된 열차 측 출입문용 제어기의 설계 및 제작에 관하여 연구하였다. DCU H/W는 32bit MCU를 사용하여 4개의 모터를 제어하고, 33개의 Digital Input과 16개의 Digital Output이 가능하도록 설계하여 구현하였으며, 동작 SW는 EN50128의 소프트웨어 수명 주기에 따라 동작 요구 사항 2개 항목과 제어 요구 사항 12개 항목을 도출하여 설계 구현한 후 각 요구 사항에 대한 시험을 수행하였다.

그 결과 전체 요구 사항 14개 항목 중 목업에서 시험 가능한 13개 항목에 대하여 시험을 수행하였고, 요구 사항을 만족함을 보였다.

▶ **주제어:** 저상 플랫폼, 고상 플랫폼, 도어 제어 유닛, SW 생명주기, 요구 사항, 플러그인 타입 도어

• First Author: Young-Seok Cho, Corresponding Author: Young-Seok Cho  
\*Young-Seok Cho (gyscho@gmail.com), Dept. of RnD, Wise Service Co., Ltd.  
• Received: 2023. 05. 31, Revised: 2023. 07. 03, Accepted: 2023. 07. 04.

## I. Introduction

현재 우리나라는 복지 국가로 발전함에 따라 사회 인프라의 확충에 대한 중요성이 증대되고 있다. 특히 지역적 이동이 증가하면서 빠르고 편리한 이동 수단에 대한 요구가 증대되고 있다. 여러 교통수단 중 철도교통은 많은 인원을 빠르고 정확하게 이용할 수 있는 교통수단으로 자리 잡고 있다. 기존의 철도교통은 도시와 도시를 연결하는 광역 철도와 도시 내의 교통기능을 담당하는 도시철도로 분류할 수 있다.

일정 지역 내의 많은 인원이 빈번히 승차와 하차를 반복하며 비교적 느린 속도로 운행하며, 내부 수송을 담당하는 도시철도 차량의 경우 전기를 동력원으로 하는 전기동차의 형태로 빠른 탑승과 하차를 위하여 양쪽으로 개방되는 슬라이딩 타입의 도어(Sliding Door) 형태로 좌·우측에 다수의 출입문이 승차장의 높이와 같게 설치되어 있다[1,2]. 이와 달리, 광역 철도 차량은 이전에 디젤 기관차 또는 전기동 기관차에 객차를 추진하여 이동하는 형태의 열차로 장거리를 빠르게 이동하기 위하여 고속으로 이동 시 승객의 안전과 외부의 소음을 차단하는 구조인 포켓 도어 방식으로 승강문이 차량에 좌·우측에 각각 1개씩 설치되며, 승차장에서 발판을 통하여 승/하차하는 저상 승강장이 일반적이다.

그러나 광역 열차의 도심 승하차 개소가 증가하면서 광역 철도 차량의 저상과 고상 정류장 모두에서 운용할 수 있는 철도 차량용 승강문 시스템이 요구된다[3].

현재 국내 발주되어 개발이 진행되는 열차들은 동력 분산(EMU:Electric Multiple Unit) 열차들로서 준고속열차인 EMU150과 고속열차인 EMU250 등이 있으며, 저상과 고상 승강장에서 모두 사용할 수 있도록 제작되고 있다.

그러나 이들 승강문은 국외 업체의 승강문 시스템을 도입하여 사용하고 있으며, 국내 실정에 적합한 도어 제어 시스템의 개발 및 적용이 필요한 시점이다.

본 연구에서는 저상과 고상 플랫폼에서 사용할 수 있도록 플러그인 형식의 도어와 저상과 고상 스텝으로 구성된 열차 측 출입문 제어기의 설계와 제작에 관하여 연구하고자 한다.

본 논문은 2장에서 열차 측 출입문의 종류와 일반적인 제어 방법에 대하여 논하고, 3장에서는 고상과 저상 발판이 있는 EMU 철도 차량의 측 출입문의 요구 사항 분석과 기능설계, 4장에서는 도어 제어 시스템 구현 및 고찰 그리고 5장에서 결론으로 구성하고자 한다.

## II. Preliminaries

### 1. Related works

#### 1.1 Classification of railroad train doors and domestic trends

##### 1.1.1 Types of side doors for railroad cars and features

철도 차량에서 도어시스템은 승객의 승·하차 공간을 제공하고 승차 중 차량의 외부 환경으로부터 탑승자를 안전하게 보호해주는 기능을 한다. 또한 기존의 단순히 공압을 이용한 도어 개폐 방식에서 개폐 시 작동구간을 세밀히 제어할 수 있는 전기식 구동 체계 및 제어체제로 구성된 전기식 도어시스템으로 전환되고 있다.

전기식 도어시스템은 형식에 따라 포켓 슬라이딩 타입(Pocket Sliding Door), 아웃사이드 슬라이딩 타입(Outside Sliding Door) 그리고 플러그인 슬라이딩 타입(Plugin Sliding Door)로 분류된다[4].

포켓 슬라이딩 타입의 도어는 차체의 내판과 외판 사이에 도어 패널이 이동하여 열림과 닫힘 동작을 수행하는 구조의 도어로, 양방향으로 열리기 때문에 신속하게 열림과 닫힘 동작이 가능하다. 이 방식은 구조가 간단하여 유지보수가 용이한 특징을 가진다. 단점으로 도어 패널이 내벽과 외벽 사이에 동작 공간이 필요하며, 내벽과 외벽 사이에 오물이 유입될 때 처치가 힘들고, 소음차단 및 기밀 유지가 어렵다는 문제점을 가지고 있다.

포켓 슬라이딩 도어는 열림 폭은 990mm ~ 1,300mm이며, 높이는 1,800mm ~ 1,900mm 정도로 여러 명이 동시에 승하차가 요구되는 도시철도 차량에 주로 사용되고 있다. Fig. 1.은 포켓 슬라이딩 타입의 승강문의 구조를 보인 것이다.



Fig. 1. A pocket sliding type door system.

대표적인 적용사례는 브라질 Central EMU 80량, 미국 보스턴 MBTA 75량, 뉴질랜드 Matang EMU 166량, 서울 메트로 7호선 56량, 튀니지 EMU 108량 등에 적용되고 있다. [5]

외부 슬라이딩 타입 도어는 차체의 외판에 도어를 설치하는 방식으로, 차체의 외벽과 내벽의 폭이 줄어 차량의 실내 공간 확보가 용이하여 전동차에 많이 사용하는 형식

이다. 도어가 외부로 노출되어있어 이동 경로에 이물질 유입되더라도 쉽게 제거가 가능한 장점이 있다. 그러나 도어 패널이 차체 외벽에 설치됨에 따라 차량 전체적인 외관이 도어의 동작에 따라 다르며, 소음과 기밀에 어려움이 있다. Fig. 2는 아웃 사이드 슬라이딩 타입의 승강문의 구조를 보인 것이다.



Fig. 2. A outside sliding type door system.

아웃 슬라이딩 도어의 열림은 포켓 슬라이딩 도어와 비교하여 열림 동작경로에 대한 제약이 적어 더 넓게 도어를 개방할 수 있어 1,015~2,100mm 정도이며, 도어의 높이는 포켓 슬라이딩 도어와 유사한 1,900mm 정도이다.

주요 적용사례로는 일본 APM 2량, 광주 지하철 1호선 40량, 부산 지하철 4호선 등이 있다.

플러그인 슬라이딩 타입 도어는 차체의 벽면에 도어 크기의 개구간에 설치가 되어 차량 외벽과 도어 패널이 조립되어 외관을 미려하다는 장점이 있다. 또한 차량 외부와 차단되어 소음의 유입이 적고, 기밀 성능이 우수하여 중속 및 고속열차의 출입문으로 사용된다. 다른 타입의 도어 시스템에 비해 복잡하고 승강문 시스템이 무거운 단점이 있다. Fig. 3은 플러그인 슬라이딩 타입의 승강문의 구조를 보인 것이다.



Fig. 3. A plugin sliding type door system.

주요 적용사례로 부산 김해 경전철 50량, 인천 공항 자기부상열차 10량, 우이신설 경전철 36량, 경춘선 ITX 64량 등이 있으며, 고속 및 준고속 철도 차량인 KTX, KTX 산천, KTX 이음(EMU 250), EMU 150등에 적용되었다.

### 1.1.2 Development trend of doors for local railway vehicles

열차의 승강문은 도시철도용 승강문과 고속열차용 승강문으로 구분할 수 있다. 이들 중 고속열차용 승강문은 KTX 승강문이 대표적이며, 프랑스 Faiveley 사의 승강문과 승강대가 적용되었고, KTX 산천의 승강문은 DU 에이엔아이와 독일 Bode 사의 승강문과 승강대가 적용되고 있

다. 이들 고속열차용 도어와 스텝 시스템에 대한 국산화 실용화 연구가 2019년 완료되었으나[6] 아직 적용사례는 없다. 준고속열차인 ITX 청춘은 전기식 플러그인 슬라이딩 타입의 개폐 방식을 적용하고 있으며, 최고속도는 180km/h이며, 국내에서 설계·제작되었다. 국내의 승강문 컨트롤 시스템 개발은 단순히 승강문을 제어하는 범위를 넘어 무선 통신시스템, 화재 감지 시스템, 기관사 지원 현시 장치(DU, TECA)등과의 연동하여 승강문의 상태를 실시간 감시하고 현재의 차량 상태를 종합적으로 판단하여 화재 등의 이례 사항 발생 시 승강문의 상태를 자동으로 제어할 수 있도록 하고 있으며, 특히 승강문 제어 장치의 고장 발생 시 제어 처리를 이중화할 수 있는 기술을 다양한 방식을 통해 개발하고 있다[7].

철도 차량의 주요 부품 중 하나인 승강문은 철도 차량 안전성을 강화하는 방향으로 진행되고 있으며 이에 따른 안전 인증 강화되고 있어 대부분의 발주에서 SIL 인증이 필수적이다. 또한 차량 고장을 예방하기 위한 정비의 중요성도 함께 증대되고 있으며, 이에 따른 CBM(Condition Base Management) 적용, 신뢰도 기반 관리에 관하여 연구와 활용이 활발히 진행되고 있다[8,9,10,13,14].

## III. Door control unit requirements with low and high step for semi-express railway train

본 연구에서는 KTX-이음 열차의 구조를 참조하여 상부와 하부 발판이 장착된 외부 슬라이딩 플러그인 도어 타입의 승강문을 제어하는 DCU를 대상으로 하여 설계하고 제작한다[11,12]. 도어 시스템의 주요 구성요소는 도어엔진, 잠금장치, 상부와 하부 발판으로 그리고 인디케이터로 구성되며, Fig. 4와 같다. 도어 패널에는 내부 외부에 비상 열림 버튼과 개별 열림/닫힘 스위치가 있다. 저상 및 고상 스텝에는 수동조작이나 차단 기능을 수행하도록 비상 스위치가 있다. 인디케이터는 승강문의 동작을 표시하는 기능을 한다.

### 3.1. Requirement of side door

승강문의 요구 사항은 동작 요구 사항과 제어 요구사항으로 구분할 수 있다.

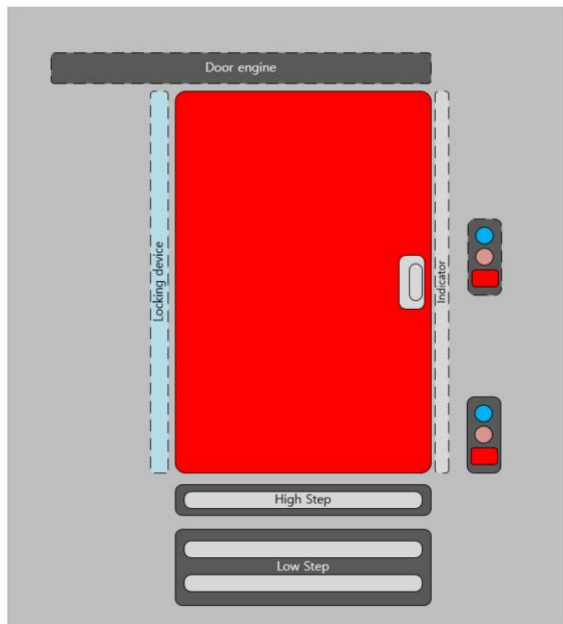


Fig. 4. Door system mechanical configuration diagram(KTX-Connection base)

### 3.1.1. Requirement of door operation

- 승강문은 전기모터에 연결된 스피들을 회전시켜 작동하며, 전기적으로 제어되는 구조이다.
- 고상 승강장용 슬라이딩 발판은 모터에 의하여 작동되며, 작동 시 발판과 고상 승강장의 거리가 최소화되도록 한다.
- 저상 승강장 용 슬라이딩 발판은 모터에 의하여 작동되며, 작동 시 객실에서 승강장 간 발판 높이 간격이 승객의 안전을 고려한 적정한 높이이어야 하며, 승객의 안전성 확보를 위해 작동 시 슬라이딩 발판 이외 동적인 기계장치가 외부로 노출되지 않아야 한다.
- 정상 전압 공급 하에 승강문의 열림 및 닫힘 시간은 아래와 같으며, 필요시 조절이 가능하여야 한다.
  - 고상발판과 승강문 열림/닫힘 시간 :  $7 \pm 1$ 초
  - 저상발판과 승강문 열림/닫힘 시간 :  $11 \pm 1$ 초

### 3.1.2. Requirement of door control

- 운전실로부터 전송되는 신호에 의한 승강문은 차량이 정지상태에서, 저·고상 홈 선택신호와 열림 가능 신호가 전송되고, 열림 명령이 순차적으로 입력되면 개방되어야 한다.
- 또한 닫힘 버튼을 눌러 열림 가능 신호를 제거하면 승강문이 일괄 닫힘 동작을 하여야 한다.
- 승강문의 개별 제어는 운전실에서 열림 가능 신호만을 부여한다. 이 경우 각각 승강대에 설치된 개별 취급 버

튼(저·고상 홈 선택 포함)으로 승강문의 개별 제어가 가능하다.

- 운행 중에는 어떠한 경우라도 승강문이 열리지 않도록 한다. (비상 개방 장치 조작 시에도 개방 불가)
- 어떠한 경우든 승강문이 열림 상태로 주행 시 5km/h 이상이 되면 문이 자동으로 닫히고 잠금장치가 자동으로 잠겨야 한다.
- 닫힘 상태에서 기계적으로 승강문의 잠금장치가 작동되어야 하고, 열림 신호가 수신되거나 비상탈출 장치를 취급하기 전까지 잠김상태를 유지하여야 한다.
- 잠김 상태에서 승강문 전원 또는 차량의 전원이 차단될 경우에도 승강문은 잠김 상태가 유지되도록 한다. (비상핸들 취급 시 개방 가능)
- 승강문 차단 장치는 승무원용 사각 키를 사용하여 도어 패널에 설치된 차단 장치를 작동 후 승강문 시스템의 차단을 실시한다. 승강문 차단 시 기계적으로 승강문을 잠그게 되며, 사각 키를 사용하여 열지 않는 한 어떠한 경우라도 열리지 않아야 한다. 또한, 승강문을 차단하게 되면 각종 전기 신호를 차단하도록 하며, 승강문 열림 신호가 오더라도 닫힘 상태를 유지하고, 운전실로 차단 상태를 전송하여야 한다.
- 유지보수 작업을 위하여 전원 차단이 가능하도록 하며, 전원이 차단된 승강문은 비상 핸들을 작동시켜 수동으로 여달을 수 있어야 한다.
- 승강문과 발판의 열림 및 닫힘 동작 시에는 승강문 열림 및 닫힘 지령을 접수한 시점부터 동작 종료까지 음향 및 점등 경보를 출력하여야 하며, 경보음은 열림 및 닫힘 과정 동안 1초에 1회씩 단속음으로 출력된다.
- 차량 정차 시 또는 지정 속도 이하에서는 비상 개방 장치를 사용하여 닫힌 승강문을 내부에서 개별적으로 개방할 수 있도록 한다.
- 발판이 열리지 않는 경우 문이 열리지 않도록 한다.

## IV. Implementation and experimentation of DCU

### 4.1 Door Control Unit design and implementation

본 연구에서 DCU 설계는 IEC62425(EN50129), IEC62279(EN50128), EN50124 등의 표준 규격의 수명 주기에 따라 수행하였다. 또한 승강문 시스템의 안전 요구수준을 충족하도록 하며, 요구 분석에 의한 시스템 구성은 Fig. 6과 같이 설계하였다. DCU H/W는 32bit MCU를 사

용하여 4개의 모터를 제어하고, 33개의 Digital Input과 16개의 Digital Output이 가능하도록 설계하였고, 그 구성도를 Fig. 5에 그리고 구현된 PBA는 Fig. 6에 보였다.

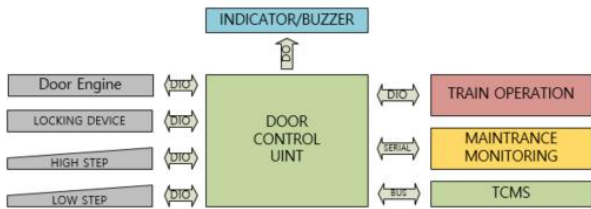


Fig. 5. DCU interface and configuration block diagram with low and high step.

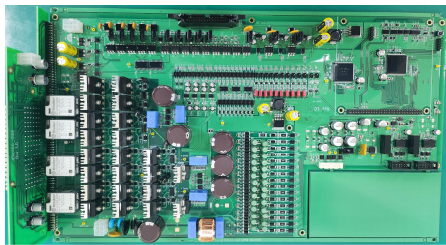


Fig. 6. Main PBA of DCU

시스템 개발 및 소프트웨어 개발은 EN50128 표준에 따른 SW 수명 주기에 따라 수행하였고, Fig. 7과 같다.

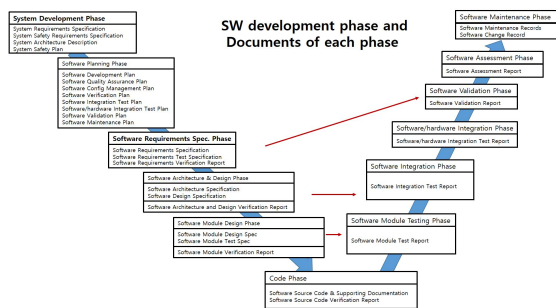


Fig. 7. Software Life cycle for DCU SW Development.

DCU는 전원 투입하면 다음과 같이 승강문 상태에 따라 초기화 동작을 수행한다.

첫 번째, 주요 요소에 대한 오류 여부를 확인하고, 도어 판넬과 상부 및 하부 스텝의 상태를 확인한다.

두 번째, 열차가 정지상태가 아니면 도어와 스텝을 모두 닫힘과 잠금상태가 되도록 동작한다.

세 번째, 도어시스템의 차단 스위치가 활성화되었을 때 차단 장치가 해제될 때까지 대기하고, 비상 레버가 취급되었을 때 차량이나 로컬로부터 열림 또는 닫힘명령이 입력될 때까지 대기한다.

네 번째, 만약 열차가 정지되어 있으며, 도어와 스텝이 모두 닫힘 상태이면 도어 상태를 초기값으로 설정하고 초기화를 종료한다.

다섯 번째, 만약 열차가 정지상태이고, 도어가 열려 있으면, 다음 명령이 수신될 때까지 기다린 후 운전실로부터 닫힘 명령이 수신되거나 local의 닫힘 버튼이 활성화되면 도어와 스텝을 닫음과 잠금 동작을 한 후 도어 좌표시스템을 초기화한다. 도어 시스템의 초기화 처리는 Fig. 8과 같다.

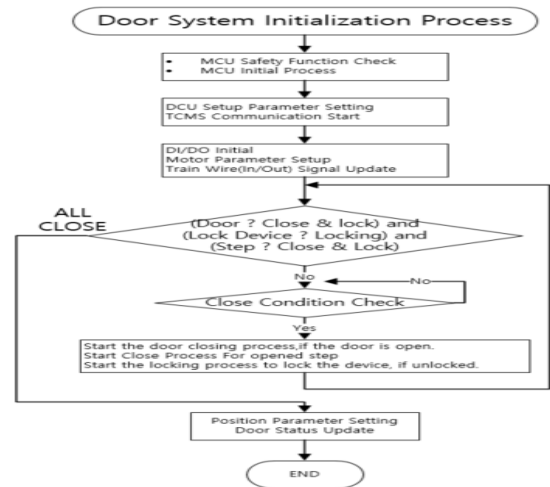


Fig. 8. flow chart for door system initialization

도어 시스템의 열림은 열차가 정지된 상태에서, 운전실로부터 저장이나 고상 플랫폼 선택신호가 입력되고, 열림 가능신호와 열림 신호가 순차적으로 수신되면 승강문의 열림 동작은 Fig. 9와 같이 수행한다.

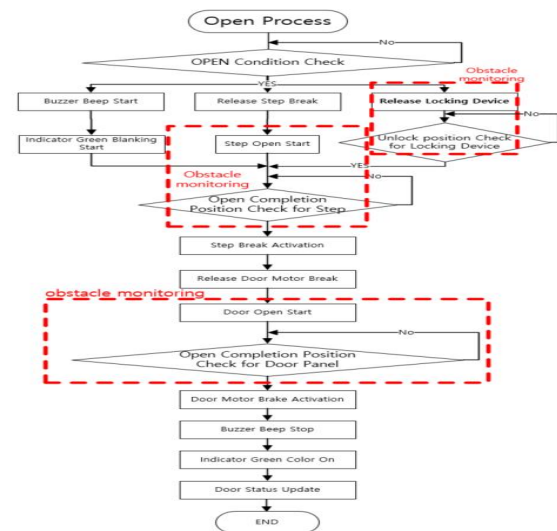


Fig. 9. The Processing diagram of door open.

도어는 열차가 운행 중 또는 운행을 시작하는 경우와 닫힘 명령이 수신된 경우 동작을 동작하여야 한다. Fig. 10은 도어 닫힘에 대한 처리 순서도이다. 도어 시스템은 부저의 울림과 인디케이터의 점등되도록 UI가 구성되었다.



Fig. 10. Process diagram for door close.

도어 시스템은 차량 운행 중인 경우 도어와 스텝을 닫힘과 잠금상태를 유지하여야 한다. 또한 도어의 열림과 닫힘 동작 중에는 장애 발생 여부를 확인하여 처리한다.

소프트웨어 개발은 IAR EWARM 8.21- FS 버전을 이용하였고, 작성 코드에 대한 정적 분석은 MISR-C2012를 적용하였으며, 동적 분석은 복잡도와 커버리지를 만족하도록 개발하였다.

4.2 Experience and Result

구현된 DCU는 도어의 열림 폭이 900mm이고 저상과 고상 스텝은 돌출길이가 각각 150mm와 200/500mm이다. 상부와 하부스텝의 폭은 도어의 열림 폭과 동일한 900mm로 구성된 목업에서 열림과 닫힘 시험을 수행하였다. DCU 정격 입력 전압은 DC100이며, 별도의 전원 공급장치로 DCU에 필요한 전원을 공급하였다. 운전실의 운전신호는 목업에 별도의 지그를 제작하여 사용하였다. 시험은 동작 요구사항과 제어 요구사항 중 기계적인 요구사항을 제외하고 전기적 제어가 가능한 항목에 한하여 확인하였다.

■ 고상 승강장용 슬라이딩 발판은 모터에 의하여 작동되며, 작동 시 발판과 고상 승강장의 거리가 최소화되도록 한다.“의 검증은 고상 스텝의 돌출거리를 측정하였다. 고상 발판의 돌출거리는 150mm +/-5mm로 설계되었다. 목업에서는 돌출거리를 측정하여 평가한다.

Table 1. Checking the distance of the high step protrusion.

1'st	2'nd	3'th
150mm	150mm	150mm

고상 발판의 돌출거리는 Table 2와 같이 확인하였으며, 평균 돌출거리는 평균 150mm로 로 측정되었다.

■ 저상 발판에 대해서도 동일한 실험을 수행하였다. 저상 발판은 상판과 하판이 기계적으로 고정된 2단 구조로, 돌출거리는 각각 200/500mm +/-5mm로 설계되었다.

Table 2. Checking the distance of the low step protrusion.

1'st	2'nd	3'th
497mm	500mm	498mm

저상 발판의 돌출거리를 Table 2와 같이 측정하였으며 평균 돌출 거리는 498.3mm로 측정되었다.







■ 동작시간에 대한 요구사항으로 “정상 전압 공급 하에 승강문의 열림 및 닫힘 시간은 아래와 같으며, 필요시 조절이 가능하여야 한다.

- 고상발판과 승강문 열림/닫힘 시간 : 7±1초
- 저상발판과 승강문 열림/닫힘 시간 : 11±1초“ 에 대하여 시험을 Table 3, Table 4과 같이 수행하였다.

Table 3. Time check of low step + door open and close.

1'st	2'nd	3'th
11.16,11.52	10.11,10.50	10.60,11.14

Table 4. High step + door open/close test.

1'st	2'nd	3'th
		
		
6.52, 7.29	6.39 7.42	6.31 7.39

승강문 제어 요구사항의 확인은 다음과 같다.

고상 발판의 열림시간과 닫힘시간의 평균은 6.40/7.36 Sec로 확인되었다. 또한 저상 발판의 열림시간과 닫힘시간의 평균은 10.62/11.05 Sec로 확인되었다.

■ 운전실로부터 전송되는 신호에 의한 승강문은 차량이 정지상태에서, 저·고상 홈 선택신호와 열림 가능 신호가 전송되고, 열림 명령이 순차적으로 입력되면 개방되어야 한다.

Table 5. Push the open button after high/low, ENABLE and ZSS set.



Table 6. Push the ZSS button after high/low, ENABLE, open and ZSS set.



Table 5는 ENABLE, ZSS 고상/저상 신호가 수신된 이후 열림버튼신호가 수신된 경우로 승강문이 열린 것을 보였고, Table 6은 ENABLE, 고상/저상 열림버튼 수신이후 ZSS신호가 수신되는 경우로 승강문이 개방되지 않음을 보였다. Table 7은 열차 제어신호인 ZSS, 고상/저상 열림버

튼 수신 후 ENABLE 신호가 수신된 상황으로 승강문이 열리지 않음을 보였다.

Table 7. Push the ENABME button after high/low, open and ZSS set.



■ 또한 닫힘 버튼을 눌러 열림 가능 신호를 제거하면 승강문이 일괄 닫힘동작을 하여야 한다.

Table 8. Check operation by handling the close button while the door is open.



Table 9. Check the door is closed when Zss is removed.



Table. 8은 열린 상태에서 닫힘 신호가 입력된 경우 승강문이 닫힘 동작을 수행한 것을 보였고, Table 9는 Zss가 제거된 경우 승강문이 닫힘을 보였다.

■ 승강문의 개별 제어는 운전실에서 열림 가능 신호만을 부여한다. 이 경우 각각 승강대에 설치된 개별 취급 버튼(저·고상 홈 선택 포함)으로 승강문의 개별 제어가 가능하다. 목업에서 개별 열림/닫힘신호와 운전실의 신호가 동일하여 Table 6 ~ 9와 동일하게 동작함을 확인하였다.

■ 운행 중에는 어떠한 경우라도 승강문이 열리지 않도록 한다. (비상 개방 장치 조작 시에도 개방 불가)

Zss가 비 활성화되었을 경우 도어 열림 확인은 Table 10과 같이 수행하였다.

Table 10. Check open if Zss signal is inactive.



■ 어떠한 경우든 승강문이 열림 상태로 주행 시 5km/h 이상이 되면 문이 자동으로 닫히고 잠금장치가 자동으로 잠겨야 한다.

Table 11. Confirmation of door closing and locking function when Zss is removed.



Table 11은 Zss 신호가 제거(비활성화)되었을 경우 승강문이 닫히고 잠기는 기능에 대한 시험으로 Zss 신호를 제거하면 승강문이 닫힘을 확인하였다.

■ 승강문과 발판의 열림 및 닫힘 동작 시에는 승강문 열림 및 닫힘지령을 접수한 시점부터 동작 종료까지 음향 및 점등 경보를 출력하여야 하며, 경보음은 열림 및 닫힘 과정동안 1초에 1회씩 단속음으로 출력된다.

Table 12. Buzzer Output Check

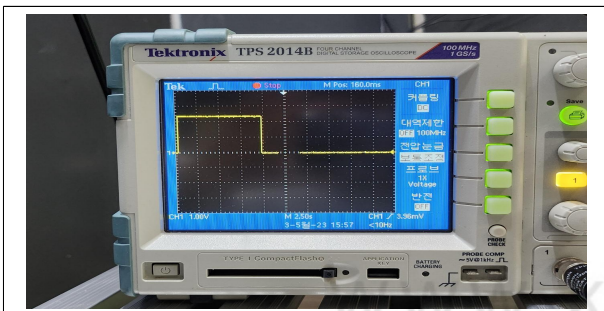


Table 12는 부저 출력단자를 측정 한 것이다.

■ 차량 정차 시 또는 지정 속도 이하에서는 비상 개방장치를 사용하여 닫힌 승강문을 내부에서 개별적으로 개방할 수 있도록 한다. 본 항목은 목업에서 시험하기 적합하지 않아 수행하지 못하였다.

■ 발판이 열리지 않는 경우 문이 열리지 않도록 한다.

Table 13은 스텝이 열리지 않은 경우로 스텝의 커넥터를 제거하고 열림 버튼을 눌러 개방 여부를 확인하였다. 그 결과 승강문이 열리지 않는 것을 확인하였다.

Table 13. Door opening test when the step does not open.



각각의 동작요구사항과 제어 요구사항에 대한 구현 여부를 승강문 목업에서 시험하였으며, 다음과 같은 결과를 확인하였다.

동작요구사항 항목 중, 첫 번째 저상 및 고상 스텝의 열림길이는 각각 150mm와 500mm로 최대 3mm 오차가 발생함을 보였고, 이는 허용 최대 오차 이내 임을 확인하였다. 두 번째로 열림과 닫힘 신호를 입력하여 고상 스텝+도어의 열림닫힘 시간이 각각 6.40/7.36로 측정되어 7초 +/-1초 이내로 확인되었고, 저상스텝 +도어 열림 닫힘시간은 10.62/11.05초로 확인되었으며, 이는 11초 +/-1초 이내로 허용 최대 오차 이내 임을 확인하였다. 세 번째 도어 열림조건으로 ENABLE, ZSS 고상/저상 신호가 수신된 이후 열림버튼신호가 수신된 경우로 승강문이 열린 것을 보였고, 신호의 수신 순서가 열림조건과 다를 경우 열리지 않음을 Table 5~7에서 확인하였다. 네 번째 닫힘 버튼을 눌러 열림 가능 신호를 제거하면 승강문이 닫힘을 Table 8과 9에서 확인하였다. 다섯 번째 승강문 개별제어 상태에 대한 요구사항은 Table 6~9에서 동작을 확인하여 요구사항을 만족함을 보였다. 여섯 번째 운행 중에는 어떠한 경우라도 승강문이 열리지 않는 상태를 Zss 제거되었을 경우 도어가 닫힘을 Table 10에서 확인하였다. 일곱 번째 어떠한 경우든 승강문이 열림 상태로 주행 시 5km/h 이상이 되면 문이 자동으로 닫히고 잠금장치가 자동으로 잠기는 동작에 대하여 Table 11에서 확인하였다. 여덟 번째 도어 열림 단

힘 시 부저 동작은 Table 12에서 부저 동작을 확인하였다. 아홉 번째 스텝이 열리지 않은 상태에서 도어가 열리지 않아야 하는 요구사항에 대한 시험은 Table 14에서 확인하였다. 마지막으로 주행상태에서 수행해야 하는 차량 정차 시 또는 지정 속도 이하에서는 비상 개방 장치를 사용하여 닫힌 승강문을 내부에서 개별적으로 개방할 수 있는 요구사항은 시험실이 아닌 주행상태에서 수행해야 하는 기능으로 추후 실제 운행에서 시험하고자 한다.

## V. Conclusions

본 논문에서는 저상과 고상 플랫폼에서 사용할 수 있는 플러그 인 타입으로 저상과 고상 스텝으로 구성된 열차 측 출입문용 제어기의 설계 및 제작에 연구하였다. DCU H/W는 32 bit MCU를 사용하여 4개의 모터를 제어하고, 33개의 Digital Input 과 16개의 Digital Output이 가능하도록 설계하여 구현하였으며, 동작 SW는 EN50128의 소프트웨어 수명주기에 따라 동작요구사항 2개 항목과 제어 요구사항 12개 항목을 도출하여 설계 구현한 후 각 요구사항에 대한 시험을 실시하였다.

그 결과 전체 14개 항목 중 13개 항목에 대하여 시험을 수행하여 요구사항을 만족함을 보였다. 시험 미실시 요구사항은 추후 주행 환경에서 시험을 실시하고자 한다.

## REFERENCES

- [1] Eui Jin, Joung, "Development of Door Control Unit for the Electric Plug-in Door of Subway Train", The Institute of Electronics and Information Engineers, 2011, Journal of the IEIE, vol.48, no.4, pp. 47-53.
- [2] Kim, Chul-su, Min-Heung Park, "Durability Evaluation on Doorstep Equipments Used for Low and High Level Platforms at Railway Vehicle", Korea Academia-Industrial cooperation Society, JKAIS, 2012, Vol. 13, No. 9 pp. 3889-3894.
- [3] C.S. Kim, S.H. Ahn, K. W. Chung, S. I. Lee, D.H. Choi and M. H. Park, "A Study on Performance Requirements of Doorstep Equipments for Both the Low and the High Level Platform", The Korean Society for Railway, 2011 Spring Conference of the Korean Society for Railway, 2011.05, pp1,352 - 1,357
- [4] Sung-Il Park, Wook Kim, "A study on the Design for side entrance door according to different type", Proceedings of the KSR Conference ,2012.10a,2012.05, pp503~507
- [5] <http://adsrail.com/gnuboard4/sub0301.php>
- [7] Chajung Yun, "Localized Development Final Report of Passenger Door Systems for High-Speed Trains", KORIAL, Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, pp7-14, 2015. 01.
- [8] Dawun, Ahn, "Development of a diagnostics and prognostics toolbox for condition-based maintenance (CBM)", KITECH, Final Report, 2021.05.
- [9] Seungwook Oh, "Development of multi-purpose vehicle condition monitoring system with built-in fault diagnosis function", Gana Control ENG Co. Ltd. Ministry of Science and ICT, Final Report, 2020.02,
- [10] Seok-Youn Han,, Ki-Jun, Park, "Directions for the Application of Predictive Maintenance based on the Data of Train Control and Monitoring System of EMU", The Korean Society for Railway, 2018 Autumn Conference of the Korean Society for Railway, ,2018.10, pp509-511
- [11] Korail, *EMU-250 30-train Components Manual*
- [12] Korail, *EMU-150 Side Door Components Manual*
- [13] Bon Hyung Lee, Doo-Hyun Kim, Sung-Chul Kim, "Analysis of Thermal Characteristics for Components of Electrical Door System in Electric Multiple Unit", The Korean Society of Safety, Journal of the Korean Society of Safety, 2020, vol.35, no.1, pp. 18-24. DOI : 10.14346/JKOSOS. 2020.35.1.18
- [14] Lee, bonhyung, "Analysis of DCU Thermal Characteristics and Motor Current of Electric Door System based on RAMS", Chungbuk National University, 2020, Doctoral dissertation of Department of Safety Engineering Graduate School, Chungbuk National University, 2020. 8, UCI: 1804:43009-00000054143.

## Authors



Young-Seok Cho received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Electronic Engineering from Cheongju University, Korea, in 1991, 1993 and 2001, respectively. From 1998 to 2021, Dr. Cho served as a professor at Gangdong University in Chungbuk.

From 2021 to 2023, he worked as the head of the development and research institute at ADS RAIL Co., Ltd., a company specializing in rail road vehicle doors, and is currently the president and research director/representative at Wise Service Co., Ltd. He is interested in embedded systems, rail road vehicle and smart IoT.