

## 선로전환기 비정상 전류 패턴의 실시간 탐지

**Real-Time Detection of Abnormal Current Patterns in Electrical Point Machines**

사재원\*, 김희곤\*, 김희영\*\*, 정용화\*†, 박대희\*, 윤석한\*\*\*, 이광희\*\*\*

J. Sa\*, H. Kim\*, H.-Y. Kim\*\*, Y. Chung\*†, D. Park\*, S. Yoon\*\*\*, and K. Lee\*\*\*

**Abstract** An Electrical Point Machine(EPM) has been used to switch a direction of trains, and thus a fault of the EPM causes a serious railway accident. In this paper, we propose a real-time fault diagnosis method for detecting abnormal electric-current patterns of the EPM by using Dynamic Time Warping (DTW) algorithm. Based on the experimental results, we confirmed that the DTW algorithm can classify the normal and abnormal current patterns accurately.

**Keywords** : Electrical Point Machine, Fault Diagnosis, Electric-Current Pattern, DTW

**초 록** 열차의 진행 방향을 결정하는 선로전환기의 고장은 열차 탈선 등과 같은 대형 사고의 직접적인 원인을 제공할 수 있다. 본 논문에서는 Dynamic Time Warping (DTW) 알고리즘을 이용하여 선로전환기의 비정상 전류 패턴을 실시간으로 탐지함으로써 고장 가능성을 사전에 판단할 수 있는 방법을 제안한다. 실험 결과, DTW 알고리즘을 이용하여 선로전환기의 전류 데이터 중 정상과 비정상 패턴을 자동으로 구분할 수 있음을 확인하였다.

**주요어** : 선로전환기, 고장 진단, 전류 패턴, DTW

## 1. 서 론

최근 철도가 산업에 차지하는 비중이 점진적으로 증가함에 따라 열차의 안정적인 주행을 위하여 철도에서의 구성 요소 관리가 더욱 중요한 문제로 부각되고 있다. 특히, 철도의 구성 요소 중 하나인 선로전환기는 열차의 진행 방향을 안전하게 변경시키는 중요한 구성 요소로써, 선로전환기의 고장이 열차 탈선과 같은 대형 사고를 일으킬 수 있기 때문에 고장을 조기에 탐지하는 것이 매우 중요한 이슈이다[1]. 예를 들어, 2000년부터 최근 10년간의 사고 현황 분석에 의하면, 선로전환기의 장애는 전체 신호장치 장애의 27%를 차지하며, 운영 및 유지보수 측면에서 가장 많은 시간을 필요로 하는 부품으로 분류된다[2].

† 교신저자: 고려대학교 컴퓨터정보학과(ychungy@korea.ac.kr)

\* 고려대학교 컴퓨터정보학과

\*\* 고려대학교 응용통계학과

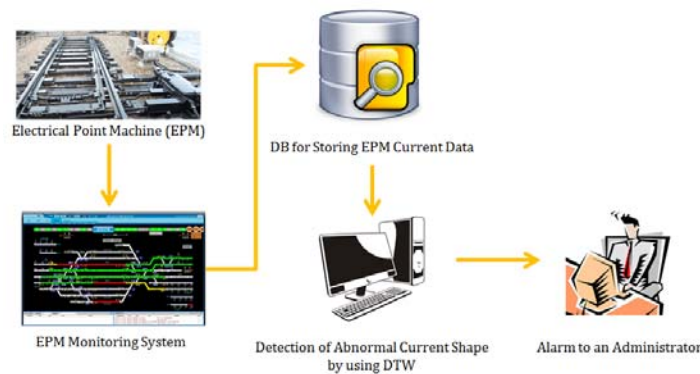
\*\*\* (주)세화

이러한 선로전환기의 고장 진단은 많은 인력이 투입되며, 열차의 운행 시간이 종료된 늦은 시간이 진행되어 현재 시스템으로는 실시간 탐지가 불가능하다는 문제가 있다. 최근 선로전환기의 장애에 대하여 조기에 탐지하고자 하는 연구가 발표되고 있는데, Asada 등 [3]은 선로전환기에서 수집한 전류 데이터를 이용하여 Discrete Wavelet Transform (DWT)과 Support Vector Machine (SVM)을 사용함으로써 선로전환기의 고장 진단 방법을 제안하였다. 그러나 선로전환기의 실제 고장이 발생했을 때의 데이터를 수집하기 쉽지 않으므로, 실험실 환경에서 고장 상황을 가정한 데이터를 인위적으로 발생시킨 후 해당 데이터를 이용하여 고장 진단을 수행하였다. 반면, Vileiniskis 등 [4]은 선로전환기의 실제 전류 데이터를 수집하여 Uniform Scaling을 이용한 선로전환기 고장 진단 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 시계열(time-series) 전류 데이터의 길이 차이를 해결하기 위하여 Uniform Scaling을 이용하여 정상과 비정상으로 분류하는 방법이지만, 데이터의 전류 패턴이 비선형적 차이를 보이면 정상과 비정상으로 분류하지 못하는 한계가 있다.

본 논문에서는 시계열 데이터의 길이 차이와 비선형적 위상(phase) 차이를 동시에 해결할 수 있는 Dynamic Time Warping (DTW) 알고리즘을 이용하여 선로전환기의 고장 가능성을 실시간으로 진단하는 방법을 제안한다. 즉, 선로전환기에서 수집한 실제 전류 데이터를 DTW 알고리즘에 적용하여 전류 패턴을 분석하고, 계산된 DTW cost가 기준값(threshold) 보다 크면 비정상 전류 패턴이라고 자동으로 판단할 수 있는 실시간 기법을 제안한다.

## 2. DTW 알고리즘을 이용한 선로전환기 전류 패턴 분석

본 논문에서 제안하는 선로전환기의 비정상 전류 패턴 탐지 방법의 구조는 그림 1과 같다. 먼저 실제 역에서 작동 중인 선로전환기의 전류 데이터를 선로전환기의 모니터링 시스템에 의해 수집한다. 수집된 데이터는 데이터 저장용 DB에 저장되며, 저장된 전류 데이터를 DTW 알고리즘에 적용하여 비정상 전류 패턴 여부를 판단한다. 마지막으로, 비정상 전류 패턴이 탐지되면 관리자에게 상황을 알린다.



**Fig. 1** Architecture for detecting abnormal current patterns

## 2.1 DTW 알고리즘

Dynamic Time Warping (DTW) 알고리즘은 음성 인식에 널리 쓰이는 알고리즘 중 하나로써, 길이가 다른 두 개의 시계열 데이터에 대해 유사도를 측정하는 알고리즘이다[5]. 특히, 두 개의 시계열 데이터에 대해 유사도를 결정할 때 비선형적 위상(phase) 차이를 해결할 수 있는 방법으로, 누적된 DTW Cost가 작을수록 두 시계열 데이터는 유사하다고 판단한다. 선로 전환기에서 수집한 전류 데이터의 시계열 패턴은 이러한 DTW 알고리즘의 특징을 이용하여 정상과 비정상으로 구분할 수 있다.

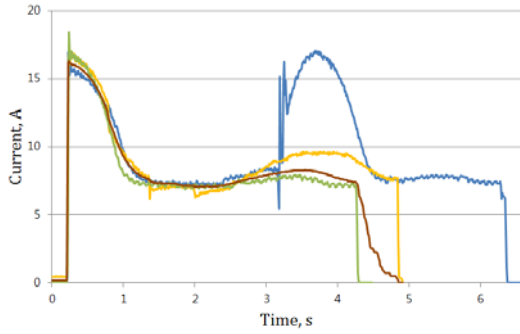
## 2.2 선로전환기의 비정상 전류 패턴 탐지

2.1절에서 소개한 DTW 알고리즘을 이용하여 선로전환기의 전류 데이터를 구분하는 방법은 다음과 같다. 먼저 실제 역에서 수집한 선로전환기의 전류 데이터에 대해 유지보수 전문가가 정상인지 비정상인지를 결정한다. 통상 비정상 데이터는 그 수가 적고 패턴이 다양하여, 정상 데이터를 DTW의 기준 패턴으로 정한 후 이 기준 패턴과 차이가 많이 나면 비정상으로 판단한다. 즉, 수집된 정상 데이터를 두 그룹으로 나누어, 각각 “기준 패턴”과 “테스트 패턴” 용으로 정의한다. 기준 패턴에 속한 정상 데이터들에 대하여 평균을 구하여 DTW의 기준 패턴으로 정하고, 테스트 패턴용 정상 데이터와 비정상 데이터에 대하여 각각의 DTW Cost를 계산한다. 계산된 각각의 DTW Cost를 분석하여, 정상과 비정상 전류 패턴을 구분할 수 있는 threshold를 결정한다. 즉, 주어진 테스트 패턴에 대하여 DTW 알고리즘으로 계산된 DTW Cost(기준 패턴과 테스트 패턴의 누적 차이)가 설정된 threshold 이하면 정상, 이상이면 비정상으로 판단한다.

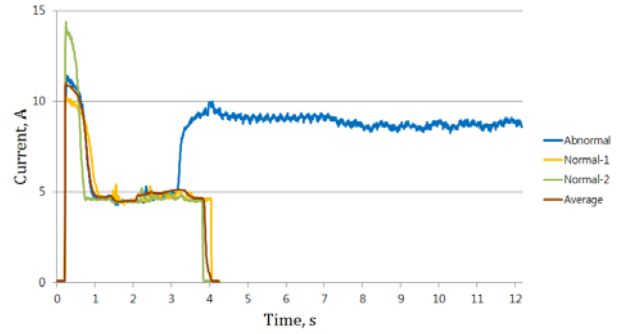
## 3. 실험 결과

본 논문에서의 실험 환경은 Intel Core® i5-4670, 8GB RAM, Windows 7 Professional K, Visual Studio 2010에서 수행되었다. 선로전환기의 전류 데이터는 대전 유성구에 위치한 (주)세화에서 개발된 모니터링 시스템에 의해 수집(sampling rate: 100Hz)되었다. 또한, (주)세화의 전문가에게 조언을 받아 ‘A’ 역과 ‘B’ 역에서 한달 동안 수집한 전류 데이터를 정상 및 비정상 전류 데이터로 구분하였다.

먼저 구분된 정상 데이터중 선로전환기의 쇄정 수행 시간이 가장 길 때(Normal-1으로 명기)와 가장 짧을 때(Normal-2로 명기)를 테스트 패턴 데이터로 선택하였다. 그리고 나머지 정상 데이터의 평균을 산출하여 DTW 기준 패턴(Average로 명기)으로 설정하였다. 마지막으로, 비정상 전류 데이터(Abnormal로 명기)와 Normal-1/Normal-2 데이터를 이용하여 DTW 기준 패턴과의 DTW Cost를 계산하였다. 그림 2는 ‘A’ 역과 ‘B’ 역의 정상(Normal-1/Normal-2) 및 비정상(Abnormal) 테스트 데이터와 기준 패턴(Average)을 보여준다.



(a) Current data in 'A' station



(b) Current data in 'B' station

**Fig. 2** Current data in station 'A' and 'B'

**Table 1** Experimental results with station 'A' and 'B' by using DTW

Station	Type	Period of Data(s)	Execution time of DTW(s)	DTW Cost
A	Abnormal	6.37	0.127	733
A	Normal-1	4.90	0.110	245
A	Normal-2	4.29	0.106	98
B	Abnormal	12.20	0.191	2,099
B	Normal-1	4.10	0.104	53
B	Normal-2	3.90	0.103	108

'A' 역과 'B' 역 각각에 대한 테스트 데이터의 길이와 DTW 수행 결과(수행시간 및 DTW Cost)를 정리하면 표 1과 같다. 즉, 'A' 역에서의 비정상 전류 데이터와 'A' 역의 기준 패턴을 DTW 알고리즘으로 비교한 결과 DTW Cost는 733의 높은 수치로 계산되었고, 또한 'B'역에서의 비정상 전류 데이터와 'B' 역에서의 기준 패턴을 DTW 알고리즘에 적용한 결과 DTW Cost는 2,099의 높은 수치로 계산되었다. 각 역의 정상 전류 데이터를 각 역의 기준 패턴과 비교하였을 때, DTW Cost는 'A' 역에서 각각 245, 98의 수치, 'B' 역에서 각각 53, 108의 수치로 계산되었다. 따라서 제안 방법을 통해 계산된 DTW Cost를 분석하여 threshold를 300으로 설정하면 정상과 비정상 전류 패턴을 구분할 수 있고, 시계열 데이터의 길이가 다른 경우도 처리할 수 있음을 확인하였다. 또한, 각 역의 데이터에 대해 DTW 알고리즘을 수행하였을 때 수행시간이 약 0.1초 정도로, 실시간 처리가 가능함을 확인하였다.

## 4. 결 론

현재 철도 산업에서 선로전환기의 고장 탐지는 열차의 탈선 등과 같은 대형 사고를 예방하기 위해 매우 중요하다. 그러나 선로전환기의 고장 진단은 많은 인력을 필요로 하며, 열차의 운행이 종료된 늦은 시간에 수행됨으로써 실시간 탐지가 불가능하다. 본 논문에서는 DTW 알고리즘을 선로전환기의 전류 데이터에 적용함으로써 비정상 전류 패턴을 실시간으로 자동 탐지하는 방법을 제안하였다. 두 개의 역에서 획득된 1달치 정상 및 비정상 전류 패턴 데이터로 실험한 결과, DTW Cost의 threshold를 300으로 설정하면 정상과 비정상 전류 패턴을 자동으로 구분할 수 있음을 확인하였다. 또한, 각 역의 전류 데이터에 대한 DTW 알고리즘의 수행시간이 0.1초 내외로 실시간에 처리됨을 확인하였다. 추후 실험에 사용된 데이터와 다른 역의 데이터 1년치를 획득하여 제안 방법을 이용한다면 선로전환기의 비정상 전류 패턴을 더욱 정확히 탐지할 수 있을 것이라고 기대된다.

## 감사의 글

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

## 참고문헌

- [1] T. Asada and C. Robert (2013) Improving the Dependability of DC Point Machines with a Novel Condition Monitoring System, *Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 227(4), pp. 322-332.
- [2] J.-H. Lee, Y.-K. Kim, and J.-Y. Park (2015) 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*, 64(7), pp. 1130-1136.
- [3] T. Asada, C. Roberts, and T. Koseki. (2013) An Algorithm for Improved Performance of Railway Condition Monitoring Equipment: Alternating-current Point Machine Case Study, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 30(1), pp. 81-92.
- [4] M. Vileiniskis, R. Remenyte-Priscott, and D. Rama (2015) A Fault Detection Method for Railway Point Systems, *Journal of Rail and Rapid Transit*, Online First.
- [5] C. Myers, and L. Rabiner, L (1981) A Comparative Study of Several Dynamic Time-Warping Algorithms for Connected Word Recognition, *The Bell System Technical Journal*, 60(7), pp. 1389-1409.