

배전계통의 손실감소 및 전압보상을 위한 커패시터 최적 배치 및 운용

(Optimal Capacitor Placement and Operation for Loss Minimization and Improvement of Voltage Profile in Distribution Systems)

송 현 선*

(Hyun-Seon Song)

요 약

본 연구에서는 방사상 배전계통에 있어서 손실감소 및 전압보상을 위한 커패시터 최적배치 및 운용 방안을 제시하였다. 커패시터 배치와 관련된 비용함수를 실제 뱅크단위로 이산성을 고려하여 계단함수로 정식화하였다. 불연속이면서 미분 불가능한 함수인 커패시터 배치와 관련된 비용함수의 해를 효율적으로 구하기 위하여 전역 적탐색기법인 GA를 이용하였다. 특히, GA의 스트링을 커패시터가 배치될 모선의 인덱스와 투입량인 뱅크단위로 동시에 구성하여 기존의 방법보다 효율적으로 해를 탐색하였다. 또한, 스트링의 길이를 변화시킬 수 있는 길이 돌연변이(length mutation) 연산자를 사용함으로써 효과적으로 커패시터 설치위치의 수를 결정할 수 있었다.

제안한 커패시터 설치위치와 투입량을 동시에 탐색할 수 있는 방안으로부터 커패시터의 최소 투입량으로 다양한 부하레벨에서 전력손실을 감소시키고, 전압강하를 적절히 보상시킬 수 있다. 이에 대한 효율성을 입증하기 위하여 22kV 9-section feeder로 구성된 방사상 배전계통에 적용하였다.

Abstract

This paper presents an optimization method which determines locations and size of capacitors simultaneously while minimizing power losses and improving voltage profile in radial distribution systems. Especially, the cost function associated with capacitor placement is considered as step function due to banks of standard discrete capacities. Genetic algorithms(GA) are used to obtain efficiently the solution of the cost function associated with capacitors which is non-continuous and non-differentiable function. The strings in GA consist of the node number index and size of capacitors to be installed. The length mutation operator, which is able to change the length of strings in each generation, is used.

The proposed method which determines locations and size of capacitors simultaneously can reduce power losses and improve voltage profile with capacitors of minimum size. Its efficiency is proved through the application in radial distribution systems.

* 정회원 : 세명대학교 전기공학과 부교수

접수일자 : 1999년 4월 15일

1. 서론

방사상 배전계통에서 전력손실을 감소시키고 전압을 허용범위내에 유지시키기 위하여 커패시터를 설치할 위치 및 투입용량을 합리적으로 결정하는 것을 일반적인 커패시터 배치문제(capacitor placement problem)라고 한다[1-5].

방사상 배전계통에서 기존의 설비를 효과적으로 사용하면서 전력손실을 감소시키기 위하여 커패시터의 설치 위치와 용량을 결정하는 연구가 많이 진행되었다. 특히, Duran 등은 커패시터 용량의 이산적인 특성을 다루었으며, 동적계획법을 사용하였다[1]. Kaplan은 초기에 많이 연구되었던 발견적방법(heuristics method)을 재구성하였으며[2], Grainger 등은 커패시터 용량과 설치위치를 연속적인 변수로 다루어 비선형계획법 문제로 정식화하였다[3]. Baran과 Wu는 혼합정수계획법을 이용하여 주문제와 부문제로 나누어 주문제에서는 커패시터의 설치위치를 결정하고, 부문제에서는 투입량을 이산변수로 고려하였고, 특히 조류방정식을 문제에 포함시켰다[4]. Chiang 등은 Baran의 방법과 유사하나 부하제약을 문제에 포함시켰고, 전역적 탐색기법의 일종인 모의담금질(simulated annealing)법을 사용하였다[5]. 최근 Sundhararajan 등은 GA를 이용하여 커패시터 설치 위치 및 용량에 관하여 최적계획 하였으며, 특히, 감도분석으로부터 커패시터가 설치될 위치를 선정하고, GA를 이용하여 투입량을 결정하는 2단계 방법을 사용하였다[6].

본 연구에서는 방사상 배전계통에 있어서 손실감소 및 전압보상을 위한 커패시터 최적배치 및 운용방안을 제시하였다. 커패시터 배치와 관련된 비용함수를 실제 뱅크단위로 이산성을 고려하여 계단함수로 정식화하였다. 불연속이면서 미분 불가능한 함수인 커패시터 배치와 관련된 비용함수의 해를 효율적으로 구하기 위하여 전역적탐색기법인 GA를 이용하였다. 특히, GA의 스트링을 커패시터가 배치될 모선의 인덱스와 투입량인 뱅크단위로 동시에 구성하여 참고문헌[6]의 방법보다 효율적으로 해를 탐색하였다. 또한, 스트링의 길이를 변화시킬 수 있는 길이 돌연변이(length mutation) 연산자를 사용함으로써 효과적으로 커패시터 설치위치의 수를 결정할 수 있었다.

제안한 커패시터 설치위치와 투입량을 동시에 탐

색할 수 있는 방안으로부터 커패시터의 최소 투입량으로 다양한 부하레벨에서 전력손실을 감소시키고, 전압강하를 적절히 보상시킬 수 있다. 이에 대한 효용성을 입증하기 위하여 22kV 9-section feeder로 구성된 방사상 배전계통에 적용하였다.

2. 커패시터 최적 배치를 위한 정식화

커패시터 배치 문제는 방사상 배전계통에 설치될 커패시터의 위치 및 투입용량을 결정하는 것이다.

계통의 전력손실을 최소화하기 위하여 주어진 시간 T 동안의 부하변동을 고려할 필요가 있다. 부하변동을 이산적으로 근사화시키고 부하는 일정하게 변화된다고 가정하여 부하지속곡선(load duration curve)을 그림 1과 같이 구간별선형함수(piecewise linear function)로 근사화한다.

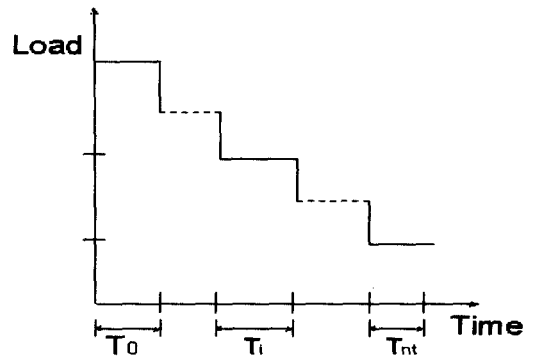


그림 1. 근사화된 부하지속곡선
Fig. 1. Approximated load duration curve

또한, 임의의 모선에서 커패시터의 비용은 그림 2와 같이 뱅크단위의 설치비용 함수인 불연속의 미분 불가능한 계단함수(step-like function)로 나타낼 수 있다. 목적함수는 계통전압의 허용범위와 같은 운전제약을 만족시키면서 계통의 전력손실을 감소시키기 위한 커패시터 총 설치비용을 최소화하는 것으로서 식 (1)과 같이 나타내었다. 식 (1)에서 첫째항은 각 부하레벨에서의 지속시간과 전력손실을 곱하고, 전력손실에 해당되는 비용계수를 곱함으로써, 각 부하레벨의 전력손실비용을 나타낸 것이다. 둘째항은 첨두부하시에 가스터빈 등과 같은 발전비용이 고가인 연료를 사용하는 발전기가 추가로 투입되므로 발전비

용이 상승하게되어 이에 따른 손실비용도 다른 부하 레벨에 비하여 추가로 상승하는 것을 고려하기 위한 항이다. 셋째항은 커패시터를 설치하는데 소요되는 비용을 고려하기 위한 항이며, 세 개의 항을 모두 합한 비용을 전체비용이라 한다.

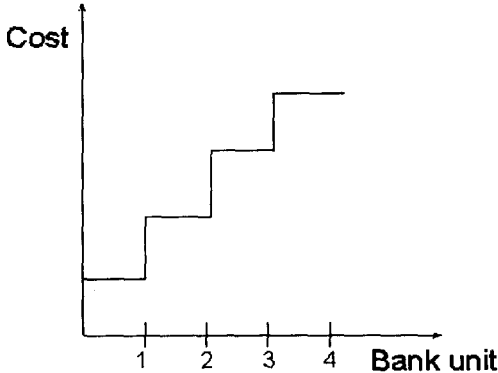


그림 2. 미분 불가능한 계단함수로 구성된 비용함수
Fig. 2. Cost function with non-differentiable step-like function

$$\begin{aligned} \text{MIN. } & K_e \sum_{i=1}^{nt} T_i P_i + K_p P_0 + K_c \sum_{j=1}^{nc} Qc_j \\ \text{s.t. } & Qc_j^{\min} \leq Qc_j \leq Qc_j^{\max} \\ & V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,

nt, nc : 부하레벨의 수 및 커패시터 설치후보의 수

K_e, K_p, K_c : 전력손실, 침두부하 전력손실 및 커패시터 비용 계수

T_i, P_i : 부하레벨 i의 지속시간 및 전력손실

P_0 : 침두부하 전력손실

Qc_j : 커패시터 설치위치 j의 투입량

V_i : 부하레벨 i에 대한 모선의 전압크기

$\cdot^{\max}, \cdot^{\min}$: 상하한치

3. 유전알고리즘

유전알고리즘(Genetic Algorithms : GA)은 자연선택과 자연 유전학의 원리를 근거한 최적점탐색 알고

리즘이다. GA는 최적화문제의 목적함수로부터 적합도를 구해 적합도에 따라 다음 세대에 생존과 소멸을 결정하는 것이다[8]. 본 연구에서는 이산성을 고려하여 계통손실 및 전압보상을 위한 커패시터 최적 배치 방안으로서, 커패시터를 설치할 위치와 투입량을 동시에 결정하기 위하여 유전알고리즘의 스트링을 정수로 표현하여 설치위치와 커패시터의뱅크단위로 구성하였다. 커패시터가 설치될 후보위치를 그림 3과 같이 나타내었으며, 첫 번째 열은 커패시터가 설치될 후보인덱스를 의미하고, 두 번째 열은 후보모선의 번호를 나타내었다. 또한, GA의 스트링을 그림 4와 같이 구성하여 나타내었다. 효율적인 유전작용자를 사용하기 위하여 첫 번째 열에는 후보위치의 위치인덱스를, 두 번째 열에는 투입량에 대한 커패시터뱅크단위로 구성하였다. 또한 각 개체의 스트링의 길이를 X^t 와 Y^t 같이 서로 다르게 표현하였다.

| | | | | | | | | |
|-------|---------|---|---|---|---|---|---|---|
| X^t | (위치인덱스) | 1 | 3 | 2 | 4 | 5 | | |
| | (투입뱅크) | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | | |
| Y^t | (위치인덱스) | 2 | 4 | 1 | 7 | 3 | 6 | 8 |
| | (투입뱅크) | 3 | 1 | 4 | 3 | 1 | 2 | 3 |

그림 3. 스트링 길이가 다른 두 개체의 위치인덱스와 투입뱅크

Fig. 3. Location index and bank number of different length individuals

3.1 유전작용자

GA를 이용하여 최적해를 탐색하기 위하여 다음과 같은 유전작용자가 사용되었다[7,8].

(1) 복제(Reproduction)

복제란 비선형이고 불연속인 값을 갖는 함수로 적합도 함수를 정의한 후, 적합도에 비례하여 개체를 생존시키는 작용자이다. 정규화된 적합도는 다음 세대에 생존할 확률로서, 적합도가 더 큰 개체는 다음 세대에 더 많은 자손을 발생시킬 가능성이 크다. 즉, 우수개체는 다음세대로 넘어가고 열성인 개체는 소

떨린다. 다음세대로 넘어갈 개체를 선택하기 위해서 적합도에 의해 스롯의 크기가 정해지는 룰렛 휠을 사용하였다.

(2) 교차(Crossover)

새롭게 복제된 개체들 중에서 교차확률에 따라 교차할 개체를 선정한다. 예를 들어 그림 4와 같이

X^t 와 Y^t 라는 개체가 선정되었다고 하면 식 (2)와 같이 두 벡터의 선형조합(linear combination)으로 정의한다. 이것을 whole arithmetical crossover라 한다. a 는 0과 1 사이의 난수, t 는 현세대, $t+1$ 은 다음세대, X^t 와 Y^t 는 어버이이고, X^{t+1} 과 Y^{t+1} 은 자손이다.

$$\begin{aligned} X^{t+1} &= \text{int}\{a \cdot Y^t + (1-a) \cdot X^t\} \\ Y^{t+1} &= \text{int}\{a \cdot X^t + (1-a) \cdot Y^t\} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)의 int는 계산된 값이 실수이므로 정수값으로 변환시키기 위함이다.

(3) 돌연변이

교차를 행한 후 개체의 스트링에서 각각의 유전자는 돌연변이 확률만큼 랜덤한 변화를 한다. 따라서 돌연변이 연산자는 국지적 최적해로 수렴하는 것을 방지하는 작용을 한다. 그러나 돌연변이는 세대가 변하면서 환경에 대한 적응성과는 무관하게 랜덤 하게 발생하므로 돌연변이 확률이 너무 크면(50% 이상) 일반적으로 랜덤 탐색의 경향을 나타낸다. 본 연구에서는 non-uniform mutation을 사용하였다. 유전자 x_{ii} 가 돌연변이 대상으로 선정되면 non-uniform 돌연변이는 유전자 값을 식 (3)의 x_{ii}' 와 같이 변형시킨다.

$$x_{ii}' = \text{int}\{x_{ii}''\} = \begin{cases} x_{ii} + \Delta(t, y), & y \\ x_{ii} - \Delta(t, y), & y \end{cases} \quad (3)$$

$$\Delta(t, y) = y \cdot r \cdot (1 - t/T)^b$$

여기서, r 은 0에서 1사이 난수, t 는 현세대, T 는 최대세대수, b 는 non-uniform의 정도를 결정하는 수이다. x_{ii}^{\max} 와 x_{ii}^{\min} 은 돌연변이 대상으로 선정된

변수의 상하한치, 즉 최적부하 배분문제의 경우에는 발전기출력의 상하한치이다. 또한, 랜덤 digit에 따라 구분되는 것은 선택된 유전자 즉, 변수가 그 점과 상한치 또는 하한치의 범위 내에서 변화되도록 하는 방향을 나타내는 것이다. t/T 는 초기세대에서는 탐색공간을 균일하게 탐색하고 t 가 증가함에 따라 국지적으로 탐색하는 것을 의미한다. 또한, 돌연변이 대상 개체가 선정되면 길이 돌연변이(length mutation)를 사용하여 스트링의 길이를 새로 결정한다.

3.2 적합도 함수로의 변형 및 페널티기법

제 2장의 방사상 배전계통에 대한 손실감소 및 전압보상을 위한 커패시터 배치에 대한 목적함수와 제약조건을 식 (4)와 같이 일반적인 형태로 표현하였다.

$$\begin{aligned} \text{Min.} \quad & f(\mathbf{x}) \\ \text{s.t.} \quad & g(\mathbf{x}) \leq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

페널티법에서 제약을 갖는 최적화 문제는 제약 위반과 페널티를 연관시킴으로써 제약을 갖지 않는 최적화문제로 바꿀 수 있다. 이러한 페널티는 목적함수의 평가에 포함된다. 따라서 식 (4)를 식 (5)와 같이 부등식 제약조건을 갖지 않는 최소화 문제로 바꿀 수 있다.

$$\text{Min.} \quad P(\mathbf{x}) = f(\mathbf{x}) + \mu \sum [\max\{0, g(\mathbf{x})\}]^2 \quad (5)$$

μ 는 페널티 계수로서 세대가 변화됨에 따라 ∞ 로 증가하고 목적함수 $P(\mathbf{x})$ 를 감소시키면, 제약에 대한 강도 또한 증가하여 결국 제약조건을 만족하면서 원래의 목적함수 $f(\mathbf{x})$ 를 최소화시키는 해를 얻을 수 있다. 식 (5)의 페널티 함수 형태로 변형된 최적 부하배분 문제는 식 (6)과 같이 역을 취하여 목적함수 최소화문제를 적합도 최대화문제로 변형시킬 수 있다.

배전계통의 손실감소 및 전압보상을 위한 커패시터 최적 배치 및 운용

$$\text{Fitness}(A) = \frac{1}{P(\mathbf{x})} \quad (6)$$

식 (6)을 이용하여 각 개체의 적합도를 계산한 후 전술한 복제, 교차, 돌연변이와 같은 유전작용자를 이용하여 매 세대를 반복하면서 최적해를 탐색한다.

3.3 최적화를 위한 유전알고리즘 응용

방사상 배전계통의 손실감소 및 전압보상을 위한 커패시터 배치 및 운용의 최적해를 다음과 같은 절차에 의하여 탐색한다[7,8].

step 1 초기화

각 개체의 유전자는 각 변수의 상하한치 내에서 랜덤하게 발생시킨다.

step 2 적합도 평가

식 (5)와 (6)을 이용하여 개체군의 개체들에 대한 페널티 함수를 계산하고 적합도를 평가한다.

step 3 수렴 판정

- a) 만약 최대 세대이면 멈춘다.
- b) 그렇지 않으면 step 4로 간다.

step 4 개체의 스트링 조작

유전알고리즘의 복제, 교차 및 돌연변이 같은 유전작용자를 이용하여 각 개체를 향상시킨 후 step 2로 간다.

4. 사례연구 및 검토

방사상 배전계통의 손실감소 및 전압보상을 위한 커패시터 최적배치 및 운용 방안의 효용성을 입증하기 위하여 표 1과 같은 23kV 9-section feeder로 구성된 계통에 적용하였다[6].

커패시터는 300kVAR/bank로 하였으며, 최대 10bank로 하였다. 전압의 허용범위는 0.90-1.00p.u., 개체의 수는 50개, 최대세대의 수는 100세대로 하였다. 비용계수는 $K_p = \$168/\text{kW}/\text{year}$, $K_e = \$0.06/\text{kWh}$, $K_c = \$4.9/\text{kVAR}$ 이다[6]. 또한, 표 2와

같은 부하레벨 및 부하지속시간을 고려하였으며, 부하레벨 110%가 첨두부하인 경우이다.

표 1. 9-section feeder의 데이터 (3상)
Table 1. Data of 9-section feeder (3 phase)

| send node | end node | Send node load | | Line impedance of section | |
|-----------|----------|----------------|----------|---------------------------|--------|
| | | P(kW) | Q(kVA R) | R(ohm) | X(ohm) |
| 2 | 3 | 1640 | 200 | 5.3434 | 3.0264 |
| 3 | 4 | 980 | 130 | 4.7953 | 2.7160 |
| 4 | 5 | 1150 | 60 | 2.0552 | 1.1640 |
| 5 | 6 | 780 | 110 | 0.9053 | 0.7886 |
| 6 | 7 | 1610 | 600 | 1.9831 | 1.7276 |
| 7 | 8 | 1598 | 1840 | 0.6984 | 0.6084 |
| 8 | 9 | 1790 | 446 | 0.7463 | 1.2050 |
| 9 | 10 | 980 | 340 | 0.0140 | 0.6051 |
| 10 | 1(SS) | 1840 | 460 | 0.1233 | 0.4127 |

표 2. 부하레벨 및 부하지속시간

Table 2. Load level and load duration curve

| Load level(%) | 110 | 90 | 70 |
|----------------------|------|------|------|
| Time interval(hours) | 1000 | 6760 | 1000 |

커패시터를 설치하지 않은 상태에서 연간 전체 전력손실 비용은 \$528,075이었으며, 표 3은 제안한 방법을 이용하여 유전작용자 확률에 따른 커패시터 설치후의 전체비용을 나타낸 것이다. 유전작용자 확률은 시행착오(trial and error)에 의하여 제시한 값이다. Case G에서 가장 좋은 결과를 나타내었으며, 커패시터를 설치하지 않은 경우 보다 연간 약 \$25,574의 비용이 절감됨을 알 수 있다. 또한, Case B, E, F 및 G에서 커패시터의 비용은 \$35,280로 모두 같지만, 커패시터가 설치될 위치와 투입될 양이 다르게 결정되었기 때문에 전체비용의 차이가 생긴 것이다.

표 3. 유전작용자 확률에 따른 전체비용
Table 3. Total cost in each case

| | Case | | | | | | |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | A | B | C | D | E | F | G |
| 교차확률 | 0.15 | 0.55 | 0.65 | 0.85 | 0.90 | 0.95 | 0.95 |
| 돌연변이확률 | 0.035 | 0.075 | 0.095 | 0.050 | 0.060 | 0.055 | 0.085 |
| 커패시터 비용(\$) | 36,750 | 35,280 | 38,220 | 36,750 | 35,280 | 35,280 | 35,280 |
| 전체비용(\$) | 513,216 | 505,522 | 512,918 | 508,449 | 511,465 | 506,947 | 502,501 |

그림 4는 각 Case에 있어서 각 부하레벨의 전력손실비용과 첩두부하시에 발전비용이 고가인 발전기의 추가 투입에 따른 전력손실비용 및 커패시터 설치 및 용량에 따른 비용을 모두 합한 전체비용의 변화를 나타내었다. Case G는 약 78세대부터 최적해를 나타내고 있음을 알 수 있다. 그림 5은 식 (1)의 둘째항인 첩두부하시의 전력손실비용의 변화를 나타낸 것이다. Case A의 경우 첩두부하시의 전력손실비용이 가장 작지만 전체비용에 있어서 다른 Case 보다 크기 때문에 좋지 않은 해를 탐색하였다는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 6은 식 (1)의 셋째항인 커패시터 설치 및 용량에 따른 비용의 변화를 나타내었다. Case B, E, F 및 G에서 같은 양의 커패시터가 투입됨을 알 수 있다. 그림 7은 각 세대가 진행됨에 따른 페널티 함수의 변화를 나타낸 것이며, 각 경우에 있어 일정 세대를 거친 후 제약조건을 만족하여 페널티가 영으로 됨을 알 수 있다.

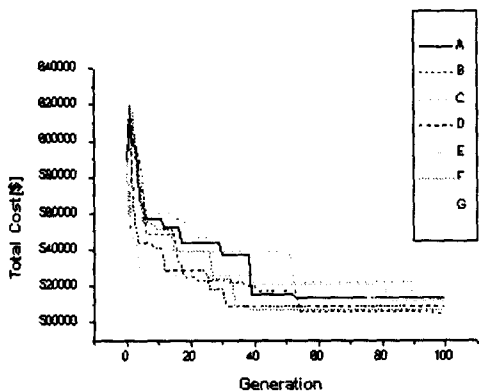


그림 4. 전체비용
Fig. 4. Total cost

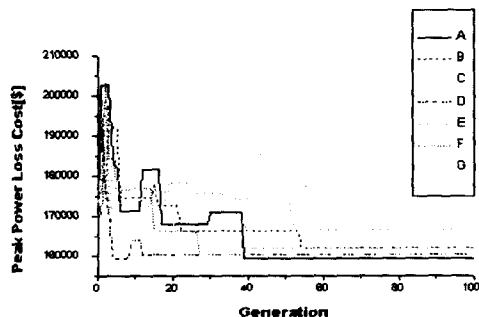


그림 5. 첩두부하 전력손실 비용
Fig. 5. Cost of peak load power loss

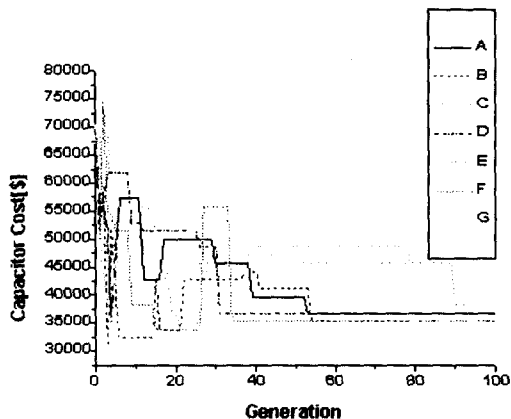


그림 6. 커패시터 비용
Fig. 6. Cost of capacitor

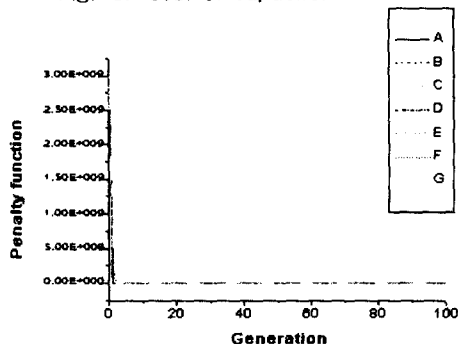


그림 7. 페널티 함수의 변화
Fig. 7. Variation of penalty function

표 4는 가장 좋은 결과를 나타낸 Case G에 대한 커패시터 설치위치와 투입량을 나타내었다. 제안한 길이 돌연변이 연산자로부터 스트링의 길이가 3개로 결정되었으며, 유전자의 구성요소인 위치인덱스에 의하여 각각에 해당되는 노드 2, 5 및 7에 커패시터가 설치되어야 한다는 것을 구할 수 있었다. 예를들어 표 4에서 노드 2에 600kVAR 용량의 fixed 커패시터와 1,200kVAR 용량의 switched 커패시터를 설치해야 된다는 것을 알 수 있다. 이것은 70% 부하에서는 600kVAR 용량의 fixed 커패시터를 투입하고, switched 커패시터를 300kVAR 만을 투입한다. 90% 부하에서는 600kVAR 용량의 fixed 커패시터만 투입하고, 110% 부하시에 fixed 커패시터와 1,200kVAR 용량의 커패시터를 추가로 투입하여 효과적으로 배전계통의 전압허용범위를 유지하면서 경제적으로 운영할 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 노드 5와 7에

는 각각 3,000kVAR와 2,400kVAR 용량의 switched 커패시터를 설치하여야 한다. 표 5는 각 부하레벨에 대하여 커패시터를 설치하지 않은 경우와 결과가 가장 좋은 Case G에 대한 전압크기를 비교한 것이다. 커패시터 설치 후 전압허용범위를 만족함을 알 수 있다. 즉, 70%의 부하레벨에서 모선 2의 전압은 0.8938로서 약 11%의 전압강하가 발생하여 전압의 허용범위를 벗어났으나 900 kVAR의 커패시터를 설치한 후의 전압은 0.9122로 허용범위를 만족하며 전압강하도 9%로 감소되었다. 110%의 침두부하 레벨에서 모선 2의 전압은 0.8109로서 약 19%의 전압강하가 발생하였으나 1800 kVAR의 커패시터를 설치한 후의 전압은 0.9, 전압강하는 1%로 개선되었음을 알 수 있다. 계통손실 또한 80% 부하레벨의 경우 0.3585에서 0.34752로, 90% 부하레벨의 경우 0.6272에서 0.5636으로, 110% 부하레벨의 경우 1.1059에서 0.9550으로 커패시터 설치 전 보다 감소되었다.

표 4. 커패시터 설치위치 및 용량
Table 4. Capacitor placement location and size

| 설치위치 (노드) | 커패시터 용량(kVAR) | | |
|--------------|---------------|-------|-----|
| | Case G | | |
| | Load level(%) | | |
| | 110% | 90% | 70% |
| 2 | 1,800 | 600 | 900 |
| 5 | 3,000 | 1,800 | 0 |
| 7 | 2,400 | 2,400 | 0 |

표 5. 커패시터 설치전·후의 전압크기
Table 5. Pre- and post- voltage magnitude of capacitor placement

| 노드 | 전압크기(p.u.) - Case G | | | | | |
|--------------|---------------------|--------|--------|------------|--------|---------|
| | 커패시터 설치전 | | | 커패시터 설치후 | | |
| | Load Level | | | Load Level | | |
| | 110% | 90% | 70% | 110% | 90% | 70% |
| 2 | 0.8109 | 0.8587 | 0.8938 | 0.9000 | 0.9010 | 0.9122 |
| 3 | 0.8361 | 0.8773 | 0.9076 | 0.9128 | 0.9157 | 0.9212 |
| 4 | 0.8719 | 0.9039 | 0.9275 | 0.9364 | 0.9385 | 0.9368 |
| 5 | 0.8934 | 0.9199 | 0.9395 | 0.9522 | 0.9527 | 0.9470 |
| 6 | 0.9052 | 0.9287 | 0.9462 | 0.9563 | 0.9579 | 0.9524 |
| 손실 (p.u.) | 1.1059 | 0.6272 | 0.3585 | 0.9550 | 0.5636 | 0.34752 |

5. 결론

본 연구에서는 방사상 배전계통에 있어서 손실감소 및 전압보상을 위한 커패시터 최적배치 및 운용 방안을 제시하였다.

커패시터 배치와 관련된 비용함수를 실제뱅크단위로 이산성을 고려한 계단함수로 정식화하고, 커패시터 배치와 관련된 비용함수의 해를 효율적으로 구하기 위하여 전역적탐색기법인 GA를 사용하였다. 특히, GA의 스트링을 커패시터가 배치될 위치인덱스와 투입량인 뱅크단위로 동시에 구성하여 기존의 방법보다 효율적으로 해를 탐색할 수 있었다. 또한, GA의 스트링의 길이를 변화시킬 수 있는 길이 돌연변이 연산자를 사용하므로써 효과적으로 커패시터 설치위치의 수를 결정할 수 있었다.

제안한 커패시터 설치위치와 투입량을 동시에 탐색할 수 있는 방안으로부터 커패시터의 최소 투입량으로 전력손실을 감소시키고, 전압강하를 적절히 보상할 수 있다.

향후 연구로는 불평형 배전계통에서 부하변동을 포함하여 전력손실 및 전압보상을 위한 커패시터 운용 방안을 확립할 필요가 있다고 사료된다.

참고 문헌

- [1] H. Duran, "Optimum number, location, and size of shunt capacitors in radial distribution feeders a dynamic programming approach", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol.87, pp1769-1774, September, 1968
- [2] M. Kaplan, "Optimization of number, location, size, control type and control setting of shunt capacitors on radial distribution feeders", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol.PAS-103, pp.2659-2663, September, 1984
- [3] J. J. Grainger and S. H. Lee, "Optimum size and location of shunt capacitors for reduction of losses on distribution feeders", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol.PAS-100, pp1105-1116, March, 1981
- [4] M. Baran, F. Wu, "Optimal capacitor placement on radial distribution system", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 4, No. 1, pp725-734, January, 1989
- [5] H. Chiang, "Optimal capacitor placements in distribution system: Part 1 : A new formulation and the overall problem", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 5, pp634-649, January, 1990
- [6] S. Sundhararajan, "Optimal Selection of Capacitors for Radial Distribution Systems using Genetic Algorithm", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. 9 No.

3, pp1499-1507, August, 1994

- [7] 문병서, 김규호, 유석구, "가변직렬 콘덴서를 이용하여 과도안정도 향상을 위한 유전알고리즘 응용", 대한전기학회 논문집, 제46권 1호, pp38-45, 1997
- [8] Z. Michalewicz, "Genetic algorithms + Data structures = Evolution Programs", Second Edition, Springer Verlag, 1992

이 논문은 1998년도 세명대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 수행된 연구입니다.

◇ 저자소개 ◇

송 현 선 (宋賢善)

1953년 3월 25일생. 1979년 한양대 공대 전기공학과졸. 1982년 한양대 대학원 전기공학과(석사). 1988년 한양대 대학원 전기공학과(박사). '83~'92년 동양공전 부교수. 현재 세명대 전기공학과 부교수