

철도 중대사고의 위험지수 추정에 관한 연구

Research on the assessment of the risk factors of serious railway accidents

한순우*

조연옥**

윤혁진***

김상암***

Han, Soon-Woo

Cho, Yun-Ok

Yoon, Hyuk-Jin

Kim, Sang-Ahm

ABSTRACT

To establish the national railway safety system, the railway total safety technology development project has been promoted by Ministry of Construction and Transportation (MOCT) since August 2004. The project has produced successful results in many areas of railway safety, however, it is required that the research field should be re-examined to meet the aim of the project. To do that, the precedence of the investment of research resources should be reviewed and determined. The risk of serious railway accidents such as train collision, derailment and level crossing accidents are estimated. From the estimation result and the statistics on the railway accidents over fast few years, the risk factors of railway accidents can be calculated.

1. 서 론

철도사고 및 사망자의 획기적인 감소를 위해 건설교통부는 2004년부터 한국철도기술연구원과 함께 철도종합안전기술개발사업(이하 철안사)을 추진해 오고 있다. 이 사업은 철도사고 사망자 80% 감소, 중대열차 사고율 및 열차운전 사고율을 50% 감소시키는 것을 최종적인 목표로 하고 있으며, 이의 효율적인 추진을 위해 철도안전 관리체계 구축 분야와 철도 중대사고 예방 및 피해저감 기술개발 분야의 2분야로 나누어 진행하고 있다. 이 두 분야에는 총 14개의 핵심과제로 구성되어 있다.

총 7차년도의 사업기간 중 3차년도까지 마무리된 현재, 사업은 예정된 일정에 따라 계획된 성과를 산출하고 있다. 철도안전법 체계에 근거한 철도차량 안전기준에 관한 지침 및 철도시설안전 세부기준의 수립, 철도사고별 비상대응 절차의 개발 등을 사업 성과물의 예로 들 수 있다. 그러나, 전술한 바와 같은 사업의 최종 목표를 달성하기 위해서는 사업 전체의 진행 방향에 대한 재검토가 요구되며 이를 위해서는 필수적으로 '위험도'에 기반한 안전체계의 구축이 필요하다.

본 연구는 철도 사고율 및 철도사고 사망자의 획기적인 감소를 위해 철안사의 연구 방향을 재정립하기 위해 수행되었다. 이를 위해 철도 중대사고 - 충돌사고, 탈선사고, 화재사고 및 건널목 사고 - 및 공중사상 사고의 개별 위험요인에 대한 위험도를 추정하고 이와 지난 수년간의 실제 철도사고 통계로부터 각 위험요인의 위험지수를 산출하였다. 이를 바탕으로 현재 연구자원의 투자 적정성을 검토하여 향후 사고 및 사상자를 줄이기 위해 사업이 나아갈 방향을 모색하였다.

* 한국철도기술연구원 철도종합안전기술개발사업단 안전SE연구팀

E-mail : scarus@krii.re.kr

TEL : (031)460-5565 FAX : (031)460-5509

** 한국철도기술연구원 철도종합안전기술개발사업단장, 정희원

*** 한국철도기술연구원 철도종합안전기술개발사업단 안전SE연구팀

표 1. 철도종합안전기술개발 사업 구성체계

연구개발 분야		핵심과제명
철도안전관리 체계 구축	체계분야	철도안전 시스템 엔지니어링
		철도사고 위험도 분석 및 체계구축
	기술기준 분야	철도차량 안전기준 및 체계구축
		철도시설 안전기준 및 체계구축
		철도소프트웨어 안전기준 및 체계구축
		철도사고 및 비상대응관리 체계구축
		위험물 수송 안전기준 및 체계구축
	인적 분야	안전업무종사자 인적오류관리 및 업무적성 평가기준 개발
		안전업무종사자 교육훈련 체계구축
철도 중대사고 예방 및 피해저감 기술개발	철도화재 안전성능평가 및 사고방지 기술개발	
	철도차량 충돌 안전성능평가 및 피해저감 기술개발	
	열차제어시스템 안전성능평가 및 사고방지 기술개발	
	철도차량 탈선 안전성능평가 및 사고방지 기술개발	
	철도건널목 지능화를 통한 사고예방 및 피해저감 기술개발	

2. 철도 중대사고 별 위험요인 분류

본 사업의 '철도사고 위험도 분석 및 평가체계 구축' 과제⁽¹⁾에 따르면 철도의 중대사고는 충돌사고, 탈선사고, 화재사고, 건널목 사고 및 교통 사상사고로 분류된다. 표 4에 정리한 바와 같이 각 사고에는 개개의 위험요인이 있는데, 이러한 위험요인을 파악하여 제거하거나 이에 대한 대비책을 수립하는 것이 철도안전체계 수립의 핵심이라 할 수 있다. 이에 따라 철안사에서는 사고별 위험요인들을 모두 코드화하고 코드별로 방지 대책을 수립하였으며, 이를 별도의 시스템 요구사항(system requirements)로 관리하여 사업의 기획 및 진도 관리에 활용하고 있다⁽²⁾.

3. 철도 중대사고 별 위험도의 추정

잘 알려진 바와 같이 사고의 위험도는 빈도와 심각도의 곱으로 정의된다⁽³⁾. 위험도를 보다 신뢰성있게 산출하기 위해서는 실제 사고통계자료로부터 위험요인별 발생 빈도와 심각도를 추정하는 것이 필요하다. 그러나 현재의 통계자료에서는 위험 요인별 발생 빈도와 심각도는 나와 있지 않은 것이 현실이다. 따라서 적절한 수단을 통해 빈도와 심각도를 추정하는 것이 필요하다. 이에 따라 본 연구에서는 아래와 같은 설문지를 작성해서 철안사 사업 참여자들을 대상으로 설문을 수행하고 그 결과를 취합하였다. 설문은 충돌사고, 탈선사고, 화재사고 및 건널목 사고의 4개 사고에 관해 실시되었다. 그림 1은 충돌사고에 대한 설문 내용을 나타내고 있다. 우선 사고별 위험요인을 사고 형식에 맞추어 정리한 후, 위험요인별로 상대적 발생 빈도와 심각도를 추정하도록 하였다. 여기에서 상대적 발생빈도라 함은, 각 중대사고 내에서 위험요인이 발생하는 비율을 의미하는 것으로서 개별 사고내에서 어떠한 위험 요인이 가장 중대한지를 알기 위함이다. 뒤에 설명하겠지만, 이러한 상대적 발생빈도 추정치는 개별 사고의 실제 발생 빈도와 결합하여 각 위험요인이 전체 철도 사고에서 차지하는 빈도를 계산하는 데 이용된다. 또한, 각 위험요인에 의한 사고 발생시 발생할 사상자의 수를 기준으로 심각도를 차등화하도록 하였다.

이 설문은 철안사 사업 과제 책임자들을 대상으로 실시하여 총 92명으로부터 응답을 받았다. 이 설문 결과로부터 위험도를 산출하기 위해서는 심각도 또한 수치화하여야 한다. 본 연구에서는 표2과 같은 심각도별 피해금액 비율을 산정하여 위험도를 산출하였다. 설문 결과로부터 정리된 위험도 추정 결과는 표 3에 정리하였다.

사상 사고의 경우에는 발생빈도와 심각도에 대한 설문 근거가 명확하지 않아서 별도의 설문을 실시하지 않았다. 그러나 뒤에서 언급하듯이 통계상 사상사고 발생빈도가 매우 높으므로 이에 대한 대책 또한

수립하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 사상사고의 위험도 또한 별도로 추정하여 표4에 포함시켰다.

앞에서 언급한 바와 같이 여기에서 구해진 위험도는 개별 사건 내에서의 상대적인 발생 빈도에 기초 하였기 때문에, 전체 철도사고에서 각 위험요인이 차지하는 순위 내지 비율을 추정하기 위해서는 표 4에 정리한 바와 같은 과거의 실제 사고 통계를 대입하여야 한다.

충돌사고 위험요인 별 분류	위험요인에 의한 사건의 상대적 발생빈도 (총합 = 100%)											사고 심각도 (사고 1회 발생 시 심각도 추정치)							
												심각도 낮을 <-----> 심각도 높음							
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	경상자만 발생	중상자 소수 (1-4명)	중상자 다수 (5명 이상)	사망자 소수 (1-4명)	사망자 다수 (5명 이상)				
열차간 충돌 - 선행열차 이상(열차정지, 열차퇴행, 열차분리 등)에 의한 충돌																			
열차간 충돌 - 후행열차의(신호지시위반 등) 폐색구간 오진입에 의한 열차간 충돌																			
지장물 충돌 - 시설물 탈락/붕괴, 시설물의 한계 지장 등 선로지장 시설물과의 충돌																			
지장물 충돌 - 외부 지장물(낙석, 수목 등)과의 충돌																			
차단구간 충돌 - 종단구간, 작업구간 등의 차단구간 오진입에 의한 (작업차량, 공사장비 등과의) 충돌																			
차단구간 충돌 - 입환/조성 과정의 취급 결함에 의한 충돌																			

그림 1. 철도 중대사고 위험도 추정을 위한 설문 양식의 예 - 충돌사고

표 2. 심각도에 따른 피해금액 비율

심각도	경상자 발생	중상자 소수	중상자 다수	사망자 소수	사망자 다수
피해 금액비	1	10	50	100	500

표 3. 철도 중대사고 위험도 추정 결과

사고 유형		위험요인	위험도
충돌사고	열차간 충돌	선행열차 이상	1600
		폐색구간 오진입	1600
	지장물 충돌	선로지장 시설물	750
		외부 지장물	160
	차단구간 충돌	차단구간 오진입	900
		입환/조성 취급결함	190
탈선사고	본선주행 탈선	기술적 결함	1900
		운진취급 결함	2000
	지장물 탈선	선로지장 시설물	700
		외부 지장물	700
	차단구간 탈선	차단구간 오진입	750
		입환/조성 취급결함	180
화재사고	차량내부 화재	불법 행위	13500
		차량기기 과열/합선	1400

	외부전파 화재	선로변 화재 전파	700
		역사 화재 전파	800
		설비 화재 전파	150
건널목 사고	건널목 간힘(경보전)	운전자 위반	120
		진출입 통제 결함	120
		안전설비 결함	100
	경보중 진입	운전자 위반	700
		진출입 통제 결함	550
		안전설비 결함	500
	차단기 돌파 /우회	운전자 위반	1100
		진출입 통제 결함	1000
		안전설비 결함	450
사상 사고	충격		2500
	추락		500
	전도/실족		500
	끼임(끌림)		500
	화상		250
	감전		250
	질식		250
	기타	질병,폭행,협박	250

표 4. 철도 중대사고 통계 ('01-'06년 합계)

사고구분		사고 건수	
철도교통사고	열차사고	충돌 사고	4
		열차 사고	20
		열차 사고	2
		건널목 사고	280
철도안전사고	철도교통사상사고	여객교통사상	997
		공중교통사상	1006
		직무교통사상	118
		여객안전사상	881
철도안전사고	철도안전사상사고	공중안전사상	46
		직무교통사상	677
		소계	3725

그러나, 위험요인별 순위를 산출하기 위해서는 각 요인별 위험도와 중대사고 통계치만으로는 부족하다. 예를 들어 단순 자살 사고의 실제 발생 건수가 높다고 하여 자살사고의 방지에 연구자원 투입의 우선 순위를 부여하기는 불합리하기 때문이다. 이러한 점을 고려하여, 위험요인별 순위 산출의 최종단계에서는 운영기관의 보상금액 비율이라는 개념을 집어넣었다. 예를 들어 단순자살사고 발생시 운영기관이 보상해야 할 금액이 1이라면, 열차 충돌 등의 사상자에게는 100이라는 금액을 보상하여야 한다는 것이다. 이러한 보상금액 비율을 고려하여 위험요인별 순위를 산출하고, 각 위험요인이 전체 철도사고에서 차지하는 비율을 위험지수라 명하여 그 순위를 1위에서 15위까지 나열하면 다음 표 5와 같다.

표 5. 위험요인별 위험지수 순위

순위	사고분류	위험요인	위험 지수(%)
1	건널목	경보중 진입 - 안전설비결함	19.9
2	건널목	차단기 돌파/우회 - 안전설비 결함	17.9
3	사상	충격(자살포함)	13.3
4	탈선	본선주행탈선 - 운전취급결함	5.7
5	탈선	본선주행탈선 - 기술적결함	5.4
6	건널목	건널목 간힘 (경보전) - 엔진정지, 보판이탈	4.8
7	건널목	건널목 간힘 (경보전) - 안전설비 결함	4.0
8	열차화재	차량내부 화재 - 불법행위 (방화)	3.8
9	사상	추락	2.7
9	사상	전도/실족	2.7
9	사상	끼임(끌림)	2.7
12	탈선	차단구간 탈선 - 차단구간 오진입	2.1
13	탈선	지장물 탈선 - 선로지장 시설물	2.0
13	탈선	지장물 탈선 - 외부 지장물	2.0
15	사상	화상	1.3
15	사상	감전	1.3
15	사상	질식	1.3
15	사상	기타(질병,폭행/협박)	1.3

산출된 순위를 바탕으로 위험요인을 줄이거나 제거하기 위해 철안사의 각 과제가 담당 비율을 계산해 보았다. 예를 들어 순위가 1인 건널목 사고의 '경보중 진입-안전설비결함'이라는 위험요인을 제거하기 위해서는 체계/기술기준/인적 분야가 70%, 기술분야가 30%로 역할을 분담한다고 가정하여 각 분야별 역할 분담 비율을 계산하는 것이다. 이에 따라 체계별/과제별 기여율을 산출하고 각 과제별 전체 예산을 비교하여 보았다.

표 6. 철안사 분야별/과제별 기여율 및 예산비율과의 비교

분야명	기여율				예산비율(%)	
		기여율(%)	과제명	기여율(%)	총예산 (억원)	예산비율 (%)
체계	체계	20.1	SE	6.7	54	7.0
			위험도분석	13.4	107	13.9
	기술기준	23.9	차량안전	4.0	25	3.2
			시설안전	4.0	25	3.2
			S/W안전	4.0	18	2.3
			위험물	4.0	10	1.3
			비상대응	7.9	31	4.0
	인적	26.8	인적오류	13.4	23	3.0
			교육훈련	13.4	60	7.8
	중대사고 방지기술	29.2	철도화재	1.7	111.5	14.4
차량충돌			2.0	119.5	15.4	

개발	열차제어	3.4	59	7.6
	차량탈선	4.8	111	14.3
	건널목	17.3	20	2.6

여기에서 알 수 있는 바는, 전체 철도사고를 줄이기 위해서는 체계분야의 기여도가 높아야 하나 현재의 예산은 기술개발 과제에 우선적으로 투입되고 있다는 것이다. 따라서 철안사의 최종 목표인 철도사고 사망자 감소를 위해서는 현재의 예산 배분 비율을 수정하여 체계 과제에 보다 많이 투입되도록 하여야 한다.

4. 결 론

본 논문에서는 철도사고 및 사망자의 획기적인 감소를 위해 추진 중인 철도종합안전기술개발 사업의 진행 방향을 재점검하기 위해 철도 중대사고별 위험요인의 순위를 산출하기 위한 연구를 수행하였다. 이를 위해 철도 중대사고의 개별 위험요인에 대해 철안사의 핵심 연구 참여자들을 대상으로 설문을 수행하여 상대적 발생 빈도 및 심각도를 추정하였고, 실제 사고 통계를 참조하고 운영기관의 보상 금액 비율이라는 개념을 가정하여 개별 위험요인이 전체 철도사고에서 차지하는 부분을 산출하였다. 이를 바탕으로 철안사의 각 분야/과제가 위험요인을 해소하기 위해 차지하여야 하는 기여율을 계산하고, 이를 철안사 전체의 예산 투입 비율과 비교하였다. 그 결과, 전체 철도사고를 감소시키기 위해서는 체계 분야의 기여도 및 예산비율을 현재보다 증가시켜야 하며, 전체적인 연구자원 투입의 우선 순위를 일부 조정하여야 한다는 결론을 얻었다. 철안사에서는 향후 이러한 연구결과를 바탕으로 전체 연구방향을 재기획할 계획을 가지고 있다.

참고문헌

1. 건설교통부(2007), “철도사고 위험도 분석 및 평가체계 구축 - 미래철도기술개발사업 중간보고서”.
2. 건설교통부(2007), “철도안전 시스템엔지니어링 - 미래철도기술개발사업 중간보고서”.
3. Railtrack(2000), "The Yellow Book - Engineering Safety Management".