

## 분산전원 환경에서의 인근 수용가의 특정 수용가에 대한 고조파 영향 분석

송종석\*, 변길성\*, 황성철\*, 장길수\*, 한운기\*\*, 박찬엄\*\*, 고원식\*\*  
 고려대학교\*, 한국전기안전연구원\*\*

### Analysis on the effect of harmonic loads on other loads in a distributed generation environment

Chong Suk Song\*, Gilsung Byeon\*, Sung-chul Hwang\*, Gilsoo Jang\*, Woonki Han\*\*, Chan Eom Park\*\*, Won Sik Go\*\*  
 Korea University\*, KESCO\*\*

**Abstract** - In this paper, an analysis is being performed on the effect of harmonics on loads in a distributed generation environment which includes renewable energy sources such as wind farms. The paper will assess the limits of the harmonic content that is allowed to be present in the adjacent loads while conforming to the distributed generation connection standards. The analysis is being performed in PSCAD/EMTDC where field measurements of wind data is being employed for the study.

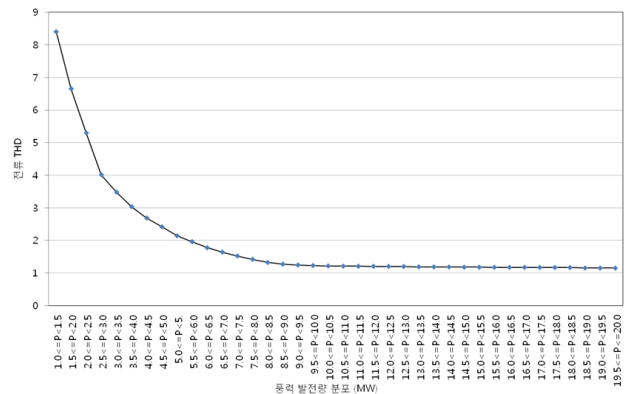
러한 분산전원의 규모가 커짐으로 인해 풍력발전이 인근계통에 미치는 영향 및 인근 고조파원이 풍력발전 및 인근 수용가에 미치는 영향에 대한 분석이 필요하게 된다. 풍력발전과 같은 신재생에너지원은 출력이 낮은 경우에는 높은 전압 및 전류 THD의 특성을 가지고 있으며 그림 1에서와 같이 출력에 따른 전류 THD의 분포를 가지고 있다. 풍력발전의 규모가 커짐으로 인해 인근 부하들이 공급받는 풍력발전비율이 증가하게 된다. 이러한 분산전원이 인근 수용가에 미치는 영향이 커짐으로 인해 인 근 피더에서의 고조파 발생원에 대한 제한치를 산정하는 것이 점점 중요해지고 있다. 고조파원의 영향을 산정하기 위해서는 모델 기반 기법 및 데이터 기반 기법이 있다 [2]. 본 논문에서는 대기산 풍력단지에서 실제 측정된 풍속 데이터를 이용하여 가변 고조파원을 추가해 분산전원 계통연계 전력품질 기준이 위배되지 않은 선에서의 발전량에 따른 고조파원의 한계치를 산정하고 있다.

### 1. 서 론

1997년에 교토의정서가 발효되면서 국제적인 에너지 문제와 지구 온난화 등의 환경문제가 심각하게 대두되고 있는 상황이다. 이와 같은 상황에서 에너지 및 환경문제를 동시에 해결할 수 있는 방법은 에너지 절감과 신재생에너지 등의 분산전원의 활용을 통해 이루어져야 된다는 것이 국내외의 입장이다. 이에 따라 국내외에서 신재생에너지 개발이 양적 질적 성장이 계속되고 있고, 전력계통과의 활발한 연계가 예상되고 있다. 분산전원은 기존 전력계통 연계 시 수용가의 전기적 안정성을 평가하기 위하여 분산전원 발전의 특성, 전력계통의 특성 및 수용가 설비의 특성을 파악하고 상호간에 상관관계 파악이 우선시 되어야 한다 [1].

본 연구에서는 풍력발전 및 태양광발전을 기존 전력계통 연계 시 기술적인 과제 즉, 전력품질에 관련된 문제점을 해결하기 위해 각각의 발전과 인근변전소, 인근 수용가의 전력품질 모니터링 시스템을 구축하였으며 측정된 데이터를 이용하여 다양한 케이스의 시뮬레이션을 수행하기 위하여 PSCAD/EMTDC를 이용, 인근계통을 모델링하였다. 본 논문에서는 실제 풍속 데이터를 이용하여 풍력발전 및 인근계통을 모델링하였으며 분산전원 연계기준을 부합하는 인근수용가의 고조파 양의 허용치를 산정하고자 한다.

전류 THD 분포 (1.0<P<=20MW)

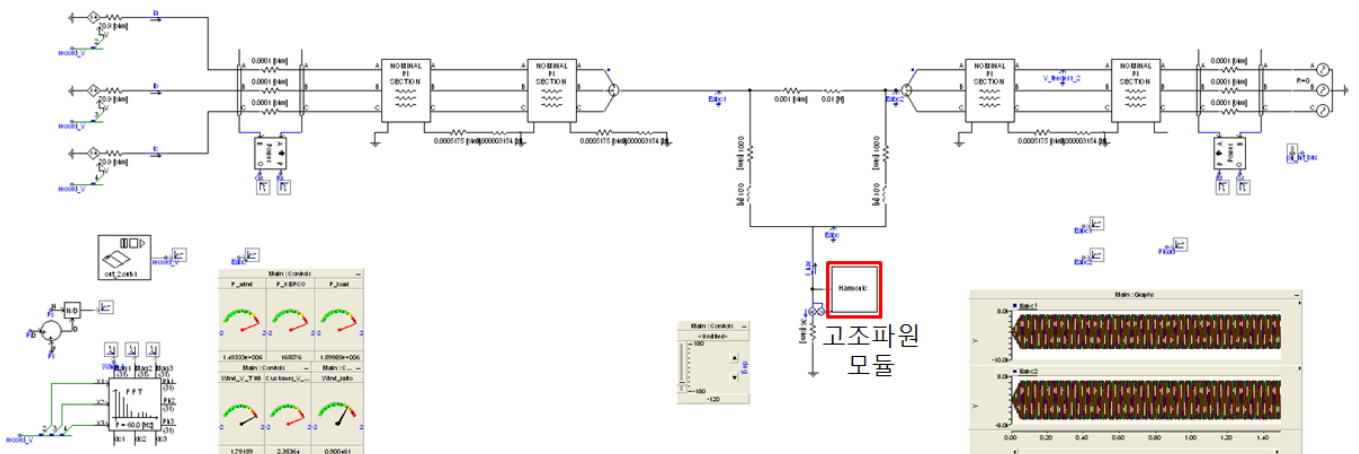


### 2. 실제 풍속 데이터를 이용한 고조파원 부하가 인근 계통에 미치는 영향 분석에 관한 모델링

#### 2.1 풍력발전의 특성 및 인근 고조파원 분석 필요성

풍력발전은 가변적인 특성 및 불평형 전류로 인한 다양한 이유로 계통에 고조파원을 주입하게 된다. 이와 같은 현상이 인근 수용가 또는 계통의 허용치를 넘어서게 되면 배전계통에 영향을 미칠 우려도 있다. 이

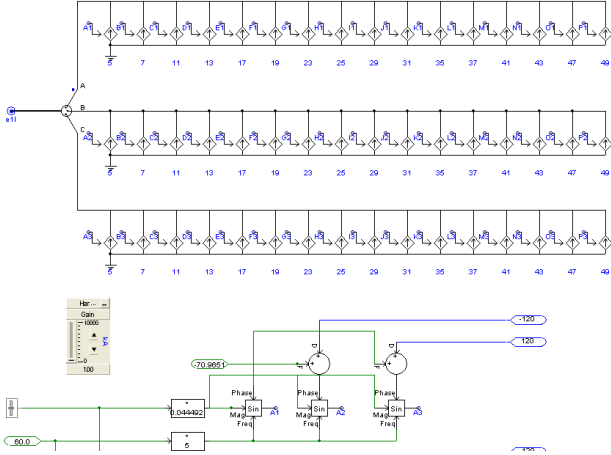
<그림 1> 풍력발전량 분포에 따른 전류THD 변화 (전구간)



<그림 2> 풍력발전 인근 계통 모델링

## 2.2 풍력발전 인근 계통 및 고조파원 모델링

풍력발전 인근 계통을 구성하기 위해 한전계통을 무한모선으로 축약하고 풍력발전소는 PSCAD/EMTDC 툴에서 외부 데이터를 시뮬레이션에 적용시키기 위한 모델을 활용하여 실제 측정된 데이터를 입력 받아 그림 2와 같이 계통을 구성하였다. 그림 2에서의 부하는 그림 3과 같은 가변 고조파원 모델을 추가하여 풍력발전량에 따른 고조파원의 한계치를 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션을 통하여 산정할 수 있게 된다.



〈그림 3〉 고조파원 모델링

### 2.2.1 풍력발전 및 인근 수용가 전류고조파 측정

현재 적용되는 품질기준에 따르면 전류고조파에 대해서는 TDD가 5.0% 미만을 유지된 상태에서 계통이 운영되어야 한다. 앞서 말한 것처럼 풍력발전소에서 생산되는 전력이 낮을 경우에는 높은 전류 고조파가 측정되며 풍력발전소에서 각각 1.5MW 및 2.7MW가 생산되었을 경우에는 풍력발전소 PCC에서 측정되는 전류 THD는 각각 6.71489 및 3.53268이다. 만약 인근 수용가가 전적으로 풍력발전소에서 전력을 공급받게 되면 위에서 언급되고 있는 품질기준을 위배하게 된다. 하지만 풍력발전비율을 낮추게 되면 전류 THD는 급격하게 떨어지는 것을 볼 수 있게 된다. 가령 예를 들면, 풍력발전비율을 90%로 바꾸게 되면, 즉, 10%는 상위계통에서 공급받을 경우에는, 인근수용가 PCC에서는 각각 1.70989 및 1.121289가 시뮬레이션을 통해 확인될 수 있게 된다. 표 1에서는 풍력발전량비율에 따른 전류 THD를 나타내고 있다.

〈표 1〉 풍력발전량별 풍력발전량 비율에 따른 전류 THD

풍력발전량 비율 (%)	전류 THD (%)					
	100	90	70	50	30	10
1.3 ~ 1.4	6.71489	1.70989	1.59598	1.42068	1.13466	0.58396
2.7 ~ 2.8	3.53268	1.21289	1.11781	0.98466	0.75759	0.34374
3.7 ~ 3.8	2.66993	1.2327	1.09007	0.92189	0.66616	0.32169
5.0 ~ 5.1	2.1357	1.01077	0.90709	0.76347	0.53695	0.22581
6.0 ~ 6.1	2.05175	0.76986	0.70708	0.70261	0.59244	0.35817

### 2.2.2 품질기준을 만족하는 전류고조파원 한계치 산정

위에서는 인근 수용가에서 전류고조파가 없는 경우를 고려하여 풍력발전비율에 따른 인근 수용가에서 측정되는 전류 THD에 대한 시뮬레이션의 결과이다. 인근 수용가가 전류 고조파를 발생시킬 경우에는 풍력발전소에서 발생하는 고조파와 중첩이 되어 상대적으로 작은 양의 고조파를 발생시켜도 인근 부하들에게 악영향을 끼치며 품질기준을 위배할 수 있게 되어 인근 수용가가 발생시킬 수 있는 적절한 전류고조파원 한계치를 산정하는 것이 매우 중요하다. X 피더에서 발생하는 h차 전류 고조파는 다음과 같은 식을 이용하여 계산을 할 수 있게 된다 [2].

$$\vec{I}_{h,X} = \frac{\vec{I}_{h,A}}{Z_{h,XA}} + \frac{\vec{I}_{h,B}}{Z_{h,XB}} + \frac{\vec{I}_{h,C}}{Z_{h,XC}} + \vec{I}_{h,X0} \quad (1)$$

여기서  $\vec{I}_{h,A}, \vec{I}_{h,B}, \vec{I}_{h,C}$ 는 부하 A, B, C 각각에서 발생하는 고조파 전류이고  $\vec{I}_{h,X0}$ 는 고조파의 영향을 평가하려고 하는 피더의 전류 고조파원이다. 마디 X에 대한 부하A의 고조파 영향을 분석하기 위해서는 식 (1)을 첫 번째 항과 나머지 항으로 분해할 수 있다. 마디 X에 대한 모선A의 고조파 영향은 다음과 식(2)로 정리할 수 있게 된다.

$$HI_{Load A}^{Branch X} = \frac{|\vec{I}_{h,XA}|}{|\vec{I}_{h,X}|} \cos\beta \times 100\% \quad (2)$$

식(2)를 이용하여 표 2에서와 같은 전류 고조파원을 모델링하였다. 여기서 부하 A는 지배적인 전류 고조파원으로 풍력발전소를 선택하였고 마디 X는 영향 평가하고자 하는 부하이다. 위에서 풍력발전량 비율에 따른 전류 THD 시뮬레이션에서 가장 심각한 케이스는 1.5MW-풍력발전비율 90%이며 해당 케이스를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

〈표 2〉 고조파 전류원 모델링 (풍력발전 1.5MW-풍력발전비율 90%)

차수	크기 (kA)	위상각
5	2.11337	70.9651
7	1.50955	36.8549
11	0.959025	72.4849
13	0.816953	-179.685
17	0.621585	3.0149
19	0.550525	-36.2251
23	0.461748	-0.5851
25	0.426218	41.8049
29	0.355205	76.0949
31	0.33744	-109.215

여기서 기본 성분인 60Hz의 전류파형의 크기는 59.7658kA이며 해당 케이스에서는 품질기준을 위배하는 가장 작은 고조파원의 크기를 나타내고 있으며 표 2에서보다 큰 크기의 고조파 전류원은 위상각에 따라 품질기준을 초과할 수 있게 된다. 식 (2)를 이용하여 다양한 조건하에서의 인근 수용가에 대한 고조파 영향을 분석할 수 있으며 각 계통의 구성에 따른 적절한 분산전원의 규모 및 허용할 수 있는 고조파원의 크기를 정확하게 산정할 수 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 분산전원 환경하에 고조파원들이 인근 수용가에 미치는 영향을 분석하였고 품질기준을 만족하기 위한 특정 고조파원에 대한 전류 고조파 한계치를 산정하는 과정에 대한 방법론을 구상하였다. 방법의 적정성을 위하여 실제 풍속 데이터를 적용하여 시뮬레이션을 수행하였고 풍력발전량 비율에 따른 전류 THD에서 가장 심각한 케이스를 활용하여 해당 고조파원에 대한 전류 고조파 한계치를 산정하는데 활용하였다. 향후 연구로는 해당 연구를 기반으로 실제 데이터를 이용하여 전류고조파 발생원을 식별하고 해당 고조파원이 계통에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 분석과 동시에 이러한 데이터를 기반으로 적절한 분산전원 규모 산정을 하는 방법론을 제시할 것이다.

## 4. 감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2008T100100408)

## 참 고 문 헌

- [1] 송승호, 김일환, 한병문, “풍력발전기의 전기적 특성과 계통연계 시 상호작용”, 전력전자학회지, 8권, 6호, pp. 21-27, 2003.
- [2] H. E. Mazin, W. Xu, B. Huang, “Determining the Harmonic Impacts of Multiple Harmonic-Producing Loads”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 26, No. 2, pp. 1187-1195, Apr. 2011.