

정지형 능동전력 필터

최 규 하

건국대학교 전기공학과 조교수

I. 서 론

1957년 GE사에서 SCR이라는 상품으로 Thyristor가 개발되면서 종래의 수은정류기에 비하여 특성이 우수한 여러 반도체 전력변환장치들이 개발 및 보급되기 시작하였다. 그리고 반도체기술의 발달로 소자의 정격이 증대되며 또 POWER Transistor, GTO, MOSFET, SIT 등의 새로운 소자들이 개발되어 다양한 장치들에 이용되고 있다. 또한 마이크로 컴퓨터의 도입으로 과거 불가능했던 고급기술들이 실현가능해짐으로써 전력변환기술 및 제어방법 역시 크게 발전하고 있다.

현재 전력용반도체 소자로 구성되는 각종 반도체 전력변환장치들도 철강, 제철, 시멘트, 전철 등의 산업분야에 이용되는 가변속시스템에서부터 컴퓨터를 위한 AVR, UPS 등의 전원장치 그리고 일상 가정생활에서 이용되고 있는 각종 전원장치에 이르기까지 매우 다양해지고 있다. 이렇듯 반도체 전력변환장치의 활용이 증대되고 있는 것은 전력용 반도체소자의 고유성질 즉 고속응답, 고효율, 소형, 저렴, 영구적사용, 보수불필요 등과 같은 특징 때문이다.

반면에 전력변환장치들의 스위칭작용으로 인해 입력측에는 전력 또는 전류의 불연속 구간이 생긴다. 거의 대부분의 경우 장치의 전원은 상용 교류전원으로부터 얻고 있으므로 결국 교류입력측의 고조파발생 뿐만 아니라 상용전원의 왜형을 초래하게 된다.^{1)~4)}

이로 인한 문제점을 개선하기 위해 근래에는 전력전자기에 의한 고조파 발생의 억제에 대한 연구가 많이 진행되고 있으며 고조파는 L-C의 수동필터 또는 정류기의 경우 상수증대법 등에 의해 제거되고 있다. 최근 반도체 전력변환장치로 인한 고조파의 억제연구는 크게 두가지로 대별될 수 있다. 하나는 기존의 수동 L-C 필터와 같은 기능을 갖는 반도체 전력필터를,^{1)~2)} 다른 하나는 반도체 전력변환장치의 기존의 제어방식에 고조파 억제기능이 추가된 제어기법을 연구하는 것이다.^{3)~5)} 결국 후자의 경우는 전력변환장치내에 전자의 능동필터의 기능이 내포된다는 개념이다. 그러나 여기서는 이와는 별도로 독립된 고조파 억제장치인 능동전력필터의 발전과정 및 그 고조파 억제특성 등에 관한 내용을 기술하고자 한다.

II. 능동필터의 출현^{6)~8)}

그림1은 상간리액터를 갖는 중복Y 정류회로이다. 그림 1-c의 파형에서 보는 바와 같이 중복Y 정류회로는 6상 정류기에 비해 출력 전압은 약 14[%]감소되지만 정류소자의 전류정격이 반감되고 이용기간은 두배로 커지는 유리한 점이 있다. 뿐만 아니라 중복기간으로 인한 전압강하가 적으므로 전압변동율이 적은 장점을 갖고 있다. 그러나 중복Y 정류회로는 출력 전류 I_d 가 상간리액터의 최대 여자전류 I_m 의 2배 이내로 될 때 상간리액

터가 제 기능을 발휘하지 못해 6상 정류기의 경우와 같게 된다. 이를 중복Y정류회로의 모드변동이라 하고 그림 2에서 보는 바와 같이 출력전압이 경부하 또는 무부하시 약 15.5% 정도 증가한다.

1953년 L. R. Blake 는 이를 방지하기 위해 그림1-b와 같이 3고조파 전류를 공급하는 Tripler의 주입회로를

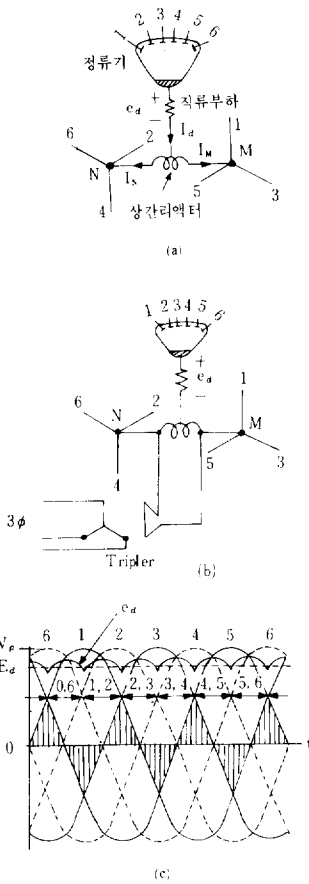


그림 1. 중복 Y정류회로와 Tripler

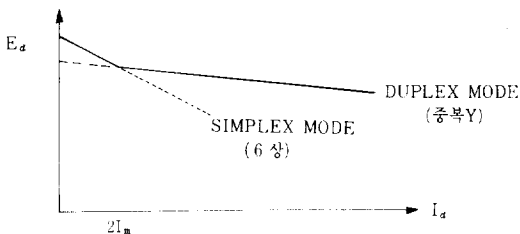
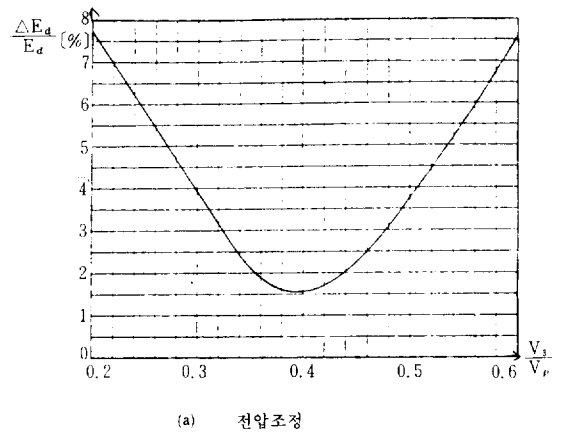


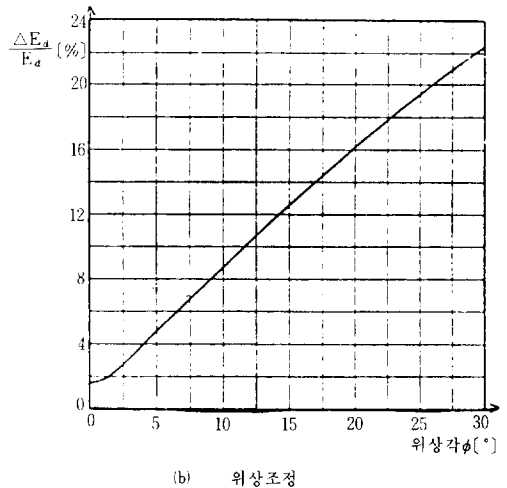
그림 2. 중복 Y정류회로의 모드 변동

제시하였다. 그림3에서 보는 바와 같이 Tripler의 출력이 갖는 크기와 위상에 따라 무부하시 직류전압의 상승률이 달라지는데 Tripler의 출력 V_3 와 상전압 V_p 와의 비가 약 0.4 정도로 될때, 무부하시 출력전압의 상승률이 1.5(%)로써 최소로 된다. 또 Tripler의 위상 ϕ 는 0° 에 가까와질수록 상승률이 감소하고 있다.⁶⁾

이러한 Blake의 주입회로를 1969년 B.M.Bird는 고조파제거를 목적으로 사용하게 되고 따라서 최초의 능동 전력필터가 탄생하게 되었다.



(a) 전압조정

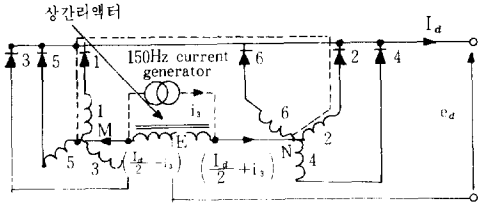


(b) 위상조정

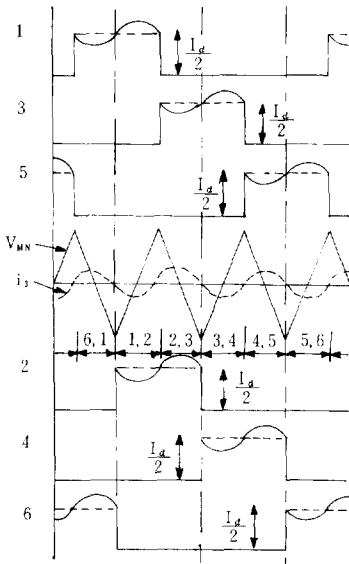
그림 3. Tripler의 출력조정에 따른 직류전압 변동

2.1 전류주입식 필터

Bird는 150[Hz] current generator를 그림4-a와 같이 연결하고 3고조파 전류가 각 정류소자의 스위칭에 따라 1-6번의 2차 권선에 순차적으로 흐르도록 하였다. 이때 3고조파 전류의 크기 및 위상을 조정함에 따라 고조파를 제거할 수 있도록 하였다. 그림4-a의 점선은 1,2의 정류소자를 거쳐 흐르는 3고조파 주입전류의 경로이다. 각 권선에 흐르는 전류 그리고 상간리액터의 전압 및 전류에 대한 파형들은 그림4-b에 주어져 있다. Bird의 해석 결과(표 1)에 따르면 주입비(3고조파의 실효치/직류전류) ρ 의 변화에 따라 제거되는 고조파의 차수와



(a)



(b)

그림 4. 전류주입식 중박 Y정류회로 및 각부파형

表 1. Blake 주입회로에 의한 각 고조파의 억제특성

주입비 $\sqrt{2}\rho$	I_n/I_1 [%]							
	5	7	11	13	17	19	23	25
0	20	14.28	9.09	7.69	5.88	5.26	4.35	4
0.64	0	2.8	2.6	2.3	1.83	1.65	1.42	1.3
0.816	5	0	0.84	1	0.83	0.77	0.68	0.63
0.926	7.9	1.7	0	0.18	0.21	0.25	0.28	0.23
0.947	8.5	2	0.19	0	0.1	0.14	0.15	0.15
0.969	9.2	2.4	0.3	0.16	0	0.03	0.06	0.08
0.975	9.3	2.5	0.44	0.2	0.02	0	0.03	0.05
0.983	9.5	2.6	0.5	0.25	0.05	0.01	0	0.03
0.986	9.6	2.7	0.53	0.28	0.07	0.03	0.02	0
0.25	11.7	9.64	6.45	5.44	4.21	3.77	3.13	2.90
0.50	4.12	5.21	3.93	3.42	2.68	2.41	2.01	1.85
0.75	3.25	1	1.57	1.45	1.19	1.1	0.96	0.88
1.00	10.0	2.86	0.65	0.38	0.17	0.12	0.07	0.05

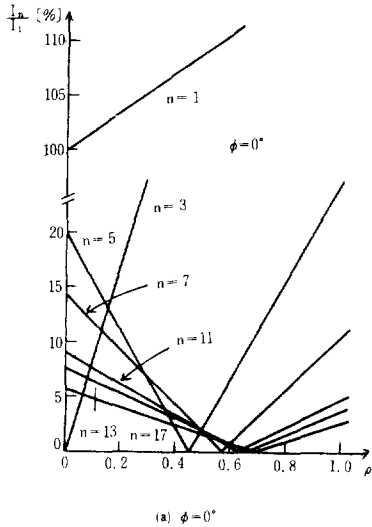
양이 달라지고 높은 차수의 고조파를 제거하기 위해서는 주입비를 증대시켜야 한다. 여기서 제시되지는 않았으나 3고조파의 위상 ϕ 는 0° 일때 최적의 상태로 되고 있다.⁷⁾

또한 1972년 A. Ametani는 상간리액터의 주입전류를 다음과 같이 보다 일반적으로 생각하고 있다.

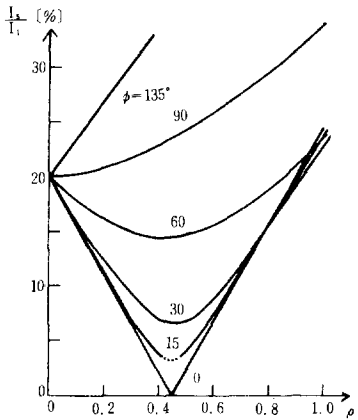
$$i_3(t) = \sqrt{2} \rho I_d \cos(n\omega t - \phi) \quad (1)$$

그림 5는 식 (1)에서 $n=3$ 으로 한 경우로서 (a)는 $\phi=0^\circ$ 일때 주입비 ρ 에 대한 각 고조파의 변화를 나타내며 (b)는 주입전류의 위상 ϕ 에 대한 5고조파 전류 I_5 의 변화를 표시하고 있다. 요컨대 주입전류의 위상은 0° 로 설정될 경우가 가장 좋으며 주입비 $\rho=0.45 - 0.7$ 근처에서 대부분의 고조파가 크게 억제되고 있다. 또한 주입전류의 차수 n 을 달리한 경우도 조사해 보았으나 3고조파로 할 때 가장 좋은 것으로 밝혀졌다.

그리고 Ametani는 그림6에서 보는 대로 중박 Y회로 뿐 아니라 다양한 정류회로의 경우에도 적용 가능한 주입회로의 일례를 제시하여 3고조파 주입방법을 일반화 시킴으로서 능동필터의 원리적인 토대를 구축하였다.⁷⁾ 그리고 3고조파전류는 동기 발전기에 의해 발생시키고 있는데 정류기의 부하가 일정할 경우 고조파의 억제효과가 매우 좋지만, 부하가 변동될 경우 3고조파 전류의 크기 및 위상을 수동으로 조정해야 할 뿐 아니라 효율의



(a) $\phi = 0^\circ$



(b) 5 고조파 전류

그림 5. 크기 및 위상에 따른 각 고조파성분의 변화

측면에서 나쁘고 정류기의 제어 위상각 $\alpha = 0^\circ$ 일 경우에만 적용 가능하다는 단점을 가지므로 그후 1980년 J.F. Baird는 이를 개선할 수 있는 직류맥동 재주입방법을 제시하고 있다.^{9), 10)}

이상은 전류를 직접 계통에 주입함으로써 고조파를 억제하는 방법인데 뒤에 기술할 정지형 필터의 토대를 이루고 있다.

2.2 자속보상식 필터

자속 보상식 능동필터는 앞의 전류주입식 필터와는 달리 변압기를 이용한 자속보상원리에 기초하고 있으며

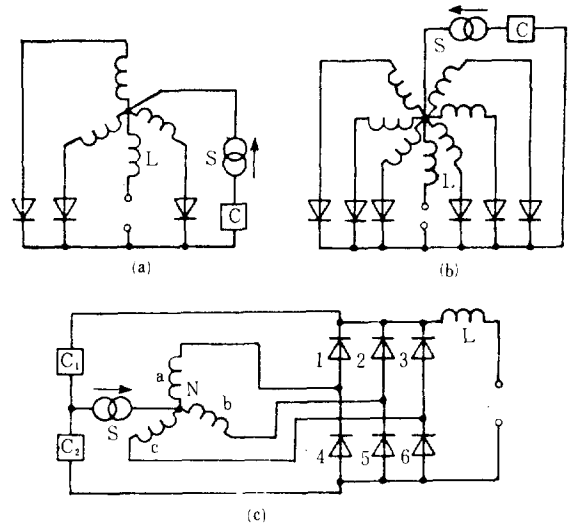


그림 6. 다양한 정류회로를 위한 전류주입회로
(L: 평활(상간)리액터, S: 주입전류원
N: 직류측 권선의 중성점, C: 직류성분 차폐회로)

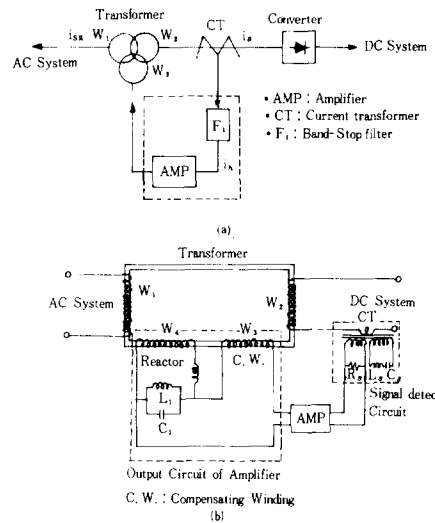


그림 7. 자속보상식 능동필터의 블럭선도와 상당회로

그림 7-a와 같이 구성된다.^{11), 12)}

직류송전시 기존의 L-C 필터는 총 설비비의 20-25 [%]를 점유하면서도 이상고조파가 발생될 경우 이를 제거하지 못하기 때문에 이러한 자속보상식 필터가 고려되고 있다. 직류송전 시스템에 능동필터를 도입하면 설비비의 축소 뿐 아니라 신뢰도의 향상도 꾀할 수 있다.¹³⁾

그림7-b에서 보면 직류 부하측에 흐르는 전류파형을 CT로 검출하고 기본파를 제거한 고조파 성분만을 추출한 후 전류원으로서의 AMP회로를 거친다. 이때 증폭된 전류의 증폭도와 위상지연은 지정치 이내에 존재하도록 되어있다. AMP를 거친 보상전류는 보상권선 CW에 흘러 변압기 철심에 자속형태로 변환된다. 이때 AMP에 고전압이 걸리지 않도록 하기 위해 제4권선 W_4 와 병렬공진회로를 연결해야하고 병렬공진회로는 기본파에서 공진되도록 하여 W_4 권선이 전압에 대해 무한대의 임피던스를 갖게 설계한다.

자속보상식 능동필터는 정상상태 뿐만 아니라 과도상태에서도 좋은 특성을 발휘할 수 있다. 그러나 완전한 보상을 위해서는 고조파신호를 정확하게 검출해야 하고 90(%)이상의 보상이 가능하도록 하려면 위상지연이 5.7° 이내이어야 한다. 그리고 상당히 높은 출력의 AMP의 설계는 사실상 불가능하고 설령 가능하더라도 비경제적이 된다. 그러한 경우 기존의 수동필터 시스템과 병행하여 운전하거나 정류기를 다상화시키기가 필요하며 따라서 적용상 문제가 있다고 본다.

III. 정지형 능동필터

전술한 방식들은 모두 변압기를 이용한 것으로 말하자면, 기계식 능동필터라 할 수 있다. 반도체기술의 발달로 말미암아 이러한 기계식 능동필터 역시 전력용 반도체소자로 구성된 정지형의 능동전력필터로 변모하게 되었다.^{14)~20)}

3.1 고조파 저감원리

정지형 능동전력필터는 그림8에서 보는 바와 같이 정류기와 같은 비선형 부하의 입력단에 연결되어 교류전원측에 존재하는 고조파 전류를 검출하고 이를 상쇄시키는 전류를 주입함으로써 고조파를 제거한다. 전류형 필터는 일정전류원과 인버터로 구성된다. 전류원은 대형인덕터로써 대처하며 인덕터에 흐르는 일정전류를 다음에 기술할 변조방식에 따라 PWM 고조파 보상전류로 변환시킨다. 이때 3상의 경우 필터구성에 따라 그림9와 같이 교류의 각상에 3대의 단상 능동필터를 연결하는 경우와 1대의 3상 능동필터를 사용하는 경우로 나눌 수 있다. 이 두 회로의 차이는 전력용 반도체소자의 수

또는 각상의 개별적 제어 및 고조파 억제특성의 측면에서 일장일단을 갖는다. 그림 8-b와 같이 고조파 전류 i_h 가 계통에서 발생하고 있다면 i_h 와 같은 고조파 상쇄 전류 i_c 를 주입시키면 전원측의 전류 i_s 는 보상후 i_{SR} 과 같은 형태로 변화된다. 실제 계통에는 PWM전류가 주입되고 급격한 변화 때문에 무수한 전압스파이크가 생기므로 능동필터와 함께 고역통과필터(High pass filter)를 부착시켜야 한다.

이러한 능동필터의 고조파 저감원리는 계통의 고조파 i_h 와 반대방향으로 고조파 보상전류 i_c 를 흘려주는 것으

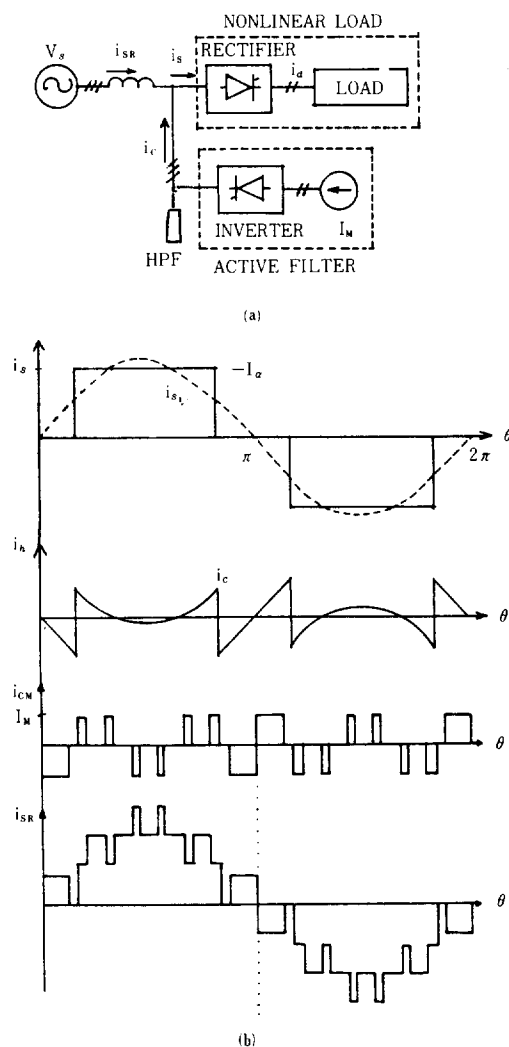


그림 8. 정지형 능동필터의 연결도와 각부파형

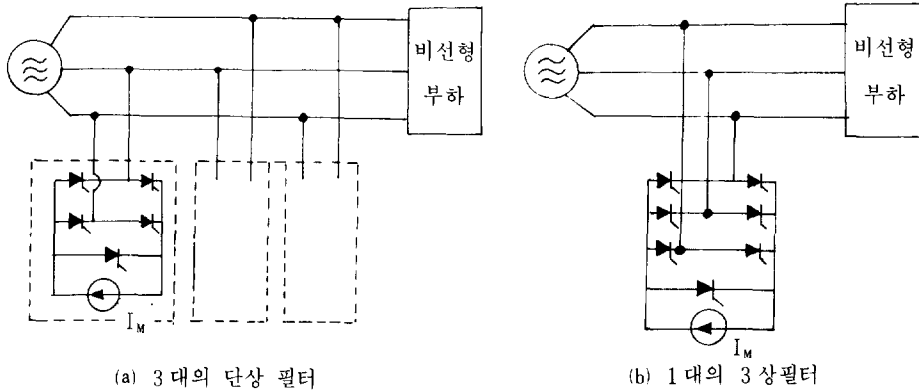


그림 9. 3상을 위한 능동필터의 회로구성

(a) 3대의 단상필터 (b) 1대의 3상필터

로 이상적인 능동필터는

$$i_c(t) = i_n(t) \quad (2)$$

를 만족하는 고조파 보상전류를 발생, 주입하게 된다. 그러나 정지형 필터는 스위치 소자로 구성되기 때문에 HPF로 필터링하기 전의 보상전류 i_{CM} 은

$$i_{CM}(t) = \text{MOD}[i_c(t)] \quad (3)$$

와 같이 이상적인 보상전류를 적절한 변조방법을 거쳐 PWM 형태로 얻어진다.

따라서 정지형 능동필터에서 중요한 문제는 고역통과 필터를 사용하기전의 PWM보상전류 i_{CM} 의 파형이 계통에 존재하는 고조파 전류에 가능한한 근접되도록 하는 것이다. 즉 PWM 전류로써 고조파를 억제시키므로 파형의 측면이든 스펙트럼의 측면이든 고조파 i_n 에 유사한 파형을 발생시켜야만 고조파 억제특성을 최대로 할수 있다. 다시말하면 식(3)의 i_{CM} 을 식(2)의 이상적인 형태로 근접시킬수록 좋은 것이다.

3.2 PWM 주입전류

그림10은 현재까지 연구된 능동필터의 PWM 보상전류의 종류를 나타내고 있다. 지금 (a)와 같은 고조파가 발생되고 있을 경우 전술한 기계식 필터는 (b)와 같은 3고조파의 교류전류를 주입시켜 고조파를 제거하였다.

반면에 정지형 필터의 경우에는 1976년 L. Gyugyi 가 PWM 보상전류를 얻기위해 (c)와 같이 상·하한 전류

에 의한 전류적용제어기법을 제안하였다.¹⁴⁾ 1983년 H.Kawahira는 삼각파를 이용하여 고조파 신호를 변조시켜 (d)의 PWM 보상전류를 얻고 있으며¹⁵⁾ 1984년 K. Hayafune는 그림(e)와 같이 각 고조파를 등가 펄스전류로 바꾸고 그때 얻어지는 멀티레벨의 PWM전류를 동일한 고조파성분을 갖도록 단일 크기의 PWM 전류로 변환시키는 멀티 펄스 PWM 방식을 제시하였다.¹⁶⁾ 그리고 1985년 M. Park은 샘플링이론에 토대한 (f)의 최적 PWM 패턴을 제시하고 최소의 펄스수로 최대의 고조파를 제거시키며 또한 필터로 유입되는 평균전력을 제어함으로써 필터내 지류전원의 사용을 제거시키는 방

표 2. 펄스수 M에 대한 제어가능 고조파의 차수

M	n
3	
4	1, 3
5	
6	1, 3, 5
7	
8	1, 3, 5, 7
9	
10	1, 3, 5, 7, 9
11	
12	1, 3, 5, 7, 9, 11
13	
14	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13
15	
16	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15

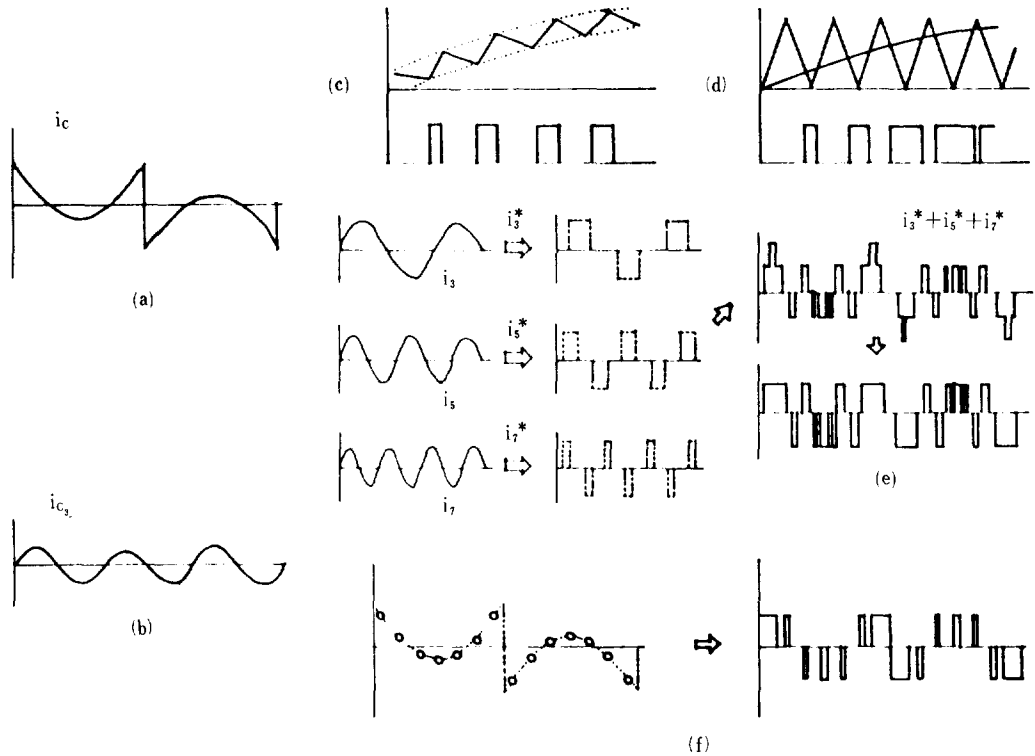


그림 10. 능동필터를 위한 PWM 고조파 보상전류의 유형

법을 제안하였다.^{17), 18)}

어떠한 경우이건 한주기내 펄스수가 많아지면 표2와 같이 보다 고차의 고조파까지 제거할 수 있으며 이를 다시 보상 후 전류에 대한 스펙트럼으로 살펴보면 그림 11과 같이 M에 따라 최저차 고조파의 차수가 커지며 최저차 이하의 고조파는 보상후 교류측 전류에 전혀 나타나지 않고 있다. 따라서 주파수를 상승함에 따라 잔류 고조파의 최저 차수는 상승하므로 고조파 억제특성은 좋아지지만 필터의 스위칭 손실이 커지므로 적절히 펄스수를 결정해야 한다.

이러한 PWM 전류로 변환시키기 위해 정지형 필터에서 일정전류원의 구성이 필수적인데, 어떤 형태이든지 지속적으로 전력이 공급되지 않으면 회로의 전력손실 때문에 그림12와 같이 주입전류의 크기가 감소되어 끝내 영으로 되어 버린다. 전류원으로는 기존의 전류형 인버터(정류기+ 인버터)를 생각할 수 있는데 이 방법은 변압기 및 정류기의 설비가 추가될 뿐 아니라 그 자체가 또 다시 고조파 발생원으로 되므로 불리하다. 따라

서 능동필터에 기본파에 대해서는 정류기능을, 고조파에 대해서는 필터기능을 수행하도록 하면 이러한 단점을 개선할 수 있다.^{19), 24)}

3.3 필터의 특성

그림13은 정지형 필터의 적용시 교류측 전원전류의 보상전후의 파형을 나타내고 있는데 거의 정현파로 되어 사실상 고조파가 완전히 제거됨을 볼 수 있다. 표3은 그림13의 보상후 전류 i_{SR} 에 대한 왜형을 및 잔류비를 구한 것으로 11차를 제외하고는 모두 1[%]미만으로 억제되어 있다. 또한 보상후 전원전류에 존재하는 각 고조파의 잔류비(DF_A / DF_B)역시 크게 저하되어 있다. 특히 전류의 총 왜형율이 25[%]에서 2[%]미만으로 개선된 것을 보아 정지형 능동필터의 고조파 억제특성이 매우 우수함을 알 수 있다.

또한 정지형 능동필터는 속응성 면에서도 우수하다. 그림14는 정류기 부하의 스텝변화에 대해 능동필터에서

출력되는 고조파 보상 전류의 응답특성을 나타낸 것으로 교류측 전류뿐 아니라 교류 전원의 파형이 거의 왜형되지 않으면서 그 응답속도 역시 매우 빠름을 알 수 있다. 또 그림15에서 보는 바와 같이 능동필터는 주파수의 변동에 대해 고조파 억제특성이 거의 변하지 않지만

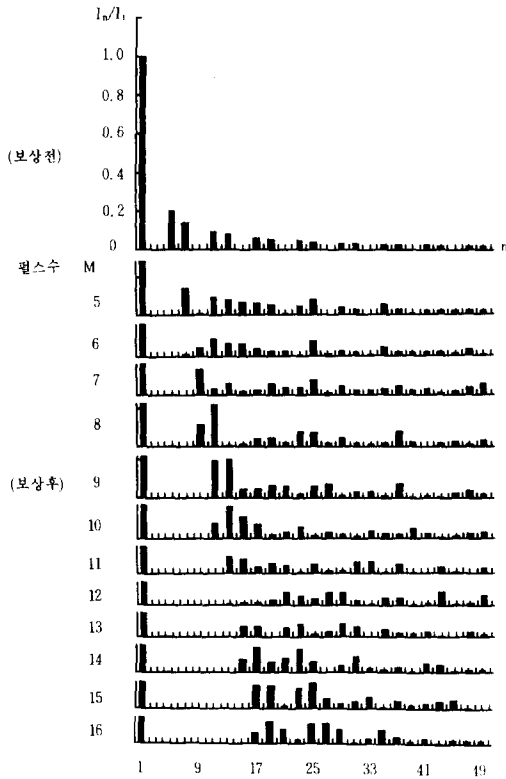


그림 11. 펄스수 증가에 따른 보상후 전원전류의 스펙트럼 변화

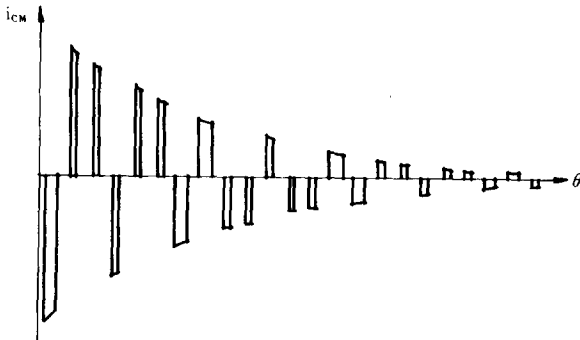


그림 12. 손실로 인한 PWM 보상전류의 감쇠

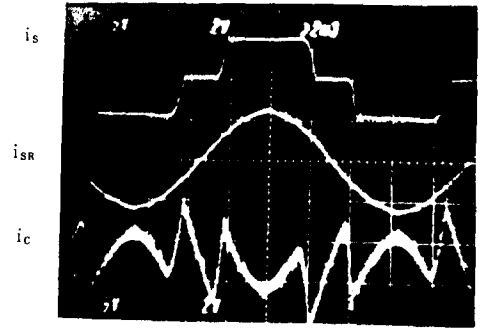


그림 13. 정지형 능동필터의 적용예²²⁾

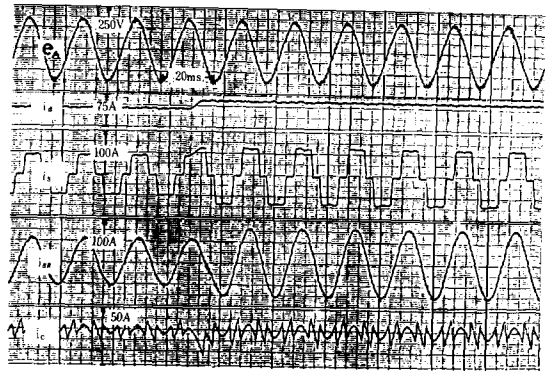


그림 14. 정류기 부하의 스텝변화에 대한 능동필터의 보상전류 응답²³⁾

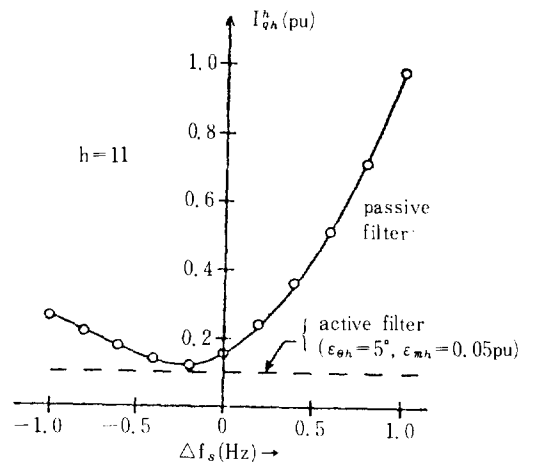


그림 15. 능동필터와 수동필터의 주파수변동에 따른 고조파 제거특성 비교. ($\epsilon_{\theta h}$, $\epsilon_{m h}$: 주입전류의 위상 및 크기오차)

表 3. 능동필터의 사용시 전류의 왜형율과 잔류비

	Order of Harmonics						Total Distortion Factor
	5th	7th	11th	13th	17th	19th	
Distortion Factor DF _B without Compensator %	18.3	13.3	6.4	6.2	2.9	3.0	24.9
Distortion Factor DF _A with Compensator %	0.8	0.7	1.1	0.3	0.3	0.3	1.8
Residual Ratio%	4.7	5.2	17.7	5.4	9.4	10.7	-

수동필터의 경우는 그 특성이 크게 변동되고 있을 뿐 아니라 어떠한 주파수에서도 능동필터의 저감특성을 증가하지 못하고 있다.

이러한 정지형 필터는 수동 필터와는 달리 하나의 장치로 많은 고조파를 동시에 제거할 수 있으며 교류전원측의 고조파가 증가하더라도 전혀 과부하로 되지 않는 장점이 있다.

그리고 정지형 필터는 전압형과 전류형이 있는데 여기서는 전류형 필터를 위주로 기술하였다. 전류형 필터는 전류를 직접 제어하므로 응답이 빠른 반면에 전력손실이 크고 반드시 고역 통과 필터를 사용해야 한다. 그러나 전압형의 경우는 그러한 단점이 없지만 간접적으로 전류를 제어하기 때문에 응답속도면에서 불리할 수 있다.²⁰⁻²³⁾

IV. 결 론

본고에는 교류전원측에 발생하는 고조파를 제거하기 위한 정지형 능동전력필터에 관해 기술하였다. 능동필터는 기존의 L-C필터와는 달리 능동소자인 전류원을 사용하여 계통으로 직접 고조파보상전류를주입함으로써 고조파를 상쇄시키는 장치이다. 이러한 정지형 필터가 갖는특성을 요약하면 다음과 같다.

1. 정지형 필터는 한대만으로 다수대의 L-C 수동필터를 부착한 것과 같은 효과를 발휘한다.
2. 필터가 전류를 주입한 만큼 고조파를 제거시키게 되므로 과부하로 되는 일이 전혀 없다.
3. 능동필터내 전류형 인버터에 인가되는 신호를 조작해서 제거하는 고조파의 차수들과 양을 얼마든지 가변시킬 수 있다.

4. 정지형 필터는 수동필터의 경우처럼 주파수와 L및 C의 변동에 따라 고조파 억제특성이 변하지 않는다. 이상과 같은 장점을 지니는 정지형 필터는 설비비의 면에서도 수동필터보다 불리하지는 않을 것이다. 더구나 저렴한 대용량의 반도체소자들이 지속적으로 개발될 것으로 미루어 다음 세대의 교류필터로서 각광받을 것이다. 그리고 현존하는 능동필터에 무효전력보상의 기능까지 추가시켜 하나의 장치로 구성시키는 문제는 금후 이루어져야 할 좋은 연구과제라고 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) D. E. Steeper and R. P. Stratford, "Reactive Compensation and Harmonic suppression for Industrial Power Systems using Thyristor Converters,"IEEE Trans. on IA, Vol. IA-12, (3), 1976.
- 2) R. P. Stratford, "Analysis and Control of Harmonic Current in Systems with Static Power Converters," IEEE Trans. on IA, Vol. IA-17(1), Jan./Feb. 1981.
- 3) IEEE Guide for Harmonic Control and Reactive Compensation of Power Converters, IEEE Std 519, 1981.
- 4) IEEE Working Group on Power System Harmonics, "Power System Harmonics: An Overview,"IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-102(8), Aug. 1983.
- 5) L. R. Blake, "The Double 3-Phase Rectifier with Interphase Reactor Excited from a Frequency Tripler", PROC. IEE, Vol. 100, Pt II, 1953.
- 6) B. M. Bird, et al., "Harmonic Reduction in Multiplex Converters by Triple-Frequency Current Injection,"

- PROC. IEE, Vol. 116(10), 1969.
- 7) A. Ametani, "Generalised Method of Harmonic Reduction in ac-dc Converters by Harmonic Current Injection," PROC. IEE, Vol. 119(7), 1972.
 - 8) N. Mohan, et al., "Active Filters for AC Harmonic Suppression," IEEE PES Winter Meeting, 1977.
 - 9) J. F. Baird, et al., "Harmonic Reduction in dc-ripple reinjection," IEE PROC. Vol. 127(5), Pt. C, 1980.
 - 10) J. F. Baird, et al., "Increasing the Pulse Number of AC-DC Converters by Current Reinjection Techniques," IEEE Trans, on PAS, Vol. 102(8), 1983.
 - 11) H. Sasaki and T. Machida, "A New Method to Eliminate ac Harmonic Currents by Magnetic Flux Compensation-Consider on Basic Design," IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-90, No.5, Sept./Oct. 1971.
 - 12) H. Sasaki and T. Machida, "Transient Analysis of Harmonic Current Elimination Method by Magnetic Flux Compensation," IEEE Trans on PAS, Vol. PAS-93(2), Mar./Apr. 1974.
 - 13) E. W. Kimbark, Direct Current Transmission volume I, John Wiley & Sons, 1971.
 - 14) L. Gyugyi and E. C. Strycular, "Active AC Power Filters," IEEE IAS Annual meeting, 1976.19-c.
 - 15) H. Kawahira, "Active Power Filter," IPEC-TOKYO 1983.
 - 16) H. Hayafune et al, "Microcomputer Controlled Active Power Filter," Proceedings IECON 1984.
 - 17) Gyu-Ha Choe and Min-Ho Park, "A New Injution Method for AC Harmonic Elimination by Active Power Filter," Proceedings IECON 1985.
 - 18) Gyu-Ha Choe and Min-Ho Park, "Analysis and Control of Active Power Filter with Optimized Injection," IEEE PESC Record 1986.
 - 19) G. H. Choe, A Study on the Active AC Power Filter by Current Injection, Ph. D. Thesis, SNU, 1986.
 - 20) L. Malesani, et al., "Active Filter for Reactive Power and Harmonics Compensation," IEEE PESC Record 1986.
 - 21) H. Akagi, A. Nabae and S. ATOH, "Control Strategy of Active Power Filters Using Multiple Voltage-Source PWM Converters," IEEE Trans. on IA, Vol. IA-22(3), 1986.
 - 22) K. Komatsugi and T. Imura, "Harmonic Current Compensator Composed of Static Power Converter," IEEE PESC Record 1986.
 - 23) F. Peng, et al., "A Study of Active Power Filters using Quad-Series Valtage Source PWM Coverters for Harmonic Compensation," IEEE PESC Record 1987.
 - 24) G. Schoor, et al., "A Study of A System of Current Fed Converters as an Active Three Phase Filter," IEEE PESC Record 1987.
 - 25) H. S. Patel, et al., "Generalized Techniques of Harmonic Elimination and Voltage Control in Thyristor Inverters : Part I - Harmomic Elimination," IEEE Trans. on IA, Vol. IA - 9(13), 1973.
 - 26) H.S. Patel, et al., "Generalized Techniques of Harmonic Elimination and Voltage Control in Thyristor Inverters : Part II - Voltage Control Techniques," IEEE Trans, on IA, Vol. IA-10(5), 1974.
 - 27) G. S. Buja, et al., "Optimal Pulse Width Modulation for feeding AC Motors," IEEE Trans, on IA, Vol. IA-13(1), 1977.
 - 28) P. D. Ziogas, "Synthesis of Optimum Gain Functions for Static Powet Converters," IEEE Trans. on IA, Vol. IA-19(3), May / June 1983.
 - 29) Gyu-Ha Choe, et al., "A New Pulse Width Modulated Method for AC Chopper," IEEE PESC Record 1987.