

ANP에 의한 고조파 필터설치의 우선순위 결정에 관한 연구

김용하* · 이 범** · 최상규*** · 우성민* · 황봉수**** · 김용태***** · 임병희*****
 인천대학교* 여수대학교**, 안양과학대학**, 대전광역시첨단산업진흥재단***, 인천도시철도건설본부****, 한국전기안전공사*****

A Study on Priority Solution of ANP for Harmonic filter setting

Kim,Y.H* · Lee,Buhm** · Choi,S.K*** · Woo,S.M* · Hwang B.S**** · Kim Y.T****, Im B.H*****
 University of Incheon* · Yosu N.U** · Anyang T.C** · D.I.F*** · S.C.H**** · KESCO*****

Abstract - This paper presents a method which can select optimal nodes to reduce harmonics by using ANP. First, we measured harmonics for the real distribution system and Tried to Analyze It. Second, we designed filters to reduce harmonics. Third, we composed each clusters and calculated it to select optimal nodes based on ANP. We applied it to the distribution system, and deduce most advantageous method in many technical and economical among harmonic decrease measures. We proved the adequacy and usefulness of the result.

1. 서 론

최근 전력전자기술의 발달로 계통에 많은 피해가 발생하고 있으며 이러한 문제들로 인하여 전력품질에 대한 해석의 중요성이 증대되고 있다. 전력품질의 여러 요소들 중 특히 고조파는 수용가 기기에 장애를 유발시킬 뿐 아니라 공급하는 전원측으로 파급되어 계통에 접속된 다른 수용가에도 악영향을 미치고 있다.

본 연구에서는 고조파의 영향을 가장 합리적인 방법으로 줄이기 위하여 실제로 배전계통의 고조파 발생량을 측정하여, 고조파 분석을 통해 고조파 규제기준 중 적용이 가능한 한국전력공사 기준과 IEEE Std-519 및 IEC의 규격을 만족할 수 있도록 회로별로 적합한 필터의 종류와 용량을 설계하였으며 이 결과 계통에 여러 종류의 필터를 다수의 개소에 설치해야 하는 경우 어떤 종류의 필터를 어느 위치에 설치하는 것이 계통의 고조파 저감을 위하여 기술적인 측면과 경제적인 측면에서 가장 유리한지를 결정하기 위한 방법을 제안하였다. 즉, 설계된 고조파 저감장치의 설치우선순위를 결정하기 위하여 종합의 사결정의 한 방법인 ANP(Analytic Network Process)를 이용하여 종합의사결정을 위한 시뮬레이션을 수행하고 이를 대규모 배전계통에 적용하여 본 연구의 결과의 타당성을 검증하고 유용성을 입증하였다.

2. 필터 설계

현재계통에 고조파의 발생정도를 평가하고 기준치 이상이면 대책수립 절차는 다음과 같다.

① 계통의 구성 : 계통의 조건을 최대한 동일하게 하여 고조파 해석을 위한 계통모델링

② 고조파원 성격 규정 : 부하의 종류에 따른 발생 고조파를 선정하고 스펙트럼 및 용량선정

③ PCC 선정 : IEEE규정을 적용할 PCC점을 선정하고 그 지점에서의 단락전류와 경계전류의 비를 계산하고 그 값에 맞는 규정치를 적용한다.

④ 역률보상을 위한 진상용량의 산정 : 계통의 역률을 보상하기 위한 콘덴서를 설치할 경우 계통과 공진문제가 발생하므로 반드시 고조파의 영향에 의한 전위상승을 계

산하여 용량을 산정한다.

- ⑤ PCC점의 고조파전류 예측 : Simulation을 통해서 고조파 전류를 계산하여 규정치를 벗어나는지를 확인한다.
- ⑥ Filter의 설계 : PCC에서의 고조파전류가 규정치를 벗어났다면 고조파를 제거하기 위한 적절한 Filter를 설계하고 Simulation을 통해서 개선된 고조파 전류가 규정치내로 개선되었는지 확인한다.

2.1 수동필터(PF:Passive Filter)

역률조정을 위한 캐패시터 용량 산정

$$Q_c = P_L (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) [KVAR] \quad (1)$$

단, $\tan \theta_1$: 역률보상전의 역률 각

$\tan \theta_2$: 역률보상후의 역률 각

공진문제의 해결을 위한 필터의 주파수 결정

$$f_r = 2\pi f_0 \sqrt{\frac{MVA_{SC}}{MVAr_c}} \quad SCR = \frac{MVA_{SC}}{MW_{rect}} \quad (2)$$

단, SCR : 단락비 MW_{rect} : 보상기의 용량[MW]

MVA_{SC} : 캐패시터 접속점에서의 단락용량[MVA]

MVAr_c : 캐패시터 용량[Kvar]

③ 필터의 XC, XL, 용량계산

$$X_c = \frac{V^2}{MVAr_c} [\Omega] \quad X_L = \frac{X_c}{r \times h} [\Omega] \quad (3)$$

단, r, h: 경험적인 값

h: 고조파차수 MVAr_c는 설계자가 선정한 용량

필터로 유입되는 무효전력 Q_{CF} 는

$$Q_{CF} = \sqrt{3} \times V_{Crms} \times I_{Frms} \quad (4)$$

여기서, $V_{Crms} = \sqrt{V_{C1}^2 + V_{CN}^2}$ [V] $I_{Frms} = \sqrt{I_1^2 + I_N^2}$ [A]

캐패시터의 제한치 설정

전력 캐패시터를 위하여 ANSI/IEEE 18-1980규격인 실효전류 180[%], 실효전압 110[%], 최대전압 120[%], 무효전력 135[%]으로 제한한다.

⑤ 캐패시터 뱅크 용량의 설정

앞에서 위 반되는 값이 발생되면 캐패시터 뱅크의 용량(VAR)을 상향조절하여 다시 설계한다.

2.2 영상분고조파 필터(ZSF:Zero Sequence Filter)

ZSF는 영상분 고조파가 많이 발생하고 중성선의 고조파 전류성분이 많이 발생되는 곳에 설치하여 Triplen 고조파의 제거를 목적으로 사용된다. 우선 설치위치는 중성선의 고조파 전류가 발생되는 곳의 중성선에 연결되어 영상분 전류를 흡수하는 개념으로 동작하게 된다. 영상분 고조파의 발생이 현저하게 나타나는 지점에 적용하기 유리하다. 영상분 고조파 필터 설계방법이 다양하고 경험적인 요소가 많이 있어 식 (5)와 같이 표현한다.

$$ZSF = \frac{\left(\frac{n}{r} \times V \times \sqrt{3}\right)}{1000} |A| \quad (5)$$

단, ZSF : 영상분고조파 필터 용량[A] V : 전압
n : 중성선 전류 용량, r : 경험적 요소에 의한 지수

2.3 능동필터(APF:Active Power Filter)

APF의 경우 전체고조파의 THD가 규정에 만족되었을지라도 개별고조파가 제한치를 위반한 경우 개별고조파들의 저감에 유리하며 APF는 고조파가 발생될 때 역위상의 파형을 발생시켜 고조파를 개선시키는 개념으로 동작하게 된다. 개별고조파가 제한치를 위반한 경우에 1개소에서 짐증 보상하는 방식을 취하는 지점에 설치하는 것이 유리다. 능동필터 설계방법이 다양하고 경험적인 요소가 많이 있어 식(6)과 같이 표현한다.

$$APF = \frac{THD_s - THD_{rms}}{H} [A] \quad (6)$$

단, APF : 능동필터의 용량[A]

THD_{rms} : 개선전의 THD_{rms}

THD^*_{rms} : 개선목표치의 THD_{rms}

H : 보상효율(경험효율)

3. ANP 및 모델구성

3.1 ANP

ANP는 평가대상, 평가기준들 사이의 관계뿐만 아니라, 이들 요소 각각에 대한 관계도 고려할 수 있는 장점이 있다. ANP에 의한 종합적인 평가의 구조를 그림3에 나타내었다. ANP는 평가기준, 평가대상을 각각의 Cluster로 나누고, 이를 Cluster사이의 관계로써 종합적으로 평가는 방법이다. 즉, 그림1에서 유사한 특성을 갖는 요소들을 평가대상 평가기준1, 평가기준2..., 평가기준n의 클러스터로 그룹화하고 이를 요소간의 관계, 클러스터간의 관계로서 종합 평가는 방법이다. Cluster 내의 점선은 요소간의 관계를 의미하며, 실선은 클러스터간의 관계를 의미한다.

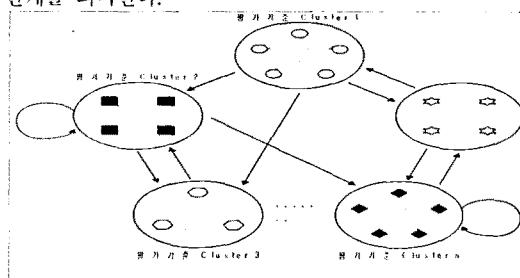


그림1. ANP의 구조

3.2 모델구성

본 연구에서는 하나의 평가대상 클러스터와 4개의 평가기준 클러스터를 구성하였다.

3.2.1 평가대상클러스터

평가대상 클러스터는 필터설치 대상 분기점을 대상으로 하였다. 이들 분기점별 설치의 용이성 등은 개별적으로 서로 독립적이기 때문에 본 연구에서는 중요도에 대한 평가는 동등하게 구성하였다.

3.2.2 평가기준클러스터

평가기준의 클러스터는 크게 4가지로 전압/전류의 종합형률, 개별전압조과 THD, 개별전류조과 THD, 필터의 가격 및 크기 등으로 구성하였다. 크게 규제에 직접 관련이 있는 클러스터로 왜형률에 관한 클러스터와 각 전압, 전류에 대한 개별 고조파 규정에 관한 클러스터로 구성하였다. 또한 직접적인 규제와는 관련이 없으나 현실적인 경제성을 반영하기 위해서 가격과 크기의 상관관계를 파악할 수 있는 클러스터로 구성하였다.

3.2.3 기증치 클러스터의 구성

상기 클러스터들은 각각에 대해 어느 정도 중요한지를 기증치를 통하여 반영할 필요가 있기 때문에, 이를 기증치를 모은 기증치클러스터로 구성도록 하였다.

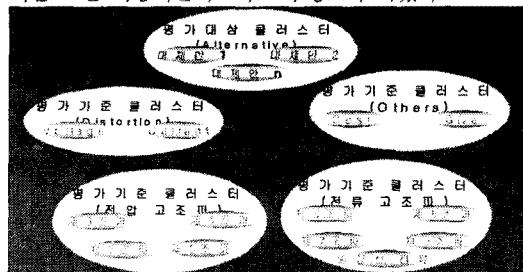


그림2. ANP 평가를 위한 모델구성

4. 사례 연구

4.1 계통의 측정 및 결과

본 연구에서 배전계통은 주변전소에 있는 2대의 변압기로부터 22.9kV(10회선)를 공급받으며 전원공급은 상시전원, 예비전원, 비상전원, 발전전원으로 구성되어 신뢰성이 우수하다 볼 수 있는 계통에 적용하였다.

표1. 측정대상시설

장소	전압(kV)		용량 (kVA)	수량 (대)	용도	비고
	1차	2차				
특별고압변전소 (L/C 10개소)	22.9	0.38	2,500	30	상시사용	
			1,000	10	비상발전계통	

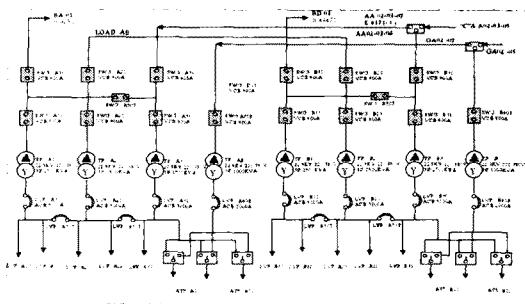


그림3. 배전 계통도

각 측정지점별 고조파함유율을 그림4에서 나타내었다.

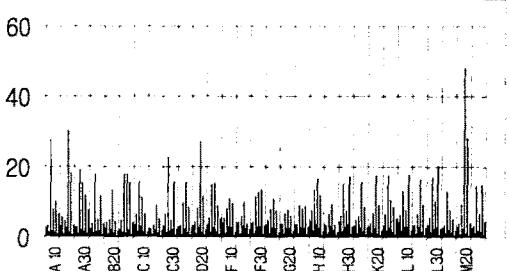


그림4. 측정지점에서의 고조파 전류값

IEEE Std-519의 ITDD 규제치는 단락비(I_{SC}/I_L)가 <20인 경우 5[%]이므로 현재계통에서의 ITDD 규제치는 5[%]를 적용하였으며, ITDD 규제치인 5[%]를 넘은 경우로 필터 설계 대상으로 분류하였다. 또, IEEE Std-519의 ITDD 규제치인 5[%]를 넘지 않았지만 개별고조파

(3,5,7,9조파)가 IEEE Std-519의 개별고조파 규제를 넘는 경우로 필터설계는 하지 않았으나 측정대상으로 분류하였다.

4.2 필터설계

Filter 설계는 측정점을 기준으로 총합수요전류 왜형률 ITDD가 규정치인 5%를 초과하는 개소를 우선대상으로 대책수립을 하였다. 또한 각각의 규제치의 값을 비교하여 보다 엄격한 규제를 적용하였다.

표2. 고조파의 저감대책 효과

ITDD 초과	VTHD		ITDD		개선 필터종류	용량 [A]
	개선전	개선후	개선전	개선후		
A20	3.21%	<5.0%	5.67%	3.04%	Active Power	100
C10	3.45%	2.42%	6.41%	3.71%	Zero Sequence	600
C30	3.10%	2.17%	6.49%	3.58%	Zero Sequence	600
D30	3.42%	<5.0%	5.41%	2.78%	Active Power	100
F10	4.07%	<5.0%	5.34%	0.90%	Active Power	100
H10	4.44%	<5.0%	7.35%	0.90%	Active Power	150
H30	4.46%	3.35%	6.03%	3.97%	Zero Sequence	600
K30	3.24%	2.24%	6.51%	3.70%	Zero Sequence	600
L10	4.12%	3.17%	6.22%	4.30%	Zero Sequence	600
L30	3.40%	<5.0%	5.58%	2.95%	Active Power	100

4.3 ANP에 의한 필터설치 우선순위의 결정

4.3.1 ANP구성

상기 클러스터 대한 가중치 클러스터는 다음과 같이 구성하였다.

표3. 클러스터의 가중치

	alternative	distortion	harmonic of voltage	harmonic of current	others
alternative	0.200	1.000	0.250	0.333	0.333
distortion	0.200	0.000	0.250	0.333	0.333
harmonic of voltage	0.200	0.000	0.250	0.000	0.000
harmonic of current	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000
others	0.200	0.000	0.250	0.333	0.333

각각의 요소에 적용할 가중치를 표5와 같이 적용하였다.

표4. 가중치 적용을 위한 기본값

구분	전압 THD	전류 TDD	3조파	5조파	7조파	9조파	3조파	5조파	7조파	9조파	영상분
최대 차이값	1.36	2.01	0.99	1.87	2.24	0.29	18.04	25.52	13.80	3.97	410.77
기준 verbal	0.15	0.22	0.11	0.21	0.25	0.03	2.00	2.84	1.53	0.44	45.64

클러스터 대상은 다음과 같이 구성하였다.

표5. 평가대상 클러스터

	A20	C10	C30	D30	F10	H10	H30	K30	L10	L30
A20	0	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
C10	0.111	0	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
C30	0.111	0.111	0	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
D30	0.111	0.111	0.111	0	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
F10	0.111	0.111	0.111	0.111	0	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
H10	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0	0.111	0.111	0.111	0.111
H30	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0	0.111	0.111	0.111
K30	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0	0.111	0.111
L10	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0	0.111
L30	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0

이와 같이 측정지점의 최대차이를 9단계로 나누어 표7에 서와 같은 가중치 범위를 지정하였다.

표6. 클러스터의 가중치 부여 범위

구분	전압 THD	전류 TDD	3조파	5조파	7조파	9조파	3조파	5조파	7조파	9조파	영상분
1	0.15	0.22	0.11	0.21	0.25	0.03	2.00	2.84	1.53	0.44	45.64
2	0.30	0.45	0.22	0.42	0.50	0.06	4.01	5.67	3.07	0.88	91.28
3	0.45	0.67	0.33	0.62	0.75	0.10	6.01	8.51	4.60	1.32	136.92
4	0.60	0.89	0.44	0.83	1.00	0.13	8.02	11.34	6.13	1.76	182.56
5	0.76	1.12	0.55	1.04	1.24	0.16	10.02	14.18	7.57	2.21	228.21
6	0.91	1.34	0.66	1.25	1.49	0.19	12.03	17.01	9.20	2.65	273.85
7	1.06	1.56	0.77	1.45	1.74	0.23	14.03	19.85	10.73	3.09	319.49
8	1.21	1.79	0.88	1.66	1.99	0.26	16.04	22.68	12.27	3.53	365.13
9	1.21	1.79	0.88	1.66	1.99	0.26	16.04	22.68	12.27	3.53	365.13

4.3.2 ANP를 적용한 평가대상의 우선순위

앞에서 구성된 클러스터에서 수렴 및 정규화과정을 거쳐 우선순위를 구한 결과는 다음과 같다.

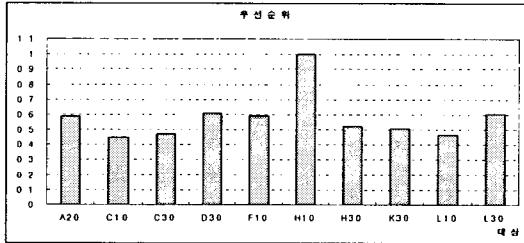


그림5. 평가대상에 대한 우선순위

위의 과정을 거쳐 결정된 우선순위 지점에 우선적으로 고조파 제거를 위한 Filter가 설치될 때 고조파 저감의 효율 면에서 가장 적합한 위치임을 알 수 있다.

5. 결 론

대규모 배전계통에서 기준치를 초과하여 발생하는 고조파에 대하여 모든 개소에 필터를 설치할 경우는 막대한 비용과 시간이 소요 되므로 이렇게 배전계통에 여러 종류의 필터를 다수의 개소에 설치해야 하는 경우 기존에는 직관적·경험적 방법으로 설치 우선순위를 결정하여 설치하였다. 하지만 이 방법이 실제로 가장 경제적이면서 효과적인 것인지에 대한 검증이 되지 않았다.

때문에 본 연구에서는 설계된 고조파 저감장치 중에서 가장 합리적인 설치 우선순위를 결정하기 위하여 종합의 사결정의 한 가지 방법인 ANP(Analytic Network Process)를 실제 측정한 배전계통에 적용하여 각각의 Factor에 대한 중요도를 비교함으로써 다수의 고조파 저감 대책 중 기술적·경제적 측면에서 가장 유리한 방법을 도출하고 그 결과의 타당성 및 유용성을 입증하였다.

감사의 글

“본 연구는 2004년도 에너지관리공단
에너지자원기술개발사업의 지원에 의한 것임”

【참 고 문 헌】

- [1] 한국전력공사, “고조파 사용실태 조사 및 개선방안 연구”, 2002
- [2] 한국전기안전공사, 윤덕량, “전기사용장소의 고조파 장해분석 연구”, 1996
- [3] 한국전기안전공사, “전력계통의 고조파 장해 분석”, 1992
- [4] 전력기기술인협회지, 김용상, “전력기기의 고조파 발생 원인과 영향 및 특성”, pp. 22~26, 10. 2001
- [5] 전기학회지, 김재철, 윤산윤, “배전계통의 전력품질 및 신뢰도 평가의 방법” 전기학회지, 제50권, 3호 3. 2001
- [6] McGraw-Hill, Roger C.Dugan, Mark F.McGranaghan, H.Wayne Beaty “Electrical Power Systems Quality” 1996