

철도시스템의 위험도 허용 기준 개발에 관한 연구

The Study of Risk Acceptance Criteria for Railway System

김영상*
Kim, Young-Sang

맹희영**
Maeng, Hee-Young

왕종배***
Wang, Jong-Bae

ABSTRACT

Safety Management of Korean railway industry has been rapidly changed into a risk-based approach adopted by developed countries since Railway Safety Act 2004, Rolling Stock Risk Assessment Guidance and its following regulations came into force. The fundamental requirements for the risk-based safety management is to carry out a systematic hazard identification and quantified risk analyses including cost-benefit analyses, but there has been rare a serious discussion over risk acceptance criteria and value of life in order to be able to judge the results of risk analyses and carry out cost-benefit analyses.

This study presents the results of a review of risk acceptance criteria and value of life which may be adopted to Korean railway industry through the analyses with comparison of risk acceptance principles and risk acceptance criteria which have been already applied to other countries or other railway operators.

1. 서 론

철도안전법과 철도차량안전에 관한 규칙 등 철도안전관련 법규의 시행에 따라 국내의 철도안전관리는 철도선진국에서 채택하고 있는 위험도 기반의 안전관리(risk based approach to safety management)로 급격히 변화되고 있다. 이러한 위험도 기반의 안전관리는 체계적인 위험원 식별(hazard identification)과 위험도 평가기준(risk criteria)의 설정 및 비용-편익 분석(cost-benefit analysis)을 포함한 정량적 위험도 평가(quantified risk analysis)를 기본요건으로 하고 있다.

그러나 국내 철도산업의 경우 위험도 평가의 기본절차와 방식은 지속적으로 소개되어 왔으나, 위험도 평가와 비용-편익 분석을 가능케 하는 위험도 허용기준과 생명의 금전적 가치에 대한 논의는 충분히 이루어지지 않고 있다. 이러한 문제는 운영기관과 시스템 공급자간에 이루어져야할 합리적인 위험도 평가와 안전성 관리 및 안전성 검증을 곤란하게 하고 있으며, 정부 및 철도관련기관의 합리적인 철도안전투자 관련 의사결정에 바탕이 되는 완전한 ALARP 원리의 적용을 불가능하게 하고 있다.

따라서 본 연구에서는 다른 국가 또는 철도운영기관들이 사용하고 있는 정성적, 정량적 위험도 평가기준과 생명의 금전적 가치 설정에 관해 비교분석함으로써, 국내철도산업에 위험도 기반 안전관리가 보다 원활하게 적용될수 있도록 위험도 평가기준과 생명가치의 개발을 위한 가이드라인을 제시하고자 한다.

* Lloyd's Register Asia, Rail & Risk, 정회원

E-mail : young-sang.kim@lr.org

TEL : (02)3703-7565 FAX : (02)782-1659

** 서울산업대학교, 기계설계자동화

*** 한국철도기술연구원, 철도종합안전기술개발사업단

2. 위험도 허용 기준

2.1 정성적 기준

정성적 평가는 위험원의 발생빈도와 초래되는 사고의 크기, 즉 인명사상, 서비스 중단 또는 금전적 손실을 조합하여 위험도의 등급을 구분하고, 식별된 위험원별로 해당하는 위험도 등급을 할당하고 평가하는 방법이다. 주로 위험도 매트릭스(risk matrix)의 형태로 평가기준이 제시된다. 위험도 매트릭스의 개발을 위해서는 운영노선별 또는 운영기관별로 사고관련 이력이나 규정 등을 기초로 위험원 발생빈도와 사고의 크기 및 위험도 카테고리의 적절한 구분과 정의가 이루어져야 한다.

2.2 정량적 기준

완전한 정량적 위험도 평가는 정성적 평가와 달리, 특정 위험원별 발생빈도와 그로 인해 발생할 수 있는 사고결과(사망 및 부상)를 연간 발생가능건수로 수치화한 뒤 이를 합하여 연간 위험도 허용기준과 직접 비교하는 평가방법이다. 정량적 위험도 기준에는 개인별 위험도(individual risk), 사회적 위험도(societal risk) 및 총합적 위험도(collective risk)가 있다. 개별 철도 운영기관에서 직접 총합적 위험도 기준을 정하고 관리하는 경우는 드물다. 따라서 본 논의에서는 제외한다.

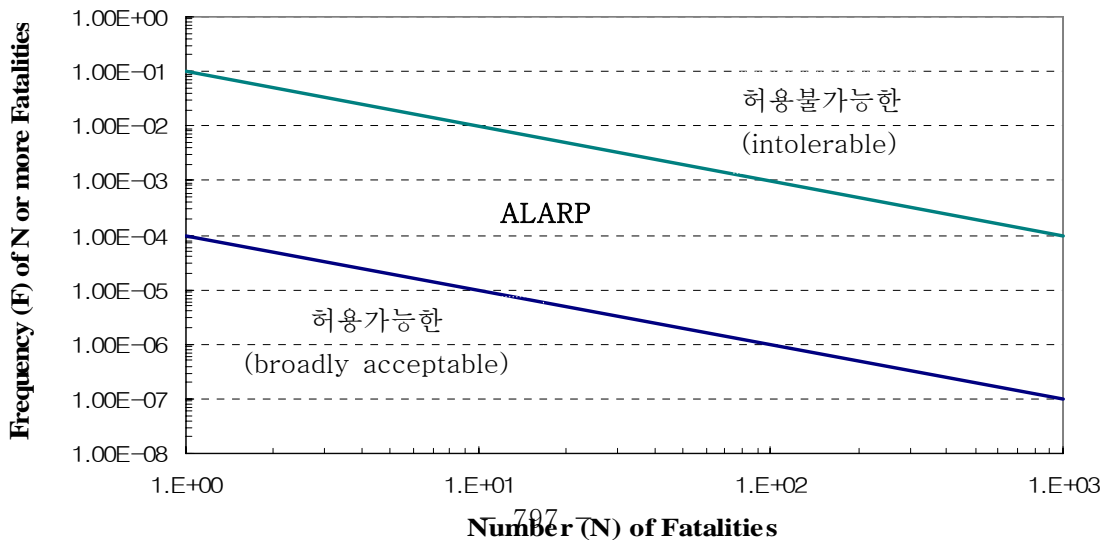
2.3 일반산업의 정량적 위험도 허용기준

일반산업 분야에 적용되는 위험도 허용기준을 직접 철도분야에 적용할 수는 없으나, 그 사회의 일반적인 위험도 허용기준을 나타내는 것이므로, 철도산업의 위험도 허용기준 수립을 위해서는 일반산업에서 적용하고 있는 위험도 수준을 먼저 고려할 필요가 있다. 그러나 국내에는 국가차원 또는 산업분야에서 일반적으로 적용되는 위험도 허용기준 또는 목표가 수립되어 있지 않다. 따라서 영국, 네델란드, 호주, 홍콩 등 해외 국가의 위험도 허용기준을 살펴봄으로써 국내 철도에 적용가능한 위험도 허용수준을 추정할 수 있을 것이다.

영국의 경우 1974년 산업안전보건법(Health and Safety at Work Act 1974)에서 고용주들로 하여금 위험도 개선이 실행가능(reasonably practicable)할 경우 반드시 적용하도록 강제하기 시작하였다. 이후 ALARP 원리 적용을 위한 보다 구체적인 위험도의 허용기준 개발이 이루어졌다. 1987년 발행되고 1992년 개정된 “원자력 발전소의 위험도에 관한 건강 및 안전 보고서”가 사회적 위험도 허용기준으로 널리 사용되어 왔다. 이 기준은 주요 대형 석유화학 플랜트 분야에 적용되어 그 유효성이 확인된 이래 현재 전 세계의 주요 산업에서 일반적인 기준으로 사용되고 있다.

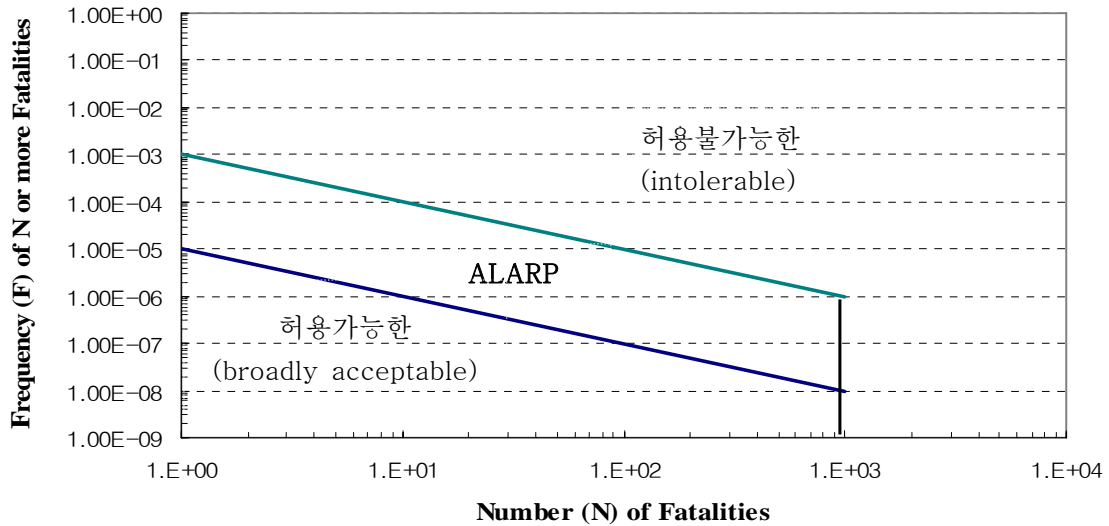
이 기준은 산업 근로자들에 대해 정상적인 근무상태에서 개인별 위험도 상한을 연간 $1E-3$, 공중의 경우 연간 $1E-4$, 허용가능한 하한을 연간 $1E-06$ 이하로 규정하였다. 개정본은 신규 시스템에 대해 허용불가능한(intolerable) 위험도 상한을 근로자에 대해서는 $1E-4$, 공중의 경우 연간 $1E-05$ 로 다소 엄격하게 요구하고 있다. 개정본에서는 위험화물 취급과 관련된 사회적 위험도 기준을 제시하고 있다.

그림 1. 사회적 위험도 기준 - 영국 위험화물 운송 연구



네델란드와 호주의 경우 중앙정부에서 공중의 개인별 위험도 상한을 동일하게 연간 1E-06으로 정하고 있으며, 홍콩의 경우 잠재적 위험시설 주변 토지이용 계획시의 공중의 개인별 기준은 연간 1E-05로 별도의 ALARP 구간은 정하고 있지 않으며, 사회적 위험도는 그림 2에 나타나 있다.

그림 2 홍콩의 사회적 위험도 기준



2.4 철도분야의 위험도 허용기준

2.4.1 정성적 기준

1) EN 50126(또는 IEC 62278, KS C IEC 62278)의 위험도 매트릭스

EN 50126에는 다음과 같은 위험도 매트릭스의 예가 제시되어 있다. 그러나 실제 사용시에는 위험원의 발생빈도와 사고 심각도에 대해 운영기관이 직접 적용 노선조건을 고려한 별도의 구체적인 분류와 정의를 하여야 한다.

표 1. EN 50126의 위험도 매트릭스

Frequency of occurrence of hazardous event	Risk levels			
	Frequent	Undesirable	Intolerable	Intolerable
Probable	Tolerable	Undesirable	Intolerable	Intolerable
Occasional	Tolerable	Undesirable	Undesirable	Intolerable
Remote	Negligible	Tolerable	Undesirable	Undesirable
Improbable	Negligible	Negligible	Tolerable	Tolerable
Incredible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible
	Insignificant	Marginal	Critical	Catastrophic
	Severity levels of hazardous event			

2) 영국 Network Rail의 위험도 매트릭스

표 2는 영국 Network Rail 및 철도운영회사들이 널리 사용하는 위험도 매트릭스이다. 보다 세부적인 검토가 필요한 위험원을 사전에 구분해내기 위해 사용하며, 보통 10 이상의 위험도를 가지는 위험원들에 대해서는 별도의 상세한 위험도 분석을 진행한다.

표 2. 영국 Network Rail의 위험도 매트릭스

Severity of Potential Harm/Loss							
			5	4	3	2	1
Safety Harm			Multi-Fatalities	Single Fatality	Major Injuries	Major Injuries	Minor Injuries
Commercial Loss			Catastrophic Loss	Significant Loss	Moderate Loss	Minor Loss	Minimal Loss
Environmental Loss			Catastrophic Loss / Long Term Damage	Significant Loss / Medium Term Damage	Moderate Loss / Short Term Damage	Minor Loss	Minimal Loss
Frequency	Daily to Monthly	5	25	20	15	10	5
	Monthly to Yearly	4	20	16	12	8	4
	1-5 years	3	15	12	9	6	3
	5-10 years	2	10	8	6	4	2
	>10 years	1	5	4	3	2	2

3) 홍콩 MTRC의 위험도 매트릭스

홍콩 MTRC에서 개발한 위험도 매트릭스가 표 3에 나타나 있다. 여기서 R1은 허용가능하지 않은 (unacceptable) 위험도를 나타내며, R4의 경우는 대부분 특별한 조치를 필요로 하지 않는 매우 경미한 위험도 수준(broadly acceptable)을 나타낸다. R2와 R3는 ALARP 원리를 사용하여 추가적인 조치의 필요 여부를 결정해야 하는(undesirable or tolerable) ALARP 영역을 나타낸다.

표 3. 홍콩 MTRC의 위험도 매트릭스

Severity \ Frequency	Trivial (Minor service impact only)	Negligible (Major service impact only)	Marginal (up to 0.05 EF)	Serious (0.05-50 EF)	Critical (5-50 EF)	Catastrophic (up to 0.05 EF)	Disastrous (>50 EF)
>100/yr	R3	R1	R1	R1	R1	R1	R1
10-100/yr	R4	R1	R1	R1	R1	R1	R1
1-10/yr	R4	R2	R1	R1	R1	R1	R1
10 ⁻¹ -1/yr	R4	R3	R2	R1	R1	R1	R1
10 ⁻² -10 ⁻¹ /yr	R4	R3	R3	R2	R1	R1	R1
10 ⁻³ -10 ⁻² /yr	R4	R4	R3	R3	R2	R1	R1
10 ⁻⁴ -10 ⁻³ /yr	R4	R4	R4	R3	R3	R2	R1
10 ⁻⁵ -10 ⁻⁴ /yr	R4	R4	R4	R4	R3	R3	R2
10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵ /yr	R4	R4	R4	R4	R4	R3	R2
<10 ⁻⁶ /yr	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R3

4) 미 국방성 규격의 위험도 매트릭스

미국방성 규격(Mil-Std-882D(8))에는 다음의 위험도 매트릭스가 제시되고 있다. 여기서, 위험원의 발생빈도는 해당 제품의 수명주기이며, 심각도는 표에 표시한 손실금액 외에 사망이나 영구장애, 법률의 위반, 환경의 미치는 영향, 업무에 미치는 정도를 고려하여 정하도록 하고 있다.

표 4. 미 국방성의 위험도 매트릭스

Probability	Severity		Catastrophic (Loss >US\$1.0M)	Critical (200K -1.0M)	Marginal (10K-200K)	Negligible (2K-10K)
	A	>10 ⁻¹	1	3	7	13
Probable	B	10 ⁻² -10 ⁻¹	2	5	9	16

Occasional	C	10^{-3} - 10^{-2}	4	6	11	18
Remote	D	10^{-6} - 10^{-3}	8	10	14	19
Improbable	E	$<10^{-6}$	12	15	17	20

2.4.2 정량적 기준

1) Network Rail

Network Rail의 개인별 위험도 허용기준은 “Engineering Safety Management(Yellow Book)”에 나타나 있다.

표 5. Network Rail의 개인별 위험도 기준

그룹	상한(연간 사망자수)	하한(연간 사망자수)
승객	1E-04	1E-06
직원	1E-03	1E-06
공중	1E-04	1E-06

2) 유로터널

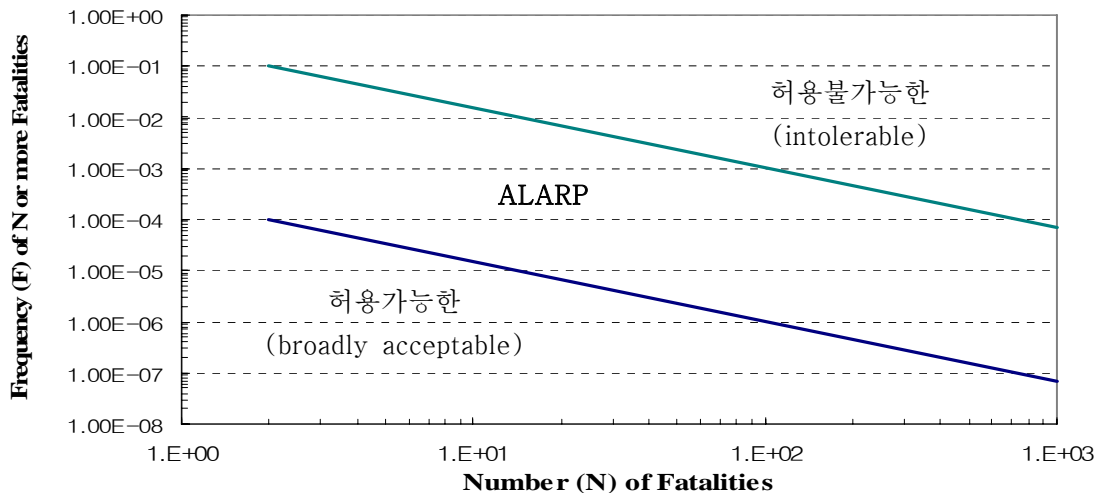
표 6은 유로터널의 안전보고서에서 사용된 개인별 위험도 기준을 나타내고 있다. 제시된 기준은 유로터널이 완전지하구간으로 높은 위험도가 존재함에도 불구하고, 완전히 새로운 프로젝트로서 신기술이 적용되는 점을 고려하여 영국의 기존 철도에 적용되는 것과 같은 수준의 위험도를 설정하였다.

표 6. 유로터널의 개인별 위험도 기준

그룹	상한		하한	
	Journey 당 연간 사망 위험도	연간 사망 위험도	Journey 당 연간 사망 위험도	연간 사망 위험도
승객	4.7E-08	2.4E-05	4.7E-11	2.4E-08
직원	-	1E-03	-	1E-06
공중	-	-	-	-

유로터널의 경우 건널목이나 자살 등의 공중사고의 우려가 없으므로 공중에 대한 위험은 설정하지 않았다. 사회적 위험도는 그림 3에 나타나 있다.

그림 3. 유로터널의 사회적 위험도 기준



3) 유로터널 연결철도(CTRL)

유니온 철도는 런던 St Pancras 역과 유로터널간의 고속철도를 건설하는 유로터널 연결철도(CTRL) 회사로서, 안전보고서(Safety Case) 개발을 위해 표 7에 나타난 바와 같이 사망자수를 기준한 개인별 위험도를 개발하였다. Network Rail의 경우와 직원 개인별 위험도의 하한을 제외하고 동일하다.

표 7. 유니온 철도의 개인별 위험도 기준

그룹	상한(연간 사망자수)	하한(연간 사망자수)
승객	1E-04	1E-06
직원	1E-03	1E-05
공중	1E-04	1E-06

4) 런던지하철

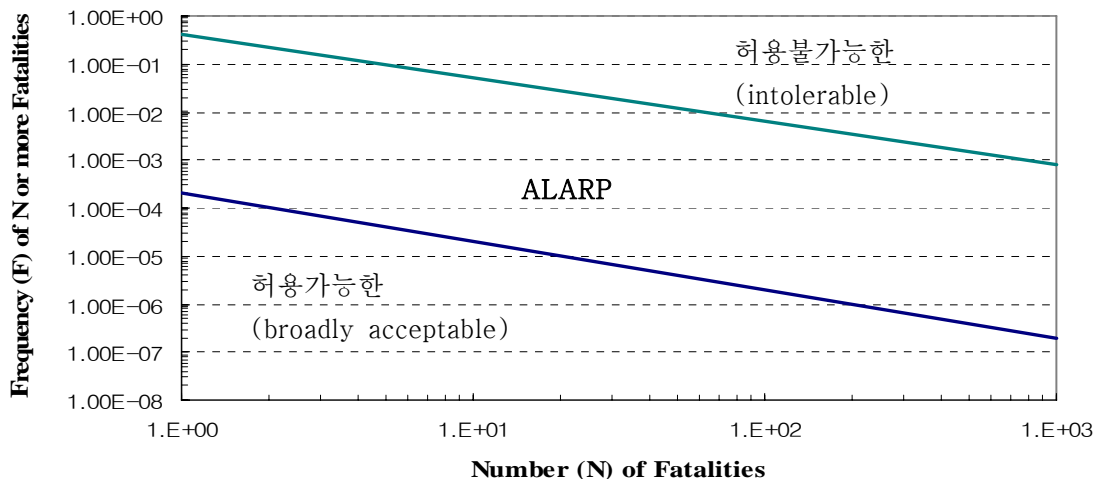
런던지하철의 경우 기존선에서의 개인별 위험도는 Network Rail의 위험도 허용기준과 동일하게 사용하고 있으나, Jubilee 라인 연장노선의 안전보고서에서는 표 8의 개인별 위험도 허용기준을 사용하였다. 개인별 위험도 기준은 연간 약 500회 이용하는 정기통근자들 기준으로 만들어졌다. 따라서 공중에 대한 위험도는 별도로 설정하지 않았다.

표 8. 런던지하철의 Jubilee 라인 연장선의 개인별 위험도

그룹	상한(연간 사망자수)	하한(연간 사망자수)
승객	5E-06	5E-09
직원	1E-04	1E-07
공중	-	-

그림 4는 Jubilee 라인의 사회적 위험도이다, F-N 곡선은 기존 영국철도의 여객운영 자료를 토대로 향후 승객 증가치를 고려하여 작성되었으며 유로터널의 경우와 거의 흡사하다.

그림 4. Jubilee 라인 연장선의 사회적 위험도 기준



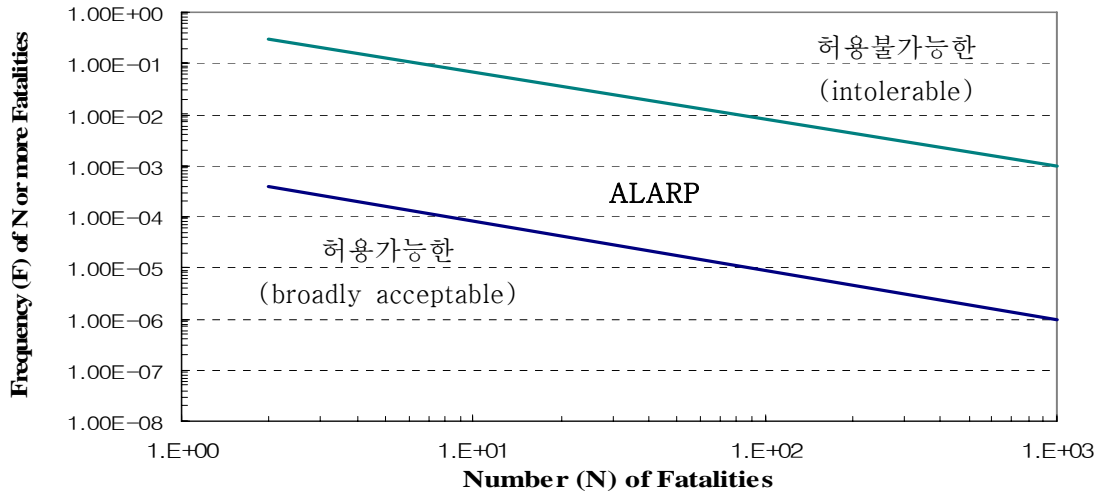
5) 홍콩

홍콩의 KCRC와 1996년 등가사망자수로 나타난 개인별 위험도와 사회적 위험도 기준을 개발하였으며, MTRC는 사회적 위험도는 적용하지 않고 있다.

표 9. 홍콩 KCRC와 MTRC의 개인별 위험도 허용기준

그룹	상한(연간 사망자수)		하한(연간 사망자수)	
	KCRC	MTRC	KCRC	MTRC
승객	1E-04	1E-05	1E-06	1E-07
직원	1E-03	1E-03	1E-06	1E-06
공중	1E-04	1E-05	1E-06	1E-07

그림 5. 홍콩 KCRC의 사회적 위험도 기준



6) 국제 도로사고 위험도

표 10은 국가별 도로교통사고로 인한 개인별 사망 위험도를 나타낸다.

표 10. 국가별 도로교통사고의 개인별 위험도

국가	연간 개인별 사망 위험도	국가	연간 개인별 사망 위험도
포르투갈	2.9E-04	네델란드	9.0E-05
프랑스	1.5E-04	영국	6.0E-05
아일랜드	1.2E-04	호주	1.66E-05

3. 생명가치(VPF : Value of Life 또는 Value for Preventing a Fatality)

ALARP 영역에서 비용-편익 분석을 수행하기 위해서는 생명가치를 금전적 가치로 환산하는 것이 편리하다. 영국에서는 여러 산업분야에서 이미 VPF 값을 사용해 오고 있다. 특히, 영국 교통부에서 도로 교통 안전투자의 우선순위를 정하기 위해 VPF 값을 사용하고 있다.

3.1 영국 교통부(DOT : Department of Transport)

1980대 중반까지 영국교통부에서는 교통사고시 국가가 지출하는 비용(경찰, 구급차, 병원비, 생산손실, 희생자 및 그 가족에 대한 국가보상비 등)을 계산하여 이를 근거로 £250,000의 VPF를 경제모델 분석에 사용하였다. 1980년대말에는 일정 수준의 안전개선을 위해 대중 또는 개인이 요금이나 세금으로 어느 정도 추가 지불할 의사(Willingness to Pay)가 있는지에 관해 이루어진 미국과 영국의 WTP 모델 연구결과가 이전의 계산을 대체하였다. 10여년에 걸친 45개 연구결과 £500,000 - £14M 에 걸친 금액이 제시되었으며, 영국 교통부에서는 그 하한치인 £500,000을 투자결정시 기준으로 사용하기 시작하였다. 현재는 물가상승률을 고려하여 £950,000가 사용되고 있다.

3.2 Network Rail

Network Rail은 자신의 책임의 정도와 피해자의 사건 통제가능 정도에 따라 3가지 경우로 나누어 분석하였다. 무단횡단이나 고의적 파괴행위와 같은 불법행위로 인한 사고의 경우 Network Rail의 책임이 가장 적고 사실상 통제가 불가능하므로 영국 교통부 적용수치의 절반인 £475,000을 적용하였다. 그 외에 건널목 사고, 역사내 보행사고 및 사무실 내에서 발생하는 직원 관련 사고처럼 피해자와 Network Rail의 책임이 비슷한 경우 £1.3M을 적용하였다. Network Rail의 책임이 매우 큰 화재, 충돌, 탈선, 유독성 가스의 누출, 폭발과 같은 위험물질 관련사고와 위험작업에 의한 직원들의 사망의 경우 역시 £1.3M을 적용하였다. HSE에서는 Network Rail의 VPF를 비롯한 정부기관간의 차이가 있는 VPF 값을 표준화기 위한 검토를 진행하고 있다. 현재 Network Rail의 VPF는 철도운영기관들의 ALARP 원리 적용을 위한 기준으로 사용되고 있으며, 이러한 ALARP 원리는 영국의 ERTMS 사업에서 도입타당성 검토 시 의사결정의 기준으로 사용되기도 하였다.

3.3 런던지하철

런던지하철의 경우 뉴캐슬대학에서 수행한 연구결과에 따라 £1.4M과 £2M을 사용하고 있다. 여기서 £2M의 경우는 영업손실에 대한 추정치를 포함한 수치이다.

3.4 홍콩 MTRC과 KCRC(현재 MTRC로 통합)

홍콩 MTRC는 일인당 HK\$12M를 VPF로 적용하고 있으며, KCRC의 경우는 자신들이 주된 책임을 갖는 사고의 경우 HK\$15M, 불법행위에 대해서는 HK\$6M을 적용하였다.

3.5 호주

호주의 도로교통부(National Roads Authority)에서는 2007년을 기준하여 다음의 VPF 수치를 사용하고 있다. 이 가치는 매년 인플레이션을 고려하여 개정되고 있다.

- 사망 : AU\$1,500,000
- 중상 : AU\$325,000
- 경상 : AU\$11,611

4. 결론

앞에서 일반산업 및 철도분야에서 적용하고 있는 위험도 허용기준을 살펴보았다. 정성적 기준으로 EN 50126, 영국 Network Rail, 홍콩 MTR, MIL 규격의 위험도 매트릭스(risk matrix)를 살펴보았으며, 정량적 기준으로서 각 국가 및 철도운영기관에서 적용하고 있는 개인별 위험도(individual risk) 및 사회적 위험도(societal risk) 허용기준을 살펴보았다.

위험도 허용기준의 설정은 기존 사고자료의 분석을 통한 안전수준의 파악을 통해 가능하나, 국내철도의 경우 사고분석 자료가 미흡하고 다른 산업분야의 사회적 위험도 허용기준에 대한 명확한 가이드라인이 없으므로, 필요시 해외사례를 통해 적절한 위험도 허용기준을 설정할수 있을 것이다. 표 11은 개인별 위험도 허용기준들을 요약한 것이다.

표에 나타난 허용기준은 승객의 경우 1E-04부터 1E-07, 직원의 경우 1E-03에서 1E-07, 공중의 경우 1E-04에서 1E-07 범위에 있음을 알수 있다. 유로스타, 런던의 Jubilee 라인 및 홍콩 MTRC의 경우는 비교적 신규노선이거나 매우 높은 운영수준으로 인해 상대적으로 엄격한 개인별 위험도 허용기준을 가지고 있다.

따라서 일단 국내 철도운영기관들이 자신들의 안전수준을 파악할 때까지 Network Rail 또는 런던지하철 수준의 개인별 위험도 수준을 안전목표로 설정하고 관리할 수 있을 것이다. 그러나 정확한 개인별 위험도 목표를 설정하기 위해서는 기존 사고자료 분석을 통해 승객, 직원, 공중으로 구분한 개인별 위험도 수준을 분석하여야 한다. 사회적 위험도 역시 다중 사망사고의 목표관리를 위해 고려하여야 한다. 이 경우 역시 국내 철도사고의 분석과 우리사회의 위험회피도(risk aversion) 수준을 파악하여야 한다.

표 11. 해외 운영기관의 개인별 위험도 기준

출처	승객		직원		공중	
	상한	하한	상한	하한	상한	하한
1. 일반						
1.1 영국 HSE-기존노선	-	-	1E-03	1E-06	1E-04	1E-06
1.2 영국 HSE-신규노선	-	-	1E-04	1E-06	1E-05	1E-06
1.3 영국 HSE	-	-	-	-	1E-05	1E-06
1.4 영국 Royal Society	-	-	1E-03	1E-06	-	-
1.5 네델란드-기존노선	-	-	-	-	1E-05	-
1.6 네델란드-신규노선	-	-	-	-	1E-06	-
1.7 홍콩 정부	-	-	-	-	1E-05	-
1.8 호주(NSW)	-	-	-	-	1E-05	-
2. 철도						
2.1 Network Rail	1E-04	1E-06	1E-03	1E-06	1E-04	1E-06
2.2 유로스타	2.4E-05	2.4E-08	1E-03	1E-06	-	-
2.2 Union Railways	1E-04	1E-06	1E-03	1E-05	1E-04	1E-06
2.3 LUL(기존노선)	1E-04	1E-06	1E-03	1E-06	-	-
2.4 LUL(JLE)	5E-06	5E-09	1E-04	1E-07	-	-
2.5 KCRC	1E-04	1E-06	1E-03	1E-06	1E-04	1E-06
2.6 MTRC	1E-05	1E-07	1E-03	1E-06	1E-05	1E-07

위험도 매트릭스에 의한 위험도 평가는 각 개별 위험원의 상대적 위험도 수준을 판단하기 위한 것으로, 엄밀한 의미에서 ARARP 원리의 적용은 올바른 접근이 아님을 유의하여야 한다. 즉, 정확한 의미의 ALARP 원리를 적용하기 위해서는 승객, 직원 또는 공중별로 그룹별 노출위험도의 구하고 이를 기준으로 위험도의 허용여부를 결정하거나 ALARP 원리를 적용하여야 한다. 다만 새로운 시스템을 도입하거나 신규노선의 건설시 기존의 위험도 수준을 고려한 위험도 매트릭스와 허용기준을 정의하고, 이를 시스템 또는 부품 공급업체의 위험도 평가기준으로 제시하는 것이 편리하다. 운영기관은 공급자의 위험도 분석 결과를 자신의 위험도 모델에 적용하여 전체 위험도 수준을 관리하여야 한다.

또한 ALARP 원리를 적용하기 위해 보다 정확한 VPF를 구하는 노력이 필요하며, 향후 위험도 기반 안전관리의 보다 효과적인 적용을 위해 국내 철도운영기관별로 적용할수 있는 위험도 기준 및 위험도 매트릭스의 개발을 위한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. EN50126(1999), "Railway Applications - The Specifications and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)", CENELEC.
2. "Engineering Safety Management issue 4(Yellow Book)", Railway Safety Standards Board.
3. Maidment(1993), "Cost-Effectiveness Analyses of Measures to Reduce Risks in Rail Traffic", Second World Congress of Safety Science,
4. W.W. Lowrance(1976), "Of Acceptable Risk : Science and the Determination of Public Safety", William Kaufmann Inc.
5. Road Accident Facts, National Roads Authority, Ireland.
6. UK Health and Safety Executive, Revision 2(1992), "The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations", HMSO.
7. Convey(1981), "An Investigation of Potential Hazards from Operations in the Canvey Island/Thurrock Area - UK Health and Safety Executive", HMSO.
8. UK Health and Safety Executive(1991), "Major Hazard Aspects of the Transport of Dangerous Substances", HMSO.
9. MIL-STD-882D(2000), "Standard Practice for System Safety".
10. UK Health and Safety Executive(1989), "Risk Criteria for Land Use Planning in the Vicinity of Major Industrial Hazards", HMSO.
11. Hong Kong Government(1986), "Hong Kong Government Design Planning Guidelines", Chapter 12.
12. D Tong(1995), "Risk Management on Operational Railways", CORE95 Melbourne, Australia.
13. N Dodman and P Ransley(1995), "Safety Case Development for a New Underground Mass Transit Railway", Railway Safety Conference, UK.
14. PF Scott(1987), "Automatic Open Level Crossings - A Review of Safety", UK Department of Transport, HMSO.
15. LT CDR Jack Rose(1992), "Risk Assessment - To Quantify or not to Quantify? Is that Question?", London Underground Ltd.
16. Rail Safety Act 2002, Australia.
17. Railway Group Safety Plan 2003. UK.