

철도 운행선로 작업자와 열차 접촉사고 위험도 평가에 관한 연구

곽상록†

Risk Estimation Study on Railway Track Worker Hit by Train

Sang Log Kwak†

†Corresponding Author

Sang Log Kwak

Tel : +82-31-460-5544

E-mail : slkwak@krri.re.kr

Received : March 10, 2020

Revised : April 3 2020

Accepted : May 13, 2020

Abstract : The accident fatality rate has decreased by more than 90% compared to 2006, due to the safety management and safety investment based on the Rail Safety Act. Most railway safety indicators, including fatality rates, have improved significantly from 60% to 80%, reaching the level of developed countries in terms of most railway safety indicators. However, the only staff fatality rate at work is not improved, and it is 3 to 5 times higher than that of developed countries. Most of the fatality occurred during employee's work recently occurred due to accidents hit by train while track work. In principle, when operating track need to check or maintenance, the operation of the train should be stopped and the work carried out. However, in Korea, due to the highest passenger density and train operating density in the world, it is caused by a structural problem that requires workers to enter the track while the train is running and perform various tasks such as maintenance and inspection. In this study, we analyzed the risk of accidents caused by hit by trains on the track, which is the biggest cause of staff fatality, using the main statistics of the last 10 years. In detail, the scenarios of the main causes of hit by trains and workers were formed to suggest the effectiveness of the current preventive measures and supplementary.

Key Words : railway safety, track worker, track safety, risk estimation, accident scenario

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

1. 서론

국내는 철도를 운영하는 기관 중 대부분이 공기업 혹은 지방자치단체 산하 공기업이나, 직원의 산업재해 발생률은 타 산업에 비해 높은 수준이다¹⁾. 철도 운영기관 간 비교 시 도시철도를 중심으로 운영하는 민간철도 운영자의 산업재해 발생률이 오히려 공공기관보다 낮은 현실이다²⁾.

이러한 배경에는 직원보다 여객과 국민의 안전에 초점을 둔 정부 정책의 영향이 있다. 2004년 제정된 철도안전법을 중심으로 안전대책을 실행하여 2009년 이후부터 선진국 수준의 철도사고 발생률과 사망자 발생률을 유지하고 있다³⁾. 2006년 시행된 제1차 철도안전종합계획 추진 기간(2006-2010)에는 대형 철도 참사 예방에 대한 대책이 중점적으로 추진되었으며, 이후 2011년부터 추진된 제2차 철도안전종합계획 기간(2011-2015)

에는 여객과 일반 공중 사망자 저감대책이 중점적으로 추진되었다. 2016년부터 추진된 제3차 철도안전종합계획 기간(2016-2020)에는 세계 최고의 철도안전성을 목표로 종합적인 안전대책이 추진되었다⁴⁾.

국내는 Table 1에 제시된 바와 같이 세계적으로 가장 높은 여객 밀도와 높은 열차운행 밀도로 인해 선로의 안정적인 유지보수 작업시간 확보가 어려운 상황이다. Table 1에 제시된 수치는 국가간 비교를 위해 국제기구에서 공표되는 수치로 도시철도 운행 거리나 이용객 수는 제외된 값으로 국내는 한국철도공사, 공항철도, 수서고속철도의 3개 기관에 대한 수치이다. 이로 인해 운행 선로에 이상이 발견된 경우 열차 운행 중 직원이 선로에서 점검 및 유지보수 작업을 수행하고 있다. 부족한 작업 시간으로 열차 운행 중 위험을 감수하며 작업을 수행해야 하는 상황이 빈번히 발생하고 있다. Table 1에 수록된 수치 중 열차운행거리, 선로연장,

†한국철도기술연구원 철도안전연구실 책임연구원(Korea Railroad Research Institute, Railway Safety R&D Team, Principal Researcher)

Table 1. Comparison of train operation density and staff fatality

Country	Train km (million km)	Track km (km)	Passenger km (million passenger km)	Train /track (million)	Passenger /track (million)	Staff fatality rate
Korea	162	4,223	44,012	16.2	438	3.1
U.K.	569	15,878	69,706	18.3	225	0.1
France	443	30,000	91,000	8.9	182	0.4
Germany	1085	33,535	97,786	17.8	160	0.8
Sweden	160	9,708	13,400	11.1	93	0.5
Netherland	163	3,075	19,450	22.9	273	0.3
Spain	200	15,309	26,933	9.5	128	0.6
Swiss	187	3,820	19,117	34.4	352	1.1
Austria	165	5,098	13,300	22.7	183	1.1

여객인 km, 열차운행 밀도, 여객밀도는 2018년에 발생한 자료이며, 직원의 사상사고율은 2014~2018년간의 평균값이다. 유럽연합에서 매년 공표하는 자료와 국내의 국토교통부에서 공표하는 자료를 활용하여 동일한 기준으로 비교하였다^{5,7)}. 직원의 사고율은 년도별로 편차가 있어 특정 년도의 사고율을 비교하기보다는 5년 평균값을 국제적으로 비교하고 있다.

철도 종사자와 열차간 접촉에 의한 사고는 국내는 물론 국제적으로도 중점적으로 관리하는 위험도가 높은 사고이다. 국내의 철도 통계가 수집된 2006년 이후 지금까지 지속적으로 유사한 패턴으로 발생하고 있다⁸⁾. 작업자 보호를 위해 신기술을 적용해 열차접근을 알리는 통신장비, 접근 경보장비, 선로작업자 보호용 로봇 등이 연구 중이거나 개발되었다. 이들 장비의 오작동은 바로 작업자 사상사고로 연결되어 높은 안전성이 요구된다. 그러나 국내는 물론 국제적으로 터널구간, 산악지형, 곡선구간 등 통신 음영 지역이 많아 극히 제한적으로 사용중이다.

최근에 문제가 제기된 서울교통공사 2호선 구의역 승강장 스크린도어 유지보수 작업자 사상사고, 2016년 발생한 포항 지진 발생 이후 김천역 인근 고속철도 선로 점검자 사망사고 등이 위의 사례에 해당된다. 열차운행을 중지하지 않고 열차 운행중 선로에서 작업하는 작업자는 매우 높은 위험도를 갖고 있으며, 작업에 집중하다 보면 열차접근을 인지하지 못하여 열차와 접촉하여 심각한 사고로 연결된다. 과거에는 국내의 연간 사망자수가 200명 수준으로 많아 직원의 선로작업 중 사망자수 비중이 낮았다^{4,9,10)}. 그러나 2019년 기준으로 철도 운행과정에서 발생한 연간 사망자 수가 33명 수준으로 감소하였다. 이중 철도에서 자살로 인한 사망자 19명을 제외 때 연간 14명 수준의 사망자가 발생하

고 있다. 전체 철도사고 사망자 중 직원이 차지하는 비중이 지속해서 증가하여 개선이 필요하다.

매년 발생하는 직원의 사고를 줄이기 위해 중앙정부 차원에서 강력한 안전대책을 주기적으로 발표하였으나, 열차운행을 중단하지 못하는 구조적인 문제로 인해 직원과 열차와 접촉에 의한 사고는 정체된 상황이다.

본 연구에서는 국내 철도 종사자 사고 중 가장 큰 비중을 차지하며, 가장 높은 위험성을 갖는 종사자와 열차의 접촉사고에 대해 집중적으로 분석하였다. 분석 방법으로는 최근 10년간의 국내의 모든 철도에서 발생한 직원이 사상사고에 대한 사고조사 기록을 전수조사¹¹⁾하였다. 국내에서 최근 10년간 발생한 모든 사고는 1,822 건이며, 본 연구와 관련된 사고는 65건이다. 사고 1건당 1개에서 최대 5개의 원인이 도출되며, 이를 모두 활용하여 사고 영향 요인별 발생 빈도를 산정하였다. 사고 발생과 관련된 기초 통계는 국토교통부와 한국교통안전공단에서 매년 발행하는 철도사고통계 분석보고서¹²⁾와 철도안전종합정보시스템¹¹⁾에 실시간으로 공개하고 있다. 다만, 작업자 위험도 평가를 위한 분류체계가 없어 본 연구를 통해 사고 건별 세부 분석을 수행하였다. 이를 토대로 직원과 열차접촉에 따른 사상사고에 대한 주요 영향인자를 토대로 시나리오를 구성하였다. 이러한 결과는 불가피하게 열차운행 중 선로점검 혹은 유지보수 작업을 수행하는 경우 사고를 예방하기 위한 현장 시행대책 마련에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

2. 선로작업자 위험도평가

본 절의 선로작업자 위험도평가는 Table 2에 기술된 바와 같이 국내 전체 철도 종사자 사고의 88%를 차지하는 한국철도공사의 선로작업자에 대해 수행하였다. 도시철도의 경우 대부분 선로작업이 열차 운행이 없는 시간에 시행되며, 승강장 스크린도어 유지보수와 같은 특별한 경우만 열차 운행중에 시행하여 본 절의 위험도 평가에서는 제외하였다.

2.1 선로작업자 사고 통계 분석

철도운영과 관련된 직원의 사고는 작업중 감전, 추락, 전도, 협착과 같은 일반적인 작업장의 재해와 철도운영의 특징이 반영된 사항으로 열차와 작업자의 접촉에 의한 재해가 있다. 일반적인 작업장의 재해, 근골격계 질환 등은 산업안전보건법에 따라 관리 중이다.

낮은 수준을 유지하고 있다. 반면 철도 운영의 특징인 열차와 작업자의 접촉에 의한 사고는 사망 혹은 심

Table 2. Track worker accident while rolling stock in motion

Year	Accident to staff			Accident to staff (at Korail)			Staff hit by train			Staff hit by train (at Korail)		
	No.	Fat.	Injure	No.	Fat.	Injure	No.	Fat.	Injure	No.	Fat.	Injure
2010	82	11	48	74	8	48	11	7	4	10	6	4
2011	72	7	40	66	1	35	7	1	6	7	1	6
2012	87	7	51	81	5	45	11	5	6	10	4	6
2013	74	7	43	67	3	40	10	6	4	7	4	3
2014	63	8	39	61	8	37	9	8	2	9	8	2
2015	18	8	6	14	5	6	6	6	2	5	5	2
2016	14	5	10	7	2	6	5	4	8	4	3	8
2017	12	5	7	7	5	2	8	6	6	8	6	6
2018	12	2	12	7	2	7	3	1	3	3	1	3
2019	8	3	7	5	3	4	2	1	3	2	1	3
Total	442	63	263	389	42	230	72	45	44	65	39	43

각한 증상자 발생 사고로 연결되는 경우가 대부분이다. 국내의 모든 철도 운영기관의 직원에 대한 작업중 사고 건수, 열차와 접촉으로 인한 사고 건수와 사상자 수를 Table 2에 수록하였다. 본 연구의 대상은 전체 사고의 88%를 차지하는 한국철도공사 사고이다.

2.2 선로작업자 사고 영향 요인 분석

최근 10년간 선로상 작업자와 열차와 접촉에 의한 사고 전체에 대한 전수 조사를 통하여 사고 발생 인자를 도출하고 그 결과를 ETA(Event Tree Analysis)로 구성하였다. 작업자와 열차접촉에 의한 사고의 FTA(Fault Tree Analysis)의 경우 사고 시나리오에 따라 발생확률이 변화된다. 작업자 사고 389건 중 72건의 사고가 열차와 접촉에 의한 사고로 단순한 통계적 계산이 가능한 경우 ETA의 각각의 분기점의 확률 계산이 가능하다. 통계적 분석이 어려운 경우는 일부 가정을 추가하였으며, 이를 본문에 기술하였다. 열차와 작업자의 사고 위험도에 영향을 미치는 주요 인자는 다음의 5가지로 설정하였다.

1) 운행중인 열차의 차단 방식

국내의 철도 운행선로는 대부분 양방향으로 운행중이며, 선로의 점검 및 유지보수를 위한 작업시 작업구간의 양방향을 차단하는 대규모 공사와 작업 대상인 해당 선로만을 차단하는 공사로 구분된다. 선로상에서 작업을 수행하는 경우 작업자 보호를 위해서는 양방향 선로 전체를 차단하는 것이 원칙이나, 열차운행을 중지하지 못하는 국내 특성상 선로작업이 필요한 해당 선로 1개만을 차단하는 공사가 빈번히 이루어진다.

나머지 선로로는 열차가 양방향으로 운행하는 방식

이 다수 사용되고 있다. 국내에서는 대규모 공사 혹은 열차운행이 없는 01시~04시 사이에는 양방향 차단이 가능하나, 열차운행이 지연된 상황 혹은 기타 특수한 상황에서는 적용이 되지 않는 어려움이 있다. 국내 선로작업자의 열차충돌 사고로 인한 사상자의 대부분은 열차운행을 전면 중단하고 시행하는 양방향 차단작업이 아닌 작업 중인 선로만 차단한 공사에서 발생 중이다. 이를 근거로 통계를 산출하면 작업중인 선로만 차단하는 비율을 ETA에서 70%로 산출하였다. 선로차단 비율은 운행노선, 작업의 종류에 따라 차이가 있으나 최근 10년간 발생한 전체 통계의 평균값이다. 특정 노선에 대한 작업자의 위험도 평가시 발생빈도가 낮아 국내 전체 노선의 통계값을 사용하였다. 그러나 2004년도 고속철도 개통을 위한 개량공사, 2015~2017년 강릉선 개통을 위한 공사와 같은 대규모 개량이 있는 경우 양방향 차단 공사 비중이 일시적으로 증가한다. 반면 경부선, 호남선 및 대규모 수송 기간중에는 단방향 차단 비중이 급격히 증가한다. 본 연구에서는 10년 발생한 사고조사 보고서 전체를 분석하여 얻은 국내 전체의 평균값을 사용하였다. 사고조사보고서에서 사고 발생시의 열차차단 방식이 포함되어 이들 자료를 포함하였다. 다만, 열차 차단을 승인 받지 않고 미승인 작업한 경우는 단방향 차단으로 가정하였다.

2) 사전 협의된 열차 운행시간 변경여부

선로상 작업은 위험도가 높은 작업으로 철도운영기관 규정에 따라 모든 선로작업에 대해 작업 수행전에 사전에 협의가 필수적이다. 사전 협의를 토대로 철도 관제센터, 인근 철도역사 혹은 신호 취급자와 해당 작업구간을 운행하는 열차의 기관사에게 유지보수 작업

에 관한 정보가 미리 전달되고 있다. 해당 열차가 일정대로 작업 구간을 통과하는 경우 사고 발생률이 낮으나 열차운행이 지연되었거나, 특수한 상황이 발생하여 열차운행 시간이 변경된 경우 작업자에게 변경된 일정이 통보되지 않은 경우가 있다. 이로 인해 다수의 사고가 발생중이다. 사전 협의가 이루어진 일정대로 열차가 운행중인 경우 관제사, 열차 기관사, 열차 감시자, 선로작업자 모두 사전에 대응할 수 있어 낮은 사고율을 보인다. 열차운행 일정이 변경되거나 지연된 경우 작업자나 열차 감시자는 해당 선로에 열차운행이 완료된 것으로 착각하여 열차감시를 소홀히 하거나 반대편 운행 열차로 착각하여 다수의 사고가 발생하였다. 본 연구에서는 사전 협의된 일정에 따라 열차가 운행되는 비중을 90%로 하였으며, 이외의 경우를 10%로 설정하였다. 이는 선로작업이 주로 심야에 이루어지는 경우가 많아 이를 고려한 수치이다. 열차의 정시운행 비율은 작업자 사고가 발생한 최근 10년간의 전체 자료를 분석하여 얻은 값이다. 사고조사보고서에 사고 발생시 관련된 열차의 지연운행 여부가 포함되어 이들 자료를 활용하였다.

3) 기관사, 관제사 등의 작업 진행 사전 인지 여부

선로상에서 유지보수, 점검 등의 작업이 진행되는 지점을 관제사와 기관사가 미리 인지한 경우 해당 구간 운행 중 전방주시와 감속운행 등이 가능하다. 감속 운행 혹은 주의 운전중 선로작업자가 발견되면 신속한 대처가 가능하여 작업자의 피해가 감소할 수 있다. 선로작업에 대한 사전 인지 여부는 열차운행시간 변경 여부와 선로 차단방식에 따라 조건부로 변경된다. 양방향 차단시 정상적인 운행일 경우는 90% 이상이 사전에 인지하고 있다. 90%의 수치는 개인의 인적요인이 반영된 수치로 작업 장소, 시간에 대한 착각, 망각, 의사소통 등의 오류를 고려한 수치이다. 사고조사보고서에 기술된 항목에 기관사, 관제사, 작업책임자, 열차감시자 등의 사고상황이 기술되어 있으며, 관련자 착각, 망각, 의사소통과 관련된 사항이 10%로 가정하였다.

최악의 경우 작업중인 선로만 차단되고 열차운행이 지연된 상황에서는 사전 인지율은 30% 수준으로 감소한다. 이 경우 사고 발생시 신속한 대응이 어려워 사고시 사망자가 발생한다. 열차운행이 지연된 상황을 선로 작업자가 열차운행이 종료된 상황으로 착각하는 다수의 사고가 발생하고 있다. 작업장의 소음으로 인해 작업자가 열차접근을 인지하지 못하는 경우가 많다. 열차운행이 지연된 상황에서는 기관사, 관제사가 열차운행을 만회하기 위해 서행이 아닌 지정된 속도로 운

행하므로 작업자와 접촉시 작업자의 위험성이 커진다. 이를 고려하여 30%로 인지율을 가정하였다. 이 수치는 향후 준사고 보고자료 등을 추가적인 활용하면 신뢰성이 높은 수치로 보완할 수 있다.

4) 열차감시자의 배치여부

최근 모든 선로작업에 열차감시자를 의무적으로 배치하도록 규정하고 있으나, 열차감시자 업무 특성상, 차단 시간전 미리 선로를 통하여 열차감시 위치까지 이동하는 과정에서 열차감시자 본인이 열차와 접촉으로 사고를 당하는 경우도 다수 발생한다. 다수의 선로작업이 심야에 진행되고, 심야에 열차감시를 수행하는 과정에서 열차감시자의 주의력이 분산되어 열차감시자가 사고를 당하거나, 열차의 운행 방향을 착각하는 경우 혹은 선로작업자가 대피하기 충분한 시간을 주고 열차접근을 알려주지 못하는 경우가 해당된다. 사전에 선로작업에 대한 협의 이후 일정이 변경되거나 혹은 사전 준비를 위해 미리 작업을 하는 경우, 간단한 작업 및 점검을 수행하는 경우 열차감시자를 배치하지 않고 작업중 열차와 접촉에 의한 사고가 다수 발생하고 있다. 본 연구에서는 국내의 최근 10년간 사고발생 통계를 토대로 정상적인 열차운행 상태에서는 열차감시자의 적정한 열차감시 통보 확률을 90%로 설정하였으며, 열차 지연 등의 상황에서는 70%로 낮추어 설정하였다. 최근에는 열차감시자를 100% 배치하도록 규정하고 있으나, 열차감시자의 과실(열차감시 중 주의분산, 착각 등) 혹은 감시 위치가 부적절하여 충분한 대피 시간을 제공하지 못하는 경우를 고려하여 90%로 설정하였다. 열차 지연 상황에서는 열차감시자의 착각 혹은 감시상의 오류 확률이 크게 증가한다. 최근 10년간 열차 지연 상황에서 열차 감시자의 오류가 발생한 경우의 비율을 고려하여 30%로 가정하였다. 이 수치는 향후 준사고 보고자료 등을 추가적인 활용하면 신뢰성이 높은 수치로 보완할 수 있다.

최악의 경우 사전에 작업에 대한 협의가 없거나 미승인 작업을 진행하는 경우는 열차감시 성공확률이 30% 수준으로 더욱 낮아진다. 이는 열차 감시자를 배치하지 않고 작업자 본인이 작업 수행과 동시에 열차감시를 수행하면서 발생한 수치이다.

5) 작업자 개인의 선로대피 여부

선로작업이 계획에 따라 진행되고, 규정이 준수되었어도 열차와 작업자 접촉사고가 발생하고 있으며, 이 경우 주요 원인은 작업자 개인의 부주의 혹은 열차접근 선로의 착각으로 발생하고 있다. 작업 중 선로 밖

대피 명령이 주어지면 열차가 운행하는 반대편으로 대피해야 하나, 마무리 작업 혹은 선로에 방치된 장애물을 제거하기 위해 대피가 지연되어 사고가 발생한 경우가 있다. 6~10개의 선로가 있는 역사 내에서 작업하는 경우 열차접근 선로나 열차접근 방향에 대한 착오로 인하여 안전한 대피를 하지 못하여 사고가 발생하는 경우가 포함된다. 국내의 많은 선로작업은 안전확인을 위한 충분한 작업 시간이 제공되지 않고 있어 작업자가 선로대피 과정에서 사고를 당할 가능성이 있다. 본 연구에서는 양방향을 차단하는 선로작업의 경우 선로대피 성공확률을 90%로 가정하고 있으나, 최악의 경우는 한방향 선로방 차단된 경우이며, 이 경우 성공확률은 낮아진다. 사전협의를 없거나, 열차 감시자가 없는 경우 선로대피 성공확률은 10% 수준으로 낮아진다. 선로 대피 성공확률은 최근 10년간의 사고 통계중 선로대피 과정에서 작업자 개인의 착각, 현장 책임자의 착각 등으로 사고 비율을 반영하였다.

2.3 선로작업자 사고 시나리오 구성

최근 10년간 발생한 국내의 모든 선로작업자 사고를 분석하여 총 32개의 시나리오에 대해 ETA(Event Tree Analysis)를 Fig. 1~2와 같이 구성하였다.

선로작업시 모든 운행선로를 중단하고 작업하는 경우를 Fig. 1에 나타내었으며, 선로작업이 진행되는 선로만 차단하고 나머지 선로로는 열차가 운행되는 경우를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 1과 2에 전적에서 언급한 주요 영향인자에 따른 사고 발생확률과 결과를 수록하였다. 최근 10년간 발생한 선로작업자 사상자를 등가 사망자로 환산하여 ETA에서 도출된 위험도값을 보정하였다. 최근 10년간 발생한 사망자 45명과 중상자 44명을 고려한 등가사망자는 49.4명이며, 연평균 4.94명의 선로작업자 위험도가 존재한다. 등가사망자 개념을 적용하여 10인의 중상자를 1명의 사망자로 환산하는 개념을 도입하였다^{11,13)}. 국내를 포함한 유럽 대부분의 국가에서 등가사망자 환산 기준은 동일하며, 국내는 철도안전법에 반영되어 있다. 운행중 열차와 작업자 접촉으로 인한 사고는 대부분 사망자나 중상자가 발생하는 사고로 경상자 발생률은 낮다. 또한 경상자 200명을 1명의 등가사망자로 환산하고 있는 점을 고려하면 모두 유효 숫자에서 제외되어 큰 영향을 미치지 않는다. 이를 고려한 가중치를 Fig. 1~2에 반영하였다.

2.4 선로작업자 사고 위험도 평가

대형철도사고로 연결될 수 있는 열차의 탈선, 충돌 사고의 경우 다수의 안전대책이 중복적으로 적용되며,

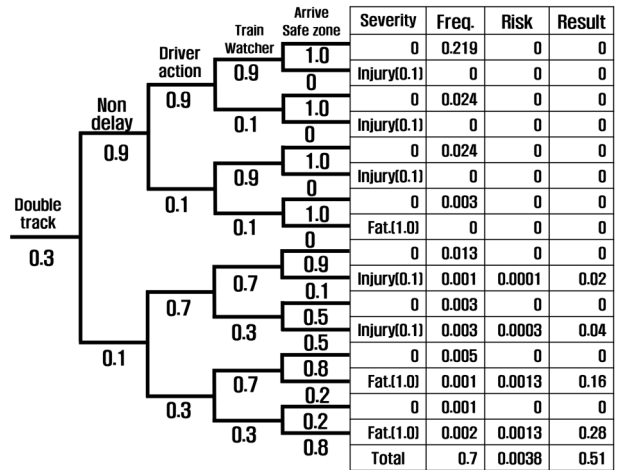


Fig. 1. ETA result for track worker hit by train (Double track interruption : Probability of 0.3).

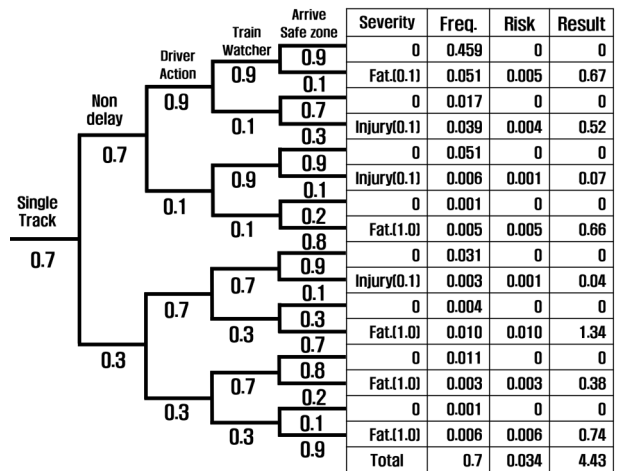


Fig. 2. ETA result for track worker hit by train (Single track interruption : Probability of 0.7).

안전확인을 위한 다수의 인력이 존재한다. 이 경우 대책이 증가할수록, 관련 인력이 증가할수록 사고를 예방할 기회가 증가한다. 반면, 선로 작업자 사고는 최종적으로 개인이 안전하게 대피해야 하는 작업으로 열차 감시자, 관리자, 기관사, 관제사 등 많은 인원중 한명이라도 착각을 하거나 실수 할 경우 바로 사고로 연결 될 수 있는 특징이 있다.

최근 10년간의 철도작업자와 운행중 열차와 접촉에 의한 사고 위험도는 49.4명이며, 연간 4.94명의 위험도를 갖는다. 이 중 90%에 해당하는 4.43명의 위험도는 양방향 선로차단이 아닌 부분선로 차단 공사에서 발생 중이다. 국외에서는 양방향 선로차단을 원칙으로 하고 있어 국외의 선로작업자 안전성이 높은 이유중의 하나이다.

전 절에서 구성된 32개의 열차와 선로작업자의 접촉

Table 3. Risk ranking for track worker hit by train

Risk	Frequency	Consequence	Train Delay	Driver action	Train Watcher	Arrive safe zone
1.34	1.34	1.0	Y(0.1)	Y(0.3)	N(0.3)	N(0.7)
0.74	0.74	1.0	Y(0.1)	N(0.3)	N(0.3)	N(0.9)
0.67	6.67	0.1	N(0.9)	Y(0.9)	Y(0.9)	N(0.1)
0.66	0.66	1.0	N(0.9)	N(0.1)	N(0.1)	N(0.8)
0.52	5.20	0.1	N(0.9)	Y(0.9)	N(0.1)	N(0.7)
0.38	0.38	1.0	Y(0.1)	N(0.3)	Y(0.7)	N(0.2)

사고 시나리오중 위험도가 높은 6개 시나리오를 선정하였으며, 해당 시나리오가 차지하는 위험도는 전체 위험도의 87%를 차지하고 있다. 해당 시나리오는 모두 부분선로 차단 공사에서 발생 중이며 Table 3에 수록하였다. 일반적인 사고발생 빈도에 기반한 분석에서는 가장 악조건에서 높은 사고 위험성이 예상되나, ETA를 통해서 위험도를 산출하면 개별 상황에 대한 발생 확률이 반영된 값으로 위험도의 우선순위가 변경된다. 즉, 모든 악조건이 조합되는 경우 피해도는 증가하나 발생확률이 감소하여 비교적 낮은 위험도가 산출된다.

Table 3에서 발생확률(Frequency)은 주요 영향인자의 확률값을 곱한 후에 Fig. 2에 해당하는 단선차단 공사 확률인 0.3을 곱하여 얻어진 값이다. Table 3에서 피해도(Consequence)는 등가사망자이다. 주요 인자는 열차 지연상황(Train dealy), 기관사 및 관제사 등의 사전인지(Driver action), 열차감시자 배치여부(train watcher), 선로 대피(arrive safe zone)를 표시하였다. 위의 위험도 평가 결과는 고려된 32개의 선로작업자와 열차와 접촉에 의한 사고의 87%에 해당하는 위험도로 전체 시나리오중 6개 시나리오를 정리한 것이다. 현재의 안전대책은 사전협의, 열차 지연 등 비정상적인 상황발생시 작업자 통보 강화, 열차감시자 배치 의무화 등이 있다. 그러나 위의 분석에서 가장 큰 위험요인은 양방향 선로차단이 아닌 해당 선로만 차단하는 경우로 이를 고려한 대책이 추가되어야 한다.

두 번째로 작업자 대피 과정에서의 오류를 줄이기 위해 작업자가 착각하여 반대편 선로로 대피하는 것을 예방하는 대책과 열차의 접근을 알려주는 열차감시자의 신뢰성 향상이 필수적이다. 이러한 대책을 실행하기 위해서는 추가적인 인력과 시간의 투입이 필요하며, 작업계획 수립시 이러한 추가적인 안전활동을 위한 시간을 고려해야 한다. 그러나 현행 차단 시간이 부족한 이유로 이러한 시간이 제약되어 문제가 발생하고 있다.

현재 사고로 연결되지 않은 위험한 상황에 대한 준사고 보고제도가 한국철도공사에서 운영중이나, 준사

고 내용을 활용한 위험도평가에는 상당한 시간이 소요될 것으로 예상된다. 직무사고로 연결되지는 않았으나, 위험한 상황이 발생한 준사고 정보를 활용한다면, 더욱 정교한 위험도 평가 모델의 구성이 가능할 것으로 예상된다. 현재 국토교통부에서는 준사고보고제도를 법제화하는 과정에 있으며, 이 제도가 정착되면 향후 본 연구 결과를 보완하여 신뢰성이 높은 위험도 분석이 가능할 것으로 예상된다. 사고의 원인 분석 측면에서 작업자의 헬멧에 장착하는 블랙박스(Black Box) 및 선로변의 영상감시 장치 등의 활용이 확대 될 때 보다 정확한 원인 규명이 가능하며, 추가적인 대책 수립도 가능할 것으로 판단된다.

현재 위치기반 기술과 통신 및 로봇을 활용한 선로 작업자 보호용 장비들이 연구되고 있으나, 현장에 적용되지 않고 있다. 향후 이들 장비의 검증 이후 본 연구에서 제시된 위험도가 높은 작업 현장에 적용된다면 작업자의 사고를 감소시킬 것으로 예상된다.

3. 결론

본 연구에서는 일반철도와 고속철도 선로작업자와 열차와 접촉으로 인한 작업자 사고에 대한 최근 10년간의 자료 전체를 분석하여 위험도를 평가하였으며, 다음의 결론을 도출하였다.

- 1) 선로작업자 사고에 영향을 미치는 주요 인자 5가지를 도출하였다.
- 2) 주요 인자별 발생확률을 산출하여 32개의 사고 시나리오를 구성하였다.
- 3) 구성된 시나리오 중 위험도가 가장 높은 시나리오 오는 모두 단방향 선로차단 시나리오에서 발생하였다.
- 4) 안전대책 수립 시 위의 위험도가 높은 6개의 시나리오에 해당하는 경우 안전확인을 위한 추가적인 작업시간의 제공과 열차대피 과정의 오류를 줄이기 위한 대책을 추가하는 방안이 필요하다.
- 5) 위험도가 높은 6개의 시나리오에 대한 중점 관리가 성공할 경우 선진국 수준으로 선로작업자의 안전성을 향상할 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구 결과는 열차 운행을 중지하지 못하는 상황에서 선로상에 발생한 이상에 대한 점검 및 유지보수 작업을 수행 시 필수적인 확인을 사항 마련에 활용할 수 있다.

본 연구에서 제시된 가장 높은 위험도를 갖는 6가지

의 작업에 대해서는 작업계획 수립, 인력배치, 작업 시간 배정시 안전대책을 추가로 반영할 경우 선진국 수준으로 작업자의 안전성을 향상할 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글: 본 연구는 한국철도기술연구원의 주요사업 과제로 수행하였습니다.

References

- 1) Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA), "Occupational Safety and Health Survey Report, 2018", 2019.
- 2) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "2019 Annual Railway Safety Plan", 2019.4.
- 3) S. L. Kwak, "A Study on Safety Investment Moment for Safety Target", J. Korean Soc. Saf., Vol. 32, No. 5, pp. 122-128, 2017.
- 4) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "The 3rd National Railway Safety Plan : Modified Plan(2016-2022)", 2019.
- 5) Korea Railroad Research Institute, "Final Report on 3rd National Railway Safety Planning Modification", 2019.
- 6) European Union Agency for Railway, "2018 Railway Safety Performance In The European Union", 2019.
- 7) European Union Agency for Railway, "European Railway Agency, Implementation Guidance for CSIs", ERA-GUI-02-2015, 2015.
- 8) S. L. Kwak et al., "An Accident Analysis for Reducing Railway Staff Fatalities", J. Korean Soc for Railway, Vol. 16, No. 2, pp 122-128, 2013.
- 9) C. W. Park, et al., "Development of Risk Assessment Models for Railway Casualty Accidents", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 12, No. 2, pp. 190-198, 2009.
- 10) C. W. Park et al., "Development of Accident Scenario Models for the Risk Assessment of Railway Casualty Accidents", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 24, No. 3, pp. 79-87, 2009.
- 11) Korea Transportation Safety Authority, "Rail Safety Information System, www.railsafety.or.kr" Website
- 12) Korea Transportation Safety Authority, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "2019 Stastical Railway Accident Analysis Report", 2019.
- 13) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Technical Standard for Railway Safety Management System-Annex 1 : Detailed standard for Railway Risk Assessment", 2017.