코레일공항철도 전동차 계전기 수명예측을 통한 효율적 유지관리방안 연구

A Study on Effective Maintanance Plan by Life Prediction for Relays of AREX's EMU

김세겸*, 구정서*†, 주형식**, 이정모**, 주해진**

Se-Kyum Kim*, Jeong-Seo Koo *†, Hyung-Sik Chu**, Jeong-Mo Lee**, Hae-Jin Joo**

Abstract The life of the electrical relays used in the electric train (EMU) has a variance depending on a lot of environmental factors. However, the manufacturers of the relays generally presented their life based on electrical/mechanical operation frequency without considering environmental factors. So, maintenance companies are facing much difficulty on the maintenance for the relays. In this paper, An efficient maintenance of the relays used in the Korail Airport Railroad's EMU was suggested by considering environmental factors suitable for Korail Airport Railroad's operation condition It matched the weighted values considered environmental factors (Criticality, Risk, Number of operations, Time of operation, Thermal condition) to the life prediction of the relays obtained by using a commercial statistics software.

Keywords **:** Criticality, Risk, Thermal condition, Weighted value , Percentile of life

초 록 전동차에 사용되는 계전기의 수명은 사용환경에 대한 영향인자에 따라 많은 차이를 보인다. 그러나 계전기 제작사에서는 사용환경이 고려되지 않은 전기적/기계적 동작횟수를 기준으로 수명사항을 제시하기 때문에 철도 운영기관에서는 계전기 유지보수에 많은 어려움을 겪고 있다. 본 논문에서는 코레일공항철도 전동차 계전기를 대상으로 계전기별 사용환경에 따른 가중치를 부여하고 통계프로그램을 이용하여 고장이력에 따른 수명을 접목시킴으로써 공항철도 사용환경에 부합하는 수명을 예측하여 효율적인 유지관리방안을 제시하고자 한다.

주요어 : 치명도, 위험도, 발열조건, 가중치, 백분위 수명

1. 서 론

군수, 항공 분야뿐만 아니라 최근 철도분야에도 신뢰성에 대한 관심이 높아지면서 RAMS활동 및 유지보수 최적화 연구 등이 활발하게 이루어 지고 있다. 철도운영기관에서는 철도운영의 신뢰성을 높이기 위하여 차량의 중요 부품의 수명을 정하여 수명주기가 도래하기 전에 미리 교체하는 예방정비를 시행하고 있다. 여기서 가장 중요한 요건 중 한가지는 적정한 수명을 예측하는 것이라 할 수 있는데, 같은 부품이라도 운영기관마다의 운행패턴 및 환경에 따라 수명은 많은 차이를 보인다.

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도차량시스템공학과
(koojs@seoultech.ac.kr cjkim@hk.ac.kr)
* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도차량시스템공학과
** 코레일공항철도㈜ 차량처

특히 이 중 계전기는 그 종류나 동작 횟수, 동작시간 등 사용환경이 매우 다양하여 각 계전기 마다 사용환경에 대한 영향인자에 따라 수명은 천차만별이다. 그러나 계전기 제작사에서는 이러한 사용환경 등이 고려되지 않은 전기적/기계적 동작횟수만을 기준으로 수명사항을 제시하기 때문에 철도 운영기관에서는 신뢰도 높은 예방정비에 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 좀 더 신뢰도 높은 예방정비 즉, 유지관리를 위해서는 운행방식 등의 사용환경에 대한 분석을 통하여 그 환경을 반영한 새로운 유지관리 기준이 필요한 상황이다. 본 논문에서는 코레일공항철도 전동차에 사용되는 계전기를 대상으로 사용환경에 대한 분석을 통하여 치명도, 안전도, 사용빈도 등 5가지 사용환경 별 등급 분류에 따라 가중치를 부여하고 통계 프로그램을 이용하여 고장발생이력에 따른 수명을 접목시킴으로써 코레일공항철도 환경에 부합하는 현실적인 계전기의 수명을 예측하여 효율적인 유지관리방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 코레일공항철도 전동차의 사용환경 별 계전기 등급 분류

2.1.1 사용환경 별 계전기 등급 분류 기준

계전기들의 각각 다른 환경 조건들을 파악하기 위하여 Table 1~ Table 4와 같이 조건 별로 등급을 분류하였다.

▶ 치명도(C)에 따른 등급 분류

Table 1 The classification according to Criticality

등급	기 준	점수	비고
C1	자력운행 불가(구원운전만 가능)	7	자차,기관차 구원
C2	비상추진 운행만 가능	6	EO모드 운행
C3	운행은 가능하나 추진/제동력이 부족한 경우	5	연장급전 운행
C4	비상운전모드로만 운행 가능	4	EM모드 운행
C5	운행은 가능하나 운행지연 발생 예상됨	3	바이패스취급운행
C6	운행은 가능하나 해당기능 상실(기교체 필요)	2	서비스기기 OFF
C7	운행은 가능하나 해당기능 상실(기교체 불필요)	1	운행에 지장 없음

▶ 위험도(R)에 따른 등급 분류

Table 2 The classification according to Risk

등급	기 준	점수	비고
R1	승객의 안전이 중대하게 위협 우려가 있음	6	출입문 관련
R2	승객의 안전이 미세하게 위협 우려가 있음	5	제동 관련
R3	당장 승객의 안전 위협은 없지만 문제 우려가 있음	4	구원운전
R4	당장 승객의 안전 위협은 없지만 문제 우려가 있음	3	비상운전모드
R5	비상시 승객 등이 필요로 하는 경우	2	비상 관련
R6	승객의 안전상 문제 없음	1	서비스기기

▶ 사용빈도(N) 및 사용시간(T)에 따른 등급 분류

Table 3 The classification according to Number of operation and Time of operation

등급	사용 빈도 기준(일)	점수	등급	사용시간 기준(일)	점수
N1	176회 이상	8	-	-	-
N2	151회 ~ 175회	7	-	-	-
N3	126회 ~ 150회	6	T1	1251분 이상	6
N4	101회 ~ 125회	5	T2	1001분 ~ 1250분	5
N5	76회 ~ 100회	4	T3	751분 ~ 1000분	4
N6	51회 ~ 75회	3	T4	501분 ~ 750분	3
N7	26회 ~ 50회	2	T5	251분 ~ 500분	2
N8	0회 ~ 25회	1	T6	0 ~ 250분	1

▶ 발열조건에 따른 등급 분류

Table 4 The classification according to Thermal condition

등급	기 준	점수	비고
F1	좌우측 동작시간이 모두 1000분 이상	5	
F2	좌우 한쪽만 동작시간이 1000분 이상	4	
F3	좌우측 동작시간이 500분 이상	3	
F4	좌우 한쪽만 동작시간이 500분 이상	2	
F5	좌우측 모두 500분 이하	1	

2.1.2 사용환경 별 계전기 등급 분류

코레일공항철도 전동차의 배전반 내에 취부 되어 있는 총 179개의 계전기를 대상으로 사용환경 별로 등급을 분류한 결과 Fig. 1과 같이 치명도에서는 C5등급(운행은 가능하나 운행지연이 예상됨), 안전도에서는 R6등급(승객의 안전상 문제없음), 사용빈도에서는 N8등급(0~25회), 사용시간에서는 T6(0~250분), 발열조건에서는 F2등급(좌우 한쪽만 동작시간이 1000분 이상)이 가장 많은 비율을 나타내었다.

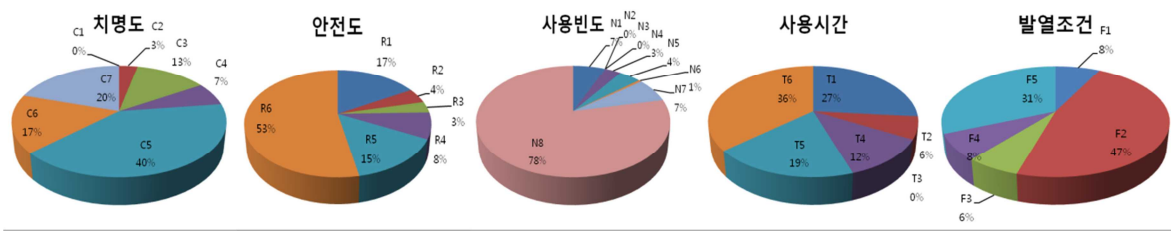


Fig. 1 The classification rate according to environmental factors of relays

2.2 사용환경 별 가중치 비율 산정

2.2.1 가중치 비율 산정 기준

계전기의 중요도와 수명에 미치는 영향 정도에 따라 환경조건 별 가중치 점수를 부여하여 [치명도 2배, 위험도 1.5배, 동작횟수 1배, 동작시간 0.5배, 발열조건 0.2 배]의 비율로 산정하였다 계전기 별 가중치 총 점수는 식(1)과 같이 도출하였다.

$$\text{총점수} = (2 \times CP) \bullet (1.5 \times RP) \bullet (NP) \bullet (0.5 \times TP) \bullet (0.2 \times FP) \quad (1)$$

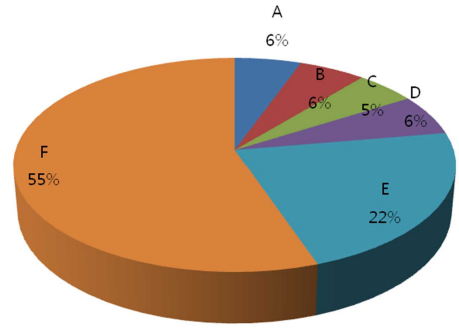
여기서 CP = 치명도 가중치 점수, RP = 안전도 가중치 점수, NP = 사용빈도 가중치 점수, TP = 사용시간 가중치 점수, FP = 발열조건 가중치 점수

2.2.2 계전기 별 총 가중치 점수 산정

계전기별 총 가중치 점수 산정 결과, A 등급 계전기에서는 출입문 상태관련 계전기가 해당되었고 B 등급 계전기에서는 제동과 출입문 동작 관련 계전기가 해당되었다. 또한 Table 3 에서와 같이 F 등급 계전기가 가장 많은 비율을 나타내었다.

Table 4 Total weighted score of relays

계전기 등급	계전기 수량	가중치 총 점수
A	10	600 점 이상
B	10	300 점 이상
C	9	100 점 이상
D	11	50 점 이상
E	40	10 점 이상
F	99	10 점 미만



2.3 코레일공항철도 고장이력에 따른 수명예측

2.3.1 고장이력 데이터 분석

코레일공항철도가 개통한 2007년 3월 이후 2013년 7월까지 약 6.5년간 계전기 고장발생 현황을 분석한 결과 총 32건의 계전기 고장이 발생하였으며,Fig 2 와 같이 고장률 추이를 볼 때 고장률은 점점 증가하는 것을 확인하였다. 제작사에서 제시하는 동작횟수를 감안해 볼 때 계전기의 수명은 매우 짧았으며 이러한 현상은 코레일공항철도 환경 특성상 염분이 많은 지역으로 운행하는 조건으로 인해 수명이 짧게 나타나는 것으로 생각해 볼 수 있다.

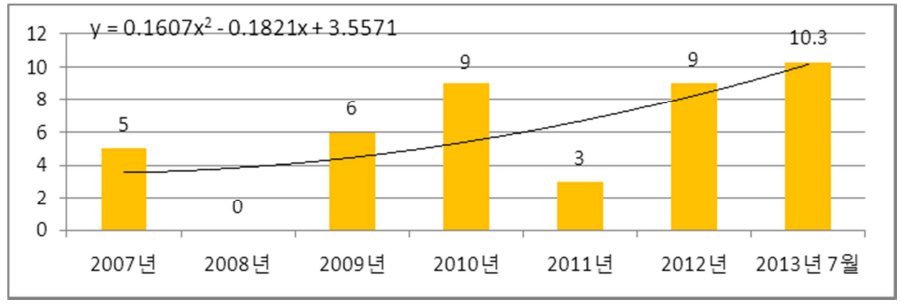


Fig. 2 Failure rate trend of relay for Korail Airport Railroad's EMU

2.3.2 고장이력에 따른 수명예측 시뮬레이션

계전기 고장발생 데이터를 통해 통계프로그램(미니탭)을 이용하여 계전기의 수명을 시뮬레이션 결과,Fig. 3와 같이 MTTF는 8,956일로 약 24.5년으로 확인되었다.

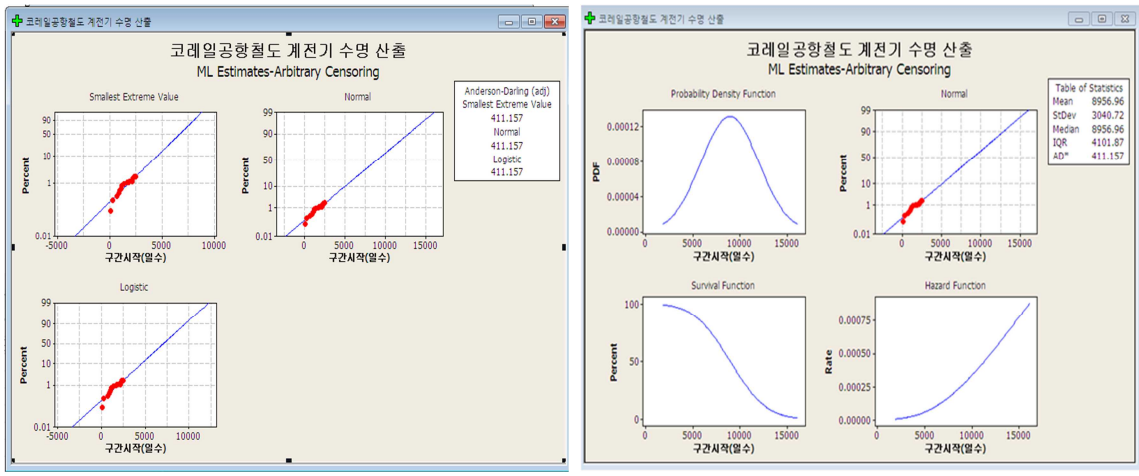


Fig. 3 Simulation Results for life prediction of relays

2.4 계전기 유지관리기준 산정

시뮬레이션을 통해 산출된 계전기의 백분위 수명과 코레일공항철도 주행거리는 Table 5 와 같다. 효율적인 유지관리를 위해 위 Table 4 의 가중치 점수별 계전기 등급을 백분위 수명과 접목시킴으로써 정비주기별 계전기 정밀점검 및 교체주기를 Table 6 와 같이 도출하였다. D 등급 이하 E, F 등급 계전기는 상대적으로 가중치 점수가 낮으므로 고장발생 시에만 교체를 기준으로 한다.

Table 5 percentile life and mileage of relays

백분위수명	예상수명(일)	예상수명(년)	주행거리(km)
L1 수명	1883	5.2	1444.5
L2 수명	2712	7.4	2080.4
L3 수명	3238	8.9	2483.9
L4 수명	3633	10.0	2787.0
L5 수명	3955	10.8	3034.0
L6 수명	4229	11.6	3244.2
L7 수명	4469	12.2	3428.3
L8 수명	4684	12.8	3593.2
L9 수명	4880	13.4	3743.6

Table 6 percentile life and mileage of relays

백분위 수명	정비 주기	정비 사항
L1 수명	120 만 km 정비 시	A 등급 정밀점검
L3 수명	240 만 km 정비 시	A 등급 일괄교체 B 등급 정밀점검
L5 수명	300 만 km 정비 시	B 등급 일괄교체 C 등급 정밀점검
L8 수명	360 만 km 정비 시	C 등급 일괄교체 D 등급 정밀점검
L20 수명	480 만 km 정비 시	D 등급 일괄교체

3. 결 론

(1) 코레일공항철도 전동차에 사용 되어지는 계전기의 사용 환경을 고려하기 위한 데이터베이스를 구축하고 사용 환경별 가중치를 산정하여 계전기 별 가중치 점수를 도출함으로써 계전기의 우선순위를 정하였다.

(2) 코레일공항철도 개통 이후 전동차 계전기의 고장발생 이력 데이터를 분석하고 통계프로그램을 이용하여 수명예측 시뮬레이션을 실시한 결과 계전기의 MTTF는 약 24.5년으로 확인되었다.

(3) 코레일공항철도 운행상황에 부합하도록 계전기별 가중치 점수와 계전기의 수명 예측 값을 접목시켜 120만km 정비 시부터 480만km정비 시까지 단계별로 계전기의 점검 및 교체주기를 산정함으로써 효율적인 유지관리 기준을 제시하였다.

참고문헌

[1] Shin K.Y., Ji J. K (2011) “Life Analysis and Reliability Prediction of Relays based on Life Prediction Method“, *Journal of The Korean society for Railway*, pp. 1327-1335 .

[2] Park J.H., Kim Ho. K., Lee K. S (2011) “Improvement of VVVF Inverter of the Line 7 EMU by Applying FMECA process”, *Journal of The Korean society for Railway*, pp. 7-13 .

[3] Shin K.Y., Lee D. K., Lee H. S (2010) “Life Analysis of Relays based on Life Prediction Method“, *Journal of The Korean society for Railway*, pp. 604-611 .

[4] Park M. H., Shin B. C., K C. S (2009) “A Case Study on Determining the Replacement Interval for the CMB Contactor”, *Journal of The Korean society for Railway*, pp. 7191-197.

[5] Park K S., Kim T. W., Jeong H, Y (2006) “Development of the FMECA process And Analysis Methodology for the Railroad System”, *Journal of The Korean society for Railway*, pp. 39-48.

[6] Seo S. K (2009) Minitab Reliability Analysis, Eretech, pp. 159