

# 철도 유지보수 작업시 작업자 안전향상을 위한 위험도분석 사례연구

## Risk Assessment Case Study for the Track Worker Safety

곽상록\*                      조연옥\*                      왕종배\*  
Kwak, Sang-Log              Cho, Yun-Ok                  Wang, Jong-Bae

### ABSTRACT

For the preparation of KTX operation and electrifying the conventional line, many accidental fatalities were occurred in recent year. In order to improve track worker safety as low as possible, risk assessments are carried out in this study. As an input of risk assessment 5-year accident data were analyzed into frequency and fatality. As a result risk of track worker based on equivalent fatality is derived.

### 1. 서론

철도 유지보수 작업은 열차 운행지장을 최소화하기 위해 열차 운행이 없는 심야시간에 공사가 진행되거나 열차 운행중 진행된다. 작업중 열차와 작업자의 접촉, 작업자의 감전사고 등 발생 가능한 사고를 예방하기 위해 작업계획 수립, 사전 협의, 열차감시자 배치, 책임 감리제도 시행, 사전교육이 이루어지고 있다. 그러나 최근 고속철도 개통을 위한 공사, 전철화 및 복선화를 위한 공사가 집중적으로 진행되어 철도 유지보수 작업자들은 과거보다 많은 위험요인에 노출되어있다. 인명사고를 유발하는 건널목사고, 열차화재 탈선 등의 사고는 열차성능 향상 및 건널목 입체화와 같은 개량으로 사고 피해가 감소하는 추세이나, 철도 유지보수관련 사고는 오히려 증가하고 있다. 철도 유지보수 작업자의 관점에서 보면 열차운행 횟수 증가, 전철화 공사 및 복선화 공사는 작업시간 감소, 전차선 감전위험, 작업시 대피공간의 축소라는 안전위험 요소로 볼 수 있다.

증가하는 철도 유지보수 작업시의 사고를 체계적으로 관리하기 위한 안전관리계획 수립시 사고 피해의 정량적 척도는 “년간 사고건수”, “열차운행 100만-km당 사고건수”와 같이 발생빈도에 초점을 둔 경우와 “년간 사망자수”, 혹은 “피해액”, “운행지장 시간”과 같이 사고피해에 초점을 둔 경우가 있으나 본 연구에서 위험도 개념을 사용하였다. 위험도는 관심의 대상이 되는 사고의 발생빈도(발생 확률)와 발생결과(피해심각도)의 곱으로 정의되는 값으로 빈도와 피해를 동시에 고려할 수 있다. 터널화재 위험도 예측에 관한 선행연구에서는 발생빈도와 피해심각도 계산을 위한 충분한 자료가 없어 확률론적 기법을 적용하였으나, 본 연구에서는 최근 5년간 발생한 사고자료가 확보되어 통계적 기법을 활용하여 사고원인에 따른 위험도를 예측하였다. 연구의 진행에 따라 다양한 기준에 따른 분류가 가능하나 본 연구에서는 작업진행 단계에 따른 원인별 분류를 사용하였다. 이러한 위험도 평가내용은 시스템 안전관리계획(System Safety Management Plan) 수립의 기초자료로 및 안전개선 활동에 활용될 수 있다.

\* 한국철도기술연구원, 안전기술연구팀, 정희원

## 2. 유지보수 작업시 사고 피해 분석

철도의 유지보수 작업은 선로, 전기, 신호, 차량 관련 부서가 독자적으로 수행하는 경우도 있으나 여러 부서가 복합적으로 작업하는 경우가 많다. 이 경우 사고가 발생하면 사고분류가 명확하지 않아 현재 철도청의 사고분류 체계의 적용에는 어려움이 많아 본 연구에서는 사고 원인에 따른 분류를 수행하였다. 예로서 사고가 발생할 경우 철도 안전에 대한 일반 대중의 이미지 하락은 동일하나 유지보수 작업시 작업자 사상 사고의 경우 청직원의 사상은 “직무사상”으로 분류되는 반면, 외부 업체 직원의 사상은 “공중사상”으로 분류되고 있다. 현재 “철도청 안전보건관리규정”의 사고보고 및 처리에 관한 사고분류기준은 서로 중복되는 항목이 많아 위험도 평가에 바로 사용이 어려워 본 연구에서는 사고 원인에 따른 분석을 수행하였다.

본 연구에서는 최근 5년간의 사고자료중 운행선 유지보수 작업에 대한 부분을 별도로 추출하여 분석하였다. 사고로 인한 피해는 크게 ①사망, 중상과 같은 인적피해, ②차량피해와 같은 물적손실, ③열차지연과 같은 시간손실의 다양한 측면에서 분석이 가능하다. 다양한 이들 가치를 비용으로 환산하여 종합하는 개념으로 사고예방비용(Value for Preventing Fatality, VPF)의 개념을 도입할수 있으나 위험도 평가에 대한 선행연구가 부족한 현 시점에서는 인적피해에 초점을 둔 위험도 평가를 수행하였다. 향후 분석을 위해 인적피해와 직접 연결되지는 않으나 물적, 시간적 손실을 유발할 수 있는 위험도 항목을 동시에 고려하였다. 이 중 인적피해를 분석하여 다음의 표 1에 요약하였다.

표 1. 최근 5년간 운행선 공사관련 피해분석

년도	빈도(건)		등가사망(명)		자연시간(분)
2003년	44	25%	14.6	36%	2,409
2002년	22	13%	2.3	6%	529
2001년	43	24%	8.5	21%	1,173
2000년	36	20%	7.5	18%	1,046
1999년	31	18%	7.8	19%	1,499
계	176	100%	40.6	100%	6,656

표 2. 운영기관별 등가사망자수 환산

운영기관	중상자수	경상자수
A	10	200
B	10	N.A.
C	14.3	200
D	10	100
E	10	100
F	9.1	100

작업 장비는 현대화되고 있는 반면 표 1에 나타난 최근 사고 경향을 보면 사고가 줄어들지 않고 있는 것으로 나타나 작업자 안전을 위한 체계적인 대책수립이 요구된다. 표 1에서 사고 건수, 피해인원, 자연시간 모두 2003년에 최대를 나타냈다. 사망, 중상, 경상의 피해를 정량적으로 계산하기 위해 등가사망자의 개념을 적용하였다. 등가사망은 철도청의 기준에 따라 분류된 사망자, 중상자, 경상자의 기준을 적용한 후 하나의 수치로 표현하기 위해 환산한 값이다. 본 연구에서 사용한 환산기준은 1명의 등가사망은 1명의 사망, 10명의 중상, 200명의 경상자이다. 이러한 환산 수치는 국가별, 철도 운영기관별로 표 3과 같이 상이하하며, 본 연구에서는 영국의 기준(표 2에서 A기관)을 적용하였다.

## 3. 유지보수 작업시 사고 원인 분석

운행선 공사 사고에 대한 분석이 수행된 바 없어 본 연구에서는 공사수행 단계에 따라 사고원인을 구분한 후 이를 근거로 통계적 분석을 수행하였다. 통계 분석시에는 최근 5년간 철도 유지보수

공사현장에서 발생한 176건의 사고자료를 활용하였으며, 사고 원인이 복합적인 것은 각각의 항목에 중복으로 고려하였다. 사고 원인별 발생빈도를 표 4에 나타내었다.

사고원인은 ①공사전 협의/준비 단계의 오류로 인한 사고, ②공사중 작업자의 부주의나 안전관리의 오류로 인한 사고, ③공사후 마무리 단계의 오류로 인한 사고, ④인접선로의 노반공사와 같은 타공사에 의한 사고, ⑤약천후, 기존 작업의 오류로 인한 사고로 분류하였다.

표 3. 최근 5년간 운행선 유지보수 공사사고 원인별 발생빈도

순	대분류	소분류	비율	계	1999	2000	2001	2002	2003
1	공사전	작업계획 부실	6.5%	20	5	4	6	0	5
2		사전협의 소홀	13.4%	41	6	8	8	7	12
3		작업자 전문성 부족	7.9%	24	7	3	8	2	4
4		장비/인력확인 소홀	2.9%	9	2	3	2	0	2
5	공사중	작업자 개인 부주의	19.0%	58	13	14	20	2	9
6		공사중 관리감독 소홀 (내·외부공사시 감시자 배치, 공사장관리 등)	36.6%	112	17	23	23	22	27
7		무리한 작업 수행	3.3%	10	4	3	1	1	1
8	공사후	작업 마무리 소홀	2.3%	7	1	4	0	1	1
9	타공사	도로공사, 인근지역 전기공사	4.3%	13	3	3	2	1	4
10	기타	기타(약천우, 기존 작업오류, 설계도면 오류)	3.9%	12	2	6	3	0	2
계			100%	306	60	71	72	36	67

사고 원인별 분석결과 작업 전단계의 오류로 인한 사고비율은 31%, 공사중 안전관리로 인한 사고는 59%로 나타났다. 다음으로 발생빈도가 높은 사고원인은 작업자 개인 부주의로 나타났으며, 이는 점차로 줄어들고 있다고 볼 수 있다. 표 4에서, 작업중 관리감독 소홀이 사고의 주된 원인이며, 대부분의 사고원인들이 줄어들지 않고 지속적으로 발생하는 것으로 나타났다. 이는 철도종합 안전관리 대책중 운행선 유지보수 작업시 안전확보와 관련된 부분의 효과가 미흡한 것을 의미하며, 이의 해결을 위해서는 시스템 안전관리 활동이 요구된다. 시스템 안전관리활동은 ①표 4에 제시된 위험분석, ②기존 사고이력 자료분석, ③각종 시나리오 전개 및 개발, ④각 시나리오별 발생 빈도와 피해심각도 결정 등, 그림 1의 시스템 안전관리 절차에 따라 정량적인 위험허용한도를 평가하여 필요한 안전개선과 투자를 실시하는 일련의 체계적인 관리활동을 의미한다.

표 4. 단계별 안전관리 활동

단계별 활동	예비설계	최종설계	건설제작	시험	운행사용
예비위험분석(PHA)	■				
하부시스템 위험분석(SSHA)		■			
시스템 위험분석(SHA)		■			
고장모드와 결과분석(FMECA)			■		
고장수목해석(FTA)			■		
유지보수 위험분석(O&SHA)				■	

#### 4. 위험도를 활용한 안전관리활동 및 사례연구

##### 4.1 위험도평가 결과의 활용 및 위험도 평가 현황

본 절에서는 유지보수 작업시의 사고빈도와 사고피해를 활용한 위험도평가 사례연구를 수행하였으며, 이들 결과는 안전개선 투자의 우선순위결정, 국외의 위험도와 정량적인 비교, 현재 위험도의 적합성 판단 등 다양하게 활용될 수 있다. 위험도 평가의 예로서 영국의 RCI에서 2001년도에 특정 노선에 대해 수행한 철도사고 위험원 분류 및 이에 대한 위험도평가사례를 표 5에 제시하였다. 여기서, 자살을 제외한 전체 위험도는 연간 138명의 사상자로 예측되었고, 주요 위험원인별 기여 정도를 표에서 나타내었다. 표 5에서 가장 큰 위험은 전체의 34%를 점유하고, 47명의 사상자를 유발한 “신로횡단시 승객과 열차의 충돌”사고로서, 이때 등가사상 가치환산은 10명의 중상자 혹은 200명의 경상자를 모두 1명의 사망자로 환산한 값이다. 표 5에는 계산된 위험도가 1 이상인 항목만을 나타내었다.

표 5. 영국 RCI의 2001년도 위험도평가 결과

순 위	위험원(Hazard) 분류 (2001년 사망자 : 총 138명)	위 험 도	비 율 (%)
1	선로 횡단시 승객과 열차충돌	47.2	34.3
2	승객의 추락/실족/넘어짐	11.1	8.1
3	건널목에서 객차와 차량의 충돌	6.2	4.5
4	역사 이외의 장소에서 객차와 객차의 충돌	5.8	4.2
5	2m이하 높이에서 작업자 추락/실족/넘어짐	5.4	3.9
6	일반인이 건널목 횡단시 열차와의 충돌	4.5	3.3
7	객차의 탈선	4.4	3.2
8	건널목 횡단시 전차선로로 부터 감전	3.5	2.5
9	객차이외 차량의 탈선	2.9	2.1
10	열차승하차, 탑승수속시 부상	2.9	2.1
11	운행중 열차에서 승객추락 추락	2.9	2.1
12	아동이 선로 횡단시와 열차충돌	2.9	2.1
13	역사에서 승객의 추락 및 열차와 충돌	2.8	2.0
14	일반인 역사내 선로 횡단시 열차와의 충돌	2.8	2.0
15	일반인이 선로로의 추락	2.6	1.9
16	건널목 횡단시 전기선로에서 아동이 감전	2.4	1.7
17	일반 보행자가 보행건널목 횡단시 충돌	2.3	1.7
18	선로횡단시 전차선과 접촉을 통한 감전	1.8	1.3
19	구조물붕괴/대형물체와 작업자 충돌	1.7	1.2
20	작업자와 열차의 충돌	1.6	1.2

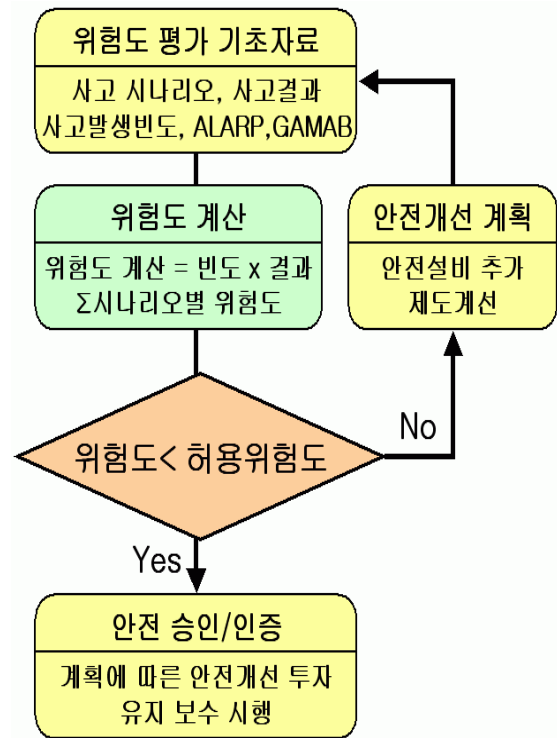


그림 1. 위험도평가를 통한 안전관리 절차

현재 국내 철도시스템에 대한 허용위험도나 기준에 수행된 위험도 연구가 부족한 실정으로 현재로서는 안전개선의 우선순위 결정을 위한 참고자료나 시스템 개선시 과거 시스템에 대한 향상을 나타내는 지표로 활용될 수 있다. 유지보수 작업시는 물론 일반적인 시스템의 평가시 적용되는 위험도 평가의 절차를 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서 평가된 위험도의 합이 허용위험도보다 큰 경우 추가적인 안전설비나 제도의 개선이 요구된다. 이때 안전평가의 기준이 되는 허용위험도는 국가에 따라 상이하지만, “가능한 위험도의 제거와 경감”을 근본으로 하고 있다. 각 국가별 허용기준은 정책요소, 국민의 공감대 형성 및 안전문화 수준 등과 같은 복합적 요소를 고려하여 설정하고 있으며, 철도노선을 공유하는 유럽에서는 국가별 위험도 기준이 상이한 문제를 해결하기 위해 국제적인 협의를 통하여 운영자간 공통되는 허용 위험도를 도출하려 노력을 기울이고 있다. 허용위험도 결정을 위한 원칙에는 ①ALARP(As Low As Reasonably Practicable), ②GAMAB (Globalemant Au Moins Aussi Bon, globally at least as good), ③MEM(Minimum Endogenous Mortality) 혹은 이들을 복합적으로 사용하는 방법이 있다.

#### 4.2 철도 유지보수 작업시의 작업자 위험도 평가 사례연구

국내 철도사고 사례와 기본 위험분석(PHA)을 통해 아래의 표 6을 도출하였으며, 기술한 바와 같이 통계적 접근법에 기초한 위험도를 예측하였다. 표 6에서 일부항목은 작업자 안전향상과 직접적인 연관성은 없으나 운행열차의 지장(시간비용), 차량피해(환경비용을 포함하는 물적손실), 작업시간 감소로 인한 작업자 위험증가를 초래할 수 있어 향후의 추가적인 연구를 위해 포함시켰다. 인적측면에서 직접적인 피해를 유발하지는 않으나 향후 비용을 기준으로한 환산시에 필요한 위험사건의 경우 발생건당 최소의 피해심각도인 0.005명 사망(즉 1명의 경상)을 가정하여 순위를 정하였다. 향후 사고시나리오 분석에 근거한 각 사고별 세부적인 분석이 수행된다면 이러한 수치를 보

다 개선할 수 있다. 표 6에 계산된 위험도는 최근 5년간이 자료를 기초로 하고 있어 이외의 자료나 불확실성을 고려하기 위해 계산된 위험도에 안전계수 3을 고려한 값을 함께 나타내었다.

표 6. 철도 유지보수 작업시 위험도 평가 사례연구

순	위험사건	위험도 ×3	위험도	년간 빈도	심각 도	발생 빈도 합계	등가 사망 합계
1	작업자가 선로에서 작업중 열차와 충돌	20.36	6.79	6.4	1.1	32	33.9
2	전차선로 작업/점검중 작업자의 전차선 감진	2.17	0.72	2.0	0.4	10	3.6
3	작업자의 장비/자재와 열차 충돌	1.32	0.44	4.8	0.1	24	2.2
4	작업장의 안전사고	0.30	0.14	1.0	0.1	5	0.5
5	인접공사장의 구조물의 선로내 추락 혹은 열차와 충돌	0.18	0.06	1.4	0.1	7	0.3
6	작업구간에서 열차간의 충돌	0.18	0.06	0.2	0.3	1	0.3
7	작업장비로 인한 신호/전력 시스템의 손상	0.18	0.06	3.6	0.1	18	0.3
8	공사장 출입 차량과 열차의 충돌	0.15	0.05	1.0	0.1	5	0.3
9	공사열차에 실린 자재/장비의 선로추락	0.06	0.02	1.0	0.1	5	0.1
10	작업구간에서 공사 열차의 탈선	0.05	0.02	3.2	0.005	16	0.0
11	작업자의 신호케이블 절손 혹은 오결선	0.03	0.01	2.0	0.005	10	0.0
12	작업장비로 인한 선로/전차선 변형	0.02	0.01	1.6	0.005	8	0.0
13	작업장비 고장/미확보로 인한 선로지장/작업지연	0.01	0.01	1.0	0.005	5	0.0
14	작업불량으로 인한 작업종료후 선로/신호/통신등의 장애	0.01	0.004	0.8	0.005	4	0.0
15	기상 악화로 인한 작업시간 지연	0.01	0.004	0.8	0.005	4	0.0
16	기존작업/설계도면 오류로 인한 신호/전력 시스템의 손상	0.01	0.003	0.6	0.005	3	0.0
17	타공사로 인한 선로장애/신호 및 전력 시스템의 손상	0.01	0.003	0.6	0.005	3	0.0
18	작업구간에서 여객/화물열차의 탈선	0.01	0.001	0.2	0.005	1	0.0
계		24.9	8.3	6.1	2.0	161	41.5

위험도 계산결과 전체 위험도의 82%가 작업자가 선로에서 작업중 열차와의 충돌로 나타났으며, 전차선 감진 및 작업장비와 열차충돌이 높은 위험도를 나타내었다. 이들 세가지에 대한 위험도가 전체 위험도의 97%로 나타났으며, 향후 지속적으로 사고자료를 분석한다면 이들 위험도를 보다 세부적으로 분류 할 수 있을 것으로 예상된다. 예로서 작업구간에서 여객/화물열차의 탈선이 발생할 경우 사고피해 심각도는 표의 값보다는 클 것으로 예상되나 본 연구는 기초연구로 위험도 평가의 기초이론에 따랐다. 이 경우 터널내 열차화재 발생과 같이 확률론적 접근법을 활용하여 보다 세밀한 분석을 적용하여 피해 심각도를 예측할 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 철도 작업자의 안전성 향상을 위한 개선방안 도출을 위해 사고자료를 활용하여 위험도 평가를 수행하였으며, 다음의 결론을 도출하였다.

- 위험도 평가를 위한 기본위험 분석을 통해 위험도 평가항목을 도출하였다.

- 국내 사고자료를 분석하여 사고원인에 따른 피해를 도출하였다.
- 철도 유지보수 작업시 위험도 평가 사례연구를 수행하였으며, 국내 철도 유지보수 작업시 위험도는 안전계수를 고려하지 않는 경우 8.3명으로, 안전계수를 고려한 경우 25명 사망으로 예측되었다.

#### 참고문헌

1. Department of Defense (1993), "Military Standard System Safety Program Requirement, MIL-STD-882C", MIL-STD-882C
2. Law, A.M. and Kelton, W.D.(1991), "Simulation Modeling and Analysis", McGraw-Hill Press
3. Kwak, Sang-log, Lee, Joon-seong, Kim, Young-jin, and Park, Youn-won(2003), "Probabilistic Integrity Assessment of Flaw in Zirconium Alloy Pressure Tube Considering Delayed Hydride Cracking", International Journal of Modern Physics B, Vol. 17, Nos. 8 & 9, pp. 1587-1593
4. 철도청(2003년), "철도청 안전보건관리규정", 2002
5. 곽상록, 왕종배, 홍선호(2003년), "철도안전관리 개선을 위한 확률론적 위험도평가 방안 연구", 한국철도학회지 특별기고, 2003년 2월, 제 6권 4호, pp. 11-18
6. Railtrack(2001), "Profile of Safety Risk on Railtrack PLC-Controlled Infrastructure", Railway Safety Issue, SP-RSK-3.1.3.11
7. 김종기, 이종훈, 김훈(2003년), "철도 RAMS의 적용에 관한 고찰", 한국철도학회, 2003년 춘계학술대회 논문집
8. 한국철도기술연구원(2003), "철도사고방지 및 안전확보를 위한 핵심기술개발 연구"