

상하 스크린도어 위험원 (Hazard) 분석과 대응방안

Hazard Analysis on the Controller System for Vertical Platform Screen Door

신판주*, 김현*†, 정승권**, 박상구***

Pan Ju Shin *, Hyun Kim *†, Seung Kweon Jung **, Sang Gu Park ***

Abstract VPSD(Vertical Platform Screen Door) is the system that controls opening and closing operation of screen doors built on the railway platform for safe isolation between the train and the passengers. It gathers the train position information and obstacles information through various sensors to drive the screen doors open and close by controlling motors. Because PSDC is important to prevent the accident of passengers on the platform, it should guarantee the functional safety. From the point of view of PSDC operation, possible hazards are listed. For each hazard-related risk, severity of result and the frequency of occurrence are analyzed and THR(Tolerable Hazard Rate) is calculated.

Keywords : Vertical Platform screen door, Functional safety, Hazard analysis, THR(Tolerable hazard rate)

초 록 상하 스크린 도어 시스템은 승강장에서 열차와 승객간의 안전하게 분리를 위해 설치된 승강장 스크린도어의 개폐를 제어하는 장치이다. 이를 위해 열차의 위치 정보와 각종 센서를 통해 수집된 장애물 정보를 이용해서 스크린도어의 모터 동작을 제어하여 도어를 개폐한다. 플랫폼 스크린 도어 제어기는 열차 이용 승객의 승강장 사고를 예방하는 안전에 중요한 장치이므로 동작 안전성 보장이 필요하다. 이를 위해 제어기 관점에서 발생할 수 있는 위험원을 도출하고 해당 위험에 대한 결과의 심각성과 발생 빈도를 분석하여 그 위험을 수용 가능한 수준의 안전 상태로 만들 수 있도록 허용 위험율을 구하였다.

주요어 : 상하 플랫폼 스크린 도어, 동작 안전성, 위험 분석, 허용 위험율

1. 서 론

플랫폼 스크린도어(PSDC: Platform Screen Door)는 승강장에서 승객과 열차간의 충돌 사고와 승객이 선로 추락하는 안전사고를 예방하기 위해 설치하는 물리적인 안전시설물이다. 이러한 PSD는 난간형, 반밀폐형, 밀폐형 등 3가지 종류로 “승강장 안전설비(PSD : Platform Screen Door)”이라는 한국철도표준규격이 운영되고 있다[1]. 하지만 기존PSD는 영등포역이나 신창역 등과 같이 무궁화, 누리로, 새마을, KXT 등과 같이 다양한 열차가 운영하는 승강장에 운영하는 데 한계가 있다. 강희찬 외 다수(2013)[2]는 다차종 열차가 운영하는 영등포 승강장을 대상으로 열차정차 지점을 동일한 곳으로 고정하여 해당 열차들의 출입문 위치를 분석한 결과, PSD의 개방 폭은 약 7m가 필요하다고 제시하고, 이를 효율적으로 적용하기 위한 방안은 상하로 열림과 닫힘을 갖는 로프형 스크린도어(RPSD: Rope Platform Screen Door) 10m 개방 폭 대상으로 영등포역의 열차운영현황을 고려한 시뮬레이션 기법으로 RPSD의 적용성을 확인하였다. RPSD 운영사례는 대구도시철도 1호선 문양역[3]과 일본 전원도시선 츠키미노역에 상용운영과 시범운영 실적을 추적하고 있으며, 특히 김태규(2015)[4]는 일본 전원도시선 츠키노역의 RPSD 시범운영사례에 대해 다 차종과 열차 출입문 개소수가 다른 환경을 반영한 현장 적용성이 높다고 평가하고 있다. 또한 로프형 상하 스크린도어 구조체는 100만회 내구성 시험 성적서 취득[3]과 스톡홀름 메트로 극한환경 시험운영[5]에 현대로템이 참가한 결과, 스웨덴의 겨울 환경에 적용성이 높은 것으로 평가하고 있다.

상하 플랫폼 스크린도어(VPSD : Vertical Platform Screen Door) 시스템[3]는 위로 열리고 아래로 닫히는 개념으로 4.5

† 교신저자 : 한국교통연구원 철도교통본부 연구위원 (hyun_kim@koti.re.kr)

* 한국교통연구원 철도교통본부

** (주)우리기술 시스템연구소*** 한국철도시설공단

초 이내에 열림과 닫힘을 대응할 수 있는 다 차종이 운영 승강장 안전설비로 로프형, 난간형, 반밀폐형, 밀폐형 등 4가지 종류가 국토교통연구개발사업으로 연구개발 중에 해당한다. 승강장 안전설비는 상하 방향으로 스크린(안전문)의 열림과 닫힘을 제어하기 위한 개념에 대응한 VPSD시스템의 운영 시나리오 검토와 이에 적합한 제어장치들 (VPSDC : Vertical Platform Screen Door Controller)에 대한 안전성 보증이 필요하다. VPSDC의 안전성 보증 방법론은 IEC 철도 시스템규격서 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability and Safety) [6]와 신호, 통신 등의 안전성에 관한 IEC62425철도규격[7]에서 정의하고 있다.

본 논문은 VPSD시스템 개발 과정에서 수행되어야 하는 안전성 보장 관련 활동들[8], [9] 중 상하 플랫폼 스크린 도어 제어기(VPSDC) 관점에서 발생할 수 있는 위험원(Hazards)을 도출하고 해당 위험원 결과에 대한 심각성과 발생 빈도를 분석하고, 해당 위험원들이 수용 가능한 안전 수준을 확보할 수 있는 경감대책을 제시하고자 한다. 또한 위험원들에 근거하여 IEC62425에서 정의하는 각 위험의 허용 위험율(THR: Tolerable Hazard Rate)을 구하고자 한다. 허용 위험율을 통해 상하 플랫폼 스크린 도어 제어기 설계에 안전 기준인 안전 무결성 등급(SIL: Safety Integrity Level)을 설정하고, 설정된 SIL 등급은 안전 시스템의 설계 목표로 제시하고자 한다[10].

2. 본 론

2.1 상하 플랫폼 스크린 도어 제어기(VPSDC)

2.1.1 VPSDC 시스템 개요

VPSDC는 VPSD 시스템의 제반 동작을 감시, 제어하는 시스템이다. 열차의 위치 정보와 각종 센서를 통해 수집된 정보를 이용해서 스크린도어의 모터의 동작을 제어하여 도어를 개폐하고, 수집된 정보를 운영자에게 HMI(Human Machine Interface)를 통해 제공하여 동작 상태를 감시할 수 있도록 한다. 또한 이상 상태가 발생할 시에는 운영자들이 수동으로 스크린도어를 개폐할 수 있도록 한다. VPSDC는 각 스크린도어에 위치하여 도어 상태 정보 수집과 모터 동작을 제어하는 DCU(Door Control Unit), 열차 신호 시스템이나 열차 위치 감지 센서로부터 정보를 수집하여 스크린도어의 개폐를 결정하여 명령하는 MCU(Main Control Unit), 비상시 운영자의 수동 조작을 가능하게 하는 LCU(Local Control Unit)로 구성된다. VPSDC 시스템의 외부 연결과 구성 요소들을 Fig. 1에 제시하고 있다.

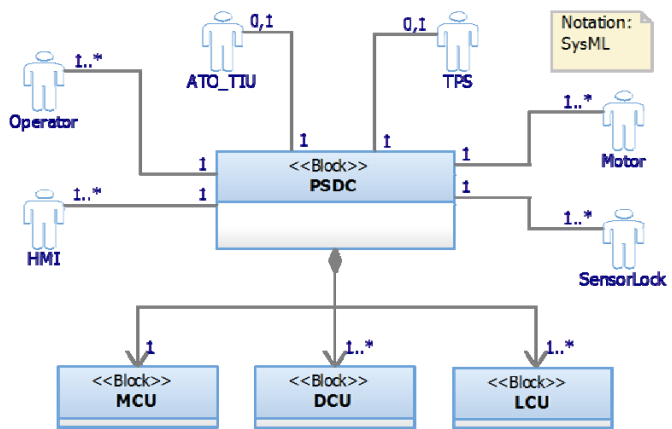


Fig. 1. VPSDC context diagram

2.1.2 VPSDC 구성 및 기능의 정의

VPSDC는 ATO(Automatic Train Operation), TIU(Train Interface Unit), TPS(Train Position Sensors) 또는 LCU(Local Control Unit)로부터 정보를 수집하여 스크린도어에 대한 열림, 닫힘을 결정하여 명령하는 MCU와 각 스크린도어에 위치하여 도어 상태정보 수집과 모터동작을 제어하여 각 스크린도어 도어를 열고, 닫는 기능을 담당하는 DCU, 비상시 운영자의 수동 조작을 가능하게 하는 LCU로 구성된다.

MCU는 승강장내 각 선로마다 한 개씩 설치되어 VPSDC의 전반적인 동작을 결정하는 역할을 담당한다. 주요 기능은 먼저, ATO, TIU또는 TPS로부터 열차의 위치 정보와 정위치, 도착, 출발 정보 및 운영자가 수동으로 스크린도어의 열림, 닫힘 명령을 발생시킬 수 있는 LCU로부터 정보를 수집한다. 둘째, 수집정보로 스크린도어들에 대한 열림/닫힘을 결정하여 DCU에 명령을 보낸다. 셋째, MSD(Motorized Sliding Door)들과 비상도어를 포함한 VPSD의 모든 도어의 닫힘 상태 정보를 받아들이며 승객이 선로로부터 안전하게 격리되어 있음을 확인한다. 넷째, MCU의 모든 동작과 상태 정보를 HMI로 출력한다. 다섯째, LCU에 중요 동작 상태 정보를 출력한다.

DCU는 VPSD의 각각의 스크린도어에 장착되어 그 도어의 모터를 제어하여 열림/닫힘 동작을 수행하는 장치이며, 주요 기능은 첫째, MCU로부터 도어의 열림/닫힘 명령을 받아들이며, 둘째 명령에 따라 도어의 모터를 제어하여 도어를 개폐시킨다. 셋째, 도어 개폐 제어시 도어에 위치한 센서로부터 정보를 받아들이며 모터제어를 조절한다. 다섯째, 이상 상태 발생시 모터에 공급되는 전원을 끊어 운영자가 수동으로 도어를 조작할 수 있도록 한다. 마지막으로 DCU의 모든 동작과 상태 정보를 HMI로 출력한다.

LCU는 VPSDC 시스템의 중요상태를 표시하고 이상상황 발생시 운영자가 수동으로 조작반을 조작하여 스크린도어의 열림/닫힘 동작을 수행할 수 있도록 하는 장치이다. 주요 기능은 VPSDC의 동작상태를 표시하고, 이상 상태 발생시 운영자가 수동으로 스크린도어의 열림/닫힘 명령을 발생시킬 수 있도록 한다.

2.1.3 VPSDC 동작 모드 구분

VPSDC는 ATO(Automatic Train Operation), TIU(Train Interface Unit), TPS(Train Position Sensors) 또는 LCU(Local Control Unit)로부터 정보를 수집하여 스크린도어에 대한 열림, 닫힘을 결정하여 명령하는 MCU와 각 스크린도어에 위치하여 도어 상태정보 수집과 모터동작을 제어하여 각 스크린도어 도어를 열고, 닫는 기능을 담당하는 DCU, 비상시 운영자의 수동 조작을 가능하게 하는 LCU로 구성된다. VPSDC는 MSD 열림/닫힘 동작의 제어 주체에 따라 다음과 같은 3가지 동작 모드로 정의하고 있다. 개별수동 동작 모드는 권한을 가진 운영자가 열쇠 스위치(key switch)를 통해 각각의 스크린도어를 개별 수동동작 모드로 전환하고 도어를 직접 개폐할 수 있도록 정의한 운영 모드이다. 이는 도어에 장착된 DCU에 연결된 키 스위치의 조작으로 가능하게 되는데 개별 수동 동작 모드가 된 DCU는 MCU, LCU로부터 제어신호를 받지 않으며, 오직 운영자의 열림/닫힘 명령을 DCU에서 직접 받아 MSD 동작을 제어한다. 개별 MSD에 고장이 생긴 경우 고장 난 MSD를 전체 시스템으로부터 격리 시키기 위해서도 사용될 수 있다. 원격 수동 동작 모드는 LCU의 키 스위치를 통해서 원격 수동 동작 모드가 설정되며, 설정된 후에는 LCU의 열림/닫힘 스위치에 의해 전체 MSD의 열림/닫힘 동작이 수행된다. 시스템에 일시적인 오작동이 발생하거나, MSD 동작을 방해하는 장애물 때문에 열차의 운행이 지연될 경우, 운영자 혹은 열차 운전자가 승객의 안전을 확인한 후 직접 MSD의 동작을 제어할 수 있도록 제공되는 모드이다. 원격 자동 동작 모드는 초기 기본 모드이며 정상 동작 시 사용되는 모드이다. MCU에 의해 전체 MSD의 개폐가 자동으로 제어되는 모드이다. MCU는 ATO, TIU또는 TPS로부터 전달되는 정보를 이용하여 전체 도어의 개폐를 결정한다.

2.2 VPSDC 안전성 분석 적용 방법

2.2.1 위험 등급화

안전성 활동은 잠재된 모든 위험원 도출과 해당 위험으로부터 발생할 수 있는 위험을 줄이기 위한 경감대책을 강구하고 이 경감대책들에 의해 위험이 정의한 안전성 범위 이내로 수용할 수 있는지 평가하는 일련의 과정으로 정의된다. 위험원들의 등급화는 위험원이 사람 또는 주변 환경에 영향을 미치는 발생 가능한 결과(consequence)에 따라 평가한다. 이는 위험에 대한 강도와 발생빈도를 기본으로 하여 평가해야 한다. 위험 등급은 강도와 발생 빈도를 통합한 Table 1을 기준으로 하여 결정한다.

경감대책은 시스템에 구현하여 위험원을 제거하거나 위험의 강도나 발생 빈도를 낮추어 위험을 경감시킨다. 만약 위험 등급이 높은 위험원에 경감방안을 적용하여 위험 등급을 낮출 때 충분히 허용 가능한 위험 등급으로 낮추지 못할 경우에는 위험수용 기준을 적용하여 판단한다. 이때 적용되는 방법이 ALARP (As Low As Reasonably Practicable) 방법이다. 위험들은 위험 경감을 위한 경감 방안에 대한 구현 비용이 비현실적이 되기 이전까지 최선의 방안을 구현하여 위험 등급을 최소화시키고, 이를 허용 가능한 위험으로 받아들이는 방법이다. ALARP 방법을 적용한 정성적인 위험 수용 기준은 Table 2와 같다.

Table 1. Risk acceptance matrix

| Frequency of occurrence | | | Severity | | | | |
|-------------------------|----|--|--|--|--|-----------------------|---|
| | | | Catastrophic | Critical | Marginal | Insignificant | No risk |
| Description | | Frequency of occurrence of a hazardous event (/year) | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
| | | | Fatalities and/or multiple severe injuries | Single fatality and/or severe injuries | Minor injury and/or significant threat | Possible minor injury | Impossible minor injury (reliability issue) |
| Frequent | F1 | $F \geq 10$ | Intolerable | Intolerable | Intolerable | Undesirable | Tolerable |
| Possible | F2 | $1 \leq F < 10$ | Intolerable | Intolerable | Undesirable | Tolerable | Tolerable |
| Occasional | F3 | $10^{-2} \leq F < 1$ | Intolerable | Undesirable | Undesirable | Tolerable | Negligible |
| Remote | F4 | $10^{-4} \leq F < 10^{-2}$ | Undesirable | Undesirable | Tolerable | Negligible | Negligible |
| Improbable | F5 | $10^{-5} \leq F < 10^{-4}$ | Tolerable | Tolerable | Negligible | Negligible | Negligible |
| Incredible | F6 | $F < 10^{-5}$ | Negligible | Negligible | Negligible | Negligible | Negligible |

Table 2. Risk class acceptance clarification

| Risk Class | | Actions to be applied against each level | ALARP |
|--------------|----|--|---------------------------|
| Intolerable | R1 | Shall be eliminated | Unacceptable region |
| Undesireable | R2 | Shall only be accepted when risk reduction is impracticable and with the agreement of the Railway Authority as appropriate | ALARP region |
| Tolerable | R3 | Acceptable with adequate control and with the agreement of the Railway Authority | |
| Negligible | R4 | Acceptable with agreement of the Railway Authority | Broadly acceptable region |

어떤 위험들을 제거하거나 수준을 낮추는 것이 결정되면 위험 경감을 위해 안전 설계 기준을 적용하거나, 보호 (Protection) 기능으로 정의하거나, 관련 있는 규격과 원칙을 준수하는 방법으로 정의하거나, 유지, 관리의 원칙과 프로세스로 정의한다. 경감 방안들로부터 초기에는 위험을 경감시키는 상위의 안전 요구사항을 도출하고 설계가 진행되면서 상세한 분석을 통해서 안전 관련 시스템에 할당 가능한 안전 기능을 정의한다.

2.2.2 위험 분석

위험원 분석은 잠재 위험원에 대한 사고들을 도출하고 해당 사고 결과의 강도를 평가한다. 해당 사고의 영향 강도에 근거하여 시스템의 안전성 지수는 사고 영향도 수준을 결정하는 임계값(HR)을 도출하는데 본 논문에서는 CELENEC 기술 보고서 TR-50451[8]에서 제시된 시스템적인 방법을 적용하여 THR 값을 산정한다. TR-50451의 THR 산정방법은 철도 시스템에서 널리 사용되고 있다. 이는 한 사람이 위험에 노출되어 발생하는 연간 사망률로 표현하는 수식으로 개인 위험 개념에 해당한다. 개인(i)에 대한 사망위험도(IRF : individual risk of fatality)는 아래 식으로 표현된다. 여기서 N_i 은 연간 또는 시간당 이용 횟수, HR_j 는 위험 발생률, D_j 는 위험 지속 시간, E_{ij} 는 위험 노출 시간, C_j^k 는 위험으로 발생하는 사건의 결과 확률, F_j^k 는 사건 발생으로 생기는 개인의 사망확률을 의미한다.

$$IRF_i = \sum_{\text{all hazards } H_j} N_i \left(HR_j (D_j + E_{ij}) \sum_{\text{accidents } A_k} C_j^k \times F_j^k \right)$$

식 (1)

2.3 VPSDC 위험원 도출

VPSDC 위험원 분석은 식별을 위해 VPSDC 시스템이 운용되는 과정에서 발생 가능한 고장에 대해 검토하고, 해당 위험원에 대해 기능안전 표준에서 지향하는 기능중심의 위험원 분석을 보다 체계적으로 수행하고자 운영자의 LCU, DCU 운영 오류에서 발생하는 위험, 차량 내 화재, 터널 내 사고, 비상시 운영에서 발행 하는 위험 등에 대해 VPSDC 기능만으로 대처할 수 없다. 이러한 VPSDC 범위 밖의 위험에 대해서는 제외하고 전문한 VPSDC 세부 기능들에 대한 세부기능의 고장에 따른 잠재 위험원 및 발생 가능한 위험만을 대상으로 한다.

첫째, 열차 도착 검지 기능의 경우, ‘잘못된 열차 도착 검지로 MSD 열림’은 잠재 위험원①로 설정한다. 이는 잘못된 열차도착 검지로 미리 MSD 가 열릴 경우 승객이 열차가 없는 선로로 떨어져 있는 상황에서 진입하는 열차와 충돌하는 위험이 예상된다. 또한 ‘열차 도착 검지 불가능으로 MSD 열리지 않음’은 잠재 위험원②로 정의한다. 이는 열차가 도착하여도 MSD 가 열리지 않아 승객들이 하차할 수 없는 혼란으로 나타날 수 있는 위험에 해당한다. 두 번째 MSD 열림 결정 기능의 경우, ‘열차 도착 검지 기능’에서와 동일하다. 세 번째 열차 출발 검지 기능의 경우 ‘열차 출발 검지 오류로 MSD 열림이 계속 유지’하는 상황을 잠재 위험원③으로 정의한다. 이때 MSD 가 열려있는 상황에서 열차가 출발하는 경우 승객이 출발하는 열차와 접촉하는 위험이 발생할 수 있다. 네 번째 MSD 닫힘 결정 기능의 경우는 ‘열차 출발 검지 기능’에서 정의한 잠재 위험원③과 동일하다.

ATO 및 TIU 의 도어 상태 전송 기능의 경우 잠재 위험원④는 ‘열려있는 MSD 상태를 닫힌 상태로 잘못 전송’이다. 이는 MSD 가 열린 상황에서 닫힘 신호에 의해 열차가 출발해 승객이 출발하는 열차에 치일 위험이 예상된다. 또한 열려있는 MSD 로 승객이 선로로 떨어져 닫힘 정보를 수신하여 플랫폼에 접근하는 열차에 치일 위험이 있다.

MSD 장애물 검지기능의 경우 잠재 위험원⑤는 ‘열차문과 MSD 사이의 승객 검지 실패’를 들 수 있다. 열차문과 MSD 사이에 끼인 승객이 열차 출발 시 열차에 치일 위험이 있다. 잠재 위험원⑥은 ‘MSD 가 닫히는 동안 승객 검지 실패’의 경우 승객이 MSD 에 끼이거나 내려오는 MDS 에 부딪히는 위험이 발생할 수 있다. 또한 모터 상태 감지 기능의 경우 잠재 위험원 및 발생 가능한 위험은 MSD 의 장애물 검지 기능에서와 동일하다.

모든 도어 닫힘 검지 기능의 경우 잠재 위험원⑦은 ‘열려있는 MSD 의 잘못된 닫힘 검지’를 들 수 있다. 이 경우 열려 있는 도어로 승객이 선로에 떨어져 도착하는 열차에 치일 위험이 있다. 또한 도어가 열려 있는 상황에서 닫힘 신호에 의해 열차가 출발해 승객이 출발하는 열차에 치일 위험이 있다. 운영자 원격 수동 명령 감지 기능의 위험원 ⑧은 ‘운영자 명령의 잘못된 감지로 MSD 열림’에 대한 상황이다. 이는 잘못된 감지로 미리 MSD 가 열릴 경우 승객이 열차가 없는 선로로 떨어져 늦게 도착하는 열차에 치일 위험이 있다. 잠재 위험원⑨는 ‘운영자 명령의 잘못된 감지로 MSD 닫힘’이다. 이는 열차가 도착하여도 MSD 가 열리지 않아 승객들이 혼란에 빠질 위험에 해당한다.

운영자를 위한 상태 표시 기능의 경우는 ‘열려 있는 MSD 상태를 닫힘 상태로 운영자에게 잘못 표시’하는 잠재 위험원⑩으로 정의한다. 이는 열려 있는 MSD 가 닫혀 있다고 판단하여 MSD 를 수동으로 닫지 않아 열려있는 MSD 로 승객이 선로로 떨어져 플랫폼에 접근하는 열차에 치일 위험이 있다. 또한 ‘닫혀있는 MSD 상태가 운영자에게 표시되지 않음’는 잠재 위험원⑪로 정의한다. 이 상황의 경우 열차가 도착하여도 MSD 가 열리지 않아 승객들이 혼란에 빠질 위험이 있다.

MSD 잠금(lock) 제어 기능의 경우, ‘MSD 열림/닫힘 반복 중에 MSD 잠금 장치의 출력’은 잠재 위험원⑫으로 정의한다. 잠금 장치의 출력은 열차문과 MSD 사이에 끼인 승객이 열차 출발 시 열차에 치일 위험이 존재 한다. 또한 운영자 개별 수동 명령 감지 기능의 경우는 ‘개별 수동 명령의 잘못된 감지로 개별 MSD 닫힘’에 대해 열차가 도착하여도 MSD 가 열리지 않아 승객들이 혼란에 빠질 잠재 위험원 이 있다. 잠재 위험원⑬은 ‘개별 수동 명령의 잘못된 감지로 개별 MSD 열림’이다. 이는 열려있는 개별 MSD 로 승객이 선로로 떨어져 도착하는 열차에 치일 위험이 있다. 잠재 위험원 ⑬은 ‘개별 수동 명령의 잘못된 감지로 개별 MSD 닫힘’으로 정의하고, 이는 승객의 머리 등에 상해를 미칠 수 있다. 또한 잠재 위험원⑭는 ‘개별 수동 명령의 잘못된 감지로 개별 MSD 열림’이다. 이는 열려 있는 개별 MSD 로 승객이 선로로 떨어져 도착하는 열차에 치일 위험이 있다.

2.4 위험원 분석결과

VPSDC 의 위험도 수용 원칙(ALARP)에 따라 수용 가능한 위험원은 즉 사망 사고와 관계 없는 위험원을 제외하고 위험도가 높은 위험원에 대한 THR 값을 산정하고자 한다. 잠재 위험원 ①~⑭의 THR 값 산정은 도출된 위험원으로 인한 위험사고가 발생하는 시나리오를 분석하여 위험 정도를 산정하는 이벤트 트리 분석 (ETA: Event Tree Analysis) 기법을 사용한다[11].

잠재 위험원①인 ‘잘못된 열차 도착 감지로 MSD 열림’에 대한 ETA 결과는 예시적으로 도시하면 Table 3 과 같다. 승객 개인이 위험을 피할 수 있는 경우에 대해 Table 3 과 같이 선택될 수 있는 확률을 선정한다. 첫 번째 행은 ‘잘못된 열차 도착 감지로 MSD 열림’에 대해 4 명 중에 1 명은 잘못된 동작을 인지할 수 있다고 가정하였다. 따라서 잘못된 동작을 인지하여 위험에 빠지지 않는 확률은 0.25 로 배분하였고, 이러한 경우 승객은 사망 사고에 이르지 않게 된다. 이와 같이 각 행에서는 위험을 회피할 수 있는 경우를 표시하고 이에 대해 해당되면 Y 로 표시하고 그 확률을, 해당되지 않으면 N 으로 표시하고 그 확률을 각각 적용하였다. 최종적으로 위험을 회피하지 못한 경우 결과를 F 로 표시하고 단계별 확률 값을 모두 곱하여 최종 확률을 구하였다. 이 값은 식 (1)의 $C_i^k \times F_i^k$ 가 된다.

잠재 위험원 ①~⑭는 식 (1) 적용에 필요한 가정은 다음과 같이 정의하였다.

가정 1: 승객이 연간 VPSD 시스템을 이용하는 횟수: 1000 회/y (250 일 동안 출퇴근 시 2 번 이용하고 1 번 노선을 변경한다고 가정)

가정 2: 승객 개인이 위험에 노출되는 시간: 3 분 (3/60 h)

가정 3: 위험 발생 후 위험이 제거되는 데 걸리는 시간: 10 분 (10/60 h)

가정 4: 목표 개인 위험 TIR 를 1E-07/y 로 정의 (일상 안전 위험보다 매우 낮은 값)

잠재 위험원 위험원 ①~⑬에 대한 확률(C_i^k)과 심각성으로부터 개인 사망 확률(F_i^k)를 이용하여 잠재 위험원의 THR 값은 Table 4 와 같다.

Table 3 Risk event tree

| Risk Avoidance Case | Decision Rate | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|-------|-----------|-------|-----|-------|-------|-----------|-------|----|----|-------|--------|--|
| Passenger recognizes PSD malfunction. | N 0.75 | | | | | | | | | | | | Y 0.25 | |
| Passenger stands on the safe position. | N 0.7 | | | | | | | | | | | Y 0.3 | | |
| Passenger recognizes the hazard. | Y 0.7 | | | | | | N 0.3 | | | | | | | |
| Passenger acts to avoid hazard. | Y 0.5 | N 0.5 | | | | | | | | | | | | |
| Train does not enter the station. | N 0.1 | | | | | Y 0.9 | N 0.1 | | | | | Y 0.9 | | |
| Train stops after finding the risky situation. | Y 0.1 | | N 0.9 | | | | Y 0.1 | | N 0.9 | | | | | |
| Passenger avoids hitting in the train. | N 0.8 | | | Y 0.2 | | N 0.8 | | | Y 0.2 | | | | | |
| Passenger stays alive. | N 1 | | Y 0 | | N 1 | | Y 0 | | | | | | | |
| Consequence | NF | NF | F | NF | NF | NF | NF | F | NF | NF | NF | NF | NF | |
| Frequency | | | 1.323 E-2 | | | | | 1.134 E-2 | | | | | | |
| Total Frequency | 2.46E-02 | | | | | | | | | | | | | |

Table 4 Results of THR for latent hazard from ① to ⑭

| Latent Hazard | THR | Latent Hazard | THR | | | | |
|---------------|-----------|---------------|-----------|---|-----------|---|-----------|
| ① | 1.878E-08 | ② | 7.101E-07 | ③ | 2.705E-08 | ④ | 2.217E-08 |
| ⑤ | 1.229E-07 | ⑥ | 1.817E-07 | ⑦ | 2.217E-08 | ⑧ | 1.878E-08 |
| ⑨ | 7.101E-07 | ⑩ | 1.878E-08 | ⑪ | 7.101E-07 | ⑫ | 1.229E-07 |
| ⑬ | 7.101E-07 | ⑭ | 1.878E-07 | | | | |

3. 결론

본 연구에서는 VPSD 운용에서 발생할 수 있는 여러 위험 중 VPSDC 관점의 14개 잠재 위험원을 발굴하고, 해당 잠재 위험원으로부터 발생하는 위험의 심각성과 발생 빈도를 고려하여 사망사고에 이르는 안전성 지수인 THR을 산정하였다. 해당 14개 잠재 위험원에 대한 THR 값들은 VPSDC 시스템의 안전 무결성 수준을 결정하는데 활용될 수 있다.

후 기

본 논문은 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원에서 발주하여 시행중인 2015년도 철도기술연구사업 도시철도 역사 운영 효율화 및 상태기반 유지보수 기술개발 연구단 중 1세부 RPSD 국제표준 인증 및 상용화 기술개발(3차년도) 과제의 지원으로 이루어 졌습니다.

참고문헌

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2015), Korean Railway Standard for Platform screen door
- [2] H. C. Kang, H. Kim, Y. C. Jeong (2013) Feasibility analysis of RPSD(Rope type Platform Safe Door) on the simulation, Journal of the Korea Society for ITS, 12(2), pp. 22~29.
- [3] H. Kim (2015), National Research and development project summary on the Vertical Platform Screen Door System, International Seminar of 2015 Land Infrastructure and Transport Technology Fair.
- [4] T. K. Kim(2015), Test operation of RPSD toward Commercial operation at Thukimino station, Tenentoshi line in Tokyo, International Seminar of 2015 Land Infrastructure and Transport Technology Fair.
- [5] P. Hult (2015), A Test of Platform Barriers during Winter conditions in Stockholm 2014/2015, International Seminar of 2015

Land Infrastructure and Transport Technology Fair.

- [6] IEC (2002) Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS), *IEC62278*.
- [7] IEC (2007) Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling, *IEC62425*.
- [8] CENELEC (2007) Railway applications – Systematic allocation of safety integrity requirements, *CLC/TR 50451*.
- [9] S.H. Choi, K. Ryu, H. Jo, T.S. Hwang (2014) A Study on the Improvement of Platform Screen Door system, *The Korean Society for Railway, 2014 Autumn Conference*, pp. 945~952.
- [10] Y. Seo, K. Kook, J. Lee (2012) Study on the Category of Safety Models for the Urban Railway, *Journal of the Korean Society for Railway*, 15(4), pp. 402-407.
- [11] L. Min, C. Zhaoyoung, Z. Jin (2012) Study on PSD System Control Strategy for Safety, *2012 3rd International Conference on System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization*.