

## 배전계통에서 부하불평형을 고려한 분산형 전원의 운영 계획

(Planning for Operation of Dispersed Generation Systems  
considering Load Unbalance in Distribution Systems)

이유정\* · 유석구

(Yu - Jeong Lee · Seok - Ku You)

### 요 약

본 연구에서는 배전계통에서 부하불평형을 고려한 분산형 전원의 운영에 대한 계획을 제안하였다. 또한, 배전계통의 실제 부하구성 분포를 고려하기 위하여 부하모형은 가정용, 산업용, 상업용, 사무용 및 농업용 부하 등의 집단 부하로 모형화 하였다. 또한, 목적함수로는 계통 유효전력손실을 사용하였고 분산형전원의 수 또는 총용량 및 모선 전압을 제약조건으로 정식화하였으며, 이 목적함수와 제약조건에 대한 부정확한 성질을 평가하기 위하여 퍼지 Goal Programming으로 모델링 하였으며, GA를 사용하여 최적해를 탐색하였다.

### Abstract

This paper presents a scheme for the placement of dispersed generator systems(DGs) based on load model in unbalanced systems. Groups of each individual load model consist of residential, industrial, commercial, official and agricultural load. The main idea of solving fuzzy goal programming is to transform the original objective function and constraints into the equivalent multi-objectives functions with fuzzy sets 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. The method proposed is applied to IEEE 13 bus unbalanced distribution systems to demonstrate its effectiveness.

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

### 1. 서 론

최근 태양전지, 연료전지, 전지저장시스템(BES S), 열병합발전과 같은 분산형전원의 도입은 대도시

권에 있어서는 전력수급의 지역간불평형 및 전력수급의 문제를 완화할 수 있다. 따라서, 배전계통에서 분산형전원(DG)을 어디에 설치하고 어떻게 동작시키는가에 따라 전압의 분포와 계통손실은 크게 영향을 받을 수 있으므로 분산형전원의 설치 위치와 용량의 결정은 배전계통의 운영에 매우 중요하다[1-4]. 또한, 우리나라의 경우 실제의 배전계통은 22.9[kV]-공동중성선 다중접지방식을 채택하고 있어 상불평

\* 주저자 : 한양대학교 전기공학과 박사과정  
Tel : 018-312-9088, Fax : 02-3391-5134  
E-mail : yujeong@bcline.com  
접수일자 : 2003년 7월 14일  
1차심사 : 2003년 7월 21일  
심사완료 : 2003년 8월 5일

형이 생기게 되면 중성선에 불평형전류가 흐르게 되어 중성선의 전위가 상승하게 되어 선로의 제어기기에 오동작의 영향을 불러일으킬 가능성이 크다. 또한, 산업용 유도전동기의 과열과 소손, 전압의 과대한 상승과 저하에 의한 정보화기기의 오동작과 부동작, 가전제품의 수명 및 플리커 등의 피해가 발생될 수 있다.

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]. Griffin과 Tomsovic은 분산형전원 최적설치와 손실감소에 관한 알고리즘을 제시하였고, 특히 배전계통에서 분산형전원의 설치는 저항손실과 용량감소(capacity savings)에 관련 있음을 강조하였다[3].

본 연구에서는 실제 배전계통의 부하구성 분포인 상업용 및 산업용 부하 등의 부하모형을 고려하였고, 또한 단상 및 2상을 포함한 다양한 부하가 산재되어 있는 불평형 배전계통에 대하여 분산형전원의 설치 및 운영 계획을 수립하였다. 또한, 목적함수로는 계통 유효전력손실을 사용하였고 분산형전원의 수 또는 총용량 및 모선전압을 제약조건으로 정식화하였으며, 이 목적함수와 제약조건에 대한 부정확한(imprecise) 성질을 평가하기 위하여 퍼지 Goal Programming으로 모델링 하였으며, GA를 사용하여 최적해를 탐색하였다.

제한된 방법의 효율성을 입증하기 위하여 불평형이 잘 반영된 모델계통에 적용하였다.

## 2. 3상 조류계산

배전계통의 부하구성 분포는 상업용 및 산업용 부하에 단상유도전동기 부하가 많은 경우 심한 불평형을 나타내고 있다. 그리고 보통 연가를 하지 않기 때문에 불평형이며 송전계통과는 달리 3상으로 다루어야 더욱 정확한 해석을 할 수 있다. 3상 배전계통을 해석하기 위한 조류계산 방법으로 선로, 병렬커패시터 및 리액터, 변압기, 부하와 같은 제반 설비와 해석모형을 상좌표계로 표현하여 계통조류와 전압 등을

계산한다. 계통 내 요소모델의 수학적 표현과 해법절차는 참고문헌 [4]에 상세히 제시되어 있다.

### 2.1 선로도체

#### 2.1.1 직렬 임피던스

원래의 3상 선로도체는 실제 선로도체의 각 상과 중성선의 임피던스로 나타낼 수 있으며 중성선을 다중 접지하여 전압강하가 없는 것으로 가정하면 Kron의 축약기법에 의해 3상 선로도체의 임피던스는 어드미턴스로 등가화 하여 그림 1과 같이 나타내었다.

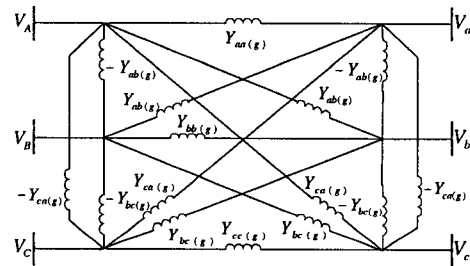


그림 1. 3상 선로도체의 직렬어드미턴스 등가회로  
Fig. 1. Equivalent Circuit of Series Admittance of a Three-Phase Conductor

#### 2.1.2 병렬 커패시턴스

3상의 선로도체가 갖는 병렬 커패시턴스 성분은 해석 방법의 적용을 용이하게 하기 위하여 그림 2와 같이 등가주입전류인  $I_a, I_b, I_c$ 로 표현할 수 있고, 식 (1)과 같이 나타내었다.

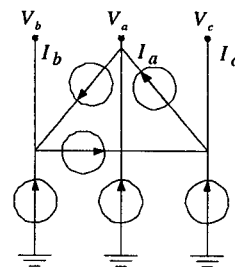


그림 2. 병렬 커패시턴스의 등가 주입전류  
Fig. 2. Equivalent Injected Currents of Shunt Capacitances

배전계통에서 부하불평형을 고려한 분산영 전원의 운영 계획

$$\begin{aligned} I_a &= -\frac{1}{2}(y_{ab} + y_{ac} + y_{an})V_a + \frac{y_{ab}}{2}V_b + \frac{y_{ac}}{2}V_c \\ I_b &= -\frac{1}{2}(y_{ab} + y_{bc} + y_{bn})V_b + \frac{y_{ab}}{2}V_a + \frac{y_{bc}}{2}V_c \\ I_c &= -\frac{1}{2}(y_{ac} + y_{bc} + y_{cn})V_c + \frac{y_{ac}}{2}V_a + \frac{y_{bc}}{2}V_b \end{aligned} \quad (1)$$

## 2.2 변압기

배전계통에는 수많은 변압기가 연결되어 있으며 이들 변압기의 수학적 모형은 해석산법의 수렴성과 해의 정확도에 큰 영향을 주게 된다. 본 논문에서는 3상 변압기의 손실, 결선종류 및 변압기 1차와 2차 사이의 위상변위 등을 고려하였다. 변압기에 대한 등가모델은 참고문헌 [5]에 상세히 전개되어 있다.

## 2.3 커패시터

배전 선로에 설치되는 커패시터는 그림 3과 같이 3상 선로도체의 병렬 커패시턴스 모델과 유사한 등가주입전류로 표현하며 식 (2)와 같이 나타내었다.

$$\begin{aligned} Q_a &= Q_0^0 \left| \frac{V_a}{V_a^0} \right|^2, \quad Q_b = Q_0^0 \left| \frac{V_b}{V_b^0} \right|^2, \quad Q_c = Q_0^0 \left| \frac{V_c}{V_c^0} \right|^2 \\ I_a &= \frac{-jQ_a}{V_a^*}, \quad I_b = \frac{-jQ_b}{V_b^*}, \quad I_c = \frac{-jQ_c}{V_c^*} \end{aligned} \quad (2)$$

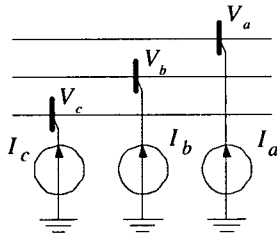


그림 3. 병렬 커패시터의 등가주입전류  
Fig. 3. Equivalent Injected Currents of Shunt Capacitors

## 2.4 부하

3상 부하 역시 조류계산을 용이하게 하기 위하여 다른 계통요소와 마찬가지로 개별적인 등가주입전류로 나타낼 수 있으며 그림 4와 같이 표현할 수 있다.

## 2.5 부하 모형

본 연구에서 고려한 부하모형은 가정용, 산업용, 상업용, 사무용 및 농업용 부하 등의 집단부하 모형

화를 한 다음 이에 대한 부하구성비를 각 모선별로 취사설비, 백열조명, 형광조명, 텔레비전, 냉방설비, 난방설비, 선풍기, 냉장고, 펌프 그리고 다양한 정격의 유도전동기 등으로 구성하는 개별부하 모형을 사용하였다. 각 개별부하 요소는 주입전류로 표현되는 전압 변동에 관한 4차 방정식으로 표현된다. 각 주입전류와 부하모형은 참고문헌 [6]에 자세히 설명되어 있다. 전압의 증분 변화량에 의하여 유효전력과 무효전력은 식 (3)과 같이 표현할 수 있다. 각 집단부하 모형에 대한 개별기기의 구성비율은 표 1에 나타내었다.

$$\begin{aligned} P_1 &= P_0(a_p + b_p \Delta V + c_p \Delta V^2 + d_p \Delta V^3 + e_p \Delta V^4) \\ Q_1 &= Q_0(a_q + b_q \Delta V + c_q \Delta V^2 + d_q \Delta V^3 + e_q \Delta V^4) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,

$P_0, Q_0$ : 기본전압에서의 유효·무효전력

$P_1, Q_1$ : 실제전압에서의 유효·무효전력

$a_p \dots e_p$ : 개별부하에서 전압에 대한  $P$ 의 상수

$a_q \dots e_q$ : 개별부하에서 전압에 대한  $Q$ 의 상수

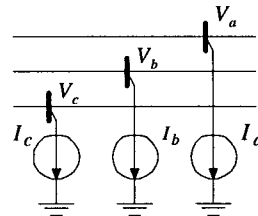


그림 4. 3상부하의 등가주입전류  
Fig. 4. Equivalent Injected Currents of Three-Phase Load

## 2.6 3상 조류계산 순서도

본 논문에서는 3상 조류계산을 위하여  $Z_{BUS}$  를 이용한 가우스 해법을 사용하였다.  $Z_{BUS}$  가우스 방법은 전력방정식의 반복적 해를 구하기 위하여 계통내 구성요소의 축약  $Y_{BUS}$  행렬과 이와 관계된 등가주입전류를 이용하는 방법이다[4].

그림 5는 이러한  $Z_{BUS}$  가우스 방법의 3상 조류계산 알고리즘 순서도 이다.

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

구성[%]		부하군	가정용	산업용	상업용	사무용	농업용
		Id = 2	Id = 3	Id = 4	Id = 5	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	
선풍기		4	2	0	0	0	
냉장고		29	0	0	0	0	
펌프		5	0	0	0	10	
유도전동기	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	
기타		7	0	4	12	1	
합계		100	100	100	100	100	

### 3. 문제의 정식화

배전계통에 있어서 분산형전원의 설치 및 운영을 위하여 부하변동을 이산적으로 근사화시키고 부하는 일정하게 변화된다고 가정하여 부하지속곡선(load duration curve)을 구간별 선형함수(piecewise linear function)로 근사화하였다[7].

#### 3.1 목적함수

분산형전원의 설치 문제에서 목적함수는 각 부하수준의 전력손실과 부하지속시간의 곱에 대한 누적합으로 식(4)와 같이 구성하였다.

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

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

#### 3.2 제약조건

##### 3.2.1 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.

##### 3.2.2 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.

##### 3.2.3 운전제약 조건

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

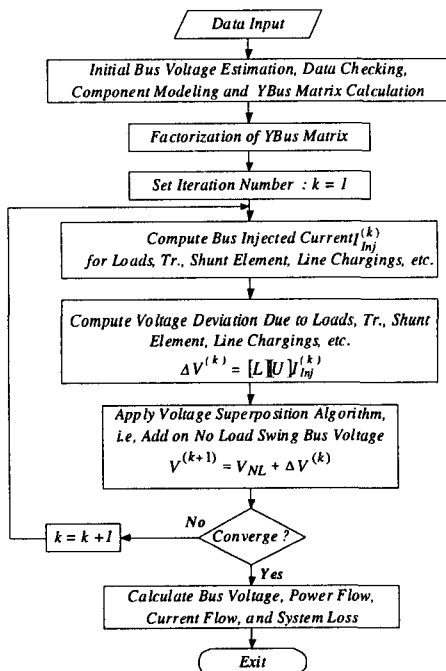


그림 5. 3상 조류계산 순서도  
Fig. 5. Flowchart for Three-Phase Power Flow

배전계통에서 부하불평형을 고려한 분산형 전원의 운영 계획

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

#### 4. 분산형전원의 설치 및 운영을 위한 알고리즘

##### 4.1 퍼지 비선형 Goal programming

Goal Programming은 다중목적함수의 해를 구할 수 있는 방법 중 하나이다. Goal Programming은 각 우선 수준에 대해 구체적인 목표를 수립하고 각 목적에 대해 목적함수를 구성한다. 그리고 각각의 목표와 이들 목적함수의 편차를 최소화하는 것이 기본 개념이다. 퍼지 비선형 Goal Programming 해법은 다수의 목적함수의 부정확한 특성을 퍼지이론에 의하여 비선형모델을 선형모델이나 다른 변환을 하지 않고 등가의 다중목적함수로 변환시켜 해를 구하는 것이다[8].

##### 4.2 목적함수와 제약조건의 멤버십 함수 변형

배전계통에서 분산형전원의 설치 및 운영을 위하여 전력손실 비용을 감소시키고 분산형전원의 수와 모선전압의 편차를 제약조건으로 고려하였다. 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].

###### 4.2.1 전력손실 최소화

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

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

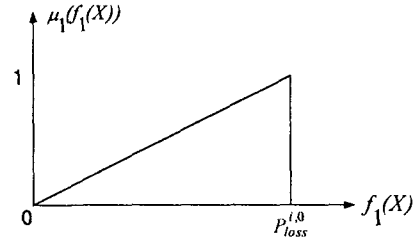


그림 6. 전력손실의 최소화에 대한 멤버십 함수  
Fig. 6. The membership function for the minimization of power loss

###### 4.2.2 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 7에서  $\Delta P_{G,\min}^i$ 과  $\Delta P_{G,\max}^i$ 는 계통내에 설치되는 분산형전원의 설치 수 또는 총용량에 대한 최소 및 최대 편차이다.

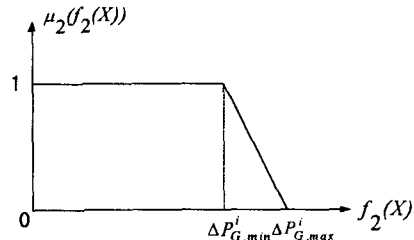


그림 7. 분산형전원의 수 또는 총용량의 최소화에 대한 멤버십 함수  
Fig. 7. The membership function for the minimization of the number or size of DGs

###### 4.2.3 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 8에서  $\Delta V_{j,\min}$ 와  $\Delta V_{j,\max}$ 는 모선  $j$ 에서 전압의 최소 및 최대 편차이다.

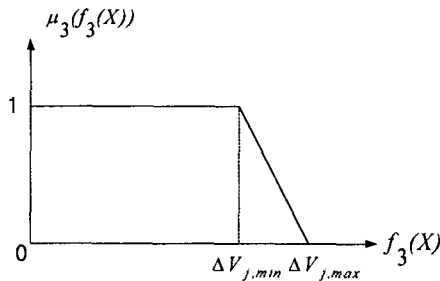


그림 8. 전압편차의 최소화에 대한 멤버십 함수  
 Fig. 8. The membership function for the minimization of the voltage deviation

목적함수 식 (8), (9) 및 (10)은 Goal Programming 을 이용하여 식 (11)과 같이 나타낼 수 있으며, GA를 이용하여 다중목적함수의 부정확한 정보에 대한 타협해를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} & \max \sum_{k=1}^3 \omega_k \mu_k(f_k(X)) \\ & \text{s. t} \\ & 0 \leq \mu_k(f_k(X)) \leq 1 \quad k = 1, 2, 3 \end{aligned} \quad (11)$$

### 4.3 유전 알고리즘

유전알고리즘(Genetic Algorithms : GA)은 자연 선택과 자연 유전학의 원리에 근거한 강력한 탐색 알고리즘이다[9]. GA는 최적화문제의 목적함수로부터 적합도를 구해 적합도에 따라 다음 세대에 생존과 소멸을 결정하는 것이다. GA는 미분계수나 다른 보조지식을 필요로 하지 않으며 이 알고리즘의 절차는 다음과 같다.

#### 절차 1. 초기화

각각의 부하레벨에 할당된 N개의 개체군을 초기화시킨다. 각 개체군에서 유전자는 각 변수의 최대값과 최소값 범위내에서 임의로 발생시킨다.

#### 절차 2. 적합도 평가

N개의 개체군에 대하여 각각의 개체의 유전자를

이용하여 배전계통 조류계산을 하고 식 (12)와 같이 적합도를 평가한다.

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

#### 절차 3. 수렴판정

최대세대이면 종료하고 그렇지 아니면, 절차 4로 간다.

#### 절차 4. 개체의 스트링 조작

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

## 5. 사례연구

본 연구에서는 배전계통에 있어서 분산형전원의 최적설치에 의한 손실감소 및 효율적인 운전을 위한 방안을 제시하였다. 제안된 방법의 효율성을 입증하기 위하여 불평형이 잘 반영된 모델계통에 적용하였다.

정확한 배전계통 해석에 의한 효과적인 분산형전원의 설치 및 운영을 위하여 다음과 같이 집단부하별로 각각의 개별부하의 전압특성 영향을 나타내는 부하모델을 고려하였다. 집단부하 모델그룹은 가정용, 산업용, 상업용, 사무용 및 농업용 부하로 구성하였으며 각 부하는 취사설비, 백열조명, 형광조명, 텔레비전, 냉방설비, 난방설비, 선풍기, 냉장고, 펌프 그리고 다양한 정격의 유도전동기 등으로 구성하였다. 집단부하모형의 개별기기 구성비율은 표 1에 나타내었다.

Case 1: 모선부하는 부하모델을 고려하고, 분산형전원의 유·무효전력 출력은 부하변동에 따라 제어가 가능하다.

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

배전계통에서 부하불평형을 고려한 분산형 전원의 운영 계획

### 5.1 Test System - 13 모선

13 모선 계통에 사용된 상수는 다음과 같다.

DGs의 용량[kW]: 30, 60, 90, 120, 150

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

$\Delta P_{G, \max}^i$ : 6개, 900[kW](Total capacity)

$\Delta V_{j, \min}$ : 0.07[p.u.],  $\Delta V_{j, \max}$ : 0.15[p.u.]

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

Test years: 5

그림 9의 IEEE 13 모선 12 선로 계통에 적용하였으며 2상 및 단상 선로가 다수 포함된 불평형 계통이다. 부하 데이터는 표 2에 나타내었으며 선로구성 코드는 참고문헌 [10]에 상세히 나타내었다.

표 2에서 Load Model Id는 표 1의 집단부하에 대한 부하군을 의미한다. 각 부하레벨에 따른 부하지속시간은 표 3에 나타내었다. 표 4는 제안한 알고리즘에 의하여 Case 별로 각 부하레벨에 대하여 분산형전원의 설치 위치와 용량을 나타낸 것이다. 표의 결과로부터 모선 611, 652, 675, 692에 분산형전원이 설치되어야 함을 알 수 있으며, 최적설치 용량은 부하레벨에 따라 다르고 부하레벨에 대하여 가변적으로 동작될 필요가 있다고 사료된다.

표 4에서 부하모형을 고려한 Case 1과 부하모형을 고려하지 않은 Case 2 보다 분산형전원의 총용량에 있어 용량이 비교적 적다는 것을 알 수 있다. 이것은 표 5에서 알 수 있듯이 Case 1에서 유도전동기와 같은 다양한 산업용 부하의 영향을 받아 모선전압이 상대적으로 부하모형을 고려하지 않은 Case 2의 경우 보다 높기 때문이다. 따라서, 배전계통의 정확한 해석을 위하여 부하모형을 고려하는 것이 분산형전원의 설치 및 운영에 있어서 계통의 실제적인 특성을 반영한 것이라 사료된다.

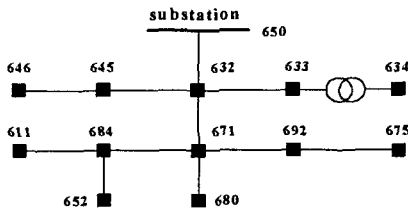


그림 9. IEEE 13 모선 테스트 시스템  
Fig. 9. IEEE 13 bus test systems

표 2. 13 모선 계통의 부하데이터

Table 2. Load Data of 13 Bus System

Send Bus	End Bus	Load Id	Ph-1 kW	Ph-1 kVAR	Ph-2 kW	Ph-2 kVAR	Ph-3 kW	Ph-3 kVAR	Length (ft)	Conf. Code
632	645	5	0	0	170	125	0	0	500	603
632	633	1	0	0	0	0	0	0	500	602
633	634	3	160	116	120	87	120	87	0	xfm
645	646	4	0	0	230	132	0	0	300	603
650	632	1	0	0	0	0	0	0	2000	601
684	652	2	128	86	0	0	0	0	800	607
671	684	1	0	0	0	0	0	0	300	604
671	680	1	0	0	0	0	0	0	1000	601
632	671	3	385	220	385	220	385	220	2000	601
671	692	4	0	0	0	0	170	151	0	s/w
684	611	2	0	0	0	0	170	80	300	605
692	675	3	485	190	68	60	290	212	500	606
Total Load			1,158	612	973	624	1,135	750		

표 3. 부하수준과 부하지속시간

Table 3. Load Level and Load Duration Time

Load Level(%)	100	90	70
Time interval(hours)	3,650	7,300	3,650

표 4. 분산형전원의 설치 위치

Table 4. Placement Location of DGs

Optimal location	Case 1 [kW]			Case 2 [kW]		
	100%	90%	70%	100%	90%	70%
611	90	90	90	90	60	0
652	120	120	90	150	150	120
675	150	150	150	120	120	90
692	90	60		150	150	150
Total	450	420	330	510	480	360

또한, 표 5에서 분산형 전원의 설치 전과 후의 계통손실과 전압크기를 비교하여 나타내었다. 계통손실의 경우 Case 1에서는 분산형전원 설치 전에는 1,340,689[kW]이었으나 설치 후에는 867,041[kW]가 되었고, 결국 테스트 기간을 5년으로 하였을 때 473,648[kW]가 감소된다는 것을 알 수 있다.  $V_{\min}$  와  $V_{ave}$ 는 분산형전원 설치 전 보다 상당히 향상되었고,  $V_{\min}$ 은 부하레벨 100%와 90%에서 전압크기의 제약을 0.93을 기준으로 하였을 때 분산형전원을 설치 후에 있어서 제약을 모두 만족한다는 것을 알 수 있다. Case 2에서도 유사한 결과를 나타내고 있다.

표 5. 분산형전원 설치 전후의 전압 및 손실 비교  
Table 5. 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	434,229	290,175	492,780	302,080
	90	698,028	448,521	782,118	473,434
	70	208,431	128,344	227,669	142,934
Total losses [kW]		1,340,689	867,041	1,502,568	918,450
$V_{min}$ [p.u.]	100	0.8999	0.9411	0.8884	0.9364
	90	0.9105	0.9510	0.9012	0.9470
	70	0.9311	0.9619	0.9255	0.9595
$V_{ave}$ [p.u.]	100	0.9434	0.9566	0.9388	0.9558
	90	0.9494	0.9624	0.9456	0.9611
	70	0.9610	0.9721	0.9587	0.9697

## 6. 결 론

본 연구에서는 배전계통에서 부하불평형을 고려한 분산형 전원의 운영에 대한 계획을 수립하였다.

실제 단상 및 2상을 포함한 다양한 부하가 산재되어 있는 불평형 배전계통에 대하여 분산형전원의 설치 및 운영 계획을 수립함으로써 배전계통을 정확하게 해석하기 위해서는 3상으로 해석해야 함을 확인할 수 있었다.

또한, 배전계통의 실제 부하구성 분포를 고려하기 위하여 부하모형을 사용하였다. 부하모형은 가정용, 산업용, 상업용, 사무용 및 농업용 부하 등의 집단부하로 모형화를 한 후, 각각의 개별부하 구성비를 각 모션별로 취사설비, 백열조명 및 다양한 정격의 유도전동기 등으로 구성하는 개별부하 모형을 사용하였다. 부하모형을 고려한 경우와 고려하지 않는 경우에 있어서 분산형전원의 총용량에 있어서 차이가 났으며, 이것은 유도전동기와 같은 부하의 구성비율이 높은 산업용 및 농업용 부하의 영향 고려했기 때문이라고 사료된다.

향후 연구로는 배전계통의 재구성을 고려한 분산형전원 설치와 그 영향에 대하여 해석할 필요가 있다.

## References

- [1] R. C. Dugan and S. A. Thomas et. al, "Integrating Dispersed Storage and Generation (DGS) 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] T. H. Chen, M. S. Chen, K. J. Hwang, P. Kotas and E. A. Chebli. "Distribution System Power Flow Analysis A Rigid Approach." IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 6, No. 3, pp.1146-1152, 1991.
- [5] Final Report for Consolidated Edison Company Research and Development Project 92087, "Generalized Distribution Analysis System", June,1989.
- [6] Hwang Kab-Ju et. al., "Computer Modeling for distribution System Analysis", Trans. KIEE, Vol. 42, No. 5, pp42-51, 1993.
- [7] J. J. Grainger, 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] IEEE Distribution Planning Working Group Report, "Radial Distribution Test Feeders", IEEE Trans. on Power System, Vol. 6, No. 3, pp.975-985, August, 1991

## ◇ 저자소개 ◇

### 이유정 (李有楨)

1962년 7월 24일생. 1986년 충남대학교 전기공학과 졸업. 1992년 한양대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 한양대 대학원 전기공학과 박사과정 수료.

### 유석구 (劉錫九)

1938년 10월 31일생. 1961년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한양대 공대 전기공학과 교수.