

선로 작업자 위험도 예측을 위한 고장수목 구성 연구

A Study on Fault Tree Construction for Track Worker's Risk Assessment

곽상록*
Kwak, Sang-Log

왕중배*
Hong, Seon-Ho

박찬우*
Park, Chan-Woo

조연옥*
Bhang, Youn-Keun

ABSTRACT

Recently many accidents have been occurred on track workers, these accidents have strong relationship with increase of train speed, electrification and multiple track portion. As a first step for the safety management, domestic and abroad track worker accidents data are analysed for the risk estimation of track worker. Analysis results shows that contact between track worker and train is the dormant reason. In order to reduce dormant reason fault trees are constructed in this study.

1. 서론

최근 발표된 자료를 분석한 결과 철도사고는 전반적으로 감소하는 추세로 나타났으나, 철도공사 시 선로작업자와 관련된 사고건수 및 피해는 오히려 증가하였다.[1] 고속철도 운영으로 인한 열차운행 속도의 향상, 전철화, 및 복선화를 위한 철도공사 수행이 증가되었으며, 이를 선로작업자의 측면에서 보면 안정적인 작업시간부족, 작업중 대피시간 및 대피공간의 감소, 열차감시 영역의 확대, 전차선 감전과 같은 위험요소 증가로 분석할 수 있다. 선행연구에서 수행된 선로작업자의 피해를 분석한 결과 열차 운행이 있거나 혹은 선로 인접영역에서의 공사시 발생된 사고의 82%가 선로작업자와 열차와의 접촉으로 나타났다.[2] 이 수치는 10명의 중상자 및 200명의 경상자를 1명의 등가사망으로 환산하여 계산된 수치이다. 선로공사는 운영자 관점과 유지보수작업의 관점을 동시에 고려하여야 한다. 운영관점에서 보면 최소의 운행지장 시간 및 최대의 운행서비스를, 공사(작업)시행자 측면에서는 안정적인 작업시간 확보와 최적의 품질수준 제공을 고려해야 한다. 이러한 양측의 요구를 최적화하기 위해서는 관련 부서별 사전 공사계획 수립 및 업무협업의 절차를 체계적으로 수립해야 하고, 업무협업의 시에는 열차운행계획, 공사/작업 종류별 작업계획, 투입장비, 작업시간, 계절/요일/시간별 특성, 인력특성과 같은 세부적인 내용을 고려하여 열차의 운행안전과 작업자의 안전을 동시에 고려해야한다. 작업자 7명의 사망과 1명의 부상을 초래한 신대인역 부근 사고를 계기로 선로작업자 안전확보를 위한 연구가 추진되었다. 선로작업자의 안전관리가 추진되어 선로작업자 피해가 매우 적은 유럽 및 미국에서도 초창기에는 많은 선로작업자의 피해가 있었으며, 사고 이후 집중적인 안전관리를 통해 현재까지 매우 낮은 수준의 선로작업자 피해를 유지하고 있다.[3] 선로작업자의 피해가 없거나 낮은 국가에서는 위험도에 기반한 선로작업자 안전관리를

* 한국철도기술연구원, 정회원

수행중에 있으며, 영국의 RIMINI(Risk MINImization)과 같이 위험도 정보를 안전관리의 중요자료로 활용중이다.[4~7] 이는 위험도가 높은 지역에 대해서는 선로차단 공사(Green Zone 작업)만을 허용하고, 위험도가 낮은 지역과 차단공사가 불가능한 경우에 한해 운행선공사(Red Zone 작업)을 허용하고 점차적으로 운행선공사를 줄이는 관리방안이다.

본 연구에서는 선로작업자의 안전향상을 위해 사고의 대부분을 차지하는 선로작업자와 열차와의 접촉에 의한 사고를 중점적으로 분석하였으며, 위험도 예측기법 적용을 위해 사고원인 분석, 고장수목분석을 수행하였다. 향후 추가적인 연구를 통해 사건수목을 통해 도출된 피해도 정보화 결합한다면, 국내 선로작업자에 대해 열차접촉사고에 대한 위험도를 평가하여 국외의 위험도 평가 결과와 비교할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 본 연구에서 도출된 최소단절집합(Minimal Cut Set)을 활용하여 사고를 예방할 수 있을 것으로 예상된다.[8]

표. 1 선로작업자 피해 현황

년도	빈도 (건)		평가사망 (명)		사망/중상/경상	기타
2003년	44	25%	14.55	36%	14/ 2/ 72	평가사망 = 1인 사망 = 10인 중상 = 200인 경상
2002년	22	13%	2.26	6%	2/ 2/ 12	
2001년	43	24%	8.52	21%	7/ 15/ 4	
2000년	36	20%	7.50	18%	7/ 5/ 0	
1999년	31	18%	7.78	19%	7/ 7/ 15	
계	176	100%	40.61	100%	37/ 31/103	

표 2. 철도 유지보수 작업시 위험도 평가 사례연구

순	위험사건	위험도 ×3	위험도	년간 빈도	심각 도	발생 도 합계	평가 사망 합계
1	작업자가 선로에서 작업중 열차와 접촉	20.36	6.79	6.4	1.1	32	33.9
2	전차선로 작업/점검중 작업자의 전차선 감전	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	작업장역 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	0.06	0.02	3.2	0.005	16	0.0
11	작업자의 신호케이블 절손 혹은 오걸선	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	파공사로 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

2. 국내의 선로작업자 피해 현황

본 연구에서는 선로작업자 피해의 범위를 열차운행이 있는 선로 혹은 인접선로에서 작업중인

작업자의 모든 사상사고를 대상으로 하였다. 철도안전의 지표로 위험도 개념이 국내에서는 아직 적용되지 않아 사고빈도와 사고피해는 1999년부터 2003년까지의 통계를 활용하였으며, 분석 결과를 아래의 표. 1에 나타내었다. 표. 1에 나타난 176건의 사고에 대해 통계적 분석만으로 얻어진 위험도를 표. 2에 나타내었다. 위에서 제시된 등가사망 기준을 적용한 결과 위험도가 가장 큰 경우 작업자가 선로에서 작업중 열차와 접촉하여 발생하는 것으로 나타났다. 국내의 작업자 안전관리를 위해 본 연구에서는 위험도 개념을 적용한 선로작업자 안전관리 방안을 제시하고자 하였으며, 보다 체계적인 분석을 위해 다음절에서와 같이 Fault Tree를 구성하였다.

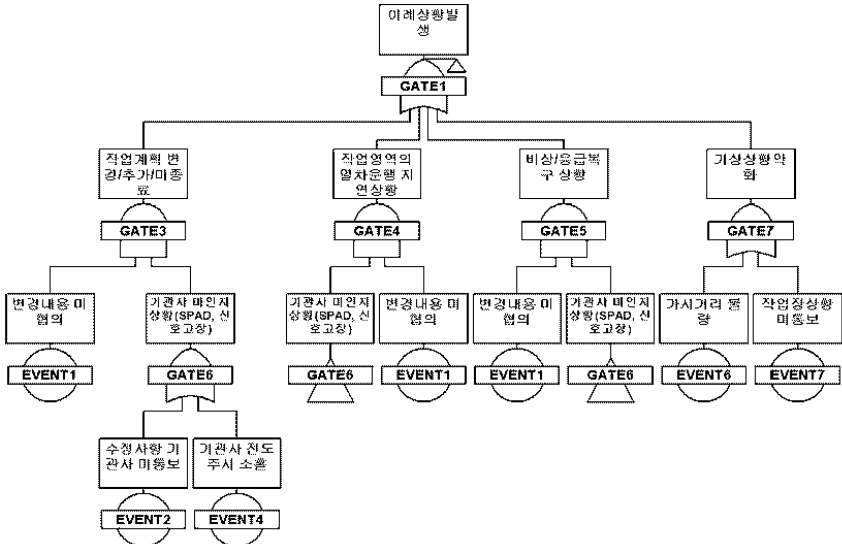


그림 1. 선로작업중 이례상황발생에 대한 Fault Tree 구성(일부)

3. 선로작업자에 대한 Fault Tree 구성

본 절에서는 사고원인 분석 및 기본위험분석을 통해 위의 표 2를 도출하였으며, 표 2는 통계적 접근법에 기초한 위험도이다. 표 2는 선로작업과 관련된 내용을 포함하고 있으며, 본 절에서는 가장 큰 피해를 초래하는 선로작업자와 열차와의 접촉에 대한 체계적인 분석을 위해 Fault Tree를 구성하였다. Fault Tree는 크게 “이례상황발생”과 “인력/장비의 부적절 배치”로 구분하여 구성하였으며, 이들 두가지 사건이 “AND Gate”로 조합되는 경우로 가정하였다. 이는 Heinrich의 계해와 관련된 도미노이론과 유사하다고 볼 수 있으며, 실제 선로작업자 사상사고가 발생한 대부분의 경우 위의 두가지 상황이 동시에 발생하였다. 또한 인적오류와 관련된 내용은 일반적인 Fault Tree 구성에 포함시키지 않고 있어 본 연구에서 구성된 Fault Tree에는 포함시키지 않았다. 이례상황발생에 대한 Fault Tree 구성시 ①열차운행지연 상황, ②작업계획의 변경/추가/미종료 상황, ③비상/복구상황, ④기상악화와 같은 기타상황을 고려하였으며, 세부적으로는 ①작업 변경내용 미협의, ②기관사 미인지상황, ③가시거리 불량, ④작업장상황 미통보 등의 하부 사건으로 구성하

였다. 이 중 기관사 미인지상황은 아래그림의 GATE6에서와 같이 GATE3, GATE4, GATE5에 공통으로 적용되고 있다. 인력 및 장비의 부적절 배치와 관련된 Fault Tree 구성시 ①열차감시자의 위치, 간격, 장비분량 등과 관련된 오류, ②작업책임자나 공사책임자의 미배치나 작업지시 오류, ③작업표지 등 현장 안전설비 관련 오류, ④개인 안전장비관련 오류, ⑤공사와 관련된 대형공사장비 오류로 구분하였다.

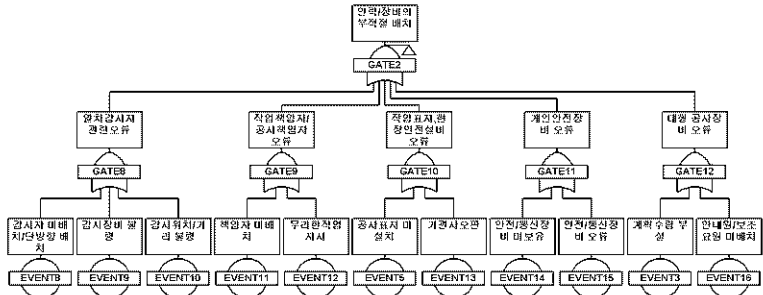


그림 2. 선로작업중 인력/장비의 부적절 배치발생에 대한 Fault Tree 구성(일부)

4. 결론 및 향후 연구계획

위에서 언급된 바와 같이 작업자 사상사고는 위에서 구성된 Fault Tree의 구성요소들이 서로 조합될 때 발생되며, Fault Tree 구성에 사용된 최소단절집합(Minimal Cut Set)을 이용한다면 사고예방을 위한 필수 요건을 도출할 수 있다. 본 연구에서는 이를 위한 Fault Tree를 구성하였으며, 향후 추가적인 연구를 통해 작업자의 절차선 감결과 같은 사고에 대한 분석이 수행된다면 국내 선로작업자의 위험도를 예측할 수 있으리라 예상된다.

참고문헌

- 1.곽상복, 조연옥, 왕종배, (2004), "철도유지보수 작업시 작업자 안전향상을 위한 위험도에측에 관한 연구", 철도학회 춘계학술대회논문집, pp. 174
2. 철도청, (2004), "안전관리시스템 개선방안 연구용역", 2004.
3. IQPC, (2004), "Achieving Track Worker Competency & Safety", Proceeding of IQPC Conf., London.
4. RSB.(2004), "Railway Group Safety Plan 2003/2004"
5. RSB, (2004), "Safe systems of work when walking or working on or near the line", GE/RT3000-T7
6. RSB, (2004), "Walking as a group and working on or near the line", GE/RT3000-T6
7. Network Rail, (2004), "Network Rail's Railway Safety Case, version 6"
8. Richard A. Stephans, (2004), "System Safety for the 21th Century"