

**배전계통 운영비용의 최소화에 의한 분산전원의
최적용량과 위치결정**

박정훈* · 배인수* · 김진오* · 심현**
*한양대학교 전기공학과 ** (주)에스에너지

**Optimal capacity and allocation of distributed generation
by minimum operation cost of distribution system**

Jung-Hoon Park* · In-Su Bae* · Jin-O Kim* · Shim Hun**
Dept. of EE, Hanyang University* S-energy**

Abstract - In operation of distribution system, DGs(Distributed Generations) are installed as an alternative of extension and establishment of substations, transmission and distribution lines according to increasing power demand. Optimal capacity and allocation of DGs improve power quality and reliability.

This paper proposes a method for determining the optimal number, size and allocation of DGs needed to minimize operation cost of distribution system. Capacity of DGs for economic operation of distribution system can be estimated by the load growth and line capacity during operation planning duration. DG allocations are determined to minimize total cost with failure rate and annual reliability cost of each load point using GA(Genetic Algorithm).

감소시키고자 한다. 분산전원은 설치하고자 하는 부하점에 한대만 설치하며, 계통의 손실은 고려하지 않는다.

2.2 계통의 부하 모델

일반적으로, 부하모델은 1년을 8760시간으로 나눠 각 시간에 대한 부하량을 계산하므로, 부하점의 특성을 나타내기 보다는 전체 계통의 부하가 일괄적으로 증가하고 감소하는 형태를 나타낸다. 따라서 정확한 모델링을 위해서 각 부하점의 부하 형태(주거형, 상업형, 공공기관 등)에 따른 영향을 고려하여야 한다.

다음에 제시된 그림 1은 여름철 하루 동안의 일일 피크부하에 대한 시간별 부하 백분율로서 부하 형태별 특성을 나타내고 있다.

1. 서 론

분산전원(Distributed Generation)이란 배전계통에 직접 연결되어진 10[MW]미만의 소형 발전기를 일컫는다. 현재 분산전원은 태양광, 풍력터빈, 연료전지, 소형·극소형 터빈, 내부 연소엔진, 왕복기관 등의 발전기를 이용하여 열병합 발전, 대기용 전원, 피크부하 삭감용, 전력망 지원, 계통 분리형으로 활용되어지고 있다. 분산전원은 배전계통에서 증대되는 전력수요에 따른 변전소와 송·배전선로의 증설 및 신설의 대안으로 운영한다. 전력계통의 운영계획에서 계통에 연결될 분산전원은 전력의 질과 신뢰도가 향상시키기 위해 최적의 용량과 설치대수 그리고 배치를 결정해야 한다.

본 논문에서는 배전계통 운영비용의 최소화에 의한 분산전원의 용량과 최적의 위치를 결정하는 기법을 제안하였다.

분산전원의 용량은 운영계획기간 동안의 부하증가량과 선로 제한 용량을 고려하여 선정하고, 분산전원의 위치는 각 부하점의 고장율과 연간 정전비용에 의해 구해진 신뢰도 비용과 배전계통의 총 운영비용의 합이 최소가 되는 위치로 결정한다. 최적의 위치 선정을 위해 유전알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용한다.

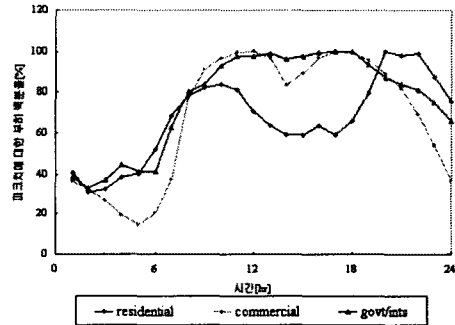


그림 1. 일일 피크부하에 대한 시간별 부하 백분율

2. 본 론

2.1 분산전원의 운영

배전계통에 연계되어 있는 분산전원은 열병합 발전, 대기용 전원, 피크부하 삭감용, 전력망 지원, 계통 분리형의 여러 형태로 운영되고 있다.

본 논문에서는 두 가지의 분산전원 운영 형태를 제시하고자 한다. 첫째, 피크부하 삭감용으로 시간에 따른 송전계통에서의 전력구입비용과 분산전원의 운영비용을 비교하여 더 저렴한 전원을 선택하여 운영함으로써 운용비용을 줄이고, 둘째, 정전시 분산전원이 설치된 부하점에 전력을 공급함으로써 신뢰도를 향상시키고 정전비용을

2.3 분산전원의 용량과 위치

본 논문에서 분산전원 한대의 용량은 주어지며, 계통에 설치될 분산전원의 총 설치대수는 운영계획기간 동안의 부하증가량과 주어진 한대의 용량에 의해 다음에 제시된 식(1)에 의해 결정된다.

$$N_{DG} = \frac{\Delta P_L}{P_{DG}} \tag{1}$$

여기서,

N_{DG} : 분산전원의 설치대수

ΔP_L : 부하증가량

P_{DG} : 분산전원 한대의 용량

분산전원은 계획 초기년도에 모두 설치되며, 하나의 부하점당 한 대의 분산전원만 설치한다. 선로나 모선용량 제한에 의해 분산전원의 용량과 설치될 부하점이 결정된다.

분산전원의 위치는 각 부하점의 고장율과 연간 정전비용에 의해 구해진 신뢰도 비용과 배전계통의 총 운영비용의 합이 최소가 되는 위치로 결정한다. 최적의 위치 선정을 위해 최적화의 기법 중 하나인 유전알고리즘을

이용한다.

본 논문에서는 각 부하점에 분산전원이 설치되는지의 여부에 따라 0과 1로서 집단을 구성한다. 여기서, 부하점의 위치는 염색체의 위치를 나타내고, 염색체의 길이는 총 부하점의 수를 나타낸다. 코딩된 집단은 재생산, 교배, 돌연변이를 거치면서 재평가되고 앞서 수행한 일련의 연산과정은 최적의 해가 발견될 때까지 반복된다. 분산전원의 설치는 그림 2와 같이 표현한다.

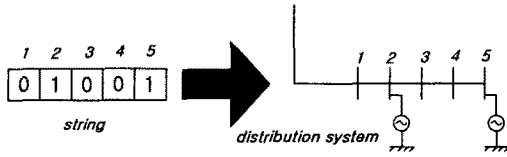


그림 2. 분산전원 설치 과정

2.4 배전계통의 운영비용

배전계통의 운영비용은 전력구입비용, 분산전원 운영비용 그리고 정전비용으로 구분하며, 각각의 비용은 다음의 목적함수에서 표현된다.

2.4.1 목적함수

목적함수는 송전계통에서의 전력구입비용과 분산전원의 운영비용과 정전비용의 합을 최소화하는 것이다. 목적함수는 다음의 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$C_{tot} = C_{Gen} + C_{DGop} + C_{out} \quad (2)$$

여기서,

- C_{tot} : 총 운영비용의 합
- C_{Gen} : 송전계통에서 전력구입비용
- C_{DGop} : 분산전원의 운영비용
- C_{out} : 정전비용

송전계통에서의 전력구입비용 C_G 는 시간에 따른 단위 전력당 전력구입비용 K_j 와 분산전원의 운영비용 K_{DG} 의 비용 비교에 의해 더 저렴한 비용에 의해 결정된다. 식 (3)에 의해 구할 수 있으며, 지수 α 는 분산전원의 운영 여부를 나타낸다. 분산전원의 운영비용 C_{DGop} 는 시간에 따른 분산전원의 운영 대수의 결정에 의해 식(4)에 의해 구할 수 있다. 정전비용 C_{out} 는 분산전원이 설치되지 않았을 때의 모든 부하점의 정전비용과 운영계획에 따라 분산전원이 설치된 부하점의 정전비용의 차에 의해 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$C_{Gen} = \sum_{j=1}^m K_j \cdot (P_{Genj} - \alpha \cdot P_{DG} \cdot n_{DGj}) \quad (3)$$

$$C_{DGop} = \alpha \cdot K_{DG} \cdot P_{DG} \cdot \sum_{j=1}^m n_{DGj} \quad (4)$$

$$C_{out} = \sum_{i=1}^n K_{outi} \cdot P_{outi} - \sum_{bc} K_{outi} \cdot P_{outi} \quad (5)$$

여기서,

- j : time duration($j=1, 2, \dots, m$)
- i : load point($i=1, 2, \dots, n$)
- i_{DG} : 분산전원이 설치된 부하점
- K_j : time j일 때 단위전력당 구입전력비용
- K_{DG} : 단위전력당 분산전원 운영비용
- K_{out} : 단위전력당 정전비용
- P_{Genj} : time j일 때 송전계통에서 구입한 전력량

P_{DG} : 분산전원의 용량

P_{outi} : 부하점 i에서 정전시 공급받지 못한 전력량

n_{DGj} : time j일 때 분산전원의 총 운전대수

α : $\begin{cases} 0 : K_j \leq K_{DG} \\ 1 : K_j > K_{DG} \end{cases}$ 분산전원의 운전 여부

2.4.2 제약조건

임의의 부하점에서 공급받는 전력량은 송전계통에서 구입한 전력량과 분산전원이 공급하는 전력량의 차이가 선로제한용량을 초과할 수 없다.

$$0 < P_{Genj} - \alpha \cdot P_{DG} \cdot n_{DGj} < P_{LC} \quad (6)$$

여기서,

P_{LC} : 선로제한용량

2.4.3 연간정전용량과 비용

연간 정전용량은 각 부하점의 피크 부하량과 신뢰도 지수인 고장율(λ)과 수리시간(r)을 가지고 식(7)에 의해 구할 수 있다.

$$P_{outi} = P_{peaki} \cdot \lambda_i \cdot r_i \quad (7)$$

여기서,

- P_{peaki} : 부하점 i에서 피크시 부하량
- λ_i : 부하점 i에서 고장율
- r_i : 부하점 i에서 수리시간

연간 정전비용은 각 수용가 종류에 따른 정전비용을 정전 지속시간에 대한 함수로 표현한 분야별 수용가 피해함수(SCDF : Sector Customer Damage Functions)와 각 부하점의 신뢰도 지수에 의해 구하고자 한다.

표 1은 수용가 타입별 정전지속시간과 정전비용을 나타내고 있다.

표 1. 수용가 타입별 정전비용

수용가 타입	정전 지속시간과 비용(\$/kW)				
	1분	20분	1시간	4시간	8시간
대규모 수용가	1.005	1.508	2.225	3.968	8.240
산업	1.625	3.868	9.085	25.16	55.81
상업	0.381	2.969	8.552	31.32	83.01
농업	0.060	0.343	0.649	2.064	4.120
주거	0.001	0.093	0.482	4.914	15.69
공공기관	0.044	0.369	1.492	6.558	26.04
사무	4.778	9.878	21.07	68.83	119.2

표 1에 제시된 분야별 수용가 피해함수는 일곱 가지 종류의 수용가에 대한 정전비용을 평가하기 위해 일련의 설문조사가 진행되었으며[5], 그에 따른 설문 조사의 결과를 분석하여 각 수용가 종류에 따른 정전비용을 정전 지속시간에 대한 함수이다. 정전 지속시간이 표1에 주어진 시간사이에 존재하면 로그-로그 보간법을 이용하여 비용을 구하고, 정전지속시간이 8시간을 넘으면 4시간에 대한 데이터와 8시간에 대한 데이터를 이용하여 같은 기울기를 가지는 선형 외삽법을 통해 비용 데이터를 산출하게 된다.

3. 사례연구

사례연구를 위해 RBTS(Roy Billinton Test System)의 2번 모선 배전계통을 사용하였다. RBTS 2번 모선은 총 4개의 피더를 가지는 전형적인 도시형 배전계통으로

서, 기본적인 신뢰도 파라미터는 참고문헌[6]을 참조하였다. 사례연구를 위한 배전계통의 부하특성은 초기년도의 부하량이 20[MW]이고, 부하증가율은 연간 5[%], 설치하고자 하는 분산전원 한대의 용량은 2[MW], 분산전원의 운영 계획기간은 12년으로 한다.

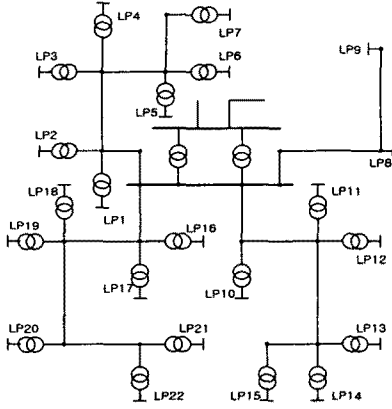


그림 3. RBTS 2번 모선 배전계통

4. 결과 및 해석

사례연구에서 제시한 배전계통의 부하특성과 선로제한 조건에 의해 구해진 부하증가율은 16[MW]이고, 설치될 분산전원은 6대이다.

표 2는 분야별 수용가 피해합수와 각 부하점의 신뢰도 지수에 의해 구한 각 부하점의 연간정전용량과 정전비용이다.

표 2. 연간 정전량과 정전비용

부하점	연간 정전량 [MW/yr]	정전단가 [\$/kW]	연간정전비용 [k\$/yr]
1	3.0997	4.3931	13.6172
2	3.1579	4.4757	14.1338
3	3.1579	4.4757	14.1338
4	3.2781	5.8629	19.2191
5	3.3397	5.9730	19.9482
6	2.7206	28.4033	77.2748
7	2.7020	28.2093	76.2227
8	0.8866	2.4638	2.1843
9	0.9435	2.2801	2.1514
10	3.1026	4.3973	13.6431
11	3.1579	4.4757	14.1338
12	2.6672	4.4941	11.9869
13	3.291	5.8859	19.3707
14	3.3042	5.9095	19.5265
15	2.6845	28.0266	75.2387
16	2.7324	28.5263	77.9451
17	2.6186	4.4122	11.5538
18	2.6097	4.3973	11.4757
19	2.6579	4.4784	11.9032
20	3.3418	5.9767	19.9728
21	3.2910	5.8859	19.3707
22	2.7034	28.2231	76.2971

그림 4는 유전알고리즘을 이용하여 반복 수행 횟수에 따른 총 운영비용을 나타내고 있다. 300번 반복 수행한 수렴곡선으로서 22회 이후에서 해에 수렴한다.

표 3은 분산전원을 최적의 위치에 설치했을 때의 정전비용의 합, 총 운영비용 그리고 분산전원의 설치부하점이다.

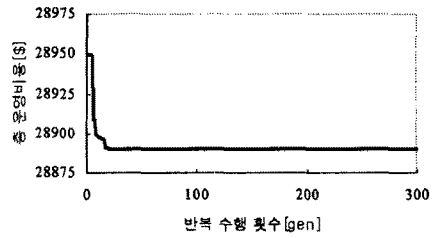


그림 4. 유전알고리즘에 의한 수렴곡선

표 3. 운영비용과 분산전원 설치 부하점

정전비용의 합	402.95 [\$/kW]
총 운영비용	28890.41 [\$/day]
분산전원 설치 부하점	6, 7, 15, 16, 20, 22

분산전원의 최적의 설치점은 정전비용이 높은 부하점이며, 부하 특성상 상업부하가 위치한 부하점이다.

5. 결 론

분산전원은 배전계통에서 증대되는 전력수요에 따른 변전소와 송·배전선로의 증설 및 신설의 대안으로 운영한다.

본 논문에서는 분산전원의 효과적인 운영을 위한 최적의 용량과 위치를 결정하는 기법을 신뢰도 비용인 정전비용을 고려하여 제안하였으며, 유전알고리즘에 의해 주어진 문제를 최적화하였다.

감사의 글

본 연구는 기초전력공학공동연구소의 01-중-04 사업의 연구비에 의하여 연구되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] Richard E. Brown, Jiuping Pan, Xiaoming Feng and Krassimir Koutlev, "Siting Distributed Generation to Defer T&D Expansion", Transmission and Distribution Conference and Exposition, IEEE/PES, Vol.2, p.622-627, 2001.
- [2] Y. Zoka, H. Sasaki, J. Kubokawa, R. Yokoyama, H. Tanaka, "An optimal deployment of fuel cells in distribution systems by using genetic algorithms", Evolutionary Computation, 1995, IEEE International Conference on, vol.1, p.479, 1996.
- [3] G. Cell, F. Pilo, "Optimal distributed generation allocation in MV distribution networks", Power Industry Computer Applications, PICA, Innovative Computing for Power-Electric Energy Meets the Market. 22nd IEEE Power Engineering Society International Conference, p.81-86, 2001.
- [4] R. N. Allan, R. Billinton, I. Sjarief, L. Goel and K. S. So, "A Reliability Test System for Educational Purpose-Basic Distribution System Data and Results", IEEE Trans. on Power systems, Vol. 6, No. 2, pp. 813-320, 1991.
- [5] G. Toefson, R. Billinton, G. Wacker, E. Chan, and J. Awewa, "A Canadian Customer survey to Assess Power system Reliability Worth", IEEE Trans. on Power systems, Vol. 9, No. 1, pp. 443-450, 1991.
- [6] L. Goel, R. Billinton and R. Gupta, "Basic Data and Evaluation of Distribution System Reliability Worth", WESCANEX '91, pp. 271-277, 1991.