

도시철도 안전성 모델의 유형 분석

Study on the Category of Safety Models for the Urban Railway

서용준* · 국광호 · 이정호

Yongjun Seo · Kwangho Kook · Jeongho Lee

Abstract Since reports on trip delays or incidents often appear as accident articles on the press, the social criticisms and concerns on the safety of the urban railway are increasing. Therefore, a railway authority sometimes adopts an abstract safety goal like “let’s build the urban railway to a masterpiece level” or “let’s obtain an aeronautic safety level” to make citizens relieved and to alert involved persons. However with a vague goal, it is almost impossible to make an implementation plan systematic which helps the authority academically verify and validate if the goal is achieved or not. In this paper, the features of the railway safety are described and the safety models for securing the safety of the urban railway are surveyed and categorized. Based on the comparisons among the features and limitations of the models, we identify a more practical model which can be applied to the urban railway more effectively.

Keywords : Safety, Risk, Hazard, ALARP, GAMAB, SIL

초 록 최근 언론에서는 운행지연 또는 소소한 사건을 사고 기사화 하여 도시철도 안전성에 대한 사회적 비판과 우려가 높아 지고 있다. 이에 따라 가끔 “명품 수준의 도시철도 건설” 또는 “항공 수준의 안전성 확보”등과 같이 추상적인 안전성 목표를 수립하여 시민을 안심시키고 관련 종사자의 경각심을 고취하고 있다. 그러나 이러한 모호한 안전성 목표는 그 달성 여부를 학문적으로 확인, 검증할 수 있는 체계적인 추진계획의 수립을 어렵게 한다. 본 논문에서는 도시철도 안전성의 특성을 살펴보고 도시철도 안전성 확보를 위해 적용 가능한 안전성 모델들의 유형을 조사, 분류하고 각 모델의 특성과 제한사항을 비교하여 국내 도시철도에 효과적으로 적용 가능한 모델을 확인한다.

주요어 : 안전성, 위험도, 위험요인, ALARP, GAMAB, 안전성 등급

1. 서 론

최근 소소한 사건이나 운행장애들도 모두 사고로 기사화되어 도시철도 안전성에 대한 사회적 비판과 우려가 높아지고 있다. 따라서 가끔 “명품 수준의 도시철도 건설” 또는 “항공 수준의 안전성 확보”등과 같이 추상적인 안전성 목표를 수립하여 시민을 안심시키고 종사자들의 안전성에 대한 경각심을 고취하고 있으나, 이러한 모호한 안전성 목표는 그 달성 여부의 학문적 확인과 검증을 어렵게 한다. 따라서 도시철도 계획과 건설단계에서부터 열차운행 안전성의 보장을 가능하게 하는 신뢰성 공학의 도입과 적합한 규격을 적용하는 체계적 활동수행과 지속적 발전을 가능하게 하는 안전성 목표의 수립이 필요하다.

본 논문은 건설예정 도시철도 노선의 안전성 목표를 수립하는 데 사용될 수 있는 안전성 모델들의 유형을 조사, 분류하고 그 장단점을 비교 분석함으로써 국내 도시철도에 효과적으로 적용 가능한 모델을 도출하고자 한다. 이를 위해

본 논문에서는 기존에 제시된 시스템 위험도 모델, 위험요인 모델, 안전성 등급모델에 대해 기술하고 각 유형별 특성과 제한사항을 분석하였으며 이를 토대로 우리의 현실에 적합한 안전성 목표 수립모델을 제시한다.

철도 안전성 목표에 대한 선행연구로 광상록은 대한민국, 영국을 비롯한 9개 국가에서의 사고발생 실적, 미래 철도환경과 안전성 목표설정 사례를 분석하여 열차운행 1억 km당 사망자수 10% 감소 등을 국가 철도 안전성 목표로 제안하고[1], 서용준 등은 도시철도 건설 단계별 RAMS 분석을 위한 절차에 대해 제안하고 있다[2]. 또한 왕중배는 위험도 분석절차, 위험도 등급, 각국의 사망자 가치 기준들을 기반으로 철도시스템 안전프로그램 개발 방안을 제안하고[3], 광상록은 국가간과 교통수단별 사망자수를 기준으로 국내 철도 안전의 수준을 평가 하고 있으며[4], 이무호 등은 PSD(Platform Screen Door)의 RAMS 목표를 설정하고 위험요인 분석과 검증시험 등의 단계별 RAMS 활동에 대하여 제안하며[5], 한석인 등은 운영시나리오와 RAMS 분석이 상호 영향을 미치는 것을 보여주고 있다[6].

기존 연구들도 본 논문에서 논의하는 안전성 모델의 유형인 시스템 위험도(사망자수), 위험요인, 안전성 등급과 관련되어 있으나, 각 모델간의 장단점 비교와 특정 모델 적용에

*Corresponding author
Tel.: +82-2-3464-7205, E-mail : andrea@hyundai-rotam.co.kr
©The Korean Society for Railway 2012
<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2012.15.4.402>

다른 이점과 한계 등은 제시하지 않아 한정된 예산과 건설 기간에서 진행되는 도시철도 건설사업 시행자에게 어떤 안전성 목표를 선정해야 하는지에 대한 명확한 방향성을 제시하지 못하고 있다. 본 논문에서 제시되는 모델들의 이점과 한계점을 기초로 도시철도 노선에 가장 적합한 안전성 목표를 수립하고 도시철도 노선의 기본·실시·제작·준공 설계도서에 안전성 분석결과를 반영함으로써 도시철도 안전성 목표달성과 지속적인 개선을 이룩할 수 있을 것이다.

2. 본 론

2.1 도시철도 안전성의 특성

도시철도의 안전성 수준은 설계, 시공, 운영의 기술적 측면과 함께 승객과 운영직원 등 이용자 측면의 요소들을 고려하여 판단한다. 또한 주어진 건설환경, 유사 노선에서 이미 달성한 안전성 수준과 사회적으로 허용 가능한 안전성 수준을 함께 고려하여 건설예정인 노선에 적합한 안전성 목표 수준을 결정하게 된다.

도시철도의 안전관리를 관할하는 국토해양부와 해당 지자체는 요구되는 안전성 수준의 도시철도를 복수 이상의 업체들이 설계, 시공 가능하여 공정한 경쟁입찰이 형성되게 해야 하며 동시에 시민과 국가가 지불 가능한 예산규모와 안전성 요구수준 간에 균형을 맞춰야 한다.

하나의 시스템과 그 환경 간의 모든 상호작용을 고려하여 안전성을 “허용할 수 없는 손해 위험으로부터의 자유(Freedom from unacceptable risk of harm)”라고 설명한다[7,8]. 여기에서 안전성은 기능적·기술적 안전, 안전보전과 인적 요인의 영향을 모두 포함한 위험의 수준(Level of Risk)을 말하며 이것을 위험도로 표현하여 일반화 한다.

위험의 수준인 위험도는 사건과 사고의 발생빈도와 그 결과의 심각도를 조합하여 그 수준을 정의함으로써 일반화하며 “결과”란 “인적 피해(부상, 사망)”, “환경적 위험(재산의 손상, 독성물질의 누출, 다른 환경피해)”, “경제적 위험(신용 및 재산의 손실)”을 의미한다.

위험도의 수준을 판단하는 정도는 각 위험도에 대해 어떻게 인식하느냐에 따라 개인이나 사회 별로 큰 차이가 있다. 이러한 인식의 차이는 사회적·문화적 환경, 심리적·신체적 요인은 물론, 해당 위험도가 자의적 선택에 의한 것인지 타의적 강요에 의한 것인지, 또는 위험도로 인해 얼마나 두려운 결과가 초래되는가에 따라 각각 다르다.

예를 들어, 자의적 선택에 따라 위험에 노출된 개인은 동일한 수준의 위험을 통제할 수 없이 강요에 의해 노출된 개인 보다는 적극적으로 대응하며 보다 낮은 수준으로 판단한다. 도시철도에서는 위험에 노출되는 대상을 승객, 운영직원, 그리고 일반대중의 3가지 그룹으로 분류할 수 있으며, 각 그룹은 도시철도의 위험도에 대해 각기 다른 수준으로 개입하고 조정할 수 있어 그 도시철도 노선이 초래하는 위험도에 대해 느끼는 수준이 다르다.

위험의 발생빈도는 유지보수 인원수와 작업시간 등 그 위험의 발생에 영향을 미치는 인원수, 열차운행 밀도(운행횟

수, 운행열차 수), 열차 주행거리, 승객 마일리지, 승객이용시간, 발생 위치인 터널, 교량과 건널목 등 주변 환경에 따라 각기 다르게 나타난다. 따라서 위험도의 개념을 일반화하여 안전성 데이터의 단위와 수치가 일관성을 갖게 될 때 안전성 분석·검증을 위한 자료 작성과 전문가들 간 의사소통과 판정이 가능하다. 다음 장에서는 도시철도에서 이용할 수 있는 안전성 모델들의 개념을 설명하고 각 모델의 특성과 제한사항을 분석 한다.

2.2 시스템 위험도 모델

한 개 도시철도 노선의 전반적 위험도 수준을 다음의 정량화 모델을 이용하여 숫자(예: 발생 가능한 사망자가 1년에 3.6명 이하)로서 설정할 수 있다. 국내의 경우 2005년 이후 국가철도안전 목표로서 철도사망자수, 열차사고 발생률, 여객사망자수 등의 목표를 설정하여 운영중인 데 여기에서 철도사망자수가(예; 2015년 1억km당 사망자수 38명) 시스템 위험도 모델과 동등한 형태로 볼 수 있다[1].

2.2.1 사고결과 모델

한 개 도시철도 노선의 위험도 목표 수준을 해당 노선에서 용인되는 연간 사망자 수로서 정의하며, 그 수치는 다른 유사 노선에서 취득한 경험 데이터나 위험도 수준을 기초로 정할 수 있다. 즉, 통계 자료나 유사 노선의 운영기간 중 발생한 사망자 수를 ‘식 (1)’과 같이 수송능력으로 산출하여 참조 데이터를 얻을 수 있다.

$$\frac{Fatalities/Year}{Passenger \cdot km/year} = \frac{Fatalities}{Passenger \cdot km} \quad (1)$$

이렇게 얻은 실적 데이터를 건설 또는 운영 예정인 도시철도 노선의 수송능력에 곱하면 그 노선의 전반적인 위험도의 정량적 목표를 사망자 수로서 정의할 수 있다.

2.2.2 PHA 모델

모든 위험요인(Hazard)을 중복과 누락 없이 식별·정의하고 각 위험요인의 위험도인 발생빈도와 발생결과의 심각도를 분석하여 이를 토대로 안전성 목표를 설정한다. 즉, 건설예정인 도시철도 노선의 PHA(Preliminary Hazard Analysis)가 완료되면 이를 기반으로 연간 예상되는 사망자 수를 산출하여 이를 해당 노선의 안전성 목표로 설정할 수 있다.

이를 위해서는 몇 명의 경상자가 1명의 중상자와 동등한지, 몇 명의 중상자가 1명의 사망자와 동등한지 하는 가치 기준과 각각 사망, 중상, 경상에 대한 사회적, 정책적 판단 기준이 있어야 한다[3,9].

2.2.3 ALARP 모델

ALARP(As Low As Reasonably Practicable) 모델은 “합리적으로 실행 가능한 최저 수준”으로 위험도가 감소되었다는 것을 증명하는 것으로, 위험도 유형을 상위 위험도 영역, 중간 위험도 영역, 하위 위험도 영역의 3가지 영역으로 분류한다[7,8]. 상위 위험도 영역은 반드시 위험도 저감 조치를 취해야 하는 영역을 말한다. 중간 위험도 영역이 ALARP

영역이 되며 위험도 등급이 ALARP 영역에 속할 경우에는, 추가적인 분석을 통해 해당 위험도를 하위 위험도 영역으로 저감 시킬만한 기술이나 해결방안을 찾거나 비용 대 편익 분석에서 실행이 타당하지 않을 경우 이를 안전성 문서로 기술한다[7,8]. 이를 통해 고 위험도 항목관리에 보다 많은 엔지니어링 역량을 투입할 수 있게 한다.

2.2.4 GAMAB 모델

GAMAB (Globalement Au Moins Aussi Bon) 원칙은 신규 건설되는 철도노선은 전반적으로 최소한 현재 운영하고 있는 노선의 안전성만큼 양호해야 하며, 아울러 지속적인 개선이 있어야 한다고 정의한다[7,8]. 프랑스 안전기관에서는 GAMAB과 유사하지만 지속적인 개선 측면에 있어서는 덜 강요적인 GAME (Globalement Au Moins Equivalent) 원칙을 법적으로 적용하고 있다. GAME을 적용 하기 위해서는 안전성 목표에 영향을 미치는 다양한 요인들을 고려하여 위험도를 일반화시켜 상호 비교할 수 있어야 한다. 두 도시철도 노선들의 위험도 수준에 영향을 미칠 수 있는 요인들에는 이용승객 수, 열차운행시간과 운행속도 등이 있다.

2.3 위험요인 모델

본 모델은 PHA 모델과 같이 위험요인 식별·분석·평가의 단계들을 동일하게 수행하나 개개의 위험요인을 각각 평가하는 것을 그 개념으로 한다. 이는 한 개 도시철도 노선의 전체 안전성 목표 수준은 개별 위험요인의 위험도를 하나씩 경감하고 이를 순차적으로 누적하여 도시철도 노선 전체의 위험도를 목표 수준 이하로 낮춤으로써 달성할 수 있기 때문이다.

위험요인 발생빈도 범위와 결과의 심각도 등급이 정의되면, 이를 조합하여 Table 1과 같이 위험도 매트릭스를 작성할 수 있다. 즉, 위험도를 Table 1과 같이 수용 가능 또는 불가의 두 가지 등급으로 판정하는 단순한 위험도 매트릭스로서도 안전성 관리를 할 수 있다. 여기에 ALARP를 적용하여 위험도 수준을 수용 불가능한(unacceptable), 허용할 수 있는(tolerable), 수용 가능한(acceptable), 무시할 만한(negligible)의 4종으로 나누어 고 위험도 항목의 세부적 경감방안 발굴에 보다 많은 자원을 활용할 수도 있으며[3,7,8], 이를 해

Table 1 Risk evaluation and acceptance criteria

Frequency of Occurrence	Risk levels			
	Frequent	Acceptable	Unacceptable	Unacceptable
Probable	Acceptable	Acceptable	Unacceptable	Unacceptable
Occasional	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Unacceptable
Remote	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Unacceptable
Improbable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
Incredible	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
	Insignificant	Marginal	Critical	Catastrophic
	Severity levels of hazard consequence			

당 노선 건설사업에 참여중인 시공(공급)사에서 확보하고 있는 기존 데이터를 가장 쉽게 활용하는 방향으로 정하여 안전성 분석에 소요되는 자원의 효율화를 극대화 할 수도 있다.

2.4 안전성 등급 모델

SIL(Safety Integrity Level) 이라고 하는 안전성 등급은 도시철도 시스템의 각 기능에 할당되며 이에 따라 목표설정을 위한 제1단계는 안전성에 관련된 기능을 식별 하는 것이다. 제2단계에서는 안전성 기능의 위험한 쪽 고장 발생빈도와 직접 관련된 허용 위험율(THR: Tolerable Hazard Rate)을 산정하여 Table 2를 기준으로 그 기능의 안전성 등급을 할당한다[10].

Table 2 SIL Table [11]

Tolerable Hazard Rate THR per hour and per function	Safety Integrity Level
$10^{-9} \leq THR < 10^{-8}$	4
$10^{-8} \leq THR < 10^{-7}$	3
$10^{-7} \leq THR < 10^{-6}$	2
$10^{-6} \leq THR < 10^{-5}$	1

제3단계인 목표달성 검증단계에서는 각 기능의 위험한 쪽 고장 발생빈도를 허용하는 빈도 이하로 낮추기 위해서 이를 수행하는 장치의 고장율을 낮추거나, 기능 고장이 사고로 전이되는 중간 과정에서 전이를 방지할 수 있는 안전 기능 또는 장치를 추가한다. 고장율을 낮추기 위해서는 소요 부품 수량의 축소, 고 신뢰성 부품으로의 변경 적용, 또는 이중화 설계 등을 한다. 설계변경으로 적용실적이 없는 장치나 기능을 사용할 때에는 추가적 분석과 심층적 관리가 요구된다.

2.5 안전성 모델들 간의 비교 분석

앞에서와 같이 도시철도 노선의 안전성은 시스템 위험도, 위험요인, 또는 안전성 등급 모델 중 한 가지 방법론을 적용하여 확보할 수 있다.

시스템 위험도 모델은 한 개 도시철도 노선에서 용인되는 연간 사망자 수를 결정하여 그 달성을 검증하고, 위험요인 모델은 모든 위험요인을 중복과 누락 없이 식별하고 각 위험요인의 위험도를 허용 가능한 수준으로 각각 낮추어 노선 전체의 위험도를 허용 가능한 수준으로 유지하며, 안전성 등급 모델은 사망 사고와 관련된 시스템 기능에 대한 안전성 등급을 설정하고 이 등급의 달성을 문서적으로 검증하여 안전성 목표를 달성한다.

2.5.1 시스템 위험도 모델

연간 용인되는 사망자 수로 표현되는 이 정량적 안전성 목표는 도시철도 노선들간의 안전성 수준을 상호 비교할 때 매우 유효한 근거를 제시하는 가장 이상적인 안전성 모델이다. 그러나 노선 운영결과로서 나타나는 과거의 실적 집계는

매우 용이하고 정확한 반면, 건설예정인 도시철도 노선의 목표 수치의 적정성에 대한 검증이나 미래의 목표달성 여부를 사전에 분석하여 관리, 통제하는 것은 매우 곤란하다. 즉, 개통 후 20~40년 기간에 이 노선에서 발생 가능한 안전성 요소들의 분석과 그 달성의 검증 과정에서 사용되는 수많은 가설들과 개념적인 계산식들, 그리고 추정된 수치들을 근거로 산출하는 수치(예; 매 1년간 용인되는 3.6명의 사망자)에 대해 운영설계, 각 장치의 기능설계, 설계변경이 미치는 영향의 크기를 상기 가설과 계산식에 의해 사전에 검증해 가면서 각 서브시스템의 기본, 실시, 제작 설계사양을 확정하고 시공해 가는 것은 현실적으로 어렵다.

또한 발주처, 감리, 시공업체와 안전성 평가자 같은 관련 기관의 참여자들 상호간에 사용된 가설들, 계산 절차와 방식들에 대한 검토와 공통적인 이해가 곤란하여 안전성 문서 작성과 검토에 많은 비용과 인적자원이 소요된다. 이에 따른 안전성 활동의 지연이 건설공정의 진척을 종종 중단시키고 안전성 관련 세부 요소나 개념을 이해하기 위한 추상적, 개념적 질문들과 논쟁들만 양산될 수 있는 점을 감안하여 대부분의 국가들에서 건설 예정인 도시철도 노선에 이러한 목표는 설정하지 않는 경향이 있다.

2.5.2 위험요인 모델

이 모델에서는 도시철도 노선에 관련된 모든 위험요인을 중복과 누락 없이 식별·정의하고, 식별된 각 위험요인의 위험도를 모두 수용 가능한 수준으로 낮추어 결국 도시철도 노선 전체의 안전성을 확보하게 한다[2,3,5].

발주처와 시공업체 등 안전성 관련 기관들 상호간에 각 세부 위험요인 별로 진행되는 분석, 검토와 승인이 타 모델에 비하여 매우 용이하며, 이를 누적하여 노선 전체의 위험도를 허용 가능한 수준으로 관리할 수 있기 때문에 도시철도 안전성 관리의 대표적인 방법론으로 볼 수 있다. 그러나 위험요인과 위험도를 식별하고 분석하기 위해서는 이와 관련된 운영상황(운영 시나리오)과 인터페이스(장치, 기능, 시스템 간의) 같은 시스템 엔지니어링의 데이터가 정리되어 제공되어야 하며[6], 발생빈도를 분석하기 위해서는 장치의 위험한 쪽 고장을 정보가 제공 되어야 하기 때문에 안전성 분석만을 독립적으로 수행하는 것에는 한계가 있다.

위험요인 모델은 국내에서 2004년 이후에 적용되어 철도 운영기관이 수행하는 위험도 평가를 기반으로 하는 안전성 관리와 동일한 형태이다[4].

2.5.3 안전성 등급 모델

안전성 등급 모델은 안전성 관련 기능의 시스템적 고장을 관리하기 위한 방법론으로 “2.5.2 위험요인 모델”에서 작성된 안전성 문서들을 기반으로 하여 규격에서 요구하는 추가적 분석을 수행하여 기능과 시스템의 안전성 등급 달성을 관리한다.

도시철도의 각 기능과 관련된 안전성 수준을 SIL 0~4의 5가지 등급으로 분류 한다. SIL 0은 안전성과 관련 없는 기능을 나타내고, SIL 1~2는 안전성과 관련된 기능을 나타내며, SIL 3~4는 안전성 확보에 중요한 기능을 표현 한다.

규격에서는 안전성 등급에 따라 요구되는 기술 문서들을 상세히 정의하고 있으며, 이런 안전성 문서들의 작성, 검토와 승인을 통해 해당 기능의 안전성 등급의 달성을 입증 또는 검증 한다[7,8,11~13]. 여기에는 유럽적 사고를 기반으로 하는 개념과 가설수립, 분석과 입증활동 등에 대한 깊은 이해가 필요하다.

SIL 4로 도시철도 노선의 시설물들이 건설·운영 되는 구간에서 복수의 운영기관들이 각기 다른 성능의 열차를 운행하려고 할 때, 만약 모든 종류의 열차들이 SIL 4 등급을 달성한다면 승객은 어느 열차를 탑승하더라도 동일한 수준의 안전성을 갖는 서비스를 이용하게 된다. 따라서 다수의 건설기관들이 건설·관리 하는 노선 또는 구간에서 철도 운영기관들이 서로 다른 열차들에 대한 운행가능 여부를 판정할 때 안전성 등급은 매우 유효한 기준을 제공한다.

그러나 CENELEC EN50128은 기능의 안전성 등급에 따라 이용 가능한 소프트웨어 언어와 소프트웨어의 구현 방식과 시험방식을 제한하고 있어[12,13] 국산 철도제품이 비록 국내 법규를 준수하고 기존 도시철도 노선에서의 성공적 운영을 통해 각 성능, 신뢰성과 안전성을 검증했다고 할지라도 이 규격과 여기에서 참조한 관련 국제 규격들을 모두 준수 하는지의 여부를 문서적으로 다시 검증해야 하는 어려움이 발생한다.

동일하게 CENELEC EN50129에서는 하드웨어의 시험 등 기술적 요구사항들과 전기·전자 부품의 고장모드 방식을 제한하는 등 요구조건들이 있어[11] 국산 철도제품의 하드웨어가 비록 국내 법규를 준수하고 기존 도시철도 노선에서의 성공적 운영을 통해 각 성능, 신뢰성, 안전성을 검증했다고 할지라도 각 회로가 이 규격과 여기에서 참조한 관련 국제 규격들을 모두 준수하는지 여부를 재 검증해야 한다.

결국 안전성 기능과 관련된 서브시스템(장치)의 하드웨어와 소프트웨어가 CENELEC EN 50126:1999, EN 50128:2001과 EN50129:2000 규격들과 이 규격들에서 참조하는 모든 국제 규격들을 준수하도록 설계, 제작, 시험과 검증되었음을 규격들에서 요구하는 기술 문서들과 절차에 따라 입증·검증하게 함으로써 국제 철도규격들의 제정을 주도한 유럽 제품들이 많은 혜택을 받게 된다. 이에 따른 국가간의 이견으로 EN50126, EN50128은 동일 내용으로 구성된 CEI IEC 62278, CEI IEC 62279 규격으로 2002년 09월에 제정되었고 이들은 2004년에 KSC IEC 62278과 KSC IEC 62279로 번역되어 국내 규격화 되었지만 EN50129 규격은 아직까지 IEC 규격으로 제정되지 못하고 있다.

유럽 철도회사들은 공급품목의 안전성 등급 검증에 필요한 안전성 문서들을 보유하고 있는 경우에도 타 도시철도에 품목을 납품하기 위해서는 문서의 수정이나 보완이 필요하다. 이에 따라 이들은 순차적으로 요구되는 각 안전성 등급 문서에 대해 추가 비용을 청구하거나 소량 구매에는 안전성 문서 제공을 어려워하는 경향이 있다.

이와 반대로 일본 또는 국내 제작 품목들은 신규로 문서들을 개발하고 제품을 보완해야 하는 경우가 있을 수 있으며, 일본업체는 안전성 등급 문서를 요구할 경우 해당 품목

의 납품자체를 거부하는 경우도 있다.

그러나 전세계적으로 도시철도에 CENELEC EN50126 시리즈의 적용이 빠르게 증가하는 추세에 따라 일본 철도업체들은 일본 동경시 도시철도 운영기관인 JR-East와 함께 국제 규격들에 따라 철도품목들의 기능, 역할과 성능을 재 설정·분배하고 이를 개발·검증하는 실용화 연구사업을 진행 중에 있으며, 2012년 02월에 JR-East의 시험선에서 진행 중인 종합시험에서 좋은 결과를 얻었다고 한다.

3. 결 론

본 논문에서는 건설예정 도시철도 노선에 적용 가능한 안전성 모델의 유형을 3가지로 분류하고 각 유형별 특성과 제한사항을 분석하여 기대하는 목적과 지불 가능한 비용 규모에 가장 적합한 모델을 선정할 수 있는 기초를 준비 하였으며, 국내 산·학·연에서 제한된 인적 및 비용 자원을 이용하여 비교적 용이하게 적용 가능한 것이 위험요인 모델임을 확인하였다. 위험요인 분석을 위해서는 시스템의 기능과 관련된 운영시나리오와 인터페이스 등의 정보가 필요하며 발생 빈도의 분석은 장치의 위험한 쪽 고장율을 기반으로 한다.

따라서 도시철도 건설기간에 타 시스템 엔지니어링 활동의 결과들을 통합·반영하여, 각 소요 기능을 설계하고 부품을 선정하는 시공(제조) 업체의 원천기술이 위험요인 식별, 위험도 분석과 관리에 반영되게 하고, 각각의 세부 기능과 품목 자체를 보다 안전한 방향으로 설계하고 보완하도록 한다. 또한 이러한 활동들의 최종 결과를 종합하여 철도 운영기관에 이관 함으로써 운영환경 요소가 위험요인에 미치는 영향을 관리하며 안전성 목표 달성과 운영 개선이 체계적이며 세부적으로 이루어 지도록 할 수 있다.

예를 들면 안전성 중요 품목 또는 위험도가 상대적으로 높은 기능의 수행에 관련된 장치나 부품의 설계변경, 운영변경이나 공급선 변경, 부품의 생산·공급 중단에 따른 대체용품 사용 등은 이러한 것이 안전성에 미치는 영향을 사전에 분석·평가하여 적용하고 이를 설계도서에 반영함으로써 원가절감이나 문제해결이 장래 안전성의 악화를 초래하는 것을 방지할 수 있을 것이다.

이에 더하여 한 개 노선의 안전성 분석 경험과 데이터가 체계적으로 정리되어 차기에 건설할 도시철도 노선의 기본·실시·제작·준공 설계도서에 적절히 반영되고 지속적으로 개선될 때 안전성 데이터의 축적과 보다 높은 수준의 안전성 달성이 보다 용이하게 된다. 또한 어떤 규격을 적용하는가에 따라서 안전성 분석의 실행 과정과 결과에 영향을 주게 되며, 이는 마치 불분명한 적용규격으로 제품 품질을 철저히 관리하는 것 보다는 ISO9001 규격을 충실히 준수하며 품질을 관리할 때 더 좋은 결과를 얻는 것과 같다. 이러한 관점에서 BS EN50126-1:1999, PD CLC/TR 50126-2:2007, PD CLC/TR 50126-3:2006 같은 상세한 가이드라인이 있는 CENELEC EN50126 시리즈에 이점이 있다고 생각된다[14-16].

국내철도는 과거에 비하여 질적으로 많이 발전되어 왔으

며 2009년에는 건널목 사고 율과 사상사고율을 제외한 열차의 충돌, 탈선, 화재와 같은 주요 지표가 선진국 수준에 도달하였다[1,4]. 이러한 개선 경험과 안전성 데이터를 안전성 규격에 따라서 체계적으로 정리, 축적하여 도시철도 노선 기본·실시·제작·준공 설계도서에 반영함으로써 도시철도 안전성의 지속적 개선과 국내 철도용품의 해외수출을 더욱 가속화 하기를 바란다.

후 기

본 논문은 국토해양부가 연구비를 지원하는 “도시형 자기부상열차실용화사업 1-2세부 과제 RAMS 및 LCC 분석” 연구과정에서 얻은 데이터를 기반으로 작성한다.

참고문헌

- [1] S. Kwak (2011) A Study on Setting Up National Safety Target, *Journal of the Korean Society for Railway*, 14(3), pp. 295-299.
- [2] Y.J. Seo (2007) Basic Study on RAMS Applications to the Urban Maglev Systems, *International Conference on Electrical Machines and Systems 2007*.
- [3] J.B. Wang (2005) Development of a Safety Program for the Railway System based on Risk Assessment, *Journal of the Korean Society for Railway*, 8(2), pp. 25-33.
- [4] S. Kwak (2012) A Comparative Study on Railway Accident Safety Statistics among Nations and Other Transportation Modes, *Journal of the Korean Society for Railway*, 15(2), pp. 193-198.
- [5] M.H. Lee, J. Lee (2009) RAMS Application on PSD System in the appropriate phases, *2009 Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 531-541.
- [6] S.I. Han, Y.J. Seo (2010) Introduction of Developing an Operation Scenario for the Urban Railway, which is Focused on the Case Study of the Incheon Line 2, *Journal of the Korean Society for Railway*, 13(2), pp. 12-24.
- [7] CENELEC EN50126:1999, “Railway Application: The Specification and Demonstration of Dependability - Reliability, Availability, Maintainability and Safety(RAMS)”.
- [8] KSC IEC 62278:2004, “Railway Application: The Specification and Demonstration of Dependability - Reliability, Availability, Maintainability and Safety(RAMS)”.
- [9] RSSB 2006, Engineering Safety Management (The Yellow Book) Volumes 1 and 2, Fundamentals and Guidance Issue 4, pp 179-180.
- [10] Y. Seo, K. Kook, J. Lee (2012) SIL Apportioned by THR to the Urban Maglev Program, *Autumn Conference of the Korean Society for Railway* (to be submitted, 2012.10).
- [11] CENELEC prEN50129:2000, “Railway Application: Safety related electronic systems for signaling”.
- [12] CENELEC EN50128:2001, “Railway Applications: Communications, signaling, processing systems- Software for railway control and protection systems”.

- [13] KSC IEC 62279:2004, “Railway Applications: Communications, signaling, processing systems- Software for railway control and protection systems”.
- [14] BS EN50126-1:1999, Railway Application: The Specification and Demonstration of Dependability - Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) – Part 1: Basic requirements and generic process.
- [15] PD CLC/TR 50126-2:2007, Railway Application: The Specification and Demonstration of Dependability - Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) – Part 2: Guide to the application of EN 50126-1 for safety.
- [16] PD CLC/TR EN50126-3:2006, Railway Application: The Specification and Demonstration of Dependability - Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) – Part 3: Guide to the application of EN 50126-1 for rolling stock RAMS.

접수일(2012년 5월 30일), 수정일(2012년 7월 27일),
게재확정일(2012년 8월 14일)

Yongjun Seo : andrea@hyundai-rotam.co.kr
System Engineering & Sales Team, Hyundai-Rotem Company,
231, Yangjae-dong, Seocho-gu, Seoul, 137-938, Korea

Kwangho Kook : khkook@seoultech.ac.kr
Department of Railway Management & Policy, Graduate School of
Railway, Seoul National University of Science & Technology,
232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul, 139-743, Korea

Jeongho Lee : program@hanmail.net
Train Operation Control Center, Seoul Metro, Jongno 5ga Station,
Jongno-gu, Seoul, 110-836, Korea