

새기술새정보

계통연계 분산전원시스템

박정욱*, 이수원**, 이성룡***

(*연세대 전기전자공학부 조교수, **연세대 TMS정보기술사업단 연구교수, ***군산대 전자정보공학부 교수)

1. 서론

최근 지구 환경 문제, 온난화에 따른 대책의 일환으로 신 에너지 기술개발을 통한 에너지의 다원화가 미국, 유럽, 일본 등의 선진국을 중심으로 활발히 추진되고 있으며, 2007년부터 이산화탄소 배출감소를 의무적으로 규정한 교토협약에 의해 범세계적으로 석유를 대체할 수 있고 공해가 없는 태양광, 풍력과 같은 친환경 에너지사업이 확산되고 있다. 국내 전력시스템은 수요의 증가에 대해 전원의 대규모화로 대응해 왔지만, 최근 들어 에너지, 환경문제와 더불어 대규모전원의 입지확보 및 대도시 단락용가증가에 따른 송전선 건설의 어려움 때문에 장기적 전력수급의 안정성 확보에 불확실성이 예상된다. 이러한 상황에서 신재생에너지를 이용한 분산형 전원의 배전계통연계를 통해 에너지절약, 환경문제 해결, 안전한 전원을 얻을 수 있음과 동시에 그 잉여전력을 계통에 공급함으로써 다양한 에너지원의 효율적인 활용이 가능해진다. 본 보고서에서는 분산형전원의 계통연계에 대한 현재의 시각과 장래의 전망을 제시하고, 현재 분산전원시스템의 계통연계 기술의 한 예시를 통해 신재생에너지의 계통연계 기술동향과 국내 전력 IT 관련한 배전자동화시스템과 관련하여 요구되는 기술적 사항을 살펴보고자 한다.

에 대응하여 에너지 Security를 확보하고, 에너지 절약 및 온실가스 저감, 그리고 친환경적 에너지 생산과 같은 환경적 측면과 함께 전력수급의 지역간 불균형 해소와 같은 다양한 효과를 기대할 수 있는 전력시스템으로 평가되고 있다. 특히, 기존의 전력계통과의 연계를 통해 보다 안정적인 전원공급이 가능하고, 잉여전력의 계통 공급을 통한 에너지원의 효율적 활용이 가능하기 때문에, 기존의 중앙집중식 전원에 의한 송배전과 연계하여 도입·보급되는 형태가 바람직한 것으로 판단되고 있다.^[1]

전력계통과 연계 운전되는 분산전원시스템은 태양광, 풍력, 연료전지 와 같은 신재생에너지를 이용한 분산전원을 계통과 연결한 형태로 series processing과 parallel processing 으로 구분할 수 있다. 여기서 series processing은 parallel processing과 비교하여 각각의 분산전원에 독립적인 충·방전 제어기가 필요하고, 효율이 낮으며 시스템의 대형화 되는 문제점을 가지고 있어 최근에는 parallel processing 방법을 주로 채택하고 있다. 계통연계형 분산전원 시스템은 각각의 분산전원인 신재생에너지의 전력을 최대로 발전하여, 생산된 이들 전력을 어떻게 하면 효과적으로 주고받으면서 최대의 에너지 효율을 얻을 수 있도록 Power Conditioning하느냐가 관건이며 기술의 구성 및 특징을 살펴보면 다음과 같다.^[2]

2. 분산전원시스템의 계통연계 기술

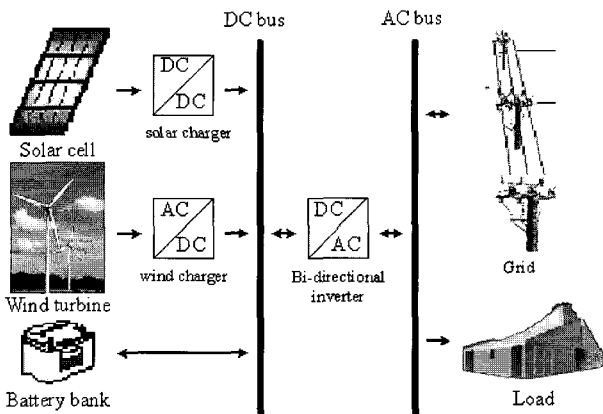
분산전원시스템(DGS : Distributed Generation System)은 산업사회의 고도화에 따라 증가하는 전력수요

■ 분산전원을 위한 기술의 구성 및 특징

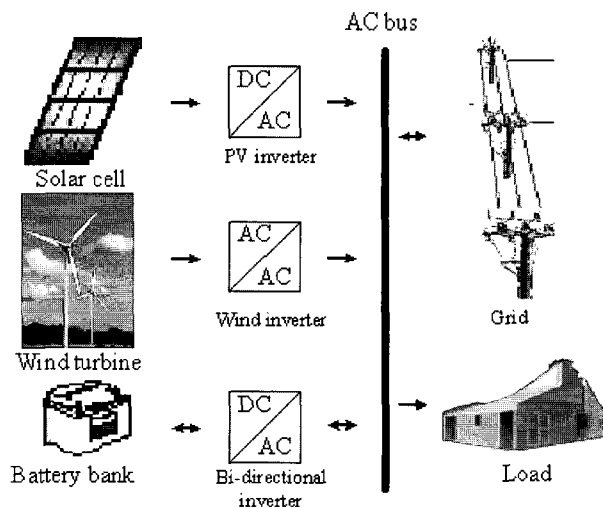
▶DC/AC Conversion

- 태양광발전 : 태양전지의 MPPT제어, 배터리 충·방전제어, UPS 및 DSM제어

- 연료전지발전 : 출력전류추종제어, UPS 및 DSM 제어
- 전지전력저장 : 출력전류추종제어, UPS 및 DSM 제어
- ▶ AC/DC/AC Conversion
 - 풍력발전 : 출력 Regulation, UPS 및 DSM 제어
 - 마이크로터빈발전 : 주파수변환제어, 배터리 충?방전제어, UPS 및 DSM 제어
- ▶ AC 연계
 - 가변속 2차여자 플라이휠 : 동기운전제어, 출력 Regulation, UPS 및 DSM 제어
 - 유도기풍력발전 : 소프트스타터, UPS 및 DSM 제어
 - 디젤엔진발전 : 출력 Regulation, UPS 및 DSM 제어



(a) DC 버스 통합형



(b) AC 버스 통합형

그림 1 Parallel processing 분산전원시스템

이상과 같은 계통 연계형 분산전원시스템의 기술 목표는 첫째, 분산전력시스템용 핵심기인 전력변환제어기기의 다기능성, 소형·경량화 그리고 신뢰성 및 내구성을 2011년까지 10배 이상 개선하는 것이고,

둘째, 노동집약적 제조공정에 기반한 개발도상국과의 가격경쟁력 및 편의성을 확보하기 위하여 분산전원시스템을 표준화(Standardization)하고, 부품 및 packaging 기술의 표준화에 의해 고집적 IPEM(Integrated Power Electronics Modules)을 추구하도록 모듈화(Plug in Unit화)하는 것이다.

그림 1은 다기능·고품질 전력수요에 대응하기 위한 AC/DC 버스 통합형 분산전원시스템의 간단한 구성도로 연결 형태에 따라 그림 1(a)의 DC 버스 통합형(DC Coupling)과 1(b)의 AC 버스 통합형(AC Coupling)으로 구분할 수 있다.

그림 1의 parallel processing 분산전원 시스템은 태양광 및 풍력과 같은 신재생에너지원과 발전된 전력을 효율적으로 사용하기 위한 배터리 뱅크 그리고 계통과 분산전원의 전력 흐름(power flow)을 제어하기 위한 양방향 인버터(Bi-directional Inverter)로 구성된다. 그림 1(a)의 DC 버스 통합형은 parallel processing 분산전원 시스템의 일반적 형태로 신재생에너지원의 발전된 전력을 DC로 변환한 후에 양방향 인버터를 통해 계통과 연결된다.

그러나 이 시스템은 신재생에너지의 개별 소스가 DC 버스에 집중되어 있어 이의 구성을 위한 하드웨어, 제어를 위한 엔지니어링, 유지 및 보수 등의 비용이 높고, 부하 증가에 따른 시스템 확장이 어려운 단점이 있다. 최근, 태양광 발전 같은 신재생에너지원의 변환효율이 낮기 때문에 신재생에너지 시스템의 키워드는 고효율이고, 특히, 일반 가정이나 사무실과 같이 DC전원을 거의 사용하지 않는 곳에서는 그림 1(b)와 같이 신재생에너지원에서 개별적으로 계통과 연결할 수 있는(전력변환단계를 줄일 수 있는) AC 통합형 시스템에 대한 연구가 주목받고 있다.

계통연계형 분산전원 시스템은 단순히 신재생에너지원의 발전된 전력을 부하 또는 계통에 공급하는 역할뿐 아니라 계통 및 분산전원 상태 그리고 부하조건을 모니터링하여 전력품질 향상, 전압 안정화, 부하 수요관리 등 여러 가지 기능들을 하나의 시스템에서 수행할 수 있도록 요구되며 다음과 같은 사항을 만족해야 한다.

▶ 유효전력 제어(Active power control)

분산전원의 발전된 전력을 계통에 공급 또는 계통의 잉여 전력을 배터리에 충전 할 수 있는 양방향 전력 제어, 부하 조건에 따라 첨두부하 감소 및 부하수요관리(Demand Side Management) 제어, 신재생에너지 최대 전력 추종 제어

▶무효전력 보상(Reactive power support)

지상/진상 무효전력 보상 및 고조파 저감을 통한 역률 향상 및 THD 감소. (한전배전계통 공급기준 및 IEEE std-1195 역률 0.9 이상, 전압 및 전류 THD 5% 이내)

▶부하 전압 안정화 (Load Voltage stabilization)

전압 변동 및 sag에 대응하여 전압 안정화 (5% 이내)

▶무정전 전원공급 (Uninterruptible power supply)

계통 전원 고장시 부하에 즉시 안정된 전원 공급

이상과 같은 계통연계형 분산전원 시스템에서 요구되는 성능을 만족하기 위해서는 계통과 분산전원 사이의 전력흐름을 제어하는 양방향 인버터가 필요하며, 제어방법에 따라 전압제어형 인버터(Voltage Controlled Voltage Source Inverter)와 전류제어형 인버터(Current Controlled Voltage Source Inverter)로 구분할 수 있다. 전류제어형 인버터는 역률과 고조파를 포함 계통의 Power Quality, System component의 요구 정격 등의 면에서, 전압제어형 인버터는 무정전 전원공급 및 전압 안정화 등에서 각각 우수한 성능을 보인다.

그림 2~4는 계통연계형 분산전원 시스템의 여러 가지 요구사항을 설명하기 위한 실험파형의 한 예로 계통전압 및 전류 (V_g, I_g), 부하 전압 및 전류(V_{load}, I_{load}) 그리고 인버

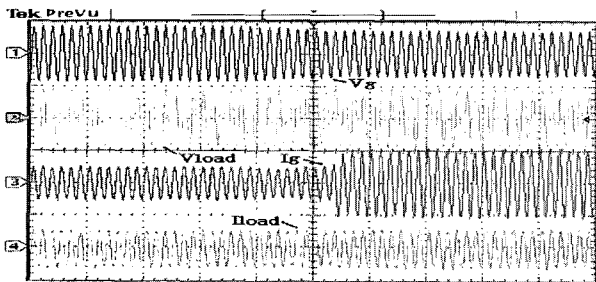


그림 2 전압 안정화 실험 파형

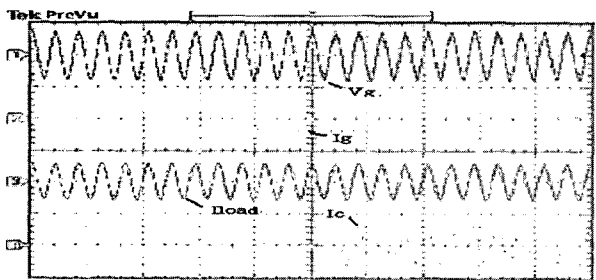


그림 3 UPS 모드(저항부하)시 DGS의 전압과 전류 실험파형

터 전류(I_c)의 파형이다.

그림 2는 계통의 기준전압에서 20%의 전압 변동이 발생할 시의 실험 파형이다. 그림 2에서처럼 계통전압이 $1.0 \Rightarrow 0.8p.u$ 로 변동하여도 인버터가 전압 보상을 수행함으로써 부하 전압은 항상 정전압으로 유지되고 있음을 알 수 있다. 또한, 그림 3은 계통전압의 고장 발생시 실험파형으로 신재생에너지 또는 배터리의 전력을 이용하여 부하에 즉시 전력을 공급할 수 있음을 알 수 있다.

그림 4는 분산전원을 이용하여 계통 또는 부하에 유효전력을 공급하는 실험파형으로 태양광 및 풍력과 같은 신재생에너지원의 발전전력을 공급하거나 배터리를 이용하여 첨두부하 및 부하운전 스케줄에 따라 전력을 공급 또는 저장할 수 있다.

그림 5는 지상 및 진상 무효전력 보상 및 비선형 부하의 고조파 저감을 통해 전력 품질을 개선시키는 실험파형으로 (a)는 순수저항 부하시, (b)는 부하용량은 같으면서 부하각이 36.9° 인 유도성 부하시, (c)는 비선형 부하 일때의 계통 전압 및 전류 (V_g, I_g), 부하 전류 (I_{load}), 인버터 전류(I_c)의 파형이다. 그림 (a), (b)는 부하에서 필요한 유효전력 성분은 계통에서 공급하고 무효전력 성분은 인버터에서 공급하는 것을 보여주고 있다. 그림 (c)는 전통적인 비선형 부하인 캐패시터 입력형 부하로서 부하 전류(I_{load})는 비선형적인 왜곡된 파형을 나타내지만 인버터 전류(I_c)를 통한 고조파 보상으로 계통 전류의 파형은 정현파임을 알 수 있다. 또한, 모든 부하조건에서 계통전압 전류의 위상차는 거의 "0"로 단위역률로 제어되고 있음을 알 수 있다.

이상 계통에서 요구되는 계통 연계형 분산전원 시스템의 기능 등을 살펴보았다. 상대적으로 전압제어형 인버터의 장점은 전류제어형 인버터의 단점이 되는 반면, 전류제어형 인버터의 장점은 전압제어형 인버터의 단점이 되는 특징이 있기 때문에 IEEE Standard 및 한전배전계통 공급기준 등을 만족하는 양질의 분산전원 시스템을 하나의 시스템에서 구현하기에는 어려움이 있다. 따라서 이들의 장점만을 취해 요

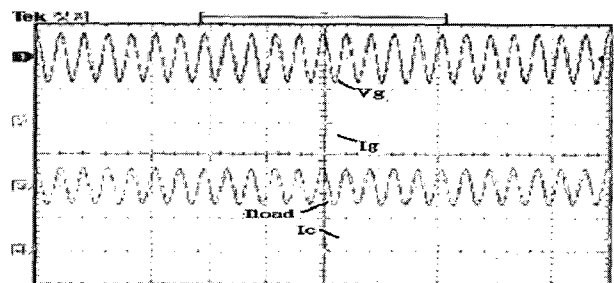


그림 4 DSM 모드(Full load에서 50% 부하 분담)시 DGS의 전압과 전류 파형

구되는 4가지 기능들을 하나의 시스템에서 통합적으로 관리할 수 있는 새로운 통합형 토폴로지의 연구가 요구되어진다.

3. 배전자동화 관련 계통연계 기술

분산형전원이 배전계통에 도입되어 연계 운전하는 데는 여러 가지의 해결해야 할 문제가 있다. 이와 관련하여 미국의 경우 IEEE 1547 등의 가이드라인을 제정하였고 관련된 규격을 현재 만들고 있다. 이의 내용을 살펴보면 전력계통의 품질유지에 관련된 일반적인 규정을 제시하고 있으나, 전력계통의 특성상 국내 전력계통에 바로 적용가능한지는 모델링 및 관련 시뮬레이션을 통하여 비교·검증이 요구되고, 이에 따라 국내 실정에 맞는 계통연계 분산전원시스템 및 연계해석 기반을 구축할 필요가 있다. 일반적으로 계통

연계시 요구되는 기술적 측면에서 고려해야 할 사항은 전압 변동, 고조파, 보호협조, 고립운전방지, 역률, 상불평형, 주파수, 단락용량, 역조류제어 등이다.

특히 분산전원시스템의 소용량의 전원과 일반발전의 발전단가와 비교했을 때 비경제성으로 인하여 배전계통으로 역조류 허용을 통하여 계통측에 전력을 공급함으로써 분산전원을 운용하는 전기사업자가 전기를 판매하도록 할 필요가 있다. 하지만, 다수 분산전원시스템으로부터 역조류 허용시 야기될 수 있는 전력계통과 연계로 인한 주파수 안정화, 전력시스템 전체의 효율적인 조류제어, 분산전원 시스템 고장전류의 계통유입 방지 및 보호 장치, 및 합리적인 전력거래에 대한 제도 개선화 등이 절대적으로 필요하다.

고품질·고신뢰의 전력을 수용가에게 제공하기 위하여 현재 전력IT 사업의 일환으로 진행중인 배전자동화시스템과 관련하여서도 계통연계 분산시스템의 감시제어, 전력조류제어 및 전기품질 향상, 정상상태 및 과도상태 안정도 해석, 사고 및 오작동 검출, 위상제어 기능들이 수행되어져야 한다.

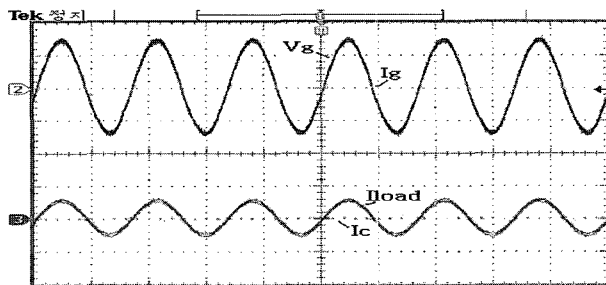
4. 결론

2011년까지 태양광, 풍력 및 연료전지와 같은 신재생에너지 비율을 전체 총에너지의 5%로 확대하겠다는 정부의 적극적인 정책에 따라 신재생에너지를 이용한 분산전원시스템은 급속하게 보급이 증가할 것으로 예상된다.

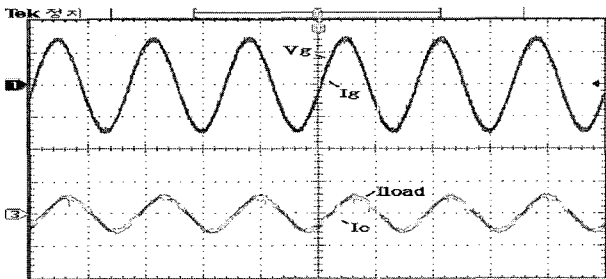
따라서, 급속히 확대되어질 분산전원시스템과 관련된 시장에서 선진국과의 기술격차를 해소하고 기술경쟁력을 확보하기 위해 단순히 신재생에너지원의 발전된 전력을 부하 또는 계통에 공급하는 역할뿐 아니라 계통 및 분산전원 상태 그리고 부하조건을 고려하여 전력품질 향상, 전압 안정화, 부하 수요관리 등 여러 가지 기능들을 수행할 수 있어야 한다. 또한, 고품질·고신뢰의 전력을 수용가에게 제공하기 위해 계통연계 분산시스템의 감시제어, 전력조류제어, 정상상태 및 과도상태 안정도 해석, 사고 및 오작동 검출, 위상제어 기능들과 같은 신재생에너지 발전기술, 전력변환 제어 기술, 하드웨어 구축 기술, 시스템 제어 기술 등과 같은 기술적 측면과 표준화 작업, 산업 인프라 구축, 전문 인력양성과 같은 정책적 측면 등이 병행되어져야 한다.

참고 문헌

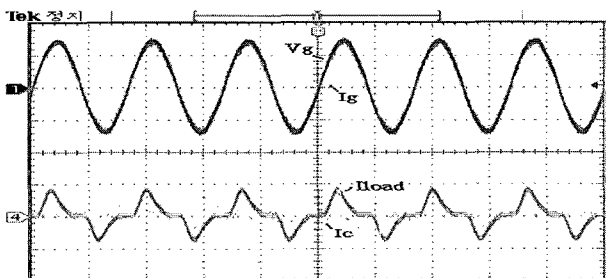
- [1] 박동운, 김기일, 강현무, "분산전원", 한국과학기술정보연구원 2003 기술산업정보분석, 2003.
- [2] 유권중, "분산형 전원용 전력변환장치 기술동향 및 시장전망", 전력전자학회지, Vol.6, no.2, pp. 25~29, 2001.



(a) 순수 저항 부하시



(b) 유도성 부하시 (부하각 36.7°)



(c) 비선형 부하시 (Diode Rectifier with RLC load)

그림 5 Power conditioning시 DGS의 전압과 전류 실험파형

〈 저 자 소 개 〉



박정욱(朴正旭)

연세대 전기공학과 졸업. 2000년 미국 Georgia Institute of Technology 전기컴퓨터공학 졸업(석사) 2003년 졸업(공학). 2003년~2004년 미국 University of Wisconsin-Madison, Post-doctoral Research Associate. 현재 연세대 전기전자공학부 조교수.



이수원(李洙原)

1993년 전북대 전기공학과 졸업(석사) 1998년 동 대학원 졸업(공학). 2001년~2006년 군산대 BK21 계약교수. 현재 연세대 TMS정보기술사업단 연구교수.



이성룡(李星龍)

1982년 명지대 전기공학과 졸업(석사). 1986년 전북대 전기공학과 졸업(공학). 1997년~1998년 Virginia Tech. visiting professor. 2003년~2005년 호주 Curtin University of Technology visitin professor. 현재 군산대 전자정보공학부 교수.