김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제1호

부하무게를 고려한 변전소의 전력공급구역재결정방법

박경일, 박위성, 박순봉

경애하는 최고령도자 **김정은**동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《국가적인 통합전력관리체계를 구성하고 실속있게 운영하며 교차생산을 합리적으로 조직하여야 합니다. 송배전망을 개건보수하고 전압단계와 력률을 높여 전력의 도중손실을 극력 줄이며 송전계통을 점차 유연교류송전계통으로 바꾸어야 합니다.》(《조선로동당 제7차 대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 50페지)

방사형배전망에서의 전력분배계획문제를 해결하기 위하여 변전소의 최량위치와 능력, 전력공급반경, 투자비용을 최소화하기 위한 모형[1]들이 제기되였는데 이 모형들은 다변수, 다목적, 대규모비선형최량화문제로 귀착된다. 이런 문제들은 수리계획적방법(혼합옹근수선형계획법[2], 비선형계획법[3], 다목적계획법[4], 동적계획법[5] 등)들과 유연계산방법(유전알고리듬[6], 타브탐색법[7], 립자무리산법[8], 진화계획법[9], 개미무리산법[10], 박테리아먹이산법[11] 등)들, 계산기하학적방법(일반보로노이도방법과 무게보로노이도방법[12])들을 리용하여 풀이한다. 또한 부하률의 적응조종과정으로 개선된 무게의 자기 조정에 기초하여 보로노이도를 실현하고 변전소배치에 적용하였으며 운수모형으로 매개 변전소에 합리적인 부하률을 가질수 있게 공급전력을 계산하였다. 이와 같은 방법들은 변전소의 전력공급구역의 최량성을 담보할수 없는 부족점을 가지고있다.

론문에서는 방사형배전망에서 변전소들의 부하무게와 부하대상들의 수전전력을 동시에 결정하는 손실전력최소화문제를 0−1선형계획법문제로 귀착시켜 손실전력최소화문제의 최량풀이로 변전소들의 전력공급구역을 결정하기 위한 방법에 대하여 고찰하였다.

1. 배전망에서 부하무게설정

가장 효률적인 전력망은 매 부하지점들이 변전소들로부터 직접 전력을 공급받도록 하는 방사형망이다.

선로의 손실전력은 변전소에서 부하지점에로의 송전전력과 수전전력의 차로 표현되므로 변전소들의 송전전력과 부하지점들의 수전전력과의 비률을 고르롭게 높이면 선로의 손실전력을 줄일수 있다.

전력공급구역결정문제는 손실전력이 최소가 되도록 공급전력을 결정하고 그에 기초하여 매 변전소의 전력공급구역을 결정하는 문제로서 전력분포계획작성에서 선차적으로 제기되는 중요한 문제이다.

변전소의 최대출력이 s_i 이고 력률이 $\cos\varphi_i$, 부하률이 γ_i 인 변전소 p_i 가 m개 있고 수요전력이 β_j 인 부하대상 q_j 가 n개 있다고 하자.

또한 변전소모임을 M, 부하대상모임을 N이라고 하자.

이때 i째 변전소의 무게보로노이도 $V(p_i,\ w_i)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$V(p_i,\ w_i)=\{q_j \in V(p_i,\ w_i),\ j\in N \mid w_i l_{ij}(p_i,\ q_j)\le w_k l_{kj}(p_k,\ q_j),\ k\in M\setminus\{i\}\},\ i\in M$$

여기서 $l_{ij}(p_i,\ q_j)$는 i째 변전소와 j째 부하대상사이의 유클리드거리이고 w_i는 i째 변전소의 무게이다.

특히 $w_i=1\ (i\in M)$이면 i째 변전소의 무게보로노이도 $V(p_i,\ w_i)$는 일반보로노이도로 되므로 무게보로노이도는 일반보로노이도의 일반화된 형태이다.

전력공급구역은 무게보로노이도에 의존한다.

i째 변전소의 부하무게 w_i는 i째 변전소의 송전부하(ν_i)에 대한 변전소의 송전능력 ($\alpha_i=s_i\gamma_i\cos\varphi_i$)의 비로서 $w_i=\nu_i/\alpha_i$인데 $0\le\nu_i\le s_i\gamma_i\cos\varphi_i$이므로 $0\le w_i\le 1$이다.

y_{ij}는 i째 변전소에서 j째 부하대상에로의 송전전력, $\gamma_{ij}=r_0 l_{ij}/(U^2\cos^2\varphi_i)$로서 i째 변전소로부터 j째 부하대상까지 선로에서 손실결수(단위전력에 대한 손실), U는 평균전압, r_0은 도선의 단위길이당 저항이라고 하면 i째 변전소의 부하무게 w_i는 다음과 같다.

$$w_i=\frac{\nu_i}{\alpha_i}=\frac{\sum_{j=1}^{n}(y_{ij}-\gamma_{ij}y_{ij}^2)}{\alpha_i}$$

따라서 송전전력 y_{ij}가 변하면 i째 변전소의 부하무게도 변하게 된다.

이로부터 부하무게는 $\min_{i\in M}\{w_i\}\Rightarrow\max$가 되도록 즉 모든 변전소들의 부하무게들이 고르롭게 높아지도록 공급구역을 결정할수 있게 설정한다.

2. 부하무게를 고려한 변전소들의 전력공급구역결정

j째 부하지점의 수요전력을 β_j, i째 변전소에서 j째 부하지점에로의 수전전력을 $\bar{x}_{ij}$이라고 하면 j째 부하지점에로의 수전전력들의 합은 그 부하지점에서의 수요전력과 같아야 하므로 다음의 식이 성립한다.

$$\sum_{i=1}^{m}\bar{x}_{ij}=\beta_j,\ j=\overline{1,\ n}$$

이제 $\bar{x}_{ij}=\beta_j x_{ij}$이라고 하면 우의 식은 다음과 같이 변형된다.

$$\sum_{i=1}^{m}x_{ij}=1,\ j=\overline{1,\ n}$$

$y_{ij}-\gamma_{ij}y_{ij}^2=\beta_j x_{ij}$ 이므로 $y_{ij}=\dfrac{1\pm\sqrt{1-4\gamma_{ij}\beta_j x_{ij}}}{2\gamma_{ij}}$ 이다. 현실에서는 $4\gamma_{ij}\beta_j x_{ij}<1$ 이고 $2\gamma_{ij}y_{ij}<1$이므로 $y_{ij}=\dfrac{1-\sqrt{1-4\gamma_{ij}\beta_j x_{ij}}}{2\gamma_{ij}}$이 성립한다.

i째 변전소에서 j째 부하지점에 보내는 송전전력 y_{ij}들의 합은 그 변전소의 송전능력을 넘을수 없으므로 다음의 부등식이 성립한다.

$$\sum_{j=1}^{n}\frac{1-\sqrt{1-4\gamma_{ij}\beta_j x_{ij}}}{2\gamma_{ij}}\le\alpha_i,\ i=\overline{1,\ m}$$

그러므로 배전망에서 부하무게에 의한 전력공급구역결정문제(문제 1)는 다음과 같이 설정할수 있다.

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} \frac{1-\sqrt{1-4\gamma_{ij}\beta_j x_{ij}}}{2\gamma_{ij}} \le \alpha_i, \ i=\overline{1,\ m} \\ \sum_{i=1}^{m} x_{ij} = 1, \ j=\overline{1,\ n} \\ x_{ij} \ge 0, \\ \min_{i\in M}\left\{ \sum_{j=1}^{n} \beta_j x_{ij} \Big/ \alpha_i \right\} \Rightarrow \max \end{cases} \tag{1}$$

식 (1)에서 목적함수에 부아닌 변수 ζ를 도입하여 다음과 같이 변화시킬수 있다.

$$\min_{i\in M}\left\{ \left(\sum_{j=1}^{n} \beta_j x_{ij} \right) \Big/ \alpha_i \right\} \Rightarrow \max \Leftrightarrow \sum_{j=1}^{n} \beta_j x_{ij} \ge \alpha_i \zeta, \ \zeta \Rightarrow \max$$

이로부터 다음의 식을 얻을수 있다.(문제 2)

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} \frac{1-\sqrt{1-4\gamma_{ij}\beta_j x_{ij}}}{2\gamma_{ij}} \le \alpha_i, \ i=\overline{1,\ m} \\ \sum_{i=1}^{m} x_{ij} = 1, \ j=\overline{1,\ n} \\ \sum_{j=1}^{n} \beta_j x_{ij} - \alpha_i \zeta \ge 0, \ x_{ij} \ge 0, \ \ \zeta \ge 0 \\ \zeta \Rightarrow \max \end{cases} \tag{2}$$

문제 1은 목적함수가 선형이고 불룩제한을 가진 비선형계획법문제이다.

a가 1보다 작은 주어진 정수로서 구간 [0, 1]의 임의의 점에서 $1-\sqrt{1-ax} \le (1-\sqrt{1-a})x$가 성립된다는것이 이미 증명되였다. 이것을 리용하여 문제 1을 유도하여 풀이한다.

β_j들의 크기에 비하여 손실결수 $\gamma_{ij}(>0)$가 작으므로 임의의 i, j에 대하여 $4\gamma_{ij}\beta_j \le 1$이 성립한다고 볼수 있다.

구간 [0, 1]의 임의의 점에서 다음의 식이 성립된다.

$$\frac{1-\sqrt{1-4\gamma_{ij}\beta_j x_{ij}}}{2\gamma_{ij}} \le \frac{1-\sqrt{1-4\gamma_{ij}\beta_j}}{2\gamma_{ij}} x_{ij} \tag{3}$$

특히 x_{ij}가 0이거나 1이면 식 (3)은 다음과 같다.

$$\frac{1-\sqrt{1-4\gamma_{ij}\beta_j x_{ij}}}{2\gamma_{ij}} = \frac{1-\sqrt{1-4\gamma_{ij}\beta_j}}{2\gamma_{ij}} x_{ij} \tag{4}$$

이제 $\theta_{ij} = \dfrac{1-\sqrt{1-4\gamma_{ij}\beta_j}}{2\gamma_{ij}}$라고 놓으면 문제 2는 다음의 선형계획법문제로 변화된다.

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} \theta_{ij} x_{ij} \le \alpha_i, \ i = \overline{1,\ m} \\ \sum_{i=1}^{m} x_{ij} = 1, \ j = \overline{1,\ n} \\ \sum_{j=1} \beta_j x_{ij} - \alpha_i \zeta \ge 0, \ x_{ij} \ge 0, \ \ \zeta \ge 0 \\ \zeta \Rightarrow \max \end{cases} \tag{5}$$

식 (5)의 허용구역이 빈모임이 아니면 허용구역은 유계닫긴모임이므로 최량벡토르는 반드시 존재하며 최량값은 식 (2)의 최량값의 아래한계이다. 이때 식 (5)의 최량벡토르가 0－1벡토르이면 그 벡토르는 식 (2)의 최량벡토르이다.

이제 $\theta_j = \min_{i \in M} \{\theta_{ij}\}, \ j = \overline{1,\ n}$ 이라고 놓자.

그러면 식 (5)의 임의의 허용벡토르에 대하여 $\sum_{j=1}^{n} \theta_j \le \sum_{i=1}^{m} \alpha_i$ 이다.

$0 \le x_{ij} \le 1, \ i = \overline{1,\ m}, \ j = \overline{1,\ n}$ 이므로 식 (5)의 허용구역은 빈모임 또는 유계닫긴모임이다.

$\overline{\theta}_j = \min_{i \in M} \{\theta_{ij}\}, \ j = \overline{1,\ n}$ 이라고 놓자.

$\sum_{j=1}^{n} \overline{\theta}_j \le \sum_{i=1}^{m} \alpha_i$ 이면 식 (5)의 허용구역은 빈모임이 아니다.

이로부터 식 (5)의 최량벡토르를 $x^* = (x_{ij}^*)$ 라고 할 때 $\theta_{ij}^* = \dfrac{1 - \sqrt{1 - 4\gamma_{ij} \beta_j x_{ij}^*}}{2\gamma_{ij}}, \ i = \overline{1,\ m} \ \ j = \overline{1,\ n}$ 이라고 놓으면 식(5)는 다음과 같다.

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} \theta_{ij}^* x_{ij} \le \alpha_i, \ i = \overline{1,\ m} \\ \sum_{i=1}^{m} x_{ij}, \ j = \overline{1,\ n} \\ \sum_{j=1}^{n} \beta_j x_{ij} - \alpha_i \zeta \ge 0, \ i = \overline{1,\ m}, \ x_{ij} \ge 0, \ \zeta \ge 0 \\ \zeta \Rightarrow \max \end{cases} \tag{6}$$

식 (6)의 허용구역이 빈모임이 아니라면 식 (5)의 최량벡토르는 식 (6)의 최량벡토르와 같다.

식 (6)의 최량벡토르를 $x_0 = (x_{ij}^0)$ 이라고 할 때

$$\theta_{ij}^0 = \frac{1 - \sqrt{1 - 4\gamma_{ij} \beta_j x_{ij}^0}}{2\gamma_{ij}}, \ i = \overline{1,\ m}, \ j = \overline{1,\ n}$$

라고 놓고 다음의 문제를 론의하자.

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} \theta_{ij}^{0} x_{ij} \le \alpha_i, \ i=\overline{1,\ m} \\ \sum_{i=1}^{m} x_{ij} = 1, \ j=\overline{1,\ n} \\ \sum_{j=1}^{n} \beta_j x_{ij} - \alpha_i \zeta \ge 0, \ \overline{i=1,\ m}, \ x_{ij} \ge 0, \ \zeta \ge 0 \\ \zeta \Rightarrow \max \end{cases} \tag{7}$$

식 (7)의 허용구역은 빈모임이 아니다.

식 (6)의 최량벡토르 $x_0 = (x_{ij}^0)$ 이 결정되면 매 변전소별전력공급구역은 다음과 같이 결정된다.

$$V(w_i) = \{ j \in N \mid x_{ij}^0 > 0 \}, \ i \in M \tag{8}$$

이때 변전소별전력공급반경은 다음과 같이 결정된다.

$$L_i = \max\{ l_{ij} \mid j \in V(w_i) \}, \ i \in M \tag{9}$$

방사형배전망은 매 부하지점이 하나의 변전소에서만 전력을 공급받을것을 요구하는 망이다. 그러므로 방사형망에서의 전력공급구역결정문제는 식 (5)에서 변수 x가 0－1벡토르일것을 요구하는 문제이다.

즉 방사형배전망에서의 전력공급구역결정은 다음의 0－1선형계획법문제로 정식화된다.

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} \theta_{ij} x_{ij} \le \alpha_i, \ i=\overline{1,\ m} \\ \sum_{i=1}^{m} x_{ij} = 1, \ j=\overline{1,\ n} \\ \sum_{j=1}^{n} \beta_j x_{ij} - \alpha_i \zeta \ge 0, \ i=\overline{1,\ m}, \ x_{ij} \in \{0,\ 1\}, \ \zeta \ge 0 \\ \zeta \Rightarrow \max \end{cases} \tag{10}$$

식 (10)에서 α_i, β_j 들이 정의옹근수들이면 ζ 도 부아닌 옹근수이므로 식 (10)은 옹근수선형계획법문제로 된다.

현실에서는 α_i, β_j 들이 모두 정의옹근수들이다. 식 (10)에서 $\theta_{ij} = \dfrac{1-\sqrt{1-4\gamma_{ij}\beta_j}}{2\gamma_{ij}}$ 이다.

현실에서는 평균손실결수를 고려한 공급전력보다 수요전력이 작지 않으므로 먼저 1보다 큰 적당한 비례결수를 택하여 그것을 매 변전소의 공급전력에 곱한 값을 새로운 공급능력으로 리용함으로써 식 (10)의 허용구역이 존재하도록 한다.

그러므로 식 (10)의 허용구역은 반드시 존재한다고 가정할수 있다.

식 (10)의 풀이과정은 다음과 같다.

① 비례결수를 적당히 택하고 매 변전소의 공급능력을 갱신한다.

② 식 (10)의 련속문제인 제한조건을 가진 선형계획법문제의 최량벡토르를 단체법을 리

용하여 계산한다.

③ 련속문제의 x−최량벡토르가 0−1벡토르이면 그 벡토르는 방사형망에서 전력공급구역결정문제의 최량벡토르이며 이때에는 ⑥으로 이행한다.

x−최량벡토르가 0−1벡토르가 아니면 다음단계로 이행한다.

④ 목적함수를 $f(x,\ \zeta)=\zeta+\mu\sum_{i\in M}\sum_{j\in N}(x_{ij}^2-x_{ij})\Rightarrow \max$ 로 바꾼 우묵2차계획법문제를 론의하고 단체법으로 국부극대정점을 찾는다.

국부극대정점이 최량점으로 되는 구역을 결정하기 위한 유효절단1차갈기식을 구한다.

그 유효절단갈기식에 의하여 허용구역을 절단하고 허용구역이 빈모임이면 다음단계로 이행하고 빈모임이 아니면 ②로 이행한다.

⑤ 얻어진 국부극대점들중에서 0−1벡토르들을 찾고 그것들중에서 ζ 의 값이 제일 큰 벡토르가 방사형망에서 전력공급구역결정문제의 최량벡토르이다.

⑥ 우의 최량벡토르를 리용하여 매 변전소의 전력공급량 $\overline{\alpha_i}$ 들을 계산하고 변환결수 $\delta_i=\alpha_i/\overline{\alpha_i}$ 들을 결정한다.

i째 변전소에서 전력을 공급받는 부하지점들에서의 요구량들을 본래의 요구량과 δ_i 를 곱한것으로 갱신한다.

즉 j째 부하지점에서 β_j 만큼 요구하였지만 손실전력으로 $\delta_i\beta_j$ 밖에 공급하지 못한다는것이다.

식 (8)를 리용하여 변전소별전력공급구역을 결정한다.

3. ㅅ지구의 배전망에서 변전소의 전력공급구역의 재결정

론문에서는 ㅅ지구의 배전망배치실태를 분석하고 우에서 제기한 모형과 방법에 기초하여 변전소들의 전력공급구역을 방사형망으로 재결정하였다.

ㅅ지구의 배전망은 6개의 변전소와 432개의 부하대상으로 구성되여있으며 나무가지형을 이루고있다.

ㅅ지구의 변전소들의 배치실태는 표 1과 같다.

표 1. ㅅ지구 변전소들의 배치실태

No.	변전소명	송전능력/(kV · A)	등가저항	력률	X자리표	Y자리표
1	ㄱ변전소	4 250	0.91	0.85	347 552.6951	4 263 917.229
2	ㄴ변전소	10 795	0.91	0.85	349 809.2542	4 263 917.229
3	ㄷ변전소	11 220	0.91	0.85	349 809.2542	4 263 917.229
4	ㄹ변전소	5 610	0.91	0.85	349 809.2542	4 263 917.229
5	ㅁ변전소	8 075	0.91	0.85	349 809.2542	4 263 917.229
6	ㅂ변전소	8 500	0.91	0.85	349 809.2542	4 263 917.229

표 1에서 변전소들의 기술지표와 위치자리표를 보여주고있다.

한편 ㅅ지구 부하대상들의 배치실태는 표 2와 같다.

표 2. ㅅ지구 부하대상들의 배치실태

No.	부하대상	수요전력/kW	X자리표	Y자리표
1	ㅈㅎ대상	180	346 783.831 3	4 265 796.635
2	ㅋㅍ대상	50	346 783.831 3	4 265 796.635
3	ㅇㅅ1대상	200	346 783.831 3	4 265 796.635
4	ㅇㅅ2대상	200	346 783.831 3	4 265 796.635
5	주민1대상	20	346 783.831 3	4 265 796.635
6	주민2대상	30	346 783.831 3	4 265 796.635
7	주민3대상	30	346 783.831 3	4 265 796.635
8	주민4대상	180	346 783.831 3	4 265 796.635
9	주민5대상	100	346 783.831 3	4 265 796.635
10	ㅅㅂㅈ대상	30	346 783.831 3	4 265 796.635
11	주민6대상	50	346 783.831 3	4 265 796.635
12	주민7대상	100	346 783.831 3	4 265 796.635
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
432	ㅍㅂ대상	190	349 680.337 1	4 264 013.38

ㅅ지구의 배전망을 방사형망으로 하였을 때 변전소들의 전력공급구역을 재결정하였는데 그 결과는 표 3과 같다.

표 3. ㅅ지구 변전소들의 전력공급구역재결정계산결과

No.	변전소명	부하대상	거리/m	송전전력/kW	수전전력/kW	손실률/%
1	ㄱ변전소	ㄱㅅ대상	1 350.740	101.762	100	1.730
2		주민16대상	1 148.510	20.058	20	0.290
3		ㅍㅈ대상	3 172.040	6.424	6.407	0.260
4		ㅎㅂ대상	1 622.700	154.904	150	3.170
5		ㅅㅈ대상	2 252.280	190.27	180	5.400
6		ㄹㅈ대상	1 483.190	635.428	560	11.870
7		ㄱㅇ대상	1 760.680	712.614	600	15.800
8		ㄴㄱ대상	2 245.850	2.718	2.716	0.070
9	ㄴ변전소	ㅈㄱ대상	3 235.180	195.588	180	7.970
10		ㅇㅅ1대상	2 762.630	216.276	200	7.530
11		ㅇㅅ2대상	2 765.180	216.293	200	7.530
12		주민1대상	3 599.300	20.185	20	0.920
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
432	ㅂ변전소	ㅍㅂ대상	160.825	190.737	190	0.390

변전소계통별전력공급구역재결정에 의한 평균선로도중손실률은 표 4와 같다.

표 4. ㅅ지구 변전소별전력공급구역재결정에 의한 평균선로손실률

No.	변전소명	송전능력/(kV · A)	공급반경/m	부하무게	송전전력/kW	수전전력/kW	평균손실률/%
1	ㄱ변전소	4 250	3 297.18	0.79	4 189.70	3 389.12	19.108
2	ㄴ변전소	10 795	5 033.26	0.81	9 413.31	8 608.37	8.551
3	ㄷ변전소	11 220	5 122.75	0.83	9 581.57	8 947.28	6.62
4	ㄹ변전소	5 610	4 671.96	0.81	4 936.83	4 473.64	9.382
5	ㅁ변전소	8 075	6 731.78	0.89	6 644.09	6 439.33	3.082
6	ㅂ변전소	8 500	5 410.98	0.89	6 988.13	6 778.25	3.003

표 4에서 보는바와 같이 ㅅ지구에서 새로 구성한 방사형배전망에서 평균선로도중손

실률은 8.2%로서 현존 나무가지형 배전망보다 9.6%정도 더 줄일수 있다.

그리고 ㅅ지구적인 변전소의 평균공급반경은 5 044.6m(5.04km)로서 현존망보다 650m(0.65km)정도 줄일수 있다. 또한 평균부하무게는 0.83으로서 이 배전망에서 부하대상의 수요를 86.3%이상 보장할수 있다.

계산결과는 ㅅ지구에서 변전소들의 송전능력과 부하대상들의 수요전력사이의 균형을 보장하면서도 선로의 손실전력을 줄일수 있는 변전소들의 합리적인 전력공급구역을 이루는 방사형배전망을 구성할수 있다는것을 보여준다.

맺 는 말

방사형배전망에서 전력손실을 줄이기 위한 방도의 하나는 변전소의 전력공급구역을 합리적으로 결정하여야 하는데 그것을 부하무게를 고려한 비선형최량계획모형으로 작성할수 있다.

참 고 문 헌

[1] T. Asakura et al.; IEEE Trans. Power Syst., 18, 3, 1196, 2003.
[2] P. C. Paiva et al.; IEEE Trans. Power Syst., 20, 2, 1134, 2005.
[3] R. H. Fletcher et al.; IEEE Trans. Power Syst., 22, 2, 791, 2007.
[4] S. Ganguly et al.; Int. J. Electr. Power Energy Syst., 46, 1, 65, 2013.
[5] Z. N. Popovic et al.; Electr. Power Syst. Res., 80, 10, 1256, 2010.
[6] B. Turkay et al.; Electr. Power Compon. Syst., 33, 5, 513, 2005.
[7] I. J. Ramirez-Rosado et al.; IEEE Trans. Power Syst., 21, 1, 224, 2006.
[8] I. Ziari et al.; Electr. Power Syst. Res., 81, 10, 1905, 2011.
[9] W. Yao et al.; IEEE Trans. Power Syst., 29, 4, 1811, 2014.
[10] S. Favuzza et al.; IEEE Trans. Power Syst., 22, 2, 580, 2007.
[11] S. Singh et al.; IEEE Trans. Power Deliv., 27, 1, 70, 2012.
[12] S. Ge et al.; Automation of Electric Power Systems, 31, 3, 29, 2007.

주체107(2018)년 10월 5일 원고접수

Redeterminating Method of Power Supply Range of Substation Based on the Weighted Load

Pak Kyong Il, Pak Wi Song and *Pak Sun Bong*

We studied the redeterminating method of power supply range of substation based on the weighted load by a nonlinear programming model and in the power distribution net of radial shape.

Key words: the weighted load, nonlinear programming, power supply range