

중앙선 전철/전력분야 위험도 평가 연구  
A study on Risk Assessment for Electric Railway  
on Choongang Line

이기원,\* 김주락,\* 장동욱\*  
Kiwon Lee, Joorak Kim, Donguk Jang

ABSTRACT

Railway safety is based on a risk analysis and safety assessment for the whole railway system as human, train, electric, signaling, operation, maintenance and etc. Therefore in this study, after investigating the accidents happened in electric railway on Choongang line for 5 years, from '97 to '01, a Data-Base was made through a cause and result analysis. In consideration of economic loss and human resources damage, a risk assessment for electric railway was also performed.

1. 서론

철도안전은 인간요소, 열차, 전기신호, 운영 및 세이, 유지보수 등 철도시스템 전반에 대한 위험 분석 및 안전성 평가를 기본으로 하고 있으며, 관련 위험도를 사전에 제거하거나 적절한 수준으로 관리할 수 있는 시스템 차원의 안전성 평가기술의 확보가 필수적이다. 특히 철도 안전성능평가는 공공서비스기술로서 국민의 생명보호와 철도안전운행을 보장하고 국제수준의 품질보장을 위해 확보해야 할 고유기술이며, 고속운행과 복합시스템 특성을 고려한 체계적인 위험분석과 사전 안전점검에 의한 철도사고 위험요인의 사전제거와 안전확보가 요구된다.

즉, 철도안전은 어떤 사고에 대한 발생 위험을 적절한 수준까지 감소 또는 개선시킴으로써 달성 되는 것으로서 특히 대형사고 및 대규모 인명사상의 위험에 대한 사전대응과 예방대책 수립에 필요한 체계적인 사고위험 분석기술의 개발과 종합적인 안전성능 평가체계 구축이 필수적으로 요구된다.

또한, 주기적 안전평가 및 성능검증 수행에 필요한 철도안전정보프로그램 구축 및 안전심사 기술기 준 개발이 시급한 상황이다. 철도안전성능평가 기술의 개발은 사회적 비용절감과 시스템 안전관리 의 선진화 측면에서 그 중요성과 필요성을 확인할 수 있다.

\* 한국철도기술연구원 주립연구원

따라서, 본 연구에서는 철도청 서울전기사무소에서 관할하는 전철/전력분야 장애 중 5년간(1997~2001)의 장애를 사고일시, 발생장소, 개항요약, 그리고, 각 장애의 원인 및 결과를 여러 단계로 나누어 D/B를 구축하였고, 그 중 중앙선에 대하여 장애유형별 그리고, 원인별 위험도 분석을 수행하였다.

## 2. 전철/전력분야 장애 분석 및 D/B 구축

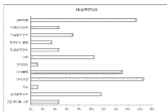
철도청 서울전기사무소에서 관할하는 전철/전력분야 장애 중 5년간(1997~2001)의 장애를 D/B를 분석하여 아래와 같은 형식으로 D/B를 구축하였다.

[표 1] 전철전력분야 장애D/B

구분	A   B   C		D   E   F		
	사건계좌	사건내용	사건분류	사건분류	사건분류
3	일월	철도청사무소	장애	장애	장애
4	1997. 11. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
5	1998. 01. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
6	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
7	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
8	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
9	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
10	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
11	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
12	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
13	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
14	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
15	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
16	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
17	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
18	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
19	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
20	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
21	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
22	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
23	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
24	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
25	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
26	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
27	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
28	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
29	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
30	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
31	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
32	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
33	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
34	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
35	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
36	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
37	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
38	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
39	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
40	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
41	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
42	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
43	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
44	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
45	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
46	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
47	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
48	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
49	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
50	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
51	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
52	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
53	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
54	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
55	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
56	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
57	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
58	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
59	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애
60	1998. 04. 17	중앙선 1차	장애	장애	장애

D/B는 사고일시, 발생장소, 개항요약, 그리고, 각 장애의 원인 및 결과로 나누어 정리하였다. "원인" 및 "결과"는 사고가 발생한 직접적인 원인 및 결과를 "원인(1)" 혹은 "결과(1차"로 정의하고, 그 원인 혹은 결과에 대하여 대분류(2차 혹은 3차)로 확대하여 분류하였다. 그리고, "원인(3)"에서 표현된 내부 혹은 외부의 판단기준은 사고의 원인이 철도청 내부에 있는지 혹은 외부에 있는지에 따라 분류하였고, "사고분류1"에서는 사고를 크게 변전, 송전, 전철 및 전력으로 분류하였다.

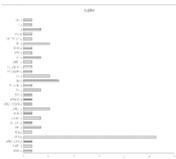
이와 같이 구축된 D/B를 기초로 중앙선을 타겟구간으로 정하고, 5년간 중앙선 전기철도에서 일어난 장애의 원인 및 결과에 대하여 통계를 내었다. 아래 그림은 장애 원인 및 결과에 대한 통계를 보여주고 있다.



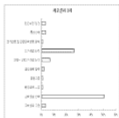
[그림 1] 장어 원인(2차)



[그림 2] 장어 원인(3차)



[그림 3] 장어 결과 1차



[그림 4] 장어 결과 2차

여기서, 각 장어 피해군 아래 그림과 같이 장어사상, 피해시원, 피해정도(1~4), 저상연차 및 연평피해로 나누고, 해당 피해에 대한 정보를 입력하였다. 단, 여기서 피해정도 및 피해시원의 비용은 약간의 주관적 판단이 개입되었다.

[표 1] 피해분류

장어 피해(%)		피해		
		피해시원	피해정도	저상연차
0	14	0	0	0

### 3. 중앙선 전철/전력 분야 위험도 평가 연구

운전 장애는 현재 차량탈선, 차량피손, 송전고장, 송전 장애를 비롯한 22가지로 분류되어 있는데, 본 연구에서 분석한 사고는 전력, 송전, 변전 및 전철에 해당한다. 일반적으로 운전장애는 철도사고 중 가장 위험도가 낮은 사고로서 대부분의 경우 외부의 환경변화 또는 지연체제로 인한 사고가 대부분이다. 이러한 사고로 인한 경제적 손실 및 이적피해를 고려하여 위험도를 평가하였다.

위험도는 사고발생빈도 및 사고결과를 정량적 혹은 정성적으로 다단계의 상대적 수준으로 나누어 Matrix 형태로 표현한다. 위험도는 사고발생빈도와 사고결과의 심각도 결합한 것으로서 다음과 같이 표현한다.

$$\text{위험도} = \text{사고발생빈도(Likelihood)} \times \text{사고결과의 심각도(Severity)}$$

1997년부터 2001년까지의 각 사고마다 장애시간, 기기손실, 열차지연 및 인명피해 등이 발생하였는데, 이 네 가지 사고결과 심각도는 각기 다른 단위이기 때문에 한가지 단위로 변환할 필요가 있어 아래와 같이 사고결과 심각도를 표현하였다.

사고결과 심각도

$$= C_1 \times (\text{장애시간}) + C_2 \times (\text{열차지연시간}) + C_3 \times (\text{시설피해}) + C_4 \times (\text{인명피해})$$

이때  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  및  $C_4$ 는 각각의 사고결과를 비용으로 환산하기 위한 변환인자이다. 사고자료에는 정확한 피해액이 나와 있지 않아 변환인자를 아래와 같이 사용하였다.

$$C_1 = 10^6$$

$$C_2 = 0.5 \times 10^7$$

$$C_3 = 10^7$$

$$C_4 = 10^9 \text{ (사망)}$$

$$C_4 = 0.5 \times 10^9 \text{ (중상)}$$

$$C_4 = 0.2 \times 10^9 \text{ (경상)}$$

장애시간 및 열차지연시간은 실제시간을 시설피해의 경우는 피해정도를 1에서 4등급으로 나누어 그 등급의 숫자를 사용하였다. 인명피해의 경우 사망, 중상 및 경상의 경우를 임의적으로 설정하였다.

각 사고에 대한 위험도를 대분류로 분류하여 계산한 결과를 정리하면 아래 표와 같다.

[표 3] 사고결과 유형별 총위험도

[단위 10<sup>6</sup>원]

년도	사고결과유형					합계
	승전	변전	전철	전력	기타	
1997년	6.28	17.35	46.62	301.42	7.37	379.04
1998년	-	28.55	157.05	101.23	-	286.83
1999년	0.05	36.23	502.70	174.70	-	713.68
2000년	-	0.00	82.12	114.83	17.00	213.95
2001년	-	2.83	110.68	172.52	-	286.03
합계	6.33	84.96	899.17	864.7	24.37	1,879.53

[표 4] 사고결과 유형별 사고건당 위험도

[단위 10<sup>6</sup>원]

사고결과 유형					합계
승전	변전	전철	전력	기타	
1.27	9.66	35.97	18.40	8.12	74.42

위의 결과를 보면 5개년 총위험도 및 사고건당 위험도는 전철분야가 가장 큰 것을 알 수 있다. 이는 주로 인명피해, 빈도수 및 지장열차로 인한 결과이다. 또한, 사고의 위험도가 상대적으로 큰 전철 및 전력분야에 대해서 원인별 연간위험도를 계산하면 아래 표와 같다.

[표 5] 사고원인별 연간 위험도(전철분야)

년도		1997년	1998년	1999년	2000년	2001년	합계
사고 원인	이불결점측	21.18	59.12	161.37	40.92	110.69	306.24
	장간애자 고장	10.65	0.00	0.00	0.00	0.00	10.65
	가동 브라켓트 파손	14.78	0.00	0.00	0.00	0.00	14.78
	차량탈선	0.00	13.52	41.63	0.00	0.00	55.15
	감전	62.45	0.00	253.54	0.00	0.00	315.99
	화물열차 진입	0.00	21.97	0.00	0.00	0.00	21.97
	낙뢰	0.00	0.00	43.73	0.00	0.00	43.73
	전주기초 유실	0.00	0.00	2.43	0.00	0.00	2.43
미확인	0.00	0.00	0.00	41.20	0.00	41.20	
합계		109.06	94.61	502.70	82.12	110.69	899.18

전철분야의 사고원인별 위험도를 보면 감전 및 이불결점측 순으로 가장 높은 위험요인이 결정되었다. 이는 인명피해로 인한 높은 심각도, 지장열차 시간 및 빈도수 때문이다. 그리고, 전력분야의 경우 낙뢰 및 케이블 절연불량의 순으로 위험도가 높았는데, 이는 피해설비의 비용 및 빈도수에 기인한다.

[표 6] 사고원인별 연간 위험도(전력분야)

년도		1997년	1998년	1999년	2000년	2001년	합계
사고 원인	낙뢰	135.52	0.00	51.88	21.07	41.97	250.44
	이물접촉측	52.65	16.83	0.47	1.53	15.13	86.61
	미원인	1.93	0.00	0.00	0.00	0.00	1.93
	기중 개폐기 불량	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10
	고배용 주변압기 절연과괴	40.10	0.00	0.00	0.00	0.00	40.10
	기중 개폐기 고장	22.60	0.00	0.00	0.00	0.00	22.60
	라인 포스트 애자고장	12.38	12.72	0.00	0.00	0.00	25.10
	고압 케이블 절연불량	32.15	40.28	11.80	22.28	73.96	180.47
	기중 개폐기 절연불량	0.00	25.57	0.00	0.00	0.00	25.57
	신호용 변압기 고장	0.00	5.84	5.00	1.25	41.47	53.56
	피뢰기 저저에자 및 GPT불량	0.00	0.00	38.65	0.00	0.00	38.65
	조명용 변압기 절연불량	0.00	0.00	49.50	0.00	0.00	49.50
	폭우	0.00	0.00	17.40	0.00	0.00	17.40
	피뢰기 고장	0.00	0.00	0.00	24.45	0.00	24.45
	이격거리 불량	0.00	0.00	0.00	1.18	0.00	1.18
	COS 절연불량	0.00	0.00	0.00	43.07	0.00	43.07
합계	301.43	101.24	174.70	114.83	172.53	864.73	

#### 4. 결론

본 연구에서는 철도청 서울전기사무소에서 관할하는 장애 중 5년간(1997~2001)의 장애를 원인, 사고원인, 발생장소, 개황요약, 그리고, 각 장애의 원인 및 결과를 여러 단계로 나누어 D/B를 구축하였고, 그 중 중앙선에 대하여 사고유형별 그리고, 원인별 위험도 분석을 수행하였다.

사고유형에 따라 전철, 전력, 변전 및 송전으로 분류하여 위험도를 계산한 결과, 총위험도 및 사고건당 위험도에서 전철분야가 가장 큰 것을 알 수 있다. 이는 주로 인명피해, 빈도수 및 지장열차로 인한 결과이다. 그리고, 사고의 위험도가 상대적으로 큰 전철 및 전력분야에 대하여 장애 원인별 연간위험도를 계산한 결과, 전철분야는 감전 및 이물접촉 측으로 가장 높은 위험요인이 결정되었고, 전력분야는 낙뢰 및 케이블 절연불량의 순으로 위험도가 높았다. 전철분야의 경우 인명피해로 인한 높은 심각도, 지장열차 시간 및 빈도수 때문이고, 전력분야의 경우 피해설비의 비용 및 빈도수에 기인한다.

철도사고의 재발방지를 위하여 철저한 사고원인 추적에 의해 위험원인을 사전에 제거하고 적절한 수준으로 관리할 수 있기 위하여 중앙선 전철/전력분야에 대하여 기초적인 사고 위험도 평가를 실시하였다. 향후 위험도가 높은 장애에 대하여 심도있는 검토와 재발방지 대책이 필요하다. 또한, 장애 원인 및 결과 분류에 있어 사고개황반으로 판단하기 어려운 점이 많아, 향후 일괄적이고 상세한 검토보고서 양식마련 및 작성이 시급할 뿐 아니라, 장애원인에 대한 정확한 분석이 필요하다.

#### 참고문헌

- [1] "전기설비보수편람", 철도청
- [2] "철도사고방지 및 안전확보를 위한 핵심기술개발 연구", 한국철도기술연구원, 2003
- [3] "전철/전력분야 장애 개황" 철도청, 1997 - 2003