

포켓 슬라이딩 전기식 출입문 유지보수 향상을 위한
에이징 시스템 연구 개발

**Development of Aging system for improving maintenance
of pocket sliding electrical door**

송정훈*, 박시영*†, 정철희*, 전중철*

Jeong-Hun Song*, See-Young Park*†, Chul-Hee Jung*, Jung-Chul Jeon*

Abstract Electric door system of VVVF EMU(Electric Multiple Unit) by operated in Seoul Metro is sliding pocket type.

Electric doors are respectively equipped with DCU(Door Control Unit), and the DCU controls the side door & the end door.

There are difficulty for reliable maintaining due to the lack of inspection equipment for solitary defect that occurred at DCU during business operation.

In this study, we developed aging tester that inspects and repairs temporarily defect that occurs with aging hardening characteristics at the door where the passenger safety should be top priority.

Keywords : EMU(Electric Multiple Unit), DCU(Door Control Unit), Side Door, End Door, Aging Test, Age-hardening characteristic

초 록 서울메트로 VVVF 전동차 전기식 출입문 시스템은 포켓 슬라이딩(pocket sliding) 방식이며 DCU(Door Control Unit)가 각각 장착되어 측출입문(Side Door)과 객실통로문(End Door)을 제어한다.

본선 영업운행 중 DCU에 발생하는 단발성 불량에 대한, 점검장치 미비로 신뢰성 있는 유지보수에 어려움이 많았다.

본 연구에서는 승객의 안전이 가장 우선 시 되어야 하는 승/하차 접점 내 출입문에 발생하는 노화경화특성(age-hardening characteristic)인 단발성 불량에 대한 점검 및 수리가 가능한 출입문 에이징(Aging) 시험기를 연구 개발하였다.

주요어 : 전동차, 출입문제어장치, 측출입문, 객실통로문, 에이징 시험, 노화 경화 특성

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원(bangja3535@seoulmetro.co.kr)

* 서울메트로

1. 서론

서울메트로 3호선 전동차 1편성 전기식 출입문의 경우 1년 평균 약 20만회 이상의 개폐동작으로 다년간 운용됨에 따라, 본선 운행 중 단발성 불량발생의 빈도가 늘어나고 있는 추세이다. 출입문 DCU 불량 발생 시 현차에서 시행되는 작동시험과 부하시험만으로는 제어회로의 전자부품 특성변화 분석이나 제어장치 단품시험에 따른 외부 장애요인 등의 근본적인 원인도출에 한계가 있었다.

본 연구에서는 승객의 안전이 가장 우선 시 되어야 하는 승/하차 점점 내 출입문에 발생하는 노화경화특성(age-hardening characteristic)인 단발성 고장발생시 정밀한 고장원인 분석 및 특성 불량 점검의 어려운 문제점을 극복할 수 있는 출입문 에이징(Aging) 시험장치를 자체 설계 제작하여 신뢰성 기반의 시험기를 연구 개발하였다.

2. 본론

2.1 전동차 출입문 장치

2.1.1 전기식 출입문 동작원리

VVVF 전동차 포켓 슬라이딩(Pocket Sliding) 전기식 측출입문(Side Door) 시스템은 크게 4부분(제어장치부, 오퍼레이터부, 판넬부, 비상장치부)으로 구성되어 있으며, DCU에서 제어신호를 받아 전동차 객실 내 출입문을 개폐하고 시스템의 상태를 자체 감지한다.

운전실에서 출입문의 개폐신호를 열차종합운전제어장치(TCMS, Train Controller and monitoring System)에서 주게 되면 해당 역사 정차 시 역사 정보에 따라서 해당방향의 출입문 제어장치(DCU, Door Control Unit)에 출입문 개폐신호를 전송하고 이에 따라 출입문 제어장치는 해당방향의 출입문을 개폐시키게 된다.

차량 양측의 측출입문(Side Door) 출입구는 좌우 폭 1,300[mm]로 두 쪽의 문이 양쪽으로 여닫히는 자동문으로 되어 있으며, 열릴 때는 출입구 전체가 완전히 열리게 하여 출입구를 유효하게 사용할 수 있도록 되어 있다.

객실통로문(END Door)의 경우 양쪽으로 열리는 자동문으로 오른쪽 열림 버튼에 의해 자동으로 열리고 일정 시간 후 자동으로 닫히게 되어 있다. 문은 유리문으로 객실간 시야를 확보하여 승객의 안전을 도모 하였으며, 열림버튼 위에는 비상핸들이 있어 자동문 고장 시 비상핸들을 조작하여 수동으로 문을 열수 있다.

2.1.2 3호선 출입문 장착 및 기동검수 출동현황

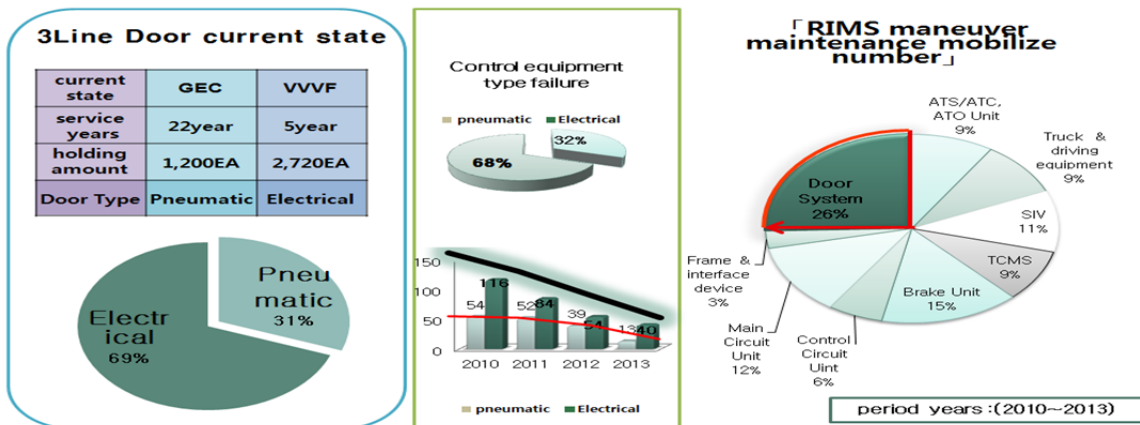


Fig. 1 RIMS maneuver maintenance mobilize number(period years : 2010 ~ 2013)

Fig. 1에서 검토한 자료를 보면, 3호선 출입문 장착현황은 공압식 31% 대비 전기식 69%이며 제어장치 고장율도 전기식 출입문이 68%를 차지하고 있어 늘어나는 추세이다.

2010년 ~ 2013년간의 기동검수 출동건수를 조사하여 보면 출입문장치가 26%를 차지하고 있어 전기식 출입문의 단발성 특성불량에 대한 심도 깊은 동작상태 부위별 정밀점검과 습성부품 특성변화 분석의 필요성이 높아지고 있다.

2.1.3 출입문 점검 개선 요구사항

본선 운행 중 발생하는 출입문 단발성 불량상태를 정밀하게 추적분석하고 유지보수 신뢰성을 높이기 위해서는 2종(Side Door, End Door) DCU 인터페이스 입/출력 신호의 유형별 동작 상태를 실시간으로 에이징을 결면서 분석하고, DCU 이벤트 데이터(event data) 이력을 정확하게 구분하고 입력하여 DB(Data Base)를 구축함으로써 향상된 예방점검 유지보수를 할 수 있도록 전용 에이징 시험기가 필요하다.

절체가능 2종 DCU 장치적용으로 시험장치(DCU) 및 점검대상(DCU)을 시험방법에 따라 선택하여 시험이 가능하게 하면서, RS-485 HDLC(High-Level Data Link Control) TCMS 프로토콜(Protocol) 및 RS-232 이력관리 통신 시뮬레이션(Simulation)프로그램 적용이 가능하도록 하는 알고리즘(algorithm) 컨트롤러(Controller) 제작이 요구된다.

또한, 2종 출입문 DCU의 에이징 시험 및 내구성 시험이 가능한 프로파일 하우징 프레임 디자인(Profile Housing Frame Design)에 대한 적용성 검토와 설계가 필요하여 자체적으로 기능검사의 한계를 극복하고 유지보수 프로세스 개선 및 업무 방법 향상을 위한 에이징 시험 장치를 연구 개발이 고찰되었다.

2.2 전동차 출입문 에이징 시험기 연구내용

2.2.1 시험기 시스템 구성

에이징 시험기의 구성은 측출입문과 객실통로문 2종 DCU를 동시에 에이징을 결면서 시험을 할 수 있도록 프로파일 하우징 프레임을 설계하였으며, 신규제작 출입문장치 내구성 시험(Type Test)도 가능하도록 제작하였다.

자동/수동 실시간 에이징 시험을 하면서 동작 상태를 모니터링 할 수 있으며 동작횟수와 부위별 동작 상태를 컴퓨터 모니터로 확인하고 이벤트 데이터 이력관리가 가능하도록 연구 개발하였으며, Fig. 2 에이징 시스템 DFD(Data Flow Diagram)는 측출입문과 객실통로문 그리고 RS-232 통신과 TCMS RS-485 HDLC 통신용 포트 시뮬레이터 운영프로그램의 시스템 구성도이다.

실행프로그램(Launcher)을 통해 제어코드신호들이 연결되어 지면 시험대상의 실시간 실행 모니터링과 동작상태 이력을 보면서 저장과 프린터를 할 수 있도록 유지보수 편리성을 높였다.

Fig. 3 은 시험장치에 취부되어 있는 DCU 및 점검대상 DCU을 선택하고 자동과 수동의 카운터 및 동작시간(Counter & Controller timer)을 설정하여 연속적인 자동 에이징 시험이 가능하게 작동하는 에이징 시스템 시험 흐름도이다.

점검대상 DCU 상태를 실시간 모니터링 하면서 회로의 주요부분을 측정하고, 단발성 고장 원인을 제공하는 부품의 노화경화특성 불량을 정밀하게 실측으로 추적 관찰하면서 에이징 횟수의 정도에 따라 특성변화가 순간적 발생하는 특성의 미세한 부분까지 분석하여 본선에서 벌어지고 있는 습성의 단발성 고장까지도 수리가 가능하도록 하였다.

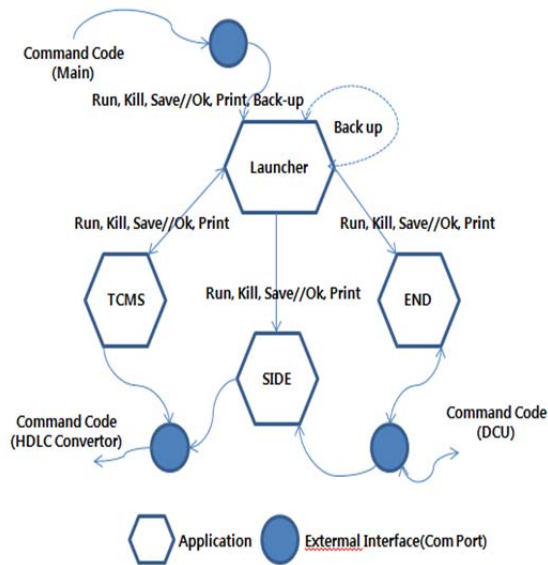


Fig. 2 Aging Tester System & DCU communication DFD analysis

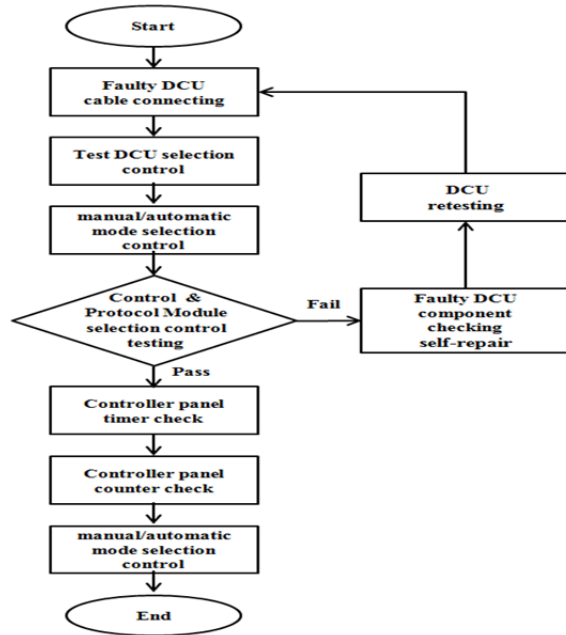


Fig. 3 Aging testing flow diagram

2.2.2 시험기 시스템 제원

출입문 에이징 시험장치 시스템은 Table 1에 작성된 제원으로 프레임 크기(2320 × 3000[mm]) 프로파일 하우징의 디자인으로 만들어 졌으며, 측출입문과 객실통로문의 2가지 DCU를 동시에 에이징을 걸기 위한 RF-COMM 컨트롤 모듈과 RS485 HDLC 프로토콜 통신을 시험 할 수 있는 RF-COMM 150003 모듈을 적용하여 제작 되었다.

Table 1 Simulation algorithm Controller specifications

Names of goods	model	unit
Profile Housing Frame	Frame Size : 2320 × 3000[mm]	1SET
control module(Side Door)	RF-COMM 150001	1SET
control module(End Door)	RF-COMM 150002	1SET
Computer	RPC-520N	1SET
Protocol module(RS485 HDLC)	RF-COMM 150003	1SET
SMPS Power Supply	BK 3000XG-100	1SET
counter	CT4S-1P4	1SET

2.2.3 시험기 시스템 기능

기존 불량 DCU 점검 수리는 현차에서 동작 시키면서 부품 측정이 불가능하였으며, 무가압 상태에서 전자부품 소자를 단순 측정하여 양부를 판단하는 유지보수의 한계로 외주 수선에 의존하는 기술력 저하가 발생하였다.

Table 2 에서는 에이징 시험기를 활용하여 측출입문과 객실통로문 DCU를 실시간 에이징을 걸면서 정밀 측정과 이력관리를 실시하여 얻어지는 장점을 작성하였다.

DCU 작동 부위별 인터페이스 분석방법이 개선되었으며 습성적 특성변화 부품분석 및 동작상태 기능별 정밀 판독이 가능하도록 직렬통신과 RS485 프로토콜 통신 시험기능을 구현하였다.

Table 2 Side Door & End Door DCU Management for Fault history of Aging analysis

Test System	Function
Aging Test System	<ul style="list-style-type: none"> - operational status monitoring and data traceability - age-hardening characteristic analysis for Aging test - TCMS RS485 Communication protocol test
Side Door DCU & End Door DCU	<ul style="list-style-type: none"> - Side Door DCU & End Door DCU Aging test - habit component characteristic alteration analysis - Each part interface test - Functional operation status precision test - Each part repair(communication, Motherboard, SMPS Power, etc)

2.3 전동차 출입문 에이징 시험기 적용성

2.3.1 전기식 측출입문 1일 평균 동작 횟수

서울메트로 3호선 수서차량사업소에서 운영하고 있는 전동차는 19개 편성으로 Table 3 과 같이 평일 평균 약70 ~ 90회 정도의 대화 및 구파발 구간을 운행하면서 약6,000회 정도의 출입문 개폐동작을 한다.

본선운행 중 발생하는 출입문 불량외의 종류는 기존의 기계장치(mechanism) 불량에서 전자 장치의 출입문 제어장치 DCU 단발성 불량으로 넘어오는 추세를 보이고 있다.

Table 3 1_day operating number of Electric doors DCU

rolling stocks	formation	DIA	service formation		distance in service [Km]	section in service (Ogeum starting point)	number of operating Door
			carriage	formation			
VVVF	19	weekday	1,840	23	7,033	Daehwa section : 86th Gupabal section : 61th	5,997
		weekend	1,120	14	6,984	Daehwa section : 79th Gupabal section : 68th	5,720

2.3.2 에이징 시스템 적용

측출입문 DCU 에이징 1회 시험주기를 12초로 설정할 경우 Table 4와 같이 열림(3초), 대기(3초), 닫힘(3초), 대기 또는 재열림(3초) 순으로 자동으로 반복되어 실행된다.

측출입문 DCU 내구성 1만회 시험은 약 33시간(1.9일) 정도가 걸리며, 10만회 내구성 시험은 약333시간(14일) 정도가 걸린다.

객실통로문 DCU 1회 시험주기를 16초로 설정할 경우 열림(3초), 대기(7초), 닫힘(3초), 대기 또는 재열림(3초) 순으로 자동으로 반복되어 실행되며, 1만회 시험은 약 44시간(1.20일) 정도가 걸리며, 10만회 내구성 시험은 약444시간(19일) 정도가 걸린다.

본선운행 중 승객의 승/하차 점점 내 불편을 발생시키는 단발성 고장을 일으킨 DCU에 에이징을 걸어 시험하다 보면 약 500 ~ 1500회의 주기에서 단발성 불량이 발생하여 노화 경화 특성불량 고장상태를 보여주는 케이스가 종종 발견된다.

Table 4 Aging test time setting process

operating	open	stand by	close	stand by (reopen)	1 cycle time[sec]	ten thousand cycle		a hundred thousand cycle	
						[hour]	[day]	[hour]	[day]
Sied Door	3	3	3	3	12	33.3	1.9	333	14
End Door	3	7	3	3	16	44.4	1.20	444	19

2.4 전동차 출입문 에이징 시험기 활용성

2.4.1 에이징 시험기 적용 효과

'13 ~ '16년까지의 DCU 불량 발생 건수에서 외주수선 의뢰와 자체수선 실적을 나타내는 Fig. 4를 통해 보면 '15년까지는 경년노화 특성불량 발생과 외주수선의뢰 실적이 늘어나는 추세였으나 에이징 시험장치를 개발하여 활용하는 '16년부터는 불량발생 DCU 자체수리 실적이 94.7%로 향상되었다.

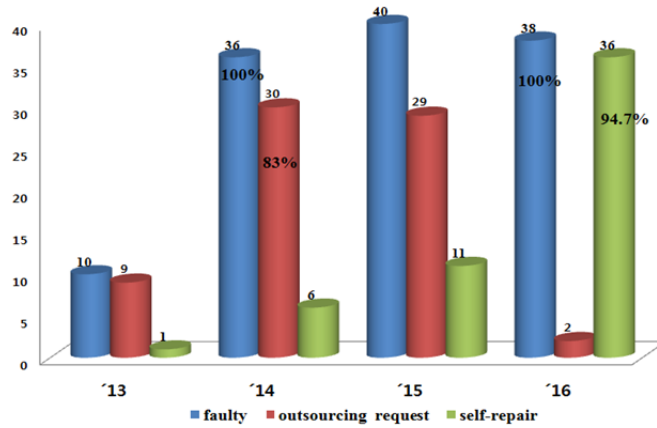


Fig. 4 outsourcing request VS self-repair of DCU faulty

2.4.2 '16년 에이징 시험기 활용 부품별 수리실적

Fig. 5 a)는 불량 DCU 주요 전자회로 부품 자체수선 실적을 나타내며, Fig. 5 b)에 DCU 내 주요 전자부품별 자체수리 실적을 보면 통신 직접회로(IC, Integrated Circuit) > 전원부 > 인터페이스 포토커플러 > 바리스타, 전력반도체(IGBT) 순으로 노화경화 특성 불량률이 많이 발생되고 있는 데이터를 분석 할 수 있으며, 장기적으로 이들 전자부품들에 대한 주기적 오버홀(overhaul) 방안이 필요할 것으로 예상된다.

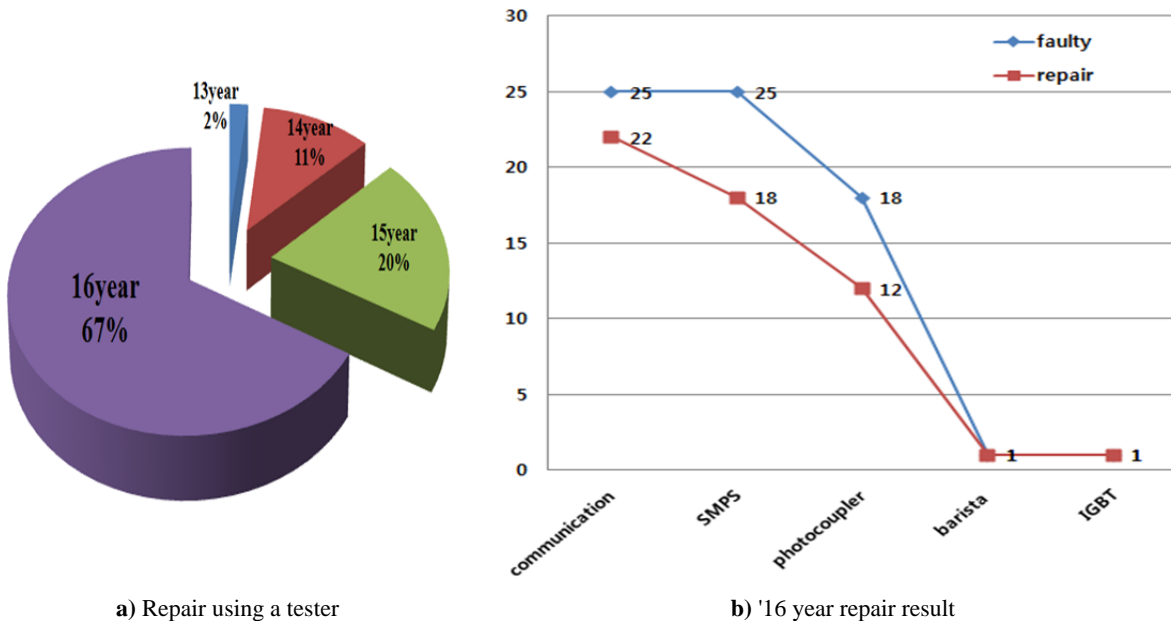


Fig. 5 '16 year results of self-repair DCU

3. 결 론

본선운영 중 발생하는 출입문 불량률의 종류는 기존의 기계장치 불량에서 전자장치의 출입문 제어장치 DCU 단발성 불량으로 넘어오는 추세를 보이고 있다.

실제로 단발성 고장을 일으킨 DCU를 자동 에이징 시험을 걸다 보면 약500 ~ 1500회 주기에서 불량이 발생하여 본선운영 중 발생시키는 노화경화 특성불량 고장상태를 보여주는 사례가 종종 발견된다.

DCU 불량 발생 건수에서 외주수선 의뢰와 자체수선 실적을 보면 '15년까지는 노화경년 특성불량 발생과 외주수선의뢰 실적이 늘어나는 추세였으나 출입문 에이징 시험기를 연구 개발하여 활용함으로써 '16년부터는 DCU 자체 유지보수 실적이 94.7%로 향상되었다. 불량 DCU 주요 전자회로 부품 자체수선 실적을 분석하여 DCU 내 주요 전자부품별 불량횟수를 분석하여 보면 “통신 직접회로 ≧ 전원부 다이오드 ≧ 포토커플러 ≧ 바리스타, 전력반도체” 순으로 노화경화 특성 불량률이 많이 발생되고 있는 데이터를 분석 할 수 있으며, 장기적으로 이들 전자부품들에 대한 주기적 오버홀(overhaul) 방안이 필요할 것으로 예상된다.

본 연구개발 시제품은 전동차 출입문 제어장치(DCU) 에이징 시험에 최적화된 점검방법으로 출입문 경정비 업무 품질향상과 검수업무 효율을 제고시키고, 본선 안전운영 장애요인을 사전에 제거하여 전동차 유지보수 신뢰성을 높여 예방정비 및 고객접점 서비스향상에 기여하게 될 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 도시철도 기술자료 및 현황, 서울메트로, 2008
- [2] 전동차 정비지침서 서울메트로 2호선 VVVF 현대로템 DV, 서울메트로
- [3] 전동차 정비지침서 서울메트로 3호선 VVVF 현대로템 DV, 서울메트로
- [4] 전동차 정비지침서 서울메트로 2호선, 3호선 초퍼 대우 DV(GEC), 서울메트로
- [5] 송정훈 외3인 (2013.11.25) 전동차용 출입문 현장시험 시스템, 대한민국, 제10-1334751 -00-00호,
- [6] 송정훈(2013) 전동차 출입문 현장점검 시험기 연구개발, 서울메트로 기술연구원,
- [7] 송정훈(2015) 철도차량 출입문 유지보수 향상을 위한 연동시험 시스템 연구개발, 서울메트로, 수서차량사업소,