

**배전계통에 있어서 분산전원의 고조파 평가 알고리즘에 관한 연구**

강 민관, 박 재호, 노 대석, 오 용택, 홍 상은\*  
한국기술교육대학교 (케이피파워텍), Sooncheonhyang 대학교\*

**A Study on the Harmonic Evaluation Algorithm for Dispersed Sources in Distribution Systems**

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

**Abstract** - 본 논문에서는 고조파 환경 목표레벨을 유지시키기 위하여, 고조파의 발생원인 수용가가 고조파 유출에 대한 평가 알고리즘을 제시한 것이다. 이 평가 알고리즘은 단계 별로 이루어지는데, 수용가(특수/보통)의 종류판정과 고조파 유출전류 계산 및 억제대책의 여부판정 그리고 마지막으로 고조파 대책 검토 최종 단계에 의해 역을 개선과 고조파의 발생량을 저감하기 위하여 동력변압기의 2차측에 직렬리액터가 있는 콘덴서를 설치하고, 리액턴스를 고려해 계산하여 유출량계산 및 상한치와 비교 후, 고조파 대책을 실시한다. 각 차 고조파에 대하여 상한치 이내로 고조파가 저감되어 기준치를 만족하면 다른 조파도 동일한 방법으로 검토한다.

① 계약전력 보정계수를 이용하여 계산치를 보정한다.

모든 부하설비에 대한 고조파의 발생량을 계산하여, 각 차 조파의 유출 상한치를 비교하여, 신설 부하에 대한 고조파의 발생량이 적정 한가를 판정한다. 계산결과가 상한치를 초과하면, 고조파에 대한 대책이 필요하다고 판정을 내리게 된다.

(3) 제 3 단계 (고조파대책검토)

역을 개선과 고조파의 발생량을 저감하기 위하여, 직렬 리액터가 달린 콘덴서 등을 설치한다. 용량산정 알고리즘에 의하여 적정한 용량을 제시한다.

**1. 서 론**

외국의 한 전력회사에서는 최근 풍력발전이나 온 사이트 형 신 에너지전원이 배전선에 연계하는 경우, 필요한 기술요건을 만족하는가를 단시간에 검토할 수 있는 시스템을 개발하여 도입하였다고 소개하고 있다. 이미 외국에서는 신 에너지전원의 계통연계 가이드라인을 제정하여 시행하고 있으며, 배전계통의 도입에 대한 원활한 업무를 수행하기 위하여, 신 에너지전원에 대하여 비전문가인 담당자라도 용이하게 평가할 수 있는 새로운 시스템을 개발하여 사용하고 있다. 따라서 우리나라도 이러한 시스템의 개발이 필수적이라 생각된다. 한편, 국내에서는 신 에너지전원의 도입 시 배전계통에 끼치는 영향과 문제점에 대한 조사와 분석이 없이 분산전원의 건설에 대한 기본 설계가 이루어지고 있어, 신 에너지전원이 연계되는 배전계통의 전력품질, 보호협조 등의 운용상의 문제점이 야기될 가능성이 매우 높다. 또한, 신 에너지전원에 대한 비전문가인 각 배전지사의 계통운영 관리자들의 운용상의 고충 문제가 심각하게 부각될 것으로 예상된다. 한편, 풍력과 같은 대규모 신 에너지전원의 단지가 연계된 배전계통의 일반수용가의 민원이 발생될 소지가 있다. 따라서 신 에너지전원의 배전계통 연계 시, 기술 판정 프로그램의 개발이 필수적이다. 본 논문에서는 분산전원의 배전계통 연계 시에 중요한 기술적인 사항 중의 하나인 고조파에 대한 평가 알고리즘을 제시하고자 한다.

**2.2 고조파 평가 시뮬레이션**

(1) 대상 모델계통

수전전압 6.6kV와 계약전력 650kW의 사무실 빌딩을 신설한다고 가정한다. 부하설비의 구성도와 내역은 표 1, 그림 1과 같다.

**<표 1> 부하기기의 내역**

No.	기기명칭	정격입력 용량(kVA)	대수	합계용량
1	PAC 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

**2. 본 론**

**2.1 고조파 평가 알고리즘**

분산전원의 배전계통 연계 시에 고조파의 연계 적합여부를 판정하는 알고리즘은 크게 3단계로 나눌 수 있다. 1 단계는 해당 수용가가 일반인지 특수인지 분류하여 수용가의 종류를 판정하는 것이다. 이것은 고조파 발생기기의 등가용량에 의하여 나누어지는데, 수용가의 종류에 따라 평가방법이 달라진다. 2 단계는 해당 수용가의 고조파 유출전류를 계산하여, 한계치를 초과하는가를 평가하여, 한계치를 초과하는 경우에는 억제대책의 여부를 판정한다. 3 단계에서는 고조파 억제가 필요한 경우에 적절한 용량과 대책을 제시한다.

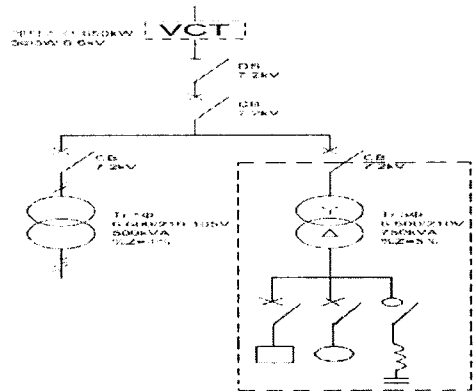
(1) 제 1 단계 (수용가의 종류판정)

해당 수용가의 모든 부하설비의 총 등가용량을 계산하여 합계 용량이 50kVA를 초과하는가를 검토한다. 초과하면 특수수용가, 초과하지 않으면 일반 수용가로 분류한다.

(2) 제 2 단계 (고조파유출전류계산및억제대책여부판정)

고조파 유출전류를 계산하는 절차는 다음과 같다.

- 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.



**<그림 1> 부하기기의 구성도**

(2) 수용가(특수/보통)의 종류판정

표 2와 같이, 모든 부하설비의 총 등가용량을 계산한다. 합계 용량이 50kVA를 초과하면 특수수용가, 초과하지 않으면 일반 수용가로 분류한다.

(3) 고조파유출전류계산및억제대책의 여부판정(제2단계)

표 3과 같이, 모든 부하설비에 대한 고조파의 발생량을 계산하여, 각 차 조파의 유출 상한치를 비교하여, 신설 부하에 대한 고조파의 발생량이 적정항가를 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.

〈표 2〉 수용가(특수/보통)의 종류 판정

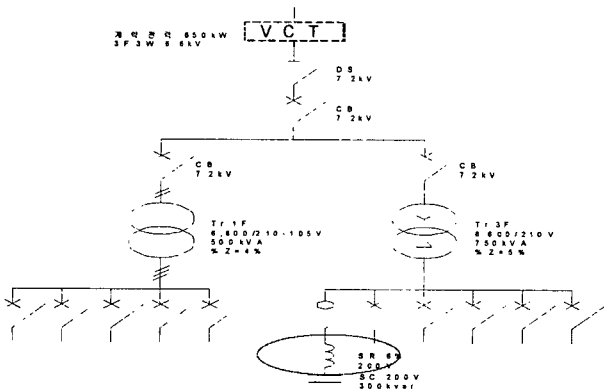
No.	고조파발생 기기 명칭	정격입 력용량(k VA)	대수	합계용 량	회로분류 형태	6펄스 환 산계수	6펄스 등 가용량(kV A)
1	PAC 공조기기	9.4	8	75.2	33	1.8	135.36
2	PAC 공조기기	6.9	8	55.2	33	1.8	99.36
3	PAC 공조기기	9.4	1	9.4	33	1.8	16.92
4	PAC 공조기기	6.9	5	34.5	33	1.8	62.1
5	엘리베이터	93.8	1	93.8	33	1.8	168.84
6	엘리베이터	68.8	1	68.8	33	1.8	123.84
7	엘리베이터	23.1	1	23.1	33	1.8	41.58
8	엘리베이터	18.8	2	37.6	33	1.8	67.68
합계		237.1		397.6			715.68

〈표 3〉 고조파 발생량 및 적정 여부 판정 (단위 mA)

N o	기 기 명 칭	정격입 력 전류 (mA)	기 기 최 대 가 용 량 (%)	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	108.5	79.5
2	PAC 공조기기	4828.8	55	796.7	345.2	223	132.7	124.8	84.9	79.6	58.4
-											
8	엘리베이터	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	필요	필요	필요	필요	필요	필요	필요

(4) 고조파대책검토

그림 2와 같이 동력변압기의 2차 측에 300kVAR 6%의 직렬리액터가 있는 콘덴서를 설치한다.



〈그림 2〉 고조파 대책 후의 부하설비의 구성도

부하 설비별로 각 차 고조파의 임피던스를 계산한다. 다음은 제 5 고조파를 계산한 예이다.

① 먼저 각 부하설비의 임피던스 맵을 작성한다.

② 변압기

$$\frac{E_1^2 \times 10^3}{P_{TR}} \times n = j \frac{5}{100} \times \frac{6.6^2 \times 10^3}{750} \times n = j 2.904 \times n (\Omega)$$

$$Z_{TR5} (5\text{고조파}) = j 2.904 \times 5 = j 14.5 (\Omega)$$

③ 콘덴서

$$Z_C = j \frac{E_1}{Q_C} \times \left[ \frac{\%L}{100} \times n - \frac{1}{n} \right] = j \frac{6.6^2 \times 10^3}{300} \left[ \frac{6}{100} \times n - \frac{1}{n} \right]$$

$$= j 145.2 \times \left[ \frac{6}{100} \times n - \frac{1}{n} \right] (\Omega)$$

$$Z_{C5} (5\text{고조파}) = j 145.2 \times \left( 0.06 \times 5 - \frac{1}{5} \right) = j 14.5 (\Omega)$$

④ 선형부하 (공조용 팬 등)

설비 전체 선형부하 합계 = 351.2kW

$$Z_{M5} = j \frac{\%X_M}{100} \times \frac{E_1^2 \times 10^3}{P_M} \times n = j \frac{15}{100} \times \frac{6.6^2 \times 10^3}{351.2} = j 18.6 \times n (\Omega)$$

$$Z_{M5} (5\text{고조파}) = j 18.6 \times 5 = j 93.0 (\Omega)$$

따라서 제 5조파의 전원 유출비율을 계산하면 다음과 같다.

$$K_5 = \frac{\frac{Z_{M5} \times Z_{C5}}{Z_{M5} + Z_{C5}}}{Z_{TR5} + \frac{Z_{M5} \times Z_{C5}}{Z_{M5} + Z_{C5}}} = \frac{Z_{M5} \times Z_{C5}}{Z_{TR5} \times Z_{C5} + Z_{TR5} \times Z_{M5} + Z_{C5}}$$

$$= \frac{93.0 \times 14.52}{14.52 \times 14.52 + 14.52 \times 93.0 + 93.0 \times 14.52} = 0.4638$$

한편, 제 5조파의 전원 유출량을 계산하면 다음과 같다.

$$I_5 (5\text{고조파}) = 3,515.0 \times 0.4638 = 1,630.3 < 2,275.0 (mA)$$

따라서, 제 5조파의 전원유출량 상한치를 비교하면 다음과 같다.

$$I_5 (5\text{고조파}) = 1,634.0 (mA) < 2,275.0 (mA)$$

상기와 같이, 고조파 대책을 실시한 후의 5고조파의 경우에는 상한치 이하로 고조파가 저감되어 기준치를 만족하게 된다. 다른 조파도 동일한 방법으로 검토하면 표 4와 같다. 한편, 2차 측에 설치할 최적의 콘덴서 용량은 117.8kVAR 정도가 계산된다.

〈표 4〉 고조파 대책 후의 평가 내역 (단위 : mA)

	5차	7차	11차	13차	17차	19차	23차	25차
고조파 유출전류 합계	3980.8	1725.0	1114.6	663.47	623.66	424.62	398.08	291.92
대책 전의 고조파 유출전류	3523.0	1526.6	986.44	587.17	551.94	375.79	352.30	258.35
대책 후의 고조파 유출전류	1633.9	918.97	639.44	384.80	365.56	249.60	234.82	172.40
고조파 유출전류 상한치	2275	1625	1040	845	650	585	494	455
대책 여부 판정	불필요	불필요	불필요	불필요	불필요	불필요	불필요	불필요

3. 결 론

본 논문에서 제안한 고조파 평가 알고리즘은 분산전원의 배전계통 연계에서 고조파전류를 발생시키는 기기나 고조파전압 왜곡에 취약한 기기 등 다양한 전기가 접속되어 있을 때, 이들 기기가 상호간에 악영향을 미치지 않도록 하기 위하여, 고조파 발생기에 대해서는 발생량을 억제하여, 배전계통의 고조파전압 왜곡을 적절한 수준으로 유지하거나, 고조파 전압에 취약한 기기에 대해서는 내량을 강화시키는 등, 조화를 이루는 적절한 대책을 제시한 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] “분산전원 계통연계가이드라인”, JEC4201, 일본, 2002.4
- [2] “풍력발전 계통연계 기술지침 및 연계선로 운영기준 제정에 관한 연구”, 한전 전력연구원, 2004
- [3] “배전전압관리 개선에 관한 연구”, 한전 전력연구원, 2003.10
- [4] “배전전압관리 매뉴얼”, 일본 북해도전력, 2003.1
- [5] “태양광발전의 배전계통 연계 알고리즘 개발에 관한 연구”, 2005 한국산학기술학회, 춘계 학술발표논문집, 노 대석 외 3인, 2005.5
- [6] “분산형전원 배전계통 연계 평가시스템 알고리즘 개발”, 2005 한국산학기술학회, 춘계 학술발표논문집, 노 대석 외 3인, 2005.5
- [7] “분산형전원 계통연계 기술평가시스템 알고리즘에 관한 연구”, 대한전기학회 대전지부 워크샵, 노 대석 외 2인, 2005. 6.15