

스위스 치즈 모델을 적용한 철도 감전사고 발생형태에 관한 연구

A Study on the Form of Electric Shock Accident Using Swiss Cheese Model

유기성* · 김재문†
(Ki-Seong Yu · Jae-Moon Kim)

Abstract - Unlike conventional transmission and distribution lines, catenary system for operating electric railway vehicles are composed of multi-conductor groups (feeder line, contact wire, messenger wire, protection wire) and are used for railway employees, public or passengers in the station yards. Electric shock hazards are exposed and electric shocks such as death or serious injury are occurring in electric railway vehicles, railway high-voltage distribution lines, and catenary system. In order to analyze the types of electric shock accidents on railway by systematic approach method, we modeled 'unsafe behavior classification' method using swiss cheese model. Based on this method, we derived the type of electric shock accidents about railway accidents during the last 5 years by analyzing the frequency of occurrence of human errors and unsafe acts, laws and regulations related to violations, and so on.

Key Words : Swiss cheese model, Unsafe acts, Human errors, Electric shock accidents

1. 서 론

국내 철도를 운행속도와 목적에 따라 고속철도, 일반철도, 광역철도, 도시철도로 분류할 수 있으며, 이 중 고속철도, 광역철도, 도시철도는 모두 전철화 되어있다. 일반철도 중 일부 구간이 비전철화 되어 있으며, 2017년 말 기준 국내 고속철도, 일반철도, 광역철도 철도연장거리 4,191.7 km 중 전철연장거리 3,086 km로 전철화율은 73.62%이다. 특히 상행과 하행이 구분된 복선철도구간의 전철화율은 97.58%이다. 2018년 3월 현재 전철화 공사가 진행 중인 인천~충주 복선전철, 도담~영천 복선전철, 경원선 전철화사업 등을 추진하면 2022년까지 전철화율이 85.5%가 될 예정이다.

전기철도차량을 운행하기 위한 전차선로는 일반 송·배전선로와는 달리 다도체군(급전선, 전차선, 조가선, 보호선)으로 구성되어 철도역구내 측선, 승강장, 작업장 등에서 철도직원이나 공중 또는 여객들에게 감전위험이 노출되어 전차선로를 비롯하여 철도(특)고압배전선로, 전기철도차량에서 사망이나 중상의 감전사고가 발생하고 있다.

국내 감전사고 발생에 따른 일반 배전선로(지중설비, 전기울타리 등)에서는 감전사고 발생현황·특성·통계, 물놀이·입욕시설의

조명설비 시설규정, 감전사고 방지용 공구류 개발, 전격위험성 평가, 인체모형을 이용한 감전사고 모의와 프로그램 분석, 감전사고 예방대책 등의 연구동향이 있으나[1-3], 전차선로 등 철도분야에서는 감전사고 발생에 따른 원인규명과 예방대책(설비개선 및 예방교육 등)의 감전사고 조사결과가 있는 정도이다[4].

본 연구에서는 철도에서의 감전사고 발생형태를 시스템적 접근방법으로 분석하고자 영국의 심리학자인 제임스 리즌(James Reason)이 제안한 '스위스 치즈 모델'과 '불안전행위 분류' 방법을 모델링하였다[5]. 이를 토대로 최근 5년 동안 철도에서 발생한 감전사고 사례를 인적오류의 발생요인과 불안전행위 분류별로 발생빈도나 위반관련 법령/규정, 시스템적 예방사례 등을 세밀하게 분석하여 일련의 철도에서의 감전사고 발생형태를 도출하였다.

스위스 치즈 모델을 적용한 '철도 감전사고 발생형태'를 분석한 결과는 감전사고 예방대책을 수립하거나 인적오류 예방교육을 할 때 활용가능하고,[6] 추후 도시철도를 포함한 철도 감전사고의 발생기간(시간적)과 발생기관(공간적)의 모집단을 확대하여 감전사고 발생형태를 코드화(전산화) 한다면 시스템적으로 운영·관리할 수 있을 것이다.

2. 스위스 치즈 모델과 불안전한 행위 분류

2.1 스위스 치즈 모델

영국의 심리학자인 제임스 리즌(James Reason)이 제안한 "스위스 치즈 모델"은 '사고'의 발생원인과 결과에 대한 모형이론으로

† Corresponding Author : Dept. of Transportation System Engineering, Graduate School of Transportation, Korea National University of Transportation, Korea
E-mail : goldmoon@ut.ac.kr

* Dept. of Transportation System Engineering, Korea National University of Transportation, Korea

Received : September 3, 2018; Accepted : November 8, 2018

로 오늘날까지 가장 타당한 모델 중 하나로 인정받고 있다. 사고의 원인으로는 크게 직접적인 원인으로 보이는 외부요인, 사고를 낸 당사자나 사고발생시 함께 있던 사람들의 불안정한 행위, 불안정한 행위를 유발하는 조건, 감독의 불안전 및 조직의 시스템과 프로세스가 잘못되어 생기는 실수로 나뉜다. 실제 직접적인 원인을 제외하고, 스위스 치즈의 구멍과 같이 늘 사고가 날 수 있는 잠재적 결함들이 존재하다가 이 결함들이 동시에 나타날 때 대형사고가 발생하게 된다. 이상적 상황은 구멍이 하나도 없는 완벽한 상황이지만 실제 상황에서는 결함 없는 완벽한 상황은 있을 수 없으므로 결함을 사전에 탐색해서 결함을 최소화하기 위한 시스템을 갖추어야 한다.

스위스 치즈 모델은 그림 1과 같이 심리학적인 측면에서 인간



By Shapell and Wiegmann, adapted from Reason (1990)

그림 1 제임스 리즌의 스위스 치즈 모델
Fig. 1 James Reason's Swiss Cheese Model

표 1 스위스 치즈 모델의 기반 분석
Table 1 Basis analysis of Swiss cheese model

구 분		세부사항
직접적 요인	불안정한 행위 (오류와 규정위반)	<ul style="list-style-type: none"> 오류(결정오류, 기술기반 오류, 지각오류) 불안한 행위자의 통상적·예외적 규정위반
직·간접적 요인	불안정한 행위의 전제조건 (환경요소, 건강 상태, 인적요소)	<ul style="list-style-type: none"> 육체적, 기술적 해로운 정신상태, 해로운 신체상태 신체/정신한계/대화/조정&계획, 운동
잠재적 요인	불안정한 감독	<ul style="list-style-type: none"> 불충분한 감독, 의도된 적절치 못한 행동, 문제점 바로잡지 못함, 감독자의 규정위반
	조직적인 영향	<ul style="list-style-type: none"> 자원경영관리, 조직사회 분위기, 운영/절차

이 오류를 범할 수 있는 발생요인에 대하여 크게 4가지(불안정한 행위, 불안정한 행위의 유발조건, 감독의 문제, 조직의 문제)로 시스템적인 접근방법을 제안하였고, 여기서 다시 '불안정한 행위'를 4가지(실수, 망각, 착오, 위반)로 분류하였다[5].

표 1은 스위스 치즈 모델을 기초로 세부사항별 분석내용을 보여준다. 인간이 오류를 범할 수밖에 없는 '불안정한 행위'로서 4항목을 직접적 요인으로 보았다. 또한 시스템적 접근방법으로 '불안정한 행위의 전제조건'을 직·간접적 요인, 눈에 직접 보이지 않는 '불안정한 감독'과 '조직적인 영향'을 잠재적 요인으로 보았다.

2.2 불안정한 행위 분류

인적오류는 “사람 자신이 의도한 목적을 이루기 위해 계획한 어떤 행위가 실패하여 의도하지 않은 결과를 야기한 것”을 의미한다. 따라서 ‘어떤 유형’의 인적오류가 발생하였는지 명확히 밝히는 것은 해당 인적오류의 원인분석뿐만 아니라 재발방지 대책을 마련하는데 있어서도 매우 중요하다.

가장 대표적인 인적오류 유형 분류체계는 요인(Reason) 중에 ‘불안정한 행위 분류체계’이다. 요인(Reason)은 사람이 저지를 수 있는 불안정한 행위(Unsafe act)를 크게 오류(Error)와 위반(Violation)으로 나누고, 그 오류에는 실수(Slip), 망각(Lapse), 착오(Mistake)로 구분하였다[5][7-9].

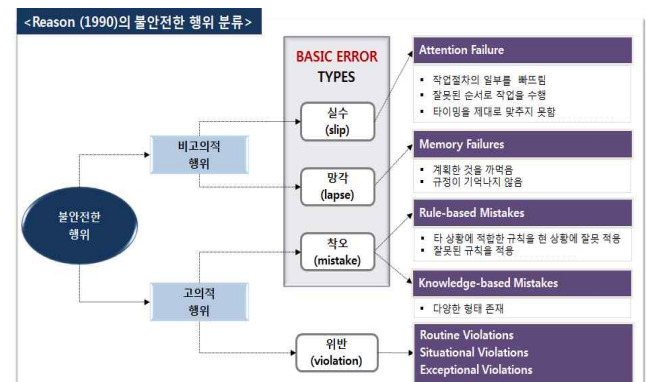


그림 2 제임스 리즌의 불안정한 행위 분류 체계
Fig. 2 James Reason's unsafe act classification system

3. 철도 감전사고 발생현황

철도 감전사고 사례를 스위스 치즈 모델에 적용하기 위하여 모 철도운영기관의 최근 5년간('12년~'16년) 감전사고 발생현황을 조사하였다. 이를 토대로 사고종류별[공중(일반인), 여객(고객), 직원(운영원 등 작업원 포함)], 감전설비별(전차선로, 고압 또는 특별고압 배전선로, 전동차량), 상해정도별(사망, 중상, 경상), 발생장소별(승강장, 작업장, 본선, 측선 등)로 구분하여 각각의 발생빈도를 분석하였다[10-11].

표 2 최근 5년간의 철도 감전사고 발생현황

Table 2 Current status of electric shock accidents in the last 5 years

사고종류별					감전설비별				
종별	공중 (일반인)	여객	직원 (직업원 포함)	합계	설비별	전자선로	고압배전선로	전동차량	합계
'12년	-	-	4	4	'12년	1	1	2	4
'13년	4	3	3	10	'13년	8	2	-	10
'14년	4	1	1	6	'14년	6	-	-	6
'15년	2	1	4	7	'15년	5	2	-	7
'16년	1	-	2	3	'16년	3	-	-	3
합계	11	5	14	30	합계	23	5	2	30

상해 정도별 ¹⁾					발생장소별								
상해 정도	사망자	중상자	경상자	합계	장소	승강장	건널목	작업장	본선	측선	터널지하	기타	합계
'12년	-	1	3	4	'12년	1	-	3	-	-	-	-	4
'13년	2	6	4	12	'13년	3	1	1	-	4	-	1	10
'14년	2	4	-	6	'14년	-	-	-	2	4	-	-	6
'15년	2	3	2	7	'15년	1	-	2	1	1	1	2	7
'16년	-	2	1	3	'16년	1	-	2	-	-	-	-	3
합계	6	16	10	32 ²⁾	합계	6	1	6	4	9	1	3	30

4. 철도 감전사고 발생형태 분석

4.1 형태분석 모델링 및 적용방법

그림 3과 같이 불안정한 행위 분류를 포함한 스위스 치즈 모델에 '철도 감전사고의 원인이나 대책 등'을 입력조건으로 하고, '인적·시스템적 철도 감전사고 발생형태'를 출력조건으로 하여 감전사고 발생형태를 도출하기 위하여 모델링 하여, 철도 감전사고 사례를 스위스 치즈 모델의 인적 오류와 시스템적 오류 발생요인별로 구분하고, 그 중 '불안정한 행위'는 분류체계에 의해 오류(실수, 망각, 착오)와 위반으로 세분하여 적용하였다.

최근 5년간 철도 감전사고 발생현황을 그림 3에서 모델링한 스위스 치즈 모델 적용방법의 일례는 표 3과 같고, 표 3의 불안정한 행위 중 '위반' 관련 법령과 사규는 표 4와 같다. 철도 감전사고 사례를 스위스 치즈 모델에 적용할 때에는 그림 1과 같이 스위스 치즈 모델의 4가지 실패요인(조직적인 영향, 불안정한 감독, 불안정행위의 전제조건, 불안정한 행위)별로 직접적·간접적·잠재적 요인별 정의나 개념을 기준으로 적용하고, 이 중에서 '불안정한 행위' 부분은 그림 2와 같이 불안정한 행위 분류 체계에 의하여 실수(작업절차의 일부를 빠뜨림 등), 망각(계획한 것을 잊어버림 등), 착오(타 상황에 적합한 규칙을 현 상황에 잘못 적용 등), 위반(규정을 통상적으로 위반 등)을 기준으로 적용한다.

- 1) 산업안전보건관리세칙 제51조(상해 정도별 분류)
- 2) 2013년 감전건수 10건 중 2건은 건당 2명이 동시에 감전되어 감전인원은 32명

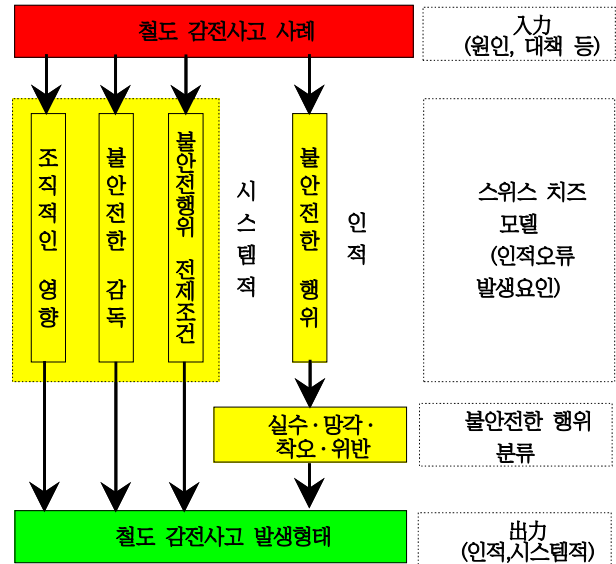


그림 3 스위스 치즈 모델을 적용한 철도 감전사고 발생형태 분석 모델

Fig. 3 Analysis model of railway electric shock accidents using Swiss cheese model

4.2 철도 감전사고 발생형태 도출

4.2.1 철도 감전사고 발생형태

스위스 치즈 모델을 적용한 발생형태 분석모델을 이용하여 인적오류 발생요인별/불안정행위 분류별로 구분 적용하여 표 5와 같이 철도 감전사고 발생형태를 도출하였다.

4.2.2 철도 감전사고 발생건수

인적오류 발생요인별과 불안정한 행위 분류별로 발생건수를 집계하여 표 6에서 보듯이 발생요인별로 분석하였다.

불안정한 행위는 전체요인 94건 중 32건 발생으로 그 중 위반이 20건으로 가장 많이 발생한 반면 실수·망각이나 착오도 법령·사규·수칙·매뉴얼 등을 위반하는 것으로 귀결되는 경향이 있었다. 불안정한 행위의 전제조건은 34건으로 스위스 치즈 모델 4대 요인 중 가장 많이 발생한 것으로 나타났다. 이것은 정신적인 부분(예를 들면 사전에 확인 안한 것 등)은 불안정한 행위의 전제조건에 포함시켜 분류했다. 불안정한 감독은 23건으로 주로 현업의 중간관리자(관리감독자)의 사규에 위배한 관리감독 소홀로 나타났다. 마지막으로 조직적인 영향은 5건으로 사규나 매뉴얼 미비가 있었다.

4.2.3 불안정한 행위의 전제조건 사례

그림 4와 같이 사례1) 고압배전반 내부에 No. 1과 No. 2가

표 3 스위스 치즈 모델 적용방법 일례

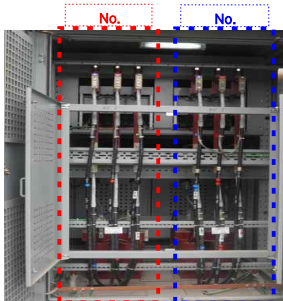
Table 3 Example of applying a Swiss cheese model

감전사고 사례	스위스 치즈 모델			
	불안전한 행위	불안전한 행위의 전제조건	불안전한 감독	조직적인 영향
역구내 승강장 지붕 청소중 감전	(망각 또는 실수) · 작업 중 빗자루 청소봉을 내리다가 망각 또는 실수로 조가선과 접촉	(작업도구 부적정) · 작업도구(빗자루 청소봉) 도전체(알루미늄) 사용	(안전관리 소홀) · 급전된 전차선로 근접작업	(불안전한 조직풍토) · 안전작업방법 미수립 · 잘못된 작업방법
역간 고압배전선로 점검중 감전	(위반) · 고압 근접작업 시 단전조치 미이행 · 안전보호구 미착용(안전수칙 미준수)	(안전설비 부재) · 절연격벽 없음 · 통전표시기 없음	(부적절한 감독·관리) · 직원 관리감독 및 안전관리 위반 · 소속직원 안전관리소홀 및 불안전시설물 개선조치불량	(사규/지침 미비) · 배전선로 접근 한계거리 규정 없음 · 2회선 고압배전반을 분리 수용 규정 없음

표 4 불안전한 행위 중 '위반' 관련 법령과 사규

Table 4 'Violation' laws and regulations in Unsafe Act

구분	법령/고시	사 규
불안전한 행위 '위반'	<ul style="list-style-type: none"> ○ 철도안전법 제25조(철도시설의 기술기준), 제48조(철도 보호 및 질서유지를 위한 금지행위), 제81조(과태료) ○ 산업안전보건법 제6조(근로자 의무), 제13조(안전조치), 제25조(근로자의 준수사항), 제29조(도급사업 시의 안전보건조치) ○ 도로교통법시행령 제22조(운행상의 안전기준) 4호 높이제한 위반 ○ 철도시설의 기술기준 제13조(선로의 방호 시설) ○ 철도설계지침 및 편람 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 영업사고처리세칙 제17조(사고책임 판정기준) 별표 1의 면책 5호(자살, 자살미수 및 자해행위), 6호(차량횡단 또는 차량에 매달리거나 올라가 발생한 사고), 7호(선로보행 또는 횡단으로 인한 사고), 9호(전차선 주의사항을 위배하여 발생한 감전 사고), 10호(그 밖의 사상자 본인 과실이 원인인 사고) ○ 산업안전보건관리세칙 제8조(관리감독자), 제24조(작업계획서의 작성), 제33조(보호구), 제35조(작업안전수칙) ○ 열차운행선로지장작업업무세칙 제7조(작업책임자 지정 및 배치), 제42조(상례작업의 시행) ○ 전철전력설비유지보수시행세칙 제15조(유지보수 작업 시 안전관리) ○ 전철전력설비유지보수매뉴얼 ○ 급전제어세칙 제12조(시행절차) ○ 직제규정시행세칙 제5조(분장업무) ○ 용역과업내용서 ○ (수칙) 전력설비 작업수칙, 전차선로 작업 전 안전수칙, 전기원(전철전력분야) 수칙, 전차선로보수작업수칙, 전기감전사고 예방수칙, 전기모터카 작업수칙, 까치집 제거 작업수칙



사례1) 고압배전반내 회선간 절연격벽 없음



사례2) 역 승강장 지붕에 급전선에 '전기위험표지' 없음



사례3) 접지단자함내 접지회로 '부하명찰' 없음



사례4) 역사 캐노피 청소 '알루미늄 청소봉' 사용

그림 4 불안전한 행위의 전제조건인 사례

Fig. 4 Examples of Preconditions for unsafe acts

표 5 인적오류 발생요인별 감전사고 발생형태

Table 5 Types of Electric Shock Accidents by Human Error Factors

요인	내용
불안정한 행위	<p>[실수·망각] ①전철모터카 고장 원인조사 중 조사계획에 없던 상부 작업대 진입 ②무의식적 감전 ③선로무단횡단 중 낚시대 접촉 ④전철승강장에서 낚시대를 길게 펼치다 전차선에 접촉 ⑤농약살포용 노즐을 들고 선로 무단횡단 ⑥역승강장 계단위쪽 캐노피 먼지청소 중 청소도구 접촉 ⑦사다리 이동 중 전차선에 접촉 ⑧조명기구 이동 중 접촉 ⑨고압설비를 넘나·철술을 이용하여 청소</p> <p>[착오] ①공용접지구간의 급전케이블 차폐접지선을 피뢰기 접지선으로 오인하고 분리하다 급전케이블 차폐접지선 유도전류에 감전 ②급전된 전철주에 올라가 가동브래킷트 총전부 접촉 ③전철빔 조류방지구 설치시 급전선이 가압된 상태에서 작업</p> <p>[위반] ①작업 및 이동방법 불량 ②안전모 착용 부적정 ③안전거리 미확보 ④활선경보기 미착용 ⑤차량 기동 중 축수검사 ⑥차량기동 시 견인전동기 ⑦작업 차량기동 시 양측 객실 출입문 미개방 ⑧작업자 위치 미확인 ⑨절연장갑 미착용 ⑩절연장화 미착용 ⑪전동열차 발차대기 중 열차에 올라감 ⑫유계화차 위에서 조명기구 설치 ⑬컨테이너 화차에 올라감 ⑭건널목에 정차된 화물차량 적재물에 올라가 제한높이 한계선 제거 ⑮주차장 울타리 및 승강장 안전펜스를 넘어 감시모니터 박스이용 전동열차 지붕 위를 올라감 ⑯여객이 열차에 올라감 ⑰화차에 무단진입 전차선 확인 없이 균용짚차 지붕에 올라감 ⑱여객내 무단침입 벌크 양회 화차위로 올라감 ⑳4개월의 미숙련자가 승강장 지붕위에 올라감 ㉑여객내 무단침입 화차 상부로 올라감</p>
불안정한 행위의 전제조건	<p>[정신적·제도적] ①작업시간 미준수, 여객내 무단침입 ②음주상태 ③계약업체와 사전협의 없이 무단작업 ④ 작업계획서 절차 및 안전조치 무시 ⑤급전계통 미확인 ⑥감전기 경고음을 유도전압으로 잘못판단 ⑦급전계통 미숙지 ⑧관리감독자 및 재해자 전문지식 부족(범하스펜선을 전철주 장력선으로 오인) ⑨관할역과 작업협의 미시행 ⑩전차선 및 급전선이 모두 단전된 것으로 착각 ⑪근로자의 준수사항 미이행 ⑫단전여부 미확인 ⑬특고압 유도전압 미확인 ⑭작업전 가압여부 미확인 ⑮전차선로 근접 절연 방호관 설치시 임의작업</p> <p>[시스템적·설비적] ①전기위험표지류 미설치 ②접지 미설치 ③격벽 설치위치 부적정 ④절연성능 부적정 ⑤비절연체 알루미늄 파이프 청소도구 ⑥화물차량 적재높이 초과 ⑦안전보호구 미착용 ⑧전철보수장비 경보시스템 미설치 ⑨전차선로 급전된 전철모터카 상판회전부 불량원인 사고조사 ⑩접지단자함내 접지회로의 부하명칭 선명찰 미부착 ⑪선인전기장의 작업지시 불응 ⑫안전설비(절연격벽, 통진표시기 등) 없음 ⑬귀갓길에 낚시가방 주움 ⑭선로좌측에 농약살포 작업차량 ⑮선로우측에 경차지 위치 ⑯알루미늄재질의 청소봉 ⑰전차선만 단전하고 급전선은 가압중인 상태에서 작업(단전구간 축소) ⑱전차선 급전 상태에서 작업 ⑳활선접근경보기 미휴대</p>
불안정한 감독	<p>①보고누락 ②감독회사와 시공사 책임 ③관리감독자 안전조치 무시 ④관리감독 소홀 ⑤규정·작업절차·안전수칙 미준수 ⑥피뢰기 누설전류를 측정할 수 없는 계측기를 사용하여 계측되지 않는 사유를 모른 채 북쪽 피뢰기 접지선을 분리토록 지시한 것은 사고의 간접적 원인을 제공 ⑦소속직원 관리감독 및 안전관리위반 ⑧소속직원 안전관리소홀 및 불안전시설물개선 조치불량 ⑨농약살포용 호스를 레일 아래로 무허가 설치 ⑩단전협의불량(불안전하게 단전구간축소) ⑪급전계통의 구성과 운용상태 작업방법과 공정 및 전차선로 근접작업 시 안전조치 등 교육미흡 ⑫유지보수작업 시 안전관리 미흡 및 관리감독자역할 소홀 ⑬단전여부 확인소홀 및 배터리 방전된 활선접근경보기 휴대 ⑭작업보조자는 작업자에게 위험경고 소홀 ⑮시공관리 및 감독소홀 ⑯안전관리 소홀 ⑰급전계통확인 및 장애복구 통제소홀 ⑱복구 작업 지휘감독 소홀 ⑲작업안전수칙 미준수 및 작업감시소홀 ⑳작업안전수칙 미준수 ㉑운행안전협의서내 “전차선로단전조치” 항목에 “태당 없음”으로 작업협의시행 ㉒안전작업방법 미수립 ㉓작업책임자의 위험성평가 및 보호캡 등 안전시설물 설치 세부작업계획 미수립</p>
조직적인 영향	<p>①비상대응 매뉴얼 보완필요 ②전철전력설비 유지보수시행세척, 전철전력설비 유지보수매뉴얼 등에 총전선로 접근 한계거리 기준 없음 ③철도설계지침 및 편람에 배전선로 2회선을 배전반에 분리수용 규정 없음 ④안전시설물 미설치 ⑤스크린도어 없음</p>

표 6 인적오류 발생요인별 감전사고 건수

Table 6 Number of electric shock accidents caused by human errors

[단위 : 건]

구분	불안정한 행위	불안정한 행위의 전제조건	불안정한 감독	조직적인 영향	합계
건수	실수·망각 : 9 착오 : 3 위반 : 20	정신적·제도적 : 15 시스템적·설비적 : 19	23	5	-
합계	32	34	23	5	94

근접한 회선간에 절연격벽이 없고, 사례2) 역 승강장 전차선로 급전선에 전기위험표지가 없으며, 사례3) 접지단자함내에 전차선로 급전케이블 차폐접지선과 피뢰기 접지선을 구분하는 부하

회로 명찰이 없고, 사례4) 특별 고압 전차선로가 근접한 역사 캐노피 청소 시 전도성 물질인 알루미늄 청소봉을 사용하는 등 감전사고가 발생할 ‘불안정한 행위의 전제조건’에 놓여있는 사례

들이다.

이러한 ‘불안전한 행위의 전제조건’을 시스템적 코드화로 예를 들면, 정신적(A)·제도적(B)·시스템적(C)·설비적(D)으로 구분하여, 정신적(A)인 것에는 ‘미처 확인을 못한 것(A-1)’, 제도적(B)인 것에는 ‘매뉴얼 미비(B-1)’, 시스템적(C)인 것에는 ‘불안전한 작업 절차(C-1)’, 설비적(D)인 것에는 ‘절연격벽 미설치(D-1)나 절연격벽 설치위치 부적정(D-2)’ 등으로 코드화할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에는 철도 감전사고 발생형태를 분석하기 위한 모델과 적용방법을 제시하여 최근 5년간 철도 감전사고 발생형태를 도출하였다. 표 2(최근 5년간의 철도 감전사고 발생현황)에서 스위스 치즈 모델의 발생요인 중 불안정한 행위의 전제조건(총 94건 중 34건)와 불안정한 행위(총 94건 중 32건)로 인하여 작업원 포함 직원(총 30건 중 14건)들이 축선(총 30건 중 9건)의 전차선로(총 30건 중 23건)에서 중상(총 32명 중 16명) 또는 사망(총 32명 중 6명)하는 사고가 발생하는 것으로 나타났다.

스위스 치즈 모델을 적용한 ‘철도 감전사고 발생형태’를 분석한 결과는 감전사고 예방대책을 수립할 때나 인적오류 예방교육을 할 때 활용가능하다. 향후 철도에서의 감전사고 발생형태를 코드화하여 시스템적으로 운영하기 위해서는 철도 감전사고의 발생기간(시간적)과 발생기관(공간적)의 모집단(母集團)을 보다 확대하여 분석할 필요가 있다. 이러한 분석을 통해 철도 감전사고를 줄이기 위해서는 감전사고 발생현황과 스위스 치즈 모델 적용결과 발생건수가 많은 요인을 종합하여 보면, ‘철도 직원이 전차선로 축선에서 불안정한 행위의 전제조건(정신적·제도적, 시스템적·설비적)’이 철도 감전사고 발생빈도가 높으므로 이에 대한 예방대책 연구가 필요하다.

References

[1] Sang-Won Choe, “Recent characteristics of electric shock accidents and analysis of causes of disasters”, *Journal of the Korean Society of Safety*, 2014.

[2] Korea Electric Association, “Characteristics of electric shock accidents and preventive measures”, *Electrical journal*, 2001.

[3] Cheol-Seob Yun, “Occurrence of electric shock accident in Korea 上, 下”, *Electrical journal/Korea Electric Association*, 1994.

[4] Korea Railroad Corporation Electrotechnical Commission, “Video of electric shock accident on catenary line and case of electric shock”, 2015.

[5] Korea Railroad Corporation Human Error Research Committee (2nd), “Research report of error analysis section”, 2014.

[6] Korea Institute of Construction and Transportation

Technology, “Assignment of education and training system for safety workers 2nd year final report”, 2007.

[7] James Reason, “human error”, Book publishing YOUNG, 2016.

[8] Sang-Eon Park and 2 others, “Human Error Prevention”, *Korea Institute for Occupational Safety and Health*, 2016.

[9] Komatsubara Akinori, “Human Error”, Book publishing Sejin Co., 2016.

[10] Korea Railroad Corporation Safety Innovation Headquarters, “Railway Accident Statistics”, 2016.

[11] Jung Hoon Kim, “A study on the data type of electric shock accident in smart grid environment”, *The Korean Institute of Electrical Engineers*, Volume 60, Issue 3 pp. 486~491, 2011.

저 자 소 개



유 기 성 (Ki-seong Yu)

2014년 한양대학교 공학대학원 철도시스템공학과 졸업(석사), 2015년~현재 한국교통대학교 교통대학원 교통정책교통시스템공학과 박사과정, 현재 한국철도공사 인재개발원 교수



김 재 문 (Jae-Moon Kim)

1994년 성균관대 전기공학과 졸업, 2000년 2월 동 대학원 졸업(공학박), 2000년~2004년 현대모비스(주) 기술연구소 선임연구원. 2006년~현재 국토교통부 철도기술 전문위원, 2004년 3월~현재 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과/철도전기전자공학과 교수
E-mail : goldmoon@ut.ac.kr