

정량적 리스크 평가를 기초로 한 경영관리

정 원

대구대학교 산업시스템공학과

Management Approach Based on Quantitative Risk Assessment

Won Jung

Department of Industrial and systems Engineering Daegu University

Abstract

System risk is the totality of all safety risks to customers, employees, suppliers, and other third parties that arise due to system operations. To assess the risk of major hazards with the potential to cause fatality to the customers and other members of the public, quantitative risk assessment methodologies are used. This paper presents the general principles of risk based management approach to improve the safety of high risk systems such as aviation, railway, and nuclear power plants. For the suitable risk control arrangement, case studies of acceptable risk level, risk rating matrix, and safety management philosophy are presented.

Key word : risk based, risk assessment, acceptable risk level, rating matrix

1. 서론

위험성분석은 위험요소를 확인하고, 사고로 연결되는 상황에 대한 시나리오를 연구하여, 그 상황의 발생가능성 및 심각도를 평가하고 대책을 수립하는 과정이다. 안전에 대한 중요성이 강조되면서 위험성분석은 개인 기업이나 정부기관에서 법규를 제정하거나 자원배분을 위한 의사결정에 널리 활용된다. 리스크가 정량적으로 평가된 후에는 적절한 리스크관리를 위한 선택사항들이 검토되는데 리스크-이익 또는 비용-이익 분석이 수행되기도 하여 리스크 관리 정책이 결정되고 수행된다. 리스크 관리의 주된 목표는 위험요소의 발생가능성을 줄이거나, 제어할 수 없는 사고의 영향을 줄임으로 인하여 사고의 발생을 최소화하는 것이다. 위험요소의 빈도에 대한 평가는 시스템이나 시스템을 구성하는 부품의 신뢰성, 그리고

인간-시스템의 상호작용에 크게 의존한다[11].

항공사, 철도공사, 원자력발전소 등 위험관리가 매우 중요한 조직에서의 안전계획수립은 지난 수년 동안 사업계획수립의 필수적인 부분이 되어왔다. 많은 중요한 장기 위험감소계량치가 자산개선에 대한 제도와 시스템을 통하여 장기 자본투자 프로그램과 연계되어 있다[12]. 이는 법령에서 규정하는 해당 운영기관에 대한 요구사항을 충족시키기 위한 조치이며, 공중(public)이 수용할 수 있는 리스크 수준 유지라는 안전개선 목적을 달성하기 위해 위험성을 기반으로 한 우선순위에 따라 자원을 배분하기 위한 방안이라고 할 수 있다. 따라서, 위험성이 높은 시스템의 운영에 있어서 모든 활동은 리스크를 내포하고 있다는 것을 인식하여야 한다. 리스크는 여러 가지 활동의 복합적인 조합으로부터 일어나며, 조직의 조건과 물리적인 시스템 그리고 있는 리스크를 통제해나가는 시스템이 본질적으로 가지고 있는 효율성의 정도에 따라 다르게 발생한다. 위험관리가 매우 중요한 운영기관의 주된 과제는 다음과 같다[7].

- 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

항공, 철도, 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[4]. 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 리스크평가 기법에 의한 정량적 평가결과가 리스크 기반의 의사결정과 경영관리에 어떻게 적용되는지를 연구하는데 있다. 사례연구를 통하여 적절한 리스크 제어 시스템을 위한 리스크허용기준 설정과 리스크 수준 매트릭스, 그리고 필요한 위험관리요소가 경영시스템에 어떻게 포함되어 있는지를 살펴보고, 리스크를 기반으로 한 경영관리 프로세스를 연구한다.

제품품질과 신뢰성에 대한 대내외적인 인식이 미약하여 국제 경쟁력이 약한 실정이다. 특히 위성항법시스템 모듈의 핵심 부품인 DSP(Digital Signal Processor) 등에 대한 신뢰성 평가기술, 고장 해석기술 등은 매우 부족한 실정이다.

2. 국내외 기술동향

철도 선진국에서는 1990년대 중반 이후부터 위험도 정보 기반 철도 운영 및 정량적 안전 목표 관리를 위해 보다 상세한 위험도 정보를 얻기 위하여 위험분석 결과를 바탕으로

ET/FTA(Event Tree/Fault Tree Analysis) 기법을 이용한 철도 위험도 정량 평가 기술을 개발하여 적용하고 있다. 특히, 영국의 경우 다른 나라에 비해 가장 빨리 SRM(Safety Risk Model)에 의한 위험도 정보 활용 의사결정 지원 체계를 1990년대 중반부터 구축, 현재까지 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. 또한, 철도시스템에 대한 정량적 위험도 평가 모델 (SRM; ET/FTA 모델 기반)을 주기적으로 개정하여 위험도 정보를 활용한 철도 안전 정책 결정에 활용하고 있으며, 안전개선 투자의 우선순위 결정 및 투자 대비 효과 분석에 활용하고 있다[9].

국내 철도산업은 원천기술의 대부분을 외국에 의존하여 기술자립도가 낮은 상황에서 철도 위험도 정보 활용 안전 관련 의사결정 분야는 국내 고유의 철도 위험도 평가 결과를 이용한 시스템 안전관리 개념에 대한 전반적인 이해 부족으로 아직 초기 연구 단계에 있는 상황이다. 현행 국내철도의 사고조사 및 위험분석은 사고발생에 따른 결과분류와 사고/장애 발생 건수만을 통계적으로 관리하는 수준으로서 철저한 사고조사를 통한 사고원인 규명과 정량적인 위험평가 체계가 구축되어 있지 못한 실정이다. 최근 건설교통부에 의한 “철도종합안전 기술개발사업”의 출범으로 철도 위험도 정보 기반 의사결정 체계 구축을 위해 체계적인 철도 위험도 평가 기술 연구를 수행하고 있으며, 이 사업을 통하여 철도차량의 화재위험, 철도시스템 위험분석 및 정량적 위험도 평가에 대한 해외 선진사례 및 국내 적용방안에 대한 기반 연구를 수행하고 있다[2].

한국원자력연구소의 종합 안전 평가센터는 1980년대 중반부터 국내 원자력발전소를 대상으로 확률론적 안전성 평가(Probabilistic Safety Assessment; PSA)에 기반을 둔 종합적이고 체계적인 연구를 수행하여 원전의 설계는 물론, 운전 및 보수 등과 같이 원전의 안전성과 관련된 제반 사항을 모델링하고, PSA 방법론을 적용하여 사건의 발생, 사건의 전개, 사건의 결과 및 빈도(확률)를 종합적으로 취급하여 왔다. 또한 원전을 운전하는 운전원의 인적 요소의 안전성과 관련하여 사건이 발생하여 사고로 진행하였을 때를 가정한 전반적인 시나리오와 이에 대한 대책을 분석하여 위험도를 낮출 수 있는 방안도 마련하였다. 최근에는 원전의 운전 및 규제에 PSA의 결과를 이용하는 위험도 정보 이용 규제 및 응용(RIR&A, Risk Informed Regulation & Application)을 통해 기존의 원전 규제에서의 단점을 보완하고 효율적으로 안전성과 경제성을 향상시킬 수 있는 방안을 도출하고 있다[3].

항공기안전을 위하여 미국연방항공청(FAA)은 업무에서 발생할 수 있는 위험요인을 판별하고 평가하여 업무의 시스템이나 절차를 개선하도록 사고의 발생가능성을 확률적 분석 방식을 기초로 하여 일정수준의 위험이 항상 존재하고 있음을 인정하고 위험관리 업무를 일상적인 업무 절차에 편입시키고 있다[4].

영국 민간 항공국(CAA)의 안전관리체계는 공항과 관제부문으로 하여금 조직 운영에 있어서 위험요인을 스스로 평가하고, 평가 결과 안전상 중요한 요인이 발견되면 내부의 자체 기능에 의해 위험 요인을 제거할 수 있는 체계를 추구한다. 영국은 조직운영에 대한 위험관리절차를 실행함에 있어 유럽연합항공법령(JAR)의 기준을 사용하도록 권고하고 있다. 이는 미국 연방항공청과 유사하게 위험의 중요도와 발생가능성을 예측하는 면에서 거의 유사한

형태를 가지고 있다.

국내의 경우는 아직 정량적 위험분석기법을 활용할 수 있는 충분한 정보와 자료가 확보되어 있지 않다. 최근, 항공안전관리를 위한 위험인자와 중요도의 선정에 관한 연구[4]나 민간항공 안전의 체계적 개선[1]에 관한 연구결과가 있으나 총괄적 관리감독의 의무가 있는 항공안전본부차원에서의 위험관리체계 도입이 절실한 실정이다.

3. 리스크 허용 기준 설정

위험성이 높은 시스템은 본질적으로 손실이나 부상의 리스크를 내포하고 있으며 이 리스크는 대중에 의해 허용할 수 있는 수준으로 감소되어야 한다[16]. 리스크 허용기준을 정하는 것은 어려운 주제이며 종종 논쟁의 대상이 되기도 한다. 일반적으로 리스크평가(risk assessment) 결과를 상대적인 방법으로 사용하는 것이 리스크 노출 수준의 순위를 결정하는 방법으로 활용된다[15]. 예를 들면, 일정기간 동안의 주요 사망원인(교통사고, 폐렴, AIDS)과 사망자 수의 통계를 기준으로 각 개인에 대한 사회적 리스크를 계산하여 시스템 운영상의 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 최저기준으로 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 치명도(fatality rates)는 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 원자력규제위원회(U.S. Nuclear Regulatory Commission)는 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 미국 시민 개인이 일반적으로 노출되어 있는 모든 리스크의 0.1%를 넘지 않아야 한다고 정하였다[15]. 또한, 원자로(reactor) 사고로부터 환경에 방출되는 대규모 방사능의 전체 평균빈도는 연간 $1E-6$ 미만이어야 한다고 요구하고 있다.

CENELEC(the European Committee for Electro-technical Standardization)의 EN50126[8]과 SAMRAIL D.2.5.2[6]에는 유럽에서 적용되고 있는 GAMAB(프랑스에서 적용), ALARP(영국에서 적용), MEM(독일에서 적용)에 관한 포괄적인 안전표준을 제시하고 있다.

3.1 ALARP 의 원리

영국철도에서는 ALARP(As Low As Reasonably Practicable)의 원리를 사용한다.

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.

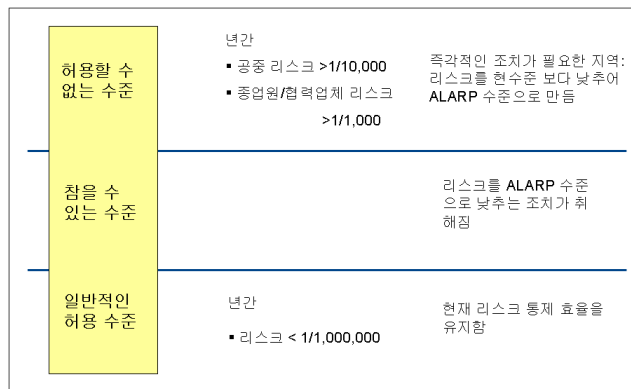
ALARP 원리의 사용목표는 수용할 수 없는 모든 위험성을 제거하고 세심한 비용대비 효용 분석을 행하여 대부분이 수용할 수 있는 ALARP 수준으로 위험도를 최소화하는 것이다.

<표 1>은 참을 수 있는 리스크 수준과 ALARP이 어떻게 관련되어 있는지를 알 수 있다[5].

만약 정량적 위험확률요구사항이 적용된다면, 참을 수 있는 리스크 수준(Tolerable risk)과 일반적인 허용수준(Broadly acceptable risk)의 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 [12]

3.2 GAMAB 과 MEM 원리

GALE(globally at least equivalent)와 GAMAB 원리(불어: “globalement au moins aussi bon” = globally at least as good)는 이미 ” 허용할 수 있는 “ 해법이 존재한다고 가정한다[8]. 이 원리의 명확한 표현은 다음과 같다:

“모든 새로운 운송시스템의 위험도 수준은 적어도(at least) 전체적인(globally) 동등 종류의 기존 시스템이 제공하는 만큼 좋아야 한다” .

이 표현에서 “적어도” , “전체적인” 은 특정한 리스크 값에 대한 요구사항은 아니다. 따라서, 시스템 공급자는 시스템에 본질적으로 내재되어 있는 여러 가지 다른 리스크를 시스템을 구성하고 있는 여러 부분에 임의로 배분할 수 있다.

GALE 또는 GAMAB 원리는 ALARP 원리와 비슷하지만 똑같은 것은 아니다. 결정적으로 다른 점은 접근 방법이다. ALARP는 모든 위험성(hazard) 요소와 관련된 리스크는 대중(public)이 동의하는 <표 1>의 ‘일반적인 허용수준’ 을 요구하고 있으며, 만약 특정한 위험요소가 일반적인 허용수준으로 줄이는 것이 실용적이지 않다면 해당 리스크는 ‘참을 수 있는 수준’ 의 ALARP으로 감소되었다는 것을 증명하여야 한다.

GALE 또는 GAMAB 원리는 일부 위험요소와 관련하여 경우에 따라서는 높은 리스크 수준을 허용하는데 이는 전체적인(overall) 리스크수준이 일반적으로 허용할 수 있는 수준이면 된다는 것이다. ALARP와 GALE/GAMAB 중 어떤 접근방법을 사용할 것인가에 대한 최종결정은 법률시스템과 적용분야에 따른 종래의 관례에 따라 다르며, 이것은 국가에 따라 다르다. 그러나, GALE/GAMAB은 기존 시스템의 대체 또는 업그레이드 등 시스템을 개발할 때에 비교 가능한 적절한 기본데이터가 있는 경우 적용하게 되면 매우 적절할 것으로 보인다. 기존 시스템에는 ALARP가 더 적절할 것으로 보인다[5].

독일의 MEM(minimum endogenous mortality) 원리는 우리사회에는 연령에 따라 여러 가지 사망률이 존재하며, 각 사망률의 일정부분은 시스템의 기술적인 부분에 기인한다는 사실을 출발점으로 한다. 따라서 새로운 시스템에 대한 요구사항으로서 기술적인 원인에 의해 어떤 연령그룹의 사망률이 “심각하게” 증가해서는 안된다는 것이다. 결국, 기술적인 원인으로 인한 사망률이 가장 낮은 그룹인 5~15세가 참고 수준이 된다.

4. 리스크 등급분류 가이드라인

리스크 등급은 피해의 크기에 따른 심각도와 피해발생 가능성의 조합으로 표시된다[10]. 우선 예상되는 위험으로부터 피해의 심각도를 구하고, 노출의 빈도와 기간, 위험한 사고의 발생 가능성, 피해를 없게 하거나 줄일 수 있는 가능성에 따라 피해발생 가능성을 결정한다. 리스크 등급분류표는 빈도와 심각도의 조합에 의한 매트릭스로 만들어 진다. <표 2>는 런던지하철의 리스크등급분류표 사례이다. 리스크의 상대적 심각도를 결정하기 위해서 이 리스크 등급 매트릭스를 사용한다.

전체 리스크의 등급화를 위해 각 심각도와 발생 가능성에 점수를 부여하였다. 이 등급에는 각 리스크의 중요도가 고려되었다.

- High는 점수가 28점 이상일 때.
- Medium은 점수가 21~27,
- Low는 21 미만일 때로 분류하였다.

High는 최우선 순위로 검토하여 리스크를 ALARP 수준으로 감소시키기 위해 즉각적인 조치가 요구되는 사항이다. Medium 또는 Low에 해당하는 리스크는 합리적이고 적용 가능한 리스크 감소 방법이 있는지 결정하기 위해 검토한다.

<표 2> 리스크 등급분류표

		발생가능성							
		매일 21	매주 17	매월 15	매6개월 13	매년 11	매3년 7	매10년 5	매11년 이상 1
심 각 도	Fatal 24	HIGH 45	HIGH 41	HIGH 39	HIGH 37	HIGH 35	HIGH 31	HIGH 29	MEDIUM 25
	Severe 18	HIGH 39	HIGH 35	HIGH 33	HIGH 31	HIGH 29	MEDIUM 25	MEDIUM 23	LOW 19
	Major 14	HIGH 35	HIGH 31	HIGH 29	MEDIUM 27	MEDIUM 25	MEDIUM 21	LOW 19	LOW 15
	Serious 8	HIGH 29	MEDIUM 25	MEDIUM 23	MEDIUM 21	LOW 19	LOW 15	LOW 13	LOW 9
	Minor 2	MEDIUM 23	LOW 19	LOW 17	LOW 15	LOW 13	LOW 9	LOW 7	LOW 3

<표 3>과 <표 4>는 MIL-STD-882D[14]에서 제시한 재난(Mishap)의 심각도와 발생 가능성에 대한 등급분류표 가이드라인이다. <표 5>와 <표 6>은 위험평가 값과 관리를 위한 위험승인 지위에 관한 등급 분류표이다.

<표 3> 재난 심각도 등급

등급	범주	환경, 안전, 그리고 건강에의 영향 범주
파국적 catastrophic	I	사망, 영구 완전장애, \$1M을 초과하는 손실, 또는 법이나 조례를 어기고 복구할 수 없을 정도로 심각하게 환경에 손실을 입힐 수 있는 결과를 가져올 수 있다.
위기적 critical	II	사망, 영구 부분장애, 적어도 3명의 직원을 초래하게 될 부상이나 직업적 질병, \$200K 이상 \$1M 미만의 손실, 또는 복구는 가능하지만 법이나 조례를 어기고 환경 손실을 입힐 수 있는 결과를 가져올 수 있다.
한계적 marginal	III	하루 이상 작업 불능일이 발생하는 부상이나 직업적 질병, \$10K 이상 \$200K 미만의 손실, 또는 법이나 조례를 어기지 않은 복구 가능한 환경 손실을 입힐 수 있는 결과를 가져올 수 있다.
무시 negligible	IV	작업불능일이 발생하지 않는 부상이나 질병, \$2K 이상 \$10K 미만의 손실, 또는 법이나 조례를 어기지 않은 최소한의 환경 손실을 입힐 수 있는 결과를 가져올 수 있다.

<표 4> 재난 발생가능성 수준

상 황	수 준	구체적 개별 아이템	운용단위장비 또는 재고
Frequent 자 주	A	제품의 수명기간 동안에 발생확률이 10^{-1} 이상으 로 자주 발생함.	계속적으로 발생함
Probable 가능성 있는	B	제품의 수명기간 동안에 발생확률이 10^{-2} 이상 10^{-1} 이하로 여러번 발생함.	자주 발생함
Occasional 가끔	C	제품의 수명기간 동안에 발생확률이 10^{-3} 이상 10^{-2} 이하로 상당히 발생이 예상됨.	여러번 발생함
Remote 드 문	D	제품의 수명기간 동안에 발생확률이 10^{-6} 이상 10^{-3} 이하로 발생하지 않을 것으로 예상되나, 가능 성은 있음.	잘 발생하지 않으나, 상당히 발생이 예상됨
Improbable 가능성이 적은	E	제품의 수명기간 동안에 발생확률이 10^{-6} 이하로 거의 발생 가능성이 없을 것으로 예상됨.	발생하지 않을 것으로 예상되나, 가능성은 있음

<표 5> 재난 위험평가 값의 예

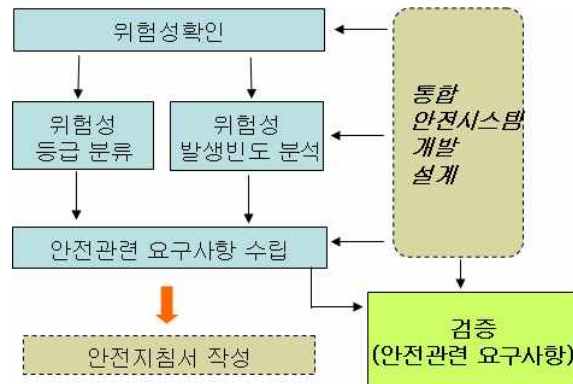
심각도 확률	Catastrophic 파국적	Critical 위기적	Marginal 한계적	Negligible 무시
frequent 자주	1	3	7	13
Probable 가능성있는	2	5	9	16
Occasional 가끔	4	6	11	18
Remote 드문	8	10	14	19
Improbable 가능성이 적은	12	15	17	20

<표 6> 재난 위험평가 값과 재난 위험 승인 지위의 예

재난 위험평가 값	재난 위험 범주	재난 위험 승인 지위
1-5	높음 High	부품 조달 기관장
6-9	심각함 Serious	프로그램 담당행정관
10-17	중간 Medium	프로그램 관리자
18-20	낮음 Low	지시사항에 따름

5. 리스크 관리와 평가도구

리스크관리(Risk Management)는 적절한 기반시설을 설치하고, 안전에 대한 문화를 수립하며, 리스크의 배경과 위험요소의 확인 및 분석, 평가를 행하고 위험감소 대책을 취급, 모니터링 한다. 또한, 리스크와 관련된 활동, 기능과 프로세스를 통하여 조직의 손실을 최소화하고 이익을 최대화하기 위해 논리적이고 체계적인 방법을 적용한다. 가장 효율적이기 위해서 리스크관리는 조직 문화의 일부분이 되어야 한다. 그것은 별도의 활동으로 실행되기 보다는 조직의 철학과 운영 그리고 사업프로세스에 내장되어야 한다. 이것이 달성되면 조직의 모든 구성원은 리스크를 관리하는데 참여하게 된다[5]. 리스크관리 프로세스의 주요 요소는 <그림 2>와 같으며 내용은 다음과 같다.



<그림 2> 리스크관리를 위한 안전 활동구조

(a)통합안전시스템 개발설계:

위험분석과 안전관련 요구사항과 특별히 관련된 요구사항을 제외한 모든 개발 활동

(b)위험성확인:

시스템의 정상 혹은 비정상적인 운영으로 사건 사고를 일으키는 상황에 대한 확인

(c)위험성 등급분류:

확인된 위험성의 심각도 수준

(d)위험성발생빈도 분석:

주어진 위험성에 이르게 하는 원인/결과 연결고리의 확인과 조사. 위험발생율의 계산:

(e)안전관련 요구사항 수립:

설계프로세스와 제품에 대한 요구사항의 서술

(f) 안전관련 요구사항 실행에 대한 검증:

안전관련 요구사항의 실행여부 (verification) 와 전형적인 (typical) 사용자와 이해관계자의 안전에 대한 기대대로 수행되었는가(validation) 에 대한 검증.

조직의 모든 구성원들은 시스템에 영향을 미치는 모든 활동에 대하여 위험평가를 행할 의무가 있다. 여러 가지 상황에 따라 위험평가 기술도 다르다. 이것을 반영하기 위하여 다음 세 가지에 대한 다양한 위험평가 도구를 개발한다.

- 정량적 위험평가(Quantified Risk Assessment)
- 고객 및 공중 위험평가(Customer and Public Risk Assessment)
- 작업장 위험평가(Workplace Risk Assessment)

평가도구를 이용하여 고객과 일반대중에게 재난을 일으킬 잠재적 주요 위험성에 대한 평가를 위해 정량적 위험 평가방법을 사용한다. 이것은 조직의 구성원들, 관련 운영기관, 운영 네트워크를 이루고 있는 기관에 의한 활동을 통하여 유입된 위험성을 포함한다. 그것은 또한 다른 네트워크에서 통제하는 시설물을 운행할 때의 위험성도 포함한다. 가장 일반적으로 많이 사용하는 위험평가 도구는 QRA(Quantified Risk Assessment)로서 고객과 일반대중, 그리고 종업원들의 위험성을 도출하는데 사용하고 있다. QRA는 위험성과 연관된 리스크를 모델화하는데 FTA와 ETA를 사용한다. 이 기술은 복잡한 사건의 조합을 모델링하는데 적합하다. FTA는 주요위험으로 이르게 하는 사건들의 조합 빈도를 평가한다. ETA는 사건들이 어떻게 단계적으로 확대되는지 구조를 나타낸다. 승객이나 일반대중에게 재난을 일으킬 잠재성을 가지고 있는 리스크가 QRA 모델에 의해 평가된다. 철도의 경우 QRA 모델에 의해 발견된 위험성 분석표는 <표 7>과 같다.

<표 7> 지하철의 리스크 개요 사례 (2003 년)

Top event	리스크(사망/년)	Top event	리스크 (사망/년)
전기	0.07	PTI-승강장 사고	5.30
열차간 충돌	1.82	SAA-에스컬레이터 사고	0.70
충돌 위험성	0.41	SAA-엘리베이터 사고	0.02
탈선	2.90	SAA-기타 사고	0.70
에스컬레이터 화재	0.03	역 화재	0.11
폭발	0.08	구조적인 고장	0.03
홍수	0.16	열차 화재	0.50
엘리베이터 화재	0.16	터널 화재	0.02
정전	0.07	불법 궤도 접근	1.28
PTI-열차안 사고	1.35	환기에 의한 위험성	0.005

리스크평가에서 발견된 사항들은 심각한 리스크를 중심으로 조직 내 안전승인위원회에 발표하여야 한다. QRA 발견사항들은 여러 관리자들과 연속된 발표를 통하여, 그리고 협력 업체들과는 위험성평가 포럼을 통하여 의견교환을 한다. 고객 및 공중에 대한 위험평가와 작업장위험평가 결과 발견된 사항들은 지역의 안전 관리자들과도 발표를 통한 의견교환을 한다.

네트워크 수준에서는 리스크 평가의 발견사항들에 대한 정보를 제공함으로써 리스크 기반의 사업계획수립을 개발할 수 있게 해준다. 이를 통해 리스크 허용수준을 넘는 지역 또는 분야를 확인하고 이것에 접근할 수 있는 프로그램을 개발한다. QRA의 Top event에 나타난 순서(rank)는 리스크 프로파일을 줄이기 위해 어떠한 프로그램이 개발되어야 하는지에 대한 우선순위를 확인해 준다. 더욱이, QRA는 운영 네트워크의 안전과 기술적 보증조치를 취하고, 위험통제의 효율성을 모니터링할 수 있는 정보를 제공한다.

6. 리스크 기반 경영관리를 위한 고려사항

리스크평가 결과를 기반으로 한 안전경영시스템을 성공적으로 적용하기 위해서는 경영자와 구성원들의 수행의지, 리스크 관리에 대한 조직 내에서의 문화적인 수용, 그리고 적절한 시점에서의 실행이다. 이러한 요소들을 달성하기 위하여 앞을 내다보는 대책이 필요한데 그것은 회사의 정책, 연속적인 안전관리 그리고 안전 훈련과 건전한 프로젝트 계획 수립이다.[13]

- 경영자와 구성원들의 수행의지:

회사차원에서 모든 운영관리와 사업 활동에 리스크 기반의 안전접근 방법을 수행할 의지를 가져야 한다. 임원과 상위관리자들은 공개적으로 대내외 적인 업무와 운영절차에 비교적 쉽게 달성할 수 있는 안전프로그램의 실행에 대하여 말과 행동으로 의지를 밝힌다.

- 리스크관리에 대한 구성원들의 문화:

운영기관의 실무자들에 의한 안전프로세스의 수용이 없이는 그 프로세스는 비효율적이 될 것이며 문서작업으로 끝날 것이다. 리스크 기반 접근은 엔지니어링 관점에서 볼 때 독단적으로 보이는 비교적 새로운 안전접근방법이다. 그러나, 대부분의 혁신이 그렇듯이, 리스크 기반의 접근은 전통주의와 변화를 싫어하는 사람들의 반대에 부딪히게 된다. 이와 맞서기 위해서는 운영기관에서 일상의 운영 활동이나 새로운 프로젝트의 설계활동에 리스크 기반의 접근방법을 업무에 완전히 통합시켜 관리 하여야 한다. 엔지니어에게 특히 초기에 여러 가지 위험분석과정(ETA, FTA, HAZOP, FMECA 등)에 의무적으로 참가하도록 하고, 그에 따른 권한을 부여하였다. 초기의 분석경험 이후 엔지니어들은 확인된 위험성에 대한 해법을 도출하는데도 참가하도록 하여 발견한 위험성을 경감시킬 수 있는 혁신적인 설계를 개발하도록 했다. 안전 프로세스에 대한 구조적이고 단계적이고 논리적인 접근을 일상적인 사고(thinking) 프로세스에 연결시킨 결과 엔지니어들이 프로세스가 제대로 작동

하고 단시간에 좋은 실적을 나타낼 수 있다는 것이 보이므로 이 접근법에 대한 수용이 쉽게 되었다.

• 위험성평가결과의 적용시점:

운영기관은 타이밍의 중요성을 인식하고 프로그램을 적절한 시간에 효율적으로 시작할 수 있도록 충분한 자원을 배치하여야 한다. 대체로 안전프로그램의 성격상 충분히 일찍 시작하기가 쉽지 않다. 신규 프로젝트인 경우 안전프로그램은 프로젝트의 개념설계 직후에 시작되어야 한다. 이 시점에 적용하여야 만이 위험감소조치가 공사가 시작된 다음이 아닌 설계과정에 반영된다. 통상적으로 초기설계단계에 위험감소조치를 반영하는데 드는 비용이 X이면, 세부설계 단계에 반영하는 데는 10X, 공사 중에 반영하는 데는 100X, 공사가 끝난 후에 적용하는 데는 1000X의 비용이 든다. 그러므로 리스크기반의 접근은 적절한 시점에 적용되어야 하며 효과적이고(저리스크) 효율적으로(저비용) 안전설계를 실현해야 한다는 것을 알아야 한다.

7. 결론

정량적 위험분석에 의한 리스크 기반의 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. 리스크기반의 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 모니터 되고 부족한 점이 확인되어 개선되는가
- 사건 등으로부터 배운 교훈이 어떻게 새로운 안전을 개발하고 적용하는데 사용되는가

리스크기반의 접근법을 시도하는 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.

참고문헌

- [1] 김맹선(2004), "민간항공안전의 체계적 개선에 관한 연구", 대한교통학회지 22, 17-33.
- [2] 한국원자력연구원(2006), 철도위험도평가도구 개발, 철도종합안전기술개발사업 연구보고서.
- [3] 한국철도기술연구원(2006), 철도사고 위험도 분석 및 평가체계 구축, 철도종합안전기술개발사업 연구보고서.
- [4] 홍석진, 김연명(2006), "항공안전 위기관리 모형 구축에 관한 연구", 대한교통학회지 24, 19-28.
- [5] EASIS(2006), Guidelines for establishing dependability requirements and performing hazard analysis.
- [6] EC SAMRAIL(2003), D.2.5.2:Risk Based Criteria for Safety Approval.
- [7] Elms David(2001), "Rail Safety", Reliability Engineering & System Safety 74, 291-297.
- [8] EN50126(1999), Railway applications - The Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS),CENELEC.
- [9] Health and Safety Laboratory(1999), Review of Railway Safety's Safety Risk Model(SRM), Human factor's group.
- [10] IEC 61508(1998), Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems, IEC.
- [11] ISO 14121(1999), Safety of machinery - Principles of risk assessment.
- [12] London Underground - Railway Safety Case (2006), Railways and Other Guided Transport Systems (Systems Regulations), October.
- [13] Lupton Bob, "The Application of a Risk Based Safety Approach to the Preliminary Design of West Rail"
- [14] ML-STD-882D(2000), Standard Practice for System Safety, U.S. Department of Defence.
- [15] Modarres, Kaminskiy, and Krivtsov(1999), Reliability Engineering and Risk Analysis, Marcel Dekker.
- [16] Nordland O., and F. Renpenning(2002), "Risk Acceptability Criteria for Railways", Elsevier Science.