

대체에너지전원의 배전계통 연계기술

김 응 상 · 김 슬 기

(한국전기연구원)

1. 머리 글

태양광발전, 풍력발전, 연료전지발전 등의 대체에너지전원의 도입은 에너지원의 다양화나 에너지절약 등의 측면에서 고무적으로 받아들여지고 있다. 이러한 대체에너지전원은 기술적인 특성상, 단독운전보다 기존의 한전계통에 연계하여 운전하는 것이 경제성 및 자원의 효율적 이용, 수용가의 공급안정성 확보면 등에서 유리하므로 계통연계운전이 필수적이나, 계통연계의 기술적인 과제 즉, 전력품질, 보호협조, 단독운전의 안전성, 안정성 등에 관련된 문제점들을 해결해야 한다. 이러한 문제점이 해결되지 않고는, 대체에너지전원의 연계에 의해서 공급신뢰도와 전력품질의 면에서 다른 전기수용가에 악영향을 미칠 수 있을 뿐만 아니라, 전력공급 설비 또는 다른 전기수용가의 설비보전에 문제를 발생시킬 수도 있게 되고, 무엇보다도 공중 및 작업자의 안전확보가 어려워질 수도 있게 된다. 특히, 대체에너지전원이 도입된 배전계통은 부하와 전원이 혼재되어 있기 때문에, 전력회사는 대체에너지전원의 본격적인 배전계통 도입시에 대체에너지전원의 신뢰성(제어 및 안정성)을 검증해야 하고, 기존의 배전계통 운용 체제하에서 연계가 가능한 대체에너지전원에 대한 법규 및 설비규격 등을 사전에 검토·분석하여 복합배전계통의 원활한 운용체제를 확립해 줄 필요가 있다. 또한 장애 규제완화로 인한 소규모 전기사업자의 등장과 지역에너지사업의 확대에 의한 대체에너지전원의 보급확대 등을 고려한다면 복합배전계통의 도래에 따른 그 운용문제는 상당히 심각한 문제로 대두될 수 있으므로, 이에 대비한 충분한 검토와 사전준비가 필요하다.

2. 전력품질

전력품질은 전력공급의 연속성과 전압의 여러 가지 특성의 관점에서 전력의 속성을 정의하는 여러 가지 파라미터의 집합을 뜻한다. 전력회사의 측면에서는 공급신뢰도에 관계되고 수용가의 측면에서는 전기설비에 공급되는 전력의 상태로 말할 수 있다.

현재 우리나라의 전력품질관리는 전기사업법에 근거하여 전력회사측에서는 정전시간 및 정전회수, 30분 평균 전압유지율, 주파수 유지율에 대한 목표 관리치를 부여함으로써 적정하게 유지되고 있다. 그리고 최근 정보·통신·제어기술의 발달에 따라 정보통신기기, 정밀제어 기기, 사무자동화 기기, 전산 기기, 자동생산라인 등에 마이크로프로세서 및 전력용 반도체소자가 많이 도입되고 있고 고효율 속도제어용 모터와 역률 보상용 콘덴서의 사용, 그리고 경제발전과 산업활성화 등으로 인한 고정밀 단일대형부하의 증가, 도시중심으로의 변화에 따른 대규모 아파트단지의 등장, 단상 220V 가전제품의 대형화 등이 기존에는 그다지 문제가 되지 않았던 주파수 변동, 역률의 변동, 전압·전류의 고조파성분, 순간전압변동, 고주파의 영향, 플리커 등과 같은 사항들이 전력품질을 크게 위협하고 있다. 이런 상황에서 대체에너지전원의 계통연계는 전력품질에 악영향을 끼칠 우려가 있기 때문에 대체에너지전원의 계통연계 시 전력품질에 대한 구체적인 대책이 필요하다. 특히 순시적 미소 외란은 크기가 작고 순시적이며 국지적인 현상으로 나타나기 때문에 측정·평가·진단이 정확히 이루어져야 되고 이에 대한 확실한 전력품질 유지대책이 필요하다.

2.1. 역률의 변동

대체에너지전원을 설치하는 수용가의 수전점에 있어서 역률은 원칙적으로 지상 역률 85%이상으로 하고 진상 역률이 되지 않도록 한다. 계통 측에서 바라본 역률이 진상 역률이면 대체에너지전원이 배전계통에 연계되어 무효전력을 공급하는 것이 아니라 무효전력을 계통으로부터 취하는 형태이기 때문에 대체에너지전원이 연계된 계통의 전압 제어 능력을 떨어뜨릴 수 있으므로 진상 역률 운전은 되도록 피하는 것이 좋다. 저압배전선과의 연계에 있어서는 역조류가 없는 경우 전원의 역률을 95%이상으로 하면 좋다. 하지만 선로의 전압유지가 곤란한 경우에는 전력회사와 개별협약에 의한다.

1) 역조류가 있는 경우

역조류가 있는 경우 발전장치에 의한 전압조정을 유효하

게 행하기 위해 수전점 역률을 85%이상으로 하고 진상 역률(계통 측에서 볼 때 진상 무효전력으로 되는 상태)로 되지 않는 것으로 하고 있다. 또, 역조류가 있는 경우에는 전압변동 대책상 할 수 없을 때는 역조류의 역률을 80%까지 제어 가능한 것으로 한다.

2) 역조류가 없는 경우

역조류가 없는 대체에너지전원 중에 역변환장치를 이용하여 연계하는 발전장치에 있어서는 수전점에서의 역률 조정을 행하기 위해 수용가 전체의 부하, 가전기기의 증감에 대응한 무효전력의 조정을 발전장치에 담당시키는 것은 무리이므로 발전장치 자체의 운전 역률로 규정한다. 발전장치 내의 자여자식 역변환장치는 역률 100% 운전을 원칙으로 하고, 타여자식의 역변환장치에 있어서는 역률 개선용 콘덴서를 설치하여 역률 100% 운전을 행하는 것으로 한다. 이것에 의하여 발전장치내의 기기 자체 역률을 가마하여도 발전장치의 종합 역률은 95% 이상으로 유지 가능한 것으로 생각된다.

3) 유도기나 타여자식 역변환장치를 사용하는 경우

동기발전기를 전력계통에 연계할 경우에는 운전 시에 역률의 조정이 가능하여 계통의 역률을 적정하게 유지할 수 있지만 유도발전기는 운전 시에 역률 조정이 불가능하여 계통 역률의 저하를 낳는다. 또한 일반적으로 자여자식의 역변환장치는 역률 조정이 가능하지만 타여자식의 역변환장치는 역률 조정이 불가능하다. 이 때문에 역률 조정용 콘덴서를 설치하며 수전점에서의 역률을 85%이상으로 함과 동시에 진상 역률로 되지 않도록 유지하는 것으로 한다. 또한 역률 개선용 콘덴서를 설치하면 유도발전기의 자기여자 현상(이상전압의 발생 등)을 생기게 할 우려가 있으므로 해당 자가용발전설비 설치 수용가에는 연계용 차단기 개방 시에 역률 개선용 콘덴서를 개방하는 등 적절한 제어방식으로 한다.

2.2. 고조파

역변환장치가 고조파 발생원이기 때문에 기본파의 정격 전압에 대하여 왜형률이 규정하면 역변환장치를 설치한 수용가에 있어서 역변환장치 본체(Filter 포함)의 고조파 유출 전압을 종합 왜형률 3%이하로 하는 것으로 한다. 고조파 유출전류는 종합 왜형률 5%, 각 차 3%이하로 하는 것으로 한다. 하지만 종합 왜형률은 전류 왜형의 정도를 나타내는 데에는 문제가 있다. 예를 들어 대부분의 가변속 드라이브 장치의 경우 경부하 운전 시는 입력전류에 대해서 높은 종합 왜형률을 갖는 특성을 갖고 있는 데 이것은 상대적인 왜형률이 높지만 고조파 전류의 크기는 작기 때문에 이 경우 전류 왜형률 종합왜형률(THD)로 나타낸다는 것은 큰 의미가 없다. 따라서 이러한 문제를 포함하여 고조파전류를 특성화시키기 위해서 IEEE Standard 519-1992에서는 새로이 TDD(Total Demand Distortion) 이라는 것을 정의하여 사용하고 있기도 하다.

전력계통에 고조파가 많이 포함되면 역률 개선용 콘덴서의 소손, 보호 계전기의 오동작, 부하기기의 과열·소손 및 수명의 저하 등과 같은 피해를 줄 수 있기 때문에 적절한 대책이 필요하다. 그 대책으로는 다음과 같은 것이 있다.

- 1) 다중 역변환장치 이용
- 2) 펄스 수가 많은 PWM방식의 역변환장치 제어
- 3) 고조파 필터를 설치

2.3. 고주파

역변환장치는 고주파 발생원인 까닭에 유출전과가 배전선을 안테나로 해서 현행의 각종 규제치를 초과하여 방사하지 않도록 수용가 측에서 대책을 취할 필요가 있다. 또한 가공 전선로로부터 발생하는 전파 허용한도는 표준 루프안테나에서 수 시간의 간격을 두고 2회 이상 연속하여 10분간이상 측정하여 각 회 측정치의 최대치의 평균치가 526.6kHz부터 1,606.5kHz까지의 주파수에 있어서 36.5dB(첨두치)인 것으로 되어 있다. 배전선 반송파에 대한 역변환장치로부터의 운반 고조파잡음의 영향에 대해서 수용가 측에서 대책을 취할 필요가 있다.

2.4. 전압변동

불특정 다수의 수용가에 전력을 공급하는 배전계통에 있어서 전압의 운용·관리는 전력이 변전소에서부터 수용가 측에 일방향으로 흐르는 것을 전제로 하여 중·경부하의 전압강하를 감안하여 변전소의 송출전압조정, 주상변압기의 전압Tap 조정 및 선로도중의 자동전압조정기의 설치 등을 행하고 계통 각 부분의 저압 수용가 전압을 적정치에 유지시키고 있다. 대체에너지전원을 저압 배전계통에 연계할 경우에 있어서는 저압 수용가의 전압을 표준전압 110V에 대해서는 104V~116V, 표준전압 220V에 대해서는 207V~233V 이내로 유지할 필요가 있다. 수용가가 역조류를 생기게 했을 때는 저압배전선 각부의 전압이 상승하여 적정치를 이탈할 우려가 있으므로 해당 수용가가 다른 수용가를 적정전압으로 유지하게 하기 위한 대책을 실시할 필요가 있다. 그리고 구내 부하 기기에의 영향을 고려한다면 해당 수용가 자신도 적정전압으로 유지하는 것이 바람직하다. 일반적으로 자동으로 전압을 조정하는 대책을 시행하는 것으로 하고 이것에 의해 불가능할 경우에는 배전선의 증강 등을 행하는 것으로 한다.

2.5. 주파수의 변동

대체에너지전원의 계통연계 시 전원의 정격을 출력하기 위해 기계적 토크를 증가시켰을 때 주파수의 상승이 일어날 수 있고 이 외에 계통사고 등으로 인해 단독운전이나 부하 또는 전원의 일부가 정지하여 발전기 출력이 추종할 수 없는 경우, 부하자체의 급변, 대체에너지전원의 출력변동이 심한 경우에 주파수 변동이 일어나게 된다. 주파수의 변동은 수용가 측 각종 전기기기의 불안정 운전, 발전소 소내 전압의 저하, 전원설비의 효율저하, 발전설비의 침식과 진동 등을 유발하게 되는데 이 때 계통에 악영향을 미치지 않도록

상시 주파수를 60Hz±0.2Hz로 적정하게 유지하도록 한다.

2.6. 플리커

부하전류의 크기가 연속적이고 빠르게 변화하는 부하는 종종 플리커(Flicker)라고 불리는 전압변화현상을 유발시킬 수 있다. 부하 중 제철용 아크로, 압연기, 용접기, 전기철도 등과 같이 기동 시 또는 운전 중에 유·무효전력 수요가 급격히 변하는 것이 있는데 이 변동에 의해 변동부하 전류를 공급하고 있는 전력계통 내에서 플리커가 발생할 수 있다. 송배전계통에 있어서 가장 일반적인 전압변동의 원인은 아크로에 의한 플리커이다. 플리커는 기본파의 %로 나타내는 실효치의 크기에 의해 정의되며, 인간의 눈의 민감도라는 측면에서 측정된다. 전압 플리커의 주파수 성분을 분석하면 1.0~15.0Hz의 성분, 0.1~1.0Hz의 성분, 0.02~0.2Hz 성분으로 나눌 수 있다. 통상적으로 주파수가 6Hz~8Hz범위이면, 0.5%이하인 크기에도 램프 플리커를 인지할 수 있다. 수용가 구내에 위에서 열거한 무효전력이 크고 급변하는 부하가 있는 경우 전압 플리커에 의해 TV와 조명의 떨림 내지는 컴퓨터와 정밀부하에 악영향을 미치게 한다. 조명의 떨림은 인간 눈의 감각에 관련된 것으로 전압변동의 주기에 따라 달라져 시감도 계수와 같이 10Hz에서 가장 민감하다. 전력계통에서 허용하고 있는 전압 플리커의 한계기준치는 예측계산 시 최대 전압 변동률이 2.5%이하, 실측 시 1시간 평균 전압 변화치 0.45V이하로 정하고 있다. 예측계산 시의 허용 기준치는 아크로의 최대부하 변동량을 기본으로 그 속에서 가장 가까운 일반부하를 공급하고 있는 모선의 전압 변동량을 계산하는 것이다. 실측 시는 불규칙한 전압 변동량 중에서 각 주파수 성분의 전압 변동을 예측하고 이것을 시감도 곡선에 의해서 다음과 같이 10Hz의 전압 변동량으로 환산하여 표시하는 것이며 플리커의 크기를 정량적으로 표시하는 방법중의 하나로 ΔV10으로 표시한다.

$$\Delta V_{10} = \sqrt{(\Delta V_1 \cdot a_1)^2 + \dots + (\Delta V_n \cdot a_n)^2}$$

여기서, ΔV1……ΔVn : 각 주파수 성분의 전압변동량

a1……an : 각 주파수 성분마다의 시감도계수

3. 단락용량

차단기의 차단용량은 정격차단 전류에 의해 결정되며, 이 전류는 정격전압 및 규정된 조건하에서 규정된 동작책무와 동작상태에 따라서 차단할 수 있는 전류의 한계값을 말한다. 일반적으로 전력계통에서 발생할 수 있는 가장 큰 고장 전류는 단락전류이며, 차단기는 이 단락전류를 확실하게 차단할 수 있는 능력이 있어야 한다.

단락전류를 계산하는 주목적은 전력계통에 설치되는 차단기, 퓨즈 등의 차단전류를 선정하고 각 지점의 사고사에 적절한 보호협조가 취해지도록 보호 계전기의 적정치를 선정하며 직렬기(케이블, 차단기, 단로기 등)가 단락전류가 차

단완료 될 때까지 열적 및 기계적으로 견디는가를 고찰하는데 있다.

또한, 전력계통보호를 위해서는 단락사고시 사고가 과급되지 않도록 차단기를 선정하는 것이 중요하며, 이 사고 전류를 안전하게 차단시키기 위해서는 차단기의 차단정격 단락전류보다 반드시 커야 한다. 단락전류는 그 형태가 매우 복잡 다양하나 그 전류의 크기는 주로 계통의 전력용량에 좌우되는 것으로 부하와는 직접적인 관련을 갖고 있지는 않다.

차단기의 차단용량이 단락전류보다 적을 경우에 차단기는 고장전류를 차단시키지 못하고 차단기 자체가 폭발하여 화재의 발생, 고장전류의 과급, 기기의 손상 등 재해의 원인이 될 수 있다. 그러므로, 단락전류를 정확히 계산하는 것이 중요하므로 전자계산기로 이용하는 것이 가장 이상적이나, 전용 프로그램이 있어야 하고 복잡한 계통에서는 프로그램 입력사항이 많아 상당한 시간이 걸린다. 배전계통에 대체에너지전원의 계통연계로 인한 단락용량의 변화를 검토해 본다.

1) 계산조건

① 해당 고압배전선의 변전소 송출지점을 단락용량 계산 지점으로 하며, 해당 특별고압배전선에 주상변압기를 통해 저압으로 연계되어 있는 수용가의 대체에너지전원의 용량은 50kVA이고 동일 은행의 다른 특별고압배전선에 연계되어 있는 기존의 대체에너지전원 용량의 합계는 2,000kVA로 한다.

② 그림 1의 단선도에서 %임피던스는 괄호 안에 나타내었으며 변전소, 고압배전선, 주상변압기, 저압배전선 등 배전계통에 관계되는 %임피던스는 100MVA를 기준으로 한 값이고 대체에너지전원의 %임피던스는 정격용량을 기준으로 한 값이다.

③ 단락용량은 50kVA의 대체에너지전원이 연계되는 전후에 대해 계산한다.

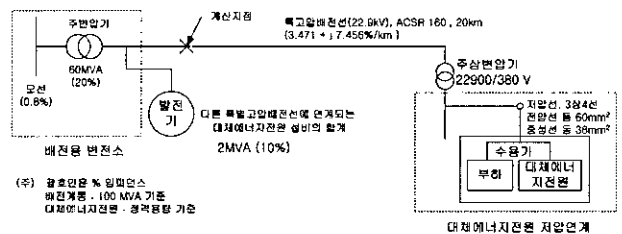


그림 1. 배전계통 연계 단선도

2) 계산방법

① %임피던스를 100MVA를 기준으로 변환한다.

· 50kVA 대체에너지전원의 %임피던스

$$10 \times \frac{100,000kVA}{50kVA} = 20000 [\%]$$

· 2,000kVA 대체에너지전원의 %임피던스

$$10 \times \frac{100,000kVA}{2,000kVA} = 500 [\%]$$

· 특별고압배전선의 %임피던스

$$(3.471 + j 7.456) \times 20 = 69.4 + j 149.1 = 164.5 [\%]$$

· 저압배전선의 %임피던스

$$0.1 \times (20844.9 + j30817.2) = 2084.5 + j3081.7 = 3720.5 [\%]$$

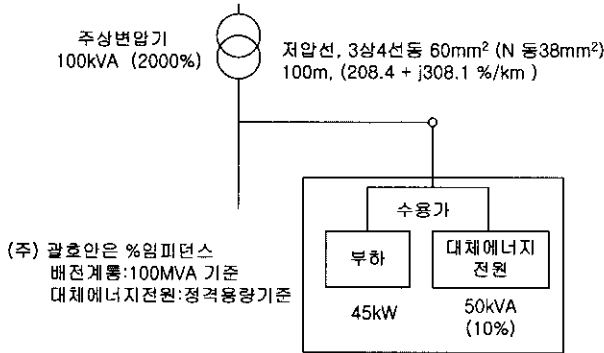


그림 2. 대체에너지전원 계통연계도

② 변환된 %임피던스를 바탕으로 임피던스 도를 작성한다.

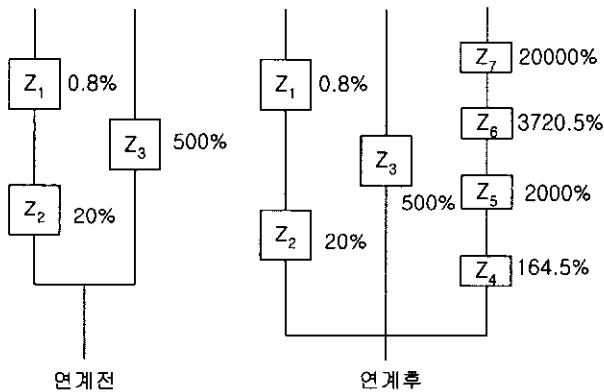


그림 3. 임피던스 도

③ 그림 3의 임피던스 도에 근거하여 50kVA 대체에너지전원이 연계되기 전과 후의 %임피던스를 계산하고 이로부터 각각의 단락용량을 계산한다.

· 50kVA 대체에너지전원 연계 전

$$\%Z = \frac{1}{\frac{1}{(0.8+20)} + \frac{1}{500}} = 19.97 [\%]$$

$$\therefore \text{단락용량} = \frac{100,000 \times 100}{19.97} = 500.75 [MVA]$$

· 50kVA 대체에너지전원 연계 후

$$\%Z = \frac{1}{\frac{1}{(0.8+20)} + \frac{1}{500} + \frac{1}{(20000+2000+164.5+37.2)}} = 19.95[\%]$$

$$\therefore \text{단락용량} = \frac{100,000 \times 100}{19.95} = 501.25 [MVA]$$

3) 계산결과

50kVA의 대체에너지전원을 저압 수용가에 설치 시 단락용량은 500.75MVA에서 501.25MVA로 증가한다. 이 결과에서는 대체에너지전원의 계통연계 전후에 단락용량의 변화가 미소함을 알 수 있지만 만약 대용량의 전원이 연계되거나 소용량이라도 여러 개의 전원이 동시에 연계 운전되는 경우는 단락용량의 변화에 많은 영향을 미치리라 예상되므로 적절한 조치가 필요하다.

4. 배전선과 연계하는 경우의 보호방식

대체에너지전원을 일반 배전선에 연계운전 하는데 필요한 표준 보호방식을 요약하면 다음과 같다.

가. 다음의 보호 계전기 또는 이와 동등 이상의 기능을 갖는 장치에 의하여, 원칙적으로 수전점에서 자동적으로 연계를 차단하는 장치를 설치하여야 한다.

- 1) 과전압 계전기(OVR: 59)
- 2) 저전압 계전기(UVR : 27)
- 3) 과주파수 계전기(OFR: 81O) (역조류 있는 경우)
- 4) 저주파수 계전기(UFR: 81U)
- 5) 역전력 계전기(RPR: 32P) (역조류 없는 경우)

나. 1)의 차단장치는 전력계통 측이 정지 중에는 투입할 수 없도록 시설하여야 한다. 또 복구 후에도 일정기간은 투입할 수 없도록 시설하여야 한다.

다. 역조류가 존재하는 경우에는 단독운전 방지 보호기능에 의해 자동적으로 연계를 차단하는 장치를 설치하여야 하며, 동시에 옥외에서 조작 가능한 안전 개폐기를 거래용 계량기의 분산전원설비 측에 설치하여야 한다.

라. 역조류가 없는 경우는 역충전 검출보호기능에 의해 자동적으로 연계를 차단하는 장치를 설치한다.

마. 역변환장치에서 직류가 교류계통으로 유출하는 것을 방지하기 위하여 원칙적으로 직류유입 방지용 변압기를 설치하여야 한다.

5. 연계계통의 고장종류와 보호 및 제어

5.1. 전원설비 고장과 보호

대체에너지전원의 발전설비에 고장이나 이상 현상이 발생하는 경우 그 영향이 연계계통으로 파급되어 나쁜 영향을 줄 우려가 있는 경우에는 발전설비를 즉시 전력계통으로부터 분리 보호하여야 한다

5.2. 연계선로계통의 고장과 보호

대체에너지전원을 기존의 전력계통에 연계를 이루어 주



는 선로 또는 설비(이하 “연계선로계통”이라 함)에 고장이 발생되었을 때에는 기존 전력계통 측에서 유입되는 고장전류를 차단함은 물론, 대체에너지전원 측에서 유입되는 고장전류도 차단할 수 있도록 보호계전장치를 시설하여야 한다.

5.3. 단독운전 및 역충전방지 보호

1) 단독운전 방지의 필요성

어떤 원인으로든 연계선로가 차단되어 대체에너지전원과 계통과의 연계가 분리되는 경우 대체에너지전원측이 일부 부하와 함께 단독계통을 이루어 운전(이하 “단독운전”이라 함)될 때에는 다음과 같은 문제점이 있어 신속히 검출 제거되어야 한다.

- ① 단독운전계통의 전압이 공급규정상 허용전압의 범위를 넘어 설비에 피해를 일으킬 우려가 있다.
- ② 단독운전계통의 주파수가 허용치를 초과하여 전기설비에 나쁜 영향을 줄 우려가 있다.
- ③ 선로 보수 작업원이 착오를 일으킬 수 있어 감전사고 발생 우려가 있다.
- ④ 단독운전이 지속되면 연계선로의 복구조작이 지연되어 불안정 상태가 지속 될 수 있다.
- ⑤ 계통 측으로부터 재투입하는 경우에 비동기 투입되어 대체에너지전원 측에 피해가 발생될 우려가 있다.

2) 역충전 방지보호의 필요성

연계가 분리된 상태에서 대체에너지전원이 기동되어 운전되거나, 상기 “가”항과 같이 분리된 대체에너지전원이 별다른 문제없이 운전이 지속되어 연계선이 역으로 충전된 경우(전력공급은 없이 충전된 상태이며 이하 역충전이라 함)에도 단독운전과 동일한 문제점이 있어 이러한 운전을 방지 할 수 있는 장치가 시설되어야 한다.

3) 예외의 경우

그러나 일반적으로 단독운전이 지속될 우려가 없는 경우로서 다음의 경우에는 이를 생략 할 수 있다.

- ① 단독으로 되는 분리계통의 평소 부하수준이 대체에너지전원의 출력보다 항상 현저히 커서 단독운전으로 지속될 우려가 없는 경우
- ② 단독운전 되어도 자체 설비부하 이외의 다른 일반전기설비 부하가 없거나 상기 1항 ①~④의 우려가 없는 경우

5.4. 비동기 투입방지 보호

1) 비동기 투입방지의 필요성

일반적으로 고압이상의 가공 배전선로는 전력의 공급신뢰도를 향상시키기 위하여 고장 제거 후 선로를 자동 재폐로 하거나, 수동으로 강제 투입하여 자동 복구를 시도(이하 “재폐로”라 함)한다. 이와 같이 재폐로를 시행하는 연계선로에서 대체에너지전원의 발전설비나 연계장치가 동기성을

가지는 경우에는 선로를 재폐로 하기 이전에 분리되어 있어야 한다. 그렇지 않으면 비동기 투입에 의하여 대체에너지전원 측에 과대한 기계, 전기적 충격 피해가 발생 될 수 있기 때문에 재폐로가 방지되어야 한다.

2) 동기확인장치(선로 무전압 확인장치 포함)

고압 및 특별고압 배전선로는 전력공급 신뢰도를 향상시키기 위하여 사고 차단 후에 재폐로를 1~2회 시행하는 것이 일반적이다. 이와 같이 재폐로를 할 때 차단기가 투입되기 전까지 어떤 원인으로 대체에너지전원 설비가 분리되지 않았다면 회전기로 발전하는 대체에너지전원 설비(특히 자여자식 동기성 전원)에 피해를 줄 수 있기 때문에 전력회사 특별고압 배전용 변전소의 배전선 인출구와 선로상에 있는 리크로저(Recloser)등의 개폐장치에 동기확인장치를 설치하는 것을 원칙으로 한다.

그러나 사고 시 재폐로를 하여도 비동기 투입 우려가 없는 경우 또는 이른바 단독운전 방지 보호의 기능적 이중화나 연계 보호장치의 2계열 설치 등에 의하여 단독운전 지속 가능성을 현저히 저하시키는 경우에는 동기확인장치를 생략할 수 있다. 여기서 동기확인장치는 다음의 동작조건 중에서 적당한 것을 선택하여 사용할 수 있는 것이어야 한다.

- ① 계통 측 전압 정상, 대체에너지전원 측은 무전압
- ② 계통 측 전압 정상, 대체에너지전원 측 전압 정상 그리고 양전압 동기가 맞는 경우
- ③ 조건 ① 또는 ② 중에서 어느 하나라도 성립되는 경우

3) 방지보호대책

대체에너지전원이 비동기 상태에서 재폐로 되는 경우 전원설비 또는 연계설비에 심각한 영향이 예상되는 경우에는 다음 중 1개 이상의 비동기 투입 방지보호가 필요하다.

- ① 재폐로 이전에 비동기 전원설비가 차단·분리되도록 한다. 자동 재폐로의 가장 짧은 무전압 시간(한국전력 22.9kV배전선의 경우 0.5초) 이내에 대체에너지전원이 자동 분리 될 수 있는 장치를 설치하거나, 연계선로 자동 재폐로 무전압 시간을 더 길게 하여 재폐로 이전에 대체에너지전원이 자동분리 될 수 있는 여유를 충분히 확보해 준다.
- ② 계통 측 변전소의 연계선로 인출 차단기 및 선로상에 설치된 리크로저 등의 개방 시 전송차단방식으로 대체에너지전원을 동시에 차단·분리시킨다. 이 방식은 비교적 복잡한 시설이 필요하나, 자동화된 선로의 경우나 또는 새로운 전력선통신 기술개발에 의하여 앞으로는 실용화될 수 있을 것으로 전망된다.
- ③ 고성능 동기검출기를 설치하여 동기상태에서만 재폐로를 허용한다.
- ④ 재폐로를 하지 않는 전용선로를 건설하여 연계한다.

4) 생략가능한 한 경우

동기확인 장치 또는 선로 무전압 확인장치는 역조류의 유무에 따라 다음의 ①~③중에 나타난 조건 중 하나이상 을 만족시킬 경우 생략할 수 있다.

- ① 역조류의 유무와 관계없이 적용되는 것.
 - 전용선에 의한 연계로서 대체에너지전원 측이 선로의 자동재폐로를 필요로 하지 않는 경우
 - 대체에너지전원이 자동재폐로에 영향을 받지 않는 비동기성 전원(유도발전기, 역변환장치로 연계되는 태양전지, 연료전지 등과 같은 전원)이거나, 대체에너지전원의 규모가 작아 비동기 투입되어도 발전기에 전기, 기계적인 충격이 경미하다고 인정되는 경우(대체에너지전원설비가 법에서 규정하는 일반전기설비로 분류되는 소용량(풍력 20kW미만, 수력 또는 내연력 10kW미만)인 경우
- ② 역조류가 있는 것에 적용되는 것.
 - 전송 차단장치와 보완적 단독운전 방지 보호기능(능동적 방식)을 적용하고 각각 다른 차단장치를 동작시키는 경우
 - 보완적 단독운전 방지 보호기능에서 두 가지 방식이상 적용하고, 차단 장소를 2개소 이상으로 하는 경우, 여기서 보완적 단독운전 방지 보호기능의 한가지 방식은 능동적 방식으로 한다.
 - 보완적 단독운전 방지 보호기능(능동적 방식)이 설치되어 있고, 대체에너지전원 용량 또는 역전력 계전기(RPR : 32)의 정정치가 배전선의 최저 부하보다 극히 작을 경우, 여기서 역전력 계전기(RPR : 32)는 역조류의 용량을 제한하기 위해 설치된 것을 말하며, 배전선의 최저부하보다 「극히 작다」는 것은 통상 배전선 용량의 5%이하를 말하며 실제적인 개별 조사를 통하여 정한다.
- ③ 역조류가 없는 계통에 적용되는 것.
 - 보완적 단독운전 방지 보호기능을 적용하여 역조류가 있는 경우와 동등한 조치를 강구한 경우
 - 계통연계와 관계되는 보호 계전기, PT, CT, 차단기, 제어전원 모두가 2계열로 설치되어 있고, 이것들이 서로 백업 가능한 시퀀스로 되어 있는 경우

5.5. 외부계통의 영향에 의한 자동분리 방지

연계선로계통이나 대체에너지전원 이외에서의 사고(상위 계통 사고, 인근 배전선로 사고 또는 계통의 루프 절체 등)에 의한 전력계통의 순간적인 전압동요에 대하여 대체에너지전원설비가 가능한 한 계속운전 할 수 있어야 하며, 만일 이와 같은 원인에 의하여 분리된 경우에도 자동 복귀할 수 있는 시스템 일 것.

6. 연계계통의 사고대책

6.1. 단락사고 대책

연계된 계통에 있어서 단락사고 시의 보호를 위하여 다음의 보호계전기를 설치한다.

- 1) 부족전압 계전기(UVR : 27)
역변환장치의 과전류 보호기능 또는 과전류 제어기능의

순시 동작에 의해 유출하는 단락전류는 제한되지만 단락사고이므로 분리하는 것이 원칙이며 분리개소의 전압이 저하하므로 그것을 부족전압계전기로 검출하여 차단한다. 이것은 앞에서 언급한 대체에너지전원 사고대책용(UVR : 27)과 공용이 가능하다.

- 2) 방향 과전류 계전기(DOCR : 67) 또는 과전류 계전기(OCR : 51)

대체에너지전원이 동기발전기이며 용량이 비교적 큰 경우에는 연계선 단락사고 시에 이 발전기로부터 과전류가 흐르게 되므로 방향 과전류계전기로 검출 차단할 수 있다. 이때 소내 단락사고 시에 동작하는 과전류계전기로써 이 사고를 검출할 수 있고 보호협조가 가능하면 그 과전류계전기를 공용으로 하여 검출 차단할 수 있다.

6.2. 순시전압 저하 대책

연계계통 이외의 단락사고나 루프절체 시의 순시 위상차 등에 의한 계통 측의 순시전압 저하에 대해서는 다음과 같이 대응되어야 한다.

- 1) 이러한 조건에 의한 순시전압 저하시간은 일반적으로 특별고압 배전선에서 0.04~0.7초 범위이므로 불필요한 분리를 방지하기 위해서는 저전압 계전기(UVR : 27)의 동작시간을 순시전압 저하시간보다 크게 하여 소규모발전설비를 분리시키지 않고, 운전계속 또는 자동복귀 할 수 있는 시스템으로 되도록 하여야 한다. 이 경우 역변환장치를 게이트 블록하는 것으로 대응해도 좋으며, 이 경우 저전압 계전기(UVR : 27)의 정정 시한 이내를 대기 지속시간의 기준으로 한다.

- 2) 계통전압저하 지속시간이 저전압 계전기(UVR : 27)의 정정 시간을 초과하는 경우는 분리한다.

7. 맺음말

본 고에서는 대체에너지전원을 기존의 저압 및 특별고압 배전계통에 연계했을 때 중요시되는 기술적 검토사항인 전력품질 문제와 보호협조에 대한 검토 및 대응방안을 제시하였다. 현재의 상황에서 엄밀히 판단한다면 대체에너지전원의 용량, 경제성, 안정성 등의 관점에서 본다면 전력계통에의 도입은 회의적이지만, 미래의 에너지 및 환경측면, 에너지 문제 해결을 위한 다양한 노력들의 불확실, 석탄액화 기술의 처리과정에 발생하는 비용과 환경영향, 30-40년 이후 화석연료의 고갈과 다가올 에너지파동 등을 고려해 본다면, 대체에너지기술의 개발과 그 전력계통에의 도입은 인간과 자연이 친화해야 할 그 첫 단계일 뿐만 아니라 지금까지 막대한 에너지를 소비하면서 편안함을 누린 우리 인간의 의무 내지는 반성의 기회라고 생각한다.

다른 한편, 대체에너지전원의 계통도입으로 인해 전력수급문제가 해결되리라고는 볼 수 없으나, 컴퓨터 및 정보 네트워크의 발전이 대규모 중앙 집중식의 체제에서 자율분산

체제의 방식으로 전환해가고 있듯이 전력계통의 운영체제 도 지금까지의 대규모전원에 의존한 체제에서 대규모전원과 대체에너지전원과 같은 소규모의 분산형 전원이 서로 혼재/협조하는 체제로 전환해 갈 가능성을 볼 때, 대체에너지전원의 기술개발 및 적용을 위한 기술개발은 필수적이다. 다양하게 연구 개발되고 있기는 하나 아직은 미비한 점이 많으므로 본 고를 통해서 보다 체계적으로 연구개발 및 보급을 활성화 하였으면 하는 바램이다.

참고문헌

[1] "일본 분산형전원 계통연계 기술지침", 한국전력공사, 1998.
 [2] E. S. Kim et al., "Voltage Regulation Methods Based on Artificial Neural Networks for Distribution Systems Interconnected with Dispersed Storage and Generation Systems", International Conference of ISAP' 97, pp. 312-316, 1997. 7.
 [3] E. S. Kim et al., "Load modeling and voltage regulation of the distribution system with dispersed generation systems", ICEE '98.Proceedings, Vol.II, pp. 217-220, 1998. 7.
 [4] E. W. Gunther et al., "A survey of distribution system power quality-preliminary result", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 1, pp. 322-329, 1995. 1.
 [5] P. B Steciuk et al., "Voltage Sag Analysis Peaks Customer Service", IEEE Computer Application in Power, 1996. 10.

저 자 소 개



김응상 (金應相)

1962년 6월 21일생. 1988년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1991년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991년 한국전기연구원 입원. 대체에너지전원 계통연

계기술 등 연구분야에 종사. 현재, 한국전기연구원 선임연구원.



김슬기 (金豪濬)

1972년 5월 7일생. 1998년 고려대 전기공학과 졸업. 2000년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 9월 한국전기연구원 입원. 현재, 한국전기연구원 연구원.