

전기식 도어시스템의 고장건수 및 지연시간을 활용한 열차운행장애 분석

이본형* · 김두현**† · 김성철***

Analysis of Train Operation Obstacle Using Number of Failures and Delay Time of Electric Door System

Bon Hyung Lee* · Doo-Hyun Kim**† · Sung-Chul Kim***

Corresponding Author

Doo-Hyun Kim
Tel : +82-43-261-2463
E-mail : dhk@chungbuk.ac.kr

Received : November 20, 2019
Revised : December 13, 2019
Accepted : February 10, 2020

Copyright©2020 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Abstract : This paper analyzes functions of component parts of D-Urban Railway's door system along with operation obstacle risks on frequency(the number of occurrences/year) and severity(delay time/the number of occurrences). Based on this, the paper presents improvements and current system's problems after obstacle risks of EMU and door system are applied. The obstacle of door system causes corrosion of main parts such as DCU due to heat problem of operation environment, problems of maintenance methods and deterioration. DCUs on PCBs with more than 50% pattern corrosion cause problems. Even though the number of door system's obstacle occurrences for the last 5 years is 42, along with 104 minutes of operation obstacle, EMU operation obstacle risk is low(Level 1), which indicates there is limit in matrix of railway risks presented by the standard of railway safety management system. Therefore, it is necessary to have railway risk matrix suitable for the field. Finally, the paper deducts the obstacle risks through frequency and severity. Since 2017 when the risks of EMU and door system's obstacle, that of EMU has been 24(47% reduced) and that of door system has been average 9.5 per year(23% reduced).

Key Words : risk analysis, EMU, door system, operation obstacle, delay time

1. 서론

D 도시철도 차량과 도어시스템은 2006년 철도차량 안전기준에 관한 지침과 도시철도 차량의 성능시험에 관한 기준에 의하여 형식시험과 종합시운전 절차를 거친 후 개통하여 현재까지 운영을 해오고 있다¹⁾. 하지만 운행 중인 전동차는 설계 및 제작단계에서 RAMS (Reliability Availability Maintainability Safety) 요구사항인 안전성 및 신뢰성 분석이 이루어지지 않아 개통 이후 현재까지 도어시스템 고장은 좀처럼 감소되지 않고 있다. 이러한 고장은 열차 정시운행과 운행 안전성을 떨어뜨리고 철도사고와 운행장애를 발생시킬 수 있다. 2015년부터 시행된 철도안전관리체계에서는 철도안전

주요부품에 대한 품질향상을 위하여 도어장치를 고장 빈발부품으로 선정하여 관리하고 있으나 도어고장은 감소되지 않고 있으며, 고객부상의 위험성을 증가시키고, 운행장애와 열차지연운행 등으로 열차운행 품질을 저하시키고 있다²⁾. 이로 인하여 철도부문 국가교통안전대책은 제8차 국가교통안전기본계획(2017~2021년)과 제3차 철도안전종합계획(2016~2020년)에 의하여 3개(철도운영자 책임강화를 통한 자발적 안전관리체계 구축, 노후시설 개량 및 안전설비 확충으로 안전한 철도 인프라 구축, 철도차량 체계적 관리 및 운행 시 상호확인 및 감시 강화)의 중점 추진대책과 30개의 세부추진대책으로 구분되어 추진되고 있다³⁾. 세부적인 내용(30개) 중에 노후철도 차량에 대해서는 차량 및 부품의 신

*대전광역시도시철도공사 팀장 (Daejeon Metropolitan Rapid Transit Corporation)

**충북대학교 안전공학과 교수 (Department of Safety Engineering, Chungbuk National University)

***충북대학교 안전공학과 초빙교수 (Department of Safety Engineering, Chungbuk National University)

퇴성 향상을 통한 운행 장애와 사고 예방, 철도차량 생애주기(life cycle) 별 이력관리를 위한 시스템 기틀을 마련하고 있다. 또한 20년 이상 경과한 철도차량에 대하여 5년 주기 정밀안전진단을 시행중에 있다⁴⁾. 제도적인 부문에서는 차량 등록 및 이력관리제, 철도차량 정비사 자격제도 및 철도차량 정비조직 인증, 철도차량 형식승인, 제작사 승인 및 완성검사 등이 있다. 이런 정책에도 불구하고 주요 핵심부품과 고장빈발부품의 고장을 획일적으로 감소시키지 못하고 있다. 주요 핵심부품에서 발생 가능한 고장모드와 그 고장모드에 의한 잠재원인과 잠재영향을 구체적으로 제시해 주어야 하며 이는 구성부품에 대한 심각도와 고장빈도와의 관계를 정의해 주면 보다 체계적으로 도어시스템을 운용할 수 있다. 도어시스템에 대한 고장모드 영향분석에 대하여 다수의 논문이 제시되었지만 철도차량시스템 부품에 대한 신뢰성 분석이나 고장 감소대책에 그치고 있고, 고장건수와 지연시간을 활용하여 열차안전과 운행장애 분석은 이루어지지 않고 있다^{5,6)}.

따라서 도어시스템의 구성 부품을 정리하고 기능적 블록다이어그램을 제시할 필요가 있다. 특히 도어시스템의 주요 핵심부품을 찾고, 고장빈발 부품에 대한 실험 현장 데이터를 기반한 심각도(지연시간/발생건수)와 빈도(발생건수/년)에 대한 운행장애 Risk를 도출하여야 한다. 또한 도출된 데이터를 바탕으로 열차안전 및 정시 운행률을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 D 도시철도 도어시스템의 동작 및 구성부품의 기능을 분석하고, 발생빈도(발생건수/년)와 심각도(지연시간/발생건수)에 대한 운행장애 Risk를 분석하였고 이를 바탕으로 전동차 및 도어시스템의 운행장애 Risk 적용 후의 개선사항과 현행 시스템의 문제점을 제고하였다.

2. 도어시스템의 구성부품 및 고장원인

2.1 도어 구성부품 및 기능적 블록다이어그램

도어시스템은 emergency handle, door engine, door panel 등 3개의 서브시스템으로 구성되어 있다. emergency handle은 도어 중앙의 잠금장치와 케이블로 연결되어 비상핸들 장치를 작동시키면 motor 작동이 차단되고, 잠금장치를 기계적으로 해제한다. door engine은 panel에 power를 공급하는 장치로 도어제어장치(DCU : Door Control Unit), motor, coupling, lead screw, ball cage, terminal block, DCS(Door Close Switch)/ DLS(Door Lock Switch) limit switch 로 구성되어 도어를 개폐한다. door panel은 알루미늄 허니컴 샌드위치 구조로 좌우 리프와

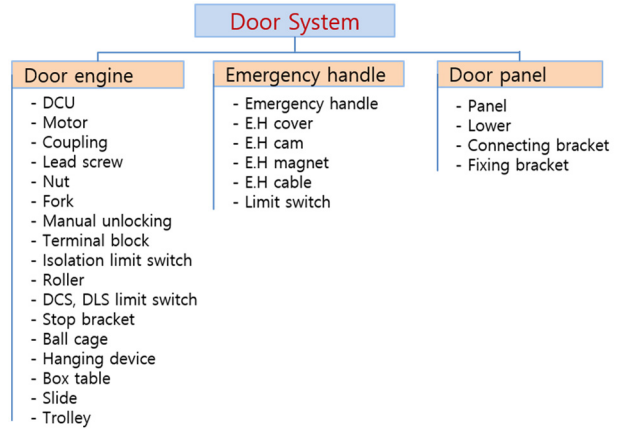


Fig. 1. Component classification of door system.

상하부 가이드 레일로 구성되어 있다. Fig. 1은 도어시스템을 나타내었다.

Fig. 2 동작 블록다이어그램은 지상/차상 신호장치와의 연계동작에 의하여 전동차가 승강장에 정위치 정차하게 되면 TCMS로부터 열림/닫힘 신호를 받아서 Door Panel은 열리도록 동작하며, motor는 DCU로부터 신호를 받아 잠금장치를 해제시키면서 Door Panel이 열리도록 동작한다. 도어의 닫힘과 잠금 상태 신호는 각각의 마이크로 스위치의 신호를 DCU가 받아 TCMS (Train computer monitoring system)장치로 전달한다. 도어 Isolation Switch는 하나의 도어가 DCU 등의 고장으로 동작하지 않거나 오동작을 일으킬 경우 나머지 도어들의 동작에 영향을 주지 않고 그 도어만 정지시킬 수 있다. ATC(Automatic train control)나 승무원에 의해 열차가 승강장에 정위치 하게 되면 ATC와 TCMS는 DCU에 열림 신호를 명령하고, 다시 DCU는 도어엔진을 구동시켜 Door Panel을 작동시키게 된다⁷⁾.

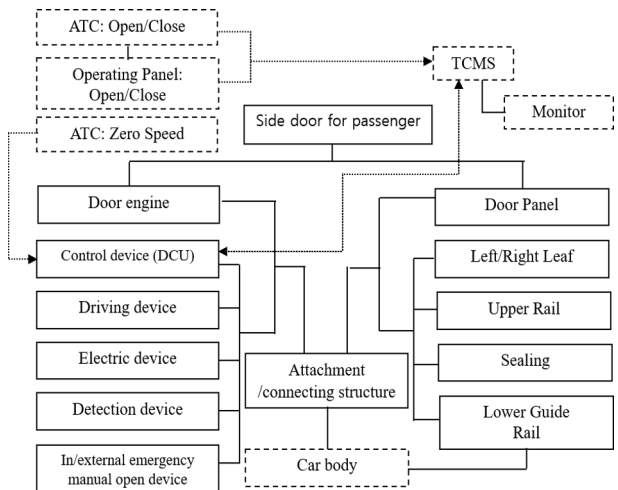


Fig. 2. Functional block diagram of door system.

DCU는 차량에 취부된 전기식 도어시스템을 제어하는 것이며, 차량의 컴퓨터 및 TCMS와 interface되도록 설계되어 있다. 또한 차량의 안전을 위해 오류 및 고장에 대하여 자가 인식하며 도어 열림이 부여되지 않은 상태에서의 어떠한 오류에 대하여 도어를 항상 닫힘 방향으로 작동되도록 제어한다. 차량 측으로부터 문을 열 수 있는 조건(Zero speed신호, 도어 Open/Close신호)을 수신하면 DCU에 연결된 motor를 구동시켜 출입문의 Open/Close를 제어하며, 도어엔진의 동작상태와 관련된 모든 정보를 motor와 각 위치에 설치된 Limit Switch를 통하여 TCMS에 관련정보를 통신을 통하여 전송한다. 모두 5개의 Connector를 이용하여 차량의 상태 및 안전을 위한 정보를 교환하고, 자기진단 소프트웨어를 내장하고 있는 PTE (Portable Test Equipment)에 의해, DCU의 상태를 진단할 수 있다⁸⁾.

2.2 도어시스템 고장원인

도어시스템 고장은 대부분 온도상승과 이물질 간섭 등의 환경요인과 시간 기준 (Time Based Maintenance) 유지보수 방식 고수, 사용시간의 증가 및 노후화 진행 등으로 발생된다. Fig. 3은 연도별 고장현황으로 2014년도에서 2015년도까지 감소하다가 다시 2016년도에 증가하였고, 현재 다시 감소한 추세이다.

Fig. 4은 도어시스템 부품별 고장원인으로 도어제어 장치(Door Control Unit)가 가장 많은 111건(35.6%)이 발생하고 있다. 다음은 Panel의 하부레일 고장이 61건으로 19.5%, Ball Cage는 37건으로 11.8%, 이물질 간섭 등 외부요인에 의한 고장이 29건으로 9.3%, DCS Limit Switch는 18건, motor고장은 10건이 발생하였다. DCU의 고장원인은 사용시간의 증가와 국부적인 열에 의한 온도상승으로 콘덴서 누액과 패턴 부식현상, EPLD

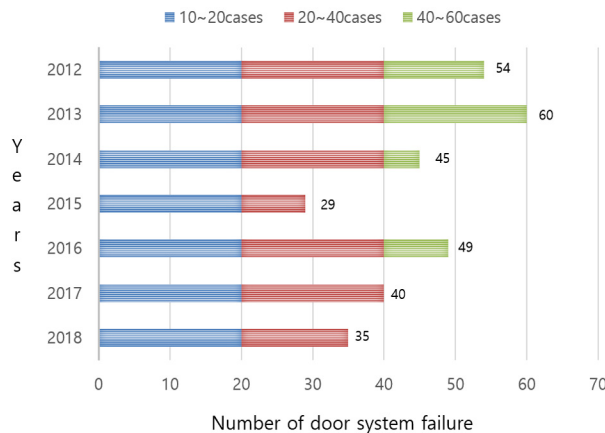


Fig. 3. Failure of door system by year.

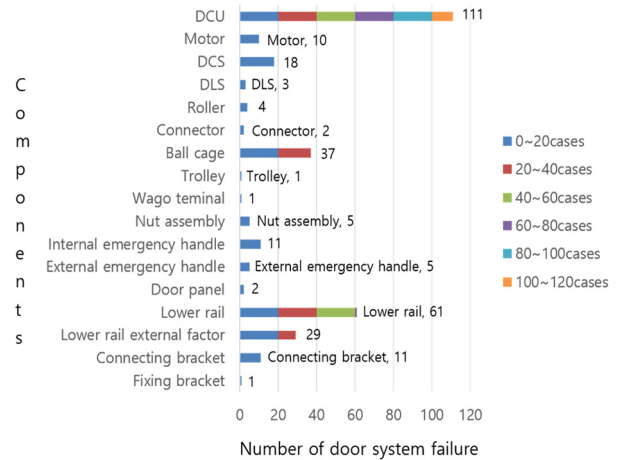


Fig. 4. Failure of door system for components.

(Electrically Programmable Logic Device)의 기억이 소거되는 현상 등이 발생하였다.

2.3 도어시스템의 문제점

D 도시 전동차는 운영단계에서 도어시스템 통신고장으로 열차지연이 빈번하게 발생하고 있다. 특히 Fig. 5와 같이 DCU에서 고장이 많이 발생하고 있다.

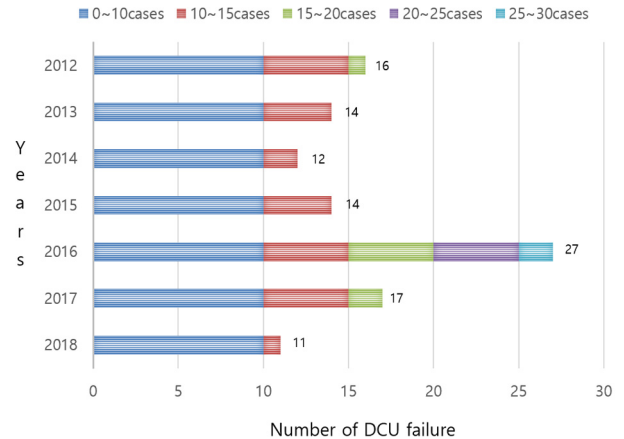


Fig. 5. Failure of DCU by year.

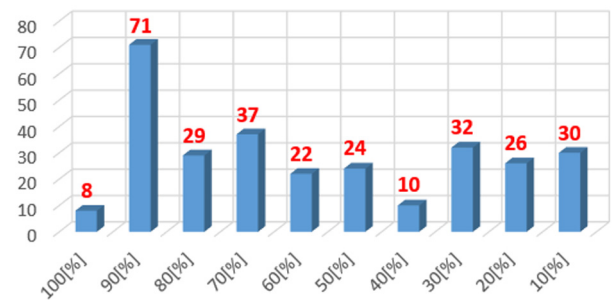


Fig. 6. Distribution of corrosion pattern for DCU.

Fig. 6은 도어시스템의 주된 고장원인이 되고 있는 도어제어장치(DCU)의 열 축적에 의한 PCB 패턴 부식 현상을 보여주고 있다. 전체 DCU 672개중 289개에서 패턴 부식현상이 발생하고 있으며, 그중 패턴 부식이 50% 이상 진행된 191개의 DCU에서 제 기능이 상실되어 TCMS와의 통신고장으로 도어 닫힘이 제대로 이루어지지 않아 고장으로 이어졌다.

도어시스템은 2000년 이후 공압식에서 전기식으로 작동방식이 변경되어 안전성이 한층 강화되었지만 가동시간의 증가와 외부 환경요인 등으로 다른 시스템과 비교하여 여전히 높은 고장률을 보이고 있다. 이러한 높은 고장률은 정비체계가 시간과 운행거리를 미리 정해 놓고 시행하는 TBM(Time Based Maintenance)방식을 고수하고 있기 때문이다. 고장감소를 위해서는 최근 많이 적용하는 신뢰성기반 유지보수(RCM : Reliability Centered Maintenance)와 상태기반 유지보수(CBM : Condition Based Maintenance) 방식으로 고도화하여 고장이 발생하기 전에 검사와 정비를 시행하여 예방적인 부품교체와 도어 교정(Setting)작업이 이루어져야 한다.

3. 도어시스템의 리스크 분석

3.1 도어시스템의 운행장애 위험도

국토교통부 고시 철도사고 등의 보고에 관한 지침에 따라 열차 또는 철도차량의 운행으로 여객, 공중(公衆), 직원이 사망하거나 부상을 당한 사고로 24시간 이상 입원 치료를 한 경우 철도교통사고로 분류한다⁹⁾. 운행 장애는 위험사건 또는 지연운행으로 분류하고, 다시 지연운행은 전동열차를 10분 이상 지연하여 운행한 것으로 출발역, 정차역 또는 종착역에서 계획시간표 보다 지연된 경우 국토교통부에 즉시 보고하고 있다.

Table 1. Risk matrix of electric multiple unit

| | Severity of Potential Hazard/Loss/Delay time | | | | |
|------------------------|--|----------------|----------------|----------------|--------------|
| | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| Frequency | 10 min ↔ 8 min. | 8 min ↔ 5 min. | 5 min ↔ 3 min. | 3 min ↔ 1 min. | below 1 min. |
| 5 = more then 200/year | Level 5 | Level 5 | Level 5 | Level 4 | Level 3 |
| 4 = less then 200/year | Level 5 | Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 2 |
| 3 = less then 150/year | Level 5 | Level 4 | Level 3 | Level 3 | Level 2 |
| 2 = less then 100/year | Level 4 | Level 3 | Level 3 | Level 2 | Level 1 |
| 1 = less then 50/year | Level 3 | Level 2 | Level 2 | Level 1 | Level 1 |

Table 1은 철도안전관리체계 기술기준에서 제시한 전동차 철도위험도 Matrix를 나타내었다¹⁰⁾.

운행장애(이상현상) Risk는 발생빈도(발생건수/년)과 심각도(지연시간/발생건수)로 구할 수 있다. 식 (1)은 운행장애 Risk를 나타내었다.

$$\text{Risk(운행장애 Risk)} = \text{Frequency(발생건수/년)} \times \text{Severity(지연시간/발생건수)} \quad (1)$$

Table 2는 위험도 분석에 사용되는 전동차 장치별 고장 발생건수 및 지연시간을 나타내었다. 도어시스템에서 발생건수 42건과 지연시간 104분으로 가장 높게 나타났다.

Table 3은 식 (1)에 의한 전동차 운행장애 위험도를 나타내었으며 EMU(전동차)의 운행장애 Risk가 9.5로 비교적 높게 나타났고, 그다음을 도어시스템의 Risk가 4.2로 나타냈다. Table 1의 철도위험도 매트릭스에 의하면 EMU의 빈도가 17.6건으로 빈도 50건 이하 1단계에 해당되고, 지연시간은 2.7분으로 심각도 2단계로 리스트 등급은 수용 가능한 1등급에 해당된다. 최근 5년간의 도어시스템의 고장발생건수는 42건으로 104분의

Table 2. Number of accident and delay time for components of electric multiple unit

| | 2012 | | 2013 | | 2014 | | 2015 | | 2016 | | Total | |
|------------------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| | No. of accident | delay | No. of accident | delay | No. of accident | delay | No. of accident | delay | No. of accident | delay | No. of accident | delay |
| ATP_ATO | 1 | 2 | 4 | 5 | 1 | 4 | 1 | 1 | 3 | 4 | 10 | 16 |
| TCMS | 1 | 3 | 1 | 7 | | | 2 | 6 | 1 | 1 | 5 | 17 |
| VVVF | | | | | | | 1 | 4 | 1 | 1 | 2 | 5 |
| SIV | | | | | 1 | 1 | | | | | 1 | 1 |
| Brake | | | 1 | 4 | | | 4 | 13 | 5 | 16 | 10 | 33 |
| Air compressor | | | | | | | 1 | 4 | | | 1 | 4 |
| Door system | 13 | 34 | 13 | 33 | 5 | 13 | 4 | 9 | 7 | 15 | 42 | 104 |
| Electric circuit | | | 3 | 4 | 1 | 1 | 2 | 3 | 7 | 33 | 13 | 41 |
| Electric device | 2 | 8 | | | 1 | 4 | 1 | 4 | | | 4 | 16 |
| No. of accident | 17 | 47 | 22 | 53 | 9 | 23 | 16 | 44 | 24 | 70 | 88 | 237 |

ATP_ATO(Automatic Train Protection_Automatic Train Operation), VVVF(Variable Voltage Variable Frequency), SIV(Static Inverter)

Table 3. Risk for operation obstacle of electric multiple unit

| Hazard Incident | Details Hazard Incident | Hazard Factor | Frequency | Severity | Risk |
|-----------------|--------------------------|--|-----------|----------|------|
| Train Failure | Door system failure | Cause extinction Obstacle detection DCU, DCS, DSL, Door Panel Bad | 8.4 | 2.5 | 4.2 |
| | VVVF Inverter | GDU, IGBT Bad | 0.4 | 2.5 | 0.2 |
| | ATC Failure | WISIR, K21 Bad | 2 | 1.6 | 0.6 |
| | TCMS Failure | VCPU, LIU PWR Board Bad | 1 | 3.4 | 0.7 |
| | Electric Device Failure | 101P, OCA Bad | 0.8 | 4 | 0.6 |
| | Break Device Failure | ECU Bad | 2 | 3.3 | 1.3 |
| | Electric Circuit Failure | RLDCT, RLHC Bad | 2.6 | 3.2 | 1.7 |
| | EMU | Door, ATC, etc. | 17.6 | 2.7 | 9.5 |

GDU(Gate drive unit), IGBT(Insulated gate bipolar transistor), WISIR(Distance pulse counter for safe computer), K21(Relay 21), VCPU(VME central progressing unit, VME : Versa module eurocard bus), LIU PWR(Local interface unit power), OCA(Other cab Activation), ECU(Electronic control unit), RLDCT(Door closed total relay), RLHC(Head control relay)

Table 4. Number of accident and delay time for components of door system

| | 2012 | | 2013 | | 2014 | | 2015 | | 2016 | | Total | |
|--------------------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| | No. of accident | delay | No. of accident | delay | No. of accident | delay | No. of accident | delay | No. of accident | delay | No. of accident | delay |
| DCU | | | 2 | 4 | | | 3 | 7 | 3 | 6 | 8 | 17 |
| DCS | | | 2 | 5 | | | 1 | 2 | | | 3 | 7 |
| DLS | | | 1 | 2 | | | | | | | 1 | 2 |
| Obstacle detection | 9 | 24 | | | 2 | 5 | | | | | 11 | 29 |
| Obstacle | | | | | 1 | 3 | | | | | 1 | 3 |
| Bracket | 1 | 3 | 2 | 6 | | | | | | | 3 | 9 |
| Extinguish cause | | | 6 | 16 | 2 | 5 | | | | | 8 | 21 |
| door panel | | | | | | | | | 4 | 9 | 4 | 9 |
| No. of accident | 13 | 34 | 13 | 33 | 5 | 13 | 4 | 9 | 7 | 15 | 42 | 104 |

열차지연을 발생시킴에도 불구하고 철도 운행장애 Risk가 낮게 나타난 것은 Table 1에서 운영기관과 시스템 등 별도의 Risk Matrix가 정해져 있지 않기 때문이다. 이는 현장에 적합한 철도위험도 Matrix가 필요하다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 4는 도어시스템 부품별 발생건수 및 지연시간을 나타내었다. 장애물 감지와 통신고장에 의한 원인 불명을 제외하고는 DCU가 가장 높게 나타났다.

Table 5. Risk for operation obstacle of door system

| Accident Type | Hazard Incident | Details Hazard Incident | Hazard Factor | Frequency | Severity | Risk |
|----------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|-----------|----------|------|
| Operation Impediment | Train Failure | Door System Failure | DCS bad | 0.6 | 2.3 | 0.3 |
| | | | DCU bad | 1.6 | 2.2 | 0.7 |
| | | | Cause extinction | 1.6 | 2.6 | 0.8 |
| | | | Obstacle detection | 2.2 | 2.6 | 1.6 |
| | | | Panel bad | 0.8 | 3 | 0.4 |
| | | | Bracket bad | 0.6 | 3 | 0.5 |

Table 5는 도어시스템에 대한 Risk 분석이고 1.6의 Risk를 보인 장애물 감지와 0.7의 Risk를 보인 DCU에서 Risk가 높게 나타나고 있어서 이에 대한 개선대책이 필요하다.

3.2 도어시스템의 열차운행 중 고장 분석

Table 6 이상현상(준사고)은 재산피해를 발생시키지 않은 시설물의 고장 등으로 열차운행에 10분 미만의 지장을 준 것으로 철도사고나 운행장애에 속하지 않는 차량고장이다. 2012년~2018년까지 발생한 275건의 고장 중에서 도어장치는 81건으로 29.5%를 차지하고 있고, 도어장치의 고장으로 차량교환이 이루어진 사례는 38건으로 19.5%를 차지하고 있다. 세부적으로 2012년~2016년까지 227건이 발생하여 연평균 45건이 발생하였고, 그중에서 Door 장치는 62건(27%)으로 가장 많이 발생하였다. 전동차 및 도어시스템 운행장애 Risk 분석을 통한 개선조치가 이루어진 2017년 이후 전동차 장애발생 건수는 연평균 24건으로 47% 감소하였고, Door장치는 연평균 9.5건으로 23% 감소하였다.

Table 6. The accident and exchange of electric multiple unit

| Years | Component | Accident | Exchange of EMU |
|-------|-----------|-------------|-----------------|
| 2012 | EMU | 52 | 32 |
| | Door | 18 | 10 |
| 2013 | EMU | 49 | 25 |
| | Door | 19 | 10 |
| 2014 | EMU | 30 | 23 |
| | Door | 6 | 1 |
| 2015 | EMU | 49 | 35 |
| | Door | 5 | 3 |
| 2016 | EMU | 47 | 33 |
| | Door | 14 | 8 |
| 2017 | EMU | 25 | 31 |
| | Door | 8 | 3 |
| 2018 | EMU | 23 | 16 |
| | Door | 11 | 3 |
| total | EMU | 275 | 195 |
| | Door | 81 29.5% | 38 19.5% |

4. 결론

본 연구에서는 D 도시철도교통이 공공교통으로서 이용 고객들에게 안전하고 편리한 도시철도 서비스를 제공하기 위하여 전동차 및 도어시스템의 운행장애 Risk를 분석하여 적용하였다^{11,12)}. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 도어시스템 고장은 운영환경에서 열적문제와 고객부주의 등 환경요인, 운행시간과 거리를 미리 정하고 시행하는 정비방식 고수, 그리고 사용시간 증가와 노후화 진행, 특히 DCU의 열 축적에 의한 PCB 부식현상 등으로 나타났다.

2) 최근 5년간의 도어시스템의 고장발생건수는 42건과 104분의 열차지연을 발생시킴에도 불구하고 철도 운행장애 Risk가 낮게 나타난 것은 철도안전관리체계 기술기준에서 제시한 철도위험도 Matrix가 철도운영기관별 그리고 철도차량 등 분야별 세부기준이 없기 때문이다. 따라서 현장에 적합한 철도위험도 Matrix가 필요하다.

3) 전동차 및 도어시스템 운행장애 Risk가 높게 나타났던 장애물 검지에 대하여 하부레일 교정으로 기계적인 간섭을 최소화 하였다. 또한 DCU에 대해서는 발열의 원인이 되었던 콘덴서를 교체하는 개선조치를 시행하여 2017년 이후 전동차는 연평균 장애 발생건수가 24건으로 47% 감소하였고, Door장치는 연평균 9.5건으

로 23% 감소하였다.

4) 도어시스템은 복잡하고 첨단화되어 향후 고장관리는 위험성 평가기법을 통하여 과학적이고 체계적인 접근이 반드시 수행되어야만 고장을 감소시킬 수 있다. 또한 시간 기준 정비방식(TBM)에서 상태기반 유지보수(Condition Based Maintenance) 방식으로 유지보수를 고도화하는 것도 필요하다.

References

- 1) Notice No. 2005-438 of the Ministry of Construction and Transportation, Guidelines for Safety Standards for Railway Vehicles, 2005.
- 2) Railway Safety Management System Daejeon Metropolitan Rapid Transit Corporation, 2005.
- 3) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “Changing the 8th National Traffic Safety Plan”, Railway Sector Traffic Safety Measures, pp.196-229, 2018.
- 4) Notice No. 2016-579 of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Technical Standards for Railway Products, 2016.
- 5) Y. J. Yang and H. S. Lee, “Reliability Improvement Method of the Electrical Door System for the Railway Vehicles”, Journal of Energy Engineering, Vol. 24, No. 1, pp. 17-23, 2015.
- 6) C. S. Kim and H. S. Lee, “Reliability Analysis of Electric Door System for EMU”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 28, No. 8, pp. 52-56, 2013.
- 7) Door System Technical Specifications of Daejeon Metropolitan Rapid Transit Line No. 1, pp. 1-41, 2004.
- 8) EMU Maintenance Instructions of Daejeon Metropolitan Rapid Transit Line No. 1, Vol. 1, Chapter 3, 3-3 Door Device, 2005.
- 9) Notice No. 2014-552 of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport for Guidelines on Report of Railway Accidents, 2014.
- 10) Notice No. 2014-434 of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Technical Standards for Railway Vehicles, 2014.
- 11) J. H Lee, H. Lee and W. Y. Seo, “A Study on Passenger-Oriented Level of Service for Railway” Policy Research Report, 2014.
- 12) H. K Bae, H. C. Kwak, Y. Y. Choi and Y. S. Oh, S.M Kang, “Estimation of Social Benefits by Reduction of Accidents Caused by Device Fiure in Urban Railway”, Journal of Korean Society for Urban Railway, pp. 255-263, 2019.