

유전알고리즘을 이용한 지역계통의 전압 및 무효전력 최적제어

김종율 · 김학만 · 남기영

한국전기연구원

Optimal Control of Voltage and Reactive Power in Local Area Using Genetic Algorithm

Jong-Yul Kim, Hak-Man Kim and Ki-Young Nam

Korea Electrotechnology Research Institute

요 약

전력계통이 점점 더 복잡하고 광역화됨에 따라서 전압 및 무효전력 제어는 매우 중요한 문제로써 부각되고 있다. 특히 전압과 밀접한 관련이 있는 무효전력은 그 특성상 장거리 수송 및 수수가 어렵다. 따라서 효과적인 전압 및 무효전력 제어를 위해서는 지역계통 내의 조상설비들을 최적으로 운용하는 것이 중요한데 비선형의 복잡한 시스템인 전력계통에 대해 해석적인 방법을 이용하여 조상설비의 운영을 결정하기란 매우 어려운 일이다. 본 논문에서는 지역계통의 전압 및 무효전력 제어를 위해서 154 kV 변전소에 설치된 대표적인 조상설비인 전력용 콘덴서의 최적 투입량을 최적해 탐색기법 중 하나인 유전알고리즘을 이용하여 결정하였다. 본 논문에서 사용된 유전알고리즘은 탐색공간의 여러 점을 동시에 탐색하는 전역적 탐색방법으로 국부해에 수렴할 가능성이 적고 목적함수의 미분가능 및 연속성과 같은 조건에 제약을 받지 않는 확률론적 최적해 탐색방법이다. 사례연구에서는 우리계통의 중장기 계획 데이터를 이용하여 지역 관리처 계통에 적용하여 상정사고시 발생하는 전압 강하에 대한 전압 및 무효전력 제어에 초점을 두었다. 시뮬레이션은 실제 계통 해석에 이용되고 있는 PTI사의 PSS/E에서 수행하였으며 전력용 콘덴서의 최적량 투입량 산정에 대하여 본 논문에서 제시하는 유전알고리즘을 이용한 방법과 감도 분석을 이용한 방법의 결과를 비교하여 그 타당성을 검토하였다.

Abstract — In system planning and operation, voltage and reactive power control is very important. The voltage deviation and system losses can be reduced through control of reactive power sources. In general, there are several different reactive power sources, we used switched shunt capacitor to improve the voltage profile and to reduce system losses. Since there are many switched shunt capacitors in power system, so it is necessary to coordinate these switched shunt capacitors. In this study, Genetic Algorithm (GA) is used to find optimal coordination of switched shunt capacitors in a local area of power system. In case study, the effectiveness of the proposed method is demonstrated in KEPCO's power system. The simulation is performed by PSS/E and the results of simulation are compared with sensitivity method.

1. 서 론

전력 계통이 점점 더 복잡해지고 커져감에 따라 정상 상태에서의 전력손실 감소 및 전압 특성 향상뿐만 아니라 상정사고시의 저전압 발생 문제 등을 해결하기 위해서는 전압 및 무효전력의 적절한 제어가 필요하다. 일반적으로 전압 및 무효전력 제어는 전력 계통내의 변압기 탭, 발전기 단자 전압, 조상설비 등의 적절한 조작을

통해 이루어지는데, 더 나은 전압 및 무효전력 제어 효과를 얻기 위해서는 전력 계통 내에 분산되어 있는 무효전력원들을 최적으로 운영하는 것이 바람직하다.

무효전력원을 이용한 전압 및 무효전력 제어에 관한 연구로 전력용 콘덴서 최적 배치^{[1][2]}, 광역 전력 계통에서 로컬 네트워크 모델링 및 decomposition을 이용한 계통 규모 축약에 의한 계산 시간 단축^{[3][4]}, simulated annealing 등을 이용한 최적화 기법^[5], 전문가 시스템을

이용한 제어전략¹⁶⁾, 온라인 제어를 위한 신경망 적용¹⁷⁾ 등 다양한 연구가 진행되었다.

특히, 전압과 밀접한 관련이 있는 무효전력은 광역계통의 장거리 수송 및 수송보다는 지역계통 내에서 수송 및 수수가 이루어지기 때문에 효과적인 전압 및 무효전력 제어를 위해서는 지역계통 내의 조상설비들이 고려된 최적 운용이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 지역계통에서의 전압 및 무효전력 제어를 위해서 154 kV 변전소에 설치된 대표적인 조상설비인 전력용 콘덴서의 최적 투입량 결정에 대한 연구를 수행하였다. 최적해 탐색 기법으로는, 탐색공간의 여러 점을 동시에 탐색하는 전이적 탐색방법으로 국부해에 수렴할 가능성이 적고 목적함수의 미분가능 및 연속성과 같은 조건에 제약받지 않는 유전알고리즘을 사용하였다¹⁸⁾. 사례연구로는 우리계통의 중장기 계획 데이터를 이용하여 지역 관리처 계통에 적용하여 상정사고 시 발생하는 전압 강하에 대한 전압 및 무효전력 제어에 초점을 두었다. 시뮬레이션은 우리계통의 실제 해석에 이용되고 있는 PT사의 PSS/E에서 수행하였으며, 제시한 기법은 PSS/E와 호환이 되는 고급 언어인 IPLAN을 이용하여 구현하였다¹⁹⁾. 그리고 전력용 콘덴서의 최적 투입량 산정에 본 논문에서 제시하는 유전알고리즘을 이용한 방법과 감도 분석을 이용한 방법의 결과를 비교하여 타당성을 검토하였다. 근전원입지 확보의 어려움으로 인한 대단위 발전소의 건설과 전력수송 밀도의 증대는 특정지역의 사고 영향이 인접계통으로 파급되어 전체 계통의 안정 운용의 제약이 될 가능성이 증대되고 있다. 그리고 이에 공급 신뢰성을 증대시키기 위해서 송전 전압 격상, HVDC, FACTS, PSS 등의 전력전자 응용 제어 시스템의 도입 및 운전의 확대가 예상된다. 이와 같이 전력계통의 대용량화, 다양화 및 복잡화에 따라 계통해석기술의 고도화, 정밀화가 철저히 요구되고 있으며, 전력계통의 제반 현상에 대한 정확한 해석을 통하여 계통 운용상의 문제점 분석과 적절한 대책 수립시행으로 전력계통의 안정적 운용이 도모되어야 한다.

2. 최적 전력용 콘덴서 투입량 결정을 위한 수리 모델

모선 전압과 무효전력은 아주 밀접한 관련이 있다. 특히, 무효전력의 수수는 양단 모선 전압 크기에 의해서 결정되며, 또한 전력손실을 발생시킨다. 따라서 효과적인 전압 및 무효전력의 제어를 위해서는 가능한 모선 전압 크기의 차이가 없이 전압 분포가 이루어지는 것이 효과적이다. 특히, 상정사고 발생 시에는 상정사고가 발생한 모선을 중심으로 전압이 크게 강하하며, 상대적으로

상정사고의 영향을 적게 받는 모선의 경우는 비교적 적은 전압 강하가 발생하여 모션간에 전압차를 키치게 한다. 이런 계통 상황에서 전압의 크기가 큰 모션에서 전압이 작은 모션으로 무효전력이 이동하게 된다. 따라서 상정사고 이후 지역 계통의 전압의 크기를 모두 같게 유지시키는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에, 가능하면 특정 범위 내로 유지하여 상대적으로 전압의 분포를 고르게 하고, 이 때 발생하는 손실을 최소화하는 것이 바람직하다²⁰⁾.

따라서 본 논문에서는 이런 관계를 수리 모델로 반영하였는데, 수리 모델의 개념은 대표적인 154 kV 모선의 조상설비인 전력용 콘덴서의 투입량 결정에 대해서 각 모선 전압의 분포를 가능하면 특정 범위 내로 유지시키며, 상정사고에 따른 상대적인 영향으로 인해 특정 범위 내로 유지하기가 어려운 경우라도 허용되는 최소한의 범위 내로 유지시키는데 초점을 두었다. 이와 아울러 전력 손실의 최소화를 고려하였다. 무효전력 손실의 경우는 각 모선 전압 균형에서 반영되어 있으므로, 추가로 유효전력 손실을 최소화하는 것을 목적함수인 식 (1)에 반영하였다.

$$\min F(X) = \sum_j V_{d,j}(X) + \text{Loss}(X) \quad (1)$$

여기서, $X = [SC_i]$: 전력용 콘덴서 설치 모선들의 투입량을 나타내는 벡터

SC_i : i 번째 모선의 전력용 콘덴서의 투입량[MVAR]

$V_{d,j}(X)$: 전력용 콘덴서 투입량 벡터 X 에 대한 j 번째 모선의 전압 위반 정도

$\text{Loss}(X)$: 유효 전력 손실[MW]

최적화 수리 모델에서 식 (2)~(6)의 제약 조건이 수립되었는데, 식 (2)는 전력용 콘덴서의 투입량은 설비 용량 범위 내에서 가능해야함을 나타낸다. 실제 투입량은 전력용 콘덴서 설치 모선의 전력용 콘덴서의뱅크 단위로뱅크 투입 수에 따라 불연속적인 값을 가진다.

$$SC_i^{\min} \leq SC_i \leq SC_i^{\max} \quad (2)$$

목적함수 식 (1)에서 모선의 전압 위반 정도는 Fig. 1의 전압 범위에서 규정된다. Fig. 1에서 전압 범위는 크게 3부분으로 정의된다. $V_{\min 1} \sim V_{\max 1}$ 로 표현되는 목표전

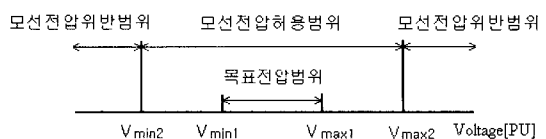


Fig. 1. Voltage boundary.

압범위는 전압의 균형을 위한 목표 전압의 범위이고 $V_{min2} \sim V_{max2}$ 로 표현되는 모션전압 허용범위는 운용측면에서 허용되는 전압 범위이며, 모션전압 허용범위의 바깥 부분은 모션전압 위반범위를 나타낸다. 모션 전압 크기에 따라 식 (3)~(6)과 같이 페널티 값으로 규정되어 지역계통의 모션 전압이 가능한 목표전압범위 내로 분포될 수 있도록 유도하였다. 즉, 식 (4), (5)의 모션전압 허용범위 안의 모션 전압크기에 대해서 선형적으로 페널티를 부가하였으며, 모션전압 위반범위 안의 모션 전압 크기에 대해서는 임의의 큰 페널티 상수를 부가하였다.

$$V_{min1} \leq V_j \leq V_{max1}, \quad V_{d,j}=0 \quad (3)$$

$$V_{max1} < V_j \leq V_{max2}, \quad V_{d,j}=(V_j - V_{max1}) \quad (4)$$

$$V_{min2} \leq V_j < V_{min1}, \quad V_{d,j}=(V_{min1} - V_j) \quad (5)$$

$$V_j < V_{min2} \text{ 또는 } V_j > V_{max2}, \quad V_{d,j}=\alpha \quad (6)$$

여기서, V_j : j번째 모션 전압[PU]

V_{min1} , V_{max1} : 모션의 목표전압범위의 상하한치 [PU]

V_{min2} , V_{max2} : 모션의 전압허용범위의 상하한치 [PU]

α : 모션전압 위반에 따른 페널티 상수

3. 유전알고리즘을 이용한 최적해 탐색

유전알고리즘의 주요 구성요소로는 여러 개의 개체(individual)로 이루어지는 해집단(population)과 기존의 개체들로부터 새로운 개체를 만드는 유전연산자(genetic operators) 그리고 개체가 환경에 적응하는 정도를 평가하는 적합도(fitness)가 있다. 유전알고리즘은 적합도 평가를 통해서 환경에 잘 적응하는 최적화변수를 결정하는 최적해 탐색기법으로 유전알고리즘을 이용하여 최적해를 구하기 위해서는 각 최적화변수들은 하나의 벡터 형태로 구성된 단일 염색체 개체(one-chromosome individual)로 표현되어야 한다. 여기서 각 최적화 변수들은 유전자(gene)에 해당된다. 그리고 단일 염색체들로 구성된 잠재적인 해집단(population)을 각 최적화변수의 범위 내에서 무작위(random)로 초기값을 발생시켜 초기 잠재적인 해집단을 구성하고, 해집단의 각 개체에 대해서 적합도를 평가한 후, 적합도가 좋은 개체들을 복제연산자(reproduction operator)에 의해서 확률적으로 다음 세대에 많이 복제시킨다. 적합도에 따라 개체를 다음세대에 확률적으로 비례 배분시키기 위해서 일반적으로 룰렛휠(roulette wheel) 방법을 이용한다. 그리고 복제된 새로운 집단에 대해서 교배연산자(crossover operator)와 돌

연변이연산자(mutation operator)를 이용하여 교배 및 돌연변이 확률에 의해 선택된 개체들을 새로운 개체들로 변화시킨다. 이러한 일련의 세대과정을 계속 거듭함으로써 점차 환경 즉, 최적화목적에 우수한 적합도를 가지는 개체들이 생성, 유지되어 해집단 내의 각 개체들은 전반적으로 우성의 형질로 진화하게 된다. 유전알고리즘의 최적해 탐색 과정을 단계별로 정리하면 다음과 같다^{[8][9]}.

단계 1: 가능해 집단을 무작위로 초기화(세대수 t=0)

단계 2: 각 염색체에 대해서 적합도 계산

단계 3: t=t+1 유전 연산자를 이용 새로운 가능해 집단 구성

단계 4 : 만약 종결조건이 만족되면 종결, 그렇지 않으면 단계 2로

일반적으로 종결조건은 특정세대 수행 후로 결정하거나 일정한 세대를 지나도 적합도의 향상이 없을 때로 결정하여 GA의 탐색과정을 끝낸다. 본 논문에서는 설정한 세대가 모두 수행한 후 탐색이 종료되는 것으로 하였다.

전력용 콘덴서 투입 벡크 수를 최적화하는 문제에서 최적화 변수는 전력용 콘덴서 투입량 즉, 벡크 수이므로 이를 Fig. 2와 같이 유전알고리즘에서 최적화 변수들의 벡터로 구성되는 단일 염색체 개체로 표현하여 전체 해집단을 구성하였다. 여기서 각 변수들은 정수로 표현하였다.

유전알고리즘의 적합도 선정은 최적해 탐색에 있어 매우 중요한데 본 논문에서는 최소화 문제이므로 목적함수 값이 적어질수록 적합도가 증가하도록 하기 위해서 식 (7)과 같이 정의하였다.

$$\text{fitness function} = \frac{\beta}{W_1 * \sum_j V_{d,j}(X) + W_2 * \text{Loss}(X)} \quad (7)$$

여기서, W_1 , W_2 : 가중치

β : 임의의 상수

Fig. 3은 유전알고리즘의 흐름도를 나타내고 있다. 본 논문에서는 엘리티즘(elitism)을 이용하여 적합도가 가장 우수한 염색체를 다음 세대에 강제로 복제시키는 방법을 이용하였다.

1번째 염색체	SC ₁	SC ₂	...	SC _j
2번째 염색체	SC ₁	SC ₂	...	SC _j
...				
N번째 염색체	SC ₁	SC ₂	...	SC _j

Fig. 2. Configuration of population.

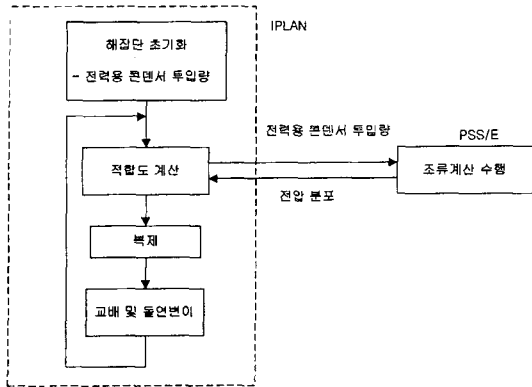


Fig. 3. Flow chart of GA.

4. 사례 연구

본 논문에서 제시한 기법의 효과를 검증하기 위해서 테스트 계통에 대해 PSS/E 환경에서 상정사고시 저전압 발생 모선의 전압 향상 정도를 검토하였다. 검토 대상 계통은 한전의 중장기 데이터를 근거로 하였으며 대상 계통은 239 발전기 모선과 743 부하 모선으로 구성되어 있다.

본 사례 연구에서는 상정사고시 모선 전압이 0.925[pu] 미만인 경우를 저전압 모선으로 1.05[pu] 초과인 경우를

Table 1. Parameters used in case study.

파라미터	설정값
V_{min1}	0.97
V_{max1}	1.03
V_{min2}	0.925
V_{max2}	1.05
α	100

과전압 모선으로 정의하였고 모선전압 허용범위($V_{min2} \sim V_{max2}$)를 0.925~1.05[pu]로 선정하였다. 최적해 탐색과 관련된 전압 범위와 관련된 파라미터는 Table 1과 같다.

사례연구 적용 지역계통은 전력용 콘덴서가 29곳 154 kV 변전소에 설치되어 있는 Fig. 4의 남서부 지역계통으로, 2회선 선로 차단 상정사고 스크린 결과 7150-7600 및 7410-7470 345 kV 2회선 차단 상정사고 시 저전압 문제가 발생하였다. Table 2는 상정사고 전·후의 저전압 발생 모선 전압을 나타낸 것이다.

사례연구 1의 경우 두 개 모선에서 저전압 문제가 발생하였는데 상정사고 이전 전압값에 비해 약 0.06~0.07[pu] 정도 전압강하가 발생하였다. 사례연구 2의 경우는 세 개 모선에서 저전압이 발생하였는데 상정사고 이전 전압값에 비해 약 0.1[pu] 정도 전압 강하가 발생하였다. 전압 관점에서는 사례연구 1에 비해 사례연구 2가 상대적으로 더 가혹한 조건이라 할 수 있다.

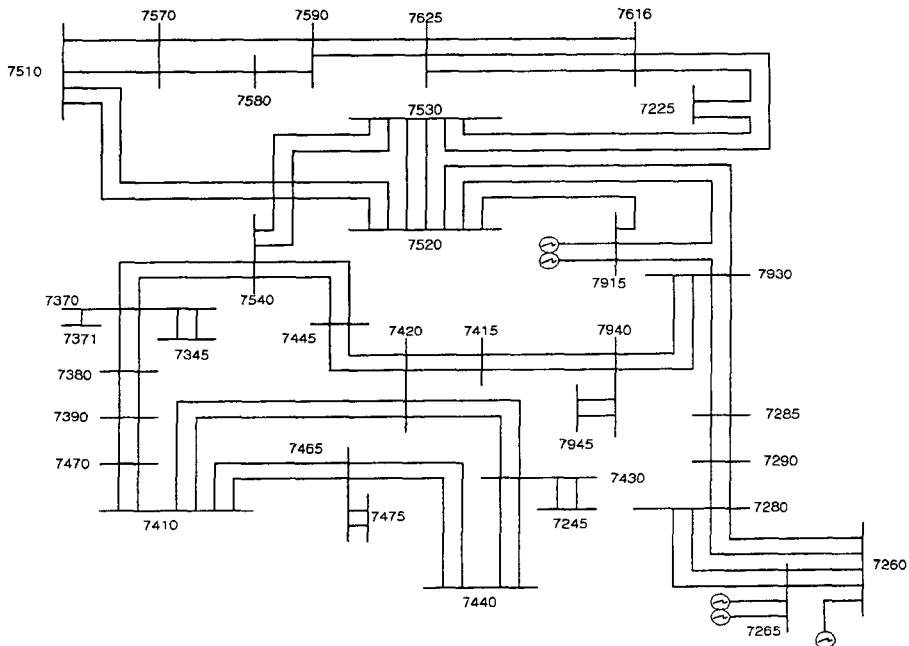


Fig. 4. Configuration of test power system.

Table 2. Variation of bus voltage.

사례연구	상정사고	모선	상정사고 이전 [PU]	상정사고 이후 [PU]
사례연구 1	7150-7600 2 회선 탈락	7400	0.9836	0.9171
		7500	0.9865	0.9203
사례연구 2	7410-7470 2 회선 탈락	7380	1.0007	0.9074
		7390	1.0024	0.9060
		7470	1.0074	0.8969

본 사례연구에서는 사례연구 1과 사례연구 2에 대해서 각 상정사고 이후에 발생하는 저전압 모선 전압을 모선전압 허용범위 내로 향상시키는 동시에 전압 편차 및 유효전력 손실을 감소하도록 유전알고리즘을 이용하여 전력용 콘덴서의 최적 투입량을 결정하였고 감도 분석을 이용한 방법에 의한 저전압 문제 해결 결과와 비교하여 그 성능을 검토하였다. 결과 비교에서 사용된 감도 분석에 의한 방법은 저전압 발생 모선에 대한 29모선의 전력용 콘덴서의 영향도를 검토하여 영향도가 큰 순서대로 저전압 문제가 해결될 때까지 전력용 콘덴서를 투입하는 방법이다⁶⁾.

유전알고리즘의 최적해 탐색 성능을 좋게 하기 위해서는 해집단의 크기, 염색체의 길이, 적합도, 교배 및 돌연변이 확률을 적절히 선정하는 것이 중요하다. 그러나 이들 파라미터를 적절히 선정하는 것은 매우 어려운 일이며 체계적인 선정 방법 역시 정립되지 않아 일반적으로 시행착오를 통해 파라미터를 선정하고 있다. 해집단 크기 및 세대수의 경우 너무 큰 값으로 설정하게 되면 최적해 탐색에 많은 시간이 소요되고 너무 적게 설정하면 최적해에 수렴하지 못하는 경우가 발생한다¹⁸⁾⁶⁾.

본 논문에서는 시행착오를 통해 저전압 문제가 해결되는 동시에 가능한 탐색시간도 줄일 수 있도록 해집단 수와 세대수를 선정하였다. 또한 교배 및 돌연변이 확률은 일반적으로 많이 사용되는 전형적인 값을 적용하였으며 가중합수 W_1 및 W_2 는 최적해를 탐색하는데 있어 전압편차 합과 전력손실이 비슷한 비중으로 고려될 수 있도록 설정하였다. Table 3에서는 최적화에 사용된 유전알고리즘의 파라미터 값을 나타낸 것이다.

Table 3. Parameter of genetic algorithm.

GA 파라미터	설정값
해집단 수	80
세대수	60
교배 확률	0.85
돌연변이 확률	0.05
β	100000
W_1	10
W_2	5

4-1. 사례연구 1

사례연구 1에서는 7150-7600 345 kV 2회선 차단시 7400 및 7500 모선 저전압 문제를 검토하였다. 먼저 Fig. 5, 6에서는 유전알고리즘의 세대수에 대한 적합도 및 7400, 7500 모선 전압의 추이를 나타내고 있다. Fig. 6에서 나타나는 바와 같이 탐색 초기에 저전압 발생 문제가 해결됨에 따라 적합도가 매우 크게 증가하였는데 이는 사례연구 1의 경우 상정사고로 인한 저전압 모선의 수와 전압 강하의 정도가 그리 크지 않으므로 비교적 빨리 저전압 문제를 해결하였다고 볼 수 있다. 저전압 문제 해결 후로는 각 모선전압들이 $V_{\min} \sim V_{\max}$ 사이에서 분포하면서 유효전력 손실이 적어지도록 하기 위한 해를 탐색하는 과정이라고 할 수 있다.

Table 4는 감도 분석을 이용한 방법과 유전알고리즘을 이용한 경우의 저전압 모선 해결 결과를 나타내고 있다. 두 가지 방법 모두 저전압 발생 문제는 해결되었다.

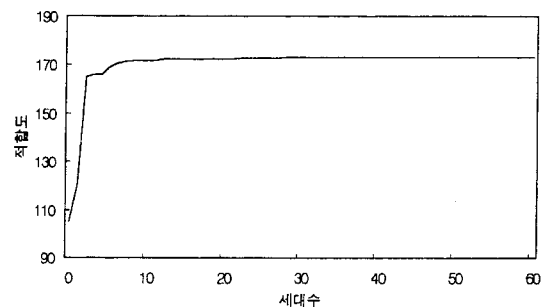


Fig. 5. Variation of fitness values.

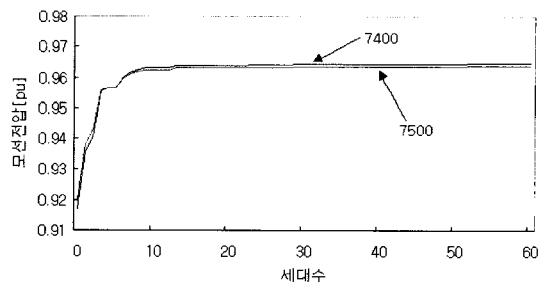


Fig. 6. Voltage magnitude of buses 7400 and 7500.

Table 4. Result of case 1.

	감도 분석을 이용한 방법	유전알고리즘을 이용한 방법
전압 위반 정도 ($\sum_j V_{d,j}(X)$)	91.2703	1.6254
유효전력손실 (Loss(X))[MW]	118.3553	112.132
무효전력손실 [MVAR]	1885.745	1794.236
모선전압 [PU]	7400	0.9260
	7500	0.9275
		0.9647
		0.9638

그러나 감도 분석을 이용한 방법의 경우 전압위반 정도가 매우 큰 값을 가지는데 이는 저전압 모선은 없지만 전체적인 모선들의 전압이 목표전압범위와는 상당한 편차를 가지고 분포함을 의미하며 무효전력 손실 역시 매우 큰 것을 알 수 있다. 이에 반해 본 논문에서 제시한 유전알고리즘을 이용한 방법의 경우 각 모선 전압들이 목표전압범위에 가까이 분포함을 알 수 있고 이로 인해 무효전력 손실측면에서 91.51[MVAR] 정도 더 감소하는 결과를 나타내었다. 또한 유효전력 손실측면에서도 112.132[MW]로 감도 분석을 이용한 방법에 비해 약 6[MW] 정도가 줄어들었다.

4.2. 사례연구 2

사례연구 2에서는 7410-7470 345 kV 2회선 차단시 7380, 7390, 7470 모선 저전압 문제를 검토하였다. Fig.

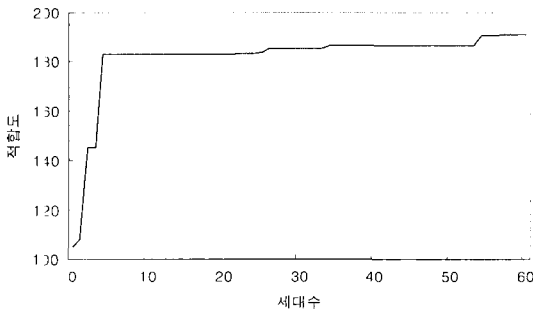


Fig. 7. Variation of fitness values.

7, 8에서 탐색 초기에는 저전압 발생으로 적합도가 매우 낮지만 3~4세대 경과하면서 7380, 7390 모선 전압이 0.925[pu] 이상으로 향상됨에 따라 적합도가 매우 크게 증가함을 알 수 있다. 그 후 7470 모선 역시 저전압 문제가 해결되면서 다시 한번 적합도가 급격히 증가하고 있다. 약 10세대 이후로는 각 모선전압의 전압 분포 및 유효전력 손실 저감을 위한 탐색 과정의 진행에 의한 것이다. Table 5는 감도 분석을 이용한 방법과 유전알고리즘을 이용한 경우의 저전압 모선 해결 결과를 나타내고 있다. 사례연구 1의 경우와 마찬가지로 두 가지 방법 모두 저전압 문제를 해결하였으나 모선 전압 분포측면에서 감도 분석을 이용한 방법에 의한 경우보다 더 좋은 결과를 나타내고 있다. 또한 유효전력 및 무효전력 손실에 있어서도 약 0.2876[MW], 4.18[MVAR] 감

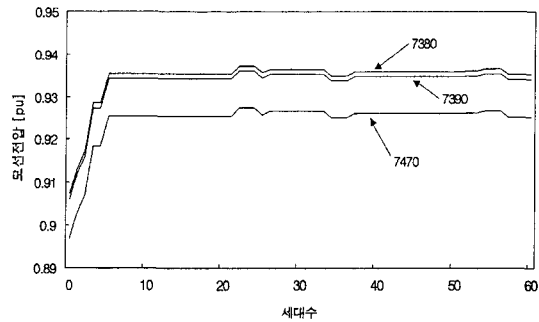


Fig. 8. Voltage magnitude of buses 7380, 7390 and 7470.

Table 4. Result of case 1.

	감도 분석을 이용한 방법	유전알고리즘을 이용한 방법
전압 위반 정도 ($\sum_j V_{d,j}(X)$)	18.32825	14.7593
유효전력손실 (Loss(X))[MW]	75.3419	75.0543
무효전력손실 [MVAR]	1136.128	1131.948
모선전압 [PU]	7380	0.9351
	7390	0.9339
	7470	0.8251
		0.9353
		0.9341
		0.9254

소하는 결과를 나타내었다. 유전알고리즘에 의한 방법의 감도 분석을 이용한 방법과 비교에서 사례연구 2가 사례연구 1보다 큰 차이가 보이지 않은 것은 상정사고에 의한 전압 강하가 심하여 전압회복에 이 지역시스템의 대부분의 전력용 콘덴서가 투입되었기 때문이다. 따라서 전압 측면에서 아주 가혹한 상정사고 보다는 대부분의 전력용 콘덴서를 투입하지 않아도 해결되는 정도의 상정사고에 대해서 제시한 기법이 더 우수한 결과를 보임을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 최적화 기법의 하나인 유전 알고리즘을 이용하여 전력용 콘덴서 투입량을 최적화시키는 기법을 제시하였고 이를 실제통에 적용하여 그 효과를 검증하였다. 효과 검증을 위한 사례연구에서는 상정사고시 저전압 모션 발생 문제를 해결하기 위해 저전압 발생 모션 인근의 전력용 콘덴서를 유전 알고리즘으로 최적화하였고 저전압 발생 모션의 전압 향상뿐만 아니라 동시에 각 모션 전압 분포 및 유효전력 손실도 향상될 수 있도록 목적함수에 반영하였다. 또한 저전압 문제 해결시의 전압 분포 및 유효전력 손실 저감 효과를 감도 분석을 이용한 방법과 비교하여 검토하였다. 비교 결과 본 논문에서 제안한 방법이 저전압 문제를 해결함과 동시에 감도 분석을 이용한 방법 보다 모션 전압 분포 및 유효전력 손실 저감측면에서 더 효과적임을 확인하였다.

특히, 제시한 기법은 우리시스템의 실제통 해석에 이용되고 있는 PTI사의 PSS/E 환경에서 PSS/E와 호환이 되는 고급 언어인 IPLAN을 이용하여 구현하였으므로 실제통의 계통계획 및 운용 측면에서도 활용이 기대된다.

참고문헌

1. Grainger, J.J. and Lee, S.H.: "Optimum size and location of shunt capacitors for reduction of losses on distribution feeders", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, PAS-100, 1105-1116 (1981).
2. Baran, M. and Wu, F.: "Optimal capacitor placement on radial distribution system", IEEE Trans. on Power Delivery, 4(1), 725-734 (1989).
3. Kobayashi, H. and *et al.*: "Diakoptic approach to sensitivity analysis in large-scale systems", IEEE/PES Summer Meeting, Los Angeles, Paper No. A78531-6 (1978).
4. Deeb, N. and Shagidehpour, S.M.: "Linear reactive power optimisation in large power network using decomposition approach", IEEE Trans on Power Systems, 5(2), 428-438 (1990).
5. Liang, R.H. and Wang, Y.S.: "Main transformer ULTC and capacitors scheduling by simulated annealing approach", Electrical power & Energy systems, 5(2), 531-538 (2001).
6. Le, T.L. and Negnevitsky, M.: "Expert system application for voltage and VAR control in power transmission and distribution systems", IEEE Trans. on Power Delivery, 12(3), 1392-1397 (1997).
7. Santoso, N.I. and Tan, O.T.: "Neural-net based real-time control of capacitors installed on distribution systems", IEEE Trans. on Power Systems, 5(1), 266-272 (1990).
8. Goldberg, D.E.: "Genetic algorithms in search", Optimization & Machine Learning, Addison Wesley (1989).
9. Zbigniew Michalewicz, Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs, Springer-Verlag (1992).
10. Power Technologies Inc.: PSS/E-24 Power System Simulator Program Operation Manual & Application Guide (1995).
11. Power Technologies Inc.: PSS/E-24 IPLAN Version 11.0 (1995).
12. Kundur, P.: Power system stability and control, McGraw-Hill (1994).