

위험관리시스템 구축을 위한 정량적 안전평가 절차

정 원*

대구대학교 산업시스템공학과

Procedure of Quantitative Safety Assessment for Risk Management System

Won Jung*

Department of Industrial and Systems Engineering

ABSTRACT

The risk management case is an organization's formal arrangement to ensure the safety of its work activity within risk management system. It allows an organization to demonstrate its capability in achieving its safety objectives and in meeting regulatory requirements.

This paper presents how the safety assessments are described, prepared and maintained to meet the criteria specified by the upcoming safety regulations. We propose the elements of risk management system that include arrangements for the ongoing identification of hazards, assessment of risks and the implementation of necessary control measures.

Key words: management case; regulatory requirement; safety assessment; control measures

1. 서론

유럽의 철도회사에서는 사업계획수립과 의사결정에 있어서 위험도평가 결과에서 제공된 정보를 토대로 한 체계적인 위험도 기반의 접근방법을 적용한다. 이 접근방법은 고객과 직원 그리고 공중(public)에게 노출된 전체 리스크 수준이 ALARP(as low as reasonably practicable)수준으로 관리되고 경감되어야 한다는 것이다. ALARP의 의미는 투자비용과 그 투자로 인해 예방할 수 있는 손실을 근거로 안전에 대한 측정치를 평가한다. 만약 그 측정치가 일어날 수 있는 손실보다 비싸지 않다면 그것은 필요하다고 간주하는 것이다. 이러한 접근 방법에서는 일어날 수 있는 모든 손실을 금액으로 표시할 수 있어야 한다.

안전운영지침은 운영기관의 공식적인 종합안전대책서로서 조직차원의 위험관리시스템을 위한 정책과 자원배분 및 실행절차를 규정함으로써 모든 업무 활동의 안전을 보장하기 위한 것이다. 위험관리시스템은 적용 가능한 철도 안전 법률과 기타 의무적 요구사항을 포함하거나 그것에 대해 언급하고 안전관리 요소들을 포함하는 시스템을 개발, 실행, 기록 그리고 관리하여야 한다. 효율적인 위험관리시스템은 조직이 효과적으로 위험도를 확인하고 관리하는 것을 도와고, 조직의 안전 목표 달성과 법규상의 요구사항을 충족하는 능력을 검증하도록 해준다. 유럽을 비롯한 각국은 철도안전 지침을 마련하여 투명한 규제체계를 수립하고, 철도운영기관에게 위험관리시스템을 준비하고 실행하고 유지할 것을 요구한다.

위험관리시스템을 위한 안전운영지침은 다음 두가지 주된 목적으로 사용된다.

- a) 운영기관이 직원, 협력계약자, 승객과 대중의 안전과 건강에 대한 위험을 적절히 평가하고 효율적으로 관리하기 위한 능력, 의지와 자원을 가지고 있다는 확신을 주기위해,
- b) 다른 규정이나 절차와 연계하여 경영자, 감사자 그리고 감독기관에서 승인된 위험도 관리 기준과 건강 및 안전관리시스템이 원래 의도한 방법으로 적절히 실행되고 계속적으로 운영 되는데 사용될 수 있도록 이해할 수 있는 핵심 문서를 제공하기 위한 것이다.

본 연구의 목적은 안전운영지침에 포함되어야 할 위험도평가의 역할과 평가방법에 대한 절차를 개발하는 것이다. 연구를 통하여 안전 목표치를 달성하기 위해 위험확인, 위험평가, 그리고 필요한 위험관리요소가 안전운영지침에 어떻게 포함되어야 하는지를 살펴본다. 또한, 유럽철도 및 영국에서 시행되고 있는 위험관리시스템의 구조를 살펴보고 구성 요소 중 위험도 평가에 대한 특별 요건과 지침을 참조하여 국내 운영기관에서 사용가능한 공통구조를 제안하고자한다. 이는 국내 운영기관에서 안전지침의 요건을 만족하기 위하여 효과적으로 위험관리시스템을 실행하고 지속적으로 적용할 수 있도록 돕기 위한 것이다.

2. 위험관리시스템 구축 현황

EC는 유럽대륙에서 국가 간 철도네트워크의 상호안전운행을 위하여 SAMRAIL(Safety Management in Railways) 팀에게 기술적 표준을 연구하게 하였다. SAMRAIL의 주요목표는 유럽철도를 위한 포괄적이고 모순이 없는 안전경영 프로그램을 개발하는 것이며 이는 유럽 철도안전법령을 실행하는 기초를 제공할 수 있도록 하는 것이다 SAMRAIL(2004). SAMRAIL은 위험관리시스템의 역동적인 특성을 강조하기위하여 안전관리계획과 위험도 통제시스템 그리고 학습시스템으로 나누어진 위험관리시스템 요소를 제안하였으며 그 구성 요소는 다음과 같다.

- (1) 운영기관의 사업의 특징과 범위
- (2) 안전정책(절차, 자원의 배분, 안전경영)
- (3) 조직의 구조와 책임(안전당국과 경영자와의 인터페이스)
- (4) 업무능력, 교육훈련과 적성(종업원의 지식, 기술과 평가방법)
- (5) 위험도관리(Common Safety Method와 Common Safety Target에 의한)
- (6) 안전보증(리스크관리 절차, 적절한 리스크 수준의 달성)
- (7) 사건사고 보고와 학습(Learning)
- (8) 비상시의 관리
- (9) 안전정보교환과 정보의 정확성(안전관련 문서)
- (10) 규정과 표준의 관리 및 적합성(최신 법률/기술적 요구사항, 절차)
- (11) 감시, 감사, 교정조치 및 연간보고

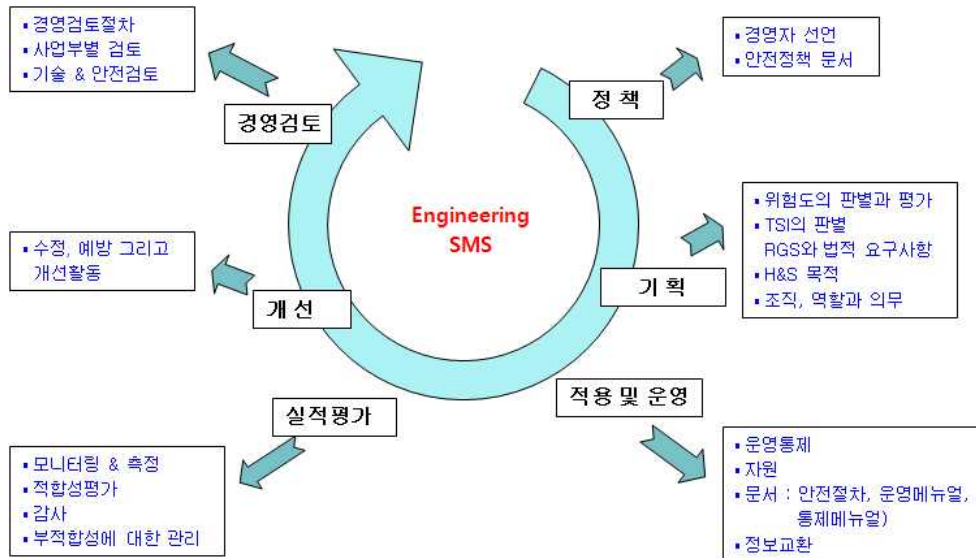
영국에서는 철도안전법규 ROGS(2006)에 의해 2006년 10월부터 철도운영기관에게 위험관리시스템 능력에 대한 안전인증(Certificate)과 허가(Authorization) 취득의 의무를 부여하고 있다. 안전인증과 허가를 위한 평가 매뉴얼 Assessment Manual(2006)은 수송사업자 또는 기반시설 관리자가 안전인증과 허가를 신청하는 방법과 지원자가 갖추어야 할 범주에 대한 내용과 법규 및 그 의미에 대한 설명이 함께 있다.

안전인증을 위한 평가담당자는 심각한 사고의 위험도 문제를 다루는데 있어 신청기관의 위험관리시스템 능력을 판단하는데 평가의 우선순위를 둔다. 평가기준은 본선 운송사업자, 본선 기반시설 운영자, 지선 운송사업자, 지선 기반시설 운영자에 대한 네 개의 범주로 구성되어 있으며, 각 범주의 내용에는 공통적으로 위험관리시스템에 대한 요구사항이 있다.

RSSB(2000)은 안전계획과 모범 사례를 통하여 안전운영지침을 작성할 때 프로젝트 과정 중에 어떻게 ESM(Engineering Safety Management) 기본수칙을 적용할 것인가에 대한 것을 기술하였다. 운영기관은 프로젝트 과정 중에 어떻게 ESM 기본수칙을 적용할 것인가에

대한 것을 기술해야 한다.

ESM은 활동별로 실행에 옮기기 전에 안전계획서에 계획해야 하며, 리스크의 범위에 따라 어디까지 안전계획과 ESM활동 범위를 설정할 것인지 조정해야 한다. ESM 사례를 정리 하면 <그림1>과 같다.



<그림1> 엔지니어링 안전경영시스템

3. 안전운영지침을 위한 위험도평가 가이드라인

3.1 배경 및 법적요구사항

철도 안전운영은 철길을 운영하는 기반시설 운영기관, 철도와 역 운영기관 그리고 기반시설 보수관리 계약회사 간의 인터페이스를 성공적으로 관리하는데 달려있다. 철도운영의 본질적인 한 부분으로서 안전이 수립되고 관리되는 것을 확실히 하기 위해 기반시설운영기관을 포함한 각 조직은 철도 안전운영지침규정 SAMRAIL(2004), London Underground(2006), ROGS(2006), Assessment Manual(2006)에 정의된 RSC(Railway Safety Case)를 개발하고 유지하는 것이 의무사항으로 되어야 한다.

철도 안전운영지침에 포함되어야 할 최소내용은 법규에 명시되어야 하며, 특히 안전운영 지침에는 위험도평가와 관련한 다음 사항을 고려한다.

- a) 위험도평가를 위한 법적인 요구사항
- b) 무엇이 위험도평가인가
- c) 위험도평가의 목적

- d) ‘적절한 또는 충분한’에 대한 정의를 포함하여 안전운영지침을 사용하는데 필요한 위험도평가기술
- e) 개인에 대한 위험도 관점에서 위험도평가 결과를 평가하기 위한 범주와 ALARP 수준의 위험도
- f) 안전운영지침문서에 기록되어야 할 위험도평가정보의 형태

3.2 위험도 평가 활동과 절차

안전관리에서 위험도라 함은 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 하나의 위험 사건사고(event)에 대하여 연간 빈도수와 결과의 심각도를 곱한 값이다. 즉,

총 위험도(평균 등가 사상자수 equivalent fatalities/year) = 위험 사건사고의 빈도(예를 들면, 건/year) × 그 사상의 발생시 사고의 심각도(부상자, 중상 또는 사망자의 수/event)

실제 어떻게 적용되는지를 설명하기 위해, 일련의 위험 사상에 대한 위험도평가결과의 예는 <표 1>과 같다.

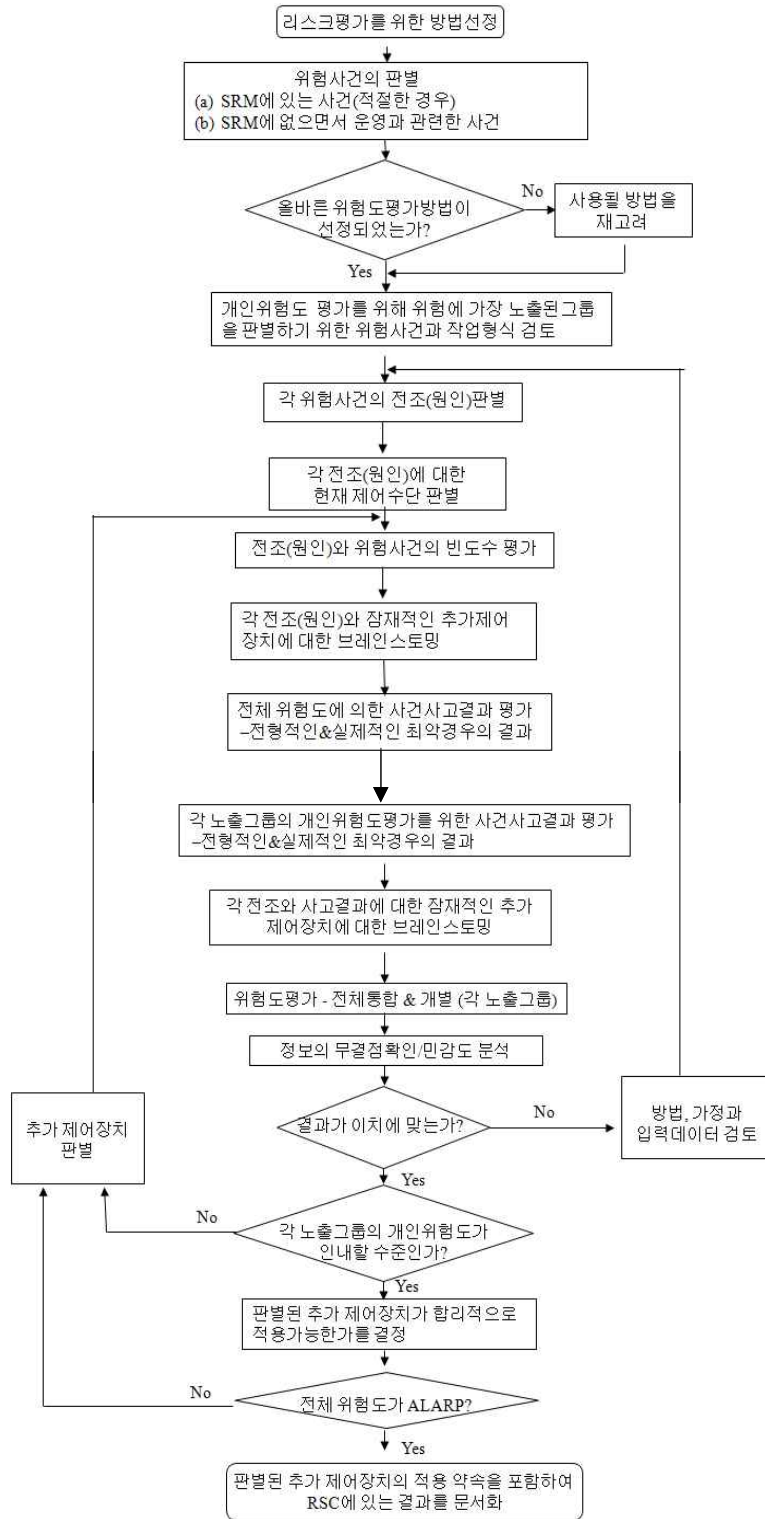
<표 1> 위험도평가결과 예

위험사상의 설명		빈도수 (사건사고수/yr)	사고의 심각도 (사상자수/사건사고)	총 위험도 (평균 등가 사상자수/year)
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 위험도				17.9

위험도평가는 다음활동을 위한 체계적이고 구조적인 과정이다.

- a) 직접 또는 간접으로 시스템의 운영이나 유지보수에 노출되어 있는 개인에게 부상이나 사망을 일으킬 수 있는 잠재적 위험사건사고의 판별 (철도운영기관에서 개인이라 함은 승객, 작업자 그리고 공중을 의미한다)
- b) 부품, 서브시스템 또는 시스템의 고장, 물리적인 영향, 사람실수에 의한 고장 또는 운영조건 등 각 사건사고를 일으킬 수 있는 원인(전조)의 판별
- c) 제거할 수 없는 각 사건사고의 원인의 발생을 제어 또는 제한할 수 있는 대책의 판별
- d) 사건사고의 원인이나 실제사고가 발생할 수 있는 빈도수의 평가
- e) 위험사건사고의 발생의 경우 사고의 결과가 다양한 형태로 나타날 수 있는데 그 결과를 부상자 수 또는 중상사망자 수로 평가. 이것은 아래 사항을 제한하거나 제어하는 조치를 위한 대책을 판별하는 것을 포함한다.
 - i) 제거할 수 없는 위험원인의 발생
 - ii) 위험한 사건사고의 결과
- f) 각 위험사건사고와 관련한 전체위험도의 평가
- g) 위험에 노출된 철도관련 각 개인에 대한 위험도의 평가
- h) 필요한 곳에서는 위험도가 ALARP수준이라는 것을 확실히 하는데 필요한 추가적인 관리대책
- i) 위험도평가와 결과분석의 개발에 사용된 방법, 가정, 데이터, 판단과 해석에 대하여 명확하고 이해할 수 있는 문서적 증거를 제공.

<그림 2>는 위험도평가의 절차를 포함한 전체흐름도를 나타내고 있다.



<그림2> 위험도평가의 전체 흐름도

3.3 ALARP 평가와 승인 범주

위험도평가가 완성되면 위험도 결과에 대한 승인여부를 결정하는 것이 필수적이다. 안전 운영지침위험평가의 결과를 판단하는데 필요한 두 가지 필요사항은 다음과 같다.

- a) 개인위험도(individual risk)에 대한 범주
- b) 위험도가 ALARP 수준으로 감소되었는지의 여부

리스크평가의 결과를 평가하는데 있어서는 복수 사상자를 발생하게 하는 잠재적 위험사건이 '사회적 위험도(societal risk)'에 미치는 영향을 고려하여야 한다. 이를 위해 철도운영에 의해 개인이 연간 사상을 입을 확률과 관련된 위험도와 승객, 직원 그리고 공중(public)과 관련한 모든 위험노출 그룹을 판별할 필요가 있다. 그러나, 모든 확인된 노출그룹의 개인 위험도에 대한 정량적 평가를 행하는 것은 실용성이 적다. 안전운영지침에서 기대되는 개인 위험도평가의 최소수준의 예는 다음과 같다.

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

만약 각 그룹의 개인위험도가 허용되는 영역 내에 있다는 것을 보여줄 수 있으면 각 운영 기관의 운영과정에 노출된 모든 그룹에 대한 개인위험도 역시 허용되는 영역 내에 있다고 할 수 있다.

영국의 경우 사망자 수로 나타내는 개별 승객위험도, 개별 종업원 위험도 그리고 개별 공중위험도는 <표 2>와 같다 GE/GN8561(2001).

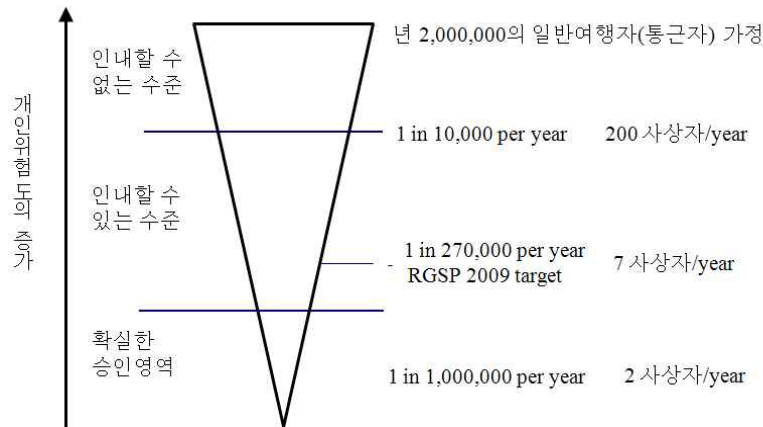
<표 2> 개별위험도 범주

그룹	인내 상한선 (Upper limit)	국가기관 안전계획 2010 목표	확실한 승인영역 (Broadly acceptable)
개인승객 위험도 (보통의 여행자)	$1 \times 10^{-4}/\text{year}$ (연간 10,000명 중 하나)	133백만 여행승객 중 하나, 즉, $3.75 \times 10^{-6}/\text{year}$ (based on 500 journey/year)	$1 \times 10^{-6}/\text{year}$ (100만명 중 하나)
개인종업원 위험도 (모든 그룹의 직원)	$1 \times 10^{-3}/\text{year}$ (연간 1,000명 중 하나)	5×10^{-5} (연간 20,000명 중 하나)	$1 \times 10^{-6}/\text{year}$ (100만명 중 하나)
개인공중의 위험도 (철도 이웃)	$1 \times 10^{-4}/\text{year}$ (연간 10,000명 중 하나)	1×10^{-6} (based on an average member of the UK population) (연간 100만명 중하나)	$1 \times 10^{-6}/\text{year}$ (100만명 중 하나)

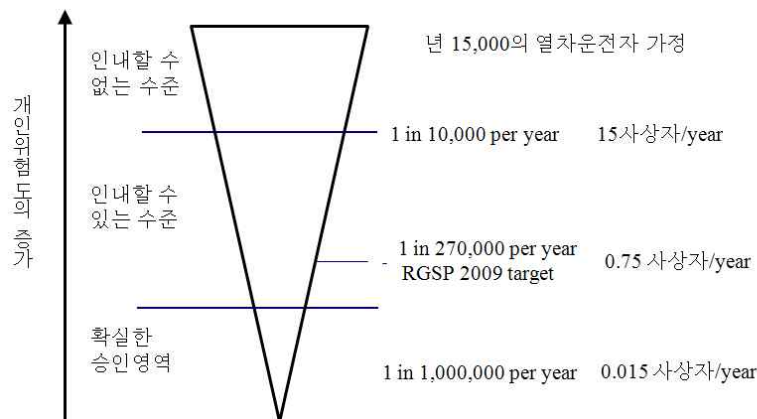
이러한 범주를 오늘날 철도를 이용하는 개인에게 적용하기 위해서는 시스템에 있는 정기적 여행자와 열차운전자의 수를 고려하여야 한다. 만약 다음과 같이 가정하였다면:

- a) 일반여행객(regular travelers)에 의해 이루어지는 전국 철도 네트워크상의 모든 여행객 수(passenger journeys) (현재 약 10억/년), 한명의 보통여행자(regular traveler) 당 500 journey로 계산하고, 약 2,000,000의 보통여행자가 있다고 가정한다.
- b) 약 15,000명의 열차운전자가 있다

승객과 열차운전자의 사상자 수는 아래 <그림 3a> <그림 3b>에 표시된 각 개인위험도 범주와 같이 나타낼 수 있다.



<그림 3a> 승객에 대한 개인위험도 범주



<그림 3b> 직원에 대한 개인위험도 범주

개인위험도 평가값을 위험도범주와 비교할 때 각 개인에 대한 총 위험도를 고려하여야 한다. 예를 들면, 승객에 대한 개인위험도 계산 시 아래와 연관한 사망위험도를 반드시 포함하여야 한다.

- a) 역을 통해 들어와서 움직이고 나가는 시간.
- b) 열차에 승선 시
- c) 열차 여행 시
- d) 열차 하차 시

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

- a) 개인승객위험도(사망확률/년)

$$= \frac{\text{모든 위험이벤트로부터의 승객 사망위험도(사망확률/년)}}{\text{총 승객여행수/년}} \times \text{노출그룹에 있는 한 승객의 여행수/년}$$

대체로 열차운행회사에서 가장 노출된 승객그룹으로 간주되는 사람은 보통의 여행자(통근자)이다. 일반적으로 보통 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 위험도(사망확률/년)

$$= \frac{\text{개인 운전자 위험도(사망확률/년)}}{\text{서비스를 운행하는데 고용된 운전자수(시간제는 전일제로 환산)}}$$

확실히 주목해야 할 사항은 다음과 같다.

- a) 개인위험도 범주는 총개인위험도(모든 위험이벤트에 대한 개인위험도의 합)와 관련이 있으며, 각 위험이벤트별로 평가된 개인위험도가 대상이 아니다. 그러므로 각 위험이벤트에 대한 개인위험도 결과를 개인위험도 범주와 비교하는 것은 맞지 않다.
- b) 위험도평가로 판별된 모든 위험사건사고에 대해 ALARP 평가를 수행해야 하는 것은 법적 요구사항이다. 그러나, 각 노출그룹의 개인위험도가 확실한 승인영역(Broadly acceptable region)에 놓여 있는 경우가 인내영역(Tolerable region)에 놓여있는 경우보다 ALARP 수준임을 보여주는 데 필요한 노력의 양이 훨씬 적을 것이다.

관련 법규와 그와 연관된 가이드라인자료로부터 Safety Case는 위험도가 노출된 그룹에 대한 개인위험도가 확실한 승인영역(broadly acceptable region) 수준으로 관리되고 있거나 될 것이라는 것을 보여줄 수 있는 충분한 정보를 포함하고 있어야 한다. 만약 개인위험도가 인내영역(tolerable region)에 있다면 총 위험도를 ALARP 수준으로 감소시켜야 한다. 그러나, 철도운영자가 모든 위험사건사고에 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, 운영기관에 서 이해할만한 조직적이고 감사가 가능한 위험도감소대책이 세워지고 적용되고 있다는 확신을 줄 수 있는 ALARP 증거를 보여주는 것이다.

4. 결 론

본 논문에서 보여준 위험도평가 가이드라인은 위험관리시스템에 대한 인증과 허가제도의 도입 시 안전관리문서의 적합성을 점검하고, 각 조직의 위험관리시스템 절차에 대한 감사와 평가를 실행하는데 활용가능하다. 그러나, 여기에 설명된 위험도평가방법은 절대적인 것은 아니며, 다른 기법들을 사용할 수도 있고, 제안된 기법들을 필요한 대로 개조할 수도 있다.

안전운영지침에 포함되어야 위험도평가의 추가적인 세부사항을 보려면, ROGS(2006)이나 호주의 철도안전인증 가이드라인 Australia RSRP(2005)을 참고하면 도움이 된다. 예를 들면, ROGS(2006)의 부칙 1조 4항에는 철도운영기관에 의해 수행되는 위험도평가의 세부적인 요구사항에 관해 다음내용을 포함하고 있다.

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

참고문헌

- [1] Australia RSRP(2005), National Rail Safety Accreditation Guideline
- [2] European Commission Fifth Framework programme SAMRAIL D2.2.2(2004), Guidelines for the Safety Management System.
- [3] GE/GN8561(2001), Guidance on the Preparation of Risk Assessments within Railway Safety Cases.
- [4] London Underground(2006), Railway Safety Case Version 4.0, Railways and Other

Guided Transport Systems (Systems Regulations).

- [5] ROGS(2006), The Railways and Other Guided Transport Systems (Safety) Regulations
- [6] Safety Certification and Authorisation Assessment Manual(2006), Assessment Criteria for Safety Certificate and Authorisation applications made under ROGS.
- [7] RSSB(2000), Yellow Book 3, Independent Safety Assessment.