

송전계통 고조파 유입/유출 분석

왕용필*, 최선영*, 광노홍**, 전영수**, 박상호**
*동아대학교, **한국전력연구원

Analysis of Harmonic Incoming and Outgoing for Transmission System

Y. P. Wang*, S. Y. Choi*, N. H. Kwak**, Y. S. Jeon**, S. H. Park**
*Dong-A University, **KEPCO

Abstract - A method is proposed in this paper to determine the harmonic contributions of a customer at the point of common coupling. The method can quantify customer and utility responsibilities for limit violations caused by either harmonic source changes or harmonic impedance changes. It can be implemented in current power quality monitors and digital revenue meters. The method is comparison of measurement phase angles between harmonic voltage and current. The proposed method has been applied to the test system. The study results have indicated the accuracy of harmonic injection and emission for customer and utility.

1. 서 론

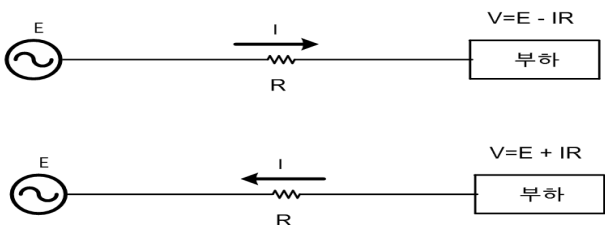
전력회사는 양질의 전압을 공급해야 하고, 수용가는 할당된 범위 이내에서 고조파 전류를 방출하여 계통의 전력 품질을 일정 수준 이상으로 유지할 수 있도록 할 책임이 있게 된다. 이러한 상황 때문에 고조파는 수용가와 전력회사 모두에게 민감한 사안이다.

고조파 전압을 억제하는 경우, 고조파 전압이 계획 레벨에 도달할 때까지 고조파 전류를 유출할 수 있다. 그러나 이미 계획 레벨에 도달하고 있는 전력계통에 접속하는 수용가는 고조파 전류를 유출할 수 없다. 즉, 먼저 한 자가 우선이 되어 불공평한 기준이 될 수 있다. 그러므로 고조파 전류 억제와 함께, 설비 조건이 동일하면 고조파 전류의 유출 제한치가 같아야 공평성이 유지된다. 수용가와 전력계통의 접속점에 흐르는 고조파 전류는 계통에서 수용가로 유입하는 양과 수용가에서 계통으로 유출하는 양만 실측하여 구하기는 매우 어렵다.

따라서 본 연구에서는 전력회사와 수용가 사이의 고조파 기여도 즉 고조파 유입, 유출을 판별하는 방법을 제안하고자 한다. 고조파 유입, 유출을 판별 방법으로는 고조파 전압, 전류의 위상차를 이용한다. 제한한 방법의 타당성을 검증하기 위하여 국내 송전계통에 적용하여 PSCAD/EMTDC 상에서 시뮬레이션 하였다.

2. 고조파 유입 유출의 이론적 배경

그림 1과 같은 회로에 대하여, 전류 I의 방향을 전원 측으로부터 부하 측에 흐르는 것을 정방향 이라고 정의하면 부하단의 전압 V는 $V=E-I \cdot R$ 로 계산된다. 반면 부하 측으로부터 전원 측에 흐르는 것을 정방향 이라고 정의하면 $V=E + I \cdot R$ 로 계산된다.



<그림 1> 전류 방향 정의

고조파 전류의 원인이 측정 점에서부터 전원 측에 있으면 전원에서부터 부하에 흐르고, 부하 측에 있으면 부하로부터 전원에 흐르고 있다고 하는 의미로 사용되고 있다.

고조파 전류 발생원을 추정하는 방법으로서 고조파 전압과 고조파 전류의 위상 차이를 이용하는 것을 생각할 수 있었다. 이 방법은 다음을 고려한 방법이다. 처음은, 전원 전압에는 고조파 전압이 포함되어 있지만, 부하로서는 고조파 전류를 발생하지 않는 선형 부하의 경우를 생각한다. 이 부하는 제 n고조파에 대해서는 $X_{Ln} > 0$ 으로 하면, 임피던스는

$R_L \pm jX_{Ln}$ 로 나타난다. 따라서 부하에 걸리는 고조파 전압이 2배가 되면 흐르는 고조파 전류가 2배가 되는 선형부하라 한다.

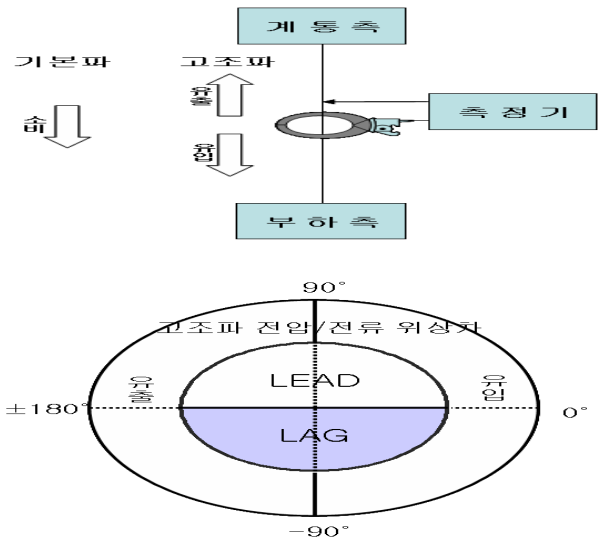
고조파 전류를 발생하는 기기는 $R_L \pm jX_{Ln}$ 으로 임피던스를 표현할 수 없다. 따라서 고조파 전압이 2배가 되어도 고조파 전류를 발생하는 기기는 $R_L \pm jX_{Ln}$ 으로 임피던스를 표현할 수 없다.

따라서 고조파 전압이 2배가 되어도 고조파 전류가 2배가 되지 않기 때문에 비선형 부하라고 불린다. 선형 부하의 경우에는, 부하단의 고조파 전압이 V_n 때, 흐르는 고조파 전류 I_n 는 전원에서 부하로 방향을 정방향으로 본다면 식(1)로 나타내진다.

$$I_n = V_n / (R_L \pm jX_{Ln}) \quad (1)$$

부하단의 고조파 전압 V_n 을 기준으로 하고, 고조파 전류 I_n 의 벡터를 그리면 전압에 대해서 전류는 진상보다 지상 90° 이내라고 하는 당연한 이유로부터 벡터는 오른쪽 반면에 들어간다. 반대로 부하가 고조파 전류를 발생하고 있는 경우에는, 부하단의 고조파 전압 V_n 을 기준으로 하고, 위에 맞추어 전원에서부터 부하로 향할 방향을 정방향으로서 고조파 전류 I_n 의 벡터를 그리면 왼쪽 반면에 들어간다. 이것은 전원 측의 고조파 임피던스를 $R_S \pm jX_{Sn}$ 으로 하면, 그 실수부 R_S 도 항상 정인 것이 분명하다.

이상의 내용을 바탕으로 고조파 유입, 유출을 판정할 수 있다. 즉, 송전선이 있는 지점에서 고조파 전압과 전류와의 위상 차이를 측정해, 그 차이가 $\pm 90^\circ$ 이내라면 고조파 전류는 전원에서부터 부하로 유입된다고 판정한다. 또한 $\pm 90^\circ$ 이상이라면 부하로부터 전원 측에 유출된다고 판정한다.

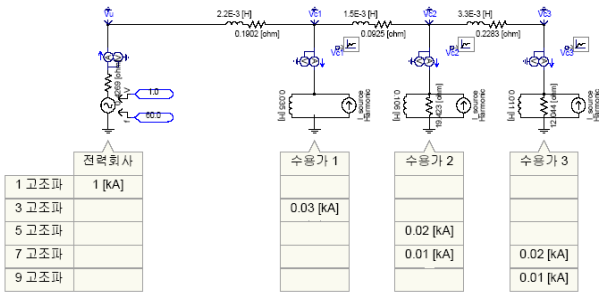


<그림 2> 고조파 유입, 유출 평가

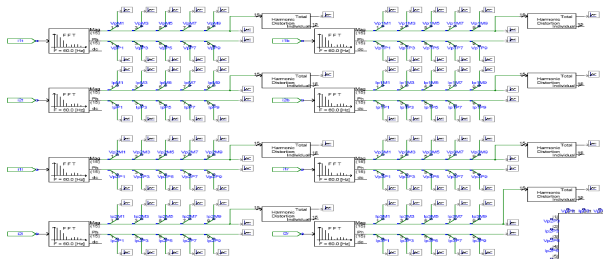
3. 고조파 유입 유출 평가 시뮬레이션

고조파 전류 발생원을 추정하는 방법으로서 고조파 유입, 유출 평가 방법을 검증하기 위하여 국내송전계통을 선택하고, PSCAD/EMTDC를

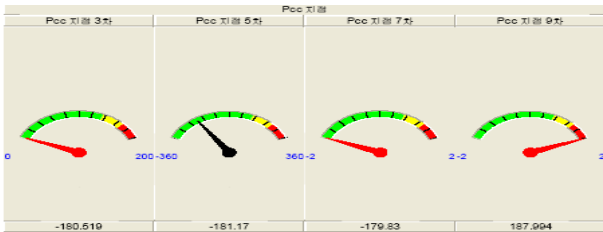
그림 3과 그림 4와 같은 고조파 유입, 유출 평가 시스템 구성하였다. 전력회사에서는 기본파를 유출하도록 하였다. 수용가 1은 3고조파(0.03[kA]), 수용가 2는 5고조파(0.02[kA]), 7고조파(0.01[kA]) 및 수용가 3는 7고조파(0.02[kA]), 9고조파(0.01[kA])를 방출하는 하고 있다.



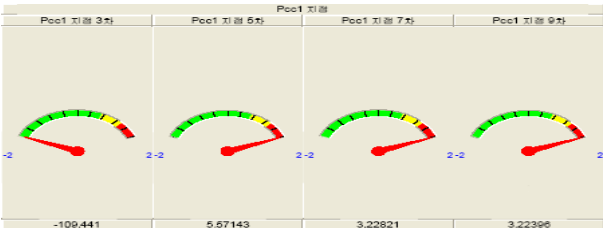
<그림 3> 고조파 유입, 유출 평가회로도 1



<그림 4> 고조파 유입, 유출 평가회로도 2



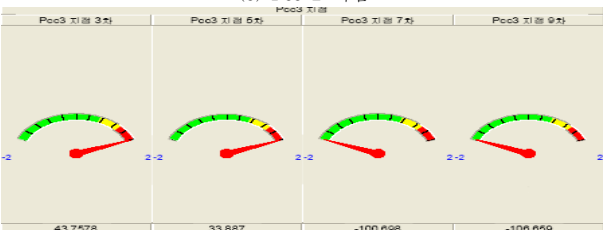
(a) Pcc 1 지점



(b) Pcc 2 지점



(c) Pcc 3 지점



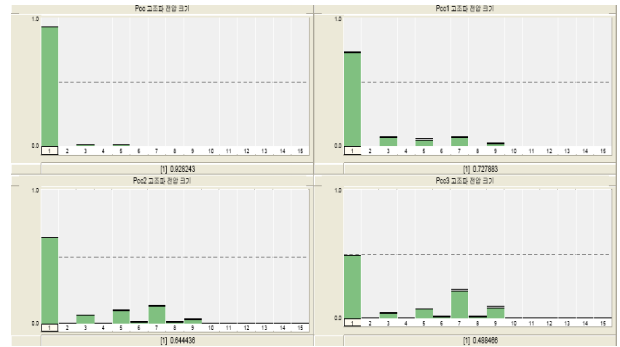
(d) Pcc 4 지점

<그림 5> 각 지점 고조파 유입, 유출 판정

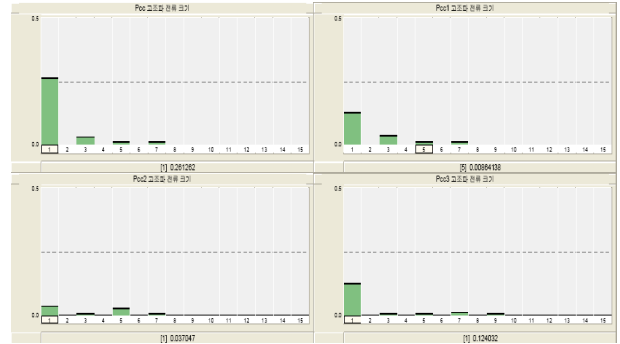
시뮬레이션 결과 전력회사 및 각 수용가에서 고조파 유입, 유출을 고조파 전압, 전류 위상차를 이용하여 그림 5와 표 1과 같이 판정되었다. 즉 고조파 전압, 전류 위상차가 $-90^\circ \sim 0^\circ \sim 90^\circ$ 인 경우 유입으로 판정하고, $-180^\circ \sim -90^\circ, 90^\circ \sim 180^\circ$ 인 경우 유출로 판정한다.

표 1. 고조파 유입, 유출 판정

구분	Pcc 지점 고조파 성분	Pcc1 지점 고조파 성분	Pcc2 지점 고조파 성분	Pcc3 지점 고조파 성분
유출	3, 5, 7, 9	3	5, 7	7, 9
유입	없음	5, 7, 9	3, 9	3, 5



(a) 각 지점 전압 고조파 THD



(b) 각 지점 전류 고조파 THD

<그림 6> 각 지점 고조파 전압, 전류 차수별 THD

또한 그림 6과 같이 전력회사 및 각 수용가에 발생하는 고조파 전압, 전류 THD를 정확히 파악하여야 한다. 그 이유는 한 수용가에 발생하는 고조파 전류는 전력회사 및 다른 수용가에 유입된다.

이상의 시뮬레이션 결과 한 수용가에 정확한 고조파 분석을 위하여 인근 수용가에서도 동시에 고조파 전압, 전류 측정이 필요하다.

4. 결 론

본 연구에서는 전력회사와 수용가 사이의 고조파 기여도 즉 고조파 유입, 유출을 판별하는 방법을 제한하였다. 주요 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 전력회사 및 각 수용가의 유입, 유출 차수별 고조파 전압, 전류를 파악할 수 있다.
- 2) 전력회사 및 각 수용가의 고조파 전압, 전류의 THD를 파악하여 기여도를 판단할 수 있다.

이상의 결과 고조파 전압, 전류의 위상차를 이용하여 송전계통에 전력회사 및 각 수용가에 정확하게 유입, 유출을 판별할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] IEEE Recommended Practice and Requirement for Harmonic Control in Electric Power Systems. IEEE Std. 519-1992, 1992
 [2] IEC 61000-3-6 Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 3: Limit - Section 6: Assessment of Emission Limits for Distorting Loads in MV and HV system.
 [3] 송전계통의 고조파 관리기준 및 해석기법개발 중간보고서, 전력산업 연구개발사업, 2006.