

『송전계통 고조파 관리기준』 제정 및 적용



임 영 성
KEPCO 개발전략실 계통기술팀 차장

1. 개 황

송전계통에 존재하는 고조파는 공해와 같은 것으로 각종 사고 및 장애의 원인이 되고 있다. 최근 비선형

부하¹⁾의 증대로 이들 기기로부터 발생하는 고조파로 인해 전력품질 저하가 점점 심해지고 있다. 일반적으로 전력

1) 비선형 부하 : 정현파 전압 인가시 비정현파의 전류를 흐르게 하여 정현파 전압을 왜곡시키는 부하 또는 설비를 말함

사용 고객은 고조파 발생원이면서 동시에 고조파로 인한 직접적인 피해를 받을 뿐만 아니라 깨끗한 전력을 공급 받기를 원한다.

그러므로 전력회사는 수많은 전력사용 고객에 의해 발생하는 고조파를 억제하여 양질의 전력을 공급해야 할 책임이 있다. 이처럼 계통에서의 고조파는 전력을 사용하는 고객과 전력회사 모두에게 민감한 사항이 될 수밖에 없다. 이러한 이유에서 고조파로 인한 경제적 손실을 예방하고 고품질의 전력공급을 위하여 Global Standard에 부합하며 국내 계통실정에 맞는 송전계통 고조파 관리 기준을 제정함으로써 전력회사는 양질의 전력을 공급한다. 전력사용 고객은 고조파 방출 전류의 한계 값 설정을 통해 고조파에 대한 관리를 할 수 있도록 하였다. 또한 이를 가지고 계통에 연계되는 고객에 대한 전력공급 조건을 검토하고 전력공급 후 고조파에 대해 관리할 수 있는 기반을 마련하였다.

2. 고조파 개요 및 현황

가. 정의 및 특성

전력변환기기, 인버터 등 전력전자 반도체 응용기기와 같은 비선형 부하에 전력을 공급하면 부하에 흐르는 전류와 전압 파형이 왜곡되는데, 이 왜곡된 파형(왜형파) 중 기본파를 제외한 성분을 고조파라 한다. 고조파는

그림 1과 같이 주기적 반복파의 각 성분 중 기본 주파수(60Hz)의 정수배인 주파수를 말하며 기본 주파수에 대한 고조파 주파수의 배율이 고조파 차수가 된다.

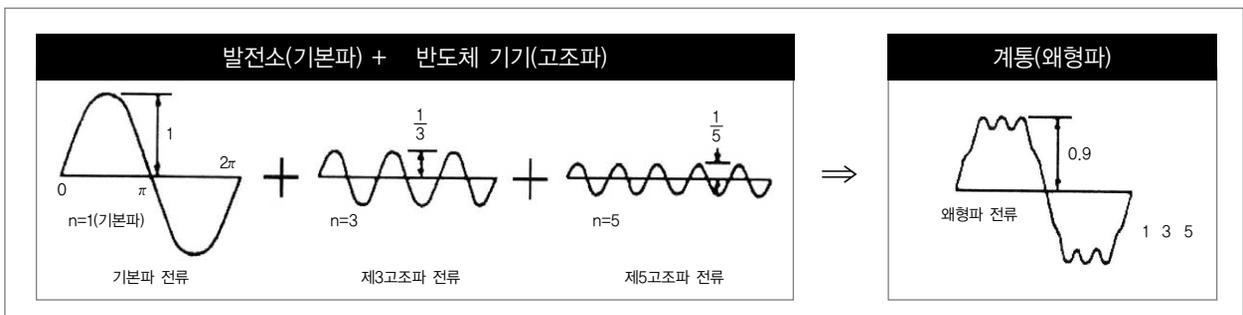
즉 제 N고조파는 기본주파수의 N배인 주파수를 갖는 파형을 말하며 이러한 고조파는 계통내 직류정류 전원 장치, DC모터 속도 제어장치, 인버터 등 전력전자 반도체를 사용하는 기기와 같이 인가된 전압에 전류가 비례하는 옴의 법칙(Ohm's Law)을 따르지 않는 부하(이를 '비선형부하'라 한다)에 의해 발생한다. 비선형부하에 의해 왜곡된 파형은 발전소에서 생산된 기본파 전압이 전력 계통에 인가되더라도 고조파 전류가 유입되면서 전력 계통의 전압파형을 왜곡시킬 수 있다.

전압파형의 왜곡된 정도는 계통의 임피던스와 전류 크기에 영향을 받는다. 이렇게 발생한 고조파는 전력기기 과열·진동 발생, 손실 증가, 전력설비 열화 촉진, 제어 기기 및 보호기기 오동작으로 인한 선로 정전 등을 유발한다.

나. 국제기준 및 국내 고조파 수준

■ 고조파 관련 국제기준

고조파에 대한 국제기준은 IEC 61000-3-6과 IEEE 519에 명시되어 있으며 고조파에 대한 각 항목별 비교 내용은 표 1과 같다.



[그림 1] 고조파(왜형파) 개요

[표 1] 고조파 관련 국제기준

구 분	IEC61000-3-6	IEEE 519
전압 왜형률 (THD)	<ul style="list-style-type: none"> ● 적합성 레벨 : 8% ● 계획레벨 : 배전 6.5%, 송전 3% 	<ul style="list-style-type: none"> ● 69kV 이하 : 5% ● 69~161kV : 2.5% ● 161kV 이상 : 1.5%
전류 제한치	<ul style="list-style-type: none"> ● 계약전력, 임피던스등을 고려하여 고객별 허용 전류 왜형률 설정 	<ul style="list-style-type: none"> ● 고객 부하전류와 단락전류 비에 따라 전류왜형률을 설정
고조파 검토면제	<ul style="list-style-type: none"> ● 계약용량이 단락용량의 0.2% 이하 	<ul style="list-style-type: none"> ● 계약용량이 단락용량의 0.1% 이하
기준제정	<ul style="list-style-type: none"> ● 국가별 전문가(대표)로 구성된 워킹그룹에서 제정 	<ul style="list-style-type: none"> ● 전문가의 자발적 참여로 구성된 위원회에서 제정
적용	<ul style="list-style-type: none"> ● 국제기준, 강제적으로 적용 	<ul style="list-style-type: none"> ● 이해, 교육 자료로 활용

■ 국내 고조파 수준

송전계통 고조파 관리기준 수립을 위해서는 먼저 부하에서 유출하는 고조파 제한 값을 산정하기 위한 기준 값(이를 '계획레벨'이라 한다)을 선정해야 하는데 이를 위해서 국내 고조파 수준분석이 필요하였다. 국내 고조파 수준분석을 위해 지역별·부하별 특성을 고려하여 송전선로, 154kV 주변압기와 아크로, 고속철도, HVDC 등 특수 부하를 대상으로 50개 변전소를 선정하여 고조파를 측정(2006년 3~12월까지)하였다. 측정결과는 변전소 모선 고조파 전압 왜형률(THD) 값이 0.5~1.5%임을 확인할 수 있었다.

3. 송전계통 고조파 관리기준

가. 관리기준 제정

IEEE, IEC 등의 고조파 관련 기준은 고조파 발생량 증대 및 고조파에 민감한 부하를 고려하는 등 고조파에 대한 환경변화를 반영하여 관련 규격을 지속적으로 수정 및 보완하고 있다. 한전은 이처럼 수정·보완되는 국제

기준의 주요항목을 적용하고 국내 송전계통의 특성 및 실정을 반영하는 기준수립을 위해 고조파 관리기준 수립을 위한 연구²⁾를 시행하였다.

이 연구결과를 바탕으로 고조파 관리기준(안)을 수립하여 1년 6개월의 시범적용 및 보완을 통하여 『송전계통 고조파 관리기준』을 제정하기에 이르렀다.

나. 관리기준 주요내용

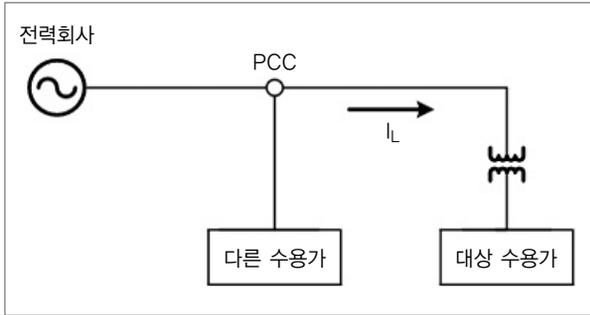
송전계통 고조파 관리기준은 선진 외국기준 중 국내 계통 특성에 가장 합리적이며, 세계 산업표준에 많이 적용되는 IEC기준을 토대로 국내 송전계통 특성을 고려하여 제정되었다. 주요내용에는 고조파 관리에 대한 전력회사 및 고객의 목표수준, 고조파 검토, 고조파 관리 등에 관한 내용을 주로 다루었다.

■ 고조파 목표수준 설정

전력회사는 신증설 공급방안 검토단계에서 고객의 공통접속점³⁾에서 차수별 고조파 전압 왜형률이 제한 값 이하가 되도록 목표수준을 산정하였다.

2) 송전계통 고조파 관리기준 및 해석기법 연구 : 2005.3~2007.2, 연구책임자 : 한전 전력연구원 전영수 책임연구원

3) 공통접속점(PCC : Point of Common Coupling) : 전력계통에서 검토대상 고객으로부터 전기적으로 가장 가까운 지점으로 타고객도 전력을 공급받을 수 있는 지점을 말하며 주로 변전소 모선에 해당함



[그림 2] 여러 고객의 공통접속점(PCC)

기존 송전계통 고조파 관리는 전압에 대한 종합 고조파 왜형률(THD)⁴⁾을 1.5%이하로만 관리하였다. 그러나 본 기준에서 전력회사에서 관리해야 하는 종합고조파 전압 왜형률을 국내실정과 Global Standard에 부합하는 3% 이하로 변경하고 고객이 할당받는 고객 측 고조파 전압 전류 한계를 설정하였다. 이 한계를 산정하기 위하여 표 2 에서와 같이 양립성 레벨⁵⁾을 이용하여 국내 송배전계통의 변압기 임피던스에 따라 송전계통, 배전계통에 대한

[표 2] IEC 61000-3-6의 양립성 레벨

홀수 고조파(비 3배수)		홀수 고조파(3배수)		짝수 고조파	
차수	고조파 전압(%)	차수	고조파 전압(%)	차수	고조파 전압(%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.4	6	0.5
13	3	21	0.3	8	0.5
$17 \leq h \leq 49$	$2.27 \times 17/h - 0.27$	$21 \leq h \leq 45$	0.2	$10 \leq h \leq 50$	$2.25 \times 10/h - 0.25$
THD : 8%					

[표 3] 송전계통의 고조파 계획 레벨

홀수 고조파(비 3배수)		홀수 고조파(3배수)		짝수 고조파	
차수	고조파 전압(%)	차수	고조파 전압(%)	차수	고조파 전압(%)
5	1.8	3	1.5	2	0.6
7	1.5	9	0.5	4	0.3
11	1.1	$h \geq 15$	0.1	6	0.2
13	0.9	-	-	8	0.2
17	0.6			$h \geq 10$	0.1
19	0.5			-	-
23	0.4				
25	0.4				
29	0.3				
31	0.3				
$h \geq 35$	0.2				

4) 종합 고조파 왜형률(THD : Total Harmonics Distortion) : 고조파 파형의 왜곡된 정도를 나타내는 일반적인 고조파 지수로서 기본 파 주파수 성분의 실효값에 대한 특정 차수(H차)까지의 모든 고조파 성분에 대한 실효값 총합의 비율을 말함

5) 양립성 레벨(Comportibility Level) : 대다수의 기기들이 피해를 입지 않을 정도의 전력계통 고조파 발생기준과 기기의 내성기준 결정을 위한 값

제한 값을 할당한 후 고객에 적용하는 제한 값으로 변경한 전압 목표수준(계획레벨)을 표 3과 같이 산정하였다.

고객은 표 3의 차수별 고조파 전압(%)에 상응하는 차수별 고조파 전류 값 이하를 유지하여야 한다.

■ 고조파 검토

고객이 신규 또는 증설을 시행할 경우 고조파 검토 절차는 그림 3과 같다.

① 1단계 (소규모 고조파 부하 검토 면제)

먼저, 신규고객에 대하여 고조파 부하에 대한 검토대상 제외여부를 파악한다. 이는 소규모 고조파 발생 부하의 경우 전체 계통에 미치는 영향이 작아서 검토 필요성이

없어 검토를 면제하는 절차이다. 조건은 식(1)과 같이 고객의 고조파 발생기 용량이 계통 단락용량의 0.1% 이하일 경우 별도로 고조파 유출 제한값을 산정하지 않고 신규공급을 승인하며 0.1%를 초과하는 경우 2단계 (고객의 고조파 전류 유출 적정성) 검토를 시행한다.

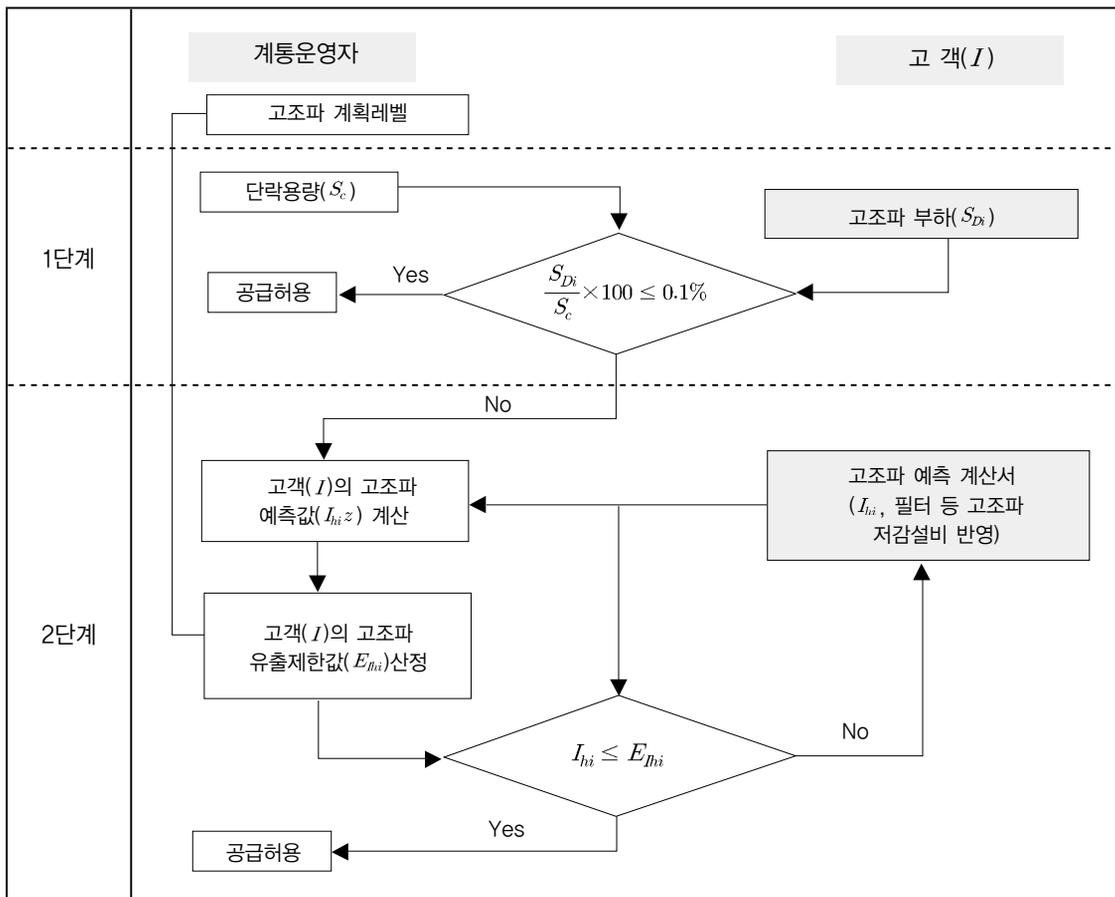
$$\frac{S_{Di}}{S_C} \times 100 \leq 0.1\% \quad \text{식(1)}$$

S_{Di} : 고객의 고조파 부하(고조파 발생기) 총 용량 [MVA]

S_C : 공급 변전소 모선의 단락용량 [MVA]

② 2단계 (고객의 고조파 전류 유출 적정성 검토)

고객의 고조파 부하용량이 전력공급 변전소 단락용량의



[그림 3] 증설·신규고객 대상 고조파 검토절차

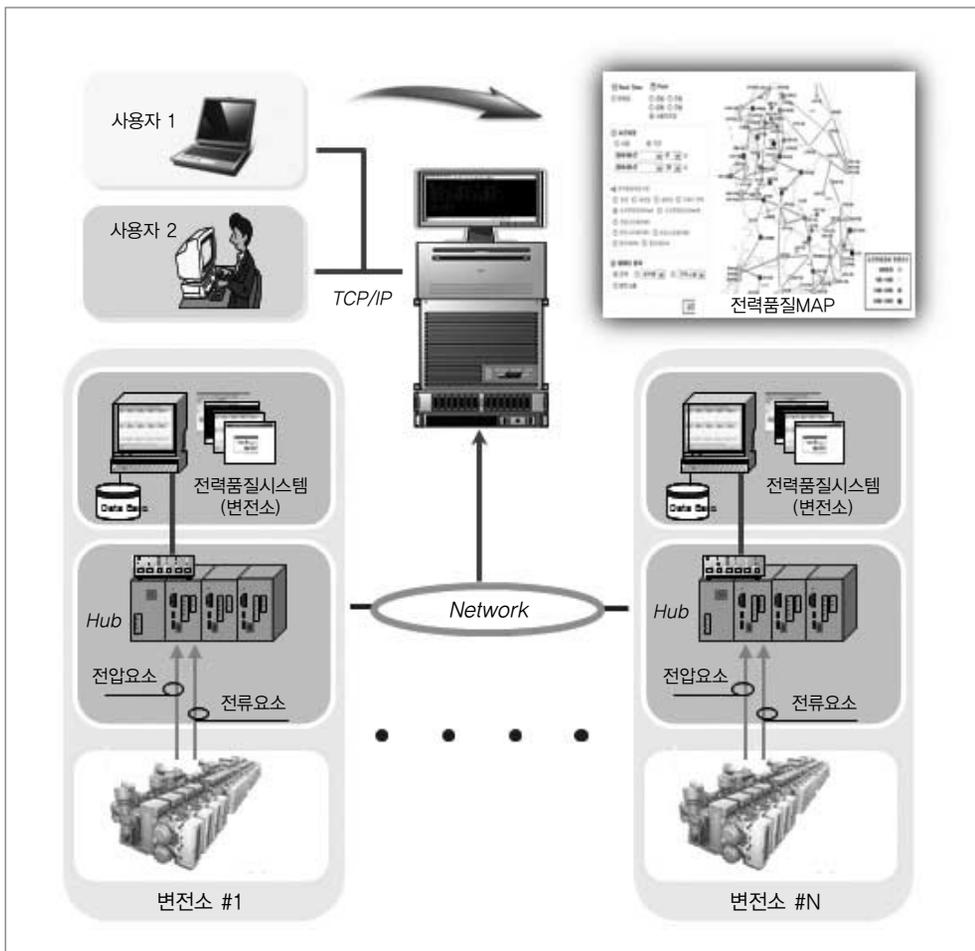
0.1%를 초과할 경우 고객으로부터 고조파 검토 자료를 제출받아 계산한 고조파 예측 값과 고조파 전류유출 제한값을 산정한다. 그 후 고객이 제출한 고조파 전류 유출 예측 값과 비교하여 전력공급 허용여부를 판단하고, 초과할 경우 고조파 필터 운용 등 저감대책 수립을 요청하게 된다.

■ 고조파 관리

신규 또는 증설고객 전력공급 후 고조파 관리는 주기적으로 고객의 유출 고조파 전류를 측정·분석하여 고객에게 할당된 고조파 전류 유출 제한 값을 초과할 경우 고객측에 고조파 저감을 위한 대책을 추가로 요구함으로써 계통의 품질을 유지한다. 고조파 측정은 표 4와

[표 4] 전류 고조파 측정 기준

구 분	측정기간	측 정 값	내 역
기준 1	1일	3초 측정값	누적확률 95% 값이 차수별 유출 제한 값 이하
기준 2	1주일	10분 측정값	차수별 최대 값이 유출 제한 값 이하
기준 3	1주일	3초 측정값	차수별 최대 값이 유출 제한 값의 1.5배 이하



[그림 4] 전력품질 관리시스템 개요도

같이 3가지 기준으로 시행하며, 일반적으로 부하량과 부하패턴이 주중과 주말에 서로 상이하기 때문에 IEC 기준에 의거하여 최소 일주일 동안 일정사양 이상의 휴대용 전력품질 측정기 또는 전력품질 관리시스템 (그림 4 참조)을 이용하여 측정 및 분석을 시행한다.

4. 향후 계획

한전은 위에서 기술한 기준을 가지고 신규 및 증설되는 대용량 고객에 대해 고조파 검토를 시행하며 전력공급 후에는 주기적인 측정 및 분석을 시행할 예정이다. 또한 향후에는 보다 체계적인 관리를 위해서 주요 대용량 고객 공급 변전소에는 고조파 등을 측정·분석할 수 있는 전력품질 관리시스템을 설치·운영하여 전력품질에 대한 실시간 모니터링 뿐만아니라 이를 체계적으로 분석해 나갈 예정이다.

이번 송전계통 고조파 관리기준의 제정을 통하여 고조파 허용 및 측정기준 등에 대해 명확한 기준을 제시함으로써 합리적이고 효과적으로 계통의 고조파 수준을 관리할 수 있을 것이다.

또한 송전계통의 고조파 발생을 억제하기 위해서 고조파를 측정하고 감시할 수 있는 모니터링 기술 개발, 고조파 저감을 위한 수동필터, 능동필터의 개발 및 제어 기술 등의 발전을 견인할 것이다. 이를 통해 고품질 전력에 대한 사회적 요구에 대한 부응과 안정적인 전력계통을 운영할 것으로 기대해 본다. KEA

[참고문헌]

1. 한국전력공사, '송전계통의 고조파 관리기준 및 해석기법 연구' (2007.4)
2. 한국전력공사, '송변전 계통의 전력품질 통합관리시스템 구축에 관한 연구' (2011.11~)
3. 한국전력공사, '송전계통 고조파 관리기준' (2012.10)