

배전계통의 역률보상 콘덴서의 최적 위치 및 용량 산정

論 文

48A - 10 - 3

The Optimal Condenser Position & Capacity for Power Factor Compensation in Distribution System

張 正 泰 * · 全 榮 洙 **

(Jeong-Tae Jang · Young-Soo Jeon)

Abstract - The management of power factor(PF) in the distribution line is treated according to the measurement a month about the feeder unit at the substation. In Korea, we have not researched into power factor in distribution system due to it's less weight. The reactive power in advanced countries is controlled automatically by the compensative condenser switch on/off under the monitoring. This paper first presents the optimal condenser position and proper capacity by lagrangue factor λ_Q which is the line loss index about reactive power unit. Therefore, the largest λ_Q node is the condenser injection point and we find out the best condenser capacity when the line loss is saturated by the moderation of condenser volume. By this method, we suggest 0.6% uprising PF by injection of 15 kVA condenser. Additionally, PF is analysed into 5 areas; large city, middle city, small city, farm village, fishing village by the use of Power Platform which is classified the same concept of the low load management in KEPCO. Two feeders of each area are selected by the worst results of PF in specified areas.

Key Words : Reactive power, Power factor(PF), Condenser, Distribution system, lagrangue factor(λ_Q)

1. 서 론

배전계통을 보다 경제적으로 운영하기 위해서는 배전계통의 무효전력을 적정히 제어하여 양호한 역률관리로 선로손실과 전압강하를 최소화하는 것이 필요하다. 그동안 우리나라는 배전계통의 역률은 변전소의 인출모선 단위로 월 1회 최대부하시 실측하는 방법으로 관리하여 왔으며, 대체로 90%이상 되어 선로용콘덴서를 분리, 운휴시키며 역률관리를 크게 다루지 않아 연구논문이 전무한 실정이다. 그러나 선진국의 경우는 배전선로의 역률관리를 중요시 하여 이에 대한 연구가 많은데, 주로 각 노드점의 무효전력을 실제 계량값을 실시간으로 읽어와 처리한다.⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾ 그러나 우리나라는 배전자동화시스템이 아직은 시작단계라 실시간으로 계측값을 이용할 단계가 아니므로 전형적인 방법으로 조류계산을 행하여 처리할 수 밖에 없는 실정이다. 그러므로, 이론적인 해석이 실제에 근접할 수 있도록, 알고 있는 유효, 무효 전력 및 역률값은 직접 데이터로 이용하되, 변전소의 인출점의 전체 계량값과 비교하여 보정할 수 있는 배정계수 방법을 도입하였다. 한편, 본 논문에서는 한전의 저압부하 관리시 적용하는 5지역(대도시, 중도시, 소도시, 농촌, 어촌)에 대하여 가장 역률이 불량한 배전선로 2개씩을 선정, 24시간 실측하

여 그 특성을 고찰하였으며, 배전계통의 3상 조류계산에 필요한 부하배분 알고리즘을 새롭게 제안하고 무효전력을 해석하여, 라그랑주 함수를 이용하여 노드별 무효전력 투입에 대한 선로손실증가분 λ_Q 를 해석하여 적정 콘덴서의 거리 및 용량을 산정할 수 있음을 보였다.

2. 배전계통의 지역별 역률 특성

우리나라의 배전계통의 역률실태를 대도시, 중도시, 소도시, 농촌, 어촌등 지역특성을 고려하여 전국에서 역률이 제일 낮은 2개 선로씩을 선정하여 Power Platform (Dragnet Technology Inc. 제작)으로 변전소 배전반 Mosaic Panel Metering 회로의 3상에 대하여 24시간 역률을 실측하여 최대-최저를 분석한 결과, 표 1과 같으며 이의 구체적인 특성은 그림1 ~ 9와 같다.

2.1 대도시의 역률 특성

대도시중 역률이 낮은 영등포지역의 평일 24시간 역률변화는 88.7~95.1 %이었고, 중부하 시간대인 18시는 88.7 %로 가장 낮았으며 14~17시도 89.2~90.0 %로 낮았다. 한편 오전(9~12시)의 역률은 90.4~91.4 %로 양호한 편이고, 1~7시는 94% 이상으로 높았다. 이의 변화추이는 다음과 같다.

* 正 會 員 : 大佛大 電氣電子工學部 助教授 · 工博

** 正 會 員 : 韓電 電力研究院 電力系統研究室 前任研究員

接受日字 : 1998年 12月 5日

最終完了 : 1999年 9月 9日

표 1 각 지역별 역률 측정 결과

Table 1 The result of measuring power factor

구분	지역	역률 측정값 (%)
대도시	영등포	88.7 - 95.1
중도시	구리	77.0 - 84.5
	제주	87.5 - 94.1
소도시	동울산	88.7 - 96.3
	광양	88.2 - 96.9
농촌	광양	88.1 - 98.6
	구례	89.9 - 97.4
어촌	동울산	88.1 - 95.9
	포항	1 - (-1)

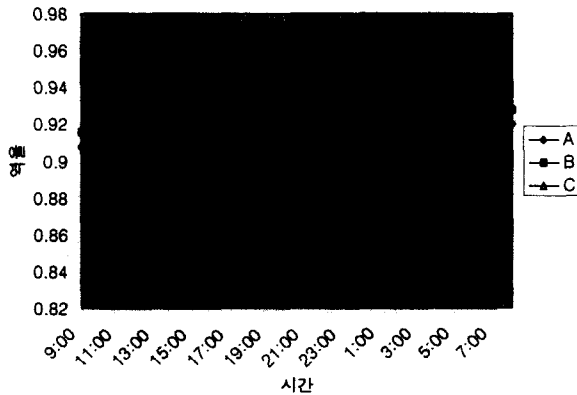


그림 1 대도시의 역률 특성(영등포)
Fig. 1 The PF characteristics of large city(Youngdungpo)

2.2 중도시의 역률 특성

중도시의 역률특성은 구리시와 제주시를 측정하였다. 구리지역은 변화폭은 크지 않고 77.0~83.1 %로 낮았고 특히 22시의 역률은 77.0 %로 최저다. 한편, 심야(3~5시) 역률은 76.5~78.4 %, 점심시간을 제외하면 오전 77.9~79.7 % 오후 78.5~79.7 %로 큰 변화는 없었다. 그림 2는 상별, 시간대별 역률변화를 나타낸다. 또, 제주시는 전체적으로 87.5~94.1 %로, 20시에는 87.5 %로 가장 낮았으나 오전과 오후는 92.1~93.1 %로 안정적이며, 01~05시의 심야시간 대도 93.2~94.1 %로 양호하다. 그러나 19~22시는 87.5~91.8 %로 현저하게 낮았으며 그림 2 및 그림 3이 이를 나타낸다.

2.3 소도시의 역률 특성

소도시는 동울산과 광양지역을 대상으로 측정하였다. 동울산의 역률은 88.7~96.3 %로 변화폭이 큰 편이며 특히 20

시에 가장 낮았다. 야간시간 보다는 낮시간대 역률이 높았으며, 오전역률도 93.6 ~94.8 %로 높았으며, 01~06시의 역률은 95.1~96.9 %로 제일 높았다. 이의 시간대별 역률변화는 그림 4와 같다. 또, 광양의 경우도 88.2~96.9 %로 변화가 컸으며 20시 중부하시간대는 88.2 %로 가장 낮았다. 한편, 낮시간대는 변화가 적고, 1~6시는 95.1~96.9 %로 높았다. 그림 5는 이의 변화추이를 시간대별로 각상에 대해 나타낸 것이다.

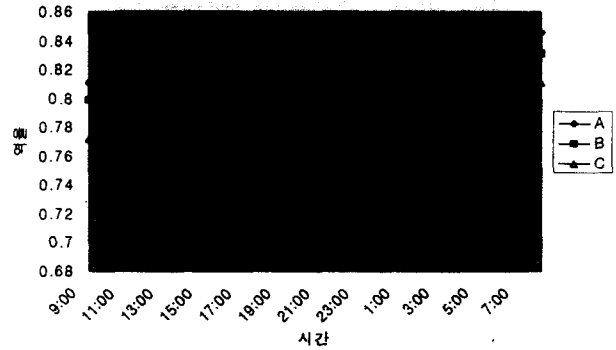


그림 2 중도시(I)의 역률특성 (구리)
Fig. 2 The PF characteristics of middle city I (Kuri)

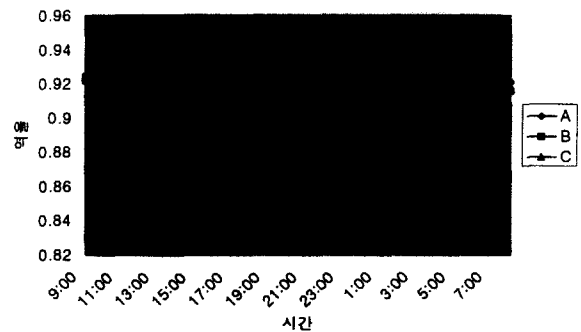


그림 3 중도시(II)의 역률특성 (제주)
Fig. 3 The PF characteristics of middle city II (Jeju)

2.4 농촌지역의 역률특성

농촌지역으로 광양과 구례지역을 선정 하였는데, 광양지역 역률은 88.1~93.6 %로 20시에 88.1 %로 가장 낮았으며 야간(18~22시) 88.1~90.7 %, 낮(9~17시) 90.8~91.9 %, 심야(01~06시) 92.6~93.6 %로 차별을 이루었다. 이의 각상에 대한 시간대별 역률변화는 그림 6과 같다. 한편, 구례지역은 89.9~97.4 %로 양호하며 단지 20시에 89.9%로 다소 낮았다. 시간대별로 살펴보면 야간 90.8~92.6 %, 낮 90.8~91.9 %, 심야 94.4~96.9 %이었으며 이의 변화는 그림 7과 같다.

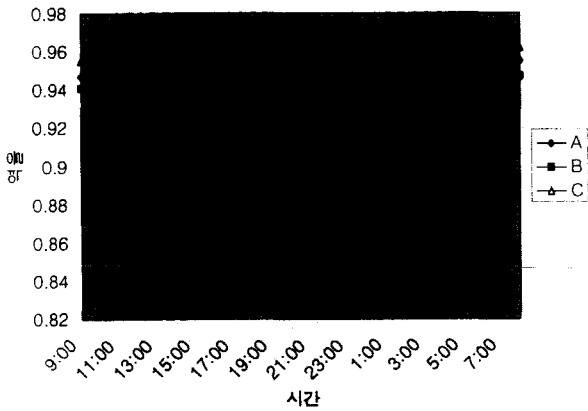


그림 4 소도시(I) 역률특성 (동울산)
Fig. 4 The PF characteristics of small city I (Dongulsan)

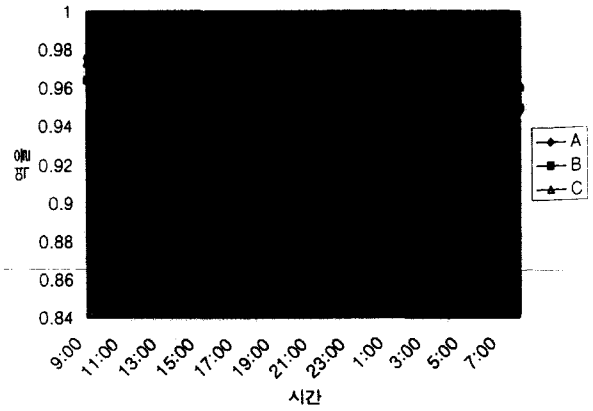


그림 7 농촌지역(II)의 역률특성 (구례)
Fig. 7 The PF characteristics of farm village II (Kurae)

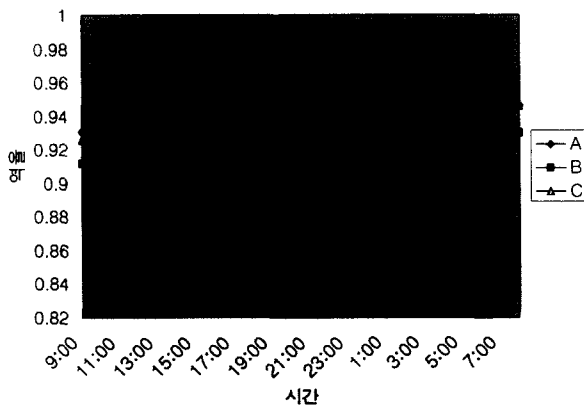


그림 5 소도시(II)의 역률특성 (광양)
Fig. 5 The PF characteristics of small city II (Kwangyang)

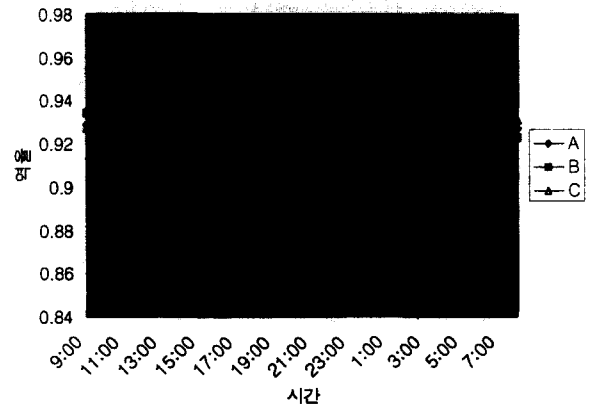


그림 8 어촌지역(I)의 역률특성 (동울산)
Fig. 8 The PF characteristics of fishing village I (Dongulsan)

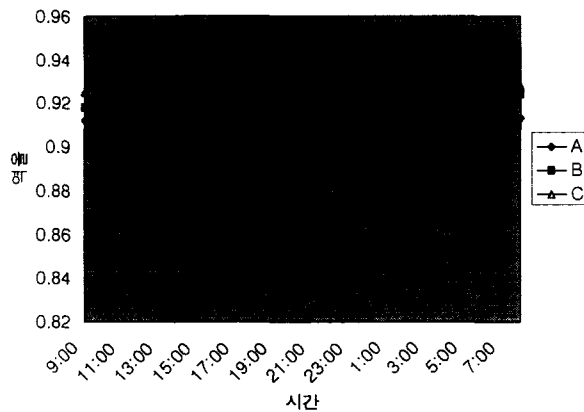


그림 6 농촌지역(I)의 역률특성(광양)
Fig. 6 The PF characteristics of farm village I (Kwangyang)

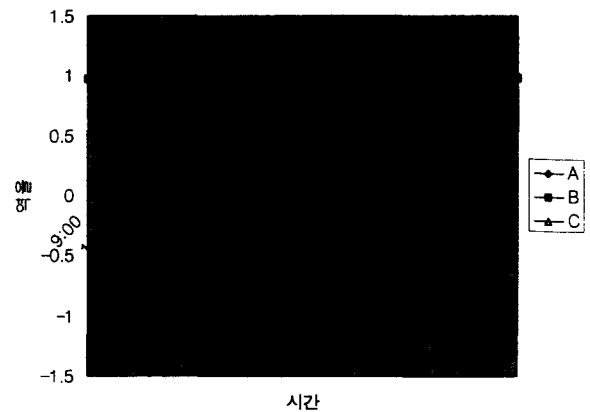


그림 9 어촌지역(II)의 역률특성 (포항)
Fig. 9 The PF characteristics of fishing village II (Pohang)

2.5 어촌지역의 역률특성

어촌지역은 동울산지역과 포항지역을 선정하여 측정한 결과, 동울산의 역률은 88.1~93.6 %이었으며, 역시 중부하 시간대인 20시가 가장 낮았다. 또, 저녁시간대는 88.8~90.7 %, 낮시간대 90.5~93.1 %, 심야시간대 94.0~95.9 %이었다. 그러나 포항의 대보만 지역은 공장이 길고 부하가 적어 왜란티 효과가 큼을 알 수 있고 심야시간대는 현저한 진상 역률을 나타내고 있다. 그림 8과 그림 9는 이의 상세한 추이를 나타낸다.

3. 콘덴서 용량산정 알고리즘(1-14)

콘덴서의 적정용량을 산정하기 위해서 변전소 인출의 유효전력과 무효전력 및 일부 모선의 측정값들을 이용하여 각 모선의 부하를 정의하고 배전조류 계산을 수행하여야 한다.

3.1. 부하배분 알고리즘

변압기의 합성용량 (kVA)과 변전소의 전압, 유·무효 전력, 역률 (미지값은 90%로 가정)을 이용하여 배전계통의 조류계산을 수행하기 위한 부하배분은 다음과 같이 수행한다.

$$P_S = \sum P_i + P_{loss} \quad (1.a)$$

$$Q_S = \sum Q_i + Q_{loss} \quad (1.b)$$

여기서 P_S, Q_S : 총공급 유, 무효전력

P_i, Q_i : i 구간의 유, 무효전력

P_{loss}, Q_{loss} : 유, 무효분 손실

미리 계통의 손실을 알 수 없으므로 정확한 부하배분은 할 수 없으므로 부하배분에 의한 반복법을 적용한다. 반복법의 과정은, 부하의 총량이 변전소의 공급전력 총량과 같도록 배분하는 것으로 변전소의 전압은 모선 인출전압을 적용한다. 만약 이를 알 수 없을 때는 정격전압으로 가정한다. 즉,

① 모든 모선의 전압은 1.0 [p.u.]로 가정

② 각 모선의 전류를 계산

$$\vec{I} = [Y] \cdot \vec{V} \quad (2)$$

③ 각 모선의 복소수 전력을 구함

$$\vec{S} = [V] \cdot \vec{I}^* \quad (3)$$

④ 유효전력손실과 무효전력손실을 가정

$$P_{loss} = P_S - P \quad (4.a)$$

$$Q_{loss} = Q_S - Q \quad (4.b)$$

⑤ 측정에 의해 아는 값은 적용

$$P = \sum P_i = \sum_k P_k + \sum_u P_u \quad (5.a)$$

$$Q = \sum Q_i = \sum_k Q_k + \sum_u Q_u \quad (5.b)$$

P, Q : 변전소에서 측정된 유효전력과 무효전력에서 가정에 의해 계산된 유효전력손실과 무효전력손실을 뺀 값

P_i, Q_i : i 번째 모선의 유효전력과 무효전력

P_k, Q_k : k 번째 모선의 유효전력과 무효전력(아는값)

P_u, Q_u : u 번째 모선의 유효전력과 무효전력(미지값)

⑥ 미지값의 유효전력과 무효전력은 정격용량에 일정하게 비례하도록 유효전력과 무효전력을 배분

$$P = \sum_k P_k + \sum_u P_u = \sum_k P_k + \sum_u \alpha_{pu} P_{uBASE} \quad (6.a)$$

$$= \sum_k P_k + \alpha_P \sum_u P_{uBASE}$$

$$Q = \sum_k Q_k + \sum_u Q_u = \sum_k Q_k + \sum_u \alpha_{qu} Q_{uBASE} \quad (6.b)$$

$$= \sum_k Q_k + \alpha_Q \sum_u Q_{uBASE}$$

α_P : 유효전력 배정계수

α_Q : 무효전력 배정계수

P_{uBASE} : u 번째 모선의 정격 유효전력값

Q_{uBASE} : u 번째 모선의 정격 무효전력값

α_{pu} : u 번째 모선의 유효전력 배정계수

α_{qu} : u 번째 모선의 무효전력 배정계수

단, 유효전력과 무효전력을 모를 때는 배정계수를 모두 같다고 가정

$$\alpha_{pu} = \alpha_P \quad (7.a)$$

$$\alpha_{qu} = \alpha_Q \quad (7.b)$$

위의 식으로부터 유효전력 배정계수와 무효전력 배정계수를 구하면,

$$\alpha_P = \frac{\sum_u P_u}{\sum_u P_{uBASE}} = \frac{P - \sum_k P_k}{\sum_u P_{uBASE}} = \frac{P_S - P_{loss} - \sum_k P_k}{\sum_u P_{uBASE}} \quad (8.a)$$

$$\alpha_Q = \frac{\sum_u Q_u}{\sum_u Q_{uBASE}} = \frac{Q - \sum_k Q_k}{\sum_u Q_{uBASE}} = \frac{Q_S - Q_{loss} - \sum_k Q_k}{\sum_u Q_{uBASE}} \quad (8.b)$$

구한 배정계수를 적용하여 u 번째 모선의 유효전력과 무효전력은,

$$P_u = \alpha_P \cdot P_{uBASE} \quad (9.a)$$

$$Q_u = \alpha_Q \cdot Q_{uBASE} \quad (9.b)$$

⑦ 측정에 의한 기지값과 배분에 의한 값으로 조류계산을 실행하여 각 모선의 전압을 구하고 이에 의해 계산된 P_{loss} 와 Q_{loss} 값으로 다시 반복 실행

⑧ P_{loss} 와 Q_{loss} 의 값이 변하지 않을 때까지 ② ~ ⑦의 과정을 수행

3.2 3상 조류계산 알고리즘

① 용량이 가장 큰 변전소를 슬랙모선으로 정하고 그 이

외의 변전소는 전압지정모선으로 정함 (부하모선은 부하 배분 알고리즘에 의해 부하를 배분)

② 조류계산을 수행하기 위하여 각 모선의 전력방정식을 정의

$$\vec{I}_{BUS} = [Y_{BUS}] \times \vec{V}_{BUS} \quad (10)$$

\vec{I}_{BUS} : 모선의 전류 벡터
 \vec{V}_{BUS} : 모선의 전압 벡터
 $[Y_{BUS}]$: 모선의 어드미턴스 행렬

임의의 k모선에 유입되는 전류 I_k 는,

$$I_k = \sum_{m=1}^n Y_{km} * V_m \quad (11)$$

따라서 k모선의 전력 S_k 는 다음과 같이 표시된다.

$$S_k = P_k + jQ_k = \vec{V}_k \times \vec{I}_k^* = \vec{V}_k \sum_{m=1}^n Y_{km}^* \cdot \vec{V}_m^* \quad (12)$$

단 $k = 1, 2, \dots, n$

$$Y_{km} = G_{km} + jB_{km}$$

$$\vec{V}_k = V_k e^{j\theta_k}$$

$$\vec{V}_m = V_m e^{j\theta_m}$$

위의 식을 유효전력과 무효전력으로 나누어 표시하면,

$$P_k = V_k \sum_{m=1}^n V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km}) \quad (13.a)$$

$$Q_k = V_k \sum_{m=1}^n V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}) \quad (13.b)$$

③ 뉴턴-랩슨법의 도입시에는 항상 편차 방정식을 가지고 풀게 되는데 조류계산의 경우, 모선전력의 편차 방정식은,

$$\Delta P_k = P_k - V_k \sum_{m=1}^n V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km}) \quad (14.a)$$

$$\Delta Q_k = Q_k - V_k \sum_{m=1}^n V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}) \quad (14.b)$$

- $P_k + jQ_k$: k모선에서의 주어진 전력
- V_k : k모선에서의 전압의 절대치
- θ_k : k모선에서의 전압의 위상 각
- $G_{km} + jB_{km}$: 모선어드미턴스행렬의 (k, m) 원소

3.3 콘덴서의 위치와 용량 산정

콘덴서의 최적용량을 산정하기 위해서는 무효전력 보상 설비 투자효과에 대한 감도를 구하면 되는데 이를 구하는 방법은 다음과 같다.

$$P(V, \theta) = P^{SPEC} \quad (15.a)$$

$$Q(V, \theta) = Q^{SPEC} \quad (15.b)$$

$$P_k(V, \theta) = V_k \sum_{m=1}^n V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km}) \quad (16.a)$$

$$Q_k(V, \theta) = V_k \sum_{m=1}^n V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}) \quad (16.b)$$

P^{SPEC}, Q^{SPEC} : 모선지정전력

비선형 제약조건이 있는 최적화 문제로 모형화할 수 있는 조류계산 결과로부터,

Minimize P_{LOSS}

$$s.t. \quad P(V_D, \theta) = P^{SPEC}$$

$$Q(V_D, \theta) = Q^{SPEC} \quad (17)$$

V_D 는 부하모선의 전압으로 이를 라그랑주함수로 이용하여 정의하면,

$$L = P_{LOSS}(V_D, \theta) + \lambda_P^T [P(V_D, \theta) - P^{SPEC}] + \lambda_Q^T [Q(V_D, \theta) - Q^{SPEC}] \quad (18)$$

위와 같이 라그랑주함수로 정의하면 본래 제약조건이 있는 최적화 문제가 단순히 제약조건이 없는 최적화 문제로 등가화 된다. 등가 라그랑주함수의 최적화 문제는 다음과 같은 최대화 및 최소화의 두 과정을 포함하게 된다.

$$\begin{matrix} \text{Maximize} & \text{Minimize} \\ [\lambda_P, \lambda_Q] & [V_D, \theta] \end{matrix} L[V_D, \theta, \lambda_P, \lambda_Q] \quad (19)$$

L 이 최적점에 도달하였을 경우, 다음과 같은 최적조건이 성립한다.

$$\left[\frac{\partial L}{\partial \theta} \right] = \left[\frac{\partial P_{LOSS}}{\partial \theta} \right] + \left[\frac{\partial P}{\partial \theta} \right]^T \cdot \lambda_P + \left[\frac{\partial Q}{\partial \theta} \right]^T \cdot \lambda_Q = 0 \quad (20)$$

$$\left[\frac{\partial L}{\partial V_D} \right] = \left[\frac{\partial P_{LOSS}}{\partial V_D} \right] + \left[\frac{\partial P}{\partial V_D} \right]^T \cdot \lambda_P + \left[\frac{\partial Q}{\partial V_D} \right]^T \cdot \lambda_Q = 0 \quad (21)$$

$$\left[\frac{\partial L}{\partial \lambda_P} \right] = P(V_D, \theta) - P^{SPEC} \quad (22)$$

$$\left[\frac{\partial L}{\partial \lambda_Q} \right] = Q(V_D, \theta) - Q^{SPEC} \quad (23)$$

최적조건은 본래의 변수 $[V_D, \theta]$ 와 제약조건에 의해 도입된 변수 $[\lambda_P, \lambda_Q]$ 의 두 가지로 분류됨을 알 수 있으며 도입된 변수 $[\lambda_P, \lambda_Q]$ 의 물리적 의미를 살펴보면, 본래의 전압변수는 실제시스템의 운전변수를 의미하고, 제약조건에 의해 도입된 변수 $[\lambda_P, \lambda_Q]$ 는 모선지정 전력 P^{SPEC} , Q^{SPEC} 에 대하여 미분값이다.

$$\left[\frac{\partial L}{\partial P^{SPEC}} \right] = -\lambda_P \quad (24.a)$$

$$\left[\frac{\partial L}{\partial Q^{SPEC}} \right] = -\lambda_Q \quad (24.b)$$

라그랑주함수로 하고 이중 λ_Q 는 전력콘덴서등 무효전력설비의 단위용량 투입에 대한 계통손실의 증가를 의미하므로 각 모선의 λ_Q 값이 가장 큰 모선에 ΔQ [kVA]의 콘덴서를 투입하면 된다. 즉,

① 조류계산을 통하여 각 모선의 λ_Q 의 값을 계산

② 이 값을 취약모선 우선 순위(λ_Q 의 절대값이 큰 순위)로 정렬

③ 우선 순위가 가장 높은 모선에 ΔQ [kVA]의 무효전력을 투입

- ④ 위의 ①~③의 과정 반복
- ⑤ 설정한 총 콘덴서 투입량 $Q_{INVEST} (= \sum \Delta Q)$ 를 모두 반영하였거나 선로손실 감소량이 수렴하였으면 종료

4. 사례 연구 및 분석

광양지역에 대해 λ_Q 지표값이 가장 큰 지점에 콘덴서를 투입하기 전과 후의 결과를 해석하여 검증하였다.

4.1 입력데이터

계통의 등가적 구성은 그림 10과 같으며, 각 노드의 부하데이터 및 주변압기 공급조건은 표 2, 표 3과 같다.

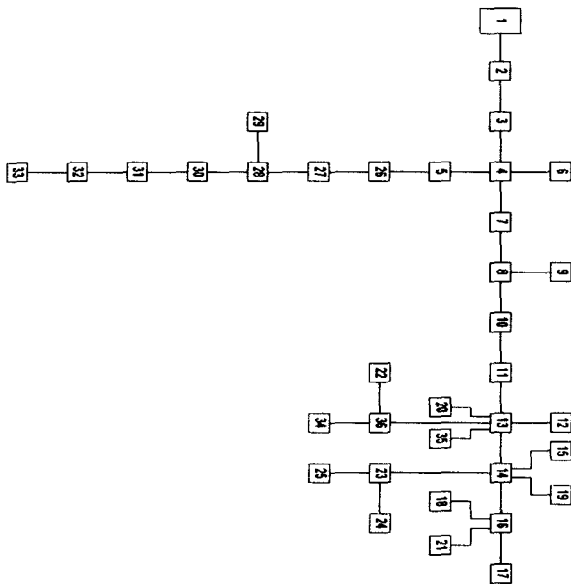


그림 10 광양지역의 단선계통도
Fig. 10 The single diagram of power line (Kwangyang)

표 2 광양지역의 부하 데이터
Table 2 Load data of Kwangyang

번호	유형	부하(1MW, 1MVar base)					
		A상		B상		C상	
		유효전력	무효전력	유효전력	무효전력	유효전력	무효전력
1	0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	2	0.0915	4.43154E-02	0.0915	4.43154E-02	0.0915	4.43154E-02
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
32	2	0.002025	9.80752E-04	0.002025	9.80752E-04	0.002025	9.80752E-04
33	2	0.00864	4.18454E-03	0.00864	4.18454E-03	0.00864	4.18454E-03
34	2	0.012735	6.16784E-03	0.012735	6.16784E-03	0.012735	6.16784E-03
35	2	0.01773	8.58703E-03	0.01773	8.58703E-03	0.01773	8.58703E-03
36	2	0.01233	5.97169E-03	0.01233	5.97169E-03	0.01233	5.97169E-03

표 3 주변압기의 공급조건
Table 3 The supply condition of main transformer

번호	사용용량(1MW, 1MVar base)					
	A상		B상		C상	
	유효전력	무효전력	유효전력	무효전력	유효전력	무효전력
1	1.494053	0.717087	1.572643	0.8183196	1.472940	0.707118

4.2 최적위치의 선정

부하배분의 알고리즘으로부터 배전 조류계산을 수행하여 노드별 각상의 전압과 λ_Q 를 구하면 아래 표 4 및 표 5와 같다. 따라서 λ_Q 값이 가장 큰 33번 노드가 콘덴서의 투입점임을 알 수 있다.

표 4 노드별 전압 계산 결과

Table 4 The result of node voltage

번호	전압 (p.u)		
	A상 전압	B상 전압	C상 전압
1	1.00000000	1.00000000	1.00000000
2	0.9965142	0.99611913	0.99651285
⋮	⋮	⋮	⋮
32	0.97541888	0.97263593	0.97540571
33	0.97517757	0.97236722	0.97516424
34	0.97903663	0.97666291	0.9790238
35	0.97926061	0.97691203	0.97924794
36	0.97925365	0.97690439	0.97924087

표 5 각 노드별 λ_Q 지표

Table 5 The λ_Q index per node

번호	λ_Q	번호	λ_Q
1	-2.5688e-042	33	0.0501632
2	0.0071414	34	0.0427418
⋮	⋮	35	0.0423039
32	0.0496875	36	0.042313

4.3 결과분석

33번 노드에 대하여 투입할 콘덴서 양을 변화시켜 선로손실량 감소가 수렴되어 포화상태가 될 때까지 계산해보면 표 6처럼 각 상에 15 kVA로 총 45 kVA가 됨을 알 수 있다.

표 6 33노드에서 콘덴서 투입용량
Table 6 The injection condenser capacity at 33 node

번호	투입량(1MVA base)		
	A상	B상	C상
33	0.015	0.015	0.015

또 이를 적용하여 조류계산을 행하면 각 노드의 전압이 표 7처럼 0.975에서 0.976으로 0.001[p.u]개선됨을 알 수 있다.

표 7 콘덴서를 투입한 경우의 조류해석 결과
Table 7 The load flow results of injection condenser

번호	전압(크기, 위상각)		
	A상의 전압 크기	B상의 전압 크기	C상의 전압 크기
1	1	1	1
2	0.996558	0.996163	0.996557
⋮	⋮	⋮	⋮
32	0.976255	0.973475	0.976242
33	0.976112	0.973305	0.976099
34	0.979221	0.976848	0.979208
35	0.979445	0.977098	0.979433
36	0.979438	0.97709	0.979425

한편, 콘덴서 투입 전후의 선로손실을 비교해 보면, 표 8에서 알 수 있는 것처럼 투입전 무효전력 130.145[kVar]이 표 9와 같이 79.046[kVar]로 51.1[kVar]이 감소되었다. 한편, 이를 현장여건상 직접 실현할 수가 없었으나 필산해 보면 당초 역률 89.5%가 90.1%로 개선됨을 알 수 있다.

표 8 콘덴서 투입전 선로손실
Table 8 Power line loss before condenser on

사용용량(1MW, 1MVar base)							
A상		B상		C상		TOTAL	
유효전력	무효전력	유효전력	무효전력	유효전력	무효전력	유효전력	무효전력
0.0174427	0.0415998	0.020030	0.047771	0.0170963	0.0407735	0.0545698	0.1301451

표 9 콘덴서 투입후 선로손실
Table 9 Power line loss after condenser on

사용용량(1MW, 1MVar base)							
A상		B상		C상		TOTAL	
유효전력	무효전력	유효전력	무효전력	유효전력	무효전력	유효전력	무효전력
0.0172975	0.02125	0.01985	0.0173	0.0169	0.04042	0.03680	0.07904

5. 결 론

배전계통의 각 상별 조류계산을 온전히 하기 위해서는 각 상별로 부하설비 관리가 되어 있어야 한다. 그러나 과거 10% 이상의 전력수요 대응에 급했던 우리나라는 이에 대한 데이터를 확보할 수도 없었고 현실적으로도 다 조사하기가

어려운 실정이다. 그러므로 본 논문에서는 알고 있는 데이터는 최대한 활용할 수 있도록 하였으며, 실제 인출 전체값과 추정된 전체값과의 비교를 통해 조정할 수 있도록 배정계수 개념을 도입하였고 부하배분 알고리즘을 제시한 것이다. 제한한 부하배분 알고리즘에 의해 전체 부하를 배분하고, 이의 조류계산으로 라그랑주함수의 모션 무효전력에 대한 미분값 (λ 파라미터)을 해석한다. 이를 해석하여 이 값이 가장 높은 노드가 무효전력 최적 제어를 위한 병렬 콘덴서의 투입지점이 된다. 한편, 적정 콘덴서용량을 산정하기 위해서는 콘덴서의 규격용량별로 입력하면서 손실최소 결과를 관찰하여 수렴될 때의 용량으로 결정하면 되는데 향후이 부분까지 최적화로 처리한다면 보다 합리적인 방법으로 역률 보상을 콘덴서를 운용할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] N.Iwan Santoso and Owen T.Tan, "Neural-net Based Real-Time Control of Capacitors Installed On Distribution systems," IEEE Trans on Power Delivery, Vol.5, No.1, pp. 266-271, January 1990.
- [2] Srinivasan Sundharajan and Anil Pahwa, "Optimal Selection of Capacitors for Radial Capacitors Distribution Systems using a genetic Algorithm," IEEE Trans on Power Systems, Vol.9, No.3, pp. 1499-1507, August 1994.
- [3] Nokhum, S.Markushevich. et al., "Functional Requirements and Cost-benefit Study For Distribution Automation at B.C.Hydro." IEEE Trans on Power Delivery, Vol.9, No.2, pp. 772-781, May 1994.
- [4] Hsiao-Dong Cheng, Jin-Cheng Wang, Gary Darling, "Optimal Capacitor Placement Replacement and Control in Large-Scale Unbalanced Distribution Systems: System Modeling and A New Formulation," IEEE Trans on Power Systems, Vol.10, No.1, pp. 356-362, February 1995
- [5] D. Shirmohammadi, H. Wayne Hong, "Reconfiguration of Electric Distribution Networks for Resistive Line Losses Reduction," IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, pp. 1492-1498, May 1989.
- [6] David I-Ho Sun, Distribution System Loss Analysis and Optimal Planning, the Univ. of Texas Arlington, pp. 11-60, 1980.
- [7] G. B. Jasmon, L. H. Callistus, "A modified Technique for Minimization of Distribution System Losses", Electric Power Systems Research, Vol.20, pp. 81-88, 1991.
- [8] G.Kjille. K.Sand. "RELOAD - Analytical Approach for Distribution System Reliability Assessment," IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 7, pp. 809 - 814. April 1990.
- [9] R.N.Allan. et al., "A Reliability Test System For

Education Purposes-Basic Distribution System Data And Results," IEEE Transactions on Power System, Vol.6. No. 2, pp. 813-820. May 1991.

- [10] 장정태, 다연계 배전계통의 상시 개로 스위치 해석, 충남대학교 박사학위논문, pp. 80-90, 1997년 8월
- [11] 電氣と管理, 電氣と管理社, pp. 25-31 1987. 12

[12] 장정태외, "공급신뢰도를 고려한 배전계통의 전압강하 해석", 대한전기학회 추계학술대회, 1980.

- [13] 現代の配電技術, 日本電氣書院, pp. 18-54, 1992.
- [14] 電力系統の制御, 日本電氣書院, pp. 7-86, 1986.

저 자 소 개



장 정 태 (張 正 泰)

1950년 7월 10일생. 1981년 숭실대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 충남대학원 전기공학과 졸업(공학). 1969.1-1998.6 한전(배전설계원, 배전처영배시스템개발요원, 전력연구원 전력계통총괄그룹장, PM). 1998.9-1999.2 명지대학원 겸임교수. 1999.3-현재 대불대학교 전기전자공학부 조교수(9월~학부장). 주요관심분야는 최적배전계통, 배전자동화, 전력설비 염진해대책, 기자재경년특성연구, 무정전공법, 까치고장대책, 배전전산화, 전기품질향상 등

Tel : (0693) 469-1266, 018-417-9000

E-mail: jtjang@daebul.daebul.ac.kr



전 영 수 (全 榮 洙)

1960년 2월 9일생. 1983년 성균관대 전기공학과 졸업. 1999년 충남대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사), 1990년~현재 한전 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원

Tel : (042)865-5856

E-mail: ysjeon@kepri.re.kr