

국내 배전계통 분산형전원 연계 현황 및 국외 동향

김재우 / 연세대학교 전기전자공학부 박사과정
 정주용 / 연세대학교 전기전자공학부 석사과정
 박정욱 / 연세대학교 전기전자공학부 교수

1. 머리말

신재생 에너지원 기술이 발달하고 보급이 증가함에 따라 기존 계통에 대한 분산형전원의 연계가 증가하고 있다. 신재생 에너지 전원의 비중을 12.6%로 확충하는 제 6차 수급계획을 고려하면 기존 계통에 대한 분산형전원 연계 비중은 차후 더욱 늘어날 전망이다. 전체 분산형전원 연계 중, 배전계통에 대한 분산형전원 연계량은 전체 연계량의 60% 이상을 차지하고 있다. 많은 양의 분산형전원이 기존 계통에 연계됨에 따라 계통의 안정성 및 신뢰도와 관련하여 문제가 발생할 가능성이 크다. 특히 몇몇 154/22.9kV급 변전소에서는 지나치게 많은 양의 분산형전원이 연계되어 변압기 백크를 지나는 역조류가 발생하기도 하는데, 이는 방사상 계통으로써 단일 방향 조류만을 가정하여 설계된 한국 배전계통에서 예기치 못한 문제가 발생할 가능성이 있다. 이에 대비하여 한국전력 공사는(이하 한전) 배전계통에 분산형전원의 연계량을 제한하고 있다. 그러나, 발전 사업자들의 기존 계통에 대한 발전기 연계 수요증가와 향후 분산형전원 관련 기술의 발전을 고려하면 접속 한계용량을 확대함과 동시에 보다 능동적인 배전계통 운영의 필요성이 제기되고 있다. 이와 관련하여 본 기술 투고에서는 배전계통에 대한 분산형전원의 국내·외의 연계 절차 및 규정의 현황,

그리고 분산형전원 연계와 관련한 배전계통의 운영 방식에 대하여 다룬다.

2. 국내의 분산형전원 연계현황

가. 국내의 분산형전원 연계절차

2013년 6월 기준 특고압 이하의 계통에 연계된 전국 분산형전원의 발전 총량은 약 2400MW이며, 이는 전국 전체 발전량인 약 80,000MW에서 3%를 차지하고 있다. 또한 향후에도 연계가 지속적으로 증가할 예정이다. 한전에서는 “분산형전원 배전계통 연계 기술기준”과 “송·배전용 전기설비 이용규정”에 준하여 기존의 배전계통에 연계를 허가하고 있다 [1, 2]. [1]에서는 분산형전원의 연계절차 및 전기품질, 보호협조, 동기화, 필요설비 등과 관련하여 분산형전원 연계에 필요한 상세한 기술적 요건들을 다루고 있고, [2]에서는 배전계통의 접속한계용량과 더불어 분산형전원 접속과 관련하여 간략한 기술요건들을 제시하고 있다.

배전계통 내 분산형전원의 연계절차는 배선용도, 연계 분산형전원 용량 및 접속점 전압 크기에 따라 세분화된다. 일반배전선로는 다수의 전기사용자에게 전기를 공급하기 위하여 설치한 배전선로를 말하며, 전용배전선로는 특정 분산형전원 설치자가 전용하기 위한 배전

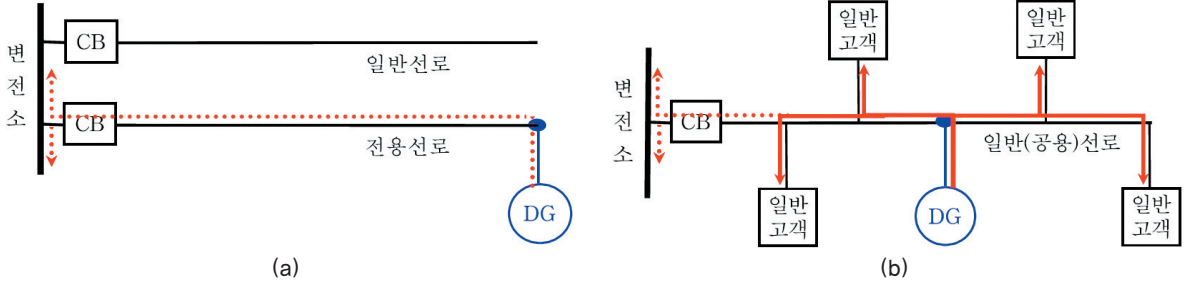


그림 1 배전계통의 분산형전원 연계 (a) 일반배전선로 (b) 전용배전선로

선로로서 한전이 소유하는 선로이다. 그림 1에 일반배전선로와 전용배전선로의 분산형전원 연계 형태가 나타나 있다. 분산형전원의 용량이 100kW 이상 10,000kW 이하이고 일반배전선로의 누적연계용량이 상시운전용량 이하인 경우에는 일반배전선로에 연계하며, 분산형전원의 용량이 일반배전선로의 상시운전용량(보통 10,000kVA)을 초과하거나 일반배전선로의 누적연계용량이 상시운전용량을 초과할 경우에는 특고압 전용배전선로에 연계한다. 일반배전선로 연계의 경우, 주변압기 설비용량에 대한 분산형전원의 누적연계용량이 15% 이하일 시에는 전기품질 및 순시전압변동, 보호기기 정상동작 여부 등으로 구성되는 간소검토를 통해 분산형전원의 연계를 허용하며, 간소검토 조건을 만족하지 못할 시에는 단락용량 기술요건과 전압여유도 충족요건을 포함하는 상세검토를 진행한다. 전용배전선로 연계 시에는 고조파, 단락용량 기술요건, 보호기기 동작요건 및 전압변동을 만족시켜야 한다.

나. 국내의 분산형전원 접속한계용량

변전소에 연계가능한 분산형전원의 누적연계용량의 한계가 정해져 있다. 현재 주변압기 한 배크당 분산형전원의 접속한계용량이 20,000kW이고 변전소 전체의 접속한계용량은 40,000kW이다. 개별 변전소별로 혹은 발전사의 요청시마다 계통의 접속한계용량을 계산할 경우, 기술검토에 소요되는 시간과 비용이 클 뿐만 아니라, 기술검토자에 따라서 결과값에 차이가 발생할 수 있다는 점과 규정 제정 당시의 해외의 접속한계용량 운영 사례 등을 참고하여 해당 접속한계용량이 설정되었다. 해당 규정을 통하여 분산형전원의 과량 연계로 발생하는 문제들을 사전에 방지할 수 있으나 발전사업자들의

연계수요가 늘어나고 향후 분산형전원의 기술발달 등을 고려할 때, 해당 접속한계용량의 규정개정 필요성이 지속적으로 제기되고 있고, 이와 관련한 연구가 지속되고 있다.

다. 분산형전원 용량초과 연계 문제

분산형전원의 연계량이 커지면 역조류를 동반하게 된다. 기존 한국의 배전계통은 대부분이 방사상의 계통으로 단일방향의 조류상황을 가정하여 설계되어 있다. 과량의 분산형전원 연계로 인하여 많은 역조류가 발생한다면, 기존에 계통 내 설치되어 있던 계통 내 보호기기들이 정상동작을 하지 않을 우려가 있다. 예를 들어, 기존 배전계통 내 사고 시 송전선로에서 유입되는 고장전류에 반응하여 동작하기로 되어있는 과전류계전기가 분산형전원에서 분출하는 사고전류에 반응하여 불필요한 동작을 하는 경우가 발생할 수 있다. 또한, 계통 내 역조류의 발생은 계통 전압관리를 매우 어렵게 한다. 기존 배전선로의 전압 프로파일은 변전소의 배전선로 인출단으로부터 멀어질수록 선로 전압이 점점 감소하는 형태이지만, 역조류가 발생하는 선로에서는 분산형전원 연결점을 중심으로 높은 전압레벨을 형성하고 있어, 변전소로부터 멀어질수록 전압 프로파일이 증가하는 형태가 가질 수 있다. 한 배전계통 내에서 배전선로 별로 전압 프로파일 형태가 다양할 경우 OLTC 및 다른 전압조정 수단을 통한 계통전압 조정이 매우 어려워진다. 앞서 언급한 배전계통의 보호동작과 전압관리의 측면은 계통 내 역조류 발생과 관련하여 필수적으로 고려해야 할 사항들이다. 현재의 국내 배전계통 내 분산형전원 연계와 관련한 주요 화두인 접속한계용량 확대에 있어서도 이와 관련하여 기술적인 검토가 요구된다.

3. 국외 분산형전원 연계 현황

본 장에서는 북미, 유럽 및 일본의 분산형전원의 배전 계통 연계에 관련한 절차와 규정을 이야기 한다. 이와 더불어 과량의 분산형전원의 연계와 그로 인해 발생하는 계통혼잡에 대하여 어떠한 방식으로 대비를 하는지 살펴볼 것이다.

가. 미국의 분산형전원 연계규정

미국의 분산형전원 연계규정은 IEEE 1547을 근거로 미국 내 지역 전력회사들이 담당지역의 계통환경 특성에 맞는 연계규정을 제정한다. 전압불균형, 동기화조건, 전압변동률이나 보호협조 등의 기술기준의 상당부분은 자국내 전력회사 공통된 부분이 있으나, 접속한계 용량이나 역조류 허용여부 등에 있어서 각 전력회사들간 차이가 존재한다.

그림 1은 매사추세츠 주의 분산형전원 계통 연계절차를 나타낸다. 매사추세츠 주에서는 약식검토, 신속검토와 표준검토로 연계검토절차가 나누어진다. 총 발전용량이 선로의 연간 최대 부하의 7.5% 이내이고, 방사형 또는 스폿 네트워크 시스템에 10kW 이하의 정격을 갖는 인가된 인버터 기반의 시설을 연계할 경우에는 약식검토를 진행하고 방사형계통에서 기동 시 전압강하, 고장전류 기여분, 전기공급 유형 및 과도 안정도 조건을 만족시키는 경우에는 신속검토를 진행한다. 방사상 계통연계에서 약식 및 신속검토 자격이 안되는 경우에는 표준검토를 진행한다. 비방사상 계통에서는 해당계통에 적합한 연계검토 절차가 별도로 존재한다. 미국 동부의 13개주의 전력 전송을 담당하는 PJM에서는 20MW 이내의 발전기에 대하여 IEEE 1547을 기반으로 하는 계통영향평가를 수행한다 [3]. CIR (Capacity Interconnection Right: 전력계통으로

전력을 보내기 위한 허가) 획득 여부 및 비상시 연계 가능 여부에 따라 상시용량증가(Permanent capacity additions), 상시에너지원증가(Permanent energy resource additions), 비상시에너지원증가(Temporary energy resource additions) 등으로 분류하여 처리한다. 사업자의 분산형전원 연계 요청 시, 실행가능성, 계통영향, 계통 연계시설 등을 검토함에 있어 사업자는 검토자에게 조류계산, 단락해석 및 동적모의해석을 위한 데이터를 제출한다. 검토 측에서는 PSS/E(PTI, Inc.), ASPEN(Advanced Systems for Power Engineering, Inc.)를 통하여 계통영향 분석을 수행한다. PJM에서는 누적 연계용량에 대한 제약사항을 포함하고 있지 않으며, 분산형전원 연계 시 담당자가 시스템 신뢰성 문제를 검토 후 아무 이상이 없거나 이상 시 라인 증설 및 무효전력 보상문제 해결 등의 추가적인 조치 이후에 연계가 가능하다.

PJM과는 다르게, 캘리포니아 주에서는 분산형전원의

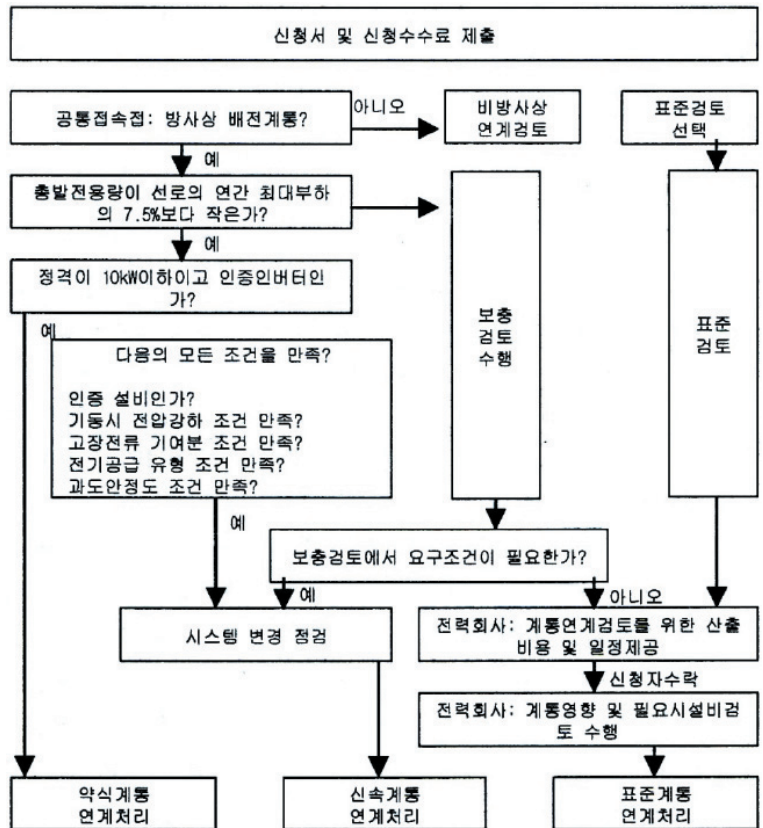


그림 2 매사추세츠 주의 계통연계절차



누적연계용량을 제한한다. 연간최대부하의 15% 이내로 분산형전원의 누적연계용량 크기를 제한하고 있다. 그리고, 누적된 분산형전원의 고장전류 공급량 역시 분산형전원의 접속을 제한하는 요인 중 하나이다. 고압에서는 배전계통 최대 고장전류의 10%, 저압에서는 수용가 설비 단락용량의 2.5%로 누적 분산형전원의 고장전류를 제한한다.

나. 유럽의 분산형전원 연계규정

유럽의 계통연계규정은 IEC61000, EN50140에 기반하여 각 국가의 지역 및 환경적 특성에 맞게 수립된다. 영국의 경우, 연계신청자가 프로젝트 계획단계, 정보 교환단계, 설계단계, 건설 단계, 시험 및 예비단계로 구성된 일련의 과정을 통하여 연계를 검토한다 [4]. 프로젝트 계획 단계에서는 연계전압 및 상전류에 따라 구별하여 연계가 가능한지 기준에 공개된 정보를 통하여 확인한다. 정보교환단계에서는 배전계통 운영자와 연계계획과 정보를 교환하며, 설계단계에서 배전계통 운영자가 연계의 적합성을 검토한다. 건설단계에서 실제 계통연계를 연계한 후 최종적으로 시험 및 예비단계에서 테스트 결과와 같이 발전승인요청을 통하여 계통운영자의 승인을 받고 전력을 공급한다. 독일에서는 우리나라의 특고압에 해당되는 중간전압레벨(Medium voltage level)과 저압레벨(Low voltage level)을 구분하여 연계를 검토하며 발전 사업자들은 발전설비 구축 전 계획단계에서 전력회사와 협의를 진행하며, 분산형전원의 설계, 건설, 계통연계와 관련한 기술 검토는 전문업체에서 실시한다 [5]. 접속한계용량에 있어서는 선로, 부하, 연계 변전소 등의 주변 계통환경과 연계되는 분산형전원의 종류 및 특성에 따라 결정되므로 일괄적인 한계량 적용은 하지 않는다.

다. 일본의 분산형전원 연계 규정

일본에서는 지역전력회사의 연계기준에 의거하여 분산형전원 연계를 수행한다. 각 지역회사의 전력연계기준은 일본 경제산업성에서 발간하는 “전기설비 기술기준의 해석”에 근거하여 제정되었기 때문에 각 지역 전력회사의 연계기준은 상당부분 공통점이 있다 [6, 7].

일본 분산형전원의 연계 절차는 연결검토 신청, 계약

표 1 유럽 전력회사의 접속한계용량 규정 (8)

국가	접속 한계용량 규정에 대한 답변
그리스	규정 없음
네덜란드	규정 없음
덴마크	가이드라인 존재, 정격 별로 분류하여 운영요건 존재 (2MW, 2-50MW, >50MW)
독일	규정 없으나 BDEW의 권장사항 존재
벨기에	규정 없음
스페인	분산형전원이 선로 용량의 50%를 넘지 못함.
영국	규정 없음
오스트리아	규정 없음
이탈리아	저압: 5kVA single phase, 50 kW 3 phase 중간전압: 8MW (3MW 초과하는 경우 MV에 연계)
체코	몇몇 유틸리티 들에 대하여 간단한 규정 존재 ex) 60 kW into LV, 2.5-4MW into HV
포르투갈	규정 없음
폴란드	규정 없음
프랑스	정부가 규제함 LV 400V (250kVA MV 15/20kV (10MW HV 63/90 kV 10-40MW EHV 225kV)40MW
핀란드	전기회사의 기술적인 권장사항 존재

신청, 계약체결 및 연계시작으로 구성된다. 분산형전원의 연계점 전압 규모에 따라 한 고객 당 전력 용량을 제한하고 있다. 특고압(22/33kV)의 계통에서는 1 고객당 10,000kW 미만의 분산형전원의 연계가 가능하다. 단독 운전방지, 전압관리의 어려움, 보호협조 실패 등을 근거로 분산형전원에 의하여 주변압기로 향하는 조류 발생을 제한해 왔으나, 2013년부터 앞선 문제 사항들에 대한 확실한 대비책이 있는 경우에는 주변압기로 향하는 역조류를 허용하는 추세이다 [7].

라. 해외의 배전계통 관리 및 운영현황

각국의 전력회사들은 분산형전원의 연계량 증가에 대하여 각 지역의 배전계통 환경 및 운영 방침에 따라 다양하게 대응하고 있다. 분산형전원의 과량 연계로 인하여 초래되는 계통혼잡현상은 앞서 설명한 바와 같이 대표적으로 보호협조 실패와 계통 내 전압관리 실패가 있다. 해당하는 문제를 사전에 차단하기 위하여 계통 내에 접속한계용량을 설정하거나 배전계통 내 역조류를 제한하기도 하며, 분산형전원의 출력량 감발 등의 운영적인 측면에서의 조치를 취하기도 한다.

표 1은 유럽 각국의 접속한계용량 현황이다. 대부분의

국가에서는 뚜렷한 접속한계용량을 가지고 있는 것은 아니나 프랑스, 이탈리아, 스페인은 한국이나 미국의 일부 전력회사와 같이 접속한계용량을 가지고 있다 [8]. 분산형전원이 접속된 설비의 용량이나 해당 계통의 부하량 또는 고장분석을 통하여 접속한계용량을 설정한다. 프랑스의 경우, 15/20kV급에서 약 10MW 이내의 접속한계용량을 가지고 있으며, 이탈리아의 경우 8MW의 접속한계용량을 가지고 있다. 스페인의 경우, 선로 용량의 50% 이상의 분산형전원이 연계될 수 없다. 미국에서는 최대부하량의 15%를 분산형전원의 누적연계용량의 최대값으로 지정하거나 고장분석을 통해 계통전체의 고장전류 대비 분산형전원의 고장전류가 특정비율을 넘지 못하도록 규제하는 사례가 있다.

역조류 규제와 관련하여, 일본에서는 최근까지도 뱅크로 향하는 역조류에 대하여 강하게 규제하였으나, 전압변동이나 보호협조 실패의 위험성에 대하여 상응하는 조치가 미리 취해졌을 경우 역조류를 허용하는 등의 관

련 규제가 점점 완화되고 있는 추세이며, 미국 일부 주의 전력회사에서는 더욱 보수적으로 역조류가 분산형전원의 공동연결점을 넘는 것조차 허용하지 않기도 한다. 그러나, 국내나 유럽 대부분의 국가들은 그림 3에서 보이는 것과 같이 이미 배전계통 내에 역조류가 활발하게 일어나고 있는 계통도 많으며 역조류 자체를 규제하지 않는다. 다만, 잠재적으로 발생할 수 있는 계통문제에 대비하기 위하여 사전에 분산형전원의 계통영향을 최소화할 수 있도록 사고전류 제한 장치나, 전압조절을 위한 무효전력 제어 장치, 그리고 유사시 출력량을 감발하는 장치 등을 설치하도록 하고 있다. 실제 유럽에서는 과도한 분산형전원 연계로 인하여 계통문제 발생이 우려될 때에 발전기의 출력량을 제한하는 등의 운영적 측면에서의 조치를 취하고 있다. 표 2는 유럽각국의 계통운영자들의 분산형전원 발전량 제한조치를 나타낸 것이다 [9]. 스웨덴, 아일랜드, 이탈리아의 경우 송전급 문제 발생 시에만 배전계통의 분산형전원의 발전량을 축소하며 독일, 스

페인, 영국, 포르투갈, 프랑스, 영국 등은 배전급의 문제 발생 시에도 발전량 축소조치를 취한다. 몇몇 국가는 모든 발전기에 대하여 축소조치를 실시하며 특정용량이 이상의 발전기만 선별적으로 출력량을 제한하는 국가들도 있다.

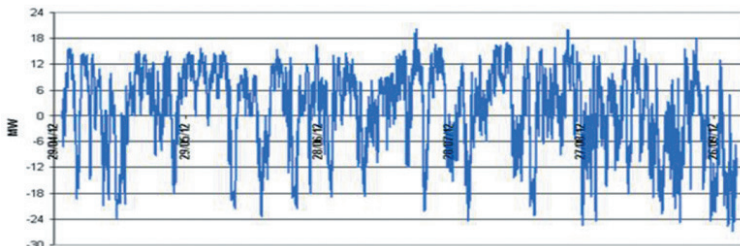


그림 3 북서아일랜드 변전소의 조류 관측 [9]

표 2 유럽 국가별 배전계통의 분산형전원 발전량 제한조치 [9]

국가	분산형전원의 발전량 축소	운영주체	대상 발전기 용량
독일	정상운전시, 특정 사이즈 이상 제한 비상 시 모든 발전기 제한	송전계통 운영자 배전계통 운영자	열병합:100kW 이상 태양광:30kW 이상
벨기에	혼잡 시 관련 규정 없음(문제 발생 시, 모든 발전기 출력 저감)	송전계통 운영자 배전계통 운영자	-
스웨덴	송전급 문제 발생 시	배전계통 운영자	-
스페인	송전급 또는 배전급 문제 발생 시	송전계통 운영자	-
아일랜드	송전급 문제 발생 시	송전계통 운영자	5MW 이상
영국	송전급 또는 배전급 문제 발생 시	송전계통 운영자 배전계통 운영자	송전단 100MW 이상
오스트리아	허용 안함	-	-
이탈리아	송전급 문제 발생 시	송전계통 운영자	10MW 이상
포르투갈	송전급 또는 배전급 문제 발생 시 10% 이상의 전압변화 시, 투입 지점 보호 동작	배전계통 운영자	-
프랑스	송전급 문제 시 모든 발전기 제한 배전계통 내부 혼잡 시, 일부 발전기 제한	송전계통 운영자	1MW 이상 1MW 이하도 경우에 따라 적용



4. 결 론

본 보고서에서는 분산형전원의 배전계통 연계에 대한 국내외 현황 및 동향을 살펴보았다. 국내외의 분산형전원의 연계절차와 기술적 요구조건들을 간략하게 조사하여 정리하였고, 많은 양의 분산형전원이 연계되었을 때에 계통이 동반하는 문제점과 이에 대한 각국 전력회사들의 대처를 살펴보았다. 각 전력회사들은 분산형전원 연계절차에 있어 발전기의 규모 및 연계점전압 혹은 배전계통의 누적연계용량에 따라 연계검토 방식을 세분화하고 있으며 전압변동, 동기화, 단락용량, 발전기 역률, 보호협조, 전기품질 등에 관한 기술적 요구조건들을 가지고 있다. 과량의 분산형전원 연계시에는 필연적으로 계통 내에 역조류를 발생시키거나, 사고시 많은 분산형전원의 사고전류를 동반한다. 이 때, 계통 내의 보호협조와 계통 전압에 이상이 있을 수 있어, 이에 대비하여 다양한 조치들을 취하고 있다. 접속한계용량을 설정하거나 계통 역조류를 허용하지 않음으로써 애초에 과량 연계의 문제가 발생하지 않도록 차단하는 방법이 있고, 계통 운영자가 발전사업자의 출력량을 제한할 수 있는 권한을 가짐으로써 계통 혼잡시에 분산형전원의 출력량을 감발하는 운영적인 측면의 조치를 취하는 방법도 있다. 전자가 계통환경을 적극적으로 고려하기보다는 일괄적인 틀에 맞춘 보수적인 운영방법인 반면, 후자는 계통 상황을 고려한 능동적인 운영방법으로 분산형전원의 출력량을 감시 및 제어할 수 있는 시스템의 구축이 필요하다. 향후, 분산형전원 연계로 인한 계통영향 최소화 및 분산형전원의 감시, 제어 및 이와 관련한 시스템 구축에 대하여 많은 기술발전이 이루어질 전망이다.

참고문헌

- [1] “분산형전원 배전계통 연계 기술기준”, 한국전력공사, 2012.06.
- [2] “송·배전용전기설비 이용규정”, 한국전력공사, 2013.01.
- [3] “PJM, “ Generation and Transmission Interconnection Process”, February, 2013.
- [4] Energy network association (ena), “Distributed Generation Connection Guide - A Guide for Connecting Generation to the Distribution Network That Falls Under G59/2”, June 2010.
- [5] BDEW, “Technical Guideline Generation Plants Connected to the Medium Voltage Network”, July, 2008.
- [6] “배전설비의 형성·운용설명서”, 북해도 전력, 2012.04.
- [7] “전기설비 기술기준의 해석”, 일본 경제산업성, 2013.05.
- [8] Report of CIRED Working Group No 4 on Dispersed Generation, CIRED, 1999.
- [10] Eurelectric, “ Active Distribution System Management - A key tool for the smooth integration of distributed generation”, A eurelectric paper, February 2013.