

분산전원 연계 배전계통의 사고 특성 분석

장성일 박재영 최정환 정종찬 김광호
강원대학교 전기전자정보통신공학부

Analysis of a Fault Characteristics in the Power Network with Distributed Generators

Sung-Il Jang Je-Young Park Jeong-Hwan Choi Jong-Chan Jeong Kwang-Ho Kim
Department of Electrical and Computer Engineering, Kangwon National University

Abstract - Distributed Generators (DG) are rapidly increasing and most of them are interconnected with distribution network to supply power into the network. Therefore, DG may make significant impacts on distribution system operation, protection, and control with respect to the voltage regulation, voltage flicker, harmonics, fault current levels, the losses of the network, etc. These impacts would be demerits for both of DG and distribution networks. And the operation of DG may be influenced by the abnormal grid condition such as disturbances occurred in the neighboring distribution feeders as well as the feeder directly connected with DG. This paper describes the influence of fault occurred in the interconnected power network on the DG operation and the impact of DG on the network load during the interruptions of utility power.

계전 알고리즘의 연구가 절실히 요구되고 있다.

본 논문에서는 분산전원이 연계된 배전계통에서의 사고 검출 특성과 리클로저의 동작 특성 및 분산전원의 고립운전 방지 실패에 따른 계통영향 그리고 외부 배전선 사고가 분산전원 운전에 미치는 영향에 대하여 기술하였다. 과도현상 해석프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 풍력발전단지로 구성된 분산전원과 22.9 kV 연계 배전계통을 구성하여 배전선의 지락, 단락, 고 저항 사고와 분산전원의 고립운전 및 외부 배전선 사고에 의한 분산전원의 운전 특성을 모의 분석하였다. 모의 결과, 배전선의 지락, 단락 사고는 사고 용량이 크므로 쉽게 검출이 가능하지만 고 저항 사고의 경우 분산전원이 사고전류의 일부를 담당하므로 사고 전류가 작아져 검출이 곤란하였으며, 분산전원의 고립운전으로 인하여 계통에 비정상적인 전압이 유기되었다. 그리고 외부 배전선 사고로 인하여 분산전원 고립운전 방지 알고리즘이 오동작을 일으킬 수 있음을 알 수 있었다.

1. 서 론

최근에 환경문제와 에너지문제를 해결하기 위하여 태양광, 풍력발전, 연료전지, 마이크로터빈 등과 같은 분산전원들이 급속하게 배전 시스템에 투입 될 것이 예상된다. 분산전원은 배전계통과 연계하여 운전되므로 분산전원의 계통 연계 운전 특성에 따라 연계 배전시스템에 부정적인 영향을 미칠 수 있고, 반대로 연계 배전계통 상황의 변화에 따라 풍력발전단지의 운전 특성이 영향을 받을 수 있다 [1-3]. 특히, 분산전원이 연계 운전되고 있는 배전선에서의 사고는 인명 피해와 계통 부하의 손상 및 분산전원 기기 자체에 부정적인 영향을 미칠 수 있으므로 가능한 신속히 이를 계통으로부터 제거시켜야 한다. 그리고 배전선 보호기 동작으로 계통 전원이 상실되면 (Loss of main) 분산전원은 이와 같은 계통상태를 검출하여 발전기 자체를 계통으로부터 분리시켜 단적으로 전력을 계통으로 공급하는 것을 방지해야 한다 [4-5]. 여기서 분산전원은 직접 연계되어 있지 않은 배전선 사고에 대해서는 고립운전 알고리즘이 동작하지 않도록 주의가 요구된다.

배전선에서의 지락 또는 단락 사고는 계전점에서의 사고 전류가 상당히 크기 때문에 분산전원의 연계 유·무에 관계없이 보호 계전기들은 이들 사고를 쉽게 검출할 수 있다. 그러나 고 저항 사고의 경우에는 계전점에서의 사고 전류가 지락, 단락 사고에 비하여 크지 않으므로 검출이 용이하지 못한 것이 사실이다. 다른 사고와 달리 연계 배전선에서의 고 저항 사고는 사고전류의 일부를 분산전원에서 담당하게 되어 계전점 전류가 더욱 작아지기 때문에 사고 검출이 불가능한 경우가 발생 할 수 있다. 그리고 전술한 계전점 전류에 대한 분산전원의 영향과 마찬가지로 리클로저에서도 유사한 사고 전류 특성이 나타난다. 이에 분산전원의 출력특성을 고려한 새로운

2. 본 론

2.1 분산전원 연계 계통 모델링

본 논문에서는 전력계통 과도현상 해석프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 22.9 kV 배전계통을 모델링 하였으며, 분산전원 형태는 농형 유도 발전기들로 가정하여 모의하였다. 분산전원 연계 배전계통은 우리나라의 22.9 kV 실제계통 데이터를 이용하였다.

A. 22.9 kV 배전계통 모델링

분산전원이 연계 운전 될 배전계통은 단락용량이 100 MVA인 22.9 kV 계통이고, 일반적인 ACSR 160 mm²와 95 mm²의 배전선으로 구성되었다. 모션에는 서로 다른 부하용량을 가진 5개의 간선들로 이루어져 있으며, 각 구성요소는 실 계통 데이터를 이용하여 모델링 되었다. 그리고 다양한 사고를 모델링 하기 위하여 임의의 사고 지점을 선정하였는데, 외부피더의 사고 특성을 분석하기 위해 간선A에 임의의 사고지점을 선정하였다. 그림 1은 사고 모의에 사용된 모델 계통의 단선도이다.

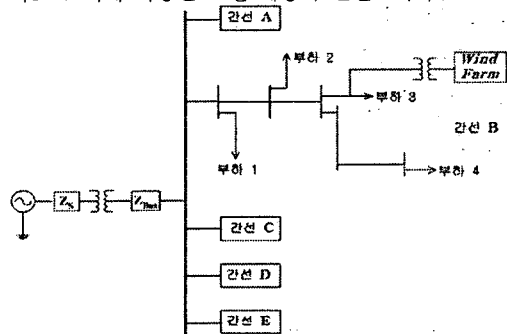


그림 1 풍력발전단지가 연계 된 배전계통 모델

B. 분산전원 모델링

본 연구에서는 분산전원을 풍력발전기에서 일반적으로 이용되는 농형 유도 발전기로 가정하였으며 EMTDC에서 제공하는 농형발전기 모델을 이용하여 구성하였다. 그림 2는 시뮬레이터에서의 농형 발전기 모델이다. 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 유도발전기의 외부의 기계적 입력이 된다. 농형의 경우 내부 용량이 주어지면 일반적인 내부 파라미터를 생성하므로는 750 kVA의 일반적인 풍력발전기로 모델링 하였다 (7). 본 논문에서는 4대의 750 kVA 농형 풍력 유도발전기로 구성된 3 MVA 용량의 풍력발전단지를 모델링 하여 다양한 모의를 진행하였다.

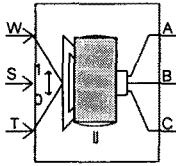


그림 2 EMTDC에서의 농형 유도 발전기 모델

2.2 분산전원 및 연계선로 보호기기

우리나라에서 규정하고 있는 분산전원 연계 배전계통 보호방식을 그림 3에 나타내었다. 분산전원이 연계된 배전계통에 설치되어 있는 보호기기로는 과전류 계전기(51), 지락 과전류 계전기(51G), 저전압 계전기(27), 재폐로 계전기(79), 리클로저(R)로 구성되어 있다. 분산전원의 고립운전 방지 및 연계선로 보호를 목적으로 사용되는 보호기기는 과전류 계전기(51), 저전압 계전기(27), 과전압 계전기(59), 주파수 계전기(81), 무효전력 방향 계전기(32Q)가 있다 (8).

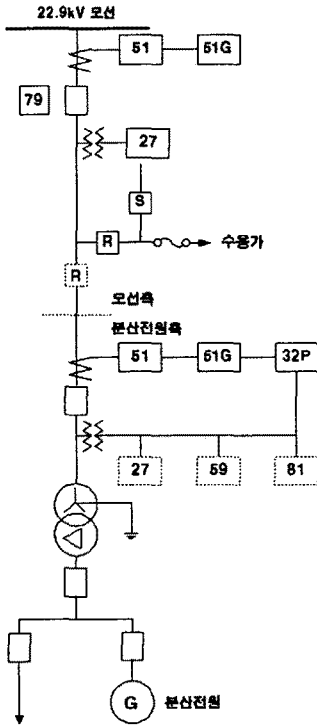


그림 3 분산전원이 연계된 배전계통 보호기기

A. 분산전원이 연계된 배전계통의 보호기기

분산전원이 연계된 배전계통을 보호하는 기기로는 과전류 계전기, 지락 과전류 계전기, 저전압 계전기, 재폐로 계전기, 리클로저 등이 있다. 과전류 계전기와 지락 과전류 계전기는 설정치 이상의 사고전류가 흐를 때 사고를 검출하는 보호 기기로서 과전류 계전기는 3상 단락 및 2상 단락고장을 보호할 수 있어야 하고 순시 및 한시 동작 기능을 구비하여야 한다. 과전류 계전기의 정정치는 최대부하전류의 150 % 이상으로서 정정치 이상의 전류가 흐를 때 동작하게 되며 지락 고장을 보호하는 목적으로 사용되는 지락 과전류 계전기의 정정치는 최대부하전류의 30 %이하 일 때 사고로 판단한다 (9). 저전압 계전기는 재폐로 및 비동기 투입 방식을 목적으로 사용된다. 저전압 계전기의 정정치는 정격전압의 80 %이하로 정정한다. 또한 리클로저는 계통의 일시적인 사고와 영구적인 사고를 구별하는 보호기기로서 간선과 분기선에 설치되고, 동작전류는 발전기 기동전류에 오동작 하지 않고 재폐로 시간은 발전기의 잔류전압 소멸시기 이상이 되도록 규정된다 (8). 리클로저의 최소동작전류는 설치점 최대부하전류의 2.8배에서 4.0배로 설정하고, 리클로저에 흐르는 전류가 최소동작전류보다 크면 일정 동작시간 특성에 의하여 회로를 차단하고 설정 시간 후 선로를 재투입 한다. 차단 동작 시 동작시간 특성은 고장의 종류, 리클로저의 설치위치, 순시 및 지연 차단에 따라 각각 다른 특성이 적용된다. 리클로저의 동작 시퀀스는 순시 차단시 2 sec, 지연차단시 15 sec를 적용하고 있다. 리클로저의 동작횟수는 최대 4회이며 일반적으로 2F2D의 동작을 가장 많이 사용한다.

B. 분산전원 단독운전 방지용 보호기기

단독운전방지 보호계전방식에 사용되는 보호 기기들은 저전압 계전기, 무효전력 방향계전기, 과전류 계전기, 과전압계전기, 주파수계전기가 있다. 여기서 방향계전기는 전력의 역송을 방지하는 목적으로 사용되고 분산전원 사고 검출에 유리한 32P와 32Q를 추가 하여 설치한다. 그리고 저전압 계전기, 과전압 계전기, 주파수 계전기는 연계선로 보호 및 유도 발전기 단독 운전 방지를 목적으로 사용된다. 보호계전기 설정치는 분산전원의 운전특성을 고려하여 계전기 사고 검출시간 및 동작 시간을 분산전원이 정상 동작 할 수 있는 범위로 정정하고 있다.

2.3 분산전원 연계 배전 계통 사고모의

본 절에서는 3 MVA 분산전원이 연계된 배전계통에서 지락, 단락, 고 저항 사고와 외부 배전선 사고를 모의 하였다. 그리고 분산전원 고립운전 방지 실패에 따른 계통 영향에 대해서도 기술 하였다.

A. 정상적인 연계 배전계통 사고 검출

분산전원 연계 배전계통 사고검출 특성을 모의하기 위하여 간선 B의 중간지점에서 0.2 초에 1선 지락 및 2선 단락 사고를 발생시켰다. 사고 발생 후 간선 B의 계전점 전압은 급격히 감소하고, 전류는 증가하므로 0.7 초에서 차단기가 동작하였다. 계통의 차단기가 동작하면 분산전원단에 설치된 보호기기들도 고립운전을 검출하여 분산전원을 계통으로부터 분리한다. 본 연구에서의 배전선 사고 검출 시간은 0.5 초로 가정하였으며, 분산전원 고립운전 방지 알고리즘의 동작시간은 0.1 초로 설정하였다. 여기서, 고립운전 방지용 알고리즘의 동작시간은 배전선에 연결된 재폐로 계전기 동작시간보다 짧게 설정하여 재폐로 시 발생할 수 있는 상불평형에 의한 사고를 예방하여야 한다. 그림 4와 5는 연계 배전선 사고 시 간선 B의 계전점 전압, 전류 및 분산전원 연계점 전압, 전류를 나타내고 있다. 그림에서 계전점 전류의 부호가 음이면 분산전원의 발전 용량이 계통부하보다 커서 간선 B에서 모선으로 전력을 공급하는 것을, 양의 부호는 전력을 간선 B에서 소비하는 것을 의미한다. 그리고 연계점 전류

는 분산전원에서 간선 B에 연결된 부하로 전력을 공급하는 것을 나타낸다. 그림에서의 전압, 전류는 계통 정격 전압 22.9 kV와 배전선 정격용량 10 MVA를 기준으로 환산한 값들이며, 점선은 1선 지락사고, 실선은 2선 단락사고를 의미한다.

B. 분산전원 고립 운전 시 계통 영향

그림 6은 간선 B에 설치되어 있는 리클로저가 0.5 초 후에 동작하여 분산전원이 고립운전 상태로 동작될 때, 분산전원에 설치된 고립운전 검출 보호기들이 고립 운전 상태를 검출하지 못하여 계속해서 전력을 계통으로 공급함으로써 분산전원이 연계계통에 미치는 영향을 모의한 결과이다. 일반적으로 동기기와는 달리 외부 여자 회로가 없이 계통 전원을 이용하여 전력을 생산하는 유도발전기의 경우 계통의 전원이 차단되면 자연적으로 전력을 생산하지 못하는 상태가 되는 것으로 알려졌다. 그러나 유도발전기에 연결되어 있는 역률보상용 커패시터 뱅크는 고립운전 시 유도기의 여자 전원처럼 동작하여 주전원의 차단기 동작 이후에도 계속해서 전력을 계통으로 공급 가능하며, 오히려 고립운전 전의 전압보다 더 큰 전압을 계통에 유기시켜 계통에 연결된 기기의 손상을 가져올 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 고립운전 이후 분산전원의 연계지점 전압은 1.75 pu까지 증가하였다.

C. 연계 배전선 고 저항 사고 검출 특성

분산전원이 연계된 배전선로에서의 고 저항 사고는 사고 용량이 작아 계통의 전압강하가 심하게 나타나지 않게 된다. 이에 배전선에 연계된 분산전원은 계통 사고 시 정상적으로 동작하여 사고 전류의 일부를 담당하므로 계전점에서의 사고전류는 분산전원이 연계되어 있지 않았을 때에 비하여 작아지게 된다. 우리나라의 경우 배전선에서 발생하는 고 저항 사고의 검출은 사고저항 크기를 30 Ω으로 설정하여 이 값보다 작은 고 저항 사고는 반드시 검출해야할 의무를 가진다. 그러나 분산전원의 계통연계로 인하여 이러한 사고에 대해서도 사고로 판단하지 못하는 경우가 발생 할 수 있다. 그림 7은 배전선의 지락, 단락 사고와 같은 사고조건에서 사고점의 사고 저항을 30 Ω으로 가정하여 모의 한 결과이다. 계전점에서의 사고전류는 분산전원의 사고전류 분담으로 인하여 과전류 설정치인 1.5 pu보다 작게 되어 이들에 대한 검출이 불가능하게 되었다. 그림에서의 전류 부호는 A절에서 정의한 것과 같은 의미를 가진다.

그림 8은 분산전원이 리클로저 뒷단에 연계되었을 때 사고 저항이 20 Ω인 1선 지락사고에 대한 모의 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 리클로저에 흐르는 사고 전류가 감소하여 리클로저의 최소동작전류를 설치점 최대부하전류의 2.8배로 하여도 동작하지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 분기선의 사고전류를 리클로저 뒷단에 있는 분산전원이 일부 담당하기 때문으로 생각된다. 그리고 분산전원의 용량이 커짐에 따라 담당하는 사고전류의 크기가 더욱 커져 리클로저는 동작하지 않는 것을 볼 수 있다.

D. 외부 배전선 사고 특성

일반적으로 배전선 보호계전기들은 보호의 안정적인 수행을 위하여 타 계전기와의 보호협조를 이룰 수 있도록 동작시간을 설정하고 있다. 리클로저나 보호계전기의 동작시간 동안 분산전원이 설치 운용되고 있는 간선의 전압이 외부 배전선 사고의 영향으로 크게 감소한다. 특히, 분산전원은 고립 운전 방지를 위하여 평상시 계속해서 계통의 운전 상태를 감시하고 있다가 고립운전 요건과 일치하면 분산전원을 계통으로부터 분리시키므로 외부 배전선 사고에 의해 분산전원이 고립운전으로 잘못 판단되어 불필요한 차단기 동작이 발생할 수 있다. 따라서 분산전원의 고립 운전 방지 알고리즘은 외부배전선

사고에 대한 보호기기의 운전특성을 충분히 고려하여 설정하여야 할 것이다. 그림 9은 외부 배전선 사고에 대한 분산전원 전압, 전류의 출력특성을 나타낸 모의 결과로써 전술한 내용과 일치하는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 분산전원이 연계된 배전계통에서의 사고 검출 특성과 분산전원의 고립운전 방지 실패에 따른 연계 계통영향 및 외부 배전선 사고가 분산전원 운전에 미치는 영향에 대하여 기술하였다. 과도현상 해석프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 풍력발전단지로 구성된 분산전원과 22.9 kV 연계 배전계통을 구성하여 배전선 지락, 단락, 고 저항 사고와 분산전원의 고립운전 및 외부 배전선 사고에 의한 분산전원의 운전 특성을 모의 분석하였다. 모의 결과, 배전선의 지락, 단락 사고는 사고 용량이 크므로 쉽게 검출이 가능하지만 고 저항 사고의 경우 분산전원이 사고전류의 일부를 담당하므로 사고 전류가 작아져 기존의 사고 검출 설정치를 적용하면 검출이 곤란해졌으며, 분산전원의 고립운전으로 인하여 연계 계통에 비정상적인 전압이 유기되었다. 그리고 외부 배전선 사고로 인하여 분산전원 고립운전 방지 알고리즘이 오동작을 일으킬 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 분산전원이 연계된 배전계통의 보호알고리즘은 이들의 영향을 충분히 고려하여 재설정하는 것이 바람직하리라 예상된다.

감사의 글

본 연구는 에너지관리공단의 풍력발전시스템의 실증연구단지 조성 및 실증에 대한 연구사업을 통해 이루어 졌으며 이에 감사를 드립니다.

(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] Thomas Ackermann, Goran Andersson, Lennart Soder, "Electricity Market Regulations and their Impact on Distributed Generation." IEEE, No. 0-7803-5902-X/00, 2000
- [3] 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
- [4] O Usta, M. A. Refern, "Protection of Dispersed Storage and Generation Units Against Islanding." IEEE, No. 0-7803-1772-6/94, 1994
- [5] M A Redfern, O Usta and J I Barrett, "Loss of Grid Protection for an Embedded Generator." IEE, 1993
- [6] P. O'Kane, B. Fox, "Loss of Mains Detection For Embedded Generation by System Impedance Monitoring." IEE, Conference Publication No. 434, 1997
- [7] Manitoba HVDC Research Centre, "EMTDC V3 User's Manual"
- [8] 한국전력공사 계통운영처, "타사 발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침" 1996. 8.
- [9] 한국전력공사 동해전력소, "변전설비 현장 GUIDE BOOK" 2001. 12.

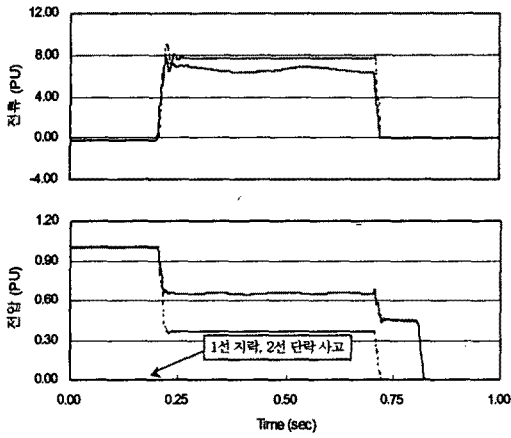


그림 4 연계 배전선 1선 지락 및 2선 단락 사고 시 계전점 전압, 전류

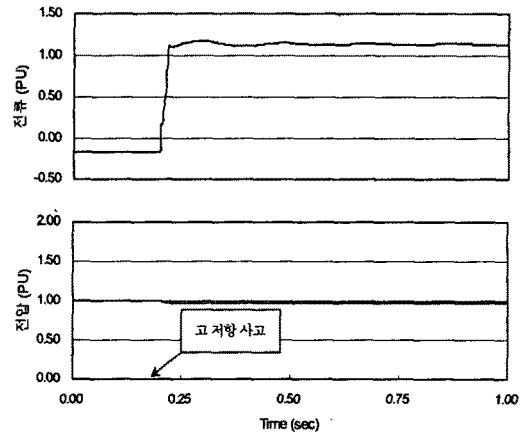


그림 7 연계 배전선 고 저항 사고 시 계전점 전압, 전류

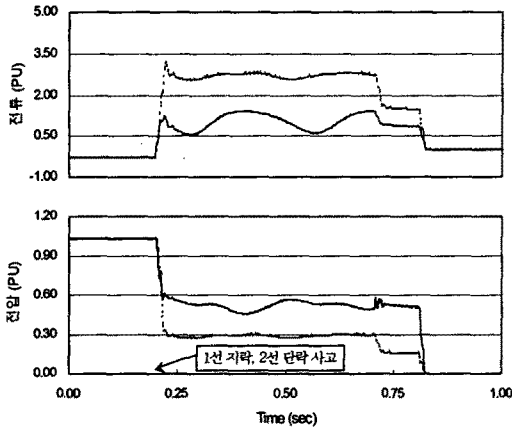


그림 5 연계 배전선 1선 지락 및 2선 단락 사고 시 연계점 전압, 전류

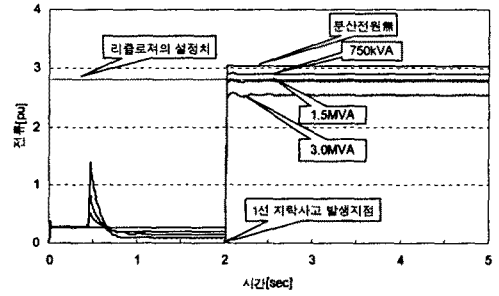


그림 8 리클로저 후단에서의 분산전원 유·무 및 용량별 사고 특성

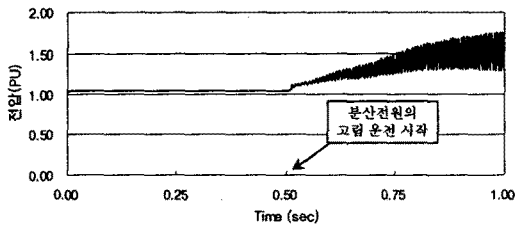


그림 6 분산전원 고립 운전 시 계통 전압 변동

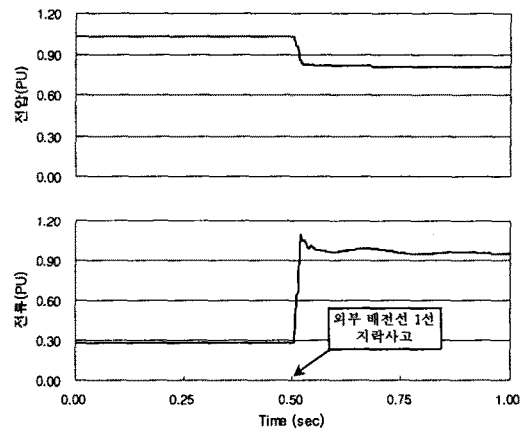


그림 9 외부 배전선 사고에 의한 분산전원 출력 특성 곡선