

배전 계통에 연계된 분산전원의 발전량 예측 알고리즘

°최 돈 만, 장 성 일, 김 광 호
 강원대학교 전기전자공학부, 서울대학교

Estimation of the Generating Power for Distributed Generations Interconnected with Distribution Networks

°Don-Man Choi, Sung-Il Jang, Kwang-Ho Kim,
 Kangwon National University, Seoul National University

Abstract - This paper proposes an estimation algorithm for the generating power of distributed generations (DG) interconnected with distribution networks. These days, DG are rapidly increasing and most of them are interconnected with distribution networks. The DG can supply power into the distribution network, which may make significant impact on fault current and the protection scheme of the interconnected distribution networks. Generally, these influences of DG is proportioned as the distributed generator's power. Therefore, it is important to forecast the output power of distributed generator in PCC (point of common coupling). This paper presents the prediction method of DG's power by monitoring the current and phase difference.

1. 서 론

배전선에 연계된 분산전원은 전원 측에서 공급하는 전류의 일부분을 담당하며, 사고 시 사고전류의 일부를 담당하기 때문에 계전점에서의 사고전류는 감소하게 된다 [1][2]. 단락사고 및 지락사고의 경우 사고전류의 크기가 매우 크기 때문에 분산전원의 연계 유·무에 관계없이 배전선에 설치된 보호기기는 이들 사고를 쉽게 검출할 수 있다. 반면 사고점 저항이 큰 고 저항 사고의 경우 사고 시 고장전류의 일부를 담당할 수 있는 분산전원의 계통 연계에 따라 사고를 검출하지 못하는 경우가 발생할 수 있다 [3-5]. 일반적으로 사고 전류의 감소량은 연계된 분산전원의 출력량에 비례하기 때문에 정상적인 사고 검출을 위해서는 분산전원에 의한 발전량에 비례하여 배전선 보호기기들의 설정치를 조정하는 것이 요구된다. 따라서 배전선에 분산전원이 연계되었는지를 판단하고 이에 따른 발전량을 예측하는 것은 정상적인 사고검출을 위하여 매우 중요한 것으로 판단된다.

배전계통의 일반적인 R-L 부하와 전동기 부하의 경우 부하가 증가함에 따라 계전점의 전류와 위상차는 증가하며, 부하의 감소에 따라 전류와 위상차가 감소하게 된다. 그러나 분산전원이 연계되었을 경우 분산전원의 출력이 증가하면 분산전원의 전류 분담으로 인해 계전점의 전류는 감소하지만 전압과 전류의 위상차는 증가하게 된다. 이와는 반대로 분산전원의 출력이 감소할 경우 계전점의 전류는 증가하고 위상차는 감소하게 된다. 이와 같은 분산전원의 출력변동에 따른 계통 변동 특성을 모니터링하면 분산전원의 연계 유무와 출력량을 예측 가능할 것으로 사료된다.

본 논문에서는 계전점에서의 전류와 위상 변동을 모니터링 하여 분산전원의 연계 유무와 발전량을 예측하는 기법을 제안하였다. 이 기법은 부하 변동 시 발생하는 계전점 파라미터의 변화 추이와 분산전원 출력 변동 시 발생하는 파라미터의 변화 추이가 상이하다는 점을 이용하여 분산전원 판단 틀을 구성하였다. 분산전원 연계에

따른 계통 영향과 부하 및 분산전원의 발전량 변동 등을 모의하기 위하여 과도현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 농형 풍력발전기 2기로 구성된 1.5 MVA 용량의 분산전원을 모델링 하였고, 단락용량이 100 MVA인 22.9 kV의 연계 배전계통을 구성하였다. 모의 결과 제안된 기법은 분산전원의 연계 유·무를 정확히 판단하였으며 분산전원의 출력량을 효과적으로 예측하였다.

2. 본 론

2.1 배전선 사고 시 분산전원 연계에 따른 영향

본 절에서는 배전선 사고에 대한 분산전원의 영향을 분석하기 위하여 전력계통 과도현상 해석프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 농형 유도 발전기 형태의 분산전원을 모델링 하였다. 분산전원 연계 배전계통은 우리나라의 22.9 kV 실 계통 데이터를 이용하여 구성하였다.

2.1.1 분산전원 모델링

본 논문에서는 농형 유도 발전기를 이용하여 풍력단지 형태의 분산전원을 구성하였으며, EMTDC에서 제공하는 농형발전기 모델을 그림 1에 나타내었다. 그림 우측의 A, B, C는 계통에 연결되는 3상 전원을 의미하며, 좌측 W, S, T는 발전기의 출력을 조절하는 외부 제어 단자를 표현한다. W는 풍력 유도발전기의 회전속도를, S는 발전기 출력특성 제어변수를, 그리고 T는 음의 값으로 유도발전기 외부의 기계적 입력이 된다. 농형의 경우 내부 용량이 주어지면 일반적인 내부 파라미터를 생성하므로 750 kVA의 일반적인 풍력발전기로 모델링 하였다 [6]. 본 논문에서는 2대의 750 kVA 농형 풍력 유도발전기로 구성된 1.5 MVA 용량의 풍력발전단지를 모델링하여 다양한 모의를 진행하였다.

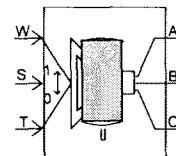


그림 1 EMTDC에서의 농형 유도 발전기 모델

2.1.2 연계 배전계통 모델링

본 논문에서는 전력계통 과도현상 해석프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 분산전원 연계 배전계통을 구성하였다. 연계 배전계통은 단락용량이 100MVA인 22.9kV 계통이고, 일반적인 ACSR 160mm²와 95mm²의 배전선으로 구성되어 있다. 모션에는 서로 다른 부하용량을 가진 5개의 간선들로 이루어져 있으며, 각 구성요소는 실 계통 데이터를 이용하여 모델링 되었다. 그림 2는 사고 모의에 이용된 모델 계통의 단선도이다.

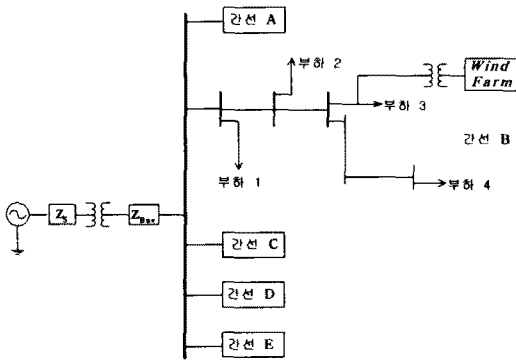


그림 2 풍력발전단지가 연계 된 배전계통 모델

2.1.3 배전선 사고 시 분산전원의 전류분담

분산전원 연계 배전선 사고 시 분산전원의 사고전류 분담 특성을 모의하기 위하여 간선 B의 중간지점에서 1.5초에 30Ω의 사고저항을 갖는 고 저항 사고를 모의하였다. 배전선에 분산전원이 연계되어 있지 않은 경우의 계전점 고장전류는 정격부하전류의 1.5 pu 이상이므로 사고를 검출하는데 문제가 발생하지 않는다 [7][8]. 하지만 분산전원이 연계됨에 따라 분산전원이 사고전류의 일부를 담당하므로 계전점의 고장전류는 정격부하전류의 1.5 pu이하로 떨어지게 된다. 이는 배전선에서 발생한 사고임에도 불구하고 분산전원의 영향으로 인해 계전점에서 사고를 검출하기 곤란한 경우이다. 따라서 분산전원이 배전선에 연계 되어 있을 경우 분산전원의 발전량을 예측하고 분산전원의 출력을 고려한 적응형 보호 알고리즘이 요구된다. 그림 3은 배전선의 고 저항 사고 시 분산전원의 용량에 따른 사고전류 분담을 나타낸 것으로 분산전원의 용량이 증가할수록 사고전류가 크게 감소함을 알 수 있다.

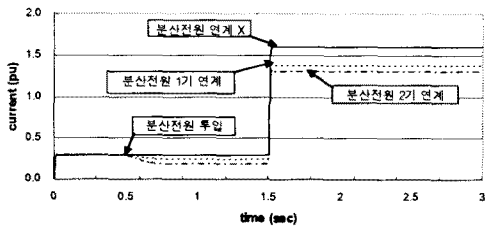


그림 3 배전선 고 저항 사고 시 분산전원의 사고전류 분담

2.2 분산전원의 발전량 예측 기법

본 절에서는 배전계통에서 발생하는 일반적인 부하 변동과 분산전원 연계 시 분산전원 출력변동에 따른 계전점 전류, 위상의 변화 추이를 비교 분석 하였으며 이 때에 나타나는 차이점을 이용하여 분산전원 발전량 예측 알고리즘을 구성하였다.

2.2.1 부하변동에 따른 파라미터의 변화

본 논문에서는 배전계통의 부하가 변동할 때 나타나는 계전점 파라미터의 변화추이를 모의 분석하였다. 이를 위해 R-L부하와 전동기 부하를 배전계통 부하의 대표적인 모델로 설정하였다. 배전계통에서 부하가 증가함에 따라 계전점의 전류는 증가하게 되고 유도성 부하의 영향으로 인해 전압과 전류의 위상차는 증가하게 된다. 반면 부하 감소에 따라 계전점의 전류는 감소하고 위상차 역시 감소하게 된다. 그림 4는 R-L부하의 증가와 감소

에 따른 계전점 전류와 위상차의 변화를 나타낸 것이다. 0.5초와 1초에서 100 kVA 용량의 R-L부하를 각각 증가시키고 이후 1.5초와 2초에서 R-L부하가 감소하도록 모의 하였다. 그림 5는 전동기 부하의 변동에 따른 계전점 전류와 위상차의 변화를 나타낸 것이다. 0.25초에 750 kVA 전동기를 계통에 일시에 투입하고 1초에서부터 전동기 부하가 증가하도록 모의 하였다. 그림 4와 5에서 알 수 있듯이 부하 변동에 따라 계전점의 전류와 위상차는 같은 추이로 변화하는 것을 알 수 있다.

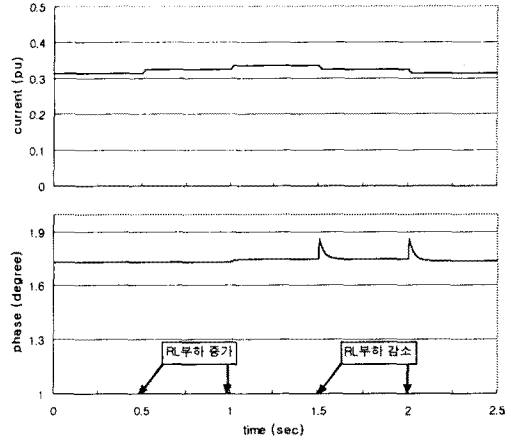


그림 4 R-L 부하변동에 의한 계전점 파라미터의 변화

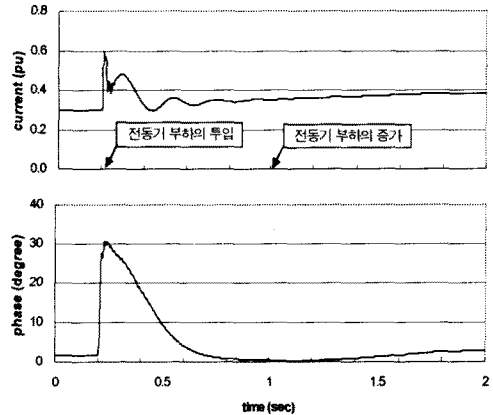


그림 5 전동기 부하변동에 의한 계전점 파라미터의 변동

2.2.2 분산전원 출력변동에 따른 파라미터의 변화

배전선에 연계된 분산전원의 발전량이 변동하면 계전점의 파라미터 역시 변화하게 되지만 일반적인 부하 변동에 따른 파라미터의 변화와는 구별되는 특성을 가진다. 분산전원의 출력이 증가함에 따라 분산전원이 담당하는 부하 분담 정도가 커져 계전점 전류는 감소하고 전압은 증가한다. 하지만 위상차의 경우 발전기 출력 증가에 따라 유도성 성분이 증가하고 이는 계전점의 위상차가 증가하는 원인이 된다. 반대로 분산전원의 출력이 감소하면 계전점 전류는 증가하지만 위상차는 감소하게 된다. 그림 6은 분산전원의 출력변동에 따른 계전점 파라미터의 변화를 나타낸 것이다. 분산전원을 0.5 초에 계통에 투입하고 이후 2초까지 분산전원의 출력이 100%가

되도록 모의하였다. 그리고 2초부터 5초까지 분산전원의 출력을 80%까지 서서히 감소시킨 후 다시 5초부터 8초까지 분산전원의 출력이 100%로 서서히 증가하도록 조정하였다. 그림에서 보는 것과 같이 분산전원의 출력이 증가함에 따라 계전점의 전류는 감소하고 위상차는 증가하며 분산전원의 출력이 감소함에 따라 계전점의 전류는 증가하고 위상차는 감소하는 것을 알 수 있다.

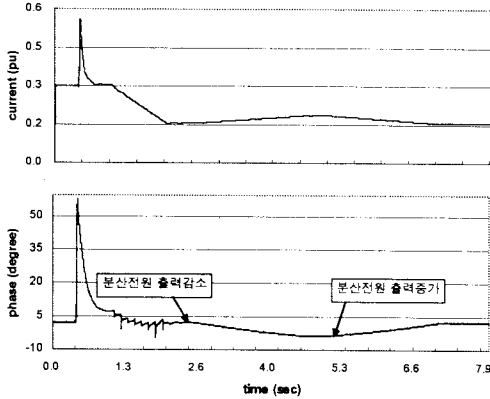


그림 6 분산전원 출력변동에 의한 계전점 파라미터의 변동

2.2.3 분산전원 발전량 예측 알고리즘

본 절에서는 배전계통에 연계된 분산전원 발전량 예측 알고리즘을 기술하였다. 분산전원의 발전량이 변동할 때와 일반적인 부하가 변동할 때의 파라미터 변화 추이가 상이하다는 점에 착안하여 분산전원 발전량 예측 알고리즘을 구성하였다. 표 1은 분산전원 출력 변동을 예측하기 위한 룰을 나타낸 것이다. 분산전원의 출력이 변동함에 따라 전류와 위상차는 반대로 증가 혹은 감소하지만 부하 변동이 경우에는 전류와 위상이 함께 증가 혹은 감소한다.

그림 7은 본 논문에서 제안한 배전계통 연계 분산전원 발전량 예측 기법을 나타낸 순서도이다. 먼저 계전점에서의 전류, 전압 그리고 위상의 데이터를 측정한다. 그리고 각각의 파라미터를 한주기 평균하여 얻어진 데이터의 변화추이를 분석하고 설정된 Rule과 비교하여 분산전원의 출력 변동에 따른 변화인지 일반적인 부하 변동에 의한 변화인지를 구분하게 된다. 계전점에서의 전류와 위상차의 변화 추이가 10회 이상 연속해서 Rule 1과 Rule 2에 포함될 경우 분산전원에 의한 출력변동으로 인식하게 된다. 이후 각각의 파라미터에 대한 증가, 감소량을 계산하여 분산전원의 출력량을 산정하게 된다.

2.3 제안된 발전량 예측 기법의 검증

본 절에서 제안한 발전량 예측 기법을 검증하기 위하여 전철에서 모의한 경우와 같은 용량의 R-L 부하를 증가 혹은 감소시켰다. 그림 8은 배전계통에서 R-L 부하 변동 시 발생하는 계전점 파라미터의 변화에 대한 분산전원 발전량 예측 알고리즘의 동작을 나타낸 것이다. 배전계통의 일반적인 부하 변화 시 전류와 위상차의 변화는 Rule 3, 4와 같은 변화 추이를 보이므로 분산전원 발전량 예측 알고리즘은 이를 분산전원의 출력으로 판단하지 않았다. 그림 9는 배전계통에 분산전원 연계 시 분산전원의 출력에 변동에 따른 계전점 유·무효 전력의 변화와 분산전원 발전량 예측 알고리즘에 의해 계산된 분산전원의 발전량을 비교한 것이다. 분산전원이 연계된 배전선에서 분산전원의 출력 변화 시 계전점의 전류와 위상차는 Rule 1, 2와 같은 변화추이를 가지므로 분산전원 발전량 예측 알고리즘은 이를 분산전원의 출력변동으로 판단하고 발전량을 계산하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 계전점에서의 전류와 위상 변동을 모니터링 하여 분산전원의 연계 유무와 발전량을 예측하는 기법을 제안하였다. 이 기법은 부하 변동 시 발생하는 계전점 파라미터의 변화 추이와 분산전원 출력 변동 시 발생하는 파라미터의 변화추이가 상이하다는 점을 이용하여 분산전원 판단 룰을 구성하였다. 분산전원 연계에 따른 계통 영향과 부하 및 분산전원의 발전량 변동 등을 모의하기 위하여 과도현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 농형 풍력발전기 2기로 구성된 1.5 MVA 용량의 분산전원을 모델링 하였고, 단락용량이 100MVA인 22.9kV의 연계 배전계통을 구성하였다. 모의 결과 제안된 기법은 분산전원의 연계 유·무를 정확히 판단하였으며 분산전원의 출력량을 효과적으로 예측하였다.

향후에는 예측된 분산전원의 발전량을 고려하여 배전선 보호 기기의 설정치를 능동적으로 변동시킬 수 있는 적응형 보호 계전알고리즘을 연구할 예정이다.

표 1 분산전원 발전량 예측 Rule

| | | 전류 | 위상차 |
|------------|----------------|----|-----|
| 분산전원 출력 변동 | 발전량 증가 (Rule1) | 감소 | 증가 |
| | 발전량 감소 (Rule2) | 증가 | 감소 |
| 부하 변동 | 증가 (Rule 3) | 증가 | 증가 |
| | 감소 (Rule 4) | 감소 | 감소 |

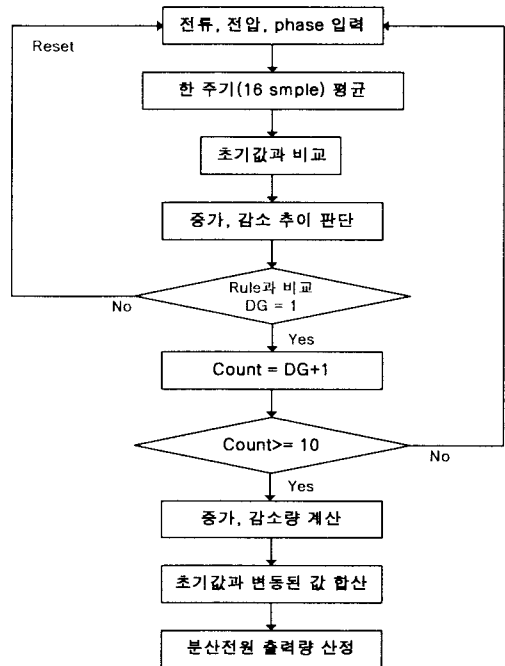


그림 7 분산전원 발전량 예측 알고리즘

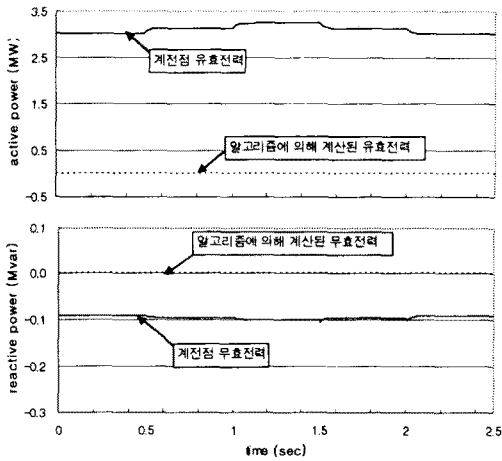


그림 8 R-L부하 변동 시 실제 유·무효 전력과 알고리즘에 의한 유·무효 전력 비교

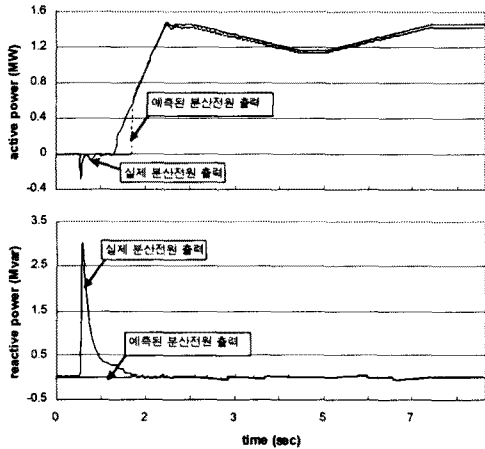


그림 9 실제 분산전원 출력과 예측된 분산전원 출력 비교

감사의 글

본 연구는 과학 기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Philip P. Barker, Robert W. de Mello, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part1-Radial Distribution Systems." IEEE, No. 0-7803-6420-1/00, 2000.
- [2] W. J. S. Rogers, "The Parallel Operation of Generating Plant within a Regional Electricity Company's Distribution Network." IEE Colloquium on "The Parallel Operation of Generating Plant within a Public Electricity Network." Chester, UK, Feb. 1991, pp. 1-9
- [3] 장성일, 김광호, "풍력발전단지의 계통연계 운전이 배전선 보호계전에 미치는 영향", 대한전기학회 논문지, 제 52A권

- 계 3호, 2003년 3월, pp. 151~157
- [4] 장성일, 최돈만, 최경관, 김광호, 오종률, 김주열, "풍력발전 단지의 계통 연계 운전에 따른 보호계전 설정치 결정에 관한 고찰", 2002년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2002, 7월, pp. 487~490
- [5] 장성일, 김지원, 최돈만, 김광호, 김형래, "계통연계 풍력발전 단지의 운전효율 향상을 위한 배전계통 적용형 보호 계 전 알고리즘", 2003년도 하계학술대회 논문집, 2003, 7월, pp.338~341
- [6] Manitoba HVDC Research Centre, "EMTDC V3 User's Manual"
- [7] 한국전력공사 계통운영처, "타사 발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침" 1996. 8.
- [8] 한국전력공사 동해전력소, "변전설비 현장 GUIDE BOOK " 2001. 12.