고조파 및 품질관련 규제기준

김 인 수<에너지관리공단, 전력수요관리 팀장>
임 상 국<에너지관리공단, 전력수요관리 대리>

1. 서 론

고조파 장해를 발생시키거나, 발생시킬 우려가 있는 부하에 대하여, 전력을 공급하는 경우 이러한 장해를 방지할 수 있는 조정장치의 시설을 요구할 수 있는 제도적인 장치가 마련되어 있다. 이러한 제도는 다른 다수의 수용가에 전력공급 책임을 지고 있는 전력회사로서 어느 특정 수용가의 전력공급으로 인하여 여러 수용가가 피해를 입지 않도록 관리하기 위함인데, 전기 사용 도중 발생하는 전력품질 저하는 공해와 같은 개념으로 다루어지고 있다.

전력사업자가 전력 품질을 관리하기 위해서는 전기 품질을 정량적으로 다룰 수 있는 객관적이고 합리적인 기술기준이 확립되어 있어야 하며, 실제적으로 수용가가 전기를 사용하는 도중에 규제치를 만족시키며, 전기를 사용하고 있는지를 확인할 수 있어야

전기공급약관 제39조[전기사용에 따른 보호장치 등의 시설]

고객이 다음 중 하나의 원인으로 다른 고객의 전기사용을 방해하거나 방해할 우려가 있을 경우 또는 한전의 전기설비에 지장을 미치거나 미친 우려가 있을 경우에는 고객의 부담으로 한전이 인정하는 조정장치나 보호장치를 전기사용장소에 시설해야 하며, 특히 필요할 경우에는 공급설비를 변경하거나 전용공급설비를 설치한 후 전기를 사용해야 합니다.

1. 각 상간의 부하가 현저하게 평형을 잃을 경우
2. 전압이나 주파수가 현저하게 변동할 경우
3. 파형에 현저한 왜곡이 발생할 경우
4. 현저한 고조파를 발생할 경우
5. 기타 상기에 준하는 경우

부득이한 사유로 전기공급이 중지되거나 결상될 경우 경제적 손실이 발생될 우려가 있는 고객은 비상용 자가발전기, 무정전전원공급장치(UPS), 결상보호장치, 정전경보장치 등 적절한 자체보호장치를 시설할 필요가 있다.

표 1. 한국전력공사의 고조파 허용기준

계통 / 항목 / 전압	지중선로가 있는 S/S에서 공급하는 수용가		가공선로만 있는 S/S에서 공급하는 수용가	
	전압왜형률 (%)	등가방해전류 (A)	전압왜형률 (%)	등가방해전류 (A)
66kV 이하	3	-	3	-
154kV 이상	1.5	3.8	1.5	-

실효성있게 적정 전기 품질을 유지할 수 있다. 여기에서는 고조파 품질과 관련하여 국내 및 국외의 기준에 대해서 알아보고자 한다.

2. 고조파 관련 국내 기준

전력 품질 저하를 규제할 수 있는 근거는 전기 공급 약관이다. 이 약관은 모든 전력사용 고객이 전력사용 신청시 이 규정의 조건을 수락한다는 조건으로 전력공급을 승낙 받아 수급계약을 체결할 수 있기 때문이다. 전기공급 약관 제39조는 다음과 같이 규정하고 있다.

전력품질 저하는 양적인 개념으로 그 정의와 계량 방법 그리고, 허용 제한치, 관리 방법 등에 관하여는 관련 규격 지침에 규정되어 있다.

전력품질 관리에 대한 각 분야별(고조파, 전압불평형, 플리커) 허용기준으로는 고조파의 경우에 한하여 알아보면 고조파 허용잠정 기준을 근거로 작성된 한국전력공사의 영업처리 기준이 있다. 고조파에 대한 관리를 위해 한국전력공사에서는 영업업무처리지침(1990년7월1일)을 작성 시행하고 있으며 세부 내용은 <표 1>과 같다.

적용 대상은 66kV 이상 및 한전의 변전소에 전용으로 공급하고 고조파를 발생하는 전력변환장치를 시설하는 신증설 수용가이다. 여기서 전력변환장치란 사이리스터 등에 의하여 AC를 DC로 변환하는 기기 및 위상, 주파수를 변환하는 기기 등을 말한다. 고조파 발생이 예상되는 수용가(고조파 발생 수용가)는전압 왜형률 및 등가 방해 전류 예측 계산서를 공급개시 3개월 전에 당사에 제출하여 검토를 받아야 한다. 한전 사업소 영업부서는 예측 계산서가 제출되면, 관련 부서의 검토를 받아 그 결과를 수용가에게 통보하되, 예측 계산, 공급 조건 등 이에 관련된 사항은 고조파 허용잠정 기준에 준한다. 수용가가 제출하여야 할 자료는 다음과 같다. <표 2>는 고조파 계산에 필요한 자료를 나타낸 것이다.

표 2. 고조파 계산에 필요한 자료

선로 긍장(Data)	부하 자료(Data)	기타 자료(Data)
- 선로 종류 - 긍장 - 단위 길이당 저항 - 단위 길이당 리액턴스 - 단위 길이당 커패시턴스 - 수용가 구내의 모든 선로 (모선, 저압 선로 포함)	- 용량 - 부하의 종류 및 용도 - 일부하율 (산출근거 포함) - 역률 - 수용가구내의 부하(기설,증설 부하포함) - 단선계통도에 표시 후 별도 작성	- 자가발전기 보유 수용가(열병합 포함) - 자가 발전기 종류 - 차가 발전기 출력 - 자가발전기 횡축차 과도리액턴스 -자가발전기의 직축차 과도리액턴스 - 무효전력 보상기 (SVC) 보유 수용가 - SVC 용량 - SVC 변압기 누설리액턴스

(가) 수용가의 고조파 예측 계산서

(나) 수용가 구내 단선계통도(선로긍장, 규격, 전압, 용량등 표시)

(다) 고조파 발생기기의 형식, 용량, 결선방식, 펄스수

(라) 공급변압기 용량, 임피던스, 결선방식

(마) 제어방식 및 제어각

(바) 기기의 시간별 운전 및 사용계획서

(사) 기타 고조파 계산에 필요한 자료

3. 고조파 관련 국외 기준

고조파에 관한 국제 규격은 여러 가지 여건상 파악하는데 어려움이 많다. 즉, 과거에는 고조파가 크게 문제되지 않을 정도로 고조파 발생부하가 미미하였으나, 현재는 거의 모든 기기가 고조파를 발생시키는 부하가 되어 이 문제에 대한 새로운 인식에 따라 고조파에 관한 규격의 필요성이 최근에 대두하게 되었기 때문이다. 여기에서는 선진 외국의 고조파에 대한 규격의 개요에 대하여 기술한다.

3.1 IEC 규격

고조파에 관한 IEC 규격은 저압계통(단상 240V, 삼상 415V이하)에 적용되는 IEC 1000-2-2가 있다. 여기에서 주어지는 고조파 값 한계치는 전력회사의 지침 작성 또는 기기제조자들이 저압계통에 존재할 수 있는 고조파의 한계를 설정하고, 이 한계치 내에서 운용되는 기기를 설계 및 제작할 때 참고 삼을 수 있게 하기 위하여 작성되었다. 이러한 한계치를 양립성 레벨(Compatibility Level)이라고 정의한다. <표 3>은 저압계통의 각 고조파성분 전압의 기본파 전압에 대한 백분율로 양립성 레벨을 나타내고 있다.

한편, 합계 왜형율 D는 식 (1)로 계산하며 양립성 레벨은 0.08 또는 8%이다.

표 3. 저압계통에서 각 고조파성분 전압의 양립성 레벨

3의 배수가 아닌 기수		3의 배수인 기수		우 수	
차수	크기 (%)	차수	크기 (%)	차수	크기 (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.3	6	0.5
13	2	21	0.2	8	0.5
17	2	21 초과	0.2	10	0.5
19	1.5			12 초과	0.2
23	1.5				0.2
25	1.5				
25 초과	0.2+0.5*25/n				

$$D = U_n / U_1 \quad (1)$$

n = 고조파 차수,

U_n = n차 고조파의 기본파에 대한 비율

U_1 = 기본파 전압의 크기 N은 40차까지 산정할 수 있음

표 4. 고조파 차수별 제한치

차수(h)	n차 고조파 (%)	중간고조파 (%)	비고
2	3	3	
3	6		
4	1.5	1.5	
5	8		
7	7		
9	2		
11	5		
13	4.5	1	
17	4		
19	4		
23	3.5		
25	3.5		

공업설비에 있어서 적합성 레벨의 한계에 대한 것으로 전자환경을 4개의 레벨로 구분하여 그중에서

비교적 전압에 대한 영향이 큰 레벨3 에 대하여 고조파 전압왜형율의 제한치를 정한다. 관리의 내용을 살펴보면, 25차 이하의 고조파 및 중간 고조파에 대해서는 <표 4>의 값을 넘지 않도록 하며, 25차 이상의 기수고조파에 대해서는 제한치를 두는데 3의 배수 기수고조파는 1%이고, 기타의 기수차수 고조파(h 차수)는 $\sqrt[5]{\frac{11}{h}}$[%]이다.

한편, 기본파의 정수배가 되지 아니하는 고조파전압에 대한 양립성 레벨은 기본파 전압의 0.2%이다. 단위기기에 대한 고조파 전류 유출량은 <표 5>에서 보는 바와 같이 IEC 555-2에서 규제하고 있다.

표 5. IEC pub. 555-2 Amendment 2

고조파 차수	고조파 전류	고조파 전압	비고
3	2.30	0.85	
5	1.14	0.65	
7	0.77	0.60	
9	0.40	0.40	
11	0.30	0.40	

IEC 61000-3-2는 정격 16A 이하의 전기기기에 대해 A, B, C, D로 구분하여 고조파 유출량을 제한하고 있다.

Class A : 3상 평형 전기기기로서 다음에 해당 되지 않은 기기

Class B : 이동형 전기기기

Class C : 조광기를 포함한 조명장치

Class D : 별도로 규정된 파형의 구형파를 발생하는 전기기기로써 규정된 시험방법에 의한 소비전력이 600W이하인 전기기기

이들이 거의 소형 전기기기이므로 여기서는 Class별 규제치는 생략한다.

표 6. 제1단계 단순한 기기($S_{eq} \leq S_{sc}/33$)의 전류 유출량

고조파 차수 n	허용고조파 전류 I_n/I_1 (%)	고조파 차수 n	용고조파전류 I_n/I_1 (%)
3	21.6	21	≤ 0.6
5	10.7	23	0.9
7	7.2	25	0.8
9	3.8	27	≤ 0.6
11	3.1	29	0.7
13	2	31	0.7
15	0.7	≥33	≤0.6
17	1.2		
19	1.1	우수차수	≤8/n or ≤0.6

IEC 61000-3-4는 정격 16A 이상의 전기기기에 대한 고조파 규제 표준으로 제1단계, 제2단계, 제3단계로 분류하여 규정하고 있다. 내용을 간략히 소개하면 <표 7> 및 <표 8>과 같다.

표 7. 제2단계 단상 혹은 불평형 3상 기기의 고조파전류 유출량, R_{sce} > 33

최소 R_{sce}	허용 고조파전류 왜형율 (%)		허용 개별 고조파전류 I_n/I_1 (%)			
	THD	PWHD	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}
66	16	25	14	11	10	8
120	18	29	16	12	11	8
175	25	33	20	14	12	8
250	35	39	30	18	13	8
350	48	46	40	25	15	10
450	58	51	50	35	20	15
600	70	57	60	40	25	18
상대 우수차수 16/n (%) R_{sce} : 단락용량과 부하용량의 비, R_{sce}의 중간치는 선형 보간법을 적용 불평형 3상 부하에 대해서는 각상별로 적용한다.						
I_1=정격 기본파 전류, I_n=고조파 전류, PWHD: 고조파 왜율 부분 가중치						

표 8. 제2단계 평형 3상 기기의 고조파전류 유출량, R_{sce} > 33

최소 R_{sce}	허용 고조파전류 왜형율 (%)		허용 개별 고조파전류 I_n/I_1 (%)					
	THD	PWHD	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}
66	25	25	23	11	8	6	5	4
120	29	29	25	12	10	7	6	5
175	33	33	29	14	11	8	7	6
250	39	39	34	18	12	10	8	7
350	46	46	40	24	15	12	9	8
450	51	51	40	30	20	14	12	10
600	57	57	40	30	20	14	12	10
상대 우수차수 16/n (%) R_{sce} : 단락용량과 부하용량의 비, R_{sce}의 중간치는 선형 보간법을 적용 불평형 3상 부하에 대해서는 각상별로 적용한다.								
I_1=정격 기본파 전류, I_n=고조파 전류, PWHD: 고조파 왜율 부분 가중치								

$$THD=\sqrt{\sum_{n=2}^{40}\left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2} \quad PWHD=\sqrt{\sum_{n=0}^{40}n\left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}$$

제 3단계는 위의 표에 속하지 않는 기기나 75A를 초과하는 기기에 대한 규정으로 전력공급자는 전력소비자가 동의하는 용량의 기기시설을 받아들일 수 있으며, 기기의 제조자는 별도의 지정하는 방법(IEC 61000-3-4 Clause 7)에 의해 THD와 TWHD의 평가를 하여야 한다.

IEC 61000-3-6을 보면 전압이 중압(medium voltage)과 고압(high voltage) 계통의 왜형 유발 부하(distorting loads)에 대해 고조파 유출을 규제하고 있다.

3.2 IEEE규격

IEEE규격은 미국의 고조파 규제의 값을 나타내고 있다. 따라서, 여기서는 IEEE규격의 테이블만을 나타내고 제세한 내용은 미국의 고조파 규격에서 다루기로 한다. 표 9는 IEEE 규격을 나타낸 것이며, 미국의 규격과 IEEE규격은 일맥상통하는 부분으로서 미국의 기준을 나타내는 대표적인 규격으로 볼 수 있다.

표 9. IEEE 규격

회로전압	왜형률(%)	각차 고조파 전압		비고
		기수	우수	
415V	5	4	2	
6.6kV	4	3	1.75	
33kV	3	2	1	
132kV	1.5	1	0.5	

3.3 미국의 고조파 규격

고조파에 대한 기본이 되는 규격은 IEEE Sdt 141-1993, "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants"의 9장 Harmonics in power systems 부분과 IEEE Sdt 519-1992, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems"이다.

IEEE Sdt 141-1993, "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants"의 9장 Harmonics in power systems은 전력계통에서의 고조파 발생원인, 정지형 전력변환기에서 발생하는 고조파의 크기, 고조파의 영향, 고조파 저감 대책 그리고 산업 규격에 대하여

설명하고 있다. "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems"은 미국의 IEEE Industry Applications Society와 IEEE Power Engineering Society와의 협조에 의하여 이루어진 규격이다. 이 규격에서는 개개의 수용가가 전력회사 네트워크에 주입할 수 있는 고조파 전류의 크기와 전력회사가 수용가에게 공급해야 하는 전압 품질 즉 고조파 왜형율에 대하여 규정하고 있다.

<표 10>은 부하가 연결된 지점에서 전력계통의 크기에 따라 부하에 허용되는 각 고조파 전류의 최대부하전류에 대한 비율을 퍼센트로 나타내고 있다. 여기서, 최대 부하전류 IL는 이전 12달에 대한 최대 수요의 평균치로 한다. ISC/IL는 최대 부하전류에 대한 부하가 연결된 지점에서 흐를 수 있는 고장 전류의 비율이다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 적은 규모의 부하는 큰 규모의 부하에 비하여 큰 비율의 고조파 전류를 흘릴 수 있게 되어 있다. 이렇게 함으로 피더에 접속되어 있는 전력회사와 다른 수용가를 보호할 수 있게 되는데, 전력회사는 일정한 전압 왜형률 이하의 전력을 공급할 의무를 지게 된다. <표 11>는 전압 왜형률 규제치를 나타낸다.

표 10. 고조파전류 왜형율(기본파전류에 대한 %) 규제치

a) 120V부터 69,000V까지

I_{SC}/I_L	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

b) 69,001V부터 161,000V까지

ISC/IL	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20*	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20<50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50<100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100<1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0

c) 161,000V이상

ISC/IL	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	THD
< 50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

(주) 1 : 우수차 고조파전류 규제치는 기수차 고조파 전류 규제치의 25%로 한다.
2 : 직류 편향을 일으키는 반파 정류회로의 사용은 금지한다.
* : 모든 발전기의 고조파전류는 실제 ISC/IL값에 관계없이 이 표에 주어진 값으로 규제한다.

단, ISC는 규제 지점에서의 최대 단락전류 IL은 규제지점에서의 최대 수요전류

표 11. 고조파전압 왜형률

전 압	개별 전압왜형률 (%)	종합 전압왜형률 THD(%)
69kV 이하	3.0	5.0
69,001kV부터 161kV 미만	1.5	2.5
161kV 이상	1.0	1.5

단, HVDC 고압 송전계통에서 THD는 2%까지 허용(부하지점에서는 고조파 왜형 전압이 감쇄되기 때문)

3.4 일본의 고조파 규격

일본에서는 전력이용기반강화 간담회(자원에너지청 장관의 사적 자문위원회) 및 고조파대책 전문위원회(전기협동연구회, 1987년 관계 관청, 제조업자, 전력 등 관계업계 대표자로 구성)에서 각각 고조파에 대한 규격 검토가 되어왔다.

○ 전력이용기반강화 간담회

고조파환경레벨에 대해 고조파장해실태 및 해외의 예를 참고하여 다음의 기준 제시: 종합 전압왜형률< 배전계통(6.6kV) 5%, 특별고압 3%>

○ 고조파대책 전문위원회

고조파환경 레벨을 유지하기 위한 고조파전류 억제량을 제안

고압 또는 특별고압 수용가에서는 현재의 고조파 전류 발생량을 50% 감소시킬 필요가 있다. 따라서,

이를 위한 수전전압별 억제목표치[계약단위 kW당 고조파전류치(mA)]를 제안하였으며, 또한, 가전·범용품에 대해서도 고조파전류 발생량을 25% 감소시킬 필요가 있다고 제안하였다.

상기의 두 가지 연구결과로부터 일본 자원에너지청에서는 다음의 두 가지 고조파억제대책 가이드라인을 1994년 9월 발표하였다.

① 『고압 혹은 특별고압으로 수전하는 수용가의 고조파 억제대책 가이드라인』

② 『가전·범용품 고조파 억제대책 가이드라인』 (IEC 555-2를 근거로 작성)

이중 ②의 『가전·범용품 고조파 억제대책 가이드라인』은 300V이하 20A/상 이하의 전기·전자기기에 해당되는 사항이므로 여기서는 제외하고, 본 연구와 관련이 있는 ①의 『고압 혹은 특별고압으로 수전하는 수용가의 고조파 억제대책 가이드라인』에 대해서 제시하고 있다.

주) 가이드라인 : 가이드라인은 국가에서 정한 법률에 따라 규제되지는 않지만 관계자가 자주적으로 전기 이용 기기간의 조화를 도모하기 위해 필요한 관리기준을 말한다.

가. 수용가의 계약전력 단위 kW당 고조파전류 유출억제 목표치

1) 억제목표치 설정

고조파 전압왜형률의 장래 예측을 토대로 미래의 고조파 전압 왜형률을 환경 목표 레벨 이하로 유지하기 위해 향후 발생량의 1/2억제를 목표치로 하여 <표 12>와 같이 설정하였다.

표 12. 단위 kW당 고조파 전류 억제 목표치(mA)

전압(kV) \ 차수		5	7	11	14	17	19	23	23 이상
배전	6.6	3.5	2.5	1.6	1.3	1.0	0.9	0.76	0.70
특고	22	1.8	1.3	0.82	0.69	0.53	0.47	0.39	0.36
	33	1.2	0.86	0.55	0.46	0.35	0.32	0.26	0.24
	66	0.59	0.42	0.27	0.23	0.17	0.16	0.13	0.12
	77	0.50	0.36	0.23	0.19	0.15	0.13	0.11	0.10

나. 계통전압 왜형률 억제 목표치

1) 억제 목표치 설정의 고려사항

종합 전류 왜형률의 억제 목표치는 환경 목표 레벨로 하고 차수별 전개는 고조파 유출전류의 실태를 고려한다.

2) 억제 목표치의 산정

종합 전압 왜형률의 억제 목표치는 환경 목표 레벨로 하고, 앙케이트에 의한 조사결과로부터 종합 전압왜형률과 제5고조파의 비율을 구하고 5차의 억제 목표치를 산정한다. 또한, 5차 이외의 각차 조파에 대해서는 제5고조파에 대해 차수에 대응하고, 상기의 비율을 배분한다. 제3조파에 대해서는 외국의 예 및 실태를 고려하여 참고치로 정한다.

표 13. 억제 목표치(%)

차 수	3	5	7	11	13	17	19	23	25~39	합계
배전계통	3.0	4.0	3.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	5.0
특고계통	2.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	3.0

3) 특정 수용가의 고조파 관리

특정 수용가에서 계통에 유출된 고조파 전류가 제어 목표치 이하로 유지되는가 아닌가의 판단하는 것 이외에 고조파 환경 레벨을 적정하게 관리하기 위해 특정 수용가의 수전 신청시에 있어, 억제 대책의 필요여부를 검토할 필요가 있다.

신설 수용가의 경우 고조파 발생기기의 합계 용량을 파악해야 하며, 고조파에 의한 계통 전압 왜형에서의 영향은 고조파 발생 기기의 내용, 배전선의 계통 조건에도 의존하지만, 총체적으로는 수용가의 고조파 발생기기 설비 용량이 MS 요소가 된다. 따라서 공급검토를 행하는데 제1단계로 이들 기기의 합계용량을 파악할 필요가 있다.

고조파 발생기기 합계용량이 특고계 300kVA (22-33kV), 2000kVA (66-77kV)이하, 배전계 50kVA 이하로 취급한다. (이는 6상 변환기 환산용량)

일반적으로 계통에 연결된 모든 특정 수용가의 고

조파 발생기기 합계용량이 상기의 값(심사기준)이하라면 장래에 환경 목표 레벨을 초과하지 않는다고 예상된다. 이 때문에 전체 수전 신청에 대하여 고조파 환경 레벨의 유지 상황을 검토하는 것은 수급 양자에 모두 좋지 않기 때문에 심사기준 이하인때는 세부 검토를 생략할 수 있다.

단, 특수 조건에서는 심사기준 이하에서도 고조파 유출 전류 및 고조파 전압왜형률을 관리하는 것이 필요하다.

[특수 조건의 예]

- 전력변환기 이외의 고조파 발생 기기를 다량으로 사용하고 있는 수용가의 경우
- 고조파를 발생하는 수용가가 집중되어 있는 지역의 경우
- 기존 고조파 전압 왜형률이 환경 목표 레벨을 초과하거나 또는 그것에 근접한 값인 경우

각각의 심사기준을 초과하는 경우는 고조파 유출 전류와 고조파 전압 왜형을(특고계 및 배전계의 종합 전압왜형률)에 의해 관리하고 이들을 만족하지 않을 경우는 특정 수용가에서 억제 대책을 실시한다.

증설수용가의 경우는 원칙적으로 신설수용가와 같이 취급한다.

이미 억제목표치(고조파 유출전류 또는 전압왜형률)를 초과하는 수용가에 대해서는 이후에 갱신되는 것을 고려하여 증설전의 레벨(증설전의 고조파 유출 전류 또는 전압왜형률)까지의 억제 대책의 실시를 요청한다.

증설후에 억제목표치를 초과하는 수용가에 대해서는 고조파 유출전류에 있어서는 억제목표치까지의 억제대책을 실시하고, 고조파 전압왜형률에 있어서는 억제 목표치까지의 억제 대책을 요청한다.

특정 수용가의 신증설시에 있어서는 고조파 유출 전류는 수용가 측에서 산정한다. 이 경우 6.6[kV] 수용가에 있어서는 취급이 쉬운 간이수법을 사용한다. 또, 특고계통의 수용가에 있어서는 상세한 계산을 행하는 것으로 한다.

4) 기설 수용가의 대책

계약변경을 수반하지 않고 무대책 기기가 그대로 갱신한 경우에는 고조파 환경 레벨을 유지할수 없을 것으로 예상된다. 이 때문에 설비 갱신시에 있어서는 대책의 설비로 교환할 필요가 있다. 또, 이것을 추진하기 위해서 제작자 및 공사업장 대해 PR을 행할 필요가 있다.

3.5 오스트레일리아

가. 제1단계

변환기의 용량을 관리하는 단계로, 기기 용량이 설치하고자 하는 공통 결합점에서 단락용량의 0.3%를 초과하지 않으면 설치를 인정하지만, 아래의 경우에 대해서는 제2 또는 제3단계의 관리 대상이 된다.

○ 단락용량이 배전계 2차측에 5MVA, 1차측에 50MVA보다 작을 때

○ 부하용량이 2차측에 75kVA, 1차측에 500kVA 이상일 때

나. 제2단계

공통 결합점에 있어서 저압 왜형률을 관리하는 단계로, 설치하고자 하는 지점의 설치하기 전의 전압 왜형률이 <표 14>의 값의 75%이하이고 기기의 용량이 아래 <그림 1>에서 정해진 값 이하이면 설치가 인정된다.

단, 전압 왜형률이 <표 14>의 25% 이하인 경우에는 전력회사의 허가에 의해 2배까지 가능하다. 기타 경우에는 3단계의 대상이 된다.

다. 제3단계

제2단계의 용량을 초과하는 기기에 대해서도, 설치 후에 예상되는 계통의 전압 왜형률이 <표 14>를 넘지 않은 경우에는 설치를 인정하며, 노칭전압은 아래의 값 이하로 유지해야 한다.

○ PCC로 기본파 파고치의 20% 이하

○ PCC로 전류(轉流) 진동이 기본파 파고치의 20% 이하

표 14. 전압 왜형률 제한치(기존 왜형률 포함)

계통	계통전압	종합왜형률(%)	기수고조파(%)	우수고조파(%)
1,2차 배전용	~33[kV]	5	4	3
송전선로(주)	22,33~66[kV]	3	2	1
송전선로(부)	110[kV]이상	1.5	1	0.5

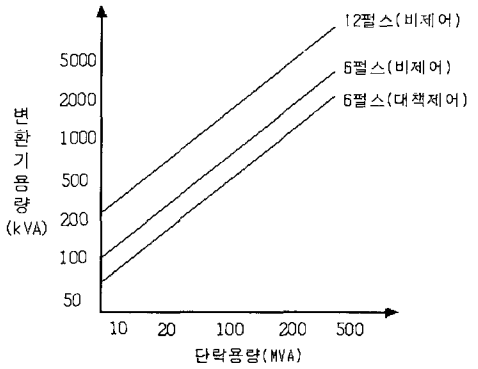

그림 1. 변환기 용량의 한계

3.6 영 국

The Electricity Council Engineering Recommendation G 5/3이 UK Electircrity Supply System에서 고조파를 관리하고 있고, 관리 기준은 공급 승인 조건의 성격을 띠며, 전체 관리는 3단계로 이루어져 있다.

가. 제1단계

단독의 변환기 및 교류 정류기의 최대 용량을 검토하는 단계로 단상 부하의 경우에는 우수 조파를 발생하지 않고 용량이 5[kVA](240V), 7.5[kVA](415~480V)이하 인가를 검토하고, 삼상 부하의 경우에는 전압 단계별로 한기기의 정격 용량이 <표 15> 보다 적은가를 검토한다.

표 15. 제1단계 제한치(단독의 변환기 및 교류조정기의 최대 용량)

PCC 전압	3상 변환기(kVA)			3상 전력 변환기(kVA)	
	3펄스	6펄스	12펄스	6상사이리스터	3상사이리스터
415(V)	8	12	-	14	10
66, 11(kV)	85	130	250	150	100

나. 제2단계

표 16. 공통 결합점에서 수용가에 의한 고조파전류 허용치(제 2단계)

회로전압	고조파 차수와 전류치(A실효치)																
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
415V	48	34	22	56	11	40	9	8	7	19	6	16	5	5	5	6	4	6
6.6,11kV	13	8	6	10	4	8	3	3	3	7	2	6	2	2	2	2	1	1
33kV	11	7	5	9	4	6	3	2	2	6	2	5	2	1	1	2	1	1
132kV	5	4	3	4	2	3	1	1	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1

다. 제3단계

계통의 모든 점에 있어서의 고조파 왜형률을 검토하는 단계로, 계통의 어떤 공통 결합점에 있어서도 전압 단계별로 설정된 전압 왜형의 제한치를 넘지 않는가를 검토한다.

표 17. 계통의 모든 점에서의 고조파 전압 왜형률 제한치(제 3단계)

계통전압	전압 THD(%)	개별고조파 함유율(%)	
		기수 고조파	우수 고조파
415[V]	5	4	2
6.6, 11[kV]	4	3	1.75
33, 66[kV]	3	2	1
132[kV]	1.5	1	0.5

고조파 관리 절차는 신설 수용가의 등가 용량에 따라 전력을 공급하고, 등가용량이 초과하면 다음 단계로 넘어간다. 또한 기기에서 발생하는 고조파 전류가 제한치보다 작은지를 검토하는 단계이다. 이 단계에서는 신설 수용가와 기존 수용가의 경우 모두 부하를 접속하고자 하는 PCC에서의 전압 왜형률을 측정하고 기존 수용가가 새로운 부하를 추가하고자 하

는 경우에는 현재의 부하에서 발생하는 고조파 전류를 측정한다.

신설 수용가인 경우 한 수용가의 전체 설비가 PCC로 발생하는 고조파 전류가 전압 단계별로 <표 17>에 설정된 최대치를 넘지 않는가를 검토한다. 또한 공통 결합점에 있어서 부하 접속전의 전압 왜형률이 <표 17>의 제 3단계 제한치 75% 이내인가를 검토하여 전력을 공급한다.

기존 수용가의 경우 한 수용가의 새로운 부하에 허용하는 전류의 제한치를 다음과 같이 결정하고, 이 값이 전압 단계별로 <표 16>에 설정된 최대치를 넘지 않는가를 검토하고 공통 결합점에서 있어서 부하 접속전의 전압 왜형률이 <표 17>의 제3단계 제한치 75% 이내인가를 검토하여 만족하는 경우에는 전력을 공급한다.

위 내용을 만족하지 못한 경우에는 부하에서 발생하는 고조파 전류가 제한치를 초과하거나, 접속하고자 하는 PCC에서의 전압 왜형률이 제한치의 75%를 초과함을 의미한다.

$$I_a = \frac{I_p}{k_1} - I_m[A] \qquad (2)$$

I_m : 기존 수용가에서 발생시키는 고조파 전류

I_p : <표 16>의 고조파 전류의 제한치

I_a : 2단계에서 허용할 수 있는 고조파 전류

k_1 : 기존 부하와 새 부하를 고려하기 위한 중첩 계수

표 18. 중첩 계수(k_1, k_2)

종류	컨버터의 수의 타입과 동작조건	중첩계수
1	비 제어 컨버터	0.9
2	정해진 시간에 동작하는 점호각 제어 컨버터	0.75
3	개별적, 간헐적으로 점호각 제어하는 컨버터	0.6 (3개 컨버터) 0.5 (4개 이상 컨버터)

이 경우에 새로운 부하에 허용하는 전압왜형률의 제한치를 다음과 같이 결정한다. 신설 수용가의 경우에는 고조파 전류 허용치를 다음과 같이 계산하고 이 값이 고조파 전류 제한치를 초과하는 경우하는지의 여부를 검토하고, 초과하지 않으면 모든 PCC에서의 전압 왜형률을 검토하여 이 값이 제한치보다 작으면 전력을 공급한다.

$$V_a = \frac{V_p}{k_2} - V_m\ [\%] \quad I_a = \frac{V_a.10.F}{\sqrt{3}.kV.n}[A]$$

$$I_c = \frac{V_a.10.F}{\sqrt{3}.kV.n}\ [A] \qquad (3)$$

kV : PCC에서의 선간전압(kV), n : 고조파 차수

V_p : <표 4.17>의 고조파 전압 왜형률 제한치

k_2 : 중첩 계수

V_m : 측정한 고조파 전압 F: PCC에서의 단락용량(MVA)

I_c : 기존의 부하와 신설 부하에서 발생하는 고조파 전류의 합

기존 수용가 경우에는 신설 수용가의 경우와 마찬가지로 고조파 허용전류를 다음과 같이 계산하고 여기에서 I_c값이 제한치를 초과하지 않고, 모든 PCC에서의 전압 왜형률이 제한치를 초과하지 않으면 전력을 공급한다.

4. 결 론

우리 나라 보다도 전력 이용이 고도화되어 있는 선진국에서는 고조파와 같은 전기 환경 문제가 발생됨에 따라 고조파에 관한 이론 해석 및 대응 기술, 전압 불평형, 플리커에 관련된 규격들은 수정 보완하는 연구를 지속적으로 해 오고 있다. 이와 같이 고조파에 대한 사회의 관심이 날로 확산되고 있는 이때에 국내에서도 고조파 문제에 대한 규격, 기술기준의

제정에 관한 구체적인 대응이 절실하게 요구되고 있다.

우리나라의 경우 전력품질에 관련된 규제 허용치는 전력품질에 관한 국제규격 또는 선진국 전력회사의 규제치 등을 참고하여 선정한 바 있으나, 최근 전기 사용기술의 발달에 의하여 관련 국제 규격도 변화하고 있는 추세이므로 향후 이러한 추세에 발맞추어 수정 보완되어야 할 것이다. 즉, 과거에는 전력전자 기술이 광범위하게 사용되지 아니하였기 때문에 고조파 규제는 크게 문제되지 않았다. 그러나, 현재에는 전력전자의 눈부신 발전에 힘입어 고조파 발생이 보편화되어 가고 있는 추세이다. 따라서, 고조파 규제도 이러한 점을 감안하여 계통 및 관련 설비에 악영향을 미치지 않는 범위 내에서 근접된 새로운 형태로 발전 개정되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 김하연 외, 고조파 사용실태 조사 및 개선 방안 연구, 에너지관리공단, 2002.

[2] 김세동, 고조파란 무엇인가, 전기저널, 대한전기협회, Vol. 291, No. 3, pp. 34~42, 2001.

[3] 김세동, 콘덴서 및 직렬리액터이 고조파 장애 영향과 대책, 전기저널, 대한전기협회, Vol. 293, No. 5, pp. 20~29, 2001.

[4] 김세동, 변압기의 특성과 고조파 장해 영향에 대한 고찰, 전기저널, 대한전기협회, Vol. 296, No. 8, pp. 28~38, 2001.

[5] 전기설비기술계산 핸드북, pp. I -203~235, 1995.

[6] 강창원, 고조파SOLUTION, (주)피에스디테크, PSD-H12, 2000.

[7] 유상봉 외, 고조파에 대한 의문점을 풀어본다. 전력기술인, No. 12, 1999.

[8] 신중린 외, 고조파 저감기술 현황과 전망, 대한전기학회, 1993.

[9] 박지현 외, 전기사용장소의 고조파 장해 분석 연구, 한국전기안전공사, 1995.

[10] 이원빈 외, 배전계통의 고조파 관리 기준에 관한 연구, 한국전력공사 전력연구원, 1996.

[11] 小林義幸, 高調波流出抑制對策, 日本電氣設備學會誌, Vol. 16, No. 4, 1996.

[12] IEC 및 IEEE 규격

◇ 著 者 紹 介 ◇

김 인 수(金仁洙)

1955. 7. 22.생. 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 에너지관리공단 전력수요관리 팀장. 주요 관심 분야 전력수요관리.

임 상 국(任相國)

19970. 10. 13. 생. 전북대학교 전기공학과 졸업. 현재 에너지관리공단 전력수요관리팀. 주요 관심 분야 전력수요관리. 고조파 기술.