

선로전환기 점검주기 최적화를 위한 모니터링시스템 설계

임인택^{1*}, 박재영¹

¹우송대학교 철도전기시스템학과

The Design of Monitoring System to Optimize Points Inspection Intervals

In-Taek Lim^{1*} and Jae-Young Park¹

¹Division of Railroad Electrical System Engineering, Woosong University

요약 선로전환기를 제어하는 제어모듈은 첨단화되었으나 타 도시철도 운영기관의 점검주기 및 점검방식을 그대로 도입, 계전연동장치를 사용하던 시기와 동일하게 적용하여 과잉정비 및 오정비로 인한 장애를 발생시켰다. 장애복구 과정에서 인적오류는 열차의 탈선 등 중대사고로 이루어질 수 있어 선로전환기 모니터링시스템을 설치하고 실시간으로 선로전환기의 운영 상태를 자동으로 감시할 수 있도록 하였다. 고장유형별 치명도, 평균고장간격(MTBF), 평균복구 간격(MTTR), 가용률을 산출한 결과와, 점검항목별 유지보수요원의 의견을 반영하여 점검주기를 변경하고 유지보수를 시행한 후에 작업이 간소화되었고 연평균 11건 발생하던 고장이 4년 연속 한건도 발생하지 않았다.

Abstract The control module controlling points has become high-tech. but the introduction of relevant company's inspection intervals and methods, and the adoption of the way which is used in relay interlock system became the cause of a failure by excessive and incorrect maintenance. The Human error in failure recovery process can cause vital accidents including train derailment, the points monitoring system could prevent this problem by monitoring points' operation condition in real time. After conducting the changed inspection intervals that applied the results of the criticality of each failure type, MTBF, MTTR, availability, maintainer's opinion, the work became simplified, and , the failure did not occur for 4 consecutive years in contrast to the previous annual average of 11 failures.

Key Words : Point Machine Monitoring System, Criticality, MTBF, MTR, NOR, RCM, XOR

1. 서론

열차의 충돌, 탈선은 대부분 선로전환기가 설치된 분기부에서 일어나기 때문에 정확한 점검 및 정비가 이루어지지 않을 경우 대형사고로 이어질 수 있는 요인을 가지고 있어 완벽한 유지보수가 절대적으로 필요하다.

현재 대부분의 도시철도 운영기관은 동일한 마찰클러치가 장착된 선로전환기(NS-A형) 또는 마그네틱클러치가 장착된 선로전환기(NS-AM)를 사용하면서 점검주기 및 항목, 방법 등은 서로 다르고 객관성이 결여되어 있다 [1].

일부 점검항목은 명확한 법적, 시스템 제조사의 권고 근거 없이 타 운영기관의 신호설비관리규정을 도입하거나, 경험에 의해 점검주기를 선정하여 비효율적인 점검과 시행착오 등으로 병발 장애가 발생하고 있어 점검주기 선정에 대한 과학화가 필요한 시점이다.

이에 따라 점검주기 개선을 위해 유지보수요원이 선로전환기 제어계통에 직접 접근하지 않고 제어전압, 전동기 구동전압, 표시전압을 자동 측정, 실시간 고장감시 가능한 선로전환기 모니터링시스템[2]을 설치하고, 신뢰성기반유지보수(RCM : Reliability centered Maintenance)를 시행하여 점검주기 개선을 이룰 수 있었다[3].

*Corresponding Author : In-Taek Lim(Woosong Univ.)

Tel: +82-10-3390-3321 email: okdjet@nate.com

Received April 02, 2013

Revised (1st June 24, 2013, 2nd July 1, 2013)

Accepted July 11, 2013

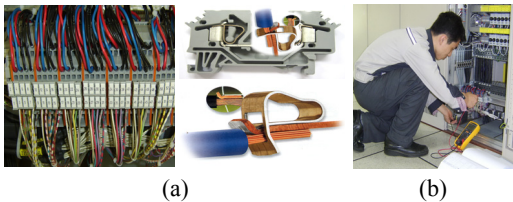
본 논문에서는 신뢰성기반유지보수를 시행하여 산출된 치명도(Criticality), 평균고장간격(MTBF : Mean Time Between Failure), 평균복구간격(MTTR : Mean Time To Repair), 가용률(Availability) 등 정량적 데이터(55%)와 유지보수요원에게 설문한 고장의 명확성, 열차지연요인, 데이터 신뢰성, 점검의 필요성 등 정성적 데이터(45%)를 반영하여 객관화된 점검주기 최적화 방안을 제시하였다 [4,5].

2. 선로전환기 모니터링시스템 설계

2.1 선로전환기 제어시스템 구성

대전도시철도에서 사용하는 선로전환기 제어모듈(DEWEMO : Decentralized Element Interface Module for Points)은 전자연동장치(SICAS : Siemens Computer Aid Signalling)에서 제어명령을 수신하여 선로전환기를 제어한다.

현장으로 출력되는 제어 및 표시, 전동기 구동 전원케이블은 Fig. 1의 (a)와 같이 스프링에 의해 케이블을 고정하는 케이지크램프(Cage clamp)단자대로 구성되어 진동에 의한 접속불량 장애가 발생되지 않도록 구성되어있다.



[Fig. 1] Cage clamp & Voltage measurement scene
(a) Cage clamp (b) Measurement scene

2.2 유지보수의 문제점

선로전환기의 정기점검과 고장시 복구를 위해 Fig. 1의 (b)와 같이 케이지크램프 단자대에 테스트를 사용하여 제어전압, 표시전압, 전동기 구동 전압을 개별적으로 측정하여 고장개소를 신속하게 판단하기는 불가능하다.

이 과정에서 케이지크램프 단자대에 테스트의 측정봉을 자주 삽입하여 스프링의 탄성변화로 접속불량에 의한 고장이 발생한다.

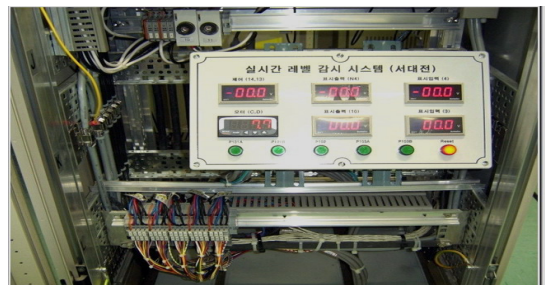
고장발생시 유지보수요원이 현장에 도착하여 원인을 파악하기 위해 도면에 의존하며, 인적 에러(Human error)에 의해 복구시간이 지연되거나 불완전한 조작을 하게 되면 열차충돌, 탈선 등의 사고가 발생할 수 있다.

2.3 선로전환기 모니터링 시스템 설계

2.3.1 제어부, 표시부 및 원격시스템 설계

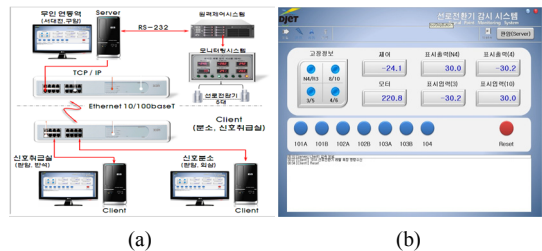
Fig. 2와 같이 신호기계실에서 선로전환기 모니터링 시스템을 사용하여 측정개소의 표시 입·출력 전압(DC 30V), 제어전압(DC 24V), 전동기 구동전압(AC 110V)등을 연동역의 모든 선로전환기를 일괄적으로 감시, 측정한다. 선로전환기 모니터링시스템은 제어부는 하나의 선로전환기를 감시, 측정 중에는 다른 선로전환기의 오동작을 방지하기 위하여 배타적 논리합(XOR: Exclusive OR)회로를 사용하여 장애유발요인을 근본적으로 제거한 시스템이다.

유지보수요원은 선로전환기 모니터링시스템의 점검대상 선로전환기 푸쉬버튼을 누르기만 하면 선로전환기 운영상태 점검 및 고장내용을 실시간으로 확인할 수 있고 적색 푸쉬버튼을 누르면 동작을 중지한다.



[Fig. 2] Points Monitoring System

무인연동역에서 선로전환기가 고장이 발생하면 유지보수요원이 출동하여 복구하기까지 많은 시간이 소요되어 열차지연이 불가피하다.



[Fig. 3] Points Remote Monitoring System
(a) Construction diagram (b) Monitoring screen

이러한 문제점을 개선하기 위해 선로전환기를 원격에서 감시할 수 있도록 Fig. 3과 같이 원격 선로전환기 모니터링시스템을 도입하여 분소 및 인접 신호취급실에서도 선로전환기의 동작상태를 실시간 자동으로 감시한다[6].

2.3.2 모니터링시스템 적용 효과

고장이 발생하면 유지보수요원은 원격지에서 선로전환기의 고장상태를 사전인지하고 출동하여 복구시간을 단축할 수 있다.

선로전환기가 정상 상태일 경우 표시출력(N4, 10) 표시입력(3, 4)회선 동일하게 각각 +30[V], -30[V]로 측정되어야한다.

그러나 회선 접지고장이 발생된 경우 Fig. 4의 (a)와 같이 표시출력(N4, 10)이 0[V]로 측정되며, 회선 단선 또는 접촉불량이 발생된 경우 Fig. 4의 (b)와 같이 표시출력(N4, 4)회선이 -60[V], 0[V]로 측정된다.

이와 같이 선로전환기의 상태가 자동으로 감시되기 때문에 별도의 측정, 판단이 불필요하다.



[Fig. 4] Failure detection
(a) Ground failure (b) Disconnection failure

3. 점검주기 최적화

3.1 점검 항목 및 주기

Table 1은 도시철도 운영기관 별 점검 항목 및 주기를 일부 발췌한 것이며, 동일한 선로전환기(NS-A, NS-AM)의 점검주기가 1개월~1년 정도 차이가 나는 것을 알 수 있다.

[Table 1] Inspection interval

Section	Seoul			Dae jeon	Dae gu	Gwang ju
	line 1-4	line 5-8	line 9			
Motor Volt	6M	6M	1Y	6M	1Y	1Y
Control Volt	-	6M	1M	3M	1Y	-
Indicator Volt	-	6M	1M	3M	1Y	-

특히, 서울메트로(2호선)와 대전도시철공사는 동일 제조사(Siemens)의 선로전환기 제어시스템이며, 선로전환기 모니터링시스템을 설치하여 운영 중인 상황에서도 점검주기가 서로 다르다.

3.1.1 관리목표 설정

신호시스템의 안정적 운영을 위해 신뢰성기반 유지보수를 시행하며 그 결과를 매년 관리계획 수립 시 Table 2와 같이 관리목표를 설정하고 예방정비(PM : Preventive Maintenance)를 수행하여 치명도(Criticality)와 평균복구시간(MTTR)을 낮추고 평균고장간격(MTBF)을 길게 한다[7,8].

[Table 2] The goal of management

Section	Train delay (Minute)	Target (number/year)
Safety	more than 10 minute	1 / 10
Reliability	less than 2 minute	10 / 1
	2 minute ~ 5 minute	5 / 1
	5 minute ~ 10 minute	1 / 5
Availability	-	99.9%
Maintainability	-	2 hour below

치명도 할당은 발생된 고장 건에 대해 Table 3과 같이 치명도 값을 적용하고 치명도 지수를 합산하는 상향분석법을 적용하였다[9].

[Table 3] Criticality

Section	Failure Mode	Criticality	Note
A	Dangerous failure	50	The operating delay of train(10min)
B	Operating delay	10	The operating delay of train(5min)
C	Functional failure	3	Need for replacement
D	Simple failure	1	The failure without train delay

3.1.2 고장분석

Table 4는 2007년~2008년까지 선로전환기의 고장을 분석한 결과이며, 위험고장은 한건도 없었다.

다만, 열차 5분 이상 운행지연 1건, 5분미만 열차지연을 수반한 기능고장 18건, 단순고장 3건으로 분석되었다.

운행지연은 선로전환기제어모듈(DEWEMO) 내부 계전기 접점이 불량으로 인한 전환 중(ing) 고장이었다.

기능고장은 선로전환기제어모듈(DEWEMO)의케이지 크래프트에 손상으로 접촉불량, 단순고장은 선로전환기 내부습기로 인한 절연저하로 인한 접지, 퓨즈 단선, 수동안전기 접촉불량 등이었다.

[Table 4] Failure mode analysis

Date	Repair time (min)	Failure mode	Train delay	Criticality
1.11	18	Simple failure	none	1
1.19	21	Functional failure	none	3
1.20	15	module error	76sec	3
1.22	18	Simple failure	2min	1
1.26	20	Functional failure	none	3
1.29	8	Functional failure	none	3
2.18	17	Simple failure	none	1
3.27	16	Functional failure	3min	3
5.01	25	Functional failure	none	3
5.11	5	Operating delay	5min	10
7.29	22	Functional failure	none	3
8.01	5	Functional failure	3min	3
8.27	11	Functional failure	2min	3
10.18	7	Functional failure	none	3
11.21	19	Functional failure	none	3
total	227			46
2.27	13	Functional failure	3min	3
3.05	8	Functional failure	4min	3
3.22	10	Functional failure	4min	3
4.15	6	Functional failure	4min	3
5.04	5	Functional failure	3min	3
7.17	4	Functional failure	2min	3
11.18	9	Functional failure	1min	3
total	55			21

3.1.3 고장데이터 산출

고장모드 분석결과에 의해 열차운행에 영향을 미치는 정도를 파악할 수 있는 치명도는 고장모드 별 할당 값을 아래 식(1)에 의해 산출하였다.

$$\text{치명도} = (A \times 50) + (B \times 10) + (C \times 3) + (D \times 1) \quad (1)$$

- 여기서, A : 위험고장
- B : 운행지연
- C : 기능고장
- D : 단순고장

시스템의 고장주기를 예측할 수 있는 평균고장간격(MTBF)은 아래 식(2)에 의해 산출한다.

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{\text{총 운영시간}}{\text{발생건수}} \quad (2)$$

수리시간을 예측할 수 있는 평균복구간격(MTTR)은 아래 식(3)에 의해 산출한다.

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{\text{복구시간}}{\text{고장건수}} \quad (3)$$

시스템의 중단시간을 예측할 수 있는 가용률(Availability)은 아래 식(4)에 의해 산출한다.

$$\text{가용율} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\% \quad (4)$$

Table 5는 (1), (2), (3), (4)식에 의해 치명도(Criticality), 평균고장간격(MTBF), 평균수리간격(MTTR), 가용률(Availability)을 산출한 결과이다.

[Table 5] The result of reliability analysis

Section	criticality	MTBF	MTTR	Availability
2007	46	584	0.25	99.957
2008	21	1251	0.13	99.989
Total	33.5	796	0.21	99.974

3.2 점검주기 개선

3.2.1 신뢰성 분석결과 반영

선로전환기 및 선로전환기 제어모듈은 고장을 예측할 수 있는 근거가 없고 최적의 점검주기를 선정할 수 있는 방법이 없기 때문에 신뢰성기반 유지보수를 시행한 2년간의 실적으로 Table 6~9와 같이 치명도(Criticality), 평균고장간격(MTBF), 평균복구간격(MTBF), 가용률(Availability)에 대해 구간별 할당 값을 반영하였다.

[Table 6] Criticality allocation

Criticality	~10	~15	~20	~25	~30
Value	10.5	11	11.5	12	12.5
Criticality	~35	~40	~45	~50	51~
Value	13	13.5	14	14.5	15

[Table 7] MTBF

MTBF	8760	4380	2920	2190	1752	1460
Value	7.5	8	8.5	9	9.5	10
MTBF	1251	1095	973	876	796	-
Value	11	12	13	14	15	-

[Table 8] MTTR

MTTR	~ 0.08	0.1~0.17	0.18~0.25	0.27~0.33
Value	11.5	12	12.5	13
MTTR	0.35~0.5	0.52~0.75	0.77~1.5	1.52~
Value	13.5	14	14.5	15

[Table 9] Availability

Availability	99.999-99.991	99.989-99.95	99.949-99.93
Value	7.5	8	8.5
Availability	99.929-99.90	99.899-99.88	88.8790-
Value	9	9.5	10

3.2.2 유지보수요원 의견 반영

예방점검 품질은 유지보수요원의 의지에 따라 결정되기 때문에 유지보수요원 전원(50명)에게 Table 10과 같이 고장요인별 설문을 실시하였다.

[Table 10] The questions of each inspection process

Failure elements	Questions	Value
Clarity of failure	Degree to need detailed inspection because of many hidden failure factors.	15
Factor of train delay	The degree that inspection factors have influence on train delays	10
Reliability of data	The degree that measured data have influence directly on system quality	5
Need to inspection	The degree that inspection lists are absolutely necessary for system operation	15

3.2.3 점검주기 및 항목변경

점검 주기와 항목변경을 위해 실시한 신뢰성기반 유지보수 결과(Table 6~9)와 유지보수요원에게 Table 10의 프로세스별 질문결과를 반영하여 Table 11과 같은 산출값을 얻었다.

[Table 11] The question results of RCM & per process

Calculated value	Criticality	MTBF	MTTR	Availability
78.9	13	15	12.5	8
	Clear failure	Hidden failure	Safety hazard	Delay factors
	10.7	3.5	8.3	7.9

점검기준 도입과 점검주기 선정의 객관성을 확보하기 위해 Table 11의 산출결과를 Table 12와 같이 계량화된

산출방법에 따라 점검주기를 변경한다. (단, 산출 값이 59 이하인 경우 정기점검에서 제외하고 사후정비를 실시한다.)

[Table 12] The methods of inspection intervals

Section	Value	3 Month	6 Mounth	1year
Long	60 - 79	● →	● →	
Sustain	80 - 89	maintain the current state		
Short	90 -	← ●	← ●	

Table 12의 점검주기 변경방법에 따라 선로전환기의 전동기전압, 제어전압, 표시전압 점검주기를 Table 13과 같이 변경하였다.

[Table 13] Adjustment results of inspection intervals

Voltage	Motor	Control	Indicator
Before	6 Month	3Month	3 Month
After	1Year	6Month	6 Month

점검주기를 변경하여 4년 동안 유지보수를 시행한 결과, Table 14와 같이 치명도(Criticality), 평균고장간격(MTBF), 평균복구간격(MTBF)은 “0”, 장비의 신뢰도를 나타내는 가용률(Availability)은 100%로 유지보수 간소화 및 시스템의 안정적 운영에 크게 기여하였다.

[Table 14] Analysis after adjusting inspection intervals

Section	Fatal	MTBF	MTTR	Availability[%]
2009	0	0	0	100
2010	0	0	0	100
2011	0	0	0	100
2012	0	0	0	100
Average	0	0	0	100

4. 결론

선로전환기를 포함한 모든 신호시스템의 점검주기 선정은 각종부품 개량상태와 유지보수요원의 의사가 정확히 반영되어야만 최상의 시스템 품질을 유지할 수 있다.

그러나 현실적으로는 선발(先發) 도시철도운영기관의 점검주기를 그대로 도입하여 비효율적 유지보수로 유지

보수 비용증가 및 과잉정비 중 인적 오류(Human Error)로 2차 고장이 발생하였다.

이러한 문제점은 모니터링시스템을 설치하고, 신뢰성 분석을 통해 치명도(Criticality), 평균고장간격(MTBF), 평균복구간격(MTBR), 가용률(Availability)을 산출하여 구간별 할당 값과 점검항목 별 유지보수요원의 의견을 반영, 최적의 점검주기로 변경하여 유지보수를 시행한 결과 4년간 고장발생 “0”건을 달성하였다.

따라서 타 도시철도 운영기관 점검주기를 그대로 도입한 경우 점검방법을 자동화하고 고장실적 분석과 유지보수자의 의견을 반영하여 점검주기를 재선정할 것을 제안한다.

References

- [1] Jong-hyen Baek, Chang-goo Lee, Nam-o Seoul, The driving Part Performance Improvement for single-phase MJ-81 switch point machine localization, The Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.10, No 3, pp.535-538, 2009
- [2] In-Taek Lim, Monitoring system for point machine and methods thereof. Korea Patent No.10-0885425, 2009
- [3] John Moubrey Reliability-centred Maintenance, Industrial Press Inc, pp.4-13. 1992
- [4] Nam-Hung Lee, Soo-Hwan, Joung-Sun Kim, Hyung-Chul Kim, Gi-Chun Lee, Production study of domestic railroad signal checking cycle, Journal of the Korean Society for Railway, pp. 36-41, 2007
- [5] Kwang-Kun Yoo, Railway Route Control, Gidari, pp. 31-61. 2005
- [6] Jae-Young Park, Study on performance improvement of electric-point machine monitoring system, The Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.11, No.11, pp. 4509-4514, 2010
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.11.4509>
- [7] Young-Tae Kim, Signal Control System, *Tech-media*, pp. 451-459. 2003
- [8] Anthony M. Smith, Glenn R. Hinechcliffe Gateway World Class Maintenance, Elsevier, pp. 107-110. 2004
- [9] Chang-Hwan Lee, Mi-Ok Song, Byoung-Noh Park, Jeong-Mo Lee, Procedure for Maintenance Improvement by RCM Criticality Analysis, Journal of the Korean Society for Railway, pp. 2209-2214, 2010

임 인택(In-Taek Lim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 우송대학교 철도전기제어공학과 (공학석사)
- 1987년 12월 ~ 2004년 12월 : 철도청, 서울, 인천지하철공사
- 2005년 1월 ~ 현재 : 대전광역시 도시철도공사 신호팀 차장

<관심분야>

열차자동제어 및 정보통신기술, 제어계측

박 재 영(Jae-Young Park)

[정회원]



- 1996년 8월 : 고려대학교 산업대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 서울산업대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 (공학박사)
- 1970년 1월 ~ 2007년 2월 : 철도청 및 한국철도공사 오송고속철도전기사무소장
- 2007년 3월 ~ 현재 : 우송대학교 철도전기시스템학과 교수

<관심분야>

자동제어, 지능형시스템, 제어계측