

대전도시철도의 열차 지연운행 분석연구

Analysis of Train Delay in Daejeon Metro

권영석*, 이진선**
대전도시철도공사 운영처*, 우송대학교 철도경영학과**

Young-Seok Kwon(jhys1227@naver.com)*, Jin-Sun Lee(jinsun@wsu.ac.kr)**

요약

본 논문은 대전도시철도 개통 이후 내부자료 통계분석을 통해 열차지연 원인과 문제점을 살펴보고 고위험군의 위험도를 평가하여 위험도 지수 심각도와 위험도를 측정하였다. 측정방법으로는 위험도 관리방법인 risk matrix(5×5)를 적용하여 위험도 등급을 산정하였으며, 결과에 따른 안전수준과 허용수준 범위를 분석하였다. 그 결과 차량분야가 가장 위험도가 심각하고, 다음으로 기계설비분야가 위험도를 내재하고 있는 것으로 나타났다. 특히 차량의 출입문장치결함으로 인한 출입문고장과 열차신호 및 제어장치는 심각도도 높지만, 빈도수가 매우 잦아 추가적인 사고 잠재성을 보이고 있다. 기계설비 분야의 PSD결함도 PSD의 안전문 개폐불량이 가장 위험한 것으로 나타났으며, PSD의 오취급 및 PSD의 유리파손 등도 위험도를 내포하고 있는 것으로 나타났다. 본 연구는 이러한 위험도를 내재하고 있는 사고의 빈도수를 경감하고, 심각도를 낮춰서 위험도를 예방할 수 있는 방안을 예측하여 미리 선제적으로 대비할 수 있는 분석결과를 제시함으로써 안전한 도시철도운영으로 이용자의 교통편익에 기여할 것으로 기대된다.

■ 중심어 : | 철도사고 | 운행장애 | 열차지연운행 | 위험도분석 |

Abstract

This study investigated the causes and problems of train operation impediments through the statistics analysis of 8 years' internal data of Daejeon Metropolitan Express Transit. By evaluating the risks regarding the system, equipment, and parts of high risk group, this study measured the Risk Index Severity, and applied the 5x5 Risk Assessment Matrix which is a method of risk management to calculate the scale of risk to analyze the safety level and allowance range. As a result, the car sector, the most serious risk, followed by machinery and equipment sector showed that the inherent risk. In particular, the door broken and the door rail signaling and control devices due to defects of the vehicle is high, but also the severity, and frequency are showing very frequent additional potential accidents. PSD also had defects in the machinery sector appeared to be the most dangerous of the PSD poor safety gates, it was found that the glass also involve the risk of mishandling and breakage of the PSD. This study intended to contribute to the transportation benefits through the safety and stable operation of Metropolitan Express Transit.

■ keyword : | Railroad Accident | Driving Failure | Train Delay | Risk Analysis |

I. 서론

산업혁명으로 물자와 인간이 도시에 집중되면서 도시가 비대해지고 기능은 조밀해져 교통난과 공해 및 소음으로 환경오염에 대한 관심이 집중되어 안전성·친환경성·경제성의 장점을 가진 철도교통수단이 핵심적인 수송시스템으로 자리잡게 되었다[1]. 그러나 철도의 양적성장으로 시스템 제어 및 감시 대상은 확대되었으며 운영 및 관리주체는 사고를 예방하고 철도시스템의 안전수준 및 위험도를 경감하기 위한 안전대책 도출 등 다각적인 노력과 과제에 직면해 있다. 기존의 연구들은 위험도분석을 수용하기 위한 프로세스 개발, DB구축 등이 1단계 연구가 진행되었다면, 본 논문은 기존 선행연구에서 제시한 위험도분석 개념과 이론을 바탕으로 이를 실무에 적용하기 위한 2단계 연구로서 국내 도시철도 열차운행과 연계하여 실무에 적용하여 위험도를 분석한 사례로 볼 수 있다. 본 논문에서는 대전도시철도 개통 이후(2007년~2014년) 열차운행에 직·간접적으로 영향을 미친 각 분야별 Data를 근거로 열차지연을 초래한 위험원인과 문제점을 파악해보고 이를 개선하기 위한 방안을 모색하였다.

II. 이론적 고찰

위험도 분석방법은 위험도 평가인 KRAS(Korea Risk Assessment System) 활용하여 안전성을 검증하며 위험원인과 위험성을 추정하여 대책을 수립하고 사고를 방지하는 것이 목적이다. 미국과 독일의 경우 risk matrix를 적용하여 위험도를 효과적으로 관리하여 철도사고를 예방하고 있으며, 미국 플로리다 지역교통당국(SFRTA)의 경우 위험도 관리 절차에서 9개의 심각도 정의와 7가지 발생빈도를 정의하여 세분화하여 사용하고 있다. 독일은 철도사고별로 위험도 수준을 확인하고 위험수준이 높은 영역에 대하여 안전대책을 우선선점함으로써 위험도를 효과적으로 관리할 수 있는 준-정량적 위험 등급표를 적용하여 사용하고 있다[2]. 국내는 철도시스템의 안정성 평가를 위해 리스크 및 관리

기법을 활용하여 잠재 위험요인과 위험도를 파악하고 있다[3]. 홍선호 외 2인(2003)은 위험도분석 실행을 위해 관련 데이터의 체계적인 분류와 DB구축을 통해 사고의 위험원인과 유형을 구조화하고 위험도평가에 기반한 위험관리 측면에서의 개선방안을 제시하고자 하였다[4]. 왕종배(2005)는 초기부터 위험원인(hazard)을 판별하고 위험성의 허용 가능 여부를 평가하여 위험성 저감 대책을 실시하도록 안전성 평가의 프로세스를 제시하였다[5]. 노희민 외 1인(2009)은 시스템 기반의 안전성 평가 프로그램을 개발하여 요구에 적합한 전산 모델 구현과 안전도 평가항목 도출에 대해 기술하고 위험원별 안전대책을 시스템 안전관리활동의 요구사항으로 제시하고자 하였다[6]. 위험도분석의 DB구축과 프로세스 개발이 위험도분석을 위한 선행연구라면 본 논문은 현 실무에 적용을 시도한 사례라 볼 수 있다.

III. 도시철도 열차지연운행

1. 지연운행 정의 및 현황

국토교통부 철도사고 등의 보고에 관한 지침(2014)에서 정한 지연운행이라 함은 고속열차 및 전동열차 10분 이상, 일반여객열차 20분 이상, 화물열차 및 기타열차 40분 이상 지연된 경우를 말한다. 출발역 및 도착역에서 계획 시간보다 지연된 경우와 역과 역 사이에서 운행시각보다 지연된 경우가 해당되며 관계업무종사자의 열차 운전정리로 지장 받은 열차의 지연시간은 제외하고 있다. 각 도시철도 기관별 열차지연운행 현황은 [표 1]과 같다.

표 1. 도시철도 지연운행 현황

등록기관	2007	2008	2009	2010	2011	2012	계
서울메트로	8	5	3	2	3	2	23
서울도시철도	6	4	5	3	3	2	23
부산교통공사	4	3	3	1	8	1	20
대구도시철도	0	3	4	1	2	2	12
공항철도	3	1	1	3	3	0	11
인천교통공사	1	1	0	0	2	2	6
서울 9호선	0	0	0	1	0	3	4
대전도시철도	2	0	0	0	0	0	2
계	24	17	16	11	21	12	101

(출처 : 교통안전공단(2013), 철도사고 발생현황 및 통계분석 자료)

2. 지연운행의 원인 및 문제점

열차지연은 승·하차로 인한 정차시간 초과, 서행개소 운전, 신호대기, 기관사 지연운전, 차량고장, 차량탈선, 차량과손, 차량화재, 열차분리, 차량구름, 규정위반, 선로장애, 급전장애, 신호장애, 열차방해, 기타 여러 가지 원인에 의해 발생된다. 잦은 지연운행은 고객 신뢰를 무너뜨려 경영효율성을 저하시키는 한편, 안전사고의 위험성을 야기한다. 또한, 선로의 효율성을 떨어뜨리게 되고 상대적으로 운전시간이 늘어남에 따라 에너지 소비가 증가하는 등 여러 가지 문제점이 발생된다.

3. 도시철도 지연시분 관리기준

도시철도 운영기관에서는 열차지연최소화를 위해 국토교통부 철도사고보고지침 용어의 정의에서 정한 지연운행을 근거로 별도 자체적인 세부기준을 정하여 운영하고 있으며, 세부내용은 [표 2]와 같다.

표 2. 도시철도운영기관 지연시분 관리기준

운영기관	열차지연 기준	비 고
서울메트로	5분	순환지연 제외
서울도시철도공사	5분	
서울9호선	3분	
인천교통공사	3분	
대구지하철공사	3분	관리장애
부산교통공사	3분	경미장애
대전도시철도공사	2분	이상현상
광주도시철도공사	2분	

(출처 : 대전도시철도(2015), 종합관제실 운행관제팀 내부자료)

대전도시철도의 경우, 열차지연시분 세부 관리기준은 [표 3]과 같으며 예외 사항으로는 ① 장애로 지연지연이 발생된 경우 최초열차만 지연처리, ② 운전정리를 위한 지연시간은 지연시분에서 제외, ③ 각종 시설장비의 사용초기 제반기능이 정상화되는 과정의 초기고장, ④ 신설노선 개통을 위한 기관사 수습훈련 및 시운전열차 운행으로 영업열차가 지연된 경우를 의미한다.

표 3. 대전도시철도 열차지연시분 세부관리 기준

적용 기준	열차지연 시분	비 고
운행장애 기준	출발시각으로부터 10분 이상	국토교통부
출근시간 기준(R/H)	역 또는 역간 10분 이상	대전도시철도
평시 기준	선행열차 시격 × 2배 이상	"
열차번호 기준	전 구간 20분 이상	"

(출처 : 대전도시철도(2015), 종합관제실 운행관제팀 내부자료)

IV. 대전도시철도 세부현황

1. 열차지연 현황

열차지연 현황은 2분 미만 1,518건, 2분 이상~5분 미만 217건, 5분 이상~10분 미만 8건, 10분 이상~15분 미만의 운행지연은 3건으로 분석기간 월평균 약 18건 발생하였다. 철도사고 및 운행장애의 범주에 속하는 10분 이상 지연은 총 3건으로 연 0.38건 발생되었고, 15분 이상의 발생건은 한 건도 없어 안정적인 운영을 보였다. 특히, 2분 이상 지연 총 228건(2007년~2014년)중 차량 144건(63%), 신호 15건(7%), 기계설비 7건(3%), 승무 1건(0.4%), 기타분야 61건(26.6%) 순으로 나타나 차량분야의 발생이 상대적으로 높았고, 8년간 열차운행율은 약 100.03%로 2분 이상 열차지연 228건을 포함한 전체 지연율은 약 0.03%로 분석되었으며 이는 [표 4]에서 상세히 나타나고 있다.

표 4. 분야별 2분 이상 열차지연 현황

연도 구분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	계
차량	30	28	21	10	15	17	16	7	144
신호	9	2	1	1		1		1	15
기계설비	3		1			1	1	1	7
승무									1
전기									0
관제									0
통신		1							0
기타	7	6	5	3	5	6	11	18	61
계	49	37	28	14	20	25	28	27	228

(출처 : 대전도시철도(2015), 종합관제실 운행관제팀 내부자료)
 *2007년:5분이상(5건),10분이상(2건) *2008년: 5분 이상(2건)
 *2011년: 5분 이상(1건) *2014년:10분이상(1건)

2. 이상현상 현황

1) 이상현상 발생 현황

대전도시철도는 10분 미만 열차지연을 초래한 잠재적 위험원인·요인을 통칭하여‘이상현상’으로 규정하고 분야별로 관리하고 있다. 개통이후(2007년~2014년) 8년간 데이터를 분석한 결과 열차지연 초래(228건)를 포함하여 총 1,746건이 발생하였으며, 이는 [표 5]와 같다. 분야별로는 차량분야 751건(43%), 기계설비분야 462건(26%), 신호분야 156건(9%), 통신분야 141건(8%), 전기분야 26건(2%), 관제분야 4건(1%), 승무분야 1건(1%미만), 기타분야 205건(11%)으로 차량 및 기계분야의 이상현상이 월등히 높은 것으로 분석되었다.

표 5. 연도별 이상현상 발생 현황

연도 구분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	계	비고
차량분야	194	136	146	74	70	52	49	30	751	월(약 18건)
기계설비분야	167	93	79	42	40	18	13	10	462	
신호분야	114	21	7	5	3	2	1	3	156	
통신분야	85	11	16	14	6	4	3	2	141	
전기분야	7	8	3	2	2	0	2	2	26	
관제분야					3	1			4	
승무분야		1							1	
기타분야	23	20	29	13	39	23	24	34	205	
계	590	290	280	150	163	100	92	81	1,746	

(출처 : 대전도시철도(2015), 종합관제실 운행관제팀 내부자료)

2) 분야별 세부현황

가. 차량분야

차량분야는 총 751건(전체 43%)으로 출입문이상 205건(27.3%), ATC(자동열차제어장치) 141건(19.0%), 표시기장치 117건(16.0%), VVF(인버터장치) 40건(5.3%), 정위치정차 실패 36건(4.8%), TCMS(열차종합제어장치) 32건(4.3%), 방송장치, CM(주공기압축기), 제동장치 19건(2.5%), SIV(보조전원장치) 18건(2.5%), 냉난방장치 15건(2.0%), CCU(중앙제어장치) 8건(1%), DC NFB 트립 2건(0.2%), 역행장치 이상 1건(0.1%), 기타장치 79건(11%)으로 분석되었다. 2분 이상 열차지연을 초래한 건수는 총 144건으로 전체 63%를 차지하였고, 유형별로는 출입문 이상 111건(48.7%), ATC(자동열차제어장치) 16건(7%), TCMS(CC포함)장치 9건(4%), 제동장치 4건(1.7%), VVVF(인버터)장치 3건(1.3%), 기타 1건(0.3%)으로 [표 6]과 같이 분석되었다.

나. 기계설비분야

총 462건(전체 26.46%)이 발생하였으며, 그 중 PSD(스크린도어)관련 248건(53.6%), 화재경보 133건(28.78%), 열차운행과 직접적인 영향이 없는 E/L 68건(14.7%), E/S 6건(1.3%), 통신오류 및 PSD 취급오류 각각 2건(0.4%), PSD 유리파손 1건(0.2%), 기타분야 2건(0.4%)의 순서를 보였다. PSD가 차지하는 비율이 상대적으로 높았고 열차지연을 초래한 건수는 총 7건(전체 1.51%) 발생되었으며 통신이상으로 PSD가 열림/닫힘을 반복하거나 열리지 않는 현상 3건(0.64%), 화재경보로 관계열차의 운행을 중지하고 화재 실화여부를 확인 과정에서 발생한 지연 3건(0.64%), 기타 본선선로의 급수용 배관선로의 누수로 인한 지연 1건(0.2%)으로 [표 6]과 같이 분석되었다.

다. 신호분야

총 156건(전체 8.93%)으로 유형별로는 차내신호이상 35건(22.4%), LZB(열차보호장치) 이상 33건(21.1%), 선로전환기 장애 26건(16.6%), 궤도회로 이상 15건(9.6%), PSD 연동장애 13건(8.3%), 비상제동체결 7건(4.9%), 진로제어 4건(2.56%), IFC(인터페이스장치), SICAS(전자연동장치), TWC(정보전송장치) 이상이 각각 3건(1.9%), 논리점유 및 TCC(열차제어컴퓨터)장치 이상이 각 1건(0.6%), 기타 12건(7.7%) 순으로 나타났으며 [표 6]과 같다. 2분 이상 열차지연 초래는 15건(전체 6.57%)으로 선로전환기 장애 7건(3.06%), LZB(열차보호장치) 이상 3건(1.3%), 궤도회로 이상 3건(1.3%), SICAS(전자연동장치)이상 1건(0.4%), PSD 연동장애 1건(0.4%)으로 분석되었다.

표 6. 분야별 이상현상 세부현황

year division	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	explanation
(차량)									
출입문장치	47(23)	43(24)	30(14)	11(7)	19(12)	20(13)	26(13)	9(5)	205(111)
ATC장치	33(4)	22(2)	41(5)	13	11(1)	11(2)	9(1)	1(1)	141(16)
표시기장치	32	27	25	13	12	4	4		117
인버터	13	6	4(1)	5	4(2)	4	1	3	40(3)
정위치정차			32	4					36
TCMS(CC)	6(3)	1(1)	2	4(1)	9	5(2)	3(1)	2(1)	32(9)
방송장치	10	5		2		1		1	19

CM장치	8	5	1	3	1	1			19
제동장치	2	4(1)	2(1)	1(1)	6	1	3(1)		19(4)
SIV장치	5	2		2	4	2	1	2	18
냉/난방장치		3	3	3		1	2	3	15
CCU장치								8	8
DC NFB 트림						1		1	2
역행장치						1			1
기타	38	18	6	13(1)	4				79(1)
계	194	136(28)	146(21)	74(10)	70(15)	52(17)	49(3)	30(7)	751(144)
(기계설비)									
PSD 장애	106(1)	52	44(1)	15	15	7	5(1)	4	248(3)
화재경보 발생	35(2)	22	28	17	16	6	6	3(1)	133(3)
엘리베이터 이상	23	15	6	8	8	4	1	3	68
에스컬레이터 이상	2	3					1		6
PSD 취급유류				1	1				2
통신유류		1	1						2
PSD 유리파손				1					1
기타	1					1(1)			2(1)
계	167(3)	93	79(1)	42	40	18(1)	13(1)	10(1)	462(7)
(신호)									
차내신호	35								35
LZB	21(3)	8		2	2				33(3)
선로전환기	17(5)	5(1)		2(1)	2				26(7)
궤도회로	11(1)		1			1(1)	1	1(1)	15(3)
PSD연동이상	8	4(1)	1						13(1)
비상제동	7								7
진로제어	3							1	4
IFC			1	1	1				3
SICAS	1	1	1(1)						3(1)
TWC	1		1			1			3
논리점유		1							1
TCC								1	1
기타	8	2	2						12
계	112(9)	21(2)	7(1)	5(1)	5	2(1)	1	3(1)	156(15)

※ ()호 열차지연 건수.

(출처 : 대전도시철도(2015), 종합관제실 운행관제팀 내부자료)

V. 위험도분석

위험도 분석은 유해·위험요인을 찾아내어 그것이 어느 정도 위험한 지를 추정하고 그 추정된 위험크기에 대해 대책을 세우는 것으로 사고의 미연방지가 중요한 포인트이자 목적이다. 단계로는 위험원인 파악, 위험성 추정(위험요인별 중대성과 가능성), 위험성 결정(위험요인별 추정된 위험성의 크기가 허용가능한지 여부)을 통해 위험성 감소대책을 수립하고 실행하게 된다.

1. 대전도시철도 위험도분석

1) 위험도 산정 방법

대전도시철도 열차지연 유형별 위험도(risk)는 위험성 추정 결정 방법의 행렬법(matrix)의 곱셈법을 적용하여 발생빈도와 심각도의 곱으로 예상 장애발생건을 산정하였다. 심각도 산정 기준은 [표 7]과 같으며, 등가사망자 산정 기준을 철도사고 및 운행장애(이상현상 포함)에 적용하여 심각도를 산출한 기준은 [표 8]과 같다.

표 7. 심각도 산정 기준

구 분	내 용
철도사고	연간 예상 등가사망자 사용(사망자 1명 = 중상자 10명 = 경상자 200명 = 무상해 1000명)
운행장애	연간 예상 장애발생건 사용(10분 이상 지연 1건 = 5분 이상 지연 2건)
이상현상	연간 예상 장애발생건 사용(5분 이상 지연 1건 = 5분 미만 지연 10건 = 지연없음 100건)

(출처 : 안전보건공단(2016), 위험성평가, 위험성추정 및 결정방법)

표 8. 심각도 산출 기준

구 분	내 용
철도사고	$[(사망 \times 1) + (중상 \times 0.1) + (경상 \times 0.005) + (무상해 \times 0.001)] / 총 건수$
운행장애	$[(10분 이상 \times 2) + (5분 이상 \times 1) + (5분 미만 \times 0.1) + (무지연 \times 0.01)] / 총 건수$
이상현상	$[(10분 이상 \times 2) + (5분 이상 \times 1) + (5분 미만 \times 0.1) + (무지연 \times 0.01)] / 총 건수$

(출처 : 안전보건공단(2016), 위험성평가, 위험성추정 및 결정방법)

곱셈식에 의한 방법은 위험의 정도를 발생 가능성과 심각도로 나타내고 이를 곱하여 위험도를 계산한다.

- 위험도(등가사망자/년) = 발생가능성(위험사건 수/년) × 심각도(예상 등가사망자수/건)

2) 위험도 산정결과

대전도시철도 1호선 열차운행과 관련하여 최근 8년(2007~14년)간 분야별 이상현상 및 고장기록 1,746건에 대한 통계자료를 열차지연 종류 및 유형에 따라 [표 9]와 같이 위험도를 산출하여 운행장애 등급을 산정한 결과, 개통 이후 8년간(2007년~2014년) 종합위험도는 40.98로 분석되었다.

표 9. 개통 이후 이상현상 위험도 현황

발생년도	건수	열차지연				빈도	심각도	위험도
		10분이상	5분이상	5분미만	없음			
2007	590	2	5	42	541	590	0.03	17.0
2008	290		2	35	253	290	0.02	5.80
2009	280			28	252	280	0.01	2.80
2010	150			14	136	150	0.01	1.50
2011	163		1	19	143	163	0.02	3.26
2012	100			25	75	100	0.03	3.00
2013	92			28	64	92	0.03	2.76
2014	81	1		26	54	81	0.06	4.86
계	1,746	3	8	217	1,518	1,746	0.21	40.98
심각도 : 0.21(1 이하) / 종합위험도 : 40.98								

〈출처 : 자료 분석결과〉

분야별로는 위험도를 8개 분야로 구분하여 종합위험도 백분율은 [표 10]에서 제시하였으며, 차량 및 기계설비분야에서 가장 위험도가 큰 것으로 알 수 있다.

표 10. 분야별 이상현상 위험도 현황

분야	건수	열차지연				빈도	심각도	위험도	백분율 (%)
		10분이상	5분이상	5분미만	없음				
차량	751	2	8	137	607	751	0.031	23.28	56.80
설비	462			7	455	462	0.01	4.62	11.27
신호	156			15	141	156	0.02	3.12	7.61
승무	1	1				1	2.0	2.0	4.9
통신	141				141	141	0.01	1.41	3.44
전기	26				26	26	0.01	0.26	0.63
관제	4				4	4	0.01	0.04	0.1
기타	205			61	144	205	0.03	6.15	15.25
계	1,746	3	8	220	1,518	1,746	2.121	40.88	100

〈출처 : 자료 분석결과〉

가. 차량분야

빈도 및 위험도가 높은 차량분야의 열차지연 요인 중 출입문 장치 결함으로 인한 위험도 값이 12.3건으로 가장 높게 나타났으며, TCMS(열차종합제어장치) 4.8건, ATC(자동열차제어장치) 4.23건, VVVF 인버터 1.2건, 표시기장치 1.17건, 제동장치 0.55건, 기타 방송장치, 주공기압축기, SIV(보조전원장치) 순으로 분석되었다.

표 11. 차량분야 운행장애(이상현상) 위험도 현황

구분	위험사건	위험원인	위험요인	장치	건수	지연			빈도	심각도	위험도	
						10분이상	5분이상	5분미만				
1	열차이상	출입문결함	출입문장치결함	출입문	205		111	94	205	0.06	12.3	
2	열차이상	열차제어장치결함	TCMS	TCMS	32	2	2	5	23	32	0.15	4.8
3	열차이상	보안장치결함	ATC장치결함	ATP-ATO	141		1	15	125	141	0.03	4.23
4	열차이상	정지	회로장치결함	VVVF	40		1	2	37	40	0.03	1.2
5	열차이상	승객서비스결함	표시장치결함	표시기	117				117	117	0.01	1.17
6	열차이상	정지	제동장치결함	제동	55			4	51	55	0.01	0.55
7	열차이상	정지	방송장치결함	방송장치	19				19	19	0.01	0.19
8	열차이상	정지	주공기장치결함	CM	19				19	19	0.01	0.19
9	열차이상	정지	보조전원장치결함	SIV	18			2	16	18	0.02	0.16

〈출처 : 자료 분석결과〉

나. 신호분야

열차지연 요인 중 FTGS(케도회로장치)의 위험도 값이 0.5건으로 높게 나타났으며, 그 외에 LZB(열차보호장치) 0.33건, 선로전환기(OOC/ING) 0.26건, 및 PSD(스크린도어)의 연동안됨 0.15건, IFC(인터페이스장치), TWC(열차정보전송장치), SICAS(전자연동장치)가 각각 0.03건으로 나타났으며, 위험요인으로는 FTGS(케도회로장치)의 체결볼트 불량 및 자동열차제어장치, 전자연동장치, 선로전환기 등 기기의 장기 운용에 의한 부품의 노후화 및 열화로 분석되었으며 [표 12]와 같다.

표 12. 신호분야 운행장애(이상현상) 위험도 현황

구분	위험사건	위험원인	위험요인	장치	건수	지연			빈도	심각도	위험도
						10분이상	5분이상	5분미만			
1	신호설비이상	FTGS	릴레이 PCB고장	FTGS	50		3	47	50	0.01	0.50
2	신호설비이상	LZB	STELA고장	LZB	33		3	30	33	0.01	0.33
3	신호설비이상	선로전환기(OOC, ING)	OOC/ING발생	선로전환기	26		7	19	26	0.01	0.26
4	신호설비이상	PSD 연동안됨	신호이상	PSD연동블록	15		1	14	15	0.01	0.15
5	신호설비이상	IFC	IFC보드 이상	IFC	3			3	3	0.01	0.03
6	신호설비이상	SICAS	BUMA고장	SICAS	3		1	2	3	0.01	0.03
7	신호설비이상	TWC	IMU이상	TWC	3			3	3	0.01	0.03

〈출처 : 자료 분석결과〉

다. 기계설비분야

열차지연 위험요인 중 PSD 장치 결함으로 인한 위험도 값이 2.48건으로 가장 높게 나타났으며, 그 외에 소화경보설비 동작 1.33건, 엘리베이터 0.68건, 에스컬레이터 0.06건, PSD 오취급 0.02건, PSD 유리파손 0.01건, 급수설비 차량한계 간섭 0.01건으로 분석되었다. 위험요인으로는 PSD 이물질 간섭, 이용고객의 부주의, 부품의 장시간 사용 누적에 따른 피로증가, 부품의 수명한계 도달, 오취급에 의한 인적오류가 원인으로 분석되었다.

표 13. 기계설비분야 운행장애 위험도 현황(단위: 건)

구분	위험사건	위험원인	위험요인1	장치(세부요인1)	건수	지연		빈도	심각도	위험도
						5분미만	없음			
1	PSD 결함	안전문제 폐불량	외부요인	PSD	248	3	245	248	0.01	2.48
2	소방설비 결함	비화재경보발생	오작동	소화활동설비	133	3	130	133	0.01	1.33
3	승강기 결함	E/L 운행 불량	전원기판불량	엘리베이터	68		68	68	0.01	0.68
4	승강기 결함	E/S 운행 불량	브레이크결함	에스컬레이터	6		6	6	0.01	0.06
5	PSD 결함	PSD 오취급	실념	인적오류	2		2	2	0.01	0.02
6	PSD 결함	PSD 유리파손	외부요인	기타	1		1	1	0.01	0.01
7	기계설비 결함	차량한계 간섭	기타	급수설비	1	1		1	0.01	0.01

(출처 : 자료 분석결과)

2. 위험도분석 결과

차량분야는 출입문장치의 결함이 12.3건, TCMS(열차제어종합장치) 결함 4.8건, ATC(자동열차제어장치) 결함 4.23건으로 출입문장치의 경우 위험수준이 상대적으로 높아 위험원인에 대한 개선이 필요하며, TCMS장치 및 ATC장치 결함은 위험성이 낮은 수준이나 지속적인 유지관리가 필요하다. 신호분야는 FTGS(케도회로 장치) 이상 0.5건, LZB(열차보호장치) 0.33건, 선로 전환기 장애(OCC, ING) 0.26건으로 나타나, 케도회로 장치의 문제로 열차제어 및 보호에 집중적인 관리가 요구된다. 또한 기계설비분야는 PSD(스크린도어) 결함이 2.48건, 소방설비 결함이 1.33건이었고, 승강기결함이

약 0.74로 나타났다. 이외에도 통신분야는 열차공간화상장치 0.96건, 열차이동국장치 이상이 0.24건이었으며, 전기분야는 변전설비 결함 0.1건, 전기설비 결함 0.07건, 승무분야는 운행중 결함(졸음) 2.0건으로 분석되었다.

VI. 결론

본 연구는 RAM(Risk Assessment Matrix)의 위험등급을 기준으로 대전도시철도의 열차지연운행의 원인을 크게 기술적요인, 인적요인, 내부원인 및 기타 외부요인으로 구분하여 분석하였다. 분석결과 차량분야가 가장 위험도가 심각하고, 기계설비분야가 다음으로 위험도를 내포하고 있는 것으로 나타났다. 특히 차량의 출입문장치결함으로 인한 출입문고장과 열차신호 및 제어장치는 심각도도 높지만, 빈도수가 매우 낮아 추가적인 사고의 잠재성을 보이고 있다. 기계설비 분야의 PSD결함도 PSD의 안전문 개폐불량이 가장 위험한 것으로 나타났다으며, PSD 오취급 및 PSD 유리파손 등도 위험도를 내포하고 있는 것으로 나타났다. 또한 차량출입문의 고장이 다수를 차지하고 있는 상황에서 기계설비 분야의 최고 위험도를 나타내는 PSD결함으로 인한 사고가 중첩된다면, 2016년 5월 서울메트로 구의역에서 발생한 PSD사고와 동일한 사고발생의 위험이 대전도시철도에도 내재가능하다고 볼 수 있다. 본 연구는 이러한 위험도를 내재하고 있는 사고의 빈도수를 경감하고, 심각도를 낮춰서 위험도를 예방할 수 있는 방안을 미리 예측하여 도시철도운영회사가 선제적으로 대비할 수 있는 분석결과를 제시함으로써 안전한 도시철도운영을 통해 이용자의 교통편익에 기여하고자 하였다.

본 연구의 한계점으로는 대전도시철도 열차지연 위험원인을 분석한 후 국내 도시철도 운영기관으로 연구범위를 확대하여 종합적 대안을 모색하고자 하였으나, 운영기관별 분석방법과 운행거리, 편성, 고객수, 분석기간, 스크린도어 설치여부에 따라 좌우되는 값이 상이하고 내부자료 공개를 꺼려하여 동등 비교가 어려웠다. 향후, 도시철도 운행관리를 위한 시스템 구축과 프로그램개발, 위험도를 효율적으로 관리할 수 있는 연구가

지속적으로 추진되어 다양한 개선방안이 철도안전운행 관리에 반영되어진다면 안전한 도시철도운행으로 이용자의 편익이 향상될 것으로 기대된다.

status of railway accidents occurrence and statistical analysis, pp.8-9, 2014.

참 고 문 헌

- [1] Y. Lee, H. Dodoroki, J. Lee, B. Chung, D. Park, Y. Lee, K. Yun, J. Choi, B. Roh, E. Bae, H. Byun, H. Yun, J. Ishimoto, and Y. Choi, *The history and development of Korean railways II*, Book Gallery, pp.215-241, 2013.
- [2] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs Korea Institute of Construction & Transportation Technology Evaluation and Planning, Establishment of analysis & evaluation on train accident risks, pp.742-745, 2011.
- [3] S. A. Kim, J. B. Wang, and S. R. Gwak, "Safety management of railway system utilizing risk assessment techniques," Essays in Fall Symposium of Korean Society for Railway (II), pp.223-228, 2003(10).
- [4] S. H. Hong, J. B. Wang, and S. R. Gwak, "Basic study on building accident material management database for railway safety management," Essays in Fall Symposium of Korean Society for Railway (II), pp.241-246, 2003(10).
- [5] J. B. Wang, "Direction of development of railway system safety programs based on risk assessment," Korean Society for Railway, Vol.8, No.2, pp.25-33, 2005.
- [6] H. M. Noh and G. M. Lim, "Study on drawing evaluation items of engineering safety management activities for development of safety evaluation program," Essays in Fall Symposium of Korean Society for Railway, pp.927-933, 2009(11).
- [7] Korea Transportation Safety Authority, Present

저 자 소 개

권 영 석(Young-Seok Kwon)

정회원



- 2010년 2월 : 한국방송통신대학교 행정학과(행정학 학사)
- 2016년 2월 : 우송대학교 철도경영학과(경영학 석사)
- 2005년 4월 ~ 현재 : 대전도시 철도공사 운영처 과장

<관심분야> : 승무, 열차운영, 철도교통

이 진 선(Jin-Sun Lee)

중신회원



- 1994년 2월 : 서울대학교 환경대학원(도시 및 지역계획 석사)
- 2000년 6월 : 미국 Univ. of Washington 토목환경공학과(공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 우송대학교 철도경영학과 교수

<관심분야> : 대중교통, 철도교통계획, 보행교통