

고속열차 전기적 이선 특성 측정 방안 연구

A Study of the Current Collection Characteristics Measurement Methodology for a High-Speed Train

조홍식†
Hong-Shik Cho

한인수*
In-Su Han

이태형*
Tae-Hyung Lee

김석원*
Seok-Won Kim

김영국*
Young-Guk Kim

ABSTRACT

A high-speed train is the system that the electric power is supplied through the overhead contact line and drives motors. In this case that the de-wiring between the overhead contact line and the pantograph of a high-speed train, the occasion that smooth power supply is not accomplished occurs sometimes. If the de-wiring occurs, the arc discharge may damage the overhead contact line or the pantograph, and the falling-off in power quality may cause the damage and malfunctioning of motor block.

This paper presents the methodology that the arc discharge by de-wiring between overhead line and pantograph is discriminated through measuring the PT and CT in the vehicle, and measures the current collection characteristics for a high speed train.

1. 서론

고속열차는 교류 전원을 판토티그래프로 수신하여 전동기를 구동함으로써 이동하는 전기철도 시스템이다. 고속열차의 운행시 가선과 판토티그래프 사이의 이선이 발생함으로써, 원활한 전력공급이 이루어지지 않는 경우가 종종 발생한다. 이선을 통한 아크 방전을 통해, 가선 및 판토티그래프의 손상이 발생할 수도 있으며, 차량에 원활한 전력 공급이 되지 않아 모터 등에 제대로 전력이 공급되지 않음으로 열차 운행에 차질을 빚을 수 있다. 또한 가선과 판토티그래프 사이의 전기장으로 인한 아크 방전을 통하여, 모터 등 전기기기에 공급되는 전력 품질의 저하를 초래하여 모터블럭의 손상 및 오작동을 일으킬 소지가 많다.

보통 가선과 판토티그래프의 이선을 측정하는 방법은 보통 기계적인 방법으로서, 압상력 등을 측정한다. 압상력이란 일종의 양력의 일종으로서, 열차가 이동할 때, 판토티그래프가 상승하면서, 가선을 밀어올리는 힘을 뜻한다. 열차의 진동 등으로 인한 압상력 변화를 측정함으로써, 집전 상태를 파악하는 것이 일반적인 방법이나, 이는 전기적인 접촉을 정확히 구할 수 없다는 단점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 PT(Potential Transformer) 및 CT(Current Transformer)에서 출력되는 전압 및 전류를 측정하여, 전기적인 접촉 및 이선을 구하고자 한다. 아크 방전이 발생하였을 경우, 보통 아크 방전은 고주파 성분을 띠므로, 고주파 성분에 관한 파형을 분석할 수 있는 시스템을 구성하여, 열차가 주행 시 아크 방전이 발생하여 전기적인 이선이 발생하였음을 기록한다. 본 시스템 구성을 통하여, 판토티그래프를 포함한 집전 시스템의 성능을 판단하고자 한다.

† 교신저자, 한국철도기술연구원, 고속철도연구본부
E-mail : hscho@krti.re.kr

* 한국철도기술연구원, 고속철도연구본부

2. 전기적 이선 특성

가선과 판토품의 이선이 발생하는 이유는 열차의 진동, 열차의 주변에서 발생하는 공력의 변화 등으로 판토품이 가선을 밀어올리는 압상력의 변화로 인하여 가선과 판토품 사이의 위치 차이가 발생하기 때문이다. 가선과 판토품 사이에 이선이 발생할 경우, 보통 가선의 전압 25kV인 정상 상태에서 차량과의 전위차에 의해서 전기장이 발생하며, 전기장이 공기 중의 절연과피전압(Electric Breakdown Voltage)보다 높은 경우 아크 방전이 발생하게 된다. 공기의 절연과피전압은 대략 30kV/cm 이므로, 가선전압이 25kV를 상회한다고 보았을 때, 접지 상태인 차량 사이에 절연과피가 일어나, 아크가 발생한다고 말할 수 있다.

한국형 고속열차의 시운전시험 데이터를 가지고 전압 및 전류가 변동한 시간과 실제 압상력을 측정된 데이터와의 비교를 통해 물리적 이선과 전기적 이선을 비교해 보았다.

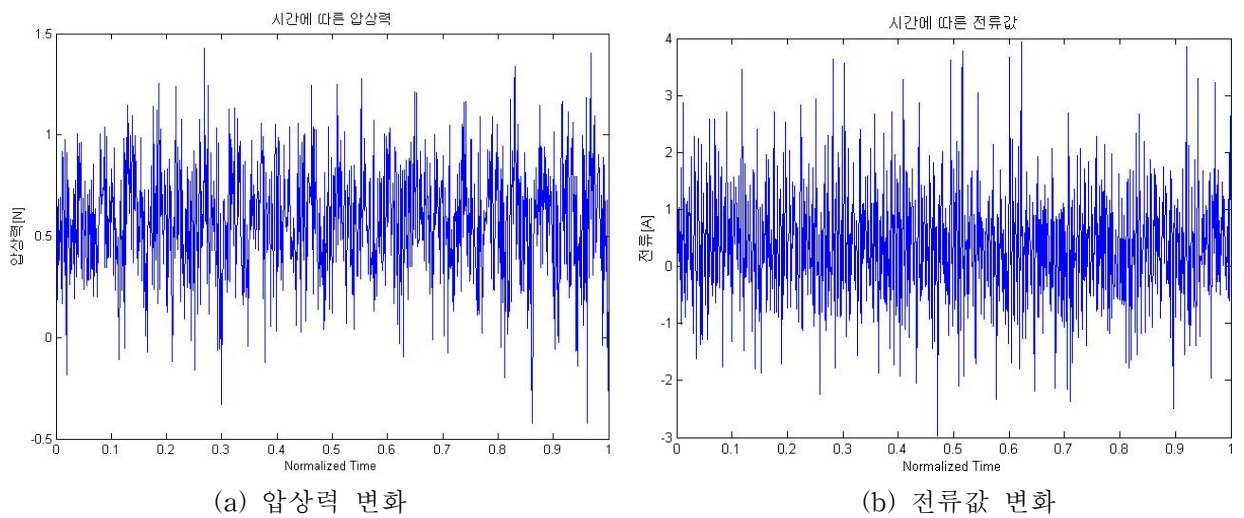


그림 1. 한국형 고속열차 측정 데이터

그림 1 (a)와 (b)는 각각 판토품이 가선에 미치는 압상력과 입력 전류값을 나타낸다. 전기적인 이선을 판단하기 위하여, 전압값과 전류값을 나눈 저항값이 큰 경우를 이선이라 판단한다. 전기적으로 이선이 되었을 경우 일종의 회로가 개폐된 경우라 생각할 수 있기 때문이다. 판토품의 압상력이 낮은 경우, 즉 물리적인 이선이 발생한 경우와 전기적인 이선이 발생한 경우를 나타낸 그림은 다음과 같다.

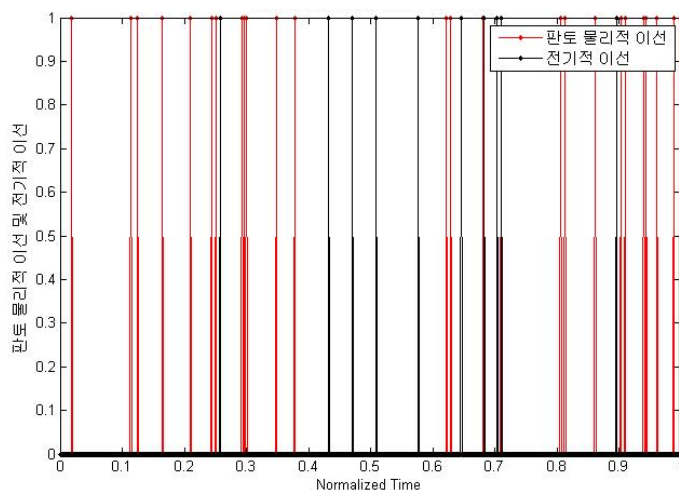
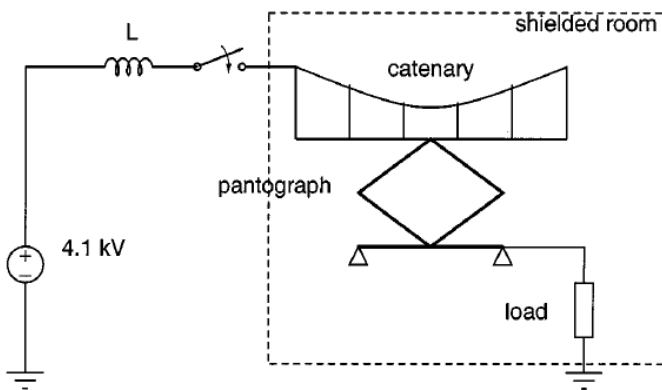


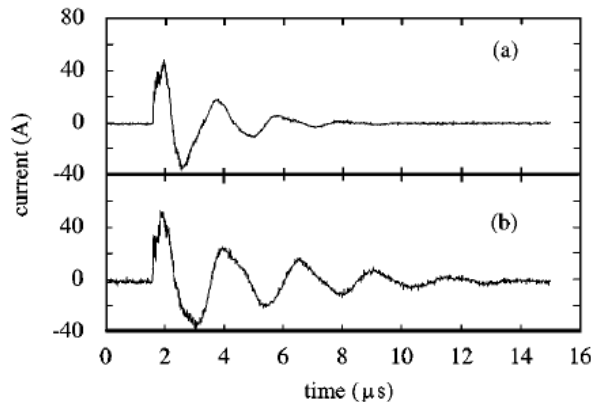
그림 2. 물리적 이선과 전기적 이선의 비교

그림 2에서 보듯이, 물리적 이선과 전기적 이선 사이에 연관성이 뚜렷하게 나타나지 않음을 알 수 있다. 이는 물리적 이선이 발생했다고 해서, 전기적인 이선이 발생하지 않는다는 것을 보여 준다. 달리 표현하면, 물리적 이선이 발생하였다고 해서, 전기적인 접촉이 발생하지 않는 경우도 발생한다는 의미이다.

B. Tellini 등은 판토크래프 측정시스템을 구축하여 전기적 이선 현상을 측정하였다[1]. 그림 3 (a)는 측정 시스템 개략도를 나타낸다. 측정 시스템에서 스위칭을 함으로써 아크 방전이 발생하고 이에 대한 전압, 전류를 측정하였다.



(a) 측정 시스템 개략도



(b) 측정된 전류값

그림 3. Tellini의 판토크래프 전기적 이선현상 측정

그림 3 (b)는 측정된 전류값을 나타내고, 100kHz 이상의 전압 및 전류가 나타났으며, 이 신호를 측정하기 위하여 μs 단위에서 측정을 하였다. 전압 및 전류 측정 및 전자파 측정을 실시하여 가선과 판토크래프의 전기적 이선을 판단할 수 있었다.

3. 시스템 구성

철도차량에서 발생하는 아크 방전은 열차와 가선 간의 인덕턴스에 저장되는 에너지를 보존하려는 성질에서 발생하므로, 보통 고주파 성분을 띄고 있다. 따라서, 본 논문에서는 차세대고속철도기술개발사업을 통하여 개발되고 있는 400 km/h급 동력분산형 차세대고속철도 차량을 대상으로 아크 측정 시스템을 구성하여 PT(Potential Transformer) 및 CT(Current Transformer)의 전압 및 전류 신호를 분석한 후, 고주파 신호에 관하여 아크로 판별하여 집전 상태를 판단하도록 한다.

아크는 상당히 다양한 파형을 띄고 있다. 차세대고속철도 차량은 현재 제작중에 있으므로 차량의 PT와 CT에서 직접 데이터를 측정할 수 없으므로, 일단 임의파형발생기(Arbitrary Waveform Generator)를 장착하여 시스템을 구성하였다. 임의파형발생기는 10MHz까지 임의의 파형을 발생시킬 수 있는 장비로 구성하였다. 아크는 순간적인 과도현상(Transient Phenomenon)이며, 기존의 연구에서 보듯이 보통 100kHz 이상의 영역에서 존재하는 경우가 많다. 실제로 변압기, 모터블럭 등에서 돌입전류(Inrush Current), 자석의 히스테리시스(Hysteresis) 및 공급되는 전압, 전류의 품질 저하 등으로 고조파(Harmonics)가 발생하지만 고조파 성분은 대부분 전도성 노이즈를 발생시키므로, 대부분 수 kHz 이하에 존재한다. 따라서, 전도성 및 복사성 노이즈 성분을 띄는 아크 방전은 대략 100kHz 이상의 영역의 신호로 판단할 수 있고, 100kHz 이상을 수신할 수 있는 DAQ(Data Acquisition System)이 필요하다.

그림 4과 그림 5는 아크 측정 시스템의 구성 및 제작 구성도를 보여준다.

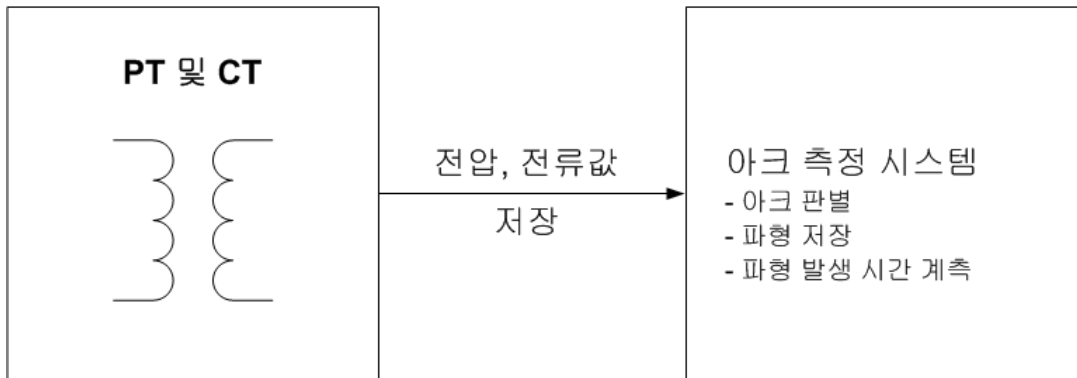


그림 4. 아크 측정 시스템의 구성

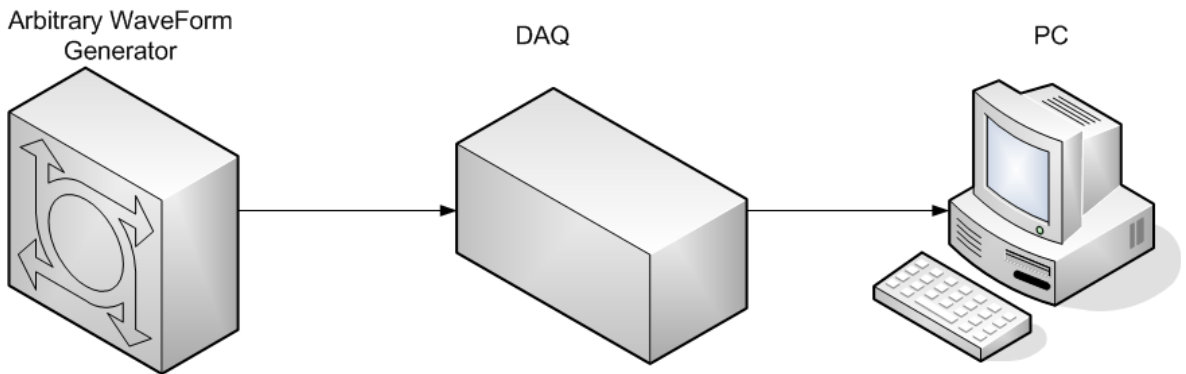


그림 5. 아크 측정 시스템의 제작 구성도

그림 5의 D아크 측정 시스템은 100MHz까지 수신받을 수 있는 DAQ로 구성하였다. 측정을 한 후 PC에 내장된 소프트웨어 프로그램을 이용하여 아크를 판별한다.

4. 아크 분석

그림 5와 같은 시스템을 구성한 후, 아크 분석 로직은 100kHz 이상 대역의 신호와 그 이하의 신호를 비교하여, 전력 주파수인 60Hz에서 100kHz 사이의 대역 내 노이즈 레벨이 아크 신호 비교에 영향이 적은 로직이다. 먼저, Source Signal에 HPF(High Pass Filter)의 Group Delay를 적용하였다.

그림 6은 아크 분석 로직을 나타낸다. 한국형 고속열차에서 기존에 측정되었던 데이터를 가지고, 전압 및 주파수, 전류 및 주파수 분석을 아래 그림 7과 그림 8과 같이 수행하였다.

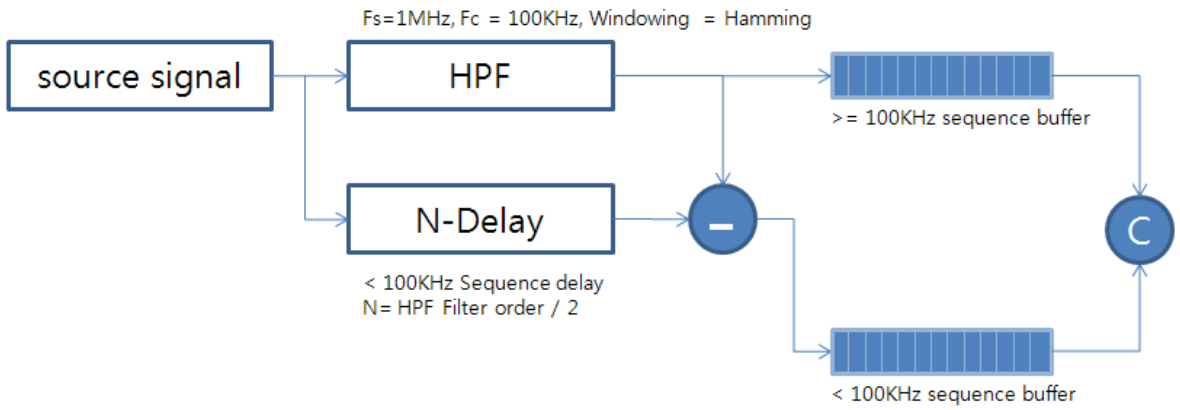


그림 6. 아크 분석 로직-I

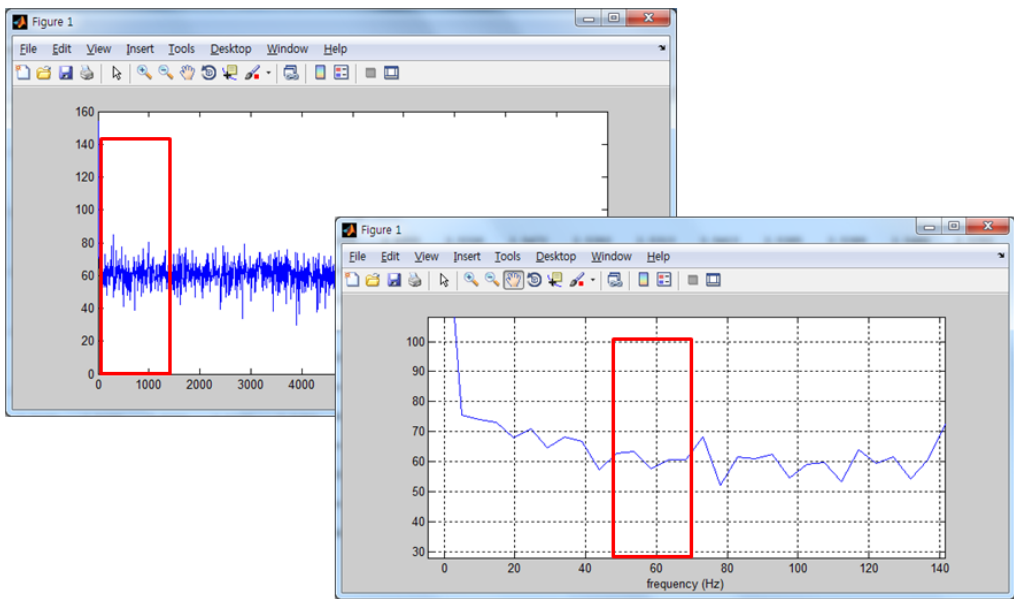


그림 7. 주파수에 따른 전압파형

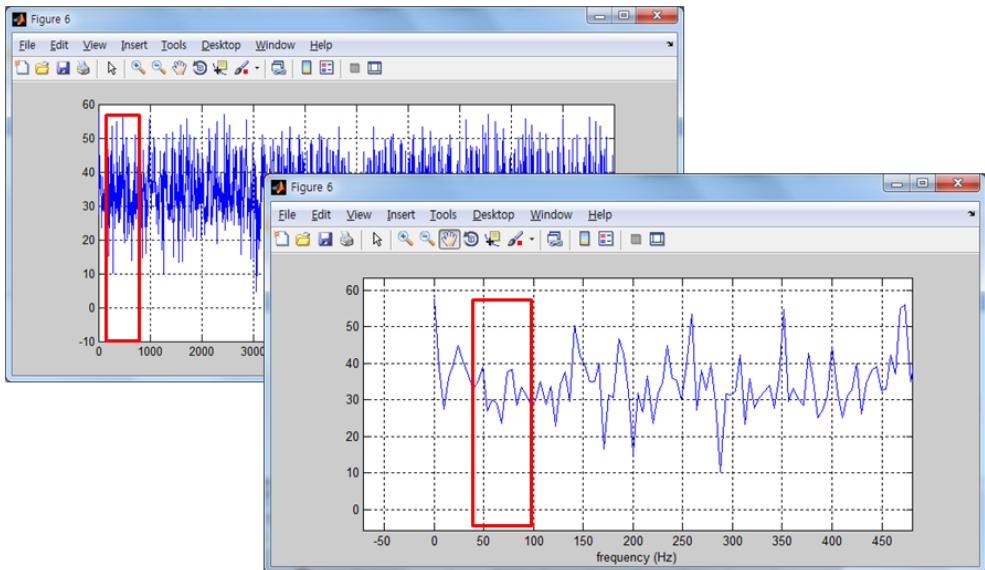


그림 8. 주파수에 따른 전류 파형

본 알고리즘을 적용한 결과, 그림 7과 그림 8에서 보듯이 Source Signal의 기본 주파수(Fundamental Frequency) 성분이 보이지 않는 문제가 발생하였다. 문제점 발생으로 인하여, 필터 설계를 다시 할 필요가 있었다. 원래의 신호 대역 검출을 위한 LPF(Low Pass Filter)와 BPF(Band Pass Filter)를 사용하고, Low Pass Filter 출력 신호의 Peak 치와 High Pass Filter 출력 신호의 Peak 치를 비교하는 알고리즘을 사용하였다. 본 알고리즘에 관한 그림은 아래 그림 9와 같다.

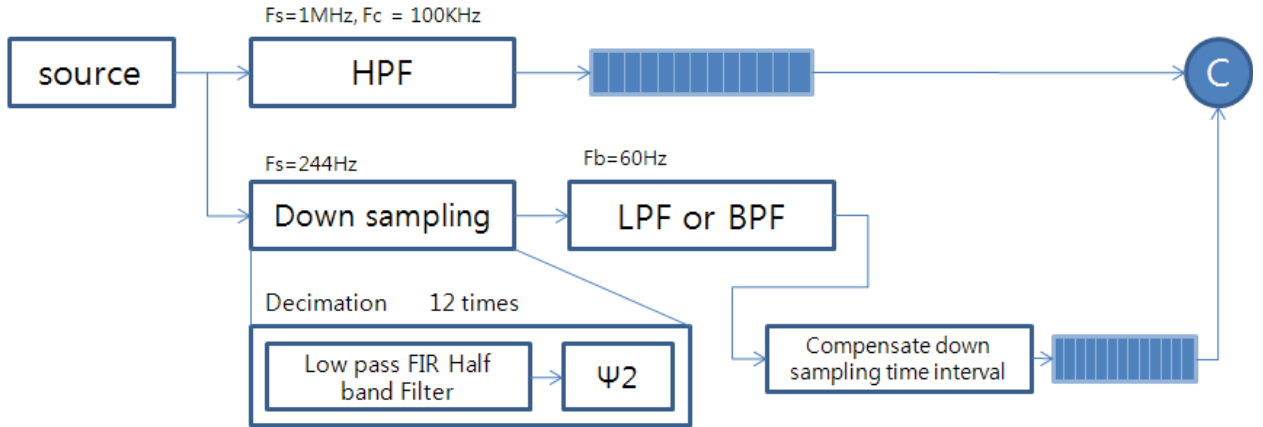


그림 9. 아크 분석 로직-II

아크 분석 소프트웨어 사용자 인터페이스는 다음 그림 10과 같다.

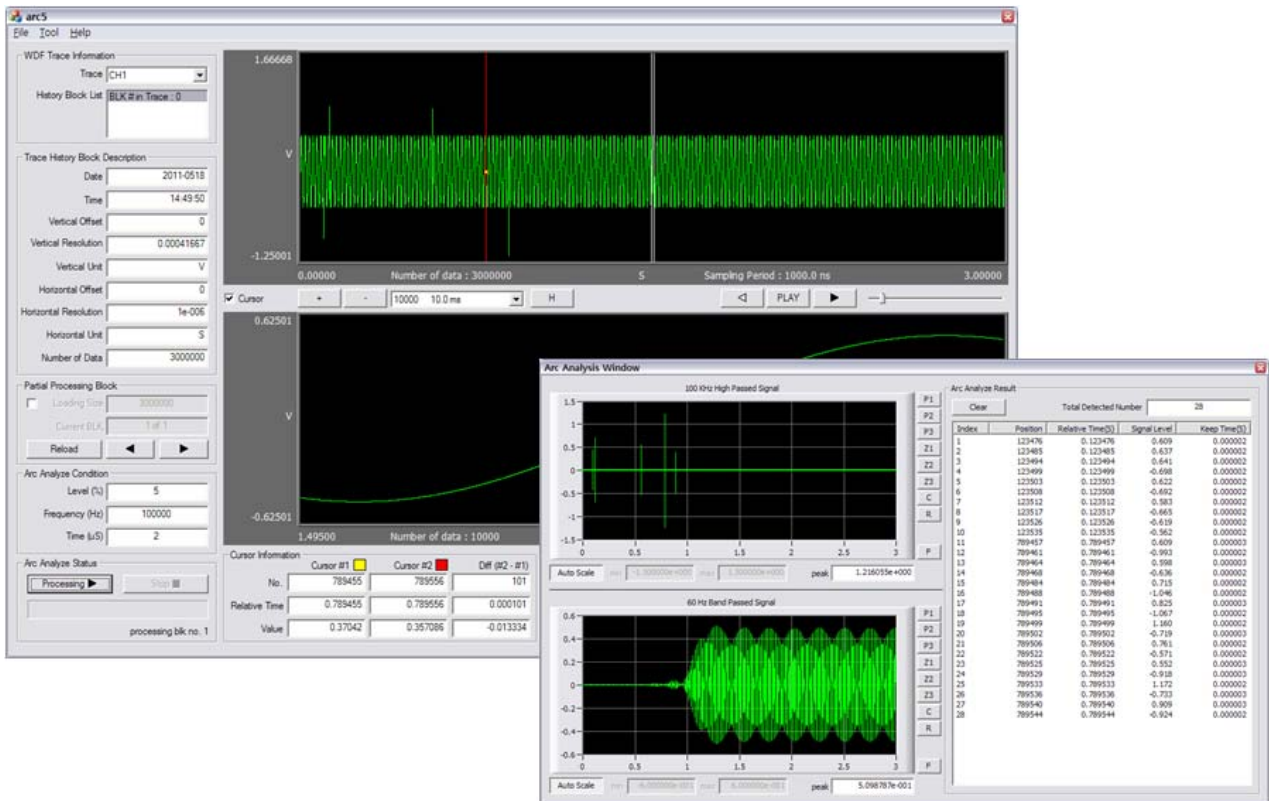


그림 10. 아크 분석 소프트웨어 사용자 인터페이스

5. 결 론

본 논문에서는, 고속 열차의 가선과 판토품그래프의 이선을 통한 집전 성능을 판단하기 위하여, 아크 분석 측정 시스템을 구성하는 방법을 논하였다. 아크 방전은 가선과 판토품그래프 사이의 인덕턴스를 유지하려는 현상에서 비롯되므로, 주로 고주파를 띄고 있으므로, 고주파 신호에 대하여 PT(Potential Transformer) 및 CT(Current Transformer)의 신호를 통하여 검출할 수 있는 알고리즘을 개발하고, 소프트웨어를 구성하였다. 본 시스템은 향후에 차세대고속열차의 시운전 시 장착될 예정이며, 이를 통해 전기적 집전 성능 및 아크 분석을 수행할 예정이다.

참고문헌

1. B. Tellini, M. Macucci, R. Giannetti, "Conducted and Radiated Interference Measurements in the Line-Pantograph System," IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. 50, No. 6, 2001.
2. S. Midya, D. Bormann, T. Schutte, and R. Thottappillil, "Pantograph Arcing in Electified Railways-Mechanism and Influence of Various Parameters-Part I: With DC Traction Power Supply," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 24, No. 4, 2009.
3. S. Midya, D. Bormann, T. Schutte, and R. Thottappillil, "Pantograph Arcing in Electified Railways-Mechanism and Influence of Various Parameters-Part II: With AC Traction Power Supply," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 24, No. 4, 2009.