2008년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2008. 7. 16 - 18

전압품질 향상을 위한 분산전원 투입위치 결정 알고리즘에 관한 연구

변길성, 오세승, 장길수*
고려대학교*

Optimal Allocation of Distribution Generation Considering Voltage Profile Characteristics of the Radial Distribution System

Gilsung Byeon, Seaseung Oh, Gilsoo Jang*
Korea University*

Abstract - 최근 전 세계적인 에너지위기에 따라 분산전원의 투입에 대한 관심이 갈수록 높아지고 있다. 하지만 분산전원의 계통투입은 필연적으로 소비자와 설비 측의 전압레벨과 전력조류흐름을 변화시킨다. 분산전원의 투입위치에 따라서 소비자와 설비 측의 전압은 크게 향상될 수 있으나 제한된 분산전원을 최적으로 배치하는 연구가 선행되어야 한다. 본 논문에서는 계통에 분산전원 투입할 시의 전압특성변화를 분석하고, 이를 토대로 계통의 전압품질향상을 목적으로 분산전원을 최적으로 투입하기 위한 알고리즘을 제안하였다.

1. 서 론

계통에 분산전원 투입 최적화에 대한 연구는 분산전원이 차세대 에너지원으로 주목받기 시작한 1990년대부터 본격적으로 전개되었다. 분산전원은 그 형태나 특성만큼이나 투입목적이 다양하고 투입최적화를 위한 연구방법도 여러 형태로 진행되어 왔다. 연구방법은 trial & error 기법 [1] 을 시작으로 Tabu Search [2] , SA, GA 등으로 연산시간단축과 고정밀화를 위해 꾸준히 진화하였고 투입목적도 손실최소화, 수익최대화, 전압품질향상 등으로 다양하게 진행되었다. 전압품질향상에 관한 연구의 경우, 2001년 전압 제한치 안에서 분산전원용량 결정에 관한 연구 [3] 와 분산전원을 이용한 전압조정방안연구 [4] 가 행해졌고 2002년 분산전원이 전압조정에 미치는 영향 [5] 과 2003년 분산전원 투입 시 계통의 전압특성변화에 관한 연구 [6] 가 행해졌다. 그 후에도 전압조정, 전압품질 향상과 관련된 많은 연구 [7] 가 행해졌으며 이를 바탕으로 분산전원을 계통에 효과적으로 배치하는 연구가 여러 연구소 및 학계에서 수행되고 있다. 본 논문에서는 계통의 전압강하패턴분석을 이용하여 전압품질향상을 극대화시킬 수 있는 분산전원 위치 결정에 관한 알고리즘을 제안하였으며 사례연구를 통해 결과의 타당성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 분산전원투입의 목적

본 논문에서 분산전원의 계통투입시 고려된 주요요소는 계통의 유효전력손실최소화와 전압품질향상이다. 하지만 전압품질향상을 주목적으로 연구를 진행하였다.

$$Min\,Z = \alpha\, V_{quality} + \beta P_{loss}$$

α, β : 가중치, 여기서는 $\alpha > \beta$

2.1.1 전압품질 지수와 유효전력 손실

소비자와 설비 측에서의 전압은 최대한 정격전압(1pu)에 가깝도록 유지되어야 한다. 계통의 전압이 1pu에 얼마나 가까운지를 수치화하기 위해 전압품질지수를 제안하였다. 또한 계통의 유효전력손실은 모든 포인트나 버스의 유효전력투입량의 합으로 표시할 수 있다.

$$V_{quality} = \left(\sum_{i=1}^{n} |1 - V_i|^2 \right)^{1/2}$$

V_i : 버스i나 포인트i의 전압

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{n} P_i$$

P_i : 버스i나 포인트i의 유효전력 투입량

2.1.2 제약 조건

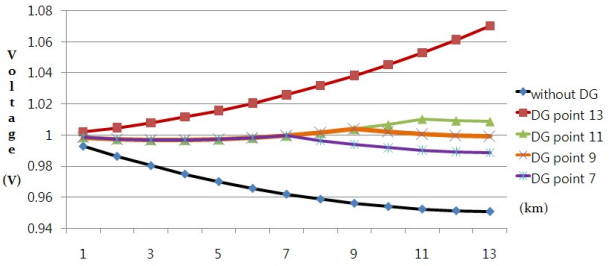
분산전원이 투입된 모든 피더의 전압, 전류는 정격범위 안에 유지되어야 한다.

$$V_{\min} \le V_i \le V_{\max} \qquad i \forall n$$

$$I_i \le I_{rated} \qquad i \forall n$$

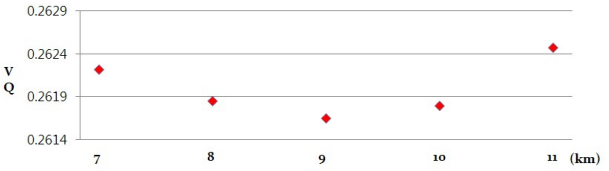
2.2 Radial 계통의 전압레벨 특성

일반적인 Radial 계통은 피더 말단으로 갈수록 선로임피던스와 부하로 인하여 전압이 서서히 강하하는 특성을 보인다.



<그림 1> 분산전원 투입위치에 따른 전압레벨 변화

그림1은 Radial Feeder에 분산전원을 투입했을 때 나타나는 일반적인 전압레벨변화를 나타내고 있다. 분산전원을 투입하지 않은 상태에서는 피더말단으로 갈수록 전압이 강하되는 모습을 보이지만 분산전원이 투입되면 투입위치에 따라서 전압레벨이 변화하게 된다. 또한 분산전원을 최적위치에 투입하면 가장 좋은 전압품질 개선효과를 얻을 수 있다.



<그림 2> 분산전원 투입위치에 따른 전압품질 지수 변화

그림 2는 분산전원 투입위치에 따른 전압품질 지수 변화를 나타내고 있다. 전압품질 지수는 낮을수록 계통의 전압이 1pu에 보다 근접함을 의미한다. 분산전원의 용량, 계통의 조건 등에 의해 변수는 있지만 일반적으로 Radial 피더의 경우 분산전원 투입에 대한 전압레벨 개선효과는 최저값이 존재하는 오목한 형태로 나타난다.

2.3.양방향 검색 알고리즘

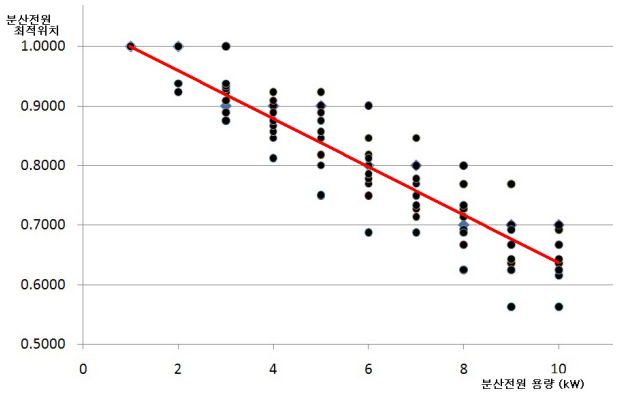
분산전원투입의 최적위치 결정을 위해 본 논문에서 제안한 양방향 검색 알고리즘은 위에서 언급한 바대로 분산전원 투입시 Radial 계통의 오목한 형태의 전압품질 지수분포와 초기투입위치 결정의 두 가지 핵심적인 내용을 바탕으로 이루어진다. Radial 피더의 전압품질지수가 오목한 형태를 지니고, 일반적으로 최적투입점이 피더 말단 쪽에 위치하므로 초기투입위치를 기준으로 우선 피더 말단 쪽으로 검색하고 그 후 피더 시작점 쪽으로 검색을 수행하여 최적투입점을 검색한다.

2.3.1 초기투입위치 선정

양방향검색알고리즘은 초기투입위치로부터 최적의 투입위치를 찾기까지 한 포인트 혹은 한 버스씩 옮겨가는 방법을 취하고 있기 때문에 초기투입위치선정은 전체계산시간단축에 큰 영향을 미친다. 그림3은 피더의 부하량과 분산전원의 투입용량에 따른 초기투입위치범위를 나타내고 있다. 사용된 피더의 총부하량은 10~20kW 이고 분산전원의 용량은 1~10kW이다. 그림2의 최적투입점 분포를 토대로 초기투입범위결정에 관한 관계식을 다음과 같이 세울 수 있다.

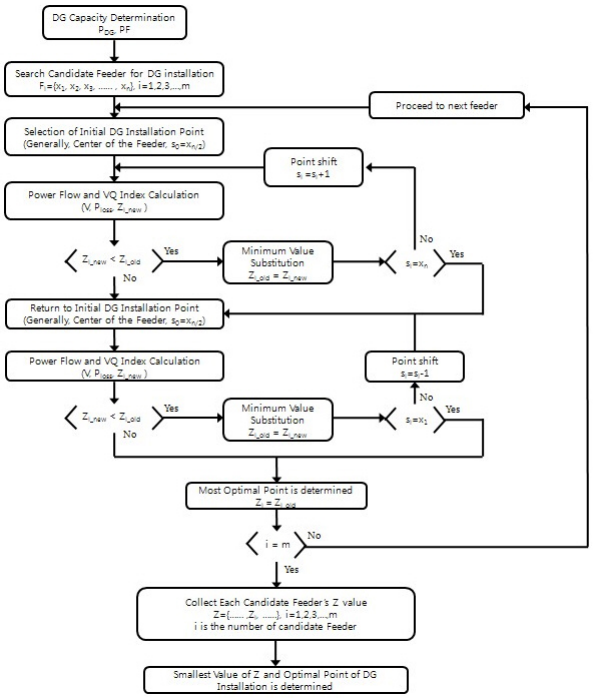
$$X_{init} = -0.0377 P_{DG} + 1.0377 \qquad P_{DG} \ge 1kW$$

X_{init} : 초기투입위치, P_{DG} : 분산전원의 용량



〈그림 3〉 DG 용량과 피더 총 부하량에 따른 최적위치 분포

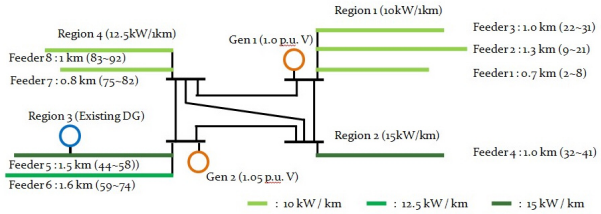
그림4는 양방향 검색알고리즘을 나타내고 있다. 초기투입위치가 선정되면 그로부터 피더말단을 향해 검색을 진행하고 그 후에는 피더시작점을 향해 검색을 진행한다. 만약 초기투입위치보다 Z 값이 낮으면 그 위치가 새로운 분산전원 투입후보위치가 되어 비교대상이 되고, Z 값이 더 이상 낮아지지 않으면 검색을 중단한다. 후보피더들에 대한 검색이 모두 완료되면 각 피더의 최적투입점의 Z 값을 비교하여 분산전원의 최종투입위치를 결정한다.



〈그림 4〉 양방향 검색 알고리즘

2.4.사례연구

그림5에 나타난, 사례연구로 쓰인 계통은 Radial 피더 8개와 기존에 설치된 분산전원 1기, AC계통이 두 곳이 연결된 시스템이다. AC계통은 무한모선으로 가정하였고, 계통의 각 피더의 부하밀도는 다르며 길이와 총부하량도 다르게 설정하였다. 한 피더의 총 부하량은 10~20kW 사이이며 투입할 분산전원의 용량은 3kW, 10kW 두 가지 케이스로 진행하였다.

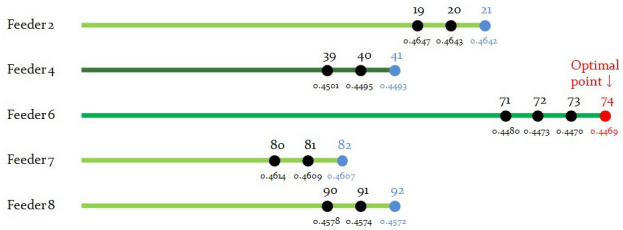


〈그림 5〉 사례연구 계통

각 피더의 전압강하를 관찰해본 결과 Feeder 2,4,6,7,8 번에 분산전원의 필요성이 절실하여 해당 피더를 중심으로 시뮬레이션을 진행하였다.

2.4.1 3kW 분산전원 투입위치 결정

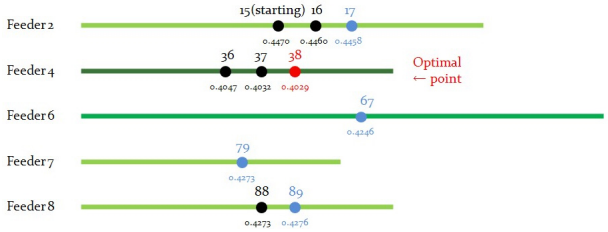
알고리즘의 계산수행횟수를 비교하기 위해 이번 케이스는 초기투입위치 관계식에 의해 계산된 초기위치(0.9)보다 한 단계 앞(0.8)에서부터 검색을 진행하였다. 계통의 초기 Z 값은 0.49096이었으나 3kW 분산전원을 제안된 알고리즘에 의해 최적위치에 배치한 결과 Z 값이 0.4469로 감소하였다. 검색에 소요된 계산도 총 16회로 만약 0.9로 초기위치를 설정했을 경우에는 더 감소되었을 것이다.



〈그림 6〉 3kW DG 최적위치 검색 결과 : 초기위치(0.8)

2.4.1 10kW 분산전원 투입위치 결정

이번에는 초기투입위치 관계식에 의해 계산된 초기위치 0.6으로 부터 검색을 진행하였다. 감소된 최종 Z 값은 0.4029로 3kW 분산전원 투입보다 효과가 좋게 나타났으며 초기투입위치 관계식으로 계산된 위치부터 검색을 진행한 결과 총 검색횟수가 10회로 앞 케이스보다 감소하였다.



〈그림 7〉 10kW DG 최적위치 검색 결과 : 초기위치(0.6)

3. 결 론

본 논문에서는 계통의 전압품질을 최대한 향상시키기 위해 주어진 분산전원의 최적위치를 결정하는 알고리즘을 제안하였다. 분산전원이 투입된 계통의 전압특성변화분석을 토대로 알고리즘의 계산수행횟수를 결정하는 초기투입위치 선정에 관한 연구를 진행하였고, 초기투입위치를 중심으로 양방향으로 최적위치를 검색하는 알고리즘을 사례연구를 통하여 구현하였다.

[참 고 문 헌]

[1] Narayan S. Rau, Yih-heui Wan, “Optimum Location of Resources in Distributed Planning”, IEEE Transaction on Power Systems, vol.9, pp.2014-2020, 1994
[2] K. Nara, Y. Hayashi, K Ikeda, T Ashizawa, “Application of Tabu Search to Optimal Placement of Distribution Generators”, IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, vol.2, pp.918-923, 2001
[3] T.E. Kim, J.E. Kim, “A Method for Determining the Introduction limit of Distributed Generation System in Distribution System”, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, vol.1, pp.456-461, 2001
[4] J.H. Choi, J.C. Kim, “Advanced Voltage Regulation Method of Power Distribution Systems Interconnected with Dispersed Storage and Generation Systems”, IEEE Transaction on Power Systems, vol.16, pp.329-334, 2001
[5] L. Kojovic, “Impact of DG on Voltage Regulation”, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, vol.1, pp.97-102, 2002
[6] C. Dai, Y. Baghzouz, “On the Voltage Profile of Distribution Feeders with Distributed Generation”, IEEE Power Engineering Society General Meeting, vol.2, pp.1136-1140, 2003
[7] M.A. Kashem, G. Ledwich, “Multiple Distributed Generators for Distribution Feeder Voltage Support”, Energy Conversion, IEEE Transaction on, vol.20, pp.676-684, 2005