

특집 : 전원환경과 전력품질

분산 발전 계통에서의 전력품질 규정

송 종 환

(기초전력연구원 책임연구원)

1. 서론

전력전자 산업의 활성화와 고효율 기기 제어에 대한 요구로 인한 전력제어는 필연적으로 전력품질 문제를 야기시키게 되었고, 이와 함께 전원의 변동에 민감하게 반응하는 정밀전자 기기의 오동작은 컴퓨터와 같은 프로세서에 의해 운영되어지는 전체 공정에 영향을 주게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 기술적인 시도는 전력품질에 대한 규정을 만들어 계통운영자에 의해 관리되어 왔다. 한편 세계적인 화석연료의 고갈과 이산화탄소 등의 규제로 인해 지속가능한 에너지원 개발에 대한 범국가적인 요구와 기술개발이 진행되고 있는데 이로부터 얻어지는 전력은 대부분이 분산전원의 형태를 띠게 되며 이를 계통에 접속하여 전력원으로 이용하려는 시도를 하고 있다. 분산전원이 계통에 접속되면 필연적으로 전력품질이 영향을 받게 되며 이에 대한 적절한 규정이 제공되어야 한다. 본 고에서는 분산전원이 계통에 미치는 영향과 이에 대한 규정을 검토해 보므로 국가적인 관심사인 신재생에너지원의 개발과 이를 활용하는 기술에 미약하나마 도움이 되고자 한다.

2. 전력품질 개요

분산전원이 도입되는 PCC 단에서의 전력품질은 외적인 요인과 내적인 요인으로 구분될 수 있는데 먼저 외적인 요인으로는 낙뢰로 인한 순간적인 과도전압 유입, 유지보수로 인한 정전, 자연물의 접촉으로 인한 전압 강하 또는 순간 정전, 인근 대용량 기기의 투입 또는 이탈로 인한 전원 변동 등이 있으며 내적인 요인으로는 전력 변환을 위한 전력전자 기기 사용, 풍력

또는 태양광 등과 같은 간헐 발전원에 의한 전력 변동으로 인한 전압 변화, 발전원의 계통 투입 또는 이탈 시 계통 전압 변동, 분산전원의 고장에 의한 파급 효과 등을 생각해 볼 수 있다.

계통에서 나타나는 전력품질의 다양한 형태는 전압 크기와 지속 시간에 의해 구분되어 지는데 그림 1과 같다. 여기에 덧붙여 전력품질에 영향을 주는 또 다른 요인으로 역률, 고조파, 플리커 또는 드물게 직류전류 주입 등이 있다.

이러한 전력품질은 다음과 같은 문제점을 야기 시킨다.

- 장애 발생으로 인한 조업 중단
- 재산상 중대한 손실 야기
- 설비의 비정상적인 운전
- 전기 절연 파괴 및 기기 열화 가속
- 설비의 수명 단축
- 차등 전력 요금 적용으로 인한 불이익

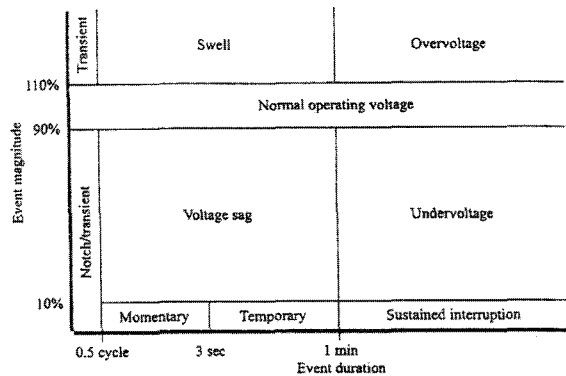


그림 1 IEEE 표준에서의 이벤트 전압 크기 및 지속시간별 분류

3. 분산전원의 종류에 따른 전력품질

분산전원의 좁은 의미는 전력 소비지에 인접하고 최대 10MW 까지의 발전용량을 가진 전원설비를 지칭하며, 넓은 의미로서는 좁은 의미의 분산전원과 에너지 저장설비를 포함하고 있다. 본 고찰에서는 좁은 의미의 분산전원에 대한 개념을 적용하고자 하며 이러한 분산전원은 크게 두 가지로 구분 가능하다.

즉 연료전지나 마이크로 가스터빈 같은 제어 가능한 상시 발전원이 있고, 풍력이나 태양광, 조력, 파력 같은 전력의 생성이 일정하지 않은 간헐 발전원이 있는데 간헐 발전원에도 조력 발전과 같은 제어 및 예측 가능한 간헐발전원이 있으며, 풍력이나 태양광, 파력 같은 예측 불가능한 간헐 발전원이 있다. 이를 정리하면 그림 2와 같다.

어떤 형태의 분산발전이든 계통에 접속될 경우에는 계통의 전력품질에 영향을 주는데 이렇게 영향을 주는 요인은 다음과 같이 구분할 수 있다.

3.1 분산전원의 계통 투입 또는 이탈 시

분산전원이 계통에 투입되어 전력을 계통에 공급하게 되면 그 계통에 인접한 부하나 전원 설비의 전압이 변화될 수 있으며 이러한 값은 계통에서 규정하는 수치 이내에서 유지되어야 한다. 이러한 과정은 분산전원의 이탈 시에도 동일하게 적용된다.

3.2 운전 중

정상 운전 중 분산전원의 전력 발생 방법에 따라 계통 전원의 전력품질이 변할 수 있는데 이의 대표적인 발생 방법으로 전력전자를 도입한 전력 발생 시 나타나는 현상으로 고조파 문제, 전원 공진 문제 등이 발생할 수 있으며 역률이나 직류 전류의 계통 주입도 여기에 속한다.

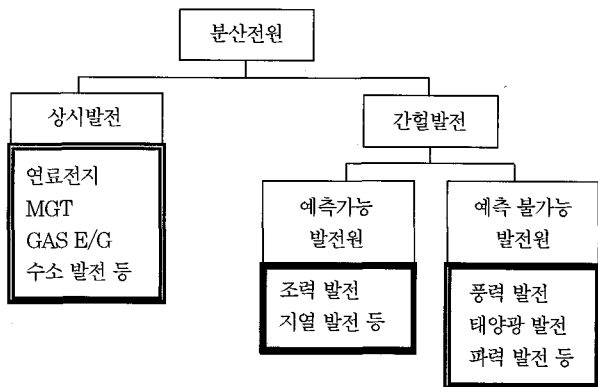


그림 2 에너지원에 따른 분산발전 구분

3.3 고립운전 현상 발생 시

고립운전 상황이 발생하였을 때 분산전원이 연결된 부하의 종류에 따라 전압 또는 전류가 급격한 변동을 일으키게 되는데 이러한 현상은 부하에 나쁜 영향을 주며 계통운영 측면에서도 주의가 요구되는 사항이다.

3.4 계통 이상 시

계통에 접속된 다른 기기 또는 계통 사고 등으로 인하여 계통의 전력품질에 이상이 발생되었을 때 분산전원의 접속된 상태에서 운전이 계속 되었을 때 나타날지도 모르는 전력품질 악화되는 과정으로 이어지지 않도록 조치 되어야 한다.

3.5 풍력 또는 태양광 등의 간헐 발전 동작 시

풍력이나 태양광 발전 같은 예측 불가능한 간헐발전원이 부하 인근에 설치되면 전압의 변동으로 인한 플리커 현상, 고조파 주입으로 인한 변압기 또는 역률조정기기의 과열 및 오동작을 야기시킬 수 있으며 이를 보상하기 위한 부대설비가 요구되기도 한다.

4. 분산전원 계통연계 규정

상기에서 설명한 바에 따라 분산전원 설비가 계통의 전력품질에 주는 영향을 최소화하기 위하여 계통운영자는 분산전원 설비가 구축되기 위한 규정을 두어 전체 계통의 전력품질을 일정한 수준으로 관리하고 있으며 그 내용은 다음과 같다.

4.1 전압 변동

분산전원 설비가 계통에 투입되어 운영되면 기존계통설비가 공급하던 전력 중 유효전력의 일부를 분산전원이 공급하게 되며 이로 인하여 부하단 전압에 변동이 나타나게 되는데 이러한 변동은 부하단에서의 규정치를 준수하여 이행되어야 한다. 그림 3은 이를 도식적으로 나타내고 있는데 분산전원(DG)가 없을때에는 계통의 전원과 부하단에서의 전원 전압은 실선과 같이 나타난다. 이때 만약 분산전원으로부터 전력이 공급되면 각 선로에서의 전압은 점선과 같이 바뀌고 이로 인하여 부하단에서의 전압도 과거와 다른 전압이 나타나게 된다. 이렇게 변화된 전압이 부하단에 연결된 각종 기기의 동작을 보장하기 위해 규정치 내에 유지되어야 한다.

저압배전선에서의 전압 규정은 그림 4와 같이 주어지는데 특히 분산전원은 계통에 주는 영향을 고려하여 좀 더 엄밀한 제한을 두고 있는 것이 특징이다.

4.2 계통이상 시 대응

분산전원이 접속된 계통은 다양한 원인으로 인하여 전력품질 문제가 발생할 수 있다. 원인으로서는 낙뢰나 자연물등에 의

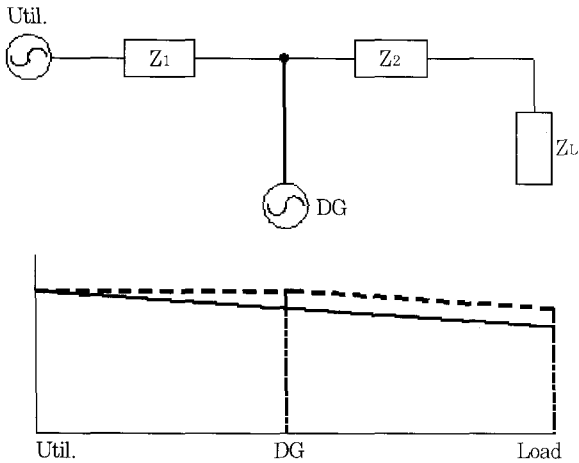


그림 3 분산전원의 주입 시 전압변동 현상

한 우연적으로 발생하는 경우가 있는가 하면 유지, 보수 등과 같이 인위적으로 발생할 수도 있다. 어떤 형태이든 분산전원에게는 예측되어지지 않은 계통 문제이며 전력품질 문제를 더 이상 악화시키지 않기 위해 분산전원은 적절하게 조치되어야 계통의 안정성과 신뢰성이 보장된다. 구분된 계통이 상으로는 역충전방지, 재폐로협조, 비정상 계통전압/주파수 및 재복귀 협조 등이다.

- 역충전방지 : 계통고장 또는 선로작업 시 분산설비는 계통에서 분리되어 있어야 한다.
- 재폐로협조 : 분산설비는 계통의 재폐로 과정에 영향을 주어서는 안된다.
- 비정상계통전압 : 계통에 비정상전압이 나타나면 다음에서 전압에 대해 규정된 시간 내에 분리되어야 한다.

전압범위(%)	고장제거시간(초)
50%미만	0.16
50%이상 88%미만	2.0
110%초과 120%미만	1.0
120%이상	0.16

- 비정상계통주파수 : 계통의 주파수가 변동하면 규정된 시간 내에 분리되어야 한다.

발전용량	주파수 범위 (Hz)	고장제거 시간 (초)	비고
30kW 까지	>60.5	0.16	
	< 59.3	0.16	
30kW 초과	>60.5	0.16	
	< (59.3-57.0)	0.16-300	정정치 및 시간 조정 가능
	< 57.0 미만	0.16	

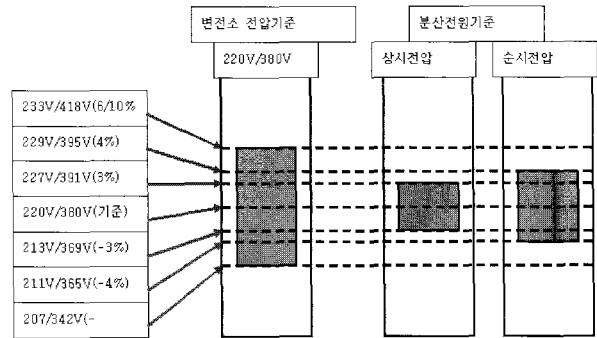


그림 4 분산전원 적용시 배전전압 규정치

- 재복귀협조 : 계통이 정상적으로 복구된 다음 최소 5분이 경과된 후 계통연결이 가능하다. 즉 계통의 전력품질이 확보된 충분한 시간 후에 분산전원의 접속을 허용한다.

4.3 전력환경에 대한 건전성 확보

분산전원이 접속된 계통의 인근설비로 인해서 유입되는 전자기장과 또는 서지의 유입에 대해 분산전원은 충분한 내구성을 가져야 한다는 사항으로 이러한 규정은 계통에 부분적인 품질문제가 발생하였을 시에도 분산전원의 동작이 확보되어야 한다는 조항이다. 여기에는 다음이 있다.

- 전자기장에 대책 : 분산설비는 EMI/EMC 대책을 가져야 한다.
- 서지보호 대책 : 분산설비는 계통에서 나타나는 서지환경을 견뎌야 한다.
- 내전압 대책 : 계통 정격전압의 220%에 해당하는 내전압을 견뎌야 한다.

4.4 동기화

분산전원 설비가 계통에 투입되면 선로의 임피던스로 인하여 분산설비의 접속점(PCC)에서나 부하단에서의 전압과 전류 위상이 변하게 된다. 이러한 변화는 부하단에서 볼 때 전력품질의 이상으로 나타나며 분산전원은 이에 대한 적절한 조치를 하여야 한다. 분산설비가 투입되었을 때의 현상이 그림 5에 도식적으로 표현되어 있다.

부하(Z_L)가 지상부하라고 하고 분산설비가 투입되기 전 부하단 전압과 전류를 V_L 과 I_L 이라 할 때 분산전원의 전력이 인가되면 부하단에서의 전압 및 전류는 V'_L , I'_L 으로 바뀌게 된다. 만약 이러한 변화가 순간적으로 일어난다면 부하설비가 오동작하거나 전력품질에 문제를 일으킬 가능성이 높아진다. 이를 억제하기 위해 분산설비는 대책을 세워야 하며 계통은 규정을 두어 관리하고 있다.

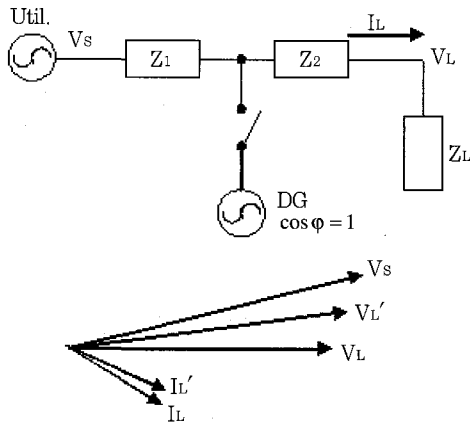


그림 5 분산전원이 계통에 접속될 때의 전압 및 전류 위상변화

- 분산설비의 계통접속 시 계통전압이 $\pm 4\%$ 이내에 유지되어야 한다.
- 이를 위하여 분산설비는 계통접속 시 다음의 범위 내에 있을 때 접속을 시도한다.

총발전용량 (kVA)	주파수 차 (Δf , Hz)	전압 차 (ΔV , %)	위상각 차 ($\Delta \phi$, deg.)
0-500	0.3	10	20
>500-1500	0.2	5	15
>1500-10000	0.1	3	10

4.5 전력품질

분산전원이 계통에 접속된 후 분산설비의 운전 및 제어 형태에 따라 계통의 전력품질이 영향을 받는데 이때 요구되는 규정으로서 역률, 플리커, 고조파 전류 및 직류전류 주입 억제 등이 있다. 여기서 분산전원의 발전형태에 따라 전력품질이 크게 달라질 수 있다. 예로서 연료전지 발전시스템이나 마이크로 가스터빈 등과 같은 상시발전원은 약간의 필터와 제어에 의해 별다른 품질 문제가 발생하지 않지만 풍력발전이나 태양광 발전 등과 같은 간헐발전원은 주변 계통에 많은 전력품질 문제를 야기시킬 수 있다. 따라서 간헐발전원의 설치 시 전력품질 문제에 대한 별도의 검토를 진행하여 규정에 대비하여야 할 것이다.

- 직류전류 주입 억제 : PCC에서 정격최대 전류의 0.5%를 넘는 직류전류가 계통에 주입되어서는 안된다.
- 역률 : 분산설비의 역률은 PCC에서 90% 이상을 유지하여야 한다.
- 플리커 : 분산설비의 빈번한 발전출력 변동과 병렬 분리 시 나타날 수 있는 플리커는 다음 수치 이내에 억제되어야 한다.

단시간(10분) $E_{psti} \leq 0.35$

장시간(2시간) $E_{plti} \leq 0.25$

- 고조파 전류 : 발전전력의 변환을 위해 전력전자 등의 스위칭 소자를 적용할 경우 나타나는 고조파를 억제할 필요가 있으며 종합왜형율(TDD)과 차수별 제한치가 함께 규정 내에 제한되어야 하며 다음과 같다.

고조파 차수	비율(%)	고조파 차수	비율(%)
$h < 11$	4.0	$23 \leq h < 35$	0.6
$11 \leq h < 17$	2.0	$35 \leq h$	0.3
$17 \leq h < 23$	1.5	TDD	5

4.6 단독 운전 방지

분산전원이 설치된 계통의 다른 분기 지점에서 사고가 발생하여 차단기(SW)가 동작했을 경우(그림 6 참조) 분산전원 설비는 단독운전(Islanding) 상태가 되는데 이 경우 계통의 전력품질은 확보될 수 없으며 분산설비는 계통의 정상운용, 안전 등을 고려하여 단시간 내에 계통으로부터 분리되어야 한다. 부하단에서의 전력품질을 확보하기 위한 방법으로 부하단과 계통 사이에 별도로 무정전 전원장치(UPS)나 순시정전 보상장치(DVR) 등의 전력품질보상장치를 두어 부하(Z_L)에서의 전력품질 문제를 해결할 수도 있다.

- 분산설비가 단독운전 상태 시 최대 0.5초 이내에 계통으로부터 설비를 분리하여야 한다.
- 분산설비는 계통의 정상운용, 설비운전, 안정 등에 영향을 주지 않아야 한다.

5. 결론

분산전원의 보급 활성화는 계통의 전력품질에 필연적으로 영향을 미치게 될 뿐 아니라 기존의 전력품질에 대한 패러다임 까지도 변화되어야 할 큰 충격임에 틀림이 없다. 즉 앞으로의 전력품질은 전력공급자나 민감 부하를 가진 수요자의 관심 대상에서 벗어나 모든 발전자와 수요자의 관심이 될 것

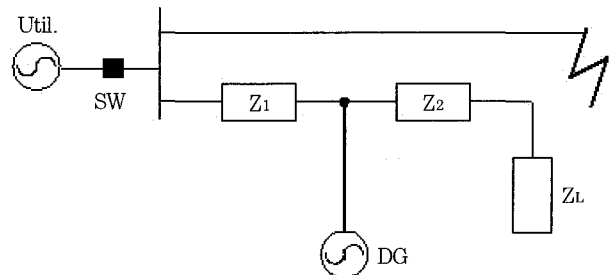


그림 6 분산설비의 단독운전 상태에 대한 도식

이며 경제성을 고려한 선택의 문제가 될 것이다. 이를 위해 분산발전자와 계통운영자 사이에 적절한 규정의 수립은 필수 불가결하며 합리적인 규정은 전력품질의 신뢰성을 높일 뿐 아니라 산업 발전의 촉진제가 될 것으로 사료된다. ■

참고 문헌

- [1] 김상준, 심은보, 윤기갑 외, “분산형전원 계통연계 이용 규정 및 지침”, 대한전기학회 학회지, 2005년 3월, Vol. 54.
- [2] 이승요, 최규하, “배전계통에서의 전압변동의 원인 및 대책”, 전력전자학회지, 2000년, 제5권 1호, pp.19-28.
- [3] 김재철, 윤상윤, “배전계통의 전력품질 및 신뢰도 평가의 방법”, 대한전기학회 학회지, 2001년 3월, Vol. 50, No. 3, pp.24-31.
- [4] IEEE Standard P1547 Std Draft : Draft Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems
- [5] 김진오 외, “분산전원 도입에 따른 복합배전 계통 운영에 관한 연구”, ‘전력산업 연구개발 사업’ 보고서, 2004년 10월.

〈 저 자 소 개 〉



송종환(宋鍾煥)

1982년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사), 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1984년~2004년 (주)효성중공업 연구소 근무, 2004년~현재 기초전력연구원 책임연구원, 2003년~현재

한양대 겸임교수.