

# FMEA를 활용한 철도사고·장애분석 및 중점안전관리항목 도출 방안

## Analysis the Railway Accident · Failure through FMEA Technique and

### Present the Priority Safety Management Items

윤정섭<sup>†</sup>, 박용걸<sup>\*</sup>, 엄주환<sup>\*\*</sup>,

Jeong Seop Youn<sup>†</sup>, Yong Gul Park<sup>\*</sup>, Ju Hwan Um<sup>\*\*</sup>,

**Abstract** The purpose of this paper is to analysis the railway accident · failure through FMEA(Failure Mode Effect Analysis) technique and to present the priority safety management method. In order to improve the safety management system, this paper analyzes the railway accident · failure caused by defects in the track, to create a sheet using the FMEA, and the accident · failure cause derives priority management items that are encoded with a safety management priority to quantify quantitatively the importance, present the priority safety management method. As a result, we have found that importance of risk factor are different It is believed to be performed efficiency safety management activities based on the factors of high importance with database building.

**Keywords** : FMEA, Risk Accessment, Railway Safety Management, Railway Accident·failure, Defects in Track

**초 록** 본 논문의 목적은 FMEA(Failure Mode Effect Analysis)기법을 통하여 철도사고·장애 발생현황을 분석하고 중점안전관리항목 도출 방안을 제시하는 것이다. 철도안전관리 시스템을 개선하기 위해 궤도결함으로 인한 철도사고·장애 발생현황을 분석하고, FMEA 를 활용하여 시트를 작성, 사고·장애 발생 원인의 중요도를 정량적으로 수치화함으로써 안전관리 우선순위를정하고 코드화한 중점관리항목을 도출함으로써 이에 따른 중점안전관리 방안을 제시하였다. 그 결과 발생 위험요소에 따라 중요도 값이 다르게 나타나는 것을 알 수 있었으며, 체계적인 안전관리 데이터 베이스 구축과 함께 중요도가 높은 요소에 따라 중점적 관리를 통한 효율적인 안전관리 활동이 수행 가능할 것으로 사료된다.

**주요어** : FMEA, 위험도평가, 철도안전관리, 철도사고·장애, 궤도결함

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

철도 시스템은 인간의 생활과 매우 밀접하게 연계된 대형 시스템으로 사고가 발생할 경우 이를 이용하는 공중에 직접적으로 피해를 입히게 되므로 한국철도의 안전성을 확보하기 위해서는 시설, 차량, 전기, 운전 등 각 전문분야별 시설·장비의 체계적인 관리와 취급상 오류가 없어야 하고, 외부적 불안정한 요인은 사전에 차단하여 예방할 수 있도록 시스템화 되어야 할 것이다.

<sup>†</sup> 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 석사과정(jsyoun@korail.com)

<sup>\*</sup> 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수, 공학박사

<sup>\*\*</sup> 한국철도기술연구원 선임연구원, 공학박사

## 1.2 연구의 범위와 방법

이러한 시스템의 안전성 향상을 위해 본 연구에서는 한국철도의 위험도 평가기반의 안전관리 시스템의 현실을 파악하고 선진철도 위험도 기법을 고찰, 위험도 평가기법 중 FMEA(고장형태와 영향분석기법)을 활용하여 철도사고의 위험요인을 분석하고 중요도를 수치화하여 안전관리 중점대상을 선정하고 관리하는 과학적이고 체계적인 방안을 연구하고자 한다. 위의 사항을 파악하기 위하여 국내 및 선진철도 관련 전문서적과 한국철도와 정부간행물, 철도관련 법령과 각종 통계자료 등을 활용하였으며, 본 연구자가 철도 안전관리 실무과정을 거치면서 느낀 문제점과 개선방안을 반영하였다.

## 2. 위험도 기반의 철도시스템 안전관리

국가가 철도시스템의 안전을 종합적으로 관리하기 위해서는 필수적으로 갖춰야 할 요소는 크게 두 가지로 살펴볼 수 있다. 하나는 법률로써 제도화된 “안전관리시스템(Safety Management System)” 이고 나머지 하나는 실질적인 안전향상을 도모하기 위한 “위험도의 평가 및 관리(Risk Assessment & Management)” 이다. 이 논문에서 중점적으로 다루게 될 위험도 평가는 안전관리시스템의 운영을 실질적으로 가능하게 해주는 데이터의 근간을 이루는 부분으로 대상시스템의 안전성을 정량적으로 표현하는 것이다. 이를 통해 시스템 안전성에 대한 현재와 미래를 분석할 수 있으며, 안전관리시스템 각 기능간의 인터페이스를 통해 전달되는 데이터의 요체이기도 하다.

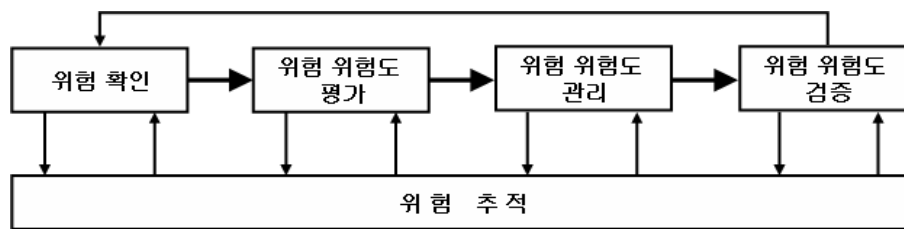


Fig. 1 Key process of System safety management

### 2.1 위험도 평가 이론 고찰

위험도 평가기법을 선정하는데 영향을 주는 요인은 많이 있으며 수많은 문제점이 복합적으로 작용하는 상황에서는 위험도 평가기법을 선정하기는 쉽지 않을 뿐 아니라 상황에 따라 최선의 방법이 없을 수도 있다. 적절한 평가기법의 선정은 위험도 평가의 성패를 좌우하는 중요한 단계로 평가기법 선정에 영향을 주는 위험요인을 감안하여 적절히 선정되어야 한다. 주요 위험도 평가 기법에 대한 설명은 Table 1 같다.

다양한 기법 중 논문에서 사용할 기법인 고장형태와 영향분석(FMEA: Failure Modes and Effects Analysis)은 부분요소의 고장형태를 서브시스템에서 시스템으로 고장의 요인을 예측하는 수법으로, 시스템을 구성하는 기기 혹은 부품 등이 어떤 고장(사고)을 발생하였을 때, 그 고장이 시스템에 어떠한 영향을 주는가를 해석하여, 큰 영향을 미치는 위험요인에서 추출하는 기법이다.

Table 1 Risk assessment technique

평가기법	주요내용
체크리스트 (Check-List)기법	일반적인 위험요소들을 확인하거나 기준절차에 따라 일이 진행되는가를 확인하는 것. 일반적으로 유경험자가 체크리스트를 작성함으로써 모든 기술자가 체크리스트를 이용할 수 있어야 함.
예비위험 분석기법 (Preliminary Hazard Analysis)	다른 위험분석방법에 선행해서 실시하기 위한 것으로, 공정초기에 위험을 확인하기 위한 것으로, 새로운 공정처럼 안전문제에 대한 경험이 없는 경우 위험을 확인하기 위한 적용. 주로 위험 물질과 주 공정요소에 초점을 맞춤.
사고예상질문분석기법 (What-If Analysis)	설계단계, 건설단계, 운전단계, 공정의 수정 등에서 생길 수 있는 이탈현상을 조합하고 도출하여, 공정에 잠재하는 사고를 확인하여 그 위험과 결과 또는 위험을 줄이는 방법 등을 제시.
위험과 운전분석기법 (Hazard and Operability)	공정에 존재하는 위험 요소들과 위험하지는 않아도 공정의 효율을 떨어뜨릴 수 있는 운전상의 문제점을 알아내는 것으로, 공정 및 시스템에 존재하는 위험요인과 운전상의 문제점을 사고발생 시 공정에 미치는 영향과 운전상의 문제점을 파악하여 대책을 강구하는 방법.
고장형태와영향분석기법 (Failure Modes Effects and Analysis)	시스템 및 공정에서 각 고장방식(failure mode)의 결과와 이것에 대한 위험도 순위를 표로 만드는 것으로 시스템 및 공정에서 생기는 각 고장방식의 영향을 알아내는 것. 비슷한 기능을 수행하는 비슷한 장치를 가진 시스템에 대한 분석기간은 평가의 반복적 특성 때문에 상당히 줄어듬.
결함수 기법 (Fault Tree Analysis)	사고결과로부터 사고를 유발하는 원인을 유추해 가는 연역적 방법으로 정상사건의 원인을 추적하거나 각 요소의 상관관계를 가지적으로 확인할 수 있으며, 불필요한 요소를 다루지 않아 효율적, 복잡한 공정에 경우 논리적인 분석과 수학적인 분석의 어려움이 따름.
사건수 분석기법 (Event Tree Analysis)	원인으로부터 사고결과를 추론해 가는 귀납적인 방법으로 최종결과로서 발생가능한 잠재적인 위험사건들은 일반적으로 어떤 초기사건이 발생한 후 이어지는 하위사건들의 발생단계를 거쳐서 나타나므로 이러한 과정을 사건수도(Event tree diagram)을 이용하여 체계적으로 분석.

FMEA의 해석수준에 대해서는 시스템의 영향해석을 시스템을 구성하는 낮은 수준에서부터 높은 수준에 해석을 진행하는 정성적, 귀납적 기법이다. 사고형태를 예측하고 기능 블록도에 따라 차례로 사고의 영향을 검토하여 문제점을 추출하고, 문제점이 발생되지 않도록 설계의 구상단계부터 발생 가능한 결함을 사전에 예측하고 이를 미연에 방지하기 위하여 활용하는 것이다. FMEA를 활용한 사고의 미연방지 활동을 함으로써 철도 시스템에 대한 신뢰도를 높여 나갈 수 있다.

## 2.2. 국외 철도 위험도 평가 시스템

위험도 평가기술은 국방, 원자력, 화학설비 등과 같이 시스템 규모가 크고 사고피해가 큰 시스템의 안전관리 기술로 개발되었고, 국외 철도선진국의 경우 1990년대 말부터 위험도 기반의 철도시스템 안전프로그램 개발계획을 수립하여 안전자료의 체계적인 수집과 분석, 정량적인 위험도 평가를 기반으로 하는 안전대책의 수립과 안전관리 활동의 수행 등에 필요한 체계, 절차 및 관리기준을 체계적, 중장기적으로 개발하여 적용하기 시작하였다. Fig.2는 미국, 영국, 호주, 프랑스 철도에서 적용하고 있는 기술동향과 내용이다.

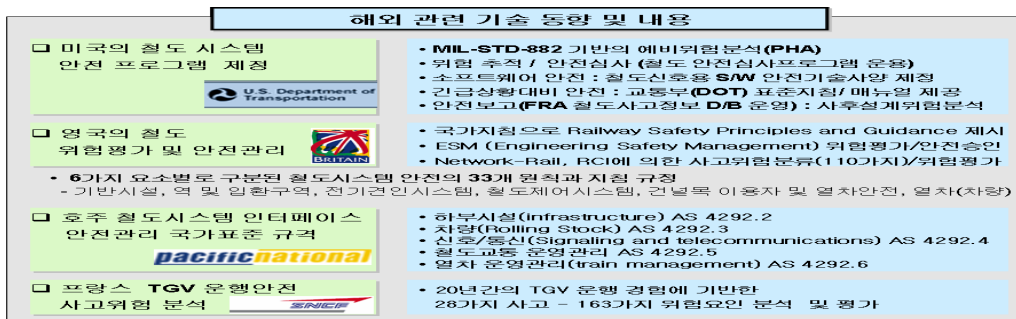


Fig. 2 Technology trends and information(Risk assessment systems of abroad railway)

### 2.3. 국내 철도 위험도 평가 시스템

우리나라 산업에도 원자력과, 방사선, 화학설비 등에는 위험도 평가기술을 기반으로 하는 시스템 안전관리가 시행되고 있으며 철도분야에서도 이를 도입하여 시행하고 있으나 정착하기 위해서는 어느 정도의 시간과 노력이 필요하다. 국내 철도산업에서 본격적으로 위험도 분석 기반의 안전관리 연구가 시작된 것은 정부차원에서 추진한 ‘철도종합안전기술개발사업(2004-2009)’의 일환으로 ‘철도사고 위험도분석 및 평가체계 구축(철도종합안전기술개발사업 제6차년도 중간보고서)’이었고, 한국철도공사에서도 철도안전관리규정 제28조에서 각 분야의 위험도분석 및 안전성평가를 하여 각종 제도의 개선 및 철도안전계획 등의 수립에 활용하여야 함을 명시하고 2011년 안전성 검증 시행지침 및 매뉴얼의 제정을 통하여 위험도 평가는 공사의 안전관리에 적용하고 있으며 평가절차와 내용은 Fig.3 과 같다.

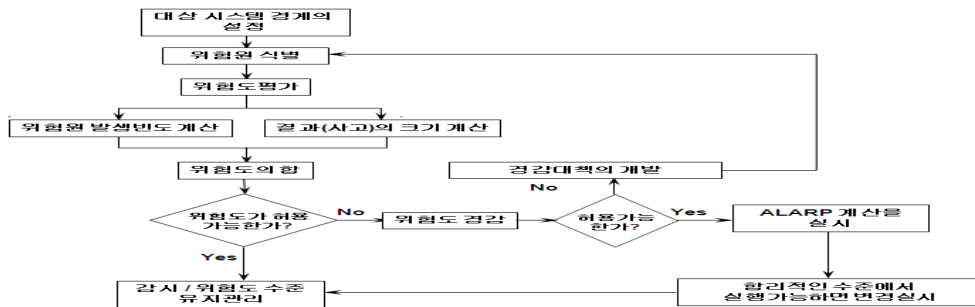


Fig. 3 Risk assessment procedure (KORAIL)

## 3. 철도사고 분류 및 발생현황 분석

### 3.1 철도사고·장애 분류기준

“철도사고”는 철도운영 또는 철도시설 관리와 관련하여 발생한 사람의 사상 또는 물건의 손괴를 말하며 철도교통사고 및 철도안전사고로 구분한다. “운행장애”는 철도차량의 운행에 지장을 초래하는 것으로서 철도사고에 해당되지 아니하는 것을 말하며 위험사건 및 지연운행으로 구분한다. 이에 대한 자세한 분류 및 정의는 Table 2 및 Table 3과 같다.

Table 2 Railway accident (classification and definition)

철도사고	철도교통사고	열차사고	열차충돌사고	
			열차가 다른 열차 또는 장애물과 충돌하거나 접촉한 사고	
			열차탈선사고	
			열차를 구성하는 철도차량의 차륜이 궤도를 이탈하여 탈선한 사고	
			열차화재사고	
			열차에서 화재가 발생하여 사상자가 발생하거나 열차의 운행을 중지한 사고	
			기타열차사고	
			열차에서 위해 물품이 누출되거나 폭발하는 등으로 사상자 또는 재산피해가 발생한 사고	
	철도교통사상	건널목	건널목에서 열차 또는 철도차량과 도로를 통행하는 자동차와 충돌하거나 접촉한 사고	
여객			여객이 열차운영과 관련하여 사상자가 발생한 사고	
			공중	일반 공중이 열차 또는 철도차량의 운행과 관련하여 사상자가 발생하였거나, 또는 선로에 사상자가 있는 것을 인지하고 경차하였을 때
	직원	철도운영 및 시설관리 관련하여 근무시간 내 업무와 관련된 일을 수행하던 중 사상자 발생한 사고		
철도안전사고	철도화재사고		역사, 기계실 등 철도시설 또는 철도차량에서 발생한 화재사고	
	철도안전사상		철도화재사고 또는 철도시설파손사고를 동반하지 않고 대합실, 승강장, 선로 등 철도시설에서 추락, 감전, 충격 등으로 여객, 공중, 공사 직원의 사상이 발생한 사고	
	철도시설파손		교량, 터널, 선로 또는 신호 및 전기설비 등 철도시설이 망가진 사고	
	기타철도안전		철도화재사고, 철도안전사상사고, 철도시설파손사고에 해당하지 않는 사고	

**Table 3** Railway failure-calamity (classification and definition)

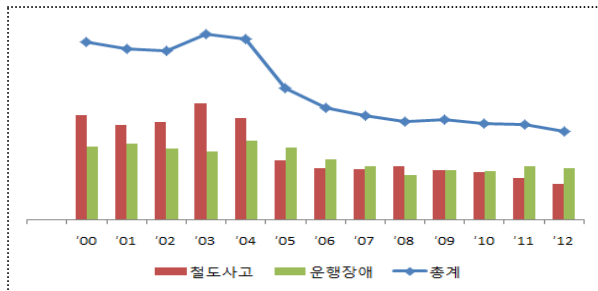
운행장애	위험사건	철도사고로 발전될 잠재적 가능성이 높은 사태가 발생한 것
	지연운영	고속열차 및 전동열차는 10분, 일반여객열차는 20분, 화물열차 및 그 밖의 열차는 40분 이상 지연하여 운행한 것
관리장애	운행장애의 범주에 해당하지 않은 것으로서 안전확보를 위해 관리가 필요한 장애	
철도재난	폭풍, 폭우, 호우, 폭설, 지진, 낙뢰 등 자연현상 또는 대규모 화재, 폭발 등으로 철도시설 또는 철도차량에 피해가 발생한 경우	

**3.2 철도사고·장애 현황**

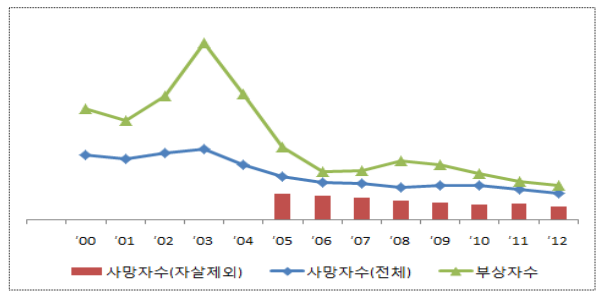
철도사고·장애는 2003년 이후로 꾸준히 감소추세에 있으며( '12년 철도사고 221건 운행장애 315건으로 역대 가장 낮은 수준) 본 논문에서는 국토해양부 2012년 통계연보를 기본자료로 하여 '02년~ '11년간 철도사고·장애 현황은 Table 4과 같다.

**Table 4** Railway accident-failure status (2002~2011)

구분	연도	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	
<b>총계</b>		<b>1029</b>	<b>1129</b>	<b>1,100</b>	<b>801</b>	<b>684</b>	<b>636</b>	<b>598</b>	<b>608</b>	<b>589</b>	<b>581</b>	
철도사고	철도교통사고	열차사고	2	4	2	4	6	6	5	3	2	2
		건널목사고	57	61	39	37	26	24	23	20	17	14
		여객교통사상	74	266	225	123	101	68	65	68	95	56
		공중교통사상	220	192	162	120	102	115	104	94	78	91
		직원교통사상	17	24	23	8	9	6	17	12	15	7
	<b>소계</b>		<b>370</b>	<b>547</b>	<b>451</b>	<b>292</b>	<b>244</b>	<b>219</b>	<b>214</b>	<b>197</b>	<b>207</b>	<b>170</b>
	철도안전사고	철도화재사고	-	-	1	-	1	-	1	-	1	2
		철도시설파손	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
		여객안전사상	180	105	106	4	3	10	29	41	17	14
		공중안전사상	5	3	7	8	7	7	12	2	6	8
직원안전사상		41	55	52	56	60	71	68	65	59	59	
<b>소계</b>		<b>226</b>	<b>163</b>	<b>166</b>	<b>68</b>	<b>71</b>	<b>88</b>	<b>110</b>	<b>108</b>	<b>83</b>	<b>84</b>	
<b>합계</b>		<b>596</b>	<b>710</b>	<b>617</b>	<b>360</b>	<b>315</b>	<b>307</b>	<b>324</b>	<b>305</b>	<b>290</b>	<b>254</b>	
운행장애	위험사건		-	-	10	10	7	8	3	1	2	1
	지연운영	차량탈선	29	36	22	30	23	11	5	4	4	3
		차량파손	10	7	7	11	9	6	-	2	-	1
		차량화재	2	1	2	-	1	4	-	-	-	-
		열차분리	3	3	4	5	1	3	2	2	-	2
		차량위험	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		규정위반	16	15	18	21	28	30	7	11	10	6
		선로장애	84	67	65	26	23	24	15	11	11	9
		급전장애	18	23	22	36	23	12	18	17	16	7
		신호장애	57	56	73	57	38	29	25	24	23	50
		차량고장	161	151	194	177	170	138	143	154	156	185
		열차방해	3	7	3	-	-	1	2	4	3	1
		기타	49	53	65	68	46	63	54	73	74	62
		<b>합계</b>		<b>433</b>	<b>419</b>	<b>483</b>	<b>441</b>	<b>369</b>	<b>329</b>	<b>274</b>	<b>303</b>	<b>299</b>
<b>관리장애</b>		-	-	-	-	-	-	25	36	70	143	



**Fig. 4** Railway accident-failure graph



**Fig. 5** Casualties graph

### 3.3. 탈선관련 사고모드 분석(궤도의 결함을 중심으로)

본 절에서는 2002년부터 2011년까지 한국철도에서 발생된 철도사고·장애(총8029건) 중 탈선사고(선로전환기 활출 포함 총141건)를 한정하여 원인을 조사하였으며 크게 4가지(궤도, 지장물, 차량, 운영)로 구분하여 그 중 궤도결함으로 인한 열차 탈선사고를 예시로 FMEA분석을 전개하고자 한다. 탈선사고의 내용 및 원인은 Table 5로 정리하였으며 주요 원인별 코드(저자가 약자의 형태로 임의 부여)를 부여하였다. 그 결과 대부분의 탈선사고는 분기점취급 및 신호확인소홀로 인한 인적오류가 대부분(65건, 46%)을 차지하였고 궤도결함으로 인한 탈선사고(코드DF)는 전체 141건 중 29건으로 약20%정도를 차지함을 확인할 수 있었다.

Table 5 Code and the cause of the train derailment (2002~2011)

위험사건	근본원인	주요원인	코드(예시)	발생건(141)
열차탈선(가)	궤도결함에 의한 탈선(DF) <b>DefectinFacility</b>	궤도형상/하부도상의 수평/수직 뒤틀림(buckling)	가-DF-01	4
		자갈도상 열화, 자갈살포 부적절	가-DF-02	2
		궤도 교차-수준(cross level) 불균일	가-DF-03	1
		부적절한 과도 상승	가-DF-04	2
		체결구 결함으로 궤간확장	가-DF-05	3
		화학반응에 의한 침묵 손상(부식)	가-DF-06	1
		내부 결함	가-DF-07	0
		레일 마모	가-DF-08	3
		레일 파손(피로 포함)	가-DF-09	0
		선로전환장치 결함	가-DF-10	5
		차량/선로 상호작용	가-DF-11	5
		시공불량(고정축거 이상의 직선 미삽입 등)	가-DF-12	3
	기타	가-DF-13	0	
	선로상 지장물에 의한 탈선(TO) <b>Track Obstacle</b>	산사태	가-TO-01	2
		암석(자연재해 또는 불법행위)	가-TO-02	1
		인접 도로의 난파차량	가-TO-03	0
		인접 궤도의 탈선차량 등	가-TO-04	1
		수목 또는 태풍에 의한 기타 비산물	가-TO-05	1
		눈, 눈사태	가-TO-06	0
		터널내 탈락물(천장에서 탈락)	가-TO-07	0
		화물열차에서 선로로 떨어진 화물 등	가-TO-08	1
		기타	가-TO-09	0
	차량장치 이상에 의한 탈선(DV) <b>DefectinVehicle</b>	주행장치 결함	가-DV-01	6
		차륜 및 보기 결함	가-DV-02	8
		대차 구성품 마모	가-DV-03	1
		연결차량 상호간섭(연결장치 파손, 불량)	가-DV-04	3
		제동장치 결함	가-DV-05	5
		기타	가-DV-06	1
	운영결함 및 인적오류에 의한 탈선(DO) <b>DefectinOperation</b>	이선진입에 의한 운행탈선	가-DO-01	5
		과속주행에 의한 운행탈선	가-DO-02	1
		제동취급 불량에 의한 입환탈선	가-DO-03	5
		적재불량/하중분포 결함에 의한 운행탈선	가-DO-04	2
		분기점 취급/운전오류(출발신호 오인)에 의한 탈선	가-DO-05	65
구름방지 소홀에 의한 탈선		가-DO-06	3	
기타		가-DO-07	1	

열차탈선 외 위험사건 코드부여 예시: 열차충돌(나), 열차화재(다), 건물목사고(라), 차량파손(마), 사상사고(바), ...

## 4. 위험도 평가모델 개선방안 제시

### 4.1. 사고형태 영향분석(AMEA) 전개

본 논문에서는 철도사고·장애에 대한 위험도 평가 방법으로 FMEA기법을 활용, 고장형태가

아닌 사고유형으로 확대한 AMEA(Accident Mode and Effects Analysis)을 제안한다. AMEA는 가능한 범위까지 잠재적 사고형태와 이에 연관된 원인이 고려되고 지정된다는 것을 보장하는 수단으로 철도시스템 안전성 검증에 활용되어질 수 있다. 모든 연관된 시스템, 작업, 설비물, 재료, 환경과 더불어 인간의 행동까지 평가되어야 한다. 사고 유형을 통해서 사고발생의 원인/메커니즘을 추정하고 안전관리에 요구되는 사항이 포함되어야 한다. 현재 한국 철도에서 시행하는 위험도 분석법 및 위험도 판단기준에서는 중대성 판단에 있어 인건, 물적피해를 별도로 구분하고 있지 않고 있으며 기준에 있어서도 현실과 맞지 않는 부분이 있다.(예시:1.물적피해에 있어서 치명적인 사고의 기준을 100억 초과로 규정한 경우 등) 철도사고는 피해상황이 다양하게 발생하는 부분이 있어 본 논문에서는 중대성 판단에 있어서 총손실액, 사상자수를 별도로 구분하였고 열차가 지연됨에 따른 추가피해를 영향도로 구분하는 방법을 제시하고자 하며 그 내용은 Table 6과 같다.

**Table 6** Improvement of Risk assessment

구분	현행 한국철도공사 위험도 분석기법	개선방안																																																																																																			
기법명	FTA(Fault Tree Analysis)	FMEA(Failure Modes Effects and Analysis)																																																																																																			
위험도계산	위험도(RISK) = 가능성 * 중대성	위험도(RPN) = 가능성 * 중대성(총손실액*사상자수) * 영향도(지연시간)																																																																																																			
위험도판단 기준	<p>가능성 판단</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>빈도구분</th> <th>빈도수준</th> <th>내 용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>가능성 거의 없음</td> <td>1</td> <td>10년 1회 발생할 경우</td> </tr> <tr> <td>가능성 낮음</td> <td>2</td> <td>3년 1회 정도 발생할 경우</td> </tr> <tr> <td>가능성 있음</td> <td>3</td> <td>1년 1회 발생할 경우</td> </tr> <tr> <td>가능성 높음</td> <td>4</td> <td>1개월 1회 발생할 경우</td> </tr> <tr> <td>빈번함</td> <td>5</td> <td>1일 1회 정도 발생할 경우</td> </tr> </tbody> </table> <p>중대성 판단</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>강도구분</th> <th>강도수준</th> <th>내 용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>경미한</td> <td>1</td> <td>1개의 차륜이탈, 등 시스템 손상으로 100만원 초과 재산손실, 본선지장 20~40분 이내</td> </tr> <tr> <td>제한적</td> <td>2</td> <td>심각한 시스템 손상으로 1,000만원 초과 재산손실, 본선지장 6시간 이내</td> </tr> <tr> <td>중대한</td> <td>3</td> <td>사망자 1명을 포함한 다수의 중□경상자 발생 차량탈선, 시스템 손상으로 10억원 초과 재산손실 환경에 대한 상당한 영향과 주요 시스템 손실</td> </tr> <tr> <td>치명적인</td> <td>4</td> <td>다수의 사상자를 포함한 중□경상자 발생 탈선, 화재 등 환경에 대한 중대한 손상으로 100억원 초과 재산손실 발생</td> </tr> </tbody> </table>	빈도구분	빈도수준	내 용	가능성 거의 없음	1	10년 1회 발생할 경우	가능성 낮음	2	3년 1회 정도 발생할 경우	가능성 있음	3	1년 1회 발생할 경우	가능성 높음	4	1개월 1회 발생할 경우	빈번함	5	1일 1회 정도 발생할 경우	강도구분	강도수준	내 용	경미한	1	1개의 차륜이탈, 등 시스템 손상으로 100만원 초과 재산손실, 본선지장 20~40분 이내	제한적	2	심각한 시스템 손상으로 1,000만원 초과 재산손실, 본선지장 6시간 이내	중대한	3	사망자 1명을 포함한 다수의 중□경상자 발생 차량탈선, 시스템 손상으로 10억원 초과 재산손실 환경에 대한 상당한 영향과 주요 시스템 손실	치명적인	4	다수의 사상자를 포함한 중□경상자 발생 탈선, 화재 등 환경에 대한 중대한 손상으로 100억원 초과 재산손실 발생	<p>가능성 판단(기준동일, 빈도)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>빈도구분</th> <th>빈도수준</th> <th>내 용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>가능성 거의 없음</td> <td>1</td> <td>10년 1회 발생할 경우</td> </tr> <tr> <td>가능성 낮음</td> <td>2</td> <td>3년 1회 정도 발생할 경우</td> </tr> <tr> <td>가능성 있음</td> <td>3</td> <td>1년 1회 발생할 경우</td> </tr> <tr> <td>가능성 높음</td> <td>4</td> <td>1개월 1회 발생할 경우</td> </tr> <tr> <td>빈번함</td> <td>5</td> <td>1일 1회 정도 발생할 경우</td> </tr> </tbody> </table> <p>중대성 판단(총손실액, 강도1)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>강도구분</th> <th>강도수준</th> <th>내 용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>경미한</td> <td>1</td> <td>100만원 이하의 손실(손실 없음 포함)</td> </tr> <tr> <td>제한적</td> <td>2</td> <td>100만원초과~1000만원이하의 손실</td> </tr> <tr> <td>중대한(저)</td> <td>3</td> <td>1000만원초과~1억이하의 손실</td> </tr> <tr> <td>중대한(고)</td> <td>4</td> <td>1억초과~10억 이하의 손실</td> </tr> <tr> <td>치명적인</td> <td>5</td> <td>10억 초과 손실</td> </tr> </tbody> </table> <p>중대성 판단(사상자, 강도2)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>강도구분</th> <th>강도수준</th> <th>내 용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>경미한</td> <td>1</td> <td>인명피해 없음 또는 경미한 칼과상</td> </tr> <tr> <td>제한적</td> <td>2</td> <td>중상자 발생, 또는 자살추정 사망</td> </tr> <tr> <td>중대한</td> <td>3</td> <td>다수의 중경상자 발생</td> </tr> <tr> <td>치명적인</td> <td>4</td> <td>사망1명을 포함한 다수의 중상자 발생</td> </tr> </tbody> </table> <p>영향도 판단(지연시간, 영향도)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>영향도구분</th> <th>영향도수준</th> <th>내 용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>경미한</td> <td>1</td> <td>본선지장 없음</td> </tr> <tr> <td>제한적</td> <td>2</td> <td>본선지장 30분 이내</td> </tr> <tr> <td>중대한</td> <td>3</td> <td>본선지장 8시간 이내</td> </tr> <tr> <td>치명적인</td> <td>4</td> <td>본선지장 8시간 이상 또는 환경에 대한 상당한 영향과 주요 시스템 손실</td> </tr> </tbody> </table>	빈도구분	빈도수준	내 용	가능성 거의 없음	1	10년 1회 발생할 경우	가능성 낮음	2	3년 1회 정도 발생할 경우	가능성 있음	3	1년 1회 발생할 경우	가능성 높음	4	1개월 1회 발생할 경우	빈번함	5	1일 1회 정도 발생할 경우	강도구분	강도수준	내 용	경미한	1	100만원 이하의 손실(손실 없음 포함)	제한적	2	100만원초과~1000만원이하의 손실	중대한(저)	3	1000만원초과~1억이하의 손실	중대한(고)	4	1억초과~10억 이하의 손실	치명적인	5	10억 초과 손실	강도구분	강도수준	내 용	경미한	1	인명피해 없음 또는 경미한 칼과상	제한적	2	중상자 발생, 또는 자살추정 사망	중대한	3	다수의 중경상자 발생	치명적인	4	사망1명을 포함한 다수의 중상자 발생	영향도구분	영향도수준	내 용	경미한	1	본선지장 없음	제한적	2	본선지장 30분 이내	중대한	3	본선지장 8시간 이내	치명적인	4	본선지장 8시간 이상 또는 환경에 대한 상당한 영향과 주요 시스템 손실
	빈도구분	빈도수준	내 용																																																																																																		
가능성 거의 없음	1	10년 1회 발생할 경우																																																																																																			
가능성 낮음	2	3년 1회 정도 발생할 경우																																																																																																			
가능성 있음	3	1년 1회 발생할 경우																																																																																																			
가능성 높음	4	1개월 1회 발생할 경우																																																																																																			
빈번함	5	1일 1회 정도 발생할 경우																																																																																																			
강도구분	강도수준	내 용																																																																																																			
경미한	1	1개의 차륜이탈, 등 시스템 손상으로 100만원 초과 재산손실, 본선지장 20~40분 이내																																																																																																			
제한적	2	심각한 시스템 손상으로 1,000만원 초과 재산손실, 본선지장 6시간 이내																																																																																																			
중대한	3	사망자 1명을 포함한 다수의 중□경상자 발생 차량탈선, 시스템 손상으로 10억원 초과 재산손실 환경에 대한 상당한 영향과 주요 시스템 손실																																																																																																			
치명적인	4	다수의 사상자를 포함한 중□경상자 발생 탈선, 화재 등 환경에 대한 중대한 손상으로 100억원 초과 재산손실 발생																																																																																																			
빈도구분	빈도수준	내 용																																																																																																			
가능성 거의 없음	1	10년 1회 발생할 경우																																																																																																			
가능성 낮음	2	3년 1회 정도 발생할 경우																																																																																																			
가능성 있음	3	1년 1회 발생할 경우																																																																																																			
가능성 높음	4	1개월 1회 발생할 경우																																																																																																			
빈번함	5	1일 1회 정도 발생할 경우																																																																																																			
강도구분	강도수준	내 용																																																																																																			
경미한	1	100만원 이하의 손실(손실 없음 포함)																																																																																																			
제한적	2	100만원초과~1000만원이하의 손실																																																																																																			
중대한(저)	3	1000만원초과~1억이하의 손실																																																																																																			
중대한(고)	4	1억초과~10억 이하의 손실																																																																																																			
치명적인	5	10억 초과 손실																																																																																																			
강도구분	강도수준	내 용																																																																																																			
경미한	1	인명피해 없음 또는 경미한 칼과상																																																																																																			
제한적	2	중상자 발생, 또는 자살추정 사망																																																																																																			
중대한	3	다수의 중경상자 발생																																																																																																			
치명적인	4	사망1명을 포함한 다수의 중상자 발생																																																																																																			
영향도구분	영향도수준	내 용																																																																																																			
경미한	1	본선지장 없음																																																																																																			
제한적	2	본선지장 30분 이내																																																																																																			
중대한	3	본선지장 8시간 이내																																																																																																			
치명적인	4	본선지장 8시간 이상 또는 환경에 대한 상당한 영향과 주요 시스템 손실																																																																																																			

#### 4.2. 사고형태 영향분석 Sheet 작성을 통한 중점안전관리 항목 도출

AMEA의 구체적인 위험도 평가에 있어서, 위험항목들이라 할 수 있는 사고모드들은 앞 절에서 제시된 위험도 판단기준에 의하여 RPN(Risk Priority Number:위험우선순위)에 따라 세가지 항목의 곱을 계산하여 요인 간 우선순서가 결정된다. (단, 구분이 모호한 경우 높은 수준으로 판단) 그 결과 Table 7의 예시처럼 궤도결함으로 인한 탈선사고 위험요인의 RPN값을 도출해 본 결과 궤도형상의 수평 수직 틀림이 가장 큰 우선순위의 요인으로 중점관리되어야 함을 확인할 수 있다. (그 중 가장 높은 RPN값을 보인 사고는 2008.1.18 경부선 남성현-청도역 사이에서 발생한 탈선사고로 선로보수작업불량으로 인하여 곡선내측 선로상대 불량과 곡선 주행에 따른 횡압이 가중요인으로 작용하여 차륜후렌지가 레일위로 부상탈선 함:곡선내측 선로의 구배가 급격하게 형성)

Table 7 Creating AMEA sheet due to derailment risk (Track defects,2002~2011)

유형	코드	사고위험요인	발생건	빈도	강도1	강도2	영향도	RPN	평균값	순위
열차 탈선	가-DF-01	궤도형상/하부도상의 수평/수직 뒤틀림(buckling)	1	3	2	1	1	6	24	1
			2		1	1	1	3		
			3		1	1	1	3		
			4		5	1	4	60		
			5		1	1	1	3		
	가-DF-02	자갈도상 열화, 자갈살포 부적절	1	2	3	1	1	6	4	6
			2		1	1	1	2		
	가-DF-03	궤도 교차-수준(cross level) 불균일	1	1	1	1	3	3	3	8
	가-DF-04	부적절한 과도 상승(장출 등)	1	2	1	1	1	2	2	10
	가-DF-05	체결구 결함으로 궤간확장	1	2	1	1	1	2	3.3	7
			2		3	1	1	6		
			3		1	1	1	2		
가-DF-06	화학반응에 의한 침묵 손상(부식)	1	1	3	1	1	3	3	8	
가-DF-08	레일 마모	1	2	1	1	1	2	10	3	
		2		2	1	1	4			
		3		4	1	3	24			
가-DF-10	선로전환장치 결함	1	3	4	1	1	12	5.4	5	
		2		1	1	1	3			
		3		1	1	1	3			
		4		2	1	1	6			
		5		1	1	1	3			
가-DF-11	차량/선로 상호작용	1	3	3	1	1	9	10.5	2	
		2		3	1	3	27			
		3		1	1	1	3			
		4		1	1	1	3			
가-DF-12	시공불량(직선구간 미삽입 등)	1	2	1	1	1	2	8.5	4	
		2		3	1	4	24			
		3		3	1	1	6			
		4		1	1	1	2			

#### 4.3. 중점안전관리 활동 전개(중점안전관리 항목 활용)

앞 절에서 도출된 중점관리 항목은 Fig.6과같이 안전관리 및 원인제거 대책을 수립하고 점검을 실시하고 철도사고·장애 발생시 데이터베이스를 업데이트를 하여 우선순위를 조정하는 등 체계적으로 평가하고 관리하고 전개하는 프로세스를 통하여 활용되어는 중점안전관리 활동을 제안하는 바이다.



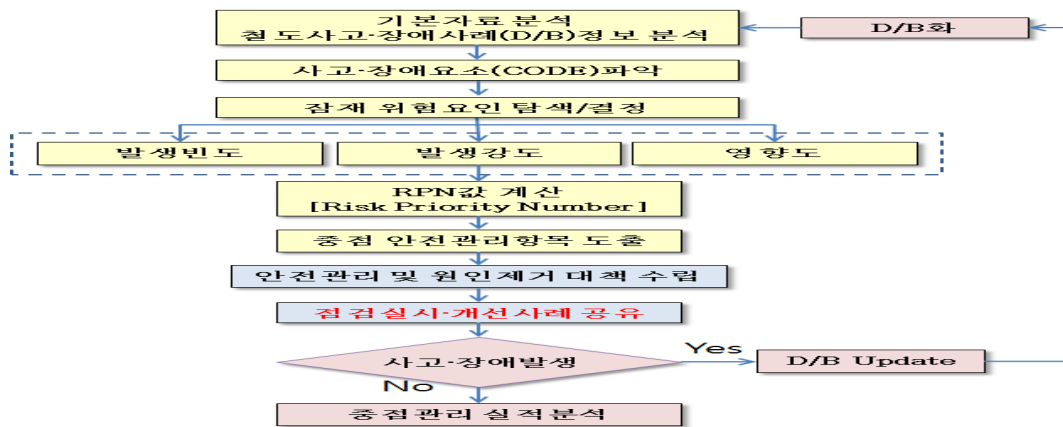


Fig. 6 Management process of potential risk factors

## 5. 결론

철도산업은 타 산업에 비해 사고 발생 시 대부분이 대형사고이며 사회적으로 미치는 여파가 크다. 또한 이러한 철도사고는 반복적으로 같은 원인에 의하여 발생하고 있으므로 사고를 사전에 예방하고 관리하는 위험도 기반의 체계적인 시스템의 확보가 필요하고 더욱 발전시켜야 할 것이다. 본 연구에서 위험요인 및 대책을 확인하고 AMEA시트를 활용하여 중점안전관리 항목을 도출하는 체계에 관한 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 한국철도공사의 철도사고□장애 사례를 기준으로 AMEA시트를 작성하고 RPN값을 도출해 본 결과 분야별 위험요소에 따라 중요도 값이 다르게 나타나는 것을 알 수 있었으며, 중요도가 높은 요소에 따라 중점적 관리를 통한 효율적인 안전관리 활동을 제시 할 수 있었다.
- (2) 체계적인 안전관리 데이터베이스 구축을 통하여 보다 손쉽게 안전관리 활동을 수행할 수 있는 시스템 구축에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.
- (3) 본 논문에서는 탈선사고모드에 한정하여 그 원인을 도출하고 중요도를 정량화하였으나 향후 차량파손, 급전장애, 열차충돌 등 모든 사고모드에 대하여 확대 적용한다면 철도안전관리의 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서 제시된 방법은 10년간의 탈선사고 중 궤도결함에 한정하여 분석한 만큼 철도사고·장애발생 요인들의 상호작용에 대한 영향에 대해서는 고려되지 않았다. 철도사고는 여러가지 원인들이 복합적으로 작용하는 부분이 크므로 주요사고원인으로 제시된 부분과 구분 기준으로 제시된 사항에 대해서도 적용이 용이하도록 디테일화되어야 할 것이며 원인들 사이의 상호 연관관계에 관한 연구가 있어야겠다.

## 참고문헌

- [1] 한국철도공사 (2011년), “철도 안전성 검증 매뉴얼”, pp.10-14
- [2] 철도종합안전기술개발 사업보고서(2010) “철도사고 위험도 분석 및 평가체계 구축”, 한국철도기술연구원 등, pp.156-173.
- [3] 국토해양부 및 한국철도공사 통계연보 (2012).
- [4] 한국철도공사 사규(제2012-150호), “철도사고 등의 보고 및 조사에 관한지침”, 제3조(정의).
- [5] J.W. Song, J.H. Yu, C.D. Kim (2007) Construction Safety Management Using FMEA Technique for Selecting Priority order, Korea Institute of Construction Engineering and management.
- [6] G.H. Kim, Y.S. Kim, S.M.. Kwon, G.B. Lee, J.S. Park, K.S. Kang (2004) A Study of Accident Mode and Effects Analysis for Using FMEA, Korea Safety Management & Science.
- [7] Do Hyun. Jung (2010) A Study on the Risk Assessment for Works on/near Operating Line, Seoul National University of Science & Technology.