

Fuzzy Goal Programming을 응용한 분산형전원의 설치 및 운영

(Placement and Operation of Dispersed Generation Systems
using Fuzzy Goal Programming)

송현선* · 김규호

(Hyun - Seon Song · Kyu - Ho Kim)

요 약

본 연구에서는 Fuzzy Goal Programming을 이용하여 배전계통에서 분산형 전원의 설치 및 운영에 대한 새로운 방안을 제시하였다. 분산형전원의 설치 및 운영을 위하여 최적화 알고리즘의 탐색공간의 크기를 줄이면서 계통상황 변동에 적합하게 정식화하였다. 특히, 목적함수인 계통 유효전력손실과 제약조건인 분산형전원의 수 또는 총용량 및 모선전압에 대하여 각각의 부정확한 성질을 평가하기 위하여 퍼지 Goal Programming으로 모델링 하였으며, 유전알고리즘을 사용하여 최적해를 탐색하였다.

Abstract

This paper presents the method for the placement and operation of dispersed generator systems(DGs) using fuzzy goal programming in distribution systems. For the placement and operation of DGs the problem is formulated with reduction of search spaces and flexibility of system situations. Especially, the original objective function and constraints are transformed by fuzzy goal programming to evaluate their imprecise nature for the criterion of power loss minimization, the number or total capacity of DGs and the bus voltage deviation, and then solve the problem using genetic algorithm.

Key Words : Dispersed Generation Systems(DGs), Distribution Systems, Multi-Objectives, DGs Placement, Load Mode, Fuzzy Goal Programming

1. 서 론

현재의 전력계통은 공조부하의 증대에 따른 부하율의 악화, 설비 이용률의 저하 그리고 화력발전소의 CO₂ 배출에 따른 지구 온난화의 가능성 등이 문

제점으로 대두되고 있다. 특히 대기오염에 대표되는 환경문제가 현재보다도 심각하게 되면 경제효율만을 우선하는 전원계획을 책정하는 것은 불가능하게 되고, 환경보호에 공헌하는 에너지가 선택되지 않으면 안될 것이다. 따라서 태양전지, 연료전지, 전지저장시스템(BESS), 열병합발전과 같은 분산형전원은 수용가에 밀접해 설치할 수 있으므로 배전계통에 적절히 설치되면 전력손실을 줄이고 대규모 화력발전소 등의 건설을 대신할 수 있으므로 경제효율 뿐만 아니라 환경보호에 공헌할 수 있다[1].

* 주저자 : 세명대학교 전기공학과 교수
Tel : 043-649-1303, Fax : 043-648-0868
E-mail : hssong@semyung.ac.kr
접수일자 : 2003년 11월 24일
1차심사 : 2003년 11월 26일
심사완료 : 2003년 12월 10일

분산형전원을 배전계통에 설치하는 연구에 대하여 살펴보면 Rau와 Wan은 배전계통에서 손실, 선로 조류 및 무효전력 부하 등을 최소화하기 위한 2차알고리즘을 이용하여 분산형전원의 최적의 설치위치를 결정하는 방법을 제시하였다[2]. 사용한 reduced gradient method의 수렴이 잘 되지 않는 점을 지적하였으며, 분산형전원의 설치를 위한 파라메타들을 정수로 표현해야 하는 문제점이 있다. Griffin과 Tomsovic은 분산형전원 최적설치와 손실감소에 관한 알고리즘을 제시하였고, 특히 배전계통에서 분산형전원의 설치에 영향을 저항손실과 용량감소(capacity savings)에 관련 있음을 강조하였다[3]. 그러나 분산형전원의 위치의 결정에 있어 송전선로 및 배전선로의 영향을 고려하지 않았다. Celli와 Pilo는 GA를 이용하여 계통의 노드에서 피더용량의 한계, 전압분포와 3상 단락전류와 같은 기술적 제약을 고려하여 배전계통에 분산형전원 설치하는 새로운 알고리즘을 제안하였다[4]. 네트워크의 건설비용, 운영비용 및 손실비용과 같은 전체운영비용을 목적함수로 사용하여 계통의 증장기 성장률 등을 고려하였으며, 동기발전기와 같은 다양한 연계형 분산형전원을 고려하지 않았다.

이러한 여러 연구들의 일부는 분산형전원을 설치하는데 있어 분산형전원을 설치할 계통의 모든 모선을 후보모선으로 결정하므로 탐색할 공간을 너무 크게 설정하게 되어 탐색시간이 너무 많이 소요된다. 또한, 일부의 연구는 분산형전원 설치에 대한 전력 손실의 감도를 이용하여 감도가 큰 모선 중에서 몇 개의 모선을 지정하여 gradient 방법, GA, TS, SA 등과 같은 최적화 알고리즘을 이용하여 분산형전원의 설치위치와 설치될 용량을 결정하였다. 감도에 의하여 후보모선을 일부의 모선 몇 개로 한정하는 것은 계통상황의 변동에 적합하지 않는 것이다. 계통의 부하레벨이 변화하면 미리 정해진 수보다 많아질 수도 있고 적어질 수도 있기 때문이다.

본 연구에서는 분산형전원의 설치 및 운영을 위한 최적화 알고리즘의 탐색공간의 크기를 줄이면서 계통상황 변동에 적합하게 정식화하였다. 특히, 목적함수인 계통 유효전력손실과 제약조건인 분산형전원의 수 또는 총용량 및 모선전압에 대하여 각각의 부

정확한 성질을 평가하기 위하여 퍼지 Goal Programming으로 모델링 하였으며, 유전알고리즘을 사용하여 최적해를 탐색하였다.

제안된 방법의 효율성을 입증하기 위하여 모델계통에 적용하였다.

2. 부하모형

본 연구에서 고려한 부하모형은 가정용, 산업용, 상업용 및 사무용 부하 등의 집단부하 모형화를 한 다음 이에 대한 부하구성비를 각 모선별로 취사용, 백열 및 형광조명, 냉난방설비 그리고 다양한 정격의 유도전동기 등으로 구성하는 개별부하 모형을 사용하였다. 각 개별부하 요소는 주입전류로 표현되는 전압 변동에 관한 4차 방정식으로 표현된다. 부하모형은 참고문헌 [5]에 자세히 설명되어 있다. 전압의 증분 변화량에 의하여 유효전력과 무효전력은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. 각 집단부하모형에 대한 개별기기의 구성비율은 표 1에 나타내었다.

$$P_1 = P_0(a_p + b_p \Delta V + c_p \Delta V^2 + d_p \Delta V^3 + e_p \Delta V^4) \quad (1)$$

$$Q_1 = Q_0(a_q + b_q \Delta V + c_q \Delta V^2 + d_q \Delta V^3 + e_q \Delta V^4)$$

여기서,

P_0, Q_0 : 기준전압에서의 유효·무효전력

P_1, Q_1 : 실제전압에서의 유효·무효전력

$a_p \dots e_p$: 개별부하에서 전압에 대한 P의 상수

$a_q \dots e_q$: 개별부하에서 전압에 대한 Q의 상수

3. DistFlow

방사상 평형배전계통의 조류계산 시간을 줄이기 위하여 각 모선에서 순차적으로 유효, 무효전력을 계산하여 손실을 간단히 구할 수 있는 DistFlow 방법을 이용하였다[6].

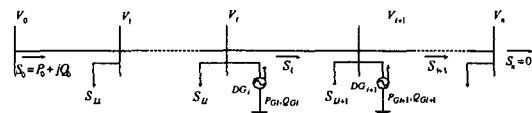


그림 1. 방사상 배전계통

Fig. 1. Radial distribution system

배전계통이 그림 1과 같이 방사상으로 구성된 n 모선 계통의 substation에서 공급되는 복소전력 S_0 을 알고 있는 경우 모선 1에서의 복소전력 S_1 과 전압 V_1 은 식 (2)와 같이 계산된다.

$$S_1 = S_0 - S_{loss} - S_{L1} = S_0 - z_1 |S_0|^2 / V_0^2 - S_{L1} \quad (2)$$

$$V_1 \angle \theta_1 = V_0 - z_1 I_0 = V_0 - z_1 S_0^* / V_0$$

순차적으로 나머지 모선에 대하여 적용하면 모든 모선에서의 전압 및 유효·무효전력조류를 계산할 수 있으며 분산형 전원을 고려할 경우 다음과 같이 계산된다.

$$P_{i+1} = P_i - r_{i+1}(P_i^2 + Q_i^2) / V_i^2 - P_{Li+1} + P_{Gi+1}$$

$$Q_{i+1} = Q_i - x_{i+1}(P_i^2 + Q_i^2) / V_i^2 - Q_{Li+1} + Q_{Gi+1}$$

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2(r_{i+1}P_i + x_{i+1}Q_i) + (r_{i+1}^2 + x_{i+1}^2)(P_i^2 + Q_i^2) / V_i^2 \quad (3)$$

여기서,

P_i, Q_i : 모선 i 에서 $i+1$ 로 공급되는 전력

V_i : 모선 i 의 전압크기

P_{Gi} : 모선 i 에서 DGs에 의해 공급되는 유효전력

Q_{Gi} : 모선 i 에서 DGs에 의해 공급되는 무효전력

표 1. 집단부하모형의 개별기기 구성비율
Table 1. Composition rate of individual load model

부하군 구성[%]		가정용 Id = 2	산업용 Id = 3	상업용 Id = 4	사무용 Id = 5	농업용 Id = 6
취사설비		22	0	0	0	0
백열조명		6	2	4	6	4
형광조명		10	7	31	25	4
텔레비전		12	0	0	0	0
냉방설비		5	0	18	27	0
전열설비		0	10	0	0	6
선 풍 기		4	2	0	0	0
냉 장 고		29	0	0	0	0
펌 프		5	0	0	0	10
유도 전동 기	10kW미만	0	5	20	22	65
	10 - 100kW	0	60	15	8	10
	100-1000kW	0	9	8	0	0
	1,000kW이상	0	5	0	0	0
기 타		7	0	4	12	1
합 계		100	100	100	100	100

4. 문제의 정식화

4.1 목적함수

분산형전원의 설치 문제에서 목적함수는 각 부하 수준의 전력손실과 부하지속시간의 곱에 대한 누적 합으로 식(4)와 같이 구성하였다.

$$Min. objective func. = \sum_{i=0}^m T^i P_{loss}^i \quad (4)$$

여기서 P_{loss}^i 는 부하레벨 i 에서 유효전력손실, T^i 는 부하레벨 i 동안의 지속시간이며, m 는 각 부하레벨의 수이다.

4.2 제약조건

조류 방정식

$$F^i(x^i, P_{G,k}^i) = 0 \quad (5)$$

여기서 $P_{G,k}^i$ 는 모선 k 에서 분산형전원의 크기, 즉 제어변수이고 x 는 전압크기와 같은 상태변수이다.

분산형전원의 수 또는 총용량에 관한 제약

$$P_{G,k,\min}^i \leq P_{G,k}^i \leq P_{G,k,\max}^i \quad (6)$$

여기서 $P_{G,k}^i$ 는 부하수준 i 에서 모선 k 에 설치될 분산형전원의 수 또는 총용량이다.

윤전제약 조건

$$V_{\min}^i \leq V^i \leq V_{\max}^i \quad (7)$$

여기서 V 는 모선전압크기, \max 와 \min 은 각 부하레벨 i 에서 전압의 상·하한 값이다.

5. 분산형전원의 설치 및 운영을 위한 알고리즘

5.1 퍼지 비선형 Goal programming

퍼지 비선형 Goal Programming 해법은 다수의 목적함수의 부정확한 특성을 퍼지이론에 의하여 비선형모델을 선형모델이나 다른 변환을 하지 않고 등가의 다중목적함수로 변환시켜 해를 구하는 것이다[8].

5.2 목적함수와 제약조건의 멤버십 함수 변형

본 연구에서는 목적함수와 제약조건을 Fuzzy Goal Programming으로 전환하기 위하여 제약조건들을 목적함수로 변형하였고, 각각의 목적함수의 부정확한 특성을 퍼지집합을 이용하여 멤버십 함수로 변환하였다. 또한, 정식화된 퍼지 멤버십 함수를 어떠한 변형 없이 GA를 사용하여 해를 구하는 것이다. 퍼지집합은 일반적으로 멤버십 함수로 나타내며 멤버십 함수의 값이 클수록 해가 보다 크게 만족된다[8].

전력손실 최소화

$$\text{Max. } f_1(X) = \sum_{i=0}^m T^i |P_{\text{loss}}^{i,0} - P_{\text{loss}}^i| \quad (8)$$

f_1 은 전력손실의 편차이며, $P_{\text{loss}}^{i,0}$ 와 P_{loss}^i 는 각각 분산형 전원 설치 전후의 부하레벨 i 에서 전력손실이다.

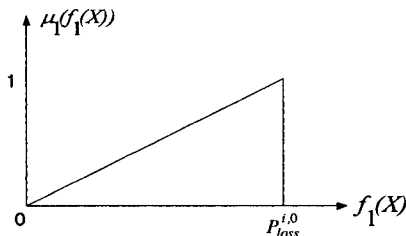


그림 2. 전력손실의 최소화에 대한 멤버십 함수
Fig. 2. The membership function for the minimization of power loss

분산형전원의 설치 수 또는 총용량의 최소화

$$\text{Min. } f_2(X) = |\Delta P_G^i| \quad (9)$$

여기서, $\Delta P_G^i = P_G^i - P_{G,\min}^i$ 이고 $P_{G,\min}^i$ 는 0이다. f_2 는 분산형전원의 수 또는 총용량의 편차이다. 그림 3에서 $\Delta P_{G,\min}^i$ 과 $\Delta P_{G,\max}^i$ 는 계통내에 설치되는 분산형전원의 설치 수 또는 총용량에 대한 최소 및 최대 편차이다.

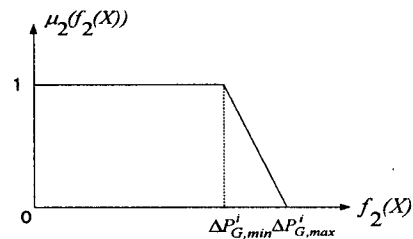


그림 3. 분산형전원의 수 또는 총용량의 최소화에 대한 멤버십 함수

Fig. 3. The membership function for the minimization of the number or size of DGs

모선 전압편차의 최소화

$$\text{Min. } f_3(X) = \max |\Delta V_j| \quad j=1,2,\dots,N_B \quad (10)$$

여기서 $\Delta V_j = 1.0 - V_j$ 이고 f_3 는 모선전압의 최대 편차이다. V_j 는 모선 j 에서의 전압이며 N_B 는 계통 모선의 수이다. 그림 4에서 $\Delta V_{j,\min}$ 와 $\Delta V_{j,\max}$ 는 모선 j 에서 전압의 최소 및 최대 편차이다.

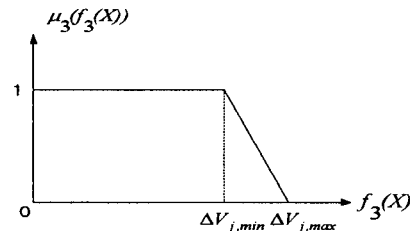


그림 4. 전압편차의 최소화에 대한 멤버십 함수
Fig. 4. The membership function for the minimization of the voltage deviation

목적함수 식 (8), (9) 및 (10)은 Goal Programming 을 이용하여 다음의 식 (11)과 같이 멤버십 함수의 합으로 나타낼 수 있다. 식 (11)에서 멤버십 함수의 만족도를 최대화하면 각각의 목적함수는 최적화된다는 것을 알 수 있으며, GA를 이용하여 다중목적함수의 부정확한 정보에 대한 타협해를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \max \quad & \omega_1 \mu_1 \left(\sum_{i=0}^m T^i |P_{loss}^{i,0} - P_{loss}^i| \right) \\ & + \omega_2 \mu_2 (|P_G^i - P_{G,min}^i|) \\ & + \omega_3 \mu_3 (|1.0 - V_j|) \end{aligned} \quad (11)$$

s. t

$$0 \leq \mu_k(f_k(X)) \leq 1 \quad k = 1, 2, 3$$

5.3 유전 알고리즘

유전알고리즘(Genetic Algorithms : GA)은 자연 선택과 자연 유전학의 원리에 근거한 강력한 탐색 알고리즘이다[9]. 이 알고리즘의 절차는 다음과 같다.

절차 1 초기화

각각의 부하레벨에 할당된 N개의 개체군을 초기화시킨다. 그림 5와 같이 각 부하레벨에 해당하는 sub-population으로 구성된 것이다. 각 부하레벨에 할당된 sub-population N 개를 초기화 하고, N 개의 sub-population에서 각각의 유전자는 각 변수의 최대값과 최소값 사이에서 임의로 발생시킨다. 각각의 개체(individual)는 분산형전원을 설치할 모선의 위치와 용량으로 구성하였다.

절차 2 적합도 평가

N개의 sub-population에서 개체의 유전자를 이용하여 배전계통 조류계산을 행한 후 식 (11)을 식 (12)와 같이 변형하여 적합도를 평가한다.

$$Finitness \ func. = \sum_{k=1}^3 \omega_k \mu_k(f_k(X)) \quad (12)$$

절차 3 수렴판정

최대세대이면 종료하고 그렇지 아니면, 절차 4로 간다.

절차 4 개체의 스트링 조작

유전알고리즘의 복제, 교차 및 돌연변이 같은 유전작용자[9]를 이용하여 각 개체를 향상시킨 후, 절차 2로 간다.

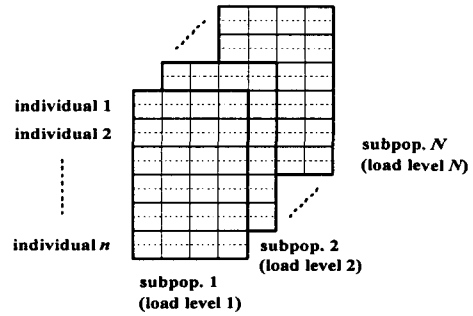


그림 5. 다중 개체군
Fig. 5. Multi-population

6. 사례연구

본 연구에서는 배전계통에 있어서 분산형전원의 최적설치에 의한 손실감소 및 효율적인 운전을 위한 방안을 제시하였다. 제안한 알고리즘의 효율성을 입증하기 위하여 IEEE 33 모선 계통에 적용하였다.

33 모선 계통에 대한 계통도는 그림 6에 나타내었다. 계통 데이터는 참고문헌 [10]에 상세히 제시되어 있으며, 사용된 상수는 다음과 같다. 각 부하레벨에 따른 부하지속시간은 표 2에 나타내었다. 부하레벨의 경우 침투부하는 기준부하의 100% 부하를 사용하였다.

제안한 알고리즘은 기존의 GA를 사용하는 몇 개의 방법과 실행결과를 비교하였다. 비교한 방법은 Sensitivity와 GA를 혼합한 방법으로서 분산형전원과 손실과의 감도에 의하여 분산형전원을 설치할 모선을 선정한 후에 GA를 이용하여 분산형전원의 용량을 결정하는 방법이다. 이것은 탐색공간을 축소하여 최적화할 수 있다는 장점이 있으나 감도계산을 위하여 미분을 해야 한다는 단점이 있다. 또한, 기존

의 간단한 GA 방법인 Simple-GA 방법과도 비교하였다. 이것은 최적해의 탐색능력이 뒤떨어지며 수렴성 또한 좋지 않다.

DGs의 용량[kW]: 30, 60, 90, 120, 150

$\Delta P_{G, \min}^i$: 1개, 30[kW](Total capacity)

$\Delta P_{G, \max}^i$: 10개, 1,500[kW](Total capacity)

$\Delta V_{j, \min}$: 0.05[p.u.]

$\Delta V_{j, \max}$: 0.15[p.u.]

Time period [h]: 8(9:00 ~ 17:00)

Test years: 10

집단부하 모델그룹은 가정용, 산업용, 상업용 및 사무용 부하로 구성하였으며 각 부하는 취사용, 백열 및 형광조명, 냉난방설비 그리고 다양한 정격의 유도전동기 등으로 구성하였다. 집단부하모형의 개별기 구성비율은 표 1의 것을 사용하였다.

Case 1: 모선부하는 부하모델을 고려하고, 분산형 전원의 유·무효전력 출력은 부하레벨에 따라 제어가 가능하다.

Case 2: 모선부하는 부하모델을 고려하지 않는 PQ 일정부하이고, 분산형전원의 유·무효전력 출력은 부하레벨에 따라 제어가 가능하다.

Case 3: 모선부하는 부하모델을 고려하고, 분산형 전원의 유효전력 출력만 부하레벨에 따라 제어가 가능하고, 무효전력 출력은 무시한다.

Case 4: 모선부하는 부하모델을 고려하지 않는 PQ 일정부하이고, 분산형전원의 유효전력 출력만 부하레벨에 따라 제어가 가능하고, 무효전력 출력은 무시한다.

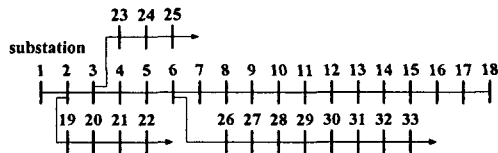


그림 6. 방사상 33 모선 계통
Fig. 6. Radial 33 bus system

표 2. 부하수준과 부하지속시간

Table 2. Load Level and Load Duration Time

Load Level(%)	110	90	70
Time interval(hours)	7300	14600	7300

표 3은 각각의 알고리즘 별로 Case 1에 대하여 100번의 실행결과를 비교 분석하여 최적해를 찾는 실행수와 세대수를 나타내었다. 계통이 다소 크고 복잡하기 때문에 최적해를 찾는 실행수가 많지는 않지만 제안한 알고리즘이 Sensitivity-GA 방법 보다 조금 더 우수함을 확인하였다. 그러나 Simple-GA의 경우 제안한 방법이나 Sensitivity-GA의 결과를 탐색하지 못하였다. 이러한 결과로 제안한 알고리즘은 감도계산을 위한 미분계산 절차가 필요 없어 매우 효율적인 방법임을 확인 할 수 있었다.

표 3. 각 방법에서 최적해를 찾는 실행수와 세대수
Table 3. Number of Runs and Best Generation found Optimum in Each Approach

	Proposed Algorithm	Sensitivity-GA	Simple-GA
Number found the optimum / Total run number	9/100 (9%)	8/100 (8%)	0/100 (0%)
Best gen. found the optimum	86	74	79
Total loss[kW]	1,760.252		1,778.447

표 4. 분산형전원의 설치위치(Case 1과 2)
Table 4. Placement Location of DGs(Case 1 and 2)

Optimal location	Case 1 [kW]			Case 2 [kW]		
	100%	90%	70%	100%	90%	70%
14	150	150	150	120		
15				90		
16				150	150	150
17	90			150	150	
18	120	120				
30	150	120				
31	150	150		150	150	
32	90			150	150	
33	150	150	150	150	150	150
Total	900	690	300	960	750	300

표 4와 5는 분산형전원 설치 및 운영을 위한 목적 함수와 제약조건을 퍼지 Goal Programming을 이용하여 변형하였고 유전알고리즘을 이용하여 각 Case 별로 부하레벨에 대하여 분산형전원의 설치 위치와 크기를 결정한 것이다. 표 4의 Case 1과 Case 2를 표 5의 Case 3과 Case 4와 비교해 보면, 부하모형의 고려와 상관없이 유·무효전력 출력을 부하변동에 따라 제어한 경우와 유효전력 출력만을 제어한 경우에 있어서 유효전력 출력만을 제어할 때 분산형전원을 많이 설치해야 함을 알 수 있다. 이것은 설치될 분산형전원의 무효전력 출력을 제어 할 수 있는 경우에 무효전력출력의 영향을 받아 설치 수에 영향을 미치고 경제적으로 계통을 계획 및 운전할 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 부하모형을 고려한 Case 1과 Case 3은 부하모형을 고려하지 않은 Case 2와 Case 4 보다 분산형전원의 총용량에 있어 용량이 비교적 적다는 것을 알 수 있다. 이것은 다양한 정격의 유도전동기와 같은 부하의 구성비율이 높은 산업용 및 농업용 부하의 영향 때문이며, 결국 배전계통의 정확한 해석을 위하여 부하모형을 고려하는 것이 분산형전원의 설치 및 운영에 있어서 계통의 실제적인 특성을 반영한 것이라 사료된다.

표 5. 분산형전원의 설치위치(Case 3과 4)
Table 5. Placement Location of DGs(Case 3 and 4)

Optimal location	Case 3 [kW]			Case 4 [kW]		
	100%	90%	70%	100%	90%	70%
13	60			150		
14	90	120		120		
15	120	150				
16	150	150	150	150	150	
18				150	150	120
29				90		
30	150			120	90	
31	150	150		150	150	
32	150	150		150	150	
33	150	150	150	150	150	150
Total	1,020	870	300	1,230	840	270

또한, 표 6과 7에서 분산형 전원의 설치 전과 후의 계통손실과 전압크기를 비교하여 나타내었다. 계통 손실의 경우 Case 1에서는 테스트 기간을 10년으로 하였을 때 분산형전원 설치 후에 2,384,000[kW]가

감소된다는 것을 알 수 있다. V_{min} , V_{ave} 와 V_{max} 는 분산형전원 설치 전 보다 상당히 향상되었고, V_{min} 은 부하레벨 100%, 90% 그리고 70%에서 전압크기의 제약을 0.95를 기준으로 하였을 때 분산형전원을 설치 후에 있어서 제약을 모두 만족한다는 것을 알 수 있다. Case 2, Case 3 및 Case 4에서도 유사한 결과를 나타내고 있다.

표 6. 분산형전원 설치 전후의 전압 및 손실 비교
Table 6. Comparison of Voltage Magnitude and Loss between Without and With DGs Placement

	Load level	Case 1		Case 2	
		Without DGs	With DGs	Without DGs	With DGs
Real power losses [kW]	100%	1,340,293	478,780	1,479,409	475,108
	90%	2,158,100	876,718	2,359,814	858,170
	70%	645,858	404,753	692,824	424,492
Total losses [kW]		4,144,252	1,760,252	4,532,049	1,757,771
V_{min} [p.u.]	100%	0.9183	0.9627	0.9131	0.9617
	90%	0.9267	0.9631	0.9224	0.9645
	70%	0.9432	0.9595	0.9407	0.9584
V_{max} [p.u.]	100%	0.9971	0.9979	0.9970	0.9980
	90%	0.9974	0.9981	0.9973	0.9981
	70%	0.9980	0.9983	0.9980	0.9982

표 7. 분산형전원 설치 전후의 전압 및 손실 비교
Table 7. Comparison of Voltage Magnitude and Loss between Without and With DGs Placement

	Load level	Case 3		Case 4	
		Without DGs	With DGs	Without DGs	With DGs
Real power losses [kW]	100%	1,340,293	734,382	1,479,409	723,543
	90%	2,158,100	1,264,272	2,359,814	1,370,404
	70%	645,858	501,486	692,824	543,109
Total losses [kW]		4,144,252	2,500,141	4,532,049	2,637,057
V_{min} [p.u.]	100%	0.9183	0.9503	0.9131	0.9519
	90%	0.9267	0.9524	0.9224	0.9508
	70%	0.9432	0.9532	0.9407	0.9515
V_{max} [p.u.]	100%	0.9971	0.9978	0.9970	0.9978
	90%	0.9974	0.9979	0.9973	0.9979
	70%	0.9980	0.9982	0.9980	0.9981

7. 결론

본 연구에서는 Fuzzy Goal Programming을 이용하여 배전계통에서 분산형 전원의 설치 및 운영에 대한 새로운 방안을 제시하였다.

배전계통 해석의 정확성을 높이기 위하여 부하모형을 고려함으로써 부하모형을 고려한 경우와 고려하지 않는 경우에 있어서 분산형전원의 설치 수 및 총용량은 크게 차이가 났으며, 이것은 유도전동기와 같은 부하의 구성비율이 높은 산업용 및 농업용 부하의 영향 때문이라는 것을 알 수 있다. 따라서 분산형전원의 설치 및 운영에 있어서 부하모형을 고려하는 것이 계통의 실제적인 영향을 반영하는 것이라 사료된다.

또한, 효율적인 분산형전원의 설치 및 운영을 위하여 전력손실, 분산형 전원의 설치 수 또는 총용량 및 각 모션전압에 대한 불확실(imprecise) 성질을 평가하기 위하여 퍼지 Goal Programming으로 모델링하였고, GA를 사용하여 최적해를 얻을 수 있었다.

References

- [1] R. C. Dugan and S. A. Thomas et. al, "Integrating Dispersed Storage and Generation (DCS) with An Automated Distributed System", IEEE Trans. PAS, pp.1142-1146, 1984.
- [2] N. S. Rau and Y. H. Wan, "Optimum Location of Resources in Distributed Planning", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, No. 4, pp.2014-2020, Nov. 1994.
- [3] T. Griffin, K. Tomsovic, D. Secrestand and A. Law, "Placement of Dispersed Generations Systems for Reduced Losses", Proceedings of the 3rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, pp.1446-1454, 2000.
- [4] G. Celli, and F. Pilo, "Optimal Distributed Generation Allocation in MV Distribution Networks", 22nd IEEE Power Engineering Society International Conference, pp.81-86, 2001.
- [5] 황갑주의 2인, "배전계통 해석을 위한 모형개발", 대한 전기학회 논문지, 제42권, 제5호, pp42-51, 1993.
- [6] H. D. Chiang, and M. E. Baran, "On the Existence and Uniqueness of Load Flow Solution for Radial Distribution Power Networks," IEEE Trans. on Circuits and Systems, Vol. 37, No. 3, pp.410-416, March, 1990.
- [7] 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, pp.1105-1116, March, 1981.
- [8] M. Gen, K. Ida and J. Kim, "Fuzzy Coal Programming

using Genetic Algorithm", IEEE International Conference on Evolutionary Computation, pp.413-418, 1997.

- [9] Z. Michalewicz, "Genetic algorithms + Data structures = Evolution Programs", Second Edition, Springer Verlag, 1992.
- [10] M. A. Kashem, V. Ganapathy, G. B. Jasmon and M. I. Buhari, "A Novel Method for Loss Minimization in Distribution Networks," International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, pp.251-256, 2000.

◇ 저자소개 ◇

송현선 (宋賢善)

1953년 3월 25일생. 1978년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 전기공학과 박사과정 졸업(박사) 현재 세명대학교 전기공학과 부교수.

김규호 (金圭浩)

1966년 3월 8일생. 1988년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 안산공과대학 전기과 부교수.