

고속전철 급전계통에서의 고조파 측정 방안

최홍관 황치우 윤재영
한국전기연구소

Scheme for Harmonics measurement in feeding System of high speed railroad

Heungkwan Choi, Chiu Hwang, Jaeyoung Yoon
K E R I

Abstract - High speed railway is under construction from Seoul to Pusan. A traveling train is large single phase load that consumes 14MW power in feeding system of high speed railroad. In this paper, measurement scheme and method of power system harmonics which are generated from those loads in railroad supply system are described. This measurement scheme will be used as a first step to pave a way to power quality management due to harmonic distortion by the highspeed railway.

Key words : Harmonics measurement, Power system Harmonics, High speed railroad, Feeding system, Supply system

1. 서 론

사회의 고도화와 정보화의 진전에 따라 양질의 전력에 대한 수용가의 요구는 심화되고 있으나 오히려 반도체 제어 전력소자의 사용 확산에 따라 전력품질 저하가 나날이 가속화되고 있는 실정이다.

현재 건설되고 있는 고속전철 1편성은 주행시 14MW의 전력을 소모하는 대형의 단상부하로서 일반 상용전력계통으로부터 전력을 공급받는 경우 적절한 대책을 취하지 않으면 3상 유도전동기의 과열과 소손, 정보화기기의 오동작과 부동작, 가전제품의 손실, 플리커 등의 광범위한 장애가 발생할 수 있다.

이와 관련하여 고속전철부하로 인한 계통의 전력품질에 대한 영향평가 및 제어 대책 수립을 위한 가장 기본적인 단계인 고조파 측정 방안을 제시하고자 한다.

고조파에 대한 종류와 특성, 그리고 최근 동향이 어떠한지 알아보고 이러한 고조파가 고속전철의 경우에는 어떠한 특성을 지니며 어떻게 측정되어야 하는지를 고찰한다. 또한 측정시 고려되어야 할 샘플링과 데이터의 간결성, 평균화를 고려한 측정간격과 측정방법을 알아본다. 이를 바탕으로 고속전철의 전력공급을 원활하게 하고, 고속전철 전력공급에 의한 전력의 품질 저하를 방지하기 위한 측정 기본 자료로 사용되도록 한다.

2. 본 론

2.1 고조파 측정

2.1.1 고속전철 급전계통의 고조파

IEEE Std 519-1992의 고조파 관련 권고안과 IEC 워킹그룹이 개발한 IEC 1000-3-6, 1000-4-7, 그리고 1000-4-13의 고조파 가이드라인을 참고하여 고속전철 급전시스템에 이를 적용하기 위해서는 먼저 고속전철 부하의 특성을 파악한 후, 이를 바탕으로 적당한 규정과 규제를 선택하고 조정하여야 한다. 이는 일반적으로 유

틸리티나 수용가의 고조파는 안정적인 고조파로 볼 수 있으나 고속전철의 고조파는 시간(발차, 주행, 정차)과 공간(section)에 따라 고조파가 변화하기 때문에, 장비 자체의 고조파 측정과 계통에서의 고조파 측정 모두를 고려한 적절한 적용방안의 연구가 필요하다. IEEE Std 519-1992에서의 샘플링 요구조건은 시변 고조파에 대해서 특성화되어질 때까지의 시간에 대한 멀티 샘플링을 요구하고 있으며 자세한 사항을 IEC 1000-4-7에서 규정하고 있다.

2.1.2 시변 특성의 고조파 측정

고조파 제한규정은 일반적으로 고조파 유입이 상대적으로 일정하다고 가정하고 개발된다. 그러나 고조파가 시변특성과 공간적 변화 특성을 가진다면 문제는 달리 취급되어야 하며, 이러한 상황에서 급전계통에서 구분, 측정되어야 할 신호는 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 준안정 고조파(quasi-stationary harmonics)
- 변동 고조파(fluctuating harmonics)
- 급변 고조파(rapidly changing harmonics)
- 조파간 고조파와 의사 고조파 성분(inter-harmonics and other spurious components)

이러한 분류에서 준안정 고조파, 변동 고조파, 급변 고조파 등의 범주는 명확히 그 경계를 정의하는 것이 불가능하다. 다만 IEC 1000-4-7에서 이러한 범주에 대한 측정에 대하여 다루고 있으며, 이러한 고조파를 시영역 측정장치를 사용하여 측정할 때의 조건은 다음 표 2.1과 같다.

표 2.1 FFT 측정 장치 사용시 기본 요구 조건

고조파 범주	윈도우 너비	부가적 요구조건
준안정 상태	$T_w = 0.1s \sim 0.5s$	윈도우사이 겹 존재
변동상태 (IEC 555-2)	$T_w = 0.32s$ (rectangular) $T_w = 0.4s \sim 0.5s$ (Hanning)	겹 없음 반쯤씩 겹침
급변 상태	$T_w = 0.08s \sim 0.16s$ (rectangular)	겹 없음

결국 변동상태의 고조파인 경우와 급변상태의 고조파가 동시에 존재하는 상황이라면 측정에 관련된 사항도 달라져야 하기 때문에 측정 요구조건의 적용에 대한 연구가 필요하게 된다.

2.1.3 측정 오차와 한계

고조파 전압·전류를 측정하는 측정기기에 대한 정확도를 나타내는 데는 두 가지의 부류가 있다. 표 2.2는 측정기기에 대한 정확도를 나타내고 있으며, 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 데이터가 유효하기 위한 측정기기의

전압 오차 범위는 5% 이내이다. 단, 여기서 고조파 측정만을 의도한 측정기기인 경우의 예는 단지 고조파 주파수에만 적용된다.

또한 일반적으로 고조파는 보통 40차까지 측정되며 전력의 왜형을 평가하는데 대부분의 경우 충분하다고 할 수 있다. 그러나 다음의 경우에는 100차까지의 고조파도 문제 삼아야 한다.

- 전압 노칭이 있는 대형 컨버터
- 높은 펄스수를 가지는 대형 컨버터
- 전력계통과의 연계에 PWM 컨버터를 사용하는 새로운 대형 전력변환 설비

그러나 고속전철 급전계통은 위 항목과는 관련이 적으므로 40차까지의 고조파만으로도 전력의 왜형을 평가하는데 충분하다.

표 2.2 최대 측정 애러 (IEC)

클래스	측정	조건	최대 허용 애러
A	전압	$U_m \geq 1\% U_N$ $U_m < 1\% U_N$	5% U_m 0.05% U_N
	전류	$I_m \geq 3\% I_N$ $I_m < 3\% I_N$	5% I_m 0.15% I_N
B	전압	$U_m \geq 3\% U_N$ $U_m < 3\% U_N$	5% U_m 0.15% U_N
	전류	$I_m \geq 10\% I_N$ $I_m < 10\% I_N$	5% I_m 0.5% I_N

(U_m, I_m : 측정된 값, U_N, I_N : 측정기의 공칭 입력 범위)

2.1.4 측정 데이터의 샘플링 시간 영역 설정

측정된 데이터를 유효한 값을 갖게 하면서 통계적 처리를 쉽게 하기 위해서는 데이터의 간결성을 고려하여야 한다. 이를 위하여 샘플링 시간영역에 대하여 고찰해보면 표 2.3에서처럼 여러 가지 범위로 분류할 수 있지만, 앞에서 알아본 바와 같이 고속전철 급전시스템의 고조파 특성상 3초 정도(또는 3초이상)가 적당하다고 할 수 있다. 이는 발차, 정차시인 경우이고 전차가 정속도로 운행중이라면 1분 이상의 시간영역 설정도 충분히 가능하다.

표 2.3 데이터 간결성을 고려한 샘플링 시간 범위

시간 범위	시간 간격
very short interval (T_{vs})	3s
short interval (T_{sh})	10 min
long interval (T_L)	1 h
one day interval (T_D)	24 h
one week interval (T_{wk})	7 days

2.2 측정 절차

2.2.1 측정전 현장 조사

측정시 사전에 이루어져야 할 측정전 절차에 관한 사항은 다음과 같다.

- 문제의 본질(트립, 부분고장, 제어계통 오동작 등)
- 민감한 장비의 특성에 대한 문제(장비설계정보, 적용 안내정보)
- 문제들이 발생하는 상황이나 시간
- 같은 시간에 발생하는 문제를 또는 알려진 동작
- 설비들 사이의 전력 품질 변동에 관계되는 근원(모터 동작, 커패시터 스위칭, 전력 전자 장비의 동작, 아크장비 등)

- 현재 사용되고 있는 전력조정장비
- 계통 데이터 (단락용량, 변압기 크기와 임피던스, 부하정보, 커패시터 정보, 필터정보, 케이블 데이터 등)

위와 같은 조사를 고속전철 급전시스템에 적용하여 이에 따른 측정 특성을 구체화하여 그 특성에 알맞은 규격이나 제한치를 적용하여야 하지만, 고속전철이 현재 건설 완공이 되지 않은 상태이며 또한 시험선로 역시 미운 행중이다. 현재 알려진 고속전철 시험측정 위치는 충청북도 청원의 345/154KV 수전 지점이며, 이 지역에 대한 조류계산 데이터를 보유하고 있지만 이 데이터만으로는 계통 데이터를 파악하는데 미비한 점이 많으므로 더욱 상세한 데이터의 획득을 완료한 후, 향후 이를 토대로 실제측정과 더불어 사례연구가 이루어 질 것이다.

2.2.2 측정 절차

일반적으로 상세한 전력품질 감시를 위하여 부하변화에 따른 고조파감시를 위해서는 적어도 1주일의 기간 이상이 필요한 경우가 대부분이다. 비록 특성과 상황이 다르다 할지라도 고속전철의 급전시스템에서도 계속적이고 반복적인 측정(최소 1주일)으로 정확하고 신뢰성 있는 데이터를 얻는 것이 중요하다.

고조파에 대한 감시 위치 선정의 경우에 있어서는, 대부분 전력품질변화를 일으키는 민감한 장비에 최대한 근접한 곳(특히 파도 고주파수일 경우)을 선정하며, 시설 내의 모든 장비의 변화를 보기 위해서는 주 수전단에 측정위치를 선정하여야 한다. 이때 전기적 분리도 중요한 고려 요소중의 하나가 될 것이다. 그러나 고속전철의 경우에는 고조파 발생원이 차량이므로 주 감시 위치는 차량대 수전단이 되어야 할 것이다. 또한 실제적으로 문제를 일으키지 않는 외란을 구별하는 것도 필요하고 넘어가야 할 점이다.

다음 그림 2.1은 이러한 측정절차를 순서도로 나타낸 것이다.

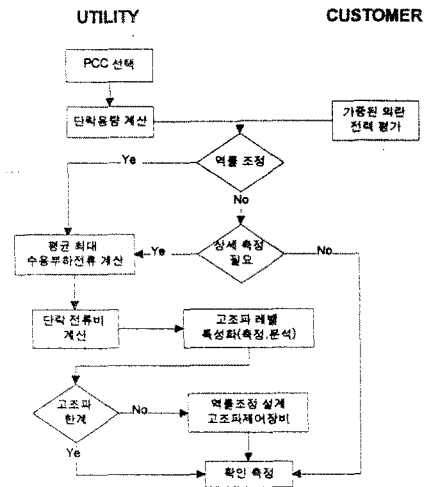


그림 2.1 측정절차 순서도

2.2.3 장비의 내부 측정 간격과 연산

데이터가 유효한 값을 유지하기 위해서는 다수의 샘플링과 내부연산이 요구되는데, 이때 이러한 사항을 충분히 고려한 데이터 측정간격과 데이터 평균화를 알아보면 다음 표 2.4와 같다.

표 2.4 장비의 내부 측정 간격

샘플링 종류	샘플링 수	비고
데이터 샘플링	사이클당 128 샘플링	위상 고정
데이터 유효화 반복샘플링	8 사이클	
샘플링 주기	3상일 때 매 2초당 단상일 때 매 초당	

표 2.4에서 샘플링수는 장비에서 측정되는 데이터의 내부 취득 시간 간격을 나타내고 있다. 왜형 신호 데이터의 정확한 A/D변환을 위한 샘플링은 한 사이클당 128샘플을 취하여야 하며, 데이터를 유효화하기 위한 반복 샘플링은 연속적으로 8사이클을 반복하여 측정하여야 한다. 또한 연속적인 사이클에서의 파형에 대해 동일한 샘플링 위치를 얻기 위한 방법으로 위상 고정(phase locking)방법을 사용하여야 한다.

측정 항목별 측정주기는 3상일 때 매 2초당 취득하고, 단상일 때는 매 초당 측정하여야 하는데, 이때 변환된 디지털 데이터는 장비 내부의 CPU와 Co-Processor에 의해서 처리된다.

측정간격과 유효화 과정을 거친 데이터가 디스플레이 되는 상황에서는 다시 데이터 평균화 과정을 거쳐서 사용자가 적용하기 알맞은 데이터로 다시 가공하여야 하는데, 그림 2.2는 이러한 데이터 디스플레이를 위한 슬라이딩 윈도우 원도를 나타낸 것이다.

그림 2.2에서 보는바와 같이 측정된 데이터는 다음 5분이 지날 때까지 평균화를 취하는 과정에 매분마다 연산이 되어야 한다.

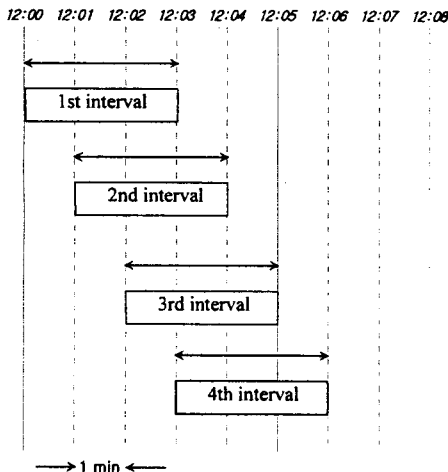


그림 2.2 슬라이딩 윈도우

2.3 측정 방법과 측정 시스템

2.3.1. 측정 위치에 따른 방법

가. PCC 1개소 설치

PCC에서 직접 측정하는 방법은 가장 보편적인 측정 방법으로서 계통에 대한 고조파를 가장 간단하게 직접적으로 측정할 수 있지만, 고조파 흐름의 방향까지는 알 수 없다. 이러한 단점은 고속전철의 급전시스템의 특성상, 전차가 운전되지 않는 섹션에서의 고조파 측정치와 전차가 그 섹션에 들어와 운행할 때의 고조파를 비교하면 그 차를 알 수 있으므로 결국 계통으로의 주입고조파를 알 수 있게 되어 단점 극복이 가능하다. 또한 측정 장비가 특정한 어느 항목들의 데이터 취득이 가능하다면 고조파 전력을 분석하고 그 위상각 정보를 이용하여 고

조파의 흐름을 알아내는 분석법이 있다. 복수개의 장비를 준비할 수 없는 상황이라면 섹션별 측정과 고조파 전력을 이용하여 고조파의 흐름을 알아내는 방법으로 시험선로에서 측정을 진행하여야 할 것이다.

나. 복수점 설치

복수의 측정 기기 설치시 연결을 위한 거리, PT 또는 CT와 관련된 측정단자 위치, 시간의 동기화 문제 등의 난점을 안고 있지만, 고조파의 흐름을 파악할 수 있는 장점을 가지고 있다.

다. 차량 설치

차량에 측정기기를 직접 연결하여 측정하는 방법으로는 차량의 고조파를 정확히 측정할 수는 있지만, 차량 설계시 차량자체에 측정장비에 대한 고려가 없기 때문에 설치하는데 많은 어려움이 있을 것으로 보이며, 오랜 시간 데이터를 취득할 경우 차량의 이동으로 인하여 원격 측정 시스템을 꾸미기 힘든 단점이 있다. 원격 시스템을 고려하지 않은 단시간의 측정상태에서는 안정상태의 고조파 측정으로 볼 수 있으므로 데이터 취득 시간 간격을 길게 하여 풀로피 디스크에 저장하는 방법을 사용할 수 있지만 근본적인 데이터취득에 관련된 문제는 해결하기 어렵다. 차량자체에서 방출된 고조파와 구간 운전시의 총체적인 고조파를 비교 분석하는 것도 필수적으로 고려해야 할 사항이다.

2.3.2. 측정 시간에 따른 방법

가. 시간 간격에 의한 연속적 측정

일반적으로 가장 널리 쓰이는 방법으로 정해진 시간 간격에 의한 연속적 측정이 가능하지만, 고속전철 급전시스템의 특성상 설치 위치에 따라 적용성의 문제가 있다. 시험선로에서 주행시험이 전개될 경우 매 15분마다 주기적으로 데이터를 report 하고, 그 변화 경향을 기록할 것이다.

나. snapshot에 의한 측정

고속전철의 운행 특성으로 인해 측정 시간 간격을 일반적인 경우처럼 길게 할 수 없으므로 필수적으로 이용해야 할 방법이 snapshot기능이다. 순간 순간의 데이터와 그 데이터의 스펙트럼을 취득할 수 있다.

다. event에 의한 측정

특히 미리 설정해 놓은 기준치와 비교하여 이벤트에 의해 측정시스템이 트리거 되는 형태로 원격 무인 측정시 즉 원격측정시스템을 이용할 때 고속전철 급전시스템의 측정에 적당한 방법이다. 예기치 않은 계획변경과 시험운행 계획으로 측정지점으로 장비와 인력의 이동이 어려운 경우 적당한 방법이다.

라. 시간 간격과 event에 의한 복합 측정

평소에는 비교적 긴 시간간격을 갖고 연속 측정을 수행하는 대기상태에서, 지정한 이벤트 조건을 만족시키는 경우에 단시간 간격의 측정과 특별한 이벤트 측정을 할 수 있는 방법이다.

2.3.3. 측정 시스템 종류

단수 또는 복수의 측정 장비와 모뎀, 전화선을 이용한 원격 측정 시스템은 여러 가지가 있을 수 있으며 또한 측정 위치에 따라 측정시스템이 달라 질 수 있다.

가. 단순 측정 시스템

이는 보편적으로 사용하는 방법으로 직접 측정위치에 측정 기기 자체만 설치하여 측정을 하는 시스템이며 셋업은 수조작에 의해서 하게 된다. 또한 데이터 저장은 주

로 열전사 용지를 이용한 프린트 기능과 측정 기기 자체에 내장되어 있는 보조 디스크 저장장치에 저장된다.

[12] IEEE Sdt 141, "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants", IEEE, Chapter 9, 1993

나. 컴퓨터 통신 측정 시스템

통신 시스템으로는 여러 가지가 있을 수 있다. 첫 번째로는 측정기기와 인접한 곳에 컴퓨터를 연결하여 통신(RS232C 또는 IEEE-488)을 통하여 측정데이터를 얻는 방법이 있다. 두 번째로는 근거리에서 가능한 방법으로 RS485 link를 사용한 측정방법이 있을 수 있다. 세 번째로는 원거리에서 할 수 있는 방법으로 모뎀을 이용한 측정 방법이다.

2.3.4. 측정 시스템 설계

고속전철의 급전시스템에 대한 측정시스템은 단순 측정방법과 노트북 컴퓨터를 결합하여 RS232C를 통한 데이터 취득방법과 모델을 이용한 원거리 측정시스템을 사용하여 복합적으로 구성할 수 있다. 노트북 컴퓨터를 이용하는 측정시스템은 용량에 관계없이 지속적으로 데이터를 취득할 수 있는 장점이 있기 때문에 고려의 대상으로서 충분하다.

측정할 지점에 복수의 측정 기기를 설치하여 동시에 측정할 때, 측정위치에 따른 원격 통신 시스템으로의 연결 문제가 발생한다. 시간의 동기화문제 등을 해결하기 위한 일환으로 먼저 원격 통신 시스템에 연결하여 동기화를 시킨 후 측정 기기를 분리하여 단순 측정시스템으로 활용하게 되므로 기본적으로 원격 통신 측정 시스템에 포함된다고 할 수 있다.

3. 결 론

고속전철 급전계통에서의 고조파에 대한 전반적인 고찰과 측정에 관련하여 그 측정절차와 방법, 그리고 고조파 측정시스템에 대하여 알아보았다. 이와 같은 고조파 측정 방안을 통하여 현재 건설중인 고속전철로 인하여 발생할 수 있는 전력품질의 저하를 줄이고 그 대책마련의 기초자료를 획득하는데 사용될 수 있을 것이며, 아울러 대규모 수용가에 대한 자체 고조파 저감대책이나 계통의 고조파 측정 및 그 원인규명 등 다양한 목적으로 이용될 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 황치우, "급전시스템 해석기술 개발", 고속전철기술개발 사업보고서, 2차년도 보고서, pp173~200, 1998
- [2] IEC 1000-4-7, "Testing and measurement techniques", IEC, Section 7, 1991
- [3] IEC 1000-3-6, "Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems", IEC, part 3, 1996
- [4] Roger C. Dugan, "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, 1996
- [5] Alan Symonds, "Electrical power equipment and measurements", McGraw-Hill, 1980
- [6] IEEE Sdt 519, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power systems", IEEE, 1992
- [7] 전기학회, "전기학회기술보고", 사단법인전기학회(일본), 2부 제302호, 1989
- [8] J. Arrillaga, "Power System Harmonics", JOHN WILEY & SONS, 1985
- [9] IEC 1000-3-2, "Electromagnetic compatibility - limits", IEC, Part 3, 1995
- [10] IEC 1000-2-2, "Electromagnetic compatibility - Environment", IEC, Part 2, 1990
- [11] IEC 50(161), "Electromagnetic compatibility", International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 161, 1990