

선로변 전차선과 조가선의 전류를 이용한 집전성능 분석 기술

Analysis of Current Collection Performance using Real-time Measurement of Current for Overhead Contact Line on the Track-side

박 영* · 신 승 권** · 이 기 원* · 김 재 문*** · 김 원 하†
(Young Park · Seung-Kwon Shin · Kiwon Lee · Jaemoon Kim · Wonha Kim)

Abstract - In this paper, analysis method for current collection performance based on real-time current of catenary system is proposed. An innovative method based on track-side of railway system is used for measurement of currents for overhead contact line during the collection with pantograph. The evaluation of a qualitative ratio for current collection performance were conducted using proposed algorithm under various conditions such as laboratory and track-side. To check the validity of our approach, we compared between calculation results from current of contact wire and measurement results from arcing of pantograph using simulator in laboratory conditions. The results show that the behavior of current collection performance were analysis from currents of overhead contact line in AC electric railway system.

Key Words : Current collection, Currents of catenary, Contact wire, Pantograph

1. 서 론

전기철도의 가공 전차선로는 차량의 에너지를 전달하는 최적의 구조로 고속철도, 일반철도 및 도시철도에 널리 적용되고 있다. 이러한 전차선로는 철도시스템에만 사용되는 구조로 다양한 구조의 전차선로 방식이 있으며 팬터그래프와 직접 접촉하여 차량에 전기에너지를 전달하며 이를 집전이라고 한다[1,2]. 전기철도의 집전 성능은 팬터그래프와 전차선간의 다양한 상호작용에 의해 기계적 성능과 전기적 성능으로 나뉠 수 있다. 팬터그래프와 전차선간의 집전성능의 이상으로 인해 전차선의 마모, 온도상승, 피로파단 등 다양한 형태의 성능저하가 나타날 수 있으며 팬터그래프의 경우 집전판의 마모 등이 나타날 수 있다. 집전성능은 국내외적으로 전기철도 운행에 따른 핵심 성능 평가이며 신규 전차선로, 차량 도입 및 속도향상에 따라 인증시험을 통해 평가하도록 국내외의 규격화 되어 있다[5]. 집전성능의 시험 항목은 차상측정과 지상측정으로 나뉘어 차상측정은 열차 운행에 따른 집전상태를 파악하기 위해 팬터그래프와 전차선간의 기계적 비 접촉시 발생하는 이선아크나 팬터그래프의 접촉상태를 검측하는 접촉력 시험법이 있다. 지상시험은 차량

의 최고속도 운행 전차선로의 지지점의 상하 수직변위를 측정하는 압상량을 평가하는 기술이다. 지상검측은 지지점 1개소의 압상량을 검측하기 때문에 속도에 따른 집전성능과 집전상태를 파악하기에는 어려움이 있다. 따라서 현재의 집전성능 평가는 차상에서는 이선올 또는 접촉력을 시험하고 지상에서는 압상량을 시험하므로 1개의 검측장치로 종합적인 성능 평가에 한계가 있다. 전차선로는 차량에 에너지를 공급하는 시스템이므로 팬터그래프와 전차선간의 집전상태에 따라 다양한 파형 변화가 나타나므로 이를 차량에서 분석하여 집전성능 평가에 활용되고 있다[5]. 그러나 지상에서 전류를 측정하는 기술은 고전압 고전류의 전차선로에 전류센서를 부착하여 무선으로 평가하여야 하고 전류 파형 변화에 따른 집전성능 평가 기술이 보고되지 않고 있다.

본 논문에서는 집전성능 평가를 위해 지상부에서 측정하는 새로운 시스템에 대하여 기술 하였다. 또한 지상부에서 전차선과 조가선의 전류를 각각 분석하여 집전성능을 평가하도록 하였다. 특히 시험의 신뢰도를 높이기 위해 집전시 물레이터를 이용하여 다양한 집전상태를 모의하고 이를 분석하여 신뢰성 있는 집전성능 결과를 나타내었다. 본 논문에서 제안한 지상부 전차선로 전류값을 이용한 집전성능 평가기술은 기존의 차상과 지상계측으로 집전성능을 종합 평가하는 것과 달리 지상부에서 압상량과 전차선로의 전류값을 이용하여 동시에 판단이 가능하므로 각 선로에서의 열차의 특성값이 비교 가능하므로 성능평가와 유지보수 등 다양하게 활용이 가능할 것으로 기대된다.

2. 본 론

2.1 전차선과 조가선의 전류 측정 기술

전차선은 전기차량의 팬터그래프와 직접 접촉하며 활선상태로 전차선 상태검측을 위해 무선기반 또는 광기반의 검측

* High-speed Railroad Infrastructure Systems Research Team, Korea Railroad Research Institute, Korea

** Intermodal Transfer Systems Research Team, Korea Railroad Research Institute, Korea

*** Dept. of Transportation System Engineering, Graduate school of Transportation, National University of Transportation, Korea

† Corresponding Author : Dept. of Electronics and Radio Engineering, Kyung Hee University, Korea

E-mail : wonha@khu.ac.kr

Received : February 8, 2013; Accepted : March 19, 2013

시스템이 필요하다. 본 논문에서는 전차선과 조가선의 전류 측정을 위하여 무선기반의 압상량 검측시스템을 기반으로 시스템을 구현하였다. 그림 1에 전차선과 조가선 전류측정을 위한 검측시스템 사진을 나타내었다. 사진에서 나타난 바와 같이 전차선로에 직접 검측장치와 센서를 부착하고 열차 통과 전후의 전류값을 측정하였다. 측정된 값은 무선안테나를 이용하여 실시간으로 수신부에 전달되며 안전을 위해 교각 아래에서 전류값을 모니터링 하였다. 본 논문에서 적용한 전차선과 조가선 전류검측 장치의 개발시스템의 세부사양과 개발내용은 보고된바 있다[3]. 본 논문에서는 전차선과 조가선의 전류값을 이용하여 전기차 운행에 따른 집전 성능을 평가하는 기술에 관한 것이다. 또한 현장시험의 결과 이외에 다양한 집전상황에서의 모의시험이 필요하다.

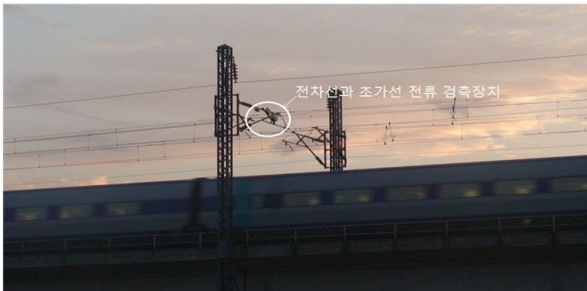


그림 1 전차선과 조가선의 전류검측 시스템의 현장적용 사진
Fig. 1 The Picture of current measurement system installed in overhead contact line on the track-side

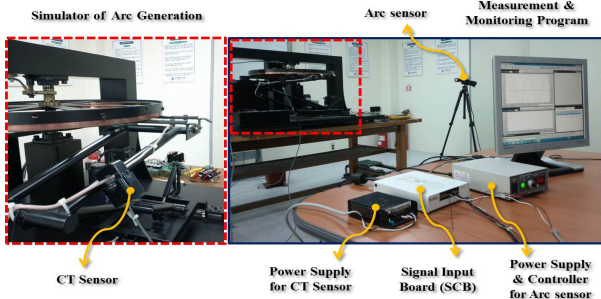


그림 2 다양한 이선상황 모의를 위한 집전시험 사진
Fig. 2 Picture of laboratory testing with various condition for contact loss and testing equipments

본 시험기의 세부구성과 회로구성은 보고된바 있다[4]. 모의시험 중 전류측정은 아크검출기와 동기화를 위해 100 us의 속도로 측정하였으나 이선율 검측을 이용한 집전성능 평가의 일반적인 규정에 의해 아크 검출의 경우 5 ms 이상의 아크만을 계산하여 이선율을 구하게 하였다.

2.2 전차선로 전류값을 이용한 집전성능 검출 알고리즘

그림 3에 전차선로 전류값을 이용한 집전성능 검출 알고리즘 구조를 나타내었다. 전차선 전류값은 전차선과 조가선으로 각각 분리되어 입력된다. 전차선로의 전류값은 집전상태와 선로의 임피던스 등 선로조건에 따라 다양한 노이즈

값이 존재하므로 신호 획득이후에는 필터를 이용하여 노이즈를 제거한다. 이후 전류 신호값의 크기를 측정하기 위하여 신호의 측정 분산값이 0인 경우를 팬터그래프와 전차선간 이선상황으로 판단하고 전류의 크기를 검출한다. 이후 측정된 크기값을 비교하여 신호값이 0인 경우를 유지할 경우 이선신호로 보고 반대의 경우를 정상적인 집전상황으로 판단하여 이선신호의 발생 시간을 구하게 된다. 발생된 값은 식 1에 의하여 집전율을 구하게 된다.

$$\text{집전율} = \frac{\text{총 이선신호발생시간}}{\text{총 측정시간}} \times 100 \quad (1)$$

이선율은 팬터그래프의 집전판과 전차선간 접촉력이 0이하로 떨어질 경우 집전판과 전차선간에서 발생하는 빛으로 이를 광학적 센서를 이용 전기적 신호로 처리하며 전차선의 재질인 구리합금에서 발생하는 아크의 과장범위를 측정하여 열차의 주행에 따라 총 유효이선시간을 총 측정시간으로 나눈 값의 백분율이다. 이선아크 센서를 이용한 이선을 검측은 관련 규격인 IEC62486의 세부 규격에 따라 식 2와 같이 계산하였다[5]. 여기서 t_{arc} 는 유효이선시간, t_{total} 은 측정시간이다. 이때 t_{arc} 는 아크의 발생시간이 5 ms 이상인 값만을 계산하였다.

$$\text{이선율}(\%) = \frac{\text{총 유효이선시간}}{\text{총 측정시간}} \times 100 \quad (2)$$

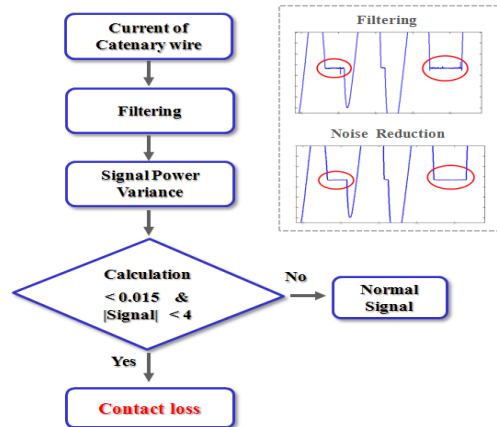


그림 3 Signal Power 검측 순서도
Fig. 3 Flow chart of signal power detection

2.3 전차선로 전류값을 이용한 집전성능 평가 결과

그림 4에 이선모의 시험 장치를 이용한 전류검측 결과를 나타내었다. 그림 4의 (a), (c), (e)는 그림 2의 모의시험 장치에 CT를 전원 입력부와 출력부에 각각 설치하고 측정한 결과이며, (b), (d), (f)의 경우는 이선아크 검출기를 이용하여 각각 분석한 결과이다. CT를 이용한 모의시험 결과 그래프는 LabVIEW로 구현하였고, 아크검출기 시험결과는 이선을 검증시험 장치로 세부내용을 보고한바 있다[4].

그림에서와 같이 팬터그래프와 전차선간의 이선 발생 시 전류값이 0으로 떨어지게 되며 이때 아크가 발생되게 된다. 전류값을 이용한 집전성능 검출은 차량의 팬터그래프의 전

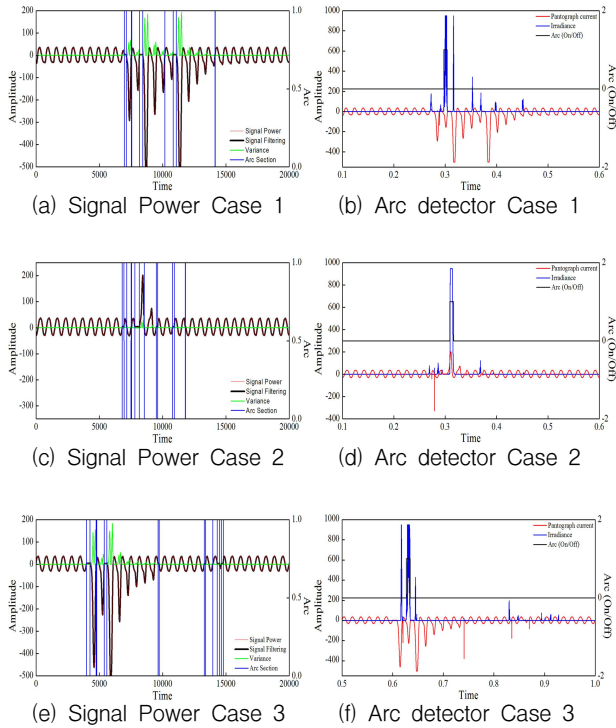


그림 4 전류 및 광학센서를 이용한 집전성능 분석 파형
 Fig. 4 The wave form of percentage of contact loss and arcing

류를 측정하여 전류값이 0으로 떨어질 때를 이선이라고 보고 이를 분석하여 집전율을 구하게 된다[4]. 그러나 본 논문에서는 팬터그래프의 전류값이 아닌 전차선의 전류값을 분석하게 되므로 변전소의 급전구간 이내에서 전류값을 획득하여 분석하게 된다. 전차선 전류값 분석은 그림 3의 알고리즘을 이용하여 분석하게 되며 분석된 결과를 표 1에 나타내었다. 표 1에서 나타낸 바와 같이 전류분석을 이용한 집전성능 검측결과와 이선아크검출 센서를 이용한 검출결과가 서로 다른 이유는 이선율은 5 ms 이상의 아크 발생 시간값만을 계산하게 되기 때문으로 사료된다. 이선율은 광센서를 이용하여 아크발생시 자외선 영역의 아크를 검출하는 방식이므로 5 ms 이내의 아크광을 검출하는 것은 집전시의 먼지, 서리 등 선로의 상태에 따라 발생하는 아크와 구별이 어렵기 때문에 제한을 두고 있는 것으로 판단된다. 또한 아크의 시간이 매우 짧은 시간에 발생되나 초기아크 발생시의 아크 크기가 시간에 따라 틀러지게 되므로 전류를 이용한 집전성능 평가 결과와는 다소 차이가 있는 것으로 판단된다. 이러한 이유는 본 논문에서 제안한 전류 파형을 이용한 집전성능 평가기술은 전류 신호가 0에 근접한 값의 기준

표 1 전류 및 광학센서를 이용한 집전성능 결과
 Table 1 Results of percentage of contact loss and arcing

	Case 1	Case 2	Case 3	비 고
Signal Power [%]	3.47	4.11	5.19	$\frac{\text{총 이선신호 발생시간}}{\text{총 측정시간}} \times 100$
Arc detector [%]	1.315	1.455	1.515	$\frac{\text{총 유효이선시간}}{\text{총 측정시간}} \times 100$

점인 0.0015 A에서 4 sample 이상 유지하였을 경우에만 계산되기 때문에 전류검측의 5 ms 이상 지속된 값을 아크로 판단하는 값과는 확연히 다른 값을 나타내는 것이다. 아크의 경우 빛의 양으로 측정되기 때문에 전류 신호 값과 달리 일정량 이상의 밀도가 있는 아크량이 필요하게 되므로 us의 아크량을 판단하는 것이 어렵기 때문에 5 ms 이상만을 아크로 보는 것이 일반적이다[5]. 그러나 표 1에서와 같이 이선율이 커질수록 본 알고리즘을 적용한 전류값을 이용한 집전성능 계산값이 커지므로 본 알고리즘과 측정방법을 이용한 집전성능 평가가 가능한 것으로 판단된다.

표 2에는 호남선 KTX 운행에 따른 현장시험 결과를 나타내었다. 본 현장시험 결과는 목포-송정리 구간에서 전차선과 조가선의 전류를 계측한 값으로 계측방법과 결과를 보고한바 있다[6]. 본 논문에서는 검측결과 값을 이용하여 조가선과 전차선의 전류값을 각각 본 논문에서 제안한 알고리즘을 이용하여 집전성능과 아크 발생횟수를 분석하였다.

표 2 호남선 구간의 전류검측 현장시험 결과
 Table 2 Field testing results of quality of contact ratio at Honam Line

차량 구분	총 측정 시간	아크 발생 횟수	집전율
KTX 1	180 sec	4	0.2%
KTX 2	360 sec	14	0.4%
KTX 3	480 sec	19	0.4%
무궁화호	800 sec	4	0.05%

시험구간은 호남선 구간으로 KTX가 최대 180 km/h로 운행된다. 또한 각 KTX 차량은 서로 다른 차량으로 편의상 넘버링을 하여 나타내었다. 표 2에서 보는 바와 같이 KTX 1의 경우 0.2%의 집전율을 나타내고 있으나 KTX 2와 3은 0.4%의 집전율을 나타낸다. 특히 무궁화호의 경우 낮은 속도로 인해 아크의 횟수와 집전율이 4회와 0.05%로 현저히 떨어지는 것을 알 수 있다. 전차선과 조가선의 전류값을 따로 분석한 결과에서도 전류의 크기만의 변화만 있을 뿐 아크의 횟수와 집전율에는 변화가 없는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 전차선과 조가선은 상호 전기적으로 연결되어 전류의 비율만 틀러질 뿐 전류의 특성값은 변화가 없기 때문이다. 또한 표 2에 나타난 바와 같이 KTX의 운행에 따라 아크의 개수와 집전율이 서로 다른 것을 알 수 있다. 본 결과를 유지보수나 차량의 성능평가에 이용할 경우 같은 선로를 지날 때의 아크횟수 및 집전율 판단이 가능하여 KTX의 성능평가와 유지보수 등 다양하게 활용이 가능하다.

3. 결 론

본 논문에서는 전기철도의 팬터그래프와 전차선간 집전성능 평가를 위해 선로변 측정 시스템과 평가기술을 각각 나타내었다. 전류파형을 이용한 집전성능 분석은 전류의 크기를 판단하는 알고리즘을 개발하여 집전성능을 수치적으로 나타내도록 알고리즘을 개발하였다. 또한 이선도의시험장치를 이용하여 팬터그래프와 전차선간의 이선상황에 따라 전차선의 전류값을 이용한 집전 성능값과 이선아크검출 장치

를 이용하여 측정된 이선율 값을 각각 비교하였다. 시험결과 이선율이 커질수록 본 알고리즘을 적용한 전류값을 이용한 집전성능 계산값이 커지므로 본 알고리즘과 측정방법을 이용한 집전성능 평가가 가능한 것으로 판단되었다. 현장시험은 호남선 목포-송정리 구간의 전차선과 조가선의 전류값을 각각 본 논문에서 제안한 알고리즘을 이용하여 분석하였다. 분석결과 전차선과 조가선의 전류값은 이선의 횡수와 집전율에는 변화가 없었다. 본 논문에서 제안한 전차선로변에서의 전차선로 전류값을 이용한 집전성능 평가 기술은 각 선로에서의 열차의 특성값이 비교 가능하므로 성능평가와 유지보수 등 다양하게 활용이 가능할 것으로 기대된다.

References

[1] F. Kiessling, R. Puschmann, A. Schmieder, E. Schneider, "Contact Lines for Electrical Railways: Planning- Design- Implementation- Maintenance", WILEY, 2008.

[2] 강인권, "최신전차선로", 성안당, p. 5, 2006.

[3] S. Y. Oh, Y. Park, Y. H. Cho, K. W. Lee, J. T. Song, "Implementation of Electrical Property Assessment System for Overhead Contact Lines", J. KIEEME, vol. 24, no. 6, pp. 497-503, 2011.

[4] Y. Park, S. Y. Kwon, J. M. Kim, "Reliability Analysis of Arcing Measurement System Between Pantograph and Contact Wire", Trans. Korean. Inst. Elect. Eng., vol. 61, no. 8, pp. 1216-1220, 2012.

[5] IEC 62486:2010, "International Standard, Railway applications-Current collection systems- Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line", 2010.

[6] 오석용, 박영, 조용현, 이기원, 권삼영, 김형철, 송준태, "전차선로 전류비 특성평가 기술 분석", 한국철도학회 2010년도 춘계학술대회논문집, pp.1918-1923, 2010.

[7] Y. Park, Y. H. Cho, K. W. Lee, H. J. Kim, and I. C. Kim, "Development of an Uplift Measurement System for Overhead Contact Wire using High Speed Camera", J. KIEEME, Vol. 22, No. 10, pp. 864-869, October 2009.

[8] J. M. Kim, E. J. Lee, C. J. Yun, Y. S. Kim, "The Estimation on Switching Technique via Output Power Source Analysis of Power Conversion System in an Electric Railway Vehicle", Trans. Korean. Inst. Elect. Eng(P), vol 59, no. 2, pp.185-190, 2010.

[9] J. M. Kim, C. J. Yun, E. J. Lee, "A Study on Power Quality Improvement of Power Conversion System in Centralized-Power Type Electric Railway Vehicle", Journal of the Korean society for railway, vol. 13, no. 6, pp.559-564, 2010.

[10] H. K. Na, Y. Park, Y. Hyeon Cho, Ki-Won Lee, Hyun-Jun Park, Su-Young Oh, Joon-Tae Song, "Characteristic Measurement by a Real-time Data Acquisition System in Overhead Contact Wire", J. KIEEME, vol. 20, no. 3, pp. 281-285, 2007.

[11] Y. Park, Y. H. Cho, K. Lee, H. S. Jung, H. Kim, S. Y. Kwon, H. J. Park, "Development of an FPGA-based Online Condition Monitoring System for Railway Catenary Application", WCRR I.2.1.1, 2008.

[12] O. Bruno, A. Landi, M. Papi, L. sani, "Phototube

sensor for monitoring the quality of current collection on overhead electrified railways", Proc. Instn. Mech. Engrs. vol. 215, Part F, pp. 231-241, 2001.

[13] EN 50119:2001, "The European Standard, Railway applications-Fixed installations-Electric traction overhead contact lines", 2001.

[14] EN 50317:2001, "The European Standard, Railway applications-Current collection systems- Requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line", 2001.

저 자 소 개



박 영 (朴 暎)

2000년 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학석사), 2004년 동대학원 동학과 졸업(공학박사), 현재 한국철도기술연구원 선임연구원



신 승 권 (申 勝 權)

1998년 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학석사), 2001년 동대학원 동학과 졸업(공학박사), 현재 한국철도기술연구원 선임연구원



이 기 원 (李 基 源)

1997년 RIT(미) 졸업 (기계공학 석사), 2009년 성균관대 기계공학과 졸업(공학박사), 현재 한국철도기술연구원 선임연구원



김 재 문 (金 才 文)

1996년 성균관대 전기공학과 졸업(공학석사), 2000년 동대학원 졸업(공학박사), 현재 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과 및 철도대학 철도전기전자공학과 부교수



김 원 하 (金 元 河)

1988년 Univ. of Wisconsin-Madison, 전기 및 컴퓨터 공학과 졸업(공학석사), 1997년 동대학원 동학과 졸업 (공학박사), 현재 경희대학교 전자전파공 학과, 정교수