

잠재가격에 의한 모선별 고조파전압제약을 고려한 고조파 저감기법에 관한 연구

(A Study on Harmonics Reduction Method Considering Harmonic Voltage Limits
on Each Bus using Shadow Price)

이 범* · 김용하 · 최상규 · 이재걸 · 연준희

(Buhm Lee · Yong - Ha Kim · Sang - Kyu Choi · Jae - Gul Lee · Joon - Hee Yeon)

요 약

본 연구는 잠재가격을 사용하여 고조파를 효과적으로 저감시키는 새로운 방법을 제시한다. 우선, 고조파를 효과적으로 저감시키기 위하여 각 모선에 잠재가격을 적용하였으며, 전력수전점과 각 모선에서의 고조파한계치 이내로 고조파를 저감시킬 수 있는 새로운 알고리즘을 개발하였다. 그 결과, 배전계통에서 경제적으로 필터의 크기와 위치를 결정할 수 있도록 하였다. 제안한 방법을 실제계통에 적용하고, 그 유용성을 검증하였다.

Abstract

This paper presents a new harmonics reduction methodology using shadow price. First, we employed shadow price of each bus to reduce harmonics effectively. Second, we developed a new algorithm which can reduce harmonics under limits at PCC and each bus. As a result, economical design of filters and its location of the distribution system is possible. This method is applied to the real system, and the usefulness of the method is verified.

Key Words : Harmonics reduction, Harmonic voltage limit, shadow price

1. 서 론

다량의 고조파를 발생시키는 전력전자설비 등의 급격한 보급과 함께 고조파가 주변기기 및 계통에 미치는 영향이 날로 증대하고 있다. 이와 같이 발생된 고조파는 수용가내의 기기에 장애를 발생시켜 그 기기의 성능 및 수명에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 전

력을 공급하는 전원측으로도 유출되어 공급설비 및 인근 수용가에 악영향을 끼친다.

이중 전력계통에서의 고조파의 영향을 해결하기 위하여 전기를 공급하는 회사에서는 전력수전점(이하 PCC)을 기준으로 고조파를 일정기준 이내로 낮추도록 요구하고 있다[1]. 따라서, 지금까지는 고조파문제가 발생하면, 배전계통의 PCC 등에 수동 및 능동필터 등 고조파저감장치를 설치하여 제거하는 방법을 사용하여 왔다. 그러나, 이 방법은 PCC나 고조파발생장치 근처에 고조파저감장치를 설치하여 계통으로의 유출만을 억제함에 따라, 적절한 저감장치 용량 및 위치를 결정하는데 어려움이 있었으며,

* 주저자 : 여수대학교 전자통신 · 전기공학부 부교수
Tel : 061-659-3313, Fax : 061-659-3313

E-mail : buhmlee@yosu.ac.kr
접수일자 : 2003년 3월 4일
1차심사 : 2003년 3월 18일
심사완료 : 2003년 4월 21일

잠재가격에 의한 모선별 고조파전압제약을 고려한 고조파 저감기법에 관한 연구

특히 주변기기에서의 고조파의 영향은 고려할 수 없는 문제점이 있었다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여, 고조파를 부(-)의 특성을 갖는 자원으로 간주하고 조파별로 고조파의 모선별 잠재가격을 계산하려는 시도[2]가 있었으며, 이 방법은 일반 상품을 매매하듯이 고조파를 매매하는 개념을 사용하였다. 그러나, 이 방법은 각종 고조파전압에 대한 규제치를 고려치 않고, 단지 경제적인 측면으로만 해를 얻는 문제점이 있었다. 즉, PCC 및 각 모선에서 과도한 고조파전압이 발생하면 각 기기에 심각한 영향을 미칠 수 있지만, 이 방법에서는 경제적인 측면만을 고려하는 문제점을 가지고 있다.

그러므로, 본 연구에서는 2~50조파의 각 고조파에 대하여 고조파의 모선별 잠재가격을 사용하여 가장 경제적인 저감효과를 구할 수 있도록 하는 방법에서 더 나아가, 각 모선별 고조파전압까지도 기준치 이하로 유지할 수 있도록 고조파저감장치의 크기와 위치를 선정할 수 있는 방법을 개발하였다. 이 결과, 잠재가격에 의해 고조파저감장치의 크기와 위치를 설정할 수 있을 뿐만 아니라, 전기를 공급하는 회사와 배전계통내의 각 기기가 요구하는 제한치까지도 만족시킬 수 있게 되었다. 제안한 방법을 모델계통에 적용하여 그 효용성을 검증하였다.

2. 정식화

계통에서 발생하는 고조파는 2~50차까지 고려하도록 규정되어 있으며, 따라서 각 조파별로 문제점을 검토할 필요가 있다. 그러므로, 본 연구에서는 각 조파별로 목적함수와 제약조건을 구성하여 최적화 문제를 구성하였다.

2.1 목적함수

우선, 각 모선에 유입되는 h차 고조파전류에 의해 유기되는 고조파전압을 금전적 가치로 평가하기 위하여 각 모선에서 유입되는 고조파전압을 가치로 변환하는 함수를 다음과 같이 구성하였다. 식(1)의 고조파는 부(-)의 특성을 갖는 자원이므로, 이 값을 최대화하면 고조파의 영향이 최소가 되게 된다.

$$C(|E_h|) = \sum_{i=1}^n c_i(|E_{hi}|) \text{ [천원]} \quad (1)$$

여기서,

$c_i(|E_{hi}|)$: 모선 i에서 $|E_{hi}|$ 에 의해 나타나는 고조파의 가치[천원]

$$E_h = [E_{h1} \ E_{h2} \ \cdots \ E_{hn}]^T$$

E_{hi} : 모선 i에서의 h차 고조파전압[PU]

h : 고조파의 차수

n : 모선의 수

또한, 각 모선에 유입되는 h차 고조파전류를 저감시키기 위하여 저감장치를 설치할 수 있는데, 이때에 소요되는 비용함수를 다음과 같이 구성하였다.

$$R(|I_{Rh}|) = \sum_{i=1}^n R_i(|I_{Rhi}|) \text{ [천원]} \quad (2)$$

여기서,

$R_i(|I_{Rhi}|)$: 모선 i에서 $|I_{Rhi}|$ 에 의한 비용[천원]

$$I_{Rh} = [I_{Rh1} \ I_{Rh2} \ \cdots \ I_{Rhn}]^T$$

I_{Rhi} : 모선 i에서의 h차 고조파 저감전류[PU]

식(1) 및 식(2)를 더하여 목적함수를 구성하면 다음과 같다.

$$\max \{C(|E_h|) - R(|I_{Rh}|)\} \text{ [천원]} \quad (3)$$

2.2 제약조건

(1) 모선별 고조파 전력방정식

배전계통의 모선에 유입되는 h차 고조파전류는 고조파저감장치에 의해 저감되고난 후, 다음과 같이 고조파전압이 유기된다.

$$\begin{aligned} E_h &= [Z_h] (I_h - I_{Rh}) \\ &= [Y_h]^{-1} (I_h - I_{Rh}) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,

$$I_h = [I_{h1} \ I_{h2} \ \cdots \ I_{hn}]^T$$

- I_{hi} : 모선 i 에 유입되는 h차 고조파전류[PU]
- $[Z_h]$: h차 고조파의 Z 버스행렬
- $[Y_h]$: h차 고조파의 Y 버스 행렬

(2) PCC에서의 고조파전압제약

전기를 공급하는 회사는 수용가의 PCC에서의 고조파를 일정한 기준 이내로 유지할 것을 요구하고 있기 때문에, 이에 맞도록 운전해야 한다.

$$|E_{h\text{pcc}}| \leq |E_{h\text{pcc}}^{\max}| \tag{5}$$

여기서,

$$|E_{h\text{pcc}}^{\max}|: \text{PCC에서의 h차 고조파전압의 허용치[PU]}$$

(3) 각 모선에서의 고조파전압제약

배전계통의 모선에는 다양한 기기들이 설치되어 있으며, 이들 기기별로 고조파전압에의 영향이 달리 나타난다. 따라서, 각 모선별로 일정한 고조파전압 이내로 운전해야 한다.

$$|E_h| \leq |E_h^{\max}| \tag{6}$$

여기서,

$$|E_h^{\max}| = [|E_{h1}^{\max}| |E_{h2}^{\max}| \dots |E_{hn}^{\max}|]^T$$

$$|E_{hi}^{\max}|: \text{모선 i 에서의 h차 고조파전압의 허용치[PU]}$$

여기서, PCC는 배전계통의 모선들중 하나이기 때문에, 식(5)는 식(6)에 포함될 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 식(6)의 n개의 모선중 PCC에 해당하는 모선에 $|E_{h\text{pcc}}^{\max}|$ 를 대입하여 사용토록 하였다.

(4) 고조파 저감장치 제약

고조파저감장치는 ‘다른 설비에 의해 발생하는 고조파를 흡수할 수 있는 장치’라 할 수 있으며, 따라서 고조파 발생원이 되어서는 안되기 때문에 식(7)과 같이 양수(+)이어야 한다. 또한, 배전계통의 모선에 과도한 고조파저감장치의 부착은 또다른 문제점을 야기하기 때문에, 본 연구에서는 식(8)과 같이 각 모

선에 주입되는 고조파전류까지만 저감시키는 것으로 하였다.

$$|I_{Rh}| \geq 0 \tag{7}$$

$$|I_{Rh}| \leq |I_h| \tag{8}$$

3. 최적화문제의 구성 및 해법

3.1 확대목적함수의 구성

본 연구에서는 앞서 구성된 목적함수와 제약조건으로 최적화문제를 풀기 위하여 다음과 같이 확대목적함수를 구성하였다.

$$\begin{aligned} L(|E_h|, |I_{Rh}|, \mu_h, \sigma_{1h}, \sigma_{2h}, \sigma_{3h}) \\ = C(|E_h|) - R(|I_{Rh}|) \\ + \mu_h (I_h - I_{Rh} - [Y_h] E_h) \\ + \sigma_{1h} (|E_h^{\max}| - |E_h|) \\ + \sigma_{2h} (|I_{Rh}|) + \sigma_{3h} (|I_h| - |I_{Rh}|) [\text{천원}] \end{aligned} \tag{9}$$

여기서,

$$\mu_h = [\mu_{h1} \ \mu_{h2} \ \dots \ \mu_{hn}]$$

$$\mu_{hi} : \text{모선 i 에서의 h차 고조파의 잠재가격}$$

$$\sigma_{1h} = [\sigma_{1h1} \ \sigma_{1h2} \ \dots \ \sigma_{1hn}]$$

$$\sigma_{2h} = [\sigma_{2h1} \ \sigma_{2h2} \ \dots \ \sigma_{2hn}]$$

$$\sigma_{3h} = [\sigma_{3h1} \ \sigma_{3h2} \ \dots \ \sigma_{3hn}]$$

$$\sigma_{1hi}, \sigma_{2hi}, \sigma_{3hi}: \text{부등호제약관련 승수}$$

3.2 잠재가격

식(9)로부터 잠재가격 μ_h 를 구하였다.

(1) 발생된 고조파에 의한 각 모선의 μ_h

이를 구하기 위하여 $|E_h|$ 에 대하여 편미분한다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial |E_h|} \\ = \frac{\partial C(|E_h|)}{\partial |E_h|} - \mu_h [Y_h] \frac{\partial E_h}{\partial |E_h|} - \sigma_{1h} \\ = 0 \end{aligned} \tag{10}$$

잠재가격에 의한 모선별 고조파전압계약을 고려한 고조파 저감기법에 관한 연구

식(10)으로부터 μ_h 를 구함에 있어 유기된 고조파 전압에 따른 가치를 간략하게 계산하기 위하여 다음과 같이 K_h 를 정의하고, 각 모선별로 연결된 실제부하의 피해정도를 미리 산정하여 사용토록 하였다.

$$K_h = \frac{\partial C(|\mathbf{E}_h|)}{\partial |\mathbf{E}_h|} \text{ [천원/PU]} \quad (11)$$

여기서,

$$K_h = [k_{h1} \ k_{h2} \ \dots \ k_{hn}]$$

k_{hi} : 모선 i 에서의 h차 고조파의 단위 전압왜곡에 의한 가치[천원/PU]

또한, 식(10)에서 전압의 위상각은 다음과 같이 나타내었다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{E}_h}{\partial |\mathbf{E}_h|} &= \text{diag}[e^{j\theta_{h1}} \ e^{j\theta_{h2}} \ \dots \ e^{j\theta_{hn}}] \\ &= [e^{j\theta_h}] \end{aligned} \quad (12)$$

여기서,

θ_{hi} : 모선 i 에서의 h차 고조파전압의 위상각

따라서 식(11) 및 식(12)를 사용하여 잠재가격 μ_h 를 구하면 다음과 같다.

$$\mu_h = (K_h - \sigma_{1h}) [e^{j\theta_h}]^{-1} [Z_h] \quad (13)$$

(2) 고조파저감장치에 의한 각 모선의 μ_h

이를 구하기 위하여 $|I_{Rh}|$ 에 대하여 편미분한다.

$$\begin{aligned} &\frac{\partial L}{\partial |I_{Rh}|} \\ &= -\frac{\partial R(|I_{Rh}|)}{\partial |I_{Rh}|} - \mu_h \frac{\partial I_{Rh}}{\partial |I_{Rh}|} + \sigma_{2h} - \sigma_{3h} \quad (14) \\ &= 0 \end{aligned}$$

식(14)으로부터 μ_h 를 구함에 있어 고조파저감장

치에 따른 비용을 간략하게 계산하기 위하여 다음과 같이 ρ_h 를 정의하고, 각 모선별로 연결되는 저감장치의 가격을 미리 산정하여 사용토록 하였다.

$$\rho_h = \frac{\partial R(|I_{Rh}|)}{\partial |I_{Rh}|} \text{ [천원/PU]} \quad (15)$$

여기서,

$$\rho_h = [\rho_{h1} \ \rho_{h2} \ \dots \ \rho_{hn}]$$

ρ_i : 모선 i 에서의 h차 단위 고조파저감장치에 의한 비용[천원/PU]

또한, 식(14)에서 전류의 전류각은 다음과 같이 나타내었다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial I_{Rh}}{\partial |I_{Rh}|} &= \text{diag}[e^{j\alpha_{R1}} \ e^{j\alpha_{R2}} \ \dots \ e^{j\alpha_{Rn}}] \\ &= [e^{j\alpha_{Rh}}] \end{aligned} \quad (16)$$

여기서,

α_{Rhi} : 모선 i 에서의 h차 고조파저감전류의 전류각

따라서 식(15) 및 식(16)을 사용하여 잠재가격 μ_h 를 구하면 다음과 같다.

$$\mu_h = (-\rho_h + \sigma_{2h} - \sigma_{3h}) [e^{j\alpha_{Rh}}]^{-1} \quad (17)$$

3.3 고조파저감장치의 결정

고조파저감장치의 크기 및 위치는 각종 제약조건을 만족하면서 식(13)과 식(17)이 같아지도록 결정하면 된다.

본 연구에서는, 이를 보다 간략하게 계산하기 위하여 다음과 같은 가정을 하였다.

- ① 각 선로의 위상각은 동일하다.
- ② 주입 및 저감고조파의 위상각은 동일하다.

이에 따라 전모선의 상차각은 고조파전류의 전류각으로 표시를 할 수 있게 되었다.

$$\theta_{hi} \equiv \beta_{hik} + \alpha_{hk} \quad (18)$$

$$\alpha_{hi} = \dots = \alpha_{hn} = \alpha_{Rhi} = \dots = \alpha_{Rhn} \quad (19)$$

여기서,

β_{hik} : 모선 i 로부터 모선 k까지 선로의 위상각

α_{hi} : 모선 i 에서의 h차 고조파전류의 전류각

따라서, 식(13) 및 식(17)로 부터 다음과 같은 잠재가격 및 비용을 계산하였다.

① 고조파발생원에 의한 잠재가격

$$\mu_h \equiv (K_h - \sigma_{1h}) [e^{-j\alpha_h}] [Z_h] \quad (20)$$

② 고조파저감에 의한 잠재가격

$$\mu_h \equiv (-\rho_h + \sigma_{2h} - \sigma_{3h}) [e^{-j\alpha_h}] \quad (21)$$

③ 고조파발생원에 의한 비용

$$\mu_h I_h \equiv (K_h - \sigma_{1h}) [Z_h] |I_h| [\text{천원}] \quad (22)$$

④ 고조파저감에 의한 비용

$$\mu_h I_{Rh} \equiv (-\rho_h + \sigma_{2h} - \sigma_{3h}) |I_{Rh}| [\text{천원}] \quad (23)$$

위의 식(22)와 식(23)로부터 각 모선별로 잠재가격이 같아지는 지점까지 모선별로 $|I_{Rh}|$ 를 조절하면, 최적의 고조파저감이 이루어지게 된다.

4. 사례연구

4.1 모델계통

모델계통으로는 우리나라에 건설중인 계통으로 하였으며, 이 계통의 수전전압은 22.9[kV]이다. 본 계통의 계통도를 그림 1에 나타내었으며, 계통의 특성을 표 1에, 부하의 종류 및 상수 k_i 및 ρ_i 를 표 2에 나타내었다. 단, 본 연구에서 k_i 및 ρ_i 는 기기의 특성을 감안하여 임의로 주는 것으로 하였으며, 기준용량은 100[MVA]로 하였다.

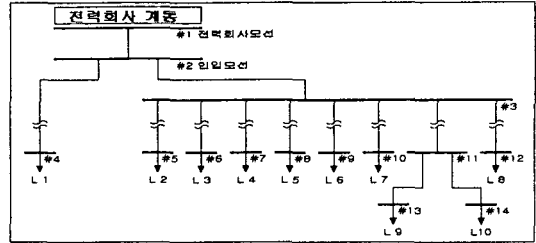


그림 1. 계통도
Fig. 1. Diagram of system

표 1. 계통의 특성

Table 1. Characteristics of the system

전원임피던스		정상 임피던스 [PU]		비 고	
모선 #1		0.00167 + j0.342			
선로	선로구간		변압기 용량[kVA]	총 임피던스[PU] (100[MVA] 기준)	
	시점	종점		R	jX
1	1	2	-	0.000290	0.002100
2	2	3	-	0.000000	0.000320
3	2	4	1500	0.160261	1.138192
4	3	5	1500	0.160261	1.138192
5	3	6	1500	0.160261	1.138192
6	3	7	1500	0.160261	1.138192
7	3	8	1500	0.160261	1.138192
8	3	9	1500	0.160261	1.138192
9	3	10	3000	0.106931	0.758862
10	3	11	6000	0.064261	0.455392
11	3	12	1500	0.160261	1.138192
12	11	13	-	0.000087	0.000064
13	11	14	-	0.000087	0.000064

표 2. 부하의 종류 및 상수

Table 2. Types of load and constants

모선	부하점	부하종류	크기 [kVA]	k_{hi}	ρ_{hi}
1	-	-	-	-100	10000
2	-	-	-	-100	10000
3	-	-	-	-100	10000
4	L 1	전동기부하	1500	-300	10000
5	L 2	전동기부하	1400	-300	10000
6	L 3	전동기부하	1500	-300	10000
7	L 4	전동기부하	1200	-300	10000
8	L 5	조명부하	1400	-200	10000
9	L 6	조명부하	1500	-200	10000
10	L 7	통신기기부하	3000	-700	10000
11	-	-	-	-100	10000
12	L 8	정밀기기부하	1500	-900	10000
13	L 9	정류기부하	3000	-100	10000
14	L 10	정류기부하	3000	-100	10000

여기서, 전압왜곡에 의한 잠재가격 상수인 k_i 는 중간모선 및 고조파유발기기만 부착되어 있는 모선

잠재가격에 의한 모선별 고조파전압제약을 고려한 고조파 저감기법에 관한 연구

의 경우는 '-100', 조명부하는 '-200', 전동기부하는 '-300', 통신기기부하는 '-700', 정밀기기부하는 '-900'을 주었으며, 고조파저감에 의한 잠재가격감소 상수인 ρ_i 는 고조파저감장치의 설치장소가 모두 같은 건물내부라는 점을 감안하여 동일한 값으로 주었다. 본 연구에서는 고조파에 대한 각 기기의 종류별 피해정도를 추정하여 일괄적으로 k_i 를 결정하였으나, 실제 고조파에 의한 피해정도를 정확히 계산 가능한 경우에는 계산된 가격을 사용한다. 그리고, 고조파전압 제한치는 표 3와 같이 정하였으며, 강화된 기준을 적용한 모선 10, 12는 통신 및 정밀기기가 부착되어 있는 특성을 감안한 것이다.

표 3. 각 모선의 고조파전압제한치
Table 3. Harmonics voltage limits of each bus

모 선	고조파전압제한치 E_h / E_1 [%]			
	3조파	5조파	7조파	11조파
1 (PCC)	3.0	4.0	3.0	2.0
2~9, 11, 13, 14	3.0	4.0	3.0	2.0
10, 12	2.0	2.5	2.0	1.5

4.2 계산결과

모델계통에 대하여 각 조파별, 모선별로 고조파전압을 계산하여 본 결과, 제 5고조파만이 기준치를 초과하고 있어, 제 5고조파를 종래의 방법[2]과 제안한 방법으로 저감시켰으며 이의 결과를 표 4에 나타내었다.

표 4. 각 모선에서의 고조파 왜형률 및 비용
Table 4. Total harmonic distortion at busbar and cost

모 선	제5 조파 발생량 [kVA]	저감장치 미사용		종래의 방법		제안한 방법		
		필터 [kVA]	$\frac{E_5}{E_1}$ [%]	필터 [kVA]	$\frac{E_5}{E_1}$ [%]	$ \mu_{5i} $	필터 [kVA]	$\frac{E_5}{E_1}$ [%]
1	0	-	4.01	-	3.74	-6498	-	2.10
2	0	-	4.04	-	3.76	-6536	-	2.11
3	0	-	4.04	-	3.76	-6542	-	2.11
4	75	-	4.45	-	4.19	-8267	-	2.54
5	70	-	4.44	-	4.17	-8270	-	2.52
6	75	-	4.45	-	4.19	-8272	-	2.55
7	60	-	4.44	-	4.11	-8267	-	2.46
8	70	-	4.44	-	4.17	-7694	-	2.52
9	75	-	4.45	-	4.20	-7695	-	2.55
10	320	-	5.30	-	5.03	-9303	320	2.11
11	0	-	7.32	-	7.04	-7225	-	3.94
12	160	-	4.96	160	3.76	-11773	160	2.11
13	720	-	7.43	-	7.15	-7240	319	4.00
14	720	-	7.43	-	7.15	-7240	319	4.00
고조파비용			187.11		168.34			92.38
저감비용			0.00		16.00			111.80
총비용 [백만원]			187.11		184.34			204.18

우선, 고조파를 전혀 제거하지 않는 방법 1의 경우에는 고조파에 의해 유발하는 각종 설비에의 피해는 187.11[백만원]이며, 또한 전 모선에 걸쳐 고조파전압제한치를 위반하고 있다. 따라서, 이를 해결하기 위하여 종래 방법에 의해 계산한 결과, 정밀기기가 부착되어 있는 모선 12의 잠재가격만 ρ_{hi} 보다 크게 나타나고 있어 이 모선에서 고조파를 저감했을 때 보다 경제적임을 알 수 있었다. 따라서, 종래의 방법에서는 표 4와 같이 모선 12에서 발생하는 고조파만을 필터를 사용하여 모두 제거하였다. 즉, 모선 12에서는 단위용량당 고조파에 의한 피해가 이를 제거하는 제거비용보다 크기 때문에 모두 저감시키는 것이 바람직한 반면, 나머지 모선은 고조파에 의한 피해가 필터의 가격보다 작기 때문에 제거하지 않고 그대로 외부로 흘려보내도록 하였다. 이에 고조파전압에 따라 유발되는 비용은 184.34[백만원]으로 2.77[백만원]이 작게되어 보다 경제적인 결과를 얻을 수 있게 된 반면, 이와 같은 고조파저감에도 일부 모선의 고조파전압은 제한치를 초과하고 있다. 즉, 이 방법은 고조파비용이라는 면에서는 만족할 수 있다 하겠으나, 일부 모선에서 고조파전압제한치를 초과하고 있어 기기의 소손 등 피해가 발생할 수 있으며, 특히 고조파에 예민한 기기는 심각한 영향을 받을 수 있는 문제점이 있다.

반면, 제안한 방법에 의해 계산한 결과, 표 4와 같이 정밀기기가 부착되어 있는 모선 12의 $|\mu_{5i}|$ 가 ρ_{hi} 보다 크게 나타나고 있어 이 모선의 고조파를 전량 저감시키고 있으며, 모선별 고조파전압제약을 만족시키기 위하여 모선 10, 13, 14의 고조파를 저감시키고 있음을 알 수 있다. 이에 따라, 본 연구에서 제안한 방법은 각 모선의 고조파전압제한치를 만족시키면서 고조파 비용을 최소화할 수 있도록 하고 있으나, 고조파비용은 19.84[백만원]이 추가되고 있음을 알 수 있다. 즉, 종래의 방법이 비용이라는 부분에만 최적화를 시도하여 현실적인 제약인 고조파전압 제약을 무시한데 반하여, 제안한 방법은 다소 비용은 추가되지만 모선별 고조파전압까지도 고려하여 최적화가 이루어 지고 있다. 따라서, 모선에 고조파에 예민한 기기가 설치되어 있어도 안정적인 운전이 가능하다고 하겠다. 또한, 본 연구에서는 표 3에서 제

시한 기준을 전 모선에 걸쳐 만족시키도록 하였으나, 전기를 공급하는 회사에서 요구하는 PCC 등 일부 모선만 만족시키고자 하는 경우에는 이에 해당하는 모선만 고조파전압을 제약으로 하고 나머지 모선의 제약을 매우 크게 하면(100[%]) 이들 모선을 기준으로 최적화된 결과를 얻을 수 있다.

5. 결 론

배전계통의 전력전자설비 등에서 발생하는 고조파를 효율적으로 저감시키기 위하여, 전력거래 등에서 사용하는 잠재가격을 모선별로 구함으로써 고조파를 부(-)의 자원으로 처리할 수 있도록 한 방법에서 더 나아가, IEEE 519 등에서 요구하는 고조파전압기준치를 전력수전점 및 배전계통의 개개 모선에서 만족시킬 수 있는 방법을 개발하였다. 특히 고조파의 영향에 민감한 기기가 설치되어 있는 모선은 상수 k_i 를, 저감장치의 난이도에 따라 ρ_i 를 실제에 맞도록 구성함으로써, 고조파에 민감한 기기를 보다 효율적으로 보호할 수 있도록 배전계통에 적합한 저감장치의 용량 및 위치를 결정할 수 있도록 하였다. 제안한 방법을 현재 건설중인 배전계통에 적용시켜, 제안한 방법이 각 모선에서 고조파전압제한치를 만족시키면서, 최적의 저감효과를 얻을 수 있음을 입증하였다. 향후, 모선에 설치된 기기의 특성에 따라 임의로 적용한 상수 k_i 및 ρ_i 를 구하는 방법에 대한 연구를 필요로 한다.

본 연구(관리번호 01-035)는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관 및 한국과학재단지정 인천대학교 동북아 전자물류 연구센터의 일부지원으로 수행되었음.

References

- [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. Pigazo, 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.

◇ 저자소개 ◇

이 범 (李 范)

1959년 10월 28일생. 1981년 고려대 전기공학과 졸업. 1989년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995년~현재 여수대학교 전자통신·전기공학부 부교수.

김용하 (金龍河)

1959년 5월 16일생. 1982년 고려대 전기공학과 졸업. 1987년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992년~현재 인천대학교 전기공학과 교수.

최상규 (崔祥圭)

1960년 12월 22일생. 1983년 충북대 전기공학과 졸업. 1986년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990년~현재 안양과학대학 전자통신정보학부 부교수.

이재결 (李宰杰)

1976년 8월 19일생. 2001년 인천대 전기공학과 졸업. 2001년~현재 인천대 대학원 전기공학과 석사과정.

연준희 (延俊熙)

1966년 5월 25일생. 1995년~현재 인천국제공항공사 전력팀 2001년~현재 인천대 대학원 전기공학과 석사과정.