

도시철도차량 적용을 위한 위험도 매트릭스 개발에 관한 연구

김 영 상

철도전문대학원 철도차량시스템공학과
(2011. 8. 31. 접수 / 2011. 12. 12. 채택)

The Study of Risk Matrix Development for Urban Metro EMU

Young-Sang Kim

Railway Vehicle System Engineering, Graduate School of Railway Science and Technology
(Received August 31, 2011 / Accepted December 12, 2011)

Abstract : Risk-based railway safety management has been mandatory in Korea as by relevant laws and regulations enacted since the Railway Safety Act 2004. In particular, the Railway Vehicle Safety Guidance came into effect on Jan 1, 2008 specifies the details of methodology for hazard analysis, risk assessment and safety verification and validation. Fundamentals for success of the risk-based safety management are systematic hazard identification and risk assessment by use of reasonable risk assessment criteria, but the principle of risk-based safety management has not been applied in an effective way to introduction and maintenance of railway vehicle systems because definite risk assessment criteria have not been set down for each railway system or railway network. The purpose of this study is to suggest a risk matrix development principle for risk assessment of domestic urban metro vehicles by analyses of relevant rules and railway operating environment of Korea.

Key Words : risk, risk matrix, safety management, hazard identification, risk assessment, ALARP

1. 서 론

국내의 철도 안전관리는 2004년 철도안전법 제정 이후 철도차량 안전에 관한 규칙 등 철도안전 관련 법규의 시행에 따라 철도 선진국에서 채택하고 있는 위험도 기반 안전관리(risk-based safety management)로 급격히 변화하고 있다.

위험도 기반 안전관리는 프로젝트 초기의 위험도 평가기준(risk assessment criteria) 정의, 위험원 식별(hazard identification) 및 위험도 평가(risk assessment), 위험원 종결의 검증 및 확인(verification and validation)을 기본요건으로 하고 있다. 특히 2008년 1월부터 시행된 철도차량 안전기준에 관한 지침¹⁾에서는 철도 운영자로 하여금 철도시스템에 대한 위험도 관리수준을 할당하여 정하고 예비위험원 분석(preliminary hazard analysis)을 수행 후 이를 바탕으로 안전 요구사항을 도출하여 차량 발주사양에 반영하도록 요구하고 있다. 따라서 위험도 평가 기준에 관한 검토 없이는 차량공급자의 상세 위험원 분석을 포함한

체계적인 위험원 관리와 철도운영자의 철도안전 관리시스템 구축은 불가능하다. 이는 이미 국내 철도의 SMS(safety management system) 구축시 중요한 문제점으로 지적되고 있다²⁾.

그러나 국내의 경우 위험도 평가의 기본절차와 방식은 지속적으로 소개되어 왔으나, 위험원 분석 및 위험도 평가의 기준이 되는 각 철도시스템 또는 개별노선의 위험도 평가기준에 대한 이해와 관심은 미흡하여 위험도 분석이 제대로 수행되지 않거나 분석결과가 왜곡되는 문제점이 발생하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 발주자와 철도차량 시스템 공급자간의 위험도 기반 안전관리의 원활한 수행은 물론 철도 운영자의 효과적인 SMS 구축이 가능하도록, 해외 위험도 매트릭스 적용 사례와 국내 철도산업의 실정을 고려하고 위험도 평가 원리를 반영함으로써, 위험도 평가의 기본도구로 사용되는 위험도 매트릭스의 개발 원리와 합리적인 위험도 매트릭스의 형태를 제시하고자 한다.

2. 철도시스템의 위험도 평가기준

2.1. 정량적 평가와 정성적 평가

위험도 평가는 정성적 평가와 정량적 평가로 구분할 수 있다. 정량적 평가는 위험원의 연간 발생빈도와 그 위험원에 의해 발생할 수 있는 각 사고 시나리오별 결과 심각도를 과거 사고이력 또는 공학적 계산에 의해 구한 후 이를 정량적 위험도 허용기준과 비교하는 방법이다. 따라서 정량적 위험도는 체계적으로 수집된 사고 통계자료 또는 가능한 모든 사고 시나리오의 개발과 각 사고 시나리오에 포함된 사건별 확률 추정 및 평가를 위한 정량적인 위험도 기준을 필요로 한다. 반면 정성적 평가는 위험원의 발생빈도와 결과 심각도를 일정한 카테고리별로 등급화하고 위험원의 발생빈도와 결과 심각도를 조합한 위험도 등급을 구한 후 이를 허용등급과 비교하여 평가하는 방법이다.

정량적 평가는 정밀한 분석을 통해 이루어지므로 정확한 위험도 평가가 가능하나 대신 많은 양의 계산과 자료를 필요로 하므로 실제 모든 위험원에 대해 적용하는 것은 매우 어려운 반면, 정성적 평가는 간편한 대신 위험도 평가를 주관적인 판단과 제한된 사고 자료에 의존하므로 다소 부정확한 단점이 있다. 따라서 대부분의 국가에서는 철도시스템의 위험도 평가시 주로 정성적 또는 준정량적 평가 방법을 적용하되, 화재 및 탈선과 같은 중대사건에 한해 필요시 정량적 평가를 적용하고 있다. 따라서 국내 철도산업의 경우에도 사고 통계자료가 충분하지 않은 만큼 위험도 평가시 정성적 또는 준정량적 평가기법을 적용하는 것이 현실적으로 타당해 보인다.

2.2. 위험도 매트릭스

위험도 매트릭스는 정성적 위험도 평가를 위한 기본 도구이다. 위험도 매트릭스는 지금까지 다양한 형태로 제시되어 왔으나, 그 기본 구조는 위험원의 발생빈도와 결과심각도 카테고리를 정성적, 준정량적 또는 정략적으로 표현하고 이 두 요소를 조합하는 방식이다.

IEC 62278³⁾에는 Table 1과 같은 정성적 형태의 위험도 매트릭스가 제시되어 있으며, 위험원 발생빈도와 결과 심각도의 카테고리별 의미를 Table 2 및 Table 3과 같이 설명하고 있다.

그러나 실제 적용시에는 위험원 발생빈도와 결과 심각도의 각 수준에 대한 준정량적 또는 정량적 구분과 세부 스케일은 운영기관 또는 발주자가 적용

Table 1. Risk matrix of qualitative expression

위험원의 발생빈도	위험도 수준			
	Frequent 자주 발생	바람직하지 않은	허용 불가능한	허용 불가능한
Probable 빈번한	허용가능한	바람직하지 않은	허용 불가능한	허용 불가능한
Occasional 때때로	허용가능한	바람직하지 않은	바람직하지 않은	허용 불가능한
Remote 드문	무시할 수 있는	허용 가능한	바람직하지 않은	바람직하지 않은
Improbable 매우 드문	무시할 수 있는	무시할 수 있는	허용 가능한	허용 가능한
Incredible 희박한	무시할 수 있는	무시할 수 있는	무시할 수 있는	무시할 수 있는
	Insignificant 경미한	Marginal 다소 심각한	Critical 매우 심각한	Catastrophic 재난 정도의
위험원의 심각도 수준				

Table 2. Frequency of occurrence of hazardous events

위험원의 발생빈도	의미
Frequent 자주 발생	자주 발생할 것 같은. 해당 위험원을 반복해서 겪게 됨.
Probable 빈번한	여러차례 발생할 가능성이 있는. 해당 위험원이 종종 발생할 것으로 예상됨.
Occasional 때때로	여러차례 발생할 수 있는. 해당 위험원이 수차례 발생할 것으로 예상됨.
Remote 드문	시스템 수명기간 중 언젠가 발생할 것 같은. 해당 위험원은 당연히 발생할 것으로 예상됨.
Improbable 매우 드문	발생할 것 같지 않은 그러나 발생 가능한. 해당 위험원이 예외적으로 발생할 수도 있다고 가정할 수 있음.
Incredible 희박한	발생 가능성이 극히 낮은. 해당 위험원은 발생하지 않는 것으로 가정할 수 있음.

Table 3. Typical hazard severity level

결과 심각도	의미
Catastrophic 재난 수준의	수명의 사망자 그리고 / 또는 수명의 중상자 그리고/또는 환경에 대한 대규모 피해
Critical 매우 심각한	1명의 사망자 그리고/또는 중상 그리고/또는 환경에 대한 중대한 피해
Marginal 다소 심각한	경상 발생 그리고/또는 환경에 대한 중대한 위험
Insignificant 경미한	경상 발생 가능

노선조건 및 운영환경을 고려하여 구체적인 분류와 정의를 하도록 권고하고 있다.

위험도 평가시 위험도 수준에 따른 위험도 경감/제거 요구사항 및 허용여부에 관한 기준은 ALARP (As Low As Reasonably Practicable)의 원칙을 적용하면 Table 4와 같다.

Table 4. Typical example of risk evaluation and acceptance

위험도 구간		위험도 평가 조건의 정의
Intolerable 허용불가능한		반드시 제거되어야 함.
ALARP 구간	Undesirable 바람직하지 않은	위험도 경감이 현실적으로 가능하지 않을 경우, 반드시 운영기관의 동의가 있을 경우에만 허용할 수 있음.
	Tolerable 허용가능한	적절한 위험도 관리를 조건으로 운영기관의 동의를 얻는 경우 허용 가능함.
Negligible 무시할 수 있는		운영기관의 동의가 없어도 허용 가능함.

2.3. 준정량적 표현의 위험도 매트릭스

Table 5는 위험원 발생빈도와 결과 심각도를 등급으로 표시하고 그 곱을 숫자로 표현하는 형식의 위험도 매트릭스이다. 상세한 분석이 필요한 위험원을 사전에 구분하기 위해 사용되며, 보통 10 이상의 위험도를 가지는 위험원들에 대해서는 별도의 상

Table 5. Risk matrix of semi-quantitative expression(I)
잠재적인 인명피해 / 금전손실의 심각도

		5	4	3	2	1	
인명피해		다중사망	1인 사망	중상	중상	경상	
영업적 손실		재난수준	매우심각	심각한	경미	매우경미	
환경적 손실		재난수준/장기적	매우심각/중기적	심각/단기적	경미	매우경미	
빈도	매주 - 매월 발생	5	25	20	15	10	5
	매월 또는 연간	4	20	16	12	8	4
	1-5년마다	3	15	12	9	6	3
	5-10년마다	2	10	8	6	4	2
	>10 이상에 1회	1	5	4	3	2	2

Table 6. Risk matrix of semi-quantitative expression(II)

심각도 빈도 (연간)	매우경미 (미미한 서비스 영향만 있음)	무시됨 (주요 서비스 영향만 있음)	중요한 (<0.05 EF)	심각 (0.05- 0.5 EF)	매우 심각 (0.5-5 EF)	재난 수준 (5-50 EF)	재난 수준 (51-500 EF)
>100	R3	R1	R1	R1	R1	R1	R1
10-100	R4	R1	R1	R1	R1	R1	R1
1-10	R4	R2	R1	R1	R1	R1	R1
10 ¹ -1	R4	R3	R2	R1	R1	R1	R1
10 ² -10 ¹	R4	R3	R3	R2	R1	R1	R1
10 ³ -10 ²	R4	R4	R3	R3	R2	R1	R1
10 ⁴ -10 ³	R4	R4	R4	R3	R3	R2	R1
10 ⁵ -10 ⁴	R4	R4	R4	R4	R3	R3	R2
10 ⁶ -10 ⁵	R4	R4	R4	R4	R4	R3	R2
<10 ⁶	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R3

EF : Equivalent Fatalities(등가사망자수)

세한 정량적 위험도 분석을 진행한다. 영국 Network Rail 및 철도운영회사(TOC)들이 널리 사용하는 형태이다⁴⁾.

Table 6은 또 다른 형태의 위험도 매트릭스이다. R1은 허용 가능하지 않은(unacceptable) 위험도를 나타내며, R4의 경우는 특별한 조치를 필요로 하지 않는 매우 경미한 위험도 수준(broadly acceptable)을 나타낸다. R2와 R3은 ALARP 원칙을 사용하여 추가적인 조치의 필요 여부를 결정해야 하는 ALARP 영역을 나타낸다. 홍콩 또는 호주 등지에서 사용하는 형태의 매트릭스이다⁵⁾.

3. 위험도 평가 매트릭스의 개발

위험도 평가기준 개발의 첫 단계는 적용범위와 적용노선을 결정하는 일이다. 즉, 해당 운영기관의 모든 직원, 승객 및 공중을 모두 대상으로 할 것인지, 아니면 특정 그룹만을 대상으로 할 것인지, 혹은 특정 노선만을 적용대상으로 할 것인지 결정하여야 한다.

적용범위와 적용대상이 정해지면 위험도 평가기준의 형태를 결정하여야 한다. 위험도 평가기준은 정량적 또는 정성적 기준 모두 가능하나, 운영기관 차원의 안전관리를 위해서는 궁극적으로 직원 및 승객을 대상으로 하는 정량적 개인별 위험도(individual risk)를 안전 목표로 설정하는 것이 합리적이다. 그러나 개인별 위험도 기준의 설정과정은 국가 또는 운영기관 차원의 현재 안전수준을 분석하고 관련자들의 안전에 대한 기대수준을 정량적으로 파악한 후 전문가들에 의한 검토가 필요하므로 보다 종합적인 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 우선 국내 도시철도 차량 시스템의 위험도 평가시 적용이 가능한 위험도 매트릭스의 개발과정과 매트릭스를 제시하고자 한다.

3.1. 적용범위와 적용노선의 결정

위험도 매트릭스의 적용범위는 수도권 및 대도시의 도시철도 노선으로 가정하였다. 개발되는 위험도 매트릭스는 직원 또는 승객에 대한 개인별 위험도와 같이 도시철도 시스템 또는 운영기관의 전체 안전수준을 대표하는 것은 아니므로, 단지 도시철도를 운행하는 철도차량 시스템 관련 위험도 평가기준으로 사용할 수 있다.

3.2. 위험도 매트릭스의 스케일 설정

적용범위 정의에 이어 위험도 매트릭스의 스케일,

즉 위험원의 발생빈도와 결과 심각도 등급의 개수를 선택하여야 한다. 위험원 발생빈도의 등급구분은 3, 4, 5, 6, 10개가 사용되고 있으며, 결과 심각도의 등급으로는 3, 4, 5, 6, 7개가 사용되고 있다. 위험도 매트릭스 스케일로는 3×3, 4×4, 5×4, 5×5, 6×6, 10×7이 사용되고 있다. 등급구분이 조밀할수록 위험도 평가의 정확성이 높아지고 보다 합리적인 평가가 가능하나, 이는 충분한 운영경험과 자료가 축적되어야 가능하다. 따라서 3.4절의 Table 10과 Table 11에서 제시한 바와 같이 위험원 발생빈도와 결과 심각도의 카테고리 정의의 결과에 따라 6×6으로 선정하기로 한다.

3.3. 결과 심각도 정의를 위한 고려사항

위험원 발생시 결과는 인명의 사상, 운행 장애로 인한 손실, 환경적 피해로 나타날 수 있다. 환경적 피해는 유조선, 화학공장, 원자력 발전소 및 위험물 수송 열차와 같이 사고가 환경에 큰 영향을 미치는 경우 반드시 고려되어야 하나, 여객 열차의 경우 사고가 환경에 미치는 영향은 상대적으로 미미하므로, 승무원을 포함한 직원, 승객 및 일반인의 인명 사상만을 고려하거나 사고 및 운행 장애로 인한 손실을 고려할 수 있다.

도시철도 차량의 경우 대량의 여객을 수송하는 만큼 인명 사상뿐만 아니라, 사고 및 운행 장애시 기준 열차 및 후속 열차의 영업운행에 막대한 지장을 초래할 것이 분명하기 때문에, 사고 및 운행 장애로 인한 피해를 함께 고려하여 결과 심각도를 분류하는 것이 인명 피해만 고려하는 경우보다 위험도 평가의 목적에 더욱 부합된다고 볼 수 있다.

3.4. 결과 심각도의 카테고리 정의

사상자를 기준으로 결과 심각도를 분류할 경우 사망자수, 중상자수, 경상자수를 기준으로 할 수 있다. 이때 중상자와 경상자의 정의는 국제기관 및 국가별로 다르며, 사고 및 운행 장애로 인한 손실도 운영기관에 따라 다를 수밖에 없다.

국내의 경우 “철도사고 및 보고에 관한 지침”에서 사상자 구분, 사고 구분 및 보고 기준을 각각 Table 7~9와 같이 규정하고 있다⁶⁾.

“철도사고 및 보고에 관한 지침”에서는 운행지연의 기준을 고속철도와 전동차의 경우 10분 이상, 객차의 경우 20분으로 정하고 있으며, 열차지연과 사상자수 등을 기준으로 사고의 규모를 구분하고 있다.

Table 7. Definition of fatality and injury

구분	기준
사망자	현장 사망자 및 부상 후 그 부상에 기인하여 72시간 이내 사망한 자
중상자	3주일 이상의 입원치료를 요하는 상태, 부분을 상실하거나 혹은 그 기능을 영구적으로 상실한 자
경상자	1일 이상 3주 미만의 치료를 요하는 부상을 입은 자

Table 8. Kind of accident

기준	기타사고	중형사고	대형사고
열차지연	지연운행 10분 미만	3시간 이상	24시간 이상
사상자	경미	5인 이상	다수
기타	-	사회적 물의가 예상되는 사고	- 인명과 재산 피해 규모가 매우 큰 사고 - 사회적 큰 물의가 예상되는 사고

Table 9. Criteria of reporting to MLTMA or ARAIB

보고기관	기준
국토해양부	3인 이상 사상 또는 5천만원 이상의 재산 피해
철도사고 조사위원회	- 1인 이상 승객, 승무원 사망사고 - 2인 이상 사상 또는 3천만원 이상의 재산 피해 (운행관련 사고의 경우) - 사상자 발생 또는 5천만원 이상의 재산 피해 (철도 안전사고 및 재난의 경우) - 1시간 이상 운행지연

MLTMA : Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs
ARAIB : Aviation and Railway Accident Investigation Board

한편 국내 철도 운영기관들은 5분 이상 지연을 운행 장애의 기준으로 정하고 있다. 그러나 국내의 경우 사고 및 운행 지연으로 인한 경제적 피해에 대해 집계가 정확히 이루어지고 있지 못할 뿐만 아니라, 생명가치에 대한 정의와 운행지연에 따른 피해 금액의 적절한 평가기준이 정의되어 있지 않기 때문에 사상자수와 운행지연 및 사고의 금전적 피해 규모 간의 등가관계를 적절하게 고려하기 어려운 실정이다.

따라서 결과 심각도의 구분시 사고의 경제적 피해

Table 10. Definition of consequence scale

등급	무시할 만한	경미	중요한	심각한	치명적인	재난 수준	
							서비스에 미치는 영향
서비스에 미치는 영향	운행 지연	5분 미만	5분 이상 10분 미만	10분 이상 1시간 미만	1시간 이상 3시간 미만	3시간 이상 1일 미만	24 시간 이상
	사망	0	0	0	1	2-10	>10
안정성에 미치는 영향	중상	0	0	>1			
	경상	0	>1				
	등급	C1	C2	C3	C4	C5	C6

측면은 고려하지 않되, 5분을 기준으로 하여 5분 미만 지연 및 부상자가 없는 경우를 가장 경미, 24시간 이상 지연 및 10명 이상 사망자 발생시를 가장 심각한 경우로 보고, 다음 Table 10과 같이 6단계의 결과 심각도로 구분하였다.

3.5. 위험원 발생빈도 카테고리 정의

결과 심각도의 카테고리 정의에 이어, 위험원의 발생빈도를 적절한 스케일로 구분하여야 한다. 미국의 산업안전보건연구소의 지침⁷⁾에 따르면, 발생빈도의 스케일은 가능하면 제작자의 신뢰성 데이터를 참고하고, 발생빈도의 카테고리 F6부터 F1까지를 10으로 나눔으로써 일정한 간격으로 구분하도록 권고한다.

그러나 제작사의 신뢰성 자료가 충분하지 않으므로 철도 안전법규의 사고 및 장애 구분, 도시철도 사고 자료를 참고하여 자주 발생하는 경우부터 발생 가능성이 희박한 경우까지 인수 10을 적용하여 IEC 62278에 따라 다음 Table 11과 같이 6 단계로 구분하였다.

3.6. 위험도 매트릭스의 결정

앞에서 정의한 위험원 발생빈도와 결과 심각도의 스케일을 기준으로 다음 Table 12와 같이 위험도 매트릭스를 제안하였다.

Table 11. Definition of frequency scale

등급	의미	정량적 기준
F6	Frequent 자주 발생 자주 발생할 것 같은. 해당 위험원을 반복해서 겪게 됨. - 연간 100회 초과 발생	>100
F5	Probable 빈번한 여러차례 발생할 가능성이 있는. 해당 위험원이 종종 발생할 것으로 예상됨. - 연간 10회 초과 100회까지	10 to 100
F4	Occasional 때때로 여러차례 발생할 수 있는. 해당 위험원이 수차례 발생할 것으로 예상됨. - 연간 1회 초과 10회 이하	1 to 10
F3	Remote 드문 시스템 수명기간 중 언젠가 발생할 것 같은. 해당 위험원은 당연히 발생할 것으로 예상됨. - 10년에 1회 초과 10회 이하	1 to 10 ⁻¹
F2	Improbable 매우 드문 발생할 것 같지 않은 그러나 발생 가능한. 해당 위험원이 예외적으로 발생할 수도 있다고 가정할 수 있음. - 100년에 1회 초과 10회 이하	10 ⁻² -10 ⁻¹
F1	Incredible 희박한 발생 가능성이 극히 낮은. 해당 위험원은 발생하지 않는 것으로 가정할 수 있음. - 100년에 1회 미만 발생	<10 ⁻²

Table 12. Definition of risk matrix

결과 심각도	서비스에 미치는 영향	운행 지연	5분 미만	5분 이상 10분 미만	10분 이상 1시간 미만	1시간 이상 3시간 미만	3시간 이상 1일 미만	24시간 이상
	안전성에 미치는 영향	사망	0	0	0	1	2-10	>10
		중상	0	0	>1			
		경상	0	>1				
			C1	C2	C3	C4	C5	C6
	빈도		무시할 만한	경미	경미	심각	치명적인	재난 수준
F6	>100	자주 발생						
F5	10 to 100	빈번한						
F4	1 to 10	때때로						
F3	1 to 10 ⁻¹	드문						
F2	10 ⁻² -10 ⁻¹	매우 드문						
F1	<10 ⁻²	희박한						

3.7. 위험도 허용 수준의 결정

앞에서 제시한 위험도 매트릭스에서 위험도 허용 구역을 결정하기 위하여 현재 운행 중인 도시철도 차량 시스템의 사고 및 운행 장애 자료를 토대로 주요 위험원의 위험도 수준을 평가하였다. 한편 도시철도 차량시스템의 안전수준은 현재 운영되고 있는 철도차량 시스템의 안전수준과 동등 또는 그 이상으로 유지한다는 안전목표를 전제로 하였다.

2001년 이후 국토해양부에 보고된 도시철도 관련 장애 및 사고 건수는 2009년 3월말 현재 총 2,635 건⁸⁾이며, 이중 철도 차량 시스템과 관련되며 발생빈도가 많은 9가지의 주요 사고 및 장애를 샘플링하여 위험도를 평가하였다. 평가결과는 아래 Table 13에 나타나 있다.

Table 13. Risk evaluation of sample hazards

위험원 번호	위험원	빈도	심각도		위험도
		평균 발생건수	평균 사상자수	평균 지연시간	
①	객실 출입문 끼임	10.2회	중상 0.1명 경상 1.0명	5분 미만	F5C2
②	출입문 닫히지 않음	3.8회	0	3.8분	F4C1
③	전기장치 과열	1.5회	0	3.8분	F4C1
④	비정상 제동 체결	4.2회	0	5.1분	F4C2
⑤	주공기압력 부족	1.3회	0	27분	F4C2
⑥	과주	4.1회	0	5분 미만	F4C1
⑦	보조전원 상실	1.3회	0	10.2분	F4C3
⑧	건널목에서 충돌	0.4회	중상 0.3명 경상 0.3명	3분 이하	F3C2
⑨	건인전동기 과열	0.73회	0	10-20분*	F3C4

*승객을 후속열차에 연계 및 회송 후 수리

도시철도 차량시스템 관련 9개의 주요 위험원에 대한 위험도 평가결과, 발생빈도는 F2에서 F5, 심각도는 C1에서 C4로 나타남을 알 수 있었다. 이를 조합한 위험도의 분포는 Table 14와 같다. 따라서 안전 수준을 현재 운영되고 있는 철도차량 시스템의 안전 수준과 동등 또는 그 이상으로 유지한다는 안전 목표를 달성하기 위해서는 가장 높게 나타난 위험도 수준을 현재의 철도차량 시스템 및 운영 수준에서 허용할 수 있는 한계로 설정하여야 하므로, F3-C4, F4C3, F5C2를 경계선으로 설정할 수 있다.

따라서 Table 14에 나타난 바와 같이 A구역을 허용불가 구역으로 결정하는 것은 타당해 보인다. 다만 무조건 허용 구역과 허용불가 구역 중간의 ALARP 구역에 대해서는 해당 위험원들로 인한 열차 지연이 5분 이상이므로 운영 측면에서 반드시 개선이 필요할 뿐만 아니라, 지속적인 설계 및 유지보수 개선 등으로 향상이 가능할 것으로 판단되어 위험원 ① ④ ⑤ ⑦ ⑨를 포함하는 부분을 ALARP 구역으로 결정할 수 있다.

앞에서 살펴본 IEC 62278과 ALARP 구간 정의에 따라 구간별 위험도 평가 조건을 다음 Table 15와

같이 정의하였다.

4. 결론

위험도 기반의 안전관리는 합리적인 위험도 목표의 수립, 기존 사고자료 및 운행경험에 기초하여 설계부터 운영단계에 걸쳐 지속적으로 수행되어야 하는 위험원 식별과 위험도 평가 및 위험원 관리를 기본으로 하고 있다. 그러나 국내 운영기관들은 위험도 기반 안전관리에 대한 경험부족과 합리적인 위험도 관리기준이나 위험도 평가기준 미비로 차량의 발주부터 운영단계에 걸쳐 수행되어야 할 위험도 기반 안전관리 적용에 어려움을 겪는 실정이다.

이러한 문제점을 해소하기 위하여, 본 연구에서는 도시철도 노선을 대상으로 철도차량 시스템의 발주 또는 지속적인 안전관리에 필요한 위험도 매트릭스의 개발 원리와 함께 위험도 매트릭스의 예를 제시하고자 하였다. 제시된 위험도 매트릭스는 IEC 62278을 참고하여 위험원 발생빈도와 결과 심각도의 카테고리를 정의하였으며, 철도 운영기관의 운행 지연 기준과 “철도사고 및 보고에 관한 지침”의 규정을 고려하였다. 다만 국내의 경우 인명손실의 금전적 가치(value of life) 및 사고 및 운행 지연에 대한 경제적 손실 관련 자료가 부족한 관계로, 인명 사상과 사고 및 운행 지연과 관련된 심각도의 등가성에 대한 검토는 이루어지지 못하였다.

따라서 제시된 위험도 매트릭스는 현재의 도시철도 차량 시스템의 안전수준을 정확하게 반영한 것이라고 볼 수는 없으나, 기존 도시철도 차량시스템에서 발생하는 사고 및 장애 발생 수준을 토대로 작성한 것인 만큼, 향후 위험도 목표 수립 및 할당, 사고 및 운행 지연과 관련된 경제적 손실관련 자료의 수집과 분석을 통해 지속적으로 보완한다면, 위험도 기반 안전관리의 초기 적용을 위한 위험도 관리 기준 수립 및 안전관리에 매우 효과적인 역할을 할 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Guideline on the Safety Standard of Railway Vehicle, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs Notification, No. 2007~278, 2007.
- 2) In-taek Oh, “A Study on the Improvement of Domestic Rail Safety Management System through the Ana-

Table 14. Risk category of sample hazards

빈도		C1	C2	C3	C4	C5	C6
		무시할 만한	경미	경미	심각	치명적인	재난 수준
F6	>100	자주 발생	B	A	A	A	A
F5	10 to 100	빈번한	B	B①	A	A	A
F4	1 to 10	때때로	C ②③⑥	B ④⑤	B ⑦	A	A
F3	1 to 10 ⁻¹	드문	C	C	B	B⑨	A
F2	10 ⁻² -10 ⁻¹	매우 드문	C	C⑧	C	B	B
F1	<10 ⁻²	희박한	C	C	C	C	B

Table 15. Definition of risk evaluation and acceptance

위험도 등급	ALARP에 의한 구분	평가 조건의 정의
A	허용불가 구역	투입비용 및 실행의 어려움과 관계없이 해당 위험도를 B 또는 C 수준으로 반드시 낮추어야 하며, 그렇지 못할 경우 열차의 운행 및 관련 활동은 모두 중지되어야 함.
B	조건부 허용가능 구역	위험도 경감이 현실적으로 가능하지 않거나 경감을 위한 비용이 효과보다 클 경우 운영기관의 동의를 얻어 허용될 수 있음. 단, 철도분야에서 경감조치 적용 사례가 있을 경우 이를 적용하여야 함.
C	무조건 허용구역	운영기관의 동의를 얻어도 허용 가능함. 단, 위험도가 현 수준 이하에서 유지되도록 모니터링을 통해 관리하여야 함.

- lysis of Safety Management Regulations and Results of the Universal Rail Safety Audit”, Journal of the Korean Society for Railway, 11(3), 2008.
- 3) IEC 62278, “Railway Applications-The Specifications and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety(RAMS)”, CENELEC, 1999.
 - 4) Railway Safety Standards Board, “Engineering Safety Management issue 4(Yellow Book)”, 2007.
 - 5) Carl, Wu, “Development of a Safety Management System in Hong Kong Mass Transit Railway”, International Rail Safety conference in Dublin, 2006.
 - 6) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Guideline on the Railway Accident Report, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs Notification No. 2008-130, 2008.
 - 7) R. R. Mohr, ”NOISH Instruction Module-Preliminary Hazard Analysis”, U.S. National Institute for Occupational Safety and Health, pp. 20, 2002.
 - 8) Korea Transportation Safety Authority, Accident data of Urban Metro Lines, 2009.