

리스크분석에 의한 철도물류 운영기관의 안전경영시스템에 관한 연구

이 익 성

가야대학교 항만물류학과

Safety Management System of Railway Logistics Based on Risk Analysis

Ik Seong Lee

Department of Port and Logistics
Kaya University

Abstract

All activities relate to railway traffic involve risk and that these arise from a combination of the nature of operating activities. Proper management system is required to provide the organizational capability to reveal, analyse and address these weaknesses over time and in reasonably practicable ways, which will determine the rate at which risks can be further reduced.

This paper presents a systematic risk analysis approach to safety planning and decision making, informed by a range of risk assessment techniques. An railway organization's safety management system is also presented that shows the approaches taken to minimize the external risks, and identify the shared risks and explain how they will be controlled through collaboration with others.

Key Words: risk analysis, Safety Management, acceptable risk level, rating matrix

1. 서론

철도물류와 관련한 모든 업무 활동의 안전을 보장하기 위해서는 철도운영기관의 정책과 자원 배분 및 실행절차를 규정한 공식적인 안전경영시스템(Safety Management System)을 구축하는 것이 필수적이다. 안전경영시스템은 계획수립과 의사결정에 있어서 리스크분석 결과에서 제공된 정보를 토대로 체계적인 리스크 기반의 접근방법을 적용한다. 리스크분석의 결과가 사업계획 수립 프로세스에 입력되어 관련 법규에 대처하고, 적절한 건강, 안전 그리고 환경 목적을 수립하며, 목적의 달성을 위한 경영관리 프로그램을 만드는데 활용된다. 또한 리스크 분석을 기반으로 하여 사업에 필요한 제반사항들이 ALARP(As Low As Reasonably Possible) 수준에 있도록 또는 그 수준으로 감소되도록 우선순위를 결정한다.

철도물류에 있어서 리스크는 여러 가지 활동의 복합적인 조합으로부터 일어나며, 조직의 조건과 물리적인 시스템 그리고 통제시스템이 본질적으로 가지고 있는 효율성의 정도에 따라 다르게 발생한다. 위험관리를 위해 철도운영기관이 해결하여야 할 주된 과제는 다음과 같다 [5].

- 운용시스템과 통제시스템의 적합성에 대한 보증
- 자격 있는 인적자원의 확보와 훈련을 통한 질적 수준유지
- 내규와 법규의 관리
- 시스템의 수준을 향상시키기 위한 사건사고 관리
- 공중과의 인터페이스 관리(정치적 이슈포함)
- 변경사항에 대한 관리

철도, 항공, 원자력 등 위험성이 높은 시스템은 항상 안전에 대한 약점을 가지고 있다는 것을 인식하고 조직을 통하여 지속적이고 합리적이며 실행 가능한 방법으로 리스크를 더욱 감소시킬 수 있도록 약점을 발견, 분석 그리고 해결에 접근하기 위한 제도를 가지고 있어야 한다. 홍석진과 김연명(2006). 또한, 리스크에 대한 이해와 리스크통제의 효율성에 약점이 있다는 것을 알고, 사고는 시스템과 관련한 네트워크의 복잡한 물리적환경과 인간의 업무능력, 지식과 기술의 차이와 변화에 기인한다는 것을 인지하고 있어야 한다.

본 연구의 목적은 물류의 중요한 부분을 차지하고 있는 철도운영기관의 공식적인 안전경영시스템에 포함되어야 할 리스크분석 가이드라인을 제시하고, 시스템이 효과적으로 리스크를 확인하고 관리할 수 있도록 안전경영시스템의 구성요건을 수립하는데 있다. 주요 참고자료로는 SAMRAIL[11]과 ROGS[6], 그리고 Yellow Book[10]을 중심으로 구조를 연구하였으며, 구성요소 각각에 대한 특별 요건과 지침을 참조하였다. 본 연구내용은 철도운영기관의 인증과 허가제도의 도입 시 안전관리문서의 적합성을 점검하고, 각 조직의 안전경영시스템 절차에 대한 감사와 평가를 실행하는데 있어서 안전승인기관이 활용할 수 있을 것이다.

2. 국내외 기술동향

한국원자력연구소의 종합안전평가센터는 확률론적 안전성 평가(Probabilistic Safety Assessment: PSA) 연구를 1980년부터 국내 최초로 시작하여 왔다. 1980년대 중반부터 국내 원자력발전소를 대상으로 사고 시나리오를 개발한 경험이 있다. PSA 기반의 안전성 평가연구는 원전의 설계는 물론, 운전 및 보수 등과 같이 원전의 안전성과 관련된 제반 사항을 모델링하고, PSA 방법론을 적용하여 사건의 발생, 사건의 전개, 사건의 결과 및 빈도를 종합적으로 취급하였다. 최근에는 원전의 운전 및 규제에 PSA의 결과를 이용하는 리스크 정보 이용 규제 및 응용을 통해 기존의 원전 규제에서의 단점을 보완하고 효율적으로 안전성과 경제성을 향상시킬 수 있는 방안을 도출하고 있다.

철도 선진국에서는 그동안 수많은 철도사고와 안전관리 경험을 바탕으로 자국의 시스템 특성에 적합한 안전관리 규정과 원칙을 제정하고, PHA (Preliminary Hazard Analysis) 기법을 근간으로 철도사고를 초래하는 가능한 위험요인을 판별하여 이를 효과적으로 제거, 경감하기 위한 리스크 기반의 시스템 안전관리에 주력하여 왔다. 일반적으로 리스크분석은 시스템 경계와 특성을 정의하고 그 안에서 발생할 수 있는 사고시나리오를 전개하여 사고원인과 위험요인을 체계적으로 밝히고, 사고유형별로 리스크를 정량적으로 평가하여 효과적인 예방/경감 대책을 강구하는 것이다.

영국의 경우 1996년부터 SRM(Safety Risk Model) 개발과 리스크분석 기반의 의사결정 지원 체계를 구축하여 현재 가장 선진화된 안전관리체계를 운영 중에 있으며, Railway Safety Principle & Guidance를 제정하여 PHA에 근거한 모든 철도시스템의 요소별 위험을 정의하고, 철도 안전 확보를 위해 최우선으로 적용하는 안전 목표 및 관리 원칙을 수립하였다. 철도 시스템에 대한 정량적 리스크분석 모델을 주기적으로 개정하여 리스크 정보를 활용한 철도 안전정책 결정에 활용하고 있으며, 안전개선 투자의 우선순위 결정 및 투자 대비 효과 분석에 활용중이다. 영국의 철도안전표준위원회(RSSB)에서는 철도사고를 열차사고, 이동중사고, 비이동사고로 대별하고, 각각을 다시 세분하여 총 110가지의 사고 유형으로 분류하고 있다. 이를 기반으로 위험성 평가모델을 구축하여 정의된 위험사건에 대한 원인분석 (causal analysis)과 결과분석 (consequence analysis)을 수행하고 있음

호주의 경우 열차운행과 관련하여 충돌, 탈선, 화재/폭발 등 사고유형별로 위험사건-위험요인을 구성하지 않고, 열차 운전 사고를 초래할 수 있는 공통원인 측면에서 1) 안전체계 및 운영관리상 위험, 2) 선로 점유 및 작업 실행상의 위험, 3) 업무 종사자의 자격 및 활동상의 위험으로 구분하여 위험사건-위험요인을 할당하였다.

미국 FRA의 열차사고 위험사건-위험요인 할당은 궤도/노반 구조, 차량의 기계적 전기적 고장, 신호 및 통신, 열차 운영 인적요소, 그리고 기타 원인으로 대별하여 각각에 대해 세분화된 위험사건-위험요인을 관리하고 있다.

프랑스 철도는 SNCF(철도운행공사)가 철도 운행 및 안전관리의 책임을 지는 공적인 기관으로서 철도의 운행안전을 핵심으로 고속철도와 일반철도를 모두 포괄하는 일반안전규정(RGS)을 SNCF의 책임하에 제정하여 3가지 사항(철도운행안전의 특수성을 감안한 안전규정, 운전취급과 운전담당의 관계를 고려한 안전규정, 환경을 감안한 안전규정)사항에 대한 안전

관리 및 지시사항의 법적인 기반을 조성하고, 실행 적용시의 대책을 제공하고 있다. 일본의 철도 기술기준의 성능 규정화 체계는 2001년 6월 25일에 국토교통성에서는 철도시설 및 차량의 구조, 운전취급 등을 정한 기술기준을 성능 규정으로 개정하여 철도의 안전성 확보, 새로운 기술개발 성과 등의 도입 촉진 및 철도수송 서비스의 향상을 도모하고자 철도영업법(1900년 법률 제65호) 제1조의 규정을 근거로 “철도에 관한 기술상의 기준을 정하는 명령”을 제정하였다.

3. 리스크 허용기준 설정

위험성이 높은 시스템은 본질적으로 손실이나 부상의 리스크를 내포하고 있으며 이 리스크는 대중에 의해 허용할 수 있는 수준으로 감소되어야 한다[9]. 리스크 허용기준을 정하는 것은 어려운 주제이며 종종 논쟁의 대상이 되기도 한다. 일반적으로 리스크분석 결과를 상대적인 방법으로 사용하는 것이 리스크 노출 수준의 순위를 결정하는 방법으로 활용된다[8]. 예를 들면, 일정기간 동안의 주요 사망원인(교통사고, 폐렴, AIDS)과 사망자 수의 통계를 기준으로 각 개인에 대한 사회적 리스크를 계산하여 시스템운영상의 통제된 활동이 사회적 리스크에 대한 통계치 보다는 낮게 나와야 한다는 것을 기준으로 활용할 수 있다. 이 통계적 수준이 사회적으로 수용할 수 있는 수준의 리스크 노출 수준으로서 허용할 수 있는 리스크 최저 기준으로 정의 내릴 수 있다.

리스크 순위를 매기는 또 다른 방법은 단위시간 당 위험에 노출되는 확률을 사용하는 것이다. 공중(public)에 대한 리스크 허용기준을 세우는데 사용되는 전형적인 가이드라인은 적용대상 활동의 치명도는 자연적인 원인으로 인한 개인의 평균치명도 (모든 자연적 원인을 합하여 10만 명당 약 0.07)를 넘지 말아야 한다는 것이며, 실용성이 있는 리스크 통제 방법에 의해 더욱 감소되어야 한다는 것이다. 예를 들면, 미국 원자력규제위원회는 최근 원자력발전소에서 허용할 수 있는 절대적인 허용리스크에 대한 정량적 안전 목표를 제안하였다. 이 안전 목표에 의하면 원자력연구소의 리스크는 사고현장에서의 치명도와 암 등 후유증에 대한 치명도를 합하여 미국시민 개인이 일반적으로 노출되어 있는 모든 리스크의 0.1%를 넘지 않아야 한다고 정하였다[8]. 또한, 원자로 사고로부터 환경에 방출되는 대규모 방사능의 전체 평균 빈도는 연간 백만분의1 미만이어야 한다고 요구하고 있다.

리스크 허용기준으로 가장 많이 활용되는 원리는 영국철도에서 사용하는 ALARP의 원리이다. ALARP는 안전을 개선하기 위한 방법을 찾도록 하며 이러한 개선을 하는 것이 가치가 있는 것인가에 대한 판단을 하기 위한 것이다. 이렇게 함으로서 현재 존재하는 위험수준, 개선활동 및 조치로 인한 위험감소, 그리고 그러한 개선을 이루는데 드는 비용과 어려움에 대하여 종합적으로 고려한다.

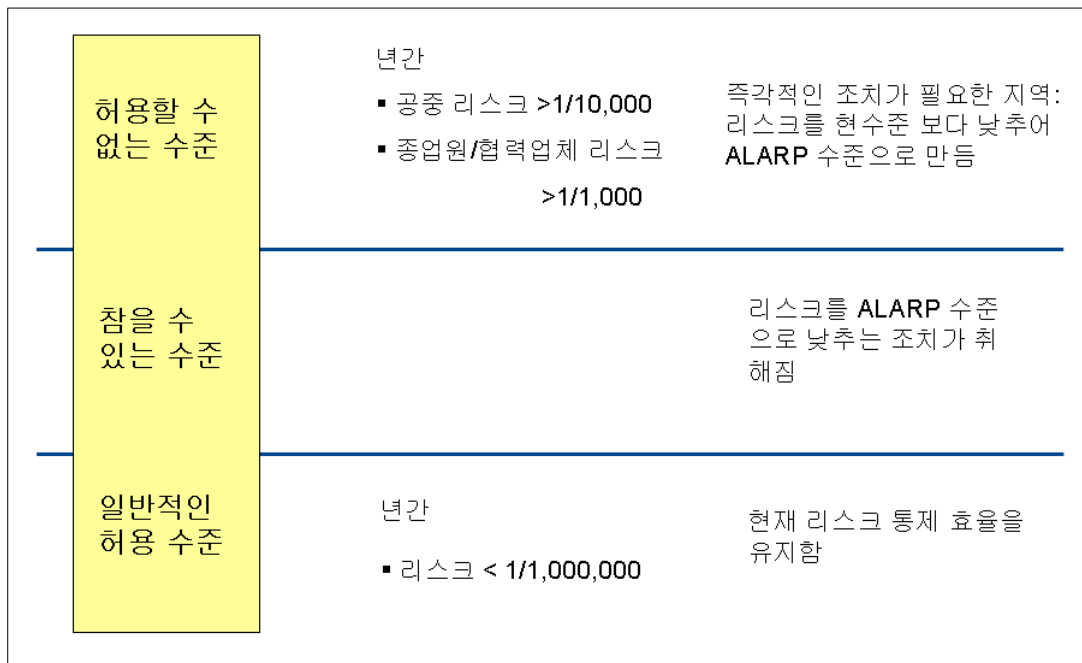
ALARP의 의미는 투자비용과 그 투자로 인해 예방할 수 있는 손실을 근거로 안전에 대한 측정치를 평가한다. 만약 그 측정치가 일어날 수 있는 손실보다 비싸지 않다면 즉, (투자비용 ≪ 손실비용)의 경우 그것은 필요하다고 간주하는 것이다. 이러한 접근방법에서는 일어날 수 있는 모든 손실을 금액으로 표시할 수 있어야 한다.

ALARP 원리의 사용목표는 수용할 수 없는 모든 위험성을 제거하고 세심한 비용대비 효용

분석을 행하여 대부분이 수용할 수 있는 ALARP 수준으로 리스크를 최소화하는 것이다.
 <표 1>은 참을 수 있는 리스크 수준과 ALARP이 어떻게 관련되어 있는지를 알 수 있다[8].
 만약 정량적 위험확률요구사항이 적용된다면, 참을 수 있는 리스크 수준과 일반적인 허용 수준의 경계선이 연간 X 또는 시간당 Y 와 같이 수적인 확률목표로 설정될 것이다.
 <그림 1>은 런던지하철의 리스크 허용한계 사례이다.

<표 1> 리스크 수준과 ALARP의 관계

리스크 수준	해당 리스크가 ALARP로 증명된 적이 있는가?	
	Yes	No
허용할 수 없는 수준	해당 활동이 반드시 이루어져야 할 예외적인 이유가 없는 한 허용할 수 없음	허용할 수 없음
참을 수 있는 수준	ALARP 측면에서 허락될 수 있음	허용할 수 없음
일반적인 허용 수준	ALARP 측면에서 허용할 수 있음	충분한 ALARP 증명없이 허용할 수 있음 - 그러나 리스크는 합리적으로 적용 가능한 수준으로 감소되어야 함.



<그림 1> 리스크 허용한계[7]

4. 리스크분석 가이드라인

4.1. 분석과정

안전에서의 리스크는 시스템의 건설, 운영, 유지보수, 변경, 갱신, 휴업과 파괴의 결과로 연간 발생할 수 있는 평균 부상자, 중상 또는 사망자 또는 동등수준의 치명적 피해자 수의 측도이다. 그것은 한 사건사고의 연간 빈도수와 결과의 심각도를 곱한 값이다. 즉,

총 리스크 (평균 등가 사상자수 equivalent fatalities/year) = 위험사상의 빈도(예를 들면, 건/년) × 그 사상의 발생 시 사고의 심각도(부상자, 중상 또는 사망자의 수/사건사고)

실제 어떻게 적용되는지를 설명하기 위해, 일련의 위험 사상에 대한 리스크분석 결과의 예는 아래 표와 같다.

<표 2> 리스크분석결과 예

위험사상의 설명		연간 빈도수	사상자수/사건사고	총 리스크 평균 등가 사상자수/년
1	두 열차간의 충돌	1.8	3.32	5.8
2	열차와 궤도에 있는 물체와의 충돌 탈선 없음	49.7	0.006	0.3
3	역구내 두 열차간 충돌	6.0	0.025	0.15
4	Buffer stops와의 충돌	40.9	0.029	1.2
5	건널목에서의 열차와 도로 차량과의 충돌	21.5	0.28	6.1
6	열차 탈선	14.3	0.30	4.3
6개 위험사상으로 부터의 총 리스크				17.9

리스크분석은 다음활동을 위한 체계적이고 구조적인 과정이다

- 직접 또는 간접으로 시스템의 운영이나 유지보수에 노출되어 있는 개인에게 부상이나 사망을 일으킬 수 있는 잠재적 위험사건사고를 판별한다
- 부품, 서브시스템 또는 시스템의 고장, 물리적인 영향, 사람실수에 의한 고장 또는 운영 조건 등 각 사건사고를 일으킬 수 있는 원인의 판별
- 제거할 수 없는 각 사건사고의 원인의 발생을 제어 또는 제한할 수 있는 대책의 판별
- 사건사고의 원인이나 실제사고가 발생할 수 있는 빈도수의 평가
- 위험사건사고 발생의 경우 사고의 결과가 다양한 형태로 나타날 수 있는데 그 결과를 부상자 수 또는 중상사망자 수로 평가. 이것은 제거할 수 없는 위험원인의 발생이나 위험한

사건사고의 결과사항을 제한하거나 제어하는 조치를 위한 대책을 판별하는 것을 포함한다.

- f) 각 위험사건사고와 관련한 전체리스크의 평가
- g) 위험에 노출된 철도관련 각 개인에 대한 리스크의 평가
- h) 필요한 곳에서는 리스크가 ALARP수준이라는 것을 확실히 하는데 필요한 추가적인 관리대책
- i) 리스크분석과 결과분석의 개발에 사용된 방법, 가정, 데이터, 판단과 해석에 대하여 명확하고 이해할 수 있는 문서적 증거를 제공

4.2. 철도 안전경영시스템에서 리스크분석의 목적

철도안전경영시스템에서 리스크분석의 목적은 다음과 같다.

- a) 건강과 안전에 관한 법률에 대한 요구사항을 만족하기 위함
- b) 회사 관리자와 직원들이 운영과 관련한 모든 위험스런 면을 판별하고 이해하는 것을 확실히 하기위한 도움을 주기 위함
- c) 주어진 장비, 설비, 안전경영시스템과 실행중인 운영전략에 의해 시스템이 안전하게 운영될 수 있다는 확신을 제공하기 위함.
- d) 시스템의 안전한 운영에 영향을 줄 수 있는 다른 회사 또는 관련 운영과의 연관성을 판별하고 이해하고 관리하기 위함.
- e) 리스크를 감소시키는데 사용될 수 있는 새로운 관리대책을 판별하는데 도움을 주기 위함.
- f) 시스템 운영전략의 변경 또는 교체/갱신의 결과에 따른 리스크의 변화를 평가
- g) 리스크를 최대한으로 감소하기기 위해 자원의 효율적인 운영을 가능하게 하기 위함
- h) 운영과 관련한 리스크 수준이 ALARP 수준으로 관리되고 있다는 것을 보여주기 위함
- i) 끊임없는 안전 심사와 개선을 위한 기반을 제공하기 위함.
- j) 산업전반의 관리와 표준을 개발하는데 필요한 입력 자료를 제공하기 위함.

4.3 리스크분석의 주요 구성요소

리스크분석을 구성하는 주요 구성요소는 <그림 2>에 나타나 있으며 요소별로 요약하면 다음과 같다.

(1) 직원의 참여

리스크분석 과정에서 전체 운영의 세부사항을 파악할 수 있도록 권한이 있는 직원이 회사 전 분야에서 골고루 참여하여야한다. 특히, 위험 이벤트와 위험원인의 판별 및 ALARP 평가 단계에서 그러하다.

(2) 위험 이벤트의 판별

워크샵과 기록의 검토 그리고 필요하다면 Risk Profile Bulletin(RPB)을 통해 예상되는 모든 위험이벤트를 판별한다. 워크샵을 활용한다면, 운영기관의 조직 안에서 전 분야의 적격자를

차출해야 한다.

개별 리스크분석에 속한 가장 노출된 그룹을 판별할 수 있도록 고려하여야 한다.

(3) 위험원인의 평가

각각의 위험이벤트로부터 다음 사항을 판별한다.

- a) 위험원인- 모든 고장모드, 인간적인 요소, 지역적인 요소 등
- b) 위험원인을 배제하는 현재의 관리대책과 누가 그것을 적용하고 있는가
- c) 위험원인과 그로 인한 위험이벤트의 발생빈도 (실제데이터, SRM 정보 또는 전문가 의견을 사용)

(4) 사고결과의 평가

각각의 위험이벤트로부터 다음 사항을 판별한다.

- a) 가장 노출된 그룹(직원, 승객, 공중)
- b) 가장 가능성이 있는 예상결과와 발생확률(실제데이터 또는 전문가 의견 사용)
- c) 현실성이 있는 최악의 예상결과와 발생확률(실제데이터 또는 전문가 의견 사용)
- d) 사고결과의 발생확률에 영향을 미치는 관리대책

(5) 리스크분석

리스크분석을 하기 위해서는

- a) 각각의 위험이벤트를 위해 위(c)의 빈도수와 위(d)로부터 확률과 사고결과를 사용하여 총 리스크를 계산한다. 이것은 전체 리스크분석에 합산되거나, 일부 정량(semi-quantitative) 리스크 등급방법이 사용될 경우 등급으로 결정된다.
- b) 각각의 위험에 노출된 그룹을 위해서는
 - 수리적 평가를 사용하는 경우 모든 위험이벤트의 리스크(사상자 수만)를 합산하여 개별 리스크를 계산한다.
 - 리스크등급 평가를 사용하는 경우 각 위험노출그룹에 맞는 명확히 정의된 리스크등급 매트릭스를 개발한다.
 - 개별리스크를 개별리스크범주와 비교하여 허용할 수 없는 영역에 있는 노출그룹을 판별한다.
- c) 기대한 결과치가 나왔는지 취득한 결과에 대한 온전성 체크를 한다. 필요하면 RPB에 있는 국가기준치와 비교한다.
- d) 대상그룹의 개별리스크가 허용할 수 없는 범위에 있는 것이 발견되면, 비용은 고려하지 말고 리스크를 허용수준으로 감소시킬 수 있는 대책을 마련한다.

(6) ALARP 평가

ALARP 평가를 위해서는

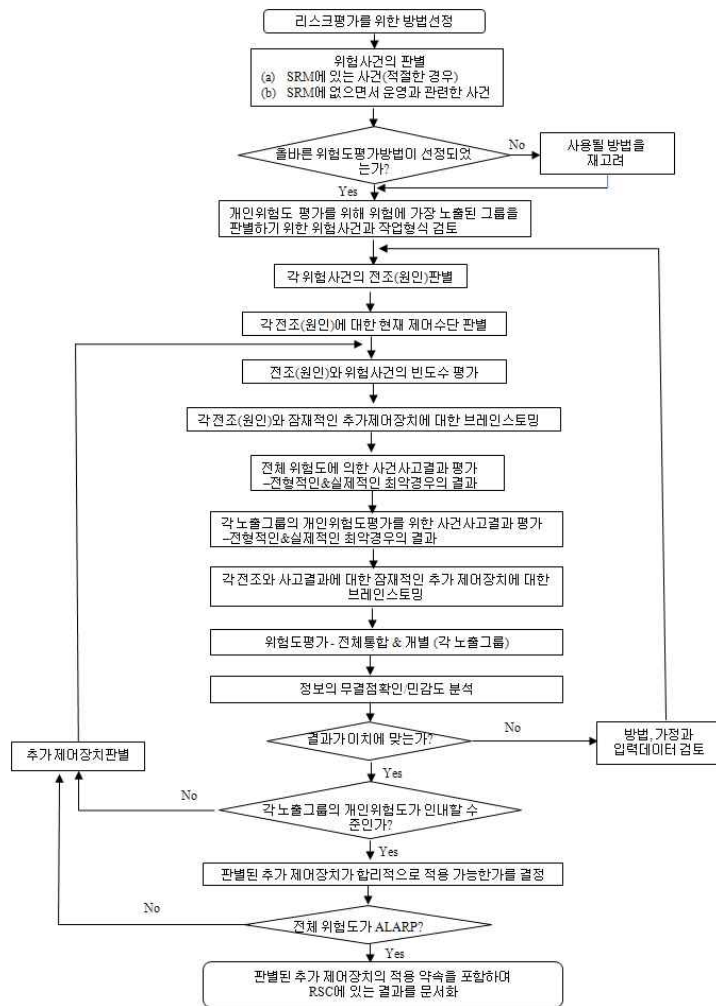
- a) 각 위험이벤트를 위해
 - 리스크를 더 줄일 수 있는 추가관리대책을 판별한다.
 - 추가관리대책의 적용과 잠재적인 리스크감소와 연관한 비용을 고려한다.

- b) 각 관리대책 판별을 위해
 - 합리적으로 적용할 수 없는 대책들(고비용, 잠재적 위험감소가 적은 경우)
 - 효용이 한계적인 대책은 적절하다면 정밀 비용효용분석을 행한다.
 - 합리적으로 적용할 수 있는 대책들(비용이 적절하고 잠재적 위험감소가 되는 경우)
- c) 합리적으로 적용될 수 있다고 판단되는 새로운 관리방법의 도입

(7) 리스크분석 결과의 문서화

안전지침서의 필수사항으로서

- a) 리스크분석방법론을 설명
- b) 정보의 출처와 핵심 가정(assumptions)사항을 확인
- c) 가장 심각한 위험이벤트(예를 들면, 상위 10개)에 대한 리스크분석의 결과와 현재의 관리 방법을 적용하기 위한 배치가 안전지침서의 어디에 있는지에 대한 설명.



<그림 2> 리스크분석방법론 전체구성도

- d) 개별 리스크분석 결과를 개별리스크범주를 비교했을 때를 고려
- e) ALARP 평가의 결과를 요약
- f) 높은 수준의 불확실성이 있는 분야를 고려

4.4 리스크분석을 위한 입력 데이터

철도운영기관의 리스크분석을 위한 주요 데이터는 철도 안전경영정보시스템으로부터 얻는다. 데이터의 다른 잠재적 출처로는

- a) 임무자의 유지보수 depot 장비고장기록
- b) 철도운영기관의 리스크분석을 위한 주요
- c) 정부기관에서 발생하는 월간 SPAD 보고서
- d) 철도안전부서에서 발간되는 분기별 또는 연도별 안전실적보고서
- e) 철도안전부서의 특별주제 보고서
- f) 공식적인 탐구조사보고서
- g) 국가사고일지
- h) 철도표준 개발이나 적용을 위해 수행된 리스크분석

4.5 승인 범주

리스크분석이 완성되면 리스크결과에 대한 승인여부를 결정하는 것이 필수적이다. 안전지침서 위험평가의 결과를 판단하는데 필요한 두 가지 필요사항은 다음과 같다.

- a) 개인리스크에 대한 범주
- b) 리스크가 ALARP 수준으로 감소되었는지 여부

리스크분석의 결과를 평가하는데 있어 '사회적리스크'라고 하는, 복수 사상자를 발생하게 하는 잠재적 위험이벤트의 영향을 고려하여야 한다.

철도운영에 의해 개인이 연간 사상을 입을 확률과 관련된 리스크. 승객, 직원 그리고 공중과 관련한 모든 위험노출 그룹을 판별할 필요가 있다. 그러나, 모든 확인된 노출그룹을 위한 개인 리스크의 정량적 평가를 행하는 것은 실용성이 적은 것 같다. 안전지침서에서 기대되는 개인 리스크분석의 최소수준의 예는 다음과 같다.

- a) 열차운영회사 - 승객과 열차운전자
- b) 기반시설관리회사 - 승객, 열차운전자, 궤도주변 작업자 그리고 여러 가지 형태의 건설목을 사용하는 공중.
- c) 역 운영회사 - 승강구 직원

만약 각 그룹의 개인리스크가 적어도 허용되는 영역 내에 있다는 것을 보여줄 수 있으면 각 운영기관의 운영에 노출된 모든 그룹에 대한 개인리스크 역시 허용되는 영역 내에 있다고 할 수 있다.

사망자 수로 나타내는 개별 승객리스크, 개별 종업원 리스크 그리고 개별 공중리스크는 <표 3>과 같다.

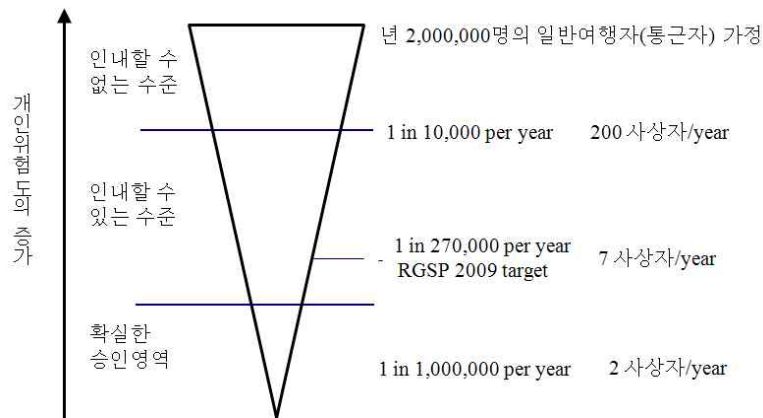
<표 3> 개별리스크 범주

그룹	인내상한선	국가안전계획 2010 목표	확실한 승인영역
개인승객 리스크 (보통의 여행자)	1×10^{-4} 년간 10,000명 중 하나	3.75×10^{-6} (133백만명 중 하나)	1×10^{-6} (년간 백만 명 중 하나)
개인종업원 리스크 (모든 그룹의 직원)	1×10^{-3} 년간 1,000명 중 하나	5×10^{-5} (년간 2만 명 중 하나)	1×10^{-6} (년간 백만 명 중 하나)
개인공중의 리스크 (철도이웃)	1×10^{-4} 년간 10,000명 중 하나	1×10^{-6} (년간 백만 명 중 하나)	1×10^{-6} (년간 백만 명 중 하나)

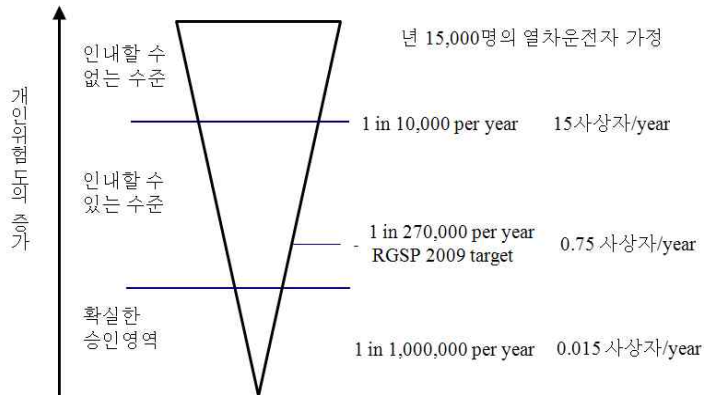
승객과 직원을 위한 범주는 <그림 3>, <그림 4>에 나타나 있다. 이러한 범주를 오늘날 철도를 이용하는 개인에게 적용하기 위해서는 시스템에 있는 정기적 여행자와 열차운전자의 수를 고려하여야 한다. 만약 다음과 같이 가정하였다면

- a) 일반여행객에 의해 이루어지는 전국 철도 네트워크상의 모든 여행승객 수 (현재 약 10억/년), 여행객 한명 당 500 번의 여행으로 계산하고, 약 2,000,000의 일반여행객이 있다고 가정.
- b) 약 15,000명의 열차운전자가 있다

승객과 열차운전자의 사망자 수는 아래 <그림 3>와 <그림 4>에 표시된 각 개인리스크 범주와 같다.



<그림 3> 승객의 개별리스크 범주



<그림 4> 열차운전자의 개별리스크 범주

개인 리스크분석 값을 리스크범주와 비교할 때 각 개인에 대한 총 리스크를 고려하여야 한다. 예를 들면, 승객에 대한 개인리스크 계산 시 아래와 관련한 사망리스크를 반드시 포함하여야 한다.

- 역을 통해 들어와서 움직이고 나가는 시간.
- 열차에 승선 시
- 열차 여행 시
- 열차 하차 시

각 경우에 열차의 내부와 외부의 모든 사고원인, 즉, 궤도결함, 신호시스템 결함과 철로장애물 등 해당직무책임자의 직접적인 관리 하에 있지 않더라도 모두 포함하여야 한다. 승객과 열차운전자 등 가장 노출된 그룹에 대한 총 리스크를 계산하였으면, 개인 리스크는 다음과 같이 계산된다.

a) 개인승객리스크 (사망확률/년) =

$$\frac{\text{모든 위험이벤트로부터의 승객사망위험도(사망확률/년)}}{\text{총승객여행수/년}} \times \text{노출그룹에 있는 한 승객의 여행수/년}$$

대체로 열차운행회사에서는 가장 노출된 승객그룹으로 간주되는 사람은 통상의 여행자(통근자)이다. 일반적으로 통상의 여행자는 연간 평균 500회의 여행(통근)을 하는 것으로 가정하였다.

(2 여행/일, 5일/주, 50주/년)

다른 정의가 사용될 수 있다. 예를 들면 일반적인, 년가, 휴가, 병가 등을 계산하여 450 여행/년을 사용할 수 있으며 사용된 수치는 정당성을 설명하여야 한다.

b) 개인운전자 리스크 (사망확률/년) =

$$\frac{\text{개인운전자위험도(사망확률/년)}}{\text{서비스를 운행하는데 고용된 운전자수(시간제는 전일제로 환산)}} \times \text{노출그룹에 있는 한 운전자의 여행수/년}$$

여기 주목해야 할 사항은 다음과 같다.

- a) 개인리스크 범주는 총 개인리스크(모든 위험한 사건사고에 대한 개인리스크의 합)와 관련이 있으며, 각 위험한 사건사고별로 평가된 개인리스크가 대상이 아니다. 그러므로 각 위험한 사건사고에 대한 개인리스크 결과를 개인리스크 범주와 비교하는 것은 맞지 않다.
- b) 리스크분석으로 판별된 모든 위험한 사건사고에 대해 ALARP 평가를 수행해야 하는 것은 법적 요구사항이다. 그러나, 각 노출그룹의 개인리스크가 확실한 승인영역에 놓여 있는 경우가 인내할 수 있는영역에 놓여있는 경우보다 ALARP 수준임을 보여주는 데 필요한 노력의 양이 훨씬 적을 것이다.

안전지침서에 포함되어야 할 최소한의 내용은 ROGS 2006에 정의되어 있으며, 특히, 이 법령의 부칙1과 이를 지원하는 지침서에 잘 나타나 있다. ROGS 2006의 부칙 1항 4조에는 철도 운영자에 의해 수행되는 리스크분석의 세부적인 요구사항이 들어 있으며 다음내용을 포함하고 있다.

- a) 사용된 평가 프로세스에 대한 설명, 계산에 사용된 기법과 가정(assumptions)
- b) 리스크분석으로 부터의 의미있는 발견사항에 대한 설명. 적용하고 있는 표준과 관련 범조항에 따르기 위한 목적의 다른 표준의 사용.
- c) 위 b)항과 관련하여 철도운영자가 효율적인 기획, 조직, 제어, 추적과 심사를 위해 만든 특별한 조치사항.

ROGS 2006의 부칙 1에는 건강과 안전의무사항을 충족시키기 위해서, 리스크를 ALARP 수준으로 낮추기 위해서, 그리고 이미 적용되고 있는 리스크관리대책을 확인하여 그 효율성을 평가하고, 남아있는 리스크를 산정해 필요한 조치를 판별하기 위해서는 리스크분석이 필수적이라고 선언하고 있다. 그 프로세스에는 ALARP 수준으로 리스크를 감소시키는데 필요한 어떤 추가관리대책이 필요한가를 고려하는 것이 포함되어있다.

관련 법규와 그와 연관된 가이드라인 자료로부터 안전지침서는 리스크가 노출된 그룹에 대한 개인리스크가 확실한 승인영역 수준으로 관리되고 있거나 될 것이라는 것을 보여줄 수 있는 충분한 정보를 포함하고 있어야 한다. 만약 개인리스크가 인내할 수 있는 영역에 있다면 총 리스크를 ALARP 수준으로 감소시켜야 한다. 철도운영기관의 대부분 운영활동에 있어서 모든 노출그룹에 대한 개인리스크가 확실한 승인영역에 있다는 것을 보여줄 가능성은 낮다. 철도운영자가 모든 위험한 사건사고에 대하여 이해할만한 정량적인 ALARP를 제공하는 것은 불가능하지는 않지만 매우 어려운 일이다. ALARP 원리의 적용에 있어서 가장 중요한 것은 세부적인 정량적 ALARP 증거를 제공하는 것과 관련이 있는 것이 아니고, 철도운영자에 의해 이해할만한 조직적이고 감사가 가능한 리스크감소대책이 고려되고 적용되고 있다는 확신을 줄 수 있는 ALARP 증거를 보여주는 것이다.

4.6 민감도 분석

모든 리스크분석과 그에 따른 ALARP 평가를 수행하는데 있어서 가정(assumptions)를 세우는 것이 필요하고, 데이터가 부족함으로 인하여, 사고 원인의 빈도와 확률 및 위험한 사건사고의 발생에 의한 사고결과를 정량화하는데 있어 판단을 사용한 평가를 한다. 전체 리스크와

ALARP 평가의 결과는 평가를 위해 만든 가정과 판단에 따라 달라진다. 따라서 이러한 가정과 판단의 상대적 중요성을 아는 것이 필요하다. 이러한 가정과 판단에 의한 영향에 관한 안내가 민감도분석이다. 리스크분석을 완성하고 난 다음에 그 결과가 반드시 ‘옳다’고 가정할 수 없다. 따라서, 그 결과가 의미있는 결과인지를 확실히 하기 위해 검토하는 것이 필수적이다. 즉,

- a) 총 리스크 측면에서 그 결과가 믿을 만한 것으로 보이는가?
- b) 기대한 것과 같은가?
- c) 국가평균과 비교하여 어떠한가?
- d) 주요 위험 제공자가 기대한 대로인가? 만약 아니라면, 그 차이에 대하여 합리적인 설명이 있는가?

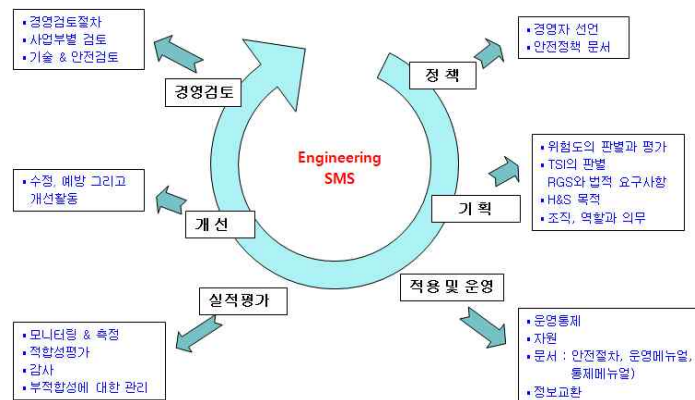
평가결과가 이치에 맞든 맞지 않든 리스크분석 프로세스에 사용된 해당 가정과 판단은 높은 수준의 불확실성이 있는지 분석되어야 한다. 만약 그렇다면 가정을 변경하였을 때 결과에 대한 민감도가 확인되어야 한다. 예를 들면, 요소 2를 5로 변경하였을 때 리스크분석과 ALARP 평가결과에 어느 정도의 영향을 미치는가 등이다. 만약 차이점이 크다면,

- a) 가정과 판단에 대하여 더욱 세밀한 검토를 행하여 더욱 정확한 평가가 이루어질 수 있는지 확인한다.
- b) 현재 적용하고 있는 또는 잠재적인 추가 관리대책이 잠재적 불확실성 수준을 채울 수 있을 만큼 충분히 강건(robust)한지를 확인한다.

5. 안전경영시스템의 구성요건

안전경영시스템은 적용 가능한 철도 안전 법률과 기타 의무적 요구사항을 포함하거나 그것에 대해 언급하고 안전관리 요소들을 포함하는 시스템을 개발, 실행, 기록 그리고 관리하는 것으로서 효율적인 안전경영시스템은 조직이 효과적으로 리스크를 확인하고 관리하는 것을 돕는다. 또한 조직의 안전 목표 달성과 범규정상의 요구사항을 충족하는 능력을 검증하도록 해준다.

철도 안전을 위해 유럽을 비롯한 각국은 철도안전 지침을 마련하여 투명한 규제체계를 수립하고, 철도운영기관에게 안전경영시스템을 준비하고 실행하고 유지할 것을 요구한다. 한편, Yellow Book에는 모든 프로젝트에 대하여 <그림 5>와 같은 엔지니어링 안전경영시스템을 규정하고 있다. 엔지니어링 안전경영시스템은 OHSAS 18001 (Occupational Health and Safety Assessment Series Standard)에 설명된 틀을 기본으로 한다. 이 틀은 운영기관이 지속적으로 조직의 건강과 안전리스크를 확인하고, 사고의 잠재적 가능성을 줄이고, 건강 및 안전법률에 부합하도록 도우며 조직의 업무수행능력을 지속적으로 향상시킨다.

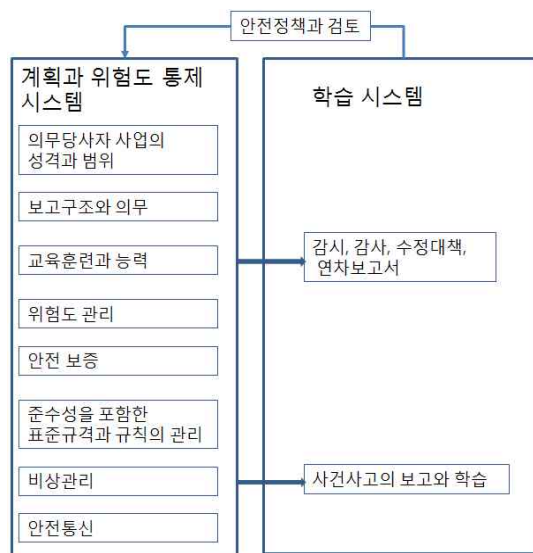


<그림 5> 엔지니어링 안전경영시스템

SAMRAIL 프로젝트는 유럽회원국철도가 현재 실행하고 있는 안전관리실무와 민간항공, 해양, 원자력, 화학부문과 같은 안전이 매우 중요한 부문의 경험을 안전경영시스템구조와 체계를 만드는 기준으로 사용하였다. 동시에 SAMRAIL에서 제안한 구조는 반드시 기존의 안전 지침에 제시된 것과 호환되도록 하였다. 이러한 접근방법은 안전을 관리하기위해 성숙하고 실질적인 접근방법을 개발함으로써 실행에 어려움이 없도록 하기 위한 것이다.

SAMRAIL[4, 5]에서 제안한 안전경영시스템접근법은 운영실무의 급격한 변경으로 인한 무리가 발생하지 않도록 하고, 비용 효율적인 시스템을 보증하기 위해 안정적인 안전실무를 고려하였다는 것이 특히 중요하다.

<그림 6>의 도표는 훌륭한 안전경영시스템의 역동적인 특성을 강조하기위하여 계획과 리스크 통제시스템 그리고 학습시스템으로 나누어진 안전경영시스템의 요소를 보여준다.



<그림 6> 안전관리 시스템을 위한 제안요소

안전경영시스템의 구조는 유럽의 여러 철도시스템으로부터의 이용 가능한 정보를 기반으로 하고 있으며 다음과 같은 사항을 포함한다.

- 조직의 안전 정책
- 안전 목표의 양과 질;
- 목표를 달성하기 위한 계획과 처리절차;
- 기술적이고 운영규칙을 준수하는 처리절차;
- 위험평가처리절차, 위험통제 대책 선택 방법;
- 직원교육훈련 및 자질 유지 프로그램;
- 조직 내와 다른 이해당사자를 위한 안전 통신;
- 안전보고를 위한 처리절차와 형식(formats);
- 사건과 사고로부터 학습 및 보고 절차;
- 비상처리절차;
- 안전경영시스템의 감사(auditing)와 검토.

안전경영시스템은 1990대 초 부터 영국의 철도산업에서 공식적으로 의무화되어왔다. 이것은 민영화된 이후로 강제되고 있는 안전지침서에 관한 규정상의 요구사항중의 일부분을 구성하고 있다.

안전경영시스템 운영을 위한 안전지침서는 다음과 같은 요소들로 구성되어 있다.[3]

(1) 운영기관의 사업의 특징과 범위

의무당사자는 그들 사업 운영의 범위와 성격을 확인해야 한다. 특히 그들이 개발하고 운영하며 유지 보수하여야 할 책임 있는 철도수송시스템의 요소를 명확하게 설명해야 한다. 그들은 안전지침의 조항4.2와 다른 국가적인 요구사항에서 요구하는 그들의 안전관리책임에 대해서 인식해야 한다. 특히 그들은 그들의 이해 또는 어떠한 연대 또는 다른 이해관계자와의 책임의 분담을 명확히 설명해야 한다.

(2) 안전정책

고위경영자는 안전을 보증하는 회사의 책임을 명확히 제시해야 한다. 이 책임은 효율적으로 의무당사자 기관전체에서 효율적으로 의사소통 되어야 하고 다음을 명시해야 한다.

- 경영의 가시적인 행동
- 그들이 투입할 절차와 처리절차
- 그들이 할당할 자원
- 다른 의무당사자와 해당산업의 이해당사자와의 안전관리를 위한 의무당사자 기관의 결합된 합의

(3) 조직의 구조와 책임

각각의 의무당사자는 조직 내의 모든 수준에서 안전을 보증하기 위하여 명확하고 모호하지 않은 승인 계통, 의무, 책임을 설정하고 유지해야 한다. 안전승인기관, 다른 기관과의 인터페이스에 대한 책임은 확인되어야 하고 조직의 관리계통 범위 내에서 적절하게 통합되어야 한다.

(4) 업무능력, 교육훈련과 적성

운영기관에서는 조직 전체를 통한 리스크 분야를 확인하고, 평가하고 그것을 감소시키기 위한 효율적인 통제수단을 결정하기 위한 절차를 수립하고 시행하여야 한다. 리스크분석은 공통적인 안전방법을 통하여 실행되어야 하며, 잔여리스크는 공통적인 안전 목표와 일관성이 있어야 한다. 각각의 의무당사자는 그들의 직원이 적절히 훈련 되었고, 지식과 기술이 있고 그들의 의무를 수행할 건강과 능력이 있도록 보증해야 한다. 그들의 자질은 주기적으로 평가되어야 하고 어떠한 부족한 점이 발견되면 훈련, 신규채용 그리고/또는 조직변화를 통하여 처리해야 한다. 직원의 기술을 지속적으로 향상 시키는데 필요한 모든 제도가 마련되어야 한다.

(5) 리스크 관리

의무당사자는 조직전체의 리스크의 영역을 파악 할 수 있는 처리절차를 가지고 있어야하고 리스크를 평가하고 그것을 감소시키거나 제거하는 효율적으로 통제하는 대책을 결정해야 한다. 리스크 관리는 공통적인 안전방법을 사용하여 수행되어야 하고 남아있는 리스크는 공통적인 안전 목표와 일관성 있어야 한다.

(6) 안전보증

운영기관의 전체 책임영역 안에 있으나 직접적인 통제 하에 있지 않는 리스크에 대해서도 그 리스크가 적절히 관리되고 있다는 것을 확실히 하여야 한다. 운영기관에서는 그러한 리스크관리 활동이 그들의 전체 안전경영시스템에 따라 진행되고, 적절한 리스크 수준이 달성되었다는 것을 확실히 하기 위한 절차를 수립하고 시행하여야 한다. 이와 같은 사항들을 고려할 때는 리스크 활동의무에 대한 계약을 요구할 수도 있다.

리스크관리는 안전경영시스템의 모니터링과 검토과정에 효율적으로 포함되어야 한다. 운영기관에서는 안전 목표를 정하고 국가 법률에서 요구되는 사항들이 모두 포함하도록 확실히 하여야 한다. 의무당사자의 책임영역내의 리스크가 그들의 직접적인 통제 하에 있지 않으면 그들은 반드시 그러한 리스크가 적절히 관리 되고 있다는 것을 반드시 보증해야 한다. 의무당사자는 그러한 활동이 그들의 전체 안전경영시스템과 일치한다는 것을 보증하는 처리절차를 시행해야하고 적절한 수준의 리스크가 달성되었다는 것을 보증해야 한다. 이러한 고려사항은 안전보증 활동 수행에 부과되는 계약상의 협정을 요구할 수도 있다. 그러한 고려는 그러한 활동을 수행하는 계약적인 책임을 요구 할 것이므로 계약업무를 위임하기 전에 가장 우선하여 고려되어야 한다.

(7) 사건사고의 보고와 학습

의무당사자는 사건과 사고를 주기적으로 보고하고 조사하는 처리절차를 시행해야한다. 그러한 절차는 직원들 사이의 보고를 활성화할 것이다. 의무당사자는 사건과 사고로부터 학습하는 처리절차 또한 가지고 있어야 한다. 사건사고의 발견은 조직전체와 다른 관련기관에 확산되어야 한다.

(8) 비상시의 관리

의무당사자는 비상시에 대응을 관리하는 일반적인 처리절차와 체계 그리고 예상 가능한 비상상황을 관리하기 위한 특정한 처리절차를 마련해야 한다. 이러한 처리절차는 비상시의 리스크를 최소화하고 철도와 그것의 운영의 안전성을 유지하고 저하된 운영의 유지 그리고 정상운영으로 회복 하도록 다루어야 한다.

(9) 안전통신과 정보의 완결성

안전통신과 정보는 정의되고 문서화 되어야 한다. 모든 의무당사자는 그들이 조직 내에서의 다양한 통신의 중요성을 인식하고 있다는 것을 보증해야 한다. 정보와 안전통신의 완결성은 중요성의 이 수준에 적절히 관리 되어야 한다. 안전에 관련된 모든 문서는 엄격한 변경통제를 해야 한다.

(10) 법규와 표준의 관리 및 적합성

의무당사자는 법률, 규칙, 표준규격과 그들의 업무활동과 관련한 기술적인 요구사항을 위한 처리절차를 준비해야 한다. 그들은 또한 이러한 요구사항을 준수한다는 것을 보증하기 위한 처리절차를 준비해야 한다. 이 절차는 또한 비-준수성의 관리를 다루어야 하며, 이는 조직의 전체 안전경영시스템과 리스크 관리기준에 부합하는 리스크-기반의 절차를 따라서 수행 되어야 한다. 처리절차는 또한 리스크 기준과 조직의 전체의 안전경영시스템과 일관성이 있는 리스크에 기반한 절차에 의해 수행되어야하는 비준수성의 관리를 제시하여야 한다.

(11) 감시, 감사, 교정조치 및 연간보고

의무보유자는 안전경영시스템의 감시 및 감사를 위한 적절한 절차를 확보해야 한다. 그러한 검토는 정기적으로 수행되어야 한다. 그들의 안전경영시스템은 감시와 감사를 통해 판별된 교정조치를 피드백하여 보충하는 것을 보장하는 절차를 담고 있어야 한다. 또한 연간 안전 보고서를 작성하고 관련 안전권한당국에 배포하는 절차를 확보해야 한다.

7. 결 론

리스크분석에 의한 안전경영시스템 구축을 시도하는 철도 운영기관에서 꼭 알아야 할 것은 이를 수용할 충분한 자세와 문화적 변화가 필요하다. 운영기관 최고위층의 수행의지와 건전한 관리, 종업원들이 이에 동참할 능력과 권한을 부여하여야 한다. 이 접근법의 성공적인 적용은 각 운영기관의 문화와 연속적인 개선과 비용절감에 대한 의지에 의한 것이다.

리스크분석에 의한 접근법은 리스크가 가장 큰 분야를 부각시켜 그 분야에 목표를 정하고 자원을 배분함으로써 안전수행성을 최대화하고 안전비용은 최소화할 수 있는 리스크관리 방법이다. 사례연구에서 보여준 ALARP는 허용할 수 없는 모든 위험성을 제거하고 세심한 비용대비 효용분석을 행하여 공중(public)이 수용할 수 있는 수준으로 리스크를 최소화하는 원리를 제공한다. 리스크분석에 의한 경영관리를 성공적으로 적용하기 위해서는 최고경영자에 의한 안전정책선언과 종업원과의 원활한 의사소통, 그리고 안전경영시스템에 대한 역할

분담과 책임이 부과되고 특히 아래 내용에 대해 설명이 가능하여야 한다.

- 안전경영시스템이 다른 경영활동과 어떻게 통합되는가
- 안전경영에 대한 역할을 해야 하는 사람들의 실적에 어떻게 책임을 지우는가
- 신청기관의 모든 지위의 종업원과 그들의 대표들이 어떻게 안전경영시스템에 참가하는가
- 안전경영 성과가 어떻게 모니터되고 부족한 점이 확인되어 개선되는가
- 사건 등으로부터 배운 교훈이 어떻게 새로운 안전을 개발하고 적용하는데 사용되는가

참고문헌

- [1] 홍석진, 김연명(2006), "항공안전 위기관리 모형 구축에 관한 연구", 대한교통학회지 24, 19-28.
- [2] EASIS(2006), Guidelines for establishing dependability requirements and performing hazard analysis.
- [3] EC SAMRAIL, D.2.2.2:Guidelines for the Safety Management System, 2003
- [4] EC SAMRAIL, D.2.5.1:Safety Approval & Cross Acceptance, 2003
- [5] EC SAMRAIL, D.2.5.2:Risk Based Criteria for Safety Approval, 2003
- [6] EC SAMRAIL, D.2.5.3:Process and Mechanism for Safety Approval & Certification, 2003
- [7] London Underground - Railway Safety Case (2006), Railways and Other Guided Transport Systems (Systems Regulations), October.
- [8] Modarres, Kaminskiy, and Krivtsov(1999), Reliability Engineering and Risk Analysis, Marcel Dekker.
- [9] Nordland O., and F. Renpenning(2002), "Risk Acceptability Criteria for Railways", Elsevier Science.
- [9] EN50126, Railway applications - The Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS),CENELEC, 1999
- [10] ROGS 2006 The Railways and Other Guided Transport Systems (Safety) Regulations
- [11] RSSB, Yellow Book 3, Independent Safety Assessment, 2000