

대체에너지 전원의 고조파 산출 알고리즘에 관한 연구

강 민관, 박 재호, 노 대석, 오 용택, 홍 상은*
한국기술교육대학교 (케이피파워텍), 순천향대학교*
e-mail: kmkc714@kut.ac.kr , rusipal@kut.ac.kr , dsrho@kut.ac.kr

Harmonic Calculation Algorithms for New Power Sources in Distribution Systems

Minkwan Kang, Jaeho Park, Daeseok Rho, Yongtaek Oh, Sangeun Hong*
Koera University of Technology and Education (Kp Power Tec)

요 약

최근, 국가적인 차원에서 추진되고 있는 대체에너지 전원은 배전계통에 연계되어 운용되는 특성을 가지고 있다. 이들 전원은 대부분 반도체를 이용한 전력변환기기를 사용하기 때문에 60Hz의 상용주파수의 정수배에 해당되는 주파수 성분의 전류를 발생시켜 전력계통에 역으로 유출하게 된다. 계통에 유입된 고조파는 배전선로와 변압기 등의 계통 각 구성요소의 임피던스에 의하여 고조파전압을 발생시켜, 다른 기기에 왜곡된 파형의 전압을 공급하게 되어, 기기의 정상적인 동작을 방해하거나 경우에 따라서는 기기를 손상시키는 원인이 되기도 한다. 따라서 본 연구에서는 이들 고조파 발생기기가 계통에 악영향을 미치지 않는 적절한 레벨의 고조파 수준을 산정하는 알고리즘을 제시하고, 이 값을 근거로 고조파를 억제하는 대책방안을 제시하고자 한다.

1. 서 론

영국에서는 1950년대에 고조파문제를 다루어, 고조파를 억제하기 위한 가이드라인을 책정하여, 그 후 여러 차례 개정을 행하여, 현재 G5/3 라고 하는 가이드라인이 준수되고 있다. 일본에서는 1960년대 후반에 본격적으로 고조파 문제가 거론되기 시작하였고, 1970년대에 전기 학회와 전기협동연구회에서 전력계통의 고조파 왜형율의 실태, 장애의 실태 등에 대한 조사 보고서가 나오게 되었다. 또한, 1980년대 후반에 전기사업자, 전기기기 제조업자, 전기 전문가, 전력 수용가 등의 전문위원회가 구성되어, 전력이용의 기반이 되는 전력계통의 고조파문제가 본격적으로 다루어져, 구체적인 수치가 제안되어 졌다. 그러나 우리나라에서는 전압계급별 허용치만이 제시되어 있을 뿐 구체적인 수치가 아직 제시되어 있지 않은 실정이다. 또한, 고조파 레벨을 산정하는 알고리즘도 미미한 실정이다. 따라서 본

연구에서는 이들 고조파 발생기기가 계통에 악영향을 미치지 않는 적절한 레벨의 고조파 수준을 산정하는 알고리즘을 제시하고, 이 값을 근거로 고조파를 억제하는 평가 방안을 제시하고자 한다.

2. 고조파 평가 알고리즘

고조파 환경 목표 레벨을 유지시키기 위하여, 고조파의 발생원인 수용가가 고조파 유출을 억제하기 위한 대책을 행하는 경우의 기술요건을 정한 것이며 이는 단계 별로 이루어진다.

수용가(특수/보통)의 종류판정과 고조파 유출전류 계산 및 억제대책의 여부판정 그리고 마지막으로 고조파 대책 검토 최종단계에 의해 역율 개선과 고조파의 발생량을 저감하기 위하여 동력변압기의 2차 측에 직렬 리액터가 있는 콘덴서를 설치하고 리액턴스를 고려해 계산하여 유출량계산 및 상한치와 비교 후 고조파 대책을 실시한다. 이고조파의 경우 상한치 이하로 고조

파가 저감되어 기준치를 되면 다른 조파도 동일한 방법으로 검토한다.

2.1 고조파 등가용량 산정방법

(1) 등가용량 개념

“등가용량” 이라는 것은 수용가가 소유하고 있는 고조파 발생기기의 용량을 6펄스 변환장치 용량으로 환산하여, 각각의 기기의 환산용량을 합한 것으로, 다음 식으로 나타내어진다.

$$P_o = \sum K_i \cdot P_i \quad (1)$$

여기서, P_o : 등가용량(kVA) (6펄스 변환장치 환산),
 K_i : 환산계수,
 P_i : 기기의정격용량(kVA),
 i : 변환회로 종류를 나타내는 지수

(2) 등가용량 산정 방법

설비나 기기가 접속되는 회로에서, 접속점에서 전원을 바라다 본 임피던스가 모두 리액턴스(X_s)라고 가정하면, 상기의 값에 의한 종합 전압 왜형율은 다음 식으로 계산된다.

$$\text{종합 전압 왜형율 (\%)} = (n \cdot \%I_n) \cdot \%X_s \quad (2)$$

여기서, n : 고조파 차수, $\%I_n$: 각 차 고조파 전류 함유율, $\%X_s$: 정격 기본과 전류에 대한 전원의 % 리액턴스

표 1. 12펄스 변환장치가 발생하는 각 차 고조파 전류

고조파 차수	5차 고조파	7차 고조파	11차 고조파	13차 고조파	17차 고조파	19차 고조파	23차 고조파	25차 고조파
함유율 (%)	2.0	1.5	4.5	3.0	0.2	0.15	0.75	0.75

상기와 마찬가지로 방법으로 종합 전압 왜형율을 구하면 다음과 같다.

$$\text{종합 전압 왜형율 (12 펄스)} = 0.696 \times \%X_s \quad (3)$$

여기서, 6펄스 변환장치와 12펄스 변환장치에 의한 종합 전압 왜형율의 비를 구하면 다음과 같다.

$$\text{환산계수} = (0.696 \times \%X_s) / (1.394 \times \%X_s) = 0.5$$

표 2. 기기별 변환계수

회로 분류	회로 종별	환산계수 K_i	사 용 예	
1	3상브리지	6펄스변환장치	$K_{11}= 1$	직류전철 변전소 전기화학 기타
		12펄스변환장치	$K_{12}= 0.5$	
		24펄스변환장치	$K_{13}=0.25$	
2	단상브리지	직류전류평활	$K_{21}= 1.3$	교류식 전기철도차량
		혼합브리지	$K_{22}=0.65$	
		균일브리지	$K_{23}= 0.7$	
3	3상브리지 (콘덴서 평활)	리액터 무	$K_{31}= 3.4$	범용인버터 엘리베이터 냉동 공조기 기타
		리액터 유 (교류 측)	$K_{32}= 1.8$	
		리액터 유 (직류 측)	$K_{33}= 1.8$	
		리액터 유 (교/직류 측)	$K_{34}= 1.4$	
4	단상브리지 (콘덴서 평활)	리액터 무	$K_{41}= 2.3$	범용인버터 냉동 공조기 기타
		리액터 유 (교류 측)	$K_{42}=0.35$	
5	자려식 3상브리지 (전압형PWM제어) (전류형 PWM제어)	-	$K_5= 0$	무정전 전원장치 통신용전원장치 엘리베이터 계통연계용 분산전원
6	자려식 단상브리지 (전압형 PWM제어)	-	$K_6= 0$	통신용 전원장치 교류식 전기철도차량 계통연계용 분산전원
7	교류전력 조정장치	저항부하	$K_{71}= 1.6$	무료인력 조정장치 대형조명장치 가열기
		리액터부하 (교류아크로용 은 제외)	$K_{72}= 0.3$	
8	사이클로 converter	6펄스 변환장치 상당	$K_{81}= 1$	전동기(압연기, 시멘트용 교류 전기철도 차량용)
		12펄스 변환장치 상당	$K_{82}= 0.5$	
9	교류아크로	단독운전	$K_9= 0.2$	
10	기 타	-	K_{10} : 신고 값	-

(3) 등가용량 상한치 산정

조사 시점(1987년)에서의 6.6kV 전압으로 수전하는 수용가의 제 5고조파 발생률이 2.76%인데, 이 값은 2010년에 2.6배 정도 증가되는 것으로 추정된다. 전력계통의 고조파 환경 목표레벨을 2010년경까지 유지하기 위해서는 이 고조파 유출전류를 절반정도로 해야 하는 연구결과에 바탕을 두면, 제 5고조파 유출량의 상한치는 다음과 같이 된다.

$$2.76 \times 2.6 \times 0.5 = 3.6\%$$

이 값에 대하여, 고압으로 수전하는 수용가의 계약전력의 평균치가 220kW으로 가정하면, 제 5고조파 전류

를 상기의 값 이내로 유지하기 위한 6펄스 변환장치용량을 다음 식에 의하여 구할 수 있다.

$$(3.6 / 100) \times (220 / \sqrt{3} \times 6.6) = 0.693 \text{ (A)}$$

$$0.693 \times (100 / 17.5) \times \sqrt{3} \times 6.6 = 45.3 \text{ (kVA)}$$

한편, 23kV 계통에서는 다음과 같이 산출된다.

$$3.77 \times 2.6 \times 0.5 = 4.9\%$$

2.2 고조파 유출전류 산출 알고리즘

(1) 유출전류 산정 방법

① 각 고조파 발생기기의 정격전류를 구한다.

$$I_n = (\text{정격용량} \times 1,000) / (\sqrt{3} \times \text{선간전압}) \text{ (mA)} \quad (5)$$

② 각 차 고조파의 발생량을 구한다. 이것은 식 (6)과 같이 부하기기의 정격전류에 고유 가동률과 각 차 조파 전류 발생률을 곱하여 구한다.

$$I_{har(n)} = I_n \times \alpha \times \beta \quad (6)$$

여기서, $I_{har(n)}$: n 차조파의 고조파 발생량, α : 고조파 전류발생률, β : 기기 고유 가동률, n: 고조파 차수

③ 상기의 계산식에 따라 다른 부하 기기의 전체 각 차 조파의 전류발생량을 구한다.

(2) 유출전류 상한치 평가 방법

특수 수용가로부터 계통에 유출되는 고조파 유출전류의 허용 상한치는 고조파 차수별로 수용가 계약전력 1kW 당 고조파 유출전류의 상한치에 해당 수용가의 계약전력을 곱하여 구한다.

3. 시뮬레이션 및 평가

(1) 대상 모델계통

수전전압 6.6kV, 계약전력 650kW의 사무소 빌딩을 신설하고 하면 부하설비의 구성도와 내역은 그림 1, 표 3과 같다.

표 3. 부하기기의 내역

No.	기기명칭	정격입력 용량(kVA)	대수	합계용량
1	PAC 압축기(공조기기)	9.4	8	75.2
2	PAC 공조기기	6.9	8	55.2
3	PAC 공조기기	9.4	1	9.4
4	PAC 공조기기	6.9	5	34.5
5	엘리베이터	93.8	1	93.8
6	엘리베이터	68.8	1	68.8
7	엘리베이터	23.1	1	23.1
8	엘리베이터	18.8	2	37.6
합계		237.1		397.6

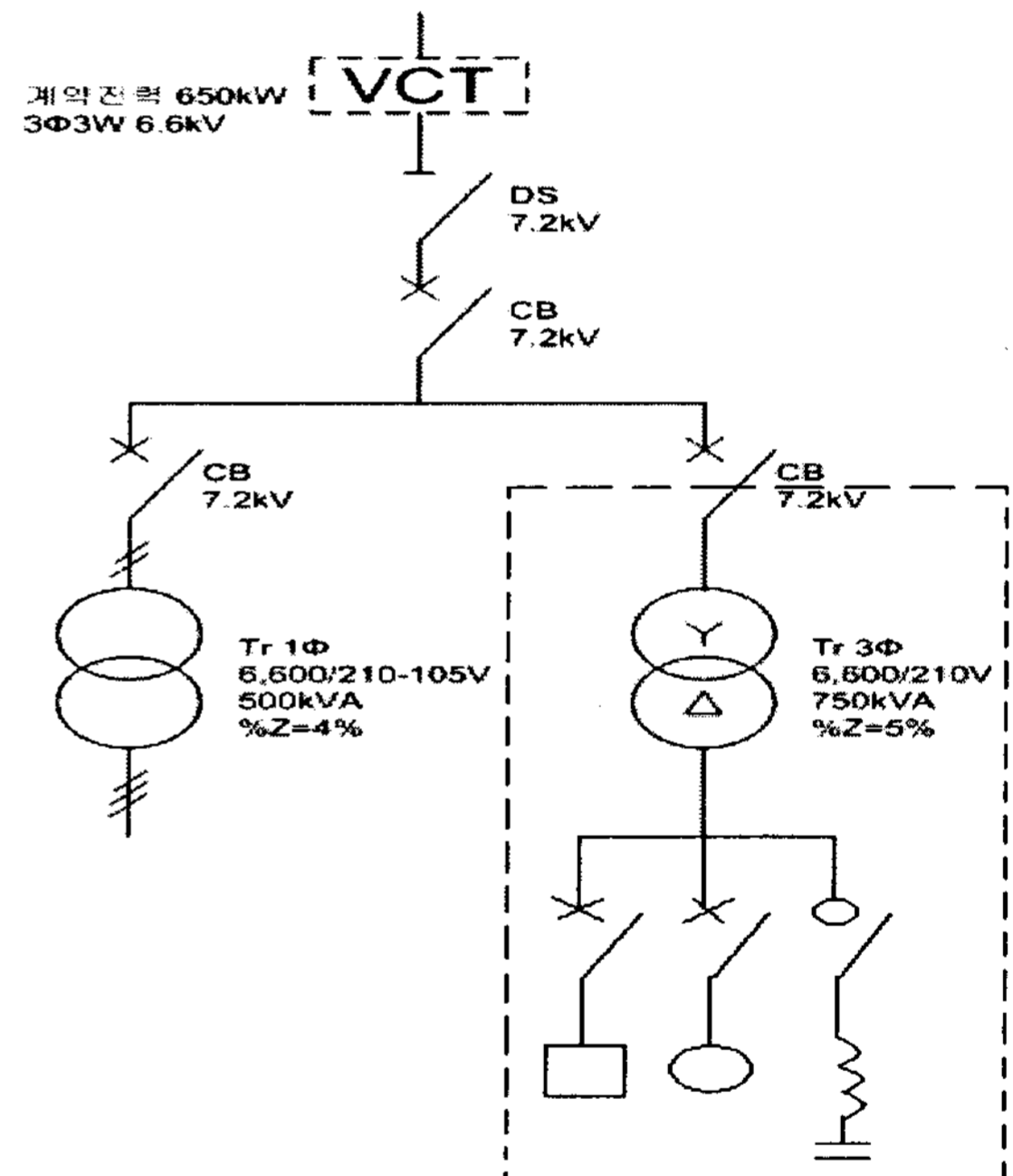


그림 1. 부하기기의 구성도

(2) 수용가(특수/보통)의 종류 판정 (제 1 단계)

표 4와 같이, 모든 부하설비의 총 등가용량을 계산하여 합계 용량이 50kVA를 초과하는가를 검토한다. 초과하면 특수수용가, 초과하지 않으면 일반 수용가로 분류한다.

표 4. 수용가(특수/보통)의 종류 판정(1단계)

No.	고조파발생 기기 명칭	정격입 력용량 (kVA)	대수	합계용 량	회로분 류 형태	6펄스 환산계 수	6펄스 등가용량 (kVA)
1	PAC 공조기기	9.4	8	75.2	33	1.8	135.36
2	PAC 공조기기	6.9	8	55.2	33	1.8	99.36
3	PAC 공조기기	9.4	1	9.4	33	1.8	16.92
4	PAC 공조기기	6.9	5	34.5	33	1.8	62.1
5	엘리베이터	93.8	1	93.8	33	1.8	168.84
6	엘리베이터	68.8	1	68.8	33	1.8	123.84
7	엘리베이터	23.1	1	23.1	33	1.8	41.58
8	엘리베이터	18.8	2	37.6	33	1.8	67.68
합계		237.1		397.6			715.68

표 5. 고조파 발생량 및 적정 여부 판정(제 2 단계, 단위 mA)

No	기기명칭	정격입 력전류 (mA)	기기 최대 동률 (%)	5 차 고 조 파	7 차 고 조 파	11 차 고 조 파	13 차 고 조 파	17 차 고 조 파	19 차 고 조 파	23 차 고 조 파	25 차 고 조 파
1	PAC 공조기기	6578.3	55	1085.4	470.3	303.9	180.9	170	115.7	106.5	79.5
2	PAC 공조기기	4828.8	55	796.7	345.2	223	132.7	124.8	84.9	79.6	58.4
3	PAC 공조기기	822.3	55	135.6	58.7	37.9	22.6	21.2	14.4	13.5	9.9
4	PAC 공조기기	3017.9	55	497.9	215.78 466	139.43 009	82.9	78	53.1	49.7	36.5
5	엘리 베이 터	8205.4	25	615.4	266.6	172.3	102.5	96.4	65.6	61.5	45.1
6	엘리 베이 터	6018.4	25	451.3	195.5	126.3	75.230 49	70.7	48.1	45.1	33.1
7	엘리 베이 터	2020.7	25	151.5	65.6	42.4	25.2	23.7	16.1	15.1	11
8	엘리 베이 터	3289.1	25	246.6	106.8	69	41.1	38.6	26.3	24.6	18
고조파 유출전류 합계				3980.8	1725	1114.6	663.4	623.6	424.6	398	291.9
대책 전의 고조파 유출전류				3523	1526.6	986.4	587.1	551.9	375.7	352.3	258.3
고조파 유출전류 상한치				2275	1625	1040	845	650	585	494	455
대책 여부 판정				필요	불필요	불필요	불필요	불필요	불필요	불필요	불필요

(3) 고조파 유출전류 계산 및 억제대책의 여부 판정 (제 2 단계)

(가) 고조파 유출전류 계산

- ① 각 부하기기(PAC 공조기기)의 정격전류를 구한다.
- ② 각 차 고조파의 발생량을 구한다.
- ③ 상기의 계산식에 따라 다른 부하 기기의 전체 각 차 조파의 전류발생량을 구한다.
- ④ 계약전력 보정계수를 이용하여 계산치를 보정한다. 여기서 보정계수는 0.885를 이용한다. 계산결과는 표 5와 같다.

(나) 억제대책의 여부 판정

표 5와 같이, 모든 부하설비에 대한 고조파의 발생량을 계산하여, 각 차 조파의 유출 상한치(표 4)를 비교하여, 신설 부하에 대한 고조파의 발생량이 적정합가를 판정한다. 계산결과가 상한치를 초과하면, 고조파에 대한 대책이 필요하다고 판정을 내리게 된다. 예를 들어 제 5고조파의 경우, 합계 발생량이 상한치를 초과하게 되므로 대책이 필요하다는 판정을 내리게 된다.

(4) 고조파 대책 검토 (제 3단계)

역을 개선과 고조파의 발생량을 저감하기 위하여, 그리2와 같이 동력변압기의 2차 측에 300kVAR 6%의 직렬리액터가 있는 콘덴서를 설치한다. 이와 같이, 고조파 대책을 실시한 후의 5고조파의 경우에는 상한치 이하로 고조파가 저감되어 기준치를 만족하게 된다. 다른 조파도 동일한 방법으로 검토하면 표6과 같다.

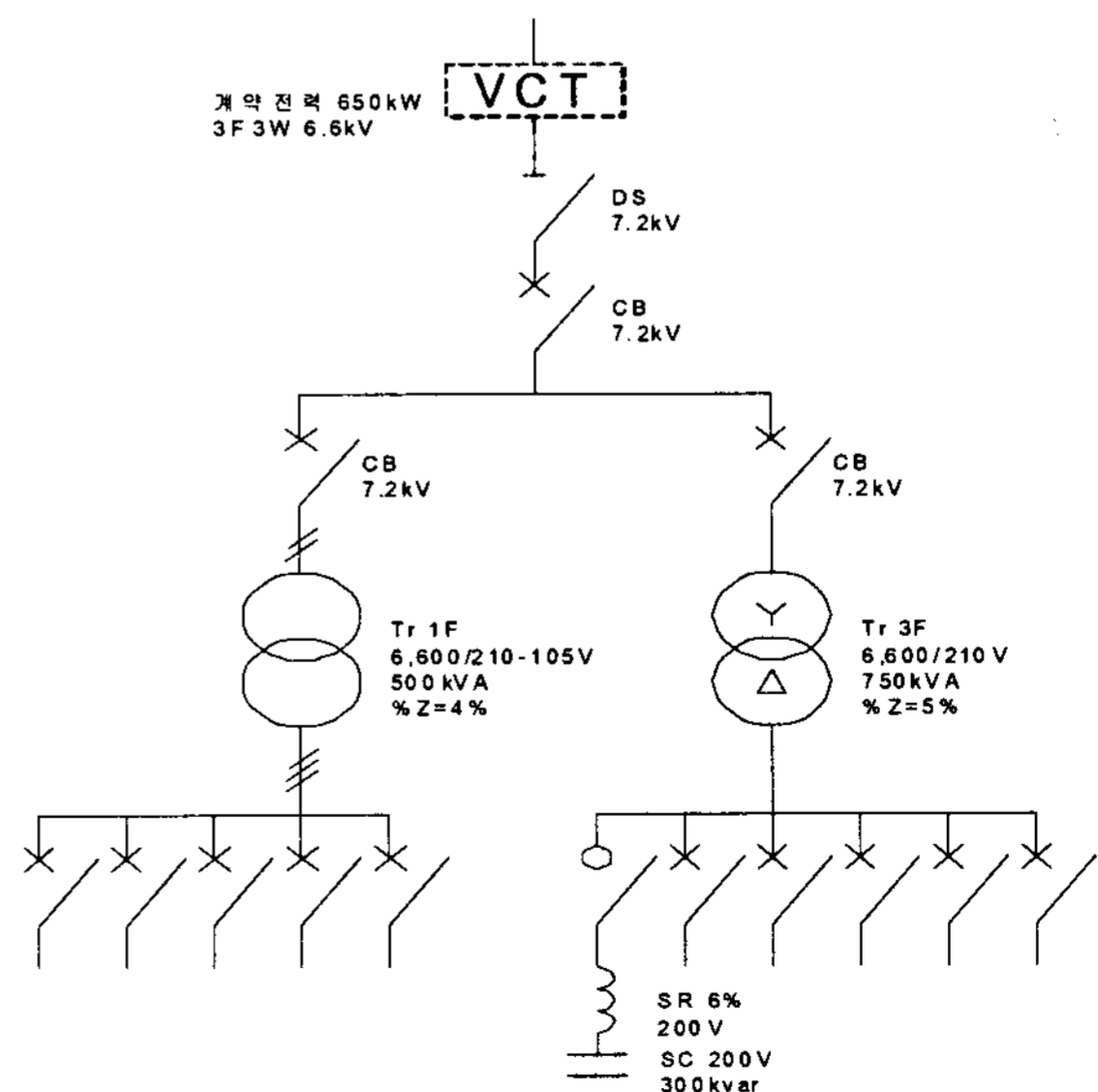


그림 2. 고조파 대책 후의 부하설비의 구성도

표 6. 고조파 대책 후의 평가 내역 (단위 : mA)

	5차	7차	11차	13차	17차	19차	23차	25차
고조파 유출전류 합계	3980.8 3	1725.0 26	1114.6 32	663.47 17	623.66 34	424.62 19	398.08 3	291.92 75
대책 전의 고조파 유출전류	3523.0 35	1526.6 48	986.44 97	587.17 24	551.94 21	375.79 04	352.30 35	258.35 59
대책 후의 고조파 유출전류	1633.9 93	918.97 93	639.44 3	384.80 6	365.56 76	249.60 23	234.82 74	172.40 34
고조파 유출전류 상한치	2275	1625	1040	845	650	585	494	455
대책 여부 판정	불필요	불필요	불필요	불필요	불필요	불필요	불필요	불필요

4. 결 론

본 논문에서 제안한 알고리즘은 배전계통연계에서 고조파전류를 발생시키는 기기나 고조파전압 왜곡에 취약한 기기 등 다양한 전기기기가 접속되어 있을 때, 이들 기기가 상호간에 악영향을 미치지 않도록 하기 위하여, 고조파 발생기기에 대해서는 발생량을 억제하여 전력계통의 고조파전압 왜곡을 적절한 수준으로 유지하거나, 고조파 전압에 취약한 기기에 대해서는 내량을 강화시키는 등, 조화를 이루는 적절한 대책을 취할 필요가 있을 때 쓰일 것이다.

참고문헌

- [1] “분산전원 계통연계가이드라인”, JEC4201, 일본, 2002.4
- [2] “풍력발전 계통연계 기술지침 및 연계선로 운영 기준 제정에 관한 연구”, 한전 전력연구원, 2004
- [3] “배전전압관리 개선에 관한 연구”, 한전 전력연구원, 2003.10
- [4] “배전전압관리 매뉴얼”, 일본 북해도전력, 2003.1