

위험도 기반에 의한 사업계획수립과 경영관리  
-런던지하철 사례연구

Risk Based Approach to Business Planning and Management  
Control -Case Study on London Underground

정 원\* ·임승수\* ·왕종배\*\* · 박찬우\*\*

Jung, Won \* ·Lim, Seung Soo\* ·Wang, Jong Bae\*\* ·Park, Chan Woo\*\*

---

ABSTRACT

In railway business plan, operations require a strategic and sustained level of planned investment to ensure assets are fit for purpose over the whole of their planned life. Therefore it is essential that operator can confidently plan and predict capital investment requirements over a number of years.

This research addresses that how the London Underground apply a systematic risk based approach to their health and safety planning and investment decision making. Through this case study, we investigate the elements of management system that includes arrangements for the ongoing identification of hazards, assessment of risks and the implementation of necessary control measures. Risk based business planning processes are also addressed.

---

1. 서 론

런던 지하철(LU, London Underground)에서 안전계획수립(Safety Planning)은 지난 수년 동안 사업계획수립(Business Planning)의 필수적인 부분이 되어왔다. 많은 중요한 장기 위험감소계량치가 자산개선에 대한 제도와 시스템을 통하여 장기 자본투자 프로그램과 연계되어 있다[3]. 이는 법령에서 규정하는 철도운영기관에 대한 요구사항에 합치하기 위한 조치이며, 공중(public)이 사용할 수 있는 리스크 수준 유지라는 안전개선 목적을 달성하기 위해 위험성을 기반으로 한 우선 순위에 따라 자원을 배분하기 위한 방안이라고 할 수 있다.

철도운영에 있어서 모든 활동은 리스크를 내포하고 있다는 것을 인식하고 이것은 여러 가지 활동의 복합적인 조합으로부터 일어나며, 조직의 조건과 물리적인 시스템 그리고 철도운영이 본질적으로 가지고 있는 리스크를 통제해나가는 시스템이 가지고 있는 효율성의 정도에 따라 다르게 발생한다. 철도운영기관의 주된 과제로는[1]

- 철도선로, 차량 그리고 통제시스템의 적합성에 대한 보증
- 자격 있는 인적자원의 확보와 훈련을 통한 질적 수준유지

---

\*대구대학교 산업시스템공학과, 정회원 \*\*철도기술연구원 철도시스템안전연구본부, 정회원  
E-mail: wjung@daegu.ac.kr

- 내규와 법규의 관리
- 시스템의 수준을 향상시키기 위한 사건사고 관리
- 공중과의 인터페이스 관리(정치적 이슈포함)
- 변경사항에 대한 관리

런던지하철은 궤도길이 865Km의 12개 노선, 275개의 역을 운영하고 있다. 런던지하철은 어떠한 시스템도 약점을 가지고 있다는 것을 인식하고 있으며 Health Safety & Environment Management 라는 회사조직을 통하여 지속적이고 합리적이며 실행 가능한 방법으로 리스크를 더욱 감소시킬 수 있도록 약점을 발견, 분석 그리고 해결에 접근하기 위한 제도를 가지고 있다. 또한, 리스크에 대한 이해와 리스크통제의 효율성에 약점이 있다는 것을 알고 있으며 이는 런던지하철 네트워크의 복잡한 물리적환경과 인간의 업무능력, 지식과 기술의 차이와 변화에 기인한다는 것을 인지하고 있다.

본 연구에서는 런던지하철의 운영사례를 통하여 체계적인 위험성평가가 철도사업의 의사결정과 경영관리에 어떻게 적용되고 있는지를 살펴보고자 한다. 사례연구를 통하여 건강, 안전 및 환경 목표치를 달성하기 위해 위험확인, 위험평가, 그리고 필요한 위험관리요소가 경영시스템에 어떻게 포함되어 있는지를 살펴보고, 위험도를 기반으로 한 사업계획 프로세스를 연구한다.

## 2. 위험도기반에 의한 사업계획 수립

런던지하철에서는 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 접근방법에서는 일어날 수 있는 모든 손실을 금액으로 표시할 수 있어야 한다[4].

런던지하철의 위험도 평가의 결과물은 사업계획수립 프로세스에 입력되어 새로운 법규에 대처하고, 적절한 건강, 안전 그리고 환경 목적을 수립하며, 목적의 달성을 위한 경영관리 프로그램을 만드는데 활용된다. 또한 위험도 평가를 기반으로 하여 사업에 필요한 제반사항들이 ALARP 수준에 있도록 또는 그 수준으로 감소되도록 우선순위를 결정한다.

철도사업체의 운영에 있어서 회사의 자산은 계획된 목적에 부합되도록 전략적이고 지속적인 관리와 투자가 요구된다. 그러므로, 회사는 앞으로 수년간의 자본투자 요구사항을 신뢰할 수 있는 수준으로 계획하고 예측하는 것이 필수적이다. 런던지하철의 자본투자는 회사수준에서 다음 세 가지 정해진 절차에 의해 이루어진다.

- 투자평가를 포함한 회사 경영계획 수립 사이클
- 안전개선계획과 그와 연관된 실적 계량치
- 기반시설관리 또는 개선을 해주는 협력업체와의 계약내용

런던지하철은 자체 사업계획 수립 표준(LU Standard for Business Planning)을 제정하여 사업계

획 수립 과정의 중요한 부분으로서 건강과 안전을 확실히 하는데 요구되는 사항들에 초점을 맞추었다. LU Business Plan의 내용은 법 규정, LU의 건강, 안전, 환경 정책과 개선요구사항, 그리고 이 세 가지에 대하여 위험도와 자원이 적절한 균형을 이루도록 한다. 이를 달성하기 위하여 다음과 같은 입력물(input)을 가지고 전략적 계획을 수립한다.

- 새로운 법이나 정부의 지시(interference)와 같은 외부 영향
- 고객과 작업장에 대한 정량적인 위험도평가 결과
- 고객과 일반대중의 관심사항
- 안전 또는 사업상의 심사결과
- 자원계획수립

이 프로세스의 출력물(output)이 사업계획과 안전개선계획이다. 사업계획을 세우는데 있어 최우선 순위인 고객과 종업원의 안전과 건강을 확실히 하는데 요구되는 사항을 투자계획에 포함하여 회사의 자원을 우선순위에 맞도록 배분한다. LU 사업계획은 안전심사그룹에 의해 건강과 안전측면에서 적절하다고 확인되었을 때 LU Board에 의해 승인될 수 있다.

### 3. 위험도 허용범위

#### 3.1 ALARP

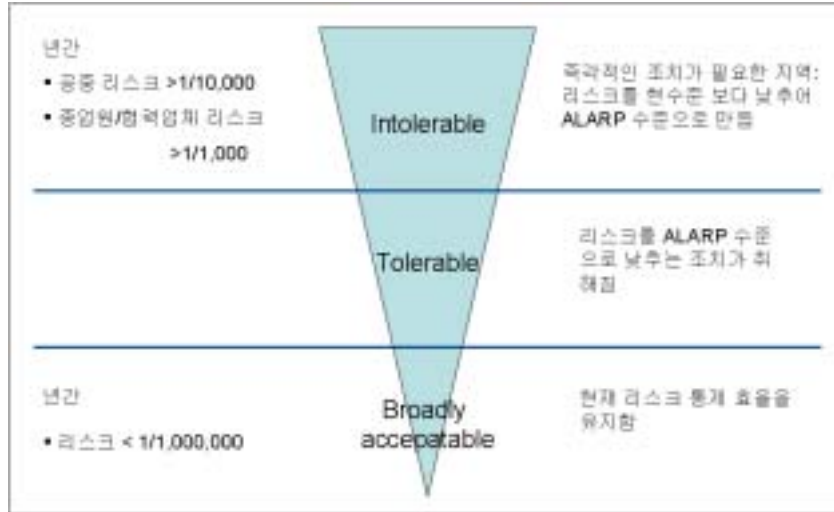
철도시스템은 필연적으로 손실이나 부상의 리스크를 내포하고 있다. 이 리스크는 대중에 의해 허용할 수 있는 수준으로 감소되어야 한다[5]. CENELEC(the European Committee for Electrotechnical Standardization)[2]에는 포괄적인 안전표준은 수립되어 있지만 리스크의 허용범위는 구체적으로 제시하지 않았다. 영국에서는 ALARP(as low as reasonably practicable)의 원리를 사용하였다.

런던지하철은 구성원들에게 현재의 운영상 일어나는 위험도가 ALARP 수준이라는 것을 확실히 할 의무를 부여하고 있다. 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.

시스템 리스크는 철도운영으로 인한 활동이나 고장으로 인해 고객, 종업원, 협력업체 종사자, 네트워크의 다른 철도운영자 그리고 다른 제3자에게 일어나는 모든 안전리스크를 포함한다. 시스템 리스크는 위험도평가 기법을 사용하여 확인되고 평가된다.

안전에 대한 의사결정을 위해 런던지하철이 채택한 ALARP는 <그림 1>과 같다.

위험도에 대한 평가값이 확인되고 의사결정이 이루어지면 위험요소가 ALARP 수준으로 통제되는 것이 증명될 수 있도록 가장 좋은 실행계획의 적용방법을 고려하여야 한다. 가장 좋은 실행계획을 결정하는데 있어 철도산업 또는 유사한 계통에서 사용되고 있는 안전한 방안을 고려한다.



<그림 1> 위험도 허용한계

### 3.2 위험도 평가 방법

런던지하철 그룹의 모든 구성원들은 HSEMS Standard(Assessment and Management of Health, Safety and Environmental Risk)에 의거하여 철도에 영향을 미치는 모든 활동에 대하여 위험평가를 행할 의무가 있다. 여러 가지 상황에 따라 위험평가 기술도 다르다. 이것을 반영하기 위하여 다음 세가지에 대한 다양한 위험평가 도구를 개발하였다.

- 정량적 위험평가(LU Quantified Risk Assessment)
- 승객 위험평가(Customer Risk Assessment)
- 작업장 위험평가(Workplace Risk Assessment)

평가도구를 이용하여 고객과 일반대중에게 재난을 일으킬 잠재적 주요 위험성에 대한 평가를 위해 정량적 위험 평가방법을 사용한다. 이것은 LU Group 구성원들, 다른 철도운영기관, 다른 역 운영기관과 철도 네트워크를 이루고 있는 기관에 의한 활동을 통하여 런던지하철에 유입된 위험성을 포함한다. 그것은 또한 다른 네트워크에서 통제하는 시설물을 운행할 때의 위험성도 포함한다. 런던지하철의 위험평가 도구는 LU QRA(Quantified Risk Assessment) 모델로서 승객과 일반대중, 그리고 종업원들의 위험성을 도출하는데 사용하고 있다.

LU QRA는 위험성과 연관된 리스크를 모델화하는데 FTA와 ETA를 사용한다. 이 기술은 복잡한 event의 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 LU QRA 모델에 의해 평가된다. QRA 모델에 의해 발견된 위험성 분석표는 <표 1>과 같다.

<표 1> LU의 리스크 Profile (2003 년)

Top event	위험도 (사망/년)	Top event	위험도 (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 레도 접근	1.28
PTI-열차안 사고	1.35	환기에 의한 위험성	0.005

위험도평가에서 발견된 사항들은 심각한 위험도를 중심으로 안전승인위원회에 발표하여야 한다. LU QRA 발견사항들은 여러 관리자들과 연속된 발표를 통하여, 그리고 협력업체들과는 위험성 평가 포럼을 통하여 의견교환을 한다. 승객위험평가와 작업장위험평가 결과 발견된 사항들은 지역의 안전 관리자들과도 발표를 통한 의견교환을 한다.

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

#### 4. 위험도기반의 성공을 위한 핵심 요소

위험도기반의 접근이 성공적으로 적용되기 위해서는 세가지 요소가 매우 중요하다[4]. 즉, 수행의지(commitment), 문화적 용인(cultural acceptance), 그리고 시의적절한(timing) 시행이다. 이러한 요소들을 달성하기 위하여 앞을 내다보는 대책이 필요한데 그것은 회사의 정책, 연속적인 안전관리 그리고 안전 훈련과 건전한 프로젝트 계획 수립이다. 각각의 요소를 살펴보면,

- **수행의지** - 회사차원에서 모든 운영관리와 사업 활동에 위험도 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.
- **문화적 용인** - 운영기관의 실무자들에 의한 안전프로세스의 수용이 없이는 그 프로세스는 비효율적이 될 것이며 문서작업으로 끝날 것이다. 많은 철도프로젝트는 비효율적인 안전관리로 인한 심한 고통을 겪었다. 보통 외부 컨설턴트에 의해 작성된 실무와 거리가 있는 두꺼운 ‘안전실무 지침’ 만 만들게 된다.

위험도 기반 접근은 엔지니어링 관점에서 볼 때 독단적으로 보이는 비교적 새로운 안전접근방법

이다. 그러나, 대부분의 혁신이 그렇듯이, 위험도 기반의 접근은 전통주의와 변화를 싫어하는 사람들의 반대에 부딪히게 된다. 이와 맞서기 위해서는 운영기관에서 일상의 운영 활동이나 새로운 프로젝트의 설계활동에 위험도 기반의 접근방법을 업무에 완전히 통합시켜 관리 하여야 한다. 이 방법을 먼저 적용한 철도운영기관의 경우 프로그램을 수용하게 된 주된 전환점은 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 작동하고 단시간에 좋은 실적을 나타낼 수 있다는 것이 보이므로 이 접근법에 대한 수용이 쉽게 되었다.

사외적으로는 컨설턴트나 협력업체의 기술자들에게 비슷한 접근방법으로 적용문화를 채택하도록 하였다. 같이 참가하여 책임을 수용하게 함으로서 안전에 관한 문서는 최소화 하면서 안전을 충분히 고려한 예비설계의 개발이 가능하게 되었다. 모든 운영기관의 안전철학은 운영이나 설계에서의 안전이지 문서상에서의 안전이 아니다.

• **적용시점의 적절성** - 전적인 수행의지와 문화적인 수용이 있다 하더라도 위험도기반 안전프로그램의 적용 시점이 적절하지 않으면 많은 문제가 발생한다. 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 위험도기반의 접근은 적절한 시점에 적용되어야 하며 효과적이고(저위험도) 효율적으로(저비용) 안전설계를 실현해야 한다는 것을 알아야 한다.

## 5. 결 론

런던지하철은 사업계획수립에 있어 위험도기반의 접근방법을 적용하여 사업의 우선순위를 결정하며 필요한 제반사항들이 ALARP 수준을 유지하도록 경영관리를 행한다. 위험도기반의 접근을 업무에 적용하는 것은 안전한 철도업무의 기반이라고 생각된다. 이 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. 운영기관은 위험도 기반의 접근법으로 위험도가 가장 큰 분야를 부각시켜 그 분야에 자원을 배분함으로써 안전수행성을 최대화 하고 안전비용은 최소화하는 것이 목표이다. ALARP 원리의 사용목표는 수용할 수 없는 모든 위험성을 제거하고 세심한 비용대비 효용분석을 행하여 대부분이 수용할 수 있는 ALARP 수준으로 리스크를 최소화하는 것이다.

## 참고문헌

[1] Elms David, "Rail Safety", Reliability Engineering & System Safety 74, pp.291-297,

2001

- [2] EN50126, *Railway applications - The Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)*, CENELEC, 1999
- [3] London Underground - Railway Safety Case Version 4.0, Railways and Other Guided Transport Systems (Systems Regulations), October 2006
- [4] Lupton Bob, "The Application of a Risk Based Safety Approach to the Preliminary Design of West Rail"
- [5] Nordland O., and F. Renpenning, "Risk Acceptability Criteria for Railways", Elsevier Science, 2002.