

태양광발전시스템이 설치된 대전력 수용가의 Active Filter 기능 적용의 필요성

성낙권\*, 박민원\*\*, 유인근\*  
 창원대학교\*, 차세대초전도응용기술개발사업단\*\*

Application Necessity of the Active Filter Function to Photovoltaic Power Generation System installed in Building Systems

Nak-Gueon Seong\*, Minwon Park\*\*, In-Keun Yu\*  
 Changwon National University\*, CAST\*\*

**Abstract** - With significant development of power electronics technology, the proliferation of nonlinear loads such as static power converters has deteriorated power quality in power transmission and distribution systems. Notably, voltage harmonics resulting from current harmonics produced by the nonlinear loads have become a serious problem in many countries. There are already a lot of PV power generation systems installed in building systems whose harmonics are the worst object for distribution systems as a utility interactive system and also it tends to spread out continuously. In this paper, the authors propose a multi-function inverter control strategy which puts a shunt active filter function to the power inverter of the PV power generation system established on a building system. The effectiveness of the proposed system is demonstrated through the simulation of hypothetical power system using PSCAD/EMTDC.

1. 서 론

오늘날 전력품질에 관한 중요성은 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 전력계통에 있어서 공급자는 고조파가 섞이지 않은 깨끗한 전압을 공급해야 할 의무가 있고, 또한 소비자는 가능하면 계통으로 고조파를 발생시키지 말아야 한다. 양쪽 모두 문제되는 것은 비선형 부하이다. High-power diode/thyristor rectifiers, cyclo-converters와 같이 알려진 고조파 발생 부하 이외에도 일반 빌딩에서와 같은 Multiple low-power diode rectifiers는 배전 라인에서 심각한 고조파 공해를 만들어낸다.

전력 송-배전 시스템에서 고조파를 보상하기 위한 방법으로 Active Filter(AF)가 오래 전부터 대두되었으며 전력전자 기술의 발전과 더불어 현재 AF에 대한 많은 연구와 발전이 이루어졌다.

본 논문에서는 미래의 에너지원으로 각광받고 있는 태양광발전시스템(PV Generation System)을 계통에 연계하여 사용함에 있어, 태양광발전시스템을 포함한 복합 빌딩 시스템 등에서 AF의 사용 유무에 따른 고조파 경감효과를 EMTDC를 사용하여 비교 시뮬레이션 하여 해석하였다.

2. 고조파 발생과 액티브필터의 적용

2.1 고조파의 발생

전력계통의 규모는 날로 커지고 부하 조건 또한 매우 다양해지고 있다. 특히 오늘날의 부하는 다량의 전력변환 장치를 사용하고 있으며, 변환장치에 사용되는 비선형형 전력반도체 소자의 사용은 고조파의 발생을 가져온다. 이와 같은 전력변환장치의 사용 증가로 회로소자의 스위칭 기능에 의해 발생한 고조파는 전력설비에 좋지 못한 영향을 미치고 있다. 특히 인버터와 같은 비선형 장치에서 발생하는 고조파가 전원측 및 부하측에 전달되어 기기 및 전원시스템의 신뢰성을 떨어뜨리는 전력품질 저하의 큰 요소로 작용하고 있다[1-3]. 이러한 고조파 전류는 각종 전력장치들에 열 및 진동을 발생시켜서 절연파괴 또는 수명 단축을 야기할 수 있으며, 계통 모든 기기나 전력용 소자들의 용량 증대의 주요한 요인이 된다. 특히 조정밀 기기나 마이크로 프로세서등의 전원엔 민감한 부하는 고조파로 인해 고장 및 오동작, 전원 차단 결과를 발생시킬 수 있다.

고조파 발생 부하로는 대용량의 알려진(identified) 고조파 발생부하 외에 가정, 사무용 기기에서 발생하는 알려지지 않은(unidentified) 고조파 발생부하가 있다. 최근 들어 가정, 사무용 기기의 사용이 급격히 증가하면서, 이러한 다수의 소용량 기기로부터 발생하는 고조파의 전체 양이 증가하여 고조파 장애에 적지 않은 영향을 미치고 있다. 표 1은 업무용 표준 수용가의 5고조파 전류의 비율을 예측한 결과를 보여준다[4]. 예측되어지는 5고조파의 발생량은 1.1%에서부터 크게는 9.4%에 달하는 것을 확인할 수 있다.

표 1 업무용 표준 수용가의 제 5고조파 전류의 비율

	컴퓨터	복사기	에어컨	전원장치	조명	조판기	기타
사용량 [W]	26.0	14.7	200.0	191.9	34.2	78.5	500
5고조파 [%]	1.7	1.1	9.4	5.0	2.4	1.6	0.0

2.2 태양광발전시스템

태양광발전시스템은 각광받는 미래의 에너지원으로써 점차 그 사용분야를 넓혀가고 있다. 태양광발전시스템의 경우 계통과 연계를 시키기 위해서는 직류를 교류로 변환시키기 위한 인버터가 필요하다. 여기서 인버터의 스위칭 신호를 제어하여 인버터의 출력전류에 태양광발전시스템의 출력뿐만 아니라 고조파를 보상하는 전류를 더

하는 방법을 생각할 수 있다. 저자는 태양광발전시스템의 출력제어를 위한 인버터의 제어에 AF의 기능을 결합하는 방법을 제안한다. 액티브필터의 기능을 포함한 태양광발전시스템(PV-AF)의 경우 기본적인 시스템 형상은 일반적인 태양광발전시스템과 크게 다르지 않다. 인버터의 제어에 있어서 액티브필터의 보상이론이 적용된다. 전력품질의 측면에서 태양광발전시스템은 고조파원으로 간주되며 빌딩과 같은 다량의 고조파원을 포함한 대전력 수용가 또한 고조파 부하이다. 액티브필터는 이와 같은 고조파를 상쇄시켜줄 수 있으며, 계통의 전력품질 향상을 위한 신뢰성 있는 대처방안이 될 수 있다.

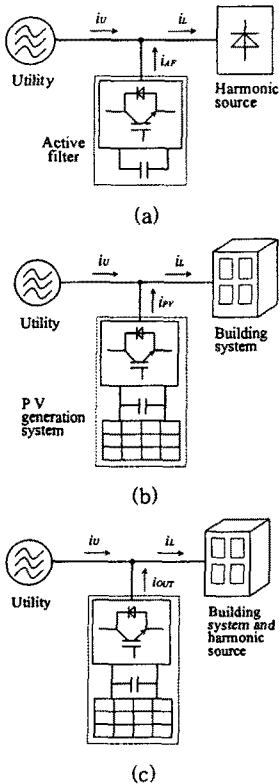


그림 1 PV-AF 시스템의 개념도 (a)액티브필터 시스템 (b)빌딩에 설치된 태양광발전시스템 (c)빌딩에 설치된 PV-AF 시스템

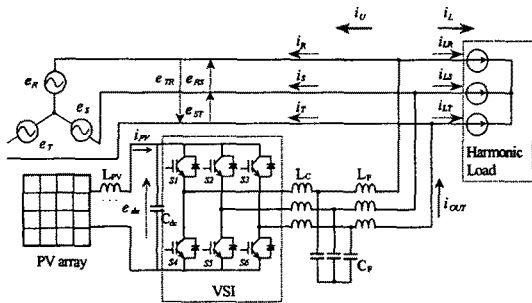


그림 2 태양광발전시스템의 회로 개념도

그림 1은 PV-AF 시스템의 개념도를 나타내고 있다. 기존의 액티브필터 시스템을 적용하는 것은 (c)와 같이 개념적으로 기존의 빌딩에 설치된 태양광발전시스템과 크게 다르지 않다. 그림 2는 계통과 고조파 발생부와 태양광발전시스템을 나타내고 있는 회로 개념도를 보여주고 있다.

### 2.3 액티브필터의 적용

고조파 전류에 대한 대책으로 널리 사용된 수동전력필터는 동조된 주파수에 해당하는 고조파를 제거하지만 그 특성이 계통 임피던스에 큰 영향을 받기 때문에 항상 좋은 성능을 기대하기 어려우며 [5], 폭넓은 고조파가 발생했을 경우 그것을 보상하기 위해서는 그에 상응하는 수동전력필터가 추가되어야 하기 때문에 수동전력필터의 부피가 커지고 비용도 또한 증가되는 문제점이 있다. 이러한 수동전력필터의 약점을 극복하고 보다 우수한 전류 고조파 보상 성능을 위해서 연구되어지고 있는 것이 액티브필터이다.

액티브필터의 기초이론은 이미 널리 알려져 있으며, 다양한 환경에서 사용되어지고 있다 [6-10]. 본 논문에서 사용되어진 액티브필터는 Akagi 교수에 의해 제안된 3상 회로에서의 순시무효전력이론 [11]에 기초한 제어방법을 따르며, 부하로부터 전류를 피드백 받아 고조파 보상 전류를 만들어낸다.

그림 3은 순시무효전력이론에 기초하여 고조파 보상신호를 만들어내는 액티브필터의 제어 블록도를 나타내고 있다.

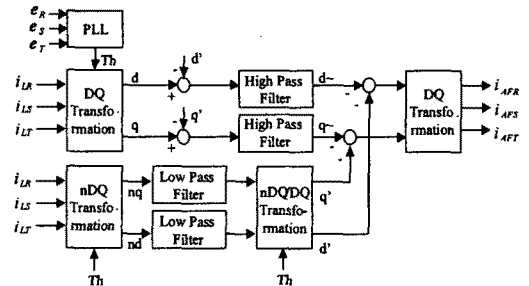


그림 3 액티브필터의 제어블록도

### 3. 시뮬레이션

빌딩에 설치된 PV-AF시스템의 실제 적용 방법과, 고조파 보상 효과를 확인하기 위하여 PSCAD/EMTDC를 사용하여 시뮬레이션 해석을 행하였다. 시뮬레이션 상에서 빌딩시스템에서 발생하는 고조파 발생부하를 넣었으며, 태양광발전시스템은 실제 기상 조건을 사용하여 그 출력을 발생시켰다 [12]. 계통과 연결된 태양광발전시스템의 인버터는 태양광의 출력과 액티브필터의 보상 전류를 동시에 출력시킨다. 액티브필터 기능의 효과를 확인하기 위하여 시뮬레이션 결과는 액티브필터가 적용되었을 때와 그렇지 않을 때의 두 경우를 나타내어 비교하였다.

그림 4는 시뮬레이션에 사용된 기상조건이며, 표 2와 표 3은 시뮬레이션 조건과 시뮬레이션에 사용된 태양광발전 시스템의 조건을 나타낸다. 고조파 부하에서 발생하는 고조파로는 태양광발전시스템의 인버터 출력전류의 5% 크기의 5고조파와 3%크기의 7고조파를 고려하였다. 그림 5는 PV-AF 시스템의 제어블록도이며 시뮬레이션 상에서 태양광발전시스템의 출력을 안정화시키기 위하여 기준전압 MPPT 제어가 사용되었다.[13]

표 2 시뮬레이션 조건

Simulation time	5.0 sec
Simulation sampling time	10 $\mu$ s
Simulator	PSCAD/EMTDC

표 3 태양광발전시스템 조건

PV array	Rated power	10.8 kW
	Rated voltage	750 V
	Rated current	7 A
Utility	Rated voltage	380 V
	Frequency	60 Hz

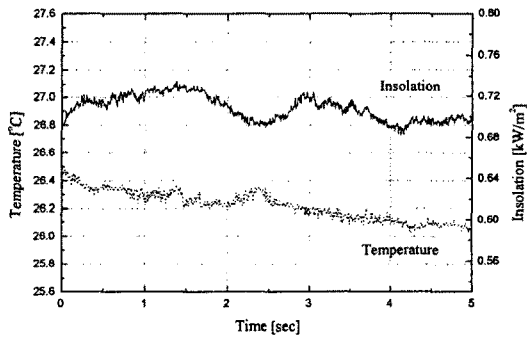


그림 4 시뮬레이션에 사용된 기상조건

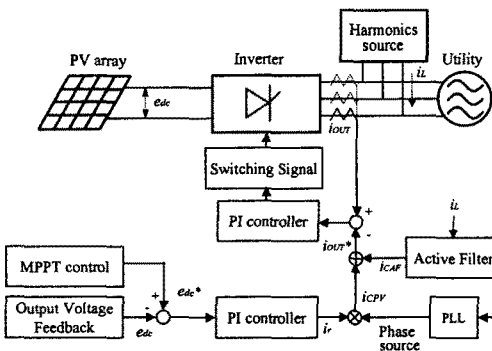
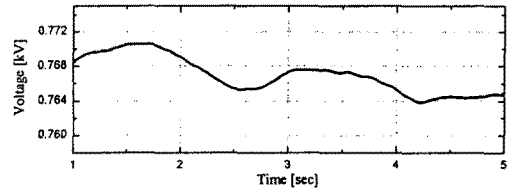


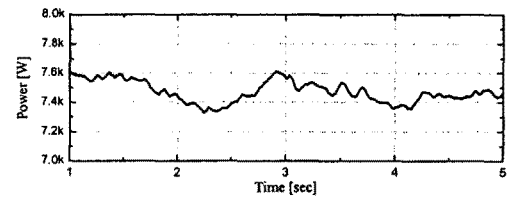
그림 5 PV-AF 시스템의 제어블록도

주어진 조건으로 액티브필터의 유·무만을 달리하여 시뮬레이션을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다. 그림 6은 그림 4의 기상조건이 적용된 태양광 패널의 출력 전압과 전력을 나타낸 그래프이다. 그림 7에서는 액티브필

터가 사용되지 않은 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 그림 7의 (a)에서 인버터의 출력전류는 고조파 보상성분을 갖고있지 않고 있으며 (b)의 계통 전류는 빌딩 시스템에서 유입된 고조파의 영향으로 전류 파형이 찌그러짐을 볼 수 있다. 이와 같이 고조파의 영향을 받은 계통의 전력품질은 다른 수용가에 나쁜 영향을 미치게 된다. (c)는 계통 전류의 FFT를 나타내고 있다.

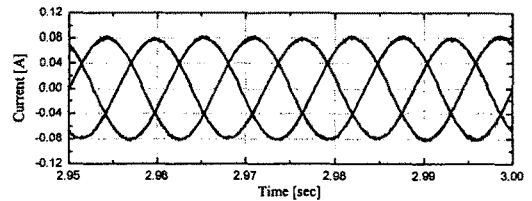


(a)

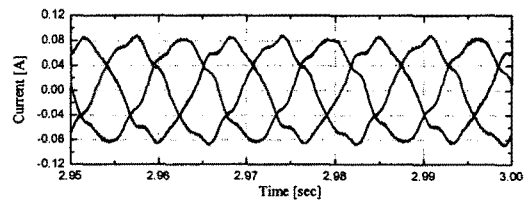


(b)

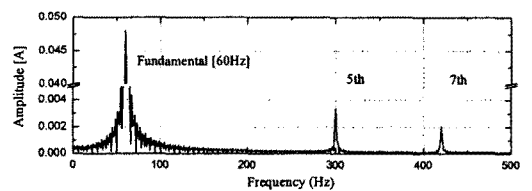
그림 6 태양광 패널의 (a)출력전압과 (b)출력전력



(a)

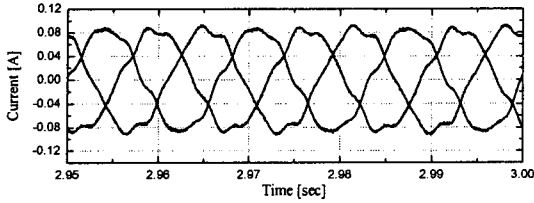


(b)

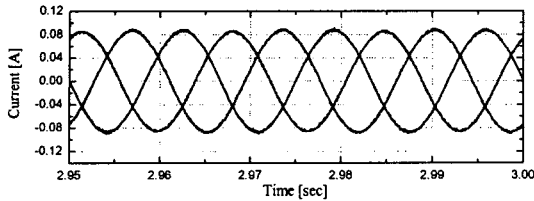


(c)

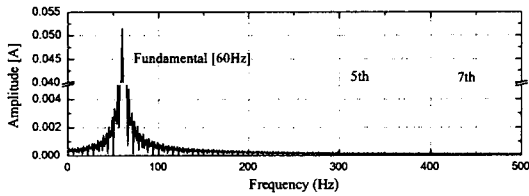
그림 7 액티브필터가 사용되지 않을때의 결과 (a)인버터의 출력전류 (b)계통의 전류 (c)계통 전류의 FFT



(a)



(b)



(c)

그림 8 액티브필터의 기능이 사용될 때의 결과 (a)인버터의 출력전류 (b)계통의 전류 (c)계통 전류의 FFT

그림 8은 액티브필터의 기능이 사용된 PV-AF 시스템의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. (a)에서 나타나는 인버터의 출력은 태양광발전시스템의 출력에 고조파 보상 전류를 포함한 전류파형이다. (b)에서 보는바와 같이 빌딩에서 발생된 고조파가 상쇄되었고 계통의 전류가 깨끗한 정현파임을 확인할 수 있다. 계통전류의 FFT에서 보여지는 바와 같이 고조파 성분은 보상되어져 나타나지 않고 있다.

이와 같이 액티브필터의 사용으로 비선형 부하에서 발생하는 고조파 성분을 상쇄시킬 수 있으며, 태양광발전시스템과 결합되어 성공적으로 동작되어지는 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

점차 늘어나는 비선형 부하들과 그에 따라 커져가는 전력품질의 중요성에 부합하기 위하여 태양광발전시스템이 설치된 빌딩 시스템에서 액티브필터의 기능을 사용하는 방법을 제안하였다. PV-AF 시스템은 기존의 태양광발전시스템과 비교해서 고조파 보상 기능을 갖게 되며 전

력품질 개선에 사용될 수 있다. 시뮬레이션 결과에서 PV-AF 시스템의 기능을 확인할 수 있었으며, 차후 태양광발전시스템이 실제계에 적용됨에 있어서 전력품질을 고려한 효과적인 방법이 될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 기초전력공학공동연구소 및 과학기술부·한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] David D. Shipp et al., "Power Quality and Line Considerings for Variable Speed AC Drivers", IEEE Trans on IAS, vol.32, no.2, pp.403-410, 1996
- [2] Robert A. Hanna, "Harmonics and Technical Barriers in Adjustable Speed Drives", IEEE Trans on IAS, vol.25, no.5, pp.894-900, 1989, Sep/Oct
- [3] IEEE Std 519-1992, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems", IEEE April 12, 1993
- [4] 김성수, 남순열, 박종근, 명성호, "가정, 사무용 기기에 의한 고조파 분포 추정 방법", 대한전기학회 논문지, 제 48권, 5호, pp.483-487, 1999
- [5] 오재훈, 한윤석, 김영석, 원충언, 최세환, "전류 고조파와 불평형 전원 전압을 보상하는 직렬형 능동전력필터와 병렬형 수동전력필터의 새로운 제어법", 대한전기학회 논문지, 제 50권, 12호, pp.615-624, 2001
- [6] L. Gyugi & C. Strycula "Active AC Power Filters", IEEE/IAS '76 Annal Meeting, p. 529, 1976
- [7] H. Akagi, Y. Kanazawa, K. Fujita, A. Nabae "Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power and its Application", Trans. IEE Japan, Vol. 103-B, No. 7, pp.41-48, 1983
- [8] L. Gyugi "Unified Power-Flow Control Concept for Flexible AC Transmission Systems", IEE-Proceedings-C, Vol. 139, pp.323-331, July 1992
- [9] L. Gyugi, C. D. Schauder, S. L. Williams, T. R. Rietman, D. R. Torgerson and A. Edris "The Unified Power Flow Controller: A New Approach to Power Transmission Control", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 2, pp.1085-1097, April 1995
- [10] Mauricio Aredes, Edson H. Watanabe "New Control Algorithms for Series and Shunt Three-phase four-wire Active Power Filters", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, pp.1649-1656, July 1995
- [11] H. Akagi, Y. Kanazawa, A. nabae "Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components", IEEE Trans. on Ind. Application, Vol. IA-20, pp.625-630, 1984
- [12] M. Park, B.T. Kim, I K. Yu, "A novel simulation method for PV generation systems using weather condition", 2001 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Pusan, Korea, June, 2001
- [13] Takayoshi Asami, Minwon Park, Kenji Matsuura, Masakazu Michihira "Optimization of supply power in solar PV power generation system for large scale hydrogen production", 17th Energy system / economic / environment conference, 10-1 pp.243-248, January, 2001.