

시간에 따라 변하는 고속철 부하의 고조파 측정 및 평가

(Time-varying Harmonics Measurement and Evaluation of the High Speed Electric Train Loads)

김경철 · 진성은* · 이주홍 · 전영수

(Kyung-Chul Kim · Seong-Eun Jin · Joo-Hong Lee · Young-Soo Jeon)

요 약

고속철도는 동기 전동기를 제어하기 위한 컨버터 및 인버터를 포함한 많은 비선형 부하를 가지고 있다. 이들 비선형 부하에 의한 고조파는 크기가 클 뿐만 아니라 시간에 따라 변하는 특성을 나타내었다. 부하 용량이 매우 크기 때문에 전력회사에 미치는 영향이 클 뿐만 아니라 이웃 수용가의 전력시스템에 주는 영향 또한 고려되어야 한다. 본 논문에서는 시간에 따라 변하는 고조파를 측정하고 국제 기준인 IEEE 519와 IEC 61000-3-6에 의해 누적확률을 사용하여 평가하였다.

Abstract

High speed electric trains have nonlinear loads including converters and inverters for the control synchronous motors. Harmonics produced by these devices are large, but also have noticeable time varying characteristics. Since the large loads are supplied from the power system grid, it must be recognized that not only will the system of utility be impacted, but neighboring customer system could be impacted as well. In this paper time-varying harmonics for high speed electric train loads are measured and evaluated by international harmonic standards IEEE Std. 519 and IEC 61000-3-6 using a cumulative probabilistic approach.

Key Words : High speed electric trains, Time-varying harmonics, Harmonics measurement, Harmonics evaluation, IEC 61000-3-6, IEEE Std. 519, Cumulative probability

1. 서 론

우리나라의 경부 고속철도는 서울-대구 구간에 고속철도를 신설하고, 대구-부산 구간의 기존선을

개량하여 운행하고 있다.

대용량의 가변 부하를 가진 전기 철도 급전시스템은 변압기, 전차선, 급전선, 레일 및 보호선 등 일련의 수송설비와 이들을 유기적으로 결합시키고 효율적으로 운용, 관리하기 위한 운용설비로 구성되어 있다.

전기차량의 전력 변환 시스템은 견인 전동기를 제어하여 차량의 추진 및 전기 제동을 수행하는 주 전력변환장치와 차량 내 전기기기 및 객차 서비스를

* 주저자 : 홍익대학교 전기공학과 대학원 석사과정
Tel : 041-860-2568, Fax : 041-863-7605
E-mail : jin1647@naver.com
접수일자 : 2006년 3월 22일
1차심사 : 2006년 3월 28일
심사완료 : 2006년 4월 12일

시간에 따라 변하는 고속철 부하의 고조파 측정 및 평가

위한 조명설비, 냉난방설비에 필요한 전원을 공급하는 보조 전원장치로 구성된다.

전인 전동기로는 전력전자 기술의 발달, 고속 대용량 반도체 소자의 발달 및 마이크로프로세서 기술 발달에 의한 경량화와 유지 보수에 유리한 동기 전동기가 쓰이고 있다.

전력변환장치는 컨버터와 인버터로 나뉘어 지는데, 컨버터는 입력 역률의 향상, 제동 시 회생 에너지의 공급, 고조파 저감기능을 보유하고 있으며, 인버터는 추진 제어장치의 명령에 따라 가변전압 가변주파수의 전원을 전동기에 공급하여 속도를 조절하고 있다. 이러한 컨버터와 인버터는 위상제어 및 펄스폭 변조 방식에 의하여 제어되기 때문에 많은 고조파를 발생시킨다[1].

고조파원에 대한 정확하고 신뢰성 있는 측정과 평가는 전력시스템의 고장파 오동작 등을 예방할 수 있게 할 뿐만 아니라, 공통결합점(PCC, Point of Common Coupling)에서 수용가와 전력 회사의 역할과 책임을 분담하게 한다.

수용가는 할당된 범위 내에서 고조파 전류를 방출하여 전력 시스템의 전력 품질이 일정 수준 이상 유지되어야 하고, 전력회사는 공통결합점에서의 고조파 전압이 일정 수준 이하가 되도록 유지시켜야 한다.

본 논문에서는 국제기준에 의거하여 시간에 따라 변하는 고조파를 측정하고, 평가 하고자 한다.

2. 고조파 측정

2.1 사례연구 시스템

그림 1은 사례 연구 시스템의 단선도이다. 전력회사는 공급전압이 154[kV], 단락용량이 5740[MVA], 단락 임피던스는 100[MVA] 기준으로 $0.17+j1.736[pu]$ 이다.

송전선로는 선로 임피던스가 $1.93135+j15.2646[\Omega]$ 이고, 선로 어드미턴스는 $j12.6274[S]$ 이다.

급전 시스템에는 주 변압기로 스코트 변압기(Scott Transformer) 120[MVA], 소내용 변압기(Three-winding Transformer) 5[MVA]가 있다. 고속철도는 전력회사로부터 154[kV]를 수전하여 스코트 변압기에 의해 55[kV]으로 변환하여, 단권변압기

(AT, Auto-Transformer)에 25[kV] 전압을 공급한다. AT 급전방식은 변전소에서 급전선(Feeder Line)을 선로에 따라 가선하여 이 급전선과 전차선(Trolley wire)사이에서 약 10[km] 간격으로 AT를 병렬로 설치 접속하여 변압기 권선의 중성점을 Rail에 접속하는 방식이다. 사례연구 수용가에는 고조파 저감을 위한 45[MVA]의 능동필터(AF, Active-Filter)가 설치되어 있다.

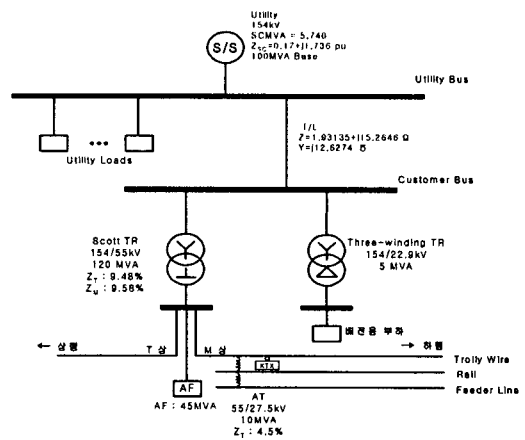


그림 1. 사례연구 시스템의 단선도
Fig. 1. One-line diagram of the case study system

2.2 고조파 측정 장비

고조파 측정과 평가는 전력회사와 수용가가 만나는 점, 즉 공통결합점에서 이루어지는데, 사례연구 수용가의 모선(Customer Bus)이 된다.

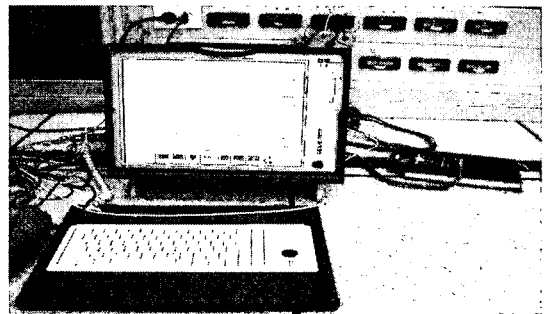


그림 2. PNA 측정 장비
Fig. 2. PNA Measuring equipment

고조파는 시간에 따라 변하므로 IEC 61000-4-7[2]에 따라 3초(very short time) 측정 법칙으로 한다.

고조파 측정 장비는 PNA-2010[4] 장비가 사용되었다. PNA-2010은 윈도우 크기가 12사이클 측정에 36사이클 간격, 즉 0.8초에 한번씩 측정한다.

2.3 고조파 측정

PNA-2010 장비로 일주일간 측정하였다. 일주일 측정은 설비의 순간 영향이나 오동작을 일으키는 원인을 파악하는데 유용하게 쓰이고, 전기 설비의 장기간 영향이나 소손 및 수명 감소의 원인을 추종하는데 쓰일 수 있고, 부하 변동의 주중 및 주말 변화를 관찰할 수 있어 IEC 61000-4-7에서 권하고 있다.

편의상 측정 결과는 일주일 중에 월요일(익일 03:00~다음날 03:00)의 24시간 동안 측정된 데이터를 요약하기로 한다. 또한 3상 중에 A상만 나타낸다.

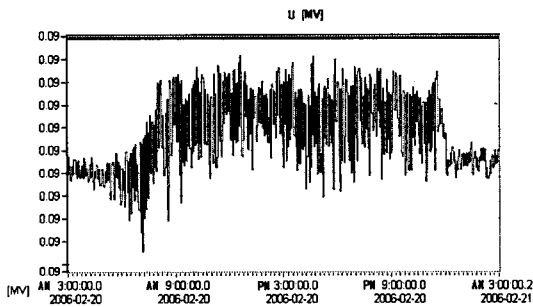


그림 3. 측정된 전압의 시간 경향
Fig. 3. Measured voltage time trends

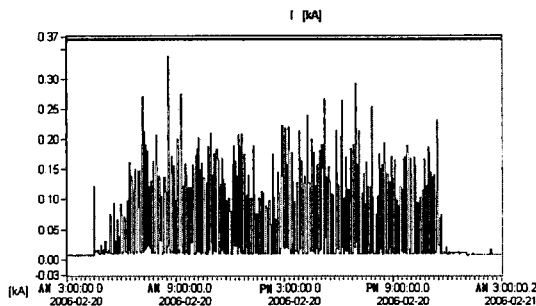


그림 4. 측정된 전류의 시간 경향
Fig. 4. Measured current time trends

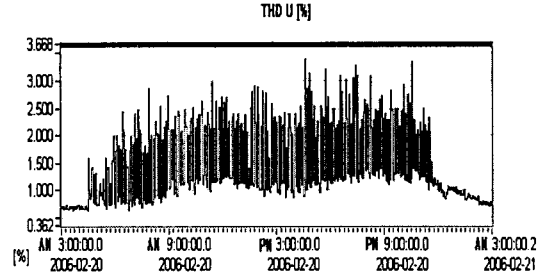


그림 5. 측정된 전압 왜형률의 시간 경향
Fig. 5. Measured voltage THD time trends

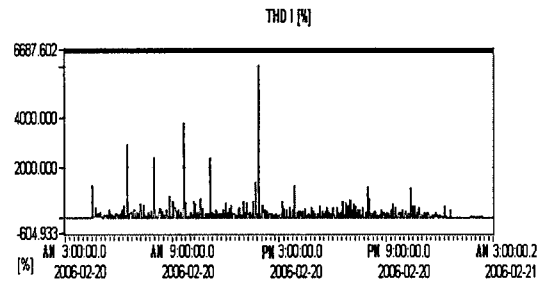


그림 6. 측정된 전류 왜형률의 시간 경향
Fig. 6. Measured Current THD time trends

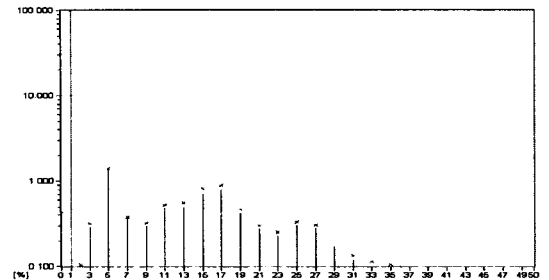


그림 7. 전압 누적 히스토그램
Fig. 7. Voltage cumulative histogram

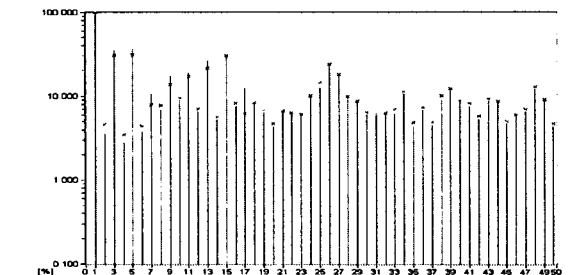


그림 8. 전류 누적 히스토그램
Fig. 8. Current cumulative histogram

시간에 따라 변하는 고속철 부아의 고조파 측정 및 평가

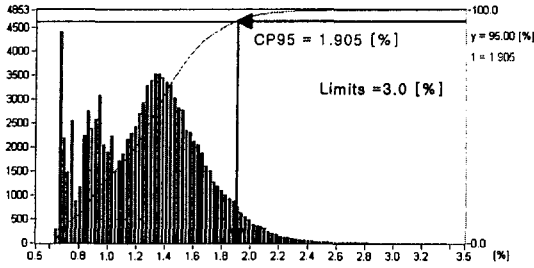


그림 9. 측정된 전압 왜형률의 누적분포
Fig. 9. Measured voltage THD cumulative probability distribution during one day

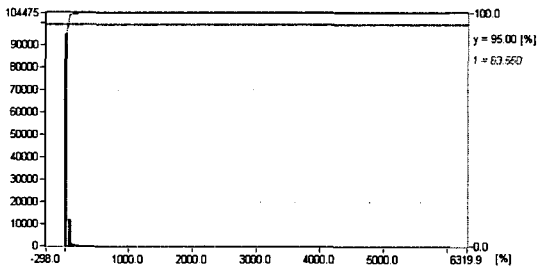


그림 10. 측정된 전류 왜형률의 누적분포
Fig. 10. Measured current THD cumulative probability distribution during one day

그림 3부터 그림 10까지를 간략히 요약하기로 한다. 그림 3은 하루 동안의 전압의 변화를 나타낸다. 평균 전압은 158.3[kV]이다. 그림 4는 전류의 시간 경향을 나타낸다. 하루 동안의 평균 전류는 50[A]이다.

그림 5는 하루 동안의 전압 왜형률(THD, Total Harmonic Distortion)의 변화를 나타낸다. 변화의 범위가 넓기 때문에 고조파를 평가하기 위해서는 특별한 기법이 요구됨을 알 수 있다. 그림 6은 전류 왜형률의 시간 경향을 나타낸다. 그림에서는 THD로 나타냈기 때문에 범위가 0~7000[%]까지 되었지만 국제 기준에서는 종합 왜형률(TDD, Total Demand Distortion)으로 평가하게 되면 범위를 대폭 줄일 수 있다. THD는 측정시 기본파의 크기에 대한 고조파 크기를 나타내고, TDD는 정격 혹은 최대값에 대한 고조파의 크기이기 때문이다.

그림 7은 하루 동안의 전압 왜형률의 누적값을 나타낸다. 그림 8은 전류 왜형률의 누적값으로 모든 차수의 고조파 성분이 존재함을 알 수 있다.

그림 9는 하루 동안 측정된 전압의 누적확률(CP, Cumulative Probability) 분포도이다. 시간에 따라 변하는 고조파는 누적확률 95[%]를 적용하는 것을 국제기준인 IEC 61000-3-6[4]와 IEEE P519A[5]에서 권장하고 있다. 그림 10은 하루 동안의 전류 누적확률 95[%]이다. THD로 표시되어 구분하기 어렵지만, 고조파 평가 시에는 TDD로 변환하고 수치를 표로 요약하였다.

3. 고조파 평가

고조파 평가의 원칙은 전력회사와 수용가가 역할과 책임을 분담하는데 있다. 본 논문에서는 시간에 따라 변하는 고조파를 국제기준인 IEC 61000-3-6와 IEEE Std. 519-1992[6]에 적용하기로 한다.

3.1 IEC 61000-3-6 기준

3.1.1 고조파 전압 평가

IEC에서 정한 기준은 다음과 같다.

기준 1. 하루 동안 측정된 3초 측정값의 누적확률 95[%]가 계획 레벨을 넘지 않아야 한다.

기준 2. 일주일 동안 10분 측정값 중에 가장 큰 값이 계획 레벨을 넘지 않아야 한다.

기준 3. 일주일 동안의 3초 최대 측정값이 계획 레벨의 1.5배를 넘지 않아야 한다.

표 1은 기준 1에 의한 고조파 전압 평가를 간추려 놓았다. 일주일 중에 편의상 월요일과 일요일의 측정치를 사용한다. 계획레벨(Planning level)은 전력회사가 채택하는 값이고, 부하 유출 제한치를 결정하는데 사용한다.

그림 11은 표 1을 그림으로 표현한 것이다.

표 1-1. 기준 1에 의한 고조파 전압 평가-월요일
Table 1-1. Harmonic voltage evaluation by the assessment 1_Monday

차수	IEC 61000-3-6 Planning level	A 상 95[%] CP	B 상 95[%] CP	C 상 95[%] CP
2	1.5	0.101	0.103	0.102
3	2.0	0.291	0.198	0.191

차수	IEC 61000-3-6 Planning level	A 상 95[%] CP	B 상 95[%] CP	C 상 95[%] CP
4	1.0	0.035	0.039	0.038
5	2.0	1.405	1.182	1.117
6	0.5	0.021	0.019	0.025
7	2.0	0.367	0.273	0.327
8	0.4	0.028	0.026	0.03
9	1.0	0.298	0.164	0.281
10	0.4	0.023	0.021	0.027
11	1.5	0.492	0.153	0.464
12	0.2	0.018	0.015	0.028
13	1.5	0.5	0.146	0.487
14	0.2	0.025	0.014	0.029
15	0.3	0.703*	0.142	0.682*
16	0.2	0.03	0.015	0.032
17	1.0	0.787	0.156	0.745
18	0.2	0.023	0.014	0.026
19	1.0	0.422	0.228	0.418
20	0.2	0.018	0.016	0.02
~				
50	0.2	0.008	0.012	0.016
THD _v [%]	3.0	2.112157	1.686367	1.933661

[주] *는 기준치를 초과하는 값을 나타낸다.

표 1-2. 기준 1에 의한 고조파 전압 평가-일요일
Table 1-2. Harmonic voltage evaluation by the assessment 1_Sunday

차수	IEC 61000-3-6 Planning level	A 상 95[%] CP	B 상 95[%] CP	C 상 95[%] CP
2	1.5	0.094	0.102	0.095
3	2.0	0.303	0.196	0.237
4	1.0	0.038	0.041	0.039
5	2.0	1.375	1.269	1.101
6	0.5	0.023	0.025	0.021
7	2.0	0.515	0.457	0.487
8	0.4	0.027	0.028	0.026
9	1.0	0.312	0.183	0.301
10	0.4	0.021	0.02	0.022

차수	IEC 61000-3-6 Planning level	A 상 95[%] CP	B 상 95[%] CP	C 상 95[%] CP
11	1.5	0.511	0.164	0.484
12	0.2	0.019	0.015	0.023
13	1.5	0.52	0.168	0.504
14	0.2	0.028	0.014	0.029
15	0.3	0.765*	0.157	0.732*
16	0.2	0.029	0.018	0.029
17	1.0	0.775	0.167	0.742
18	0.2	0.025	0.025	0.027
19	1.0	0.418	0.216	0.413
20	0.2	0.015	0.02	0.021
~				
50	0.2	0.008	0.011	0.016
THD _v [%]	3.0	2.16628	1.84562	2.00966

[주] *는 기준치를 초과하는 값을 나타낸다.

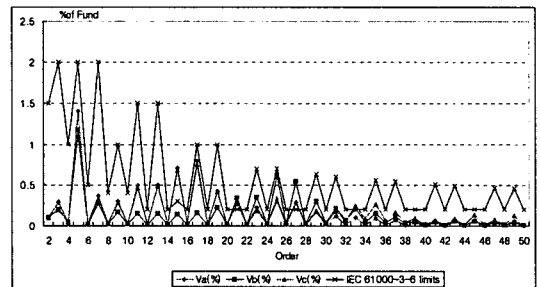


그림 11-1. 기준 1에 의한 고조파 전압 평가-월요일
Fig. 11-1. Harmonic voltage evaluation by the assessment 1_Monday

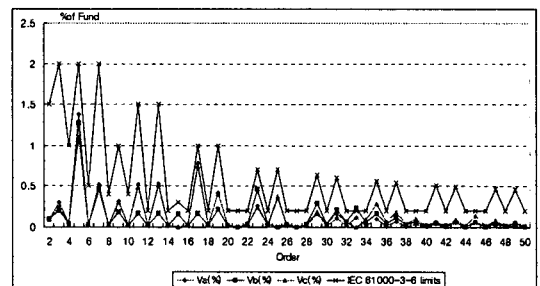


그림 11-2. 기준 1에 의한 고조파 전압 평가-일요일
Fig. 11-2. Harmonic voltage evaluation by the assessment 1_Sunday

시간에 따라 변하는 고속철 부하의 고조파 측정 및 평가

표 1과 그림 11에 의한 평가 결과는 제 15, 21, 27, 33 차수 등에서 IEC 기준치를 약간 벗어난 것을 알 수 있다. 이들 고조파에 대한 정밀 분석과 능동 필터의 성능을 재검토할 필요가 있다고 사료된다. 전체 전압 왜형률은 IEC 기준 3[%]에는 못 미치는 월요일 약 1.911[%], 일요일 약 2.01[%]이지만, 한전 기준 1.5[%] 보다 높으므로 검토할 사항이다.

표 2는 기준 2에 의한 고조파 전압 평가를 간추려 놓았다. 일주일 동안 10분 측정값 중에 가장 큰 값을 일주일 동안 3초 측정값의 95[%] 누적확률 값으로 평가 하였다. 그림 12는 표 2를 그림으로 나타낸 것이다.

표 2. 기준 2에 의한 고조파 전압 평가
Table 2. Harmonic voltage evaluation by the assessment 2

차수	IEC 61000-3-6 Planning level	A 상 95[%] CP	B 상 95[%] CP	C 상 95[%] CP
2	1.5	0.097	0.101	0.098
3	2.0	0.295	0.194	0.199
4	1.0	0.036	0.038	0.037
5	2.0	1.335	1.130	1.070
6	0.5	0.022	0.021	0.022
7	2.0	0.432	0.360	0.398
8	0.4	0.027	0.026	0.028
9	1.0	0.308	0.170	0.292
10	0.4	0.023	0.020	0.024
11	1.5	0.509	0.151	0.484
12	0.2	0.019	0.014	0.024
13	1.5	0.440	0.149	0.506
14	0.2	0.024	0.013	0.027
15	0.3	0.768*	0.147	0.739*
16	0.2	0.031	0.016	0.032
17	1.0	0.795	0.169	0.761
18	0.2	0.024	0.019	0.026
19	1.0	0.416	0.227	0.419
20	0.2	0.017	0.018	0.021
~				
50	0.2	0.008	0.013	0.017
THD _v [%]	3.0	2.113	1.665	1.970

[주] *는 기준치를 초과하는 값을 나타낸다.

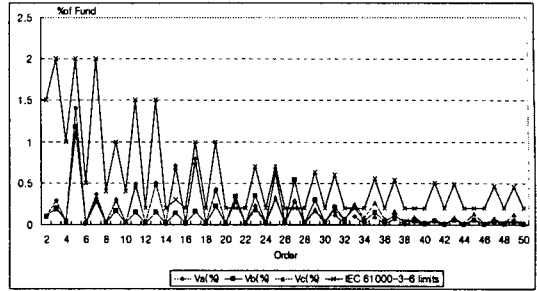


그림 12. 기준 2에 의한 고조파 전압 평가
Fig. 12. Harmonic voltage evaluation by the assessment 2

표 2와 그림 12에 의한 평가 결과는 기준 1과 대등 소이하다.

표 3은 기준 3에 의한 고조파 전압 평가를 간추려 놓았다. 일주일 동안 3초 측정값의 누적확률 99[%]가 계획레벨의 1.5배를 넘는지 평가한다. 그림 13은 표 3을 그림으로 나타낸 것이다.

표 3. 기준 3에 의한 고조파 전압 평가
Table 3. Harmonic voltage evaluation by the assessment 3

차수	IEC 61000-3-6 Planning levels×1.5	A 상 99[%] CP	B 상 99[%] CP	C 상 99[%] CP
2	2.25	0.112	0.114	0.112
3	3	0.409	0.290	0.311
4	1.5	0.043	0.044	0.044
5	3	1.444	1.206	1.198
6	0.75	0.027	0.026	0.030
7	3	0.534	0.406	0.507
8	0.6	0.034	0.033	0.035
9	1.5	0.419	0.209	0.398
10	0.6	0.028	0.027	0.033
11	2.25	0.660	0.167	0.626
12	0.3	0.028	0.022	0.034
13	2.25	0.727	0.209	0.708
14	0.3	0.044	0.022	0.043
15	0.45	1.172*	0.217	1.128*
16	0.3	0.048	0.026	0.047
17	1.5	1.138	0.233	1.090

차수	IEC 61000-3-6 Planning levels×1.5	A 상 99[%] CP	B 상 99[%] CP	C 상 99[%] CP
18	0.3	0.035	0.032	0.036
19	1.5	0.659	0.307	0.652
20	0.3	0.024	0.030	0.032
~				
50	0.3	0.017	0.023	0.025
THD _v [%]	4.5	2.770	2.117	2.659

[주] *는 기준치를 초과하는 값을 나타낸다.

표 3과 그림 13에 의한 평가 결과는 기준 1, 2와 대등 소이다.

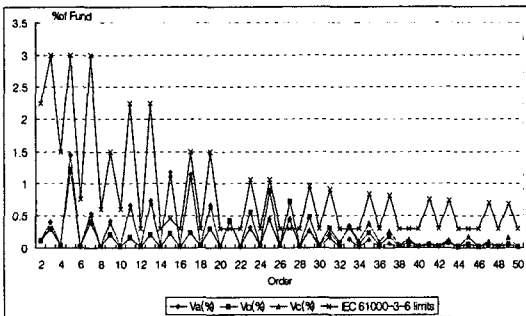


그림 13. 기준 30에 의한 고조파 전압 평가
Fig. 13. Harmonic voltage evaluation by the assessment 3

표 4. IEC에 의한 고조파 전류 평가
Table 4. Harmonic current evaluation by the IEC

차 수	IEC limits I_{h1}/I_1 (%)	A 상 95[%] CP	B 상 95[%] CP	C 상 95[%] CP
5	5 ~ 6	9.8*	3.47	6.78*
7	3 ~ 4	2.35	2.21	2.4
11	1.5 ~ 3	5.46*	1.54	3.45*
13	1 ~ 2.5	6.97*	1.16	4.14*
$\sqrt{\sum I_h^2}$	6 ~ 8	20.9*	14.1*	15.7*

[주] *는 기준치를 초과하는 값을 나타낸다.

3.1.2 고조파 전류 평가

IEC에서는 고조파 전압 평가만 하고, 신규 수용가 인 경우에는 계획단계에서 검토 사항으로 제 5, 7, 11, 13차 등과 전체 왜형률이 IEC에서 정한 기준치를 초과 하는지를 평가한다. 전류 왜형률을 구할 때 기본 주파수 전류(I_1)는 계약전력에 상당하는 전류로 한다.

표 4는 IEC에 의한 고조파 전류 평가를 간추려 놓았다. 일주일 동안 3초 측정값의 누적확률 95[%]가 기준치를 초과하는지 평가한다.

IEC에 의한 고조파 전류 평가 결과는 IEC 기준치 6~8[%]를 3상 모두 초과(A상 20.9[%], B상 14.1[%], C상 15.7[%])하므로 수용가에 고조파 필터 설치가 요구된다고 할 수 있다.

3.2 IEEE Std. 519-1992 기준

3.2.1 고조파 전압 평가

IEEE에서는 고조파 제한치가 각 고조파 차수는 전압왜형률이 1.5[%]이고, 전체 전압왜형률은 2.5[%]으로 되어있다. 표 5는 IEEE에 의한 고조파 전압 평가를 간추려 놓았다. 일주일 동안 3초 측정값의 누적확률 95[%]가 기준치를 초과하는지 평가한다.

표 5. IEEE에 의한 고조파 전압 평가
Table 5. Harmonic voltage evaluation by the IEEE

차수	IEEE 519 limits[%]	A 상 95[%] CP	B 상 95[%] CP	C 상 95[%] CP
2	1.5	0.097	0.101	0.098
3	1.5	0.295	0.194	0.199
4	1.5	0.036	0.038	0.037
5	1.5	1.335	1.130	1.070
6	1.5	0.022	0.021	0.022
7	1.5	0.432	0.360	0.398
8	1.5	0.027	0.026	0.028
9	1.5	0.308	0.170	0.292
10	1.5	0.023	0.020	0.024
11	1.5	0.509	0.151	0.484
12	1.5	0.019	0.014	0.024

시간에 따라 변하는 고조파 부하의 고조파 측정 및 평가

차수	IEEE 519 limits[%]	A 상 95[%] CP	B 상 95[%] CP	C 상 95[%] CP
13	1.5	0.440	0.149	0.506
14	1.5	0.024	0.013	0.027
15	1.5	0.768	0.147	0.739
16	1.5	0.031	0.016	0.032
17	1.5	0.795	0.169	0.761
18	1.5	0.024	0.019	0.026
19	1.5	0.416	0.227	0.419
20	1.5	0.017	0.018	0.021
~				
50	1.5	0.008	0.013	0.017
THD _v [%]	2.5	2.113	1.665	1.970

IEEE에 의한 고조파 전압 평가 결과는 IEEE 기준치 2.5[%]를 3상 모두 초과하지 않았다.

3.2.2 고조파 전류 평가

IEEE Std. 519 기준 적용을 위하여 단락비(SCR, Short Circuit Ratio)는 아래와 같이 구한다.
단락전류,

$$I_{sc} = \frac{5,740MVA}{\sqrt{3} \times 154kV} = 21,520 [A]$$

최대 부하전류(I_L)는 일년 중 최대 평균전류로 하는데, 일반적으로 일년치 전기요금 계산서의 최대 전력에서 구할 수 있다. 본 논문에서는 계약전류에 상당하는 전류를 최대 부하전류로 하였다.

$$I_L = \frac{125MVA}{\sqrt{3} \times 154kV} = 468.64 [A]$$

단락비,

$$SCR = \frac{I_{sc}}{I_L} = 45.92$$

으로 IEEE 기준의 20~50 범위에 속하고, TDD 제한치는 4.0[%]이다.

표 6은 IEEE에 의한 고조파 전류 평가를 간추려 놓았다. 일주일 동안 3초 측정값의 누적확률 95[%]가 기준치를 초과하는지 평가한다. 그림 14는 표 6을 그림으로 나타낸 것이다.

표 6. IEEE에 의한 고조파 전류 평가
Table 6. Harmonic current evaluation by the IEEE

차수	IEEE limits	A 상 95[%] CP	B 상 95[%] CP	C 상 95[%] CP
3	3.5	7.85*	7.86*	7.61*
5	3.5	9.8*	3.47	6.78*
7	3.5	2.35	2.21	2.4
9	3.5	4.57*	1.85	2.85
11	1.75	5.46*	1.54	3.45*
13	1.75	6.97*	1.16	4.14*
15	1.75	7.5*	1.23	5.28*
17	1.25	3.08*	1.13	2.62*
~				
49	0.25	1.38*	1.27*	0.96*
TDD _i [%]	4.0	20.9*	14.1*	15.7*

[주] *는 기준치를 초과하는 값을 나타낸다.

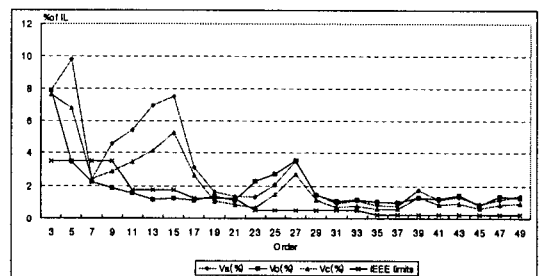


그림 14. IEEE에 의한 고조파 전류 평가
Fig. 14. Harmonic current evaluation by the IEEE

IEEE에 의한 고조파 전류 평가 결과는 IEEE 기준치 4.0[%]를 3상 모두 많이 초과(A상 20.9[%], B상 14.1[%], C상 15.7[%]) 하였다. 거의 모든 홀수차 고조파가 기준치를 초과하는 특성을 나타내고 있다. 특히 $4n \pm 1$ ($n = 1, 2, \dots$)차 고조파가 많았다.

4. 결 론

고속철 부하는 견인 전동기를 구동하기 위한 컨버터와 인버터를 사용하고, 정지 및 가감속을 수시로 하는 변동 부하와 스코트 변압기, 단권변압기 등의 비선형 부하가 많아 고조파 발생이 심하고, 고조파가 시간에 따라 변하는 특성을 가지고 있다.

고조파 평가 기준의 원칙은 공통결합점에서 전력회사는 고조파 전압이 일정 수준 이하가 되도록 해야 하고, 수용가는 할당된 범위 내에서 고조파 전류를 방출하여 전기 품질을 일정 수준 이상 유지해야 하는데 있다.

시간에 따라 변하는 고조파를 국제 기준에 따라 3초 측정 법칙을 적용하여 일주일 동안 측정하였다. 고조파 평가는 95[%] 누적확률 값으로 하여 평가의 신뢰성을 높였다.

일주일 동안의 누적확률 95[%]를 적용한 전압 왜형률은 약 1.92[%]이었다. 이는 한전 기준치 1.5[%]보다 높은 수치이다. 밤 12시부터 새벽 5시까지는 고속열차가 거의 없는 경부하 시간대인데, 이때의 전압 왜형률이 약 0.87[%]로 관측되어 좀 더 검토할 필요가 있다고 사료된다.

IEC 61000-3-6 기준에 의한 고조파 전압 평가 결과는 IEC 기준 3.0[%]보다는 작은 약 1.92[%]이었으나 제 15, 21, 27, 33 차수에서 기준치를 초과하였다. IEC에 의한 고조파 전류 평가 결과는 IEC 기준치 6~8[%]를 약 16.9[%]로 많이 초과하여 수용가에 고조파 필터가 요구된다고 할 수 있다.

IEEE Std. 519-1992 기준에 의한 고조파 전압 평가 결과는 IEEE 기준치 2.5[%]보다 작은 약 1.92[%]이었다. IEEE에 의한 고조파 전류 평가 결과는 IEEE 기준치 4.0[%]를 많이 초과하는 약 16.9[%]이었다. 거의 모든 흡수차 고조파가 기준치를 초과하는 특성을 보였다. 수용가에 고조파 필터를 설치할 경우에 고려할 사항이다.

향후 시간에 따라 변하는 고조파를 측정하고, 평가하는 방법에 대한 연구를 지속적으로 하고, 고조파 저감 대책 연구도 수행할 계획이다.

References

- (1) 이장무, 창상훈, 외 6명, “경부고속철도 서울-대구 구간 전력품질 안정화 대책 연구”, 한국철도시설공단, 2004.
- (2) IEC 61000-4-7, “General Guide on Harmonics and Inter-harmonics Measurement and Instrumentation for Power Supply Systems”, 1991.
- (3) PNA 2010, “Power Network Analyzer”, Chauvin Arnoux Co., 2004.
- (4) IEC 61000-3-6, “Assessment of Emissions Limits for Distorting Loads in MV or HV Power Systems”, 1996.
- (5) M. McGranaghan, “Overview of the Guide for Applying Harmonic Limits on Power Systems-IEEE P519A”, ICHQP '98, 1998.
- (6) IEEE Std. 519-1992, “IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonics Control in Electrical Power Systems”.

본 연구는 전력산업 연구개발사업으로 수행되었음.

◇ 저자소개 ◇

김경철 (金慶哲)

1954년 1월 20일생. 1977년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 1977~1982년 국방과학연구소연구원. 1982~1984년 NMSU 전기공학과 석사. 1984~1988년 UTA 전기공학과 박사. 1988~1991년 한국전기연구소 선임연구원. 1991년~현재 홍익대학교 전기공학과 교수.

진성은 (陳聖恩)

1980년 1월 8일생. 2005년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2005~현재 홍익대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

이주홍 (李柱洪)

1978년 10월 23일생. 2005년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2005년~현재 홍익대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

전영수 (全榮洙)

1960년 2월 9일생. 1983년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1987년 한국전력공사 입사. 1997년 충남대학교 산업대학원 전기공학과 석사. 1990년~현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 선임연구원.