

전류 신호의 적분 값을 이용한 선로전환기의 노후화 탐지 시스템

최용주*, 박대희^{*,†}, 정용화*, 김희영**, 임철후***, 윤석한***

*고려대학교 컴퓨터정보학과

**고려대학교 응용통계학과

***(주)세화

e-mail:{aaa928, dhpark, ychungy, starkim}@korea.ac.kr,
{pedal7, shy5406}@sehwa.biz

Deterioration Detection System for Railway Point Machine Using Integral Value of Current Signal

Yongju Choi*, Daihee Park^{*,†}, Yongwha Chung*, Hee-Young Kim**,
Chulhoo Lim***, Sukhan Yoon***

*Dept of Computer Information Science, Korea University

**Dept of Applied Statistics, Korea University

***Sehwa Company

요 약

철로를 구성하는 요소 중 하나인 선로전환기는 열차의 궤도를 변경하는 부품 중 하나로서, 열차가 주행 중에 인접한 다른 선로로 주행방향을 전환할 때 사용된다. 철로운영 지침서에 따르면 내구수명 10년 혹은 전환횟수 20만회를 선로전환기의 교체시점으로 권고하고 있으나, 실제 현장에서는 예산문제 등으로 인하여 잘 지켜지지 않는 것이 현실이다. 또한, 선로전환기에 관한 연구 문헌들에서도 선로전환기의 교체시기에 관한 학술적·실용적 차원의 연구 결과를 찾아볼 수 없다. 본 논문에서는 선로전환기의 전류 적분 값을 이용하여 선로전환기의 교체 시점을 결정하는 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 실제 현장에서 선로전환기의 교체시기를 판별하는 유용한 지표로 사용될 것으로 기대된다.

1. 서론

철도의 설비 및 시스템을 구성하는 다양한 부품들은 열차의 안전 측면에서 신뢰성을 유지해야하는 중요한 요소들이다. 특히 철로를 구성하는 중요한 요소 중 하나인 선로전환기는 열차의 궤도를 변경하는 부품 중 하나로서, 열차가 주행 중에 인접한 다른 선로로 주행 방향을 전환할 때 사용된다. 이러한 선로전환기의 고장이나 스트레스로 인한 노후화는 인명피해와 같은 큰 사고로 이어지기 때문에 선로전환기의 이상여부를 조기에 탐지하는 것은 매우 중요한 문제이다[1].

최근 10년간의 철도 사고를 살펴보면 선로전환기의 결함은 전체 철도 신호장치 결함의 27%를 차지하며, 철도 시스템의 관리 및 유지보수 측면에서 가장 많은 시간을 소모하는 설비로 분류 된다[2]. 특히, 외부 환경에 노출되어 작동하는 선로전환기의 특성 상, 선로전환기의 부품들은 외부 충격을 자주 받게 된다. 이러한 외부 충격들로 인해 선로전환기는 지속적으로 손상을 받게 되며 이는 선로전환기의 미세한 균열이나 누적 손상을 야기하게 되어 결국 선로전환기의 노후화로 이어진다[3]. 그러므로 안정적인 철도의 운영을 위하여, 선로전환기가 받는 스트레스를 해석하여

선로전환기의 적절한 교체시기를 결정하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다[4].

선로전환기에 관한 최근의 연구 동향들을 살펴보면, 선로전환기의 결함 및 스트레스를 조기에 탐지하고자 하는 많은 노력들이 철도 선진국을 중심으로 진행되고 있다. Vileiniskis 등[5]은 선로전환기를 구동시키는 모터의 전류 값의 변화를 이용하여, 미리 설정해 둔 threshold를 벗어나는지의 여부를 근거로 선로전환기의 이상상태를 판단하였다. Eker 등[6]은 모터 전류측정 센서 등을 이용하여 얻은 특징 정보들을 PCA(Principal Components Analysis)와 SVM(Support Vector Machine)을 이용하여 drive rod가 비정상적으로 작동하는 상태인 불일치 상태 여부를 탐지하였다. 또한 Asada 등[1]은 선로전환기로 유입되는 전류 값과 전압 값을 이용하여 선로 전환기의 상태를 모니터링 하는 시스템을 제안하였다. 그러나 이상에서 살펴본 바와 같이, 선로전환기에 관한 연구들에서는 선로전환기의 교체시기에 관한 학술적·실용적 차원의 연구 결과들은 찾아볼 수 없다. 철로운영 지침서에 따르면 내구수명 10년 혹은 전환횟수 20만회를 선로전환기의 교체시점으로 권고하고 있으나, 실제 현장에서는 예산문제 등으로 인하여 잘 지켜지지 않는 것이 현실이다.

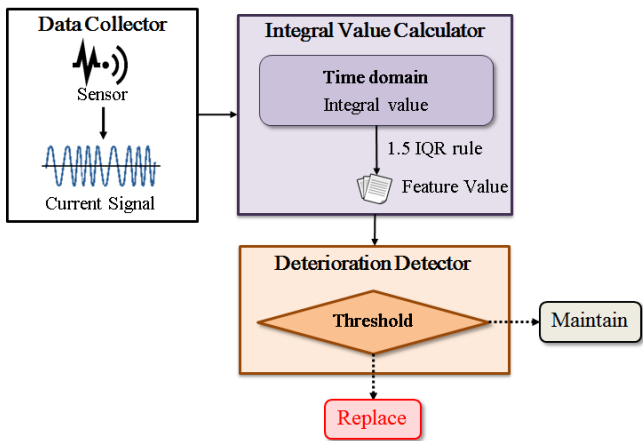
본 논문에서는 선로전환기 전류 신호의 적분 값을 이용

† 교신저자

하여 선로전환기의 노후화를 탐지하고, 교체시기를 자동으로 알려주는 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 선로전환기를 통해 실시간으로 들어오는 전류 신호에 대해서 적분 값을 구하고, threshold 기법[7]에 근거하여 기준치가 넘었을 때를 교체시기가 되었다고 판단하여 선로전환기 관리자에게 알람을 알린다. 실제 운행 중인 국내 역에서 취득한 현장 데이터를 사용하여 본 논문에서 제안하는 전류 신호의 적분 값을 이용한 선로전환기의 교체시점을 알려주는 시스템을 실험적으로 검증하였고, 적분 값이 노후화 탐지에 유용한 지표로 사용 될 수 있음을 확인하였다.

2. 전류 신호의 적분 값을 이용한 선로전환기의 노후화 탐지 시스템

본 논문에서 제안하는 전류 신호의 적분 값을 이용한 선로전환기 노후화 탐지 시스템은 그림 1과 같다. 시스템은 데이터 수집(Data Collector) 모듈, 적분 계산(Integral Value Calculator) 모듈, 노후화 탐지(Stress Detector) 모듈로 구성된다.



(그림 1) 적분 값을 이용한 선로전환기의 노후화 탐지 시스템 구성도

2.1 데이터 수집 모듈

먼저 데이터 수집 모듈에서는 센서로 부터 선로전환기의 동작 시 발생하는 전류 신호를 실시간으로 수집한다.

2.2 적분 계산 모듈

적분 계산 모듈은 선로전환기의 노후화 탐지를 위하여 데이터 수집 모듈로부터 받은 전류 신호에 대한 적분 값을 구한다. 수치적 적분 값은 Matlab 2014b 버전에서 제공하는 사다리꼴 적분방법으로 계산하였으며, 오류 제거를 위한 전처리 작업으로 1.5 IQR 규칙을 적용한다.

2.3 노후화 탐지 모듈

노후화 탐지 모듈에서는 선로전환기의 노후화 탐지를 위하여 미리 설정된 threshold 값을 통하여 실시간으로 유입되는 전류 신호에 대한 노후화 여부를 탐지한다.

3. 실험 및 결과 분석

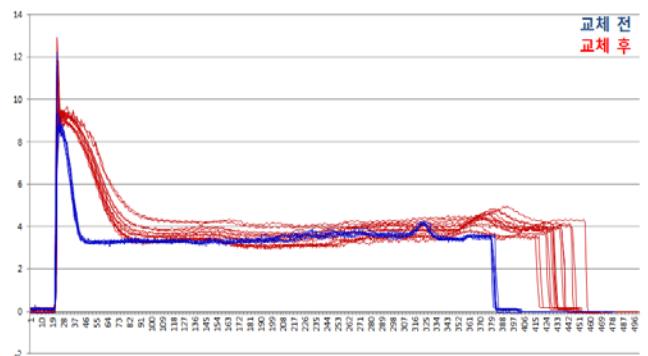
3.1 실험 데이터 획득

선로전환기의 노후화를 탐지하는 실험을 위해 실제 국내 7개 역사의 선로전환기의 전류 신호를 이용하였다. 실험에 사용한 데이터는 총 1,061개의 데이터로, 선로전환기를 교체한 날짜를 기준으로 교체 1년 전, 교체 직전, 교체 직후, 교체 1년 후의 데이터를 이용하였다(표 1 참조).

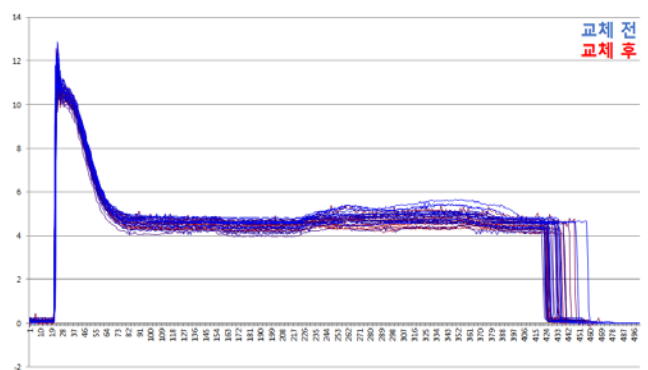
<표 1> 노후화 탐지를 위한 데이터 셋

		개 수
교체 전	Total : 528개	1년 전 : 260개
		직전 : 268개
교체 후	Total : 533개	직후 : 261개
		1년 후 : 272개

그림 2는 교체 전과 교체 후의 전류 신호를 비교한 그래프이다. 그림 2(a)는 가장 이상적인 전류 신호로써 교체 전과 교체 후의 면적의 차이가 확연하게 드러나는 것을 확인할 수 있다. 그러나 모든 전류 신호가 그림 2(a)와 같이 이상적인 형태를 취하지는 않는다. 그림 2(b)를 보면 그림 2(a)와는 다르게 육안으로는 교체 전과 후를 결정하기 어렵다는 것을 확인할 수 있다.



(a) 선로전환기의 전류 신호(이상적인 그래프)

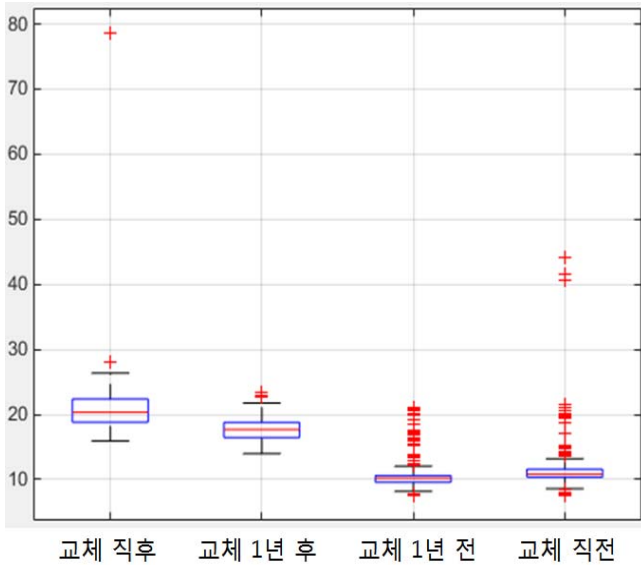


(b) 선로전환기의 전류 신호(구분이 힘든 그래프)

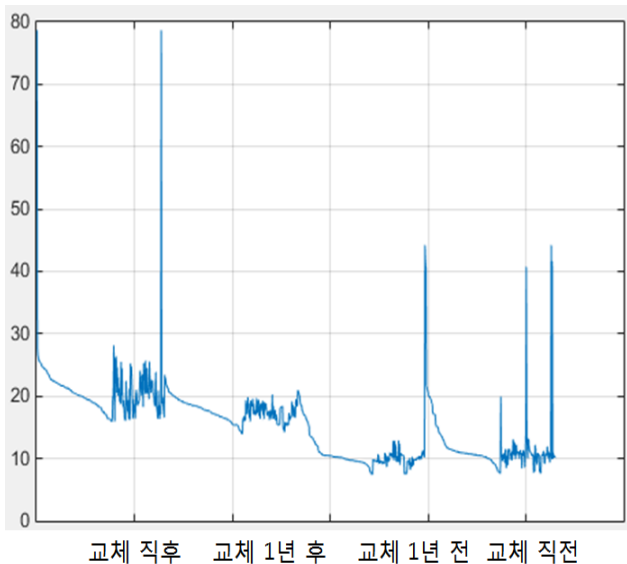
(그림 2) 전류 신호 그래프

3.2 전류 신호의 적분 값 및 outlier 제거

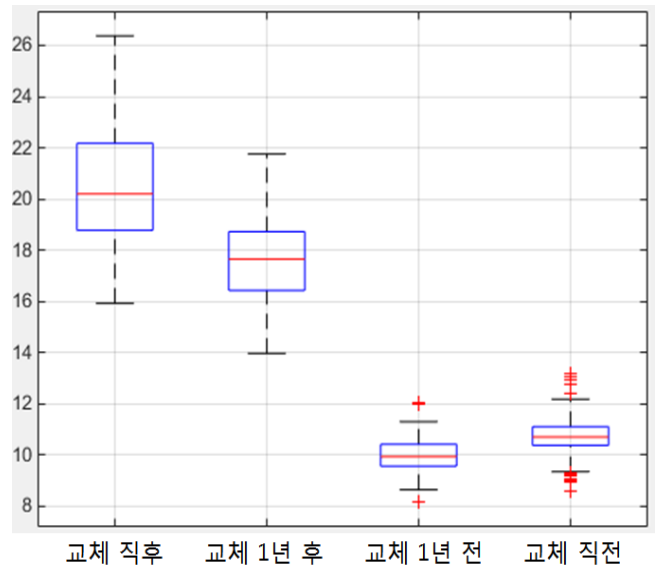
선로전환기의 교체 시점을 기준으로, 시간의 흐름 순서로 계산된 전류 신호의 적분 값을 세분화하여 4개의 class로 나누어서 비교를 하였다(그림 3, 4 참고). 그림 3은 outlier를 제거하기 전의 그림으로, 비정상적으로 큰 값들을 제외하면 선로전환기의 노후화가 진행됨에 따라 선로전환기 전류 신호의 적분 값들이 점점 감소하는 경향을 가지는 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 outlier를 제거한 그림을 보여준다.



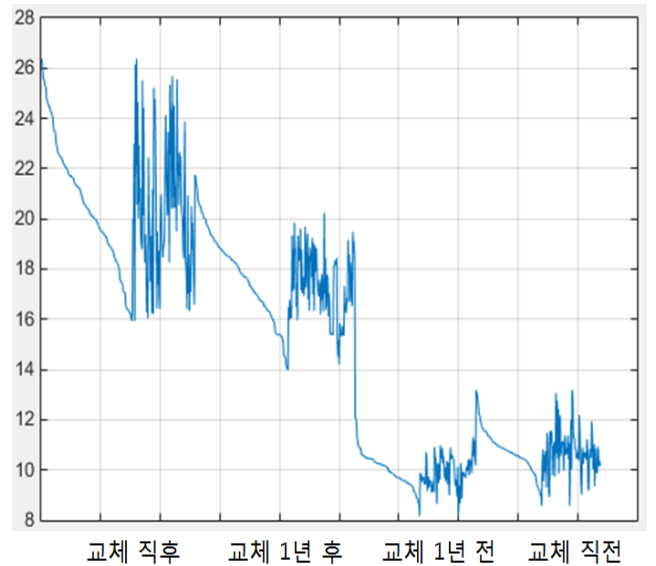
(a) outlier 제거 전의 boxplot



(b) outlier 제거 전의 time flow graph
(그림 3) outlier 제거 전의 적분 값 그래프



(a) outlier 제거 후의 boxplot



(b) outlier 제거 후의 time flow graph
(그림 4) outlier 제거 후의 적분 값 그래프

3.3 적분 값을 이용한 선로전환기의 노후화 탐지

전류 신호의 적분 값을 이용한 선로전환기의 노후화 탐지 실험은 교체 전의 데이터 528개와 교체 후의 데이터 533개의 전류 데이터로 threshold 기법을 이용하여 실시하였다. 실험 성능 측정을 위한 지표로는 DDR(Deterioration Detection Rate: 노후화 탐지율), FPR(False Positive Rate: 노후화가 아닌 데이터가 노후화 데이터로 오탐지된 비율), FNR(False Negative Rate: 노후화인 데이터가 노후화가 아닌 데이터로 오탐지된 비율)을 사용하였고, 각각의 수식은 다음과 같다.

참고문헌

$$DDR = \frac{\sum_{i=1}^m T_i}{\sum_{i=1}^n I_i} \quad (1)$$

$$FPR = \frac{\sum_{i=1}^k P_i}{\sum_{i=1}^l N_i} \quad (2)$$

$$FNR = \frac{\sum_{i=1}^{n-m} F_i}{\sum_{i=1}^n I_i} \quad (3)$$

위 식들에서 I_i 는 노후화 데이터의 개수, T_i 는 노후화 데이터를 노후화라고 정상적으로 탐지한 데이터의 개수, N_i 는 노후화가 아닌 데이터의 개수, P_i 는 노후화가 아닌 데이터를 노후화라고 잘못 탐지한 데이터의 개수, F_i 는 노후화 데이터를 노후화가 아니라고 잘못 판단한 데이터의 개수를 의미한다.

실험 결과는 표 2와 같으며, 선로전환기의 DDR은 97.63%, FPR과 FNR은 각각 0.00%, 2.37%라는 안정적인 실험 결과를 확인하였다.

<표 2> 선로전환기의 노후화 탐지 실험 결과

DDR	FPR	FNR
97.63%	0.00%	2.37%

4. 결론

본 논문에서는 선로전환기의 전류 신호를 이용하여 선로전환기의 노후화를 탐지하는 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 먼저, 선로전환기의 운행 시 발생하는 전류 신호를 취득하였다. 둘째, 전류 신호를 이용하여 적분 값을 계산하고, 1.5 IQR 규칙을 적용하여 outlier를 제거하였다. 마지막으로, 계산된 적분 값을 threshold 기법을 이용하여 노후화 유무를 탐지하였다. 실제 운행 중인 국내 역사에서 취득한 데이터를 사용하여 본 논문에서 제안하는 전류 신호의 적분 값을 이용한 선로전환기의 노후화 탐지 시스템을 실험적으로 검증하였고, 적분 값이 노후화 탐지에 유용한 지표로 사용 될 수 있음을 확인하였다.

5. 감사의 글

본 연구는 2015년도 중소기업청 기술혁신개발사업 혁신형기업과제(S2312692)의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

[1] T. Asada and C. Roberts, "Improving the dependability of DC point machines with a novel condition monitoring system," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of rail and rapid transit, Vol.227, No.4, pp.322-332, 2013.

[2] J. H. Lee, Y. K. Kim, and J. Y. Park, "A study on the field application of switching power measurement by using sensor in electrical point machine," The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.64, No.7, pp.1130-1136, 2015.

[3] C. S. Kim and G. H. Kang, "Fatigue analysis of reduction gears unit in rolling stock considering operating characteristics," Journal of the Korea Academia Industrial Cooperation Society, Vol.12, No.3, pp.1085-1090, 2011.

[4] W. Jin, Z. Shi, D. Siegel, P. Dersin, C. Douziech, M. Pugnaroni, and J. Lee, "Development and evaluation of health monitoring techniques for railway point machines," In Prognostics and Health Management 2015 IEEE Conference, pp.1-11, 2015.

[5] M. Vileiniskis, R. Remenyte-Priscott, and D. Rama, "A fault detection method for railway point systems," In Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, Vol.230, No.3, pp.852-865, 2016.

[6] O. Eker, F. Camci, and U. Kumar, "SVM based diagnostics on railway turnouts," International Journal of Performability Engineering, Vol.8, No.3, pp.289-398, 2012.

[7] T. W. Ridler and S. Calvard, "Picture thresholding using an iterative selection method," IEEE Trans. System, Man and Cybernetics, SMC-8, pp.630-632, 1978.