



# 특허를 통해 살펴본 APF(Active Power Filter)의 기술동향

글 | 배진웅

특허청 특허심사서국 전력기술과 사무관/ 공학박사

## Contents

- 1. 특허를 통해 살펴본 Multilevel Inverter의 기술동향
- 2. 특허를 통해 살펴본 Wireless Power의 기술동향
- 3. 특허를 통해 살펴본 APF(Active Power Filter) 기술동향
- 4. 특허를 통해 살펴본 Standby Power 기술동향
- 5. 특허를 통해 살펴본 Matrix Converter 기술동향

## 1. 서론

세계적으로 컴퓨터, 가전제품, 통신장비, 산업기기 등을 포함한 전자장비의 전원 장치(75W이상)에 대한 전기적 규제, 특히 입력 전류의 고조파(Harmonics) 왜곡에 대한 규제가 강화되고 있으며, 전원 공급 장치의 입력단 역률 보상 회로의 필요성이 증대되고 있다. 특히 IEC 61000-3-2와 IEEE 519 규정을 통해 고조파 전류에 대한 규제가 강화되면서 보통 200[W] 이상의 시스템에서는 전원 공급 장치의 역률 개선은 필수적으로 되었다.

고조파는 전자장비의 입력 전류에 포함되는 것으로 고조파의 대부분은 입력 전원 회로에서 발생하며, 일반적으로 전자장비의 입력에는 커패시터 정류 회로가 사용되고 있으며, 이 회로의 입력 전류는 고조파 전류 규제치를 만족하지 못한다.

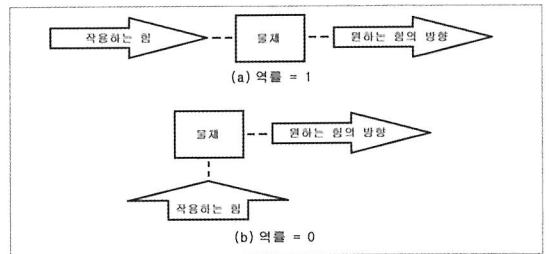
따라서 본 지면을 통하여 역률 개선을 위한 단상 및 삼상 APF(Active Power Filter: 능동 전력 필터)에 대해서 특허를 통하여 살펴보도록 하겠다.

## 2. 본론

### 2.1 역률의 기본 개념

역률(PF: Power Factor, 力率)이라는 용어는 일반적으로 물리 및 기계 분야에서는 목표하는 방향으로 힘이 얼마나 전달되는 정도를 나타내는 지표이다.

그림 1은 물리 및 기계 분야에서 역률의 개념을 나타낸다. 즉 물체를 원하는 힘의 방향으로 작용하는 힘이 일치하는 경우 역률은 1이지만 원하는 방향과 일치하지 않는 경우 역률은 0이 된다.

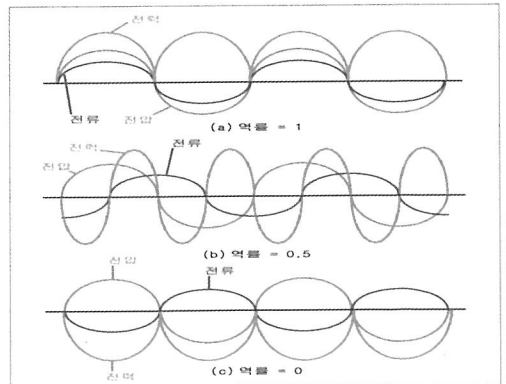


【그림 1】 물리 및 기계 분야에서 역률의 개념

따라서 역률(PF)은 일반적으로 식(1)과 같이 정의된다.

$$PF = \cos\theta \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

여기서,  $\theta$  : 작용하는 힘과 원하는 힘의 방향 사이의 각도  
 마찬가지로 전기 분야의 에너지 전달 관계에서도 이러한 원리는 마찬가지로 성립한다.

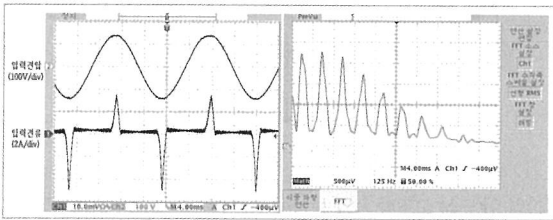


【그림 2】 전기 분야에서 역률의 개념

전기에서는 전압과 전류의 위상차에 따라서 전력이 (+) 또는 (-)로 전달되며, 전압 및 전류가 정현파(sin파)인 것을 전제 하면, 식(1)과 동일한 관계가 성립하며, 여기서,  $\theta$ : 전압과 전류의 위상차이다. 즉 역률이 1이면 전력은 (+)로 전달되며, 역률0은 전력은 (-)전달되고, 역률이 0.5이면 전력은 (+)와 (-)를 교번하게 된다. 기존에 산업체에서 전동기 부하를 사용하는 경우 그림 2(b)와 같이 역률이 나빠지므로 입력단에 역률 보상 커패시터를 사용하여 역률을 그림 2(a)와 같이 역률=1인 상태로 개선하는 방법을 사용하였다.

### 2.2 전원 장치에서 역률이 나빠지는 원인

하지만, 최근 대부분의 전자 및 통신장비는 직류(DC) 부하를 사용하며, 입력에는 교류전원을 직류전원으로 변환하기 위하여 평활용 커패시터 및 다이오드 정류 회로를 사용하기 때문에 그림 3과 같이 전류가 커패시터의 충전 전압을 초과할 때만 전류가 흐른다. 따라서 출력 전압의 맥동이 크고 입력 전류가 불연속적이며 돌입전류에 가까운 펄스성 형태의 전류가 흐르게 되어 입력단에 많은 양의 고조파 성분을 포함하게 되며, 그림 4와 같이 낮은 역률을 갖게 된다.



[그림 3] 역률 개선 전의 입력 전압 전류파형 및 고조파 해석

따라서, 전류의 파형이 첨예하게 변화되므로 고조파가 발생하고 식(2)와 같이 전고조파 왜율(THD)은 기본파의 실효값에 대한 다른 모든 고조파의 실효값의 비로 나타낼 수 있다.

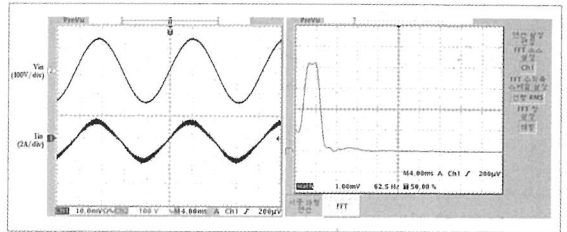
$$THD = \frac{I_H}{I_1} = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I_1} \dots\dots\dots \text{식(2)}$$

여기서  $I_H$ : 전고조파의 실효값  
 $I_1$ : 기본파의 실효값  
 $I$ : 입력 전류의 실효값

따라서 전고조파 왜율(THD)을 바탕으로 역률(PF)은 식(3)과 같이 정의된다.

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD}{100}\right)^2}} \dots\dots\dots \text{식(3)}$$

그러므로 최근 역률이 나빠지는 이유는 입력단 전류 파형에 포함된 고조파(Harmonics) 성분의 증가가 주된 원인이며, 이를 그림 4와 같이 전류를 정현파(Sin파)로 개선하는 것이 역률 개선의 주된 목표가 된다.



[그림 4] 역률 개선된 입력 전압 전류파형 및 고조파 해석

### 2.3 IEC 61000-3-2 국제적인 고조파 규제

1997년부터 유럽에서 16A 이하의 전자장비에 대해 고조파(Harmonics) 전류 규제가 이루어졌으며, 이는 IEC(국제전기표준회의)에서 정리된 국제규격 IEC 61000-3-2에 기반을 두고 행해진다. 표 1은 IEC 61000-3-2에 의한 Class 분류를 나타내며, 표 2는 일반적인 전기기기에 적용되는 IEC 61000-3-2 Class D의 최대허용 고조파 전류 규격을 나타낸다.

조명용을 제외한 일반적인 스위칭 전원은 Class A와 D로 분류되며, 그림 5는 Class A와 D의 제3 고조파 전류의 규제치를 비교한 것이다. Class D의 규제치는 입력 전력에 비례해서 변화하고, Class A는 규제치가 일정하므로 입력전력이 커짐에 따라서 상대적으로 규제 규격이 엄격해진다. 입력전류 16A에서는 역률 0.98 이상이 되어야만 IEC 국제 규격을 만족시킬 수 있다. 따라서 현재 가정 및 산업용 전기기기에서 역률 0.95 이상이어야 국제적인 고조파 규제를 만족할 수 있는 것이 일반적이다.

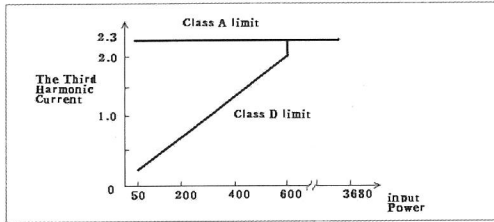
[표 1] IEC 61000-3-2에 의한 Class 분류

Class A	평형 3상 기기 및 기타 Class에 속하지 않는 모든 기기
Class B	전동 공구
Class C	조명 기구
Class D	특수 파형에 분류된 입력 전류 파형을 가지고 입력 전력 600W이하의 기기



[표 2] IEC 61000-3-2 Class D의 최대허용 고조파 전류 규격

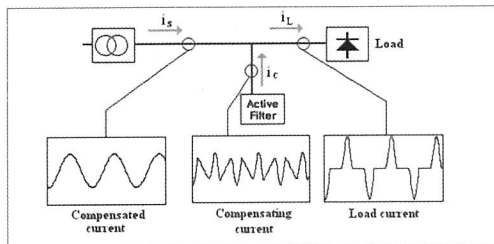
Harmonics	최대 허용 규제치 (A)
3	2.30
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \times 15/n$



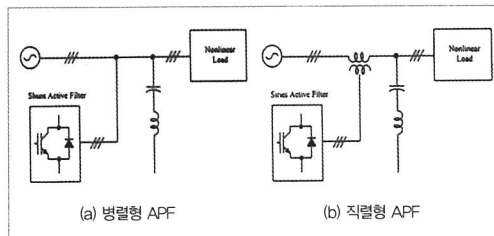
[그림 5] Class A와 D의 3고조파 전류의 규제치 비교

### 2.4 APF(Active Power Filter) 특허기술 동향

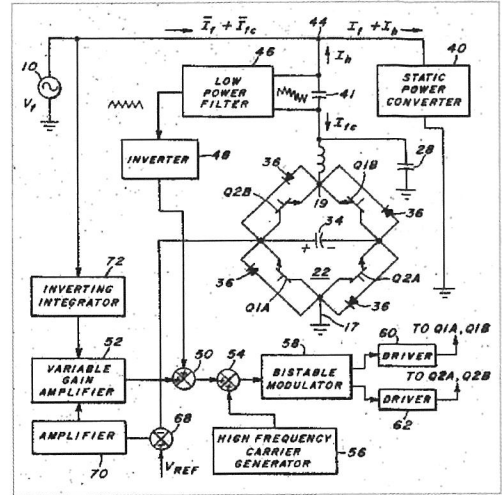
그림 6은 APF(Active Power Filter, 능동전력필터)의 원리를 나타낸다. 기본적으로 비선형 부하로 인해 발생하는 고조파 전류에 대해서 부하와 전원단 사이에 보상전류(Compensating Current)를 공급하여, 입력 전류를 정현파로 만들을 통해서 역률을 개선하는 것이다. 그림 7은 APF(Active Power Filter)의 종류를 나타낸다. 크게 병렬형과 직렬형 APF로 구분할 수 있으며, 병렬형 APF는 고조파 전류를 보상하며, 변압기를 사용하는 직렬형 APF는 고조파 전압을 보상하는 것을 기술적 특징으로 한다.



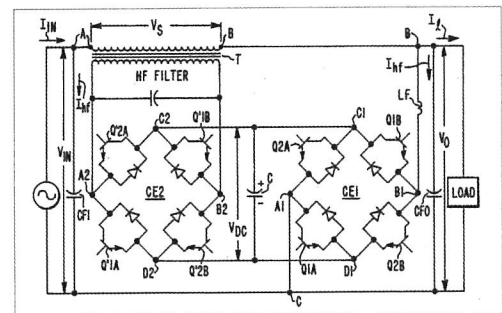
[그림 6] APF(Active Power Filter, 능동전력필터)의 원리



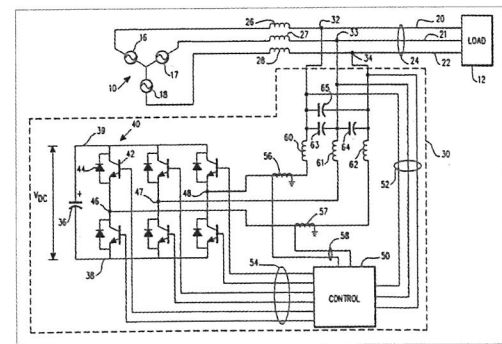
[그림 7] APF(Active Power Filter)의 분류



[그림 8] 세계 최초의 APF(Active Power Filter) (미국 등록특허공보 US3825814호, Westinghouse사)



[그림 9] 단상 고조파 전압 보상을 위한 APF(Active Power Filter) (미국 등록특허공보 US4651265호, Westinghouse사)



[그림 10] 3상 고조파 전류 보상을 위한 APF(Active Power Filter) (미국 등록특허공보 US5321598호, Westinghouse사)

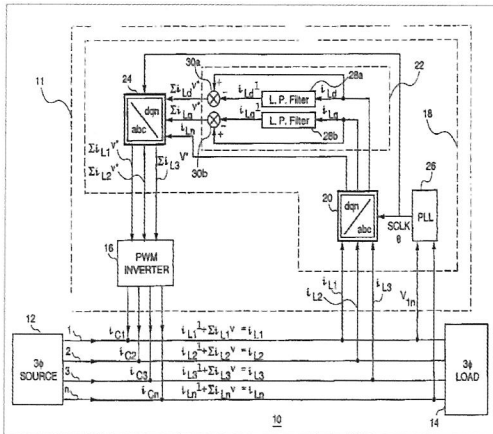
세계 최초의 APF(Active Power Filter)는 1973년 미국의 Westinghouse사의 Brian R. Pelly 연구원에 의해서 그림 8과 같이 커패시터(41,28) 및 인덕터를 통하여 4개의 브리지형

스위치를 통하여 고조파 전류를 보상하는 기술을 특허 US3825814호를 통하여 제안하였다.

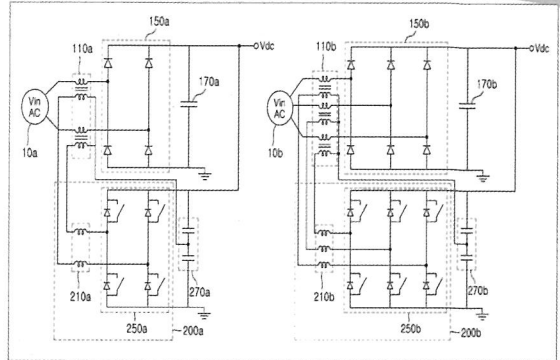
또한, 미국의 Westinghouse사는 APF(Active Power Filter) 및 중전기기 분야에 역률 개선을 위한 다양한 특허들을 제안하였고, 그림 9와 같이 변압기(T)를 통하여 고조파 전압을 보상하는 기술을 특허 US4651265호를 통하여 제안하였으며, 그림 10과 같이 3상 전력 기기의 고조파 전류를 보상하는 기술을 특허 US5321598호를 제시한 바 있다. 따라서 Westinghouse사는 현재 APF(Active Power Filter)의 세계 최고의 기술력과 제품력을 보유한 회사로 평가받고 있다.

현재 Westinghouse사와 상응하는 기술력을 갖춘 회사로 미국의 GE사를 꼽을 수 있을 것이다. 그림 11은 미국의 GE사에서 제시한 APF(Active Power Filter)의 벡터제어(Vector Control) 방식으로 특허 US5648894호를 통하여 제시하였다. 이 발명은 디지털 프로세서 제어의 발전으로 3상 좌표계를 단상의 d축과 q축으로 나누어서 제어하는 벡터제어를 APF(Active Power Filter)에 적용한 것으로 역률 개선을 위한 고성능 제어방식을 제안하였다.

또한, 최근에 한국의 특허출원으로는 전력기기 및 전력 전자 중점 연구원인 한국전기연구원에서 순간정전 및 순간전압강하의 발생을 보상하기 위하여 전원 입력단에 변압기를 사용한 직렬형의 단상과 3상의 APF(Active Power Filter)를 KR10-1027988호를 그림 12와 같이 제안한바 있으며, 현재 Honeywell사(미국), Mitsubishi사(일본), Siemens사(독일) 등의 중전기기 기업들도 다양한 기술 개발 및 특허권 확보에 노력하고 있는 현실이다.



【그림 11】 3상 고조파 전류 보상을 위한 APF(Active Power Filter)  
(미국 등록특허공보 US5648894호, GE사)



【그림 12】 순간 정전 및 전압강하는 위한 APF(Active Power Filter)  
(미국 등록특허공보 KR10-1027988호, 한국전기연구원)

### 3. 결 론

본 지면에서는 역률의 기본 개념과 전원 장치에서 역률이 나빠지는 원인을 살펴보고, 국제적인 고조파 규제인 IEC 61000-3-2의 규격에 대해서 살펴보았다. 현재 APF(Active Power Filter) 기술에 대해서 Westinghouse사(미국), GE사(미국), Honeywell사(미국), Mitsubishi사(일본), Siemens사(독일) 전기연구원(한국) 등에서 중점적으로 연구하고 있으며, APF(Active Power Filter)는 전력시스템 안전을 위한 스마트 그리드(Smart Grid)의 핵심 기술이며, 최근 고조파로 인한 여러 정전 사고 및 노이즈를 전원단에서 능동적으로 대응하는 기술로서 우리 기업과 대학에서 지속적인 기술개발과 새로운 토폴로지 개발이 필요할 것으로 생각된다. ❖

#### 참고문헌

- [1] SMPS 기술조사전문위원회 "SMPS 기술현황", 1997년
- [2] 미국 등록특허공보 US3825824호 (미국 Westinghouse사 특허)
- [3] 미국 공개특허공보 US4651265호 (미국 Westinghouse사 특허)
- [4] 미국 등록특허공보 US5321598호 (미국 Westinghouse사 특허)
- [5] 미국 등록특허공보 US5648894호 (미국 GE사 특허)
- [6] 미국 등록특허공보 US5691626호 (미국 GE사 특허)
- [7] 미국 등록특허공보 US5737198호 (미국 GE사 특허)
- [8] 미국 등록특허공보 US6882549호 (미국 Honeywell사 특허)
- [9] 한국 등록특허공보 KR10-1027988호 (한국 전기연구원 특허)
- [10] 미국 등록특허공보 US5162983호 (일본 Mitsubishi사 특허)
- [11] 미국 등록특허공보 US5808452호 (독일 Siemens사 특허)