

# 송전계통 고조파 방출 한계 평가 소프트웨어

(Assessment Software of Harmonic Emission Limits for Transmission System)

왕용필\* · 정종원 · 김세동 · 곽노홍 · 전영수 · 박상호

(Yong-Peel Wang · Jong-Won Jeong · Se-Dong Kim · No-Hong Kwak · Young-Soo Jeong · Sang-Ho Park)

## 요 약

최근 전력기기 및 전력시스템 기준이 수적인 면과 복잡성에 있어 증가되고 있다. 이에 부하의 왜곡에서 고조파 방출 한계를 평가하기 위한 우리나라 송전계통 기준을 소개하였다. 시간적 제약이 증가하는 조건아래 전력회사 실무자들은 빠르게 문제를 풀기 위하여 소프트웨어로 구성하기가 매우 복잡하다. 따라서 본 논문에서는 마이크로소프트 엑셀을 이용하여 실무자들이 실제적인 상황에서 이러한 기준을 즉시 적용할 수 있도록 하기 위한 방법을 표현하였다.

## Abstract

In recent years, power equipment and system standards have been increasing in both number and complexity. The standards that will soon be introduced to KOREA is the transmission system standards for harmonic emission limits assessing in distorting loads. Utility engineers, being under increasing time constraints, are turning more and more to software to quickly solve problems. This paper describes the methodology used to implement the above standards in Microsoft Excel in order to assist utility engineers to readily apply these standards in practical situations.

Key Words : Harmonic emission limits, Transmission system, Assessment software, Microsoft Excel

## 1. 서 론

송전계통에 존재하는 고조파는 공해와 같은 것으로 각종 사고 및 장애의 원인이 되고 있다. 최근 비선형 부하의 증대로 이들 기기로부터 발생하는 고조

파로 인해 전력 품질의 악화가 날로 심화되고 있다. 이에 대비하기 위해 송전계통의 고조파 계획레벨을 정하고, 이를 기반으로 고조파 허용 기준치를 적용함으로 고조파 관리를 할 필요가 있다[1-5].

따라서 전력회사는 양질의 전압을 공급해야 하고, 수용가는 할당된 범위 이내에서 고조파 전류를 방출하여 계통의 전력 품질을 일정 수준 이상으로 유지할 수 있도록 할 책임이 있게 된다.

본 논문에서는 마이크로 소프트웨어 엑셀을 이용하여 송전 계통의 고조파 방출 한계를 평가하는 소

\* 주저자 : 동아대학교 전기공학과 초빙교수  
Tel : 051-200-6944, Fax : 051-200-7743  
E-mail : ypwang@donga.ac.kr  
접수일자 : 2007년 8월 20일  
1차심사 : 2007년 8월 23일  
심사완료 : 2007년 9월 5일

프트웨어를 개발하였다. 그리고 국내 실 송전계통에 적용하여 개발한 소프트웨어를 유용성과 타당성을 검증하였다. 이로 인해 향후 현장에서의 실무자들이 빠른 시간 내에 직접적으로 고조파 방출 한계를 평가하는데 있어 도움이 되고자 한다.

## 2. 기본적인 고조파 제한 범위와 절차

국제 기준의 고조파 제한 절차는 유사한 개념을 바탕으로 3단계로 이루어져 있어 국내 송전 계통 고조파 관리 기준도 3단계로 구성해야 할 것으로 생각되어진다. 본 연구에서 중점적으로 참고할 IEC 61000-3-6[1]의 고조파 제한 절차도 그림 1에서 보이는 것처럼 3단계로 이루어져 있으며, 세부 사항은 다음과 같다.

1단계 : 외란 방출에 의한 평가

일반적으로 송전계통에 미치는 영향이 작은 수용가는 수용가 단위로 고조파 유출을 식 (1)과 같이 단락비를 이용하여 평가한다.

$$\frac{S_{Dn}}{S_{SC}} \leq 0.1 - 0.4[\%] \quad (1)$$

여기서  $S_{Dn}$ 는 고조파 발생 용량[MVA]이며,  $S_{SC}$ 는 송전계통 단락용량[MVA]이다.

따라서 송전계통인 경우 단락비가 0.1[%] 이하인 수용가는 고조파 관리기준의 대상에서 제외하고 있다. 만약 부하용량이 단계 1을 위반한다면 고조파를 발생하는 비선형 부하를 단계 1에서 같은 방법으로 적용할 수 있다.

2단계 : 실제 네트워크 특성에 관계되는 유출 한도치 1단계 기준을 만족하지 못한다면, 고조파와 관련한 송전계통의 여유용량과 고조파 발생 기기의 특성이 고려되어야 한다. 계획 레벨로 표현되는 여유용량은 시스템 특성과 부하특성에 따라 수용가나 부하용량별로 나누어져 고조파 유출이 제한된다.

3단계 : 예외적이고 특수한 조건에서의 수용

단계 2의 유출 제한치를 만족하지 못한 수용가에서 전력공급을 요청할 때 전력회사는 부하와 시스템의 특성을 고려하여 계통에의 연결을 허용할 수 있다.

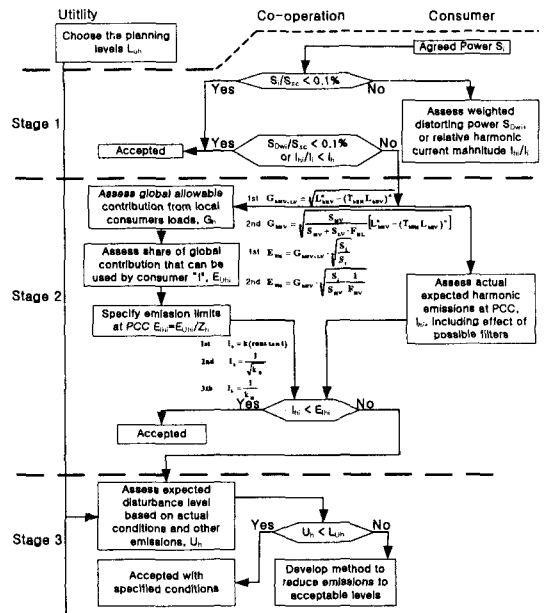


그림 1. IEC 61000-3-6의 고조파 제한 절차  
Fig. 1. Evaluation procedure of IEC 61000-3-6

표 1. IEC 61000-3-6의 계획레벨  
Table 1. Planning levels of IEC 61000-3-6

홀수 고조파 (비 3배수)		홀수 고조파 (3배수)			짝수 고조파			
차수	고조파 전압(%)	차수	고조파 전압(%)	차수	고조파 전압(%)	차수	고조파 전압(%)	
	MV	HV -EHV	MV	HV -EHV	MV	HV -EHV		
5	5.0	2.0	3	4.0	2.0	2	1.6	1.5
7	4.0	2.0	9	1.2	1.0	4	1.0	1
11	3.0	1.5	15	0.3	0.3	6	0.5	0.5
13	2.5	1.5	21	0.2	0.2	8	0.4	0.4
17	1.6	1.0	>21	0.2	0.2	10	0.4	0.4
19	1.2	1.0				12	0.2	0.2
23	1.2	0.7				>12	0.2	0.2
25	1.2	0.7						
>25	0.2+ 1.3· (25/h)	0.2+ 1.3· (25/h)						

MV에서 THD : 6.5[%], HV에서 THD : 3[%]

## 송전계통 고조파 방출 안계 평가 소프트웨어

단계 1은 간단히 적용할 수 있고 단계 3은 정형화할 수 없는 사례로 종합적인 검토가 필요하다. 단계 2는 가장 핵심적인 단계로서 부하와 시스템 특성에 따라 표 1에 주어진 계획레벨을 이용하여 계통과 수용가의 고조파 방출량을 결정한다. 표 1에 제시된 MV, HV 계획 레벨을 바탕으로 계통과 수용가의 적절한 고조파 제한치를 결정하는 것이 필요하다.

### 3. 국내 송전계통의 계획레벨 설정

IEEE 519[4]를 제외한 나머지 기준들은 양립성 레벨을 기반으로 계획 레벨을 결정하고 있는데 다음 그림처럼 각 전압 레벨에서 할당된다[1, 5].

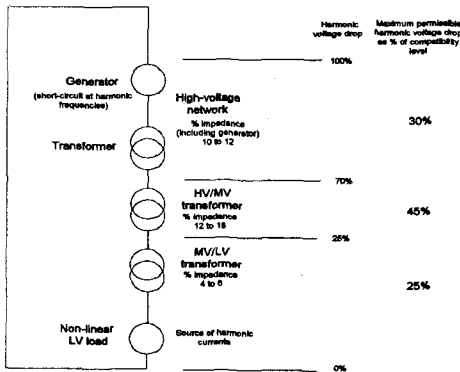


그림 2. 변압기 임피던스에 따른 양립성 레벨 할당  
Fig. 2. Apportioning compatibility levels according to transformer impedance

그림 2에서 보이는 것처럼 HV, MV, LV는 변압기 임피던스의 비율에 따라 30, 45, 25[%]의 할당을 받는다. 즉 이 비율로 각 전압 레벨에서 고조파를 유출할 수 있는데 LV를 포함한 MV 계통에서는 70[%] 정도이기 때문에 계획 레벨은 양립성 레벨의 70[%] 내외에서 결정할 수 있다. 이러한 비율은 양립성과 계획 레벨에 공통적으로 적용되어 표 2의 IEC 61000-3-6의 계획 레벨에서 확인할 수 있다.

표 2에서 THD에 대한 계획/양립성 비 0.8125 (=6.5/8.0)를 다른 차수에 곱해보면 다음 표 2와 같이 정리할 수 있다.

표 3에 보이는 것처럼 비슷한 비율로 계획 레벨이

결정된 것을 볼 수 있으나, 3배수 차수나 짝수 차수에서는 이러한 방법이 부분적으로 적용되지 않았고 고차항에서는 근사 함수식이 사용된다.

표 2. IEC 61000-3-6의 양립성과 계획 레벨  
Table 2. Compatibility levels and Planning level of IEC 61000-3-6

홀수 고조파 (비 3배수)			홀수 고조파 (3배수)			짝수 고조파		
차수	양립성 레벨	계획 레벨	차수	양립성 레벨	계획 레벨	차수	양립성 레벨	계획 레벨
5	6.0	5.0	3	5.0	4.0	2	2.0	1.6
7	5.0	4.0	9	1.5	1.2	4	1.0	1.0
11	3.5	3.0	15	0.3	0.3	6	0.5	0.5
13	3.0	2.5	21	0.2	0.2	8	0.5	0.4
17	2.0	1.6				10	0.5	0.4
19	1.5	1.2				12	0.2	0.2
23	1.5	1.2						
25	1.5	1.5						

THD(양립성, 계획) : (8.0, 6.5[%])

표 3. IEC에서의 비율에 따른 계획 레벨  
Table 3. Planning levels according to IEC ratio

	양립성 레벨	비율에 따른 값	계획 레벨
THD	8.0	6.5	6.5
3차	5.0	4.0625	4.0
5차	6.0	4.875	5.0
7차	5.0	4.0625	4.0
11차	3.5	2.8438	3.0
13차	3.0	2.4375	2.5
17차	2.0	1.625	1.6

### 4. 고조파 유출 허용치 산정 프로그램화

2, 3장의 내용을 바탕으로 고조파 유출 허용치 산정 소프트웨어를 마이크로소프트 엑셀을 이용하여 완성하였다. 제안한 소프트웨어 유용성 및 타당성을 검증하기 위하여 그림 3과 같은 실 송전계통에 적용하였다. 송전계통은 고압수용인 고속철도가 연결되어 있는 154[kV]인 옥천 S/S이다.

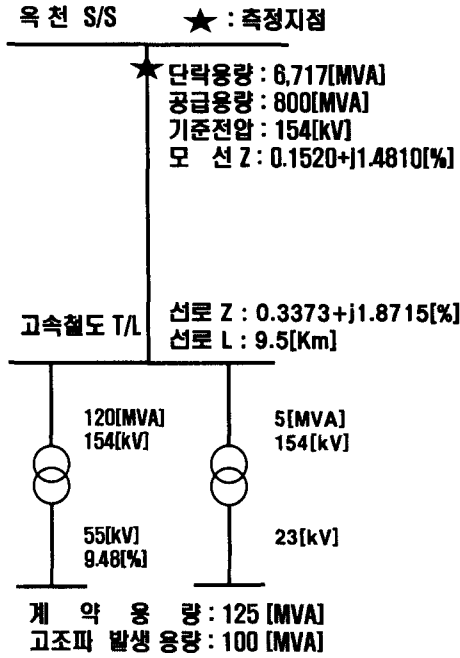


그림 3. 실 송전 시스템  
Fig. 3. Real transmission system

국내 송전계통 고조파 방출 한계 평가 소프트웨어는 그림 1과 같이 IEC 고조파 평가 절차를 바탕으로 하였다.

그림 3과 같은 수용가의 고조파 방출 한계를 평가하기 위하여 그림 4와 같이 먼저 1단계 과정인 송전계통 단락용량과 수용가의 고조파 발생기기 용량비를 검토한다. 현재 수용가는 허용기준치인 0.1을 초과하기 때문에 2단계 과정으로 이동하게 된다.

기준전압	154kV	<table border="1"> <tr> <td>허용기준치</td> <td>0.1</td> </tr> </table> 국내 송전계통 0.1 [위]	허용기준치	0.1
허용기준치	0.1			
단락용량(Ssc)	6,716,910 kVA			
고조파 수용가의 고조파 발생기기 용량(S <sub>hp</sub> )	100,000 kVA			

## 2 단계 적용

그림 4. 1단계 평가  
Fig. 4. Evaluation of stage 1

단계 2에서 수용가의 고조파 전압전류 방출 한계를 상세히 평가한다. 먼저 그림 5와 같이 송전계통 고조파 계획레벨은 국내 송배전계통의 변압기 임피던스에 따른 양립성 레벨 할당방법으로 선정한다. 또한 그림 6과 같이 송전계통 고조파 계획레벨을 바탕으로 전역 레벨을 선정한다.

Odd harmonics non multiple of 3		Odd harmonic multiple of 3		Even harmonics	
Order h	Harmonic voltage %	Order h	Harmonic voltage %	Order h	Harmonic voltage %
5	2.3	3	1.9	2	0.8
7	1.9	9	0.6	4	0.4
11	1.3	15	0.2	6	0.2
13	1.1	21	0.1	8	0.2
17	0.8	27	0.1	10	0.1
19	0.7	33	0.1	12	0.1
23	0.5	39	0.1	14	0.1
25	0.5	45	0.1	16	0.1
29	0.4			18	0.1
31	0.4			20	0.1
35	0.3			22	0.1
37	0.3			24	0.1
41	0.3			26	0.1
43	0.2			28	0.1
47	0.2			30	0.1
49	0.2			32	0.1
				34	0.1
				36	0.1
				38	0.1
				40	0.1

NOTE-total harmonic distortion(THD) : 3%

그림 5. 송전계통 계획레벨  
Fig. 5. Planning levels of transmission system

Odd harmonics		Odd harmonic multiple of 3		Even harmonics	
Order h	Harmonic voltage %	Order h	Harmonic voltage %	Order h	Harmonic voltage %
5	1.8	3	1.5	2	0.6
7	1.5	9	0.5	4	0.3
11	1.1	15	0.1	6	0.2
13	0.9	21	0.1	8	0.2
17	0.6	27	0.1	10	0.1
19	0.5	33	0.1	12	0.1
23	0.4	39	0.1	14	0.1
25	0.4	45	0.1	16	0.1
29	0.3			18	0.1
31	0.3			20	0.1
35	0.2			22	0.1
37	0.2			24	0.1
41	0.2			26	0.1
43	0.2			28	0.1
47	0.2			30	0.1
49	0.2			32	0.1
				34	0.1
				36	0.1
				38	0.1
				40	0.1

그림 6. 송전계통 전역레벨  
Fig. 6. Global levels of transmission system

그림 7은 송전계통 및 수용가 정보를 입력하는 부분이다. 전력회사 및 수용가 전기 실무자는 송전계통 및 수용가 정보를 입력하도록 한다.



또한 그림 9~11과 같이 각 차수별 고조파 전압 [%], 고조파 전류 [%], 고조파 전류 [A]로 상세하게 나타낼 수 있다.

그림 12는 송전계통을 고려한 수용가의 고조파 전압 방출 한계와 수용가에서 측정된 고조파 전압을 비교하여, 수용가의 고조파 전압 방출 상태를 각 차수별로 파악할 수 있도록 하였다. 현재 수용가에서 3, 5, 15, 21, 27, 33 및 39차의 고조파 전압이 기준치보다 초과함을 한 눈으로 쉽게 파악할 수 있다.

또한 그림 13~14와 같이 송전계통을 고려한 수용가의 고조파 전류 방출 한계와 수용가에서 측정된 고조파 전류 방출 상태를 각 차수별로 파악할 수 있도록 하였다. 또한 실 고조파 전류값[A]으로 변환하여 송전계통 및 수용가의 실무자가 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 마이크로 소프트웨어 엑셀을 이용하여 국내 송전 계통의 고조파 방출 한계를 평가하는 소프트웨어를 개발하였다. 이상의 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 개발한 소프트웨어는 사용자가 쉽게, 신속하게 사용할 수 있다.
  - 2) 실 계통에 적용하여 고조파 방출 한계 평가 소프트웨어의 유용성 및 타당성을 검증하였다.
- 향후 현장에서의 실무자들이 빠른 시간 내에 직접적으로 고조파 방출 한계를 평가하는데 있어 도움이 되고자 한다.

Odd harmonics				Odd harmonic multiple of 3				Even harmonics			
Order h	기준치 (%)	측정치	결과	Order h	기준치 (%)	측정치	결과	Order h	기준치 (%)	측정치	결과
5	5.16	7.18	초과	3	4.22	3.27	정상	2	2.53	0.20	정상
7	3.07	0.46	정상	9	3.72	0.50	정상	4	0.63	0.12	정상
11	2.04	1.28	정상	15	0.17	1.04	초과	6	0.36	0.06	정상
13	1.48	2.52	초과	21	0.09	0.44	초과	8	0.27	0.05	정상
17	0.75	1.70	초과	27	0.05	1.30	초과	10	0.12	0.05	정상
19	0.59	0.98	정상	33	0.04	0.10	초과	12	0.14	0.05	정상
23	0.39	0.87	초과	39	0.03	0.18	초과	14	0.12	0.05	정상
25	0.33	2.63	초과	45	0.03	0.26	초과	16	0.11	0.06	정상
29	0.23	0.35	초과					18	0.09	0.05	정상
31	0.20	0.10	정상					20	0.08	0.05	정상
35	0.15	0.21	초과					22	0.08	0.04	정상
37	0.13	0.16	초과					24	0.07	0.07	초과
41	0.10	0.31	초과					26	0.06	0.03	초과
43	0.09	0.24	초과					28	0.06	0.04	정상
47	0.08	0.20	초과					30	0.06	0.04	정상
49	0.07	0.15	초과					32	0.05	0.04	정상
								34	0.05	0.05	초과
								36	0.05	0.04	정상
								38	0.04	0.04	정상
								40	0.04	0.06	초과

그림 13. 기준 및 측정 고조파 전류 비교[%]  
Fig. 13. Comparison of reference and measurement harmonic current[%]

Odd harmonics				Odd harmonic multiple of 3				Even harmonics			
Order h	기준치 (A)	측정치	결과	Order h	기준치 (A)	측정치	결과	Order h	기준치 (A)	측정치	결과
5	24.20	6.20	정상	3	19.77	2.82	정상	2	11.95	0.17	정상
7	14.40	0.40	정상	9	3.36	2.08	정상	4	2.97	0.11	정상
11	9.55	1.10	정상	15	0.80	0.90	초과	6	1.68	0.05	정상
13	6.93	2.17	정상	21	0.43	0.38	정상	8	1.25	0.05	정상
17	3.53	1.08	정상	27	0.22	1.12	초과	10	0.55	0.04	정상
19	2.78	0.33	정상	33	0.18	0.17	정상	12	0.63	0.05	정상
23	1.84	0.75	정상	39	0.15	0.16	초과	14	0.57	0.04	정상
25	1.53	2.27	초과	45	0.13	0.23	초과	16	0.50	0.05	정상
29	1.10	0.31	정상					18	0.44	0.04	정상
31	0.94	0.09	정상					20	0.39	0.04	정상
35	0.71	0.18	정상					22	0.35	0.04	정상
37	0.63	0.14	정상					24	0.33	0.06	정상
41	0.49	0.27	정상					26	0.30	0.06	정상
43	0.44	0.20	정상					28	0.29	0.04	정상
47	0.35	0.17	정상					30	0.26	0.03	정상
49	0.32	0.13	정상					32	0.24	0.04	정상
								34	0.23	0.04	정상
								36	0.21	0.04	정상
								38	0.20	0.03	정상
								40	0.19	0.05	정상

그림 14. 기준 및 측정 고조파 전류 비교[A]  
Fig. 14. Comparison of reference and measurement harmonic current[A]

### References

- (1) IEC 61000-3-6, "Assessment of Emission Limits for Distroting Loads in MV and HV system", 1966.
- (2) IEC 61000-4-7, "General Guide on Harmonic and Inter-harmonic Measurement and Instrumentation for Power Supply Systems", 1991.
- (3) Gosbell, V. J. et al, "A review of the new Australian harmonics standard AS/NZS 61000.2.0" Proceedings of ALPEC/EECON '99, pp. 134-135, 1999.
- (4) IEEE Std. 519, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems", 1992.
- (5) Engineering Recommendation G5/4, "Planning Levels for Harmonic Voltage Distortion and the Connection fo Non-Linear Equipment to Transmission Systems and Distribution Networks in the United Kingdom", 2001.
- (6) 송전계통의 고조파 관리기준 및 해석기법개발 최종보고서, 전력산업연구개발사업, 2007.

◇ 저자소개 ◇

**왕용필** (王龍泌)

1966년 8월 25일생. 1992년 동아대학교 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1999~2001년 뉴질랜드 캔터베리대학 전기공학과 Post-Doc. 현재 동아대학교 전기공학과 초빙교수.

**정종원** (鄭鍾元)

1972년 5월 6일생. 1998년 동아대학교 공대 전기공학과 졸업. 2001년 부산대학교 메카트로닉스와 졸업(석사). 현재 동아대학교 전기공학과 박사과정.

**김세동** (金世東)

1956년 3월 3일생. 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1986년 동대학원 졸업. 2000년 서울시립대 전기전자공학부 대학원 졸업(박사). 1979~1984년 한국전력공사 근무. 1984~1997년 2월 한국건설기술연구원 수석연구원 역임. 현재 두원공과대학 전기공학과 교수. 건축전기 설비기술사. 본학회 편수위원.  
관심분야 : 전력설비 진단 및 DSP, 최적설비설계

**곽노홍** (郭魯洪)

1955년 2월 28일생. 1978년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1980년 연세대학교 전기공학과 졸업(석사). 1990년 연세대학교 전기공학과 졸업(박사). 1977년~현재 한국 전력공사 전력연구원 전력계통연구소 책임연구원.

**전영수** (全榮洙)

1960년 2월 9일생. 1983년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1997년 충남대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년~현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구소 책임연구원.

**박상호** (朴祥濤)

1973년 8월 27일생. 2000년 명지대학교 공대 전기공학과 졸업. 2002년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년~현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구소 일반연구원.