

# 계통 고조파와 분산형 전원의 상호작용 평가를 위한 고조파 모델에 관한 연구

논 문
60-4-8

## Source Model for Harmonic Interaction Analysis between Renewable Energy Generators and Power Distribution System

조 성 민\* · 신 희 상<sup>†</sup> · 문 원 식\*\* · 김 재 철\*\*\*  
(Sung-Min Cho · Hee-Sang Shin · Won-Sik Moon · Jae-Chul Kim)

**Abstract** - As increase of nonlinear loads and renewable energy generators (REGs) being connected to power distribution system via inverters, the concern on harmonic problems have increased. Recently, the harmonics evaluation method considering TDD (Total Demand Distortion) is used to analyze the effect of harmonics from inverters on power distribution quality. Harmonic current sources are typically used for simulation of nonlinear load. Most inverter type for REGs is voltage source inverter (VSI). So, harmonic voltage sources are more suitable to analyze impact of renewable energy generator on harmonics problem in power distribution system. In this paper, we presented the circuit model to analyze interaction between harmonics from nonlinear load and REGs. We verified that the harmonic analysis using the proposed circuit model is more appropriate than the harmonics evaluation method considering TDD through case study using PSCAD/EMTDC.

**Key Words** : Harmonics, Renewable energy generators, Superposition

### 1. 서 론

기후문제와 화석연료의 고갈로 인해 신재생에너지원을 이용한 분산형 전원의 보급이 촉진 되고 있고 계속적으로 그 보급량이 증가하고 있다. 이 분산형 전원의 용량은 수 kW에서 수십 MW까지 다양하며 그 용량에 따라서 전력 시스템에 연계되는 구성은 다른 형태를 갖게 된다. 이러한 신재생에너지원들을 이용한 분산형 전원 중 태양광 발전(Photovoltaic)이나 연료전지(Fuel cell)의 경우는 그 발전 형태가 직류이어서 인버터(inverter)를 사용하여 교류의 형태로 계통에 연계하고 풍력 발전(wind turbine)의 경우 유연한 운영을 위해 인버터를 이용해 계통에 연계를 하고 있다[1]. 이와 같이 전력 변환 장치를 이용하여 계통에 연계하는 방식은 전력계통 운영자에게 많은 전력 품질에 대한 걱정을 낳는다. 이러한 이유로 분산형 전원의 계통 연계로 인해 발생할 수 있는 문제를 저감하기 위해 분산형 전원의 연계 기술 기준을 정하여 적용하고 있으며 국내 규정으로 한전의 "분산형 전원 배전계통 연계 기술기준"과 국제적으로 널리 참조 되는 규정인 IEEE 1547등이 있다[2][3].

최근 비선형 부하의 증가로 인해 고조파에 대해 많은 관심이 집중되고 있다. 이로 인해 한전은 분산형 전원의 계통

연계를 위한 고조파 기준 뿐만 아니라 배전 계통의 고조파를 관리하기 위한 기준을 발표하고 고조파를 생성하는 부하를 관리하기 위한 노력을 하고 있다[4]. 고조파에 큰 영향을 주는 전기자동차(Electric Vehicle, EV)의 충전 설비와 직류 배전 등에 대한 연구가 진행되는 이 시점에서 여러 고조파에 관련된 요소들의 복합적인 해석은 큰 의미를 갖는다[5].

현재까지 계통의 고조파를 해석하기 위한 모델에 관한 연구[6][7]와 고조파에 의한 영향 저감을 위한 연구[8]는 많이 진행 되었으며 배전계통의 실 계측에 의한 고조파에 관한 연구[9][10] 및 분산형 전원의 고조파 발생에 관한 연구[11][12] 또한 많이 발표되었다. 그러나 계통 고조파와 분산형 전원에서의 고조파의 상호 영향에 관한 연구는 미비한 상황이며 이를 위해서는 분산전원의 고조파 모델이 필수적이다.

본 논문은 배전 계통의 고조파를 관리하기 위한 여러 기준을 살펴보고 분산형 전원의 배전계통 연계로 인한 배전 계통의 고조파 영향을 분석하고 이를 위한 분산전원 고조파원의 모델을 제시하고 이를 분석하기 위하여 전력 시스템 과도해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 활용하였다.

### 2. 고조파 관리 기준

배전계통의 고조파는 송전 시스템에서 전달되는 것과 변압기와 같은 전력 설비에 의해 발생하는 것과 같은 전력회사에 의해 발생하는 것과 전력 변환 장치 및 아크로 같은 부하에 의한 것으로 나눌 수 있다. 이 중 배전계통의 고조파는 주로 부하에 의한 영향을 크게 받는다. 이러한 이유에서 일반적으로 배전계통에서 전압 고조파는 전력회사의 운영 목표 값으로 설정되고 전류 고조파는 부하에 의해 방출되는 것으로 그 제한 값을 설정하여 관리하고 있다[13][14].

\* 정 회 원 : 숭실대 전기공학과 박사과정  
\*\* 준 회 원 : 숭실대 전기공학과 석사과정  
\*\*\* 펠로우회원 : 숭실대 전기공학과 교수  
† 교신저자, 정회원 : 숭실대 전기공학과 박사과정  
E-mail : shs8828@ssu.ac.kr  
접수일자 : 2010년 7월 9일  
최종완료 : 2011년 3월 23일

2.1 IEEE 519-1992

IEEE 519-1992의 전력계통에 대한 고조파 전압 제한 값이 표 1에 정리되어 있다. 이를 참조 하면 한국의 22.9kV 배전계통의 고조파 각 성분은 기본파의 3%를 넘으면 안 되고 종합왜형율(Total Harmonic Distortion, THD)은 기본파 전압의 5%를 넘지 않게 유지해야 한다. 이 목표 범위 이내로 고조파 전압을 관리하기 위해 표 2에 나타난 것과 같이 단락비에 따라서 고조파 전류의 제한 값이 주어진다.

표 1 전압 고조파 제한값

Table 1 Harmonic voltage distortion limits

PCC 전압(V <sub>n</sub> )	각 전압 고조파 성분(%)	종합 왜형율-THD(%)
69kV 이하	3.0	5.0
69kV < V <sub>n</sub> ≤ 161kV	1.5	2.5
161kV 초과	1.0	1.5

표 2 전류 고조파 제한값

Table 2 Harmonic current distortion limits in % of I<sub>L</sub>

V <sub>n</sub> ≤ 69kV						
I <sub>sc</sub> /I <sub>L</sub>	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
69kV < V <sub>n</sub> ≤ 161kV						
< 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	1.25	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
V <sub>n</sub> > 161kV						
< 50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0

이는 부하에서 발생하는 고조파는 전류원의 성질을 갖기 때문에 동일한 크기의 고조파 전류 발생에 의해서 PCC (Point of Common Coupling)에서의 단락전류(Short-Circuit current, I<sub>sc</sub>)가 작을수록 고조파 전압에 미치는 영향이 큰 것을 반영한 것이다. 즉, 동일한 비선형 부하가 고조파 전류를 발생시키는 경우 그로인해 발생하는 고조파 전압의 크기는 선로의 임피던스에 의해서 결정되게 된다. 그러므로 단락 전류가 큰 지점은 선로 임피던스가 작아서 비선형 부하에 의한 고조파 전압의 발생이 작게 나타나게 되고 반대로 단락 전류가 작은 지점은 선로 임피던스가 크기 때문에 비선형 부하에 의한 고조파 전압의 발생이 크게 나타나게 된다. 부하의 고조파 전류를 제한하는 것은 전력회사가 공급 선로의

고조파 전압을 적정 수준으로 유지하여 선형부하에 영향을 주게 되는 것을 경감시키기 위함이므로 IEEE기준에서는 단락비에 따른 고조파 전류량을 제한하고 있다. 여기서 최대부하전류(maximum demand load current, I<sub>L</sub>)는 한달 간격의 최대 부하 전류의 평균값으로 고조파 전류 크기의 상대적 기본 값으로 사용된다. 여기서 TDD(Total Demand Distortion)는 아래의 수식과 같이 최대부하전류에 대한 각 차수의 고조파 전류합의 비율이다[13][15].

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100\% \quad (1)$$

여기서, I<sub>h</sub>=각 고조파 성분의 크기(rms amps)

I<sub>L</sub>=최대부하전류(rms amps)

2.2 IEEE 1547-2003

IEEE 1547은 분산형 전원의 계통 연계에 관한 기준으로 여기서 고조파에 관한 항목은 표 3에 정리하였다. 이 기준은 표 2의 첫 번째 행에서 인용된 내용임을 알 수 있다. TDD는 원래 부하의 전류 고조파를 고려하기 위해 만든 지수로 그 의미가 발전원에서는 모호함이 있어 최근에는 TRD (Total Rated Distortion)로 변형되어 사용되고 있다[3][16].

표 3 분산형 전원 연계 전류 고조파 제한값

Table 3 Harmonic current distortion limits for DG interconnection

고조파 차수	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	TDD
비율	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

2.3 IEC 61000-3-6

IEC61000 시리즈는 고조파의 측정과 평가에 대해서 자세 히 다루고 있으며 그중 IEC61000-3-6은 배전계통에 해당하는 중압(Medium Voltage, MV)의 부하에 의한 고조파의 방출 한계 평가에 대해 기술하고 있다. 표 4는 중압 배전 계통에서 유지해야하는 고조파 전압의 계획 수준을 정리한 것이다. 이 계획 수준을 유지하기 위해 부하 고조파 전류의 합성과 임피던스에 의한 계산을 통해 각 부하의 고조파 허용 수준을 결정하여 사용한다[17].

2.4 한전 고조파 관리 기준

새로운 한전의 고조파 관리 기준은 IEC의 관리 기준과 유사한 형태를 갖고 있다. 표 5에 정리된 것과 같이 배전계통과 송전계통의 고조파 전압의 허용 목표를 설정하고 일정 크기 이상의 부하에 대해 허용 고조파 전압의 크기를 할당하고 그 할당된 고조파 전압의 크기와 계통의 임피던스로 고조파 전류 제한 값이 할당되어 관리된다[4].

표 4 전압 고조파 계획 수준

Table 4 Planning levels for Harmonic voltage for MV system

기수 고조파				우수 고조파	
3의 배수 이외		3의 배수			
차수 h	고조파 전압 %	차수 h	고조파 전압 %	차수 h	고조파 전압 %
5	5	3	4	2	1.6
7	4	9	1.2	4	1
11	3	15	0.3	6	0.5
13	2.5	21	0.2	8	0.4
17	1.6	>21	0.2	10	0.4
19	1.2			12	0.2
23	1.2			>12	0.2
25	1.2				
>25	$0.2+0.5 \times 25/h$				

주) 종합 고조파 왜형률(THD) : 6.5%

표 5 한전 전압 고조파 허용 목록

Table 5 Permissible levels for Harmonic voltages in KEPCO

기수 고조파						우수 고조파		
3의 배수 이외			3의 배수					
차수 h	고조파 전압 %		차수 h	고조파 전압 %		차수 h	고조파 전압 %	
	배전계통	송전계통		배전계통	송전계통		배전계통	송전계통
5	3.8	1.7	3	3.1	1.4	2	1.3	0.6
7	3.1	1.4	9	0.9	0.4	4	0.6	0.3
11	2.2	1.0	21	0.2	0.1	6	0.3	0.1
13	1.9	0.9				8	0.3	0.1
17		0.6						
19		0.5						
23		0.4						
25		0.4						
29	$\{1.36 \times (17/h)\}$ - 0.16	0.3	>21	0.2	0.1	>8	$\{(0.15 \times (10/h))\}$ + 0.15	0.1
31		0.3						
35		0.2						
37		0.2						
41		0.2						
43		0.2						
47		0.2						
49	0.1							

주) 종합 고조파 왜형률(THD) : 배전계통에서 5%

3. 분산형 전원과 계통에 의한 고조파 분석을 위한 고조파 모델

앞의 IEEE기준에서 살펴본 것과 같이 일반적으로 비선형 부하에 의한 고조파 발생은 전류원의 성질을 갖는다. 즉 일정한 부하량이 소비될 시 일정한 고조파 전류를 소비하게 되고 이는 계통의 관점에서는 고조파 전류원으로 동작하는 것과 같게 된다[13-15]. 반면 VSI(Voltage Source Inverter)를 이용하여 계통과 연계하는 분산전원은 IGBT소자 등을 이용하여 아래와 같은 구조를 갖고 있으며 power controller

에 의해 출력 전류를 피드백하여 인버터가 생성하는 전압의 d축 성분과 q축 성분을 독립적으로 제어하여 원하는 유효 전력 출력과 무효전력 출력을 제어한다[18]. 그러므로 일반적인 인버터에서는 출력의 기본파 성분을 계측하여 제어기에 의해 제어되고 제어기의 명령값이 일정하면 스위치의 동작에 의해서만 고조파 전압이 발생되게 된다. 그러므로 기본파 성분에 대한 지령값이 일정한 상태라고 가정하면 이러한 특징으로 인해 VSI를 사용하는 분산전원의 고조파 모델은 전압원으로 구성이 가능하다.

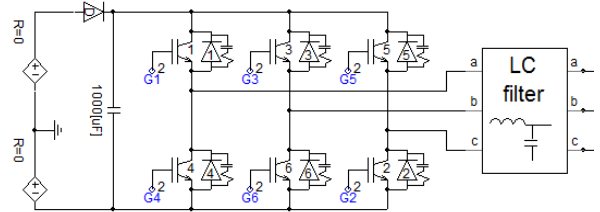


그림 1 전압형 인버터 구조  
Fig. 1 Structure of Voltage Source Inverter

분산전원의 고조파원 성질은 접압원의 성질을 갖기 때문에 계통의 고조파 전압과 임피던스에 의해서 발생하는 고조파전류의 크기가 결정되어진다. 이 분산전원에 의한 고조파 전류를 제어하기 위해 별도의 제어기를 추가하여 인버터 제어를 하는 기법이 참고문헌 [1]등의 논문에서 소개 되고 있지만 인버터 비용의 증가와 기법의 복잡성으로 인해 분산전원에 의한 고조파 출력은 수동 필터를 설치하여 제한하고 있다.

그러므로 분산형 전원에 의한 고조파와 계통의 비선형 부하에 의해 발생하는 고조파의 상호 분석을 위해서는 그림 2와 같은 회로모델을 이용한 해석이 타당하며 이를 바탕으로 한 분산형 전원의 배전계통에 대한 고조파 영향을 판단하는 것이 바람직하다.

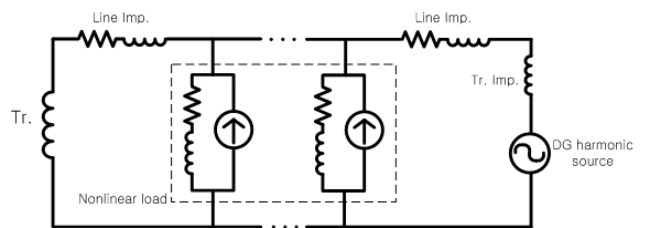


그림 2 분산형 전원과 부하 고조파 모델  
Fig. 2 Harmonic source models for DG and nonlinear load

4. 계통 고조파와 분산형 전원 고조파의 상호 영향 분석

계통에서 발생하는 고조파와 분산형 전원에 의한 고조파의 상호 영향을 분석하기 위해 그림 3과 같은 간단한 모의 계통을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 분석하였다. 모의 계통의 각각의 변수는 표 6에 정리하였으며 부하의 고조파는 일

반적으로 부하에 의해 발생하는 고조파를 모의하기 위한 전류원 모델을 사용하였고 분산형 전원의 고조파 모델은 분산형 전원의 제어기에 의한 영향을 배제하기 위해 제어기에 의해 feedback 되는 모델이 아닌 단순 지령에 의해 open loop control로 동작되는 모델로 가정하였으며 대부분의 분산형 전원의 연계에 사용되는 VSI(Voltage Source Inverter)를 모의하기 위해 3, 5, 7 고조파 전압원을 모델로 사용하였다[6-8].

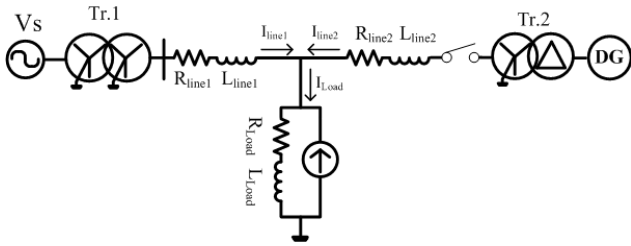


그림 3 시뮬레이션을 위한 모의 계통  
Fig. 3 Model system circuit for simulation

표 6 모의 계통의 변수  
Table 6 Model system parameter

변수		수치	비고
Tr. 1	용량	60 [MVA]	
	Impedance	15 [%]	
	Ratio	154 : 23	
Tr. 2	용량	1 [MVA]	
	Impedance	5 [%]	
	Ratio	23 : 0.38	
R_line1, R_line2		0.185 [ohm]	
L_line1, L_line2		0.94329 [mH]	
R_Load		238.26 [ohm]	2MW pf: 0.95
L_Load		0.2077 [H]	

계통 고조파와 분산형 전원의 고조파의 상호 영향을 분석하기 위해 표 7에 나타낸 것과 같이 3가지 case로 구분하여 모의하였다.

표 7 모의 case 구분  
Table 7 Simulation cases

	계통 부하	분산형 전원
Case1	고조파 발생	고조파 미발생
Case2	고조파 미발생	고조파 발생
Case3	고조파 발생	고조파 발생

#### 4.1 Case1: 부하에 의한 고조파만 발생 시

부하에 의해 발생하는 고조파에 관한 모의에서는 표 8에 정리된 3, 5, 7 고조파 전류를 부하에서 발생하는 것으로 모의하여 분산형 전원 연계시 고조파 전류의 흐름을 분석하였다. 그림 4에 나타낸 것과 같이 분산형 전원의 차단기가 개방되어 있을 시에는 부하에 의한 고조파는 전원 방향으로만 흐르게 된다. 이와 달리 분산형 전원의 투입으로 변압기가

연결되면 부하에 의한 고조파 전류가 주전원방향과 분산형 전원 방향으로 임피던스의 비율에 따라서 분류되어 흐르게 되는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 분산형 전원의 연계 변압기가 접지원을 공급하여 영상성분이 대부분인 3의 배수의 고조파는 이 접지를 통해 흘러 나가고 나머지 고조파는 분산형 전원측으로 흐르게 된다.

표 8 부하에 의해 발생하는 고조파 전류  
Table 8 Harmonic current emission for load

기본파	3고조파	5고조파	7고조파
74.53 [A]	5.30[A]	3.5[A]	2.83[A]

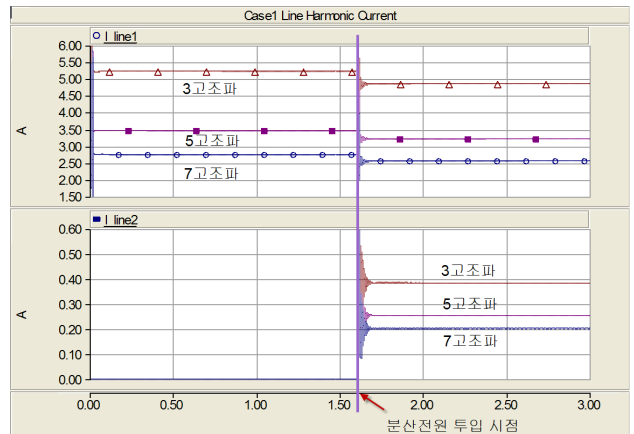


그림 4 분산형 전원 연계시의 선로 고조파 전류  
Fig. 4 Harmonic current at line1, 2

그림 4에 나타낸 선로 line1과 line2에 흐르는 각 고조파 전류의 크기를 분산형 전원 투입 전후로 구분하여 표 9에 정리하였다. 표 8에 나타낸 부하에 의해 유입되는 고조파 전류가 분산형 전원의 투입 전후로 각 선로에 분기되어 흐르는 것을 알 수 있다.

표 9 분산형 전원 연계 전후 선로 고조파 전류  
Table 9 Harmonic current under DG interconnection

단위[A]		3고조파	5고조파	7고조파
DG 투입전	I_line1	5.23	3.46	2.76
	I_line2	0	0	0
	합계	5.23	3.46	2.76
DG 투입후	I_line1	4.85	3.22	2.57
	I_line2	0.38	0.25	0.20
	합계	5.23	3.47	2.77

#### 4.2 Case2: 순수 계통에 분산형 전원의 고조파만 발생 시

case2에서는 계통의 부하는 고조파성분을 발생하지 않고 분산형 전원에서 고조파 전압이 표 10에 나타낸 것과 같이 임의로 발생할 경우의 선로에 흐르는 고조파 전류를 분석한 case로 그 결과는 표 11에 정리하였다.

표 10 분산형 전원의 고조파 전압 발생량

Table 10 DG Harmonic voltage emission

	3고조파	5고조파	7고조파
고조파 전압[V]	3.54	2.12	1.41

표 11 분산형 전원 고조파에 의한 선로 고조파 전류

Table 11 Harmonic current due to DG harmonic voltage

단위[A]	3고조파	5고조파	7고조파
$I_{line1}$	0.00	0.87	0.41
$I_{line2}$	0.00	0.89	0.42

분산형 전원 연계 변압기의 분산형 전원측 결선이 델타 결선이기 때문에 영상성분인 3고조파 전류는 선로에 흐르지 않고 차단됨을 알 수 있고 분산형 전원에서 발생하는 고조파 전압과 그림 3의 모델 계통의 임피던스에 의해 고조파 전류가 발생함을 알 수 있다.

3.3 Case3: 분산형 전원과 부하가 함께 고조파 발생 시

case 3은 앞서 모의한 case1과 case2의 조건을 동시에 적용한 것으로써 그 결과는 표 12에 복소수형태와 크기를 정리하였다. 각 고조파 성분들이 중첩의 원리에 의해 분산형 전원에 의해 발생하는 고조파 전류와 부하에 의해 발생하는 고조파 전류가 각각의 선로에서 합성되어 흐르는 것을 알 수 있다.

표 12 분산형 전원과 부하의 고조파에 의한 선로 고조파 전류

Table 12 Harmonic current due to DG and load harmonic

단위[A]		3고조파	5고조파	7고조파
$I_{line1}$	case1	-3.80-j3.01 (4.85)	-3.20-j0.24 (3.21)	-2.23+j1.27 (2.56)
	case2	0	-0.82-j0.28 (0.87)	-0.37-j0.18 (0.42)
	case3	-3.80-j3.01 (4.85)	-4.02-j0.52 (4.06)	-2.60+j1.09 (2.82)
$I_{line2}$	case1	-0.31-j0.23 (0.38)	-0.25-j0.02 (0.25)	-0.17+j0.10 (0.20)
	case2	0	0.83+j0.30 (0.89)	0.37+j0.19 (0.42)
	case3	-0.31-j0.23 (0.38)	0.58+j0.28 (0.64)	0.20+j0.29 (0.35)

표 12에서 분산형 전원이 연계되는 line2에 흐르는 고조파 전류를 살펴보면 순수한 분산형 전원에 의해 발생하는 고조파 전류(case 2)의 크기는 5고조파가 0.89[A]이고 7고조파가 0.42[A]이지만 부하에 의한 고조파 전류(case1)와 합성이 되면 그 크기가 5고조파 전류는 0.64[A]이고 7고조파 전류는 0.35[A]가 되어 분산형 전원에 의해 유입되는 고조파 전류가 작게 보이는 효과가 있다. 고조파 전류들의 위상에 따라서는 그 크기가 중첩이 되어 분산형 전원에 의해 유입되는 고조파의 전류가 크게 보이는 효과도 발생 할 수 있다.

이는 현재의 분산형 전원에 의한 고조파 규정 중에서 IEEE 1574의 제한규정과 같이 단순하게 분산형 전원과 계통이 연계된 지점에서 흐르는 고조파 전류만을 기준으로 분산형 전원이 계통 고조파에 미치는 영향을 판단하기에는 무리가 있다. 심각할 경우 분산형 전원에서 발생하는 고조파전압이 작고 계통의 고조파전압이 클 경우 분산형 전원과 계통과의 연계 지점에는 많은 고조파 전류가 흐르게 되는데 이는 분산형 전원측에 의한 것은 아니기 때문이다. 게다가 전류의 방향의 검출은 흔히 전압과 위상차를 검출하여 판단하지만 고조파 전류는 기본파 성분과는 다르게 일정한 역률 내에서 발생한다는 가정이 성립되지 않아 고조파 전류의 방향을 검출하는 것은 쉬운 일이 아니다.

5. 결 론

본 논문에서는 배전계통의 비선형 부하에 의한 고조파와 분산형 전원에 의한 고조파의 상호 작용을 해석하기 위한 회로 모델을 제시하였다. 비선형 부하에 의한 고조파는 고조파 전류원을 일반적으로 사용해 왔으며 인버터를 사용하는 분산형 전원은 고조파 전압원을 모델로 사용하여 이 두 고조파 발생원을 중첩의 원리로 풀이하였다. 3의 배수 고조파는 대부분 영상 성분을 갖고 있어 분산형 전원의 연계에 일반적인 Y(계통)- $\Delta$ (분산형 전원) 결선의 변압기에서 걸러지는 것을 확인 하였다. 또한 모델 계통의 해석을 통해 분산형 전원의 연계 점으로 흐르는 전류는 분산형 전원에 의한 전류와 배전계통에 의한 고조파 전류가 중첩이된 것으로 실제 분산형 전원이 배전계통 고조파에 미치는 영향을 판단하기 위한 척도로는 부적합함을 알 수 있었다. 그러므로 현장에서 분산형 전원에 의한 배전계통의 고조파 영향을 판단하기 위해서는 보다 개선된 기법에 의한 평가가 필요함을 확인할 수 있었다. 보다 실질적인 고조파 분석을 위해서는 인버터의 제어기의 특성을 반영한 고조파 모델이 추가적으로 연구되어야 하며 실측 데이터를 통한 이의 검증이 계속적으로 진행되어야 하겠다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 전력산업기반기금 지원에 의하여 한국전기안전공사 주관으로 수행된 과제입니다.

참 고 문 헌

[1] F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre and A. V. Timbus, "Overview of Control and Grid synchronization for Distributed Power Generation Systems", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 53, No. 5, October, 2006  
 [2] 한국 전력 공사 배전처, "분산형 전원 배전계통 연계 기술기준", 2005

- [3] IEEE 1547, "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems", 2003
- [4] 한국 전력 공사 배전품질팀, "배전계통 고조파 관리기준(잠정)", 2009
- [5] 지식경제부, "스마트그리드 국가로드맵", 2010, 01, 25
- [6] Makoto Saito, Takaharu Takeshita and Nobuyuki Masui, "Modeling and Harmonic Suppression for Power Distribution Systems", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 50, No. 6, pp. 1148-1158, 2003
- [7] 왕용필, 정종원, 정동일, "배전 시스템의 고조파 분석 및 모델링에 관한 연구", 조명전기 설비학회 논문지, 제 21권, 제 3호 p62~68, 2007
- [8] 유상봉, "전기설비에서의 고조파 대책 기술", 조명전기 설비학회지, 제 13권, 제 4호, p40~52, 1999,
- [9] 김경철, 김유준, "실측에 의한 특고압 수용가의 고조파 평가에 관한 연구", 조명전기 설비학회 논문지, 제21권, 제3호, pp. 50-55, 2007
- [10] 김경철, 진성은, 이주홍, 전영수, "시간에 따라 변하는 전기로 부하의 고조파 측정, 평가 및 시뮬레이션에 관한 연구", 조명전기 설비학회 논문지, 제 20권, 제 5호, pp. 9-17, 2006
- [11] Wenqiang He, Hans Peter Nee, "Current Harmonics Analysis of The DG Interconnection by Modeling and Simulation", IEEE/PES T&D Conference & Exhibition, 2005
- [12] David G. Infield, Peter Onions, Anton D. Simmons and Gordon A. Smith, "Power Quality From Multiple Grid-Connected sing-phase Inverters", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 19, No. 4, pp. 1983-1989, 2004
- [13] IEEE Harmonics Working Group and SCC22, "Guide for Applying Harmonics Limits on Power Systems", 1996
- [14] Roger C. Dugan, M. F. McGranaghan, "Electrical Power System Quality", McGraw-Hill, 2004
- [15] IEEE 519, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, 1992
- [16] IEEE 1547.1, IEEE Standard Conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, 2005
- [17] IEC61000-3-6, Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems - Basic EMC publication, 2008
- [18] S. K. Kim, J. H. Jeon, C. H. Cho, E. S. Kim, J. B. Ahn, "Modeling and simulation of a grid-connected PV generation system for electromagnetic transient analysis", Solar Energy, Vol. 83, No. 5, May 2009, 664-678

## 저 자 소 개



### 조 성 민 (趙 成 旻)

1980년 10월 03일생. 2003년 숭실대학교 전기공학과 졸업(학사). 2008년 동대학 전기공학과 졸업(석사). 현대 동 대학원 전기공학과 박사수료.

Tel : 02-824-2416

Fax : 02-817-0870

E-mail : dannyone@ssu.ac.kr



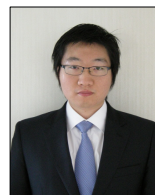
### 신 희 상 (申 熙 尙)

1980년 09월 18일생. 2007년 숭실대학교 전기공학과 졸업(학사). 2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사수료.

Tel : 02-817-7966

Fax : 02-817-0870

E-mail : shs8828@ssu.ac.kr



### 문 원 식 (文 原 植)

1982년 2월 15일생. 2009년 숭실대 전기 공학부 졸업, 현재 숭실대 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 02-824-2416

Fax : 02-817-0780

E-mail : onesMoon@ssu.ac.kr



### 김 재 철 (金 載 哲)

1955년 7월 22일생, 1979년 숭실대학교 전기공학과 졸업, 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1987년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사), 현재 숭실대학교 전기공학과 교수.

Tel : 02-817-0647

Fax : 02-817-0870

E-mail : jckim@ssu.ac.kr