도시철도 시설사고 분야에서의 비상사태 유형의 특징분석
A study on the Characteristic analysis of Emergency style on Facilities accident in Uraban Railroad

양도철* 황성근
Yang, Doh Chul Hwang., Seong Guen

ABSTRACT

Recently, the numbers of sudden train stop and delay owing to the malfunctions of train car have been increased. This is the reason why the urban railroad facilities become more and more complicated and outworn. This kinds of malfunction can be developed as the accidents which cause heavy casualties. Therefore, the development of operation procedure in emergency condition is needed to secure the evacuation of passenger safely. The objective of this paper is to develop scenarios to handle the emergency conditions. For this purpose, we analyzed the characteristics of emergency type based on accident and incident on facilities of urban railroad. By classifying the accidents more detail, we expect to find more effective way to handle the emergency conditions on urban railroad.

1. 서론

우리나라의 도시철도는 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전에 분포되어 있다. 서울 1호선~8호선이 있고 인천 1호선 , 부산 1,2호선 , 대구 1호선, 광주 1호선 , 대전은 2006년 3월 16일 개통하였으며 앞으로도 구간별로 계속 더욱 늘어날 전망이다. 그러나 교통수단으로서 도시철도의 비중이 높아지고 있는 반면에 사고 발생 대한 대응 방안은 미비하다. 2003년 대구 지하철 사고에서 확인된 경우를 보더라도 사고 발생 시 기관사, 역무원, 종합사령실에서 사고 대응을 잘 하지 못 하여 대형사고로 확대가 되었다.[1] 또한 최근 들어 시설이 복잡해지고 노후화됨에 따라 전동차가 자주 정지하고 장시간 지연되며 인명사고가 자주 발생 하는 것을 볼 수 있다. 그러하기에 이러한 사고에 대해 신속하고 정확하게 대응할 수 있는 비상대응 관리체계 시스템이 시급히 필요하다. 본 논문은 이러한 비상 대응체계를 도시철도에 한정하여 적응하고 비상사태 유형의 특정을 분석 조사연구 하였다.

도시철도 사고 및 장애는 충돌사고, 탈선사고, 화재사고, 사상(인명)사고, 시설 및 차량장애, 위험물사고, 자연 재해, 테러 등으로 나누어 질 수 있다. 이 논문에서는 특히 고장의 많은 범위를 차지하고 있는 시설장애를 주제로 선택하여 다음과 같은 분류로 정의하고 비상사태에서의 유형적 특성을 분석 하였다. 시설장애를 크게 분류하면 다음과 같이 ①송전고장 및 장애 ②선로고장 및 장애 ③신호 보안 장치고장 ④검지장치 작동시 ⑤시설물붕괴 ⑥통신시설장애 ⑦기계시설장애 ⑧역사설비 장애 ⑨전기시설장애 ⓪기타의 10개의 분류 코드로 구별 지웠다.[2] 분류코드에서 통신시설 장애에서는 사령실에서 통신장치 장애와 차량에서의 통신장치장애가 있으며 기계시설 장애는 소방 설비를 포함하여 배수펌프, 상하수도 설비, 제연 설비 등의 장애가 있다. 역사 설비 장애는 승객의 안전과 불편을 주는 장애로 스크린도어 고장, 에스컬레이터고장, 승강기고장, 자동개집표기, 자동발매기 등을 들 수 있고 전기시설장애는 전 구간 조명설비장애등을 예로 들었다.[3]

* 한국철도기술연구원, 정회원

본 연구에서는 발생 가능한 비상사태를 Code로 조합하고 우선순위를 선정해서 시나리오를 작성하였고 이러한 시나리오는 각각의 사건(event)들로 구성되어 최선의 경우와 그렇지 못한 경우로 전개하고 모든 상황에 대하여 시나리오로 구성하고 DB화 한다. 이러한 시나리오를 바탕으로 미연에 대비 체계를 갖추고 훈련을 통해 사전 준비한다면 실제 사고 발생 시 사고 상황에 대해 당황하지 않고 신속하고 정확하게 비상대응 할 수 있을 것이다. 이 연구의 목적은 비상사태 유형 분석을 통해 도시철도 사고 시 우리나라 도시철도 시설사고 대해 예상되는 시설사고 상황 시나리오를 기반으로 각 주체별 비상대응 행동요령을 구축해 봄으로 도시철도 시설사고 발생 시에 관련자 모두가 신속히 대응하여 사고피해(인명사고, 재산손실, 환경피해)를 최소화하는데 연구에 관심을 두었다.

2. 시설장애에 대한 비상대응 유형정의

2.1 비상사태 사고유형 분류

이 연구의 적용대상은 도시철도 시설장애로 사고대상을 여객열차에 한하여 사고형태와 사고위치를 지정하여 분류 하였다. 도시철도 사고형태는 첫째 송전고장 및 장애를 들 수 있다. 이 사고는 전기설비의 결함으로 인하여 (정전,열차의 일부차량 단전 포함) 또는 전압강하로 열차운전에 지장을 초래하는 경우와 낙뢰, 폭우, 폭설과 노후로 인한 가선사고, 애자섬락, 변압기 소손, 계전기류 소손, 차단기 트립, 케이블 소상 등이 분석된다.[4] 둘째로, 선로고장 및 장애이다. 이 고장장애의 원인은 레일·침목·전철기 및 선로전환기 등의 선로와 관련이 있는 시설 고장으로 레일 체결상태불량, 선로의 곡률상태불량, 선로의 선형불량, 선로전환 장치불량 등으로 인해 열차운전에 지장을 초래하는 경우로 분류한다.
셋째로, 신호 보안장치 고장인데 신호기장치불량, 연동장치불량, 원격제어장치불량 등으로 인한 신호보안장치의 고장으로 열차운전에 지장을 주는 것으로 분석되었다. [5] 넷째로는 검지장치 작동시의 문제로 운행중인 열차에 지장물, 차축온도, 끌림물 및 기상검지장치의 작동으로 인해 신속한 대응조치가 필요한 경우로 선로의 돌, 토사 붕괴, 정위치 정차 검지장치, 축상 과열검지장치, 기상 검지장치등의 동작으로 인한 장애를 의미한다. 다섯째, 시설물 붕괴의 시나리오이다. 폭우, 폭설 및 기타원인으로 철도 노반의 침몰, 구조물 붕괴 등을 유발한 사고로서 철도구조물 붕괴, 노반, 가드레일, 터널, 교량, 역사건축 시설등의 붕괴시나리오로 가설되어진다. 여섯째의 분류는 통신시설물들의 장애로 열차운전에 지장을 초래하거나 승객에 불편을 주는 경우로서 이러한 장비들이 주 고장원인으로 주어지고 있다. 디지털 전송설비, 열차무선시스템, 열차 행선안내표시기, 광전송설비, 통신선로 등이 열차의 안전운행이나 승객의 불편함을 주고 있다. 일곱 번째로는 기계시설장애로 공조설비, 냉방설비, 상하수설비, 소방설비, 배수펌프, 제연설비소손 등을 들 수 있는데 이러한 설비의 고장은 직접적인 열차운행의 차질보다는 간접적으로 역사 승객의 불편과 운행지연을 가져온다는 점이다. 여덟 번째의 철도사고의 형태분류에서 직접적인 역사설비 장애를 들 수 있다. 승객이 타고 내릴 때 직간접적으로 많아지는 고장사례로 스크린도어 고장, 에스컬레이터 고장, 승강기고장, 자동개집표기, 자동발매기, 휠체어 승강설비 등이 분류되었다. 아홉 번째의 사고형태 분류는 일반 전기장애로 조명설비, 전기장비, 모니터등 이 있다. 열 번째로 도시철도에서의 기타 장애 설비로 계단손잡이, 의자, 통로표시, 안내표시 등을 대상으로 삼고 조사 분류하였다.[6][7]

2.2 시설장애 비상대응 Code 조합전개

도시철도 사고 유형을 종류-형태-사고대상-위치로 Code별로 전개하여 보면 표 1과 같이 정의 한다.

가. 비상사태 Code

- 사고형태-①송전고장 및 장애 ②선로고장 및 장애 ③신호 보안 장치고장 ④검지장치 작동시 ⑤시설물붕괴 ⑥통신시설장애 ⑦기계시설장애 ⑧역사설비 장애 ⑨전기시설장애 ⓪기타
- 사고대상-①여객열차 ②일반화물열차 ③위험물수송열차 ④여객-일반화물열차 ⑤여객-위험물수송열차 ⑥일반화물-위험물수송차량 ⑦차량 외 시설
- 사고위치-①역내 ②일반구간 ③교량구간 ④터널구간 ⑤건널목 ⑥차량기지

코드분류 통일을 위해 비상사태의 코드를 일반철도분야와 같이 코드를 적용하면[8] 비상대응 사고형태에서 10개, 사고대상에서 7개, 사고위치에서 6개로 총 발생 가능한 사고 형태는 산술적으로는 10×7×6=420이다. 즉, 산술적인 총 420개의 발생 경우의 수가 발생하는데 그러나 도시철도 시설사고는 사고대상에서 여객열차와 차량 외 시설만이 해당이 되고, 사고위치에서는 건널목이 제외대상이 되므로 나머지 부분의 사고발생 가능 경우를 본 결과 표 4에서 알 수 있듯이 송전고장 및 장애에서 2(대상)×5(위치)=10개, 선로고장 및 장애에서 2(대상)×5(위치)=10개, 신호보안 장치고장에서 2(대상)×5(위치)=10개, 검지장치 작동 시에서 2(대상)×5(위치)=10개, 시설물 붕괴에서 2(대상)×5(위치)=10개, 통신시설장애에서 1(대상)×5(위치)=5개, 기계시설장애에서 1(대상)×5(위치)=5개, 역사 설비 장애에서 1(대상)×1(위치)=1개, 전기시설장애에서 1(대상)×5(위치)=5개, 기타는 0으로서 없는 것으로 가정한다. 그러므로 비상사태유형별 사고형태에 따라 각 '사고대상-사고위치'간 상호비교를 통해 실제 사고발생 가능성이 있는 비상대응 장애 유형은 총 71가지로 분석된다.

철도 사고 종류	철도 사고 형태	철도 사고 대상	철도 사고 위치
시설 장애 (I)	①송전고장 및 장애		
	②선로고장 및 장애	①여객열차	① 역내
	③신호보안장치고장	②일반화물열차	② 일반구간
	④검지장치 작동시	③위험물수송열차	③ 교량구간
	⑤시설물 붕괴	④여객-일반화물열차	④ 터널구간
	⑥통신시설장애	⑤여객-일반화물열차	⑥일반화물 -위험물수송 열차
	⑦기계시설장애	⑥일반화물 -위험물수송 열차	⑥ 차량기지
	⑧역사설비장애		
	⑨전기시설장애	⑦차량외 시설	
	⓪기타		

<표 1> 사고유형 Code 분류체계

3. 비상대응 유형특징 분석

3.1 발생가능 비상대응 유형의 수

비상대응 장애유형 Code에 따른 단순한 이론적인 사고발생 경우의 수는 「사고형태의 수 X 사고대상의 수 X 사고위치의 수 」에 따라 많은 비상사태유형이 발생할 수 있다. 실제 발생 가능한 비상대응 유형 중 가장 심각한 영향을 미칠 수 있는 유형을 선정하기위하여 대상과 위치별로 도출한 사고 특징을 가중치와 피해규모로 나누어 분석한다. 발생 가능한 비상대응 유형의 수는 아래의 식과 같다. [8]

□ 발생가능 경우의 수=∑(발생가능한 사고대상 수X발생가능한 사고위치 수) ..... 식 1

도시철도에서 발생 가능한 사고 유형은 사고형태, 사고 대상, 사고 위치를 조합하여 실질적으로 일어날수 있는 일들을 수로 나타내었다. 특히 사고대상은 여객열차에 피해가 있을 경우와 단순히 시설에 피해가 있을 경우를 구분하였다. 예를 들어 터널구간에서 시설물붕괴로 인해 차량에 직접적인 피해를 줄 경우는 **I514**로 (**I514:**시설장애(I)→시설물 붕괴⑤→여객열차①→터널구간④) 볼 수 있다.

표 4에서 보이는 것 같이 실제 발생 가능한 비상대응 고장 유형의 수를 대입 하여 보면 다음 같은 결과값을 얻을 수있다.

□ 발생 가능한 비상대응 유형의 수

=송전(2X5)+선로(2X5)+신호(2X5)+검지(2X5)+시설붕괴(2X5)+통신(2X5)+기계(1X5)+전기시설(1X5)= 71EA ..... 식 2

3.2 사고대상의 사고 특징별 가중치 및 피해규모설정

가. 사고대상의 사고 형태에 따른 위험가중치

○ 사고대상의 사고특징은 '인명피해', '시설피해'로 사고발생시 비상 대응을 위해서는 인명피해가 더욱 중요하게 다루어져야 한다는 점에서 가중치를 부여한다. (참고문헌 10 참조)

○ 사고특징별 피해규모면에서 피해가 많고 적음을 0~2점으로 나타낸다.

	가중치	피해규모	위험점수
인명피해	2점	0~3점	위험점수 = Σ (가중치X피해규모) ◇가장 위험점수가 큰 대상을 우선순위로 선정.
시설피해	1점	0~3점	

<표 2> 사고형태에 따른 위험 가중치

◇피해규모 표시 : ●-3점, ■-2점, ▲-1점, X-0점

나. 사고위치의 사고특징별 가중치 및 피해규모 설정

○ 사고위치의 사고특징은 '접근곤란', '붕괴위험', '주민피해', '교통방해', '열차지연' 으로 사고발생 시 비상대응을 위해서는 접근곤란 여부가 가장 중요하게 열차지연의 가능성은 더욱 낮게 다루어져야 한다는 점에서 가중치를 부여한다.

○ 사고특징별 피해규모면에서 피해가 많고 적음을 0~3점으로 나타낸다.

	가중치	피해규모	위험점수
접근곤란	5점	0~3점	위험점수 = Σ (가중치X피해규모) ◇가장 위험점수가 큰 대상을 우선순위로 선정.
붕괴위험	4점	0~3점	
주민피해	3점	0~3점	
교통방해	2점	0~3점	
열차지연	1점	0~3점	

◇ 피해규모 표시 : ●-3점, ■-2점, ▲-1점, X-0점

<표 3> 사고위치의 사고특징별 가중치 및 피해규모 기준

3.3 사고형태에 대한 사고 대상과 위치분석

○ 철도사고 종류별 여러 가지 사고형태가 존재하므로 우선순위 판단 기준은「사고대상의 위험점수+사고위치의 위험점수」의 합이 가장 높은 경우를 그 철도사고 종류의 사고형태로 결정하였다. 비상사태 유형를 code 조합하여 위험도에 따라 우선순위를 점수화해서 code별로 우선순위로 부여했다. 사고형태별 위험점수가 가장 높은 대상과 사고위치를 분석하여 보았다.

사고형태	사고대상				사고위치						
	종류	사고특징		위험점수	종류	사고특징					위험점수
		인명피해 (2)	시설피해 (1)			접근곤란 (5)	붕괴위험 (4)	주민피해 (3)	교통방해 (2)	열차지연 (1)	
①송전고장 및 장애	①여객열차	X	●	3	①역내	X	X	X	X	●	3
	⑦차량외시설	X	▲	1	②일반구간	X	X	X	X	●	3
					③교량구간	■	X	X	X	●	13
					④터널구간	●	X	X	X	●	18
					⑥차량기지	X	X	X	X	X	0
②선로고장 및 장애	①여객열차	X	●	3	①역내	X	X	X	X	●	3
	⑦차량외시설	X	▲	1	②일반구간	X	X	X	X	●	3
					③교량구간	■	X	X	X	●	13
					④터널구간	●	X	X	X	●	18
					⑥차량기지	X	X	X	X	x	0

③신호보안장치고장	①여객열차	X	●	3	①역내	X	X	X	X	●	3
	⑦차량외시설	X	▲	1	②일반구간	●	X	X	X	●	18
					③교량구간	X	X	X	X	●	3
					④터널구간	■	X	X	X	●	13
					⑥차량기지	X	X	X	X	X	0
④검지장치작동시	①여객열차	X	▲	1	①역내	X	X	X	X	●	3
	⑦차량외시설	X	▲	1	②일반구간	X	X	X	X	●	3
					③교량구간	■	X	X	X	●	13
					④터널구간	●	X	X	X	●	18
					⑥차량기지	X	X	X	X	x	0
⑤시설물 붕괴	①여객열차	X	▲	1	①역내	X	●	X	X	●	15
	⑦차량외시설	●	X	6	②일반구간	X	●	X	X	●	15
					③교량구간	■	●	▲	▲	●	30
					④터널구간	●	●	X	X	●	30
					⑥차량기지	X	●	X	X	X	12
⑥통신시설장애	①여객열차	X	▲	1	①역내	X	X	X	X	●	3
	⑦차량외시설	X	▲	1	②일반구간	X	X	X	X	●	3
					③교량구간	■	X	X	X	●	13
					④터널구간	●	X	X	X	●	18
					⑥차량기지	X	X	X	X	X	0
⑦기계시설장애	⑦차량외시설	X	▲	1	①역내	X	X	X	X	●	3
					②일반구간	X	X	X	X	●	3
					③교량구간	■	X	X	X	●	13
					④터널구간	●	X	X	X	●	18
					⑥차량기지	X	X	X	X	X	0
⑧역사설비장애	⑦차량외시설	X	▲	1	①역내	X	X	X	X	●	3
					②일반구간	X	X	X	X	X	0
					③교량구간	X	X	X	X	X	0
					④터널구간	X	X	X	X	X	0
					⑥차량기지	X	X	X	X	X	0
⑨전기설비장애	⑦차량외시설	X	▲	1	①역내	X	X	X	X	●	3
					②일반구간	X	X	X	X	●	3
					③교량구간	■	X	X	X	●	13
					④터널구간	●	X	X	X	●	18
					⑥차량기지	X	X	X	X	X	0

<표 4>사고형태에 대한 사고 대상과 위치 분석

3.4 비상대응사태 우선순위 선정결과

비상대응사태 우선순위 선정결과는 9종류의 Code가 선정되었다. 시설분야에서는 **I514**가 위험점수합계에서 가장 높아 위험 요소가 가장 높은 것으로 분석된다.

사고종류	CODE	사고형태	사고대상	위험점수(A)	사고위치	위험점수(B)	위험점수합계(A+B)
시설장애(I)	I114	①송전고장 및 장애	①여객열차	3	④터널구간	18	21
	I214	②선로고장 및 장애	①여객열차	3	④터널구간	18	21
	I314	③신호보안장치고장	①여객열차	3	②일반구간	18	21
	I414	④검지장치작동시	①여객열차	1	④터널구간	18	19
	I514	⑤시설물 붕괴	①여객열차	6	④터널구간	30	36
	I614	⑥통신시설장애	①여객열차	1	④터널구간	18	19
	I774	⑦기계시설장애	⑦차량외시설	1	④터널구간	18	19
	I874	⑧역사설비장애	⑦차량외시설	1	①역사	3	4
	I974	⑨전기설비장애	⑦차량외시설	1	④터널구간	18	19
∴도시철도의 비상사태 대응 시나리오 우선설정 **I514 : 시설장애(I) → 시설물 붕괴⑤ → 여객열차① → 터널구간④**							

<표 5>시설 및 차량 장애의 우선순위 결과

우선순위 선정에서 10가지의 형태(기타사항 포함)에서 총 위험점수의 합계는

□ 총 위험점수 합계=대상별 위험점수(A)+위치별 위험점수(B) .....식 3

같이 표현되며 최종 위험도 순위는 총 위험 점수 합계가 높은 것을 도시철도의 비상대응 시나리오를 작성하였다.

3.5 비상대응 시나리오 작성

다음의 시나리오는 I514시나리오로 시설장애(I), 시설물 붕괴⑤, 여객열차①, 터널구간④로 열차 운행 중 터널구간에서 붕괴사고이다. 각 단계 별로 event를 주었는데 대응에 따라서 일어 날 수 있는 상황전개가 달라지는 것을 알 수 있다. 1단계에서는 기관사 붕괴 인식여부, 단시간 복구 여부, 차량과 충돌여부를 event로 주어진다. 2단계에서는 열차가 안전한 장소 이동여부, 타 열차 운행 여부, 추가지원에 의한 복구여부, 열차 문 개방 여부를 event로 주어진다. 3단계에서는 관계기관의 협력 복구 여부를 event로 주어진다. 이 시나리오는 발생된 사례가 있어 위험도 면에서 제시한 것이다.

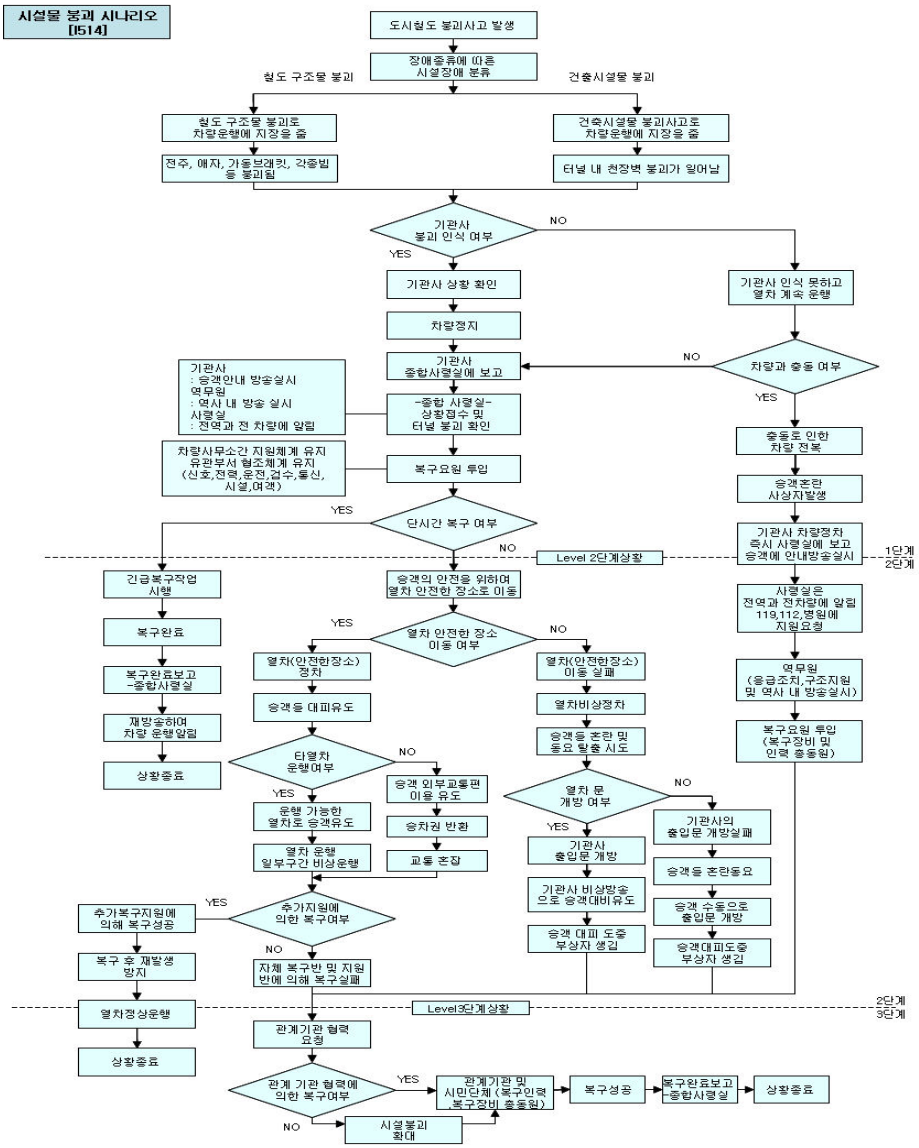

그림 1 시설물붕괴 사고 시나리오

5. 결론 및 향후연구계획

본 연구에서는 도시철도 시설분야의 사고 상황을 Code화함과 동시에 고장 및 사고발생 가능한 비상대응 유형을 선정하였다. 시설분야의 중요한 9가지의 기술별 분류(기타분야 제외)를 선정하였고 각 시설 고장 장애의 우선순위가 도출하여 선정된 유형들의 특징별 장애분석을 통해 비상대응 시나리오를 작성 하는 것이 가능하였다. 실례로 위험도가 가장 높은 터널 시설물 붕괴 시나리오를 구성 할 수 있었다. 향후 이렇게 작성된 시나리오와 check list를 통해 사고 발생시점부터 상황종료 때 까지 모든 상황의 전개에 대한 분석과 대응이 전산모델로 개발 되어져 열차사고 비상대응 시 체계적인 복구시스템의 활용 및 교육 자료로 쓰여 질 것으로 기대한다.

후　　기

본 연구는 건교부 철도종합안전연구사업의 “비상대응 표준운영절차개발 ”과제의 지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

[1] 지하철 안전관리실태(2003.9)-감사원자료
[2] 서울특별시 지하철공사, 안전종합자료집 (pp.603~686)
[3] 서울지하철공사, “지하철에서 재난 및 장애 발생시 조치요령 (역무, 열차운전, 차량, 사령)
[4] 신호설비 사고 및 장애 사례집(1996-2000)-철도청 전기본부 발행
[5] 서울특별시지하철공사 사전지도 점검반 활동보고서(pp75-128)
[6] 사고복구 및 수습기준(예규집 별책)-부산교통공단
[7] 재난 및 장애 발생시 조치요령-광주광역시 도시철도공사
[8] 2005년 철도사고 및 비상대응 관리체계 구축-건설교통부
[9] 이상진,백남욱 저 철도기술용어해설집 (사단법인 한국철도학회)
[10] 강인권 편저 전기철도 시스템 공학 “전기철도의 구성요소 (pp2-25)”