

## FMECA 적용을 통한 벨트식 도어시스템 신뢰성 향상에 관한 연구 A Study for Reliability Improvement of Belt Type Door System using FMECA

안천현<sup>†</sup> · 이도선\* · 손영진\*\* · 이희성\*\*\*  
Cheonheon An · Dosun Lee · Youngjin Son · Hi Sung Lee

**Abstract** As a modern urban train is getting complex in terms of high-technology in its systems and components, the failure management should be performed with scientific and systematic technique. FMEA is a technique to analyze the failure trends of component parts and influences to the higher level system in order to discover the design incompleteness and potential defects, which is for improving reliability. Especially, FMECA (Failure Mode Effects, and Criticality Analysis) is used in case that the criticality that has an immense influence to the system is important. In case of urban train, in its design and manufacturing steps, FMEA is frequently used as an analysis technique to meet the safety objectives and eliminate potential hazards/failures since the concepts of reliability of train is introduced these days. Though, FMEA technique in the maintenances steps lacks in its investigation and applications yet. FMEA is also not applied to the trains operated by Seoul metro in the design and manufacture steps excepts the newest trains. In this paper, through analyzing the failures/maintenance data of the belt-type door systems used in trains operated in Seoul metro Line 1, which is accumulated in RIMS (Rolling-stock Information Maintenance System), FMEA procedures to the belt-type door engines are proposed. Especially, an effort is made, to approach the detailed FMECA procedures to the door magnet valve and switch and door engine devices which vastly influences the customer safety and satisfaction.

**Keywords** : FMECA, RIMS, Door system, Reliability

**요 지** 현대의 도시철도차량은 부품과 시스템이 복잡하고 첨단화되어 고장관리 또한 과학적이고 체계적인 접근이 반드시 수행되어야 한다. 고장모드 및 영향분석(FMEA)은 설계의 불완전성이나 사용 중에 일어날 수 있는 잠재적 결함을 알아내기 위해 구성요소의 고장 형태와 그 상위 시스템에 미치는 영향을 분석하는 기법으로 개선대책을 수립하여 신뢰도를 향상시키는 목적이며, 특히, 시스템에 큰 영향을 미치는 치명도를 중시하는 경우는 고장모드 및 영향, 치명도 분석(FMECA)이라는 기법을 사용한다. 철도차량의 경우 FMEA는 최근 차량시스템에 대한 신뢰성 개념을 도입하면서부터 설계 및 제작단계에서 발생 가능한 위험요인과 고장을 제거하기 위한 분석기법으로 활발히 활용되어 왔으나, 철도차량의 유지보수에 있어서 FMEA 기법은 연구 및 활용이 미미한 실정이다. 서울메트로에서 운영 중인 차량도 최근 도입된 신조차를 제외하고는 설계 및 생산단계의 FMEA가 수행되지 못하였다. 이에 본 논문은 1호선에서 운용되는 차량의 주요 장치인 벨트식 출입문에 대하여 서울메트로에서 운영 중인 차량분야 정보화시스템(RIMS)에 축적된 고장 및 유지보수데이터를 분석하여 FMECA 절차에 따른 적용방안을 제시하고자 하였으며, 특히, 고장 시 고객들의 안전과 만족도에 직접적인 영향을 미치는 출입문전자변과 도어연동 스위치, 도어엔진 장치에 대한 FMECA 관련 세부적 사항까지 접근하고자 하였다.

**주 요 어** : 고장모드 및 영향, 치명도 분석, 차량분야 정보화시스템, 출입문, 신뢰성

<sup>†</sup> 책임저자 : 정회원, (주) 선진엔지니어링 철도시스템부, 부사장  
E-mail : ancheon@ante.com

TEL : (02)2670-5681 FAX : (02)2670-5688

\* 정회원, 서울메트로 군자차량기지, 부장

\*\* 정회원, 서울산업대학교, 교수

\*\*\* 교신저자 : 정회원, 서울산업대학교 철도차량시스템공학과, 교수  
신교통연연구소장

## 1. 서론

도시철도차량에서 기존의 유지보수가 운행시간 또는 운행거리를 정해놓고 그 기준에 도달하면 해당검사를 시행하는 획일적인 유지보수에서 신뢰성을 바탕으로 한 합리적인 유지보수체제로 변화해 가고 있는 단계이다.

FMECA는 제품의 초기 개발단계에서부터 완제품에 이르기까지 운영단계에서 발생 가능한 고장유형을 찾아내어 그 영향을 분석하고 치명도를 평가하여 각각의 원인을 제거하거나 감소시키는 일련의 개선대책을 제시하는 분석기법이다.

FMECA의 내용 및 수행절차에 관한 규격은 미국방성에 의해 MIL-1629A에 규격화되어 있으며, 이어서 이를 응용한 자동차 산업분야의 SAE-J1739, SAE-ARP5580, 전기전자분야의 IEC-60812에 규격이 제정되어 있다. 따라서 이를 바탕으로 각 산업분야별 특성에 맞는 FMECA 규격을 제정하여 활용하고 있지만 아직까지 철도분야에 특화된 FMECA 관한 규격은 제정되어 있지 못한 상태이다. 이러한 가운데 장중순 등[1]은 FMEA 실시목적은 보다 구체적으로 나누어 분류하고 그 목적에 따라 적합한 FMEA 양식을 제안하였고, 박권식 등[2]은 MIL-1629A, IEC-60812, SAE-J1739 규격의 특징들을 분석한 것을 바탕으로 철도시스템에 특화된 FMEA 기법을 제시하였다. 또한 백영구 등[3]은 기존의 FMEA 분류이외에 시스템 수명주기에 해당하는 단계별 FMEA를 적용하는 방안을 제안하였으며, 박병노 등[4]은 철도차량의 운영단계에 있어서 적용 가능한 FMEA 양식을 제시하였다. EN50126에서 정의된 위험요소 심각도는 인명피해를 기준으로 4등급으로 분류하였고, 발생빈도는 6등급으로 분류되어 있으나 구체적인 분류기준이 정의되어 있지 않아 전동차 유지보수 및 운영면에서 일치점을 찾기가 어렵다. 본 논문에서는 이들이 제시한 양식과 SAE-J1739 FMEA 양식을 바탕으로 자동차산업에 맞게 특화시킨 적용시트 중에서 전동차 운용조건과 비교적 비슷한 심각도, 고장빈도, 검출도 항목을 조합하여 도시철도에 적용할 FMECA 양식을 만들어 벨트식 도어시스템에 적용하고자 한다.

## 2. 도어시스템의 구조분석

### 2.1 도어시스템의 개요

서울메트로 전동차의 출입문은 한쪽에 4개소가 있고 각각 1,300mm 폭으로 되어 있다. 출입문은 양쪽으로 열리는 방식으로 되어 있으며 2개의 출입문은 상부에 설치되어 이는 출입문장치(도어엔진)에 의하여 동시에 개폐된다.

출입문의 개폐는 운전실의 출입문 스위치(Door Operating Switch)에 의해서 전동차 전체의 출입문이 일제히 동작된다. 그러나 동절기에는 한쪽 4개소의 출입문중 중앙부 2개소의 출입문은 열리지 않도록 하는 출입문 반감스위치(Door Half Switch)가 설치되어 동절기 실내온도가 급격히 내려가지 않도록 하였고, 승객이나 물건이 출입문 사이에 끼었을 때를 대비하여 해당 출입문을 다시 열 수 있도록 재개폐스위치(Re-Opening Switch)가 설치되어 있다.

출입문장치의 형식은 기계식과 전기식이 있고, 기계식에는 피니온과 래크식 및 벨트식으로 구분되며, 호선별/차종별로 살펴보면 Table 1과 같다.

Table 1. Status of the door devices depending on line numbers/vehicle types

호선별	차종별	보유량	출입문장치 형식	비고
1호선	저항차	60	기계식	피니온, 래크방식
	VVV차	100	기계식	벨트식
	저항차	28	기계식	피니온, 래크방식
2호선	현대초파차	220	기계식	피니온, 래크방식
	GCE 초파차	230	기계식	벨트식
3호선	신형 VVV차	356	전기식	전기식
	GCE 초파차	370	기계식	벨트식
4호선	신형 VVV차	110	전기식	전기식
	VVV차	470	기계식	벨트식
합계		1,944량		

### 2.2 도어시스템의 구조

서울메트로(1~4호선)에서 운용중인 전동차는 199개 편성 1,944량이며, 여기에 설치된 출입문은 총 15,552개이다. 기존 전동차의 출입문은 압축공기로 작동하는 기계식 출입문장치가 설치되어 있으며, 2007년 이후 도입된 23호선 신조 전동차부터 안전성이 향상된 전기식 출입문장치가 설치되어 있다. 기계식 출입문 장치중 벨트식 도어엔진은 전동차 객실출입문을 자동 개폐하는 도어시스템의 중요한 장치로서 개폐기구부에 벨트를 사용하여 저 소음화를 도모함과 동시에 전자변 및 출입문 연동스위치를 유니트화한 구조로 출입문 상부에 취부하기 위해 소형·경량화 하였다. 출입문의 열림과 닫힘 동작상태를 확인하기 위해서는 구형 전동차의 경우 차량 외측에 설치된 표시등(좌우측 각 1개)과 운전실 제어대에 설치된 표시등의 점·소등 여부로 확인하고 신형 전동차의 경우는 표시등 외 운전실에 설치된 열차운행정보장치 모니터로 출입문 동작상태로 확인할 수 있다. 또한 출입문의 열고 닫힐 때 그 간격에 따라 전동차의 출발 여부를 결정할 수 있는데 그 기준은 출입문간격 7.5mm 이

내 일 때 전동차가 출발할 수 있고, 12.5mm 이상이면 전동차는 출발할 수 없도록 하여 승객의 안전을 고려하도록 하였으며, 벨트식 도어엔진의 구조는 Fig. 1과 같다.

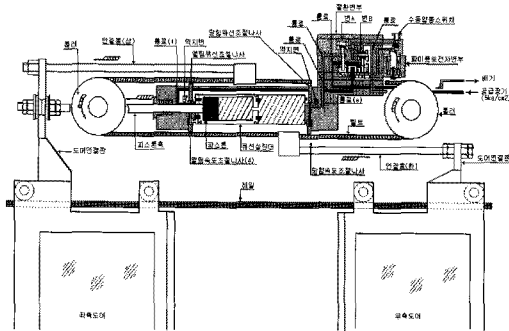


Fig. 1. Structure of belt-type door engine

2.3 도어시스템의 LBS와 FBS의 관계

도어시스템의 분해구조순서와 각 기능을 대비시켜 고장 모드별 영향분석 및 원인분석을 용이하도록 LBS(Logistics Breakdown Structure)와 FBS(Functional Breakdown Structure)의 관계를 Table 2에 나타내었다.

도어시스템을 기능별로 보면 Fig. 2와 같이 기계시스템, 전기시스템, 공기시스템으로 구분할 수 있으며 이들 각 시스템은 유기적으로 결합되어 출입문을 개폐하고 승객의 승하차를 가능하게 한다. 기계시스템은 전기신호와 압력공기를 받아 도어엔진의 실린더와 피스톤의 조합으로 출입문을 동작시키고 전기시스템은 운전실의 승무원이 출입문스위

치(DoS)를 ON, OFF 함으로써 10량의 전동차 한쪽에 부착된 출입문전자변 40개에 전기신호를 일제히 전달함으로써 출입문을 압력공기를 도어엔진에 공급한다. 또한 공기시스템은 출입문동작에 필요한 압력공기를 생산저장하여 전자변에 공급한다.

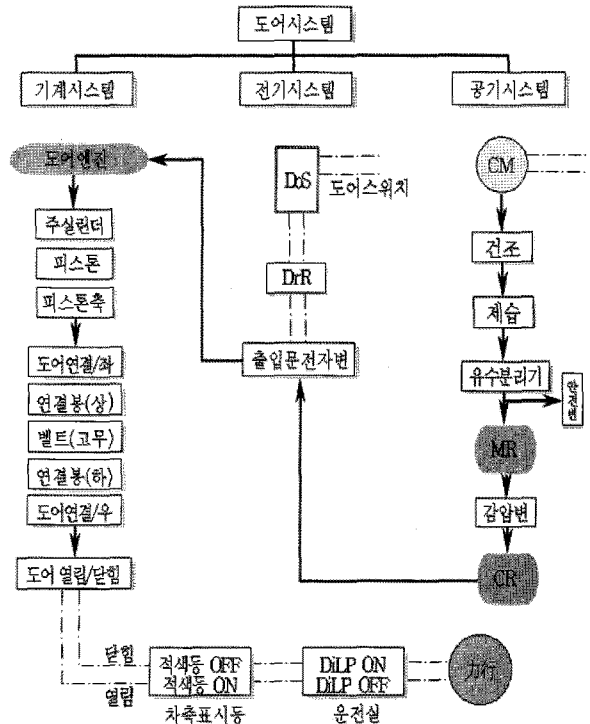


Fig. 2. Functional block diagram for the door systems

Table 2. Relation table between LBS and FBS

Level	ID	시스템	서브시스템	구성품	부품	부품	구성품	서브시스템	시스템	ID
1	LA	도어시스템							출입문장치	FA
2	LAA		슬라이딩도어					승객승하차		FAA
3	LAAA			도어엔진조립체			출입문개폐			FAAA
4	LAAAA				실린더	↔	압력공기 작용			FAAAA
4	LAAAB				전자변	↔	압력공기급배기			FAAAB
4	LAAAC				도어연동스위치	↔	출입문개폐신호			FAAAC
4	LAAAD				터미널보드	↔	전원연결/공급			FAAAD
3	LAAB			도어로올러 고정			개폐저항감소			FAAB
2	LAAC		운전실	도어스위치(DOS)			출입문전량제어	전동차제어		FAAC
3	LAACA				키공치	↔	출입문취급안전장치			FAACA
3	LAACB				푸쉬버튼	↔	출입문개폐스위치			FAACB
3	LAACC				계전기	↔	출입문개폐지령			FAACC
2	LAAD		객실/배전반	릴레이 보드			계전기전원공급	객실기기제어		FAAD
3	LAADA				전자변 NFB	↔	전원공급스위치			FAADA
3	LAADB				역저지다이오드	↔	역전압방지			FAADB
3	LAADC				전자접촉기	↔	출입문개폐신호전달			FAADC

### 3. 도어시스템의 FMECA 분석

#### 3.1 고장모드 정의/영향/원인분석

도어시스템은 도어엔진모듈, 도어모듈, 전기장치모듈 세 가지로 구분할 수 있으며 그에 따른 고장모드 정의 및 영향, 원인분석은 Table 3과 같다.

#### 3.2 위험순위 평가

한국자동차 산업교육원에서는 SAE-J1739, QS-9000, ISO-9000의 FMEA 양식을 사용하고 있다. 본 논문에서는

SAE-J1739 FMEA 양식을 바탕으로 자동차산업에 맞게 특화시킨 적용시트 중에서 전동차 운용조건과 비교적 비슷한 심각도, 고장빈도, 검출도 항목을 조합하여 도시철도에 적용할 FMECA 양식을 사용하였다. 또한 SAE-J1739 규격에서의 위험순위는 심각도(S), 발생도(O), 검출도(D)를 곱해서 구한다.

위험순위의 평가항목 중 심각도(Severity)의 분류기준은 Table 4와 같이 열차가 운행 중 고장이 발생할 경우 그 영향이 승객에게 미치는 심각한 정도를 10급으로 분류하였다.

Table 3. Definition/Cause/Effect analysis of failure mode

구분	부품명	기능	고장모드	고장영향(서브/차량시스템)	고장원인
도어 엔진 모듈	도어엔진	출입문개폐	출입문 개폐불량	출입문 동작 불량/역행지연-불가	조립불량/풀림/누기
	주실린더	피스톤 직선운동	출입문 동작 성능 저하	출입문 동작 불량/역행지연-불가	마모에 따른 압력공기 누기
	피스톤	실린더내 직선운동	도어엔진 동작 불량	출입문 동작 불량/역행지연-불가	마모에 따른 압력공기 누기
	피스톤축	피스톤의 힘 전달	출입문 동작 불량	출입문 동작 불량/역행지연-불가	연결장치 불량
도어 모듈	도어연결판 (좌우)	출입문과 도어엔진 연결	출입문 동작이 원활치 못함	출입문 동작 불량/역행지연-불가	도어엔진 연결부위 취부 불량
	벨트	도어연결판과 연결봉 동력전달	취부볼트 체결불량시 벨트가 뒤틀림 현상 발생	벨트와 벨트풀리 사이에서 마찰소음 유발/역행지연-불가	벨트 조립불량 및 벨트마모로 장력 약화
	도어 (좌우)	승객승하차	출입문 동작불량	출입문 이상동작/역행지연-불가	출입문 조립 불량시 수평/평행 상태 이상
	하부레일	출입문 동작안내	출입문 동작불량	출입문 동작불량/승객 승하차 지연 또는 /역행지연-불가	출입문 하부레일 이물질 끼임 또는 협착
	출입문 스톱퍼	출입문 떨림 방지	출입문 떨림에 의한 소음 발생	출입문 동작시 접촉/소음발생	외부 충격 및 조립불량으로 변형
	출입문 포켓	이물질제거 용이	이물질이나 기타 물건들 제거 곤란	출입문 이상 동작/역행지연-불가	이물질과 접촉되어 출입문 동작 시 간섭
전기 장치 모듈	도어스위치 (CrS)	출입문 열림/닫힘 제어	출입문 닫힘/열림 동작 불량	출입문 제어 불능/승하차 불가 또는 역행 불가	스프링 불량/접점 아크로 통전 불량
	출입문계전기 (DrR)	한쪽 출입문 제어	출입문이 동작하지 않음	출입문 동작 불능/승하차 불가 또는 역행 불가	제어전원 불량/계전기(DrR) 자체 고장에 의한 동작불능
	출입문전자변 (DMV)	도어엔진에 제어공기 공급	해당 출입문 동작 이상	해당 출입문 동작 불능/역행지연-불가	전자변 코일 단락/제어전원선 단선/전자변 차단기(DMVN) 트립/공기역류/이물질혼입/몸체균열/밸브시스템불량/바리스터불량
	전자변 바리스터	전자변 보호	출입문 전자변 코일 열화축진	전자변 코일 수명단축 또는 출입문 개폐불량/승하차 불가	바리스터 단선 또는 접지
	도어스위치함 (DS)	현재 출입문 상태 알림	역행회로/표시등회로/재개폐회로 구성 이상	출입문 열림/닫힘상태 구분 불가/역행지연 또는 불가	DS압봉 행정거리 불량에 따른 DS 접점 구성 불능
	압봉 조립체	도어스위치 ON, OFF 동작	도어스위치를 동작시킬 수 없음	출입문 열림/닫힘상태 구분 불가/역행지연 또는 불가	DS 압봉 행정거리/스프링 불량

Table 4. Classification criteria of severity

영향	분류기준	등급	예시
경고가 없는 위험	고장의 경고가 없으며 안전운행에 영향을 미침.	10	
경고가 있는 위험	고장의 경고가 있으면서 안전운행에 영향을 미침.	9	출입문 연동회로 불량
매우 높음	전동차 부품 작동 불능으로 주요기능이 상실됨.	8	출입문1량이상 열림불량
높음	전동차 부품이상으로 주기능이 제한적으로 수행되어 고객 불만족이 매우 큼.	7	출입문 1개소 열림불량
보통	전동차 부품은 작동하나 성능이 저하되어 고객 불만족 발생함.	6	출입문 진동으로 인한 소음
낮음	전동차 부품은 작동하나 일부 성능저하로 고객 다소 불만족 발생함.	5	출입문 조정불량으로 늦게열림
매우 낮음	대부분의 승객이 감지할 수 있는 서비스 기기의 결함.	4	도어엔진점검카바 미고정
경미	보통의 고객들이 감지할 수 있는 서비스 기기의 결함.	3	공기누설량 많을 때
매우 경미	에민한 고객들이 감지 할 수 있는 상태의 서비스 기기 결함.	2	공기누설량 적을 때
없음	고객들이 인지할 수 없는 결함.	1	

또한 검출도(Detection)의 분류기준은 Table 5와 같이 유지보수과정에서 각종 검사방법을 동원하여 잠재적 고장 및 고장원인을 검출하는 능력의 정도를 10등급으로 분류하였다.

발생도(Occurrence)의 분류기준은 Table 6과 같이 수명주기 동안에 고장이 발생할 수 있는 가능성에 따라 10등급으로 분류하였다. 전동차는 3년마다 원상회복을 위한 중수선을 시행하므로 수명주기를 3년으로 보며, 3년 동안에 유지보수(경수선) 행위가 일어난 건수를 발생빈도로 계산하였다.

### 3.3 위험우선순위 평가

상기에서 분류한 심각도, 발생빈도, 검출도를 곱한 값인 위험우선순위 (RPN: Risk Priority Number)값을 결정하여 평가하였다.

위험우선순위 평가 결과를 살펴보면 Table 7과 같이 위험우선순위(RPN) 값이 가장 높은 장치는 전기장치 이고, 단위 부품에 있어서도 위험 우선순위가 가장 높은 것은 출입문전자변(140점/1위), 도어연동스위치(135점/2위), 도어

엔진(63점/3위) 등으로 주로 전기장치에 몰려 있다. 이는 이들의 개선대책이 절실히 필요함을 알 수 있으며, 즉 도어 시스템에서 유지스위치, 도어엔진, 기타 순으로 이들의 불량원인을 살펴보면 다음과 같다.

#### 3.3.1 출입문전자변

출입문전자변의 불량요인은 슬레노이드 흡배기 밸브 V packing 작동불량에 의한 공기누기, 전자변 작동불량, 몸체 불량 세 가지로 구분된다. 공기누기는 몸체균열, 밸브스텝 불량, 공기역류 등이 있으며, 전자변 작동불량에는 접촉기 미동작, 다이오드 소손, 바리스터 열화, 코일 단선 등이 있고, 몸체불량에는 재질불량, 코일불량, 아마추어 불량 등이 있다.

#### 3.3.2 도어연동스위치(DS)

도어연동(인터록)스위치 불량은 전기적요소와 기계적요소가 병합되어 접점불량, 접지, 이물질에 의한 작동 및 통전 불량과 순수 기계적인 압봉스프링 불량, 재질불량, 압봉

Table 5. Classification criteria of detection

검출도	검출도 내용	점수	예시
Absolute Uncertainty(절대적 불확실)	현재의 관리에 의해 고장원인 및 수반되는 고장 탐지 불가	10	
Very Remote(매우 희박)	고장원인 및 수반되는 고장 탐지의 매우 희박한 가능	9	
Remote(희박)	고장원인 및 수반되는 고장 탐지의 희박한 가능성	8	
Very Low(매우 낮음)	고장원인 및 수반되는 고장 탐지의 매우 낮은 가능성	7	
Low(낮음)	고장원인 및 수반되는 고장 탐지의 매우 낮은 가능성	6	
Moderate(보통)	고장원인 및 수반되는 고장 탐지의 보통 정도 가능성	5	
Moderately High(다소 높음)	고장원인 및 수반되는 고장 탐지의 보통보다 높은 가능성	4	코일특성열화
High(높음)	고장원인 및 수반되는 고장 탐지의 높은 가능성	3	저항특성열화
Very High(매우 높음)	고장원인 및 수반되는 고장 탐지의 매우 높은 가능성	2	코일단락
Almost Certain(거의 확실)	고장원인 및 수반되는 고장을 거의 확실하게 탐지	1	출입문 대부분

Table 6. Classification criteria of occurrence

고장확률	발생빈도 기준	점수	예시
매우 높음(지속적인 고장)	1000개의 부품당 100개 이상(10%)	10	전자변(80개/편성) 11.8%
	1000개의 부품당 50개 이상(5%)	9	연동스위치(80개/편성) 6.0% 도어엔진(80개/편성) 5.4%
높음(빈번한 고장)	1000개의 부품당 20개 이상(2%)	8	동작속도이상 2.9%(50회)
	1000개의 부품당 10개 이상(1%)	7	운전실스위치 1.45%(25회)
보통(가끔 고장)	1000개의 부품당 5개 이상(0.5%)	6	이물질 끼임 0.64%(11회)
	1000개의 부품당 2개 이상(0.2%)	5	도어엔진카바플림 0.34%(7회)
	1000개의 부품당 1개 이상(0.1%)	4	레일이상 0.17%(3회)
낮음(상대적으로 적은 고장)	1000개의 부품당 0.5개 이상(0.05%)	3	승객취급 0.05%(1회)
	1000개의 부품당 0.1개 이상(0.01%)	2	
희박(고장이 거의 없음)	1000개의 부품당 0.01개 이하(0.001%)	1	

Table 7. Evaluation table of RPN(Risk Priority Number)

구분	조립품	고장영향	심각도	발생도	검출도	RPN	순위
도어 엔진 모듈	도어엔진	출입문 동작불량	7	9	1	63	3
	주실린더	출입문 동작 지연	7	2	1	14	
	피스톤	출입문 동작 지연	7	2	1	14	
	피스톤축	출입문 동작 지연	7	2	1	10	
도어 모듈	도어연결판(좌우)	출입문 동작 불량	7	2	1	5	
	벨트	미찰소음 유발/절단	7	2	1	14	
	도어(좌우)	출입문 이상동작	7	2	1	14	
	하부레일	승객 승하차 지연 또는 불가	7	2	1	14	
	출입문 스톱퍼	출입문 동작시 접촉	5	2	1	10	
	출입문 포켓	출입문 이상동작	6	6	1	36	
	전기 장치 모듈	도어스위치(CrS)	출입문 제어불능	8	7	1	56
	출입문계전기(DrR)	출입문 동작 불능	7	6	1	42	
	출입문전자변(DMV)	해당 출입문 동작 불능	7	10	2	140	1
	전자변바리스터	전자변 코일 수명단축	5	1	3	15	
	도어연동스위치(DS)	출입문 열림/닫힘상태 구분 불가로 운전지연 발생	5	9	3	135	2
	압봉조립체	출입문 열림/닫힘상태 구분 불가로 운전지연 발생	5	2	3	30	

조립체 불량 등이 있다.

### 3.3.3 도어엔진

도어엔진 불량요인은 출입문 개폐불량, 스피드/쿠션 불량, 공기역류 및 누기, 벨트절손 및 이음발생 등 4가지로 구분되며, 출입문 열림/닫힘 불량에의 원인에는 전자변(바리스터) 불량, CR 감압변 불량, 출입문 하부 간섭, 공기역류 및 누기 등이 있고, 출입문의 열림속도 및 쿠션불량의 원인으로는 공기역류 및 누기, 출입문 하부 간섭, 무부하시와 부하시의 외부조건변화, 본선운행 전후 차이 등이 있으며, 공기

역류 및 누기의 원인에는 공기씰, 오링, 실린더 불량 등이 있고, 벨트절손 및 이음발생의 원인으로는 벨트재질불량 및 노후로 인한 절손과 좌우측 폴리의 불평형 등이 있다.

### 3.3.4 기타 불량

기타 불량으로는 오결선 및 부품 노후화에 의한 계전기(DR, DIR) 및 접촉기 작동 불량과 출입문 고무류 탈락, 이물질 간섭에 의한 출입문개폐불량과 출입문 간격조정 불량(7.5mm: ON, 12.5mm: OFF)과 발차시시등 스위치(DILPN) 트립에 의한 역행불능 등이 있다.

Table 8. Countermeasures for improving each part depending on failure types

고 장 유 형	개 선 대 책	비 고
출입문전자변 불량	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 코일저항 및 누기시험을 철저히 한다.</li> <li>- 단자연결부 조립 및 이상유무 확인을 철저히 한다.</li> <li>- 전자변 동작시험을 철저히 한다.</li> <li>- 바리스터 조립 및 확인을 철저히 한다.</li> <li>- 출창검사 시험을 철저히 한다.</li> </ul>	
도어 연동스위치(DS) 불량	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 6개의 접점 확인 및 통전시험을 철저히 한다.</li> <li>- 압봉스프링 장력확인 및 불량시 교환한다.</li> <li>- 출입문 간격조정(7.5mm ON ~ 12.5mm OFF)을 철저히 한다.</li> <li>- 출입문 점검장비를 정확하게 사용하여 검사한다.</li> <li>- 압봉조립체의 동작상태를 육안으로 확인하고 불량시 교환한다.</li> <li>- 결선작업 및 확인철저(접지예방)</li> </ul>	
도어엔진 불량	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 폴리 조립작업 시 좌우 평형유지(정반사용)</li> <li>- 피스톤캡, 오링 등 양품사용 및 조립 철지</li> <li>- 신규시험기를 적극활용하여 도어엔진 시험을 철저히 한다.</li> <li>- 출창검사시 시험을 철저히(스피드, 쿠션) 한다.</li> <li>- CR감압변 시험 및 압력조정을 철저히 한다.</li> <li>- 운용단계에서 량당 시험을 철저히 한다.</li> </ul>	

## 4. RPN 평가에 따른 대책 수립

### 4.1 부품별 개선대책

상기의 RPN 평가에 따른 부품별 개선대책은 Table 8과 같다. 고장유형은 출입문전자별 불량, 도어 연동스위치(DS) 불량, 도어엔진 불량으로 구분하여 그에 따른 개선대책을 정리하였다.

### 4.2 정비방식개선

도어엔진 조립 후 신형 도어엔진시험기를 개발·활용하여 출입문 도어엔진의 형식별 동작상태 심층 점검과 도어엔진 분해 후 각종부품의 세척을 정밀하게 시행하여 세심한 정비로 원형을 회복함으로써 부품의 성능을 확보할 필요가 있으며, 출입문 취거 후 포켓내부 이물질 완전제거를 위한 새로운 방식의 보완 또는 개발과 출입문 조립 후 쿠션 및 스피드 중점 확인 및 Cross Check 등 정비방식의 보완이 필요하다. 또한 출입문 장치 분해조립 및 기능상태 점검 시기 작성된 출입문 장치 유지보수에 관한 표준업무처리절차가 반드시 준수될 수 있도록 하여야 하며, 또한 절차에 의하여 관리·감독이 이루어져 출입문장치 정비 품질이 일정하게 유지될 수 있도록 다각적인 노력이 절실히 요구된다.

### 4.3 제도적개선

출입문장치 종류별, 불량유형에 따른 효율성과 합리성을 고려한 정비표준화방안을 마련할 필요성이 대두됨에 따라 특히 경정비시는 RPN 평가 자료를 바탕으로 출입문 장치 관련부품에 대한 연간 유지보수 계획을 수립, 매월 장애 유발부품에 대한 월별 중점점검(1월: 도어엔진 모듈, 2월: 도어모듈, 3월: 전기장치 모듈)과 출고 전 출입문 량당검사를 반복적이며 지속적으로 시행하여 출입문 고장 발생을 적극적으로 방지하려는 예방정비체계 구축 등 제도적 개선이 요구된다.

## 5. 결 론

본 논문은 1호선에서 운용되는 차량의 주요 장치인 벨트식 출입문에 대하여 서울메트로에서 운영 중인 차량분야 정보화시스템(RIMS)에 축적된 고장 및 유지보수데이터를 분석하여 FMECA 절차에 따른 적용방안을 제시하고자 하였으며, 특히, 고장 시 고객들의 안전과 만족도에 직접적인 영향을 미치는 출입문전자변과 스위치, 도어엔진 장치에 대한 FMECA 관련 세부적 사항까지 접근하고자 노력하였다.

본 논문을 통하여 다음과 같은 결론은 얻었다.

1. SAE-J1739 FMEA 양식을 바탕으로 자동차산업에 맞게 특화시킨 적용시트 중에서 전동차 운용조건과 비교적

비슷한 심각도, 고장빈도, 검출도 항목을 조합하여 도시철도에 적용할 FMECA 양식을 사용하였고, 각 항목에 대한 분류기준을 정리하였다.

2. 위험우선순위 평가를 통하여 위험우선순위(RPN) 값이 가장 높은 장치는 전기장치 이고, 단위 부품에 있어서도 위험 우선순위가 가장 높은 것은 출입문전자변(140점/1위), 도어연동스위치(135점/2위), 도어엔진(63점/3위) 등으로 주로 전기장치에 몰려 있다. 이는 이들의 개선대책이 절실히 필요함을 알 수 있었다.
3. 도어시스템에서 유지보수 행위가 많이 발생한 구성품은 출입문전자변, 도어연동스위치, 도어엔진, 기타 순으로 이들의 불량원인과 그에 따른 개선대책을 정리하였고, 그에 따른 정비방식 및 제도적 개선을 제시하였다.
4. 도어엔진 유지보수(경정비) 및 운행 중 장애를 유발했던 모든 부품에 대해서 본 논문에서 제시한 FMECA 적용양식에 의하여 고장모드를 정의한 원인 및 영향 분석된 사항 중 정비방식 및 제도적 개선 대책에 대한 세부적인 실행 및 관리계획을 수립하여 지속적으로 실천함으로써 출입문장치에 대한 정비품질을 균일하게 유지시켜 지하철을 이용하는 고객들에게 불편을 극소화 하는 의지가 절실히 요구되며, 향후 타 장치에 대해서도 FMECA 기법 적용의 확대가 활발히 이루어져 전체적인 도시철도 운행장애 방지에 기여할 수 있기를 기대한다.

## 참 고 문 헌

1. 장중순, 안동근 (1997), “효과적인 FMEA 실시,” 한국품질경영학회 품질경영학회지, Vol. 25, No. 1, pp. 156-172.
2. 박권식, 김태용, 정현용, 박준서 (2006), “철도시스템 FMECA 수행절차 및 분석 기법 개발에 관한 연구,” 한국철도학회 추계학술대회논문집, pp. 39-48.
3. 백영구, 윤상분, 이재호, 박면규, 이기서 (2002), “시스템의 신뢰성과 안전성 향상을 위한 FMEA 개선에 관한 연구,” 한국철도학회 추계학술대회논문집, pp. 446-452.
4. 손영진, 이강원 (2007), “전동차 유지보수 정보화체계 관리시스템 실증적 운영결과 분석,” 한국철도학회논문집, Vol. 10, No. 3, pp. 284-289.
5. 박병노, 주해진, 이창환 (2009), “철도차량의 고장모드 영향분석(FMEA),” 한국철도학회 추계학술대회논문집, pp. 162-168.
6. 김정식, 이용화, 정순석 (1997), “FMEA를 통한 보전대상 선정,” 산업과학기술연구소 논문집, Vol. 5, pp. 47-59.
7. 최진호 (2002), “체계적 설비보전 수준향상을 위한 FMECA 활용 사례 연구,” 동국대학교 석사학위논문.
8. 최성규 외 9명 (2006), “철도시스템 RAM 관리체계 구축을 위한 기반연구,” 한국철도기술연구원.

접수일(2009년 11월 25일), 수정일(2009년 12월 4일), 게재확정일(2010년 2월 19일)