

배전계통 고조파 저감대책의 종합의사결정을 위한 ANP 적용에 관한 연구

김용하* · 이 범** · 최상규*** · 나인규* · 황봉수* · 윤종해*
 *인천대학교 전기공학과 · **여수대학교 전자통신전기공학부 · 안양과학대학 전자통신정보학부

ANP Decision Making to Reduce Harmonics for Distribution System

Yong-ha Kim* · Buhm Lee** · Sang-kyu Choi*** · In-kyu Na* · Bong-su Hwang* · Jong-hae Yoon*
 *University of Incheon · *Yosu National University · ***Anyang Technical College

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 designed filters. Second, we composed each clusters and calculated it to select optimal nodes based on ANP. We applied it to the distribution system, and usefulness of the method is verified.

1. 서론

종래에는 전력의 품질로 정전, 전압강하, 주파수 변동이 다루어 졌으나, 최근 전력전자설비의 보급과 함께 고조파 등에 대한 품질요구가 커지고 있다.

본 연구에서는 배전계통에서 필연적으로 파생하는 고조파의 영향을 가장 합리적인 방법으로 줄일 수 있는 방법을 개발하였다. 우선, 배전계통의 고조파 발생량을 측정하고, 분석을 통하여 고조파 규제기준 중 적용이 가능한 한국전력공사 기준과 IEEE519 및 IEC의 규격을 만족할 수 있도록 분기점별로 적합한 필터의 종류와 용량을 설계하였다. 또한, 이의 결과로부터, 어느 분기점에 어떤 종류 및 용량의 필터를 설치하여 저감하는 것이 기술적인 측면과 경제적인 측면에서 가장 유리한지를 결정하기 위하여, 종합의사결정의 한 방법인 Analytic Network Process(이하 ANP)에 의한 모델을 개발하였다. 제안한 방법을 규모가 큰 실제 배전계통에 적용하여 본 연구의 유용성을 입증하였다.

2. 필터의 설계

본 연구에서는 고조파의 영향을 저감하기 위하여 수동필터의 한 종류인 Single-tuned first-order filter를 설계하여 적용하였다. 이 필터는 L과 C의 직렬조합으로 이루어져 있는데, 이들 값의 크기 및 용량은 다음과 같이 결정하였다.

① 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

② 공진문제의 해결을 위한 필터의 주파수 결정

$$f_r = 2\pi f_0 \sqrt{\frac{MVA_{sc}}{MVAR_c}} \quad (2)$$

$$SCR = \frac{MVA_{sc}}{MW_{rect}}$$

단, SCR : 단락비

MVA_{sc} : 캐패시터 접속점에서 단락용량[MVA]

$MVAR_c$: 캐패시터 용량[Kvar]

MW_{rect} : 보상기의 용량[MW]

③ 필터의 XC, XL, 용량계산

$$X_C = \frac{V^2}{MVAR_c} [\Omega] \quad (3)$$

$$X_L = \frac{X_C}{r \times h} [\Omega]$$

단, r: 경험적인 값으로 5고조파의 경우 0.94를 적용

h: 고조파차수 MVARC는 설계자가 선정한 용량

필터로 유입되는 무효전력 Q_{CF} 는

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

여기서,

$$V_{Crms} = \sqrt{V_{C1}^2 + V_{CN}^2} [V]$$

$$I_{Frms} = \sqrt{I_1^2 + I_N^2} [A]$$

④ 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 위반되는 값이 발생되면 캐패시터 뱅크의 용량(VAR)을 상향조절하여 다시 설계한다.

3. ANP에 의한 필터설치 우선순위의 결정

본 연구에서는 필터설치 장소의 우선순위를 결정하기 위하여 ANP를 도입하였다. 우선 하나의 평가대상 클러스터와 4개의 평가기준 클러스터를 구성하였다.

1) 평가대상 클러스터

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

2) 평가기준 클러스터

평가기준의 클러스터는 크게 4가지 종류로 구성하였다. 크게 규제에 직접관련이 있는 클러스터로 왜형률에 관한 클러스터와 각 전압, 전류에대한 개별 고조파 규정에 관한 클러스터로 구성을 하였다. 또한 직접적인 규제와는 관련이 없으나 현실적인 경제성을 반영하기 위해서 가격과 크기의 상관관계를 파악할 수 있는 클러스터로 구성을 하였다.

(1) 전압/전류의 종합왜형률(Distortion)

규정의 제한값에 대해 평가를 하기 위해 필터설치 대상 분기점에서 가장 큰 값과 가장 작은 값의 차를 기준으로 하고, 이 값의 차를 (분기점수-1)로 등분하여 구성하였다.

(2) 개별 전압조파 THD(Voltage of harmonics)

본 연구에서 측정대상으로 한 조파가 3,5,7,9조파이기 때문에 개별 전압조파 THD의 클러스터의 구성은 4개의 요소로 하였다. 이들에 대한 중요도의 반영은 독립적인 요소로 하여 중요도의 반영은 모두 같은 것으로 하였으며 평가대상 클러스터를 구성하고 있는 분기점수에 대한 중요도의 반영은 이들 중 가장 큰 값과 가장 작은 값의 차를 기준으로 하고 이 값의 차를 (분기점수-1)로 등분하여 범위를 구성하였다.

(3) 개별 전류조파 THD(Current of harmonics)

본 연구에서 측정대상으로 한 조파가 3,5,7,9조파이고 특히 3조파에 대해서는 중성선에 대한 규정값을 반영하기 위해 독립적인 요소로 동등하게 평가하는 각조파 전류에 대한 4개의 요소와 3조파의 영향을 받는 중성선 관련 요소를 추가하여 모두 5개의 요소로 구성을 하였다. 평가대상 클러스터를 구성하고 있는 분기점수에 대한 중요도의 반영은 개별 전압조파와 마찬가지로 가장 큰 값과 가장 작은 값의 차를 기준으로 하고 이 값의 차를 (분기점수-1)로 등분하여 범위를 구성하였다.

(4) 필터의 가격 및 크기(Others)

위의 사항 이외에도 필터의 가격이나 크기도 중요하기 때문에, 본 연구에서는 이들 가격 및 크기에 따른 경쟁력을 별도의 클러스터로 구성하여, 기술적인 면 이외에도 경제·실무적인 면도 반영할 수 있도록 하였다.

(5) 가중치 클러스터의 구성

상기 클러스터들은 각각에 대해 어느 정도 중요한지를 가중치를 통하여 반영할 필요가 있기 때문에, 이들 가중치를 모은 가중치클러스터로 구성토록 하였다.

4. 사례연구

4.1 계통자료

본 연구에서 사용한 계통은 실존하는 대규모의 배전계통으로 개략적인 계통도는 다음과 같다.

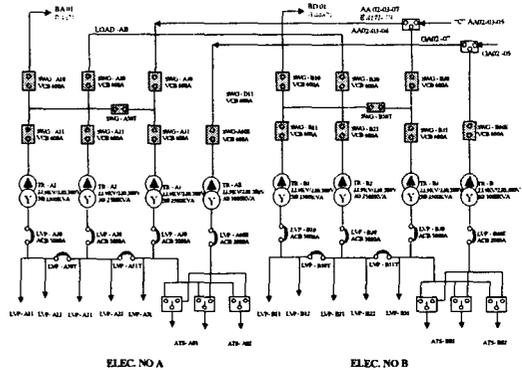


그림 1 대상계통

4.2 고조파 측정결과 및 필터설계

본 연구에서는 그림 1의 계통 중 30개 분기점에 대한 고조파측정을 통하여 각 지점별로 고조파전압 및 전류를 구하였다. 이와 같이 고조파를 측정한 결과, 이들 30개의 지점중 10개 분기점에서 IEEE-519 기준치를 초과하고 있음을 알 수 있었다. 따라서, 이들 개개 분기점에 대해서 가장 적합한 필터를 설계하고, 시뮬레이션을 통해 고조파전압 및 전류를 계산한 결과를 다음에 나타내었다.

표 1. 고조파초과개소의 필터설계

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 ANP의 구성

(1) 평가대상 클러스터

앞에서 설명한바와 같이 평가대상 클러스터는 다음과

같이 동등하게 구성하였다.

표 2. 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

(2) 평가기준 클러스터

평가기준 클러스터는 앞에서 설명한바와 같이 4가지로 나누어 각각 구성하였다.

- ① 전압/전류의 종합왜형률
- ② 개별 전압조파 THD
- ③ 개별 전류조파 THD
- ④ 필터의 가격 및 크기

(3) 가중치 클러스터의 구성

상기 클러스터를 각각에 대한 가중치 클러스터를 다음과 같이 주었다.

표 3. 클러스터의 가중치

	평가대상	종합왜형률	전압 THD	전류 THD	기타
평가대상	0.200	1.000	0.250	0.333	0.333
종합왜형률	0.200	0.000	0.250	0.333	0.333
전압 THD	0.200	0.000	0.250	0.000	0.000
전류 THD	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000
기타	0.200	0.000	0.250	0.333	0.333

4.3.2 ANP에 의한 평가 결과

앞에서 구성된 클러스터와 가중치를 사용하여 수렴 및 정규화과정을 거쳐 우선순위를 구한 결과를 다음에 나타내었다.

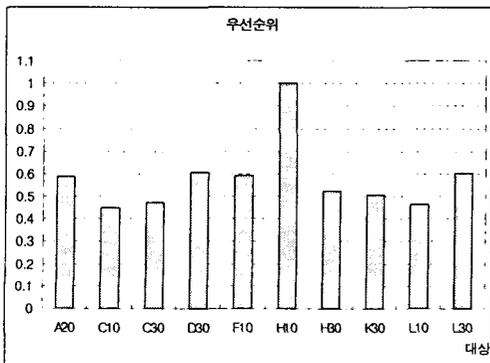


그림 2. 평가대상에 대한 우선순위

그림 2는 고조파기준치를 초과하는 본 계통의 10개 지점중 H10의 우선순위가 가장 앞서, H10지점에 대해 우선적으로 투자가 필요함을 알 수 있다. 그다음으로는 D30, L30, F10, A20, H30, K30, C30, L10, C10의 순서로 투자가 필요함을 알 수 있다. 즉, ANP를 사용함으로써 4.2절에서 보인 고조파기준치를 초과하면 투자한다는 단순한 방법에서 더 나아가 효율적이면서도 경제적인 설계가 가능함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 대규모의 배전계통에 대하여 고조파를 측정하고, 필터를 설계하였으며, 최적의 위치를 결정할 수 있도록 하였다. 우선, 배전계통의 30개 지점에 대하여 고조파를 측정된 결과, 10개 지점에서 IEEE-519를 초과하는 고조파가 발생하고 있었다. 이들 10개 지점에 대하여 필터를 설계하여 고조파를 기준치 이내로 줄일 수 있도록 하였다. 또한, ANP를 도입하여 평가대상으로 이들 10개 지점을 정하였고, 평가기준으로 전압/전류의 종합왜형률, 개별 전압조파 THD, 개별 전류조파 THD, 필터의 가격 및 크기를 사용하였으며, 이와 같이 구성된 행렬에 대해 수렴화 및 정규화를 거친 결과, H10지점이 우선적으로 설치를 필요로 함을 알 수 있었으며, 다른 지점들에 대해서도 우선순위를 정할 수 있었다. 향후, 고조파 이외에도 Sag, Swell, Notch, Flicker 등 전압에 영향을 미치는 다양한 부분에 대한 전반적이면서도 종합적인 검토를 필요로 한다.

감사의 글

"본 연구는 한국과학재단 지정 인천대학교 동북아전자물류 연구센터의 지원에 의한 것임"

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE Industry Applications Society & Power Engineering Society, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System", IEEE Std 519-1992
- [2] P.J. Talacek, N.R. Watson, "Marginal Pricing of Harmonic Injections", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 17, No. 1, pp. 50-56, Feb. 2002.
- [3] E. Acha, M. Modrigal, "Power Systems Harmonics Computer Modelling and Analysis", Wiley, 2001.
- [4] R.C. Dugan, M.F. McGranaghan, H.W. Beaty, "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, 1996.
- [5] IEEE Working Group on Power System Harmonics, "Power System Harmonics: An Overview", IEEE Trans. on Power Apparatus and System, Vol. PAS-102, pp. 2455-2460, Aug. 1983.
- [6] J. Barros, E. Pe' rez, A. Figazo, R.I. Diego, "Simultaneous measurement of harmonics, Interharmonics and flicker in a power system for power quality analysis", Power System Management and Control, Conference Publication No. 488, April, 2002.