

태양광발전의 배전계통 도입 영향 고찰

안교상*, 정낙현*, 김경환*, 황우현*, 김의환**
한국전력공사*, 한전 전력연구원**

A Study on Effect of Connecting the PV Power generation to the Distribution System

Kyo-Sang Ahn*, Nak-Hun Jung*, Kyeung-Hwan Kim*, Woo-Hyun Hwang*, Eui-Hwan Kim**
KEPCO*, KEPRI-KEPCO**

Abstract - 청정에너지로 각광받고 있는 태양광발전은 지구환경문제가 각급의 관심사로 떠오르면서 더욱더 보급이 확산되고 있다. 정부에서도 태양광발전 사업자의 지원정책과 일반보급사업, 지방보급사업 및 100만호 보급사업 등의 강력한 정책적 지원으로 보급의 활성화를 위한 기반을 마련하게 되었다. 미래의 지구환경과 청정에너지에 대한 국민들의 관심 고조 등은 정부정책과 맞물려 전력계통에 대규모 대용량의 발전시스템과 다수의 시스템이 도입되면서 전력계통 운영에 작은 변화를 보여주고 있다.

본 고에서는 태양광발전의 계통도입에 대한 검토사항과 확대 도입에 의한 영향에 대하여 고찰하고자 한다.

1. 서 론

깨끗한 에너지원으로 주목받고 있는 태양광 발전방식은 신·재생에너지 지원 중에서 가장 상용화되어 있으며 자연환경의 입지조건에 영향을 덜 받으며 운전 및 유지보수가 용이하고, 태양전지 모듈화가 가능하여 용량의 신속성이 있으며 태양에너지를 이용하는 것으로 무한의 에너지를 얻을 수 있다는 장점과 일사량 조건에 의한 출력변동 등 기상의 영향을 받는 단점을 가지고 있다.

이러한 출력변동에 의한 전력품질의 영향에 대한 단점에도 불구하고 여러 요소의 장점으로 인하여 태양광발전은 차세대 청정에너지전원으로 각광을 받아 왔으며 최근 문제되고 있는 지구환경문제 해결에도 부합할 수 있는 특징을 갖고 있다.

국내의 경우 태양광발전 중에서도 보급 잠재력을 가지고 있는 부분은 계통연계형 태양광 발전시스템으로 계통연계형 발전시스템은 계통과 연계된 주택, 빌딩 또는 전력계통과 연계된 분산발전 시스템으로 수 kW 규모에서 수십 MW급 규모까지 다양한 규모의 발전시스템으로 구성되어 자연에너지의 국내 부존자원을 적극 활용할 수 있는 시스템으로 주목받고 있다.

또한, 계통연계형 태양광 발전시스템의 확대 보급시 태양광 발전시스템의 출력특성에 의한 기존 전력계통의 피크전력을 감소시키는 효과도 기대할 수 있다.

한전에서는 전력사업의 주체로서 분산전원 형태로 확대 도입되고 있는 태양광 발전시스템의 운용능력의 향상, 발전시스템 제어와 보호기법 등을 검토하여 계통연계에 따른 문제점을 분석 보완함으로써 계통연계형 태양광 발전시스템의 상용화 확대 도입 적용을 위한 기반기술을 확립하고 분산전원으로서 태양광발전의 확대 도입에 의한 전력품질과 계통의 안전화 신뢰도 향상을 위하여 다방면으로 검토를 하고 있다.

2. 본 론

2.1 태양광발전의 도입에 따른 영향

주택용 태양광 발전시스템은 태양전지 출력을 최대한으로 활용하기 위하여 태양광 발전출력이 주택의 부하를 상회한 때에는 그 잉여전력을 전력계통에 보내는 역조류 운전을 하고, 우천, 야간 등 발전출력이 부족한 때에는 계통에서 공급받는 쌍방향 조류방식으로 운영하며 이는 현행법상으로 상계고객에 한하여 운영되고 있는 방식이다.

태양광발전 등 분산전원의 보급 확대에 따라 현재의 단방향 전력조류에서 양방향 전력조류가 발생하며 이에 따라 여러 가지 문제가 발생되는데, 그 중 대표적인 것을 들면 다음과 같다.

첫째, 계통전력 품질문제로서 전압변동의 증대, 불필요한 고조파 전류의 유입 등에 의한 계통전력 품질에 영향을 주고 있으며, 두번째, 전력계통과 보호협조, 안정성 및 안전성으로 배전계통 보호 시스템에의 교란에 의한 공급 신뢰도의 영향, 태양광 발전시스템으로부터 역충전에 의한 선로작업시 안전성의 영향 등을 들 수 있다. 이는 일사량 변화에 따른 태양광발전 출력의 변동성분

이 계통에 영향을 주고, 태양광 발전시스템의 직·교류 전력변환 장치에 사용되는 전력반도체 스위칭 소자로 인하여 발생되고 있는 현상이다.

2.2 계통도입 검토사항

지난 수년 동안 태양광 발전시스템에 관한 설계, 시공 및 운영경험은 아주 높은 수준에 이르렀고 오늘날 설치된 태양광 발전시스템은 우수한 특성을 갖추고 특별한 문제없이 정상적으로 운영되고 있다. 태양광 모듈 및 주변장치의 가격이 상당히 감소함에 따라 전력계통과 병렬 연계된 태양광 발전시스템은 매력적인 수단이 되고 있으며 정부의 신·재생에너지 보급정책에 의해 많은 지원을 받고 있다.

따라서 배전계통과 연계하여 상용전원과 병렬로 운전하는 계통연계형 태양광 발전시스템이 보급의 주축을 이루고 있다. 그러나 불특정 다수의 태양광 발전시스템을 계통 연계하는 것은 배전계통의 전력품질, 안정성, 안정성에 영향을 줄 요소가 있기 때문에 이들 발전시스템이 확대 보급에 앞서서 계통연계운전에 의해 발생할 기술적인 문제점을 검토하고 분석 할 필요가 있다.

태양광 발전시스템의 배전계통연계는 기존의 전력계통 개념에서는 새로운 변화를 의미한다. 예를 들면 태양광 발전시스템은 계통에 연계되기 전에 태양광모듈의 직류전력이 교류전원으로 변환되는데 태양광 발전시스템과 전력계통 사이에는 상호간에 피해를 주지 않도록 보호협조 장치가 필요하다. 태양광 발전시스템의 계통연계기술을 확립하기 위해서는 시스템 자체 성능확인 이외에 그 연계할 부분, 즉 배전계통의 영향, 또는 그 주변에 존재하는 부하의 영향확인도 필요하다.

향후 신·재생에너지 보급이 일반화 되어 다수의 태양광 발전시스템이 계통에 도입될 경우 전압변동, 고조파, 단독운전 등 보호협조 문제 등이 주로 고려되어 할 것으로 보이며 검토되어야 할 문제점이라 할 수 있다

2.2.1 전압변동

전력사업자에 있어서 저압의 공급전압을 전기사업법에서 정한 적정 범위로 유지가 의무화되고 있고 태양광발전이 계통에 도입되더라도 전압이 이 범위를 벗어나서는 안 된다. 현재 배전계통의 전압관리는 변전소에서 부하에 걸쳐 조류가 단방향인 전제로 되어있다. 조류가 단방향이면 부하변동에 의해 배전선 피더에 흐르는 전류가 변화하고 전압이 변동하더라도 전압은 변전소에서 말한다 행해서 단조롭게 내려가므로 전압의 관리는 비교적 용이하다.

그러나 전력공급 도중에 태양광발전으로부터 역조류가 있으면 전압이 연계 점에서 높아지고 분포가 단조롭지 않게 되어 종래의 방법으로는 대응할 수 없게 될 가능성이 있다.

그리고 그 지역의 순간 일사량에 의존하는 태양전지는 발전량의 변동을 미리 예상 할 수 없기 때문에 전압관리가 어려워진다. 이에 대한 대책으로 태양광발전의 도입용량의 크기를 규제함으로써 어느 정도는 대응할 수 있다. 그러나 이와 같은 규제도 너무 강하면 태양광발전의 보급을 저해 할 수 도 있으므로 장기적인 대책으로는 규제를 완화할 수 있는 기술의 개발이 필요하다.

일반적으로 태양광발전은 직·교류 전력변환장치(Power Conditioning System; 이하 "PCS")를 이용하므로 PCS의 전압조정 기능을 적극적으로 이용하여 계통전압을 적절한 범위로 유지시키는 것도 생각할 수 있다.

2.2.2 고조파

태양광발전 등의 분산전원시스템은 PCS를 사용하여 직류를 교류전력으로 변환을 하기 때문에 동작 원리상 전력반도체소자의 스위칭에 따른 고조파가 발생하게 된다. 고조파의 발생량은 PCS의 방식과 제어 성능에 따라 다르지만, 그것이 계통의 허용량을 초과하게 될 경우는 동일 배전계통에 접속되어 있는 부하의 동작에 영향을 초래할 우려가 있다. 따라

서 이러한 계통연계형 태양광 발전시스템에 대해서는 고조파 억제대책을 강구해 둘 필요가 있다. 한전의 고조파 허용기준은 THD 5% 이내이다.

〈표 1〉 공칭전압별 유지범위

구분	공칭전압(V)	전압 유지 범위
저압	110	104~116 V (± 6V)
	220	207~233 V (± 13V)
	380	342~418 V (± 38V)
고압	6,600	6,000~6,900 V (-600~+300V)
특별고압	22,900	20,800~23,800 V (-2,100~+900V)

2.2.3 보호협조

태양광발전의 보호를 고려할 경우 발전 전원 자체를 보호하는 것과 태양광발전에 의해 발생하는 장애로부터 계통을 보호하는 것으로 나누어 생각할 필요가 있다. 두 가지 경우 모두 상호간에 사고 과급을 방지하기 위해서는 적절한 연계 보호협조가 필요하다.

특히 계통 측에서 고장이 생긴 경우 태양광발전은 계통 측의 보호시스템과 동등한 신뢰도로 고장을 검출하고 협조를 취하여 보호기능을 동작시켜야 한다.

2.2.4 단독운전 방지

전력계통이 사고 등으로 상실된 경우 부하와 태양광발전의 출력이 균형을 이룰 경우에 태양광발전은 계속 운전되는 상태, 즉 단독 운전상태가 계속될 가능성이 있다.

단독운전이 계속되면 계통 측의 전력이 복귀한 경우에 양자의 전압위상차에 의해 단락상태나 탈조상태 등과 같은 사고가 일어날 가능성이 있을 뿐만 아니라 작업자가 충전되어있는 전선에 접촉되어 감전하는 등의 중대 사고가 일어날 가능성이 있다. 따라서 확실하게 단독 운전을 방지하는 방법의 개발이 분산형 전원의 계통 연계에 있어서 필수사항이다.

2.2.5 역률 및 상 불평형

전력계통의 역률유지는 선로의 전압변동, 전력손실 및 유효전력의 공급한계 등의 측면에서 대단히 중요하다. 태양광발전의 계통연계 운전역률은 선로의 역률에 영향을 미치게 된다. 또한 연계 지점에 따라 역률조정이 틀러지기 때문에 분산전원 형태에 따라 역률조정 기능을 의무적으로 갖추거나 혹은 역률을 고정시키는 방법 등의 선택이 필요하며 현재는 역률 1로 운영하고 있다.

단상 태양광 발전의 다수 도입은 연계지점을 적절히 배치하지 않으면 상위 선로의 상 불평형의 문제가 대두될 수 있다. 단상설비의 도입은 상 불평형이 없도록 설계 적용되어야 할 것이다.

2.3 한전 계통연계 기술기준

국내의 태양광발전설비 계통연계 절차는 한국전력공사의 “배전용 전기설비 이용규정(2005. 1. 1 시행)”에 따른다. 이 규정은 배전사업자인 한전의 배전용 전기설비 이용요금 및 기타 이용조건을 정하는 것으로 전기사업법 제 31조[전력거래]의 규정에 따라 전력시장에서 전력을 거래하기 위하여 한전의 배전용 전기설비를 이용하는 경우 적용되게 된다.

태양광발전을 비롯한 분산전원의 계통연계와 관련된 기술기준으로는 한국전력공사의 “분산형전원 배전계통 연계 기술기준(2005.5)”을 준용하고 특고압연계의 경우 보호계전기 설치에 관한 사항은 “타사발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침(1996)”에 따른다. 타사발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침은 22.9kV 및 154kV의 특별고압선에 연계하는 경우에 대한 전력회사의 보호협조 관련 업무가 주 내용으로 되어 있다.

태양광발전 등 분산전원의 계통연계와 관련된 기술기준인 “분산형 전원 배전계통 연계기술기준(2005.5)”의 주요내용은 다음과 같다.

〈표 4〉 연계항목별 기준치(분산형전원 배전계통 연계 기술기준)

항목	동기화	직류 전류유입	역률	고조파 전류	단독운전 방지
연계 기준	전압변동 ±4%	0.5% 이내	90% 이상	TDD 5% 이내	0.5초 이내

〈표 3〉 연계구분(분산형 전원 배전계통 연계 기술기준)

연계구분	적용발전설비	연계설비용량
저압 배전선	분산형 전원 발전설비	20kW 이하: 일반 배전선 20-100kW : 전용선로
특별고압 배전선	분산형 전원 발전설비	3,000kW 이하 : 일반 배전선 3,000-10,000kW : 전용선로

〈표 2〉 한전의 계통연계 관련 절차 및 기준

전압별	연계 업무처리 절차	연계기술기준
저압	배전용 전기설비 이용규정 (2005.1.1.)	분산형전원 배전계통 연계 기술기준 (2005.5)
특고압	상동	분산형전원 배전계통 연계 기술기준(2005.5) (보호계전기 설치는 “발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 기준서” 준용)

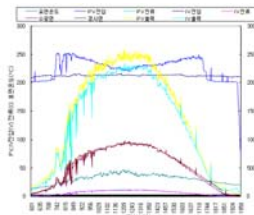
2.4 태양광발전의 연계 출력 특성고찰

자연의 에너지를 이용하는 태양광발전은 발전출력을 인위적으로 조정할 수 없어 대규모 다수의 시스템이 도입시에는 배전계통의 전력품질에 영향을 줄 수 있다. 소규모 시스템의 도입에는 계통의 용량으로 인하여 영향은 미미하지만 일반전기사업자의 등장과 정부의 보급정책으로 수많은 시스템이 전력계통에 연계 운전되면서 배전계통의 양방향 조류 형상으로 보호협조 문제와 전력품질 문제에 영향을 가하고 있다.

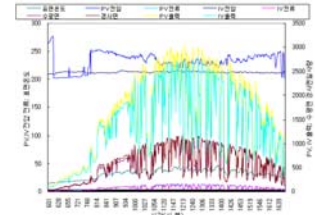
특히, 저압 배전선로에서는 발전출력이 높은 낮 시간대에 부하의 사용량이 적으면서 일부 지역에서 선로의 전압이 상승하는 현상을 보여 주고 있다. 쾌청한 기상조건과 흐린 날에는 영향이 적으나 하늘에 구름의 흐름이 심한 날에는 그림 2와 같이 출력의 변동이 심한 특성을 보이고 있다. 이러한 기상조건에서 동일지역의 동일선로에 다수의 시스템이 도입되었다면 전압, 주파수의 변동은 피할 수 없이 발생하리라 사료 된다.

정정에너지이며 점두부하 저감으로 각광을 받던 태양광발전이 다수의 시스템 도입되면서 전력계통의 운영체제와 전력품질에 영향을 미치게 되었다. 또한, 전력계통을 무한대로 보고 역률 1로 공급하면서 계통의 무효전력의 부담까지 주게 되었다.

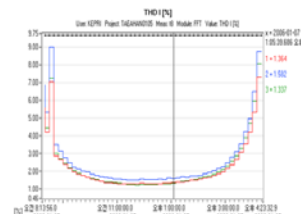
지속적인 전력계통에의 확대 도입은 태양광발전의 유·무효전력 제어, 역률 제어 등의 기능을 요구하게 될 시점이 도래하게 되었다.



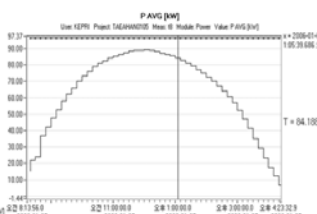
〈그림 1〉 태양광 출력특성(쾌청)



〈그림 2〉 태양광 출력특성(구름)



〈그림 3〉 태양광 출력특성(THD)



〈그림 4〉 태양광 발전출력

3. 결 론

정정에너지원으로 각광받고 있는 태양광발전은 정부의 개발 및 보급정책의 강화와 지구환경문제에 대한 국민의 관심 고조로 점차 확대되고 있다. 분산전원으로서 태양광발전의 확대 도입은 전통적인 전력계통 운영에 많은 영향을 예고하고 있다.

적정한 도입용량과 도입지점의 결정이 필요하며, 확대도입에 따른 운영의 안전성, 안정성 및 신뢰성 확보와 고품질의 전력공급을 위하여 보호협조 체계의 재정립을 검토를 필요로 하게 되었다.

전압 변동, 주파수 변화, 보호협조, 고조파 왜곡율, 저압 단상 설비의 도입에 따른 상 불평형 문제 및 단독운전 방지에 대한 대책 등을 검토하여 재정립을 통한 고품질의 전력공급의 체계를 확립을 위하여 발전설비의 출력등 필요제어 요소를 적용 도입하여야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 분산형전원 배전계통 연계 기술 기준, 한국전력공사, 2005년 5월.
- [2] MW급 집중배치형 태양광 발전시스템 및 계통연계 기술개발 I 단계 최종보고서, 산업자원부, 2007년 12월.
- [3] 김재연, “분산형 전원의 배전 계통 도입전망과 대책”, 2001년.